

海藻類5種による栄養塩の取り込みと複合養殖の試み

田中俊充¹・木村 創

和歌山県農林水産総合技術センター 水産試験場 増養殖研究所

The Nutrient Uptake by Five Kinds of Seaweeds and the Experiment with a Polyculture of Seaweeds and Fish in Fish Farms

Toshimitsu Tanaka¹ and Hajime Kimura

Laboratory of Breeding and Farming, Fisheries Experimental Station
Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries

緒 言

和歌山県では、紀中・紀南地方を中心にブリ類やマダイなどが年間約 5,000 t 養殖されている（和歌山県農林水産部水産局，2004）。魚類養殖は海水交換の悪い内湾域で実施されることから、養殖に伴う残餌や糞尿に起因する自家汚染が大きな問題となり、しばしば水質や底質汚染を引き起こしてきた。1999年に魚類養殖場の環境改善および特定疾病のまん延防止を図る基本方針を定めた「持続的養殖生産確保法」が施行されてからは、環境消費型養殖から環境保全型養殖への変換が図られており、養殖漁場の環境指標と基準値の策定や環境負荷低減型飼料の開発、複合養殖試験など様々な研究がなされている。なかでも、複合養殖は海藻が栄養塩を取り込む性質を利用して、魚類と海藻を同時に養殖し、魚類養殖場から出る窒素やリンを減らすとともに、海藻養殖による副収入や貝類養殖用の餌料を得ようとする試みで、鹿児島県東町では、マコンブ（未代・門脇，2003）やアオサ（未代・門脇，2004）を用いた複合養殖が試験的に行われている。

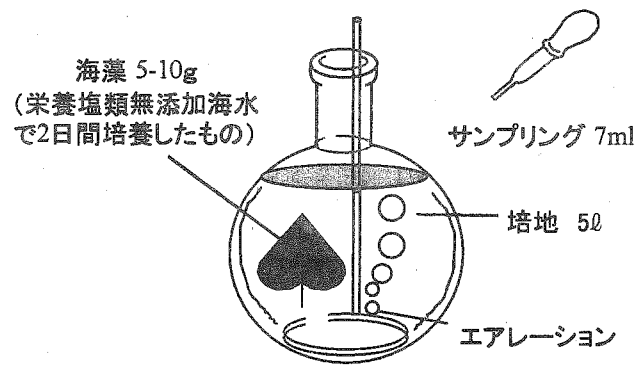
本研究では、和歌山県の魚類養殖場において複合養殖に適した窒素やリンの取り込みが速やかで生長のよい海藻を探索することを目的に、本県の紀南地方に生育する大型藻類のうち緑藻類のアオサ *Ulva pertusa* と褐藻類のヒジキ *Hizikia fusiformis*、ヒロメ *Undaria undarioides*、クロメ *Ecklonia kurome*、カジメ *Ecklonia cava* についてフラスコ内で窒素とリンの取り込み速度を調べた。また、これらのうち窒素とリンの取り込みに優れていたアオサとヒロメを用いて魚類養殖場での生長を調べたので報告する。

材料および方法

1. 海藻類5種の窒素とリンの取り込み

実験装置の概要を第1図に示す。海藻は当研究所で養殖した不稔性アオサ（以下アオサ）とヒロメ、2002年4月18日に田辺市目良地磯で採取したヒジキ、2002年12月17日に日高町比井崎で採取したクロメ、2003年2月13日に新宮市三輪崎で採取したカジメを使用した。海藻は表面の夾雑物を刷毛で丁寧に落とし、田辺湾沖で採取した沖合水を0.45 μm フィルターでろ過した海水で2日間培養した後、試験に供した。取り込み試験は、各海藻の生長が良好な冬季（1月）から春季（5月）にかけて実施したが、アオサについては研究所内の陸上池で年間を通して養殖していることから四季に分けて行った。実

¹現在：財団法人わかやま産業振興財団



第1図 実験装置の概要

験は 5 ℓの平底丸フラスコに培地を入れ、その中に各海藻 5-10 g を収容し、エアレーションしながら 96 時間培養した。培地は前培養で使用したろ過海水 1ℓ 当たり窒素源として NaNO_3 を 12.8mg ($150 \mu\text{g at} / \ell$) 添加した培地 (培地 1) とリン源として K_2HPO_4 を 2.6mg ($15 \mu\text{g at} / \ell$) 添加した培地 (培地 2)、それら両方を添加した培地 (培地 3) の 3 種類を使用した。実験は水温の急激な変動を避けるため海水のウォーターバス方式で行い、照度は自然状態とした。試験期間中は午前 7 時から午後 7 時まで 2 時間毎に培地 7ml をサンプリングするとともに、水温と光量子を測定した。採取したサンプルは -20°C で凍結保存しておき、終了後にその中に含まれる $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度を測定した。測定は人工海水 (SW2 フリー-Millport S) でサンプルを 5 倍に希釈した後、TRAACS 800 を用いて分析した。なお、藻体は開始時と終了時に湿重量を測定し、増重率を調べるとともに、分析で得られた窒素およびリンの取り込み量や取り込み速度は、乾物重量当りに換算して使用した。

2. アオサとヒロメの魚類養殖場での生長試験

アオサは 2002 年 9 月 3 日に当研究所の陸上池で培養しているものを、目合い 10 節、直径 1m のちょうちん籠に 300 g 収容し、マダイを飼育している試験筏横の水深 1m で 2002 年 10 月 20 日まで 48 日間培養した。その間、9 月 9 日、9 月 24 日、10 月 2 日、10 月 12 日、10 月 20 日に湿重量を測定した。重量測定は洗濯機の脱水槽で 5 分間脱水し、藻体表面の水分を取り除いた後に行った。

ヒロメは 2002 年 11 月 28 日に当研究所で種苗生産して芽出しを行なった子縄を 3~4 cm に切り、これを 18mm のトリコットロープに 20 cm 間隔で差し込み、試験筏横の水深 1m に垂下して 2003 年 3 月 14 日まで 107 日間培養した。その間、12 月 18 日、1 月 6 日、1 月 20 日、1 月 30 日、2 月 10 日、2 月 21 日、3 月 14 日に湿重量を測定した。ヒロメは 1 株から生育する藻体の大きさに差があるため、親縄に差し込んだ子縄の片側に繁茂しているすべての藻体を 1 株として 1 株当たりの湿重量を測定した。重量測定は藻体を 1 枚ずつキムワイプで拭き、藻体表面の水分を取り除いた後に行った。

試験期間中の窒素およびリンの取り込み量は、取り込み速度と増重量の 2 つの方法で試算した。取り込み速度からの推定値は、アオサが秋季に実施した培地 3 の取り込み速度に藻体の乾重量と培養時間を掛け合わせて求めた。ヒロメについても培地 3 の取り込み速度を用い、同様の方法により計算した。増重量からの推定値は、期間中に増えた藻体の湿重量に藻体内に含まれる窒素およびリン含量を掛け合わせて求めた。なお、各海藻の成分分析は、(財) 日本冷凍食品協会で行った (第 1 表)。

結 果

1. 海藻類 5 種の窒素とリンの取り込み

各実験の培養条件を第 2 表に示す。水温は各実験とも 15 時前後に 1 日の最高値を示し、期間中は 2°C

前後の範囲で推移した。光量子は13時前後に1日の最高値を示したが、季節や天候による影響が大きく、夏季と冬季に実施したアオサの試験では平均値の差が3倍以上となった。

実験期間における海藻5種の増重倍率を第2図に示す。アオサについては、春季と夏季で培地1が最も増重倍率がよく、秋季と冬季は培地3で最も増重倍率がよかった。ヒロメについては、培地3が最も増加しており、培地1と培地2でほぼ同程度であった。ヒジキ、クロメ、カジメは3種類の培地で大きな差は認められなかった。

海藻類5種を入れた後の培地中の窒素量の推移を第3図に示す。すべての試験において海藻を入れなかった対照区の窒素量に変化は見られなかった。一方、海藻類を入れた試験区では培地に含まれる窒素量が時間とともに低下し、アオサは周年を通して12-25時間後、ヒロメは培地3で75時間後、クロメとカジメは約96時間後にほぼ消失したが、ヒジキでは実験終了時においても1/2しか減少しなかった。培地別の取り込み状況は、アオサが培地1と培地3で大きな差は見られなかったが、ヒロメでは培地3が培地1に比べて落ち込みがよく、ヒジキでは逆であった。また、クロメでは培地3が培地1に比べて落ち込みがよく、カジメでは逆に培地1が培地3に比べて落ち込みがよかった。

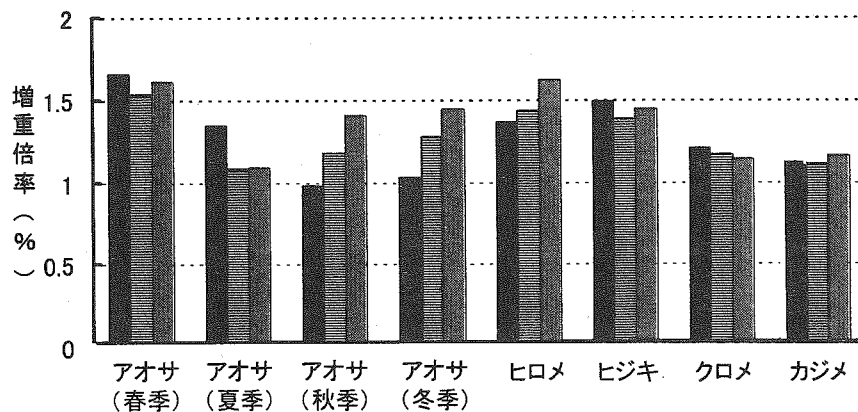
第1表 海藻類の成分

成分	ヒロメ	ヒジキ	クロメ	カジメ	アオサ
水分(g/100g)	90.3	87.2	77.5	79.0	79.6
全窒素(g/100g)	0.3	0.2	0.4	0.5	0.7
リン(mg/100g)	34	13	42	43	45

第2表 各実験の培養条件

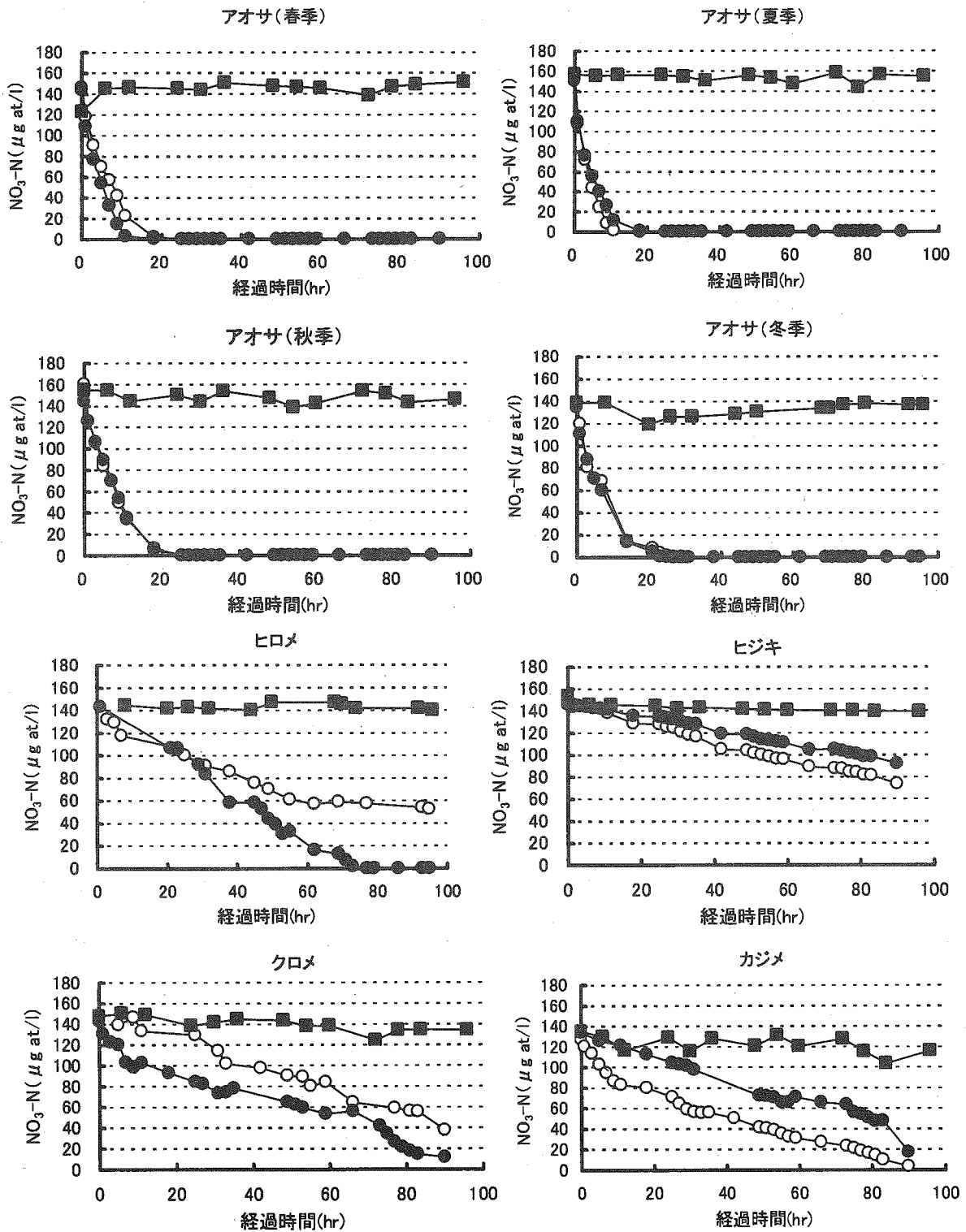
	水温(°C)	日中光量子($\mu\text{mol m}^{-2}\text{S}^{-1}$)
アオサ(春季)	20.0 - 21.5 (20.7)	26.3-1912.4 (378.2)
アオサ(夏季)	26.2 - 28.5 (27.3)	9.7-1850.3 (668.2)
アオサ(秋季)	22.5 - 24.7 (23.7)	3.0-1212.5 (343.5)
アオサ(冬季)	15.2 - 17.8 (16.5)	10.1-823.2 (208.7)
ヒロメ	15.8 - 17.6 (16.8)	35.3-1024.8 (248.7)
ヒジキ	17.6 - 19.3 (18.7)	11.8-1974.4 (414.1)
クロメ	16.4 - 19.0 (17.8)	1.7-1052.7 (446.8)
カジメ	15.2 - 17.7 (16.0)	11.7-1775.8 (428.7)

最小値-最大値(平均値)で示す



第2図 実験期間における海藻5種の増重倍率

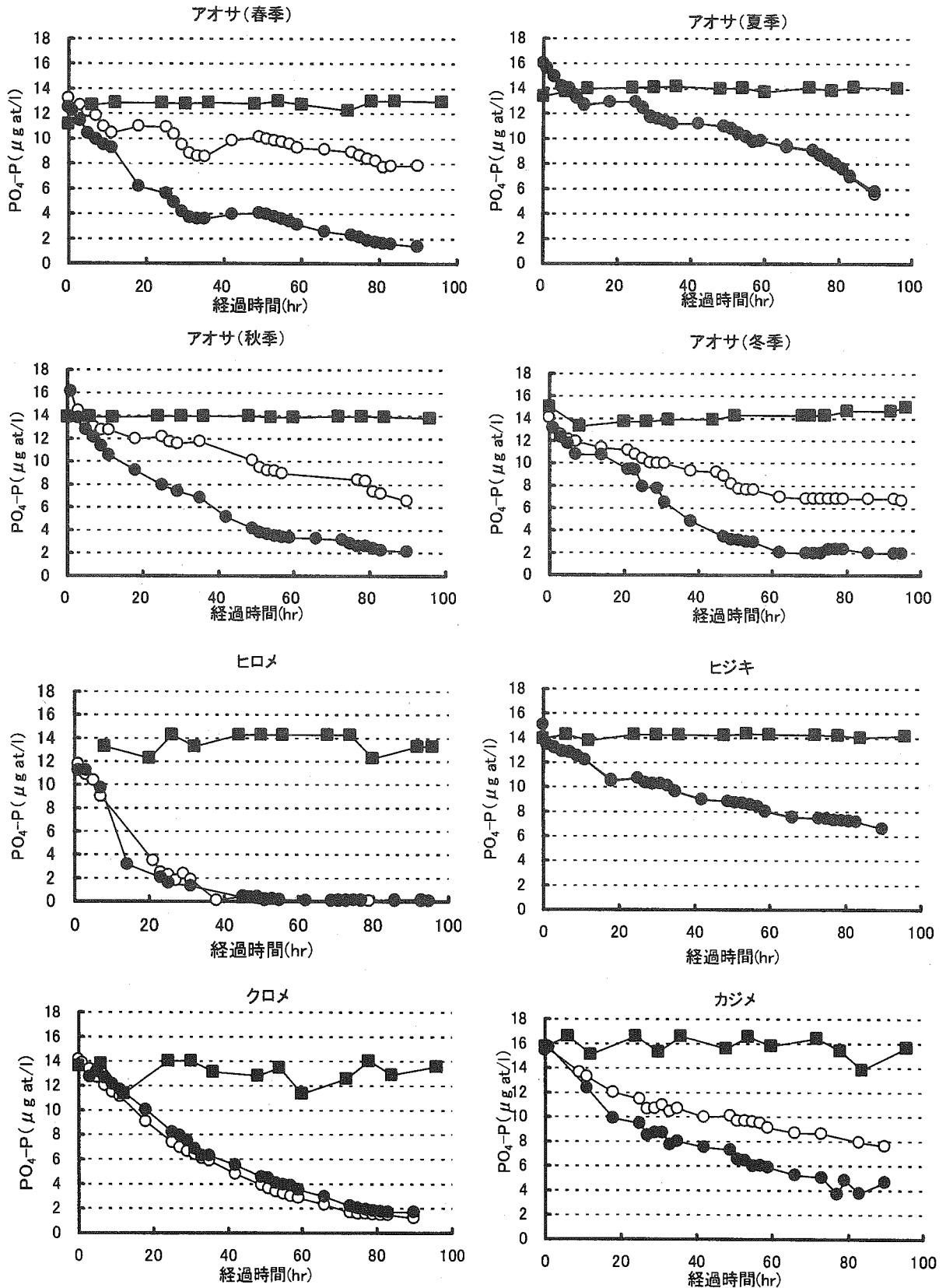
■ 培地1, □ 培地2, ▒ 培地3



第3図 海藻類5種を入れた後の培地中の窒素量の推移
○培地1, ●培地3, ■対照区

海藻類5種を入れた後の培地中のリン量の推移を第4図に示す。窒素と同様に、すべての試験において海藻を入れなかった対照区のリン量に変化は見られなかった。一方、海藻を入れた試験区では培地に含まれるリン量が時間とともに低下し、アオサでは春季、秋季、冬季に実施した培地3の試験区で96時間後、ヒロメでは40時間後にほぼ消失したが、ヒジキでは実験終了時においても1/2程度しか減少しなかった。クロメもアオサと同様に約96時間でほぼ消失したが、カジメは1/3-1/2しか減少しなかった。

培地別の取り込み状況は、春季、秋季、冬季に実施したアオサとカジメで培地3が培地2に比べて落ち込みがよく、他の海藻類では差は見られなかった。



第4図 海藻類5種を入れた後の培地中のリン量の推移

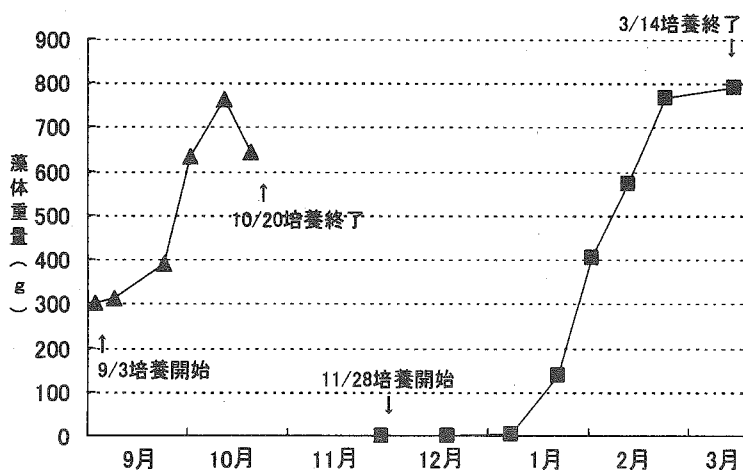
○培地2, ●培地3, ■対照区

第3表 海藻類5種による窒素とリンの取り込み速度

	窒素($\mu\text{g at N/dry}\cdot\text{g/hr}$)		リン($\mu\text{g at P/dry}\cdot\text{g/hr}$)	
	培地1	培地3	培地2	培地3
アオサ(春季)	40.03	64.22	0.29	0.62
アオサ(夏季)	69.49	63.27	0.58	0.57
アオサ(秋季)	42.69	38.56	0.51	1.13
アオサ(冬季)	30.40	30.83	0.57	1.05
ヒロメ	6.36	9.80	1.65	1.65
ヒジキ	4.08	3.00	0.41	0.47
クロメ	5.98	7.30	0.72	0.63
カジメ	7.04	5.20	0.45	0.60

取り込み速度 = [開始時のN,P濃度($\mu\text{g at } \ell$) - 終了時のN,P濃度($\mu\text{g at } \ell$)] \times 培地容量(ℓ) / 培養時間(hr)

海藻5種による窒素とリンの取り込み速度を第3表に示す。窒素の取り込み速度は、アオサが $30.40 - 69.49 \mu\text{g at N/dry}\cdot\text{g/hr}$ (以下 $\mu\text{g at N}$ とする)、ヒロメが $6.36 - 9.80 \mu\text{g at N}$ 、ヒジキが $3.00 - 4.08 \mu\text{g at N}$ 、クロメが $5.98 - 7.30 \mu\text{g at N}$ 、カジメが $5.20 - 7.04 \mu\text{g at N}$ となり、アオサが5種類の海藻の中で最も優れていた。リンの取り込み速度は、アオサが $0.29 - 1.13 \mu\text{g at P/dry}\cdot\text{g/hr}$ (以下 $\mu\text{g at P}$ とする)、ヒロメが $1.65 \mu\text{g at P}$ 、ヒジキが $0.41 - 0.47 \mu\text{g at P}$ 、クロメが $0.63 - 0.72 \mu\text{g at P}$ 、カジメが $0.45 - 0.60 \mu\text{g at P}$ となり、ヒロメが5種類の海藻の中で最も優れていた。



第5図 アオサとヒロメの重量の推移

▲アオサ, ■ヒロメ

2. アオサとヒロメの魚類養殖場での生長試験

魚類養殖場でのアオサとヒロメの重量の推移を第5図に示す。アオサは9月24日(22日目)までは生長が鈍かったが、その後は順調に生長し、10月12日(40日目)には開始時重量の2.5倍の764gになった。その後は藻体が弱り、実験終了時の10月20日(48日目)には645gに減少した。

ヒロメの1株当たりの藻体重量は1月6日(40日目)まではほとんど変化が見られなかったが、それ以降は直線的に増加し、2月21日(86日目)には1株あたりの重量は767gとなった。その後、成熟による藻体の肥厚が始まり、1枚当たりの重量は急激に増加したが、1株の生育本数が凋落により減少したことから、3月14日(107日目)の試験終了時には791gになった。

アオサとヒロメによる窒素とリンの取り込み量を第4表に示す。両種で順調な生長が見られた期間(アオサは10月12日までの40日間、ヒロメは2月21日までの86日間)の取り込み量は、取り込み速度から計算した場合、アオサでは一日に最大で窒素2.19gとリン131mgを吸収し、試験期間全体では窒素50.70gとリン3290mgを取り込むと推定された。ヒロメでは1日に最大で窒素0.25gとリン91mgを吸収し、期間全体では窒素5.38gとリン2005mgを取り込むと推定された。藻体の増重量から同じ期間の取り込み量を計算すると、アオサでは窒素3.25gとリン209mgを取り込んだことになり、取り込み速度から算

第4表 アオサとヒロメによる窒素とリンの取り込み量

	取り込み速度から推定した場合		藻体の増重量から推定した場合	
	窒素(g)	リン(mg)	窒素(g)	リン(mg)
アオサ	50.70	3290	3.25	209
ヒロメ	5.38	2005	2.30	261

出した結果よりも、窒素とリンともに約 1/15 の量であった。ヒロメでは窒素 2.30 g とリン 261mg を取り込んだことになり、取り込み速度から算出した結果に比べて窒素で約 1/2, リンで約 1/8 の量であった。

考 察

複合養殖で用いる海藻類は養殖技術が確立しているとともに、栄養塩の取り込みに優れていること、海藻が取り込んだ栄養塩が再び海域へ流出しないように陸上へ引き上げて利用することが必要である。海藻類養殖は、全国でノリ、コンブ、ワカメ、モズクなどが年間約 140 億円生産されているが、これらの海藻は外洋水の影響を強く受ける紀南地方では繁茂しない。そこで、紀南地方で繁茂する海藻のうち食用や魚介類の餌料として有用な海藻 5 種について窒素とリンの取り込みを調べた。

まず、アオサは窒素の取り込みが 5 種類の中で最も良く、リンの取り込みについても 2 番目に優れていた。不稔性アオサは栄養繁殖で増殖することから年間を通して養殖することが可能であるが、栄養塩の取り込みは四季を通じて安定しており、5 種の中では最も複合養殖に適していると考えられた。アオサは主にアワビやサザエなどの貝類餌料として利用されるが、それ以外にも魚介類養殖場で併用培養したり、養殖飼料に添加することで魚介類の生残や成長、餌料効率、血液性状、体色などがよくなることが報告されている(許・平田, 1990; 許・平田, 1991; Edward et.al, 1991; 許ら, 1993)。また、養鶏用飼料の一部として乾燥粉末アオサを与えた鶏の卵は、抗酸化作用が期待されるルテインの含量が増加し、卵黄色が濃くなるなどの効果が見られると報告されている(折原, 2001)。今後、これらの利用方法が普及すれば、アオサは貝類養殖以外の産業からも大きな需要が見込まれる。

ヒロメはリンの取り込みが 5 種類の中で最も良く、窒素の取り込みについても 5 種の中では 2 番目に優れていた。ヒロメはワカメが繁茂しない地域で重要な食用海藻となっており、田辺湾や串本浅海では養殖が行われている。また、生産量が少ないことから希少価値が高く、高値時には 800-1,500 円/kg で取引されており、紀南地方の漁業者から養殖の要望が強い(木村・能登谷, 1995)。ただし、ヒロメは冬季から春季にかけてしか繁茂しないことから年間を通して複合養殖に用いることはできない。

ヒジキも食用として利用価値が高く、紀南地方を中心に年間に約 400 t が生産されている(和歌山県農林水産部水産局, 2004)。日本におけるヒジキの生産はすべて天然藻体の採取に依存しているが、大分県では幼体をロープの間に挟み込んで培養する方法が試みられており(伊藤, 2003)、養殖生産も十分に可能である。しかし、ヒジキの栄養塩の取り込みは窒素とリンともに非常に低く、複合養殖には適さないと判断された。

クロメとカジメは和歌山県の重要な藻場構成種となっており、藻場造成用の種苗やアワビやサザエなどの貝類餌料として利用価値が高い。しかし、両種の栄養塩の取り込みは窒素とリンともにヒジキと同様に低く、複合養殖には適さないと判断された。同じコンブ目植物でもヒロメに比べてクロメとカジメで栄養塩の取り込みが悪いのは、ヒロメは一年生海藻で急速に生長するのに対し、クロメとカジメは多年生海藻であり、数年をかけてゆっくり生長するためと考えられる。

以上の結果から、和歌山県の紀南地方において複合養殖を実施する場合、夏季から秋季にかけてはアオサを、冬季から春季にかけてはヒロメを養殖するのが最もよいと推測された。そこで、アオサとヒロメを用いて当研究所のマダイ飼育生簀で生長試験を実施した。その結果、アオサは開始後 40 日目以降に藻体の増え過ぎによる光量不足が原因と考えられる生育不良が認められ、ヒロメは開始後 86 日目以降に

成熟による藻体の肥厚と凋落による藻体数の減少が見られたものの、それ以前は両種ともに概ね順調に生育した。しかし、両種で良好な生育が見られた期間の窒素とリンの取り込み量は、取り込み実験から予想した結果に比べて藻体の増加重量から推定した結果のほうが、窒素で $1/2-1/15$ 、リンで $1/8-1/15$ の量であった。これは魚類養殖場の栄養塩濃度が取り込み実験で使用した培地よりも低かったこと、魚類養殖場では藻体の表面にゴミや他の藻類が付着し、藻体の栄養塩の取り込みが不十分であったことなどが影響したと考えられる。また、アオサは魚類養殖場で培養した場合、日間生長率が最大 23-30% になることが報告されているが (Hirata et.al, 1993)、今回の実験では 40 日間で 2.55 倍にしか増加しておらず、培養方法にも問題があったと考えられる。今後は、魚類養殖場で栄養塩の取り込みに適した海藻の培養方法を開発するとともに、今回は使用しなかったフノリやマクサなど和歌山県で採れる有用海藻、さらに温暖な気候で繁茂し価値の高いクビレツタを用いた複合養殖の可能性についても検討する必要がある。

摘 要

和歌山県の魚類養殖場において複合養殖に適した海藻を探索することを目的に、紀南地方に生育する大型藻類のうちアオサ、ヒジキ、ヒロメ、クロメ、カジメを用いてフラスコ内で窒素とリンの取り込み速度を調べた。その結果、窒素の取り込みはアオサが最も優れており、以下はヒロメ、クロメ、カジメ、ヒジキの順であった。リンの取り込みはヒロメが最も優れており、以下はアオサ、クロメ、カジメ、ヒジキの順であった。そこで、窒素とリンの取り込みに優れたアオサとヒロメを魚類養殖場で培養した結果、両種ともに良好な生長が見られたものの、栄養塩の取り込み量は取り込み速度から期待した値に比べて増重量から計算した値のほうが窒素で $1/2-1/15$ 、リンで $1/8-1/15$ の量であった。

謝 辞

京都大学大学院の中原紘之教授には、海藻の栄養塩の取り込みに関する実験方法を指導して頂いた。また、本研究の一部は、JST和歌山県地域結集型共同研究事業費で実施した。ここに合わせて御礼申し上げます。

引用文献

- 伊藤龍星. 2004. 浅海増養殖に関する研究 (6) 有用藻類養殖試験 (ヒジキ). 平成 13 年度大分県海洋水産研究センター浅海研究所事業報告: 17-19.
- Edward D, Kadowaki S and Hirata H. 1991. Effects of Coexisting *Ulva pertusa* on the Production of Kuruma Prawn. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57(8): 1597.
- 未代勇樹・門脇秀策. 2003. 浅海養魚場における養殖コンブ, *Laminaria japonica* の生長過程と N, P 吸収速度. *水産増殖*. 51 (1): 15-23.
- 未代勇樹・門脇秀策. 2004. 浅海養魚場における培養アオサ, *Ulva pertusa* の生長と N, P 吸収速度. *水産増殖*. 52 (1): 65-72.
- 木村創・能登谷正浩. 1995. 和歌山県田辺湾におけるヒロメ養殖. *月刊海洋*. 27(1): 40-46.
- 許波濤・平田八郎. 1990. マダイ稚魚の成長と体色に及ぼすアオサ変異種のフィードバック効果. *水産増殖* 38(2): 177-182.
- 許波濤・平田八郎. 1991. ブリ幼稚魚の生残, 成長, および体色に及ぼすアオサ変異種のフィードバック効果. *水産増殖* 39(2): 133-139.
- 許波濤・山崎繁久・平田八郎. 1993. ヒラメ飼料に対するアオサ変異種の好適添加率. *水産増殖*

41(4) : 461-468.

折原惟子. 2001. 増養殖魚と鶏の餌への利用. P. 129-136. 能登谷正浩編著・アオサの利用と環境修復. 成山堂書店. 東京.

Hirata H, Kohirata E, Guo F, Xu B.T and Edward D. 1993. Culture of the Sterile *Ulva* sp.(Chlorophyceae) in a Mariculture Farm. SUISANZOSHOKU 41(4) : 541-545.

和歌山県農林水産部水産局. 2004. (4) 海面養殖業生産量. 和歌山の水産平成16年. 16.

Summary

In order to find the seaweed suitable for a polyculture in fish farms of wakayama, the experiment was carried out in vitro to investigate nitrogen (N) and phosphorus (P) uptake rates by five kinds of Seaweeds, *Ulva pertusa*, *Hizikia fusiformis*, *Undaria undarioides*, *Ecklonia kurome* and *Ecklonia cava*. Consequently, *Ulva pertusa* was the most superior in the N uptake and the following was the order of *Undaria undarioides*, *Ecklonia kurome*, *Ecklonia cava* and *Hizikia fusiformis*. *Undaria undarioides* was the most superior in the P uptake and the following was the order of *Ulva pertusa*, *Ecklonia kurome*, *Ecklonia cava* and *Hizikia fusiformis*.

When we performed the polyculture experiment on *Ulva pertusa* and *Undaria undarioides* which were superior to other seaweeds in the nutrient uptakes, both species grew well in fish farm. But the amount of N,P uptakes calculated by wet weight were 1/2-1/15 for N uptake and 1/8-1/15 for P uptake less than the one calculated by N,P uptake rates, respectively.

