有機質肥料之氮素礦化量預測

莊作權[1] 張宇旭[2] 陳鴻基[3]

摘要：爲保育土壤及保護環境，以有機質肥料來代替大部份或全部化學肥料爲現階段先進國家的主要農業發展新方向。本研究旨在探討有機肥料在輪作及土壤不同條件下之氮礦化及作物之利用性，繼以瞭解究竟可提供多少氮素以取代化學肥料。

依據孵育期間堆肥之最高礦化氮量換算成堆肥施用量進行盆栽試驗，由本試驗植体吸收之氮、磷、鉀量反應出堆肥之肥效，有效性氮釋出量以化肥處理最高 (392.3 mg/kg)，豬糞堆肥次之 (204.8 mg/kg)，對照組最少 (110.3 mg/ kg)。孵育期間之最高礦化氮百分率，豬糞堆肥和垃圾堆肥分別爲 12.2% 及8.5 %，而礦化潛能 (Mineralization potential, No) 則是豬糞堆肥 (210 mg/kg)>垃圾堆肥 (155 mg/kg) >空白處理 (101 mg/kg)；依據孵育期間堆肥之最高礦化氮百分率換算成堆肥施用量進行盆栽試驗，由植体吸收之氮、磷、鉀量反應出堆肥之肥效，其結果以全量豬糞堆肥者居首，分別是 428, 69.3及762.9 mg/pot ，垃圾堆肥最差，特別是磷的供應。

玉米盆栽試驗，於收穫期 (R6) 採土壤及植体樣品，分析其全氮、^{15}N 含量，藉以推算來自不同氮源之氮素含量。本試驗結果顯示來自化學肥料者約佔63～72 %，豬糞堆肥者約佔 16～20 %，垃圾堆肥者約佔 5～18 %，而來自土壤之供氮能力，約27～40 % 不等。

關鍵詞:有機質肥料,礦化作用, 氮素預測

前 言

台灣位於亞熱帶及熱帶地區，氣候高溫多濕，再加上高度密集耕作，使土壤有機質之分解加速，造成土壤有機質低落，影響土壤生產力(2)。依據台灣地區禽畜排泄及主要養分生產量觀知，由豬、雞、牛三者排泄物之氮磷鉀含量十分可觀，分別相當於台灣地區化學肥料年度銷售量之45.5 % N，173.7 %P_2O_5及90.1% K_2O，如此龐大的有機廢棄物，只有農地可以同時消除污染並接納利用其資源價值(9)。有機質材的施用，不但可提供大量氮源減少化學肥料的用量，更可提升產品品質，近年來已漸爲農民所使用(6)。施用的有機質材，必須經微生物分解礦化後，始可供作物利用，唯因來源及製造方法的不同，故其成份及肥效並非相同(14,15)。現今對氮肥的需要量乃靠實驗相關性求得，不能完全預估各種不同土壤之氮需求量。一般對於有機質肥料施用量乃憑以往經驗或按其全氮量計算，而對其肥效無法眞正予以評估。故以科學方法決定有機質肥料之正確施用量及評估其肥效乃是本研究之主要目標。

目前評估有機肥料養分與供應能力，擬以室內孵育測定礦化量及礦化速率爲主。但欲探究其

[1] 國立中興大學土壤環境科學系教授，臺中市國光路250號
[2] 嘉泰企業股份有限公司副理，臺北市
[3] 國立中興大學土壤環境科學系助教，台中市國光路250號

肥效，應從評估其對作物生長之影響及有機氮的釋放，亦即氮的礦化速率[14]及利用率或有效程度，以盆栽試驗模擬輪作制度下施用不同有機質肥料之肥效作一探討，且藉由玉米、水稻之盆栽試驗，以^{15}N標識的尿素、豬糞堆肥、垃圾堆肥之不同處理，來估算不同氮源供應氮的能力及作物吸收的情形。依據孵育期間之最高礦化氮百分率換算成堆肥施用量，再進行玉米盆栽試驗予以驗證。經由植體的吸收及土壤殘留之有效養分來估算有機質肥料供應氮、磷、鉀之能力。

材料與方法

一、盆栽試驗(利用 ^{15}N 標識尿素及堆肥)

㈠試驗材料

1.供試土壤

本研究土壤採自設置於台南農業改良場、高雄農業改良場及台中中興大學土壤系實習農場(土壤系系館旁)三地之試驗田。其土類分別屬於砂頁岩老沖積土南州系、粘板岩老沖積土長興系、砂頁岩非石灰性沖積土大里系供試土壤採自三處試驗田旁之表土土壤(0-20cm)，未受現行耕作制度之影響，本文中分別以代號：台南農業改良場(TN)、高雄農業改良場(KS)及台中中興大學土壤系實習試驗田(CH)表示。土壤於採樣後立即過篩(5 mm)，隨後裝盆以供盆栽試驗，部分經風乾後磨碎、過篩(2 mm)以供室內孵育礦化試驗及土壤理化性質分析使用。有關供試土壤之理化性質列於表一。

表一、供試土壤之理化性質

Table 1. The physical and chemical properties of soils

	台南(TN)	高雄(KS)	興大(CH)
質地	砂壤土	坋質壤土	壤土
陽離子交換容量 (cmole/Kg)	5.7	7.4	10.1
pH 值	6.9	6.5	6.1
有機質(g/Kg)	9.7	13.3	16.0
有機碳(g/Kg)	4.9	5.5	8.3
全氮(g/Kg)	0.68	1.14	1.02
Bray 1-磷 (mg/Kg)	19.8	9.3	6.9
NH_4 OAc-交換性鉀 (mg/Kg)	136.4	39.2	58.5

2.作物品種

玉米以台農 351 號(TNG351)；水稻以台農 67 號(TNG67) 爲供試作物。

3.供試肥料及作物殘體

⑴ ^{15}N 標識尿素[$(^{15}NH_2)_2CO$]：係由南非共和國 Soil and Irrigation Research Institute Dr. A.D.P. Botha 所提供，其 ^{15}N 含量爲 5 atom％，經稀釋成 2.5 atom％ 以備用。

⑵化學肥料：

氮肥：尿素(45％ N)，磷肥：過磷酸鈣(18％ P_2O_5)，鉀肥：氯化鉀(60％ K_2O)

⑶有機質堆肥：(化學性質見表二)

表二、供試堆肥之化學性質

Table 2. Some chemical characteristics of composts

	豬糞堆肥	垃圾堆肥
pH值	5.9	7.1
有機質 (g/Kg)	557	106
有機碳 (g/Kg)	264	87
C／N	10	16
全氮 (g/Kg)	25.6	5.6

豬糞堆肥－購於南投縣草屯鎮愛根肥料廠生產之有機肥，水分含量30～46％，全氮量1.0～2.5％不等。

垃圾堆肥－購於彰化縣溪湖鎮豐富有機肥料廠生產之有機肥，水分含量5～15％，全氮量0.47～0.57％不等。

⑷作物殘體：

盆栽試驗玉米植體自 ^{15}N 標識尿素吸收了 ^{15}N，收穫後移去穗粒及根部，採集地上部殘體，置於70℃烘箱，烘乾 3～4 天後磨成碎片 (約 1 公分)，如此便成均一 ^{15}N 標誌之作物殘體。

4.供試土壤之理化性質分析方法

⑴pH值：土：水＝1：1 (W/V)以玻璃電極法測定

⑵粒徑分析：Bouyoucos 比重計法

⑶質地：依U.S.D.A.法

⑷陽離子交換容量(CEC)：1 M醋酸銨法(pH 7.0)

⑸有機質：重鉻酸鉀氧化法測定

⑹有機碳：以乾燒法(Dry Combustion)測定

⑺全氮量：Kjeldahl法

⑻有效性

氮：2M KCl抽出Kjeldahl法測定

⑼Bray-1 磷：Bray No.1 法

⑽交換性鉀：1M醋酸銨法(pH 7.0)

⑾土壤中^{15}N含量：委請南非土壤灌溉研究所利用 ^{15}N 質譜儀分析

5.有機堆肥化學性質分析方法

⑴磨碎後過篩(0.5 mm)，置於70℃烘箱烘24小時，用鄰羥基苯甲酸和硫酸配製而成的分解劑，以溼式灰化法分解，用蒸餾法測全氮，鉬藍法測全磷含量，火焰光度計測定全鉀含量。

⑵有機堆肥經風乾磨碎後過篩(2 mm)，依土：水＝1：1 (W/V) 玻璃電極法測其pH值。

⑶以重鉻酸鉀氧化法測有機質含量。

⑷以乾燒法(Dry Combustion)測有機碳含量。

⑸ ^{15}N 含量委請南非土壤灌溉研究所利用 ^{15}N 質譜儀分析。

㈡試驗方法

本試驗乃基於氮肥在同一水平下，以標識 ^{15}N 的尿素 (2.5 atom％)及有機堆肥進行盆栽試驗，藉由土壤殘留氮量及植體的吸收反應來推算土壤、有機堆肥及標識^{15}N尿素三種不同氮源之氮素供應能力。並依據孵育期間之最高礦化氮量推算有機堆肥的用量，以未植過之土壤重新裝盆(三公斤土)，不再施用^{15}N標識尿素進行另一作玉米盆栽試驗，期能以Nontracer的方法來評估有機堆肥之氮供應能量，以提高施用有機質肥料之效益。

I、玉米盆栽試驗(一)(15 公斤栽培盆)

1.以直徑27公分高30公分之栽培盆分別填裝台南、屏東及中興大學三處土壤各15公斤，採五個處理四個重覆，共60盆，其中第IV重覆不施用^{15}N尿素。

2.肥料用量依一般施肥量N：P_2O_5：K_2O=160：80：120 公斤／公頃換算。

3.試驗處理

處理一：全量 ^{15}N 化肥(8.7克尿素／盆)

處理二：半量 ^{15}N 化肥(4.35克尿素／盆)＋半量
豬糞堆肥(312.5克／盆)

處理三：全量豬糞堆肥(625克／盆)

處理四：半量 ^{15}N 化肥(4.35克尿素／盆)＋半量
垃圾堆肥(800克／盆)

處理五：全量垃圾堆肥1600(克／盆)

各處理間除氮素來源不同外，磷、鉀肥均等量施用，以確保作物生長期間大量元素不虞缺乏。

4.栽培方法

土壤與肥料均勻混合後裝盆，加水調整水分含量至田間容水量之60％，兩天後等表土稍乾進行播種，待株高約10公分時疏拔成兩株，V_4期再拔除一株，僅留一株至收穫。

5.土壤採樣及分析

⑴於植前及收穫期採土壤樣品，測其 pH 值、有機質含量、有效性氮 [(NH_4^+-N) + (NO_3^--N) + (NO_2^--N)]、全氮量及 ^{15}N 含量。

⑵採得之新鮮土壤經混勻，稱取5 克土樣加入50毫升2M之KCl 振盪一小時，過濾後以 Kjeldahl 蒸餾法(17)測其土壤有效性氮，並測土壤水分含量以供校正。

⑶風乾土經磨碎後過2mm 篩，以土：水=1：1(W/V)玻璃電極法測土壤pH值。

⑷過 2mm 篩之土樣置於 105℃ 烘箱烘 24 小時後，以溼式灰化法(18)分解測其土壤全氮量。

⑸土樣經磨碎過0.5mm 篩後，以重鉻酸鉀氧化法測其土壤有機質含量。

⑹土壤中^{15}N含量委請南非土壤灌溉研究所利用^{15}N質譜儀分析。

6.植體採樣及分析

⑴收穫期採植體樣本，分成穗粒、地上部及根部三部分，經洗淨置於70℃烘箱烘72 小時，取出分別稱其乾物重，磨碎後測其氮及^{15}N含量。

⑵分解劑之配製：取18ml蒸餾水置於250ml的三角瓶中，在冷卻的條件下加入100ml 濃硫酸，然後在磁石攪拌下加入6克鄰羥基苯甲酸即可。

⑶磨碎後之植體以鄰羥基苯甲酸配製的分解劑溼式灰化法之後，用蒸餾法測其全氮量。

⑷植體中^{15}N含量委請南非土壤灌溉研究所利用^{15}N質譜儀分析。

II、玉米盆栽試驗(二)(三公斤栽培盆)

1.以直徑17公分高20公分之栽培盆分別填裝台南、屏東及中興大學三處土壤3公斤，採六個處理四個重覆共72盆，其中第IV重覆不種植作物，以觀測土壤及肥料礦化之情形。

2.化學肥料用量依一般施肥量 N：P_2O_5：K_2O＝160：80：120公斤／公頃，堆肥用量則根據室內孵育期間之最高礦化氮百分率換算。

3.試驗處理

處理一：空白處理，不施任何肥料

處理二：全量化學肥料 0.7克尿素、0.89克過磷酸鈣、0.4克氯化鉀／盆

處理三：半量化肥0.35克尿素、0.45克過磷酸鈣、0.2克氯化鉀／盆＋半量豬糞堆肥115克

處理四：全量豬糞堆肥231克(不施P、K肥)

處理五：半量化肥0.35克尿素、0.45克過磷酸鈣、0.2克氯化鉀／盆＋半量垃圾堆肥392克

處理六：全量垃圾堆肥785克(不施P、K肥)

4.栽培方法

土壤與肥料均勻混合後裝盆，加水調整水分含量至田間容水量之60％，兩天後等表土稍乾後進行播種。發芽出土長至約10公分時疏拔成一株，每兩天澆水一次以維持水分不虞匱乏，待抽穗期前採植體及土壤樣品，植體則分成葉、桿、根三部分進行分析。

5.土壤及植體分析項目及方法如玉米盆栽15公斤栽培盆試驗。

二、肥料N^{15} aboundance 及肥料氮回收率之計算(8,10)：

A.肥料N^{15} aboundance 之計算

$$A^1 = A_0 E$$

式中

A_1為混合肥料所欲稀釋成的N^{15} % excess

A_0為原先含高量^{15}N atom% excess之肥料

E 為最終混合肥料中所有N 原子來自高量^{15}N atom %肥料之比例，1-E 則為 N 原子來自稀釋源(即自然界之^{15}N)的比例。

所以 Final pool At% ab.＝(Fert. At% ab.x Prop Fert.)＋

(Initial pool At% ab.×Prop pool.)

式中 Final pool At% ab. 為所欲稀釋之 atom %，但此值不可低於質譜儀之偵測限度。Fert. At% ab. 為高量^{15}N atom% 之肥料，Initial pool At% ab.為稀釋源之^{15}N atom% 一般為0.366atom%，Prop Fert.為最終混合肥料中所有N 原子來自高量^{15}N atom %肥料之比例，Prop pool.為^{15}N 原子來自稀釋源(即自然界之^{15}N) 的比例。

B.肥料氮回收率之計算

$$\%\ \text{N recovered} = 100 \times \frac{p(c-b)}{f(a-b)}$$

式中

p 為植體中 N 的莫耳數

f 為肥料中 N 的莫耳數

c 為植體中^{15}N atom%

a 為肥料中^{15}N atom%

b 為在未施肥土壤區植體中之^{15}N atom% ，通常假設為0.366 atom%

C.礦化潛能之估算：

礦化潛能(Mineralization Potential, No)可依

下列程式計算(Stanford and Smith,1972)：

$1/Nt = 1/No + b/t$

式中

Nt 為在特定孵育期間之累積礦化氮量，ppm

t 為孵育時間，weeks

b 為斜率

No 為礦化潛能，ppm N

依此式可找出No估計值。

假設礦化速率與潛在之可礦化氮量成正比，則可表成下式：

$$\frac{dN}{dt} = -kN$$

積分後表示成

$$\log(No-Nt) = \log No - k/2.303\ (t)$$

式中

log(No-Nt)為各孵育期間之氮殘留量的對數值

k 為礦化速率常數(Rate constant)

t 為各孵育期

以No估算值附近的幾個數值作逐步迴歸，找出r^2 最高者之No值即眞正的礦化潛能。

三、孵育礦化試驗

1. 供試土壤採自台南改良場、高雄改良場及中興大學三處試驗田，經風乾磨碎過2mm 篩後裝於塑膠瓶中備用。
2. 試驗處理

處理一：空白處理，10克土(不加任何肥料)

處理二：10克土＋尿素0.0058 克／瓶

處理三：10克土＋豬糞堆肥0.4167 克／瓶

處理四：10克土＋垃圾堆肥1.0667 克／瓶

本試驗肥料用量依盆栽肥料施用量換算，採三種土壤、四種處理、三個重覆及六個孵育期，共計216 組合。

3. 稱取三種不同土壤10克與上述處理之肥料用量，置於125 ml三角瓶中充分混勻，調節水分至飽和容水量之60％，以錫箔紙加蓋後稱重分別記錄其重量。
4. 置於35℃孵育箱中孵育，每隔兩天加水一次補充蒸發之水分，並維持一定的重量。
5. 於第0, 2, 4, 8, 12, 16 週分別取出，以2M KCl抽取用蒸餾法測其有效性氮含量。

結果與討論

一、有機質肥料之氮礦化及礦化潛能與速率常數

有機質肥料氮礦化試驗乃利用豬糞堆肥、垃圾堆肥於室內孵育箱進行，並配合化學肥料及空白處理，其目的主要是了解不同有機質肥料之礦化作用及礦化氮量隨孵育時間之變化趨勢，進而評估有機質肥料之氮釋放速率。圖一顯示，三種不同土壤均以化肥處理之有效性氮含量最高，然後依次爲豬糞堆肥、垃圾堆肥與空白處理。化肥處理之有效性氮最高乃因尿素是速效性的，很容易水解而釋出氮，尤其是在前兩週，在中興大學土壤甚至到達350 mg/Kg。莊等(1989)指出，尿素態氮施用到土壤中轉化成交換性氮的速率，隨溫度增加而加快，於35℃下孵育之大里系及柳營系土壤，交換性氮含量於孵育後第一天及第二天分別達到最高濃度，而於25℃下孵育時，則至孵育後第五至八天始達最高濃度。王及莊(1987)亦指證加入土壤中的尿素在30℃下孵育，兩天即可完全水解，而於20℃時則需六天，此乃受土壤中的尿素水解活性支配。本試驗於尿素施用後二週採樣分析，所測得之氮爲有效性氮累積含量，雖無法確知何時達到最高濃度，但無庸置疑地尿素在前兩週內即快速水解釋出有效性氮。

豬糞堆肥最初之有效性氮含量很高，土壤中微生物族群大量繁殖，利用有效性氮以合成体質，所以在前兩週有生物固定化現象發生。Chae 與 Tabatabai (1986) 進行之動物堆廄肥礦化試驗結果指出，在最初期間沒有礦化或僅有少量礦化，甚至到達第4週，最大礦化速率則在4～12週，爾後則呈平穩礦化之趨勢。Castellanos 與 Pratt(1981) 的堆肥礦化試驗中指出一乳牛廄肥 (氮含量2.0 %，C/N 約15.9)，於前四週仍有生物固定化現象，因此其盆栽在第一次收穫時，產量甚至低於空白處理者。本試驗採用之豬糞堆肥其氮含量2.5%，C/N 約 10，在前兩週雖有固化發生，但隨之以較快的速率分解礦化釋出無機態氮。

垃圾堆肥(全氮含量只有0.56％，C/N 約21)最初有效性氮含量很低，僅大於空白處理少

許，但其礦化速率主要在前兩週較快，隨後則緩慢持續性的礦化，至孵育期結束大約有 8.5% 被礦化，如此低的礦化百分率可能與其低氮含量有很大的關係。單就基質本身之C/N 及氮含量，尚不足以作爲分解作用之指標，在分解與礦化的預測上，須再將木質素含量及碳水化合物含量等因素計入。空白處理在16週孵育下，其礦化趨勢與垃圾堆肥者相當一致，礦化速率亦是前兩週較快，爾後則較爲平緩。

將化肥、豬糞堆肥及垃圾堆肥處理扣掉空白處理所得，乃不同肥料在不同孵育期間之累積淨礦化氮量(圖二)。在孵育開始時，豬糞堆肥之有效性氮含量最高(100mg/Kg以上)，隨後因微生物生物固定化而減少，之後再緩慢礦化釋出(remineralization)，可見豬糞堆肥的施用不但可當速效性肥料，在作物生長期適時的供給養分，亦可當緩效性肥料以提昇土壤肥力。從最初期至第2 週豬糞堆肥之有效性氮含量降低許多，除了生物固定化外，亦可能經由揮失的途徑損失。化肥處理在孵育最初期尚未水解或尿素　還沒發揮效用，因此其有效性氮含量很低，几乎爲零，之後尿素快速水解，有效性氮含量急遽上升，在第二週時水解速率達最高，往後雖水解仍繼續進行，速率已較爲緩和，有效性氮累積量或增或減，但變化並不明顯。至孵育期終結，其有效性氮大約有90%以上來自前兩週之水解，結果雖與前述(莊等，1978)施用尿素在兩天內即可完全水解有些出入，可能因採樣日期差異之故。

垃圾堆肥處理之氮礦化則以緩慢之速率進行，在高雄土壤從孵育最初到第16週有效性氮逐漸累積，至孵育終結達最高量約43 mg/Kg，相當於8.1%的氮被礦化。台南土壤之最高礦化氮累積量(36.7 mg/Kg)則出現在第8 週，約可礦化出6.9 %，8 週以後因微生物族群繁殖消耗部份無機態氮而逐漸地降低。興大土壤則在第12週(56.7 mg/Kg)其礦化氮百分率約10.6%，可能由於興大土壤質地屬壤土，在適當水分及溫度下可礦化出較多的氮，隨後在孵育終結又因微生物固化而降低。台南、高雄和興大三處土壤之空白處理礦化情形頗爲一致，均隨孵育時間而逐漸增加，至孵育期結束，其礦化氮百分率分別爲 11.7, 7.8 和9.1 %。整體而言，影響氮素礦化的因子很多，本試驗已控制了水分、溫度兩項因子，除了與基質之組成分有很大的關係外，土壤質地亦扮演一重要角色。如豬糞堆肥在台南土壤孵育下，至孵育期結束，其礦化氮累積量几乎是化肥處理之一半，原因可能是其質地較砂，通氣較佳，環境適合微生物族群生長，有利礦化作用的進行。反觀高雄及興大土壤，其豬糞堆肥和垃圾堆肥之淨礦化氮累積量甚至不及空白處理。空白處理之礦化趨勢，三種土壤雖頗爲一致，不過其礦化氮百分率仍以台南土壤最高，約11.7%，可見土壤本身之供氮容量是不可忽視的氮源。

利用好氣孵育試驗於不同期間所得之礦化氮，代入Stanford(1972)提出之運算式中，可計算不同處理的礦化潛能(mineralization potential,No)。今將化肥處理亦視爲有機物，計算所得如表三所示。土壤質地不同，有機物之礦化潛能亦互異，空白處理以興大土壤最高(121ppm)，化肥處理及垃圾堆肥亦是以興大土壤居冠，分別是419ppm、190ppm，而豬糞堆肥則以台南土壤表現較佳，礦化潛能爲227ppm。若不分土壤，僅就處理間的差異比較，則化肥處理＞豬糞堆肥＞垃圾堆肥＞空白處理。若將化肥處理、豬糞堆肥及垃圾堆肥之礦化潛能與空白處理比較，依序大約是空白處理的4、2 及1.5倍。空白處理中以台南土壤(82 ppm)最低，其原因可能與其土壤全氮、有機碳、有機質含量有關，均是三種供試土壤中之最低者所致。Saito 與 Ishii (1987) 指出氮礦化潛能與土壤全氮含量有關，土壤全氮含量愈高，其礦化潛能愈大，但並無一定比例關係，而且有加堆肥處理者其礦化潛能要較未加堆肥處理者高出2～3倍左右。將礦

化潛能(No)代入log(No-Nt)=logNo-k/2.303(t) 中，求得斜率再乘 2.303 即可得表四之礦化速率常數 (Mineralization Rate Constant, k)。不同土壤及不同處理間所得礦化速率常數變異很大，可能是本試驗所採用之孵育方法與前人(Stanford, 1972; Castellanos 與 Pratt, 1981; Cabrera 與 Kissel, 1988) 採用之淋洗管淋洗以獲取礦化氮量，再逐次累加的方式不同所致。整體而言，以興大土壤之k值較大(0.307)，處理間以化肥處理之k 值較小(0.023～0.192)，究其因乃尿素在孵育期之前二週已幾乎完全水解，爾後之變化不大，故導致所求礦化速率常數偏低。因此礦化潛能愈高，通常其供氮容量亦愈大，但仍須配合礦化速率及作物生長期所需，方能眞正評估有機質肥料之肥效，否則空有很大的礦化潛能，若礦化速率很低，恐有供不應求之虞。

表三、三種不同土壤之礦化潛能(Mineralization potential,No)

Table 3. Mineralization potential of three different soils

處理	台 南	高 雄	興 大
	ppm		
空白處理	82	101	121
化肥處理	374	392	419
豬糞堆肥	227	180	221
垃圾堆肥	131	144	190

表四、三種不同土壤之礦化速率常數(Mineralization rate constant, k)

Table 4. Mineralization rate constant of three different soils

處理	台 南	高 雄	興 大
	$week^{-1}$		
空白處理	0. 17	0. 172	0. 307
化肥處理	0. 062	0. 023	0. 192
豬糞堆肥	0. 156	0. 083	0. 313
垃圾堆肥	0. 041	0. 301	0. 259

二、^{15}N 肥料估算有機質肥料氮素礦化量之探討

本試驗以^{15}N標識尿素進行盆栽試驗，利用不同處理及植體吸收氮素反應上，由玉米植體^{15}N含量來推算其來自化學肥料之氮量，並進而估算來自不同有機質肥料之氮素含量，評估其供氮能力，結果所得見表五、六。植體各部氮含量以穗粒最高(1.66～2.31%)，地上部(含葉和桿)及根部則差異並不大，處理間植體各部氮含量則以化肥處理最高，半量堆肥半量化肥次之。植體各部位吸收^{15}N的含量仍以穗粒居多，Wagger(20)等 指出，在作物各部分所含^{15}N atom%，小麥以其穀粒、高梁則以穗粒含量最高，而穗粒主要的氮來源有 (1)葉、莖、

根的再分佈(redistribution) (2)後期直接由土壤吸收。處理間植體各部^{15}N atom％，以第一處理最高，含1.68～1.96atom％，因爲其氮源主要來自^{15}N標識尿素及土壤，因此吸收^{15}N量較多。而第二、四處理的氮源，除了^{15}N標識尿素及土壤外，尙有來自豬糞堆肥、垃圾堆肥者，因此植體吸收來自^{15}N標識尿素則較少。然在三種不同的土壤中，植體^{15}N atom％在第四處理要高出第二處理少許，此乃垃圾堆肥中氮的有效性較豬糞堆肥來得低，因此植體吸收氮素要比豬糞堆肥處理者較易於吸收有效性高的^{15}N化肥。

表五、盆栽玉米收穫植体乾物重及氮、^{15}N含量

Table 5. Dry matter, N and ^{15}N content of various plant parts in corn pot

	植体乾物重			植体氮含量			植体^{15}N含量*		
處理	地上部	穗粒	根	地上部	穗粒	根	地上部	穗粒	根
	--------- g/pot ---------			--------- % ---------			--------- atom % ---------		
TN-1	80.72	50.84	13.78	0.79	2.19	0.89	1.70	1.87	1.69
TN-2	81.55	59.55	19.29	0.61	1.66	0.70	1.20	1.36	1.05
TN-4	105.12	53.73	17.73	0.48	1.93	0.68	1.41	1.63	1.41
KS-1	77.75	44.08	15.72	0.98	2.31	1.41	1.84	1.96	1.93
KS-2	73.24	42.44	15.68	0.64	2.01	1.30	1.31	1.43	1.36
KS-4	66.99	31.86	18.80	0.75	2.14	1.06	1.46	1.60	1.50
CH-1	77.03	49.27	11.53	1.14	2.15	1.13	1.68	1.74	1.70
CH-2	78.70	69.84	11.34	0.59	1.99	1.11	1.21	1.27	1.19
CH-4	97.74	77.47	15.12	0.64	1.81	0.86	1.28	1.38	1.28

*來自^{15}N標識尿素者

註：處理1.化肥處理
處理2.1/2化肥處理＋1/2豬糞堆肥
處理4.1/2化肥處理＋1/2垃圾堆肥
土壤：TN－台南農業改良場
KS－高雄農業改良場
CH－中興大學試驗田

由植體各部的^{15}N atom％含量，經過一連串的計算，可推算出氮肥之回收率(recovery rate,％)。不同土壤之不同處理其氮回收率亦不同，台南土壤第一、二、四處理回收率依次是31.6％、34.4％、44.2％，高雄土壤依序爲36.3％、35.7％、37.9％，而興大土壤則39.2％、41.2％及49.7％。一般作物對肥料的利用率並不高，尤以氮、磷爲甚。洪與劉更指出，水稻對氮肥利用率多低於30％，一般情形下，由土壤供應者佔70～80％，由肥料供應者僅佔20～30％。本試驗乃盆栽試驗免除一些損失途徑，又種植玉米，其吸收氮能力較水稻强，所以氮肥利用率較水稻來得高些。一般言之，全量化肥處理之回收率要較半量化肥處理低，此乃半

量化肥處理施用^{15}N標識尿素僅爲全量化肥之一半，且植體各部^{15}N atom% 含量處理間相差並不大，因此計算所得之回收率較高。第四處理的回收率較第二處理高，原因已於前述。而高雄土壤三處理間的回收率差異很小，可能與其質地(坋質壤土)較粘、有機質較高有關。Wagger(20)等人在坋質壤土種植一作的高粱後，由氮素平衡求出氮的回收率爲36.5+3.7%，顯示有較多量的無機態氮及有機氮殘存於土壤中，此結果與高雄土壤頗爲吻合。

表六、植体對不同氮源之氮吸收率

Table 6. The ratio of nitrogen uptake in plant from different nitrogen sources

處理	植体氮吸收量 (g/pot)	化學肥料	土壤	堆肥
		%		
TN-1	1.873	67.5	32.5	—
TN-2	1.610	43.1	37.8	19.1
TN-4	1.634	55.5	37.3	7.2
KS-1	2.003	72.5	27.5	—
KS-2	1.522	47.8	36.2	16.0
KS-4	1.380	54.9	40.0	5.1
CH-1	2.054	63.0	37.0	—
CH-2	1.982	41.5	38.4	20.1
CH-4	2.154	46.1	35.3	18.6

註：處理1.化肥處理

處理2.1/2化肥處理＋1/2豬糞堆肥

處理4.1/2化肥處理＋1/2垃圾堆肥

土壤：TN－台南農業改良場

KS－高雄農業改良場

CH－中興大學試驗田

由植體^{15}N atom% 含量可推算植體氮來自^{15}N肥料之百分率，再乘上植體各部含氮量即爲植體來自^{15}N肥料之氮量，再由植體含氮總量扣除來自^{15}N肥料之氮量，即爲來自土壤或其他氮源之氮量。在此必須有一前提，假設各處理間在同一氮量水平下，其點燃作用是一致的。如此第一處理由植體總含氮量扣除來自^{15}N肥料之氮量，即爲來自土壤所供應的氮素，第二、四處理由植體總含氮量扣掉來自^{15}N肥料之氮量，再扣除來自土壤本身之氮量，即是由豬糞堆肥、垃圾堆肥所供應的氮量，藉此來評估堆肥之供氮能力，所得結果如表六所示。在台南、高雄土壤，其植體全氮吸收量以化肥處理最高，興大土壤則是半量化肥半量堆肥居首。植體對於不同氮源之吸收率，主要來自化學肥料(41～72%)，其次是土壤(27～40%)，再其次才是堆肥處理(5～20%)。詹等(8)指出，甘蔗吸收氮肥來自土壤氮素者佔百分之八十以上，而

其氮素來源均由土壤有機氮礦質化而來。因此土壤是作物吸收氮素的主要來源。就植體對化學肥料的吸收率而言，仍以化肥處理(63～72％)之吸收率最高，其次爲半量化肥半量垃圾堆肥(46～55％)及半量化肥半量豬糞堆肥者(41～48％)，其原因乃作物較易吸收有效性高的化學氮肥。詹指出，在田間條件下，一般水稻基肥的氮吸收率約30～40％，追肥則約60～70％，盆栽試驗以^{15}N同位素測定之基肥氮吸收率約50％左右。本試驗爲玉米盆栽試驗，而玉米吸收氮的能力遠較水稻爲强，故其氮吸收率最高可達72％。至於植體對土壤氮素之吸收率，則因質地及處理的不同而頗有差異，大約爲27～40％不等。詹等[8]應用^{15}N 標識尿素研究甘蔗吸收氮來自土壤佔80％，來自肥料少于20％，而Reddy和Patrick[16]應用^{15}N 標識 NH_4-N，發現一作水稻可回收50％，存予土壤約有20％。若以植體對土壤氮素的吸收量而言，則以興大土壤表現最佳，此乃其具有較高全氮量及有機質使然。

再就植體對堆肥氮素之吸收率而言，台南和高雄土壤之半量化肥半量豬糞堆肥處理(16～19％)遠大於半量化肥半量垃圾堆肥處理(5～7％)，顯示豬糞堆肥之供氮能力大約是垃圾堆肥者之三倍。興大土壤中，植體對垃圾堆肥氮素吸收率高達18％，原因可能是盆栽土壤係採自興大試驗田之保護行土壤，此前已經過三年長期的垃圾堆肥肥力試驗，雖保護行土壤未施堆肥，然耕作、翻犁及水稻之栽培，無形中已孕育了較高之土壤肥力，可由其土壤含較高的有機質及全氮量略見端倪。因此來自化學肥料氮素減少(46％)，而植體氮素吸收量仍然最高(2.154g)，導致植體對垃圾堆肥吸收率偏高，故對所施用垃圾堆肥之供氮能力會有高估現象。

結　論

利用^{15}N標識尿素及不同的有機質材進行盆栽試驗，由反應至玉米植體氮吸收量來推算其對不同氮源之氮吸收率。結果顯示來自化學肥料者約佔63～72％，豬糞堆肥者約佔16～20％，垃圾堆肥者約佔 5～18％，而不同土壤其供氮能力不同約27～40％，可見土壤的供氮能力仍是不可忽略的來源。水稻盆栽加入玉米殘質的處理，由於大量土壤氮素在玉米殘體分解過程中被微生物消耗，植體乾物重及氮素吸收量均被抑制而偏低，因此將作物殘株翻入土壤，必須於下作種植前一段時間犁入，降低其C/N ，以免作物生長早期有缺氮之虞。

依據孵育期間最高礦化氮百分率換算成堆肥施用量之盆栽試驗結果顯示，無論在植體氮、磷、鉀吸收上，亦或在土壤有機質、全氮量的貢獻上，均以全量豬糞堆肥居首，半量化肥半量豬糞或垃圾堆肥之處理表現次之，均與化肥處理相當，甚至超過化肥處理之效應。

綜合以上結果，倘欲以全量堆肥來完全取代化學肥料施用，其肥料需要量必是相當龐大，且經濟效益可能不及化學肥料。因此建議，有機質肥料的施用必須配合適量化學肥料，如此不僅符合經濟效益，亦可供應作物充分養分，更可長期厚植土壤肥力。

誌　謝

本研究承蒙農業委員會經費補助，特致謝忱。

參考文獻

1. 王文華、莊作權。 1987。 水田尿素深施對氮素在土壤中變化之影響。農林學報 38(1): 1-4。
2. 林滄澤。 1991。 不同有機物在土壤中養分釋放之研究。 國立中興大學碩士論文。
3. 洪崑煌、劉天斌。 1979。 不同時期所施肥料氮利用率與稻穀收量之關係。 國立台灣大學農學院研究報告。
4. 莊作權、趙震慶、郭銘寶。 1978。 台灣旱作土壤之尿素轉化作用: I.尿素施用量與大豆、玉米間作對土壤氮素及pH變化之影響。 農林學報27: 127-148 。
5. 莊作權、趙震慶、黃芸青。 1989。 土壤環境因子對尿素轉化作用之影響。 農林學報 38(1): 1-14。
6. 楊明富。 1991。 水稻玉米輪作制度下施用堆肥對土壤肥力及作物產量之影響。 國立中興大學碩士論文。
7. 詹元佑。 1977。 應用N15 追蹤劑研究土壤礦化氮對水稻氮素吸收之影響。台灣糖業研究所研究彙報 76: 13-28。
8. 詹元佑、翁銅河、李進發。 1980。 應用N^{15} 探測氮肥對甘蔗之效應。臺灣糖業研究所 68/69 年期研究試驗報告 p.266-269。
9. 嚴式清。 1989。 畜牧廢棄物在有機農業之利用。 有機農業研討會專集 p .229-242。
10. Cabrera, M.L., and D.E. Kissel. 1988. Evaluation of a method to predict nitrogen mineralized from soil organic matter under field condition. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1027-1032.
11. Castellanos, J.Z., and P.F. Pratt. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 354-357.
12. Chae, Y.M., and M.A. Tabatabai. 1986. Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes. J. Environ. Qual. 15: 193-198.
13. Hauck, R.D., and J.M. Bremner. 1976. Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen reserch. Adv. Agron. 28: 219-261.
14. Juang, T.C., and Y.S. Chang. 1992. Effect of application of compost and manure on crop growth, nitrogen mineralization and nitrogen uptake under rice-corn rotation. Soil and Fertilizer. p.18-39.
15. Olsen, R.J., R.F. Hensler, and O.J. Attoe. 1970. Effect of manure application, aeration, and soil pH on soil nitrogen transformation and on certain soil test values. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 222-225.
16. Reddy, K.R., and W.H. Patrick. 1978. Residual fertilizer nitrogen in a flooded rice soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 316-318.
17. Saito, M., and K. Ishii. 1987. Estimation of soil nitrogen mineralization in corn-grown fields based on mineralization parameters. Soil Sci. Plant Nutri. 33: 555-566.
18. Sims, J.T. 1986. Nitrogen transformations in a poultry manure amended soil: temperature and moisture effects. J. Eviron. Qual. 15(1): 59-63.
19. Stanford, G., and S.J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36: 465-472.
20. Wagger, M.G., D.E. Kissel, and S.J. Smith. 1985. Uniformity of nitrogen-15 enrichment in different plant parts and subsequent decomposition monitoring of labeled crop residues. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 1205-1208.

The Prediction of Nitrogen Mineralization of Organic Fertilizers

T.C. Juang[1] Y.S. Chang[2] H. J. Chen[3]

Abstract

It is well-known that the inadequate application of chemical fertilizers, especially Ammoniacal -N, is one of the main factors responsible for soil deterioration. In view of soil conservation and environmental protection the use of organic fertilizers substituting for chemical fertilizers, at least partly, has been suggested in industrialized countries. The objective of this paper was to study the mineralization potential of organic fertilizers and their contributions to nitrogen supply to soil and plant.

There series of experiments were undertaken. (1) Labelled-N^{15} (2.5 atom %), 4g-N/pot and 1.2 g -N/pot for corn and rice respectively, was used in pot experiments to evaluate the contribution of organic fertilizers to nitrogen absorption of crops in a growing season. (2) Different organic fertilizers (hog manure, municipal refuse compost) were added into soil with water content remained at 60% of water holding capacity and incubated at 35℃ for 16 weeks, soil exchangeable nitrogen was extracted with 2 M KCl to estimate the mineralization potential of theses fertilizers. (3) According to the results of experiment (2), two organic fertilizers were used in a pot (3 Kg of soil) experiment to evaluate their contribution to corn growth.

The results obtained from pot test of corn and incubation experiment may be summarized as follows:

Under aerobic incubation condition, the release of available nitrogen from different treatments were in order of chemical fertilizer(392.3 mg/Kg), hog manure(204.8 mg/Kg) and control (110.3 mg/Kg). The highest N mineralization rate(%) of hog manure and trash compost were 12.2% and 8.5%, respectively. The mineralization potentials also had the same trend, e.g.hog manure (210mg/Kg) > trash compost (155 mg/Kg) > control (101 mg/Kg). Based on the maximum N mineralization rate (%), the composts application rate were calculated and used in corn pot test. The effect of compost application on nitrogen, phosphorus and potassium uptake by plant,hog manure treatment had best response on plant uptake, e.g.428.0, 69.3and 762.9 mg/pot for N,P,K, respectively. Trash compost treatment was the worst,especially in supply of phosphorus.

Total N and ^{15}N content of soil and plant were analyzed after harvest(R6 stage) in corn-rice pot indicated that nitrogen uptake of plant from chemical fertilizer, hog manure and trash compost treatments were under the range of 63-72%, 16-20% and 5-18%, respectively. However N obtained from soil originally due to their supplying capacities were ranged from 27% to 40%.

Key Words: Orangic fertilizer, Mineralization, Nitrogen prediction.

---

1. Professor, Department of Soil Environment Science National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, ROC.
2. Deputy Manager, Jie-Tay CO., LTD., Taipei, Taiwan, ROC.
3. Tutor, Department of soil Envirornent Science National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402,ROC