

アカガイの成長におよぼす水温、塩分、溶存酸素濃度の影響について

中 西 雅 幸*

Some Effects of Water Temperature, Salinity and Dissolved Oxygen Concentration on Growth of Ark Shell, *Scapharca broughtonii*

Masayuki NAKANISHI*

Synopsis

In relation to water temperature, salinity, and dissolved oxygen concentration (DO), the growth of ark shell, *Scapharca broughtonii*, was examined. A total of 300 shells was kept in 6 cages (40×40×20 cm³, 7 mm mesh size) vertically suspended for 137 days in the Aso-kai, eutrophicated lagoon.

In May–July, a high growth rate (0.218 mm/day) was observed at the intermediate layer (3 m depth) where mean temperature and salinity were 17.5°C and 28.53‰, respectively. In the shallow layer with low salinity (less than 26.40‰), however, the rate was low (0.174–0.197 mm/day). In July–September, the growth rate decreased under the conditions of more than 26.2°C (mean) and low salinity at 1 m layer and low DO level (2 ml/l mean) at bottom layer.

The result indicated that high temperature (more than 26.2°C), low salinity (less than 26.40‰), and low DO (less than 2 ml/l) had influence as a prevention on the growth of ark shells suspended in eutrophicated area. In addition, due to the influence of sessile organisms on rearing cages, the shell did not survive at a high percentage as shown in Fig. 8.

アカガイ (*Scapharca broughtonii*) の斃死原因もしくは物理的環境条件に対する耐性を研究する手法としては、水槽飼育により人為的に水温、塩分、溶存酸素濃度（以下、DO という）を制御する方法がとられてきた。この方法の場合、アカガイの斃死状況（高見ら、1976；高見ら、1980；塩屋ら、1961；濱本、1981）、および貝の閉殻運動（塩屋ら、1961）等をアカガイの環境耐性の指標とした。しかし、この方法では、アカガイを斃死させるには致らないまでも長期間にわたって生理状態にわずかつ影響をおよぼすような環境要因については十分な知見が得られない可能性がある。室内実験の場合、アカガイの成長量を環境耐性の指標としている例は見当たらない。成長量は単に物理的環境のみに規制されるものではないことは明白である。しかし、「生物の成長量は生体の生理状態からくる生物的時間の積算結果としてとらえられる」（塩垣ら、1976）という観点に立ってみると、

成長量は環境要因がアカガイにおよぼす影響の指標になりうると考えられる。ところが、現在、物理的環境要因が成長におよぼす例としては冬期の低水温による成長阻害（菅野・赤星、1970）等が知られているにすぎない。

著者は、高度に富栄養化した内湾である阿蘇海でアカガイの層別垂下飼育試験を実施し、飼育層によってアカガイの成長が異なる結果を得た。そして、その原因と考えられる水温、塩分、DO とアカガイの成長との関係について検討したところ、両者の間には関連性のあることが示唆されたので報告する。

本稿をとりまとめるにあたり、京都府立海洋センター海洋生物部長篠田正俊博士には校閲をいただいた。また、海洋生物部西岡純ならびに飯塚覚両研究員には調査に多大の協力をしていただいた。また、本試験に用いたアカガイの種苗は山口県光漁業協同組合の方々から快く提供していただいた。ここに記して謝意を表する。

* 京都府立海洋センター (Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science, Odashukuno, Miyazu City, Kyoto 626)

方 法

供試貝には山口県産アカガイ人工種苗を海洋センター

Table 1 Growth and survival ratio of ark shell by depth.

Depth (m)	May 8	July 9			September 22		
	Initial SL*1 (mm)	SL (mm)	SR*2 (%)	Growth rate (mm/doy)	SL (mm)	SR (%)	Growth rate (mm/day)
1	32.6±2.0	43.6±2.2	100	0.174	48.3±2.9	86	0.063
2	32.5±2.4	44.9±2.7	100	0.197	53.0±3.2	69	0.108
3	32.0±2.4	45.7±2.4	100	0.218	53.3±2.4	15	0.101
4	32.3±2.1	44.5±2.3	100	0.194	53.0±2.6	100	0.113
5	32.7±2.2	44.4±2.5	100	0.185	53.3±2.8	90	0.120
6	32.7±2.4	40.9±3.1	100	0.130	47.1±2.9	90	0.082

*1: Shell length, *2: Survival ratio.

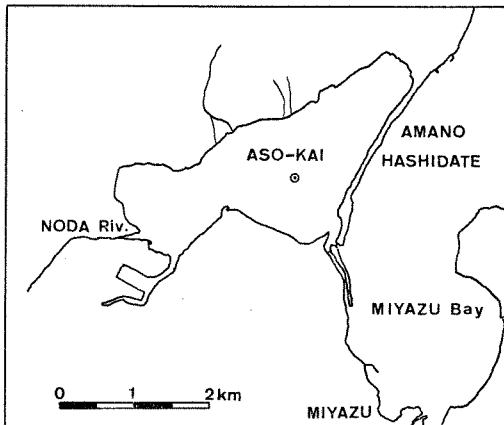


Fig. 1 Map showing the Aso-kai, eutrophicated lagoon, and location of the experimental site.

地先海面において垂下・中間育成したものを用いた。試験開始時における供試貝の大きさを Table 1 に示した。供試貝はこの時点で孵化後約11か月であった。層別垂下試験は阿蘇海中央部の水深13mの地点で実施した (Fig. 1)。各50個づつの供試貝を四角錐型のチョウチンカゴ (パールネット, 40cm×40cm, 高さ20cm, 目合7mm, 以下カゴという) に収容し, Fig. 2 に示したように, 水面下1mから6mまで1mごとに連結した (以下, 各試験区を1区~6区とする)。試験施設の設置は1981年5月8日に行った。供試アカガイの計測は, 高水温期の始まるころに相当する7月9日および水温の低下が始まるころの9月22日の2回実施し, 各区のアカガイの成長は殻長の日間増加量で比較した。試験地点の水質調査は5月8日, 6月3日, 7月3日, 7月15日, 8月18日, 9月22日の6回行った。試験地点の水質調査項目は水温, 塩分, DO, 水中懸濁物濃度 (以下SSという) であった。水温, 塩分, DOは0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8,

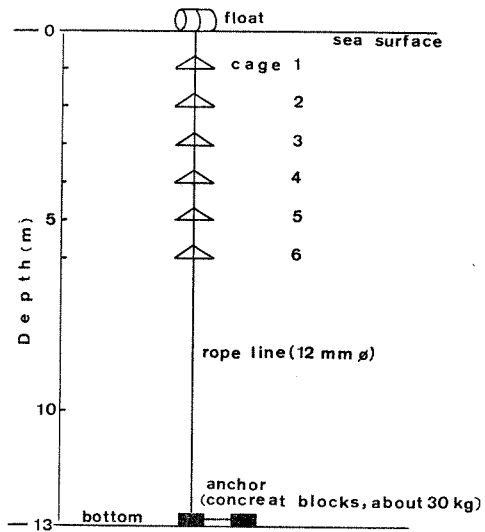


Fig. 2 Schematic experimental system to see some effects of physical environment on growth of ark shells.

10, 12m層を, SSは12m層を除き水温, 塩分, DOと同じ水深を測定した。水温と塩分はEIL社製TSメーターMC5型により測定した。DOはウインクラージアゾ変法 (荒川ら, 1980) により定量した。SSは試水500mlをメンブランフィルター (pore size 0.3μm) で吸引ろ過したものを乾燥後, 秤量して求めた。なお, 9月22日の計測時にはアカガイを収容したままの状態のカゴの全重量を測定し, カゴのみの重量およびアカガイの全重量を差引き, 各垂下層における1カゴ当りの付着物重量を求めた。

結果と考察

水温, 塩分, DOの変化 試験開始時から9月22日までの137日間における水温, 塩分, DOの変化を Fig.

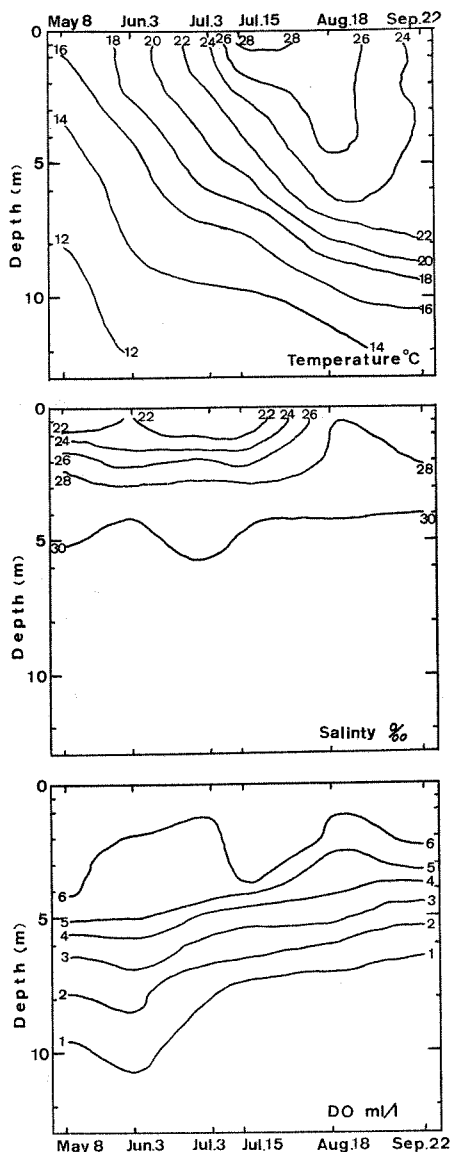


Fig. 3 Isotherms ($^{\circ}\text{C}$), isohalins (‰) and isopleth of dissolved oxygen concentration (O_2 ml/l) for water column at the site of shell rearing cage from May 8 to September 22, 1981.

3に示した。

水温は試験開始時から徐々に上昇し、8月18日にはカゴの設置されている6m以浅では 24°C 以上を示した。9月22日には表層の水温は低下しはじめ、6m以浅は約 23°C ではほぼ一様となった。

塩分の鉛直分布には試験期間を通して、表層で低く、

底層で高いという特徴が見られた。この傾向は5月8日から7月15日にかけて特に顕著であったが、8月18日以降になると、上下層における塩分濃度の差はそれ以前に比べて少なくなった。

DOの変化についてみると、すでに中西ら(1979)が報告しているように、表層の2m以浅はDO過飽和の状態にあり、底層に向かうにつれてDOは急激に低下し、富栄養化した内湾の特徴が顕著に示された。水温が上昇するにつれて底層の低酸素層は上昇した。7月3日以降、アカガイ垂下層のうち最下層の6m層において、DOは3ml/l以下で推移し、9月22日には1.3ml/lにまで低下した。

前期の成長と環境 前期(1981年5月9日~7月9日)は水温の上昇期にあたり、阿蘇海底層部の還元的環境はまだあまり発達していなかった。この時期のDOは6m層においても、ほぼ3ml/l以上であった(Fig. 3)。

前期の水温ならびに塩分のそれぞれと成長の関係をFig. 4に示した。図より明らかなように、6区から3区にかけては水温の高く推移した上層ほど良い成長を示した。最も良い成長を示した3区(0.218mm/day)における平均水温は 17.5°C であった。2区(0.197mm/day)と1区(0.174mm/day)は平均水温が3区より高いにも

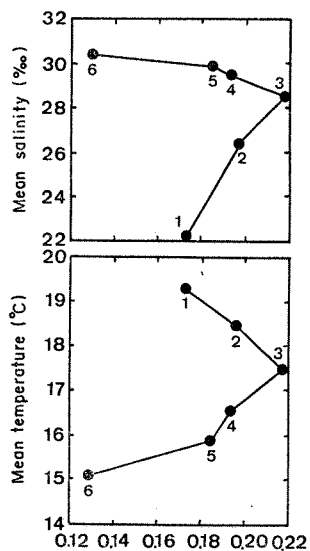


Fig. 4 Relationships between the mean temperature and the daily growth rate in shell length of ark shells, and between the mean salinity and the growth rate, during a period from May 8 to July 9, 1981.

かわらずその成長は3区より若干劣った。なお7月3日の1m層における水温は23.5°Cであったが、成長阻害を受けるほどの高水温ではない*。

次に塩分と成長の関係は Fig. 4 から明らかなように、平均塩分濃度が 26.40‰ (≒14.67 Cl‰) 以下を示す2区と1区においてアカガイの成長は低下する傾向がうかがわれた。千葉県館山湾における田中ら (1974) の養殖試験の結果から計算した最も大きい成長速度は 0.166 mm/day (1971年11月2日～1972年1月18日) であった。今回の試験による3区の成長速度はこの値よりかなり大きく塩分濃度 (平均, 28.53‰ (≒15.85 Cl‰)) によってアカガイは成長阻害を受けなかったと考えてよいであろう。

アカガイの低塩分耐性について、濱本 (1981) は約 8 Cl‰ でも斃死しないと報告している。また塩屋ら (1961) は 17.04 Cl‰ では水温 27°C 以下、20°C 前後においては13日間異常なく生存した結果を得ている。そして今回の試験において、1区のアカガイは前期の62日間の飼育ですべて生残した (Table 1)。しかしその成長は高塩分層で飼育された場合と比較すると若干劣った。この現象は、阿蘇海表層の低塩分海水 (平均, 26.40 ‰以下) がアカガイを斃死させないまでも、その成長に何らかの影響をおよぼしたことを示唆している。

後期の成長と環境 後期 (1981年7月9日～9月22日) は高水温期にあたり、成層が安定し、本湾底層部の還元的环境が最も発達する時期である (中西ら, 1979)。こ

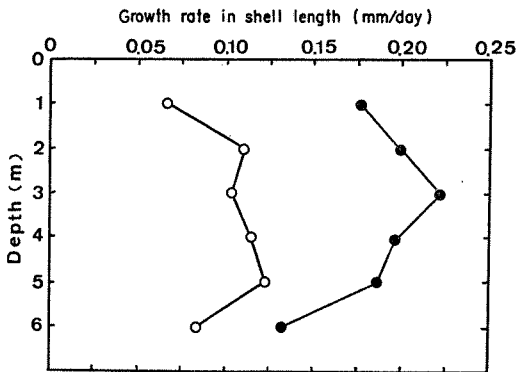


Fig. 5 Daily growth rate of ark shells by depth. Solid circles; from May 8 to July 9, open circles; from July 9 to September 22, 1981.

* 水産生物適水温図 (日本水産資源保護協会, 1980年) によると、アカガイの成長期適水温は 20°C～約 25°C とされている。

の環境条件の下で、アカガイの成長速度は、Fig. 5 に示したように、前期に比べて約 1/2 に低下した。成長量は貝の大きさによって異なることが考えられるのでただちに季節変化であるとは断言できない。後期の水温ならびに DO のそれぞれとアカガイの成長の関係について Fig. 6 に示した。6区を除いて、水温の低い下層ほど成長が良かった。しかし、2区から5区にかけての成長差はわずかであり、また斃死貝も見られたのでこの区間の成長差は比較できない。

1区において生残率は86%を示したが (Table 1)、その成長速度は 0.063 mm/day と著しく劣った (Fig. 6)。1m層における後期の平均水温と平均塩分濃度はそれぞれ 26.2°C および 25.83‰であったので、そこにおける著しい成長速度の低下は、高水温と低塩分がその原因であろう。

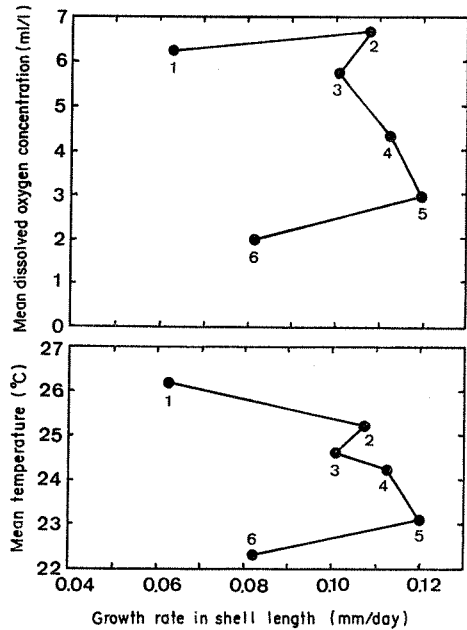


Fig. 6 Relationships between the mean temperature and the daily growth rate in shell length of ark shells, and between the mean dissolved oxygen concentration and the growth rate, during a period from July 9 to September 22, 1981.

アカガイの高水温耐性について、高見ら (1978) は 25°C で飼育した1年貝の約 80% 以上が斃死したと述べている。一方、濱本 (1981) は 27°C の場合でも斃死しなかったと報告している。このようにアカガイの高水温

耐性については統一的な知見が得られていない。その原因としては、水温以外の要因すなわち、塩分、DO、貝の年齢（高見ら，1978）、成熟度（塩垣ら，1976）等とのかかわり合いで耐性が異なるためであると思われる。今回の試験に用いたアカガイは1年貝に相当するが、前述したように1 m層で86%が生残した。1 m層の水温の推移を考えた場合、高水温耐性は高見ら（1978）の結果よりも高く、濱本（1981）の報告と似た結果を示したといえる。しかし、表層水は気温の変化の影響を直接受けるので夜間の水温は今回の観測値よりも低い可能性がある。高水温が連続的に続く場合と、その間に低温期が存在する場合とでは、どちらがアカガイに対して影響が大きいかは今後に残された問題である。

アカガイの低 DO 耐性について、高見ら（1980）は0.5 ml/l の場合、半数致死日数は約10日であると報告している。今回のアカガイ垂下層において、表層に比べて低 DO 状態におかれた5区と6区の成長速度を比較すると、5区が0.120 mm/dayであったのに対し、6区は0.082 mm/dayと劣った（Fig. 6）。両層における後期の平均水温と平均塩分濃度は5 m層が23.1°C、30.33‰であり、6 m層が22.3°C、30.63‰であったが、水温と塩分についてみるかぎりでは成長阻害をきたすような値ではない。またカゴの付着物も両層共に少なく、生残率も90%で同じであった。しかし、DOは5 m層が3.0 ml/lであったのに対し、6 m層では2.0 ml/lであった。前述したように後期は成層が安定する時期にあたるから、6 m層は5 m層より常に低いDOで推移したとみなしてよい。したがって平均DOが2 ml/lにまで低下するとアカガイは斃死にはいたらなくても成長が阻害されると考える。

アカガイの斃死率とカゴ付着物重量 供試アカガイの生残率はTable 1に示したように、7月9日で全区100%、9月22日で15~100%であった。一方、全期間を通じたカゴの付着物重量はFig. 7に示したように2 mないし3 m層で多く、4 m以深では少なかった。付着生物の主体はムラサキガイ (*Mytilus edulis*)、フジツボ類 (*Balanomorpha* spp.)、ホヤ類 (*Ascidacea* spp.) であった。7月9日の計測時には付着物がほとんど見られなかったため、貝の付着物のみを除去し、カゴは特に掃除をしなかった。しかし、9月22日になると、1カゴ当たり最高で1,790 g（3区、湿重）の付着物が見られた。そして大部分の斃死貝は付着物に完全に被われていた。アカガイの生残率と付着物重量の関係をFig. 8に示した。図より明らかなように、付着物が1カゴ当たり1,400 gを

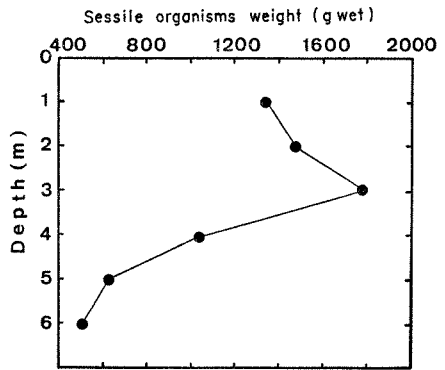


Fig. 7 Total amount of sessile organisms on shell rearing cages during a period from May 8 to September 22, 1981.

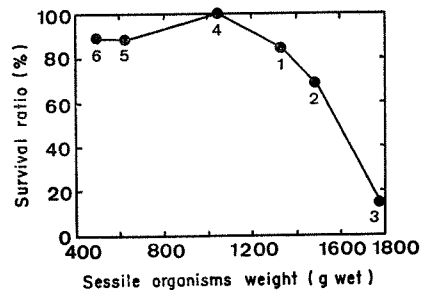


Fig. 8 Relationship between the weight of sessile organisms and the survival ratio of ark shells.

越えるような状態になると斃死が増加する。この現象から供試アカガイが斃死した原因としては、付着物に被われることによって貝殻の開閉が困難になったためであると考えられる。したがって、1 m層における高水温および低塩分、また6 m層における低DOは直接の斃死原因ではなかったと推察する。

SSの鉛直分布 SSの鉛直分布をFig. 9に示した。各層とも調査日ごとのその変動はかなり大きく、0.5 mおよび1 m層では特にその変動が大きかった。2 m以深になるとSSの値およびその変動は少なくなり、6 mにおいて両者は最少で、それより下層になるとそれぞれ若干増加する傾向を示した。供試アカガイは殻長から判断して、すでに底生生活期に入っている大きさにいたったものである。底生生活に移行した後のアカガイの主餌料はデトライタスカ生きたプランクトンか明らかにされていない。今回の試験では餌料量の目安としてSSを測定したが調査回数も少なく、また、その有機物量も不明であるので各区のアカガイがどのような餌料環境におか

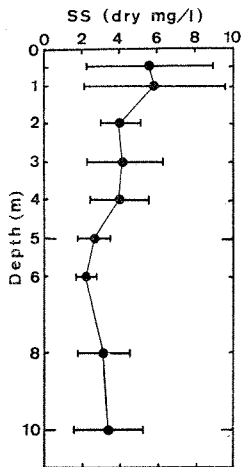


Fig. 9 Vertical profile of mean suspended substance (SS) concentration at the site of rearing shell cage from May 8 to September 22, 1981.

れていたかは検討できない。

水深別に見たアカガイの成長パターン (Fig. 5) は付着物重量の鉛直分布 (Fig. 7) とよく似ていた。両者の餌料が同じと仮定すると、供試アカガイの水深間の成長差は餌料量の多寡で説明できるのかも知れない。

要 約

- 1) アカガイの成長におよぼす水温、塩分、溶存酸素濃度 (DO) の影響を調査するため、1981年5月8日から9月22日まで富栄養化した内湾である阿蘇海において層別垂下飼育試験を行った。
- 2) 5月から7月にかけては3m層が最も良く成長した。また表層飼育区においては低塩分による成長阻害が生じた。
- 3) 7月から9月にかけては表層飼育区には高水温および低塩分による成長阻害が、そして低層飼育区においては低 DO による成長阻害が認められた。

4) 供試アカガイは全期間を通して、15~100%の生存率を示した。主な斃死原因は付着生物に被われることにより貝殻の開閉が困難になったためであるとみなされた。物理的環境要因は直接的には斃死原因とはならなかった。

5) 底生生活へ移行したのちのアカガイの有効な餌料が何であるかを把握することが、アカガイの成長とその生息環境を検討する上で主要な課題であることを明らかにした。

引用文献

- 荒川 清・大久保勝夫・佐々木克之・澤田保夫・田端健二・長倉克男・深井麟之助・藤本 実・本城凡夫・町田喜弘. 1980. 水質分析法. 「新編水質汚濁調査指針」(日本水産資源保護協会編). 133-235. 恒星社厚生閣, 東京.
- 濱本俊策. 1981. アカガイ *Scapharca broughtonii* (SCHRENCK) のへい死要因と抵抗力に関する基礎的考察. 香川県水産試験場試験報告, 18: 1-19.
- 菅野博記・赤星静雄. 1970. アカガイの増殖に関する研究. 付着稚貝の調査. 青森県陸奥湾水産増殖研究所業務報告書, 11: 79-88.
- 中西雅幸・西岡 純・杉山元彦・田中俊次. 1979. 阿蘇海における無酸素層と硫化水素の周年変化について. 京都府立海洋センター研究報告, 3: 103-110.
- 塩垣 優・浜田勝雄・鈴木勝男. 1976. 垂下養殖アカガイのへい死防止試験. 青水増殖事業概要, 5: 45-67.
- 塩屋照雄・稲葉 昇・原 武史. 1961. アカガイの浅部(干潟)移殖について 一予報一. 水産増殖, 9(1): 29-34.
- 高見東洋・岩本哲二・中村達夫・井上 泰. 1978. 山口県におけるアカガイの増養殖の現況と問題点. 栽培技研, 7(1): 51-66.
- 高見東洋・吉岡貞範・岩本哲二・中村達夫・井上 泰. 1980. アカガイの増殖に関する研究. 昭和54年度指定調査研究総合助成事業報告書, 19pp. 山口内海水試.
- 田中邦三・須田恭光・庄司泰雄. 1974. アカガイ類養殖試験一I. アカガイの成長と歩留りについて. 水産増殖, 21(4): 155-156.