

設施蔬菜有機栽培長期施用有機質肥料對土壤性質 及蔬菜生育影響¹

羅秋雄²、李宗翰²

摘 要

本試驗自 2000 至 2009 年於桃園縣新屋鄉桃園區農業改良場 PC 浪板鋼構溫室設施進行，主要目的在評估設施蔬菜有機栽培長期施用有機質肥料對土壤性質及蔬菜生育之影響，以施用牛糞堆肥、豬糞堆肥、雞糞堆肥、大豆粕、豌豆苗殘體堆肥及 5 種有機質肥料輪施為處理，栽培有機短期葉菜類蔬菜。試驗結果顯示；栽植 10 年後之土壤 pH 值除施用豬糞堆肥及雞糞堆肥處理仍維持試驗前 pH 值 6.7 水準外，其餘處理土壤 pH 值均呈現下降趨勢，尤以豌豆苗殘體堆肥處理 pH 值 4.0 下降幅度最大。土壤有機質含量隨有機質肥料添加量增加而提高，豌豆苗殘體堆肥及豬糞堆肥處理已高達 130 g kg^{-1} 以上，但大豆粕處理僅較試驗前 (28 g kg^{-1}) 提高約 10 g kg^{-1} 。土壤 EC 值隨有機質肥料添加量增加而提高，以豬糞堆肥及豌豆苗殘體堆肥處理提高幅度最大，大豆粕處理最小。土壤中磷、鉀、鈣及鎂含量均較試驗前增加。以 0.1 N HCl 抽出之土壤有效性鋅含量，除大豆粕處理在 30 mg kg^{-1} 以下外，其餘處理皆已超過我國有機農業土壤鋅容許量基準 (50 mg kg^{-1})，有效性鎘含量，以雞糞堆肥處理最高 (0.38 mg kg^{-1})，已接近容許量基準 0.39 mg kg^{-1} ，其餘有效性銅、鎳、鉻及鉛含量仍遠低於容許量基準。近三年 (2007-2009) 短期葉菜類蔬菜平均產量指數，以豌豆苗殘體堆肥處理 (122%) 最高，較大豆粕處理 (100%) 增產 22%。至於蔬菜植體重量金屬含量處理間差異不顯著，且均在自然含量範圍內。

關鍵詞：設施栽培、有機蔬菜、有機質肥料、土壤品質

¹ 行政院農業委員會桃園區農業改良場研究報告第 414 號。

² 桃園區農業改良場副研究員兼作物環境課課長(通訊作者，cslo@tydais.gov.tw)、助理研究員。

前 言

國內作物有機栽培已逐漸盛行，由於有機栽培規定不得使用化學肥料，其養分主要供應來源為有機質肥料，有機栽培模式下為充足提供作物所需養分，長期大量施用有機質肥料在所難免，蔬菜因生育期短，養分需求量大且密集，尤以氮肥的供應為首要。一般農友除使用植物性有機質肥料外，禽畜糞堆肥也是主要來源，而禽畜糞堆肥隨種類不同，所含成分差異頗大（張，1995）。在設施長期栽培葉菜類大量連續施用的情況下，更可能導致土壤養分不平衡及重金屬累積，影響土壤性質及蔬菜品質，為避免前述情況發生，有必要加以評估，以界定禽畜糞堆肥使用量及使用頻率，做為提供輔導農民正確施用禽畜糞堆肥之依據。過去學者專家大部份針對施用有機質肥料影響土壤物理性質、土壤肥力、氮肥及磷肥型態與礦化速率、土壤中重金屬累積與移動、堆肥 N/P 比偏低造成磷肥過量等問題進行研究（翁，1993；陳，1995；劉等，1995；趙，1996；蔡，1999；Ktetzchmar et al., 1991；Maria et al., 1998），鮮少針對設施有機蔬菜栽培模式下有機質肥料長期施用對蔬菜品質及土壤性質影響進行研究。桃園區農業改良場自 2000 年起於桃園縣新屋鄉本場簡易溫室內，進行蔬菜有機栽培長期施用有機質肥料對蔬菜品質及土壤性質影響研究（王和羅，2005），截至 2009 年止已進行 10 年的試驗，累積甚多的試驗資料，茲將試驗結果整理如下，提供學者專家及有機農戶參考。

材料與方法

試驗地點桃園縣新屋鄉桃園區農業改良場本場 PC 浪板鋼構溫室，試驗前土壤基本性質如表 1。試驗材料牛糞堆肥、豬糞堆肥、雞糞堆肥、大豆粕及豌豆苗殘體堆肥等有機質肥料，基本性質如表 2。供試作物為山萵蒿、福山萵苣、粉葉萵苣、薤菜、青江菜、芹菜、白莧菜、紅莧菜、蘿蔓萵苣及小白菜等。試驗處理包括牛糞堆肥（Cattle dung compost）、豬糞堆肥（Pig dung compost）、雞糞堆肥（Chicken dung compost）、大豆粕（Soybean meal）、豌豆苗殘體堆肥（Pea residue compost）及以上 5 種有機質肥料輪施（牛糞堆肥－豌豆苗殘體堆肥－豬糞堆肥－大豆粕－雞糞堆肥）等 6 處理。試驗採逢機完全區集設計，6 處理、4 重複，合計 24 小區，小區面積 $1.1 \text{ m} \times 5.7 \text{ m} = 6.27 \text{ m}^2$ 。各處理施肥量依作物施肥手冊各作物氮肥推薦量換算成各該有機質肥料量（不考

慮磷和鉀供應量)，有機質肥料施用量計算方式：有機質肥料施用量 = 氮肥推荐量 × (100 ÷ 堆肥乾物中氮成分) × (1 ÷ 堆肥水分含量%) × 2.0 或 1.25 (氮礦化率)，其中牛糞堆肥、豬糞堆肥及豌豆苗殘體堆肥氮礦化率以 50% 計，大豆粕及雞糞堆肥以 80% 計。有機質肥料於整地時一次施入並充分與土壤混合，蔬菜生長期間不再追施肥料。

調查項目包括 1. 分析有機質肥料之 pH、EC、O.M.、P、K、Ca、Mg 及重金屬 (Cu、Zn、Ni、Cr、Cd、Pb) 含量；2. 蔬菜產量調查；3. 試驗前及每期作蔬菜採收後土壤分析 pH、EC、O.M.、P、K、Ca、Mg 及重金屬 (Cu、Zn、Ni、Cr、Cd、Pb) 含量和 4. 測定收穫後之蔬菜植體 N、P、K、Ca、Mg 及重金屬 (Cu、Zn、Ni、Cr、Cd、Pb) 含量。

有機質肥料理化性及成分分析: 有機質肥料與蒸餾水比例 1:5 (w/v)，以 pH meter 測定 pH 值 (McLean, 1982)；有機質肥料與蒸餾水比例 1:5 (w/v)，以電導度計測定 EC 值 (Rhoades, 1982)；利用凱氏法 (Regular Kjeldahl method) 測全氮；以 Walkley-Black 法測定有機碳 (Nelson and Sommers, 1982)，並換算成土壤有機質含量；以二酸混合液 (HNO₃ : HClO₄ = 5 : 1) 將有機質分解，分解液以 Murphy 和 Riley (1962) 法測定磷含量，以火焰光度計測定鉀含量 (Knudsen et al., 1982)，以感應耦合電漿原子發射光譜儀 (ICP) 測定鈣及鎂含量；以濃硝酸及濃過氯酸 (Comc. HNO₃ + HClO₄) 分解有機質，分解液以感應耦合電漿原子發射光譜儀 (ICP) 測定 Cu、Zn、Ni、Cr、Cd 及 Pb 含量。

土壤理化性質分析：土壤與蒸餾水比例 1:1 (w/v)，以 pH meter 測定 pH 值；土壤與蒸餾水比例 1:5 (w/v)，以電導度計測定 EC 值；以 Walkley-Black 法測定有機碳 (Nelson and Sommers, 1982)，並換算成土壤有機質含量；白雷氏第一法抽出土壤 Bray-1 磷，以原子分光光度計定量；孟立克氏第一法抽出土壤交換性鉀、鈣及鎂，以感應耦合電漿原子發射光譜儀 (ICP) 定量；0.1 N 鹽酸抽出土壤中有效 Cu、Zn、Ni、Cr、Cd 及 Pb 重金屬，以感應耦合電漿原子發射光譜儀 (ICP) 定量。

植體成分分析：利用凱氏法 (Regular Kjeldahl method) 測全氮；以二酸混合液 (HNO₃ : HClO₄ = 5 : 1) 將有機質分解，分解液以 Murphy 和 Riley (1962) 法測定磷含量，以火焰光度計測定鉀含量 (Knudsen et al., 1982)，以感應耦合電漿原子發射光譜儀 (ICP) 測定鈣及鎂含量；以濃硝酸及濃過氯酸 (Comc. HNO₃ + HClO₄) 分解有機質，分解液以感應耦合電漿原子發射光譜儀 (ICP) 測定 Cu、Zn、Ni、Cr、Cd 及 Pb 含量。

表 1. 供試土壤基本性質

Table 1. Some selected properties of soil before the experiment.

| pH (1:1) | EC (1:5) | OM | Bray-1 P | Mehlich-1 K | Mehlich-1 Ca | Mehlich-1 Mg |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | dS m ⁻¹ | g kg ⁻¹ | ----- mg kg ⁻¹ ----- | | | |
| 6.7 | 0.1 | 28 | 92 | 127 | 3,059 | 222 |
| 0.1 N HCl Cu | 0.1 N HCl Zn | 0.1 N HCl Cd | 0.1 N HCl Ni | 0.1 N HCl Cr | 0.1 N HCl Pb | |
| ----- mg kg ⁻¹ ----- | | | | | | |
| 2.3 | 16.3 | 0.14 | 2.2 | 0.33 | 4.98 | |

表 2. 有機質肥料基本性質

Table 2. Some properties of organic fertilizers used

| 有機質肥料 Organic fertilizers | pH(1:5) | EC(1:5) | OM | T-N | T-P | T-K | T-Ca | T-Mg |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | dS m ⁻¹ | ----- g kg ⁻¹ ----- | | | | | |
| 牛糞堆肥 Cattle dung compost | 5.1 | 6.8 | 670 | 16.1 | 8.5 | 14.6 | 11 | 4.8 |
| 豬糞堆肥 Pig dung compost | 7.1 | 4.6 | 600 | 27.0 | 9.1 | 10.4 | 17 | 4.6 |
| 雞糞堆肥 Chicken dung compost | 6.9 | 15.2 | 620 | 29.0 | 9.8 | 20.8 | 18 | 5.3 |
| 大豆粕 Soybean meal | 5.6 | 4.3 | 700 | 48.8 | 4.7 | 14.6 | 2 | 1.9 |
| 豌豆苗殘體堆肥 Pea residue compost | 6.1 | 5.8 | 690 | 37.4 | 5.1 | 6.2 | 3 | 2.8 |
| 有機質肥料 Organic fertilizers | T-Cu | T-Zn | T-Cd | T-Ni | T-Cr | T-Pb | | |
| | ----- mg kg ⁻¹ ----- | | | | | | | |
| 牛糞堆肥 Cattle dung compost | 28 | 131 | 0.91 | 7.0 | 6.4 | 12.1 | | |
| 豬糞堆肥 Pig dung compost | 104 | 260 | 3.08 | 22.4 | 10.3 | 37.0 | | |
| 雞糞堆肥 Chicken dung compost | 220 | 303 | 2.28 | 17.8 | 7.9 | 18.1 | | |
| 大豆粕 Soybean meal | 12 | 36 | 0.34 | 6.6 | nd | 1.5 | | |
| 豌豆苗殘體堆肥 Pea residue compost | 19 | 80 | 0.28 | 7.6 | 6.9 | 5.1 | | |

結果與討論

一、對土壤基本性質之影響

有機質肥料施用對土壤 pH 值影響如圖 1 所示。就長期而言土壤 pH 值，受有機質肥料之 pH 及鹼性陽離子總投入量、有機質降解產生有機酸及氮的硝化作用等影響。除施用豬糞堆肥及雞糞堆肥處理 10 年後土壤 pH 值維持試驗前之 6.7 外，其餘牛糞堆肥、大豆粕、豌豆苗殘體堆肥及有機質肥料輪施處理土壤 pH 值均呈現下降趨勢，大豆粕處理 pH 值 4.5 較試驗前降低 2.2 個單位，牛糞堆肥處理 pH 值 4.3 較試驗前降低 2.4 個單位，而以豌豆苗殘體堆肥處理 pH 值 4.0 降低 2.7 個單位幅度最大。有機質肥料施用於土壤後，經由微生物的降解，形成有機酸或高分子的腐植酸時，會伴隨著多量的酸性中間產物、可溶性有機酸、二氧化碳及銨離子 (NH_4^+) 之產生。腐植酸等有機酸含大量羧基，會與土壤中之 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等陽離子置換，而使土壤溶液中的氫離子 (H^+) 增加，但產酸量的多寡則與有機質的分解有關。林和洪 (1992) 及 Yan 等人 (1996) 研究結果也顯示，在有機質肥料降解過程中往往會造成土壤 pH 值的下降。牛糞堆肥、大豆粕及豌豆苗殘體堆肥處理土壤 pH 值下降即為此原因，且該等有機質肥料鈣、鎂元素總投入量較豬糞堆肥及雞糞堆肥為低，且本身 pH 值亦較低。另大豆粕及豌豆苗殘體堆肥處理土壤 pH 值降幅較牛糞堆肥大的原因，應與大豆粕及豌豆苗殘體堆肥蛋白質及碳水化合物含量高，較易分解，硝化作用與有機質的降解作用所產生的氫離子與有機酸更易降低土壤的 pH 值有關。陳和歐 (2005) 試驗結果也顯示相同現象。

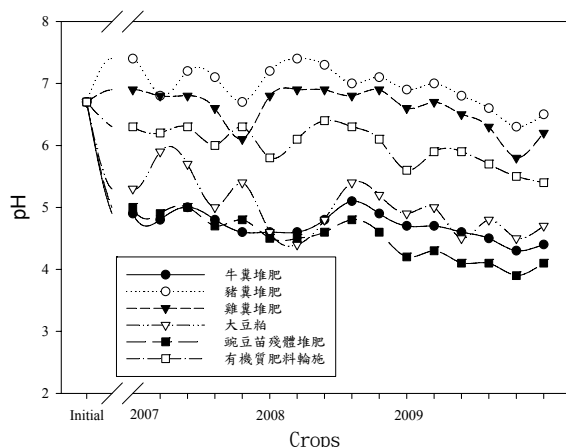


圖 1. 有機質肥料施用對土壤 pH 影響

Fig. 1. Effect of application of organic fertilizers on pH value of soil.

有機質肥料施用對土壤有機質含量影響如圖 2 所示。土壤有機質含量隨有機質肥料施用量增加而提高，且與有機質肥料分解的難易（木質素、纖維素含量）有關。不同有機質肥料施用 10 年後，土壤有機質含量以豌豆苗殘體堆肥及豬糞堆肥處理之增加最為顯著，含量高達 130 g kg^{-1} 以上，牛糞堆肥及有機質肥料輪施處理次之，而以大豆粕處理的效果最差，土壤有機質含量僅較試驗前 (28 g kg^{-1}) 提高約 10 g kg^{-1} 。有機資材施入土壤後其分解速率除受土壤理化性質、微生物及水分影響外，並與有機資材本身的特性如木質素、纖維素含量有關（林，1991）。Stevenson（1986）指出，作物殘體中蛋白質最易分解，其次為碳水化合物，再次為半纖維素及纖維素，而以木質素最難分解。另 Allison（1973）也指出，綠肥之根、莖及葉不同部位的分解速率及氮礦化量，除受植物體氮濃度及碳氮比影響外，也受殘體中木質素、脂質及蠟質含量多寡影響。大豆粕因蛋白質及碳水化合物含量高，且木質素及灰分含量低，容易分解，對土壤有機質含量實質貢獻不大，相對的豌豆苗殘體堆肥主要材料豌豆苗殘體，應與大豆粕有類似容易分解的特性，但因豌豆苗殘體堆肥添加多量的穀殼為副材料，而增加其耐分解性。

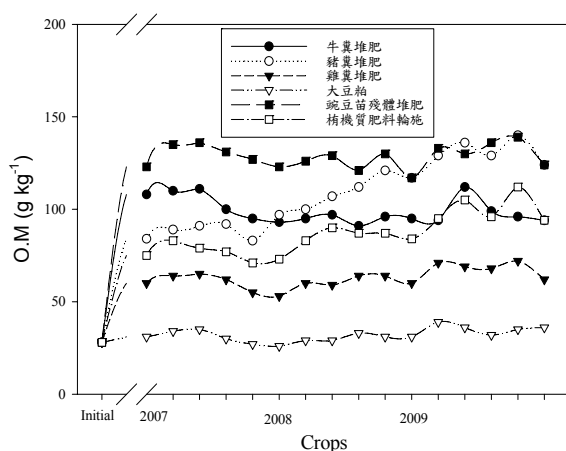


圖 2. 有機質肥料施用對土壤有機質含量影響
 Fig. 2. Effect of application of organic fertilizers on organic matter content of soil.

有機質肥料施用對土壤 EC 值（電導度）影響如圖 3 所示。土壤 EC 值的提高主要與土壤中磷、鉀、鈣、鎂及鈉含量累積有關。試驗前土壤 EC 值 0.11 dS m^{-1} ，不同有機質肥料施用 10 年後，土壤 EC 值隨有機質肥料添加量增加而提高，以牛糞堆肥、

豬糞堆肥及豌豆苗殘體堆肥處理提高幅度最大，分別較試驗前約提高 0.24 dS m^{-1} 、 0.22 dS m^{-1} 及 0.21 dS m^{-1} 。大豆粕處理提高幅度最小，僅較試驗前提高約 0.06 dS m^{-1} ，此與大豆粕本身因含氮量高，以氮含量換算成有機質肥料施用量，以至於大豆粕的總施用量遠較其他有機質肥料為低，亦與大豆粕中鉀、鈣及鎂含量也相對較低有關。土壤鹽類累積程度可用土壤 EC 值表示 (Rhoades, 1982)。三好 (1978) 指出土:水=1:5 之土壤 EC 值在 $0.5\text{-}1.5 \text{ dS m}^{-1}$ 時，對多數作物生長有負面影響。本研究不同有機質肥料處理土壤 EC 值隨有機質肥料添加量增加而提高，但 EC 值仍遠低 0.5 dS m^{-1} ，尚不至於對蔬菜生長造成負面影響。

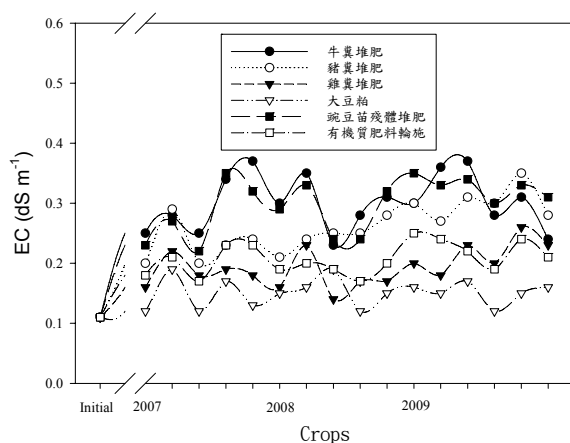


圖 3. 有機質肥料施用對土壤電導度(EC)影響

Fig. 3. Effect of application of organic fertilizers on EC value of soil.

有機質肥料施用對土壤 Bray-1 磷及交換性鉀、鈣及鎂含量影響如圖 4、5、6 及 7 所示。各種有機質肥料處理之土壤 Bray-1 磷含量均較試驗前增加，以豌豆苗殘體堆肥及牛糞堆肥增加幅度最大，其中豌豆苗殘體堆肥處理土壤 Bray-1 磷含量已高達 320 mg kg^{-1} 。土壤交換性鉀含量除大豆粕及豬糞堆肥處理仍維持試驗前水準外，其餘處理也呈小幅度增加。豬糞堆肥、雞糞堆肥及有機質肥料輪施處理之土壤交換性鈣含量均較試驗前提高，但牛糞堆肥、大豆粕及豌豆苗殘體堆肥處理則較試驗前降低，尤以大豆粕處理降幅最大，約較試驗前 $3,059 \text{ mg kg}^{-1}$ 降低 $2,300 \text{ mg kg}^{-1}$ ，此與牛糞堆肥、大豆粕及豌豆苗殘體堆肥鈣含量偏低，總施用量不足供應蔬菜生長所需有關。土壤交換性鎂含量豬糞堆肥、雞糞堆肥及有機質肥料輪施處理均較試驗前提高，而牛糞堆肥及豌豆

豆苗殘體堆肥尚能維持試驗前之 222 mg kg⁻¹ 含量，但大豆粕處理則較試驗前大幅降低，約降低 150 mg kg⁻¹，此與大豆粕鎂含量偏低，總施用量不足供應蔬菜生長所需有關。

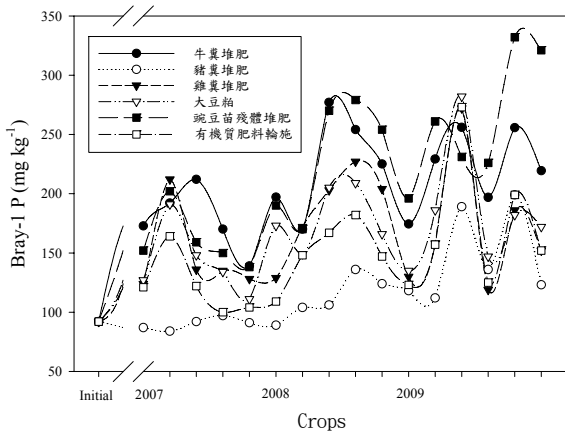


圖 4. 有機質肥料施用對土壤 Bray-1 磷含量影響
Fig. 4. Effect of application of organic fertilizers on Bray-1 P of soil.

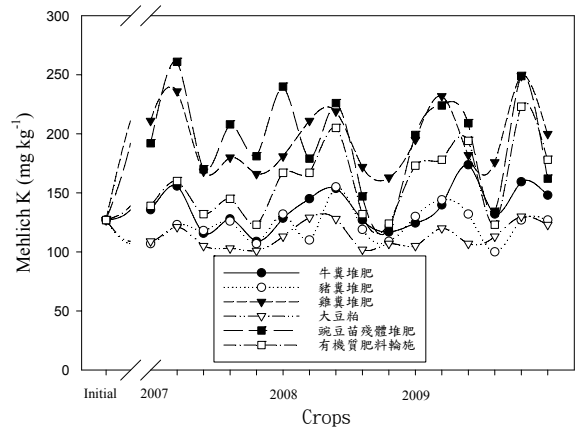


圖 5. 有機質肥料施用對土壤交換性鉀含量影響
Fig. 5. Effect of application of organic fertilizers on Mehlich K of soil.

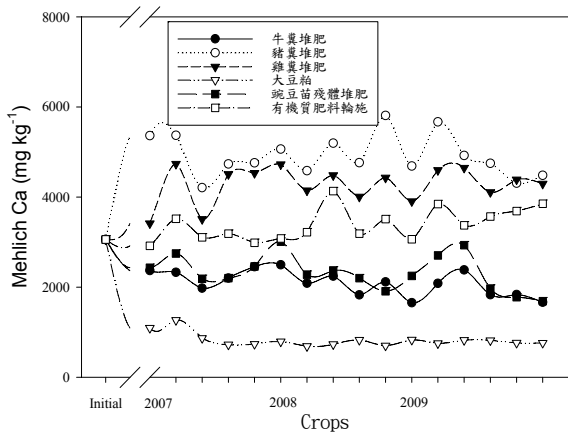


圖 6. 有機質肥料施用對土壤交換性鈣含量影響
Fig. 6. Effect of application of organic fertilizers on Mehlich Ca of soil.

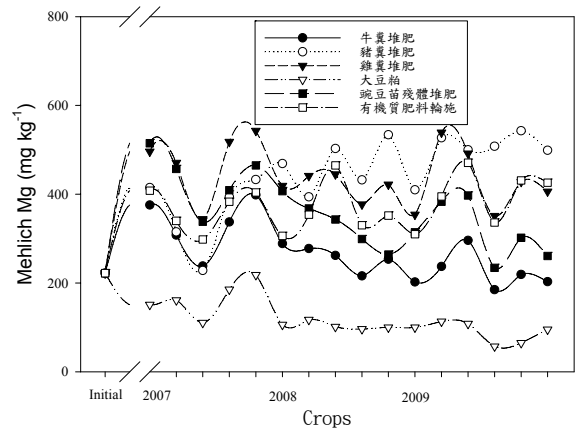


圖 7. 有機質肥料施用對土壤交換性鎂含量影響
Fig. 7. Effect of application of organic fertilizers on Mehlich Mg of soil.

二、對重金屬含量之影響

2000-2009 年伴隨有機質肥料施入土壤中之重金屬總投入量如表 3 所示。豬糞堆肥處理各種重金屬總投入量均高於其他有機質肥料處理，由表 2 各種有機質肥料重金屬含量顯示，試驗使用的豬糞堆肥原料可能摻入工業廢棄物，而導致鎘、鎳、鉻及鉛等重金屬含量偏高。

表 3. 2000-2009 年各試驗處理重金屬總投入量

Table 3. Total amount of heavy metal applied of each treatment during in 2000-2009.

| 試驗處理 Treatments | Cu | Zn | Cd | Cr | Ni | Pb |
|--|-------|-------|------|------|------|------|
| ----- kg ha ⁻¹ ----- | | | | | | |
| 牛糞堆肥 Cattle dung compost | 26.9 | 125.8 | 0.87 | 6.2 | 6.7 | 11.6 |
| 豬糞堆肥 Pig dung compost | 217.1 | 542.7 | 6.43 | 21.5 | 46.8 | 77.2 |
| 雞糞堆肥 Chicken dung compost | 98.2 | 135.2 | 1.02 | 3.5 | 7.9 | 8.1 |
| 大豆粕 Soybean meal | 2.2 | 6.7 | 0.63 | 0 | 1.2 | 0.3 |
| 豌豆苗殘體堆肥 Pea residue compost | 33.1 | 139.6 | 0.49 | 12.0 | 13.3 | 8.9 |
| 有機質肥料輪施 Organic fertilizers by turns | 77.7 | 192.8 | 1.81 | 8.6 | 15.3 | 21.6 |

有機質肥料施用對土壤銅含量影響如圖 8 所示。大豆粕處理土壤 0.1 N HCl 抽出之有效性銅含量較其他有機質肥料處理為高，且略高於試驗前土壤含量 2.30 mg kg⁻¹。由於土壤中有效性重金屬含量會受土壤 CEC、有機質、鋁氧化合物含量及質地等性質影響（Chang et al, 1983; Chaney and Hornick, 1978; Sidle et al, 1977），因此，推斷大豆粕處理因土壤 pH 值偏低，而提高銅的溶解度，且土壤有機質含量（36 g kg⁻¹）遠低於其他有機質肥料處理，相對的也影響到土壤 CEC，致土壤對銅的吸附能力不如其他有機質肥料處理。豬糞堆肥處理重金屬銅總投入量雖然高達 217 kg ha⁻¹，但土壤有效性銅含量却低於試驗前含量，主要因為豬糞堆肥處理之土壤 pH 值高於 6.8，造成銅的溶解度降低，且有機質含量 130 g kg⁻¹ 以上，故提高土壤 CEC，進而降低銅的溶解度。

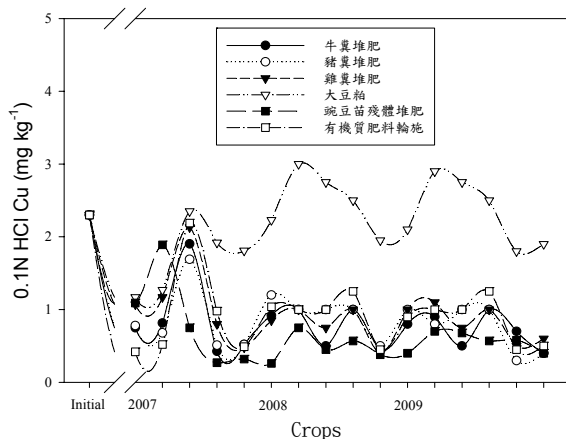


圖 8. 有機質肥料施用對土壤銅含量影響
Fig. 8. Effect of application of organic fertilizers on Cu content of soil.

有機質肥料施用對土壤有效性鋅含量影響如圖 9 所示。各種有機質肥料處理土壤有效性鋅含量均隨鋅總投入量增加而提高，其中豬糞堆肥處理 120 mg kg^{-1} 最高，其次為雞糞堆肥處理 100 mg kg^{-1} ，再次為有機質肥料輪施處理 85 mg kg^{-1} ，以大豆粕處理 26 mg kg^{-1} 最低。根據許多研究結果顯示，禽畜糞堆肥大量施用會造成土壤重金屬的累積，尤其在總投入量遠大於植物體總吸收量情況下，累積情形會更加嚴重(陳, 1995; 劉等, 1995; Barbarick et al., 1998)。土壤有效性鋅含量除大豆粕處理 30 mg kg^{-1} 以下外，其餘處理皆已超過我國有機農業土壤鋅容許量基準 50 mg kg^{-1} 。

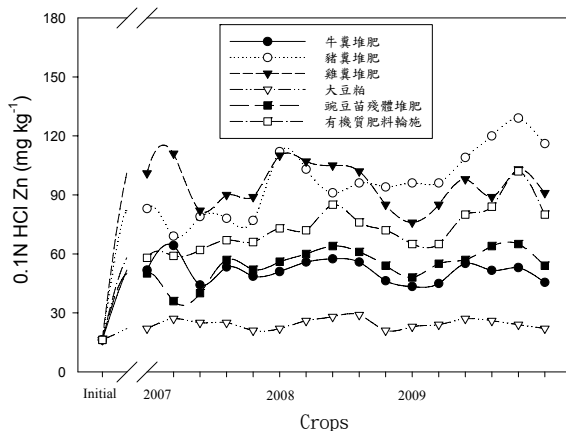


圖 9. 有機質肥料施用對土壤鋅含量影響
Fig. 9. Effect of application of organic fertilizers on Zn content of soil.

有機質肥料施用對土壤有效性鎘含量影響如圖 10 所示。土壤有效性鎘含量以雞糞堆肥處理 0.30 mg kg^{-1} 最高，次為有機質肥料輪施處理 0.20 mg kg^{-1} ，再次為豬糞堆肥處理 0.18 mg kg^{-1} ，均較試驗前含量 0.14 mg kg^{-1} 增加，其中雞糞堆肥處理最高含量 0.38 mg kg^{-1} ，已接近容許量基準 0.39 mg kg^{-1} ，其餘牛糞堆肥、大豆粕及豌豆苗殘體堆肥處理則較試驗前鎘含量降低。

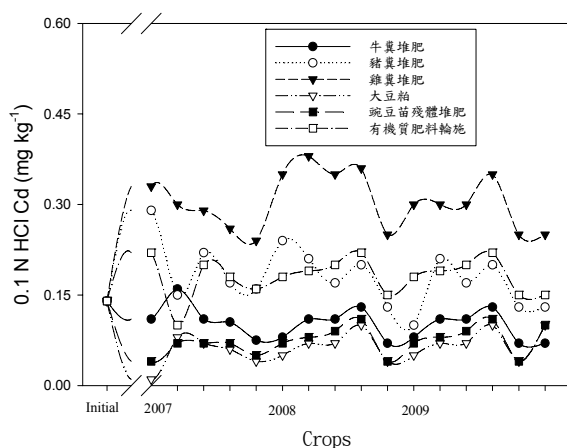


圖 10. 有機質肥料施用對土壤鎘含量影響

Fig. 10. Effect of application of organic fertilizers on Cd content of soil.

有機質肥料施用對土壤有效性鉻含量影響如圖 11 所示。土壤有效性鉻含量以豬糞堆肥處理 6.5 mg kg^{-1} 最高，次為有機質肥料輪施處理 1.8 mg kg^{-1} ，此兩處理土壤鉻含量均較試驗前 0.33 mg kg^{-1} 增加，主要原因與施用豬糞堆肥之鉻總投入量有關，其餘處理仍維持接近試驗前含量。豬糞堆肥及有機質肥料輪施處理土壤有效性鉻含量雖較試驗前提高，但含量仍遠低於有機農業土壤鉻容許量基準。有機質肥料施用對土壤有效性鎳及鉛含量影響如圖 12 及 13 所示。各種有機質肥料處理土壤有效性鎳及鉛含量均分別較試驗前含量（鎳 2.20 mg kg^{-1} 及鉛 4.98 mg kg^{-1} ）降低，且含量遠低於有機農業土壤鎳及鉛容許量基準。

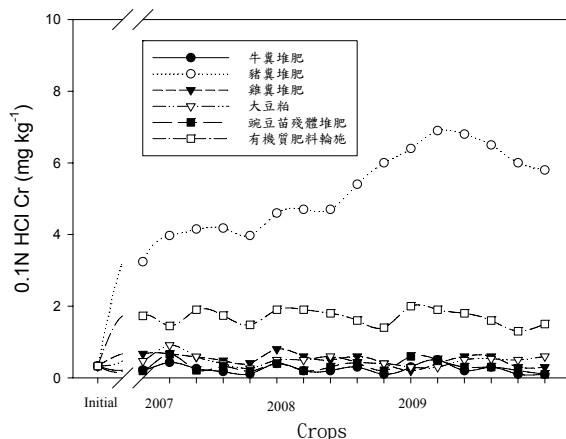


圖 11. 有機質肥料施用對土壤鉻含量影響

Fig. 11. Effect of application of organic fertilizers on Cr content of soil.

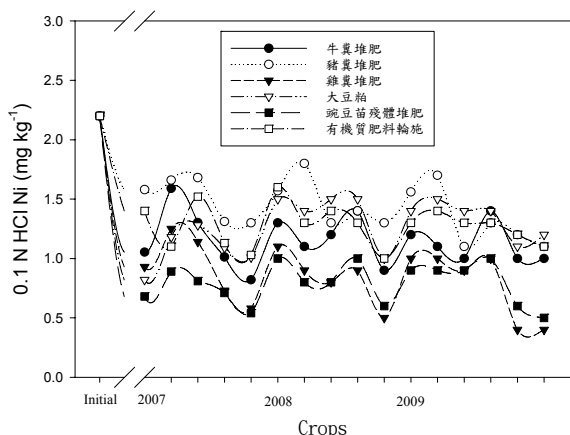


圖 12. 有機質肥料施用對土壤鎳含量影響

Fig. 12. Effect of application of organic fertilizers on Ni content of soil.

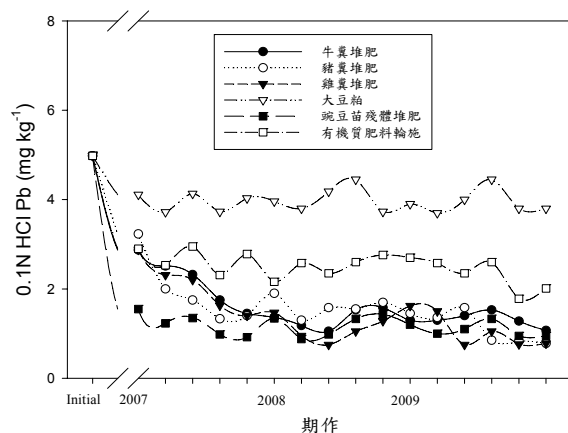


圖 13. 有機質肥料施用對土壤鉛含量影響

Fig. 13. Effect of application of organic fertilizers on Pb content of soil.

三、對蔬菜產量及品質之影響

有機質肥料施用對葉菜類蔬菜產量之影響如圖 14 所示。短期葉菜類蔬菜近三年 (2007-2009) 平均產量指數，以豌豆苗殘體堆肥處理指數 122% 最高，較大豆粕處理 (100%) 增產 22%，次為牛糞堆肥處理 14%，而豬糞堆肥、有機質肥料輪施及雞糞堆肥處理也分別增產 9%、8% 及 3%。大豆粕處理蔬菜平均產量較其他處理為低，主要與大豆粕鈣及鎂含量偏低 (表 2)，總施用量不足供應蔬菜生長所需有關 (圖 6 及 7)。

大豆粕處理因土壤中鈣及鎂嚴重不足，而導致對該等元素敏感之蔬菜種類生長中後期產生缺乏徵狀。蔬菜植體(乾物重)重金屬含量如表 4 所示。蔬菜植體銅含量 2.90-23.81 mg kg⁻¹，鋅 29-189 mg kg⁻¹，鎘 0.11-0.97 mg kg⁻¹，鉻 1.34-9.75 mg kg⁻¹，鎳 0.20-6.63 mg kg⁻¹，鉛 0.12-19.63 mg kg⁻¹，各處理間無顯著差異，且均在自然含量範圍內。

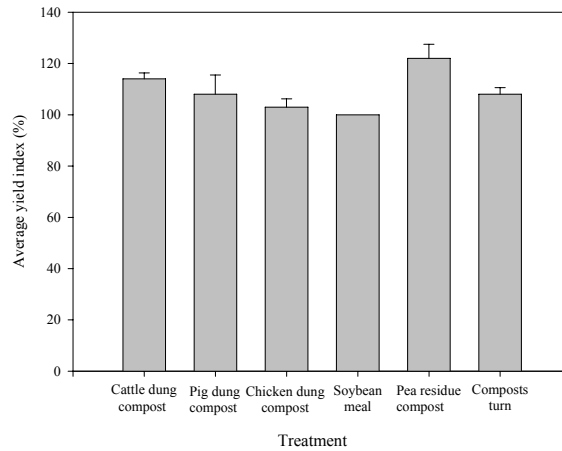


圖 14. 有機質肥料施用對蔬菜產量之影響

Fig. 14. Effect of application of organic fertilizers on yield of vegetables.

表 4. 蔬菜植體（乾物重）重金屬含量

Table 4. The heavy metal content of vegetables plant.

| 試驗處理 Treatments | Cu | Zn | Cd | Cr | Ni | Pb |
|---|---------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | ----- mg kg ⁻¹ ----- | | | | | |
| 牛糞堆肥 Cattle dung compost | 3.42-23.81 | 51-189 | 0.21-0.97 | 1.56-8.50 | 0.40-5.56 | 0.13-19.16 |
| 豬糞堆肥 Pig dung compost | 3.36-16.44 | 30-115 | 0.17-0.91 | 1.84-9.75 | 0.40-6.10 | 0.23-16.94 |
| 雞糞堆肥 Chicken dung compost | 4.10-21.19 | 29-140 | 0.15-0.88 | 1.78-9.66 | 0.30-5.72 | 0.28-21.16 |
| 大豆粕 Soybean meal | 4.26-20.28 | 70-185 | 0.20-0.88 | 1.34-9.25 | 0.30-6.63 | 0.22-19.63 |
| 豌豆苗殘體堆肥 Pea residue compost | 2.90-21.03 | 58-165 | 0.11-0.97 | 1.80-9.25 | 0.20-6.56 | 0.13-19.63 |
| 有機質肥料輪施 Organic fertilizers by turns | 3.38-15.84 | 32-120 | 0.12-0.94 | 1.50-9.53 | 0.30-5.78 | 0.40-19.06 |

參考文獻

- 王斐能、羅秋雄。2005。溫室栽培下長期施用不同有機質肥料對土壤性質影響。有機質肥料之施用對土壤與作物品質之影響研討會論文集。國立臺灣大學編印。p.97-104。
- 林滄澤。1991。不同有機物在土壤中養分釋放之研究。中興大學土壤環境科學系碩士論文。
- 林紫慧、洪崑煌。1992。土壤酸性的認識。酸性土壤特性及其改良研討會論文集。中華土壤肥料學會。p.1-49。
- 翁玉娥。1993。有機肥料的添加對磷在土壤中的轉變及有效性的影響。國立中興大學土壤研究所碩士論文。p.13-33。
- 陳尊賢。1995。長期施用豬糞堆肥對土壤中重金屬之累積及合理施用量之評估。有機質肥料合理施用技術研討會專刊。臺灣省農業試驗所編印。p.200-214。
- 陳仁炫、歐淑真。2005。不同有機質材之磷釋出特性及對土壤性質之影響。有機質肥料之施用對土壤與作物品質之影響研討會論文集。國立臺灣大學編印。p.19-46。
- 張淑賢。1995。有機資材利用之試驗研究現況與展望。有機肥料合理施用技術研討會專刊，臺灣省農業試驗所編印。p.1-14。
- 劉文徹、李松武、王銀波。1995。有機肥料之施用與土壤重金屬之聚積、作物吸收之關係。有機質肥料合理施用技術研討會專刊。臺灣省農業試驗所編印。p.215-227。
- 趙震慶、蘇楠榮、王銀波。1996。有機農耕法之土壤肥力的變遷。中華農學會報。173: 85-102。
- 蔡宜峰。1999。禽畜糞堆肥對作物生長及土壤特性之影響。農業有機廢棄物處理與應用。中華生質能源學會。p.73-85。
- 三好洋。1978。土壤診斷法。農山漁村文化協會。東京。
- Allison, F. E. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. p.461-483. Elsevier, Amsterdam.
- Barbarick. K.A., J. A. Ippolito, and D. G. Westfall. 1998. Extractable trace elements in the soil profile after of years of bio-solids application. J. Environ. Qual. 27:801-805.
- Chaney, R. I. and S. B. Hornick. 1978. Accumulation and effects of cadmium on crops. In Proc. 1st Int. cadmium Conf., Met Bull., Ltd., London. p.125-140.

- Chang, A. C., A. L. Page., J. E. Warneke., M. R. Resketo, and T. E. Jones. 1983. Accumulation of cadmium and zinc in barley grown on sludge-mended soils. A long-term field study. *J. Environ. Qual.* 12:391-397.
- Knudsen, O, G. A. Peterson, and P. F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. In A. L. Page(ed) *Methods of soil analysis. Part II. 2nd edition Agronomy.* p.225-246. ASA. Madison. WI.
- Ktetzchmar, R. M., H. Hafnar, A. Bationo, and H. Marschner. 1991. Long and short term effects of crop residues on aluminum toxicity, phosphorus available and growth of pearl millet in an acid sandy soil. *Plant Soil.* 136:215-223.
- Murphy, J. and L.E. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.* 27:31-36.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In A. L. Page et al (ed.) *Methods of soil analysis, Part 2. 2nd ed. Agronomy Monograph no.9* p.199-224.
- Maria J. M, Francisca L, Patricia S, and Susana M. 1998. Agronomic and environmental aspects of utilization of organic residues in soils of the Andean-Patagonian region. *Soil Sci. Plant Nutr.* 44:105-113.
- Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In A. L. Page et al (ed.) *Methods of soil analysis, part 2. 2nd ed. Agronomy Monograph no.9* p.539-579.
- Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. In A. L. Page et al (ed.) *Methods of soil analysis, Part 2. 2nd ed. Agronomy Monograph no.9* p.167-179.
- Stevenson, F. J. 1986. *Cycle of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.* John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Sidle, R. C., J. E. Hook, and L. T. Kardos. 1977. Accumulation of heavy metals in soil as influenced by extended wastewater irrigation. *J. Water Pollut. Control Fed.* 49:311-318.
- Yan, F., S. Schubert, and K. Mengel. 1996. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. *Soil Biol. Biochem.* 28:617-624.

Effects of Long-Term Application of Organic Fertilizers on Growth of Organic Vegetable and Soil Properties in Plastic Greenhouse¹

Chiu-Shyong Lo² and Tzung-Han Lee²

Abstract

Experiment were conducted to determine the effects of long-term application of organic fertilizers on the growth of organic vegetable and soil properties in a plastic greenhouse during 2000 to 2009 at TYDAIS (Hsinwo, Taoyuan). Cattle dung compost, pig dung compost, chicken dung compost, pea residue compost, soybean cake and those organic fertilizers by turns were used, and organic short-term leaf vegetables were cultivated in this experiment. The results showed that soil pH were reduced for all treatments except for the treatments with pig dung compost and chicken dung compost, and the greatest reduction was found in pea residue compost treatment. The soil organic matter (SOM) content increased with increasing amount of organic fertilizers added, and the contents of SOM were above 130 g kg^{-1} for the treatments with pea residue compost and pig dung compost, but only 10 g kg^{-1} increased for soybean meal treatment. The soil EC value increased with increasing application of organic fertilizers, the highest increase was found in the treatments of pig dung compost and pea residue compost, and soybean meal treatment was the least. The availability of phosphorus, potassium, calcium and magnesium in the soils increased with organic fertilizers application. The 0.1 N HCl extractable Zn contents for all treatments were higher than the limit of organic soil regulation (50 mg kg^{-1}) in Taiwan except for soybean meal treatment ($< 30 \text{ mg kg}^{-1}$). The values of 0.1 N HCl extractable Cd in the soils with chicken dung compost was the highest (0.38 mg kg^{-1}), and was closer to the limit of organic soil regulation (0.39 mg kg^{-1}) in Taiwan, however, the contents of Cu, Ni, Cr and Pb were below the regulation limits. The highest average yield index (2007-2009) of short-term leaf vegetables was found in the treatment with pea residue compost, and increased 22 % compared with that of soybean meal treatment. In general, the content of heavy metals in plants was no significant difference among treatments, and was within the natural range of plants.

Key words: plastic greenhouse, organic vegetables, organic fertilizers, soil quality

¹. Contribution No.414 from Taoyuan DARES, COA.

². Associate Researcher(Corresponding author, cslo@tydais.gov.tw), Assistant Researcher, respectively, Taoyuan DARES, COA.