

マダイの給餌に伴う窒素・リンの排泄

奥山芳生^{*1}・高橋芳明^{*2}・芳養晴雄・木村創^{*2}

Yoshio OKUYAMA, Yoshiaki TAKAHASHI, Haruo HAYA, Hajime KIMURA

Key word : マダイ, 窒素, リン

まえがき

魚類養殖が行われている養殖場は一般的に海水交換の比較的少ない閉鎖的な内湾であり、ここでは養殖業に起因する有機物負荷の他に後背地からの負荷が加わり、富栄養化が問題となっている。^{1,2)} 養殖場における窒素やリンの負荷の主要因としては、養殖魚の尿の他に、残餌や糞の堆積した底泥からの溶出があり、長期的にはこのような負荷が養殖漁場全体に影響を及ぼす危険性がある。そこで、これらを海中から除去する方法として魚類と窒素やリンを栄養として生長する海藻類を同時に養殖する「複合養殖」が注目されている³⁻⁶⁾が、それを効率的に実施するにはまず魚類養殖によって負荷される窒素やリンの実態を把握する必要がある。そこで、本県での主要な養殖対象魚種であるマダイを用いて異なる水温帯で給餌飼育を行い、窒素・リンの魚体への蓄積及び海域への負荷について明らかにした。

材料および方法

マダイ飼育試験

試験は水温上昇期(2008年7月7～11日)、高水温期(2008年8月25～29日)、水温下降期(2006年10月30日～11月1日)、低水温期(2006年12月18～20日)に行った。供試したマダイは近畿大学で生産された当歳魚を用い、給餌区と無給餌区をそれぞれ2区ずつ設けて表1に示したとおり200Lアルテミアふ化槽(水量150L)に収容した。試験魚は試験開始まで10日間馴致飼育し、試験開始48時間前から試験開始まで無給餌とした。各試験区は試験開始前に止水とし、表2に示した組成の飼料を与えた。各試験区において水温はYSI社製550Aを用いて測定し、栄養塩(NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, PO₄-P)は、

BLTEC社製SWAATを用いて分析した。なお、測定は水温上昇期と高水温期では給餌直前(-2h)、給餌直後(0h)、2、4、6、12、18、24、30、36、42、48、54、72、96時間経過時に、水温下降期と低水温期では給餌直前(-2h)、給餌直後(0h)、2、4、6、12、18、24時間経過時に行った。糞については試験終了時に排水口から固形物を取り出し、80℃、24時間乾燥後、重量を測定するとともに、水温上昇期と高水温期は窒素を元素分析装置(Thermo社製EA1112)で、リンを比色法で測定した。また、試験魚は高水温期で給餌48時間経過時に、その他では給餌24時間経過時に取り上げた。

マダイ飼育における窒素及びリンの吸収及び排泄

魚体からの窒素とリンの排泄量及び魚体への吸収量は以下の計算式から求め、飼料を100%とした場合の、魚体からの排泄、糞及び魚体への吸収割合を算出した。

$$\begin{aligned} & \text{(魚体からの窒素・リンの排泄量)} \\ & = \{ \text{(給餌区での栄養塩の最終濃度)} - \text{(給餌区} \\ & \text{での栄養塩の給餌直前濃度)} \} \\ & - \{ \text{(無給餌区での栄養塩の最終濃度)} - \text{(無給} \\ & \text{餌区での栄養塩の給餌直前濃度)} \} \\ & \text{(魚体への窒素・リンの吸収量)} \\ & = \text{(飼料中の含有量)} - \text{(魚体からの排泄量)} - \text{(糞} \\ & \text{中の含有量)} \end{aligned}$$

結 果

マダイ飼育試験

栄養塩濃度の変化を図1～4に、糞量及び糞中の窒素及びリンの含量(%)を表3に示した。

水温上昇期 水温は22.6～24.8℃で推移した。NO₂-Nは0hからゆるやかに増加傾向であった。

^{*1} 和歌山県東牟婁振興局

^{*2} 和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場

表1 試験区の設定

水温上昇期 (2008年7月7～11日)

		個体数 (尾)	総重量 (g)	平均体重 (g)	給餌量 (g)	給餌率 (%)
給餌区	(1区)	18	438	24.3	8	1.83
給餌区	(2区)	18	420	23.2	8	1.90
無給餌区	(3区)	18	418	23.3	—	—
無給餌区	(4区)	18	422	23.4	—	—

高水温期 (2008年8月25～29日)

		個体数 (尾)	総重量 (g)	平均体重 (g)	給餌量 (g)	給餌率 (%)
給餌区	(1区)	6	414	69.0	8	1.93
給餌区	(2区)	6	411	70.7	6	1.46
無給餌区	(3区)	6	424	68.5	—	—
無給餌区	(4区)	6	432	72.0	—	—

水温下降期 (2006年10月30～31日)

試験区		個体数 (尾)	総重量 (g)	平均体重 (g)	給餌量 (g)	給餌率 (%)
給餌区	(1区)	10	500	50.0	11	2.20
給餌区	(2区)	10	500	50.0	13	2.60
無給餌区	(3区)	10	500	50.0	0	—
無給餌区	(4区)	10	500	50.0	0	—

低水温期 (2006年12月18～19日)

試験区		個体数 (尾)	総重量 (g)	平均体重 (g)	給餌量 (g)	給餌率 (%)
給餌区	(1区)	8	920	115.0	5	0.54
給餌区	(2区)	8	920	115.0	6	0.65
無給餌区	(3区)	8	920	115.0	0	—
無給餌区	(4区)	8	920	115.0	0	—

表2 試験に使用した飼料の一般成分及びリン含量

水温上昇期		水温下降期	
水分	5.5 g/100g	水分	9.4 g/100g
粗タンパク質	56.3 g/100g	粗タンパク質	40.4 g/100g
粗脂肪	13.3 g/100g	粗脂肪	18.1 g/100g
粗灰分	13.4 g/100g	粗灰分	8.7 g/100g
全窒素	9.0 g/100g	全窒素	6.4 g/100g
リン	2,100 mg/100g	リン	1,550 mg/100g
※ 粗タンパク質は全窒素量から換算		※ 粗タンパク質は全窒素量から換算	
高水温期		低水温期	
水分	6.5 g/100g	水分	1.7 g/100g
粗タンパク質	55.6 g/100g	粗タンパク質	42.8 g/100g
粗脂肪	11.7 g/100g	粗脂肪	19.9 g/100g
粗灰分	14.5 g/100g	粗灰分	9.5 g/100g
全窒素	8.9 g/100g	全窒素	6.8 g/100g
リン	1,900 mg/100g	リン	1,587 mg/100g
※ 粗タンパク質は全窒素量から換算		※ 粗タンパク質は全窒素量から換算	

マダイの給餌に伴う窒素・リンの排泄

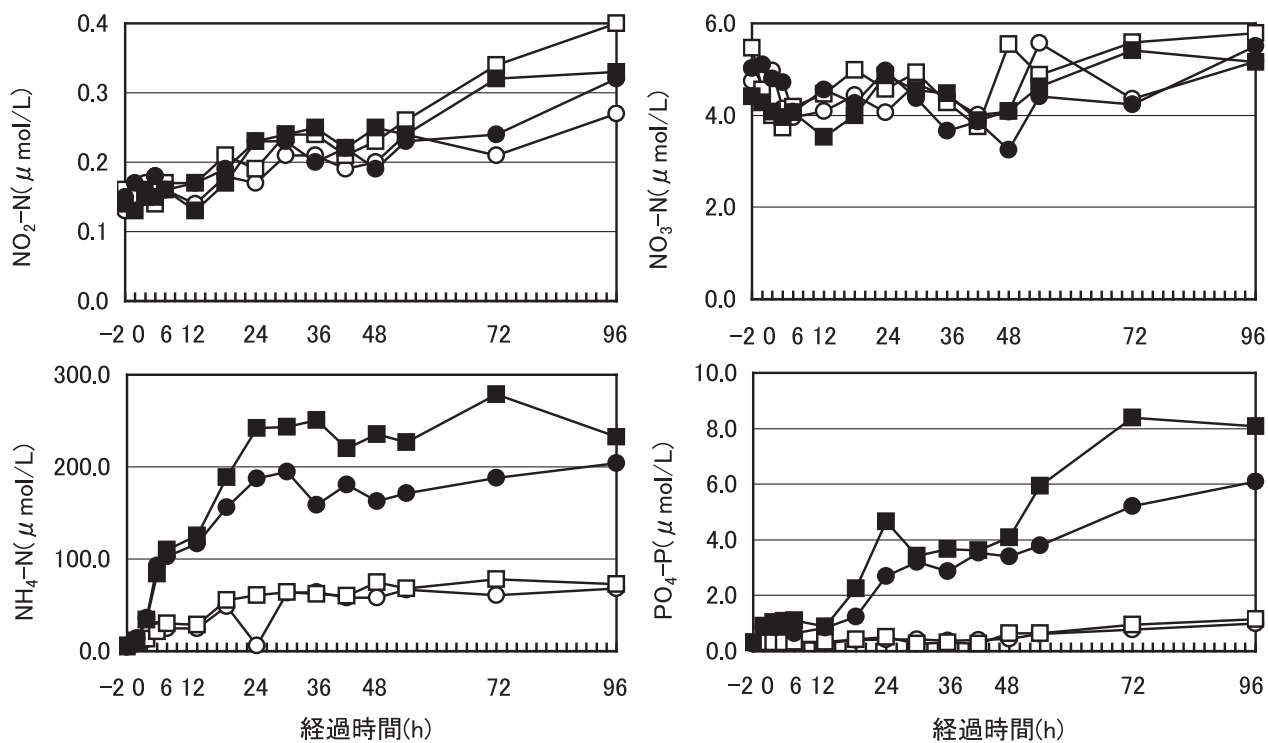


図1 水温上昇期（2008年7月7～11日）における栄養塩濃度の推移
 ●：1区，■：2区，○：3区，□：4区

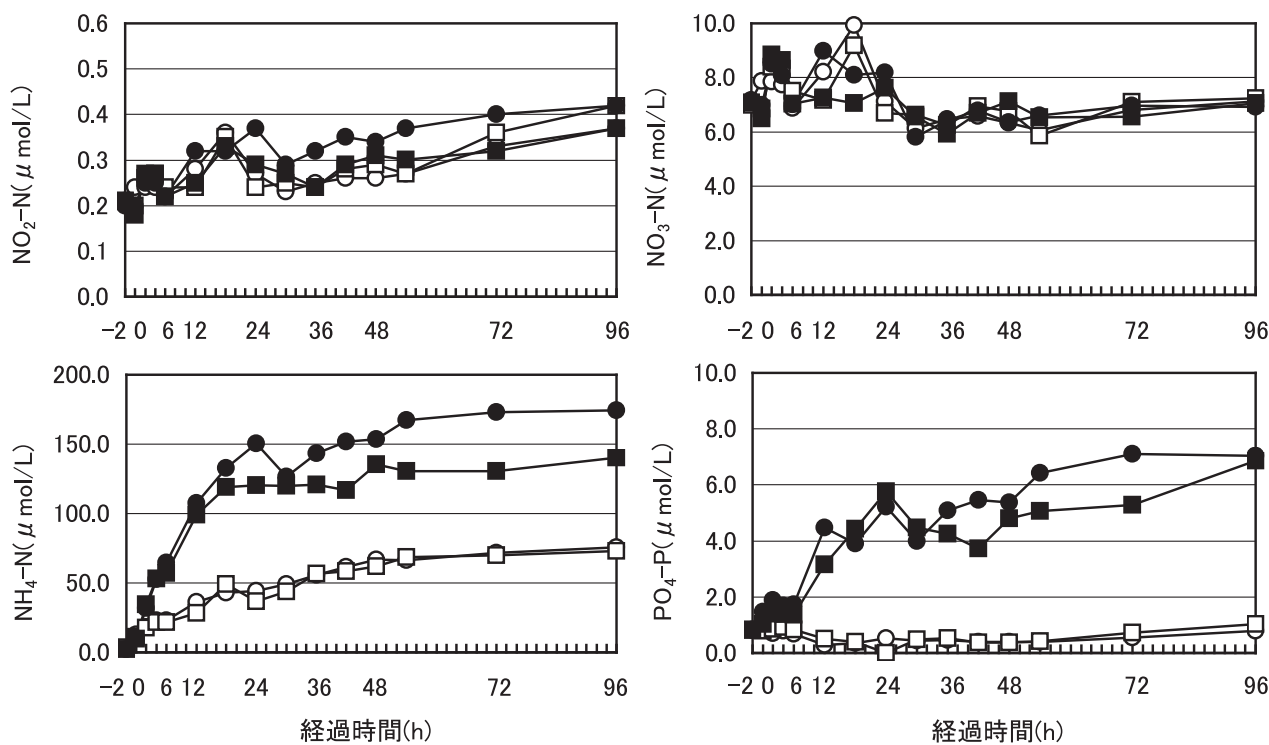


図2 高水温期（2008年8月25～29日）における栄養塩濃度の推移
 ●：1区，■：2区，○：3区，□：4区

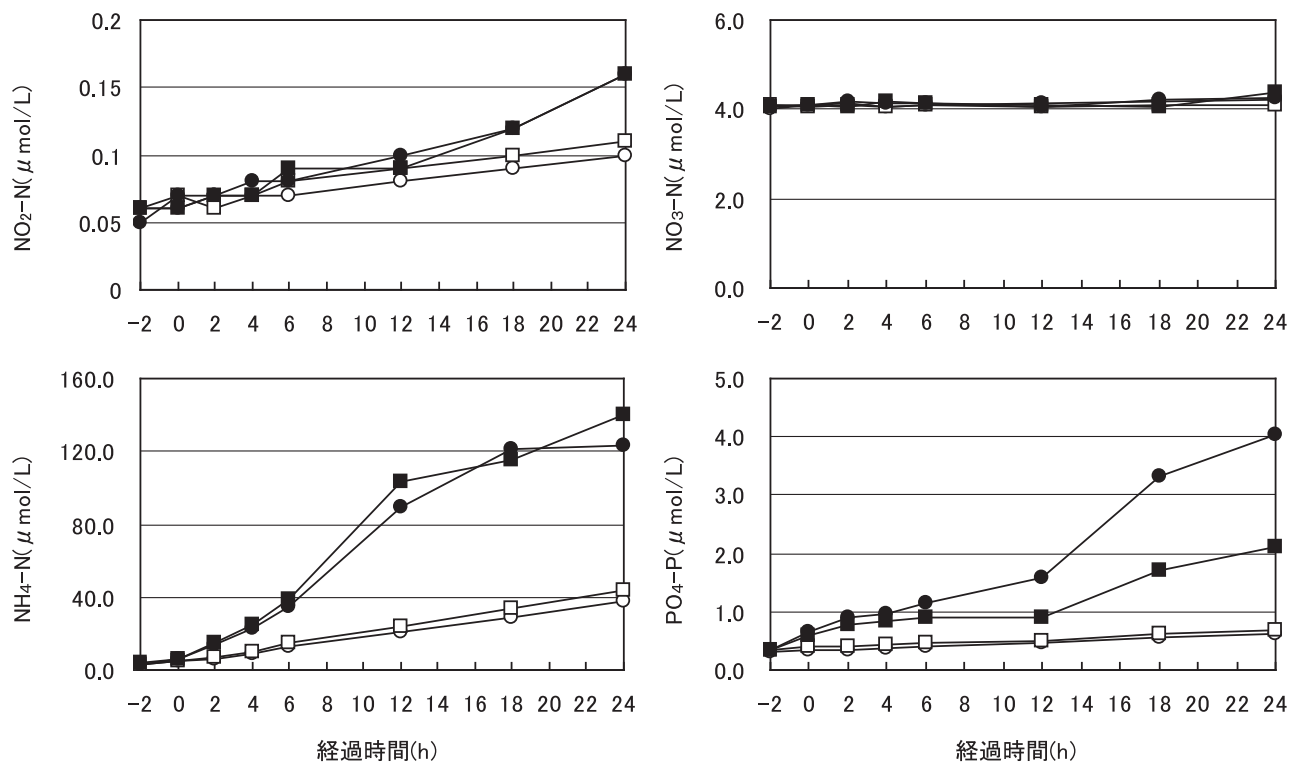


図3 水温下降期（2006年10月30～31日）における栄養塩濃度の推移

● : 1区, ■ : 2区, ○ : 3区, □ : 4区

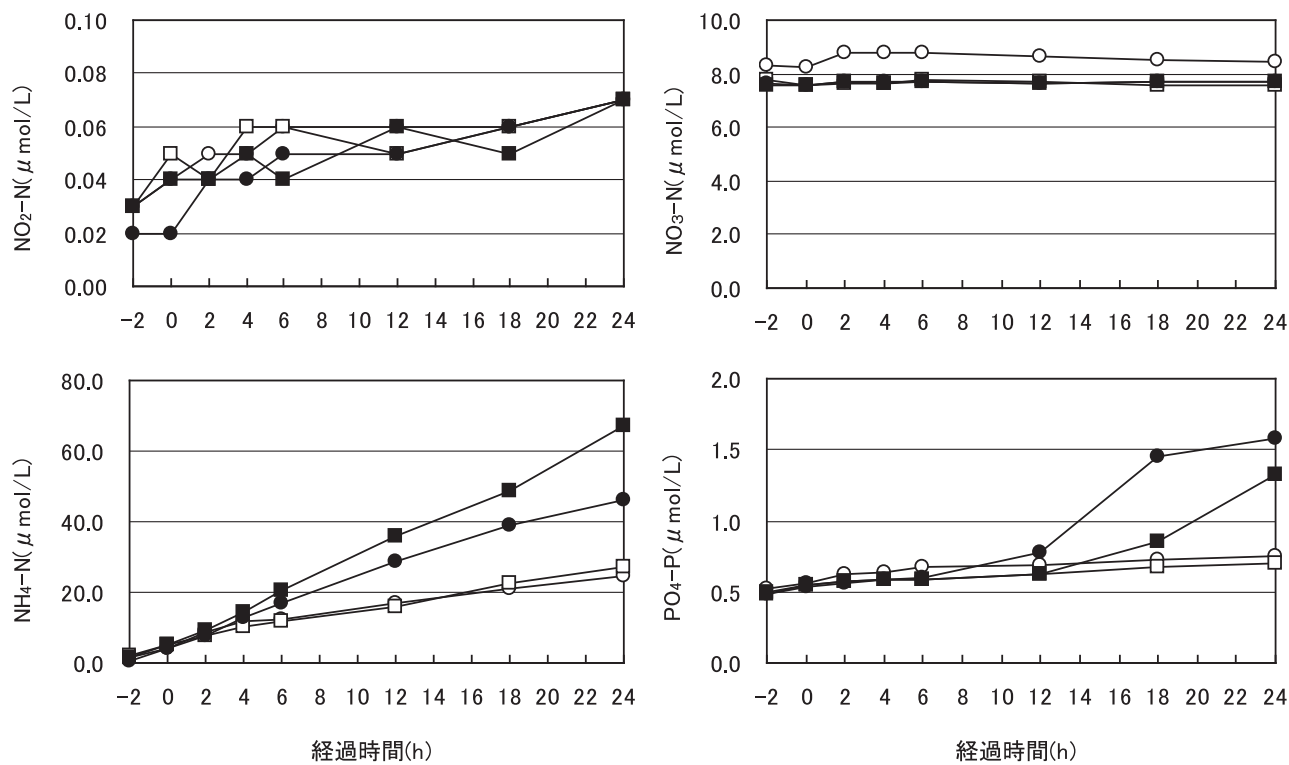


図4 低水温期（2006年12月18～19日）における栄養塩濃度の推移

● : 1区, ■ : 2区, ○ : 3区, □ : 4区

表3 マダイ飼育における糞量及び窒素・リン含量

水温上昇期				水温下降期	
試験区	乾燥重量 (g)	窒素 (%)	リン (%)	試験区	乾燥重量 (g)
1区	0.527	2.9	8.0	1区	0.827
2区	0.825	2.3	8.0	2区	0.829
3区	0.134	3.0	9.4	3区	0.074
4区	0.168	1.3	4.7	4区	0.078

高水温期				低水温期	
試験区	乾燥重量 (g)	窒素 (%)	リン (%)	試験区	乾燥重量 (g)
1区	0.378	3.8	7.3	1区	0.279
2区	0.160	3.7	6.9	2区	0.285
3区	0.022	2.7	11.2	3区	0.135
4区	0.031	2.1	10.6	4区	0.095

NO₃-Nは3.25～5.75 μmol/Lで推移した。NH₄-Nは給餌区（1区及び2区、以下同様）で0hから増加し、給餌24時間後の1区で187 μmol/L、2区で242 μmol/Lに達し、以後は横ばいで推移した。無給餌区（3区及び4区、以下同様）は0hから増加し給餌18時間後で50 μmol/L前後に達し、以後は横ばいで推移した。PO₄-Pは給餌区で0hから増加傾向となり、給餌96時間後は6～8 μmol/Lであった。無給餌区は概ね1 μmol/L以下で推移した。

高水温期 水温は24.5～25.8℃で推移した。NO₂-Nは0hからゆるやかに増加傾向であった。NO₃-Nは6.07～9.93 μmol/Lで推移した。NH₄-Nは給餌区で0hから増加し、給餌24時間後に1区で150 μmol/L、2区で120 μmol/Lに達し、1区では給餌48時間後まで、2区では給餌42時間後まで濃度を維持した後、再び増加して給餌96時間後には1区で174 μmol/L、2区では140 μmol/Lとなった。無給餌区は0hから増加傾向であり、給餌96時間後で73～76 μmol/Lとなった。PO₄-Pは給餌区で0hから増加傾向であり、1区は給餌54時間後以降は7 μmol/L前後で推移した。2区は給餌24時間後に5.76 μmol/Lに達した後は給餌42時間後まで減少傾向を示したが、その後再びゆるやかに増加した。無給餌区は概ね1 μmol/L以下で推移した。

水温下降期 水温は20.9～22.8℃で推移した。NO₂-Nは増加傾向であり給餌24時間後に給餌区は0.16 μmol/L、無給餌区は0.10～0.11 μmol/Lであった。NO₃-Nはほぼ横ばいで4.03～4.38 μmol/Lで推移した。NH₄-Nは増加傾向であり、給餌24時間後に給餌区で123.6～140.5 μmol/L、無給餌区で37.72～43.42 μmol/Lであった。PO₄-Pは給餌24時間後に給餌区で2.12～4.03 μmol/L、無給餌区で0.62

～0.69 μmol/Lであった。

低水温期 水温は14.4～18.1℃で推移した。NO₂-Nは全区で増加傾向となり給餌24時間後には0.07 μmol/Lであった。NO₃-Nは変化が少なく7.55～8.78 μmol/Lで推移した。NH₄-Nは増加傾向であり給餌24時間後に給餌区で46.09～67.36 μmol/L、無給餌区で24.71～27.21 μmol/Lであった。PO₄-Pは給餌24時間後に給餌区で1.32～1.58 μmol/L、無給餌区で0.70～0.75 μmol/Lであった。

マダイ飼育における窒素及びリンの吸収及び排泄

マダイの給餌飼育による窒素及びリンの収支を表4に示した。水温上昇期において窒素の収支は、55.7%が魚体から排泄、1.9%が糞となり、残りの42.3%が魚体へ吸収される。また、リンの収支は、50.5%が魚体から排泄、25.8%が糞となり、残りの23.7%が魚体へ吸収される。高水温期において窒素の収支は、37.6%が魚体から排泄、1.5%は糞となり、残りの60.9%が魚体へ吸収される。また、リンの収支は、66.1%が魚体から排泄、12.6%が糞となり、残りの21.2%が魚体へ吸収される。水温下降期と低水温期においてDINとして排泄される割合はそれぞれ32.2%、22.5%、PO₄-Pとしてはそれぞれ18.5%、12.0%である。

考 察

魚類における窒素の排泄はNH₄-Nが主である。⁷⁾ 本試験においてマダイ魚体からのDINの排泄はほとんどがNH₄-Nの形態であり、高橋ら⁸⁾はブリ幼魚への給餌による環境水への窒素の添加はNH₄-Nの形態であると報告している。これらのことから、魚類養殖においては魚種を問わず海域へ直接負荷されるDINはこの

表4 給餌によるマダイの窒素及びリンの収支

		(%)			
		飼料	魚体から排泄	糞	魚体へ吸収
水温上昇期	N	100	55.7	1.9	42.3
	P	100	50.5	25.8	23.7
高水温期	N	100	37.6	1.5	60.9
	P	100	66.1	12.6	21.2
水温下降期	N	100	32.2	—	—
	P	100	18.5	—	—
低水温期	N	100	22.5	—	—
	P	100	12.0	—	—

飼料に含有する各成分を100%とした

形態で負荷されることが考えられる。

Per O.J.Hall et al.⁹⁾ はニジマス *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) の海面生け簀養殖において、配合飼料を与えた場合の窒素収支を調査し、配合飼料の27～28%は収穫され、斃死と逃亡が2～5%、残りの67～71%が負荷量となり、このうち尿素とアンモニアを主とした溶解分が48%、残餌と糞等の沈殿物が23%、沈殿物から容易に溶出する量が1～3%、その結果20%が沈殿物として堆積するとしている。リンについては全給餌リンのうち17～19%が収穫され、25～30%が溶解性物質となり、残りは沈殿物として堆積するが、2～4%は溶出する¹⁰⁾としている。マダイの場合、窒素の吸収割合はニジマスよりも多く、その分与えた飼料に対する環境への負荷量は少ないと考えられる。また、マダイにおいて、NH₄-Nは給餌24時間後以降その増加は少ないことから大部分は給餌24時間後以内に排泄されると考えられるが、ブリでは24時間後においても排泄が続いている⁸⁾ことから、マダイはブリよりもNH₄-N即ちDINの排泄は早いと考えられる。リンについては水温上昇期と高水温期の収支から、水温と魚体からの排泄との関係、水温と糞としての排泄との関係は相反しており、そのことで両者ともほぼ同様に魚体への吸収は20%台である。Kimura et al.¹¹⁾ はマダイを冬季に養殖した場合、マダイの体重増加から窒素及びリンの蓄積量を計算し、窒素及びリンはそれぞれ16.9%、25.2%魚体に蓄積するとしていることから、水温下降期と低水温期の魚体へのリンの吸収は20%台と考えられ、仮に25%と仮定するとこれらの期間中糞として排泄されるリンの割合はそれぞれ56.5%、63.0%となる。また、窒素の蓄積は高水温期、水温上昇期、冬季の順で多くなり、水温が高いほど魚体への蓄積が多くなると考えられる。

以上のことから、マダイ当歳魚の給餌飼育における窒素及びリンの吸収、排泄を把握することができた。この結果は複合養殖を推進していく上で、窒素やリンを効率的に吸収する藻類を選択する根拠となる。なお、

マダイ養殖は通常2、3年間飼育するため、今後は1、2歳魚での窒素やリンの吸収、排泄を調査し、出荷までの海域への負荷量の把握を行う必要がある。

要 約

マダイ当歳魚への給餌による窒素とリンの魚体への吸収はそれぞれ42.3～60.9%、21.2～23.7%、魚体からの排泄は22.5～55.7%、12.0～66.1%、糞として排泄されるのは1.5～1.9%、12.6～25.8%であった。また、魚体から排泄される溶解成分のうちDINの大部分はNH₄-Nの形態である。

マダイ当歳魚の給餌飼育において、給餌された飼料中に含有する窒素及びリンの内、魚体への吸収割合はDINでは水温が高いほど増加し、PO₄-Pでは異なる水温帯でも一定である。

謝 辞

本事業は平成18及び20年度地球環境保全等試験研究費（公害防止等試験研究費）で実施した。ここに記して感謝の意を示す。

文 献

- 1) 窪田敏文. 自家汚染の実態「浅海養殖と自家汚染」日本水産学会編, 恒星社厚生閣. 東京. 1982, 9-18.
- 2) 代田昭彦. 養殖漁場の汚染と被害の現状「海面養殖と養殖場環境」日本水産学会編, 恒星社厚生閣. 東京. 1990, 11-27.
- 3) 平田八郎. 増養殖環境の管理と保全. 水産増殖1989; 37(4): 311-316.
- 4) Hirata H, E.Kohirata, F.Guo, Bo-Toa Xu, E.Danakusumah. Culture of the Sterile *Ulva* sp.(Chlorophyceae) in a Mariculture farm.

- Suisanzosyoku1993 ; 41(4) : 541-545.
- 5) 門脇秀策. 持続可能な浅海養魚の漁場管理と保全を求めて. 日本造船学会第15回海洋工学シンポジウム2000.
 - 6) 未代勇樹, 門脇秀策. 浅海漁場における養殖マコブ *Laminaria japonica* の成長過程とN, P吸収速度. 水産増殖2003 ; 51 (1) : 15-23.
 - 7) 川本信之. 魚類生理生態学. 恒星社厚生閣. 東京. 1959.
 - 8) 高橋芳明, 奥山芳生, 浜地寿生, 木村創. ブリ幼魚の給餌に伴う窒素, リンの排出とセイヨウオゴノリによる吸収. 和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場研究報告第1号2009 ; 17-22.
 - 9) Per O.J.Hall, Ola Holby, Sven Kollberg, Matts-Ola Samueleson. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cages farm. IV. Nitrogen. Mar. Ecol. Prog.Ser1992 ; 89 : 81-91.
 - 10) Ola Holby and Per O.J.Hall. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. Mar. Ecol. Prog. Ser1991 ; 70 : 263-272.
 - 11) Hajime KIMURA, Masahiro NOTOYA and Daisuke FUJITA. Nutrient uptake by *Undaria undarioides* (Yendo) Okamura and application as an algal partner of fish-alga integrated culture. Bulletin of fisheries research agency No.19 2007 ; 143-154.