

クロメの最適生長条件について

月 館 潤 一

On the Optimum Growth Conditions of *Ecklonia kurome* OKAMURA

Jun-ichi TSUKIDATE

Ecklonia kurome OKAMURA, which belongs to the *Laminariaceae*, is an important perennial macroalga from ecological and fisheries points of view. This alga forms dense aquatic forest in the coast of southern part of Japan, and the forest offers food and habitat to shellfishes and coastal fishes.

This paper reports the effect of seawater temperature, chlorinity, light intensity, and concentrations of nitrogen and phosphorus on the growth of *Ecklonia kurome* (7.3–36.2cm long, 0.55–12.4g in wet weight) by large-scaled seaweed culture apparatus in addition to the aeration culture with flask, for the purpose of accumulating data on the making and control of algal bed, and its profitable use. The following results are obtained.

1. 15°C was the best seawater temperature.
2. Optimum chlorinity was between 15.16–18.27‰.
3. Higher light intensity was better in the range until 10,000 lux.
4. Optimum nitrogen concentration lied in 0.2–200 μM for the growth and 20–200 μM for shape and colour. Both ammonium salt and nitrate were good nitrogen source for the growth.
5. Optimum phosphorus concentration lied in 0.014–1.4 μM for the growth and 0.14–1.4 μM for shape and colour.
6. The same growth was observed in artificial seawater having optimum growth conditions of seawater temperature, chlorinity, light intensity, and nitrogen of 0.2–20 μM and phosphorus of 0.014–1.4 μM, as in natural seawater.
7. *Ecklonia kurome* was grown in the large-scaled seaweed culture apparatus with natural seawater plus nitrogen 20 μM and phosphorus 1.4 μM for nearly 1 year and half. As a result, the growth pattern was the same as the one in the sea, but the thalli did not mature at last.

クロメはコンブ科に属する多年生の大型海藻で瀬戸内海西部ではアラメ・カジメ場を形成して、魚介類の餌や生息場を提供し、水産上極めて重要な海藻である。

本研究はアラメ・カジメ場の造成、管理並びにクロメ資源の有効利用を図るため、その基礎的知見を得る目的で行われたものである。

ここでは、大型海藻培養装置を試作し、これを使用して、及び従来のフラスコ培養によって、クロメの生長に及ぼす水温、塩分、照度、さらには栄養塩の窒素や磷の濃度の影響を調べ、最適生長条件を検討したので報告する。

なお、この研究は、プロジェクト研究“バイオマス変換計画”のなかで行われた。

材 料 及 び 方 法

実験に用いたクロメは広島県忠海町，山口県東和町及び大分県国見町の地先で採集した単葉（長さ7.3~36.2cm，湿重量0.55~12.4g）である。採集した葉体をそのまま，または生長点部分からくりぬいた4cm²または9cm²の葉片を実験に供した。

試作，改良（Charter and Neushul, 1977）した大型海藻培養装置は図1に示す。この培養装

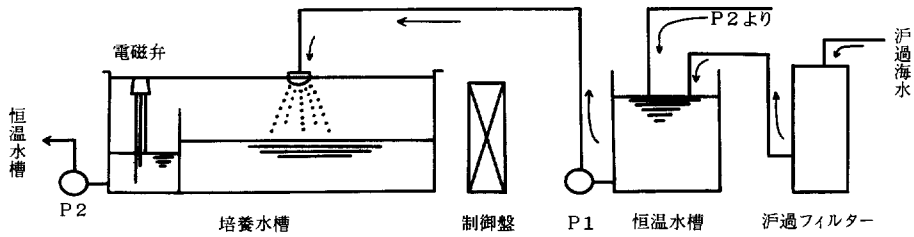


Fig. 1 Seaweed culture apparatus

置は長さ×幅×深さが175cm×60cm×60cmの水槽と海水流入管，シャワー式海水流入管，排水管及び制御盤からなりたっている。この水槽に付属して恒温装置と濾過フィルターが設置されている。使用海水は砂で濾過した天然海水を濾過フィルターにかけて1μm以下の粒子をのぞいた（以下，濾過海水という）。この濾過海水はまず恒温装置に導入される。ここで水温が調節され，その後，培養装置に導入される。培養水槽の濾過海水は恒温装置に送り返され，再度水温が調節される。このように海水を循環して海藻を培養する方式になっている。海水は恒温装置から培養装置へは常時流れているが，逆の培養装置から恒温装置へは電磁弁により自動的に流入と停止が繰返される。海水の流入はこの実験ではシャワー式のみとし，このシャワーの部分がりミットスイッチにより，水槽上を往復運動するようになっている。シャワーによる海水の流入量は1分間に20lで，このシャワーは片道130cmの水槽上を2分で移動するようにした。培養水の量は培養水槽に300l，恒温装置に200lである。濾過海水は1週間に1度とりかえた。

フラスコ培養は2lまたは5lの平底丸型フラスコを用い，インキュベーターに入れて通気培養により行った。空気の通気量は500ml/minとした。培養水は人工海水（Table 1）を用い，1週間に1度換水した。

実験は同じ結果が3回出るまで繰返した。また，培養は大型海藻培養装置を用いて長期間行った成熟実験以外は，4~5週間にとどめた。

Table 1 Composition of artificial seawater.

NaCl	2.4%
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.8%
KCl	70mg%
CaCl ₂ ·2H ₂ O	55mg%
NaHCO ₃	16.8mg%
NaNO ₃	20mg%
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	2mg%
KI	10mg%
Metal solution	1ml/100ml
Metal solution 1ml=	
H ₃ BO ₃	0.2mg
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.048mg
MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.144mg
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.04mg
ZnCl ₂	0.01mg
Na ₂ EDTA	1mg

結 果

水 温

山口県東和町地先で採集したクロメを用いた。このクロメは長さ 7.3~36cm の単葉で、各水槽に10~12個体入れた。水温は10, 15, 20℃の3条件に設定した。照度は天然光を利用し、培養期間中 10,000~50,000 lux で変化し、曇天時には 3,000~5,000 lux の範囲であった。クロメは単葉であったので、生長に及ぼす水温の影響を葉長×最大幅で表示した。葉長は茎から葉に移行する所から葉の先端までとした。

結果の1例は図2のとおりである。10~12個体の全長×最大幅の平均値を縦軸に示し、培養日数を横軸に示した。実験は3回行ったが3回とも同様の結果を示し、クロメが単葉の段階では15℃が最適水温と推定された。

塩 分

広島県忠海町、山口県東和町及び大分県国見町の地先で採集したクロメを用いた。このクロメは長さ 9.9~36.2cm の単葉であった。水温は最適水温の15℃に設定した。

水槽を使用し、汙過海水を用いて行った実験では、水槽の数の制限により塩分を3条件にしか変化させ得ないので、汙過海水、汙過海水4に対し純水1に混合したもの、汙過海水1に対し純水1に混合したものの3とおりにした。そして、これらの条件を塩分1, 1/2, 1/3と称した。実験に供した汙過海水の塩分は塩素量で18.27%である。水温の実験と同様に1つの水槽に葉体を9~11個入れた。照度は天然光のため、晴天時は培養期間中 10,000~50,000 lux の範囲で変化し、曇天時には 3,000~5,000 lux になった。生長の表示は水温の実験と同様、クロメが単葉であるので葉長×最大幅とした。

フラスコ培養で行った実験では、設定した塩分は人工海水そのもの、1/2に希釈したもの、1/3に希釈したもの、2倍に濃縮したものの4条件にした。実験に供したものはクロメの生長点部分からくりぬいた9cm²の葉片であり、5lの各フラスコに5コ入れた。水温は15℃とし、照度は天然白色の蛍光管で5,000~7,000lux になるようにした。生長は面積で表示した。

なお、実験は水槽実験2回、フラスコ実験3回の計5回行った。

結果の1例は図3のとおりである。面積の平均値を縦軸に示し、培養日数を横軸に示した。人工海水を1/2に希釈し、塩素量にして12.13%にすると、生長はみられない。また逆に濃縮して29.73

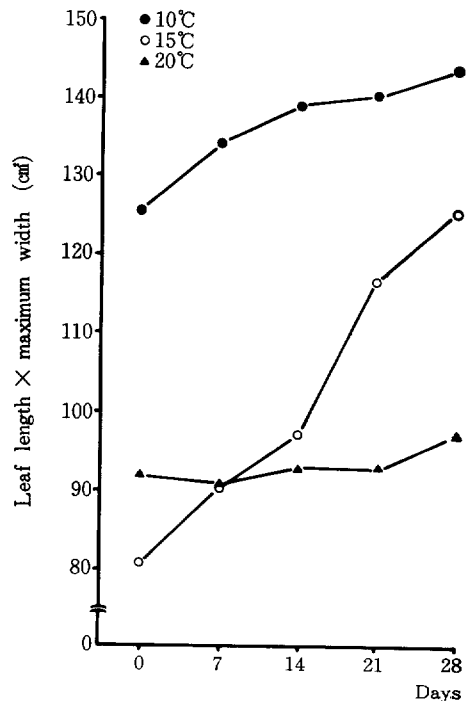


Fig. 2 Growth of *Ecklonia hurome* with the different temperatures

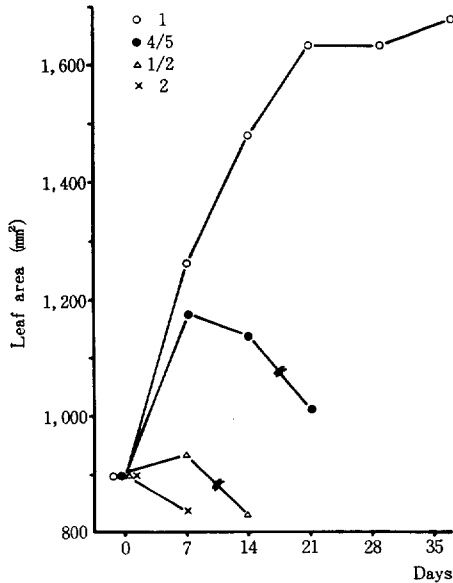


Fig. 3 Growth of *Ecklonia kurome* with the different chlorinities

%にするとやはり生長しない。沔過海水を用いた水槽実験でもに汚希積すると生長は良くないので、人工海水の塩素量 15.16% は好適塩分範囲の下限と考えられる。

照 度

塩分の実験と同様に、広島県忠海町、山口県東和町及び大分県国見町の地先で採集したクロメを用いた。実験に供したものは生長点部分からくりぬいた 9 cm² の葉片である。フラスコ培養で実験を行った。各フラスコに葉片を 5 コ入れた。設定した照度は天然白色の蛍光管を用い 3,000, 5,000, 7,000 及び 10,000 lux の 4 条件とした。水温は 15℃ とし、生長は面積で表示した。実験は 4 回行った。

結果の 1 例を図 4 に示す。図の表示は図 3 と同じである。10,000 lux までの範囲では照度は高いほど生長が良い。

窒 素 濃 度

広島県忠海町及び山口県東和町の地先で採集したクロメを用いた。実験に供したものは生長点部分からくりぬいた 4 cm² の葉片である。フラスコ培養で実験を行った。各フラスコに葉片を 5 コ入れた。窒素の影響は硝酸態とアンモニヤ態で調べた。硝酸態は硝酸ナトリウム濃度で 20, 2, 0.2, 0.02, 0.002, 0.0002, 0.00002mg% 及び 0 に設定し、アンモニヤ態は塩化ナトリウム濃度で 2, 0.2, 0.02, 0.002, 0.0002, 0.00002, 0.000002mg% 及び 0 に設定した。水温は 15℃ とし、照度は天然白色の蛍光管で 5,000~7,000 lux にして実験を行い、生長は面積で表示した。実験は硝酸態で 3 回、アンモニヤ態で 4 回行った。

結果の 1 例を図 5, 6 に示す。図の表示は図 3 と同じである。硝酸態窒素では 0.002mg% で一番生長が良かった。これは窒素量で表わすと 0.2μM となり、内湾域のノリ漁場内でみられる無機窒素量の 1/10~1/20 である。アンモニヤ態窒素では 0.002 及び 0.0002mg% で生長が良かった。

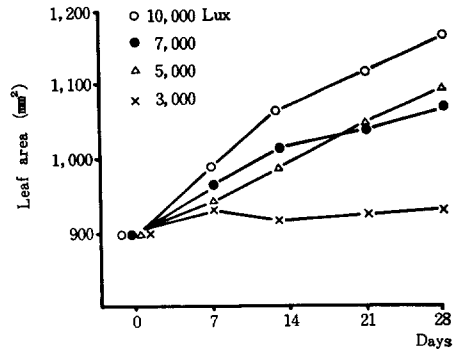


Fig. 4 Growth of *Ecklonia kurome* with the different light intensities

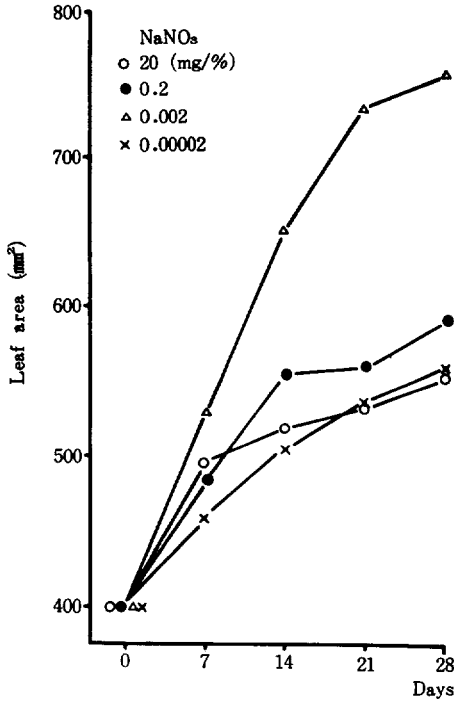


Fig. 5 Growth of *Ecklonia kurome* with the different concentration of NaNO_3

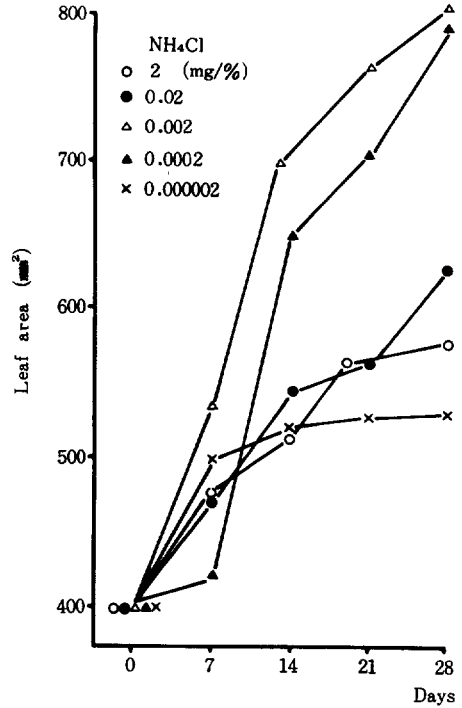


Fig. 6 Growth of *Ecklonia kurome* with the different concentration of NH_4Cl

この0.0002mg%は硝酸態窒素の $\frac{1}{10}$ となるが、窒素量では約 $\frac{1}{2}$ となる。クロメ類は湾口部の外洋水の影響の強い所で生育するので、窒素の要求量は内湾域で生育するアサクサノリと比べて少ないと推定された。

磷濃度

窒素濃度の実験と同様に、広島県忠海町及び山口県東和町の地先で採集したクロメを用いた。クロメの生長点部分から 4 cm^2 にくりぬいた葉片を実験に供した。各フラスコに葉片5コを入れた。磷の影響は磷酸態の磷酸水素2ナトリウムで調べ、その濃度は2, 0.2, 0.02, 0.002, 0.0002, 0.00002, 0.000002mg%及び0とした。水温は 15°C とし、照度は天然白色の蛍光管で $5,000\sim 7,000\text{ lux}$ にし、窒素は硝酸ナトリウム濃度で0.002mg%として実験を行った。生長は面積で表示した。なお、実験は6回繰返した。

結果の1例を図7に示した。図の表示は図3と同じである。磷濃度の影響は結果が乱れて、明ら

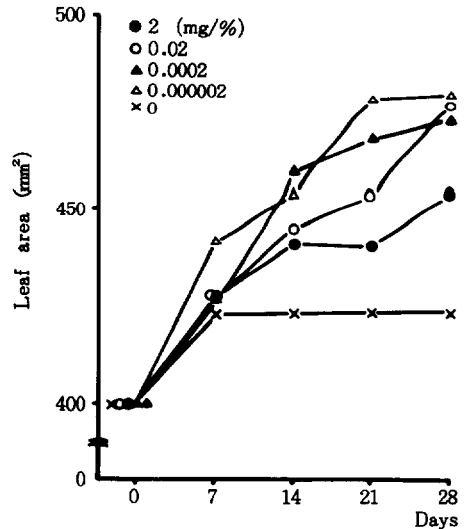


Fig. 7 Growth of *Ecklonia kurome* with the different Concentration of N_2HPO_4

かにできなかつたが、磷酸水素2ナトリウムの濃度で0.002及び0.0002mg%で生長が良いと推定された。この0.0002mg%は内湾域の無機磷濃度の約1/10である。

最適条件の組合せによる培養

山口県東和町地先のクロメを採集し、実験に用いた。このクロメは長さ9.2~21.7cmの単葉である。これらを7~9個体あてそれぞれの培養水槽に入れ、水槽実験を行った。照度は天然光のため培養4~5週の期間中、晴天時は10,000~5,000 luxの範囲で変化し、曇天時には3,000~5,000 luxまで低下した。水温は15℃に設定し、とくに人工海水を用いて実験を行った。窒素は硝酸ナトリウムで0.002mg% (窒素で0.2μM)、磷は磷酸水素2ナトリウムで0.0002mg% (磷で0.014μM)にした。他に窒素と磷を10倍量のそれぞれ2μM, 0.14μM、さらに100倍量の20μM, 1.4μMにして実験を行った。なお、この実験では河過海水を用いた培養を対照とした。

結果の1例は図8、9のとおりである。縦軸に葉長と湿重量の平均値を横軸に培養日数を示した。図8に示したように窒素と磷の濃度のクロメの生長に対する影響は、いずれも河過海水(天然海水)と同程度で、生長にその色はなかった。窒素や磷を10倍量、100倍量にしてもこの傾向は同じであった。したがって、窒素0.2μM、磷0.014μMはクロメの生長に十分な濃度と考えられた。しかし、人工海水であるためか、窒素と磷濃度をどのようにかえても培養期間が4週間をこえると、葉体表面にシワが出、さらに時間がたつと、シワの数が多くなり、ついには死細胞斑があらわれた。

培養による生長観察

大型海藻培養装置により、クロメの培養が可能になったので、長期間培養を続けて、生長や成熟を観察した。

実験に用いたクロメは山口県東和町地先で採集した。1回目の1984年10月25日に実験を開始したときのクロメの大きさは14.8~19.2cm、3.2~5.4gの単葉であった。2回目の1985年4月23日

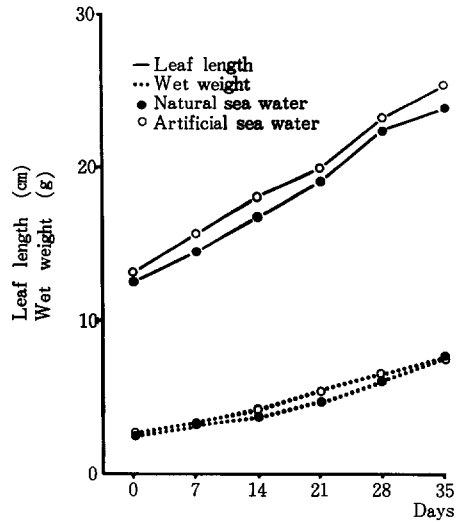


Fig. 8 Growth of *Ecklonia kurome* with the concentration of nitrogen, 0.2μM and phosphorus, 0.014μM

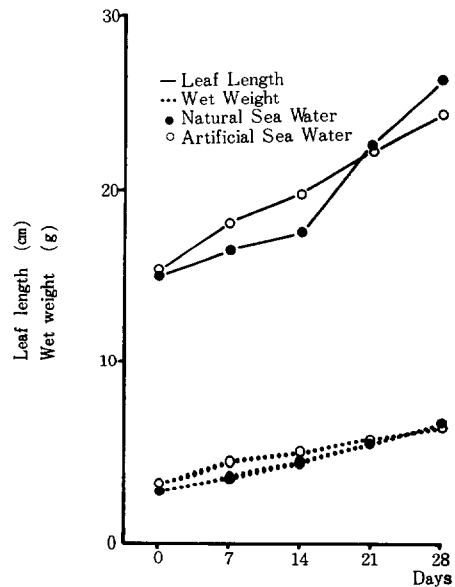


Fig. 9 Growth of *Ecklonia kurome* with the Concentration of nitrogen, 20μM and phosphorus, 1.4μM

クロメの最適生長条件について

に実験を開始したときは30.0~32.2cm, 39.9~76g で、これは1回目の実験に用いたクロメのなかから選んだ。照度は天然光のため、晴天時は10,000~50,000luxで曇天時には3,000~5,000luxの範囲であった。水温は15℃にし、汙過海水に窒素を20 μ M, 磷を1.4 μ Mになるように添加した。

結果を図10に示した。縦軸に葉長と湿重量の平均値を、横軸に観察月日を示した。葉長が急速

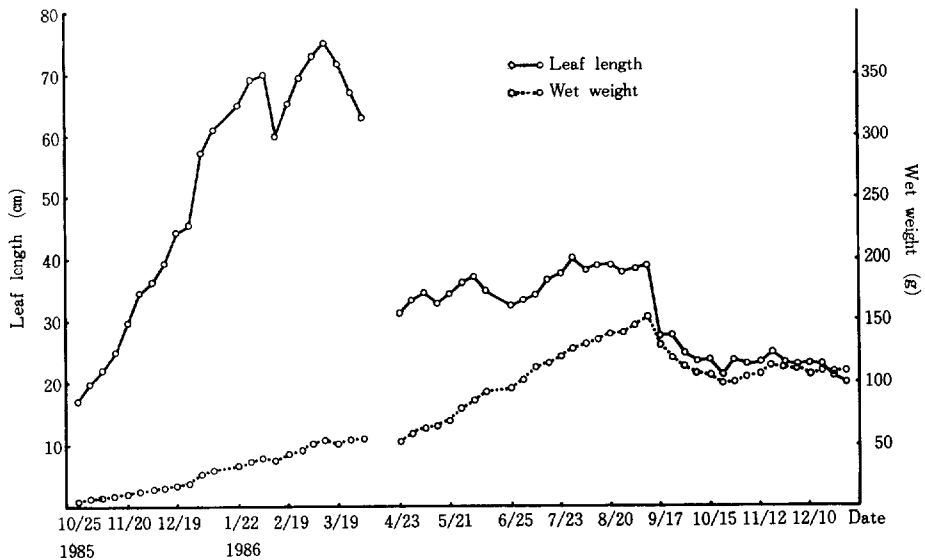


Fig. 10 Growth of *Ecklonia kurome*.

に大きくなり、湿重量も付随して増加する。1月8日に側葉が長さ1cm位となってはじめて観察された。その後2月12日に先枯れがみられ、葉長が前回の観察より大きくなったり、小さくなったりするが、湿重量は増加が続く。これは側葉が伸長するからである。2回目の実験は培養開始時から側葉を持っていた。したがって、葉長の増減にもかかわらず、湿重量は増加する。1月になって、先枯れがひどく実験は中止せざるを得なかったが、この間に、成熟は観察されなかった。1回目、2回目の実験ともにクロメの生長には、生長→先枯れ→生長というパターンがみられ、これは天然で観察された結果と似ている。ただ、今回の実験結果では生長が再び始まるまでの期間が短かった。この原因のひとつに水温を15℃に固定したことが考えられる。また、12月になって先枯れがひどく、実験を中止せざるを得なくなった原因も側葉を持った成体のクロメにとっては15℃は高水温なことにあるのかもしれない。6月25日以後、葉長と湿重量が平行しているのは、生長して増加する葉体の部分と先枯れで失われる葉体の部分とがつり合っているためと推定される。

考 察

今回の実験からクロメ（長さ7.3~36.2cm, 湿重量0.55~12.4gの単葉）の生長に対する水温, 塩分, 照度及び窒素や磷の濃度の最適条件をまとめると表2のようになる。クロメは塩分適応範

Table 2 Optimum conditions for the growth of *Ecklonia kurome*.

条 件	最 適 範 囲	備 考
水 温	15℃	推定 数cm以下では15℃< 50数cm以上では15℃>
塩 分 照 度	15.16—18.27% 10,000lux	塩素量として 推定 一定でなければ, 50,000luxまで最適範囲となる。
窒 素 濃 度 磷 濃 度	0.2—200μM 0.014—1.4μM	推定 流れや他の栄養塩との関係によって最適範囲は変る。 色や形も含めて考えると, 窒素は20—200μM, 磷は 0.14—1.4μMが最適範囲となる。

囲が狭く, 窒素や磷の要求量が少ないなど, 湾口部の外洋水の影響のある所に生育する種の特徴を示している。クロメの色をみると, 戸過海水（天然海水）で培養したものは, 培養3週間後から色がうすくなる。この状態で窒素を20μM, 磷を1.4μMになるように添加すると色は正常にもどった。また, 形については, 人工海水で培養していたものは, 培養4週間後から, 葉体の表面にシワが出る。そして, さらに培養が続くとシワの数が多くなり, ついには死細胞斑が現われた。これは人工海水に何か欠けているためと思われる。

実験室で水槽によりクロメを今回のように長期間培養した例はないので, 他と比較できないが, 天然群落の生長を観察した例があるので（岩橋1968, 清水ら1982）, これらと生長のパターンを比較すると大体類似している。しかし, 前述のとおり生長→先枯れ→生長のサイクルが少しくずれている。この原因のひとつは水温を固定したことにあると思われる。また, 単葉のクロメには15℃は適当だが, 側葉を持つ大きな個体には高すぎるのかも知れない。

要 約

大型海藻培養装置及びフラスコ培養によりクロメ（長さ7.3~36.2cm, 湿重量0.55~12.4gの単葉）の生長に及ぼす水温, 塩分, 照度や窒素と磷の濃度の影響を調べて, 以下の結果を得た。

1. 水温は15℃が最適であった。
2. 塩分は塩素量で15.16~18.27%が最適範囲と推定された。
3. 照度は10,000 luxまでの範囲では高い照度ほど生長が良かった。
4. 窒素は0.2~200μMで生長は良いが, 色や形への影響を含めて考えると20~200μMが最適

クロメの最適生長条件について

範囲と推定された。窒素は硝酸態でもアンモニヤ態でも同様の結果を得たが、アンモニヤ態の方が最適濃度は小さかった。

5. 磷は $0.014\sim 1.4\mu\text{M}$ で生長が良く、色や形への影響を含めて考えると $0.14\sim 1.4\mu\text{M}$ が最適範囲と推定された。
6. 人工海水を用い、水温、塩分、照度並びに窒素や磷濃度を最適にして培養したところ、天然海水（汙過海水）による培養と同程度の生長がみられた。
7. 大型海藻培養装置で、天然海水（汙過海水）に窒素を $20\mu\text{M}$ 、磷を $1.4\mu\text{M}$ になるように添加して、1年半にわたって培養して、生長のパターンや成熟を観察した。その結果、生長は天然で観察された結果と大体一致した。しかし、この間には成熟はみられなかった。

文 献

- 岩橋義人, 1968 : 伊豆半島沿岸のアラメ・カジメの生態的研究—II. カジメの生育量の季節的变化. 静岡水試研報, 1, 33—36.
- Charters, A. C. and M. Neushul, 1977 : Cultivation of marine macroalgae at the university of California, Santa Barbara, California, Report of UCSB 1-8.
- 清水昭治・堀江康浩, 1982 : アラメ等藻場造成試験—III. 試験施設に着生した増殖用藻類の生育と再生産効果. 和歌山水増試報, 13, 56—69.