秋田県戸賀湾, 秋田県金浦町地先, 鳥取県泊村地先および 島根県隠岐島島前湾におけるイワガキのグリコーゲン含量の季節変化

奥村卓二,^{1*} 三浦信昭,^{2a} 勢村均,^{3b} 岸本好博^{4c}

(2004年8月30日受付, 2005年1月4日受理)

¹佃水産総合研究センター養殖研究所, ²秋田県水産振興センター,
³島根県水産試験場鹿島浅海分場, ⁴鳥取県水産試験場

Seasonal changes in glycogen contents of the Iwagaki oyster, *Crassostrea nippona*
from the coast of Toga Bay, Konoura, Tomari, and Oki Islands in the Sea of Japan

TAKUJI OKUMURA,¹ NOBUAKI MIURA,^{2a}
HITOSHI SEMURA^{3b} AND YOSHIHIRO KISHIMOTO^{4c}

¹National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Nansei, Mie 516-0193, ²Akita Prefectural Institute for Fisheries and Fisheries Management, Funakawaminato, Oga, Akita 010-0531, ³Kashima Branch, Shimane Prefectural Fisheries Experimental Station, Kashima-cho, Shimane 690-0322, ⁴Tottori Prefectural Fisheries Experimental Station, Tomari-son, Tottori 689-0602, Japan

In general, oysters accumulate glycogen in the connective tissues for energy storage and utilize it during gonadal development. However, little is known about the glycogen accumulation in the Iwagaki oyster, *Crassostrea nippona*, an important species for the coastal fisheries in the Sea of Japan. In the present study, seasonal changes in the glycogen contents of the tissues of Iwagaki oysters from the coast of Toga Bay, Konoura, Tomari, and Oki Islands in the Sea of Japan were examined. Glycogen contents gradually decreased from May to September at the four sampling sites concomitantly with spawning. On the other hand, in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*, it is known that glycogen contents are low even in July. This is probably due to the difference in spawning season between both species: August-September in the Iwagaki oyster and July-September in the Pacific oyster. Glycogen contents of cultured Iwagaki oysters were lower in July and September than those of wild ones. This was probably due to differences in the timing of the decrease in glycogen contents. Some unknown environmental factors might affect glycogen contents.

キーワード：グリコーゲン, イワガキ, 季節変化

イワガキ *Crassostrea nippona* は、広く養殖されているマガキ *Crassostrea gigas* の近縁種であり、潮間帯に生息するマガキよりもやや深い水深帯に生息する。¹⁾ イワガキは、マガキに比べて産卵期が8~9月と遅く、^{1,2)} さらに徐々に産卵・放精する特徴を持つ。そのため、夏でも成熟・産卵によりやせることがなく、夏場でもおいし

いかきとして日本海沿岸を中心に地域特産的に流通している。流通しているイワガキの多くは天然貝であるが、島根県隠岐島のように垂下養殖したイワガキを特産としているところもある。³⁾

カキ類は一般にグリコーゲンをエネルギー源として体内に多量に蓄えている。⁴⁻⁶⁾ その量は乾燥重量の20~40

* Tel : 81-599-66-1830. Fax : 81-599-66-1962. Email : takuji@affrc.go.jp

^a 現所属：秋田県農林水産部水産漁港課 (Fisheries and Fishing Ports Division, Akita Prefectural Government, Sanno, Akita 010-8570, Japan)

^b 現所属：島根県農林水産総務課 (Department of Agriculture, Forestry, and Fisheries, Shimane Prefectural Government, Tonomachi, Matsue 690-8501, Japan)

^c 現所属：鳥取県農林水産部市場開拓課 (Market Cultivation Division, Tottori Prefectural Government, Higashimachi, Tottori 680-8570, Japan)

% になるが, 成熟期から産卵期にかけて生殖腺発達に消費されて急激に減少する。^{4,6)} また, グリコーゲン⁷⁾は食味の一要素であることが知られており, カキがおいしいとされる時期とグリコーゲン含量が高い時期とが一致する。

カキ類の体内グリコーゲン含量は栄養状態と食味の指標となるが, イワガキにおいては, 青森県陸奥湾のイワガキの報告⁴⁾があるものの地域差や生息形態とグリコーゲン含量との関係についてはよくわかっていない。本研究では, 秋田県戸賀湾, 秋田県金浦町地先, 鳥取県泊村地先および島根県隠岐島島前湾からイワガキを採集してグリコーゲン含量を調べ, その季節変化, 地域差および生息形態による差を明らかにした。

試料および方法

サンプリング イワガキ試料を, 秋田県戸賀湾 (以下, 戸賀, TOGA), 秋田県金浦町地先 (以下, 金浦, KONOURA), 鳥取県泊村地先 (以下, 泊, TOMARI) および島根県隠岐島島前湾 (以下, 隠岐, OKI) から採集した (Fig. 1, Table 1)。天然イワガキは潜水により採集し, 養殖イワガキは垂下養殖しているものを引き上げて採集した。採集した個体 (各サンプリング毎に 10 ~ 20 個体) はすみやかに冷凍し, -30°C で分析まで保存した。

分析 グリコーゲンの分析は既報^{7,8)}にしたがって行った。採集し凍結したイワガキから各採集地点の各採集月毎に無作為に 8 個体ずつ選び, 半解凍状態にしてから軟体部をとりだし, 重量測定後, 10 倍量の純水中でホモジナイザー (日立工機: HG-30) を用いてホモジナイズした。ホモジネートの一部を分析まで -30°C で凍結保存した。ホモジネートの一部 (0.5 mL) を水酸化カリウム溶液中で分解・抽出した後, エタノールを添加して抽出されたグリコーゲンを沈殿させた。得たグリコーゲンを硫酸溶液中で加水分解させ, 生じたグルコースを酵素法に基づく測定キット (和光純薬: Glucose-CII-test-Wako) で測定した。本キットでは, まずグルコースオキシダーゼによりグルコースを分解して過酸化水素を生成させ, 過酸化水素とペルオキシダーゼの作用で生じる赤色色素の量を吸光度から求めることで試料中のグルコース量を定量する。加水分解後の試料液を中和し, その一部 (0.1 mL) に測定キットの反応液 (3 mL) を加えて室温で 15 分間反応させ, 吸光度 (505 nm) を測定した。標準品としてカキグリコーゲン (Sigma) を用いた。また, ホモジネートの一部 (4 mL) を凍結乾燥して, ホモジネートの乾燥重量を求めた。

統計検定 測定結果は, 組織乾燥重量あたりのグリコーゲン含量として平均と標準偏差で表した。統計検定にはノンパラメトリック法を用いた。2 群間の比較は

Fig. 1 Location of the four sampling sites in the Sea of Japan.

Mann-Whitney's *U*-test で検定した。多重比較をする際は, Kruskal-Wallis test で全体の有意差を検定した後に Steel-Dwass test で各群間の検定を行った。危険率が $p < 0.05$ の場合に有意差があるとした。

結 果

地域間の比較 グリコーゲン含量の地域間の差を明らかにするために, 成熟期から産卵期にあたる 5, 7, 9 月 (1998 年。ただし隠岐のみ 1999 年で, 5 月のサンプリングは 6 月 2 日に行った) の試料について戸賀, 金浦, 泊, 隠岐で比較した (Fig. 2)。用いた試料は, 戸賀, 金浦, 泊は天然イワガキであり, 隠岐は養殖イワガキであった。4 地域とも, 5 月から 9 月にかけてグリコーゲン含量が有意に減少した ($p < 0.05$)。地域間で比較すると, 5, 7 月のグリコーゲン含量は隠岐で有意に低く ($p < 0.05$), 9 月は泊で有意に高かった ($p < 0.05$)。

隠岐における周年変化 地域を問わずグリコーゲン含量が生殖周期と関連することが示唆されたため, グリコーゲン含量の季節変化をより明らかにするために, 日本海沿岸特有の波浪が強い冬季でもサンプリングが容易な隠岐の養殖イワガキを用いてグリコーゲン含量の周年変化を調べた (Fig. 3)。グリコーゲン含量は, 産卵終了後いわゆる「水ガキ」状態になる 10 月 (1998 年) に最も低かったが, 回復期の 11 月 (1998 年) には個体差が大きくなった。さらに, 1~7 月 (1999 年) に高くなり, 産卵期末期の 9 月 (1999 年) には低くなった。以上のように, グリコーゲン含量は生殖周期と関連した季

Table 1 Sampling profiles

Sites	Date	Source	Sampling depth (m)	Surface temperature (°C)	Whole body weight (g) ^{*4}	Soft body weight (g) ^{*4}
Toga	26 May, 1998	wild	4-5	16.0	299 ± 41	57.5 ± 11.7
	23 Jul, 1998	wild	4-5	24.3	300 ± 50	57.5 ± 12.8
	21 Sep, 1998	wild	4-5	24.6	247 ± 55	25.6 ± 11.0
	10 May, 2000	wild	4-5	14.5	263 ± 63	51.8 ± 16.4
	14 Jul, 2000	wild	4-5	21.6	269 ± 57	56.0 ± 11.2
	12 Sep, 2000	wild	4-6	25.2	286 ± 43	50.7 ± 10.0
	20 Nov, 2000	wild	6-7	15.3	265 ± 62	41.2 ± 5.8
	9 Jan, 2001	wild	5-6	9.9	307 ± 45	50.3 ± 10.4
	22 Mar, 2001	wild	5-6	9.7	260 ± 99	47.8 ± 17.0
	10 May, 2000	cultured	2-3	—*2	226 ± 20	45.7 ± 11.7
	14 Jul, 2000	cultured	2-3	—*2	207 ± 29	41.9 ± 4.8
	12 Sep, 2000	cultured	2-3	—*2	207 ± 26	42.7 ± 7.3
	20 Nov, 2000	cultured	3-4	—*2	236 ± 27	40.5 ± 6.6
	9 Jan, 2001	cultured	3-4	—*2	199 ± 21	37.9 ± 6.1
	22 Mar, 2001	cultured	2-3	—*2	263 ± 62	51.8 ± 10.7
Konoura	21 May, 1998	wild	3-5	19.8	291 ± 49	49.8 ± 4.9
	21 Jul, 1998	wild	3-5	24.4	258 ± 29	49.0 ± 10.6
	14 Sep, 1998	wild	3-5	24.4	228 ± 48	25.9 ± 15.1
Tomari	12 May, 1998	wild	5	17.0 ^{*3}	319 ± 56	56.4 ± 8.3
	15 Jul, 1998	wild	5	24.6 ^{*3}	339 ± 59	55.1 ± 7.5
	21 Sep, 1998	wild	5	26.2 ^{*3}	352 ± 77	42.9 ± 6.5
Oki	5 Oct, 1998	cultured	10	24.3	110 ± 21	19.4 ± 5.1
	3 Nov, 1998	cultured	10	—*2	148 ± 38	27.1 ± 7.1
	19 Jan, 1999	cultured	10	—*2	164 ± 30	32.6 ± 7.4
	15 Mar, 1998	cultured	10	12.9	282 ± 36	56.2 ± 9.8
	2 Jun, 1998 ^{*1}	cultured	10	20.7	268 ± 54	68.5 ± 14.6
	16 Jul, 1998	cultured	10	—*2	284 ± 26	65.6 ± 12.3
	8 Sep, 1998	cultured	10	—*2	241 ± 29	45.6 ± 13.0

*1 : This sampling was done for the sample of May 1999.

*2 : Temperature was not measured.

*3 : Temperature at 5 m depth

*4 : Mean and standard deviation

節変化を示した。

生息形態との関係 隠岐の養殖イワガキのグリコーゲン含量が低かったため (Fig. 2), 垂下養殖されている養殖イワガキと岩礁等に固着している天然イワガキとの生息形態の違いがグリコーゲン含量に影響する可能性を確認するために、戸賀で養殖イワガキと天然イワガキとを周年採集してグリコーゲン含量を比較した (Fig. 4)。天然イワガキのグリコーゲン含量は、5月に高く、産卵期末期の9月から回復期の3月にかけて低かった。養殖イワガキのグリコーゲン含量は、3月から7月に高く、産卵期末期と終了後の9月から11月に低かった。各月ごとに天然イワガキと養殖イワガキのグリコーゲン含量を比較すると、7月と9月で養殖イワガキの方が低かった ($p < 0.05$)。

考 察

本研究では、イワガキのグリコーゲン含量を測定し、その季節変化、地域差や生息形態との関係を調べた。その結果、イワガキのグリコーゲン含量が生殖周期に関連して季節変化すること、養殖イワガキと天然イワガキとでは季節変動の様子に差が見られることが明らかになった。

マガキでは、消化器官と生殖腺の間にある結合組織にグリコーゲンが蓄積され、生殖腺の発達時にエネルギー源として利用されてグリコーゲンの蓄積が急激に減少することが知られている。⁵⁾ イワガキでも産卵期にグリコーゲン含量が減少したのは、同様に生殖腺の発達にグリコーゲンが利用されたためと考えられる。マガキの場

Fig. 2 Glycogen contents of wild or cultured Iwagaki oysters from the sampling sites. M, May; J, July; S, September. Bars indicate mean and SD of eight animals. Bars without common letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between months at each sampling site, and asterisks indicate significant differences ($p < 0.05$) between the four sampling sites in each month. The samples of May in Oki Islands were taken on 2 June, 1999.

Fig. 3 Seasonal change in glycogen contents of cultured Iwagaki oysters from Oki Islands. Points and bars indicate mean and SD of eight animals. Points and bars without common letters indicate significant differences ($p < 0.05$). Data for May, July, and September, 1999 are the same as those in Fig. 2.

合、グリコーゲン含量の減少は6月から8月にかけておきる。^{4-6,9)} それに対して、本研究の結果では、イワガキでは7月でもグリコーゲン含量は高く、9月から10月に低くなった。この違いは畑井の報告⁴⁾ とほぼ一致する。こうしたグリコーゲン含量の季節変化の差は、イワガキではマガキよりも産卵期が遅くさらに産卵・放精

Fig. 4 Seasonal changes in glycogen contents of wild and cultured Iwagaki oysters from Toga Bay. Points and bars indicate mean and SD of eight animals. Points and bars without common letters (lowercase for wild oyster and uppercase for cultured oyster) indicate significant differences ($p < 0.05$) between months, and asterisks indicate significant differences ($p < 0.05$) between wild and cultured oysters.

を徐々に行うといった産卵生態の違いを反映していると考えられる。生殖腺発達が抑制される三倍体マガキでは産卵期にともなうグリコーゲンの減少も抑制されるという報告¹⁰⁾ があり、産卵生態の差がグリコーゲン含量の変化に影響することを示唆する。また、グリコーゲン蓄積の最大値がマガキ(乾燥重量で約40%)⁴⁻⁶⁾ よりもイワガキ(乾燥重量で約20~35%)の方が低かったが、種による差とともに、イワガキの生息域がより外洋性であるため植物プランクトンなどの餌料が少ないことも影響したと考えられる。

秋田県戸賀湾、秋田県金浦町地先、鳥取県泊村地先および島根県隠岐島島前湾の4地域でイワガキのグリコーゲン含量を比較した結果、4地域とも生殖周期にともなう変化が見られたが、5, 7月は隠岐で低く、9月は泊で高い地域差が見られた。隠岐で低かったのは、他の地域の餌料が天然イワガキであるのに対して養殖イワガキであることと、生息水深が10 m と他の地域(水深2~5 m) よりも深いことが関与していると考えられる。泊で9月に高かったのは、もっとも南の地点で水温が高いことが影響して他の地点と産卵期がずれ、産卵期の途中であったか、またはすでに産卵期を終了して回復期に入っていた可能性が考えられる。イワガキの分布域は広く、南北に離れた地域間では産卵期などが異なってグリコーゲン含量の季節変化に差が生じるのだろう。マガキでは水温が産卵期に影響することが報告されてお

り,¹¹⁾ 実際に有明海と宮城のように南北に離れた地点では産卵期がずれることが知られている。⁶⁾

戸賀の試料で天然イワガキと養殖イワガキとのグリコーゲン含量を比較したところ、7, 9月に養殖イワガキの方が天然イワガキよりも低い結果が得られた。養殖イワガキのグリコーゲン含量が最も高い5月では養殖と天然の間に差がないことから、両者の間でグリコーゲンの最大蓄積量に大きな差がないと見られ、グリコーゲン含量が減少する時期が養殖イワガキの方が早いために7, 9月に差が生じたと考えられる。

こうした差が生じた原因としては、天然イワガキと養殖イワガキの生息環境(波浪、水温)や生理条件(生殖、成長)が以下のように異なっていたことが影響したと考えられる。天然イワガキと養殖イワガキを採集した地点は約800mしか離れていないが、天然イワガキは波浪を受けやすい岩礁域に生息するのにに対して養殖イワガキは波浪をさけて湾奥で垂下養殖されるため、波浪の影響が異なる。また水温も、養殖イワガキの採集地点の方がより湾奥で浅いため、わずかながら高かった可能性がある。産卵期について秋田県椿地先で調べられた結果によると、環境要因は不明だが、天然イワガキよりも養殖イワガキの方が放卵・放精期が遅くまで続くことが報告されている。¹²⁾ さらに、垂下養殖したイワガキでは天然よりも成長が速いことが報告されており、^{3,13)} 養殖イワガキではグリコーゲンの蓄積よりも成長にエネルギーが使われた可能性がある。天然と養殖とでは成長差があるため、実験に用いたイワガキは同じ体重でも、天然イワガキの年齢が5歳以上と推定されるのに対して養殖イワガキは2~3歳であった。天然と養殖イワガキの間に見られたグリコーゲン含量の違いは、こうした生息環境条件や生理条件が複合的に関係して生じたと考えられる。

これまでにマガキなど貝類のグリコーゲン含量に影響を与える環境要因として、餌料環境,^{14,15)} 水交換環境,¹⁶⁾ 水温環境,¹⁷⁾ や波浪環境¹⁸⁾ が知られている。これらの環境要因の中で、グリコーゲンが余剰栄養として蓄積されることから餌料環境がグリコーゲンの蓄積に重要であり、成熟のエネルギー源としてグリコーゲンが消費されることから、グリコーゲンの減少には成熟に影響する水温環境と餌料環境が重要と考えられる。イワガキでも同様だと思われるが、イワガキの餌料環境や成熟生態には不明な点が多く、因果関係をはっきりさせるためにはさらに研究が必要である。

戸賀の天然イワガキのグリコーゲン含量が、1998年では5月から7月に有意に減少したのに、2000年では5月と7月の間に差がなかった。原因として生息環境条件の違いが考えられるが、3月から9月の間の戸賀の海面水温は1998年と2000年の間に明瞭な差が見られなかった。水温以外の環境条件が影響したと考えられるが

特定はできない。イワガキのグリコーゲン含量は、全体の傾向として5月あたりをピークに3月から7月に高く9月から10月に低くなる季節変化を示すが、季節変化の詳細については年により変動すると考えられる。

本研究では、イワガキのグリコーゲン含量の季節変化および、地域差や生息形態との関係を明らかにした。マガキと異なって夏でもグリコーゲン含量が比較的高かったことは、イワガキ特有の産卵生態と関連すると考えられ、夏でもおいしいとされるイワガキの評判と一致する。また、地域間や養殖と天然イワガキの間で、グリコーゲン含量に差が見られたのは、水温などの生息環境や生殖・成長などの生理条件が影響を与えた結果と考えられた。グリコーゲン蓄積についてはマガキでよく研究されているが、主として養殖マガキが研究の対象になっており、天然のカキ類に関する知見は少なかった。カキ類は種類により生態が異なることが知られており、本研究で天然イワガキのグリコーゲン含量の季節変動を明らかにしたことは、マガキを含めたカキ類のグリコーゲン蓄積と生態との関連を理解する上で役立つと考えられる。

謝 辞

本研究の遂行にあたり多大な助言をいただいた、水産総合研究センター日本海区水産研究所海区水産業研究部海区産業研究室の林 育夫室長に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 森 勝義. イワガキ. 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料 1, 水産庁, 東京. 1994; 62-68.
- 2) 道家章生, 宗清正廣, 辻 秀二, 井谷匡志. 若狭湾西部海域におけるイワガキの生殖周期. 栽培技研 1998; **26**: 91-98.
- 3) 勢村 均, 石田健次, 中上 光, 林 育夫. 島根県隠岐島島前湾における垂下養殖イワガキの成長. *Venus* 2001; **60**: 93-102.
- 4) 畑井新喜司. 「牡蠣の生理」岩波書店, 東京. 1931; 17-20.
- 5) 今井丈夫, 沼地健一, 森 勝義, 菅原義男. カキの生物学的研究. 「浅海完全養殖」(今井丈夫, 猪野 峻, 黒木宗尚, 藤永元作, 山本護太郎編) 恒星社厚生閣, 東京. 1971: 81-148.
- 6) 大泉重一, 伊藤 進, 小金沢昭光, 酒井誠一, 佐藤隆平, 菅野 尚. カキ養殖の技術. 「浅海完全養殖」(今井丈夫, 猪野 峻, 黒木宗尚, 藤永元作, 山本護太郎編) 恒星社厚生閣, 東京. 1971: 149-185.
- 7) Da Silva RSM, Zancan DM. Seasonal variation of the carbohydrate and lipid metabolism in a land pulmonate gastropod, *Megalobulimus oblongus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 1994; **108A**: 337-341.
- 8) Okumura T, Nagasawa T, Hayashi I, Sato Y. Effects of starvation on RNA: DNA ratio, glycogen content, and C: N ratio in columellar muscle of the Japanese turban shell *Turbo (Batillus) cornutus* (Gastropoda). *Fish. Sci.* 2002;

- 68: 306–312.
- 9) Li Q, Osada M, Mori K. Seasonal biochemical variations in Pacific oyster gonadal tissue during sexual maturation. *Fish. Sci.* 2000; **66**: 502–508.
 - 10) Allen Jr SK, Downing SL. Performance of triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg), I. survival, growth, glycogen content, and sexual maturation in yearlings. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1986; **102**: 197–208.
 - 11) Chávez-Villalba J, Pommier J, Andriamiseza J, Pouvreau S, Barret J, Cochard JC, Le Pennec M. Broodstock conditioning of the oyster *Crassostrea gigas*: origin and temperature effect. *Aquaculture* 2002; **214**: 115–130.
 - 12) 三浦信昭, 佐藤善雄. イワガキの天然と養殖における産卵生態の相違について. 平成 11 年度日本海ブロック増養殖研究推進連絡会議講演要旨集, 日本海区水産研究所, 新潟. 2000; 28–30.
 - 13) 三浦信昭. 秋田県男鹿半島脇本沿岸におけるイワガキの年齢と成長. 平成 15 年度日本海ブロック増養殖研究推進連絡会議講演要旨集, 日本海区水産研究所, 新潟. 2004; 2–3.
 - 14) Whyte JNC, Englar JR, Carswell BL. Biochemical composition and energy reserves in *Crassostrea gigas* exposed to different levels of nutrition. *Aquaculture* 1990; **90**: 157–172.
 - 15) Kang CK, Park MS, Lee PY, Choi WJ, Lee WC. Seasonal variations in condition, reproductive activity, and biochemical composition of the pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), in suspended culture in two coastal bays of Korea. *J. Shellfish Res.* 2000; **19**: 771–778.
 - 16) Almeida MJ, Machado J, Coimbra J. Growth and biochemical composition of *Crassostrea gigas* (Thunberg) at three fishfarm earthen ponds. *J. Shellfish Res.* 1997; **16**: 455–462.
 - 17) Mann R. Some biochemical and physiological aspects of growth and gametogenesis in *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* growth at sustained elevated temperatures. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 1979; **59**: 95–110.
 - 18) Wells RMG, McShane PE, Ling N, Wong RJ, Lee TOC, Baldwin J. Effect of wave action on muscle composition, metabolites and growth indices in the New Zealand abalone, paua (*Haliotis iris*), with implications for harvesting and aquaculture. *Comp. Biochem. Physiol.* 1998; **119B**: 129–136.