

ムラサキインコガイの餌投与に伴う換水運動の変化

山元憲一[†], 半田岳志

Changes in Ventilation in the Purplish Bifurcate Mussel *Septifer virgatus* (Mollusca : Mytilidae) Associated with Feeding

Ken-ichi Yamamoto[†] and Takeshi Handa

Abstract : Changes in the ventilation volume and the amount of oxygen uptake associated with feeding *Chaetoceros gracilis* were examined in the Purplish bifurcate mussel *Septifer virgatus*. At a density of 26,000 cells/ml, the ventilation volume rose from 1.56 l/min/kgWW in non-feeding to 8.18 l/min/kgWW (5.2-fold increase in the volume). The amount of oxygen uptake increased from 0.527 ml/min/kgWW in non-feeding to 0.742 ml/min/kgWW (1.4-fold increase in the amount). The oxygen utilization decreased from 5.23 % in non-feeding to 1.58 %. The ventilation volume showed a maximum at about 1 hr later from the start of feeding, and the maximum level maintained for 8 hours or more.

Key words : Purplish bifurcate mussel; Feeding; Ventilation; Oxygen uptake

タイラギ *Atriana* (*Servatriona*) *lischkeana* やアコヤガイ *Pinctada fucata martensii* では, *Chaetoceros gracilis* を投与すると酸素摂取量の増加を伴わずに, 換水量を増加させている^{1, 2)}。二枚貝類では, 鰓の繊毛運動で水流を起こして鰓の換水を行っている³⁻⁷⁾。また, 鰓を通過させる水量(換水量)は鰓の繊毛運動の活動度と正の相関関係にあることが知られている⁸⁾。しかし, 実際の換水量の調節は外套膜の開閉や開く角度などを総合して行っている^{6, 9-12)}。これらのことから, 換水量の増加も含めた換水量の調節は, 代謝量の増加を必要としないと考えられる。しかし, マガキでは, 餌を投与すると換水量と酸素摂取量をともに増加させている¹³⁾。潮干帯に生息する二枚貝類は, 潮汐周期に従って周期的に消化活動を行っている¹⁴⁻²⁰⁾。Morton²¹⁾ は, ヨーロッパヒラガキ *Ostrea edulis* では, 満潮時に捕食を行うと直ちに晶体の溶解が始まり, 中腸腺細管での粒子の食作用による細胞内取り込みが行われ, 干潮時までには中腸腺細管が崩壊し, 次の満潮時までには晶体および中腸腺細管が再生していると報告している。これらのこ

とから, マガキ *Crassostrea gigas* での捕食時の酸素摂取量の増加は, 消化活動に伴う代謝量の増大によるものと推測されている¹³⁾。

そこで, 本研究では, マガキと同様に潮干帯に生息するムラサキインコガイ *Septifer virgatus* を用いて, タイラギ, アコヤガイやマガキの場合^{1, 2, 13)}と同様に *C. gracilis* (以降, 餌と略記する) を投与して, 餌を投与する前後の換水運動の変化を調べた。

材料および方法

実験には, 水産大学校に隣接する岩礁で採取した殻長 51.1 ± 4.9 mm (平均値 \pm 標準偏差, 以下同様に表す), 殻高 20.8 ± 1.4 mm, 殻幅 21.2 ± 3.4 mm, 体重 9.37 ± 4.30 g, 肉質部の湿重量 3.66 ± 0.43 g, 肉質部の乾燥量 0.48 ± 0.05 g のムラサキインコガイ 16 個体を用いた。ムラサキインコガイは入手後, 殻の付着物を除去し, 殻に手術を施して, 屋内に設置した FRP 水槽 (170 x 78 x 40 cm) に浮かべた籠

(46 x 32 x 16 cm) に收容し, 実験で設定した水温 ($21.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$) および塩分35psuで1ヶ月以上, 生海水を注入 (50 l/min) して予備飼育した。餌は野外の5 ton水槽 2 個で培養した植物プランクトン (優占種は *Pyramimonas* sp.) を前記の注入水中に連続投与 (0.4 l/min) した²²⁾。手術は, 殻の外套皺襞の部位に深さ約3

mmの切り込みを入れ, 殻頂付近にビニールホースを幅約3mmに切り取って作成したストッパーを貼り付けた (Fig. 1)。

実験は, 濾過海水の流入下で3日間絶食させた後, Fig. 1 およびFig. 2 に示した装置を用いて行った。濾過海水は, 化繊綿を詰めた筒, 次いで0.5 μm のフィルター (Model

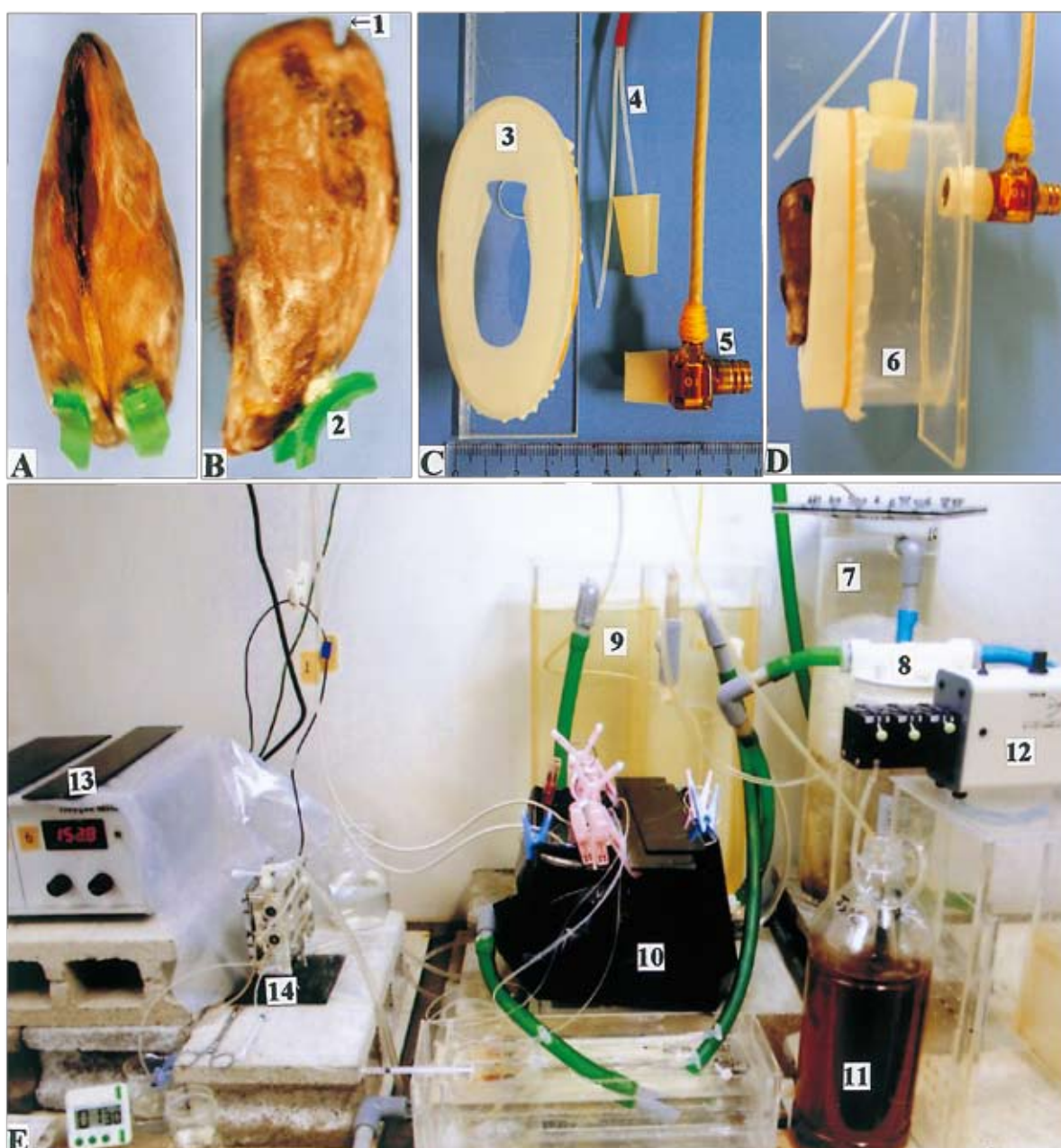


Fig. 1. Experimental system. A and B, operation to the Purplish Bifurcate Mussel *Septifer virgatus*; C, the ventilation measurement tool set; D, a mussel set in the measurement tool; E, experimental system; 1, the cut opened with a handsaw; 2, stopper; 3, gum film; 4, tubes for taking the inhalant and the exhalant water samples; 5, probe of electromagnetic flow-meter (MFV-3200, Nihonkoden); 6, chamber for catching the ventilation water; 7, filter of chemical fiber; 8, 0.5 μm PF filter (Model III, Organo); 9, level tank; 10, respiration chamber; 11, reservoir for *Chaetoceros gracilis*; 12, peristaltic pump (PST-050, Iwaki); 13, oxygen meter (OM-200, Cameron instrument); 14, chamber to measure the oxygen pressure in the water.

Ⅲ, ORGANO) の順に通過させて作成した。換水量は、ムラサキインコガイを呼吸室に設置して14時間以上経過した後、呼吸室への餌の注入を開始し、その前後の変化を連続記録した^{1, 2)}。餌 (1.0×10^8 cells/ml, ヤンマー製) は濾過海水で希釈した溶液を定量送液ポンプ (PST-050, IWAKI) で呼吸室への流入水 (1 l/min) 中に注入して、濃度26,000 cells/mlで連続投与した。酸素摂取量および酸素利用率は、餌の投与前と投与後に換水量が増加して値がほぼ一定した時に、それぞれ4回ずつ約10分間隔で外套腔への吸入水とそこからの排出水を注射筒 (1 ml) で採水し、酸素分圧を測定して算出した。酸素分圧は酸素計 (OM-200, Cameron instrument) で測定した。

測定の終了後、殻の腹縁側を上にして濾紙に立て、約1時間殻の表面を乾燥させると同時に殻腔内の海水を排出させて体重 (TW, kg) を計測した。次いで、肉質部を摘出して肉質部の湿重量 (WW, kg) を計測し、これを105°Cで24時間乾燥させて肉質部の乾燥重量 (DW, kg) を計測した。

換水量

換水量は、電磁血流計のプロープ (内径1.0 cm, 1.0 l/min測定用, Model FF-100T, 日本光電) を換水量測定用の箱に取り付け (Fig. 1), 電磁血流計 (MFV-3200, 日本光電) で測定し、これを記録計 (MacLab/8, ADI) を

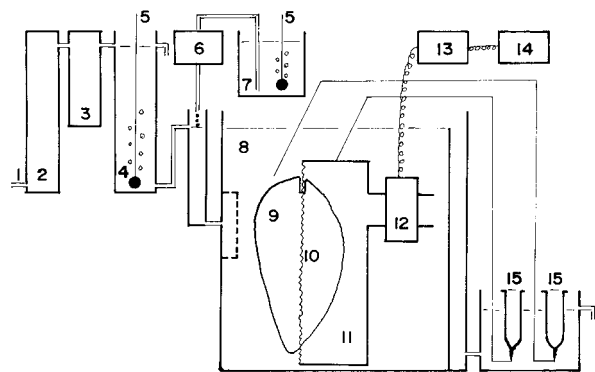


Fig. 2. Experimental system. 1, supply of sea water ; 2, filter of chemical fiber ; 3, 0.5 μ m PF filter (Model III, Organo) ; 4, water bath for controlling the water temperature ; 5, aeration ; 6, peristaltic pump (PST-050, Iwaki) ; 7, reservoir for *C. gracilis* ; 8, respiration chamber ; 9, Purplish Bifurcate Mussel ; 10, gum film ; 11, chamber for catching the ventilation water ; 12, probe of electromagnetic flow-meter ; 13, electromagnetic flow-meter (MFV-3200, Nihonkoden) ; 14, recorder (MacLab/8, ADI) ; 15, syringes for taking the inhalant and exhalant water samples.

用いて毎秒4回の読み込み速度で連続記録した (Fig. 3)。換水量測定用の箱は、透明アクリル製で、幅4 cm, 長さ8 cmの楕円形で高さ3 cmのものを用いた。同箱に設置したゴムの薄膜は、中央を長さ5.0~5.5 cm, ムラサキインコガイの外套皺襞の部分に当たる部位を幅1.1~1.4 cmに切り抜いて窓を開けた。

換水量 (V_g , l/min/ind) は、連続記録 (Fig. 3) をもとに、各採水の直前の5分間を平均して算出した。

酸素摂取

酸素利用率 (U, %) は、外套腔への吸入水の酸素分圧 (P_{I, O_2} , mmHg) と外套腔からの排出水の酸素分圧 (P_{E, O_2} , mmHg) を用いて、次の式から計算した^{1, 2, 13)}。

$$U = 100 \cdot (P_{I, O_2} - P_{E, O_2}) / P_{I, O_2}$$

酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2} , ml/min/ind) は、換水量 (V_g , l/min/ind) を用いて次の式から計算した^{1, 2, 13)}。

$$\dot{V}_{O_2} = V_g / 1000 \cdot (P_{I, O_2} - P_{E, O_2}) \cdot Co_2 / Po_2$$

なお、 Co_2 (溶存酸素量, ml/l) と Po_2 (酸素分圧, mmHg) は餌の投与前に呼吸室への流入水を採水して、それぞれWinkler法と前記の酸素計で測定した値である。

結果

換水量は、餌の投与中 (8.18 l/min/kgWW) には投与前 (1.56 l/min/kgWW) の5.2倍に増加した (Table 1)。酸素利用率は投与中 (1.58%) には投与前 (5.23%) よりも減

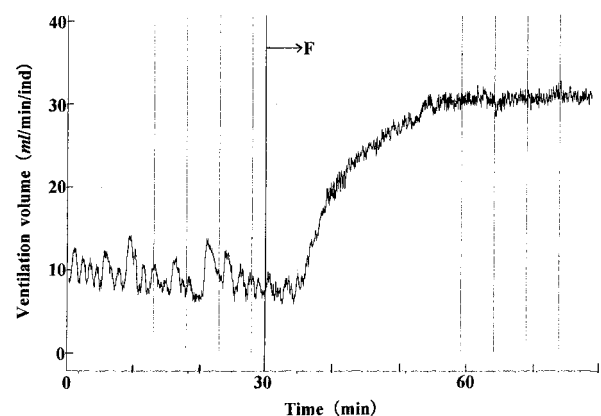


Fig. 3. Ventilation volume recorded continuously in the Purplish Bifurcate Mussel. Solid lines show the time points for sampling the inhalant and exhalant water into/from the mantle cavity with syringes. F indicates the starting time for the feeding with *C. gracilis* (26,000 cells/ml).

少しした (Table 1)。酸素摂取量は、投与中 (0.742 ml/min/kgWW) には投与前 (0.527 ml/min/kgWW) の1.4倍に増加した (Table 1)。餌の投与後、換水量が最大を示すまでには約1時間を要した。

考 察

餌を投与すると、リシケタイラギは換水量を38倍、アコヤガイは2.6倍、マガキは2.6倍増加させている^{1, 2, 13)}。ムラサキインコガイでは、5.2倍増加させた。このことから、ムラサキインコガイでも、同様に餌を感知して換水量を増加させる機能を備えていることが明らかとなった。

二枚貝類は鰓の繊毛運動で水流を起こして換水を行い、外套膜の開閉や開く角度などを総合して換水量を調節している^{6, 9-12)}。これらのことから、換水量の増加には、代謝量の増加を伴わないと考えられる。実際に、リシケタイラギでは餌を投与すると換水量を38倍、アコヤガイでは2.6倍増加させているが、いずれも酸素摂取量はほぼ同じ値を示している^{1, 2)}。しかし、マガキは餌を投与すると換水量を2.6倍に増加させ、酸素摂取量も2.6倍に増加させている¹³⁾。ムラサキインコガイは、餌を投与すると換水量

を5.2倍に増加させ、酸素摂取量を1.4倍に増加させた。潮干帯に生息する二枚貝類は、潮汐周期に従って周期的に消化活動を行っている¹⁴⁻²⁰⁾。ヨーロッパヒラガキでは、満潮時に捕食を行い、これに伴って直ちに晶体の溶解が始まり、食作用による細胞内への粒子の取り込みが行われて中腸腺細管が崩壊し、次の満潮時までに晶体および中腸腺細管が再生している²¹⁾。このように短時間で消化管の様相が変化することから、ムラサキインコガイでの酸素摂取量の増加は、マガキと同様に、消化活動に要する代謝量の増大に伴うものであると推測される。

一方、換水量は餌の投与開始から最大になるまでにリシケタイラギでは84分、アコヤガイでは30~60分、マガキでは、27.3分間を要している^{1, 2, 13)}。ムラサキインコガイでも約1時間を要していた。これらのことから、ムラサキインコガイは、リシケタイラギ、アコヤガイやマガキと同様に、外界に直接接触しているところに餌を感知する部位を備えているとは考えにくい。そこで、前記のように短時間で消化管の様相が変化することが知られていることから、換水量の増加は捕食後の消化管の変化に伴って起こっていると推測される。

Table 1. Ventilation before and during feeding with *Chaetoceros gracilis* (26,000 cells/ml) in the Purplish bifurcate mussel *Septifer virgatus* (Mollusca : Mytilidae)* at 21.7 ± 0.2°C

		Before feeding	During feeding
Oxygen partial pressure in water	(mmHg)	155.2 ± 0.2	155.3 ± 0.3
Ventilation volume	(ml/min/ind)	6.73 ± 3.99	29.43 ± 7.19
	(l/min/TW kg)	0.50 ± 0.28	2.65 ± 0.65
	(l/min/WW kg)	1.56 ± 0.84	8.18 ± 2.08
	(l/min/DW kg)	21.1 ± 14.2	62.6 ± 1.93
Oxygen utilization	(%)	5.23 ± 3.36	1.58 ± 0.59
Amount of oxygen uptake	(ml/min/ind)	0.0022 ± 0.0008	0.0027 ± 0.0009
	(ml/min/TW kg)	0.166 ± 0.041	0.242 ± 0.094
	(ml/min/WW kg)	0.527 ± 0.142	0.742 ± 0.269
	(ml/min/DW kg)	3.89 ± 1.30	5.40 ± 1.94

Values are shown the mean and standard deviation.

* shell length, 51.1 ± 4.9 mm; shell height, 20.8 ± 1.4 mm; shell weight, 21.2 ± 3.4 mm; body weight (TW), 13.3 ± 3.0 g; wet weight of soft part, except the shells (WW), 4.21 ± 0.40 g; dry weight of soft part, except the shells (DW), 0.615 ± 0.401 g, n=16.

要 約

ムラサキインコガイを用いて、*Chaetoceros gracilis*の投与前後の換水量、酸素利用率および酸素摂取量の変化を調べた。26,000 cells/mlで投与すると、換水量は投与前 (1.56 l/min/kgWW) の5.2倍 (8.18 l/min/kgWW) に増加した。酸素利用率は投与前の5.23%から1.58%に減少した。酸素摂取量は投与前 (0.527 ml/min/kgWW) の1.4倍 (0.742 ml/min/kgWW) に増加した。投与後、換水量が最大を示すまでには約1時間を要した。

文 献

- 1) 山元憲一, 半田岳志, 茅野直登: リシケタイラギの摂餌時における換水の変化. 水産増殖, 55, 381-385 (2007)
- 2) 山元憲一, 半田岳志, 松原利晃: アコヤガイの餌投与に伴う鰓換水運動の変化. 水産増殖, 58, 447-451 (2010)
- 3) Jørgensen C B: On gill function in the mussel *Mytilus edulis* L. *Ophelia*, 13, 187-232 (1975)
- 4) Jørgensen C B: A hydromechanical principle for particle retention in *Mytilus edulis* and other ciliary suspension feeder. *Mar Biol*, 61, 277-282 (1981)
- 5) Jørgensen C B: Fluid mechanics on the mussel gill: The lateral cilia. *Mar Biol*, 70, 275-281 (1982)
- 6) Jørgensen C B, Famme P, Kristensen H S, Larsen P S, Mohlenberg P S and Riisgard H U: The bivalve pump. *Mar Ecol Prog Ser*, 34, 69-77 (1986)
- 7) Silvester N R: Hydrodynamics of flow in *Mytilus* gills. *J Exp Mar Biol Ecol*, 120, 171-182 (1988)
- 8) Winter J E: A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, 13, 1-33 (1978)
- 9) Hopkins A E: Experiments on the feeding behavior of the Oyster *Ostrea gigas*. *J Exp Biol*, 64, 469-494 (1933)
- 10) Jørgensen C B: Efficiency of particle retention and rate of water transport in undisturbed lamellibranchs. *J Cons Int Explor Mer*, 26, 94-116 (1960)
- 11) Jørgensen C B, Larsen P S, Mohlenberg F and Riisgard H U: The bivalve pump: properties and modelling. *Mar Ecol Prog Ser*, 45, 205-216 (1988)
- 12) 山元憲一: アコヤガイの呼吸に及ぼす水温の影響. 水産増殖, 48, 47-52 (2000)
- 13) 山元憲一, 半田岳志: マガキの餌投与に伴う換水運動の変化. 水産増殖 59(2) (2011) (印刷中)
- 14) Langton R W: Synchrony in the digestive diverticula of *Mytilus edulis* L. *J Mar Biol Ass U K*, 55, 221-230 (1975)
- 15) Langton R W: Digestive rhythms in the mussel *Mytilus edulis*. *Mar Biol*, 41, 53-58 (1977)
- 16) Langton R W and Gabbott P A: The tidal rhythm of extracellular digestion and the response to feeding in *Ostrea edulis*. *Mar Biol*, 24, 181-187 (1974)
- 17) Mathers N F: The effects of tidal currents on the rhythm of feeding and digestive cycles in *Venerupis decussata* and *Chlamys varia*. *J Exp Mar Biol Ecol*, 24, 271-283 (1976)
- 18) Morton B S: The tidal rhythm and rhythm of feeding and digestion in *Cardium edule*. *J Mar Biol Ass U K*, 50, 499-512 (1970a)
- 19) Morton B S: A note on the cytological structure and function of the digestive diverticula of *Macoma balthica* correlated with the rhythm of the tide. *Malacol Rev*, 3, 115-119 (1970b)
- 20) Owen G: Lysosomes, peroxisomes and bivalves. *Sci Prog, Oxf*, 60, 299-318 (1972)
- 21) Morton B: The diurnal rhythm and tidal rhythm of feeding and digestion in *Ostrea edulis*. *Biol J Linn Soc*, 3, 329-342 (1971)
- 22) 山元憲一, 半田岳志, 中村真敏, 橘川和正, 北靖史, 滝本真一, 西川智: アコヤガイの呼吸に及ぼすオゾン処理海水の影響. 水産増殖, 47, 241-248 (1999)

