

# 臺灣土壤污染之研究概況

嚴式清\*

## 前　　言

自古以來，土壤是一個自然的廢棄物消化場，因為它兼具物理、化學以及生物三種性能，藉着過濾、吸附、氧化、還原、溶解、沉澱、分解、合成；固液氣三相的轉變，有機與無機的演化等等機能，維持一個平衡的生態環境，適於人類居息生產而無所感覺。不幸自從科學昌明以後，工業多元化而規模日趨擴大，集約農業制度下農藥與肥料的大量使用，畜殖企業化後集中飼養，以及人口流向都市等結果，在一個較小的範圍內產生大量的廢棄物，但是，人們習慣將廢污物品棄置於自然環境，乃形成空氣，水源及土地之污染。空氣污染容易察覺，水污染容易偵測。唯獨土壤污染較難發現，因為土壤原有其相當大的同化能量 (assimilative capacity)，其涵容遠較水之自淨作用為大，祇有大量或長時間的承受廢棄物後，方顯其同化能量之不足而改變原有性狀。相對的，土壤在遭受相當污染之後其復元亦較為困難，其影響亦較為深遠。因為，很多水源都通過土壤而獲得清淨再新 (renovation)，千百種食物鏈 (food chain) 的起始環節即源自土壤，所以土壤污染，值得特別重視，而事實上常被人們所忽略！

## 土壤污染的來源及種類

土壤污染的來源大致可為幾類，如：

- (一) 工業廢水、污泥及其他固體或液體的廢棄物。
- (二) 農藥及肥料：農藥包括殺菌劑、殺蟲劑、殺草劑及燻蒸劑等。肥料包括要素肥料、微量元素及添加劑等。
- (三) 畜殖廢棄物：各種禽畜之糞尿及墊撢、清洗污水等。
- (四) 都市污水及垃圾。
- (五) 廢氣、落塵及降水等帶來之污染質。

污染物之種類可分為下列數種：

- (一) 重金屬類，如鋅、錳、銅、鐵、鎘、鉛及鎳等。
- (二) 水溶性鹽分增加土壤水分電導度。
- (三) 酸或鹼類改變土壤 pH。
- (四) 易分解之有機物，還原性化學劑消耗土壤氧氣。
- (五) 過多植物養分，如氮。

\* 臺灣糖業研究所研究員

- (A)特殊離子類，如氯、鋰、砷、汞等。
- (B)難分解物質，如塑膠、玻璃、金屬片塊，持久性有機溶劑及農藥等。
- (C)病原菌，過濾性病毒等。
- (D)細微顆粒類，如木質素，硫化鐵等堵塞土壤孔隙。
- (E)抗生素類影響土壤微生物社會。
- (F)放射性污染。

總之，凡是外來物質改變土壤原有性狀功能使之不適合未來繼續使用者皆為土壤污染。臺灣耕地面積有限，近年來經濟發展快速，良田之日趨減少已是有目共睹之事實，而剩餘之農田之正遭受工業，畜殖及不當農漁業經營之侵害，土壤污染之事例已時有所聞，有關科技人員幾乎在被迫的情形下開始從事土壤污染之研究，雖然起步較晚，皆在過去十年以內，投入人力亦有限，但成果已相當可觀，茲將所獲資料概述於後，藉供同好參考。

## 一、工業廢棄物之污染

工業廢棄物以廢水為主，當其進入自然水道或灌溉圳渠而引入農田後即可能導致土壤污染。據臺灣省水利局一項報告<sup>(4)</sup>指出，全省各農田水利會區內工業廢水排洩戶共有 1812 家，每日排水量 1,191,682 公噸，約佔全部灌溉用水量的 3%。據蘇俊茂等<sup>(34)</sup>研究後勁溪污水對水稻田土壤之污染指出，污水灌溉區土壤之有機質及鉀有增加趨勢，有效性磷則較低，最大相差 48kg/ha。污水區土壤 pH 普遍降低，由廢水帶入土壤之氮每期在 1050~1575kg/ha 之間，為量驚人。其對作物及影響為生長過茂，倒伏，結實不佳，多病蟲害，品質差。不過這千餘公斤氮素除去作物奢侈型吸收及脫氮損失外，其所餘留於土壤之量尚難用一般土壤分析測得，因為每年增加率不會超過 5%。當作水稻植體中除氮外，污水區磷含量亦略多，Mn、Zn、Cu、Fe 等含量亦均升高，尤以根部之 Zn、Cu 為甚，其次值得重視者為白米中 Cd 之含量亦因污水灌溉而增加。69年一期作白米中 Zn、Mn、Cu、Fe、Pb 亦均較清水區為多。王銀波<sup>(1)</sup>，王淵欽<sup>(2)</sup>報告指出，銅污染之灌溉水 (0.5~32 ppm)，可使銅在土壤中累積，且因所種作物不同而異，大豆田較玉米田累積較快，與對照比較，表土 5 公分中，玉米田土壤增加 4—5.5 倍，大豆田土壤增加 7—7.5 倍。灌溉水中銅累積於土壤者高達 89.5—98%。高濃度銅離子影響土壤微生物之活動性能是為大家所熟知者。溫彩芹<sup>(23,25)</sup>，和陳漢津<sup>(24)</sup>等報告指出，工廠廢水中含銅可高達 3125 ppm，其所灌溉之土壤可累積至 1500 ppm，對菸草有極嚴重之毒害作用。菸草吸收之銅主要累積於根部，其為害為障礙根之機能。銅之毒害作用因土壤而異。對於菸草之臨界濃度在壤土、砂壤土及砂土上分別為 100 ppm，50 ppm 及 25 ppm。由於銅之移動性小，故其累積主要在表土。20 公分以內之含銅量可能超過 20 至 30 公分土層含銅量十倍以上。溫彩芹<sup>(26)</sup>同時指出，鋅濃度在 15 ppm、鎘濃度在 10 ppm 以上時，對菸葉的質量均有影響。

後勁溪廢水污染土壤及影響水稻生長因係混合廢水難以追蹤其主體，但由灌溉水質判斷對土壤之污染亦非難事。黃益田等<sup>(21)</sup>，周昌弘等<sup>(38)</sup>曾對染整、電鍍、製革、造紙、合成纖維、塑膠、食品、染料及肥料等工業廢水分別加以分析並作水稻盆栽試驗，證明其為害度。以電導度為例，超過 2 mmhos/cm 者有塑膠、石化、紙廠、電鍍、染整、製革、食品、肥料及染料各業。

此等廢水一旦進入農田勢必增加土壤水溶性鹽分。其中染料業廢水電導度高達  $20 \text{ mmhos/cm}$  以上最為可怕。廢水之 pH，染料業超過 10，亦將影響土壤無疑；SAR 幾乎全部超過 8，絕大部份超過 20，其中染整、合成纖維及染料各工業竟超過 100 至 200，其對土壤之破壞潛力不言可喻。

陳榮民和李海棠<sup>(18)</sup>指出，連續灌溉稀釋不足（4 倍）之酵母工廠廢水，可使土壤電導度增加，尤其在沒有良好排水條件的粘土地上為甚。廢水之 BOD 在超過  $2000 \text{ ppm}$  時所引起之土壤缺氧可直接阻礙甘蔗生長，一作灌溉三次可令甘蔗及糖產量減少 10% 及 16%。此為旱作田情形。如係水田，其影響必更大。土壤氯離子亦因灌溉廢水而大幅上升。

臺灣省水利局對紙漿廢水污染之報告<sup>(5)</sup>指出，土壤有機質， $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  及  $\text{Cl}^-$  因廢水之引灌而增加，但尚未累積至為害之程度。

工業廢水中之懸浮固體亦可能污染農田土壤。易分解之固體可能產生耗氧作用，難分解之固體可堵塞土壤孔隙，降低土壤對水份及空氣之通透性能。黃益田等<sup>(21)</sup>分析工業廢水報告中指出，造紙、製革、染整、合成纖維、食品及染料等工業廢水中懸浮固體物均超過  $100 \text{ mg/l}$  之灌溉水質標準。

工業廢水之可能為害農作土壤已如上述，廢水處理實為防治環境污染所必需，不過廢水處理所產生之污泥仍須妥善處理，不能隨意棄置於農田，宋平淵<sup>(17)</sup>指出，屏東蔗渣紙漿廠廢水污泥有三種，其洗渣去髓污泥及工廠廢水污泥含多量有機物可用於農田，但清淨用水之消石灰渣 pH 10 以上，工廠用水污泥經脫水成污泥餅後，Mn、Cu、Zn、Cd、Ni 之含量分別為 313、22、44、5.3 及  $28 \text{ ppm}$  純絕對不可施入蔗田。亦不可混合活性污泥施入土壤，其他二種污泥之田間使用量以 Cd 為上限，根據土壤陽離子交換能量決定其總用量及使用年限，以免引起土壤污染。宋平淵氏所作田間試驗指出，紙漿廠廢水活性污泥餅用量（乾）達 30 公噸／公頃時，甘蔗產量增加，惟製糖品質降低，長期施用對土壤之影響尚待繼續研究。

李玉英<sup>(6)</sup>以中興新村污水處理廠污泥所作試驗結果指出，每公頃 80 公噸以下之使用量，可避免重金屬之毒害。

## 二、農藥及特殊元素之污染

農藥之污染土壤概可分為二方面，一是農藥本身在土壤裡的殘留，除發揮其原有的殺蟲或殺草功能外，可能對土壤微生物有抑制作用，破壞原有微生物社會的平衡及功能，難分解或轉化衍生的農藥可能被作物吸收而進入食物鏈。其次，若干特殊元素可能由農藥帶入土壤，如砷，汞等。因而累積至有害程度或進入食物鏈。

李國欽<sup>(7)</sup>指出，土壤有機質含量對農藥之吸附分解極有影響，唯其真正機構尚待深入研究。賴金水及李國欽<sup>(22)</sup>指出，農藥殘量對土壤微生物有各種不同的影響，如菌類密度之變化，氮化及硝化作用速率之改變等，一般而言，單獨一種農藥對土壤微生物相之影響均屬短暫，但多種農藥同時殘留於土壤時的作用則尚待研究。

李國欽和李運申<sup>(8)</sup>調查全省十九個鄉鎮之水稻田土壤中有機氯烴類殺蟲劑之殘留情形發現，DDT 及其代謝物 DDD 及 DDE 之含量最高，分別為  $17.1$ ， $47.9$  及  $20.3 \text{ ppb}$ ，且多聚積於 5 吋表土中，Lindane 在各地的含量中均在  $12 \text{ ppb}$  左右。以地區言，臺北五股鄉土壤所含

農藥最高。Aldrin、Diedrin、Heptachlor 及 Heptachlor epoxide 在不同土層中之分佈因地區而異，顯示此等化學品之移動與土壤性質有關。但 Lindane 則否，其移動與土壤性質無關。

李國欽和翁慷慨<sup>(12)</sup> 研究殺草劑樂滅草 (Ronstar-Oxadiazon) 在土壤中之分解速率時發現，土壤粘粒含量高可促進分解，土壤微生物與分解作用相關極微。淹水似有助於光分解。經光分解之樂滅草其毒性顯著降低。

王慶義<sup>(3)</sup> 研究有機磷殺蟲劑福瑞松 (Phorate) 在土壤中之移動性及持久性，發現淋洗可促進其向下移動，土壤質地愈粗，淋洗作用愈顯著，相對的降低其土壤中之持久性。施藥29天後，土壤中因有無淋洗分別殘留 32.1% 或 45.8%。但淋洗液中難於檢出殘藥。

李國欽及康碧華<sup>(14)</sup> 利用模擬水稻生態系統研究殺草劑殺丹 (Benthiocarb, Saturn) 在土壤中之變化與作用發現，施用 102 天後，每公頃施加 30 及 60 公斤之稻株中，分別含 0.06 及 0.127 ppm。土壤中殘量分別為 0.44 及 15.05 ppm，主由土粒吸附。當土壤中含量升高至 33.81、56.87、28.29、50.7、50.72、88.73 及 98.4 ppm 時。分別對玉米、胡瓜、目豆 1、油菜、高麗菜、燕麥及蘿蔔等裡作之生長產生 20% 之抑制作用。

葉鴻展和趙純明<sup>(22)</sup> 研究殺草劑 Diuron, Atrazine, Ametryne 及 2,4 -D 在土壤中之殘毒，經四作甘蔗後發現，作物採收後 2,4-D 及 Ametryne 在土壤中均無法測得。Diuron 與 Atrazine 雖能測得，但均在 0.5 ppm 以下，且連續三年資料顯示，亦無累積升高跡象。

李國欽和翁慷慨<sup>(15)</sup> 另以模擬水稻生態系統研究殺蟲劑加保扶 (Carbofuran) 在土壤中之變化發現，施 60 kg/ha 加保扶於旱田，14 天後土壤尚留 80 % 以上，灌水後迅速分解。淹水情況下施藥，70% 分布於水中。排水後施用，藥在土中殘留較長。稻株吸收加保扶以土壤含飽和水量時為高，排水或淹水條件下則遠較為低。

李國欽和陳朝月<sup>(15)</sup> 研究三種殺草劑 (殺丹 Saturn, 馬上除 Machete, 多谷 Tok) 對土壤中氮化與硝化反應之影響發現，當濃度較高時 ( $Saturn > 25 \mu\text{g/g}$  土,  $Tok > 100 \mu\text{g/g}$  土,  $Machete > 100 \mu\text{g/g}$  土)，土壤中  $\text{NO}_3\text{-N}$  之產生遭受抑制，抑制能力  $Machete > Saturn > Tok$ 。惟並無可偵測之  $\text{NO}_2\text{-N}$  足證抑制作用由硝化第一階段即已發生。

在植物保護與工業生產上，汞之污染亦為極受重視之元素，李國欽等<sup>(9)</sup> 調查全省十九鄉鎮水稻田土壤中發現，各地區含量差異不大，平均表土 5 吋中汞含量為 0.22 ppm，6—10 吋中含 0.15 ppm，11—15 吋中含 0.10 ppm，較 1963 年 Martin 調查英國自然土壤中含汞量 0.01~0.06 ppm 為高。蔡清棻等<sup>(29)</sup> 指出菸葉生長及收成量受土壤施汞處理之影響。植物體內汞之吸收量隨汞用量之增加而呈拋物線型增加。菸葉含汞量僅次於根部，亦隨施汞量之增加而顯著增加。其增加率因汞類而異，用谷樂生 M (Granosan M) 者大於用氯化汞者。種菸葉後之土壤殘汞量約及施汞量 (10, 20 ppm) 之一半左右。據蔡清棻等<sup>(30)</sup> 調查報告指出，全省菸草土壤 328 個樣品含汞量平均為 0.116  $\mu\text{g/g}$ 。表土含量比底土高，酸性土壤比中性或鹼性土壤為高，菸葉含汞量平均 0.203  $\mu\text{g/g}$ ，與土壤含汞量間有顯著正相關，汞之污染應屬事實，惟其程度尚屬輕微。

汞之外，砷是另一種有毒元素，可由工農業帶入環境形成污染。顏耀平和李國欽<sup>(33)</sup> 指出，正 5 塵砷在氧化環境中最安定，淹水土壤中則以正 3 塜砷居多。砷在粗質地土壤中其毒性較在細質地土壤中為大。有機砷施於土壤後，其活性因被膠體吸附而減低。粘土礦物對 DSMA (Disodium methanesulfonate) 之吸附之次序為：Limonite>Kaolinite>Vermiculite>Montmorillonite

但土壤有機質不能吸附砷。廖秋榮<sup>(27)</sup>研究指出，八種臺灣及金門的母質或土壤對砷之吸附，以安山岩質者為最大，對  $\text{AsO}_2^-$  之吸附為 40—54%、對  $\text{AsO}_4^{3-}$  之吸附為 82—93%。其次為玄武岩，吸附率 61—88%。但對  $\text{AsO}_2^-$  及  $\text{AsO}_4^{3-}$  無甚差異，金門高嶺土對  $\text{AsO}_4^{3-}$  之吸附為 43—67.6%，對  $\text{AsO}_2^-$  則幾乎不吸附。其餘砂頁岩質、粘板岩質，片岩片麻岩、紅棕壤、黃棕壤及紅黃灰化壤等對二種砷鹽皆有不同程度之吸附。土壤有機物及吸附未見顯著相關性。陽離子交換能量對  $\text{AsO}_4^{3-}$  之吸附有極顯著相關，對  $\text{AsO}_2^-$  則否。

據李國欽等<sup>(10)</sup>調查全省 130 個土壤樣品發現全部均含有砷，但各地差異極大。民國 62 年之範圍為 1.3~176.6 ppm，65 年時之範圍為 1.28~21.96 ppm。一般以下層土壤之含砷量為多。

李國欽和費斐綺<sup>(11)</sup>研究指出，土壤含砷量較高時，水稻之生長與發育都受到抑制，抑制現象因砷化物種類而異，其強弱順序為： $\text{Asozin} > \text{NaAsO}_2 > \text{Neo-asozin} > \text{Na}_2\text{HAsO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  令水稻全部死亡之土壤含砷量為 Asozin (甲基硫化砷) 100 ppm，Neo-asozin (鐵鉀砷酸銨) 及  $\text{NaAsO}_2$  為 200 ppm， $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  為 400 ppm。

水稻吸收土壤砷之分佈，以根部為最高，莖葉次之，穀粒最少，糙米中砷含量可因在土壤含砷量增加而增加，但不易超過 2 ppm，因其時土壤砷含量已足使水稻空穀率達到 100%。

有關氯在土壤、水份、植物關係中之研究，蔡清棻<sup>(31)</sup>指出，優良品質的菸葉含氯量宜在 1% 以下，則土壤含氯應在 20 ppm 以下。肥料中施氯不得超出 50 公斤/公頃，灌溉水中之含氯濃度應在 24 ppm 以下。

### 三、畜殖廢棄物之污染

畜產糞尿所引起之污染，目前在臺灣已是衆所周知的一項事實，其影響環境素質之程度已十分嚴重。據臺灣省水利局報告<sup>(4)</sup>，全省有 1346 個畜殖場（絕大部份為養豬場），每天排洩廢污水 124,436 公噸。又據蔡義雄等<sup>(32)</sup>指出，全省 6697 戶養豬場中，1394 場會引起公害，佔全部養豬戶之 20.8%。甚多之猪糞尿以農地為承受場，雖然大量之氮素可被作物回收利用，但據黃盤銘<sup>(20)</sup>指出，嘉南平原地區，75% 之觀測井地下水之硝態氮濃度超過 10 ppm，與施肥量有密切關係，若每年施氮量超過 130 kg/ha，地下水含  $\text{NO}_3^-$ -N 即有超過 10 ppm 之虞。王傳釗和方英傑<sup>(33)</sup>所作長期施用猪糞尿之蔗田土壤調查指出，土壤 pH 稍有升高，全氮增高，尤以表土為多。50 公分表土中電導度亦上升，交換性鉀，可抽取性鋅及錳均增加，底土之導水度則降低。嚴式清<sup>(40)</sup>指出猪糞尿為一高濃度之有機廢水，其生化需氧量 (BOD) 高達 1000 ppm 以上，進入土壤後，一二日內土壤氧氣即被消耗殆盡，其恢復時間視糞尿液濃度，土壤質地及深度而定，粘土地上施灌 BOD 3000 ppm 之糞尿液 100 公厘 (水深)，50 公分土層之氧氣濃度需要 18 天左右始能回升至 15% 以上。嚴式清<sup>(36)</sup>指出，畜殖廢水進入土壤後，可因有機物之不完全分解而產生有毒物質；過多的氮引起肥害，以及鹽分之累積等。黃和炎等<sup>(19)</sup>指出，引灌猪糞尿的坡地柑桔園，四年之後， $\text{NO}_3^-$ -N 逐年增高至 74.5 ppm，土壤飽和抽出液電導度 0.7~3.0 mmhos/cm，土壤導水度降低 70%。

蘇俊茂和黃啓文<sup>(35)</sup>研究水稻田對新鮮猪糞之承受量，結果顯示，施用猪糞 15 公噸/公頃 10 天後，水田變黑褐色，蚊蠅增多。稻穀產量秧稻區施 15 公噸/公頃尚可增產，梗稻區 10 公噸/公頃稍有增產，15 公噸/公頃時即呈減產，猪糞區減施化學氮肥 50 公斤/公頃，每公頃新

鮮豬糞含全氮約10公斤，5公頃／公頃處理區均略顯減產，顯示豬糞含氮之肥效較硫酸銨略差。

吳有豪<sup>(16)</sup>以豬糞尿施灌水稻田，試驗結果指出，水稻所受影響程度因生長期而異，其程度為：

孕穗、抽穗、開花期>分蘖期>成活期>成熟期（無影響）

四次施灌量超過30公頃／公頃時，稻產量即受影響。但分15次施灌時（每週一次），則49公頃／公頃仍能令水稻增產。

嚴式清等<sup>(37)</sup>對豬糞尿土壤處理之研究，結果有下列數點：(一)每公頃蔗園，每作約可承受生化需氧量4~6公頃，但一次以不超過1.5公頃為宜。(二)施多量豬糞尿可使甘蔗氮形成奢侈型吸收，超過正常含量60%以上，如後期水份管理不善，將影響甘蔗品質。(三)糞尿液全氮中約一半為銨態氮，其肥效與硫酸銨相近，施灌糞尿液可節省大量化學肥料，祇要施用量適宜，可達到養分利用與防治污染的雙重目的。(四)粗質地土壤上長期施灌糞尿液，地下水NO<sub>3</sub>-N含量有增加趨勢，不過迄今為止，除少數樣品接近20ppm外，一般均在10ppm以下。

## 結 語

臺灣地區有關土壤污染之研究概如上述，內容以工業廢水、農藥及畜產糞尿為主。或許由於資料收集未周，遺珠難免。都市廢水及垃圾，廢氣落塵之降雨等導致土壤污染之研究尚鮮有人注意及之；污染種類中，病原菌、有機溶劑、放射性物質等項目亦較少有人提及，凡此種種均有待吾人努力加強，不使土壤成為各種廢棄物的任意棄置場與為害人類食物鏈的起始站，永遠確保土地資源之持續生產力。

謝誌：本文資料承王銀波、林祖、李國欽、黃山內、黃武林、楊培森、蔡清棻、蘇俊茂等諸先生熱心提供，方得完稿，謹致深切謝忱。

## 參 考 文 獻

1. 王銀波 1977 水污染對土壤之影響 農工學報 23:3:29~31。
2. 王淵欽 1981 灌溉水之銅污染對作物生長與土壤之影響 中興大學土壤系學士論文。
3. 王慶義 1980 有機磷殺蟲劑福瑞松在土壤中移動及其持久性 中華農學會報 新110: 38~49。
4. 臺灣省水利局 1980 加強農田水利會水污泥防治監視處理計畫成果報告 P.37
5. 臺灣省水利局 1980 臺糖屏東紙漿廠廢水污染損害資料調查報告 附錄二。
6. 李玉英 1979 土壤中施用廢水污泥對土壤重金屬之影響 屏東農專農化學報 20:73 ~89。
7. 李國欽 1974 土壤有機成分對農藥在土壤中分解之影響 科學農業 22(3~4) 118 ~123
8. 李國欽、李運申 1973 數種有機氯煙類殺蟲藥劑在臺灣水稻田中之殘留量 植保會刊 15:4:163。
9. 李國欽、李運申、劉壽珠 1973 臺灣水稻田中汞之殘留量 植保會刊 15:4:170~

174。

10. 李國欽、費雯綺、顏耀平 1979 臺灣各地區水稻田土壤及水中砷含量調查 科學發展 7(8)798~809。
11. 李國欽、費雯綺 1980 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 植保會刊 22 : 101~112。
12. 李國欽、翁懷慎 1980 殺草劑樂滅草在不同土壤中分解速率之比較 雜草學會會刊 1 : 1 : 53~59。
13. 李國欽、翁懷慎 1980 殺蟲劑加保扶在水稻模擬生態系中之分佈與累積 植保會刊 22 : 337~345。
14. 李國欽、康碧華 1980 殺丹在模擬水稻生態系之分佈及其對水稻田裡作物生長之影響 植保會刊 21 : 188~193。
15. 李國欽、陳朝月 1980 殺丹、馬上除及多谷三種殺草劑對土壤中氮化及硝化反應之影響科學發展 8(10) : 913~920。
16. 吳有豪 1981 猪糞尿污染質對水稻生育及產量之影響 臺大農工系碩士論文。
17. 宋平淵 1981 蔗渣紙漿廠污泥田間處理之研究 (個人直接提供)。
18. 陳榮民、李海棠 1981 新營副產工廠廢水田間處理之研究 I、連續施灌廢水對甘蔗生育、土壤化學性質及地下水質之影響 糖研所研究彙報 91 : 1~26。
19. 黃和炎、徐三吉、李振源 1978 坡地幼齡柑桔園肥水用量及土壤污染之研究 水土保持學會報 9 : 2 : 35~51。
20. 黃盤銘 1976 動物排泄物之處理與環境素質之關係 臺糖通訊 59 : 15 : 11~16。
21. 黃益田、林文雄、廖欽佃 1980 工業廢水對水稻生長及產量之影響研究 新竹農改場研究報告。
22. 葉鴻展、趙純明 1980 蔗田殺草劑殘毒之研究 臺糖甘蔗農業評議會研究試驗報告 (68~69) 151~153。
23. 溫彩芹 1978 重金屬元素之污染對菸草生長及質量之影響 I、土壤中銅濃度對菸草之生長、植體內銅之分佈及污染程度之關係 菸試彙報 9 : 49~61。
24. 溫彩芹、陳漢津 1979 重金屬元素之污染對菸草生長及質量之影響 II、培養液中銅濃度對菸草營養吸收及菸葉質量影響之研究 菸試彙報 10 : 29~38。
25. 溫彩芹 1980 重金屬元素之污染對菸草生長及質量之影響 III、不同質地土壤菸試之銅污染及土壤中銅分佈之研究 菸試彙報 12 : 35~47。
26. 溫彩芹 1980 農業化學系五年來 (1975~1980) 研究工作之成就 菸試彙報 13 : 7~14。
27. 廖秋榮 1978 臺灣不同土壤對砷吸附之研究 屏東農專學報 19 : 60~70。
28. 賴金水、李國欽 1977 土壤中農藥殘量對微生物之影響 科學農業 25 (11~12) 347~355。
29. 蔡清棻、陳漢津、賴正寺 1975 臺灣種菸環境之污染及其影響之研究 I、菸草對土壤中施用汞的吸收及分佈 菸試彙報 3 : 59~64。

30. 蔡清棻、陳漢津、賴正寺 1977 臺灣種菸環境之污染及其影響之研究 II、菸田土壤及菸葉之含汞量分析 菸試彙報 7 : 65~72。
31. 蔡清棻 1979 臺灣黃色種菸葉攝取氯之研究 菸試彙報 10 : 39~46。
32. 蔡義雄、陳榮泰、蕭清開 1979 猪糞尿公害防治之研究 臺灣省農林廳畜牧科報告。
33. 顏耀平、李國欽 1977 自然界與農藥中砷對環境之污染及其預防 科學農業 25 (1~2) 20~25。
34. 蘇俊茂、黃啓文、蘇美華 1981 後勁溪污染水對水稻、土壤之影響及耐污性品種之選拔 高雄農改場報告。
35. 蘇俊文、黃啓文 1981 稻田施用新鮮猪糞試驗 高雄農改場報告。
36. 嚴式清 1976 猪糞尿田間處理的有關問題 臺糖通訊 59 : 15 : 17~24。
37. 嚴式清、楊秀青、陳榮民 1978~1981 猪糞尿、廢水及污泥利用之研究 臺糖甘蔗農評議會研究試驗報告 (植物營養部份)。
38. Chou, C. H., A. C. Huang, and Y. T. Huang 1981 Impacts of water pollution on crop growth in Taiwan V. The detrimental effect of industrial waste waters from dye, livestock, plating, leather, syntheticfiber, food, and fertilizer factories in Taiwan Bol. Bull Academia Sinica 22:9~33.
39. Wang, C. C. and I. J. Fang 1978 The effect of the long-term application of hog wastes on the soil properties of TSC's sugarcane fields. Taiwan Sugar 25 (6):196~203.
40. Yen, S. C. 1979 Soil treatment of swine wastes TSRI Annual Rep. 1977~78:37~38.

註：本文摘自臺灣省土壤肥料學會卅週年紀念特刊