

海産カイアシ類 *Pseudodiaptomus nihonkaiensis* の培養における微細藻類餌料の検討

高山佳樹^{1,*}、古閑伸一^{2,3}、戸田龍樹²

1) 横浜国立大学大学院環境情報研究院 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

2) 創価大学大学院理工学研究科 〒192-8577 東京都八王子市丹木町 1-236

3) 現所属 三機工業株式会社 〒104-8506 東京都中央区明石町 8-1

Examination of dietary microalgae to culture marine copepod *Pseudodiaptomus nihonkaiensis*

Yoshiki Takayama^{1,*}, Shinichi Koga^{2,3}, Tatsuki Toda²

1) Graduate School of Environment and Information Science, Yokohama National University, 79-7, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, Kanagawa, 240-8501, Japan

2) Faculty of Science and Engineering, Soka University, 1-236 Tangi-cho, Hachioji, Tokyo 192-8577, Japan

3) Present address SANKI ENGINEERING CO., LTD., 9-1, Akashi-cho, Chuou-ku, Tokyo 104-8506, Japan

* Corresponding author: takayama-yoshiki-fb@ynu.ac.jp

2024 年 5 月 4 日受付、2024 年 5 月 11 日受理

Abstract In aquaculture and ornamental industries, copepods are recognized as preferred live feeds for marine fish larvae over commonly used organisms. Marine fish larvae fed with copepods show better survival and growth. Despite obvious advantages of copepods as the live feed, their use is still limited owing to low productivity and cost-efficiency when mass cultivated. Diet affects copepod egg production, survival and growth rates, hatching success, and population growth. One difficulty with the mass cultivation of copepods is, however, the varied dietary requirements of individual species. Species of the genus *Pseudodiaptomus*, egg-carrying copepods that occur widely, can dominate marine coastal waters, and are preyed upon by commercially significant marine fish. Consequently, some *Pseudodiaptomus* species are used as experimental live feed in marine aquaculture. *Pseudodiaptomus nihonkaiensis* Hirakawa is a dominant species during warm water seasons in Sagami Bay, Japan. Because of the potential suitability of *P. nihonkaiensis* as a prey source for larval fishes, the nauplii individuals were fed with three mono-microbial diets and one mixed-microbial diet as the control condition to determine which of them was the most favorable for the survival and reproduction of this copepod in culture.

The nauplii were incubated in 500 mL glass bottles under four diet conditions (mono-diet of *Chaetoceros gracilis*, *Rhodomonas salina*, and *Isochrysis galbana*, and a mixed diet of *C. gracilis* + *R. salina* + *I. galbana* at 1:1:1 carbon ratio) for 15 days. Survival rate and development stages of the copepods were measured during the incubation duration. At day 12 and 15, ovigerous rate and sac size were also measured.

There was no significant difference in ovigerous rate and egg sac size among four diet conditions. Survival rate from nauplii to adult stage was $10.0 \pm 11.1\%$, $35.3 \pm 20.4\%$, $46.7 \pm 6.1\%$, $29.3 \pm 4.2\%$ when fed with *C. gracilis*, *R. salina*, *I. galbana* and mixed diet, respectively. The malformation was observed in the copepodid individuals fed with *R. salina* and the mixed diet.

These results might suggest that *R. salina* has a nutritional problem for the growth in *P. nihonkaiensis*. The ratio of individuals developed until the adult stages was maximized under the mono-diet of *I. galbana*, so this mono-diet can be considered a favorable diet for *P. nihonkaiensis* cultivation in the present study.

Keywords: aquaculture; calanoid copepod; malformation; ovigerous rate; survival rate

1. はじめに

カイアシ類は多くの海産仔稚魚の主要な餌資源であり、その消化管内容物の 80% を占めることが知られている (Tanaka et al. 1987, Mauchline 1998)。カイアシ類は多価不飽和脂肪酸を多く含有し、仔稚魚の餌料として適した体サイズを示すことから、水産養殖分野における仔稚魚の理想的な餌料と考えられている (Støttrup 2003)。そのためカイアシ類を仔稚魚の餌料として用いる実験が行われ、カイアシ類を給餌した仔稚魚はワムシやアルテミア等を給餌した仔稚魚と比べ、生存率や成長速度、体色や市場価値が向上することが知られている (Shields et al. 1999, Barroso et al. 2013)。このような背景から天然域から採集されたカイアシ類が仔稚魚の餌料に使用されるが、採集する季節や海況によって収量や種組成が変動し、寄生生物や病原菌が魚類種苗生産へ混入するといった課題がある (荻原 2014)。そのため、培養環境を制御した屋内での集約的なカイアシ類の大量生産が求められているが、ワムシ等の既存生物餌料の培養と比較した際にはその生産性は低く (Molejón & Alvarez-Lajonchère 2003)、未だ困難な技術とされている。カイアシ類の培養において、給餌する餌料はカイアシ類の卵生産速度、孵化率、生存率や成長速度に影響し、個体群の増加を決定づける (Camus & Zeng 2008, Pan et al. 2014)。対象とするカイアシ類種ごと、また発達段階毎に好適な餌料種が異なる例が示されており

(高山ら 2022, Takayama et al. 2023a, Takayama et al. 2023b)、生産性を最大化するため、対象とするカイアシ類種ごとに好適な餌料を検討する必要がある。

Pseudodiaptomus 属カイアシ類は沿岸域において見出される普通種であり、幼生及び幼体初期は浮遊性、以降成体までは半底生性と生活様式が発達に伴い変化し (Walter 1989)、半底生性である生活史後期では、日中は底上に生息し、夜間に浮上する日周鉛直移動を行うことが知られている (Hirakawa 1997)。自然環境では高個体密度のスウォームを形成することが報告されており (Blanda et al. 2015)、*P. nihonkaiensis* では九州北部の平戸島志々伎湾において、アマモ場の周囲に最大 $86.1 \text{ inds. L}^{-1}$ のスウォームが観察されている (Kimoto et al. 1988)。また、本属の *P. annandalei* は低酸素環境 (Blanda et al. 2015)、高温環境 (Doan et al. 2019) などの環境負荷への耐性を示し、*Tetraselmis chui* などの高度多価不飽和脂肪酸 (HUFA) に乏しい餌料藻類を給餌した場合でも、体内に HUFA を蓄積することが報告されている (Rayner et al. 2017)。*Pseudodiaptomus* 属は水産養殖における優れた生物餌料候補として、チャイロマルハタ *Epinephelus coioides* (Lee et al. 2010)、クロウミウマ *Hippocampus kuda* (Thuong & Hoang 2015) 等を対象に初期生物餌料として試験的に使用されている。*P. nihonkaiensis* は朝鮮半島南部、日本列島では新潟以南から琉球列島に分布し (Fig. 1)、本研究の実験で利用した個体を単離した相模湾真鶴港では高水温期に優

占する (Natori 2018)。本研究では、*P. nihonkaiensis* の培養における好適な餌料藻類を検討するため、異なる微細藻類種を給餌した際のノープリウス幼生の成体期までの生存率とメス成体による卵生産を明らかにした。

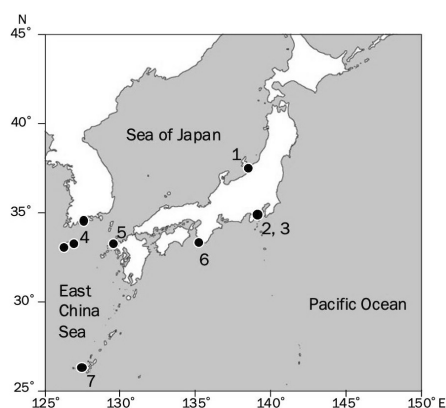


Figure 1. Reported localities for *Pseudodiaptomus nihonkaiensis*. (1) Hirakawa 1983, (2) Hirakawa 2018, (3) Natori 2018, (4) Soh et al. 2001, (5) Kimoto et al. 1988, (6) Shimode & Shirayama 2004, (7) Omori et al. 2015

2. 材料および方法

2.1. 微細藻類餌料

本研究では、水産養殖分野で一般的な餌料藻類として、クリプト藻 *Rhodomonas salina*、珪藻 *Chaetoceros gracilis*、ハプト藻 *Isochrysis galbana* の3種を用いた (Table 1)。全ての微細藻類は 50 mL の三角フラスコを用い回分培養した。培養に用いた器具はあらかじめオートクレーブ (121°C、20 分間) を使用し滅菌した。培養には相模湾真鶴半島沖 3 km に設けた定点 M (35° 09′ 45″ N, 139° 10′ 00″ E) にて採水した表層海水を数か月間保管後、塩分を 35 に調整し、孔径 0.22 μm のメンブレンフィルター (Merck Millipore) で濾過したものを基本海水とし、f/2 培地を作成し餌料藻類の培養に用いた。培養は水温 25°C、光強度 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明暗周期各 12 時間条件に設定したインキュベーター (FLI-301N, EYELA) 内で実施した。培地中の餌料藻類の細胞濃度は血球計算版を用い、生物顕微鏡下 (OPTIPHOT-2, Nikon) で計数した。

Table 1. Cell size of microalgae used in the present study. Cell size was referred from Takayama et al. (2022).

Microalgae	Cell size (μm)
<i>Chaetoceros gracilis</i>	5.9 \pm 0.6
<i>Rhodomonas salina</i>	10.3 \pm 2.7
<i>Isochrysis galbana</i>	4.5 \pm 1.1
Mixed diet (<i>C. gracilis</i> + <i>R. salina</i> + <i>I. galbana</i>)	—

2.2. 動物プランクトン試料と培養海水の採集

動物プランクトン試料は相模湾の北西域に位置する真鶴港 (35° 09′ 49″ N, 139° 10′ 33″ E; 水深 6 m) で採集した。動物プランクトン試料は 2021 年 8 月の日没直後に、目合い 180 μm の動物プランクトンネット (口径 30 cm、長さ 100 cm) を海底付近から海面まで複数回傾斜曳きすることで得た。実験に使用した培養海水は、定点 M において表層海水をバケツで採水し、現場において目合い 180 μm のナイロンメッシュで大型の動植物プランクトンを取り除き、目合い 0.22 μm のメンブレンフィルターで濾過滅菌 (FSW < 0.22 μm) したものをを用いた。採集された動物プランクトン試料を直ちに実験室へ移送し、実体顕微鏡 (WILD M10, Leica Co., Ltd.) で *P. nihonkaiensis* のメス成体のみを、Hirakawa (1983) が報告した形態学的特徴を基に選別した。選別された個体は濾過滅菌海水で満たした容量 3 L のプラスチック容器内に移し、現場水温である水温 25°C、明暗周期 12 時間:12 時間の条件に設定したインキュベーター (Biotron, NK system) で馴致培養を 1 週間行った。馴致中は *R. salina*、*I. galbana*、*C. gracilis* を炭素比 1:1:1 で混合した餌料を 2.0 $\mu\text{g-C mL}^{-1}$ (Kjørboe et al. 1985) で給餌した。給餌の際には培地の混入による水質悪化を防ぐため、3000 rpm で 5 分間の遠心分離を行い、上澄みを取り除いた。馴致培養期間中に生産されたノープリウス幼生を実体顕微鏡下で選別し、以下に示した培養実験に供した。

2.3. *Pseudodiaptomus nihonkaiensis* の好適餌料の検討

選別された *P. nihonkaiensis* のノープリウス幼生 50 個

体を塩分 36 の濾過滅菌海水 (< 0.22 μm) で満たした容量 500 mL のマヨネーズ瓶内に気泡が入らないように収容し、水温 25°C、明暗周期 12 時間に設定したインキュベーター (Biotron, NK system) 内で 15 日間培養した。培養期間中は餌料藻類の沈降を防ぐため、5 rpm に設定した回転式シェーカー (IKA Roller 10 digital) 上で攪拌した。餌料条件は実験区として *R. salina* 単一餌料区、*I. galbana* 単一餌料区、*C. gracilis* 単一餌料区の 3 条件、対象区として上述 3 種の微細藻類を炭素比 1:1:1 で混合した混合餌料区の合計 4 条件とした。培養実験は各条件 3 連で行い、各餌料を 2.0 $\mu\text{g-C mL}^{-1}$ の濃度で毎日給餌した。また、培養海水の水質悪化を防ぐため、2 日おきに培養海水の 50% を新たな濾過海水に交換した。3 日に 1 回の頻度で各容器内の個体をシャーレに集め、実体顕微鏡下でノープリウス幼生、コペポダイト幼体、オス成体、メス成体に分けて計数することで、カイアシ類の個体数と発達段階を求めた。

ノープリウス期における生存率 (%) は以下の (1) 式で算出した。

$$\text{Nauplius stage survival} = \frac{C_{ind}}{N_{ind}} \times 100 \quad (1)$$

N_{ind} は実験に使用したノープリウス幼生の初期個体数 (ind.) を、 C_{ind} はコペポダイト1期まで発達した個体数 (ind.) を示す。コペポダイト期における生存率 (%) は以下の (2) 式で算出した。

$$\text{Copepodid stage survival} = \frac{A_{ind}}{C_{ind}} \times 100 \quad (2)$$

A_{ind} は成体 (コペポダイト 6 期) まで発達した個体数 (ind.) を示す。ノープリウスから成体までの生存率 (%) は以下の (3) 式で算出した。

$$\text{Nauplius to adult survival} = \frac{A_{ind}}{N_{ind}} \times 100 \quad (3)$$

容器内にメス成体が出現した培養 12 日目、15 日目には卵嚢を有するメスの個体数を計数することで、メス成体に占める携卵メスの割合である携卵率 (%) を求めた。また、ひとつの卵嚢内の卵数を計数することで卵嚢サイズ (eggs sac^{-1}) を求めた。

3. 結果

3.1. 生存率

培養 3 日目にすべての給餌区においてコペポダイト幼体が出現し、成体の出現は培養 6 日目に混合餌料区において、9 日目にすべての給餌区において確認された (Fig. 2)。 *Chaetoceros gracilis* 給餌区では培養開始から培養 6 日目にかけて生残率が $82.0 \pm 20.1\%$ 減少したのに対し、 *Rhodomonas salina* 給餌区では $45.3 \pm 16.8\%$ 、 *Isochrysis galbana* 給餌区では $27.3 \pm 5.2\%$ 、混合餌料区では $42.0 \pm 23.7\%$ 減少した。

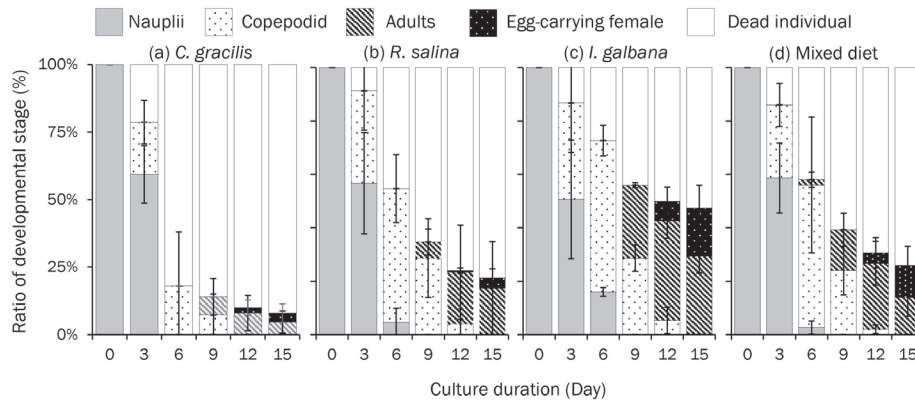


Figure 2. Temporal variations in the ratio of developmental stage of *Pseudodiaptomus nihonkaiensis* fed with (a) *Chaetoceros gracilis*, (b) *Rhodomonas salina*, (c) *Isochrysis galbana*, and (d) mixed diet (*C. gracilis* + *R. salina* + *I. galbana*). Colors of bar graphs show development stage of the copepods. Error bars show the standard deviations ($n=3$).

ノープリウス幼生期の生残率は *C. gracilis* 餌料区で $26.6 \pm 19.0\%$ 、*R. salina* 餌料区で $50.0 \pm 15.6\%$ 、*I. galbana* 餌料区で $58.0 \pm 7.2\%$ 、混合餌料区で $56.0 \pm 27.4\%$ を示したが (Fig. 3a)、餌料区間で統計的な有意差は認められなかった。コペポダ幼生期の生残率は *C. gracilis* 餌料区で $26.1 \pm 24.2\%$ 、*R. salina* 餌料区で $43.4 \pm 40.1\%$ 、*I. galbana* 餌料区で $81.6 \pm 7.6\%$ 、混合餌料区で $58.9 \pm 21.0\%$ を示したが (Fig. 3b)、餌料区間で統計的な有意差は認められなかった (One-way

ANOVA, $p > 0.05$)。ノープリウス幼生から成体までの生残率は *C. gracilis* 餌料区で $10.0 \pm 11.1\%$ 、*R. salina* 餌料区で $35.3 \pm 20.4\%$ 、*I. galbana* 餌料区で $46.7 \pm 6.1\%$ 、混合餌料区で $29.3 \pm 4.2\%$ であり (Fig. 3c)、*I. galbana* 餌料区は *C. gracilis* 餌料区に比べ、有意に高い生残率を示した (One-way ANOVA, Tukey-Kramer, $p < 0.05$)。

R. salina 給餌区と混合餌料区において、尾肢部の欠損 (Fig. 4b)、第一触覚の歪曲や折れ (Fig. 4c)、脱皮殻の癒着といった形態異常が観察された (Fig. 4d)。

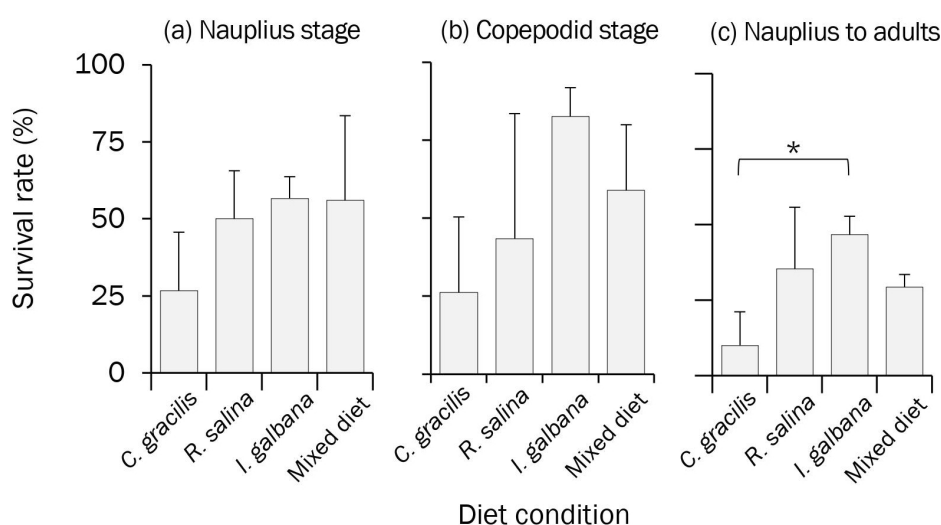


Figure 3. The comparison of survival rate until nauplius to copepodite, copepodite to adult and nauplius to adult of *Pseudodiaptomus nihonkaiensis* reared different conditions of algal diets. Error bars indicate standard deviations ($n = 3$). An asterisk on the top of bars indicates significantly difference (One-way ANOVA, Tukey-Kramer, $p < 0.05$).

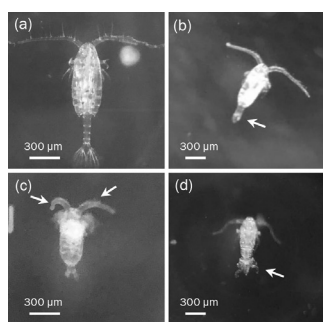


Figure 4. Images of observed malformation in *Pseudodiaptomus nihonkaiensis* fed by mono-diet condition of *Rhodomonas salina* and Mixed diet. (a) adult male without deformity, (b) adult without caudal ramus, (c) copepodite with shrunk first antennae, and (d) copepodite with shells attached due to failure to molt.

3.2. 卵生産

異なる餌料藻類を用いたノープリウス幼生の培養実験を15日間実施したところ、培養12日目に携卵メス成体の出現がすべての給餌区で確認され、携卵率は培養12日目の *C. gracilis* 給餌区で $10.7 \pm 18.6\%$ 、*R. salina* 給餌区で $8.3 \pm 14.4\%$ 、*I. galbana* 給餌区で $18.9 \pm 19.8\%$ 、混合餌料区で $25.0 \pm 43.3\%$ であり (Fig. 5a)、培養15日目では *C. gracilis* 給餌区で $29.2 \pm 29.8\%$ 、*R. salina* 給餌区で $22.5 \pm 27.2\%$ 、*I. galbana* 給餌区で $43.3 \pm 32.2\%$ 、混合餌料区で $50.3 \pm 45.0\%$ であった (Fig. 5b)。両日ともに給餌区間で統計的な有意差は認められなかった (One-way ANOVA, $p > 0.05$)。

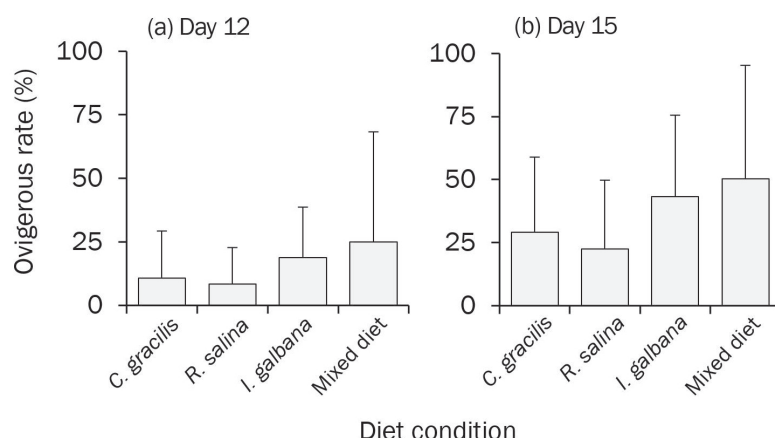


Figure 5. The comparison of ovigerous rate of *Pseudodiaptomus nihonkaiensis* adult female reared under different conditions of algal diets (a) on day 12 and (b) day 15. Error bars indicate standard deviations ($n = 3$). A significantly difference was not detected among diet conditions (One-way ANOVA, $p > 0.05$).

卵嚢サイズは *C. gracilis* 給餌区で 13.0 ± 3.8 eggs sac^{-1} 、*R. salina* 給餌区で 10.3 ± 6.3 eggs sac^{-1} 、*I. galbana* 給餌区で 11.0 ± 3.3 eggs sac^{-1} 、混合餌料区では 15.9 ± 3.9 eggs sac^{-1} であったが、給餌区間で統計的な有意差は認められなかった (Fig 6) (One-way ANOVA, $p > 0.05$)。

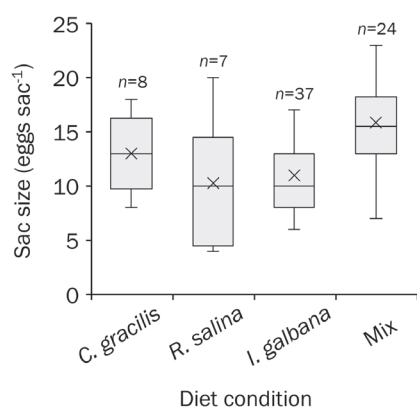


Figure 6. The comparison of average of the sac size of *Pseudodiaptomus nihonkaiensis* reared under different conditions of algal diets. Error bars indicate standard deviations. Horizontal lines and cross marks in the box plots show average value and median, respectively. A significantly difference was not detected among diet conditions (One-way ANOVA, $p > 0.05$).

4. 考察

幼生・幼体期の生存率の改善はカイアシ類の大量培養におけるボトルネックのひとつである。本研究と同様の餌料藻類種を用い、*Acartia steueri* を対象とした先行研究におけるノープリウス幼生から成体までの生存率は、単一餌料区で最大 10.5%、混合餌料区で 20.4% と報告されている (高山ら 2022)。本研究では、異なる 4 つの餌料条件で *P. nihonkaiensis* のノープリウス幼生の培養を行った好適餌料の検討を行った結果、ノープリウス幼生から成体までの生存率は *Isochrysis galbana* 餌料区において 46.7% と最も高い値を示した。*I. galbana* はドコサヘキサエン酸 (DHA) を豊富に含有することが知られ、*A. tonsa*、*A. sinjiensis*、*Gladioferens imparipes*、*Parvocalanus crassirostris* のノープリウス幼生期から成体までの発達、生存を促す好適餌料とされている (Drillet et al. 2011)。これらのカイアシ類種と同様に、*P. nihonkaiensis* のノープリウス幼生から成体までの発達における好適餌料は *I. galbana* と示唆された。

Rhodomonas salina は多くのカイアシ類種の好適餌料藻類として用いられているが (高山 2023)、本研究の *P. nihonkaiensis* では、*R. salina* を単一で給餌した条件、他 2 種の藻類と混合した条件でのみ奇形個体

が出現した。*Acartia sinjiensis*、*A. steueri* では必須脂肪酸含量の低い緑藻 *Tetraselmis suecica* を単一で給餌した際に遊泳脚や第一触覚の捻れ、眼の欠如といった奇形が発生するが、他の微細藻類を混合することで奇形が改善されることから必須脂肪酸といった特定の栄養素の不足から形態異常が引き起こされると推測されている (Knuckey et al. 2005, 高山ら 2022)。本研究では、*R. salina* に他の微細藻類 2 種を混合した条件においても奇形個体が出現したことから、特定の栄養素の不足ではなく、*R. salina* が奇形を引き起こす何らかの物質を有するのかもしれない。この仮説の検証のためには、再現性の確認や、摂餌速度の測定、化学組成を調査する必要がある。

本研究における *P. nihonkaiensis* の携卵率と卵嚢サイズは、いずれの餌料区においても同程度の値が示されたことから、本種は幅広い種類の餌料を利用し卵生産を行えると考えられた。今後は本研究で検証できなかった、各餌料が孵化率に与える影響を検証する必要がある。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 < JP19H03035, 21K14902 > による助成を受け実施された。試料採集にあたって横浜国立大学臨海環境センターの皆様にご協力いただいた。厚く御礼申し上げる。

引用文献

Barroso MV, De Carvalho CVA, Antoniassi R, Cerqueira VR (2013) Use of the copepod *Acartia tonsa* as the first live food for larvae of the fat snook *Centropomus parallelus*. *Aquaculture* 388: 153–158.

Blanda E, Drillet G, Huang C, Hwang JS, Jakobsen H, Rayner TA, Su HM, Wu CH, Hansen BW (2015) Trophic interactions and productivity of copepods as live feed from tropical Taiwanese outdoor aquaculture ponds. *Aquaculture*, 445: 11–21.

Camus T, Zeng C (2008) Effects of photoperiod on

egg production and hatching success, naupliar and copepodite development, adult sex ratio and life expectancy of the tropical calanoid copepod *Acartia sinjiensis*. *Aquaculture* 280: 220–226.

Doan NX, Vu MTT, Pham HQ, Wisz MS, Nielsen TG, Dinh KV (2019) Extreme temperature impairs growth and productivity in a common tropical marine copepod. *Sci Rep* 9: 4550.

Drillet G, Frouël S, Sichlau MH, Jepsen PM, Højgaard JK, Joarder AK, Hansen BW (2011) Status and recommendations on marine copepod cultivation for use as live feed. *Aquaculture* 315: 155–166.

萩原篤志 (2014) “仔魚の餌料生物としての動物プランクトン”. 養殖の餌と水一塗の主役たち (杉田治男編). 恒星社厚生閣, 東京, pp.75–115.

Hirahara M (2018) Energy accumulation and starvation tolerance of the embayment copepod *Acartia steueri* Smirnov (Calanoida: Acartiidae). Ph.D. thesis, Soka University.

Hirakawa K (1983) A new species of *Pseudodiaptomus* (Copepoda: Calanoida) from the coast of Niigata, the Japan Sea. *Bull Plankton Soc Jap* 30: 65–69.

Hirakawa K (1997) Family Pseudodiaptomidae. In M Chihara & M Murano (Eds.), *An illustrated guide to marine plankton in Japan*. Tokai University Press, Tokyo, Japan, pp. 893–897.

Kimoto K, Nakashima J, Morioka Y (1988) Direct observations of copepod swarm in a small inlet of Kyushu, Japan. *Bull Seikai Regio Fisher Res Lab* 66: 41–58.

Kiørboe T, Møhlenberg F, Hamburger K (1985) Bioenergetics of the planktonic copepod *Acartia tonsa*: relation between feeding, egg production and respiration, and composition of specific dynamic action. *Mar Ecol Prog Ser* 26: 35–97.

Knuckey RM, Semmens GL, Mayer RJ, Rimmer MA (2005) Development of an optimal microalgal diet for

- the culture of the calanoid copepod *Acartia sinjiensis*: effect of algal species and feed concentration on copepod development. *Aquaculture* 249: 339–351.
- Lee CH, Dahms HU, Cheng SH, Souissi S, Schmitt FG, Kumar R, Hwang JS (2010) Predation of *Pseudodiaptomus annandalei* (Copepoda: Calanoida) by the grouper fish fry *Epinephelus coioides* under different hydrodynamic conditions. *J Exp Mar Biol Eco* 393(12): 17–22.
- Mauchline J (1998) The biology of calanoid copepods. *Advances in Marine Biology*. Academic Press, New York, 709 pp.
- Molejón OG, Alvarez-Lajonchère L (2003) Culture experiments with *Oithona oculata* Farran, 1913 (Copepoda: Cyclopoida), and its advantages as a food for marine fish larvae. *Aquaculture* 219: 471–483.
- Natori N (2018) Ecological role of copepod nauplii in the microbial food web. PhD thesis, Soka University, Japan
- Omori M, Cha SJ, Isokawa H (2015) Species composition, abundance and seasonal variation of planktonic copepods at coral reefs of Akajima Island, Okinawa, Japan. *Bull Plankton Soc Jap* 62(2): 98–109.
- Pan YJ, Souissi S, Souissi A, Wu CH, Cheng SH, Hwang JS (2014) Dietary effects on egg production, egg-hatching rate and female life span of the tropical calanoid copepod *Acartia bilobata*. *Aquac Res* 45: 1659–1671.
- Rayner TA, Huwang JS, Hansen BW (2017) Minimizing the use of fish oil enrichment in live feed by use of a self-enriching calanoid copepod *Pseudodiaptomus annandalei*. *J Plankton Res* 39(6): 1004–1011.
- Shields RJ, Bell JG, Luiz FS, Gara B, Bromage NR, Sargent JR (1999) Natural copepods are superior to enriched *Artemia* nauplii as feed for halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus*) in terms of survival, pigmentation and retinal morphology: relation to dietary essential fatty acids. *J Nutr* 129: 1186–1194.
- Shimode S, Shirayama Y (2004) Diel changes in vertical distribution of copepods community in Tanabe Bay, Japan. *J Mar Biol Assoc UK*, 84: 607–615.
- Soh HY, Suh HL, Yu OH, Ohtsuka S (2001) The first record of two demersal calanoid copepods, *Pseudodiaptomus poplesia* and *P. nihonkaiensis* in Korea, with remarks on morphology of the genital area. *Hydrobiologia* 448: 203–215.
- Støttrup JG (2003) Production and nutritional value of copepods. In: *Live Feeds in Marine Aquaculture* (eds Støttrup JG, Mcevoy LA). Blackwell Publishing, Oxford, pp. 145–205.
- Takayama Y, Yamasaki T, Toda T (2023a) Evaluation of microalgal diet to culture adult *Oithona oculata* Farran (Copepoda, Cyclopoida). *Aquac Res* 2023: 2089803.
- Takayama Y, Yusoff FMD, Toda T (2023b) Evaluation of dietary microalgae in the culture of *Acartia steueri* (Copepoda, Calanoida). *J Sustain Sci Manag* 18: 186–198.
- 高山佳樹, 平原南萌, 戸田龍樹 (2022) 浮遊性カイアシ類 *Acartia steueri* の幼生・幼体の培養における微細藻類餌料の検討. *プランクトン工学研究* 2: 32–43.
- 高山佳樹 (2023) 海産浮遊性カイアシ類の大量培養. *プランクトン工学研究* 3: 1–19.
- Tanaka M, Ueda H, Azeta M (1987) Near-bottom copepod aggregations around the nursery ground of the juvenile red sea bream in Shijiki Bay. *Bull Japan Soc Sci Fish* 53: 1537–1544.
- Thuong TD, Hoang T (2015) Rearing the spotted seahorse *Hippocampus kuda* by feeding live and frozen copepods collected from shrimp ponds. *Aquac Res* 46(6): 1356–1362.
- Walter CT (1989) Review of the New World Species of *Pseudodiaptomus* (Copepoda: Calanoida), with a Key to the Species. *Bull Mar Sci* 45 (3): 590–628.