

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA
DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

LARISSA STRICTAR PEREIRA

Canibalismo em peixes

Maringá
2016

LARISSA STRICTAR PEREIRA

Canibalismo em peixes

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Angelo Antonio Agostinho

Maringá
2016

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

P436c Pereira, Larissa Strictar, 1987-
Canibalismo em peixes / Larissa Strictar Pereira. -- Maringá, 2016.
185 f. : il.

Tese (doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2016.
Orientador: Prof. Dr. Angelo Antonio Agostinho.

1. Peixes teleósteos - Canibalismo - Comportamento. 2. Peixes teleósteos - Canibalismo - Gradiente de diversidade. 3. Peixes teleósteos - Predação intraespecífica. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -597.153
NBR/CIP - 12899 AACR/2

LARISSA STRICTAR PEREIRA

Canibalismo em Peixes

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Angelo Antonio Agostinho (UEM)
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Roger Mormul (UEM)
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Dr.^a Andréa Bialetski
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Prof. Dr. Rômulo Diego de Lima Behrend (UniCesumar)

Prof.^a Dr.^a Milza Celi Fedatto Abelha
Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul (UEMS)

Aprovada em: 26 de Fevereiro de 2016.

Local de defesa: Auditório do Nupélia, Bloco H-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

*Aos meus pais, que não desistiram
de mim mesmo quando eu havia
desistido*

AGRADECIMENTOS

Trabalho realizado com apoio do Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

*“ I do wish we could chat longer, but...
I'm having an old friend for dinner”*

Hannibal Lecter in the Silence of the Lambs

Canibalismo em peixes

RESUMO

No início da década de 90, foi publicada a primeira e única revisão geral sobre canibalismo em peixes. Apesar de diversas publicações posteriores lidarem com canibalismo, essas abordam aspectos específicos em relação ao tema, sendo restritas a poucas espécies, regiões e períodos (ex. reprodução e migração). Assim, primeiramente foi realizada extensa consulta literária visando, além de atualização da revisão existente sobre canibalismo em peixes, avaliar as implicações de tal comportamento, apresentando, também, perspectivas para pesquisas futuras. Dessa revisão, duas hipóteses foram selecionadas e testadas, (i) a incidência de canibalismo é determinada pela abundância de recursos alimentares alternativos, a qual foi testada experimentalmente, e (ii) as ocorrências de canibalismo serão maiores quanto menor a diversidade e, conseqüentemente, maiores ocorrências serão observadas em maiores latitudes, testada através de meta análise. Canibalismo foi observado em 104 famílias de peixes contando com 390 espécies, dessas, 150 apresentaram tal comportamento apenas em cativeiro. O canibalismo foi observado principalmente em espécies com hábito carnívoro, principalmente invertívoro, e naquelas com cuidado parental. Observou-se, experimentalmente, que indivíduos predadores tendem a evitar o canibalismo até que este seja a única alternativa, consumindo coespecíficos apenas em excassez de recursos alimentares extrema, sendo, ainda, influenciado por possível segregação espacial. Finalmente, o canibalismo se mostrou relacionado com a riqueza de espécies, apresentando aumento no número de ocorrências a medida que a riqueza de espécies de peixe diminui, com um efeito secundário significativo, para a latitude, no hemisfério norte, em que as ocorrências de canibalismo aumentam com o aumento da latitude. Esses fatores podem estar ligados ao fato de o gradiente de diversidade não ser igual para os dois hemisférios, sendo mais acentuado no hemisfério norte que no hemisfério sul. Assim, o canibalismo possui grande potencial em influenciar a dinâmica populacional de assembleias de peixes com baixa riqueza, como àquelas observadas em altas latitudes do hemisfério norte. Dessa maneira, a importância do canibalismo não deve ser negligenciada, devido, principalmente, ao fato de tal comportamento tornar-se mais frequente em ambientes com baixas espécies, sendo que com o declínio global no número de espécies pode fazer com que esse comportamento seja mais frequentemente observado.

Palavras-chave: Revisão. Predação intraespecífica. Gradiente de diversidade. *Hoplias*. Disponibilidade de alimento. Latitude. Metanálise.

Cannibalism in fish

ABSTRACT

In the beginnings of the 90s the first review about cannibalism in fish was published. Despite several publications later to such revision, the published works deal with more specific features about this behavior, being restricted to few species, regions and periods (e.g. reproduction and migration). Thereby, it is presented an update about cannibalism in fish, based in an extensive literature review, presenting its implications and highlighting areas that merit further research. From such revision two hypotheses were selected and tested, its results are presented in the consecutive sections. Cannibalism frequencies will be determined by (i) feeding resources availability, and (ii) species richness, presenting a secondary effect with latitude, as species richness decreases with increasing latitudes, cannibalism occurrence would be expected to increase with increasing latitudes. Cannibalism was observed for 390 species in 104 families, being common in parental care and carnivorous species. Experimentally, cannibalism was observed to occur only in the total absence of heterospecific prey and seems to be influenced by space segregation and feeding resources availability. Finally, cannibalism was shown to be negatively related with diversity, presenting increasing occurrence number with decreasing diversity. Nevertheless, cannibalism occurrences only presented significant relation with latitude in the northern hemisphere, possibly because the species diversity gradient differs between hemispheres, being more conspicuous in the northern one. Cannibalism seems to be an important factor in structuring populations in the northern hemisphere, especially in higher latitude regions, being influenced by food availability. The influence of cannibalism in determining population and communities dynamic should not be neglected, specially because with increasing human impact in natural environments and, consequently, reduced species richness, this behavior will, probably, be more frequently observed.

Keywords: Intraspecific predation. Literature survey. Diversity gradient. *Hoplias*. Food availability. Latitude. Metanalysis.

Tese elaborada e formatado conforme as normas das publicações científicas “*Reviews in Fish Biology and Fisheries*”.

Disponível em:

<<http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/11160>>,

“*Acta Ethologica*”

Disponível em:

<<http://www.springer.com/life+sciences/behavioural/journal/10211???>>,

“*Global Ecology and Biogeography*”

Disponível em:

<[http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1466-8238/homepage/ForAuthors.html](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1466-8238/homepage/ForAuthors.html) >

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 12 |
| REFERÊNCIAS | 13 |
| 2 CANIBALISMO EM PEIXES TELEÓSTEOS: UMA ATUALIZAÇÃO | 15 |
| 2.1 INTRODUÇÃO | 17 |
| 2.2 METODOLOGIA | 20 |
| 2.3 PADRÕES DE OCORRÊNCIA | 21 |
| 2.4 ESTÁDIO DE DESENVOLVIMENTO E RELAÇÃO GENÉTICA ENTRE PREDADOR E PRESA | 22 |
| 2.5 HÁBITO ALIMENTAR | 25 |
| 2.6 ASPECTOS GERAIS | 27 |
| REFERÊNCIAS | 29 |
| 3 EFEITOS DA DENSIDADE DE PRESAS NO CANIBALISMO EM UMA ESPÉCIE DE PEIXE TROPICAL: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL | 36 |
| 3.1 INTRODUÇÃO | 38 |
| 3.2 METODOLOGIA | 41 |
| 3.2.1 Descrição do sistema de estudo e fundação para o experimento | 41 |
| 3.3 RESULTADOS | 43 |
| 3.4 DISCUSSÃO | 46 |
| REFERÊNCIAS | 49 |
| 4 EFEITOS DA RIQUEZA DE ESPÉCIES E LATITUDE NAS OCORRÊNCIAS CANIBALISMO EM PEIXES | 56 |
| 4.1 INTRODUÇÃO | 58 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2 METODOLOGIA | 61 |
| 4.2.1 Criação da base de dados | 61 |
| 4.2.2 Análise dos Dados | 61 |
| 4.3 RESULTADOS | 63 |
| 4.4 DISCUSSÃO | 64 |
| REFERÊNCIAS | 69 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 76 |
| APÊNDICE A – Espécies com observações de canibalismo na literatura | 77 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

Trabalhos descrevendo o canibalismo em peixes datam, pelo menos, desde 1850 (HANCOCK, 1852) até a atualidade e, provavelmente, existem trabalhos ainda mais antigos. Tal comportamento atrai a atenção de muitos pesquisadores devido ao fato de não possuir um sentido evolutivo específico (DAWKINS, 1976; NESBIT; MEFFE, 1993) ou, de maneira contrária, de ser um mecanismo evolutivo de sobrevivência (FOX, 1975; POLIS, 1981; SMITH; REAY, 1991). O primeiro devido ao fato de tal comportamento reduzir tanto o número de indivíduos da mesma espécie e, principalmente, daqueles geneticamente próximos, sendo que, ainda, os riscos inclusos em predar um indivíduo da mesma espécie, não excedem os benefícios energéticos de tal comportamento, já, o último, deve-se ao fato de o canibalismo propiciar energia suficiente na manutenção de um indivíduo ao se alimentar de coespecíficos. São diversos os trabalhos lidando com o tema de maneira geral (FOX, 1975; POLIS, 1981) e com peixes (SMITH; REAY, 1991; MANICA, 2002). Ainda, observações de canibalismo em peixes encontram-se frequentes em publicações, especialmente àquelas sobre dieta.

Desde a publicação do clássico trabalho intitulado “*Stock and Recruitment*” por Ricker (1954), que considerava o canibalismo como o mecanismo final na estruturação de populações, diversas publicações atribuíram ao canibalismo a função de regulador da dinâmica populacional. Entre suas muitas manifestações, a que mais se destaca é a formação de bimodalidade no tamanho corpóreo devido a presença de indivíduos canibais e não canibais no mesmo ambiente (POLIS, 1981; BJØRNSTAD et al., 1999; CLAESSEN et al., 2000; PERSSON et al., 2003; BERG et al., 2010; HUSS et al., 2010). Como resultado, tem-se indivíduos canibais que se tornam “gigantes” e os não canibais, que se alimentam principalmente de invertebrados, são “anões”, como demonstrado para trutas (BERG et al., 2010) (Fig. 1).

Apesar do interesse pelo tema canibalismo ter aumentado na última década, especialmente, em relação a peixes, seu significado e consequências ainda divide opiniões entre pesquisadores. Em 1991, uma ampla revisão sobre canibalismo em peixes foi publicada (SMITH; REAY, 1991) sendo que, nessa revisão, os autores assumem que o canibalismo em peixes é um fenômeno comum e difundido em diversas espécies. Desde então, 25 anos após essa primeira revisão, trabalhos sobre o canibalismo tem sido publicados, abordando, cada um, assuntos específicos dentro do tema geral, sendo que, muitas das publicações apresentam

novos dados, propõem novas hipóteses e, algumas, demonstram ideias contrárias às aquelas apresentadas por Smith & Reay.



Fig. 1. Truta ártica (*Salvelinus alpinus*). Indivíduos maiores (gigantes) canibais (esquerda) e indivíduos menores (anões) invertívoros (direita). Todos os indivíduos mostrados são adultos. Foto retirada de BERG et al. (2010).

Três aspectos são destacados. Primeiro, uma ampla revisão da literatura foi realizada a fim de apresentar uma atualização ao tema com base no conhecimento científico produzido nas últimas décadas, apontando lacunas e possíveis campos para pesquisa que ainda merecem estudos mais aprofundados. Essa revisão trouxe à tona alguns questionamentos sobre possíveis causas do canibalismo. Assim, um experimento foi realizado a fim de testar a influência da disponibilidade de recursos alimentares na incidência de canibalismo em peixes tropicais, tendo seus resultados e possíveis implicações ecológicas apresentadas e discutidas.. Através de uma metanálise, foi avaliada a possibilidade de o canibalismo ser mais comum em ambientes com menor diversidade de espécies, sendo a distribuição das ocorrências de canibalismo descritas e as possíveis implicações em seu padrão de distribuição são discutidas.

REFERÊNCIAS

BERG, O. K.; FINSTAD, A. G.; OLSEN, P. H.; ARNEKLEIV, J. V.; NILSSEN, K. Dwarfs and cannibals in the Arctic: production of Arctic char (*Salvelinus alpinus* (L.)) at two trophic levels. **Hydrobiologia**, v. 652, n. 1, p. 337–347, 2010.

BJØRNSTAD, O. N.; FROMENTIN, J. M.; STENSETH, N. C.; GJØSAETER, J. Cycles and trends in cod populations. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 96, n. 5066, p. 5066–5071, 1999.

CLAESSEN, D.; ROOS, A. M. DE; PERSSON, L. Dwarfs and Giants: Cannibalism and competition in size-structured populations. **The American Naturalist**, v. 155, n. 2, p. 219–237, 2000.

DAWKINS, R. **The selfish gene**. Oxford: Oxford University Press., 1976.

FOX, L. R. Cannibalism in natural populations. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 6, n. 54, p. 87–106, 1975.

HANCOCK, A. Observations on the nidification of *Gasterosteus aculeatus* and *Gasterosteus spinachia*. **Annals and Magazine of Natural History**, v. 10, n. 58, p. 241–248, 1852.

HUSS, M.; KOOTEN, T. VAN; PERSSON, L. Intra-cohort cannibalism and size bimodality: A balance between hatching synchrony and resource feedbacks. **Oikos**, v. 119, n. 12, p. 2000–2011, 2010.

MANICA, A. Filial cannibalism in teleost fish. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 77, n. 2, p. 261–277, 2002.

NESBIT, D. H.; MEFFE, G. K. Cannibalism frequencies in wild populations of the eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki*: Poeciliidae) in South Carolina. **Copeia**, v. 1993, n. 3, p. 867–870, 1993.

PERSSON, L.; ROOS, A. M. DE; CLAESSEN, D.; et al. Gigantic cannibals driving a whole-lake trophic cascade. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 100, n. 7, p. 4035–4039, 2003.

POLIS, G. A. The evolution and dynamics of intraspecific predation. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 12, n. 1, p. 225–251, 1981.

RICKER, W. E. Stock and Recruitment. **Journal of the Fisheries Research Board of Canada**, v. 11, n. 5, p. 559–623, 1954.

SMITH, C.; REAY, P. Cannibalism in teleost fish. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 1, n. 1, p. 41–64, 1991.

2 CANIBALISMO EM PEIXES TELEÓSTEOS: UMA ATUALIZAÇÃO

RESUMO

Canibalismo, o ato de se alimentar de um indivíduo da mesma espécie, tem intrigado pesquisadores há muito tempo, sendo reportado, pelo menos desde, 1850. Em 1991, Smith e Reay publicaram uma revisão sobre canibalismo em peixes, sendo essa a mais completa publicada até o momento. Entretanto, após essa publicação, vários estudos abordando aspectos específicos sobre o tema foram realizados. Assim, o presente artigo tem como objetivo atualizar o conhecimento sobre o tema canibalismo em peixes, através de um extenso levantamento bibliográfico. Embora, relatos sobre canibalismo tenham aumentado após a década de 90, as publicações lidando diretamente com o tema ainda são escassas, sendo o incremento no número de publicações, provavelmente, decorrente do crescimento das pesquisas de desenvolvimento da aquicultura e não diretamente pelo interesse no tema. Casos de canibalismo foram encontrados para 390 espécies de peixes, distribuídas em 104 famílias. Do total de espécies que apresentaram canibalismo 150 foram canibais apenas em cativeiro. As famílias que apresentaram o maior número de casos descritos e, portanto, com maior informação sobre esse comportamento foram Percidae, Salmonidae e Esocidae em água doce e Gobiidae, Gadidae e Merlucciidae em ambiente marinho. Implicações sobre o comportamento canibal e perspectivas para pesquisas futuras desse tema são discutidas nessa revisão.

Palavras-chave: Aquicultura, predação intraespecífica, alimentação, revisão bibliográfica.

Cannibalism in fish revisited: Review of evidence

ABSTRACT

Cannibalism, the act of killing and eating the whole, or major part, of an individual of the same species, irrespective to its development stage has for long intrigued researchers. In the year of 1991 Smith and Reay presented the most complete revision about cannibalism in teleost fish. Nevertheless, several studies about specific aspects of cannibalism were published after such revision. The present work objective is to to present an update about cannibalism in fish through an extensive literature survey. Although, publications including cannibalism have increased in number, especially after the 90s, publications dealing direct with such theme are still scarce and the increase in the number of publications is due to the growth in research, specially aquaculture, and not directly in the theme cannibalism. Cannibalism was recorded for 390 species in 104 families but 150 species presented cases only in enclosed environments. The families that cannibalism was more described included Percidae, Salmonidae and Esocidae in freshwater and Gobiidae, Gadidae and Merlucciidae in marine environment. Implications about cannibalism and future perspectives about the theme are discussed in the present review.

Keywords: Aquaculture; intraspecific predation; literature survey; feeding; reproduction.

2.1 INTRODUÇÃO

Em seu livro “O Gene Egoísta”, Dawkins (1976) propõe que o ato de consumir indivíduos da mesma espécie deve ser raro, isso devido ao fato dos benefícios em se alimentar de indivíduos da mesma espécie, incluindo ganhos nutricionais e eliminação de potenciais competidores não excederem os riscos intrínsecos de predação adicional. Entretanto, 15 anos após a publicação de “O Gene Egoísta”, Polis (1981), com base em uma vasta revisão sobre o tema, afirmou que Dawkins (1976) formulou a pergunta errada ao perguntar “Por que o canibalismo é relativamente raro?” afirmando que a pergunta correta seria “Por que o canibalismo é relativamente comum?”. Polis (1981) observou que o canibalismo tem a capacidade de influenciar a estruturação de populações e que este comportamento geralmente envolve indivíduos de tamanhos distintos, ao contrário do proposto por Dawkins (1976). Entretanto, mais de 30 anos após a publicação de Polis (1981), opiniões ainda divergem sobre o quão comum o canibalismo é e qual o reflexo seu reflexo em ambientes naturais.

Canibalismo, definido como o ato de matar e se alimentar de um indivíduo da mesma espécie, independente de seu estágio de desenvolvimento (Smith e Reay 1991), tem intrigado pesquisadores há muito tempo. Em 1852, observando a nidificação de *Gasterosteus aculeatus*, Hancock observou um adulto se alimentando de um jovem, de outro ninho, que se aproximava de seu ninho. Várias publicações do início do século 20 contêm observações de canibalismo em salmonídeos (ex. Henshall 1902; Stranahan 1903; Titcomb 1905; Johnson 1906; Stranahan 1912), *Fundulus heteroclitus* (Newman 1907), *Perca fluviatilis* (Allen 1935) e *Esox lucius* (Wurtz 1944). Em sua publicação intitulada “*Stock and Recruitment*”, Ricker (1954) demonstra o papel do canibalismo como o mecanismo final na estruturação populacional, sendo que, este trabalho é considerado como o primeiro a discutir a importância do canibalismo na determinação da dinâmica populacional (Smith e Reay 1991). Posteriormente, Fox (1975a) e Polis (1981) apresentaram revisões da literatura incluindo registro do canibalismo em diversos organismos e suas implicações ecológicas.

Diversos fatores podem levar ao canibalismo, destacando-se baixo estado nutricional, alta densidade de predadores, baixa quantidade e qualidade do alimento e diferenças no tamanho dos indivíduos (Polis 1981; Koeller et al. 1989; Smith e Reay 1991; Liao et al. 2001; Baras e Jobling 2002). A tendência, de indivíduos maiores serem mais canibais que indivíduos menores faz com que este comportamento seja considerado uma relação assimétrica (Polis 1981). Dessa forma, diferenças no tamanho dos indivíduos dentro de uma

coorte podem levar ao canibalismo (Rudolf 2006). Distribuição bimodal no tamanho dos indivíduos de uma população é frequentemente observada em populações canibais, devido, principalmente, ao fato desses indivíduos apresentarem maior crescimento (Griffiths 1994; Berg et al. 2010; Huss et al. 2010).

O canibalismo pode ter efeito tanto estabilizador quanto desestabilizador em uma população. Em populações que apresentam alto grau de competição entre coortes, o crescimento da coorte subsequente é suprimido, causando altas mortalidades nas larvas mais novas, sendo que uma nova coorte não se desenvolve enquanto os indivíduos mais velhos tenham se desenvolvido, reduzindo a competição (Claessen et al. 2004). Níveis de canibalismo intermediários podem estabilizar os ciclos desenvolvidos devido à presença da coorte dominante, pois, a medida que indivíduos maiores predam coortes mais novas, a competição intracoorte é reduzida, permitindo com que esta se desenvolva (Claessen et al. 2000; Rault et al. 2013).

Entretanto, níveis de canibalismo muito alto podem levar a desestabilização da dinâmica populacional. Nesse caso, cada geração consistiria de duas classes distintas de tamanho uma classe não canibal com mais indivíduos, denominada anões, e outra, canibal, com menos indivíduos, denominada gigantes (Claessen et al. 2004). Dessa forma, as populações alternam entre dois estados alternativos (Persson et al. 2003), um caracterizado pela alta densidade de indivíduos canibais com níveis de canibalismo e tamanhos intermediários, e outra, caracterizada pela baixa abundância de indivíduos canibais e distribuição bimodal no tamanho dos indivíduos, incluindo gigantes canibais. Essas modificações na distribuição da biomassa entre os diversos estádios de desenvolvimento (Ohlberger et al. 2012) e a alternância entre os dois estados alternativos reflete-se em cascata, influenciando as cadeias tróficas de fitoplâncton e zooplâncton (Persson et al. 2003), sendo esse efeito desestabilizador aumentado, ainda, por perturbações ambientais (Claessen et al. 2004). Finalmente, da mesma maneira que o canibalismo pode facilitar a coexistência entre espécies competidoras, modificações na distribuição relativa de biomassa entre estádios de desenvolvimento distintos podem inibir ou facilitar a introdução e estabelecimento de espécies (Ohlberger et al. 2012), a medida que as relações tróficas são intensificadas ou relaxadas devido à presença de canibalismo.

Apesar do canibalismo ser considerado um comportamento bem difundido nas populações biológicas e reportado para diversos organismos (Fox 1975a; Polis 1981; Smith e

Reay 1991; Elgar e Crespi 1992), é amplamente estudado em peixes, dado que o comportamento canibal pode trazer sérias perdas econômicas para a aquicultura (Smith e Reay 1991). Assim, entre peixes, este comportamento, é normalmente estudado para aquelas espécies com importância econômica em que o comportamento canibal já é amplamente conhecido (Smith e Reay 1991; Baras et al. 2010). Contudo, estudos sobre o canibalismo em cativeiro podem gerar resultados completamente diferentes daqueles observados em ambientes naturais. Por exemplo, larvas de *Brycon moorei* criadas em cativeiro apresentam altas taxas de canibalismo (Baras et al. 2000), enquanto canibalismo em espécies de *Brycon* em ambientes naturais não é reportado na literatura. Um outro padrão que se destaca em relação a esse comportamento, é a frequência com que é reportado para espécies de altas latitudes, como *Esox lucius*, *Salvelinus alpinus* e *Perca fluviatilis*. Tais espécies estão, normalmente, presentes em ambientes com baixa diversidade e, algumas vezes, são as únicas espécies de peixes presentes no ambiente. Assim, a piscivoria dessas espécies estaria restrita ao canibalismo (Griffiths 1994; Persson et al. 2000; Berg et al. 2010; Borgstrøm et al. 2015; Pereira et al. 2016).

Entre os fatores que podem explicar baixas taxas de canibalismo, encontram-se o desenvolvimento de estruturas anatômicas anti-predação, como espinhos nas nadadeiras dorsais (Baras et al. 2010) e segregação espacial entre adultos e juvenis (Harris 1975). Em ambientes tropicais em que muitas espécies migratórias estão presentes, adultos de muitas espécies piscívoras habitam os canais dos rios, enquanto juvenis são encontrados, principalmente, em regiões alagadas e lagoas. Essa segregação espacial pode ser uma das razões de o canibalismo ser observado com menor frequência em ambientes tropicais. Ademais, a probabilidade de canibalismo está conectada com a probabilidade de encontro entre indivíduos da mesma espécie (Fox 1975b), sendo que a alta diversidade encontrada em áreas tropicais (Winemiller 1989; Stuart-Smith et al. 2013) deve reduzir as taxas de canibalismo. Entretanto, estudos abordando diretamente o canibalismo em populações de peixes em ambientes tropicais são raros.

“*Cannibalism in teleost fish*” (Smith e Reay 1991) é a única revisão geral, ao menos em língua inglesa, sobre canibalismo em peixes. Nesse trabalho, os autores apresentam o canibalismo como um comportamento comum, listando um grande número de espécies em que este comportamento está presente, propondo uma classificação para os diversos tipos de canibalismo e indicando suas causas e possíveis consequências ecológicas. No presente trabalho essa revisão é atualizada com base no conhecimento produzido nas últimas décadas,

sendo acrescentadas e discutidas novas explicações sobre causas e consequências do canibalismo em peixes, apontando lacunas e campos para pesquisa que merecem um estudo mais aprofundado.

2.2 METODOLOGIA

Uma revisão bibliográfica utilizando a base de dados *Web of Science* (ISI – Institute of Scientific Information; acesso: <http://apps.webofknowledge.com>) com as palavras-chave “fish cannibalism” e “trophic ecology of fish”, filtrada pela palavra “feeding”, com Novembro de 2015 como data final. Resultados duplicados e publicações que não continham dados originais sobre dieta de espécies (ex. isótopos, modelagem estatística e revisões) foram excluídos. Das publicações restantes, presença ou ausência de canibalismo foi observada e obtidas as seguintes informações: (i) ano de publicação, (ii) ambiente de estudo (marinho ou água doce), (iii) classificação taxonômica das espécies, (iv) hábito alimentar da espécie canibal, (v) tipo de ambiente em que as observações foram realizadas (cativeiro ou em ambiente natural) e (vi) classificação do tipo de canibalismo.

A classificação do tipo de canibalismo foi realizada de acordo com os três critérios propostos por Smith e Reay (1991) que inclui (i) o estágio de desenvolvimento ontogenético da presa (ovo, larva, juvenil ou adulto), (ii) relação genética do canibal em relação à presa (filial – em que os pais se alimentam da própria prole, entre irmãos e canibalismo entre indivíduos não relacionados) e (iii) relação etária entre o canibal e presa (intra e inter coorte). Informações sobre o sexo do canibal e a quantidade de ovos consumida do ninho, também foram retiradas quando disponíveis. As informações necessárias para a classificação do tipo de canibalismo nem sempre estão disponíveis nas publicações, principalmente em estudos de dieta. Também as diferenças *stricto sensu* entre adultos e juvenis são difíceis de identificar, dessa forma, a classificação como juvenil pode referir-se tanto a juvenis quanto a adultos pequenos.

Informações sobre o hábito alimentar das espécies foram obtidas em publicações e complementadas com o *FishBase* (Froese e Pauly 2015). Ainda, como a pesquisa inclui publicações desde o ano de 1939, o *FishBase* (Froese e Pauly 2015) também foi utilizado para a padronização do nome das espécies para evitar o viés gerado pelo uso de sinonímias.

2.3 PADRÕES DE OCORRÊNCIA

O levantamento bibliográfico identificou 1200 publicações contendo observações de canibalismo, sendo menos de 20% dessas publicações anteriores a década de 90 (Fig. 1). Smith e Reay (1991) em sua revisão encontraram canibalismo em 106 espécies de peixes, distribuídos em 36 famílias. Nessa revisão esse número foi expandido para 390 espécies em 104 famílias, sendo que 150 dessas espécies apresentaram canibalismo apenas em cativeiro. A maioria dos casos de canibalismo é apresentada em trabalhos de dieta e não apresenta detalhes sobre o comportamento canibal, como pode ser exemplificado pelos estudos de estrutura trófica. Entre os estudos que lidam diretamente com o comportamento canibal as áreas predominantes são aquicultura e reprodução e/ou encontram-se concentrados em espécies específicas como *Salvelinus alpinus*, *Perca fluviatilis*, *Esox lucius* e *Gadus morhua*.

O aumento no número de observações de canibalismo pode ser devido ao crescente interesse de pesquisadores após publicações gerais sobre o canibalismo como a de Fox (1975a) e de Polis (1981) ou em peixes como Smith e Reay (1991). Essas publicações reconheceram o canibalismo como um possível mecanismo de estruturação de populações. Esse incremento, também pode ser apenas um reflexo do número de pesquisa e publicações científicas voltadas para a necessidade de aumentar a produção de alimento na aquicultura. Entretanto, o aumento no número de observações pode ser um artefato devido ao acesso limitado a essas publicações em períodos anteriores a 1990.

O aumento do número de pesquisas em ecologia trófica, novas metodologias e técnicas de análise possibilita a detecção mais acurada de canibalismo. Trabalhos incluindo análises de DNA em conteúdo estomacal (Rosel e Kocher 2002; Barnett et al. 2010; Jo et al. 2014; Paquin et al. 2014) eliminam diversos problemas ligados a identificação errôneas do conteúdo estomacal devido a altas taxas de digestão, por exemplo. Por outro lado, com o aumento da utilização de isótopos estáveis em estudos de ecologia trófica, diversas publicações não apresentam detalhes sobre a alimentação das espécies, não sendo possível aferir sobre a presença ou ausência de canibalismo.

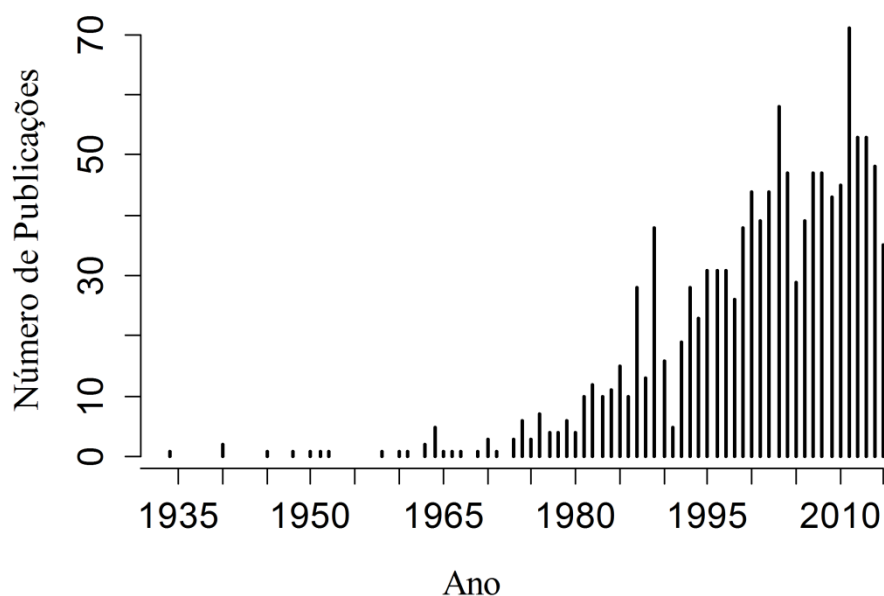


Fig. 1 Número de publicações incluindo canibalismo em peixes no período de 1934 até Novembro de 2015.

O número de observações em ambientes de água doce foi similar ao número de publicações de ambientes marinhos e as famílias mais representadas incluem Percidae (140 ocorrências, representados por *Perca fluviatilis* e *Perca flavescens*), Salmonidae (75 ocorrências, com *Salvelinus alpinus* mais frequente), e Esocidae (54 ocorrências, principalmente para *Esox lucius*), em ambiente de água doce. Em ambiente marinho, as famílias com o maior número de registros foram Gadidae (106 ocorrências, representado por *Gadus morhua*), Gobiidae (54 ocorrências, principalmente com *Pomatoschistus microps*) e Merlucciidae (29 ocorrências distribuídas entre espécies do gênero *Merluccius*) (Fig. 2).

As informações obtidas foram resumidas e as espécies que apresentaram comportamento canibal, bem como os dados disponíveis nas publicações, são apresentadas no Apêndice A. Como algumas publicações apresentam canibalismo para mais de uma espécie, o número total de casos de canibalismo pode exceder o número de publicações analisadas.

2.4 ESTÁDIO DE DESENVOLVIMENTO E RELAÇÃO GENÉTICA ENTRE PREDADOR E PRESA

O canibalismo é frequentemente observado em espécies com cuidado parental (Smith e Reay 1991), sendo influenciado, principalmente, pelo tamanho e idade da prole, disponibilidade de parceiros e certezas de paternidade (Manica 2004). Algumas espécies ajustam seu cuidado parental de modo a favorecer indivíduos com maior proximidade

genética, canibalizando indivíduos não aparentados, reduzindo a competição para a própria prole, ao mesmo tempo em que recupera alguma energia gasta durante o cuidado parental (Neff 2003a; Neff e Sherman 2003; Neff 2003b). Ainda, quando incidindo sobre os ovos dos próprios indivíduos, o canibalismo tende a estar restrito aos machos, pois fêmeas, ao contrário dos machos, nunca poderiam recuperar toda a energia investida na reprodução ao consumir parte de sua prole (Manica 2002a; Manica 2004). Entretanto, canibalismo de ovos é observado também em fêmeas. Fêmeas de *Zacco temmincki* foram observadas canibalizando ovos, principalmente de outras fêmeas, inclusive mais frequentemente que os machos da mesma população (Katano e Maekawa 1995). Nesse caso, os autores ainda destacam que pode existir diferenças individuais na tendência em canibalizar ovos e que uma população contém tanto indivíduos canibais quanto não canibais, sendo que fêmeas canibais apresentam maior fecundidade durante o período reprodutivo que não canibais.

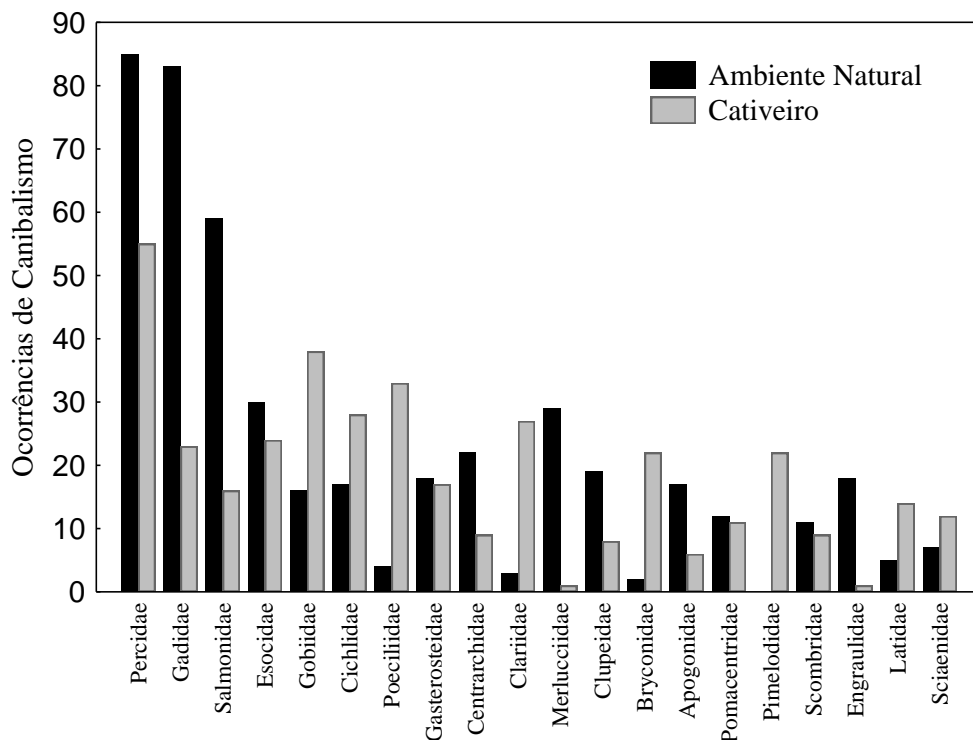


Fig. 2 Número total de casos de canibalismo nas famílias de peixe que apresentaram maiores valores de ocorrência. Apenas as 20 famílias com os maiores números de ocorrências de canibalismo são apresentadas na figura. Informações quanto às famílias não representadas encontram-se no Apêndice A.

Durante o estágio larval o canibalismo também é observado, a medida que indivíduos que eclodem antes são capazes de predação indivíduos que eclodiram tardiamente (Pine III et al. 2000). Podendo ainda, ser influenciado geneticamente (Polis 1981; Hoffman e Pfennig 1999), como demonstrado em híbridos de *Poeciliopsis monacha*, uma espécie altamente canibal, com

a espécie não canibal, *Poeciliopsis lucida*, em que foram observados níveis intermediários de canibalismo em relação às espécies parentais (Thibault 1974).

Canibalismo filial foi observado para 55 espécies, 25 destas apenas em cativeiro, sendo a maioria dos estudos envolvendo Gobiidae. As demais (30 espécies) foram observadas canibalizando a prole em ambiente natural, destacando-se Pomacentridae e Apogonidae. O consumo de ovos é frequentemente reportado na literatura para algumas famílias, como Engraulidae, entretanto, afirmações sobre a relação genética entre o predador e presa não podem ser feitas sem observações diretas ou testes de DNA. Consequentemente, estudos reportando canibalismo filial são geralmente estudos observacionais de reprodução em ambiente natural (ex. Okuda e Yanagisawa 1996; Payne et al. 2002) ou em cativeiro (ex. Petersen e Marchetti 1989; Payne et al. 2002).

Durante o período reprodutivo, os pais podem consumir sua prole de maneira total ou parcial. O primeiro, é visto como um investimento em reproduções futuras, enquanto o segundo pode influenciar tanto reproduções futuras quanto a atual (Sargent 1992). O consumo total da prole é esperado quando o custo reprodutivo, principalmente de cuidado com a prole, é alto, sendo influenciado por tamanho e idade da prole, condição nutricional dos pais, disponibilidade de parceiros e certezas na paternidade (Manica 2004). Gray et al. (2007) observou um aumento no canibalismo de ovos por machos *Telmatherina sarasinorum* na presença de outros machos, enquanto Neff (2003) reportou que indivíduos de *Lepomis macrochirus* ajustam seu cuidado parental de maneira a favorecer proles aparentemente mais próximas a si geneticamente. Nesses casos, a presença de outros machos durante a desova é utilizado como um indicativo de paternidade reduzida (Neff e Gross 2001; Neff e Sherman 2003), enquanto, após a eclosão dos ovos, os pais podem utilizar sinais químicos, produzidos pelas larvas e liberados provavelmente na urina, para distinguir sua prole (Brown e Brown 1996; Neff e Sherman 2003; Neff e Sherman 2005).

A condição nutricional dos pais tem se mostrado como a principal causa para canibalismo filial (Manica 2002b; Manica 2004) e os pais, especialmente o macho, apresentariam maior frequência de canibalismo conforme sua condição nutricional decaísse ao longo do período de cuidado parental (Okuda e Yanagisawa 1996), sendo que para algumas espécies, o canibalismo filial de ovos pode contribuir com mais de 90% da energia necessária para reprodução (Pajaro et al. 1998), isso porque alguns pais não se alimentam durante o período de cuidado parental (Coleman e Fischer 1991). Entretanto, baixa condição

nutricional ou menos oportunidades de se alimentar, não são necessariamente pré-requisito para o canibalismo ocorrer. Payne et al. (2002) demonstrou que machos de *Stegastes leucosticus* que recebiam dieta suplementar durante o período de cuidado parental cresciam mais, mas não apresentavam redução nas taxas de canibalismo quando comparadas a machos sem suplementação.

Foram observadas mais larvas sendo canibalizadas em cativeiro que em ambiente natural, sendo que a relação genética entre predador e presa só pode ser definido com precisão em cativeiro (Fig 3). Em cativeiro, canibalismo intra coorte é observado inclusive durante o estágio embrionário, provavelmente, devido ao desenvolvimento precoce de dentes, que capacita o indivíduo em segurar e se alimentar de presas mais eficientemente (ex. *Brycon moorei*, Baras et al. 2000). Na verdade, nem todos os peixes em cativeiros apresentam canibalismo em idades ou tamanhos similares, considerando que o canibalismo é determinado principalmente por limitações da abertura bucal, a intensidade de canibalismo irá variar de acordo com características inerentes ao desenvolvimento de cada espécie (Baras e Jobling 2002). Em ambientes naturais, indivíduos que eclodem antes podem se alimentar dos indivíduos menores e aumentar sua chance de sobrevivência (Pine III et al. 2000). Algumas espécies que apresentam tendência ao canibalismo em cativeiro, raramente ou nunca apresentam tal comportamento em ambientes naturais, sendo que o canibalismo relatado para algumas espécies pode estar sendo superestimado devido ao uso de métodos de coleta que permitem que os peixes se alimentem durante a captura (redes de arrasto, por exemplo) (Fuentes e Quiroga 2012).

2.5 HÁBITO ALIMENTAR

Smith e Reay (1991) observaram que o canibalismo é mais comum em espécies piscívoras, entretanto, os dados obtidos na revisão da literatura indicam que tal comportamento é mais frequente em espécies generalistas de hábito carnívoro, as quais se alimentam de uma gama de organismos, incluindo crustáceos, insetos, moluscos e, não somente, peixe. Com os dados obtidos na literatura pode-se observar que, em ambientes de água doce, espécies que se alimentam principalmente de invertebrados bentônicos apresentam altas incidências de canibalismo (Fig. 3). Tais espécies normalmente apresentam hábito invertívoro na ausência de peixes e mudando para uma dieta piscívora na presença abundante de peixes, muitas vezes restrito ao canibalismo devido a ausência de outras espécies de peixe no ambiente (Svenning e Borgstrøm 2005; Venturelli e Tonn 2006; Berg et al. 2010; Yağci et

al. 2014). Canibalismo em espécies não carnívoras em ambientes naturais, embora raro, foi observado em duas espécies herbívoras de Pomacentridae (Petersen 1990), uma herbívora de Bleniidae e uma espécie detritívora de Gobiidae (Hernaman et al. 2009).

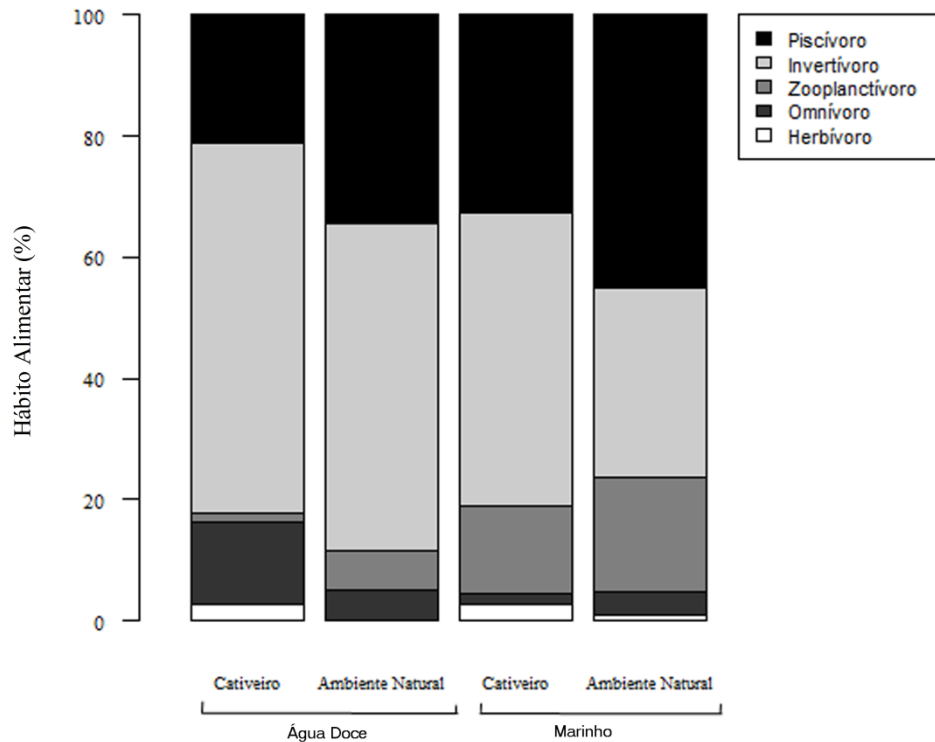


Fig. 3 Distribuição cumulativa (%) da distribuição dos hábitos alimentares das espécies canibais reportadas na literatura para ambientes marinhos e de água doce.

Em ambientes naturais, canibalismo de ovos foi mais frequente que outros estádios de desenvolvimento, enquanto em cativeiro a maioria dos casos incluíam a predação de larvas. Canibalismo de ovos pode representar mais de 50% da dieta de um indivíduo adulto, sendo observado principalmente em espécies zooplantívoras, como Gadidae e Engraulidae (Valdés et al. 1987; Brodeur e Merati 1993). O consumo de ovos normalmente é observado durante períodos de reprodução, onde os pais alimentam-se de sua própria prole durante o período de cuidado parental, entretanto, espécies sem cuidado parental podem apresentar canibalismo filial. Alguns indivíduos, principalmente machos, se alimentam de seus ovos mesmo antes da desova ser concluída (Nemtsov e Clark 1994). Em alguns casos, machos de *Xyrichtys splendens* e *Xyrichtys martinicensis* alimentam-se diretamente dos ovócitos das fêmeas sem

fecundá-los, nesses casos a relação é considerada como parasitismo e não como canibalismo, devido a ausência de fecundação (Nemtsov e Clark 1994).

2.6 ASPECTOS GERAIS

Algumas espécies parecem possuir preferência em predar indivíduos da mesma espécie e podem, inclusive, predar mais habilmente presas da mesma espécie que presas heteroespecíficas (Byström et al. 2013). A preferência pelo canibalismo é observada, em geral, em períodos em que a abundância de jovens é alta ou em períodos em que a abundância de presas alternativas é insuficiente para manter a população de adultos piscívoros (Weyl e Hecht 1999; Grey et al. 2002; Dörner et al. 2007). Indivíduos de *Sander lucioperca* apresentam alta frequência de canibalismo em anos em que a densidade de jovens dessa espécie é alta, entretanto, alimentam-se de outras espécies em anos de densidade baixa (Dörner et al. 2007). Por outro lado, indivíduos de *Merluccius capensis* apresentam altas taxas de canibalismo devido a ausência de segregação espacial entre jovens e adultos (Macpherson e Gordo 1994). Assim, o comportamento do predador seria determinado pela disponibilidade e acessibilidade, tanto de indivíduos da mesma espécie quanto de presas alternativas, alimentando-se de presas que proveriam melhor resultado energético. Experimentalmente, indivíduos de *Perca fluviatilis* apresentaram preferência em predar indivíduos da mesma espécie que *Rutilus rutilus*, isso devido ao fato de indivíduos de *R. rutilus* apresentarem melhor performance em escapar da predação que jovens de *P. fluviatilis* (Christensen e Persson 1993). Similarmente, *Salvelinus alpinus* aparenta alimentar-se preferencialmente de jovens da mesma espécie que de *Pungitius pungitius* (Byström et al. 2013), entretanto, tal preferência pode estar mais conectada às características morfológicas das presas e não representar preferência em si, pois, a medida que peixes piscívoros tendem a preferir indivíduos sem raios nas nadadeiras (Reist 1980; Christensen e Persson 1993), a presença de raios nas nadadeiras dorsais de *P. pungitius* faria com que *S. alpinus* evitasse se alimentar dessa espécie passando a se alimentar da outra espécie de peixe presente no experimento, ou seja, indivíduos da mesma espécie.

Estudos que relacionam os efeitos do canibalismo em populações naturais ainda são raros e concentrados no hemisfério norte. Dessa maneira, as consequências ecológicas e evolutivas do canibalismo continuam sendo especulativas, como notado por Smith e Reay (1991). Tal fato é reforçado principalmente em regiões tropicais, onde o canibalismo é raramente reportado e, quando é, apresenta-se restrito a poucas espécies, principalmente de

Cichla introduzidas em ambientes alterados (Gomiero e Braga 2004; Fugi et al. 2008; Gomiero et al. 2010). Quando introduzido em reservatórios na região tropical, os tucunarés rapidamente se estabelecem como espécie dominante revelando, algumas vezes, altas taxas de canibalismo, com os coespecíficos alcançando percentuais superiores a 40% de sua dieta (Santos et al. 2001; Novaes et al. 2004; Fugi et al. 2008). Entretanto, em seu ambiente natural essa espécie possui amplo espectro alimentar, apresentando ocorrência baixa ou nula de canibalismo (Jepsen et al. 1997; Winemiller et al. 1997; Winemiller 2001; Bott 2002; Marto et al. 2015). Comportamento similar pode ser observado em *Plagioscion squamosissimus*, introduzidos na planície de inundação do Alto rio Paraná, em que juvenis apresentaram altas taxas de canibalismo, sendo que a esse comportamento é atribuído a regulação da abundância populacional com a consequente redução da competição no estágio adulto (Neves et al. 2015). Embora não exista estudos detalhados sobre o comportamento alimentar dessa espécie em seu habitat natural, os altos índices de canibalismo observados fora de seu habitat natural podem se relacionar a alta dominância da espécie nessa região e não ser observado em seu habitat nativo onde esta, provavelmente, apresenta menor dominância.

Ainda, em alguns casos o canibalismo é atribuído a espécies com incertezas taxonômicas, como *Hoplias malabaricus* (Winemiller 1990; Luz-Agostinho et al. 2008; Bozza e Hahn 2010). Atualmente esta espécie é reconhecida como um complexo de espécies com diversos citótipos distintos reconhecidos na América do Sul (Dergam e Bertollo 1990; Bertollo et al. 2000; Pazza e Júlio-Jr 2003; Vicari et al. 2005; Graça e Pavanelli 2007). Assim, existe a possibilidade de identificação errada dos indivíduos de *Hoplias* no conteúdo estomacal, superestimando as taxas de canibalismo, já que esses indivíduos poderiam se tratar de congêneres e não de indivíduos da mesma espécie.

Diversos aspectos sobre o canibalismo apresentam oportunidades para novas pesquisas. Por exemplo, a regulação da densidade populacional em Poeciliidae foi demonstrada amplamente em experimentos (ex. Thibault 1974; Jones et al. 1998; Riesch et al. 2012; Barki et al. 2013a; Nilsson e Persson 2013; Barki et al. 2013b), entretanto, em sua revisão Smith & Reay destacaram que a importância desse mecanismo de regulação da densidade populacional em ambientes naturais era desconhecida e necessitava de mais pesquisas para tal família. Tal afirmação ainda é válida, devido ao fato de poucos estudos reportarem canibalismo em ambiente natural para Poeciliidae e, quando reportam, destacam que o canibalismo foi raro ou de pouca importância para a população, (Nesbit e Meffe 1993; Ivantsoff 1999; Specziár 2004).

O fato de canibalismo ser mais reportado no hemisfério norte, pode ser um reflexo do fato de países do hemisfério norte publicarem mais em revistas indexadas que países do hemisfério sul, portanto, refletindo apenas o estado atual da ciência mundial. Entretanto, Griffiths (1994) aponta que ocorrências de canibalismo em *Salvelinus alpinus* aumentam juntamente com a latitude, sendo que indivíduos de latitudes mais elevadas apresentam maior incidência de canibalismo. Se isso não for um fenômeno restrito a *S. alpinus*, seria esperado menores taxas de canibalismo nas regiões tropicais. Assim, a influência do canibalismo e seu papel como estruturador populacional variaria de intensidade e importância de acordo com a localização do ambiente considerado (Pereira et al. 2016).

Diversos aspectos sobre o canibalismo ainda necessitam de mais pesquisas. Como sua importância na introdução e estabelecimento de espécies exóticas, na regulação do tamanho populacional, tendência de espécies serem mais canibais que outras e sua distribuição geográfica. Embora exista um crescimento nas observações de canibalismo em peixes, sua importância na estruturação da dinâmica populacional e de comunidades ainda permanece desconhecida. Dessa forma, entender os fatores que promovem o canibalismo pode contribuir no controle de espécies introduzidas e ainda melhorar o desempenho da produção em aquicultura.

REFERÊNCIAS

- Allen KR (1935) The food and migration of the perch (*Perca fluviatilis*) in Windermere. *J Anim Ecol* 4:264–273. doi: 10.2307/1016
- Baras E, Hafsaridewi R, Slembrouck J, et al (2010) Why is cannibalism so rare among cultured larvae and juveniles of *Pangasius djambal*? Morphological, behavioural and energetic answers. *Aquaculture* 305:42–51. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.04.004
- Baras E, Jobling M (2002) Dynamics of intracohort cannibalism in cultured fish. *Aquac Res* 33:461–479. doi: 10.1046/j.1365-2109.2002.00732.x
- Baras E, Ndao M, Maxi MYJ, et al (2000) Sibling cannibalism in dorada under experimental conditions. I. Ontogeny, dynamics, bioenergetics of cannibalism and prey size selectivity. *J Fish Biol* 57:1001–1020. doi: 10.1006/jfbi.2000.1366
- Barki A, Zion B, Shapira L, Karplus I (2013a) A novel method using light for increasing fry yield in guppy breeding tanks. *Aquac Eng* 57:131–134. doi: 10.1016/j.aquaeng.2013.09.003
- Barki A, Zion B, Shapira L, Karplus I (2013b) The effects of illumination and daily number of collections on fry yields in guppy breeding tanks. *Aquac Eng* 57:108–113. doi: 10.1016/j.aquaeng.2013.09.001
- Barnett A, Redd KS, Frusher SD, et al (2010) Non-lethal method to obtain stomach samples from a large marine predator and the use of DNA analysis to improve dietary

- information. *J Exp Mar Bio Ecol* 393:188–192. doi: 10.1016/j.jembe.2010.07.022
- Berg OK, Finstad AG, Olsen PH, et al (2010) Dwarfs and cannibals in the Arctic: production of Arctic char (*Salvelinus alpinus* (L.)) at two trophic levels. *Hydrobiologia* 652:337–347. doi: 10.1007/s10750-010-0366-9
- Bertollo LAC, Born GG, Dergam J a., et al (2000) A biodiversity approach in the neotropical Erythrinidae fish, *Hoplias malabaricus*. Karyotypic survey, geographic distribution of cytotypes and cytotaxonomic considerations. *Chromosom Res* 8:603–613. doi: 10.1023/A:1009233907558
- Borgstrøm R, Isdahl T, Svenning M-A (2015) Population structure, biomass, and diet of landlocked Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in a small, shallow High Arctic lake. *Polar Biol* 38:309–317. doi: 10.1007/s00300-014-1587-6
- Bott R (2002) A dieta e o consumo diário de alimento de *Cichla monoculus* na Amazônia Central. *Acta Amaz* 32:707–724. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Bozza AN, Hahn NS (2010) Uso de recursos alimentares por peixes imaturos e adultos de espécies piscívoras em uma planície de inundação neotropical. *Biota Neotrop* 10:217–226. doi: 10.1590/S1676-06032010000300025
- Brodeur RD, Merati N (1993) Predation on walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) eggs in the western Gulf of Alaska: the roles of vertebrate and invertebrate predators. *Mar Biol* 117:483–493. doi: 10.1007/BF00349324
- Brown GE, Brown JA (1996) Kin discrimination in salmonids. *Rev Fish Biol Fish* 6:201–219. doi: 10.1007/BF00182343
- Byström P, Ask P, Andersson J, Persson L (2013) Preference for cannibalism and ontogenetic constraints in competitive ability of piscivorous top predators. *PLoS One* 8:e70404. doi: 10.1371/journal.pone.0070404
- Christensen B, Persson L (1993) Species-specific antipredatory behaviors - Effects on prey choice in different habitats. *Behav Ecol Sociobiol* 32:1–9. doi: 10.1007/BF00172217
- Claessen D, de Roos AM, Persson L (2004) Population dynamic theory of size-dependent cannibalism. *Proc R Soc London B* 271:333–340. doi: 10.1098/rspb.2003.2555
- Claessen D, de Roos AM, Persson L (2000) Dwarfs and Giants: Cannibalism and competition in size-structured populations. *Am Nat* 155:219–237. doi: 10.1086/303315
- Coleman RM, Fischer RU (1991) Brood size, male fanning effort and the energetics of a nonshareable parental investment in bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus* (Teleostei: Centrarchidae). *Ethology* 87:177–188.
- Dawkins R (1976) *The selfish gene*. Oxford University Press., Oxford
- Dergam JA, Bertollo LAC (1990) Karyotypic diversification in *Hoplias malabaricus* (Osteichthyes, Erythrinidae) of the São Francisco and Alto Paraná basins, Brazil. *Brazilian J Genet* 13:755–766.
- Dörner H, Hülsmann S, Hölker F, et al (2007) Size-dependent predator–prey relationships between pikeperch and their prey fish. *Ecol Freshw Fish* 16:307–314. doi: 10.1111/j.1600-0633.2006.00223.x
- Elgar MA, Crespi BJ (1992) *Cannibalism: Ecology and evolution among diverse taxa*. Oxford University Press., Oxford

- Fox LR (1975a) Cannibalism in natural populations. *Annu Rev Ecol Syst* 6:87–106. doi: 10.1146/annurev.es.06.110175.000511
- Fox LR (1975b) Factors influencing cannibalism, a mechanism of population limitation in the predator *Notonecta hoffmani*. *Ecology* 56:933–941. doi: 10.2307/1936303
- Froese R, Pauly D (2015) FishBase. In: World Wide Web Electron. Publ.
- Fuentes CM, Quiroga F (2012) Net feeding in ichthyoplankton samples from the Paraná River. *J Plankton Res* 34:967–975. doi: 10.1093/plankt/fbs055
- Fugi R, Luz-Agostinho KDG, Agostinho AA (2008) Trophic interaction between an introduced (peacock bass) and a native (dogfish) piscivorous fish in a Neotropical impounded river. *Hydrobiologia* 607:143–150. doi: 10.1007/s10750-008-9384-2
- Gomiero LM, Braga FM de S (2004) Cannibalism as the main feeding behaviour of tucunares introduced in southeast Brazil. *Brazilian J Biol* 64:625–632. doi: 10.1590/S1519-69842004000400009
- Gomiero LM, Villares-Jr GA, Naous F (2010) Seasonal and ontogenetic variations in the diet of *Cichla kelberi* Kullander and Ferreira, 2006 introduced in an artificial lake in southeastern Brazil. *Brazilian J Biol* 8:819–824. doi: 10.1590/S1519-69842010000500017
- Graça WJ, Pavanelli CS (2007) Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes. EDUEM, Maringá
- Gray SM, Dill LM, McKinnon JS (2007) Cuckoldry incites cannibalism: male fish turn to cannibalism when perceived certainty of paternity decreases. *Am Nat* 169:258–263. doi: 10.1086/510604
- Grey J, Thackeray SJ, Jones RI, Shine A (2002) Ferox Trout (*Salmo trutta*) as Russian dolls': complementary gut content and stable isotope analyses of the Loch Ness foodweb. *Freshw Biol* 47:1235–1243. doi: 10.1046/j.1365-2427.2002.00838.x
- Griffiths D (1994) The size structure of lacustrine Arctic charr (Pisces: Salmonidae) populations. *Biol J Linn Soc* 51:337–357. doi: 10.1006/bijl.1994.1028
- Hancock A (1852) Observations on the nidification of *Gasterosteus aculeatus* and *Gasterosteus spinachia*. *Ann Mag Nat Hist* 10:241–248. doi: 10.1080/03745485609495690
- Harris JGK (1975) The effect of density-dependent mortality on the shape of the stock and recruitment curve. *J du Cons Int pour l'Éxploration la Mer* 36:144–149. doi: 10.1093/icesjms/36.2.144
- Henshall JA (1902) Food and game fishes of the rocky mountain region. *Trans Am Fish Soc* 31:74–88. doi: 10.1577/1548-8659(1902)32[74:FAGFOT]2.0.CO;2
- Hernaman V, Probert PK, Robbins WD (2009) Trophic ecology of coral reef gobies: interspecific, ontogenetic, and seasonal comparison of diet and feeding intensity. *Mar Biol* 156:317–330. doi: 10.1007/s00227-008-1085-x
- Hoffman EA, Pfennig DW (1999) Proximate causes of cannibalistic polyphenism in larval tiger salamanders. *Ecology* 80:1076–1080. doi: 10.1890/0012-9658(1999)080[1076:PCOCPI]2.0.CO;2
- Huss M, Van Kooten T, Persson L (2010) Intra-cohort cannibalism and size bimodality: A

- balance between hatching synchrony and resource feedbacks. *Oikos* 119:2000–2011. doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18454.x
- Ivantsoff W (1999) Detection of predation on Australian native fishes by *Gambusia holbrooki*. *Mar Freshw Res* 50:467–468. doi: 10.1071/MF98106
- Jepsen DB, Winemiller KO, Taphorn DC (1997) Temporal patterns of resource partitioning among *Cichla* species in a Venezuelan blackwater river. *J Fish Biol* 51:1085–1108. doi: 10.1006/jfbi.1997.0525
- Jo H, Gim J-A, Jeong K-S, et al (2014) Application of DNA barcoding for identification of freshwater carnivorous fish diets: Is number of prey items dependent on size class for *Micropterus salmoides*? *Ecol Evol* 4:219–229. doi: 10.1002/ece3.921
- Johnson FM (1906) The care and feeding of fry in pond life. *Transacions Am Fish Soc* 35:230–232. doi: 10.1577/1548-8659(1906)36[230:TCAFOF]2.0.CO;2
- Jones CLW, Kaiser H, Hecht T (1998) Effect of shelter, broodstock number, and sex-ratio on juvenile production in the Swordtail *Xiphophorus helleri* under intensive culture conditions. *J World Aquac Soc* 29:92–96. doi: 10.1111/j.1749-7345.1998.tb00304.x
- Katano O, Maekawa K (1995) Individual differences in egg cannibalism in female dark chub (Pisces: Cyprinidae). *Behaviour* 132:237–253. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Koeller PA, Coates-Markle L, Neilson JD (1989) Feeding ecology of juvenile (age-0) silver hake (*Merluccius bilinearis*) on the Scotian Shelf. *Can J Fish Aquat Sci* 46:1762–1768. doi: 10.1139/f89-223
- Liao IC, Su HM, Chang EY (2001) Techniques in finfish larviculture in Taiwan.
- Luz-Agostinho KDG, Agostinho AA, Gomes LC, Júlio-Jr HF (2008) Influence of flood pulses on diet composition and trophic relationships among piscivorous fish in the upper Parana River floodplain. *Hydrobiologia* 607:187–198. doi: 10.1007/s10750-008-9390-4
- Macpherson E, Gordoa A (1994) Effect of prey densities on cannibalism in Cape hake (*Merluccius capensis*) off Namibia. *Mar Biol* 119:145–149.
- Manica A (2004) Parental fish change their cannibalistic behaviour in response to the cost-to-benefit ratio of parental care. *Anim Behav* 67:1015–1021.
- Manica A (2002a) Filial cannibalism in teleost fish. *Biol Rev Camb Philos Soc* 77:261–277. doi: 10.1017/S1464793101005905
- Manica A (2002b) Alternative strategies for a father with a small brood: mate, cannibalise or care. *Behav Ecol Sociobiol* 2002:4.
- Marto VC de O, Akama A, Pelicice FM (2015) Feeding and reproductive ecology of *Cichla piquiti* Kullander & Ferreira, 2006 within its native range, Lajeado reservoir, rio Tocantins basin. *Neotrop Ichthyol* 13:625–636. doi: 10.1590/1982-0224-20140165
- Neff BD (2003a) Paternity and condition affect cannibalistic behavior in nest-tending bluegill sunfish. *Behav Ecol Sociobiol* 54:377–384. doi: 10.1007/s00265-003-0645-9
- Neff BD (2003b) Decisions about parental care in response to perceived paternity. *Nature* 422:716–719. doi: 10.1038/nature01528
- Neff BD, Gross MRG (2001) Dynamic adjustment of parental care in response to perceived paternity. *Proc Biol Sci* 268:1559–1565. doi: 10.1098/rspb.2001.1678

- Neff BD, Sherman PW (2003) Nestling recognition via direct cues by parental male bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*). *Anim Cogn* 6:87–92. doi: 10.1007/s10071-003-0166-y
- Neff BD, Sherman PW (2005) In vitro fertilization reveals offspring recognition via self-referencing in a fish with paternal care and cuckoldry. *Ethology* 111:425–438.
- Nemtzov SC, Clark E (1994) Intraspecific egg predation by male razorfishes (Labridae) during broadcast spawning: filial cannibalism or intra-pair parasitism? *Bull Mar Sci* 55:133–141.
- Nesbit DH, Meffe GK (1993) Cannibalism frequencies in wild populations of the eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki*: Poeciliidae) in South Carolina. *Copeia* 1993:867–870. doi: 10.2307/1447254
- Neves MP, Delariva RL, Guimarães ATB, Sanches PV (2015) Carnivory during ontogeny of the *Plagioscion squamosissimus*: A successful non-native fish in a lentic environment of the Upper Paraná River Basin. *PLoS One* 10:1–15. doi: 10.1371/journal.pone.0141651
- Newman HH (1907) Spawning behavior and sexual dimorphism in *Fundulus heteroclitus* and allied fish. *Biol Bull* 12:314–348. doi: 10.2307/1535681
- Nilsson K a., Persson L (2013) Refuge availability and within-species differences in cannibalism determine population variability and dynamics. *Ecosphere* 4:art100. doi: 10.1890/ES13-00105.1
- Novaes JLC, Caramaschi ÉP, Winemiller KO (2004) Feeding of *Cichla monoculus* Spix, 1829 (Teleostei: Cichlidae) during and after reservoir formation in the Tocantins River, Central Brazil. *Acta Limnol Bras* 16:41–49.
- Ohlberger J, Langangen Ø, Stenseth NC, Vøllestad A (2012) Community-level consequences of cannibalism. *Am Nat* 180:791–801. doi: 10.1086/668080
- Okuda N, Yanagisawa Y (1996) Filial cannibalism by mouthbrooding males of the cardinal fish, *Apogon doederleini*, in relation to their physical condition. *Environ Biol Fishes* 45:397–404. doi: 10.1007/BF00002532
- Pajaro M, Sanchez RP, Aubone A (1998) Embryonic mortality due to cannibalism in the Argentine anchovy *Engraulis anchoita* Hubbs and Marini, 1935. *Bol Instituto Esp Oceanogr* 14:81–98.
- Paquin MM, Buckley TW, Hibpshman RE, Canino MF (2014) DNA-based identification methods of prey fish from stomach contents of 12 species of eastern North Pacific groundfish. *Deep Sea Res Part I Oceanogr Res Pap* 85:110–117. doi: 10.1016/j.dsr.2013.12.002
- Payne AG, Smith C, Campbell AC (2002) Filial cannibalism improves survival and development of beaugregory damselfish embryos. *Proc R Soc London B* 269:2095–2102.
- Pazza R, Júlio-Jr HF (2003) Occurrence of three sympatric cytotypes of *Hoplias malabaricus* (Pisces, Erythrinidae) in the Upper Paraná River Foodplain (Brazil). *Cytologia (Tokyo)* 68:159–163.
- Pereira LS, Keppeler FW, Winemiller KO, Agostinho AA (2016) Efeitos da riqueza e latitude no canibalismo em peixes: Uma abordagem experimental.
- Persson L, Byström P, Wahlstrom E (2000) Cannibalism and competition in Eurasian perch: population dynamics of an ontogenetic omnivore. *Ecology* 81:1058–1071. doi:

- 10.1890/0012-9658(2000)081[1058:CACIEP]2.0.CO;2
- Persson L, de Roos AM, Claessen D, et al (2003) Gigantic cannibals driving a whole-lake trophic cascade. *Proc Natl Acad Sci U S A* 100:4035–4039. doi: 10.1073/pnas.0636404100
- Petersen CW (1990) The occurrence and dynamics of clutch loss and filial cannibalism in two Caribbean damselfishes. *J Exp Mar Bio Ecol* 135:117–133. doi: 10.1016/0022-0981(90)90011-Z
- Petersen CW, Marchetti K (1989) Filial cannibalism in the Cortez Damselfish *Stegastes rectifraenum*. *Evolution (N Y)* 43:158–168. doi: 10.2307/2409171
- Pine III WE, Ludsin SA, DeVries DR (2000) First-summer survival of largemouth bass cohorts: Is early spawning really. *Transacions Am Fish Soc* 129:504–513. doi: 10.1577/1548-8659(2000)129<0504
- Polis GA (1981) The evolution and dynamics of intraspecific predation. *Annu Rev Ecol Syst* 12:225–251. doi: 10.1146/annurev.es.12.110181.001301
- Rault J, Benoît E, Gouzé J-L (2013) Stabilizing effect of cannibalism in a two stages population model. *Acta Biotheor* 61:119–39. doi: 10.1007/s10441-013-9172-x
- Reist JD (1980) Selective predation upon pelvic phenotypes of brook stickleback, *Culaea inconstans*, by northern pike, *Esox lucius*. *Can J Zool* 58:1245–1252. doi: 10.1139/z80-174
- Ricker WE (1954) Stock and Recruitment. *J Fish Res Board Canada* 11:559–623. doi: 10.1139/f54-039
- Riesch R, Plath M, Schlupp I (2012) The offspring size/fecundity trade-off and female fitness in the Atlantic molly (*Poecilia mexicana*, Poeciliidae). *Environ Biol Fishes* 94:457–463. doi: 10.1007/s10641-011-9960-6
- Rosel PE, Kocher TD (2002) DNA-based identification of larval cod in stomach contents of predatory fishes. *J Exp Mar Bio Ecol* 267:75–88. doi: 10.1016/S0022-0981(01)00359-8
- Rudolf VHW (2006) The influence of size-specific indirect interactions in predator-prey systems. *Ecology* 87:362–371. doi: 10.1890/05-0961
- Santos LN dos, Gonzalez AF, Araújo FG (2001) Dieta do tucunaré-amarelo *Cichla monoculus* (Bloch & Schneider) (Osteichthyes, Cichlidae), no Reservatório de Lajes, Rio de Janeiro, Brasil. *Rev Bras Zool* 18:191–204. doi: 10.1590/S0101-81752001000500015
- Sargent RC (1992) Ecology of filial cannibalism in fish: theoretical perspectives. In: Elgar MA, Crespi BJ (eds) *Cannibalism: Ecology and Evolution Among Diverse Taxa*. Oxford University Press, Oxford, pp 38–62
- Smith C, Reay P (1991) Cannibalism in teleost fish. *Rev Fish Biol Fish* 1:41–64. doi: 10.1007/BF00042661
- Specziár A (2004) Life history pattern and feeding ecology of the introduced eastern mosquitofish, *Gambusia holbrooki*, in a thermal spa under temperate climate, of Lake Heviz, Hungary. *Hydrobiologia* 522:249–260. doi: 10.1023/B:HYDR.0000029978.46013.d1
- Stranahan JJ (1903) Three main points necessary to successful bass culture. *Trans Am Fish Soc* 32:126–130. doi: 10.1577/1548-8659(1903)33[126:TMPNTS]2.0.CO;2

- Stranahan JJ (1912) Some observations on sunfish culture. *Trans Am Fish Soc* 41:183–188. doi: 10.1577/1548-8659(1911)41[183:SOOSC]2.0.CO;2
- Stuart-Smith RD, Bates AE, Lefcheck JS, et al (2013) Integrating abundance and functional traits reveals new global hotspots of fish diversity. *Nature* 501:539–542. doi: 10.1038/nature12529
- Svenning M-A, Borgstrøm R (2005) Cannibalism in Arctic charr: do all individuals have the same propensity to be cannibals? *J Fish Biol* 66:957–965. doi: 10.1111/j.1095-8649.2005.00646.x
- Thibault RE (1974) Genetics of cannibalism in a viviparous fish and its relationship to population density. *Nature* 251:138–140. doi: 10.1038/251138a0
- Titcomb JW (1905) Progress and experiments in fish culture during the past year in the bureau of fisheries. *Trans Am Fish Soc* 34:57–74. doi: 10.1577/1548-8659(1905)35[57:PAEIFC]2.0.CO;2
- Valdés ES, Shelton PA, Armstrong MJ, Field JG (1987) Cannibalism in South African anchovy: egg mortality and egg consumption rates. *South African J Mar Sci* 5:613–622. doi: 10.2989/025776187784522595
- Venturelli PA, Tonn WM (2006) Diet and growth of northern pike in the absence of prey fishes: initial consequences for persisting in disturbance-prone lakes. *Trans Am Fish Soc* 135:1512–1522. doi: 10.1577/T05-228.1
- Vicari MR, Artoni RF, Bertollo LAC (2005) Comparative cytogenetics of *Hoplias malabaricus* (Pisces, Erythrinidae): A population analysis in adjacent hydrographic basins. *Genet Mol Biol* 28:103–110. doi: 10.1590/S1415-47572005000100018
- Weyl OL, Hecht T (1999) A successful population of largemouth bass, *Micropterus salmoides*, in a subtropical lake in Mozambique. *Environ Biol Fishes* 54:53–66. doi: 10.1023/A:1007452320609
- Winemiller KO (1989) Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia* 225–241. doi: 10.1007/BF00379810
- Winemiller KO (2001) Ecology of peacock cichlids (*Cichla* spp.) in Venezuela. *J Aquaric Aquat Sci* 9:93–112.
- Winemiller KO (1990) Spatial and temporal variation in tropical fish trophic networks. *Ecol Monogr* 60:331–367.
- Winemiller KO, Taphorn DC, Barbarino-Duque A (1997) Ecology of *Cichla* (Cichlidae) in two blackwater rivers of southern Venezuela. *Copeia* 1997:690–696. doi: 10.2307/1447287
- Wurtz A (1944) Développement, biologie et nutrition des jeunes alevins de brochet (*Esox lucius* L.). *Bull Fr la Pech la Piscic* 135:57–69.
- Yağci MA, Alp A, Yağci A, Uysal R (2014) Diet and prey selection of pikeperch (*Sander lucioperca* Linnaeus, 1758) population in Lake Eğirdir (Turkey). *Arch Biol Sci* 66:1515–1527. doi: 10.2298/ABS1404515Y

3 EFEITOS DA DENSIDADE DE PRESAS NO CANIBALISMO EM UMA ESPÉCIE DE PEIXE TROPICAL: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL

RESUMO

O ato de se alimentar de um indivíduo da mesma espécie, denominado canibalismo, atualmente é considerado um comportamento comum causado tanto por fatores ambientais quanto fatores intrínsecos ao indivíduo, sendo observado em ambientes naturais e, também, em cativeiro. Entretanto, as frequências observadas em cativeiro podem diferir daquelas observadas em ambientes naturais, principalmente devido a alta concentração de predadores e limitado suprimento de alimento em cativeiro. Dessa maneira, através de um experimento simulando condições naturais, tentou-se avaliar a influência da disponibilidade de recursos alimentares na incidência de canibalismo. O experimento contou com distintos tratamentos com variações nas densidades de presas heteroespecíficas (baixa, média, alta e ausente), sendo incluídos em cada tratamento predadores, juvenis e adultos, considerados como potenciais canibais. Observou-se um aumento no consumo de presas heteroespecíficas com o aumento da densidade de presas e casos de canibalismo foram observados apenas em tratamentos em que presas heteroespecíficas estavam ausentes. Os resultados sugerem que o canibalismo ocorre em situações em que presas alternativas estão ausentes, podendo ser também influenciado por segregação espacial entre juvenis e adultos, causadas por diferenças comportamentais. Nesse caso é provável que as taxas de canibalismo sejam dependentes da probabilidade de encontro entre indivíduos vulneráveis da mesma espécie. Experimentalmente, observa-se que as ocorrências de canibalismo em predadores Neotropicais são baixas e podem divergir daquelas de ambientes temperados, pois, em cativeiro, observa-se que, se fornecido espaço físico que permita que os diversos estádios de desenvolvimento mantenham seu comportamento de ambientes naturais, a segregação espacial entre jovens e adultos possuirá alto potencial na redução do canibalismo e, também, se fornecidas quantidades de alimento suficiente as taxas de canibalismo podem ser, inclusive, nulas.

Palavras-chave: Predação intraespecífica, Disponibilidade de alimento, *Hoplias*, planície de inundação do alto rio Paraná.

Effects of prey density in cannibalism by a tropical predatory fish: an experimental test

ABSTRACT

Killing and eating an individual of the same species, cannibalism, is considered a common behavior. Such behavior is caused by several environmental factors as well as characters intrinsic to the individual, being reported for natural and captive environments. Frequencies observed in captive can differ from those observed in natural environment, due to the high predator density and limited availability of feeding resources that are kept in captivity. By this, the influence of food availability in the occurrence of cannibalism was tested experimentally. The experiment was set with different heterospecific prey density treatments and a treatment with no heterospecific prey, set together with juveniles and adults of a predatory, potential cannibal, fish. There was an increase in the consumption of heterospecific prey with increasing heterospecific prey density. Nevertheless, cannibalism was only observed in those treatments in which no heterospecific prey was present. Such results suggests that cannibalism appears in those situations in which eating a conspecific is the only alternative. Yet, factors as space segregation, between adults and juveniles, that would decrease encounter rates between conspecifics could be influencing the low rates of cannibalism. It is still necessary more profound research, with natural data and experiments mimicking natural structure, such as availability of food, space segregation, and that consider species biology before making inferences about how common cannibalism is and which are its consequences in nature.

Keywords: conspecific predation, food availability, *Hoplias*, upper Paraná River floodplain.

3.1 INTRODUÇÃO

O canibalismo, considerado durante muito tempo como um comportamento anormal, observado apenas em populações em cativeiro ou sob efeito de estresse, é, na realidade, um comportamento comum e observado em diversos organismos e em todos os estádios de desenvolvimento (Fox 1975a; Polis 1981; Smith e Reay 1991; Elgar e Crespi 1992). Diversos fatores podem levar um indivíduo a se tornar canibal, como diferenças de tamanho, baixa condição nutricional, alta densidade de predadores, formação de cardumes e baixa quantidade ou qualidade de alimento e intensidade (Koeller et al. 1989; Smith e Reay 1991; Liao et al. 2001; Baras e Jobling 2002). Um indivíduo canibal pode se beneficiar ao se alimentar de outro indivíduo da mesma espécie pois, a medida que recebe um alimento de alta qualidade nutricional, também elimina potenciais competidores e predadores (Fox 1975a; Polis 1981; Wagner et al. 1999). Ainda, presença de presas heteroespecíficas tende a diminuir a incidência de canibalismo, sendo que as taxas de canibalismo são influenciadas principalmente pela disponibilidade absoluta de recursos alimentares e não pelo histórico de alimentação do indivíduo (Fox 1975b).

O canibalismo é frequentemente observado em espécies com cuidado parental (Smith e Reay 1991), sendo influenciado pelo tamanho e idade da prole, disponibilidade de parceiros e certezas de paternidade, por exemplo (Manica 2004). Entretanto, canibalismo entre indivíduos não relacionados deve ser mais comum pois canibalismo entre indivíduos de alta proximidade genética reduziria o *fitness* incluso de um indivíduo (Hamilton 1964; Elgar e Crespi 1992). Alguns estudos ainda consideram que aprendizagem e proximidade genética desempenham importante papel no desenvolvimento do comportamento canibal (Polis 1981; Baras et al. 2010; Rudolf et al. 2010; Brante et al. 2013), entretanto, a maioria desses trabalhos são realizados experimentalmente, com espécies criadas em cativeiro e que já se possui certos conhecimentos sobre seu comportamento canibal (ex. Baras et al. 2000; Baras e Jobling 2002; Takeshita e Soyano 2009; Ribeiro e Qin 2015). Há casos em que a espécie se demonstra altamente canibal em cativeiro, como *Brycon moorei* (Baras et al. 2000) ou *Salminus brasiliensis* (Santos et al. 1993; Schütz e Nuñez 2007), sendo que estudos de alimentação raramente reportam canibalismo em ambientes naturais para essas espécies e, quando reportam, afirma-se que o canibalismo pode estar relacionado a alimentação das larvas na rede de amostragem (Fuentes e Quiroga 2012), sendo que, nesses casos, segregação espacial entre adultos e estágios iniciais de desenvolvimento devem reduzir as taxas de canibalismo (Harris 1975).

Ainda, como o canibalismo é um comportamento denso-dependente (Fox 1975a; Tonn et al. 1994; Rudolf 2006; Rudolf 2007a; Rudolf 2008) este será comumente observado em populações com estrutura de tamanho, em todos os níveis tróficos (Reed e Stenseth 1984; Wernere Gilliam 1984; Van Den Bosh 1997; Claessen et al. 2004; Rudolf 2008; Crumrine 2010; Ohlberger et al. 2014), especialmente porque a abertura bucal dos predadores e tamanho das presas são fundamentais em determinar se um dado predador será capaz de ingerir determinada presa, inclusive coespecíficos (Persson et al. 1996; Magnhagen e Heibo 2001; Dörner e Wagner 2003; Price et al. 2015).

O canibalismo pode ter efeito tanto estabilizador quanto desestabilizador em uma população. Em populações que apresentam alto grau de competição em uma determinada coorte, o crescimento da coorte subsequente é suprimido, causando altas mortalidades nas larvas mais novas, sendo que uma nova coorte não se desenvolve enquanto os indivíduos mais velhos tenham se desenvolvido, reduzindo a competição (Claessen et al. 2004). Níveis de canibalismo intermediários podem estabilizar os ciclos desenvolvidos devido à presença da coorte dominante, pois, a medida que indivíduos maiores predam coortes mais novas, a competição intracoorte é reduzida, permitindo com que esta se desenvolva (Claessen et al. 2000; Rault et al. 2013). Entretanto, níveis de canibalismo muito alto podem levar a desestabilização da dinâmica populacional. Nesse caso, cada geração consistiria de duas classes distintas de tamanho uma classe não canibal com mais indivíduos, denominada anões, e outra, canibal, com menos indivíduos, denominada gigantes (Claessen et al. 2004). Assim, as populações podem alternar entre dois estados alternativos (Persson et al. 2003), um caracterizado pela alta densidade de indivíduos canibais com níveis de canibalismo e tamanhos intermediários, e outra, caracterizada pela baixa abundância de indivíduos canibais e distribuição bimodal no tamanho dos indivíduos, incluindo gigantes canibais. As modificações na distribuição da biomassa entre os diversos estádios de desenvolvimento (Ohlberger et al. 2012) e alternância entre os dois estados reflete-se em cascata, influenciando as cadeias tróficas de fitoplâncton e zooplâncton (Persson et al. 2003), sendo esse efeito desestabilizador aumentado por perturbações ambientais (Claessen et al. 2004). Finalmente, da mesma maneira que o canibalismo pode facilitar a coexistência entre espécies competindo pelo mesmo recurso, modificações na distribuição relativa de biomassa entre estádios de desenvolvimento distintos podem inibir ou facilitar a introdução e estabelecimento de espécies (Ohlberger et al. 2012).

O complexo de espécies, *Hoplias* aff. *malabaricus* são predadores sedentários e solitários, amplamente distribuídos na América do Sul e habitam áreas cobertas por macrófitas, beneficiando-se de sua estratégia alimentar emboscadora (de Almeida et al. 1997; Oyakawa 2003; Luz-Agostinho et al. 2008; Petry et al. 2010). Esse complexo de espécie é reconhecido por possuir altas taxas de canibalismo, com diversas publicações apresentando observações de canibalismo (Winemiller 1989a; Luz-Agostinho et al. 2008; Bozza e Hahn 2010). Tal predador apresenta mudanças ontogenéticas em sua dieta, alimentando-se de zooplâncton no período larval, insetos no período juvenil, mudando para uma dieta dominada por peixes quando adultos (Oliveros e Rossi 1991; Hahn et al. 2004). Na planície de inundação do alto rio Paraná, espécies de *Hoplias* são importantes devido a sua participação na estruturação da assembleia de peixes (Petry et al. 2010), apresentando até o momento 3 citótipos distintos reconhecidos: *Hoplias* sp. 1, *Hoplias* sp. 2 e *Hoplias* sp. 3 (Pazza e Júlio-Jr 2003; Graça e Pavanelli 2007). O fato de estudos ecológicos poderem envolver mais de uma espécie de *Hoplias* pode estar superestimando as taxas de canibalismo em ambiente natural e, devido ao papel ecológico dessas espécies juntamente com o potencial do canibalismo em modificar a estrutura de populações, estudos sobre o comportamento canibal dessa espécie são imprescindíveis e as ocorrências de canibalismo e, também, suas potenciais causas devem ser consideradas.

É aceito que o canibalismo ocorre tanto em ambientes naturais quanto artificiais e que tal comportamento possui um papel fundamental na estruturação populacional (Persson et al. 2003; Rudolf 2007a; Rudolf 2007b). A maior questão a ser discutida é se as grandes frequências de canibalismo observadas em cativeiro são mantidas em ambiente natural, principalmente devido a alta concentração de predadores e a ausência ou baixa densidade de recursos alimentares alternativos em que as espécies são expostas em cativeiro nem sempre refletirem condições encontradas em ambiente natural. Desta forma, partindo do princípio de que a presença de presas heteroespecíficas pode reduzir ou até mesmo evitar a ocorrência de canibalismo (Polis 1981; Elgar e Crespi 1992; Mirza e Chivers 2001; Nonnis Marzano e Gandolfi 2001), é proposto testar como diferentes densidades de presas podem influenciar as taxas de canibalismo entre peixes em ambiente natural.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Descrição do sistema de estudo e fundação para o experimento

O experimento foi conduzido na base de pesquisa do Nupélia (Núcleo de Ictiologia, Limnologia e Aquicultura), com o apoio do PELD (Projeto de Pesquisa Ecológica de Longa Duração, Site 6 – CNPq), localizada na planície de inundação do alto rio Paraná (Brasil; 22-22°50' S e 53°15' - 53°40' O). Dados obtidos na literatura, além de dados de dieta e da assembleia de peixes, obtidos com o projeto PELD forneceram as informações necessárias ao desenvolvimento do experimento.

A determinação de qual presa heteroespecífica a ser utilizada no experimento, bem como o tamanho dessas e das co específicas foram obtidas de análise de conteúdo estomacal de 146 indivíduos de *Hoplias* sp. 1 amostrados na região durante o período de março de 2005 a junho de 2013. Os estômagos foram analisados pelo método de frequência de ocorrência (Hyslop 1980), identificando-se as presas ao menor nível taxonômico possível. Peixes presas foram identificados de acordo com Graça e Pavanelli (2007), contados e medidos (comprimento padrão) quando possível. Para determinar o tamanho das presas heteroespecíficas a serem utilizadas no experimento, foi utilizada uma análise de seletividade alimentar por classes de tamanho de presas, apenas para peixes, devido à ausência de informações de outros organismos. Para tal, foi utilizado o índice de eletividade relativa (Vanderploeg e Scavia 1979) dado pela fórmula:

$$Ei = \frac{(Wi - n^{-1})}{(Wi + n^{-1})}$$

Onde:

n é o número total de presas e $Wi = ri pi^{-1} \sum (ri pi^{-1})^{-1}$, onde ri é a porcentagem da presa i na dieta e pi a porcentagem da presa i no ambiente. Este índice assume que as amostras encontradas nos estômagos e as obtidas no ambiente refletem de maneira adequada a abundância das presas consumidas e disponíveis no ambiente, respectivamente (Kohler e Ney 1982), no sendo considerado aqui, a abundância das classes de tamanho. Tal índice varia de 1 a -1, com valores próximos a zero indicando alimentação ao acaso, valores negativos evitação ou inacessibilidade ao item alimentar e valores positivos seletividade positiva. As espécies de presas foram agrupadas arbitrariamente em 11 classes de tamanho, num intervalo de 20 mm: 10-29, 30-49, 50-69, 70-89, 90-109, 110-129, 130-149, 150-169, 170-189, 190-209, 210-230.

As presas que apresentaram alta ocorrência na dieta e juntamente com a classe de tamanho preferencial, considerando sua resistência a manipulação em cativeiro, foram escolhidas para experimentação.

Doze tanques de polietileno de 1.000 L (1,0 m de altura, 1,4 m de diâmetro) foram utilizados para a construção dos mesocosmos experimentais, representando o habitat ocupado por *Hoplias* sp. 1. Os mesocosmos, constituídos de 4 tratamentos com três réplicas, foram dispostos em um design de 3 x 4 ordenados aleatoriamente. Em cada unidade experimental foi adicionado 400 L de água do alto rio Paraná e macrófitas flutuantes (*Eichhornia crassipes* – macrófita dominante na região) foram adicionadas, após lavadas para fornecer estruturação. Dessa forma, a condição experimental utilizada correspondia com as áreas rasas, com vegetação moderada, equivalentes àquelas da área de estudo em que tanto presas e predadores foram coletados para o experimento. Cada mesocosmo era uma unidade isolada, não tendo contato um com o outro, entretanto sujeitos a variações climáticas, sendo cada um coberto com uma malha de nylon para evitar que os indivíduos saíssem dos tanques ou que predadores externos, como aves, influenciassem o experimento.

A presas e predadores juvenis utilizados no experimento foram coletados por rede de arrasto e, os predadores adultos com varas de pescar. Todos os indivíduos coletados foram estocados previamente ao experimento para aclimatação e, como adultos de *Hoplias* mostraram-se extremamente resistentes a fome, podendo permanecer mais de 200 dias sem se alimentar sem grandes prejuízos (Rios et al. 2004), os adultos a serem utilizados no experimento foram estocados durante 10 dias a fim de garantir que a presença de alimento nos estômagos não afetaria o resultado do experimento.

Em todos os tratamentos, contendo presas heteroespecíficas, *Aphyocharax dentatus* e *Moenkhausia forestii* foram utilizados como presas heteroespecíficas, devido a sua alta participação na dieta de *Hoplias* sp. 1. A densidade de presas heteroespecíficas em cada um dos tratamentos foi determinada de acordo com aquelas observadas na planície de inundação, representando densidades de presas iguais, inferiores (40%) ou superiores (100%) ao normalmente encontrado na planície de inundação em que o estudo se baseou, contando ainda com um tratamento sem presas heteroespecíficas. Reposições de presas heteroespecíficas foram realizadas periodicamente a fim de evitar que o consumo das presas alterasse a densidade de cada tratamento (Tabela 01).

Tabela 01 – Número de presas heteroespecíficas em cada tratamento durante o período do experimento.

| Tratamento | Inicial | Reposta | Total |
|-------------------|----------------|----------------|--------------|
| Densidade Baixa | 16 | 24 | 40 |
| Densidade Média | 60 | 40 | 100 |
| Densidade Alta | 80 | 120 | 200 |
| Sem presas | 0 | 0 | 0 |

Ao se iniciar o experimento, cada tratamento dois adultos e dois juvenis de *Hoplias* sp. 1, com comprimento padrão de $21,30 \pm 2,21$ cm e $7,76 \pm 1,40$ cm, para adultos e juvenis, respectivamente e densidade de presas variando de acordo com o pré-determinado para cada um dos tratamentos (4) e suas respectivas réplicas (3). No 11º dia após o início do experimento, todos os peixes foram removidos e contados a fim de se obter a taxa de consumo de presas heteroespecíficas e verificar a presença de canibalismo, considerado presente quando os juvenis da espécie predador se encontravam ausentes em cada um dos tratamentos. Durante o período do experimento as posições na coluna d'água e comportamento dos predadores foi observado periodicamente durante as reposições de presas em cada um dos tratamentos.

As diferenças na intensidade de consumo de presas heteroespecíficas entre tratamentos foi testada através de uma Análise de Variância (ANOVA) seguida com o teste *post-hoc* de Tuckey, sendo que, o tratamento sem presas heteroespecíficas não participou dessa análise devido a ausência de presas heteroespecíficas nesse tratamento. Enquanto, as possíveis diferenças entre as taxas de canibalismo entre tratamentos foram testadas através do teste de Chi-quadrado (χ^2), com um valor de significância gerado por simulações de Monte Carlo (Hope 1968). Todos os testes foram realizados no *software* R (R Core Team 2015).

3.3 RESULTADOS

Os indivíduos de *Hoplias* sp. 1 que tiveram sua dieta analisada possuíam comprimento padrão de 153 cm até 380 cm e possuíam peixes como recurso alimentar predominante em sua dieta. Espécies de Characiformes foram as mais consumidas, com indivíduos congêneres de *Hoplias* sp. 2 apresentando grande participação na dieta (11,54%), sendo observado apenas 3 casos de canibalismo entre os 146 indivíduos analisados, contribuindo com 6,69% da dieta total (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição da dieta de *Hoplias* sp. 1 em porcentagem de volume (V(%)) na planície de inundação do alto rio Paraná.

| CHARACIFORMES | V(%) | PERCIFORMES | V(%) | INVERTEBRADOS | V(%) |
|---|-------|---|-------------|--|-------------|
| <i>Astyanax</i> spp. | 0,53 | <i>Cichla</i> spp. | 5,33 | Decapoda | 0,88 |
| <i>Astyanax altiparanae</i> Garutti & Britski 2000 | 1,45 | <i>Cichla kelberi</i> Kullander & Ferreira 2006 | 0,50 | Hemiptera | 8,89 |
| <i>Aphyocharax anisitsi</i> Eigenmann & Kennedy 1903 | 0,33 | <i>Geophagus</i> cf. <i>proximus</i> (Castelnau 1855) | 2,22 | Lepidoptera | 0,02 |
| <i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken 1875) | 7,32 | <i>Plagioscion squamosissimus</i> (Heckel 1840) | 13,32 | Odonata | 0,36 |
| <i>Bryconamericus</i> spp. | 0,14 | <i>Satanoperca pappaterra</i> (Heckel 1840) | 0,34 | Orthoptera | 0,04 |
| <i>Hypessobrycon eques</i> (Steindachner 1882) | 0,17 | Ciclidae | 0,07 | Trichoptera | 1,61 |
| <i>Hemiodus orthonops</i> Eigenmann & Kennedy 1903 | 1,66 | | | | |
| <i>Hemisorubim platyrhynchos</i> (Valenciennes 1840) | 1,39 | SILURIFORMES | V(%) | OUTROS | V(%) |
| <i>Hoplias</i> sp. 1 | 6,69 | <i>Hoplosternum littorale</i> (Hancock 1828) | 0,08 | Vegetal | 0,51 |
| <i>Hoplias</i> sp. 2 | 11,54 | <i>Loricariichthys platymetopon</i> Isbrücker & Nijssen 1979 | 4,44 | <i>Trachycephalus typhonius</i> (Linnaeus 1758) | 2,10 |
| <i>Leporinus</i> spp. | 0,06 | <i>Oxydoras eigenmanni</i> Boulenger 1895 | 0,28 | | |
| <i>Moenkhausia</i> aff. <i>intermedia</i> Eigenmann 1908 | 0,01 | <i>Parauchenipterus galeatus</i> (Linnaeus 1766) | 3,05 | | |
| <i>Moenkhausia forestii</i> Benine Mariguela & Oliveira 2009 | 0,22 | | | | |
| <i>Odontostilbe</i> sp. | 0,03 | GYMNOTIFORMES | V(%) | | |
| <i>Schizodon borellii</i> (Boulenger 1900) | 1,11 | <i>Eigenmannia trilineata</i> López & Castello 1966 | 0,84 | | |
| <i>Steindachnerina</i> spp. | 5,98 | <i>Gymnotus sylvius</i> Albert & Fernandes-Matioli 1999 | 0,33 | | |
| <i>Serrasalmus marginatus</i> Valenciennes 1837 | 0,61 | <i>Rhamphichthys hahni</i> (Meinken 1937) | 1,38 | | |
| <i>Serrapinus</i> spp. | 1,55 | Gymnotiformes | 0,97 | | |
| <i>Serrapinus notomelas</i> (Eigenmann 1915) | 7,50 | | | | |
| Characidae | 0,47 | | | | |
| Characiformes | 3,69 | | | | |

No geral, classes de tamanho de presas de 10 a 29 mm e 30 a 49 mm, duas das mais abundantes no ambiente, foram as mais consumidas (Fig. 1A). O teste de seletividade por classe de tamanho indicou que *Hoplias* sp. 1 selecionam positivamente presas de pequeno porte, principalmente no intervalo de 30 a 49 mm, e apresentam seleção negativa para presas maiores, principalmente no intervalo de 50-69 mm (Fig. 1B).

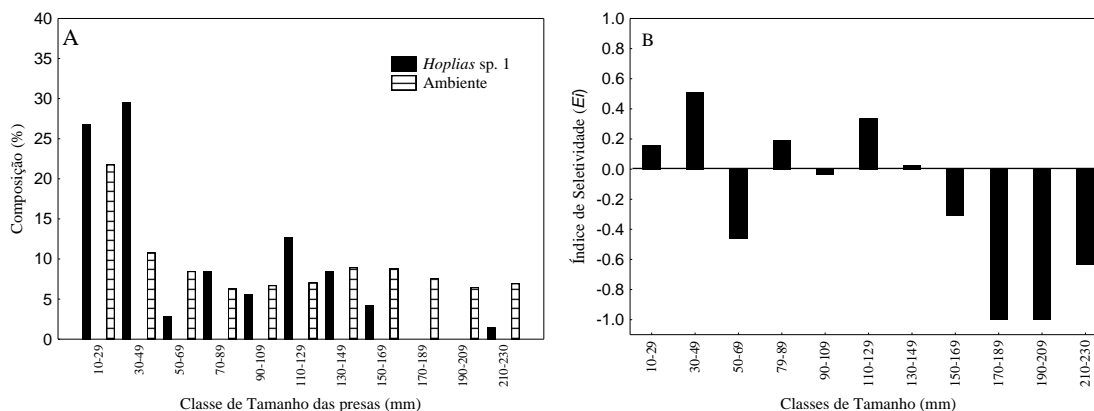


Fig. 2 – A - Composição relativa das presas por classes de tamanho na dieta de *Hoplias* sp. 1 e disponibilidade relativa no ambiente. Valores expressos em porcentagem (%). B - Preferência alimentar de *Hoplias* sp. 1 para as diferentes classes de tamanho de presas, baseado no índice de eletividade relativa (E_i).

No experimento, o consumo de presas heteroespecíficas variou significativamente entre tratamentos ($F=52, 89$; $p<0,001$, $df=8$), sendo observado um aumento no consumo de presas com o aumento na densidade (Fig. 1). No tratamento com alta densidade de presas heteroespecíficas em média 16 presas heteroespecíficas foram consumidas diariamente por cada predador, no tratamento de densidade média cada predador consumiu em média 5 presas heteroespecíficas e no tratamento com baixa densidade em média 0,48 foi consumida por predador diariamente. Ainda, foi possível observar diferenças na taxa de consumo de presas heteroespecíficas entre os tratamentos de baixa e alta densidade e média e alta densidade ($p<0,001$), sendo que os tratamentos de baixa e média densidade não apresentaram diferenças significativas no consumo de presas heteroespecíficas ($p=0,08$).

O comportamento canibal foi observado apenas no tratamento sem presas heteroespecíficas, sendo que em apenas uma das réplicas desse tratamento os dois juvenis foram consumidos, nas outras duas réplicas restantes, apenas um dos dois juvenis foi consumido em cada uma das réplicas desse tratamento. Nos tratamentos com presença de presas heteroespecíficas, independente da densidade, os juvenis de *Hoplias* sp. 1 permaneceram nas unidades experimentais do começo ao fim do experimento, com o teste de chi-quadrado indicando diferenças significativas entre tratamentos ($\chi^2=52,89$; $p<0,0001$, $df=11$).

Os indivíduos adultos de *Hoplias* sp. 1 foram observados permanecendo no fundo dos mesocosmos apresentando pouco ou nenhuma mobilidade, com cada um dos adultos em locais distintos do mesocosmo. Contrariamente aos adultos, indivíduos jovens permaneceram

na superfície dos mesocosmos em meio às macrófitas aquáticas, também apresentando baixa mobilidade e, muitas vezes, possuindo parte do corpo fora da água.

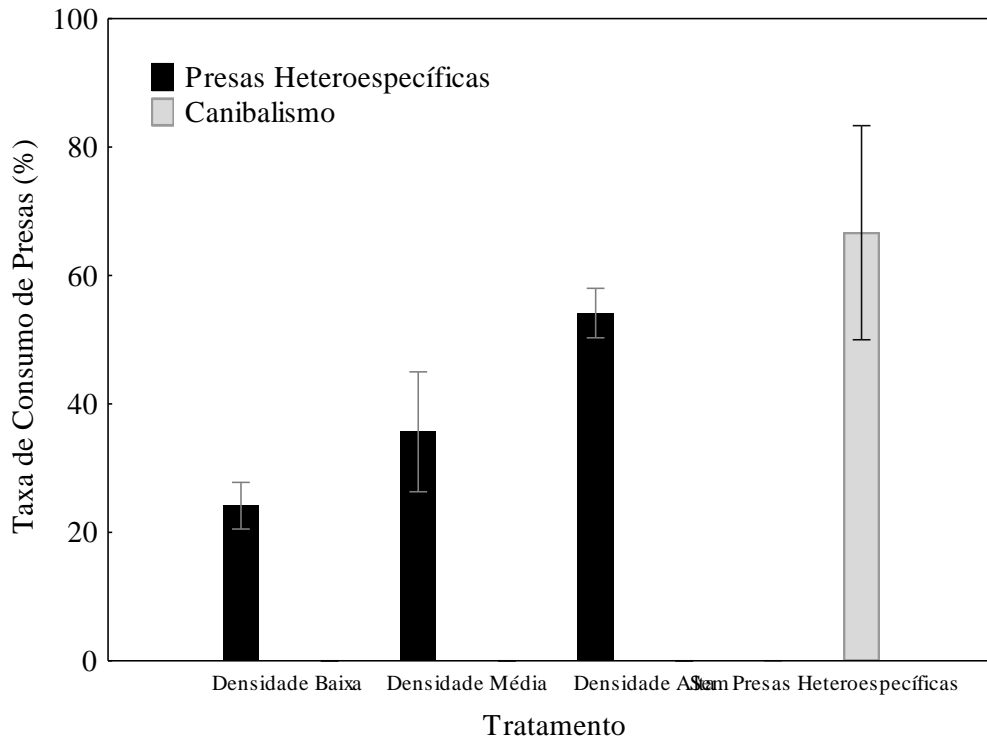


Figura 1 – Valores médios da proporção de consumo de presas heteroespecíficas e canibalismo para cada tratamento

3.4 DISCUSSÃO

Espécies de *Hoplias* apresentam hábito alimentar piscívoro, entretanto são altamente oportunista, principalmente devido à sua capacidade de modificar o comportamento alimentar e dieta em decorrência da abundância de presas no ambiente (Loureiro-Crippa e Hahn 1996; Pompeu e Godinho 2001; Hahn et al. 2002; Loureiro-Crippa e Hahn 2006). A grande variedade de itens alimentares participando de sua dieta são um indicativo desse comportamento oportunista que, somada aos casos de canibalismo observados em ambiente natural, reforçam a capacidade dessa espécie em se adaptar a baixas disponibilidade de recurso alimentar preferencial, explorando fontes alternativas de alimento em períodos de escassez, podendo, inclusive, contar com canibalismo, na ausência de recurso alimentar alternativo.

Como destacado, *Hoplias* aff. *malabaricus* são resistentes a modificações abióticas severas e podem permanecer por longos períodos sem se alimentar (Rios et al. 2004). O

incremento nas taxas de consumo com o aumento na densidade de presas é um indicativo de que o predador está respondendo às variações na densidade de presas e, que a situação experimental tem pouca interferência em sua atividade alimentar, assim a ausência de canibalismo nos tratamentos com presas heteroespecíficas se deveu a outros fatores que não a situação em cativeiro. Isso porque, em ambientes naturais, é esperado a presença de canibalismo, principalmente, durante períodos de baixa disponibilidade de recursos alimentares (Polis 1981; Elgar e Crespi 1992), sendo que o consumo de indivíduos da mesma espécie forneceria os nutrientes necessários para sua manutenção, durante esses períodos (Fox 1975b; Snyder et al. 2000; Simpson et al. 2006).

Contudo, escassez de alimento não é exatamente um pré requisito para que indivíduos se tornem canibais (Fox 1975a; Reed e Stenseth 1984) e, como *Hoplias* são frequentemente reportadas como canibais, inclusive na região de estudo (Luz-Agostinho et al. 2008; Bozza and Hahn 2010), era esperado que, mesmo em tratamentos com presas heteroespecíficas, o canibalismo se fizesse presente. Ainda, mesmo considerando-se a baixa densidade do predador em relação às outras espécies, o fato de canibalismo ser evitado foi expressivo. A segregação espacial entre indivíduos jovens e adultos pode ter contribuído para tal comportamento. Como ressaltado, predadores jovens permaneceram durante todo o período do experimento escondidos no meio das macrófitas enquanto indivíduos adultos permaneceram no fundo dos tanques e, como predadores sedentários, não procuraram ativamente por presas. Na ausência de presas ativas (tratamento sem presas heteroespecíficas), os predadores adultos buscariam por presas, consumindo os juvenis que encontrassem. Nesse caso, as taxas de canibalismo são proporcionais a probabilidade de encontrar indivíduos vulneráveis, no caso, menor tamanho (Fox 1975a).

Similarmente aos resultados encontrados, canibalismo em *Perca fluviatilis*, foi reportado sendo influenciado mais pela necessidade que pela escolha, com indivíduos tornam-se canibais para manter crescimento e níveis nutricionais sendo influenciados pela disponibilidade de recursos alimentares alternativos (Mirza e Chivers 2001). Situações similares a essa são reportadas para Gobiidae, em que o canibalismo foi observado apenas durante períodos de extrema escassez de alimento e períodos reprodutivos (Nonnis Marzano e Gandolfi 2001). Possíveis explicações para a evitação do canibalismo são atribuídas a mecanismos de reconhecimento de indivíduos da mesma espécie (Smith e Reay 1991), como o caso de *Cichla ocellaris*, em que a mácula na nadadeira caudal é apontada como um

mecanismo de reconhecimento da espécie que reduziria as frequências de canibalismo (Zaret 1977).

Em ambientes naturais, indivíduos de *Hoplias* ocupam nichos distintos no ambiente e, sendo um predador solitário, territorialista e sedentário (Petry et al. 2010), apresentaria baixas probabilidades de encontro entre indivíduos adultos e juvenis e, conseqüentemente, baixa ocorrência de canibalismo. Por outro lado, essas espécies apresentam cuidado parental e possuem um comportamento bem agressivo durante este período (Winemiller 1989b; Prado et al. 2006) e, apesar do fato de canibalismo ser comum entre espécies que apresentam cuidado parental (Smith e Reay 1991; Manica 2002; Manica 2004), não existem relatos sobre adultos dessa espécie canibalizando sua prole e, ademais, como larvas são essencialmente zooplanktívoras ou insetívoras (Oliveros and Rossi 1991; Hahn et al. 2004), canibalismo intra coorte é improvável.

Ainda, a presença de canibalismo apenas na inexistência de fontes alternativas de alimento aponta para um papel fundamental de tal comportamento, denominado mecanismo "bote salva vidas", pois em períodos de baixa disponibilidade de alimento, indivíduos canibais podem aumentar suas chances de sobrevivência ao se alimentar de indivíduos da mesma espécie (Van Den Bosh et al. 1988). Entretanto, o papel ecológico desempenhado pelo canibalismo será dependente do grau de incidência de tal comportamento na população, sendo que se as taxas de canibalismo baixas ou nulas, o papel ecológico do canibalismo perde sentido. Assim, nos casos em que a frequência de canibalismo é baixa em populações naturais, esse comportamento torna-se irrelevante na estruturação da dinâmica populacional (Nesbit e Meffe 1993), entretanto, possuindo grande importância na manutenção da população em períodos de baixa disponibilidade de alimento.

Futuros estudos devem considerar incluir presas e predadores com morfologias distintas, pois limitações como tamanho da presa e abertura bucal do predador possuem um papel fundamental em determinar se uma presa pode ser ingerida por um determinado predador (Persson et al. 1996; Magnhagen e Heibo 2001; Dörner e Wagner 2003; Price et al. 2015), além da presença de estruturas que possam inibir a predação, como espinhos, pois peixes piscívoros tendem a preferir indivíduos sem raios nas nadadeiras (Reist 1980; Christensen e Persson 1993), assim, o comportamento do predador estaria diretamente conectado à morfologia da presa, tanto hetero quanto coespecífica. Um outro fato a ser considerado é a presença de densidades ainda menores de presas coespecíficas, pois, a medida

que não foi observada diferenças significativas no consumo de presas heteroespecíficas entre os tratamentos de baixa e alta densidade, torna-se possível que tratamentos com densidades ainda menores apresentariam canibalismo mesmo na presença de presa alternativa. De qualquer maneira, os resultados obtidos são representativos do comportamento dos indivíduos dessa espécie e indicam que o canibalismo é um comportamento presente apenas durante baixa disponibilidade de recursos alimentares e que experimentos que desejem testar tal comportamento devem considerar fatores biológicos, ecológicos e ambientais da espécie alvo, pois a não consideração desses fatores torna os resultados obtidos não aplicáveis à ambientes naturais.

REFERÊNCIAS

- Baras E, Hafsaridewi R, Slembrouck J, et al (2010) Why is cannibalism so rare among cultured larvae and juveniles of *Pangasius djambal*? Morphological, behavioural and energetic answers. *Aquaculture* 305:42–51. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.04.004
- Baras E, Jobling M (2002) Dynamics of intracohort cannibalism in cultured fish. *Aquac Res* 33:461–479. doi: 10.1046/j.1365-2109.2002.00732.x
- Baras E, Ndao M, Maxi MYJ, et al (2000) Sibling cannibalism in dorada under experimental conditions. I. Ontogeny, dynamics, bioenergetics of cannibalism and prey size selectivity. *J Fish Biol* 57:1001–1020. doi: 10.1006/jfbi.2000.1366
- Bozza AN, Hahn NS (2010) Uso de recursos alimentares por peixes imaturos e adultos de espécies piscívoras em uma planície de inundação neotropical. *Biota Neotrop* 10:217–226. doi: 10.1590/S1676-06032010000300025
- Brante A, Fernández M, Viard F (2013) Non-random sibling Cannibalism in the marine gastropod *Crepidula coquimbensis*. *PLoS One* 8:e67050. doi: 10.1371/journal.pone.0067050
- Christensen B, Persson L (1993) Species-specific antipredatory behaviors - Effects on prey choice in different habitats. *Behav Ecol Sociobiol* 32:1–9. doi: 10.1007/BF00172217
- Claessen D, de Roos AM, Persson L (2004) Population dynamic theory of size-dependent cannibalism. *Proc R Soc London B* 271:333–340. doi: 10.1098/rspb.2003.2555
- Claessen D, de Roos AM, Persson L (2000) Dwarfs and Giants: Cannibalism and competition

- in size-structured populations. *Am Nat* 155:219–237. doi: 10.1086/303315
- Crumrine PW (2010) Size-structured cannibalism between top predators promotes the survival of intermediate predators in an intraguild predation system. *J North Am Benthol Soc* 29:636–646. doi: 10.1899/09-006.1
- de Almeida VLL, Hahn NS, Vazzoler AEADM (1997) Feeding patterns in five predatory fishes of the high Parana River floodplain (PR, Brazil). *Ecol Freshw Fish* 6:123–133. doi: 10.1111/j.1600-0633.1997.tb00154.x
- Dörner H, Wagner A (2003) Size-dependent predator-prey relationships between perch and their fish prey. *J Fish Biol* 62:1021–1032. doi: 10.1046/j.1095-8649.2003.00092.x
- Elgar MA, Crespi BJ (1992) *Cannibalism: Ecology and evolution among diverse taxa*. Oxford University Press., Oxford
- Fox LR (1975a) Cannibalism in natural populations. *Annu Rev Ecol Syst* 6:87–106. doi: 10.1146/annurev.es.06.110175.000511
- Fox LR (1975b) Factors influencing cannibalism, a mechanism of population limitation in the predator *Notonecta hoffmani*. *Ecology* 56:933–941. doi: 10.2307/1936303
- Fuentes CM, Quiroga F (2012) Net feeding in ichthyoplankton samples from the Paraná River. *J Plankton Res* 34:967–975. doi: 10.1093/plankt/fbs055
- Graça WJ, Pavanelli CS (2007) *Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes*. EDUEM, Maringá
- Hahn NS, Fugli R, Andrian IDF (2004) Trophic ecology of the fish assemblages. In: Thomaz SM, Agostinho AA, Hahn NS (eds) *The upper Paraná river and its floodplain physical aspects, ecology and conservation*. Backhuys Publishers, Leiden, pp 247–259
- Hahn NS, Fugli R, Peretti D, et al (2002) Estrutura trófica da ictiofauna da planície de inundação do alto rio Paraná. In: *Relatório Anu.* http://www.peld.uem.br/Relat2002/pdf/comp_biotico_estruturaTrofica.pdf. Accessed 20 Jul 2015
- Hamilton WD (1964) The genetical evolution of social behaviour. I. *J Theor Biol* 7:1–16. doi: 10.1016/0022-5193(64)90038-4

- Harris JGK (1975) The effect of density-dependent mortality on the shape of the stock and recruitment curve. *J du Cons Int pour l'Éxploration la Mer* 36:144–149. doi: 10.1093/icesjms/36.2.144
- Hope ACA (1968) A simplified Monte Carlo significance test procedure. *J R Stat Soc* 30:582–598.
- Hyslop EJ (1980) Stomach contents analysis—a review of methods and their application. *J Fish Biol* 17:411–429. doi: 10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x
- Koeller PA, Coates-Markle L, Neilson JD (1989) Feeding ecology of juvenile (age-0) silver hake (*Merluccius bilinearis*) on the Scotian Shelf. *Can J Fish Aquat Sci* 46:1762–1768. doi: 10.1139/f89-223
- Kohler CC, Ney JJ (1982) A comparison of methods for quantitative analysis of feeding selection of fishes. *Environ Biol Fishes* 7:363–368. doi: 10.1007/BF00005571
- Liao IC, Su HM, Chang EY (2001) Techniques in finfish larviculture in Taiwan.
- Loureiro-Crippa VE, Hahn NS (1996) Dieta e atividade alimentar da traíra *Hoplias malabaricus* (Bloch, 1794) (Osteichthyes, Erythrinidae), nos primeiros anos de formação do reservatório de Segredo - Pr. *Acta Limnol Bras* 8:195–205.
- Loureiro-Crippa VE, Hahn NS (2006) Use of food resources by the fish fauna of a small reservoir (rio Jordão, Brazil) before and shortly after its filling. *Neotrop Ichthyol* 4:357–362. doi: 10.1590/S1679-62252006000300007
- Luz-Agostinho KDG, Agostinho AA, Gomes LC, Júlio-Jr HF (2008) Influence of flood pulses on diet composition and trophic relationships among piscivorous fish in the upper Parana River floodplain. *Hydrobiologia* 607:187–198. doi: 10.1007/s10750-008-9390-4
- Magnhagen C, Heibo E (2001) Gape size allometry in pike reflects variation between lakes in prey availability and relative body depth. *Funct Ecol* 15:754–762. doi: 10.1046/j.0269-8463.2001.00576.x
- Manica A (2004) Parental fish change their cannibalistic behaviour in response to the cost-to-benefit ratio of parental care. *Anim Behav* 67:1015–1021.
- Manica A (2002) Filial cannibalism in teleost fish. *Biol Rev Camb Philos Soc* 77:261–277.

doi: 10.1017/S1464793101005905

Mirza RS, Chivers DP (2001) Do juvenile yellow perch use diet cues to assess the level of threat posed by intraspecific predators? *Behaviour* 138:1249–1258.

Nesbit DH, Meffe GK (1993) Cannibalism frequencies in wild populations of the eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki*: Poeciliidae) in South Carolina. *Copeia* 1993:867–870. doi: 10.2307/1447254

Nonnis Marzano F, Gandolfi G (2001) Active cannibalism among adults of *Knipowitschia panizzae* (Pisces Gobiidae) induced by starvation and reproduction. *Ethol Ecol Evol* 13:385–391. doi: 10.1080/08927014.2001.9522769

Ohlberger J, Langangen Ø, Stenseth NC, Vøllestad A (2012) Community-level consequences of cannibalism. *Am Nat* 180:791–801. doi: 10.1086/668080

Ohlberger J, Thackeray SJ, Winfield IJ, et al (2014) When phenology matters: age–size truncation alters population response to trophic mismatch. *Proc R Soc London B* 281:2014–2038.

Oliveros OB, Rossi LM (1991) Ecología trófica de *Hoplias malabaricus* (pisces, erythrinidae). *Rev la Asoc Ciencias Nat del Litoral* 22:55–68.

Oyakawa OT (2003) Family Erythrinidae. In: Reis R, Kullander S (eds) *Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America*. EDIPUCRS, Porto Alegre, Brazil, pp 238–240

Pazza R, Júlio-Jr HF (2003) Occurrence of three sympatric cytotypes of *Hoplias malabaricus* (Pisces, Erythrinidae) in the Upper Paraná River Foodplain (Brazil). *Cytologia (Tokyo)* 68:159–163.

Persson L, Andersson J, Wahlström E, Eklöv P (1996) Size-specific interactions in lake systems: Predator gape limitation and prey growth rate and mortality. *Ecology* 77:900–911. doi: 10.2307/2265510

Persson L, de Roos AM, Claessen D, et al (2003) Gigantic cannibals driving a whole-lake trophic cascade. *Proc Natl Acad Sci U S A* 100:4035–4039. doi: 10.1073/pnas.0636404100

- Petry AC, Gomes LC, Piana PA, Agostinho AA (2010) The role of the predatory trahira (Pisces: Erythrinidae) in structuring fish assemblages in lakes of a Neotropical floodplain. *Hydrobiologia* 651:115–126. doi: 10.1007/s10750-010-0281-0
- Polis GA (1981) The evolution and dynamics of intraspecific predation. *Annu Rev Ecol Syst* 12:225–251. doi: 10.1146/annurev.es.12.110181.001301
- Pompeu PDS, Godinho AL (2001) Mudança na dieta da traíra *Hoplias malabaricus* (Bloch) (Erythrinidae, Characiformes) em lagoas da bacia do rio Doce devido à introdução de peixes piscívoros. *Rev Bras Zool* 18:1219–1225. doi: 10.1590/S0101-81752001000400016
- Prado CPA, Gomiero LM, Froehlich O (2006) Spawning and parental care in *Hoplias malabaricus* (Teleostei, Characiformes, Erythrinidae) in the Southern Pantanal, Brazil. *Brazilian J Biol* 66:697–702. doi: 10.1590/S1519-69842006000400013
- Price SA, Friedman ST, Wainwright PC (2015) How predation shaped fish: the impact of fin spines on body form evolution across teleosts. *Proc R Soc B Biol Sci* 282:20151428–20151428. doi: 10.1098/rspb.2015.1428
- R Core Team (2015) R: A Language and Environment for Statistical Computing.
- Rault J, Benoît E, Gouzé J-L (2013) Stabilizing effect of cannibalism in a two stages population model. *Acta Biotheor* 61:119–39. doi: 10.1007/s10441-013-9172-x
- Reed J, Stenseth NC (1984) Evolution of cannibalism in an age-structured population. *Bull Math Biol* 46:371–377. doi: 10.1007/BF02462012
- Reist JD (1980) Selective predation upon pelvic phenotypes of brook stickleback, *Culaea inconstans*, by northern pike, *Esox lucius*. *Can J Zool* 58:1245–1252. doi: 10.1139/z80-174
- Ribeiro FF, Qin JG (2015) Prey size selection and cannibalistic behaviour of juvenile barramundi *Lates calcarifer*. *J Fish Biol* 86:1549–1566.
- Rios FS, Kalinin AL, Fernandes MN, Rantin FT (2004) Changes in gut gross morphology of traíra, *Hoplias malabaricus* (Teleostei, Erythrinidae) during long-term starvation and after refeeding. *Brazilian J Biol* 64:683–689. doi: 10.1590/S1519-69842004000400017

- Rudolf VHW (2008) Consequences of size structure in the prey for predator-prey dynamics: The composite functional response. *J Anim Ecol* 77:520–528. doi: 10.1111/j.1365-2656.2008.01368.x
- Rudolf VHW (2006) The influence of size-specific indirect interactions in predator-prey systems. *Ecology* 87:362–371. doi: 10.1890/05-0961
- Rudolf VHW (2007a) Consequences of stage-structured predators: Cannibalism, behavioral effects, and trophic cascades. *Ecology* 88:2991–3003. doi: 10.1890/07-0179.1
- Rudolf VHW (2007b) The interaction of cannibalism and omnivory: Consequences for community dynamics. *Ecology* 88:2697–2705. doi: 10.1890/06-1266.1
- Rudolf VHW, Kamo M, Boots M (2010) Cannibals in space: the coevolution of cannibalism and dispersal in spatially structured populations. *Am Nat* 175:513–24. doi: 10.1086/651616
- Santos SCA dos, Guglielmoni LA, Frigatti Sobrinho J (1993) Induced reproduction and larval culture of *Salminus maxillosus* (Pisces, Characidae) at the CESP-Companhia Energetica de Sao Paulo. In: X Encontro Brasileiro de Ictiologia, São Paulo. p 94
- Schütz JH, Nuñez APDO (2007) Growth and survival of dorado *Salminus brasiliensis* (Pisces, Characidae) post-larvae cultivated with different types of food and photoperiods. *Brazilian Arch Biol Technol* 50:435–444.
- Simpson SJ, Sword GA, Lorch PD, Couzin ID (2006) Cannibal crickets on a forced march for protein and salt. *Proc Natl Acad Sci U S A* 103:4152–4156. doi: 10.1073/pnas.0508915103
- Smith C, Reay P (1991) Cannibalism in teleost fish. *Rev Fish Biol Fish* 1:41–64. doi: 10.1007/BF00042661
- Snyder WE, Joseph SB, Preziosi RF, Moore AJ (2000) Nutritional benefits of cannibalism for the lady beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) when prey quality is poor. *Environ Entomol* 29:1173–1179. doi: 10.1603/0046-225X-29.6.1173
- Takeshita A, Soyano K (2009) Effects of fish size and size-grading on cannibalistic mortality in hatchery-reared orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* juveniles. *Fish Sci* 75:1253–1258.

- Tonn WM, Holopainen IJ, Paszkowski CA (1994) Density-dependent effects and the regulation of crucian carp populations in single-species ponds. *Ecology* 75:824–834. doi: 10.2307/1941738
- Van Den Bosh F (1997) Cannibalism in an age-structured predator-prey system. *Bull Math Biol* 59:551–567. doi: 10.1016/S0092-8240(96)00107-3
- Van Den Bosh F, de Roos AM, Gabriel W (1988) Cannibalism as a life boat mechanism. *J Math Biol* 26:619–633.
- Vanderploeg HA, Scavia D (1979) Two electivity indices for feeding with special reference to zooplankton grazing. *J Fish Res Board Canada* 36:362–365. doi: 10.1139/f79-055
- Wagner JD, Glover MD, Moseley JB, Moore AJ (1999) Heritability and fitness consequences of cannibalism in *Harmonia axyridis*. *Evol Ecol Res* 1:375–388.
- Werner EE, Gilliam JF (1984) The ontogenetic niche and species interactions in size-structured populations. *Annu Rev Ecol Syst* 15:393–425.
- Winemiller KO (1989a) Ontogenetic diet shifts and resource partitioning among piscivorous fishes in the Venezuelan Llanos. *Environ Biol Fishes* 26:177–199. doi: 10.1007/bf00004815
- Winemiller KO (1989b) Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia* 225–241. doi: 10.1007/BF00379810
- Zaret TM (1977) Inhibition of cannibalism in *Cichla ocellaris* and hypothesis of predator mimicry among South American fishes. *Evolution (N Y)* 31:421–437. doi: 10.2307/2407762

4 EFEITOS DA RIQUEZA DE ESPÉCIES E LATITUDE NAS OCORRÊNCIAS CANIBALISMO EM PEIXES

RESUMO

Objetivo O canibalismo é um comportamento frequentemente observado em espécies de regiões de altas latitudes onde a riqueza de espécies é relativamente baixa. Como a riqueza de espécies de peixe apresentam um gradiente latitudinal, em que latitudes maiores apresentam menos espécies, a frequência de canibalismo deve ser positivamente correlacionada com a latitude. Assim, esse comportamento seria mais comum em latitudes altas, devido à maiores probabilidades de encontro entre indivíduos da mesma espécies. Para *Salvelinus alpinus*, foi observado que as ocorrências de canibalismo aumentam com a latitude, com regiões árticas apresentando mais ocorrências que regiões temperadas. Atualmente, não existe dados globais sobre variações do canibalismo em relação à latitude. Assim, o pbjetivou-se testar a possível relação das ocorrências de canibalismo com a latitude e riqueza de espécies.

Localização Global

Metodologia Foi criado um banco de dados baseado na revisão de mais de 1500 publicações, abordando 2314 espécies de peixes. Nesse banco de dados, a presença e número de casos de canibalismo foi obtido para cada uma das espécies, juntamente com dados de riqueza de espécies e latitude de cada estudo consultado. Finalmente, as correlações entre riqueza de espécies e latitude com as ocorrências de canibalismo foram testadas.

Resultados Riqueza de espécies foi um forte preditor nas ocorrências de canibalismo, com locais com maior número de espécies apresentando menos casos de canibalismo. A relação entre canibalismo e latitude foi estatisticamente significativa apenas no hemisfério norte, tanto para água doce quanto para ambientes marinhos, entretanto o hemisfério sul não apresentou relações significativas entre essas variáveis. Finalmente, no hemisfério norte, foram observadas mais ocorrências de canibalismo em altas latitudes que em baixas.

Conclusão O canibalismo é um comportamento mais frequente em ambientes com baixa riqueza de espécies e sua relação com a latitude é importante apenas no hemisfério norte. Dessa forma, o canibalismo mostra grande potencial em influenciar a dinâmica populacional nas assembleias de peixes, especialmente àquelas em altas latitudes no hemisfério norte.

Palavras-chave: Predação intraespecífica, Revisão bibliográfica, Gradiente de diversidade, Alimentação, Comportamento, Metanálise.

EFFECTS OF SPECIES RICHNESS AND LATITUDE ON OCCURRENCE OF CANNIBALISM IN FISH

ABSTRACT

Aim Cannibalism is commonly reported for fish stocks in northern and alpine regions, where species richness is relatively low, but less frequently reported for subtropical and tropical fishes where the diversity is higher. Because fish species richness shows a general latitudinal gradient, with high latitudes presenting less species, frequency of cannibalism should be positive correlated with latitude. Then, cannibalism would be more common at higher latitudes due to higher probabilities of encounters conspecifics preys than in low latitudes. For *Salvelinus alpinus*, cannibalism has been reported to increase with latitude, with arctic region presenting more cannibalism than temperate regions. No global data exist on latitudinal gradients in cannibalism in neither, marine or freshwater systems. The present study aimed to test the relationship between cannibalism, latitude and species richness.

Location Global

Methods A global dataset for 2314 teleost fish species based on review of more than 1500 publications was compiled. Presence and number of cases of cannibalism were obtained for each species together with the local fish richness and latitude of each study. Correlations among fish richness and latitude with cannibalism occurrence were tested.

Results Fish richness was a significant predictor of cannibalism occurrence, with more rich systems presenting the fewest cannibalism cases. The latitude-cannibalism occurrence relationship was significant for marine and freshwater ecosystems in the northern hemisphere, but non-significant for the southern hemisphere. In the northern hemisphere, higher latitudes presented more cannibalism cases than lower latitudes.

Main conclusions Cannibalism is more frequent in communities with low species richness and its relationship with latitude is more important in the northern hemisphere. Cannibalism should have great potential to influence fish population dynamics in species assemblages with few species, such as those at high latitudes in the northern hemisphere.

Keywords: Intraspecific predation, Diversity gradient, Literature survey, Feeding, Behavior, Metanalysis.

4.1 INTRODUÇÃO

Desde a publicação de “*Stock and Recruitment*” em que Ricker (1954) aponta o canibalismo como o mecanismo final na estruturação de populações, a importância do canibalismo como fonte de mortalidade e de controle do tamanho populacional são questões ainda em debate, com pontos de vista divergentes (Hardie & Hutchings, 2014). De um lado é apontado que o canibalismo é comum e difundido na natureza, com papel importante na estruturação de populacional (Fox, 1975a; Polis, 1981; Claessen *et al.*, 2000; Persson *et al.*, 2003; Rudolf, 2007; Rudolf *et al.*, 2010), sendo que alguns indivíduos apresentariam, inclusive, uma preferência intrínseca em se alimentar de indivíduos da mesma espécie (Byström *et al.*, 2013). Ainda, como indivíduos canibais, além de obterem um alimento de alta qualidade, reduziriam o número de competidores eliminando predadores potenciais (Fox, 1975a; Polis, 1981; Wagner *et al.*, 1999; Claessen *et al.*, 2000) e, conseqüentemente, apresentam maior crescimento que indivíduos não canibais (Lannoo *et al.*, 1989; Wildy *et al.*, 1998). De outro lado, alguns autores consideram o canibalismo um evento restrito para algumas espécies ou, inclusive, um comportamento anormal e raro (Dawkins, 1976; Elgar & Crespi, 1992; Baras *et al.*, 2010).

Apesar da existência de diversos estudos apontando as consequências do canibalismo, as ideias sobre o que levaria a esse comportamento são ainda divergentes. Argumentos lidando com a evolução do canibalismo e seus possíveis benefícios devem considerar que as taxas de canibalismo em ambientes naturais são baixas, para algumas populações, e que tal comportamento pode ter importância reduzida em ambiente natural (Nesbit & Meffe, 1993). Ainda, existe o fato de que, para algumas espécies a alta incidência de canibalismo pode ser resultado de métodos inadequados de amostragem (Fuentes & Quiroga, 2012), fome (Bell *et al.*, 1999; Nonnis Marzano & Gandolfi, 2001) ou ausência de presas alternativas (Amundsen, 1994; Persson *et al.*, 1996a, 2000).

O canibalismo é frequentemente observado em indivíduos de alta latitude e altitude no hemisfério norte (Amundsen *et al.*, 1999) sendo amplamente descrito em *Salvelinus alpinus*, *Esox lucius* e *Perca fluviatilis*. Essas espécies normalmente estão presentes em regiões de baixa diversidade e, algumas vezes, são a única espécie de peixe presente (Owen & Bowers, 1992; Persson *et al.*, 1996a, 2000; Eklöv, 1997; Amundsen *et al.*, 1999). Na falta de presas alternativas, o comportamento piscívoro dessas espécies é, geralmente, restrito ao canibalismo (Amundsen *et al.*, 1999) devido a ausência de presas alternativas. Heermann e Borcharding

(2013) observaram ausência de canibalismo em larvas de *P. fluviatilis* quando estas eclodiam concomitantemente com aquelas de *Rutilus rutilus*, porém, quando a eclosão ocorria em momentos diferentes, os maiores indivíduos de *P. fluviatilis* canibalizariam indivíduos menores. Amundsen (1994), observou maior incidência de canibalismo em lagos que continham apenas *S. alpinus* do que em lagos em que *S. alpinus* co-ocorria com outras espécies de peixes. Nesses ambientes a alta incidência de canibalismo poderia ser explicada pela baixa probabilidade de encontro entre indivíduos de espécie distinta, devido a baixa diversidade de espécies nos lagos em latitudes mais elevadas (Gaston & Blackburn, 2000). Tal fato implicaria que locais com maior diversidade apresentariam menor incidência de canibalismo quando comparados a locais menos diversos.

Griffiths (1994) notou que o canibalismo em *S. alpinus* é mais pronunciado em regiões árticas que em temperadas. Considerando que, em uma escala global, a diversidade de espécies declina do equador em direção aos polos (Pianka, 1966; Hillebrand, 2004; Lewis, 2011), e que a incidência de canibalismo é determinada pela probabilidade de encontro entre indivíduos da mesma espécie (Fox, 1975b; Rudolf *et al.*, 2010) seria esperado que a ocorrência de canibalismo aumente a medida que a riqueza de espécies diminui e a dominância aumenta.

Ainda, como o canibalismo é um comportamento denso-dependente (Fox, 1975a; Tonn *et al.*, 1994; Rudolf, 2006, 2007, 2008) este será comumente observado em populações com estrutura de tamanho, em todos os níveis tróficos (Reed & Stenseth, 1984; Werner & Gilliam, 1984; Van Den Bosh, 1997; Claessen *et al.*, 2004; Rudolf, 2008; Crumrine, 2010; Ohlberger *et al.*, 2014), especialmente porque a abertura bucal dos predadores e tamanho das presas são fundamentais em determinar se um dado predador será capaz de ingerir determinada presa (Persson *et al.*, 1996b; Magnhagen & Heibo, 2001; Dörner & Wagner, 2003; Price *et al.*, 2015). Consequentemente, alterações na densidade de presas disponíveis serão esperadas e sua mortalidade irá diferir das taxas de predação, com a maioria da predação denso-dependente ocorrendo em estádios de desenvolvimento iniciais, quando estes apresentam altas densidades, como em períodos reprodutivos (Rudolf, 2008). Assim, comportamentos que dependem do tamanho dos indivíduos, como o canibalismo, alterariam de maneira significativa a dinâmica entre predador e presas e, ainda, o tipo de resposta funcional, contribuindo com a coexistência entre predadores em sistemas com alta predação intra-guilda (Crumrine, 2010). Assim, ambientes com mais espécies apresentariam menos canibalismo, isso porque em ambientes com alta riqueza de espécies a quantidade de presas

heteroespecíficas que um predador realmente tem acesso, considerando limitações da abertura bucal, tamanho e disponibilidade de presas, seriam mais altas que em ambientes com poucas espécies, que apresentariam menos opções de presas disponíveis a um determinado predador (ver esquema na Fig. 1).

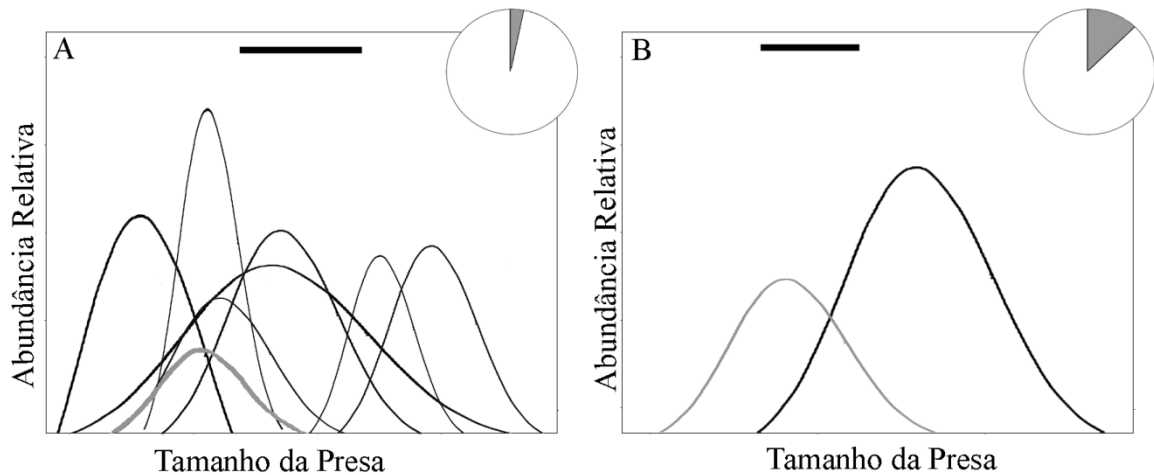


Fig. 1 – Esquema teórico para a ocorrência de canibalismo em ambientes com alta (A) e baixa (B) riqueza específica. O alto número de espécies presentes (A) proveriam uma dieta mais diversa ao predador, a medida que este, considerando limitações (abertura bucal, morfologia e abundância da presa, por exemplo), teria acesso a uma maior variedade de presas heteroespecíficas. Enquanto em ambientes com poucas espécies (B), o acesso a presas por um determinado predador seria limitado, incluindo mais presas coespecíficas em sua dieta devido à suas limitações. Gráficos de linha representam espécies em cada ambiente, com seus respectivos tamanhos e abundância. Gráficos de circulares representam a proporção de presas na dieta do predador. Linhas/Área cinza - presas coespecíficas e Linhas/Área preta - presas heteroespecíficas.

“*Cannibalism in teleost fish*” (Smith & Reay, 1991) é a única revisão, ao menos em lingual inglesa, sobre canibalismo em peixes. Nessa revisão, os autores discutem, entre outros temas, causas e consequências do canibalismo, bem como apresentam uma ampla lista de espécies em que o canibalismo foi observado, acompanhado de sua distribuição geográfica. Apesar de relatarem canibalismo para diversas espécies, a distribuição dessas ocorrências está concentrada principalmente em países do hemisfério norte, tornando difícil realizar inferências sobre conexões entre canibalismo, diversidade de espécies e, conseqüentemente, suas relações com a latitude.

Foi realizada uma extensa revisão bibliográfica sobre dieta de peixes e canibalismo, com o objetivo de testar se a ocorrência e intensidade do canibalismo em peixes teleósteos estão correlacionada com a riqueza de espécies. Se o canibalismo estiver relacionado com a probabilidade de encontro entre indivíduos da mesma espécie, é esperado um decréscimo na

incidência de canibalismo com o aumento do número de espécies. Nesse caso, um efeito secundário, a ser avaliado, seria se à medida que a riqueza de espécies diminui, do equador em direção aos polos, o número de ocorrências de canibalismo aumentaria com a latitude.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Criação da base de dados

Um levantamento bibliográfico utilizando as palavras chave “fish” e “cannibalism” e “trophic ecology of fish” filtrada pela palavra chave “feeding”, foi conduzido nas bases de dados ISI - *Web of Sciences* com data final como Novembro de 2015. Publicações repetidas ou que não apresentavam dados de dieta baseados na identificação direta dos itens alimentares, como isótopos estáveis, modelagem estatística ou revisões, foram eliminadas. Das publicações restantes, além da presença e ausência de canibalismo, as seguintes informações foram retiradas: (i) ambiente (marinho ou água doce), (ii) nome da espécie canibal, (iii) número de casos de canibalismo observado, (iv) coordenadas geográficas, (v) número de estômagos analisados para cada espécie e (vi) hábito alimentar da espécie canibal.

O hábito alimentar das espécies foi obtido, para a maioria das espécies, nas publicações obtidas no levantamento bibliográfico e complementadas com o *FishBase* (Froese & Pauly, 2015). O *FishBase* também foi utilizado na padronização taxonômica das espécies para evitar viés causado pelo uso de sinônimas. As coordenadas geográficas, quando não disponíveis nas publicações foram obtidas no *Google Earth* (<http://www.google.fr/intl/fr/earth/index.html>) e, em cada coordenada o número de espécies presentes foi obtido com na base de dados *Fish-SPRICH* (Brosse et al. 2013; Tedesco et al. 2013). A diversidade de espécies para as diferentes localidades foi obtida apenas para água doce pelo fato desses dados não estarem disponíveis para todo o conjunto de localidades marinhas.

4.2.2 Análise dos Dados

Possíveis relações da ocorrência de canibalismo com a riqueza de espécies e com a latitude foram avaliadas através de modelos lineares generalizados mistos (MLGM), no qual foi utilizado distribuição binomial de erro, função *logit link* e procedimento Gauss-Hermite *quadrature*. A ocorrência de canibalismo foi representada pela presença ou ausência de canibalismo em determinada espécie para cada uma das publicações analisadas. Foram

criados modelos separados para cada um dos hemisférios (norte e sul) e ambientes (água doce e marinho), resultando em quatro combinações distintas: Água doce – norte, água doce – sul, marinho – norte e marinho – sul. Riqueza e latitude foram adicionadas, separadamente, em cada um dos modelos, como efeitos fixos. Como as publicações utilizadas incluíam observações para diversas espécies, repetidas ao longo dos estudos, a variável espécie foi adicionada nos modelos como efeito randômico. Todas as espécies que apresentaram hábito alimentar carnívoro ($n=2314$), canibais ou não, foram incluídas nos modelos. O número de estômagos analisados, que seria utilizado como uma medida de esforço amostral, não apresentou influência significativa nas ocorrências de canibalismo ($\text{stat}=0,006$, $p=0,93$) sendo excluído das análises. Ainda, foram criados modelos para a intensidade de canibalismo, ou seja, a contribuição de estômagos contendo indivíduos da mesma espécie em relação a todos os estômagos analisados por espécie em cada publicação, entretanto, como os resultados não se mostraram significativos, especialmente devido à redução extrema no número de unidades amostrais, seus resultados não são apresentados.

Análises de resíduos e testes de super dispersão foram realizados antes das análises, para confirmar os pressupostos dos modelos (Korner-Nievergelt *et al.*, 2015). A significância de cada um dos modelos foi obtida através de comparação de *bootstrap* paramétrico (1000 permutações; Halekoh & Højsgaard, 2014) criando modelos nulos (sem a variável de interesse; Bates, 2010; Winter, 2013), permitindo realizar inferências sobre a importância da variável de interesse (riqueza ou latitude) em explicar variações nos dados (ocorrência de canibalismo). Ainda, para inferir sobre o ajuste dos modelos, foram obtidos os valores de R^2 marginal (R^2_m ; variância explicada pelos efeitos fixos) e R^2 condicional (R^2_c ; variância explicada tanto por fatores fixos quanto randômicos), de acordo com Nakagawa & Schielzeth, (2013). Os intervalos de confiança de cada parâmetro dos modelos foram calculados utilizando métodos pivotaes não-studentizados (basic; Carpenter & Bithell, 2000). Análises com a riqueza de espécies foram realizadas apenas para ambientes de água doce, devido ao fato de uma base de dados global de ambiente marinho não estar disponível. Essa variável foi logaritmizada a fim de reduzir a influência de valores extremos (outliers) na geração dos modelos.

Todas as análises e gráficos foram realizadas no *software* R (R Core Team, 2015) com o auxílio do pacote “lme4” (Bates, 2010) para modelos lineares generalizados mistos, “blmeco” (Korner-Nievergelt *et al.*, 2015) para testes de super dispersão, “boot” (Canty &

Ripley, 2015) para gerar os intervalos de confiança e “pbkrtest” (Halekoh & Højsgaard, 2014) para gerar os modelos nulos.

4.3 RESULTADOS

O levantamento bibliográfico obteve 1270 publicações incluindo 2314 espécies carnívoras. A ocorrência de canibalismo foi registrada para cerca de 10% (247) dessas espécies, apresentando 641 casos de canibalismo em ambientes naturais distribuídos ao longo de todo o globo (Fig. 2). Uma lista completa com os resultados do levantamento bibliográfico pode ser encontrada no Apêndice 1.

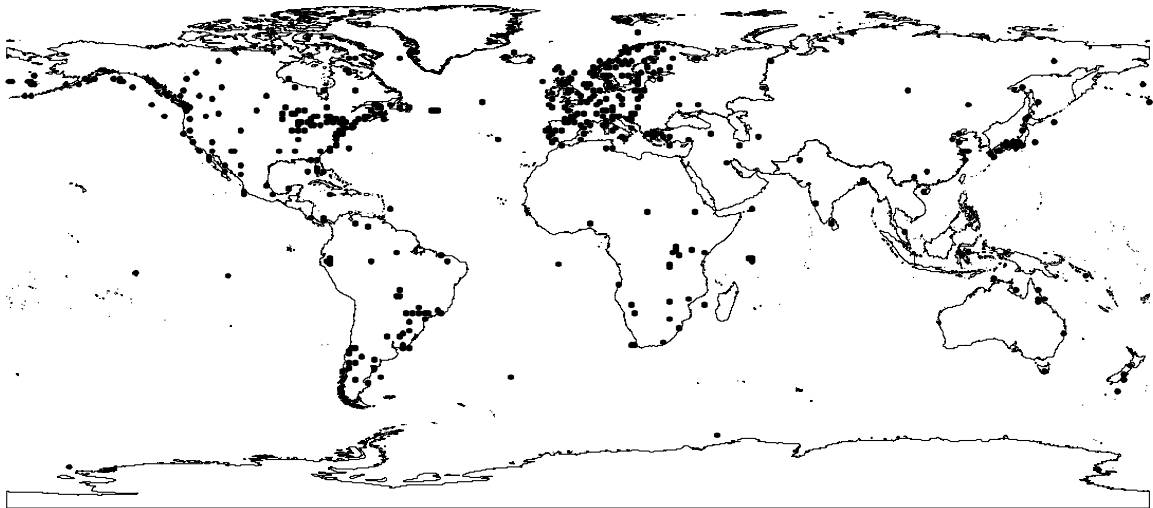


Fig. 2 – Ocorrências de canibalismo ao longo do globo terrestre de acordo com as publicações obtidas na revisão literária.

O número de ocorrências de canibalismo, em água doce, esteve correlacionado negativamente em ambos os hemisférios, norte ($LRT=28,14$, $p<0,001$, $R^2_m=0,08$, $R^2_c=0,47$; Tabela 1) e sul ($LRT=24,74$, $p=0,001$, $R^2_m=0,12$, $R^2_c=0,77$; Tabela 1), sendo observado um decréscimo no número de ocorrências de canibalismo com o aumento da latitude (Fig. 3).

Uma tendência de aumento na ocorrência de canibalismo com o aumento da latitude foi observado para o hemisfério norte para ambientes de água doce ($LRT=98,65$; $p=0,001$; $R^2_m=0,32$; $R^2_c=0,49$; Fig. 2 - Tabela 2) e marinhos ($LRT=24,81$; $p=0,001$; $R^2_m=0,05$; $R^2_c=0,59$; Fig. 2 - Tabela 2). Entretanto, no hemisfério sul, relação entre ocorrência de canibalismo e latitude, não foi observada nem em ambientes de água doce ($LRT=1,30$,

$p=0,27$, $R^2_m=0,01$, $R^2_c=0,81$, Fig. 4, Tabela 2) ou marinhos ($LRT=1,14$; $p=0,27$; $R^2_m=0,01$; $R^2_c=0,68$; Fig. 4 - Tabela 2).

Tabela 1 – Resultados para a relação das ocorrências de canibalismo e riqueza de espécies de peixes teleósteos de água doce nos hemisférios norte e sul. * $p=0,001$ e ** $p<0,001$.

| Hemisfério | Parâmetro | Estimate | 95% IC |
|------------|------------|----------|------------------|
| Norte** | Intercepto | -0,186 | (-1,04; 0,652) |
| | Riqueza | -0,488 | (-0,675; -0,277) |
| Sul* | Intercepto | -0,448 | (-2,790; 10,767) |
| | Riqueza | -1,096 | (-1,619; -0,200) |

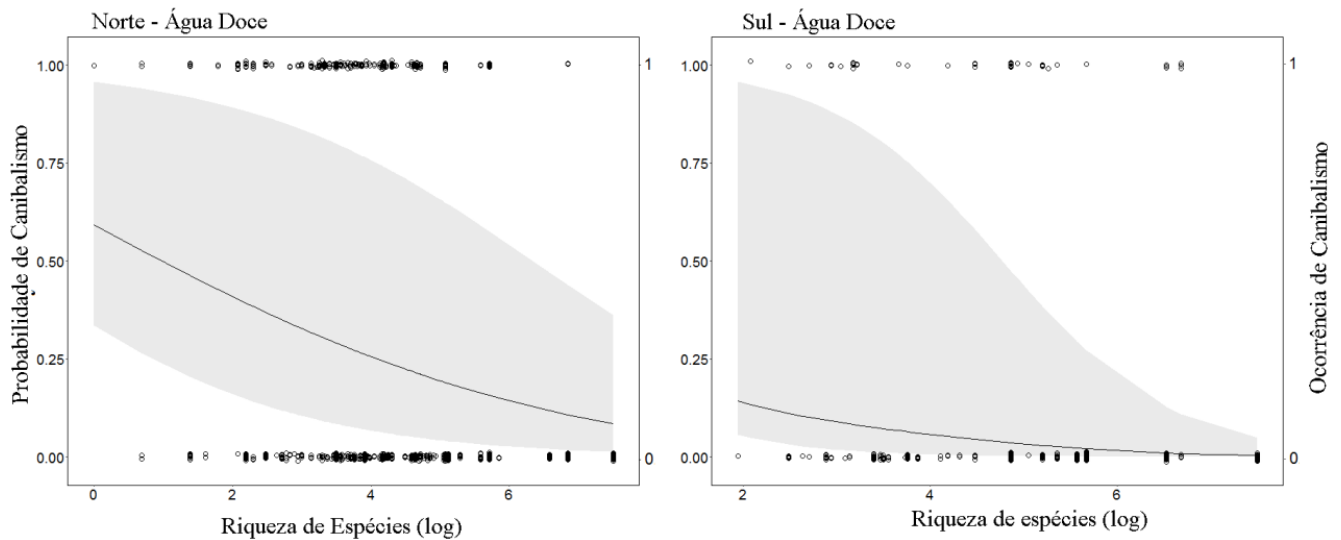


Fig. 3 – Modelos lineares generalizados mistos (MLGM) para a relação entre as ocorrências de canibalismo e riqueza de espécies em água doce. Linhas representam a distribuição prevista das ocorrências de canibalismo em relação ao gradiente de diversidade com seu respectivo intervalo de confiança (cinza). Pontos representam os dados reais utilizados para a construção dos modelos.

4.4 DISCUSSÃO

A ocorrência de canibalismo decresceu em áreas com alta riqueza de espécies em ambientes de água doce, corroborando a hipótese inicialmente proposta. O decréscimo observado na probabilidade de canibalismo foi mais intenso no hemisfério norte (~59% para 8%) que no hemisfério sul (~14% para 0). Esta diferença entre os hemisférios pode ser um artefato resultante da escala de riqueza criada pelas publicações, pois no hemisfério norte os

estudos incluídos na presente metanálise foram realizados em locais com menos de 10 espécies de peixes presentes, com riqueza mínima de uma espécie em diversos locais no Canadá e Suécia, enquanto no hemisfério sul, apenas dois estudos abordaram menos de 10 espécies. Assim, é razoável esperar que a probabilidade de canibalismo decrescesse mais no hemisfério sul se mais estudos de dieta com poucas espécies fossem realizados.

Tabela 2 – Resultados para a relação da ocorrência de canibalismo (MLGM) com a latitude, para ambientes de água doce e marinho. *p=0,001.

| Ambiente | Hemisfério | Parâmetro | Estimate | 95% IC |
|-----------|------------|------------|----------|-------------------|
| Água Doce | Norte* | Intercepto | -4,054 | (-4,669; -3,240) |
| | | Latitude | 0,067 | (0,051; 0,082) |
| | Sul | Intercepto | -7,644 | (-10,145; 11,480) |
| | | Latitude | 0,026 | (-0,023; 0,086) |
| Marinho | Norte* | Intercepto | -4,974 | (-5,927; -3,399) |
| | | Latitude | 0,043 | (0,020; 0,062) |
| | Sul | Intercepto | -4,202 | (-5,906; -3,059) |
| | | Latitude | -0,016 | (-0,0452; 0,0179) |

Ainda, a relação da ocorrência de canibalismo de acordo com a latitude diferiu de acordo com os hemisférios. No hemisfério norte um padrão claro de incremento na probabilidade de canibalismo juntamente com a latitude foi observado, enquanto no hemisfério sul esta relação não foi observada. Tal contradição reflete a diferença entre os hemisférios quando considerado o gradiente latitudinal de diversidade, que é mais pronunciado no hemisfério norte (Chown *et al.*, 2004). Por exemplo, no ambiente marinho, o triângulo das Índias Orientais (recifes de corais localizados próximos à Austrália) possui o maior número de espécies de peixes marinhas do mundo, com mais de 3000 espécies descritas (Briggs, 2005; Stuart-Smith *et al.*, 2013; Pellissier *et al.*, 2014). Essa região se estende até 45° de latitude Sul, enquanto seu equivalente em diversidade no hemisfério norte, recifes de corais localizados no mar do Caribe, com 700 espécies de peixes descritas (Rocha, 2003), estende-se apenas até 18° de latitude Norte. De maneira similar, a riqueza de espécies de peixe de água

doce é mais acentuada no hemisfério norte (Lévêque *et al.*, 2008), devido provavelmente a condições abióticas severas e prolongadas durante a última era glacial (Kaplan *et al.*, 2010), também, devido a diferenças atuais em fatores ecológicos, como temperatura e pluviosidade, além de diferenças na razão entre a quantidade de água e terra entre os hemisférios (1:1 no hemisfério norte e 16:1 no sul, entre as coordenadas 30° e 60°; Chown *et al.*, 2004). De qualquer maneira, o canibalismo parece mais provável de ocorrer em regiões de baixa diversidade, especialmente em altas latitudes da América do Norte, Europa e Ásia. Entretanto, estudos futuros devem investigar as relações entre canibalismo e riqueza em ambientes marinhos, devido ao fato de uma base de dados global marinha estar indisponível.

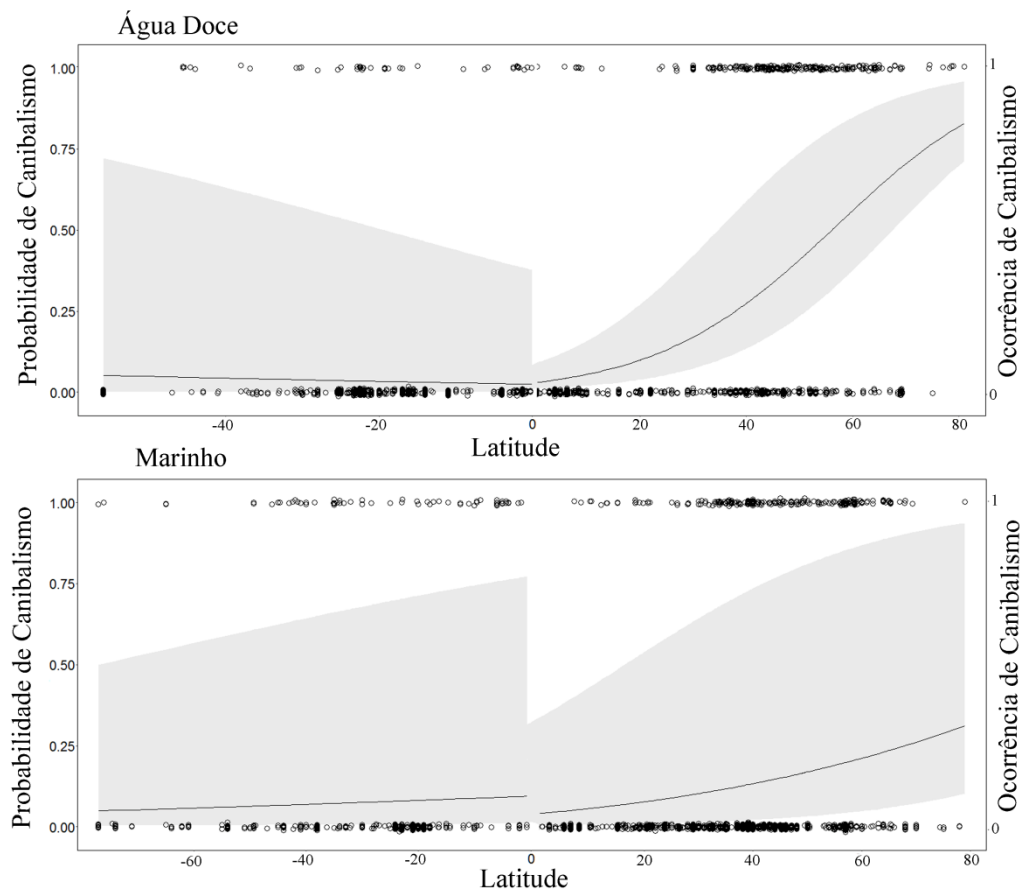


Fig. 4 – Representação da relação da ocorrência (MLGM) de canibalismo com a latitude para peixes de água doce e marinhos por hemisférios. Linhas representam a distribuição prevista das ocorrências de canibalismo em relação ao gradiente latitudinal. Pontos representam os dados reais utilizados para a construção dos modelos, sendo presença e ausência de canibalismo para a latitude correspondente.

Embora peixes, tanto de água doce como marinhos, apresentem maior probabilidade de apresentar canibalismo em altas latitudes no hemisfério norte, a força desta relação diferiu de maneira acentuada entre ambientes marinhos e de água doce. O gradiente latitudinal de

canibalismo em ambientes de água doce no hemisfério norte é, pelo menos, duas vezes mais acentuado que aquele observado em ambientes marinhos (água doce: 0,03 à 0,82 e marinho: 0,04 a 0,31). Esta diferença na inclinação das retas e, conseqüentemente, na força do padrão observado pode se dever à diferenças na produtividade entre estes ambientes. Enquanto a produtividade em ambientes de água doce declina em regiões temperadas, a produtividade de ambientes marinhos aumenta (Gross *et al.*, 1988). A alta produtividade em ambientes marinhos próximos aos polos aumenta a disponibilidade de recursos alimentares e, conseqüentemente, populações pobres em espécies são raras (Mcbride *et al.*, 2014). Tal fenômeno pode suavizar o aumento nas ocorrências de canibalismo no ambiente marinho em regiões temperadas. Por outro lado, em ambientes de água doce, o decréscimo na produtividade somado ao decréscimo no número de espécies em altas latitudes, deve intensificar as ocorrências de canibalismo nesse sistema. Uma explicação alternativa para as diferenças observadas no número de ocorrências de canibalismo entre os dois sistemas, relaciona-se com limitações de dispersão e tamanho dos sistemas. Em ambientes de água doce, os peixes normalmente possuem dispersão limitada, devido à presença da barreira terrestre que circunda os ambientes aquáticos (Drakou *et al.*, 2009). Contrariamente, em ambientes marinhos os limites não são tão claros e, geralmente, os peixes possuem menos limitações em relação à dispersão, especialmente em regiões temperadas (Bradbury *et al.*, 2008). Assim, limitações na dispersão podem aumentar as ocorrências de canibalismo a medida em que diminui o acesso de populações à ambientes com maior disponibilidade de recursos em períodos de escassez. Ainda, tais limitações podem fazer com que adultos e juvenis de uma mesma espécie ocupem o mesmo ambiente, reduzindo a segregação espacial entre eles e, conseqüentemente, levando a altas probabilidade de ingestão de juvenis por indivíduos adultos (Elgar *et al.*, 1992).

Todas as relações apresentaram um R^2 marginal (R^2_m) menor que o R^2 condicional (R^2_c), sugerindo que a identidade das espécies é mais importante em prever o canibalismo que latitude ou riqueza. De fato, peixes formam um grupo extremamente distinto, apresentando variações morfológicas, fisiológicas, comportamentais, no uso do habitat e na sua história de vida (Webb, 1984; Winemiller, 1989; Abelha *et al.*, 2001; Lévêque *et al.*, 2008), assim, é natural que algumas espécies apresentam maior propensão ao canibalismo que outras (Byström *et al.*, 2013). Espécies territorialista e/ou que apresentam cuidado parental, estão, normalmente, associadas a altas taxas de canibalismo (Nishimura & Isoda, 2004). Ainda, a maioria das espécies incluídas nos modelos não apresentam hábito alimentar

exclusivamente piscívoro, alimentando-se de uma gama de invertebrados e peixes, assim, essas diferenças nos hábitos alimentares reduziriam o R^2 . Nestes casos, o uso da riqueza de espécies de peixes como um indicador para o canibalismo, podem estar escondendo o padrão do gradiente latitudinal do canibalismo, assim, modelos que incluam a riqueza de espécies total dos ambientes devem ser considerados, sendo esperado um padrão ainda mais claro no gradiente latitudinal com o canibalismo. De qualquer forma, o uso de modelos mistos permitiu controlar a influência de variações espécie-específicas e isolar o efeito da riqueza e latitude nas ocorrências de canibalismo.

Todos os R^2 marginais estatisticamente significativos foram inferiores a 0,32, indicando que latitude e riqueza explicam apenas parte das variações observadas nas ocorrências. Está baixa influência das variáveis, pode ser explicada por dois fatores principais: (i) limitações impostas pelas análises de dieta e (ii) efeito da equitabilidade. As análises de dieta, normalmente subestimam as taxas de canibalismo, isso porque os itens alimentares são identificados a nível de família ou gênero, especialmente àqueles em estado avançado de digestão. Ademais, para ovos e larvas, além da dificuldade de identificação específica, há que se considerar que, face à rápida digestão, sua permanência nos estômagos é efêmera. Apesar de suas limitações, estudos de dieta utilizando análise de conteúdo estomacal ainda são dominantes e estudos com objetivo de identificar canibalismo devem considerar a utilização de métodos mais específicos como análises de DNA. Outro fator que deve afetar as ocorrências de canibalismo é a equitabilidade, não calculada nesse estudo. Em ambientes com alta riqueza de espécies mas alta dominância, as taxas de encontro entre indivíduos não seria homogênea, sendo que algumas espécies estariam mais propensas a serem predadas que outras (Rudolf, 2008). Assim, teoricamente, uma espécie dominante em uma comunidade com alta riqueza de espécies ainda poderia apresentar altas taxas de canibalismo.

O canibalismo é um comportamento recorrente em diversas espécies de peixes (Smith & Reay, 1991), sendo esse, é o estudo primeiro a apresentar uma análise global com o objetivo de identificar padrões gerais em sua ocorrência em peixes. Em ambientes de água doce, com alta riqueza de espécies, o canibalismo foi raramente observado. Estudos futuros devem considerar a influência da riqueza de espécies no canibalismo em ambientes marinhos e em outros organismos, que não peixe. De qualquer maneira, o canibalismo tem grande potencial em influenciar a dinâmica populacional das assembleias de peixes com baixa riqueza, como àquelas observadas em altas latitudes do hemisfério norte. Finalmente, como atividades humanas vem impactando e degradando o meio ambiente, com um decréscimo

global no número de espécies e, a consequente, homogeneização biótica (McKinney & Lockwood, 1999; McKinney, 2006; Trentanovi *et al.*, 2013; de Castro Solar *et al.*, 2015; Filgueiras *et al.*, 2016), a importância do canibalismo não deve ser negligenciada devido ao fato de que, com impactos antrópicos, tal comportamento deve se tornar mais frequente nestas comunidades.

REFERÊNCIAS

- Abelha, M.C.F., Agostinho, A.A. & Goulart, E. (2001) Plasticidade trófica em peixes de água doce. *Acta Scientiarum*, **23**, 425–434.
- Amundsen, P.-A. (1994) Piscivory and cannibalism in Arctic charr. *Journal of Fish Biology*, **45**, 181–189.
- Amundsen, P.-A., Svenning, M.-A., Slikavuoplo, S.I. & Siikavuopio, S.I. (1999) An experimental comparison of cannibalistic response in different Arctic charr (*Salvelinus alpinus* (L.)). *Ecology of Freshwater Fish*, **8**, 43–48.
- Baras, E., Hafsaridewi, R., Slembrouck, J., Priyadi, A., Moreau, Y., Pouyaud, L. & Legendre, M. (2010) Why is cannibalism so rare among cultured larvae and juveniles of *Pangasius djambal*? Morphological, behavioural and energetic answers. *Aquaculture*, **305**, 42–51.
- Bates, D.M. (2010) *lme4: Mixed-effects modeling with R*, Springer.
- Bell, G.W., Buckerl, J.A., Stoner, A.W., Buckel, J.A. & Stoner, A.W. (1999) Effects of alternative prey on cannibalism in age-1 bluefish. *Journal of Fish Biology*, **55**, 990–1000.
- Van Den Bosh, F. (1997) Cannibalism in an age-structured predator-prey system. *Bulletin of Mathematical Biology*, **59**, 551–567.
- Bradbury, I.R., Laurel, B., Snelgrove, P.V.R., Bentzen, P. & Campana, S.E. (2008) Global patterns in marine dispersal estimates: the influence of geography, taxonomic category and life history. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **275**, 1803–1809.
- Briggs, J.C. (2005) Coral reefs: Conserving the evolutionary sources. *Biological Conservation*, **126**, 297–305.

- Brosse, S., Beauchard, O., Blanchet, S., Dürr, H.H., Grenouillet, G., Hugueny, B., Lauzeral, C., Leprieur, F., Tedesco, P.A., Villéger, S. & Oberdorff, T. (2013) Fish-SPRICH: A database of freshwater fish species richness throughout the World. *Hydrobiologia*, **700**, 343–349.
- Byström, P., Ask, P., Andersson, J. & Persson, L. (2013) Preference for cannibalism and ontogenetic constraints in competitive ability of piscivorous top predators. *PLoS One*, **8**, e70404.
- Canty, A. & Ripley, B. (2015) boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions.
- Carpenter, J. & Bithell, J. (2000) Bootstrap intervals: when, which, what? A practical guide for medical statisticians. *Statistics in Medicine*, **19**, 1141–1164.
- de Castro Solar, R.R., Barlow, J., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A.C., Thomson, J.R., Louzada, J., Maués, M., Moura, N.G., Oliveira, V.H.F., Chaul, J.C.M., Schoereder, J.H., Vieira, I.C.G., Mac Nally, R. & Gardner, T.A. (2015) How pervasive is biotic homogenization in human-modified tropical forest landscapes? *Ecology Letters*, **18**, 1108–1118.
- Chown, S.L., Sinclair, B.J., Leinaas, H.P. & Gaston, K.J. (2004) Hemispheric asymmetries in biodiversity—A Serious matter for ecology. *PLoS One*, **2**, e406.
- Claessen, D., de Roos, A.M. & Persson, L. (2000) Dwarfs and Giants: Cannibalism and competition in size-structured populations. *The American Naturalist*, **155**, 219–237.
- Claessen, D., de Roos, A.M. & Persson, L. (2004) Population dynamic theory of size-dependent cannibalism. *Proceedings of the Royal Society of London B*, **271**, 333–340.
- Crumrine, P.W. (2010) Size-structured cannibalism between top predators promotes the survival of intermediate predators in an intraguild predation system. *Journal of the North American Benthological Society*, **29**, 636–646.
- Dawkins, R. (1976) *The selfish gene*, Oxford University Press., Oxford.
- Dörner, H. & Wagner, A. (2003) Size-dependent predator-prey relationships between perch and their fish prey. *Journal of Fish Biology*, **62**, 1021–1032.
- Drakou, E.G., Bobori, D.C., Kallimanis, A.S., Mazaris, A.D., Sgardelis, S.P. & Pantis, J.D.

- (2009) Freshwater fish community structured more by dispersal limitation than by environmental heterogeneity. *Ecology of Freshwater Fish*, **18**, 369–379.
- Eklöv, P. (1997) Effects of habitat complexity and prey abundance on the spatial and temporal distributions of perch (*Perca fluviatilis*) and pike (*Esox lucius*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **53**, 1520–1531.
- Elgar, M.A. & Crespi, B.J. (1992) *Cannibalism: Ecology and evolution among diverse taxa*, (ed. by M.A. Elgar) and B.J. Crespi) Oxford University Press., Oxford.
- Filgueiras, B.K.C., Tabarelli, M., Leal, I.R., Vaz-de-Mello, F.Z., Peres, C.A. & Iannuzzi, L. (2016) Spatial replacement of dung beetles in edge-affected habitats: biotic homogenization or divergence in fragmented tropical forest landscapes? *Diversity and Distributions*, 1–10.
- Fox, L.R. (1975a) Cannibalism in natural populations. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **6**, 87–106.
- Fox, L.R. (1975b) Factors influencing cannibalism, a mechanism of population limitation in the predator *Notonecta hoffmani*. *Ecology*, **56**, 933–941.
- Froese, R. & Pauly, D. (2015) FishBase. *World Wide Web electronic publication*, www.fishbase.org.
- Fuentes, C.M. & Quiroga, F. (2012) Net feeding in ichthyoplankton samples from the Paraná River. *Journal of Plankton Research*, **34**, 967–975.
- Gaston, K.J. & Blackburn, T.M. (2000) *Patterns and process in Macroecology*, Blackwell Scientific, Oxford.
- Griffiths, D. (1994) The size structure of lacustrine Arctic charr (Pisces: Salmonidae) populations. *Biological Journal of the Linnean Society*, **51**, 337–357.
- Gross, M.R.G., Coleman, R.M. & McDowall, R.M. (1988) Aquatic productivity and the evolution of diadromous fish migration. *Science*, **239**, 1291–1293.
- Halekoh, U. & Højsgaard, S. (2014) A Kenward-Roger approximation and parametric bootstrap methods for tests in linear mixed models - the R package pbrtest. *Journal of Statistical Software*, **59**, 1–32.

- Hardie, D.C. & Hutchings, J.A. (2014) Cannibalistic growth polyphenism in Atlantic cod. *Evolutionary Ecology Research*, **16**, 569–580.
- Heermann, L. & Borcharding, J. (2013) Competition, predation, cannibalism: the development of young-of-the-year perch populations in ponds with bream or roach. *Journal of Applied Ichthyology*, **29**, 549–554.
- Hillebrand, H. (2004) On the generality of the latitudinal diversity gradient. *The American naturalist*, **163**, 192–211.
- Kaplan, M.R., Schaefer, J.M., Denton, G.H., Barrell, D.J. a, Chinn, T.J.H., Putnam, A.E., Andersen, B.G., Finkel, R.C., Schwartz, R. & Doughty, A.M. (2010) Glacier retreat in New Zealand during the Younger Dryas stadial. *Nature*, **467**, 194–197.
- Korner-Nievergelt, F., Roth, T., Felten, S. V., Guelat, J., Almasi, B. & P., K.-N. (2015) *Bayesian data analysis in Ecology using Linear Models with R, BUGS and Stan*, Elsevier.
- Lannoo, M.J., Lowcock, L. & Bogart, J.P. (1989) Sibling cannibalism in noncannibal morph *Ambystoma tigrinum* larvae and its correlation with high growth. *Canadian Journal of Zoology*, **67**, 1911–1914.
- Lévêque, C., Oberdorff, T., Paugy, D., Stiassny, M.L.J. & Tedesco, P.A. (2008) Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. *Hydrobiologia*, **595**, 545–567.
- Lewis, W.M. (2011) Global primary production of lakes : 19 th Baldi Memorial Lecture. *Limnology*, **1**, 1–28.
- Magnhagen, C. & Heibo, E. (2001) Gape size allometry in pike reflects variation between lakes in prey availability and relative body depth. *Functional Ecology*, **15**, 754–762.
- Mcbride, M.M., Dalpadado, P., Drinkwater, K.F., Godø, O.R., Hobday, A.J., Hollowed, A.B., Kristiansen, T., Murphy, E.J., Ressler, P.H., Subbey, S., Hofmann, E.E. & Loeng, H. (2014) Krill, climate, and contrasting future scenarios for Arctic and Antarctic fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, **71**, 1934–1955.
- McKinney, M.L. (2006) Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, **127**, 247–260.

- McKinney, M.L. & Lockwood, J.L. (1999) Biotic homogenization: A few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology and Evolution*, **14**, 450–453.
- Nakagawa, S. & Schielzeth, H. (2013) A general and simple method for obtaining R² from generalized linear mixed-effects models. *Methods in Ecology and Evolution*, **4**, 133–142.
- Nesbit, D.H. & Meffe, G.K. (1993) Cannibalism frequencies in wild populations of the eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki*: Poeciliidae) in South Carolina. *Copeia*, **1993**, 867–870.
- Nishimura, K. & Isoda, Y. (2004) Evolution of cannibalism: Referring to costs of cannibalism. *Journal of Theoretical Biology*, **226**, 291–300.
- Nonnis Marzano, F. & Gandolfi, G. (2001) Active cannibalism among adults of *Knipowitschia panizzae* (Pisces Gobiidae) induced by starvation and reproduction. *Ethology Ecology & Evolution*, **13**, 385–391.
- Ohlberger, J., Thackeray, S.J., Winfield, I.J., Aberly, S.C. & Vøllestad, L.A. (2014) When phenology matters: age–size truncation alters population response to trophic mismatch. *Proceedings of the Royal Society of London B*, **281**, 2014–2038.
- Owen, R. & Bowers, E. (1992) The population dynamics of pike, *Esox lucius*, and perch, *Perca fluviatilis*, in a simple predator-prey system. *Environmental Biology of Fishes*, **34**, 65–78.
- Pellissier, L., Leprieur, F., Parravicini, V., Cowman, P.F., Kulbicki, M., Litsios, G., Olsen, S.M., Wisz, M.S., Bellwood, D.R. & Mouillot, D. (2014) Quaternary coral reef refugia preserved fish diversity. *Science*, **344**, 1016–1019.
- Persson, L., Anderson, J., Wahlstrom, E., Eklöv, P. & Andersson, J. (1996a) Size-specific interaction in lake systems: predation gap limitation and prey growth rate and mortality. *Ecology*, **77**, 900–911.
- Persson, L., Andersson, J., Wahlström, E. & Eklöv, P. (1996b) Size-specific interactions in lake systems: Predator gap limitation and prey growth rate and mortality. *Ecology*, **77**, 900–911.
- Persson, L., Byström, P. & Wahlstrom, E. (2000) Cannibalism and competition in Eurasian perch: population dynamics of an ontogenetic omnivore. *Ecology*, **81**, 1058–1071.

- Persson, L., de Roos, A.M., Claessen, D., Byström, P., Lovgren, J., Sjogren, S., Svanback, R., Wahlstrom, E. & Westman, E. (2003) Gigantic cannibals driving a whole-lake trophic cascade. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **100**, 4035–4039.
- Pianka, E.R. (1966) Latitudinal gradients in species diversity: A review of concepts. *The American Naturalist*, **100**, 33–46.
- Polis, G.A. (1981) The evolution and dynamics of intraspecific predation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **12**, 225–251.
- Price, S.A., Friedman, S.T. & Wainwright, P.C. (2015) How predation shaped fish: the impact of fin spines on body form evolution across teleosts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **282**, 20151428–20151428.
- R Core Team (2015) R: A Language and Environment for Statistical Computing.
- Reed, J. & Stenseth, N.C. (1984) Evolution of cannibalism in an age-structured population. *Bulletin of Mathematical Biology*, **46**, 371–377.
- Ricker, W.E. (1954) Stock and Recruitment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, **11**, 559–623.
- Rocha, L.A. (2003) Patterns of distribution and processes of speciation in Brazilian reef fishes. *Journal of Biogeography*, **30**, 1161–1171.
- Rudolf, V.H.W. (2008) Consequences of size structure in the prey for predator-prey dynamics: The composite functional response. *Journal of Animal Ecology*, **77**, 520–528.
- Rudolf, V.H.W. (2007) Consequences of stage-structured predators: Cannibalism, behavioral effects, and trophic cascades. *Ecology*, **88**, 2991–3003.
- Rudolf, V.H.W. (2006) The influence of size-specific indirect interactions in predator-prey systems. *Ecology*, **87**, 362–371.
- Rudolf, V.H.W., Kamo, M. & Boots, M. (2010) Cannibals in space: the coevolution of cannibalism and dispersal in spatially structured populations. *The American Naturalist*, **175**, 513–24.
- Smith, C. & Reay, P. (1991) Cannibalism in teleost fish. *Reviews in Fish Biology and*

Fisheries, **1**, 41–64.

- Stuart-Smith, R.D., Bates, A.E., Lefcheck, J.S., Duffy, J.E., Baker, S.C., Thomson, R.J., Stuart-Smith, J.F., Hill, N.A., Kininmonth, S.J., Airoidi, L., Becerro, M.A., Campbell, S.J., Dawson, T.P., Navarrete, S.A., Soler, G.A., Strain, E.M.A., Willis, T.J. & Edgar, G.J. (2013) Integrating abundance and functional traits reveals new global hotspots of fish diversity. *Nature*, **501**, 539–542.
- Tedesco, P.A., Jézéquel, C. & Oberdorff, T. (2013) Global Freshwater Fish Species Richness.
- Tonn, W.M., Holopainen, I.J. & Paszkowski, C.A. (1994) Density-dependent effects and the regulation of crucian carp populations in single-species ponds. *Ecology*, **75**, 824–834.
- Trentanovi, G., von der Lippe, M., Sitzia, T., Ziechmann, U., Kowarik, I. & Cierjacks, A. (2013) Biotic homogenization at the community scale: Disentangling the roles of urbanization and plant invasion. *Diversity and Distributions*, **19**, 738–748.
- Wagner, J.D., Glover, M.D., Moseley, J.B. & Moore, A.J. (1999) Heritability and fitness consequences of cannibalism in *Harmonia axyridis*. *Evolutionary Ecology Research*, **1**, 375–388.
- Webb, P.W. (1984) Form and Function in Fish Swimming. *Scientific American*, **251**, 72–82.
- Werner, E.E. & Gilliam, J.F. (1984) The ontogenetic niche and species interactions in size-structured populations. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **15**, 393–425.
- Wildy, E.L., Chivers, D.P., Kiesecker, J.M. & Blaustein, A.R. (1998) Cannibalism enhances growth in larval long-toed Salamanders, (*Ambystoma macrodactylum*). *Journal of Herpetology*, **32**, 286–289.
- Winemiller, K.O. (1989) Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia*, 225–241.
- Winter, B. (2013) A very basic tutorial for performing linear mixed effects analyses. 1–22.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ocorrências de canibalismo foram observadas em 104 famílias de peixes teleósteos, incluindo 390 espécies, destas 150 apresentaram ocorrências apenas em cativeiro. As famílias que apresentaram o maior número de observações e, conseqüentemente, mais informação foram Percidae, Salmonidae e Esocidae, em água doce e, em ambiente marinho, Gobiidae, Gadiidae e Merlucciidae. Ainda, esse comportamento é mais observado em espécies carnívoras, principalmente de hábito alimentar invertívoro, sendo raramente observado em espécies herbívoras e detritívoras. Ainda, é observado, também, naquelas espécies que apresentam cuidado parental, mais comumente com machos alimentando-se de parte de sua prole.

A presença de canibalismo está diretamente ligado a disponibilidade de presas heteroespecíficas no ambiente, sendo que, mecanismos como segregação espacial e na dieta, entre jovens e adultos, auxiliam na redução das taxas de canibalismo devido à baixa probabilidade de encontro entre predadores e presas coespecíficas vulneráveis. Assim, o canibalismo seria mais comumente encontrado em ambientes pobres em espécies e, provavelmente, com alta dominância, como aqueles de altas latitudes no hemisfério norte.

Ambientes com alta diversidade apresentam menor incidência de canibalismo e, conseqüentemente, em ambientes localizados em maiores latitudes o canibalismo é mais frequentemente observado. Entretanto, o fator latitudinal é significativo apenas para ambientes no hemisfério norte, provavelmente devido ao fato do gradiente latitudinal na diversidade de espécies ser mais expressivo em tal hemisfério, principalmente em ambiente de água doce.

Embora diversos casos de canibalismo sejam observados em ambiente natural, seu papel na regulação da dinâmica populacional ainda é incerto e merece estudos mais aprofundados, a medida que ocorrências de canibalismo parecem divergir entre ambientes naturais e em cativeiro. Em ambientes de alta latitudes do hemisfério norte, conhecer como o canibalismo governa a dinâmica populacional é de fundamental importância no manejo e conservação. Ainda, em ambientes tropicais, o canibalismo parece ocorrer, principalmente, em ambientes degradados e com espécies introduzidas, assim, conhecer detalhes de tal comportamento é de vital importância na situação atual de aumento no número de introduções de espécies exóticas, podendo ser utilizado, inclusive, como ferramenta de manejo.

APÊNDICE A – Espécies com observações de canibalismo na literatura

Apêndice A - Número de casos de canibalismo observado em ambiente natural (Nat) e em cativeiro (Cat) com informações sobre o hábito alimentar (Hab.), estágio de desenvolvimento da presa (Est. Des.), relação genética entre predador e presa (Rel. Gen.) e observações gerais (Obs.) para as espécies obtidas na revisão bibliográfica que apresentavam informações específicas sobre o canibalismo. Hábito alimentar: Det – Detritívora, Her – Herbívoros, Inv- Invertívoros, Omn – Omnívoros, Pis – Piscívoros e Zoo – Zooplactívoros. Ambiente: AG – Água doce, MR – Marinho. Relação Genética: Intra Coorte – canibalismo em uma mesma coorte, Filial – pais se alimentando da prole sem especificação de quantidade, Filial (P) – Canibalismo filial parcial, Sem Parentesco – sem proximidade genética. Observações: Aqui – Aquicultura, Acid – Acidental e Para – Parasitismo, Macho e Fêmea referem-se ao sexo que foi observado canibalizando. NTP – Número total de publicações analisadas para cada espécie independente da presença de canibalismo. *Refere-se a espécie fóssil.

| Ordem | Família | Espécies | Hab. | NTP | Nat | Cat | Amb. | País | Est. Des. | Rel. Gen. | Obs. |
|------------------|-----------------|--|------|-----|-----|-----|------|-----------|-----------|--------------|------|
| Acipenseriformes | Acipenseridae | <i>Acipenser baerii</i> ^{1,2} Brandt, 1869 | Inv | 2 | - | 2 | - | - | Larva | Intra Coorte | Aqui |
| | | <i>Huso huso</i> ³ (Linnaeus, 1758) | Pis | 1 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui |
| Anguilliformes | Anguillidae | <i>Anguilla anguilla</i> ⁴⁻¹¹ (Linnaeus, 1758) | Inv | 16 | 1 | 7 | AG | Portugal | Juvenil | - | - |
| | | <i>Anguilla rostrata</i> ¹² (Lesueur, 1817) | Pis | 2 | 1 | - | - | EUA | - | - | - |
| | Congridae | <i>Conger conger</i> ¹³⁻¹⁵ (Linnaeus, 1758) | Pis | 7 | 3 | - | MR | Tunisia | Juvenil | - | - |
| | | <i>Conger oceanicus</i> ¹² (Mitchill, 1818) | Pis | 1 | 1 | - | - | EUA | - | - | - |
| | Muraenesocidae | <i>Muraenesox cinereus</i> ¹⁶ (Forskål, 1775) | Pis | 1 | 1 | - | MR | Catamarã | - | - | - |
| Atheriniformes | Atherinopsidae | <i>Leuresthes tenuis</i> ¹⁷ (Ayres, 1860) | Inv | 2 | - | 1 | - | - | Ovo | - | - |
| | Telmatherinidae | <i>Telmatherina sarasinorum</i> ¹⁸⁻²⁰ Kottelat, 1991 | Inv | 5 | 3 | - | AG | Indonésia | Ovo | - | - |
| | | <i>Telmatherina celebensis</i> ²⁰ Boulenger, 1897 | Inv | 1 | 1 | - | AG | Indonésia | Ovo | - | - |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|-----|----|---|----|-----------|------------------------------------|---------|--------|--------------|------|
| Aulopiformes | Alepisauridae | <i>Alepisaurus ferox</i> ²¹⁻²⁶ Lowe, 1833 | Pis | 9 | 6 | - | MR | Austrália, Kenya, Seychelles | Juvenil | - | - | |
| | Synodontidae | <i>Harpadon nehereus</i> ^{27,28} (Hamilton, 1822) | Pis | 2 | 2 | - | MR | China | - | - | - | |
| Batrachoidiformes | Batrachoididae | <i>Porichthys notatus</i> ^{29,30} Girard, 1854 | Inv | 2 | 1 | 1 | MR | Canadá | Ovo | Filial | Macho | |
| Characiformes | Acestrorhynchidae | <i>Acestrorhynchus lacustris</i> ³¹ (Lütken, 1875) | Pis | 6 | 1 | - | AG | Brasil | Juvenil | - | - | |
| | | <i>Acestrorhynchus pantaneiro</i> ³² Menezes, 1993 | Pis | 4 | 1 | - | AG | Brasil | Juvenil | - | - | |
| | Distichodontidae | <i>Ichthyborus quadrilineatus</i> ³³ (Pellegrin, 1904) | Pis | 1 | 1 | - | AG | Congo | - | - | - | |
| | Erythrinidae | <i>Hoplias lacerdae</i> ³⁴⁻⁴¹ Miranda Ribeiro, 1908 | Pis | 9 | - | 9 | - | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Hoplias macrophthalmus</i> ⁴² (Pellegrin, 1907) | Pis | 2 | - | 1 | - | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Hoplias malabaricus</i> ^{43,44} (Bloch, 1794) | Pis | 34 | 2 | - | AG | Brasil | Juvenil | - | - | - |
| | Serrasalmididae | <i>Colossoma macropomum</i> ⁴⁵ (Cuvier, 1816) | Omn | 5 | - | 1 | - | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Piaractus mesopotamicus</i> ⁴⁶ (Holmberg, 1887) | Inv | 3 | - | 1 | - | - | - | - | - | Aqui |
| | Bryconidae | <i>Brycon amazonicus</i> ^{47,48} (Spix & Agassiz, 1829) | Inv | 5 | - | 2 | - | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Brycon cephalus</i> ⁴⁹⁻⁵¹ (Günther, 1869) | Inv | 3 | - | 3 | - | - | - | Larva | - | Aqui |
| | | <i>Brycon insignis</i> ⁵² Steindachner, 1877 | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Brycon moorei</i> ⁵³⁻⁵⁶ Steindachner, 1878 | Inv | 4 | - | 4 | - | - | - | Larva | Intra Coorte | Aqui |
| | | <i>Brycon orbignyianus</i> ⁵⁷⁻⁵⁹ (Valenciennes, 1850) | Inv | 5 | - | 3 | - | - | - | Larva | - | Aqui |
| <i>Brycon orthotaenia</i> ^{60,61} Günther, 1864 | | Inv | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | Aqui | |
| <i>Brycon sinuensis</i> ⁶² Dahl, 1955 | | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | Aqui | |
| <i>Brycon</i> sp. ⁶³ | | Inv | 7 | - | 1 | - | - | - | - | - | Aqui | |
| | <i>Salminus brasiliensis</i> ⁶⁴⁻⁶⁶ (Cuvier, 1816) | Pis | 11 | 1 | 2 | AG | Argentina | Larva | - | - | Aqui | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|-----|----|---|----|-------------|----------------------|-------|---|------|
| Characiformes | Bryconidae | <i>Salminus hilarii</i> ⁶⁷ Valenciennes, 1850 | Pis | 2 | - | 1 | - | - | Larva | - | Aqui |
| Clupeiformes | Clupeidae | <i>Alosa pseudoharengus</i> ⁶⁸⁻⁷¹ (Wilson, 1811) | Zoo | 11 | 4 | - | AG | Canadá, EUA | - | - | - |
| | | <i>Alosa sapidissima</i> ⁷² (Wilson, 1811) | Omn | 3 | 1 | - | AG | EUA | - | - | - |
| | | <i>Clupea harengus</i> ⁷³⁻⁸² Linnaeus, 1758 | Inv | 25 | 3 | 7 | MR | Noruega | Larva | - | - |
| | | <i>Clupea pallasii</i> ⁸³ Bloch & Schneider, 1801 | Pre | 4 | - | 1 | - | - | Ovo | - | - |
| | | <i>Jenkinsia lamprotaenia</i> ⁸⁴ (Gosse, 1851) | Inv | 1 | 1 | - | MR | EUA | Ovo | - | - |
| | | <i>Limnothrissa miodon</i> ^{85,86} (Boulenger, 1906) | Zoo | 2 | 2 | - | AG | Ruanda | - | - | - |
| | | <i>Sardina pilchardus</i> ^{87,88} (Walbaum, 1792) | Zoo | 9 | 2 | - | MR | Portugal, Espanha | - | - | - |
| | | <i>Sardinops sagax</i> ⁸⁹⁻⁹¹ (Jenyns, 1842) | Zoo | 7 | 3 | - | MR | Japão, Peru, EUA | Ovo | - | - |
| | <i>Sprattus sprattus</i> ^{74,92,93} (Linnaeus, 1758) | Inv | 13 | 3 | - | MR | Itália | - | - | - | |
| | Engraulidae | <i>Encrasicholina devisi</i> ⁹⁴ (Whitley, 1940) | Inv | 1 | 1 | - | MR | Nova Guiné | - | - | - |
| | | <i>Encrasicholina heteroloba</i> ⁹⁴ (Rüppell, 1837) | Inv | 1 | 1 | - | MR | Nova Guiné | - | - | - |
| | | <i>Engraulis anchoita</i> ^{95,96} Hubbs & Marini, 1935 | Zoo | 2 | 2 | - | MR | Argentina | - | - | - |
| | | <i>Engraulis capensis</i> ⁹⁷⁻¹⁰¹ Gilchrist, 1913 | Zoo | 5 | 4 | 1 | MR | África do Sul | Ovo | - | - |
| | | <i>Engraulis encrasicolus</i> ^{102,103} (Linnaeus, 1758) | Zoo | 10 | 2 | - | MR | Grécia, Espanha | - | - | - |
| | | <i>Engraulis japonicus</i> ^{104,105} Temminck & Schlegel, 1846 | Zoo | 5 | 2 | - | MR | Japão | - | - | - |
| <i>Engraulis ringens</i> ^{89,90,106-109} Jenyns, 1842 | | Zoo | 7 | 6 | - | MR | Chile, Peru | Ovo | - | - | |
| <i>Engraulis mordax</i> ¹¹⁰⁻¹¹² Girard, 1854 | | Zoo | 3 | 1 | 2 | MR | EUA | - | - | - | |
| Cypriniformes | Catostomidae | <i>Moxostoma valenciennesi</i> ¹¹³ Jordan, 1885 | Inv | 1 | 1 | - | AG | Canadá | - | - | - |
| | Cyprinidae | <i>Barbus mattozi</i> ¹¹⁴ Guimarães, 1884 | Omn | 1 | 1 | - | AG | Zimbabwe | - | - | - |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|-----|---|----|----------|----|-----------|-------|----------------|-------|
| Cypriniformes | Cyprinidae | <i>Carassius carassius</i> ¹¹⁵ (Linnaeus, 1758) | Omn | 1 | 1 | - | AG | Finlândia | - | - | - |
| | | <i>Cyprinus carpio</i> ¹¹⁶ Linnaeus, 1758 | Omn | 4 | - | 1 | - | - | Larva | - | - |
| | | <i>Nipponocypris temminckii</i> ¹¹⁷⁻¹¹⁹ (Temminck & Schlegel, 1846) | Omn | 4 | 3 | - | AG | Japão | Ovo | Sem Parentesco | Fêmea |
| | | <i>Pethia conchonius</i> ¹²⁰ (Hamilton, 1822) | Omn | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Phenacobius mirabilis</i> ¹²¹ (Girard, 1856) | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Pimephales promelas</i> ^{122,123} Rafinesque, 1820 | Inv | 4 | - | 2 | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Plagopterus argentissimus</i> ¹²⁴ Cope, 1874 | Inv | 2 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Ptychocheilus grandis</i> ^{125,126} (Ayres, 1854) | Omn | 3 | 2 | - | AG | EUA | - | - | - |
| | | <i>Semotilus atromaculatus</i> ^{127,128} (Mitchill, 1818) | Omn | 4 | 1 | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Squalius pyrenaicus</i> ¹²⁹ (Günther, 1868) | Inv | 1 | 1 | - | MR | Portugal | - | - | - |
| | | <i>Tor tor</i> ¹²⁰ (Hamilton, 1822) | Omn | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| <i>Zacco platypus</i> ¹³⁰ (Temminck & Schlegel, 1846) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Japão | - | - | - | | |
| <i>Rutilus rutilus</i> ¹³¹ (Linnaeus, 1758) | Zoo | 7 | 1 | - | AG | Alemanha | - | - | - | | |
| Cyprinodontiformes | Cyprinodontidae | <i>Aphanius dispar</i> ¹³² (Rüppell, 1829) | Omn | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Aphanius fasciatus</i> ¹³³ (Valenciennes, 1821) | Omn | 2 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Jordanella floridae</i> ¹³⁴⁻¹³⁶ Goode & Bean, 1879 | Omn | 3 | - | 3 | - | - | Ovo | Filial (P) | Macho |
| | Fundulidae | <i>Fundulus grandis</i> ¹³⁷ Baird & Girard, 1853 | Inv | 4 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Fundulus heteroclitus</i> ^{138,139} (Linnaeus, 1766) | Pis | 4 | 1 | 1 | AG | EUA | - | - | - |
| | | <i>Lucania goodei</i> ^{140,141} Jordan, 1880 | Inv | 2 | - | 2 | - | - | Ovo | - | - |
| Goodeidae | <i>Zoogoneticus tequila</i> ¹⁴² Webb & Miller, 1998 | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|---|---------|----|----|----|----|---|-------------------|---|---|
| Cyprinodontiformes | Poeciliidae | <i>Gambusia affinis</i> ¹⁴³⁻¹⁴⁹ (Baird & Girard, 1853) | Inv | 8 | 1 | 6 | AG | Turquia | - | - | - |
| | | <i>Gambusia holbrooki</i> ¹⁵⁰⁻¹⁵⁵ Girard, 1859 | Inv | 6 | 3 | 3 | AG | Austrália, Hungria | - | - | - |
| | | <i>Poecilia formosa</i> ¹⁵⁶ (Girard, 1859) | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Poecilia mexicana</i> ¹⁵⁷⁻¹⁶⁴ Steindachner, 1863 | Inv | 12 | - | 8 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Poecilia reticulata</i> ^{159,165-168} Peters, 1859 | Inv | 8 | - | 5 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Poeciliopsis sp.</i> ¹⁶⁹⁻¹⁷² | Inv | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Xiphophorus birchmanni</i> ¹⁵⁸ Lechner & Radda, 1987 | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Xiphophorus helleri</i> ¹⁷³⁻¹⁷⁶ Heckel, 1848 | Inv | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - |
| Esociformes | Esocidae | <i>Esox lucius</i> ¹⁷⁷⁻²²⁸ Linnaeus, 1758 | Inv-Pis | 63 | 30 | 23 | AG | Canadá, Dinamarca, Reino Unido, Finlândia, França, Itália, Holanda, Rússia, Suécia, Turquia, EUA | Larva, Juvenil | - | - |
| | | <i>Esox masquinongy</i> ²²⁹ Mitchill, 1824 | Inv | 3 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | Umbridae | <i>Umbra pygmaea</i> ²³⁰ (DeKay, 1842) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Croácia | - | - | - |
| Gadiformes | Gadidae | <i>Gadus macrocephalus</i> ²³¹ Tilesius, 1810 | Pis | 8 | 1 | - | MR | Canadá | - | - | - |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|-----|----|----|----|--------------------------------------|---|-------------------|---|------|
| Gadiformes | Gadidae | <i>Gadus morhua</i> ^{74,232-291} Linnaeus, 1758 | Inv | 82 | 41 | 20 | MR | Canadá, Noruega, Rússia, Reino Unido, EUA | Larva, Juvenil | - | - |
| | | <i>Melanogrammus aeglefinus</i> ^{246,253} (Linnaeus, 1758) | Zoo | 9 | 2 | - | MR | Reino Unido, EUA | - | - | - |
| | | <i>Merlangius merlangus</i> ^{233,276,292} (Linnaeus, 1758) | Pis | 10 | 3 | - | MR | Noruega, Reino Unido | - | - | - |
| | | <i>Micromesistius poutassou</i> ²⁹³ (Risso, 1827) | Inv | 7 | 1 | - | MR | Portugal | - | - | - |
| | | <i>Pollachius pollachius</i> ^{269,276} (Linnaeus, 1758) | Inv | 2 | 2 | - | MR | Noruega | - | - | - |
| | | <i>Pollachius virens</i> ^{233,253} (Linnaeus, 1758) | Inv | 10 | 2 | - | MR | - | - | - | - |
| | | <i>Theragra chalcogramma</i> ^{231,294-323} (Pallas, 1814) | Pis | 36 | 30 | 1 | MR | Alasca, Canadá, Japão, Rússia | - | - | - |
| | <i>Trisopterus esmarkii</i> ²⁴⁶ (Nilsson, 1855) | Zoo | 2 | 1 | - | MR | Reino Unido | - | - | - | |
| | Lotidae | <i>Lota lota</i> ³²⁴⁻³³⁰ (Linnaeus, 1758) | Pis | 8 | 3 | 4 | AG | Canadá | - | - | Aqui |
| | Merlucciidae | <i>Macruronus novaezelandiae</i> ^{331,332} (Hector, 1871) | Pis | 4 | 2 | - | MR | Tasmania | - | - | - |
| <i>Merluccius albidus</i> ³³³ (Mitchill, 1818) | | Pis | 1 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - | |
| <i>Merluccius bilinearis</i> ^{253,271,333-335} (Mitchill, 1814) | | Pis | 8 | 6 | - | MR | Canadá, EUA | - | - | - | |
| <i>Merluccius capensis</i> ³³⁶⁻³³⁸ Castelnau, 1861 | | Pis | 3 | 3 | - | MR | Angola, Namibia, África do Sul | - | - | - | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------|---|-----|----|----|----|------|--|---------|------------|-------|
| Gadiformes | Merlucciidae | <i>Merluccius gayi</i> ³³⁹⁻³⁴⁴ (Guichenot, 1848) | Inv | 6 | 6 | - | MR | Chile, Peru | - | - | - |
| | | <i>Merluccius hubbsi</i> ³⁴⁵⁻³⁴⁸ Marini, 1933 | Pis | 5 | 4 | - | MR | Argentina | - | - | - |
| | | <i>Merluccius merluccius</i> ^{293,349-353} (Linnaeus, 1758) | Pis | 14 | 6 | - | MR | França, Portugal, Espanha | - | - | - |
| | | <i>Merluccius productus</i> ^{354,355} (Ayres, 1855) | Pis | 2 | 1 | 1 | MR | EUA | Juvenil | - | - |
| | Moridae | <i>Physiculus japonicus</i> ²⁹⁹ Hilgendorf, 1879 | Pis | 2 | 1 | - | MR | Japão | | | |
| | Phycidae | <i>Urophycis brasiliensis</i> ³⁵⁶ (Kaup, 1858) | Inv | 3 | 1 | - | MR | Uruguai | - | - | - |
| | | <i>Urophycis chuss</i> ^{253,333} (Walbaum, 1792) | Pis | 4 | 2 | - | MR | EUA | - | - | - |
| | | <i>Urophycis regia</i> ^{253,333} (Walbaum, 1792) | Inv | 4 | 2 | - | MR | EUA | - | - | - |
| | | <i>Urophycis tenuis</i> ^{253,268,333} (Mitchill, 1814) | Pis | 5 | 3 | - | MR | Canadá | - | - | - |
| | Macrouridae | <i>Lepidorhynchus denticulatus</i> ³³¹ Richardson, 1846 | Omn | 2 | 1 | - | MR | Tasmania | - | - | - |
| Gasterosteiformes | Gasterosteidae | <i>Culaea inconstans</i> ^{357,358} (Kirtland, 1840) | Omn | 3 | 1 | 1 | AG | Canadá | Ovo | - | - |
| | | <i>Gasterosteus aculeatus</i> ³⁵⁹⁻³⁸⁸ Linnaeus, 1758 | Inv | 37 | 16 | 16 | Both | Alasca, Canadá, Finlândia, Japão, EUA | Ovo | - | - |
| | | <i>Gasterosteus wheatlandi</i> ³⁸² Putnam, 1867 | Inv | 1 | 1 | - | MR | Canadá | Ovo | - | - |
| | Hypoptychidae | <i>Hypoptychus dybowskii</i> ³⁸⁹ Steindachner, 1880 | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| Gobiesociformes | Gobiesocidae | <i>Diademichthys lineatus</i> ³⁹⁰ (Sauvage, 1883) | Inv | 1 | 1 | - | MR | Japão | Ovo | Filial (P) | Macho |
| Gonorynchiformes | Chanidae | <i>Chanos chanos</i> ³⁹¹ (Forsskål, 1775) | Omn | 3 | - | 1 | - | - | Ovo | Filial | Aqui |
| Gymnotiformes | Gymnotidae | <i>Gymnotus carapo</i> ³⁹² Linnaeus, 1758 | Pis | 7 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| Lepidosireniformes | Protopteridae | <i>Protopterus aethiopicus</i> ³⁹³ Heckel, 1851 | Pis | 1 | 1 | - | AG | Kenya | - | - | - |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|-----|----|---|----|-------|-----------------------|-------|--------|-------|
| Lepidosireniformes | Lepisosteidae | <i>Atractosteus spatula</i> ³⁹⁴ (Lacepède, 1803) | Inv | 4 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Lepisosteus osseus</i> ³⁹⁵ (Linnaeus, 1758) | Zoo | 3 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - |
| Lophiiformes | Lophiidae | <i>Lophius americanus</i> ^{253,396} Valenciennes, 1837 | Pis | 3 | 2 | - | MR | - | - | - | - |
| | | <i>Lophius piscatorius</i> ³⁹⁷ Linnaeus, 1758 | Pis | 4 | 1 | - | MR | Reino Unido | - | - | - |
| Myctophiformes | Myctophidae | <i>Benthosema glaciale</i> ³⁹⁸ (Reinhardt, 1837) | Zoo | 2 | 1 | - | MR | Mallorca | - | - | - |
| | | <i>Lampanyctus crocodilus</i> ³⁹⁸ (Risso, 1810) | Inv | 1 | 1 | - | MR | Mallorca | - | - | - |
| Osmeriformes | Galaxiidae | <i>Galaxias maculatus</i> ³⁹⁹ (Jenyns, 1842) | Inv | 4 | - | 1 | - | - | Ovo | - | - |
| | | <i>Galaxias platei</i> ⁴⁰⁰ Steindachner, 1898 | Inv | 1 | 1 | - | AG | Chile | - | - | - |
| | | <i>Neochanna burrowsius</i> ⁴⁰¹ (Phillips, 1926) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Nova Zelândia | - | - | - |
| | Osmeridae | <i>Mallotus villosus</i> ⁴⁰²⁻⁴⁰⁴ (Müller, 1776) | Pis | 9 | 3 | - | MR | Noruega | - | - | - |
| | | <i>Osmerus eperlanus</i> ^{405,406} (Linnaeus, 1758) | Inv | 3 | 2 | - | AG | Finlândia, Irlanda | - | - | - |
| | | <i>Osmerus mordax</i> ⁴⁰⁷⁻⁴¹⁴ (Mitchill, 1814) | Pis | 13 | 7 | 1 | AG | Canadá, EUA | Larva | - | Aqui |
| Salangidae | <i>Protosalanx hyalocranius</i> ⁴¹⁵ (Abbott, 1901) | - | 1 | 1 | - | AG | China | - | - | - | |
| Perciformes | Ammodytidae | <i>Ammodytes dubius</i> ⁴¹⁶ Reinhardt, 1837 | Zoo | 2 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - |
| | | <i>Ammodytes marinus</i> ⁴¹⁷ Raitt, 1934 | Zoo | 3 | 1 | - | MR | - | - | - | - |
| | | <i>Ammodytes personatus</i> ⁴¹⁸ Girard, 1856 | Zoo | 1 | 1 | - | MR | Japão | - | - | - |
| | Anabantidae | <i>Anabas testudineus</i> ⁴¹⁹ (Bloch, 1792) | Omn | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | Anarhichadidae | <i>Anarhichas lupus</i> ^{420,421} Linnaeus, 1758 | Pis | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - |
| | Apogonidae | <i>Apogon imberbis</i> ^{422,423} (Linnaeus, 1758) | Inv | 2 | 2 | - | MR | Itália, Espanha | Ovo | - | - |
| | | <i>Apogon sp.</i> ⁴²⁴ | Inv | 1 | - | 1 | - | - | Ovo | Filial | Macho |
| <i>Apogonichthyoides niger</i> ⁴²⁵ (Döderlein, 1883) | | Inv | 4 | - | 1 | MR | Japão | Ovo | - | - | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------|---|---------|----|----|---|----|------------------------------|-----|------------|-------|------|
| Perciformes | Apogonidae | <i>Jaydia lineata</i> ⁴²⁶⁻⁴³¹ (Temminck & Schlegel, 1842) | Inv | 7 | 5 | 1 | MR | Japão | Ovo | Filial | Macho | |
| | | <i>Ostorhinchus cyanosoma</i> ⁴³² (Bleeker, 1853) | Inv | 2 | 1 | - | MR | Austrália | - | - | - | |
| | | <i>Ostorhinchus doederleini</i> ⁴³³⁻⁴³⁹ (Jordan & Snyder, 1901) | Zoo | 9 | 5 | 2 | MR | Japão | Ovo | Filial | Macho | |
| | | <i>Ostorhinchus notatus</i> ⁴⁴⁰⁻⁴⁴³ (Houttuyn, 1782) | Inv | 4 | 3 | 1 | MR | Japão | Ovo | Filial (P) | Macho | |
| | | <i>Pterapogon kauderni</i> ⁴⁴⁴ Koumans, 1933 | Zoo | 1 | 1 | - | MR | Indonésia | - | - | - | |
| | Bathdraconidae | <i>Cygnodraco mawsoni</i> ⁴⁴⁵ Waite, 1916 | Pis | 1 | 1 | - | MR | Antártica | - | - | - | |
| | | <i>Gymnodraco acuticeps</i> ⁴⁴⁵ Boulenger, 1902 | Pis | 2 | 1 | - | MR | Antártica | - | - | - | |
| | Blenniidae | <i>Aidablennius sphynx</i> ^{446,447} (Valenciennes, 1836) | Inv | 2 | 1 | 1 | MR | França | Ovo | Filial | Macho | |
| | | <i>Rhabdoblennius nitidus</i> ⁴⁴⁸⁻⁴⁵¹ (Günther, 1861) | Inv | 5 | - | 4 | - | - | Ovo | Filial | Macho | |
| | | <i>Salaria fluviatilis</i> ⁴⁵²⁻⁴⁵⁴ (Asso, 1801) | Inv | 4 | 2 | 1 | AG | Israel, Espanha | - | - | - | |
| | | <i>Salaria pavo</i> ^{455,456} (Risso, 1810) | Inv | 2 | 1 | 1 | AG | Portugal | Ovo | Filial | Macho | |
| | Carangidae | <i>Seriola dumerili</i> ⁴⁵⁷ (Risso, 1810) | Pis | 3 | - | 1 | - | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Seriola lalandi</i> ⁴⁵⁸⁻⁴⁶⁰ Valenciennes, 1833 | Pis | 3 | - | 3 | - | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Seriola quinqueradiata</i> ⁴⁵⁹⁻⁴⁶⁴ Temminck & Schlegel, 1845 | Pis | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | - |
| | Centrarchidae | <i>Archoplites interruptus</i> ⁴⁶⁵ (Girard, 1854) | - | 1 | 1 | - | AG | EUA | - | - | - | - |
| | | <i>Lepomis gibbosus</i> ⁴⁶⁶ (Linnaeus, 1758) | Inv | 4 | 1 | - | AG | Reino Unido | - | - | - | - |
| | | <i>Lepomis macrochirus</i> ⁴⁶⁷⁻⁴⁷² Rafinesque, 1819 | Inv | 16 | 1 | 5 | AG | Canadá | - | - | - | - |
| | | <i>Micropterus dolomieu</i> ⁴⁷³⁻⁴⁷⁵ Lacepède, 1802 | Inv-Pis | 9 | 3 | - | AG | EUA | - | - | - | - |
| | | <i>Micropterus salmoides</i> ^{473,474,476-490} (Lacepède, 1802) | Inv-Pis | 34 | 13 | 4 | AG | Kenya, Moçambique, EUA | - | - | - | - |
| | | <i>Pomoxis nigromaculatus</i> ⁴⁹¹ (Lesueur, 1829) | Inv | 5 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - | - |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---|-----|---|----|-------|-----|-----------|------------|---|------|
| Perciformes | Centropomidae | <i>Centropomus parallelus</i> ^{492,493} Poey, 1860 | Inv | 4 | - | 2 | - | - | Larva | - | Aqui |
| | | <i>Centropomus undecimalis</i> ^{494,495} (Bloch, 1792) | Inv | 3 | 2 | | MR | EUA | Larva | - | - |
| | Champsodontidae | <i>Champsodon snyderi</i> ⁴⁹⁶ Franz, 1910 | Inv | 1 | 1 | - | MR | Japão | - | - | - |
| | Channidae | <i>Channa marulius</i> ⁴⁹⁷ (Hamilton, 1822) | Pis | 2 | - | 1 | - | - | Larva | - | Aqui |
| | | <i>Channa punctata</i> ^{498,499} (Bloch, 1793) | Omn | 4 | - | 2 | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Channa striata</i> ⁴⁹⁹⁻⁵⁰⁴ (Bloch, 1793) | Pis | 7 | - | 5 | AG | India | - | - | Aqui |
| | | <i>Parachanna obscura</i> ⁵⁰⁵ (Günther, 1861) | Pis | 3 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui |
| | Cichlidae | <i>Aequidens coeruleopunctatus</i> ⁵⁰⁶ (Kner, 1863) | Omn | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Amatitlania nigrofasciata</i> ⁵⁰⁷⁻⁵⁰⁹ (Günther, 1867) | Inv | 5 | - | 3 | - | - | Ovo, Larva | - | - |
| | | <i>Amatitlania siquia</i> ⁵¹⁰ Schmitter-Soto, 2007 | Inv | 1 | - | 1 | - | - | Ovo | - | - |
| | | <i>Astatotilapia burtoni</i> ⁵¹¹ (Günther, 1894) | Omn | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Cichla kelberi</i> ^{512,513} Kullander & Ferreira, 2006 | Pis | 7 | 3 | - | AG | Brasil | - | - | - |
| | | <i>Cichla monoculus</i> ⁵¹⁴⁻⁵¹⁷ Agassiz, 1831 | Pis | 9 | 4 | - | AG | Brasil | - | - | - |
| | | <i>Cichla ocellaris</i> ^{514,518,519} Bloch & Schneider, 1801 | Pis | 4 | 3 | - | AG | Brasil | - | - | - |
| | | <i>Cichla piquiti</i> ⁵²⁰ Kullander & Ferreira, 2006 | Pis | 2 | 1 | - | AG | Brasil | - | - | - |
| | | <i>Etroplus maculatus</i> ⁵²¹ (Bloch, 1795) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Sri Lanka | Ovo | - | - |
| | | <i>Etroplus suratensis</i> ⁵²¹ (Bloch, 1790) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Sri Lanka | Ovo | - | - |
| <i>Lamprologus callipterus</i> ^{522,523} Boulenger, 1906 | Inv | 3 | 2 | - | AG | Congo | Ovo | - | - | | |
| <i>Lamprologus ocellatus</i> ⁵²⁴ (Steindachner, 1909) | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | | |
| <i>Neolamprologus brichardi</i> ^{525,526} (Poll, 1974) | Zoo | 2 | - | 2 | - | - | Ovo | - | - | | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------|---|-----|----|---|---|----|-------------------|------------|--------------|-------|
| Perciformes | Cichlidae | <i>Neolamprologus pulcher</i> ⁵²⁷⁻⁵²⁹ (Trewavas & Poll, 1952) | Zoo | 3 | 1 | 2 | AG | Congo | Ovo | - | - |
| | | <i>Oreochromis mossambicus</i> ⁵³⁰⁻⁵³² (Peters, 1852) | Omn | 10 | 1 | 2 | AG | África do Sul | Larva | - | - |
| | | <i>Oreochromis niloticus</i> ⁵³³⁻⁵⁴¹ (Linnaeus, 1758) | Omn | 22 | - | 9 | - | - | Ovo, Larva | - | Aqui |
| | | <i>Pelvicachromis pulcher</i> ⁵⁴² (Boulenger, 1901) | Omn | 2 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Pseudocrenilabrus multicolor</i> ^{543,544} (Schöller, 1903) | Omn | 2 | - | 2 | - | - | Ovo | - | - |
| | | <i>Sarotherodon galilaeus</i> ⁵⁴⁵ (Linnaeus, 1758) | Omn | 4 | - | 1 | - | - | Ovo | - | - |
| | | <i>Simochromis pleurospilus</i> ⁵⁴⁶ Nelissen, 1978 | Omn | 1 | - | 1 | - | - | Ovo | Intra Coorte | Fêmea |
| | | <i>Tilapia mariae</i> ⁵⁴⁷ Boulenger, 1899 | Omn | 3 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | Coryphaenidae | <i>Coryphaena hippurus</i> ^{21,548,549} Linnaeus, 1758 | Pis | 10 | 3 | - | MR | México | - | - | - |
| | Eleotridae | <i>Eleotris amblyopsis</i> ^{43,550} (Cope, 1871) | Pis | 2 | 2 | - | MR | Costa Rica | - | - | - |
| | | <i>Gobiomorphus breviceps</i> ⁵⁵¹ (Stokell, 1939) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Nova Zelândia | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Gobiomorus dormitor</i> ⁵⁵² Lacepède, 1800 | Pis | 3 | 1 | - | AG | Nicaragua | - | - | - |
| | | <i>Oxyeleotris lineolatus</i> ⁵⁵³ (Steindachner, 1867) | Inv | 2 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | Gobiidae | <i>Asterropteryx semipunctata</i> ⁵⁵⁴ Rüppell, 1830 | Det | 1 | 1 | - | MR | Austrália | - | - | - |
| | | <i>Bathygobius fuscus</i> ⁵⁵⁵ (Rüppell, 1830) | Omn | 1 | 1 | - | MR | Japão | Ovo | - | - |
| | | <i>Chlamydogobius eremius</i> ⁵⁵⁶ (Zietz, 1896) | Omn | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Eviota prasina</i> ^{557,558} (Klunzinger, 1871) | Zoo | 2 | - | 2 | - | - | Ovo | Filial | - |
| | | <i>Glossogobius giuris</i> ^{559,560} (Hamilton, 1822) | Pis | 3 | 2 | - | AG | Bangladesh, Índia | - | - | - |
| | | <i>Gobiusculus flavescens</i> ^{561,562} (Fabricius, 1779) | Zoo | 3 | - | 2 | - | - | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Gymnogobius isaza</i> ^{563,564} (Tanaka, 1916) | Omn | 2 | 2 | - | AG | Japão | Ovo | Filial (P) | Macho |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|-----|----|----|----|-----------|---------------------|-------------------|-------------------|-------|
| Perciformes | Gobiidae | <i>Istigobius goldmanni</i> ⁵⁵⁴ (Bleeker, 1852) | Omn | 1 | 1 | - | MR | Austrália | - | - | - |
| | | <i>Knipowitschia panizzeae</i> ⁵⁶⁵ (Verga, 1841) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Itália | - | - | - |
| | | <i>Neogobius melanostomus</i> ^{566,567} (Pallas, 1814) | Inv | 8 | - | 2 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Padogobius bonelli</i> ^{568,569} (Bonaparte, 1846) | Inv | 2 | - | 2 | - | - | Ovo | - | Macho |
| | | <i>Pomatoschistus marmoratus</i> ⁵⁷⁰ (Risso, 1810) | Inv | 1 | 1 | - | MR | Itália | - | - | - |
| | | <i>Pomatoschistus microps</i> ⁵⁷¹⁻⁵⁷³ (Krøyer, 1838) | Inv | 10 | 1 | 2 | - | - | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Pomatoschistus minutus</i> ^{571,574-592} (Pallas, 1770) | Inv | 26 | 2 | 18 | MR | França, Noruega | Ovo | Filial (P) | Macho |
| | | <i>Ponticola kessleri</i> ⁵⁹³ (Günther, 1861) | Omn | 1 | 1 | - | AG | Alemanha | - | - | - |
| | | <i>Proterorhinus semilunaris</i> ⁵⁹⁴ (Heckel, 1837) | Inv | 1 | 1 | - | AG | República Tcheca | - | - | - |
| | | <i>Rhinogobius brunneus</i> ⁵⁹⁵⁻⁵⁹⁷ (Temminck & Schlegel, 1845) | Inv | 3 | - | 3 | - | - | Ovo | Filial (P) | Macho |
| | <i>Rhinogobius flumineus</i> ⁵⁹⁸⁻⁶⁰⁰ (Mizuno, 1960) | Inv | 4 | - | 3 | - | - | Ovo | Filial | Macho | |
| | <i>Rhinogobius sp.</i> ⁶⁰¹⁻⁶⁰⁵ | Inv | 6 | 2 | 3 | AG | Japão | Ovo | Filial (P) | Macho | |
| | Labridae | <i>Symphodus ocellatus</i> ⁶⁰⁶ (Linnaeus, 1758) | Inv | 1 | 1 | - | MR | França | Ovo | - | - |
| | | <i>Xyrichtys martinicensis</i> ⁶⁰⁷ Valenciennes, 1840 | Inv | 1 | 1 | - | MR | Bonaire | Ovo | Sem Parentesco | Para |
| <i>Xyrichtys novacula</i> ⁶⁰⁷ (Linnaeus, 1758) | | Inv | 2 | 1 | - | MR | Bonaire | Ovo | Sem Parentesco | Para | |
| <i>Xyrichtys splendens</i> ⁶⁰⁷ Castelnau, 1855 | | Inv | 1 | 1 | - | MR | Bonaire | Ovo | Sem Parentesco | Para | |
| Lateolabracidae | <i>Lateolabrax japonicus</i> ⁶⁰⁸ (Cuvier, 1828) | Inv | 2 | - | 1 | - | - | - | - | - | |
| Latidae | <i>Lates calcarifer</i> ⁶⁰⁹⁻⁶²⁴ (Bloch, 1790) | Omn | 17 | 2 | 14 | MR | Austrália | - | - | Aqui | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|--|---------|----|---|----|-----------|-------------------------------|-------|--------------|--------------|---|
| Perciformes | Latidae | <i>Lates niloticus</i> ⁶²⁵⁻⁶²⁷ (Linnaeus, 1758) | Pis | 4 | 3 | - | AG | Etiópia, Ruanda, Uganda | - | - | - | |
| | Lutjanidae | <i>Lutjanus argentimaculatus</i> ⁶²⁸ (Forskål, 1775) | Inv | 4 | - | 1 | - | - | - | Larva | Intra Coorte | - |
| | | <i>Lutjanus campechanus</i> ^{629,630} (Poey, 1860) | Pis | 6 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| | Moronidae | <i>Dicentrarchus labrax</i> ⁶³¹⁻⁶³⁶ (Linnaeus, 1758) | Pis | 18 | 1 | 5 | Both | Reino Unido | - | Larva | - | - |
| | | <i>Morone americana</i> ^{637,638} (Gmelin, 1789) | Omn | 5 | 2 | - | AG | EUA | - | - | - | - |
| | | <i>Morone chrysops</i> ⁶³⁸ (Rafinesque, 1820) | Pis | 4 | 1 | - | AG | EUA | - | - | - | - |
| | | <i>Morone saxatilis</i> ⁶³⁹⁻⁶⁴³ (Walbaum, 1792) | Pis | 13 | 1 | 4 | MR | EUA | - | Juvenil | - | - |
| | Nemipteridae | <i>Nemipterus japonicus</i> ⁶⁴⁴ (Bloch, 1791) | Pis | 2 | 1 | - | MR | India | - | - | - | - |
| | Nototheniidae | <i>Dissostichus eleginoides</i> ⁶⁴⁵ Smitt, 1898 | Pis | 2 | 1 | - | MR | Chile | - | - | - | - |
| | | <i>Notothenia neglecta</i> ⁶⁴⁶ Nybelin, 1951 | Inv | 1 | 1 | - | MR | Antártica | - | - | - | - |
| | | <i>Pleuragramma antarctica</i> ^{647,648} Boulenger, 1902 | Zoo-Pis | 4 | 2 | - | MR | Antártica | - | - | - | - |
| | Odontobutidae | <i>Perccottus glenii</i> ^{649,650} Dybowski, 1877 | Inv | 2 | 1 | 1 | AG | Eslovaquia | - | - | - | - |
| Osphronemidae | <i>Macropodus opercularis</i> ⁶⁵¹ (Linnaeus, 1758) | Inv | 5 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | |
| | <i>Trichogaster fasciata</i> ⁶⁵² (Milner, 1874) | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | |
| Percichthyidae | <i>Percichthys colhuapiensis</i> ⁶⁵³ MacDonagh, 1955 | Inv | 1 | 1 | - | AG | Argentina | - | - | - | - | |
| | <i>Siniperca scherzeri</i> ⁶⁵⁴ Steindachner, 1892 | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | Larva | Intra Coorte | Aqui | |
| Percidae | <i>Etheostoma</i> sp. ⁶⁵⁵ | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | Ovo | - | - | |
| | <i>Etheostoma crossopterum</i> ⁶⁵⁶ Braasch & Mayden, 1985 | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | |
| | <i>Etheostoma flabellare</i> ⁶⁵⁷ Rafinesque, 1819 | Inv | 3 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | |
| | <i>Etheostoma olmstedi</i> ⁶⁵⁸ Storer, 1842 | Inv | 1 | 1 | - | AG | EUA | - | Ovo | Filial (P) | Macho | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|---|---------|----|----|----|---------|--|-------|----------------|-------|
| Perciformes | Percidae | <i>Etheostoma squamiceps</i> ^{659,660} Jordan, 1877 | Inv | 3 | - | 2 | - | - | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Perca flavescens</i> ^{474,638,661-667} (Mitchill, 1814) | Inv-Pis | 17 | 7 | 2 | AG | EUA | - | - | - |
| | | <i>Perca fluviatilis</i> 131,178,205,207,216,219,223,635,668-726 Linnaeus, 1758 | Inv-Pis | 76 | 45 | 22 | AG | República Tcheca, Finlândia, Alemanha, Hungria, Itália, Polônia, Suécia, Turquia, Reino Unido, EUA | - | - | - |
| | | <i>Sander canadensis</i> ⁷²⁷ (Griffith & Smith, 1834) | Pis | 1 | 1 | - | AG | EUA | - | - | - |
| | | <i>Sander lucioperca</i> ^{703,704,717,728-755} (Linnaeus, 1758) | Pis | 33 | 19 | 12 | AG | Estonia, Alemanha, Finlândia, França, Holanda, Polônia, Espanha, Turquia | - | - | - |
| | | <i>Sander vitreus</i> ^{491,638,661,756-774} (Mitchill, 1818) | Pis | 30 | 11 | 14 | AG | Canadá, EUA | - | - | - |
| | <i>Sander volgensis</i> ⁷⁷⁵ (Gmelin, 1789) | Pis | 2 | 1 | - | AG | Hungria | - | - | - | |
| | Polynemidae | <i>Polydactylus sexfilis</i> ⁷⁷⁶⁻⁷⁷⁹ (Valenciennes, 1831) | Inv | 5 | - | 4 | - | - | Larva | - | - |
| | Pomacentridae | <i>Abudefduf abdominalis</i> ⁷⁸⁰ (Quoy & Gaimard, 1825) | Zoo | 1 | - | 1 | - | - | Ovo | Sem Parentesco | Macho |
| | | <i>Abudefduf luridus</i> ⁷⁸¹ (Cuvier, 1830) | Zoo | 1 | - | 1 | - | - | Ovo | Filial (P) | Macho |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|---|-----|----|---|----|----------------|------------------------|--------------|-------------------|-------|
| Perciformes | Pomacentridae | <i>Abudefduf saxatilis</i> ⁷⁸²⁻⁷⁸⁴ (Linnaeus, 1758) | Zoo | 3 | 3 | - | MR | Barbados | Ovo | - | - |
| | | <i>Abudefduf sexfasciatus</i> ^{562,602} (Lacepède, 1801) | Zoo | 4 | - | 2 | MR | Malásia, Seychelles | Ovo | Filial (P) | Macho |
| | | <i>Acanthochromis polyacanthus</i> ^{785,786} (Bleeker, 1855) | Zoo | 3 | - | 2 | - | - | Ovo | Sem Parentesco | Macho |
| | | <i>Chromis notata</i> ⁷⁸⁷ (Temminck & Schlegel, 1843) | Zoo | 1 | 1 | - | MR | Japão | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Hypsypops rubicundus</i> ^{788,789} (Girard, 1854) | Inv | 2 | 1 | 1 | MR | EUA | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Microspathodon chrysurus</i> ⁷⁹⁰ (Cuvier, 1830) | Her | 1 | 1 | - | MR | Panama | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Pomacentrus amboinensis</i> ⁷⁹¹ Bleeker, 1868 | Omn | 1 | 1 | - | MR | Austrália | - | - | - |
| | | <i>Pomacentrus nagasakiensis</i> ⁷⁸⁷ Tanaka, 1917 | Omn | 1 | 1 | - | MR | Japão | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Stegastes adustus</i> ⁷⁹⁰ (Troschel, 1865) | Her | 2 | 1 | - | MR | Panama | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Stegastes leucostictus</i> ⁷⁹²⁻⁷⁹⁴ (Müller & Troschel, 1848) | Omn | 4 | 1 | 2 | MR | Jamaica | Ovo | Filial (P) | Macho |
| | | <i>Stegastes planifrons</i> ⁷⁹⁵ (Cuvier, 1830) | Omn | 3 | - | 1 | - | - | Ovo | Filial | - |
| | <i>Stegastes rectifraenum</i> ⁷⁹⁶⁻⁷⁹⁸ (Gill, 1862) | Omn | 4 | 2 | 1 | MR | Canadá, EUA | Ovo | Filial | Macho | |
| | Pomatomidae | <i>Pomatomus saltatrix</i> ^{416,799,800} (Linnaeus, 1766) | Pis | 14 | 2 | 1 | MR | EUA | - | - | - |
| | Rachycentridae | <i>Rachycentron canadum</i> ⁸⁰¹ (Linnaeus, 1766) | Pis | 3 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| Sciaenidae | <i>Argyrosomus hololepidotus</i> ⁸⁰² (Lacepède, 1801) | Pis | 3 | - | 1 | - | - | Larva | Intra Coorte | - | |
| | <i>Argyrosomus japonicus</i> ^{803,804} (Temminck & Schlegel, 1843) | Pis | 3 | - | 2 | MR | África do Sul | - | - | Aqui | |
| | <i>Argyrosomus regius</i> ^{805,806} (Asso, 1801) | Inv | 7 | - | 2 | - | - | - | - | Aqui | |
| | <i>Atractoscion nobilis</i> ⁸⁰⁷ (Ayres, 1860) | Pis | 1 | - | 1 | - | - | Larva | - | - | |
| | <i>Cynoscion nebulosus</i> ^{808,809} (Cuvier, 1830) | Pis | 6 | - | 2 | - | - | - | - | Aqui | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|---|----------|----|---|----|--------------------------------|-----------|---------|---|------|
| Perciformes | Sciaenidae | <i>Cynoscion regalis</i> ^{416,810} (Bloch & Schneider, 1801) | Pis | 6 | 2 | - | MR | EUA | - | - | - |
| | Sciaenidae | <i>Macrodon ancylodon</i> ^{429, 498} (Bloch & Schneider, 1801) | Pis-Inv | 2 | 2 | - | MR | Brasil | Juvenil | - | - |
| | | <i>Micropogonias furnieri</i> ⁸¹¹ (Desmarest, 1823) | Inv | 4 | 1 | - | MR | Argentina | Ovo | - | - |
| | | <i>Plagioscion squamosissimus</i> ^{812,813} (Heckel, 1840) | Pis | 15 | 2 | - | AG | Brasil | - | - | - |
| | | <i>Sciaenops ocellatus</i> ⁸¹⁴⁻⁸¹⁶ (Linnaeus, 1766) | Pis | 9 | - | 3 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Totoaba macdonaldi</i> ⁸¹⁷ (Gilbert, 1890) | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui |
| | Scombridae | <i>Katsuwonus pelamis</i> ^{21,818,819} (Linnaeus, 1758) | Pis- Inv | 7 | 3 | - | MR | Japão | - | - | - |
| | | <i>Scomberomorus niphonius</i> ^{820,821} (Cuvier, 1832) | Pis | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Thunnus alalunga</i> ⁸²² (Bonnaterre, 1788) | Inv | 10 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - |
| | | <i>Thunnus albacares</i> ⁸²³ (Bonnaterre, 1788) | Pis | 21 | - | 1 | - | - | Larva | - | Aqui |
| | | <i>Thunnus maccoyii</i> ⁸²⁴ (Castelnau, 1872) | Zoo | 2 | 1 | - | MR | - | - | - | - |
| | | <i>Thunnus thynnus</i> ⁸²⁵ (Linnaeus, 1758) | Pis | 5 | - | 1 | - | - | Larva | - | Aqui |
| | | <i>Thunnus orientalis</i> ⁸²⁶⁻⁸³¹ (Temminck & Schlegel, 1844) | Pis | 6 | 1 | 5 | MR | Espanha | Larva | - | Aqui |
| | <i>Scomber scombrus</i> ⁸³²⁻⁸³⁶ Linnaeus, 1758 | Zoo | 14 | 5 | - | MR | Canadá, Reino Unido, EUA | - | - | - | |
| | Serranidae | <i>Centropristis striata</i> ^{837,838} (Linnaeus, 1758) | Inv | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Epinephelus coioides</i> ⁸³⁹⁻⁸⁴⁵ (Hamilton, 1822) | Pis | 10 | - | 7 | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Epinephelus fuscoguttatus</i> ⁸⁴⁶ (Forsskål, 1775) | Pis | 2 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Epinephelus lanceolatus</i> ⁸⁴⁷ (Bloch, 1790) | Pis | 1 | - | 1 | - | - | Larva | - | Aqui |
| | | <i>Epinephelus malabaricus</i> ⁸⁴⁸ (Bloch & Schneider, 1801) | Inv | 5 | 1 | - | MR | Brasil | Juvenil | - | - |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|----------|----|---|----|-----------|------------------------------------|-------|-------|------|------|
| Perciformes | Serranidae | <i>Epinephelus merra</i> ⁸⁴⁹ Bloch, 1793 | Pis | 4 | 1 | - | MR | Ilhas Reunião | - | - | - | |
| | | <i>Hyporthodus septemfasciatus</i> ⁸⁵⁰ (Thunberg, 1793) | Inv | 1 | - | 1 | - | - | Larva | - | - | |
| | | <i>Mycteroperca rosacea</i> ⁸⁵¹ (Streets, 1877) | Pis | 1 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui | |
| | | <i>Plectropomus leopardus</i> ^{852,853} (Lacepède, 1802) | Pis | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | |
| | Sparidae | <i>Acanthopagrus schlegelii</i> ⁸⁵⁴ (Bleeker, 1854) | Zoo | 2 | - | 1 | - | - | - | Larva | - | - |
| | | <i>Dentex dentex</i> ^{855,856} (Linnaeus, 1758) | Pis | 3 | - | 2 | - | - | - | - | - | - |
| | | <i>Pagrus auratus</i> ⁸⁵⁷ (Forster, 1801) | Inv | 3 | - | 1 | - | - | - | - | - | - |
| | | <i>Pagrus pagrus</i> ^{858,859} (Linnaeus, 1758) | Inv | 7 | - | 2 | - | - | - | Larva | - | Aqui |
| | | <i>Sparidentex hasta</i> ⁸⁶⁰ (Valenciennes, 1830) | - | 1 | 1 | - | MR | Irã | - | - | - | - |
| | Sphyraenidae | <i>Sphyraena guachancho</i> ⁸⁶¹ Cuvier, 1829 | Pis | 1 | 1 | - | MR | Costa do Marfim | - | - | - | |
| | Trichiuridae | <i>Anenchelum glarisianum</i> ⁸⁶² Blainville, 1818 | Pis | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | - |
| | | <i>Lepidopus caudatus</i> ⁸⁶³ (Euphrasen, 1788) | Inv | 3 | 1 | - | MR | - | - | - | - | - |
| | | <i>Trichiurus lepturus</i> ⁸⁶⁴⁻⁸⁷¹ Linnaeus, 1758 | Inv -Pis | 13 | 8 | - | MR | Brasil, China, Japão, México | - | - | - | - |
| <i>Trichiurus margarites</i> ⁸⁷² Li, 1992 | | Pis | 2 | 1 | - | MR | China | - | - | - | - | |
| Tripterygiidae | <i>Enneapterygius etheostomus</i> ^{873,874} (Jordan & Snyder, 1902) | Inv | 2 | 2 | - | MR | Austrália | - | - | - | - | |
| | <i>Forsterygion lapillum</i> ⁸⁷⁵ Hardy, 1989 | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | |
| Percopsiformes | Amblyopsidae | <i>Forbesichthys agassizii</i> ⁸⁷⁶ Valenciennes, 1847 | - | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | |
| Pleuronectiformes | Paralichthyidae | <i>Citharichthys spilopterus</i> ⁸⁷⁷ Günther, 1862 | Inv | 3 | 1 | - | AG | Venezuela | - | - | - | |
| | | <i>Paralichthys dentatus</i> ⁸⁷⁸⁻⁸⁸³ (Linnaeus, 1766) | Pis | 13 | - | 6 | - | - | - | - | Aqui | |
| | | <i>Paralichthys lethostigma</i> ⁸⁸⁴ Jordan & Gilbert, 1884 | Pis | 4 | - | 1 | - | - | - | - | - | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|-----|----|----|--------|-------------------|--|---------|---|------|
| Pleuronectiformes | Paralichthyidae | <i>Paralichthys olivaceus</i> ⁸⁸⁵⁻⁸⁹² (Temminck & Schlegel, 1846) | Inv | 11 | 4 | 4 | MR | Japão | Juvenil | - | - |
| | Paralichthyidae | <i>Paralichthys orbignyanus</i> ⁸⁹³ (Valenciennes, 1839) | Pis | 2 | 1 | - | MR | Uruguai | - | - | Aqui |
| | | <i>Paralichthys woolmani</i> ⁸⁹⁴ Jordan & Williams, 1897 | Pis | 1 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui |
| | Pleuronectidae | <i>Platichthys flesus</i> ⁸⁹⁵ (Linnaeus, 1758) | Inv | 7 | 1 | - | MR | França | - | - | - |
| | | <i>Reinhardtius hippoglossoides</i> ⁸⁹⁶⁻⁸⁹⁸ (Walbaum, 1792) | Pis | 9 | 3 | - | MR | Canadá, Groelândia | - | - | - |
| <i>Hippoglossus stenolepis</i> ⁸⁹⁹ Schmidt, 1904 | | Pis | 3 | 1 | - | MR | Alasca, Canadá | - | - | - | |
| Scophthalmidae | <i>Scophthalmus aquosus</i> ^{416,900} (Mitchill, 1815) | Zoo | 6 | 2 | - | MR | Canadá | - | - | - | |
| Salmoniformes | Salmonidae | <i>Coregonus albula</i> ⁹⁰¹ (Linnaeus, 1758) | Zoo | 3 | - | 1 | - | - | Larva | - | - |
| | | <i>Coregonus artedi</i> ⁹⁰² Lesueur, 1818 | Zoo | 2 | 1 | - | AG | EUA | - | - | - |
| | | <i>Coregonus clupeaformis</i> ¹⁹⁵ (Mitchill, 1818) | Pis | 5 | 1 | - | AG | Rússia | - | - | - |
| | | <i>Coregonus hoyi</i> ^{903,904} Girard, 1850 | Zoo | 3 | - | 2 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Coregonus lavaretus</i> ⁹⁰⁵⁻⁹⁰⁷ (Linnaeus, 1758) | Zoo | 8 | 3 | - | AG | Alemanha, Noruega | Ovo | - | - |
| | | <i>Oncorhynchus gilae</i> ^{908,909} (Miller, 1950) | Inv | 2 | 2 | - | AG | EUA | - | - | - |
| | | <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> ⁹¹⁰⁻⁹¹² (Walbaum, 1792) | Pis | 7 | 3 | - | AG | Canadá, Rússia, EUA | - | - | - |
| | | <i>Oncorhynchus kisutch</i> ⁹¹³ (Walbaum, 1792) | Pis | 5 | 1 | - | AG | EUA | - | - | - |
| | | <i>Oncorhynchus mykiss</i> ⁹¹⁴⁻⁹²² (Walbaum, 1792) | Inv | 19 | 3 | 6 | AG | Canadá, China, Nova Zelândia, EUA | - | - | Aqui |
| | | <i>Parahucho perryi</i> ⁹²³ (Brevoort, 1856) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Japão | - | - | - |
| <i>Salmo salar</i> ^{69,924} Linnaeus, 1758 | Pis | 9 | 2 | - | AG | Canadá | - | - | - | | |
| <i>Salvelinus confluentus</i> ^{960,961} (Suckley, 1859) | Pis | 2 | 2 | - | AG | Canadá | - | - | - | | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|--|---------|----|----|-----|----|---|-----|--------|-------|
| Salmoniformes | Salmonidae | <i>Salmo trutta</i> ⁹²⁵⁻⁹³⁴ Linnaeus, 1758 | Inv-Pis | 35 | 8 | 2 | AG | França, Irã, Noruega, Reino Unido | - | - | - |
| | | <i>Salvelinus alpinus</i> ^{205,935-959} (Linnaeus, 1758) | Inv-Pis | 48 | 22 | 5 | AG | Canadá, Groelândia, Noruega, Rússia, EUA, Reino Unido | - | - | - |
| | | <i>Salvelinus fontinalis</i> ⁹⁶² (Mitchill, 1814) | Pis | 5 | 1 | - | AG | Canadá | - | - | - |
| | | <i>Salvelinus malma</i> ^{963,964} (Walbaum, 1792) | Pis | 4 | 2 | - | AG | Japão | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Salvelinus namaycush</i> ^{913,965-969} (Walbaum, 1792) | Pis | 11 | 6 | - | AG | Canadá, EUA | - | - | - |
| | | <i>Thymallus arcticus</i> ⁹⁷⁰ (Pallas, 1776) | Inv | 1 | 1 | - | AG | China | - | - | - |
| Scorpaeniformes | Anoplopomatidae | <i>Anoplopoma fimbria</i> ⁹⁷¹ (Pallas, 1814) | Pis | 3 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | Cottidae | <i>Ascelichthys rhodorus</i> ⁹⁷² Jordan & Gilbert, 1880 | - | 1 | 1 | - | MR | EUA | Ovo | - | - |
| | | <i>Cottus asper</i> ⁹⁷³ Richardson, 1836 | Inv | 4 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Cottus bairdii</i> ⁹⁷⁴ Linnaeus, 1758 | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Cottus carolinae</i> ⁹⁷⁵ (Gill, 1861) | Inv | 1 | 1 | - | AG | EUA | - | - | - |
| | | <i>Cottus gobio</i> ^{976,977} Linnaeus, 1758 | Inv | 2 | 2 | - | AG | Itália | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Cottus nozawae</i> ⁹⁷⁸ Snyder, 1911 | Inv | 1 | 1 | - | AG | Japão | Ovo | Filial | Macho |
| | | <i>Cottus paulus</i> ^{979,980} Williams, 2000 | Inv | 2 | 1 | 1 | - | - | - | - | - |
| | | <i>Cottus perifretum</i> ³⁵⁷ Freyhof, Kottelat & Nolte, 2005 | Inv | 1 | 1 | - | AG | Bélgica | Ovo | - | - |
| | | <i>Myoxocephalus brandtii</i> ⁹⁸¹ (Steindachner, 1867) | Inv | 1 | 1 | - | MR | Japão | - | - | - |
| <i>Myoxocephalus octodecemspinosus</i> ⁴¹⁶ (Mitchill, 1814) | Inv | 3 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - | | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|-----|----|---|----|-----|-------------------|-------|--------------|------|
| Scorpaeniformes | Cottidae | <i>Myoxocephalus scorpius</i> ⁹⁸² (Linnaeus, 1758) | Inv | 5 | 1 | - | MR | Islândia | - | - | - |
| | | <i>Myoxocephalus thompsonii</i> ⁹⁸³ (Girard, 1851) | Inv | 3 | 1 | - | AG | EUA | Ovo | - | - |
| | Hexagrammidae | <i>Hexagrammos otakii</i> ⁹⁸⁴ Jordan & Starks, 1895 | Pis | 3 | 1 | - | MR | Japão | Ovo | Filial | Acid |
| | | <i>Ophiodon elongatus</i> ⁹⁸⁵ Girard, 1854 | Inv | 1 | 1 | - | MR | Canadá | Ovo | - | - |
| | | <i>Oxylebius pictus</i> ⁹⁸⁶ Gill, 1862 | Inv | 1 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - |
| | | <i>Pleurogrammus monoptygius</i> ⁹⁸⁷⁻⁹⁹⁰ (Pallas, 1810) | Pis | 4 | 3 | 1 | MR | Alasca, Rússia | Ovo | Filial | - |
| | Scorpaenidae | <i>Pterois volitans</i> ⁹⁹¹ (Linnaeus, 1758) | Inv | 3 | 1 | - | MR | Israel, México | - | - | - |
| | Sebastidae | <i>Helicolenus percoides</i> ³³¹ (Richardson & Solander, 1842) | Omn | 2 | 1 | - | MR | Tasmania | - | - | - |
| | | <i>Sebastes fasciatus</i> ⁴¹⁶ Storer, 1854 | Zoo | 1 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - |
| | | <i>Sebastes norvegicus</i> ²⁵⁵ (Ascanius, 1772) | Inv | 2 | 1 | - | MR | Canadá | - | - | - |
| <i>Sebastes schlegeli</i> ⁹⁹² Hilgendorf, 1880 | | Inv | 2 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui | |
| Hemitripterae | <i>Hemitripterus americanus</i> ⁴¹⁶ (Gmelin, 1789) | Pis | 3 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - | |
| Siluriformes | Bagridae | <i>Coreobagrus ichikawai</i> ⁹⁹³ Okada & Kubota, 1957 | Zoo | 1 | - | 1 | - | - | Ovo | Intra Coorte | - |
| | | <i>Hemibagrus filamentus</i> ⁹⁹⁴ (Fang & Chaux, 1949) | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Hemibagrus nemurus</i> ^{995,996} (Valenciennes, 1840) | Inv | 3 | - | 2 | - | - | Larva | - | Aqui |
| | | <i>Leiocassis longirostris</i> ⁹⁹⁷ Günther, 1864 | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Rita rita</i> ⁹⁹⁸ (Hamilton, 1822) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Paquistão | - | - | - |
| | | <i>Sperata seenghala</i> ⁹⁹⁸ (Sykes, 1839) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Paquistão | - | - | - |
| | Clariidae | <i>Clarias gariepinus</i> ⁹⁹⁹⁻¹⁰¹⁷ (Burchell, 1822) | Pis | 24 | 2 | 17 | AG | Botswana | Larva | - | Aqui |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--|-----|----|---|---|----|----------|-------|---|------|------|
| Siluriformes | Clariidae | <i>Clarias ngamensis</i> ¹⁰⁰² Castelnau, 1861 | Omn | 1 | 1 | - | AG | Botswana | - | - | - | |
| | | <i>Heterobranchus isopterus</i> ¹⁰¹⁸ Bleeker, 1863 | Pis | 1 | - | 1 | - | - | Larva | - | - | |
| | | <i>Heterobranchus longifilis</i> ¹⁰¹⁸⁻¹⁰²⁷ Valenciennes, 1840 | Pis | 10 | - | 9 | - | - | Larva | - | Aqui | |
| | Ictaluridae | <i>Ictalurus punctatus</i> ¹⁰²⁸ (Rafinesque, 1818) | Omn | 7 | - | 1 | - | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Pylodictis olivaris</i> ¹⁰²⁹ (Rafinesque, 1818) | Inv | 2 | 1 | - | AG | EUA | - | - | - | |
| | Pangasiidae | <i>Pangasianodon hypophthalmus</i> ¹⁰³⁰⁻¹⁰³⁷ (Sauvage, 1878) | Omn | 9 | - | 8 | - | - | Larva | - | Aqui | |
| | Pimelodidae | <i>Calophysus macropterus</i> ¹⁰³⁸ (Lichtenstein, 1819) | Pis | 2 | - | 1 | - | - | Larva | - | Aqui | |
| | | <i>Leiarius marmoratus</i> ¹⁰³⁹ (Gill, 1870) | Pis | 2 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui | |
| | | <i>Pimelodus grosskopfii</i> ¹⁰⁴⁰ Steindachner, 1879 | Omn | 1 | - | 1 | - | - | Larva | - | Aqui | |
| | | <i>Pimelodus maculatus</i> ^{1041,1042} Lacepède, 1803 | Omn | 13 | - | 2 | - | - | Larva | - | Aqui | |
| | | <i>Pseudoplatystoma corruscans</i> ^{1043,1044,39} (Spix & Agassiz, 1829) | Pis | 6 | - | 2 | - | - | - | - | Aqui | |
| | | <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> ¹⁰⁴⁵⁻¹⁰⁴⁸ (Linnaeus, 1766) | Pis | 7 | - | 4 | - | - | - | - | Aqui | |
| | | <i>Pseudoplatystoma</i> sp. ^{1039,1049-1051} | Pis | 4 | - | 4 | - | - | - | - | Aqui | |
| | | <i>Sorubim cuspicaudus</i> ¹⁰⁵² Littmann, Burr & Nass, 2000 | Pis | 1 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui | |
| | | <i>Sorubim lima</i> ¹⁰⁵³ (Bloch & Schneider, 1801) | Pis | 6 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui | |
| <i>Steindachneridion melanodermatum</i> ¹⁰⁵⁴ Garavello, 2005 | | Pis | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | Aqui | |
| <i>Steindachneridion parahybae</i> ¹⁰⁵⁵⁻¹⁰⁵⁷ (Steindachner, 1877) | | Pis | 3 | - | 3 | - | - | - | - | - | Aqui | |
| <i>Steindachneridion scriptum</i> ¹⁰⁵⁸ (Miranda Ribeiro, 1918) | | Pis | 1 | - | 1 | - | - | - | Larva | - | Aqui | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|---|-----|---|---|---|----|-----------|---------|---|---|------|------|
| Siluriformes | Pseudopimelodidae | <i>Lophiosilurus alexandri</i> ^{1059,1060} Steindachner, 1876 | Omn | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | Aqui | |
| | Schilbeidae | <i>Clupisoma garua</i> ⁹⁹⁸ (Hamilton, 1822) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Paquistão | - | - | - | - | |
| | | <i>Clupisoma naziri</i> ⁹⁹⁸ Mirza & Awan, 1973 | Inv | 1 | 1 | - | AG | Paquistão | - | - | - | - | |
| | | <i>Schilbe intermedius</i> ¹⁰⁰² Rüppell, 1832 | Pis | 2 | 1 | - | AG | Botswana | - | - | - | - | |
| | Siluridae | <i>Ompok bimaculatus</i> ^{998,1061} (Bloch, 1794) | Inv | 2 | 1 | 1 | AG | Paquistão | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Ompok pabda</i> ⁹⁹⁸ (Hamilton, 1822) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Paquistão | - | - | - | - | |
| | | <i>Silurus glanis</i> ¹⁰⁶²⁻¹⁰⁶⁶ Linnaeus, 1758 | Omn | 6 | 2 | 3 | - | - | - | - | - | - | |
| | | <i>Silurus meridionalis</i> ¹⁰⁶⁷ Chen, 1977 | Omn | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | |
| | | <i>Wallago attu</i> ^{998,1068-1070} (Bloch & Schneider, 1801) | Inv | 4 | 1 | 3 | AG | Paquistão | Larva | - | - | - | |
| | Sisoridae | <i>Bagarius bagarius</i> ⁹⁹⁸ (Hamilton, 1822) | Inv | 1 | 1 | - | AG | Paquistão | - | - | - | - | |
| Stomiiformes | Gonostomatidae | <i>Scopeloides glarisanus</i> ^{*1071} | - | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | |
| | Sternoptychidae | <i>Argyropelecus aculeatus</i> ¹⁰⁷² Valenciennes, 1850 | Zoo | 1 | 1 | - | MR | Portugal | - | - | - | - | |
| Syngnathiformes | Syngnathidae | <i>Hippocampus guttulatus</i> ¹⁰⁷³ Cuvier, 1829 | Inv | 1 | 1 | - | MR | Grécia | Ovo | - | - | - | |
| | | <i>Hippocampus hippocampus</i> ¹⁰⁷³ (Linnaeus, 1758) | Inv | 1 | 1 | - | MR | Grécia | Ovo | - | - | - | |
| | | <i>Hippocampus patagonicus</i> ¹⁰⁷⁴ Piacentino & Luzzatto, 2004 | Inv | 1 | 1 | - | MR | Argentina | Juvenil | - | - | - | |
| | | <i>Syngnathus floridae</i> ¹⁰⁷⁵ (Jordan & Gilbert, 1882) | Inv | 3 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - | - | |
| | | <i>Syngnathus fuscus</i> ¹⁰⁷⁵ Storer, 1839 | Zoo | 1 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - | - | |
| | | <i>Syngnathus typhle</i> ¹⁰⁷⁶ Linnaeus, 1758 | Inv | 1 | 1 | - | MR | Itália | - | - | - | - | |

Continua na próxima página

Continuação do Apêndice A

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------|--|-----|---|---|---|----|-------|-----|---|------|
| Syngnathiformes | Monacanthidae | <i>Paramonacanthus japonicus</i> ¹⁰⁷⁷ (Tilesius, 1809) | Inv | 1 | 1 | - | MR | Japão | Ovo | - | - |
| Tetraodontiformes | Tetraodontidae | <i>Leiodon cutcutia</i> ¹⁰⁷⁸ (Hamilton, 1822) | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Takifugu obscurus</i> ¹⁰⁷⁹ (Abe, 1949) | Inv | 1 | - | 1 | - | - | - | - | Aqui |
| | | <i>Takifugu rubripes</i> ^{1078,1080} (Temminck & Schlegel, 1850) | Inv | 2 | - | 2 | - | - | - | - | Aqui |
| Zeiformes | Zeidae | <i>Zenopsis conchifer</i> ⁴¹⁶ (Lowe, 1852) | Pis | 1 | 1 | - | MR | EUA | - | - | - |

1. Gisbert, E. & Williot, P. Advances in the larval rearing of Siberian sturgeon. *J. Fish Biol.* **60**, 1071–1092 (2002).
2. Gisbert, E., Williot, P. & Castelló-Orvay, F. Influence of egg size on growth and survival of early stages of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*) under small scale hatchery conditions. *Aquaculture* **183**, 83–94 (2000).
3. Mohseni, M. *et al.* Effects of different three live foods on growth performance and survival rates in Beluga (*Huso huso*) larvae. *Iran. J. ofn Fish. Sci.* **11**, 118–131 (2012).
4. Ellie, P. & Daguzan, J. Alimentation and growth of Eels elvers (*Anguilla anguilla*) reared experimentally with various temperatures at laboratory. *Ann. la Nutr. la Aliment.* **30**, 95–114 (1976).
5. Ellie, P. & Daguzan, J. Feeding and growth of glass eels *Anguilla anguilla* L (Anguilliformes Teleosts) reared experimentally in a canalization at the laboratory. *J. Ann. Zootech.* **29**, 229–244 (1980).
6. Domingos, I., Costa, J. L. & Costa, M. J. Factors determining length distribution and abundance of the European eel, *Anguilla anguilla*, in the River Mondego (Portugal). *Freshw. Biol.* **51**, 2265–2281 (2006).
7. Edeline, E. & Ellie, P. Is salinity choice related to growth in juvenile eel *Anguilla anguilla*. *Cybium* **28**, 77–82 (2004).
8. Rodriguez, A., Gisbert, E. & Castelló-Orvay, F. Nutritional condition of *Anguilla anguilla* starved at various salinities during the elver phase. *J. Fish Biol.* **67**, 521–534 (2005).
9. Heinsbroek, L. T. N. Preliminary investigations on husbandry, nutrition and growth of glass eels and elvers, *Anguilla anguilla* L. *Aquac. Res.* **20**, 119–127 (1989).
10. Kastelein, P. Survival and growth of elvers (*Anguilla anguilla* L.) reared on an expanded granulated diet. *Aquaculture* **30**, 155–172 (1983).
11. Degani, G. & Levanon, D. The influence of low density on food adaptation, cannibalism and growth of eels (*Anguilla anguilla* (L.)). *Bamidgeh* **35**, 53–60 (1983).
12. Musumeci, V. L., Able, K. W., Sullivan, M. C. & Smith, J. M. Estuarine predator—prey interactions in the early life history of two eels (*Anguilla rostrata* and *Conger oceanicus*). *Environ. Biol. Fishes* **97**, 929–938 (2014).
13. Sallami, B., Ben Salem, M. & Reynaud, C. Diet of European conger eel *Conger conger*

- (Osteichthyes: Congridae) from the northeastern coast of Tunisia (central Mediterranean). *Cah. Biol. Mar.* **56**, 253–262 (2015).
14. Xavier, J. C., Cherel, Y., Assis, C. A., Sendão, J. & Borges, T. C. Feeding ecology of conger eels (Conger conger) in north-east Atlantic waters. *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom* **90**, 493–501 (2010).
 15. Cau, A. & Manconi, P. Relationship of feeding, reproductive cycle and bathymetric distribution in *Conger conger*. *Mar. Biol.* **81**, 147–151 (1984).
 16. Devadoss, P. & Pillai, P. K. Observations on the food and feeding habits of the eel, *Muraenesox cinereus* (Forsk.) from Porto Novo. *Indian J. Fish.* **26**, 244–246 (1979).
 17. Braciszewski, A. R., Carrillo, A., Horn, M. H., Carter, A. & German, D. P. How do you like your eggs? Egg cannibalism and digestibility in the California grunion, *Leuresthes tenuis* (Teleostei: Atherinopsidae). in *Integrative and comparative biology* E–19 (2015).
 18. Gray, S. M., McKinnon, J. S., Tantu, F. Y. & Dill, L. M. Sneaky egg-eating in *Telmatherina sarasinorum*, an endemic fish from Sulawesi. *J. Fish Biol.* **73**, 728–731 (2008).
 19. Gray, S. M., Dill, L. M. & McKinnon, J. S. Cuckoldry incites cannibalism: male fish turn to cannibalism when perceived certainty of paternity decreases. *Am. Nat.* **169**, 258–263 (2007).
 20. Gray, S. M. & McKinnon, J. S. A comparative description of mating behaviour in the endemic telmatherinid fishes of Sulawesi's Malili Lakes. *Environ. Biol. Fishes* **75**, 471–482 (2006).
 21. Varghese, S. P., Somvanshi, V. S. & Dalvi, R. S. Diet composition, feeding niche partitioning and trophic organisation of large pelagic predatory fishes in the eastern Arabian Sea. *Hydrobiologia* **736**, 99–114 (2014).
 22. Young, J. W. *et al.* Feeding ecology and niche segregation in oceanic top predators off eastern Australia. *Mar. Biol.* **157**, 2347–2368 (2010).
 23. Potier, M. *et al.* Forage fauna in the diet of three large pelagic fishes (lancetfish, swordfish and yellowfin tuna) in the western equatorial Indian Ocean. *Fish. Res.* **83**, 60–72 (2007).
 24. Romanov, E. V. & Zamorov, V. V. Regional feeding patterns of the longnose lancetfish (*Alepisaurus ferox* Lowe, 1833) of the western Indian Ocean. *J. Mar. Sci.* **6**, 1–37 (2007).
 25. Potier, M. *et al.* Role of pelagic crustaceans in the diet of the longnose lancetfish *Alepisaurus ferox* in the Seychelles waters. *African J. Mar. Sci.* **29**, 113–122 (2007).

26. Romanov, E. V., Ménard, F., Zamorov, V. V. & Potier, M. Variability in conspecific predation among longnose lancetfish *Alepisaurus ferox* in the western Indian Ocean. *Fish. Sci.* **74**, 62–68 (2008).
27. Lin, X. P., Zhu, Z. J. & Li, P. F. Feeding habits of *Harpadon nehereus* in the East China Sea region. *Mar. Fish.* **32**, 290–296 (2010).
28. Zhang, B. & Jin, X. Feeding habits and ontogenetic diet shifts of Bombay duck, *Harpadon nehereus*. *Chinese J. Oceanol. Limnol.* **32**, 542–548 (2014).
29. Cogliati, K. M. *et al.* Diet and cannibalism in plainfin midshipman *Porichthys notatus*. *J. Fish Biol.* **86**, 1396–1415 (2015).
30. Bose, A. P. H., Cogliati, K. M., Howe, H. S. & Balshine, S. Factors influencing cannibalism in the plainfin midshipman fish. *Anim. Behav.* **96**, 156–166 (2014).
31. da Rocha, A. A. F., dos Santos, N. C. L., de Araújo Pinto, G., do Nascimento Medeiros, T. & Severi, W. Diet composition and food overlap of *Acestrorhynchus britskii* and *A. lacustris* (Characiformes: Acestrorhynchidae) from Sobradinho reservoir, São Francisco river, Bahia State. *Acta Sci.* **33**, 407–415 (2011).
32. Krinski, D. Dieta do peixe-cachorro *Acestrorhynchus pantaneiro* Menezes, 1992 (Characidae: Acestrorhynchinae) do Pantanal de Poconé, Mato Grosso, Brasil. *Biosci. J.* **26**, (2010).
33. Arroyave, J. & Stiassny, M. L. J. DNA barcoding reveals novel insights into pterygophagy and prey selection in distichodontid fishes (Characiformes: Distichodontidae). *Ecol. Evol.* **4**, 4534–4542 (2014).
34. Salaro, A. L. *et al.* Replacement of moist ingredients in the feed training of carnivorous fish. *Rev. Bras. Zootec.* **41**, 2294–2298 (2012).
35. Luz, R. K. & Portella, M. C. Diferentes densidades de estocagem na larvicultura do trairão *Hoplias lacerdae*. *Acta Sci.* **27**, 95–101 (2008).
36. Luz, R. K. & Portella, M. C. Effect of prey concentrations and feed training on production of *Hoplias lacerdae* juvenile. in *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (2015).
37. Salaro, A. L., Luz, R. K., Nogueira, G. C. C. D. B., Reis, A., Sakabe, R. & Lambertucci, D. M. Effect of two stocking rates on the trairão (*Hoplias cf. lacerdae*) fingerlings performance. *Rev. Bras. Zootec.* **32**, 1033–1036 (2003).

38. Luz, R. K. & Portella, M. C. Effects of feeding frequency on larval rearing of trairao (*Hoplias lacerdae*). *Rev. Bras. Zootec.* **34**, 1442–1448 (2005).
39. Salaro, A. L. *et al.* Feed training of juvenile giant trahira under different light intensities. *Rev. Bras. Zootec.* **40**, 2290–2293 (2011).
40. Salaro, A. L. *et al.* Saline water for juvenile giant trahira during feed training. *Rev. Bras. Zootec.* **41**, 1342–1345 (2012).
41. Salaro, A. L. *et al.* Vitamin C supplementation in diets for giant trahira. *Pesqui. Agropecuária Bras.* **48**, 1096–1102 (2013).
42. Kasai, R. Y. D. *et al.* Feed training of giant trahira fingerlings fed diets containing different levels of vitamin C. *Rev. Bras. Zootec.* **40**, 463–468 (2011).
43. Winemiller, K. O. Spatial and temporal variation in tropical fish trophic networks. *Ecol. Monogr.* **60**, 331–367 (1990).
44. Luz-Agostinho, K. D. G., Agostinho, A. A., Gomes, L. C. & Júlio-Jr, H. F. Influence of flood pulses on diet composition and trophic relationships among piscivorous fish in the upper Parana River floodplain. *Hydrobiologia* **607**, 187–198 (2008).
45. Hancz, C. Performance of the Amazonian tambaqui, *Colossoma macropomum*, in pond polyculture. *Aquac. Eng.* **12**, 245–254 (1993).
46. Canzi, C., Borghetti, J. R. & Fernandez, D. R. The effects of different treatments on the survival and development of pacu larvae (*Piaractus mesopotamicus*). *Arq. Biol. e Tecnologia* **35**, 117–127 (1992).
47. Leonardo, A. F. G., Hoshiba, M. A., Urbinati, E. C. & Senhorini, J. A. Improvement of matrinxã, *Brycon amazonicus*, larviculture by exposing eggs to triiodothyronine. *J. World Aquac. Soc.* **44**, 141–147 (2013).
48. Dias, D. D. C. *et al.* Probiotic in *Brycon amazonicus* hatchery. *Acta Sci.* **33**, 365–368 (2011).
49. Gervasio Leonardo, A. F., Hoshiba, M. A., Senhorini, J. A. & Urbinati, E. C. Cannibalism of matrinxã, *Brycon cephalus*, Larvae after immersion of eggs to different Triiodothyronine (T-3) concentration. *Bol. do Inst. Pesca* **34**, 231–239 (2008).
50. Urbinati, E. C., Soares, M. C. F. & Senhorini, J. A. Preliminary study of the effect of maternal triiodothyronine on early development of matrinxã *Brycon cephalus* (Characidae). *J. Aquac. Trop.* (2003).

51. Romagosa, E., Narahara, M. Y. & Fenerich-Verani, N. Stages of embryonic development of the ‘Matrinxã’, *Brycon cephalus* (Pisces, Characidae). *Bol. do Inst. Pesca* **27**, 29–32 (2001).
52. Andrade-Talmelli, E. D., Kavamoto, E. T., Romagosa, E. & Fenerich-Verani, N. Embryonic and larval development of the ‘piabanha’, *Brycon insignis*, Steindachner, 1876 (Pisces, Characidae). *Bol. do Inst. Pesca* **27**, 21–28 (2001).
53. Baras, E. & Lucas, M. C. Individual growth trajectories of sibling *Brycon moorei* raised in isolation since egg stage, and their relationship with aggressive behaviour. *J. Fish Biol.* **77**, 985–997 (2010).
54. Vandewalle, P., Germeau, G., Besancenet, P., Parmentier, E. & Baras, E. Early development of the head skeleton in *Brycon moorei* (Pisces, Ostariophysi, Characidae). *J. Fish Biol.* **66**, 996–1024 (2005).
55. Baras, E., Maxi, M. Y. J., Ndao, M. & Mélard, C. Sibling cannibalism in dorada under experimental conditions. II. Effect of initial size heterogeneity, diet and light regime on early cannibalism. *J. Fish Biol.* **57**, 1021–1036 (2000).
56. Baras, E. *et al.* Sibling cannibalism in dorada under experimental conditions. I. Ontogeny, dynamics, bioenergetics of cannibalism and prey size selectivity. *J. Fish Biol.* **57**, 1001–1020 (2000).
57. Reynalte-Tataje, D., Zaniboni-Filho, E. & Esquivel, J. R. Embryonic and larvae development of piracanjuba, *Brycon orbignyanus* Valenciennes, 1849 (Pisces, Characidae). *Acta Sci.* **26**, 67–71 (2004).
58. Maciel, C. M. R. R. *et al.* Morphological and behavioral development of the piracanjuba larvae. *Rev. Bras. Zootec.* **39**, 961–970 (2010).
59. Reynalte-Tataje, D., Luz, R. K. & Meurer, S. Influence of photoperiod on the growth and survival of piranjuba post-larvae *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1849) (Osteichthyes, Characidae). *Acta Sci.* **24**, 439–443 (2002).
60. Gomes, R. Z., Sato, Y., Rizzo, E. & Bazzoli, N. Early development of *Brycon orthotaenia* (Pisces: Characidae). *Zygote* **21**, 11–20 (2013).
61. Pedreira, M. M., Luz, R. K., Santos, J. C. E. D., Mattioli, C. C. & Silva, C. L. Matrinxã larviculture in tanks of different colors. *Pesqui. Agropecuária Bras.* **43**, 1365–1369 (2008).
62. Atencio García, V. J., Pertuz Buelvas, V. M., Pérez Espitia, F., Ortiz Mestra, R. & Pardo Carrasco, S. C. Manejo de la primera alimentación de dorada *Brycon sinuensis* ofreciendo larvas de bocachico *Prochilodus magdalenae*. *Rev. Colomb. Ciencias Pecu.* **23**, 317–324 (2010).

63. Zaniboni-Filho, E., Reynalte-Tataje, D. & Weingartner, M. Potencialidad del género *Brycon* en la piscicultura brasileña. *Rev. Colomb. Ciencias Pecu.* **19**, 233–240 (2006).
64. Schütz, J. H. & Nuñez, A. P. D. O. Growth and survival of dorado *Salminus brasiliensis* (Pisces, Characidae) post-larvae cultivated with different types of food and photoperiods. *Brazilian Arch. Biol. Technol.* **50**, 435–444 (2007).
65. Santos, S. C. A. dos, Guglielmoni, L. A. & Frigatti Sobrinho, J. Induced reproduction and larval culture of *Salminus maxillosus* (Pisces, Characidae) at the CESP-Companhia Energetica de Sao Paulo. in *X Encontro Brasileiro de Ictiologia, São Paulo* 94 (1993).
66. Rossi, L. M. Alimentación de larvas de *Salminus maxillosus* (Val. 1840)(Pisces, Characidae). *Iheringia* **69**, 49–59 (1989).
67. Honji, R. M. *et al.* Influence of spawning procedure on gametes fertilization success in *Salminus hilarii* Valenciennes, 1850 (Teleostei: Characidae): Implications for the conservation of this species. *Neotrop. Ichthyol.* **9**, 363–370 (2011).
68. Rudstam, L. G., Brooking, T. E., Krueger, S. D., Jackson, J. R. & Wetherbee, L. Analysis of compensatory responses in land-locked alewives to walleye predation: a tale of two lakes. *Transacions Am. Fish. Soc.* **140**, 1587–1603 (2011).
69. Martin, J. D. Atlantic salmon and alewife passage at the fishway on the Magaguadavic River, New Brunswick, during 1984. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* **1938**, iii–7 (1987).
70. Rhodes, R. J., Webb, D. A. & McComish, T. S. Cannibalism by the adult Alewife (*Alosa pseudogarengus*) in southern Lake Michigan. in *Proceedings, Seventeenth conference on Great Lakes research, Part I.* (1974).
71. Ridgway, M. S., Hurley, D. A. & Scott, K. A. Effects of winter temperature and predation on the abundance of alewife (*Alosa pseudoharengus*) in the Bay of Quinte, Lake Ontario. *J. Great Lakes Res.* **16**, 11–20 (1990).
72. Harris, J. E. & McBride, R. S. American shad feeding on spawning grounds in the St. Johns River, Florida. *Transacions Am. Fish. Soc.* **138**, 888–898 (2009).
73. Balfourt, H. Experiments on digestion rate of herring larvae in fish stomachs. *Int. Counc. Explor. Sea* 1–7 (1984).
74. Schnack, D. Causes of major changes in marine fish stocks in the Baltic Sea. *Meer und Museum* **17**, 96–103 (2003).

75. Prokopchuk, I. & Sentyabov, E. Diets of herring, mackerel, and blue whiting in the Norwegian Sea in relation to *Calanus finmarchicus*. *ICES J. Mar. Sci.* **63**, 117–127 (2006).
76. Gamble, J. C. & Fuiman, L. A. Evaluation of in situ enclosures during a study of the importance of starvation to the vulnerability of herring larvae to a piscine predator. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* **113**, 91–103 (1987).
77. Skaret, G., Axelsen, B. E., Nøttestad, L., Fernö, A. & Johannessen, A. Herring as cannibals. *J. Fish Biol.* **61**, 1050–1052 (2002).
78. Fuiman, L. A. & Gamble, J. C. Influence of experimental manipulations on predation of herring larvae by juvenile herring in large enclosures. *Rapp. Proces-verbaux des Reun. Cons. Perm. Int. pour l'Exploration la Mer* **191**, 359–365 (1989).
79. Fuiman, L. A. & Gamble, J. C. Predation by Atlantic herring, sprat, and sandeels on herring larvae in large enclosures. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **44**, 1–6 (1988).
80. Øiestad, V. Predation on fish larvae as a regulatory force illustrated in enclosure experiments with large groups of larvae. *Northwest Atl. Fish. Organ.* **739**, 1–14 (1983).
81. Blaxter, J. H. S. & Fuiman, L. A. The role of the sensory systems of herring larvae in evading predatory fishes. *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom* **70**, 413–427 (1990).
82. Fuiman, L. A. Vulnerability of Atlantic herring larvae to predation by yearling herring. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **51**, 291–299 (1989).
83. Wespestrad, V. G. & Moksness, E. Observations on growth and survival during the early life history of Pacific herring *Clupea pallasii* from Bristol Bay, Alaska, in a marine mesocosm. *US Fish Wildl. Serv. Fish. Bull.* **88**, 191–200 (1990).
84. Friedlander, A. M. & Beets, J. P. Fisheries and life history characteristics of dwarf herring (*Jenkinsia lamprotaenia*) in the US Virgin Islands. *Fish. Res.* **31**, 61–72 (1997).
85. De Iongh, H. H., Spliethoff, P. C. & Frank, V. G. Feeding habits of the clupeid *Limnothrissa miodon* (Boulenger), in Lake Kivu. *Hydrobiologia* **102**, 113–122 (1983).
86. Isumbisho, M., Kaningini, M., Descy, J. P. & Baras, E. Seasonal and diel variations in diet of the young stages of the fish *Limnothrissa miodon* in Lake Kivu, Eastern Africa. *J. Trop. Ecol.* **20**, 73–83 (2004).
87. Costalago, D., Garrido, S. & Palomera, I. Comparison of the feeding apparatus and diet of European

- sardines *Sardina pilchardus* of Atlantic and Mediterranean waters: ecological implications. *J. Fish Biol.* **1986**, 1348–1362 (2005).
88. Garrido, S. *et al.* Diet and feeding intensity of sardine *Sardina pilchardus*: correlation with satellite-derived chlorophyll data. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **354**, 245–256 (2008).
 89. Smith, P. E., Santander, H. & Alheit, J. Comparison of the mortality rates of Pacific sardine, *Sardinops sagax*, and Peruvian anchovy, *Engraulis ringens*, eggs off Peru. *Fish. Bull.* **87**, 497–508 (1989).
 90. Alheit, J. Egg cannibalism versus egg predation: their significance in anchovies. *South African J. Mar. Sci.* **5**, 467–470 (1987).
 91. Hammann, M. G., Nevárez-Martínez, M. O. & Green-Ruíz, Y. *Spawning habitat of the Pacific sardine (Sardinops sagax) in the Gulf of California: Egg and larval distribution 1956-1957 and 1971-1991. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report* (1998).
 92. Casini, M., Cardinale, M. & Hjelm, J. Inter-annual variation in herring, *Clupea harengus*, and sprat, *Sprattus sprattus*, condition in the central Baltic Sea: what gives the tune? *Oikos* **112**, 638–650 (2006).
 93. Köster, F. W. & Möllmann, C. Egg cannibalism in Baltic sprat *Sprattus sprattus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **196**, 269–277 (2000).
 94. Milton, D. A., Rawlinson, N. J. & Blaber, S. J. Recruitment patterns and factors affecting recruitment of five species of short-lived clupeoids in the tropical South Pacific. *Fish. Res.* **26**, 239–255 (1996).
 95. Pájaro, M., Curelovich, J. & Macchi, G. J. Egg cannibalism in the northern population of the Argentine anchovy, *Engraulis anchoita* (Clupeidae). *Fish. Res.* **83**, 253–262 (2007).
 96. Pajaro, M., Sanchez, R. P. & Aubone, A. Embryonic mortality due to cannibalism in the Argentine anchovy *Engraulis anchoita* Hubbs and Marini, 1935. *Bol. Instituto Esp. Oceanogr.* **14**, 81–98 (1998).
 97. Szeinfeld, E. V. Cannibalism and intraguild predation in clupeoids. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **79**, 17–26 (1991).
 98. Valdés, E. S., Shelton, P. A., Armstrong, M. J. & Field, J. G. Cannibalism in South African anchovy: egg mortality and egg consumption rates. *South African J. Mar. Sci.* **5**, 613–622 (1987).
 99. Brownell, C. L. Laboratory analysis of cannibalism by larvae of the Cape anchovy *Engraulis*

- capensis*. *Transacions Am. Fish. Soc.* **114**, 512–518 (1985).
100. Hutchings, L. *et al.* Multiple factors affecting South African anchovy recruitment in the spawning, transport and nursery areas. *South African J. Mar. Sci.* **19**, 211–225 (1998).
 101. Szeinfeld, E. V. The energetics and evolution of intraspecific predation (egg cannibalism) in the anchovy *Engraulis capensis*. *Mar. Biol.* **115**, 301–308 (1993).
 102. Gennotte, V., Torre, M. & Kallianiotis, A. Cannibalism in anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the North Aegean Sea (Greece). *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* **38**, 484 (2007).
 103. Bachiller, E., Cotano, U., Ibaibarriaga, L., Santos, M. & Irigoien, X. Intraguild predation between small pelagic fish in the Bay of Biscay: impact on anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) egg mortality. *Mar. Biol.* **162**, 1351–1369 (2015).
 104. Kono, N. & Zenitani, H. Fluctuations of abundance and survival rate during the egg and larval stages of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in the Seto Inland Sea (1980–2007). *Fish. Sci.* **78**, 753–760 (2012).
 105. Takasuka, A., Oozeki, Y., Kimura, R., Kubota, H. & Aoki, I. Growth-selective predation hypothesis revisited for larval anchovy in offshore waters: cannibalism by juveniles versus predation by skipjack tunas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **278**, 297–302 (2004).
 106. Santander, H. Relationship between anchoveta egg standing stock and parent biomass off Peru, 4–14 S. The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystems: Three Decades of Change. *ICLARM Stud. Rev.* 179–207 (1987).
 107. Pauly, D. & Soriano, M. Production and mortality of Anchoveta (*Engraulis ringens*) eggs of Peru. *ICLARM Contrib.* (1989).
 108. Krautz, M., Castro, L. R. & González, M. Interaction of two key pelagic species in the Humboldt Current: euphausiid predation on anchoveta eggs estimated by immunoassays. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **335**, 175–185 (2007).
 109. Espinoza, P. & Bertrand, A. Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current system. *Prog. Oceanogr.* **79**, 215–227 (2008).
 110. Brownell, C. L. Cannibalistic interactions among young anchovy: a first attempt to apply laboratory behavioural observations to the field. *South African J. Mar. Sci.* **5**, 503–511 (1987).
 111. Folkvord, A. & Hunter, J. R. Size-specific vulnerability of northern anchovy, *Engraulis mordax*,

- larvae to predation by fishes. *Fish. Bull.* **84**, 859–869 (1986).
112. Peterman, R. M. & Bradford, M. J. Wind speed and mortality rate of a marine fish, the northern anchovy (*Engraulis mordax*). *Science* (80-.). **235**, 354–356 (1987).
 113. Cooke, S. J. & Bunt, C. M. Spawning and reproductive biology of the greater redhorse, *Moxostoma valenciennesi*, in the Grand River, Ontario. *Can. Field-Naturalist* **113**, 497–502 (1999).
 114. Donnelly, B. G. & Marshall, B. E. The biology of *Barbus mattozi* Guimaraes (Teleostei, Cyprinidae) in a Zimbabwean reservoir. 3. Numbers, biomass and mortality. *African J. Aquat. Sci.* **29**, 103–106 (2004).
 115. Tonn, W. M., Holopainen, I. J. & Paszkowski, C. A. Density-dependent effects and the regulation of crucian carp populations in single-species ponds. *Ecology* **75**, 824–834 (1994).
 116. Damme, P. V., Appelbaum, S. & Hecht, T. Sibling cannibalism in Koi carp, *Cyprinus carpio* L., larvae and juveniles reared under controlled conditions. *J. Fish Biol.* **34**, 855–863 (1989).
 117. Katano, O. Cannibalism on eggs by dark chub, *Zacco temmincki* (Temminck & Schlegel)(Cyprinidae). *J. Fish Biol.* **41**, 655–661 (1992).
 118. Katano, O. & Maekawa, K. Individual differences in egg cannibalism in female dark chub (Pisces: Cyprinidae). *Behaviour* **132**, 237–352 (1996).
 119. Katano, O. Spawning tactics of paired males of the dark chub, *Zacco temmincki*, reflect potential fitness costs of satellites. *Environ. Biol. Fishes* **35**, 343–350 (1992).
 120. Malhotra, Y. & Sharma, K. Laboratory studies on cannibalism among larval forms of *Tor tor* and *Puntius conchonius* from Jammu. *Proc. Natl. Acad. Sci. India* **58**, 205 (1988).
 121. Bestgen, K. R. & Compton, R. I. Reproduction and culture of suckermouth minnow. *N. Am. J. Aquac.* **69**, 345–350 (2007).
 122. Vandenbos, R. E., Tonn, W. M. & Boss, S. M. Cascading life-history interactions: alternative density-dependent pathways drive recruitment dynamics in a freshwater fish. *Oecologia* **148**, 573–582 (2006).
 123. Green, W. W., Mirza, R. S. & Pyle, G. G. in recognition and cannibalistic behaviours by adult male fathead minnows (*Pimephales promelas*). *Naturwissenschaften* **95**, 269–272 (2008).
 124. Wilcox, T. M. & Webb, M. A. Cannibalism of embryos and larvae by adult woundfin in intensive culture: Application to conservation propagation. *J. Fish Wildl. Manag.* **4**, 124–128 (2013).

125. Gard, M. F. Ontogenetic microhabitat shifts in Sacramento pikeminnow, *Ptychocheilus grandis*: reducing intraspecific predation. *Aquat. Ecol.* **39**, 229–235 (2005).
126. Nakamoto, R. J. & Harvey, B. C. Spatial, seasonal, and size-dependent variation in the diet of Sacramento pikeminnow in the Eel River, northwestern California. *Calif. Fish Game* **89**, 30–45 (2003).
127. Fraser, D. F. & Cerri, R. D. Experimental evaluation of predator-prey relationships in a patchy environment: consequences for habitat use patterns in minnows. *Ecology*, 307–313. *Ecology* **63**, 307–313 (1982).
128. Quist, M. C., Bower, M. R. & Hubert, W. A. Summer food habits and trophic overlap of roundtail chub and creek chub in Muddy Creek, Wyoming. *Southwest. Nat.* **51**, 22–27 (2006).
129. Sousa-Santos, C., Robalo, J. & Almada, V. Spawning behaviour of a threatened Iberian cyprinid and its implications for conservation. *Acta Ethol.* **17**, 99–106 (2014).
130. Yoshihiro, B. & Yoshikazu, N. Distribution and dynamics of eggs and larvae in the spawning redds of pale chub, *Zacco platypus*. *Japanese J. Ichthyol.* **52**, 125–132 (2005).
131. Hammer, C. Feeding behaviour of roach (*Rutilus rutilus*) larvae and the fry of perch (*Perca fluviatilis*) in Lake Lankau. *Arch. für Hydrobiol.* **103**, 61–74 (1985).
132. Frenkel, V. & Goren, M. A spawning cage for eliminating predation on larvae of the killifish *Aphanius dispar*. *N. Am. J. Aquac.* **61**, 172–174 (1999).
133. Cavraro, F., Torricelli, P. & Malavasi, S. Quantitative ethogram of male reproductive behavior in the south european toothcarp *Aphanius fasciatus*. *Biol. Bull.* **225**, 71–78 (2013).
134. Klug, H. Relationship between filial cannibalism, egg energetic content and parental condition in the flagfish. *Anim. Behav.* **77**, 1313–1319 (2009).
135. Klug, H. & St. Mary, C. Reproductive fitness consequences of filial cannibalism in the flagfish, *Jordanella floridae*. *Anim. Behav.* **70**, 685–691 (2005).
136. Klug, H., Chin, A. & St. Mary, C. The net effects of guarding on egg survivorship in the flagfish, *Jordanella floridae*. *Anim. Behav.* **69**, 661–668 (2005).
137. Brown, C. A. & Green, C. C. Metabolic and embryonic responses to terrestrial incubation of *Fundulus grandis* embryos across a temperature gradient. *J. Fish Biol.* **84**, 732–747 (2014).
138. Able, K. W., Hagan, S. M., Kovitvongsa, K., Brown, S. A. & Lamonaca, J. C. Piscivory by the

- mummichog (*Fundulus heteroclitus*): evidence from the laboratory and salt marshes. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* **345**, 26–37 (2007).
139. Kneib, R. T. Predation risk and use of intertidal habitats by young fishes and shrimp. *Ecology* **68**, 379–386 (1987).
 140. Fuller, R. C. & Travis, J. A test for male parental care in a fundulid, the bluefin killifish, *Lucania goodei*. *Environ. Biol. Fishes* **61**, 419–426 (2001).
 141. Sandkam, B. A. & Fuller, R. C. The effects of water depth and light on oviposition and egg cannibalism in the bluefin killifish *Lucania goodei*. *J. Fish Biol.* **78**, 967–972 (2011).
 142. Arbuatti, A., Trentini, R., Bernabò, N. & Lucidi, P. Contribution to the biology of the endangered Mexican fish, *Zoogoneticus tequila*, and suggestions for its indoor management. *AACL Bioflux* **4**, 670–683 (2011).
 143. Dionne, M. Cannibalism, food availability, and reproduction in the mosquito fish (*Gambusia affinis*): a laboratory experiment. *Am. Nat.* **126**, 16–23 (1985).
 144. Scribner, K. T. Hybrid zone dynamics are influenced by genotype-specific variation in life-history traits: experimental evidence from hybridizing *Gambusia* species. *Evolution (N. Y.)* **47**, 632–646 (1993).
 145. Smith, C. C. Independent effects of male and female density on sexual harassment, female fitness, and male competition for mates in the western mosquitofish *Gambusia affinis*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **61**, 1349–1358 (2007).
 146. Johnson, C. R. Observations on growth, breeding, and fry survival of *Gambusia affinis affinis* (Pisces: Poeciliidae) under artificial rearing conditions. in *Proceedings and Papers of the Forty fourth Annual Conference of the California Mosquito Control Association* 48–51 (1976).
 147. Meffe, G. K. & Crump, M. L. Possible growth and reproductive benefits of cannibalism in the mosquitofish. *Am. Nat.* **129**, 203–212 (1987).
 148. Benoît, H. P., Post, J. R. & Barbet, A. D. Recruitment dynamics and size structure in experimental populations of the mosquitofish, *Gambusia affinis*. *Copeia* 216–221 (2000).
 149. Öztürk, S. Some biological properties in the Akgöl (Fethiye-Muğla) population of the Mosquitofish *Gambusia affinis* (Baird & Girard, 1853). *Turkish J. Vet. Anim. Sci.* **27**, 911–915 (2003).
 150. Nesbit, D. H. & Meffe, G. K. Cannibalism frequencies in wild populations of the eastern

- mosquitofish (*Gambusia holbrooki*: Poeciliidae) in South Carolina. *Copeia* **1993**, 867–870 (1993).
151. Thresher, R. E., Canning, M. & Bax, N. J. Demographic effects on the use of genetic options for the control of mosquitofish, *Gambusia holbrooki*. *Ecol. Appl.* **23**, 801–814 (2013).
 152. Ivantsoff, W. Detection of predation on Australian native fishes by *Gambusia holbrooki*. *Mar. Freshw. Res.* **50**, 467–468 (1999).
 153. Winkelman, D. L. & Aho, J. M. Direct and indirect effects of predation on mosquitofish behavior and survival. *Oecologia* **96**, 200–303 (1993).
 154. Specziár, A. Life history pattern and feeding ecology of the introduced eastern mosquitofish, *Gambusia holbrooki*, in a thermal spa under temperate climate, of Lake Heviz, Hungary. *Hydrobiologia* **522**, 249–260 (2004).
 155. Taylor, R. C., Trexler, J. C. & Loftus, W. F. Separating the effects of intra-and interspecific age-structured interactions in an experimental fish assemblage. *Oecologia* **127**, 143–152 (2001).
 156. Hubbs, C. & Schlupp, I. Juvenile survival in a unisexual/sexual complex of mollies. *Environ. Biol. Fishes* **83**, 327–330 (2008).
 157. Barki, A., Zion, B., Shapira, L. & Karplus, I. A novel method using light for increasing fry yield in guppy breeding tanks. *Aquac. Eng.* **57**, 131–134 (2013).
 158. Culumber, Z. W. Early recognition and response to predator, heterospecific, and conspecific visual cues by multiple species of poeciliid fry. *Behaviour* **152**, 1463–1479 (2015).
 159. Yamagishi, H. Effect of shelters on population growth under high initial densities in the guppy, *Poecilia reticulata* (Peters). *Doubutsugaku zasshi* **85**, 126–134 (1976).
 160. Nilsson, K. A., Lundbäck, S., Postavnicheva-Harri, A. & Persson, L. Guppy populations differ in cannibalistic degree and adaptation to structural environments. *Oecologia* **167**, 391–400 (2011).
 161. Barlow, J. Nonlinear and logistic growth in experimental populations of guppies. *Ecology* **73**, 941–950 (1992).
 162. Nilsson, K. a. & Persson, L. Refuge availability and within-species differences in cannibalism determine population variability and dynamics. *Ecosphere* **4**, art100 (2013).
 163. Barki, A., Zion, B., Shapira, L. & Karplus, I. The effects of illumination and daily number of collections on fry yields in guppy breeding tanks. *Aquac. Eng.* **57**, 108–113 (2013).

164. Riesch, R., Plath, M. & Schlupp, I. The offspring size/fecundity trade-off and female fitness in the Atlantic molly (*Poecilia mexicana*, Poeciliidae). *Environ. Biol. Fishes* **94**, 457–463 (2012).
165. Barki, A., Zion, B., Shapira, L. & Karplus, I. Using attraction to light to decrease cannibalism and increase fry production in guppy (*Poecilia reticulata* Peters) hatcheries. II: the effects of light and cannibalistic adults. *Aquac. Res.* **45**, 1810–1817 (2014).
166. Affleck, R. J. Notes on the breeding of the domesticated grey guppy *Lebistes reticulatus* (Peters). *Proc. Zool. Soc. London* **135**, 631–637 (1960).
167. Loekle, D. M., Madison, D. M. & Christian, J. J. Time dependency and kin recognition of cannibalistic behavior among poeciliid fishes. *Behav. Neural Biol.* **35**, 315–318 (1982).
168. Gnad, J. D. Population studies of the guppy, *Poecilia reticulata* (Poeciliidae, Pisces). *Diss. Abstr. Int. B Sci. Eng.* **43**, 649 (1982).
169. Lima, N. R. W. & Vrijenhoek, R. C. Avoidance of filial cannibalism by sexual and clonal forms of *Poeciliopsis* (Pisces: Poeciliidae). *Anim. Behav.* **51**, 293–301 (1996).
170. Meffe, G. K. Density-dependent cannibalism in the endangered Sonoran topminnow (*Poeciliopsis occidentalis*). *Southwest. Nat.* **29**, 500–503 (1984).
171. Thibault, R. E. Genetics of cannibalism in a viviparous fish and its relationship to population density. *Nature* **251**, 138–140 (1974).
172. Weeks, S. C. & Gaggiotti, O. E. Patterns of offspring size at birth in clonal and sexual strains of *Poeciliopsis* (Poeciliidae). *Copeia* 1003–1009 (1993).
173. Jones, C. L. W., Kaiser, H. & Hecht, T. Effect of shelter, broodstock number, and sex-ratio on juvenile production in the Swordtail *Xiphophorus helleri* under intensive culture conditions. *J. World Aquac. Soc.* **29**, 92–96 (1998).
174. Jones, C. L. W., Kaiser, H., Webb, G. A. & Hecht, T. Filial cannibalism in the swordtail *Xiphophorus helleri* (Poeciliidae). *Aquarium Sci. Conserv.* **2**, 79–88 (1998).
175. Jones, C. L., Kaiser, H. & Hecht, T. Intercohort cannibalism and parturition-associated behaviour of adult swordtail, *Xiphophorus helleri* Heckel (Pisces: Poeciliidae). *Aquac. Res.* **38**, 718–727 (2007).
176. Jones, C. L., Kaiser, H. & Hecht, T. Intercohort cannibalism and post-partum behaviour of juvenile swordtail *Xiphophorus helleri* Heckel (Pisces: Poeciliidae). *Aquac. Res.* **39**, 111–117 (2008).
177. Kipling, C. & Frost, W. E. A study of the mortality, population numbers, year class strengths,

- production and food consumption of pike, *Esox lucius* L., in Windermere from 1944 to 1962. *J. Anim. Ecol.* **115–157** (1970).
178. Kipling, C. A study of perch (*Perca fluviatilis* L.) and pike (*Esox lucius* L.) in Windermere from 1941 to 1982. *J. du Cons.* **41**, 259–267 (1984).
 179. Hawkins, L. A., Armstrong, J. D. & Magurran, A. E. Aggregation in juvenile pike (*Esox lucius*): interactions between habitat and density in early winter. *Ecology* **19**, 794–799 (2005).
 180. Bry, C., Basset, E., Rognon, X. & Bonamy, F. Analysis of sibling cannibalism among pike, *Esox lucius*, juveniles reared under semi-natural conditions. *Environ. Biol. Fishes* **35**, 75–84 (1992).
 181. Nilsson, P. A. Avoid your neighbours: size-determined spatial distribution patterns among northern pike individuals. *Oikos* **113**, 251–258 (2006).
 182. Giles, N., Wright, R. M. & Nord, M. E. Cannibalism in pike fry, *Esox lucius* L.: some experiments with fry densities. *J. Fish Biol.* **29**, 107–113 (1986).
 183. Kipling, C. Changes in the population of pike (*Esox lucius*) in Windermere from 1944 to 1981. *J. Anim. Ecol.* **52**, 989–999 (1983).
 184. Haugen, T. O. *et al.* Density dependence and density independence in the demography and dispersal of pike over four decades. *Ecol. Monogr.* **77**, 483–502 (2007).
 185. Morrow Jr, J. V., Miller, G. L. & Killgore, K. J. Density, size, and foods of larval northern pike in natural and artificial wetlands. *North Am. J. Fish. Manag.* **17**, 210–214 (1997).
 186. Kucharczyk, D., Mamcarz, A., Kujawa, R. & Skrzypczak, A. Development of cannibalism in larval northern pike, *Esox lucius* (Esocidae). *Ital. J. Zool.* **65**, 261–263 (1998).
 187. Venturelli, P. A. & Tonn, W. M. Diet and growth of northern pike in the absence of prey fishes: initial consequences for persisting in disturbance-prone lakes. *Trans. Am. Fish. Soc.* **135**, 1512–1522 (2006).
 188. Alp, A. *et al.* Diet composition and prey selection of the pike, *Esox lucius*, in Civril Lake, Turkey. *J. Appl. Ichthyol.* **24**, 670–677 (2008).
 189. Bry, C., Bonamy, F., Manelpe, J. & Duranthon, B. Early life characteristics of pike, *Esox lucius*, in rearing ponds: temporal survival pattern and ontogenetic diet shifts. *J. Fish Biol.* **46**, 99–113 (1995).
 190. Trabelsi, A., Gardeur, J. N. & Ayadi, H. Effect of spawning time on egg quality, larval morphometrics and survival of Northern pike *Esox lucius*. *Cybium* **39**, 91–98 (2015).

191. Eklöv, P. Effects of habitat complexity and prey abundance on the spatial and temporal distributions of perch (*Perca fluviatilis*) and pike (*Esox lucius*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **53**, 1520–1531 (1997).
192. Gres, P., Lim, P. & Belaud, A. Effects of the initial stocking density of larval pikes (*Esox lucius* L., 1758) on survival, growth and daily food consumption (zooplankton, Chaoboridae) in intensive culture. *Bull. Fr. la Pech. la Piscic.* **343**, 153–174 (1996).
193. Žiliukienė, V. & Žiliukas, V. Feeding of early larval pike *Esox lucius* L. reared in illuminated cages. *Aquaculture* **258**, 378–387 (2006).
194. Kangur, P. Food of pike, *Esox lucius* L., in Lake Peipsi. *Proc. Est. Acad. Sci. Biol. Ecol.* **49**, 109–120 (2000).
195. Vronskii, B. B. Food of some predaceous fishes of the Amur basin (Translation). *From Ref Zh Biol* (1964).
196. Nilsson, P. A. & Brönmark, C. Foraging among cannibals and kleptoparasites: effects of prey size on pike behavior. *Behav. Ecol.* **10**, 557–566 (1999).
197. Hubenova, T., Zaikov, A., Vasileva, P. & Piskov, I. Growth and survival of pike larvae *Esox lucius* L. fed on brine shrimp (*Artemia salina* L.) nauplii. *Bulg. J. Agric. Sci.* **16**, 394–397 (2010).
198. Giovinazzo, G. Growth, mortality and cannibalism in laboratory-reared pike (*Esox lucius* L.). *Rev. Hydrobiol.* **26**, 56–66 (1987).
199. Skov, C. & Koed, A. Habitat use of 0+ year pike in experimental ponds in relation to cannibalism, zooplankton, water transparency and habitat complexity. *J. Fish Biol.* **64**, 448–459 (2004).
200. Trabelsi, A., Gardeur, J. N., Teletchea, F., Brun-Bellut, J. & Fontaine, P. Hatching time effect on the intra-spawning larval morphology and growth in Northern pike (*Esox lucius* L.). *Aquac. Res.* **44**, 657–666 (2013).
201. Havinga, B. Investigations on the rearing of young pike. *Viss. Nieuws* **3**, 91–94 (1950).
202. Szczepkowski, M. Impact of selected abiotic and biotic factors on the results of rearing juvenile stages of northern pike *Esox lucius* L. in recirculating systems. *Arch. Polish Fish.* **17**, 107–147 (2009).
203. Beaudoin, C. P., Tonn, W. M., Prepas, E. E. & Wassenaar, L. I. Individual specialization and trophic adaptability of northern pike (*Esox lucius*): an isotope and dietary analysis. *Oecologia* **120**, 386–396 (1999).

204. Grimm, M. P. Intraspecific predation as a principal factor controlling the biomass of northern pike (*Esox lucius* L.). *Aquac. Res.* **12**, 77–79 (1981).
205. Mills, C. A. & Hurley, M. A. Long-term studies on the Windermere populations of perch (*Perca fluviatilis*), pike (*Esox lucius*) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Freshw. Biol.* **23**, 119–136 (1990).
206. Cucherousset, J., Paillisson, J. M. & Roussel, J. M. Natal departure timing from spatially varying environments is dependent of individual ontogenetic status. *Naturwissenschaften* **100**, 761–768 (2013).
207. Banks, J. W. Observations on the fish population of Rostherne Mere, Cheshire. *F. Stud.* 357–379 (1970).
208. Grønkjær, P., Skov, C. & Berg, S. Otolith-based analysis of survival and size-selective mortality of stocked 0+ year pike related to time of stocking. *J. Fish Biol.* **64**, 1625–1637 (2004).
209. Bennet, L. H. Pike culture at the New London, Minnesota, station. *Progress. Fish-Culturist* **10**, 95–97 (1948).
210. Kekäläinen, J., Niva, T. & Huuskonen, H. Pike predation on hatchery-reared Atlantic salmon smolts in a northern Baltic river. *Ecol. Freshw. Fish*, **17**, 100–109 (2008).
211. Skov, C., Jacobsen, L. & Berg, S. Post-stocking survival of 0+ year pike in ponds as a function of water transparency, habitat complexity, prey availability and size heterogeneity. *J. Fish Biol.* **62**, 311–322 (2003).
212. Nilsson, P. A. & Brönmark, C. Prey vulnerability to a gape-size limited predator: behavioural and morphological impacts on northern pike piscivory. *Oikos* **88**, 539–546 (2000).
213. Bry, C. & Gillet, C. Reduction of cannibalism in pike (*Esox lucius*) fry by isolation of full-sib families. *Reprod. Nutr. Développement* **20**, 173–182 (1980).
214. Grimm, M. P. Regulation of biomass of small (less than 41 cm) northern pike (*Esox lucius* L.) with special reference to the contributions of individuals stocked as fingerlings (4–6 cm). in *Symposium on stock enhancement in the management of freshwater fish*. (1984).
215. Sharma, C. M., Borgstrøm, R., Huitfeldt, J. S. & Rosseland, B. O. Selective exploitation of large pike *Esox lucius*—effects on mercury concentrations in fish populations. *Sci. Total Environ.* **399**, 33–40 (2008).

216. Wahlstrom, E., Persson, L., Diehl, S. & Byström, P. Size-dependent foraging efficiency, cannibalism and zooplankton community structure. *Oecologia* **123**, 138–148 (2000).
217. Cucherousset, J., Paillisson, J. M., Cuzol, A. & Roussel, J. M. Spatial behaviour of young-of-the-year northern pike (*Esox lucius* L.) in a temporarily flooded nursery area. *Ecol. Freshw. Fish* **18**, 314–322 (2009).
218. Kucska, B., Müller, T., Sári, J., Bódis, M. & Bercsényi, M. Successful growth of pike fingerlings (*Esox lucius* L.) on pellet at artificial condition. *Aquaculture* **246**, 227–230 (2005).
219. Persson, L., Bertolo, A. & de Roos, A. M. Temporal stability in size distributions and growth rates of three *Esox lucius* L. populations. A result of cannibalism? *J. Fish Biol.* **69**, 461–472 (2006).
220. Mann, R. H. K. The annual food consumption and prey preferences of pike (*Esox lucius*). *J. Anim. Ecol.* **51**, 81–95 (1982).
221. Grimm, M. P. The composition of northern pike (*Esox lucius* L.) populations in four shallow waters in the Netherlands, with special reference to factors influencing 0+ pike biomass. *Aquac. Res.* **12**, 61–76 (1981).
222. Gorny, W. Influence of water temperature on mortality, growth and cannibalism in the juvenile pike (*Esox lucius* L.). *Arch. Rybactwa Pol.* **1**, 27–31 (1992).
223. Owen, R. & Bowers, E. The population dynamics of pike, *Esox lucius*, and perch, *Perca fluviatilis*, in a simple predator-prey system. *Environ. Biol. Fishes* **34**, 65–78 (1992).
224. Wright, R. M. & Giles, N. The survival, growth and diet of pike fry, *Esox lucius* L., stocked at different densities in experimental ponds. *J. Fish Biol.* **30**, 617–629 (1987).
225. Edeline, E. *et al.* Trait changes in a harvested population are driven by a dynamic tug-of-war between natural and harvest selection. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **104**, 15799–15804 (2007).
226. Soupir, C. A., Brown, M. L. & Kallemeyn, L. W. Trophic ecology of largemouth bass and northern pike in allopatric and sympatric assemblages in northern boreal lakes. *Can. J. Zool.* **78**, 1759–1766 (2000).
227. Pedreschi, D. *et al.* Trophic flexibility and opportunism in pike *Esox lucius*. *J. Fish Biol.* **87**, 876–894 (2015).
228. Nilsson, J., Engstedt, O. & Larsson, P. Wetlands for northern pike (*Esox lucius* L.) recruitment in the Baltic Sea. *Hydrobiologia* **721**, 145–154 (2014).

229. Elson, P. F. Rearing maskinonge in a protected area. *Transacions Am. Fish. Soc.* **70**, 421–429 (1941).
230. Panek, F. M. & Weis, J. S. Diet of the Eastern Mudminnow (*Umbra pygmaea* DeKay) from two geographically distinct populations within the North American native range. *Northeast. Nat.* **20**, 37–48 (2013).
231. Jurado-Molina, J., Livingston, P. A. & Galluci, V. F. Sensitivity analysis of the multispecies virtual population analysis model parameterized for a system of trophically-linked species from the eastern Bering Sea. *Ciencias Mar.* **30**, 285–296 (2004).
232. Vollset, K. W., Seljeset, O., Fiksen, Ø. & Folkvord, A. A common garden experiment with larval Northeast Arctic and Norwegian coastal cod cohorts in replicated mesocosms. *Deep Sea Res. Part II* **56**, 1984–1991 (2009).
233. Christensen, V. A model of throphic interactions in the North Sea in 1981, the year of the stomach. *Dana* **11**, 1–28 (1995).
234. Hamre, K. & Mangor-Jensen, A. A multivariate approach to optimization of macronutrient composition in weaning diets for cod (*Gadus morhua*). *Aquac. Nutr.* **12**, 15–24 (2006).
235. Daan, N. A quantitative analysis of the food intake of North Sea cod, *Gadus morhua*. *Netherlands J. Sea Res.* **6**, 479–517 (1973).
236. Blom, G. & Folkvord, A. A snapshot of cannibalism in 0-group Atlantic cod (*Gadus morhua*) in a marine pond. *J. Appl. Ichthyol.* **13**, 177–181 (1997).
237. Otterå, H. & Folkvord, A. Allometric growth in juvenile cod (*Gadus morhua*) and possible effects on cannibalism. *J. Fish Biol.* **43**, 643–645 (1993).
238. Øiestad, V., Pedersen, T., Folkvord, A., Bjordal, Å. & Kvenseth, P. G. Automatic feeding and harvesting of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) in a pond. *Model. Identif. Control* **8**, 39 (1987).
239. Fromentin, J. M., Gjørseter, J., Bjørnstad, O. N. & Stenseth, N. C. Biological processes and environmental factors regulating the dynamics of the Norwegian Skagerrak cod populations since 1919. *ICES J. Mar. Sci.* **57**, 330–338 (2000).
240. Patriquin, D. G. Biology of *Gadus morhua* in Ogac Lake, a landlocked fiord on Baffin Island. *J. Fish. Board Canada* **24**, 2573–2594 (1967).
241. Bogstad, B., Lilly, G. R., Mehl, S., Palsson, O. K. & Stefánsson, G. in *Arcto-boreal ecosystems*

- (*Barents Sea, Iceland, and eastern Newfoundland*) (eds. Akobsson, J., Atthorsson, O. S. & Beverton, R. J. H.) 576–599 (1994).
242. Puvanendran, V., Laurel, B. J. & Brown, J. A. Cannibalism of Atlantic cod *Gadus morhua* larvae and juveniles on first-week larvae. *Aquat. Biol.* **2**, 113–118 (2008).
243. Nakken, O. Causes of trends and fluctuations in the Arcto-Norwegian stock. in *Symposium on Cod and Climate Change* 212–228 (1994).
244. Uzars, D. & Plikshs, M. Cod (*Gadus morhua* L.) cannibalism in the Central Baltic: interannual variability and influence of recruit abundance and distribution. *ICES J. Mar. Sci.* **57**, 324–329 (2000).
245. Rosenlund, G. & Halldórsson, Ó. Cod juvenile production: research and commercial developments. *Aquaculture Aquacultur*, **1** (2007).
246. Bromley, P. J., Watson, T. & Hislop, J. R. G. Diel feeding patterns and the development of food webs in pelagic 0-group cod (*Gadus morhua* L.), haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.), whiting (*Merlangius merlangus* L.), saithe (*Pollachius virens* L.), and Norway pout (Trisopte. *ICES J. Mar. Sci.* **54**, 846–853 (1997).
247. Grant, S. M. & Brown, J. A. Diel foraging cycles and interactions among juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) at a nearshore site in Newfoundland. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **55**, 1307–1316 (1998).
248. Knickle, D. C. & Rose, G. A. Dietary niche partitioning in sympatric gadid species in coastal Newfoundland: evidence from stomachs and CN isotopes. *Environ. Biol. Fishes* **97**, 343–355 (2014).
249. Dutil, J. D., Cantin, C. & Lauzier, P. Rearing of the atlantic cod *Gadus morhua* biological and economic realities. *Can. Ind. Rep. Fish. Aquat. Sci.* **200**, 1–41 (1989).
250. Folkvord, A. & Otterå, H. Effects of initial size distribution, day length, and feeding frequency on growth, survival, and cannibalism in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture* **114**, 243–260 (1993).
251. Otterlei, E., Folkvord, A. & Moller, D. Effects of temperature and density on growth, survival and cannibalism of juvenile cod (*Gadus morhua* L.). *ICES J. Mar. Sci.* **198**, (1994).
252. Svåsand, T. & Kristiansen, T. S. Enhancement studies of coastal cod in western Norway. Part IV. Mortality of reared cod after release. *ICES J. Mar. Sci.* **47**, 30–39 (1990).
253. Link, J. S., Lucey, S. M. & Melgey, J. H. Examining cannibalism in relation to recruitment of silver

- hake *Merluccius bilinearis* in the US northwest Atlantic. *Fish. Res.* **114**, 31–41 (2012).
254. Anderson, J. T. & Gregory, R. S. Factors regulating survival of northern cod (NAFO 2J3KL) during their first 3 years of life. *ICES J. Mar. Sci.* **57**, 349–359 (2000).
255. Vazquez, F. J. *et al.* Feed of american plaice greenland halibut redfish and cod in flemish cap north atlantic ocean in july 1988. *Bol. Instituto Esp. Oceanogr.* **5**, 43–58 (1989).
256. Björnsson, B., Howell, B. R., Moskness, E. & Svasand, T. Fjord-ranching of wild cod in an Icelandic fjord: effects of feeding on nutritional condition, growth rate and behaviour. in *Stock enhancement and sea ranching. Papers from the First International Symposium on Stock Enhancement and Sea Ranching, Bergen, Norway* 243–256 (1999).
257. Magnussen, E. Food and feeding habits of cod (*Gadus morhua*) on the Faroe Bank. *ICES J. Mar. Sci.* **68**, 1909–1917 (2011).
258. Pachur, M. E. & Horbowy, J. Food composition and prey selection of cod, *Gadus morhua* (Actinopterygii: gadiformes: gadidae), in the southern Baltic Sea. *Acta Ichthyologica Piscat.* **43**, 109–118 (2013).
259. Puvanendran, V. & Brown, J. A. Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different light intensities and photoperiods. *Aquaculture* **214**, 131–151 (2002).
260. Kling, L. J., Hansen, J. M. & Jordaan, A. Growth, survival and feed efficiency for post-metamorphosed Atlantic cod (*Gadus morhua*) reared at different temperatures. *Aquaculture* **262**, 281–288 (2007).
261. Almqvist, G., Strandmark, A. K. & Appelberg, M. Has the invasive round goby caused new links in Baltic food webs? *Environ. Biol. Fishes* **89**, 79–93 (2010).
262. Teschner, E. C. *et al.* Impact of hypoxia on consumption of Baltic cod in a multispecies stock assessment context. *J. Appl. Ichthyol.* **26**, 836–842 (2010).
263. Brown, J. A., Minkoff, G. & Puvanendran, V. Larviculture of Atlantic cod (*Gadus morhua*): progress, protocols and problems. *Aquaculture* **227**, 357–372 (2003).
264. Castonguay, M., Chabot, C., Fréchet, A., Hammill, M. O. & Morissette, L. Main prey and predators and estimates of mortality of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the northern Gulf of St. Lawrence during the mid-1980s, mid-1990s, and early 2000s. *Fish. Ocean. Canada, Sci.* (2006).
265. Øiestad, V., Kvenseth, P. G. & Folkvord, A. Mass production of Atlantic cod juveniles *Gadus*

- morhua* in a Norwegian saltwater pond. *Trans. Am. Fish. Soc.* **114**, 590–595 (1985).
266. Skreslet, S. *et al.* in *The Vestfjord region, North Norway. Stock Enhancement and Sea Ranching* 306–314 (Fishing News Books, 1999).
267. Lindstrøm, U., Smout, S., Howell, D. & Bogstad, B. Modelling multi-species interactions in the Barents Sea ecosystem with special emphasis on minke whales and their interactions with cod, herring and capelin. *Deep Sea Res. Part II* **56**, 2068–2079 (2009).
268. Hanson, J. M. Ontogenetic diet comparison of Atlantic Cod and White Hake occurring at historically low population abundances. *Transacions Am. Fish. Soc.* **140**, 1070–1077 (2011).
269. Salvanes, A. G. V. Pollack (*Pollachius pollachius*) stock size development and potential influence on cod (*Gadus morhua*) mariculture in a west Norwegian fjord. *Fish. Res.* **24**, 223–242 (1995).
270. Linehan, J. E., Gregory, R. S. & Schneider, D. C. Predation risk of age-0 cod (*Gadus*) relative to depth and substrate in coastal waters. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* **263**, 25–44 (2001).
271. Tsou, T. S. & Collie, J. S. Predation-mediated recruitment in the Georges Bank fish community. *ICES J. Mar. Sci.* **58**, 994–1001 (2001).
272. Folkvord, A. Prey recognition in stomachs of cannibalistic juvenile cod (*Gadus morhua* L.). *Sarsia* **78**, 97–100 (1993).
273. Björnsson, B. Ranching of wild cod in ‘herds’ formed with anthropogenic feeding. *Aquaculture* **312**, 43–51 (2011).
274. Støttrup, J. G. *et al.* Rationale for restocking the eastern Baltic cod stock. *Rev. Fish. Sci.* **16**, 68–64 (2008).
275. Casas, J. M. & Paz, P. Recent changes in the feeding of cod (*Gadus morhua*) off the Flemish Cap, Newfoundland 1989–1993. *ICES J. Mar. Sci.* **53**, 750–756 (1996).
276. Fromentin, J. M. *et al.* Spatial patterns of the temporal dynamics of three gadoid species along the Norwegian Skagerrak coast. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **155**, 209–222 (1997).
277. Jarre, A. *et al.* Stock recruitment relationships for cod (*Gadus morhua* L.) in the central Baltic Sea incorporating environmental variability. *Arch. Fish. Mar. Res.* **48**, 97–123 (2000).
278. Höglund, E., Bakke, M. J., Øverli, Ø., Winberg, S. & Nilsson, G. E. Suppression of aggressive behaviour in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) by l-tryptophan supplementation. *Aquaculture* **249**, 525–531 (2005).

279. Kjesbu, O. S. *et al.* Synergies between climate and management for Atlantic cod fisheries at high latitudes. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **111**, 3478–3483 (2014).
280. Hardie, D. C. & Hutchings, J. A. The ecology of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in Canadian Arctic lakes. *Arctic* **64**, 137–150 (2011).
281. Paz, J., Casas, M. & Perez-Gándaras, G. The feeding of cod (*Gadus morhua*) on Flemish Cap, 1989-90. *Northwest Atl. Fish. Organ.* **191**, 19 (1991).
282. Kanapathippillai, P., Berg, E., dos Santos, J., Gulliksen, B. & Pedersen, T. The food consumption of cod, *Gadus morhua* L., in a high-latitude enhancement area. *Aquac. Res.* **25**, 65–76 (1994).
283. Ulltang, Ø. The management of cod stocks with special reference to growth and recruitment overfishing and the question whether artificial propagation can help to solve management problems. *Propag. cod, Gadus morhua L* **1**, 795–817 (1984).
284. Mehl, S. The Northeast Arctic cod stock's place in the Barents Sea ecosystem in the 1980s: an overview. *Polar Res.* **10**, 525–534 (1991).
285. Hjermann, D. Ø., Stenseth, N. C. & Ottersen, G. The population dynamics of Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) through two decades: an analysis based on survey data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **61**, 1747–1755 (2004).
286. Folkvord, A., Koedijk, R. M., Lokøy, V. & Imslund, A. K. Timing and selectivity of mortality in reared Atlantic cod revealed by otolith analysis. *Environ. Biol. Fishes* **89**, 513–519 (2010).
287. Steingrund, P., Mouritsen, R., Reinert, J., Gaard, E. & Hátún, H. Total stock size and cannibalism regulate recruitment in cod (*Gadus morhua*) on the Faroe Plateau. *ICES J. Mar. Sci.* **67**, 111–124 (2010).
288. Link, J. S. & Garrison, L. P. Trophic ecology of Atlantic cod *Gadus morhua* on the northeast US continental shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **227**, 109–123 (2002).
289. Neuenfeldt, S. & Köster, F. W. Trophodynamic control on recruitment success in Baltic cod: the influence of cannibalism. *ICES J. Mar. Sci.* **57**, 300–309 (2000).
290. Yaragina, N. A., Bogstad, B. & Kovalev, Y. A. Variability in cannibalism in Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) during the period 1947–2006. *Mar. Biol. Res.* **5**, 75–85 (2009).
291. van der Meeren, T. *et al.* Water quality and microbial community structure in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) cultures. *Aquaculture* **316**, 111–120 (2011).

292. Rindorf, A. Diel feeding pattern of whiting in the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **249**, 265–276 (2003).
293. Cabral, H. N. & Murta, A. G. The diet of blue whiting, hake, horse mackerel and mackerel off Portugal. *J. Appl. Ichthyol.* **18**, 14–23 (2002).
294. Livingston, P. A. & Jurado-Molina, J. A multispecies virtual population analysis of the eastern Bering Sea. *ICES J. Mar. Sci.* **57**, 294–299 (2000).
295. Mueter, F. J., Ladd, C., Palmer, M. C. & Norcross, B. L. Bottom-up and top-down controls of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) on the Eastern Bering Sea shelf. *Prog. Oceanogr.* **68**, 152–183 (2006).
296. Hunsicker, M. E., Ciannelli, L., Bailey, K. M., Zador, S. & Stige, L. C. Climate and demography dictate the strength of predator-prey overlap in a subarctic marine ecosystem. *PLoS One* **8**, e66025 (2013).
297. Hunt, G. L. *et al.* Climate impacts on eastern Bering Sea foodwebs: a synthesis of new data and an assessment of the Oscillating Control Hypothesis. *ICES J. Mar. Sci.* **68**, 1230–1243 (2011).
298. Kim, S. & Gunderson, D. R. Cohort dynamics of walleye pollock in Shelikof Strait, Gulf of Alaska, during the egg and larval periods. *Transacciones Am. Fish. Soc.* **118**, 264–273 (1989).
299. Fuita, T. *et al.* Diets of the demersal fishes on the shelf off Iwate, northern Japan. *Mar. Biol.* **123**, 219–233 (1995).
300. Yamamura, O., Honda, S., Shida, O. & Hamatsu, T. Diets of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Doto area, northern Japan: ontogenetic and seasonal variations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **238**, 187–198 (2002).
301. Duffy-Anderson, J. T. *et al.* Distribution of age-1 and age-2 walleye pollock in the Gulf of Alaska and eastern Bering Sea: sources of variation and implications for higher trophic levels. in *The Big Fish Bang: Proceedings of the 26th Annual Larval Fish Conference. Institute of Marine Research, Bergen, Norway* 381–394 (2003).
302. De Robertis, A. & Cokelet, E. D. Distribution of fish and macrozooplankton in ice-covered and open-water areas of the eastern Bering Sea. *Deep Sea Res. Part II* **65**, 217–229 (2012).
303. Winter, A., Swartzman, G. & Ciannelli, L. Early-to late-summer population growth and prey consumption by age-0 pollock (*Theragra chalcogramma*), in two years of contrasting pollock abundance near the Pribilof Islands, Bering Sea. *Fish. Oceanogr.* **14**, 307–320 (2005).

304. Mueter, F. J., Bond, N. A., Ianelli, J. N. & Hollowed, A. B. Expected declines in recruitment of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the eastern Bering Sea under future climate change. *ICES J. Mar. Sci.* **68**, 1284–1296 (2011).
305. Boldt, J. L., Buckley, T. W., Rooper, C. N. & Aydin, K. Factors influencing cannibalism and abundance of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) on the eastern Bering Sea shelf, 1982–20. *Fish. Bull.* **110**, 293–306 (2012).
306. Dwyer, D. A., Bailey, K. M. & Livingston, P. A. Feeding habits and daily ration of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the eastern Bering Sea, with special reference to cannibalism. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* **44**, 1972–1984 (1987).
307. Urban, D. Food habits of Pacific cod and walleye pollock in the northern Gulf of Alaska. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **469**, 215–222 (2012).
308. White, V. C., Morado, J. F. & Friedman, C. S. Ichthyophonus-infected walleye pollock *Theragra chalcogramma* (Pallas) in the eastern Bering Sea: a potential reservoir of infections in the North Pacific. *J. Fish Dis.* **37**, 641–655 (2014).
309. Livingston, P. A. Importance of predation by groundfish, marine mammals and birds on walleye pollock *Theragra chalcogramma* and Pacific herring *Clupea pallasii* in the eastern Bering Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **102**, 205–215 (1993).
310. Bailey, K. M. Interaction between the vertical distribution of juvenile walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the eastern Bering Sea, and cannibalism. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **53**, 205–213 (1989).
311. Yamamura, O., Funamoto, T., Chimura, M., Honda, S. & Oshima, T. Interannual variation in diets of walleye pollock in the Doto area, in relation to climate variation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **491**, 221–234 (2013).
312. Livingston, P. A. Key fish species, northern fur seals, *Callorhinus ursinus*, and fisheries interactions involving walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in the eastern Bering Sea. *J. Fish Biol.* **35**, 179–186 (1989).
313. Wespestrad, V. G., Fritz, L. W., Ingraham, W. J. & Megrey, B. A. On relationships between cannibalism, climate variability, physical transport, and recruitment success of Bering Sea walleye pollock (*Theragra chalcogramma*). *ICES J. Mar. Sci.* **57**, 272–278 (2000).
314. Ciannelli, L., Brodeur, R. D., Swartzman, G. L. & Salo, S. Physical and biological factors influencing the spatial distribution of age-0 walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) around the Pribilof

- Islands, Bering Sea. *Deep Sea Res. Part II* **49**, 6109–6126 (2002).
315. Brodeur, R. D., Bailey, K. M., Yoshiro, Y., Yamashita, Y. & Oozeki, Y. Predation on the early life stages of marine fish: A case study on walleye pollock in the Gulf of Alaska. in *Survival Strategies in Early Life Stages of Marine Resources, Yokohama Japon* (1994).
316. Brodeur, R. D. & Merati, N. Predation on walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) eggs in the western Gulf of Alaska: the roles of vertebrate and invertebrate predators. *Mar. Biol.* **117**, 483–493 (1993).
317. Schabetsberger, R., Brodeur, R. D., Honkalehto, T. & Mier, K. L. Sex-biased egg cannibalism in spawning walleye pollock: the role of reproductive behavior. *Environ. Biol. Fishes* **54**, 175–190 (1999).
318. Brodeur, R. D., Wilson, M. T. & Ciannelli, L. Spatial and temporal variability in feeding and condition of age-0 walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in frontal regions of the Bering Sea. *ICES J. Mar. Sci.* **57**, 256–264 (2000).
319. Yamamura, O., Yabuki, K., Shida, O., Watanabe, K. & Honda, S. Spring cannibalism on 1 year walleye pollock in the Doto area, northern Japan: is it density dependent? *J. Fish Biol.* **59**, 645–656 (2001).
320. Sogard, S. M. & Olla, B. L. The potential for intracohort cannibalism in age-0 walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, as determined under laboratory conditions. *Environ. Biol. Fishes* **39**, 183–190 (1994).
321. Lang, G. M., Brodeur, R. D., Napp, J. M. & Schabetsberger, R. Variation in groundfish predation on juvenile walleye pollock relative to hydrographic structure near the Pribilof Islands, Alaska. *ICES J. Mar. Sci.* **57**, 265–271 (2000).
322. Brodeur, R. D., Picquelle, S. J., Blood, D. M. & Merati, N. Walleye pollock egg distribution and mortality in the western Gulf of Alaska. *Fish. Oceanogr.* **5**, 92–111 (1996).
323. Shida, O., Miyake, H., Kaneta, T., Ishida, R. & Miyashita, K. Winter distribution of young walleye pollock *Theragra chalcogramma* investigated with quantitative echosounder on the Pacific coast of eastern Hokkaido, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* **74**, 152–160 (2008).
324. Harrison, P. M. *et al.* Diel vertical migration of adult burbot: a dynamic trade-off among feeding opportunity, predation avoidance, and bioenergetic gain. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **70**, 1765–1774 (2013).

325. Jacobs, G. R., Madenjian, C. P., Bunnell, D. B. & Holuszko, J. D. Diet of lake trout and burbot in northern Lake Michigan during spring: evidence of ecological interaction. *J. Great Lakes Res.* **36**, 312–317 (2010).
326. Trabelsi, A., Gardeur, J. N., Teletchea, F. & Fontaine, P. Effects of 12 factors on burbot *Lota lota* (L., 1758) weaning performances using fractional factorial design experiment. *Aquaculture* **316**, 104–110 (2011).
327. Barron, J. M. *et al.* Effects of temperature on the intensive culture performance of larval and juvenile North American Burbot (*Lota lota maculosa*). *Aquaculture* **364**, 67–73 (2012).
328. Barron, J. M., Jensen, N. R., Anders, P. J., Egan, J. P. & Cain, K. D. Suppression of cannibalism during larviculture of Burbot through size grading. *N. Am. J. Aquac.* **75**, 556–561 (2013).
329. Palińska-Żarska, K. *et al.* The effect of age, size and digestive tract development on burbot, *Lota lota* (L.), larvae weaning effectiveness. *Aquac. Nutr.* **20**, 281–290 (2014).
330. Gallagher, C. P. & Dick, T. A. Winter feeding ecology and the importance of cannibalism in juvenile and adult burbot (*Lota lota*) from the Mackenzie Delta, Canada. *Hydrobiologia* **757**, 73–88 (2015).
331. Blaber, S. J. M. & Bulman, C. M. Diets of fishes of the upper continental slope of eastern Tasmania: content, calorific values, dietary overlap and trophic relationships. *Mar. Biol.* **95**, 345–356 (1987).
332. Bulman, C. M. & Blaber, S. J. M. Feeding ecology of *Macruronus novaezelandiae* (Hector)(Teleostei: Merlucciidae) in south-eastern Australia. *Mar. Freshw. Res.* **37**, 621–639 (1986).
333. Garrison, L. P. & Link, J. S. Diets of five hake species in the northeast United States continental shelf ecosystem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **204**, 243–255 (2000).
334. Koeller, P. A., Coates-Markle, L. & Neilson, J. D. Feeding ecology of juvenile (age-0) silver hake (*Merluccius bilinearis*) on the Scotian Shelf. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* **46**, 1762–1768 (1989).
335. Link, J. S. & Garrison, L. P. Changes in piscivory associated with fishing induced changes to the finfish community on Georges Bank. *Fish. Res.* **55**, 71–86 (2002).
336. Macpherson, E. & Gordo, A. Effect of prey densities on cannibalism in Cape hake (*Merluccius capensis*) off Namibia. *Mar. Biol.* **119**, 145–149 (1994).
337. Pillar, S. C. & Barange, M. Feeding selectivity of juvenile Cape hake *Merluccius capensis* in the southern Benguela. *South African J. Mar. Sci.* **13**, 255–268 (1993).
338. Pillar, S. C. & Wilkinson, I. S. The diet of Cape hake *Merluccius capensis* on the south coast of South

- Africa. *South African J. Mar. Sci.* **15**, 225–239 (1995).
339. Neira, S., Arancibia, H. & Cubillos, L. A. Comparative analysis of trophic structure of commercial fishery species off Central Chile in 1992 and 1998. *Ecol. Modell.* **172**, 233–248 (2004).
340. Payá, I. & Ehrhardt, N. M. Comparative sustainability mechanisms of two hake (*Merluccius gayi gayi* and *Merluccius australis*) populations subjected to exploitation in Chile. *Bull. Mar. Sci.* **76**, 261–286 (2005).
341. Guevara-Carrasco, R. & Lleonart, J. Dynamics and fishery of the Peruvian hake: Between nature and man. *J. Mar. Syst.* **71**, 249–259 (2008).
342. Orrego, H. & Mendo, J. Variación interanual de la dieta de la merluza *Merluccius gayi* peruanus (GUITCHENOT) en la costa peruana. *Ecol. Apl.* **11**, 103–116 (2012).
343. Cubillos, L. A., Alarcón, C. & Arancibia, H. Selectividad por tamaño de las presas en merluza común (*Merluccius gayi gayi*), zona centro-sur de Chile (1992-1997). *Investig. Mar.* **35**, 55–69 (2007).
344. San Martín, M. A., Cubillos, L. A. & Saavedra, J. C. The spatio-temporal distribution of juvenile hake (*Merluccius gayi gayi*) off central southern Chile (1997–2006). *Aquat. Living Resour.* **24**, 161–168 (2011).
345. Angelescu, V. & Prenschi, L. B. Ecología trófica de la merluza común del Mar Argentino (Merlucciidae, *Merluccius hubbsi*). Parte 2. Dinámica de la alimentación analizada sobre la base de las condiciones ambientales, la estructura y las evaluaciones de los efectivos en su área de distribu.
346. Ocampo Reinaldo, M., González, R. & Romero, M. A. Feeding strategy and cannibalism of the Argentine hake *Merluccius hubbsi*. *J. Fish Biol.* **79**, 1795–1814 (2011).
347. Sanchez, F. Alimentación de la Merluza (*Merluccius hubbsi*) en el Golfo de San Jorge y Aguas Adyacentes. *INIDEP Inf. técnico* **75**, 1–21 (2009).
348. Belleggia, M., Figueroa, D. E., Irusta, G. & Bremec, C. Spatio-temporal and ontogenetic changes in the diet of the Argentine hake *Merluccius hubbsi*. *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom* **94**, 1701–1710 (2014).
349. Cartes, J. E., Hidalgo, M., Papiol, V., Massutí, E. & Moranta, J. Changes in the diet and feeding of the hake *Merluccius merluccius* at the shelf-break of the Balearic Islands: influence of the mesopelagic-boundary community. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* **56**, 344–365 (2009).
350. Stagioni, M., Montanini, S. & Vallisneri, M. Feeding habits of European hake, *Merluccius merluccius*

- (Actinopterygii: Gadiformes: Merlucciidae), from the northeastern Mediterranean Sea. *Acta Ichthyologica Piscat.* **41**, 277–284 (2011).
351. Mahe, K., Amara, R., Bryckaert, T., Kacher, M. & Brylinski, J. M. Ontogenetic and spatial variation in the diet of hake (*Merluccius merluccius*) in the Bay of Biscay and the Celtic Sea. *ICES J. Mar. Sci.* **64**, 1210–1219 (2007).
352. Preciado, I., Punzón, A. & Velasco, F. Spatio-temporal variability in the cannibalistic behaviour of European hake *Merluccius merluccius*: the influence of recruit abundance and prey availability. *J. Fish Biol.* **86**, 1319–1334 (2015).
353. Guichet, R. The diet of European hake (*Merluccius merluccius*) in the northern part of the Bay of Biscay. *ICES J. Mar. Sci.* **52**, 21–21 (1995).
354. Smith, P. E. Development of the population biology of the Pacific hake, *Merluccius productus*. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Investig. Rep.* 144–152 (1995).
355. Buckley, T. W. & Livingston, P. A. Geographic variation in the diet of Pacific hake, with a note on cannibalism. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Investig. Rep.* 53–62 (1997).
356. Acuña Plavan, A., Sellanes, J., Rodríguez, L. & Burone, L. Feeding ecology of *Urophycis brasiliensis* on the Uruguayan coast of the Río de la Plata estuary. *J. Appl. Ichthyol.* **23**, 231–239 (2007).
357. Kobler, A., Humblet, Y., Geudens, K. & Eens, M. Period-dependent sex-biased movement in a polygamous stream fish (*Cottus perifretum* Freyhof, Kottelat & Nolte, 2005—Actinopterygii, Cottidae) with male parental care. *Hydrobiologia* **693**, 195–204 (2012).
358. Salfert, I. G. & Moodie, G. E. E. Filial egg-cannibalism in the brook stickleback, *Culaea inconstans* (Kirtland). *Behaviour* **93**, 82–100 (1985).
359. Belles-Isles, J. C., Cloutier, D. & Fitzgerald, G. J. Female cannibalism and male courtship tactics in threespine sticklebacks. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **26**, 363–368 (1990).
360. Candolin, U. Increased signalling effort when survival prospects decrease: male–male competition ensures honesty. *Anim. Behav.* **60**, 417–422 (2000).
361. Fitzgerald, G. J., Whoriskey, F. G., Morrisette, J. & Harding, M. Habitat scale, female cannibalism, and male reproductive success in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Behav. Ecol.* **3**, 141–147 (1992).
362. Fitzgerald, G. J. Egg cannibalism by sticklebacks: spite or selfishness? *Behav. Ecol. Sociobiol.* **30**,

- 201–206 (1992).
363. Foster, S. A. Diversionary displays of paternal stickleback. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **22**, 335–340 (1988).
364. Foster, S. A. Inference of evolutionary pattern: diversionary displays of three-spined sticklebacks. *Behav. Ecol.* **5**, 114–121 (1994).
365. Foster, S. A. & Baker, J. A. in *Ecomorphology of fishes* 213–223 (1995).
366. Hyatt, K. D. & Ringler, N. H. Egg cannibalism and the reproductive strategies of threespine sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) in a coastal British Columbia lake. *Can. J. Zool.* **67**, 2036–2046 (1989).
367. Kraak, S. B. M., Bakker, T. C. M. & Mundwiler, B. Correlates of the duration of the egg collecting phase in the three-spined stickleback. *J. Fish Biol.* **54**, 1038–1049 (1999).
368. Mori, S. Factors associated with and fitness effects of nest-raiding in the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus*, in a natural situation. *Behaviour* **132**, 1022–1023 (1995).
369. Smith, C. & Wootton, R. J. Experimental analysis of some factors affecting parental expenditure and investment in *Gasterosteus aculeatus* (Gasterosteidae). *Environ. Biol. Fishes* **43**, 63–76 (1995).
370. Smith, R. S. & Whoriskey, F. G. Multiple clutches: female threespine sticklebacks lose the ability to recognize their own eggs. *Anim. Behav.* **36**, 1838–1839 (1988).
371. Feuth-de Bruijn, E. & Sevenster, P. Parental reactions to young in sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* L.). *Behaviour* **83**, 186–203 (1983).
372. Fitzgerald, G. J. & Van Havre, N. The adaptive significance of cannibalism in sticklebacks (Gasterosteidae: Pisces). *Behav. Ecol. Sociobiol.* **20**, 125–128 (1987).
373. Fitzgerald, G. J. The role of cannibalism in the reproductive ecology of the threespine stickleback. *Ethology* **89**, 177–194 (1991).
374. Frommen, J. G., Brendler, C. & Bakker, T. C. M. The tale of the bad stepfather: male three-spined sticklebacks *Gasterosteus aculeatus* L. recognize foreign eggs in their manipulated nest by egg cues alone. *J. Fish Biol.* **70**, 1295–1301 (2007).
375. Hyatt, K. D. & Ringler, N. H. Role of nest raiding and egg predation in regulating population density of threespine sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) in a coastal British Columbia lake. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **46**, 372–383 (1989).

376. Lefébure, R., Larsson, S. & Byström, P. Temperature and size-dependent attack rates of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*); are sticklebacks in the Baltic Sea resource-limited? *J. Exp. Biol.* **451**, (2014).
377. Mehlis, M., Bakker, T. C. & Frommen, J. G. Nutritional benefits of filial cannibalism in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Naturwissenschaften* **96**, 399–403 (2009).
378. Ridgway, M. S. & McPhail, J. D. Raiding shoal size and a distraction display in male sticklebacks (*Gasterosteus*). *Can. J. Zool.* **66**, 201–205 (1988).
379. Sargent, R. C. Territory quality, male quality, courtship intrusions, and female nest-choice in the threespine stickleback, *Gasterosteus aculeatus*. *Anim. Behav.* **30**, 364–374 (1982).
380. Sillett, K. B. & Foster, S. A. Ontogenetic niche shifts in two populations of juvenile threespine stickleback, *Gasterosteus aculeatus*, that differ in pelvic spine morphology. *Oikos* **91**, 468–476 (2000).
381. Sparkes, T. C., Rush, V. & Foster, S. A. Reproductive costs, condition and carotenoid-based colour in natural populations of threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). *Ecol. Freshw. Fish* **17**, 292–302 (2008).
382. Whoriskey, F. G. & Fitzgerald, G. J. Sex, cannibalism and sticklebacks. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **18**, 15–18 (1985).
383. Mehlis, M., Bakker, T. C., Engqvist, L. & Frommen, J. G. To eat or not to eat: egg-based assessment of paternity triggers fine-tuned decisions about filial cannibalism. *Proc. R. Soc. London B* **277**, 2627–2635 (2010).
384. Foster, S. A. Understanding the evolution of behavior in threespine stickleback: the value of geographic variation. *Behaviour* **132**, 1107–1129 (1995).
385. Lavin, P. A. & McPhail, J. D. Adaptive divergence of trophic phenotype among freshwater populations of the threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **43**, 2455–2463 (1986).
386. Shaw, K. A., Scotti, M. L. & Foster, S. A. Ancestral plasticity and the evolutionary diversification of courtship behaviour in threespine sticklebacks. *Anim. Behav.* **73**, 415–422 (2007).
387. Kynard, B. E. Breeding behavior of a lacustrine population of threespine sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* L.). *Behaviour* **67**, 178–206 (1978).

388. Foster, S. A., Garcia, V. B. & Town, M. Y. Cannibalism as the cause of an ontogenetic shift in habitat use by fry of the threespine stickleback. *Oecologia* **74**, 577–585 (1988).
389. Narimatsu, Y. & Munehara, H. Territoriality, egg desertion and mating success of a paternal care fish, *Hypoptychus dybowskii* (Gasterosteiformes). *Behaviour* **138**, 85–96 (2001).
390. Gomagano, D. & Kohda, M. Partial filial cannibalism enhances initial body condition and size in paternal care fish with strong male-male competition. *Ann. Zool. Fennici* **45**, 55–65 (2008).
391. Toledo, J. D. & Gaitan, A. G. Egg cannibalism by milkfish (*Chanos chanos* Forsskal) spawners in circular floating net cages. *J. Appl. Ichthyol.* **8**, 257–262 (1992).
392. Stopa, R. M. & Hoshino, K. Electrolocation-communication discharges of the fish *Gymnotus carapo* L.(Gymnotidae: Gymnotiformes) during behavioral sleep. *Brazilian J. Med. Biol. Res.* **32**, 1223–1228 (1999).
393. Mlewa, C. M. & Green, J. M. Biology of the marbled lungfish, *Protopterus aethiopicus* Heckel, in Lake Baringo, Kenya. *Afr. J. Ecol.* **42**, 338–345 (2004).
394. Clay, T. A., Suchy, M. D., Ferrara, A. M., Fontenot, Q. C. & Lorio, W. Early growth and survival of larval alligator gar, *Atractosteus spatula*, reared on artificial floating feed with or without a live *Artemia* spp. supplement. *J. World Aquac. Soc.* **42**, 412–416 (2001).
395. Payne, S. L. & Pearson, E. D. Feeding preferences of postlarval longnose gar (*Lepisosteus osseus*) of the Ohio River. *Trans. Kentucky Acad. Sci.* **42**, 119–131 (1981).
396. Johnson, A. K., Richards, R. A., Cullen, D. W. & Sutherland, S. J. Growth, reproduction, and feeding of large monkfish, *Lophius americanus*. *ICES J. Mar. Sci.* **67**, 1306–1315 (2008).
397. Laurenson, C. H. & Priede, I. G. The diet and trophic ecology of anglerfish *Lophius piscatorius* at the Shetland Islands, UK. *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom* **85**, 419–424 (2005).
398. Bernal, A., Olivar, M. P., Maynou, F. & de Puelles, M. L. F. Diet and feeding strategies of mesopelagic fishes in the western Mediterranean. *Prog. Oceanogr.* **135**, 1–17 (2015).
399. Allibone, R. Egg cannibalism by inanga (*Galaxias maculatus*). *New Zeal. J. Mar. Freshw. Res.* **37**, 763–765 (2003).
400. Belk, M. C., Habit, E., Ortiz-Sandoval, J. J., Sobenes, C. & Combs, E. A. Ecology of *Galaxias platei* in a depauperate lake. *Ecol. Freshw. Fish* **23**, 615–621 (2014).
401. Cadwallader, P. L. Distribution and ecology of the Canterbury mudfish, *Neochanna burrowsius*

- (Phillipps)(Salmoniformes: Galaxiidae). *J. R. Soc. New Zeal.* **5**, 21–30 (1975).
402. Gjørøseter, H., Bogstad, B. & Tjelmeland, S. Ecosystem effects of the three capelin stock collapses in the Barents Sea. *Mar. Biol. Res.* **5**, 40–53 (2009).
403. Slotte, A., Mikkelsen, N. & Gjørøseter, H. Egg cannibalism in Barents Sea capelin in relation to a narrow spawning distribution. *J. Fish Biol.* **69**, 187–202 (2006).
404. Dolgov, A. The role of capelin (*Mallotus villosus*) in the foodweb of the Barents Sea. *ICES J. Mar. Sci.* **59**, 1034–1045 (2002).
405. Vinni, M., Lappalainen, J., Malinen, T. & Peltonen, H. Seasonal bottlenecks in diet shifts and growth of smelt in a large eutrophic lake. *J. Fish Biol.* **64**, 567–579 (2004).
406. Doherty, D. & McCarthy, T. K. The ecology and conservation of European smelt (*Osmerus eperlanus* L.) from Waterford Estuary, in southeastern Ireland. *Biol. Environ. Proc. R. Irish Acad.* 125–130 (2004).
407. Gorman, O. T. Changes in a population of exotic rainbow smelt in Lake Superior: boom to bust, 1974–2005. *J. Great Lakes Res.* **33**, 75–90 (2007).
408. O’Brien, T. P., Taylor, W. W., Roseman, E. F., Madenjian, C. P. & Riley, S. C. Ecological factors affecting rainbow smelt recruitment in the main basin of Lake Huron, 1976–2010. *Trans. Am. Fish. Soc.* **143**, 784–795 (2014).
409. Henderson, B. A. & Nepszy, S. J. Factors affecting recruitment and mortality rates of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in Lake Erie, 1963–85. *J. Great Lakes Res.* **15**, 357–366 (1989).
410. Stritzel Thomson, J. L., Parrish, D. L., Parker-Stetter, S. L., Rudstam, L. G. & Sullivan, P. J. Growth rates of rainbow smelt in Lake Champlain: effects of density and diet. *Ecol. Freshw. Fish* **20**, 503–512 (2011).
411. Parker-Stetter, S. L., Thomson, J. L. S., Rudstam, L. G., Parrish, D. L. & Sullivan, P. J. Importance and predictability of cannibalism in rainbow smelt. *Trans. Am. Fish. Soc.* **136**, 227–237 (2007).
412. He, X. & LaBar, G. W. Interactive effects of cannibalism, recruitment, and predation on rainbow smelt in Lake Champlain: a modeling synthesis. *J. Great Lakes Res.* **20**, 289–298 (1994).
413. Lantry, B. F. & Stewart, D. J. Population dynamics of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in Lakes Ontario and Erie: a modeling analysis of cannibalism effects. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **57**, 1594–1606 (2000).

414. Colburn, H. R., Walker, A. B. & Berlinsky, D. L. Rainbow smelt weaning and the effects of temperature and salinity on juvenile growth. *N. Am. J. Aquac.* **74**, 235–240 (2012).
415. Tang, F. J., Liu, W., Wang, J. L., Li, Z. & Xie, S. G. Diet composition and transition of clearhead icefish (*Protosalanx hyalocranius*) in Lake Xingkai. *Dongwuxue Yanjiu* **34**, 593–598 (2013).
416. Link, J. S., Lucey, S. M. & Melgey, J. H. Examining cannibalism in relation to recruitment of silver hake *Merluccius bilinearis* in the US northwest Atlantic. *Fish. Res.* **114**, 31–41 (2012).
417. Eigaard, O. R. *et al.* Prey or predator—expanding the food web role of sandeel (*Ammodytes marinus*). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **516**, 267–273 (2014).
418. Yamada, H., Tsumoto, K. & Kuno, M. Cannibalistic mortality of larval sand eel *Ammodytes personatus* by adults in Ise Bay central Japan. *Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.* **64**, 807–814 (1998).
419. Morioka, S., Ito, S., Kitamura, S. & Vongvichith, B. Growth and morphological development of laboratory-reared larval and juvenile climbing perch *Anabas testudineus*. *Ichthyol. Res.* **56**, 162–171 (2009).
420. Moksness, E., Gjørseter, J., Reinert, A. & Fjallstein, I. S. Start-feeding and on-growing of wolffish (*Anarhichas lupus*) in the laboratory. *Aquaculture* **77**, 221–228 (1989).
421. Moksness, E. Weaning of wild-caught common wolffish (*Anarhichas lupus*) larvae. *Aquaculture* **91**, 77–85 (1990).
422. Raventos, N. Age, growth and reproductive parameters of the Mediterranean cardinal fish, *Apogon imberbis*. *J. Appl. Ichthyol.* **23**, 675–678 (2007).
423. Mazzoldi, C., Randieri, A., Mollica, E. & Rasotto, M. B. Notes on the reproduction of the cardinalfish *Apogon imberbis* from Lachea Island, Central Mediterranean, Sicily, Italy. *Vie Milieu* **58**, 63–66 (2008).
424. Okuda, N. Interspecific differences in male cannibalistic behavior between two sympatric cardinalfishes (Pisces: Apogonidae). *J. Ethol.* **18**, 5–10 (2000).
425. Okuda, N. Female mating strategy and male brood cannibalism in a sand-dwelling cardinalfish. *Anim. Behav.* **58**, 273–279 (1999).
426. Kume, G., Yamaguchi, A. & Aoki, I. Dummy egg production by female cardinalfish to deceive cannibalistic males: oogenesis without vitellogenesis. *Environ. Biol. Fishes* **65**, 469–472 (2002).
427. Kume, G., Yamaguchi, A. & Taniuchi, T. Feeding Habits of the Cardinalfish *Apogon lineatus* in

- Tokyo Bay, Japan. *Fish. Sci.* **65**, 420–423 (1999).
428. Kume, G., Yamaguchi, A. & Taniuchi, T. Filial cannibalism in the paternal mouthbrooding cardinalfish *Apogon lineatus*: egg production by the female as the nutrition source for the mouthbrooding male. *Environ. Biol. Fishes* **58**, 233–236 (2000).
429. Kume, G., Yamaguchi, A. & Aoki, I. Geographic variations in feeding habits of the cardinalfish *Apogon lineatus*. *Bull. Fac. Fish. Univ.* **84**, 39–46 (2003).
430. Kume, G., Yamaguchi, A., Aoki, I. & Taniuchi, T. Reproductive biology of the cardinalfish *Apogon lineatus* in Tokyo Bay, Japan. *Fish. Sci.* **66**, 947–954 (2000).
431. Kume, G., Yamaguchi, A. & Aoki, I. Reproductive biology of the paternal mouthbrooding cardinalfish *Apogon lineatus* in Tokyo Bay, Japan. *Fish. Sci.* **68**, 457–458 (2002).
432. Rueger, T., Gardiner, N. M. & Jones, G. P. Relationships between pair formation, site fidelity and sex in a coral reef cardinalfish. *Behav. Processes* **107**, 119–126 (2014).
433. Okuda, N., Takeyama, T. & Yanagisawa, Y. Age-specific filial cannibalism in a paternal mouthbrooding fish. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **41**, 363–369 (1997).
434. Okuda, N. & Yanagisawa, Y. Filial cannibalism by mouthbrooding males of the cardinal fish, *Apogon doederleini*, in relation to their physical condition. *Environ. Biol. Fishes* **45**, 397–404 (1996).
435. Okuda, N. & Yanagisawa, Y. Filial cannibalism in a paternal mouthbrooding fish in relation to mate availability. *Anim. Behav.* **52**, 307–314 (1996).
436. Takeyama, T., Okuda, N. & Yanagisawa, Y. Seasonal pattern of filial cannibalism by *Apogon doederleini* mouthbrooding males. *J. Fish Biol.* **61**, 633–644 (2002).
437. Okuda, N., Myazaki, M. & Yanagisawa, Y. Sexual difference in buccal morphology of the paternal mouthbrooding cardinalfish *Apogon doederleini*. *Zoolog. Sci.* **19**, 801–807 (2002).
438. Okuda, N., Tayasu, I. & Yanagisawa, Y. Determinate growth in a paternal mouthbrooding fish whose reproductive success is limited by buccal capacity. *Evol. Ecol.* **12**, 681–699 (1998).
439. Kingsford, M. J., Finn, M. D., O’Callaghan, M. D., Atema, J. & Gerlach, G. Planktonic larval duration, age and growth of *Ostorhinchus doederleini* (Pisces: Apogonidae) on the southern Great Barrier Reef, Australia. *Mar. Biol.* **161**, 245–259 (2014).
440. Fukumori, K., Okuda, N. & Yanagisawa, Y. Female territoriality in a paternal mouthbrooding cardinalfish to avoid predation against spawned eggs. *Can. J. Zool.* **87**, 508–514 (2009).

441. Okuda, N., Fukumori, K. & Yanagisawa, Y. Male ornamentation and its condition-dependence in a paternal mouthbrooding cardinalfish with extraordinary sex roles. *J. Ethol.* **21**, 153–159 (2003).
442. Okuda, N. Sex roles are not always reversed when the potential reproductive rate is higher in females. *Am. Nat.* **153**, 540–548 (1999).
443. Okuda, N. The costs of reproduction to males and females of a paternal mouthbrooding cardinalfish *Apogon notatus*. *J. Fish Biol.* **58**, 776–787 (2001).
444. Kolm, N. & Berglund, A. Sex-specific territorial behaviour in the Banggai cardinalfish, *Pterapogon kaunderni*. *Environ. Biol. Fishes* **70**, 375–379 (2004).
445. Pakhomov, E. A. Diet of two Antarctic dragonfish (Pisces: Bathydraconidae) from the Indian sector of the Southern Ocean. *Antarct. Sci.* **10**, 55–61 (1998).
446. Kraak, S. B. M. quantitative description of the reproductive biology of the Mediterranean blenny *Aidablennius sphyinx* (Teleostei, Blenniidae) in its natural habitat. *Environ. Biol. Fishes* **46**, 329–342 (1996).
447. Kraak, S. B. M. Female preference and filial cannibalism in *Aidablennius sphyinx* (Teleostei, Blenniidae); a combined field and laboratory study. *Behav. Processes* **36**, 85–97 (1996).
448. Matsumoto, Y., Yabuno, A., Kiros, S., Soyano, K. & Takegaki, T. Changes in male courtship intensity and androgen levels during brood cycling in the blennioid fish *Rhabdoblennius nitidus*. *J. Ethol.* **30**, 387–394 (2012).
449. Matsumoto, Y. & Takegaki, T. Female mate choice copying increases egg survival rate but does not reduce mate-sampling cost in the barred-chin blenny. *Anim. Behav.* **86**, 339–346 (2013).
450. Matsumoto, Y., Tawa, A. & Takegaki, T. Female mate choice in a paternal brooding blenny: the process and benefits of mating with males tending young eggs. *Ethology* **117**, 227–335 (2011).
451. Takegaki, T., Yoshimoto, Y. & Matsumoto, Y. Filial cannibalism in the barred-chin blenny *Rhabdoblennius ellipes*: males do not preferentially eat young eggs. *J. Ethol.* **29**, 395–400 (2011).
452. Vinyoles, D. & Sostoa, A. Egg cannibalism in river blennies: the role of natural prey availability. *J. Fish Biol.* **55**, 1223–1232 (1999).
453. Gasith, A. & Goren, M. Habitat availability, reproduction and population dynamics of the fresh water blenny *Salaria fluviatilis* (Asso, 1801) in Lake Kinneret, Israel. *Electron. J. Ichthyol.* **2**, 34–46 (2009).
454. Fabre, N., García-Galea, E. & Vinyoles, D. Parents' presence affects embryos' development in

- Salaria fluviatilis* (Asso, 1801), a fish with parental care. *Anim. Biol.* **64**, 295–309 (2014).
455. Ros, A. F., Fagundes, T. & Oliveira, R. F. Adjustment of brood size and androgen levels in a teleost species with exclusive male parental care. *Anim. Behav.* **78**, 25–33 (2009).
456. Gonçálves, E. J. & Almada, V. C. Sex differences in resource utilization by the peacock blenny. *J. Fish Biol.* **51**, 624–633 (1997).
457. Miki, T., Nakatsukasa, H., Takahashi, N., Murata, O. & Ishibashi, Y. Aggressive behaviour and cannibalism in greater amberjack, *Seriola dumerili*: effects of stocking density, feeding conditions and size differences. *Aquac. Res.* **42**, 1339–1349 (2011).
458. Fielder, D. S. in *Advances in Aquaculture hatchery technology series* (eds. Allan, G. & Burnell, G.) 542–553 (Woodhead Publishing in Food Science, Technology and Nutrition, 2013).
459. Moran, D., Smith, C. K., Lee, P. S. & Pether, S. J. Mortality structures population size characteristics of juvenile yellowtail kingfish *Seriola lalandi* reared at different densities. *Aquat. Biol.* **11**, 229–238 (2011).
460. Moran, D. Sampling effort required to obtain repeatable average size estimates of juvenile fish. *Aquat. Biol.* **11**, 239–242 (2011).
461. Sakakura, Y. & Tsukamoto, K. Effects of density, starvation and size difference on aggressive behaviour in juvenile yellowtails (*Seriola quinquevadiata*). *J. Appl. Ichthyol.* **14**, 9–13 (1998).
462. Sakakura, Y. & Tsukamoto, K. Effects of water temperature and light intensity on aggressive behavior in the juvenile yellowtails. *Fish. Sci.* **63**, 42–45 (1997).
463. Sakakura, Y. & Tsukamoto, K. Onset and development of cannibalistic behaviour in early life stages of yellowtail. *J. Fish Biol.* **48**, 16–29 (1996).
464. Sakakura, Y. & Tsukamoto, K. in *When do fishes become juveniles?* 231–242 (Springer Netherlands, 1998).
465. Imler, R. L., Weber, D. T. & Fyock, O. L. Survival, reproduction, age, growth, and food habits of Sacramento perch, *Archoplites interruptus* (Girard), in Colorado. *Trans. Am. Fish. Soc.* **104**, 232–236 (1975).
466. Copp, G. H., Fox, M. G. & Kovac, V. Growth, morphology and life history traits of a cool-water European population of pumpkinseed *Lepomis gibbosus*. *Arch. für Hydrobiol.* **155**, 585–614 (2002).
467. Neff, B. D. Decisions about parental care in response to perceived paternity. *Nature* **422**, 716–719

- (2003).
468. Neff, B. D. & Sherman, P. W. In vitro fertilization reveals offspring recognition via self-referencing in a fish with paternal care and cuckoldry. *Ethology* **111**, 425–438 (2005).
469. Retting, J. E. & Mittelbach, G. G. Interactions between adult and larval bluegill sunfish: positive and negative effects. *Oecologia* **130**, 222–230 (2002).
470. Neff, B. D. & Sherman, P. W. Nestling recognition via direct cues by parental male bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*). *Anim. Cogn.* **6**, 87–92 (2003).
471. Neff, B. D. Paternity and condition affect cannibalistic behavior in nest-tending bluegill sunfish. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **54**, 377–384 (2003).
472. Neff, B. D. & Knapp, R. Paternity, parental behavior and circulating steroid hormone concentrations in nest-tending male bluegill. *Horm. Behav.* **56**, 239–245 (2009).
473. J., W. D., Cogdon, B. D. & Mueller, K. W. Diet analysis of smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*) and largemouth bass (*Micropterus salmoides*) from Spencer Lake, Blakely Island, Washington. *Washingt. Dep. Fish Wildl. Tech. Rep. FTP 10* (2002).
474. Clady, M. D. Food habits of yellow perch, smallmouth bass and largemouth bass in two unproductive lakes in northern Michigan. *Am. Midl. Nat.* **91**, 453–459 (1974).
475. Smith, K. L., Miner, J. G., Wiegmann, D. D. & Newman, S. P. Individual differences in exploratory and antipredator behaviour in juvenile smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*). *Behaviour* **146**, 283–294 (2009).
476. Weyl, O. L. & Hecht, T. A successful population of largemouth bass, *Micropterus salmoides*, in a subtropical lake in Mozambique. *Environ. Biol. Fishes* **54**, 53–66 (1999).
477. DeAngelis, D. L., Cox, D. K. & Coutant, C. C. Cannibalism and size dispersal in young-of-the-year largemouth bass: experiment and model. *Ecol. Modell.* **8**, 133–148 (1980).
478. Jackson, U. T. Controlled spawning of largemouth bass. *Progress. Fish-Culturist* **41**, 90–95 (1979).
479. Swenson, W. A. Demographic changes in a largemouth bass population following closure of the fishery. in *American Fisheries Society Symposium* 627–638 (2002).
480. Petit, G., Beauchaud, M. & Buisson, B. Density effects on food intake and growth of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquac. Res.* **32**, 495–497 (2001).

481. Christensen, D. R. & Moore, B. C. Differential prey selectivity of largemouth bass functional feeding groups in Twin Lakes, Washington. *Lake Reserv. Manag.* **23**, 39–48 (2007).
482. Pothoven, S. A., Vondracek, B. & Pereira, D. L. Effects of vegetation removal on bluegill and largemouth bass in two Minnesota lakes. *North Am. J. Fish. Manag.* **19**, 748–757 (1999).
483. Pine III, W. E., Ludsin, S. A. & DeVries, D. R. First-summer survival of largemouth bass cohorts: is early spawning really best? *Transacions Am. Fish. Soc.* **129**, 504–513 (2000).
484. Post, D. M. Individual variation in the timing of ontogenetic niche shifts in largemouth bass. *Ecology* **84**, 1298–1310 (2003).
485. Post, D. M., Kitchell, J. F. & Hodgson, J. R. Interactions among adult demography, spawning date, growth rate, predation, overwinter mortality, and the recruitment of largemouth bass in a northern lake. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* **55**, 2588–2600 (1998).
486. Middaugh, C. R., Foley, C. J. & Höök, T. O. Local and lake-scale habitat effects on abundance, lengths, and diets of age-0 largemouth bass and bluegill in Indiana temperate lakes. *Transacions Am. Fish. Soc.* **142**, 1576–1589 (2013).
487. Johnson, J. M. & Post, D. M. Morphological constraints on intracohort cannibalism in age-0 largemouth bass. *Transacions Am. Fish. Soc.* **125**, 809–812 (1996).
488. Garvey, J. E., Wright, R. A. & Stein, R. A. Overwinter growth and survival of age-0 largemouth bass (*Micropterus salmoides*): revisiting the role of body size. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **55**, 2414–2424 (1998).
489. Meehan, O. L. A method for the production of largemouth bass on natural food in fertilized ponds. *Progress. Fish-Culturist* **6**, 1–19 (1939).
490. Hickley, P., North, R., Muchiri, S. M. & Harper, D. M. The diet of largemouth bass, *Micropterus salmoides*, in Lake Naivasha, Kenya. *J. Fish Biol.* **44**, 607–619 (1994).
491. Pelham, M. E., Pierce, C. L. & Larscheid, J. G. Diet dynamics of the juvenile piscivorous fish community in Spirit Lake, Iowa, USA, 1997–1998. *Ecol. Freshw. Fish* **10**, 198 (2001).
492. Corrêa, C. F. & Cerqueira, V. R. Effects of stocking density and size distribution on growth, survival and cannibalism in juvenile fat snook (*Centropomus parallelus* Poey). *Aquac. Res.* **38**, 1627–1634 (2007).
493. Corrêa, C. F. & Cerqueira, V. R. Stocking densities for fat snook juveniles after larviculture. *Bol. do*

- Inst. Pesca* **34**, 571–576 (2008).
494. Adams, A. J. & Wolfe, R. K. Cannibalism of juveniles by adult common snook (*Centropomus undecimalis*). *Gulf Mex. Sci.* **24**, 11 (2006).
495. Barbour, A. B., Adams, A. J. & Lorenzen, K. Emigration-corrected seasonal survival of a size-structured fish population in a nursery habitat. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **514**, 191–205 (2014).
496. Moroshi, Y. & Sasaki, K. Intensive cannibalism and feeding on bregmacerotids in *Champsodon snyderi* (Champsodontidae): evidence for pelagic predation. *Ichthyol. Res.* **50**, 387–390 (2003).
497. Raizada, S. *et al.* Dietary protein requirement of giant snakehead, *Channa marulius* (Ham., 1822) fry and impact on growth indices. *Proc. Natl. Acad. Sci. India Sect. B* **82**, 389–496 (2012).
498. Ahmed, M. S., Mukteruzzaman, M. & Ali, M. S. Size and feed dependent cannibalism among juvenile spotted murrels, *Channa punctatus* (Bloch). *Bangladesh J. Zool.* **30**, 115–126 (2002).
499. Alam, M. M. & Parween, S. Survivability of *Channa punctatus* (Bloch) in different kinds of containers. *Pak. J. Zool.* **33**, (2001).
500. Qin, J. & Fast, A. W. Effects of feed application rates on growth, survival, and feed conversion of juvenile snakehead *Channa striatus*. *J. World Aquac. Soc.* **27**, 52–56 (1996).
501. Qin, J. G. & Fast, A. W. Effects of temperature, size and density on culture performance of snakehead, *Channa striatus* (Bloch), fed formulated feed. *Aquac. Res.* **29**, 299–303 (1998).
502. War, M., Altaff, K. & Haniffa, M. A. Growth and survival of larval Snakehead *Channa striatus* (Bloch, 1793) fed different live feed organisms. *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.* **11**, (2011).
503. Qin, J. G. & Fast, A. W. Intensive culture of an air-breathing fish, snakehead (*Channa striatus*) during larval, fingerling, and grow-out stages. in *American Fisheries Society Symposium* 33–42 (2003).
504. War, M. & Altaff, K. Preliminary studies on the effect of prey length on growth, survival and cannibalism of larval Snakehead, *Channa striatus* (Bloch, 1793). *Pak. J. Zool.* **46**, 9–15 (2014).
505. Victor, R. & Akpocha, B. O. The biology of Snakehead, *Channa obscura* (Gunther), in a Nigerian pond under monoculture. *Aquaculture* **101**, 17–24 (1992).
506. Jennions, M. D. & Palakow, D. A. The effect of partial brood loss on male desertion in a cichlid fish: an experimental test. *Behav. Ecol.* **12**, 84–92 (2001).

507. Fraser, S. A., Wisenden, B. D. & Keenleyside, M. H. Aggressive behaviour among convict cichlid (*Cichlasoma nigrofasciatum*) fry of different sizes and its importance to brood adoption. *Can. J. Zool.* **71**, 2358–2362 (1993).
508. Smith, C. & Wootton, R. J. Experimental analysis of some factors affecting parental expenditure and investment in *Cichlasoma nigrofasciatum* (Cichlidae). *Environ. Biol. Fishes* **42**, 289–302 (1995).
509. Lavery, R. J. & Keenleyside, M. H. Filial cannibalism in the biparental fish *Cichlasoma nigrofasciatum* (Pisces: Cichlidae) in response to early brood reductions. *Ethology* **86**, 326–338 (1990).
510. Santangelo, N. Female breeding experience affects parental care strategies of both parents in a monogamous cichlid fish. *Anim. Behav.* **104**, 31–37 (2015).
511. Renn, S. C., Carleton, J. B., Magee, H., Nguyen, M. L. T. & Tanner, A. C. Maternal care and altered social phenotype in a recently collected stock of *Astatotilapia burtoni* cichlid fish. *Integr. Comp. Biol.* **49**, 660–673 (2009).
512. Villares-Jr, G. A., Gomiero, L. M., Villares-Jr, G. A. & Naous, F. Seasonal and ontogenetic variations in the diet of *Cichla kelberi* Kullander and Ferreira, 2006 introduced in an artificial lake in southeastern Brazil. *Brazilian J. Biol.* **8**, 819–824 (2010).
513. Fugi, R., Luz-Agostinho, K. D. G. & Agostinho, A. A. Trophic interaction between an introduced (peacock bass) and a native (dogfish) piscivorous fish in a Neotropical impounded river. *Hydrobiologia* **607**, 143–150 (2008).
514. Gomiero, L. M. & Braga, F. M. de S. Cannibalism as the main feeding behaviour of tucunares introduced in southeast Brazil. *Brazilian J. Biol.* **64**, 625–632 (2004).
515. Santos, L. N. dos, Gonzalez, A. F. & Araújo, F. G. Diet of *Cichla monoculus* (Bloch & Schneider)(Osteichthyes, Cichlidae) in Lajes' Reservoir, Rio de Janeiro, Brazil. *Rev. Bras. Zool.* **18**, 191–204 (2001).
516. Novaes, J. L. C., Caramaschi, É. P. & Winemiller, K. O. Feeding of *Cichla monoculus* Spix, 1829 (Teleostei: Cichlidae) during and after reservoir formation in the Tocantins River, Central Brazil. *Acta Limnol. Bras.* **16**, 41–49 (2004).
517. dos Santos, A. F. G. N., Santos, L. N. dos, Andrade, C. C. de & Araújo, F. G. Alimentação de duas espécies de peixes carnívoros no Reservatório de Lajes, RJ. *Rev. Univ. Rural. Sér. Ci. Vida. Seropédica* **24**, 161–168 (2004).

518. Arcifa, M. S. & Meschiatti, A. J. Distribution and feeding ecology of fishes in a Brazilian reservoir: Lake Monte Alegre. *Interciência-Caracas* **18**, 302 (1993).
519. Zaret, T. M. Inhibition of cannibalism in *Cichla ocellaris* and hypothesis of predator mimicry among South American fishes. *Evolution (N. Y.)* **31**, 421–437 (1977).
520. Martins, M. L., Pereira-Jr, J., De Chambrier, A. & Yamashita, M. M. Proteocephalid cestode infection in alien fish, *Cichla piquiti* Kullander and Ferreira, 2006 (Osteichthyes: Cichlidae), from Volta Grande reservoir, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian J. Biol.* **69**, 189–195 (2009).
521. Ward, J. A. & Samarakoon, J. I. Reproductive tactics of the Asian cichlids of the genus *Etroplus* in Sri Lanka. *Environ. Biol. Fishes* **6**, 95–103 (1981).
522. Sato, T. Active accumulation of spawning substrate: a determinant of extreme polygyny in a shell-brooding cichlid fish. *Anim. Behav.* **48**, 669–678 (1994).
523. Maan, M. E. & Taborsky, M. Sexual conflict over breeding substrate causes female expulsion and offspring loss in a cichlid fish. *Behav. Ecol.* **19**, 302–308 (2008).
524. Brandtmann, G., Scandura, M. & Trillmich, F. Female-female conflict in the harem of a snail cichlid (*Lamprologus ocellatus*): behavioural interactions and fitness consequences. *Behaviour* **136**, 1123–1144 (1999).
525. Taborsky, M. Breeder-helper conflict in a cichlid fish with broodcare helpers: an experimental analysis. *Behaviour* **95**, 45–75 (1985).
526. Taborsky, M. Broodcare helpers in the cichlid fish *Lamprologus brichardi*: their costs and benefits. *Anim. Behav.* **32**, 1236–1252 (1984).
527. Zöttl, M., Heg, D., Chervet, N. & Taborsky, M. Kinship reduces alloparental care in cooperative cichlids where helpers pay-to-stay. *Nat. Commun.* **4**, 1341 (2013).
528. Heg, D. & Hamilton, I. M. Tug-of-war over reproduction in a cooperatively breeding cichlid. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **62**, 1249–1257 (2008).
529. Schürch, R. & Heg, D. Variation in helper type affects group stability and reproductive decisions in a cooperative breeder. *Ethology* **116**, 257–269 (2010).
530. Ariel, E. & Owens, L. Epizootic mortalities in tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Dis. Aquat. Organ.* **29**, 1–6 (1997).
531. De Moor, F. C., Wilkinson, R. C. & Herbst, H. M. Food and feeding habits of *Oreochromis*

- mossambicus* (Peters) in hypertrophic Hartbeespoort Dam, South Africa. *South African J. Zool.* **21**, 170–176 (1986).
532. Macintosh, J. D. & de Silva, S. S. The influence of stocking density and food ration on fry survival and growth in *Oreochromis mossambicus* and *O. niloticus* female × *O. aureus* male hybrids reared in a closed circulated system. *Aquaculture* **41**, 345–358 (1984).
533. Dangilan, M. & Eguia, R. Cannibalism among different sizes of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry/fingerlings and the effect of natural food. in *The second International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Bangkok, Thailand* 465 (1988).
534. Abdel-Tawwab, M., El-Marakby, H. I. & Ahmad, M. H. Cannibalism in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus): effect of stocking density, feed quality and submerged macrophytes. *Indian J. Fish.* **53**, 245–251 (2006).
535. Berrios-Hernandez, J. M. & Snow, J. R. Comparison of methods for reducing fry losses to cannibalism in tilapia production. *Progress. Fish-Culturist* **45**, 116–118 (1983).
536. Ellis, S. C. & Watanabe, W. Comparison of raceway and cylindroconical tanks for brackish-water production of juvenile Florida red tilapia under high stocking densities. *Aquac. Eng.* **13**, 59–69 (1994).
537. Mustapha, M. K., Oladokun, T. T., Salman, M. M., Adeniyi, I. A. & Ojo, D. Does light duration (photoperiod) have an effect on the mortality and welfare of cultured *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus*. *Turkish J. Zool.* **38**, 466–470 (2014).
538. Ellis, S. C., Watanabe, W. O. & Head, W. D. Effect of initial age variation on production of Florida red tilapia fry under intensive, brackishwater tank culture. *Aquac. Res.* **24**, 465–471 (1993).
539. Watanabe, W. O., Smith, S. J., Wicklund, R. I. & Olla, B. L. Hatchery production of Florida red tilapia seed in brackishwater tanks under natural-mouthbrooding and clutch-removal methods. *Aquaculture* **102**, 77–88 (1992).
540. Fessehaye, Y., Kabir, A., Bovenhuis, H. & Komen, H. Prediction of cannibalism in juvenile *Oreochromis niloticus* based on predator to prey weight ratio, and effects of age and stocking density. *Aquaculture* **255**, 314–322 (2006).
541. Borges, A. M., Moretti, J. O. C., McManus, C. & Mariante, A. D. S. Production of monosex male Nile tilapia populations of the Chitralada strain. *Pesqui. Agropecuária Bras.* **40**, 153–159 (2005).
542. Nelson, C. T. & Elwood, R. W. Parental state and offspring recognition in the biparental cichlid fish

- Pelvicachromis pulcher*. *Anim. Behav.* **54**, 803–809 (1997).
543. Mrowka, W. Egg stealing in a mouthbrooding cichlid fish. *Anim. Behav.* **35**, 923–925 (1987).
544. Mrowka, W. Filial cannibalism and reproductive success in the maternal mouthbrooding cichlid fish *Pseudocrenilabrus multicolor*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **21**, 257–265 (1987).
545. Balshine-Earn, S. I. G. A. L. The costs of parental care in Galilee St Peter's fish, *Sarotherodon galilaeus*. *Anim. Behav.* **50**, 1–7 (1995).
546. Segers, F. H., Gerber, B. & Taborsky, B. Do maternal food deprivation and offspring predator cues interactively affect maternal effort in fish? *Ethology* **117**, 708–721 (2011).
547. Schwanck, E. Filial cannibalism in *Tilapia mariae*. *J. Appl. Ichthyol.* **2**, 65–74 (1986).
548. Torres-Rojas, Y. E., Hernandez Herrera, A., Ortega-García, S. & Soto-Jiménez, M. F. Feeding habits variability and trophic position of dolphinfish in waters south of the Baja California Peninsula, Mexico. *Transacciones Am. Fish. Soc.* **143**, 528–542 (2014).
549. Moteki, M., Arai, M., Tsuchiya, K. & Okamoto, H. Composition of piscine prey in the diet of large pelagic fish in the eastern tropical Pacific Ocean. *Fish. Sci.* **67**, 1063–1074 (2001).
550. Winemiller, K. O. & Ponwith, B. J. Comparative ecology of eleotrid fishes in Central American coastal streams. *Environ. Biol. Fishes* **53**, 373–384 (1998).
551. Stott, M. K. & Poulin, R. Parasites and parental care in male upland bullies (Eleotridae). *J. Fish Biol.* **48**, 283–291 (1996).
552. Bedarf, A. T., McKaye, K. R., Van Den Berghe, E. P., Perez, L. J. & Secor, D. H. Initial six-year expansion of an introduced piscivorous fish in a tropical Central American lake. *Biol. Invasions* **3**, 391–404 (2001).
553. Herbert, B. W., Graham, P. A. & Foster, S. D. Effects of added shelter and stocking density on growth of sleepy cod *Oxyeleotris lineolatus* in ponds. *J. World Aquac. Soc.* **34**, 433–440 (2003).
554. Hernaman, V., Probert, P. K. & Robbins, W. D. Trophic ecology of coral reef gobies: interspecific, ontogenetic, and seasonal comparison of diet and feeding intensity. *Mar. Biol.* **156**, 317–330 (2009).
555. Hishida, Y. Egg consumption by the female in the paternal brooding goby *Bathygobius fuscus*. *Fish. Sci.* **68**, 449–451 (2002).
556. Wong, B. B. & Svensson, P. A. Strategic male signalling effort in a desert-dwelling fish. *Behav. Ecol.*

- Sociobiol.* **63**, 543–549 (2009).
557. Karino, K. & Arai, R. Effect of clutch size on male egg-fanning behavior and hatching success in the goby, *Eviota prasina* (Klunzinger). *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* **334**, 43–50 (2006).
558. Sekiya, Y. & Karino, K. Female mate preference in goby *Eviota prasina*: do secondary sexual traits influence female choice. *Zoolog. Sci.* **21**, 859–863 (2004).
559. Shrivastava, N. P. & Desai, V. R. A case of cannibalism observed in *Glossogobius giuris* (Hamilton) from Rihand Reservoir (Uttar Pradesh). *Inl. Fish. Soc. India* **11**, (1979).
560. Islam, M. N. Eco-biology of freshwater Gobi, *Glossogobius giuris* (Hamilton) of the river Padma in relation to its fishery: a review. *J. Biol. Sci.* **4**, 780–793 (2004).
561. Bjelvenmark, J. & Forsgren, E. Effects of mate attraction and male-male competition on paternal care in a goby. *Behaviour* **140**, 55–69 (2003).
562. Manica, A. Parental fish change their cannibalistic behaviour in response to the cost-to-benefit ratio of parental care. *Anim. Behav.* **67**, 1015–1021 (2004).
563. Morimoto, Y., Shibata, J. Y., Takahata, M., Myint, O. & Kohda, M. Male Isaza (*Gymnogobius isaza*, Gobiidae) prefer large mates: a counterstrategy against brood parasitism by conspecific females. *J. Ethol.* **28**, 429–436 (2010).
564. Takahashi, D. *et al.* Why egg-caring males of Isaza (*Gymnogobius isaza*, Gobiidae) refuse additional females: preliminary field observations. *J. Ethol.* **22**, 153–159 (2004).
565. Nonnis Marzano, F. & Gandolfi, G. Active cannibalism among adults of *Knipowitschia panizzae* (Pisces Gobiidae) induced by starvation and reproduction. *Ethol. Ecol. Evol.* **13**, 385–391 (2001).
566. Yavno, S. & Corkum, L. D. Round goby *Neogobius melanostomus* attraction to conspecific and heterospecific egg odours. *J. Fish Biol.* **78**, 1944–1953 (2011).
567. Meunier, B., Yavno, S., Ahmed, S. & Corkum, L. D. First documentation of spawning and nest guarding in the laboratory by the invasive fish, the round goby (*Neogobius melanostomus*). *J. Great Lakes Res.* **35**, 608–612 (2009).
568. Parmigiani, S., Torricelli, P. & Lugli, M. Intermale aggression in *Padogobius martensi* (Günther)(Pisces Gobiidae) during the breeding season: effects of size, prior residence, and parental investment. *Monit. Zool. Ital.* **22**, 161–170 (1988).
569. Bisazza, A., Marconato, A. & Marin, G. Male competition and female choice in *Padogobius martensi*

- (Pisces, Gobiidae). *Anim. Behav.* **38**, 406–413 (1989).
570. Mazzoldi, C., Poltronieri, C. & Rasotto, M. B. Egg size variability and mating system in the marbled goby *Pomatoschistus marmoratus* (Pisces: Gobiidae). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **233**, 231–239 (2002).
571. Pasquaud, S., Girardin, M. & Ellie, P. Diet of gobies of the genus *Pomatoschistus* (*P. microps* and *P. minutus*), in the Gironde estuary (France). *Cybium* **28**, 99–106 (2004).
572. Kvarnemo, C., Svensson, O. & Forsgren, E. Parental behaviour in relation to food availability in the common goby. *Anim. Behav.* **56**, 1285–1290 (1998).
573. Svensson, O., Magnhagen, C., Forsgren, E. & Kvarnemo, C. Parental behaviour in relation to the occurrence of sneaking in the common goby. *Anim. Behav.* **56**, 175–179 (1998).
574. Lissåker, M. & Svensson, O. Cannibalize or care? The role of perceived paternity in the sand goby, *Pomatoschistus minutus*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **62**, 1467–1475 (2008).
575. Svensson, O., Nyman, A. & Kvarnemo, C. Costly courtship or dishonest display? Intensely displaying sand goby males have lower lipid content. *J. Fish Biol.* **64**, 1425–1429 (2004).
576. Lissåker, M. Does time of the season influence filial cannibalism in the sand goby, *Pomatoschistus minutus*? *Environ. Biol. Fishes* **80**, 69–75 (2007).
577. Lissåker, M., Kvarnemo, C. & Svensson, O. Effects of a low oxygen environment on parental effort and filial cannibalism in the male sand goby, *Pomatoschistus minutus*. *Behav. Ecol.* **14**, 374–381 (2003).
578. Lindström, K. Effects of costs and benefits of brood care on filial cannibalism in the sand goby. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **42**, 101–106 (1998).
579. Forsgren, E., Karlsson, A. & Kvarnemo, C. Female sand gobies gain direct benefits by choosing males with eggs in their nests. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **39**, 91–96 (1996).
580. Andrén, M. N. & Kvarnemo, C. Filial cannibalism in a nest-guarding fish: females prefer to spawn in nests with few eggs over many. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **68**, 1565–1576 (2014).
581. Kvarnemo, C. Food affects the potential reproductive rates of sand goby females but not of males. *Behav. Ecol.* **8**, 605–611 (1997).
582. Freitas, V., Lika, K., Witte, J. I. & van der Veer, H. W. Food conditions of the sand goby *Pomatoschistus minutus* in shallow waters: An analysis in the context of Dynamic Energy Budget theory. *J. Sea Res.* **66**, 440–446 (2011).

583. Pampoulie, C., Lindström, K. & Mary, C. M. S. Have your cake and eat it too: male sand gobies show more parental care in the presence of female partners. *Behav. Ecol.* **15**, 199–204 (2004).
584. Klug, H. & Lindström, K. Hurry-up and hatch: selective filial cannibalism of slower developing eggs. *Biol. Lett.* **4**, 160–162 (2008).
585. Lehtonen, T. K. & Kvarnemo, C. Infections may select for filial cannibalism by impacting egg survival in interactions with water salinity and egg density. *Oecologia* **178**, 673–683 (2015).
586. Kvarnemo, C., Svensson, O. & Manson, W. Investment in testes, sperm-duct glands and lipid reserves differs between male morphs but not between early and late breeding season in *Pomatoschistus minutus*. *J. Fish Biol.* **76**, 1609–1625 (2010).
587. Lindström, K. & Hellström, M. Male size and parental care in the sand goby, *Pomatoschistus minutus*. *Ethol. Ecol. Evol.* **5**, 97–106 (1993).
588. Lehtonen, T. K. & Lindström, K. Mate compatibility, parental allocation and fitness consequences of mate choice in the sand goby *Pomatoschistus minutus*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **61**, 1581–1588 (2007).
589. Svensson, O. & Kvarnemo, C. Parasitic spawning in sand gobies: an experimental assessment of nest-opening size, sneaker male cues, paternity, and filial cannibalism. *Behav. Ecol.* **18**, 410–419 (2007).
590. Olsson, K. H., Kvarnemo, C. & Svensson, O. Relative costs of courtship behaviours in nest-building sand gobies. *Anim. Behav.* **77**, 541–546 (2009).
591. Chin-Baarstad, A., Klug, H. & Lindström, K. Should you eat your offspring before someone else does? Effect of an egg predator on filial cannibalism in the sand goby. *Anim. Behav.* **78**, 203–208 (2009).
592. Lissåker, M. & Kvarnemo, C. Ventilation or nest defense—parental care trade-offs in a fish with male care. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **60**, 864–873 (2006).
593. Brandner, J., Auerswald, K., Cerwenka, A. F., Schliewen, U. K. & Geist, J. Comparative feeding ecology of invasive Ponto-Caspian gobies. *Hydrobiologia* **703**, 113–131 (2013).
594. Adámek, Z., Jurajda, P., Prášek, V. & Sukop, I. Seasonal diet pattern of non-native tubenose goby (*Proterorhinus semilunaris*) in a lowland reservoir (Mušov, Czech Republic). *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* **397**, 12 (2010).
595. Takahashi, D. & Kohda, M. Courtship in fast water currents by a male stream goby (*Rhinogobius brunneus*) communicates the parental quality honestly. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **55**, 431–438 (2004).

596. Suk, H. Y. & Choe, J. C. Dynamic female preference for multiple signals in *Rhinogobius brunneus*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **62**, 945–951 (2008).
597. Suk, H. & Choe, J. C. The presence of eggs in the nest and female choice in common freshwater gobies (*Rhinogobius brunneus*). *Behav. Ecol. Sociobiol.* **52**, 211–215 (2002).
598. Takeyama, T., Namizaki, N. & Kohda, M. Mate availability accelerates male filial cannibalism in a nest brooding fish: effects of number and fecundity of females. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **67**, 421–428 (2013).
599. Myint, O., Tsujimoto, H., Ohnishi, N., Takeyama, T. & Kohda, M. Mate availability affects female choice in a fish with paternal care: female counterstrategies against male filial cannibalism. *J. Ethol.* **29**, 153–159 (2011).
600. Myint, O., Takeyama, T., Okuda, N., Ohnishi, N. & Kohda, M. Mate availability facilitates cannibalistic behaviour in a nest brooding fish: effects of timing during the brood cycle. *Behaviour* **148**, 247–264 (2011).
601. Ito, S. *et al.* Changes in male physiological condition during brooding activities in a natural population of a stream goby, *Rhinogobius* sp. *Environ. Biol. Fishes* **87**, 135–140 (2010).
602. Manica, A. Female scissortail sergeants (Pisces: Pomacentridae) use test eggs to choose good fathers. *Anim. Behav.* **79**, 237–242 (2010).
603. Okuda, N., Ito, S. & Iwao, H. Mate availability and somatic condition affect filial cannibalism in a paternal brooding goby. *Behaviour* **141**, 279–296 (2004).
604. Takahashi, D. & Yanagisawa, Y. Breeding ecology of an amphidromous goby of the genus *Rhinogobius*. *Ichthyol. Res.* **46**, 185–191 (1999).
605. Ito, S. & Yanagisawa, Y. Mate choice and cannibalism in a natural population of a stream goby, *Rhinogobius* sp. *Ichthyol. Res.* **47**, 51–58 (2000).
606. Taborsky, M., Hudde, B. & Wirtz, P. Reproductive behaviour and ecology of *Symphodus* (*Crenilabrus*) *ocellatus*, a European wrasse with four types of male behaviour. *Behaviour* **102**, 82–117 (1987).
607. Nemptsov, S. C. & Clark, E. Intraspecific egg predation by male razorfishes (Labridae) during broadcast spawning: filial cannibalism or intra-pair parasitism? *Bull. Mar. Sci.* **55**, 133–141 (1994).
608. Masumura, K. Effect of light-intercepting to prevent the cannibalism occurring in process of artificial

- propagation of sea bass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvier) Preliminary report. *Bull. Hiroshima Fish. Exerimental Stn.* **21-26**, (1976).
609. Loughnan, S. R. *et al.* Broodstock contribution after mass spawning and size grading in barramundi (*Lates calcarifer*, Bloch). *Aquaculture* **404**, 139–149 (2013).
610. Qin, J. G., Mittiga, L. & Ottolenghi, F. Cannibalism reduction in juvenile barramundi *Lates calcarifer* by providing refuges and low light. *J. World Aquac. Soc.* **35**, (2004).
611. Ribeiro, F. F., Forsythe, S. & Qin, J. G. Dynamics of intracohort cannibalism and size heterogeneity in juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) at different stocking densities and feeding frequencies. *Aquaculture* **444**, 55–61 (2015).
612. Mojjada, S. K., Dash, B., Pattnaik, P., Anbarasu, M. & Imelda, J. Effect of stocking density on growth and survival of hatchery reared fry of Asian seabass, *Lates calcarifer* (Bloch) under captive conditions. *Indian J. Fish.* **60**, 71–75 (2013).
613. Sukumaran, K. *et al.* Effect of stocking density on size heterogeneity and sibling cannibalism in Asian seabass *Lates calcarifer* (Bloch, 1790) larvae. *Indian J. Fish.* **58**, 145–147 (2011).
614. Curnow, J., King, J., Partridge, G. & Kolkovski, S. Effects of two commercial microdiets on growth and survival of barramundi (*Lates calcarifer* Bloch) larvae within various early weaning protocols. *Aquac. Nutr.* **12**, 247–255 (2006).
615. Ganzon-Naret, E. S. The influence of different stocking densities on the performance and behavior among the hatchery reared sea bass (*Lates calcarifer*) juveniles in recirculating system. *ABAH Bioflux* **6**, 125–133 (2014).
616. Russell, D. J., Thuesen, P. A., Thomson, F. E. & Power, T. N. s stocking barramundi (*Lates calcarifer*) in north-eastern Queensland a threat to aquatic biodiversity? *Mar. Freshw. Res.* **64**, 992–1002 (2013).
617. Ribeiro, F. F. & Qin, J. G. Modelling size-dependent cannibalism in barramundi *Lates calcarifer*: cannibalistic polyphenism and its implication to aquaculture. *PLoS One* **8**, e82488 (2013).
618. Madrones-Ladja, J. A. & Catacutan, M. R. Netcage rearing of the Asian seabass *Lates calcarifer* (Bloch) in brackishwater pond: The technical and economic efficiency of using high protein diets in fingerling production. *Philipp. Agric. Sci.* **95**, (2012).
619. Lojera, D. P., Fermin, A. C. & de la Pena, M. R. Partial replacement of *Artemia* sp. by the brackishwater cladoceran, *Diaphanosoma celebensis* (Stingelin), in the larval rearing of sea bass,

- Lates calcarifer* (Bloch). *Isr. J. Aquac.* **50**, 25–32 (1998).
620. Ribeiro, F. F. & Qin, J. G. Prey size selection and cannibalistic behaviour of juvenile barramundi *Lates calcarifer*. *J. Fish Biol.* **86**, 1549–1566 (2015).
621. Appelbaum, S. & Arockiaraj, A. J. Sibling cannibalism in juvenile Asian sea bass (*Lates calcarifer*) reared under different photoperiods. *AAFL Bioflux* **3**, 384–392 (2010).
622. Arockiaraj, A. J. & Appelbaum, S. Sibling cannibalism in juvenile barramundi, *Lates calcarifer* (Actinopterygii: Perciformes: Centropomidae), reared under different light conditions. *Acta Ichthyologica Piscat.* **41**, 7–11 (2011).
623. Davis, T. L. O. The food of barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch), in coastal and inland waters of Van Diemen Gulf and the Gulf of Carpentaria, Australia. *J. Fish Biol.* **26**, 669–682 (1985).
624. Fehér, M. *et al.* The interactive effect of cobalt enrichment in Artemia on the survival and larval growth of barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* **414**, 92–99 (2013).
625. Dadebo, E., Mengistou, S. & Gebre-Mariam, Z. Feeding habits of the Nile perch, *Lates niloticus* (L.)(Pisces: Centropomidae) in Lake Chamo, Ethiopia. *SINET Ethiopian J. Sci.* **28**, 61–68 (2005).
626. Katunzi, E. F. B., Van Densen, W. L. T., Wanink, J. H. & Witte, F. Spatial and seasonal patterns in the feeding habits of juvenile *Lates niloticus* (L.), in the Mwanza Gulf of Lake Victoria. *Hydrobiologia* **568**, 121–133 (2006).
627. Kische-Machumu, M. A., Witte, F., Wanink, J. H. & Katunzi, E. F. The diet of Nile perch, *Lates niloticus* (L.) after resurgence of haplochromine cichlids in the Mwanza Gulf of Lake Victoria. *Hydrobiologia* **682**, 111–119 (2012).
628. Leu, M. Y., Chen, I. H. & Fang, L. S. Natural spawning and rearing of mangrove red snapper, *Lutjanus agentimaculatus*, larvae in captivity. *Open Access Isr. J. Aquac. – Bamidgeh* **55**, 22–30 (2003).
629. Bailey, K. M., Cowan, J. & L., S. R. Experimental evaluation of potential effects of habitat size and presence of conspecifics on habitat association by young-of-the-year red snapper. *Gulf Mex. Sci.* **19**, 119–131 (2001).
630. McCawley, J. R. & Cowan, J. H. Seasonal and size specific diet and prey demand of red snapper on Alabama artificial reefs. in *American Fisheries Society Symposium* 77 (2007).
631. Kelley, D. Abundance, growth and first-winter survival of young bass in nurseries of south-west

- England. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* **82**, 307–319 (2002).
632. Cagnetta, P. Mortality in sea bass fingerlings (*Dicentrarchus labrax* L.) reared in experimental tanks with ‘escape diaphragm’. *Biol. Mar. Mediterr.* **7**, 607–609 (2000).
633. Katavić, I., Jug-Dujaković, J. & Glamuzina, B. Cannibalism as a factor affecting the survival of intensively cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fingerlings. *Aquaculture* **77**, 135–143 (1989).
634. Cuvier-Péres, A., Jourdan, S., Fontaine, P. & Kestemont, P. Effects of light intensity on animal husbandry and digestive enzyme activities in sea bass *Dicentrarchus labrax* post-larvae. *Aquaculture* **202**, 317–328 (2001).
635. Kestemont, P. *et al.* Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae: biotic and abiotic influences. *Aquaculture* **227**, 333–356 (2003).
636. Hatziathanasiou, A. *et al.* Survival, growth and feeding in early life stages of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) intensively cultured under different stocking densities. *Aquaculture* **205**, 89–102 (2002).
637. Moring, J. R. & Mink, L. H. Anadromous alewives, *Alosa pseudoharengus*, as prey for white perch, *Morone americana*. *Hydrobiologia* **479**, 125–130 (2002).
638. Carreon-Martinez, L., Johnson, T. B., Ludsin, S. A. & Heath, D. D. Utilization of stomach content DNA to determine diet diversity in piscivorous fishes. *J. Fish Biol.* **78**, 1170–1182 (2011).
639. Gardinier, M. N. & Hoff, T. B. Diet of striped bass in the Hudson River Estuary *Morone saxatilis*, New York. *New York Fish Game J.* **26**, 1486–1493 (1982).
640. Paller, M. H. & Lewis, W. M. Effects of diet on growth depensation and cannibalism among intensively cultured larval striped bass. *Progress. Fish-Culturist* **49**, 270–275 (1987).
641. Braid, M. R. & Shell, E. W. Incidence of cannibalism among striped bass fry in an intensive culture system. *Progress. Fish-Culturist* **43**, 210–212 (1981).
642. Rhodes, W. & Merriner, J. V. A preliminary report on closed system rearing of striped bass sac fry to fingerling size. *Progress. Fish-Culturist* **35**, 199–201 (1973).
643. Shireman, J. V., Opuszynski, K. & Okoniewska, G. Food and growth of hybrid bass fry *Morone saxatilis* x *Morone chrysops* under intensive culture conditions. *Pol. Arch. Hydrobiol.* **35**, 109–118 (1989).
644. Manojkumar, P. P., Pavithran, P. P. & Ramachandran, N. P. Food and feeding habits of *Nemipterus*

- japonicus* (Bloch) from Malabar coast, Kerala. *Indian J. Fish.* **62**, 64–69 (2015).
645. Murilo, C., Oyarzun, C. & Fernandez, I. Latitudinal and temporal variation in the diet of *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898 (Perciformes: Nototheniidae) in deep environments of the south and center coast of Chile. *Gayana* **72**, 94–101 (2008).
646. Fanta, E. Laboratory tests on feeding interactions and food preferences of some Antarctic fish from Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands. *Polish Polar Res.* **20**, 335–346 (1999).
647. Pinkerton, M. H. *et al.* Diet and trophic niche of Antarctic silverfish *Pleuragramma antarcticum* in the Ross Sea, Antarctica. *J. Fish Biol.* **82**, 141–164 (2013).
648. Eastman, J. T. *Pleuragramma antarcticum* (Pisces, Nototheniidae) as food for other fishes in McMurdo Sound, Antarctica. *Polar Biol.* **4**, 155–160 (1985).
649. Koščo, J., Manko, P., Miklisová, D. & Košuthová, L. Feeding ecology of invasive *Perccottus glenii* (Perciformes, Odontobutidae) in Slovakia. *Czech J. Anim. Sci.* **53**, 479–486 (2008).
650. Reshetnikov, A. N., Protasova, E. N., Sokolov, S. G., Pelgunov, A. N. & Voropaeva, E. L. Infection of *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 (Odontobutidae, Pisces) by parasite *Nippotaenia mogurndae* Yamaguti et Miyata, 1940 (Nippotaeniidae, Cestoda) through cannibalism. *Russ. J. Biol. Invasions* **2**, 46–48 (2011).
651. DeNeff, S. J. & Villars, T. A. Filial cannibalism and nocturnal illumination in paradise fish, *Macropodus opercularis*. *Behav. Neural Biol.* **36**, 295–297 (1982).
652. Prasad, M. S. & Prasad, P. Larval behaviour during growth and development of air-breathing habit in *Colisa fasciatus* (Bl. & Schn.). *Indian J. Fish.* **32**, 185–191 (1985).
653. Ferriz, R. A. Alimentacion de *Percichthys colhuapiensis* (Mac Donagh, 1955) y *P. trucha* (Girard, 1854) (Osteichthyes, Percichthyidae), en el Embalse Ramos Mexia, Provincia del Neuquen, Argentina. *Iheringia* **69**, 109–116 (1989).
654. Myoung, J. G. *et al.* Effect of delayed initial feeding on body form, mortality and cannibalism in larval stages of mandarin fish, *Siniperca scherzeli* (Teleostei: Centropomidae). *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* **32**, 669–673 (1999).
655. O'Rourke, C. F. & Mendelson, T. C. Male and female preference for conspecifics in a fish with male parental care (Percidae: *Catnotus*). *Behav. Processes* **85**, 157–162 (2010).
656. Knouft, J. H., Page, L. M. & Plewa, M. J. Antimicrobial egg cleaning by the fringed darter

- (Perciformes: Percidae: *Etheostoma crossopterus*): implications of a novel component of parental care in fishes. *Proc. R. Soc. London B* **270**, 2405–2411 (2003).
657. Lindström, K. & Sargent, R. C. Food access, brood size and filial cannibalism in the fantail darter, *Etheostoma flabellare*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **40**, 107–110 (1997).
658. DeWoody, J. A., Fletcher, D. E., Wilkins, S. D. & Avise, J. C. Genetic documentation of filial cannibalism in nature. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **98**, 5090–5092 (2001).
659. Bandoli, J. H. Brood defense and filial cannibalism in the spottail darter (*Etheostoma squamiceps*): the effects of parental status and prior experience. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **51**, 222–226 (2002).
660. Bandoli, J. H. Male spottail darters (*Etheostoma squamiceps*) do not use chemical or positional cues to discriminate between sired and foster eggs. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **59**, 606–613 (2006).
661. Liao, H., Pierce, C. L. & Larscheid, J. G. Consumption dynamics of the adult piscivorous fish community in Spirit Lake, Iowa. *North Am. J. Fish. Manag.* **24**, 890–902 (2004).
662. Sanderson, B. L., Hrabik, T. R., Magnuson, J. J. & Post, D. M. Cyclic dynamics of a yellow perch (*Perca flavescens*) population in an oligotrophic lake: evidence for the role of intraspecific interactions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **56**, 1534–1542 (1999).
663. Malison, J. A. & Held, J. A. Effects of fish size at harvest, initial stocking density and tank lighting conditions on the habituation of pond-reared yellow perch (*Perca flavescens*) to intensive culture conditions. *Aquaculture* **104**, 67–78 (1992).
664. Shewmon, L. N., Godwin, J. R., Murashige, R. S., Daniels, H. V. & Losordo, T. M. Environmental manipulation of growth and sexual maturation in yellow perch, *Perca flavescens*. *J. World Aquac. Soc.* **38**, 383–394 (2007).
665. Kövecses, J., Sherwood, G. D. & Rasmussen, J. B. Impacts of altered benthic invertebrate communities on the feeding ecology of yellow perch (*Perca flavescens*) in metal-contaminated lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **62**, 153–162 (2005).
666. Hansson, S., Post, D. M., Kitchell, J. F. & McComish, T. S. Predation-competition interactions of yellow perch (*Perca flavescens*) and alewife (*Alosa pseudoharengus*) in southern Lake Michigan: A model analysis. in *Symp. on the Role of Forage Fishes in Marine Ecosystems, Anchorage, Alaska, EEUU* 13–16 (1996).
667. Lewellen, G. R., & White, D. A. The yellow perch fisheries of Deer Creek Reservoir, Utah, with notes on parasitism by *Ligula intestinalis*. *Gt. Basin Nat.* 169–176 (1971).

668. Beeck, P., Tauber, S., Kiel, S. & Borcharding, J. 0+ perch predation on 0+ bream: a case study in a eutrophic gravel pit lake. *Freshw. Biol.* **47**, 23459–2369 (2002).
669. Żarski, D. *et al.* A new classification of a preovulatory oocyte maturation stage suitable for the synchronization of ovulation in controlled reproduction of Eurasian perch, *Perca fluviatilis* L. *Reprod. Biol.* **11**, 194–209 (2011).
670. Woodland, R. J. & Secor, D. H. Benthic-pelagic coupling in a temperate inner continental shelf fish assemblage. *Limnol. Oceanogr.* **58**, 966–976 (2013).
671. Sabetian, A. *et al.* Biological plasticity of non-native European perch (*Perca fluviatilis*) populations and the implications for management in northern New Zealand. *New Zeal. J. Mar. Freshw. Res.* **49**, 119–131 (2015).
672. Ohlberger, J. *et al.* Biotic and abiotic effects on cohort size distributions in fish. *Oikos* **122**, 835–844 (2013).
673. Magnhagen, C., Hellström, G., Borcharding, J. & Heynen, M. Boldness in two perch populations—long-term differences and the effect of predation pressure. *J. Anim. Ecol.* **81**, 1311–1318 (2012).
674. Burmakin, E. V. & Zhakov, L. A. Experiment to determine fish productivity of a perch lake. *Ref. Zhur Biol* **6193**, (1961).
675. Persson, L., Byström, P. & Wahlstrom, E. Cannibalism and competition in Eurasian perch: population dynamics of an ontogenetic omnivore. *Ecology* **81**, 1058–1071 (2000).
676. Król, J., Dauchot, N., Mandiki, S. N., van Cutsem, P. & Kestemont, P. Cannibalism in cultured eurasian perch, *Perca fluviatilis* (Actinopterygii: Perciformes: Percidae)-Implication of maternal influence, kinship, and sex ratio of progenies. *Acta Ichthyologica Piscat.* **45**, 65–73 (2015).
677. Holcik, J. Changes in Fish Community of Klíčava Reservoir with Particular Reference to Eurasian Perch (*Perca fluviatilis*), 1957-72. *J. Fish. Board Canada* **34**, 1734–1747 (1977).
678. Tarby, M. J. Characteristics of yellow perch cannibalism in Oneida Lake and the relation to first year survival. *Transacions Am. Fish. Soc.* **103**, 462–471 (1974).
679. Byström, P., Persson, L. & Wahlstrom, E. Competing predators and prey: juvenile bottlenecks in whole-lake experiments. *Ecology* **79**, 2153–2167 (1998).
680. Heermann, L. & Borcharding, J. Competition, predation, cannibalism: the development of young-of-the-year perch populations in ponds with bream or roach. *J. Appl. Ichthyol.* **29**, 549–554 (2013).

681. Closs, G. P., Ludgate, B. G. & Goldsmith, R. J. Controlling European perch (*Perca fluviatilis*): lessons from an experimental removal. in *Proceedings of the workshop: Managing invasive freshwater fish in New Zealand* 10–12 (2001).
682. K.S., D., Fedorova, G. V. & Drozzhina, K. S. Daily nutritional rhythm of the pike perch *Stizostedion lucioperca* and the perch *Perca fluviatilis* Percidae in Lake Ladoga, Russian-SFSR USSR. *Vopr. Ikhtiologii* 224–232 (1982).
683. Wang, N. & Eckmann, R. Distribution of perch (*Perca fluviatilis* L.) during their first year of life in Lake Constance. *Hydrobiologia* **277**, 135–143 (1994).
684. Mirza, R. S. & Chivers, D. P. Do juvenile yellow perch use diet cues to assess the level of threat posed by intraspecific predators? *Behaviour* **138**, 1249–1258 (2001).
685. Heynen, M., Hellström, G., Magnhagen, C. & Borcharding, J. Does morphological variation between young-of-the-year perch from two Swedish lakes depend on genetic differences? *Ecol. Freshw. Fish* **19**, 163–169 (2010).
686. Heermann, L., Scharf, W., Velde, G. & Borcharding, J. Does the use of alternative food resources induce cannibalism in a size-structured fish population? *Ecol. Freshw. Fish* **23**, 129–140 (2014).
687. Baras, E., Kestemont, P. & Melard, C. Effect of stocking density on the dynamics of cannibalism in sibling larvae of *Perca fluviatilis* under controlled conditions. *Aquaculture* **219**, 241–255 (2003).
688. Holmgren, K. & Appelberg, M. Effects of environmental factors on size-related growth efficiency of perch, *Perca fluviatilis*. *Ecol. Freshw. Fish* **10**, 247–256 (2001).
689. Mandiki, S. N. M. *et al.* Effects of geographic origin on growth and food intake in Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.) juveniles under intensive culture conditions. *Aquaculture* **229**, 117–128 (2004).
690. Yerli, S. V. *et al.* Evaluation of the ecological and economical results of the introduced alien fish species in Lake Egirdir, Turkey. *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.* **13**, 795–809 (2013).
691. Post, J. R. & Evans, D. O. Experimental evidence of size-dependent predation mortality in juvenile yellow perch. *Can. J. Zool.* **67**, 521–523 (1989).
692. Mavrin, A. S. & Strel'nikova, A. P. Feeding, development, and growth of juvenile perch *Perca fluviatilis* in mesocosms in the presence of filter-feeding zebra mussel *Dreissena polymorpha pallas*. *Inl. Water Biol.* **4**, 232–241 (2011).
693. Barbara, A. Fishes in the food of older perch (*Perca fluviatilis* L.) in lakes of the Wegorzewo district.

- Rocz Nauk Rol. ser B Zootech.* **82**, 273–294 (1963).
694. Lennmark, I. From egg to predatory fish. *Fauna och Flora Naturhistoriska Riksmuseet* **80**, 177–184 (1985).
695. Schleuter, D. & Eckmann, R. Generalist versus specialist: the performances of perch and ruffe in a lake of low productivity. *Ecol. Freshw. Fish* **17**, 86–99 (2008).
696. Huss, M., Byström, P. & Persson, L. Growing through predation windows: effects on body size development in young fish. *Oikos* **119**, 1796–1804 (2010).
697. Mandiki, S. N. M., Babiak, I., Krol, J., Rasolo, J. F. R. & Kestemont, P. How initial predator–prey ratio affects intra-cohort cannibalism and growth in Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. larvae and juveniles under controlled conditions. *Aquaculture* **268**, 149–155 (2007).
698. Svanbäck, R. & Persson, L. Individual diet specialization, niche width and population dynamics: implications for trophic polymorphisms. *J. Anim. Ecol.* **73**, 973–982 (2004).
699. Jourdan, S. *et al.* Influence of daylength on growth, heterogeneity, gonad development, sexual steroid and thyroid levels, and N and P budgets in *Perca fluviatilis*. *Aquaculture* **186**, 253–265 (2000).
700. Huss, M., Byström, P., Strand, Å., Eriksson, L. O. & Persson, L. Influence of growth history on the accumulation of energy reserves and winter mortality in young fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **65**, 2149–2156 (2008).
701. Babiak, I., Mandiki, S. N. M., Ratsinjomanana, K. & Kestemont, P. Initial weight and its variation in post-larval Eurasian perch affect quantitative characteristics of juvenile cohorts under controlled conditions. *Aquaculture* **234**, 263–276 (2004).
702. Brabrand, A. Intra-cohort cannibalism among larval stages of perch (*Perca fluviatilis*). *Ecol. Freshw. Fish* **4**, 70–76 (1995).
703. Van Densen, W. L. T., Ligtoet, W. & Roozen, R. W. Intra-cohort variation in the individual size of juvenile pikeperch, *Stizostedion lucioperca*, and perch, *Perca fluviatilis*, in relation to the size spectrum of their food items. *Ann. Zool. Fennici* 495–506 (1996).
704. Mehner, T. *et al.* Intraguild predation and cannibalism in age-0 perch (*Perca fluviatilis*) and age-0 zander (*Stizostedion lucioperca*): Interactions with zooplankton succession, prey fish availability and temperature. *Ann. Zool. Fennici* 353–361 (1996).
705. Pivnička, K. Long-termed study of fish populations in the Klicava Reservoir. *Prirodoved. Pr. Ust.*

Ceskoslov. Akad. Ved Brne 1–46 (1982).

706. Mavrin, A. S. & Strel'nikova, A. P. The influence of the filtrator mollusks zebra mussel *Dreissena polymorpha* Pallas on probability of survival, nutrition, development and growth of juvenile perch *Perca fluviatilis* L. *Biol. Vnutr. Vod* **2**, 80–89 (2011).
707. Migaud, H., S., J. & Petit, E. Influence of daylength and feeding rate on survival, cannibalism and growth rates of Eurasian perch *Perca fluviatilis* larvae. *EAS Spec. Publ.* **30**, 378–380 (2001).
708. Treasurer, J. W. Mortality and production of 0+ perch, *Perca fluviatilis* L., in two Scottish lakes. *J. Fish Biol.* **34**, 913–928 (1989).
709. Bláha, M., Šetlíkova, I., Musil, J. & Polícar, T. No reason for keeping 0+ perch (*Perca fluviatilis* L.) with the prey fish. *Aquac. Int.* **21**, 883–896 (2013).
710. Goldspink, C. R. & Goodwin, D. A note on the age composition, growth rate and food of perch *Perca fluviatilis* (L.) in four eutrophic lakes, England. *J. Fish Biol.* **14**, 489–505 (1979).
711. Kestemont, P., Mélard, C., Fiogbe, E., Vlavanou, R. & Masson, G. Nutritional and animal husbandry aspects of rearing early life stages of Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *J. Appl. Ichthyol.* **12**, 157–165 (1996).
712. Ceccuzzi, P., Terova, G., Brambilla, F., Antonini, M. & Saroglia, M. Observations of Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.) post-larvae growth performances reared in an illuminated floating cage in Varese lake (NW Italy) over a two years period. *Ital. J. Anim. Sci.* **9**, 14 (2010).
713. Smyly, W. J. P. Observations on the food of the fry of perch (*Perca fluviatilis* Linn.) in Windermere. *Proc. Zool. Soc. London* **122**, 407–416 (1952).
714. Byström, P., Huss, M. & Persson, L. Ontogenetic constraints and diet shifts in Perch (*Perca fluviatilis*): Mechanisms and consequences for intra-cohort cannibalism. *Freshw. Biol.* **57**, 847–857 (2012).
715. Fiogbe, E. D. & Kestemont, P. Optimum daily ration for Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared at its optimum growing temperature. *Aquaculture* **216**, 243–252 (2003).
716. Mélard, C., Baras, E., Mary, L. & Kestemont, P. Relationships between stocking density, growth, cannibalism and survival rate in intensively cultured larvae and juveniles of perch (*Perca fluviatilis*). *Ann. Zool. Fennici* 643–651 (1996).
717. Schulze, T. *et al.* Response of the residential piscivorous fish community to introduction of a new

- predator type in a mesotrophic lake. **63**, 2202–2212 (2006).
718. Ludgate, B. G. & Closs, G. *Responses of fish communities to sustained removals of perch (Perca fluviatilis)*. Wellington, New Zealand: Department of Conservation (2003).
719. Magnhagen, C. Risk-taking behaviour in foraging young-of-the-year perch varies with population size structure. *Oecologia* **147**, 734–743 (2006).
720. Zubenko, E. B. Seasonal feeding dynamics of the european perch, *Perca fluviatilis*, from the Kremenchug reservoir, Ukrainian - SSR, USSR. *Vopr. Ikhtiologii* **19**, 648–654 (1979).
721. Tolonen, A., Lappalainen, J. & Pulliainen, E. Seasonal growth and year class strength variations of perch near the northern limits of its distribution range. *J. Fish Biol.* **63**, 176–186 (2003).
722. Byström, P., Persson, L., Wahlstrom, E. & Westman, E. Size-and density-dependent habitat use in predators: consequences for habitat shifts in young fish. *J. Anim. Ecol.* **72**, 156–168 (2003).
723. Persson, L., Anderson, J., Wahlstrom, E., Eklöv, P. & Andersson, J. Size-specific interaction in lake systems: predation gape limitation and prey growyh rate and mortality. *Ecology* **77**, 900–911 (1996).
724. Persson, L., de Roos, A. M. & Byström, P. State-dependent invasion windows for prey in size-structured predator–prey systems: whole lake experiments. *J. Anim. Ecol.* **76**, 94–104 (2007).
725. Treasurer, J. W. The population biology of perch, *Perca fluviatilis* L., in simple fish communities with no piscivore. *Environ. Biol. Fishes* **2**, 16–22 (1993).
726. Ohlberger, J., Thackeray, S. J., Winfield, I. J., Aberly, S. C. & Vøllestad, L. A. When phenology matters: age–size truncation alters population response to trophic mismatch. *Proc. R. Soc. London B* **281**, 2014–2038 (2014).
727. Swenson, W. A. & Smith-Jr, L. L. Influence of food competition, predation, and cannibalism on walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) and sauger (*S. canadense*) populations in Lake of the Woods, Minnesota. *J. Fish. Board Canada* **33**, 1946–1954 (1976).
728. Barthelmes, D. New viewpoints in the development and management of zander stocks *Stizostedion lucioperca*. I. *Zeitschrift fuer die Binnenfischerei der DDR* **35**, 385–390 (1988).
729. Frankiewicz, P., Dabrowski, K., Martyniak, A. & Zalewski, M. in *Shallow Lakes' 98a* 47–55 (Springer Netherlands, 1999).
730. K.S., D. Daily nutritional rhythm of the pike perch *Stizostedion lucioperca* and the perch *Perca fluviatilis* Percidae in Lake Ladoga, Russian-SFSR USSR. *Vopr. Ikhtiologii* 224–232 (1982).

731. Pérez-Bote, J. L. & Roso, R. Diet of the introduced pikeperch *Sander lucioperca* (L.)(Osteichthyes, Percidae) in a recent colonised reservoir in south-western Iberian Peninsula. *Ital. J. Zool.* **79**, 617–626 (2012).
732. Kangur, P., Kangur, A. & Kangur, K. Dietary importance of various prey fishes for pikeperch *Sander lucioperca* (L.) in large shallow lake Võrtsjärv (Estonia). *Proc. Est. Acad. Sci. Biol. Ecol.* **56**, 154–167 (2007).
733. Zakipour Rahimabadi, E., Akbari, M., Arshadi, A. & Effatpanah, E. Effect of different levels of dietary Betaine on growth performance, food efficiency and survival rate of pike perch (*Sander lucioperca*) fingerlings. *Iran. J. ofn Fish. Sci.* **11**, 902–910 (2012).
734. Rónyai, A. & Csengeri, I. Effect of feeding regime and temperature on ongrowing results of pikeperch (*Sander lucioperca* L.). *Aquac. Res.* **39**, 820–827 (2008).
735. Szczepkowski, M., Zakęś, Z., Szczepkowska, B. & Piotrowska, I. Effect of size sorting on the survival, growth and cannibalism in pikeperch (*Sander lucioperca* L.) larvae during intensive culture in RAS. *Czech J. Anim. Sci.* **56**, 483–489 (2011).
736. Szkudlarek, M. & Zakęś, Z. Effect of stocking density on survival and growth performance of pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), larvae under controlled conditions. *Aquac. Int.* **15**, 67–81 (2007).
737. Kestemont, P., Xueliang, X., Hamza, N., Maboudou, J. & Toko, I. I. Effect of weaning age and diet on pikeperch larviculture. *Aquaculture* **264**, 197–204 (2007).
738. Özyurt, C. E., Mavruk, S. & Kiyaga, V. B. Effects of predator size and gonad maturation on food preference and feeding intensity of *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758). *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.* **12**, (2012).
739. Lappalainen, J., Milardi, M., Nyberg, K. & Venäläinen, A. Effects of water temperature on year-class strengths and growth patterns of pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)) in the brackish Baltic Sea. *Aquat. Ecol.* **43**, 181–191 (2009).
740. Specziár, A. First year ontogenetic diet patterns in two coexisting *Sander* species, *S. lucioperca* and *S. volgensis* in Lake Balaton. *Hydrobiologia* **549**, 115–130 (2005).
741. Balik, I. *et al.* Food and feeding habits of the pikeperch, *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758), population from Lake Eğirdir (Turkey). *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.* **30**, 19–26 (2006).
742. Campbell, R. N. B. Food of an introduced population of pikeperch, *Stizostedion lucioperca* L., in lake Eğirdir, Turkey. *Aquac. Res.* **23**, 71–85 (1992).

743. Argillier, C., Barral, M. & Irz, P. Growth and diet of the pikeperch *Sander lucioperca* (L.) in two French reservoirs. *Arch. Rybactwa Pol.* **11**, 99–114 (2003).
744. Steinfeldt, S., Lund, I. & Höglund, E. Is batch variability in hatching time related to size heterogeneity and cannibalism in pikeperch (*Sander lucioperca*)? *Aquac. Res.* **42**, 727–732 (2011).
745. Nikanorova, E. A. Food of juvenile zanders *Lucioperca lucioperca* when reared in ponds with carp. *Vopr. Ikhtiologii* **6**, 98–104 (1966).
746. Nkaronova, E. A. The culture of zander fingerlings in carp ponds Biological bases of fisheries in the inland waters of the Baltic region. *Ref. Zhur Biol* **11184**, 133–137 (1964).
747. Lappalainen, J., Olin, M. & Vinni, M. Pikeperch cannibalism: effects of abundance, size and condition. *Ann. Zool. Fennici* 35–44 (2006).
748. Dörner, H., Hülsmann, S., Hölker, F., Skov, C. & Wagner, A. Size-dependent predator–prey relationships between pikeperch and their prey fish. *Ecol. Freshw. Fish* **16**, 307–314 (2007).
749. Vinni, M., Lappalainen, J., Malinen, T. & Lehtonen, H. Stunted growth of pikeperch *Sander lucioperca* in Lake Sahajärvi, Finland. *J. Fish Biol.* **74**, 967–972 (2009).
750. Colby, P. J. & Lehtonen, H. Suggested causes for the collapse of zander, *Stizostedion lucioperca*(L.), populations in northern and central Finland through comparisons with North American walleye, *Stizostedion vitreum* (Mitchill). *Aqua Fenn.* **24**, 9–20 (1994).
751. Bódis, M., Kucska, B. & Bercsényi, M. The effect of different diets on the growth and mortality of juvenile pikeperch (*Sander lucioperca*) in the transition from live food to formulated feed. *Aquac. Int.* **15**, 83–90 (2007).
752. Policar, T. *et al.* The effect of fish size and stocking density on the weaning success of pond-cultured pikeperch *Sander lucioperca* L. juveniles. *Aquac. Int.* **21**, 869–882 (2013).
753. Molnár, T. *et al.* The effect of initial stocking density on growth and survival of pike-perch fingerlings reared under intensive conditions. *Aquac. Int.* **12**, 181–189 (2004).
754. Yilmaz, M. & Ablak, Ö. The feeding behavior of pikeperch (*Sander lucioperca* (L., 1758)) living in Hirfanlı Dam Lake. *Turkish J. Vet. Anim. Sci.* **27**, 1159–1165 (2003).
755. Balik, İ. The feeding features of the pike-perch (*Stizostedion lucioperca*) population in Lake Beyşehir. *Turkish J. Zool.* **23**, 189–194 (1999).
756. Kocovsky, P. M. & Carline, R. F. Dynamics of the unexploited walleye population of Pymatuning

- Sanctuary, Pennsylvania, 1997–1998. *North Am. J. Fish. Manag.* **21**, 178–187 (2001).
757. Kempinger, J. J. & Carline, R. F. Dynamics of the walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) population in Escanaba Lake, Wisconsin, 1955–72. *J. Fish. Board Canada* **34**, 1800–1811 (1977).
758. McElman, J. F. & K., B. E. Early ontogeny of walleye, *Stizostedion vitreum*, with steps of saltatory development. *Environ. Biol. Fishes* **4**, 309–348 (1979).
759. Clayton, R. D., Morris, J. E. & Summerfelt, R. C. Effect of turbidity duration on culture of walleye larvae. *North Am. J. Aquac.* **71**, 174–177 (2009).
760. Hokanson, K. E. & Lien, G. J. Effects of diet on growth and survival of larval walleyes. *Progress. Fish-Culturist* **48**, 250–258 (1986).
761. McIntyre, D. B., Ward, F. J. & Swanson, G. M. Factors affecting cannibalism by pond-reared juvenile walleyes. *Progress. Fish-Culturist* **49**, 264–269 (1987).
762. Hansen, M. J., Bozek, M. A., Newby, J. R., Newman, S. P. & Staggs, M. D. Factors affecting recruitment of walleyes in Escanaba Lake, Wisconsin, 1958–1996. *North Am. J. Fish. Manag.* **18**, 764–774 (1998).
763. Kindschi, G. A. & MacConnell, E. Communications: Factors Influencing Early Mortality of Walleye Fry Reared Intensively. *Progress. Fish-Culturist* **51**, 220–226 (1989).
764. Smith-Jr, L. L. & Moyle, J. B. Factors Influencing Production of Yellow Pikeperch, *Stizostedion vitreum vitreum*, in Minnesota Rearing Ponds. *Transactions Am. Fish. Soc.* **73**, 243–261 (1945).
765. Mathias, J. A. & Li, S. Feeding habits of walleye larvae and juveniles: comparative laboratory and field studies. *Trans. Am. Fish. Soc.* **111**, 722–735 (1982).
766. Moore, A., Prange, M. A., Bristow, B. T. & Summerfelt, R. C. Influence of stocking densities on walleye fry viability in experimental and production tanks. *Progress. Fish-Culturist* **56**, 194–201 (1994).
767. Cuff, W. R. Initiation and control of cannibalism in larval walleyes. *Progress. Fish-Culturist* **39**, 29–32 (1977).
768. Johnston, T. A. & Mathias, J. A. Mortality of first-feeding postlarval walleye (*Stizostedion vitreum*) in culture ponds. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **50**, 1835–1843 (1993).
769. Harder, T. M. & Gotsch, G. G. Nighttime lighting and feeding in ponds enhance survival of fingerling walleyes during habituation to manufactured feed. *North Am. J. Aquac.* **69**, 250–256 (2007).

770. Peterson, D. L., Carline, R. F., Wilson, T. A. & Hendricks, M. L. Production-scale methods for intensive culture of walleye fry. *Progress. Fish-Culturist* **59**, 14–19 (1997).
771. Loadman, N. L., Moodie, G. E. E. & Mathias, J. A. Significance of cannibalism in larval walleye (*Stizostedion vitreum*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **43**, 613–618 (1986).
772. Rieger, P. W., & Summerfelt, R. C. The influence of turbidity on larval walleye, *Stizostedion vitreum*, behavior and development in tank culture. *Aquaculture* **159**, 19–32 (1997).
773. Forney, J. L. Year-class formation in the walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) population of Oneida Lake, New York, 1966-73. *J. Fish. Board Canada* **33**, 783–792 (1976).
774. Chevalier, J. R. Cannibalism as a factor in first year survival of walleye in Oneida Lake. *Transacions Am. Fish. Soc.* **102**, 739–744 (1973).
775. Specziár, A. & Biro, P. A. Population structure and feeding characteristics of Volga pikeperch, *Sander volgensis* (Pisces, Percidae), in Lake Balaton. *Hydrobiologia* **506**, 503–510 (2003).
776. Brown, C. L. & Kim, B. G. Combined application of cortisol and triiodothyronine in the culture of larval marine finfish. *Aquaculture* **135**, 79–86 (1995).
777. Witt, E. M., Laidley, C. W., Liu, K. K., Hirano, T. & Grau, E. G. Correlation between environmental iodide concentrations and larval growth, survival, and whole body concentrations of thyroid hormones and cortisol in Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*). *Aquaculture* **289**, 357–364 (2009).
778. Kim, B. G. & Brown, C. L. Interaction of cortisol and thyroid hormone in the larval development of pacific threadfin. *Am. Zool.* **37**, 470–481 (1997).
779. Ostrowski, A. C. *et al.* Nursery production technology for Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*). *Aquaculture* **139**, 19–29 (1996).
780. Tyler III, W. A. The adaptive significance of colonial nesting in a coral-reef fish. *Anim. Behav.* **49**, 949–966 (1995).
781. Afonso, P. & Santos, R. S. Within-nest spawning-site preferences of female bluefin damselfish: the effect of early-stage eggs. *Acta Ethol.* **8**, 5–11 (2005).
782. Manica, A. Alternative strategies for a father with a small brood: mate, cannibalise or care. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **2002**, 4 (2002).
783. Cheney, K. L. Non-kin egg cannibalism and group nest-raiding by Caribbean sergeant major damselfish (*Abudefduf saxatilis*). *Coral Reefs* **27**, 115 (2008).

784. Manica, A. The effect of brood size and age on partial filial cannibalism in the scissortail sergeant. *J. Fish Biol.* **63**, 37–47 (2003).
785. Nakazono, A. One-parent removal experiment in the brood-caring damselfish, *Acanthochromis polyacanthus*, with preliminary data on reproductive biology. *Mar. Freshw. Res.* **44**, 699–707 (1993).
786. Jordan, L. A., Herbert-Read, J. E. & Ward, A. J. Rising costs of care make spiny chromis discerning parents. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **67**, 449–455 (2013).
787. Nakazono, A., Hamada, H. & Sakurai, M. Predation on eggs by conspecific males in two Japanese damselfishes, *Pomacentrus nagasakiensis* and *Chromis notatus* notatus, after removal of egg-guarding males. *J. Ethol.* **7**, 97–104 (1989).
788. Sikkel, P. C. Filial cannibalism in a paternal-caring marine fish: the influence of egg developmental stage and position in the nest. *Anim. Behav.* **47**, 1149–1158 (1994).
789. Sikkel, P. C. Why female garibaldi prefer males with young eggs: a test of the parental investment hypothesis. *Ethol. Ecol. Evol.* **6**, 191–211 (1994).
790. Petersen, C. W. The occurrence and dynamics of clutch loss and filial cannibalism in two Caribbean damselfishes. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* **135**, 117–133 (1990).
791. Emslie, M. J. & Jones, G. P. Patterns of embryo mortality in a demersally spawning coral reef fish and the role of predatory fishes. *Environ. Biol. Fishes* **60**, 363–373 (2001).
792. Payne, A. G., Smith, C. & Campbell, A. C. A model of oxygen-mediated filial cannibalism in fishes. *Ecol. Modell.* **174**, 253–266 (2004).
793. Payne, A. G., Smith, C. & Campbell, A. C. Filial cannibalism improves survival and development of beaugregory damselfish embryos. *Proc. R. Soc. London B* **269**, 2095–2102 (2002).
794. Payne, A. G., Smith, C. & Campbell, A. C. The effect of clutch size on whole clutch cannibalism in the beaugregory damselfish. *J. Fish Biol.* **62**, 955–958 (2003).
795. Sasal, P. Nest guarding in a damselfish: evidence of a role for parasites. *J. Fish Biol.* **68**, 1215–1221 (2006).
796. Hoelzer, G. & Hoelzer, G. A. Filial cannibalism in a non-brood cycling marine fish. *Environ. Biol. Fishes* **21**, 309–313 (1988).
797. Petersen, C. W. & Marchetti, K. Filial cannibalism in the Cortez damselfish *Stegastes rectifraenum*. *Evolution (N. Y.)* **43**, 158–168 (1989).

798. Hoelzer., G. A. The ecology and evolution of partial-clutch cannibalism by paternal Cortez damselfish. *Oikos* **65**, 113–120 (1992).
799. Bell, G. W., Buckerl, J. A., Stoner, A. W., Buckel, J. A. & Stoner, A. W. Effects of alternative prey on cannibalism in age-1 bluefish. *J. Fish Biol.* **55**, 990–1000 (1999).
800. Munch, S. B. & Conover, D. O. Recruitment dynamics of bluefish (*Pomatomus saltatrix*) from Cape Hatteras to Cape Cod, 1973–1995. *ICES J. Mar. Sci.* **57**, 393–402 (2000).
801. Gopakumar, G. *et al.* First experience in the larviculture of cobia, *Rachycentron canadum* (Linnaeus, 1752) in India. *Indian J. Fish.* **59**, 59–63 (2012).
802. Battaglione, S. C. & Talbot, R. B. Hormone induction and larval rearing of mulloway, *Argyrosomus hololepidotus* (Pisces: Sciaenidae). *Aquaculture* **126**, 73–81 (1994).
803. Jensen, N. R. *et al.* Performance and macronutrient composition of age-0 Burbot fed four diet treatments. *North Am. J. Aquac.* **73**, 360–368 (2011).
804. Timmer, R. & Magellan, K. The effects of light intensity and color on aggressive interactions in the dusky kob, *Argyrosomus japonicus*. *Isr. J. Aquac. - Bamidgeh* **63**, 9 (2011).
805. Vallés, R. & Estévez, A. Effect of different enrichment products rich in docosahexaenoic acid on growth and survival of meagre, *Argyrosomus regius* (Asso, 1801). *J. World Aquac. Soc.* **46**, 191–200 (2015).
806. Vallés, R. & Estévez, A. Light conditions for larval rearing of meagre (*Argyrosomus regius*). *Aquaculture* **376**, 15–19 (2013).
807. Margulies, D. Size-specific vulnerability to predation and sensory system development of white seabass, *Atractoscion nobilis*, larvae. *Fish. Bull.* **87**, 537–552 (1989).
808. Manley, C. B., Rakocinski, C. F., Lee, P. G. & Blaylock, R. B. Feeding frequency mediates aggression and cannibalism in larval hatchery-reared spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus*. *Aquaculture* **437**, 155–160 (2015).
809. Manley, C. B., Rakocinski, C. F., Lee, P. G. & Blaylock, R. B. stocking density effects on aggressive and cannibalistic behaviors in larval hatchery-reared spotted seatrout, *Cynoscion nebulosus*. *Aquaculture* **420**, 89–94 (2014).
810. Wuenschel, M. J. Habitat and diet overlap of 4 piscivorous fishes: variation on the inner continental shelf off New Jersey. *Fish. Bull.* **111**, 352–369 (2013).

811. Acha, E. M., Bremec, C. & Lasta, C. Cannibalism on planktonic eggs by a non-filter feeding fish, *Micropogonias furnieri* (Sciaenidae). *Fish. Res.* **56**, 321–326 (2002).
812. Stefani, P. M. & Rocha, O. Diet composition of *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840), a fish introduced into the Tietê River system. Brazilian. *Brazilian J. Biol.* **69**, 805–812 (2009).
813. Hahn, N. S., Agostinho, A. A. & Goitein, R. Feeding ecology of curvina *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840)(Osteichthyes, Perciformes) in the Itaipu reservoir and Porto Rico floodplain. *Acta Limnol. Bras.* **9**, 11–22 (1997).
814. Chang, E. Y. & Liao, I. C. Sibling cannibalism of the red drum fry. *World Aquac.* **34**, 41–43 (2003).
815. Chang, E. Y. & Liao, I. C. Sibling cannibalism of young red drum, *Sciaenops ocellatus*, in relation to size disparity and metabolic rates. *Environ. Biol. Fishes* **68**, 407–415 (2003).
816. Liao, I. C. & Chang, E. Y. Timing and factors affecting cannibalism in red drum, *Sciaenops ocellatus*, larvae in captivity. *Environ. Biol. Fishes* **63**, 229–233 (2002).
817. Mata-Sotres, J. A., Lazo, J. P. & Baron-Sevilla, B. Effect of age on weaning success in totoaba (*Totoaba macdonaldi*) larval culture. *Aquaculture* **437**, 292–296 (2015).
818. Izuka, K., Asano, M. & Naganuma, A. Feeding habits of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis* Linnaeus) caught by pole and line and the state of young skipjack tuna distribution in the tropical seas of the western Pacific Ocean. *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.* (1989).
819. Nakamura, E. L. Food and feeding habits of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from the Marquesas and Tuamotu Islands. *Transacions Am. Fish. Soc.* **94**, 236–242 (1965).
820. Masuda, R., Shoji, J., Nakayama, S. & Tanaka, M. Development of schooling behavior in Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* during early ontogeny. *Fish. Sci.* **69**, 772–776 (2003).
821. Nakajima, K. *et al.* Ecological interactions between hatchery and wild fish: a case study based on the highly piscivorous Japanese Spanish mackerel. *Aquac. Environ. Interact.* **3**, 231–243 (2013).
822. Glaser, S. M. Interdecadal variability in predator-prey interactions of juvenile North Pacific albacore in the California Current System. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **414**, 209–221 (2010).
823. Buentello, J. A. *et al.* A preliminary study of digestive enzyme activities and amino acid composition of early juvenile yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Aquaculture* **312**, 205–211 (2011).
824. Young, J. W. Feeding ecology of larvae of southern bluefin, albacore and skipjack tunas (Pisces: Scombridae) in the eastern Indian Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **61**, 17–29 (1990).

825. Kahi, T. Bluefin tuna larval rearing and development—State of the art. in *Proceedings of the First International Symposium, Cartagena, Spain* 3–8 (2002).
826. Masuma, S., Takebe, T. & Sakakura, Y. A review of the broodstock management and larviculture of the Pacific northern bluefin tuna in Japan. *Aquaculture* **315**, 2–8 (2011).
827. Reglero, P., Urtizberea, A., Torres, A. P., Alemany, F. & Fiksen, Ø. Cannibalism among size classes of larvae may be a substantial mortality component in tuna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **433**, 205–219 (2011).
828. Sawada, Y., Okada, T., Miyashita, S., Murata, O. & Kumai, H. Completion of the Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* (Temminck et Schlegel) life cycle. *Aquac. Res.* **36**, 413–421 (2005).
829. Ishibashi, Y., Miki, T., Sawada, Y. & Kurata, M. Effects of feeding conditions and size differences on aggressive behaviour and cannibalism in the Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* (Temminck and Schlegel) larvae. *Aquac. Res.* **45**, 45–53 (2013).
830. de la Serna Sabate, F. *et al.* Onset and development of cannibalistic and schooling behavior in the early life stages of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. *Aquaculture* **301**, 16–21 (2010).
831. Tanaka, Y. *et al.* Relationship between prey utilization and growth variation in hatchery-reared Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temminck et Schlegel), larvae estimated using nitrogen stable isotope analysis. *Aquac. Res.* **45**, 537–545 (2014).
832. Fortier, L. & Villeneuve, A. Cannibalism and predation on fish larvae by larvae of Atlantic mackerel, *Scomber scombrus*: trophodynamics and potential impact on recruitment. *Fish. Bull.* **94**, 268–281 (1996).
833. Peterson, W. T. & Ausubel, S. J. Diets and selective feeding by larvae of Atlantic mackerel *Scomber scombrus* on zooplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **17**, 65–75 (1984).
834. Hillgruber, N., Kloppmann, M., Wahl, E. & Westernhagen, H. V. Feeding of larval blue whiting and Atlantic mackerel: a comparison of foraging strategies. *J. Fish Biol.* **51**, 230–249 (1997).
835. Hillgruber, N. & Kloppmann, M. Small-scale patterns in distribution and feeding of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.) larvae in the Celtic Sea with special regard to intra-cohort cannibalism. *Helgol. Mar. Res.* **55**, 135–149 (2001).
836. Paradis, V., Sirois, P., Castonguay, M. & Plourde, S. Spatial variability in zooplankton and feeding of larval Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) in the southern Gulf of St. Lawrence. *J. Plankton Res.* **34**, 1064–1077 (2012).

837. Stuart, K. R. & Smith, T. I. Development of nursery systems for black sea bass *Centropristis striata*. *J. World Aquac. Soc.* **34**, 359–367 (2003).
838. Gwak, W. S. Effects of shelter on growth and survival in age-0 black sea bass, *Centropristis striata* (L.). *Aquac. Res.* **34**, 1387–1390 (2003).
839. Bombeo-Tuburan, I., Coniza, E. B., Rodriguez, E. M. & Agbayani, R. F. Culture and economics of wild grouper (*Epinephelus coioides*) using three feed types in ponds. *Aquaculture* **201**, 229–240 (2001).
840. Hseu, J. R. *et al.* Effect of exogenous tryptophan on cannibalism, survival and growth in juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. *Aquaculture* **218**, 251–263 (2003).
841. Takeshita, A. & Soyano, K. Effects of fish size and size-grading on cannibalistic mortality in hatchery-reared orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* juveniles. *Fish. Sci.* **75**, 1253–1258 (2009).
842. Hseu, J. R. Effects of size difference and stocking density on cannibalism rate of juvenile grouper *Epinephelus coioides*. *Fish. Sci.* **68**, 1384–1386 (2002).
843. Lim, L. C. Larviculture of the greasy grouper *Epinephelus tauvina* F. and the brown-marbled grouper *E. fuscoguttatus* F. in Singapore. *J. World Aquac. Soc.* **24**, 262–274 (1993).
844. Hseu, J. R., Chang, H. F. & Ting, Y. Y. Morphometric prediction of cannibalism in larviculture of orange-spotted grouper, *Epinephelus coioides*. *Aquaculture* **218**, 203–207 (2003).
845. Hseu, J. R. Prey size selection in cannibalism fry of the orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*). *J. Taiwan Fish. Res.* **14**, 69–74 (2006).
846. Hseu, J. R., Huang, W. B. & Chun, Y. T. What causes cannibalization-associated suffocation in cultured brown-marbled grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* (Forsskål, 1775)? *Aquac. Res.* **38**, 1056–1060 (2007).
847. Hseu, J. R., Hwang, P. P. & Ting, Y. Y. Morphometric model and laboratory analysis of intracohort cannibalism in giant grouper *Epinephelus lanceolatus* fry. *Fish. Sci.* **70**, 482–486 (2004).
848. Condini, M. V., Hoeninghaus, D. J. & Garcia, A. M. Trophic ecology of dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Actinopterygii, Epinephelidae) in littoral and neritic habitats of southern Brazil as elucidated by stomach contents and stable isotope analyses. *Hydrobiologia* **743**, 109–125 (2015).
849. Letourneur, Y., Chabanet, P., Vigliola, L. & Harmelin-Vivien, M. Mass settlement and post-

- settlement mortality of *Epinephelus merra* (Pisces: Serranidae) on Reunion coral reefs. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* **78**, 307–319 (1998).
850. de la Serna Sabate, F., Sakakura, Y., Shiozaki, M. & Hagiwara, A. Onset and development of aggressive behavior in the early life stages of the seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus*. *Aquaculture* **290**, 97–103 (2009).
851. Martínez-Lagos, R. & Gracia-López, V. Morphological development and growth patterns of the leopard grouper *Mycteroperca rosacea* during larval development. *Aquac. Res.* **41**, 120–128 (2009).
852. Trijuno, D. D., Shiozawa, S., Yoseda, K., Tagawa, M. & Tanaka, M. Development and metamorphosis in coral trout, *Plectropomus leopardus*: morphological, biochemical and physiological aspects. *Fish. Sci.* **68**, 892–895 (2002).
853. Takebe, T. *et al.* Onset of individual growth difference and its hereditary factors from broodstocks in larviculture of leopard coral grouper *Plectropomus leopardus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* **81**, 52–61 (2015).
854. Leu, M. Y. Natural spawning and mass larviculture of black porgy *Acanthopagrus schlegeli* in captivity in Taiwan. *J. World Aquac. Soc.* **28**, 180–187 (1997).
855. Efthimiou, S. Dietary intake of β -1, 3/1, 6 glucans in juvenile dentex (*Dentex dentex*), Sparidae: effects on growth performance, mortalities and non-specific defense mechanisms. *J. Appl. Ichthyol.* **12**, 1–7 (1996).
856. Kraljević, M. & Dulčić, J. Intergeneric hybridization in Sparidae (Pisces: Teleostei): Dentex (Dentex) dentex female x Pagrus major male and P-major female x D-dentex male. *J. Appl. Ichthyol.* **15**, 171–175 (1999).
857. Tucker, B. J., Booth, M. A., Allan, G. L., D., B. & Fielder, D. S. Effects of photoperiod and feeding frequency on performance of newly weaned Australian snapper *Pagrus auratus*. *Aquaculture* **258**, 514–520 (2006).
858. Andrade, C. A. *et al.* Allometric growth in red porgy larvae: Developing morphological indices for mesocosm semi-intensive culture. *North Am. J. Aquac.* **75**, 42–49 (2013).
859. Andrade, C. A. *et al.* Morphological, histological, histochemical and behavioral aspects during early development of Red porgy *Pagrus pagrus* L. reared in mesocosm. *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.* **15**, 137–148 (2015).
860. Hussain, N., Akatsu, S. & El-Zahr, C. Spawning, egg and early larval development, and growth of

- Acanthopagrus cuvieri* (Sparidae). *Aquaculture* **22**, 125–136 (1981).
861. Akadje, C., Diaby, M., Le Loc'h, F., Konan, J. K. & N'da, K. Diet of the barracuda *Sphyraena guachancho* in Côte d'Ivoire (Equatorial Eastern Atlantic Ocean). *Cybium* **37**, 285–293 (2013).
862. Přikryl, T. & Novosad, B. Direct evidence of cannibalism in the Oligocene cutlassfish *Anenkelum glarisianum* Blainville, 1818 (Perciformes: Trichiuridae). *Bull. Geosci.* **84**, 569–572 (2009).
863. Klimpel, S., Rückert, S., Piatkowski, U., Palm, H. W. & Hanel, R. Diet and metazoan parasites of silver scabbard fish *Lepidopus caudatus* from the Great Meteor Seamount (North Atlantic). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **315**, 249–257 (2006).
864. Liu, Y., Cheng, J. & Chen, Y. A spatial analysis of trophic composition: a case study of hairtail (*Trichiurus japonicus*) in the East China Sea. *Hydrobiologia* **632**, 79–90 (2009).
865. De la Cruz-Torres, J., Martínez-Pérez, J. A., Franco-López, J. & Ramírez-Villalobos, A. J. Biological and Ecological Aspects of *Trichiurus lepturus* Linnaeus, 1758 (Perciformes: Trichiuridae) in Boca Del Rio, Veracruz, Mexico. *Am. J. Agric. Environ. Sci.* **14**, 1058–1066 (2014).
866. Martins, A. S., Haimovici, M. & Palacios, R. Diet and feeding of the cutlassfish *Trichiurus lepturus* in the Subtropical Convergence Ecosystem of southern Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* **85**, 1223–1229 (2005).
867. Bittar, V. T. & Di Denedito, A. P. M. Diet and potential feeding overlap between *Trichiurus lepturus* (Osteichthyes: Perciformes) and *Pontoporia blainvillei* (Mammalia: Cetacea) in northern Rio de Janeiro, Brazil. *Zoologia* **26**, 374–378 (2009).
868. Omori, M. & Seino, Y. Feeding preference of the hairtail *Trichiurus lepturus* linnaeus in and neighbouring the waters where *Sergia lucens* swarms in Suruga bay Japan. *Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.* **57**, (1993).
869. Ghosh, S., Rao, M. V., Rohit, P., Rammohan, K. & Maheswarudu, G. Reproductive biology, trophodynamics and stock structure of ribbonfish *Trichiurus lepturus* from northern Arabian Sea and northern Bay of Bengal. *Indian J. Geo-Marine Sci.* **43**, 755–771 (2014).
870. Lin, L., Zhang, H., Li, H. & Cheng, J. Study on seasonal variation of the feeding habits of hairtail (*Trichiurus japonicus*) in the East China Sea. *Period. Ocean Univ. China* **36**, 932–936 (2006).
871. Lin, L. S., Chen, J. H. & Li, H. Y. The fishery biology of *Trichiurus japonicus* and *Larimichthys polyactis* in the East China Sea region. *Mar. Fish.* **30**, 126–134 (2008).

872. Yana, Y., Chena, J., Lua, H., Houa, G. & Lai, J. Feeding habits and ontogenetic diet shifts of hairtail, *Trichiurus margarites*, in the Beibu Gulf of the South China Sea. *Acta Ecol. Sin.* **32**, 18–25 (2012).
873. Ohta, T. & Nakazono, A. Mating habits, mating system and possible filial cannibalism in the triplefin, *Enneapterygius etheostomus*. in *Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium, Australia* 797–801 (1988).
874. Hamada, H. & Nakazono, A. Reproductive ecology of the triplefin, *Enneapterygius etheostomus*, with special reference to the occurrence of fish eggs in the digestive tract of the male. *Sci. Bull. Fac. Agric. Univ.* **43**, (1989).
875. Mensink, P. J. & Shima, J. S. Patterns of co-occurrence and interactions between age classes of the common triplefin, *Forsterygion lapillum*. *Mar. Biol.* **161**, 1285–1298 (2014).
876. Hill, L. G. Feeding and food habits of the spring cavefish, *Chologaster agassizi*. *Am. Midl. Nat.* **82**, 110–116 (1969).
877. Castillo-Rivera, B. M., Kobelkowsky, A. & Chavez, A. M. Feeding biology of the flatfish *Citharichthys spilopterus* (Bothidae) in a tropical estuary of Mexico. *J. Appl. Ichthyol.* **16**, 73–78 (2000).
878. Bengtson, D. A. Aquaculture of summer flounder (*Paralichthys dentatus*): status of knowledge, current research and future research priorities. *Aquaculture* **176**, 39–49 (1999).
879. Burke, J. S., Seikai, T., Tanaka, Y. & Tanaka, M. Experimental intensive culture of summer flounder, *Paralichthys dentatus*. *Aquaculture* **176**, 135–144 (1999).
880. Gavlik, S. & Specker, J. L. Metamorphosis in summer flounder: manipulation of rearing salinity to synchronize settling behavior, growth and development. *Aquaculture* **240**, 543–559 (2004).
881. Gavlik, S., Albino, M. & Specker, J. L. Metamorphosis in summer flounder: manipulation of thyroid status to synchronize settling behavior, growth, and development. *Aquaculture* **203**, 359–373 (2002).
882. Francis, A. W. & Bengtson, D. A. Partitioning of fish and diet selection as methods for the reduction of cannibalism in *Paralichthys dentatus* larviculture. *J. World Aquac. Soc.* **30**, 301–310 (1999).
883. Katersky, R. S., Schreiber, A. M., Specker, J. L. & Bengtson, D. A. Variance in rates of growth and development in larval and metamorphosing summer flounder, *Paralichthys dentatus*. *J. Appl. Ichthyol.* **24**, 244–247 (2008).
884. Wang, D. M. & Jiang, Z. Q. The factors affecting cannibalism in south flounder *Paralichthys*

- lethostigma* juveniles. *Acta Hydrobiol. Sin.* **32**, 360–364 (2008).
885. Dou, S., Seikai, T. & Tsukamoto, K. Cannibalism in Japanese flounder juveniles, *Paralichthys olivaceus*, reared under controlled conditions. *Aquaculture* **182**, 149–159 (2000).
886. Kellison, G. T., Eggleston, D. B. & Tanaka, M. Density-dependent predation and implications for stock enhancement with Japanese flounder. *J. Fish Biol.* **60**, 968–980 (2002).
887. Oshima, M. *et al.* Do early growth dynamics explain recruitment success in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* off the Pacific coast of northern Japan? *J. Sea Res.* **64**, 94–101 (2010).
888. Dou, S., Masuda, R., Tanaka, M. & Tsukamoto, K. Identification of factors affecting the growth and survival of the settling Japanese flounder larvae, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture* **218**, 309–327 (2003).
889. Tanaka, M., Goto, T., Tomiyama, M. & Sudo, H. Immigration, settlement and mortality of flounder (*Paralichthys olivaceus*) larvae and juveniles in a nursery ground, Shijiki Bay, Japan. *Netherlands J. Sea Res.* **24**, 57–67 (1989).
890. Sakakura, Y. & Tsukamoto, K. Onset and development of aggressive behavior in the early life stage of Japanese flounder. *Fish. Sci.* **68**, 854–861 (2002).
891. Noichi, T., Kusano, M., Kanbara, T. & Senta, T. Predation by fishes on larval and juvenile Japanese flounder at Yanagihama Beach, Nagasaki, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* **59**, 1851–1855 (1993).
892. Furuta, S. Seasonal changes in abundance, length distribution, feeding condition and predation vulnerability of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, and prey mysid density in the Tottori coastal area Japan. *Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.* **65**, 167–174 (1999).
893. Norbis, W. & Galli, O. Feeding habits of the flounder *Paralichthys orbignyanus* (Valenciennes, 1842) in a shallow coastal lagoon of the southern Atlantic Ocean: Rocha, Uruguay. *Ciencias Mar.* **30**, 619–625 (2004).
894. Benetti, D. D. Spawning and larval husbandry of flounder (*Paralichthys woolmani*) and Pacific yellowtail (*Seriola mazatlanica*), new candidate species for aquaculture. *Aquaculture* **155**, 307–318 (1997).
895. Selleslagh, J. & Amara, R. Are estuarine fish opportunistic feeders? The case of a low anthropized nursery ground (the Canche Estuary, France). *Estuaries and Coasts* **38**, 252–267 (2015).
896. Román, E., González, C. & Paz, X. Condition and feeding of Greenland Halibut (*Reinhardtius*

- hippoglossoides*) in the North Atlantic with emphasis on the Flemish Cap. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.* **37**, 165–179 (2007).
897. Rodriguez-Marin, E., Punzón, A. & Paz, J. Feeding patterns of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in Flemish Pass (northwest Atlantic). *NAFO Sci. Counc. Stud.* **23**, 43–54 (1995).
898. Solmundsson, K. Trophic ecology of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) on the Icelandic continental shelf and slope. *Mar. Biol. Res.* **3**, 231–242 (2007).
899. St-Pierre, G. Recent studies of Pacific halibut postlarvae in the Gulf of Alaska and eastern Bering Sea. *Seattle, Wash Int. Pacific Halibut Comm.* (1989).
900. Hanson, J. M. & Wilson, T. Abundance, distribution, and diet of a small-bodied ecotype of Windowpane. *Transacions Am. Fish. Soc.* **143**, 650–659 (2014).
901. Urpanen, O., Marjomäki, T. J., Keskinen, T. & Karjalainen, J. Features of intercohort cannibalism of Vendace (*Coregonus albula* (L.)) under laboratory conditions. *Mar. Freshw. Behav. Physiol.* **45**, 177–184 (2012).
902. Hoff, M. H. Biotic and abiotic factors related to lake herring recruitment in the Wisconsin waters of Lake Superior, 1984–1998. *J. Great Lakes Res.* **30**, 423–433 (2004).
903. Rice, J. A., Crowder, L. B. & Binkowski, F. P. Evaluating potential sources of mortality for larval bloater (*Coregonus hoyi*): starvation and vulnerability to predation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **44**, 467–472 (1987).
904. Luecke, C., Rice, J. A., Crowder, L. B., Yeo, S. E. & Binkowski, F. P. Recruitment mechanisms of bloater in Lake Michigan: an analysis of the predatory gauntlet. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **47**, 524–532 (1990).
905. Skurdal, J., Bleken, E. & Stenseth, N. C. Cannibalism in whitefish (*Coregonus lavaretus*). *Oecologia* **67**, 566–571 (1985).
906. Straile, D., Eckmann, R., Jüngling, T., Thomas, G. & Löffler, H. Influence of climate variability on whitefish (*Coregonus lavaretus*) year-class strength in a deep, warm monomictic lake. *Oecologia* **151**, 521–529 (2007).
907. Amundsen, P.-A., Krisoffersen, R., Knudsen, R. & Klemetsen, A. Long-term effects of a stock depletion programme: the rise and fall of a rehabilitated whitefish population. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Adv. Limnol* **57**, 577–588 (2002).

908. Propst, D. L. & Stefferud, J. A. Population dynamics of Gila trout in the Gila River drainage of the south-western United States. *J. Fish Biol.* **51**, 1137–1154 (1997).
909. Rinne, J. N. Spawning habitat and behavior of Gila trout, a rare salmonid of the southwestern United States. *Transacions Am. Fish. Soc.* **109**, 83–91 (1980).
910. Krkošek, M., Hilborn, R., Peterman, R. M. & Quinn, T. P. Cycles, stochasticity and density dependence in pink salmon population dynamics. *Proc. R. Soc. London B* **278**, 2060–2068 (2011).
911. Barber, F. G. Pink Salmon *Oncorhynchus gorbuscha* east. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* **986**, 1–8 (1981).
912. Ricker, W. E. Regulation on the abundance of pink Salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). *Stud Sta Fish Res Board Can* **713**, (1963).
913. Roseman, E. F., Schaeffer, J. S., Bright, E. & Fielder, D. G. Angler-caught piscivore diets reflect fish community changes in Lake Huron. *Transacions Am. Fish. Soc.* **143**, 1419–1433 (2014).
914. Shima, T., Suzuki, N., Yamamoto, T. & Furuita, H. A comparative study of self-feeder and automatic feeder: effects on the growth performance of rainbow trout fry. *Aquac. Res.* **32**, 142–146 (2001).
915. Huryn, A. D. An appraisal of the Allen paradox in a New Zealand trout stream. *Limnol. Oceanogr.* **41**, 243–252 (1996).
916. Post, J. R., Parkinson, E. A. & Johnston, N. T. Density-dependent processes in structured fish populations: interaction strengths in whole-lake experiments. *Ecol. Monogr.* **69**, 155–175 (1999).
917. O'Brien, T. P., Taylor, W. W., Briggs, A. S. & Roseman, E. F. Influence of water temperature on rainbow smelt spawning and early life history dynamics in St. Martin Bay, Lake Huron. *J. Great Lakes Res.* **38**, 776–785 (2012).
918. Lavrovskii, V. V., Panov, V. P. & Kulinich, Y. I. Variability in size and weight of young trout on farms of industrial type. *Izv. Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvennoi Akad.* 143–152 (1997).
919. Shirahata, S. On cannibalism in the rainbow trout fingerling, *Salmo gairdnerii* Irideus. *Japanese J. Ecol.* **14**, 25–32 (1964).
920. Kindschi, G. A., Smith, C. E. & Koby-Jr, R. F. Performance of two strains of rainbow trout reared at four densities with supplemental oxygen. *Progress. Fish-Culturist* **53**, 203–209 (1991).
921. Biro, P. A., Post, J. R. & Parkinson, E. A. Population consequences of a predator-induced habitat shift by trout in whole-lake experiments. *Ecology* **84**, 691–700 (2003).

922. Sepulveda, A. J., Lowe, W. H. & Marra, P. P. Using stable isotopes to test for trophic niche partitioning: a case study with stream salamanders and fish. *Freshw. Biol.* **57**, 1399–1409 (2012).
923. Sagawa, S., Yamashita, S., Satou, K. & Nakamura, F. Fall habitat use and foraging mode of immature Sakhalin taimen in the river tributaries in northern Hokkaido, Japan. *Japanese J. Ecol.* **53**, (2003).
924. Symons, P. E. K. & Heland, M. Stream habitats and behavioral interactions of underyearling and yearling Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Fish. Board Canada* **35**, 175–183 (1978).
925. Cherfas, B. I., Ivanova, L. D. & Kosyreva, R. Y. Biotechniques of pond breeding young salmon. *Ref. Zhur Biol* **35110**, 178–188 (1958).
926. Vik, J. O., Borgstrøm, R. & Skaala, O. Cannibalism governing mortality of juvenile brown trout, *Salmo trutta*, in a regulated stream. *Regul. Rivers Res. Manag.* **17**, 583–594 (2001).
927. Jensen, H., Kiljunen, M. & Amundsen, P.-A. Dietary ontogeny and niche shift to piscivory in lacustrine brown trout *Salmo trutta* revealed by stomach content and stable isotope analyses. *J. Fish Biol.* **80**, 2448–2462 (2012).
928. Salavatian, M., Gholiev, Z., Aliev, A. & Abassi, K. Feeding behavior of brown trout, *Salmo trutta fario*, during spawning season in four rivers of Lar National Park, Iran. *Casp. J. Environ. Sci.* **9**, 223–233 (2011).
929. Grey, J., Thackeray, S. J., Jones, R. I. & Shine, A. Ferox Trout (*Salmo trutta*) as Russian dolls': complementary gut content and stable isotope analyses of the Loch Ness foodweb. *Freshw. Biol.* **47**, 1235–1243 (2002).
930. Tentelier, C., Larrieu, M., Aymes, J. C. & Labonne, J. Male antagonistic behaviour after spawning suggests paternal care in brown trout, *Salmo trutta*. *Ecol. Freshw. Fish* **20**, 580–587 (2011).
931. Aymes, J. C., Larrieu, M., Tentelier, C. & Labonne, J. Occurrence and variation of egg cannibalism in brown trout *Salmo trutta*. *Naturwissenschaften* **97**, 435–439 (2010).
932. Borgstrøm, R., Brittaun, J. E., Hasle, K., Skjølås, S. & Dokk, J. G. Reduced recruitment in brown trout *Salmo trutta*, the role of interactions with the minnow *Phoxinus phoxinus*. *Nord. J. Freshw. Res.* **72**, 30–38 (1996).
933. Borgstrøm, R., Museth, J. & Brittain, J. E. in *The subalpine lake ecosystem, Øvre Heimdalsvatn, and its catchment: local and global changes over the last 50 years* 81–91 (Springer Netherlands, 2010).
934. Pyle, E. A. The effect of grading on the total weight gained by brown trout. *Progress. Fish-Culturist*

- 26**, 70–75 (1964).
935. Amundsen, P.-A., Svenning, M.-A., Slikavuoplo, S. I. & Siikavuopio, S. I. An experimental comparison of cannibalistic response in different Arctic charr (*Salvelinus alpinus* (L.)). *Ecol. Freshw. Fish* **8**, 43–48 (1999).
936. Andersson, J. & Persson, L. Behavioural and morphological responses to cannibalism in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Evol. Ecol. Res.* **7**, 767–778 (2005).
937. Hobson, K. A. & Welch, H. E. Cannibalism and trophic structure in a high Arctic lake: insights from stable-isotope analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **52**, 1195–1201 (1995).
938. Svenning, M.-A. & Borgstrøm, R. Cannibalism in Arctic charr: do all individuals have the same propensity to be cannibals? *J. Fish Biol.* **66**, 957–965 (2005).
939. Berg, O. K., Finstad, A. G., Olsen, P. H., Arnekleiv, J. V. & Nilssen, K. Dwarfs and cannibals in the Arctic: production of Arctic char (*Salvelinus alpinus* (L.)) at two trophic levels. *Hydrobiologia* **652**, 337–347 (2010).
940. Power, M., Power, G., Reist, J. D. & Bajno, R. Ecological and genetic differentiation among the Arctic charr of Lake Aigueau, Northern Québec. *Ecol. Freshw. Fish* **18**, 445–460 (2009).
941. Amundsen, P.-A., Damsg, B., Arnesen, A. M., Jobling, M. & Jørgensen, E. H. Experimental evidence of cannibalism and prey specialization in Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Environ. Biol. Fishes* **43**, 285–293 (1995).
942. Finstad, A. G., Ugedal, O. & Berg, O. K. Growing large in a low grade environment: size dependent foraging gain and niche shifts to cannibalism in Arctic char. *Oikos* **112**, 73–82 (2006).
943. Gantner, N. *et al.* Mercury concentrations in landlocked Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from the Canadian Arctic. Part I: insights from trophic relationships in 18 lakes. *Environ. Toxicol. Chem.* **29**, 621–632 (2010).
944. Beauchamp, D. A. & Van Tassel, J. J. Modeling seasonal trophic interactions of adfluvial bull trout in Lake Billy Chinook, Oregon. *Transactions Am. Fish. Soc.* **130**, 204–216 (2001).
945. Hammar, J. Natural resilience in Arctic charr *Salvelinus alpinus*: life history, spatial and dietary alterations along gradients of interspecific interactions. *J. Fish Biol.* **85**, 81–118 (2014).
946. Gantner, N. *et al.* Physical and biological factors affecting mercury and perfluorinated contaminants in Arctic char (*Salvelinus alpinus*) of Pingualuit Crater Lake (Nunavik, Canada). *Arctic* 195–206

- (2012).
947. Amundsen, P.-A. Piscivory and cannibalism in Arctic charr. *J. Fish Biol.* **45**, 181–189 (1994).
948. Svenning, M.-A. & Borgstrøm, R. Population structure in landlocked Spitsbergen arctic charr. Sustained by cannibalism? *Nord. J. Freshw. Res.* **71**, 424–431 (1995).
949. Borgstrøm, R., Isdahl, T. & Svenning, M.-A. Population structure, biomass, and diet of landlocked Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in a small, shallow High Arctic lake. *Polar Biol.* **38**, 309–317 (2015).
950. Riget, F. F., Nygaard, K. H. & Christensen, B. Population structure, ecological segregation, and reproduction in a population of Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from Lake Tasersuaq, Greenland. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **43**, 985–992 (1986).
951. Byström, P., Ask, P., Andersson, J. & Persson, L. Preference for cannibalism and ontogenetic constraints in competitive ability of piscivorous top predators. *PLoS One* **8**, e70404 (2013).
952. Finstad, A. G., Jansen, P. A. & Langeland, L. Production and predation rates in a cannibalistic arctic char (*Salvelinus alpinus* L.) population. *Ecol. Freshw. Fish* **10**, 220–226 (2001).
953. Amundsen, P.-A. Significance and temporal persistence of individual specialization in cannibalistic Arctic char, *Salvelinus alpinus*. *Nord. J. Freshw. Res.* **73**, 28–34 (1997).
954. Byström, P. & Andersson, J. Size-dependent foraging capacities and intercohort competition in an ontogenetic omnivore (Arctic char). *Oikos* **110**, 523–536 (2005).
955. Byström, P., Andersson, J., Persson, L. & de Roos, A. M. Size-dependent resource limitation and foraging-predation risk trade-offs: growth and habitat use in young arctic char. *Oikos* **104**, 109–121 (2004).
956. Damsgård, B. & Ugedal, O. The influence of predation risk on habitat selection and food intake by Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.). *Ecol. Freshw. Fish* **6**, 95–101 (1997).
957. Sánchez-Hernández, J. & Amundsen, P.-A. Trophic ecology of brown trout (*Salmo trutta* L.) in subarctic lakes. *Ecol. Freshw. Fish* **24**, 148–161 (2015).
958. Gallagher, C. P. & Dick, T. A. Trophic structure of a landlocked Arctic char *Salvelinus alpinus* population from southern Baffin Island, Canada. *Ecol. Freshw. Fish* **19**, 39–50 (2010).
959. Guiguer, K. R. R. A., Reist, K. D., Power, M. & Babaluk, J. A. Using stable isotopes to confirm the trophic ecology of Arctic charr morphotypes from Lake Hazen, Nunavut, Canada. *J. Fish Biol.* **60**,

- 348–362 (2002).
960. Gutowsky, L. F. *et al.* Diel vertical migration hypotheses explain size-dependent behaviour in a freshwater piscivore. *Anim. Behav.* **86**, 365–373 (2013).
961. Pinto, M. C. *et al.* Lateral and longitudinal displacement of stream-rearing juvenile Bull Trout in response to upstream migration of spawning adults. *Transacions Am. Fish. Soc.* **142**, 1590–1601 (2013).
962. Blanchfield, P. J. & Ridgway, M. S. The cost of peripheral males in a brook trout mating system. *Anim. Behav.* **57**, 537–544 (1999).
963. Maekawa, K. & Hino, T. Spawning tactics of female Miyabe charr (*Salvelinus malma miyabei*) against egg cannibalism. *Can. J. Zool.* **68**, 889–894 (1990).
964. Maekawa, K. Streaking behaviour of mature male parrs of the Miyabe charr, *Salvelinus malma miyabei*, during spawning. *Japanese J. Ichthyol.* **30**, (1983).
965. Martin, N. V. A study of the lake trout, *Salvelinus namaycush*, in two Algonquin Park, Ontario, lakes. *Transacions Am. Fish. Soc.* **81**, 111–137 (1952).
966. Eshenroder, R. L., Crossman, E. J., Meffe, G. K., Olver, C. H. & Pister, E. P. Lake trout rehabilitation in the Great Lakes: an evolutionary, ecological, and ethical perspective. *J. Great Lakes Res.* **21**, (1995).
967. Madenjian, C. P., Desorcie, T. J. & Stedman, R. M. Ontogenic and spatial patterns in diet and growth of lake trout in Lake Michigan. *Transacions Am. Fish. Soc.* **127**, 236–252 (1998).
968. Elrod, J. H. Survival of hatchery-reared lake trout stocked near shore and off shore in Lake Ontario. *North Am. J. Fish. Manag.* **17**, 779–783 (1997).
969. Gamble, A. E., Hrabik, T. R., Yule, D. L. & Stockwell, J. D. Trophic connections in Lake Superior Part II: the nearshore fish community. *J. Great Lakes Res.* **37**, 550–560 (2011).
970. Mitrofanov, V. P. & Petr, T. Fish and fisheries in the Altai, Northern Tien Shan and Lake Balkhash (Kazakhstan). *Fish Fish. High. Altitudes Asia, FAO Fish. Tech. Pap.* **385**, 149–167 (1999).
971. Sogard, S. M. & Olla, B. L. Effects of group membership and size distribution within a group on growth rates of juvenile sablefish *Anoplopoma fimbria*. *Environ. Biol. Fishes* **59**, 199–209 (2000).
972. Petersen, C. W., Zarrella, K. A., Ruben, C. A. & Mazzoldi, C. Reproductive biology of the rosy lip sculpin, an intertidal spawner. *J. Fish Biol.* **64**, 863–875 (2004).

973. Pfister, C. A. Some consequences of size variability in juvenile prickly sculpin, *Cottus asper*. *Environ. Biol. Fishes* **66**, 383–390 (2003).
974. Freeman, M. C. & Stouder, D. J. Intraspecific interactions influence size specific depth distribution in *Cottus bairdi*. *Environ. Biol. Fishes* **24**, 231–236 (1989).
975. Koczaja, C. *et al.* Size-specific habitat segregation and intraspecific interactions in banded sculpin (*Cottus carolinae*). *Southeast. Nat.* **4**, 107–218 (2005).
976. Marconato, A. & Bisazza, A. Mate choice, egg cannibalism and reproductive success in the river bullhead, *Cottus gobio* L. *J. Fish Biol.* **33**, 905–916 (1988).
977. Marconato, A., Bisazza, A. & Fabris, M. The cost of parental care and egg cannibalism in the river bullhead, *Cottus gobio* L. (Pisces, Cottidae). *Behav. Ecol. Sociobiol.* **32**, 229–237 (1993).
978. Goto, A. Male mating success and female mate choice in the river sculpin, *Cottus nozawae* (Cottidae). *Environ. Biol. Fishes* **37**, 347–353 (1993).
979. Johnston, C. E. Allopaternal care in the Pygmy Sculpin (*Cottus pygmaeus*). *Copeia* 262–264 (2000).
980. Kierl, N. C. & Johnston, C. E. The relationship between breeding coloration and mating success in male pygmy sculpin (*Cottus paulus* Williams). *Environ. Biol. Fishes* **98**, 301–306 (2015).
981. Yamada, K., Hori, M., Tanaka, Y., Hasegawa, N. & Nakaoka, M. Contribution of different functional groups to the diet of major predatory fishes at a seagrass meadow in northeastern Japan. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **86**, 71–82 (2010).
982. Hauksson, E. Studies on the diet of short spined sea scorpion *Myoxocephalus scorpius* in Icelandic waters. *Hafranns. Fjölrit* **115**, 17–20 (2005).
983. Mychek-Londer, J. G. *et al.* Using diets to reveal overlap and egg predation among benthivorous fishes in Lake Michigan. *Transacions Am. Fish. Soc.* **142**, 492–504 (2013).
984. Munehara, H. & Miura, T. Non-intentional filial egg cannibalism by the guarding male of *Hexagrammos otakii* (Pisces: Hexagrammidae). *J. Ethol.* **13**, 191–193 (1995).
985. King, J. R. & Withler, R. E. Male nest site fidelity and female serial polyandry in lingcod (*Ophiodon elongatus*, Hexagrammidae). *Mol. Ecol.* **14**, 653–660 (2005).
986. DeMartini, E. E. Paternal defence, cannibalism and polygamy: factors influencing the reproductive success of painted greenling (Pisces, Hexagrammidae). *Anim. Behav.* **35**, 1145–1158 (1987).

987. Rand, K. M. & Lowe, S. A. Defining essential fish habitat for Atka mackerel with respect to feeding within and adjacent to Aleutian Islands trawl exclusion zones. *Mar. Coast. Fish.* **3**, 21–31 (2011).
988. Canino, M. F., Spies, I. B., Guthridge, J. L. & Hollowed, M. M. Genetic assessment of the mating system and patterns of egg cannibalism in Atka mackerel. *Mar. Coast. Fish.* **2**, 388–398 (2010).
989. Zolotov, O. G. Some biological features of the reproduction of the Atka mackerel *Pleurogrammus monopterygius* in coastal waters of Kamchatka. *Vopr. Ikhtiologii* **32**, 110–119 (1992).
990. Lauth, R. R., Guthridge, J. L., Nichol, D., McEntire, S. W. & Hillgruber, N. Timing and duration of mating and brooding periods of Atka mackerel (*Pleurogrammus monopterygius*) in the North Pacific Ocean. *Fish. Bull.* **105**, 560–570 (2007).
991. Valdez-Moreno, M., Quintal-Lizama, C., Gómez-Lozano, R. & García-Rivas, M. D. C. Monitoring an alien invasion: DNA barcoding and the identification of lionfish and their prey on coral reefs of the Mexican Caribbean. *PLoS One* **7**, e36636 (2012).
992. Nakagawa, M. Studies on the stock enhancement technology of the black rockfish *Sebastes schlegeli*. *Bull. Fish. Res. Agency* (2008).
993. Watanabe, K. Mating behavior and larval development of *Pseudobagrus ichikawai* (Siluriformes: Bagridae). *Japanese J. Ichthyol.* **41**, 243–251 (1994).
994. Morioka, S. & Vongvichith, B. Growth and morphological development of laboratory-reared larval and juvenile *Hemibagrus filamentus* (Siluriformes: Bagridae). *Ichthyol. Res.* **58**, 245–254 (2011).
995. Rahmah, S. *et al.* Improved survival and growth performances with photoperiod and feeding schedule manipulation in bagrid catfish *Mystus nemurus* (Cuvier & Valenciennes 1840) larvae. *Aquaculture* **45**, 501–508 (2014).
996. Baras, E. *et al.* Do cannibalistic fish possess an intrinsic higher growth capacity than others? A case study in the Asian redbtail catfish *Hemibagrus nemurus* (Valenciennes, 1840). *Aquac. Res.* **45**, 68–79 (2013).
997. Han, D., Xie, S., W., L., Zhu, X. & Yang, Y. Effect of light intensity on growth, survival and skin color of juvenile Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther). *Aquaculture* **248**, 299–306 (2005).
998. Sandhu, A. A. & Lone, K. P. Food and feeding habits of some catfishes of Pakistan. *Pak. J. Zool.* **35**, 353–356 (2003).

999. Christensen, M. S. A note on the breeding and growth rates of the catfish *Clarias mossambicus* in Kenya. *Aquaculture* **25**, 285–288 (1981).
1000. Graaf, G. D., Galemoni, F. & Banzoussi, B. Artificial reproduction and fingerling production of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), in protected and unprotected ponds. *Aquac. Res.* **26**, 233–242 (1995).
1001. Mukai, Y. *et al.* Development of sensory organs in larvae of African catfish *Clarias gariepinus*. *J. Fish Biol.* **73**, 1648–1661 (2008).
1002. Mosepele, K., Mosepele, B., Wolski, P. & Kolding, J. Dynamics of the feeding ecology of selected fish species from the Okavango River delta, Botswana. *Acta Ichthyologica Piscat.* **42**, 271–289 (2012).
1003. Karami, A. *et al.* Effect of triploidization on juvenile African catfish (*Clarias gariepinus*). *Aquac. Int.* **18**, 851–858 (2010).
1004. Al-Hafedh, Y. S. & Ali, S. A. Effects of feeding on survival, cannibalism, growth and feed conversion of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell) in concrete tanks. *J. Appl. Ichthyol.* **20**, 225–227 (2004).
1005. Whitfield, A. K. & Blaber, S. J. M. Food and feeding ecology of piscivorous fishes at Lake St Lucia, Zululand. *J. Fish Biol.* **13**, 675–691 (1978).
1006. Imoru Toku, I. & Fiogbe, E. D. Comparative study of the feeding performance on different foods of larvae of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *J. Afrotropical Zool.* **Special Is**, 187–192 (2007).
1007. Britz, P. J. & Pienaar, A. G. Laboratory experiments on the effect of light and cover on the behaviour and growth of African catfish, *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae). *J. Zool.* **227**, 43–62 (1992).
1008. Mukai, Y. & Lim, L. S. Larval rearing and feeding behavior of African catfish, *Clarias gariepinus* under dark conditions. *J. Fish. Aquat. Sci.* **6**, 272–278 (2011).
1009. Aluko, P. O., Nlewadim, A. A. & Aremu, A. Observations of Fry Cannibalism in *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *J. Aquat. Sci.* **16**, 1–6 (2001).
1010. Hecht, T. & Appelbaum, S. Observations on intraspecific aggression and coeval sibling cannibalism by larval and juvenile *Clarias gariepinus* (Clariidae: Pisces) under controlled conditions. *J. Zool.* **214**, 21–44 (1988).
1011. El Bolock, A. R. Rearing of the Nile catfish, *Clarias lazera*, to marketable size in Egyptian experimental ponds. in *FAO/CIFA Symposium on Aquaculture in Africa, Accra (Ghana)* (1975).

1012. Mukai, Y., Sanudin, N., Firdaus, R. F. & Saad, S. Reduced Cannibalistic Behavior of African Catfish, *Clarias gariepinus*, Larvae Under Dark and Dim Conditions. *Zoolog. Sci.* **30**, 421–424 (2013).
1013. Baras, E. & Fortuné d'Almeida, A. Size heterogeneity prevails over kinship in shaping cannibalism among larvae of sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. *Aquat. Living Resour.* **14**, 251–256 (2001).
1014. Appelbaum, S. & Kamler, E. Survival, growth, metabolism and behaviour of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) early stages under different light conditions. *Aquac. Eng.* **22**, 269–287 (2000).
1015. Appelbaum, S. & Damme, P. The feasibility of using exclusively artificial dry feed for the rearing of Israeli *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) larvae and fry. *J. Appl. Ichthyol.* **4**, 105–110 (1988).
1016. Prinsloo, J. F., Schoonbee, H. J. & Theron, J. Use of a red strain of the sharptooth catfish *Clarias gariepinus*(burchell) in the evaluation of cannibalism amongst juveniles of this species. *Water S. A.* **15**, 179–184 (1989).
1017. Adamek, J., Kamler, E. & Epler, P. Uniform maternal age/size and light restrictions mitigate cannibalism in *Clarias gariepinus* larvae and juveniles reared under production-like controlled conditions. *Aquac. Eng.* **45**, 13–19 (2011).
1018. DaCosta, S. K., Gourene, G. & Teugels, G. G. Embryonic and external larval development and sexual maturity of the African catfish *Heterobranchus isopterus* (Siluroidei, Clariidae). *Belgian J. Zool.* **126**, 93–109 (1996).
1019. Anselme, P., Bernaerts, P. & Poncin, P. Daily activity rhythms of the African catfish *Heterobranchus longifilis* (Clariidae) in an experimental enclosure. *Aquat. Living Resour.* **21**, 419–422 (2008).
1020. Imoru Toku, I., Fiogbe, E. D. & Kestemont, P. Determination of appropriate age and stocking density of vundu larvae, *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes 1840), at the weaning time. *Aquac. Res.* **39**, 24–32 (2008).
1021. Baras, E., Dugué, R. & Legendre, M. Do cannibalistic fish forage optimally? An experimental study of prey size preference, bioenergetics of cannibalism and their ontogenetic variations in the African catfish *Heterobranchus longifilis*. *Aquat. Living Resour.* **27**, 51 (2014).
1022. Coulibaly, A. *et al.* Evaluation of a man-made shelter's effects on survival and growth of *Heterobranchus longifilis* fry under cage culture. *Belgian J. Zool.* **137**, 157–164 (2007).
1023. Baras, E., Tissier, F., Westerloppe, L., Mélard, C. & Phillippart, J. C. Feeding in darkness alleviates density-dependent growth of juvenile vundu catfish *Heterobranchus longifilis* (Clariidae). *Aquat. Living Resour.* **11**, 335–340 (1998).

1024. Coulibaly, A. *et al.* First results of floating cage culture of the African catfish *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840: Effect of stocking density on survival and growth rates. *Aquaculture* **263**, 61–67 (2007).
1025. Baras, E. Functional implications of early sexual growth dimorphism in vundu. *J. Fish Biol.* **54**, 119–124 (1999).
1026. Baras, E. Sibling cannibalism among juvenile vundu under controlled conditions. I. Cannibalistic behaviour, prey selection and prey size selectivity. *J. Fish Biol.* **54**, 82–105 (1999).
1027. Baras, E., Tissier, F., Phillippart, J. C. & M elard, C. Sibling cannibalism among juvenile vundu under controlled conditions. II. Effect of body weight and environmental variables on the periodicity and intensity of type II cannibalism. *J. Fish Biol.* **54**, 106–118 (1999).
1028. Perschbacher, P. W. Observations on cultured channel catfish fish foraging behavior. *J. Appl. Aquac.* **11**, 75–82 (2001).
1029. Baumann, J. R. & Kwak, T. J. Trophic relations of introduced flathead catfish in an Atlantic river. *Transacions Am. Fish. Soc.* **140**, 1120–1134 (2011).
1030. Mukai, Y., Tuzan, A. D., Shaleh, S. R. M. & Manjaji-Matsumoto, B. M. Development of sensory organs and changes of behavior in larvae of the sutchi catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*. *Fish. Sci.* **76**, 921–930 (2010).
1031. Morioka, S., Sano, K., Phommachan, P. & Vongvichith, B. Growth and morphological development of laboratory-reared larval and juvenile *Pangasianodon hypophthalmus*. *Ichthyol. Res.* **57**, 139–147 (2010).
1032. Baras, E. *et al.* Interactions between temperature and size on the growth, size heterogeneity, mortality and cannibalism in cultured larvae and juveniles of the Asian catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage). *Aquac. Res.* **42**, 260–276 (2011).
1033. Subagja, J., Slembrouck, J., Hung, L. T. & Legendre, M. Larval rearing of an Asian catfish *Pangasius hypophthalmus* (Siluroidei, Pangasiidae): Analysis of precocious mortality and proposition of appropriate treatments. *Aquat. Living Resour.* **12**, 37–44 (1999).
1034. Baras, E., Slembrouck, J., Cochet, C., Caruso, D. & Legendre, M. Morphological factors behind the early mortality of cultured larvae of the Asian catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*. *Aquaculture* **298**, 211–219 (2010).
1035. Mukai, Y. Remarkably high survival rates under dim light conditions in sutchi catfish *Pangasianodon*

- hypophthalmus* larvae. *Fish. Sci.* **77**, 107–111 (2011).
1036. Slembrouck, J., Baras, E., Subagja, J., Hung, L. T. & Legendre, M. Survival, growth and food conversion of cultured larvae of *Pangasianodon hypophthalmus*, depending on feeding level, prey density and fish density. *Aquaculture* **294**, 52–59 (2009).
1037. Mukai, Y., Tan, N. H. & Lim, L. S. Why is cannibalism less frequent when larvae of sutchi catfish *Pangasianodon hypophthalmus* are reared under dim light? *Aquac. Res.* **46**, 1958–1964 (2013).
1038. Kossowski, C. Reproducción y crecimiento del bagre zamurito, *Calophysus macropterus* (Pisces, Pimelodidae), en cautiverio. *Bol. del Cent. Investig. biológicas* **32**, (1998).
1039. Marciales-Caro, L. J., Cruz-Casallas, N. E., Díaz-Olarte, J. J., Medina-Robles, V. M. & Cruz-Casallas, P. E. Adaptation to a commercial diet alters post-larvae growth and development of striped catfish (*Pseudoplatystoma* sp.) and yaque (*Leiarius marmoratus*). *Rev. Colomb. Ciencias Pecu.* **24**, 179–190 (2011).
1040. Valbuena, R., Zapata-Berruecos, B. & Otero-Paternina, A. valuation of first feeding of capaz larvae *Pimelodus grosskopfii* under laboratory conditions. *Rev. MVZ Córdoba* **18**, 3518–3524 (2013).
1041. Luz, R. K. & Zaniboni-Filho, E. Utilização de diferentes dietas na primeira alimentação do mandi-amarelo (*Pimelodus maculatus*, Lacépède). *Acta Sci.* **23**, 483–489 (2008).
1042. Luz, R. K., Reynalte-Tataje, D. & Ferreira, A. A. Desenvolvimento embionario estagios larvais do mandi-amarelo *Pimelodus maculatus*. *Bol. do Inst. Pesca* **27**, 49–55 (2001).
1043. de Andrade, L. S., Hayashi, C. & de Souza, S. R. Cannibalism among larvae of *Pseudoplatystoma corruscans* bred under different stockage densities. *Acta Sci.* **26**, 299–302 (2004).
1044. Beux, L. F. & Zaniboni-Filho, E. Survival and the growth of pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) post-larvae on different salinities. *Brazilian Arch. Biol. Technol.* **50**, 821–829 (2007).
1045. Arslan, M., Rinchard, J., Dabrowski, K. & Portella, M. C. Effects of different dietary lipid sources on the survival, growth, and fatty acid composition of south american catfish, *Pseudoplatystoma fasciatum*, surubim, juveniles. *J. World Aquac. Soc.* **39**, 51–61 (2008).
1046. Arslan, M., Dabrowski, K. & Portella, M. C. Growth, fat content and fatty acid profile of South American catfish, surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*) juveniles fed live, commercial and formulated diets. *J. Appl. Ichthyol.* **25**, 73–78 (2009).
1047. Núñez, J. *et al.* Hatching rate and larval growth variations in *Pseudoplatystoma punctifer*: maternal

- and paternal effects. *Aquac. Res.* **42**, 764–775 (2011).
1048. Baras, E. *et al.* How many meals a day to minimize cannibalism when rearing larvae of the Amazonian catfish *Pseudoplatystoma punctifer*? The cannibal's point of view. *Aquat. Living Resour.* **24**, 379–390 (2011).
1049. Diaz Olarte, J., Marciales-Caro, L. J. & Crstancho Vasquez, F. Comparison of the embryonic development of *Piaractus brachypomus* (Serrasalminidae) and *Pseudoplatystoma* sp. (Pimelodidae). *Int. J. Morphol.* **28**, 1193–1204 (2010).
1050. da Silva, A. F. L., Russo, M. R., de Araújo Ramos, L. & Rocha, A. S. Feeding of larvae of the hybrid surubim *Pseudoplatystoma* sp. under two conditions of food management. *Acta Sci.* **35**, 153–159 (2012).
1051. Arslan, M., Dabrowski, K., Ferrer, S., Dietrich, M. & Rodriguez, G. Growth, body chemical composition and trypsin activity of South American catfish, surubim (*Pseudoplatystoma* sp.) juveniles fed different dietary protein and lipid levels. *Aquac. Res.* **44**, 760–771 (2013).
1052. Prieto-Guevara, M. *et al.* Effect of three types of live preys on larviculture of the trans-andean shovelnose catfish (*Sorubim cuspicaudus*). *Rev. MVZ Córdoba* **18**, 3790–3798 (2013).
1053. Shibatta, O. A., Novelli, J. L., Pinheiro Dias, J. H., de Castro Britto, S. G. & Caetano Filho, M. Reproduction of duckbill catfish *Sorubim lima* in captivity (Siluriformes, Pimelodidae) by means of hormonal induction. *Semin. Agrárias* 363–372 (2011).
1054. Feiden, A., Hayashy, C. & Boscolo, W. R. Development of Iguazu surubim (*Steindachneridion melanodermatum*) larvae fed different diets. *Rev. Bras. Zootec.* **35**, 2203–2210 (2006).
1055. Feiden, A., Hayashi, C., Boscolo, W. R. & Reidel, A. Development of larvae of *Steindachneridion* sp. under different conditions of refuge and luminosity. *Pesqui. Agropecuária Bras.* **41**, 133–137 (2006).
1056. Honji, R. M., Tolussi, C. E., Mello, P. H., Caneppele, D. & Moreira, R. G. Embryonic development and larval stages of *Steindachneridion parahybae* (Siluriformes: Pimelodidae): implications for the conservation and rearing of this endangered Neotropical species. *Neotrop. Ichthyol.* **10**, 313–327 (2012).
1057. Caneppele, D., Honji, R. M., Hilsdorf, A. W. & Moreira, R. G. Induced spawning of the endangered Neotropical species *Steindachneridion parahybae* (Siluriformes: Pimelodidae). *Neotrop. Ichthyol.* **7**, 759–762 (2009).
1058. Schutz, J. H., Weingartner, M., Zaniboni-Filho, E. & de Oliveira Nuner, A. P. Growth and survival of

- Steindachneridion scriptum* (Pisces, Pimelodidae) Larvae during early life stages: Effects of different foods and photoperiods. *Bol. do Inst. Pesca* **34**, 443–451 (2008).
1059. Luz, R. K., Santos, J. C. E., Pedreira, M. M. & Teixeira, E. A. Effect of water flow rate and feed training on ‘pacamã’ (Siluriforme: Pseudopimelodidae) juvenile production. *Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec.* **63**, 973–979 (2011).
1060. Silva, S. D. S., Cordeiro, N. I. S., Costa, D. C., Takata, R. & Luz, R. K. Feeding frequency and rate during feed training of Pacamã juveniles. *Pesqui. Agropecuária Bras.* **49**, 648–651 (2014).
1061. Raizada, S. *et al.* Captive breeding and embryonic development of butter catfish (*Ompok bimaculatus*, Bloch 1794), a threatened fish of Indian sub-continent in Northern India. *Proc. Natl. Acad. Sci. India Sect. B* **83**, 333–339 (2013).
1062. Jamróz, M., Kucharczyk, D., Kujawa, R. & Mamcarz, A. Effect of stocking density and three various diets on growth and survival of european catfish (*Silurus glanis* L.) larvae under intensive rearing condition. *Polish J. Nat. Sci.* **23**, 850–857 (2008).
1063. Nihal, D. O. & Anbora, A. G. Feeding biology of *Silurus glanis* (L., 1758) Living in Hirfanlı Dam Lake. *Turkish J. Vet. Anim. Sci.* **28**, 471–479 (2004).
1064. Król, J., Flisiak, W., Urbanowicz, P. & Ulikowski, D. Growth, cannibalism, and survival relations in larvae of European catfish, *Silurus glanis* (Actinopterygii: Siluriformes: Siluridae)-attempts to mitigate sibling cannibalism. *Acta Ichthyologica Piscat.* **44**, 191 (2014).
1065. Slavik, O., Maciak, M. & Horáky, P. Shelter use of familiar and unfamiliar groups of juvenile European catfish *Silurus glanis*. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **142**, 116–123 (2012).
1066. Copp, G. H., Robert Britton, J., Cucherousset, J., García-Berthou, E., Kirk, R., Peeler, E. & Stakénas, S. Voracious invader or benign feline? A review of the environmental biology of European catfish *Silurus glanis* in its native and introduced ranges. *Fish Fish.* **10**, 252–282 (2009).
1067. Yang, K., Fan, Q., Zhou, H., Li, B. & Fang, W. Effects of prey density on growth, survival and cannibalism of *Silurus meridionalis* (Chen) larvae and juveniles [J]. *Chinese J. Appl. Environ. Biol.* **2**, 20 (2010).
1068. Sahoo, S. K., Giri, S. S. & Sahu, A. K. Cannibalism, a cause of high mortality in *Wallago attu* (Schneider) larvae. *Indian J. Fish.* **49**, 173–177 (2002).
1069. Sahoo, S. K., Giri, S. S., Sahu, A. K. & Gupta, S. D. Effect of feeding and management on growth and survival of *Wallago attu* (Schneider) larvae during hatchery rearing. *Indian J. Fish.* **53**, 327–332

(2006).

1070. Giri, S. S. *et al.* Larval survival and growth in *Wallago attu* (Bloch and Schneider): effects of light, photoperiod and feeding regimes. *Aquaculture* **213**, 151–161 (2002).
1071. Příklad, T., Prokofiev, A. M. & Krzemiński, W. Feeding habits of the Oligocene bristlemouth fish *Scopeloides glarisianus* (Teleostei: Stomiiformes: Gonostomatidae). *Geobios* **45**, 377–386 (2012).
1072. Carmo, V., Sutton, T., Menezes, G., Falkenhaus, T. & Bergstad, O. A. Feeding ecology of the Stomiiformes (Pisces) of the northern Mid-Atlantic Ridge. 1. The Sternoptychidae and Phosichthyidae. *Prog. Oceanogr.* **130**, 172–187 (2015).
1073. Kitsos, M. S., Tzomos, T. H., Anagnostopoulou, L. & Koukouras, A. Diet composition of the seahorses, *Hippocampus guttulatus* Cuvier, 1829 and *Hippocampus hippocampus* (L., 1758)(Teleostei, Syngnathidae) in the Aegean Sea. *J. Fish Biol.* **72**, 1259–1267 (2008).
1074. Storero, L. P. & González, R. A. Feeding habits of the seahorse *Hippocampus patagonicus* in San Antonio Bay (Patagonia, Argentina). *J. Mar. Biol. Assoc. UK* **88**, 1503–1508 (2008).
1075. Teixeira, R. L. & Musick, J. A. Trophic ecology of two congeneric pipefishes (Syngnathidae) of the lower York River, Virginia. *Environ. Biol. Fishes* **43**, 295–309 (1995).
1076. Malavasi, S., Riccato, F., Georgalas, V., Franzoi, P. & Torricelli, P. Occurrence and intensity of intercohort cannibalism of post-hatching stages in the broad-nosed pipefish, *Syngnathus typhle*. *J. Appl. Ichthyol.* **25**, 622 (2009).
1077. Nakazono, A. & Kawase, H. Spawning and biparental egg-care in a temperate filefish, *Paramonacanthus japonicus* (Monacanthidae). *Environ. Biol. Fishes* **37**, 245–256 (2003).
1078. Kotani, T., Wakiyama, Y., Imoto, T. & Fushimi, H. Improved larviculture of ocellate puffer *Takifugu rubripes* through control of stocking density. *Aquaculture* **312**, 95–101 (2011).
1079. Kang, D. Y., Kang, H. W. & Kim, H. C. Influence of rearing environmental factors on intra-cohort cannibalism and growth of fry in cultured puffer *Takifugu obscurus*. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* **44**, 251–258 (2011).
1080. Suzuki, N., Okada, K. & Kamiya, N. Organogenesis and behavioral changes during development of laboratory-reared tiger puffer, *Takifugu rubripes*. *Aquac. Sci.* **43**, 461–474 (1995).