

抑制飼育期間におけるアコヤガイの閉殻力および軟体部諸形質の変動

青木秀夫・藤原孝之*¹・石川 卓*²・渥美貴史・阿部久代・神谷直明・古丸 明*²

Changes in shell-closing strength and various physiological traits of the pearl oyster during pre-operation conditioning

Hideo AOKI, Takayuki FUJIWARA, Takashi ISHIKAWA, Takashi ATSUMI,
Hisayo ABE, Naoaki KAMIYA, Akira KOMARU

キーワード：アコヤガイ，真珠養殖，閉殻力，抑制，生理状態

In pearl culture, prior to nucleus implantation, the metabolic and gametogenesis rates of the pearl oyster are effectively reduced by crowding the oysters in baskets and culturing them for several weeks or months. This process is conducted to appropriately control the physiological status of the pearl oyster, thereby ensuring the production of quality pearls. The aim of this study was to evaluate the suitability of shell-closing strength (SCS) as a physiological indicator in the pearl oyster during the period of pre-operation conditioning. SCS is the load value necessary to open the shell of a pearl oyster to 10 mm using a shell opener. We reared 3-year-old pearl oysters (*Pinctada fucata*) for 40 days using a pre-operation conditioning box (water temperature: 20.5~25.1°C), and examined the periodic changes in SCS and selected physiological and nutritive indices of the pearl oysters. The relationships among these parameters were also investigated. The results showed that the SCS of the pearl oyster tended to decrease with the body and adductor muscle weights, and also with a decrease in the protein and glycogen contents of the soft tissue. The stocking density of the shellfish in the preconditioning box (80% and 120% of the standard density level) did not have significant effect on the decrease pattern of these parameters. At the end of the study, a significant correlation was observed between the SCS and the physiological and nutritive indices of the pearl oysters. These results suggest that SCS is an effective indicator of the physiological status of pearl oysters during the preconditioning period, and that it would be useful in the culture management of this species prior to performing nucleus insertion.

近年、わが国のアコヤガイ真珠養殖業においては生産量および生産額が低迷し、厳しい経営状態が続いている。こうした状況に対処するには、高品質な真珠の生産効率の向上を図ることが重要である。真珠の品質は、形、色調、巻きの厚さ、光沢（テリ）、キズ（突起）・シミの有無の各要素について総合的に評価され、1級品、2級品、非商品に区分される。浜揚げされた真珠のうち、1級品の割合は低く、10～30%程度にとどまっているのが現状である。2級品および非商品の真珠は、キズ・シミのみられる真珠、光沢不良や薄巻き真珠等に分類されるが、品質低下の最も大きな要因となっているのがキズ・シミの形成である。

真珠のキズ・シミは、真珠の形成初期に真珠核と真珠層の間に形成された有機物質が原因となる。その形成メ

カニズムとして、挿核してから外套膜上皮細胞が真珠袋を形成する際に血球や生殖細胞等の異物が内包されたり、何らかの原因で引き起こされた炎症に対して上皮細胞が分泌した有機物質に由来することが示されている（和田ら 1988, 青木 1966）。このように、真珠のキズ・シミの形成には、挿核に伴うアコヤガイの生理的な反応が関係しており、挿核時の貝の生理状態を調整することで、真珠の品質を改善することが可能と考えられる。これまでの試験において、挿核する前にアコヤガイを密閉性の高い専用の容器（抑制籠または仕立て籠と呼ばれる）に収容して貝の生理活動を制限する抑制飼育を行うことにより、キズ・シミのない真珠の生産率が向上したことが報告されている（植本 1961）。それらの知見をもとに、真珠養殖では挿核する前にアコヤガイを抑制飼育

* 1 三重県工業研究所
* 2 三重大学大学院生物資源学研究所

したり、貝の成熟状態に応じて生殖細胞を人為的に放出させる卵抜き作業を行って、貝を挿核に適した状態に仕立てる（赤松 2003）。

抑制飼育に用いる抑制籠は直方体構造（箱形）となっており（赤松 2003）、内部と外部の海水の交流は著しく制限されるため、抑制籠に収容されたアコヤガイは代謝レベルを低下させ、生理状態が変動することが確認されている（植本 1961,1967）。挿核時におけるアコヤガイの生理状態は、上述したとおり挿核に伴う貝の生理的な反応に関係しているキズ・シミの形成に影響し、真珠の品質を左右する要因の一つになると推察される。したがって、抑制飼育中における貝の生理状態、いわゆる「仕立て状態」の推移を把握することは、高品質な真珠を生産するのに適した挿核時期の的確な判断につながり、真珠の生産性を向上させるために重要であると考えられる。

真珠生産者がアコヤガイの仕立て状態を判断する根拠としては、一般的に閉殻状態や生殖巣の発達（卵持ち）、足糸の数、および軟体部の膨らみ等の主観的な評価による。このような主観的な評価以外に、仕立て状態を客観的に判断する技術を開発することは、挿核に適した貝の選択や時期を決定する精度を高め、真珠の生産性を向上させるのに有効である。そこで筆者らは、これまでの研究により開発した、通常の養殖下（高水温期）でのアコヤガイの生理・栄養状態を示す指標として有効な「閉殻力」（岡本ら 2006）に着目し、閉殻力が仕立て状態の指標として利用できないかと考えた。閉殻力とは開口器を用いてアコヤガイの貝殻を 10mm 開けるのに要する荷重値で、その測定は貝を生かした状態で行うことができ、かつ簡便で低コストであるため、実用技術として現場での利便性に優れる。そのため、本研究では抑制期間

における閉殻力の変動および軟体部諸形質との関係を調査し、閉殻力を仕立て状態の指標とすることの有効性について検討した。

材料および方法

試験貝および飼育条件

試験貝には、三重県内の種苗生産施設において日本産アコヤガイと中国系のアコヤガイを交配して生産された交雑貝（3年貝）を用いた。試験貝の全湿重量は $44.3 \pm 3.0\text{g}$ 、閉殻力は $3.7 \pm 0.9\text{kgf}$ であった（平均±標準偏差, $n=40$ ）。抑制飼育には市販のプラスチック製の抑制籠（縦 $35.5 \times$ 横 $42.0 \times$ 高さ 15.5cm ）を用いた。試験区は、試験貝を抑制籠に収容して飼育する区（以下、抑制籠区）と、抑制せず円型の網籠（丸籠、直径 $45.5 \times$ 高さ 21.0cm ）で飼育する区（以下、丸籠区）を設けた。抑制籠区では、貝の生理状態に及ぼす抑制籠への収容数の影響について調査するため、収容数 85 個体を標準（100%区）として、68 個体（80%区）、102 個体（120%区）の 3 区を設けた。丸籠区の収容数は 70 個体とした。抑制籠区（各収容密度）および丸籠区とも、サンプリング用として各 4 籠ずつ設けた。飼育漁場は三重県英虞湾で、海面筏に抑制籠および丸籠を水深 1.5m に垂下した。試験期間は、2008 年 5 月 22 日から 7 月 1 日までの 40 日間とし、その間の水温は $20.5 \sim 25.1^\circ\text{C}$ （水深 1.5m）であった。

閉殻力および軟体部諸形質の測定

試験貝の閉殻力の測定方法は、岡本ら（2006）の方法に従った。すなわち、試験貝を水道水に約 10 分間浸漬して閉殻状態とした後に、開口器を差し込み、10mm 開殻したときの荷重値（単位は重量キログラム = kgf）を

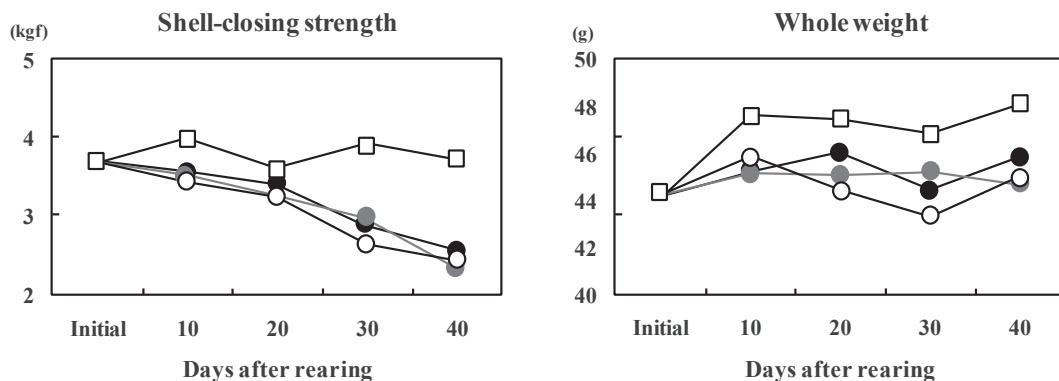


Fig. 1. Changes in the shell-closing strength and total weight of the pearl oyster (mean value, $n=40$).

Pearl oysters were reared in a preconditioning box at standard stocking density (●), and at 80% (●) and 120% (○) of the standard density. The control group (□) was reared in a net cage.

閉殻力とした。試験開始から10日ごとに各区から1籠ずつ取り上げて、その中の40個体を任意に抽出し、閉殻力および全湿重量を測定した。そのうち10個体については、全湿重量、軟体部重量、貝殻重量、閉殻筋重量を測定し、軟体部重量/全湿重量、閉殻筋重量/貝殻重量を算出するとともに、生殖巣の成熟状態（肉眼観察による5段階評価：低～高=1～5）（滝本1997）を評価した。さらに、それらの軟体部のタンパク質量、グリコーゲン量および水分を分析した。また試験終了時の個体については、閉殻力と軟体部諸形質の間の相関係数を算出した（n=40）。

栄養成分分析

タンパク質量はC/Nアナライザー（株式会社住化分析センター；Sumigraph NC-22F）で定量した窒素量に6.25（窒素-タンパク質換算係数）を乗じて算出した。グリコーゲン量はアンスロン法により分析した（福井, 1990）。水分は凍結乾燥器（共和真空技術株式会社；RFE II -52）内で試料を乾燥させて測定した乾燥重量をもとに算出した。

統計学的処理

閉殻力および軟体部諸形質の各測定値について、1元配置分散分析とTukeyのHSD検定（多重比較）により、各区の間に有意な差（有意水準は5%）があるかどうかを検定した。

結果

閉殻力、全湿重量の変動および死亡状況

各区の閉殻力および全湿重量の推移をFig. 1に示した。抑制籠区における試験貝の閉殻力は、各収容数の区とも飼育日数の経過とともに漸次低下する傾向を示した。終了時の閉殻力（各収容数区）は2.4～2.6kgfで、開始時と比較した相対値（以下、相対値）をみると、64～70%であった。各収容数区において閉殻力に有意差はみられなかった。一方、丸籠区においては、閉殻力は試験期間中にほぼ横ばいで推移し、終了時の値は3.8kgf（相対値：101%）であった。抑制籠区と丸籠区の閉殻力を比較すると、抑制籠の各収容数の区とも開始30日後および終了時において丸籠区との間に有意差が認められた。全湿重量は、終了時において抑制籠区では44.8～45.9gと開始時からほぼ横ばいで推移し、各収容数の

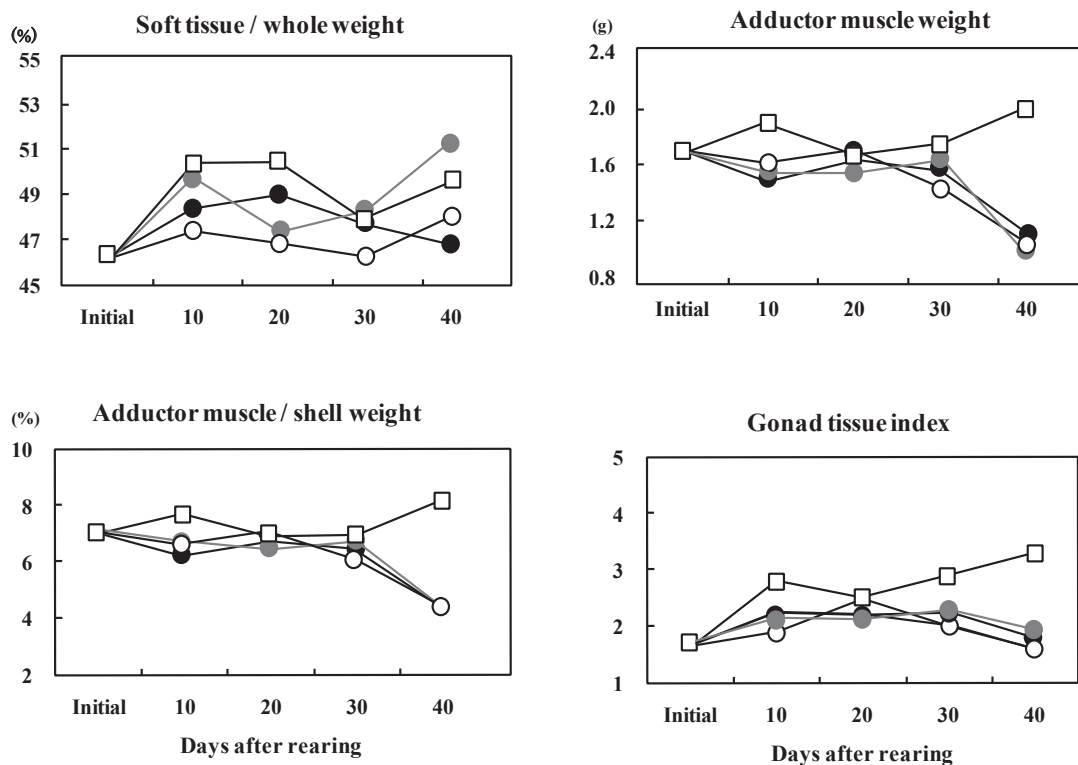


Fig. 2. Changes in various physiological traits of the pearl oyster. (mean value, n=10).
 ●: standard, ●: 80%, ○: 120%, □: control

区間に有意差はなかった。一方、丸籠区的全湿重量は48.1gで開始時に比べてわずかに上昇し、抑制籠区各収容数の区に比べて有意に高かった。

試験期間中に取り上げた各区(籠)における死亡個体数は0~9個体で、死亡率は88%以下であった。各区の死亡率について、抑制籠区と丸籠区、および抑制籠における収容数の違いによる一定の傾向は認められなかった。

軟体部、閉殻筋の重量比および生殖巣の成熟状態

各区の軟体部重量/全湿重量、閉殻筋重量、閉殻筋重量/貝殻重量および生殖巣の成熟状態の推移を Fig. 2 に示した。軟体部重量/全湿重量(開始時:46.3%)は、各区とも試験開始後やや上昇し、終了時における抑制籠区の値は46.8~51.2%(相対値:101~111%)で、丸籠区では49.7%(相対値:107%)であった。抑制籠区の3試験区間の比較では、抑制標準区(100%区)が他区より有意に高かったものの、軟体部重量/全湿重量と収容数との相関性は認められなかった。閉殻筋重量および閉殻筋重量/貝殻重量は同様の変動傾向を示し、抑制籠区では開始30日後まではほぼ横ばいで推移し、その後、終了時にかけて低下した。抑制籠区における両項目の値は、収容数の違いによる有意差は認められなかった。

一方、丸籠区では、両項目の値は30日後まではほぼ横ばいで推移した後、終了時にかけてやや上昇し、抑制籠区の3試験区との間に有意差がみられた。生殖巣の成熟状態(開始時:1.7)は、抑制籠区における終了時の値は1.6~1.9(相対値:94~112%)で、収容数の違いによる有意差はなく、開始時と大差がなかった。一方、丸籠区の値は開始10日後から上昇傾向を示し、終了時における値は3.3(相対値:194%)で、抑制籠の各収容数の区に比べて有意に高かった。

栄養成分

各区の軟体部のタンパク質量、グリコーゲン量、水分の推移を Fig. 3 に示した。抑制籠区のタンパク質量およびグリコーゲン含量は、各収容数の区とも試験開始から終了時にかけて低下する傾向を示した。終了時における抑制籠区のタンパク質量は4.4~6.0%(相対値:60~81%)で、丸籠区(7.7%)に比べて有意に低かった。抑制籠区における値は、収容数の最も多い120%区が最も低く、他区との間に有意差が認められた。グリコーゲン量については、開始10日後から終了時まで、抑制籠区が丸籠区に比べて有意に低く推移した。終了時における抑制籠区の値は0.03~0.05%(相対値は13~19%)

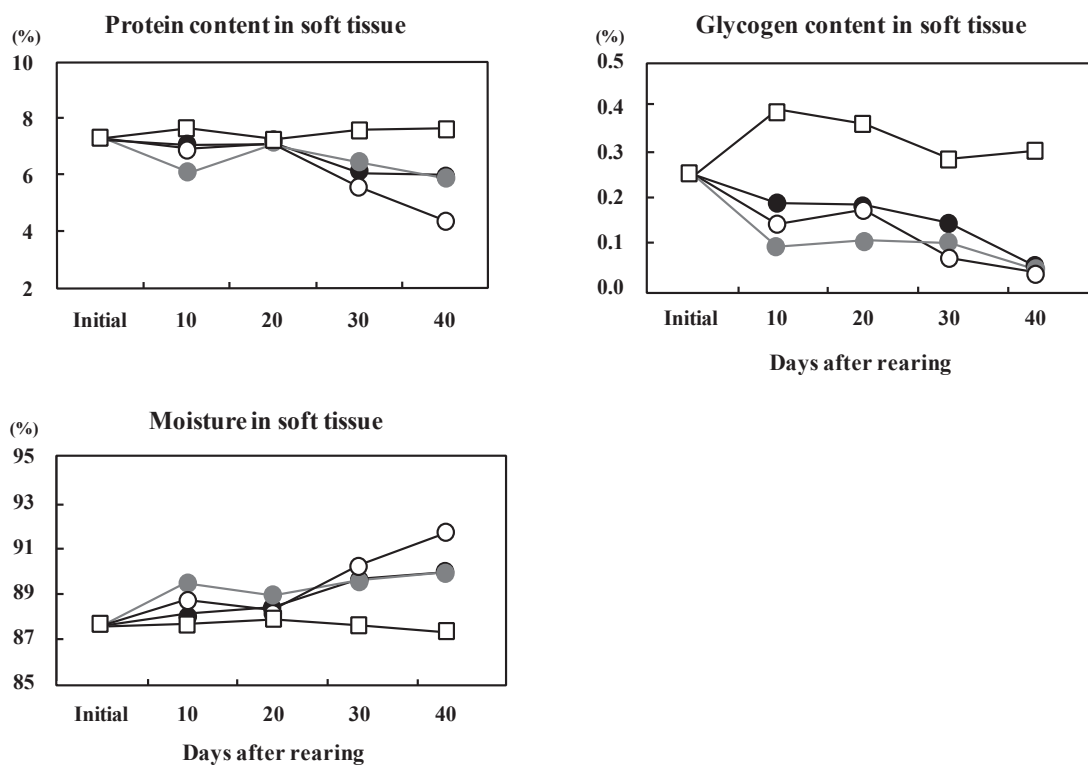


Fig. 3. Changes in the nutrient contents in soft tissue of the pearl oyster (mean value, n=10). ●: standard, ●: 80%, ○: 120%, □: control

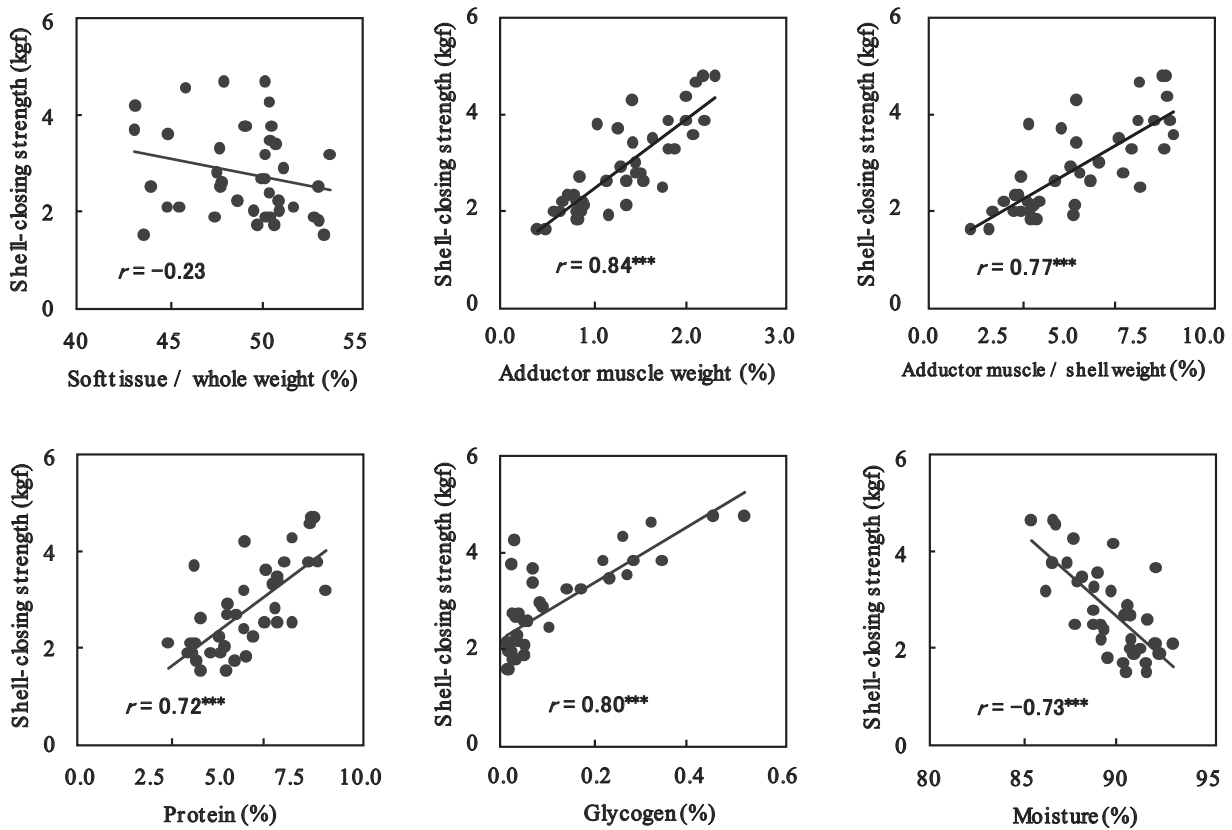


Fig. 4. Relationship between shell-closing strength and various physiological and nutritive indices in the pearl oyster (n=40). ***, $P < 0.001$

で、本研究で測定した項目の中で相対値が最も低かった。水分の推移については、タンパク質量と逆の傾向がみられ、抑制籠区では試験開始（87.5%）から上昇し、終了時には89.7～91.6%で、丸籠区に比べて有意に高かった。抑制籠区の中では120%区が最も高い値を示し、他区との間に有意差が認められた。

閉殻力と軟体部、閉殻筋の重量比および栄養成分の関係

試験終了時における閉殻力と各形質との相関関係をFig. 4に示した。閉殻力と軟体部重量/全湿重量の間には有意な相関関係はみられなかった。閉殻力と閉殻筋重量および閉殻筋重量/貝殻重量の相関係数は $r = 0.84$, 0.77 で有意な正の相関関係が認められた。また閉殻力と軟体部の栄養成分との間にも有意な相関係数がみられた。タンパク質、グリコーゲン、水分における相関係数は、それぞれ $r = 0.72$, 0.80 , -0.73 であった。

考察

抑制期間中において丸籠区のアコヤガイでは、閉殻力、閉殻筋重量、閉殻筋重量/貝殻重量、軟体部のタンパク

質量およびグリコーゲン量は、上昇傾向あるいは横ばい状態で推移した。これとは対照的に、抑制飼育したアコヤガイでは、いずれの値も飼育日数の経過とともに漸次低下する傾向を示した。これらの形質は、アコヤガイの生理・栄養状態を示すものであり、本結果から抑制飼育に伴いそれらのレベルが低下したことが窺われた。全湿重量および軟体部重量/全湿重量も貝の生理・栄養状態を反映する項目ではあるが、それらが低下傾向を示さなかったのは、軟体部においてタンパク質およびグリコーゲン量が低下したのに対して、水分量が上昇して重量ベースでの低下に至らなかったためではないかと推察された。

抑制飼育したアコヤガイの生理・栄養状態の特徴としては、生殖細胞の新生の停止による生殖巣の発達抑制(植本 1958)のほか、桿晶体重量、軟体部組織の比重、血リンパ液(血清)中のタンパク質および糖含量の低下(植本 1961, 1967)が報告されている。さらに植本(1961)は、アコヤガイが貝殻を閉じる場合に働く閉殻筋の力として、左右の貝殻の間に挟ませた金属板の応力を、抵抗線歪計で測定した値を閉殻筋力とし、この値が抑制飼育により低下することを報告している。また和田ら(1991)

は、仕立て（抑制）作業によって、貝の閉殻筋および他の軟体部の栄養成分と肥満度が低下することを報告している。以上のように、抑制飼育したアコヤガイの生理・栄養状態は明らかに低下することが報告されており、本研究の結果と一致している。また本研究において、抑制籠区ではアコヤガイの生殖巣の成熟状態が抑えられていたことも既存の報告（植本 1958）と同様であった。抑制籠区での貝の生理・栄養状態が低下した要因としては、抑制飼育では籠の内部と外部との海水交流が制限され、餌料プランクトンの摂取量が少なくなり、貝の基礎代謝量を補うだけのエネルギー摂取ができなくなることによる影響が大きいと推察される。

本研究において、抑制籠へのアコヤガイの収容数の違いが生理・栄養状態の変動パターンに及ぼす影響を調査した結果、本試験条件（標準区、80%区、120%区）の範囲においては、軟体部のタンパク質量は120%区で有意に低下し、密度による影響が示唆されたものの、その他の項目では明確な差異は認められなかった。収容数が80%区と120%区の異なる2区においても貝の生理・栄養状態を示す多くの項目で差がみられなかったことについては、貝の基礎代謝により消費するエネルギー量に対し、摂取したプランクトン由来のエネルギーが、収容数の違いによる影響を殆ど受けない程の低いレベルであったためであることが推察されるが、詳細な機構は本研究結果からは特定できない。抑制飼育したアコヤガイの閉殻力および各形質の変動に及ぼす要因とその程度を解明することは、貝の仕立て状態をコントロールすることにつながり、適切な挿核による真珠生産性の向上に貢献する。したがって、今後は抑制籠の海水交流や他の条件が、貝の生理状態の変動に及ぼす知見を集積する必要があると考える。

アコヤガイにおける閉殻力と生理・栄養状態を示す形質との関係について、これまでに岡本ら（2006）は、抑制せず丸籠で養殖した貝では、両者の間に有意な相関関係が認められることを報告している。本研究において、アコヤガイの抑制飼育開始40日後の閉殻力と閉殻筋重量、タンパク質量、グリコーゲン量との間には有意な正の相関関係が認められた。このことから、閉殻力は抑制飼育後のアコヤガイの生理・栄養状態を反映し、抑制の程度や効果を把握する指標として有効であることが示唆された。閉殻力はアコヤガイを生かした状態で迅速に測定できることから、抑制飼育した貝の管理技術のツールとして活用できると考えられる。ただし、閉殻力と各形質の変動パターンや低下率には差異が認められる他、そ

れらは抑制飼育を開始するときのアコヤガイの生理・栄養状態のレベルや漁場環境によって異なると推察される。そのため、閉殻力を指標とした抑制管理技術の精度の向上を図るには、それらの要因による変動パターンへの影響を解明することが重要である。

以上、本研究により閉殻力が抑制飼育におけるアコヤガイの生理状態の指標として活用できる可能性が示された。浜揚げされた真珠の品質は、挿核時におけるアコヤガイの生理状態に左右されることが明らかにされていることから、筆者らは挿核時における貝の閉殻力と真珠の品質との関係を調査した。その結果、高品質真珠の生産率には閉殻力による差異が認められ、閉殻力が貝の挿核の適性に関する指標として利用できることを示した（青木 2010）。今後、高品質真珠の生産効率の向上をはかるため、抑制期間における閉殻力の変動パターンの特性を解明して、貝を挿核に適した状態にコントロールする技術を開発することが望まれる。

要約

1. 抑制飼育期間におけるアコヤガイの閉殻力および生理・栄養状態を示す軟体部の諸形質の変動を調査するとともに、それらに及ぼす抑制籠への収容貝数の影響について検討した。
2. 抑制籠に収容した試験貝の閉殻力、閉殻筋/殻重量比、軟体部のタンパク質およびグリコーゲン量は、飼育日数の経過とともに漸次低下する傾向を示した。一方、丸籠に収容した試験貝におけるこれらの終了時の値は、いずれも開始時と同程度かわずかに上昇した。
3. 抑制籠区における収容数の違いによる比較では、試験貝の軟体部のタンパク質量は、抑制籠の収容数が標準より多い区（120%区）で有意に低かったが、閉殻力およびその他の軟体部諸形質については、いずれも測定値と収容数との間に明確な相関関係はみられなかった。
4. 試験貝の抑制飼育開始後40日目の閉殻力と軟体部諸形質との間には有意な相関関係が認められた。このことから、閉殻力は抑制飼育後のアコヤガイの生理状態および栄養状態を反映し、抑制の程度や効果を把握する指標として有効に活用できる可能性が示された。

謝辞

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構（JST）の地域イノベーション創出総合支援事業重点地域研究開発推進プログラム（研究開発資源活用型）「次世代真珠養殖技術とスーパーアコヤ貝の開発・実用化」において実施した。

文献

- 青木 駿（1966）：異常真珠の出現防止に関する研究. 全真連会報, 53, 1-204.
- 青木秀夫・渥美貴史・阿部久代・神谷直明・石川 卓・古丸 明（2010）：挿核時のアコヤガイの閉殻力と養殖特性および真珠品質との関係. 全真連技術研究会報, 24, 1-5.
- 赤松 蔚（2003）：真珠の養殖, 「カルチャー・パール」, 真珠新聞社, 東京, pp.53-83.
- 岡本ちひろ・古丸 明・林 政博・磯和 潔（2006）：アコヤガイ *Pinctada fucata martensii* の閉殻力とへい死率および各部重量との関連. 水産増殖, 54, 293-299.
- 植本東彦（1958）：アコヤガイの生殖腺に関する研究Ⅱ. 国立真珠研究所報告, 4, 619-635.
- 植本東彦（1961）：アコヤガイのそう核手術に関する生理学的研究Ⅰ-Ⅲ. 国立真珠研究所報告, 6, 619-635.
- 植本東彦（1967）：仕立て作業および挿核手術がアコヤガイの生理状態に及ぼす影響. 日本水産学会誌, 33, 705-712.
- 滝本真一（1997）：真珠貝新仕立て技術開発研究. 平成7年度愛媛県水産試験場事業報告, 115-119.
- 福井作蔵（1990）：還元糖の定量法（第2版）, 学会出版センター, 東京, pp.52-59.
- 和田浩爾・鈴木 徹・船越将二（1988）：しみ・黒珠・有機質真珠の形成と真珠袋の異常分泌. 全真連技術研究会報, 4, 21-32.
- 和田浩爾・山際 優・秋山敏男・山本剛史・船越将二（1991）：アコヤガイの体力・肥満度と体成分との関係. 全真連技術研究会報, 7, 1-13.