

エゾバフンウニの生殖巣の発達に及ぼす北海道東部海域に産する海藻(草)と給餌期間の影響

誌名	水産増殖 = The aquiculture
ISSN	03714217
著者	町口, 裕二 高島, 国男 林, 浩之 北村, 等
巻/号	60巻3号
掲載ページ	p. 323-331
発行年月	2012年9月

エゾバフンウニの生殖巣の発達に及ぼす北海道東部海域に産する 海藻(草)と給餌期間の影響

町口裕二^{1,*}・高島国男²・林 浩之³・北村 等⁴

Effect of Marine Algae from the Eastern part of Hokkaido and Feeding Period for Gonad Production of the Sea Urchin *Strongylocentrotus intermedius*

Yuji MACHIGUCHI^{1,*}, Kunio TAKASHIMA², Hiroyuki HAYASHI³ and Hitoshi KITAMURA⁴

Abstract: The effect of six algae and one sea grass species abundant eastern Hokkaido to the gonad development in the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* was examined in land-based tank culture. Each diet was fed to the sea urchins of commercial size (> 45 mm in test diameter, $n = 5$) in flowing seawater of natural temperature for 75 days after two months of starvation. The gonad index (GI) was higher when kelp (*Saccharina longissima*, *Costaria costata* and *Alaria praelonga*) or a green alga (*Ulva pertusa*) was fed but lower when red algae (*Ptilota filicina* and *Tichocarpus crinitus*) or a sea grass (*Phyllospadix iwatensis*) was fed; *T. crinitus* never developed gonads. Feeding of stocked diets (dried *S. longissima* or frozen *U. pertusa*) resulted in lower GI than indices in the case of feeding each fresh sample. In comparing two feeding periods with four diets (fresh and dried *S. longissima*, frozen *U. pertusa* or fresh *P. iwatensis*), higher GI was obtained in longer culture (249 days from July) than in shorter culture (186 days from September). The taste sampling test showed higher scores in longer culture (highest in fresh *S. longissima*) except dried *S. longissima*, in which bitterness was not improved.

Key words: Sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*; Gonad production; Algae; Culture

エゾバフンウニ (*Strongylocentrotus intermedius*) は近縁種のキタムラサキウニ (*Strongylocentrotus nudus*) とともに北海道における重要な産業対象種であるが、天然資源の減少から人工種苗生産技術が開発されて以来、現在では北海道各地に4,000万個体を越えるエゾバフンウニ人工種苗が生産、放流されている(水産庁・(独)水産総合研究センター・(社)全国豊かな海づく

り推進協会 2011)。北海道東部海域(以下、道東海域と表す)においても地方自治体や漁協が中心となりウニ種苗センターの運営と種苗放流事業を実施しているが、近年ではウニ漁業の多様化を目指し種苗放流に加えて海面養殖への関心が高まり、施設設計などハード面での検討とともに飼育方法について検討されるようになった。ウニ漁業において、種苗放流、養殖を問わ

2011年11月8日受付; 2012年3月8日受理.

¹ 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所亜熱帯研究センター (Research Center for Subtropical Fisheries, Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Ishigaki, Okinawa 907-0451, Japan).

² 北海道檜山振興局檜山北部地区水産技術普及指導所 (Hiyama-hokubu Fisheries Technical Guidance Office, Setana, Hokkaido 049-4811, Japan).

³ 北海道総合振興局後志北部地区水産技術普及指導所 (Shiribeshi-hokubu Fisheries Technical Guidance Office, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan).

⁴ 長崎大学水産学部 (Faculty of fisheries, Nagasaki University, Nagasaki 852-8521, Japan).

*連絡先 (Corresponding author): Tel, (+81) 980-88-2571; Fax, (+81) 980-88-2573; Email, takahiro@affrc.go.jp (Y. Machiguchi).

ず、ウニの産的価値はその生殖巣にあることから、エゾバフンウニの生殖巣の発達(以下、身入りと称す)についても古くから研究がなされ、生殖巣の成熟過程(Fuji 1960a, 1960b), 生殖巣の質的・量的な変化や生殖周期の地域的な差異(Fuji 1960c; 川村 1967, 1973; 田嶋ら 1978; Takahashi 1980; 富田ら 1984; 吾妻・門間 1988; 吾妻ら 1989, 1994), 生殖巣の発達に及ぼす水温や餌料の影響(川村・林 1965; Fuji 1967)など多くの情報が得られている。また、給餌養殖の試みとしてホソメコンブ(*Saccharina religiosa*)を餌料とした海中籠飼育による生殖巣の発達に関する報告(田嶋ら 1985)があり、近年では人工餌料の検討もなされている(Chang et al. 2005; Lawrence et al. 2011)。しかし、現在知られているこれらエゾバフンウニの身入りに関する知見の多くは、北海道南部海域あるいは日本海沿岸のものであり、道東海域における知見は富田ら(1984)による生殖巣指数の季節変化に関する報告があるのみである。道東海域は、ナガコンブ(*S. longissima*)をはじめとしたコンブ類の主産地であるとともに、スジメ(*Costaria costata*)、ウガノモク(*Cystoseira hakodatensis*)、ケウルシグサ(*Desmarestia viridis*)、アイヌワカメ(*Alaria praelonga*)などの大型褐藻類をはじめ、紅藻類ではクシベニヒバ(*Ptilota flicina*)やカレキグサ(*Tichocarpus crinitus*)、緑藻類ではアナアオサ(*Ulva Pertusa*)、その他に海草のスガモ(*Phyllospadix iwatensis*)など、多くの海藻(草)種が生育しており(桜井ら 1972; 北海道立釧路水産試験場 1995)、ウニ類の餌料は豊富であると考えられてきた。これらの海藻(草)は、アイヌワカメやクシベニヒバ、カレキグサ、スガモのように多年生で出現時期が長いものや、スジメやアナアオサのように特定の時期に大量に出現するなど、エゾバフンウニの餌料としての利用が期待されていたが、ウニの身入りに対する効果についてはほとんど明らかにされていなかった。とくにウニ養殖を行う際には、成長や身入りを効果的に行うためにはどのような餌料海藻種を選択すべきか、餌料海藻は容易に入手できるのか、出荷可能な身入りまで育成するのに必要な期間はどのくらいか、などの情報は経済性に直結することから、ウニ養殖の現場では大きな関心時であった。そこで本研究では、北海道東部におけるエゾバフンウニの種苗放流ならびに給餌養殖を想定し、身入りにおおよぼ餌料海藻(草)の影響を明らかにすることを目的として、道東海域に生育する主要な海藻類のウニの身入りに対する効果(実験1)、ならびに給餌期間が身入りに及ぼす影響(実験2)と生殖巣の品質の評価(実験3)について飼育実験により検討を行った。

材料および方法

供試ウニおよび予備飼育

供試ウニは、1998年5月に釧路管内ウニ種苗センターで厚岸産親ウニから採卵受精して生産されたエゾバフンウニ人工種苗であり、同年11月から2000年2月まで散布漁業協同組合ウニ養殖部会により養殖用海面で飼育されていた個体から500個体を譲り受け、2000年3月より(独)水産総合研究センター北海道区水産研究所の蓄養水槽(0.9 m×1.8 m, 深さ0.7 m)で、水温無調整の濾過海水をかけ流すとともにナガコンブを餌料として蓄養したものを用いた。本研究における飼育実験は、(独)水研センター北海道区水産研究所内の飼育実験室で行い、実験には北海道における一般的な出荷サイズである殻径45 mm以上に成長した個体を用いた。供試ウニは60日間の絶食期間後、蓄養水槽から必要な個体数を抽出し、殻径と体重を測定したのち実験水槽に収容した。各実験の開始時、蓄養群から10個体を無作為に抽出して殻径と体重、生殖巣重量を測定し、生殖巣指数を次式によって求めた。成熟度については調査せず、目視によって配偶子の滲出の有無と雌雄の判別のみを行った。

生殖巣指数(GI) = 生殖巣重量 / 体重 × 100

なお、飼育期間を通してすべての飼育水槽で飼育水温を測定した。測定は、CHINO社製打点式自記水温計を用いて8時間間隔(0時, 8時, 16時)で1回5分間の測定を1日3回行い、日平均水温を求めた。

餌料海藻(草)

実験に用いた海藻(草)は、道東海域に出現する主な大型海藻(草)類の中から、エゾバフンウニが高い嗜好性示す褐藻類のナガコンブを対照区として、アイヌワカメ、スジメ、紅藻類のクシベニヒバ、カレキグサ、緑藻類のアナアオサ、および海草のスガモを選定した。また、エゾバフンウニ養殖用餌料として長期の保存性が期待されている乾燥ナガコンブと冷凍アナアオサについて検討を加えた。実験1では前述の9餌料種すべてについて、実験2及び3ではナガコンブ、スガモ、乾燥ナガコンブおよび冷凍アナアオサの4餌料種について検討を行った。

餌料海藻(草)は、乾燥コンブおよび冷凍アナアオサを除いて、北海道区水産研究所の周辺で採取したのち、天然採光のグリーンハウス内で濾過海水をかけ流した水槽で蓄養したもので、採取後、数日以内の新鮮なものとした。なお、ナガコンブ、スジメ、アイヌワカメは付着器から50 cmまでの分裂組織付近と末枯れしている先端部約1 mを除いた藻体を、それ以外

の藻類は付着器部分を除いて給餌した。スガモは草体表面に付いた付着生物を取り除くとともに、モカサ (*Pneophyllum zostericola*) など草体からの除去が困難なものについては草体ごと切除し、スガモ草体のみを投餌した。乾燥ナガコンブは散布漁業協同組合より購入した販売用の1999年産2等級コンブを用い、乾燥した状態で給餌した。冷凍アナアオサは、2000年5月から7月に浜中町散布周辺で採集したのち直ちに -40°C の冷凍庫で冷凍保管したもので、給餌直前に海水中で解凍したものを用いた。

餌料海藻(草)種別身入り試験(実験1)

供試ウニは予備飼育された蓄養個体群から無作為に抽出し、1試験区1水槽に5個体を収容した。飼育期間は、2001年4月12日から6月25日までの75日間とした。実験開始時の蓄養ウニの平均生殖巣指数は5.8 ($n=10$) であり、全てのサンプルで雌雄の判別ができなかった。実験水槽には黒色スチロール製(容量17 l, 海水量15 l)を用い、水温無調整の濾過海水を常時注水(200 ml/min)するとともに通気を行った。

身入り試験に用いた餌料海藻は、それぞれ単独で給餌した。給餌は3~4日毎とし、必ず残餌がでるように十分な量を与えると同時に、残餌を回収した。給餌時、および残餌の回収時には、ペーパータオルで藻(草)体表面の水分を拭きとったのち湿重量を測定した。給餌量と残餌量の差を給餌期間における摂餌量とし、飼育期間を通算したウニ1個体当たりの総摂餌量を求めた。乾燥コンブは、給餌毎に藻体の一部を切り取り海水中で24時間吸水させて水戻し重量を測定し湿重量への換算率を求め、給餌量を湿重量に換算した。実験終了時に、ウニの殻径と体重および生殖巣重量を測定するとともに、生殖巣指数を求めた。成熟度については調査せず、目視によって配偶子の滲出の有無と雌雄の判別のみを行った。

給餌期間がエゾバフンウニの身入りに及ぼす影響試験(実験2)

供試ウニは予備飼育された蓄養個体群から無作為に抽出し、縦横40 cm, 深さ60 cmのトリカルネット製籠生け簀に収容し、収容個体数は1籠あたり50個体とした。餌料と海藻(草)種は、籠生け簀それぞれに単独に給餌した。籠生け簀は1台の大型水槽(0.9 m \times 1.8 m, 深さ0.7 m)に4試験区を一緒に収容した。注水と通気をそれぞれ籠生け簀毎に行い、注水量は1籠あたり毎時250 l, 大型水槽全体として毎時1,000 lとした。

飼育期間は、2000年7月10日(以下、7月給餌開始区)および9月11日(以下、9月給餌開始区)から翌年3月16日までとし、飼育日数は7月給餌開始区で249日

間、9月給餌開始区で186日間とした。飼育開始時のウニの平均生殖巣指数は、7月給餌開始区で2.6, 9月給餌開始区で0.6であった。両給餌開始区ともに雌雄が判別できる個体はなかった。

給餌間隔は3~4日間隔とし、給餌量の測定は行わなかったが、常に籠生け簀内に餌料が存在するよう十分な量を給餌するとともに、毎日水槽内の糞を掃除した。ウニの身入りの測定は2ヶ月間隔で行い、各給餌区から無作為にそれぞれ5個体を抽出して殻径、体重、生殖巣重量を測定し、生殖巣指数を求めた。成熟度については調査せず、目視によって配偶子の滲出の有無と雌雄の判別のみを行った。

食味試験(実験3)

実験2の飼育試験終了時に、各給餌区の生殖巣の品質を評価するため食味試験を行った。食味試験のパネラーは、散布漁協ウニ養殖部会の漁業者4名と散布漁協職員1名の5名にお願いした。餌料海藻(草)1種類につきウニ5個体を抽出し、各給餌期間毎に20個体、合計40個体を食味試験に用いた。ウニ1個体について5人のパネラーで評価した。ウニの生殖巣は5つの房に分かれているため、各パネラーはウニ1個体につき一房の生殖巣を味わい評価を行った。パネラーには餌料の種類を知らせず、評価する順番もランダムとした。味わった後の生殖巣は飲み込まずに吐き出してもらい、ミネラルウォーターで口をすすいだ。食味試験の評価項目として、生殖巣の色、生殖巣の堅さ、ウニの風味、甘み、苦みの5項目とし、非常に良いを4点、普通を3点、やや悪いを2点、悪いを1点とした4段階で評価した。なお、苦みについては苦みが少ないものに高得点を与えた。

統計処理

実験1では、実験終了時の餌料海藻毎の総摂餌量、殻径および体重増加量、生殖巣重量、生殖巣指数について、Bartlettの等分散性の検定を行った後、ナガコンブを対照区としたDunnnett法による多重比較を行った。実験2では、2ヶ月毎の測定時に各試験区の生殖巣指数について、Bartlettの等分散性の検定を行った後、Tukey-Kramer法による多重比較を行った。実験3では食味試験ではそれぞれの評価項目について、Kendallの一致係数による検定を行った。

結 果

飼育水温

飼育実験期間を通した、飼育水温の変化をFig. 1に示した。期間中の最高水温は 18.0°C 、最低水温は -1.5°C

であった。

餌料海藻(草)種別身入り試験(実験1)

実験1における飼育期間中の水温は、実験開始時の1.5°C(4月12日)から終了時の9.8°C(6月25日)まで暫時上昇した。実験終了時の供試ウニの餌料海藻種別の総摂餌量、成長量および生殖巣重量と成熟した個体の割合をTable 1に示した。餌料海藻種によってウニの摂餌量は大きく異なり、摂餌量の最も多かったナガコンブと最も少なかったカレキグサの間には20倍以上の差がみられた。ナガコンブとの摂餌量の比較では、乾燥コンブとスジメは有意な差が認められなかったが、他の海藻種ではいずれも有意な差となった($P<0.01$)。海藻摂餌量とほぼ対応して、ウニ

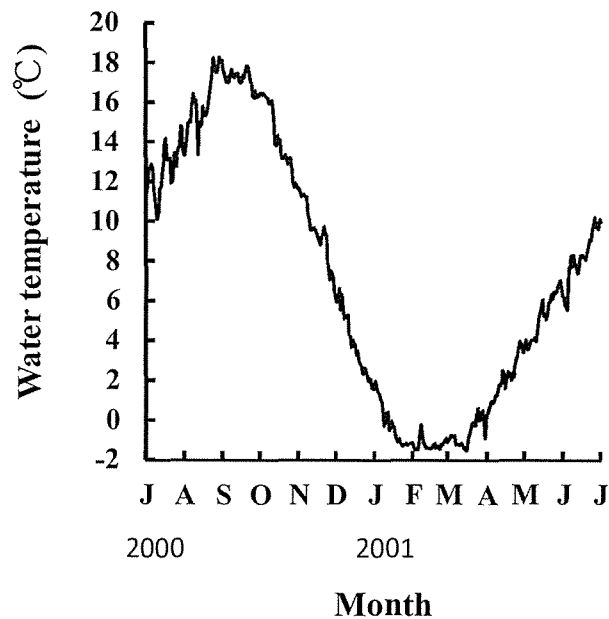


Fig. 1. Change in seawater temperature for cultivation period.

の成長量や生殖巣重量も餌料海藻種によって大きく異なった。これらの値は、ナガコンブと比較して、乾燥コンブ、スジメ(殻径増加量を除いて)で、有意な差が認められなかったが、カレキグサやクシベニヒバ、スガモでは成長量、生殖巣重量とも有意に少なかった($P<0.01$)。また、アイヌワカメは摂餌量、成長量、ともにナガコンブと比較して有意に少なかったが($P<0.05, 0.01$)、生殖巣重量には有意な差が認められなかった。供試海藻中でアナアオサの摂餌量はカレキグサについて少なく、総摂餌量はナガコンブの1/7以下であったが、ウニの成長量、生殖巣重量ともにナガコンブと有意差が認められず、他の海藻種と異なる傾向を示した。養殖用餌料として期待された乾燥ナガコンブ、冷凍アナアオサについては、両者とも生鮮藻体と比較して摂餌量や成長量には大きな差がなかったが、生殖巣重量では大きく劣った。実験終了時(6月25日)において、冷凍アナアオサ以外の各給餌区では60%以上の個体が成熟しており、それらの個体の生殖巣は精子や卵が滲出する状態であった。冷凍アナアオサでは全ての個体で雌雄の判別ができなかった。

実験終了時の供試ウニの生殖巣指数を、Fig. 2に示した。エゾバフンウニの身入りについて生殖巣指数で比較すると、最も身入りの良かった海藻種は褐藻類で、スジメで生殖巣指数が17.5と高い値を示し、ついでナガコンブの15.7、アイヌワカメの13.6と続いた。また、緑藻類のアナアオサも13.2と高い値を示した。これら身入りの良かった海藻種の生殖巣指数は、ナガコンブとの間に有意な差が認められなかった。一方、スガモでは10.8、紅藻類のクシベニヒバで10.1、同じくカレキグサでは5.8、養殖用餌料として期待された乾燥ナガコンブ、冷凍アナアオサについてはそれぞれ9.8、6.8と低い値であり、ナガコンブと比較して有意に低かつ

Table 1. Growth of test diameter, body weight, amount of food, gonad weight and mature ratio in sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*

Spices of food	Initial test ¹ diameter (mm)	Initial body ¹ weight (g)	Total amount of food eaten (g/ind.)	Increment of ¹ test diameter (mm)	Increment of ¹ body weight (g)	Gonad ¹ weight (g)	Matureratio ratio (%)
<i>Saccharina longissima</i>	46.0 ± 0.9	41.6 ± 3.6	233.0	4.3 ± 0.5	13.2 ± 4.0	8.6 ± 1.9	60
<i>S. longissima</i> (dried)	48.5 ± 3.0	49.2 ± 8.5	171.6 ^{ns}	3.6 ± 0.4 ^{ns}	11.5 ± 3.5 ^{ns}	6.0 ± 1.9 ^{ns}	80
<i>Costaria costata</i>	48.4 ± 0.6	46.1 ± 2.2	175.3 ^{ns}	2.4 ± 0.7 ^{**}	10.3 ± 4.0 ^{ns}	9.9 ± 2.8 ^{ns}	80
<i>Alaria praelonga</i>	46.1 ± 1.7	42.5 ± 4.3	106.5 ^{**}	2.3 ± 0.5 ^{**}	7.2 ± 3.1 [*]	6.8 ± 1.5 ^{ns}	100
<i>Ulva pertusa</i>	46.8 ± 2.0	43.5 ± 5.1	30.6 ^{**}	3.0 ± 0.7 ^{ns}	8.4 ± 3.5 ^{ns}	6.8 ± 1.2 ^{ns}	80
<i>U. pertusa</i> (frozen)	47.9 ± 1.4	44.3 ± 5.0	36.1 ^{**}	2.0 ± 1.0 ^{**}	6.8 ± 3.8 [*]	3.6 ± 1.8 ^{**}	0
<i>Ptilota filicina</i>	46.9 ± 2.0	42.1 ± 6.9	62.6 ^{**}	0.6 ± 1.4 ^{**}	3.8 ± 1.8 ^{**}	4.7 ± 1.3 ^{**}	80
<i>Tichocarpus crinitus</i>	47.2 ± 2.3	43.9 ± 7.8	11.6 ^{**}	0.3 ± 1.7 ^{**}	2.0 ± 3.9 ^{**}	2.7 ± 1.0 ^{**}	60
<i>Phyllospadix iwatensis</i>	47.6 ± 1.6	45.9 ± 3.8	57.9 ^{**}	1.7 ± 0.4 ^{**}	5.3 ± 2.4 ^{**}	5.2 ± 0.7 [*]	100

¹Mean ± standard deviation.

The cultivation period is 75 days (from 12 April to 25 June in 2001).

Asterisks are the one in the multiple comparison of Dunnett test with a significant difference ($*P<0.05$, $**P<0.01$).

Reference group is *Saccharina longissima*.

た ($P < 0.05, 0.01$)。とくにカレキグサはウニに摂餌される量も少ないうえに、実験期間中の成長はほとんどなく、平均生殖巣指数は実験開始時とほぼ同じ値を示し、成長、身入りともに餌料価値が全くないことが明らかとなった。

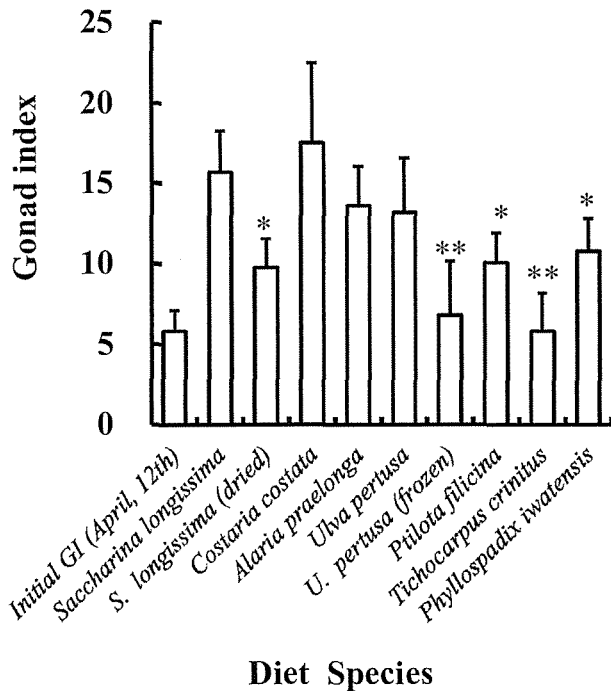


Fig. 2. Gonad index of sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* that fed on various algae and sea grass. The cultivation period is 75 days. Asterisks are the one in the multiple comparison of Dunnett test with a significant difference (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$). The reference group is *Saccharina longissima*. Vertical bars represent standard deviations.

給餌期間がエゾバフンウニの身入りに及ぼす影響 (実験2)

実験2における飼育期間中の水温は、最低 -1.5°C から最高 18.0°C であった。7月給餌開始区および9月給餌開始区の生殖巣指数の推移を Fig. 3 に示した。道東海域で海水温が最も高くなる時期は9月頃であり、7月給餌開始区では昇温期と下降期における生殖巣の変化を、9月給餌開始区では水温の下降期のみの生殖巣の変化を示しているが、給餌開始時期および水温の季節的な変化にもかかわらず、ウニの生殖巣指数は餌料種毎に同じ傾向を示した。ナガコンブ給餌区における生殖巣指数は、飼育水温が氷点下となる1月まで給餌期間に比例してほぼ一定の割合で増大し、その後水温が氷点下となった1月から3月の間で増加が鈍り、実験終了時(3月16日)には7月給餌開始区(249日間飼育)で25.6、9月給餌開始区(186日間飼育)で19.0となった。乾燥ナガコンブ給餌区では、給餌開始から2ヶ月間では生殖巣指数はほとんど増加しなかったが、その後は増加に転じ、実験終了時には7月給餌開始区で(249日間飼育)は14.8、9月給餌開始区(186日間飼育)では8.7となった。乾燥ナガコンブ給餌区でも生殖巣指数の増加はみられたが、ナガコンブ給餌区と比較して1/2程度であった。一方、スガモおよび冷凍アナアオサを餌料とした場合、飼育期間を通じて生殖巣指数の増加は僅かであり、実験終了時には7月給餌開始区(249日間飼育)のスガモ給餌区で6.3、冷凍アナアオサ給餌区で5.2、9月給餌開始区(186日間飼育)のスガモ給餌区では2.9、冷凍アナアオサ給餌区で3.8と低い値であった。ナガコンブ給餌区における生殖巣指数は、他の給餌区に対して飼育2ヶ月後

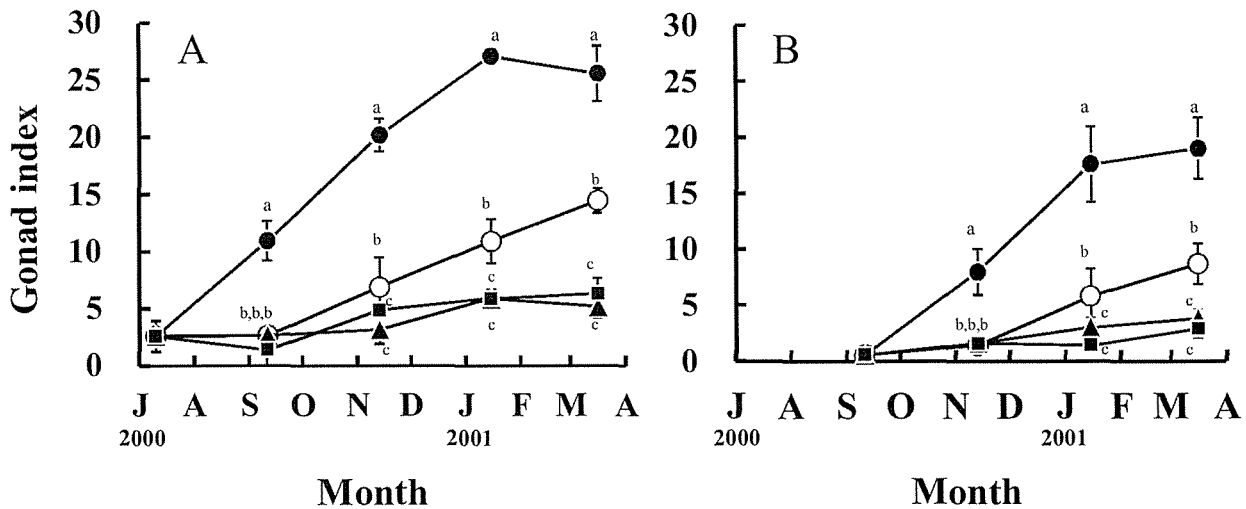


Fig. 3. The development of gonad of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* with fed on various algae and sea grass. A, from July (249 days); B, from September (186 days). Different letters indicate significance level at $P < 0.05$ among each diets. ●, *Saccharina longissima*; ○, *S. longissima* (dried); ▲, *Ulva pertusa* (frozen); ■, *Phyllospadix iwatensis*. Vertical bars represent standard deviations.

から実験終了時まで常に有意な差 ($P < 0.01$) が認められた。乾燥ナガコンブ給餌区における生殖巣指数でも、飼育4ヶ月後から実験終了時までスガモ、冷凍アナオサ給餌区と有意な差 ($P < 0.05$) が認められたが、スガモ給餌区と冷凍アナオサ給餌区の間では飼育期間を通して有意差は認められなかった。

すべての試験区とも、11月の測定まで雌雄が判別できるウニは出現しなかったが、ナガコンブ給餌区に於いて、7月給餌開始区で、9月給餌開始区ともに2001年1月の測定時から測定5個体中それぞれ2個体(40%)、1個体(20%)の成熟個体が発見し、3月の実験終了時では7月給餌開始区で測定5個体中3個体(60%)、9月給餌開始区では同5個体中2個体(40%)の個体が成熟個体であった。しかし、ナガコンブ以外の給餌区では実験期間を通して成熟した個体はなかった。

食味試験 (実験3)

実験2の終了時(3月16日)に行った生殖巣の食味試験の結果について、生殖巣の色、生殖巣の堅さ、ウニの風味、甘み、苦みの5項目の評価結果を Fig. 4 に示した。5人のパネラーの評価結果は5項目とも良く一致しており、Kendall の一致係数による検定で有意であった ($P < 0.05$)。給餌期間にかかわらず5項目すべての評価項目で高い評価を得たのはナガコンブ給餌区であった。スガモ、冷凍アナオサ給餌区では苦み以外の項目で「悪い」もしくは「非常に悪い」評価であったが、給餌期間が249日と長くなる7月給餌開始区では、色合い以外の項目で9月給餌区の評価を上回った。なお、乾燥コンブ給餌区は堅さを除く項目ですべて低い評価であり、とくに苦みについて給餌期間が長くなっても改善されなかった。

考 察

実験1から、エゾバフンウニの生殖巣の発達(身入り)は、餌料とする海藻(草)種で大きく異なることが明らかとなった。道東海域に生育する主要な海藻種でエゾバフンウニの身入りに対して効果的な海藻種は、ナガコンブ、スジメ、アイヌワカメの大型褐藻類および緑藻類のアナオサであった。とくにスジメでは統計的な有意差は認められなかったもののナガコンブを凌ぐ身入りを示し、ウニにとって良い餌料となっていることが示唆された。一方、海草のスガモや紅藻類のクシベニヒバ、カレキグサでは身入りに対する効果は低かった。とくに、カレキグサは身入りに対して全く餌料効果を持たないことが明らかとなった。本種を含め多くのウニ類では、海藻(草)種に対する摂餌量が異なることや摂餌選択性を示すことが知られており(Fuji 1962, 1967; Lawrence 1975; Vadas 1977; Larson et al. 1980; 今井・児玉 1986; 今井・新井 1986; 町口ら 1994; 名畑ら 1999)、その要因として藻体の硬さや形状などの物理的要因(大島ら 1957)、または摂餌促進・阻害物質などの化学的要因が考えられている(Sakata et al. 1989; 白石ら 1991a, 1991b; 谷口ら 1992; Kurata et al. 1997; Ishii et al. 2004)。Larson et al. (1980) は、*Strongylocentrotus drobachiensis* の生殖巣の発達と餌料海藻の嗜好性には相関があることを報告しており、本研究でも同様の結果となった。とくに身入りが良かったナガコンブやスジメ、アイヌワカメには、エゾバフンウニやキタムラサキウニが強く誘引されることが報告されており(町口 1987, 1997; 町口ら 1994)、嗜好性の高い餌料海藻が身入りにも効果

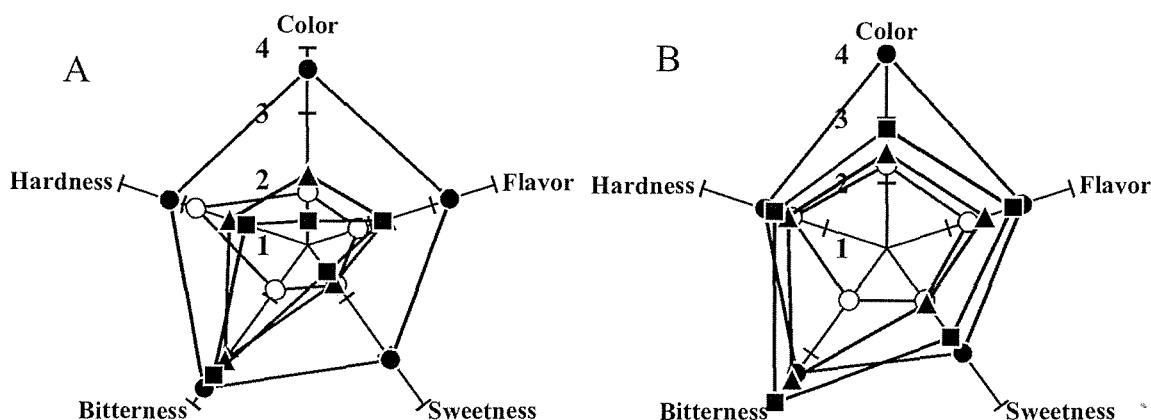


Fig. 4. Result of sensory evaluation of gonad, sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* fed on various algae and sea grass. A, cultivation period 186 days; B, cultivation period 249 days. ●, *Saccharina longissima*; ○, *S. longissima* (dried); ▲, *Ulva pertusa* (frozen); ■, *Phyllospadix iwatensis*.

的であることが明らかとなった。また、カレキグサからはエゾバフンウニの摂餌阻害物質が報告されており (Ishii et al. 2004), 餌料価値が低かった要因として化学物質の影響が強く示唆された。一方、緑藻類のアナアオサではクシベニヒバやスガモと比較しても1/2程度の摂餌量にもかかわらず良好な身入りを示した。キタムラサキウニでは、魚肉など高タンパク質の餌料で身入りが促進されることが知られている (吾妻・錦織 1991; 干川ら 1998)。アナアオサは、マコンブなどと比較して藻体の窒素含量が高くエゾバフンウニにとって吸収効率が高いことや (Fuji 1967), 粗タンパク質が多く含まれアワビ類の配合飼料原料となりうること (Osako et al. 2004) が報告されており, ウニの身入りには海藻類の栄養価や化学成分の他にウニ自身の消化吸収能力も影響しているものと考えられる。これらの結果から、道東海域においてエゾバフンウニの放流漁場として利用する場合、コンブ漁場を回避して雑海藻が優占する場所であってもスジメやアイヌワカメ、アナアオサが優占している場所や、これらの海藻類が流れ藻として供給される場所ではウニ漁場として有効に活用できる可能性が高いことが明らかとなった。また、道東沿岸では、コンブ類が生育していない深所でも潜水器を用いたウニ漁場として利用されている場所が多くあり、漁業者によれば潜水器漁場ではコンブ類をはじめとした大型褐藻類が流れ藻として供給されているとのことで、このような漁場の探索と有効利用が期待される。一方、カレキグサやクシベニヒバ、スガモが優占する場所では、成体ウニの身入りに対して効果が期待できないことから、ウニ漁場として利用する場合はこれらの藻類の駆除などによってコンブ類の生育を促進するなどの対策が必要となろう。

実験2の結果から、ナガコンブを餌料としたエゾバフンウニの生殖巣の発達(身入り)は、1月から3月の低水温期を除いて、飼育開始時期や水温、飼育開始時の生殖巣指数にかかわらず給餌期間に比例することが明らかとなった。低水温期における身入りの停滞は、7月給餌区で顕著であり、このときの生殖巣指数は27.1とエゾバフンウニとしてはほぼ最大の値であった。また、9月給餌区でも生殖巣指数は17.6と高かった。エゾバフンウニの生殖巣指数は成熟過程を反映しているとされ (Fuji 1960a), この時期に両給餌区とも成熟個体が出現していたことから、これらのウニの生殖巣が成長期から成熟期に入ったことが身入りが停滞した一因と考えられる。北海道沿岸において、一般に漁獲されているエゾバフンウニの身入り状態の目安は生殖巣指数で15以上とされている。今回の飼育試験では、給餌開始時の平均生殖巣指数が7月給餌開始区では2.6、9月給餌開始区では0.6と低い値であったが、

ナガコンブを給餌とした場合では4ヶ月(126日間)の給餌期間でそれぞれ20.2、17.6となり、十分な商品価値をもつことが明らかとなった。一方、乾燥ナガコンブでは8ヶ月(249日間)の給餌期間でようやく生殖巣指数が14.8となった。実験1においても、乾燥ナガコンブの摂餌量は生鮮藻体と大きな差はなかったが、生殖巣の発達は劣っていた。このことは、コンブ類には遊離アミノ酸など水溶性の成分が多く含まれており (大石ら 1961), 本実験の3-4日の給餌間隔では乾燥ナガコンブに含まれていた水溶性の栄養成分が海水中に溶出したことが考えられる。スガモと冷凍アナアオサを餌料とした場合では、8ヶ月(249日間)の給餌期間でも生殖巣指数はそれぞれ6.3、5.2と低い値であり、これらの餌料はエゾバフンウニの身入りに対して餌料価値が低いことが明らかとなった。田嶋ら (1985) は、エゾバフンウニの海中籠飼育においてホソメコンブの給餌量と生殖巣の発達に有意な相関があり、最も生殖巣が発達した給餌群では5月から8月までの102日間の飼育で生殖巣指数4.3から22.2へ増加したことを報告している。本研究でもナガコンブを給餌した場合の生殖巣指数は、約4ヶ月(126日間)の飼育で7月給餌区で2.6から20.2、9月給餌区で0.6から17.6となっており、田嶋らの研究とほぼ同様の増加となった。このことはウニ養殖を考える上で重要であり、ナガコンブのようにウニに対して高い餌料価値を有する海藻種の飽食量給餌が可能であれば、給餌日数で生殖巣の発達を推定、あるいは調整できる事を示唆している。ウニの生殖巣は、生殖器官としての機能のほかに栄養蓄積器官としても機能しており (三輪 1966; Unuma 2002), Unuma (2002) はウニの身入りは成熟期以外の時期にいかにか栄養細胞を増大させるかが重要と指摘している。身入りの良否が餌料種と給餌期間で調整できれば、出荷時期と身入りも計画的に調整することが可能となり、天然ウニとの市場での競合を避けられることが可能となる。さらに、食味試験(実験3)でも明らかのように、ナガコンブを餌料とした場合は、品質でも良質な身入りが期待できることから販売面で大きなメリットである。一方、保存性を加味して養殖用餌料として利用が期待された乾燥ナガコンブと冷凍アナアオサは、同種の生鮮藻体を餌料とした場合と比較してそれぞれ摂餌量では大きな差がなかったが身入りが大きく劣り、養殖用の餌料として利用できる可能性は低かった。さらに、食味試験における評価も低く、とくに乾燥ナガコンブでは苦みが強くなることが明らかとなった。キタムラサキウニでは、魚肉や乾燥コンブなど生鮮海藻以外の給餌では苦みが強くなるなど品質が劣ることが報告されており (干川ら 1998; 濱中・道家 2001), 本研究でも同様の結果となっ

た。ウニの生殖巣の味について、キタムラサキウニでは魚肉給餌で苦み成分としてアミノ酸のバリンが増大すること(干川ら 1998)、バフンウニ (*Hemicentrotus pulcherrimus*) では成熟期に強い苦みを呈するアミノ酸、プルケリミンが蓄積することが報告されているが(村田ら 1998; Murata et al. 2002)、バフンウニ以外ではプルケリミンの存在は知られておらず、乾燥ナガコンブを餌料としたエゾバフンウニの生殖巣が苦くなった理由は、キタムラサキウニと同様にバリンの影響が考えられる。エゾバフンウニ養殖を行うにあたっては、生鮮海藻以外の餌料は品質の低下を招くことから避け、品質と量の観点から出来る限りコンブなど大型褐藻類を利用することが望ましい。

本研究から、道東海域に棲息するエゾバフンウニは、コンブ類をはじめ大型褐藻類やアナアオサなどを十分に摂餌することができれば、いつでも生殖巣指数の高い個体が出現する可能性が高いことが明らかとなった。また、他の海域と比較してコンブ類など大型褐藻類の現存量が多い道東海域では、コンブ漁場との調整や餌料となる海藻種の出現時期にあわせた種苗の放流、流れ藻の利用など適正な漁場管理がなされればウニ漁場としてさらなる生産が期待できる。また、エゾバフンウニ養殖の適地であることから、今後は静穏域の確保など増養殖漁場の整備が望まれる。

要 約

道東海域に多産する海藻 6 種と海草 1 種を餌料としたときの、エゾバフンウニ生殖巣の発達に及ぼす影響を室内飼育実験によって調べた。ウニは殻径 45 mm 以上のものを用い、2 カ月の絶食ののち、自然水温下で 75 日間の給餌飼育を行った。ウニの生殖巣指数は、ナガコンブ、スジメ、アイヌワカメおよびアナアオサで高く、クシベニヒバ、カレキグサ、スガモで低く、とくにカレキグサでは生殖巣の発達は見られなかった。保存餌料(乾燥ナガコンブ、冷凍アナアオサ)を与えたウニの生殖巣指数は、それらの生鮮藻体を与えたときより低かった。ナガコンブ、乾燥ナガコンブ、冷凍アナアオサ、スガモを餌料として、給餌期間の影響を比較した結果、生殖巣指数は短期間飼育(189日間)より長期間飼育(249日間)で高くなった。食味試験では、短期間飼育より長期間飼育で高い評価(ナガコンブが最も高評価)であったが、乾燥ナガコンブでは長期間飼育でも苦みが改善されなかった。

謝 辞

本研究を行うにあたり、試験用エゾバフンウニを提

供して頂いた散布漁業協同組合ウニ養殖部会の村田準逸部会長はじめ養殖部会関係各位、ウニ放流事業および養殖事業について数多くの助言を頂いた散布漁業協同組合、釧路地区水産技術普及指導所の関係者各位に篤くお礼申し上げます。また、研究期間を通じて飼育と測定補助をして頂いた北海道区水産研究所研究補助職員(当時)の佐藤真砂美氏に深謝いたします。

文 献

- 吾妻行雄・門間春博(1988)北海道南部太平洋沿岸におけるエゾバフンウニ人工種苗の放流。第1報 成長と生殖周期。北水試研報, **31**, 15-25.
- 吾妻行雄・林 忠彦・内田政文(1989)北海道南部沿岸におけるエゾバフンウニとキタムラサキウニ浮遊幼生の出現と産卵期。北水試研報, **33**, 9-20.
- 吾妻行雄・錦織孝史(1991)魚肉給餌によるキタムラサキウニ生殖巣の発達 第1報 生殖巣の量的な発達。北水試研報, **37**, 59-66.
- 吾妻行雄・川真田憲治・元谷 怜(1994)エゾバフンウニ人工種苗の生殖周期に及ぼす親ウニ産地の影響。水産増殖, **42**, 63-76.
- Chang, Y., J. M. Lawrence, X. Cao and A. L. Lawrence (2005) Food consumption, absorption, assimilation and growth of sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* fed a prepared feed and algae *Laminaria japonica*. *J. World Aquacult. Soc.*, **36**, 68-75.
- Fuji, A. (1960a) Studies on the biology of the sea urchin I. Superficial and histological gonadal changes in gametogenic process of two sea urchins, *Strongylocentrotus nudus* and *S. intermedius*. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, **11**, 1-14.
- Fuji, A. (1960b) Studies on the biology of the sea urchin II. Size at first maturity and sexuality of two sea urchin, *Strongylocentrotus nudus* and *S. intermedius*. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, **11**, 43-48.
- Fuji, A. (1960c) Studies on the biology of the sea urchin III. Reproductive cycle of two sea urchin, *Strongylocentrotus nudus* and *S. intermedius*. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, **11**, 49-57.
- Fuji, A. (1962) Studies on the biology of the sea urchin. Food consumption of *Strongylocentrotus intermedius*. *Jap. J. Ecol.*, **12**, 181-186.
- Fuji, A. (1967) Ecological studies on the growth and food consumption of Japanese common littoral sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius* (A. AGASSIZ). *Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, **15**, 83-160.
- 濱中雄一・道家章生(2001)キタムラサキウニの短期蓄養技術。養殖, **38(2)**, 90-93.
- 干川 裕・高橋和寛・杉本 卓・辻 浩二・信太茂春(1998)キタムラサキウニ養殖における生殖巣の質に及ぼす魚肉給餌の影響。北水試研報, **52**, 17-24.
- 北海道立釧路水産試験場(1995)雑海藻駆除技術によるコ

- ンブ漁場の回復. 釧路・根室地方のコンブ漁業発展のために. 北海道立水産試験場, 釧路, 9 pp.
- Ishii, T., T. Okino, M. Suzuki and Y. Machiguchi (2004) Tichocarpols A and B, two novel phenylpropanoids with feeding-deterrent activity from the red alga *Tichocarpus crinitus*. *J. Nat. Prod.*, **67**, 1764-1766.
- 今井利為・児玉一宏 (1986) ムラサキウニの食性. 水産増殖, **34**, 147-155.
- 今井利為・新井章吾 (1986) アカウニの食性. 水産増殖, **34**, 157-166.
- 川村一広・林 忠彦 (1965) エゾバフンウニ摂餌, 成長, 成熟におよぼす水温の影響について. 北水試月報, **22**, 128-145.
- 川村一広 (1967) 余市沿岸のエゾバフンウニとキタムラサキウニの生活に関する 2・3 の知見. 北水試月報, **24**, 126-135.
- 川村一広 (1973) エゾバフンウニの漁業生物学的研究. 北水試研報, **16**, 1-54.
- Kurata, K., K. Taniguchi, K. Takashima, I. Hayashi and M. Suzuki (1997) Feeding-deterrent bromophenols from *Odonthalia corymbifera*. *Phytochemistry*, **45**, 485-487.
- Larson, B. R., R. L. Vadas and M. Keser (1980) Feeding and nutritional ecology of the sea urchin *Strongylocentrotus drobachiensis* in maine, USA. *Mar. Biol.*, **59**, 49-62.
- Lawrence, J. M. (1975) On the relationship between marine plants and sea urchins. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **13**, 213-286.
- Lawrence, J. M., Y. Chang, X. Cao, A. L. Lawrence and S. A. Watts (2011) Potential for production of uni by *Strongylocentrotus intermedius* using dry formulated feeds. *J. World Aquacult. Soc.*, **42**, 235-260.
- 町口裕二 (1987) Y 型水路内におけるエゾバフンウニの索餌行動. 北水研報, **51**, 33-37.
- 町口裕二・水鳥純雄・三本菅善昭 (1994) キタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* の飼育下における摂餌選択性. 北水研報, **58**, 35-43.
- 町口裕二 (1997) 磯焼けに及ぼす棘皮動物の餌料海藻選択性と摂餌圧の影響. 磯焼け発生機構の解明と予測技術の開発, 研究成果集317, 農林水産技術会議事務局, 東京, pp. 49-59.
- 三輪勝利 (1966) ウニの生化学的研究 I ウニ生殖素の成熟と栄養源の消長. 北水研報, **31**, 73-88.
- 村田裕子・山本達也・金庭正樹・桑原隆治・横山雅仁 (1998) バフンウニ生殖腺の苦み発現頻度. 日水誌, **64**, 477-478.
- Murata, Y., M. Yokoyama, T. Unuma, N. U. Sata, R. Kuwahara and M. Kaneniwa (2002) Seasonal changes of bitterness and pulcherrimine content in gonads of green sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus* at Iwaki in Fukushima Prefecture. *Fish. Sci.*, **68**, 184-189.
- 名畑進一・干川 裕・酒井勇一・船岡輝幸・大堀忠志・今村琢磨 (1999) キタムラサキウニに対する数種海藻の餌料価値. 北水試研報, **54**, 33-40.
- 大石圭一・村田祐子・親松 厚・金井英治・奥村彩子・村田喜一 (1961) 昆布の品質 - III. エキス全窒素およびアミノ酸態窒素との関係. 日水誌, **27**, 598-600.
- Osako, K., S. Ohashi, M. A. Hossain, K. Kawahara, A. Okamoto, Y. Nozaki and M. Furukawa (2004) The aptitude of sea lettuce (*Ulva pertusa*) as a diet for abalone, from a nutritional viewpoint. *Suisanzoshoku*, **52**, 401-406.
- 大島泰雄・石渡直典・中山二良 (1957) ムラサキウニとバフンウニの食性. 水産増殖, **5**(1), 26-30.
- Sakata, K., K. Kato, K. Ina and Y. Machiguchi (1989) Glycerolipids as potent feeding stimulants for the sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius*. *Agric. Biol. Chem.*, **53**, 1457-1459.
- 桜井基博・山城昭三・川島昭二・尾見東美・阿部晃治 (1972) 釧路のさかなと漁業. 釧路叢書第13巻, 釧路市, 釧路, p. 366.
- 白石一成・谷口一也・蔵多一哉・鈴木 稔 (1991a) 褐藻フクリンアミジのメタノール抽出物によるキタムラサキウニの摂餌に及ぼす影響. 日水誌, **57**, 1591-1595.
- 白石一成・谷口一也・蔵多一哉・鈴木 稔 (1991b) 褐藻エゾヤハズのメタノール抽出物によるキタムラサキウニとエゾアワビに対する摂餌阻害作用. 日水誌, **57**, 1945-1948.
- 水産庁・(独)水産総合研究センター・(社)全国豊かな海づくり推進協会 (2011) 県別種苗生産, 放流実績, 放流カ所数 - その他. 平成21年度栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績 (全国), 東京, p. 28.
- Takahashi, H. (1980) The annual reproductive cycle of the sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius*, at Rishiri Island, Hokkaido. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **46**, 1189.
- 谷口和也・秋本義正・蔵多一哉・鈴木 稔 (1992) 褐藻アラメの植食動物に対する化学的防御機構. 日水誌, **58**, 571-575.
- 田嶋健一郎・富田恭司・工藤敬吾・松谷 実・吉田孝夫 (1978) 宗谷・礼文島両地におけるエゾバフンウニの生殖巣成熟の比較. 北水試月報, **35**(2), 1-9.
- 田嶋健一郎・杉本 卓・西川信良・鳥居茂樹・後 留吉・油木正志・蝦子 章・磯崎 功 (1985) 海中籠飼育によるエゾバフンウニ生殖巣の成長. 北水試月報, **42**, 95-103.
- 富田恭司・岸田正通・全先清通・飯沢典夫 (1984) 北海道東部沿岸に生息するエゾバフンウニの生殖巣の季節変化. 北水試月報, **41**, 469-479.
- Unuma, T. (2002) Gonadal growth and its relationship to aquaculture in sea urchins. In "The Sea Urchin: From Basic Biology to Aquaculture" (ed. by Y. Yokota, V. Matranga and Z. Smolenicka), Swets & Zeitlinger, Lisse, pp. 115-127.
- Vadas, R. L. (1977) Preferential feeding: an optimization strategy in sea urchins. *Ecol. Mono.*, **47**, 337-371.