

海水利用に依る植物の水耕に就て (第一報)

徳岡松雄・徐水泉・國武芳郎

(臺北帝國大學理農學部)

緒 言

著者等は豫報¹⁾に於て海水を適當に稀釋し之れに尿水を附加して培養液を作り二十日大根其他を水耕して標準水耕液に比して劣らざる植物の生育を見た。本報に於ては之れを水稻に應用した結果に就て述べる。

實 驗 の 部

I. 海水の濃度と水稻生育との關係。

海水を水耕液として用ふる場合最初に考慮すべきは稀釋度である。其故水稻生育に對して一應稀釋度の影響に就て見る事とした。海水稀釋度は二十日大根の場合と同様で次の9通である。

區別	1	2	3	4	5	6	7	8	9
濃度	1	1/2	1/4	1/10	1/20	1/40	1/60	1/100	1/200

水耕培養器の内容は約 600 cc で養液は 3 日毎に更新した。養液は天然の海水を水道水で單に上記の割合に稀釋し、硫酸で水稻生育に最適なる pH に保つたものに臺中 65 號の 20 日苗を 1 本宛植付け各區に對して培養器 2 個宛平行に試験した。第 1 表は全生重、草丈及び根長の平均結果 (A) と標準區の結果を 100 としたる時の各比較數 (B) である。

第 1 表

植付 昭和 15 年 3 月 20 日

收穫 昭和 15 年 4 月 10 日

區別	濃度	A			B		
		全生重 g	草丈 cm	根長 cm	全生重	草丈	根長
標準區	—	0.5	25	8.7	100	100	100
1	1	3月22日	—	—	—	—	—
2	1/2	〃	萎凋 月日	—	—	—	—
3	1/4	〃		—	—	—	—
4	1/10	4月1日		—	—	—	—
5	1/20	4月6日		—	—	—	—
6	1/40	0.3	15.3	6.0	60	61	69
7	1/60	0.3	14.5	7.4	60	58	85
8	1/100	0.4	16.1	7.4	80	64	85
9	1/200	0.4	18.1	8.9	80	72	101

上記の結果から見て明かなる如く水稻生育に對しては 20 倍迄の稀釋では萎凋現象を呈し 40 倍に至りて萎凋現象が止る。尙海水の 20 倍稀釋即ち第 5 區迄の萎凋原因に就て考へて見るに 2 種の場合を考へ得る。其一は海水の高濃度による原形質分離で其二は海水中に過量に存在する微量要素の害作用である。先づ高濃度溶液に依る原形質分離の起否に就て検討する事とし水稻の表皮細胞を材料として海水並に之れと同濃度(海水中の Cl+SO₄ と等モルを含

む) の食鹽水を作用せしめた。其實験結果は第2表の如くである。

第 2 表

		海 水								
區別		1	2	3	4	5	6	7	8	9
濃度(mol/L)		0.58	0.29	0.145	0.058	0.029	0.0145	0.0097	0.0058	0.0029
葉	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
稈	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
根	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-

		食鹽水								
區別		1	2	3	4	5	6	7	8	9
濃度(mol/L)		1/2	1/4	1/10	1/20	1/30	1/40	1/60	1/100	1/200
葉	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
稈	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
根	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-

備考 +: 原形質分離したるもの。 -: 然らざるもの。

即ち水稻の表皮細胞は葉、稈、根何れも第3區の濃度迄は海水、食鹽水共に原形質分離を起し其以下の濃度に於ては其可能性は殆んど考へられない。其故第5區迄確實に起つて居る萎凋現象は高濃度に依る原形質分離丈では完全に説明し得ない故第2の原因である微量要素の過多の存在に就て考へるに其量的關係から問題になるのは Cl 以外では B, Br と I の 3種であるが今海水の上記の如き稀釋溶液中に於ける之等 3 要素の含量を p.p.m で表はすと第3表の如くである。

第 3 表

區別	B	Br	I	區別	B	Br	I
1	5.086	51.50	3.30	4	0.509	5.15	0.33
2	2.543	25.75	1.65	5	0.254	2.575	0.165
3	1.271	12.88	0.825				

之等 3 要素の中 B に就ては既に水稻生育に對してその 10 p.p.m に於ても尙穀實增收を來す事が認められて居る故第 1 表に於ける第 5 區迄の顯著なる萎凋現象の起因となり得ない。又 I はその含量極めて微量である故少時不間に附する事として量的に最も著しい Cl と Br の 2 要素に就て検討する事とした。

實驗方法としては海水及び其稀釋溶液中の Cl と Br の量を Na 鹽として標準水耕液に添加し之れに水稻を培養して兩元素の濃度と害作用との關係を調べた。第 4 表は之等の結果である。

先づ Br の影響に就て觀察すると Br 施用區に於る生育は何れも Br 無施用區に於るよりも劣つてをるが最多施用區に於ても其害作用は餘り著しくない。其故第 1 表に於る萎凋現象の原因として少くとも其主なるものではない。次に Cl の影響に就て觀察すれば第 9 區に於ける收量草丈は却つて標準區より稍優つて居るが第 5 區から其收量稍減少して來る。然るに第 1 表に於て萎凋現象を起し始めたのはやはり第 5 區であつた點から見て海水の濃度過大に基因する害作用の主要原因は恐らく Cl の過剰に因るものであらう。

第 4 表 (實數値)

植付: 昭和 15 年 3 月 27 日, 收穫: 昭和 15 年 4 月 15 日

區別	濃度	Cl				Br				
		p.p.m.	生重 g	草丈 cm	根長 cm	p.p.m.	生重 g	草丈 cm	根長 cm	
標準	—	—	0.5	25	8.7	—	0.5	25	8.7	
1	1	19699.00	3月28日	萎凋月日	—	—	51.50	0.3	16.7	6.7
2	1/2	9849.00	3月28日		—	—	25.75	0.3	16.8	9.7
3	1/4	4924.75	4月10日		—	—	12.88	0.3	16.0	6.5
4	1/10	1969.90	0.3		15.8	4.0	5.15	0.3	21.4	9.8
5	1/20	984.95	0.3	15.0	5.7	2.58	0.3	20.7	11.3	
6	1/40	492.48	0.4	19.6	7.7	1.29	0.3	1.80	11.6	
7	1/60	328.32	0.33	17.0	6.0	0.86	0.3	20.2	6.8	
8	1/100	196.99	0.4	22.2	9.1	0.52	0.3	17.6	7.0	
9	1/200	98.49	0.55	27.7	12.6	0.26	0.3	20.4	6.0	

第 4 表 (比較數)

區別 標準	濃度	Cl			Br		
		生重 100	草丈 100	根長 100	生重 100	草丈 100	根長 100
1	1	—	—	—	60	67	77
2	1/2	—	—	—	60	67	111
3	1/4	—	—	—	60	64	75
4	1/10	60	63	46	60	86	113
5	1/20	60	60	66	60	83	133
6	1/40	80	78	89	60	72	133
7	1/60	66	68	69	60	81	78
8	1/100	80	89	105	60	70	80
9	1/200	110	111	145	60	82	69

II. 海水濃度と水稻生育との關係に及ぼす生育時期の影響.

時期として次の 3 期を選んだ.

1. 早期: 普通の植付時期.
2. 中期: 早期より約一ヶ月経過したる時期.
3. 晚期: 中期より更に一ヶ月経過したる時期.

早期の場合は即時水稻の 20 日苗を植付けて試験を開始したが中期及び晚期は水稻苗を各試験開始期迄は 600 cc 内容の培養器で標準水耕法に依り保存した. 實驗方法としては各海水稀釋溶液に栄養素(標準水耕液)を添加し之れに水稻を培養した. 培養器は 2.21 のもので收穫は各期とも昭和 15 年 7 月 20 日に行ひ, 試験結果の中生育調査を第 5 表, 收穫物を第 6 表に示した.

第 5 表

早期(試験開始期: 昭和 15 年 4 月 23 日)

區別	6月18日		6月29日		7月16日		7月20日(收穫)	
	草丈 cm	分蘖	草丈 cm	分蘖	草丈 cm	分蘖	草丈 cm	分蘖
1	4月24日(萎凋月日)	—	—	—	—	—	—	—
2	4月24日	—	—	—	—	—	—	—
3	4月30日	萎凋月日	—	—	—	—	—	—
4	5月10日		—	—	—	—	—	—
5	59	1	66	2	7月16日	萎凋	—	—

6	72	1	72	3	72	4	71	4
7	60	2	70	3	70	6	72	6
8	70	2	69	2	69	5	70	5
9	86	2	86	4	86	8	86	8

中期(試驗開始期: 昭和 15 年 5 月 20 日)

區別	6月18日		6月29日		7月16日		7月20日(收穫)	
	草丈 cm	分蘖	草丈 cm	分蘖	草丈 cm	分蘖	草丈 cm	分蘖
1	5月21日	萎凋月日	—	—	—	—	—	—
2	5月24日		—	—	—	—	—	—
3	6月10日		—	—	—	—	—	—
4	50	1	62	1	62	2	64	2
5	61	1	69	1	70	2	72	3
6	58	1	65	1	65	4	67	4
7	55	1	54	1	54	4	59	4
8	65	2	66	2	66	6	67	6
9	60	2	71	2	70	6	78	6

晚期(試驗開始期: 昭和 15 年 6 月 24 日)

區別	6月29日		7月16日		7月20日(收穫)	
	草丈 cm	分蘖	草丈 cm	分蘖	草丈 cm	分蘖
1	65	1	7月5日	萎凋月日	—	—
2	66	1	7月7日		—	—
3	61	1	7月16日		—	—
4	60	1	60	3	60	3
5	68	1	76	5	76	5
6	74	1	74	2	74	3
7	71	1	73	3	74	3
8	74	2	76	3	79	4
9	72	2	74	3	74	3

上記の結果を綜合して見るに水稻生育に及ぼす海水濃度の影響は生育時期に依りて異り生育期の進むに連れて濃度に對する抵抗力が増加する様である。

第 6 表 收穫物調査

區別	早期				中期				晚期			
	地上部	地下部	合計	根長	地上部	地下部	合計	根長	地上部	地下部	合計	根長
	g	g	g	cm	g	g	g	cm	g	g	g	cm
4	—	—	—	—	2.1	1.5	3.6	21	3.0	1.3	4.3	15
5	—	—	—	—	6.0	5.0	11.0	20	4.5	4.0	8.5	15
6	7	3.6	10.6	15	6.1	5.1	11.2	11	6.6	4.1	10.7	12
7	8	9.0	17.0	20	8.3	8.8	17.1	9	8.0	3.4	11.4	19
8	15.3	8.0	23.3	14	12.4	6.8	19.2	17	13.4	8.0	21.4	15
9	25.8	9.5	35.3	15	21.5	9.5	31.0	15	21.9	9.4	31.3	11

收穫物調査結果に就て見れば第7區迄は3期共に略同傾向を示して居るが8,9兩區では早期の場合最も優れ、中晩兩期は殆んど同收量である。其故稀釋海水の施用は早期に行ふを利とする様である。

III. 海水及び尿に依る水耕試験

著者等は海水と尿を基本材料として次の3種の水耕液を作つて水稻を栽培し其生育狀況及び收量を標準區の其と比較したのである。

I 標準區 水耕液 II 中各養素含量 (g)

(NH ₄) ₂ SO ₄	0.1447	CaCl ₂ 6ag	0.0109
KH ₂ PO ₄	0.0393	FeCl ₃	0.003
KCl	0.0324	MnCl ₂ 4ag	0.0014
MgSO ₄ 7ag	0.0366		

2. 海水+尿水 (N 量を標準區に等しくする如く尿水を添加する)
3. 海水+尿水+ KH₂PO₄ (N, P₂O₅ を標準區に等しくする)
4. 海水+尿水+KH₂PO₄+K₂SO₄(N, P₂O₅・K₂O を標準區に等しくする)

各液の pH は最適に保ち海水は 50 倍, 100 倍, 200 倍等の稀釋液のものを作り各區とも 2 個宛平行に行ひ水耕液は 3 日毎に更新した。培養器は最初一ヶ月は内容 600 cc 其以後は 2.2 L のものを用ひた。草丈, 收量等に就て其平均値を示せば次の如くである, 但し萎凋した區は残區の結果其儘である。

第 7 表 生育調査

(播種: 昭和15年7月22日, 植付: 7月30日, 收穫: 12月21日—12月23日)

區別	10月5日		10月26日		11月18日		12月7日		12月13日		12月23日(收穫)			
	草丈	分蘖	草丈	分蘖	草丈	分蘖	草丈	分蘖	草丈	分蘖	草丈	分蘖		
	cm		cm		cm		cm		cm		cm			
標準區	43	2.5	53	2.5	71	3	68	3	69	13	5	71	13	5
50 倍稀釋液區														
2	44	1	49	1	52	1	52	1	53	3.5	3.0	54	3.5	3.5
3	52	1	55	1	61	1	61	3	63	5.5	4.0	64	5.5	5.0
4	61	1	65	2.5	70	2.5	70	5	70	6.5	5.5	72	6.5	5.5
備考: 1b (10月26日萎凋), 3b (10月2日萎凋)														
100 倍稀釋液區														
												12月22日(收穫)		
2	72	1	68	3	70	3	70	6	69	13	5	69	13	5
3	75	1.5	75	2.5	72	3	72	7	73	10	5	74	10	5
4	73	2.0	73	5	74	5	73	7	74	11	4	75	13	6
備考: 2a (10月1日萎凋), 3b (11月10日萎凋), 4a (11月18日萎凋)														
200 倍稀釋液區														
												12月21日(收穫)		
2	76	1.5	76	3	78	4	77	5	78	9	5.5	81	11	5.5
3	70	1.5	73	3.5	78	4	78	5.5	77	13.0	5.5	79	14	5.5
4	82	4.0	82	7.5	84	8.5	83	12.0	84	20.0	7.0	85	22	7.0

之れに依れば各稀釋溶液に於ける第4區の生育状況は何れも標準區に優り尙海水の稀い程一般に良好なる生育を遂げてゐる。上記の生育状況から見て水稻生育に對しては 100 倍以上の稀釋を最適とする様である。又收穫當日の調査結果を見るに各稀釋液とも大體に於て 4>3>2 の順位を示して居り, 3 要素の 1 或は 2 を缺けてゐる 2 區, 3 區の結果が場合によつては標準區の結果より優秀であるのは一見不合理の如く考へられるも海水中の微量物質及び尿中のオーキシンを考へれば必ずしも不合理とは云へないであらう。

次に收穫期の影響に就て調査した結果を第 8 表に示す。

第 8 表 收穫期

區別	1	2	3	4
標準區	11月20日	—	—	—
50 倍	—	11月27日	11月27日	12月3日

100 倍	—	11 月 28 日	11 月 11 日	11 月 27 日
200 倍	—	11 月 27 日	11 月 23 日	11 月 3 日

出穂期の中 200 倍の 4 区の 11 月 3 日が最も早く 50 倍の 4 区の 12 月 3 日が最も遅い。残りはその中間にあつて一般に稀釋度による影響極めて少く又海水水耕區と標準區との差異も甚だ小さい。

次に收量に付き穀實莖葉根の夫々の乾物量を示すと第 9 表の如くである。

第 9 表 收 量

區別	穀實	莖葉	根	計	
標準區	4.2	16.2	4.6	25.0	
50 倍	2	3.5	9.6	3.4	16.5
	3	4.3	18.8	4.3	27.4
	4	5.9	20.9	5.5	32.3
100 倍	2	3.2	9.1	5.1	17.4
	3	4.2	16.5	4.8	25.5
	4	5.5	18.3	4.0	27.8
200 倍	2	3.4	10.8	3.6	17.8
	3	5.1	23.4	4.5	33.0
	4	6.4	26.6	6.4	39.4

根を除く他穀實莖葉に就き各稀釋溶液に於ける各區の内容を見るに殆んど同傾向を示して居り即ち海水に N のみを附加した 2 區は何れも標準區に劣るが N, P₂O₅ 或は 3 要素を完全に附加した 3, 4 區は何れも優秀なる結果を示して居り而かも 4>3>2 の順位になつて居る。3 要素量に於て同量である 4 區の收量及び 3 要素の 1 を缺いて

ゐる 3 區の收量が却つて標準區の夫より優れて居る點は生育調査の時も述べた如く海水中の微量要素と尿水中の Auxin¹⁰⁾ の存在によるものであらう。

IV. 葉綠素含量に就て。

Cl は植生上必要不可欠なものではないが或種の葉綠素含有植物例へば Polygonum fagopyrum, 及び polygonum tartaricum の類にありては Cl を缺くと結實等は阻止せられる³⁾。水稻の葉綠素含量に就ては既に鈴田⁵⁾ 氏の品種間に於ける比較研究あれども Cl 含量との問題に就ては觸れてない。其故 Cl の異量を含む各海水稀釋溶液に生育した前記水稻收穫物中の葉部を實驗材料として葉綠素含量を Ulvin⁴⁾ 法に従つて定量した。

尙本實驗施行に當りて臺北帝大理農學部植物生理學教室相馬氏の御援助を受けた事を感謝す。

第 10 表 葉 綠 素 含 量

區別	Cl 含量 (p.p.m.)	葉綠素含量 g/100 g 生菜
標準區	19.73	0.126
50 倍	2	343.98
	3	//
	4	//
100 倍	2	196.99
	3	//
	4	//
200 倍	2	93.49
	3	//
	4	//

上記の結果に依れば一般に Cl 量の増加に平行して葉綠素含量が減少の傾向を示して居り又海水區は何れも標準區より含量が少い。尙各稀釋溶液區に於ける 2, 3, 4 區間の葉綠素含量は極めて僅かではあるが一般

に 3 區に於て稍小さい結果を示して居る。

考 察

前記の實驗結果から見れば水稻は海水の 40 倍以上の稀釋から不正常ながら生育可能にして、100 倍及び 200 倍稀釋の場合最も生育良好である。而して海水低濃度の場合に於ては、生育に害作用を及ぼす原因は主として Cl の過量に因るものであると考へられるが海水高濃度に於ける生育阻害作用は Cl の他に鹽類の高濃度による原形質分離も其一因である事は實驗結果から明かである。

次に葉綠素含量と Cl の量に付いて見るに一般に認められたる如く⁶⁾ 鹽化物は葉綠素含量を減少せしめ植物の炭素同化作用に障害を呈するものであつて此の關係は前述の葉綠素測定結果に於ても認められる。

之れに反して Cl の微量は植物生育上不可欠なものではないが少くとも植物體中の炭水化物移動に役立つ^{6,7,8,9)} のであるから海水水耕區に於ける穀實増收に對して或は相當の効果を及ぼしてゐるかも知れない。此の點水稻各部の成分を明かにしなければ結論は出來ない。

摘 要

本研究は海水を適當に稀釋し之れに尿水を附加して作りたる培養液は水稻の場合にも使用し得るや否やを決定する目的で行つたものでその實驗結果の大要を示せば次の如くである。

1. 水稻は海水 40 倍稀釋から生育可能にして 100 倍、200 倍稀釋の場合最も良好である。
2. 海水 20 倍迄の稀釋溶液の害作用は主として過量に存在せし Cl に依る以外に高濃度による原形質分離をも考慮すべきである。
3. 水稻は生育期の進むに連れて海水高濃度に依る害作用に對する抵抗性が增大する。
4. 海水の 50, 100, 200 倍稀釋溶液に尿水を附加して作つた水耕液は標準水耕液よりも優秀なる生育状態を示した。
5. 海水稀釋溶液に生育した水稻葉部の葉綠素含量は海水の稀い程多い。

(昭和 16 年 6 月 10 日受理)

文 獻

1. 徳岡, 徐: 日本土肥雜誌, 14, 267 (1940)
2. 徳岡, 徐: 熱農, 10, 151 (1938)
3. 田所哲太郎編: 植物榮養化學(無機篇) 143 (1934)
4. ULVIN, G.B.: Plant Physiology, 9, 59-63 (1934)
5. 鈴木: 熱農 1, 79 (1929)
6. 鈴木梅太郎著: 植物生理化學, 448 (1940)
7. TOTTINGHAM, W.E.: J. Amer. Soc. Agron. 11, 1-32 (1919)
8. 小野寺伊勢之助著: 肥料學汎論 56 (1939)
9. HONCAMP, F.: Handbuch der Pflanzenernähr. u. Düngerlehre. I (1931)
10. SCHLENKER, G.: Die Wuchsstoffe der Pflanzen 24 (1930)

Abstract.

Ueber die Wasserkultur der Pflanzen mittels Meereswassers.

I. *Oryza sativa*.

Matsuo TOKUOKA, Suisen DYO und Yoshiro KUNITAKE.

Bei diesem Versuch wurde es die Praktisierbarkeit der Wasserkultur mittels Wasserkultur für eine typische chlorunempfindliche Pflanze. Sumpfreispflanze, geprüft. Von der 40-facher Verdünnung an konnte die Pflanze ein gutes Wachstum zeigen, und bei 100-fascher Verdünnung ein noch besseres Wachstum. Die nachteilige Wirkung des Meereswassers bei höheren Konzentration ist der hohen Konzentration an Chlor zu zuschreiben. Der Chlorophyllgehalt in den Blättern vermindert sich mit der Erhöhung des Meereswassers, d. h. derselben der Chlorkonzentration.

Die Nährlösung, die aus Meereswassers und Harn besteht, hat eine so gute Nährwirkung wie die typische Wasserkulturlösung gezeigt.

(aus dem Institut für Bodenkunde und Düngerlehre, Taihoku Univeraität).