結果與討論

一、對土壤的影響

各種處理對青梗白菜收穫後土壤之一些性質分述於下：

（一）酸鹼度與導電度

青梗白菜收穫後之土壤 pH 值，因處理之不同而有顯著之差異（表一），施石灰之處理 (LM) 的 pH 值為 7.8，是各處理中之最高者。對照組 (CK) 與施鋸木屑 (SD) 者的 pH 間無顯著差異，且與種植前的土壤酸鹼度 (4.40) 相近。其他各種施入堆肥的處理，不論是否同時施入尿素，土壤的 pH 值比種植前未處理土壤者高 0.7 (CCU) 到 1.3 (CC) pH 單位。此結果顯示新鮮之鋸木屑具有相當大之惰性 (inert)，故施入土壤中後，在短時間內，不與土壤產生交互作用 (interaction)，不像一般經過堆肥化作用之有機物，因施入土壤中而改變土壤的酸鹼度 (Takker, 1969; Asgar and Kanehiro, 1976; Hue et al., 1989; Kretchmar, 1991)。又由鋸木屑、玉米穗軸堆肥及鋸木屑堆肥的 pH 分別為 5.4、5.8 及 5.3，而每公斤土壤施入 50 g 後，使土壤的 pH 值分別變為 4.6、5.7 及 5.4 則顯示玉米穗軸堆肥及鋸木屑堆肥因與土壤組成分產生交互反應而改變土壤的 pH 值。比較僅施玉米穗軸堆肥 (CC) 或鋸木屑堆肥 (SDC) 的土壤 pH 值比同時施入玉米穗軸堆肥尿素 (CCU) 與鋸木屑堆肥尿素 (SDCU) 者高，則可知因尿素之施用使土壤發生酸化現象。

表一、不同之有機物處理對土壤性質的影響

Table 1. Effect of organic materials on some properties of soil used in planting

Treatment	pH	electric conductivity (dS m^{-1})	NH_4-N (mg g^{-1})	NO_3-N (mg g^{-1})	NH_4-N + NO_3-N (mg g^{-1})
CK*	4.5e**	0.32b	71b	56c	127c
SD	4.6e	0.28b	49c	52c	101c
LM	7.8a	0.31b	16d	37c	53d
CCU	5.1d	0.64a	54c	154a	208b
SDCU	5.2d	0.71a	92a	188a	280a
CC	5.7b	0.41b	20d	36c	56d
SDC	5.4c	0.61a	24d	113b	137c

*: CK: Check; SD: Saw dust; LM: Lime; CCU: Corn cob compost + urea;
SDCU: Saw dust compost + urea; CC: Corn cob compost; SDC: Saw dust compost

**: Means in the column followed by the same letters are not significantly different at 5% level.

表一顯示施用鋸木屑堆肥的結果使土壤溶液之導電度增加量比化學肥料者顯著較高，玉米穗軸堆肥所造成土壤鹽分之增加與施化學肥料者差異不顯著，但是有較高的趨勢，顯示不同的堆肥對土壤鹽分的影響不同。

（二）銨態氮與硝酸態氮濃度

土壤中氮的礦化作用首先是有機態氮轉變為銨態氮（銨化作用，ammonification），再經硝化作用形成硝酸態氮，其中的律速反應 (rate controlling reaction)則為銨化作用 (Haynes, 1986)，即在一般情況下，所形成的銨態氮會很快的轉變為硝酸態氮，故土壤中之銨態氮濃度較硝酸態者低，但是在極酸性的條件下，硝化作用受抑制，而會有銨態氮之累積；在還原的條件下，硝酸態氮則經脫氮作用 (denitrification) 而損失，故幾乎無法測出硝酸態氮的存在 (Ponnamperuma, 1976)。研究顯示當土壤的 pH 值落在 3.9　4.5 時，硝化作用停止 (Sarathchardra, 1978; Sahranak, 1982)，本研究中對照組 (CK) 及新鮮鋸木屑 (SD) 處理土壤的 pH 值分別為 4.5 及 4.6，其他各處理的 pH 值則超過 5，因此，硝化作用應可順利進行，而由各處理之土壤中有不同濃度的硝酸態氮亦可說明此現象。

在對照組 (CK)、鋸木屑 (SD) 及石灰 (LM) 之三種處理的土壤中，種植作物後以對照處理之銨態氮濃度最高，施石灰者最低（表一）。鋸木屑處理 (SD) 的土壤中銨態氮濃度顯著低於對照處理者 (CK)，可能因新鮮鋸木屑之施入，造成生物之氮固定作用 (immobilization)，使無機態氮轉變為有機態者。對照 (CK)、鋸木屑 (SD) 及石灰 (LM) 三處理土壤中的硝酸態氮無顯著差異。

雖然玉米穗軸堆肥處理 (CC) 與鋸木屑堆肥處理 (SDC) 每盆分別施入 4.77 g 及 2.15 g 凱氏氮，但是種植作物後土壤中的銨態氮的濃度均低 (分別為 20 及 24 mg kg^{-1})，且低於其他各處理，顯示由有機氮之銨化作用並不十分強烈。同時施入玉米穗軸堆肥尿素 (CCU) 或鋸木屑堆肥尿素 (SDCU) 處理之土壤中種植作物後銨態氮濃度則較高 (分別為 54 與 92 mg kg^{-1})，顯示當同時施入堆肥與尿素時，因尿素水解產生銨離子而使土壤中之銨離子顯著提高，其中鋸木屑堆肥尿素 (SDCU) 處理者的濃度又顯著高於玉米穗軸堆肥尿素 (CCU) 者。

施玉米穗軸堆肥之同時亦帶入 75 mg kg^{-1} 硝酸根離子，而施鋸木屑堆肥時則帶入 170 mg kg^{-1} 硝酸根離子，此二處理土壤中種植作物後的硝酸態氮濃度分別為 36 及 113 mg kg^{-1}，比由堆肥而來之施入量少，除了可歸因於作物之吸收之外，亦因與可硝化的銨態氮的量少有關。由於硝化作用不是硝酸態氮形成的律速反應，故此結果顯示堆肥中氮的銨化作用並不十分強烈。這種現象可以由玉米穗軸堆肥尿素 (CCU) 及鋸木屑堆肥尿素 (SDCU) 二處理因有尿素的施入，因其硝化使土壤中的硝酸態氮成為各處理中之最高者 (分別為 154 及 188 mg kg^{-1}) 可得證。

二、對青梗白菜的影響

（一）生長

各種處理對青梗白菜的乾重的影響如表二所示。施用石灰 (LM) 與玉米穗軸堆肥尿素 (CCU) 兩處理的產量為各處理中最高者，而對照 (CK)與鋸木屑處理 (SD) 則為最低者。由於施入無機態氮最多之處理為鋸木屑堆肥尿素處理 (SDCU)之產量並非最高，可知生長上的差異並不是由氮用量之不同所造成。比較對照 (CK) 與石灰處理 (LM) 的差異為有無添加石灰，故此兩處理生長上的差異應來自土壤之酸鹼度不同，對照處理因 pH 低，不利於銨態氮之硝化作用，使土壤中的銨態氮濃度太高，而影響青梗白菜的生長。施入氮

量多之玉米穗軸堆肥尿素 (CCU) 及鋸木屑堆肥尿素 (SDCU) 兩處理乾物產量不顯著高於未施用尿素的玉米穗軸堆肥 (CC) 及鋸木屑堆肥 (SDC) 兩處理, 之物土壤 pH 值與銨態氮濃度顯著較有施用尿素的為高, 顯示前二者可能受到高銨態氮濃度之影響而有輕微氨中毒現象（表二）。此外, 當土壤 pH 低時, 鋁與錳離子亦可能達於危害作物生長的濃度 (Hue et al., 1989; 鍾等, 1993), 但是在本研究中並未探討此問題。

表二、有機肥料對青梗白菜生長及氮組成的影響

Table 2. Effect of organic materials on growth and nitrogen composition of Chinese cabbage

Treatment	Dry weight (g plant^{-1})	NO_3-N (mg g^{-1})	reduced soluble nitrogen (mg g^{-1})	insoluble nitrogen (mg g^{-1})	total nitrogen (mg g^{-1})
CK	4.2 b	25 b	1.8 a	31a	58 a
SD	5.2ab	19 c	1.4bc	29b	39 c
LM	6.6 a	26ab	1.4bc	26c	53ab
CCU	6.1 a	28 a	1.6ab	29b	59 a
SDCU	5.6ab	27ab	1.8 a	29b	58 a
CC	5.5ab	24 b	1.3 c	26c	51 b
SDC	5.3ab	24 b	1.1 c	26c	51 b

The same as notes on table 1.

與堆肥之處理比較, 新鮮之鋸木屑活性相當小, 其改善作物生長的效果甚小。雖然施入鋸木屑堆肥尿素之處理 (SDCU) 土壤中含有的銨態氮各處理中最高者, 但是因有機物的緩衝作用能顯著減少土壤中的銨離子的毒害作用, 因此, 其生長量大於土壤中銨態氮濃度次高之對照處理 (CK)。

（二）硝酸態氮濃度

各處理地上部之硝酸態氮濃度均高, 約佔植體中總氮量的一半（表二）, 顯示當土壤中所提供的硝酸態氮量多時, 對硝酸態氮有偏好的青梗白菜會累積高濃度的硝酸態氮, 各處理中之硝酸態氮濃度又以玉米穗軸堆肥尿素處理者 (CCU) 最高 (28 mg g^{-1}), 鋸木屑堆肥尿素 (SDCU) 與石灰 (LM) 兩處理者次之, 顯示尿素配合有機物的使用因而提供高濃度的無機態氮 (尿素在短時間內即水解並硝化及堆肥中所含之硝酸態氮)。施石灰之處理則因土壤 pH 之提高而利於硝化作用, 導致植物體中累積高濃度硝酸態氮。玉米穗軸堆肥處理 (CC) 中由堆肥而來的硝酸態氮每盆約為 0.225 g, 凱氏氮則為 0.477 g, 其礦化所形成之硝酸態氮也應是造成植物體中高濃度的硝酸態氮 (24 mg g^{-1}) 的一個原因。

雖然有研究顯示小白菜植體中的硝酸態氮濃度與培養液中的氮濃度無一定的關係（吳及王, 1995）, 但是土壤栽培則顯示植體中的硝酸態氮濃度隨所施用化學氮肥之量增加而增高 (Maynard and Barker, 1972; Barker et al. 1973; Marynard, 1976; Mills et al., 1976; Olday et al., 1976; 蔡等, 1992)。而本研究則顯示當有機物存在時, 植物體中的硝酸態氮濃度並不隨土壤中的硝酸態氮濃度升高而上升。如分別比較對照 (CK)、鋸木屑 (SD) 兩處理及鋸木屑堆肥 (SDC)、鋸木屑堆肥尿素 (SDCU) 與石灰 (LM) 三處理, 可知有機物可以減少硝酸態氮在植物體內之累積, 即對照 (CK)與鋸木屑 (SD) 兩處理施入相同量尿素且種植後顯示土壤中硝酸態氮的濃度相同, 但是鋸木屑處理 (SD) 之植體中硝酸態氮濃度顯著

低於對照處理 (CK) 者；同樣的，玉米穗軸堆肥尿素 (CCU) 及鋸木屑堆肥尿素 (SDCU) 兩處理與石灰 (LM) 處理施用了相同量的尿素之外，由玉米穗軸堆肥而帶來的硝酸態氮為每盆 0.225 g 、凱氏氮每盆為 4.77 g，鋸木屑堆肥硝酸態氮為每盆 0.51 g、凱氏氮每盆 2.15 g，使種植後土壤中的硝酸態氮濃度在玉米穗軸堆肥尿素處理為 154 mg kg^{-1}，而鋸木屑堆肥尿素處理為 188 mg kg^{1}，顯著高於石灰處理之 37 mg kg^{-1}，然而三處理植體中的硝酸態氮濃度卻無顯著差異。比較鋸木屑堆肥處理 (SDC)與對照處理 (CK) 亦有相同的結果，即種植後由鋸木屑堆肥處理 (SDC) 而來的土壤之硝酸態氮為 113 mg kg^{-1} 顯著高於對照者(56 mg kg^{-1})，但是植體中的硝酸態氮濃度則相同 (分別為 24 與 25 mg g^{-1})。

（三）醯胺態氮濃度

植物長時間暴露在高濃度銨態氮之下，會造成生理及形態上之傷害，甚至死亡 (Benett et al., 1964; Barker et al., 1974; Goyal et al., 1982; Goyal et al., 1982)。因此，植物所吸收的銨態氮會很快的轉變為胺基酸及醯胺類 (Baker et al., 1966; Kirkby, 1968; Reisenauer, 1978)，故一般在植物體內無累積銨態氮之情形。吸收硝酸態氮的植物，在植物體內累積硝酸根離子表示吸收了超過植物所需之硝酸根離子，而可溶性還原態氮之累積則表示氮的代謝旺盛及形成超過合成蛋白質、核酸等所需之還原態氮化合物 (Mills and Jones, Jr, 1979)。表二顯示各處理植物體中的醯胺態氮濃度為 1.1~1.8 mg g^{-1}，約是不溶性氮之二十分之一，顯示其濃度相當低，而以對照 (CK) 及鋸木屑堆肥尿素 (SDCU) 處理者最高，此二處理也是土壤中所含之銨態氮濃度最高者，顯示當供應的銨態氮濃度高時，會造成醯胺態氮的濃度上升；同樣的土壤中銨態氮濃度低者，植物體中的醯胺態氮的濃度亦有較低的傾向。

（四）不溶性氮濃度

不溶性氮主要為蛋白質、核酸及大分子之胜　(polypeptides)，其濃度一般為遺傳因子所決定，但是其他物質的多少，尤其是碳水化合物，則造成所謂之稀釋效應 (dilution effect) 而使其濃度發生變化。表二顯示各處理植體內不溶性氮濃度在 26~31 mg g^{-1} 之間。其中對照處理 (CK) 的不溶性氮濃度最高是因為生長不好（乾物產量最低），而石灰處理 (LM) 的則最低是因為生長好（乾物產量最高），充分表現了稀釋效應。另外，研究顯示當銨態氮與硝酸態氮能同時適度供應時氮的同化較好，因而植物體中的不溶性氮濃度較高。在本研究中施入氮量多之玉米穗軸堆肥尿素處理 (CCU) 及鋸木屑堆肥尿素處理 (SDCU) 的青梗白菜中的不溶性氮濃度顯著較高（表二）。雖然兩處理的氮用量增加，但仍能提高植物體內不溶性氮的濃度，表示作物生長過程中氮的供應形式與強度適度，提高了作物對氮的同化能力因而增加其同化量。