

臺灣不同地區稻穀中砷含量 之調查*

Survey of Arsenic Residual Levels in the Rice Grains from Various Locations in Taiwan

李國欽 費雯綺 顏耀平

臺灣植物保護中心

(接受刊載日期：68年3月24日)

摘 要

自全省 86 個鄉鎮採集 64 年度第一期及第二期稻穀樣品計 328 個，經化驗結果顯示平均 95% 以上之樣品均含有砷。第二期穀粒中之平均含砷量較第一期者高。同期作中其平均含砷量及超過估計容許量之稻穀樣品百分比，以蓬萊稻最高，在來稻次之，秈稻最少。脫殼後分析糙米，發現糙米中含砷量大都較穀粒者為低，但仍有 13 個樣品超過估計之容許量，約佔全部稻穀樣品之 4%；含砷超過標準量之糙米，其白米含砷量仍超過標準者有 4 個樣品，約佔全部稻穀樣品之 1%。

含砷較高 (>0.76 ppm) 之稻穀樣品，地區上之分佈並不集中；86 個鄉鎮中，有 34 個鄉鎮發現有較高含砷量之穀粒。

一、緒 論

砷早已被承認為一種具有致毒潛力之物質。十八世紀末及十九世紀初，許多提煉廠的工人，由於工廠中灰塵的飛揚而導致砷之中毒。最近報告由於砷而可能引起之疾病有臺灣的烏腳病⁽¹⁹⁾，匈牙利的 Bowen's disease、陰囊癌⁽¹¹⁾、肺癌⁽¹⁸⁾、肝癌⁽⁸⁾、皮膚癌⁽⁷⁾，以及支氣管癌⁽¹⁴⁾等。

在農業上，砷劑被當作農藥使用已有許多年的歷史。如殺草劑(如甲基砷酸鈉、二甲基砷酸鈉等)

、殺蟲劑(如砷酸鉛、砷酸鈣等)，和殺菌劑(如鐵鉀砷酸銨、甲基砷酸鈣等)等。

食用作物中砷之來源大體可分為兩類：(一)由於直接污染，如因使用砷類農藥或其他來源而直接污染作物之地上部份^(3,12,16)。(二)由於植物吸取土壤所含之砷，而轉移至食用部份^(9,20,21)。

臺灣由於防治水稻紋枯病之需要，砷類藥劑廣泛的被使用於水稻田；此由葉部噴灑之砷劑，極有可能經由滲透而進入水稻的地上部，而直接或間接的污染於穀粒。

* 臺灣植物保護中心農藥殘量組研究報告第 16 號。

此外，臺灣稻田土壤亦普遍含有砷。根據本中心調查臺灣 19 處鄉鎮稻田土壤中之含砷量的結果，顯示其含砷範圍在 1.3~176.6 ppm 之間⁽²⁾，此等土壤所含之砷亦會轉移至穀粒中，而增加穀粒中之含砷量。

本研究之主要目的，在於調查臺灣全省各地稻米中之含砷量，以探討砷劑之使用地區其稻米中之砷含量是否已超過標準。同時更進一步分析含砷超過標準之穀粒，其脫殼後糙米中之砷含量，以及含砷量超過標準量之糙米，其白米中之含砷情形。

二、材料與方法

(一)樣品之採集

選擇臺灣 86 個不同地區的稻米倉庫，採集 64 年度第一期及第二期之穀粒樣品；包括有蓬萊稻、在來稻及秈稻。樣品之採集以每一倉庫為一單位，將採自不同深度之同類稻穀予以混合，以 3 公斤作為一個樣品。樣品送抵實驗室後，分成兩部份，一部份直接用磨粉機連殼磨成粉末以備分析之用；另一部份用脫殼機脫殼，所得之糙米一部份以磨粉機磨成粉末備用，另一部份以碾米機去麩，所得之白米再以磨粉機磨成粉末備用。

(二)穀粒中砷之分析

取 10 g 之樣品置於分解瓶中，加入 20 ml 濃硝酸、5 ml 濃硫酸及 5 ml 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；加熱時視需要(樣品加熱時變黑)而添加濃硝酸，並利用水冷凝管冷卻回流。加熱完畢置於室溫中冷卻，然後轉移至測砷用之反應瓶中；加入 30 ml 濃鹽酸，再用蒸餾水調整體積至 100 ml。加入 0.5 ml 之 10% NaI 溶液，靜置 15 分鐘後，置於測砷用之原子吸光儀 (Atomic Absorption Spectrophotometers) 上，以注射針加入 6 ml 之 4% NaBH₄ 溶液(以 10% NaOH 溶液配製)。此時溶液中之砷被還原成砷 (Arsine)，而由原子吸光儀在 193.7 nm 下測其吸光率。當穀粒中之砷在 2.5~20 μg 之直線範圍 (linear range) 內時，利用此法所得之回收率為 70~103% 不等。

(三)糙米及白米中砷量之分析

取 1 g 之樣品置於分解瓶中；加入 10 ml 濃硝酸、2.5 ml 濃硫酸及 2.5 ml 濃過氯酸，靜置於室溫中過夜。然後加熱沸騰約 100 分鐘，加熱時用水冷凝管冷卻回流；加熱後，加入約 4 ml 之甲酸，直至不再有褐色氣體產生為止。置於室溫中冷卻後，轉移至測砷用之反應瓶中；加入 15 ml 濃鹽酸，再用蒸餾水將體積調整至 50 ml；以下步驟與穀粒中砷之分析法同。

由於在測定糙米及白米之前，測砷之裝置——原子吸光儀曾經調整，靈敏度提高，其標準直線範圍為 0.0~2.5 μg 之間；因而樣品及分析藥劑之用量均顯著減少。此外由 HNO₃ 之存在將降低儀器之分析結果⁽¹⁵⁾，故最後加 HCOOH，將未消耗之 HNO₃ 還原成 NO₂ 而去除之。(穀粒分析所用樣品為 10 g，所加之 HNO₃ 在加熱時尚有視需要而添加之過程，因而不考慮有 HNO₃ 之剩餘)。利用此法所得之回收率為 84.5~146.0% 不等。

使用之儀器為 Varian Techtron 1200 附測砷裝置。砷之分析常因儀器條件些微改變而有不同，故作為計算基礎之標準曲線，應該每做一批樣品時作一次調整。

三、結果與討論

86 個鄉鎮倉庫所存 64 年度第一期及第二期之稻穀中，其樣品穀粒砷含量之分析結果見表一；含砷量超過標準之穀粒，經脫殼後，糙米中砷含量之分析結果如表二；含砷超過標準量之糙米，其白米中砷含量分析之結果見表三；茲將三者之結果綜合摘要如圖一和圖二。

由圖一及圖二顯示：93~96% 之穀粒樣品都含有砷。其平均含砷量大約在 0.30~0.53 ppm 之間。據現有之資料尚無有關水稻穀粒中之自然含砷量應為多少之文獻記載。Schroeder 等 (1966) 曾報告蔬菜類中之自然含砷量在 0.00~0.29 ppm 之間；穀物中之自然含砷量在 0.11~0.16 ppm 之間⁽¹⁷⁾。若以此資料作一比較，則臺灣水稻穀粒中之含砷量似乎超過了自然的含砷量。

表一 臺灣 84 個鄉鎮倉庫中六十四年度水稻穀粒中之砷含量 (ppm)

地名	蓬萊		在來		秈稻		地名	蓬萊		在來		秈稻		
	第一期	第二期	第一期	第二期	第一期	第二期		第一期	第二期	第一期	第二期	第一期	第二期	
長竹湖新枋	0.82	0.47	1.41	0.79	—	—	大龍神清梧	0.43	0.62	N.D.	—	—	—	
	0.70	0.74	—	0.77	—	—		安井岡水樓	0.57	0.62	0.31	0.06	0.48	1.25
	0.74	1.04	0.73	1.03	—	—		大草竹名埔	0.59	0.83	—	—	0.23	0.59
	1.04	0.72	0.28	0.47	—	—		雅屯山間里	0.04	0.35	0.02	1.47	0.28	0.24
萬里九屏東	0.52	1.41	0.38	—	—	—	通竹後頭銅	0.10	0.54	0.15	0.13	0.09	—	
	0.34	1.07	0.20	0.29	0.24	0.20	霄南龍份	0.53	0.29	0.13	0.90	0.12	0.15	
	0.60	0.44	0.50	0.40	—	—	N.D.	0.09	0.88	0.11	0.90	0.51	0.97	
	0.82	0.52	0.03	0.38	—	—	N.D.	0.98	1.03	0.43	—	0.42	—	
六美龍旗岡	1.02	1.20	—	—	—	—	N.D.	0.15	0.45	0.62	—	0.44	0.35	
	0.23	0.35	1.24	—	—	0.27	N.D.	0.70	0.66	0.44	—	0.40	—	
	0.37	0.34	—	—	—	—	N.D.	0.09	N.D.	0.17	N.D.	—	—	
	0.87	0.74	0.52	0.43	0.22	—	N.D.	0.22	N.D.	0.11	—	—	—	
阿路安麻佳	0.79	0.43	—	—	—	—	N.D.	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	—	—	
	0.97	1.14	0.43	0.42	—	—	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	—	—	—	
	0.60	—	0.67	0.42	—	0.34	N.D.	N.D.	0.26	—	—	—	—	
	N.D.	0.42	0.18	0.02	—	N.D.	竹北東山	0.28	0.35	0.50	—	—	—	—
七六下柳新	0.24	—	0.08	0.18	—	0.07	竹寶關香	0.34	0.38	0.39	—	—	—	—
	—	0.28	0.30	0.05	—	—	湖口園	0.53	0.30	0.37	0.29	—	—	—
	0.17	0.26	0.04	0.26	—	—	中大龍	0.26	0.49	0.29	0.40	—	—	—
	—	0.23	—	0.33	—	—	龍潭	0.55	0.67	0.66	—	—	—	—
嘉義市林竹口港	—	0.20	—	0.05	—	—	大龍	0.73	0.66	0.73	0.72	—	—	—
	0.28	0.78	—	0.34	—	—	八楊	0.85	1.12	0.73	0.73	—	—	—
	0.32	0.29	0.20	0.30	—	—	德梅	0.69	0.72	0.73	—	—	—	—
	0.17	0.20	0.71	0.51	—	—	三淡	0.64	0.66	0.57	0.61	—	—	—
朴二崙荊大	0.17	0.14	—	—	—	—	樹	0.33	0.26	0.31	0.25	—	—	—
	0.51	0.52	1.11	0.24	0.30	0.32	芝市	0.32	0.28	—	—	—	—	—
	0.41	0.70	N.D.	N.D.	—	—	宜蘭	0.26	0.34	—	—	—	—	—
	0.97	0.38	0.34	0.26	—	—	五礁	0.82	0.77	N.D.	—	—	—	—
斗埤竹秀花	0.26	0.33	0.14	0.16	0.22	—	結溪	0.85	0.71	0.45	0.13	—	—	—
	0.41	0.24	—	—	—	—	安豐里	0.97	0.57	0.21	0.20	—	—	—
	0.30	0.28	—	—	—	0.43	東	0.97	0.60	0.22	—	—	—	—
	0.73	0.69	0.60	0.41	—	0.56	吉壽	0.32	0.21	—	—	—	—	—
和北大	0.44	0.54	0.35	0.33	—	—	玉富	0.16	0.19	0.28	0.14	0.58	—	—
	0.50	0.64	0.34	0.49	0.33	0.88	臺	0.38	0.17	0.07	0.19	—	—	—
	0.33	1.74	0.78	0.51	0.16	—	野山	0.25	0.14	0.23	—	—	—	—
	0.73	1.10	0.43	0.54	0.50	0.97	上	0.20	0.28	—	—	—	—	—
美斗甲	0.64	0.49	—	0.83	N.D.	—	鹿關	0.25	0.24	—	—	—	—	—
	0.42	1.15	0.02	0.57	—	—	池	0.20	0.28	—	—	—	—	—
	0.05	0.43	0.28	0.48	0.53	0.43	池	0.21	0.10	—	—	—	—	—
	0.46	1.50	0.46	0.67	0.23	0.60								

註：N. D. 表示有樣品而偵測不到其中含有砷。

— 表示沒有採樣。

表中之數字代表三次重複實驗之平均值。

臺灣水稻穀粒含砷較高 (>0.76 ppm) 之鄉鎮分布並不集中 (見表一), 86 個鄉鎮中, 34 個都出現有含砷較高之樣品; 而此 34 個鄉鎮中, 以高雄、宜蘭所佔之比例為最大。稻穀中含砷量應達何種程度才對人畜有害? 目前尚無一定之標準。此乃由

於植物體及動物體中砷的形態與化學性質迄未十分瞭解。Coulson 報告蝦中普遍含有較高之砷, 但此種砷對老鼠並無毒害⁽¹⁰⁾。

日本曾規定數種食用作物中之容許最高含砷量 (乃以 As₂O₃ 為計算標準), 見表四。

表二 穀粒含砷量超過安全容許量之鄉鎮其糙米中之砷含量

地名	稻作種類	穀粒含砷量 (ppm)	糙米含砷量 (ppm)	地名	稻作種類	穀粒含砷量 (ppm)	糙米含砷量 (ppm)
長治	蓬萊第一期	0.82	0.38	斗南	蓬萊第二期	1.10	0.62
	在來第一期	1.41	0.60		秈稻第二期	0.97	0.49
	在來第二期	0.79	1.10	埤頭	在來第二期	0.83	0.89
潮州	蓬萊第二期	1.04	1.01	竹塘	蓬萊第二期	1.15	0.89
	在來第二期	1.03	0.53	花壇	蓬萊第二期	1.50	1.43
新埤	蓬萊第一期	1.04	0.73	和美	在來第二期	0.97	0.32
	蓬萊第二期	1.41	0.93	北斗	秈稻第二期	0.83	0.43
枋寮	蓬萊第二期	1.07	1.03	大甲	蓬萊第二期	0.99	0.46
	蓬萊第一期	0.82	0.67	龍井	秈稻第二期	1.25	0.98
萬丹	蓬萊第一期	1.02	0.71	神岡	蓬萊第二期	0.83	0.90
	蓬萊第二期	1.20	1.05	清水	在來第二期	1.47	1.18
九如	在來第一期	1.24	0.49	草屯	蓬萊第二期	0.88	0.55
	蓬萊第一期	0.87	0.52		在來第二期	0.90	0.44
屏東市	蓬萊第一期	0.79	0.45	秈稻第二期	0.97	0.45	
	蓬萊第一期	0.97	0.84	竹山	蓬萊第一期	0.98	0.54
美濃	蓬萊第二期	1.14	0.31	龍潭	蓬萊第二期	1.03	0.44
	蓬萊第二期	0.78	0.68	宜蘭市	蓬萊第一期	1.12	0.11
嘉義市	在來第一期	1.11	0.36	蓬萊第二期	0.82	0.66	
	蓬萊第一期	0.97	0.77	壯圍	蓬萊第一期	0.77	0.72
義竹	秈稻第二期	0.88	0.72	五結	蓬萊第一期	0.85	0.38
	蓬萊第二期	1.74	0.67	礁溪	蓬萊第一期	0.97	0.56
大埤	在來第一期	0.78	0.36		蓬萊第一期	0.97	0.53

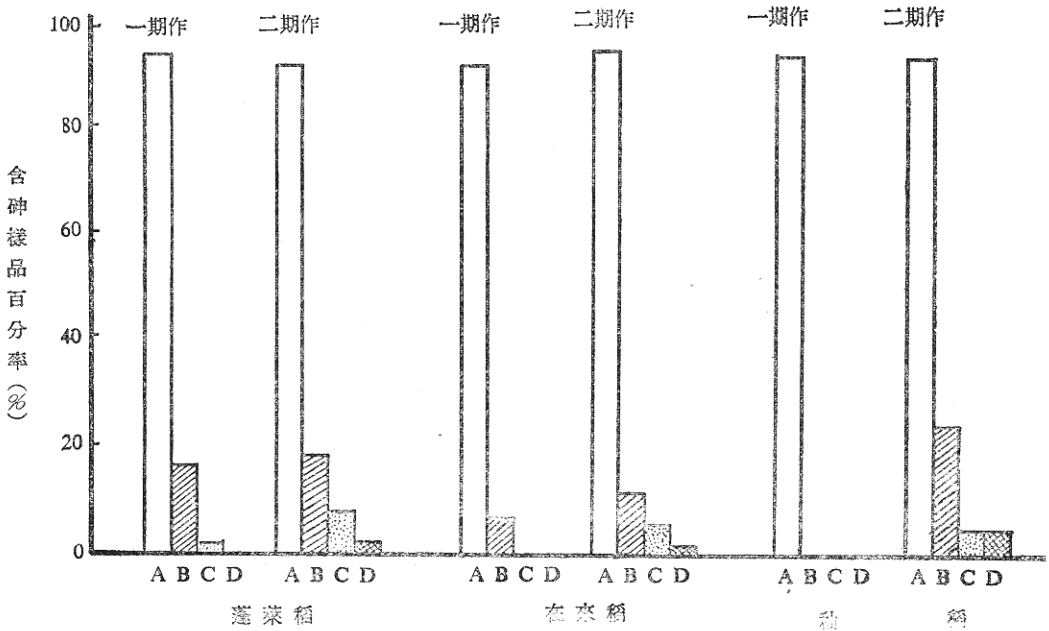
註：(1)竹田在來一期稻及龍潭蓬萊一期稻因樣品腐壞，故無法分析其糙米中之含砷量。

(2)表中數字代表三次重複實驗之平均值。

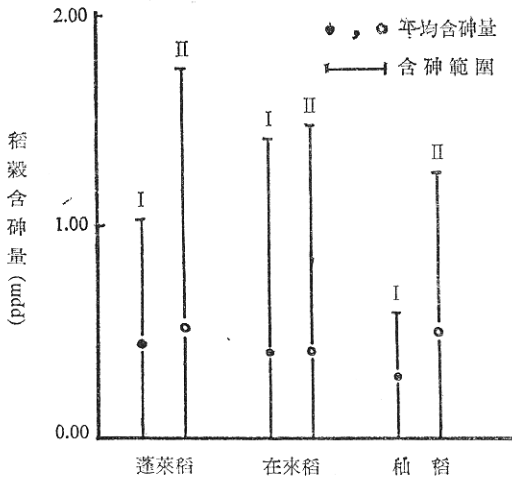
表三 糙米含砷超過安全容許量之鄉鎮其白米中之砷含量

地名	稻作種類	糙米含砷量 (ppm)	白米含砷量 (ppm)	地名	稻作種類	糙米含砷量 (ppm)	白米含砷量 (ppm)
長治	在來第二期	1.10	0.41	埤頭	在來第二期	0.89	0.47
潮州	蓬萊第二期	1.01	0.68	竹塘	蓬萊第二期	0.89	0.71
枋寮	蓬萊第二期	0.93	0.70	花壇	蓬萊第二期	1.43	1.17
萬丹	蓬萊第二期	1.03	0.69	龍井	秈稻第二期	0.98	0.77
九如	蓬萊第二期	1.05	0.81	神岡	蓬萊第二期	0.90	0.42
旗山	蓬萊第一期	0.84	0.49	清水	在來第二期	1.18	1.26
義竹	蓬萊第一期	0.77	0.75				

註：表中數字代表三次重複實驗之平均值。



圖一 臺灣不同地區水稻穀粒、糙米及白米中含砷量調查結果 (64年度)
 蓬萊稻第一期總樣品數為 83，第二期為 84；在來稻第一期為 67，第二期為 52；秈稻第一期為 22，第二期為 20。
 A = 含砷之樣品；B = 穀粒含砷超出容許量之樣品；C = 糙米含砷超出容許量之樣品；D = 白米含砷超出容許量之樣品。



圖二 臺灣全省稻穀之平均含砷量及含砷範圍

表四 日本規定砷在食用作物中之最高容許含量⁽⁶⁾

作物種類	最高容許含砷量 (ppm) (As ₂ O ₃)
蘋果	3.5
胡瓜	1.0
葡萄	1.0
梨	3.5
馬鈴薯	1.0
菠菜	1.0
草莓	1.0
柑桔 (去皮)	1.0
蕃茄	1.0

雖然其中並無稻米中之最高容許砷含量之規定，但對大部分直接食用作物的規定均為 1 ppm As₂O₃，相當於 0.76 ppm As；若以此一數字作為

比較的標準，則蓬萊稻第一期稻穀有 17% 超過此一標準，第二期有 19%，在來稻第一期有 7%，第二期有 12%，秈稻第一期均未超過此標準，而

第二期則有 25% 超過者。

由圖一同時可看出：第二期水稻穀粒之超過容許量者較第一期為多。蓋水稻紋枯病在高溫多濕時最易發生，在一般情形下第二期作發病情形較第一期作為嚴重⁽⁵⁾。因而使一般農民在第二期稻作時所施用砷劑之量要比第一期作者為多；終而導致第二期水稻穀粒之超過容許量者較第一期為多的現象。

此外，由圖二可看出同期之稻作其穀粒之平均含砷量以蓬萊稻最高，在來稻次之，秈稻最少；且由圖一亦可看出同期之稻作，其穀粒中含砷量超過容許量之樣品百分率，亦以蓬萊稻最多，在來稻次之，秈稻最少（秈稻第二期之所以偏高，可能是因採集太少之故）。據報告，在來稻較蓬萊稻抗病力強⁽¹⁾，而秈稻品種因抽穗期較遲，故被害也較低⁽⁴⁾；這些因素均會影響農民的用藥習慣；所以才產生蓬萊稻穀粒之平均含砷量及超過容許量之樣品百分率較在來稻為高的現象。

進一步分析脫殼後糙米中之含砷量，發現其中蓬萊稻第一期有 2% 超過容許量，第二期有 8%；在來稻第一期均未超過容許量，但第二期有 6%，秈稻第一期亦無超過容許量者，而第二期則有 5% 超過者。此種超過容許量之糙米樣品，分析其白米中含砷量，發現一期稻作均無超過容許量者，而二期稻作中仍超過容許量之樣品：蓬萊稻有 2%，在來稻有 2%，秈稻有 5%；很顯然地，糙米中超過容許量之樣品百分率要比穀粒者為少，而白米更較糙米者為少，且由表二及表三可看出，大多數樣品中，其含砷量為穀粒 > 糙米 > 白米；換言之，穀粒之外殼亦含有相當量之砷。這些外殼中之砷，有部份可能來自植物的直接吸收，另一部份却是來自外殼之污染⁽¹³⁾。而其中有少數樣品，其含砷量為糙米 > 穀粒（2 個樣品），或白米 > 糙米（1 個樣品），可能由於其米糠或白米中含有較高砷量之故。

參 考 文 獻

1. 臺灣省農業試驗所，1962。水稻品種對紋枯病反應檢定試驗。50 年度植物保護試驗報告，37-38。
2. 李國欽、費雯綺、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。

3. 高板卓爾，1975。イネ紋枯病の生態と防除。日植病報，31，179-185。
4. 嘉義農業試驗分所，1965。53 年度第二期水稻品種對紋枯病反應檢定試驗。53 年度植物保護試驗報告，14-23。
5. 歐世璜，1957。臺灣作物病害之防治。臺大農學院臺現農改講，3，22-26。
6. Association of Agricultural Relation in Asia. 1976. *Plant Protection in Japan*, p. 42.
7. Braun, W. 1958. Carcinoma of the skin and internal organs caused by arsenic. *German Med. Monthly*, 3, 321.
8. Buchanan, W. D. 1962. *Toxicity of Arsenic Compound*, Elsevier, New York.
9. Chrenekova, E. 1976. Resorption and distribution of arsenate ions by mustard under conditions of different phosphorus nutrition. *Pol'nohospodarstvo 1975*, 21, 752-758.
10. Coulson, E. V., R. E. Remington and K. M. Lynch. 1935. Metabolism in the rat of the naturally occurring arsenic of shrimp as compared with arsenic trioxide. *J. Nutr.*, 10, 225-270.
11. Currie, A. N. 1947. The role of arsenic in carcinogenesis. *Brit. Med. Bull.*, 4, 402-405.
12. Duple, R. L., E. C. Holt and G. G. McBee. 1969. Translocation and break-down of disodium methanearsonate. *J. Agr. Food Chem.*, 17, 1247-1250.
13. Jacobs, L. W., D. R. Keeney and L. M. Walsh. 1970. Arsenic residue toxicity to vegetable crops grown on plainfield sand. *Agronomy J.*, 62, 588-591.
14. Ott, M. G., et al. 1974. Respiratory cancer and occupational exposure to arsenicals. *Arch. Environ. Health*, 29, 250.
15. Pierce, F. D. and H. R. Brown. 1976. Inorganic interference study of automated arsenic and selenium determination with atomic absorption spectrometry. *Anal Chem.*, 48(4), 693-695.

16. Rumburg, C. B., R. E. Engel and W. F. Meggitt. 1960. Effect of temperature on the herbicidal activity and translocation of arsenicals. *Weeds*, 8, 582-588.
17. Schroeder, H. A. and J. B. Ballassa. 1966. Abnormal trace elements in man: Arsenic. *J. Chronic Disease*, 19, 85-106.
18. Tokudome, S. and M. A. Kuratsune. 1976. Cohort study on mortality from cancer and other causes among workers at a metal refinery. *Int. J. Cancer*, 17, 310.
19. Tseng, W. P. *et al.* 1961. A clinical study of black foot disease in Taiwan, and endemic peripheral vascular disease. *Mem. College Med. Nat. Taiwan Univ.*, 7, 1.
20. Tsutsumi, M. and S. Takahashi. 1974. Studies on phytotoxicity of arsenic I. Inhibitory effect of arsenic salts on growth of rice. *The Bulletin of College of Agriculture Utsunomiya University*, 9, 87-93.
21. Woolson, E. A. 1973. Arsenic phytotoxicity and uptake in six vegetable crops. *Weed Sci.*, 21, 524-527.

Survey of Arsenic Residual Levels in the Rice Grains from Various Locations in Taiwan⁽¹⁾

Gwo-Chen Li⁽²⁾, Wen-Chi Fei⁽³⁾ and Yao-Pin Yen⁽⁴⁾

Abstract

The analyses of rice grain samples collected from 86 townships in Taiwan during 1975 revealed that about 95% samples contained detectable amount of arsenic. The arsenic levels in the grains of second crop rice were higher than that in the first crop rice. In the same crop, the number of samples with arsenic content exceeding the estimated tolerance found in different rice variety were in the following order: Ponlai rice > Native rice > Sen rice.

The analyses of arsenic levels of unpolished rice and polished rice, the arsenic content was found only 4% and 1%, respectively, in excess of the estimated tolerance among total rice grains samples.

The township in which rice grains samples with high arsenic levels (>0.76 ppm) were geographically widely distributed. Among 86 townships, 34 of them in which samples with high arsenic levels were found.

(1) Research Paper No. 16, Pesticide Residue Division, Plant Protection Center.

(2), (3), (4) Chief and Research Assistants respectively, Pesticide Residue Division.