

蔬菜園土壤有效態氮測定研究

Soil nitrogen testing in vegetable cropping

王鐘和¹
Chong-Ho Wang

丘麗蓉¹
Li-Jung Chiu

林毓雯²
Yu-Wen Lin

摘要

本試驗擬研發適宜蔬菜園之土壤有效態氮速測方法，以診斷及推薦蔬菜之合理氮肥施用量，減少環境污染。於溫室進行盆栽試驗及於實驗室內以孵育淋洗及化學萃取法探討土壤有效態氮之合宜評估方法。結果如下：化學萃取法中 10% 氯化鉀溶液萃取法、熱 2M 氯化鉀溶液萃取法及熱水萃取法所得之氮素量與孵育淋洗法之氮素量間均有顯著正相關。盆栽蔬菜收量及氮素吸收量與孵育淋洗法、熱 2M 氯化鉀溶液萃取法及熱水萃取法所得之氮素量呈顯著正相關，以 10% 氯化鉀萃取法所得及熱 2M 氯化鉀溶液萃取法之氮素量分別在 94~163 mg/kg (平均為 124 mg/kg) 及 163~203 mg/kg (平均為 181 mg/kg) 之範圍時，無氮處理之產量百分率已達 100%。進一步試驗結果也顯示 EC 測值與土壤中之硝酸態氮含量呈極顯著之直線正相關。

關鍵字：土壤診斷，蔬菜，氮素

ABSTRACT

Methods of quick test of soil available N

are accessed and developed in this project to enable soil diagnosis and fertilization recommendation for rational use of N fertilizer in vegetable fields and reduced impact on environment. Incubation leaching and chemical extraction methods are investigated in laboratory. Moreover pot experiment is conducted in greenhouse. Available N contents detected by chemical extraction methods, including 10% KCl, hot 2 M KCl, and hot water, are all positively and significantly correlated with that by incubation leaching. Yield of pot culture and N uptake of vegetable are positively related with N contents detected by hot 2 M KCl, and hot water extraction. Percentage yield of non-fertilizer plot reached 100%, when N content detected by 10% KCl or hot 2 M KCl solution extraction method were fell in the range of 94-163 mg/kg (mean = 124 mg/kg) and 163-203 mg/kg (mean = 181 mg/kg) respectively. EC value had significantly linear positive relationship with nitrate nitrogen content.

Key words : Soil diagnosis, Vegetable, Nitrogen

¹ 國立屏東科技大學農園生產系。Department of Plant Industry, National Pingtung University of Science & Technology.
² 農委會農業試驗所農業化學組。Agricultural Chemistry Division, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

前言

園藝作物常因施肥過多導致土壤中鹽分累積，作物生長受阻或污染環境。此等情形尤以蔬菜園，特別是設施栽培為最(Chang, 1995)，故藉由土壤診斷以調節施肥乃愈益加必要。惟土壤診斷過去最缺者乃土壤有效態氮供應能力之測定，係因土壤有機質礦化有關因素複雜，氮礦化量之預估較難故。過去土壤氮測定困難之另一原因亦與試驗者常企求有效態氮測值與作物氮需求量有相關聯。因為作物對氮素之效應所牽涉的問題甚多，亦就使土壤氮之測定更難實用。有機資材的肥效主要決定氮的礦化釋出量，以及礦化速度是否能配合作物需肥時機而定(林等，2003)。一般對於有機質肥料的施用大多以經驗值來估算，即假設有機資材可釋出的氮量為其全氮量的比例，如 30% 或 50% (鍾等，1999)。不同資材氮礦化特性不同，且氮礦化特性也會隨著原料之成分而異，若施用於田間均以同一標準或乘以 1.5 倍估算，可能造成肥料浪費或肥分不足。本研究針對土壤中一定期間內可礦化的氮量為對象，探討速測方法，以便掌握蔬菜園土壤於一作期間可供應之氮量，藉以預測或調節其應施氮肥用量。由於蔬菜作物每作施肥量多，每作殘留的肥料量或有機質很多，此等殘留無機態氮量及有機態氮於下作期間可礦化之氮量等測定對於次作施肥量之調節甚為重要。

土壤有效態氮礦化量之預測研究者甚多，有各種模擬法如作物吸收法(Fox *et al.*, 1990)、田間包埋法(前田與志賀，1978)及孵育淋洗法(Stanford and Smith, 1972; Douglas & Magdoff, 1991; 李，1996)。作物吸收法較為準確但耗費人力，田間包埋法較難去除作物根系及土壤動物殘體之干擾，孵育淋洗法則在操作上相較於簡便又可適度反

映作物吸收之優點。孵育淋洗法是一種礦化潛能的測定法，適宜於土壤中短期間礦化量之預測。但測定上常需孵育土壤數週，勞力及時間均不經濟。已有若干學者以各種化學方法估測土壤中有效態氮的供應量，其中Gianello 及 Bremner 於 1986 所提出之方法最值得試用；日本及我國亦有相關測定方法之應用報告(赤塚等，1964；北農試，1992；Fang *et al.* 1992)。本試驗擬研發適宜蔬菜園之有效氮速測方法，藉以診斷及推薦蔬園之合理氮肥施用量，減少環境污染。

材料與方法

一、土壤有效態氮速測方法之探討

1. 蔬菜園土壤有效氮素測定方法之檢討：於雲林縣西螺鎮及彰化縣永靖鄉不同施肥前歷之蔬菜園於施肥、播種之前採取表土為樣本，土壤基本性質如表一。分別以(a)熱水萃取法(Fang *et al.*, 1992)，(b)熱 2M 氯化鉀萃取法(Gianello and Bremner, 1986) (c) Harper法(10% 氯化鉀)(Bremner, 1965)等方法測定各土壤樣本之有效態氮含量。

2. 添加有機質肥料土壤之有效態氮估測-土柱孵育淋洗試驗：採取雲林縣西螺鎮蔬菜區土壤之表土，經風乾後，以 2 mm 篩過篩，土壤理化性質如表一。收集雞糞堆肥、豬糞堆肥、牛糞堆肥及樹皮堆肥等有機質資材，經風乾粉碎後過 1 mm 篩，肥料性質如表二。

供試土壤 30 g 及等量石英砂(以 20 mech篩過篩)，添加 0%、1% 及 5% 三個變級之供試資材，每處理為三重複。混合均勻後置於內徑 4.2 cm、高約 15 cm，附有流量調節開關之玻璃淋洗管內，填裝後土柱高約 4 - 4.5 cm。放置於定溫 30°C 孵育，分

表一、供試土壤理化性質

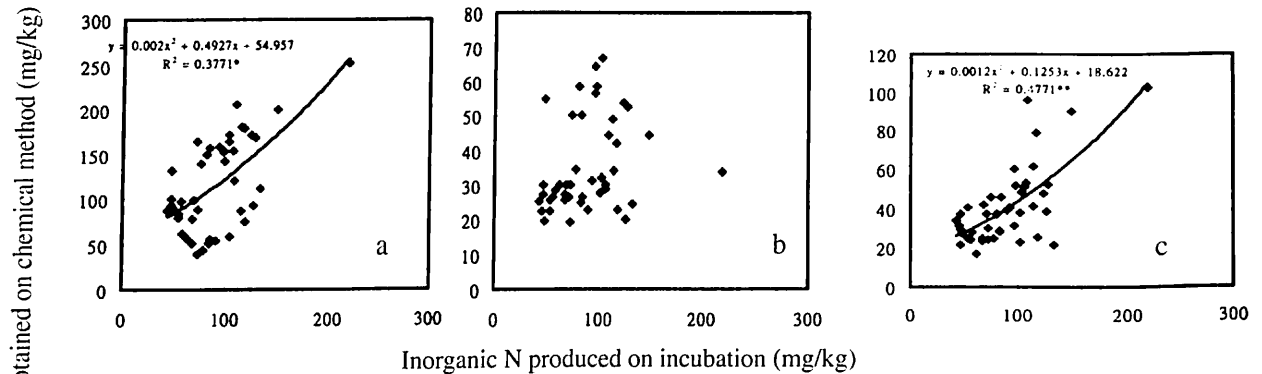
Table 1. The physical and chemical properties of test soils used in

Location	Texture	pH (1:1)	EC (1:5) ms/cm	OM g/kg	N g/kg	Bray No.1P mg/kg	Exch. K mg/kg	Exch. Ca g/kg	Exch. Mg mg/kg
八德(一)	SiL	4.66	0.52	42.9	2.07	116	435	1.08	161
八德(二)	CL	6.58	0.55	23.2	2.08	87	172	0.43	342
平鎮	SiCL	4.68	0.12	16.7	1.80	6	217	0.80	133
竹北	L	4.41	0.17	21.5	1.38	45	70	1.01	126
霧峰	L	5.71	0.09	16.8	1.21	19	66	1.10	175
大安	L	3.84	0.37	27.7	1.89	83	137	0.81	105
埔里	C	4.04	0.09	33.0	2.11	200	410	0.57	93
永靖(一)	SiCL	5.84	0.61	23.8	1.96	133	339	2.60	335
永靖(二)	L	7.22	0.52	18.5	1.66	2	119	5.03	329
二林	L	5.31	1.12	23.9	1.81	215	572	3.61	209
西螺(一)	L	5.69	0.34	22.3	1.82	275	199	1.81	198
西螺(二)	L	6.29	0.12	16.5	1.44	173	99	1.21	183
溪口	L	4.16	0.35	14.5	1.11	62	89	0.75	132
新港	LS	5.09	0.67	13.7	1.05	98	84	1.12	110
台南	L	6.98	0.20	22.2	1.84	355	212	3.52	346
梓官	L	6.11	0.27	13.8	1.15	153	115	1.59	155
新園	L	7.69	0.54	14.1	1.18	24	116	3.85	267
台東(一)	SL	5.39	0.20	22.0	1.33	92	65	0.85	61
台東(二)	L	7.32	0.23	15.3	1.00	8	45	4.42	73
吉安	SiL	7.52	0.14	20.6	1.22	6	53	4.70	85
鳳林	SiL	6.45	0.32	18.9	1.35	122	307	3.92	133
三星	SL	5.40	0.21	22.5	1.44	60	219	0.97	126
五結	L	3.83	0.19	35.0	2.12	200	193	0.98	81
範圍		3.83	0.09	13.7	0.99	2	45	0.57	61
		}	}	}	}	}	}	}	}
		7.69	1.12	42.9	2.12	572	355	5.03	346

表二、供試肥料之基本性質

Table 2. Some selected properties of organic materials used in the study

organic material	pH (1:10)	Total C (g/kg)	Total N (g/kg)	C/N	Total P p (g/kg)	Total K (g/kg)
Chicken manure	7.8	228	29.8	7.65	28.3	30.5
Hog manure	6.5	351	35.6	9.86	9.6	8.7
Cattle manure	7.4	412	18.6	22.15	8.7	10.7
Bark compost	6.3	448	12.3	36.42	2.8	4.9



註： a.Hot 2M KCl extraction method,b.Hot water extraction method,c.10%KCl extraction method.

圖一、化學萃取法之氮量與以 30°C 孵育 14 天之無機態氮量之相關

Fig.1 Relationship between nitrogen value obtained by chemical extraction method and nitrogen value produced by aerobic incubation of soil at 30°C for 14 days.

別於 1、2 及 4 週，以 0.021 M 氯化鈣溶液 200 mL 洗出無機態氮，再以 50 mL 無氮營養液 (含 0.002 M 硫酸鈣、0.002 M 硫酸鎂、0.005 M 磷酸二氫鈣、0.0025 M 硫酸鉀) 淋洗後，以真空馬達調整水分張力至 80 kPa，再置回恆溫箱內孵育。每兩天取出土柱以秤重法調整水分。洗出液之無機態氮以微量擴散法測定。

二、盆栽試驗

採取本省 23 處蔬菜園之表土土壤 (0-15 cm，土壤性質列於表一)，於溫室內種植蔬菜作物，肥料施用處理分為：a. 不施氮肥，b. 氮肥用量依照作物施肥手冊之推薦用量施用，c. 將 b. 之用量增加 50% 施用，磷鉀肥則依施肥手冊之推薦量施用，並以化學萃取法測定土壤有效態氮含量，比較無氮處理之產量百分率與化學萃取法之相關。

三、調查測定項目：

(一) 土壤性質分析

質地：採 bouyoucos 比重計法 (王，1981)。酸鹼值：將 20 g 土壤與去離子水以

1:1 比例混和，攪拌均勻後靜置 1 小時，其間偶爾攪拌數次，以複合電極測定土懸浮液之 pH 值 (McLean, 1982)。土壤有機質分析：秤取經過 1 mm 篩篩過之風乾土壤 1 g，置 125 mL 三角瓶中，分別加入 10 mL 的 1 N 二鉻酸鉀、10 mL 的濃硫酸及 80 mL 純水搖勻，靜置待溶液澄清後，即以 600 nm 波長進行比色 (SPECTROPHOTOMETER SHIMADZO UV-120-01, JAPAN)，由標準曲線讀取其濃度 (張，1981)。土壤有效性磷分析：白雷氏第一法 (Bray P1 method) 一秤取 2 g 之風乾土壤，置於 50 mL 三角瓶中，加入 10 mL 0.025N HCl-0.03N NH₄F pH 3.5 (以 HCl 或 NH₄OH 校正) 之抽出液，加塞置於震盪機上搖動 40 秒，隨即以濾紙 (whatman No.2) 過濾。取 1 mL 的濾液置于 5 mL 的試管中，加 4.5 mL 的去離子水，再加入 0.5 mL 的還原混合劑 (1.5% L-ascorbic acid + 鉬酸鉍溶液) 搖勻後 30 分鐘後即以 882 nm 波長進行比色 (SPECTROPHOTOMETER SHIMADZO UV-120-01, JAPAN)，並由標準曲線計算其濃度。(註：鉬酸鉍溶液：溶 20 g 的鉬酸鉍 (Ammonium molybdate) 于

300 mL 得去離子水中，徐徐加入 450 mL 的 10N H₂SO₄，同時予以攪拌，次加入 100 mL 的 0.5% 酒石酸銻鉀溶液，最後定量至 1 L，並存於棕色玻璃瓶中。) (張，1981)。土壤有效性鉀：孟立克氏法 (Mehlich's method) 一稱取 5 g 之風乾土壤，置於 50 mL 三角瓶中，加入 20 mL 0.05 N HCl-0.025 N H₂SO₄ 之抽出液，加塞置於震盪機上搖動 5 分鐘，隨即以濾紙 (whatman No.2) 過濾，以焰光計測定 (張，1981)。有效態氮：10 g 土壤加 10% 氯化鉀溶液 100 mL，150 rpm 振盪一小時後過濾，濾液加硫酸亞鐵及鋅粉，以微量擴散法測定無機態氮含量 (Keeney and Nelson, 1986)。

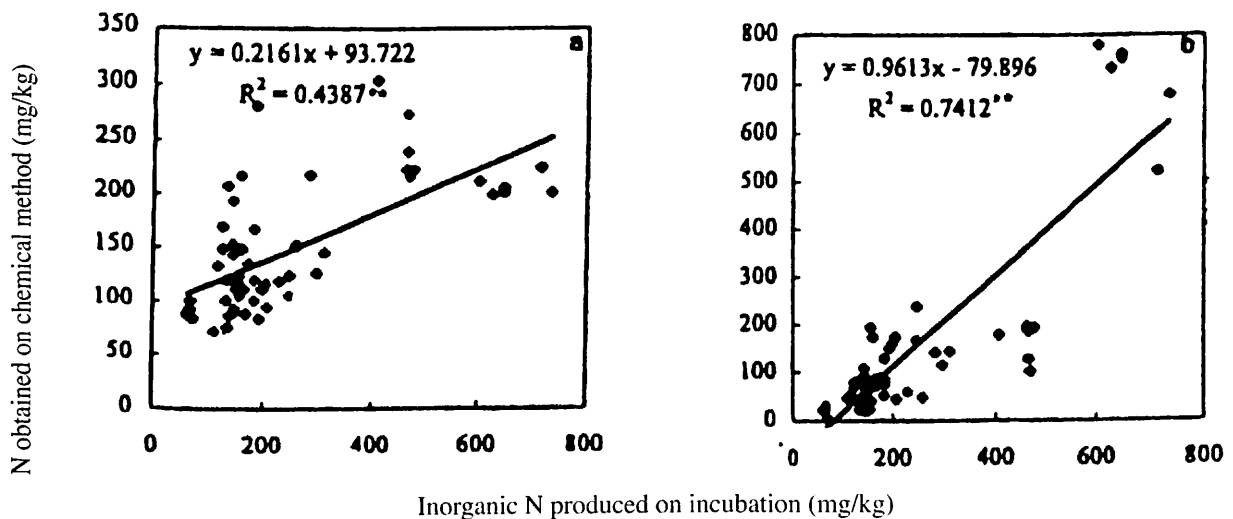
(二) 有機資材性質分析

酸鹼值：10 g 資材加 100 mL 去離子水，攪拌均勻後靜置一小時，其間偶爾攪拌數次，以複合電極測定 pH 值。全碳、全

氮：以元素分析儀 (Perkin Elmer series II 2400) 測定。碳氮比以元素分析儀所測得之全碳量除以同儀器所測得之全氮量得之。全磷：稱 0.5 g 資材，添加 6 mL 硝酸及過氯酸 (5:1) 混合液，靜置隔夜。翌日置於分解爐先以 140°C 加熱，分解至棕色氣體消失。再提高分解溫度至 190°C，待分解液澄清即可離爐放冷。加 3 N 鹽酸 5 mL，再置於 140°C 下加熱 10 分鐘即完成分解。分解液定量並以 Whatman No.2 濾紙過濾後，濾液以 JOBIN-YVON JY50P 感應耦合電漿分光光度計測定磷、鉀含量。

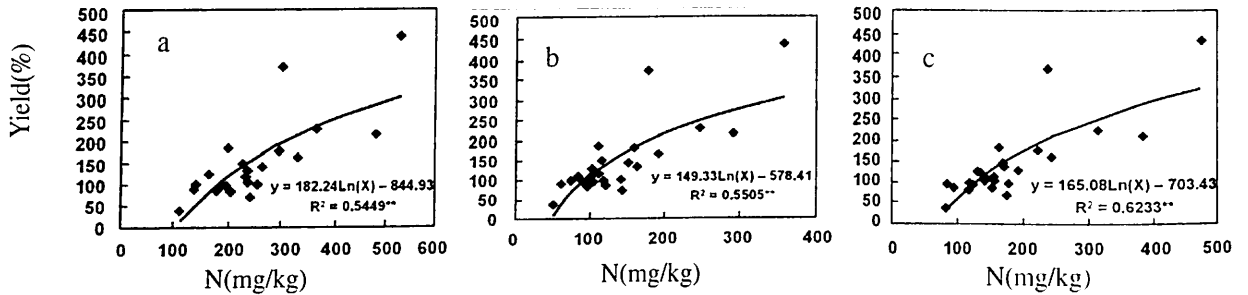
(三) 由土壤中有效態氮含量估計不施肥區之當作有效態氮供應量。

土壤有效態氮供應量外另加對照區所施有機質肥料之礦化預估量及所施化學氮肥用量則為對照區當作有效態氮供應之總預估量。



圖二、化學法萃取之氮量與以 30°C 孵育 14 天之無機態氮量之相關

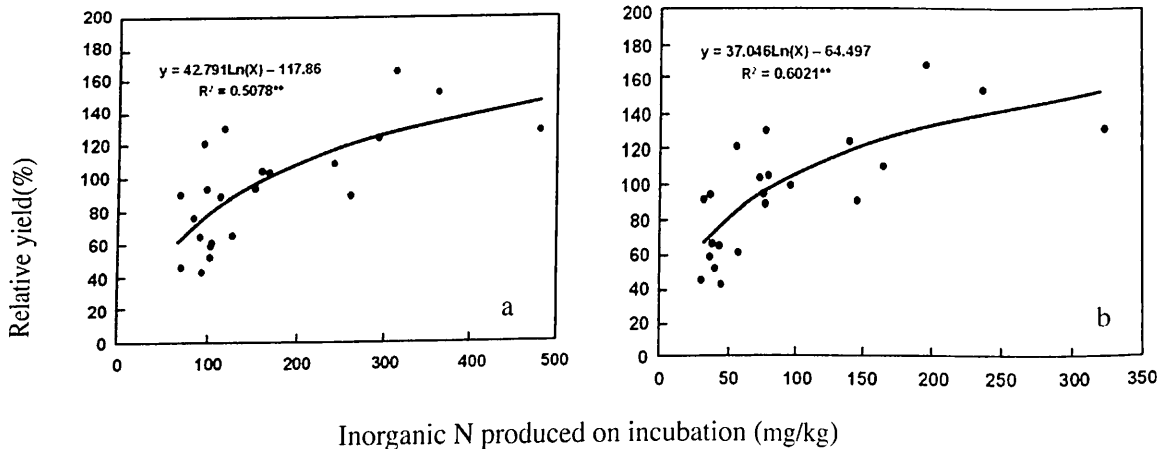
Fig.2 Relationship between nitrogen value obtained by chemical extraction method and nitrogen value produced by aerobic incubation of soil at 30°C for 14 days. (a. Hot 2 M KCl extraction method, b. Hot water extraction method)



a. Hot 2M KCl extraction method b. Hot water extraction method c. 10% KCl extraction method.

圖三、化學萃取法所得之氮量與甜玉米無氮產量百分率之相關

Fig.3. Relationship between nitrogen obtained on chemical method of soil and percent yield responses of sweet com to nitrogen.



圖四、化學萃取法所得之氮量與空心菜無氮產量百分率之相關

Fig.4 Relationship between nitrogen obtained on chemical method of soil and percent yield responses of water convolvulus to nitrogen. (a. Hot 2M KCl extraction method, b. 10% KCl extraction method)

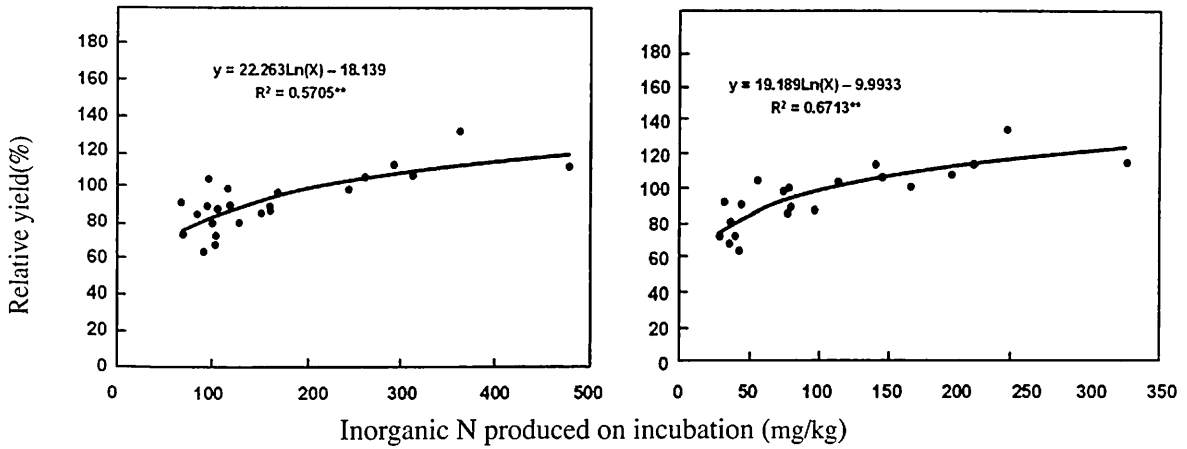
(四) 比較不施肥區蔬菜收量／氮素吸收量與該區土壤有效態氮含量之相關，及與對照區施肥效應之相關性。

結果與討論

一、土壤有效態氮之估測

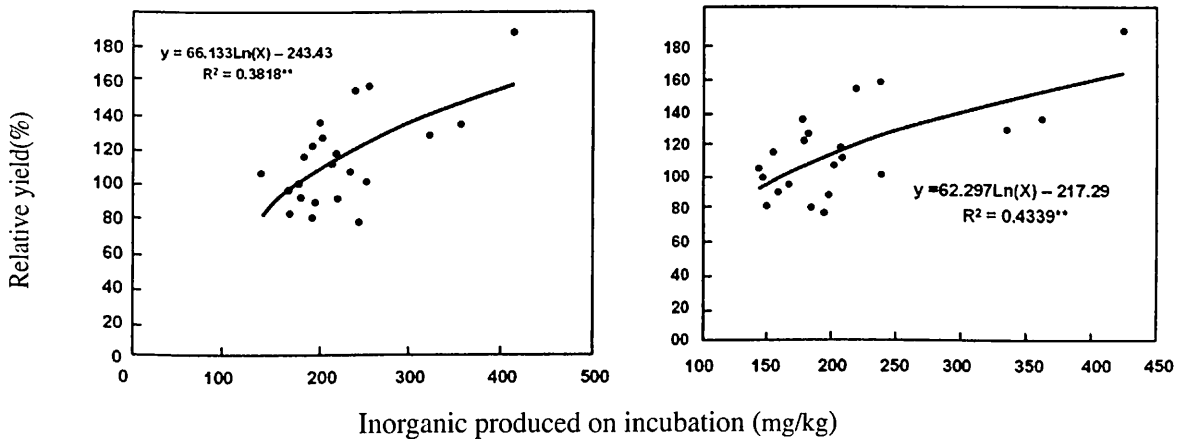
不同作物之生長期及養分之吸收特性

不同 (Sullivan *et al.*, 1999；連, 1974)，大部分作物在生長初期都需要相當量的氮，因此有關土壤氮肥力指數 (nitrogen indexes) 試驗，皆以孵育前兩週之氮礦化量作為評估基準，且皆與供試作物之氮吸收有良好相關 (Keeney, 1986)。故應用孵育淋洗法孵育 14 天累積所得之氮量，常被用來評估土壤對短生育期作物如蔬菜之供氮指標 (Keeney, 1986)。試驗結果顯示不同性質之田間試區



圖五、化學萃取法所得之氮量與白菜無氮產量百分率之相關

Fig.5 Relationship between nitrogen obtained on chemical method of soil and percent yield responses of pai-chi to nitrogen. (a. Hot 2M KCl extraction method, b.10% KCl extraction method)

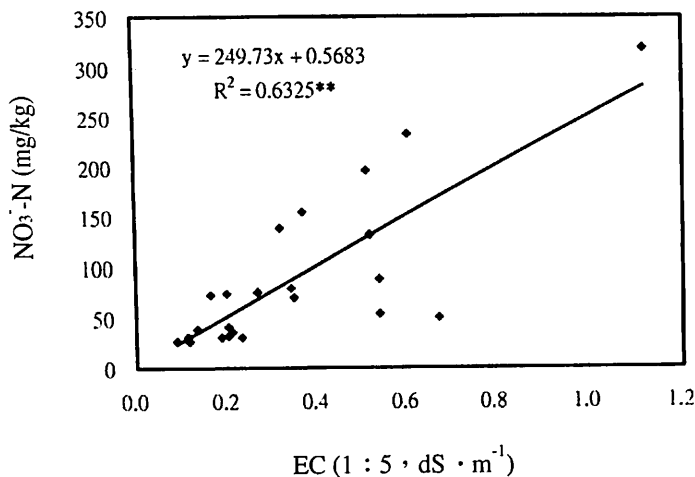


圖六、化學萃取法所得之氮量與萵苣無氮產量百分率之相關

Fig.6 Relationship between nitrogen obtained on chemical method of soil and percent yield responses of lettuce to nitrogen.(a. Hot 2M KCl extraction method, b.10% KCl extraction method)

表土經 14 天 (30°C) 孵育淋洗法累積之氮量與化學萃取法所得氮量之相關圖，以 10% 氯化鉀溶液萃取法及熱 2 M 氯化鉀溶液法萃取之氮量與孵育淋洗法之氮量間有顯著之正相關 (圖1)。另將五處試區土壤分別添

加入 0%、1% 及 5% 之豬糞堆肥、雞糞堆肥、牛糞堆肥及樹皮堆肥，經 14 天 (30°C) 孵育淋洗法累積之氮量，將孵育淋洗法及化學萃取法所得氮量兩者做相關圖，顯示熱水及熱 2 M 氯化鉀溶液萃取法所得之氮



圖七、蔬菜園土壤EC值與硝酸態氮之相關

Fig.7 Relationship between EC and NO₃⁻-N content in vegetable soils.

量與孵育法累積之氮量均有極顯著之正相關(圖2)。

二、盆栽試驗

採自蔬菜產區23處蔬菜園之土壤，於溫室內種植葉菜類蔬菜，以化學萃取法測定土壤之有效態氮量與蔬菜產量間之相關性，試驗結果顯示以10%氯化鉀溶液萃取法、熱2M氯化鉀溶液萃取法及熱水萃取法等三個方法所得之氮量與孵育法(30°C, 14天)累積之氮量均有極顯著之正相關。23處不同地區之蔬菜園土壤進行盆栽試驗種植空心菜、白菜及萵苣等葉菜及甜玉米之無氮處理產量百分率(無氮處理蔬菜產量÷施氮處理中最高之產量×100)與以10%氯化鉀溶液萃取法、熱2M氯化鉀溶液萃取法均有顯著正相關。惟熱水萃取法所得氮量與無氮處理產量百分率之相關僅有甜玉米達顯著正相關(圖三至圖六)。由上述結果顯示：無氮處理產量百分率達100%，表示施

用氮肥已沒有增產的效果；也就是土壤中已有足夠的氮可供蔬菜生長所需。故在無或較少淋洗狀態下，可應用上述二種化學萃取法(10%氯化鉀溶液萃取法、熱2M氯化鉀溶液萃取法)診斷土壤中有效氮含量，由相關方程式計算氮量達94-163 mg/kg及163-203 mg/kg，平均為124及181 mg/kg時，則應可考慮顯著減少或不施用氮素肥料。

雖然篩選出適宜應用於葉菜蔬菜園氮肥力診斷之化學萃取法，已較孵育淋洗法可大幅節省氮肥力診斷所需的時間。但是化學萃取法之田間採取土壤樣本後處理仍需經過土壤風乾及一連串的分析化驗步驟。因此進一步將23處蔬菜園之土壤以10%氯化鉀溶液萃取法硝酸態氮含量與EC測值做相關，結果顯示呈極顯著之直線正相關(圖7)。測定之EC值大於0.5 dS·m⁻¹，表示土壤中之硝酸態氮含量大於125 mg/kg，對葉菜類蔬菜栽培可不必施用氮肥。

結 論

三種氮肥力診斷之化學萃取法中以10%氯化鉀溶液萃取法較為便利快速，且與葉菜無氮處理產量百分率呈現極顯著的相關。其萃取液之硝酸態氮含量與電導度值也有極顯著之直線正相關，而蔬菜園土壤之無機態氮大多以硝酸態氮的型態存在，故電導度值可有效應用於蔬菜園現場土壤氮肥力診斷，提供蔬菜園生育期間土壤有效態氮供應量之指標，作為調整氮肥用量之參考。

參 考 資 料

- 作物施肥手冊。1996。行政院農業委員會、農業試驗所及中華永續農業協會編印。
- 王新傳。1981。鮑氏土壤機械分析法，作物需肥診斷技術。P.27-29。台灣省政府農林廳及行政院農業委員會編印。
- 方英傑。1995。土壤分析手冊(第二版)--氮。中華土壤肥料學會主編。248-250頁。台中市。
- 李俊儀。1996。堆肥施用對強酸性土壤氮和磷礦化作用的影響與評估。國立中興大學碩士論文。pp137。
- 林毓雯、劉滄琴、王鐘和(通訊作者)。2003。有機資材氮礦化特性研究。中華農業研究 52 : 178-190。
- 連深。1974。蔬菜作物之養分吸收及施肥效應。中華農業研究 23(4) : 263-272。
- 張愛華。1981。本省現行土壤測定方法，作物需肥診斷技術。P.9-15。台灣省政府農林廳及行政院農業委員會編印。
- 鍾仁賜、王鐘和、王俊文、王銀波。1999。不同施肥下水稻之生長及氮吸收與分佈。土壤與環境 2 : 65-76。
- 赤塚惠、坂柳迪夫。1964。土壤、窒素供給力檢定方法2, 3考察。北海道農業試驗場彙報第83號。64-70頁。
- 前田乾一、志賀一一。1978。水田條件下における各種有機資材の分解經過日本土壤肥料學雜誌。49 : 160-173。
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen, inorganic forms of nitrogen, organic forms of nitrogen, nitrogen availability indexes. In C. A. Black *et al.*(ed.) Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy 9:1149-1255, 1324-1348. Am. Soc. Of Agron., Inc., Madison, wis.
- Chang, S.S. 1995. Country report of the Republic of China · In the Seminar on Appropriate use of fertilizers.2-1-2-23.
- Fang, I.J. S.W. Li and C.C. Wang. 1992. Hot-water extract method for assessing the nitrogen availability of sugarcane field soils. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., 21th Congress. In press.
- Fox, R.H., R.J.K. Myers, and I. Vallis. 1990. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. Plant Soil 129:251-259.
- Gianello, C. and J.M.Bremner. 1986. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil .Soil Sci. Plant Anal .17(2)195-214.
- Gianello, C., and J.M.Bremner. 1986. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. Soil Sci. Plant Anal .17 (2)215-235.
- Vallis, I. and R. J. Jones. 1973. Net mineralization of nitrogen in leaves and leaf litter of *Desmodium intortum* and *Phaseolus*

- atropurpureus* mixed with soil. *Soil Biol. Biochem.* 5:391-398.
- Castellanos, J.Z. and P.F. Pratt. 1981. Mineralization of nitrogen-correlation with laboratory indexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:354-357.
- Douglas, B.F., and F.R. Magdoff. 1991. An evaluation of nitrogen mineralization indices for organic residues. *J. Environ. Qual.* 20:368-372.
- Keeney, D.R. 1986. Nitrogen-availability indices. p711-733, in: *Methods of Soil Analysis, Part2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd Edition. (Page A. L., R.H. Miller, and D.R. Keeney, eds.) American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Keeney, D.R., and D.W. Nelson. 1986. Nitrogen-inorganic forms. p643-698. in: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd Edition. (Page A. L., R. H. Miller, and D.R. Keeney, eds.) American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Sullivan, D. M., J. M. Hart and N. W. Christensen. 1999. Nitrogen uptake and utilization by Pacific Northwest crops. Oregon State University. 18pp.
- Stanford, G. and S.J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36 : 465-472.