

有機物對青梗白菜生長及其硝酸態氮濃度的影響¹

倪禮豐² 鍾仁賜³

摘要

本研究利用盆栽種植喜好硝酸態氮的青梗白菜探討不同有機物在添加或不添加化學氮肥的條件下對其生長及植體中硝酸態氮濃度的影響。所用的有機物為新鮮鋸木屑、鋸木屑與果菜市場廢棄物堆肥及玉米穗軸與果菜市場廢棄物堆肥三種。堆肥的施用量為每公斤土壤 50 g。其結果顯示供試土壤的 pH 值可因堆肥的施用由植前之 4.4 上升 0.7 到 1.3 pH 單位。各處理之青梗白菜植體中的硝酸態氮濃度均高，約為總氮量的一半。土壤中的硝酸態氮濃度高時，植物體內的硝酸態氮濃度也高，但是有機物可以減少硝酸態氮在植物體內之累積。植體中醃胺態氮的量低於 2 mg g⁻¹，佔總氮量的 4 % 以下，且以土壤中的銨態氮濃度高者之濃度較高。

關鍵詞：青梗白菜、硝酸態氮、有機物、堆肥

前言

氮是影響植物生長最重要的無機營養元素，但是作物體內若累積高濃度的硝酸態氮 (NO₃-N)，則又常常對食用此作物的人或動物造成危害，如一歲以內嬰兒食用含高濃度硝酸根離子蔬菜泥所造成的蒼藍症 (cyanosis) (Addiscott et al.1991)及食用含高濃度硝酸態氮之食物的家畜之貧血症甚至流產 (Write and Davison, 1964)。而硝酸根離子在人體的消化道內還原成亞硝酸根離子，再與二級胺(secondary amine) 形成亞硝酸胺 (nitrosamine)，則被認為是致癌劑及誘變劑 (Addiscott et al.1991; Write and Davison, 1964)。因此，食品中的硝酸根離子濃度是人們所關心的。

由於植物所利用的氮的主要形態為銨態氮 (NH₄-N) 與硝酸態氮，尤其在 pH 5~8 的好氣 (aerobic) 條件下的土壤中，有機態氮以及施入土壤中的銨態氮最終大都轉變成硝酸態而存在。植物對上述兩種形態氮的偏好則因植物種類而不同，有較偏好銨態者如萵苣、芹菜及小黃瓜等，有較偏好硝酸態者如菠菜與青梗白菜等，有時候對兩種形態氮的偏好則受根域環境的酸鹼度所影響(Ikeda, H. 1991; Marynard et al, 1976)。

因化學肥料的大量使用在蔬菜栽培上，使蔬菜中之硝酸態氮有偏高的現象(Marynard et al, 1976; 蔡等 1992)。近年來，有機肥料的使用逐漸增加，有機肥料之好處已為人知，如改善土壤之理化性質，減低重金屬及鉛錳之毒害作用。本研究的目的是在探討不同之有機肥料對偏好硝酸態氮的青梗白菜生長及植體中硝酸態氮的影響，以了解有機物在蔬菜植體中硝酸根離子之累積上所扮演的角色。

¹花蓮區農業改良場研究彙報第 177 號，本文為第一作者碩士論文之一部分。

²花蓮區農業改良場助理研究員。

³國立台灣大學農業化學研究所教授。

材料與方法

一、栽培

- (一) 本研究以盆栽方式種植青梗白菜 (*Brassica chinesis* L. cv. White Light), 土壤為採自苗栗縣造橋鄉之浸水弱育土 (Endoaquepts), 其質地屬壤土 (其砂粒、粉粒與黏粒含量分別為 518、323 及 160 g kg⁻¹)。其 pH 值 (水:土為 1:1) 為 4.40, 有機物濃度為 8.8 g kg⁻¹。凱氏 (Kjeldahl) 氮為 0.68 g kg⁻¹, 陽離子交換能量為 11.0 cmol kg⁻¹, 交換性鉀、鈣及鎂分別為 0.46、2.01 及 0.86 cmol kg⁻¹。
- (二) 所用之有機物共有三種, 即新鮮鋸木屑 (簡稱鋸木屑, saw dust)、玉米穗軸堆肥 (corn cob compost) 及鋸木屑與果菜市場廢棄物共同經堆肥化作用所得之堆肥 (簡稱鋸木屑堆肥, saw dust compost)。其 pH (有機物:水為 1:10) 分別為 5.4、5.8 及 5.3; 硝酸態氮濃度分別為 30、1,500 及 3,400 mg kg⁻¹; 導電度 (有機物:水為 1:10 之抽出液) 分別為 0.16、3.92 及 3.57 dS m⁻¹; 而玉米穗軸堆肥與鋸木屑堆肥的凱氏氮分別為 31.8 與 14.3 g kg⁻¹, 鋸木屑則未分析凱氏氮。
- (三) 以 1/5,000 a 的 Wagner 盆裝三公斤風乾土, 分別加入化學肥料與堆肥後, 混合均勻並加水至田間容水量, 播下已經催芽之青梗白菜種子四棵, 三葉齡時疏苗至每盆一株。
- (四) 每盆均各施磷酸二氫鈣 0.61 g, 氯化鉀 0.57 g, 且於土壤混合時一次全層施入。
- (五) 所設定之各種處理如下: 1. 對照組 (代號 CK), 每盆施入尿素 0.77 g; 2. 鋸木屑處理 (代號 SD), 每盆施 150 g 鋸木屑及 0.77 g 尿素; 3. 石灰處理 (代號 LM), 每盆施 12 g 碳酸鈣及 0.77 g 尿素; 4. 玉米穗軸堆肥尿素處理 (代號 CCU), 每盆施 150 g 玉米穗軸堆肥及 0.77 g 尿素; 5. 鋸木屑堆肥尿素處理 (代號 SDCU), 每盆施 150 g 鋸木屑堆肥及 0.77 g 尿素; 6. 玉米穗軸堆肥處理 (代號 CC), 每盆施 150 g 玉米穗軸堆肥; 7. 鋸木屑堆肥處理 (代號 SDC), 每盆施 150 g 鋸木屑堆肥。其中尿素之半量當基肥於播種前施入, 另一半則於播種後一個月以水溶液施入。每處理均六重複, 完全隨機排列於溫室中。
- (六) 青梗白菜於 1993 年 11 月 1 日播種, 12 月 1 日追肥, 12 月 15 日採收植體, 以清水洗淨後, 在 60 °C 烘箱中烘乾, 秤重, 磨碎以供化學分析。土壤於 12 月 16 日採取, 經風乾, 過 20 mesh 篩網後, 以供分析。

二、化學分析

- (一) 硝酸態氮: 以 1 N 鹽酸水溶液振盪萃取二小時後 (Blacquiere et al., 1988), 以鋅粉還原為亞硝酸態氮, 再以 Griess-Ilosvay 的方法比色定量 (Keeney and Nelson, 1982)。
- (二) 醃胺態氮 (amide nitrogen): 取 10 mL 1 N 鹽酸水溶液, 加飽和氫氧化鈉溶液以蒸餾法定其中之氮量 (Blacquiere et al., 1988; 土壤養分分析法測定委員會, 1970)。
- (三) 不溶性還原態氮: 1 N 鹽酸水溶液萃取後之殘渣, 以凱氏法分解後蒸餾定量 (Blacquiere et al., 1988)。
- (四) 土壤分析
 1. 土壤酸鹼度: 土水比為一比一, 混合後靜置一小時, 以酸鹼度計測定之。

2. 硝酸態氮及銨態氮：以 2 M 氯化鉀水溶液萃取後，硝酸態氮與植體中之硝酸態氮相同之方法定量，銨態氮則添加氧化鎂蒸餾定量。
3. 導電度：以堆肥與水肥一比十之比例，混合之後靜置三十分鐘，取其濾液以導電度計測定之。

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（Sarathchandra, 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氮中毒現象 (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

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 $1.1\sim 1.8 \text{ mg g}^{-1}$ ，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 $26\sim 31 \text{ mg g}^{-1}$ 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。

結論

青梗白菜是喜好硝酸態氮的作物，當土壤中的硝酸態氮濃度高時，硝酸態氮在植體中有累積的現象，且其濃度可高達植體中總氮量的一半；土壤中的銨態氮濃度高時，則植體中醯胺態氮濃度會較高，並可能造成植物的銨離子中毒現象。施用堆肥可以提高土壤的 pH 值，降低植物的銨

離子中毒現象，減少硝酸態氮在植體中之累積。

參考文獻

1. 土壤養分分析法測定委員會 1970 土壤養分分析法 p201~204 養賢堂 東京都。
2. 吳正宗、王銀波 1995 一些影響小白菜 (*Brassica chinensis* L.) 硝酸態氮含量的環境因子 中國農業化學會誌 23 : 125 133.
3. 蔡素蕙 黃山內 楊秋忠 1992 有機及化學肥料對小白菜生長 硝態氮及維生素含量之影響 中華農學會報 新 158 : 77 85.
4. 鍾仁賜、葉美雲、張則周 1993 酸性土壤中施用有機物對作物生長的影響及鋁錳之解毒作用 台灣東部問題土壤改良論文集 p179~197 花蓮區農業改良場。
5. Addiscott, T. M., A. P. Whitemore, D. S. Powlson. 1991. Nitrate: Perception of the problem in farming, fertilizers and the nitrate problem. 1~14. CAB International (1991).
6. Asgar, M. and Y. Kanehiro. 1976. Effect of sugarcane trash and pineapple residue incorporation on soil nitrogen, pH and redox potential. *Plant Soil*, 44: 209~218.
7. Baker, A.V., R.J. Volk and W.A. Jackson. 1966. Root environmental acidity as a regulating factor in ammonium assimilation by the bean plant. *Plant Physiol.*, 41: 1193~1199.
8. Barker, A.V., D.D. Maynard, and W. H. Lachman. 1974. Introduction of tomato stem and leaf lesions and potassium deficiency, by excessive ammonium nutrition. *Soil Sci.*, 103: 319~327.
9. Barker, A.V., N.H. Peck and G.E. MacDonald. 1973. Nitrate accumulation in vegetables I. Spinach grown in upland soils. *Agron. J.*, 63: 126~129.
10. Benett, W.F., J.P. Pesek and J.J. Hanway. 1964. Effect of nitrate and ammonium on growth of corn in nutrient solution sand culture. *Agron. J.*, 56: 342~345.
11. Blacchiere, T., E. Voortman and I. Stulen. 1988. Ammonium and nitrate nutrition in *Plantago lanceolata* L. and *Plantago major* L. ssp. *major*. III. Nitrogen metabolism. *Plant Soil*, 106: 23~34.
12. Goyal, S.S., O.A. Lorenz, and R.C. Huffaker. 1982. Inhibitory effects of ammoniacal nitrogen on growth of radish plants. I. Characterization of toxic effects of NH_4^+ on growth and its alleviating by NO_3^- . *J. Am. Soc. Horti. Sci.*, 107: 125~129.
13. Goyal, S.S., R.C. Huffaker and O.A. Lorenz. 1982. Inhibitory effects of ammoniacal nitrogen on growth of radish plants. II. Investigation on the possible causes of ammonium toxicity to radish plants and its reversal by nitrate. *J. Am. Soc. Horti. Sci.* 107: 130~135.
14. Haynes, R.J. 1986. Nitrification, 127~165. In T. T. Kozlowsk (ed.) "Mineral Nitrogen in the Plant-Soil System", Academic Press Inc., New York.
15. Hue, N.V., I. Amien and J. Hansen. 1989. Aluminum detoxication with green manures. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 20: 1499~1511.
16. Ikeda, H. 1991. Utilization of nitrogen by vegetable crops. *JARQ*, 25: 117~124.
17. Keeney, D.R. and D.W. Nelson. 1982. Nitrogen - Inorganic forms. 684-685. In A. L. Page et al.

- (ed.), "Methods of Soil Analysis ,part 2, 2nd ed., Academic Press, New York.
- 18.Kirkby, E.A. 1968. Influence of ammonium and nitrate nutrition on the cation-anion balance and nitrogen and carbohydrate metabolisms of white mustard plants grown in dilute nutrient solution. *Soil Sci.*, 105: 133~141.
 - 19.Kretchmar, R.M., H. Hafner, A. Bationo and H. Marschner. 1991. Long and short term effects of crop residues on aluminum toxicity, phosphorus availability and growth of pearl millet in an acid sandy soil. *Plant Soil*, 136: 215~223.
 - 20.Marynard, D.N., A.V. Barker, D.L. Minotti, N.H. Peck. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Adv. Agron.*, 28: 71~118.
 - 21.Marynard, D.N. and A.V. Barker. 1972. Nitrate content of vegetable crops. *Hort. Sci.*, 7: 224~226.
 - 22.Mills, H.A. and J.B. Jones, Jr. 1979. Nutrient deficiencies and toxicities in plants: Nitrogen. *J. Plant Nutr.*, 1: 101~122.
 - 23.Mills, H.A., A.V. Barker and D.N. Maynard. 1976. Effects of nitrapyrin on nitrate accumulation in spinach. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 10: 202~204.
 - 24.Olday, F.A., A.V. Barker and D.N. Maynard. 1976. A physiological basis for different patterns of nitrate accumulation in two spinach cultivars. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 101: 219~221.
 - 25.Ponnamperuma, F.N.1976. Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility, 1~27. In "The Fertility of Paddy Soils and Fertilizer Application for Rice", FFTC.
 - 26.Reisenauer, H.M. 1978. Absorption and utilization of ammonium nitrogen by plants, 157~189. In C.D.R. Nielsen and J.G. MacDonald,ed. "Nitrogen in the Environment", vol. 2, Academic Press, New York.
 - 27.Sahranak, K.L. 1982. Nitrification in some tropical soils. *Plant Soil*, 65: 281~286.
 - 28.Sarathchandra, S.U. 1978. Nitrification activities and the changes in the populations of nitrifying bacteria in soil refused at two different H-ion concentration. *Plant Soil*, 50: 99~111.
 - 29.Takker, P.N. 1969. Effect of organic matter on soil iron and manganese. *Soil Sci.*, 108: 108~112.
 - 30.Write, M.J. and K.L. Davison. 1964. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. *Adv. Agron.*, 16: 197~247.