

サザエ中間育成施設下に設置した籠中のナマコの成長例について

秋元清治・工藤孝浩

The case study of growth of sea cucumber *Apostichopus armata* and *Apostichopus japonicus* in the cage located below the rearing facility of young Horned Turban *Turbo sazae*

Seiji AKIMOTO*, Takahiro KUDO**

結 言

過去、マガキ(Yokoyama 2015)¹⁾、ミドリイガイ(Matthew & Alexander 2007)²⁾、ホタテ(Zhou et al. 2006)³⁾、エゾアワビ(Kang et al. 2003)⁴⁾などの貝類とナマコ類との複合養殖試験が行われ、これら貝類から排泄される糞や偽糞がナマコ類の有効な餌となり、ナマコ類の生存率や成長を向上させることが報告されている。本研究はナマコ類の成長研究の一環として、ナマコ類の餌環境が良好と考えられるサザエ稚貝の中間育成施設の下でマナマコ及びアカナマコの飼育試験を実施し、餌環境、水温と成長に関して若干の知見を得たので事例報告する。

材料と方法

1 飼育方法

2012 年 4 月下旬から同年 9 月までの約 5 ヶ月間、横須賀市新安浦港内(図 1)の水深 1~3 m にカキ殻を約 100 枚詰めた丸籠(直径 46 cm、高さ 18 cm)を垂下し、稚ナマコを採集した。これを鉄製の飼育籠(縦 100 cm×横 100 cm×高さ 30 cm、側面は目合 5 mm のナイロン製網地)に收容し、神奈川県水産技術センターの前面に設置されているサザエ中間育成施設の下(水深約 4 m)に設置した(図 1 及び 2)。なお、25m×20m の筏に複数の小割生簀を設けた同施設には、春から夏にかけては殻長 5~20mm のサザエ種苗が最大約 60 万個、秋から冬にかけては放流サイズ(20mm)に達しなかった種苗が約 20 万個收容され、随時、アラメ、カジメ、配合餌料(日本農産工業(株)、あわび 3N、4N)が給餌されていた。飼育籠内のナマコの飼育



図 1 稚ナマコ採集地及び飼育試験地

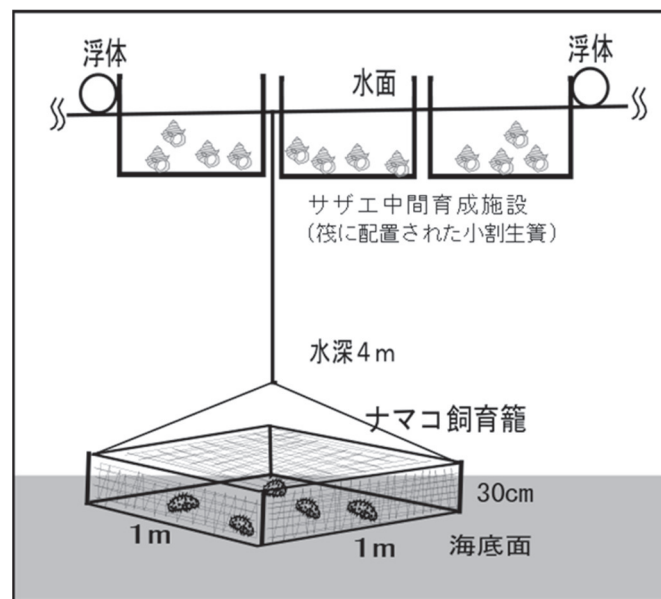


図 2 ナマコ飼育環境(概略図)

期間は2012年10月から2016年5月までの3年7ヶ月としたが、飼育期間中の2014年10月にサザエ育成施設が運用中止となったため、以降は天然の状態での飼育となった。

2 成長解析

成長を確認するため、原則月1回、潜水によりナマコを回収し、水中から取り上げ、湿重量 W_t (g) を測定した。ただし、飼育後半の2015年6月～2016年4月の約1年間は測定せず、飼育終了時の2016年5月に最終の湿重量を測定した。マナマコ *Apostichopus armata* には体色が異なるアオ型とクロ型があるが、遺伝的に両者は同種との知見⁵⁾に基づき、本研究ではマナマコとアカナマコ *Apostichopus japonicus* の2種として扱った。また、田園ら⁶⁾を参考とし、マナマコの成長率 SGR

(Specific growth rate) を次式により求めた。さらに、SGR と試験地から北東方向に約100m離れた本センターの水質観測点(水深約5m)の水温データから、水温と成長の関係を検討した。

$$SGR (\% \text{ day}^{-1}) = 100 \times (\ln W_n - \ln W_{n-1}) / t$$

W_n : 測定したある月のマナマコ湿重量

W_{n-1} : 前月の同一個体の湿重量

t : 前月の測定日から当月の測定日までの経過日数

結 果

飼育開始時の2012年10月3日のマナマコ5個体(アオ型3個体、クロ型2個体)及びアカナマコ3個体の湿重量はそれぞれ0.13～0.7g、0.17～1.03gであった(表1)。このうち試験中、死亡、逸散せずに、体色等の特徴から個体を識別できたのはマナマコ3個体、アカナマコ2個体であった。

表1 採集した稚ナマコの湿重量 (g)

| 個体番号 | No. 1 | No. 2 | No. 3 | No. 4 | No. 5 | 平均 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| マナマコ | 0.26 | 0.13 | 0.7 | 0.49 | 0.33 | 0.38 |
| アカナマコ | 0.17 | 0.72 | 1.03 | - | - | 0.64 |

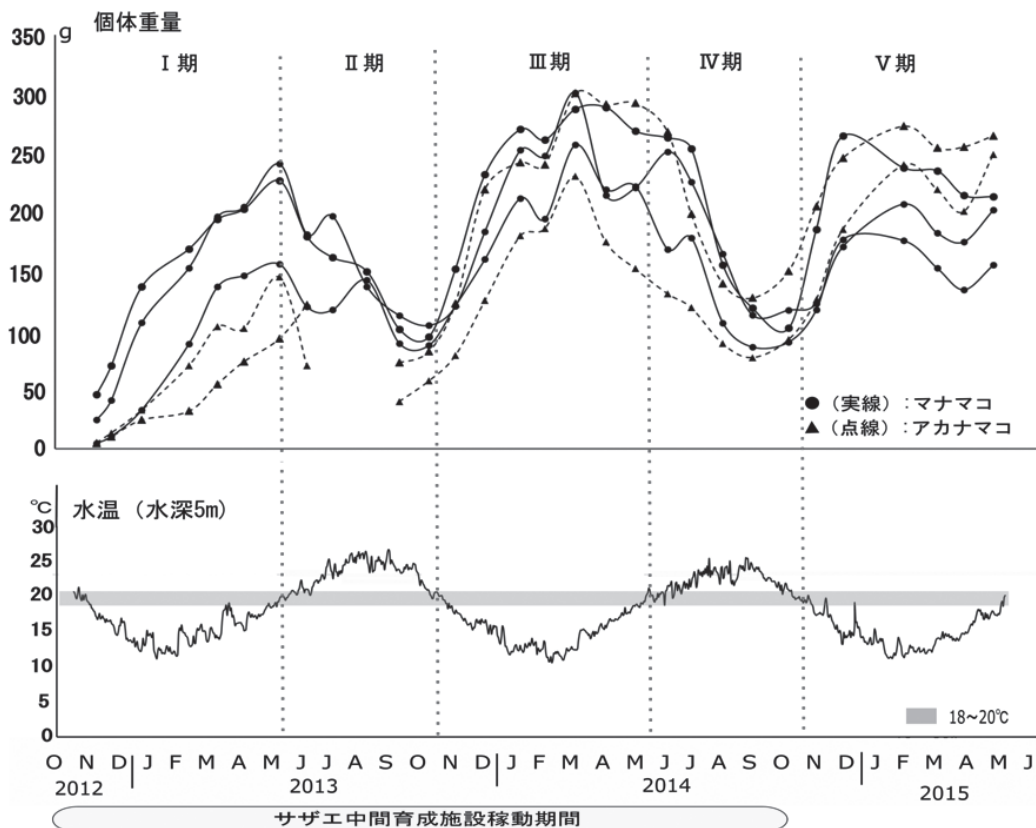


図3 水温と湿重量の推移

観察期間中の各個体の湿重量及び水温の変化を図3に示す。観察を開始した2012年11月から2013年5月までの水温が概ね11~20℃で推移した期間(図3の第I期)は、両種とも湿重量が増加し、測定開始時の11月26日からピーク時の2013年5月31日の湿重量変化はマナマコが46.0g→226.7g(493%増)、24.4g→240.8g(987%増)、4.9g→156.1g(3186%増)、アカナマコが4.7g→93.1g(1981%増)、5.3g→145.3g(2742%増)と増加した。その後、6月に入り水温が20℃を超え、11月に20℃を切るまでの期間(図3の第II期)には湿重量は減少に転じ、5月31日から10月30日の湿重量変化は、マナマコで226.7g→94.7g(58%減)、240.8g→104.3g(57%減)、156.1g→87.5g(44%減)、アカナマコで93.1g→82.2g(12%減)、

145.3g→57.4g(60.5%減)と減少した。その後11月になり水温が再び20℃を下回り、水温が11℃まで下がる3月までの間、再び湿重量は急速に増加し、10月30日から2014年3月28日のピーク時までの湿重量変化は、マナマコで94.7g→287.2g(303%増)、104.3g→301g(289%増)、87.5g→256.9g(294%増)、アカナマコで82.2g→300.7g(366%増)57.4g→230.4g(401%増)と増加した。その後、4月に入り水温が16℃を超えると成長は停滞あるいは減少する個体が見られた(図3のIII期)。その後、2014年の6月~9月の水温20~25℃の期間は湿重量が再び明瞭に減少し、同年3月28日から9月24日までの湿重量変化はマナマコで287.2g→119g(59%減)、301g→113.2g(62%減)、256.9g→86.1g(66%減)、アカナマコで300.7g→

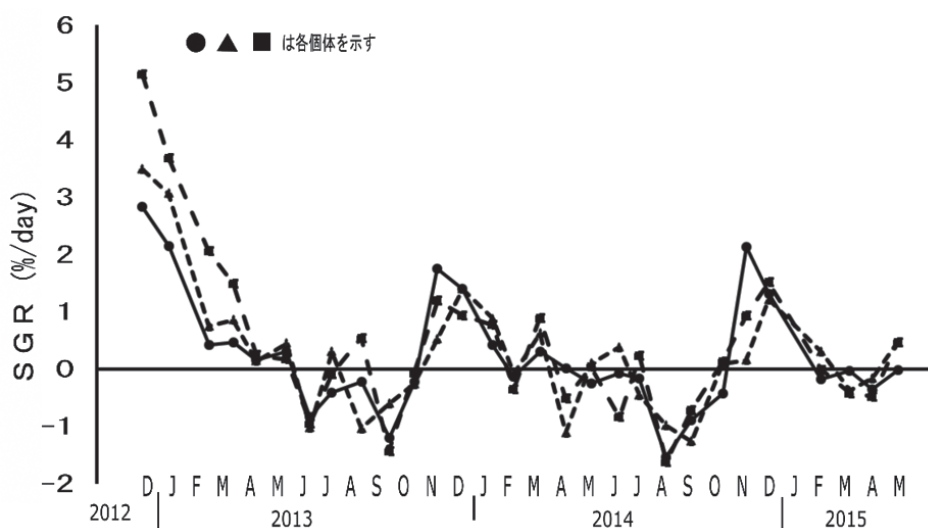


図4 マナマコの成長率の季節変化

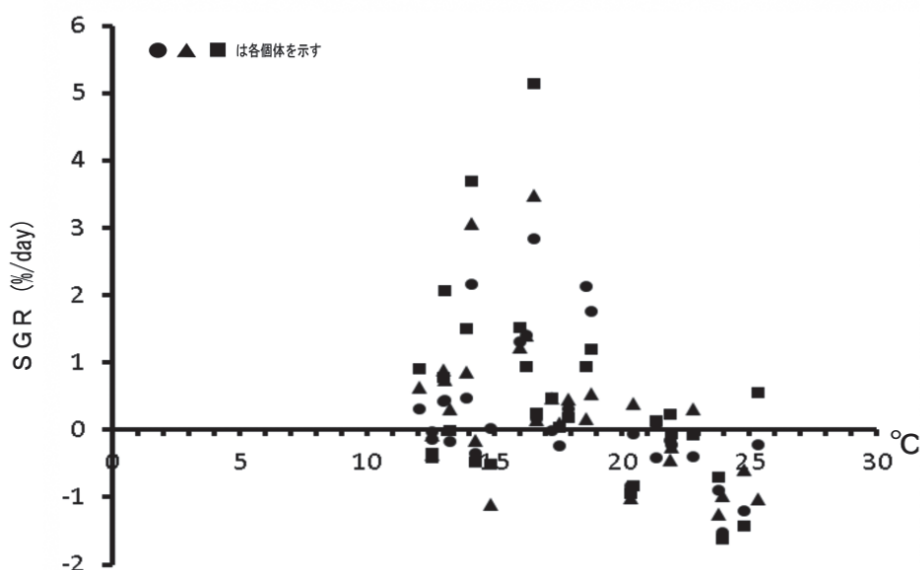


図5 マナマコの水温と成長率の関係

127.6 g (58%減) 230.4g→77.3g(66%減)、となり、その後、10月までの水温が20℃まで下がる期間は、湿重量は停滞及びやや増加する傾向が見られた(図3のIV期)。その後、2014年10月にはサザエ中間育成施設の運用が停止となったが、11月に水温が20℃を切ると再び急速に湿重量は増加し、2014年9月24日から2015年2月25日までの湿重量変化はマナマコが119g→237.5g(200%増)、113.2g→206.9g(183%増)、86.1g→176g(204%増)、アカナマコが127.6g→272.9g(214%増)、77.3g→240.2g(311%増)となった。その後、水温が12℃から20℃と上昇する3月から5月の湿重量は横ばいあるいはやや減少傾向で推移した(図3のV期)。2015年5月27日から飼育籠を回収した1年後の2016年5月26日の湿重量変化は、マナマコが213.2g→173.9g(18%減)、201.9g→154.1g(24%減)、155.3g→116.1g(25%減)、アカナマコが264.7g→269.6g(2%増)、248.8g→222.4g(11%減)と多くが減少していた。

2012年12月から2015年5月までのマナマコの成長率SGRの変化を図4に、水温と成長率SGRの関係を図5に示す。飼育開始直後の2012年12月、2013年1月のSGR(以下、3個体の平均値を示す)はそれぞれ3.8、3.0%と高かった。その後、減少するが2～5月までは0.2～1.1%の範囲で正の成長率を示した。6月になると負の成長率となり、-0.1～-1.1%の範囲で10月まで負の成長率が続いた。11月から再び急激に成長し、2014年3月までの間、2月の-0.2%を除き、0.6～1.3の範囲で正の成長率を示した。2014年の4月には再び

減少に転じ、10月まで-0.1～-1.4%の範囲で負の成長率を示した。その後、11月から2015年2月までは0.1～1.4%と再び正の成長率を示したが、3月～5月までは-0.3～0.3と停滞した(図4)。水温と各個体の湿重量の増減は、例外はあるものの水温12℃～20℃の範囲ではSGRはおおむね正の値を示し、特に13～19℃の範囲では良好な成長が見られた。一方、水温が20℃を上回るとSGRはおおむね負の値となり、20℃から25℃と水温が高まるにつれSGRの値は下がった(図5)。

考 察

餌環境と湿重量

本試験では両種ともサザエの中間施設の稼働状況及び水温によりナマコ類の湿重量はダイナミックに増減した。以下、東京湾のナマコ漁の主たる漁獲対象種であり、成長に関する知見のあるマナマコについて考察する。試験に供した稚ナマコは2012年4月下旬から9月にかけて漁港内に垂下した籠に浮遊幼生が付着して成長したものである。東京湾のマナマコの産卵期の知見はないが、水温12～20℃(最盛期16℃前後)で産卵する⁷⁾との知見に従えば、試験に供した試料は採集地付近の水温(東京湾中ノ瀬航路の水質観測データ⁸⁾)が20℃を超えた7月以前に生まれたと考えられる。仮に最も早い4月下旬生まれとした場合、1年目の極大時(2013年5月)には156.1g～240.8g、2年目の極大時(2014年3月)には256.9g～301gまで成長したこととなる。東京湾でナマコ漁を営む一部漁業協同組合では約250g以下のもの

表2 マナマコの年齢と体重

| 研究海域 | 1歳時の 体重(g) | 2歳時の 体重(g) | 分析手法 | 引用文献 |
|----------------|-----------------------|---------------|-----------------|---------------------------------|
| 宮津湾(京都府) | 5 | 31 | 体長組成の年級群分解 | 篠原ら(2017) ¹⁰⁾ |
| 渥美半島(愛知県)及び三重県 | 15.5 | 122.4 | 体重組成の多峰型分離 | 崔(1963) ¹¹⁾ |
| 豊前(福岡県) | 32 | 182 | 放流稚ナマコの追跡 | 瀧口ら(1990) ¹²⁾ |
| 有明海(福岡県) | 80g未満 | 80～160g | 体重組成の年級群分離 | 松本ら(2013) ¹³⁾ |
| 大浦浜(佐賀県) | ふ化後22か月で170～200g前後に成長 | | 放流した人工種苗の追跡調査 | 真崎ら(2007) ¹⁴⁾ |
| 大村湾(長崎県) | 67～151g | 152～342g | 体重組成の解析 | 長崎県総合水産試験場(2005) ¹⁵⁾ |
| 城ヶ島(神奈川県) | 156～241g | 257～301g | サザエ中間育成施設下の飼育試験 | 本研究 |

は出荷せずに再放流しているが、北海道各地の漁獲規制サイズが 50g~150g (主力は 100g)⁹⁾であることを考えれば、本試験のマナマコは1年目を出荷サイズに達しているとも言える。これは既報の他海域の成長例¹⁰⁻¹⁵⁾と比べても速いと言える(表2)。しかし、マナマコは成長の個体差が著しいことが知られており^{12,16)}、本研究で追跡した個体がトビ(成長の速い個体)である可能性も考えられることから、このような環境下での成長が平均的なものかサンプルを増やして検討していくことが望まれる。

類似の養殖試験の例では、横山¹⁾はマガキ養殖施設下と対照区で2011年8月9日から平均重量0.08gの稚ナマコを216日間無給餌で飼育し、餌環境の良い養殖区が対照区に比べて平均重量で5.5g対2.8g、SGRで2.0%対1.6%と有意に成長が良いことを報じている。マナマコは、海底の砂や泥に含まれる有機物を摂取する「不選択性海底堆積物食性者」とされているが、実際に利用している食物については新たな知見が得られつつある。例えば、横山¹⁷⁾はマダイの生簀の下で飼育したマナマコを炭素、窒素安定同位体比で分析し、海藻、魚肉、堆積物表性微細藻類よりも魚餌に含まれる小麦粉や大豆油粕などの陸上植物由来の成分や植物プランクトンを起源とする有機物を利用していることを明らかにした。また、消化に関しては、多くのナマコ類の消化管にはほとんどセルロース分解活性がなく、細菌や菌類によって分解されない大型海藻は消化しているように見えないこと¹⁸⁾、細菌を含む二枚貝の生糞や天然海から採集した微細藻類や細菌を含む底泥がナマコの大型海藻の消化を助け、成長を促すことが分かっている^{1,19,20)}。本試験地には、サザエの糞(主に海藻物質、有孔虫の殻などの不消化性物質、石灰藻の破片からなる)²¹⁾及び飼料の残渣が施設から随時沈降し、底泥にはこれを分解する細菌類も存在したと考えられ、そのような環境がマナマコの成長を促したと考えられる。2014年10月にサザエの中間育成施設の運用が中止されると、3年目の極大時(2015年5月27日)及び1年後の試験終了時(2016年5月26日)の湿重量はそれぞれ、213.2g→173.9g(18%減)、201.9g→54.1g(24%減)、155.3g→116.1g(25%減)と減少

した。黒潮の影響を強く受ける当該試験地は餌の起源となる植物プランクトンの量(クロロフィルa濃度は概ね1µg/l以下)²²⁾が少なく、またサザエ種苗の飼育が中止されたことで餌の供給が減ったことからマナマコの湿重量が減少に転じたと考えられた。

水温と湿重量

餌環境だけでなく、マナマコの湿重量は季節的に変動することが報告されているが^{6,15)}、本調査においても湿重量は季節的に大きく変動した。マナマコは水温が10~20°Cの間で成長し²³⁾、特に16~18°Cで最も成長が良いとされている²⁴⁾。本調査でも個体差はあるが、水温11°C~20°Cの11月から5月にかけてSGRは正の値を示し、水温が20°Cを上回る6月から10月にかけてはSGRが負の値を示した(図3~4)。また、水温が13~19°Cの範囲でSGRが大きくなった点も概ね既往の知見と一致していた(図5)。マナマコの湿重量が水温によって変化するのであれば水温をモニタリングしながらできるだけ大きくなったマナマコを漁獲することが合理的である。現在、東京湾のマナマコ漁は3~4月に行われているが、水温は年によって異なるため、漁期を検討するにあたっては資源水準、漁獲効率等に加えて水温の要素も考慮していくことが望まれる。

謝 辞

本研究を実施するにあたり環境農政局農政部水産課樋田史郎主査には試験期間中の城ヶ島の水温データを、本センターで試験当時、サザエの飼育担当をされていた村上哲士氏にはサザエの中間育成施設の運営に関する情報をご提供いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- 1) YOKOYAMA H. (2015): Suspended culture of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* below a Pacific oyster raft - potential for integrated multi-trophic aquaculture, *Aquac. Res.*, 46, 825-832.
- 2) MATTHEW J. S. and ALEXANDER G. C. (2007): Survivorship and growth of the sea

- cucumber *Australostichopus (Stichopus) mollis* (Hutton 1872) in polyculture trials with green-lipped mussel farms, *Aquaculture*, 272(1-4), 389-398.
- 3) ZHOU Y., YANG H., LIU S., YUAN X., MAO Y., LIU Y., XU X. and ZHANG F. (2006): Feeding and growth on bivalve biodeposits by the deposit feeder *Stichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) co-cultured in lantern nets, *Aquaculture*, 256(1-4), 510-520.
- 4) KANG H. K., KWON J. Y. and KIM Y. M. (2003): A beneficial coculture: charm abalone *Haliotis discus hannai* and sea cucumber *Stichopus japonicus*, *Aquaculture*, 216(1-4), 87-93.
- 5) 倉持卓司・長沼 毅 (2010): 相模湾産マナマコ属の分類学的再検討, 生物圏科学, 49, 49-54.
- 6) 田園大樹・合田浩朗・中島幹二・佐藤一・永田淳人・本前伸一 (2016): 籠中で飼育したマナマコの個体別成長とばらつき, 北水試研報, 90, 1-11.
- 7) 地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所 (2010): ナマコ種苗生産マニュアル, 20pp.
- 8) 東京湾環境情報センター東京湾水質連続観測 <http://www.tbeic.go.jp/MonitoringPost/Top> (2020年3月11日アクセス)
- 9) 北海道マナマコ資源管理技術開発共同研究機関 (2014): 北海道マナマコ資源管理ガイドライン, 66pp.
- 10) 篠原義照・西垣友和・瀬田智文・道家章生 (2017): 宮津湾におけるマナマコ *Apostichopus japonicus* の成長, 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告, 39, 17-21.
- 11) 崔相 (1963): 「なまこの研究」, 海文社, 東京.
- 12) 瀧口克己・藤本敏昭・神園真人 (1990): マナマコ *Stichopus Japonicus* SELENKA 人工種苗の大量放流による漁場形成に関する研究 - I, 福岡県豊前水産試験場研究報告, 3, 53-65.
- 13) 松本昌大・金澤孝弘 (2013): 有明海におけるナマコの種苗放流手法の検討, 福岡水海技セ研報, 23, 1-7.
- 14) 真崎邦彦・山浦啓治・青戸泉・大隅斉・金丸彦一郎・伊東義信 (2007): 人工礁へ放流したマナマコ種苗の移動、分散および成長, 水産増殖, 55(3), 355-366.
- 15) 長崎県総合水産試験場 (2005): 大村湾のナマコ資源評価について, 漁連だより, No.127.
- 16) CHEN J. (2003): Overview of sea cucumber farming and sea ranching practices in China *Beche-de-mer Information Bulletin*, 18, 18-23.
- 17) YOKOYAMA H. (2013): Growth and food source of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* cultured below fish cages—Potential for integrated multi-trophic aquaculture, *Aquaculture*, 372-375, 28-38.
- 18) YINGST J Y. (1976): The utilization of organic matter in shallow marine sediments by an epibenthic deposit-feeding holothurian. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 23, 55-69.
- 19) YUAN X., YANG H, ZHOU Y., MAO Y., ZHANG T., LIU Y. (2006): The influence of diets containing dried bivalve feces and/or powdered algae on growth and energy distribution in sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) (Echinodermata: Holothuriodea), *Aquaculture*, 256, 457-467.
- 20) GAO Q.F., WANG Y., DONG S., SUN Z., WANG F. (2011): Absorption of different food sources by sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) (Echinodermata: Holothuroidea): Evidence from carbon stable isotope, *Aquaculture*, 319, 272-276.
- 21) ARAKAWA K. Y. (1965): STUDIES ON THE MOLLUSCAN FAECES(II), *PUBLICATIONS OF THE SETO MARINE BIOLOGICAL LABORATORY*, 13(1), 1-21.
- 22) 神奈川県水産技術センターリアルタイム海況データ: <http://kanagawapref.kansoku-data>.

net/ (2020年3月13日取得) .

- 23) YANG H. S., YUAN X. T., ZHOU Y., MAO Y. Z., ZHANG T., LIU Y. (2005): Effects of body size and water temperature on food consumption and growth in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) with special reference to aestivation. *Aquac. Res.*, 36, 1085-1092.
- 24) DONG Y. W., DONG S. L., TIAN X. L., WANG F., ZHANG M. Z. (2006): Effects of diel temperature fluctuations on growth, oxygen consumption and proximate body composition in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka. *Aquaculture*, 255, 514-521.