

水稻田土壤含砷量與植株含砷量及生長情形 相關關係之探討

李國欽¹ 費雯綺¹

摘 要

溫室盆栽試驗結果顯示：當土壤含有較高量之砷化合物時，水稻之生長和發育都有被抑制之現象，而此抑制現象因砷化合物種類之不同而不同。其抑制力大小之順序為： $\text{Asozin} > \text{NaAsO}_2 > \text{Neo-asozin} > \text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。水稻生長 77 天後測定其株高，分蘗數，地上部份重量及根重，發現當土壤含砷量為 25ppm 時， NaAsO_2 ， $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，Neo-asozin 都有促進水稻生長之能力；當土壤含砷量達 100ppm 時，Asozin 處理之土壤，其中之水稻已完全死亡；當 200ppm 時，Neo-asozin 及 NaAsO_2 處理者，其水稻亦完全死亡；當達 400ppm 時， $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 處理之水稻亦死亡。

水稻收穫時測定水稻空殼率、有效分蘗數、株高及千粒重，在 10, 20, 40, 60, 80 及 100ppm 六個濃度中發現空殼率因土壤含砷量之增加而增加。比較三種不同砷化合物，發現當土壤含砷量為 60ppm，而砷之形態為 Neo-asozin 時，其空殼率接近 100%；形態為 As_2O_3 及 $3\text{As}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 時，其空殼率分別為 45% 及 50%。當土壤含砷濃度再增加時， As_2O_3 對空殼率之影響仍不斷的増加，而 $3\text{As}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的影響力却漸趨緩和。其他有效分蘗數，株高和千粒重，也都因土壤含砷量之增加而受到不良影響。

土壤中之砷會被水稻吸收而分佈於整個植株之中，其中以根部為最多，莖葉次之，穀粒為最少。糙米中之含砷量因土壤含砷量之增加而增加，其中以砷之形態為 Neo-asozin 時增加得最快，其次為 As_2O_3 ，再其次為 $3\text{As}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ；但糙米中之砷含量不易超過 2ppm，此乃由於當土壤中之砷能使糙米中之砷含量超過 2ppm 時，其量已足以使水稻 100% 空殼。

緒 言

砷類化合物在農業上可當作殺蟲劑，殺草劑和殺菌劑使用；但砷亦被認為能造成土壤污染^(5,12,16)，植物生長阻礙^(4,8)，和植物體內累積^(20,22)等現象。

砷對作物生長抑制之濃度隨作物種類而異^(14,22)，以水耕法作實驗，發現亞砷酸之生長阻礙濃度：豌豆為 4 ppm；大麥為 20ppm⁽⁷⁾

；橘子為 5 ppm⁽¹³⁾；蕃茄為 10ppm，但如以砷酸處理，則蕃茄可耐上述 3 倍以上之濃度⁽¹⁰⁾；而砷酸對水稻而言，當水耕液中含 1 ppm 時，剛達障礙程度；2.5ppm 時，水稻分蘗受抑制，根群變得不發達；5 ppm 時收量減半；10ppm 時則無法抽穗^(1,2)。砷在作物中之累積量亦隨作物種類和作物部位而異。利用水耕法作水稻體中砷移動和分布之研究，發現根部含砷量極高，莖葉次之，穗則較低⁽²⁾。

1. 臺灣植物保護中心農藥殘量組。

水稻是臺灣主要的農作物，本研究室調查之結果顯示水稻田土壤中普遍的含有砷⁽³⁾，且為防治水稻紋枯病，含砷的藥劑仍在很普遍的使用之中。本研究之主要目的即在探討：當土壤中之砷累積到何種程度時即會對水稻生長產生不良之影響，以及在植株中造成過量之殘留量。

材料與方法

使用砷劑之種類 本試驗所使用之砷劑包括有砷酸鈉(NaAsO_2)，砷酸氫鈉($\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)，62%鐵鉀砷酸銨粉劑(Neo-asozin)，三氧化二砷(As_2O_3)，28.5%甲基硫化砷可濕性粉劑(Asozin)，以及五氧化二砷($3\text{As}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)。使用時都以其中所含的砷為計算標準，故文中所指之土壤含砷量都是指砷含量而不是砷化合物之含量。

水栽稻培之條件 本試驗所用供試之水稻都是臺南五號品種。水稻分別栽種於瓦鉢(深22cm，直徑25.5cm)，磁鉢(深30cm，直徑20.5cm)以及塑膠桶(深38.5cm，直徑35.5cm)中，並置於溫室條件之下生長。

土壤含不同砷量對水稻生長之影響 為了解不同土壤含砷量及不同砷劑對水稻生長中期之影響，乃將不同砷劑以不同量加入土壤中，使土壤中之砷含量分別為25, 50, 100, 200及400ppm。各處理之土壤在均勻混合後，裝入瓦鉢之中，每鉢所盛之土壤均為2Kg，並加入3g之基肥。於64年8月20日插秧，俟生長77日之後(11月5日)，量其株高。算其分蘗數；並齊土面剪斷，地下部份置於網篩上清洗，然後稱其濕重(室溫中風乾4天)及乾重(在110°C下乾燥16小時)。地上部份也依同法測其乾、濕重量，作為各處理間生長差異之代表。

為瞭解不同土壤砷含量，及不同砷劑對水稻空穗、分蘗數、千粒重及株高之影響，乃將不同砷劑以不同量分別加入土壤中，其加入量以砷為計算標準，使土壤含砷量達到10, 20, 40, 60, 80及100ppm。各處理之土壤在均勻混合後，裝入磁鉢中，每鉢所盛之土壤均為10Kg，並加入3.9g之基肥。於66年2月25日插秧。

收割前(6月24日)量株高及有效分蘗數，收割後測其總粒數、空粒數、穗數、穗長和千粒重等。並利用HP9810A程式計算機(Programmable calculator)以拋物線回歸法(Parabolic regression)求取土壤不同含砷量與上述各因子間之關係。

水稻自土壤中吸收砷之情形 於塑膠桶中加入27Kg之土壤，加水均勻攪拌後，分別加入不同量之不同砷劑，使各處理之土壤中所含之砷量均為30mg/Kg。靜置一星期後插秧(65年4月27日)。收割後(9月22日)分別分析土壤、根、莖葉、穀粒及糙米中之砷含量。

此外，為了解土壤不同含砷量與穀粒含砷量之關係，乃將前述水稻生長試驗所收穫之穀粒，在計算過其千粒重之後，將之脫殼，分析其糙米中之砷含量。其結果亦是用HP9810A程式計算機以拋物線回歸法加以分析。

砷之分析方法

1. 穀粒、糙米、莖葉及根之分析前處理：稱取1g之樣品置於分解瓶中，加入10ml濃硝酸，2.5ml濃硫酸，以及2.5ml濃過氯酸；靜置於室溫中過夜(約16至20小時)。然後加熱沸騰約100分鐘，加熱時以水冷凝管冷却回流；加熱完畢，加入約4ml之甲酸，至不再有褐色氣體產生為止。置於室溫中冷却後，轉移至測砷用之反應瓶中，加入15ml濃鹽酸，再用蒸餾水將體積調整至50ml，候分析之用。

2. 土壤之分析前處理：取風乾土1g置於100ml之三角瓶中，將20ml之30% H_2O_2 分三次加入，並在110°C之平板熱爐上加熱，以破壞土壤之有機質。待加熱至乾後，加入30ml 9.6N之鹽酸，並於振盪器上振盪一小時；靜置於室溫中過夜(約16至20小時)。取上層清液5ml至測砷用之反應瓶中，加入11ml濃鹽酸，再用蒸餾水將體積調整至50ml，候分析之用。

3. 砷之分析：將0.5ml 10%之碘化鈉溶液加入上述50ml之鹽酸溶液中，靜置15分鐘後，置於測砷裝置之原子吸光儀上，以注射針加入6ml 4%之 NaBH_4 (在10% NaOH 溶液中)溶液；此時鹽酸溶液中之砷被還原成砷

Arsine) , 而由原子吸光儀在 193.7nm 下測其吸光率。使用之儀器為 Varian Techtron model 1200 原子吸光儀附測砷裝置。

土壤中不同含砷量及不同砷劑對水稻生長前期之影響 水稻種植於瓦鉢中，於生長 77 天後，測定不同砷劑、不同藥量對水稻株高之影響，其結果見表一。

結果與討論

表一、水稻在含不同砷劑土壤中生長 77 天後之株高

Table 1. Effect of arsenic levels in soil on the height of rice plants after 77 days of transplantation.

Arsenic level (ppm)	Plant height ^{a)} (cm)			
	NaAsO ₂	Na ₂ HAsO ₄ · 7H ₂ O	Neo-asozin	Asozin
0	87.9 ± 9.1 (100%)			
25	93.9 ± 5.9 (107%)	103.2 ± 10.5 (117%)	103.7 ± 8.8 (118%)	82.9 ± 6.9 (94%)
50	92.0 ± 6.3 (105%)	85.8 ± 7.5 (98%)	92.4 ± 11.9 (105%)	70.0 ± 9.5 (80%)
100	64.2 ± 14.8 (73%)	78.3 ± 6.3 (89%)	66.5 ± 12.8 (76%)	—
200	— ^{b)}	61.2 ± 11.4 (70%)	—	—
400	—	—	—	—

a). 表中數據代表 10 盆重複之平均值。

b). 「—」表示死亡(萎凋)。

由表一可看出，二種五價砷劑…… Na₂HAsO₄ · 7H₂O 和 Neo-asozin 在土壤中造成之含砷量為 25ppm 時，對水稻之株高反而有促進作用。三價砷劑中，NaAsO₂ 稍有促進作用，而 Asozin 則抑制水稻之株高。四種藥劑對水稻株高之抑制都因土壤中砷濃度之增加而加強；當土壤中之含砷量達到 200ppm 時，除 Na₂HAsO₄ · 7H₂O 外，其餘砷劑都造成水稻

死亡。當含砷為 400ppm 時，4 種砷劑都造成水稻之萎凋與死亡。比較四種砷劑對水稻株高之抑制率，發現土壤中所加入者為 Asozin 時，其抑制率最高，其次為 NaAsO₂，又其次為 Neo-asozin，而 Na₂HAsO₄ · 7H₂O 之抑制率為最小。

探討水稻分蘗數與土壤中不同砷劑種類以及不同砷含量之關係，其結果如表二。

表二、水稻在含不同砷劑土壤中生長77天之後之分蘗數

Table 2. Effect of arsenic levels in soil on the number of tillering of rice plants 77 days after transplantation.

Arsenic level (ppm)	Tillering number ^{a)}			
	NaAsO ₂	Na ₂ HAsO ₄ · 7H ₂ O	Neo-asozin	Asozin
0	14.9±3.4 (100%)			
25	18.6±3.1 (125%)	16.6±3.3 (111%)	17.4±3.0 (117%)	10.7±3.7 (72%)
50	15.7±2.1 (105%)	14.0±4.5 (94%)	11.6±4.6 (78%)	5.5±3.0 (37%)
100	6.5±4.1 (44%)	12.0±4.0 (81%)	7.9±4.0 (53%)	—
200	— ^{b)}	4.7±2.4 (32%)	—	—
400	—	—	—	—

a). 表中數據代表10盆重複之平均值。

b). 「—」表示死亡(萎凋)。

由表二可看出，NaAsO₂，Na₂HAsO₄ · 7H₂O和Neo-asozin三種砷劑在土壤中造成之含砷量均為25ppm時，對水稻都有促進分蘗之作用；僅有當砷劑之形態為Asozin時，水稻之分蘗數僅及對照組之72%。當土壤含砷量增加到50ppm時，除NaAsO₂外，其餘砷劑對水稻分蘗都已產生抑制之作用。濃度更高時

抑制作用更為顯著。比較不同砷劑對水稻分蘗之抑制率，亦呈下列之次序：Asozin > NaAsO₂ > Neo-asozin > Na₂HAsO₄ · 7H₂O。

探討土壤不同含砷量及不同砷劑對水稻莖葉和根之濕重和乾重的影響，其結果如表三和表四。

表三、水稻在含不同砷劑及不同砷量之土壤中生長77天之後之濕重

Table 3. Effect of arsenic levels in soil on the fresh weight of rice plants 77 days after transplantation.

Arsenic level (ppm)	The fresh weight ^{a)} (g)			
	NaAsO ₂	Na ₂ HAsO ₄ · 7H ₂ O	Neo-asozin	Asozin
0	320 (100%)			
25	380 (119%)	465 (145%)	390 (122%)	110 (34%)
50	380 (119%)	240 (75%)	250 (78%)	55 (17%)
100	50 (27%)	180 (56%)	130 (41%)	—
200	— ^{b)}	45 (14%)	—	—
400	—	—	—	—

	0	73.2 (100%)			
Root	25	209.2 (286%)	214.2 (293%)	164.1 (224%)	45.5 (62%)
	50	211.5 (289%)	103.7 (142%)	130.0 (178%)	25.0 (34%)
	100	34.0 (46%)	81.2 (111%)	110.5 (15%)	—
	200	— ^{b)}	13.5 (18%)	—	—
	400	—	—	—	—

a). 表中數據代表10盆重複之總和。

b). 「—」表示死亡(萎凋)。

表四、水稻在含不同砷劑及不同砷量之土壤中生長77天後之乾重

Table 4. Effect of arsenic levels in soil on the dry weight of rice plants 77 days after transplantation.

Arsenic level (ppm)	The dry weight ^{a)} (g)				
	NaAsO ₂	Na ₂ HAsO ₄ · 7H ₂ O	Neo-asozin	Asozin	
	0	193.1 (100%)			
Straw	25	265.5 (137%)	248.3 (128%)	263.2 (136%)	117.5 (61%)
	50	239.2 (124%)	180.1 (93%)	183.3 (94%)	40.5 (21%)
	100	68.4 (35%)	136.3 (70%)	91.7 (47%)	—
	200	— ^{b)}	25.9 (13%)	—	—
	400	—	—	—	—
	Root	0	53.0 (100%)		
25		149.1 (281%)	121.9 (230%)	101.9 (191%)	40.2 (76%)
50		166.2 (313%)	81.8 (154%)	80.6 (151%)	12.9 (24%)
100		27.3 (51%)	67.0 (126%)	53.9 (101%)	—
200		— ^{b)}	11.6 (21%)	—	—
400		—	—	—	—

a). 表中數據代表10盆重複之總和。

b). 「—」表示死亡(萎凋)。

由表三及表四顯示，Asozin 在低濃度時(25ppm)，對水稻莖葉及根之生長即已產生很大之抑制作用。其他砷劑在25ppm時則促有進根及莖葉生長之作用；而其抑制生長之程度

亦呈下列之次序：Asozin > NaAsO₄ > Na₂HAsO₄ · 7H₂O。

綜觀表一、二、三、四可看出，當土壤含砷量相同時，對水稻早期之生長而言，三價砷

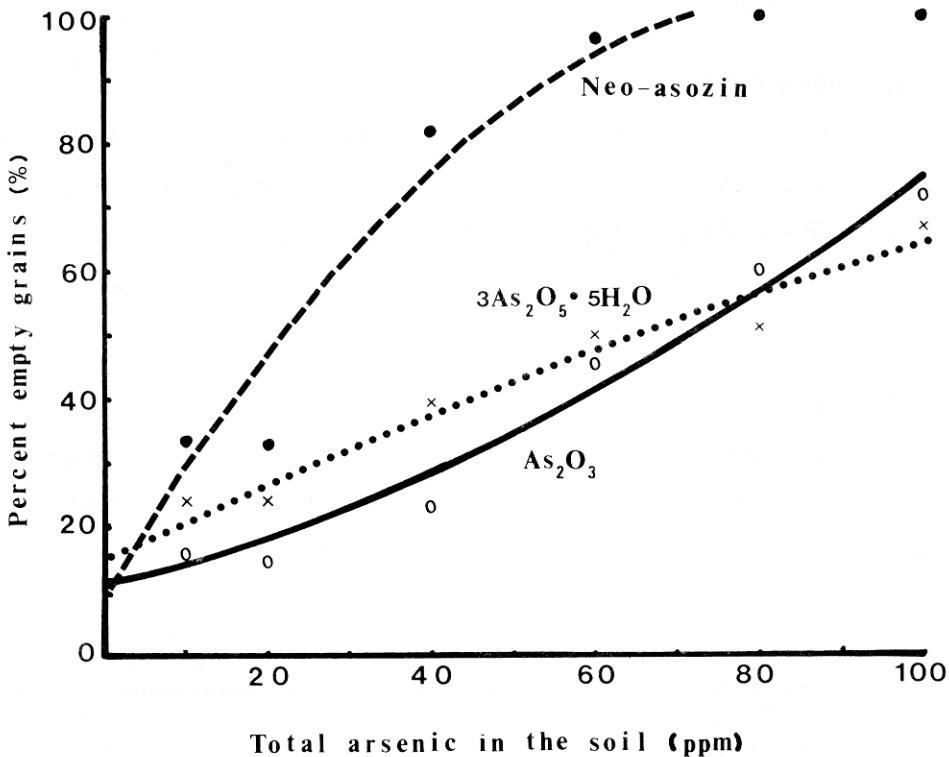
劑 (Asozin和 NaAsO_2) 之抑制力 (包括對水稻之株高、分蘗數、濕重和乾重等) 大於五價砷劑 (Neo-asozin和 $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ; 且當價數相同時, 有機砷劑之抑制力大於無機砷劑 ($\text{Asozin} > \text{NaAsO}_2$, $\text{Neo-asozin} > \text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 。 當土壤含砷量為 25 ppm時, 除 Asozin外, 其餘砷劑對水稻生長都有促進之作用; 當含砷濃度增加到50ppm時, 則開始產生抑制生長之現象, 且濃度愈高, 抑制率越大, 當達200ppm時, 除 $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 處理者外, 其餘各種砷劑處理之水稻則完全死亡。

低濃度之砷能促進水稻生長之原因, 尚待進一步之研究。Stewart⁽¹⁸⁾ 認為可能是砷能

驅除對植物有害之微生物; Woolson 等⁽²³⁾, 認為微量之砷能刺激植物本身之組織系統; Steevens等⁽¹⁷⁾和Jacobs 等⁽¹¹⁾, 則認為砷能將土壤所吸附之磷取代出來, 使之能為植物所吸收利用, 同時砷亦能促進土壤中有益微生物之活動。

土壤中不同砷含量及不同砷劑對水稻後期生長和發育之影響 將水稻栽培於含有不同砷化物及不同砷量之土壤中, 俟收穫後分別計算水稻之有效分蘗數、株高、千粒重以及空殼率。

土壤不同含砷量與水稻空殼率之關係, 其結果見圖一。



圖一、土壤不同含砷量以及不同砷劑與水稻空殼率之關係

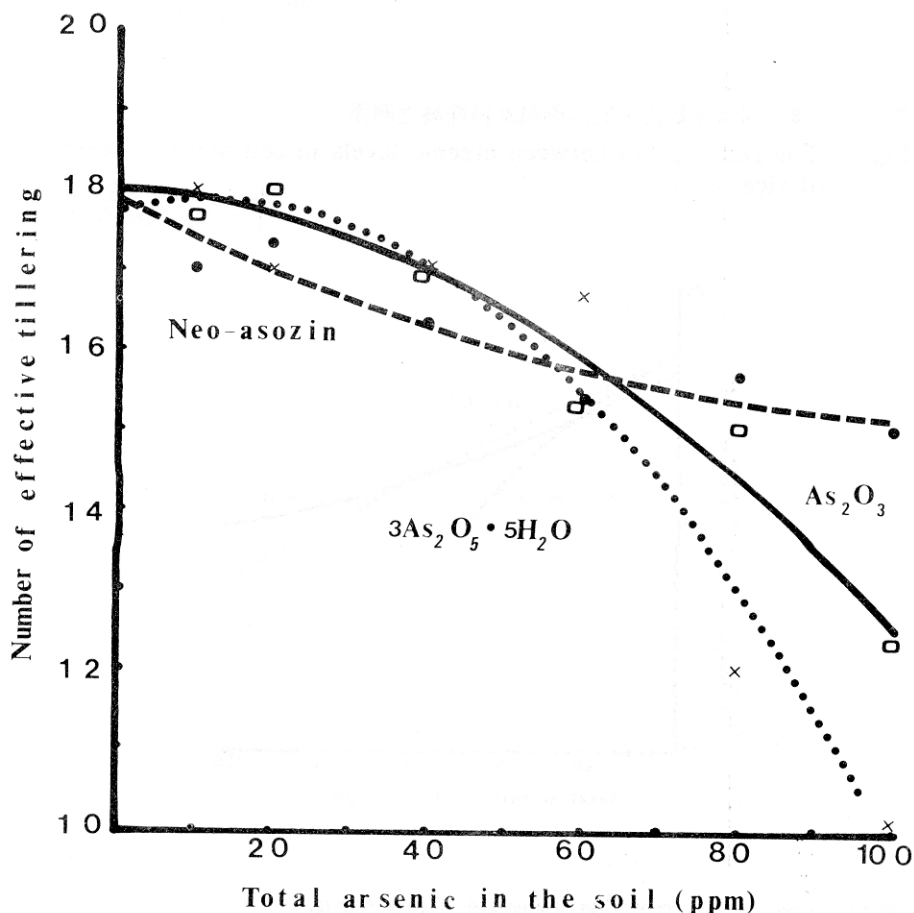
Fig. 1. The relationship between arsenic levels in soil and the percentage of empty grains of rice plants.

由圖一可看出，當土壤中含有不同濃度之砷劑時，水稻空穀之百分率隨砷含量之增加而增加。比較三種不同砷劑對水稻空穀率之影響，發現 Neo-asozin 的影響最大，當其濃度為 60ppm 時，水稻空穀率已接近 100%，但 As_2O_3 和 $3As_2O_5 \cdot 5H_2O$ 却僅分別造成 45% 和 50% 之空穀率。在較低濃度時， $3As_2O_5 \cdot 5H_2O$ 對空穀率之影響力雖較 As_2O_3 大，但當土壤含砷濃度逐漸上昇時， As_2O_3 對空穀率的影響仍不斷的増加，而 $3As_2O_5 \cdot 5H_2O$ 的影響力却漸趨和緩；故可知 As_2O_3 造成水稻空穀之潛力比 $3As_2O_5 \cdot 5H_2O$ 大。有機砷劑(Neo-asozin) 之所以較無機砷劑所造成之空穀率為大，推測其原因可能是因為其結構之關係而較

易滲入 (penetrate) 植物體，或較易與作用點 (site of action) 作用，此點需要進一步之研究。

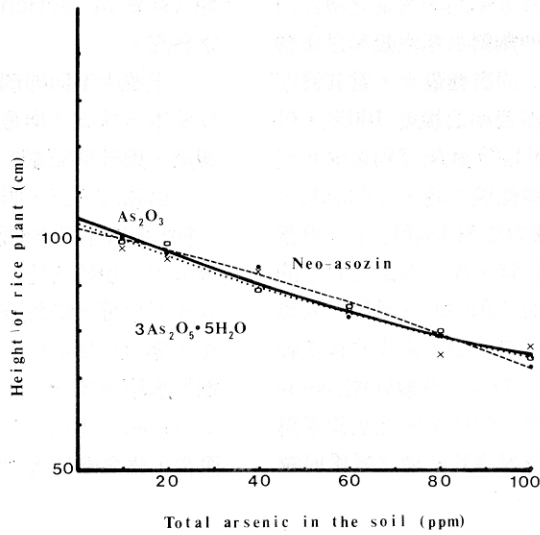
土壤中不同砷劑及不同含砷量與水稻有效分蘗數、株高（均是收割前測量）和千粒重之關係，則分別見圖二、三和圖四。

由圖二、三、四可看出水稻的有效分蘗數，株高和千粒重均隨土壤中砷含量之增加而逐漸減少。比較三種砷劑對水稻有效分蘗數，株高和千粒重之影響發現：就有效分蘗數而言，在土壤含砷量為 10, 20 及 40ppm 時，三種砷劑對水稻有效分蘗數減少之影響成下列之順序： $Neo-asozin > As_2O_3 \approx 3As_2O_5 \cdot 5H_2O$ ；而當土壤含砷量增加至 60, 80 及 100ppm 時



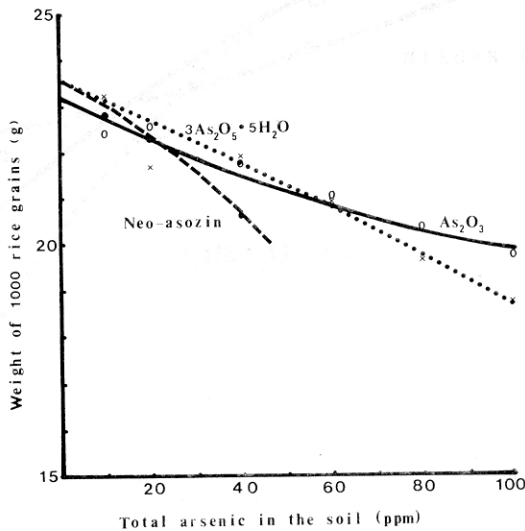
圖二、土壤不同含砷量及不同砷劑與水稻有效分蘗數之關係

Fig. 2 The relationship between arsenic levels in soil and the number of effective tillering of rice plants.



圖三、土壤不同含砷量及不同砷劑與水稻株高之關係

Fig. 3 The relationship between arsenic levels in soil and the height of rice plants.



圖四、土壤不同含砷量及不同砷劑與水稻千粒重之關係

(註：當土壤所含砷劑為Neo-Asozin而含砷量高於60ppm時，水稻不稔率已接近100%，故無法計算其千粒重。)

Fig. 4 The relationship between arsenic levels in soil and the weight of 1,000 rice grains.

，水稻有效分蘗數之減少又成下列之順序：
 $3As_2O_5 \cdot 5H_2O > As_2O_3 > Neo-asozin$ 。爲何有機砷在低濃度時比無機砷對水稻分蘗數有較強之抑制力，而在高濃度時，五價砷比三價砷及有機砷對水稻有效分蘗數有較強之抑制力，需要更進一步之探討。

就千粒重而言，仍是以 Neo-asozin 之影響力爲最大，即 Neo-asozin 比無機砷對穀粒品質改變，重量變輕有較不良之影響。土壤含砷量在 10, 20, 40 及 60ppm 時，三價砷對於千粒重之不良影響遠較五價砷爲大，而當土壤含砷量達到 80 及 100ppm 時，五價砷產生之不良影響反較三價砷爲大。此乃由於五價砷與三價砷在水稻致毒之機制上有所差異而致。

此外，由圖三可知：不同形態之砷劑對水稻株高之抑制情形並無太大差異。但在本試驗之土壤中，含砷濃度在 10 至 100ppm 之範圍內，三種砷劑對株高之抑制都因土壤含砷量之增加而加強；此項結果與水稻生長 77 天後測定株高之結果（表一）有顯著之不同，此項差異是否由於砷劑對水稻不同生長時期而有不同之影

響，抑或是由於栽培條件與栽培時期之差異而影響到砷之作用，此尚待進一步之研究。

砷造成植物生長阻礙之原因頗多；Machlis⁽¹⁵⁾ 認爲砷過多時，會抑制作物體中水之移動，使根及地上部份之水供給受到阻礙，葉則萎凋枯死。Fellenberg⁽⁹⁾ 則發現受到砷障礙之作物，其氧氣，水和養份之吸收因砷之存在而發生阻礙之現象。山根等⁽¹⁾ 以水根法研究發現，植物養份之吸收因砷之存在而發生阻礙之現象，其被阻礙之大小依序爲 $K_2O > NH_4 > NO_3 > MgO > P_2O_5 > CaO$ ，且砷尚能引起葉部之黃化現象。Bonner⁽⁶⁾ 發現砷與磷之代謝有關。而 Stoklasa⁽¹⁹⁾ 認爲 TCA cycle 中 ATP 之形成因砷之存在而受到抑制，致使植物體中許多生理機能受阻，而導致了植物生長之障礙。砷究竟是藉何種機制使水稻生長受到阻礙尚待進一步之研究。

水稻自土壤中吸收砷之情形 將 4 種不同砷劑以 30ppm 之濃度分別混合於土壤中，觀察其被水稻吸收之情形；所得之結果見表五：

表五、水稻自土壤中吸收砷之情形

Table 5 . Uptake of arsenic residue from soil by rice plants.

Arsenicals	Total As levels (ppm) ^{a)}				
	Soil	Root	Straw	Grain	Unpolished rice
Blank	5.19	72.74	5.40	0.71	0.27
Neo-asozin	22.49	384.35	31.23	1.65	0.38
As ₂ O ₃	30.58	466.90	40.63	1.05	0.37
NaAsO ₂	35.60	536.22	44.36	1.41	0.37
Na ₂ HAsO ₄ · 7H ₂ O	34.07	551.03	48.01	2.16	0.40

a). 表中數據代表 5 盆重複之平均值；含砷量以樣品之乾重計算之。

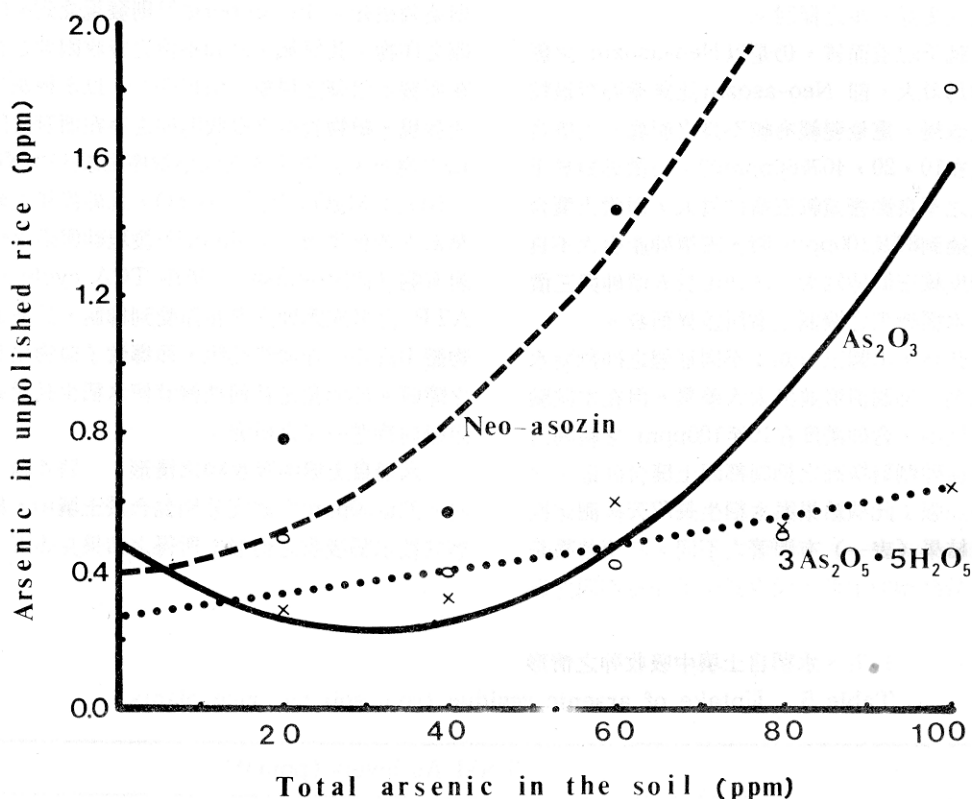
由表五可看出，施用砷劑之水稻根部，莖葉，穀粒和糙米以及土壤中之砷含量，均較未施用砷劑者高。由表五同時可看出，水稻根部之含砷量遠較土壤中之含砷量要高出許多；而莖葉中之含砷量却僅爲根部含砷量的十分之一

；穀粒中之含砷量又比莖葉中要少，而糙米中之含砷量是最少的。由以上可知：土壤中之砷最初由根部吸收，經莖葉而移至穀粒；故其污染之順序是根 > 莖葉 > 穀粒。此種結果在其他蔬菜類作物上亦曾發現到⁽²¹⁾，故根菜類作

物如甘藷，蘿蔔等是否最易受到土壤中砷殘量之污染，則需更進一步之研究。

為了解土壤含不同砷量及不同砷劑與糙米中砷含量之關係，乃分別將三種砷劑以20，40

，60，80及100ppm之濃度混合於土壤之中，俟水稻收穫後，分析糙米中之砷含量，其結果如圖五。



圖五、土壤不同含砷量及不同砷劑與水稻糙米中含砷量之關係。

(*為三次重複之平均值)

Fig 5. The relationship between arsenic levels in soil and the arsenic content of unpolished rice.

由圖五可看出：在20，40，60，80及100 ppm之試驗範圍中，糙米之砷含量隨著土壤中之砷含量之增加而逐漸增加，但尚未有超過2 ppm的。由於 Neo-asozin 所處理之水稻在60ppm時，其糙米砷含量為1.45ppm，而在80ppm時，水稻則完全不稔，故可推測土壤中之砷量即使再繼續增加，其糙米中之砷量亦很少會超出2 ppm的；此乃因為當土壤砷含量再增高時，會造成水稻完全不稔。由圖五可知；三種砷劑中Neo-asozin 最易為水稻所吸收； As_2O_3 (三價砷) 亦是易為水稻吸收之一種

形態。而 $2As_2O_5 \cdot 5H_2O$ (五價砷) 在比較之下是最不易被吸收之一種形態。

臺灣植物保護中心農藥殘量組研究報告第18號。

引用文獻

1. 山根忠明、松浦一人、山路健、村上英行，1974。土壤におけるヒ素の挙動と農作物におよぼす影響(第二報)，土肥誌講演要旨集20：126。
2. 石塚喜明、田中明，1952。水稻の要素代

- 謝に關する研究(第8報), 土肥誌22 : 419—423。
3. 李國欽、費爻綺、顏耀平, 1978。臺灣不同地區水稻田土壤及灌溉水中砷含量之調查。臺灣植物保護中心農藥殘量組研究報告第17號。
 4. Albert, W. B. 1934. Arsenic solubility in soils. S. C. Agr. Exp. Sta. 47th Annu. Rep. p. 45—46.
 5. Bishop, R. F. and D. Chisholm. 1962. Arsenic accumulation in Annapolis Valley orchard soils. Can. J. Soil Sci. 42 : 77—80.
 6. Bonner, J. 1950. Arsenate as a selective inhibitor of growth substance action. Plant Physiol. 25 : 181—184.
 7. Brechley, W. E. 1914. On the action of certain compounds of zinc arsenic, and boron on the growth of plants. Ann. Bot. 28 : 283—301.
 8. Doehlert, C. A. 1942. A caution on the use of arsenicals to clear cranberry bogs for replanting. Amer. Cranberry Growers Ass. 72 : 11—15.
 9. Fellenberg, T. 1930. Uber den den arsengehalt naturlicher und mit arsenspreparaten behandelter lebensmittel. Biochem. Zeitschr. 218 : 300—317.
 10. Heggeness, H. 1941. Thesis University of Hawaii (Plant Phys.) 16 : 521—544.
 11. Jacobs, L. W., D. R. Keeney, and L. M. Walsh. 1970. Arsenic residue toxicity to vegetable crops grown on plainfield sand. Agron. J. 62 : 588—591.
 12. Jones, J. S. and M. B. Hatch. 1937. The significance of inorganic spray residue accumulations in orchard soils. Soil Sci. 44 : 37—63.
 13. Liebig, G. F., G. R. Breadford, and A. P. Vanselow. 1959. Effect of arsenic compounds on citrus plants in solution culture. Soil Sci. 88 : 342—348.
 14. Liebig, G. F. 1966. *in*: Diagnostic criteria for plants and soils. (H. D. Chapman, ed.) Univ. Calif., Riverside, p. 12—23.
 15. Machlis, L. 1941. Accumulation of arsenic in the shoots of sudan grass and bush bean. Plant Physiol. 16 : 521—524.
 16. McLean, H. C., A. L. Weber, and J. S. Joffe. 1944. Arsenic content of vegetables grown on soil treated with lead arsenate. J. Econ. Entomol. 37 : 315—318.
 17. Steevens, D. R., L. M. Walsh, and D. R. Keeney. 1972. Arsenic phytotoxicity on a plainfields and as affected by ferric sulfate or aluminum sulfate. J. Environ. Qual. 1 : 301.
 18. Stewart, J. 1922. Some relations of arsenic to plant growth. Soil Sci. 14 : 111—126.
 19. Stoklasa, J. 1897. De la substitution de l'acide arsénique à l'acide phosphoriquedans la nutrition de la plante. Ann. Agron. 23 : 471—477.
 20. Tsutsumi, M. and S. Takahashi. 1974. Studies on phytotoxicity of arsenic (1). Inhibitory effect of arsenic salts on growth of rice. Bull. Coll. Agri. Utsunomiya Univ. (Japan) 9 : 87—93.
 21. Walsh, L. M. and D. R. Keeney. 1975. *in*: Arsenic Pesticides. (E. A. Woolson, cd.) ACS Symposium Series, No. 7, p. 35—52.
 22. Woolson, E. A. 1973. Arsenic phytotoxicity and uptake in six vegetable crops. Weed Sci. 21 : 524—527.
 23. Woolson, E. A., J. H. Axley, and P. C. Kearney. 1971. Division S-4--- Soil fertility and plant nutrition correlation between available soil arsenic, estimated by six methods, and response of corn. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35 : 101—105.

THE RELATIONSHIP BETWEEN ARSENICALS IN THE SOIL AND THE RICE GROWTH AND THE ARSENIC RESIDUE IN THE RICE

Gwo-Chen Li¹ and Wen-Chi Fei¹

Green house studies revealed that the growth of rice was stimulated when the soil arsenic levels were below 25 ppm. But the growth of rice was inhibited when the arsenic residual levels increased. The toxicity of arsenicals was in the following order: Asozin > NaAsO₂ > Neo-asozin > Na₂HAsO₄ · 7H₂O. The growth of rice was completely inhibited when the soil residue of Neo-asozin and NaAsO₂ reached 200 ppm in term of As.

At harvest, 100% empty rice grain were caused by the soil incorporated with Neo-asozin, 60 ppm calculated as As, 45% by As₂O₃ and 50% by 3As₂O₅ · 5H₂O. The number of effective tillering, plant height and weight of 1,000

grains of rice were decreased with increase of soil arsenic residue.

The uptake of arsenic residue from soil by rice plants was found in this study. The amounts of arsenic found in the different portions of rice plant were in the following order: root > rice straw > grain.

The residue in the unpolished rice was proportional by increased with the increase of arsenic residual levels in the soil. The amount of arsenic uptaken by unpolished rice depends on the forms of compounds which were incorporated into the soil. Neo-asozin caused higher arsenic residual levels in unpolished rice than caused by As₂O₃ and 3As₂O₅ · 5H₂O.

1. Pesticide Residue Division, Plant Protection Center, Taiwan. Wufnng, Taichnug, Taiwan 431, Republic of Chian.