

氮肥減量對甘藍產量之影響¹

賴文龍、曾宥紘²

摘 要

本試驗於南投縣仁愛鄉進行甘藍肥培管理技術之研究，以建立山區低污染及維護作物產量、品質與減量肥培管理技術。試區處理以農民慣用量(800 kg N ha⁻¹，分4次施)、合理施肥量(400 kg N ha⁻¹，分4次施)、合理施肥量(400 kg N ha⁻¹，分6次施)、合理化施肥量(400 kg N ha⁻¹)加60 kg ha⁻¹硝化抑制劑Dicyandiamide (DCD)，分6次施及合理化施肥之半量氮肥用量(200 kg N ha⁻¹)加半量硝化抑制劑(DCD)，分6次施用。結果顯示甘藍作物在合理化施肥減量下，以200 kg N ha⁻¹之用量與30 kg ha⁻¹ DCD硝化抑制劑配合使用時，較農民慣用肥料量(800 kg N ha⁻¹，分4次施)之處理增加甘藍產量17.4%，而合理化施肥量(400 kg N ha⁻¹，分6次施)與農民慣用量相比其甘藍產量並無差異。顯示高山區種植甘藍之氮肥用量減半再配合加DCD硝化抑制劑使用，可增加產量並減輕施肥造成之水質污染。

關鍵字：肥培管理、甘藍、硝化抑制劑

前 言

臺灣降雨量雖為全球平均降雨量的2.6倍，然因降雨分佈不均，興建水庫以保持穩定的供水量有其必要性⁽¹⁾。根據環保署的調查，國內半數以上的水庫均已面臨了優養化的威脅。國內水庫優養化的原因主要乃因集水區過度開發及超限利用，其中包括觀光遊憩活動及果樹、蔬菜、茶葉的種植，使大量的營養源(磷、氮)流入水庫，造成藻類過度生長、繁殖，使溶氧耗竭、水質變壞^(5,6,10,12,13,15,16)。水庫集水區內土壤肥沃，雨量充沛及氣溫適宜，甚有發展農、林業之潛力，然低海拔地區山坡地常種植作物如雜作、柑桔、梨、桃、柿、茶，高海拔地區(海拔1,000公尺以上)多種溫帶果樹(如溫帶梨、蘋果、甜柿、梅、李、水蜜桃等)、花卉、蔬菜(如甘藍、大蒜、菠菜及包心白菜等)及茶。為利於坡地利用宜發展適當之農耕制度，如輪作、複作及覆蓋耕種，推行綜合農業經營^(1,8)。臺灣現在有許多水庫，集水區呈現不同的開發，而且，大部分集水區經人民或業者長久開發，要如何整治成為問題。因此，各地區各類型土地使用對水庫集水區的危害情形，應加以類型化篩選出危害嚴重地點以進行處置；對較不嚴重的地區，則透過拆遷補償、農藥肥料使用技術的指導、低污染農藥低價或免費的發送等誘因手段，以減少污染。此外，也不排除在較高污染危害地區實行總量管制(亦即採用經濟誘因手段)，

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第0846號。

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員、助理研究員。

或非點源控制，以達成最佳管理作業的目標^(3,9)。如有必要，不排除政府自費開闢梯田或各種設施，以協助居民做好水庫集水區水土保持及污染防治^(2,14)。此外，保護區內的居民因長期忍受土地利用受限的不公平待遇，以致抗爭事件迭起，造成社會不安與政府公信力的式微，故應加強研擬水庫集水區管理改善措施，以增進土地利用，維護水源安全。本研究為減少長期施肥不當，造成集水區水質劣化而增加水質處理成本，故針對集水區土壤特性，研究改良肥料施用技術，以達到降低水質優養化⁽³⁾，及提高農產品品質和增加農民收益^(4,10,12)的三贏目標。

材料與方法

田間設計及肥培管理

本試驗於南投縣仁愛鄉進行肥料減量施用肥培管理技術之研究。供試甘藍品種228，肥料用硫酸銨、過磷酸鈣、氯化鉀及Dicyandiamide (DCD)硝化抑制劑等材料，石灰資材以石灰石粉，有機質肥料以本場自製堆肥採用香菇太空包廢木屑與牛糞(1:1)經醱酵製成，腐熟堆肥成分為N 0.45%、P 1.71%、K 2.06%、Ca 2.48%、Mg 1.13%、Cu 15 mg kg⁻¹、Mn 319 mg kg⁻¹、Zn 226 mg kg⁻¹、Fe 641 mg kg⁻¹。本試驗採逢機完全區集設計，5處理4重覆共20小區，每小區20 m²，試驗處理：A處理為農民慣行用量，其三要素(N-P₂O₅-K₂O)為800-200-300 kg ha⁻¹，分4次施；B處理為合理施肥量三要素(N-P₂O₅-K₂O)為400-90-180 kg ha⁻¹，分4次施；C處理同B處理之合理施肥量分6次施；D處理同C處理每小區每次施用20g DCD硝化抑制劑與氮肥混合均勻後施用，E處理同D處理，但氮肥及DCD抑制劑各減半(10g DCD)，分6次施用，DCD與氮肥混合均勻後施用。石灰石粉於種植前20天全區施用並均勻混入土層中作改良，農民栽培甘藍慣行量及合理施肥量試區之化學肥料用量氮、鉀肥各40%及磷肥與有機質肥料全量當作基肥施用，A、B處理氮、鉀肥分4次，種植後每隔15天施一次追肥，C、D、E處理氮、鉀肥之追肥分6次於植後每隔10天施1次追肥，並依作物施肥手冊行之。

表一、試驗處理

Table 1. Treatments

Treatments	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg ha ⁻¹)	DCD (kg ha ⁻¹)
A.農民慣用量(氮、鉀肥分4次施)	800-200-300	—
B.合理化施肥量(氮、鉀肥分4次施)	400-90-180	—
C.同B處理(氮、鉀肥分6次施)	400-90-180	—
D.同C處理(氮肥+DCD硝化抑制劑施用，氮、鉀肥及DCD分6次施)	400-90-180	60
E.同D處理(氮肥+DCD硝化抑制劑各減半施用，氮、鉀肥及DCD分6次施)	200-90-180	30

調查及分析項目

試區土壤樣本於種植前及收穫時以隨機採取表土(0~20 cm)，經風乾、碎土、過篩(2 mm)。pH值以玻璃電極法測定 水：土(v:w) = 1:1⁽⁷⁾、有機質以Walkley-Black法測定^(7,25,30)、電導度EC (electrical conductivity, 水土比= 1:1)⁽⁷⁾，土壤全氮(N)以硫酸消化，土壤銨態氮及硝酸態氮用2N KCl抽取，用擴散法測定等⁽²³⁾、Bray-1磷以白雷氏第1法(Bray P1 Method)測定⁽³¹⁾、交換性鉀、鈣、鎂以1 M中性醋酸銨萃取，再以原子吸收光譜儀或火焰光度計測定^(25,30)。取甘藍結球之外葉植體樣本以70°C烘乾磨粉，分析植體要素含量。氮之定量以濃硫酸消化分解後，用微量擴散法測定⁽¹⁷⁾，磷、鉀、鈣、鎂之測定則先用硝酸、硫酸與過氯酸(4:1:1)等三酸混合液分解，磷用鉬黃法定量⁽³⁵⁾，鉀用焰光分析法⁽²⁵⁾，鈣及鎂則用原子吸光法測定^(2,6,26)。甘藍生育期調查園藝性狀及產量等資料先做變方分析後，再以Duncan最小顯著變域法比較處理之差異性⁽¹³⁾。甘藍糖度以手持曲折計(Hand refractometer; Atago model N1)測定，甘藍採收後收集菜梗汁液以進行可溶性固形物含量分析。

結果與討論

對甘藍土壤肥力之影響

本試區土壤肥力在試驗前與試驗後之比較，一般甘藍適宜土壤pH值於5.6~6.8間，試驗前土壤pH值5.33，於種植前20天施用石灰資材2,000 kg ha⁻¹量改良調整土壤酸鹼度，採收時土壤pH值已達6.31~6.81均較改良前提升0.98~1.48單位，可使甘藍作物對土壤中有效養分吸收量增加，因此具有可減少肥料用量之效果。大部分作物喜近微酸至中性的土壤，整體土壤養分之植物有效性以土壤pH值在6.5附近最佳^(10,12)。土壤交換性鉀含量為254~344 mg kg⁻¹較種植前150 mg kg⁻¹增加約104~194 mg kg⁻¹含量，可能因鉀肥及有機質肥料施用所致。前人研究提及石灰添加可加速有機質肥料分解，且研究指出微生物分解有機物而釋出之有機酸或其本身分泌之有機酸有增加礦物鉀之溶出效果^(20,37,39,40)。本試驗因有機質及石灰施用，是否因此提高有機質分解及有機酸生成而增加礦物性鉀之溶出則仍需論證。土壤交換性鈣亦因施石灰資材改良後，其含量較未施前698 mg kg⁻¹增加747~1,113 mg kg⁻¹含量。Dicyandiamide (DCD)硝化抑制劑可抑制硝化菌*Nitrosomonas* spp.之硝化作用活性⁽²¹⁾而減少NO₃-N的淋洗，並可增加作物生長^(24,27,28,29,33,38,41,43)。Di和Cameron⁽¹⁹⁾研究提及DCD對除*Nitrosomonas* spp.外之土壤微生物並無毒害且不影響土壤微生物之生質量。然而，其施用至土壤中易受土壤微生物降解，且隨著土壤溫度、pH、濕度及有機質含量的增加而減少其效力^(19,22,33,34,35)，因此，本研究將分多次施用，以減少1次施用後在土壤中降解而失去效用，其使用時與氮肥混合後施用。土壤全氮含量經減肥處理或搭配硝化抑制劑DCD處理皆與慣行用量處理無顯著差異，而D處理之土壤氮含量有降低的趨勢，可能原因為土壤有機質含量較低或因為添加硝化抑制劑DCD所致，前人研究提及硝化抑制劑的施用，將導致氮揮失量的增加^(18,32)，而減半合理化氮肥及DCD用量之E處理，其土壤硝態氮有減少趨勢。本研究結果顯示減少肥料施用量(處理B及C)，其土壤肥力

與農民慣用施肥量無顯著差異，顯示在酸性土壤中施用石灰資材改良土壤理化性質，可增加土壤中有效養分被作物吸收利用，相對可減少肥料用量，以達合理化施肥目標。

表二、甘藍試區採收後之土壤肥力

Table 2. Soil property by different fertilizer treatments after harvesting cabbage

Treatment ¹	pH	EC	OM	Bray 1	Exchangeable			Total	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
	1:1	1:1		P	K	Ca	Mg	N	mg kg ⁻¹	
		dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹				(%)		
A	6.45a ²	1.48a	31bc	369a	312a	1,380a	126a	0.17ab	15.3a	31ab
B	6.51a	1.39ab	35ab	325a	344a	1,811a	139a	0.19a	13.3a	29ab
C	6.59a	1.41ab	33bc	325a	293a	1,497a	142a	0.18a	11.3a	34a
D	6.49a	1.34ab	30c	336a	254a	1,445a	135a	0.15b	8.8a	35a
E	6.47a	1.22b	38a	356a	296a	1,604a	129a	0.19a	12.8a	25b

¹The same as Table 1.

²Within columns, numbers followed by the same letter are not significantly different, using Duncan's Multiple Range Test ($P \geq 0.05$).

對甘藍葉片植體濃度之影響

甘藍植後60天採球莖外葉進行礦物元素濃度分析(表三)並換算成甘藍葉片吸收量(表四)，結果葉氮濃度以D處理(合理化施肥量+DCD硝化抑制劑施用)含量最高，C處理(合理化施肥量，分6次施用)及E處理(合理化施肥量及硝化抑制劑減半且分6次施用)葉氮濃度最低，硝化抑制劑DCD處理之葉鉀及鎂較無添加DCD處理者為高，而葉鈣濃度則因添加石灰質材，土壤鈣含量高，於各處理之葉片鈣含量無顯著差異。微量元素中葉錳及鋅濃度隨著氮肥用量減少及DCD硝化抑制劑施用而減少。結果顯示，減施氮肥+DCD之處理，甘藍葉片磷、鉀、鈣、鎂、銅、鐵與農民慣用施肥量下並無減少，僅C處理之氮、D處理之錳及E處理之氮及錳、鋅較為減少。甘藍葉片養分吸收量顯示，減施化肥分多次施用會減少甘藍對銅、錳及鋅的吸收，其他元素吸收量在各處理間(表四)並無顯著差異。本研究結果顯示減施化肥處理僅影響甘藍對銅、錳及鋅吸收量的減少。因此，除微量元素之外，減施氮肥及添加DCD之處理不會因減少施肥量而土壤肥力降低後影響甘藍對其他養分之吸收。

表三、甘藍葉片植體之礦物元素濃度

Table 3. The concentration of cabbage leaf nutrition elements

Treatment ¹	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe	Dry Wt
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				g/leaf
A	35.5a ²	7.8ab	40.9ab	11.5a	3.5b	3a	152a	57a	157ab	31.9ab
B	35.7a	7.5b	38.9b	11.7a	3.4b	4a	140a	55ab	168a	31.06ab
C	32.1b	7.3b	39.8b	11.6a	3.7b	3a	103ab	43ab	142b	34.52a
D	36.4a	8.3a	43.6a	11.6a	4.7a	3a	84b	48ab	125b	29.12b
E	32.9b	7.9ab	43.4a	11.9a	4.9a	2a	54b	36b	180a	33.12ab

¹The same as Table 1.

²Within columns, numbers followed by the same letter are not significantly different, using Duncan's Multiple Range Test ($P \geq 0.05$).

表四、施肥處理對甘藍葉片營養要素吸收量之影響

Table 4. The effects of different fertilizer treatment on the nutrient uptakes of cabbage leaf

Treatment ¹	Nutrient elements contain in leaf								
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	Fe
	g					mg			
A	1.14a ²	0.25a	1.31a	0.37a	0.11a	0.10a	4.84a	1.80a	5.01a
B	1.11a	0.23a	1.20a	0.36a	0.11a	0.11a	4.26a	1.69a	5.19a
C	1.10a	0.25a	1.37a	0.40a	0.13a	0.09ab	3.52b	1.49b	4.83a
D	1.09a	0.24a	1.27a	0.34 a	0.13 a	0.09 ab	2.44c	1.39b	3.62a
E	1.06a	0.26 a	1.44a	0.39 a	0.17 a	0.07 b	1.80d	1.18c	6.08a

¹The same as Table 1.

² Within columns, numbers followed by the same letter are not significantly different, using Duncan's Multiple Range Test ($P \geq 0.05$).

對甘藍產量及園藝性狀之影響

甘藍產量調查結果如表五，合理化施肥用量(B處理)之N-P₂O₅-K₂O為400-90-180 kg ha⁻¹，甘藍產量15,440 kg ha⁻¹較農民慣用施肥量(A處理)之N-P₂O₅-K₂O為800-200-350 kg ha⁻¹之甘藍產量22,703 kg ha⁻¹減產32% (7,263 kg ha⁻¹)，同B處理但氮肥分6次施用之C處理其甘藍產量為22,933 kg ha⁻¹較B處理增加48.5% (7,493 kg ha⁻¹)。同C處理加施全量DCD硝化抑制劑(D處理)甘藍產量23,520 kg ha⁻¹較未添加DCD硝化抑制劑之C處理產量增加2.6% (587 kg ha⁻¹)，另較未添加DCD硝化抑制劑且4次施肥之B處理增產52.3% (8,080 kg ha⁻¹)，同D處理於氮肥及DCD硝化抑制劑各減半(E處理)其甘藍產量26,643 kg ha⁻¹較D處理增產13.3% (3,123 kg ha⁻¹)。顯示農民慣用肥料量(A處理)較合理化施肥量之B處理氮素增加2倍、磷酐增加2.2倍、氧化鉀增加1.9倍量而甘藍收穫產量相差32% (7,263 kg ha⁻¹)，而合理化施肥之氮肥分6次施用後其甘藍產量與A處理相似，而甘藍肥培管理可節省氮素400 kg N ha⁻¹、磷酐110 kg P₂O₅ ha⁻¹、氧化鉀120 kg K₂O ha⁻¹之肥料量，以達減施化肥，減少下游集水區水質劣化目標。肥培管理過程中比較配合施DCD硝化抑制劑(處理D)及未添加DCD硝化抑制劑之C處理，其甘藍產量有顯著增加，顯示DCD硝化抑制劑具有減少氮肥流失之效果。若比較處理D之氮肥及DCD硝化抑制劑用量及氮肥+DCD硝化抑制劑各減半(處理E)之甘藍產量相差13.3% (3,123 kg ha⁻¹)，顯示本試區之試驗下，甘藍肥培管理上減施氮肥配合加施DCD硝化抑制劑，可再節省氮200 kg N ha⁻¹用量且產量有增加的效果，此肥培模式之增產或許可吸引農民採用，並減少氮肥過量施用後，導致下游集水區水質劣化，然而，施用DCD使施肥成本增加及多次施肥使工資增加，是否會阻礙農民參照應用此施肥模式之意願仍需評估。於本區域種植農作物以不減產情況下如配合DCD硝化抑制劑+200 kg N ha⁻¹其氮肥施用量可節省75% (600 kg N ha⁻¹)，對甘藍產量有增產17.4% (3,940 kg ha⁻¹)之效果。前人研究指出，硝化抑制劑DCD，對於減少NO₃-N的淋洗效用，應從施用DCD後作物產量是否增加進行評估^(36,42)。本研究結果顯示硝化抑制劑DCD的施用可較未施用處理者產量明顯增加，有達DCD之施用效果。顯示高山地區之氮肥極易自土壤流失，因

此，就算減少氮肥用量，輔以6次施用(處理C)其產量和農民慣行施肥量之處理相近，若減少氮肥施用再加上DCD硝化抑制劑分6次施用(處理E)則其產量最高。因此，整體而言本試區種植甘藍高冷蔬菜之肥培管理有降低氮施用量的效果。

園藝性狀及品質方面(如表五)，在粒重、球縱徑、球橫徑、徑厚等性狀均以E處理表現最佳，而合理化施肥用量(B處理)表現較差，顯示山區氮肥施用次數應提高，以免減少肥料用量後，肥料自土壤流失導致土壤肥分減少而影響甘藍生長，顯示高山地區減少施肥量需增加施肥頻度對甘藍生育較佳。合理化施肥用量加施DCD硝化抑制劑後對甘藍之可溶性固形物低與農民慣行施肥量並無顯著差異。

外觀性狀方面(如表六)，30天生育株高各處理無顯著差異。60天生育株高調查以E處理較其他處理生長勢較佳，葉幅寬度經採收前調查以E處理葉幅寬度最大，其次為農民慣用量(A處理)，餘處理差異不顯著，然而，D處理之株高及葉幅寬度最低，但產量並非最低，因此，本研究顯示甘藍株高及葉幅寬度無法作為預測甘藍產量之指標。

表五、對甘藍園藝性狀及產量之影響

Table 5. The characteristics and yield of cabbage after treatment

Treatment ¹	Height (cm)	Width of head (cm)	Fresh wt. of head (kg)	Diameter thickness (cm)	Sugar content (°Brix)	Yield (kg ha ⁻¹)	Index (%)
A	16.8b ²	15.0a	1.31b	11.7ab	5.1ab	22,703c	100.0
B	14.7c	13.1b	0.90c	11.6b	5.5a	15,440d	68.0
C	16.8b	15.2a	1.33ab	12.7ab	5.1ab	22,933c	101.0
D	17.3b	14.9a	1.35ab	12.7ab	4.7b	23,520b	103.6
E	18.4a	15.6a	1.51a	13.0a	5.0ab	26,643a	117.4

¹ The same as Table 1.

² Within columns, numbers followed by the same letter are not significantly different, using Duncan's Multiple Range Test ($P \geq 0.05$).

表六、對甘藍不同生育期之株高及外觀調查

Table 6. The height and width of cabbage in different growth stage

Treatment ¹	Plant height (cm)		Plant width(cm)
	30 day	60 day	
A	20.3a ²	38.2b	57.9b
B	19.3a	37.2c	53.8bc
C	19.2a	36.5cd	55.5bc
D	19.4a	35.7d	52.2c
E	20.1a	39.1a	66.4a

¹ The same as Table 1.

² Within columns, numbers followed by the same letter are not significantly different, using Duncan's Multiple Range Test ($P \geq 0.05$).

參考文獻

1. 李朝賢、萬鍾汶、陳明健、王素鸞、江榮吉、林宗賢 2001 農業產業及資源經濟研究 p.244 行政院國家科學委員會技術資料中心編印。
2. 李蘭帝 1966 大量植體樣本氮、磷、鉀之迅速測定法 中華農業研究 15: 1-5。
3. 林鎮洋、謝政道、邱逸文 2001 水庫集水區分級分區管理決策支援系統之研究 p.15-1~15-18 第七屆國際飲用水水質管理及處理技術研討會論文集。
4. 洪富文、夏禹九 1996 施肥對濱水帶土壤水化學性質的影響 p.51-65 臺灣省林業試驗所水土保持學報。
5. 張清寬、李淑美、楊美珠 2001 集水區茶園保育與利用管理技術研究(1) p.9 行政院國家科學委員會技術資料中心編印。
6. 張淑賢 1981 本省現行植物體分析法 p.53-59 作物需肥診斷 臺灣農業試驗所特刊13號 臺中 臺灣。
7. 張愛華 1981 本省現行土壤測定方法 p.9-26 作物需肥診斷 臺灣農業試驗所特刊13號 臺中 臺灣。
8. 許中立、黃國輝、蘇正炎、何世華 2001 林地不同土壤利用對土壤滲透特性之影響 p.55-62 第十二屆水利工程研討會論文集。
9. 陳秋楊、鄭皆達、王敏昭、陳伯中、郭振泰、林昭遠、楊明德 2001 德基水庫集水區第四期整體治理計畫水質監測與管理 p.378 行政院國家科學委員會技術資料中心編印。
10. 陳振鐸 1987 基本土壤學 徐氏基金會出版 臺北 臺灣。
11. 陳萬成、陳慶林 1995 德基水庫和集水區水質整合模式(III) p.190 經濟部水資源局編印。
12. 郭魁士 1990 土壤學 中國書局 臺北 臺灣。
13. 葉樹藩 1986 試驗設計學 臺灣大學農學院 臺北 臺灣。
14. 游繁結 1996 高冷蔬菜及坡地肥料流失對水土保持影響之研究 p.107-118 八十四年度水土保持及集水區經營研究計畫成果彙編。
15. 黃金山 2002 臺灣水資源永續發展策略 p.18-1~18-6 兩岸永續發展研討會論文集。
16. 黃俊德、徐森雄、陳慶雄 1996 水土保持處理對陡坡果園保土蓄水及果樹生長勢之影響 p.119-141 八十四年度水土保持及集水區經營研究計畫成果彙編。
17. Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. p.595-624. In: Page, A. L. H. Miller and D. R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd edition. ASA. Madison. Wisconsin. USA.
18. Davies, D. M. and P. J. Williams. 1995. The effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide on nitrate leaching and ammonia volatilization: A U.K. Nitrate Sensitive Areas perspective. J. Environ. Manage. 45: 263-272.
19. Di, H. J. and K. C. Cameron. 2004. Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on potassium, magnesium and calcium leaching in grazed grassland. Soil Use Manage. 20: 2-7.

20. Friedrich, S., N. P. Platonova, G. I. Karavaiko, E. Stichel and F. Glombitza. 1991. Chemical and microbiological solubilization of silicates. *Acta. Biotech.* 11: 187-196.
21. Hauck, R. D. 1980. Mode of action of nitrification inhibitors. p.19-32. In: Hauck, R. D. (eds). *Nitrification Inhibitors-Potentials and Limitations*. Am. Soc. Agron. Pub. Madison. WI. U.S.A.
22. Irigoyen, I., J. Muro., M. Azpilikueta., T. P. Aparicio and C. Lamsfus. 2003. Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMPP at various temperatures. *Australian J. soil Res.* 41: 1177-1183.
23. Keeney, D. R. and D. W. Nelson. 1982. Nitrogen-Inorganic Form. p.643-698. In: Page, A. L. H. Miller and D. R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2*. 2nd edition. ASA. Madison. Wisconsin. USA.
24. De Klein, C. A. M., R. S. P. van. Logtestijn, H. G. van de Meer and J. H. Geurink. 1996. Nitrogen losses due to denitrification from cattle slurry injected into grassland soil with and without a nitrification inhibitor. *Plant Soil.* 183: 161-170.
25. Kundsén, D., G. A. Peterson and P. F. Partt. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. p.225-246. In: Page, A. L. H. Miller and D. R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2*. 2nd edition. ASA. Madison. Wisconsin. USA.
26. Lanyon, L. E. and W. R. Heald. 1982. Magnesium, Calcium, Strontium, and Barium. p.247-262. In: Page, A. L. H. Miller and D. R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2*. 2nd edition. ASA. Madison. Wisconsin. USA.
27. McTaggart, I., H. Clayton and K. Smith. 1994. Nitrous oxide from fertilized grassland: strategies for reducing emissions. Non-CO₂ greenhouse gases: Why and how to control? Proceedings of an international symposium. Maastricht, Netherlands, 13-15 December 1993. Non-CO₂ greenhouse gases: Why and how to control? Proceedings of an international symposium, Maastricht, Netherlands, 13-15 December, 1993. p.421-426. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht., Netherlands.
28. McTaggart, I. P., H. Clayton, J. Parker, L. Swan and K. A. Smith. 1997. Nitrous oxide emissions from grassland and spring barley, following N fertilizer application with and without nitrification inhibitors. *Biol. Fert. Soils.* 25: 261-268.
29. Merino, P., J. M. Estavillo, L. A. Graciolli, M. Pinto, M. Lacuesta, A. Munoz-Rueda and C. Gonzalez-Murua. 2002. Mitigation of N₂O emissions from grassland by nitrification inhibitor and Actilith F2 applied with fertilizer and cattle slurry. *Soil Use Manage.* 18: 135-141.
30. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter, p.539-579. In: Page, A. L. H. Miller and D. R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2*. 2nd edition. ASA. Madison. Wisconsin. USA.

31. Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. p.403-430. In: Page, A. L. H. Miller and D. R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd edition. ASA. Madison. Wisconsin. USA.
32. Prakasa Rao, K. V. and K. Puttanna. 1987. Nitrification and ammonia volatilization losses from urea and Dicyandiamide treated urea in a sandy loam soil. *Plant Soil* 97: 201-206.
33. Prasad, R. and J. Power. 1995. Nitrification inhibitors for agriculture, health and the environment. *Adv. Agron.* 54: 233-2281.
34. Puttanna, K., N. M. Gowda and E. V. S. P. Rao. 1999. Effect of concentration, temperature, moisture, liming and organic matter on the efficacy of the nitrification inhibitors benzotriazole, o-nitrophenol, m-nitroaniline and dicyandiamide. *Nutr. Cycl Agroecosys.* 54: 251-257.
35. Rodgers, G. A., K. N. Wickramasinghe and D. S. Jenkinson. 1985. Mineralization of dicyandiamide, labeled with ¹⁵N, in acid soils. *Soil Biol. Biochem.* 17: 253-254.
36. Rogers, G. A. and J. Ashworth. 1982. Use of nitrification inhibitors to improve recovery of mineralized nitrogen by winter wheat. *J. Sci. Food Age.* 33: 1219-1226.
37. Sheng, X. F. and L. Y. He. 2006. Solubilization of potassium bearing minerals by a wild type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. *Canadian J. Microbiol.* 52(1): 66-72.
38. Stelly, M. 1980. Nitrification Inhibitors- Potentials and Limitations. In: ASA Special Publication No.38. American society of Agronomy, Soil Science Society of America, Maddison, Wisconsin.
39. Styriakova, I., I. Styriak, I. Galko, D. Hradil and P. Bezdicka. 2003. The release of iron bearing minerals and dissolution of feldspar by heterotrophic bacteria of *Bacillus* species. *Ceramic. Silicaty.* 47(1): 20-26.
40. Ullman, W. J., D. L. Kirchman and W. A. Welch. 1996. Laboratory evidence by microbioally mediated silicate mineral dissolution in nature. *Chem. Geol.* 132: 11-17.
41. Velthof, G. L., O. Oenema, R. Postma and M. L. van Beusichem. 1997. Effects of type and amount of applied nitrogen fertilizer on nitrous oxide fluxes from intensively managed grassland. *Nutr. Cycl Agroecosys.* 46: 257-268.
42. Webb, J., M. Froment and R. Sylvester-Bradley. 1991. Effects of cultivation and nitrification inhibitor on soil nitrogen availability after a grass ley and on the response of the following cereal crop to fertilizer nitrogen. *J. Agr. Sci.* 117: 9-21.
43. Williamson, J. C., M. D. Taylor, R. S. Torrens and M. Vojvodic-Vukovic. 1998. Reducing nitrogen leaching from dairy farm effluent-irrigated pasture using dicyandiamide: a lysimeter study. *Agr. Ecosyst. Environ.* 69: 81-88.

Rational Nitrogen Fertilization Efforts on Cabbage Yield ¹

Wen-Lung Lay and You-Hong Zeng²

ABSTRACT

In order to maintain a low pollution and produce high quality and yield of crops in the alpine area, the rational fertilization practice should be established. An rational fertilization experiment on cabbage was conducted in Renai township, Nantou County. Five treatments in different amounts of nitrogen (N) supply including: A treatment as farmers' regular amount (4 times supply with 800 kg N ha⁻¹), B treatment as rational fertilization (4 times with 400 kg N ha⁻¹), C treatment as the same as B treatment (six times with 400 kg N ha⁻¹). D treatment as C treatment but with additional nitrification inhibitor, 60 kg ha⁻¹ Dicyandiamide (DCD), E treatment as D treatment but half nitrogen fertilizer (200 kg N ha⁻¹). The results showed the cabbage yield of applying 200 kg N ha⁻¹ combined with DCD (treatment E) can be increased to 17.4% compared with farmers' usual fertilization (treatment A). The yield between farmers' usual fertilization (treatment A) applied in four times and rational fertilization applied in six times (treatment C) was similar. The results indicated that applying 200 kg N ha⁻¹ with 30 kg ha⁻¹ DCD obtained 17% increase of cabbage yield and the frequently applying nitrogen fertilizer with reduced amount of nitrogen fertilizer could produce the similar yield with no difference in farmer's regular one. Moreover, downstream water pollution trend caused by applying excessive fertilizer in the alpine area can be reduced.

Key words: rational fertilization, cabbage, nitrification inhibitor

¹ Contribution No. 0846 from Taichung DARES, COA.

² Associate soil scientist and Assistant Researcher of Taichung DARES, Changhua, Taiwan, ROC.