

國立中興大學園藝學系  
Department of Horticulture  
National Chung Hsing University

碩士學位論文  
Master Thesis

遮陰、有機質肥料及鉬噴施對油菜生長及硝酸根  
離子含量之影響

Effect of shading, organic fertilizers and foliar spray  
with molybdenum on the growth and nitrate content  
in rape (*Brassica napus* L.)

指導教授：宋好博士

Advisor：Dr. Yu Sung

研究生：黃盈潔

Graduate Student：Ying-Chieh Huang

中華民國一百零四年七月

July, 2015

國立中興大學園藝學系  
碩士學位論文

題目：遮陰、有機質肥料及鉬噴施對油菜生長及硝酸根離子  
含量之影響

姓名：黃盈潔

學號：7100032026

經 口 試 通 過 特 此 證 明

論文指導教授：國立中興大學園藝學系教授

宋 好 博士

宋好

論文考試委員：國立臺灣大學園藝暨景觀學系教授

羅筱鳳 博士

羅筱鳳

國立中興大學農藝學系教授

陳宗禮 博士

陳宗禮

國立中興大學園藝學系教授

宋 好 博士

宋好

中華民國 104 年 6 月 23 日

## 誌謝

感謝恩師宋妤教授從大學到研究所期間的悉心教誨，尤其是碩士班兩年的修業期間除了在課業及試驗研究上的指導外，更感謝平時生活上的幫助與鼓勵，並且在撰寫論文時不辭辛勞，不厭其煩地詳細審閱及修改，使本論文可以順利完成。論文完稿之初承蒙台灣大學園藝學系 羅筱鳳教授與中興大學農藝學系 陳宗禮教授撥冗指導，細心審閱修正，給予許多寶貴的意見，在此致上謝忱。

試驗期間非常感謝陳仁炫老師、林深林老師及林慧玲老師在實驗操作上的指導及實驗設備提供給予使用，使試驗可以順利進行，並分享研究上的寶貴經驗，使我在研究的領域獲益良多；此外感謝系圖書館郭小姐、系辦公室劉小姐及王先生在行政程序上給予諸多幫忙，在此衷心感謝。

研究所期間感謝蔬菜室驊倫、錦玄和欣怡於實驗上的協助及詩文學長和虹玲學姊於實驗上的指導與鼓勵，並感謝敬凱、麟婷、慈鈺、祥智、可薇、意昕、依純、宜芬、嘉雯、倚瓏和桂嘉試驗上的幫助及生活上的陪伴與鼓勵，帶給我許多歡樂和勇氣，讓我有動力繼續往前。此外感謝詩妤、逸瑩和以文等大學同窗生活上的加油打氣，和服務學校同事給予的支持和關心，及嘉元這段時間的陪伴與鼓勵。非常感謝大家的支持與照顧，在此致上最誠摯的謝意。

最後感謝我最親愛的家人們，感謝父親、母親和外婆從小細心的照顧和栽培，給我完全的支持和鼓勵，也感謝妹妹的陪伴與關懷，讓我無後顧之憂，可以專心完成研究所的學業。謹以此論獻給我最愛的家人、師長、朋友及所有關心我的朋友們，謝謝你們！

黃盈潔 謹誌

國立中興大學園藝學系蔬菜室  
中華民國一百零四年七月

## 摘要

本試驗為研究降低葉菜之植體硝酸根離子含量的方法，選擇‘青龍’、‘文山’和‘福祿甜’油菜進行本研究。

試驗一為瞭解採收前不同程度遮陰處理五天對油菜光合作用能力、植株生長情形及硝酸根離子累積的影響，於採收前不遮陰、50%及70%遮陰處理的平均光強度分別為911、574及224  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。隨著遮陰程度的增加，其淨光合作用速率(Pn)與電子傳遞速率(ETR)有顯著的下降，碳水化合物含量減少，硝酸還原酶的活性降低，遮陰處理第3天即導致植體硝酸根離子的累積，隨著遮陰時間延長至第5天，硝酸根離子的累積更為明顯，70%遮陰處理‘青龍’、‘文山’和‘福祿甜’油菜分別可達3029、6625及6505 mg/kg FW，且總可溶性蛋白的含量有顯著的降低。隨著遮陰程度的增加，於70%遮陰處理各品种植株鮮重與乾重有顯著的下降，分別減少了29%~38%及38%~51%，且有明顯的徒長現象，葉綠素b的含量有上升的趨勢，使葉綠素a/b值顯著的下降。在品種的部分，‘青龍’硝酸還原酶活性相對較高，遮陰處理累積的硝酸根離子較少，為低光強度下可栽培之品種。

試驗二為不同有機質肥料施用量對‘文山’和‘福祿甜’油菜植株生長情形及硝酸根離子累積的影響，以大豆粕及田樂一號有機質肥料，依作物施肥手冊化學氮素推薦量的1、2及4倍肥料施用量當基肥一次施用，連續種植兩作。兩品種油菜於120 kg N/ha的處理有最高的氮素利用及吸收效率(NUE及NUpE)，顯著提升植株生育表現及產量，維持低硝酸根離子的含量，為1740~2715 mg/kg FW。兩品種油菜於大豆粕240 kg N/ha和田樂一號480 kg N/ha處理，硝酸還原酶活性不再顯著增加，反而有下降趨勢，導致硝酸根離子含量達到最高累積量，約為2022~3175 mg/kg FW，並造成介質殘留無機態氮及交換性磷、鉀的增加和EC值(electrical conductivity, EC)的提高。兩品種油菜第一作栽培以大豆粕240 kg N/ha處理及田樂一號480 kg N/ha處理硝酸根離子的含量相較於對照組分別增加了73%~87%及35%~58%，第二作栽培分別增加了42%~54%及25%~41%。大豆粕氮素釋放率較快且肥份較高，第一作有較高的產量，且硝酸根離子相對累積量較多，而田樂一號的氮素持續緩慢地釋放，於第二作有較高的產量，其硝酸根離子含量於兩作中差異較小。

試驗三為不同濃度鉬酸鈉葉面噴施對‘文山’和‘福祿甜’油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響，在1 g/L的尿素施用下，硝酸根離子含量顯著上升，每兩天以0~1.2 mg/L鉬酸鈉進行葉面噴施處理一次。於0.9 mg/L處理兩品種的地上部鮮乾重、株高及葉面積有所增加，葉片硝酸還原酶活性顯著上升，硝酸根離子含量則顯著下降，且總可溶性糖、澱粉、游離胺基酸和總可溶性蛋白含量也有明顯上升。

## Abstract

This study aimed to develop a culture method that can reduce the nitrate content in edible rape (*Brassica napus* L.), a leafy vegetable, including the cultivars 'Dragon', 'Vincent' and 'Fluke sweet'.

Experiment 1 investigated the effects of shading before harvest on the plant growth, nitrate content, and rate of photosynthesis. Three *Brassica napus* cultivars were grown under 0%, 50% and 70% shade for five days before harvest, which were equivalent to 911, 574 and 224  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectively. With an increasing degree of shade, the net photosynthetic rate (Pn) and electron transport rate (ETR) were significantly decreased, and the carbohydrate content and nitrate reductase activity were also reduced. After three days of shading, nitrate was seen to accumulate in the plants, and the nitrate accumulation was more significant after five days of shading. Under 70% of shade, the nitrate contents in 'Dragon', 'Vincent' and 'Fluke sweet' were increased to 3029, 6625 and 6505 mg/kg FW, respectively, and the total soluble protein contents were significantly decreased. With an increasing degree of shade, the fresh and dry weights decreased, under 70% of shade, they were reduced by 29%-38 % and 38%-51%, respectively. In addition, a significant leggy phenomenon, increased chlorophyll b content, and decreased chlorophyll a/b value were also observed. The nitrate content of 'Dragon' was lower than the contents of the other two cultivars in the shading experiment due to its greater nitrate reductase activity in comparison with that of the other two cultivars.

Experiment 2 examined the effects of different application rates of organic fertilizer on plant growth scenarios and the nitrate accumulation of two *Brassica napus* cultivars, 'Vincent' and 'Fluke sweet'. Soybean meal ([S], Fwusow industry co. ltd.) and composed cow manure, tatar No.1 ([C], Tian Lao industry co. ltd.) organic fertilizer, were applied in various amounts at the intervals recommend by the manufacturers for the two crops. In both crops, the highest nitrogen use efficiency (NUE) of the *Brassica napus* was 120 kg N/ha treatment, following which the yield was significantly enhanced and the nitrate content of the plant was at the low level of 1740-2715 mg/kg FW. At higher application amounts of 240 kg N/ha soybean meal (2S) and 480 kg N/ha composed cow manure (4C) treatment, the nitrate reductase activities of the two cultivars did not increase, but showed a downward trend, resulting in a nitrate content of the highest cumulative amount of 2022-3175 mg/kg FW. Nitrogen, exchangeable phosphorus, and potassium in the media were also accumulated and the value of electrical conductivity (EC) was increased. In the first crop season, in comparison with the control, the nitrate contents of the two cultivars of rape with higher application amounts (2S and 4C) increased by 73%-87% and 35%-58%, respectively. In the second

crop season, they were increased by 42%-54% and 25%-41%, respectively. The nitrogen release rate of the soybean meal was fast and high, and therefore the yield and relative nitrate content were greater in the first crop season. On the other hand, the nitrogen release from the composed cow manure was sustained and slow, and thus higher yields were obtained in the second crop season, while there was little difference in the nitrate content between the first and second crop season.

Experiment 3 studied the effects of spraying with different concentrations of sodium molybdate on the plant growth and the nitrate content of 'Vincent' and 'Fluke sweet' cultivars. Foliar spraying with 0-1.2 mg/L sodium molybdate was used under 1 g/L urea application. At 0.9 mg/L sodium molybdate spraying, the fresh and dry weights of the shoots, plant height, and leaf area were increased. The nitrate content was significantly increased following urea treatment; however, it was decreased after spraying with 0.9 mg/L of sodium molybdate. In addition, the total soluble sugars, starch, free amine acid and total soluble protein content were significantly increased.



## 目錄

壹、前言.....	1
貳、前人研究	
一、油菜生長特性及養分需求.....	2
二、光量對植物光合作用的影響.....	3
三、有機質肥料之特性.....	5
四、植體之氮代謝與硝酸根離子對人體健康的影響.....	6
五、影響植體內硝酸根離子累積的因子.....	9
六、鉬對植物生長、發育及氮代謝之影響.....	12
參、材料方法	
試驗一、採收前光強度處理對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響.....	14
試驗二、有機質肥料施用量對油菜植株生育、硝酸根離子含量及養分吸收之影響.....	17
試驗三、鉬酸鈉葉面噴施對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響.....	21
肆、結果	
試驗一、採收前光強度處理對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響.....	23
試驗二、有機質肥料施用量對油菜植株生育、硝酸根離子含量及養分吸收之影響.....	26
試驗三、鉬酸鈉葉面噴施對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響.....	32
伍、討論	
試驗一、採收前光強度處理對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響.....	59
試驗二、有機質肥料施用量對油菜植株生育、硝酸根離子含量及養分吸收之影響.....	61
試驗三、鉬酸鈉葉面噴施對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響.....	65
陸、結論.....	67
柒、參考文獻.....	68

## 表目錄

表 1、不同程度遮陰處理四天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉片淨光合作用速率(Pn)、氣孔導度(g <sub>s</sub> )、蒸散作用速率(E)和葉片細胞間隙 CO <sub>2</sub> 濃度(C <sub>i</sub> )之影響..35	35
表 2、不同程度遮陰處理四天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉綠素螢光參數之影響.....35	35
表 3、不同程度遮陰處理五天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’植株生育性狀之影響.....36	36
表 4、不同程度遮陰處理五天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉綠素含量之影響.....37	37
表 5、油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’不同程度遮陰處理三天與五天葉片與葉柄硝酸根離子含量與對照組相比增加百分比(%).....40	40
表 6、不同程度遮陰處理五天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’總可溶性糖、澱粉、銨根離子、游離胺基酸及總可溶性蛋白含量之影響.....40	40
表 7、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’第一作植株生育性狀之影響.....42	42
表 8、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’第二作植株生育性狀之影響.....42	42
表 9、不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’第一作植株生育性狀之影響.....43	43
表 10、不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’第二作植株生育性狀之影響.....43	43
表 11、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’第一作與第二作植株硝酸還原酶活性與硝酸根離子含量之影響.....44	44
表 12、不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’第一作與第二作植株硝酸還原酶活性與硝酸根離子含量之影響.....44	44
表 13、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’第一作與第二作植株游離胺基酸與總可溶性蛋白含量之影響.....45	45
表 14、不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’第一作與第二作植株游離胺基酸與總可溶性蛋白含量之影響.....45	45
表 15、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’第二作大量元素含量之影響.....46	46
表 16、不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’第二作大量元素含量之影響.....46	46
表 17、油菜‘文山’及‘福祿甜’不同有機質肥料施用量兩作產量(ton/ha)之估計.....47	47
表 18、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’及‘福祿甜’兩作氮吸收量(kg N/ha)之影響.....47	47
表 19、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’兩作氮素利用效率(NUE)、氮素吸收效率(NUpE)及氮素應用效率(NUtE)之影響.....48	48
表 20、不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’兩作氮素利用效率(NUE)、氮素吸收效率(NUpE)及氮素應用效率(NUtE)之影響.....48	48



表 21、油菜‘文山’及‘福祿甜’鉬酸鈉噴施處理硝酸還原酶活性、硝酸根離子、總可溶性醣、澱粉、游離胺基酸與總可溶性蛋白含量較未噴施處理增減百分比(%).....	57
表 22、尿素及鉬酸鈉噴施處理對油菜‘文山’及‘福祿甜’植株生育性狀之影響.....	57
表 23、尿素及鉬酸鈉噴施處理對油菜‘文山’及‘福祿甜’葉片硝酸還原酶活性與硝酸根離子含量之影響.....	58
表 24、尿素及鉬酸鈉噴施處理對油菜‘文山’總可溶性醣、澱粉、游離胺基酸與總可溶性蛋白含量之影響.....	58

國立中興大學



National Chung Hsing University

## 圖目錄

圖 1、不同程度遮陰處理三天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉片硝酸還原酶活性(NRA)之影響.....	37
圖 2、不同程度遮陰處理下‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉片(A~C)與葉柄(D~F)硝酸根離子含量隨時間變化之情形.....	38
圖 3、光強度對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’(A)葉片和(B)葉柄硝酸根離子含量之影響.....	39
圖 4、油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’於 50%及 70%遮陰處理五天總可溶性糖及澱粉含量較對照組減少百分比.....	41
圖 5、油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’於 50%及 70%遮陰處理五天銨根離子、游離胺基酸及總可溶性蛋白含量較對照組增減百分比.....	41
圖 6、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質無機態氮含量的變化.....	49
圖 7、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質交換性磷(Mehlich P)含量的變化.....	50
圖 8、不同有機質肥料施用量對油菜於連續種植之土壤交換性鉀(Mehlich K)含量的變化.....	50
圖 9、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質交換性鈣(Mehlich Ca)含量的變化.....	51
圖 10、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質交換性鎂(Mehlich Mg)含量的變化.....	51
圖 11、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質 EC 值的變化.....	52
圖 12、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質 pH 值的變化.....	52
圖 13、鉬酸鈉噴施處理濃度對油菜‘文山’及‘福祿甜’植株地上部鮮重(A)、乾重(B)株高(C)及葉面積(D)之影響.....	53
圖 14、鉬酸鈉噴施處理濃度對油菜‘文山’及‘福祿甜’葉片硝酸還原酶活性之影響.....	54
圖 15、鉬酸鈉噴施處理濃度對油菜‘文山’及‘福祿甜’葉片硝酸根離子含量之影響.....	54
圖 16、鉬酸鈉噴施處理濃度對油菜‘文山’及‘福祿甜’總可溶性糖(A)和澱粉(B)含量之影響.....	55
圖 17、鉬酸鈉噴施處理濃度對油菜‘文山’及‘福祿甜’游離胺基酸(A)和總可溶性蛋白(B)含量之影響.....	56

## 壹、前言

近年來消費者對食品安全的議題愈來愈重視，硝酸根離子藉由食物被人體攝入後，其後續代謝產物如亞硝酸根離子會對人的身體健康產生不良的影響，造成一些疾病，如腸胃道的癌症和藍嬰症等。人體攝入的硝酸根離子主要來源有蔬菜、水和肉製品，蔬菜是最主要攝入的來源(Santamaria, 2006)。食用蔬菜所攝入的硝酸根離子的量也取決於飲食習慣和蔬菜的調理，甚至可以高達人體總攝入量的 85% (Gorenjak and Cencic, 2013)，因此蔬菜類的硝酸根離子含量被認為是重要的品質指標之一。

影響蔬菜硝酸根離子的吸收和累積有許多因素，如：遺傳、環境和栽培等因素，其中光照和氮肥施用已被確認為主要影響的因素(Gorenjak and Cencic, 2013)。光對植體中氮代謝具有直接性的影響，光照會影響硝酸還原酶的活性，而光合作用產生的碳水化合物可提供能量，使氮同化作用可順利進行下去。台灣地區葉菜類的生產以溫網室進行栽培，可能因為透光問題或採收前連續陰天，在環境光強度太低的情況下，植體光合作用能力減弱，硝酸還原酶活性降低，造成植體硝酸根離子無法代謝而累積的現象。

根據 102 年農業統計年報的資料中顯示短期蔬菜總種植面積為 101619 公頃，佔台灣總蔬菜種植面積的 69.3%，短期葉菜類為台灣蔬菜產業中重要的一環。短期葉菜類生育期短且複作指數高，一般慣行栽培會施用大量的化學肥料提高產量，尤其以氮肥為主，造成葉菜類植體過多硝酸根離子的累積。施用不同種類的氮肥和不同的施用量均會不同程度地影響蔬菜硝酸根離子的累積。有機農業通常以有機質肥料取代化學肥料作為主要的肥力來源，有機質肥料施用可改良土壤物理性和化學性，提供作物生長所需的養分，但其肥效的釋放相對於化學肥料較為緩慢，若無法在葉菜生長期間及時供給足夠的養分，會影響產量；若施用量過多，會使植體氮素吸收量大於同化量，導致葉菜硝酸根離子的累積，故適當的有機質肥料施用量是很重要的。

硝酸還原酶是高等植物硝酸鹽同化途徑中的第一個關鍵酵素，會影響植體內硝酸根離子累積情形，鉬為硝酸還原酶的組成分，間接參與了植物的氮代謝。於葉菜類的栽培已有相關研究數據指出可施用鉬離子提高硝酸還原酶的活性，促進硝酸根離子的同化作用，可有效降低植體硝酸根離子的含量。

蔬菜用油菜是台灣周年可栽培之重要短期葉菜類之一，本研究以油菜為試驗材料，試驗項目包括三個主題：(1)調查油菜之光合作用特性及採收前遮陰對植體硝酸根離子含量之影響，以建立安全蔬菜品質之栽培臨界光強度。(2)調查施用不同有機質肥料量對油菜連作生育表現、氮肥吸收率和硝酸根離子含量之影響，藉以推薦符合葉菜類生長需求之合理化有機質肥料施用量，減少植體硝酸根離子累積，生產安全的葉用蔬菜。(3)調查油菜栽培期間以不同濃度的鉬酸鈉噴施對其植體內硝酸根離子累積量之影響，冀能生產低硝酸根離子含量的蔬菜。

## 貳、前人研究

### 一、油菜生長特性及養分需求

油菜為十字花科(Cruciferae)芸苔屬(Brassica)的一年生草本植物，原產於中國大陸，栽培歷史約有三千年左右，古名芸苔，在長江流域普遍栽培，嫩莖和葉可供蔬菜食用，種子可榨油用(鄭和安，1990)。油菜栽培品種從植株外形可分為大油菜(*Brassica napus* L.)及小油菜(*Brassica campestris* L.)兩種類型，按其品種之特性，主要有榨油、綠肥、飼料和蔬菜等用途之分，台灣蔬菜用油菜大多屬小油菜之類型，諸如 40 天、50 天、60 天及 80 天等油菜系統，全年皆可播種栽培(戴和郭，2007)。播種至採收依品種特性和生長溫度約為 28~35 天，以彰化縣栽培最盛，台中、苗栗、嘉義、雲林、南投亦栽培不少。

台灣早年油菜由中國大陸傳入，所栽培的品種屬於白菜型小油菜，通稱為台灣在來種(即地方種)，因其種子小，產量及產油量低，多半待植株開花結子後，將植株翻入土壤中當冬季綠肥栽培用。台灣光復以後，才自日本引進許多大油菜品種。大油菜品種之植株葉片均比小油菜大，種子含油量高，大油菜類型之蔬菜品種，目前僅有自日本引進之千寶 2 號一種而已，惟其栽培面積極少，市場上難得一見(戴和郭，2007)。

油菜對環境的適應能力強而廣泛，發芽適溫為 20~25°C，生育適溫在 15~20°C 之間，若於 14~18°C 的相對低溫下就容易抽苔開花。油菜對土壤的適應性廣，以 pH5~8 之間且排水良好之疏鬆肥沃的壤土最適宜。油菜幼苗期喜潮濕但忌淹水，栽培時須保持土壤濕潤並注意排水(姜和邱，2005)。

張等學者(1997)的研究指出，在環境所提供的營養元素充足之下，油菜植株乾物之各元素正常含量和缺乏之範圍如下表所示。作物施肥手冊建議之氮肥施用量為 80~120 kg N/ha，有學者指出施氮量在 0~180 kg N/ha 範圍內，隨著施氮量的增加，種子產量顯著提高。根據肥料效應方程式，油菜生產的最佳經濟尿素施氮量為 120.1~325.4 kg N/ha，平均用量為 199.6 kg N/ha(李等，2008)。另有學者研究顯示，在 0、80、160 和 240 kg N/ha 的氮肥施用量處理下，以 160 kg N/ha 氮肥施用量處理就可滿足其氮需求量且有最高的株高和種子產量(Ozer, 2003)。

表、油菜植體各元素正常及缺乏之範圍(張和張，1997)

蔬菜種類	項目	氮(%)	磷(%)	鉀(%)	鈣(%)	鎂(%)
油菜	正常範圍	4.2~6.2	0.45~1.13	4.2~8.4	1.73~2.86	0.31~0.59
	缺乏	-	<0.39	<3.5	<0.75	<0.25

### 二、光量對植物光合作用的影響

#### (一)光合作用介紹

光合作用是植物利用光能把二氧化碳與水轉化成碳水化合物並放出氧氣的過

程，此種將光能轉變成化學能的過程是植物最重要的生理作用(Taize and Zeiger, 2002)，光合作用是植物物質轉換與能量代謝的關鍵。葉片光合作用速率大多以二氧化碳交換速率表示，由氣孔內腔二氧化碳固定量說明同化作用情形，當作光合作用的指標(劉，2012)，通常以單位時間、單位葉面積所吸收的 CO<sub>2</sub> 量來計算，但測定的結果實際上是光合作用同化的 CO<sub>2</sub> 減去呼吸作用釋放出的 CO<sub>2</sub> 之差，稱為淨光合速率(net photosynthetic rate, Pn)(柯，2004)。

通常提高光照強度可使淨光合速率(Pn)增加，但過高的光強度將導致淨光合速率下降(Bowes *et al.*, 1971; Fan *et al.*, 2013; Khatib and Paulsen, 1989)。當光強度高於光飽和點時，植物有可能會因為光強度過高，光合結構葉綠體吸收的光能超過光合作用本身所利用的能量而引起光合效率的下降，產生光抑制作用(photoinhibition)(郭等，1990；Taiz and Zeiger, 2010)。

一般蔬菜的光飽和點多在 2~8 萬 lux 左右，而十字花科蔬菜多在 4 萬 lux 左右，需高光強度的蔬菜具有較高光飽和點的特性，大多數蔬菜的光補償點約為 1500~2000 lux 左右(郭等，1990)。有學者研究指出蘿蔓萵苣(romaine lettuce)栽培於 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  光照環境下的產量最低，600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  的光照環境下有最高的產量，若光照高於其光飽和點，以 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  栽培會因為光抑制而使光合作用能力降低，進而影響產量，且隨著光照強度增加硝酸根離子的含量降低，而總可溶性糖含量顯著上升(Fu *et al.*, 2012)。一般而言，日照強度適當，光合作用旺盛，碳水化合物累積多，蔬菜食用器官生長也較迅速；若光照太弱，光合作用減弱，碳水化合物累積少，蔬菜作物生長也受到限制，故在溫度、水分、二氧化碳等其他環境因子都配合的情況下，充分的光強度可促進光合作用的進行，提高蔬菜產量與品質(郭等，1990)。

光強度不僅影響光合作用的強弱，同時也影響植物的形態、結構和其他生理上的變化，如葉片大小與厚薄、節間長短、性別分化和結果率等(郭等，1990)。為了調節各種光環境，植物已經進化出許多機制，於低光照條件下，會使葉片變薄、比葉面積(SLA)增大、葉綠素 b 含量相對增加、葉綠素 a/b 值下降，且使植株高度增加呈細長型(徒長)，此構造上的改變有利於植物補獲較多光能來滿足光合作用需求，為植物對弱光環境的一種適應調節(Fan *et al.*, 2013; Steinger *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2003)。

## (二)葉綠素螢光測定原理

傳統上測量植物光合作用的方法，是利用 CO<sub>2</sub> 氣體交換速率來測量，但其設備昂貴且費時耗力才可獲得足夠的資訊，常對野外現場之研究造成不便(黃，2013)。近年來發展的葉綠素螢光分析技術已普遍應用於植物生態生理學的研究上，此測量方法具有非破壞性、簡單、快速且可信度高等優點，可評估植物在不同環境和生理狀態下光合作用的效能及受環境逆境影響的程度(Calatayud *et al.*, 2006; Fu *et al.*, 2012; Maxwell and Johnson, 2000)。

當葉片進行光合作用時，光被天線色素(antenna pigment)吸收後，光所激發的

能量轉移到兩個光系統(PSI 及 PSII)的反應中心，引發光合作用的能量轉換，把光能轉為化學能(Björkman and Demmig, 1987; Krause and Weis, 1991)。在此過程中，葉綠素吸收的光能由基礎態跳到能階較高的激發態，隨後藉 3 種路徑將光能消散，首先是使用於光合作用光化學反應的光化學消散(photochemical quenching, qP)，而多餘的能量以熱的形式釋放，稱為非光化學消散(nonphotochemical quenching, NPQ)，或以葉綠素螢光釋放(fluorescence)(Maxwell and Johnson, 2000)。植物生長環境內光度的強弱會影響葉片光化學消散的能力及非光化學消散的比例，因此各光能消散路徑的能量分配，可藉由葉綠素螢光參數來估算，通常光合作用速率較高的葉片，光化學消散占總吸收光能的比例也較高(Fu *et al.*, 2012; Maxwell and Johnson, 2000)。Fo 及 Fo' 分別為暗適應及光照下葉片之最小或起始螢光值，葉片暗適應 5~60 分鐘，全部的電子會被 PSI 電子傳遞鏈消耗，所有開放構形的 PSII 反應中心所產生的最小螢光值為 Fo; Fm 及 Fm' 則分別為暗適應及光照下葉片之最大螢光值，利用「光倍增」的技術，以高強度的短閃光照射暗適應的葉片，飽和光照(3,000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以上)使 PSII 反應中心暫時關閉，此時光化學消散瞬間降低為 0，而螢光有最大值為 Fm，光適應葉片若同樣以飽和光源照射，通常 Fm' 值會較 Fm 值為低，主要是由於光化學能量轉換成以熱方式消散(劉, 2012; Fu *et al.*, 2012; Maxwell and Johnson, 2000)。

葉綠素螢光測定儀中有許多參數可應用於光合作用的偵測上，如電子傳遞鍊(electron transfer rate, ETR)、光化學產量(photochemical yield,  $\Phi\text{PSII}$ )、光化學消散(photochemical quenching, qP)及非光化學消散(non-photochemical quenching, qN)等(黃, 2013)。光系統 II (PS II) 電子傳遞的光量子產量( $\Phi\text{PSII}$ )可定義為  $(Fm' - Ft) / Fm'$  (Ft 為照閃光前螢光的穩定值)，代表光照下，光系統 II (PS II) 之實際效能及其所吸收之光能經電子傳遞鍊用於光化學消散的比例，最低至最高螢光量間的差值為 Fv ( $Fv = Fm - Fo$ )， $\Phi\text{PSII}$  也可以  $(Fm - Fo) / Fm \times qP$  公式來計算(劉, 2012; Maxwell and Johnson, 2000)。ETR 是由螢光參數  $[(Fm' - Fo) / Fm]$  乘於光合作用有效輻射(photosynthetically active radiation, PAR)及係數計算而成，表示光系統 II (PS II) 吸收光能後實際經電子傳遞鍊輸出的電子流量(Baker, 2008; Krall and Edwards, 1990)。非光化學消散若不考慮 Fo 則以 NPQ 表示，qP 及 qN 的數值為 0 到 1 之間，NPQ 則是 0 到 10 之間，qN 是指能量不是用於光化學的部分，一般是以螢光和熱的方式釋放，NPQ 是天線系統中激發能量以熱釋放的部分，是過多光能(excess light energy)的指標，可利用 qN 及 NPQ 之差異說明不同部位能量過高的情形(劉, 2012)。qP 被認為是光適應狀態下 PSII 進行光化學反應的能力，即開放的 PSII 反應中心的程度，可合成 ATP 及 NADPH，幫助固定  $\text{CO}_2$  產生醣類(張等, 2004; 黃, 2013)。當光強度過高時植物可透過葉黃素循環將過剩的光能以熱的形式釋出，有學者指出，當植物葉黃素循環消散激發態的能力減弱時，葉黃素循環的去環氧化程度也較低，並與 NPQ 有很好的線性正相關(Adams *et al.*, 2004; Demmig-Adams and Adams, 1996; Havaux *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2000)。

### 三、有機質肥料之特性

#### (一)有機質肥料的簡介

土壤有機質含量會影響作物生長和產量，有機質肥料的施用，不僅可以提供作物之營養來源，也可以提高土壤的物理性，特別是在耕地土壤(Chang *et al.*, 2007; Haynes and Naidu, 1998)。一般將有機質肥料分成易分解型及不易分解型，前者以供應植物營養份為主，後者能在土壤中維持較久，可改善土壤之物理性、化學性和生物性為主，如增進土壤團粒構造、保水力和通氣性，增加土壤有機質的含量，提高土壤無機養分的有效性，提供土壤微生物營養及能量，提升其活性，並增加蚯蚓的族群數量等(楊，2010；Haynes and Naidu, 1998)。有機質肥料對作物養分供應比化學性肥料較為平衡，大部分肥效緩慢且持久，作物可擁有較高的肥分利用效率(黃，2013；Flaig, 1978)，但若施用過多的有機質肥料會造成土壤的鹽害，影響作物的生長(Chang *et al.*, 2007)。

有機質肥料的種類甚多，依其材料來源及分解難易程度有很大的變化(楊，2010)，主要分為禽畜糞尿、油粕類、動物質肥料、植物殘體、綠肥和海鳥糞等，在控制條件下利用微生物作用將有機資材轉化成衛生、富含腐植質且相對穩定產品即為堆肥，市售有機質肥料以此為主要商品(倪，2004)。堆肥可增加土壤有機質含量並改善土壤理化性質，因其中的氮素經堆肥化過程後通常成為緩效性，可直接施用並與土壤充分混合為基肥，增加土壤的肥力，提供作物所需的養分(陳，2005)。若施用未腐熟的有機物，容易造成土壤過度還原性及釋出有毒物質等問題(洪與華，1975；蔡，2008；Harada, 1990；Jokela, 1992)，因此有機廢棄物需經過適當的堆肥化處理已除去不良的有機成分與毒性物質等限制作物生長的因子，以利作物生長(蔡，2008；Harada *et al.*, 1991; Inoko, 1982)。若未經堆肥化的有機質肥料要直接施用，則需拉長有機質施用，與作物栽種間的時間距離，以避免副作用的產生(陳，2005)。各種有機質肥料有不同的型態、分解速度、腐熟度，將會影響其肥效釋放，應依作物、土壤和地形氣候環境來選擇適當的有機質肥料，才能達到經濟且有效利用的效果(楊，2010)。

#### (二)有機質肥料於土壤中的氮礦化作用

有機質肥料中的氮素絕大部分為有機態，必須先經過微生物分解後釋出無機態氮，才能供作物吸收利用，礦化作用(mineralization)即指氮素經由微生物作用把有機態轉為無機態的過程(林和王，2002；楊，2010)。以植物性有機質肥料及禽畜糞堆肥進行土壤培育試驗，結果顯示植物性有機質肥料的大豆粕，擁有較快速的氮素釋放率，於培育 7~14 天可達 65%~70%左右的氮素礦化量；禽畜糞堆肥的田樂一號牛糞堆肥，於培育前 14 天有一波氮素釋放，其氮素礦化量達到 35%，其後隨著時間增加而緩慢上升，最後於培育第 112 天時達到約 51.5%(黃，2013)。未堆肥化處理的禽畜糞肥的氮礦化率為 38%~60%，而堆肥化處理的禽畜糞肥料降至 6-20%，堆肥化處理可降低有機質的礦化量，有機氮轉化為硝酸態氮的作用減緩，減少硝酸根離子的淋失(Evanylo *et al.*, 2008)。由以上研究可知，不同有機質肥料的

礦化特性即不同，且經過堆肥化過程的有機質肥料之礦化速率較為緩和，其礦化量也比原來的有機材料低(蔡等，1993)。

由於有機資材的種類繁多，因此不同有機質肥料成分差異很大，以肥料成分中的氮素含量而言，依序為污泥、油粕類、禽畜糞及禽畜糞堆肥，其中禽畜糞肥中雞糞肥含有較高的氮素，作物殘株則一般含氮量較低；磷鉀含量則以禽畜糞及禽畜糞堆肥較高，其中尤以家禽糞尿含量最多，而作物殘體含量較低(林和王，2002；楊，2010)。植物性有機質肥料中，纖維質含量高的有機資材，如稻草、木屑、蔗渣等，自施用後皆呈現無機氮素減少的現象，表示這類資材不但不能供應作物氮素，還會用掉土壤中的氮，主要以補給土壤有機質為主。至於含氮量高的有機資材，如豆粕，施用初期會有一段微生物分解的遲滯效應，無機氮素釋出極少，大約維持2~3天，之後2週內氮素就會大量釋放出，2週後釋出量才漸漸減少，總計兩週氮素釋出量幾乎占36週釋出量的三分之二(林和王，2002)。

有機質在土壤中的礦化作用受到許多因子影響，如土壤特性(質地、結構、有機質含量等)、降雨量、土壤環境(溫度、水分、pH值)、有機質本身特性、施用量及施用時期等(蔡等，1993)。有機質必須經礦化作用後才能釋出養分供作物吸收，其礦化釋出養分太早、或累積太多、或待作物生長旺期過後才釋出者，對作物生長及土壤環境皆不利，必須使有機質肥料的養分礦化速率與作物養分吸收速率互相配合，才能使有機質肥料的有效性發揮到最恰當(蔡等，1993；Castellanos and Pratt, 1981; Hendrix *et al.*, 1992)。

#### 四、植體之氮代謝與硝酸根離子對人體健康的影響

##### (一)氮對植體的重要性

氮為植物生長所必須之元素，也是植物根系從土壤中吸收最多的礦物營養元素之一(Crawford, 1995)。各種不同的植物，其發育階段和部位的不同，氮素含量占植體乾物重約為2~5% (楊，2010)，是植物體內許多重要有機化合物之組成元素，如核酸、胺基酸、蛋白質、各種酵素、葉綠素、維生素、植物生長素和生物鹼等皆含有氮素，其中蛋白質組成分中含有16~18%的氮素，蛋白質態氮占植體全氮的80~85%，為植物體中主要的含氮化合物。蛋白質是細胞質的基礎物質，影響植物的整個生長與發育的過程，且酵素屬於蛋白質的一種，是植物體內許多生理作用和代謝過程中所不可或缺的催化劑(柯，2004)。缺乏氮素會導致植物生長受限，因此氮素的同化對作物生長與產量有極大的影響 (Taize and Zeiger, 2002)。

##### (二)氮素的吸收與同化作用

在自然界裡，95%的氮是以氮氣( $N_2$ )或氧化亞氮( $N_2O$ )等氣體形式存在，豆科植物可與固氮細菌共生利用空氣中的氮，但大部分行光合作用的植物無法直接利用(Chow, 2012)，必須從土壤中吸收氮源。植物從土壤溶液中可以吸收的氮源為無機態氮形式的硝酸根離子( $NO_3^-$ )和銨根離子( $NH_4^+$ )，以及可溶性之有機態氮形式的尿素(urea) (Crawford, 1995)。土壤中有機態氮含量約占95%以上，植物可直接利用



的無機態氮只占 5% 以下，有機態氮必須經過礦化作用才能轉變為無機態氮供植物吸收利用。其中硝酸態氮及銨態氮含量會因土壤的 pH 值、溫度、氧氣含量等因素而改變，如在有氧氣的土壤環境中，銨態氮會經由微生物的硝化作用轉變為硝酸態氮，而且通常硝酸態氮在土壤中的移動性較大，銨態氮則容易被土壤固定與吸附或揮發而浪費(楊，2010)，所以土壤中硝酸態氮的含量(0~10 mM)一般為銨態氮含量(0~1 mM)的 10~20 倍，是除了有機態氮之外，土壤中氮的主要型態，故硝酸態氮是一般田間作物最常吸收利用的氮源。因應土壤各種環境的變化，植物發展出了不同的氮吸收機制，如當氮源以銨態氮為主時，生育依然良好的好銨態氮性作物，例如：萵苣、草莓、洋香瓜、芹菜、茼蒿及水稻等；在高濃度的硝酸態氮供給下，生育旺盛，且對銨態氮的耐受性較低的好硝酸態氮性作物，例如：菠菜、白菜、豌豆、甘藍、茄科作物和西瓜等(李，2006)。

進入根部的硝酸根離子一部分儲存在根部細胞之液胞內，另一部分直接在根部表皮及皮層細胞之細胞質及質體內被還原同化成銨根離子和胺基酸等含氮化合物，大部分硝酸根離子是以共質體運輸(symplast transport)進入根的木質部，順著蒸散流在木質部中經木質液以質體外運輸(apoplast pathway)向上運移到地上部利用或儲存(Aslam *et al.*, 2001; Buchanan *et al.*, 2000; Crawford, 1995; Jackson *et al.*, 2008)。在大多數的狀況下，植物進行硝酸鹽同化(assimilation)作用的主要部位是在地上部，因為硝酸鹽同化(assimilation)作用所需的還原力，其能量來源大多是來自於光合作用(許和蔡，2014)。運移至地上部的硝酸根離子，若處於黑暗無光的環境下，硝酸根離子會儲存於莖部和葉肉細胞的液泡中，稱為硝酸根離子的儲存池(Storage pool)；若是在有光照的環境下，光線會刺激硝酸還原酶活化，使葉肉細胞之硝酸根離子從液胞中運移至細胞質中代謝，稱為硝酸根離子的代謝池(metabolic pool)(Chen *et al.*, 2004)。其代謝過程為硝酸根離子在細胞質中會經硝酸還原酶(nitrate reductase, NR)和 NAD(P)H 的作用還原成亞硝酸根離子，此為不可逆之反應。由於亞硝酸根離子對植體本身有毒性，故亞硝酸根離子迅速被運移至葉綠體中，於葉綠體內經亞硝酸還原酶(nitrite reductase, Nir)及光反應的產物 reduced ferredoxin (Fdred)還原成銨根離子，並產生氧化型的 ferredoxin (Crawford, 1995; Chen *et al.*, 2004; Oaks, 1994)。

銨根離子接著會參與 GS/GOGAT 系統進行同化作用，銨根離子先與麩胺酸(glutamate)經麩胺醯胺合成酶(glutamine synthetase, GS)的催化反應，並消耗 ATP 產生麩胺醯胺(glutamine)，麩胺醯胺和光合產物  $\alpha$ -酮戊二酸( $\alpha$ -ketoglutarate)及 NADH 經由麩胺酸合成酶(glutamate synthase; glutamine-oxoglutarate amino transferase, GOGAT)的催化，將麩胺醯胺(glutamine)與  $\alpha$ -酮戊二酸( $\alpha$ -ketoglutarate)反應產生兩分子的麩胺酸(glutamate)。其中一個麩胺酸(glutamate)回去參與 GS 合成循環途徑，另一個被運移至植物各部位合成其他胺基酸和蛋白質等含氮化合物，供植物體生長所需(Crawford, 1995; Lam *et al.*, 1996; Taiz and Zeiger, 2002)。

### (三)硝酸根離子對人體健康的影響

由於現代集約農業合成氮肥的使用和畜禽糞便的增加，蔬菜和飲用水可能比過去含有更高的硝酸根離子濃度(Santamaria, 2006)。國外學者 Ysart 等人估計成年人一天總硝酸鹽攝取量為 93 毫克，各種食物其比例如下：馬鈴薯(33%)、綠色蔬菜(21%)、其他蔬菜(15%)、飲料(8.5%)、肉類製品(4.2%)、新鮮水果(3.5%)、乳製品(3.1%)、牛奶(2.9%)、穀類(2.1%)、麵包(1.6%)、其他(5.1%)，人體每天攝取的硝酸鹽來源有將近 70%是來自蔬菜(Anjana, 2007)。硝酸根離子本身對人體是相對無毒的，但人體所有攝入的硝酸根離子約 5%會在唾液和胃腸道被轉化成毒性更大的亞硝酸根離子(Santamaria, 2006)，故硝酸根離子本身對人體是無害的，但若攝入過量的硝酸根離子，其後續代謝物證實對人體的健康會產生危害。攝入過量的硝酸根離子，可能會在唾液及腸胃道中被轉換成對人體有害的亞硝酸根離子。亞硝酸根離子會在人體消化道中與胺或醯胺反應，形成強烈具致癌性的亞硝胺、亞硝基化合物，而導致腸胃道的癌症，如胃癌(Hill, 1999; Magee and Barnes, 1954; Mensinga *et al.*, 2003)。另外亞硝酸根離子於人體中會與血紅蛋白反應，形成變性血紅蛋白(met-haemoglobin)，一旦變性血紅蛋白(met-Hb)的比例達到正常血紅蛋白的 10%，會使紅血球攜氧能力降低，由於缺氧血的存在導致皮膚變藍色，產生發紺(cyanosis)症狀，更嚴重會導致人體缺氧窒息，此致命的疾病被稱為高鐵血紅蛋白血症，尤其是不到三個月大的嬰兒更容易有此症狀，又稱藍嬰症候群(Amr and Hadidi, 2001; Hill, 1991; Pannala *et al.*, 2003; Santamaria, 2006)。

由於硝酸根離子被認為有危害人體健康的疑慮，西元 1973 年世界衛生組織和聯合國糧農組織(WHO/FAO)規定人體硝酸根離子每日允許攝取量(acceptable daily intake, ADI)為 3.65 mg/kg，每人每天對硝酸根離子之攝取量不超過 255 mg (JECFA, 1996)。國際上相關的食品安全組織，如歐盟共同體的食品科學委員會(European Commission Scientific Committee on Food)在 1990 年審查硝酸鹽和亞硝酸鹽的毒性效應，規定硝酸根離子每日允許攝取量(acceptable daily intake, ADI)為 0-3.7 mg/kg body weight/day (相當於一個 60 公斤體重的成年人硝酸鹽日允許量為 222 毫克)，並在 1995 年規定亞硝酸根離子每日允許攝取量(acceptable daily intake, ADI)為 0-0.06 mg /kg body weight/day。2002 年食品添加物專家委員會 (The Joint FAO/WHO Experts Committee on Food Additives, JECFA)完成了最近一次的檢討，並再次確認硝酸根離子每日允許攝取量(acceptable daily intake, ADI)為 0~3.7 mg /kg body weight/day，亞硝酸根離子每日允許攝取量(acceptable daily intake, ADI)為 0-0.07 mg /kg body weight/day(Gorenjak and Cencic, 2013; Santamaria, 2006)。

人體攝入的硝酸根離子主要來源有蔬菜，水和肉製品，蔬菜是最主要攝入硝酸根離子的來源(Santamaria, 2006)，因此硝酸根離子的含量被認定是蔬菜品質的重要特性。目前國際上許多先進國家的政府和監督機關已陸續制定作物可食用部位硝酸根離子含量的標準(Santamaria, 2006)，歐盟於 1997 年時首次立法對蔬菜中硝酸根離子制定最高容許量，之後法規也已經修改數次。歐盟目前已經分別對菠菜、

萵苣和芝麻菜訂立了不同的硝酸根離子最高容許量，隨不同種植季節及栽培環境而有不同的限制標準：新鮮菠菜(最高限制含量為 3,500 mg/kg FW)，保存、速凍或冷凍菠菜(最高限制含量為 2,000 mg/kg FW)；在 4~9 月的高溫高光照期，於設施及露天栽培生產萵苣的最高硝酸根離子容許量分別為 4,000 及 3,000 mg/kg FW；而 10~3 月的低溫低光照期，設施及露天栽培生產萵苣的最高硝酸根離子容許量分別為 5,000 及 4,000 mg/kg FW；在 4~9 月和 10~3 月栽培生產的芝麻菜最高硝酸根離子容許量分別為 6000 至 7000 mg/kg FW。從上述的標準顯示在冬季生產的蔬菜比在夏季生產的有較高的硝酸根離子容許量(Commission Regulation (EU) No 1258, 2011; Gorenjak and Cencic, 2013)。由於在高溫高光照的夏季，蔬菜作物光合作用較旺盛可促進硝酸根離子代謝，故硝酸根離子含量會低於低溫低光照的冬季栽培期，設施栽培因光強度低於露天栽培者，故設施內所栽種的蔬菜硝酸根離子容許量會比露天栽培來的高。目前台灣政府單位尚未嚴格制定蔬菜硝酸鹽含量的限制標準，但台灣民間團體如主婦聯盟等為了保障消費者健康，訂定其收購蔬菜硝酸根離子含量標準，目前暫定為 2500 mg/kg FW，藉以確保高品質蔬菜食用之安全(譚等，2001；鄔等，2001)。

## 五、影響植體內硝酸根離子累積的因子

影響蔬菜硝酸根離子的吸收和累積有許多因素，如：遺傳、環境、栽培等因素，其中氮肥施用和光照已被確認為主要影響的因素(Gorenjak and Cencic, 2013; Santamaria, 2006)。

### 1. 物種

在不同的蔬菜物種，栽培品種，甚至不同倍基因型，硝酸鹽的含量也不同(Santamaria, 2006)。蔬菜中大部分以葉菜類硝酸根離子的含量是最高的，如十字花科的芝麻菜和芥菜、藜科的菠菜和甜菜、菊科的萵苣與繖形科的芹菜和荷蘭芹等具有較高的硝酸鹽含量，平均含量皆超過 2500 mg/kg FW (Santamaria, 2006; Gorenjak and Cencic, 2013)。果菜類和根莖類蔬菜具有較低的硝酸根離子含量，如在許多國家占飲食主要部分的馬鈴薯和胡蘿蔔，其平均硝酸根離子的含量僅僅約 100 mg/kg Fw 以上而已(Gorenjak and Cencic, 2013)。Anjana 等學者(2007)研究印度地區九種基因型菠菜種植三週後硝酸根離子的濃度，試驗顯示基因型 S5 菠菜葉片硝酸根離子累積最多，高達 2674 mg/kg FW，基因型 S6 菠菜葉片硝酸根離子含量最低，約為 998 mg/kg FW，顯示不同品種或基因型的蔬菜，硝酸根離子累積的趨勢也有所不同。

### 2. 植體部位

植物各部位的硝酸根離子含量依據功能不同而有所差異，硝酸根離子由根部吸收，並由莖部運送至葉片，根部、葉片因可以行硝酸還原作用，其硝酸根離子含量會小於負責運輸的葉柄及莖部(黃，2013)。以種植六週的菠菜為例，葉柄和葉片累積的硝酸根離子含量分別為 35328 mg/kg FW 和 5364 mg/kg FW，研究數據顯

示葉柄及葉片硝酸根離子含量可差 6.6 倍之多(Anjana *et al.*, 2007)。若以蔬菜各部位中硝酸根離子含量來排序，以多至少為葉柄>葉片>莖>根>花序>塊莖>球莖>果實>種子(Santamaria, 2006)。

### 3. 硝酸還原酶

植體中硝酸根離子累積的能力與不同部位硝酸還原酶的活性與硝酸根離子吸收和轉移的不同程度相關聯(Santamaria, 2006)。硝酸還原酶(nitrate reductase, NR)分子為同質雙體構造的誘導酶，每一個單體由>100 kDa 的多肽鏈組成，各單體含有三個氧化還原中心，分別為 FAD、heme-Fe 和含鉬複合體(Mo-Co)，提供電子傳遞反應。在大部分高等植物中，大都以 NADH 作為電子供體，來催化還原作用(Campbell, 1999)。硝酸還原酶(NR)為氮同化作用的第一個酵素，為受質誘導的酵素，硝酸根離子為其受質，誘導 NR 的基因表現，其活性會受到光合作用、光照環境、營養狀態及乾旱等因子的影響，半衰期為 4~21 小時不等(Aslam *et al.*, 2001; Crawford, 1995; Huber and Kaiser, 1997)。硝酸還原酶活性在高等植物的硝酸根離子同化作用中被視為是限制的因素，且硝酸鹽同化途徑大多數步驟是硝酸根離子誘導，硝酸根離子強烈刺激硝酸鹽轉運蛋白，硝酸鹽還原酶和亞硝酸鹽還原酶基因的轉錄(Chen *et al.*, 2004; Skrdleta *et al.*, 1979; Stohr, 1999; Sivasankar *et al.*, 1997)。但在過高濃度硝酸根離子供應下，硝酸根離子代謝產物包括銨和麩氨醯胺抑制硝酸根離子的吸收，降低硝酸還原酶的基因表達，使硝酸還原酶活性下降(Balotf *et al.*, 2012)。Shiraishi 等學者(1992)進行菠菜細胞培養的研究發現當細胞中的麩氨醯胺含量增加，硝酸還原酶活性迅速下降，硝酸還原酶蛋白合成減少，當細胞的麩氨醯胺含量降低，硝酸還原酶活性呈現顯著增加，顯示硝酸還原酶活性和細胞的麩氨醯胺含量之間呈負相關性。推測麩氨醯胺抑制硝酸還原酶基因的表達，導致硝酸還原酶活性降低。

硝酸還原酶活性對光照反應敏感，黑暗處理菠菜，發現硝酸還原酶的活性非常迅速地下降，只在 2 分鐘內即下降至一半的活性，可避免在細胞中積聚有毒的亞硝酸根離子。暗期處理後硝酸還原酶的失活是可逆的，其活性並不是由於蛋白質降解，而是可逆之酵素構型的改變(Riens *et al.*, 1992)。

### 4. 光強度

光強度(light intensity)為單位時間內單位面積所照射到的光量，係指光的明度。光強度的單位有英制系統—燭光(foot candle, ft-c)和公制系統—勒克斯 (lux, lx)，其單位換算為 1 ft-c = 10.76 lux。另外，光合作用的輻射量是以 PPF (photosynthetic photon flux density)來計算，也就是「光合作用能力的光子流通密度」，它是測量光合作用有效光或輻射能(photosynthetically active radiation, PAR)時使用的單位。光子通量密度(photon flux density)指的是每單位時間內於每單位面積的光子的數。不同之光源，由 lux 轉換成 PPF ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )有其相關係數，如太陽光，該相關係數為 54(鄭，2006)。

植物藉由光合作用合成碳水化合物，提供了氮代謝酵素能量及氮代謝物合成

的碳骨架，以利氮代謝的進行(Chen, 2004; Crawford, 1995)，且硝酸還原酶活性(nitrate reductase activity, NRA)也受到光照的調控，因此光照強度是影響植體硝酸根離子累積的重要因子。菠菜葉的硝酸根離子含量會隨著晝夜週期有所波動，在白天期間含量逐漸減小，並在晚上逐漸增高，於清晨時達到高峰。在光照期觀察到葉硝酸根離子減少，反映儲存於液泡中的硝酸根離子已於細胞質中進行還原作用，在黑暗期硝酸根離子的增加反映經由蒸散流轉移到葉的硝酸根離子被儲存於液胞中未被還原。於黑暗下由於硝酸還原酶活性降低，還原速率下降，導致硝酸根離子含量增加(Riens *et al.*, 1992)。

Fu 等學者(2012)研究蘿蔓萵苣(romaine lettuce)於 100~800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  的光強度下栽培約二週，其硝酸根離子含量在 400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以下即開始累積，並在 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  的光強度下硝酸根離子含量達到 3350 mg/kg FW，相較 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  的光強度處理增加 550%，而總可溶性蛋白的部分各處理間沒有明顯的差異。隨著光強度的增加，萵苣的硝酸還原酶活性跟著提高，導致硝酸根離子的含量下降((Blom-Zandstra *et al.*, 1988; Fu *et al.*, 2012; Gaudreau *et al.*, 1995)。在低光強度下植體光合作用能力減少，進而影響產量，植體氮同化能力降低，硝酸根離子因此而累積(Demšar *et al.*, 2004; He *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2012; Weightman, 2006)。

#### 5. 氮肥供應量

氮肥的施用在作物的產量和品質上扮演重要的角色，蔬菜作物主要的氮肥來源主要是硝酸態氮(Chen *et al.*, 2004)。在低氮肥供應下，硝酸根離子對 NAR 有正向的影響，但在高氮肥供應下，NAR 達到一個高點或甚至下降，因此當硝酸根離子濃度高於某一限度(平均值)時，NAR 無法持續被硝酸根離子所誘導，若植物體吸收的硝酸根離子過多，將導致硝酸根離子大量累積(Chen *et al.*, 2004; Ivashikina and Sokolov, 1997)。大部分的研究顯示，硝酸根離子吸收和還原之間的不平衡是造成植體硝酸根離子累積的根本因子(Du *et al.*, 2007)。Chen 等學者(2004)以油菜、青江菜和菠菜為試驗材料進行不同氮肥施用量處理，種植九週後，隨著硝酸鉀氮肥的施用量增加，其 NRA 有顯著的上升，但若氮素施用超過 450 kg/ha 時，NRA 即無法再繼續增加。隨著硝酸鉀氮肥的施用量增加，硝酸根離子的含量也有顯著的上升，油菜施用 450~600 kg/ha 的氮肥，油菜硝酸根離子的含量達到最高。顯示 NRA 對硝酸根離子的代謝同化量有限，若有過多的氮肥供應，即會造成硝酸根離子的累積。Wang 和 Li 兩位學者(2004)以甘藍和油菜為試驗材料，施用 0~270 kg/ha 的尿素，甘藍和油菜硝酸根離子的含量隨著氮肥施用量的提高而有所增加，兩者施用 180 kg/ha 的尿素之硝酸根離子含量分別為 1011 和 1413 mg/kg FW，顯示蔬菜硝酸根離子的濃度與施氮量呈正相關。

有學者指出在有機農業栽培的蔬菜相對於傳統慣行栽培的蔬菜有較低的硝酸根離子含量，而水耕栽培的蔬菜又比傳統慣行栽培的蔬菜有較高的含量(Gorenjak and Cencic, 2013)。有學者研究不同堆肥處理對不結球葉菜類硝酸鹽含量之影響，試驗結果顯示以施用化學肥料的含量最高，其次為雞糞及豌豆渣堆肥，而牛糞、

豬糞及樹皮堆肥處理者最低，處理之間有顯著的差異，推測可能為六種肥料的含氮量及氮源各不相同所致(張和馮，1995)。通常有機質肥料中以施用較速效且含氮量較高的豆粕類和雞糞的蔬菜會有較多的硝酸根離子含量。植體內的硝酸根離子濃度會因堆肥的種類不同而有很大差異，與起始堆肥中的硝酸根離子濃度呈正相關(鐘，2014)。張和馮兩位學者(1995)又研究牛糞堆肥施用量對小白菜硝酸鹽含量和產量的影響，結果顯示增加牛糞堆肥施用量，小白菜葉片硝酸鹽含量有遞增之趨勢，以 1600 kg/10a 處理最高，其次為 1200 kg/10a 處理，800 kg/10a 處理較低；不同牛糞堆肥施用量對小白菜產量也有顯著之效應，在 1200 kg/10a 處理最高，其次為 1600 kg/10a 處理，800 kg/10a 處理較低。因此，肥料施用量應在合理範圍內以提高產量，並避免過多硝酸根離子的累積。另有學者利用水耕方式栽培萵苣，於採收前五天利用無氮的營養液栽培，其硝酸根離子的含量比對照組來的低很多，兩者差了約 10 倍之多，證明在採收前停止供應氮肥可有效降低萵苣硝酸鹽含量(Liu and Yang, 2012)。

## 六、鉬對植物生長、發育及氮代謝之影響

鉬是在土壤中發現的微量元素，植物可利用的鉬通常是可溶性之鉬酸離子( $\text{MoO}_4^-$ )的形式(Lindsay, 1979; Kaiser *et al.*, 2005)。鉬也是植物的生長所必須的微量元素之一，於植物生化系統中當作催化劑，但本身不具生化活性，必須與特定的輔因子結合才具有活性(Nie *et al.*, 2007)。鉬是許多酵素所必須的組成分，在植物體許多代謝過程如 C 循環，N 循環和 S 循環裡扮演重要的角色(Liu *et al.*, 2010; Mendel and Hansch, 2002; Stallmeyer *et al.*, 1999)。

鉬為植物中各種類型含鉬酵素(molybdoenzymes)的組成分子，參與許多酵素催化的氧化還原反應，其中包括氮的同化和還原作用，如催化硝酸鹽還原的硝酸還原酶(nitrate reductase, NR)，參與固氮作用的固氮酶(nitrogenase)，催化嘌呤分解代謝的黃嘌呤脫氫酶/氧化酶(xanthine dehydrogenase/oxidase, XDH)，參與離層酸(ABA)和吲哚乙酸(IAA)的生合成的乙醛氧化酶(aldehyde oxidase, AO)，還有參與硫代謝的亞硫酸氧化酶(sulfite oxidase, SO)等(Kaiser *et al.*, 2005; Mendel and Haensch, 2002)。鉬參與許多不同的酵素催化的生理過程，其中對氮代謝的影響最大，缺乏鉬時會影響植物的生長和發育(Graham and Stangoulis, 2005; Kaiser *et al.*, 2005)。

鉬是硝酸還原酶(nitrate reductase, NR)的組成分子，參與植體硝酸態氮的同化作用，硝酸還原酶是一種含鉬的黃素蛋白(flavoprotein)，因此缺鉬時，會間接影響硝酸還原酶的活性，導致植物體內硝酸根離子累積，氮的同化受到抑制(柯，2004)。小麥和豆科作物在缺鉬並施用硝酸鹽肥料的狀態下生長，將造成葉色變淺綠色，葉緣壞死並降低整體植物的生長(Kaiser *et al.*, 2005)。當植物缺鉬時會降低硝酸還原酶的活性，尤其是在環境逆境下，如寒害和乾旱逆境等(Nie *et al.*, 2007)。在大多數的植物物種，NR 活性的喪失會造成組織硝酸根離子濃度的增加並降低植物的生長和產量(Kaiser *et al.*, 2005)。菠菜於缺鉬的條件下生長，葉片的硝酸還原酶活性

降低且植株的產量比生長在足夠鉬的對照植株來的低(Witt and Jungk, 1977)。小麥不論是在光照或黑暗的環境下生長，缺鉬也造成最大硝酸還原酶活性的降低(Yaneva *et al.*, 2000)。在大多數情況下，以鉬作為葉面施肥或補充於營養液中，很容易即可恢復硝酸還原酶的活性(Kaiser *et al.*, 2005)。

鉬的供應可以增加植物生長，葉綠素含量，光合作用和抗氧化的能力等(Liu *et al.*, 2010b; Sun *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2012)。蔬菜施用鉬可促進生長和增加產量，也可以提高其品質，如抗壞血酸，總可溶性糖和葉綠素的含量皆能提升，並誘導硝酸根離子含量的降低(Nie *et al.*, 2007)。有學者研究發現施鉬對冬小麥和油菜的生長發育，產量和品質有所影響，主要是因為鉬參與光合作用與N和C代謝(Nie *et al.*, 2007)。豆科植物雖然對鉬缺乏非常敏感，但過多的鉬會導致生物量及種子產量降低，並使其品質下降(Nie *et al.*, 2007)。鉬肥會誘導抗氧化能力的提高，包括酵素系統，如超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、過氧化物酶(peroxidase, POD)、過氧化氫酶(catalase, CAT)和非酵素系統，如抗壞血酸、類胡蘿蔔素、脯氨酸和穀胱甘肽，有學者指出鉬肥的施用會影響作物活性氧的代謝，可誘導冬小麥、大白菜和花椰菜抗壞血酸的含量提高(Nie *et al.*, 2007)。有學者以油菜和青梗白菜為材料以不同濃度鉬酸( $H_2MoO_4 \cdot H_2O$ )進行葉面噴施，試驗結果得知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根離子的累積量，油菜以施用0.45和0.6 mg/L鉬酸效果較佳，而青梗白菜則以施用0.30和0.45 mg/L有較佳的表現，可顯著降低生產蔬菜之硝酸根離子的含量(陳等，2010)。Wojciechowska等學者(2011)以1%尿素和1 mg/dm<sup>3</sup>鉬進行萵苣的葉面施肥，可顯著增加可溶性糖的含量，且在較低光強度的環境下，可顯著降低硝酸根離子的累積量。

National Chung Hsing University

## 參、材料方法

### 試驗一、採收前光強度處理對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響

#### 一、試驗材料

採用‘青龍’(吉村種苗株式會社)‘文山’(誼禾種苗有限公司)和‘福祿甜’(明豐種苗行)油菜為試驗材料，試驗於中興大學園藝學系蔬菜溫室區內進行。

#### 二、試驗方法

##### (一)栽培管理

1. 試驗日期：2014年7月8日至8月7日，栽培時期日均溫為30.1℃，最高溫及最低溫分別為36.4℃及23.9℃。
2. 育苗和定植：於2014年7月8日進行育苗，將種子播於128格穴盤。在育苗10天後，長出兩片本葉時，以行株距10×10公分定植於含330L介質的栽培箱(30×90×210公分)中，每盆約108株，介質為Jiffy泥炭土：蛭石：珍珠石(v:v:v)=8:1:1。
3. 水分管理：栽培期間水分管理以人工方式使用灑水器澆灌，依據不同氣候和介質狀況進行調整。

##### (二)遮陰處理

油菜定植20天後，以50%和70%不同遮陰程度的遮陰網進行處理3天，以不遮陰為對照組，於處理第0天、第3天和第5天進行採收調查，每處理三重複，每重複採取1株調查植株生育性狀與硝酸根離子含量和硝酸還原酶之活性。

試驗期間平均日長為13小時，不遮陰處理平均光強度約為911  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，50%及70%遮陰處理分別約為574  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 及224  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

#### 三、調查項目與分析方法

##### (一)植株生育性狀調查

1. 植株鮮重與乾重：將採樣的植株秤重，每株所得重量為其鮮重，單位為公克(g)。將採樣的植株放進紙袋，以100℃殺菁1小時，再放入70℃的烘箱烘乾至重量不再變化為止(約5天)，所得的重量為其乾重，每處理三重複，每重複1株。
2. 植株株高：測量植株自基部至最長之葉面長度，單位為公分(cm)。
3. 葉片數：計算已展開的葉片數。
4. 植株葉面積：以LI-COR 3100A (LI-COR, Lincoln Neb)葉面積儀測量所有展開的本葉之葉面積，單位為平方公分( $\text{cm}^2$ )。
5. 葉柄長/葉長：測量植株最長之葉柄與全葉(葉柄與葉面)長度，再以葉柄長除以全葉長得到其比值。
6. 比葉面積(SLA)：每株葉面積除以每株乾重，單位為  $\text{cm}^2/\text{g}$ 。



## (二) 植株光合作用性狀調查

於遮陰處理第三天上午 9 點至 10 點半進行植株光合作用性狀調查，以攜帶式光合作用測定系統(LCi portable photosynthesis system, ADC)測定，以葉夾夾取植株成熟展開葉，測定其淨光合作用速率(Pn)、氣孔導度(gs)、蒸散作用速率(E)和葉片細胞間隙 CO<sub>2</sub> 濃度(Ci)，每個處理測定 3 株，共三重複。測定期間平均葉溫為 31.7±1.25°C。

## (三) 葉片葉綠素螢光光合作用測定

於遮陰處理第四天上午 9 點至 10 點測量，使用葉綠素螢光分析儀(portable chlorophyll fluorometer)(Mini-pam, Heinz Walz, Germany)測定，以葉夾夾取植株成熟展開葉，於光適應下儀器 F 值顯示穩定後，測定其葉綠素螢光參數，每片葉隨機測量 3 點，每處理測定 3 株，共三重複。測量參數如下：

1. 光合作用有效光或輻射能(photosynthetically activate radiation, PAR)：單位為  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。
2. 光適應下葉片 PS II 之實際效能( $\Phi$  PSII)
3. 電子傳遞速率(electron transport rate, ETR)
4. 光化學消散(photochemical quenching, qp)
5. 非光化學消散(non-photochemical quenching, NPQ)

## (四) 葉綠素含量分析

採用 Lichtenthaler(1987)測定方法進行小部分修改，取植株之成熟葉片，避開主脈秤取 0.1 g，切碎成細條狀置於試管中，加入 10 ml 萃取液(80% Acetone 與 20% Mathanol)，以石臘膜密封後置於黑暗中 24 小時，再以分光光度計(U-2900, HITACHI)分別測量 645 nm、652 nm 及 663 nm 波長下之吸光值。數值帶入以下公式計算出每單位葉重之葉綠素 a、葉綠素 b 及總葉綠素含量。每處理三重複，每重複取 1 株。單位為 mg/g。

$$\text{葉綠素 a} = (12.7 \times A_{663} - 2.69 \times A_{645}) \times V / 1000 / W$$

$$\text{葉綠素 b} = (12.7 \times A_{645} - 2.69 \times A_{663}) \times V / 1000 / W$$

$$\text{總葉綠素} = (A_{652} \times 1000 / 34.5) \times V / 1000 / W$$

\*A：吸光值、V：葉綠素萃取液量(ml)、W：葉片鮮重(g)

## (五) 硝酸還原酶活性分析

採用 Jawoski(1971)之方法進行小部分修改，取植株之成熟葉片，避開主脈取 0.2 g 切碎成細條狀置於試管中，加入 5 ml 萃取液並置於黑暗中以 150 rpm 震盪 30 分鐘後，添加 1 ml 1% sulfamic acid(1g sulfamic acid 溶於 99 ml 的 3 M HCl)來中止反應，再添加 1 ml 的 0.02% N-(1-naphthyl ethylene) diamide HCl(SIGMA N5889)呈色劑，振盪後靜置 30 分鐘使其均勻呈色。以分光光度計(U-2900, HITACHI)測量 540 nm 波長下之吸光值。每處理三重複，每重複取 1 株。以 KNO<sub>2</sub> 配製標準液，單位為  $\mu\text{mol NO}_2^- / \text{hr/g FW}$ 。

萃取液配製：5 ml 萃取液包含 2.5 ml 0.2 M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> buffer pH7.5、0.25 ml 100%

n-propanol、1.15 ml 去離子水、0.1 ml 0.05% Chloramphenicol 及 1 ml 0.1 M  $\text{KNO}_3$ ，對照組以去離子水取代  $\text{KNO}_3$ 。

#### (六) 氮代謝產物分析

##### 1. 植體硝酸根離子含量分析

採用 Cataldo 等學者(1975)的方法，取新鮮植株之成熟葉片，避開主脈取 2 g，加入液態氮以研鉢均勻磨碎後，添加 20 ml 去離子水，於 4°C 下以轉速 15000 rpm 高速離心 20 分鐘，利用 Miracloth (Merck) 濾紙過濾後，取 0.1 ml 的濾液添加 0.4 ml 5% salicylic acid (5 g salicylic acid 溶於 95 ml 濃硫酸) 震盪均勻，於室溫下靜置 20 分鐘後，再加入 4.5 ml 的 4.2 N NaOH 震盪均勻，靜置 30 分鐘後，呈黃色溶液，以分光光度計(U-2900, HITACHI)測量波長 410 nm 下之吸光值，每處理三重複，每重複 1 株。標準液以  $\text{KNO}_3$  配製，單位為 mg/kg FW。

##### 2. 植體銨根離子含量分析

採用 Weatherburn 等學者(1967)之方法，避開主脈取 2 g 新鮮植株之成熟葉片，加入液態氮以研鉢均勻磨碎後，添加 20 ml 0.3 mM  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (pH3.5)，於 4°C 以 15000 rpm 之轉速高速離心 20 分鐘，取 0.2 ml 上清液添加 3.8 ml 0.3 mM  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ，依序添加呈色劑 A 液及 B 液各 0.5 ml，並於 37°C 水浴震盪 20 分鐘，以分光光度計(U-2900, HITACHI)測量 625 nm 波長下之吸光值，每處理三重複，每重複 1 株。標準液以  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  配製，單位為 mg/kg FW。

呈色劑配製：

A 液：秤取 0.5 g phenol 及 25 mg sodium nitroprusside，加去離子水溶解後定量至 100 ml。

B 液：秤取 2.5 g NaOH，加入 40 ml 5% sodium hypochlorite，以去離子水定量至 100 ml。

##### 3. 總可溶性蛋白含量測定

將採收的植株樣品乾燥磨粉後，精稱 0.05 g 置於離心管中，加入 0.1 M 磷酸鈉緩衝溶液(pH7.0)，以 30°C 水浴震盪 2 小時，隨後於 25°C 下以 15000 rpm 之轉速高速離心 20 分鐘，之後利用 Miracloth (Merck) 濾紙過濾。其後採用 Lowry(1951)之方法，取 0.2 ml 的濾液添加 1.8 ml 去離子水震盪均勻，加入 5ml 反應液 A 震盪均勻，靜置 10 分鐘後再加入 0.5 ml 反應液 B 震盪均勻，靜置 30 分鐘後，以分光光度計(U-2900, HITACHI)測定 660 nm 波長之吸光值。標準曲線以 0.25 mg/ml BSA 配製，單位為 mg/g DW。

反應液配製：

反應液 A：取 2 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  並溶於 1 ml  $\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$  (2% potassium tartarate)、1 ml  $\text{CuSO}_4$  (1%  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )、10 ml 1N NaOH 及 90 ml  $\text{H}_2\text{O}$  之混合液中。

反應液 B：將 Folin reagent 及  $\text{H}_2\text{O}$  以 1：1 混合而成。

##### 4. 游離胺基酸含量測定

採用 Rosen(1957)之方法，以測定總可溶性蛋白之濾液取 0.2 ml 加入 0.8 ml

純水稀釋混合後，再加入 1 ml ninhydrin reagent (5 g ninhydrin, 95 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 43 g  $\text{KHPO}_4$ , 3 g fructose 溶於 600 ml 去離子水中，再定量至 1 L)，於沸水中煮 10 分鐘，取出後迅速冷卻，再加入 5 ml color diluents(取 2 g  $\text{KIO}_3$  溶於 600 ml 去離子水中，再以 95%酒精定量至 1 L)並震盪均勻，以分光光度計(U-2900, HITACHI)測定 570 nm 波長之吸光值。標準曲線以 1 mM  $\alpha$ -alanine 配製，單位以  $\mu\text{mol/g DW}$  表示。

#### (七)碳水化合物分析

##### 1. 全可溶性糖含量測定

採用 Yoshida (1976)之方法，將採收的植株樣品乾燥磨粉後，精秤 0.1 g 置於 30 ml 離心管中，添加 10 ml 去離子水，以 30°C 水浴震盪 3 小時，隨後於 25°C 下以 15000 rpm 之轉速高速離心 10 分鐘，取出後以濾紙過濾。取 5 ml 上層濾液，添加 1 ml 6 N HCl，放入 70°C 水浴振盪 15 分鐘，取出後迅速冷卻。取 0.1 ml 溶液加入 1.9 ml 去離子水振盪均勻，加 0.1 ml liquid phenol 及 6 ml 濃硫酸，振盪均勻後，靜置 30 分鐘，以分光光度計(U-2900, HITACHI)測定 490 nm 波長之吸光值。標準液以 D-glucose 配製，單位為 mg/g DW。

##### 2. 澱粉含量測定

將全可溶性糖離心後之殘渣於 70°C 烘乾 24 小時，添加 2 ml 去離子水並震盪均勻，於沸水中煮 15 分鐘，取出後迅速冷卻。加入 2 ml 9.2 N  $\text{HClO}_4$  震盪 15 分鐘，添加 6 ml 去離子水，隨後於 25°C 下以 15000 rpm 之轉速高速離心 10 分鐘。取 0.1 ml 溶液加入 1.9 ml 去離子水振盪均勻，液加 0.1 ml liquid phenol 及 6 ml 濃硫酸，振盪均勻後，靜置 30 分鐘，以分光光度計(U-2900, HITACHI)測定 490 nm 波長之吸光值。標準液以 D-glucose 配製，單位為 mg/g DW。

## 試驗二、有機質肥料施用量對油菜植株生育、硝酸根離子含量及養分吸收之影響

### 一、試驗材料

(一)供試作物：採用‘文山’(誼禾種苗有限公司)和‘福祿甜’(明豐種苗行)油菜為試驗材料。

(二)供試肥料：選用大豆粕(福壽實業公司)和田樂一號(田酪股份有限公司)有機質肥料。

(三)栽培地點：於中興大學園藝學系蔬菜溫室區內。

### 二、試驗方法

#### (一)栽培管理

1. 試驗日期：第一次栽培期間為 2015 年 1 月 9 日至 2 月 9 日，栽培時期日均溫為 17.1°C，最高溫及最低溫分別為 28.7°C 及 8.2°C。第二次栽培期間為 2015 年 2 月 17 日至 3 月 17 日，栽培時期日均溫為 18.1°C，最高溫及最低溫分別為 28.9°C 及 9.6°C。

2. 育苗和定植：第一次栽培於 2015 年 1 月 9 日進行穴盤育苗，將種子播於 128 格

穴盤。在育苗 14 天後，長出兩片本葉時，以行株距 10×10 公分定植於含 330 L 介質的栽培箱(30×90×210 公分)中，介質為泥炭土:蛭石:珍珠石(v:v:v)=8:1:1。第二次栽培於 2015 年 2 月 7 日進行育苗，於第一作物採收後一個星期 2015 年 2 月 17 日進行定植，方法同上。

3. 水分管理：栽培期間水分管理以人工方式使用灑水器澆灌，依據不同氣候和介質狀況進行調整。

## (二)肥料施用處理

以大豆粕(S)和田樂一號牛糞肥(C)有機質肥料當基肥施用，依 120 kg N /ha 的施肥量換算，以 1、2 和 4 倍的氮素量共三種不同的施肥量處理，施入介質土壤並均勻攪拌之，對照組(control)則不施用任何肥料，共 6 種處理，其肥料施用量如下表所示。試驗肥料於定植前 5 天 2015 年 1 月 17 日進行施用，肥料全部當基肥施用，栽培期間不再進行追肥。定植約 21 天後採收，進行生育性狀調查、植體營養分析和硝酸還原酶之活性測定。植株採收後，介質繼續第二作之種植。於肥料施用後、油菜種植前和種植後，分別採集各試驗區 3 處之表層介質(0~30 公分)，混合成一代表土樣，再從土樣中取三份進行化學性質與無機態氮及交換性元素含量之測定。

表、油菜試驗有機質肥料施用量

Treatment	N (kg/ha)	肥料施用量(kg/m <sup>2</sup> )	g/48L 介質
Control	0	-	-
S <sup>y</sup>	120	0.19	144
2S	240	0.39	294
C	120	0.52	390
2C	240	1.04	780
4C	480	2.09	1566

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

## 三、調查項目與分析方法

### (一)植株生育性狀調查

1. 植株鮮重與乾重：將採樣的植株秤重，每株所得重量為其鮮重，單位為公克(g)。將採樣的植株放進樣品紙袋，以 100℃ 殺菁 1 小時，再放入 70℃ 的烘箱烘乾至重量不再變化為止(約 5 天)，秤其重量為乾重，每處理三重複，每重複 1 株。
2. 植株株高：測量植株自基部至最長之葉面長度，單位為公分(cm)。
3. 葉片數：計算已展開的葉片數。
4. 植株葉面積：以 LI-COR 3100A(LI-COR, Lincoln Neb)葉面積儀測量所有展開的本葉之葉面積，單位為平方公分(cm<sup>2</sup>)。

5. 產量：每區採收 0.1 m<sup>2</sup>的作物，秤其重量，計算採收株數，結果換算單位為公噸/公頃(ton/ha)。

(二)硝酸還原酶活性分析：同試驗一

(三)植體硝酸根離子含量測定：同試驗一

(四)植體游離胺基酸與總可溶性蛋白含量測定：同試驗一

(五)植體營養元素之測定

植體採收後以自來水洗去塵土，以 1% HCl(聯工)快速浸置取出，再以去離子水沖洗三次，瀝乾及擦乾水分後裝入紙袋中，先以 100°C 殺菁 1 小時，停止酵素作用，再於 70°C 烘箱烘至重量不再變化為止。以磨粉機將完全烘乾之樣品磨成粉末，裝入硫酸紙袋中放置乾燥箱中保存，即為乾燥樣品。將欲分析的乾燥樣品置於 70°C 烘箱中烘乾 12 小時以上，精秤 0.5 g 樣品置於坩堝中，放入灰化爐內，先以 200°C 加熱 2 小時，繼以 400°C 加熱 1 小時，最後以 550°C 加熱 2 小時，使其完全灰化，待樣品取出冷卻後，加入 5 ml 2 N HCl (Merck)將灰分溶解，以去離子水將坩堝內樣品液完全洗下，經 Whatman NO.42 無灰分濾紙過濾並定量至 25 ml，混合均勻裝入 PE 瓶中，即為待分析之樣品灰化液。

1. 氮含量之測定：

採用 micro-Kjeldahl(Washington, 1980)之測定的方法，將磨碎之樣品精秤 0.2 g 包於 Advantec NO.1 濾紙中，置於分解管內，加入 1 g 之催化劑(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : CuSO<sub>4</sub> : Se=100 : 10 : 1, w/v, Merck. 8030)，來提高硫酸的沸點。添加 4.5 ml 濃硫酸，放置分解爐中以 410°C 加熱分解 2 小時，當管中液體呈現青綠色後，繼續加熱分解直至沒有白煙冒出，表示分解完全。取出冷卻 10 分鐘後，呈現澄清的透明液體，加入 50 ml 去離子水並振盪均勻。接著移至 micro-Kjeldahl 裝置，加入 20 ml 之 12 N NaOH，搖晃均勻，呈淡藍色液體，透過蒸氣使其氨化，並用含指示劑(19 μm bromocresol green 及 25 μm methyl red)之 2% boric acid 20 ml 來接收氨氣及氨水，至總體積達 50 ml，再以 1/14 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 滴定，並換算氮之含量，單位為百分比(%)。

2. 磷含量之測定：

採用鉬黃法(Horwitz, 1970)，取 1 ml 樣品灰化液添加 3 ml 去離子水，再加入 1 ml 鉬黃試劑，震盪均勻後靜置 30 分鐘，以分光光度計(U-2900, HITACHI)測定 470 nm 波長之吸光值。標準液以 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 配製，單位為百分比(%)。

鉬黃試劑配製：取 22.5 g (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O、1.25 g NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>(ammonium vanadate, 釩鉍酸)添加 250 ml 濃硝酸，最後以去離子水定量至 1000 ml。

3. 鈣含量之測定：

取 0.5ml 稀釋 10 倍之樣品灰化液，添加 3.5 ml 去離子水及 1 ml 氧化釷(La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, lanthanum oxide)並震盪均勻，共稀釋 100 倍，以原子吸收光譜儀(atomic absorption spectrophotometer, Hitachi Z-2300)測定鈣之濃度，單位為百分比(%)。

5%氧化釷配製：取 58.65 g La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 緩慢添加於 250 ml 濃鹽酸(Merk)中溶解均勻，放置溶液冷卻，最後以去離子水定量至 1000 ml。

#### 4. 鉀含量之測定：

取 0.2 ml 稀釋 10 倍之樣品灰化液，添加 7.8 ml 去離子水並震盪均勻，共稀釋 400 倍，以原子吸收光譜儀(atomic absorption spectrophotometer, Hitachi Z-2300)測定鉀之濃度，單位為百分比(%)。

#### 5. 鎂含量之測定：

取 0.5 ml 稀釋 10 倍之樣品灰化液，添加 9.5 ml 去離子水並震盪均勻，共稀釋 200 倍，以原子吸收光譜儀(atomic absorption spectrophotometer, Hitachi Z-2300)測定鎂之濃度，單位為百分比(%)。

#### (六) 介質無機態氮(硝態氮及銨態氮之總和)之測定

採用 micro-Kjeldahl (Washington, 1980; Bremner, 1982)之測定的方法，每作物種植前後於田間採取介質後，稱取 5 g 溼狀態之介質，添加 50 ml 2 N KCl 以 150 rpm 震盪 1 小時，取出後以 Whatman NO.42 濾紙將介質萃取液過濾至 PE 瓶中。取 10 ml 濾液至 micro-Kjeldahl 裝置中，分別添加 0.2 g MgO 及 0.2 g Davarda 合金粉末至蒸餾瓶中，並以少許去離子水將依附在管壁之粉末洗入蒸餾瓶中，加入 20 ml 之 12 N NaOH，透過蒸氣使其氨化，並用含指示劑(19  $\mu$ m bromocresol green 及 25  $\mu$ m methyl red)之 2% boric acid 20 ml 來接收氨氣及氨水，至總體積達 50 ml 為止，再以 1/14 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 滴定，並根據水分校正系數，換算無機態氮之含量，單位為 mg/kg。水分校正系數：取溼狀態之介質稱其重量，以 105°C 烘乾至土壤重量不再變化為止，並計算出其含水量。

氧化鎂配製：將重質氧化鎂(heavy MgO)粉末放入高溫爐內，先以 600~700°C 加熱 2 小時，使其氧化鎂中含有碳酸鎂的成分完全去除，冷卻後將其儲存於緊蓋之瓶中並放至防潮箱內。

#### (七) 介質交換性營養元素之測定

採用修改自孟立克氏(Mehlich's, 1976)的萃取方法，稱取 2.5 g 風乾介質於 125 ml 三角瓶中，加入 50 ml 之萃取液(0.05 N HCl+0.0025 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)，以 150 rpm 震盪 30 分鐘，隨即以 Whatman NO.1 濾紙過濾，取其澄清液進行元素分析。

##### 1. 磷含量之測定：

採用鉬黃法(Horwitz, 1970)，取 1 ml 介質萃取液添加 3 ml 去離子水，再加入 1 ml 鉬黃試劑，震盪均勻後靜置 30 分鐘，以分光光度計(U-2900, HITACHI)測定 470 nm 波長之吸光值。標準液以 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 配製，單位為百分比(%)。

鉬黃試劑配製：取 22.5 g (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O、1.25 g NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>(ammonium vanadate, 釩銨酸)添加 250 ml 濃硝酸，最後以去離子水定量至 1000 ml。

##### 2. 鈣含量之測定：

取 0.5 ml 稀釋 10 倍之介質萃取液，添加 3.5 ml 去離子水及 1 ml 氧化釷(La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Lanthanum oxide)並震盪均勻，共稀釋 100 倍，以原子吸收光譜儀(atomic absorption spectrophotometer, Hitachi Z-2300)測定鈣之濃度，單位為百分比(%)。

5%氧化鏷配製：取 58.65 g La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 緩慢添加於 250 ml 濃鹽酸(Merk)中溶解均勻，放置溶液冷卻，最後以去離子水定量至 1000 ml。

### 3. 鉀、鎂含量之測定：

取 0.5 ml 稀釋 10 倍之介質萃取液，添加 9.5 ml 去離子水並震盪均勻，共稀釋 200 倍，以原子吸收光譜儀(atomic absorption spectrophotometer, Hitachi Z-2300)分別測定鉀、鎂之濃度，單位為百分比(%)。

### (八)介質 pH 及 EC 之測定

作物種植前後採取介質，置於陰涼處風乾後保存於紙袋中。分析時稱取 10 g 介質置於 125 ml 三角瓶中，加入 50 ml 去離子水(土水比 W/V=1:5)，以 150 rpm 震盪 1 小時，靜置 30 分鐘，再分別利用 EC meter (WTW, LF538)及 pH meter (WTW, inoLab)測定。

### (九)氮素利用效率計算

作物氮素利用效率參照 Moll 等學者(1982)進行計算，其計算公式如下：

#### 1. 作物地上部氮吸收量(Nt)=

作物地上部含氮量×作物地上部乾物產量(Gw)

#### 2. 氮素利用效率(Nitrogen use efficiency, NUE)=

作物地上部乾物產量(Gw)/施用氮素量(Ns)

#### 3. 氮素吸收效率(Nitrogen uptake efficiency, NUpE) =

作物地上部氮吸收量(Nt)/施用氮素量(Ns)

#### 4. 氮素應用效率(Nitrogen utilization efficiency, NUtE) =

作物地上部乾物產量(Gw)/作物地上部氮吸收量(Nt)

## 試驗三、鉬酸鈉葉面噴施對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響

### 一、試驗材料

(一)供試作物：採用‘文山’(誼禾種苗有限公司)和‘福祿甜’(明豐種苗行)油菜為試驗材料。

(二)栽培地點：於中興大學園藝學系蔬菜溫室內。

### 二、試驗方法

#### (一)栽培管理

1. 試驗日期：2015 年 3 月 31 日至 4 月 28 日，栽培時期日均溫為 24.4℃，最高溫及最低溫分別為 34.1℃及 12.4℃。

2. 育苗和定植：油菜種子於 2015 年 3 月 31 日進行穴盤育苗，將種子播於 128 格穴盤。在育苗 14 天後，長出兩片本葉時，定植於含 8 L 介質的紅長盆(45×16×16 公分)中，介質為泥炭土：蛭石：珍珠石(v:v:v)=8:1:1，每盆種植 6 株。

3. 水分管理：栽培期間水分管理以人工方式使用灑水器澆灌，依據不同氣候和介質狀況進行調整。

## (二) 尿素和鉬酸鈉葉面施肥處理

試驗於 2015 年 3~4 月進行，植株於定植後每週施用 1 g/L 尿素一次，於栽培期間每 2 天噴施 0、0.3、0.6、0.9 及 1.2 mg/L 的鉬酸鈉溶液，每盆噴施澆灌量以佈滿全部葉面並有多餘水量流下為原則(約 250 ml)，以栽培期間未施用氮肥植株為對照組。植株於定植後 21 天採收並調查其生育表現、植體內硝酸根離子含量及葉片硝酸還原酶活性。

## 三、調查項目與分析方法

植株生育性狀調查、植體硝酸還原酶活性分析、硝酸根離子、總可溶性醣、澱粉、總可溶性蛋白、游離胺基酸含量測定方法同試驗一。

## 四、統計分析

調查之數據採用 SAS 9.3 版套裝軟體(SAS. Institue, Cary NC)中之 ANOVA (analysis of variance)進行變方分析( $\alpha=0.05$ )，以 Fisher's LSD 進行試驗中各處理平均值之顯著差異性比較。

國立中興大學



National Chung Hsing University



## 肆、結果

### 試驗一、光強度處理對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響

#### 一、遮陰處理對油菜葉片光合作用能力的影響

油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’採收前以 50%和 70%的遮陰網進行遮陰處理 4 天，測量其光合作用特性，結果如表 1 所示，淨光合作用速率隨著遮陰程度的增加而遞減，各處理間淨光合作用速率有顯著性差異，‘青龍’分別約為 21.37、14.97 及 7.75  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，‘文山’分別約為 23.90、17.48 及 7.97  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，‘福祿甜’分別約為 24.06、18.51 及 8.18  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。氣孔導度與蒸散作用速率則隨著遮陰程度的增加而遞減，‘青龍’各處理間均無顯著差異；‘文山’以 70%遮陰處理顯著降低；‘福祿甜’的氣孔導度各處理間有顯著性差異，分別為 0.27、0.20 及 0.10  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，蒸散作用速率以 70%遮陰處理顯著降低。葉肉細胞間隙二氧化碳濃度則隨遮陰程度之增加而遞增，‘青龍’和‘福祿甜’於對照組顯著降低；‘文山’各處理間有顯著性差異，分別為 70、163 及 242 ppm。

油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’採收前以 50%和 70%的遮陰網進行遮陰處理 4 天，以葉綠素螢光測定儀測量三個品種的葉片之光合作用能力，成熟葉片於光適應下之葉綠素螢光參數如表 2 所示，結果顯示隨著遮陰程度的提升，各品種的 PAR 有所降低，處理間有顯著差異；各品種之光合作用產量( $\Phi\text{PSII}$ )值隨著遮陰程度的上升而有所增加，並於 50%及 70%遮陰處理有顯著上升，各品種之 $\Phi\text{PSII}$  值各處理分別介於 0.58~0.69、0.55~0.72 及 0.44~0.63。各品種電子傳遞速率(ETR)隨著遮陰程度的增加而有所降低，其中‘青龍’於 50%及 70%遮陰處理與對照處比有顯著下降，各處理分別介於 168.4~55.5；‘文山’及‘福祿甜’之 ETR 值在 70%遮陰處理中有顯著的降低，各處理分別介於 52.0~23.0 及 58.4~15.2。‘青龍’及‘福祿甜’之光化學消散(qP)值於 70%遮陰處理中顯著高於對照組與 50%遮陰處理，各處理分別介於 0.80~0.94 及 0.69~0.91；‘文山’qP 值各處理間則無顯著差異。

#### 二、遮陰處理對油菜植株生育性狀與葉綠素含量的影響

油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’採收前以 50%和 70%遮陰網進行遮陰處理 5 天，不同遮陰程度對各品種油菜生育性狀影響如表 3 所示，‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’植株生育性狀如鮮重、乾重、葉數和葉面積於對照組表現最佳，隨著遮陰程度的提升而其生育表現有所下降，70%遮陰處理生育表現最差。‘青龍’及‘文山’鮮重、乾重、葉數和葉面積於 50%遮陰處理時顯著的降低，‘青龍’各處理鮮重分別為 46.3、31.2 及 28.7 g，乾重分別為 2.36、1.38 及 1.15 g，‘文山’各處理鮮重分別為 50.7、39.9 及 31.6 g，乾重分別為 2.53、1.90 及 1.49 g；‘福祿甜’鮮重、乾重、葉數和葉面積於 70%遮陰處理時顯著的降低，各處理鮮重分別為 38.8、35.3 及 27.5 g，乾重分別為 2.30、2.07 及 1.43 g。各品種鮮重、乾重和葉面積於 70%遮陰處理相較於對照組分別下降了 29%~38%、38%~51%及 30%~39%。

‘青龍’及‘文山’株高在遮陰各處理間無顯著差異，約為 34.5~36.0 cm；‘福祿甜’隨著遮陰程度的提升，株高則於 70%遮陰處理有顯著的下降，各處理株高分別為 34.0、33.2 及 31.7 cm。隨著遮陰程度的提升，各品種比葉面積有上升的趨勢，其中‘青龍’於 70%遮陰處理有顯著的下降，各處理分別為 222.5、242.6 及 281.6 cm<sup>2</sup>/g，顯示遮處理葉片有變薄的現象；‘文山’及‘福祿甜’之比葉面積各處理間則無顯著差異。‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉柄長/葉長的值隨著遮陰程度的提升而有所提高，各品種遮陰處理組顯著比對照組高，顯示遮陰處理植株有徒長現象。

油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’採收前以 50%和 70%遮陰網進行遮陰處理 5 天，不同遮陰程度對各品種油菜葉綠素含量之影響如表 4 所示。結果顯示‘青龍’葉綠素 a 與總葉綠素含量各處理間無顯著差異，葉綠素 b 含量於 70%遮陰處理有顯著提高，各處理分別為 0.18、0.20 及 0.22 mg/g，葉綠素 a/b 值隨著遮陰程度的提高而有所下降，各處理間有顯著差異，分別為 6.53、6.11 及 5.38。‘文山’及‘福祿甜’葉綠素 a、葉綠素 b 與總葉綠素含量各處理間無顯著差異，葉綠素 a/b 值隨著遮陰程度的提高而有所下降，‘文山’50%與 70%遮陰處理顯著低於對照組，各處理為 5.80~6.01 之間；‘福祿甜’葉綠素 a/b 值各處理間則有顯著差異，分別為 5.89、5.66 及 5.45。

### 三、遮陰處理對油菜葉片硝酸還原酶活性和各部位硝酸根離子含量的影響

採收前不同程度遮陰處理對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’硝酸還原酶活性之影響如圖 1 所示，‘青龍’硝酸還原酶活性顯著高於‘文山’及‘福祿甜’，分別為 21.03、12.18 及 11.72  $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{hr/g FW}$ ，各品種硝酸還原酶活性之對照組均顯著高於 50%及 70%遮陰的處理組，其活性隨著遮陰程度的增加而降低，各處理間有顯著差異。‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’分別於 50%及 70%遮陰處理中有顯著的下降，分別減少了 45%~49%及 90%~91%。顯示各品種硝酸還原酶活性隨著遮陰程度增加，其下降的程度有相同趨勢。

採收前不同程度遮陰處理對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉片與葉柄硝酸根離子含量隨時間變化之影響如圖 2 所示。‘青龍’在遮陰處理第 0 天葉片硝酸根離子的含量於 70%遮陰處理顯著較高，分別為 1013~1603 mg/kg FW，葉柄無顯著差異。遮陰處理第 3 天時，各部位硝酸根離子的含量隨著遮陰程度的增加而有增加的趨勢，葉片於 70%遮陰處理中有顯著的增加，各處理分別為 1113、1325 及 1965 mg/kg FW，70%遮陰處理相較於對照組增加了 77% (表 5)，葉柄於各處理間無明顯差異，其含量約為 5384~6066 mg/kg FW。遮陰處理第 5 天趨勢與第 3 天相同，但硝酸根離子增加的趨勢更加明顯，葉片及葉柄於 70%遮陰處理中有顯著的提升，葉片於各處理分別為 994、1343 及 3029 mg/kg FW，葉柄分別為 6155、6262 及 7799 mg/kg FW，葉片與葉柄於 70%遮陰處理相較於對照組分別增加了 205%及 27% (表 5)。

‘文山’在不同程度遮陰處理下葉片與葉柄硝酸根離子含量隨時間變化之影響如圖 2 所示。‘文山’在遮陰處理第 0 天葉片與葉柄硝酸根離子的含量於不同處理間均無顯著差異，顯示各處理間植株生長狀況相似，其中葉片含量約為 1760~1997

mg/kg FW，葉柄約為 4266~4692 mg/kg FW。遮陰處理第 3 天時，各部位硝酸根離子的含量隨著遮陰程度的增加而有所提升，葉片分別於 50%及 70%遮陰處理中有顯著的增加，各處理分別為 1336、2459 及 4221 mg/kg FW，50%與 70%遮陰處理相較於對照組分別增加了 84%與 216% (表 5)，葉柄於各處理間則無顯著差異，其含量約為 7369~ 8207 mg/kg FW。遮陰處理第 5 天，各部位硝酸根離子增加量更加明顯，葉片硝酸根離子含量於 70%遮陰處理中有顯著上升，於各處理分別為 1783、2832 及 6625 mg/kg FW，葉片於 70%遮陰處理相較於對照組增加了 272% (表 5)，葉柄於各處理間則無顯著差異，其含量約為 8548~9174 mg/kg FW。

‘福祿甜’在不同程度遮陰處理下葉片與葉柄硝酸根離子含量隨時間變化之影響如圖 2 所示。‘福祿甜’在遮陰處理第 0 天葉片與葉柄硝酸根離子的含量於不同處理間均無顯著差異，顯示各處理間植株生長況狀相似，葉片含量約為 1407~1981 mg/kg FW，葉柄約 4210~4742 mg/kg FW。遮陰處理第 3 天時，各部位硝酸根離子的含量隨著遮陰程度的增加而有所提升，葉片於 70%遮陰處理中有顯著的增加，各處理分別為 1645、2081 及 4032 mg/kg FW，70%遮陰處理相較於對照組增加了 145%(表 5)，葉柄於各處理間則無顯著差異，其含量約為 7726~8660 mg/kg FW。遮陰處理第 5 天，各部位硝酸根離子增加量更加明顯，葉片硝酸根離子含量分別於 50%及 70%遮陰處理中有顯著上升，於各處理分別為 1435、2825 及 6505 mg/kg FW，50%與 70%遮陰處理相較於對照組分別增加了 97%及 353% (表 5)，葉柄於各處理間則無顯著差異，各處理含量約為 8425~9806 mg/kg FW。

在不同程度遮陰處理時間方面，各品種葉片與葉柄硝酸根離子含量隨時間變化的情形如圖 2 所示，油菜各品種葉片硝酸根離子隨遮陰時間的延長於對照組沒有顯著差異，但葉片遮陰處理組與葉柄各處理組則隨著處理時間的增加而上升，葉柄各處理於遮陰第 3 天有顯著上升，而葉片的部分，隨著遮陰程度的上升，硝酸根離子累積情形的程度越顯著，各品種的葉片於 70%遮陰處理隨著時間延長有顯著的上升。

油菜各部位硝酸根離子含量與光強度之關係如圖 3 所示，葉片及葉柄硝酸根離子含量與光強度之間呈一次迴歸關係，‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉片之  $R^2$  分別為 0.83、0.86 及 0.91，葉柄之  $R^2$  分別為 0.74、0.12 及 0.44，各品種葉柄之  $R^2$  值不高，顯示其直線迴歸式並無法有效地解釋硝酸根離子的變異，而葉片之  $R^2$  值較高，顯示油菜栽培在各種不同光強度的環境下，葉片硝酸根離子含量受其影響較大。

#### 四、遮陰處理對油菜碳水化合物含量的影響

採收前不同程度遮陰處理對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’總可溶性糖及澱粉含量之影響如表 6 所示，結果顯示遮陰處理 5 天各品種油菜碳水化合物隨著遮陰程度的增加而有所減少，‘青龍’的總可溶性糖和澱粉含量於 70%遮陰處理有顯著降低，各處理的總可溶性糖含量為 24.8~38.1 mg/g DW，澱粉含量為 14.8~29.2 mg/g DW，其中 70%遮陰處理的可溶性糖相較於對照組減少了 35%，澱粉則減少了 49%。

‘文山’及‘福祿甜’的總可溶性糖含量於 50%遮陰處理時有顯著降低，‘文山’各處理的總可溶性糖含量分別為 32.7、26.8 及 25.9 mg/g DW，‘福祿甜’分別為 28.3、23.3 及 21.7 mg/g DW，其中‘文山’及‘福祿甜’的總可溶性糖含量於 50%遮陰處理時相較於對照組均減少了 18%，兩品種的總可溶性糖含量於 70%遮陰處理時相較於對照組分別減少了 21%及 23%。‘文山’的澱粉含量於 70%遮陰處理時有顯著降低，各處理為 17.6~24.5 mg/g DW，於 70%遮陰處理時相較於對照組減少了 24%；‘福祿甜’的澱粉含量於 50%遮陰處理時有顯著降低，各處理分別為 23.3、19.8 及 19.1 mg/g DW，於 50%及 70%遮陰處理時相較於對照組分別減少了 15%及 18% (圖 4)。

## 五、遮陰處理對油菜氮代謝產物含量的影響

不同程度遮陰處理對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’後續氮代謝產物銨根離子、游離胺基酸和總可溶性蛋白含量的影響如表 6 所示，結果顯示在遮陰處理 5 天各品種油菜隨著遮陰程度的增加，其銨根離子和游離胺基酸的含量有所增加，而總可溶性蛋白的含量則有減少的趨勢。‘青龍’的銨根離子含量於 50%及 70%遮陰處理組中顯著高於對照組，相較於對照組增加了 29%~54%；‘青龍’游離胺基酸的含量各處理間有顯著差異，其含量分別為 10.8、18.3 及 23.7  $\mu\text{mol/g DW}$ ，遮陰處理組相較於對照組增加了 69%~119%；‘青龍’的總可溶性蛋白含量於 70%遮陰處理中有顯著降低，各處理為 101.1~64.1 mg/g DW，其中於 70%遮陰處理時相較於對照組降低了 37%。‘文山’及‘福祿甜’的銨根離子含量於 70%遮陰處理組顯著高於對照組，相較於對照組分別增加了 57%及 69%；兩品種游離胺基酸的含量於 70%遮陰處理組中顯著高於對照組，‘文山’各處理為 15.9~27.3  $\mu\text{mol/g DW}$ ，‘福祿甜’為 17.7~30.0  $\mu\text{mol/g DW}$ ，其中兩品種於 70%遮陰處理時相較於對照組分別增加了 72%及 69%；‘文山’及‘福祿甜’的總可溶性蛋白含量於 70%遮陰處理中有顯著降低，‘文山’各處理為 75.2~92.2 mg/g DW，‘福祿甜’為 64.1~76.9 mg/g DW，其中兩品種於 70%遮陰處理時相較於對照組分別降低了 18%及 17% (圖 5)。

整體而言，後續氮代謝產物如銨根離子、游離胺基酸及總可溶性蛋白，在採收前的遮陰處理中，隨著遮陰程度的增加對其造成的影響越大。

## 試驗二、有機質肥料施用量對油菜植株生育、硝酸根離子含量及養分吸收之影響

### 一、有機質肥料施用量對油菜植株生育性狀的影響

不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’第一作及第二作植株生育性狀如表 7、8 所示，第一作生育性狀受到施氮量及氮肥種類有顯著性影響，隨著施氮量的增加，鮮乾重和葉面積有增加的趨勢，其中在 120 kg N/ha 的施氮量處理時有顯著的增加，在有機質肥料種類以大豆粕處理的表現較佳，鮮重及乾重在大豆粕處理組分別為 30.7~33.3 g 及 2.00~2.22 g，田樂一號處理組分別為 27.1~31.0 g 及 1.72~2.01 g。株高各施肥處理組顯著高於對照組，以 2S 處理最高，對照組最低，分別為 30.0 及 25.7 cm；葉片數方面，各處理間無顯著性差異。第二作生育性狀受到施氮量及氮

肥種類有顯著性影響，隨著施氮量的增加，鮮乾重、株高、葉片數和葉面積有增加的趨勢，其中在 120 kg N/ha 的施氮量處理時有顯著的增加，在有機質肥料種類以田樂一號處理的表現較佳。田樂一號處理組鮮重、乾重及葉面積隨著施氮量的增加有顯著上升，其中各處理鮮重分別為 27.3、32.3 及 43.6 g，乾重分別為 1.31、1.60 及 2.17 g；在大豆粕處理組鮮重無顯著差異，為 25.1~27.8 g，乾重及葉面積隨施氮量的增加有顯著增加，各處理乾重分別為 1.19 及 1.46 g，葉面積分別為 379 及 414 cm<sup>2</sup>。株高以 4C 處理最高，對照組最低，分別為 34.8 及 26.2 cm；葉片數方面，2S 及 4C 顯著高於對照組，各氮肥處理間無顯著性差異。

不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’第一作及第二作植株生育性狀如表 9、10 所示，第一作生育性狀受到施氮量及氮肥種類有顯著性影響，隨著施氮量的增加，鮮乾重和葉面積有增加的趨勢，其中在 120 及 480 kg N/ha 的施氮量處理時有顯著的增加，在有機質肥料種類以大豆粕處理的表現較佳。在大豆粕處理組鮮重、乾重及葉面積無顯著差異，各處理鮮重為 19.2~20.4 g，乾重為 1.31~1.48 g，葉面積為 306~339 cm<sup>2</sup>；田樂一號處理組鮮重、乾重及葉面積隨著施氮量的增加於 4C 有顯著上升，各處理鮮重為 15.8~23.1 g，乾重為 1.07~1.43 g，葉面積分別為 273~347 cm<sup>2</sup>。株高各施肥處理組顯著高於對照組，以 2S 處理最高，對照組最低，分別為 24.8 及 19.3 cm；葉片數方面，各氮肥處理組顯著高於對照組。第二作生育性狀受到施氮量及氮肥種類有顯著性影響，隨著施氮量的增加，鮮乾重、株高、葉片數和葉面積有增加的趨勢，其中在 120 kg N/ha 的施氮量處理時有顯著的增加，在有機質肥料種類以田樂一號處理的表現較佳。田樂一號處理組鮮重、乾重及葉面積隨著施氮量的增加有顯著上升，各處理鮮重為 22.1~26.2 g，乾重為 1.10~1.42 g，葉面積為 342~389 cm<sup>2</sup>；在大豆粕處理組鮮重、乾重及葉面積無顯著差異，鮮重為 18.3~20.6 g，乾重為 1.03~1.13 g，葉面積為 295~316 cm<sup>2</sup>。株高以田樂一號處理組顯著高於大豆粕處理組，4C 處理最高，對照組最低，分別為 29.3 及 22.9 cm；葉片數方面，2S 及 4C 顯著高於對照組，各氮肥處理間無顯著性差異。

不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’及‘福祿甜’兩作估計產量的影響如表 17 所示，其產量均隨著施肥量的增加而有所增加，兩品種第一作產量以大豆粕處理的產量較高，第二作則以田樂一號處理的產量較高，兩作加總以 4C 處理產量最高，兩品種分別為 72.0 及 51.3 ton/ha，約為對照組的兩倍。

整體而言，第一作‘文山’各處理間以 2S 處理生育性狀有最佳的表現，而‘福祿甜’則以 2S 和 4C 有最佳的表現，且第一作以大豆粕處理的生育性狀表現較田樂一號處理佳；第二作‘文山’及‘福祿甜’各處理間以 4C 處理生育性狀有最佳的表現，於第二作以田樂一號處理的生育性狀表現較大豆粕處理佳。

## 二、有機質肥料施用量對油菜葉片硝酸還原酶活性與硝酸根離子含量的影響

不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’第一作及第二作葉片硝酸還原酶活性及硝酸根離子含量如表 11 所示，第一作硝酸還原酶活性隨著施氮量的增加有上升的

趨勢，大豆粕於 120 kg N/ha (S)及田樂一號於 240 kg N/ha (2C)的處理 NRA 有顯著增加，而後隨著施氮量的增加有下降的趨勢，2S 處理顯著降低。在各處理中，田樂一號 120 kg N/ha 施肥處理(C)與對照組沒有顯著差異，其他施肥處理組顯著較對照組高。肥料種類的部分，施用大豆粕的處理 NRA 顯著較田樂一號處理高，分別為 9.59~12.57 及 7.73~11.20  $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{hr/g FW}$ ；第二作 NRA 各處理與第一作有相同趨勢，大豆粕及田樂一號於 120 kg N/ha 的處理 NRA 有顯著增加，而後隨著施氮量的增加有下降的趨勢，2S 處理顯著降低。肥料種類的部分，施用田樂一號的處理 NRA 顯著較大豆粕處理高，分別為 18.71~24.17 及 14.72~19.80  $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{hr/g FW}$ 。‘文山’硝酸根離子的含量受到施肥量及肥料種類有顯著性的影響，第一作葉片硝酸根離子的含量隨著施氮量的增加有上升的趨勢，於 120 kg N/ha 的處理時有顯著增加，在各處理中以 2S 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，對照組為顯著最低，分別為 2974、1915~2634 及 1592 mg/kg FW；第二作葉片硝酸根離子的含量各處理與第一作有相同趨勢，在各處理中以 2S 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，對照組為顯著最低，分別為 3175、2350~2915 及 2062 mg/kg FW。在肥料種類的部分，第一作以大豆粕 240 kg N/ha 處理及田樂一號 480 kg N/ha 處理硝酸根離子的含量相較於對照組分別增加了 87%及 58%，第二作分別增加了 54%及 41%，以大豆粕處理硝酸根離子的含量顯著高於田樂一號處理。

不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’第一作及第二作葉片硝酸還原酶活性及硝酸根離子含量如表 12 所示，‘福祿甜’與‘文山’有同樣的趨勢，第一作硝酸還原酶活性隨著施氮量的增加有上升的趨勢，大豆粕於 120 kg N/ha (S)及田樂一號於 240 kg N/ha (2C)的處理 NRA 有顯著增加，而後隨著施氮量的增加有下降的趨勢。在各處理中，田樂一號 120 kg N/ha 施肥處理(C)與對照組沒有顯著差異，其他施肥處理組顯著較對照組高。肥料種類的部分，施用大豆粕的處理 NRA 顯著較田樂一號處理高，分別為 11.23~13.38 及 8.07~11.18  $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{hr/g FW}$ ；第二作 NRA 各處理與第一作有相同趨勢，大豆粕於 120 kg N/ha (S)及田樂一號於 240 kg N/ha (2C)的處理 NRA 有顯著增加，而後隨著施氮量的增加有下降的趨勢。肥料種類的部分，施用田樂一號的處理 NRA 顯著較大豆粕處理高，分別為 16.29~24.42 及 20.27~20.94  $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{hr/g FW}$ 。‘福祿甜’硝酸根離子的含量受到施肥量及肥料種類有顯著性的影響，第一作葉片硝酸根離子的含量隨著施氮量的增加有上升的趨勢，於 120 kg N/ha 的處理時有顯著增加，在各處理中以 2S 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，對照組為顯著最低，分別為 2590、1740~2221 及 1499 mg/kg FW；第二作葉片硝酸根離子的含量各處理與第一作有相同趨勢，在各處理中以 2S 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，對照組為顯著最低，分別為 3009、2273~2652 及 2122 mg/kg FW。在肥料種類的部分，第一作以大豆粕 240 kg N/ha 處理及田樂一號 480 kg N/ha 處理硝酸根離子的含量相較於對照組分別增加了 73%及 35%，第二作分別增加了 42%及 25%，以大豆粕處理硝酸根離子的含量顯著高於田樂一號處理。

### 三、有機質肥料施用量對油菜游離胺基酸及總可溶性蛋白含量的影響

不同有機質肥料施用量對兩作油菜‘文山’後續氮代謝產物游離胺基酸及總可溶性蛋白含量的影響如表 13 所示，第一作的游離胺基酸含量於 240 kg N/ha 的處理有顯著升高，其中以 2S 處理最高，其他施肥處理組次之，對照組為最低，其含量分別為 14.0、11.4~13.4 及 11.2  $\mu\text{mol/g DW}$ ；第二作的游離胺基酸含量於大豆粕 120 kg N/ha 的處理有顯著升高，田樂一號各處理組與對照組相比沒有顯著差異，其中以 2S 處理最高，其他施肥處理組次之，對照組為最低，其含量分別為 21.4、14.9~19.3 及 14.3  $\mu\text{mol/g DW}$ ；兩作游離胺基酸的總量以大豆粕處理組高於田樂一號處理組。‘文山’第一作的總可溶性蛋白含量於大豆粕 120 kg N/ha 及田樂一號 480 kg N/ha 的處理有顯著升高，其中以 2S 及 4C 處理最高，其他施肥處理組次之，對照組為最低，其含量分別為 89.3、89.7、78.9~86.1 及 74.4 mg/g DW；第二作的總可溶性蛋白含量於 120 kg N/ha 的處理有顯著升高，其中以 4C 處理最高，其他施肥處理組次之，對照組為最低，其含量分別為 72.3、60.4~69.6 及 51.2 mg/g DW；兩作總可溶性蛋白的總量施肥處理組顯著高於對照組，其中以 4C 處理為最高。

不同有機質肥料施用量對兩作油菜‘福祿甜’後續氮代謝產物游離胺基酸及總可溶性蛋白含量的影響如表 14 所示，第一作的游離胺基酸含量於 240 kg N/ha 的處理有顯著升高，其中以 4C 處理最高，其他施肥處理組次之，對照組為最低，其含量分別為 17.9、13.7~15.9 及 12.2  $\mu\text{mol/g DW}$ ；第二作的游離胺基酸含量於大豆粕 240 kg N/ha 的處理有顯著升高，田樂一號各處理組與對照組相比沒有顯著差異，其中以 2S 處理最高，其他施肥處理組次之，對照組為最低，其含量分別為 31.5、17.8~24.3 及 17.3  $\mu\text{mol/g DW}$ ；兩作游離胺基酸的總量以大豆粕處理組高於田樂一號處理組。總可溶性蛋白含量的部分，第一作於大豆粕 240 kg N/ha 及田樂一號 480 kg N/ha 的處理有顯著升高，其中以 2S 及 4C 處理最高，其他施肥處理組次之，對照組為最低，其含量分別為 88.3、86.7、78.4~84.5 及 79.2 mg/g DW；第二作的總可溶性蛋白含量於大豆粕 120 kg N/ha 及田樂一號 480 kg N/ha 的處理有顯著升高，其中以 2S 及 4C 處理最高，其他施肥處理組次之，對照組為最低，其含量分別為 71.0、71.1、65.9~69.5 及 62.6 mg/g DW；‘福祿甜’兩作總可溶性蛋白的總量除了 C 處理外，其他施肥處理組均顯著高於對照組，以 2S 及 4C 處理最高。

整體而言，兩品種油菜隨著施肥量的增加，其第一作與第二作的游離胺基酸和總可溶性蛋白的含量都有所增加，肥料種類以大豆粕處理較田樂一號處理來的高，故不同有機質肥料種類以大豆粕施用處理對其後續氮代謝產物的影響較大。

### 四、有機質肥料施用量對油菜養分吸收及氮素利用效率的影響

不同有機質肥料施用量下第二作油菜‘文山’及‘福祿甜’植體大量元素的含量如表 15、16 所示，隨著施肥量的增加兩品種植體氮含量有上升的趨勢，‘文山’在 120 kg N/ha 的處理下氮含量有顯著上升，‘福祿甜’則在大豆粕 120 kg N/ha 及田樂一號 240 kg N/ha 的處理下有顯著增加，在各處理中以 2S 處理顯著最高，其他施肥處理

組次之，對照組顯著最低，‘文山’分別為 4.73%、4.21%~4.58%及 3.89%，‘福祿甜’分別為 5.02%、4.44%~4.86%及 4.21%，有機質肥料種類以大豆粕處理組高於田樂一號處理組。磷含量方面，隨著施肥量的增加植體磷含量有上升的趨勢，兩品種油菜在 120 kg N/ha 的處理下磷含量有顯著上升，各施肥處理組顯著高於對照組，‘文山’在各處理中以 2S 處理顯著較高，其他施肥處理組次之，對照組顯著最低，分別為 0.68%、0.62%~0.64%及 0.56%，但‘福祿甜’各施肥處理組間統計上無顯著差異，各處理組及對照組分別為 0.61%~0.62%及 0.57%。鉀含量部分，有機質肥料種類以田樂一號處理組高於大豆粕處理組，且隨著施肥量的增加植體鉀含量有上升的趨勢，兩品種在田樂一號 240 kg N/ha 的處理下有顯著上升，4C 處理達到最高，分別為 7.69%及 7.35%，但在大豆粕處理組則與對照組無顯著差異，約為 6.01%~7.01%。兩品種油菜鈣及鎂含量各處理間統計上無顯著差異，不受施肥量及肥料種類的顯著性影響。

將乾物產量與植體氮含量相乘即為植體的氮吸收量，不同有機質肥料施用量對兩作油菜‘文山’及‘福祿甜’氮吸收量如表 18 所示，‘文山’兩作氮吸收量受到施肥量及肥料種類有顯著性影響，氮吸收量隨著肥料施量的增加而有所上升，於 120 kg N/ha 的處理時有顯著的增加，第一作以大豆粕的氮吸收量較高，各處理中以 2S 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，對照組顯著最低，分別為 103.2、75.8~90.5 及 49.8 kg N/ha；第二作以田樂一號的氮吸收量較高，各處理中以 4C 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，對照組顯著最低，分別為 97.6、50.3~73.1 及 39.3 kg N/ha；兩作氮吸收總量在肥料種類以大豆粕處理組略高於田樂一號處理組，各施肥處理均顯著比對照組高，且隨著施肥量的增加有顯著上升，各處理以 4C 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，對照組顯著最低，分別為 188、132~172 及 89 kg N/ha。

‘福祿甜’兩作氮吸收量受到施肥量及肥料種類有顯著性影響，氮吸收量隨著肥料施用量的增加而有所上升，第一作以大豆粕的氮吸收量較高，於大豆粕 120 kg N/ha 及田樂一號 240 kg N/ha 的處理時有顯著的增加，各處理中以 4C 處理顯著較高，其他施肥處理組次之，對照組顯著最低，分別為 69.3、47.0~66.5 及 36.9 kg N/ha；第二作以田樂一號的氮吸收量較高，於大豆粕 240 kg N/ha 及田樂一號 120 kg N/ha 的處理時有顯著的增加，各處理中以 4C 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，對照組顯著最低，分別為 69.0、46.6~61.1 及 39.7 kg N/ha；兩作氮吸收總量在肥料種類以大豆粕處理組略高於田樂一號處理組，各施肥處理均顯著比對照組高，且隨著施肥量的增加有顯著上升，各處理以 4C 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，對照組顯著最低，分別為 138.2、96.0~123.3 及 76.6 kg N/ha。

不同有機質肥料施用量對兩作油菜‘文山’及‘福祿甜’氮素利用效率(NUE)、氮素吸收效率(NUpE)及氮素應用效率(NUtE)之影響如表 19、20 所示，兩品種第一作 NUE 及 NUpE 於 120 kg N/ha 的施肥量處理顯著最高，其後隨著施肥量的增加而有顯著下降，在各處理中以 S 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，4C 處理顯著最低，有機質肥料種類兩品種均以大豆粕處理較高；兩品種第二作 NUE 及 NUpE 與



第一作有相同趨勢，於 120 kg N/ha 的施肥量處理顯著最高，其後隨著施肥量的增加而有顯著下降，各處理中以 C 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，4C 處理顯著最低，有機質肥料種類‘文山’以田樂一號處理較高，‘福祿甜’則在統計上無顯著差異；‘文山’及‘福祿甜’兩作之總 NUE 及總 NUpE 於 120 kg N/ha 的施肥量處理顯著最高，其後隨著施肥量的增加而有顯著下降，各處理中以 S 及 C 處理顯著最高，2S 及 2C 處理次之，4C 處理顯著最低，‘文山’之 NUE 為 8.71~26.63 kg DW/kg N apply，NUpE 為 0.39~1.15 kg N absorbed/kg N apply，‘福祿甜’之 NUE 為 5.93~19.50 kg DW/kg N apply，NUpE 為 0.28~0.92 kg N absorbed/kg N apply。

‘文山’及‘福祿甜’第一作 NUtE 並沒受到施肥量及肥料種類的顯著性影響，在各處理間皆無明顯差異；兩品種第二作 NUtE 隨著施肥量的增加有下降的趨勢，各處理中以 S 及 C 處理顯著最高，2S 處理顯著最低；兩品種兩作之總 NUtE 於 120 kg N/ha 處理有最佳的表現，但各處理在統計上均無顯著差異，兩品種之 NUtE 分別為 42.83~46.53 及 45.42~41.18 kg DW/kg N absorbed。

#### 五、不同有機質肥料施用量下油菜栽培後介質無機態氮及交換性元素的殘留情形

作物栽培前後測定介質無機態氮含量可了解作物對氮素的利用程度，油菜第一作及第二作栽培前後無機態氮殘留情形如圖 6 所示，種植前各處理介質之無機態氮含量以大豆粕處理組顯著高於田樂一號處理組，且隨著施肥量的增加介質之無機態氮含量有上升的趨勢，其中大豆粕各處理有顯著上升，S 及 2S 處理分別為 123 及 154 mg/kg；田樂一號則於 480 kg N/ha (4C) 處理有顯著增加，其餘田樂一號處理組皆與對照組無顯著差異，對照組與各處理組分別為 84、90、92 及 109 mg/kg。第一作方面，各處理介質之無機態氮含量以大豆粕處理組較高，田樂一號處理組較低，其中隨施肥量增加大豆粕各處理組有顯著上升，S 及 2S 處理分別為 100 及 123 mg/kg；田樂一號處理組則皆與對照組無顯著差異，對照組與各處理組分別為 68 及 66~72 mg/kg。第二作方面，各處理介質之無機態氮含量以大豆粕處理組顯著高於田樂一號處理組，其中隨施肥量增加大豆粕各處理組有顯著上升，S 及 2S 處理組分別為 79 及 116 mg/kg；田樂一號處理組則顯著比對照組低，各處理無顯著差異，對照組與各處理組分別為 50 及 32~40 mg/kg。各處理組從種植前到第二作介質之無機態氮含量有顯著降低，但 2S 處理之第一作與第二作無顯著差異。

油菜各期作之介質交換性磷含量如圖 7 所示，在各處理中田樂一號處理組介質交換性磷的含量顯著高於大豆粕處理組，且隨著施肥量的增加，田樂一號各處理組交換性磷的含量有顯著上升的趨勢，種植前各處理分別為 463、667 及 1123 mg/kg，而大豆粕各處理組間與對照組則無顯著性差異，種植前對照組及大豆粕各處理組交換性磷含量分別為 272 及 325~358 mg/kg。各處理於種植前皆含有最高的交換性磷含量，並隨著連續種植的次數而有所下降，但只有對照組和 4C 處理組有顯著差異，其他處理組統計上無明顯差異。油菜各期作之介質交換性鉀含量如圖 8 所示，隨著施肥量的增加，大豆粕與田樂一號各處理組交換性鉀的含量有顯著上

升的趨勢，以 4C 處理顯著最高，其他施肥處理組次之，對照組顯著最低，種植前分別為 2827、1773~2253 及 1420 mg/kg。各處理於種植前皆含有最高的交換性鉀含量，並隨著連續種植的次數而有顯著下降。

油菜各期作之介質交換性鈣及鎂含量如圖 9、10 所示，各處理間介質交換性鈣含量沒有顯著性差異，為 1.37%~1.48%。各處理於種植前皆含有最高的交換性鈣含量，並隨著連續種植的次數而有所下降，但第一作與種植前相比無明顯差異，僅第二作有較明顯差異。各處理間介質交換性鎂含量沒有顯著性差異，為 2560~3202 mg/kg。各處理於種植前皆含有最高的交換性鎂含量，並隨著連續種植的次數而有所下降，但對照組與大豆粕處理組第一作與種植前相比無明顯差異。

## 六、不同有機質肥料施用量下油菜栽培前後介質化學性質的變化

有機質肥料施用後連續栽培兩作油菜介質 EC 值與 pH 值之變化如圖 11、12 所示，種植前有機質肥料已施用一個星期，兩作之間栽培天數約為 60 天。EC 值(介質：水=1：5, w/v)在種植前以田樂一號處理組顯著高於大豆粕處理組，且隨著施肥量的增加而有上升趨勢，其中於大豆粕 240 kg N/ha 處理與田樂一號 120 kg N/ha 處理有顯著增加，各處理中以 4C 處理顯著最高，其他肥料處理組次之，對照組與 S 處理顯著最低，分別為 533、312~397 及 258~267  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 。隨著種植次數的增加，各處理之 EC 值皆有顯著的降低，於第二作種植結束時，各處理間的差異有減少的趨勢，以 4C 處理顯著最高，其他處理組及對照組沒有明顯差異，為 127~273  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 。

pH 值方面，種植前大豆粕處理組的 pH 值有降低的趨勢，田樂一號處理組則有上升的趨勢，兩者會隨著施肥量增加而使趨勢更明顯，其中 4C 處理 pH 值最高，2S 處理最低，4C、2S 處理組及對照組 pH 值分別為 6.28、5.60 及 6.02。隨著種植次數的增加，各處理之 pH 值皆有上升的趨勢，在第二作種植結束時，各處理之差異趨勢同種植前，以大豆粕處理組 pH 值較對照組為低，田樂一號處理組 pH 值較對照組為高，其中 4C、2S 處理組及對照組 pH 值分別為 6.46、6.07 及 6.20。

## 試驗三、鉬酸鈉葉面噴施對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響

### 一、鉬酸鈉葉面噴施對油菜植株生育性狀的影響

不同濃度鉬酸鈉葉面噴施處理對油菜‘文山’及‘福祿甜’生育性狀影響如圖 13 所示，‘文山’隨著鉬酸鈉處理濃度的增加，地上部鮮乾重、株高及葉面積有增加的趨勢，於 0.6 mg/L 處理達到最高，處理濃度再增加則鮮重及乾重有顯著下降。鉬酸鈉處理濃度和‘文山’生育表現之間呈現二次迴歸關係，鮮重及乾重  $R^2$  值分別為 0.93 及 0.83，株高及葉面積  $R^2$  值分別為 0.87 及 0.71。‘福祿甜’生育表現也有相同趨勢，隨著鉬酸鈉處理濃度的增加，地上部鮮乾重、株高及葉面積有增加的趨勢，於 0.3 mg/L 處理達到最高，處理濃度再增加則有下降趨勢。鉬酸鈉處理濃度和‘福祿甜’生育表現之間呈現二次迴歸關係，鮮重及乾重  $R^2$  值分別為 0.41 及 0.39，株高及葉面積  $R^2$  值分別為 0.33 及 0.39。‘福祿甜’之  $R^2$  值較低，顯示該二次迴歸式並

無法有效地解釋其生育表現的變異。

## 二、鉬酸鈉葉面噴施對油菜葉片硝酸還原酶活性與硝酸根離子含量的影響

不同濃度鉬酸鈉葉面噴施對油菜‘文山’及‘福祿甜’葉片硝酸還原酶活性影響如圖 14 所示，兩品種葉片硝酸還原酶活性隨鉬酸鈉處理濃度的增加而增加，於 1.2 mg/L 處理達到最高活性，其活性分別為 18.2 及 13.9  $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{hr/g FW}$ ，比未施用鉬酸鈉處理的 8.1 及 7.5  $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{hr/g FW}$  分別增加了 125% 及 86% (表 21)。鉬酸鈉處理濃度和兩品種硝酸還原酶活性之間呈現二次迴歸關係， $R^2$  值分別為 0.91 及 0.97，顯示利用此迴歸模式來推測其活性，應具相當之可信度。

不同濃度鉬酸鈉葉面噴施對油菜‘文山’及‘福祿甜’葉片硝酸根離子含量影響如圖 15 所示，兩品種葉片硝酸根離子含量隨鉬酸鈉處理濃度增加而下降，於 1.2 mg/L 處理有最低的硝酸根離子含量，分別為 1032 及 1229 mg/kg FW，比未施用鉬酸鈉處理的 2070 及 1658 mg/kg FW 分別降低了 50% 及 26% (表 21)。鉬酸鈉處理濃度和兩品種硝酸根離子含量之間呈現二次迴歸關係， $R^2$  值分別為 0.98 及 0.95，顯示利用此迴歸模式來推測其含量，應具相當之可信度。

## 三、鉬酸鈉葉面噴施對油菜碳水化合物含量的影響

不同濃度鉬酸鈉葉面噴施對油菜‘文山’及‘福祿甜’總可溶性糖及澱粉含量之影響如圖 16 所示，‘文山’總可溶性糖及澱粉含量隨鉬酸鈉噴施濃度增加而增加，於 1.2 mg/L 處理達到最高，其含量分別為 50.9 及 77.2 mg/g DW，比未施用鉬酸鈉處理的 37.9 及 49.2 mg/g DW 分別增加了 34% 及 57% (表 21)。鉬酸鈉處理濃度和‘文山’總可溶性糖及澱粉含量之間呈現二次迴歸關係， $R^2$  值分別為 0.99 及 0.93，顯示利用此迴歸模式來推測其含量，應具相當之可信度。

‘福祿甜’總可溶性糖及澱粉含量隨鉬酸鈉噴施濃度增加而增加，於 0.9 mg/L 處理達到最高，其含量分別為 41.1 及 72.9 mg/g DW，比未施用鉬酸鈉處理的 34.4 及 54.2 mg/g DW 分別增加了 19% 及 35% (表 21)。鉬酸鈉處理濃度和‘福祿甜’總可溶性糖及澱粉含量之間呈現二次迴歸關係， $R^2$  值分別為 0.88 及 0.77。

## 四、鉬酸鈉葉面噴施對油菜游離胺基酸與總可溶性蛋白含量的影響

不同濃度鉬酸鈉葉面噴施對油菜‘文山’及‘福祿甜’游離胺基酸與總可溶性蛋白含量之影響如圖 17 所示，兩品種游離胺基酸含量隨鉬酸鈉噴施濃度增加而增加，於 1.2 mg/L 處理達到最高，其含量分別為 16.7 及 20.6  $\mu\text{mol/g DW}$ ，比未施用鉬酸鈉處理的 12.1 及 14.2  $\mu\text{mol/g DW}$  分別增加了 38% 及 45% (表 21)。鉬酸鈉處理濃度和兩品種游離胺基酸含量之間呈現二次迴歸關係， $R^2$  值分別為 0.99 及 1.00，顯示利用此迴歸模式來推測其含量，應具相當之可信度。兩品種總可溶性蛋白含量也有相同趨勢，隨著鉬酸鈉處理濃度增加而有所增加，於 1.2 mg/L 處理達到最高，其含量分別為 105.6 及 94.5 mg/g DW，比未施用鉬酸鈉處理的 86.8 及 84.6 mg/g DW 分別增加了 22% 及 12% (表 21)。鉬酸鈉處理濃度和兩品種總可溶性蛋白含量之間

呈現二次迴歸關係， $R^2$  值分別為 0.89 及 0.90，顯示利用此迴歸模式來推測其含量，應具相當之可信度。

#### 五、於尿素施用下鉬酸鈉葉面噴施對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響

尿素及鉬酸鈉葉面噴施對油菜‘文山’及‘福祿甜’生育性狀影響如表 22 所示，結果顯示‘文山’施用尿素及 0.9 mg/L 鉬酸鈉處理各生育性狀如地上部鮮乾重、株高、葉數和葉面積均顯著比未施尿素的對照組來的好。‘福祿甜’也有相同趨勢，施用尿素處理組各生育性狀如地上部鮮乾重、株高、葉數和葉面積均顯著比未施尿素的對照組來的好，其中 0.9 mg/L 鉬酸鈉處理下可顯著提高其乾重、葉數及葉面積。

尿素及鉬酸鈉葉面噴施對油菜‘文山’及‘福祿甜’葉片硝酸還原酶活性及硝酸根離子含量影響如表 23 所示，兩品種施用尿素處理葉片硝酸還原酶活性及硝酸根離子含量均顯著高於未施尿素的對照組，其中於尿素施用下，以 0.9 mg/L 鉬酸鈉處理可顯著提高硝酸還原酶活性，而硝酸根離子有顯著的降低。兩品種尿素處理硝酸還原酶活性比對照組分別增加了 22 及 12%，於 0.9 mg/L 鉬酸鈉處理下，分別增加到了 66 及 62%；兩品種尿素處理硝酸根離子含量比對照組分別增加了 164 及 92%，但於 0.9 mg/L 鉬酸鈉處理下，只分別增加了 97 及 60%，顯示在尿素施用下鉬酸鈉處理可明顯提升兩品種油菜葉片硝酸還原酶活性並降低硝酸根離子的累積量。

尿素及鉬酸鈉葉面噴施對油菜‘文山’及‘福祿甜’總可溶性糖、澱粉、游離胺基酸及總可溶性蛋白含量影響如表 24 所示，‘文山’施用尿素處理總可溶性糖、澱粉及總可溶性蛋白含量均顯著高於未施尿素的對照組，游離胺基酸含量則無顯著差異，而於 0.9 mg/L 鉬酸鈉處理下可顯著提高其總可溶性糖、澱粉、游離胺基酸及總可溶性蛋白的含量。‘福祿甜’施用尿素處理游離胺基酸及總可溶性蛋白的含量均顯著高於未施尿素的對照組，總可溶性糖及澱粉含量則無顯著差異，而於 0.9 mg/L 鉬酸鈉處理下可顯著提高其總可溶性糖、澱粉、游離胺基酸及總可溶性蛋白的含量，有加成的效果。

表 1、不同程度遮陰處理四天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉片淨光合作用速率 (Pn)、氣孔導度(g<sub>s</sub>)、蒸散作用速率(E)和葉片細胞間隙 CO<sub>2</sub> 濃度(Ci)之影響

品種	處理	Pn ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	g <sub>s</sub> ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	E ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Ci (ppm)
青龍	Control	21.37 a <sup>z</sup>	0.21 a	2.48 a	165 b
	50%	14.97 b	0.18 a	2.00 a	225 a
	70%	7.75 c	0.12 a	1.81 a	247 a
文山	Control	23.90 a	0.19 a	2.63 a	70 c
	50%	17.48 b	0.16 ab	2.22 a	163 b
	70%	7.97 c	0.08 b	1.34 b	242 a
福祿甜	Control	24.06 a	0.27 a	3.23 a	152 b
	50%	18.51 b	0.20 b	2.93 a	182 ab
	70%	8.18 c	0.10 c	1.44 b	217 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column for each cultivar are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

表 2、不同程度遮陰處理四天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉綠素螢光參數之影響

品種	處理	PAR	$\Phi$ PSII	ETR	qP
青龍	Control	677.0 a <sup>z</sup>	0.58 c	168.4 a	0.80 b
	50%	259.0 b	0.66 b	72.1 b	0.87 ab
	70%	191.3 c	0.69 a	55.5 b	0.94 a
文山	Control	221.7 a	0.55 c	52.0 a	0.82 a
	50%	186.8 b	0.67 b	45.1 ab	0.92 a
	70%	87.4 c	0.72 a	23.0 b	0.96 a
福祿甜	Control	316.3 a	0.44 c	58.4 a	0.69 b
	50%	170.3 b	0.57 b	38.0 ab	0.74 b
	70%	57.3 c	0.63 a	15.2 b	0.91 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column for each cultivar are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

表 3、不同程度遮陰處理五天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’植株生育性狀之影響

品種	處理	鮮重	減少值	乾重	減少值	葉面積	減少值	株高 (cm)	葉數 (片)	比葉面積 (cm <sup>2</sup> /g)	葉柄長/ 葉長
		(g)	(%)	(g)	(%)	(cm <sup>2</sup> )	(%)				
青龍	Control	46.3 a <sup>z</sup>	(0) <sup>y</sup>	2.36 a	(0)	523.3 a	(0)	35.3 a	8.00 a	222.5 b	0.44 b
	50%	31.2 b	(32.6)	1.38 b	(41.5)	332.5 b	(36.5)	36.0 a	6.67 b	242.6 ab	0.57 a
	70%	28.7 b	(38.0)	1.15 b	(51.3)	321.7 b	(38.5)	35.0 a	6.00 b	281.6 a	0.58 a
文山	Control	50.7 a	(0)	2.53 a	(0)	554.5 a	(0)	35.0 a	7.67 a	217.5 a	0.41 b
	50%	39.9 ab	(21.3)	1.90 b	(24.9)	430.5 ab	(22.4)	35.5 a	6.33 b	227.3 a	0.52 a
	70%	31.6 b	(37.7)	1.49 b	(41.1)	352.6 b	(36.4)	34.5 a	6.00 b	236.6 a	0.55 a
福祿甜	Control	38.8 a	(0)	2.30 a	(0)	450.7 a	(0)	34.0 a	8.00 a	195.9 a	0.52 b
	50%	35.3 a	(9.0)	2.07 a	(10.0)	438.2 a	(2.8)	33.2 ab	7.33 a	212.4 a	0.57 a
	70%	27.5 b	(29.1)	1.43 b	(37.8)	317.1 b	(29.6)	31.7 b	6.33 b	223.1 a	0.61 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column for each cultivar are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> decreased yield(%)=(處理組-control)/control ×100

表 4、不同程度遮陰處理五天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉綠素含量之影響

品種	處理	葉綠素 a (mg/g)	葉綠素 b (mg/g)	葉綠素 a/b	總葉綠素 (mg/g)
青龍	Control	1.19 a <sup>z</sup>	0.18 b	6.53 a	1.67 a
	50%	1.21 a	0.20 ab	6.11 b	1.73 a
	70%	1.19 a	0.22 a	5.38 c	1.76 a
文山	Control	1.19 a	0.20 a	6.01 a	1.70 a
	50%	1.32 a	0.23 a	5.84 b	1.91 a
	70%	1.30 a	0.23 a	5.80 b	1.89 a
福祿甜	Control	1.33 a	0.23 a	5.89 a	1.92 a
	50%	1.47 a	0.26 a	5.66 b	2.14 a
	70%	1.44 a	0.27 a	5.45 c	2.14 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column for each cultivar are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

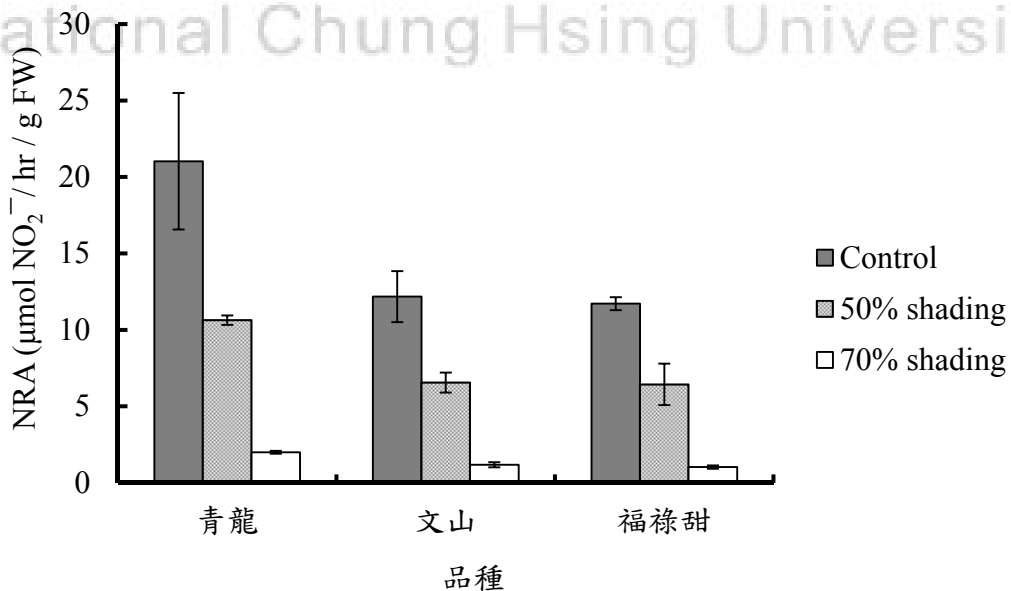


圖 1、不同程度遮陰處理三天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉片硝酸還原酶活性 (NRA) 之影響

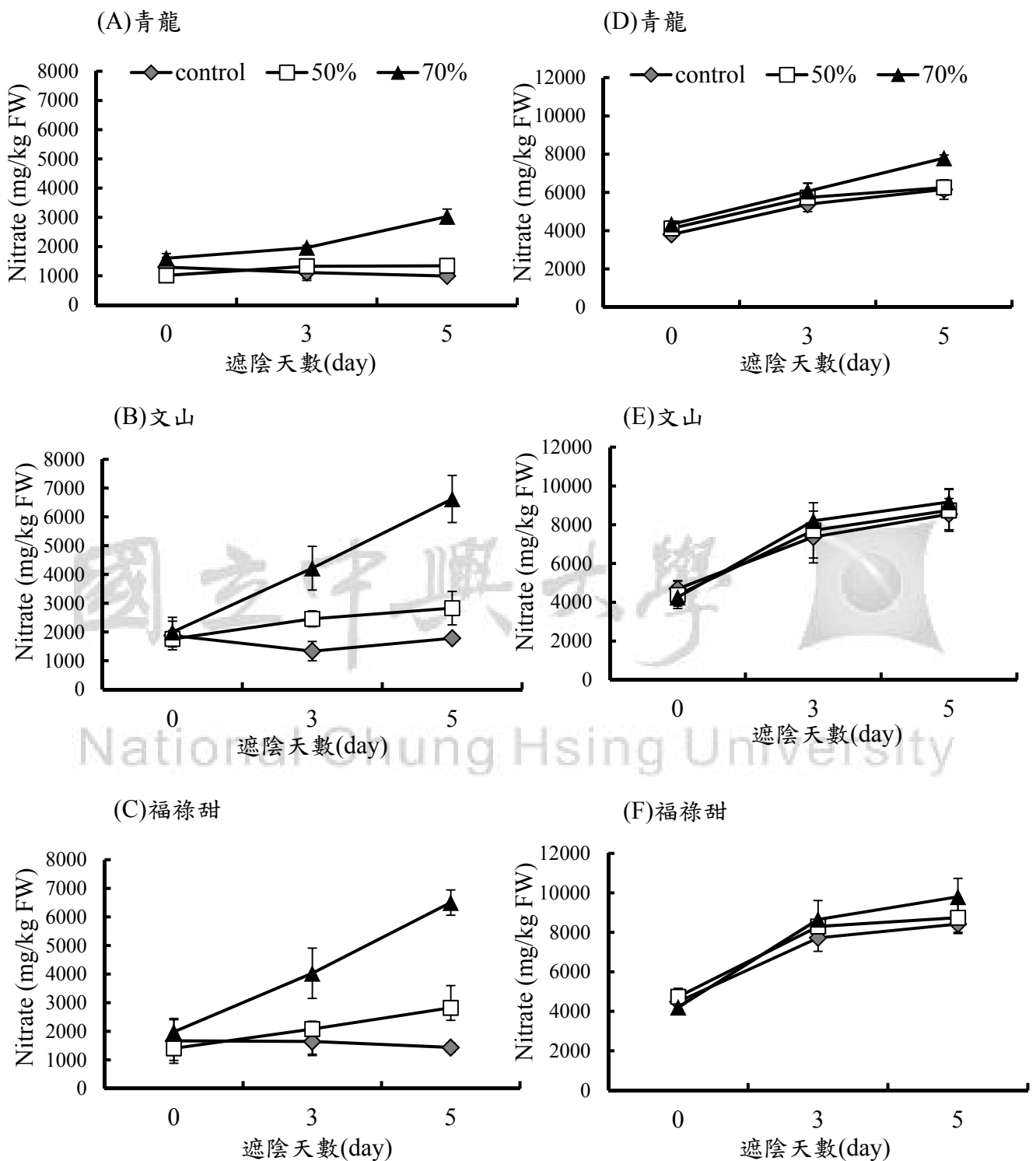


圖 2、不同程度遮陰處理下‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉片(A~C)與葉柄(D~F)硝酸根離子含量隨時間變化之情形



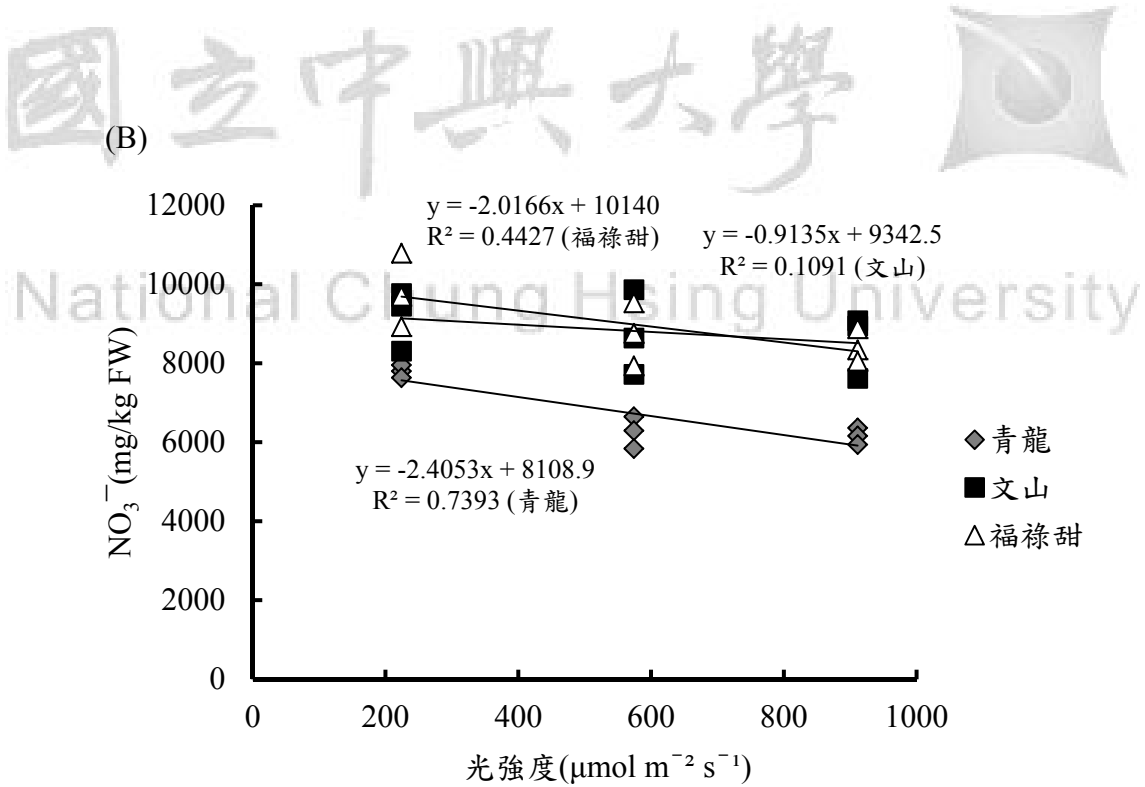
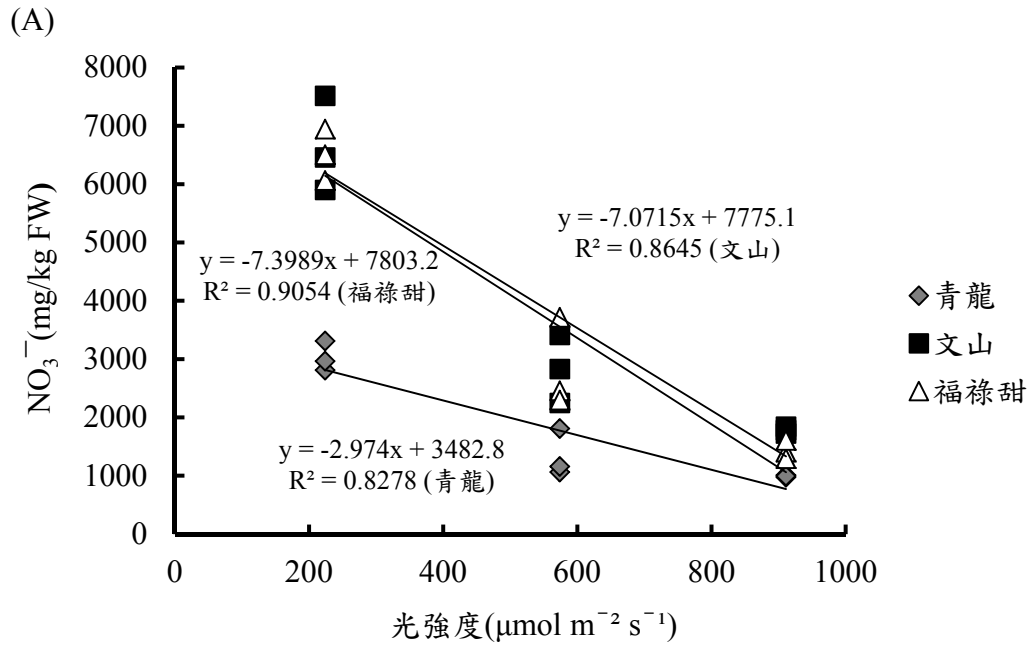


圖 3、光強度對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’葉片(A)和葉柄(B)硝酸根離子含量之影響

表 5、油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’不同程度遮陰處理三天與五天葉片與葉柄硝酸根離子含量與對照組相比增加百分比(%)

品種	處理	遮陰第 3 天		遮陰第 5 天	
		葉片	葉柄	葉片	葉柄
青龍	Control	0	0	0	0
	50%	19.05 <sup>z</sup>	6.54	35.11	1.74
	70%	76.55	12.67	204.73	26.71
文山	Control	0	0	0	0
	50%	84.06	4.63	58.83	2.29
	70%	215.94	11.37	271.56	7.32
福祿甜	Control	0	0	0	0
	50%	26.50	7.46	96.86	3.79
	70%	145.11	12.09	353.31	16.39

<sup>z</sup> (%)=(處理組-control)/control ×100

表 6、不同程度遮陰處理五天對油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’總可溶性糖、澱粉、銨根離子、游離胺基酸及總可溶性蛋白含量之影響

品種	處理	總可溶性糖 (mg/g DW)	澱粉 (mg/g DW)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μg/g FW)	游離胺基酸 (μmol/g DW)	總可溶性蛋白 (mg/g DW)
青龍	Control	38.1 a <sup>z</sup>	29.2 a	26.7 b	10.8 c	101.1 a
	50%	37.3 a	28.2 a	34.5 a	18.3 b	94.6 a
	70%	24.8 b	14.8 b	41.2 a	23.7 a	64.1 b
文山	Control	32.7 a	23.2 a	22.1 b	15.9 b	92.2 a
	50%	26.8 b	24.5 a	25.4 b	19.0 b	83.1 ab
	70%	25.9 b	17.6 b	34.8 a	27.3 a	75.2 b
福祿甜	Control	28.3 a	23.3 a	30.9 b	17.7 b	76.9 a
	50%	23.3 b	19.8 b	35.9 b	17.9 b	74.3 a
	70%	21.7 b	19.1 b	52.1 a	30.0 a	64.1 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column for each cultivar are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

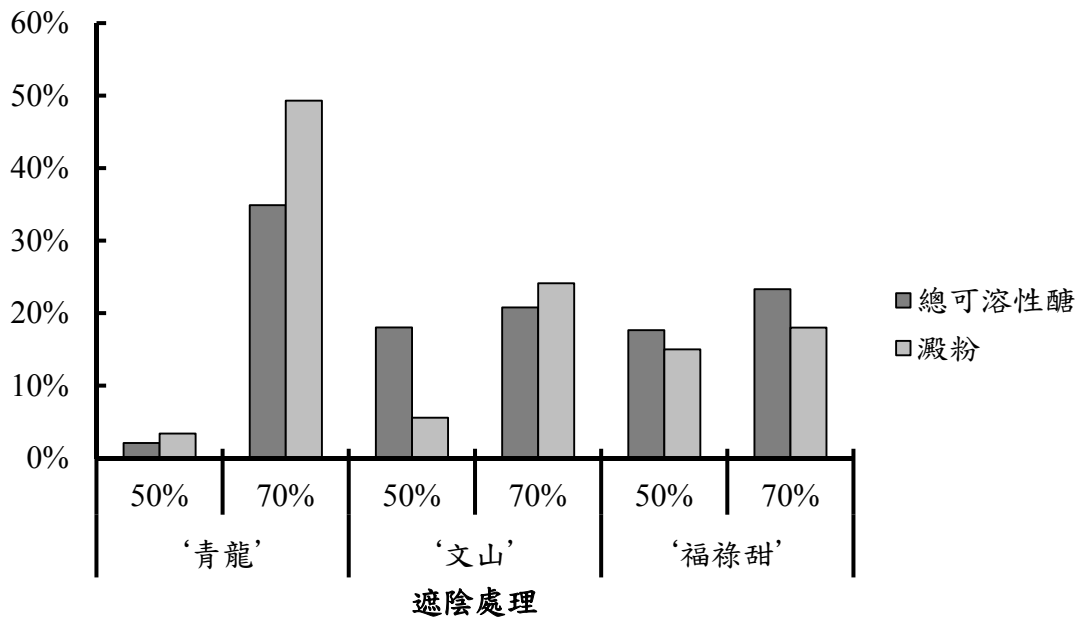


圖 4、油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’於 50%及 70%遮陰處理五天總可溶性醣及澱粉含量較對照組減少百分比

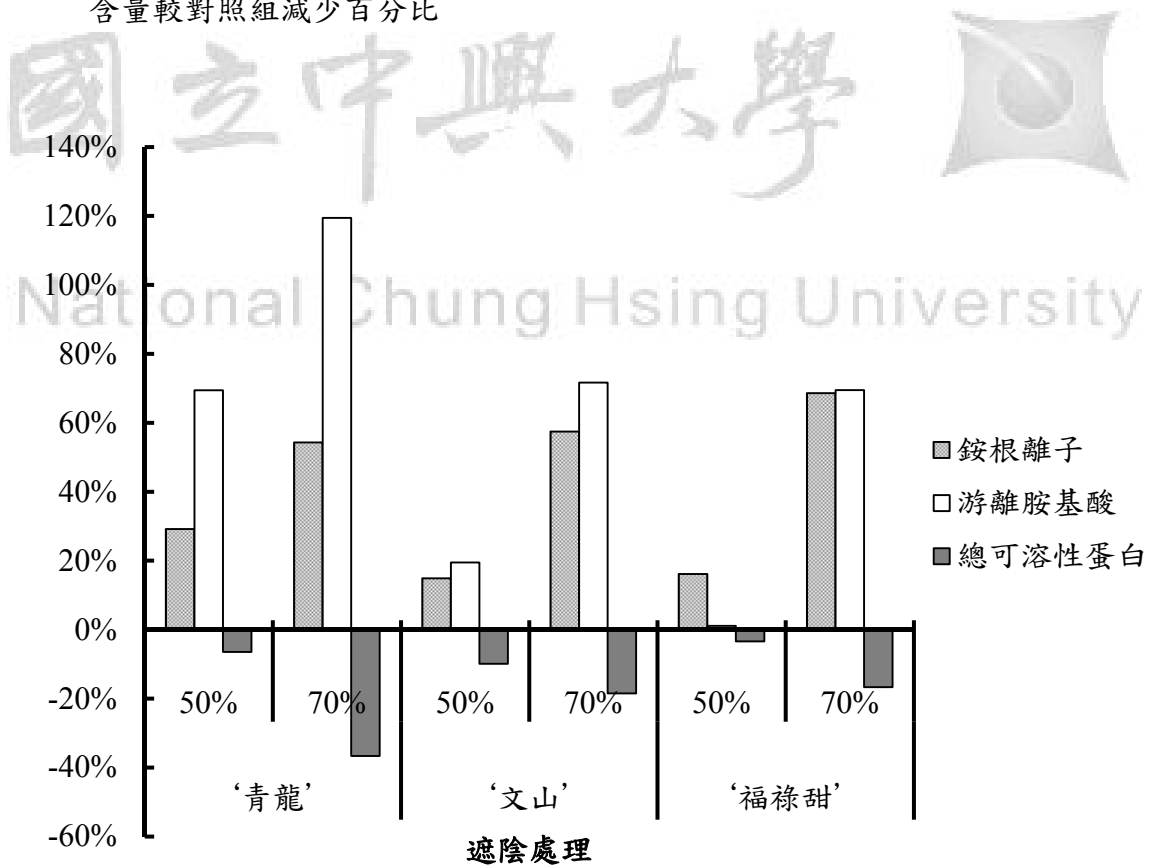


圖 5、油菜‘青龍’、‘文山’及‘福祿甜’於 50%及 70%遮陰處理五天銨根離子、游離胺基酸及總可溶性蛋白含量較對照組增減百分比

表 7、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’第一作植株生育性狀之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	鮮重 (g)	乾重 (g)	株高 (cm)	葉片數 (片)	葉面積 (cm <sup>2</sup> )
Control	0	20.6 c <sup>z</sup>	1.28 d	25.7 c	5.7 a	346 c
S <sup>y</sup>	120	30.7 ab	2.00 ab	27.8 abc	6.3 a	465 ab
2S	240	33.3 a	2.22 a	30.0 a	6.3 a	525 a
C	120	27.1 b	1.72 c	28.3 ab	6.0 a	424 b
2C	240	29.5 ab	1.89 bc	27.5 bc	6.0 a	460 ab
4C	480	31.0 ab	2.01 ab	27.7 abc	6.0 a	491 ab

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

表 8、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’第二作植株生育性狀之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	鮮重 (g)	乾重 (g)	株高 (cm)	葉片數 (片)	葉面積 (cm <sup>2</sup> )
Control	0	20.5 d <sup>z</sup>	1.01 f	26.2 e	5.3 b	316 e
S <sup>y</sup>	120	25.1 c	1.19 e	27.8 de	6.0 ab	379 d
2S	240	27.8 c	1.46 c	29.2 cd	6.3 a	414 c
C	120	27.3 c	1.31 d	30.5 bc	6.0 ab	394 cd
2C	240	32.3 b	1.60 b	32.2 b	6.0 ab	478 b
4C	480	43.6 a	2.17 a	34.8 a	6.3 a	612 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

表 9、不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’第一作植株生育性狀之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	鮮重 (g)	乾重 (g)	株高 (cm)	葉片數 (片)	葉面積 (cm <sup>2</sup> )
Control	0	10.7 e <sup>z</sup>	0.80 d	19.3 d	5.0 b	194 d
S <sup>y</sup>	120	19.2 bc	1.31 ab	23.8 ab	6.0 a	306 bc
2S	240	20.4 b	1.48 a	24.8 a	6.3 a	339 ab
C	120	15.8 d	1.07 c	22.5 bc	6.0 a	273 c
2C	240	17.1 cd	1.21 bc	21.8 c	6.0 a	283 c
4C	480	23.1 a	1.43 a	23.3 b	6.0 a	347 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

表 10、不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’第二作植株生育性狀之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	鮮重 (g)	乾重 (g)	株高 (cm)	葉片數 (片)	葉面積 (cm <sup>2</sup> )
Control	0	15.5 d <sup>z</sup>	0.94 c	22.9 d	5.7 c	281 c
S <sup>y</sup>	120	18.3 c	1.03 bc	23.8 cd	6.0 bc	295 c
2S	240	20.6 c	1.13 b	24.8 c	6.3 b	316 bc
C	120	22.1 c	1.10 b	27.3 b	6.0 bc	342 b
2C	240	23.7 b	1.28 a	27.5 b	6.0 bc	346 ab
4C	480	26.2 a	1.42 a	29.3 a	7.0 a	389 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

表 11、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’第一作與第二作植株硝酸還原酶活性與硝酸根離子含量之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	NRA ( $\mu\text{mol NO}_2^-$ /hr/g FW)		$\text{NO}_3^-$ (mg/kg FW)	
		第一作	第二作	第一作	第二作
		Control	0	6.04 d <sup>z</sup>	12.81 d
S <sup>y</sup>	120	12.57 a	19.80 ab	2634 b	2715 c
2S	240	9.59 bc	14.72 cd	2974 a	3175 a
C	120	7.73 cd	18.71 bc	1915 c	2350 d
2C	240	11.20 ab	24.17 a	2100 c	2615 c
4C	480	10.18 abc	20.96 ab	2521 b	2915 b

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

表 12、不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’第一作與第二作植株硝酸還原酶活性與硝酸根離子含量之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	NRA ( $\mu\text{mol NO}_2^-$ /hr/g FW)		$\text{NO}_3^-$ (mg/kg FW)	
		第一作	第二作	第一作	第二作
		Control	0	6.38 c <sup>z</sup>	13.95 c
S <sup>y</sup>	120	13.38 a	20.27 ab	2221 b	2458 c
2S	240	11.23 ab	20.94 a	2590 a	3009 a
C	120	8.07 c	16.29 bc	1740 d	2273 de
2C	240	10.69 b	24.42 a	1905 c	2304 cd
4C	480	11.18 ab	21.51 a	2022 c	2652 b

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

表 13、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’第一作與第二作植株游離胺基酸與總可溶性蛋白含量之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	游離胺基酸( $\mu\text{mol/g DW}$ )		總可溶性蛋白( $\text{mg/g DW}$ )	
		第一作	第二作	第一作	第二作
Control	0	11.2 b <sup>z</sup>	14.3 b	74.4 c	51.2 d
S <sup>y</sup>	120	11.4 b	19.3 a	86.1 ab	68.9 abc
2S	240	14.0 a	21.4 a	89.3 a	69.6 ab
C	120	11.7 ab	14.9 b	78.9 bc	60.4 c
2C	240	12.4 ab	14.9 b	83.4 abc	62.4 bc
4C	480	13.4 ab	15.7 b	89.7 a	72.3 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

表 14、不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’第一作與第二作植株游離胺基酸與總可溶性蛋白含量之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	游離胺基酸( $\mu\text{mol/g DW}$ )		總可溶性蛋白( $\text{mg/g DW}$ )	
		第一作	第二作	第一作	第二作
Control	0	12.2 c <sup>z</sup>	17.3 b	79.2 b	62.6 c
S <sup>y</sup>	120	15.2 abc	24.3 ab	84.5 ab	69.5 ab
2S	240	15.9 ab	31.5 a	88.3 a	71.0 a
C	120	13.7 bc	17.8 b	78.4 b	65.9 bc
2C	240	14.9 abc	20.5 b	80.8 ab	67.0 abc
4C	480	17.9 a	20.8 b	86.7 a	71.1 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

表 15、不同有機質肥料施用量對第二作油菜‘文山’植體大量元素含量之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Control	0	3.89 d <sup>z</sup>	0.56 c	6.01 b	1.86 ab	0.62 a
S <sup>y</sup>	120	4.21 c	0.62 b	6.61 ab	2.01 a	0.64 a
2S	240	4.73 a	0.68 a	7.01 ab	1.92 ab	0.46 b
C	120	4.27 c	0.62 b	6.80 ab	1.61 bc	0.53 ab
2C	240	4.58 ab	0.64 ab	7.54 a	1.56 bc	0.57 ab
4C	480	4.50 b	0.64 ab	7.69 a	1.44 c	0.59 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

表 16、不同有機質肥料施用量對第二作油菜‘福祿甜’植體大量元素含量之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Control	0	4.21 d <sup>z</sup>	0.57 b	6.10 c	1.78 ab	0.60 ab
S <sup>y</sup>	120	4.51 bc	0.62 a	6.38 bc	1.96 a	0.62 ab
2S	240	5.02 a	0.62 a	6.53 abc	1.88 a	0.56 ab
C	120	4.44 cd	0.61 a	6.42 bc	1.78 ab	0.67 a
2C	240	4.77 ab	0.61 a	6.99 ab	1.45 b	0.64 ab
4C	480	4.86 a	0.62 a	7.35 a	1.40 b	0.55 b

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)



表 17、油菜‘文山’及‘福祿甜’不同有機質肥料施用量兩作產量(ton/ha)之估計

處理	氮施用量 (kg N/ha)	文山			福祿甜		
		第一作	第二作	Total	第一作	第二作	Total
Control	0	19.4	20.1	39.5	12.9	16.6	29.5
S <sup>y</sup>	120	25.6	23.8	49.4	18.5	18.4	36.9
2S	240	27.3	25.5	52.8	18.9	20.2	39.1
C	120	23.3	31.3	54.6	13.4	22.4	35.8
2C	240	24.2	34.3	58.5	15.8	26.5	42.3
4C	480	26.9	45.1	72.0	19.6	31.7	51.3

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

表 18、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’及‘福祿甜’兩作氮吸收量(kg N/ha)之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	文山			福祿甜		
		第一作	第二作	Total	第一作	第二作	Total
Control	0	49.8 d <sup>z</sup>	39.3 e	89.0 d	36.9 d	39.7 d	76.6 e
S <sup>y</sup>	120	87.9 bc	50.3 d	138.1 c	63.4 ab	46.6 cd	110.0 c
2S	240	103.2 a	69.1 b	172.3 ab	66.5 ab	56.8 b	123.3 b
C	120	75.8 c	56.0 c	131.8 c	47.0 cd	49.0 c	96.0 d
2C	240	84.3 bc	73.1 b	157.4 b	56.1 bc	61.1 b	117.3 bc
4C	480	90.5 ab	97.6 a	188.1 a	69.3 a	69.0 a	138.2 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

<sup>y</sup> 有機質肥料：大豆粕(S)、田樂一號(C)

表 19、不同有機質肥料施用量對油菜‘文山’兩作氮素利用效率(NUE)、氮素吸收效率(NUpE)及氮素應用效率(NUtE)之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	NUE (kg DW/kg N apply)			NUpE (kg N absorbed/kg N apply)			NUtE (kg DW/kg N absorbed)		
		第一作	第二作	Total	第一作	第二作	Total	第一作	第二作	Total
S <sup>y</sup>	120	16.69 a <sup>z</sup>	9.94 b	26.63 a	0.73 a	0.42 b	1.15 a	22.79 a	23.74 a	46.53 a
2S	240	9.25 c	6.08 d	15.33 b	0.43 c	0.29 c	0.72 b	21.68 a	21.15 c	42.83 b
C	120	14.36 b	10.94 a	25.30 a	0.63 b	0.47 a	1.10 a	22.85 a	23.45 a	46.30 a
2C	240	7.88 c	6.65 c	14.53 b	0.35 c	0.30 c	0.65 b	22.44 a	21.84 bc	44.28 ab
4C	480	4.19 d	4.52 e	8.71 c	0.19 d	0.20 d	0.39 c	22.25 a	22.25 b	44.50 ab

<sup>z</sup>Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

表 20、不同有機質肥料施用量對油菜‘福祿甜’兩作氮素利用效率(NUE)、氮素吸收效率(NUpE)及氮素應用效率(NUtE)之影響

處理	氮施用量 (kg N/ha)	NUE (kg DW/kg N apply)			NUpE (kg N absorbed/kg N apply)			NUtE (kg DW/kg N absorbed)		
		第一作	第二作	Total	第一作	第二作	Total	第一作	第二作	Total
S <sup>y</sup>	120	10.89 a <sup>z</sup>	8.61 a	19.50 a	0.53 a	0.39 a	0.92 a	20.74 a	22.21 ab	42.95 ab
2S	240	6.18 c	4.71 b	10.89 b	0.28 c	0.24 b	0.52 c	22.33 a	19.91 c	42.24 ab
C	120	8.92 b	9.19 a	18.11 a	0.39 b	0.41 a	0.80 b	22.85 a	22.57 a	45.42 a
2C	240	5.06 d	5.33 b	10.39 b	0.23 c	0.25 b	0.48 c	21.69 a	20.94 bc	42.63 ab
4C	480	2.97 e	2.96 c	5.93 c	0.14 d	0.14 c	0.28 d	20.59 a	20.59 c	41.18 b

<sup>z</sup>Means with the same letters in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

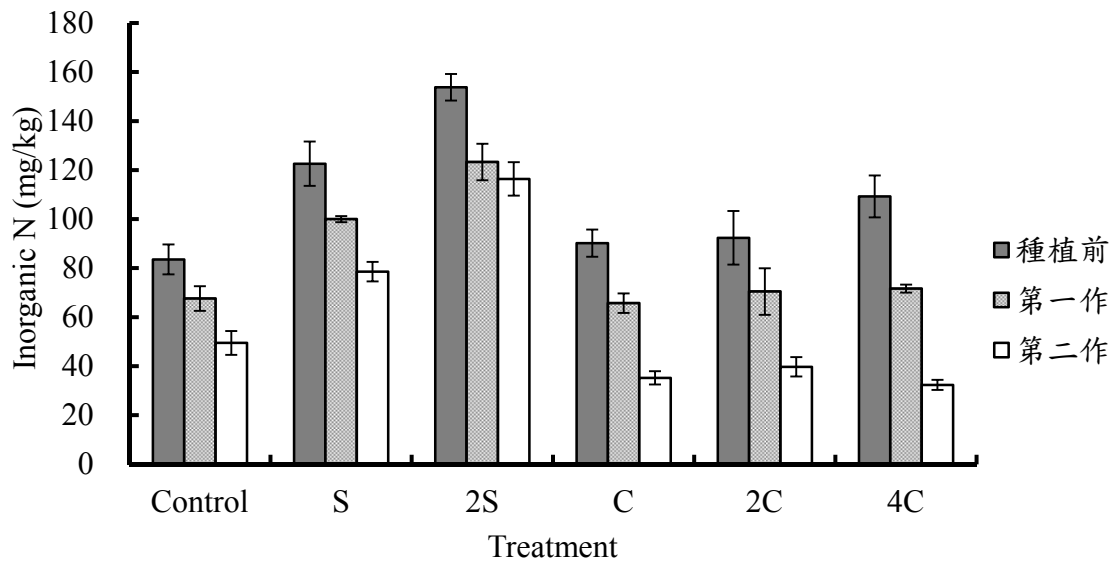


圖 6、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質無機態氮含量的變化



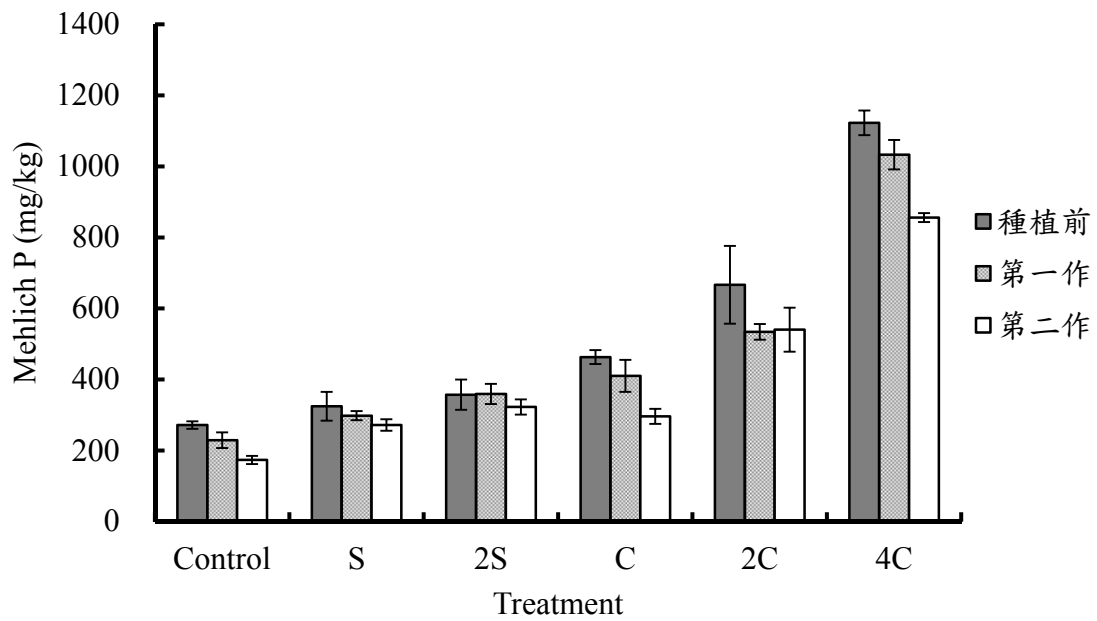


圖 7、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質交換性磷(Mehlich P)含量的變化

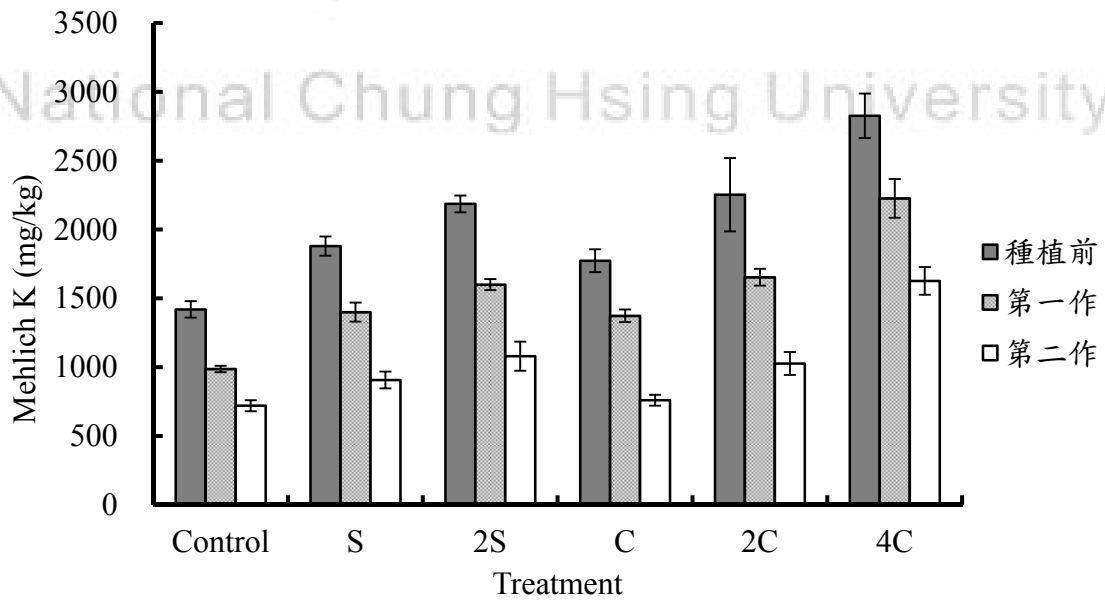


圖 8、不同有機質肥料施用量對油菜於連續種植之介質交換性鉀(Mehlich K)含量的變化

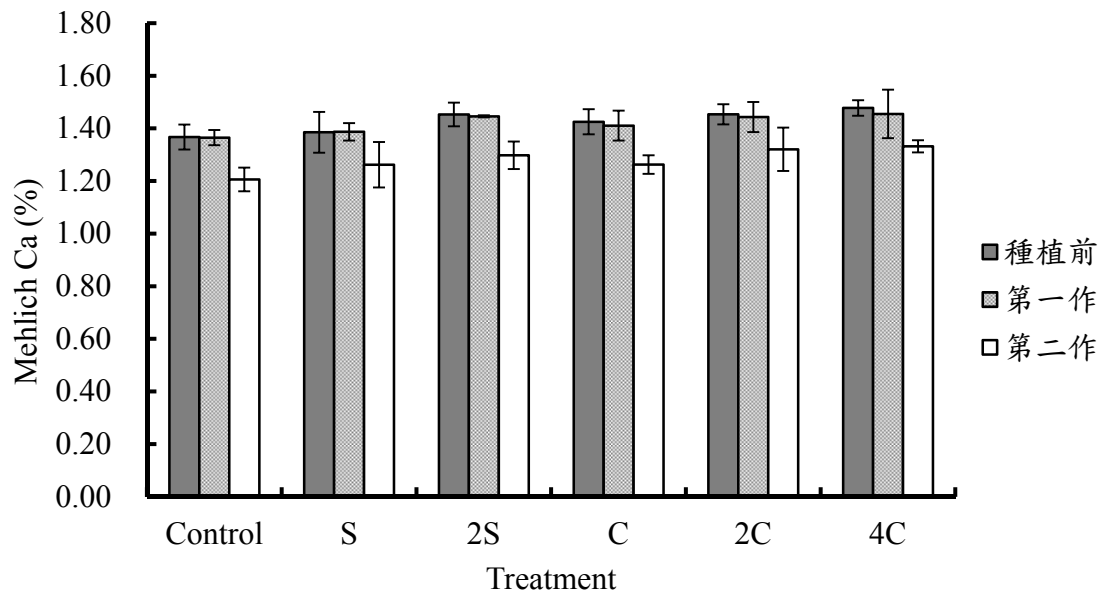


圖 9、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質交換性鈣(Mehlich Ca)含量的變化

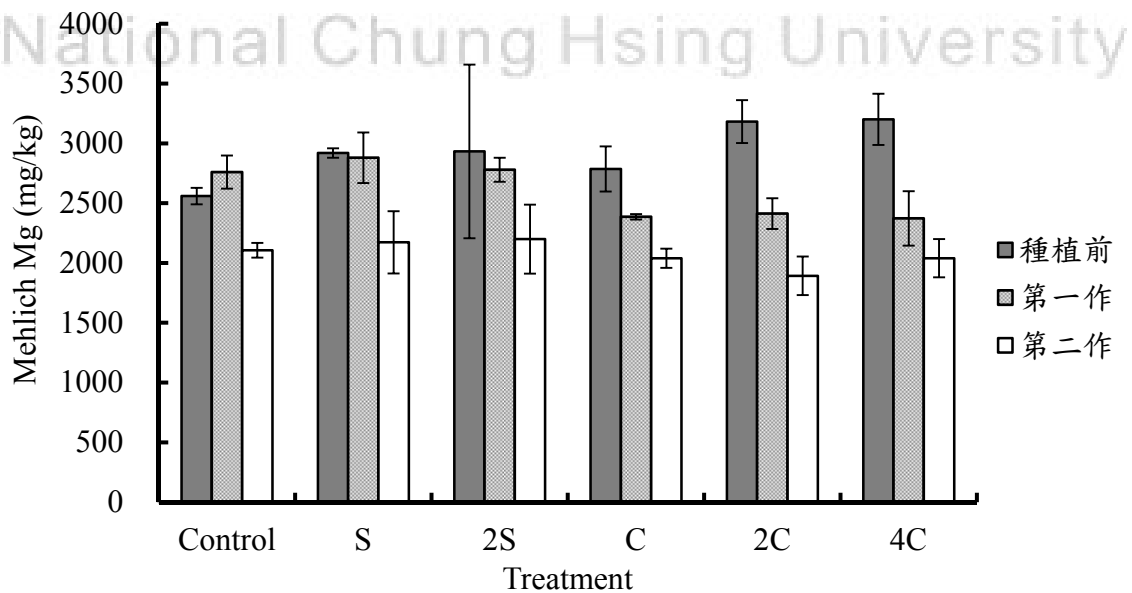


圖 10、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質交換性鎂(Mehlich Mg)含量的變化

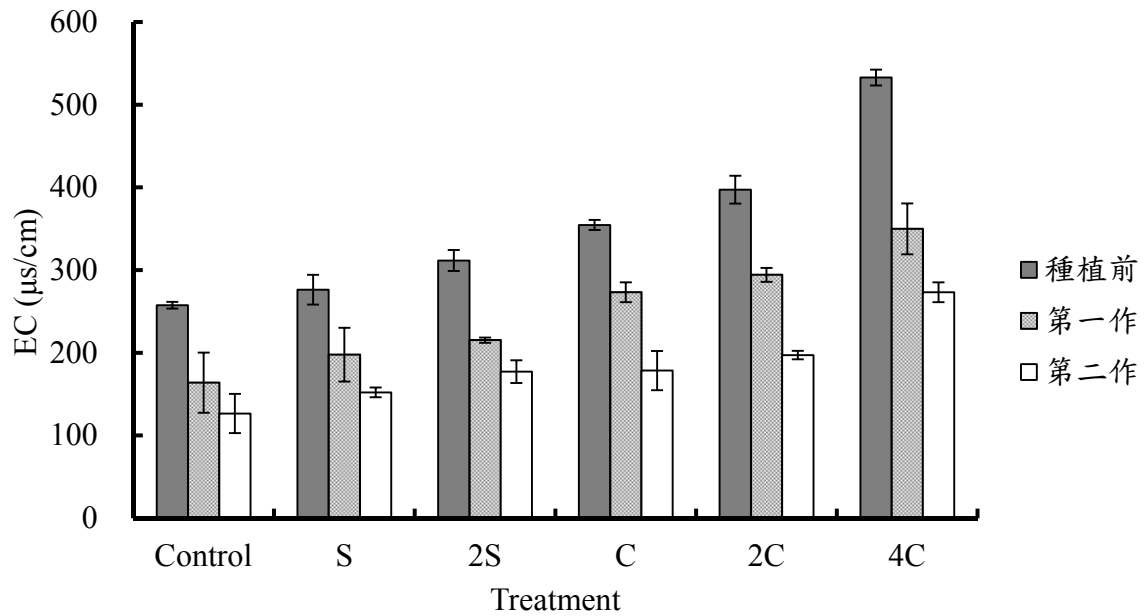


圖 11、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質 EC 值的變化

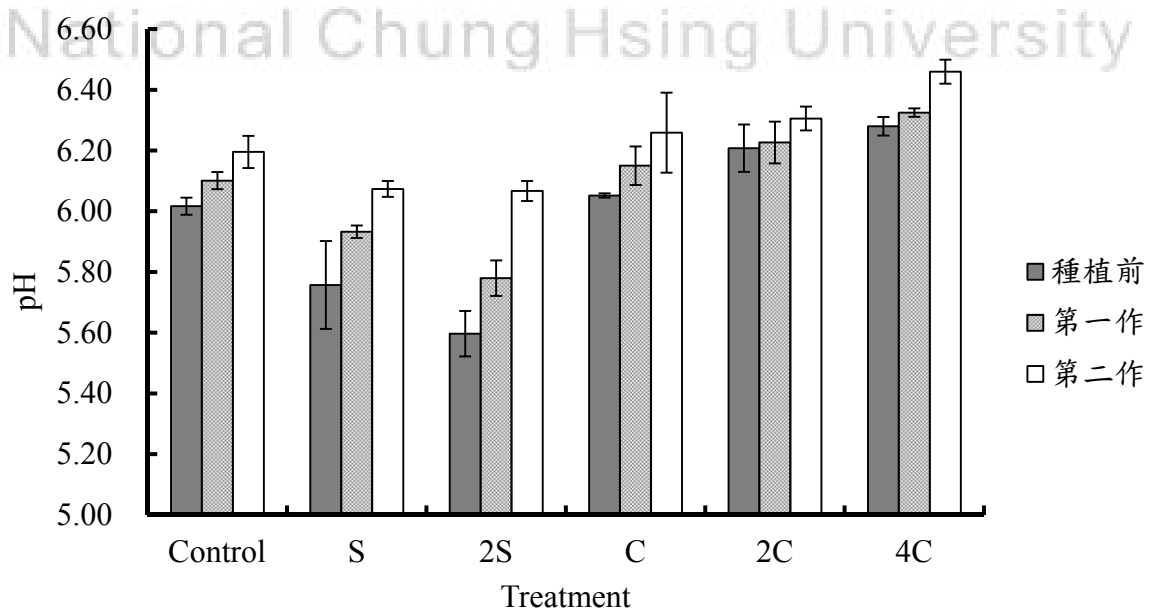


圖 12、不同有機質肥料施用量於油菜連續種植之介質 pH 值的變化

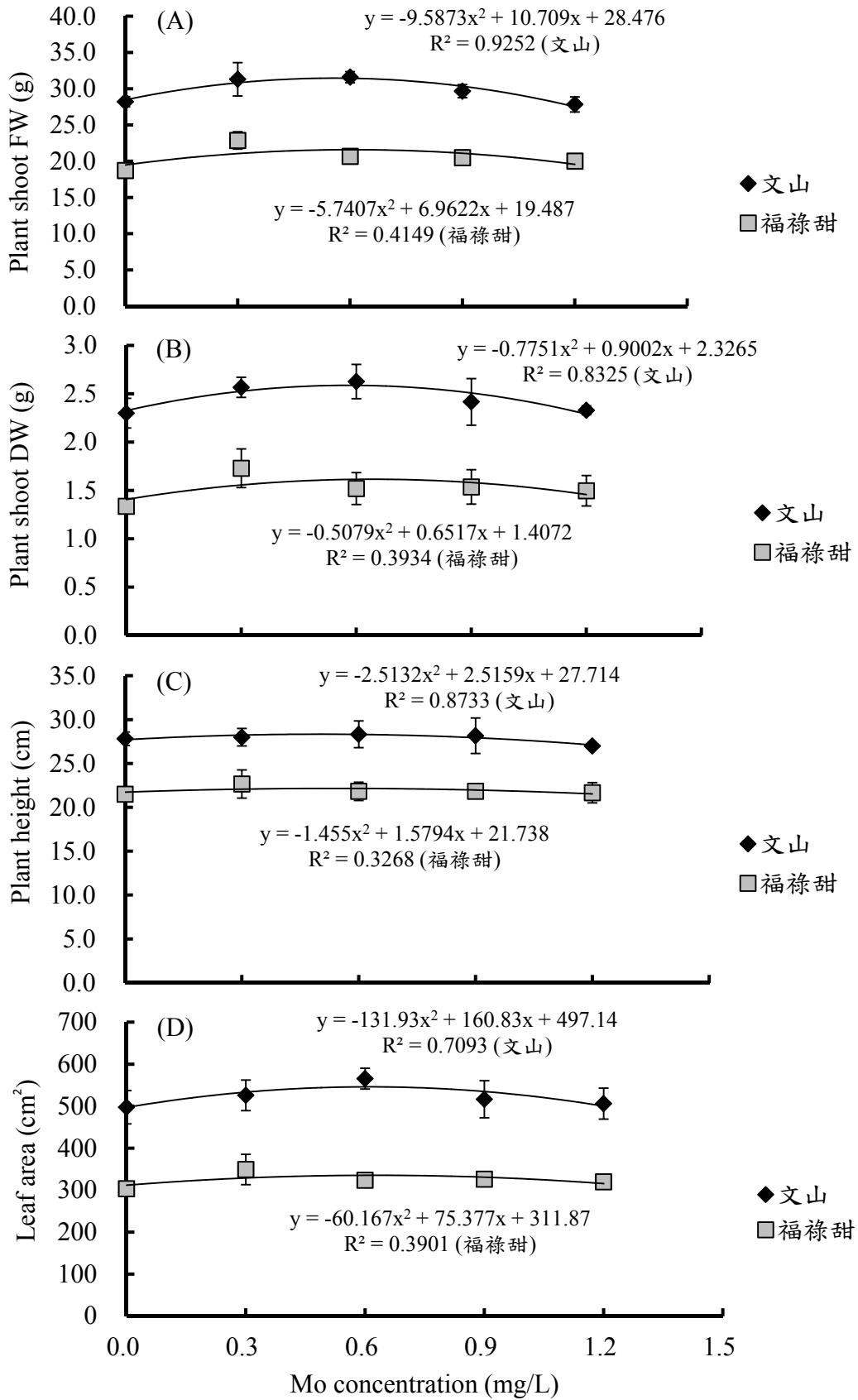


圖 13、鉬酸鈉噴施處理濃度對油菜‘文山’及‘福祿甜’植株地上部鮮重(A)、乾重(B)、株高(C)及葉面積(D)之影響

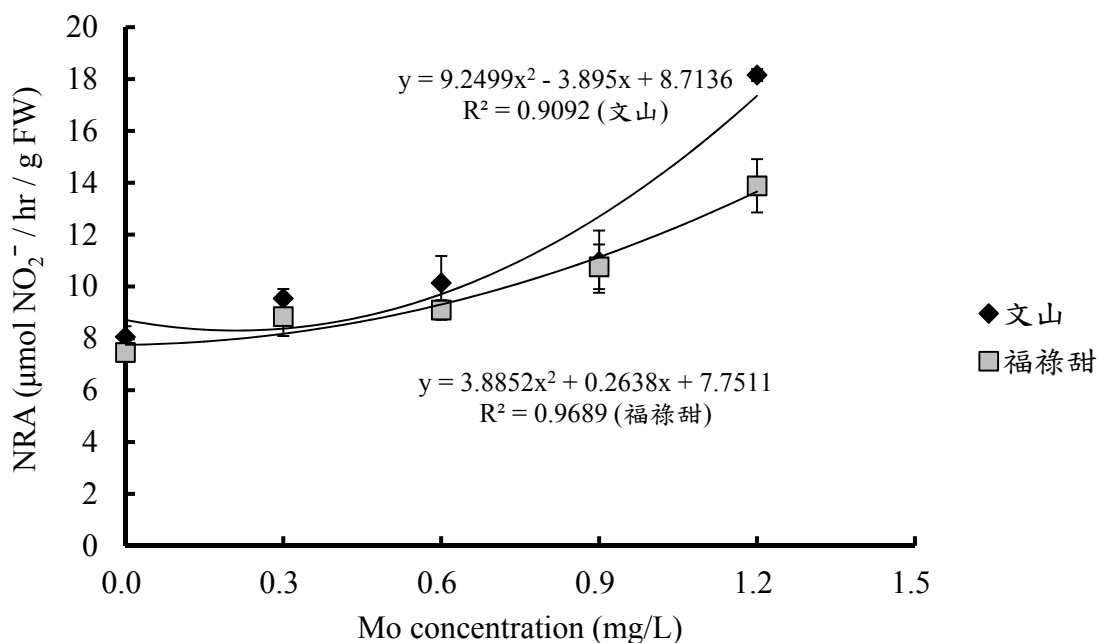


圖 14、鉬酸鈉噴施處理濃度對油菜‘文山’及‘福祿甜’葉片硝酸還原酶活性之影響

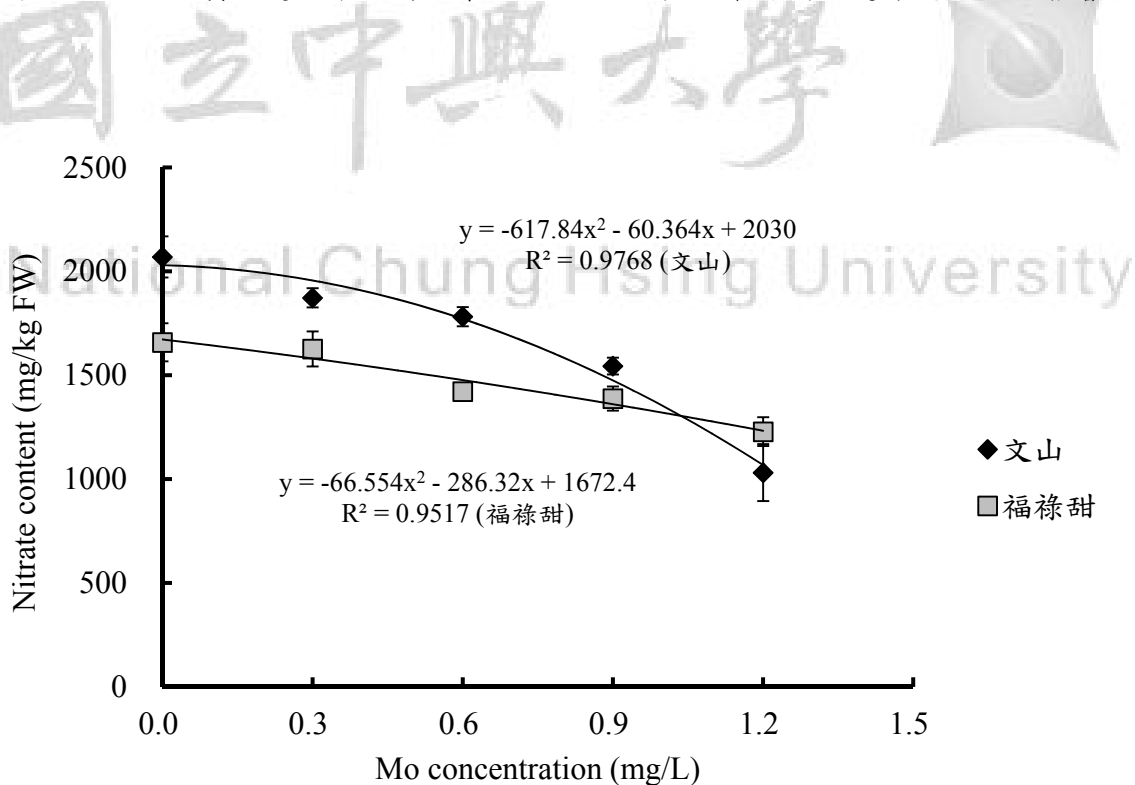


圖 15、鉬酸鈉噴施處理濃度對油菜‘文山’及‘福祿甜’葉片硝酸根離子含量之影響



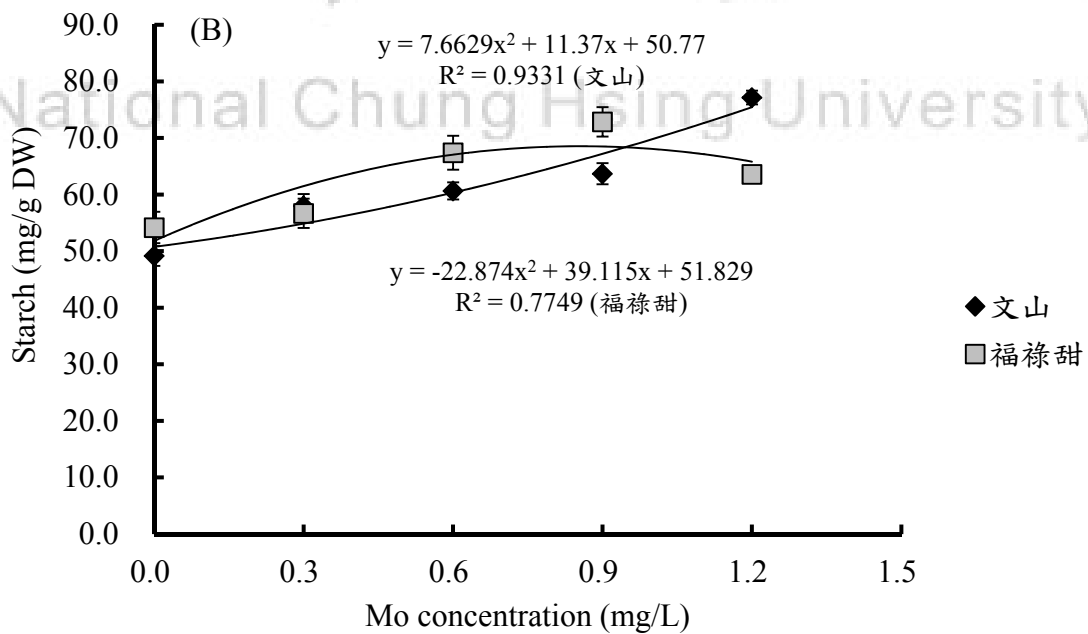
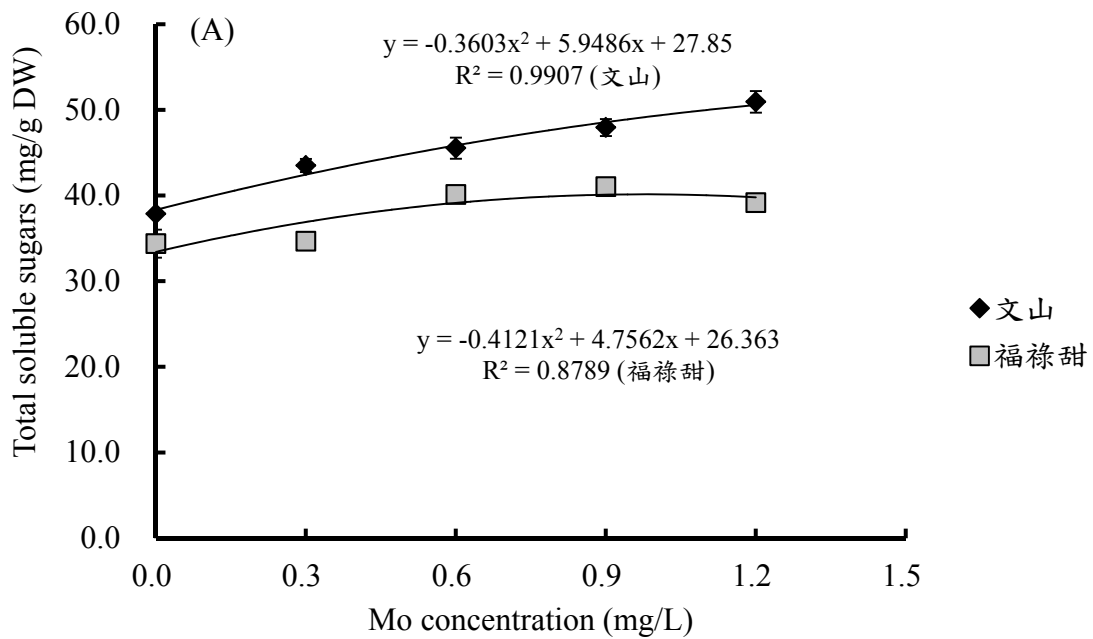


圖 16、鉬酸鈉噴施處理濃度對油菜‘文山’及‘福祿甜’總可溶性糖(A)和澱粉(B)含量之影響

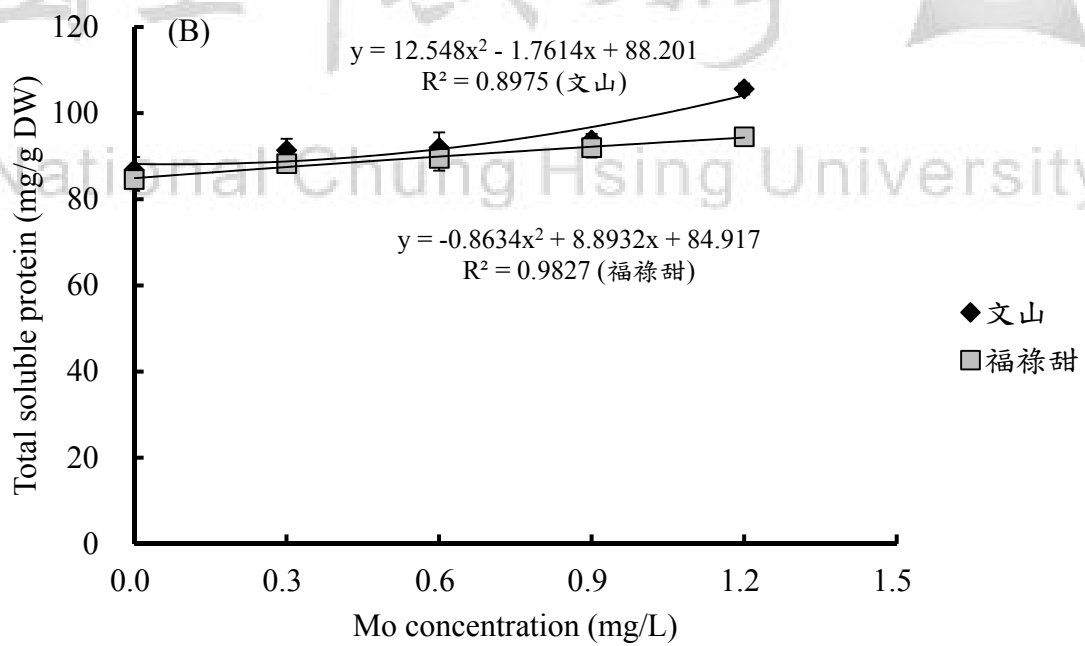
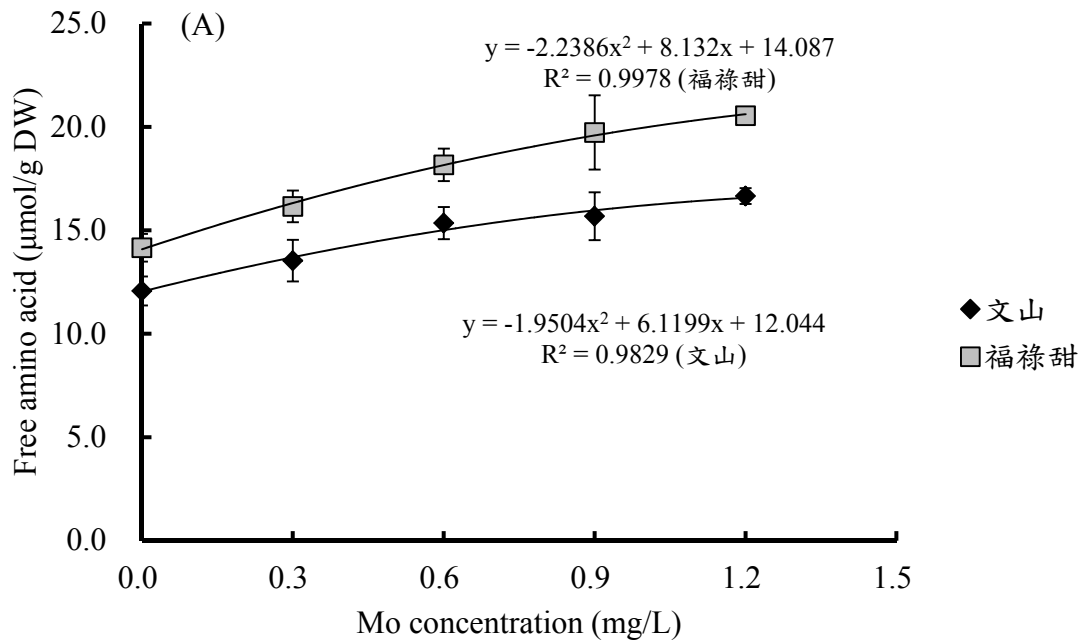


圖 17、鉬酸鈉噴施處理濃度對油菜‘文山’及‘福祿甜’游離胺基酸(A)和總可溶性蛋白(B)含量之影響

表 21、油菜‘文山’及‘福祿甜’鉬酸鈉噴施處理硝酸還原酶活性、硝酸根離子、總可溶性醣、澱粉、游離胺基酸與總可溶性蛋白含量較未噴施處理增減百分比(%)

品種	Mo 濃度 (mg/L)	NRA	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	總可溶性醣	澱粉	游離胺基酸	總可溶性蛋白
文山	0.0	0	0	0	0	0	0
	0.9	36 <sup>z</sup>	-25	27	29	30	8
	1.2	125	-50	34	57	38	22
福祿甜	0.0	0	0	0	0	0	0
	0.9	44	-16	19	35	39	9
	1.2	86	-26	14	17	45	12

<sup>z</sup> (%)=(處理組-未噴施處理)/未噴施處理×100

表 22、尿素及鉬酸鈉噴施處理對油菜‘文山’及‘福祿甜’植株生育性狀之影響

品種	處理	鮮重 (g)	乾重 (g)	株高 (cm)	葉數 (片)	葉面積 (cm <sup>2</sup> )
文山	Control	18.2 b <sup>z</sup>	1.51 b	23.8 b	5.7 b	324.0 b
	1 g/L 尿素	28.2 a	2.30 a	27.8 a	7.0 a	497.6 a
	1 g/L 尿素+ 0.9 mg/L Mo	29.7 a	2.42 a	28.2 a	7.0 a	516.6 a
福祿甜	Control	15.2 b	1.05 b	18.0 b	5.0 c	273.3 b
	1 g/L 尿素	18.7 a	1.34 ab	21.5 a	6.0 b	303.7 ab
	1 g/L 尿素+ 0.9 mg/L Mo	20.5 a	1.54 a	21.8 a	7.0 a	326.1 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column for each cultivar are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

表 23、尿素及鉬酸鈉噴施處理對油菜‘文山’及‘福祿甜’葉片硝酸還原酶活性與硝酸根離子含量之影響

處理	文山		福祿甜	
	NRA ( $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{hr/g FW}$ )	$\text{NO}_3^-$ (mg/kg FW)	NRA ( $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{hr/g FW}$ )	$\text{NO}_3^-$ (mg/kg FW)
Control	6.59 c <sup>z</sup>	784 c	6.65 b	866 c
1 g/L 尿素	8.06 b	2070 a	7.46 b	1658 a
1 g/L 尿素+ 0.9 mg/L Mo	10.96 a	1544 b	10.76 a	1388 b

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column for each cultivar are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

表 24、尿素及鉬酸鈉噴施處理對油菜‘文山’總可溶性糖、澱粉、游離胺基酸與總可溶性蛋白含量之影響

品種	處理	總可溶性糖 (mg/g DW)	澱粉 (mg/g DW)	游離胺基酸 ( $\mu\text{mol/g DW}$ )	總可溶性蛋白 (mg/g DW)
文山	Control	33.4 c <sup>z</sup>	41.1 c	10.8 b	77.1 b
	1 g/L 尿素	37.9 b	49.2 b	12.1 b	86.8 a
	1 g/L 尿素+ 0.9 mg/L Mo	48.0 a	63.7 a	15.7 a	93.7 a
福祿甜	Control	31.2 b	47.6 b	10.1 c	62.6 c
	1 g/L 尿素	34.4 b	54.2 b	14.2 b	84.6 b
	1 g/L 尿素+ 0.9 mg/L Mo	41.1 a	72.9 a	19.7 a	92.0 a

<sup>z</sup> Means with the same letters in a column for each cultivar are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

## 伍、討論

### 一、光強度處理對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響

#### (一)光強度對油菜光合作用、碳水化合物及生育性狀之影響

光是影響植物生長和發育最重要的環境因子之一(Fu *et al.*, 2012)，其中除了光質之外，光強度是影響植物生長、形態和生理作用的重要因子(Fan *et al.*, 2013)。在低光強度條件下，植物的生長會受到抑制，通常隨著光照強度的提高，淨光合作用速率(Pn)有增加的趨勢，但過高的光強度將導致淨光合作用速率下降(Fan *et al.*, 2013)。本試驗各品種油菜淨光合作用速率、氣孔導度與蒸散作用速率隨著遮陰程度的增加而遞減，其中淨光合作用速率各處理間有顯著差異，葉肉細胞間隙二氧化碳濃度則隨遮陰程度之增加而遞增，顯示光合作用能力會隨著光強度的上升而增加；葉綠素螢光參數的部分，各品種電子傳遞速率(ETR)隨著遮陰程度的增加而有所降低，‘文山’之光化學消散(qP)值於各處理間無顯著差異，皆維持在 1 左右的正常光合作用值，顯示其在各環境中可正常執行光合作用，沒有光抑制的現象。

本試驗於遮陰處理 5 天各品种植株生育性狀如鮮重、乾重、葉數和葉面積於對照組表現最佳，隨著遮陰程度的提升而其生育表現有所下降，於 70%遮陰處理各品种植株鮮重與乾重有顯著的下降，分別減少了 29~38%及 38~51%。各品種油菜碳水化合物隨著遮陰程度的增加而有所減少，總可溶性糖和澱粉含量於 70%遮陰處理有顯著降低，分別相較於對照組減少了 21~35%及 18~49%，其中‘青龍’的總可溶性糖和澱粉含量降低最多。Fan 等學者(2013)以 50~550  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  之不同光強度栽培番茄苗，以 300~550  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  光強度處理植株的鮮乾重和莖徑均高於其他處理組，50  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  處理為最低，而隨著光強度的提升，淨光合作用速率(Pn)有增加的趨勢，300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  處理達到最高。有學者研究於生長箱中以 100~800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  的不同光強度栽培蘿蔓萵苣(romaine lettuce)對其產量和內含物之影響，試驗結果顯示於 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  光照環境下的產量最低，400~600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  的光照環境下有最高的產量，且隨著光照強度增加硝酸根離子的含量降低，而總可溶性糖含量顯著的上升(Fu *et al.*, 2012)。本實驗與前人研究結果有相同趨勢，證明若光強度不足會使植株葉片光合作用能力降低，造成碳水化合物的累積減少，進而影響生育表現和產量。

為了調節各種光環境，植物已經進化出許多機制，於低光照條件下，會使其莖部延長，葉片大小和構造及葉綠體的分佈和數量有所改變，遮陰葉片葉綠素 b 含量會相對增加，使葉綠素 a/b 值下降，這種色素調節，可幫助平衡兩個光系統之間的光吸收(Zhang *et al.*, 2003)。Fan 等學者(2013)以 50~550  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  之不同光強度栽培番茄苗，試驗結果顯示隨著光強度的降低，植株高度和比葉面積(SLA)有上升的趨勢。本試驗在形態的部份，隨著遮陰程度的增加，各品種比葉面積(SLA)有增大的趨勢，且遮陰處理組葉柄長/葉長的值有顯著提高，顯示植株葉片變薄且

有明顯的徒長現象。隨著遮陰程度的增加，葉綠素 b 的含量有上升的趨勢，使葉綠素 a/b 值顯著的下降，顯示遮陰處理使葉片中的色素比例有所改變。上述植株形態和葉片色素的改變有利於植物補獲較多光能來滿足光合作用需求，為植物對弱光環境的一種適應調節。

## (二)光強度對油菜硝酸根離子及氮代謝產物之影響

植物藉由光合作用合成碳水化合物，提供了氮代謝酵素能量及氮代謝物合成的碳骨架，以利氮代謝的進行(Chen, 2004; Crawford, 1995)。硝酸還原酶為氮代謝的關鍵酵素，對植體硝酸根離子的同化作用扮演重要的角色。植體 C 和 N 的代謝是彼此互相調控的，光強度不足的環境下麩氨醯胺的累積會降低硝酸根離子的同化作用，但若同時供給蔗糖，此抑制現象將解除(Tischner, 2000)，因此光合作用產生的醣類是提高硝酸還原酶的活性及降低硝酸根離子累積的關鍵。

有學者以芥藍為材料進行不同遮陰程度與氮肥施用量處理，試驗結果顯示在不施氮肥及 1 g/pot 氮肥之處理，無論葉柄或葉片中硝酸根離子累積量均隨遮陰程度之增加而顯著增加，其中 50%遮陰處理葉片與葉柄硝酸根離子含量分別約為對照組的 2~4 倍及 2~6 倍之多(郭，1998)。另有有學者以萵苣為材料進行水耕栽培，發現遮陰處理的萵苣葉片硝酸根離子含量比未遮陰處理高出許多，兩者分別為 2902 和 1684 mg/kg FW (Liu and Yang, 2012)。本試驗各品種葉片硝酸根離子含量隨著遮陰程度的提升而有顯著的增加，葉柄於各處理間則無顯著差異，植體硝酸還原酶主要是在葉片進行硝酸根離子的同化作用，而葉柄的功能以運輸為主，故不同程度遮陰處理對葉片有較顯著的影響。由本實驗結果可知，油菜植體中硝酸根離子累積量會因部位不同而有顯著差異，葉柄含量比葉片高出 3~6 倍。植物體內各器官硝酸根離子累積量一般以莖葉中含量較高，葉柄含量又較葉肉高，因葉柄是大多數植物之轉運器官，且當葉片同化能力低時，將抑制其輸送至葉部，而在葉柄中累積下來(郭，1998)。

各品種油菜葉片硝酸還原酶活性之對照組均顯著高於遮陰處理組，其活性隨著遮陰程度的增加而有顯著降低，各品種遮陰處理組硝酸還原酶活性比對照組降低了 45%~91%。在遮陰處理 5 天各品種油菜隨著遮陰程度的增加，其銨根離子和游離胺基酸的含量有所增加，而總可溶性蛋白的含量則有減少的趨勢，於 70%遮陰處理各品種銨根離子和游離胺基酸的含量有顯著增加，總可溶性蛋白的含量有顯著減少，而各品種碳水化合物含量在 70%遮陰處理有顯著的減少。有學者指出硝酸還原酶活性容易受到光照的調控，在光強度較高的環境之下，硝酸還原酶的基因表達受卡爾文循環的產物葡萄糖調節，在光合作用提供的 NADH 影響下，使其活性上升，但若在低光強度的環境之下，氮代謝的一些產物，可能是麩氨醯胺 (glutamine)對硝酸還原酶的轉錄造成負回饋抑制(Lillo, 1994)。推測本試驗油菜在遮陰處理下植體硝酸根離子累積量主要受到硝酸還原酶活性降低的影響，70%遮陰處理下因碳水化合物減少導致後續氮代謝產物合成受阻而累積，對硝酸還原酶的轉

錄造成負回饋抑制，硝酸根離子的同化作用因此受阻，硝酸根離子累積程度更加明顯，且使最終的氮代謝產物總可溶性蛋白的含量降低。

遮陰時間方面，有學者指出萵苣的硝酸根離子含量在 85%遮陰處理 24~48 小時之下沒有顯著影響(Weightman *et al.*, 2006)，另一學者在採收前進行長期遮陰處理 10~14 天則有顯著影響(Burns, 2000)。Liu 與 Yang 兩位學者(2012)則以葉萵苣為材料進行 50%遮陰處理 5 天，其葉柄和成熟葉硝酸根離子的含量有上升趨勢，其中以成熟葉片增加較多。上述前人研究顯示萵苣若在遮陰之下，其硝酸根離子累積程度隨著時間的增長而有所增加。本試驗油菜葉片和葉柄硝酸根離子含量隨著遮陰時間延長而有增加的趨勢，葉片硝酸根離子含量在遮陰處理第 3 天即有所上升，且硝酸根離子累積量會隨著遮陰程度的提升及處理時間的增加而更加明顯，其中 70%遮陰處理至第 5 天其含量可達 3029~6625 mg/kg FW 之多。油菜採收前由於進入快速生長期，硝酸根離子吸收量會有所增加，故葉柄中的硝酸根離子於遮陰處理第 3 天有顯著上升，但增加程度沒有葉片來的多。

品種方面，各處理‘青龍’硝酸還原酶活性顯著高於‘文山’及‘福祿甜’，故其硝酸根離子在光強度不足的環境下累積的量較少。顯示植物因遺傳關係，不同物種及品種硝酸還原酶活性及植體硝酸根離子累積量會有所不同(Anjana *et al.*, 2007；郭，1998)。在內含物和生育表現的部分‘青龍’與其他品種相比於 70%遮陰處理 5 天碳水化合物含量下降的比較多，故 70%遮陰處理 5 天因為碳水化合物不足導致後續氮代謝物如游離胺基酸合成受阻而累積較多，故總可溶性蛋白的含量下降較多，導致其鮮乾重於 70%遮陰處理下降的最多。

整體而言，若於陰天環境下，光強度不足使植體光合作用能力降低，其所提供的碳骨架減少，且硝酸還原酶的活性降低，造成植體氮同化作用能力減弱，硝酸根離子因此而累積，且使總可溶性蛋白的含量降低，影響植株的生育表現，導致產量降低。

## 二、有機質肥料施用量對油菜植株生育、硝酸根離子含量及養分吸收之影響

### (一)有機質肥料施用量對油菜植株生育及硝酸根離子含量之影響

由於氮肥是作物生長重要的營養元素，除了促進根系生長及葉片面積擴張外，亦為乾物質生成及葉片生長的供源，對於以營養器官莖葉為經濟生產主體的葉菜類而言，更是不可或缺的基本營養需求(蕭等，2013；Fageria and Moreira, 2011)。有學者利用不同氮含量施肥組合來栽培葉萵苣，試驗結果顯示隨著氮肥用量的增加，其株高、葉片數及鮮重等生長性狀均有所增加(蕭等，2013)。本試驗生育表現也有相同趨勢，兩品種油菜兩作栽培隨著施氮量的增加，鮮乾重和葉面積等生育性狀及產量都有增加的趨勢，生育性狀在 120 kg N/ha 及 480 kg N/ha 的施氮量處理時均有顯著增加，480 kg N/ha 的施氮量處理鮮重約為對照組的 2 倍。Chen 等學者(2004)以油菜、青江菜和菠菜為試驗材料進行不同氮肥施用量處理，種植九週後，

隨著硝酸鉀氮肥的施用量增加，其地上部鮮重有顯著的上升，油菜施用 300~450 kg/ha 的氮肥時，鮮重達到最高，約是對照組的 4 倍，若氮素施用超過 450 kg/ha 時，反而有下降趨勢。Wang 和 Li 兩位學者(2004)以油菜為試驗材料，施用 0~270 kg/ha 的尿素，其產量隨著氮肥施用量的提高而有所增加，於 180 kg/ha 達到最高，過量反而有下降的情形。本試驗使用有機質肥料，肥效無化學肥料快速，故施用量較化學肥料大才能達到最大產量，且增加的產量也沒化學肥料來的多。本試驗在有機質肥料種類的部分，第一作以大豆粕(S)處理的生育表現較佳，120~240 kg N/ha 即有最大產量，田樂一號需施用到 480 kg N/ha 方能達到最佳產量，第二作則以田樂一號(C)處理的表現較佳，施用 120~480 kg N/ha 產量均比大豆粕處理來的高。由前人研究的試驗結果來看，大豆粕及田樂一號於施用一個月後的氮素釋放率分別約為 70%及 35%，而田樂一號於第一波氮素釋放後，尚能持續釋放肥分(黃, 2013)，故推測大豆粕擁有較快速且大量的氮素釋放率，就短期栽培一作而言較能符合葉菜需求，田樂一號肥效較為穩定且持久，若就連續栽種葉菜類則可考慮施用田樂一號。

硝酸還原酶在高等植物的氮同化作用中被視為是關鍵酵素，其受硝酸根離子質的誘導和光照的調控(Aslam *et al.*, 2001; Crawford, 1995)。Chen 等學者(2004)以油菜為試驗材料進行不同氮肥施用量處理，結果顯示隨著硝酸鉀氮肥的施用量增加，其硝酸還原酶活性有顯著的上升，於施用 300~450 kg/ha 的氮肥時達到最高，但若氮素施用超過 450 kg/ha 時，其活性即無法再繼續增加；隨著硝酸鉀氮肥的施用量增加，油菜硝酸根離子的含量也有顯著的上升，施用 450~600 kg/ha 的氮肥，由於硝酸還原酶活性不再增加，其含量達到最高，約為 3448~3582 mg/kg FW。顯示硝酸還原酶對硝酸根離子的代謝同化量有限，若有過多的氮肥供應，硝酸根離子濃度高過於某一極限，則其活性將無法持續被硝酸根離子所誘導，即會造成硝酸根離子的累積。於本試驗中兩品種油菜於兩作栽培之硝酸還原酶活性隨著氮肥施用量的增加也有顯著的增加，但於大豆粕 240 kg N/ha 和田樂一號 480 kg N/ha 處理時即不再顯著增加，反而有下降趨勢，硝酸根離子含量則隨著施肥量的增加而有顯著增加，於 240~480 kg N/ha 處理達到最高累積量，約為 2022~3175 mg/kg FW。顯示當超過一定的氮施用量，硝酸還原酶活性不再增加，導致硝酸根離子同化代謝量低於吸收量而有所累積。由於第二作採收前平均光強度較高，有較佳的光環境，故硝酸還原酶活性較第一作高。前人研究所使用的是化學肥料，其肥份釋放快速，故其硝酸根離子的累積量會較本試驗高。

本試驗有機質肥料種類的部分，兩品種油菜第一作栽培以大豆粕 240 kg N/ha 處理及田樂一號 480 kg N/ha 處理硝酸根離子的含量相較於對照組分別增加了 73%~87%及 35%~58%，第二作栽培分別增加了 42%~54%及 25%~41%。顯示兩作大豆粕施用處理都有較高的硝酸根離子含量，且於第一作相對累積量較多，第二作相對累積量有明顯降低，主要是因為大豆粕氮素釋放率較快且肥份較高，第一作的硝酸根離子含量皆顯著高於田樂一號，而第二作田樂一號的氮素持續釋放，其硝



酸根離子含量於兩作中差異較小。有學者研究不同堆肥處理對小白菜硝酸鹽含量之影響，試驗結果顯示以施用化學肥料的含量最高，高達 5666 mg/kg FW，其次為雞糞及豌豆渣堆肥，約為 2445~3339 mg/kg FW，而牛糞、豬糞及樹皮堆肥處理者最低，約為 244~685 mg/kg FW (張和馮，1995)。故植體內的硝酸根離子含量會因堆肥的種類不同而有很大差異，通常以施用較速效且含氮量較高的豆粕類和雞糞有機質肥料的蔬菜會有較多的硝酸根離子累積量。另外張和馮兩位學者(1995)研究牛糞堆肥施用量對小白菜硝酸根離子含量和產量的影響，結果顯示增加牛糞堆肥施用量，小白菜葉片硝酸鹽含量有遞增之趨勢，但產量於最多施用量反而降低，施用過多的氮肥反而無法確保更高的產量。因此適當的肥料施用量及肥料種類，可提高產量並避免過多硝酸根離子的累積。

本試驗產量的部分隨著施肥量的增加而有所增加，大豆粕 120 kg N/ha 處理鮮乾重即有顯著增加，240 kg N/ha 處理並沒顯著增加，且其硝酸根離子累積量也最高；田樂一號 480 kg N/ha 處理鮮乾重顯著高於其他處理組，但硝酸根離子的含量有顯著上升，因此建議大豆粕以施用 120 kg N/ha 即可，田樂一號則避免施用超過 480 kg N/ha。

## (二)有機質肥料施用量對油菜養分吸收及氮素利用率之影響

氮肥利用效率是作物吸收利用氮肥的主要指標(于等，2014)，作物氮素利用效率(Nitrogen use efficiency, NUE)，為每單位的氮素施用對作物的生長及收穫產量的影響，而氮素吸收效率(Nitrogen uptake efficiency, NUpE)可以了解該肥料被作物吸收的情形，本試驗兩品種油菜氮素吸收量隨著氮肥施用量的增加而有所提升，而 NUE 及 NUpE 則隨著氮素施用量的增加而有顯著的減少，於 120 kg N/ha 的處理有最高的 NUE 及 NUpE，顯示施用過多的氮肥對作物的增產率及經濟效應不大。Suphachai 等學者(2006)使用芥藍、小白菜及青梗白菜三種短期葉菜類為材料，在栽培期間分別以 156、312、468 及 625 kg N/ha 的尿素施用，結果顯示各葉菜於施用 156 kg N/ha 有最高的氮素利用效率(NUE)，並隨著施肥量的增加有顯著的降低。于等學者(2014)使用菠菜為材料，在栽培期間分別施用 0、124、217 及 310 kg N/ha，其氮素吸收效率(NUpE)隨施氮量的增加而降低，以 124 kg N/ha 處理有最高的值 45%，約為其他處理的 3.5 倍。本試驗與前人研究均隨著施氮量的增加，各處理的氮素吸收及利用效率逐漸降低，顯示各葉菜於過多的氮肥施用下，無法有效的利用氮肥，造成浪費的現象。

本試驗肥料種類方面第一作大豆粕的處理有較高的 NUE 及 NUpE，第二作大豆粕 NUE 及 NUpE 有降低趨勢，以田樂一號的處理較高，顯示大豆粕養分釋放較快速，大部分肥分於第一作已被吸收利用，而田樂一號牛糞肥養分釋放較緩慢，可持續供應第二作的利用。在介質無機態氮的部分，大豆粕於 120 kg N/ha 及田樂一號於 480 kg N/ha 處理中介質無機態氮有顯著的增加，以大豆粕顯著高於田樂一號，而且大豆粕於 240 kg N/ha 處理介質無機態氮有明顯的殘留。因此油菜施用於

化學肥料推薦施肥量的 1 倍及 4 倍以內，能有效利用肥料釋放的氮素，若超過其施用量則作物無法有效利用，且土壤殘留無機氮則逐漸增加，最後可能造成肥料的浪費與環境的汙染。

本試驗在有機質肥料施用處理介質中，其有效磷及鉀皆有所提升，其含量隨著種植作數而減少，其中以田樂一號處理組的有效磷含量顯著高於其他處理組。有機質肥料施用處理組在交換性鈣及鎂含量中，提升的效果而較其它元素不明顯，交換性鎂必須至 2~4 倍施肥量有顯著的提升。羅和李(2010)兩位學者進行不同有機質肥料施用對土壤營養元素的影響之試驗，結果顯示各種有機質肥料處理土壤的交換性磷含量以牛糞堆肥增加幅度最大，土壤交換性鉀含量大豆粕與施肥前差不多，牛糞堆肥處理則呈小幅度增加，牛糞堆肥及大豆粕處理交換性鈣含量與大豆粕處理的交換性鎂含量則較試驗前降低，主要是其鈣及鎂含量偏低所致。有學者指出，有機質肥料組成分之氮磷比往往低於作物之吸收氮磷比，因此若依照作物的氮肥推薦量時，磷的施用量常常高於作物需求，造成磷的累積和環境的危害(鍾和翁, 1998; Lennox *et al.*, 1997)，因此田樂一號一次施氮量不宜超過 400 kg/ha 之施用量為佳。

### (三)有機質肥料施用量於連續種植油菜下土壤化學性質之變化

陳等學者(2012)進行不同的有機質肥料連續施用七年對土壤化學性質的影響之試驗，結果顯示連續施用大豆粕則使土壤 pH 值下降。本試驗大豆粕施用後 pH 值也有所減少，田樂一號因含有較多鹼性陽離子，故 pH 值有小幅的提升。有學者指出大豆粕處理土壤 pH 值降幅較牛糞堆肥大的原因，主要是因為大豆粕蛋白質及碳水化合物含量高，較易分解，硝化作用與有機質的降解作用所產生的氨離子與有機酸更易使土壤的 pH 值降低(羅和李, 2010)。

本試驗隨著大豆粕和田樂一號施用量的增加，EC 值有上升的趨勢，其中大豆粕兩倍施用量較對照組僅提高約 0.06 dS/m，田樂一號約提高 0.14 dS/m，提升的幅度較大。陳等學者(2012)進行不同的有機質肥料連續施用七年對土壤化學性質的影響之試驗，結果顯示連續施用牛糞堆肥使土壤導電度(EC 值)顯著提高，是各處理最高者，連續施用大豆粕 EC 值則較低。另有學者進行不同有機質肥料施用量的試驗顯示土壤 EC 值隨有機質肥料添加量增加而提高，以牛糞堆肥處理提高幅度較大，較試驗前約提高 0.24 dS/m，大豆粕處理提高幅度較小，僅較試驗前提高約 0.06 dS/m(羅和李, 2010)。EC 值的大小與土壤溶液中可溶性鹽類的含量有關，其值越高表示鹽類累積程度越大，田樂一號磷、鉀及鎂含量相對較高，所以造成其 EC 值較大豆粕為高，另外由於大豆粕本身因含氮量高，以氮含量換算成有機質肥料施用量，使大豆粕的總施用量遠較田樂一號為低，因此其 EC 值的提升較不明顯。

有學者指出土:水=1:5 之土壤 EC 值在 0.5-1.5 dS/m 時，對多數作物生長有負面的影響(三好, 1978)。本試驗介質 EC 值隨有機質肥料施用量增加而提高，其中田樂一號在 4C 處理組以土水比(w:v)=1:5 之土壤 EC 值能提升至 0.53 dS/m，但

仍低於 0.5 dS/m，尚不至於對蔬菜生長造成負面的影響。隨著栽培作數著增加，各處理的 EC 值皆有下降的趨勢，除了被植物吸收利用之外，推測可能因為栽培時水分澆灌，造成一些可溶性的鹽類淋洗而流失。

整體而言，大量元素吸收量皆隨著施肥量的增加而有所提升，油菜於單一作栽培，可以施用作物施肥手冊之 1 倍化肥施用量(120 kg N/ha)擁有較佳的經濟效益且作物硝酸根離子的含量也較少，並降低介質中的無機態氮的殘留，其餘交換性元素仍可在合理範圍內。短期葉菜類栽培推薦施用大豆粕，田樂一號則較適用於生長期較長之作物上，若栽培短期葉菜類一次施用不宜超過 400 kg N/ha，以免造成磷肥及鉀肥大量累積，導致 EC 值過高影響作物的生長。

### 三、不同濃度鉬酸鈉葉面噴施對油菜植株生育及硝酸根離子含量的影響

#### (一)不同濃度鉬酸鈉葉面噴施對油菜生育表現及碳水化合物含量的影響

鉬是許多酵素所必須的組成分，在植物體許多代謝過程如 C 循環，N 循環和 S 循環裡扮演重要的角色(Liu *et al.*, 2010; Mendel and Hansch, 2002)。有學者研究發現施鉬對冬小麥和油菜的生長發育，產量和品質有所影響，主要是因為鉬參與光合作用與 N 和 C 代謝(Nie *et al.*, 2007)。本試驗生育表現的部分，隨著鉬酸鈉葉面噴施的濃度增加，兩品種的地上部鮮乾重、株高及葉面積有增加的趨勢，但噴施濃度再升高則有下降趨勢，濃度處理間無明顯差異。表示本試驗施用濃度仍在其適合範圍，對其生育並無造成毒害影響，而且適當的鉬濃度能提升其生育表現，尤其是鮮重及乾重。Nie 等學者(2007)於養液中添加 0~1.5 mg/L 的鉬酸鉍進行結球白菜的水耕栽培，結果顯示隨著鉬添加濃度的增加，於 0.01 和 0.15 mg/L 處理其鮮重有顯著的上升，但過多的鉬(1.5 mg/L)卻使鮮重降低。另有學者以 0~1.0 mg/L 的鉬酸進行油菜和青梗白菜的葉面噴施，結果顯示鉬的噴施對其植株生育表現株高和地上部鮮重各濃度之間無顯著差異性(陳等，2010)。上述兩位學者的研究及本試驗結果有些差異，推測是水耕栽培植物可迅速吸收較多鉬離子，而葉面噴施吸收有限，對其鮮重影響較不大。

本試驗碳水化合物含量的部分，兩品種油菜總可溶性糖及澱粉含量隨鉬酸鈉噴施濃度增加而增加，於 0.9~1.2 mg/L 處理達到最高，顯示鉬的施用可提高葉綠素的含量和淨光合作用速率，進而提高其碳水化合物的含量。Liu 等學者(2010)以油菜為材料施用不同濃度的鉬酸鉍進行盆栽試驗，結果顯示隨著鉬酸鉍施用濃度的提高其葉綠素含量和淨光合作用速率(Pn)有顯著上升，於 0.3 mg/kg 處理達到最高。另有學者以 1 mg/L 的鉬進行萵苣的葉面施肥，結果顯示鉬的施用可顯著增加其總可溶性糖的含量(Wojciechowska *et al.*, 2011)。有學者指出鉬肥的施用可提高作物的光合作用速率，並增加光合作用的產物(Liu *et al.*, 2010)。

#### (二)不同濃度鉬酸鈉葉面噴施對油菜硝酸根離子及氮代謝產物之影響

鉬為植物中各種類型含鉬酵素(molybdoenzymes)的組成分子，參與許多酵素催

化的氧化還原反應，其中包括氮的同化和還原作用，如催化硝酸鹽還原的硝酸還原酶(Kaiser *et al.*, 2005; Mendel and Haensch, 2002)。本試驗隨著鉬酸鈉噴施濃度增加，兩品種葉片硝酸還原酶活性顯著上升，硝酸根離子含量則顯著下降，顯示鉬酸鈉處理下可明顯提升葉片硝酸還原酶的活性並降低硝酸根離子的累積量；氮代謝產物的部分，隨著鉬酸鈉噴施濃度增加，兩品種游離胺基酸和總可溶性蛋白含量有顯著的增加。有學者研究豌豆缺鉬時對氮代謝的影響，試驗結果顯示在缺鉬處理下氮同化作用相關酵素硝酸還原酶和麩胺醯胺合成酶的活性顯著的下降，硝酸根離子的含量顯著上升(Hristozkova *et al.*, 2006)。Wojciechowska 等學者(2011)以1%尿素和 1 mg/dm<sup>3</sup>鉬進行萵苣的葉面施肥，可顯著增加可溶性糖的含量，且在較低光強度的環境下，可顯著降低硝酸根離子的累積量。在代謝產物的部分，有學者以結球白菜為材料進行 0~0.3 mg/kg 的鉬酸鉍施用，結果顯示隨鉬肥施用的濃度上升，總可溶性糖和總可溶性蛋白有顯著上升(Zhang *et al.*, 2012)。鉬是硝酸還原酶的組成分子，參與植體硝酸態氮的同化作用(柯，2004)，因此鉬的施用可提高硝酸還原酶的活性，使植物體內硝酸根離子累積量降低，並提高其光合作用速率，增加氮代謝所需的碳骨架，促進氮的同化作用，進而提高氮代謝產物游離胺基酸和總可溶性蛋白的含量。

本試驗在尿素施用下硝酸根離子含量比對照組增加了 92~164%(約兩倍之多)，但隨著鉬酸鈉處理濃度的上升，硝酸還原酶活性有提高，硝酸根離子的含量有顯著下降，於 1.2 mg/L 鉬酸鈉處理效果最好，硝酸根離子的含量只比對照組增加了 32~42%。有學者以油菜為材料每天以 0~1.0 mg/L 鉬酸進行葉面噴施，試驗結果得知隨著葉面噴施鉬酸濃度的上升可增加硝酸還原酶活性並減低植體內硝酸根離子的累積量，以施用 0.45~0.6 mg/L 鉬酸效果較佳，可顯著降低生產蔬菜之硝酸根離子的含量(陳等，2010)。在大多數情況下，以鉬作為葉面施肥或補充於營養液中，很容易即可恢復硝酸還原酶的活性(Kaiser *et al.*, 2005)，使硝酸根離子累積量降低。由於本試驗是兩天噴施一次，前人研究是每天噴施，故施用的濃度較高才達到最好的效果，建議若施用頻率提高即可降低葉面噴施的濃度。

在品種的部分，‘文山’於 0.3 mg/L 處理硝酸根離子含量的下降即有明顯效果，而‘福祿甜’於 0.6 mg/L 處理才有明顯效果，兩品種於 1.2 mg/L 鉬酸鈉的噴施處理有最低的硝酸根離子含量，並有最高的總可溶性蛋白含量。但‘福祿甜’隨著鉬酸鈉的噴施處理濃度的增加，硝酸還原酶活性上升的程度沒有‘文山’來的高，因此硝酸根離子含量下降的趨勢較小，且於 1.2 mg/L 的處理碳水化合物含量有下降的趨勢，使氮同化作用所需的碳骨架減少，使其最終的氮代謝產物總可溶性蛋白沒有‘文山’增加的多。

本試驗雖然於 1.2 mg/L 鉬酸鈉處理降低硝酸根離子含量的效果最好，但兩品種生育性表現及‘福祿甜’的碳水化合物含量卻有下降趨勢，故綜合植株生長、硝酸根離子含量及碳與氮代謝產物之表現，葉面噴施油菜以 0.9 mg/L 為推薦處理濃度。

## 陸、結論

本研究選用油菜‘青龍’、‘文山’和‘福祿甜’為試驗材料，試驗目的為調查光強度、有機質肥料與鉬葉面噴施對油菜生長狀況及硝酸根離子含量之影響。

影響蔬菜硝酸根離子累積的因子有許多，如：遺傳、環境、栽培等因素，其中光照和氮肥施用已被確認為主要影響的因素。在採收前連續遮陰下，光強度低於  $574 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，油菜的光合作用和氮代謝能力顯著下降，植株的鮮重和乾重顯著降低，且植體有大量的硝酸根離子累積。遮陰試驗於夏季進行，‘青龍’、‘文山’和‘福祿甜’葉片硝酸根離子含量分別介於 994~3029、1336~6625 及 1407~6505 mg/kg FW，因‘青龍’硝酸還原酶活性較高，且光合產物碳水化合物受光強度 ( $574 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) 影響降低較少，故較不易受低光強度的影響。

有機質肥料試驗於春季進行，於大豆粕 240 kg N/ha 及田樂一號 480 kg N/ha 有機質肥料肥用量下可提高油菜的產量，但卻造成植體硝酸根離子的累積，兩者以 120 kg N/ha 施肥量下有最高的經濟效應且不易造成硝酸根離子的累積。有機質施肥處理‘文山’和‘福祿甜’葉片硝酸根離子含量分別介於 1915~3175 及 1740~3009 mg/kg FW，其中以大豆粕處理硝酸根離子的累積量相對高於田樂一號。大豆粕擁有較快速且大量的氮素釋放率，第一作有較高產量，故短期葉菜類栽培推薦施用大豆粕，但勿超過 120 kg N/ha 的施用量，以免造成植體硝酸根離子的累積；田樂一號肥效較為穩定且持久，第二作有較高產量，則較適用於生長期較長之作物，由於田樂一號的交換性磷和交換性鉀含量較高，於連續栽培短期葉菜類時一次施用量不宜超過 480 kg N/ha，以免造成栽培介質磷肥及鉀肥大量累積，導致介質 EC 值過高影響作物的生長。

鉬酸鈉葉面噴施試驗於春季進行，於油菜栽培時施用尿素，每兩天以 0.9 mg/L 鉬酸鈉進行葉面噴施處理一次能有效降低油菜硝酸根離子的含量，‘文山’和‘福祿甜’硝酸根離子含量分別可由 2070 及 1658 mg/kg FW 降低至 1544 及 1388 mg/kg FW，並能促進其碳和氮代謝能力，提高植株的生育表現。

## 柒、參考文獻

- 三好洋。1978。土壤診斷法。農山漁村文化協會。東京。
- 于紅梅、王志剛、葛建軍、高婷、孔祥忠。2014。適量施肥提高土壤殘留硝態氮利用率及菠菜產量。農業工程學報 30(16): 121-128。
- 中華肥料協會。2005。作物施肥手冊。行政院農業委員會農糧署。154pp。
- 中華土壤肥料學會。1995。土壤分析手冊。台灣省政府農林廳。489pp。
- 李銀水、魯劍巍、鄒娟、黃和平、余勇。2008。湖北省油菜氮肥效應及推薦用量研究。中國油料作物學報 30(2): 218-223。
- 李郁淳。2006。氯化銨處理對尖葉萵苣及小白菜生育及硝酸鹽含量之影響。國立中興大學園藝研究所碩士論文。101pp。
- 林毓雯、王鍾和。2002。不同有機資材之分解與氮素礦化。作物有機栽培。行政院農業委員會農業試驗所農業化學組。pp. 105-115。
- 柯勇。2004。植物生理學。藝軒圖書出版社。762pp。
- 姜金龍、邱發祥。2005。台灣農家要覽—農作篇（一）。行政院農業委員會。農業委員會台灣農家要覽增修訂三版策劃委員會。台北市。pp. 153-158。
- 倪禮豐。2004。有機質肥料之分類及品質判斷。花蓮區農業專訊 50: 2-5。
- 張庚鵬、張愛華。1997。蔬菜作物營養障礙診斷圖鑑。臺灣省農業試驗所。109pp。
- 張簡秀容、馮永富。1995。有機肥料對不同葉菜類硝酸鹽含量之影響。桃園區農業改良場研究彙報 21: 7-19。
- 黃敬凱。2013。有機質肥料及遮蔭對蕓菜及葉萵苣生長及硝酸鹽含量之影響。國立中興大學園藝研究所碩士論文。135pp。
- 陳仁炫。2005。有機質肥料品質及施肥技術。台南區農業改良場技術專刊。行政院農委會台南區農業改良場。pp. 75-93。
- 陳存澤、王斐能、鍾仁賜、張義宏。2012。不同的有機質肥料連用七年對土壤化學性質、酵素活性及微生物族群結構的影響。台灣農業化學與食品科學 50(4): 179-188。
- 陳葦玲、周書緯、李品瑩、邱瑜君、張雅文。2010。氮肥及鉬離子對油菜及青梗白菜硝酸鹽累積量之影響。臺中區農業改良場研究彙報 106: 11-22。
- 郭忠吉、陳惠美、陳秀珠。1990。精緻蔬菜生產與光之管理。精緻蔬菜產銷改進研討會專集。pp. 81-89。亞洲蔬菜研究發展中心。
- 郭孚耀。1998。遮蔭及氮肥對芥藍菜硝酸鹽累積之影響。台中區農業改良場研究彙報 58: 59-66。
- 楊秋忠。2010。土壤與肥料。農事股份有限公司。543pp。
- 鄔家琪、張喜寧。2001。硝酸離子含量對蔬菜品質的影響。科學農業 49(1): 1-6。

- 廖乾華、莊浚釗。2000。有機質肥料對結球白菜生育之影響。桃園區農業改良場研究彙報。42: 28-36。
- 蔡宜峰、莊作權、黃裕銘。1993。一般有機質在土壤中礦化潛能及礦化速率之估算。永續農業研討會專集。pp. 69-77。
- 戴振洋、郭俊毅。2007。油菜新品種‘臺中3號’之育成。臺中區農業改良場研究彙報 95: 13-25。
- 劉敏莉。2012。葉綠素螢光在作物耐熱性篩選之應用。高雄區農業改良場研究彙報 21(1): 1-15。
- 譚鎮中、李振州、王銀波。2001。硝化抑制劑對小白菜植體中硝酸態氮含量之影響。土壤與環境 4(1): 47-54。
- 鍾仁賜、翁弘明。1998。有機質肥料對蔬菜生長及氮成份與土壤肥力之影響。農業廢棄物在有機農業之應用研討會專刊。行政院農業委員會。pp. 136-164。
- 羅秋雄、李宗翰。2010。設施蔬菜有機栽培長期施用有機質肥料對土壤性質及蔬菜生育影響。桃園區農業改良場研究彙報 67: 17-32。
- 蕭巧玲、楊純明、何佳勳、蔡淑珍、林毓雯、劉滄琴。2013。氮肥及氣象環境對設施葉萵苣生長及硝酸鹽含量之影響。作物、環境與生物資訊 10: 284-289。
- Adams, W. W., C. R. Zarter, V. Ebbert, and B. Demmig-Adams. 2004. Photoprotective strategies of overwintering evergreens. *BioScience* 54: 41-49.
- Amr, A. and N. Hadidi. 2001. Effect of cultivar and harvest date on nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) and nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) content of selected vegetables grown under open field and greenhouse conditions in Jordan. *J. Food Compos. Anal.* 14(1): 59-67.
- Anjana, S. U., I. Muhammad, and Y. P. Abrol. 2007. Are nitrate concentrations in leafy vegetables within safe limits? *Curr. Sci.* 92(3): 355-360.
- Aslam, M., R. L. Travis, and D. W. Rains. 2001. Diurnal fluctuations of nitrate uptake and in vivo nitrate reductase activity in Pima and Acala cotton. *Crop Sci.* 41(2): 372-378.
- Björkman, O. and B. Demmig. 1987. Photon yield of  $\text{O}_2$  evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta.* 170: 489-504.
- Buchanan, B. B., W. Gruissem, and R. L. Jones. 2000. Nitrogen and sulfur. In: *Biochemistry & molecular biology of plants.* American Society of Plant Physiologists, Rock-ville, Md. 789pp.
- Burns, I. 2000. Development of a decision support system for nitrogen fertilizer application in glasshouse lettuce (LINK). Final report on project PC88a (LINK project LK 0438) to the Horticultural Development Council, East Malling, Kent.

- Campbell, W. H. 1999. Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology. *Annu. Rev. Plant Biol.* 50: 277-303.
- Cárdenas-Navarro, R., S. Adamowicz, and P. Robin. 1999. Nitrate accumulation in plants: a role for water. *J. Exp. Bot.* 50(334): 613-624.
- Chang, E. H., R. S. Chung, and Y. H. Tsai. 2007. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53(2): 132-140.
- Chen, B. M., Z. H. Wang, S. X. Li, G. X. Wang, H. X., Song, and X. N. Wang. 2004. Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. *Plant Sci.* 167(3): 635-643.
- Constantinides, M. and J. H. Fownes. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin, and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biol. Biochemistry* 26(1): 49-55.
- Crawford, N. M. 1995. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. *Plant Cell* 7: 859-868.
- Douglas, B. F. and F. R. Magdoff. 1991. An evaluation of nitrogen mineralization indices for organic residues. *J. Environ. Qual.* 20: 368-372.
- Demmig-Adams, B., W. W. Adams, D. H. Barker, B. A. Logan, D. R. Bowling, and A. S. Verhoeven. 1996. Using chlorophyll II fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation. *Plant Physiol.* 98: 253-264.
- Demmig-Adams, B. and W. W. Adams. 1996. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends Plant Sci.* 1: 21-26.
- Evanylo, G., C. Sherony, J. Spargo, D. Starner, M. Brosius, and K. Haering. 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agr. Ecosyst. Environ.* 127(1): 50-58.
- Fageria, N. K. and A. Moreira. 2011. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. *Adv. Agron.* 110: 251-331.
- Fan, X. X., Z. G. Xu, X. Y. Liu, C. M. Tang, L. W. Wang, and X. I. Han. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Sci. Hortic.* 153: 50-55.
- Fu, W., P. Li, Y. Wu, and J. Tang. 2012. Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. *Hort. Sci.* 39(3):



- 129-134.
- Havaux, M., K. P. Bonfils, C. Lutz, and K. K. Niyogi. 2000. Photodamage of the photosynthetic apparatus and its dependence on the leaf developmental stage in the npq1 *Arabidopsis* mutant deficient in the xanthophylls cycle enzyme violaxanthin de-epoxidase. *Plant Physiol.* 124: 273-284.
- Hmelak Gorenjak, A. and A. Cencič. 2013. Nitrate in vegetables and their impact on human health. A review. *Acta Aliment.* 42(2): 158-172.
- Hill, M. J. 1991. Nitrate and Nitrites in food and water. Ellis Horwood. p.163-187.
- Haynes, R. J. and R. Naidu. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosys* 51(2): 123-137.
- Hristozkova, M., M. Geneva, and I. Stancheva. 2006. Response of pea plants (*Pisum sativum* L.) to reduced supply with molybdenum and copper. *Int. J. Agri. Biol.* 8(2): 218-220.
- Huang, J., S. H. Wang, L. Yan, and Q. S. Zhong. 2010. Plant photosynthesis and its influence on removal efficiencies in constructed wetlands. *Ecol. Eng.* 36(8): 1037-1043.
- Kaiser, B. N., K. L. Gridley, J. N. Brady, T. Phillips, and S. D. Tyerman. 2005. The role of molybdenum in agricultural plant production. *Ann. Bot.* 96: 745-754.
- Krall, J. P. and G. E. Edwards. 1990. Quantum yields of photosystem II electron transport and carbon dioxide fixation in C4 plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 17: 579-588.
- Krause, G. H. and E. Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annu. Rev. Plant Biol.* 42(1): 313-349.
- Lam, H. M., K. T. Coschigano, I. C. Oliveira, R. Melo-Oliveira, and G. M. Coruzzi. 1996. The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 47(1): 569-593.
- Lennox, S. D., R. H. Foy, R. V. Smith, and C. Jordan. 1997. Estimating the contribution from agriculture to the phosphorus load in surface water. In *Phosphorus loss from soil to water*. CAB Int., New York. pp. 55-75.
- Li, X. P., O. Björkman, C. Shih, A. R. Grossman, M. Rosenquist, S. Jansson, and K. K. Niyogi. 2000. A pigment-binding protein essential for regulation of photosynthetic light harvesting. *Nature* 403: 391-395.
- Lillo, C. 1994. Light regulation of nitrate reductase in green leaves of higher plants. *Physiol. Plant.* 90: 616-620.

- Liu, H., C. Hu, X. Sun, Q. Tan, Z. Nie, and X. Hu. 2010. Interactive effects of molybdenum and phosphorus fertilizers on photosynthetic characteristics of seedlings and grain yield of *Brassica napus*. *Plant Soil* 326(1-2): 345-353.
- Liu, K. W. and Q. C. Yang. 2012. Effects of short-term treatment with various light intensities and hydroponic solutions on nitrate concentration of lettuce. *Acta. Agr. Scand. B-S P.* 62(2): 109-113.
- Maxwell, K. and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *J. Exp. Bot.* 51: 659-668.
- Mendel, R. R. and R. Haensch. 2002. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. *J. Exp. Bot.* 53: 1689-1698.
- Nie, Z. J., C. X. Hu, X. C. Sun, Q. L. Tan, and H. E. Liu. 2007. Effects of molybdenum on ascorbate-glutathione cycle metabolism in Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*). *Plant Soil* 295: 13-21.
- Norman, R. J., J. T. Gilmour, and B. R. Wells. 1990. Mineralization of nitrogen from nitrogen-15 labeled crop residues and utilization by rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54(5): 1351-1356.
- Oaks, A. 1994. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. *Can. J. Bot.* 72(6): 739-750.
- Ozer, H. 2003. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. *Europ. J. Agronomy* 19: 453-463.
- Pannala, A. S., A. R. Mani, J. P. E. Spencer, V. Skinner, K. R. Bruckdorfer, K. P. Moore, and C. A. Rice-Evans. 2003. The effect of dietary nitrate on salivary, plasma, and urinary nitrate metabolism in humans. *Free Rad. Biol. Med.* 34: 576-584.
- Riens, B. and H. W. Heldt. 1992. Decrease of nitrate reductase activity in spinach leaves during a light-dark transition. *Plant Physiol.* 98: 573-577.
- Santamaria, P. 2006. Nitrate in vegetable: toxicity, content, intake and EC regulation. *F. Sci. Food Agric.* 86: 10-17.
- Steinger, T., B. A. Roy, and M. L. Stanton. 2003. Evolution in stressful environments II: adaptive value and costs of plasticity in response to low light in *Sinapis arvensis*. *J. Evolution. Biol.* 16(2): 313-323.
- Suphachai, A., M. Takagaki, and S. chaireag. 2006. Effect of amount of nitrogen fertilizer on early growth of leafy vegetables in Thailand. *Jap. J. Trop. Agr.* 50(3): 127-132.
- Shiraishi, N., T. Sato, N. Ogura, and H. Nakagawa. 1992. Control by glutamine of the synthesis of nitrate reductase in cultured spinach cells. *Plant Cell Physiol.* 33(6):

727-731.

- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. Plant Physiology. 3rd ed. Sinauer Associates, Inc, Sunderland, Massachusetts, USA. 690pp.
- Tischner, R. 2000. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. *Plant Cell Environ.* 23: 1005-1024.
- Wang, Z. and S. Li. 2004. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on plant growth and nitrate accumulation in vegetables. *J. Plant Nutr.* 27(3): 539-556.
- Weightman, R., C. Dyer, J. Buxton, and D. Farrington. 2006. Effects of light level, time of harvest and position within field on variability of tissue nitrate concentration in commercial crops of lettuce (*Lactuca sativa*) and endive (*Cichorium endiva*). *Food Addit. Contam.* 23(5): 462-469.
- Witt, H. H. and A. Jungk. 1977. Beurteilung der Molybdänversorgung von Pflanzen mit Hilfe der Moinduzierbaren Nitratreduktase-Aktivität. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 140: 209-222.
- Wojciechowska, R. and I. Kowalska. 2011. The effect of foliar application of urea, Mo and BA on nitrate metabolism in lettuce leaves in the spring and summer-autumn seasons. *Folia Hort.* 23(2): 119-123.
- Ysart, G., P. Miller, G. Barrett, D. Farrington, P. Lawrance, and N. Harrison. 1999. Dietary exposures to nitrate in the UK. *Food Addit. Contam.* 16(12): 521-532.
- Zhang, M., C. Hu, X. Zhao, Q. Tan, X. Sun, A. Cao, M. Cui, and Y. Zhang. 2012. Molybdenum improves antioxidant and osmotic-adjustment ability against salt stress in Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *Pekinensis*). *Plant Soil* 355: 375-383.
- Zhang, S., K. Ma, and L. Chen. 2003. Response of photosynthetic plasticity of *Paeonia suffruticosa* to changed light environments. *Environ. Exp. Bot.* 49(2): 121-133.