

伊豆赤沢海洋深層水の 作物の発芽とカイワレの生育に及ぼす影響

Effects of Deep Seawater Pumped at Izu-Akazawa
on the Stimulation of Germination and Radish Seedling Growth

岡本良子¹・有賀みずえ¹・山田勝久¹・今田千秋²・小林武志²・寺原 猛²

Ryoko OKAMOTO¹, Mizue ARUGA¹, Katsuhisa YAMADA¹, Chiaki IMADA²,
Takeshi KOBAYASHI² and Takeshi TERAHARA²

Abstract

An attempt was made to evaluate the effects of deep seawater (DSW) pumped from an offshore depth of 800 m at Izu-Akazawa on the stimulation of radish seedling growth. The effects of DSW were examined from germination through to the early stages of radish seedling growth. Results showed that a 5% (v/v) solution of DSW indicated the highest performance of vegetable growth. In comparison with a 5% solution of surface seawater (SSW), the 5% DSW solution exhibited a significant effect in terms of radish seedling growth. Furthermore, the size of shoot and leaf of radish seedling grew up rapidly in the experimental plot of 5% DSW after it was moved to a bright space. Also it was confirmed that chlorophyll contents in a leaf of radish seedling increased to about two times the amount compared with the comparison plot of purified water at early stage in the growth of them.

Key Words: chlorophyll, deep seawater, growth promoting effect, radish seedling, vegetable

要 旨

静岡県伊東市赤沢沖（水深 800 m）から取水される伊豆赤沢海洋深層水（以下、DSW）の農業分野への応用の可能性を検討するために、DSW が作物の発芽から生育初期に与える影響を評価した。その結果、20% (v/v) DSW までは大部分の品種で発芽抑制は見られず、生育初期の段階であるカイワレ栽培において、5% (v/v) DSW の添加で最も高い生育促進効果が確認され、同一濃度の直上表面海水（以下、SSW）と比較しても重量において有意な差が確認された。また、緑化段階における急激な葉の肥大が確認され、緑化開始初期において 5% DSW 添加により葉体のクロロフィル含量が高まることが確認された。

キーワード: カイワレ, 海洋深層水, クロロフィル, 作物, 生長促進

1. 緒 言

周囲を海に囲まれた日本にとって、海洋は最も身近で、豊富に存在する資源の一つである。日本最古の農業書とも言われる「日本農業全書」には、江戸

時代からの海水、塩ならびに海藻といった海洋資源を農業に利用する事例が記録されている。このように海洋立国日本における農業分野への海水利用の歴史は長く、昔から人々はその有用性を確信していたと考えられる（北野，2007）。現代においても、海

¹㈱ディーエイチシー（〒106-0047 東京都港区南麻布 2-8-21 南麻布 MIC ビル 7F）

²東京海洋大学大学院（〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7）

水の影響を受ける沿岸域や干拓地で、海水を利用した三浦の春キャベツや熊本の塩みかん、塩トマトに代表されるような品質の良い作物の栽培が行われている。こうした資源性の面では、特に水深 200 m 以深の海水である“海洋深層水”が、表面海水に比べて低温安定性、富栄養性および清浄性といった面で優れている上に、利用持続性が高い再生可能な資源であることから、今後さらなる有効利用が期待されている（藤田・高橋，2006）。これまでも日本各地の海洋深層水取水施設で作物の栽培試験が活発に行われており、海洋深層水の豊富なミネラルや塩分を利用したトマトをはじめとした高品質な作物栽培も盛んである（細川ら，2005）。さらに海洋深層水の低温性をエネルギーとして利用した地中冷却栽培の研究も行われている（谷合・兼島，2011）。

静岡県伊東市赤沢では、2007 年から沖合 5 km、水深 800 m より伊豆赤沢海洋深層水（DSW）の取水を開始しており、広く諸産業分野へ給水するとともに研究面ではこれまでにヒトの培養細胞を用いた評価で表面海水とは異なる海洋深層水特異的な効果が報告されている（野村ら，2011）。海洋深層水には、窒素やリンといった植物の生長に必要な栄養塩が表面海水に比べて多く存在するほか、80 種以上の無機元素や未知なる有機生理活性物質の存在が示唆されており（野崎，1997；五十嵐ら，2000；繆ら，2002）、作物栽培においても有用な効果が期待される。また今日、日本で使用される水の年間使用量である約 835 億 m^3 のうち、農業用水が約 3 分の 2 を占めており（http://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/kurasi_agwater/k_riyou/index.html）、近い将来の水不足が懸念されている。こうした状況下において、利用持続性の高い海洋深層水の農業分野への応用は急務であると考えられる。

上述の背景をもとに、DSW の農業分野への利用拡大を検討するため、発芽から生育初期の状態であるスプラウト栽培に与える DSW の影響とその有用性について調査したところ、DSW 添加による生育促進作用とそのメカニズムにおいて若干の知見が得られたので以下に報告する。

2. 材料と方法

2.1 作物種子

発芽試験には、6 科（アブラナ科、キク科、マメ科、ネギ科、セリ科、シナノキ科）の作物の種子を用いた。アブラナ科には、カイワレ（アタリヤ農園）、クレソン（サカタのタネ）、わさび菜（中原採種場）、ブロッコリー（アタリヤ農園）、野沢菜（日本農産種苗）、ビタミン菜（サカタのタネ）、はつか大根（アタリヤ農園）の 7 品種を用い、キク科は春菊（サカタのタネ）、ヒマワリ（中原採種場）の 2 品種、マメ科も同じく豆苗（中原採種場）、ブラックマッペ（野口種苗研究所）の 2 品種を用い、残りの科については 1 品種ずつ、ネギ科は葉ネギ（トヨハシ種苗）、セリ科はニンジン（サカタのタネ）、シナノキ科はモロヘイヤ（サカタのタネ）を用い、計 14 品種を供試した。

2.2 発芽試験

作物の発芽段階に与える DSW の影響を確認するため、上述の作物種子 6 科 14 品種を用いて、DSW の終濃度が 5、10、20、40% となるように精製水で調製した計 4 試験区を設定した。試験にはプラスチックシャーレ（ ϕ 9 cm）を用い、約 5 cm 四方に切断した脱脂綿を発芽床として各試験区の溶液 20 ml で発芽床を十分湿らせた後、これらの種子を脱脂綿上に約 5 mm 間隔となるよう、各々の種子の大きさに応じて 20~40 粒ずつ播種した。播種後は種子の乾燥を防止するためシャーレを密閉し、アルミ箔と暗幕で完全に遮光した。なお対照区には、精製水を用い、試験区と同様に操作して試験を行った。発芽試験はインキュベーター内で行い、試験温度は各々の品種の発芽適温とし、モロヘイヤ（27℃）を除き、その他の品種は全て 20℃とした。なお発芽の判定は、種子から芽および根が約 1 mm 以上出芽したものを発芽種子とみなし、播種から 7 日後の発芽種子数を計測し、発芽率を求めた。

2.3 スプラウト栽培試験

DSW が作物の生長段階に与える影響を調べるた

めに、生長初期の段階であるスプラウトの栽培試験を行った。本試験にはスプラウト作物として最も周知されており、大きさ、重量ともに試験に適切であると判断したカイワレ (*Raphanus sativus*) を用いた。この発芽時期をそろえるために、後述する各試験区各々2.0 gの種子について、予め精製水に30分間浸漬した後、精製水を含浸させた水耕栽培用スポンジの上にそれぞれの種子が重ならないように均一に播種した。播種から2日間は精製水のみによる栽培を行った。発芽後はDSWの終濃度が5、10、20%となるように精製水で調製した計3試験区を設定した。試験開始後の6日間は遮光下で栽培し、7日目以降は緑化のため白色蛍光灯(20W×6本)照射下で栽培を継続した。なお本試験期間を通して栽培温度は20℃とした。またこれとは別にDSWを含まない精製水だけで調製したものを同様に操作し対照区とした。

2.4 生長量

2.3で栽培したカイワレを、胚軸と根の境界部で切断し、胚軸から上部を試料として、重量および胚軸長を測定し、生長量とした。試験区中で最も生育が良好であったDSW試験区については、同一濃度となるように調製したSSW試験区を設定し、それらの生長量を比較した。

2.5 総ビタミンC含量

作物中の栄養価に与える影響を調査するため、作物中のビタミンC含量を測定した。各試験区のカイワレから任意に10本ずつを選出し、胚軸と根の境界部で切断した。胚軸から上部の重量を測定した後、素早く1~2 mm程度の大きさになるよう細断した。細断した試料1.0 gを秤量し、ヒドラジン法(菅原・前川, 2000)により総ビタミンC量を定量し、予め測定したカイワレ重量から、10本あたりに含まれる総ビタミンC含量を算出した。

2.6 水分含量

作物中の水分含量は、ハロゲン水分計(HR73, メトラー・トレド)を用いて測定した。試料は各試

験区および対照区から任意に選出したカイワレ5本ずつについて、生長量の試験同様、胚軸と根の境界部を切断して試験に供した。

2.7 葉の生長

生長時における葉の生長を調べるため、緑化開始1日後の葉を採取し、松崎らの方法(2003)に準じて表面積を測定するとともに重量を測定した。次に、緑化による葉の生長率を比較するため、緑化前および緑化1日後と6日後の葉の表面積を測定し、各々緑化前の表面積を1としてその後の増加率を相対比で表した。なお、試験区は5%および10% DSW試験区のほか、高塩環境におかれた作物が液胞に塩分を貯蔵することで葉が厚く多汁化する(三村・鶴見, 2009)ことが知られていることから、NaClのみの影響を確認するために5% DSW試験区のNaCl濃度である1.65 mg/ml水溶液をNaCl試験区とした。さらに5% SSW試験区を加えた計3試験区で栽培を行い、カイワレの葉の生長を目視で比較した。なお、NaClやSSWを添加せずに精製水だけで栽培したものを対照区と設定した。

2.8 葉の細胞形態

カイワレ葉の細胞形態については、葉の裏面をレプリカ法(白井・Sanda, 1997)により採取し、培養位相差顕微鏡(400倍, CKX41, オリンパス)によりその形態、大きさ、気孔の状態等を観察した。

2.9 総クロロフィル含量の測定

光合成に関与する色素群であるクロロフィルに着目し、最も良好な生長を示したDSW試験区での影響を調べた。緑化開始0、3.5および6時間後のカイワレの葉を採取し、Porraらの方法(1989)に準じて総クロロフィル量を測定した。また、同時に2.7の方法で測定した葉の表面積から単位面積あたりのクロロフィル量を算出した。

2.10 統計処理

得られたデータは、必要に応じて平均値±標準偏差で表した。なお、データ間の有意差はt検定及び

表1 栽培7日目における発芽試験結果

品 種	対照区	試験区 (DSW 濃度, %)			
		5	10	20	40
カイワレ (アブラナ科)	97.5	100.0	97.5	97.5	97.5
クレソン (アブラナ科)	91.1	86.7	82.2	84.4	25.6
わさび菜 (アブラナ科)	97.3	97.3	92.0	81.3	49.3
ブロッコリー (アブラナ科)	98.7	97.3	97.3	97.3	92.0
野沢菜 (アブラナ科)	98.3	100.0	95.0	98.3	76.7
ビタミン菜 (アブラナ科)	100.0	100.0	96.0	98.0	96.0
はつか大根 (アブラナ科)	100.0	96.7	98.3	96.7	80.0
春菊 (キク科)	63.3	76.7	61.7	25.0	6.7
ヒマワリ (キク科)	93.3	100.0	100.0	93.3	86.7
豆苗 (マメ科)	96.7	96.7	100.0	100.0	80.0
ブラックマッペ (マメ科)	86.7	100.0	90.0	90.0	26.7
葉ネギ (ネギ科)	98.3	95.0	96.7	98.3	80.0
ニンジン (セリ科)	92.0	88.0	97.3	65.3	0.0
モロヘイヤ (シナノキ科)	100.0	98.3	100.0	100.0	83.3

ノンパラメトリック多重比較検定 (Steel-Dwass 検定) を行い, $p < 0.05$ を有意と判定した。

3. 結 果

3.1 作物の発芽に及ぼす DSW の影響

種々の DSW 濃度の発芽床に播種して7日後における発芽率を表1に示した。本試験で用いた14品種の作物は40% (v/v) DSW 試験区においてのみ発芽抑制が確認された。しかし14品種中8品種に関しては、40% DSW 試験区においても80%以上の発芽率を示した。また、春菊およびニンジン以外の品種では20% DSW 試験区でも発芽抑制は見られず、キク科のヒマワリと春菊およびマメ科の豆苗とブラックマッペ (マメ科) の計4品種については、5%および10%の DSW 添加により発芽が促進される傾向が見られた。

3.2 スプラウトの生長に及ぼす DSW の影響

発芽試験において、多くの品種で発芽抑制が見られた40% DSW 試験区を除き、5%から20% DSW 試験区について、カイワレを用いて DSW がスプラウトの生長に及ぼす影響を調査した。各濃度の DSW 試験区における重量と胚軸長の測定結果を図1に示す。DSW 試験区では対照区に比べ、胚軸長、

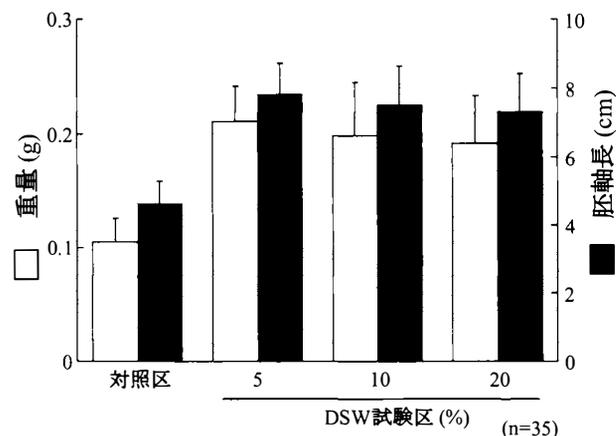


図1 DSW 濃度がカイワレ1本あたりの重量および胚軸長に及ぼす影響

重量ともに1.5~2倍に増大しており、DSW 添加による顕著な生長促進効果が確認された。特に5% DSW 試験区では胚軸長ならびに重量ともに最大値を示したが、10%および20% DSW 試験区ではそれ以上の生長促進効果は見られなかった。また図2の5% SSW 試験区との比較結果が示すように、5% DSW 試験とは胚軸長はほぼ同等であったが、重量では有意な差が確認された。

3.3 スプラウトの総ビタミンC含量および水分含量に及ぼす DSW の影響

作物において重要な要素である栄養成分ならびに水分について、DSW が及ぼす影響を調査した。ま

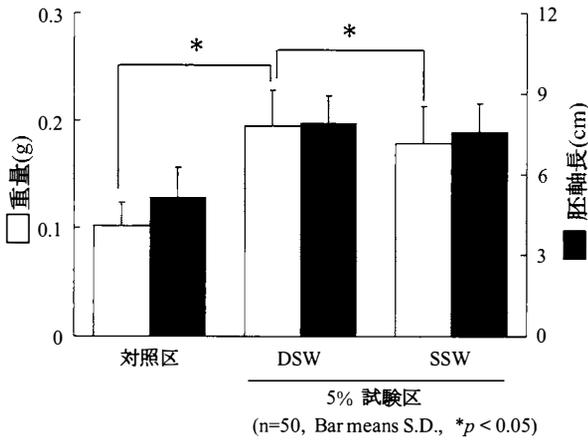


図2 DSW および SSW がカイワレの生長に及ぼす影響

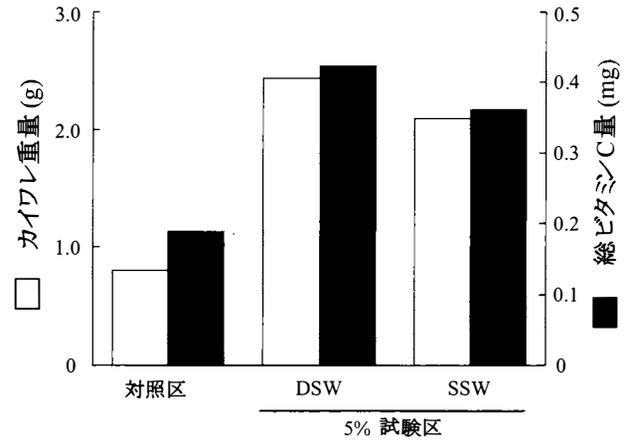


図3 各試験水で栽培したカイワレ 10 本あたりの重量および総ビタミン C 含量比較

ず栄養成分として野菜の代表的な栄養成分であり、1日の摂取量の多くを野菜から摂取していると考えられるビタミン C (田所ら, 1993) を選択した。また、作物の鮮度として重要な因子である水分含量にも着目して測定を行った。総ビタミン C 含量の測定結果を図 3 に、水分含量の結果を図 4 に示した。カイワレ 10 本中の総ビタミン C 含量を比較したところ、その値は試料の重量と正の相関が認められ、重量あたりのビタミン C 量には差が見られなかった。また水分含量に関しては、DSW 試験区および SSW 試験区において、対照区と比べ顕著に増加し、特に 5% DSW 試験区では水分含量が 95% に至る最も高い値を示した。

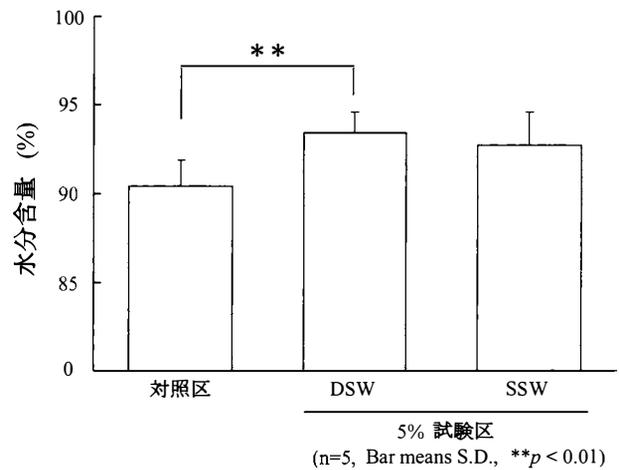


図4 DSW および SSW がカイワレの水分含量に及ぼす影響

3.4 葉の表面積と裏面部の顕微鏡観察

栽培期間中、DSW および SSW 試験区でカイワレの葉の肥大化が確認された。そこで緑化 1 日後における葉の表面積を比較したところ、図 5 に示すように 5% DSW 試験区が最大であった。このことは、NaCl 試験区や 5% SSW 試験区の葉との比較においても、その差は明確であった。さらに、各試験区の緑化前の面積を 1 とし算出した緑化 1 日および 6 日後のカイワレの葉の表面積相対比を図 6 に示す。この図から明らかなように、5% DSW 試験区において顕著な葉の生長が観察された。また、葉の裏面の細胞形態を顕微鏡観察したところ、対照区に比べ、5% DSW 試験区では細胞の肥大化が観察さ

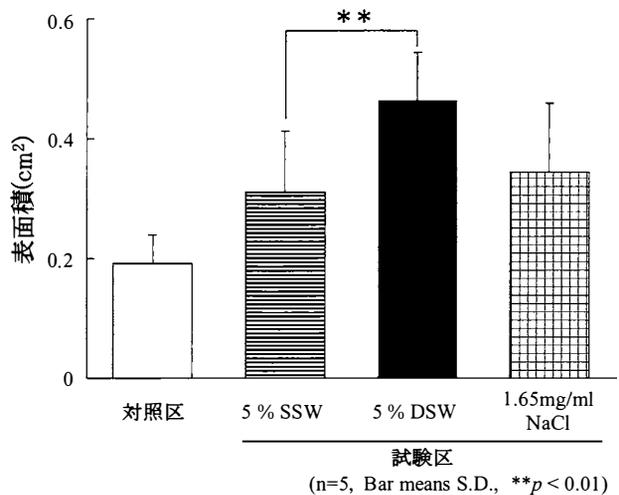


図5 各試験水で栽培したカイワレの緑化 1 日後における葉の表面積の比較

- 講演要旨, 17-23.
- 松岡大介・吉原静恵・徳富哲 (2006) 植物光センサーの多様性と光受容分子メカニズム. 生物物理, 46, 324-329.
- 松村智広・金地通生・稲垣昇・前川進 (1998) NaCl ストレス下におけるキク科花き植物の種子発芽および初期生育. 園学雑, 67, 626-631.
- 松下智直・長谷あきら (2004) フィトクロムの細胞内シグナル伝達機構再考. 蛋白質 核酸 酵素, 49, 749-757.
- 松崎布菜・張経華・高尾雄二・下町多佳志・山崎素直 (2003) 好塩性植物ビートの塩ストレスに対する細胞内成分の変化. 分析化学, 9, 833-837.
- 繆治煉・橘昌司・三浦正伸 (2002) 野菜の養液栽培における海洋深層水の利用. 三重大学生物資源学部附属農場研究報告, 13, 23-29.
- 三村徹郎・鶴見誠二 (2009) 植物生理学. 化学同人, 京都, 129-143, 166-167.
- 野村道康・有賀みずえ・山田勝久・今田千秋・小林武志・濱田(佐藤)奈保子 (2011) 培養ヒト線維芽細胞のコラーゲン合成に対する伊豆赤沢海洋深層水の効果. 海深研, 12, 11-17.
- 野崎義行 (1997) 最新の海水の元素組成表 (1996 年版) とその解説. 日本海水学会誌, 51, 5, 302-307.
- Porra, R. J., W. A. Thompson and P. E. Kriedemann (1989) Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls *a* and *b* extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards. *Biochim Biophys Acta*, 975, 384-394.
- (株)ホーチ・アグリコ (2003) 海洋深層水を植物栽培に使う その有効利用法と使用する有効利用液. フードリサーチ, 576, 17-21.
- 菅原龍幸・前川昭男 (2000) 新 食品分析ハンドブック. 建帛社, 東京, 234-235.
- 田所忠弘・和田政裕・山田和弘・飯島健志・馬場修・猪俣貴清 (1993) キャベツにおけるビタミンの損失率. 日本栄養・食糧学会誌, 46, 175-178.
- 高橋英一 (1981) 微量金属と植物—その農業的側面—. 有機合成化学, 39, 11, 1114-1123.
- 谷合直樹・兼島盛吉 (2011) 地中冷却栽培によるベビーリーフの収量曲線. 沖縄深層水研報, 10, 21-29.
- 留森寿士・遠山征雄・竹内芳親 (1996) ホウレンソウ栽培における希釈海水の灌水効果. 日本砂丘学会誌, 43, 15-18.
- 臼井英夫・Y. W. Sanda (1997) 気孔を観察するための簡易レプリカ法. 三重大学教育学部研究紀要, 48, 23-28.
- (2012 年 10 月 22 日受付; 2013 年 2 月 5 日受理)

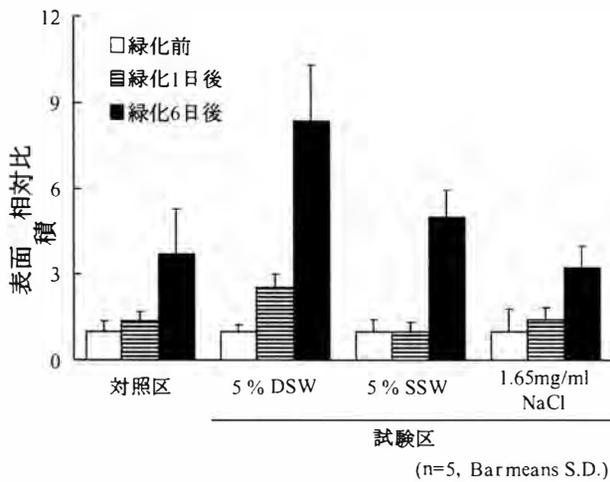


図6 緑化前を1とした緑化時におけるカイワレ葉の表面積変化

れ、気孔部分においても孔辺細胞が肥大している様子が確認された。

3.5 クロロフィル含量

クロロフィルの含有量に及ぼすDSWの影響について調査した結果、緑化前には対照区と各試験区間で差異が見られなかった単位面積あたりのクロロフィル量が、緑化開始3.5時間後および6時間後の試験区では対照区に比べて時間の経過に伴い、顕著に増加する傾向が確認された(図7)。

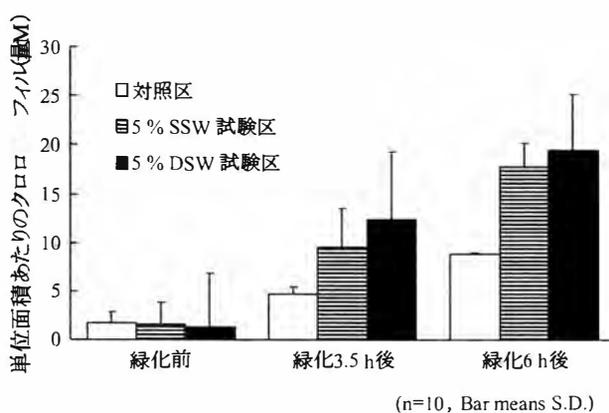


図7 緑化時におけるカイワレ葉の表面積 (cm²) あたりのクロロフィル量変化

4. 考 察

作物の生育に及ぼすDSWの影響を調査した結果、春菊およびニンジンの2品種を除き20% DSW試験区まで対照区とほぼ同等の発芽率が確認された。また、キク科の春菊およびヒマワリや、マメ科の豆苗、ブラックマッペのように5%および10% DSW試験区において、対照区を凌駕する発芽率を示す品種も存在した。海水中には多量のNaClが含まれており、塩害の懸念から一部の例外を除き農業への利用は敬遠される傾向にある。しかしながら、本試験において多くの品種で20% DSW試験区においても発芽抑制が見られず、むしろキク科のヒマワリや春菊ならびにマメ科の豆苗やブラックマッペのように、品種によってはDSW試験区において発芽が促進される傾向が確認された。今回5%および10% DSW試験区で発芽率の上昇が見られたヒマワリは、キク科の植物の中でも特に耐塩性が高いことが報告されている(松村ら, 1998)。この理由として子実中に多く含有されているリン脂質により、膜および酵素タンパク質が脱水から保護されることが考えられる(Bohnert *et al.*, 1995)。本試験結果はヒマワリに例証されるように、子実中に含まれるリン脂質によりDSW中のNaClの影響が回避されたものと考えられる。

また、生長初期の段階にあたるスプラウトについては、カイワレを用いた試験で5% DSWおよび5% SSW試験区において対照区と比べ高い生長促進が確認された。このことは、ハウレンソウで行われた留森らの報告(1996)や小松菜の栽培の結果(榎ホーチ・アグリコ, 2003)と一致した。緑化後のDSW試験区で特に葉の部分で著しい生長が見られたことから葉の表面積を比較したところ、緑化1日後でDSW試験区ではSSW試験区やNaCl試験区よりも顕著に生長した。この原因を究明するために葉の裏面部の細胞を顕微鏡観察したところ、DSW試験区では個々の細胞が顕著に肥大していることが観察された。この結果から、DSW試験区における葉の生長には、細胞数の増加よりも個々の細胞の肥大化が大きく影響していることが示唆された。さら

に葉の細胞の肥大化が、平沢の報告(2008)にある植物の塩分ストレスからの回避手段の一つとしての液胞への取り込み作用に起因するかを確認するために、5% DSW 試験区と同濃度の NaCl を含有するように調製した NaCl 試験区を設定して両試験区を比較した。その結果、NaCl 試験区は対照区と比べて1.5倍以上の生長が確認されたが、5% DSW 試験区は、NaCl 試験区や5% SSW 試験区と比較して生長促進作用が最も顕著であったことから、DSW 試験区の結果は、NaCl だけの影響ではないと推察された。上述のとおり DSW の添加は SSW の添加以上に生長が促進されることから、DSW 中の生長促進因子には興味をもたれるところである。この点については DSW 試験区における生長促進作用が緑化時に顕著に現れたこと、またクロロフィル量を調べたところ、DSW 試験区では SSW 試験区と比較して、緑化の早い段階でクロロフィルの顕著な増加が確認された等の理由から、DSW および SSW 試験区の生長促進は光合成に關与するクロロフィル量の増大に起因するものと推察された。海水中に多量に含まれるマグネシウムイオンは、光合成を行う葉緑素の中心的な構成元素であるとともに、葉緑体における炭酸ガスの固定を活性化することが報告されている(北野, 2007)。同様に海水中に多量に存在する塩化物イオンも、植物にとっては微量必須元素であることが知られており、光合成の一部のプロセスでの触媒効果が報告されている(北野, 2007)。しかしながら、同じ5%濃度の DSW 試験区と SSW 試験区の比較において、カイワレ重量、緑化後の葉の表面積、ならびに緑化初期におけるクロロフィル増加量に差異が確認されたことから、DSW 中には作物の生長に關与する因子が SSW 中よりも多く存在すると推察された。作物の緑化時における生長には、フィトクロムなどの光受容体が關与することが知られている(三村・鶴見, 2009; 松岡ら, 2006; 松下・長谷, 2004)。海水中に溶存する硝酸塩やリン酸塩、および各種の微量元素の中には水深とともに濃度が増加する傾向が見られるものも報告されており(榎田ら, 2009)、榎本らの駿河湾における微量元素濃度に関する報告(2009)において、SSW

よりも DSW で高濃度の存在が確認された Fe や Mn は、植物にとって微量必須元素であり、光合成に必要なプラスチドの分化や酸素の発生、光合成系 II における未知の電子供与体の必須成分であることが報告されている(高橋, 1981)。また、硝酸塩に関しては植物にとって多量必須元素であることから、本試験で用いたような5%程度の海水中に含まれる量では不足と考えられたが、近年低濃度の硝酸塩を効率よく吸収するための輸送タンパクの存在も確認されている(Kibaら, 2012)ことから、硝酸イオン濃度が起因している可能性も考えられる。このほかにも DSW 中には80種類以上含まれるとされる無機元素や有機生理活性物質の存在が知られており(野崎, 1997)、これら未知なる成分が単一、もしくは複合的に影響していることも考えられ、大変興味を持たれる。今後はさらに詳細な調査を行い、作物の生長に対する海洋深層水の影響とそのメカニズムに関する研究を深めて行きたいと考えている。

参考文献

- Bohnert, M. J., D. E. Nelson and R. G. Jensen (1995) Adaptations to environmental stress. *Plant Cell*, 7, 1099-1111.
- 榎田和彦・横山由香・吉野美紀・佐藤義夫・加藤義久 (2009) 駿河湾における微量元素 (Mn, Fe, Ni, Cu および Cd) の鉛直分布と変動. *海深研*, 10, 9-17.
- 藤田大介・高橋正征 (2006) 海洋深層水利用学. 成山堂書店, 東京, 106.
- 平沢正 (2008) 作物の耐塩性の機構. *日本海水学会誌*, 62, 202-206.
- 細川卓也・小松秀雄・吉田徹志・福元康文 (2005) トマトの養液栽培における培養液への海洋深層水の添加が果実の収量・品質に及ぼす影響. *植物環境工学*, 17, 26-33.
- 五十嵐康弘・古米保・沖俊一 (2000) 富山湾深層水由来微生物に生理活性物質を求めて. *国際バイオシンポジウム講演要旨集*, 10-11.
- Kiba, T., A. B. Ferial-Bourrellier, F. Lafouge, L. Lezhneva, S. Boutet-Mercey, M. Orsel, V. Brehaut, A. Miller, F. Daniel-Vedele, H. Sakakibara and A. Krapp (2012) The *Arabidopsis* nitrate transporter NRT2.4 plays a double role in roots and shoots of nitrogen-starved plants. *Plant Cell*, 24, 245-258.
- 北野雅治 (2007) 農業における塩の利用—美味しい野菜づくり. *ソルト・サイエンス・シンポジウム 2007*

講演要旨, 17-23.

- 松岡大介・吉原静恵・徳富哲 (2006) 植物光センサーの多様性と光受容分子メカニズム. 生物物理, 46, 324-329.
- 松村智広・金地通生・稲垣昇・前川進 (1998) NaCl ストレス下におけるキク科花き植物の種子発芽および初期生育. 園学雑, 67, 626-631.
- 松下智直・長谷あきら (2004) フィトクロムの細胞内シグナル伝達機構再考. 蛋白質 核酸 酵素, 49, 749-757.
- 松崎布菜・張経華・高尾雄二・下町多佳志・山崎素直 (2003) 好塩性植物ビートの塩ストレスに対する細胞内成分の変化. 分析化学, 9, 833-837.
- 繆冶煉・橋昌司・三浦正伸 (2002) 野菜の養液栽培における海洋深層水の利用. 三重大学生物資源学部附属農場研究報告, 13, 23-29.
- 三村徹郎・鶴見誠二 (2009) 植物生理学. 化学同人, 京都, 129-143, 166-167.
- 野村道康・有賀みずえ・山田勝久・今田千秋・小林武志・濱田(佐藤)奈保子 (2011) 培養ヒト線維芽細胞のコラーゲン合成に対する伊豆赤沢海洋深層水の効果. 海深研, 12, 11-17.
- 野崎義行 (1997) 最新の海水の元素組成表 (1996 年版) とその解説. 日本海水学会誌, 51, 5, 302-307.
- Porra, R. J., W. A. Thompson and P. E. Kriedemann (1989) Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls *a* and *b* extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards. Biochim Biophys Acta, 975, 384-394.
- (株)ホーチ・アグリコ (2003) 海洋深層水を植物栽培に使う その有効利用法と使用する有効利用液. フードリサーチ, 576, 17-21.
- 菅原龍幸・前川昭男 (2000) 新 食品分析ハンドブック. 建帛社, 東京, 234-235.
- 田所忠弘・和田政裕・山田和弘・飯島健志・馬場修・猪俣貴清 (1993) キャベツにおけるビタミンの損失率. 日本栄養・食糧学会誌, 46, 175-178.
- 高橋英一 (1981) 微量金属と植物—その農業的側面—. 有機合成化学, 39, 11, 1114-1123.
- 谷合直樹・兼島盛吉 (2011) 地中冷却栽培によるベビーリーフの収量曲線. 沖縄深層水研報, 10, 21-29.
- 留森寿士・遠山柁雄・竹内芳親 (1996) ホウレンソウ栽培における希釈海水の灌水効果. 日本砂丘学会誌, 43, 15-18.
- 白井英夫・Y. W. Sanda (1997) 気孔を観察するための簡易レプリカ法. 三重大学教育学部研究紀要, 48, 23-28.

(2012年10月22日受付; 2013年2月5日受理)