短 報

亜熱帯藻場構成植物に対する
アイゴ幼魚の摂食選択性評価山田秀秋,^{1*} 島袋寛盛,² 早川 淳,³中本健太,³ 河村知彦,³ 今 孝悦⁴(2016年2月9日受付, 2016年5月6日受理,
2016年7月12日J-STAGE早期公開)¹(国研) 水産研究・教育機構[†] 東北区水産研究所,²同 瀬戸内海区水産研究所,³東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター,⁴筑波大学下田臨海実験センターAssessment of feeding preference for subtropical
macrophytes in young *Siganus fuscescens*HIDEAKI YAMADA,^{1*} HIROMORI SHIMABUKURO,²JUN HAYAKAWA,³ KENTA NAKAMOTO,³TOMOHIKO KAWAMURA³ AND KOETSU KON⁴¹Tohoku National Fisheries Research Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, Shiogama, Miyagi 985-0001, ²National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Japan Fisheries Research and Education Agency, Hatsukaichi, Hiroshima 739-0452, ³International Coastal Research Center, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Otsuchi, Iwate 028-1102, ⁴Shimoda Marine Research Center, University of Tsukuba, Shimoda, Shizuoka 415-0025, Japan

キーワード: アイゴ, 亜熱帯, 海草, 海藻, 植食動物

南西諸島沿岸の砂泥域に形成される藻場は、水産有用種の成育場として重要な海域である。¹⁻³⁾ これらの亜熱帯藻場では、海草類が卓越して出現するほか、⁴⁾ 様々な小型海藻類が季節的に出現する。⁵⁾ ここには、初夏の新月前後になると、アイゴ *Siganus fuscescens* が集中的に着底し、⁶⁻⁹⁾ 藻場を構成する様々な植物を摂食する。⁶⁾ このため、アイゴ幼稚魚の摂食選択性は亜熱帯藻場の構造に大きな影響を及ぼすと考えられるが、アイゴ幼稚魚の消化管は海藻・海草等の微細な断片で満たされているため、植物に対する摂食選択性を消化管内容物から種レベルで評価することは困難である。¹⁰⁾ 飼育条件下での摂食選択性については、オーストラリア沿岸の個体群を対象とした実験がいくつか行われているが、¹¹⁻¹²⁾ 本邦産個体群についての詳細な実験はない。

そこで、沖縄県石垣島名蔵湾の海草藻場において冬季から春季にかけて季節的に繁茂する(山田ほか、未発表)

代表的な小型海藻5種(カサノリ *Acetabularia ryukyuensis*, ホソカゴメノリ *Hydroclathrus tenuis*, オキナワモズク *Cladosiphon okamuranus*, カズノイバラ *Hypnea flexicaulis*, イトクズグサ *Tolypocladia glomerulata*)と、周年出現する小型海藻マクリ *Digenea simplex*, ならびに周年卓越して出現する海草類リュウキュウスガモ *Thalassia hemprichii* を対象として、アイゴ幼魚による摂食減少率(重量減少比)を室内飼育条件下で調べた。

実験は、室内の止水、自然光下で100 Lのポリエチレン製黒色円形水槽を用い、2014年2月から3月にかけての期間に2回(実験Ⅰ・実験Ⅱ)行った。実験中の海水温は約20–22℃の範囲にあった。

実験に供したアイゴは、2013年7月に石垣島名蔵湾で着底直後に採集した個体であり、室内で1000 Lの流水水槽において養魚用配合飼料で7–8ヶ月間飼育した。このように長期間養成したのは、小型海藻類が採集できる時期に実験を行うためである。実験開始の1週間前に、1実験水槽につき5個体ずつアイゴを収容し、流水下で給餌を続け、馴致を行った。実験開始48時間前からは給餌を停止した。

餌料として供試した植物は、実験Ⅰではリュウキュウスガモ、カサノリ、ホソカゴメノリおよびマクリの4種、実験Ⅱではリュウキュウスガモ、オキナワモズク、カズノイバラおよびイトクズグサの4種である。両実験における供試植物の組み合わせについては、後述する残存藻体の回収を正確に種別に行うため、色彩や形状の異なる4種を組み合わせた。リュウキュウスガモについては、付着物が少なく濃い緑色をした葉身部のみを用い、茎および葉鞘部は除いた。他の小型海藻については、仮根部を除く藻体全体を用いた。

植物各種は、実験開始2日前に名蔵湾において採集し、実験時まで屋外の自然光下に設置した流水水槽中で維持した。実験開始直前に濾過海水で各植物を洗浄し、肉眼で確認できた付着物を全て除去した後、表面の水分を除去して湿重量を測定した。この際、1水槽あたりの湿重量がいずれの植物においても4–5 gとなるように量を調整した。その後、長さ50 mmに切断した外径60 mmの塩化ビニル製パイプに4種の植物をそれぞれ輪ゴムで固定し、生育時の状態を再現した。これら4つの塩化ビニル製パイプを、予めアイゴを収容しておいた水槽の底面中央部に正方形の角を成すようにランダムに配置した(Fig. 1)。これを12水槽設定した。加えて、アイゴを収容しない対照区4水槽を設置した。

実験水槽に植物を配置した後、給水を停止し、実験を開始した。予備実験において、実験継続時間を24時間

Fig. 1 Schematic drawing of the experimental tank. Four species of macrophyte were attached to each PVC pipe with elastic bands, which was randomly deployed at the bottom center of the tanks. Black tanks were used to eliminate between-tank interactions. Five fish were introduced into each experimental tank ($n=12$) but no fish in the control tanks ($n=4$).

に設定した場合には、摂食減少率の評価に十分な量の摂食が確認できなかった。これは、実験時の水温が年間最低水温に近かったため日間摂食量が少なかったことに加え、実験操作（植物供給）によるストレスからの回復が十分でないことが原因と考えられた。そこで、実験継続時間は48時間とした。

実験終了後、水槽内に残った植物を回収した。この際、一部の藻・草体片が水槽内に散乱していたため、目合い0.5 mmの手網を用いてこれらの植物片も回収した。回収した植物は、表面の水分を除去した後に、種毎に湿重量を測定した。対照区についても、実験終了時の植物の湿重量を測定した。対照区を含む各水槽における植物各種の重量減少率 $[\text{=(実験開始時重量-実験終了時重量)/実験開始時重量} \times 100]$ を求め、アイゴが入った各実験水槽の各植物の減少率(%)と対照区の各植物の平均減少率(%)の差を各植物の摂食減少率(%)とし、植物種間で比較した。

実験終了時には、いずれの植物においても藻・草体の一部が残存しており、食べ尽くされている事例は認められなかった。アイゴについては、供試した全個体が生残していた。アイゴの全長を実験終了時に測定した結果、各水槽における平均値は実験Ⅰでは94.4–103.2 mm、実験Ⅱでは94.1–103.4 mmの範囲にあった。

実験Ⅰで用いた植物各種における摂食減少率は、リュウキュウスガモで $3.3 \pm 5.2\%$ (mean $\pm$ standard deviation, $n=12$)、カサノリで $32.6 \pm 14.2\%$ 、ホソカゴメノリで $47.9 \pm 15.4\%$ 、マクリで $16.0 \pm 7.8\%$ であった (Fig. 2)。摂食減少率は、カサノリとホソカゴメノリにおいて他の2種に比べて有意に高く、マクリがそれらに次いで高く、リュウキュウスガモでは他の3種よりも有意に低かった (Steel-Dwass test, $p < 0.05$)。実験Ⅱにおける摂食減少率は、リュウキュウスガモで $9.6 \pm 8.8\%$ ($n=12$)、オキナワモズクで $54.1 \pm 17.1\%$ 、カズ

Fig. 2 Mean percent wet mass removed from each macrophyte by *Siganus fuscus* feeding during 48 h feeding experiments. Different letters (a, b and c) indicate a significant difference between treatments (Steel-Dwass test, $p < 0.05$; $n=12$). Vertical bars indicate SD. Th: *Thalassia hemprichii*, Ar: *Acetabularia ryukyuensis*, Ht: *Hydroclathrus tenuis*, Ds: *Digenea simplex*, Co: *Cladosiphon okamuranus*, Hf: *Hypnea flexicaulis*, Tg: *Tolypocladia glomerulata*

ノイバラで $49.1 \pm 24.6\%$ 、イトクズグサで $45.4 \pm 11.0\%$ であり、リュウキュウスガモの摂食減少率が他の3種よりも有意に低かった (Steel-Dwass test, $p < 0.05$)。

以上のように、摂食減少率は、カサノリ・ホソカゴメノリ・オキナワモズク・カズノイバラ・イトクズグサで高く、マクリおよびリュウキュウスガモで低かった。アイゴ幼魚の摂食選択性実験を行った Pillans *et al.*¹¹⁾は、低い選択性を示した海藻類（アミジグサ *Dictyota dichotoma* 等）には、植食動物に対して摂食阻害作用を示す二次代謝産物が含まれていることを考察で記述している。本研究で用いた植物の中では、マクリが二次代謝産物（カイニン酸）を有することが知られており、¹³⁾ 本種に対する摂食減少率は小型海藻の中では最も低かった。カイニン酸はマクリ藻体表面を覆う毛状組織に多く、このことが被食に対する防御に寄与するとされている。¹³⁾ マクリは、多年生海藻であり、¹⁴⁾ 名蔵湾でもアイゴ出現の有無に関わりなく周年生育する (山田ほか, 未発表)。本研究の結果も併せて考えると、カイニン酸はアイゴに対してある程度の被食防御機能を有している可能性がある。さらに、藍藻類の二次代謝産物濃度とアイゴ幼魚の摂食との関係を調べた Capper *et al.*¹²⁾は、二次代謝産物に対するアイゴの摂食経験によって藍藻類の被食防御機能が高まることを示し、アイゴにおける学習効果の存在を示唆した。本研究では、着底期から配合飼料で飼育したアイゴを用いたため、天然個体のアイゴでは、マクリに対する選択性はさらに低い可能性がある。リュウキュウスガモでは化学物質による被食防除についての研究例はないが、Arnold *et al.*¹⁵⁾は、近縁の熱帯性海藻 *Thalassia testudinum* において、被食を軽減させる可能性のある縮合型タンニンが含まれることを示した。その他、リュウキュウスガモの場合は、草体の堅さが低い摂

食減少率の原因となったことも考えられる。

Thacker *et al.*¹⁶⁾ は、アイゴ属魚類が主要な植食動物となっているマリアナ諸島グアムのサンゴ礁域において野外実験を行い、植食動物を排除したケージ設置区ではイトクズグサが繁茂するが、対照区にはイトクズグサは出現しないことを示した。本研究で摂食減少率が高かったイトクズグサ等の小型海藻5種は、いずれもアイゴが藻場に出現しない時期に繁茂することから（山田ほか、未発表）、その分布や季節的消長には、各種の生活年周期だけではなく、アイゴの摂食活動も影響している可能性がある。

我が国温帯域では、アイゴによる摂餌活動は、褐藻群落¹⁷⁾や海草群落¹⁸⁾の衰退を引き起こしている。これに対して、石垣島周辺藻場では、アイゴ稚魚の分布密度は非常に高いにも関わらず、⁷⁾ リュウキュウスガモを含めた海草類においては、葉上に認められる植食動物による摂食痕は少ない。¹⁹⁾ アイゴは、リュウキュウスガモのみを与えた場合には、その草体を積極的に食べることを確認していることから（山田ほか、未発表）、海草類と混成する小型海藻の存在によって、アイゴによる海草類の摂食量が軽減されている可能性がある。さらに、当真⁵⁾ および山田ほか（未発表）によれば、本研究で摂食減少率が高かった小型海藻は、付着基質としてサンゴ礁のほか海草草体も利用する。Duffy *et al.*²⁰⁾ は、世界各地の温帯域で野外実験を行い、ヨコエビや巻貝などが葉上付着藻類を食べることで光環境等を改善してアマモ *Zostera marina* の生長を促進することを示した。アイゴの場合も、葉上付着海藻を除去することによって海草の生長を促進させる可能性がある。今後、詳細な野外実験等を行うことにより、アイゴを含む植食動物が亜熱帯藻場生態系に及ぼす影響を評価する必要がある。

謝 辞

飼育実験の実施に際しては、西海区水産研究所亜熱帯研究センターの照屋和久センター長ならびに職員の方々にご高配を賜った。一部海藻の同定については、北海道大学理学部の小亀一弘准教授、広島大学大学院生物圏科学研究科の加藤亜記助教にご助言いただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げる。本研究は、JSPS 科研費 25292115 の助成を受けた。

文 献

- 1) Yamada H, Nanami A, Ohta I, Fukuoka K, Sato T, Kobayashi M, Hirai N, Chimura M, Akita Y, Kawabata Y. Occurrence and distribution during the post-settlement stage of two *Choerodon* species in shallow waters around Ishigaki Island, southern Japan. *Fish. Sci.* 2012; **78**: 809–818.
- 2) Nakamura Y, Hirota K, Shibuno T, Watanabe Y. Variability in nursery function of tropical seagrass beds during fish ontogeny: timing of ontogenetic habitat shift. *Mar. Biol.* 2012; **159**: 1305–1315.
- 3) 小川直人, 関 伸吾, 山田秀秋, 中村洋平. PCR-RFLP

- 分析によるブダイ科魚類種判別法の開発とそれを用いた琉球列島の海草藻場に出現するブダイ科稚魚の種組成の解明. 水産増殖 2015; **63**: 423–435.
- 4) Tanaka Y, Kayanne H. Relationship of species composition of tropical seagrass meadows to multiple physical environmental factors. *Ecol. Res.* 2007; **22**: 87–96.
- 5) 当真 武. 「沖縄の海藻と海草—自然環境・養殖・海藻 250 種」出版舎 Mugen, 那覇. 2012; 1–433.
- 6) 多和田真周. 魚類の増養殖 アイゴ類. 「サンゴ礁域の増養殖」(諸喜田茂光編) 緑書房, 東京. 1988; 111–124.
- 7) 杉山昭博, 友利昭之助. 石垣島におけるアイゴ類成魚の漁獲変動と稚魚の季節的来遊. 水産増殖 1990; **38**: 67–74.
- 8) 金城清昭, 本永文彦, 木村基文. 沖縄島におけるシモフリアイゴの着底. 日本水産学会誌 1999; **65**: 19–25.
- 9) 山田秀秋, 桐山隆哉, 吉村 拓. アイゴの初期生態の南北差. 水産工学 2006; **43**(1): 35–39.
- 10) Budarf AC, Burfeind DD, Loh WKW, Tibbetts IR. Identification of seagrasses in the gut of a marine herbivorous fish using DNA barcoding and visual inspection techniques. *J. Fish Biol.* 2011; **79**: 112–121.
- 11) Pillans RD, Franklin CE, Tibbetts IR. Food choice in *Siganus fuscus*: influence of macrophyte nutrient content and availability. *J. Fish Biol.* 2004; **64**: 297–309.
- 12) Capper A, Tibbetts IR, O'neil JM, Shaw GR. Feeding preference and deterrence in rabbitfish *Siganus fuscus* for the cyanobacterium *Lyngbya majuscula* in Moreton Bay, south-east Queensland, Australia. *J. Fish Biol.* 2006; **68**: 1589–1609.
- 13) Sakai R, Minato S, Koike K, Koike K, Jimbo M, Kamiya H. Cellular and subcellular localization of kainic acid in the marine red alga *Digenea simplex*. *Cell Tissue Res.* 2005; **322**: 491–502.
- 14) 田中 剛. マクリ (海人草) の生育年限と両性胞子の発生について. 日本水産学会誌 1953; **18**: 428–432.
- 15) Arnold TM, Tanner CE, Rothen M, Bullington J. Wound-induced accumulations of condensed tannins in turtlegrass, *Thalassia testudinum*. *Aquat. Bot.* 2008; **89**: 27–33.
- 16) Thacker RW, Ginsburg DW, Paul VJ. Effects of herbivore exclusion and nutrient enrichment on coral reef macroalgae and cyanobacteria. *Coral Reefs* 2001; **19**: 318–329.
- 17) 野田幹雄, 大原啓史, 村瀬 昇, 池田 至, 山元憲一. アイゴによるアラメおよび数種のホンダワラ類の被食過程と群落構造の関係. 日本水産学会誌 2014; **80**: 201–213.
- 18) 藤田大介, 新井章吾. 日本海沿岸の藻場も魚に食われる! 「海藻を食べる魚たち—生態から利用まで—」(藤田大介, 野田幹雄, 桑原久実編) 成山堂書店, 東京. 2006; 89–98.
- 19) Takada Y, Abe O. Local variations in shoot density, shoot morphology, and bite mark frequency of subtropical seagrasses in Japan. *Bull. Fish. Res. Agen.* 2002; **4**: 1–10.
- 20) Duffy JE, Reynolds PL, Boström C, Coyer JA, Cusson M, Donadi S, Douglass JG, Eklöf JS, Engelen AH, Eriksson BK, Fredriksen S, Gamfeldt L, Gustafsson C, Hoarau G, Hori M, Hovel K, Iken K, Lefcheck JS, Moksnes PO, Nakaoka M, O'Connor MI, Olsen JL, Richardson JP, Rue-sink JL, Sotka EE, Thormar J, Whalen MA, Stachowicz JJ. Biodiversity mediates top-down control in eelgrass ecosystems: A global comparative-experimental approach. *Ecol. Lett.* 2015; **18**: 696–705.