

豬糞尿農地消納之研究*

Study on the Pollution Abatement and Nutrient Recovery in Land Application of Swine Wastes

臺灣糖業研究所研究員

嚴 式 清

S. C. Yen

摘 要

豬糞尿農地消納為一項兼具歷史傳統與現代科技的廢棄物處理及再利用方法。農地對生化需氧量、植物養分及鹽分的負荷率經由滲漏計及田間試驗來加以探索，所得結果摘要如下：

1. 蔗田承受豬糞尿一次施灌之生化需氧量最高負荷在粗、中、細三種不同質地土壤上分別為 2.3、1.6 及 0.8 公噸/公頃。
2. 養分負荷率以氮為計算基礎，一作生長十五個月的甘蔗可以承受 400~450 公斤/公頃的糞尿液銨態氮來代替化學氮肥 (80%)，換言之，每公頃約可消納 44 至 50 頭豬隻之糞尿量。
3. 豬糞尿灌溉 5 至 10 次後，土壤中鹽分可能累積至影響作物正常生長的程度。土壤鹽化速度之快慢決定於其排水條件。
4. 長期消納豬糞尿之農田，必須有一監測系統。每年至少測定一次土壤鹽分及地下水硝態氮含量，以確保廢棄物處理計畫之安全成功。

Summary

Land application of swine wastes is a method for waste disposal and reuse with historical sense and modern technology. The loading rates of BOD, nutrients and total salts of the swine waste slurry were determined by lysimeter and field experiments. The results obtained are summarized as follows:

1. The maxima of BOD loading rates for each application of swine waste slurry in sugarcane field of coarse, medium and fine-textured soils were found to be 2.3, 1.6 and 0.8 ton/ha, respectively.
2. Nutrient loading rate, in terms of $\text{NH}_4\text{-N}$ content in swine waste slurry, for one crop of sugarcane was in the range of 400 to 450 kg/ha. The amount approximately equal to the total excretion of 44 to 50 hogs in 15 months.
3. Salt may be accumulated to a detrimental extent in the soil after 5 to 10 applications of swine waste slurry depending on the drainage conditions of the land.
4. A monitoring system is needed for a long-term land application of swine wastes. Salt content of soil and $\text{NO}_3\text{-N}$ content of ground water should be determined each year to guarantee a successful waste disposal project.

* 七十五年五月卅日曾於「養豬場廢污處理及再利用研討會」宣讀。

一、緒 言

自古以來，動物排泄物為傳統農業生產條件中的一項要素。土地總是各種廢棄物的最後歸宿。人類習焉不察，從未有過困擾或疑問。直到近代經濟發展產生企業觀念，畜殖生產才由過去的開放式、家庭副業式演進為大規模集中飼養的企業化經營。據臺灣省農林廳報告（1985），民國59年全省有養豬場 583,119戶，平均每場飼養 5 頭，至69年養豬場減為 175,178戶，平均每場飼養28頭，至民國74年，養豬場復減為83,709戶，平均每場飼養80頭。其集中擴大飼養之趨勢十分明顯。

土壤有機物為植物主要養分氮之倉庫，維持土壤有機物之適當含量，為確保土壤肥力之重要措施。臺灣地區高溫多雨，土壤有機物分解快速。台糖公司有鑑於斯，於民國四十年代開始在自營農場進行養豬，以謀維繫連作蔗田之持續生產力。嗣後畜殖經營企業化，規模逐漸擴大，並以年產三萬頭型為經濟生產單位。集中飼養結果，大量豬糞尿長期施用於有限面積蔗田，形成對土壤同化能量（Assimilative capacity）之超量負荷，發生土壤鹽化，透水性能降低，甘蔗成熟延遲，糖分降低，甚至逕流污染環境等不良後果（Wang and Fang, 1978, Yen 1978）。由於豬糞尿工業處理投資鉅大，台糖自營農場面積廣大，土壤具有物理、化學及生物之整合性處理功能，以台糖立場而言，農地消納實為可行性較高之處理途徑。關鍵在於必須了解不同土壤對豬糞尿之同化功能，方能適時適量施灌豬糞尿於蔗田，以達到防治污染與養分回收的雙重目的。

利用農林土地處置廢水，國外已行之有年，早在十九世紀中頁，歐洲即有所謂「污水農場」（Sewage farm），以灌溉方法處置都市廢水，由英、法、德、波等諸國採用。十九世紀末期（1888~1890）美、澳、墨諸國亦紛加引用，所用方法有慢灌法（slow rate）、快滲法（rapid infiltration）及過田流法（over land flow）等多種。端視土壤入滲率及農地坡度而定（USEPA 1977）。

自從企業化畜殖生產發達以來，禽畜排泄物之大量集中生產所形成之處理問題的研究頗多，其中以水分含量較多之豬糞尿問題最為困難。以臺灣省為例，民間養豬場由於豬糞尿處置不當所引起之環

境污染十餘年前即已十分嚴重，公害糾紛迭起，據蔡義雄等（1979）指出，全省較大型（五百頭以上）養豬場20%以上曾發生公害。其餘畜殖場之排泄物大多以自然水體或附近農田為承受場所，利用水體之自淨作用和土壤之同化功能，不過由於缺乏適當規劃，極易引起水體之優養（Eutrophication）及土壤劣化或作物肥害。只是上述現象有時間累積、土地、作物、季節、氣候等複雜因素交互影響，為害程度難以肯定。同時經濟有效的處理方法尚待建立，一時難以有所改善。

企業化禽畜場都在郊區，國外對於動物排泄物之處理，在土地獲得的許可條件下，利用農地處理亦列為優先選擇的方法，不過必要之儲存調節及前處理設備均不可少（Loehr 1974）。對於液體或半液體性之動物糞尿液，利用田面撒灑，底土噴施等方法以減少臭氣及蠅蚊孳生，同時對於土壤需氧量、養分移動以及可能產生地下水污染等皆甚重視（Barllett and Marriot 1971, Taiganides et al. 1971, Ariall et al. 1971, Koelliker et al. 1971, Goodrich and Monte 1971, Ayers and Bromson 1973）。不過，臺灣地區利用農地消納豬糞尿與國外比較下，環境條件有所不同：第一、氣溫高，土地全年均可接受糞尿液，儲留設備容量較小，國外有儲存五個月以上者（Norum 1975）；第二、高溫多濕，有機物分解快，養分利用容易；第三、雨量大而集中，容易引起土壤湛水、逕流或淋洗污染環境；第四、土地面積有限，長期接受廢棄物之累積效果較快；第五、土地複作指數高，作物吸收養分量高，蒸發散量大，處理廢水量（Hydraulic loading）亦較多。本報告係針對上述條件研究豬糞尿在農田施灌作業中對污染防治與養分回收兩者有關的函數加以探討，以期獲得廢棄物、土地、作物與環境四者之間的調適與互利。

二、理論探討

在豬糞尿、土壤、作物三者關係中，豬糞尿的性質與用量自然最具決定性的影響。豬糞尿之產量與性質受到(1)豬隻大小，(2)性別，(3)品種，(4)活動度，(5)飼料配方，(6)環室溫度與濕度，(7)添加物（抗生素及其他藥物），(8)飼養方法，(9)清洗水量等諸多因素之影響。其中以清洗水量之變動幅度最大。在以農田為處理場時，尚包括豬舍到田間運輸過程中的變化。因此，豬糞尿之性質不易把握。表一

所示 (Taiganides and Hazen 1966, 嚴式清 1986) 為一般豬隻排泄物之平均值, 僅可供作參考。農地消納之豬糞尿性質應以進入田間前之採樣最為可靠。施灌量則以量水槽或罐車容量來測定。如此可以避免上述諸多因素之困擾。由表一觀之, 可知豬糞尿是一種富有植物養分的高濃度有機廢水, 其對土壤及作物之影響決定於其三種主要成份性質, 即生化需氧量、養分及鹽分。茲分論如下:

第一、生化需氧量 (BOD) : 動物排泄物為已經消化之飼料, 其中含有多量之易分解有機物, 進入土壤後必由好氣性微生物快速分解利用, 促進微生物之大量繁殖, 在此過程中, 需要氧氣 (溶解的或分子的) 之充份供應, 短時間內土壤孔隙中所存氧氣必被快速消耗。如土壤因質地細、密度大或含水量多而致氧氣擴散率 (ODR) 低, 氧濃度必急遽降低而影響作物根系生長及功能 (楊策羣、林正鏘 1975)。嫌氣狀態過久, 可使嫌氣性微生物繁殖, 對有機物作嫌氣性分解, 產生還原性中間物質如疊氮酸 [(CNOH)₃]、桂皮酸 (C₆H₅CHCO OH) 等有機酸、以及乙烯、硫醇類、硫化氫、亞硝酸等, 部份對微生物及植物根系有毒害作用。

第二、植物養分: 在豬糞尿所含各種主要及次要養分中, 氮素不但在廢水處理中較難去除, 在土壤中之活動變化亦最大。土壤中之變化運移可以下列收支方程式表示:

$$Ni = I + A + S + U + V + D + R + L \quad \dots(1)$$

其中

- Ni: 由豬糞尿加入土壤之氮源
- I: 由土壤微生物利用成為生物固定部份 (Immobilization)
- A: 由土壤膠體吸附 (Adsorption)
- S: 經礦化 (mineralization) 為水溶性之硝酸離子 (soluble nitrate), 存在於土壤水分中
- U: 植物吸收 (Uptake)
- V: 以氫態氮揮發損失於大氣中 (Volatilization)
- D: 由脫氮作用 (Denitrification) 損失於大氣中
- R: 隨逕流 (Runoff) 沖刷損失
- L: 由淋洗 (Leaching) 離開根域土壤

表一 1000公斤豬體重每天所產糞尿量及田間糞尿灌溉液平均成分濃度

糞尿量	77 公斤
揮發性固體 (VS)	7.5 "
生化需氧量 (BOD ₅)	3.0 "
化學需氧量 (COD)	7.0 "
新鮮糞尿 BOD	35000 ppm
新鮮糞尿含氮量 (全氮)	0.7~0.8 %
氮 (全氮)	0.4~0.7公斤
磷 (P ₂ O ₅)	0.3 "
鉀 (K ₂ O)	0.3~0.6 "
鈣	3.0 公分
鎂	0.43 "
硫	0.78 "
鐵	0.51 "
鋅	0.033 "
硼	0.027 "
銅	0.0085 "
豬糞尿灌溉液:	
全氮	372±207毫克/公升
銨態氮	240±144 "
生化需氧量	1388±853 "
磷 (P ₂ O ₅)	190±105 "
鉀 (K ₂ O)	191±117 "
導電度	680~6180 micromhos/cm
pH	6.7~8.0

其中 I、A、S 為留存於土壤部份, U 為植物吸收利用部份, V、D、R 及 L 為離開土壤部份。留存土壤部份主要為 I, 土壤中 92~97% 之氮存在於有機物中, 具有安定儲存效果, 可由化學分析加以測定。然而外加之氮量 (設一次為 100 公斤/公頃) 對於土壤耕犁層之全部氮量而言, 所佔比例甚小, 以臺灣土壤有機質含量不高為例, 仍有氮 3000~5000 公斤/公頃, 因此如欲測定全氮以了解短時間 (一、二年) 內土壤氮量之變化, 並不容易。至於土壤膠體吸附 (A) 及水溶性氮 (S) 為量甚小, 在一定土壤及氣候條件下變化不大, 可在氮收支計算中暫予忽略。至於離開土壤部份, 僅有植物吸收部份 (U) 為有利的回收, 其餘揮發 (V)、脫氮 (D)、逕流 (R) 及淋洗 (L) 均屬損失, 在糞尿液施灌管理中應設法儘量予以降低。

揮發損失主要發生於施灌於農田之後的短時間內 (5~10 天), 損失率約 4~5% (嚴式清 1984)。脫氮作用則為一長時間現象, 在特定的土壤、施肥量、氣候與耕作條件下亦有一相當的範圍, 一般報告在 30~60% 之間 (Rolston 1978, Emlerton

and Jones 1978)，並無特殊的管理方法可加改善。逕流(R)及淋洗(L)損失則變化較大。由污染防治觀點言，即使不能完全避免，亦應設法儘量降低。

在土壤系統中，事實上氮素之礦化作用和生物固定無時不在進行，植物吸收則以礦化後之硝態氮為主。因此所謂氮素之肥效決定於作物之需要強度以及有機氮礦化之速率。含氮有機物之礦化速率決定於其分子之大小及其碳氮比(C/N ratio)以及礦化的環境(土壤之溫度、水分、氧氣供應)。因此，土壤氮素的主要動向決定於作物吸收和土壤性質。

作物的氮肥推薦量大多根據田間試驗，經較長時間與重複的處理設計，可把環境因素固定化，而使作物生育與產量直接反應肥料的用量，在合理的施肥量範圍內，土壤氮素動態也可接近平衡狀態而不致發生過高的淋洗與逕流等環境污染問題。

豬糞尿中除氮之外，尚有相當量之磷、鉀植物主要養分以及鈣、鎂、硫、鐵等次要養分。雖然各種養分元素在土壤中各有不同的活動機制，但大多均不如氮之活動性大。如磷之溶解度甚低，大部以鐵、鋁磷酸鹽(低 pH)及鈣、鎂磷酸鹽(高 pH)呈沉澱狀態。鉀之水溶性則較高，但亦能與土壤鉀(交換性及非交換性)形成平衡而降低其活動性。故如以氮素為決定豬糞尿處理時之養分負荷(Nutrient loading)，就不致對作物產生太多營養失衡問題。至於其他微量元素，比較受注意者為銅和硼，因其對微生物有毒害作用。不過銅在土壤中98%以上與有機物形成複合體(Organo-metal complex)(Hodgson et al. 1966)，溶解度不高。至於硼，在土壤中主由鐵、鋁含水氧化物吸附。土壤溶液中以弱酸 H_3BO_3 形態存在，濃度低時為一元子 $B(OH)_4^-$ ，濃度高時為聚合體(Ellis and Knezh 1972)。由於硼之營養濃度與毒害濃度範圍很窄，在長期施灌豬糞尿農田，土壤硼與銅的累積均應加以監測。不過由豬糞尿硼和銅含量與總鹽分含量(導電度)關係，監測土壤鹽分累積將有助於對銅和硼累積之了解。

第三、鹽分：鹽分原為畜殖營養的一部份，排泄物中含有相當量之水溶性無機鹽分，長期施灌之農田，如排水不良，容易發生鹽分累積，影響作用生產。根據美國鹽土研究所(US Salinity Laboratory)之土壤鹽化方程式，鹽化速率可由施灌

量、水質及土壤性質等因素計算出來(Richards 1954)。方程式為：

$$\Delta EC = \frac{EC_w \cdot D_w \cdot d_w \cdot 100}{D_s \cdot d_s \cdot SP} \dots\dots\dots(2)$$

式中

ΔEC ：為經含鹽水分灌溉後土壤增加之飽和抽出液導電度 (mmhos/cm)

EC_w ：灌溉水之導電度 (mmhos/cm)

D_w ：灌溉水之量 (深度cm)

d_w ：灌溉水之密度 (g/cm³)

D_s ：被灌土壤深度 (cm)

d_s ：被灌土壤總體密度 (g/cm³)

SP ：被灌土壤之水分飽和百分率 (Saturation Percentage)

假設一次灌溉之糞尿液水深 10 cm、糞尿液導電度為 2.75 mmhos/cm，灌溉土壤有效深度 50 cm，土壤總體密度 1.3 g/cm³，水分飽和百分率為60(中質地)，糞尿液密度 1.1 g/cm³。則每次可增加土壤飽和抽出液導電度 0.77 mmhos/cm。據鹽土研究所鹽分地(salt-affected soils)分類規定，土壤飽和抽出液導電度 4 mmhos/cm 以上即為鹽土(saline soil)，對敏感作物可能產生鹽害，甘蔗而言，可影響10%以上之產量(嚴式清1968)。因此，如果土壤沒有淋洗現象，沉澱及作物吸收的鹽分量小略而不計，則加上土壤原含鹽分，五次灌溉即可將土壤鹽化。以上為以中質地土壤條件為計算基礎。細質地土壤水分飽和百分率高，鹽化時間可延長。反之，粗質地土壤鹽化時間則較短。不過，粗質地土壤透水性能好，淋洗快速，鹽分不易累積，主要決定於土壤外部排水(External drainage)條件是否良好。臺灣一般平原沖積土因地勢低平，甚至低窪，排水不良者非常普遍，必須予以注意。內部排水(Internal drainage)良好的粗質地土壤，淋洗固有利於排除鹽分累積，然而淋洗過劇，容易導致氮素(NO₃)進入地下水，增加環境污染之機會。硝態氮經淋洗離開根域進入地下水系統，如其濃度超過 10 mg/l，作為飲用水時可能引發六個月內幼兒藍嬰症(Methemoglobinemia)。有關硝酸離子由重力水帶入深層土壤之研究為土壤氮收支之一環，Walter 等(1975)利用程式模擬研究時指出，由於田間植物吸收及土壤水分運動(蒸發)等因素難以把握，應用受到限制。同時 Tyler 及 Thomas (1977)指

出，硝酸離子亦可能於降雨或灌溉時由土壤裂縫進入底土，以致利用混合置換 (Miscible displacement) 理論預測法並不準確。農地消納豬糞尿，在雨量集中灌溉水充裕的臺灣地區，特別是砂礫地上，硝態氮經淋洗進入地下水事實上難予避免。如由土壤收支來預測，由於所涉因素多，難冀準確，不如利用地下水觀測井定時實測來得簡便可靠。這也是農地處理畜殖廢棄物所不可或缺的監測設備 (Monitoring system)，且是一項長期性的工作。

三、試驗研究與結果討論

試驗一：豬糞尿灌溉對盆栽甘蔗土壤氧濃度及氮素吸收之影響。

材料及方法：

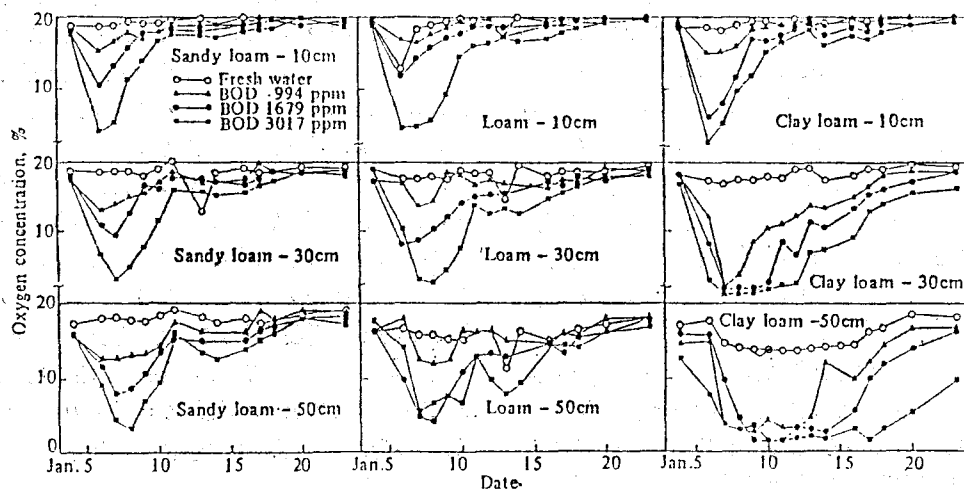
利用直徑 90 公分、高 150 公分水泥滲漏計 36 個，分填粗 (SL)、中 (L)、細 (CL) 三種質地土壤，種植 F 160 甘蔗雙芽苗兩支，於蔗齡 3、4、6、9 月時以三種濃度糞尿液灌溉 (清水為對照)。每次灌溉後利用氧濃度測定儀 (Beckman model 715 process oxygen monitor) 測定 (楊策羣、林正鏘 1975) 土壤氧濃度變化，以了解糞尿液之生化需氧量對土壤氧濃度之影響。甘蔗收穫後分析植體含氮量以了解其吸收情形。

結果討論：

圖一顯示，豬糞尿灌溉後，土壤因承受糞尿液生化需氧量多少而呈不同程度之缺氧現象。生化需

氧重負荷愈大者，土壤氧濃度愈低，每公頃承受 1.0、1.7 及 3.0 公噸 BOD 之土壤氧濃度分別降低至 14%、8% 及 4%。同時降低幅度亦受土層深度及土壤質地之影響。土層愈深、質地愈細、降低幅度愈大。其次，在此高濃度有機廢水灌溉後，土壤因水分向下運動，土面氧氣逐漸恢復擴散進入土壤，其所需時間之長短對作物生長有決定性之影響。圖中顯示，土壤質地愈細，土層愈深，BOD 負荷愈多者所需時間愈長。以甘蔗而言，Sheu 和 Yang (1980) 之研究指出，當土壤氧濃度低於 15% 時，甘蔗根系之生長及功能即受影響。以此標準來衡量圖一之土壤氧濃度變化，如以 30 公分土層為主要根域，則高 BOD 負荷下，細質地土壤缺氧時間長達 10 天以上。對於作物生長之不利影響顯而易見。如此種情形發生在排水不良地，水分消失慢，缺氧時間延長，對於缺氧敏感的作物 (如木瓜) 及生長期 (幼年) 其為害程度勢必更為嚴重。此為有機廢水作農田處理時，生化需氧量負荷所產生之立即效應，必須特別注意。根據圖一，如假設甘蔗缺氧 (<15%) 忍耐度為 5 天，則粗、中、細三種質地土壤每次灌溉之生化需氧量負荷分別不得超過 2.3、1.6 及 0.8 公噸/公頃。

表二所示為豬糞尿灌溉後之甘蔗產量及植體含氮量，由於盆栽環境提供較大之生長空間及陽光，其產量自比田間為高，故養分吸收態勢比產量更具意義。以表中最右一項每公噸甘蔗含氮量來討論，由過去之研究指出，生長正常之甘蔗，每公噸需氮素約一公斤 (Stanford 1964)。表二顯示，處理



圖一 不同質地土壤灌溉三種濃度之豬糞尿液 100 公厘後土壤氧濃度之變化

C、D之甘蔗含氮量與此接近，對照(A)則稍現不足，產量顯受影響。處理B則異於常態，含氮量高出正常60%以上。此種奢侈型消耗(Luxurious consumption)表示過多的氮素供應，可產生多種不利的後果：第一、如在田間，容易引起倒伏；第二、植體生長(Vegetative growth)期長，延遲成熟糖分儲積緩慢，降低甘蔗含糖率；第三、

蔗汁含氮過高，影響製糖，蔗渣含氮過高，影響紙漿製造。總之，過多氮素供應，對承受作物之產量及品質均可能有不利之影響。因此，適當的施用量必須參考作物的肥料需要量並設法計算糞尿液中氮素之有效度或肥料當量(Fertilizer equivalent)以作為廢棄物處理中養分負荷(Nutrient loading)之依據。

表二 豬糞尿灌溉盆栽試驗甘蔗產量及氮素消耗率

處理代號	施肥灌溉處理 豬糞尿灌四次 每次100公厘	施 氮 量 kg/ha		蔗產量 * ton/ha	可製糖率 %	總 吸 收 氮 量 kg/ha	每公噸甘 蔗耗氮量 kg
		(NH ₄) ₂ SO ₄	豬糞尿				
A	基肥+追肥+清水	200	—	233.2	11.71	211.1	0.906
B	基肥+豬舍流出液	100	1359	478.5	10.07	775.4	1.621
C	基肥+稀釋二倍流出液	100	682	381.6	11.53	411.9	1.080
D	基肥+稀釋四倍流出液	100	512	351.0	10.48	352.2	1.014

* 三種土壤(SL, L, CL)及三重複之平均值。

試驗二：豬糞尿肥效盆栽試驗

利用試驗一之宿根甘蔗，繼續豬糞尿氮素與化學氮素之肥效比較，以不同施肥(施灌)時間及用量為主要處理，結果如表三，甘蔗產量顯示，如以氮量來計算豬糞尿之肥料值(Fertilizer value)，當產量在對照(化肥)之70%以上時，糞尿全氮之肥料(硫銨)值為30~50%，銨氮為40~65%。當施肥(糞尿)量減少，產量僅為對照之40~60%時，糞尿氮之肥料值，除一處理外，其餘均升高至

50~70%。換言之，養分負荷愈高，則其肥料值愈低。至於其肥效與產量之相關性，除了用量之外，更與施灌時期及氮素型態有關。表四為將不同施灌期之氮素型態與產量作統計分析，結果顯示，早期施灌之銨態氮與產量之相關最佳，符合甘蔗養分吸收模型(Uptake pattern)(Stanford及Ayers 1964)及氮素有效度(Availability)之理論。不過，盆栽試驗作物生長條件較佳已如前述，在田間，豬糞尿中氮素之肥料值能否一如盆栽試驗所示，需尚試驗證明。

表三 豬糞尿不同施灌時間及施灌量對甘蔗產量及氮素肥效之影響

時 間	處 理 代 號	總 施 氮 量 kg/ha		施灌時間 蔗 齡 月	每 次 施 灌 氮 量 分 配 %	蔗 產 量		豬 糞 尿 氮 素 值	
		硫銨	豬 糞 尿			t/ha	指 數	全 氮	銨態氮
早 止 肥	A(CK)	400		2,5	50,50	261	100		
	B		838(628)*	4,5,6,7	21,20,27,32	269	103	0.49	0.66
	C		467(337)	"	20,19,28,33	154	59	0.50	0.70
	D		238(161)	"	19,21,29,31	88	34	0.57	0.84
中 止 肥	A(CK)	400		2,5	50,50	266	100		
	B		775(574)	4,6,7,9	22,30,35,13	224	84	0.43	0.59
	C		434(317)	"	22,30,35,13	148	56	0.51	0.71
	D		215(147)	"	21,32,34,13	101	38	0.70	1.03
晚 止 肥	A(CK)	400		2,5	50,50	258	100		
	B		982(758)	4,6,8,11	18,23,16,43	190	74	0.30	0.39
	C		552(400)	"	17,23,17,43	109	42	0.30	0.42
	D		288(194)	"	16,24,16,44	109	42	0.58	0.86

* 括弧內為銨態氮量

表四 不同施肥期、氮素型態與甘蔗產量相關性之統計分析

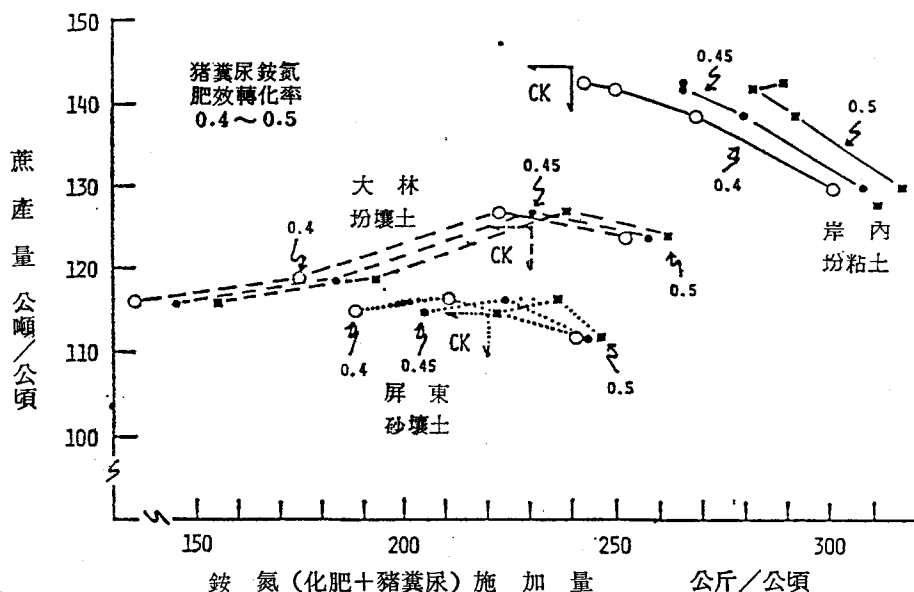
相關性順序	施氮期與氮素型態	甘蔗產量與施氮之相關	顯著性
1	六月底前銨氮	0.9749	***
2	五月底前銨氮	0.9491	***
3	五月底前全氮	0.9433	***
4	八月底前銨氮	0.9240	***
5	六月底前全銨	0.9073	***
6	七月底前銨氮	0.9003	***
7	九月底前銨氮	0.8639	***
8	全期銨氮	0.7755	**
9	七月底前全氮	0.7675	**
10	八月底前全氮	0.7258	*
11	九月底前全氮	0.6958	*
12	全期全氮	0.5537	N. S.

試驗三：豬糞尿肥效田間試驗

田間試驗以統一設計分別於屏東砂壤土（東海豐農場），大林坵質壤土（大埔美農場）及岸內坵質粘土（新庄農場）三地同時進行。面積五公頃，以農場溝灌法施灌豬糞尿，利用抽水機或水槽計量，處理分：(1)一次灌溉取代 $\frac{1}{4}$ 化學氮肥；(2)二次灌溉取代 $\frac{1}{2}$ 化學氮肥；(3)三次灌溉取代 $\frac{3}{4}$ 化學氮肥；(4)四次灌溉全部不施化學肥料；以及(5)清水灌溉全量氮肥為對照（CK）。甘蔗種植採收悉依現場習慣機械耕作方式進行。化學氮肥用量則根據土壤別

及生產潛力推薦量分別為砂壤土 220kg/ha，坵質壤土 230 kg/ha，坵質粘土 240 kg/ha。由於每次施灌之豬糞尿液濃度有異以及表土狀況變化需水量不同，以致一次灌溉之糞尿液含氮量不能與 $\frac{1}{4}$ 氮肥量對應，形成過或不及之實際施用量，最後反應於甘蔗生產量。由於灌溉試驗區面積大，無法重複，以致在屏東區發現一處理中大片石礫斑而產量特低時（不及平均之半，生長期即已明顯）只能捨棄此一處理之資料而僅剩三處理。此為田間試驗之缺點。

三試驗區之甘蔗產量與施氮量關係統計如圖二，各區之最高產量與對照區十分接近，處理間施氮量變幅大時甘蔗產量變化亦大。施氮量以銨態氮折算肥料氮值時，三區均在40~50%之間。肥料值大小似與土壤別有關，砂壤土與坵質壤土約45%，坵質粘土約為40%，與上述盆栽試驗比較略小。應與田間養分分佈均勻度低有關。細質地土壤上之肥料值較低，可能與揮發脫氮率高及土壤本身供氮率高有關。圖二同時指出，適當的養分負荷十分重要。過多或過少均影響產量。尤其粘性土地（岸內）最為明顯。因粘土地本身肥力高，過多豬糞尿灌溉不但產生土壤缺氧問題，且易因倒伏而生鼠害（試驗後期第二年九月後極難進出試區）。故質地細密之土壤，不宜於接受過多之有機廢水。然而其水力負荷比粗質地土壤為高。如在休閒地行之，則可減輕為害之程度。



圖二 豬糞尿灌溉替代化學氮肥試驗甘蔗量與銨態氮用量之關係

由田間試驗結果顯示，無論土壤質地粗細，豬糞尿液中銨態氮之肥料值可以0.4至0.45計算。再由作物需氮量及施肥時間即可以下列方程式算出一定時間內（年或作物生長期）單位農地上之養分負荷或可替代的化學肥料量。

$$S = V \cdot A \cdot F / 1000 \dots\dots\dots(3)$$

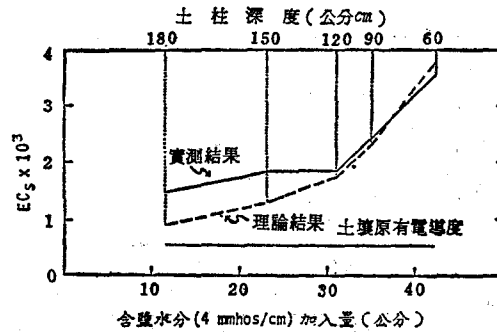
式中

- S：豬糞尿可取代之化學氮肥量 (N kg/ha)
- V：每年作物止肥期（甘蔗為六月）前施灌之豬糞尿量（公噸／公頃）
- A：糞液灌溉液銨態氮含量（毫克／公升）
- F：糞液中銨態氮之肥料值
粗中質及中質地土壤→0.45
細質地土壤→0.4

如果甘蔗種植前（宿根發芽前）未能先行施灌一次豬糞尿，則應以化學肥料作基肥，然後在幼蔗生長二月後即可以豬糞尿作追肥。發芽至蔗齡二月內不宜施灌糞尿液，因生化需氧量及銨氮濃度可能傷及蔗芽及幼蔗。因此，以糞尿液替代化學氮肥，最高量可以肥料推薦量之80%來算。如一作甘蔗氮肥中之180公斤由糞尿液供應，約需銨態氮400~450公斤。以每頭豬平均每天排泄銨態氮20克，一作甘蔗15個月計算，則每公頃可容納44~50頭豬之糞尿水。不過田間施灌作業受到作物種植別、生長期及氣候等因素影響，實際負荷將較此為低。以長期穩定狀態（Long-term steady state）為基礎，每公頃以承受25~35頭（約可替代50%化肥）之豬糞尿較為安全可行。

試驗四：土壤鹽化試驗

含鹽水鹽化土壤之試驗係筆者（1970）早年所完成者，現引用其資料討論如下：試驗用水質導電度4 mmhos/cm，土壤質地粉質壤土，總體密度1.37 g/cm³。以不同水量加入不同長度之土柱中，待蒸發至一定時間（四月）後，測定土壤飽和抽出液導電度。所加水量與土壤鹽化結果關係如圖三，並以公式(2)計算結果與之比較。在土層較深時稍有誤差，可能導源於土柱填土不勻。120公分以內時實測值與計算值十分接近。證明該公式之可靠性，用之預測豬糞液灌溉土壤鹽分累積之趨勢，在排水不良地上應有相當實用性。



圖三 含鹽水分灌溉與土壤鹽化之關係

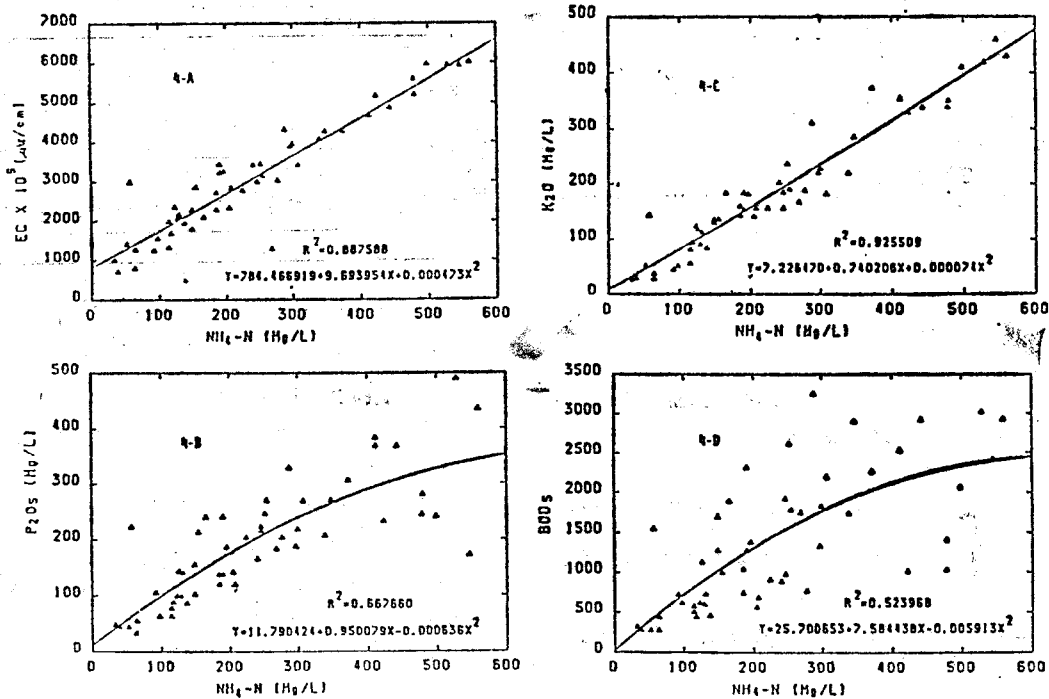
田間調查觀測一：豬糞液灌溉液採樣分析

為了瞭解豬糞液灌溉液進入農田前之確實性質，在臺糖公司各廠23畜殖場所施灌之44自營農場中，選擇代表性農場26個，於實際施灌作業中分別上下午各採混合樣品一個，共52樣品作分析統計。分析項目包括導電度、pH、生化需氧量、全氮、銨態氮、全磷及全鉀。並以銨態氮與其他項目作相關統計（圖四），以瞭解在以銨態氮為肥料值計算基礎時，豬糞尿中其他成份對農地所生之影響。並可於實際施灌作業中簡化樣品分析項目。

圖四A指出，灌溉液導電度與銨態氮相關甚佳（R²=0.8876），由銨態氮之施入量可以估算土壤之鹽分負荷以及可能的累積速率。

圖四B、C指出，銨態氮與磷鉀之濃度相關亦相當好（R²分別為0.6677及0.9255）。May and Martin (1966)曾指出，豬糞尿中之磷鉀大多為水溶性，有效度高。由圖四資料估計，豬糞液施灌於農田時銨氮（NH₄-N）與磷（P）鉀（K）之比例約為1：0.35：0.66，故除氮素外，磷鉀肥料亦可因糞液灌溉而大幅減施。磷鉀進入土壤後因活動性較小，不虞損失。但須配合作物生長施加於早期以發揮肥效。

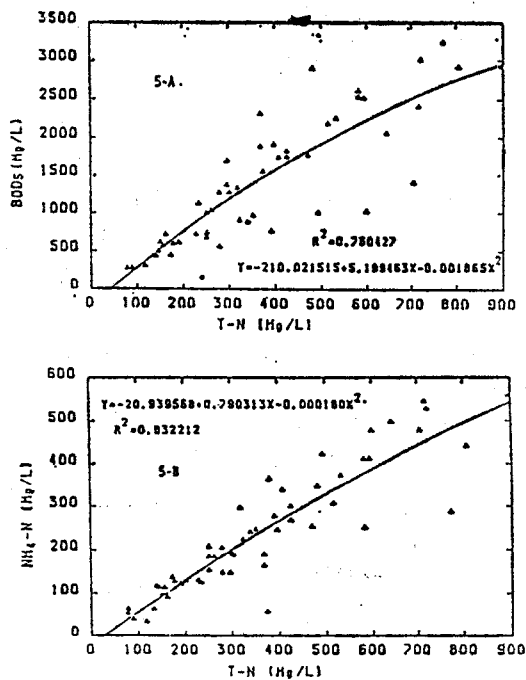
圖四D顯示，銨態氮與生化需氧量之相關性較低（R²=0.5239），緣由部份銨態氮為已分解有機物之產物，與生化需氧量無關。故以全氮與生化需氧量作相關圖時（圖五A）相關性即提高（R²=0.7604）。全氮與銨態氮之關係（圖五B）則佳（R²=0.8322）。銨態氮約佔豬糞尿全氮之70%左右，換言之，如以銨態氮為肥料值之計算基礎，尚有30%左右之有機態氮（硝態氮含量極少）可用作增加土壤有機物含量，對土壤理化性改善與肥力之培養自有助益。此為單獨連續使用化學肥料所不及者。



圖四 豬糞尿灌溉液中銨態氮含量與導電度、磷、鉀及生化需氧量之關係

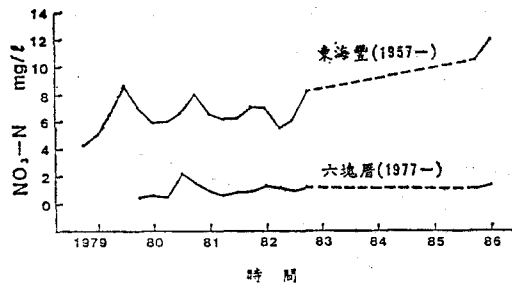
田間調查觀測二：豬糞尿施灌農田地下水硝態氮含量調查

由以上之研究結果指出，豬糞尿農田消納以粗質地之旱作土壤為宜，可以避免根域缺氧及鹽分累積問題。但氮素之易於淋洗損失為其缺點。為瞭解此一現象，先後於屏東東海豐及六塊厝兩礫質砂壤土農場進行地下水硝態氮含量調查。每農場選擇代表性田丘一塊（東海豐1號地、六塊厝21號地），面積約10公頃，平均豬糞尿負荷東海豐40頭/公頃，六塊厝52頭/公頃。於田間四周埋設地下水觀測井八個，深度分別為25公尺及15公尺（六塊厝地下水水位較高）。每三月採集水樣一次，每井分3至5層採樣，以觀測其硝態氮濃度變化，結果如圖六。圖中指出，東海豐農場地下水之硝態氮含量顯然比六塊厝為高，究其原因可能有二：第一、東海豐畜殖場成立於民國四十六年，農場施灌豬糞尿比六塊厝早二十年，氮素淋洗損失較多；第二、東海豐農場土壤礫石較多、滲漏容易。目前該場已將糞尿液輸送一半至鄰近之西海豐農場，養分負荷減輕，淋洗損失當可減少。地下水含硝態氮之濃度，以深度而言，上下亦有差異，有時有一定趨勢，有時則顯得很混亂。以最近一次觀測紀錄為例（75.3.14.）



圖五 豬糞尿灌溉液中全氮含量與生化需氧量及銨態氮之關係

，東海豐由上往下漸增，21、22、23、24、26.5公尺之硝態氮含量分別為11.0、11.8、12.1、12.2及12.5 mg/l。六塊厝則由上往下漸降，4、6、8、10及13公尺之硝態氮含量分別為 2.48、2.08、0.85、0.60及0.31 mg/l。顯示一種濃度擴散現象。以時間而論，變化性更大，可能隨時受到糞尿液灌溉及清水灌溉或降雨的影響，前後二次間變幅可能超過50%，故必須長期觀測方可看出趨勢。



圖六 東海豐農場，六塊厝農場地下水硝態氮含量

四、結論與建議

豬糞尿農地消納在有足夠的土地面積時是個可以同時達到污染防治與養分回收的可行方法，誠為一個既具歷史性又具現代意義的廢棄物處理與再利用的良好途徑。本研究由生化需氧量負荷、養分負荷及鹽分負荷三方面探討，獲得如下幾點結論：第一、生化需氧量為糞尿液進入農田土壤後立即發生效應之一種負荷，以甘蔗為生長作物時，一次施灌量在粗質地土壤不宜超過2.3公噸BOD/公頃，中、細質地土壤之上限分別為1.6及0.8公噸BOD/公頃。第二、養分負荷以氮為主要考慮因素，在一年或一作生長期內，氮素之負荷與作物需氮量及土壤氮素收支有密切關係，在長期穩定狀態下，氮素負荷可根據作物肥料推薦量可能替代的比例（最高可至80%），以糞尿液中速效性銨態氮之肥料值來計算。試驗結果指出，銨態氮之肥料值在中、粗質地土壤為0.45，在細質地土壤為0.4。超量負荷不但降低肥料值，同時影響作物產量及品質，亦可能破壞土壤氮素收支而污染環境。第三、根據上述結果，以蔗園而言，每公頃約可承受44~50頭之豬糞尿。如顧及作物生長期及氣候等因素，實際負荷當以25~35頭/公頃較易執行。第四、鹽分負荷為糞尿液長期灌溉必須考慮的因素，在一定土壤條

件下，完整的灌溉紀錄可以用來估算鹽分累積速率。排水不良及細密的粘質土壤最容易導致鹽分累積。以一般平均濃度的豬糞尿（假設銨態為200mg/l），在排水淋洗不足的條件下，五至十次灌溉即可把土壤鹽化。第五、農地長期消納豬糞尿，為了瞭解鹽分累積或硝態氮污染地下水二因素，定期的土壤及地下水質調查實有必要。

對於農地大規模消納豬糞尿作業，提出下列數點供作參考：

第一：根據豬糞尿產量、作物施肥量、計算所需農田面積、規劃完善的分配系統。

第二：耕作計劃與施灌計劃預作協調配合，建立施灌紀錄用作減肥依據。

第三：注意農地整平及畦溝長度與坡度，以提高糞尿液施灌效率。

第四：定期檢測作物產量及品質，土壤鹽分及地下水硝態氮含量，確保施灌計劃養分利用與污染防治之雙重目的。

誌 謝

本研究進行期間，承王月英小姐協助採樣分析；雷玉勝先生協助盆栽及田間試驗管理；屏東、岸內、大林等糖廠農場課同仁、糖研所屏東、新營、虎尾三實驗場有關同仁協助試驗區管理在此敬致由衷謝忱！

參 考 文 獻

1. Ariall, J. D., F. J. Humenik and G. J. Kriz. BOD analysis of swine waste as affected by feed additives. in *Livestock Waste Management and Pollution Abatement*. pp. 183-185. ASAE. 1971.
2. Ayers, R. S. and R. L. Bromson. (ed) *Nitrates in the Upper Santa Ana River Basin in Relation to Ground Water Pollution*. Bulletin 861. Division of Agricultural Science. University of California. 1973.
3. Barlett, H. D. and L. F. Marriot. Subsurface disposal of liquid manure. in *Livestock Waste Management and Pollution Abatement*. pp. 258-26E. ASAE. 1971.
4. Ellis, B. G. and B. D. Knezek. Adsorption reactions of micronutrients in soil. in *Micronutrients in Agriculture*. pp. 59-68. SSSA.

- Madison. WI. 1972.
5. Emleton, T. W. and W. W. Jones. Nitrogen fertilizer management programs, nitrate pollution potential, and orange productivity. in *Nitrogen in the Environment*. pp. 275-296. Academic Press, N. Y. 1978.
 6. Goodrich, P. R. and E. J. Monke. Movement of pollutant phosphorus in saturated soils. in *Livestock Waste Management and Pollution Abatement*. pp. 325-328. ASAE. 1971.
 7. Hodgson, J. F., W. L. Lindsay and J. F. Trierweiler. Micronutrient cation complexing in soil solution: II. Complexing of zinc and copper in displaced solution from calcareous soils. SSSAP. 30:723-726. 1966.
 8. Koelliker, J. K., J. R. Mine, C. E. Beer and T. E. Hazen. Treatment of livestock-lagoon effluent by soil filtration. in *Livestock Waste Management and Pollution Abatement*. pp. 329-333. ASAE. 1971.
 9. Loehr, R.C. *Agricultural Waste Management*. pp. 353-583. Academic Press. N. Y. 1974.
 10. May, D. M. and W. E. Martin. Manures are a good source of phosphorus. Calif. Agric. 20(7):11-12. 1966.
 11. Norum, E. M. Review of Muskegon County Wastewater Management System. in Sanks (ed) *Land Treatment and Disposal of Municipal and Industrial Wasters*. pp. 289-301. Ann Arbor Science. Ann Arbor. MI. 1976.
 12. Richards, L. A. (ed) *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. p. 34. USDA Handbook, No. 60. 1954.
 13. Rolston, D.E. Application of gaseous-diffusion theory to measurement of denitrification. in *Nitrogen in the Environment*. pp. 309-336. Academic Press. N. Y. 1978.
 14. Sheu, Y. S. and T. C. Yang. Studies of the soil aeration and sugarcane growth. I. Effect of soil oxygen concentration on the development of sugarcane roots. Report of Taiwan Sugar Res. Inst. 89:1-12. 1980.
 15. Stanford, G. and A.S. Ayers. Internal nitrogen requirement of sugarcane. Hawaii Sugarcane Planters Assoc. Exp. Sta. Annual Report, p. 20. 1964.
 16. Taiganides, E. P. and T. E. Hazen. Properties of farm excreta. ASAE Transac tion. 9:374-376. 1966.
 17. Taiganides, E. P., R. K. White and R. L. Stroshine. Water and soil oxygen demend. in *Livestock Waste Management and Pollution Abatement*. pp. 176-179. ASAE. 1971.
 18. Tyler, D. D. and G. W. Thomas. Lysimeter measurement of nitrate and chloride losses from soil under conventional and no-tillage corn. J. Environ. Qual. 6(1):63-66. 1977.
 19. USEPA, US Army Corp of Engineers, and USDA. *Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater*. pp. 1-3. EPA 625/1-77-008. 1977.
 20. Walter, M. F., G. D. Bubbenzer and J. C. Converse. Predicting vertical movement of manurial nitrogen in soil. ASAE Transaction, pp. 100-105. 1975.
 21. Wang, C. C. and I. J. Fang. 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. 1978.
 22. Yen, S. C. Salinization of soils as affected by saline ground water and its depth. Taiwan Sugar, 17(4):11-18. 1970.
 23. Yen, S. C. The treatment of swine wastes in TSC. Taiwan Sugar, 25(6):207-211. 1978.
 24. 臺灣省農林廳「臺灣省養豬戶調查報告」農林廳 畜牧科, 1985.
 25. 楊策羣、林正銜「臺中砂頁岩沖積土中氧的季節性變化及其對旱作的可能影響」國科會研究報告, 8(2):237-254, 1975.
 26. 蔡義雄、陳榮泰、蕭清開「豬糞尿公害防治之研究」臺灣省農林廳畜牧科報告, 1979.
 27. 嚴式清「鹽分地之改良利用與管理」臺糖農務叢書(4), 臺糖公司蔗作改良推廣會, 1968.
 28. 嚴式清「豬糞尿田間處理的有關問題」臺糖通訊, 59(15):17-24 1976.
 29. 嚴式清「氮肥氨態逸散田間測定之研究」糖研所研究試驗報告(72/73).p. 183 1984.
 30. 嚴式清「蔗田施灌豬糞尿對養分利用及污染防治效果之評估研究」糖研所研究試驗報告(74/75) 1986,