

# 野菜の養液栽培における海洋深層水の利用

繆 冶煉・橋 昌司・三浦正伸

三重大学生物資源学部

## Utilization of Deep Sea Water in Hydroponics for Growing of Vegetables

Yelian MIAO, Shoji TACHIBANA and Masanobu MIURA

Faculty of Bioresources, Mie University

### Abstract

Deep sea water was used for improving the yield and nutritional value of vegetables grown hydroponically. In the present work, removal of sodium chloride from deep sea water with an electro dialytic process and preparation of nutrient solution using the electro dialyzed deep sea water were discussed.

Experimental results showed that sodium chloride was removed selectively from deep sea water by the electro dialytic process. The main components of nutrient solution could be controlled at approximately constant concentrations with the electro dialyzed deep sea water and deionized water. Both tomato and spinach had somewhat larger vegetative growth rates in hydroponics with the electro dialyzed deep sea water than with deionized water.

**Key words:** deep sea water, electro dialytic process, hydroponics, nutrient solution, vegetable

## I 緒言

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、さらには未知なる有機性生理活性物質の存在が示唆されている(野崎、1997；五十嵐ら、2000)。植物に深層水を直接与えることにより、深層水に含まれる微量成分を効率的に利用できると考えられる。しかし、深層水は NaCl 含有量が 3.4%、Mg 含有量が 0.13% と極めて高い(北川ら、1995；尾鷲市、2000)ため、深層水をそのまま植物栽培に使用すると、養分吸収の阻害や代謝の乱れが起こる可能性がある。

本研究では野菜の生産性および品質(特に機能性)の向上を目指して、深層水を利用した野菜の養液栽培技術を開発することを目的とする。そのために、まず海水に含まれる生育阻害因子を可能な限り選択的に除去する海水処理方法と、処理水を利用した培養液の設計について検討を行った。

## II 実験材料および方法

### 2-1 試料水

緯度 33° 56'N、経度 136° 21'E(尾鷲沖の「こうよう海底谷」)の位置で採取された水深 0m の海洋深層水、および水深 400m の海洋表層水を試料水として用いた。試料水は運搬時を除いて 5°C前後の冷蔵庫に保存した。

### 2-2 電気透析処理および元素分析

図 1 に電気透析装置の写真を示す。試料水中の NaCl を選択的に除去するために、電気透析装置の本体(マイクロ・アシライザーS3、旭化成工業株式会社)に 1 価イオン交換膜カートリッジ(AC-110-550、旭化成工業株式会社)を装着し、5.6lの試料水を室温 25°C、印加電圧 10V の条件下で電気伝導度が 10mS/cm になるまで処理した。処理中において試料水の電気伝導度、pH および温度をパソコンで記録し、90 分おきに成分分析用サンプルを 150ml採取した。電気透析で処理した試料水について、原子吸光分光光度計(AA-6200、島津製作所)で K、Na、Ca および Mg など金属元素の濃度を定量分析した。試料水中の共存物質による干渉現象を抑制するために、標準添加法を用いた。

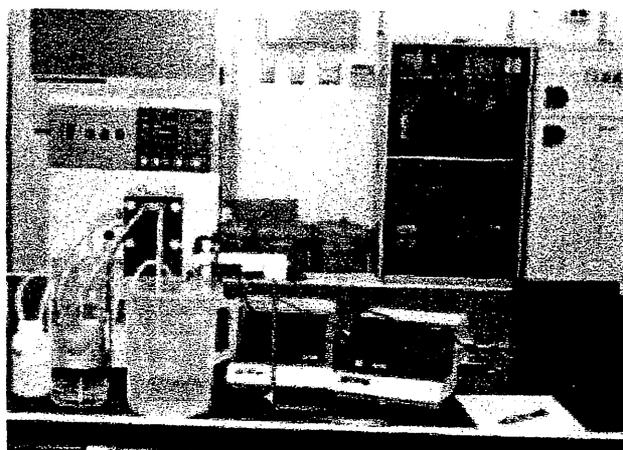


図 1 電気透析装置

### 2-3 養液栽培

養液栽培装置を図 2 に示す。本実験装置は発泡スチロール製定植パネル、ポリエチレン製ベッド(L350×W250×H60mm)、培養液(容量 3.5l、深さ 45mm)、エアーストーン、エアープンプ、(SPP-15EBS、株式会社テクノ高槻)およびタイムスイッチ(TB-3801、松下電工)などから構成されている。表層水区、深層水区および対照区の 3 試験区を設け、それぞれ電気伝導度 10 dS/m(25°C)の電気透析表層水と電気透析深層水、および脱イオン水で調製した培養液を使用した。必要に応じて培養液を追加し、ベッド内の培養液水位をほぼ一定に維持した。またエアープンプにより 15 分毎にベッドへ空気を供給した。実験植物としてトマト(品種：ハウス桃太郎)およびホウレンソウ(品種：おかめ)を用いた。できるだけ大きさの揃った苗を選び、各試験区に 10 株ずつ定植した。ガラス温室内でトマトは 17 日間、ホウレンソウは 19 日間栽培した。栽培期間中にベッド内培養液の電気伝導度、pH の変化を調べた。

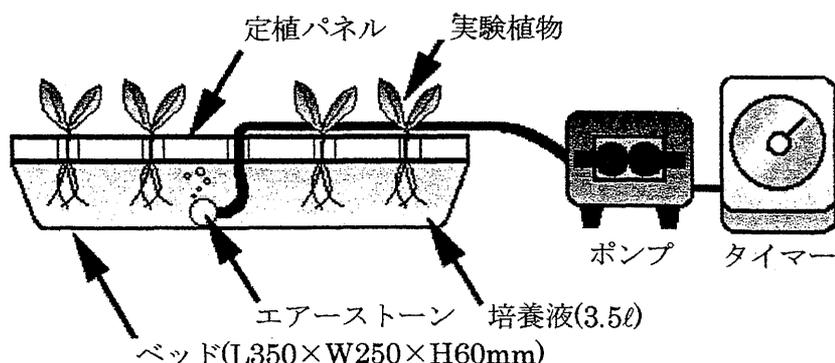


図 2 養液栽培装置

### III 結果および考察

#### 3-1 電気透析による K、Na の選択的除去

##### 1. 試料水の電気伝導度

電気透析処理における試料水の電気伝導度の経時変化を図 3 に示す。表層水と深層水の原水の電気伝導度はそれぞれ 50.0 dS/m、44.9 dS/m であった。試料水 5.6l の電気伝導度を 10 dS/m に下げるのに、表層水は 295 分、深層水は 285 分かかった。電気伝導度 10 dS/m に電気透析処理した表層水と深層水を、それぞれ表層水(ED295)、深層水(ED285)と呼ぶことにする。

電気伝導度の低下速度は処理開始後徐々に増加し、処理時間 60 分から電気伝導度が 15 dS/m になるまでの範囲では一定であり、電気伝導度が 15 dS/m 以下になると減少し始めた。

表層水と深層水の pH は約 8.0 であり、電気透析処理による変化はほとんど見られなかった。このことから、電気透析においてほぼ同等量の＋イオンと－イオンが除去されていることが推測される。

##### 2. 金属イオン濃度と電気伝導度の関係

試料水の K、Na 濃度と電気伝導度の関係を図 4 に、また Ca、Mg 濃度と電気伝導度の関係を図 5 に示す。電気透析処理前の Na 濃度は表層水で 12,007ppm、深層水で 11,212ppm であり、表層水と深層水の間で大きな相違があったが、K、Ca、Mg の濃度には大きな違いは無かった。電気透析処理により深層水の K 濃度が 619ppm から 21ppm(減少率 97%)、また Na 濃度が 11,212ppm から 999ppm(減少率 91%) になった。表層水と深層水を含めた本実験の範囲において、K、Na の濃度は電気伝導度(25℃補正)との間にそれぞれ次のような直線関係があった。(図 4)

K 濃度(K, ppm)と電気伝導度( $E_c$ , dS/m)の関係 :

$$K = 14.9E_c - 164.3 \quad (R^2 = 0.934)$$

Na 濃度(Na, ppm)と電気伝導度( $E_c$ , dS/m)の関係 :

$$Na = 290.2E_c - 2213.9 \quad (R^2 = 0.985)$$

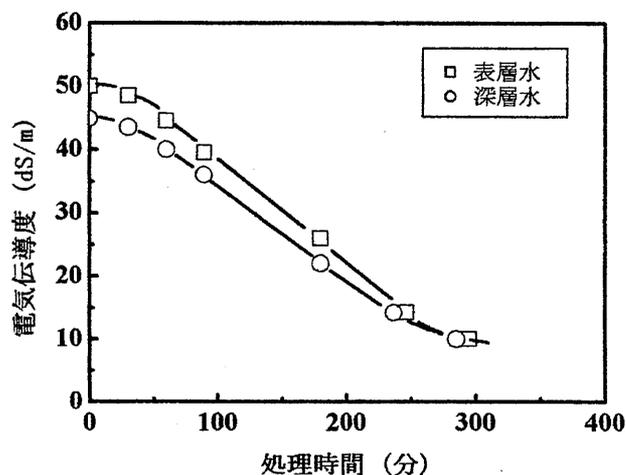


図3 表層水、深層水の電気透析処理における電気伝導度の経時変化

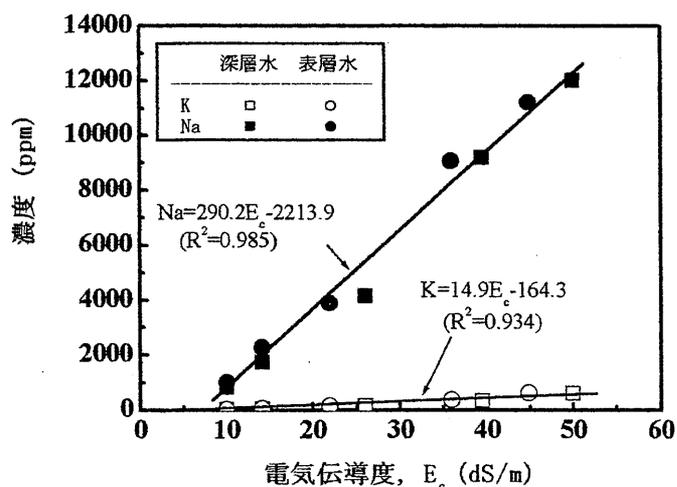


図4 K、Na濃度と電気伝導度の関係

一方、K、Na と比べて Ca、Mg の濃度変化は小さかった(図 5)。Ca、Mg 濃度は電気伝導度 50~25 dS/m の範囲ではほぼ一定であり、電気伝導度が 25 dS/m 以下になると減少する傾向があった。深層水の電気透析処理において、Ca 濃度は 468ppm から 346ppm(減少率 26%)、また Mg 濃度は 1736ppm から 1274ppm(減少率 27%)になった。

これらのことから、電気透析処理により試料水中の K、Na などの 1 価イオンが選択的に除去されることが明らかになった。

### 3-2 培養液の成分濃度、電気伝導度および pH

各試験区に使用した培養液の成分濃度を表 1 にまとめている。トマトとハウレンソウはそれぞれ、培養液の NaCl 濃度が 4,500ppm、8,000ppm で生育が半減し(橘、1996)、また Mg 濃度が 486ppm で有意な生育阻害が現われる(橘、1997)。そのため本実験では、表層水(ED295)と深層水(ED285)を脱イオン水で 11 倍希釈して培養液調製の用水として用いた。希釈によって、これらの用水中の Na 濃度が 91ppm(232ppm の NaCl に相当)以下、また Mg 濃度が 116ppm 以下に抑えられた。

多量要素は、用水中の含量を考慮し、大塚ハウス B 処方の標準濃度(大塚化学株式会社)になるように不足分を添加した。対照区と比べて、表層水区、深層水区の NO<sub>3</sub>-N 濃度がやや低く、NH<sub>4</sub>-N が少し高いが、NO<sub>3</sub>-N と NH<sub>4</sub>-N の合計はどの試験区も約 240ppm であった。P、K、Ca は 3 試験区とも目標濃度になっている。Mg、S は、表層水区と深層水区の用水中の濃度がそれぞれ目標濃度の 48.2ppm、63.7ppm を上回ったので、添加する必要はなかった。微量元素は用水中の含量を無視して、すべての試験区に同一量を加えた。調製した表層水区、深層水区、対照区の培養液は pH が 5.5~5.7 となり、電気伝導度は表層水区、深層水区で 2.8 dS/m 前後、対照区で 2.2 dS/m 前後となった。

### 3-3 養液栽培における培養液の変化と植物の生育

#### 1. 培養液の変化

トマトとハウレンソウの養液栽培におけるベッド内培養液の pH および電気伝導度の変化をそれぞれ図 6 と図 7 に示す。ベッド内培養液の pH はトマトの栽培では 3 試験区とも定植後徐々に上昇して 9 日目に最高の 6.8 になり、その後は減少する傾向にあった。ハウレンソウの栽培では pH は定植後徐々に減少する傾向にあり、定植後 11 日目に表層水区は 5.3、深層水区は 4.9、対照区は 4.7 にまで低くなった。そのため 12 日目に水酸化ナトリウム溶液で各区の pH を 5.7 に調整したが、その後も減少する傾向にあった。

トマトとハウレンソウともに、ベッド内培養液の電気伝導度は定植後徐々に上昇した。対照区に比べ、培養液の電気伝導度が高い表層水区、深層水区で電気伝導度の上昇速度が

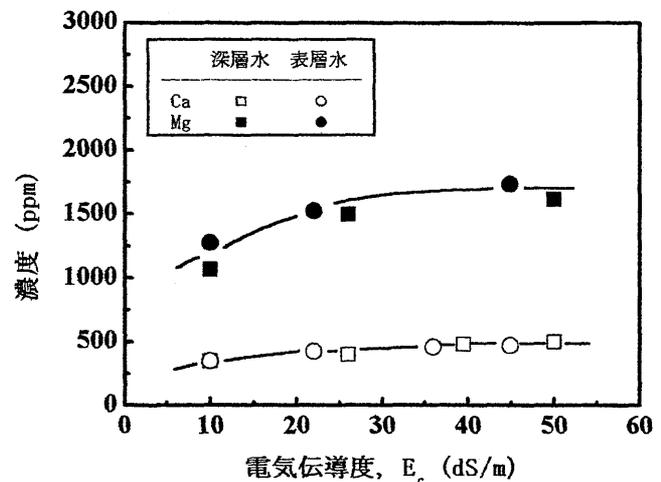


図5 Ca、Mg濃度と電気伝導度の関係

表1 養液栽培の各試験区に使用した培養液の成分濃度、ECおよびpH<sup>a)(b)(c)</sup>

試験区	多量要素										微量要素						EC (dS/m)	pH
	NO <sub>3</sub> -N (ppm)	NH <sub>4</sub> -N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	S (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mo (ppm)	Na (ppm)				
目標値	210.0	20.0	40.6	313.0	156.5	48.2	63.7	0.77	0.31	2.90	0.02	0.04	0.02		2.40	5.5~6.5		
表層水区	大塚ハウスB処方の標準濃度 本実験の設定濃度																	
	<0.088	<0.002	<0.017	17	349	1064	893	<1.20E-3	<4.80E-3	<0.37E-3	<0.32E-3	<0.66E-3	<7.81E-3	814	2.7	5.7		
	neg	neg	neg	1.6	31.7	96.7	81.2	neg	neg	neg	neg	neg	neg	74.0				
深層水区	210.0	29.7	40.6	311.4	124.8	0	0	0.50	0.50	3.00	0.02	0.05	0.01	0				
	210.0	29.7	40.6	313.0	156.5	96.7	81.2	0.50	0.50	3.00	0.02	0.05	0.01	74.0				
	合計																	
深層水区	<0.377	<0.004	<0.073	21	346	1274	868	<0.36E-3	<5.00E-3	<0.28E-3	<0.17E-3	<1.09E-3	<7.73E-3	999	2.9	5.5		
	neg	neg	neg	1.9	31.5	115.8	78.9	neg	neg	neg	neg	neg	neg	90.8				
	210.0	29.6	40.6	311.1	125.0	0	0	0.50	0.50	3.00	0.02	0.05	0.01	0				
対照区	210.0	29.6	40.6	313.0	156.5	115.8	78.9	0.50	0.50	3.00	0.02	0.05	0.01	90.8				
	合計																	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	5.6		
対照区	221.4	18.3	40.6	313.0	156.5	48.2	63.7	0.50	0.50	3.00	0.02	0.05	0.01	0				
	221.4	18.3	40.6	313.0	156.5	48.2	63.7	0.50	0.50	3.00	0.02	0.05	0.01	0				
	合計																	

注:

- a) C、H、O、Clは空気または水より供給するので、肥料設計においては考慮しない。
- b) 表層水区用KSSW-ED、深層水区用KDSW-ED中のNO<sub>3</sub>-N、NO<sub>4</sub>-N、P、Sおよび微量要素の濃度は報告値  
(北川ら、1995;野崎、1995;尾鷲市、2000)
- c) negは無視できる低濃度

速かった。培養液の電気伝導度が増加する原因として、水の消費速度が無機イオンの消費速度より大きいこと、用水中の Na などの成分が植物に吸収されず、ベッド内に蓄積していることがあげられる。

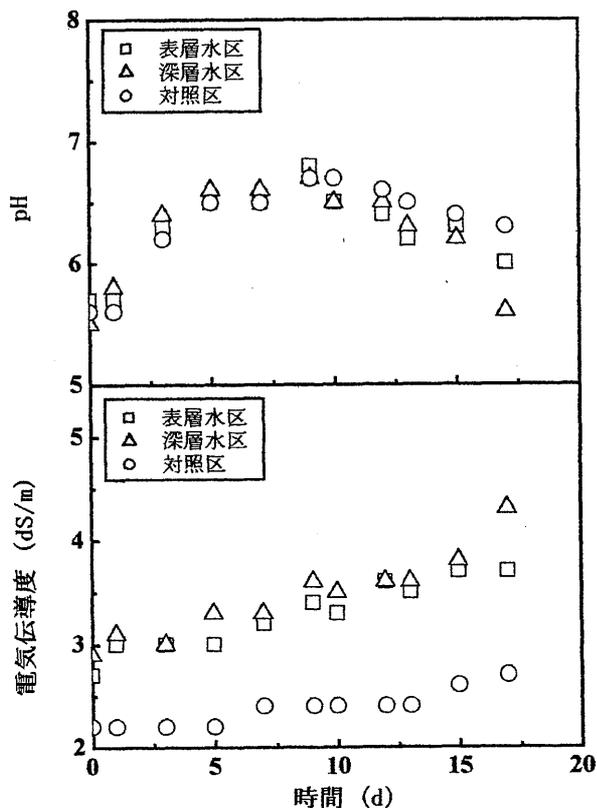


図6 トマトの養液栽培における培養液の pH および電気伝導度の変化

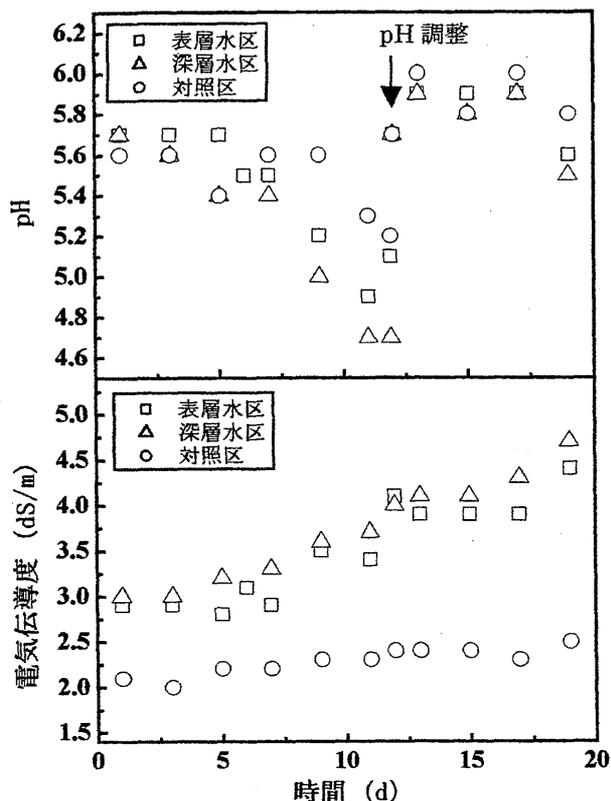


図7 ホウレンソウの養液栽培における培養液の pH および電気伝導度の変化

## 2. 植物の生育

トマトとホウレンソウはいずれの試験区でも正常に生長した。トマトとホウレンソウの茎葉新鮮重をそれぞれ定植後 17、19 日目に測定したところ、図 8 に示すようにトマトの平均茎葉新鮮重は深層水区で 14.7g/株と最も高く、次いで表層水区が 12.8g/株、対照区が 12.2g/株であり、またホウレンソウもトマトと同様に、深層水区が 14.0g/株と最も高く、次いで表層水区が 13.2g/株、対照区が 11.9g/株のようになった。トマトとホウレンソウともに深層水区での成長速度がやや速くなる傾向が見られた。これは深層水が含

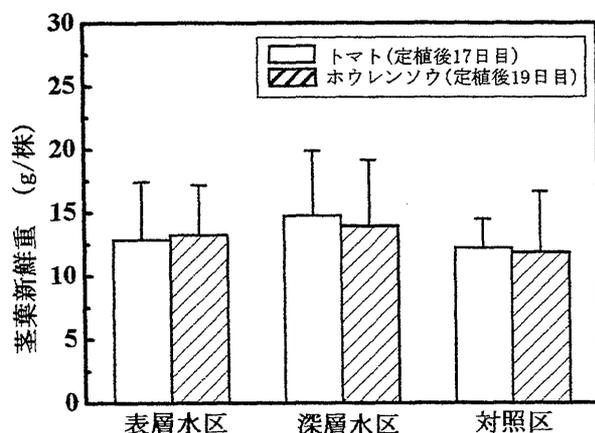


図8 トマトとホウレンソウの茎葉新鮮重 (平均値±標準偏差)

有する微量成分の生理活性作用によるものだと考えられる。しかし、どの試験区においても新鮮重に個体差が大きかった。t検定により対応のない2群の平均茎葉新鮮重を比較したところ(Abacus Concepts Inc.、1996；森田、1973)、表層水区、深層水区と対照区との間に危険率5%で有意差が認められなかった。

#### IV 摘要

海洋表層水と海洋深層水を電気透析処理し、それらの処理水を用いてトマトおよびホウレンソウの養液栽培を行った。得られた結果は次のとおりである。

(1) 電気透析処理により、深層水に含まれるK、Naなどの1価イオンが選択的に除去された。

(2) 電気伝導度を10 dS/m(25°C)に下げた深層水を用水として、養液栽培用培養液の肥料設計が可能であった。

(3) トマトおよびホウレンソウの養液栽培において、表層水区と対照区に比べて深層水区での成長速度がやや速くなることが明らかになった。

#### 謝辞

本研究は三重県および尾鷲市の委託事業「深層水の利用に関する可能性試験」による研究費の助成を受けた。また、試料水の電気透析処理には旭化成工業株式会社機能膜事業部の協力を得た。ここに記して深謝申し上げます。

#### 参考文献

Abacus Concepts, Inc. : StatView, 1996

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、ウォーター研究会、富山市、2000、11.6-7

大塚化学株式会社：大塚ハウス肥料調製資料

尾鷲市：海洋深層水調査データ、2000

北川浩久、田村光政、澤村淳二など：海洋深層水利用のための基礎調査(第2報)、高知県工業技術センター研究報告、No.26、8-12、1995

橘 昌司：蔬菜園芸学 5.根域環境と蔬菜の生育、p.216、川島書店、1996

橘 昌司：植物工場ハンドブック 5章 栽培ノウハウ、167-168、東海大学出版社、1997

森田優三：統計概論、日本評論社、1973

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