

# 駿河湾海洋深層水で培養したヒジキの生長と ヒ素含有量の変化

Growth and arsenic content of “Hijiki” *Sargassum fusiforme* cultivated  
with deep seawater from Suruga Bay

原 雄一郎<sup>1</sup>・長谷川和清<sup>2</sup>・澤本 彰三<sup>2</sup>・岡本 一利<sup>3</sup>・  
二村 和視<sup>3</sup>・吉川 尚<sup>4</sup>・佐藤 義夫<sup>4</sup>・加藤 登<sup>4</sup>

Yuichiro HARA, Kazukiyo HASEGAWA, Shozo SAWAMOTO, Kazutoshi OKAMOTO,  
Kazumi NIMURA, Takashi YOSHIKAWA, Yoshio SATO, and Noboru KATO

## Abstract

Availability of deep seawater (DSW) from Suruga Bay for cultivation of a brown alga “Hijiki” *Sargassum fusiforme* was evaluated by comparing growth and elemental composition between thalli reared in DSW and surface seawater (SSW). Germlings and young thalli were obtained from pre-cultured cut pieces of holdfasts, which were collected from Numazu or Shimoda. At first, germlings were reared in two tanks (30 l in volume) for seven weeks with running DSW pipelined from two depths of 397 m (DSW 397 m) and 687 m (DSW 687 m). The growth rate of the germlings reared with DSW 397 m was 2.7 times higher than those reared in DSW 687 m. Next, weight gain was compared between running DSW (DSW 397 m) and SSW by culturing young thalli from Numazu and Shimoda in tanks (100 l in volume). As the result, Numazu and Shimoda samples showed 1.6 times and 2.3 times higher weight gains in DSW 397 m than those in SSW, respectively. After 45 days of cultivation, arsenic content of the young Numazu thalli (5.2  $\mu\text{g/g}$  dry weight) in DSW 397 m was determined by Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry and found to be lower than those (12  $\mu\text{g/g}$  dry weight) in SSW. In conclusion, culture of *S. fusiforme* in DSW can have two benefits, higher growth rates and lower arsenic content of than that in SSW.

**Key Words:** Suruga bay, *Sargassum fusiforme*, Growth, Arsenic, Antagonistic action

## 要 旨

駿河湾海洋深層水を用いて褐藻ヒジキを培養した場合の生長と含有成分のヒ素に対する影響について検討した。水深 397 m と 687 m より汲み上げられた深層水を用い、かけ流し方式でヒジキ幼芽を 7 週間培養した。結果、397 m 深層水で培養したヒジキ幼芽の増重率は、687 m 深層水で培養した場合と比較して高かった。次に、397 m 深層水と表層水 (24 m) で沼津産および下田産のヒジキ藻体を培養したところ、6 週目での増重率は表層水 (24 m) で培養した場合に比べ、各々 1.6 倍および 2.3 倍となった。また藻体中の総ヒ素含有量は、深層水では乾燥重量で 5.2  $\mu\text{g/g}$  まで減少し、表層水のそれでは 12  $\mu\text{g/g}$  までとなった。

**キーワード:** 駿河湾, ヒジキ, 生長, ヒ素, 拮抗作用

<sup>1</sup>東海大学大学院海洋学研究所水産学専攻 (〒424-8610 静岡市清水区折戸 3-20-1)

<sup>2</sup>東海大学海洋研究所 (〒424-8610 静岡市清水区折戸 3-20-1)

<sup>3</sup>静岡県水産技術研究所 (〒425-0033 静岡県焼津市小川 3690)

<sup>4</sup>東海大学海洋学部 (〒424-8610 静岡市清水区折戸 3-20-1)

## 1. 緒 言

静岡県焼津市の駿河湾深層水水産利用施設では、これまで海洋深層水（以下、深層水）を利用して水産生物の養成試験が行われてきた（二村，2005；岡本，2006；二村，2007）。この施設では日本一深い駿河湾の多層構造の特性を利用し、焼津市沖の石花海盆より2層の異なる水深（397 mと687 m）から深層水を汲み上げ、各々の原水をボイラーで15-20℃程度まで加温して利用している。これらの深層水には海藻の生長に必要な栄養塩類（硝酸塩、リン酸塩）が豊富に存在することが報告されている（静岡水試，2005）。

深層水を利用した海藻培養に関しては、国内ではマコンブ *Saccharina japonica*（藤田，1990；岡村，2000a）やカジメ *Ecklonia radiata*（田島，1996；岡村，2000b）などで生長促進等の効果が報告されているが、同じ褐藻類に属するヒジキ *Sargassum fusiforme* での報告例は岡村（2000a）のみである。また、海産動植物はヒ素を無機あるいは有機態として体内に蓄積し、特にヒジキは他の海藻類に比べヒ素含有量が高いことが知られている（花岡，2004；小川，2006）。ヒ素はヒ酸や亜ヒ酸といった無機態では人体に有害であるが、水産物に含まれるヒ素の大部分は人体に無害な有機態である。よって、海藻類は過剰に摂取しない限り中毒を起こすことはなく、これまで健康被害の報告はない。ただし、英国では政府がヒジキの摂取を控えるよう国民に勧告した例（FSA，2004a；FSA，2004b）もある。藻類によるヒ素の取り込みには、環境水中のリン濃度が影響すると言われている（松任，1987）。深層水ではヒ素濃度は表層水とあまり変わらないが、リン濃度は数倍高い（静岡水試，2005）。そのため深層水で培養した場合、藻体中のヒ素濃度が変化する可能性がある。

本研究では、深層水で培養したヒジキの生長の優位性および含有成分について検討することを目的として、①駿河湾から取水されている2種類の深層水でヒジキの発芽体を培養した場合の生長の違い、②表層水（24 m）と深層水で培養した場合の藻体生

長の違い、および③藻体中のヒ素とリン含有量の経時変化の3点について調べた。

## 2. 材料と方法

### 2.1 深層水を用いたヒジキ発芽体の生長比較

駿河湾の異なる水深（397 mと687 m）から取水した深層水のうち、どちらがヒジキ種苗の生産に適しているかを検討するため、発芽体を用いた培養試験を行った。687 mの深層水では、397 mよりも栄養塩は豊富であるが、原水の温度は低い（静岡水試，2005）。実験に用いたヒジキ発芽体は、大分県農林水産研究センターで開発された組織培養の手法（伊藤，2005）を用いて作出した。母藻となるヒジキは、2007年6月、静岡県沼津市江浦湾に面した堤防付近に自生する藻体を、スクレーパーを用いて付着器から剥ぎ取って採集した。これを焼津市の駿河湾深層水水産利用施設に運び、表層水（取水水深は24 m）で培養した。8月9日、カミソリを用いて主枝から付着器を切り離し、0.5~1.0 cmに細断し、2つの白いバット（32×52×12 cm）におよそ等量になるように移し入れ、各々397 mと687 mの深層水をかけ流しの状態で約1ヶ月間、予備培養した。長さ約2 cmに発出した発芽体をカミソリで根元の部分から切り離し、これらを本培養に使用した。

本培養は、付着器の予備培養で使用したのと同種の深層水をかけ流してそれぞれ使用した。発芽体は、2つの円筒状水槽（100 L）内で通気し、2007年9月6日から7週間培養した（Fig. 1）。期間中は、1週間毎に水槽内の全個体を取りあげて湿重量の合計値を測定し、増重率を求めた。

$$\text{増重率 (\%)} = \frac{n \text{ 週目の値} - \text{初期値}}{\text{初期値}} \times 100$$

環境要因として水槽内の水温をデジタル水温計で測定した。

### 2.2 表層水と深層水を用いたヒジキ幼体の生長比較

表層水（24 m）と397 m深層水を用いて、ヒジキ幼体の比較培養を行った。使用した藻体は2007

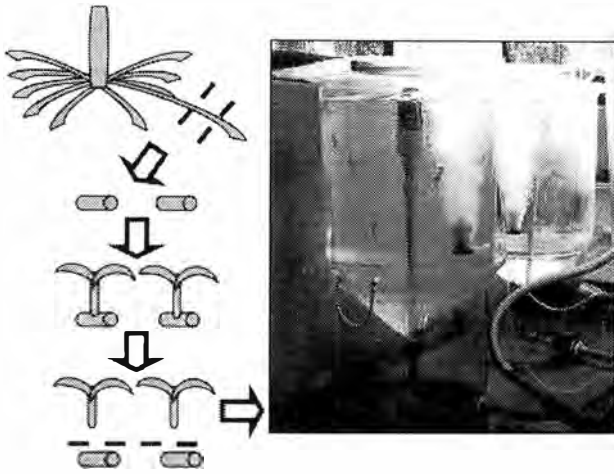


Fig. 1. Diagram showing the process of *Sargassum fusiforme* germling production by culturing cut holdfasts.

年8月9日に静岡県下田市白浜で採集し表層水で培養していた幼体20個体（以下、下田産幼体、平均主枝長7.9 cm）と、2種類の深層水を用いた比較実験のうち、397 mの海水で培養した幼体10個体（以下、沼津産幼体、平均7.7 cm）を使用した。これら産地の異なる幼体を半数ずつ2基の30 L水槽に移し入れ、それぞれ表層水または深層水をかけ流しの状態で2007年11月1日より6週間通気培養した（Fig. 2）。両水槽の水温差をできるだけ小さくするため、表層水をかけ流したウォーターバスに両水槽を入れた。培養期間中は1週間毎に全個体の主枝長および湿重量を測定し、各々の平均値から生長率と増重率を求めた。生長率は、培養開始時とn週目の平均主枝長から、先述した増重率と同様の計算式により求めた。

各水槽内にはロガーを設置し、水温を10分毎に計測した。10月15-18日にかけて各々の海水を計20回採取し、海水中の硝酸塩とリン酸塩濃度を測

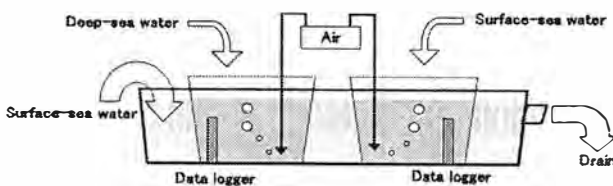


Fig. 2. Diagram showing culture method of *Sargassum fusiforme* thalli in two tanks with running surface seawater and deep seawater.

定した。硝酸塩は銅・カドミウム還元カラム法、リン酸塩はモリブデンブルー法を用いて分析した。

### 2.3 ヒジキ藻体中のヒ素およびリン含有量変化

ヒジキの総ヒ素（以下ヒ素）および総リン（以下リン）含有量の検討には、2007年8月9日に静岡県下田市白浜で採集し、表層水で培養していた藻体を用いた。本培養は、2007年9月20日に表層水または397 m深層水をかけ流した30 L水槽に移し替えて開始し、15日、30日、45日目に3-5個体ずつとりあげ、藻体中のヒ素およびリン含有量を各々3回測定した。

測定に供試するヒジキ試料は脱塩する必要があるが、脱塩の際に蒸留水を用いると生体成分が溶け出したり壊れたりするため、3.5%炭酸アンモニウム水溶液を用いて脱塩（植松ら、1978）した後、フリーズドライ処理を行った。これを乳鉢で粉末状にした後、約1~2 g精秤したものを三角フラスコに移し入れ、硫酸と硝酸を各々15 mL添加し、ガスバーナーで熱分解処理した。分解液はろ紙でろ過した後、100 mLのメスフラスコに移して蒸留水で定容し、これを分析用試料とした。ヒ素は水素化物発生原子吸光法（JIS K 0102 (2008) 61. 2）により、水素化物発生装置（Hydride Vapor Generator HGV-1, Shimadzu Europe）付属の原子吸光光度計（Atomic Absorption Spectrophotometer AA-6650, 島津製作所製）を用いて測定した。リンはモリブデンブルー法によって測定した。

### 2.4 統計学的分析

培養条件による培養海水中の栄養塩濃度、ヒジキの生長および含有成分量の差に関しては、Welchの方法によるt検定を行い、有意水準5%で検定した。

## 3. 結果

### 3.1 深層水（397 m・687 m）を用いたヒジキ発芽体の生長比較

培養期間中の平均水温は、397 m深層水では

16.9±1.1°C, 687 m 深層水では 17.2±1.3°Cと有意な差は認められなかった. Fig. 3 に 2 種類の深層水で培養した発芽体の平均増重率の変化を示した. 397 m 深層水では, 増重率は 4 週目までは初期葉の脱落や珪藻の付着などにより幾分増減があったが, 主枝を形成し始めた 4 週目以降は単調に増加し, 7 週目には初期重量の 94%まで増加した. 一方, 687 m 深層水では培養期間に増重率の上昇が認められず, 7 週目では初期重量の約 1/2 にまで減少した. 397 m と 687 m の深層水で約 2 ヶ月間培養した発芽体を比較すると, 前者は後者より大形で (Fig. 4), 最大個体の主枝長を比較すると, 前者が 17.5 cm であったのに対し, 後者では 4.2 cm であった.

### 3.2 表層水と深層水を用いたヒジキ幼体の生長比較

Fig. 5 に, 実験期間中の表層水と深層水の水温変化を示した. 期間全体の水温については, 表層水で 18.6±1.3°C, 深層水で 16.1±2.1°Cで有意差が認められた ( $p < 0.05$ ). 硝酸塩とリン酸塩の濃度はともに深層水で高く, 硝酸塩では 8.2 倍, リン酸塩では 7.3 倍であった (Table 1).

下田産幼体および沼津産幼体を, 表層水と深層水で培養したときの平均生長率と平均増重率の変化を Fig. 6 と Fig. 7 に示した. 深層水で培養した下田

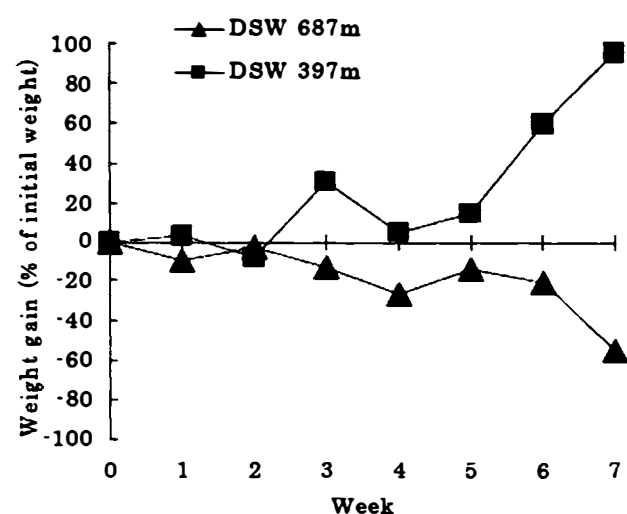


Fig. 3. Temporal changes in mean weight gain of *Sargassum fusiforme* thalli reared for seven weeks in deep seawater pumped from a depth of 397 m (DSW 397 m, closed squares,) or 687 m (DSW 687 m, closed triangles).

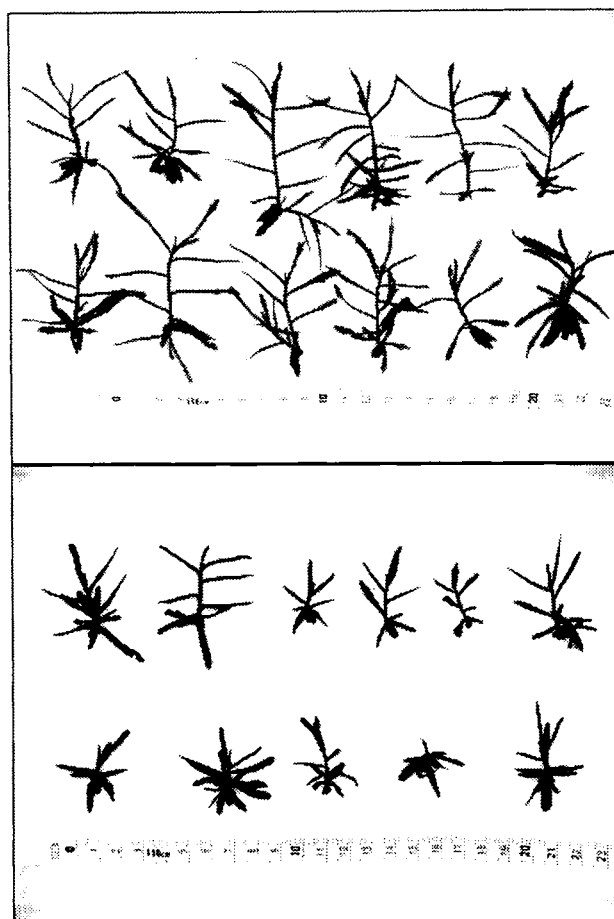


Fig. 4. Appearance of *Sargassum fusiforme* thalli plants after seven weeks cultivation using deep seawater from a depth of 397 m (top) or 687 m (bottom).

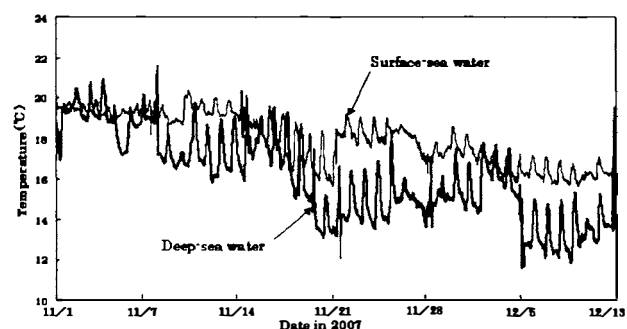


Fig. 5. Changes in water temperatures of surface and deep seawaters during six weeks cultivation of young *Sargassum fusiforme* thalli.

Table 1 Average concentrations of NO<sub>3</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P in Surface-sea water and Deep-sea water during cultivation

	NO <sub>3</sub> -N (μmol/L) (Mean ± SD)	PO <sub>4</sub> -P (μmol/L) (Mean ± SD)
Surface-sea water	3.9 ± 1.1	0.3 ± 0.1
Deep-sea water	31.9 ± 0.4	2.2 ± 0.0

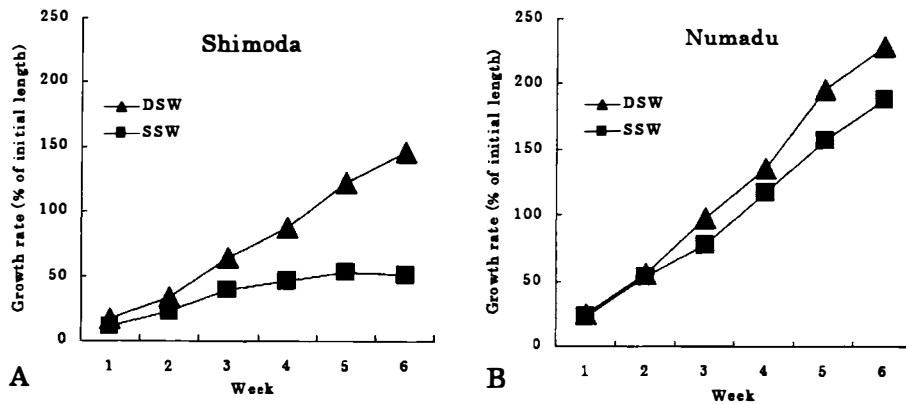


Fig. 6. Mean growth rates of young *Sargassum fusiforme* thalli reared in deep seawater (DSW) and surface seawater (SSW). The thalli were obtained by preculture of cut holdfasts collected from Shimoda (left) and Numazu (right).

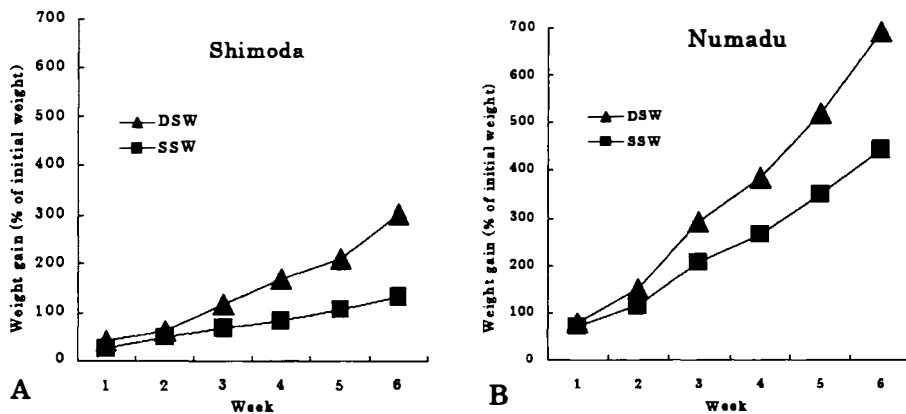


Fig. 7. Mean weight gain of young *Sargassum fusiforme* thalli reared in deep seawater (DSW) and surface seawater (SSW). The thalli were obtained by preculture of cut holdfasts collected from Shimoda (left) and Numazu (right).

産および沿岸産の各幼体の生長率は、表層水で培養した幼体に比べて各々有意に高く、2.9倍および1.2倍であった。また前者と後者の増重率は、各々2.3倍および1.6倍であった。Fig. 8は、各条件での培養6週目の幼体を示しており、産地に関係なく深層水で培養した幼体が、主枝や側枝が長くなる傾向があった。また、深層水培養の幼体は表層水培養に比べ色が濃くなった。

### 3.3 ヒジキ幼体中のヒ素およびリン含有量変化

Fig. 9に、表層水および深層水で45日間培養したヒジキ幼体の平均ヒ素含有量およびリン含有量の変化を示した。表層水で培養した幼体のヒ素含有量は、乾燥重量あたり15日目22.9  $\mu\text{g/g}$ 、30日目

17.7  $\mu\text{g/g}$ 、および45日目12.0  $\mu\text{g/g}$ と緩やかに減少した。一方、深層水で培養した幼体では、ヒ素含有量は15日目から30日目にかけて、27.8  $\mu\text{g/g}$ から2.7  $\mu\text{g/g}$ と約1/10まで急減し、45日目でも5.2  $\mu\text{g/g}$ と有意に低い量を保っていた。藻体中のリン含有量については、表層水培養では15日から30日にかけて753  $\mu\text{g/g}$ から849  $\mu\text{g/g}$ まで増加したが、45日目には264  $\mu\text{g/g}$ まで減少した。深層水培養でも、15日目から30日目にかけて1240  $\mu\text{g/g}$ から1350  $\mu\text{g/g}$ まで増加し、45日目には560  $\mu\text{g/g}$ まで減少した。このように、藻体のリン含有量は、表層水、深層水のいずれで培養した幼体においても同様の変化を示したが、値は深層水で培養した藻体が有意に高く、その値は常に1.5-2.0倍

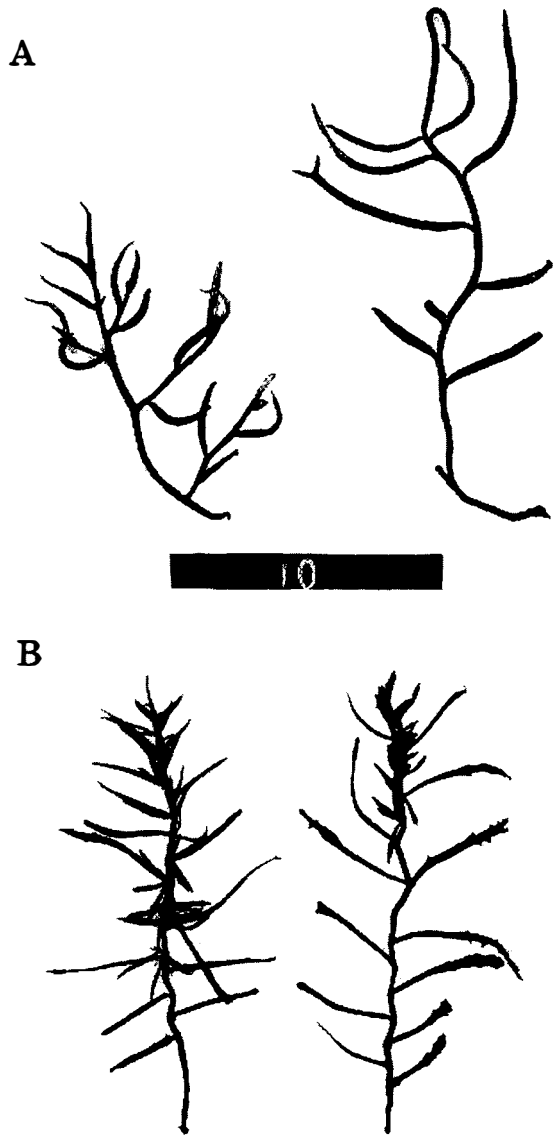


Fig. 8. Habit of *Sargassum fusiforme* thalli reared for six weeks in surface seawater (left) and deep seawater (right). The thalli were obtained by preculture of cut holdfasts collected from Shimoda (A) and Numazu (B).

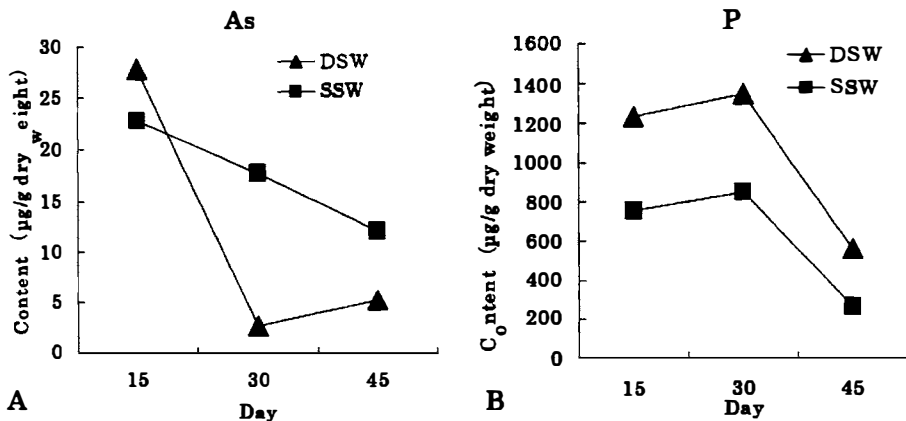


Fig. 9. Changes in mean arsenic (A) and phosphate (B) contents in *Sargassum fusiforme* thalli reared in surface seawater (closed squares) and deep seawater (closed triangles) during a period of 45 days.

を示した。

ヒジキ幼体中のリンとヒ素含有量の平均重量比 (w/w) を Fig. 10 に示した。リン：ヒ素比は、表層水で培養した幼体では 22-48 と培養期間中あまり変化しなかったのに対して、深層水で培養した幼体では 45-493 と大きく変化し、特に 15 日目から 30 日目にかけてその比が約 11 倍になった。

4. 考 察

ヒジキ発芽体の培養実験では、397 m 深層水で培養した場合、687 m 深層水に比べて生長が良く、

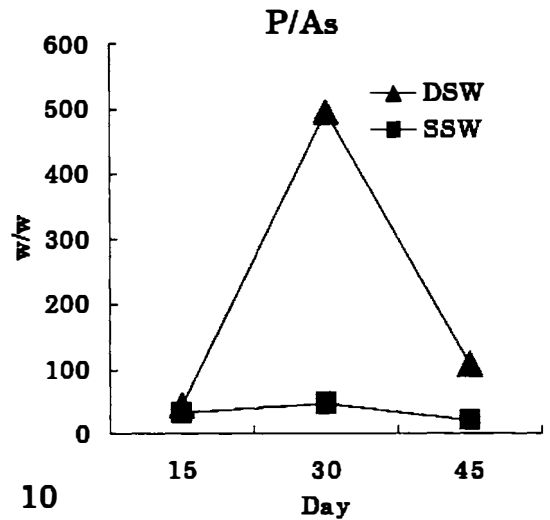


Fig. 10. Changes in mean arsenic (A) and phosphate (B) contents in *Sargassum fusiforme* thalli reared in surface seawater (closed squares) and deep seawater (closed triangles) during a period of 45 days.

藻体の部分的な脱落も少ないことが明らかとなった。藻類の生育に必要なとされる栄養塩（硝酸塩・リン酸塩）濃度でみると、687 m 深層水では 397 m 深層水に比べてむしろ 1.5-2 倍高いことが報告されている（静岡水試, 2005）。また、ヒジキの生長に大きく影響すると思われる水温にも両者の間で大きな差がなかった。397 m の方で顕著な生長をもたらす現象は、同施設で培養されている褐藻のカジメでも同様に確認されており（未発表）、水温や栄養塩以外の何らかの要因（例えば、細菌の密度や活性の違い等）が関与している可能性が考えられるが、現時点では不明である。今後はこれらを究明していく必要がある。

本研究において、397 m 深層水で培養したヒジキ藻体の平均主枝長は 11 月時点で 112.9 mm であった。著者らは、沼津市地先に自生する天然ヒジキの生長を、2007 年 7 月より 1 年間、毎月記録しており、同時期における沼津天然ヒジキの平均主枝長は 29.0 mm であった。したがって、397 m 深層水で培養した場合は天然藻体の約 4 倍の生長が得られており、深層水をヒジキの種苗生産に利用することで、本種の効果的な増殖が期待できる。

表層水と深層水によるヒジキ幼体の比較培養では、用いたヒジキの産地に関係なく、深層水で培養した場合に生長が良いことが明らかとなった。この理由として、深層水では硝酸塩およびリン酸塩濃度が表層水に比べ高かったことが考えられる。平均水温では、深層水（平均 16.1°C）が表層水（18.6°C）よりも 2.5°C 低かったが、同じ温帯域の韓国では、ヒジキは 15~20°C の範囲で良く生長したとの報告（Hwang *et al.*, 1994）もあることから、この水温差の影響は少ないと考えられる。

本研究では、ヒジキの産地に関係なく、深層水で培養した幼体では、表層水で培養した幼体よりも主枝や側枝が長くなり、色が濃くなる傾向が認められた。ヒジキと同じホンダワラ属のフシスジモク *Sargassum confusum* を深層水で培養すると、先端葉の生長が表層水に比べ著しく速くなることが報告されている（田島, 2002）。また藻体の色の違いについては、同じ褐藻であるホソメコンブ

*Saccharina religiosa* でも、深層水で培養した場合、表層水と比較して藻体の色が濃くなることが報告されている（岡, 2004）。今回のヒジキの場合も、表層水に比べ栄養塩が豊富な深層水で培養したことにより、同様の現象が生じたと考えられる。

ヒジキ藻体のヒ素含有量については乾燥重量あたり  $60 \pm 11 \mu\text{g/g}$ （田川, 1976）、 $110 \mu\text{g/g}$ （FSA, 2004b）などの報告があり、これらに比べ本研究の深層水培養によって得られた値（ $2.7\text{--}27.8 \mu\text{g/g}$ ）は低かった。深層水で培養した場合にヒジキ藻体中のヒ素含有量が大きく減少した理由としては、ヒ素とリンとの間に働く拮抗作用が可能性として考えられる。ヒ素は、海藻の生長にとって必須元素であるリンと同族元素で化学的性質も類似しているため、海水中から藻体内への取り込みに関して、両元素が互いに影響していると考えられている（松任, 1987）。これまでヒ素とリンの拮抗作用については、酵母やカビを用いた研究が行われており、培地のリン濃度を高くすることで、細胞内へのヒ素の取り込みやヒ素の毒性を低下させる効果が報告されている（DaCosta, 1972; Rothstein, 1963）。駿河湾深層水中のリン酸塩濃度は表層水に比べ 6~7 倍ほど高いことが報告されており（静岡水試, 2005）、ヒジキの場合もリン濃度が高い環境におかれることによって、同様の拮抗作用が働き、リンの取り込みが促進されるのとは逆にヒ素の取り込みが抑制され、生長していく過程で結果的に藻体全体のヒ素含有量が低下したと考えられる。同族元素の拮抗作用を応用した例としては、微細藻類の培養で珪藻を除去するために、培地中に二酸化ゲルマニウムを添加する方法（Lewin, 1966）が挙げられる。

以上、深層水を用いたヒジキ藻体の培養は、生長の促進とヒ素含量の大幅な低下の 2 点でその有用性が認められた。ヒ素含量減少の機構については、深層水中に高濃度に含まれるリンとの間に働く拮抗作用が可能性として考えられた。現在、各地で収穫された生のヒジキは、熱湯処理後に乾燥させた状態で流通し、調理前に再度水戻しすることでヒ素を除去している。深層水培養によりヒ素含有量の少ないヒジキが生産可能になれば、本種の調理までの煩雑な

工程が簡便になると考えられる。

## 謝 辞

本研究は「都市エリア産学官連携促進事業」の一環として行われた研究の一部であり、この研究の場を提供していただいた静岡県水産技術研究所の安井港所長に感謝の意を表す。

## 文 献

- DaCosta, E. W. B. (1972) Variation in the toxicity of arsenic compounds to microorganism and the suppression of the inhibitory effects by phosphate. *Appl. Microbiol.* 23, 46-53.
- 藤田大介 (1990) 富山湾の深層水で培養したマコンブの生長. *藻類*, 38, 189-191.
- Food Standards Agency (2004a) Ref: R938-28 Agency advises against eating hijiki seaweed. <http://www.food.gov.uk/news/pressreleases/2004/jul/hijikipr>.
- Food Standards Agency (2004b) FSIS 61/04: Arsenic in seaweed. <http://www.food.gov.uk./multimedia/pdfs/arsenicseaweed.pdf>.
- 花岡研一 (2004) 海洋生態系におけるヒ素化合物の動態に関する研究. *日本水産学会誌*, 70, 284-287.
- 伊藤龍星 (2005) 平成 15 年度ヒジキ増大技術開発事業. 大分県海洋水産研究センター事業報告 2005, 236-238.
- Lewin, J. (1966) Silicon metabolism in diatoms. V. germanium dioxide, a specific inhibitor of diatom growth. *phycologia*, 6, 1-12.
- 松任茂樹 (1987) ヒ素-化学・代謝・毒性. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 88-105.
- 森山貴光 (2004) 海洋深層水を用いた海域肥沃化に関する研究 I 室内培養試験-2 (ヒラネジモクおよびカジメの最適培養条件の検索). 高知県海洋深層水研究所報, 6, 49-52.
- 二村和視 (2005) サガラメ *Eisenia arborea Areschoug* (Phaeophyceae) 配偶体の生長・成熟に及ぼす駿河湾深層水の影響. *海洋深層水研究*, 6, 31-35.
- 二村和視 (2007) 高水温期に駿河湾深層水添加により冷却養殖したアワビの成長・生残. *海洋深層水研究*, 8, 23-26.
- 小川梨絵 (2006) 海藻中のヒ素含有量と食品としての安全性について. *愛媛大学教育学部紀要*, 53, 131-136.
- 岡本一利 (2006) 成体サクラエビ *Sergia lucens* の生残, 成長におよぼす海洋深層水の影響. *海洋深層水研究*, 7, 1-7.
- 岡村雄吾 (2000a) 深層水及び表層水及び表層水混合深層水中で培養したマコンブの生長. *高知県海洋深層水研究所報*, 4, 64-70.
- 岡村雄吾 (2000b) 深層水に栄養塩類及びビタミン類を添加した場合のカジメの配偶体の生長と成熟. *高知県海洋深層水研究所報*, 4, 71-74.
- 岡直宏 (2004) 室戸海洋深層水と表層水を用いたホソマコンブ大量培養と藻体成分比較. *高知県海洋深層水研究所報*, 6, 124-125.
- Rothstein, A. (1963) Interactions of Arsenate with the Phosphate-Transporting System of Yeast. *The journal of general physiology*, 46, 1075-1085.
- 静岡県水産試験場 (2005) 付表 1. 取水深層水及び表層水中の主要元素等調査結果. *碧水*, 第 110 号.
- 田川昭治 (1976) 海藻のヒ素含量とその季節的変動. *水産大学校研究報告*, 25, 67-74.
- 田島健司 (1996) 海洋深層水を利用した大型海藻類の培養技術に関する研究. *高知県海洋深層水研究所報*, 1, 6-11.
- 田島迪生 (2002) 数種海藻の海洋深層水での培養. *石川県水産総合センター研究報告*, 3, 33-37.
- 植松光夫・南川雅雄・有田英之・角皆静男 (1978) 海中の懸濁粒子量の測定法. *北海道大学水産学部研究彙報*, 29, 164-172.

(2008 年 12 月 3 日受付; 2009 年 9 月 6 日受理)