

氮肥及鉬離子對油菜及青梗白菜硝酸鹽累積量之影響¹

陳葦玲²、周書緯³、李品瑩³、邱瑜君³、張雅文³

摘 要

近年來蔬菜中硝酸鹽含量累積議題漸受到重視，因此本試驗選用油菜及青梗白菜為材料，探討氮肥施用濃度、型態及鉬離子添加對於其植體內硝酸鹽累積量之影響，冀能生產低硝酸鹽含量之蔬菜。以尿素為氮肥來源，隨著尿素施用濃度增加，油菜及青梗白菜植體硝酸鹽累積量亦隨之增加，且施用濃度和植體地上部鮮重之間呈現二次正相關， R^2 值分別為0.96及0.98。而在不同氮素型態施用方面，施用硝酸態氮之植株有較高的硝酸鹽累積量，其次為尿素態氮及銨態氮。此外，葉面噴施鉬離子可增加硝酸還原酶活性並減低植體內硝酸鹽累積量，其中，油菜以施用0.45和0.6 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 效果較佳，而青梗白菜則以施用0.30和0.45 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 有較佳的表現。

關鍵字：硝酸態氮、銨態氮、鉬、硝酸還原酶、油菜、青梗白菜。

前 言

隨著國人生活水準的提高，日常飲食攝取從「量」的需求逐漸趨向於「質」的提升。蔬菜內含大量的維生素、礦物質、纖維素及植物性化學成分(phytochemicals)等物質，除了維持人體健康所必須之外，更有抗氧化、預防心血管疾病、減低癌症發生率及輔助維生素發揮有效等生理機能，極具保健的效益。

然而，蔬菜中硝酸鹽累積之問題早有諸多報告⁽⁹⁾，近年來民眾和政府也日益關心食物中硝酸鹽及亞硝酸鹽污染含量所產生的危害議題。1996年聯合國糧農組織/世界衛生組織聯合食品添加物專家委員會(The Joint FAO/WHO Experts Committee on Food Additives, JECFA)評估且制訂每人每日硝酸鹽攝取安全容許量為0~3.7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ⁽²²⁾。事實上，硝酸鹽本身並無毒性，但其會與血紅素反應代謝生成過多的變性血紅素(met-haemoglobin)，造成紅血球攜氧能力降低，若長期攝食含過量硝酸鹽的食物，可能會導致毒性效應，如發紺(cyanosis)症狀，尤其是嬰兒更容易罹患之，嚴重的話會造成呼吸急促、震抖、心律困難，甚至窒息⁽²⁰⁾。另一方面，硝酸鹽可造成內生性氮-亞硝基化合物(N-nitroso compounds)的合成，如亞硝胺(nitrosamines)，而亞硝胺經由動物實驗已被確認為致癌物質，同時對動物有導致畸胎和突變的作用⁽¹⁶⁾。

¹行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第0734號。

^{2,3}行政院農業委員會臺中區農業改良場助理研究員及研究助理。

蔬菜中硝酸鹽累積量決定於硝酸鹽吸收、同化、運送及植株本身生長速度等，除了遺傳因子造成種類、品種間累積量不同之外⁽¹⁾，植株不同年齡及部位間硝酸鹽累積差異性也很大⁽⁸⁾，此外，栽培時環境因子如光線及溫度、採收時間及採收後儲藏條件亦都影響其硝酸鹽含量^(4,6)。植物所吸收之硝酸態氮肥主要運輸至葉片，利用光合作用固定之能量還原為銨態氮，再經代謝成胺基酸，但在低光照、低溫或缺鉬元素下，還原作用緩慢，吸收超量植物合成需要，導致硝酸態氮在植物體內累積。

然而，降低葉類蔬菜硝酸鹽量的途徑一是控制植株根系的吸收速率，降低吸收量，可由肥料種類和施肥量影響之，二為加速硝酸鹽在植物體內的還原，通常以改善植物營養代謝速率，進而強化硝酸還原酶活性而達到這一目的。鉬為植物生長發育所需之必要微量元素，在植物氮代謝中扮演著關鍵的作用，其除了為固氮酶中鉬鐵蛋白(Mo-Fe protein)的成分，亦為植物體內硝酸還原酶(nitrate reductase)的組成成分^(12,15)。因此，本試驗選用高硝酸鹽累積量之油菜及青梗白菜為試驗材料，就氮施肥用量與型態及鉬離子添加三方面探討其對植物體內硝酸鹽累積之影響，冀能生產低硝酸鹽含量之安全蔬菜。

材料與方法

試驗材料

試驗採用購自農友種苗之油菜‘秀珍’ (*Brassica campestris* ‘Show Jean’)及青梗白菜‘青江’ (*Brassicarape chinenses* ‘Ching Chiang’)為材料，種子播種於直徑16.8 cm之塑膠硬盆中，內含泥炭苔(Fafard No. 1, Conrad Farad, Agawam, MA)、三號珍珠石及三號蛭石(南海蛭石工業股份有限公司，臺灣)混合介質(v : v : v = 6 : 1 : 1)，每盆種植三穴，每穴播三粒種子，萌芽後選每穴選留一健壯者。植株栽種於28/25±2°C之溫室，光線條件採自然光源及光週期，栽培期間視介質水分狀態澆水以維持植株正常生長。

試驗項目

一、氮肥施用濃度及型態對於硝酸鹽含量之影響

試驗於2009年8~10月進行，植株於播種後10日開始進行處理。在氮肥濃度試驗方面，以尿素(臺灣肥料股份有限公司，臺灣)為氮肥來源，每星期施用尿素溶液一次，分別施用0、0.25、0.5、1及2 g · L⁻¹五個濃度，每次、每盆施用500 mL，植株於播種後28天採收並調查其地上部鮮重及植體硝酸鹽含量。

在氮肥不同型態施用方面則分為銨態氮、尿素態氮及硝酸態氮三處理，並以栽培期間未施用氮肥植株為對照組(CK)。參考林(2007)⁽⁵⁾養液配方(表一)，每盆、每星期施用500 mL養液一次。植株於播種後28天採收並調查其生長表現，包含株高、地上部鮮重、根長、葉片葉綠素值以葉綠素計SPAD-520 (Minolta, Co. Ltd., Japan)測定並分析植體內硝酸鹽含量。此外，各處理之栽培介質樣品先經風乾處理，再以2 mm篩網過篩後利用飽和土壤水抽出法分析其化學特性，介質靜置隔夜並過濾取其濾液，以桌上型pH/電導度計PC-510 (EUTECH, Singapore)測定其電導度及pH值。

表一、氮素型態試驗之養液配方

Table 1. Composition of nutrition solution for three nitrogen form treatment

Chemical composition (mM)	Nitrogen form		
	Ammonium	Urea	Nitrate
KNO ₃			5
MgSO ₄ ·7H ₂ O	2	2	2
KH ₂ PO ₄		1	1
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	7		5
NH ₄ H ₂ PO ₄	1		
CaCl ₂ ·2H ₂ O	5	5	
K ₂ SO ₄	1	2.5	
Co(NH ₂) ₂		7.5	

二、鉬離子添加硝酸鹽含量之影響

試驗於2009年10~12月進行，植株於播種後10天後每週施用1 g · L⁻¹尿素一次，並於栽培期間每天噴施0、0.15、0.3、0.45、0.6、1.0 mg · L⁻¹ H₂MoO₄·H₂O (Sigma Co., USA)，每盆噴施量以佈滿全部葉面並有多餘水量流下為原則，此外，以栽培期間未施用氮肥植株為對照組。植株於播種後28天採收並調查其生長表現(如試驗一)、植體內硝酸鹽含量及葉片硝酸還原酶活性。

(一)硝酸鹽測量

取植株地上部為分析樣品，秤重後加入樣品10倍重量之去離子水以均質機POLYTRON® PT3100 (Kinematica AG., Switzerland)均質，均質液以1號濾紙(Whatman Ltd., UK)過濾後取其濾液以硝酸鹽濃度計B-341 (HORIBA Ltd., Japan)量測，並換算成每克鮮重所含之硝酸鹽含量。

(二)硝酸還原酶活性測量

依據Jaworski (1971)⁽¹⁷⁾方法修正，取由內往外數第四片完全整開葉，打洞取0.2 g葉圓片置於試管中，加入5 mL萃取液(2.5 mL 0.2 M KH₂PO₄, pH 7.5、0.25 mL 100% 2-propanol、1.15 mL去離子水、0.1 mL 0.05% chloramphenicol、1 mL 0.1 M KNO₃)，於25°C、150 rpm、黑暗水浴槽中震盪30分鐘，隨後加入1 mL 內含1% sulfanilic acid之3 M HCl終止反應，再加入1 mL 0.02% N-(1-naphthyl ethylene) diamine · 2HCl震盪30分鐘使呈色均勻。利用分光光度計U-3000 (Hitachi Ltd., Tokyo, Japan)量測540 nm波長下之吸光值，另以0、20、40、60及80 µg · mL⁻¹ KNO₂建立標準曲線。

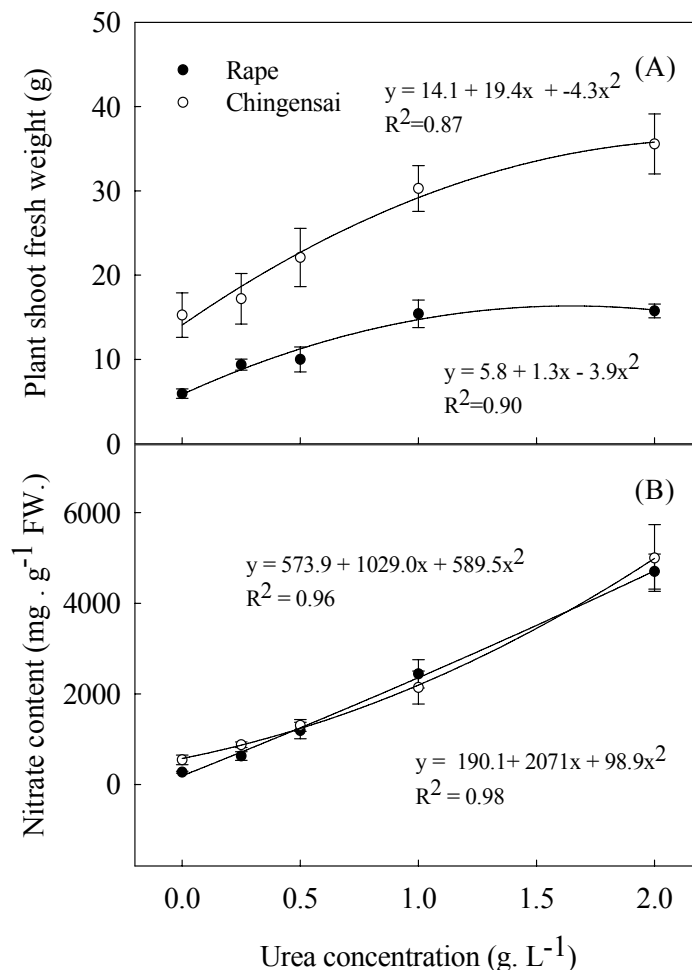
統計分析

試驗採用完全隨機試驗設計(Completely random design, CRD)，每一處理共3重複，每一重複取5株調查，試驗數據以CoStat 6.2統計軟體(CoHort Software, USA)進行最小顯著差(Least significant difference, LSD)分析，分析各處理間之差一顯著性(P=0.05)，並利用Sigma Plot 10.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)進行迴歸分析。

結果與討論

氮肥施用濃度及型態對於硝酸鹽含量之影響

氮肥對蔬菜硝酸鹽含量的影響主要表現在施肥量、肥料種類及形態、施用時期等方面^(13,14)。在氮素施肥量對蔬菜硝酸鹽累積影響方面，許多研究已指出，在光線及溫度等環境因子一定下，氮肥的施用量與葉類蔬菜體內硝酸鹽含量呈顯著或極顯著正相關^(18,19)。在本試驗中，隨著尿素施用濃度增加，油菜及青梗白菜植株地上部鮮重隨著尿素施用濃度增加而增加，兩者呈一二次正相關， R^2 值分別為0.87及0.90，但從其迴歸曲線來看，施用1.0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 尿素對其地上部鮮重表現已足夠，更高的尿素濃度對其鮮重和生育表現並無較佳(圖一A)，而外觀上亦無差異(圖二)。此外，植體內硝酸鹽累積量亦隨尿素施用濃度增加而增加，施用濃度和硝酸鹽含量之間呈現二次正相關， R^2 值分別為0.96及0.98(圖一B)。



圖一、尿素濃度對於油菜及青梗白菜植株地上部鮮重及植體內硝酸鹽含量之影響。

Fig. 1. Effect of urea concentration on plant shoot fresh weight and nitrate content of rape and Chingensai.

由於以往農友爲了提生產量，常過量施用肥料，雖短時間獲利但卻對土壤造成傷害。此外，植體內硝酸鹽累積量會隨著氮肥施用量增加而提高，且在低溫或光線不足情況下，植株同化能力降低，硝酸鹽更容易累積^(4,14)，食用之對人體健康可能會造成傷害。因此，從本試驗結果可呼應合理化的施肥觀念，以降低生產過程中肥料的成本、減低對土壤的傷害、並生產較爲健康安全的蔬菜。



圖二、尿素施肥濃度對於油菜及青梗白菜植株外觀表現之影響。

Fig. 2. Effect of urea concentration on plant growth performance of rape and Chingensai.

植物吸收氮素可以是無機態氮型態的銨態氮和硝酸態氮，或是一般葉菜類則常施用的有機態氮的尿素。在氮肥型態對於硝酸鹽累積量影響之試驗中，氮素型態對於油菜及青梗白菜其地上部鮮重、根長及葉片葉綠素計SPDA-520之讀值無影響，而對株高及根鮮重表現則有顯著差異性。其中，青梗白菜以施用銨態氮之植株株高較其他處理(尿素及硝酸態氮)低，甚至和未施肥之對照組差不多；在根鮮重表現方面，油菜及青梗白菜皆以硝酸態氮處理植株有較佳的鮮重，其值分別爲0.72及1.42 g，尿素態氮及銨態氮施用則無顯著差異性(表二、圖三)。此外，在硝酸鹽累積量方面，不論是油菜或青梗白菜均以硝酸態氮施用之植株有較高硝酸鹽累積量，其值分別爲3830.7及4830.7 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW，其次爲尿素態氮及銨態氮，但兩者之間則無顯著差異(表三)，顯然，對於油菜及青梗白菜而言，硝酸態氮肥比其它氮源更易引起硝酸鹽積累。

表二、不同氮素型態栽培之油菜及青梗白菜其植株株高、地上部鮮重、根鮮重、根長及葉片葉綠素計 SPDA-520 之讀值

Table 2. Plant height, shoot fresh weight, root fresh weight, root length and chlorophyll meter SPAD-520 reading of rape and Chingensai cultured with different nitrogen form

Nitrogen form	Plant height (cm)	Shoot fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Root length (cm)	SPAD-520 reading
Rape					
CK	22.7 b ¹	10.2 b	0.38 b	6.7 a	33.9 a
Ammonium	26.3 a	11.0 ab	0.42 b	6.2 a	35.3 a
Urea	27.4 a	15.9 a	0.45 b	7.0 a	33.5 a
Nitrate	27.7 a	14.0 ab	0.72 a	7.7 a	33.0 a
Significance	*	ns	*	ns	ns
Chingensai					
CK	22.1 b	14.0 b	0.50 b	8.8 a	24.8 a
Ammonium	22.9 b	26.6 ab	0.78 b	7.1 a	22.9 a
Urea	28.6 a	31.1 a	0.63 b	7.5 a	24.9 a
Nitrate	25.4 a	30.9 a	1.42 a	8.9 a	24.4 a
Significance	** ²	ns	***	ns	ns

¹Mean separation within columns by Fisher's LSD test at $P \leq 0.05$.

² ns, *, **, *** Means non-significant and significant at $P \leq 0.05, 0.01$ and 0.001 , respectively.

表三、不同氮肥型態栽培之油菜及青梗白菜植株硝酸鹽含量及其培養介質 EC 與 pH 值

Table 3. Effect of different nitrogen fertilizers on the EC and pH value in the cultural media and nitrate content in rape and Chingensai plant

Nitrogen form	Nitrate content ($\mu\text{g} \cdot \text{g f.w}$)	EC value (μS^{-1})	pH value
Rape			
CK	1040.3 c ¹	523.7 c	6.07 a
Ammonium	4090.0 b	1602.7 a	4.73 b
Urea	4150.7 b	1638.7 a	4.90 b
Nitrate	4935.7a	1116.7 b	6.41 a
Significance	***	***	***
Chingensai			
CK	1235.0 c	752.7 c	6.04 a
Ammonium	2690.3 b	2757.3 a	4.36 b
Urea	2780.3 b	1997.3 ab	5.13 ab
Nitrate	3830.7 a	1539.3 b	6.64 a
Significance	*** ²	***	***

¹ Mean separation within columns by Fisher's LSD test at $P \leq 0.05$.

² *** Means non-significant and significant at $P \leq 0.001$.



圖三、不同氮肥型態栽培之油菜及青梗白菜植株外觀。

Fig. 3. Plant appearances of rape and Chingensai cultured with different nitrogen fertilizer form.

植物可吸收銨態氮和硝酸態氮兩種形式的無機態氮，若植物吸收銨態氮後可直接進入麩氨酸(glutamate)循環而進行同化作用(assimilation)合成氨基酸。而吸收硝酸態氮後則先需代謝還原(metabolic reduction)成銨態氮⁽⁷⁾。銨態氮必須在酸性和還原狀態(如淹水)下才能穩定存在，在鹼性及好氣條件下其會以氨氣揮發或被土壤中硝酸細菌能快速進行硝化作用(nitrification)將 NH_4^+ 變成 NO_3^- ，且一旦植體內pH值升高， NH_4^+ 即和 OH^- 反應產生氨(NH_3)，而只要少量的 NH_3 就成產生毒害現象，如根尖褐化腐爛、葉片黃化、壞疽⁽¹³⁾。因此對一般植物而言，硝酸態氮是大部分土壤中主要有效態氮型態。故在本試驗中，油菜根鮮重及青梗白菜株高與根鮮重表現以施用銨態氮處理較差，但從外觀則無明顯銨毒害現象，而施用硝酸鹽對於油菜及青梗白菜株高和根鮮重表現雖較佳，但植體內硝酸鹽累積量亦較多(表二和三)。

在介質化學性質分析中，氮素施用型態對介質電導度和pH值均有顯著的影響。銨態氮處理之介質EC值較高，其主要原因為銨離子帶正電荷，可被帶負電荷的土壤膠體所吸附，與其他氮肥相比較不易移動與淋洗損失，一般肥效持續的時間較長；相反的，硝酸態氮處理之介質EC較低，因為硝酸根帶負電，不易為土壤膠體所吸附，極易流失所致⁽²¹⁾。

本試驗中，無論油菜或是青梗白菜施用銨酸態氮處理之介質pH值(4.73和4.36)均較未施用氮素之對照組(6.07和6.04)來的低，且有顯著差異；硝酸態氮施用之介質其pH值(6.41和6.64)雖未與施用氮素之對照組在統計上有顯著差異，但其值均較高(表三)，其主要原因為植物在吸收銨態氮後因銨離子被吸收後遺留酸根與硝化作用都產生氫離子，極易使土壤酸化^(2,3)；而硝酸鹽為生理鹼性肥料，大量使用時，易使土壤pH值變高。所造成致⁽²¹⁾。若長期施用銨態氮肥土壤逐漸酸化，土壤中的鹼性陽離子(鈣、鎂)被易氫或溶解性金屬置換並藉由土壤滲流而出，導致植物根部吸收缺乏，且土壤酸化亦導致土壤中還原性、低活性微生物族群增加，逐漸減緩植物殘留物的分解及植物重要營養物的循環。

鉬離子添加硝酸鹽含量之影響

為了降低蔬菜硝酸鹽的含量，除了上述從氮肥施用量及種類選擇著手外，目前普遍採用氮肥硝化抑制劑來抑制土壤硝化細菌活性，而阻止硝化作用的發生，減少土壤和蔬菜的硝酸鹽積累。硝化抑制劑主要有雙氰胺(dicyandiamide)、2-氯-6-三氯甲基吡啶(2-chloro-6-(trichloromethyl) pyridine)等，其中雙氰胺具有無殘留、易分解等特性較為理想。而在植物生長必要元素中，鉬和植物氮素吸收和代謝有相當關係，然而關於鉬離子施用減少植體內硝酸鹽含量則少有報導⁽¹¹⁾。

本試驗以 $H_2MoO_4 \cdot H_2O$ 作為鉬離子來源，並以噴施的方法於栽培時添加。在鉬離子對植體生長影響方面，鉬離子添加對油菜其株高、地上部鮮重、根長及葉片SPAD-502讀值無影響，且各濃度之間無顯著差異性，唯根鮮重表現受鉬離子施用影響，根重表現較差，但濃度間仍無差異。青梗白菜之株高、地上部鮮重、根鮮重、根長及葉片SPAD-502讀值均不受鉬離子施用影響，表示本試驗施用濃度仍在其適合範圍，對其生育並無造成影響(表四)。

在鉬離子對植體硝酸鹽含量累積影響方面結果如表五，油菜施用鉬離子可減低其硝酸鹽含量，其中以噴施 0.45 和 $0.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} H_2MoO_4 \cdot H_2O$ 效果效果較佳，其含量分別降低至 $3100.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ f.w}$ 及 $2673.3 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ f.w}$ ，較未施用鉬離子只施用尿素之植株硝酸鹽含量 $6666.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ f.w}$ 分別減少 53.5% 及 59.9% ；在其硝酸還原酶活性方面，則由 $14.61 \mu\text{g NO}_2^- \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 提高到 22.60 及 $22.89 \mu\text{g NO}_2^- \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，增加了 35.3% 及 36.2% 。施用鉬離子亦可降低青梗白菜植體內硝酸鹽含量，並以噴施 0.30 和 $0.45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} H_2MoO_4 \cdot H_2O$ 有較佳效果，其含量分別降低至 $4000.0 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ f.w}$ 及 $3866.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ f.w}$ ，較未施用鉬離子指只施用尿素之植株硝酸鹽含量 $5633.3 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ f.w}$ 分別減少 29.0% 及 31.4% ，在其硝酸還原酶活性方面，則由 $12.89 \mu\text{g NO}_2^- \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 提高到 19.70 及 $18.78 \mu\text{g NO}_2^- \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ ，增加了 52.8% 及 45.7% ，但噴施 $1.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} H_2MoO_4 \cdot H_2O$ 不僅未能降低反而增加其硝酸鹽含量。不結球白菜採用葉面噴施及根部施用鉬酸鉍可提高其硝酸還原酶活性，使其硝酸鹽含量顯著降低⁽¹⁰⁾，此結果和本試驗相似，而由本試

驗可得知鉬離子的確可降低油菜和青梗白菜植體內硝酸鹽累積量，日後可針對不同物種適合濃度、鉬離子施用方法及型態作更進一步研究。

表四、葉面噴施鉬離子對油菜及青梗白菜其植株株高、地上部鮮重、根鮮重、根長及葉綠素計SPDA-520 讀值之影響

Table 4. Effect of molybdenum foliar application on plant height, shoot fresh weight, root fresh weight, root length and chlorophyll meter SPAD-520 reading of rape and Chingensai

Nitrogen form	Plant height (cm)	Plant fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Root length (cm)	SPAD-520 reading
Rape					
CK	37.9 b ¹	15.3 b	0.45 c	8.3 a	30.2 c
0.00	41.5 ab	22.7 a	1.11 a	9.1 a	38.3 ab
0.15	42.4 ab	22.5 a	0.57 b	9.0 a	36.3 ab
0.30	43.8 a	22.8 a	0.67 b	7.6 a	36.0 ab
0.45	39.9 ab	21.4 ab	0.68 b	7.3 a	38.2 ab
0.60	41.8 ab	23.6 a	0.62 b	9.3 a	40.0 a
1.00	41.3 ab	26.9 a	0.60 b	8.4 a	37.5 ab
Significance	ns	*	*	ns	*
Chingensai					
CK	20.0 b	26.7 b	0.39 b	10.3 a	25.8 b
0.00	23.0 ab	30.3 ab	0.64 a	10.3 a	37.6 a
0.15	26.2 a	32.4 a	0.45 ab	9.1 a	34.1 ab
0.30	23.2 ab	32.8 a	0.53 ab	11.3 a	34.9 ab
0.45	23.1 Ab	30.6 ab	0.46 ab	11.5 a	40.9 a
0.60	24.0 ab	30.3 ab	0.50 ab	11.1 a	34.2 ab
1.00	24.1 Ab	30.9 ab	0.48 ab	10.0 a	32.5 ab
Significance	ns ²	ns	ns	ns	ns

¹ Mean separation within columns by Fisher's LSD test at $P \leq 0.05$.

² ns, *, **, *** Means non-significant and significant at $P \leq 0.05, 0.01$ and 0.001 , respectively.

本試驗中硝酸鹽累積量的降低可能是因為硝酸還原酶活性增加所造成，硝酸還原酶催化了硝酸鹽還原成亞硝酸鹽，進而還原成銨，其主要存在於植物的根和葉子細胞的細胞質中。硝酸還原酶是由兩個相同的次單位(subunit)所構成，分子量約250 kDa，每個單體含有flavin adenine dinucleotide (FAD)、heme-Fe和鉬輔因子(molybdenum cofactor, MoCo)等組成份，這些成分在催化的過程中扮演電子傳遞著的角色，在還原過程中，電子從NAD(P)H傳至FAD，再經Heme-Fe傳至MoCo，然後將硝酸根還原成亞硝酸根⁽¹²⁾。因此，本試驗添加鉬離子，增加其MoCo含量，活化硝酸還原酶的活性，並促進硝酸鹽還原成亞硝酸鹽。

由上述試驗結果得知，植體中硝酸鹽的累積與氮肥濃度、型態及鉬離子有密切之關係。因此，從本試驗結果中可建議油菜及青梗白菜栽培以每星期施用 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 尿素並每日分別施用

0.45及30 mg · L⁻¹，H₂MoO₄·H₂O，同時，配合其他影響因子如品種、光線、溫度、採後儲藏方式、儲藏溫度等，以降低生產蔬菜之硝酸鹽含量。此外，亦可利用不同氮肥形態選用或組合、分期施用、甚至施用緩效氮肥等方法生產低硝酸鹽含量之安全蔬菜。

表五、葉面噴施鉬離子對油菜及青梗白菜植體內硝酸鹽含量及硝酸還原酶活性之影響

Table 5. Effect of molybdenum (Mo) foliar application on nitrate content and nitrate reductase activity of oil rape and Chingensai

Mo concentration (mg · L ⁻¹)	Nitrate content (μg · g ⁻¹ FW)	NR activity (μg NO ₂ ⁻ · h ⁻¹ · g ⁻¹ FW)	Nitrate content (μg · g f.w)	NR activity (μg NO ₂ ⁻ · h ⁻¹ · g ⁻¹ FW)
	Rape		Chingensai	
CK	1166.7 d ¹	12.87 c	2866.7 d	12.89 c
0.00	6666.7 a	14.61 c	5633.3 ab	12.56 c
0.15	4700.0 b	18.46 b	4400.0 bc	16.14 b
0.30	4733.3 b	20.45 b	4000.0 cd	19.70 a
0.45	3100.0 c	22.60 ab	3866.7 cd	18.78 a
0.60	2673.3 c	22.89 a	4500.0 bc	18.52 ab
1.00	4900.0 b	14.42 c	6633.3 a	12.69 c
Significance	*** ²	***	**	***

¹Mean separation within columns by Fisher's LSD test at $P \leq 0.05$.

² **, *** Means non-significant and significant at $P \leq 0.01$ and 0.001 , respectively.

參考文獻

1. 王三太、林深林、張武男、蕭吉雄 1998 不同萵苣栽培品種間的硝酸態氮含量調查 中華農業研究 47: 63-70。
2. 王銀波、吳正宗 1992 水耕養液中的氮素問題 p.15-27 養液栽培技術講習會專刊 vol. 4. 省農試所鳳山園藝熱帶試驗分所 高雄 臺灣。
3. 池田英男 1987 野菜の生育と氮素營養(4) 農業むよび園藝 62(5): 85-90。
4. 吳正宗、王銀波 1995 一些影響小白菜硝酸態氮含量的環境因子 中國農業化學誌 3(2): 125-33。
5. 林昭儀 2007 遮光、溫度與無機養分對擎天鳳梨'Cherry'生長之影響 國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文 臺北 臺灣。
6. 柯佳惠 2005 氧及二氧化碳處理對有機栽培之小白菜即小黃瓜品質及硝酸鹽含量之影響 國立嘉義大學園藝學研究所碩士論文 嘉義 臺灣。
7. 柯勇 2002 植物生理學 pp.726 藝軒圖書出版社 臺北 臺灣。
8. 倪禮豐、鐘仁賜 1997 採收時間及遮陰對芥藍菜氮組成及硝酸還原酶活性的影響 花蓮區研究彙報 14: 61-76。

9. 郭孚耀 1998 遮陰及氮肥對芥藍菜硝酸鹽累積之影響 臺中區農業改良場研究彙報 58: 59-66。
10. 陳龍正、陳洁、梁亮、徐海、宋波、蘇小俊、袁希漢 2009 鉬錳對不結球白菜硝酸還原酶活性及主要營養品質之影響 中國蔬菜 12: 15-18。
11. 趙靜、白清云、戴曉華、帕尼古麗 2001 鉬對降低蔬菜硝酸鹽積累的效應研究 農業環境保護 20: 4-5。
12. 潘瑞熾 2006 植物的礦物營養 p.33-66 植物生理學 藝軒圖書出版社 臺北 臺灣。
13. 蔡素惠、黃山內、楊秋忠 1995 有機及化學肥料對小白菜之生長、硝酸態氮及維生素含量之影響 中華農學會報 158: 77-58。
14. Cantliffe, D. 1972. Nitrate accumulation in spinach grown under different light intensity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97: 152-154.
15. Craig, J. A. and R. H. Holm. 1989. Reduction of nitrate to nitrite by molybdenum-mediated atom transfer: A nitrate reductase reaction system. J. Amer. Chem. Soc. 111: 2111-2115.
16. Eichholzer, M. and F. Gutzwiller. 1998. Dietary nitrates, nitrites, and N-nitroso compounds and cancer risk: A review of the epidemiologic evidence. Nutrition Reviews 56: 95-105.
17. Jaworski, E. G. 1979. Nitrate reductase assay in Intact plant tissues. Biochemical and Biophysical Research Communications. 43: 1274-1279.
18. Maynard, D. N., A. V. Baker, P. L. Minotti and N. H. Peck. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. Adu. Agron. 28: 71-118.
19. Olday, F. C., A. V. Baker and D. N. Maynard. 1976. A physiological basis for different patterns of nitrate accumulation in cucumber and pea. J. Amer. Soc. Hort. Sic. 101: 219-221.
20. Sanchez, E. J., F. J. Benito and R.S. Mintegui. 2001. Methemoglobinemia and consumption of vegetables in infants. Pediatrics 107: 1024-1028.
21. White, R. E. 1997. Introduction to the Principles and Practice of Soil Science: The soil as a nature resource. Blackwell Science. New Jersey.
22. WHO. 1996. Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants. International Programme on Chemical Safety. WHO, Geneva.

Effect of Nitrogen Fertilizer and Molybdenum on Nitrate Accumulation on Rape and Chingensai¹

Wei-Ling Chen², Shu-Wei Zhou³, Ping-Ying Li³, Yu-Jun Ciou³ and Ya-Wen Chang³

ABSTRACT

Recently, the accumulation of nitrate content in vegetable has been taken seriously. Therefore, the main topic of this study was to investigate the effect of nitrogen concentration, form and Mo application on nitrate accumulation by using rape and chingensai as experimental materials. Using urea as a nitrogen source, the nitrate content was raised within the incensement of urea concentration. The relationships between concentration and nitrate content of rape and chingensai were quadratic positive relationships, which R^2 were 0.96 and 0.98, respectively. In different nitrogen form application, plant treated with NO_3^- -N had the highest nitrate content and followed by urea and NH_4^+ -N. Besides, foliar molybdenum application could increase the ability of nitrate reductase and decline the accumulation content of nitrate. The better nitrate reduction efficiency were got when applied with 0.45 and 0.60 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ in rape and 0.30 and 0.45 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ in chingensai.

Key words: nitrate-nitrogen, ammonia-nitrogen, molybdenum, nitrate reductase, rape, chingensai

¹ Contribution No. 0734 from Taichung DARES, COA.

^{2,3} Assistant Horticulturist and Research Assistant of Taichung DARES, COA.