

養蝦廢水對水稻生長的影響¹

丁文彥²

摘要

為探討養蝦廢水對水稻生長的影響及為害程度，特將養蝦池排放的廢水按其所含鹽份濃度分為七個等級，依作物不同生育期分別予以不同濃度的廢水處理，其結果如下：水稻遭養蝦廢水為害時，最明顯的症狀為其葉尖發生捲縮、白化、繼而整葉或全株枯死。生育後期則會造成稻穗空穎或不飽滿的現象發生。養蝦廢水影響水稻生育主要作用於穀粒重與稔實率，分蘗數與株高次之，其原因可能與其 Na⁺、Cl⁻含量與 EC 值的高低有關。水稻在鹽害狀態下地上部 P、K 含量會降低，Ca、Mg 含量則有增加的趨勢。乾物重無論是在葉片、葉鞘、莖稈或穗部均有減少的現象。養蝦廢水對水稻土壤性質的影響在於 EC 值、有效鉀及的提高，至於有機質、磷酞、Ca、Fe、Mn、Cu、Zn 等含量各處理間差異並不顯著。

（關鍵字：水稻、養蝦廢水、鹽害）

¹花蓮區農業改良場研究彙報第 97 號。本計畫承行政院農業委員會經費補助（82 科技 - 1.2 - 糧 - 12）謹此申謝。

²花蓮區農業改良場蘭陽分場助理。

前言

農業一向是順著自然規則從事於資源的利用與再生之事業，在現代化工業尚未發展之前，由於人類活動所產生的污染廢棄物，如家庭廢水、畜牧及農業生產過程中之有機廢棄物，可完全分解被利用做為作物生長之肥分、養殖漁池中藻類氮之來源、以及家畜飼養用飼料。近年來，由於工業快速的成長，加上人口的急劇增加，所引起的廢污量已非自然水的淨化能力所能負荷，污染物質不但無法一如以往對農業有所助益，反而造成水質及土壤的劣化，威脅農作物的生長空間與環境（李，1979）。

灌溉是農業的基本措施，目的在於作物生長期間，在其根區土壤間維持足夠的水量與理想的水質以供給作物生育所需。台農田灌溉用水若其水源取自河川水上游者，水質均甚優良，惟自中游以下，受各類工業廢水以種種方式傾入或滲入而造成水質的污染，其劣化程度已有與日俱增的趨勢。在傳統的灌溉經營理念上，最主要考慮的是水量，其次才是水質；而水質主要的考慮因子則是水中的溶解離子，或稱為鹽分。由於水量對作物的影響在增加土壤水的水分潛勢，鹽分則在增加土壤溶液的滲透潛勢，這兩項因子對作物的影響是很難區分的，而是同時對作物發生作用。在代謝方面影響細胞內各種生化反應，在構造上則影響植物各組織器官，進而影響植物吸收、運轉、生長及分化（朱，1978；朱，1982；李等，1993；高和林，1985；鄭，1993；Boyce,1954）。

由於被污染的灌溉水是先被引流滲入土壤，才到達植物的根部，因此水污染影響植物的問題實與土壤污染、土壤質地、土壤原有養分等有密切的相關；即污染水先與原有土壤水及土壤反應後，最後所得土壤溶液，才直接作用於植物根部。灌溉水與土壤結合產生的土壤溶液最終會被植物根部吸收，然後各依其特性或濃度，對於植物產生各種影響，在土壤養分原本缺乏之情況下，許多有機質污染物經土壤微生物分解後可能對植物生長帶來正面的影響，但亦可能是負面影響。唯影響是正是反，端看污染物的濃度或總量而定，即使是養分，濃度太高亦會阻礙作物的生長（孫，1985）。

宜蘭縣沿海農田約有 2,500 公頃，近年來因栽培水稻利潤微薄，農民紛紛將水田改為養蝦區，因利潤豐厚，造成養蝦戶有日益擴增之趨勢，目前養蝦池的面積已達 2,000 公頃左右。由於宜蘭縣的養蝦魚塭係以養殖草蝦及斑節蝦為主，而無論草蝦或斑節蝦均以海水與淡水調和鹽分濃度來飼養，即所謂“鹼水養殖”（江，1991）。因此排放之廢水中常含有高濃度的鹽分，若流入農田將影響作物的生長，造成土壤的污染，使良田變成可溶性鹽含量增高，而無法種植農作物。加上養蝦池排放廢水與農田的灌溉用水使用同一灌溉渠道，使農田遭受污染的情形更加嚴重。因此本計畫擬探討本地區水稻對於不同濃度養蝦廢水的容忍性及其危害徵狀，以供污染區農地栽培水稻之參考，選免鹽害問題持續發生與日趨惡化，降低稻作生產之損失。

材料與方法

一、試驗材料：水稻（台農 67 號）。

二、試驗處理：

在蘭陽分場網室內以盆栽方式進行本試驗。將採自養蝦池排放入灌溉渠道的廢水，以可溶性鹽含量按濃度分為 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、2.0% 等七個等級，依定植期、定植後一個月、定植後二個月、定植後三個月等四個不同生育期分別處理，一個處理三盆。每一處理係以養蝦廢水澆灌盆內，直至滲出水盆外為主。各處理至水稻收穫期時調查其農藝性狀及土壤理化性質。

三、調查項目：

(一)農藝性狀調查：株高、分蘗數、稔實率、產量。

(二)植體分析：包括葉、葉鞘、莖、穗各部位微量元素含量及乾物重。

(三)水質分析：EC、 Na^+ 、 Cl^- 、pH。

(四)土壤分析：pH、OM、ECe、 P_2O_5 、 K_2O 、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn。

四、分析方法：

(一)土壤理化性分析：將採樣土壤風乾磨碎，以通過 2mm 篩網之樣品測定 pH 值（玻璃電極法）、有機質（比色法）、 P_2O_5 (Bray P₁ method)、 K_2O 、CaO、MgO (Mehlich's method)、Fe、Mn、Cu、Zn (0.1 M HCl method)。

(二)水質分析：測定不同濃度養蝦廢水的 EC 值（電導度法）、pH（玻璃電極法）、Na⁺、Cl⁻（離子檢測法）。

(三)植體分析：將各處理水稻植株，依其葉片、葉鞘、莖桿、穗部分別取樣，以烘箱 80 烘乾 48 小時後，秤重 磨碎，秤取 0.2g 樣品置入 50ml 分解瓶中，加三酸混合液(HNO₃: H₂SO₄: HClO₄ v/v 4/1/1)3ml，放置一夜，翌日加熱至澄清，冷卻後加蒸餾水定量至 50ml。此分解液可供磷、鉀、鈣、鎂測定之用。

- 1.磷：取分解液 4ml 依鉬黃法加入 HNO₃-Vanadate-Molybdate 試劑，進行呈色反應，靜置 20 分鐘，以光電比色計測定波長 420nm 吸光度。
- 2.鉀：取分解液 2ml 稀釋至 50ml，以火焰光度計測定之。
- 3.鈣、鎂：取分解液 2ml 稀釋至 50ml，加入一滴 10% lanthanum acetate 溶液，攪拌後使用原子吸光儀測定鈣、鎂濃度。

結果與討論

水稻植株遭受鹽害時，其最明顯的症狀為葉片尖端發生捲縮、白化現象，然後由上而下呈一倒 V 型逐漸往葉柄擴散，嚴重時整個葉片甚至全株發生枯死的情形（圖一），生殖生長期間會產生無效分蘗，空穎或不飽滿的穗佔絕大部份，造成產量的減少（圖二）。此結果和 Boyce(1954)及孫與蘇(1991)的試驗研究有相同的現象。孫與蘇(1991)更發現水稻植株在分蘗期以後，對鹽害的容忍性較強，但其症狀則仍然和初期受害者相同。Bernstein(1975)提出葉片的灼傷係由於 Na⁺及 Cl⁻直接毒害水稻植株所造成的。本試驗結果顯然都合乎以上學者的說法。

葉綠素含量的變化一般可當做植物葉片老化的指標，因此葉綠素的消失常被做為老化的依據。然在本試驗中，葉綠素含量的減少與養蝦廢水中 EC 值或土壤中 EC 值的增加並不呈一定的比例，其 R²各為 63.24%及 28.98%（圖三）。同時 Zekri 與 Parson(1990)發現作物遭受鹽害時在葉片還沒有明顯的症狀出現之前，其生長已明顯受影響。因此由試驗結果得知，在鹽害的狀態下，植物葉片葉綠素含量並無法當做耐鹽性作物的指標，一般以枯死率或再生率做為指標。

表一、養蝦廢水之成分含量

Table 1.Components of waste water from aquaculture.

Treatment	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	2.0
Components	(%)						
Na ⁺ (ppm)	0	164	340	388	543	708	1660
Cl ⁻ (ppm)	2	2000	5000	7000	8000	10000	21000
EC(ms/cm)	0.21	8.63	13.51	18.18	22.60	26.50	39.40
pH	6.33	6.63	6.73	7.06	7.31	7.55	8.63

表二、養蝦廢水對水稻農藝性狀影響調查

Table 2. Effect of waste water from aquaculture on agronomic characters of rice.

Treatment	plant height(cm)	No. of panicle	Spikelets fertility(%)	Yields (g/pot)
A. Transplanting stage				
CK	101.1	22.5	63.1	17.76
0.2%	76.5	7.5	2.4	0.17
0.4%	57.0	2.0	—	—
0.6%	—	—	—	—
0.8%	—	—	—	—
1.0%	—	—	—	—
2.0%	—	—	—	—
B. 1 month after transplanting				
CK	101.1	22.5	63.1	17.76
0.2%	75.5	17.0	9.3	0.48
0.4%	65.5	11.0	1.5	0.12
0.6%	—	—	—	—
0.8%	—	—	—	—
1.0%	—	—	—	—
2.0%	—	—	—	—
C. 2 months after transplanting				
CK	101.1	22.5	63.1	17.76
0.2%	89.5	18.5	13.6	2.41
0.4%	74.5	21.0	6.1	1.70
0.6%	73.0	24.3	8.0	1.28
0.8%	66.3	10.0	2.7	0.58
1.0%	65.0	6.0	2.1	0.23
2.0%	—	—	—	—
D. 3 months after transplanting				
CK	101.1	22.5	63.1	17.76
0.2%	91.0	24.5	47.0	13.27
0.4%	95.5	23.5	34.1	14.14

0.6%	98.5	20.0	27.1	9.53
0.8%	107.5	19.5	17.1	8.36
1.0%	89.0	17.0	18.5	4.29
2.0%	84.5	13.5	9.1	2.33

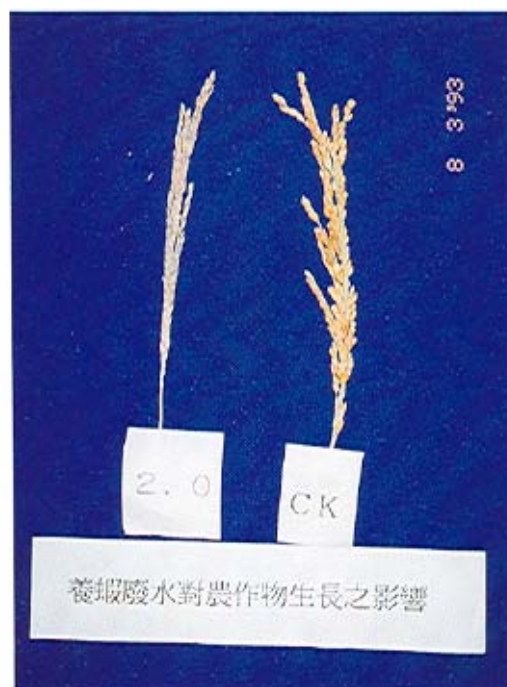


圖一. 養蝦廢水對水稻葉片的為害，其初期病徵為葉尖捲縮（右二葉），末期則葉片全枯（左一葉）。

Fig.1. Symptoms of rice leaves damaged by waste water from aquaculture showing primary symptoms of tip curling (the second from right) and final symptoms of leaf scorching (the first from left).

水稻的產量構成要素，不管在株高、分蘗數、稔實率、穀粒重對於養蝦廢水會呈現不同的反應，而不同的鹽分濃度或不同的離子種類對水稻的影響及為害程度也會有所不同。本試驗所使用的材料係取自養蝦池排放入灌溉渠道的廢水，其成分含量如表一所示：pH 值一般均偏高，在 6.63 8.63 之間，EC 值則隨著鹽度的增加呈倍數增加，由 0.2%處理 8.63ms/cm 遞增至 2.0%處理的 39.40ms/cm，Na⁺及 Cl⁻亦呈倍數的增加，2.0%之處理其值各為 1660ppm 及 21000ppm。水稻在不同生育期間，對於養蝦廢水的反應亦不盡相同，水稻生育期間，愈早遭受鹽害或鹽水濃度愈大者，其產量及生育減損的程度愈嚴重。在生育初期若廢水濃度在 0.4%或 0.4%以上即會使植株發生無效分蘗；生育後期遭廢水污染時，其濃度在 2.0%之處理，產量僅為對照區 13%左右，稔實率僅有 9.1%，株高為 84.5 公分，分蘗數為 13.5 支，均較對照區減少（表二）。由此可知，在水稻生育初期若遭廢水污染，其 EC 值超過 8ms/cm 或 Na⁺含量在 340ppm，Cl⁻含量在 5000ppm 以上即會影響水稻的發育與生長；而在生育後期若 EC 值超過 18ms/cm 或 Na⁺含量在 388ppm，Cl⁻含量在 7000ppm 以上，則會造成水稻減產 50%。雖然養蝦廢水中含有很多有機質及無機物質，但江(1991)曾針對宜蘭縣養蝦魚塢的用排水做過評估分析，發現其內容物中，以氯鹽和電導度的關係呈極顯著的相關。Boyce(1954)亦指出海水中 Na⁺及 Cl⁻含量佔全部鹽基離子 85%左右。這些研究成果與本試驗的結果頗為符合。

Matoh 等(1986)則認為 Na^+ 離子本身不直接影響水稻的代謝反應，而是伴隨著 Na^+ 離子蓄積而增加的單價陽離子鹽基造成水稻的減產。Peacock 等(1993)也發現鹽水為害水稻最主要的原因為滲透潛勢而非營養元素的不均衡所造成，Cl 及 Na^+ 與 EC 值並無顯著相關。雖然為害原因說法不一，然而在植物體內其離子吸收運轉機制尚未完全了解之前，欲解釋究為滲透作用的影響抑為離子的毒害作用，則尚待進一步探討。



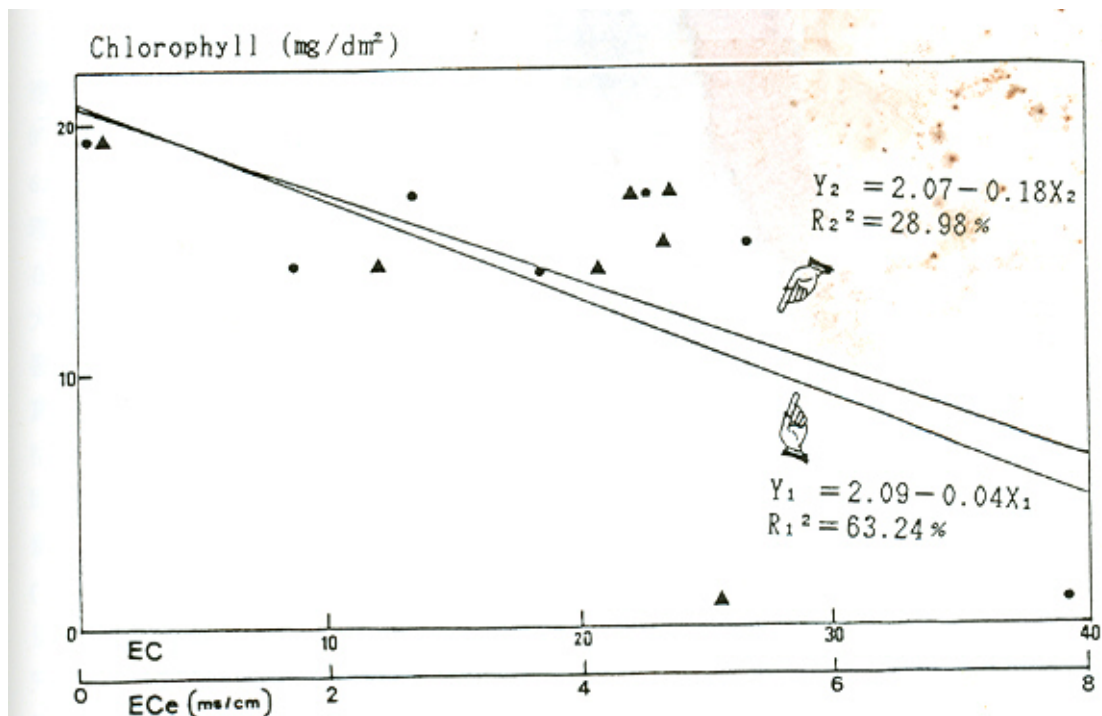
圖二. 養蝦廢水對水稻稻穗的為害情形

Fig.2. Symptoms of rice panicle damaged by waste water from aquaculture.

水稻低產與其產量構成要素的減少有關，由表二顯示，不管是早期或中晚期遭受養蝦廢水污染的處理，均以產量及稔實率的減少最明顯，分蘗數次之。株高的影響在早期較為顯著，生育後期則不明顯。Murty 與 Roa(1965)提出水稻遭受鹽害造成的減產主要是由於有效分蘗數及稔實率的減少所致。Giriraj 等(1976)亦認為水稻營養生長期對鹽害的容忍性較生殖生長期為弱，在灌溉水 EC 值為 12mmhos/cm 時株高減少 20.3%，穗數減少 29.6%，每穗粒數減少 26.3%，產量則減少 71.7%。其產量減少的原因可能由於鹽分影響其產量構成要素，而在根圈有高濃度的鹽分離子累積所造成的。Giriraj 等認為在 EC 值為 4mmhos/cm 之處理，水稻產量與對照區沒有顯著差異。李等(1993)則提出水稻在分蘗期可以忍受較高的鹽分，可能與其株高、莖葉在分蘗後期生長性狀已經趨於穩定，所以對鹽分濃度的反應較不敏感；因此認為水稻對鹽分反應的敏感性，依次為穀粒重，穗數，分蘗數，莖葉乾重，株高。這個結果與本試驗的研究結果一致。

植物體中一些基本功能和多種營養元素的存在有關，如滲透壓的維持就和細胞溶液中所有的離子以及所有的非電解質有關。外來的逆境(stress)或多或少會影響植體營養元素的含量，鹽害即為其中之一。由本試驗結果顯示：鹽害對水稻葉片、葉鞘之 P、K、Ca 含量沒有

顯著影響，Mg 則略有提高的趨勢（表四）；水稻莖桿之 P、K 含量有略減的情形發生，Ca、Mg 沒有多大的變化；穗部除了 P 的含量有增加的現象外，K、Ca、Mg 則沒有直接的影響。但以植體地上部各營養元素的總量而言，發現鹽害會造成 P、K 含量的降低，增加 Ca、Mg 含量。植體乾物重受養蝦廢水的為害頗為明顯，無論是葉片、葉鞘、莖桿、穗部或其總量均呈遞減的現象。然而 Yoshida 與 Castaneda(1969)卻認為水稻在營養生長期時，高濃度的 NaCl 會使其乾物重增加；但大部份的研究報告均指出鹽害會使作物地上部的乾物重減少，主要與單位面積光合作用速率減少，代謝能量的消耗有關(Matoh 等,1986；Subbarao 等,1990；Yang 等,1990；Zekri 和 Parsons,1990)。Matoh 等(1986)提出以 NaCl 或海水處理水稻植株，其地上部的 P、k 含量增加而 Mg 含量有降低的趨勢，至於 Ca 的含量則稍有減少的現象，但並不顯著。亦有學者發現鹽害會降低植體 P、K、Ca、Mg 的含量(Giriraj)等,1975；Peacock 等,1993)；另外有其他學者認為灌用不同的養蝦廢水對水稻稻桿及稻穀中的 P、K、Cd、Cu、Zn、Pb 含量並無顯著差異存在（鄭，1993）。而 Murty 與 Rao(1965)則提出鹽害會影響水稻地上部的 P、K 含量，增加 Ca、Mg 的濃度。本試驗的結果則與 Murty 與 Rao(1965)的說法互相吻合。



圖三. 水稻葉片葉綠素含量與電導度值之直線迴歸關係

Fig.3. Regression of chlorophyll content on EC(•), ECe(▲) of rice leaves at harvest stage under salinity condition.

由於本試驗係以盆栽方式進行，因此土壤在長時間養蝦廢水灌溉下，其土壤性質會造成某種程度的改變。由表三得知，各處理土壤的 pH 值介於 5.5 6.1 之間，OM 含量介於 4.0 4.3% 之間，變化幅度並不大，土壤 EC 值則由對照區 0.17ms/cm 逐漸遞增至 2.0% 處理的 5.40ms/cm，其值對水稻根部的發育及植株的生長會造成一定程度的傷害。至於磷酐、Ca、Fe、

Mn、Cu、Zn 各處理間沒有顯著差異，氧化鉀及 Mg 的含量則略有增加。Murthy?PRao(1965) 提出土壤 EC 值超過 2ms/cm 時，水稻的產量減少約 50%左右；此項結果與本試驗初、中期的處理結果相符合，但在生育後期則在 EC 值超過 4.7ms/cm 時，才會使水稻減產一半。鄭(1993) 則認為灌用養蝦廢水會使土壤 EC 值增加，但對 pH、OM、磷酐、Cd、Cu、Zn、Pb 則無明顯差異存在。

鹽害在不同的作物或不同的品種其反應相差很大，即使同一品種不同生育期其反應亦不同。在了解養蝦廢水對水稻為害的癥狀以後，如何去控制滲透壓調節作用，如何增強敏感作物離子間隔化和離子高度吸收速率的特性，或選擇耐鹽性作物以期適地適作，將是吾人未來研究領域重要的課題。

表三、養蝦廢水對水稻土壤性質的影響

Table 3.Effect of waste water from aquaculture on property of rice soil.

Texture Treatment	pH	EC (ms/cm)	OM (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	
				(kg/ha)		(ppm)						
0	SL	5.5	0.17	4.0	116	205	242	231	1468	280	10.6	10.7
0.2	SL	5.7	2.67	4.3	215	442	205	416	926	229	11.2	10.5
0.4	SL	6.0	4.43	4.2	111	448	240	548	1129	254	10.4	9.8
0.6%	SL	6.0	4.13	4.2	198	536	260	557	1453	231	11.7	11.5
0.8	SL	6.1	4.74	4.0	189	657	273	601	1922	238	11.5	11.1
1.0	SL	6.0	4.65	4.1	128	729	224	784	2283	223	12.8	12.9
2.0	SL	6.1	5.40	4.1	120	785	193	1180	1503	216	10.7	10.6

表四、養蝦廢水對水稻植體營養元素與乾物質的影響

Table 4.Comparison of mineral contents and dry matter on rice plant grown under different salinity condition.

Treatment		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	2.0
Part of plant		(%)						
P	Leave	0.27	0.18	0.20	0.19	0.20	0.21	0.22
	Sheath	0.32	0.23	0.23	0.20	0.23	0.24	0.30
	Stem	0.52	0.36	0.34	0.43	0.38	0.35	0.40
	Panicle	0.26	0.39	0.34	0.32	0.30	0.31	0.32
K	Leave	2.75	4.38	3.75	1.00	0.86	1.13	2.69
	Sheath	4.81	2.56	2.56	2.38	3.19	3.94	5.38
	Stem	5.19	3.19	4.31	1.50	1.63	1.19	2.06

	Panicle	1.88	2.13	2.25	3.63	2.44	1.88	2.11
Ca	Leave	0.30	0.40	0.30	0.50	0.40	0.40	0.40
	Sheath	0.10	0.09	0.20	0.08	0.20	0.20	0.70
	Stem	0.08	0.04	0.04	0.05	0.02	0.05	0.08
	Panicle	0.05	0.05	0.02	0.03	0.04	0.08	0.05
Mg	Leave	0.30	0.50	0.40	0.50	0.50	0.60	0.70
	Sheath	0.30	0.40	0.60	0.40	0.50	0.70	1.70
	Stem	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.40
	Panicle	0.10	0.20	0.20	0.10	0.20	0.20	0.20
Dry Wt.	Leave	34.8	15.6	18.9	20.1	15.9	17.8	18.5
	Sheath	26.5	9.8	12.1	16.1	17.5	14.3	13.3
	Stem	30.0	8.2	27.3	16.1	14.9	12.2	13.2
	Panicle	6.8	7.9	6.8	10.0	1.3	0.9	0.2

參考文獻

- 1.朱德民 1978 植物生長與耐鹽性 植物對鹽害之反應 科學農業 26:227 233。
- 2.朱德民 1982 植物生長與耐鹽性 非鹽性植物之耐鹽性 科學農業 30:197 205。
- 3.江漢全 1991 宜蘭縣養蝦魚塭變遷及其用排水評析 宜蘭農專農業推廣簡訊 1:1 16。
- 4.李振榮 徐玉標 張文亮 1993 灌溉水鹽份對水稻產量之影響 農業環境品質整體規劃研討會 (2):1 16。
- 5.李錦地 1979 水污染對農業的影響 68 聯合年會中心議題:3 9。
- 6.徐玉標 1975 工業廢水之特性對灌溉土壤及作物之影響 科學發展 3(12):5 34。
- 7.孫岩章 1985 環境污染及破壞對植物之影響 科學農業 33:97 122。
- 8.孫岩章 蘇鴻基 1991 台灣西北沿海地區水稻及林木枯萎原因之研究 鹽沫為害水稻之病理學證據 植物保護學會會刊 33:239 250。
- 9.高景輝 林安秋 1985 鹽性與植物生長 科學農業 33:365 368。
- 10.楊純明 張富洲 1991 水稻逆境之探討 科學農業 39:219 224。
- 11.鄭榮賢 1993 養蝦廢水對水稻產量及土壤之影響研究 農業環境品質整體規劃研討會 (2):45 56。
12. Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. Annu. Rev. Phytopathol. 13:295 312.

13. Bolarin, M. C., F. G. Fernandez, V. Cruz and J. Cuartero. 1991. Salinity tolerance in four wild tomato species using vegetative yield salinity response curves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:286-290.
14. Boyce, S.G. 1954. The salt spray community. *Ecological Monographs* 24:29-67.
15. Giriraj, K., A.S.P. Murthy and K.V. Janardhan. 1976. Comparative study of growth, yield and nutrition in rice as affected by saline water application. *Sabrao J.* 8:47-52.
16. Matoh, T., P. Kairusmee and E. Takahashi. 1986. Salt-induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate. *Soil Sci. Plant Nutr.* 32:296-304.
17. Murty, K.S. and C.N. Rao. 1965. Studies on salt tolerance in rice. *Oryza* 2:87-92.
18. Peacock, C.H., A.E. Dudeck and J.C. Wildmon. 1993. Growth and mineral content of *St. Augustinegrasa* cultivars in response to salinity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:464-469.
19. Subbarao, G.V., C. Johansen, J.V.D.K.K. Rao. and M.K. Jana. 1990. Salinity tolerance in F1 hybrids on pigeonpea and a tolerant wild relative. *Crop Sci.* 30:785-788.
20. Yang, Y.W., R.J. Newton and F.R. Miller. 1990. Salinity tolerance in sorghum. . whole plant response to sodium chloride in *S.bicolor* and *S.halepense*. *Crop Sci.* 30:775-780.
21. Yoshida, S. and L. Castaneda. 1969. Partial replacement of potassium by sodium in the rice plant under weakly saline conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 15:183-186.
22. Zekri, M. and L.R. Parsons. 1990. Calcium influences growth and leaf mineral concentration of citrus under saline conditions. *HortScience* 25:784-786.