

家畜禽糞堆肥對盤固草試區逕流水質之影響⁽¹⁾

謝昭賢^{(2) (3)} 程梅萍⁽²⁾ 蕭庭訓⁽²⁾ 郭猛德⁽²⁾

收件日期：91 年 10 月 05 日；接受日期：92 年 2 月 13 日

摘 要

本試驗利用小型模擬降雨機來評估地表施用家畜禽糞堆肥對盤固草試區逕流水質之影響。本試驗以四處理三重複，完全逢機設計。共 12 個 $1 \times 0.5 \times 0.8 \text{ m}^3$ 之土箱。試驗處理為牛糞堆肥、豬糞堆肥、雞糞堆肥及對照組(不施肥)等四種。本試驗在 50 mm/h 降雨強度下，俟產生逕流後，收集 30 min 降雨延時之逕流量，所得之逕流資料用以分析逕流中之 TN (total nitrogen)、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、TP (total phosphorus)、DP (dissolved phosphorus) 及 EC (electrical conductivity)。結果顯示：逕流水 N 之濃度，除牛糞堆肥之 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 顯著高於其他處理外，TN 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在各處理均無顯著之差異；逕流水 P 濃度，雞糞堆肥處理中之 TP 顯著高於其他處理，及家畜禽糞堆肥處理中之 DP 顯著高於對照處理組；逕流水 COD 之濃度，雞糞及牛糞堆肥處理顯著地高於豬糞處理組及對照組。為了降低逕流之 TP 及 DP 濃度對下游地表水體之優養化 (eutrophication)，將家畜禽糞堆肥，尤其是雞糞堆肥，應以堆肥埋入土壤之方式，來減少土壤表面之堆肥與逕流之交互作用，進而減少逕流中磷之濃度。

關鍵詞：模擬降雨、逕流、家畜禽糞堆肥、水質。

緒 言

臺灣地區每年畜牧生產之有機廢棄物數量龐大，此廢棄物可改善土壤理化性質及提供作物生長之養分。2001 年臺灣地區豬 (*Sus scrofa domesticus*) 之頭數 716.5 萬頭，雞 (*Gallus gallus domesticus*) 13,026 萬隻，牛 (*Bos taurus* and *Bos indicus*) 15.2 萬頭 (行政院農業委員會，2002)。若家畜禽每日糞便之排泄量以豬 1.9 kg，雞 0.13 kg，乳牛 30 kg，水牛、黃牛及雜種牛 15 kg 估算(簡及林，1998)，則一年中豬糞有 497 萬噸，雞糞 618 萬噸，牛糞 157 萬噸之新鮮糞便產生，一年之糞便量共有 1,272 萬噸；又依林(1998)計算 1000 kg 之禽畜糞可製成 404 kg 之堆肥，則臺灣地區每年共有 514 萬噸家畜禽堆肥產生。這些堆肥可回歸農地，供作物生長利用之資源，提高土壤生產力、增加土壤有機物及改善土壤理化性質 (Khaleel *et al.*, 1981)，亦可協助解決畜牧廢棄物污染問題；但若任意棄置，不僅污染環境，亦是資源浪費。

堆肥應以符合作物需求而施用，以避免施用過量，經由逕流及滲漏水而污染地表水及地下水質。家畜禽集約之生產地區其磷常超過該地區作物之需求量，一些作物經過長期使用畜肥後，容易

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 1164 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所經營組。

(3) 通訊作者。

在土壤中產生磷之累積，其量超過農業作物生產之需要。施用家畜禽糞堆肥於土壤之主要目的為提供植物生長所需之養分，如堆肥中所含之氮 (N)、磷 (P)、鉀 (K) 及微量元素等。但施用家畜禽糞堆肥時，堆肥之體積、施用之費用及施用之量較化學肥料龐大。在此情況下，草地施肥管理，大部分以撒肥機將堆肥撒在草地上。台灣地區位處熱帶及亞熱帶地區，雨量豐富，在暴雨事件中，撒在草地上之堆肥養分，會被降雨所產生之逕流所攜帶而流入河川，造成潛在之污染源。Burns *et al.* (1985) 得知施用豬糞尿肥試區比對照區所產生之逕流，有較高之有機物濃度及養分含量，尤其是施用豬糞尿肥後短期內有暴雨的出現。Edwards and Daniel (1993) 在高狐草 (tall fescue grass) 區施用豬糞尿肥一天後馬上有一場暴雨之試驗得知，總氮 (total nitrogen, TN)、總磷 (total phosphorus, TP)、溶磷 (dissolved phosphorus, DP) 及總懸浮固體 (total suspended solid, TSS) 由逕流之攜帶方式輸送至他處，此不僅是養分之損失，亦是下游地區水體潛在之污染源。因為有機物在逕流進入水體後，會對水體產生優養化 (eutrophication) 及降低溶氧，使水質劣化。美國東南部為養豬與養雞集中之地區，其堆肥常定期收集而施用於附近農作物生產地區。但在降雨產生逕流的情況下，逕流會將畜禽糞堆肥成分之 N 及 P 從施用地輸送至他處，而造成地表逕流水質污染之問題 (Giddens and Barnett, 1980; Magette *et al.*, 1989; Mcleod and Hegg, 1984; Westerman *et al.*, 1983; Westerman *et al.*, 1987)。

有關於施用畜糞堆肥後，影響水質之逕流及其相關水文參數 (hydrologic parameters) 很少被研究人員所提及，施用畜糞以液体或污泥狀態時，會增加土壤水分及增加逕流量。但 Westerman *et al.* (1983) 指出對於裸露土壤而言，逕流對地表施用禽糞堆肥之反應決定於禽糞堆肥之形態、施肥率及在施肥與降雨期間之長短。另外，逕流對地表施用禽糞堆肥之反應，在某一情況下，會與一般預期結果相反。例如：裸露砂質土施用 400 kg N/ha 之禽肥後 1 day，所產生的逕流較對照組為低，但是在施肥後 3 day，施肥組比對照組有較高之逕流量。最近幾年來，只有少數幾篇研究報告測定承受豬糞尿處理水之土壤對逕流及滲漏水質之影響 (謝，1999；謝等，2000)。這些研究偏重於豬糞尿處理水方面，對於家畜禽糞堆肥方面少有報告。

本試驗之目的為探討在模擬降雨之情況下，地表施用家畜禽糞堆肥對盤固草試區逕流水質之影響。

材料與方法

I. 模擬降雨

此小型模擬降雨機 ($1.5 \times 1.5 \text{ m}^2$) 為採用 Veejet 80150 扁平式噴頭 (Spraying Systems Co., 1991)。設定之模擬降雨條件為噴頭擺動頻率 19 passes/min，離地 3 m 高處及管線末端壓力 41 N/m² (6 psi)。在此條件下，模擬降雨之雨滴特性與自然降雨甚為相近 (Meyer and McCune, 1958; Meyer and Harmor, 1979)。本試驗採用之噴頭可擺動 90° 之方向，噴頭暫停時間可由時間控制器設定，設定不同之暫停時間，可得到不同之噴頭擺動頻率，進而得到從 0 mm/h 至 150 mm/h 之降雨強度。其模擬降雨分佈均勻性之平均值高於 93%，可用於不同之土地利用對逕流、沖蝕及滲透率之室內小規模試驗 (謝及鄭，1996)。

II. 試驗土箱

本試驗為依 Hubbard *et al.* (1989) 設計之長方體土箱 ($1.0 \times 0.5 \times 0.8 \text{ m}^3$) 12 座，其內裝填砂質壤土，土壤表面種植盤固草。長方體土箱包含滲漏水收集管及逕流收集器。土箱底層處有一沖孔網，沖孔網上平鋪不銹鋼細網 (60 mesh/in) 以利滲漏水通過，在沖孔網下方留有收集滲漏水之

§ 3/4” 出水口，以收集滲漏水用。不銹鋼細網上裝填砂質壤土，灌水使其自然密實，逕流收集槽在土箱之前上端用來測定逕流量及收集樣品。

供試之土壤為採自農業委員會畜產試驗所（畜試所）盤固草區 0~15 cm 之表土。其土壤為砂頁岩老沖積土，質地為砂質壤土（砂粒 64%、粉粒 27%及黏粒 9%）；總氮（TN）0.03%、有效性 P 10.4 mg/kg、交換性 K 111 mg/kg、pH 6.69 及 EC 0.04 dS/m；所有的土壤樣品均經過風乾及通過 § 2 mm 之篩網；坡度設定為 5%。

模擬降雨之降雨強度設定為 50 mm/h，其迴歸週期在台南地區為 1.25 年出現一次（陳及陳，1988），俟產生逕流時，降雨延時設定為 30 min，收集 30 min內之逕流量及樣品；逕流率之測定為在承土箱內定時收集逕流並記錄裝容器所需的時間，逕流率為逕流量與降雨量之百分比值；逕流水質為取其混合液，分析其水質中之TN、NH₃-N、NO₃⁻-N、TP、EC及pH，其分析方法均依美國Standard Methods第 18 版（APHA, AWWA and WPCF, 1992）所述之方法。

III. 試驗設計

本試驗為四處理之完全逢機（completely randomized design, CRD）設計。試驗處理包括：牛糞堆肥（cattle manure compost）、豬糞堆肥（swine manure compost）、雞糞堆肥（chicken manure compost）及對照組（不施肥，control）。牛糞堆肥來自畜試所乳牛舍運動場之牛糞，經堆肥醱酵處理後之風乾堆肥；豬糞堆肥主要來自畜試所三段式豬糞尿處理場固液分離後之固體部份，經堆肥醱酵處理後之風乾堆肥；雞糞堆肥主要來自畜試所附近商業性密閉式蛋雞舍之雞糞，經堆肥醱酵處理後之風乾堆肥。

家畜禽糞堆肥之化學成分如表 1；家畜禽糞堆肥施肥量如表 2。本試驗之施肥方式為將家畜禽糞堆肥均勻地施用在土壤表面，並在施肥後一星期進行模擬降雨。本試驗氮肥之施用量為根據臺灣省作物施肥手冊中盤固草之推荐施氮肥量而定。在本省南部之氣候下，預估盤固草每年有四次之收割期，每次收割後，追加施肥。臺灣省作物施肥手冊中盤固草之推荐施氮肥量為 400 kg/ha/yr（臺灣省農林廳，1996）。若分四次施肥，則每次之氮肥施用量為 100 kg/ha。本試驗所施用家畜禽糞堆肥之氮肥施用量，固定在同一氮肥施用量 100 kg/ha。

IV. 流失量之計算

流失量之計算為將逕流深度（mm）換算成每公頃之容積量（L/ha），再將逕流容積量（L/ha）乘以逕流濃度（kg/L），所得之積即為每公頃各豬糞污泥成分之養分流失量（kg/ha）。豬糞污泥養分流失百分率之計算為將各處理所得之各養分流失量（kg/ha），減去對照組各養分之流失量（kg/ha），將所得之差除以每公頃之施灌量（kg/ha），再將所得之商再乘以 100%，即為流失百分率。

V. 資料分析

所得到之逕流水經過實驗室分析水質後，利用 SAS 套裝軟體（SAS Institute Inc, 1988），一般線性模式（general linear model, GLM）分析變方分析，若有顯著之差異，則利用鄧肯氏分析多變域（Duncan's multiple range test）方法比較處理間之差異性。

表 1. 家畜禽糞堆肥之化學成分

Table 1. Composition of domestic animal manure compost

Compost type	TN	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu	EC	pH
		%		mg/kg	dS/m	
Cattle	2.26	0.62	3.86	97.1	5.2	6.11

Swine	1.89	0.80	0.87	267	7.9	5.86
Chicken	0.98	0.75	1.16	282	8.8	8.88

表 2. 家畜禽糞堆肥之施肥量

Table. 2. Amount of application of constitutes from manure compost

Compost type	TN	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu
	kg/ha			
Cattle	100	27.4	34.5	1.03
Swine	100	42.4	32.3	1.40
Chicken	100	76.5	330	1.05

結果與討論

I. 逕流量

在試區內之總降雨量及其產生之總逕流量如表 3 所示。本試驗為在降雨強度 50 mm/h，產生逕流後降雨延時為 30 min，因此只計算 30 min 內所收集之逕流量、逕流中養分濃度及其損失量。由表 3 得知逕流量並不因家畜禽糞堆肥之不同而有所影響。逕流量之平均值為 3.71 mm，產生逕流後 30 min 內之降雨量為 25.5 mm。平均逕流百分率為 14.6% (如表 3)。逕流百分率之計算方式為：

$$\text{Runoff percentage} = \frac{\text{Runoff}}{\text{Rainfall}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

表 3. 供試之降雨量、逕流量及逕流百分率

Table 3. Rainfall, runoff and runoff percentage for the experiment

Compost type	Rainfall	Runoff	Runoff percentage
	mm		%
Control	25.9	3.77	14.5
Chicken	25.9	3.55	13.7
Cattle	24.8	3.91	15.8
Swine	25.4	3.61	14.2

II. 逕流水中養分之濃度

本為模擬單場暴雨中產生最糟糕的情況，但實際應用上應可避免此一狀況發生。例如：本試驗所得之資料為直接從施用地之田間邊緣 (edge of field) 而得，而非經過一段緩衝帶後到達承接水體之資料。此為本試驗並無設立緩衝帶以進行逕流中養分之過濾及吸附作用，無法稀釋及降低逕流中養分之濃度，故所得之資料超過田間逕流水之濃度，並用此資料比較各處理逕流水養分濃度之差異性。

本試驗在家畜禽糞堆肥處理中，逕流水N之濃度，除牛糞堆肥之NO₃⁻-N顯著高於其他處理外，TN及NH₃-N在各處理均無顯著之差異；雞糞堆肥處理之逕流TP顯著地高於其他處理；三種堆肥處理之逕流DP顯著高於對照處理組；雞糞及牛糞堆肥處理之逕流COD濃度顯著地高於豬糞處理組及對照組；三種堆肥處理之逕流EC顯著高於對照處理組 (如表 4)。顯示地表施用家畜禽糞堆肥，牛糞堆肥會影響地表逕流之NO₃⁻-N濃度，且其濃度超過我國EPA飲用水之標準 10 mg/L，但我國及美國EPA對地表水並沒有提供任何之限制值，地表逕流中NO₃⁻-N只有在非常高

之濃度才會毒死魚類，對大多數之魚類要超過 1,000 mg/L。例如：大嘴鱸魚及溝渠鯰魚能夠在濃度高達 400 mg/L 以上，尚能維持正常生長及採食活動 (Walter *et al.*, 1999)。雖然 NO_3^- -N 一般不會毒死水生物，但 NO_3^- -N 為水生植物營養源。若其他養分足夠供應下（特別是 P）， NO_3^- -N 可以協助升高藻花及其他水生植物之生長。雖然牛糞堆肥會影響地表逕流之 NO_3^- -N 濃度，且其濃度不會毒死魚類，牛糞堆肥可用地表施肥方式施用，但為了降低逕流中之 NO_3^- -N 成為水生植物之營養源，以埋入及混入土壤對環保較為妥當。

本試驗在堆肥試區逕流中之 TP 及 DP 濃度均超過加速優養化之臨界值。當施用動物廢棄物時常基於 N 之含量，但 P 之含量卻超過植物之需求量 (Mikkelsen and Gilliam, 1995)。本試驗堆肥材料經過換算後，若以氮素為施肥標準，則每年施用豬糞及雞糞堆肥中磷酐之施用量會超過作物施肥推薦量。盤固草每年氮素及磷酐之推荐量 400 及 150 kg/ha (臺灣省作物施肥手冊，1996)。依此氮素施肥推薦量標準，豬糞及雞糞每年之施用量為 168 及 306 kg/ha，各超出磷酐 18 及 156 kg/ha。許多地區施用動物廢棄物常作為一種養分之來源，土壤中 P 之濃度常增加地很快 (Sims and Wolf, 1994)。雖然 P 並不會在施用地直接損害土壤之效果，但是 P 經由地表逕流及沖蝕過程而離開施用地時，會對地表水產生負面衝擊 (Sharpley and Menzel, 1987)。P 之非點源污染 (nonpoint source pollution) 現今成為美國各州之問題 (USEPA, 1973; Vaithyanathan and Correll, 1992)。三種堆肥處理中，雞糞堆肥逕流中之 TP 及 DP 濃度為最高；DP 可被植物直接吸收利用，逕流中 DP 濃度愈高，水生植物及藻類愈容易生長而影響水質。本試驗在雞糞、牛糞及豬糞堆肥試區逕流之 TP 濃度各為 22.1、7.80 及 5.09 mg/L；及 DP 之濃度各為 12.5、5.84 及 4.71 mg/L，TP 及 DP 濃度均超過加速優養化之臨界值 (1.0 及 0.05 mg/L, USEPA, 1986)。逕流中 TP 及 DP 濃度超過臨界值之其他可能性因子，如自然降雨、試區土壤及堆肥 P 之含量，亦可能造成自然優養化作用，此為對照組逕流 TP 及 DP 濃度液超過超過加速優養化臨界值之原因。如將逕流中 TP 及 DP 之濃度從試驗組減對照組，其值為堆肥試驗組對盤固草試區逕流之影響。其中雞糞堆肥試區比其他堆肥試區逕流中 TP 及 DP 之濃度大於 2.5 至 4.0 倍，因此，雞糞堆肥施用於農地應以埋入法或與土壤混合為宜。

雞糞及雞糞墊料之總體密度及顆粒密度低，容易被地表逕流攜出施用地。由於雞糞及雞糞墊料之總體密度及顆粒密度低，經估算為各小於 1.0 g/cm³ 及 1.8 g/cm³ (Midwest Plan Service, 1980; Khaleel *et al.*, 1979; Overcash *et al.*, 1983)。因其密度低，雞糞及雞糞墊料容易經由逕流攜出施用地，而形成養分之流失。在模擬降雨下，土壤與地表逕流產生交互關係僅在土壤表層 0.75 至 1.00 cm 處 (Ashraf and Borah, 1992)。施用家畜禽糞堆肥後，固體堆肥停於土壤表層，一些有被土壤所吸附，因此未被植物吸收前之堆肥養分，大部份亦滯留於土壤表面。台灣地區降雨集中，降雨強度大，在雨季時產生之逕流容易將地表之堆肥攜出施用地。Edwards and Daniel (1992) 稱不論施用雞糞墊料 (poultry litter) 或雞糞 (manure) 以供應 N 之需求量時，P 對所有的芻料及田間作物均超過需求量。堆肥中 P 超過需求量時，P 亦容易在逕流中較高之濃度流失。本試驗為在田間邊緣 (edge of field) 產生養分流失而造成立即進入水體之危機。但在一般在較乾燥的土壤上，需要更大的降雨量來產生相當量的逕流量。事實上，家畜禽堆肥從施用地到田間邊緣，再由田間邊緣進入溪流或水體，均會產生減釋過程（如微生物的礦化作用、植物之截留、植物之吸收、揮發作用及沈澱作用）而降低到達承接水體中家畜禽堆肥養分之濃度。

表 4. 家畜禽糞堆肥對盤固草試區之逕流水質

Table 4. Runoff quality from the pangolagrass plots received domestic animal manure compost

Compost type	TN [#]	NO ₃ ⁻ -N	NH ₃ -N	TP	DP	COD	EC
			mg/L				dS/m
Control	12.1 ^a	0.73 ^b	2.71 ^a	0.15 ^b	0.14 ^b	42.3 ^b	0.10 ^b
Chicken	19.6 ^a	6.89 ^b	9.80 ^a	22.1 ^a	12.5 ^a	192 ^a	0.33 ^a
Cattle	18.0 ^a	12.0 ^a	2.99 ^a	7.80 ^b	5.84 ^{ab}	92.8 ^{ab}	0.20 ^{ab}
Swine	14.9 ^a	4.58 ^b	4.86 ^a	5.09 ^b	4.71 ^{ab}	47.2 ^b	0.13 ^{ab}

[#] TN: total nitrogen; TP: total phosphorus; DP: dissolved phosphorus; COD: chemical oxygen demand; EC: electrical conductivity.

^{a,b,c}: Values followed by different letters in each column were significantly different at $P < 5\%$ level.

III. 暴雨事件中家畜禽糞堆肥成分之流失量

暴雨事件中，家畜禽糞堆肥成分之損失量在施用量中僅佔相當小之比率（如表 5 及表 6）。施肥區之流失量減去對照組之流失量即為家畜禽糞堆肥成分之損失量。對 TN 及 TP 之流失量而言，家畜禽糞堆肥經由逕流之損失量相當低。雖然 P 之損失量在地表逕流中只佔總施用量之少部分，但是很多證據證明 P 之濃度較加速優養化之 P 臨界值為高（DP 及 TP 之臨界值為 0.05 及 1.0 mg/L）。另外，自然降雨中之濃度有時亦會超過臨界值，亦可能造成自然優養化作用。因此，在本試驗中，地表逕流之 P 含量在評估地表水系統 P 污染是非常重要的。由於 P 在土壤中不易移動，P 可能或被作物所吸收、或附著於土壤、或被土壤顆粒所固定。地表逕流為提供從施用地至水域之輸送工具，地表水中加速優養化之 P 大部分為從地表逕流而來（Sharpley *et al.*, 1993）。在降雨事件上，家畜禽糞堆肥從施用田間，經由逕流之輸送到田間邊緣，再由田間邊緣進入溪流或水體，均會產生減釋過程（如微生物的礦化作用、植物之截留、植物之吸收、揮發作用及沈澱作用）而降低水體中豬場處理水成分之濃度。

本試驗主要的結果為牛糞堆肥處理組在暴雨逕流之 NO₃⁻-N 較高；雞糞堆肥處理組在暴雨逕流之 TP 及 DP 較高。這可能豬糞堆肥之來源為經過了固液分離，許多可溶性之無機物被分離至液體部份，使得固體部份在經過堆肥程序後，需要較長時間之礦化作用，才能將 NO₃⁻-N 釋放出來；由於施用雞糞堆肥中，TP 之含量較其他處理為高，在逕流中之濃度 TP 及 DP 亦比其他處理為高。

從盤固草試區中，地表施用家畜禽糞堆肥對逕流水質之影響中，每公頃養分之流失量僅佔施用量之少部份。本試驗為在田間邊緣（edge of field）產生養分流失而造成立即進入水體之污染。一般在較為乾燥的土壤，需要有較多的降雨量來產生相當量的逕流量，因此施用家畜禽糞堆肥時，應以雨季來臨一星期前施用完畢，藉以減低對逕流水質之影響。

表 5. 施用家畜禽糞堆肥對盤固草試區中養分經由逕流之損失量

Table 5. Total nitrogen and phosphorus loss of manure compost by runoff under simulated rainfall

Compost type	Total nitrogen	Total phosphorus
	kg/ha	
Control	0.46	0.01
Chicken	0.70	0.28
Cattle	0.70	0.86
Swine	0.54	0.18

表 6. 施用家畜禽糞堆肥對盤固草試區逕流養分成分之流失百分率

Table 6. Percent of total nitrogen and total phosphorus loss of applied manure composts by runoff under simulated rainfall

Compost type	Total nitrogen	%	Total phosphorus
Chicken	0.70		3.14
Cattle	0.70		0.42
Swine	0.54		0.37

結論與建議

家畜禽糞為飼養家畜禽中所產生之副產品，不加以處理，容易損害周圍之環境，製作成堆肥可供作物生長之養分。本試驗暴雨事件中，家畜禽糞堆肥養分經由逕流之損失量僅佔總施用量相當小之比率，如TN小於總氮施用量之 1%；TP小於總磷施用量之 3.2%，此說明大部分之堆肥養分均停留在土壤；但逕流中TP及DP濃度均超過加速優養化之臨界值 (1.0 及 0.05 mg/L)。為了降低逕流之P濃度對水體之優養化，本試驗結果建議將家畜禽糞堆肥，尤其是雞糞堆肥，應以堆肥埋入土壤之方式，來減少堆肥與逕流之交互作用，進而減少逕流中磷之濃度。雖然牛糞堆肥會影響地表逕流之 NO_3^- -N濃度，且其濃度不會毒死魚類，故牛糞堆肥可用地表施肥方式施用，但為了降低逕流中之 NO_3^- -N成為水生植物之營養源，以埋入及混入土壤為宜。

參考文獻

- 行政院農業委員會。2002。農業統計年報，pp.136~144。行政院農業委員會編印。
- 林財旺。1998。優良禽畜糞堆肥製作。台灣省畜產試驗所四十週年所慶畜牧經營及廢棄物處理研討會論文專輯，pp. 23~32。台灣省畜產試驗所編印。
- 陳明杰、陳信雄。1988。臺灣地區最大機率雨量分析之最適機率分佈之研究。中華水土保持學報 19：49~62。
- 臺灣省政府農林廳。1996。盤固草。作物施肥手冊 pp. 171~172。
- 謝昭賢、鄭皆達、蘇瑞榮。2000。豬糞尿處理水及不同乾水距對地表逕流水質之影響。台灣農業化學與食品科學 35：462~469。
- 謝昭賢、鄭皆達。1996。小型降雨模擬機之性能評估。國立中興大學水土保持學報 28：63~70。
- 謝昭賢。1999。豬場處理水對盤固草土柱滲漏水質之影響：(I) 總氮、氨態氮及硝酸態氮。畜產研究 34：243~254。
- 簡宣裕、林財旺。1998。農產廢棄物堆肥製造技術研究。農產廢棄物在有機農業之應用研討會論文集，桃園區農業改良場編印 pp. 1~20。
- APHA, AWWA and WPCF. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition, APHA, Washington, DC.
- Ashraf, M. S. and D. K. Borah. 1992. Modeling pollutant transport in runoff and sediment. Transactions of the ASAE 35：1789~1797.
- Burns, J. C., P. W. Westerman, L. D. King, G. A. Cummings, M. R. Overcash and L. Goode. 1985. Swine lagoon effluent applied to 'Coastal' bermudagrass：I. Forage yield, quality, and element removal. J.

- Environ. Qual. 14 : 9~14.
- Edwards, D. R., and T. C. Daniel. 1992. Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal—A review. Bioreso. Tech. 41 : 9~33.
- Edwards, D. R., and T. C. Daniel. 1993. Drying interval effects on runoff from fescue plots receiving swine manure. Transactions of the ASAE 36 : 1673~1678.
- Giddens, J., and A. P. Barnett. 1980. Soil loss and microbiological quality of runoff from land treated with poultry litter. J. Environ. Qual. 9 : 518~520.
- Hubbard, R. K., R. G. Williams, and M. D. Erdman. 1989. Chemical transport from coastal plain soils under simulated rainfall : I. Surface runoff, percolation, nitrate, and phosphate movement. Transactions of the ASAE 32 : 1239~1249.
- Khaleel, R., G. R. Foster, K. R. Reddy, M. R. Overcash and P. W. Westerman. 1979. A nonpoint source model for land areas receiving animal wastes : III. A conceptual model for sediment and manure transport. Transaction of the ASAE 18 : 1353~1361.
- Khaleel, R., K. R. Reddy and M. R. Overcash. 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste applications : A review. J. Environ. Qual. 10 : 133~141.
- Magette, M. L., R. B. Brinsfield, R. E. Palmer and J. D. Wood. 1989. Nutrient and sediment removal by vegetated filter strips. Transactions of the ASAE 32 : 663~667.
- McLeod, R. V., and R. O. Hegg. 1984. Pasture runoff water quality from application of inorganic and organic nitrogen sources. J. Environ. Qual. 13 : 122~126.
- Meyer, L. D. and D. L. McCune. 1958. Rainfall simulator for runoff plots. Agricultural Engineering 39 : 644~648.
- Meyer, L. D., and W. C. Harmor. 1979. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research in row sideslopes. Transaction of the ASAE 22 : 100~103.
- Midwest Plan Service 1980. Structures and Environment Handbook, 10th ed., Chapter 311, Manure Characteristics. MWPS-1, Midwest Plan Service, Ames, IA.
- Mikkelsen, R. L. and J. W. Gilliam. 1995. Transport and losses of animal wastes and in runoff from agricultural fields. P. 185~189, In : C. C. Ross (ed.) 7th Intl. Symp. On Agric. and Food Processing Wastes. Publ. 7~95. ASAE, Chicago.
- Overcash, M. R., S. C. Bingham and P. W. Westerman. 1981. Predicting runoff pollutant reduction in buffer zones adjacent to land treatment sites. Transaction of the ASAE 24 : 430~435.
- SAS. 1988. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 edition. Cary, NC, U.S.A.
- Sharpley, A. N. and R. G. Menzel. 1987. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. Adv. Agron. 41 : 297~324.
- Sharpley, A. N., T. C. Daniel and D. R. Edwards. 1993. Phosphorus movement in the landscape. J. Prod. Agric. 4 : 492~500.
- Sims, J. T. and D. C. Wolf. 1994. Poultry waste management : Agricultural and environmental issues. Adv. Agron. 52 : 1~83.
- Spraying Systems Co. 1991. Flat spray nozzles. Spraying Systems Co., Wheaton, Il., USA.
- USEPA. 1973. Methods for identifying and evaluating the nature and extent of nonpoint sources of pollutants. USEPA Rep. 430/9~73~014. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C., USA.
- USEPA. 1986. Quality Critical for Water. USEPA Rep. 440/5~86~001. Office of Water Regulation and Standards, Washington, D.C., USA.

- Vaithiyanathan, P. and D. L. Correll. 1992. The Rhode River Watershed : Phosphorus distribution and export in forest and agricultural soils. *J. Environ. Qual.* 21 : 280~288.
- Walter, M. F., V. W. E. Payne and T. Powers. 1999. Agricultural Wastes and Water, Air, and Animal Resources. *In* : USDA, NRCS, National Engineering Handbook (NEH) Part 651, Agricultural Waste Management Field Handbook. pp. 3-1~3-25.
- Westerman, P. W., T. L. Donnelly and M. R. Overcash. 1983. Erosion of soil and poultry manure—A laboratory study. *Transactions of the ASAE* 26 : 1070~1078, 1084.
- Westerman, W. P., L. D. King, J. C. Burns, G. A. Cummings, and M. R. Overcash. 1987. Swine manure and lagoon effluent applied to a temperate forage mixture : II. Rainfall runoff and soil chemical properties. *J. Environ. Qual.* 16 : 106~112.

Runoff quality from Pangolagrass plots receiving domestic animal manure compost⁽¹⁾

Chao-Hsien Hsieh^{(2) (3)}, Mei-Ping Cheng⁽²⁾, Ting-Hsun Hsiao⁽²⁾
and Mon-Ter Koh⁽²⁾

Received : Oct. 05, 2002 ; Accepted : Feb. 13, 2003

Abstract

A small-scale rainfall simulator with 50 mm/h of rainfall intensity and 30 min of runoff duration was used to estimate the runoff quality from pangolagrass plots receiving domestic animal manure compost. A complete random design with four treatments and three duplications was employed. The treatments included cattle, swine and chicken manure compost and a control (no fertilizer application). Flow composite runoff samples from each treatment were analyzed for total nitrogen (TN), ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), total phosphorus (TP) and dissolved reactive phosphorus (DP), concentrations and electrical conductivity (EC). The results showed that the $\text{NO}_3^-\text{-N}$ runoff concentration for the cattle compost treatment was higher than that from other treatments. The TP and DP runoff concentrations for the chicken compost treatment were higher than those from other treatments. However, the TN and TP lost from the pangolagrass plots in runoff was less than 1% and 3.2% of the application amounts, respectively. To reduce the compost phosphorus effect, especially for the chicken manure compost the receiving water body was eutrophicated. The soil compost incorporation method can be used to reduce runoff phosphorus concentration.

Key words : Simulated rainfall, Runoff, Manure compost, Water quality, Pangolagrass.

(1) Contribution No. 1164 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Livestock Management Division, COA-LRI, Hsinhua 712, Tainan Taiwan, R.O.C.

(3) Corresponding author.