

# 台灣與日本土壤有機質的分解聚積模擬 與肥力維持<sup>1</sup>

陳琦玲<sup>2,3</sup> 連 深<sup>2</sup>

**摘要：**本報告之目的是以台灣三處與日本二處長期試驗資料，檢討不同環境及耕作制度下，連續施用一定量作物殘體或有機質肥料後，土壤中有機質的分解與累積的情形，並嘗試以一階反應方程式模擬之，以概括了解其長期趨勢，進而估算維持不同土壤有機質含量所需施用有機質肥料施用量。討論之台灣長期試驗資料包括台北每年二作水稻之 48 年試驗、屏東萬巒每年二作水稻和秋作大豆之 14 年試驗及台南善化每年二作或二作大豆之 9 年試驗等資料，日本長期試驗包括埼玉縣鴻巣市每年一作水稻之 60 年試驗和神奈川縣平塚市寺田村每年洋蔥-甘藍各一作之 9 年試驗。結果顯示，溫帶較熱帶、水田較旱田，可維持較高的土壤有機質含量。化學肥料之長期施用較無肥區可維持較高的土壤有機質含量，而綠肥之長期施用，雖能使土壤有機質含量稍高於化肥區，但比之堆肥區則效果甚小。欲藉有機質肥料之施用，以提高有機質含量，台灣環境顯然較日本環境困難，旱田又較水田難。利用台灣地區有機質肥料在土壤中分解快速之事實，農地可利用作為無害有機廢棄物之處置場所，以達廢棄物減量之目的。但需按其分解特性，酌定合理施用量，以防二次污染。根據試驗與模擬分析結果，台北水田在無肥狀態下以每作水稻收穫之殘株及根(約 1.4 Mg/ha/year)即可維持土壤有機質含量於 3.5% 水準，而欲使台北水田土壤有機質含量，由無肥區維持之 3.5% 提高至 4.5%，每年需施用 17 Mg/ha(鮮重)廐肥，達穩常狀態時(約需 70 年)，每年可釋出約 180 kg/ha 氮量；在連用十年後，氮素礦化率即達 85%，每年可釋出約 150 kg/ha 氮量。善化旱田由 1% 提高到 2%，每年需投入 110 Mg/ha 蔗渣濾泥堆肥(鮮重)，穩常狀態時(約需 30 年)可釋出約 740 kg/ha 氮量；在連用五年後，其礦化率已達 90%，每年可釋出 670 kg/ha 氮量，因此長期施用，恐有污染之虞。

**關鍵詞：**土壤有機質、分解、模擬。

## 前 言

土壤有機質長久以來均被認為是植物養分之貯藏庫，並且是土壤結構穩定性重要影響因子<sup>(9)</sup>。有機質在土壤中的分解與累積為一微生物作用之動態過程，其分解速率依施加之作物殘體或施加之有機質肥料及氣象形態與土壤環境而異。在固定的耕作制度下，維持固定有機殘質施用量，則土壤有機質會在其土壤環境中達到平衡，使其含量趨於穩定。但當周圍環境有重要的改變時，如作物耕作系統、土壤通氣或排水狀態改變時，土壤有機質含量又會逐漸改變，而達另一穩常狀態<sup>(34)</sup>。

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告 2113 號。接受日期：91 年 5 月 6 日。

2. 本所農化組助理研究員、前農化系研究員兼系主任。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

3. 通訊作者，電子郵件：chiling@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23302805

有關有機殘質在土壤中之分解模式的研究很多，一階動力反應方程式常被用來計算作物殘體分解速率與土壤有機質達穩常狀態之含量<sup>(20,28,32,33)</sup>。然而有機質是以多種形態存在於土壤中，各形態之分解速率相差甚多，故多數模式以多組成份多步驟之動力學模式模擬之，如 Jenkinson and Rayner (1977) 以一將土壤有機質分為 5 個部分的動力學模式，來模擬英國 Rothamsted 試驗農場 130 年的土壤有機質轉化現象。Hunt (1977) 亦以一偏重微生物活性動力學模式，模擬草原有機質之分解。Van Veen and Paul (1981) 則模擬加拿大土壤有機質分解與累積。Lin 等 (1987) 則根據上述三個模式理論，綜合整理成另一土壤有機質轉化模式，並進行在不同土壤特性與環境下之土壤培育試驗的土壤有機質轉化模擬。複雜的有機質分解模式，雖然更能描述有機質在土壤中的分解機制，但是參數的鑑定相當困難，而且本研究所探討的試驗都是長期試驗，可掌握有機質的分解趨勢，因此乃採用只有一個分解速率常數的單變數模式，來進行長期的有機質轉化趨勢模擬。

台灣地處於亞熱帶及熱帶，土壤有機質分解速率較溫帶及寒帶為快，不易維持土壤有機質在高的含量。因此如何在熱帶地區增加土壤有機質含量顯得非常重要，但亦較困難。然而盲目使用大量的有機質肥料則可能造成環境污染問題。

本報告之目的為比較台灣地區與日本共五處長期試驗中，作物殘體與有機質肥料在土壤中分解與累積情形，並以一階方程式模擬之，以概括了解其長期趨勢，進而估算維持不同土壤有機質含量所需要的有機質施用量。

## 材料與方法

### 長期試驗地點與肥料處理說明

本報告檢討之台灣地區長期試驗，包括台北市農業試驗所每年二期作水稻之水田 48 年 (1924-1972 年) 長期試驗<sup>(1,3)</sup>、屏東縣萬巒鄉萬金村水稻-水稻-大豆輪作田 14 年 (1974-1988 年) 試驗 (羅與蘇，未發表) 及台南縣善化鎮亞蔬農場每年三期作大豆田 9 年 (1984-1992 年) 試驗等三處試驗<sup>(13,15)</sup>，並以日本埼玉縣 (Saitama) 鴻巢市 (Konosu) 農事試驗場每年一期作水稻之水田 60 年 (1926-1985 年) 長期試驗<sup>(30,35,36)</sup>、神奈川縣 (Kanagawa) 平塚市 (Hiratsuka) 寺田村農業綜合研究所洋蔥和甘藍蔬菜田 9 年 (1978-1987 年) 試驗<sup>(40,41)</sup>等二處試驗資料，作為不同地區氣象形態、土壤作物制度及不同有機質肥料施用下，土壤有機質分解與累積之比較。各試驗區附近氣象站歷年的溫度與雨量資料列於表 1 與圖 1、2。日本二處試驗區均有溫度記錄，雨量資料則採用東京歷年平均資料。各試驗區之土壤特性如表 2。不同肥料處理之每年的作物殘體及有機質肥料施用量列於表 3。

台北農試所 1924-1972 年間水稻的同種肥料連用試驗，共設 12 個處理，每一處理二重覆，本報告僅檢討其中無肥區、化肥區、綠肥區與廐肥—過磷酸鈣區 (以下簡稱廐肥區) 等處理。水稻品種包括

表 1. 各試驗區氣象資料

Table 1. Weather data of the various experimental locations

Location	Weather station	Weather data		
		Years	Ann. mean temp <sup>a</sup> (°C)	Ann. mean rain (mm)
Taipei	Taipei	1931-1960	22.1	2100
Wanluan, Pingtung	Neipu	1985-1990	24.0	2615
Shanhua, Tainan	Yungkang	1950-1974	23.7	1579
Saitama, Japan	Konosu	1975-1976	15.1	
	Tokyo	1901-1945	15.3	1461
Kanagawa, Japan	Hiratsuka	1989	16.3*	
	Tokyo	1901-1945	15.3	1461

<sup>a</sup> annotated "\*" is soil temperature, the rest are air temperature.

表 2. 各試驗區土壤特性

Table 2. Soil properties of the various experimental locations

Location	Soil properties (surface soil)				
	Soil groups	Texture	Drainage	pH	Bulk density (Mg/M <sup>3</sup> )
Taipei, Taiwan	Sandstone and shale younger alluvial soils	L	Poorly	5.1	1.2
Wanluan, Pingtung, Taiwan	Slate older alluvial soils	SiL	Imperfectly	4.7	1.3
Shanhua, Tainan, Taiwan	Sandstone and shale younger alluvial soils with lime concretions	SiL	Moderately well	7.0	1.5
Konosu, Saitama, Japan	Fine textured gray lowland soils	SC-CL		5.8	0.9-1.1
Hiratsuka, Kanagawa, Japan	Gray lowland soil	SCL		5.5-6.8	1.1-1.2

表 3. 各試驗區不同處理之作物殘體/有機質肥料施用量與其估計分解速率常數

Table 3. Rates of crop residues/organic manure applied in the various experimental plots and sites and the rate constants of organic matter decomposition estimated

Location	Years	Crop System	Trt <sup>z</sup>	Crop residue/ Organic manure	Rate applied matter <sup>y</sup>	C (Mg/ha/yr)	Decomposition rate constant (K, yr <sup>-1</sup> )	SOC <sub>eq</sub> <sup>x</sup> (%)
Taipei, Taiwan	1924-1972	Rice-rice	NoF	Rice stubble & root	1.4	0.6	0.0158	2.2
			IF	Rice stubble & root	2.6	1.0	0.0229	2.4
			GM	Rice stubble & root	2.6	1.0	0.0805	2.5
				Green manure (soybean)	31.6*	2.5		
			OF	Rice stubble & root	2.7	1.1	0.0795	2.8
		Farm yard manure	18.2*	2.8				
Wanluan, Pingtung, Taiwan	1974-1988	Rice-rice -soybean	IF	Rice stubble & root	5.8	2.3	0.06	2.0
			IF+res.	Root	4	1.6	0.115	2.1
				Rice straw	6-8*	2.2-2.9		
				Soybean residue	0-2*	0-0.7		
Shanhua, Tainan, Taiwan	1984-1992	Soybean -soybean -soybean	IF	Root	0.7-1.3	0.3-0.5	0.5-0.059	0.4
				Crop residue	21.5-0	8.6-0		
				Agasse-filter cake compost	20-0*	1.5-0		
			IF+OF	Root	0.7-1.3	0.3-0.5	0.18	1.9
				Crop residue	21.5-0	8.6-0		
				Bagasse-filter cake Compost	150-20*	8.8-1.5		
Konosu, Saitama, Japan	1926-1985	Rice	NoF	Rice stubble & root	1.0	0.4	0.013	2.2
			IF	Rice stubble & root	2.0	0.8	0.018	3.0
			GM	Rice stubble & root	2.0	0.8	0.054	3.1
				Chinese milk vetch	23*	1.8		
			OF	Rice stubble & root	2.1	0.8	0.03	4.2
	Straw compost	12*	1					
Hiratsuka, Kanagawa, Japan	1978-1987	Onion -cabbage	IF	Root	1.0	0.4	0.028	0.8
			IF+OF	Root	1.0	0.4	0.15	1.7
				Cow dung compost	4.0*	4.1		
			OF	Root	1.0	0.4	0.21	5.6
				Cow dung compost	218-184*	22.3-18.8		

<sup>z</sup> Trt: treatment, NoF: no fertilizer, IF: inorganic fertilizer, GM: green manure, OF: organic fertilizer.

<sup>y</sup> Annotated '\*1' are based on fresh weight, while the rest are based on dry weight.

<sup>x</sup> SOC<sub>eq</sub>: estimated soil organic carbon content at steady status.

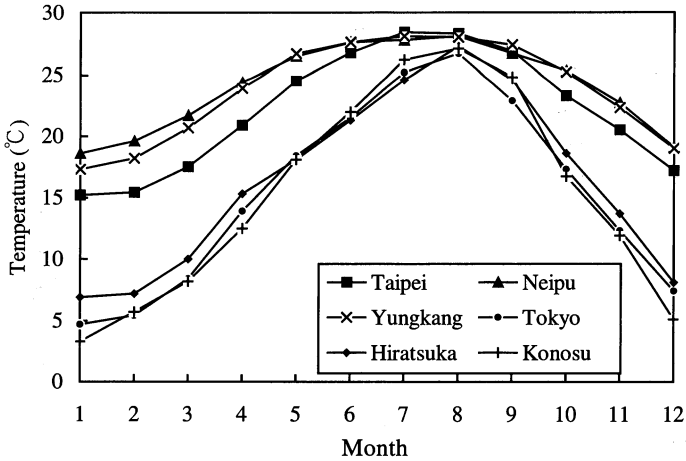


圖 1. 各試驗區歷年的月平均溫度。

Fig 1. Monthly mean temperature of the various experiment locations.

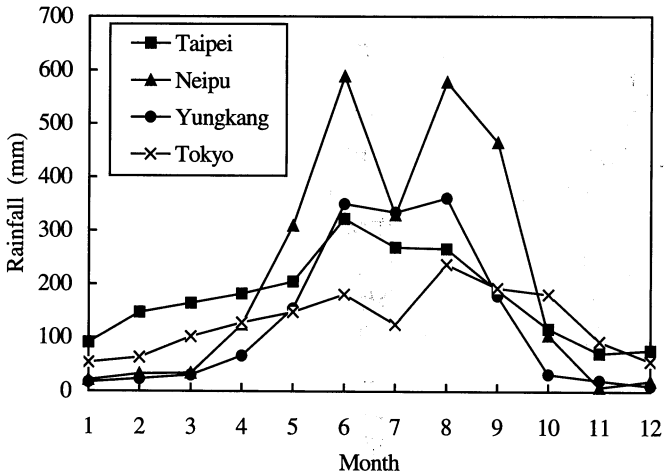


圖 2. 各試驗區歷年的月平均雨量。

Fig 2. Monthly mean rainfall of the various experiment locations.

在來種和蓬萊種，在來種係於 1924 年開始試驗，第一期作用短廣花螺，第二期作用短腳尖，而蓬萊種則於 1926 年開始試驗，第一、二期作均用台中 65 號。本報告僅針對在來種資料進行檢討與土壤有機碳模擬。各處理小區面積 1930 年前為 33 m<sup>2</sup>，1931 年起為 13.2 m<sup>2</sup>，但 1941 年記錄上為 16.5 m<sup>2</sup>。長期試驗中除了 1943 年和 1944 年因故中止，改種甘藷外，其餘各年度每一期作之化肥、綠肥、廐肥區均施用 95 kg/ha 氮素之肥料。從 1924 至 1972 年一期作共 93 期作，施用 8835 kg/ha 氮素。各期作化肥區乃施用 451 kg/ha 硫酸銨，綠肥區則施用 15.78 Mg/ha 青皮豆（含氮 0.6%），假設青皮豆含水分 80%，

而乾物質含碳 40%<sup>(6)</sup>，則每期作約施用 1.26 Mg/ha 碳量。廐肥區則施用 9.1 Mg/ha 之新鮮廐肥，其中含氮 1.04%，C/N=15，估計每期作約施用 1.42 Mg/ha 碳量。根據文獻上之記錄，無肥區、化肥區、綠肥區與廐肥區 1924-1971 年再來種一期作稻穀平均產量分別為 1557, 2797, 2806, 3052 kg/ha，二期作為 1697, 2307, 2333, 2648 kg/ha，1924-1946 年一期作稻蒿平均產量 1049, 2743, 2645, 2394 kg/ha，二期作為 1883, 3134, 2927, 3337 kg/ha。各處理區之水稻殘體的估算乃引用曾（1981）所得之單位面積的根乾重約為稻穀產量之 0.33-0.37 的結果，以稻穀產量之 1/3 來估算水稻殘留於土壤之根乾重。水稻斷株乾重則以稻蒿乾重之 1/6 估算，則無肥區、化肥區、綠肥區、廐肥區各處理每年由水稻殘體提供之碳量分別為 0.6, 1.0, 1.0, 1.1 Mg/ha。試驗中之土壤有機碳分析，僅於 1946 年冬季二期作水稻收割後<sup>(3)</sup>，及 1972 年一期作水稻收割後<sup>(1)</sup>，採樣分析。後者文獻<sup>(1)</sup>上記錄之各處理區土壤有機碳含量乃為在來種與蓬萊種相同處理區之平均值。土壤有機碳分析都是採用溼分解氧化法，張等（1947）未摘錄引用分析方法文獻，林等（1973）乃引用（Allison, 1965）。本報告土壤有機碳之模擬起始點乃以 1946 年無肥區之有機碳含量代之。

屏東縣萬巒鄉萬金村水稻—水稻—大豆輪作制度，係始於 1974 年二期作水稻至 1988 年一期作水稻。水稻品種為台南 5 號，大豆為高雄 3 號。原試驗目的為探討在水稻—水稻—大豆輪作制度下，長期施用石灰與作物殘體對土壤肥力改良與作物增產之效果。試驗設計乃採裂區設計，以石灰石粉處理（0, 2, 4 Mg/ha）為主區，氮肥（標準氮區與少氮區）及有機殘體組合處理為副區。每處理小區面積 5\*4 m<sup>2</sup>。標準氮區 1974-1979 年水稻施氮量為 110 kg/ha，1980 年以後改為 90 kg/ha，少氮區 1974-1979 年為 90 kg/ha，1980 年以後改為 70 kg/ha；大豆施氮量為 100 kg/ha，施用之氮肥為硫酸銨（21%N）。作物殘體處理係秋作大豆及一期作水稻殘體犁入土中，而二期作水稻殘體則作為秋作大豆不整地栽培覆蓋之用，作物殘體施用量為二期作水稻整地前稻蒿量，1974-1976 年為 2 Mg/ha，1977 年以後改用 4 Mg/ha，秋作大豆以前作稻蒿 4 Mg/ha 作為覆蓋，一期作水稻以前作大豆豆桿 2 Mg/ha 犁入土中。假設作物殘體含水 10%，乾物質含碳 40%，而作為大豆覆蓋用之稻蒿只有 2/3 的施用量混入土壤中，則 1974-1976 年每年估計共施用 2.64 Mg/ha 碳量，1977 年後則施用 3.12 Mg/ha 碳量。化肥+作物殘體區與化肥區各期作水稻根殘留量之估算與台北試驗者相同，1974-1987 一期作水稻產量化肥區為 4386 kg/ha，化肥+作物殘體區為 4470 kg/ha，1975-1988 二期作水稻產量化肥區為 6650 kg/ha，化肥+作物殘體區為 6678 kg/ha，故估計無論化肥區或化肥+作物殘體區一、二期作殘留根部約提供 1.5Mg/ha 碳量。1974-1987 年化肥區與化肥+作物殘體區之大豆平均產量分別為 2026 與 2416 kg/ha，大豆殘留根量則假設為 0.26 Mg/ha 乾重<sup>(14)</sup>，而含碳 40%，故殘留 0.1 Mg/ha 碳量。化肥區之水稻斷株之估算，因文獻上沒有稻蒿產量，故以稻穀產量之 1/6 估算。每年約提供 0.7 Mg/ha 之碳量。土壤有機質測定乃於各期作收穫時於各試區採樣測定之，亦以溼分解氧化法測定之。本報告化肥區與作物殘體區之土壤有機質含量乃為各氮肥處理石灰石粉處理變級之平均值。

台南大豆連作田試驗始於 1984 年春作至 1993 年春作，每年二作或三作大豆，處理分為化肥區和化肥+蔗渣濾泥堆肥區，但 1984 年秋作化肥區和化肥+蔗渣濾泥堆肥區一樣均施 20 Mg/ha 蔗渣濾泥堆肥。每處理小區 20 m<sup>2</sup>。1984 年秋作至 1986 年春作間兩種處理均混入大豆殘體，1984 年秋作至 1986 年秋作另用稻草敷蓋，各期作施用量如表 4。稻草含水量約 10%，並假設只有 2/3 的施用量混入土壤中，無論稻草或大豆殘體均假設其乾物含 40% 碳。稻草實測含氮量約 1.16-1.18%，大豆殘體約為 1.3-1.4%。化肥+蔗渣濾泥堆肥區各期作之施用量和施用總碳量如表 5，施用時蔗渣濾泥堆肥之含水量約介於 35-65%，乾物含碳量約介於 6.5-12.5%，平均 8.7%；乾物含氮量介於 0.8-1.6%，平均 1.11%，C/N 值介於 4.7-12.3 之間。根據 1983-1989 年調查結果，春作之大豆平均生產總乾重為 8.8 Mg/ha，根平均乾重為 0.41 Mg/ha<sup>(15)</sup>，秋作之平均生產總乾重為 6.7 Mg/ha，根平均乾重為 0.26 Mg/ha，1986 和 1987 年夏作之平均總乾重為 12.0 Mg/ha，根平均乾重 0.64 Mg/ha，假設根乾物中含碳 40%，則春、夏、秋作殘留於土中之根部分，約提供 0.16, 0.26, 0.1 Mg/ha 碳量。

表 4. 南善化大豆長期試驗中施用化學肥料處理區各期作前作物殘體回歸量、蔗渣濾泥堆肥與化學肥料施用量<sup>z</sup>  
 Table 4. Application rates of crop residue and inorganic fertilizer of inorganic fertilizer treatment on soybean field for long-term experiment in Shanhu, Tainan<sup>z</sup>

Year	Crop	Soybean residue				Mulch			Bagasse-filter cake <sup>x</sup>			IFR <sup>w</sup>
		Root(kg/ha)		Residue(kg/ha)		Straw(kg/ha) <sup>y</sup>			Fresh matter	C	N	N
		C	N	C	N	Fresh matter	C	N	(Mg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
1984	Spring	100	1.8						0			40
1984	Summer	160	2.8						-			-
1984	Autumn	-	-	1600	54	5000	1200	36	20	1485	189	40
1985	Spring	100	1.8	1100	37	5000	1200	36	0			100
1985	Summer	160	2.8	2200	74	10000	2400	72	-			-
1985	Autumn	-	-	-	-	-	-	-	0			100
1986	Spring	100	1.8	1400	47	10000	2400	72	0			150
1986	Summer	160	2.8			10000	2400	72	0			120
1986	Autumn	260	4.6			10000	2400	72	0			120
1987	Spring	100	1.8						0			120
1987	Summer	160	2.8						0			120
1987	Autumn	260	4.6						0			120
1988	Spring	100	1.8						0			120
1988	Summer	160	2.8						-			-
1988	Autumn	-	-						0			120
1989	Spring	100	1.8						0			120
1989	Summer	160	2.8						0			120
1989	Autumn	260	4.6						0			120
1990	Spring	100	1.8						0			120
1990	Summer	160	2.8						0			120
1990	Autumn	260	4.6						0			120
1991	Spring	100	1.8						0			120
1991	Summer	160	2.8						-			-
1991	Autumn	-	-						0			120
1992	Spring	100	1.8						0			120
1992	Summer	160	2.8						-			-
1992	Autumn	-	-						0			120

<sup>z</sup> Source from AVRDC, 1990<sup>(12)</sup>; AVRDC, 1993<sup>(14)</sup>.

<sup>y</sup> To estimate the C content of rice straw mulch at the time of incorporation, the following were assumed: 10% moisture content and 40% C based on dry weight, of which one third was lost during the season before incorporation.

<sup>x</sup> The moisture, C and N content based on dry weight of bagasse-filter cake compost were: 35-65%, 6.5-12.5% and 0.8-1.6%, respectively.

<sup>w</sup> IFR: rate of applied inorganic fertilizer.

日本埼玉縣鴻巣市 1926-1985 年每年一作水稻試驗，共有無肥區、化肥區、綠肥區與稻草堆肥區等四種處理。化肥區施用 500 kg/ha 硫酸銨，含氮 105 kg/ha。綠肥區每年施用 23 Mg/ha 紫雲英，約含氮 110 kg/ha，假設其含水量 80%<sup>(6)</sup>，乾物含碳 40%，則每年施加 1.8 Mg/ha 碳量。堆肥區則施加 12 Mg/ha 之稻草堆肥，約含 1 Mg/ha 碳量。另施加 600 kg/ha 之大豆粕，其因分解甚速，故以化學肥料視之，未計入施用總碳量計算。每一作約施 103 kg/ha 氮量。試驗 60 年間無肥區、化肥區、綠肥區與堆肥區稻穀平均產量分別約為 1.7, 3.5, 3.5, 3.7 Mg/ha，稻蒿產量約為 2.5, 5.2, 4.5, 5.5 Mg/ha，每期作殘留根重與水稻斷株之估算仍沿用曾 (1981) 方法估計，估計各處理每年殘留的根和斷株可提供 0.4, 0.8, 0.8, 0.8 Mg/ha 之碳量。

日本神奈川縣平塚市蔬菜試驗乃始於 1978 年冬作至 1986 年冬作 (於 1987 年 6 月收穫)，其中除了 1978 年冬作種植甘藍，1980 年冬作高莖外，其餘各年度冬作均是洋蔥，夏作均是甘藍。試驗中共有 8 種處理，本報告僅檢討其中化肥區、化肥+牛糞堆肥區、牛糞堆肥單用區之土壤碳素變化，其分

表 5. 台南善化大豆長期試驗中加施有機肥料處理區各期作前作物殘體回歸量、蔗渣濾泥堆肥與化學肥料施用量<sup>z</sup>Table 5. Application rates of crop residue and inorganic fertilizer of organic fertilizer treatment on soybean field for long-term experiment in Shanhu, Tainan<sup>z</sup>

Year	Crop	Soybean residue		Mulch			Bagasse-filter cake <sup>x</sup>			IFR <sup>w</sup>		
		Root(kg/ha)	Residue(kg/ha)	Straw(kg/ha) <sup>y</sup>		Fresh matter	C	N	N			
		C	N	C	N	Fresh matter	C	N	(Mg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
1984	Spring	100	1.8						0			40
1984	Summer	160	2.8						-			-
1984	Autumn	-	-	1600	54	5000	1200	36	20	1485	189	40
1985	Spring	100	1.8	1100	37	5000	1200	36	30	2227	284	100
1985	Summer	160	2.8	2200	74	10000	2400	72	-	-	-	-
1985	Autumn	-	-	-	-	-	-	-	30	2227	284	100
1986	Spring	100	1.8	1400	47	10000	2400	72	50	2992	382	150
1986	Summer	160	2.8			10000	2400	72	50	2495	318	120
1986	Autumn	260	4.6			10000	2400	72	50	2857	365	120
1987	Spring	100	1.8						50	3667	468	120
1987	Summer	160	2.8						50	2565	327	120
1987	Autumn	260	4.6						50	2565	327	120
1988	Spring	100	1.8						50	2182	278	120
1988	Summer	160	2.8						-	-	-	-
1988	Autumn	-	-						50	2475	316	120
1989	Spring	100	1.8						50	2092	267	120
1989	Summer	160	2.8						50	1642	209	120
1989	Autumn	260	4.6						50	3510	448	120
1990	Spring	100	1.8						50	2632	336	120
1990	Summer	160	2.8						50	2227	284	120
1990	Autumn	260	4.6						50	2632	336	120
1991	Spring	100	1.8						50	2632	369	120
1991	Summer	160	2.8						-	-	-	-
1991	Autumn	-	-						50	2632	374	120
1992	Spring	100	1.8						50	2385	507	120
1992	Summer	160	2.8						-	-	-	-
1992	Autumn	-	-						50	3015	463	120

<sup>z</sup> Source from AVRDC, 1990<sup>(12)</sup>, AVRDC, 1993<sup>(14)</sup>.

<sup>y</sup> To estimate the C content of rice straw mulch at the time of incorporation, the following were assumed: 10% moisture content and 40% C based on dry weight, of which one third was lost during the season before incorporation.

<sup>x</sup> The moisture, C and N content based on dry weight of bagasse-filter cake compost were: 35-65%, 6.5-12.5% and 0.8-1.6%, respectively.

<sup>w</sup> IFR: rate of applied inorganic fertilizer.

析值包括施用農藥與無施用農藥試驗區之平均值。化肥區施用複合磷加安，冬作甘藍施用氮量 250 kg/ha，冬作高苳 240 kg/ha，冬作洋蔥 180 kg/ha，夏作甘藍 200 kg/ha。化肥+牛糞堆肥區除了施加化肥區等量之氮素外，另施加 2 Mg/ha 之牛糞堆肥，牛糞堆肥之含水量約為 60%，乾物中含碳 28.4±6.1%，氮 1.7±0.4%，C/N15±4。牛糞堆肥單用區則施用 3.3 倍化肥區氮量之牛糞堆肥，所以 1978 冬作甘藍約施用 121 Mg/ha 牛糞堆肥，1980 年冬作高苳為 116 Mg/ha，冬作洋蔥為 87 Mg/ha，夏作甘藍為 97 Mg/ha。施用碳量分別為 13.7 Mg/ha, 13.2 Mg/ha, 9.9 Mg/ha, 11.0 Mg/ha。假設每年殘留 0.5 Mg/ha 乾重之地上部作物殘體和根部，若以含碳 40% 計算，每作殘體提供 0.2 Mg/ha 之碳量。

#### 土壤有機碳分解模式

根據前人研究結果顯示，有機殘質在土壤中之分解及土壤腐植質之形成過程，甚為複雜，有關土壤有機質分解與累積的模式甚多，然而引用之長期試驗資料都僅測定土壤之總碳量，若引用複雜之多

變量動力模式，則其中不同形態之有機質反應速率常數之鑑定沒有試驗依據，而本文引用長期試驗資料可涵蓋趨向穩定穩常狀態之數據，減少外插估算之誤差，因此乃先採用最簡易單組成份一階反應方程式，以一概括的分解速率常數，分別描述各試驗區在固定的肥培與作物制度下，有機殘質在土壤中之分解。目前乃針對土壤原有有機質與作物殘質或施用之有機質肥料之總碳量的分解與累積進行模擬，模式說明如下：

$$\frac{d(SOC)}{dt} = A - k(SOC) \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中 SOC 表示土壤有機碳，A 為每年的作物殘體回歸量或有機質肥料施用量中之總碳量，k 為土壤有機碳分解反應速率常數。k 值乃因土壤特性、環境與施用有機質肥料質材而異。目前模擬時間差採一年。根據模式理論，土壤有機碳之分解速率與土壤有機碳含量成正比，但分解速率常數值與土壤有機碳含量無關<sup>(37)</sup>。

當土壤有機碳達穩常狀態時，

$$\text{即 } \frac{d(SOC)}{dt} = 0 \text{ 時，則 } k(SOC) = A \quad \dots\dots\dots(2)$$

即單位時間有機碳之分解量等於其施用碳量時，在求得參數後，即可由式(2)計算得到維持某一有機碳含量，每年所需添加之有機碳量。因此在每年固定的施用量下，雖然初期分解量較小，但會逐漸累積，至終最大分解量即等於每年的施用量。而土壤有機碳之累積量，則因 k 值之大小而異，且為線性相關，如每年施用 1 Mg/ha，若 k=0.1，則穩常狀態時有 10 Mg/ha 土壤有機碳之累積，若 k=0.2，則僅有 5 Mg/ha 土壤有機碳之累積。達穩常狀態之時間亦隨 k 值而異，即隨土壤特性、環境與施用之有機質肥料質材而異。k 值愈小，則達穩常狀態所需之時間愈長。根據 Matus and Rodriguez (1994) 在智利四個旱作輪作田施用作物殘體之長期試驗結果顯示，溫度在 12-18°C，年平均雨量 600-1200 mm 之間，其達穩常狀態所需之時間約 80-100 年。Cambell et al. (1967) 以同位素法測定土壤腐植質之 turnover 時間需為 1000 年。目前討論之長期試驗中，台北水田 48 年中僅有 2 點資料 (圖 3)，屏東、台南與日本平塚資料則均未超過 15 年，用以推測其長期趨勢及未來達穩常狀態時之可能的土壤有機質含量，其準確性相對較低。

## 結果與討論

### 不同試驗區土壤有機質分解與累積

本文檢討之五處試驗區不同肥料處理之土壤有機碳的逐年變化如圖 3。雖然目前討論的五處長期試驗均沒有完全相同的作物制度，土壤母質與特性亦不同，但分別比較水田或旱田，由各試驗的無肥區或化肥區土壤有機質的累積趨勢 (圖 3)，大致可看出，由於溫帶日本的溫度較熱帶台灣低，土壤有機質的分解速率較慢，故相似的作物制度其土壤有機質的累積較明顯。如日本鴻巢市的水田無肥區雖然每年只有一期作，作物殘體之回歸量較少，且年平均雨量較台灣低，但土壤有機碳仍可維持在如台灣台北水田之 2.0%。日本鴻巢化肥區 (2.6%) 則更較台北水田累積更多的土壤有機碳 (2.3%)，萬巒水旱輪作田更是只能維持在 2.0% 左右。化肥區的比較亦然，台灣二個期作水田雖相對增加較大作物產量，以致增加較多的作物殘體回歸量，但其土壤有機質之維持量，仍不及日本鴻巢水田所維持者，即可看出環境溫度對有機質分解之效應。又比較性質較為相似的台北水田所施用的廐肥和日本鴻巢所施用稻草堆肥如圖 3 所示，則日本鴻巢每年施用 1Mg C/ha 經過 60 年，約可較無肥區逐漸增加 1.8% 之土壤有機碳，而台北水田每年施用 2.8 Mg C/ha，經過 48 年，約僅可較無肥區增加 0.6% 之土壤有機碳，足見熱帶地區環境對土壤有機質的消耗較溫帶明顯。在旱田方面亦然，一般而言，蔬菜田之作物

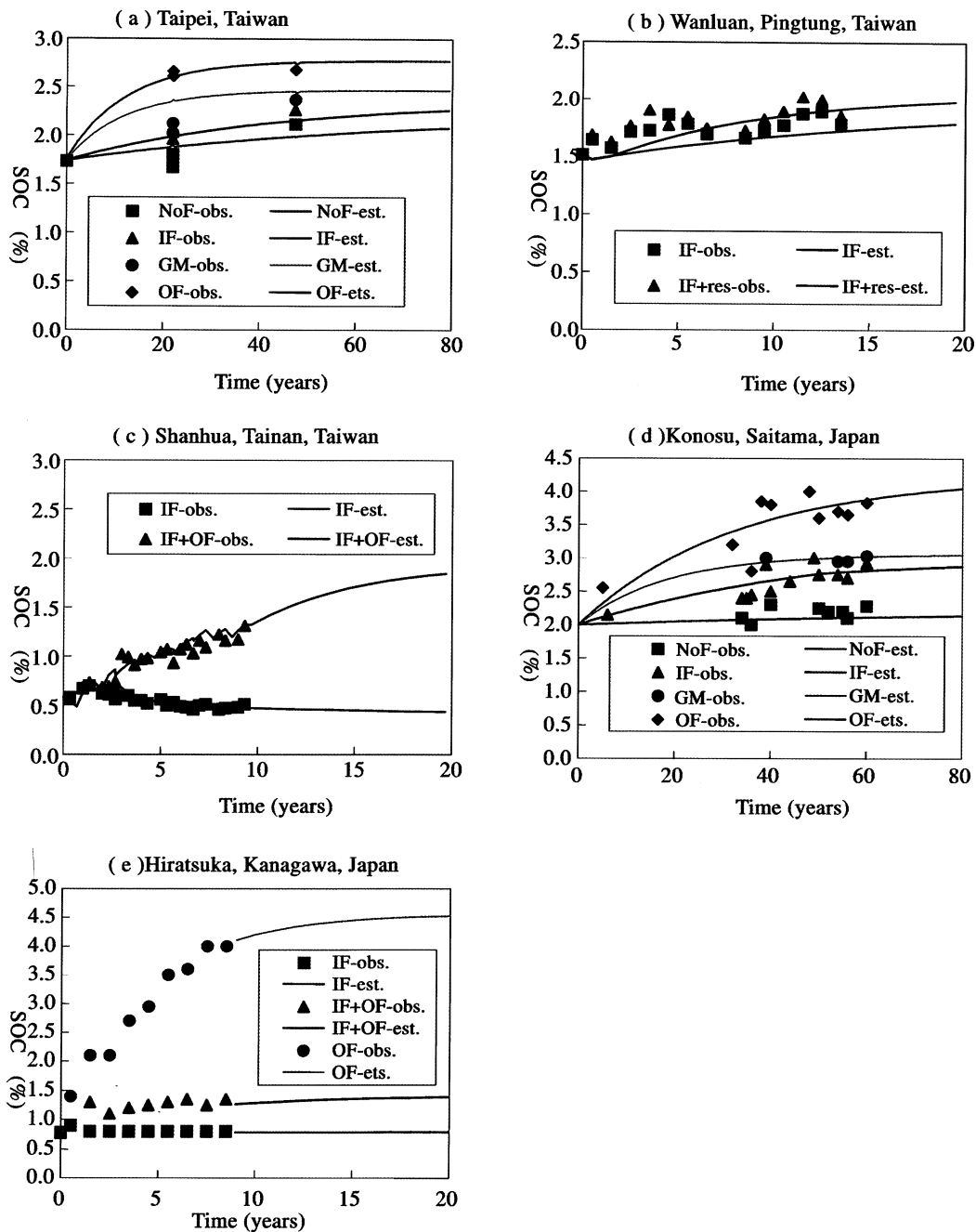


圖 3. 各試驗區不同肥料處理之土壤有機質累積情形與模擬結果。

Fig.3. Comparison of the simulated and observed soil organic matter accumulation in the different experimental plots and sites. (NoF: no fertilizer, IF:Inorganic fertilizer, GM:green manure, OF:organic fertilizer, obs:observed data, est:estimated data by model)

殘體回歸量，應較大豆田少，而日本平塚蔬菜田之化肥區仍可較善化大豆田維持較高的土壤有機碳含量。

若分別比較日本與台灣的水、旱田，則水田明顯比旱田容易有土壤有機質的累積，如屏東萬巒的水旱輪作田與台南善化的旱田其年平均溫度相近，但因萬巒維持二期水田，且其全年雨量較善化約多 1000 mm (表 1)，排水又不及善化旱田良好，故其化肥區土壤有機碳約可維持在 1.7% (圖 3)，而善化的化肥區卻僅維持在 0.5%，台北二期作水田則因冬天休耕時仍有相當的雨水 (圖 2)，且土壤排水亦較不良 (表 2)，故化肥區的土壤有機碳甚至可維持在 2.3% (圖 3)。雖然不同作物制度之作物生產量不同，殘留於土壤之根量與地上部作物殘體不同，但比較作物制度相似之台北水田與萬巒輪作田，仍顯示土壤水分狀態為土壤有機質分解的重要影響因子。日本的水、旱田土壤有機質含量亦有相當的差異，如鴻巢和平塚其溫度相近且土壤特性亦相近，但鴻巢水田化肥區的土壤有機碳約可維持在 2.8%，但平塚蔬菜田則僅可維持在 1.5% 左右 (圖 3)。

由目前台北與日本鴻巢二處水田化肥區與無肥區之長期試驗結果顯示，化學肥料之施用，因可增加農作物之產量，進而增加作物殘體回歸土壤之總量，故化肥區較無肥區有明顯的土壤有機質累積，穩常狀態時可維持在較高的含量。Janzen (1991) 亦提出從加拿大西部土壤的長期輪作試驗顯示，適當的化學肥料施用，可增加土壤有機質含量及土壤供氮能力。蘇等 (1991) 綜合各項試驗觀察調查予以判斷，在多作栽培足量施用化學肥料之情況下，台灣土壤之肥力不但沒有衰退，且一般正在逐漸提高之中，但建議於作物系統中列入水稻。

根據台北水田長期施用青皮豆綠肥與日本鴻巢長期施用紫雲英綠肥之試驗結果顯示，施用綠肥對土壤有機質累積之助益不大，土壤有機質含量僅能維持稍高於化肥區，如圖 3 所示。日本 Toyama 農業試驗場長期試驗 (1930-1944) 亦顯示，連續施用 45Mg/ha (鮮重) 紫雲英綠肥於水田，在 14 年後僅有全部施用碳量的 6% 殘留於土壤中，並未如預期中施用綠肥有大量的土壤有機質累積，以增加地力。若依據長期試驗後綠肥區與化學區單位面積土壤有機碳差值，視為施用綠肥殘留於土壤之碳量，而計算其佔單位面積施用綠肥總碳量之百分比，則各地區之計算結果如下。根據日本鴻巢水田連用 23 Mg/ha/yr (鮮重) 綠肥估算，60 年後僅有全部施用碳量之 5% 殘留於土壤中。台北水田連用 32 Mg/ha/yr (鮮重) 綠肥估算，48 年後僅有全部施用碳量之 1.5% 留於土壤中。因此綠肥可視為速效性肥料，提供當期作物養分之需要。

雖然有機肥料之分解特性不同，但比較目前五處長期試驗結果仍顯示在不同的作物制度下，欲藉有機質肥料之施用增加土壤有機質，即增進地力，台灣地區顯然較日本地區困難，旱田又較水田困難。根據前述估算方法其結果顯示，台北水田連用 48 年 18.2 Mg/ha/yr 廐肥後，萬巒水旱輪作田連用 14 年 10 Mg/ha/yr (起初三年為 6 Mg/ha/yr) 作物殘體後，善化旱田連用九年 20-150 Mg/ha/yr 蔗渣濾泥堆肥後，分別約僅有全部施用碳量之 5.5%，3.5%，35% 殘存於土壤中。善化旱田因還未達穩常狀態，故相對殘留量較高。日本鴻巢水田連用 60 年 12 Mg/ha/yr (鮮重) 稻草堆肥，平塚旱田連用 9 年 450-380 Mg/ha/yr (鮮重) 堆肥，則分別約有全部投入量之 30% 和 25% 殘留於土壤中。

### 土壤有機碳分解模擬

按式(1)之反應方程式，估算各試驗不同肥料處理試驗的土壤有機質分解反應速率常數  $k$  值如表 3，因  $k$  值隨土壤特性、環境與施用之有機質特性而異，從不同試驗之  $k$  值顯示，未施用有機質肥料處理之水田  $k$  值小於旱田，類似作物制度則日本土壤又低於台灣土壤。雖然各試驗施用之有機質肥料不同，但施用不同有機質肥料之處理區大致亦依循上述趨勢。

化肥區與無肥區土壤有機質之來源均是作物殘體，其  $k$  值應相當接近，然而台北水田無肥區估算之  $k$  值甚低於化肥區者，日本鴻巢水田無肥區之  $k$  值亦低於化肥區者，其原因可能是因化肥區施用氮肥，促進有機質分解，但亦可能是殘留根量之估計與實際根量有差異等其他原因。根據前人研究結果，在合適的生長環境下，大豆整個生長期出現最大根系，不是在收穫期，而是繁殖初期，然後在子實充

實期逐漸衰微<sup>(12,16,17,27)</sup>。雖然根系在子實期逐漸衰微，但直到生理成熟期仍有新根形成<sup>(27)</sup>。因此實際回歸於土壤之有機質殘體，可能遠大於現在的估算方法。另外，在日本鴻巢農事試驗場各種有機物在土壤中之分解過程試驗報告顯示，雖然經過五年後，稻草僅殘留施用之 10% 碳量，稻根殘留 20%，但第一年之分解率即分別為 75% 和 50%<sup>(36)</sup>，因此以目前模擬時間差採用一年，推測殘留根量可能佔土壤有機質相當比例。此外，土壤有機質分解乃是土壤微生物活動的結果，不同量的作物殘體，是否導致微生物活性或繁殖差異，以致使土壤有機質的分解速率，依作物殘體回歸量或有機質肥料施用量而異，亦需進一步探討。根據前人研究結果顯示，作物殘體之分解速率與所施用量沒有一定的關係<sup>(23,24,25)</sup>。綠肥之葉、莖、根植體之分解速率及氮礦化，除了受植體氮濃度及 C/N 比影響外，亦受植物殘體含木質素 (Lignin)、脂肪 (Fats) 及蠟類 (Waxes) 含量之影響<sup>(10)</sup>。其礦化氮量與木質素含量成負相關，一般豆科作物莖、根含木質素約在 10-30%，葉含木質素約 3-6%，故含氮量高之葉分解及礦化速率快<sup>(19)</sup>。日本試驗亦顯示不同質材有機質其分解速率與其木質素含量成負相關<sup>(30)</sup>。施用作物殘體或有機質肥料之蛋白質、纖維、半纖維與木質素之成分，亦會影響其後微生物產物與土壤腐植質之穩定性<sup>(20,21)</sup>，而土壤有機質之穩常狀態水準與不易分解之腐植質的量與分解速率，遠比與剛加入之作物殘體與有機質肥料之分解速率有關<sup>(37)</sup>。本文因僅以一概括分解速率常數來描述土壤有機質分解之複雜過程，故有前述無肥區估算之 k 值低於化肥區者之情形。雖然以這樣簡易的模式進行模擬，其應用性較受限制，但以長期試驗為基礎模擬資料，應用於類似的作物制度之模擬，應不致有太大的誤差。

根據模式理論分析，在土壤有機碳達穩常狀態時，土壤有機碳即不再累積，每年的分解量即等於每年的施用量，若按式(1)之一次反應方程式，模擬土壤有機碳分解與累積之長期趨勢，以推測各試驗區有機質肥料處理之可能達穩常狀態所需之時間，則台北水田、屏東萬巒、台南善化旱田分別約需 180，120 和 80 年，而日本鴻巢水田和平塚旱田分別為 90 年和 470 年。但台北水田、屏東萬巒、台南善化旱田分別於 70，40，30 年後，日本鴻巢水田和平塚旱田分別於 150 和 40 年後，土壤有機碳之分解量即已接近於每年施用碳量 (圖 4)。一般而言，溫帶地區土壤有機質分解速率較慢，達穩常狀態所需之時間較長，熱帶地區則反之。假定有機殘質之 C/N 在 15 以下，生物固定化作用不明顯的情形下，在穩常狀態時，隨著有機質之分解，氮之礦化率應達最高，即每年施用量所含之氮量。因此根據計算結果，台北水田在連續施用 18 Mg/ha (鮮重) (含 2.8 Mg C/ha) 廐肥，1，5，10，20 年後，其每年有機碳分解率分別約為 67，76，85，95%，穩常狀態時，約可維持 2.7% 之土壤有機碳。萬巒水田在連續施用 10 Mg/ha (約含 3.6 Mg C/ha) 作物殘體，1，5，10，20 年後則分別為 76，86，92，99%，穩常狀態時，約可維持 2.0% 之土壤有機碳。善化旱田在連續施用 110 Mg/ha (鮮重) (約含 5 Mg C/ha) 蔗渣濾泥堆肥，1，5，10，20 年後則分別為 73，89，96，99%，穩常狀態時約可維持 1.15% 之土壤有機碳 (圖 4(b))。顯示在台灣環境下，由於因著土壤有機質的分解快速，相對地在較短的時間內有更多的養分釋出，此指明台灣環境雖然不利土壤有機質的累積，以增進地力，但有利於施用有機肥料中養分之釋出以供作物利用，另一方面亦可提供無害廢棄物之處置場所，達廢棄物減量之目的，但需酌訂合理施用量，以防二次污染。

### 維持不同土壤有機碳含量之施用量估算

根據長期試驗結果與應用模式預測長期的土壤有機質累積趨勢，可針對土壤有機質累積之需求，依據式(2)，概略估算在現有的耕作制度下，提高土壤有機質含量所需施用的有機質肥料量。由於有機質肥料及其在不同土壤環境之分解特性不同，故目前只能按已有的幾處長期試驗有機質肥料處理區之結果，推算其施用量，供類似土壤環境參考使用 (表 6)。鑑於施用大量有機質肥料其分解礦化之氮量，可能造成二次污染，因此施用量亦需同時考慮可能礦化之氮量。若施用含重金屬廢棄物，則重金屬之累積又為另一考慮因素，已有報告討論其容許的最大施用量 (陳，1995)。本研究僅先考慮有機質累積與礦化氮量問題。

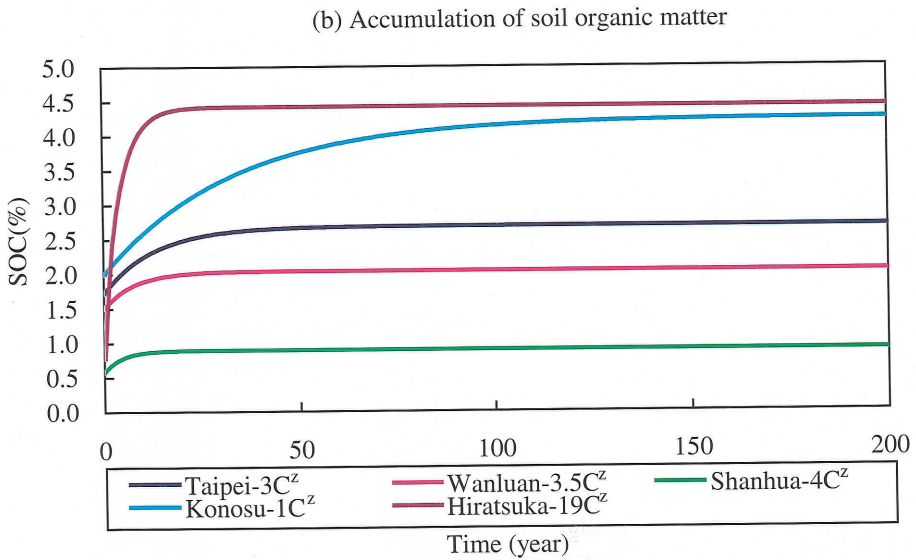
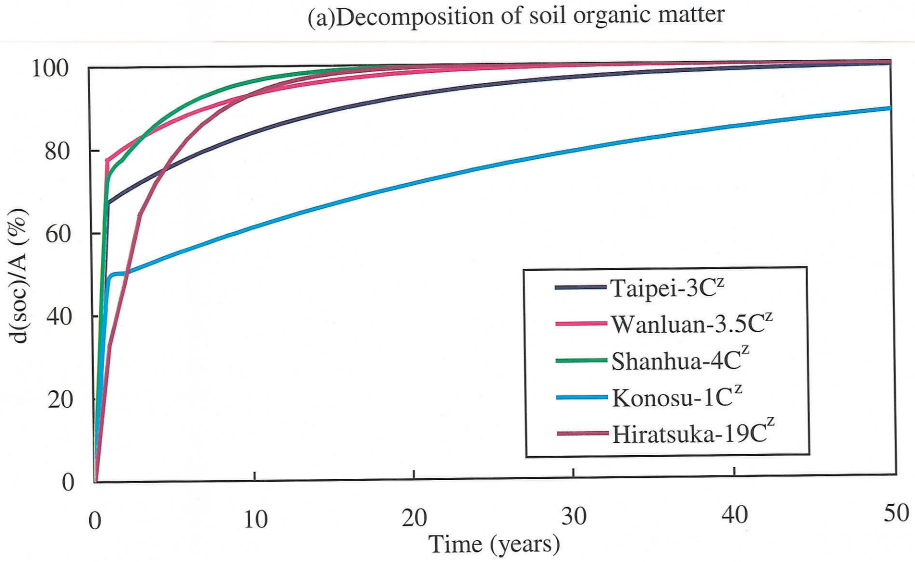


圖 4. 各試驗地點有機質肥料施用區之土壤有機質分解與聚積。

Fig 4. Decomposition and accumulation of organic matter in soils of organic manure plots in different sites.  
(<sup>z</sup> the applied carbon from organic manure per year)

表 6. 各試驗區維持不同土壤有機質含量所需施用之有機質肥料估計量

Table 6. The estimated rates of crop residues or organic manures required for maintaining different levels of soil organic matter in the different experimental plots and locations

OM (%)	Taipei			Wanluan			Shanhua			Konosu			Hiratsuka		
	Trt. <sup>z</sup>	C (Mg/ha)	Res or OF <sup>y</sup> (Mg/ha)	Trt.	C (Mg/ha)	Res or OF (Mg/ha)	Trt.	C (Mg/ha)	Res or OF (Mg/ha)	Trt.	C (Mg/ha)	Res or OF (Mg/ha)	Trt.	C (Mg/ha)	Res or OF (Mg/ha)
1							IF	1.2	4.0 <sup>x</sup>						
1.5							IF+OF	4.3	1.3 <sup>x</sup> +80 <sup>u</sup>				IF	0.44	1.1 <sup>x</sup>
2							IF+OF	5.7	1.3 <sup>x</sup> +110 <sup>u</sup>						
2.5							IF+OF	7.2	1.3 <sup>x</sup> +141 <sup>u</sup>				IF+OF	4.5	1 <sup>x</sup> +40 <sup>s</sup>
3				IF	2.1	5.0 <sup>x</sup>				NoF	0.4	1 <sup>x</sup>			
3.5	NoF	0.5	1.3 <sup>x</sup>	IF+res	5.2	13.0 <sup>x</sup>									
4	IF	1.1	2.7 <sup>x</sup>												
	GM	3.5	2.6 <sup>x</sup> +31 <sup>w</sup>												
4.5	OF	3.8	2.7 <sup>x</sup> +17 <sup>v</sup>												
5	OF	4.2	2.7 <sup>x</sup> +20 <sup>v</sup>							IF	0.8	2 <sup>x</sup>			
										GM	2.7	2 <sup>x</sup> +23.5 <sup>l</sup>			
5.5															
6															
6.5															
7										OF	1.8	2 <sup>x</sup> +11 <sup>l</sup>	OF	17.6	1 <sup>x</sup> +169 <sup>s</sup>
7.5															
8															
8.5													OF	21.4	1 <sup>x</sup> +206 <sup>s</sup>

<sup>z</sup> Trt: treatment; NoF: no fertilizer; IF: inorganic fertilizer; GM: green manure; OF: organic fertilizer.

<sup>y</sup> Res. or OF: crop residue or organic fertilizer.

<sup>x</sup> crop residue (root, rice stubble...)(dry weight).

<sup>w</sup> Green manure (fresh weight).

<sup>v</sup> Farm yard manure (fresh weight).

<sup>u</sup> bagasse-filter cake compost (fresh weight).

<sup>l</sup> rice straw compost (fresh weight).

<sup>s</sup> cow dung compost (fresh weight).

根據台北水田之長期試驗結果，每年施用 18.2 Mg/ha (鮮重) 之廐肥，可使土壤有機質含量由 3.5% 提升至 4.7% 左右，若以目前採用之一階反應模式估算，假設有機質肥料施用量與試驗之施用量相近時，不致影響分解速率常數，則若欲使土壤有機質由無肥區之 3.5%，提高至 4.5%，則需每年施用 17 Mg/ha (鮮重) 廐肥，在達穩常狀態時約可提供 180 kg N/ha/yr，施用 20 Mg/ha (鮮重) 則可增加 1.5% 之土壤有機質，穩常狀態時約提供 210 kg N/ha/yr。屏東萬巒水旱輪作田在化肥區約可維持 3% 之土壤有機質。按模式估算，每年若施用 10 Mg/ha (風乾重) 作物殘質，在穩常狀態時約可使土壤有機質維持在 3.5%。台南善化旱田化肥區之土壤有機質約僅能維持在 0.86%，根據目前每年非等量蔗渣濾泥堆肥施用量試驗結果概略估算，欲使土壤有機質維持於 1.5% 則需每年施用 80 Mg/ha (鮮重) 堆肥，即施用 3.7 Mg C/ha，若施用 110 Mg/ha 或 141 Mg/ha (鮮重)，即施用 5.2 及 6.7 Mg C/ha，則分別可使土壤有機質維持在 2% 及 2.5%，然而在穩常狀態時其約有釋出 740 及 950 kg N/ha/yr，恐有二次污染之虞。

熱帶地區由於土壤有機質的分解速率較快，故不易維持在高的含量，一般熱帶地區國家如菲律賓，將土壤有機質分為三級，低於 2% 者為低級 (low level)，介於 2-3% 者為中級 (medium level)，高於 3% 者為高級 (high level) (38)。根據林 (1983) 71 年全省 80 處一期作水田肥力調查結果顯示，台灣地區土壤有機質介於 0.85-7.35%，平均值為 2.70%，介於 1-4% 者佔 85%。土壤有機質含量高於 1% 者，其產量無明顯差異，而低於 1% 者，其稻穀產量偏低。但當時的調查資料低於 1% 者只有 2 處。以目前長期試驗結果顯示，水田在無肥區及化肥區即可維持在高有機質含量水準，施用適量有機質肥料可再

增進其地力，但不如日本可維持在更高的水準。旱田方面則化肥區僅能維持在 1% 之低土壤有機質含量，若要提高其含量，則長期所施之堆肥量，即可能造成污染。至於旱田土壤有機質含量對作物生產之影響，則需進一步探討。

雖然有機質肥料之特性不同，但根據模式對長期試驗之模擬（表 6），欲維持旱田在 2.5% 之土壤有機質含量，台灣善化田每年需施用 7.2 Mg C/ha，而日本平塚旱田僅需施用 4.5 Mg C/ha。而平塚旱田若施用大量有機質肥料，甚至可使土壤有機質提高至 8.5%，只因在日本之礦化率較低且達穩常狀態之時間較長，故在施用初期可能還不致有污染問題，但長期施用仍可造成污染。

根據本文檢討之五處長期試驗結果，歸納如下之結論：(1)比較各試驗地點的未施有機質肥料區顯示，不同的作物制度在不同的氣候與土壤條件下，可維持之土壤有機質含量有相當差異，一般而言，溫帶較熱帶、水田狀態較旱田狀態，可維持較高的土壤有機質含量。(2)針對有機質之累積而言，無論在溫帶或熱帶土壤，化學肥料之施用並未見導致土壤之劣化，由台北、日本水田長期試驗顯示，化肥區較無肥區有更多的土壤有機質累積。綠肥之施用對地力之增進不大，僅較化肥區維持稍高的土壤有機質含量。(3)利用台灣地區有機殘質在土壤中分解快速之事實，農地可利用作為無害廢棄物最終處置場所，以提供廢棄物減量方法之一，亦可提供作物所需之養分，使資源可以循環再利用，但需酌定合理施用量。(4)欲施用有機質肥料以增進地力，台灣環境顯然較日本環境困難，若考慮氮之礦化量不致造成二次污染，推估每年施用之有機質肥料量，在穩常狀態時，水田約僅能較化肥區提高 1% 之土壤有機質。旱田則約可提高 0.5%。

## 誌 謝

本研究承行政院國科會經費補助（計畫編號 NSC89-EPA-Z-055-001），特申謝忱。本文為該計畫之部分成果，所討論之長期試驗，除了從文獻中直接引用外，亦承亞蔬 Dr. Richard A. Morris 與馬清華博士，提供試驗結果之數據及相關資料，特此致謝。

## 引用文獻

1. 林家菜、李子純、張愛華、陳卿英。1973。長期連用同樣肥料對於土壤化學性質與稻谷收量之影響。農業研究 22(4)：241-262。
2. 林家菜。1983。台灣省土壤肥力能限分類規範調查研究。台灣省農業試驗所民國七十一年年報。pp.77-80。
3. 張守敬、林家菜、步焱昇。1947。同種肥料連用對於水稻產量及土壤理化性之影響。台灣省農業試驗所彙報。第 3 號：18-41。
4. 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。pp.200-214。
5. 曾國珍。1981。還原電位和總體密度對水稻根系分佈與產量的影響。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。
6. 焦彬、顧榮申、張學上。1986。中國綠肥。農學出版社。北京。pp.726-730。
7. 蘇楠榮、王錦堂、吳懷國。1991。台灣多作制度下土壤肥力之變化。輪作制度對土壤肥力及作物影響研討會論文專輯。pp.1-27。
8. Allison, F.E. 1965. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier, Amsterdam. 637pp.
9. Allison, F.E.(ed.). 1973. Soil organic matter and its role in crop product. p.461-483. Dev. Soil Sci. 3. Elsevier, Amsterdam.
10. Allison, L. E. 1965. Organic carbon. In: Black, C.A. (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monographs 9. American Society of Agronomy press. Madison, Wisconsin, USA.
11. Allmaras, R.R., W.W. Nelson, and W.B. Voorhees. 1975. Soybean and corn rooting in southwestern Minnesota: II. Root distribution and related water inflow. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39:771-777.
12. Anonymous. 1990. Fertilizer management for sustainable soybean cultivation under continuous cropping. pp.209-215. In: AVRDC progress report. Shanhua, Tainan.

13. Anonymous. 1991. Vegetable soybean in cropping systems: effect of residues on soil-N dynamics and growth of tow vegetable species. pp.252-261. in: AVRDC progress report. Shanhua, Tainan.
14. Anonymous. 1993. Soil organic carbon and nitrogen accumulation from compost. pp.371-375. in: AVRDC progress report. Shanhua, Tainan..
15. Brown, D.A. 1984. Characterizing root growth and distribution. *Ark Farm Res.* 33:3.
16. Burch, G.J., R.C.G. Smith, and W.K. Mason. 1978. Agronomic and physiological responses of soybean and sorghum crops to water deficits. II. Crop evaporation, soil water depletion and root distribution. *Aust. J. Plant Physiol.* 5:169-177.
17. Campbell, C.A., E.A. Paul, D.A. Rennie and K.J. McCallum. 1967. Applicability of the carbon-dating method of analysis to soil humus studies. *Soil Sci.* 104: 217-224.
18. Frankenberger, Jr, W.T. and H.K. Abdelmagid. 1985. Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil. *Plant and Soil.* 87:257-271.
19. Herman, W.A., McGill, W.B. and Dormaar, J.F. 1977. Effects of initial chemical composition on decomposition of roots of three grass species. *Can. J. Soil Sci.* 57:205-215.
20. Hunt, H.W. 1977. A simulation model for decomposition in grasslands. *Ecology.* 58:469-484.
21. Janzen, H.H. 1991. Fertilization promotes soil organic matter. *Alberta Research.* p10.
22. Jenkinson, D.S. 1971. Studies on the decomposition of C labelled organic matter in soils. *Soil Sci.* 111:64-70.
23. Jenkinson, D.S. 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. IV. The effect of rate of addition. *J. Soil Sci.* 28:417-423.
24. Jenkinson D.S. and A. Ayanaba. 1977. Decomposition of carbon-14 labeled plant material under tropical conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:912-915.
25. Jenkinson, D.S., and J.H. Rayner. 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Sci.* 123:298-305.
26. Kaspar, T.C., C.D. Stanley, and H.M. Taylor. 1978. Soybean root growth during the reproductive stages of development. *Agron. J.* 70:1105-1107.
27. Kirkham, D. and Bartholomew, W.V. 1955. Equations for following nutrient transformation in soil, utilizing tracer data II. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19: 189-192.
28. Lin, C., T. Liu, and T. Hu. 1987. Assembling a model for organic residue transformation in soils. *Proceedings of the National Science Council. Part B: Life Science.* 11(2): 175-186.
29. Maeda, K. and H. Shiga. 1978. Year-long decomposition processes of various organic materials in a lowland field. *J. Sci. Soil Manure, Japan* 49: 455-460. (In Japanese)
30. Matus, F.J. and J. Rodriguez. 1994. A simple model for estimating the contribution of nitrogen mineralization to the nitrogen supply of crops from a stabilized pool of soil organic matter and recent organic input. *Plant and Soil.* 162:259-271.
31. Russell, J.A. 1964. Mathematical expression of seasonal changes in soil organic matter. *Nature (Lond.)* 204: 161-162.
32. Russell, J.S. 1975. A mathematical treatment of the effect of cropping system on soil organic nitrogen in two long-term sequential experiments. *Soil Sci.* 120:37-44.
33. Russell, E.W. 1949. XV. The composition of the soil organic matter. pp.264-295. In. E.W. Russell. (ed) *Soil Conditions and Plant Growth.* John Wiley & Sons Inc., N.Y.
34. Suzuki, M., K. Kamekawa, S. Sekiya and H. Shiga. 1990. Effect of continuous applications of organic or inorganic fertilizer for sixty years on soil fertility and rice yield in paddy fields. *Transactions of the 14th International Congress of Soil Science. Vol II,* pp.14-19.
35. Tanaka, I. and H. Shiga. 1988. Organic matter dynamics in paddy fields. *Agri, and Horti.* 63(4): 479-488. (In Japanese)
36. Van Veen, J.A. and E.A. Paul. 1981. Organic carbon dynamics in grassland soils. I. Background information and computer simulation. *Can. J. Soil Sci.* 61: 185-201.
37. Working group. 1985. Wetland soils : Characterization, classification, and utilization. *International rice research institute.*
38. Yamada, H. 1991. Agricultural technological evaluation on organic farming and gardening (No 2)-Estimation of soil nitrogen mineralization in upland fields continuously treated with organic and/or chemical fertilizer. *Report of Agricultural Research Institute of Kanagawa Prefecture.* 133:67-74. (In Japanese)
39. Yamada, H., and H. Kamata. 1989. Agricultural technological evaluation on organic farming and gardening. I. Effects of organic farming on yields of vegetables and soil physical and chemical properties. *Report of Agricultural Research Institute of Kanagawa Prefecture.* 131:1-13. (In Japanese)

# Modeling of Organic Matter Turnover and Fertility Maintenance in Taiwan and Japan<sup>1</sup>

Chi-Ling Chen<sup>2,3</sup> Shen Lian<sup>2</sup>

## Summary

This paper reviews changes of organic matter content in the soils of some long-term experiments conducted in Taiwan and Japan, where different rates of crops residues or organic manure had been applied continuously. The decomposition and accumulation of organic matter in the soils were simulated as the first order reaction and the model was used to estimate the input of organic manure required to maintain different levels of organic matter in the soils. The experiments of Taiwan consist of a 48-year field trial with the cropping system of two crops paddy rice per year in Taipei, a 14-year field trial with the cropping system of rice-rice-soybean per year in Pingtung and a 9-year field trial with the cropping system of 2-3 crops soybean per year. The experiments of Japan consist of a 60-year field trial with the cropping system of one crop paddy rice per year in Saitama, Japan and a 9-year field trial with the cropping system of onion-cabbage per year in Kanagawa. The results indicate that soil organic matter can maintain a higher level generally in the Temperate than in the Tropics, and in paddy than in upland. The long-term application of chemical fertilizer did not deplete the content of soil organic matter but even increase slightly compared to the soil without application of fertilizers. A stabilized content (3.0%) of organic matter was, in fact, maintained in the soil without application of fertilizer in this paddy soil; the rice stubble and roots remained in the soil after the harvests were enough to maintain this level of organic matter without any tendency of depletion. On the other hand, the long-term application of green manure did not increase the content of soil organic matter as significantly as that of compost did, although it did increase slightly higher than the soil with the application of chemical fertilizer. Apparently, the increase of soil organic matter through the application of organic manure is more difficult in Taiwan than in Japan due to its higher rate of decomposition. This characteristics, however, is advantageous for agricultural land to act as disposal places for the harmless organic waste produced by animal husbandry. The reasonable rate of application, however, should be evaluated so that environmental impact will be minimized. According to the results of the experiments and simulation analysis, the continuous application of 17Mg/ha/year (fresh weight basis) of farm yard manure for 70 years is required to raise soil organic matter from the level of 3.5% to 4.5%, both at nearly steady state, in the paddy field of Taipei. The rate of N release at steady status maintaining 4.5% organic matter is 180 kg N/ha/year. On the other hand, the continuous application of 110 Mg/ha/year (fresh weight basis) of bagasse filter cake compost for 30 years is required to raise soil organic matter from the level of 1% to 2%, both at nearly steady state, in the upland field of Tainan. The rate of N release at steady state maintaining 2% organic matter is 740 kg N/ha/year. The long-term continuous application of 110 Mg/ha/year (fresh weight basis) of bagasse filter cake compost apparently will cause pollution to the environment.

**Key words :** Soil organic matter, Turnover, Modeling.

1. Contribution No. 2113 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted by May 6, 2002.

2. Respective, Assistant Soil Scientist, Former Soil Scientist and Head, Department of Agricultural Chemistry, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

3. Corresponding author, E-mail: chiling@wufeng.tari.gov.tw; FAX: (04)23302805.