

かいわれ大根スプラウト栽培に用いた水の組成が 収穫量と無機元素含有量に与える効果

根建 洋子¹⁾, 坂元 桃代¹⁾, 黒木 政信²⁾

要 旨

薩摩川内市下甕町で採取されたこしき海洋深層水と蒸留水を用いてかいわれ大根スプラウトを栽培し、用いた水と海洋深層水の濃度がスプラウトの成長および無機元素含有量にどのような影響を与えるのかを調べた。栽培は与える水以外同じ条件で行い、撒種後6日目、8日目、10日目と3回にわたり収穫した後、収穫量を秤量しICP-AESによる無機元素含有量の分析を行った。その結果、海洋深層水を栽培に用いた場合、蒸留水の場合と比べすべての濃度で収穫量が高くなり、中には2倍以上の値を示すものもあった。収穫量は海洋深層水の濃度によって異なり、本研究においては50倍希釈で最も高くなることが示された。成長過程における無機元素含有量の変化では、マグネシウム、カルシウム、ストロンチウム、リンやイオウに増加傾向がみられたが、特に海洋深層水を用いた場合に顕著であった。また、同じ日に収穫したサンプルにおいても、海洋深層水を用いたものの方が蒸留水を用いて栽培したものより高い含有量を示した。増加のみられた元素は海洋深層水の主要成分であり、成長の過程でスプラウトに取り込まれたと考えられる。これらのことから、海洋深層水をかいわれ大根スプラウト栽培へ利用することにより、収穫量および無機元素含有量の増加が期待されるとともに、適切な濃度に調整することでより有効な利用につながることを示唆された。

キーワード：海洋深層水、スプラウト、無機元素含有量

1. 緒 言

スプラウトと呼ばれる野菜の新芽は、ミネラルやビタミンなどが多く含まれる栄養価の高い食品であるばかりでなく、ブロッコリースプラウトにはがん予防効果があるとされるスルフォラファンが高濃度で含まれるとの報告もある¹⁾。一方、海洋深層水は窒素やリンに富むほか80種以上の無機元素を含み、さらには未知の有機性生理活性物質の存在が示唆されている^{2), 3)}。また、海洋深層水を野菜等の栽培に用いることにより、ミネラルや糖分の高いきのこができる⁴⁾、成長・穂丈が強化され米の甘みの増加した稲ができる⁵⁾等の報告がある。

本研究では、薩摩川内市下甕町で採取されたこしき海洋深層水と蒸留水を用いてかいわれ大根スプラウトを栽培し、用いた水とその濃度がスプラウトの成長および無機元素含有量にどのような影響を与えるのかを調べた。また、成長過程における含有量の変化も併せて調べた。

2. 方 法

2.1 試料の栽培

2.1.1 栽培方法

かいわれ大根の種子は三重興農社より購入したものを、栽培用の水はこしき海洋深層水株式会社より提供された原水およびED水を用いた。ED水は、電気透析

(Electric Dialysis)により原水からNa⁺やCl⁻などの1価イオンを選択的に除去した水である。原水およびED水は、蒸留水で10倍、50倍、110倍に希釈して利用した。

21個の栽培用バスケットに脱脂綿を敷き詰め、それぞれに30gずつ量ったかいわれ大根の種子を重ならないよう均一に撒いた。バスケット3個ずつに蒸留水、原水10倍希釈、原水50倍希釈、原水110倍希釈、ED水10倍希釈、ED水50倍希釈、ED水110倍希釈を霧吹きでかけた。水の量は脱脂綿と種子が湿る程度である。これにブルーシートをかけて光を遮断し発芽させた。その間、対応する7種類の水を毎日霧吹きで与え、根が張ってからは脱脂綿が浸る程度に水を入れ毎日交換した。発芽後4日目にブルーシートをはずして緑化させた後、撒種後6日目、8日目、10日目と3回に分けて収穫した。以上を表1にまとめる。なお、栽培時の実験室の室温は19℃～20℃であった。

2.1.2 収穫後の処理

収穫後すぐに、水道水で海洋深層水等を洗い流し、蒸留水で置換した後水分を十分に切った。バスケット毎にスプラウトの収穫重量および70℃の定温恒温乾燥器で約24時間乾燥させた後の重量を天秤で測定した。これらの重量は表1に示している。乾燥後の試料はスチロール棒瓶に入れデシケータ内に保存した。

2.2 有機物の湿式分解

無機元素含有量測定のため、有機物の湿式分解をおこ

1) 鹿児島純心女子大学看護栄養学部健康栄養学科

2) こしき海洋深層水株式会社

表 1 かいわれ大根スプラウト栽培の概要

サンプル 番号	種子 (g)	栽培に用 いた水	栽培 日数*	乾燥前 重量(g)	乾燥後 重量(g)	水分量 (%)
DW-1	30	蒸留水	6 日	162.5	22.5	86.2
DW-2	30	蒸留水	8 日	253.0	23.0	90.9
DW-3	30	蒸留水	10 日	152.0	14.0	90.8
KSW10-1	30	原水 10 倍希釈	6 日	176.0	22.0	87.5
KSW10-2	30	原水 10 倍希釈	8 日	260.0	21.5	91.7
KSW10-3	30	原水 10 倍希釈	10 日	163.0	20.0	87.7
KSW50-1	30	原水 50 倍希釈	6 日	207.0	23.0	88.9
KSW50-2	30	原水 50 倍希釈	8 日	313.0	21.5	93.1
KSW50-3	30	原水 50 倍希釈	10 日	293.5	23.0	92.2
KSW110-1	30	原水 110 倍希釈	6 日	193.5	23.5	87.9
KSW110-2	30	原水 110 倍希釈	8 日	301.5	22.5	92.5
KSW110-3	30	原水 110 倍希釈	10 日	234.0	34.0	85.5
EDW10-1	30	ED 水 10 倍希釈	6 日	195.0	24.5	87.4
EDW10-2	30	ED 水 10 倍希釈	8 日	267.5	22.5	91.6
EDW10-3	30	ED 水 10 倍希釈	10 日	268.5	22.5	91.6
EDW50-1	30	ED 水 50 倍希釈	6 日	203.0	24.0	88.2
EDW50-2	30	ED 水 50 倍希釈	8 日	290.0	24.0	91.7
EDW50-3	30	ED 水 50 倍希釈	10 日	320.0	28.0	91.3
EDW110-1	30	ED 水 110 倍希釈	6 日	205.5	24.5	88.1
EDW110-2	30	ED 水 110 倍希釈	8 日	267.0	24.5	90.8
EDW110-3	30	ED 水 110 倍希釈	10 日	251.5	28.0	88.9

* 栽培日数は、撒種から収穫までの日数

なった。方法は安井らの文献による⁶⁾。電子精密天秤で約 1g ずつ正確に量り取った乾燥スプラウト粉末を容量 100ml のホウケイ酸ガラス製コニカルビーカーに入れ、60% 硝酸（和光純薬製有害金属測定用）10ml を加えて、時計皿をかぶせ、ホットプレート（指示温度約 100℃）上で穏やかに加熱した。褐色のガスが発生する激しい反応が収まったら、ホットプレートから下ろし、60% 過塩素酸（和光純薬製有害金属測定用）1ml を加えて、150℃で加熱した。時計皿を外し、分解を続ける過程で分解液の色が褐色になったら、少量（0.1 ～ 0.5ml）の硝酸を加えて分解を続けた。分解液の色が無色あるいは淡黄色となったら、そのまま加熱を続けて乾固寸前まで濃縮した。残留物に 1% 塩酸（和光純薬製有害金属測定用 35% を純水で希釈したもの）を加えホットプレート上で加熱溶解した後、容量 50ml のメスフラスコに洗い込んだ。これを 1% 塩酸で 50ml 定容とした。

2.3 ICP-AES による無機元素含有量の測定

無機元素含有量の測定は、鹿児島大学大学院理工学研究科に設置の PERKIN ELMER 社製誘導結合プラズマ発光分光分析装置 (ICP-AES) Optima 3100 RL で行った。この装置では多波長同時多元素の測定が可能であるが、測定できる発光線の波長範囲は紫外領域の 165-

403nm であるため、可視領域に発光線をもつアルカリ、アルカリ土類金属の分析は行えない。測定した元素は、アルミニウム (Al)、ボロン (B)、カルシウム (Ca)、カドミウム (Cd)、コバルト (Co)、クロム (Cr)、銅 (Cu)、鉄 (Fe)、マグネシウム (Mg)、マンガン (Mn)、モリブデン (Mo)、ニッケル (Ni)、リン (P)、鉛 (Pb)、硫黄 (S)、ケイ素 (Si)、ストロンチウム (Sr)、亜鉛 (Zn) である。これらの元素のうち Al、B、Cd、Co、Ni、P、Pb、S、Si、Sr を除くミネラル元素は、「日本人の食事摂取基準 (2005 年版)」に推奨量、上限量が策定されている。コバルトは、ビタミン B₁₂ の構成要素として必須であるため測定元素とした。

3. 結果と考察

3.1 スプラウトの収穫量

図 1 に 1 回目、2 回目、3 回目の収穫量とその平均および標準偏差を示す。21 個のバスケットすべてに 30g ずつ撒種したにもかかわらず、表 1 および図 1 から明らかのように収穫量には大きな差が見られた。特徴として、(1) 収穫量の平均 ± 標準偏差は 1 回目 191.8 ± 16.7g、2 回目 278.9 ± 22.7g、3 回目 240.4 ± 63.1g となり 2 回目で平均が最も高く 3 回目で標準偏差が最も大きい、(2)

表 2 海洋深層水中の主要元素および微量元素（文献値）

元素	単位	海洋深層水		
		久米島 ⁸⁾	*小田原沖 ⁹⁾	室戸 ¹⁰⁾
Na	mg/l	10500	10600	10600±200
Mg	mg/l	1330	1350	1270±20
K	mg/l	390	430	395±6.1
Ca	mg/l	393	410	400±6.2
Sr	mg/l	-	7.6	7.81±0.2
Cl	mg/l	-	18300	19500±300
Br	mg/l	-	73	66.1±2.1
Cr	μ g/l	0.21±0.011	-	-
Mn	μ g/l	0.029±0.0025	0.10	-
Fe	μ g/l	-	2.7	-
Co	μ g/l	0.0021±0.00010	-	-
Ni	μ g/l	0.25±0.017	016	-
Cu	μ g/l	0.074±0.0083	0.60	-
Zn	μ g/l	0.46±0.017	1.3	-
Mo	μ g/l	7.7±0.38	9.7	-
Cd	μ g/l	0.060±0.0022	0.077	-
SO ₄ ²⁻	mg/l	-	-	2700±100
PO ₄ ³⁻	μ M	-	1.03	-

*：論文記載データのうち 2001 年夏季のものを引用

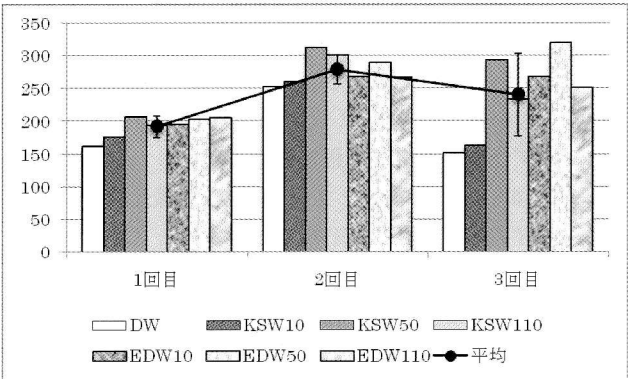


図 1 かいわれ大根の種子 30g から収穫したスプラウトの重量(g)(1 回目、2 回目、3 回目はそれぞれ撒種後 6 日目、8 日目、10 日目を示す)

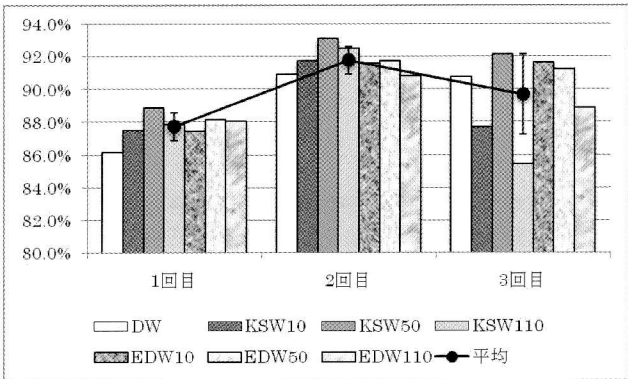


図 2 収穫したスプラウトの水分量(%) (1 回目、2 回目、3 回目はそれぞれ撒種後 6 日目、8 日目、10 日目を示す)

1 回目、2 回目、3 回目とも蒸留水を用いたものより海洋深層水の原水、ED 水を用いて栽培したものの収穫量が多い、(3) 1 回目、2 回目、3 回目とも原水 50 倍希釈、ED 水 50 倍希釈の収穫量が多い、が挙げられる。
齋木らは、硫酸カルシウム (0.1% (w/v)) と塩化鉄 (III) (0.1% (w/v)) を添加した水を用いて栽培したかいわれ大根スプラウトは、何も加えない対照群と比較し 1.0-1.5cm 長く成長すること、硫酸マグネシウム (0.1% (w/v)) を添加すると長さには影響しないが葉が大きく成長することを報告している ⁷⁾。
これらの結果から、80 種以上の無機元素を含みさら

には未知の有機性生理活性物をも含む海洋深層水をスプラウトの栽培に用いることによって収穫量が増大すること、適切な濃度に調整することにより有効な利用につながることを唆された。
3.2 スプラウトの水分量
表 1 に乾燥前重量と乾燥後重量から計算した水分量 (%) を、図 2 には 1 回目、2 回目、3 回目の水分量とその平均および標準偏差を示す。水分量の平均±標準偏差は 1 回目 87.7 ± 0.8%, 2 回目 91.8 ± 0.8%, 3 回目 89.7 ± 2.4% となり、2 回目で平均が最も高く 3 回目で標準偏差が最も大きい値を示す。水分量のデータも海洋

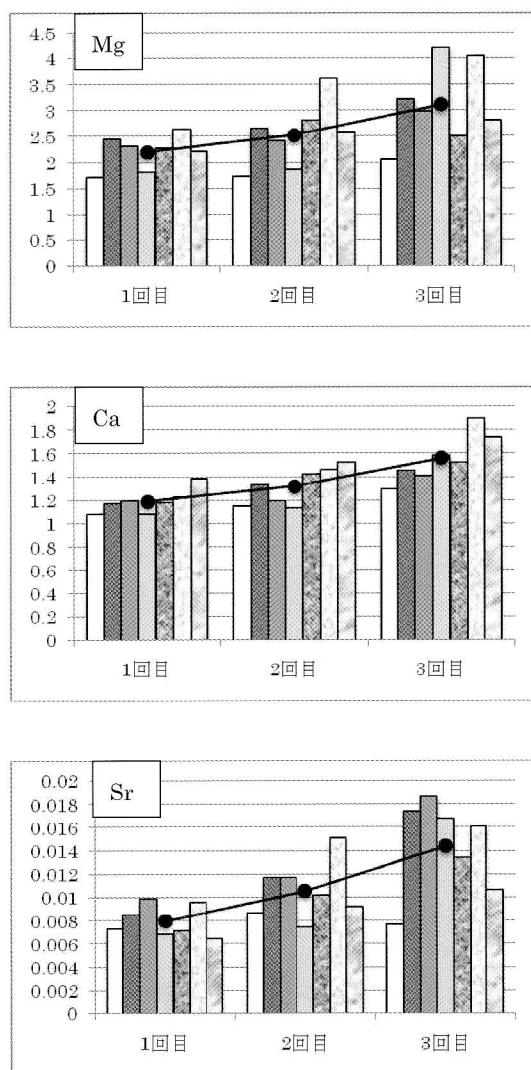


図3 乾燥サンプル 1g 中の無機元素含有量（アルカリ土類元素）（単位は mg。棒グラフの各系列は左から「蒸留水」「海洋深層水原水 10 倍希釈」「海洋深層水原水 50 倍希釈」「海洋深層水原水 110 倍希釈」「ED 水 10 倍希釈」「ED 水 50 倍希釈」「ED 水 110 倍希釈」を表し、折れ線は各回の平均値を表す。）

深層水の原水 50 倍希釈、ED 水 50 倍希釈で高い値を示していることから、3つの希釈率の中では 50 倍で水の吸収がよく、高い収穫量に寄与していると考えられる。

3.3 スプラウトの無機元素含有量

ICP-AES による測定値は mg/L の単位で得られる。これを次式により乾燥サンプル 1g 中の無機元素含有量に換算した。ここで、a は湿式分解用に電子精密天秤で正確に量り取った乾燥スプラウト粉末の重量を表す。

$$\text{乾燥サンプル 1g 中の無機元素含有量 (mg)} \\ = \text{測定値} \div (20 \times a \text{ (g)})$$

これを用いて、30 g の種子から収穫したスプラウト全量に含まれる無機元素量は、
スプラウト全量に含まれる無機元素量 (mg)

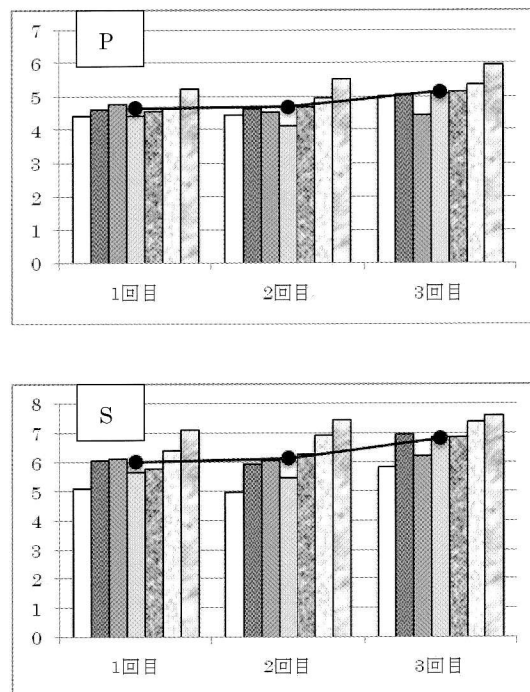


図4 乾燥サンプル 1g 中の無機元素含有量（非金属元素）（単位および各系列は図3と同じものを表す。）

$\text{= 乾燥サンプル 1g 中の量 (mg)} \times \text{乾重量 (g)}$
と計算される。

なお、乾燥前のスプラウト 100g 中の無機元素含有量は次式により求めることができる。

$$\text{スプラウト 100g 中の量 (mg)} = \text{測定値} \times 5 \\ \times \text{乾重量 (g)} \div (\text{収穫量 (g)} \times a \text{ (g)})$$

3.3.1 スプラウトの成長過程における変化

図3～図5に、乾燥サンプル 1g 中の無機元素含有量と各回の平均値の変化を示す。図3は Mg, Ca, Sr のアルカリ土類元素で、1回目、2回目、3回目と含有量が増加している。特に2回目から3回目の増加が顕著である。非金属元素である P と S は顕著ではないが増加傾向を示した（図4）。遷移元素である Mn, Fe, Ni, Mo と Zn では特徴的な変化はみられなかった。図5にはその一部を示している。

図6～図8に、スプラウト全量に含まれる無機元素量と各回の平均値を mg の単位で示す。スプラウト全量に含まれる無機元素量においても乾燥サンプル 1g 中の無機元素含有量と同様の傾向がみられた。

3.3.2 栽培に用いた水との関係

図3, 4からも明かなように、Mg, Ca, Sr のアルカリ土類元素および P, S の非金属元素で、海洋深層水原水および ED 水を栽培に用いた場合、蒸留水を用いた場合より無機元素含有量が高い傾向が見られた。

図6, 7では、スプラウト全量に含まれる無機元素量においても乾燥サンプル 1g 中の無機元素含有量と同様の傾向のあることがわかる。

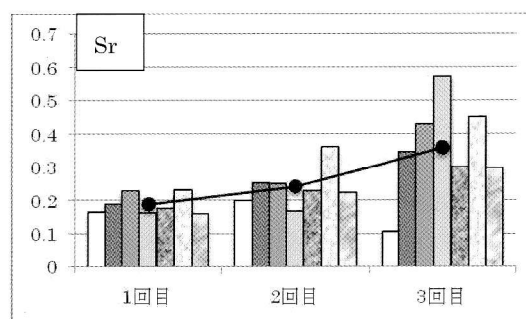
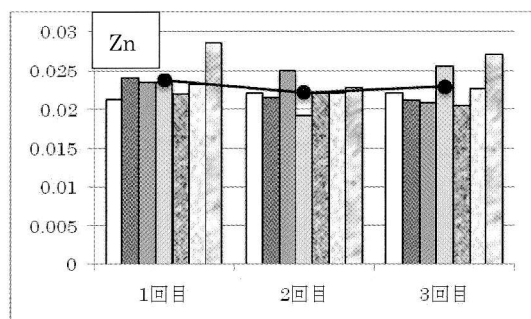
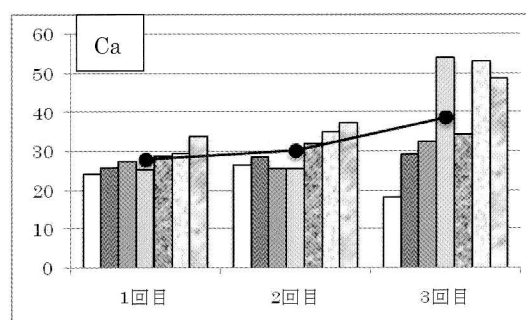
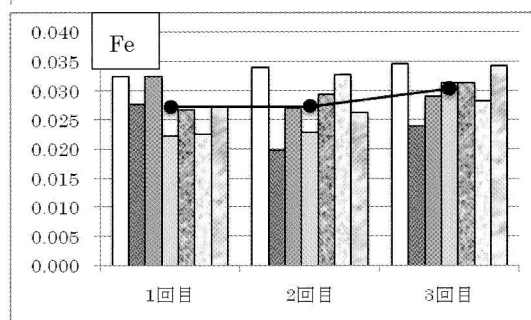
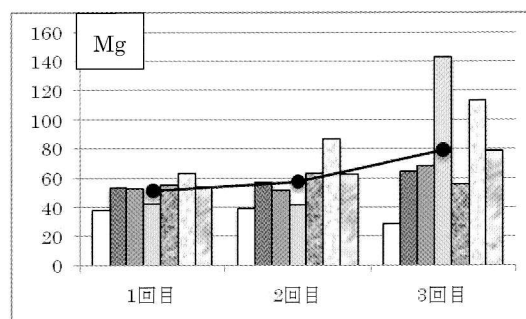
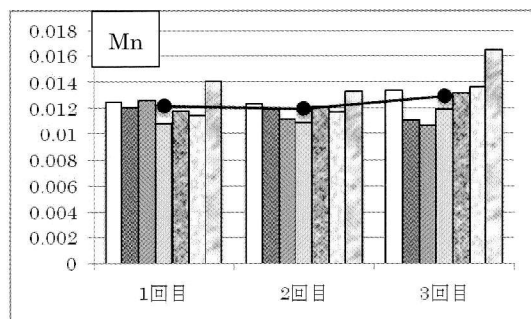


図5 乾燥サンプル 1g 中の無機元素含有量（遷移元素，Zn）（単位および各系列は図3と同じものを表す。）

図6 スプラウト全量に含まれる無機元素量（アルカリ土類元素）（単位は mg。棒グラフの各系列は左から「蒸留水」「海洋深層水原水 10 倍希釈」「海洋深層水原水 50 倍希釈」「海洋深層水原水 110 倍希釈」「ED 水 10 倍希釈」「ED 水 50 倍希釈」「ED 水 110 倍希釈」を表し、折れ線は各回の平均値を表す。）

図9と10に、海洋深層水原水を用いて栽培したときおよびED水を用いて栽培したときの無機元素含有量の平均値（10倍希釈、50倍希釈、110倍希釈の平均）と蒸留水を用いて栽培したときの無機元素含有量との比を示す。平均値および比の計算に、図9では乾重量1g当たりの無機元素含有量を用い、図10ではスプラウト全量に含まれる無機元素量を用いた。特徴として、(1)CaよりMgで増加傾向が強い、(2)PよりSで増加傾向が強い、(3)海洋深層水原水よりED水で栽培したものの増加傾向が強い、が挙げられる。海洋深層水原水およびED水とも、特に3回目でこれらの元素の大きな増加を示している。

表2に、文献より引用した海洋深層水中の主要元素および微量元素の存在量を示す^{8), 9), 10)}。こしき海洋深層水の組成はこれら文献の組成と大きくは変わらないと考えてもよいであろう。従って、Mg, Ca, Sr, P, Sといった増加傾向がみられた元素は海洋深層水の主要成

分であり、栽培に用いることによりスプラウトに吸収されたことが示唆される。また、化学的性質が似ている同族元素は、同じような吸収の特徴を示していると考えられる。

4. 結 論

薩摩川内市下甕町で採取されたこしき海洋深層水と蒸留水を用いてかいわれ大根スプラウトを栽培し、用いた水とその濃度がスプラウトの成長および無機元素含有量にどのような影響を与えるのかを調べた。

その結果、海洋深層水を栽培に用いた場合、蒸留水の場合と比べすべての濃度で収穫量が高くなり、中には2倍以上の値を示すものもあった。収穫量は海洋深層水の

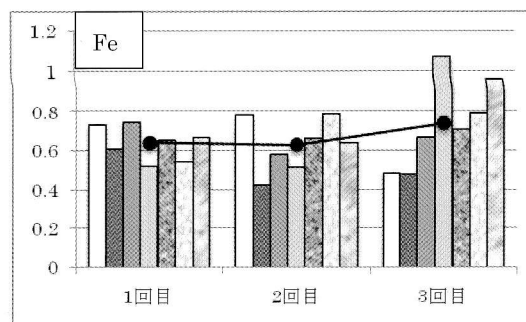
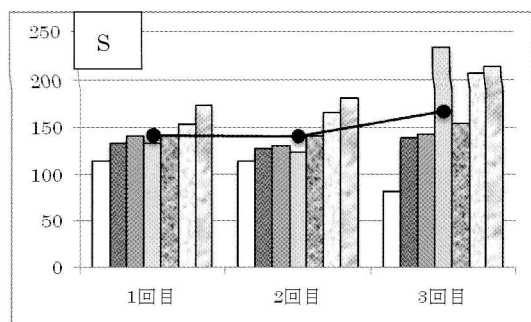
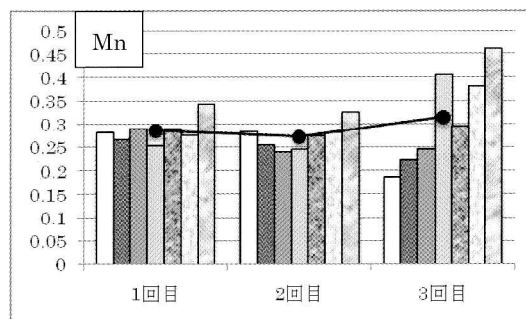
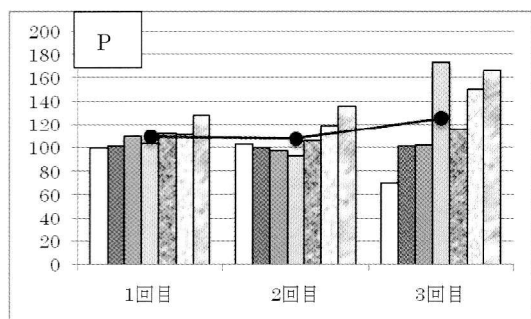


図7 スプラウト全量に含まれる無機元素量（非金属元素）（単位および各系列は図6と同じものを表す。）

濃度によって異なり、本研究においては50倍希釈で最も高くなることが示された。

成長過程における無機元素含有量の変化では、マグネシウム、カルシウム、ストロンチウム、リンやイオウに増加傾向がみられたが、特に海洋深層水を用いた場合に顕著であった。また、同じ日に収穫したサンプルにおいても、海洋深層水を用いたものの方が蒸留水を用いて栽培したものより高い結果となった。増加のみられた元素は海洋深層水の主要成分であり、成長の過程でスプラウトに取り込まれたと考えられる。

これらのことから、海洋深層水をかいわれ大根スプラウト栽培へ利用することにより、収穫量および無機元素含有量の増加が期待されるとともに、適切な濃度に調整することでより有効な利用につながることを示唆された。

謝 辞

ICP-AESの利用について鹿児島大学理工学研究科大木彰教授より快諾をいただき、大学院生の井手原広季氏に機器操作の指導をいただいた。またスプラウトの栽培や有機物の湿式分解実験では鹿児島純心女子大学学生の上赤瑞紀、佐久間祐子、原口恵、満留絵理さんの協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Fahey, J.W., Zhang, Y., and Talalay, P. Broccoli sprouts: An exceptionally rich source of inducers

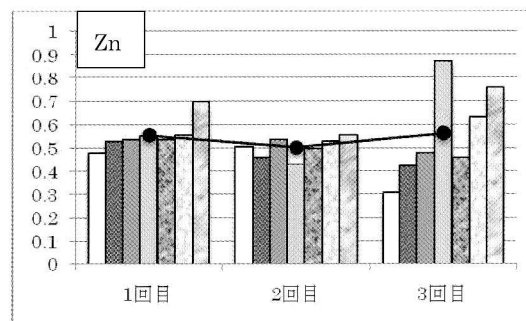


図8 スプラウト全量に含まれる無機元素量（遷移元素, Zn）（単位および各系列は図6と同じものを表す。）

of enzymes that protect against chemical carcinogens, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 94: 10367-10372, 1997.

- 2) 野崎義行：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)：302-307，1997.
- 3) 五十嵐康弘，古米 保，沖 俊一：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，10-11，2000.
- 4) 今西隆男，深田英久，横田慎二：海洋深層水を利用したエノキタケ栽培，日本応用きのこ学会第3回大会講演要旨集，42，2002.
- 5) 伊藤直子，山崎貴子，岩森 大，堀田康男：佐渡海洋深層水の稲作への利用，新潟医療福祉学会誌，6(1)：36-40，2006.
- 6) 安井明美，進藤久美子：玄米中の無機元素組成による産地判別，BUNSEKI KAGAKU，49(6)：405-

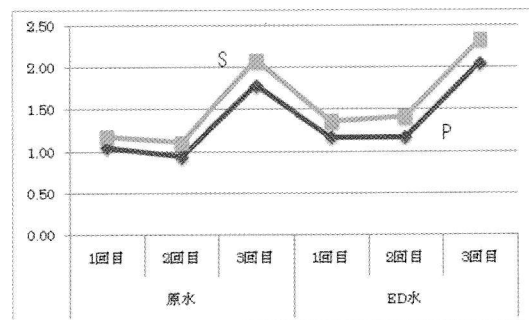
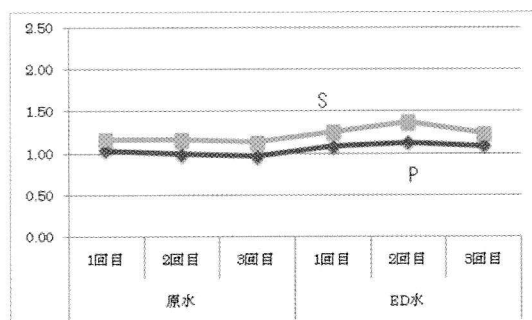
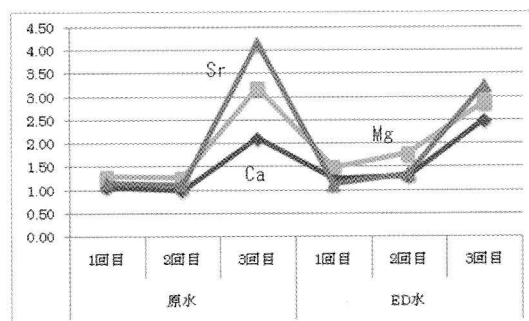
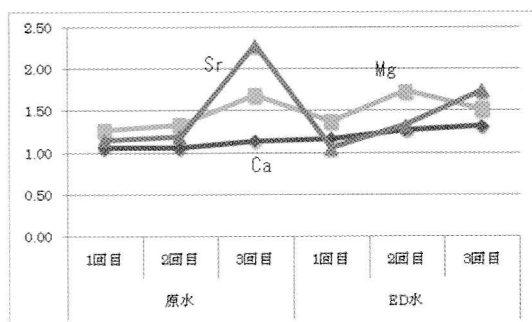


図9 海洋深層水原水を用いて栽培したときおよびED水を用いて栽培したときの無機元素含有量の平均値（10倍希釈，50倍希釈，110倍希釈の平均）と蒸留水を用いて栽培したときの無機元素含有量との比率。平均値および比率の計算には，乾重量1g当たりの無機元素含有量を用いている。

図10 海洋深層水原水を用いて栽培したときおよびED水を用いて栽培したときの無機元素含有量の平均値（10倍希釈，50倍希釈，110倍希釈の平均）と蒸留水を用いて栽培したときの無機元素含有量との比率。平均値および比率の計算には，スプラウト全量に含まれる無機元素量を用いている。

410, 2000.

- 7) Saiki, C., Hirasawa, R., Sadayasu, C., Yamashiro, S., Tominaga, M., and Sato, K.: Uptake of iron by a vegetable; kaiwaredaikon (Japanese radish sprout). Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 50(4): 286-90, 2004.
- 8) 新垣輝生，石垣輝幸，山口真実，伊藤彰英：沖縄県久米島海洋深層水の多元素プロファイリングアナリシスと微量元素濃度及び存在状態の特徴，BUNSEKI

KAGAKU, 58(8): 707-714, 2009.

- 9) 山田佳昭，小倉光夫：相模湾における海洋深層水の含有成分，神奈川県環境科学センター業務報告 2004, 109-112, 2004.
- 10) 田村愛理，隅田 隆，岡崎由佳，浜田和秀，河野敏夫，竹内宏太郎，川北浩久，田村光政，関田寿一，室戸海洋深層水の特性把握および機能解明ー主要成分の特性把握一，高知県工業技術センター研究報告，32: 91-102, 2001.

Effect of Cultivation Water on Yield Amount and Mineral Content of Kaiware Daikon

Yoko Nedachi¹⁾, Momoyo Sakamoto¹⁾ and Masanobu Kuroki²⁾

¹⁾Department of Health and Nutrition, Faculty of Nursing and Nutrition,
Kagoshima Immaculate Heart University

²⁾Koshiki Deep Ocean Water Co., Ltd

Key words : deep ocean water, sprout, mineral content

Abstract

Kaiwaredaikon (Japanese radish sprout) cultivated using Koshiki deep ocean water that was pumped up at Shimokoshiki, Satsumasendai City was compared with that cultivated using distilled water to examine the effect of cultivation water on their yield amount and mineral content. The condition of cultivation was the same except for the cultivation water. Six, 8 and 10 days after seeding, sprout was picked up, was weighed for the yield amount and was analyzed for the mineral content using ACP-AES. Results show that the yield amount is higher in the sprout cultivated by deep ocean water than that cultivated by distilled water. Some samples show more than twice the value of distilled water. The highest yield amount, in our study, comes from the sample that was cultivated by the ED (Electric Dialysis) deep ocean water of fiftyfold dilution. The mean values of mineral content of magnesium, calcium, strontium, phosphorus and sulfur increased from 6 days, to 10 days gradually. Among the sprouts picked up on the same day, those that were cultivated by deep ocean water show the higher value than cultivated by distilled water. As magnesium, calcium, strontium, phosphorus and sulfur are the major component of seawater, these minerals might be taken into the sprout in the process of growing. With these results, we could expect that the use of deep ocean water in the cultivation of kaiwaredaikon gives higher yield amount and makes sprout higher in mineral content. The investigation for better appropriate dilution degree would give more effective utilization.
