土壤與環境，民國八十九年十二月，第三卷，第四期，第345頁至第352頁
Soil and Environ., December 2000, Vol. 3, No. 4, p345-p352.

堆肥中全有機態碳、氧化態碳與有機物質間之關係
Relationships Between Total Organic Carbon, Oxidable Carbon, and Organic Matter in Compost

鄭智馨*、簡宣裕、李艷琪、張愛華
Chih-Hsing Cheng*, Shiuan-Yuh Chien, Yahn-Chir Lee and Ai-Hwa Chang

ABSTRACT

Element analysis, Walkley-Black wet oxidation, and loss-on-ignition (LOI) methods were used to determine total organic carbon (TOC), inorganic carbon (IC), oxidable carbon (OXC), and organic matter (OM) in compost samples. Twenty-three compost samples consisting of plant residues, poultry manure, swine manure, and cattle manure were collected from Taiwan local compost plants. Ratios between TOC, OXC, and LOI were not as adequate as in soils or other wastes. Thus, we proposed the linear regression equation to correlate TOC-OXC and TOC-LOI. The OXC and LOI can be converted into TOC by the equation TOC=0.98OXC + 2.50 and a conversion factor 0.52, both with highly statistic significance at $p < 0.001$, respectively. The results could be of great help in laboratories in which the element analysis is not available or in simple routine analytical determination.

Key words: Total organic carbon, oxidable carbon, organic matter, element analysis, wet oxidation method, loss-on-ignition, compost

摘 要

利用元素分析儀、濕氧化法與燃燒失重法 (LOI) 測定堆肥樣品之全有機態碳 (TOC)、無機態碳 (IC)、氧化態碳 (OXC) 與有機物質 (OM)。堆肥樣品係採集自台灣地區 23 家堆肥場，包括植物殘渣堆肥、雞糞堆肥、豬糞堆肥與牛糞堆肥。由於 TOC、OXC 與 LOI 的相互比值不完全相當於土壤或其它廢棄物樣品，因此，我們提出線性迴歸方程式，建立 TOC 與 OXC 以及 TOC 與 LOI 之間的相關。OXC 與 LOI 可分別使用均具有顯著性相關的轉換方程式 TOC = 0.98OXC + 2.50 與 LOI 測定有機物質中 52% 爲 TOC。這樣的結果對於沒有元素分析儀設備或作簡單例行性分析的實驗室十分有幫助的。

關鍵字：全有機態碳、氧化態碳、有機物質、元素分析、濕氧化法、燃燒失重法、堆肥

前 言

有機碳的測定方法，一般常用乾燒法 (dry combustion) 與濕氧化法 (wet oxidation method) 兩種 (Nelson and Sommers, 1982)。

農業委員會農業試驗所農業化學系（台中縣霧峰鄉中正路189號 農業試驗所農業化學系tel: 04-3302301 ext 412 ; fax: 04-3302805）。Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agriculture Research Institute, Council of Agriculture, Taichung, Taiwan 413, ROC
* Corresponding author, E-mail: chcheng@wufeng.tari.gov.tw

乾燒法是利用高溫 (~1000℃) 將樣品中的有機碳轉換成二氧化碳，再定量二氧化碳測出樣品有機碳的含量。以乾燒法可得到正確的全有機碳 (total organic carbon, TOC)，不過高溫時碳酸鹽類也同時會被分解釋放出二氧化碳而影響定量，因此，分析前必先去除樣品中之碳酸鹽類，才能得到眞正的 TOC。但本法最大的缺點在於分析成本昂貴，操作複雜且費時。Walkley-Black 濕氧化法 (Walkley and Black, 1934) 是濕氧化分析法中最被廣泛使用的測定有機碳方法，它提供了更簡單快速的操作，而且分析價格便宜。雖然濕氧化法測定僅部分氧化態碳 (oxidable carbon, OXC) 而非 TOC會被氧化劑氧化，不過 TOC 與 OXC 仍存在相當高相關性，因此，仍可藉一轉換係數或方程式將OXC 換算成 TOC。

另一個常被使用作測定有機物質 (organic matter, OM) 的方法就是燃燒失重法 (loss-on-ignition, LOI)，一般慣用將土壤有機物質乘以 58% 得到全有機態碳。不過以 LOI 方式測定有機物質時，某些樣品中會出現高估現象，主要來自於土壤粘粒中的層間水或是碳酸鹽物質，會在高溫下造成水分與二氧化碳的失重而高估。在堆肥樣品中，由於沒有粘粒成分，因此，前者的干擾可以去除，含有碳酸鹽物質的樣品中，許多學者提出以不同的溫度既可將有機質全部燃燒又可避免碳酸鹽的干擾 (Davies, 1974; Storer, 1984; David, 1988; Donkin, 1991)。

隨著有機廢棄物的增加，有機廢棄物農業再利用，例如將其使用作爲土壤有機肥料、土壤改良劑或是栽培介質等，成了解決廢棄物污染與資源回收循環中較可行的方法 (Inbar *et al.*, 1993; Ayuso *et al.*, 1995)。台灣有機廢棄物的處理，大部分透過各地堆肥場，將其經堆肥化過程而製作成堆肥或有機肥料。堆肥樣品中有機碳的含量，不僅影響堆肥化過程外，也被使用於堆肥腐熟度評估 (Jimenez and Garcia, 1989)。本文主要目的爲 (1) 利用元素分析儀、濕氧化法與燃燒失重法測定堆肥樣品之 TOC、IC、OXC 與 OM 含量；(2) 比較 TOC 與 OXC 以及 TOC 與 LOI 之相關性，並發展線性迴歸方程式，提供較爲簡單快速而且成本便宜的分析方法，用於測定堆肥樣品的有機碳含量。

材料與方法

堆肥樣品

堆肥樣品的採樣方式，以採集自堆肥場現址中的堆肥成品爲主，共採集台灣地區 23 家堆肥場成品。樣品採集後經 55℃ 通氣烘乾，並以磨粉機磨碎至 0.25 mm 顆粒以下儲存。所有分析試驗除 $LOI_{550℃}$ 係兩重覆外，其它均爲 3 重覆，結果以 105℃ 烘乾後乾物重表示。

根據堆肥場所使用堆肥材料的不同，將其區分成植物殘渣堆肥 (plant residues, PR)、雞糞堆肥 (poultry manure, PM)、豬糞堆肥 (swine manure, SM) 與牛糞堆肥 (cattle manure, CM) 等四組。植物殘渣堆肥中 PR1、PR3、PR4、PR5 與 PR7 之主要原料來自菇類廢棄介質與油粕類，而 PR1 另含有花生殼，PR4 含有酒廠廢渣，PR5 含有菸葉與菸桿，PR7 則含有毛豆桿作爲堆肥原料；PR2 全爲油柏類混合，且不經堆肥化過程，直接乾燥製粒；PR6 爲醣蜜發酵濃縮與蔗渣混合製成堆肥；PR8 與 PR9則爲樹皮堆肥。雞糞堆肥中 PM1、PM3 與 PM6 的主要原料以蛋雞雞糞加上菇類廢棄介質爲主；PM2、PM4 與 PM5 則以混合蛋雞與肉雞雞糞加上菇類廢棄介質爲主。豬糞堆肥中主要原料除豬糞外，SM1、SM2、SM3與

SM4 另含有菇類廢棄介質，SM5 與 SM6 則另含有蔗渣與蔗葉。牛糞堆肥中，CM1 爲純牛糞堆肥，CM2 爲牛糞與蔗渣混合製成之堆肥。

表一列出堆肥樣品中一般及腐熟度特性分析。全氮以元素分析儀測定，分析條件如 TOC 分析。水溶液萃取碳與有機氮比測定依據 Chanyasak and Kubota (1981) 所提出之方法，全碳與全氮以元素分析儀測定 (Sanchez-Monedero *et al.*, 1996)，無機態氮以蒸餾法測定 (Keeney and Nelson, 1982)，全氮與無機態氮的差值爲有機態氮。pH 與 EC 以去離子水 (1:10 w/w) 萃取新鮮堆肥，1 小時後測定。

氧化態碳測定

以 Walkley-Black 方法 (Walkley and Black, 1934) 測定堆肥樣品之 OXC。秤 50 mg 樣品於 500 ml 三角瓶中，加入 20 ml 1N $K_2Cr_2O_7$ 與 40 ml 濃硫酸，迅速震盪混合 30

Table 1. Some general and maturity characteristics of compost.

Compost No.[1]	TOC %	Nt[2] %	TOC/Nt	Water-extracts (mg/g)			pH	EC dsm^{-1}
				C	N_{org}[3]	C/N_{org}		
PR1	35.85	2.98	12.03	45.23	6.32	7.16	8.69	3.91
PR2	47.50	6.78	7.01	61.69	11.93	5.17	5.45	3.75
PR3	33.14	2.47	13.42	11.05	1.38	8.01	7.65	9.41
PR4	41.41	3.14	13.19	38.87	2.93	13.27	5.90	6.01
PR5	43.50	3.19	13.64	73.43	5.05	14.54	5.31	10.64
PR6	33.19	2.14	15.51	13.02	1.35	9.66	6.81	8.03
PR7	31.70	3.44	9.22	17.35	2.98	5.82	8.54	4.11
PR8	45.23	1.07	42.27	3.17	0.28	11.30	6.65	0.24
PR9	34.23	1.40	24.45	4.09	0.38	10.79	6.84	0.37
PM1	21.01	1.74	12.07	20.17	2.67	7.56	9.26	7.85
PM2	27.40	2.39	11.46	37.65	6.07	6.21	8.50	8.67
PM3	20.71	2.28	9.08	33.73	5.44	6.21	8.62	8.34
PM4	32.47	1.89	17.18	17.12	1.47	11.65	8.29	2.41
PM5	26.95	3.11	8.67	56.81	8.90	6.39	7.96	10.88
PM6	30.06	2.50	12.02	53.92	6.44	8.37	8.51	9.70
SM1	35.05	2.15	16.30	16.67	1.55	10.77	8.08	2.35
SM2	37.80	3.04	12.43	21.93	2.63	8.35	8.29	1.86
SM3	36.72	2.19	16.77	21.38	1.96	10.89	8.38	2.56
SM4	36.62	3.96	9.25	28.04	3.94	7.11	7.79	3.32
SM5	8.39	0.94	8.93	2.43	0.22	11.17	6.89	1.86
SM6	20.84	1.79	11.64	12.73	1.77	7.18	7.66	4.22
CM1	24.95	2.01	12.41	21.14	2.27	9.29	9.16	5.64
CM2	17.34	1.40	12.39	6.71	0.90	7.49	8.13	2.95

1. PR: Plant residues. PM: Poultry manure. SM: Swine manure. CM: Cattle manure.
2. Nt: Total nitrogen.
3. N-org: Organic nitrogen in water-extracts.

秒，30 分鐘後加入 200 ml 的去離子水，未被還原之過量氧化劑以 0.5 N $FeSO_4$ 滴定。空白試驗以相同方式加入等量的 $K_2Cr_2O_7$ 與濃硫酸進行。滴定指示劑使用 2 mM o-phenanthrolin-ferrous complex (Ferroin) 試劑。Walkley-Black 方法 OXC 含量計算如下式表示

$$\% \text{ OXC} = (\text{meq } K_2Cr_2O_7 - \text{meq } FeSO_4)\ (0.3) / W$$

其中 W 爲堆肥樣品乾物重。

全有機態碳與無機態碳測定

TOC 與 IC 測定以元素分析儀 (Carlo Erba instruments, EA 1108) 進行 (Navarro *et al.*, 1991)。由於元素分析儀無法區別 TOC 與 IC，因此，樣品必須先加入 1:10 (v:v) 鹽酸以去除碳酸鹽類後而得到樣品 TOC。精秤堆肥樣品 2-4 mg (0.001 mg 準確度) 至錫囊 (tin capsule) 中，加入 20 μl 鹽酸 (相當於 1 g 堆肥樣品加入 5-10 ml 鹽酸)，置於 45℃ 烘箱 2 小時後，將錫囊封閉後放入元素分析儀分析，可得到堆肥樣品之 TOC。若堆肥樣品不經鹽酸處理，直接封閉錫囊放入元素分析儀測定，則得到堆肥樣品之全碳 (total carbon)，全碳與 TOC 間的差值即爲 IC。

元素分析儀以 BBOT (2-5-Bis-(5-tert.-butyl-benzoxazol-2-yl)-thiophen) 當標準樣品，樣品反應溫度爲 1020℃，銅線還原反應溫度爲 600℃，氣相層析分離管柱溫度爲 60℃，CO_2 測定以電導偵測器定量。每分析 10 個樣品，再以標準樣品校正，每個樣品分析時間爲 750 秒。

燃燒失重法測定

秤取約 2 g 堆肥樣品於坩堝中，先放於 105℃ 之烘箱中烘乾隔夜，測定烘乾重量及水分含量。再置於灰化爐 (muffle furnace) (Neytech 185P) 中測定 LOI。升溫時以每分鐘上升 10℃，並分別在 450℃ ($LOI_{450℃}$) 10 小時與 550℃ ($LOI_{550℃}$) 4 小時兩種分析條件下進行，坩堝取出後置於乾燥器後秤重。烘乾後重量與經灰化爐燃燒後重量的差值，即堆肥樣品之 LOI。

結果與討論

堆肥中全有機態碳、氧化態碳、有機物質與無機態碳含量

表二列出堆肥樣品 TOC、OXC、LOI 與 IC 的含量及測定方法間的比值。TOC 與 OXC 之分佈，除 SM5 外，約介於 16.58% 至 47.50%，LOI 之分佈同樣除了 SM5 外，介於 31.56% 至 90.89%。SM5 係由於蔗渣堆肥材料在堆放過程中曾發生火災，使得堆肥化後造成低有機物質的結果。分組堆肥樣品中，普遍以植物殘渣堆肥之 TOC、OXC 與 LOI 含量較高，特別在 PR2 中，由於該樣品直接將油粕類混合，未經堆肥化過程，而使得其有機物質含量較高 (Bernal *et al.*, 1998)；以雞糞堆肥與牛糞堆肥之 TOC、OXC 與 LOI 的含量較低。

堆肥樣品中除雞糞堆肥與部分植物殘渣堆肥、豬糞堆肥外，其它堆肥樣品中並無 IC 存在。IC 的含量介於 0.89% 至 3.98% 間，約相當於 7% 至 33% 的碳酸鈣含量。雞糞堆肥中的 IC 主要來自飼料中碳酸鈣的添加，而植物殘渣堆肥或豬糞堆肥中高量之 IC，可能堆肥材料來自含有高量碳酸鈣成分的菇類廢棄介質，或是在堆肥中添加蚵殼粉或石灰等。

全有機態碳與氧化態碳之相關

關於 TOC 與 OXC 的比值，除 SM3 與 PM4 外，其餘分佈範圍介在 1.00 至 1.22 間。此係由於 SM3 樣品，取樣可能來自厭

土壤與環境，民國八十九年十二月，第三卷，第四期，第345頁至第352頁
Soil and Environ., December 2000, Vol. 3, No. 4, p345-p352.

Table 2. Values of total organic carbon (TOC), oxidable carbon (OXC), organic matter (OM) determined by loss-on-ignition at 550℃ ($LOI_{550℃}$) & 450℃ ($LOI_{450℃}$), inorganic carbon (IC) and some ratios between them in compost (% of dry matter at 105℃).

Compost No.	TOC %	OXC %	OM(%) $LOI_{550℃}$	OM(%) $LOI_{450℃}$	TOC/OXC	$LOI_{550℃}$/TOC	IC %
PR1	35.85	32.15	72.65	72.51	1.12	0.49	2.34
	(0.696)†	(1.173)	(0.003)	(0.007)			
PR2	47.50	46.04	90.89	90.49	1.03	0.52	0
	(0.247)	(1.232)	(0.000)	(0.001)			
PR3	33.14	32.90	67.83	66.58	1.01	0.49	2.38
	(0.137)	(1.138)	(0.001)	(0.003)			
PR4	41.41	38.68	81.46	80.88	1.07	0.51	0
	(0.150)	(0.647)	(0.001)	(0.000)			
PR5	43.50	41.57	81.98	81.37	1.05	0.53	0
	(0.047)	(1.128)	(0.001)	(0.001)			
PR6	33.19	32.09	61.08	59.91	1.03	0.54	0
	(0.298)	(0.492)	(0.001)	(0.001)			
PR7	31.70	27.45	59.88	57.94	1.15	0.53	0
	(0.300)	(0.763)	(0.000)	(0.005)			
PR8	45.23	41.77	84.42	84.02	1.08	0.54	0
	(0.552)	(0.747)	(0.000)	(0.002)			
PR9	34.23	31.34	60.45	59.47	1.09	0.57	0
	(1.037)	(0.608)	(0.000)	(0.002)			
PM1	21.01	17.25	38.40	38.06	1.22	0.55	3.98
	(0.217)	(0.501)	(0.005)	(0.001)			
PM2	27.40	23.41	55.99	54.00	1.17	0.49	3.49
	(0.141)	(0.568)	(0.001)	(0.006)			
PM3	20.71	16.93	38.17	35.90	1.22	0.54	3.72
	(0.558)	(0.614)	(0.003)	(0.003)			
PM4	32.47	32.73	63.78	63.52	0.99	0.51	2.23
	(0.252)	(0.459)	(0.001)	(0.000)			
PM5	26.95	24.32	55.55	54.70	1.11	0.49	1.71
	(0.326)	(0.079)	(0.000)	(0.001)			
PM6	30.06	27.10	61.53	59.64	1.11	0.49	0.89
	(0.911)	(0.245)	(0.006)	(0.005)			
SM1	35.05	32.22	66.90	63.26	1.09	0.52	2.15
	(0.169)	(0.616)	(0.000)	(0.006)			
SM2	37.80	35.54	70.77	68.82	1.06	0.53	0
	(0.158)	(0.691)	(0.004)	(0.009)			
SM3	36.72	38.52	70.53	69.64	0.95	0.52	0
	(0.305)	(2.113)	(0.000)	(0.002)			
SM4	36.62	33.99	69.84	68.02	1.08	0.52	0
	(0.412)	(0.882)	(0.001)	(0.008)			
SM5	8.39	8.11	17.80	18.42	1.03	0.47	0
	(0.212)	(1.018)	(0.000)	(0.018)			
SM6	20.84	20.89	39.87	36.32	1.00	0.52	0
	(0.800)	(0.203)	(0.003)	(0.048)			
CM1	24.95	22.98	47.20	46.63	1.09	0.53	0
	(0.365)	(0.590)	(0.001)	(0.001)			
CM2	17.34	16.58	32.20	31.56	1.05	0.54	0
	(0.522)	(0.154)	(0.000)	(0.001)			

† Figures in parentheses indicate S.D.

氧環境，且堆肥化時間較短，使得 OXC 大於 TOC 所致 (Giovannni *et al.*, 1985)。對於 TOC 與 OXC 之轉換，土壤中常以 1.32 (Walkley and Black, 1934)、1.41 (Amacher *et al.*, 1986) 當轉換係數，Giovannini *et al.*, (1985) 認爲在經分解後的下水道污泥中，兩者的比值爲 0.97，Navarro *et al.*, (1991) 提出有機廢棄物中，兩者可以下式表示

$$TOC = 0.9886OXC + 4.678$$

不過，在本實驗中，若將堆肥樣品直接以土壤轉換係數或其它轉換方程式進行換算並不恰當，因此，提出線性迴歸方程式建立堆肥樣品 TOC 與 OXC 間的轉換。

表三表示不同類別堆肥樣品與全部堆肥樣品之 TOC 與 OXC 間的線性迴歸方程式，所有方程式均呈統計上極顯著性相關 ($P < 0.001$)。其中，植物殘渣堆肥與豬糞堆肥兩組堆肥樣品中，由於截距與零之間並無顯著性差異 (分別爲 $P = 0.12$ 與 $P = 0.41$)，因此，可較爲簡單的以 0.92 與 1.10 作爲兩組堆肥樣品 TOC 與 OXC 的轉換係數。而在雞糞堆肥與全部堆肥樣品中，由於方程式中截距與零之間有顯著性差異 ($P < 0.05$)，因此，必須以線性迴歸方程式作爲 TOC 與 OXC 兩者間的轉換方程式。

全有機態碳與有機物質之相關

$LOI_{550℃}$ 與 $LOI_{450℃}$ 之關係，以全部堆肥樣品爲例子，其迴歸相關方程式如下

$$LOI_{550℃} = 0.995^{***} LOI4_{50℃} + 1.49^{ns}$$
$$R^2 = 0.987^{***}$$

兩者間有極顯著相關，而截距與零之間並無顯著性相關。在堆肥樣品中，以 550℃ 燃燒比 450℃ 損失較多的物質，Givannini *et al.*, (1975) 利用示熱差儀分析 (differential thermal analysis, DTA) 土壤樣品，認爲至少需 500℃ 以上，才能將有機物全部燃燒，Gallardo *et al.*, (1987) 則認爲與鹽類形成複合物的腐質物在 550℃ 附近才有示差吸熱峰產生。因此，我們引用 $LOI_{550℃}$ 之資料作爲本次實驗堆肥樣品之 LOI 與 TOC 之間的線性迴歸。

$LOI_{550℃}$ 與 TOC 之間的比值，在堆肥樣品中，其範圍介於 0.47 至 0.57 間 (表二)。根據土壤樣品兩者間的最常用的轉換係數約爲 0.58，Goldin (1987) 也提出兩者關係可以下式表示

$$TOC = 0.388\ (LOI) - 0.578$$

Grewal *et al.*, (1991) 認爲土壤樣品中應加上粘粒含量 (C) 之變數，並提出兩者可以下式表示

Table 3. Correlations between total organic carbon (TOC) and oxidabe carbon (OXC) obtained for the three groups of compost and total samples.

Groups of compost	Equation	r^2	n
Plant residues (PR)	$TOC = 0.92^{***} OXC + 5.20^{ns}$	0.948^{***}	9
Poultry manure (PM)	$TOC = 0.78^{***} OXC + 8.08^{**}$	0.967^{***}	6
Swine manure (SM)	$TOC = 1.10^{***} OXC - 0.84^{ns}$	0.996^{***}	6
Total samples	$TOC = 0.98^{***} OXC + 2.50^{*}$	0.971^{***}	23

***, ** and * Significant at $P < 0.001$, 0.01 and 0.05, respectively.
ns: Not significant.
n: Number of samples.

$$LOI_{550℃} = -0.232 + 1.72TOC + 0.0851C$$

Giovannini *et al.*, (1985) 認爲在經分解後的下水道污泥中，兩者的比值約爲 0.59，Navarro *et al.*, (1993) 提出有機廢棄物中，兩者可以下式轉換

$$TOC = 0.51\ (OM\text{-}1) + 0.48$$

OM-1 爲 430℃ 經 24 小時燃燒後之 LOI。若將堆肥樣品直接帶入土壤的轉換方程式並不恰當，在帶入 Navarro *et al.*, (1993) 轉換方程式時，雖然得到轉換後的 TOC 與實際 TOC 之間無差異，不過由於分析條件與樣品來源的不同，因此，我們同樣建立堆肥樣品 $LOI_{550℃}$ 與 TOC 之間的轉換線性迴歸方程式。

表四列出 $LOI_{550℃}$ 與 TOC 在不同類別堆肥樣品與全部樣品間的線性迴歸方程式，所有方程式均符合統計上極顯著相關 ($P < 0.001$)，而且截距均與零之間呈無顯著差異，因此，可以 0.48、0.41、0.54 與 0.52 等係數，表示植物殘渣堆肥、雞糞堆肥、豬糞堆肥與全部堆肥樣品間 $LOI_{550℃}$ 與 TOC 之轉換關係。

結　論

我們分別利用元素分析儀、Walkley-Black 濕氧化法與灰化爐 LOI 測定等三種方法，分析台灣地區堆肥場中製成堆肥樣品之 TOC、OXC、LOI 與 IC。TOC 與 OXC 以及 TOC 與 $LOI_{550℃}$ 之間均呈統計上極顯著相關，且其相互比值不完全相當於土壤樣品或其它有機廢棄物，因此，我們提出以線性迴歸方程式建立堆肥樣品間的轉換方程式。其中，(1) TOC 與 OXC 之間可以 TOC = 0.98 OXC + 2.50 之相關方程式當成兩者間的轉換；(2) TOC 與 $LOI_{550℃}$ 之間則以 $LOI_{550℃}$ 測定有機物質中 52% 爲 TOC。有了這些轉換方程式是十分有用的，因爲我們可利用轉換方程式，不必經由昂貴的元素分析儀，僅使用簡單的 Walkley-Black 濕氧化法或是 $LOI_{550℃}$ 方法，而得到堆肥樣品中的 TOC。

致　謝

本研究承行政院農委會經費部分補助 (89 科技－1.4－糧 02)，同時感謝劉禎祺先生在初稿完成後的指正與意見提供，也感謝提供本研究堆肥樣品的 23 家堆肥場。

參考文獻

Amacher, M.C., R.E. Henderson, R.H. Brupbacher, and J.E. Sedberry Jr. 1986.

Table 4. Correlations between total organic carbon (TOC) and organic matter determined by loss-on-ignition at 550℃ ($LOI_{550℃}$) obtained for the three groups of compost and total samples.

Groups of compost	Equation	r^2	n
Plant residues (PR)	$TOC = 0.48^{***} LOI_{550℃} + 3.07^{ns}$	0.926^{***}	9
Poultry manure (PM)	$TOC = 0.41^{***} LOI_{550℃} + 4.65^{ns}$	0.975^{***}	6
Swine manure (SM)	$TOC = 0.54^{***} LOI_{550℃} - 1.06^{ns}$	0.999^{***}	6
Total samples	$TOC = 0.52^{***} LOI_{550℃} + 0.18^{ns}$	0.981^{***}	23

*** Significant at $P < 0.001$.

ns: Not significant.

n: Number of samples.

Dichromate-oxidizable and total organic carbon contents of representative soils of the major soil areas of Louisiana. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 17:1019-1032.

Ayuso, M., J.A. Pascual, C. Garcia, and T. Hernandez. 1995. Evaluation of urban wastes for agricultural use. Soil Sci. Plant Nutr. 42:105-111.

Bernal, M.P., C. Paredes, M.A. Sanchez-Monedero, and J. Cegarra. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with wide range of organic wastes. Biores. Technol. 63:91-99.

Chanyasak, V., and H. Kubota. 1981. Carbon/organic nitrogen ratio in water extracts as measure of composting degradation. J. Fermet. Technol. 59:215-219.

David, M.B. 1988. Use of loss-on-ignition to assess soil organic carbon in forest soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 19:1593-1599.

Davies, B.E. 1974. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38:150-151.

Donkin, M.J. 1991. Loss-on-ignition as estimator of soil organic carbon in an A-horizon forestry soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 22:233-241.

Gallardo, J.F., J. Saavedra, T. Martin-Patino, and A. Millan. 1987. Soil organic matter determination. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 18:699-707.

Giovannini, G., G. Poggio, and P. Sequi. 1975. Use of an automatic CHN analyzer to determine organic and inorganic carbon in soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 6:39-49.

Giovannini, G., R. Riffaldi, and R. Levi-Minzi. 1985. Determination of organic matter in sewage sludges. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 16:775-785.

Goldin, A. 1987. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 18:1111-1116.

Grewal, K.S., G.D. Buchan, and R.R. Sherlock. 1991. A comparison of three methods of organic carbon determination in some New Zealand soils. J. Soil Sci. 42:251- 257.

Inbar, Y., Y. Hadar, and Y. Chen. 1993. Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity. J. Environ. Qual. 22:857-863.

Jimenez, E.I., and V.P. Garcia. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. Biol. Wastes 27:115-142.

Keeney D.R., and D.W. Nelson. 1982. Nitrogen-inorganic forms. In A.L. Page *et al.* (eds) "Methods of Soil Analysis" Part 2, 2nd edition. Agronomy 9:643-698. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Navarro, A.F., J. Cegarra, A. Roig, and M.P. Bernal. 1991. An automatic microanalysis method for the determination of organic carbon in wastes. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 22:2137-2144.

Navarro, A.F., J. Cegarra, A. Roig, and D. Garcia. 1993. Relationships between organic matter and carbon contents of organic wastes. Biore. Technol. 44:203-207.

Nelson, A.J., and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In A.L. Page *et al.* (eds) "Methods of Soil Analysis" Part 2, 2nd edition. Agronomy 9:539-579. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Sanchez-Monedero, M.A., A. Roig, J. Martinez-Pardo, J. Cegarra, and C. Paredes. 1996. A microanalysis method for determining total organic carbon in extracts of humic substances. Relationships between total organic carbon and oxidable carbon. Biores. Technol. 57:291-295.

Storer, D. A. 1984. A simple high sample volume ashing procedure for determination of soil organic matter. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 15:759-792.

Walkley, A., and I.A. Black. 1934. An examination of the Deytjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.