

# 土壤有機質的重要特性與其提升之施肥策略

鍾仁賜

臺灣大學名譽教授

## 前 言

土壤有機質濃度是決定土壤生產力的重要因子之一，經驗顯示，離開表土，土壤肥力下降，而添加化學肥料僅能回復部分肥力，使底土增加肥力的最好方法是添加有機質。一般而言，處女地經開墾之後，其所含的有機質會加速分解，再逐漸趨向一穩定值，而溫度越高的地區，有機質的分解越快，且其有機質的濃度會較低，因此，土壤中的有機質濃度與環境條件有關。對土壤而言，雖然外加的有機質對土壤有機質濃度的影響是有限的，但是仍可有一範圍增加的可能。經長期施用有機質肥料之後，使土壤中能形成某一定量的有機質，以發展適合作物生長之物理、化學與生物性質。Bauer 與 Black (1994) 探討土壤有機質濃度與土壤生產力的關係，顯示土壤有機質濃度高者的土壤生產力高。

土壤有機質是大部分土壤氮、65%土壤磷、相當量硫與其他植物必須元素的貯藏庫，故土壤有機質濃度與土壤肥力，甚至土壤品質密切相關。此外，土壤碳為土壤微生物代謝所須之主要能源，在其代謝過程中影響養分有效性與土壤構造 (structure)。Gregorich 等 (1995) 提出土壤有機質是土壤品質之重要指標。健康的土壤必須含有足夠的有機質，有機質是維持植物所需的數十億微觀生命及供應植物所需之養分。

有機質可被區分為分子小且容易被利用而分解的易變動庫 (labile pool)，與分子大而難被分解的難分解庫 (recalcitrant pool)。土壤有機質的易變動庫濃度受到被微生物分解之速率與難易程度影響，與其化學結構與土壤物理保護有關 (McLauchlan and Hobbie, 2004)。目前至少有九種方式可將有機質的易變動庫與難分解庫作一區分，包含化學劃分 (fractionation)、物理劃分與生物劃分三大類 (Karlen et al., 1998; Doran et al., 1999; McLauchlan and Hobbie, 2004)。而土壤有機質中易變動庫與難分解庫之濃度亦受到施入之有機質肥料種類與時間的影響，有機質肥料在土壤中礦化特性與該資材中組成的成分與種類有關。

## 土壤有機質的重要性

### 一、同時提供銨態與硝酸態氮

不同的植物對銨態氮與硝酸態氮的有不同的偏好，當同時提供銨態與硝酸態氮給植物

時，是最利於其生長 (Cox and Reisenauer, 1973; Cao and Tibbits, 1993)。同時提供兩型態氮時，比提供單一氮源者之植物體內的總氮濃度高 (Cox and Reisenauer, 1973)。堆肥在土壤中持續礦化，使土壤中持續存在較高濃度的銨態氮與硝酸態氮。如表一與表二分別為不同的堆肥施入酸性之紅壤 (pH 3.85) 中且同時種植作物時，銨態氮與硝酸態氮濃度的變化。顯示堆肥施入至土壤後，可使土壤中於相當長之時間內有較高濃度之銨態氮與硝酸態氮共存；當施入尿素時，則以銨態氮為主，硝酸態氮之濃度低，若土壤以石灰中和至趨近中性時，硝酸態氮濃度高，銨態氮濃度則低。

表一、不同堆肥之氮組成 ( $\text{g kg}^{-1}$ )

| 堆肥         | 硝酸氮        | 銨氮          | 可溶性有機氮       | 不溶性氮         | 總氮    |
|------------|------------|-------------|--------------|--------------|-------|
| 鋸木屑蔗渣堆肥    | 1.06 (6.5) | 1.39 (8.5)  | --!          | 13.95 (85.1) | 16.24 |
| 豬糞堆肥 A     | 1.10 (3.4) | 2.70 (8.3)  | --           | 28.85 (88.3) | 32.00 |
| 豬糞堆肥 B     | 0.07 (0.3) | 2.02 (9.7)  | 1.16 (5.5)   | 17.67 (84.5) | 20.90 |
| 牛糞茶渣堆肥     | 0.34 (1.1) | 1.34 (4.3)  | 8.07 (26.1)  | 21.22 (68.5) | 31.97 |
| 牛糞堆肥       | 0.12 (0.5) | 1.98 (7.7)  | 2.19 (8.5)   | 21.59 (83.4) | 25.88 |
| 糖蜜蔗渣堆肥     | 0.20 (1.1) | 1.26 (7.2)  | 2.56 (14.6)  | 13.49 (77.0) | 17.51 |
| 豌豆苗殘體鋸木屑堆肥 | 0.48 (1.6) | 3.26 (10.7) | 10.92 (35.7) | 15.95 (52.1) | 30.61 |

括弧內的數字為佔總氮的百分比；!：未分析到。

表二、堆肥施入土壤後不同時間 (天) 土壤中銨態氮濃度 ( $\text{g kg}^{-1}$ )

| 堆肥         | 30               | 40               | 50               | 108              | 123              | 138              |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 鋸木屑蔗渣堆肥    | 46 <sup>e*</sup> | 34 <sup>de</sup> | 19 <sup>d</sup>  | 31 <sup>c</sup>  | 8 <sup>c</sup>   | 6 <sup>cd</sup>  |
| 豬糞堆肥 A     | 46 <sup>e</sup>  | 47 <sup>de</sup> | 10 <sup>de</sup> | 14 <sup>de</sup> | 6 <sup>c</sup>   | 11 <sup>bc</sup> |
| 豬糞堆肥 B     | 72 <sup>d</sup>  | 32 <sup>de</sup> | 0                | 25 <sup>de</sup> | 9 <sup>c</sup>   | 7 <sup>cd</sup>  |
| 牛糞茶渣堆肥     | 30 <sup>e</sup>  | 36 <sup>de</sup> | 0                | 6 <sup>ef</sup>  | 3 <sup>c</sup>   | 5 <sup>cd</sup>  |
| 牛糞堆肥       | 43 <sup>e</sup>  | 55 <sup>d</sup>  | 41 <sup>c</sup>  | 8 <sup>ef</sup>  | 5 <sup>c</sup>   | 7 <sup>cd</sup>  |
| 糖蜜蔗渣堆肥     | 39 <sup>e</sup>  | 24 <sup>c</sup>  | 5 <sup>de</sup>  | 6 <sup>ef</sup>  | 0                | 3 <sup>d</sup>   |
| 豌豆苗殘體鋸木屑堆肥 | 212 <sup>a</sup> | 202 <sup>a</sup> | 194 <sup>a</sup> | 137 <sup>a</sup> | 31 <sup>b</sup>  | 15 <sup>b</sup>  |
| 化學氮肥石灰     | 104 <sup>c</sup> | 75 <sup>c</sup>  | 11 <sup>de</sup> | 0                | 0                | 3 <sup>d</sup>   |
| 化學氮肥       | 124 <sup>b</sup> | 116 <sup>b</sup> | 108 <sup>b</sup> | 94 <sup>b</sup>  | 190 <sup>a</sup> | 150 <sup>a</sup> |

\*：同一行中之數值附有相同之英文字母者，表示統計上未達顯著水準。

## 二、具緩效性肥料特性

堆肥中的氮大部分為有機態的 (翁, 1998; Sanchez-Monedero et al., 2001), 無機態氮 (佔總氮之 10% 以下, 視肥料原料與堆肥化作用而定) 僅佔少量。表三為一些市售堆肥的無機態氮濃度因肥料而異, 但是佔總氮的比例均低。堆肥施入土壤中後, 需經礦化作用 (mineralization), 將有機態氮轉變為無機態氮時方為植物吸收利用, 因此, 具緩效性氮肥之性質 (Sikora and Szmide, 2001)。不同的堆肥的礦化特性不同 (翁, 1998; 林與王, 2002), 此效應無法模擬。表四顯示不同之堆肥施用至土壤中後, 其無機態氮濃度隨時間之變化不同。

表三、堆肥施入土壤後不同時間 (天) 土壤中硝酸態氮濃度 ( $\text{g kg}^{-1}$ )

| 堆肥         | 30                | 40               | 50               | 108              | 123             | 138 |
|------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----|
| 鋸木屑蔗渣堆肥    | 121 <sup>a*</sup> | 96 <sup>a</sup>  | 129 <sup>a</sup> | 88 <sup>bc</sup> | 0               | 0   |
| 豬糞堆肥 A     | 65 <sup>b</sup>   | 69 <sup>b</sup>  | 64 <sup>b</sup>  | 27 <sup>d</sup>  | 0               | 0   |
| 豬糞堆肥 B     | 26 <sup>c</sup>   | 93 <sup>a</sup>  | 75 <sup>b</sup>  | 106 <sup>a</sup> | 4 <sup>b</sup>  | 0   |
| 牛糞茶渣堆肥     | 23 <sup>c</sup>   | 26 <sup>d</sup>  | 0                | 0                | 0               | 0   |
| 牛糞堆肥       | —                 | 4 <sup>f</sup>   | 0                | 25 <sup>d</sup>  | 7 <sup>b</sup>  | 0   |
| 糖蜜蔗渣堆肥     | 30 <sup>c</sup>   | 31 <sup>d</sup>  | 19 <sup>c</sup>  | 22 <sup>d</sup>  | 3 <sup>b</sup>  | 0   |
| 豌豆苗殘體鋸木屑堆肥 | 73 <sup>b</sup>   | 61 <sup>c</sup>  | 42 <sup>bc</sup> | 97 <sup>ab</sup> | 48 <sup>a</sup> | 0   |
| 化學氮肥石灰     | 30 <sup>c</sup>   | 35 <sup>d</sup>  | 64 <sup>b</sup>  | 79 <sup>c</sup>  | 5 <sup>b</sup>  | 0   |
| 化學氮肥       | 21 <sup>c</sup>   | 14 <sup>ef</sup> | 6 <sup>c</sup>   | 15 <sup>de</sup> | 7 <sup>b</sup>  | 0   |

\*: 同一行中之數值附有相同之英文字母者, 表示統計上未達顯著水準。

表四、堆肥施入土壤後不同時間 (天) 土壤中無機態氮濃度 ( $\text{g kg}^{-1}$ )

| 堆肥         | 30  | 40  | 50  | 108 | 123 | 138 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 鋸木屑蔗渣堆肥    | 167 | 130 | 148 | 119 | 8   | 6   |
| 豬糞堆肥 A     | 111 | 116 | 74  | 41  | 6   | 11  |
| 豬糞堆肥 B     | 98  | 125 | 75  | 131 | 13  | 7   |
| 牛糞茶渣堆肥     | 53  | 62  | 0   | 6   | 3   | 5   |
| 牛糞堆肥       | 43  | 59  | 41  | 33  | 12  | 7   |
| 糖蜜蔗渣堆肥     | 69  | 55  | 24  | 28  | 3   | 3   |
| 豌豆苗殘體鋸木屑堆肥 | 285 | 263 | 236 | 234 | 79  | 15  |
| 化學氮肥石灰     | 134 | 110 | 75  | 79  | 5   | 3   |
| 化學氮肥       | 145 | 130 | 114 | 109 | 197 | 150 |

### 三、土壤有機質均勻分部在土壤且與土壤密切結合，其礦化所釋出的養分，更利於植物吸收利用

植物根系的養分與水分吸收發生在離新生長之根尖約 8-10 cm 以內的根區 (Mengel and Kirkby, 2001)，若是養分不在附近，則需藉由擴散 (diffusion) 與質流 (mass flow) 作用移動至吸收之位置。然而，擴散與質流又是受許多因子影響的緩慢作用，尤其是前者 (Mengel and Kirkby, 2001)。通常所施用的肥料大部分不在易被植物吸收的位置上，此亦為肥料利用率低之一因素。植物根系與土壤密切結合，土壤有機質礦化之無機養分即在根之可吸收部位附近，可以較容易被吸收。

### 四、供養分及改善土壤化學性質與肥力

植物生長直接與間接受腐植質影響。堆肥的功能不僅是提供養分，尚有許多其他功能是化學肥料所沒有的。

#### (一) 影響養分吸收進而影響作物生長

作物殘體的許多分解物會抑制植物的生長 (McCalla and Haskins, 1964; Patrick et al., 1963; 周, 1979)，但是其中亦有可促進植物生長者，如不同的有機酸對不同的植物生長影響不同。利用同位素追蹤試驗顯示小分子之有機化合物被吸收而進入植物體內，如水耕栽培番茄與小麥，所添加之聚順丁烯二酸 (polymaleic acid, PMA) 隨著植物生長增加其吸收量 (Linehan, 1978)。

#### (二) 減少鋁、鐵與錳毒害與磷被固定

石灰是傳統上被廣泛使用的改良酸性土壤的資材，但是施用石灰中和氧化鋁濃度高的土壤酸性時，因形成水合鋁(hydroxy-aluminum)而增加其對磷的固定(fixation)，降低磷之有效性 (Lopez-Hernandez and Burnham, 1974; Haynes, 1982)，尤其是氧化物土 (Oxisols)。土壤中的有機質不但會結合在鐵鋁氧化物表面而減少對磷的固定作用 (Lopez-Hernandez et al., 1986; Lornbarinai et al., 1994)，並且能錯合鐵及鋁離子而減少其對作物的毒害及與磷之作用 (Tan and Binger, 1986; Elkins and Nelson, 2002)。

#### (三) 具有植物荷爾蒙性質

土壤腐植質對植物生長的一種促進作用是增加植物攝取無機營養元素。有腐植物質時，增加植物吸收巨量與微量元素。Mylonas 與 McCant (1980) 之研究顯示，適當濃度之腐植酸與腐黃酸促進菸草幼苗細根的長度與數目。楊及陳 (1995) 之研究顯示，腐植酸中可分離聚胺 (polyamine)，而此聚胺是具有生理活性的物質，其他研究也發現腐植物質的植物荷爾蒙性

質 (Chen et al., 2004; Trevisan et al., 2010)。

#### (四) 對微量金屬有效性的影響

無腐植質存在時，微量元素形成不溶性沉澱物 (尤其是石灰質土壤)，如金屬碳酸鹽、氧化物、硫化物和氫氧化物或被土壤膠體吸附，故移動性或有效性小。土壤中的檸檬酸、腐植酸和腐黃酸與鐵、錳、銅與鋅錯合而抑制新的土壤礦物形成且可被植物吸收 (Tiffen, 1970; Lair et al., 2006)，如抑制鐵結晶形成氧化鐵。因此，腐植質不足的土壤可能含有足夠的鐵，然而，其鐵型態通常不能被植物吸收。土壤有機質濃度高時，具有錯合鐵能力的化合物如攜鐵劑 (siderophore) 羥肟酸 (hydroxamate) 的濃度較高 (Powell et al., 1982)。

#### (五) 減少重金屬毒性的影響

腐植質也影響土壤錯合毒性重金屬元素，植物不易吸收被錯合的重金屬如汞、鉛和鎘 (Pettit, 2008)。腐植酸降低溶液中鎘的活性及減少被玉米吸收之量，顯著降低根中的鎘濃度，但是對地上部的濃度影響較小，顯示腐植酸對鎘在植物體內之傳輸影響較小 (Tyler and McBride, 1982)。White 與 Chaney (1980) 之研究顯示大豆葉片中的鋅、鎘與錳濃度因其添加量增加而增加，植物葉片中這些金屬元素的濃度，因土壤有機質濃度提高而降低；土壤中可被 0.01 M 氯化鈣 ( $\text{CaCl}_2$ ) 水溶液及 DTPA (二乙烯三胺五乙酸，diethylenetriaminepentaacetic acid) 水溶液萃取的鋅、鎘與錳量也有相同的現象。Strickland 等 (1979) 將大豆種在石英砂中，添加泥炭而使其產量增加，因泥炭而降低鎘之毒害，泥炭添加量多時，鎘之吸收量減少。

### 五、影響土壤的物理性

有機添加物對土壤之極有利影響之一為改善土壤的物理性質，其中之一為改善土壤構造，而土壤構造影響水的滲透 (infiltration) 與保持 (retention)、風及水的沖蝕 (wind and water erosion)、植物根的生長、空氣及水在土壤孔隙中的分佈與傳輸、耕性 (tilth) 與種子發芽等。土壤的總體密度 (bulk density) 是土壤構造之一測量參數。土壤有機質濃度增加與降低土壤的總體密度顯著相關 (Pe'rie' and Ouimet, 2008; Hossain et al., 2015)。

土壤腐植質的最重要的功能之一是其保水力。水是植物生長所需之最大量的物質。腐植質利於土壤構造之形成，促進水滲入並將水保持在土壤中。由於腐植質大的比表面積 (specific area) 和電荷，具海綿的作用。這種海綿作用可保持其七倍體積水的能力，故土壤的保水量 (water holding capacity)，因有機質的添加而上升 (Khaeel et al., 1981; Darwish et al., 1995)。

### 六、機質對土壤微生物的影響

土壤有機質是土壤中異營性生物 (heterotrophs) 的能源，施用堆肥促進異營性微生物族

群的生長及活性，此則可以經由 1. 提供生物化學上重要的物質及 2. 影響土壤中引起植物病害之腐生微生物族群。表五顯示施用堆肥而增加細菌、放線菌與真菌之數目。

表五、設施內栽培蔬菜經五年施用不同量堆肥對土壤微生物族群之影響

| 處理            | 細菌<br>$10^7$ CFU $g^{-1}$ | 放線菌<br>$10^7$ CFU $g^{-1}$ | 真菌<br>$10^4$ CFU/g  |
|---------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|
| 化學肥料          | 3.24 <sup>d*</sup>        | 3.24 <sup>d</sup>          | 3.39 <sup>c</sup>   |
| 不施肥           | 3.72 <sup>cd</sup>        | 3.72 <sup>cd</sup>         | 3.80 <sup>bc</sup>  |
| 與化學肥料相同氮量之有機肥 | 4.47 <sup>cd</sup>        | 4.47 <sup>cd</sup>         | 4.68 <sup>abc</sup> |
| 與化學肥料二倍氮量之有機肥 | 4.68 <sup>bc</sup>        | 4.68 <sup>bc</sup>         | 5.25 <sup>ab</sup>  |
| 與化學肥料三倍氮量之有機肥 | 5.75 <sup>ab</sup>        | 5.75 <sup>ab</sup>         | 5.62 <sup>a</sup>   |
| 與化學肥料四倍氮量之有機肥 | 6.92 <sup>a</sup>         | 6.92 <sup>a</sup>          | 5.75 <sup>a</sup>   |

\*同一行之數值附有相同之英文字母者，表示統計上未達顯著水準。

### 不同有機資材之碳與氮特性

表六為不同有機質（肥料）之碳與氮組成，顯示泥炭之碳濃度略低，泥炭之氮濃度則為最低，大豆粕者之氮濃度最高，雞糞堆肥者次高，其餘相近。泥炭之碳氮比高，大豆粕與雞糞堆肥小於十，其餘相近。

表六、試驗用堆肥之碳與氮濃

| 有機質資材      | 總碳， $g\ kg^{-1}$ | 總氮， $g\ kg^{-1}$ | 碳/氮  |
|------------|------------------|------------------|------|
| 泥炭         | 249±28.4         | 6.17±1.80        | 40.4 |
| 豬糞堆肥       | 380±38.4         | 30.1±2.18        | 12.6 |
| 豬糞堆肥       | 466±46.3         | 33.2±1.52        | 15.7 |
| 牛糞堆肥       | 452±45.3         | 29.7±5.31        | 13.6 |
| 雞糞堆肥       | 329±64.7         | 47.7±5.61        | 6.9  |
| 大豆粕        | 481±73.7         | 69.6±5.90        | 6.9  |
| 豌豆苗殘體鋸木屑堆肥 | 443±74.9         | 27.4±3.76        | 16.2 |

表七為不同有機資材以鹽酸溶液 (6 N) 劃分 (Rovira and Vallejo, 2007) 之碳與氮特性。所有資材之易變動庫碳氮比低，表示其易於分解的特性。泥炭、牛糞堆肥、大豆粕與豌豆苗

殘體堆肥之易變動庫氮濃度比難分解庫者高，雖然泥炭之易變動庫氮佔總氮之比例比難分解庫高，但是其含量卻甚少，表示其易礦化氮的量少。泥炭、牛糞堆肥、豬糞堆肥與豌豆苗殘體鋸木屑堆肥中易變動庫碳濃度與佔總碳比例低，說明可供土壤微生物利用的碳源少。雞糞堆肥與大豆粕之難分解庫碳佔總碳之三分之二。

表七、不同之有機資材由鹽酸劃分所得之易變動庫與難分解庫濃度之氮與碳

| 堆肥                 | 易變動庫        |            |     | 難分解庫        |            |       |
|--------------------|-------------|------------|-----|-------------|------------|-------|
|                    | 氮           | 碳          | 碳/氮 | 氮           | 碳          | 碳/氮   |
| $\text{g kg}^{-1}$ |             |            |     |             |            |       |
| 泥炭                 | 4.6 (74.2)  | 7.8 (3.1)  | 1.6 | 1.6 (25.8)  | 241 (96.7) | 150.6 |
| 牛糞堆肥               | 24.3 (73.2) | 11.4 (2.5) | 0.5 | 8.9 (26.7)  | 441 (97.5) | 49.6  |
| 豬糞堆肥               | 14.3 (47.5) | 12.1 (3.2) | 0.8 | 15.6 (52.7) | 368 (96.8) | 23.6  |
| 豬糞堆肥               | 9.2 (31.1)  | 44.0 (9.4) | 4.8 | 20.5 (68.9) | 422 (90.6) | 20.6  |
| 雞糞堆肥               | 17.6 (36.9) | 110 (33.4) | 6.3 | 30.2 (63.2) | 219 (66.5) | 7.3   |
| 大豆粕                | 55.4 (79.6) | 176 (36.6) | 3.2 | 14.2 (20.3) | 305 (63.3) | 21.5  |
| 豌豆堆肥               | 20.1 (73.4) | 14.4 (3.3) | 0.7 | 7.3 (26.5)  | 429 (96.7) | 58.8  |

括弧內數字為佔總量之百分比。

表八與表九為以硫酸溶液（第一階段 5.0 N，第二階段 26 N）分二階段劃分其碳與氮組成 (Rovira and Vallejo, 2000)。表八為第一階段水解所得易變動庫碳之組成，又分為易變動庫 I 與易變動庫 II，易變動庫 I 包括醣碳 (saccharide C) 與聚酚 I (polyphenol I) 碳，易變動庫 II 包括纖維素碳 (cellulose C) 與聚酚 II (polyphenol II) 碳。醣碳、聚酚碳、纖維素碳與聚酚碳則依其構造特性，依次表示其在土壤中易分解至難分解的組成分。除大豆粕與豌豆苗殘體鋸木屑堆肥，各種資材之易變動庫 I 與易變動庫 II 碳佔總碳之比例均低，大豆粕之易變動庫 I 與易變動庫 II 碳佔總碳之比例約 50%，豌豆苗殘體鋸木屑堆肥則為 40%。各種資材之聚酚碳濃度均低，聚酚 II 碳濃度則高於聚酚 I 碳；易變動庫之醣碳與纖維素碳比例較高，大豆粕之醣碳佔總碳之 46%。泥炭中易變動庫中的四種碳濃度均低。

表九為硫酸第二階段水解所得之難分解庫之氮與碳之組成。由表可知，泥炭中的難分解庫氮佔總氮之 84%，豌豆苗殘體堆肥則佔 94%，而大豆粕之難分解庫氮僅佔總氮之 26%，其餘堆肥中的難分解庫氮約佔總氮之 50%，牛糞堆肥略低 (35%)。穩定庫之碳氮比以泥炭與豌豆苗殘體堆肥較高，其餘約在 10 左右，大豆粕則為 6.5。顯示泥炭與豌豆苗殘體堆肥難分解庫氮與碳較不易分解。

表八、硫酸第一階段劃分有機資材所得之易變動碳庫濃度

| 資材   | 不穩定庫 I                 |           | 不穩定庫 II      |           |
|------|------------------------|-----------|--------------|-----------|
|      | 醣碳                     | 聚酚 I 碳    | 纖維素碳         | 聚酚 II 碳   |
|      | $\text{g kg}^{-1}$     |           |              |           |
| 泥炭   | 9.0 (3.6) <sup>1</sup> | 1.5 (0.6) | 7.8 (3.1)    | 5.5 (2.2) |
| 牛糞堆肥 | 42.1 (9.3)             | 1.0 (0.2) | 64.5 (14.3)  | 4.6 (1.0) |
| 豬糞堆肥 | 53.1 (14.0)            | 2.7 (0.7) | 53.4 (14.1)  | 7.1 (1.9) |
| 豬糞堆肥 | 41.3 (8.9)             | 2.4 (0.5) | 59.4 (12.7)  | 7.6 (1.6) |
| 雞糞堆肥 | 23.6 (7.2)             | 2.4 (0.7) | 30.9 (9.4)   | 5.7 (1.7) |
| 大豆粕  | 223 (46.3)             | 3.3 (0.7) | 29.5 (6.1)   | 5.1 (1.1) |
| 豌豆堆肥 | 69.8 (15.8)            | 2.1 (0.5) | 109.3 (24.7) | 3.5 (0.8) |

<sup>1</sup> 括弧內數字為佔總量的百分比。

表九、不同之有機資材由硫酸第二階段劃分所得之難分解庫濃度之氮與碳

| 堆肥   | 氮                  | 碳                 | 碳/氮  |
|------|--------------------|-------------------|------|
|      | $\text{g kg}^{-1}$ |                   |      |
| 泥炭   | 5.2 ± 3.64 (83.9)  | 174 ± 21.9 (70.1) | 33.5 |
| 牛糞堆肥 | 14.4 ± 0.88 (34.6) | 189 ± 10.1 (41.8) | 13.1 |
| 豬糞堆肥 | 14.9 ± 1.68 (49.4) | 113 ± 0.07 (29.7) | 7.6  |
| 豬糞堆肥 | 14.6 ± 0.76 (43.1) | 138 ± 12.9 (94.2) | 9.5  |
| 雞糞堆肥 | 25.9 ± 5.86 (54.4) | 168 ± 1.90 (51.0) | 6.5  |
| 大豆粕  | 17.9 ± 1.08 (25.8) | 243 ± 20.1 (50.5) | 13.6 |
| 豌豆堆肥 | 25.6 ± 0.96 (93.5) | 179 ± 8.21 (40.5) | 33.5 |

括弧內數字為佔總量之百分比。

### 不同的有機肥料施用與施肥管理對土壤碳與氮組成的影響

有機肥料施用的之目的為對作物提供最適量的養分而達到最高產量與收益以及維持健康、具生物活性之土壤環境，故施用有機質肥料之結果也應使土壤中有一定量的有機質存在或累積。

## 一、桃園區農業改良場溫室試驗

表十顯示在溫室中施用同種堆肥經七年 37 作短期葉菜栽培之後對土壤性質之影響。總碳濃度以豌豆苗殘體鋸木屑堆肥處理最高，牛糞堆肥次之、豬糞堆肥再次之，大豆粕處理土壤之總碳濃度與起始土壤之始濃度 ( $14.2 \text{ g kg}^{-1}$ ) 比則未增加，總氮濃度與起始土壤濃度 ( $4.4 \text{ g kg}^{-1}$ ) 比，反而下降。施用豌豆苗殘體鋸木屑堆肥與牛糞堆肥增加土壤總氮，大豆粕處理不但無法在土壤累積碳，反而減少氮（促發反應，*priming effect*）。富含蛋白質之大豆粕，表示其在土壤中分解礦化快，其肥效似硫酸銨或尿素之快速，施入土壤中後，大部分在短時間內礦化形成無機態氮。所有處理之有效性磷、鉀（表五）與其他養分（資料未示）均增加，顯示堆肥長期連用造成土壤樣分累積之甚高的濃度。

表十、設施內栽培蔬菜經七年 37 作不同種類有機肥料對土壤性質之影響

| 處理      | pH,<br>saturated  | EC,<br>dS m <sup>-1</sup> | 總碳<br>g kg <sup>-1</sup> | 總氮<br>g kg <sup>-1</sup> | Bray I 磷<br>mg kg <sup>-1</sup> | 孟立克 III K<br>mg kg <sup>-1</sup> |
|---------|-------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 牛糞堆肥    | 4.2 <sup>d2</sup> | 3.5 <sup>a</sup>          | 55.4 <sup>b</sup>        | 6.6 <sup>b</sup>         | 313 <sup>a</sup>                | 301 <sup>bc</sup>                |
| 豬糞堆肥    | 6.8 <sup>a</sup>  | 1.9 <sup>cd</sup>         | 44.4 <sup>c</sup>        | 4.4 <sup>c</sup>         | 137 <sup>c</sup>                | 296 <sup>bc</sup>                |
| 雞糞堆肥    | 6.4 <sup>a</sup>  | 1.3 <sup>d</sup>          | 31.3 <sup>e</sup>        | 2.8 <sup>d</sup>         | 272 <sup>ab</sup>               | 511 <sup>a</sup>                 |
| 大豆粕     | 4.7 <sup>c</sup>  | 1.2 <sup>d</sup>          | 18.5 <sup>f</sup>        | 1.9 <sup>e</sup>         | 322 <sup>a</sup>                | 210 <sup>c</sup>                 |
| 豌豆苗殘體堆肥 | 4.3 <sup>d</sup>  | 2.7 <sup>b</sup>          | 66.7 <sup>a</sup>        | 7.7 <sup>a</sup>         | 331 <sup>a</sup>                | 530 <sup>a</sup>                 |
| 輪施      | 5.7 <sup>b</sup>  | 2.0 <sup>c</sup>          | 39.3 <sup>d</sup>        | 4.2 <sup>c</sup>         | 220 <sup>b</sup>                | 360 <sup>b</sup>                 |

1 飽和水導電度。2 總氮。3 Bray-I 磷。4 孟立克-III 可萃取鉀。

起始土總碳濃度為  $14.2 \text{ g kg}^{-1}$ ，總氮濃度為  $4.4 \text{ g kg}^{-1}$ 。

2 同一行中之數值附有相同之英文字母者，表示統計上未達顯著水準。

以鹽酸溶液劃分土壤中的碳與氮之結果，如表十一所示。輪施處理土壤的易變動庫中氮濃度為各處理中最低者，次低為大豆粕處理者，然而，大豆粕處理土壤中的氮，全部在易變動庫中，輪施處理土壤中的易變動庫中氮則為總氮之 35%。豌豆苗殘體鋸木屑堆肥處理土壤中的氮 68% 為在難分解庫中，輪施處理則為 65%，顯示豌豆苗殘體鋸木屑堆肥處理與輪施處理有利於較多的氮累積在難分解庫中。牛糞堆肥處理土壤中的易變動庫中氮濃度為各處理中最高者，豬糞堆肥處理次之。牛糞堆肥、豬糞堆肥與雞糞堆肥三種處理土壤中易變動庫中氮佔總氮的比例為 55-64%，說明有效氮的濃度高。此現象與資材之分析結果一致。

易變動庫中碳濃度為以豌豆苗殘體鋸木屑堆肥處理土壤中最高，其餘處理無顯著差異。佔總碳的比例，則因處理而不同，大豆粕處理最高，其次為雞糞堆肥處理，其餘處理則相近。

難分解庫氮濃度，以豌豆苗殘體鋸木屑堆肥處理顯著較高，其次為牛糞堆肥與輪施處理，豬糞堆肥與雞糞堆肥二種處理略低。難分解庫氮濃度佔總氮之比例，以豆苗殘體鋸木屑堆肥處理較高，牛糞堆肥、豬糞堆肥與雞糞堆肥三種處理相近。難分解庫中的碳濃度，以豌豆苗殘體鋸木屑堆肥與輪施處理較高，牛糞堆肥與豬糞堆肥次之，輪施處理與雞糞堆肥處理又再次之，大豆粕處理最低。佔總碳的比例，大豆粕處理為 60%，其餘處理為 76-88%。

表十一、同樣堆肥連續使用七年種 37 作蔬菜之後土壤之鹽酸劃分所得之易變動庫與難分解庫碳與氮濃度

| 處理                 | 易變動庫                      |                           | 難分解庫                     |  |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--|
|                    | 氮                         | 碳                         | 氮                        | 碳                                      |
| $\text{g kg}^{-1}$ |                           |                           |                          |  |
| 牛糞堆肥               | 3.54 <sup>ab</sup> (64.4) | 5.73 <sup>b</sup> (14.2)  | 1.96 <sup>b</sup> (35.4) | 46.57 <sup>b</sup> (85.8) <sup>1</sup> |
| 豬糞堆肥               | 2.27 <sup>b</sup> (63.1)  | 6.39 <sup>b</sup> (12.0)  | 1.33 <sup>c</sup> (36.9) | 47.01 <sup>b</sup> (88.0)              |
| 雞糞堆肥               | 1.71 <sup>c</sup> (55.1)  | 7.55 <sup>b</sup> (23.8)  | 1.39 <sup>c</sup> (44.9) | 24.25 <sup>d</sup> (76.2)              |
| 大豆粕                | 1.28 <sup>d</sup> (100)   | 5.85 <sup>b</sup> (40.1)  | ND (--)                  | 8.75 <sup>c</sup> (59.9)               |
| 豌豆堆肥               | 1.80 <sup>c</sup> (31.8)  | 11.45 <sup>a</sup> (16.6) | 3.34 <sup>a</sup> (68.2) | 57.65 <sup>a</sup> (83.4)              |
| 輪施堆肥               | 1.09 <sup>d</sup> (35.2)  | 6.02 <sup>b</sup> (14.6)  | 2.01 <sup>b</sup> (64.8) | 35.18 <sup>c</sup> (85.4)              |

1 括弧內數字為佔總量的百分比。

2 同一行中之數值附有相同之英文字母者，表示統計上未達顯著水準。

硫酸溶液劃分第二階段所得土壤中易變動庫中及難分解庫中的碳與氮如表十二與表十三所示。易變動庫 I 與易變動庫 II 中的碳，以大豆粕處理者最低，其次為雞糞堆肥處理，以豌豆苗殘體鋸木屑堆肥與輪施處理較高，牛糞堆肥與豬糞堆肥處理次之，與輪施處理比則相近。各種碳中，均以醣碳之濃度與佔總碳的比例較高，依次為聚酚 I 碳、纖維素碳與聚酚 II 碳。大豆粕處理之醣碳佔總碳的比例為各處理中最高者。

硫酸第二階段劃分所得土壤之難分解氮與碳庫濃度均以大豆粕處理最低，佔總碳與氮的比例亦是，雞糞堆肥處理次之；以豌豆苗殘體鋸木屑堆肥與輪施處理較高，牛糞堆肥則次高，輪施處理者居中。

表十二、同樣堆肥連續使用七年種 37 作蔬菜之後土壤硫酸第一階段劃分所得之易變動碳庫濃度

| 處理                 | 不穩定庫 I                                 |                          | 不穩定庫 II                  |                           |
|--------------------|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
|                    | 醣碳                                     | 聚酚 I 碳                   | 纖維素碳                     | 聚酚 II 碳                   |
| g kg <sup>-1</sup> |  |                          |                          |                           |
| 牛糞堆肥               | 8.65 <sup>b2</sup> (15.9) <sup>1</sup> | 3.27 <sup>c</sup> (6.0)  | 2.81 <sup>b</sup> (5.2)  | 1.93 <sup>d</sup> (3.6)   |
| 豬糞堆肥               | 8.59 <sup>b</sup> (16.1)               | 3.37 <sup>c</sup> (6.3)  | 2.33 <sup>bc</sup> (4.4) | 3.67 <sup>a</sup> (6.9)   |
| 雞糞堆肥               | 6.89 <sup>c</sup> (21.7)               | 2.72 <sup>d</sup> (8.5)  | 1.75 <sup>cd</sup> (5.5) | 2.53 <sup>cd</sup> (8.0)  |
| 大豆粕                | 6.61 <sup>c</sup> (45.3)               | 1.85 <sup>e</sup> (12.6) | 1.08 <sup>d</sup> (7.4)  | 2.40 <sup>cd</sup> (16.4) |
| 豌豆堆肥               | 13.22 <sup>a</sup> (19.1)              | 6.21 <sup>a</sup> (9.0)  | 6.79 <sup>a</sup> (9.8)  | 3.67 <sup>a</sup> (5.3)   |
| 輪施堆肥               | 8.67 <sup>b</sup> (21.0)               | 3.84 <sup>b</sup> (9.3)  | 2.27 <sup>bc</sup> (5.5) | 3.20 <sup>ab</sup> (7.8)  |

1 括弧內數字為佔總量的百分比。

2 同一行中之數值附有相同之英文字母者，表示統計上未達顯著水準。

表十三、不同施肥管理下經七年 37 作硫酸第二階段劃分所得土壤之難分解氮與碳庫濃度

| 處理   | 氮                                      | 碳                          | 碳/氮  |
|------|--|----------------------------|------|
|      | g kg <sup>-1</sup>                     |                            |      |
| 牛糞堆肥 | 2.91 <sup>b2</sup> (52.9) <sup>1</sup> | 35.60 <sup>b</sup> (65.6)  | 12.2 |
| 豬糞堆肥 | 1.72 <sup>c</sup> (47.7)               | 31.12 <sup>bc</sup> (58.3) | 18.1 |
| 雞糞堆肥 | 1.59 <sup>c</sup> (51.2)               | 16.01 <sup>d</sup> (50.3)  | 10.1 |
| 大豆粕  | 0.31 <sup>d</sup> (23.6)               | 4.88 <sup>e</sup> (33.4)   | 15.7 |
| 豌豆堆肥 | 4.47 <sup>a</sup> (79.8)               | 48.72 <sup>a</sup> (70.5)  | 10.9 |
| 輪施堆肥 | 2.13 <sup>bc</sup> (68.7)              | 26.29 <sup>bc</sup> (63.8) | 12.3 |

1 括弧內數字為佔總量的百分比。

2 同一行中之數值附有相同之英文字母者，表示統計上未達顯著水準。

## 二、農業試驗所田間試驗

表十四為不同施肥處理經十三年種植 26 作物 (玉米水稻與水稻各 13 作) 之後的土壤性質 (為第 13 作水稻收穫後)。由於栽培禾本科之水稻與玉米且至其成熟方收穫，回歸土壤之植物殘體含有較多之難分解物質，均顯示各處理經過十三年種植 26 作物之後的土壤之

有機質濃度增加 (起始之總碳為  $8.4 \text{ g kg}^{-1}$ )。然而，施用泥炭之處理，其有機質濃度為其他處理之二倍以上，顯示泥炭施用可以有效累積土壤有機質；蕭 (2017) 於再過八年之後，分析土壤性質，顯示泥炭處理之土壤有機質濃度達到  $86 \text{ g kg}^{-1}$  (約為  $43 \text{ g kg}^{-1}$  有機碳)。對照 (不施肥)、化學 (只施化學肥料) 與綠肥 (綠 1/3 化) 三處理土壤有機質濃度較低，堆肥則可增加土壤有機質濃度。堆肥配合化學肥料施用則增加較多，是由於作物產量高，回歸土壤之植物殘體多。綠肥施用則對土壤有機質無額外之增加作用，應是由於新鮮之綠肥容易分解；再經過八年 (第二十一年結束) 亦得相同的結果 (蕭，2017)。施肥處理對土壤總氮濃度之影響與其對碳之影響相似。

表十四、農業試驗所第 35 號試驗田第 13 作水稻收穫後之土壤化學性質

| 處理              | pH,<br>saturated   | EC,<br>dS $\text{m}^{-1}$ | 總碳<br>$\text{g kg}^{-1}$ | 總氮<br>$\text{g kg}^{-1}$ | Bray I 磷<br>$\text{mg kg}^{-1}$ | 孟立克 III K<br>$\text{mg kg}^{-1}$ |
|-----------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 對照 <sup>1</sup> | 5.7 <sup>ab2</sup> | 0.23 <sup>b</sup>         | 18.0 <sup>c</sup>        | 4.7 <sup>d</sup>         | 22.7 <sup>de</sup>              | 51.3 <sup>c</sup>                |
| 化學              | 5.1 <sup>d</sup>   | 0.29 <sup>ab</sup>        | 17.2 <sup>c</sup>        | 5.0 <sup>cd</sup>        | 34.4 <sup>cd</sup>              | 68.6 <sup>d</sup>                |
| 堆肥              | 5.8 <sup>a</sup>   | 0.29 <sup>ab</sup>        | 21.0 <sup>bc</sup>       | 5.5 <sup>ab</sup>        | 74.4 <sup>b</sup>               | 86.2 <sup>a</sup>                |
| 堆1/3 化          | 5.6 <sup>b</sup>   | 0.30 <sup>ab</sup>        | 23.0 <sup>b</sup>        | 5.8 <sup>a</sup>         | 90.2 <sup>a</sup>               | 90.1 <sup>a</sup>                |
| 堆2/3 化          | 5.4 <sup>c</sup>   | 0.36 <sup>a</sup>         | 23.4 <sup>b</sup>        | 5.8 <sup>a</sup>         | 86.4 <sup>ab</sup>              | 88.9 <sup>a</sup>                |
| 綠1/3 化          | 5.3 <sup>c</sup>   | 0.32 <sup>ab</sup>        | 17.7 <sup>c</sup>        | 5.3 <sup>bc</sup>        | 46.1 <sup>c</sup>               | 83.5 <sup>ab</sup>               |
| 泥1/3 化          | 5.3 <sup>c</sup>   | 0.28 <sup>ab</sup>        | 37.4 <sup>a</sup>        | 5.8 <sup>a</sup>         | 14.8 <sup>e</sup>               | 75.9 <sup>bc</sup>               |

起始土壤總碳  $8.4 \text{ g kg}^{-1}$ 、總氮  $1.1 \text{ g kg}^{-1}$ 。

1 對照為不施肥處理；化學為施化學肥料之處理；堆肥為施用與化學氮肥區相同總氮量之豬糞堆肥之處理；堆 1/3 化為施堆肥區相同量之堆肥，並加入化學氮肥區所施用之化學氮肥量的三分之一；堆 2/3 化為施堆肥區相同量之堆肥，並加入化學氮肥區所施用之化學氮肥量的三分之二，綠 1/3 化為施堆肥區相同量氮之綠肥，並加入化學氮肥區所施用之化學氮肥量的三分之一；泥 1/3 化為施與堆肥區相同氮量之泥炭，並加入化學氮肥區所施用之化學氮肥量的三分之一。

2 同一行中之數值附有相同之英文字母者，表示統計上未達顯著水準。

表十五為施肥處理對鹽酸劃分所得土壤有機質之易變動庫與難分解庫碳與氮濃度的影響。各處理土壤易變動庫中氮濃度無顯著差異，易變動庫中氮佔總量的比例均高。顯示土壤中的氮易礦化。泥炭處理 (泥 1/3 化處理) 土壤中易變動庫碳濃度較高，佔總碳的比例則較低 (45.4%)，其餘處理相近，佔總碳之比例約在 60%；顯示泥炭處理可以增加土壤中之難分解庫之碳。泥炭處理土壤之難分解庫之碳與氮濃度為各處理中濃度最高者，顯示泥炭不易分解而

較利於其累積。對照、綠肥（綠 1/3 化處理）與堆肥同時施用較高量之化學氮肥處理（堆 2/3 化處理）時，難分解庫中則無法測到氮，顯示綠肥與化學氮肥（施用量多時）處理之回歸土壤之新鮮植物殘體與施入之綠肥，很快被分解且使土壤中的氮向易分解庫中轉移。對照、化學與綠肥三處理之難分解庫之碳氮濃度較其他處理低。

表十五、鹽酸劃分所得土壤有機質之易變動庫與難分解庫碳與氮濃度

| 處理                 | 易變動庫                                  |                            | 難分解庫                    |                           |
|--------------------|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
|                    | 氮                                     | 碳                          | 氮                       | 碳                         |
| g kg <sup>-1</sup> |                                       |                            |                         |                           |
| 對照 <sup>1</sup>    | 4.78 <sup>a3</sup> (100) <sup>2</sup> | 12.18 <sup>bc</sup> (67.7) | ND (-)                  | 5.82 <sup>d</sup> (32.3)  |
| 化學                 | 4.76 <sup>a</sup> (95.2)              | 10.73 <sup>c</sup> (62.4)  | 0.24 <sup>b</sup> (4.8) | 6.47 <sup>cd</sup> (37.6) |
| 堆肥                 | 5.20 <sup>a</sup> (96.3)              | 12.05 <sup>bc</sup> (57.7) | 0.20 <sup>b</sup> (3.7) | 8.85 <sup>bc</sup> (42.3) |
| 堆1/3 化             | 5.56 <sup>a</sup> (98.8)              | 12.97 <sup>b</sup> (56.4)  | 0.14 <sup>b</sup> (2.5) | 10.03 <sup>b</sup> (43.6) |
| 堆2/3 化             | 5.80 <sup>a</sup> (100)               | 12.58 <sup>bc</sup> (53.8) | ND (-)                  | 10.82 <sup>b</sup> (46.3) |
| 綠1/3 化             | 5.30 <sup>a</sup> (100)               | 11.14 <sup>bc</sup> (63.3) | ND (-)                  | 6.46 <sup>cd</sup> (36.7) |
| 泥1/3 化             | 5.30 <sup>a</sup> (91.3)              | 16.69 <sup>a</sup> (45.4)  | 0.50 <sup>a</sup> (8.7) | 20.44 <sup>a</sup> (54.6) |

1 同表十四說明。

2 括弧內數字為佔總量的百分比。

3 同一行中之數值附有相同之英文字母者，表示統計上未達顯著水準。

表十六為硫酸第一階段劃分土壤有機質所得之易變動庫碳濃度。顯示醣碳濃度以泥炭處理土壤較高，佔總碳的比例則較低，只施化學肥料與對照的處理濃度最低，其次為堆肥處理。聚酚 I 碳以化學肥料與堆肥兩處理之濃度較低，其餘則無顯著差異。聚酚 I 碳為四種易變動庫碳中濃度與佔總碳比例最高者。纖維素碳濃度以泥炭與兩個堆肥加化肥處理較高，對照、化學與綠肥三處理較低，纖維素碳濃度是四種易變動庫碳中濃度與佔總碳比例較低者，纖維素碳佔亦變動庫碳中的 20%，以對照與綠肥處理略低。聚酚 II 碳濃度以泥炭與堆肥加較高量化肥（堆 2/3 化處理）處理者較高。

表十七為硫酸第二階段劃分所得土壤有機質之難分解氮與碳庫濃度。難分解庫氮濃度以泥炭及兩個堆肥加化肥處理較高，佔總氮的比例 9-13%，各處理間之差異不大。難分解庫碳濃度以泥炭處理較高，佔總碳之 52%，顯示其較不易分解，其餘處理之難分解庫碳濃度，佔總碳之比例為 24-38%。

表十六、硫酸第一階段劃分土壤有機質所得之易變動碳庫濃度

| 處理                 | 易變動庫 I                                  |                           | 易變動庫 II                  |                           |
|--------------------|---|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
|                    | 醣類碳                                     | 聚酚 I 碳                    | 纖維素碳                     | 聚酚 II 碳                   |
| $\text{g kg}^{-1}$ |   |                           |                          |                           |
| 對照 <sup>1</sup>    | 3.12 <sup>cd3</sup> (17.9) <sup>2</sup> | 7.00 <sup>a</sup> (40.1)  | 0.63 <sup>d</sup> (3.6)  | 2.26 <sup>bc</sup> (12.9) |
| 化學                 | 2.82 <sup>d</sup> (17.9)                | 5.75 <sup>c</sup> (36.5)  | 0.76 <sup>cd</sup> (4.8) | 2.17 <sup>c</sup> (13.8)  |
| 堆肥                 | 3.30 <sup>c</sup> (16.6)                | 6.11 <sup>bc</sup> (30.7) | 0.96 <sup>bc</sup> (4.8) | 2.19 <sup>c</sup> (11.0)  |
| 堆1/3 化             | 4.09 <sup>b</sup> (18.9)                | 6.86 <sup>a</sup> (31.6)  | 1.11 <sup>ab</sup> (5.1) | 2.28 <sup>bc</sup> (10.5) |
| 堆2/3 化             | 4.10 <sup>b</sup> (16.9)                | 7.05 <sup>a</sup> (29.1)  | 1.16 <sup>ab</sup> (4.8) | 2.63 <sup>ab</sup> (10.8) |
| 綠1/3 化             | 3.92 <sup>b</sup> (21.0)                | 7.15 <sup>a</sup> (38.2)  | 0.78 <sup>cd</sup> (4.2) | 2.37 <sup>bc</sup> (12.7) |
| 泥1/3 化             | 4.53 <sup>a</sup> (14.2)                | 6.77 <sup>ab</sup> (21.1) | 1.34 <sup>a</sup> (4.2)  | 2.81 <sup>a</sup> (8.8)   |

1 同表十四說明。

2 佔總量之百分比。

3 同一行中之數值附有相同之英文字母者，表示統計上未達顯著水準。

表十七、硫酸第二階段劃分所得土壤有機質之難分解氮與碳庫濃度

| 處理                 | 難分解庫                                   |                           | (醣碳+纖維素碳)/總聚酚碳     | 纖維素碳/ (醣碳+纖維素碳)   |
|--------------------|--|---------------------------|--------------------|-------------------|
|                    | 氮                                      | 碳                         |                    |                   |
| $\text{g kg}^{-1}$ |  |                           |                    |                   |
| 對照 <sup>1</sup>    | 0.49 <sup>c3</sup> (10.4) <sup>2</sup> | 4.46 <sup>c</sup> (25.5)  | 0.40 <sup>c</sup>  | 0.17 <sup>b</sup> |
| 化學                 | 0.54 <sup>c</sup> (10.8)               | 4.25 <sup>c</sup> (27.0)  | 0.45 <sup>c</sup>  | 0.21 <sup>a</sup> |
| 堆肥                 | 0.62 <sup>bc</sup> (11.3)              | 7.34 <sup>bc</sup> (36.9) | 0.51 <sup>b</sup>  | 0.23 <sup>a</sup> |
| 堆1/3 化             | 0.66 <sup>ab</sup> (11.6)              | 7.35 <sup>bc</sup> (33.9) | 0.57 <sup>ab</sup> | 0.21 <sup>a</sup> |
| 堆2/3 化             | 0.82 <sup>a</sup> (14.1)               | 9.31 <sup>b</sup> (38.4)  | 0.54 <sup>b</sup>  | 0.22 <sup>a</sup> |
| 綠1/3 化             | 0.48 <sup>c</sup> (9.1)                | 4.48 <sup>c</sup> (24.0)  | 0.49 <sup>bc</sup> | 0.17 <sup>b</sup> |
| 泥1/3 化             | 0.78 <sup>a</sup> (13.4)               | 16.56 <sup>a</sup> (51.7) | 0.61 <sup>a</sup>  | 0.23 <sup>a</sup> |

1 同表十四說明。

2 佔總量之百分比。

3 同一行中之數值附有相同之英文字母者，表示統計上未達顯著水準。

### 三、高雄區農業改良場旗南分場田間試驗

表十八為高雄區農業改良場旗南分場試驗田經 20 年不同之施肥管理與輪作後之土壤化學性質。顯示在相同之施肥管理之下，不同之輪作系統導致對土壤有機質濃度影響相同。慣行栽培使土壤有機質之濃度比起始時略為下降，輪作系統 II 下降較多，主要是作物不同，回歸到田裡之作物殘體性質與量不同，折衷區則相反。有機區土壤有機質之濃度則最高，又以輪作系統 I 較高。

表十八、經二十年連續肥管理後之土壤化學性質

| 處理              | pH<br>(1:1)       | EC<br>(sat.)<br>dS m <sup>-1</sup> | 總碳                 | 總氮                | M3-磷 <sup>3</sup>   | M3-鉀              | M3-鈣                | M3-鎂               |
|-----------------|-------------------|------------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
|                 |                   |                                    | g kg <sup>-1</sup> |                   | mg kg <sup>-1</sup> |                   |                     |                    |
| 1988            | 6.6               |                                    | 11.7               | 1.5               | 96                  | 86                | 2,128               | 197                |
| 輪作系統 I          |                   |                                    |                    |                   |                     |                   |                     |                    |
| 慣行 <sup>1</sup> | 6.0 <sup>b2</sup> | 0.57 <sup>cd</sup>                 | 11.2 <sup>d</sup>  | 1.3 <sup>c</sup>  | 289 <sup>e</sup>    | 271 <sup>d</sup>  | 3,165 <sup>d</sup>  | 477 <sup>e</sup>   |
| 折衷              | 7.0 <sup>a</sup>  | 0.79 <sup>b</sup>                  | 16.4 <sup>c</sup>  | 2.0 <sup>b</sup>  | 609 <sup>c</sup>    | 316 <sup>c</sup>  | 5,879 <sup>c</sup>  | 831 <sup>c</sup>   |
| 有機              | 7.1 <sup>a</sup>  | 0.97 <sup>a</sup>                  | 26.6 <sup>a</sup>  | 2.8 <sup>a</sup>  | 948 <sup>a</sup>    | 404 <sup>b</sup>  | 10,343 <sup>a</sup> | 1,262 <sup>a</sup> |
| 輪作系統 II         |                   |                                    |                    |                   |                     |                   |                     |                    |
| 慣行              | 6.1 <sup>b</sup>  | 0.50 <sup>f</sup>                  | 9.3 <sup>d</sup>   | 1.6 <sup>bc</sup> | 330 <sup>d</sup>    | 293 <sup>cd</sup> | 2,650 <sup>d</sup>  | 4554 <sup>e</sup>  |
| 折衷              | 6.9 <sup>a</sup>  | 0.68 <sup>bc</sup>                 | 18.6 <sup>c</sup>  | 2.6 <sup>a</sup>  | 602 <sup>c</sup>    | 393 <sup>b</sup>  | 5,236 <sup>c</sup>  | 764 <sup>d</sup>   |
| 有機              | 7.1 <sup>a</sup>  | 0.98 <sup>a</sup>                  | 23.5 <sup>b</sup>  | 2.9 <sup>a</sup>  | 839 <sup>b</sup>    | 483 <sup>a</sup>  | 8,533 <sup>b</sup>  | 1,175 <sup>b</sup> |

1 慣行為施用化學肥料；折衷為施用慣行農法化學肥料用量與有機農法之有機肥料各半有機為施用的有機肥料，其總氮為慣行區之二倍。

2 同一行中之數值附有相同之英文字母者，表示統計上未達顯著水準。

3 孟立克三法萃取。

表十九為兩種輪作制度下不同施肥處理經 20 年之土壤鹽酸劃分所得之易變動庫與難分解庫碳與氮濃度。顯示輪作制度與施肥處理影響土壤中碳與氮之組成。輪作系統 II 易變動庫氮均高於輪作系統 I 者之相同處理，易變動庫碳亦有相似之趨勢。輪作系統 I 之易變動庫氮濃度以有機、折衷、慣行之次序減少，輪作系統 II 則呈相反之趨勢。輪作系統 I 之易變動庫碳濃度，以慣行較低，有機與折衷區相近；在輪作系統 II 則三個試區相近。在輪作系統 II 之慣行與折衷區，無法測得難分解庫氮，顯示新鮮回歸土壤之作物殘體甚快分解，且無累積；在輪作系統 I 則按有機、折衷、慣行之次序減少。兩輪作系統之難分解庫碳，均以有機、折衷、慣行之次序減少。

表十九、兩種輪作制度下不同施肥處理經 20 年之土壤鹽酸劃分所得之易變動庫與難分解庫碳與氮濃度

| 處理                 | 易變動庫                     |              | 難分解庫碳               |              |
|--------------------|--------------------------|--------------|---------------------|--------------|
|                    | 氮                        | 碳            | 氮                   | 碳            |
| g kg <sup>-1</sup> |                          |              |                     |              |
| 輪作系統 I             |                          |              |                     |              |
| 有機 <sup>1</sup>    | 1.72 (66.2) <sup>2</sup> | 11.85 (36.3) | 0.88 (33.8)         | 20.8 (63.7)  |
| 折衷                 | 1.58 (78.9)              | 13.21 (49.5) | 0.42 (21.1)         | 13.5 (50.5)  |
| 慣行                 | 0.70 (69.5)              | 3.97 (34.9)  | 0.30 (30.5)         | 7.4 (65.1)   |
| 輪作系統 II            |                          |              |                     |              |
| 有機                 | 3.30 (91.7)              | 12.92 (45.0) | 0.30 (8.3)          | 15.80 (55.0) |
| 折衷                 | 3.90 (100)               | 13.10 (57.4) | ND <sup>2</sup> (-) | 9.60 (42.3)  |
| 慣行                 | 4.10 (100)               | 12.47 (66.7) | ND (-)              | 6.23 (33.8)  |

1：同表十八說明。

2：佔總量之百分比。

表二十為兩種輪作制度下不同施肥處理經 20 年土壤以硫酸第一階段劃分所得之易變動庫碳濃度。易變動庫 I 之碳濃度高於易變動庫 II 者，且易變動庫 II 之碳濃度甚低。聚酚 I 碳濃度較高，其次為醣碳，纖維素碳與聚酚 II 碳較低。易變動庫 I 與易變動庫 II 之碳濃度，均以有機、折衷兩處理較慣行處理者高。顯示有機質肥料之施用，顯著增加易變動庫之碳濃度。醣碳與纖維素碳之和與總聚酚和之比值因處理而不同，亦因輪作系統而不同。纖維素碳與醣碳與纖維素碳之和之比值以有機區最高，慣行區較低。

表二十一為兩種輪作制度下不同施肥處理經 20 年土壤硫酸二階段劃分所得之難分解氮與碳庫濃度。兩輪作系統均顯示有機質肥料之施用，增加難分解庫氮與碳濃度。

表二十、兩種輪作制度下不同施肥處理經 20 年土壤硫酸第一階段劃分所得之易變動碳庫濃度

| 處理                 | 易變動庫 I                   |              | 易變動庫 II    |             |
|--------------------|--------------------------|--------------|------------|-------------|
|                    | 醣類碳                      | 聚酚 I 碳       | 纖維素碳       | 聚酚 II 碳     |
| g kg <sup>-1</sup> |                          |              |            |             |
| 輪作系統 I             |                          |              |            |             |
| 有機 <sup>1</sup>    | 5.50 (15.7) <sup>2</sup> | 11.00 (31.5) | 1.78 (5.1) | 2.82 (5.1)  |
| 折衷                 | 4.23 (15.1)              | 11.19 (40.0) | 0.99 (3.5) | 1.56 (3.5)  |
| 慣行                 | 2.78 (22.3)              | 4.21 (33.8)  | 0.37 (3.0) | 1.40 (3.0)  |
| 輪作系統 II            |                          |              |            |             |
| 有機                 | 4.58 (14.8)              | 10.33 (33.5) | 1.35 (4.4) | 2.95 (9.6)  |
| 折衷                 | 3.63 (14.5)              | 10.08 (40.4) | 0.88 (3.5) | 3.64 (14.6) |
| 慣行                 | 2.86 (14.1)              | 9.87 (48.5)  | 0.58 (2.9) | 2.67 (13.1) |

1：同表十三說明。

2：佔總量之百分比。

表二十一、兩種輪作制度下不同施肥處理經 20 年土壤硫酸二階段劃分所得之難分解氮與碳庫濃度

| 處理                 | 難分解庫                     |              | (醣碳+纖維素碳)/總聚酚碳 | 纖維素碳/(醣碳+纖維素碳) |
|--------------------|--------------------------|--------------|----------------|----------------|
|                    | 氮                        | 碳            |                |                |
| g kg <sup>-1</sup> |                          |              |                |                |
| 輪作系統 I             |                          |              |                |                |
| 有機 <sup>1</sup>    | 1.14 (43.8) <sup>2</sup> | 13.85 (39.6) | 0.53±0.01      | 0.24±0.01      |
| 折衷                 | 0.85 (42.5)              | 10.03 (35.8) | 0.41±0.04      | 0.19±0.01      |
| 慣行                 | 0.28 (27.7)              | 3.69 (29.6)  | 0.56±0.06      | 0.12±0.01      |
| 輪作系統 II            |                          |              |                |                |
| 有機                 | 0.84 (23.3)              | 11.66 (37.8) | 0.45±0.02      | 0.23±0.02      |
| 折衷                 | 0.54 (14.0)              | 6.73 (27.0)  | 0.33±0.02      | 0.20±0.02      |
| 慣行                 | 0.27 (11.5)              | 4.35 (21.4)  | 0.27±0.01      | 0.17±0.01      |

1：同表十三說明。

2：佔總量之百分比。

## 結 語

土壤是活的以及造成一個健康的土壤是有機農業的基礎。健康的作物、動物與人的基礎是健康的土壤，產生健康土壤的起點是打破土壤只是作物生長介質的觀念。Eve Balfour 在其所著《活的土壤》(the Living Soil) 中提到培養土壤，以土壤餵食植物。因此，施肥不應只對作物，也應考慮土壤生物與環境生態的需要。即維持健康、具生物活力的土壤環境以供植物生長。耕土無法永續利用的原因之一為土壤有機質濃度下降，因此，維持適當高濃度的土壤有機質是達到作物產量高與提高環境品質的主要策略之一。土壤生質量、生物活性及生物歧異度的增加與土壤有機質濃度增加及好的土壤管理有關，此則又影響耕作體系內之土壤構造、養分循環及病與蟲的控制。

不同的有機資材之分解特性不同，是由於堆肥之原料與配比不同所致，原料中含有較難分解之資材，如鋸木屑，其堆肥施入土壤中後可以累積有機質。由於其亦可提供易分解之碳與氮為土壤微生物及植物利用，可以達到施肥與累積土壤有機質的作用。大豆粕（豆粕）易分解，其碳與氮大部分在易分解庫中，因此，其施用無法達到累積土壤有機質之作用。泥炭之碳與氮大部分在難分解庫中，因此，其施用雖可累積土壤有機質，但是卻無法達到施肥之目的。