

アカモク養殖における種苗沖出し水深，時期および固定間隔の成長，生残および生産量への影響

西垣友和，篠原義昭，道家章生

Effect of water depth, time of planting and space between seedlings on growth, survival and yield of longline-cultured *Sargassum horneri* (Sargassaceae, Phaeophyta)

Tomokazu Nishigaki, Yoshiaki Shinohara and Akio Douke

The effect of water depth, planting time and spacing on growth, survival and yield of longline-cultivated *Sargassum horneri* seedlings was investigated in Wakasa Bay off Oshima. Yields were higher in seedlings grown at an initial depth of 1 m below the surface and then lowered to 3 m when thalli were growing rapidly than those grown continuously at a depth of 3 m. The survival rate of seedlings planted in October was 100% in February. Survival of seedlings planted in September were decreased rapidly immediately after the start of cultivation and was only 30-65% in February. Yield of seedlings planted at 10- and 20-cm intervals was estimated at 17 kg m⁻¹ but the yield decreased by 50% in seedlings planted at 30-cm intervals. The results suggested that high yields are obtainable from seedlings planted in October at a depth of 1 m and 20-cm intervals and lowered to a depth of 3 m in December.

キーワード: アカモク, 養殖, 沖出し条件, 生産量

アカモク *Sargassum horneri* は、北海道(東部を除く)、本州、四国、九州に分布(吉田, 1998)している一年生のホンダワラ科海藻であり、日本海沿岸の秋田県や新潟県では食用海藻として古くから利用されている(池原, 1987)。近年、京都府においてもアカモクの食用利用が進んでおり、天然資源への影響が懸念されることや資源変動が大きく安定生産が困難であることから、養殖技術に関する研究が行われている(西垣ら, 2010; 西垣, 道家, 2014)。

海藻類の養殖では、環境条件の制御が困難であり、主として水深調整と密度調整など養殖技術による管理が重要となり(三本菅ら, 1986)、種苗の沖出し時期は、その後の成長や成熟に影響する(黒木, 秋山, 1957)。アカモクについては、これまで各地で人工種苗を用いた増養殖試験に取り組みられている(Yamauchi, 1984; 秋田県, 新潟県, 2005; 秋本ら, 2010)、種苗の沖出し時期や水深等の条件と生産量の関係を明らかにした事例は少ない。

本研究では、天然アカモクの好漁場である宮津市大島地先において人工種苗を用いた養殖試験を実施し、種苗の沖出し水深、時期および固定間隔が成長や生残および生産量に与える影響を調査し、養殖技術の確立に向けて沖出し条件に関する知見が得られたので報告する。

材料と方法

種苗生産 アカモクの種苗生産においては、利便性向上のため、幼胚の冷蔵保存技術が検討されており、幼胚が暗条件かつ低温条件下で長期間生存し、冷蔵後の成長能は冷蔵せずに培養した場合と遜色ないことが示されている(吉田ら 2000)。著者らは、3～4ヶ月間冷蔵保存された種苗(以下、冷蔵種苗)を養殖に用いた場合の生産量が、冷蔵せずに生産された種苗(以下、通常種苗)を用いた場合と遜色ないことを2013年に確認し(未発表)、それ以降冷蔵種苗を用いた養殖技術開発を進めている。そこで、本研究において2012～2013年には通常種苗を、2014～2015年には利便性の高い冷蔵種苗を用いた養殖試験を行った。

通常種苗の生産では、西垣ら(2010)の方法に準じて、母藻から得られた幼胚をABS樹脂製の基質(10×15×10 mm)上に散布し、砂濾過海水をかけ流して静置培養および攪拌培養(西垣ら, 2007)を行った。一方、冷蔵種苗の生産では、幼胚を基質に散布し、6日間静置して基質への付着を確認した後に、大型冷蔵庫内において暗条件かつ低温(4℃)条件下で3ヶ月半保存し、その後、静置培養および攪拌培養を行った。各年の種苗生産工程をTable 1に示した。

Table 1 Production process of *Sargassum horneri* seedlings used in a long-line cultivation study during 2012-2013 and 2014-2015

Examination year	2012-2013	2014-2015
Seedling type	Normal seedlings	Low temperature storage seedlings
Collection of mother plants	Oshima, Miyazu Feb 10, 2012	Oshima, Miyazu Feb 14, 2014
Seeding	Mar 1	Feb 21
Low temperature storage	-	Feb 27 → Jul 10
Static culture	Mar 1 → May 22	Jul 10 → Aug 8
Agitated culture	Mar 22 → Oct 20	Aug 8 → Oct 22

沖出し水深の検討 (2012-2013 年試験) 沖出し水深については、西垣ら (2010) の事例から水深 0.5 ~ 3 m では深所ほど生産量が多くなる可能性が高いと考えられた。一方、2011 年に宮津市大島地先 (Fig. 1) で行われた予備試験では、水深 3 m に沖出しされた種苗に浮泥の堆積が確認され、成長や生残への悪影響が懸念された。一般的に浅所ほど波浪の影響が大きいので、浮泥の堆積は軽減されると推察される。そこで、本研究では、沖出し時の垂下水深を 1 m と浅くして藻体が急激に伸長する時期になってから垂下水深を 3 m に下げた場合と、水深 3 m に沖出しし、収穫まで垂下水深を変更しない場合との比較を行った。

大島地先の水深 6 ~ 8 m の海域において、種苗の垂下水深の変更が容易に行える西垣ら (2010) に準じた養殖施設を設置し、2012 年 10 月 20 日に種苗を沖出した。なお、沖出し時の種苗の藻体長 (基質上最大個体の付着器から茎先端までの長さ) は 28.0 ± 8.2 cm (平均値 \pm 標準偏差) であった。種苗は、基質に付着した状態で、ポリ塩化ビニル製のパイプ (VP20, 長さ 4 m) の中央部 1 m の範囲に結束バンドを用いて 10 cm 間隔で 10 個を固定し、養殖施設の水深 1 m および 3 m にパイプ 2 本分ずつ垂下した。垂下水深 1 m のものについては、12 月 17 日にパイプに取り付けられたロープを伸ばして、垂下水深を 3 m に変更した。以下、これらの区を「1→3 m 区」、当初から水深 3 m に垂下された区を「3 m 区」と表す。11 月 20 日、12 月 17 日および 2013 年 1 月 22 日に、スキューバ潜水により水中で各パイプ上の生残数を計数し、ランダムに基質 3 個を選び、藻体長を測定した。なお、生残数の計数では、基質ごとに個体数を計数することが困難であったため、アカモクが 1 個体以上着生した基質を計数し、生残数とした。また、1 月 22 日には両区とも藻体長が 3 m を超えており、水中での測定が困難であったため、生残数のみ計数した。2 月 6 日には全てのパイプを回収し、パイプご

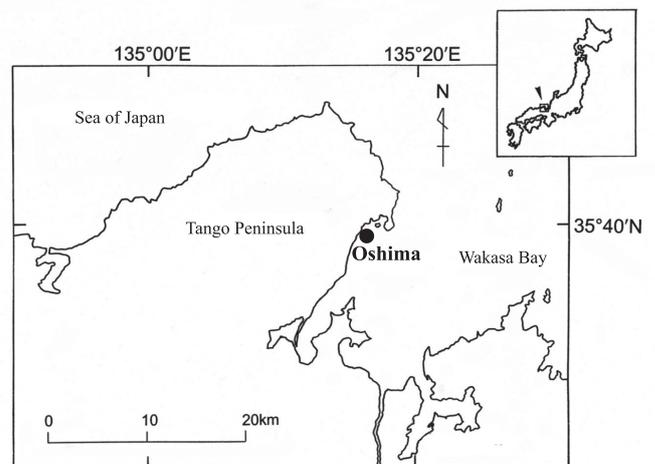


Fig. 1 Map of site (●) for the experimental long-line cultivation of *Sargassum horneri* in Wakasa Bay off Oshima.

とにランダムに基質 3 個を選び、藻体長を測定した後、全ての基質から藻体を外して総湿重量を測定し、パイプ 2 本の平均を求めた。

沖出し時期および種苗固定間隔の検討 (2014-2015 年試験) 宮津市大島地先の水深 6 ~ 8 m 地点に中層延縄式の養殖施設 (Fig. 2A) を設置し、2014 年 9 月 16 日および 10 月 20 日に種苗を沖出した。以下、前者を 9 月種苗、後者を 10 月種苗と表す。9 月および 10 月種苗の沖出し時の藻体長は 4.2 ± 0.9 および 10.0 ± 3.8 cm であった。ただし、9 月種苗では、茎が未伸長であったことから、基質上の最長個体について付着器から最も長い葉状部の先端までの長さを測定した。養殖施設の種苗ロープ (全長 50 m) を 10 m ずつの 5 区画に分け、そのうちの 2 区画内に 3 箇所ずつの小区画 (長さ 2 m) を設け、小区画ごとに種苗を 10 cm 間隔で 20 個、20 cm 間隔で 10 個、30 cm 間隔で 6 個を結束バンドで固定し、それぞれ 10 cm 区、20 cm 区、30 cm 区とした (Fig. 2A)。9 月および 10 月種苗の沖出し水深は 1 m とし、12 月 10 日に

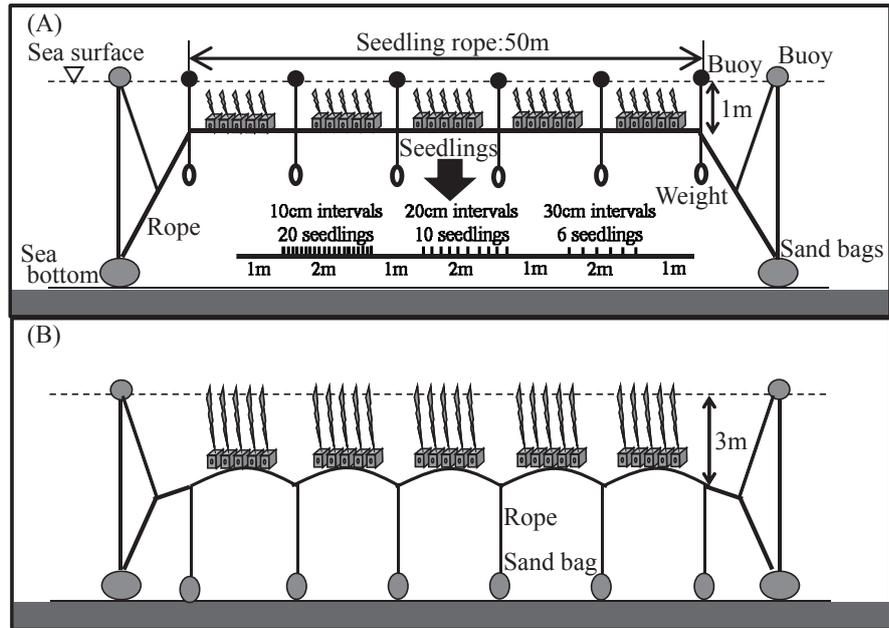


Fig. 2 Diagram showing the longline cultivation method for *Sargassum horneri* seedlings, which were initially set at a depth of 1 m below the surface (A) and lowered to a depth of 3 m when thalli were growing rapidly (B).

種苗ロープの6箇所にて土俵を取り付けて水深3 mまで沈めた (Fig. 2B)。10月20日、11月11日、12月10日および2015年1月9日に、スキューバ潜水により各区の生残数を計数し、ランダムに選んだ基質3個の藻体長を測定した。2月4日に各区の生残数を計数した後に、ランダムに選んだ基質を3個ずつ回収した。回収された基質については、藻体長を測定した後に総湿重量を測定した。基質ごとの総湿重量に沖出し種苗数および生残率を乗じて、養殖ロープ1 mあたりの生産量を推定した。なお、1月には、2012～2013年試験と同様に、水中での藻体長の測定が困難であったため、生残数のみ計数した。9月種苗の20 cmおよび30 cm区については、生残数が少なかったため、基質の回収を行わなかった。

結 果

沖出し水深の検討 両区における藻体長および生残率の変化を Fig. 3 に示した。沖出しから1か月後(11月)の観察では両区において藻体への顕著な浮泥の堆積は確認されず、両区とも藻体の伸長は緩やかであった。その後、急激な伸長が認められ、12月には1→3 m区および3 m区の藻体長は 180 ± 71 cmおよび 297 ± 137 cmであり、3 m区の方が大型である傾向が認められた。2月には 617 ± 73 および 605 ± 99 cmであり、試験区間で顕著な差は認められなかった。生残率については、両区とも12月までほとんど変化することなく推移したが、12月から翌年1月に

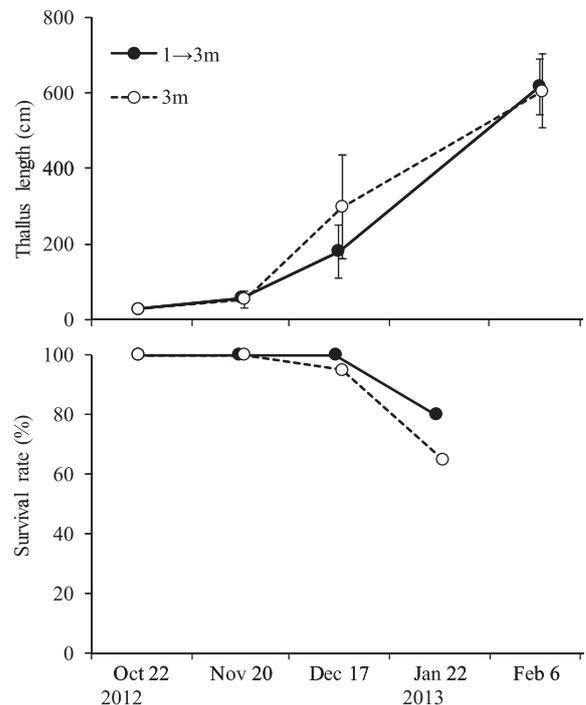


Fig. 3 Growth of thalli and survival rates of *Sargassum horneri* seedlings cultivated at an initial depth of 1 m (and moved to a depth of 3 m in December) and grown continuously at 3 m from October 22, 2012 to February 6, 2013.

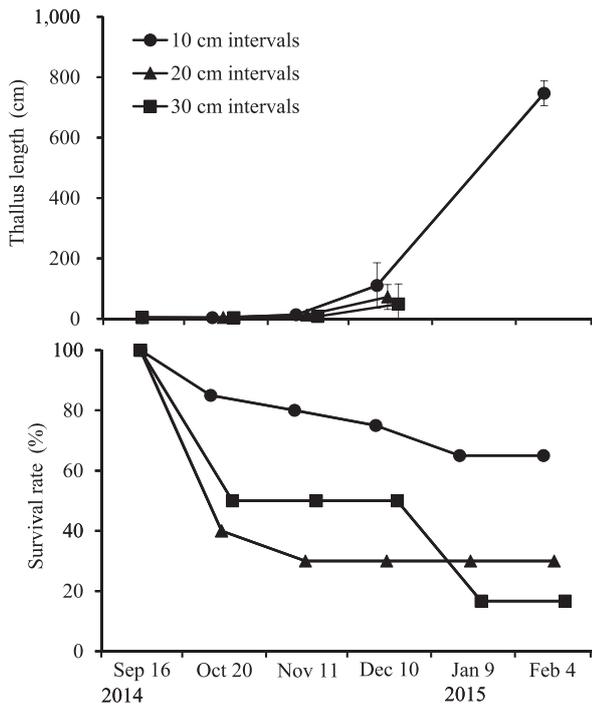


Fig. 4 Growth of thalli and survival rates of *Sargassum horneri* seedlings cultivated at intervals of 10, 20 and 30 cm from September 16, 2014 to February 4, 2015.

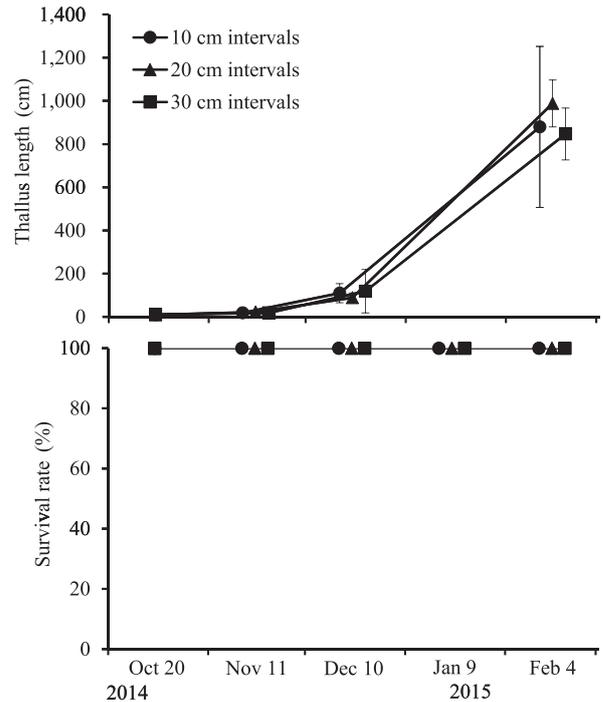


Fig. 5 Growth of thalli and survival rates of *Sargassum horneri* seedlings cultivated at intervals of 10, 20 and 30 cm from October 20, 2014 to February 4, 2015.

かけて低下が認められ、1月の生残率は1→3 m区で80%、3 m区で65%であり、1→3 m区が高い値を示した。2月の総湿重量は1→3 m区で16.9 kg、3 m区で13.2 kgであり、前者は後者の1.3倍程度であった。**沖出し時期および種苗固定間隔の検討** 9月種苗の藻体長および生残率の変化をFig. 4に示した。10 cm区の藻体長は、12月の 110 ± 75 cmまで緩やかに伸長したが、その後急激に伸長し、2月には 747 ± 41 cmとなった。10 cm、20 cmおよび30 cm区の生残率は、沖出しから1か月後(10月)にそれぞれ85、40および50%まで低下し、2月にはさらに65、30および17%まで低下した。10～11月には基質上の小型個体で、ヨコエビ類の摂食によると思われる大部分の葉状部や成長点の欠損が確認された。

10月種苗の藻体長および生残率の変化をFig. 5に示した。各区の藻体長は、12月に $89 \pm 22 \sim 119 \pm 100$ cmまで緩やかに伸長し、その後急激に伸長し、2月には $846 \pm 120 \sim 988 \pm 109$ cmとなった。生残率は、全ての区において100%で推移した。

各区における基質あたりの藻体重量および生産量をFig. 6に示した。9月種苗の10 cm区、10月種苗の10 cm、20 cmおよび30 cm区の基質あたりの藻体重量は、それぞれ 0.9 ± 0.2 , 1.7 ± 0.9 , 3.4 ± 1.5 および 3.0 ± 1.4 kgであり、生産量はそれぞれ 6.1 ± 1.3 , 16.8 ± 9.4 , 17.2 ± 7.7 および 9.0 ± 4.2 kg m⁻¹と推定された。

考 察

アカモク幼体の減耗および成長阻害要因として、波浪など物理的作用、浮泥の堆積、藻食性動物が考えられている(吉田ら, 1997b)。沖出し水深の検討では、当初懸念されたような水深3 m区における顕著な浮泥の堆積は確認されず、沖出し水深にかかわらず、生残率は12月まで高い値を維持したことから、本研究では浮泥の影響は小さかったと考えられた。一方、12月から1月にかけて生残率が低下したが、水深1→3 m区では、水深3 m区に比べて生残率は高かった。12月時点で両区の種苗は180～300 cm程度まで成長しており、生残率の低下は波浪など物理的作用により起こったと考えられる。物理的作用の影響の差異は、藻体の基質への付着力の強弱によると考えられ(吉田ら, 1997a)、水深1→3 m区では、水深3 m区に比べて藻体の付着力が強く、生残率が高かったと推察された。これらのことから、水深1 mに種苗を沖出しし、その後、種苗が急激に成長を示す12月に設置水深を3 mに下げることで、当初から水深3 mで養殖するよりも生残率が高まり、生産量の増加に繋がると考えられた。

種苗の沖出し時期については、種苗生産の効率化の観点から、できるだけ早期に、種苗がより小型の段階で行うことが好ましい。一方、ワカメ *Undaria*

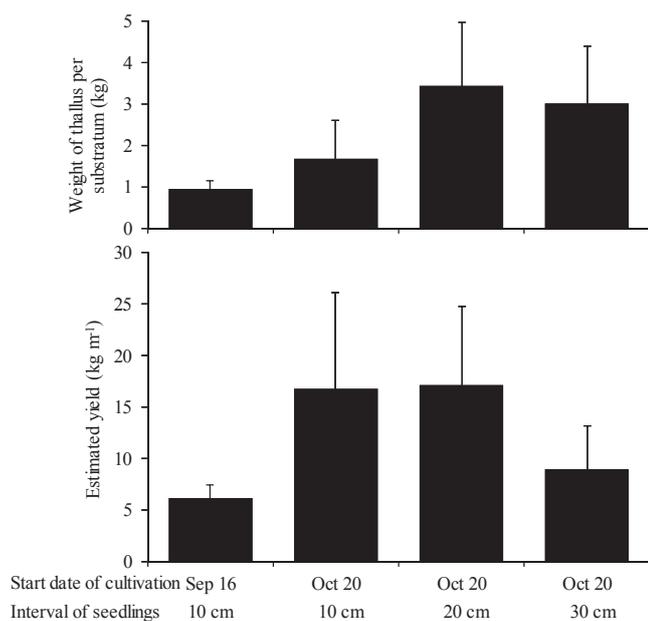


Fig. 6 Weight per substratum and estimated yield of *Sargassum horneri* thalli cultivated at intervals of 10, 20 and 30 cm from September 16 or October in 2014 and harvested on February 4, 2015.

pinnatifida の養殖では、適期から遅れて沖出しされた場合、適期に沖出しされたものに比べて小型で成熟期を迎えて、成長が停止することが知られており（黒木，秋山，1957），沖出しの遅れは生産量の低下に繋がると考えられる。新潟県佐渡島でアカモク種苗の沖出し時期（7月および9～12月沖出し）が検討された事例では、10月以前の沖出しの場合、夏季の強光による色落ちや小型甲殻類の食害により種苗の半数が枯死した（岡地，2012）。一方、11月沖出しでは枯死が認められなかったことから、水温低下に伴い食害圧が低下したと考え、11月が沖出し適期とされている（岡地，2012）。本研究の9月種苗では、沖出し直後から生残率の急激な低下が認められ、残存した個体の葉状部の大部分がヨコエビ類によると思われる食害により欠損していたことから、主な減耗要因は藻食性動物による摂食であったと推察される。10月種苗では、生残率は2月まで高い値で推移し、生産量は9月種苗の2.7倍であったことから、宮津市大島地先における沖出し時期としては10月下旬が適していると考えられた。

海藻養殖における栽培密度は、光エネルギーおよび栄養塩の獲得量に関連し、個体の成長に大きく影響する（三本菅ら，1986）。生産量と個体重量および密度の間には競争現象によって制御されるいわゆる最終収量一定の法則が認められ、藻体が十分に成長

した後は、高密度ほど平均重量が小さくなり、特定の密度を超えると生産量は飽和となる（三本菅ら，1986，ベゴンら，2003）。本研究では、基質あたりの藻体重量は20 cm および30 cm 区で10 cm 区より大きな値を示す傾向が認められ（Fig. 6），10 cm 区と20 cm 区の生産量はどちらも17 kg m⁻² 程度であったが、30 cm 区ではそれらの50%程度であった（Fig. 6）。アカモク養殖では20 cm 以下の固定間隔で、基質あたりの藻体重量が小さくなり、生産量は飽和となるため、少ない種苗数で高生産量を得るための種苗の間隔幅として20 cm が適していると考えられた。

以上のことから、アカモク養殖において10月下旬に水深1 m に20 cm 間隔で種苗を沖出しし、藻体が急激に伸長する12月に設置水深を3 m に下げることによって2月上旬に高生産量が得られることが明らかとなった。本研究で用いた養殖施設や水深の調節方法といった養殖技術（Fig. 2）は実際の養殖現場での活用が期待される。また、冷蔵種苗については、沖出し時に通常種苗に比べて小型であり、攪拌培養水槽における収容密度を高くできることから、種苗生産の効率化に有効である。本研究で10月沖出しに用いた種苗は、茎が10 cm 程度伸長した比較的大型のものであった。被食に対する耐性は種苗サイズによって異なる可能性があるため、光条件や攪拌培養における種苗の収容密度を調節することでサイズの調整が可能な著者らの方法を使って、今後はより小型の種苗を用いた10月下旬沖出しの可能性を検討する必要がある。

文 献

- 秋本恒基，松井繁明，中本 崇，濱田弘之．2010．アカモク *Sargassum horneri* の増殖試験．福岡水海技セ研報，**20**:67-72．
- 秋田県，新潟県．2005．アカモク．ホンダワラ類等有海藻類の増養殖技術開発に関する研究総括報告書．14-28．
- 池原宏二．1987．日本海における食用としてのホンダワラとアカモク．藻類，**35**:233-235．
- 黒木宗尚，秋山和夫．1957．ワカメの生態及び養殖に関する研究．東北水研研究報告，**10**:95-117．
- ベゴン M.，ハーパー J.L.，タウンゼント C.R. 2003．種内競争と密度依存的な成長．「生態学—個体・個体群・群集の科学」（堀道雄監訳）．265-269．京都大学学術出版会，京都．
- 西垣友和，道家章生，和田洋藏．2007．立体攪拌方式によるホンダワラの種苗生産．京都海洋セ研報，**29**:23-27．
- 西垣友和，山本圭吾，遠藤 光，竹野功璽．2010．阿蘇海で養殖されたホンダワラ科褐藻アカモクの生長と生残．京都海洋セ研報，**32**:23-27．

- 西垣友和, 道家章生. 2014. 若狭湾西部海域におけるアカモク 2 個体群の生長および成熟. 京都海洋セ研報, **36**:1-5.
- 岡地恵介. 2012. アカモク養殖試験について. 平成 23 年度日本海ブロック水産業関係研究開発推進会議 日本海資源生産研究部会 増養殖研究会 講演要旨集, 16-17.
- 三本菅善明, 鳥居茂樹, 佐々木茂. 1986. コンブ. 「浅海養殖」(水産資源保護協会編). 567-599. 大成出版社, 東京.
- Yamauchi K. 1984. The formation of *Sargassum* beds on artificial substrata by transplanting seedlings of *S. horneri* (Turner) C. Agardh and *S. muticum* (Yendo) Fensholt. *Bul. Jap. Soc. Sc. Fish.*, **50**: 1115-1123.
- 吉田吾郎, 新井章吾, 寺脇利信. 1997a. 広島湾大野瀬戸産ノコギリモク幼体の成長に及ぼす光量・水温の影響. 南西水研研報, **30**: 137-145.
- 吉田吾郎, 寺脇利信, 吉川浩二, 有馬郷司. 1997b. 広島湾大野瀬戸における秋に成熟するアカモクの初期成長と減耗. 南西水研研報, **30**: 125-135.
- 吉田吾郎, 吉川浩二, 寺脇利信. 2000. 低温保存したアカモク幼胚の発芽率と成長. 日水誌, **66**: 739-740.
- 吉田忠生. 1998. 「新日本海藻誌」. 386-387. 内田老鶴圃, 東京.