

八代海の浅海養魚場における栽培マコンブ *Laminaria japonica*の生産量とN, P吸収量

大山隼人¹, 末代勇樹², 門脇秀策^{1*}

Production of Cultured *Laminaria japonica* and its Nitrogen and Phosphate Uptake in a Coastal Fish Farm, Yatsushiro Sea

Hayato Ohyama¹, Yuuki Kitadai², and Shusaku Kadowaki^{1*}

Key words : *Laminaria japonica*, production, N, P uptake, seeding.

Abstract

In an attempt to quantify the water purification capacity of cultured brown alga *Laminaria japonica*, we examined its production and uptake of nitrogen and phosphate in a coastal fish farm in Yatsushiro Sea, southern Japan. Seedlings of *L. japonica* were cultured in a coastal fish farm from December, 2002 to June, 2003 using different lengths of yarn, spacings of seedling insertion, and hanging depths. The maximum blade length (229 cm), blade width (17.2 cm), blade thickness (1.98 mm), daily growth rate of blade length (3.53 cm/day), and dry weight (13.6 g dry/individual) were obtained with 5 cm seedling yarn, inserted at 100 cm spacing, and hanged at 2-3 m deep. On the other hand, the greatest number of fronds per one meter of culture rope (443 individuals/m) was obtained with 20 cm seedling yarn at 10 cm spacing and 2 m deep. The highest production of *L. japonica* (2.64 kg dry/m) occurred in April and greatest nitrogen (6.95 g N/m) and phosphate (1.11 g P/m) uptakes in May with 20 cm seedling yarn at 10 cm spacing and 1-4 m deep. The enlargement phase of this brown alga occurred in April while the substantialization phase in May. The correlation of blade length (BL, cm) and blade weight (W, g dry) of *L. japonica* has the following equation: $W = 5.28 \cdot 10^{-4} \cdot BL^{1.85}$.

マコンブ *Laminaria japonica* はコンブ目 Laminariales コンブ科 Laminariaceae に属し、北海道室蘭から三陸までの太平洋沿岸の水深2~10 mの漸深帯に自生している¹⁾。我国の2002年における養殖マコンブの年間生産量は51,125 t wetである²⁾。マコンブは1965年頃に促成養殖法³⁾が確立され、幹綱1 m当り約10本の葉体を残して垂直スタレ式や水平ノレン式で養殖されている。一般に、マコンブの種糸は2~3 cmに切断して幹綱に30 cmの間隔で差し込まれて、幼体期から拡大生長期まで海面下5~6 m層で、身入生長期には葉体を間引きながら海面下

1~1.5 m層でそれぞれ垂下養殖されている^{4,5)}。

一方、浅海養魚場の富栄養化を低減する目的で、マコンブ⁶⁾、アナアオサ⁷⁾およびワカメ⁸⁾を利用したN, P吸収による水質浄化が試みられている。しかし、温水域の浅海養魚場におけるマコンブの種糸の長さ、種糸の差込間隔ならびに垂下層の差異によるマコンブの生産量およびN, P吸収量についての知見はない。

そこで、本研究は八代海南西域の浅海養魚場においてマコンブの種糸の長さ、種糸の差込間隔ならびに垂下層の差異による生長過程を調べ、幹綱1 m当りの最大生産

¹ 鹿児島大学水産学部資源育成科学講座 (Laboratory of Aquatic Resource Science, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan)

² 有限会社テクニカルオフィス (Technical Office, Co., Ltd., 4-17-13 Kitahorie, Nishiku, Osaka City, Osaka 550-0014, Japan)

* Corresponding author, E-mail: kadowaki@fish.kagoshima-u.ac.jp

量およびN, P最大吸収量を算定し, 至適栽培技法について検討した。

材料および方法

本実験は2002年12月19日～2003年6月30日の203日間にわたって実施した。マコンブの栽培地点は八代海南西域に位置する熊本県御所浦町のマダイおよびトラフグ等の牧本養魚場 (32° 20' N, 130° 19' E) とした。

マコンブの種糸は青森県水産指導センターから移入した。クレモナ種糸 (ϕ 2 mm) はクレモナ幹綱 (ϕ 10 mm) に差し込んで, 幹綱の下端部に1 kgの重りを付けて海面下1～4 m層に垂下した。種糸の差込間隔は10 cm, 25 cm, 50 cmおよび100 cmとし, 種糸の長さは5 cm, 10 cmおよび20 cmとした。供試マコンブの生長は, 茎体下部にカラービニール製のネジリを取り付け個体識別した。標識マコンブの葉長 (BL) は1 mmの精度の巻尺を用いて, 葉幅 (BW) は0.02 mmの精度のダイヤルノギスを用いて, 葉厚 (BT) は0.001 mmの精度のクイックマイクロメーターを用いて, それぞれ1 m層毎に2個体を2週間に一度計測した。葉長の日間生長速度 (DGR) は, 茎体下部の基点から10 cm上部に ϕ 0.5 mmの穴を開き2個体の穴の移動距離はダイヤルノギスを用いて2週間に一度計測し, 穴の移動距離を期間日数で除して算定した。幹綱1 m当りのマコンブの着生本数 (n) は, 1 m層毎に10 cm幅で着生した個体数を計数して求めた。マコンブの葉体乾重量 (W) は, 1～4 m層まで1 m層毎に1個体ずつ無作為に抽出し, 淡水に約1分間浸漬して附着生物を除去し脱塩後に水分を拭き取り, 85℃で48時間乾燥してから, 0.001 gの精度で毎月1回計量した。

幹綱1 m当りのマコンブ生産量 (P) は, 次式で求めた。

$$P = W \cdot n \quad (1)$$

ここで, P: 幹綱1 m当りのマコンブ生産量 (g dry/m), W: 葉体1個体当りの乾重量 (g dry/individ.), n: 幹綱1 m当りのマコンブ着生本数 (individ./m)。

幹綱1 m当りのマコンブによるN, P吸収量 ($U_{N,P}$) はマコンブN, P含有量の既値⁶⁾を用いて, 次式で算定した。

$$U_{N,P} = P \cdot C_{N,P} \quad (2)$$

ここで, $U_{N,P}$: 幹綱1 m当りのマコンブによるN, P吸収量 (mg N, P/m), P: 幹綱1 m当りのマコンブ生産量 (g dry/m), $C_{N,P}$: マコンブのNおよびPの含有量 (mg N, P/g dry)。

栽培マコンブのN, P含有量は既報⁶⁾の測定値を用いた。つまり, 2月, 3月, 4月, 5月および6月のN含有量は, それぞれ1.4, 2.2, 2.8, 4.2および4.9 mg N/g dry,

P含有量は0.21, 0.25, 0.42, 0.68および0.81 mg P/g dryをそれぞれ用いた。マコンブを栽培した養魚場の水温, 溶存態無機窒素 (DIN) および溶存態無機リン (DIP) は, 毎週1回測定, 分析した。試水は海面下3 m層で採水し, DIN濃度およびDIP濃度をインドフェノール法, ナフチルエチレンジアミン法, カドミウムカラム還元法およびモリブデン法⁹⁾により, 島津社製UVmini-1240型分光光度計を用いて測定した。

結 果

マコンブ栽培期間の水温はFig. 1-Iに示したとおり, 12～24℃であった。牧本養魚場水のDIN濃度およびDIP濃度はFig. 1-IIおよびIIIに示したとおり, それぞれ38～113 μ g N/lおよび6.2～18 μ g P/lで推移したが, これらDIN濃度およびDIP濃度はいずれも水産用水基準一種¹⁰⁾の範囲にあった。また, 養魚場水のDIN/DIP比はFig. 1-IVに示したとおり, 5.1～7.1であった。

牧本養魚場におけるマコンブの生長過程は, 幼体期 (12月), 拡大生長期 (1～4月), 身入生長期 (5月) および末枯期 (6月) の四期^{6,11)}に区分された。異なる種糸の長さがマコンブの生長に及ぼす影響はFig. 2に示

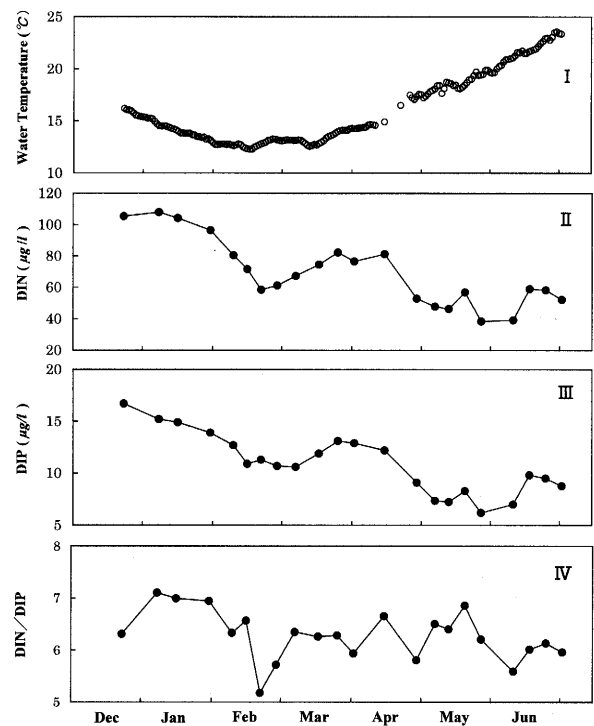


Fig. 1 Physical and chemical parameters measured at the Makimoto fish farm in the Yatsushiro Sea, Japan. (I), water temperature; (II), dissolved inorganic nitrogen (DIN) concentration; (III), dissolved inorganic phosphorus (DIP) concentration; (IV), DIN/DIP ratio.

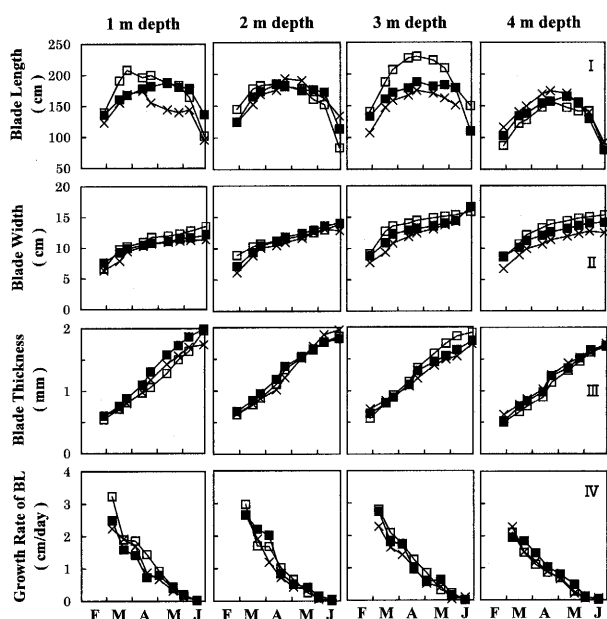


Fig. 2 Growth of blade length (I), blade width (II), blade thickness (III) and growth rate of blade length (IV) of *Laminaria japonica* cultured at different lengths of seeding yarn at the fish farm. □, 5 cm; ■, 10 cm; ×, 20 cm.

した。海面下1～4 m層で栽培したマコブのBL, BW, BTおよびDGRの平均値は、種糸長5 cmの実験区でそれぞれ164 cm, 12.4 cm, 1.22 mmおよび1.07 cm/day, 種糸長10 cmの実験区で157 cm, 11.8 cm, 1.26 mmおよび1.03 cm/day, 種糸長20 cmの実験区においては151 cm, 10.7 cm, 1.22 mmおよび0.92 cm/dayであった。BTは種糸の長さによる統計的な有意差はなかったが、BL, BWおよびDGRは種糸の長さが短いほど増大した。

異なる種糸の差込間隔がマコブの生長に及ぼす影響はFig. 3に示した。海面下1～4 m層で栽培したマコブのBL, BW, BTおよびDGRの平均値は、種糸差込間隔10 cmの実験区でそれぞれ130 cm, 8.9 cm, 1.11 mmおよび0.73 cm/day, 種糸差込間隔25 cmの実験区で145 cm, 10.7 cm, 1.18 mmおよび0.92 cm/dayであった。一方、種糸差込間隔50 cmの実験区では173 cm, 12.8 cm, 1.29 mmおよび1.18 cm/dayであり、種糸差込間隔100 cmの実験区においては181 cm, 14.1 cm, 1.34 mmおよび1.22 cm/dayであった。すなわち、BL, BW, BTおよびDGRは種糸の差込間隔が広いほど増大した。また、BLは種糸の差込間隔が50 cmの場合、拡大生長期の4月に3 m層で229 cmの最大値を示した。BWは種糸の差込間隔が100 cmの場合、身入生長期の5月に3 m層で17.2 cmの最大値を示した。BTは種糸の差込間隔が100 cmの場合、身入生長期の5月に2 m層で1.98 mmの最大値を示した。DGRは種糸の差込間隔が100 cmの場合、拡大生長期の

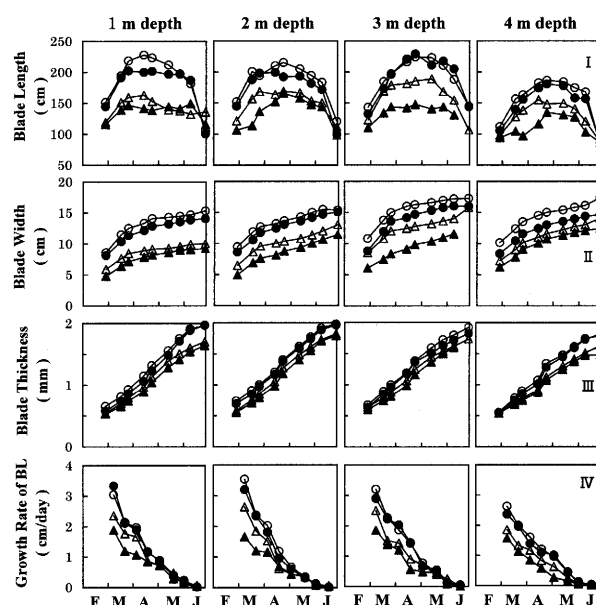


Fig. 3 Growth of blade length (I), blade width (II), blade thickness (III) and growth rate of blade length (IV) of *Laminaria japonica* cultured at different spacing of seeding insertion at the fish farm. ▲, 10 cm; △, 25 cm; ●, 50 cm; ○, 100 cm.

3月に2 m層で3.53 cm/dayの最大値を示した。

マコブの葉長 (BL, cm) と葉体湿, 乾重量 ($W_{wet, dry}$, g) との関係は、Fig. 4に示したとおりであり、それぞれの測定値から次の関係式を得た。

$$W_{wet} = 5.89 \cdot 10^{-3} \cdot BL^{1.83} \quad (3)$$

$$W_{dry} = 5.28 \cdot 10^{-4} \cdot BL^{1.85} \quad (4)$$

上式の決定係数は $r_{wet}^2 = 0.78$ および $r_{dry}^2 = 0.77$ で、いずれも統計的に有意であった ($n = 708$, $p < 0.001$)。

異なる種糸の長さがマコブの生産量やN, P吸収量に及ぼす影響はFig. 5に示した。海面下1～4 m層で栽培したマコブの幹綱1 m当りの W , n , P , U_N および U_P の平均値は、種糸長5 cmの実験区ではそれぞれ7.71 g dry/indivi., 96 indivi./m, 0.81 kg dry/m, 2.17 g N/mおよび0.31 g P/mであり、種糸長10 cmの実験区で6.97 g dry/indivi., 122 indivi./m, 0.90 kg dry/m, 2.39 g N/mおよび0.34 g P/m, 種糸長20 cmの実験区においては6.55 g dry/indivi., 188 indivi./m, 1.29 kg dry/m, 3.40 g N/mおよび0.49 g P/mであった。すなわち、種糸の長さが長くなるほど W は減少したが、幹綱1 m当りの n , P , U_N および U_P は増加した。特に、2 m層で種糸長20 cmの種糸を栽培すると、 n は拡大生長期の4月に297 indivi./m, P は2.44 kg dry/mを示し、身入生長期の5月に U_N は7.81 g N/m, U_P は1.25 g P/mのそれぞれ最大値を示した。

異なる種糸の差込間隔がマコブの生産量やN, P吸収量に及ぼす影響はFig. 6に示した。それによれば、海

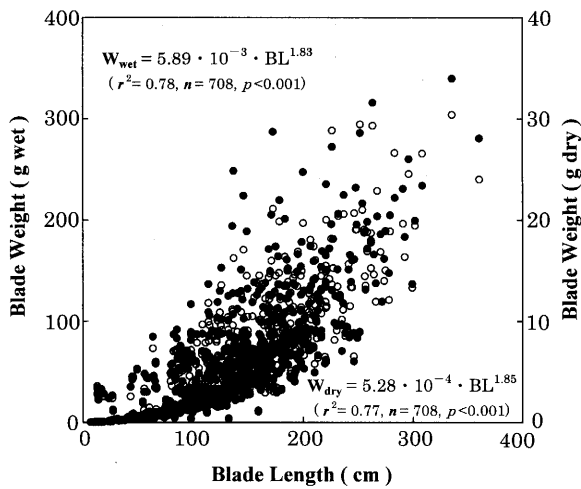


Fig. 4 Relationship between blade length and blade weight of *Laminaria japonica* cultured at the fish farm. ○, wet weight; ●, dry weight.

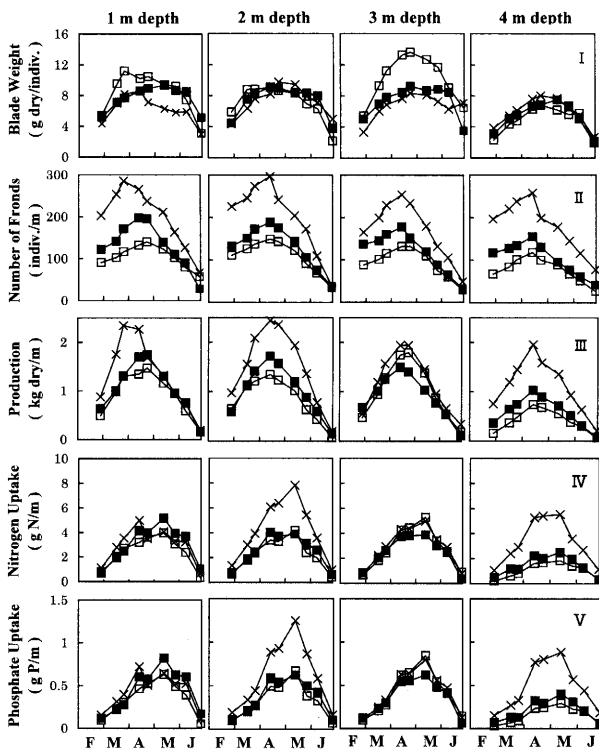


Fig. 5 Blade weight per individual (I), number of fronds (II), production (III), nitrogen uptake (IV) and phosphate uptake (V) per one meter of culture rope of *Laminaria japonica* cultured at different lengths of seeding yarn at the fish farm. □, 5 cm; ■, 10 cm; ×, 20 cm.

面下1～4 m層で栽培したマコンブのW, n, P, U_NおよびU_Pの平均値は、種糸差込間隔10 cmの実験区でそれぞれ4.88 g dry/indivi., 274 indivi./m, 1.37 kg dry/m, 4.29 g N/mおよび0.62 g P/mであり、種糸差込間隔25 cmの実験区で6.00 g dry/indivi., 140 indivi./m, 0.91 kg dry/m, 2.69 g N/mおよび0.39 g P/mであった。一方、種糸

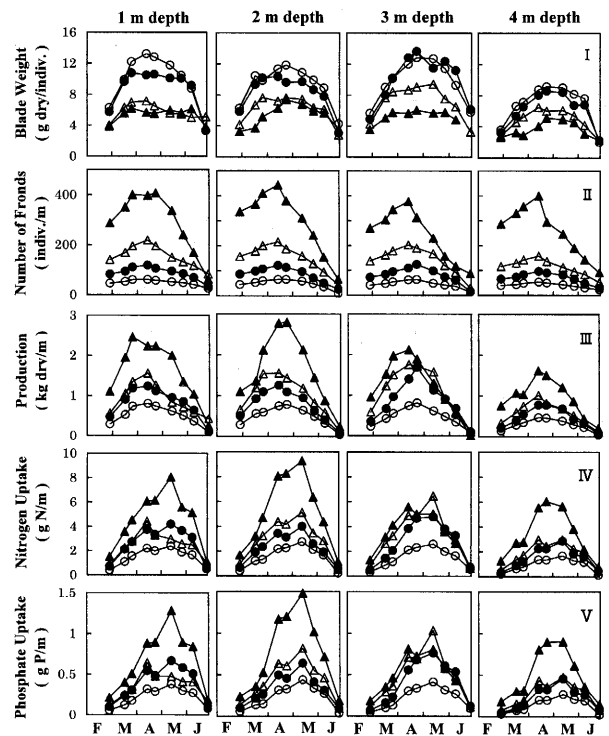


Fig. 6 Blade weight per individual (I), number of fronds (II), production (III), nitrogen uptake (IV) and phosphate uptake (V) per one meter of culture rope of *Laminaria japonica* cultured at different spacing of seeding insertion at the fish farm. ▲, 10 cm; △, 25 cm; ●, 50 cm; ○, 100 cm.

差込間隔50 cmの実験区ではそれぞれ8.37 g dry/indivi., 81 indivi./m, 0.74 kg dry/m, 2.32 g N/mおよび0.34 g P/mであり、種糸差込間隔100 cmの実験区でそれぞれ8.99 g dry/indivi., 46 indivi./m, 0.44 kg dry/m, 1.39 g N/mおよび0.20 g P/mであった。すなわち、種糸の差込間隔が広がるほどWは増加したが、幹綱1 m当りのn, P, U_NおよびU_Pは減少した。特に、3 m層で種糸の差込間隔を100 cmで栽培すると、拡大生長期の4月にWは13.6 g dry/indivi.の最大値を示した。また、2 m層で種糸の差込間隔を10 cmで栽培すると、拡大生長期の4月にnは他の差込間隔よりも統計的に有意に多く、443 indivi./mの最大値を示した。さらに、拡大生長期の4月にPは2.79 kg dry/mを示し、身入生長期の5月にU_Nは9.28 g N/m, U_Pは1.48 g P/mのそれぞれ最大値を示した。

幹綱1 m当りのマコンブ生産量およびN, P吸収量は、海面下1～4 mまでの全層平均値で表わしFig. 7に示した。すなわち、幹綱1 m当りのマコンブ最大生産量は拡大生長期の4月に2.64 kg dry/mであり、N, P最大吸収量は身入生長期の5月にそれぞれ6.95 g N/mおよび1.11 g P/mであった。

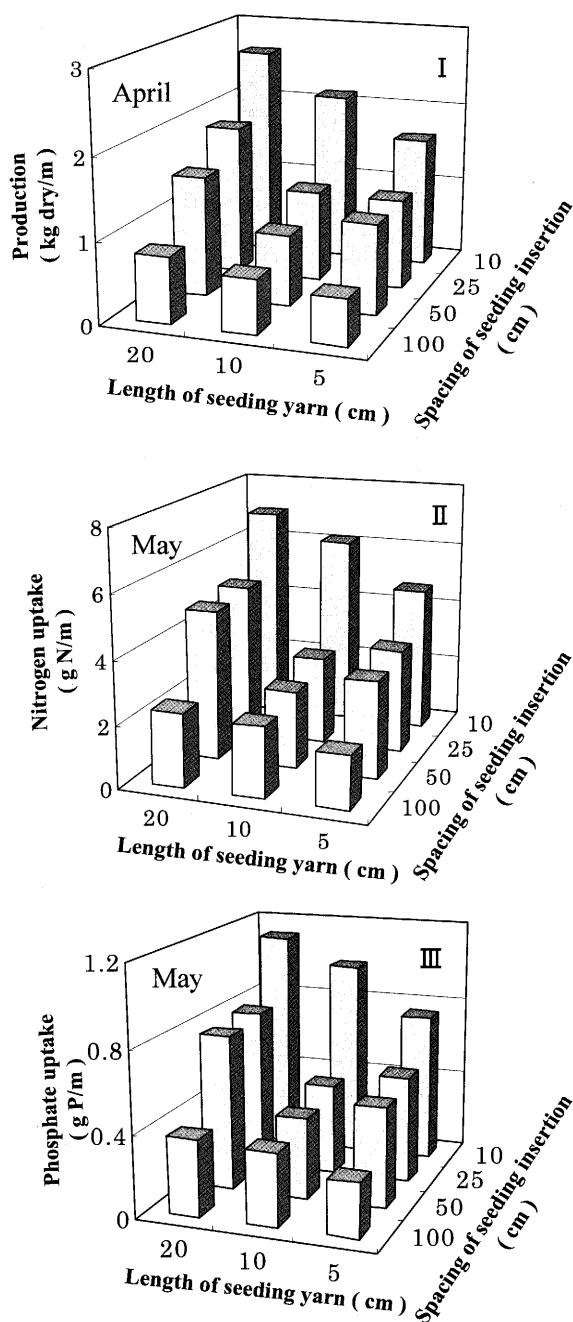


Fig. 7 Maximum values of production (I), nitrogen uptake (II) and phosphate uptake (III) per one meter of rope of *Laminaria japonica* cultured at different spacing of seeding insertion and lengths of seeding yarn hanging from 1 m to 4 m depths at the enlargement phase in April and at the substantialization phase in May.

考 察

北海道余市沿岸におけるマコブの垂下養殖は、種糸長3 cmかつ種糸差込間隔30 cmで10月に開始し、5ヶ月後の平均葉長は250 cmに達すると報告されている¹¹⁾。また、食品化を目的とした冷水域でのマコブ養殖は葉長1 m以上から間引きを開始するので、幹綱1 m当りの着

生本数は12~15個体と報告されている^{4,5)}。一方、本研究で得た温水域の給餌養魚場における水質浄化を目的としたマコブ栽培は間引きしないため、幹綱1 m当りの着生本数は100~300個体と多いが、平均葉長は176 cmにすぎなかった。また、余市沿岸でのマコブの養殖水温は1~14℃¹¹⁾であったのに対して、本研究水域では12~17℃であった。したがって、温水域と冷水域とのマコブ葉長の差異は、最低水温の違いと間引きの有無によるものと考えられる。

マコブのBL, BWおよびDGRは、種糸の長さが短く種糸の差込間隔が広くなるにつれて増大する傾向がみられた。その理由は、幹綱1 m当りのマコブの栽培密度が低いためと考えられる。松岡ら¹²⁾はマコブの種糸差込間隔20 cm, 50 cmおよび100 cmの違いによるBL生長実験で同様な結果を得ている。一方、本研究での海面下1~3 m層におけるBL生長およびDGRの値は4 m層のそれらと比較して大きく、統計的に有意な差 ($p < 0.05$) がみられた。また、Sanbonsuga¹¹⁾は冷水域におけるマコブのBL生長を調べ、同様に海面下1~3 m層のBL値は5~7 m層のそれと比較して大きくなったと報告している。

幹綱1 m当りにおけるマコブの生産量は、拡大生長期の4月に2 m層で最大となり、種糸の長さが長く種糸の差込間隔が狭くなるにつれて増大した。また、幹綱1 m当りのマコブによるN, P吸収量は、身入生長期の5月に2 m層で最大となり、種糸の長さが長く種糸の差込間隔が狭くなるにつれて増大した。その理由は、幹綱1 m当りのマコブの栽培密度が高いことに加えて、身入生長期におけるNおよびPの含有量が拡大生長期と比較してそれぞれ1.5倍および1.6倍高いためと考えられる。また、マコブの生産量およびN, P吸収量が養魚場の海面下2 m層で最大値を示した理由は、マコブの光合成にとって飽和光量⁶⁾の垂下水深であったと考えられる。

以上のことから、八代海南西域の浅海養魚場の海面下1~4 m層で12月から6月にかけて垂下スダレ式でマコブを栽培する場合、マコブの最大生産量および最大N, P吸収量は、種糸の長さ20 cmかつ種糸の差込間隔10 cmの栽培条件で得られると考えられる。また、栽培マコブの収穫適期は、最大生産量からみると4月の拡大生長期であり、最大N, P吸収量からみると5月の身入生長期といえる。

本研究の環境調査に対して多大の便宜と御協力を賜った熊本県御所浦町水産農林課の森 恵慈氏、杉原範春氏、岩崎政彦氏ならびに福部智一氏に心から感謝の意を表する。

文 献

- 1) 川嶋昭二 (1988). マコンブ. 日本産コンブ類図鑑 (川嶋昭二編). 北日本海洋センター, 札幌, pp.6-9.
- 2) 農林水産省統計部 (2004). 海面養殖業. 第78次農林水産省統計表 平成13~15年, 農林統計協会, 東京, pp.512-521.
- 3) 大野正夫 (1987). コンブ類. 海藻資源養殖学 (徳田 廣・大野正夫・小河久朗編), 緑書房, 東京, pp.116-133.
- 4) 宮城県 (1995). 宮城県の伝統的漁具漁法Ⅷ. 養殖編 (わかめ・こんぶ), pp.1-103.
- 5) Kawashima, S. (1993). Cultivation of the brown alga, *Laminaria* "Kombu". Seaweed Cultivation and Marine Ranching (ed. by M. Ohno and A.T. Critchley). JICA, Tokyo, pp.25-40.
- 6) 未代勇樹, 門脇秀策 (2003). 浅海養魚場における養殖マコンブ, *Laminaria japonica*の生長過程とN, P吸収速度. 水産増殖, 51, 15-23.
- 7) 未代勇樹, 門脇秀策 (2004). 浅海養魚場における栽培アナオサ, *Ulva pertusa*の生長とN, P吸収速度. 水産増殖, 52, 65-72.
- 8) 未代勇樹, 門脇秀策 (2004). 浅海養魚場における栽培ワカメ, *Undaria pinnatifida*の生長過程とN, P吸収速度. 水産増殖, 52, 365-374.
- 9) Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons (1972). A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Fish. Res. Bd. Canada Bull.* Ottawa, pp.45-90.
- 10) 日本水産資源保護協会 (2000). 水産用水基準. 東京, pp. 1-20.
- 11) Sanbonsuga, Y. (1984). Studies of the growth of forced *Laminaria*. *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Lab.*, 49, 1-79.
- 12) 松岡正義, 日野淑美, 秋月友治 (1982). コンブ養殖試験. 昭和57年度徳島県水産試験場事業報告書, pp.57-63.