

畜禽廢水污泥之性質與資源化應用

摘要

本研究目的在探討豬糞尿廢水之污泥性質與資源化利用之可行性。試驗採用三段式豬糞尿廢水處理系統不同階段產生之污泥，測其污泥性質中之臭味氣體與脫水性；以及與農產副產物或其他廢棄資源混合後製成各種污泥資源化產品及應用結果。

豬糞尿廢水污泥性質，由初沉槽來之污泥，其臭味氣體包括硫化氫、氨、甲硫醇等都比厭氣污泥與好氣污泥高，含有強烈惡臭味，色黑生蛆。污泥脫水性方面以厭氣污泥脫水較易。經脫水之污泥餅與蔗渣堆肥混合製成污泥堆肥，應用於水稻種植，每公頃每年施用 2 噸，在連續進行 8 作結果產量同施用化學肥料沒有差異 ($p > 0.05$)，土壤中的銅鋅重金屬也無累積現象；以污泥餅與廢紙漿混合後製成污泥花盆，可應用於種植花卉與蔬果育苗，用於種植蝴蝶蘭之生長性與開花結果優於塑膠花盆；污泥餅與農產廢棄物混合後，製成栽培土，用於園藝花卉生長性良好，可取代市售栽培土；另以污泥餅與 PE、可分解澱粉混合後製成污泥膠布，具有生物分解性及其抗拉強度與伸長率也只有一般 PVC 塑膠膜之十分之一，用於高麗菜種植同塑膠膜之比較結果，生長性與產量間沒有差異，但污泥膠布之死亡率低、雜草較多，破損面積與破損率也高，顯示易被分解，可取代塑膠膜減少塑膠污染，以及將糞尿污泥多方面資源化後有助於解決豬糞尿污泥處置問題。

關鍵字：豬糞尿廢水污泥、污泥堆肥、污泥花盆、污泥膠布

一、前言

污泥是廢水淨化後沉澱的產物，水質淨化愈清澈污泥產量愈多。畜禽糞尿廢水處理過程，由於需將高濃度有機廢水處理淨化至合乎環保排放水標準，因此會產生大量污泥，所產生的污泥如不適當處理，將會堆積於廢水處理槽中，而影響排放水質；加上行政院環境保護署規定不可隨意排放及施灌於農地，以及在處理困難與成本高之情況下，污泥之處理與利用變成養畜禽農友極大負擔與不便。因此研發污泥處理與資源化利用，是解決畜禽廢水處理重要項目之一。然而因廢水處理階段不同所產生的污泥性質也不同，爲了使資源化研發順利，需先瞭解不同廢水處理階段所產生之污泥性質。因目前畜禽糞尿廢水以豬糞尿廢水處理最被重

視，因此本報告以豬糞尿廢水處理為例，豬糞尿採用三段式廢水處理其污泥由來源可分成初沉污泥、厭氣污泥與好氣污泥等。

豬糞尿污泥屬有機污泥，內含有高量氮與磷（盧與許，2000）⁽⁵⁾，以往因收集及脫水困難，國內外大都以液態直接施用於農地；譬如：台灣糖業公司曾直接施用豬糞尿於蔗田以增加甘蔗之產量（嚴，1995）⁽⁷⁾。盧及許（1994）⁽⁴⁾ 則利用曬乾床乾燥後之污泥於盤固草地，其最佳施用方式是先施以 1/2 化學肥料再施以相當於含 N 230 kg/ha 之污泥量，對盤固草產量最佳。但因經廢水處理後之放流水或污泥，不可隨意施灌於農地，因受“土壤處理法”之限制，欲施用於農地需經向環保申請許可，加上豬糞尿污泥中含有重金屬銅與鋅量較高，常被有機業者拒絕應用，因此除當有機肥利用外，尋求研發其他資源化用途是甚為重要的。

二、豬糞尿廢水污泥之性質與脫水性

豬糞尿廢水處理係採用三段式處理流程，包括固液分離、厭氣發酵與好氣處理。試驗材料採用 3,000 頭豬糞尿廢水處理場所產生之污泥，污泥來源包括初沉槽之污泥（屬生糞沉澱）、厭氣槽之污泥及終沉槽廢棄之活性污泥等。污泥性質包括外觀顏色、惡臭氣體含量、污泥濃度、污泥脫水比阻抗值及污泥乾燥後加水後之變化。污泥臭味氣體之測定，將現場收集之污泥置於 5 L 之發酵瓶內，經 24 小時產氣後利用北川式臭味測定儀以各種檢知管測出 H₂S、NH₃、CH₃SH、(C₂H₅)₃N 等含量。其結果如下：

（一）初沉污泥（糞泥）係經固液分離機後之豬糞固體沉澱而來，其外觀呈黑色，具惡臭，易長蛆，所產生之主要氣體成分濃度分別為：硫化氫 (H₂S) 13.28 ± 8.47 ppm (1~26 ppm)、NH₃ 15.54 ± 6.23 ppm (8~30 ppm)、甲硫醇 (CH₃SH) 0.5~10 ppm、(C₂H₅)₃N 6.51 ± 1.35 ppm (5~12 ppm)，污泥濃度介於 2~6.5% 間，依沉澱時間之長短及廢水中固體物含量之多寡而不同，沉澱時間長廢水中固體物多則污泥濃度較高，如在正常設計之水力停留時間 (HRT) 4~6 小時之情況下，污泥濃度介於 1~3% 者多，平均 TS 濃度 50,691 ± 869 mg/L (29,750~65,580 mg/L)，污泥脫水比阻抗值平均 6.06 ± 1.4 × 10⁶ 秒²/克。此種污泥乾燥後遇水則又會產生臭味，生蛆及發熱，因此不適合於直接當有機肥施用於農作物。

（二）厭氣污泥之性質依其在厭氣前後槽中不同停留時間而變化。厭氣前槽之污

泥停留時間短，固體物未能完全發酵，因此污泥中尚有臭味及產生沼氣之現象。主要氣體成分之濃度 NH_3 44.4 \pm 21.32 ppm (20~85 ppm)、 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$ 26.72 \pm 8.20 ppm (14.6~40 ppm)、 H_2S 量少 (低於 0.2 ppm)。污泥濃度介於 2~5% 間，TS 濃度 27,457 \pm 11046 mg/L，污泥脫水比阻抗值 14.4 \pm 2.74 $\times 10^9$ 秒²/克。厭氣後槽因污泥停留時間長已測不出臭味氣體。

(三) 終沉槽廢棄之活性污泥，其污泥性質依活性污泥培養濃度與生長情形之不同而有所差異。活性污泥培養得宜，則其污泥呈黃棕色，蓬鬆狀，泥土味。主要產生之氣體濃度為 H_2S 3~6 ppm、 CH_3SH 3~10 ppm、 NH_3 含量少 (0.2ppm)，污泥濃度 0.4~1%。污泥含水分高，沉降佳，且易於收集。

以上數據顯示，豬糞尿中污泥之臭味以 NH_3 與 H_2S 為主，初沉槽污泥乾燥後加水又會產生發酵現象，且含 H_2S 及 NH_3 濃度較高易產生惡臭、熱及生蛆，應避免直接當有機肥施用以免危害作物。

(四) 廢水處理場之污泥消化處理

利用廢水處理場污泥處理系統各單元之污泥，該污泥處理系統為將廢水處理場之污泥先抽送至污泥濃縮槽 (20 m³)，再送至厭氣消化槽 (80 m³) 後，進入貯存兼好氣消化槽 (50 m³)，最後利用污泥脫水機脫水製成污泥餅，測定各處理單元污泥之臭味氣體氨 (NH_3)、三甲基胺 ($(\text{CH}_3)_3\text{N}$)、硫醇類 (RSH)、硫化氫 (H_2S) 消長情形。由於廢水處理場座落在空曠地區，處理槽與地面落差大，直接測定有困難危險，因此將污泥濃縮槽、厭氣與好氣消化槽之污泥，每次取樣 1 L 置於氣體收集瓶內，靜置 4 小時產生氣體後測定；污泥餅每次取樣 1 kg 量密封於 10 號塑膠袋中，經 4 小時產生氣體後測之，測定期間自 89 年 5 月至 89 年 11 月，每月配合現場污泥處理連續測定 10 天。以現有廢水處理場之污泥處理系統之容積與每日污泥產出量，厭氣消化槽之水力停留時間約 30 天，好氣消化槽 3~5 天。

廢水處理場之污泥處理系統各單元污泥之臭味氣體消長結果如圖一。由圖一顯示，所測得之臭味氣體以污泥濃縮槽最高，其平均臭味氣體濃度為 NH_3 20.55 \pm 4.78 ppm (14~30 ppm)； $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ 12.19 \pm 2.91 ppm (7~18 ppm)；RSH 12.85 \pm 3.60 ppm (7~9 ppm) H_2S 11.73 \pm 3.25 ppm (8~18 ppm)；厭氣消化處理後之污泥臭味氣體量都非常低 NH_3 1.55 \pm 1.0 ppm； $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ 1.20 \pm 0.63 ppm；RSH 與 H_2S 量測不出，顯示厭氣消化對臭味氣體之控制有其效果，因此為降低豬糞尿臭

味氣體之產生及對周界之影響，將豬糞尿處理槽加蓋保持厭氣消化是較佳方式之一，此結果與 De Vrijer (1999)⁽⁹⁾ 之報告相同，該報告指出將糞尿處理之厭氣塘或貯存槽加蓋之後，可使臭味減少至少及臭味之擴散周界由 200 ~ 300 m 減至 16 ~ 50 m，以及減少氮之損失 (11.4% 降至 3%)。好氣消化槽於通入空氣攪動後臭味氣體便上升，其平均臭味氣體濃度 NH_3 6.31 \pm 3.61 ppm (1 ~ 11 ppm); $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ 6.18 \pm 2.01 ppm (2 ~ 8 ppm); RSH 與 H_2S 則測不到，其臭味氣體之變化由試驗過程中發現產生濃度最高時，都在曝氣後第 3 ~ 4 天間，至第 5 天開始下降，顯示利用好氣消化可在短期間內，可使臭味氣體降至最低，此結果同一般廢水污泥處理所採用之好氣消化處理方式一樣 (於與陳，1965⁽¹⁾; 曾與徐，1979⁽²⁾; 曾等 1991⁽³⁾)，但一般報告只針對污泥脫水性質，未測定臭味氣體之變化。在製成污泥餅後，將其收集於袋中，4 小時後測其臭味氣體濃度分別為 NH_3 5.41 \pm 2.20 ppm (3 ~ 9 ppm); $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ 3.21 \pm 0.85 ppm (1.5 ~ 4 ppm); RSH 0.63 \pm 0.63 ppm (0.05 ~ 2 ppm); H_2S 0.26 \pm 0.09 ppm (0.05 ~ 0.45 ppm)，於感覺上已沒有臭味產生，乾燥後更嗅不出有臭味存在。顯示廢水處理場之污泥，只要經過適當之厭氣與好氣消化處理，則所製成之脫水污泥餅，不但沒有臭味其性質也穩定，可直接當有機肥利用或資源化應用。

三、污泥資源化利用

(一) 乾燥污泥作為有機肥利用

乾燥後之豬糞尿污泥經多次分析之結果，其成分含量如下：有機質 50.15~65.9%、pH 6.15~6.42、EC (1:10) 2.47~2.91 mS/cm、T-N 4.19~4.95%、 P_2O_5 9.61~10.90%、 K_2O 0.39~0.63%、CaO 10.28~16.5%、MgO 1.6~1.88%、Zn 0.4~0.6% 及 Cu 590~760 ppm；亦豬糞尿污泥含有大量的氮與磷且 C/N 在 12~13 間，屬一種極佳的有機肥料 (盧與許，1994)⁽⁴⁾。但銅之含量較高，因此於農地施用時仍須注意降低銅之含量及長期追蹤調查，以避免銅對土壤造成污染。收集之乾燥污泥經打粒後應用於小白菜試驗。試驗設計為完全隨機設計，7 處理組 6 重複，共 42 組。此試驗利用 20 L 之塑膠桶，每處理組種植小白菜 20 株，試驗處理分成 A 組全化學肥料，B 組 1/2 化學肥料，C 組 1/2 化學肥料加 10 噸污泥，D 組 1/2 化學肥料加 20 噸污泥，E 組 1/2 化學肥料加 30 噸污泥，F 組 1/2 化學肥料加 40 噸污泥，G 組全污泥 40 T/ha。全化學肥料組為每公頃施用 180 kg N、90

kg P₂O₅、150 kg K₂O，其中化學肥料之使用分成三次，1/3 當基肥，1/3 於播種後第 10~12 天追加，最後 1/3 於播種後 18~20 天施用。而污泥則全當基肥施用，於整地時灑於地面下 10 公分處。

以每公頃不同量之乾燥污泥作為白菜生長所需之養分，經連續種植三批次之結果示於表一。由表一結果顯示，株高在第一次試驗中以 1/2 化肥加 20 T 污泥 顯著高於化學肥料組與添加 40 T 污泥組 (P<0.05)，但與其餘各組間則差異不顯著 (p>0.05)。第二次試驗結果則以化肥組最好，添加 40 T 污泥處最差 (P<0.05)，與其餘各組間之差異也達顯著 (P<0.05)。第三次試驗也以 1/2 化肥加 20 T 污泥組之生長性較好，1/2 化肥組與 40 T 污泥組最差，差異達顯著 (P<0.05)。將三次試驗之結果加以平均，以化學肥料組之生長性最好，1/2 化肥加 20 T 污泥組次之，最差是 40 T 污泥組，其餘各組間則差異小，顯示在白菜之生長方面除以全化肥組種植生長性較好外，在污泥之添加應用上以 1/2 化肥加 20 T 污泥組之生長效果較好，與全化學肥料組差異小，此結果與盧及許 (1994)⁽⁴⁾ 將污泥施用於盤固草牧草地之結果相似。施用污泥量達 40 T 則會發生生長不良與發芽率不佳現象。

在白菜產量方面由表一結果顯示，第一次試驗以 1/2 化肥加 20 T 乾污泥組之產量最好，除優於全化學肥料組 (P<0.05) 外，也與其餘各組間之差異顯著 (P<0.05)，第二次試驗則以全化肥組之重量最佳，全污泥組最差，全化肥組與其餘各組間差異達顯著 (P<0.05)。第三次試驗結果以 1/2 化肥加 20 T 污泥組最差，但與全化肥組差異小，與其餘各組間之差異顯著 (P<0.05)。綜合三次之平均以全化肥組對白菜之產量最好，全污泥 40 T 組最差，而 1/2 化肥添加污泥之各組間，雖以 1/2 化肥加 20 T 污泥組較好，但差異少，顯示污泥種植白菜不論生長性與產量方面皆以 1/2 化肥加 20 ton 污泥組為是最佳之施用方式，如每公頃加 40 T 污泥則對白菜之生長與產量皆不利。

為了解利用污泥所種植之蔬菜成分含量是否有差異存在，而將試驗種植之白菜收成烘乾測定其 N、P、K、Ca、Cu、Zn、Mg 等成分之含量 (表二)。表二之分析結果顯示，在菜葉部分之 N 含量以 1/2 化肥加 40 T 污泥組最高，1/2 化肥與 30 T 污泥組次之，而純用 40 T 污泥組之含量最低，顯示 N 肥之吸收以有機肥配合化學肥料是最佳組合，此一結果與盧與許 (1994)⁽⁴⁾、Ree. *et al.* (1993)⁽¹⁰⁾ 之試驗結果相同。而 P、K 之含量則以全化學肥料組含量較高，其他之 Ca、Mg、Cu 含量則以全污泥組含量較高，Zn 則以 1/2 化肥加 10 T 污泥組較高，但差異小

($P>0.05$)。顯示污泥中的重金屬含量對產品之銅鋅含量無影響，此一結果與譚等 (1998)⁽⁶⁾ 以有機肥應用於蔬果之結果相同。

對根部之成分含量如表二之結果顯示，除 N、P、K 及 Mg 之成分含量以化肥組較高外，其餘成分則以含有機肥料組較高，但差異少，皆未達顯著標準 ($P>0.05$)，尤以 Cu 含量除 1/2 化肥組與 1/2 化肥加 10 T 污泥組較化肥組高外，其餘都較低，顯示在適量污泥施用之情況下對作物之影響小。

污泥施用對土壤中之成分含量變化如表 4 之結果顯示，污泥施用在短期內對土壤中之 pH、EC、T-N 之影響小，對 Zn、P、Cu 之影響較大，尤以土壤中之 Cu 與 Zn 含量隨污泥添加量之增加而提高，添加 40 T/ha 之污泥組之 Zn 之含量比化肥組者高 20 倍，銅高 17 倍之多，P 也高 4.6 倍，顯示污泥中之 Cu、Zn 及 P 含量多寡會影響土壤之成分含量。

表一、豬糞尿污泥對白菜生長與產量之結果

Table 1. Effect of hog waste sludge on the plant height and yield of Chinese cabbage

Treatment	Test 1	Test 2	Test 3	Mean
Plant height (cm)				

A	20.63 ^a ±1.39	22.85 ^a ±1.37	20.50 ^a ±0.73	21.33 ^a ±1.08
B	21.8 ^a ±1.13	17.3 ^b ±0.89	15.72 ^c ±1.17	18.27 ^a ±2.58
C	21.91 ^a ±0.65	17.50 ^b ±0.79	18.22 ^b ±0.45	19.21 ^a ±1.93
D	22.16 ^a ±0.30	17.66 ^b ±0.88	20.76 ^a ±0.85	20.19 ^a ±1.88
E	21.36 ^a ±1.53	17.78 ^b ±0.92	17.10 ^b ±1.93	18.75 ^a ±1.87
F	21.43 ^a ±0.96	18.19 ^b ±0.88	15.65 ^b ±1.36	18.42 ^a ±2.05
G	20.29 ^a ±1.86	13.97 ^c ±0.93	15.22 ^c ±1.30	16.49 ^c ±2.37
Yield (kg)				
A	0.38 ^b ±0.03	0.92 ^a ±0.08	0.51 ^a ±0.05	0.68 ^a ±0.05
B	0.34 ^c ±0.04	0.53 ^b ±0.03	0.28 ^b ±0.05	0.38 ^a ±0.04
C	0.38 ^b ±0.02	0.56 ^b ±0.05	0.43 ^b ±0.04	0.46 ^a ±0.04
D	0.42 ^a ±0.02	0.51 ^b ±0.04	0.53 ^a ±0.1	0.49 ^a ±0.05
E	0.38 ^b ±0.02	0.54 ^b ±0.06	0.41 ^b ±0.98	0.44 ^a ±0.35
F	0.36 ^{bc} ±0.03	0.52 ^b ±0.05	0.29 ^b ±0.06	0.39 ^a ±0.0
G	0.32 ^c ±0.03	0.28 ^b ±0.04	0.28 ^b ±0.04	0.28 ^b ±0.12

^{abc} Means with the same letters within the same column are not significantly different at the 5% level.

A : Chemical fertilizer alone ; B : 1/2 Chemical fertilizer ; C : 1/2 Chemical fertilizer + 10 ton of sludge ; D : 1/2 Chemical fertilizer + 20 ton of sludge ; E : 1/2 Chemical fertilizer + 30 ton of sludge ; F : 1/2 Chemical fertilizer + 40 ton of sludge ; G : 40 ton of sludge alone.

表二、豬糞尿污泥對白菜成分之影響

Table 2. Effect of hog waste sludge on chemical composition of Chinese cabbage

Chemical composition							
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
	(%)			(mg/kg)			
Leaves							
A	4.41 ^a	0.79 ^a	8.59 ^a	1.49 ^a	0.41 ^a	5.83 ^a	38.0 ^a
B	4.08 ^a	0.67 ^a	8.26 ^a	1.08 ^a	0.36 ^a	2.83 ^a	28.5 ^a
C	3.94 ^a	0.82 ^a	8.11 ^a	1.04 ^a	0.30 ^a	7.20 ^a	38.3 ^a
D	4.14 ^a	0.71 ^a	7.78 ^a	1.33 ^a	0.34 ^a	6.00 ^a	34.3 ^a
E	4.53 ^a	0.72 ^a	7.48 ^a	1.25 ^a	0.42 ^a	4.33 ^a	29.2 ^a
F	4.67 ^a	0.64 ^a	6.96 ^a	1.50 ^a	0.43 ^a	6.33 ^a	28.8 ^a
G	4.38 ^a	0.59 ^a	6.26 ^a	1.18 ^a	0.37 ^a	4.50 ^a	25.3 ^a
Roots							
A	3.33 ^a	0.77 ^a	7.83 ^a	0.66 ^a	0.25 ^a	6.67 ^a	36.7 ^a
B	2.78 ^b	0.55 ^a	6.64 ^a	0.78 ^a	0.24 ^a	8.50 ^a	39.2 ^a
C	2.80 ^b	0.46 ^a	6.65 ^a	0.97 ^a	0.22 ^a	8.50 ^a	39.2 ^a
D	2.65 ^b	0.39 ^b	5.87 ^a	0.67 ^a	0.22 ^a	5.33 ^a	34.2 ^a
E	3.16 ^{ab}	0.46 ^a	6.87 ^a	0.62 ^a	0.22 ^a	5.83 ^a	32.5 ^a
F	2.97 ^b	0.54 ^a	5.76 ^a	0.96 ^a	0.20 ^a	6.33 ^a	40.0 ^a
G	2.76 ^b	0.50 ^a	5.82 ^a	0.63 ^a	0.23 ^a	3.33 ^a	31.3 ^a

^{abc} Means with the same letters within the same column are not significantly different at the 5% level.

A : Chemical fertilizer alone ; B : 1/2 Chemical fertilizer ; C : 1/2 Chemical fertilizer + 10 ton of sludge ; D : 1/2 Chemical fertilizer + 20 ton of sludge ; E : 1/2 Chemical fertilizer + 30 ton of sludge ; F : 1/2 Chemical fertilizer + 40 ton of sludge ; G : 40 Ton of sludge alone.

(二) 污泥堆肥之製作與應用

經脫水後污泥同蔗渣堆肥依污泥餅 2.5 份與蔗渣堆肥 1 份混合後，於堆肥發酵槽內進行堆肥發酵 60—70 天後可製成污泥堆肥。所製成之污泥堆肥成分為 pH 6 ± 0.19、EC 2.66 ± 1.13 ms/cm、Organic matter 62.2 ± 4.96%、T-N 2.79 ± 0.17%、P₂O₅ 7.74 ± 1.18%、K₂O 0.5 ± 0.12%、CaO 8.75 ± 1.6%、MgO 1.41 ± 0.24%、Zn 0.33 ± 0.03%、Cu 461 ± 63 ppm。

污泥堆肥應用於高麗菜種植，試驗設計分成化學肥料組與半量化學肥料每公頃添加 10 T、20T、30T 污泥堆肥組及全污泥堆肥組每公頃施用 10 T、20T、30T 與 40T 污泥堆肥共八處理組，每處理 4 重複共 32 試驗區；每試驗區為寬 2.5 m × 長 4.5 m，每株行距 80 cm，株距 45 cm，種植四行每行 10 株共 40 株。全化學肥料組每公頃添加 N 250 kg、P₂O₅ 80 kg、K₂O 125 kg，其中化學肥料氮與鉀肥分

成四次施用，1/3 當基肥施用，其餘 2/3 分成三次追加，分別於第 10~15 天、20~30 天及 30~45 天間，污泥堆肥與磷肥則全當基肥施用。試驗連續進行三次。

污泥堆肥種植高麗菜之生長與產量結果，如表三，由表三中顯示對高麗菜生長之葉長方面，以半量化肥添加 20T 污泥堆肥之 C 組最佳，半量化肥添加 30T 污泥堆肥之 D 組次，兩者間無差異存在 ($P > 0.05$)，最差的是施用 10T 污泥堆肥之全污泥堆肥 E 組與施用全化肥 A 組，A、E 兩組同其餘各組間差異達顯著 ($P < 0.05$)；而施用全污泥堆肥 30T 以上者，之生長性比全化肥 A 組之葉長生長性好。對葉寬之生長結果，以半量化肥添加 30T 污泥堆肥之 D 組最佳，半量化肥添加 20T 污泥堆肥之 C 組次之 ($P > 0.05$)，最差的是施 10T 全污泥堆肥 E 組，其同各組間差異達顯著 ($P < 0.05$)，而施用全化肥 A 組之效果也差。

表三、污泥堆肥對高麗菜生長與產量之結果

Table 3. Chinese cabbage growth and weight as application of sludge compost

Group	Vertical diameter	Horizontal diameter	Leaf length	Leaf width	Weight
	cm			g	
A	12.4 ± 1.6 ^b	19.1 ± 2.2 ^d	29.7 ± 5.8 ^e	32.5 ± 5.1 ^a	1328 ± 420 ^c
B	13.4 ± 2.0 ^a	21.3 ± 2.4 ^b	32.5 ± 4.7 ^{de}	36.0 ± 4.4 ^a	1749 ± 517 ^{ab}
C	12.8 ± 1.8 ^b	21.9 ± 2.6 ^{ab}	35.2 ± 4.5 ^a	37.8 ± 3.5 ^a	1768 ± 565 ^{ab}
D	13.4 ± 1.6 ^a	22.1 ± 2.3 ^a	34.5 ± 5.0 ^{ab}	37.6 ± 4.1 ^a	1849 ± 500 ^a
E	12.0 ± 1.8 ^c	19.5 ± 2.7 ^d	30.2 ± 4.5 ^d	32.2 ± 4.0 ^a	1355 ± 406 ^c
F	12.3 ± 1.8 ^{bc}	20.3 ± 2.1 ^c	32.2 ± 5.1 ^d	34.1 ± 4.3 ^a	1493 ± 457 ^c
G	12.8 ± 1.6 ^b	21.3 ± 2.5 ^b	33.4 ± 4.7 ^{cd}	36.1 ± 3.9 ^a	1691 ± 444 ^b
H	13.8 ± 2.0 ^a	21.7 ± 2.3 ^{ab}	33.8 ± 4.6 ^c	36.4 ± 3.8 ^a	1769 ± 470 ^{ab}

^{abc} Means with the same letters within the same column are not significantly different at the 5% level.

A : Chemical fertilizer alone ; B : 1/2 Chemical fertilizer + 10 ton of sludge compost ; C : 1/2 Chemical fertilizer + 20 ton of sludge compost ; D : 1/2 Chemical fertilizer + 30 ton of sludge compost ; E : 10 ton of sludge compost alone ; F : 20 ton of sludge compost alone ; G : 30 ton of sludge compost alone ; H : 40 ton of sludge compost alone.

在產量方面，由結果顯示污泥堆肥施用於高麗菜種植時，以半量化肥添加 30T 污泥堆肥對生長與產量都可得最佳之效果，其次半量化肥添加 20T 或 10T 污泥堆肥組。如施用全污泥堆肥每公頃 30T 以上時，對高麗菜之生長與產量可同施用半量化肥添加 10T 污泥堆肥組達到相同之效果。但在烘乾實重方面，以

施用全污泥堆肥 30T (G 組) 最佳，半量化肥添加 30T 污泥堆肥組 (D 組) 次之，施用全化肥 A 組與施用全污泥堆肥 10T (E 組) 最差。也由上結果顯示污泥堆肥之施用可增加高麗菜之生長與產量，且以半量化肥再添加污泥堆肥最好。此結果同盧與許 (1994, 2000)⁽⁴⁾ 之報告結果相同。Dyke, *et. al* (1976)⁽⁸⁾ 亦指出，施用有機肥加施部分化學肥料，其作物產量較單純施用化學肥料為高。

污泥堆肥對高麗菜植體成分之影響小，植體中的氮、磷、鉀含量以施用含化學肥料組都比施用全污泥堆肥組高，但差異小，植體中的 Cu、Zn 含量以全化學肥料與半量化肥加 10 T 污泥堆肥組最高，而施用全污泥肥料組之含量都較低，顯示污泥堆肥之施用對高麗菜植體中的 Cu 與 Zn 含量反而減少，此點同譚等 (1998)⁽⁶⁾ 之報告相同，即施用有機肥料對蔬果中的銅鋅含量沒有影響。

污泥堆肥種植高麗菜，經三次種植後對土壤成分之影響如表四，由表四結果顯示，污泥堆肥之施用在連續三次施肥後對土壤之 pH 有提高之趨勢，其中以施用全污泥堆肥 30T (G 組) 最高達 6.27，比全化肥 (A 組) 4.66 高 1.61，在 EC 方面，除了全污泥堆肥 10T (E 組) 與 20T (F 組) 較全化肥 (A 組) 低外，其餘各組都高於全化肥組，其中半量化肥加 30T 污泥堆肥 (D 組) 最高 (2.85)，比全化肥 (A 組) 0.74 高 2.11。對土壤中之 N、P 含量，內表四中顯示污泥堆肥之施用可提高土壤中之含量且隨添加量之提高而增加之趨勢，於全施用污泥堆肥 40T (H 組) 之 N 含量 0.143 ppm 比化肥 (A 組) 0.073 ppm 高一倍 0.074 ppm；P 含量則高更多 (608 vs. 106 ppm) 高 5.7 倍。在 K 成分含量方面以半量化肥加污泥堆肥之組較高，其中以加 30T (D 組) 最高，施用全污泥堆肥與全化肥組之差異小。對土壤中 Cu 與 Zn 之含量則內表 3 中顯示污泥堆肥之施用對土壤中之 Cu 與 Zn 含量顯著提高且隨添加量之增加而提升，因此污泥堆肥中之 Cu 與 Zn 之含量，於當有機肥使用時應注意污泥堆肥中之 Cu 與 Zn 含量不可太高，且以適當用量為宜。此結果同盧與許 (1994, 2000)^(4,5) 之直接應用豬糞尿污泥種植盤固草之結果，顯示豬糞尿污泥之施用對土壤中之 pH 值、有機質、全氮、磷、鈣與鎂均顯著提高。

表四、污泥堆肥種植高麗菜後之土壤成分

Table 4. Soil chemical properties after Chinese cabbage harvest applied sludge compost

Group	pH	EC ms/cm	TN %	mg/kg					
				P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
A	4.75 ± 0.38	1.48 ± 1.16	0.10 ± 0.02	76.7 ± 29.5	191 ± 145	361 ± 37.9	97.2 ± 65.5	1.39 ± 0.16	5.46 ± 2.98
B	4.96 ± 0.10	2.30 ± 1.94	0.12 ± 0.04	147 ± 59.7	173 ± 137	540 ± 94	97.2 ± 14.6	2.95 ± 0.69	16.5 ± 3.41
C	5.45 ± 0.16	1.82 ± 0.94	0.12 ± 0.02	249 ± 126	153 ± 65	687 ± 192	107 ± 31.2	4.16 ± 1.33	29.0 ± 10.9
D	5.60 ± 0.20	2.44 ± 1.20	0.14 ± 0.04	189 ± 128	257 ± 142	865 ± 264	128 ± 36.4	5.39 ± 2.14	51.7 ± 32.2
E	5.86 ± 0.45	0.55 ± 0.13	0.11 ± 0.03	140 ± 56.3	70.2 ± 11.7	588 ± 143	69.2 ± 17.0	3.30 ± 0.55	20.3 ± 3.14
F	6.10 ± 0.64	0.59 ± 0.23	0.13 ± 0.02	224 ± 104	105 ± 37	685 ± 168	126 ± 46.6	4.16 ± 1.25	31.0 ± 11.8
G	6.15 ± 0.67	0.60 ± 0.21	0.13 ± 0.01	323 ± 197	108 ± 61	750 ± 289	136 ± 46.1	5.38 ± 2.54	51.1 ± 32.6
H	5.94 ± 0.75	0.88 ± 0.37	0.14 ± 0.22	389 ± 224	121 ± 46	931 ± 164	92.3 ± 52.7	6.39 ± 2.28	58.0 ± 32.1

A : Chemical fertilizer alone ; B : 1/2 Chemical fertilizer + 10 ton of sludge compost ; C : 1/2 Chemical fertilizer + 20 ton of sludge compost ; D : 1/2 Chemical fertilizer + 30 ton of sludge compost ; E : 10 ton of sludge compost alone ; F : 20 ton of sludge compost alone ; G : 30 ton of sludge compost alone ; H : 40 ton of sludge compost alone.

(三) 污泥堆肥種植水稻

採用大面積農地及水稻—水稻—紅豆的輪作方式，探討以污泥堆肥代替有機質肥料並配合化學肥料的折衷農法，連年施用對農地及作物產量品質之影響。為避免施用污泥堆肥造成土壤重金屬濃度突增，而超過監測值，導致農民權益受損，本研究選擇在低的土壤重金屬背景濃度的農地進行。在考量避免施用急劇造成農田重金屬污染，並考慮污泥堆肥氮素的肥料效率，本研究將污泥堆肥施用量定為每作 2 ton/ha，而污泥堆肥的氮素有效性約以含氮量之 1/3~1/2 估算。

試驗設計將水旱輪作田經以 1 m 寬田埂區隔成對照及污泥堆肥處理兩試區，輪作方式為一、二期水稻及紅豆秋季裡作，於前作穀物採收後將植株殘體切

段掩埋，每處理小區面積 2,700 m²。施肥方式(參試作物及施肥量如表五)() 對照區：依作物施肥手冊之推薦量施用三要素化學肥料，基肥以台肥 39 號複合肥料施用，追肥以硫酸銨施用。() 污泥堆肥區：基肥以污泥堆肥 2 噸/公頃 + 處理 () 之半量化肥，及追肥同處理 () 施用。於種植前後採表土分析化學成分，並調查作物生育性狀、產量及品質。每次調查採樣為將兩個試區各分為四等分，每個等分取 1 個混合樣品，故每個試區有四個樣品。

污泥堆肥種植水稻與紅豆之生長、產量與品質經三年輪作，由各期作植株生育性狀(株高、分蘖數、產量)及植株、穀物部分要素含量分析的結果。對照區與污泥堆肥區三年來各期作株高、分蘖數、產量雖互有增減，但經將四個取樣數值作統計分析，各性狀於處理間並沒有差異表現。而不論植株或食用穀物部分(白米或紅豆種子)之鋅、銅含量，於三年試驗中，並沒有明顯高於對照區的趨勢(分析值之變異往往大於處理間的差異，因為植體以強酸消化定量，稀釋了 125 倍)。經分析谷殼部分之鋅、銅含量(此處數值未列出)，污泥堆肥區亦並未有高於對照區。由三年 8 期作的試驗結果，不論由土壤重金屬或作物品質來評估，在水稻—水稻—紅豆的輪作系統下，每作施用污泥堆肥 2 ton/ha，化學氮素基肥減半施用，化學鉀肥全量施用，化學磷肥則配合土壤檢測結果減施，可同時確保土壤及作物的產量及品質。在簡化施肥原則下，推薦每作施用污泥堆肥 2 ton/ha，化學氮、磷素基肥減半施用，鉀肥全量施用，應是兼顧廢棄物處理及農業生產的可行施肥方式。

綜合以上及前人的試驗結果，禽畜排泄物堆肥(包括污泥堆肥)的再利用，若能配合化學肥料的使用，可較容易達到與施用全量化學肥料相似的農業生產產量及農產品重金屬的品質，並可避免農地受重金屬污染。以養分觀點，污泥堆肥富含有機物，有機養分必需經由礦化作用釋放出來才能為作物所吸收，畜產試驗所產製之污泥堆肥的品質中，污泥堆肥含有高氮、磷，低鉀肥。因此由堆肥之成分分析中顯示若田間連年施以相同量的污泥堆肥，而未改進化學肥料的種類或用量，將使得土壤磷素持續累積，而發生養分不均衡問題，此時應適時考慮磷肥減量或不用，並補充缺乏元素，以達到農業永續經營的目的。

表五、參試作物及施肥量

Table 5. Crops and fertilizer used in the field experiment

Year	Crop and season	Variety	Treatment	Composted sewage sludge ton/ha	Chemical fertilizer		
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O
					kg/ha		
1998	2 nd Rice	Yueh-Guang	CK ^a	0	100	72	48
			Compost	2	76	36	24
	Autumn Adzuki bean	Kaoshiung No. 6	CK	2	60	60	35
			Compost	2	39	60	35
1999	1 st Rice	Yueh-Guang	CK	0	104	60	40
			Compost	0.8	91	60	40
	2 nd Rice	Yueh-Guang	CK	0	90	72	48
			Compost	2	66	36	48
Autumn Adzuki bean	Kaoshiung No. 6	CK	0	60	60	35	
		Compost	2	39	0	35	
2000	1 st Rice	Tai-Keng No. 8	CK	0	160	30	30
			Compost	2	135	0	30
	2 nd Crop	Yueh-Guang	CK	0	90	72	48
			Compost	2	66	36	48
	Autumn Adzuki bean	Kaoshiung No. 6	CK	0	60	60	35
			Compost	2	39	0	35

^a CK : check; the management' of normal farmer fertilizer.

(四) 污泥花盆之製作與應用

豬糞尿含有大量之 N 與 P，如能製成花盆與穴盤培養器材，用於種植作物或育苗則可擴大其實用價值。但因製作成型之過程需有支架支撐，在污泥缺乏此種支撐物質，因此需加入含纖維數量多之物質。經以相同比例之脫水污泥加入固液分離後之牛糞渣、粉碎稻殼及廢紙漿之測試結果，顯示以脫水污泥與牛糞渣及粉碎稻殼製成污泥花盆較困難，形狀與表面粗糙；而以廢紙漿與污泥試製之結果其可行性較高。

污泥花盆之製作經試驗結果，以含水率 75~85% 之污泥餅最適宜與廢紙漿混合，經各種不同配合比之測試，包括由 10 至 70% 之污泥逐漸增加於廢紙漿中，對製盆之條件設定與製盆率結果，最後污泥與廢紙漿之混合比以 40 : 60 (乾基)

可得最佳之製盆率。而在污泥花盆之成型過程中，重要關鍵點在吸漿時間與吸乾時間之控制，烘乾之溫度與時間設定都影響污泥花盆之製作結果。所製成之污泥花盆與廢紙漿製成之花盆，在成分上有所差異，污泥花盆中之 N、P、K、Ca、Cu 與 Zn 之成分含量都比廢紙漿製成之花盆高，其中 Ca、Cu 與 Zn 含量增加較多（Cu 62 vs. 21 ppm；Zn 92.7 vs. 16 ppm），此增加之結果與混合豬糞尿污泥成分含量有關。

以 3.5 吋污泥花盆種植蝴蝶蘭，每次種植 400 盆（試驗組）與 PVC 製成之塑膠花盆（對照組），進行生長與開花之比較（圖二）。試驗共進行三次，且都在水簾溫控栽培室內進行種植蝴蝶蘭。試驗期間每組各取 20 盆，每月定期測定生長情形包括分葉數、葉長、葉寬及開花情形，根部生長、污泥花盆分解情形及死亡率等調查。試驗期間其生長管理同一般之蝴蝶蘭管理方式一樣，只有灑水管理因污泥花盆之保水性差，因此比塑膠花盆增加一倍灑水次數與量。

污泥花盆種植蝴蝶蘭試驗，經三批次之試驗結果顯示：以污泥花盆種植之蝴蝶蘭生長情形佳。由表六之結果顯示，蝴蝶蘭種植於污泥花盆，在生長期間，不論葉長、葉寬都優於塑膠盆；且花苞數、分枝與花朵大小也都優於塑膠盆；其死亡率亦低（2% vs. 10%）；根之生長因可直接穿至盆外，生長較有利。在根系生長方面，根之鮮重與乾重方面，污泥花盆之盆內根系都比塑膠盆者重；根莖之直徑大小，污泥花盆之盆內根也比塑膠花盆之根莖粗，顯示污泥花盆種植蝴蝶蘭對根系生長有利。但因根系伸出盆外，易形成交錯伸長之現象，造成裝盆出售時之困擾，且污泥花盆之保水性差需增加灑水次數。

表六、污泥花盆與塑膠花盆種植蘭花之性狀與開花之比較^a

Table 6. Comparison of the traits and the blooms of the orchids planted in sludge pot and plastic pot^a

Type of pot	Leaf			Root growth	Bloom		
	Length	Width	Number		Length of scape	Size of flower	
						Length	Width
cm			cm				
Plastic pot	19.8 ± 4.7	9.3 ± 4	5.1 ± 1.7	Writhen and slim	51.7 ± 8.3	6.7 ± 0.8	8.8 ± 0.7
Sludge pot	20.1 ± 6.6	9.9 ± 5.1	4.9 ± 1.2	Penetrative and thick	47.1 ± 16	7.6 ± 0.2	9.1 ± 0.4

^aData are presented as mean ± S.E.

(五) 污泥栽培土之製作與應用

利用豬糞廢水之脫水污泥與農產廢棄物如花生殼、稻殼及稻草等，依重量比混合調整水分至 65% 左右進行發酵，於發酵完成後（約 60 天），再與市售增加孔隙率之農用資材，依適當比例混合後調製成栽培土。其成分為有機質 40%、pH 6—7、氮 1.8%、磷 6.2%、鉀 0.7%、銅 212 ppm、鋅 532 ppm，特點是含氮比一般栽培土高，因此用於花卉種植於三個月內可免施用肥料。用於種植菊花之結果，以稻草與花生殼做為調整材之豬糞尿污泥栽培土，種植之菊花，其生長與花苞數都優於泥炭土與市售栽培土，用於種植玫瑰花、香草等生長與開花也優於市售栽培土（圖三）。由於製作成本低，應用面廣，可大規模開發利用，取代市售栽培土。

(六) 污泥膠布之製作與應用

豬糞尿廢水處理場所產生的脫水污泥，除當有機肥利用與生產污泥花盆外，也嘗試與塑膠及可分解澱粉混合後製成污泥膠布取代一般塑膠覆膜當農用覆膜用。污泥膠布之製作，污泥原料收集除需先將污泥消化至無臭味及性質穩定外，污泥脫水需採用污泥曬乾床及加入特殊之製作之 PVAC 液體（聚醋酸乙醇）混合後，乾燥至水分含量在 10% 以下，再收集研磨成粉末備用。試驗設計依污泥、塑膠原料（PP、PE、PVC）、可分解澱粉（玉米澱粉、馬鈴薯澱粉、合作澱粉）

等之不同比例混合而成，污泥添加量以 10、20、30、40、50 及 60% 為主，再配合塑膠原料與可分解澱粉，依不同比例，組合成各種不同污泥含量之污泥膠布，共約 108 處理組，最後選取 6 種不同污泥含量之污泥膠布進行物理性與生物分解性測定，分別委託塑膠工業技術發展中心進行物理性拉力測定，生物技術開發中心進行生物分解性測定。物理性之測試結果，污泥添加量 30% 與農用 PVC 覆膜之比較結果，抗拉強度方面，污泥膠布之斷裂點抗拉強度縱向為 13.6 kgf/cm³，橫向為 9.83 kgf/cm³，PVC 覆膜縱向為 120 kgf/cm³，橫向為 104 kgf/cm³；斷裂點伸長率，污泥膠布縱向為 15.7%，橫向為 11.3%，PVC 覆膜縱向為 169.2%，橫向為 249.8%，顯示污泥膠布之展延性差及易撕裂之特性。生物分解性之測定結果，由二氧化碳釋出量計算所得之生物分解百分率平均值為，污泥添加 10% 組 6.5%、添加 20% 組 9.7%、添加 30% 組 10.2%、添加 40% 組 16.5%，可分解澱粉組 4.1%，對照組（纖維素）112.6%。添加 40% 污泥之污泥膠布在試驗後之外觀觀察結果為呈暗褐色，表面與邊緣完整，不具展延性，但不易破裂。

污泥膠布與 PVC 覆膜種植高麗菜試驗，試驗測試污泥膠布對高麗菜之生長產量及雜草量、破損率等同一般農用 PVC 覆膜之比較，共分成 2 處理 4 重複，由表七結果顯示，對高麗菜之生長，不論葉數、橫徑、縱徑及產量兩者間差異小，但死亡率則污泥膠布較低（11.6 vs. 18.84%），破洞數污泥膠布較多，雜草之生長也以污泥膠布較多（44 vs. 13 株）。高麗菜採收後測定污泥膠布之破損面積在 20 m² 中有 0.6 m² 的破損，破損率 3%，PVC 膠膜破損率 0%；並將採收後之污泥膠布與 PVC 覆膜再進行物理性測試，比較在經 4 個月後之物性變化情形，測試結果，污泥膠布縱向斷裂點抗拉強度為 10.3 kgf/cm²、橫向為 9.7 kgf/cm²、斷裂點伸長率縱向為 6.49%、橫向為 8.79%；PVC 覆膜縱向斷裂點抗拉強度為 81.9 kgf/cm²、橫向為 92.8 kgf/cm²、斷裂點伸長率縱向為 146.4%、橫向為 234.6%。由結果顯示，其斷裂點抗拉強度與伸長率都以縱向之分解率較橫向多，其中以污泥膠布縱向之斷裂點伸長率種植後比種植前差 58.66%（15.7 vs. 6.49%），PVC 覆膜只有差 13.48%，顯示污泥膠布之伸長率差、分解較快。

表七、污泥膠布種植高麗菜之生長結果

Table 7. Growth characteristics of Chinese cabbage in using sludge film for coverage material

	Cross weight	Dry weight	Vertical diameter	Horizontal diameter	Leaf number
	g		cm		
Sludge film	2424.3	128.4	16.9	23.4	96.9
PVC film	2557	127.5	16.7	24.2	93.5

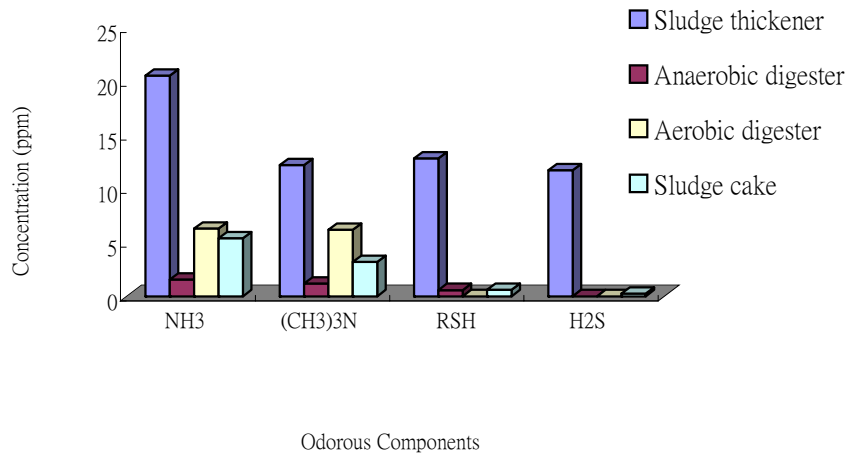
四、結論

畜禽糞尿廢水處理之污泥處理是影響廢水處理結果之關鍵，而污泥資源化利用又是解決廢水處理污泥之處置問題，避免造成二次公害。污泥性質穩定以厭氣消化配合好氣消化處理，可達到無臭與穩定。污泥資源化以製成污泥堆肥當有機肥利用最適宜，但需注意 Cu、Zn 重金屬含量，以免造成污染，而污泥栽培土則是製作簡易、成本低，可大規模應用之產品。污泥花盆與污泥膠布則可取代塑膠花盆與 PVC 覆膜應用於農業用，可減少塑膠之污染與解決糞尿污泥之問題。

五、參考文獻

1. 於幼華、陳茂修。1965。污泥好氣處理之研究。國立台灣大學土木工程研究碩士論文。
2. 曾四恭、徐士鳳。1979。喜氣化污泥真空過濾脫水之研究。第四屆廢水研討會論文集 pp.291-310。
3. 曾迪華、吳正宏、林冠嘉。1991。污泥好氧消化操作特性與消化污泥脫水性質之研究。第十七屆廢水處理技術研討會論文集 pp.381-391。
4. 盧啓信、許福星。1994。豬糞尿污泥在盤固草地之利用。畜產研究 27(3)：219～226。
5. 盧啓信、許福星。2000。豬糞尿污泥對盤固草氮的吸收及產量之影響。畜產研究 33(2)：111～122。
6. 譚鎮中、王銀波、李振州。1998。施用有機肥料對蔬果中硝酸與銅鋅含量之影響。農業廢棄物在有機農業之研討會論文集。桃園區農業改良場編印。pp 101～108。

7. 嚴式清。1995。長期施用豬糞尿有機肥對地下水污染之影響及合理施用量之評估。有機肥料合理施用技術研討會論文集。台灣省農業試驗所。中華土壤肥料學會。pp 14.1~14.12。
8. Dyke, G. V. D. Patterson and T. W. Barnes, 1976. The Woburn long-term experiments on green manure, 1963~1967; Results with barley. Rothamsted Annu.Rep.2: 119-151.
9. De Vrijer, J., 1999. Cover your slurry store. Pig International. 29 (9): 9; 57.
10. Ree, R. M., L. Yan and M. Ferguson, 1993. The release and uptake of nitrogen from some plant and animal manures. Biol. Fertil. Soil 15 : 285-293.



圖一、廢水處理場之污泥消化處理對臭味氣體之變化。

Fig.1. Variations in odorous component's concentration at different of sludge treatment stages.



圖二、污泥花盆種植蘭花。

Fig.2. Orchids grown in the sludge pot.



圖三、污泥栽培土種植香草之生長情形。

Fig.3. Sludge culture median used in planting of herbs.