

專 論

培養液中鉛及鋅之濃度對水稻初期生育之影響

The Effect of Lead and Zinc on the Rice Growing Stage in the Nutrient Solution

臺灣大學農工系教授

農業工程研究中心技術員

農業工程研究中心助理技術員

徐玉標⁽¹⁾

黃淑美⁽²⁾

芮嘉中⁽³⁾

Y. P. Hsu

S. M. Huang

C. C. Nie

ABSTRACT

Lead and Zinc can be introduced into water by various industrial and mineral effluents. Excessive Lead and Zinc are considered as polluting substances in irrigation water. The purpose of this study is to evaluate the toxicity of Lead and Zinc on the growth of rice which is the main crop in Taiwan.

Lead at a concentration of 8.0-10.0 mg/l of nutrient solution had a stimulating effect, but at concentrations over 60 mg/l prevented the growth of rice.

Solutions containing 4.0 mg/l of Zinc was adequate concentration to supply the growth of rice. However, when the concentration of Zinc exceeded 10 mg/l, it had a marked effect in decreasing the length of roots and stems. And the concentration of Zinc more than 40 mg/l the rice would be killed.

一、引 言

一般自然水源中，鉛之濃度有高達0.4~0.8 mg/l，美國地表水及地下水之濃度自痕跡至 0.04 mg/l，平均為 0.01 mg/l⁽⁴⁾。鉛對人畜之毒性至大，人體中累積過多之鉛時，能產生便秘、喪失食慾、貧血、腹部肌肉腫痛，重者往往表現昏睡、癡呆、流產，也能損害神經、循環、胃腸消化道系統及腦部等。飲料水中規定不可超過 0.1 mg/l⁽⁵⁾ 至於其對作物栽培之忍受性，根據 Lerox 氏 (1941) 之研究，盆栽試驗時，每公斤乾土中加入 2.0 mg 之鉛，能增加豌豆

之含氮量⁽⁶⁾。栽培燕麥及馬鈴薯，培養液中硝酸鉛濃度在1.5~25mg/l之間，俱有刺激效應(stimulating effect)，但若超過 50 mg/l 時，對所有植物，能在一星期中全部枯死⁽⁷⁾。

鋅在地殼岩石中含量豐富，在礦區附近之水源中，濃度有達到 50 mg/l，惟由於鋅離子極易被土粒所吸着，所以大部分地區自然水源為量至微。鋅對人體之忍受性，遠較鉛為大，濃度低於 50 mg/l 飲用時不致為害⁽⁸⁾，但濃度在 5 mg/l 以上煮沸後，往往在水面產生脂狀油膜⁽⁹⁾，因此 WHO 及 USPHS 基於審美觀點，規定公共給水不應超過 5 mg/l⁽¹⁰⁾。

鋅是大多數植物生長必需元素之一，如玉米缺鋅產生萎黃病 (chlorosis) 對葉樹生育不良，葉呈細小⁽¹¹⁾。但灌溉水中如含過量之鋅，亦能使植物產生毒害，其毒性甚劇，如柑橘、檸檬培養液中鋅濃度超過 3 mg/l 便生育不良，亞麻不可超過 5 mg/l，洋水仙亦不可超過 10 mg/l，至於燕麥其為害濃度是在 25~100 mg/l 之間。根據水芹及芥菜發芽試驗，培養液鋅濃度自 54~476 mg/l，發芽便受影響以至於全部死亡^(12,13,14)。

鉛及鋅兩者，在自然水源中雖然濃度甚低，惟臺灣近年來工業發達，各種各樣之工廠，不斷地設立在灌溉區域之內，工業廢水量急劇增加，影響水質不淺，如軍火、染織、顏料、鑄板、電池、機械廠等，皆含有鉛污染質，又如電鍍、鋅版、農藥、木材防腐、化粧、輪胎、合金、電子、軍火等許多工廠之廢液中均有鋅金屬之廣泛存在⁽¹⁵⁾。本實驗便是檢驗鉛與鋅在培養液中不同濃度下對水稻栽培之生育反應情形，以作為將來灌溉水質污染防治上之參考資料。

二、材料及方法

1. 水稻供試品種：臺南六號。
2. 種植日期：民國六十五年十一月十一日。
3. 培養液配製：採用木村氏⁽¹⁾ B 配方，每公升中含有鹽類及要素如下：

鹽類：

硫酸銨 (NH ₄) ₂ SO ₄	48.2 mg
硝酸鉀 KNO ₃	18.5 mg
磷酸二氫鉀 KH ₂ PO ₄	24.8 mg
水玻璃 Na ₂ SiO ₃	50~100mg
硫酸鎂 MgSO ₄	65.9 gm
硝酸鈣 Ca(NO ₃) ₂	59.9 mg
枸橼酸鐵 Fe-Citrate	15.0 mg

微量元素，含有 MnCl₂ 0.23~2.3mg

CuSO₄ 0.0045mg H₃BO₃ 0.28~2.8mg

KI 0.004mg ZnSO₄ 0.0045mg

(A) 培養液中鉛之濃度對水稻根葉伸長及吸收量之影響

表(一) 水稻移植後不同時期生育調查結果及體內含鉛量比較表

生長期 水耕液中Pb濃度 (ppm)	7 天				33 天				69 天				水稻體內 Pb含量 (ppm 乾物重)	
	株 高		根 長		株 高		根 長		株 高		根 長			
	cm	%	cm	%	cm	%	cm	%	cm	%	cm	%	葉	根
0	10.5	100.0	9.0	100.0	28.5	100.0	12.2	100.0	42.7	100.0	13.8	100.0	30	105

主要元素：

NH ₄ -N	10.2 mg	NO ₃ -N	12.8 mg
P ₂ O ₅	13.0 mg	K ₂ O	17.0 mg
CaO	20.5 mg	MgO	22.1 mg
Fe ₂ O ₃	2~5 mg		

4. 試驗處理：採用試鉢水耕栽培，試鉢為白色塑膠，直徑 15 cm 高 20 cm，上置兩層塑膠網（鋸鉛線外套上一層塑膠造成之網，網目大小約 1 平方公分），中盛直徑 1~1.5 cm 之石礫，用以固定稻株之用。試驗時鉛採用醋酸鉛 [pb (CH₃COO)₂]，鋅用氯化鋅 (ZnCl₂)，分別配製成各處理所需之濃度。

本試驗鉛及鋅各分 9 處理如下：

0 (CK), 2, 4, 8, 10, 20, 40, 60, 80 ppm。

5. 水稻發芽及試驗管理：

- a. 選取飽滿之水稻種子，經 5% H₂O₂ 溶液消毒 30 分鐘後，直接置於罩有紗網 (0.15 網目之尼龍網) 之玻璃盃上，數量視需要而定，使稻種均勻散佈，約一平方公分一粒，然後添加蒸餾水，浸漬至稻種接觸水面為止，俟其發芽至三本葉，（本次發芽至三本葉所需時間為三星期），然後移植於處理試鉢上。
- b. 試驗管理：每一處理種植五苗，移植於水耕液盆內後，再以石礫固定植株，培養液保持一定水面高度，當蒸發減少時，添加蒸餾水至原有水面然後攪拌均勻，為使培養液不致因水稻之吸收而變更濃度，各處理之培養液於每兩週，重新配製更新之。每日記載水溫、光線、蒸發水量並注意不使有病蟲害發生。每星期行生育調查一次。

三、試驗結果

本試驗自民國六十五年十一月十一日移植至十六年一月十八日分藥終期為止，共六十九天，試驗觀察及化驗分析結果如下表及圖所示：

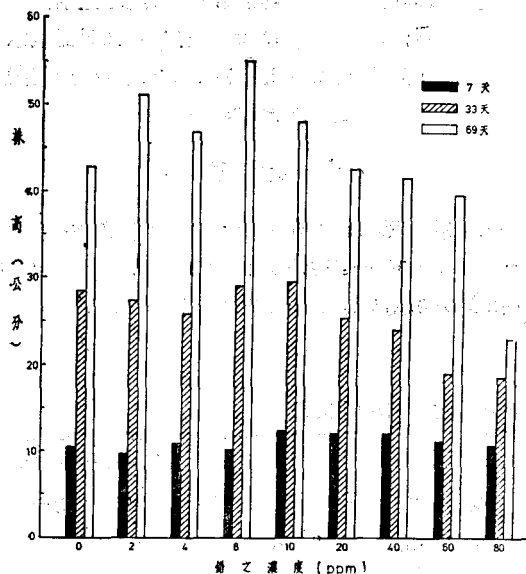
2	9.8	93.3	9.1	101.1	27.4	96.2	11.3	92.6	51.2	119.9	14.3	103.6	80	1,360
4	10.9	103.8	10.5	116.7	26.0	91.2	10.5	86.1	46.8	109.6	12.0	86.7	250	2,740
8	10.1	96.2	9.7	107.7	29.0	101.7	8.5	69.7	55.5	128.8	12.3	89.1	160	5,780
10	12.4	118.1	10.5	116.7	29.5	103.5	9.5	77.7	48.0	112.4	12.8	92.8	220	5,700
20	12.3	117.1	10.0	111.1	25.5	89.5	8.2	67.2	42.6	99.7	9.5	68.8	220	11,550
40	12.2	116.2	9.5	105.5	24.0	84.2	7.5	61.4	41.5	97.2	9.5	68.8	510	18,600
60	11.3	107.6	9.5	105.5	19.0	66.9	7.1	58.2	39.5	92.5	12.0	87.0	530	35,600
80	10.6	101.0	9.5	105.5	18.5	64.9	10.0	82.0	23.0	53.9	10.0	72.5	3,000	147,400

(B) 培養液中鋅之濃度對水稻根葉伸長及吸收量之影響

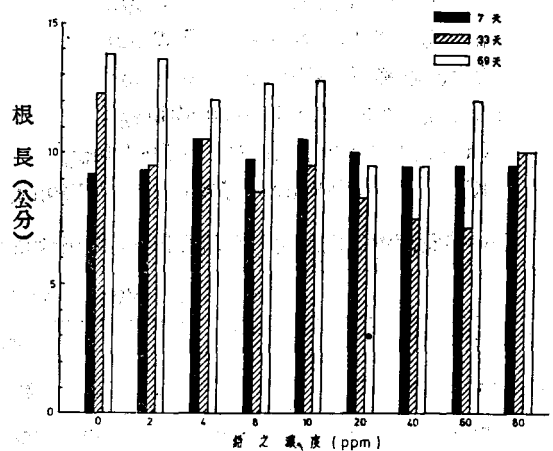
表二 水稻移植後不同時期生育調查結果及體內之 Zn 含量比較表

生長期 水耕液中Zn濃度 (ppm)	7 天				33 天				69 天				水稻體內Zn含量 (ppm 乾物重)	
	株 高		根 長		株 高		根 長		株 高		根 長		葉	根
	cm	%	cm	%	cm	%	cm	%	cm	%	cm	%		
0	12.5	100.0	10.3	100.0	28.5	100.0	12.2	100.0	42.7	100.0	13.8	100.0	70	590
2	10.0	80.0	10.5	101.9	28.3	99.3	12.9	105.7	44.2	101.1	14.0	101.4	170	1,020
4	9.2	73.6	10.8	104.8	24.0	84.2	12.6	103.3	47.0	106.3	14.5	105.1	470	1,430
8	9.2	73.6	8.0	77.7	24.0	84.2	10.3	84.4	46.5	105.2	10.2	73.9	1,080	2,180
10	10.4	83.2	10.0	97.1	18.3	64.2	7.6	62.3	35.0	79.2	13.2	95.6	1,410	3,300
20	10.0	80.0	8.7	84.5	17.7	62.1	7.6	62.3	23.2	52.5	6.2	44.9	5,380	—
40	10.7	85.6	9.0	87.4	14.2	49.8	7.8	63.9	12.0	27.1	8.0	58.0	—	—
60	8.2	71.2	7.8	75.7	13.7	48.1	10.0	82.0	9.5	21.5	9.5	68.8	—	—
80	8.7	69.6	9.5	92.3	12.5	43.9	7.5	61.5	10.0	22.6	8.5	61.5	—	—

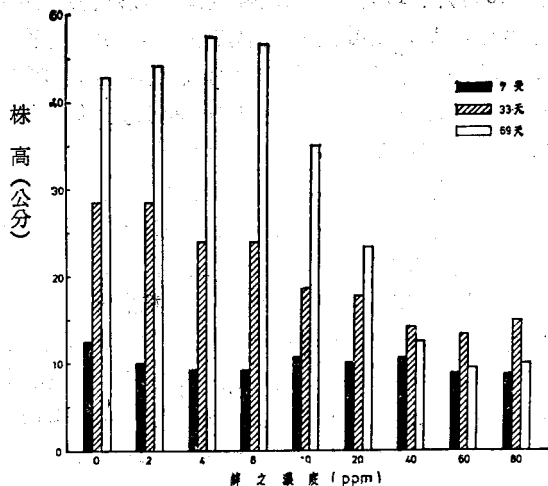
— 係表示植株枯死，乾物量不足供分析



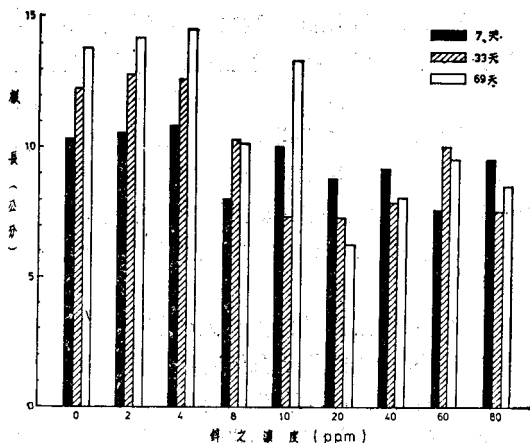
圖(一) 培養液中各種鉛濃度對水稻生育株高比較圖



圖(二) 培養液中各種鉛濃度對水稻根長比較圖



圖(三) 培養液中各種鉛濃度對水稻生育株高比較圖



圖(四) 培養液中各種鋅濃度對水稻根長比較圖

四、討 論

(A) 培養液中鉛濃度對水稻生育之比較：

水稻對鉛之忍受性甚高，培養液中鉛濃度在 80 ppm 以內之所有處理區中，水稻在移植後第七日之生育情況觀察，其生勢和對照無鉛之處理區幾相彷彿，水稻葉嫩色綠，根呈白色，株高在對照區為 10.5 cm，處理區在 9.8~12.4 cm 之間。以 10、20、40 ppm 之處理區稍高，至於根長對照區為 9.0cm，處理區在 9.0~10.5 cm 間，均較對照區為長，顯示培養液鉛在 80 ppm 之濃度以內，對水稻生育之初期並無毒性存在。

移植後第 33 天之觀察，對照區之株高為 28.5cm，在有處理之區中所示，鉛濃度在 10 ppm 以下之培養液中，各處理之株高均與對照區相差不大，其中以 8 ppm 及 10 ppm 區其指數分別為 101.7% 及 103.5%，發育情況較對照區，猶有過之，至於濃度在 10ppm 以上之處理，其生育情況已顯然受到障礙，株高隨培養液中鉛濃度之增大而降低，如 20 ppm 區之株高為 25.5 cm，指數為 89.5%，40 ppm、60 ppm、80ppm 區之株高分別為 24.0cm、19.0cm、18.5 cm，受毒害之情況至為明顯。

第 33 天至 69 天間之水稻生育情況，趨勢大致和第 33 天以前相似，惟株高仍不斷按比例伸長，如對照區之高度為 42.7 cm，在濃度 10 ppm 以下之諸處理株高均較對照區為高，其指數在 109.6~128.8% 之間，尤以 8 ppm 區，株高 55.5 cm，指數高達 128.8%，最為突出，同時就其生長勢觀察，葉呈暗

綠色，植株強健，惟自 40 ppm 以下，發育情況已顯然遭受鉛之毒害，葉尖黃化，株高亦較矮小，如 60 ppm 區之株高為 39.5 cm，80 ppm 區為 23.0 cm，指數僅及 53.9%。從表(-)數據及圖(-)所示，可以得到一明顯之印象，水稻栽培，培養液中鉛之濃度在 10 ppm 左右，不但不致使水稻中毒，反有促進生長之現象，惟濃度增至 20 ppm 以後，則生育減退，葉尖枯黃，株高及根長隨濃度增大而遞減。

各處理植物體內鉛之含量，經原子吸光譜儀 (Atomic Adsorption spectrophotometer) 分析結果，列於表(-)中，發現水稻體中之根及葉均能吸取大量之鉛而積存於體內，尤以根部之累積量更較莖葉部高出 5~20 倍，同時亦可看出根和葉對鉛之吸收量隨着培養液之濃度幾乎呈幾何級數增加，例如培養液濃度在 40ppm 以上，葉之積存量可達 500ppm，根部更超過 18,600 ppm，含量之高，至為驚人，然稽查日本之研究文獻，亦屬類似情形。所以若以此種高含鉛量之稻草用作飼料時，推想其對牲畜，必定有相當之危險性。本次試驗之水稻係屬生育初期之觀察，所以無法取得稻米穀實樣本進行分析，有關此方面資料，將待今後進一步之研究。

(B) 鋅對水稻生育與吸收量之觀察比較：

培養液鋅之濃度分九個處理，試驗結果如表(-)及圖(-)圖(四)所示，根據移植後第七天之觀察，以株高而論，對照區達 12.5 cm 為最高，至於含鋅之處理，均不超過 10.7 cm。根之長度，最長者為 4 ppm 區，指數為 104.8%，其次為 2ppm，指數為 101.9%，其他所有處理亦皆不及對照區。

生育 33 天之情形，株高方面仍以對照區最高為 28.5 cm，但在 2 ppm 之處理區已逐漸追上達 28.3 cm，至於根長則猶過之，指數為 105.7%，同時以生長勢而言，似乎更為良好，葉色蒼綠，根系亦較壯大。自 4 ppm 以上之處理，株高皆不及對照區。並且其高度隨着濃度增大而明顯地降低，如 10 ppm 區之株高為 18.3cm，指數為 64.2%，80 ppm 區僅 12.5 cm，指數為 43.9%。亦即表明，培養液中如果鉍之濃度在 10 ppm 以上，水稻之生長已嚴重地遭受鉍之毒害。

從生育 69 天之情況觀察，趨勢很明顯，2.0, 4.0 ppm 之處理區，株高及根長皆超過對照區，如 2.0 ppm 之株高指數為 101.1%。根長為 101.4%，4.0 ppm 區分別為 106.5% 及 105.1%。8.0 ppm 區雖然株高仍高出對照區約 40 cm，但根系指數僅 73.9%，且生長不及對照區正常，葉端枯黃並帶有紅斑點，似乎生育已受到障礙。自 10.0 ppm 濃度以上各處理，鉍之毒害非常明顯，如 20.0 ppm 區，不管是株高及根長僅及對照區之一半，40.0 ppm 區以上，水稻呈苟活狀態，老葉全部枯死，心葉萎黃呈現紅斑，生勢如初植之枯苗。所以就整個試驗各處理間之生育比較而言，水稻生育如果培養液之濃度在 4.0 ppm 以下，可能對水稻生長有利，4.0~10.0 ppm，已開始遭受障礙，10.0 ppm 以上便呈明顯至嚴重之中毒現象。

至於各處理水稻體內鉍之吸收量，根部積存量顯然高出葉部 2-9 倍，且隨水耕液中鉍之濃度呈幾何級數增加。根據日本北陸農業試驗場之報告 (1976⁽³⁾)，水耕液中 Zn 之濃度為 10.0 ppm 時，水稻體中平均 Zn 之濃度為 1,828 ppm，如果在 200 ppm 之培養液中栽培，則體內之積聚量將增至 2,435 ppm。由是可見灌溉水如果遭受重金屬污染後，對水稻體中之積存量將有重大之影響，其不但使水稻生育直接蒙受損失，若用作食料亦將間接影響人畜健康。因此對灌溉水質遭受污染對土壤以及作物間關係之研究，實應重視，作深入之研究。

五、摘要

本研究以木村氏之配方作培養液，栽培水稻，自秧苗三葉苗起，至分蘗終期止，共六十九天，水稻之生育情況撮要說明如次：

1. 水稻對鉛之忍受性甚高，培養液中鉛的濃度在 10.0 ppm 以下，不但不致使水稻中毒，反有促進生長之現象，如 8.0 及 10.0 ppm 之處理鉢，株高指數

達 128.8% 及 112.4%，根長雖稍遜，根叢則相彷彿。濃度增至 20.0 ppm 以上之諸處理，生育減退，葉尖呈現枯黃，株高及根長隨濃度增大而遞減，如 60.0 ppm 處理株高及根長指數分別為 92.5% 及 87.0%，80.0 ppm 則激降為 53.9% 及 72.5%。

2. 水稻之根及葉均能吸取大量之鉛而積存於體內，尤以根部之累積量更較葉部高出 5~20 倍，同時其吸收量隨着培養液中鉛之濃度呈幾何級數增加。

3. 鉍之濃度在 4.0 ppm 時，水稻生育良好，如生育 69 天之株高及根長，其指數為 106.3% 及 105.1%。10.0 ppm 以上各處理，鉍之毒害非常明顯，如 20.0 ppm 處理，株高及根長指數分別為 52.5% 及 44.9%，不及對照區之半，40.0 ppm 以上，生長如枯苗之苟活狀態。

4. 水稻體內鉍之積存量，根部顯較葉部高出數倍，且隨水耕液中鉍之濃度呈幾何級數遞增，如根部可增至數千 ppm。

5. 從鉛與鉍濃度對水稻生育毒性之比較，鉍對水稻更俱毒性，惟對人畜之忍受性，根據飲用水之一般標準而言，情況恰相反⁽¹⁰⁾。

參考文獻

1. 吳淑卿 (1975) 水質污染重金屬 (汞、鎘) 對水稻幼苗生長及營養 (³²P ⁸⁶Rb) 吸收之影響 國立臺灣大學農藝學研究所碩士論文
2. 蘇新 (1974) 水稻水耕栽培法簡介 科學農業 22(3-4)139-140
3. 伊藤・飯村 (1976) 水稻によるカドミウムの吸收移行および生育障害 農林省北陸農試第 19 號報告
4. Anon. (1953) Report on the Recommended Physiologically Safe Limits for Continued Human Consumption of Lead in Water. College of Medicine, Univ. of Cin. Cincinnati, Ohio, Jan.
5. Berg, I. A., (1946) Investigation on the Phenomenon of Lead Poisoning Caused by Drinking Water Containing Lead. Water Pollution Abs. 19.
6. Leroux, D., (1941) The Influence of Various Trace Elements on the Fixation of Atmospheric N in the Course of Growth of a Legume. Compt. Rend. 212:504.
7. Frear, D. E. H., Pesticide Index College Science Publishers, P. O. Box 798, State College, Pa

8. Hinman, J. J. Jr., (1938) Desirable Characteristic of a Municipal Water Supply Jour. A. W. W. A. 30, 484.
9. Howard, C. D., Zinc Contamination in Drinking Water." Jour. A. W. W. A. 10, 411.
10. Welsh, C. B., and Thomas, J. F., (1960) Significance of Chemical Limits in USPHS Drinking Water Standards" Jour. A. W. W. A. 52, 289.
11. Kelley, W. P., (1941) Permissible Composition and Concentration of Irrigation Waters" Trans A. S. C. E. 106, 849.
12. Hunter, I.H. & Vergano, O., (1953) Trace Element Toxicities in Oat Plants" Ann. Applied Biology 40, 761.
13. Dilling, W. J., (1926) Influence of Lead and the Metallic Ions of Copper, Zinc, Thorium, Beryllium and Thallium on the Germination of Seeds" Ann. of Applied Biol. 13, 160.
14. Smith, P. F. and Specht, A. W. (1953) Heavy Metal Nutrition and Iron Chlorosis of Citrus Seedlings" Plant Physiol. 28, 371.
15. Jack Edward Mckee (1971) Water Quality Criteria" Calif. S. Water Resources Control Board. P. 206, 294.

(上接第39頁)

hours long or more, the operator then must be very patient to take care of the whole procedure and must have enough experience and technique in conditioning of the air. He must not overlook any details, otherwise he may degrade the tobacco quality and, sometimes, may cause fire.

Recently, there is a great achievement in using automatic controls in industries extensively, which are inexpensive for this drying purpose. Applications of this technology incorporating with bulk curing method becomes a trend in the Western countries and Japan. However, because conditions of each period in tobacco drying change rapidly and change all the time, manual control and adjustment are necessary. Therefore, completely automatic operation are still impossible so far as the present time is concerned.

The purpose of this topic is to study the theory and its practices on tobacco drying and to prepare for the future remodelling of the present tobacco drying equipment in Taiwan.

(上接第41頁)

拉伯之微量元素缺乏並沒有中東其他國家來得重要。

鋅與鐵之缺乏甚易解決，首項可用硫酸鋅液噴灑於植物體上，次項可從土壤中施入 F. 138 之錯酸鹽藥劑。雖然這些藥品甚昂貴，對果樹而言，仍有其經濟價值。但對一般普通作物則不盡然。

總之，對於水土有效利用之一些不利條件應加注意。由於農民之擁有土地面積甚少而且土地丘塊也小，尤其是在傳統農業地區，欲改善這些不利條件頗為困難。但若能使相鄰土地之所有者相互合作，或許可使其地區獲得良好有效之灌溉排水系統佈置及管

理。此一問題分佈廣及中東地區，其他國家解決此問題之經驗，可證實沙烏地阿拉伯條件下同樣具有價值。

[後記]

沙烏地阿拉伯之砂地，是典型砂丘地之一。一般而言，砂丘地之土壤特性頗為相似。臺灣對於砂丘地之灌溉利用研究，已連續進行六年，並有滿意的成果及相當的可用資料。此項經驗，或可提供沙國應用之參考，諒也可獲得類似之價值。