

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝學系

碩士論文

Department of Horticulture

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

小白菜品種硝酸鹽含量差異之研究

Research on Difference of Nitrate Content among Cultivars of
Chinese Mustard (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.))



陳坤峯

Kung-Feng Chen

指導教授：楊雯如 博士；羅筱鳳 博士；林宗賢 博士

Advisor: Wen-Ju Yang, Ph.D., Hsiao-Feng Lo, Ph.D.,
and Tzong-Shyan Lin, Ph.D.

中華民國 100 年 7 月

July, 2011

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

小白菜品種硝酸鹽含量差異之研究
Research on Difference of Nitrate Content among
Cultivars of Chinese Mustard
(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.))

本論文係陳坤峯君(R98628113)在國立臺灣大學園藝學系、
所完成之碩士學位論文，於民國一〇〇年七月四日承下列考試
委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

楊晉如

林義興

羅敏鳳

誌謝

當開始寫致謝的時候，代表我已經順利完成論文。這當中最感謝的是 楊雯如老師，老師因材施教的教學方式，將我的缺點點出，然後一一擊破，讓我變得更有自信而能獨當一面。以及專為我量身訂作的題目，讓已經在外生活四年的我能夠藉著做實驗的理由常常回家，不僅跟家人感情變好，也可以了解家裡田地的狀況，作為未來投入的根基。同時要感謝 林宗賢老師，總是有著深遠的想法，讓我們獲得很多的啟發；感謝 羅筱鳳老師總是時常關心我及幫助我；感謝 李金龍老師，在老師的言行裡，讓我們看到身為園藝人應該有的驕傲與自信。以及 李國譚老師、林慧玲老師不吝出借儀器使用。

兩年的碩士班生活現在想起就好像剛進來一樣，很多橋段還在心頭遊蕩。在 Lab227，陪我谈心回宿舍的妙真姐、一起討論作物的鳳梨雷夢、外冷內熱的宣儒、系館熬夜幫我買早餐的恩康、同為 312 的草莓瑜玆、相見恨晚的西瓜格格旻翰、總是令我欽佩的雅文，以及在那端 207 的蝴蝶蘭嘉雲、蕨類碧霜、一起帶實習的青花菜翊琴、令人羨慕長腿的火龍果姊姊苑吟。在熱果室，常上來會偷幫我馬殺雞的火龍果一蘆學長、單價很高的蓮霧芝佩、有機鳳梨依婷、最近拼戰好友的鳳梨宜璋。在 Lab123，振耀、孟勳、隆俊、明毅，園處盈勤、育昌，以及羅家班，易薨、煜恆、佩玉、珮華、明芳。就是有你們、這些事，讓我時時充滿活力，面對實驗的挑戰。還有遠在他方，家瑋、靖驩、郁芳、宜靄、瑜家，你們讓我覺得自己超人氣，到哪都有熟人，很溫馨。

特別感謝我前後任室友，跟我住就是低潮的憤怒鳥昀皓，與你一起討論一起去小 7，點綴了重要的夜晚生活。以及睡覺愛趴在牆上的壁虎哥昇陽，你奮力寫論文，為了一張圖弄到天亮，那精神值得我學習。電話那一端的那個人，很謝謝你這三年來的相絆，逼我學很多獨特的技能，而你的支持與鼓勵是很重要的動力。

最後，將此論文獻給我的家人，爸媽、大姐、二姐、三姐、四姐、小國、志袁、以及小惡魔們。在我做實驗的期間，總是會有家庭工作線產生，讓我測量生長量一下就能完成，以及老爸老媽，在我不在的時候幫我照顧小白菜。因為有你們支持，讓我能夠毫無顧慮的完成學業。謝謝你們。

陳坤峯 謹誌

筆于 C 棟 2 樓 35 房 民國 100 年 8 月

摘要

小白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.))為台灣重要短期栽培作物，在高氮肥與光強度不足下栽培容易累積硝酸鹽，品種間累積能力可能有差異。本研究先以 13 個小白菜品種為材料，在夏季施以推薦施肥量，氮素(N)120 kg·ha⁻¹ 磷酐(P₂O₅)90 kg·ha⁻¹ 氧化鉀(K₂O)120 kg·ha⁻¹ 栽培，研究硝酸鹽累積的差異性。夏作選出之四品種，作為冬作及春作之材料，施以不同氮肥量栽培對小白菜品種硝酸鹽累積的影響。本試驗預期了解品種、氮肥量及栽培季節三因子對小白菜硝酸鹽累積之關係。

在夏季，所有品種硝酸鹽累積含量有差異，但除 B317 品系外，其餘皆未超過歐盟春夏季萵苣標準含量 2500 mg·kg⁻¹。在冬季栽培 4 個小白菜品種，全株硝酸鹽含量在建議施肥量下已高過歐盟秋冬季萵苣標準含量 4500 mg·kg⁻¹，施肥量增加時，鮮重未顯著提高，但是硝酸鹽含量顯著增加。春季試驗結果與冬季相似。

低光及低溫環境下，小白菜光合作用速率與氮同化作用能力皆下降，導致葉身累積未同化的硝酸鹽；硝酸鹽而運至葉柄儲藏的量也隨葉身累積量增加而增加。葉柄基於占全株比例約 30%-80% 以及其硝酸鹽含量為葉身之 1.5-2 倍。因此，冬季葉柄硝酸鹽累積量高時，品種間葉身含量差異無法於全株含量差異顯現出來。

依生產低硝酸鹽含量蔬菜為考量，在不同季節應有不同的推薦施肥量。在光度不足及溫度低的環境下，由於施以 120 kg·ha⁻¹ N 氮肥量栽培時所有品種雖然具有最大的鮮種，但是含量皆超過標準；施以 60 kg·ha⁻¹ N 氮肥量則植株鮮重不足，所以氮肥量應該介於 60-120 kg·ha⁻¹ N 之間。

品種篩選方面，無法藉由外形進行篩選，而應該以葉身同化能力輔以葉柄累積量及占全株比例作為考量。此外，冬季品種間生長速率與全株含量達顯著負相關性可能可作為冬季品種篩選指標。

關鍵字：小白菜、品種、氮肥量、季節、硝酸鹽累積、葉柄、篩選、光合作用

ABSTRACT

Chinese mustard (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.)), an important leafy vegetable in Taiwan, often accumulates nitrate when nitrogen fertilizer is over applied especially under low light intensity. The accumulation may be different among cultivars. In the present study, 13 Chinese mustard cultivars were first evaluated their difference in nitrate accumulation in summer. The amount of nitrogen fertilizer was applied according to the suggested guideline (N:120 kg ha⁻¹; P₂O₅:90 kg ha⁻¹, K₂O:120 kg ha⁻¹). The 4 selected cultivars were used to study the effect of nitrogen fertilizer on seasonal nitrate accumulation in winter and spring. The relationship among cultivars, amount of nitrogen fertilizer, and seasonal effect in Chinese mustard for nitrate accumulation were studied.

In summer, nitrate content of whole plant in all the lines tested were significantly different and did not over accumulate (< 2500 mg·kg⁻¹) except B317. In winter, The nitrate content of the whole plant of 4 selected lines was higher than 4500 mg·kg⁻¹ when the N fertilizer was same as what applied in summer. The fresh weight of 4 selected lines was not increased as N fertilizer increased, but nitrate content of whole plant was significantly increased. In spring, the similar result was obtained.

Under low light intensity and low temperature conditions, the photosynthetic rate and nitrogen assimilation capability in the leaf blade of Chinese mustard decreased, which resulted in unassimilated nitrate accumulated in leaf blade. The transport of nitrate to petiole was increased as the nitrate accumulated in leaf blade increased. In Chinese mustard, petiole accounts for 30%-80% of whole plant in weight, and the nitrate content in petiole was 1.5 to 2 folds than in leaf blade. Thus, the nitrate content

in petiole might overwrite the difference in leaf blade among cultivars in winter.

For producing low nitrate content vegetables, it ought to have different fertilizing guidelines for different seasons. Under low light intensity and low temperature conditions, the nitrate content of the 4 selected lines exceeded $4500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ when $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N fertilizer was applied, whereas the nitrate content of which was under $4500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ when $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N fertilizer was applied. However, the fresh weight was traded off. Thus, the amount of N fertilizer should be between 120 and $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

For screening low nitrate content cultivars, the assimilation capability of leaf blade and the ratio of petiole in whole plant should be considered at the same time. A negative correlation between growth rate and whole plant nitrate content might be a breeding index especially for winter cultivars.

Keywords: Chinese mustard, cultivar, nitrogen application rate, season, nitrate accumulation, petiole, screening, photosynthesis

CONTENTS

口試委員會審定書	i
誌謝	ii
摘要	iii
ABSTRACT	iv
CONTENTS	vi
LIST OF FIGURES	viii
LIST OF TABLES	x
Chapter 1 Introduction.....	1
Chapter 2 Literature Review.....	3
2.1 小白菜簡介	3
2.2 氮素對植物的重要性	4
2.3 植物氮素吸收與利用	4
2.4 遺傳差異對植物硝酸鹽含量之影響	6
2.5 氮肥施用對植物硝酸鹽含量之影響	7
2.6 環境因子對植物硝酸鹽含量之影響	7
2.7 硝酸鹽對人體安全之疑慮與蔬菜硝酸鹽合理含量之規範	10
Chapter 3 Materials and Methods.....	11
3.1 試驗地點與環境	11
3.2 夏季 13 個小白菜品種硝酸鹽含量調查	11
3.3 氮肥量對小白菜硝酸鹽含量累積之影響	14
3.4 統計分析	17
Chapter 4 Results.....	18
4.1 夏季小白菜品種鮮重、葉長、葉寬、葉綠素含量、光合作用速率、硝酸鹽含量及硝酸還原酶活性之差異	18
4.2 冬、春季氮肥量對小白菜品種鮮重、葉綠素含量、光合作用速率、硝酸鹽含量累積及硝酸還原酶活性之影響	19
4.3 不同栽培季節施用推薦氮肥量 $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ 對小白菜品種鮮重、生長速率、光合作用速率、硝酸鹽含量、葉綠素含量及硝酸還原酶活性之影響	

	20
4.4	小白菜生理性狀與硝酸鹽含量相關性分析.....	21
Chapter 5	Discussion	22
Chapter 6	Conclusion	26
參考文獻	- 70 -
Appendix	- 78 -



LIST OF FIGURES

圖 1.夏季 13 種小白菜品種形態之差異。	27
圖 2.夏季 13 個小白菜品種全株、葉片及葉柄硝酸鹽含量。	28
圖 3.夏季 13 個小白菜品種光合作用速率。	29
圖 4.夏季 13 個小白菜品種葉柄重佔全株種百分比。	30
圖 5.夏季 13 種小白菜葉片硝酸還原酶活性差異。	31
圖 6. 冬季施氮肥量對四品種小白菜生長之影響。	32
圖 7.冬季施氮肥量對四品種小白菜全株硝酸鹽含量之影響。	33
圖 8.冬季施氮肥量處理對四品種小白菜葉身硝酸鹽含量之影響。	34
圖 9.冬季施氮肥量處理對四品種小白菜葉柄硝酸鹽含量之影響。	35
圖 10.春季氮肥量對小白菜生長之影響。	36
圖 11.春季施氮肥量處理對四品種小白菜全株硝酸鹽含量之影響。	37
圖 12.春季施氮肥量處理對四品種小白菜葉身硝酸鹽含量之影響。	38
圖 13.春季施氮肥量處理對四品種小白菜葉柄硝酸鹽含量之影響。	39
圖 14.冬季施氮肥量處理對四個小白菜品種硝酸還原酶活性之影響。	40
圖 15.春季施氮肥量處理對四個小白菜品種硝酸還原酶活性之影響。	41
圖 16.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜鮮重之影響。	42
圖 17.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜生長速率之影響。	43
圖 18.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜葉綠素含量之影響。	44
圖 19.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜葉柄重佔全株重比率之影響。	45
圖 20. 不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜光合作用速率之影響。	46
圖 21.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜全株硝酸鹽含量之影響。	47
圖 22.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜葉身硝酸鹽含量之影響。	48
圖 23.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜葉柄硝酸鹽含量之影響。	49
圖 24.不同栽培季節施用推薦施肥量栽培對小白菜葉片硝酸還原酶活性之影響 ..	50
圖 25. 夏季小白菜品種生理性狀與全株硝酸鹽含量相關性分析。	51
圖 26. 冬季及春季氮肥施用量 60 kg ha^{-1} 小白菜品種生理性狀與全株硝酸鹽含量 相關性分析。	52
圖 27. 冬季及春季氮肥施用量 120 kg ha^{-1} 小白菜品種生理性狀與全株硝酸鹽含量	

相關性分析。	53
圖 28. 冬季及春季氮肥施用量 240 kg ha^{-1} 小白菜品種生理性狀與全株硝酸鹽含量 相關性分析。	54
圖 29. 夏冬春三季小白菜品種生理性狀與全株硝酸鹽含量相關性分析。	55
圖 30. 夏季小白菜品種葉片硝酸鹽含量與硝酸還原酶活性相關性分析。	56
圖 31. 冬春季施肥試驗小白菜葉片硝酸鹽含量與硝酸還原酶活性相關性分析。 ..	57
圖 32. 夏季(A)、冬季(B)及春季(C)栽培期間溫度變化。	58
圖 33. 夏季(A)、冬季(B)及春季(C)栽培期間日射量變化。	59



LIST OF TABLES

表 1.小白菜品種資料	60
表 2.夏季 13 個小白菜品種的鮮重、葉長、葉寬、相對生長速率	61
表 3.冬季及春季試驗前土壤含氮量及 pH 值	62
表 4.冬季施氮肥量對四個品種小白菜全株鮮重之影響	- 63 -
表 5.冬季施氮肥量對四個品種小白菜葉綠素含量之影響	- 64 -
表 6.冬季施氮肥量對四個品種小白菜生長速率之影響	- 65 -
表 7.冬季施氮肥量對四個品種小白菜光合作用速率之影響	- 66 -
表 8.春季施氮肥量對四個品種小白菜全株鮮重之影響。	- 67 -
表 9.春季施氮肥量對四個品種小白菜葉綠素含量之影響	- 68 -
表 10.春季施氮肥量對四個品種小白菜生長速率之影響	- 69 -



Chapter 1 Introduction

短期蔬菜生產是台灣蔬菜產業中重要的一環。根據 98 年農業年報統計資料，短期葉菜類總裁培面積為 104,342 公頃，占台灣蔬菜總生產面積之 69%。其中小白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.))種植面積為 4903 公頃，產量 80646 公噸，屬於市場供應量相當高的作物。不僅生長強健快速，且具有適於週年栽培之特性。目前為轉作、設施栽種之重要蔬菜。

氮素為植物生長之必須元素，大部分高等植物以硝酸態氮為主要氮源。植物生長過程中會由根部吸收硝酸根離子作為合成胺基酸與蛋白質重要的原料。當植物體對硝酸根離子的吸收量大於同化量時，硝酸鹽會蓄積於液胞中，此為葉菜類中硝酸鹽累積的主要原因(Yin, 1993)。林(2006)於 5-6 月自水源市場購得 45 種蔬菜檢測其硝酸鹽含量，指出多數葉菜類硝酸離鹽含量偏高，其中又以十字花科葉菜類居於之首。一般安全蔬果的檢測項目，除了農藥殘留量較受重視外，近年來蔬菜類的硝酸鹽含量對人體健康的影響亦非常受到重視。國際間如歐盟等組織已經針對菠菜、萵苣設立最大硝酸鹽含量標準。台灣方面則尚無蔬菜硝酸鹽含量安全標準之規範。

北部設施蔬菜栽培地區主要以生產短期蔬菜為主，其為供應大台北都會區傳統市場與生鮮超市等地的重要生產地。近年來更成為緩和夏季中南部蔬菜栽培地區因遭受天災而造成供應量不足時另一供應地區。植物光照不足時會造成蔬菜內硝酸鹽累積(王與吳，1995；Gruda, 2005)。而在台灣，冬季不僅日照時間較短而且光強度更大幅降低。此外，設施之覆蓋物會隨著使用時間而降低其透光率(林，2004)，尤以北部近郊特別嚴重。因此在生產上儼然成為一個問題。

在生產過程中為了使蔬菜能夠生長快速以及增加產量，因此施用了大量的氮肥。植物的生物量會隨著氮肥施用量提高而增加，但是當氮肥施用量超過植物最大生物量所需之量時，則會造成高量的硝酸鹽累積於植物體內(Maynard *et al.*, 1976)。現有之施肥推薦用量之設計，多以作物最大產量為主要考量，尚未將作物累積之硝酸鹽含量多寡納入評估項目。因此在產量觀點以及硝酸鹽殘留量過剩之考慮上必須從中取得平衡點。

品種差異對植株硝酸鹽吸收、還原與同化能力之影響也不可忽略，目前已經有許多蔬菜品種間硝酸鹽累積差異的研究，如菠菜、萵苣等。此外，品種間型態差異與硝酸鹽含量累積也有些許的關聯性。Olday(1976)發現皺葉菠菜相較於平滑葉菠菜累積較高的硝酸鹽含量。小白菜依外形及葉色大致上可以分成齒葉及平葉品種兩類。目前尚不清楚兩種類型小白菜硝酸鹽含量累積是否具有差異。

本試驗以多種小白菜作為參試的材料並且於設施內土耕方式栽培。在夏季種植13種小白菜，施用氮肥推薦施用量 $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 栽培；冬作及春作種植夏作選出的4種小白菜品種，並施以不同氮肥施用量處理。希望藉由試驗結果了解小白菜品種間硝酸鹽含量累積之差異以及氮肥量和栽培季節對小白菜硝酸鹽累積之影響，藉以評估現行施肥推薦量的合適性。



Chapter 2 Literature Review

2.1 小白菜簡介

(一) 小白菜品種介紹

小白菜[*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.)]原產於中國。中國的小白菜包括普通白菜(青梗白菜、白梗白菜)、烏塌菜、菜薹(油菜苔與紫菜苔)、台菜與分蘗菜。台灣的土白菜可能由中國一個品種衍生而來，與中國的小白菜種類有所差異。

現行台灣栽培小白菜品種依照葉緣與結球白菜之親緣關係分為平葉、齒葉、尼龍白菜與蚵仔白菜 4 種類型。平葉品種的特色為葉色黃綠較淡及葉緣無缺刻，且多數品種容易抽苔無法在低溫下栽培。依照栽培的時間可分為三類，夏季栽培品種包含土白菜、鳳山白菜、黃金白菜、夏勝黃金白菜、台農一號、台農二號、台農三號；冬季栽培品種包含丸葉山東白菜、珍珠白菜、晚生黃金白菜；全年皆可栽種包含交和白菜、三鳳二號、金光菜。齒葉品種的特色為葉色較綠及葉緣有缺刻且皆能夠在低溫下栽培不易抽苔，可以全年栽培。品種包含東京べかな、大東京べかな、はまみなとべかな、べかまる。尼龍白菜一由泰國皇京白菜與鳳山白菜自然雜交後代選育出之固定品種，依葉色深淺分為黑尼龍與白尼龍。葉面皺縮，質地脆嫩，耐熱耐濕，全年可栽培，但是冬季遇到極低溫時仍會抽苔，為台南喜樹地區主要栽培類型。蚵仔白菜一為日本 Takii 種苗公司育成一代雜交種，原名サラゲ白菜。為墨綠無毛大白菜，夏季不結球當小白菜食用，冬季會結球，冬季遇到極低溫會抽苔(王和林，2005)。

(二) 影響小白菜生產之問題

小白菜屬於種子春化型及相對長日照作物，種子浸水萌動後或苗期對即可感應低溫，當累積到一定量低溫或是長日下即可促進抽苔開花而失去商品價值，夏季品種於 10~15°C 的環境容易抽苔，無法在低溫下安定生產，所以 12 月以後不適合種植。冬季低溫應種植晚抽苔的平葉品種或不易抽苔的齒葉品種。

小白菜栽培時遇到高溫，則葉面因皺縮或反捲降低品質。台灣夏季高溫期可

達 30~35°C 必須種植耐熱品種，如耐熱黃金白菜、鳳山白菜或交合白菜。此外小白菜為淺根蔬菜不耐乾旱，亦忌潮濕環境，夏季雨後或是溫網室內相對溼度及氣溫高時容易罹患軟腐病等病害(王和林，2005)。

小白菜受病蟲為害嚴重，因此栽培時控制病蟲害成功與否為其生產之成敗關鍵。其中主要蟲害為小菜蛾、紋白蝶、擬尺蠖、菜心螟、黃條葉蚤、雜食性的斜紋夜盜蟲及蚜蟲，病害則有露菌病、立枯病、軟腐病、炭疽病與黑斑病(王和林，2005)。

2.2 氮素對植物的重要性

氮素為植物生長之必需元素，植物體之氮約占乾重之 1~5%，為許多重要的有機化合物之組成分，如蛋白質、核酸、葉綠素、各種酶、維生素及植物生長素等均含有氮素。氮素佔整個蛋白質的 16~18%，而蛋白質為細胞質的基礎物質也是構成酶主要物質，故在植物的整個生育過程需有蛋白質的參與，此外也影響植物體內許多生化作用和代謝過程。氮亦是葉綠體的重要組成分，葉綠素的含量多寡會影響光合作用之速率和光合產物之形成，且氮素為易移動之元素，故當植物缺氮時，細胞內葉綠素不足，使老葉呈現淺綠或黃化的生理徵狀，會使光合作用降低，進而減少碳水化合物之形成(柯，2002； Taiz and Zeiger, 2006)。

2.3 植物氮素吸收與利用

一、植物無機氮類型之偏好

土壤中可供植物使用的無機氮類型可分為硝酸態氮(NO_3^-)及銨態氮(NH_4^+)兩種(Taiz and Zeiger, 2006)，植物對此兩種無機氮類型的吸收有好銨性及好硝酸性兩種，當氮源以銨態氮為主時，生育良好者稱為好銨性植物，例如：萵苣、草莓、洋香瓜、芹菜、茼蒿及水稻等。在高濃度硝酸氮的供給下，其生育良好旺盛的植物，且對銨態氮的耐性較低，稱為好硝酸性植物，例如：菠菜、白菜、蕪菁、豌豆、甘藍、茄科作物、西瓜等(王，1989；王和吳，1992；沈，1997；沈和許，1989；

林，1989)。

施用不同類型的氮肥除了會影響作物的產量，也會造成硝酸鹽含量累積差異。Boon 等(1990)以水耕栽培萵苣，混和 80% 硝態氮和 20% 銨態氮之水耕液能夠降低植體硝酸鹽含量。Inal 等(2001)洋蔥試驗中使用不同類型氮肥為處理，結果混合 N 型態肥處理組硝酸鹽含量較低。

二、植物氮同化路徑

植物經由根部吸收無機氮主要是藉由根膜上的質子幫浦(Proton pump)及載體蛋白(Carrier protein)這兩個方式互相配合運送。質子幫浦位於原生質膜上，消耗ATP而將 H^+ 送到細胞外，使得無機氮離子因為細胞膜兩端pH值不平衡及電位潛勢差異而能經由載體蛋白配合離子通道(chanel)作單向或雙向運輸至根部細胞(Mengel and Pilbeam, 1992; Ullrich, 1992)。銨態氮(NH_4^+)被運至葉肉細胞內質體代謝，硝態氮(NO_3^-)部分隨即被根部細胞代謝或儲藏於液泡，部分經由木質部以非共質體(Apoplast)運輸至地上部(Aslam *et al.*, 2001; Buchanan *et al.*, 2000; Crawford, 1995)。運送至地上部之硝酸根離子經由葉肉細胞代謝，或儲藏於各細胞之液泡(Miller, 2009)。NO₃⁻經由細胞上轉運蛋白(transporter)進入葉肉細胞後經過兩步還原作用還原成銨根離子，首先NO₃⁻於細胞質內經由Nitrate Reductase還原成NO₂⁻。接著NO₂⁻被運至葉綠體內，經由Nitrite Reductase還原成銨根離子。銨根離子和麩氨酸經麩胺醯胺合成酶(Glutamine synthetase; GS)的催化，並消耗ATP 進行反應產生麩胺醯胺(Glutamine)。麩胺醯胺和 α -ketoglutarate 及NADH 經由Glutamine-oxoglutarate aminotransferase (GOGAT, Glutamate synthase)的催化產生兩分子的麩胺酸。其一分子參與GS 生合成循環途徑；另一分子被運送至植物各部位生合成其他胺基酸及蛋白質等含氮化合物，供植物體生長所需(Taiz and Zeiger, 2006)。

三、植物硝酸鹽含量分布

植物的不同部位及組織所含NO₃⁻量不同。一般以營養組織的NO₃⁻含量高於生殖組織。依不同部位NO₃⁻含量由多至少排序如下：葉柄、葉片、莖、根、花序、塊莖、鱗莖、果實、種子(Santamaria *et al.*, 1999 and Meah *et al.*, 1994)。全株葉片NO₃⁻

含量，以老葉多於新葉；下位葉多於上位葉(Maynard and Barker, 1979)。葉部以中肋(midribs) NO_3^- 含量多於葉肉(foliar blade)，因此中肋(midribs)與葉肉(foliar blade)的比例會影響葉的硝酸鹽含量(Gaudreau *et al.* 1995)。

2.4 遺傳差異對植物硝酸鹽含量之影響

植物物種間與品種間因硝酸鹽吸收、同化能力不同以及生理作用能力不同(如：光合作用能力、對環境反應能力、硝酸態氮需求程度)，導致硝酸鹽累積含量不同(Maynard *et al.*, 1976；Anjana *et al.*, 2006)。

分析植株木質部液，各物種於木質部運輸之 N 元素含量不同，以蘿蔔為例木質部液約有 15% 為硝酸態氮(Nitrate)、27% 為胺基酸(Amino acids)、58% 為氮基化合物(Amide)，此外豆科植物(Pea、Bean)木質部液中還包含酰脲(Ureide)。顯示植物對其所需要的氮型態是不相同，所以在物種之間會存在差異 (Taiz and Zeiger, 2006)。Santamaria (2006)將市場購得蔬菜依硝酸鹽含量分成 5 群，結果顯示以葉菜類含量較高(500-2500 或大於 2500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,FW)，花菜低(200-500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,FW)、果菜含量最低(< 200 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,FW)；物種分類上以十字花科蔬菜硝酸鹽含量較高。

品種間硝酸鹽含量差異在許多作物中發現，如菠菜、萵苣、菊苣、芹菜，造成差異的原因可能與品種間對硝酸鹽的需求、還原的能力及吸收能力不同有關(Maynard *et al.*, 1976；Santamaria, 2006)。王等(1998)調查台灣 27 種萵苣栽培種硝酸鹽含量，發現萵苣栽培種間硝酸鹽含量差異很大，其中圓葉品種(Round leaf)含量較高，尖葉品種(Sharp leaf)含量較低，以 R13 品種硝酸鹽含量最高、S40 品種含量最低。除此之外作者發現將這些品種種植於不同濃度養液中，品種之硝酸鹽含量變化有差異(王等，1998)。Behr 和 Wiebe (1992)由三個萵苣品種中發現低累積品種 Bellona 具有較高的光合作用能力。因此其推論因為硝酸還原能量來自碳水化合物或有機酸的氧化，所以具高光合作用能力的品種能減少硝酸態氮含量。Luo 等(2006)指出小白菜上海青品種各部位較亮白葉品種各部位有較高硝酸還原酶活性($\mu\text{molg}^{-1}\text{h}^{-1}$,FW)(上海青(葉片=3.2,葉柄=0.4,根=1.0):亮白葉(葉片=2.3,葉柄=0.1,根=0.8))，而且硝酸鹽含量($\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$,FW)也較低(上海青(葉片=47.0±3.3,葉柄

=114.6±4.3，根=31.1±1.9)：亮白葉(葉片=57.3±1.4，葉柄=130±4.0，根=43.1±2.2)。

2.5 氮肥施用對植物硝酸鹽含量之影響

栽培上常為了提高產量因而過度使用肥料，特別是氮肥。作物無法同化過多的氮肥不僅造成植株體內累積過多的硝酸鹽含量以外，生長量及速率未必能提高，整體產量也有可能會下降。此外，土壤中未能經由植株吸收的氮肥會被淋洗至地下水中，過量時會引發水域的污染。當施肥量適當時，作物能夠充分利用氮素，達到避免硝酸鹽累積及增加產量效果。施肥量過低時，雖然具有較低的硝酸鹽含量，但是植株生長量與整體產量也會下降(Cantliffe, 1972 ; Richardson and Hardgrave, 1992 ; Marsic and Osvald, 2002 ; Boroujerdnia *et al.*, 2007 ; 郭,1998 ; Stagnari *et al.*,2007)。Chen 等(2004)以五個不同施氮肥量 0、0.15、0.30、0.45、0.60 g·kg⁻¹N 栽種甘藍、菠菜及油菜，三個作物不僅鮮種隨施肥量增加而提高，而且全株硝酸鹽含量也會增高，在 0.30 g·kg⁻¹N 施氮量時鮮重已經達到最大，在 0.45 g·kg⁻¹N 施氮量時鮮重開始下降，但是全株硝酸鹽含量尚未到達高峰；油菜在 0.45 g·kg⁻¹N 施氮量時達到高峰；甘藍和菠菜在 0.60 g·kg⁻¹N 施氮量時才達到高峰(Chen *et al.*, 2004)。

2.6 環境因子對植物硝酸鹽含量之影響

一、光對植物硝酸鹽含量之影響

光強度、光照時間及光質會影響植物硝酸鹽同化。光除了能誘發硝酸還原酶生成外，也會影響到光合作用。光合作用光反應所產生之能量為 NO₃⁻同化步驟之重要限制因子。NO₃⁻從細胞質至葉綠體還原成 NH₄⁺過程中需消耗 ATP、NAD(P)H，故光合作用量會影響 NO₃⁻及 NO₂⁻在植物體累積量(Dey and Harborne, 1997; Cires *et al.*, 1993)。Lillo 等(2004)結合前人研究提出簡易調控硝酸還原酶活性模式圖，指出在光照下可以促使硝酸還原酶生成及活化；在黑暗下則會抑制硝酸還原酶生成及其活性。經由光刺激使硝酸還原酶生成量增加，並且能夠使硝酸還原酶經由光照刺激而移去磷酸根，使硝酸還原酶具有活性。反之在黑暗下，硝酸還原酶去磷酸化失去活性，並且與 14-3-3 蛋白接合後便降解(Wikerson *et al.*, 1983; Taiz and

Zeiger, 2006)。

Cantliffe(1973)利用遮陰及人工光源對甜菜及菠菜進行不同光強度試驗，硝酸鹽含量會隨光強度降低而提高，低光照處理組硝酸鹽含量皆比強光照處理組高。菠菜栽種在光強度為 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 與 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 下，栽種在 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 下菠菜硝酸鹽含量較 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 高(Proietti et al.,2004)。Sritharan and Lenz(1992)將 Kohlrabi(大頭菜)栽種在 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光度環境下三周，也有相同的趨勢，即低光強度下植株體內硝酸鹽含量較高。吳(1995)以水耕液栽培小白菜，在遮光處理後，硝酸態氮含量會明顯升高，同樣的也發現芥藍在冬季時硝酸態氮含量較夏季時高。

一天內硝酸態氮含量變化也有差異，下午採收作物其硝酸態氮含量較上午低，主要原因是累積日射量因採收時間不同而異，進而影響到硝酸態氮含量上的變化(翁, 1999)。Carrasco 等(1993)調查萵苣吸收硝酸態氮情形，發現在一天中有二個吸收高峰期，一個在白天，另一個在晚上。白天吸收主要是光合作用增強，但是硝酸態氮會被硝酸還原酶同化，所以在葉片不會有硝酸態氮累積的情形；夜晚的高峰期學者推論是因為晚上為維持細胞滲透壓，所以吸收硝酸態氮維持滲透壓(Vander-boon *et al.*, 1990)。因此由夜晚至清晨吸收累積的硝酸鹽含量在中午 10:00-14:00 時，因為高光合作用速率促進氮同化，使得下午採收的蔬菜硝酸鹽含量較低。Gaudreau 等(1995)對萵苣進行栽培時補光試驗，結果顯示冬季補光可顯著降低萵苣葉片之硝酸離子含量，並使萵苣植株整體之 Nitrate Reductase activity 提高，但植株鮮重並沒有顯著增加，於其他季節補光亦無顯著影響。

藍光和紅光可以促進氮同化與碳代謝(Stoy, 1955)。Ohashi-Kaneko 等(2007)以萵苣、菠菜及小菘菜作為試驗材料，處理白光、紅光、藍光及藍紅光四種不同的光質。試驗結果顯示，萵苣栽種在紅光及藍光下硝酸鹽含量較低於在白光下；菠菜栽種在紅光下硝酸鹽含量較低於栽種於白光下；小菘菜則無顯著差異。一般認為光質影響氮同化主要是影響硝酸還原酶的活性進而影響氮的同化作用。Jones 和 Sheard (1977)試驗指出光質影響硝酸還原酶活性。Maevskaya 和 Bukhov (2005)以紅光及藍光對蘿蔔進行試驗，觀察到紅光與藍光可促進氮代謝，並指出藍光相較於

紅光於植株生長早期(種植天數 16 天)可增加硝酸還原酶活性，但是於植株生長後期則紅光與藍光的效果相近。

二、溫度對植物硝酸鹽含量之影響

溫度會影響植物根部對水分或離子吸收、傳送速率以及植物體對硝酸鹽的同化速率進而影響硝酸鹽含量。Cantliffe (1972)利用生長箱建立了5、10、15、20、25、30°C五種溫度環境配合三種不同的施氮肥量 $0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ N}$ 、 $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ N}$ 、 $200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ N}$ 栽種菠菜一個月，發現隨著溫度增加作物累積硝酸鹽含量增加，而且提供的氮源越多開始增加的溫度較低， $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ N}$ 及 $200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ N}$ 施氮量組分別在溫度10°C、5°C時開始累積。顯示溫度提高植物會由供應端吸收更多的氮，作者認為這不代表溫度不影響氮同化，而是相較之下溫度影響氮吸收較為明顯。同樣的結果，Laine等(1994)發現在7°C低溫下油菜相較於20°C吸收較少的無機氮，且在7°C低溫下植株地下部經由木質部運送至地上部的無機氮含量會減少而造成根部無機氮累積(Laine *et al.*, 1994)。Magalhaes等(1976)試驗溫度對大豆硝酸還原酶活性的影響發現處於40°C高溫環境下，其硝酸還原酶活性顯著低於30°C、35°C溫度的環境下。顯示植株處於相對較高溫度下氮的同化速率會受到降低，因而累積較多的硝酸鹽含量。

三、水分對植物硝酸鹽含量之影響

土壤水分對植物硝酸鹽吸收、代謝有顯著的影響，且植物吸收的水量與植物硝酸鹽含量有正相關(Taiz. and Zeiger, 2006; Raul *et al*, 1999)。Hoff 和 Wilcox(1970)試驗結果指出大麥於水分逆境下，因為水分吸收較少使得植株硝酸還原酶活性及光合作用能力降低。Raul *et al*(1999)以萵苣為試驗材料，調查植株照光與不照光時硝酸鹽含量與水分。發現不照光時植株吸收較多的水分，而且硝酸鹽含量也比較高。

2.7 硝酸鹽對人體安全之疑慮與蔬菜硝酸鹽合理含量之規範

人體大多所能攝取的硝酸鹽主要來自蔬菜、飲用水及其他食物(Dich *et al.*, 1996)。然而硝酸鹽本質上對人體並沒有毒性，但是約有百分之五的硝酸鹽會經由唾腺及腸道內酵素轉變成較具毒性的亞硝酸鹽。最為人知由亞硝酸鹽所引起的疾病是藍嬰症，導因是因為亞硝酸鹽經由消化系統進入血液系統與血紅素結合後，使得血紅蛋白無法攜帶氧氣供給其他細胞，導致嬰兒呈現缺氧狀態(Knobeloch *et al.*, 2000)。亞硝酸鹽與氮類化合物在人體內可能經由酵素將其轉變成強烈毒性的亞硝基氮化合物。Magee and Barnes 實驗結果首次發現這類化合物對大鼠具有致癌的能力，隨後即有很多研究發現對於其他動物亞硝基化合物也具有致癌的能力，其中包括哺乳類、鳥類及魚類等(Hill, 1999)。然而目前尚缺乏直接證據證實亞硝酸胺化合物與人體致癌的關係。但是仍然有許多研究指出人體胃癌、食道癌、肝癌、結腸癌、和膀胱癌發生機率可能與亞硝基化合物有關(Gangonlli *et al.*, 1994; Knekt *et al.*, 1999)。

基於上述理由歐盟組織(European Commission, EC)在 1995 年建立了每日可容許食用硝酸鹽量—ADI(Acceptable Daily Intake) = $3.56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Body weight，相當於一位 60 公斤的人每日最多僅能攝取 219 mg 的硝酸鹽(SFC, 1995)。此外在 2004 年 EC 重新設置了萵苣及菠菜交易時硝酸鹽安全合理標準濃度，以萵苣為例由 10 月 1 至 3 月 31 日採收自露天及設施下之硝酸鹽合理含量分別為 4000 及 4500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。由 4 月 1 日至 9 月 30 之標準分別為露天 2500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、設施下 3500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (EC, 2005)。

Chapter 3 Materials and Methods

3.1 試驗地點與環境

試驗地點位於新北市林口區。試驗期間植株皆栽培於新建簡易網室，網室於2010年5月10日建構完成，透光率約95%，規模大小為長22.7公尺、寬6.7公尺，總面積152平方公尺(約45坪)。栽培網室南側鄰近丘陵，秋、冬季兩季會影響太陽照射時間及長短。其他鄰近網室周圍地勢與網室相當處栽種多種蔬菜。栽培期間灌溉用水為抽水馬達抽取之地下水。

3.2 夏季 13 個小白菜品種硝酸鹽含量調查

一、植物材料

植物材料為鳳試所王三太主任提供的11個小白菜品種及由三光種子行購得之切葉白菜及蚵仔白菜，其中包含5種齒葉品種及8種平葉品種共13種(表1)。

二、栽培管理

試驗前先將試驗田區淹水一周並且曝曬一周，目的為防治土傳病蟲害以及前作肥料殘留，待土壤乾後便開始整地、作畦及施入基肥。試區三重複，共39區。每畦10區，每區面積 1.2×1.2 平方公尺，每區播一品種，每品種播三區，採CRD試驗設計。播種採用撒播，每平方公尺約0.75公克。於2010年7月12日播種。播種後10天(約兩片本葉時期)進行間拔，使株距維持在10-15 cm(王、林，2005)。施肥方式參考林等(1995)、農家要覽(2005)與施肥手冊推薦用量(羅，2010)，總施用肥料為氮素(N) $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 磷酐(P_2O_5) $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 氧化鉀(K_2O) $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 。施用總氮素量60%約11.3克尿素(尿素46%，台灣肥料股份有限公司)及33.4克硝酸鈣(挪威船牌白珍珠肥 15.5%，渤德事業股份有限公司)、全數磷肥及鉀肥作為基肥。總氮素量40%作為分兩次追肥，8月22日第一次追肥，8月29日第二次追肥。試驗期間清晨及傍晚澆灌各一次，且於第二片本葉展開後每週噴施農藥[絲奄奄(Chlorantraniliprole 18.4%，台灣杜邦股份有限公司)及蟲離離(Proclaim 2.15% EC，台灣先正達股份有限公司)]一次。植株於2010年8月11日採收調查。

三、調查項目

1. 採樣調查取於每畦中間部分約 $60 \times 60 \text{cm}^2$ 處生育整齊之植株。調查項目分別為植株地上部鮮重、最大展開葉之葉長及葉寬、生長速率、葉綠素含量、光合作用速率、硝酸鹽含量及硝酸還原酶活性。

2. 生育性狀調查

調查項目植株地上部鮮重於採收後經由清水清洗後去除表面水分稱重(g)。葉長及葉寬為調查該植株最大之展開葉(cm)。生長速率由兩次調查(8月11日、7月22日)之植株鮮重相減除去生長時間所得($\text{g} \cdot \text{day}^{-1}$)。

3. 葉綠素含量分析

破壞性分析：

根據 Lichtenthaler(1987)方法，取新鮮剛成熟展開葉片 0.1 克切細磨碎至於有蓋玻璃瓶中，瓶外包裹鋁箔紙，以隔絕光線，加入 10ml 萃取液(以 80% Acetone 及 20% Methanol 配置)，黑暗中於室溫下靜置 24 小時，以分光光度計(Hitachi U2001, Japan)測量 645nm、652nm 及 663nm 波長下之吸光質，利用下列公式計算單位葉種內葉綠素 a，葉綠素 b 及總葉綠素含量。

$$\text{Chl. a (mg/g)} = (12.7 A_{663} - 2.69 A_{645}) \times V \div 1000 \div W$$

$$\text{Chl. b (mg/g)} = (12.7 A_{645} - 2.69 A_{663}) \times V \div 1000 \div W$$

$$\text{Total Chl. (mg/g)} = (A_{652} \times 1000 \div 34.5) \times V \div 1000 \div W$$

V：葉綠素萃取液(ml)

W：葉片組織鮮種(g)

非破壞性分析：

每株以剛成熟展開葉為取樣樣品，以葉綠素計(SPAD 502 Konica Minolta Holdings, Ins., Japan)夾取測定，夾取葉片上、中、下各兩點，共計六個點，其平均值為整片葉片葉綠素讀值。

破壞性與非破壞性葉綠素測定之回歸分析：

將破壞性分析數值與葉綠素計讀值做迴歸分析(李，2006)。

4. 光合作用速率測定

於採收前一週測量，上午 9 點至 11 點為測量，以光合作用儀(Licor 6400, USA) 夾取剛成熟展開葉(第三、四葉位功能葉)，每個樣品均夾取兩分鐘，紀錄此時間點之光合速率 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、蒸散速率 (E , $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 及氣孔導度 (G_s , $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)，測量時附加裝置 PAR 1270 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之人工光源，每品種三重複，每重複取三株。

5. 硝酸鹽含量測定

根據 Cataldo *et al.* (1975)方法，取適量重樣品經研磨後，加入去離子水稀釋成 12.5 倍製成萃取液。將萃取液放入離心管中，以 4°C 17600 g 離心 25 min，取 0.1 ml 之上清液加入 0.4ml 5% Salicylic acid (取 5g Salicylic acid，溶於 95ml 的 95% 濃硫酸中)，混合均勻後於室溫下反應 20 min，緩慢加入 4.5 ml 的 4.2N NaOH (FW.40)，充分混和於室溫下反應 30 min 後以分光光度計(Hitachi U2001, Japan) 測量 410 nm 波長下之吸光值。以 KNO_3 配製標準溶液建立標準曲線。

6. 硝酸還原酶活性分析

依據 Jawoski (1971) 測法，取樣品 0.2 g 切細碎置於試管中，加入 5 mL 萃取液(包含 2.5 mL 0.2 M KH_2PO_4 buffer pH 7.5、0.25 mL 100 % n-propanol、1.15 mL 去離子水、0.1 mL 0.05% Chloramphenicol 及 1 mL 0.1M KNO_3 ，對照組以去離子水取代 KNO_3)，置入抽氣設備中抽氣五分鐘將葉片內含氣體抽出。隨後移至黑暗中以 150 rpm 振盪 30 分鐘。將試管置於 80°C 熱水中破壞葉片組織間的細胞。熱水處理後添加 1 mL 1% sulfamilic acid (1g sulfamilic acid 溶於 99 mL 的 3 M HCl) 中止反應，加入 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 (Hitachi U2001, Japan) 測量 540 nm 波長下之吸光值。以 KNO_2 配製標準液建立標準曲線。

3.3 氮肥量對小白菜硝酸鹽含量累積之影響

一、試驗前土壤測試

試驗前採試驗區土壤進行 pH 值及 N 含量分析。每區塊隨機取三點，採集深度為 30 cm，將土壤混合均勻後取適量樣品放置陰涼處陰乾，待其乾燥後用網孔直徑 2 mm 網子過篩(林，2009)。

1. pH 值測量

取 30 g 土壤樣品與 30ml 的純水放入燒杯中，以 150 rpm 震盪 1 個小時 (Orbital Shaker S-101, Firstek)後，靜置 30 分鐘，待土壤沉澱後以 pH Meter (Microcomputer pH-Vision 6071, JENCO)測定上清液(林，2009)。

2. 氮含量分析

根據 Micro-Kjeldahl 法，精秤土壤樣品 0.2 g，包於濾紙(Whatman # 1)中，置於氮分解管中，依序加入 1g 凱氏氮催化劑(Merck 8030)，及 4.5 ml 濃硫酸，立即置於 410°C 分解爐中加熱 2 小時半，加熱期間每小時將分解管轉動一次，避免下管壁上黑色殘留，待樣品呈淡綠色時取出冷卻，加入 15ml 去離子水，再將樣品倒入 Micro-Kjeldahl 裝置容器中，並加入 20 ml 的 12 N NaOH。另外以裝有 20 ml 指示劑 [19 μM Bromocresol Green 及 25 μM Methyl Red 溶於 2% 硼酸(boric acid)(pH 5.2)] 之塑膠燒杯中，接收蒸餾出之氨水 50 ml 取出，以標定過之 1/14N 硫酸(H_2SO_4)滴定，空的分解管加入濾紙當作空白組 (Blank)，計算背景值。以下列公式計算氮含量之百分比(林，2009)。

$$\begin{aligned} \text{氮含量(\%)} &= (\text{滴定硫酸莫爾濃度} \times \text{滴定體積} \times \text{氮分子量}) \div \text{樣本重量} \times 100\% \\ &= F \times (1/14) \times (V - BK) \div 1000 \times 14 \div W \times 100\% \end{aligned}$$

F：配製的 1/14 N H_2SO_4 與標準 1/14 N H_2SO_4 濃度之比值

V：1/14 N H_2SO_4 滴定毫升數

BK：空白組 (Blank) 1/14 N H_2SO_4 滴定毫升數

W：樣本重量 (g)

二、栽培氣象資料

資料分別由兩種方式取得。方式一：溫度及光度由數據收集器記錄 (WatchDog 1000 Data Loggers Series Model's 1650, Spectrum Technologies, Inc.)。方式二：由交通部中央氣象局-板橋測站取得。

三、植物材料

植物材料為夏季試驗中篩選出硝酸鹽含量差距較大且春季抽苔開花時間較晚之品種。齒葉品種 B21 (鳳京白菜)、B300(四季の彩)，平葉品種 B323(金黃白菜台二號)、B349(彩玉白菜)。其中 B21 及 B349 為夏季試驗中選出之硝酸鹽含量較高者，B300 及 B323 為硝酸鹽含量較低者。

四、栽培管理

試驗前先將試驗田區淹水一周並且曝曬一周，防治土傳病蟲害以及減少前作肥料殘留，待土壤乾之後開始整地、作畦及施入基肥。

1. 冬季試驗

每組三畦，每一畦為一種施肥處理共三種施肥處理。每畦分四區，面積為 0.8×0.8 平方公尺，每區播一品種小白菜，品種間約相距 30 公分。重複三組採 CRD 試驗設計。播種採用點播，每點播兩顆種子。於 2010 年 11 月 14 日播種。播種後 15 天(約兩片本葉時期)進行間拔，使株距維持在 10-15 cm(王和林,2005)。施肥方式參考農家要覽(王和林,2005)與施肥手冊推薦用量(羅,2010)，總施用肥料為磷酐(P_2O_5)90 $kg \cdot ha^{-1}$ 氧化鉀(K_2O)120 $kg \cdot ha^{-1}$ ，氮肥為處理，施用方式如下表。施用總氮素量 60%、全數磷肥及鉀肥作為基肥。總氮素量 40%作為分兩次追肥，11 月 28 日第一次追肥，12 月 05 日第二次追肥。植株於 2010 年 12 月 19 日採收調查。

施氮肥量	肥料成分	基肥	追肥一	追肥二
60 kg·ha ⁻¹ N	尿素 46%(g)	2.50	0.83	0.83
	硝酸鈣 15.5%(g)	7.43	2.48	2.48
120 kg·ha ⁻¹ N	尿素 46%(g)	5.01	1.67	1.67
	硝酸鈣 15.5%(g)	14.86	4.95	4.95
240 kg·ha ⁻¹ N	尿素 46%(g)	10.02	3.34	3.34
	硝酸鈣 15.5%(g)	29.72	9.9	9.9

2. 春季試驗

每組四畦，每一畦為一種施肥處理，每畦分四區，面積 0.7×0.7 平方公尺，每區播一品種小白菜，品種間約相距 30 公分。重複三組採 CRD 試驗設計。播種採用點播，每點播兩顆種子。於 2011 年 3 月 21 日播種。播種後 15 天(約兩片本葉時期)進行間拔，使株距維持在 10-15 cm(王、林，2005)。施肥方式參考農家要覽(2005)與施肥手冊推薦用量(羅，2010)，總施用肥料為磷酐(P₂O₅)90 kg·ha⁻¹ 氧化鉀(K₂O)120 kg·ha⁻¹，氮肥為處理，施用方式如下表。施用總氮素量 60%、全數磷肥及鉀肥作為基肥。總氮素量 40%作為分兩次追肥，4 月 3 日第一次追肥，4 月 9 日第二次追肥。植株於 2011 年 4 月 25 日採收調查。

施氮肥量	肥料成分	基肥	追肥一	追肥二
30 kg·ha ⁻¹ N	尿素 46%(g)	0.96	0.32	0.32
	硝酸鈣 15.5%(g)	2.85	0.95	0.95
60 kg·ha ⁻¹ N	尿素 46%(g)	1.91	0.64	0.64
	硝酸鈣 15.5%(g)	5.69	1.90	1.90
120 kg·ha ⁻¹ N	尿素 46%(g)	3.84	1.28	1.28
	硝酸鈣 15.5%(g)	11.38	3.79	3.79
240 kg·ha ⁻¹ N	尿素 46%(g)	7.67	2.56	2.56
	硝酸鈣 15.5%(g)	22.75	7.58	7.58

試驗期間於每日清晨澆水一次，並於第二片本葉展開後每週噴藥一次[絲蚬奄(Chlorantraniliprole 18.4% ,臺灣杜邦股份有限公司)及蟲離離(Proclaim 2.15% EC,台灣先正達股份有限公司)]。

五、調查項目

採樣取於每畦中間部分約 60×60 平方公分處生育整齊之植株。調查項目分別為植株地上部鮮重、最大展開葉之葉長及葉寬、生長速率、葉綠素含量、硝酸鹽含量及硝酸還原酶活性。方法如夏季試驗。

3.4 統計分析

數據以 COSTAT 6.2 統計軟體 (CoHort Software, USA)進行最小顯著差異分析 (Least significant difference, LSD)，分析各處理間是否有顯著差異 ($P = 0.05$)，及相關性分析(Correlation)($P = 0.05$)，圖形以 SigmaPlot Vesion 10.0 (Systat Software, Inc.) 繪製。



Chapter 4 Results

4.1 夏季小白菜品種鮮重、葉長、葉寬、葉綠素含量、光合作用速率、硝酸鹽含量及硝酸還原酶活性之差異

試驗材料包含 5 種齒葉品種小白菜及 8 種平葉品種共 13 種(表 1、圖 1)。全株鮮種範圍 125.26 ~ 63.88 g、葉長最長為 38.79 ~ 27.14 cm、葉寬最長 19.69 ~ 13.84 cm，生長速率 5.82 ~ 2.70 g·day⁻¹，葉綠素含量 1.38 ~ 0.57 mg·g⁻¹，品種間皆達顯著差異(表 2)，葉柄占全株重百分比約 30%-80%(圖 4)。一般而言，齒葉品種小白菜除了蚵仔白菜外全株鮮重較大，平均約 115.28 g、生長速率較快、光合作用速率較高(圖 3)及葉色深綠。A 品種為蚵仔白菜原本為結球白菜品種，台灣短期栽培(約 30-35 天)模式中，可以作為小白菜食用，故其生長習性較一般的齒葉品種不同，植株較小、葉色深。平葉品種多數全株鮮重較小，平均約 86.55 g、生長速率較慢、葉色較為黃綠及光合作用速率較低(圖 3)，型態上為一般傳統所認知的葉形圓及葉色黃綠小白菜。其中 B196、B298 及 B317 全株鮮種及生長速率較其他平葉品種大，此外 B317 相較於其他平葉品種葉綠色含量較高，其葉色較綠(表 2)。

小白菜品種間植株硝酸鹽含量具有差異，全株硝酸鹽含量平均為 2198.68 mg·kg⁻¹，其中 B317 全株硝酸鹽含量 2906 mg·kg⁻¹ 為最大累積量之品種，超過歐盟春夏季萵苣硝酸鹽安全標準 2500 mg·kg⁻¹，其他品種皆在安全標準規範內，約 2000 mg·kg⁻¹ 上下，以 B322 為硝酸鹽累積量最少之品種，含量為 1891.82 mg·kg⁻¹。此外小白菜齒葉及平葉品種間硝酸鹽含量並無顯著差異性，顯示小白菜外型無法作為品種累積含量的辨識指標。參試材料中葉柄硝酸鹽含量(平均 4712.93 mg·kg⁻¹) 皆高於葉身硝酸鹽含量(平均 1676.42 mg·kg⁻¹)，約為 2.8 倍(圖 2)。

參試材料葉身硝酸還原酶活性具有顯著差異。其中 B299 葉片硝酸還原酶活性顯著高於其他品種，而 B21 則顯著低於其他品種，整體葉身硝酸還原酶活性平均為 0.54 μmol·hr⁻¹ NO₂⁻ (圖 5)。

4.2 冬、春季氮肥量對小白菜品種鮮重、葉綠素含量、光合作用速率、硝酸鹽含量累積及硝酸還原酶活性之影響

試驗前，土壤含氮量及 pH 值相近，顯示試驗土壤均質(表 3)。兩次試驗所使用的參試材料為 B21、B300、B323、B349 四種，根據夏作中選出全株硝酸鹽含量差異較大的齒葉及平葉品種，其中 B323、B349 為春作預備試驗中較晚抽苔之品種約 40 天抽苔，其餘平葉品種春季栽培時約 30 天左右會抽苔。此外，為了避免植株在試驗期間抽苔，以 35 天作為採收的標準。

冬季試驗小白菜全株鮮重(表 4)、生長速率(表 6)及葉綠素含量(表 5)隨施氮肥量提高而增加，在 120 與 240 kg·ha⁻¹ N 處理組間無顯著差異。各品種光合作用速率在施肥處理組間無顯著差異(表 7)。春季試驗小白菜鮮種與生長速率於 30、60、120 kg·ha⁻¹ N 處理時隨氮肥施用量增加而提高，比較 120 與 240 kg·ha⁻¹ N 處理組間，B21 與 B323 兩品種鮮種與生長速率下降，B300 與 B349 鮮種與生長速率無顯著差異(表 8、表 10)。葉綠素含量隨氮肥施用量增加而略為提高(表 9)。此外，B21 為兩次試驗中生長快速及鮮種最大的品種，B300 為葉綠素含量較高葉色較綠之品種，鮮種與生長速率與 B349 相似，B323 兩次試驗中生長皆較為緩慢，採收時植株鮮種最小。

氮肥施用量增加會顯著提高四個小白菜品種全株硝酸鹽含量甚至超過安全標準。冬季試驗 60 kg·ha⁻¹ N 處理組時僅 B323 超過歐盟秋冬季萵苣硝酸鹽含量標準 4500 mg·kg⁻¹；120 kg·ha⁻¹ N 處理時 B300、B323、B349 超過合理標準；240 kg·ha⁻¹ N 處理時則所有品種皆超過標準(圖 7)。春季試驗所有品種在各氮肥處理組下皆超過歐盟春夏季萵苣硝酸鹽含量標準 2500 mg·kg⁻¹，但是在 30、60、120 kg·ha⁻¹ N 處理組時 B21、B300、B349 未超過 4500 mg·kg⁻¹ (圖 11)。此外，B21 品種在兩個試驗中全株硝酸鹽含量皆有比較低的趨勢。

小白菜品種葉身硝酸鹽含量及葉柄硝酸鹽含量皆會隨氮肥施用量升高而增加。冬季試驗小白菜葉身硝酸鹽含量在 120 kg·ha⁻¹ N 處理組累積量最大，240kg·ha⁻¹ N 處理組除了 B323，其他品種與 120 kg·ha⁻¹ N 處理組含量相當(圖 8)。葉柄硝酸鹽含

量在 $60\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組累積最小，在 $240\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組累積最大量(圖 9)。春季試驗葉身硝酸鹽含量於 30 、 60 、 $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組上升幅度較大，於 $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組累積最大量，於 $240\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組含量與之相當(圖 12)。葉柄硝酸鹽含量在 30 、 $60\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組累積量增加幅較大， 60 、 120 、 $240\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組雖然累積幅度變小，仍然有增加的趨勢。(圖 13)。

冬季試驗小白菜品種的葉身硝酸還原酶活性隨著施氮肥量增加顯著提高，B300 硝酸還原酶活性上升幅度最大，B323 最小(圖 14)。春季試驗各品種硝酸還原酶活性隨氮肥施用量增加的表現較不一致。B21 葉身硝酸還原酶活性於 30 、 60 、 $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組間顯著升高， 120 、 $240\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組間無顯著差異。B300 葉身硝酸還原酶活性於 30 、 60 、 $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組間顯著升高， 120 、 $240\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組間則顯著下降。而 B349 硝酸還原酶活性於 $60\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 處理組後大幅度的上升。B323 硝酸還原酶活性則不受氮肥施用量增加而提高(圖 15)。

4.3 不同栽培季節施用推薦氮肥量 $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ 對小白菜品種鮮重、生長速率、光合作用速率、硝酸鹽含量、葉綠素含量及硝酸還原酶活性之影響

夏季栽培 30 天採收之小白菜鮮重、生長速率及光合作用速率顯著大於冬季及春季栽培 35 天採收(圖 16、17、20)。冬、春季葉綠素含量顯著高於夏季，齒葉品種略高於平葉品種，而且平葉品種 B323 及 B349 葉綠素含量增加的幅度較高(圖 18)。在葉柄重占全株重比例方面，夏季略低於冬及春季(圖 19)。

冬季及春季小白菜全株硝酸鹽含量顯著高於夏季。在夏季，B21 含量最高，B349 次之，B300 及 B323 最少；冬春季時，B323 含量最高，B300 及 B349 次之，B21 最少，顯示小白菜全株硝酸鹽含量及品種間含量排序受季節影響(圖 21)。

小白菜品種葉身及葉柄硝酸鹽含量累積受到栽培季節影響，冬季春季葉身硝酸鹽含量顯著高於夏季(圖 22)，葉柄硝酸鹽含量受季節影響程度則會因為品種而有

所差異，其中 B323、B349 冬季及春季葉柄硝酸鹽累積含量較夏季高，B21、B300 則不受季節影響(圖 23)。

小白菜品種葉身硝酸還原酶活性受到栽培季節影響不同，B21 葉身硝酸還原酶活性於冬季及春季顯著高於夏季，B323 葉身硝酸還原酶活性夏季高於冬季及春季，B300 及 B349 葉身硝酸還原酶活性有夏季高於冬及春季的趨勢，但未達顯著差異(圖 24)。

4.4 小白菜生理性狀與硝酸鹽含量相關性分析

小白菜生理性狀與全株硝酸鹽含量相關性分析中指出三個試驗中葉柄硝酸鹽含量與全株硝酸鹽含量皆達顯著正相關，其他性狀與全株硝酸鹽含量關係則因為季節與施肥量而有所差異。

夏季試驗 13 個小白菜品種依生理性狀與全株硝酸鹽含量相關性除了葉柄硝酸鹽含量(圖 25-E)及佔全株比例(圖 25-H)與全株硝酸鹽含量達顯著正相關($R^2 = 0.53^{**}$; $R^2 = 0.47^*$)，其他性狀與全株硝酸鹽含量皆未達到顯著水準(圖 25 A-H)。在冬季及春季，不論是在 $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 處理組(圖 26A-F)、 $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 處理組(圖 27A-F)及 $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 處理組(圖 28A-F)，小白菜鮮重及生長速率皆與全株硝酸鹽含量皆達顯著負相關，葉身及葉柄硝酸鹽含量與全株硝酸鹽含量皆達顯著正相關。混和三次試驗分析，植株鮮重(圖 29-A)及生長速率(圖 29-C)與全株硝酸鹽含量達顯著負相關($R^2 = 0.725^{***}$; $R^2 = 0.711^{***}$)，葉身(圖 29-D)及葉柄硝酸鹽含量(圖 29-E)與全株硝酸鹽含量達顯著正相關($R^2 = 0.895^{***}$; $R^2 = 0.603^{***}$)。

此外，葉身硝酸鹽含量與硝酸還原酶活性在夏季試驗中並無達顯著相關(圖 30)，冬春季施肥試驗中在 $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 處理組(圖 31-A)及 $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 處理組(圖 31-B)與兩者顯著相關($R^2 = 0.848^{***}$ 、 $R^2 = 0.797^{**}$)，在 $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 處理組(圖 31-C)則未達顯著相關性($R^2 = 0.386_{\text{ns}}$)。

Chapter 5 Discussion

小白菜品種硝酸鹽含量篩選試驗結果顯示，在夏季日均溫 29.7°C(圖 32-A)及日照射量 19.6 MJ·m⁻²(圖 33-A)下，施以推薦施肥量 120 kg·ha⁻¹ N 栽培，品種間全株硝酸鹽累積含量有顯著差異(圖 2)，與菠菜(Cantilliffe, 1973)、萵苣(Reinink et al., 1987)、蘿蔔(Nieuwhof, 1991)、菊苣(Martignon et al., 1994)、芹菜等結果相同。在冬季日均溫 19.1°C(圖 32-B)及日照射量 7.1 MJ·m⁻²(圖 33-B)及春季日均溫 19.0°C(圖 32-C)及日照射量 12.4 MJ·m⁻²(圖 33-C)下，品種間全株及葉柄硝酸鹽含量高而且差異不大(圖 7、9、11、13)，但葉身硝酸鹽含量達顯著差異(圖 8、12)，且與葉身硝酸還原酶活性具有相關性(圖 31-A、B)。在光度充足及溫度溫暖的環境下，作物光合作用較強(圖 20)能夠提供葉身充足的能量及碳水化合物供硝酸還原酶進行同化，因此品種間能夠表現最大的硝酸鹽同化能力，進而使品種間具有差異。在光度不足及溫度低的環境下，作物光合作用速率下降因而使硝酸還原酶同化硝酸鹽效率下降，過多的硝酸鹽除了累積在葉身外，也運送至葉柄儲藏。因此儘管葉身硝酸鹽含量與硝酸還原酶活性相關，若是大量硝酸鹽累積於葉柄，將導致品種間全株累積量無差異。另外植株為了增加光合作用效率，在低光下會略為增加葉綠素含量(Marler et al., 1995; 楊, 1995)，尤以葉色較淺的品種較為顯著，如 B323、B349，葉色深的品種則較不明顯，如 B21、B300(圖 18)。

此外，葉柄為植物運輸及儲藏硝酸鹽的重要部位(Ott et al., 2008)，Zhang et al.(1996)提出利用監測馬鈴薯葉柄液流可以做為栽培中氮管理的依據，顯示葉柄硝酸鹽含量對植株的重要性。參試小白菜品種葉柄重占全株重相當高的比例，約 30%-80%(圖 4)，而且硝酸鹽含量約為葉身 1.5-2 倍(圖 2)，因此即使葉身硝酸鹽含量低且硝酸還原酶活性高，也會因為葉柄高累積量及佔全株比例高，而導致全株硝酸鹽含量累積高。以 B317 為例，其光合作用速率高、硝酸還原酶活性高、葉身累積中等、但是由於葉柄含量最高及佔全株比例 80% 導致全株含量居於參試材料之首。然而葉身同化能力與全株硝酸鹽含量的關係一直未有定論，一部分學者認為硝酸還原酶活性是決定氮同化能力關鍵因子，而且與植株硝酸鹽含量具有負相關性(Olday et al., 1976)。另一部分學者則認為因為植株內硝酸鹽分布不均勻，造成硝酸還原酶活性與全株硝酸鹽含量之間並無關連，因此若單以硝酸還原酶活性解釋是不夠周詳，故

在挑選低累積硝酸離子品種時不應該只注重硝酸還原酶活性(Blom-Zandstra and Eeink,1986；Chen *et al.*,2004)。造成這樣兩極的論點主要是因為前者使用葉身占全株比例高的菠菜為材料，與葉柄占全株比例高的小白菜截然不同。所以篩選小白菜品種時，除了考慮作物的光合作用能力及氮的同化能力差異，也應該將葉柄累積含量及占全株比例納入考量。

在低光及低溫的環境下，相較於 $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 的建議氮肥量，施以 $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 施氮量，雖然全株硝酸鹽含量相對較低，冬季僅 B323 超過 $4500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 標準(圖 7)，但是鮮重也較低。由於葉身及全株硝酸鹽含量皆與硝酸還原酶活性皆具有負相關性，顯示在低氮肥供應下，作物氮同化能力差異尚能使得品種間累積量不同。若施以 $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 氮肥量，作物鮮重未增加，即使品種間葉身硝酸鹽含量因為光合作用速率與硝酸還原酶活性不同而有差異，但是因為處在同化作用受限及氮肥供應量高的情況下，作物吸收過多的硝酸鹽無法被同化，而運移更多硝酸鹽至葉柄儲藏，促使全株累積含量提高，品種間的差異變小，最終造成所有品種都超過安全標準。因此在低光及低溫下栽培時，若施以 $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 氮肥量下，雖然具有較高的鮮重，但是所有品種皆超過安全標準，以及在 $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 氮肥量下，植株鮮重不足，因此基於產量及安全的考量，氮肥量應該落在鮮重及生長速率上升幅度最大以及全株硝酸鹽含量增加幅度較小的 $60\text{-}120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 之間。此外氮肥增加的情況下，硝酸還原酶活性顯著提高(圖 14、15)，研究指出硝酸還原酶是一種受質誘導酵素，當基質存在較多時，受質會有較高的活性(Ivashikina *et al.*,1997；Hu *et al.*,1992)，但是過高的硝酸鹽含量仍會超過其同化極限(Chen *et al.*, 2004)，將導致不僅葉柄含量累積高，而且同化部位葉身含量也不低。

利用簡單的特徵作為硝酸鹽含量篩選的指標，在品種篩選上能夠減少很多工作，目前已經在萵苣及菠菜中發現外形特徵能夠作為一個辨識指標。萵苣中 Butterhead、Latin、Crisp、Cos、Cutting 及 wild 六種類型具有硝酸鹽含量差異，Butterhead 含量較低，wild 含量較高(Reinink, 1988)。菠菜平滑葉品種硝酸鹽含量較皺葉品種低(Cantiliffe, 1973；Olday *et al.*, 1976)。參試材料包含 5 種齒葉品種及 8 種

平葉品種(表1、圖2)，這兩個特徵並無法作為全株硝酸鹽含量高低的辨識指標(圖2)。Lou等(2006)發現平滑葉品種‘上海青’(Shanghaiqing)相較於皺葉品種‘亮白葉’(Liangbaiye)具有較低的硝酸鹽含量。在中國小白菜分類中包含青梗白菜，此與台灣分類不同(王和林，2005)，‘上海青’為青梗白菜的一種，因此這樣的現象不適用於台灣的小白菜品種。在低光照及低溫度下，小白菜品种植株累積高量的硝酸鹽而且與鮮種及生長速率呈現顯著負相關(圖26-A、C、圖27-A、C、圖28-A、C)，與萵苣植株硝酸鹽含量與鮮種呈現負相關性相同(Reinink and Eenink,1988)，但是與菠菜硝酸鹽含量與鮮種呈正相關性不同(Handke and Junge,1984；Huang *et al.*,2005)。因此推論在小白菜品種間，若栽培在低光照及低溫的環境下，硝酸鹽含量較低的品種，如B21，能夠有效同化氮供生長使用，所以使植株具有較高的生長速率；反之含量較高的品種，如B323，因為無法有效同化氮供生長使用，所以不僅生長速率較慢，而且將無法利用的硝酸鹽累積在植株內。這樣的關係，是否能夠利用在篩選上，則仍須試驗更多品種方能確定。

作物硝酸鹽含量篩選受季節、品種及氮肥量影響，已經有許多研究指出不同栽培季節氣候是最主要的因子，特別是在低光及低溫環境下累積量最高。在秋冬季栽培作物硝酸鹽含量顯著高於春夏季(Vieira *et al.*,1998；Santamaria and Gonnella,2001)。作物同化能力的表現會因為所處的季節栽培環境有所變化，因此在篩選時，品種間硝酸鹽含量高低順序會因為季節而有所變動(Escobar *et al.*, 2002；Burns *et al.*, 2011)。此外，氮肥對作物硝酸鹽累積含量的影響程度也受到栽培環境氣候所影響(郭,1998；Custic *et al.*, 2001)。針對生產低硝酸鹽含量的蔬菜 Reinink(1988)提出，夏季降低硝酸鹽含量可以由減低施肥量著手，在冬季低光的情況下，供氮量對蔬菜硝酸鹽含量影響不大，則應該由品種著手。在小白菜方面，若光照充足及溫度高的環境下，施以 $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ 氮肥量栽培，僅有 B317 超過標準 $2500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，其餘品種雖然沒有累積過量的問題，但是含量約在 $2000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 上下(圖 2)，因此若是為了追求較高的產量，而施以高量的氮肥，即使在良好的天氣下，仍有過量的疑慮，顯示夏季栽培仍需注意氮肥量的使用。在光照不足及低溫下，因為作物生長較緩慢，為了提高生長速率及產量，因而增加氮肥量，結果導致硝酸鹽含量

累積量增高，而且可以發現鮮重及生長速率相似的 B300 及 B349，其硝酸鹽累積的幅度是有差異的，如 B300 在 $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N 氮肥量栽培下，含量較 B349 低，但是在 $240 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N 氮肥量下兩者相近，顯示品種的差異。此外，小白菜品種間含量的順序也發現在季節間也會有變化，如 B21 在夏季試驗含量較高，在冬春季最低(圖 21)。



Chapter 6 Conclusion

小白菜在光照充足及溫度適宜的環境下施以推薦氮肥量 $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ 栽培，不僅品種間硝酸鹽含量具有差異，而且除了 B317 品種超過歐盟春夏季萵苣合理標準 2500 mg kg^{-1} 外，其他品種含量皆在安全範圍內。儘管如此，小白菜含量多在 2000 mg kg^{-1} 上下，若增加施肥量，鮮重增加之餘仍有含量超過標準的疑慮。在低光及低溫環境下，光合作用速率及氮的同化速率降低，葉身累積硝酸鹽含量提高，以及運移更多至葉柄儲藏，導致全株含量增高，甚至超過安全標準。施予氮肥量 $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ，雖然硝酸鹽含量低，但是鮮重也較低；施予氮肥量 $240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ，作物鮮重未增加，因為無法同化過多的硝酸鹽，導致全株含量提高。葉柄佔全株比例約 30%-80%，而且硝酸鹽含量較葉身高，當其累積量提高時，將遮蓋品種間葉身同化能力的差異，導致全株含量差異較小的結果。若依生產低硝酸鹽含量蔬菜的觀點考量，在季節間施用的推薦氮肥量應該不同。在光度不足及溫度低的環境下，因為施以 $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ 氮肥量所有品種皆超過標準；施以 $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ 氮肥量下植株鮮重不足，所以氮肥量應該介於 $60\text{-}120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ 之間。在品種篩選方面，無法藉由外形作為篩選指標，仍應該以葉身同化能力輔以葉柄累積量及佔全株比例作為考量。此外，在冬季生長速率與全株含量達顯著負相關性，可能可以做為篩選指標利用，但仍須更進一步的試驗方能確定。

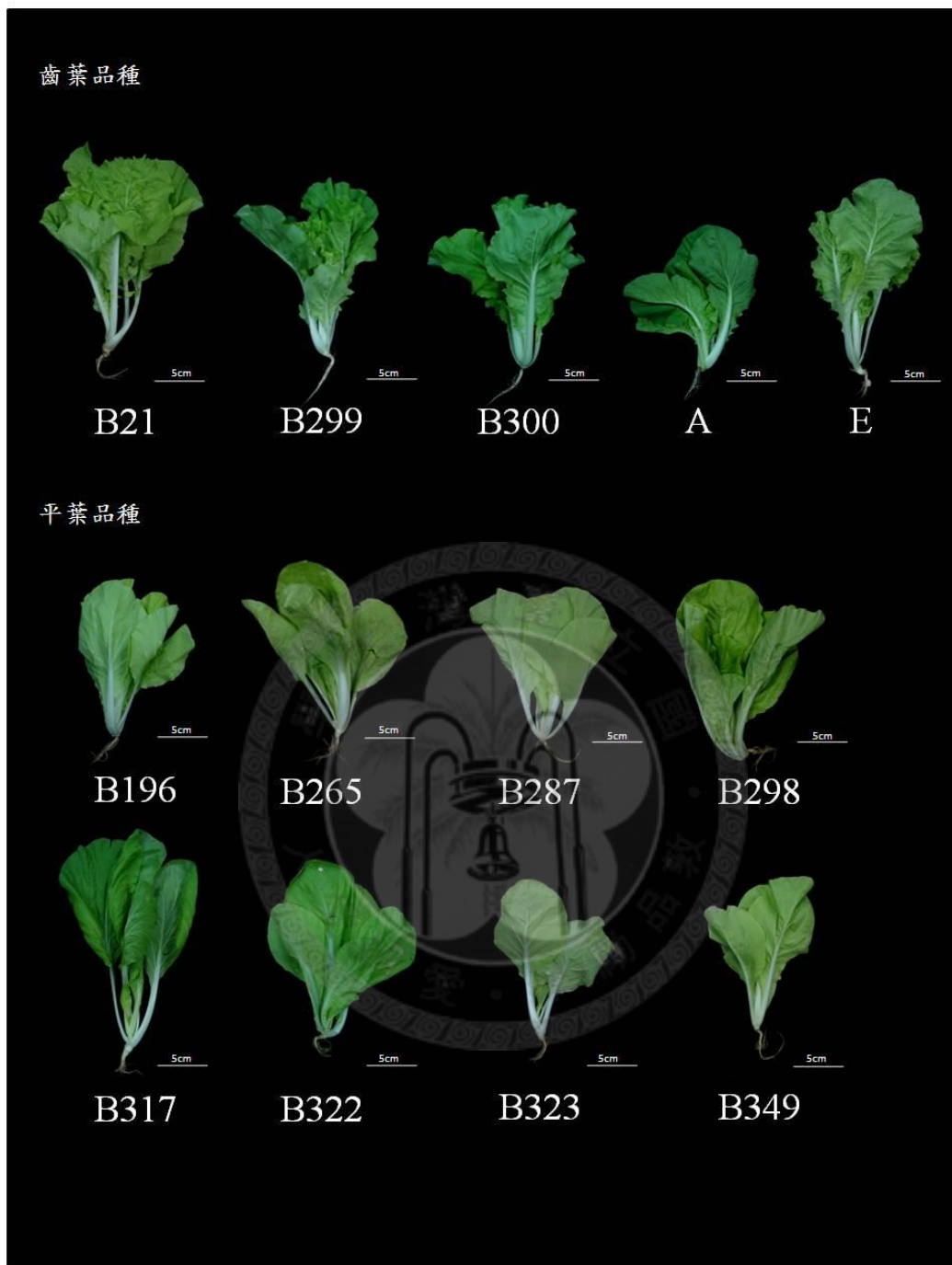


圖 1.夏季 13 種小白菜品種形態之差異。

2010 年 7 月 12 日播種。2010 年 8 月 11 日採收調查。

Fig. 1. The difference of morphology of 13 cultivars of Chinese mustard in summer.

Seeds sowed on 12th Jul. 2010. Plants harvested on 11th Aug. 2010.

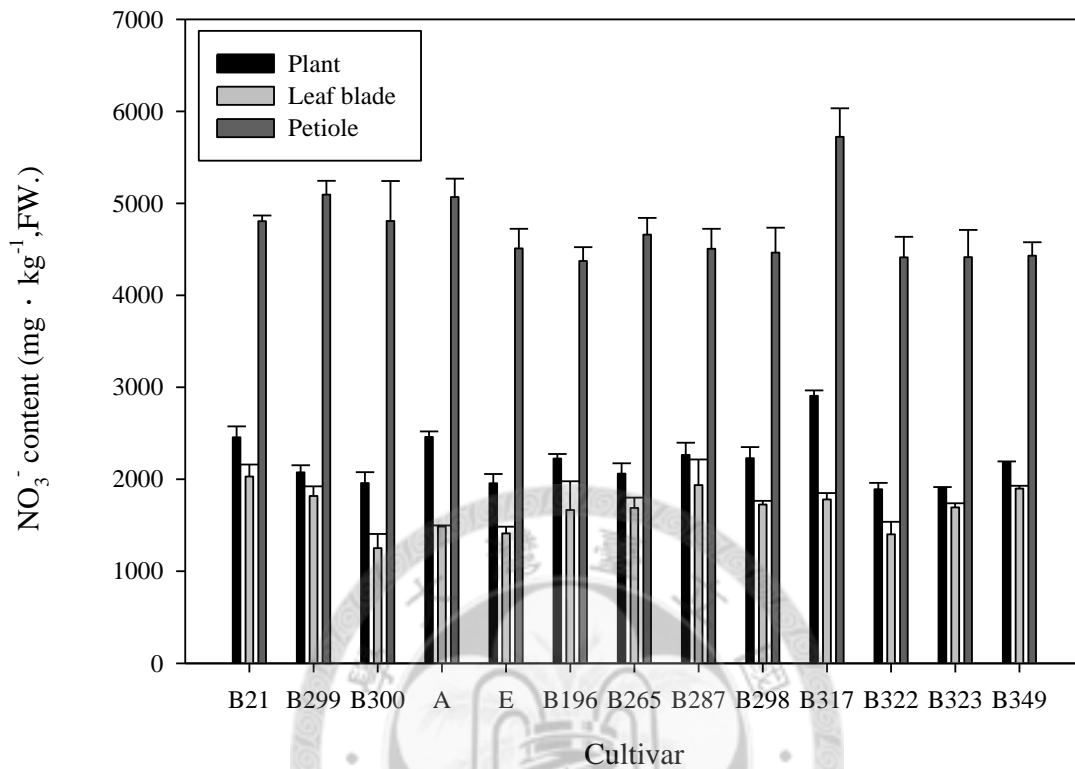


圖 2. 夏季 13 個小白菜品種全株、葉片及葉柄硝酸鹽含量。

2010 年 7 月 12 日播種。2010 年 8 月 11 日採收調查。

Fig. 2. The nitrate content in plant, leaf blade, and petiole in thirteen cultivars of Chinese mustard in summer. Seeds sowed on 12th Jul. 2010. Plants harvested on 11th Aug. 2010.

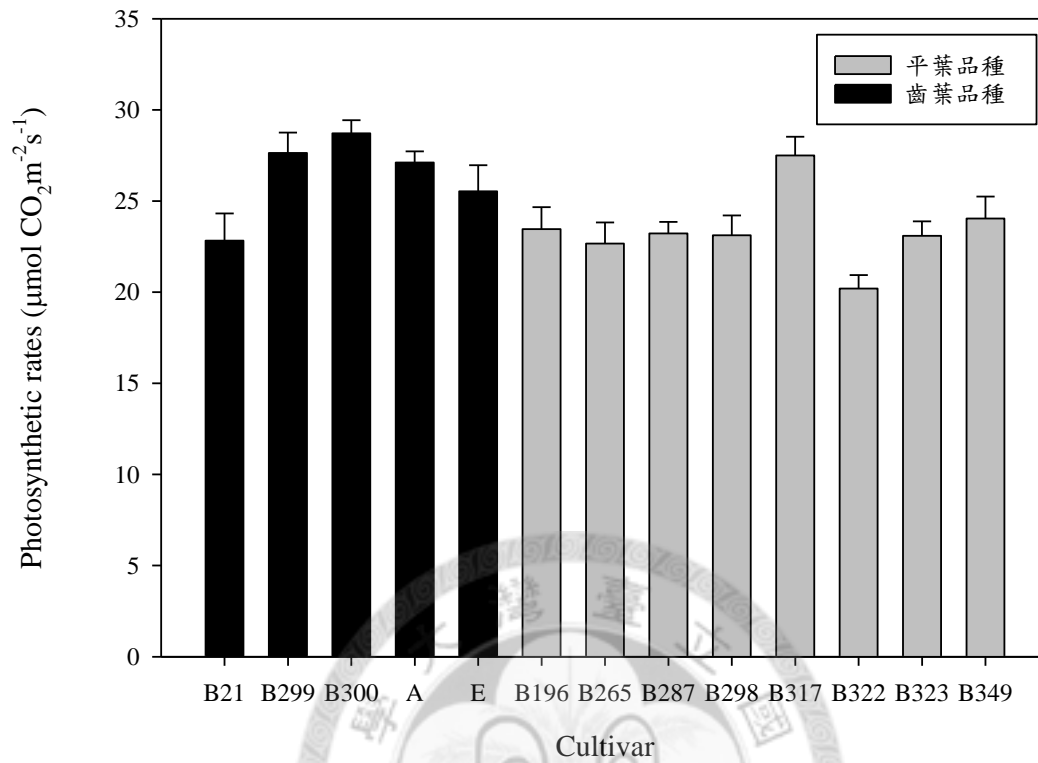


圖 3. 夏季 13 個小白菜品種光合作用速率。

2010 年 7 月 12 日播種。2010 年 8 月 11 日採收調查。

Fig. 3. The photosynthetic rates in thirteen cultivars of Chinese mustard in summer.

Seeds sowed on 12th Jul. 2010. Plants harvested on 11th Aug. 2010.

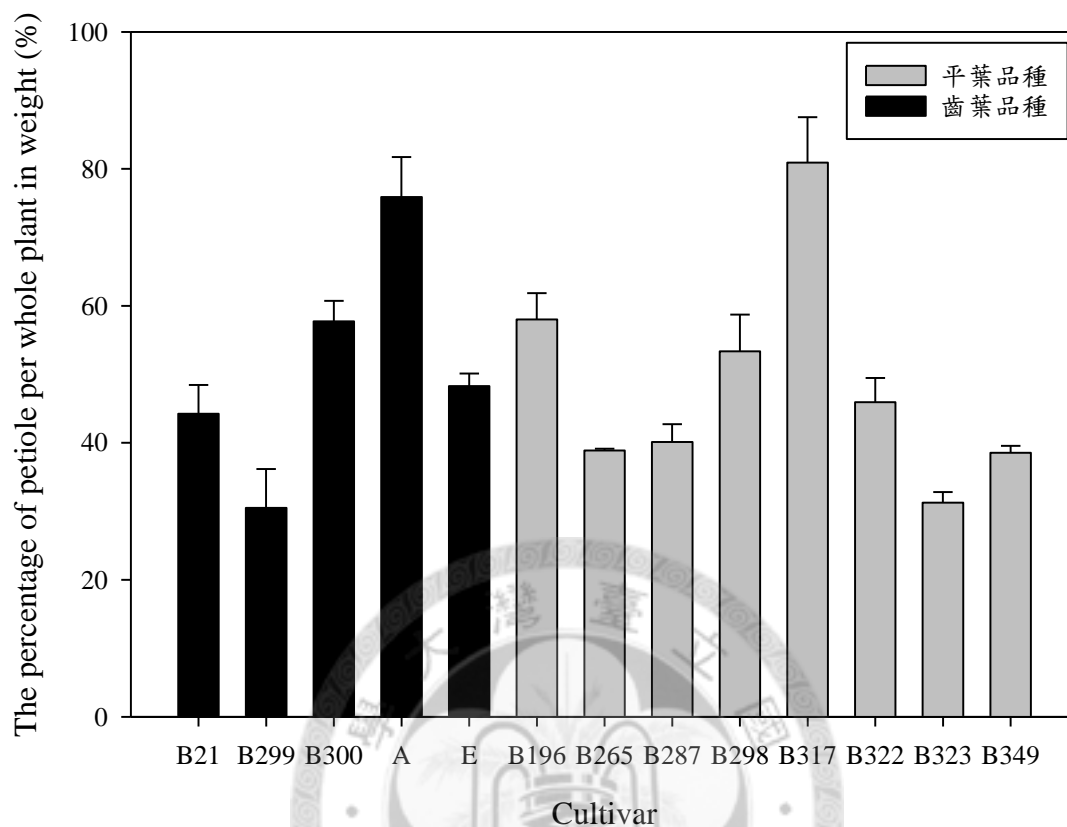


圖 4.夏季 13 個小白菜品種葉柄重佔全株種百分比。

2010 年 7 月 12 日播種。2010 年 8 月 11 日採收調查。

Fig. 4. The percentage of petiole per whole plant in weight in thirteen cultivars of Chinese mustard grown in summer. Seeds sowed on 12th Jul. 2010. Plants harvested on 11th Aug. 2010.

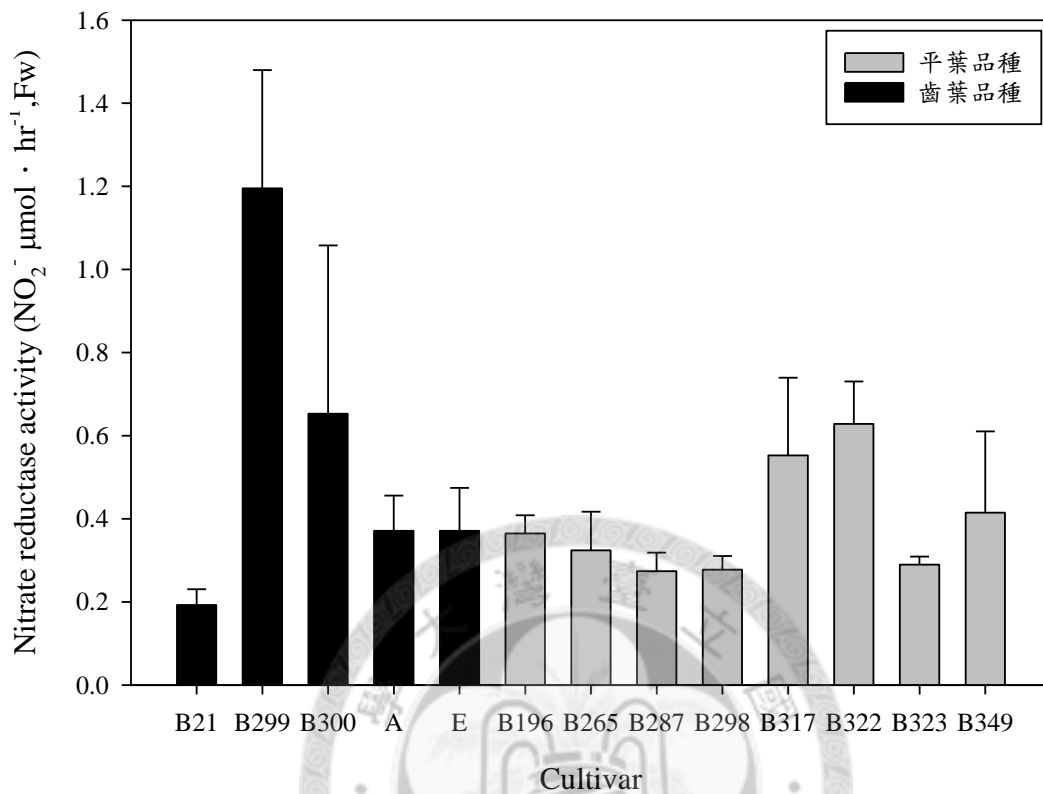


圖 5.夏季 13 種小白菜葉片硝酸還原酶活性差異。

2010 年 7 月 12 日播種。2010 年 8 月 11 日採收調查。

Fig. 5. Comparison of nitrate content of nitrate reductase activity in thirteen cultivars of Chinese mustard in summer. Seeds sowed on 12th Jul. 2010. Plants harvested on 11th Aug. 2010.

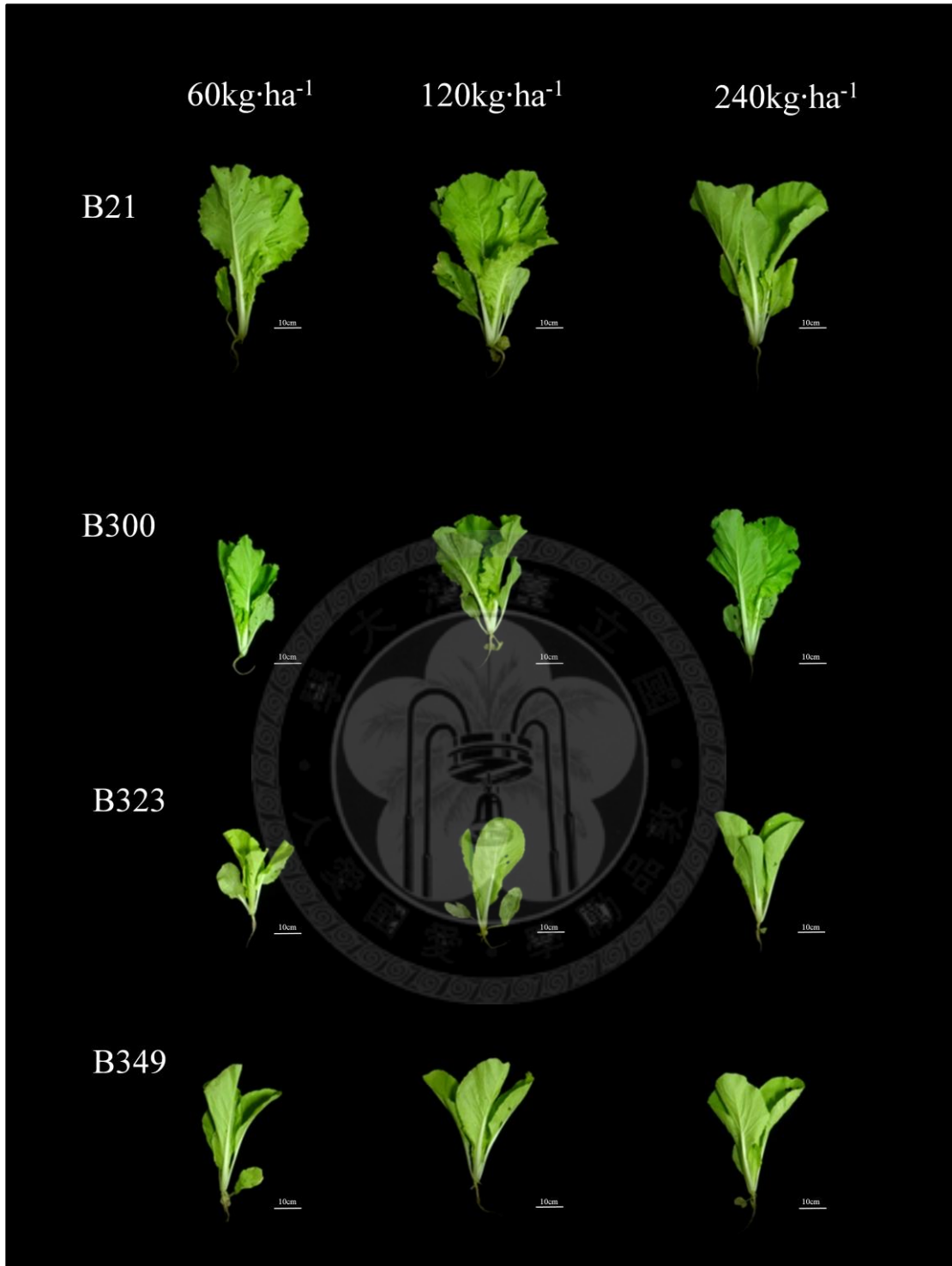


圖 6. 冬季施氮肥量對四品種小白菜生長之影響。

2010年11月14日播種。2010年12月19日採收調查。

Fig. 6. The effect of three levels nitrogen application rate on growth of four cultivars of Chinese mustard in winter. Seeds sowed on 14th Nov. 2010. Plants harvested on 19th Dec. 2010.

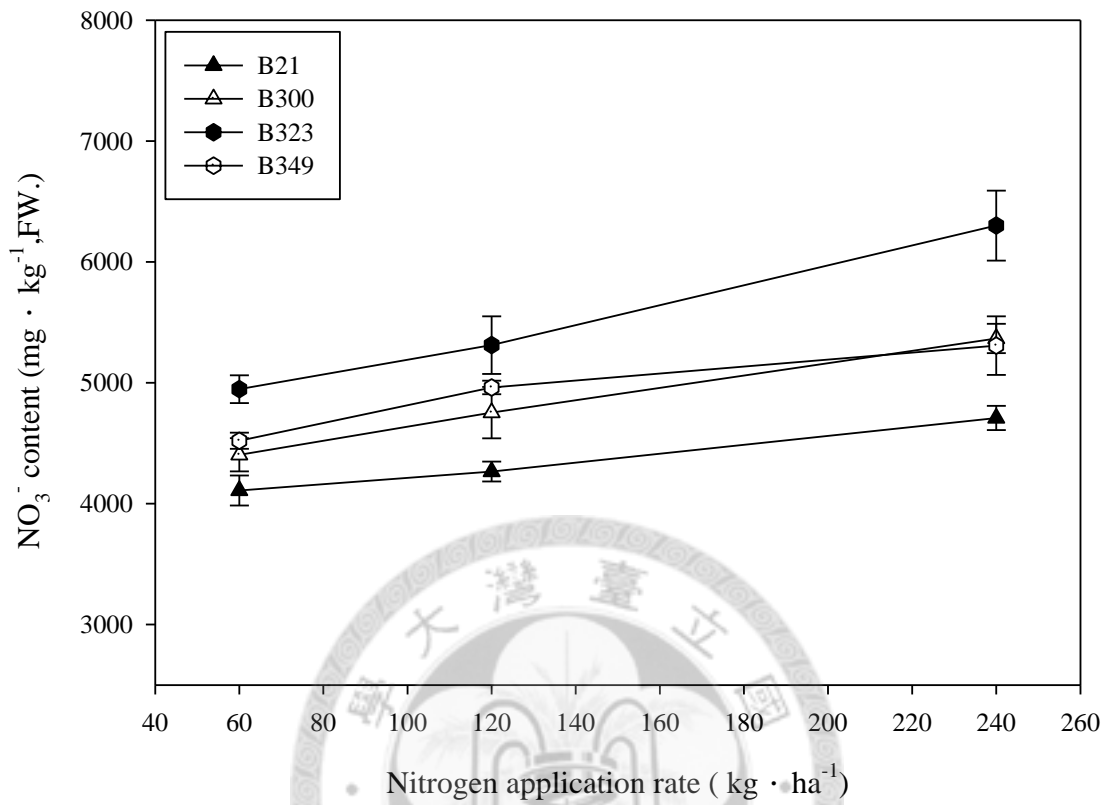


圖 7.冬季施氮肥量對四品種小白菜全株硝酸鹽含量之影響。

2010年11月14日播種。2010年12月19日採收調查。

Fig. 7. The effect of three levels nitrogen application rate on nitrate content in plant of four cultivars of Chinese mustard in winter. Seeds sowed on 14th Nov. 2010. Plants harvested on 19th Dec. 2010.

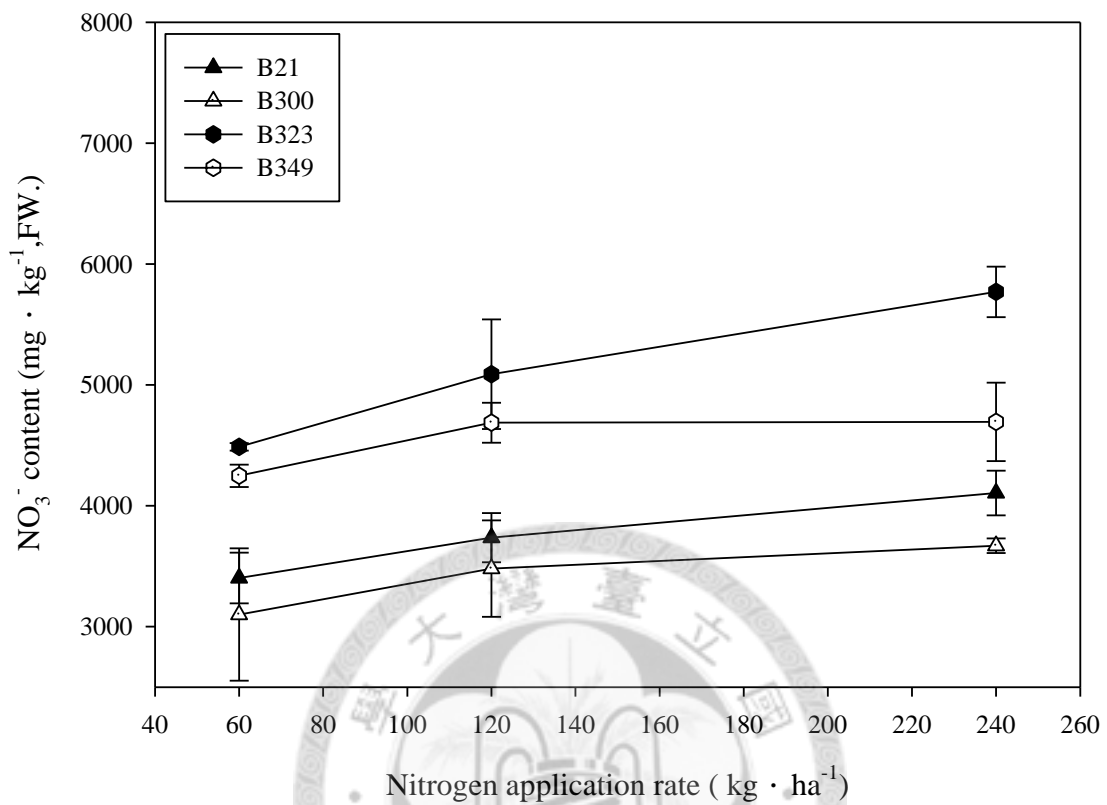


圖 8. 冬季施氮肥量處理對四品種小白菜葉身硝酸鹽含量之影響。

2010 年 11 月 14 日播種。2010 年 12 月 19 日採收調查。

Fig. 8. The effect of three levels nitrogen application rate on nitrate content in leaf blade of four cultivars of Chinese mustard in winter. Seeds sowed on 14th Nov. 2010. Plants harvested on 19th Dec. 2010.

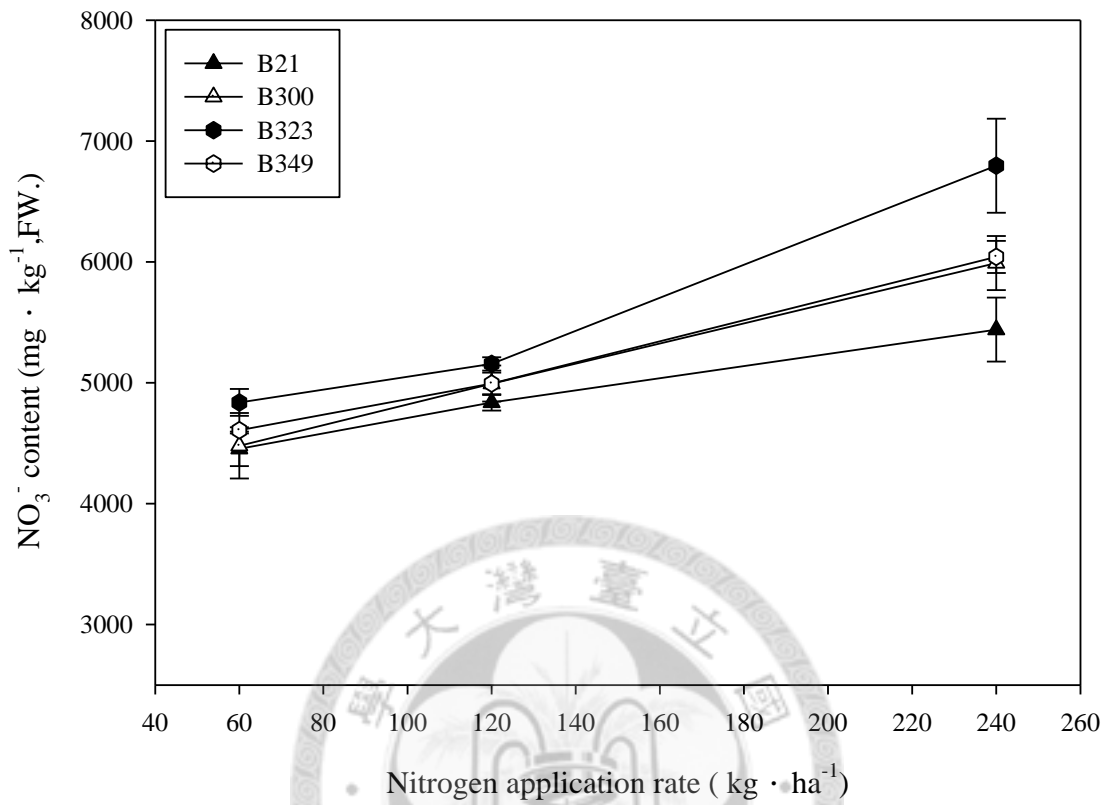


圖 9.冬季施氮肥量處理對四品種小白菜葉柄硝酸鹽含量之影響。

2010年11月14日播種。2010年12月19日採收調查。

Fig. 9. The effect of three levels nitrogen application rate on nitrate content in petiole of four cultivars of Chinese mustard in winter. Seeds sowed on 14th Nov. 2010. Plants harvested on 19th Dec. 2010.

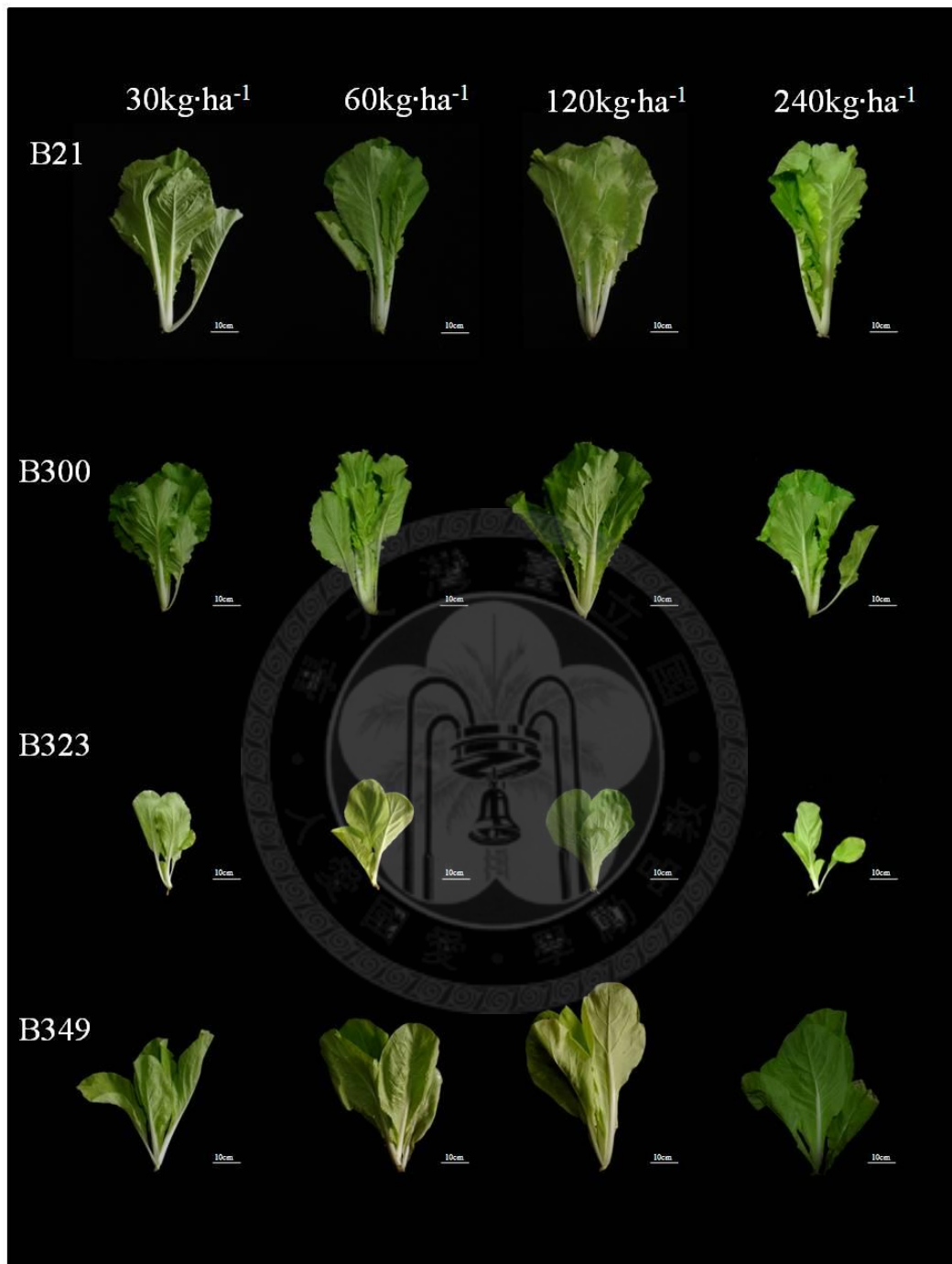


圖 10.春季氮肥量對小白菜生長之影響。

2011年3月21日播種。2011年4月25日採收調查。

Fig. 10. The effect of four levels nitrogen application rate on growth of four cultivars of Chinese mustard in spring. Seeds sowed on 21th Mar. 2011. Plants harvested on 25th Apr. 2011.

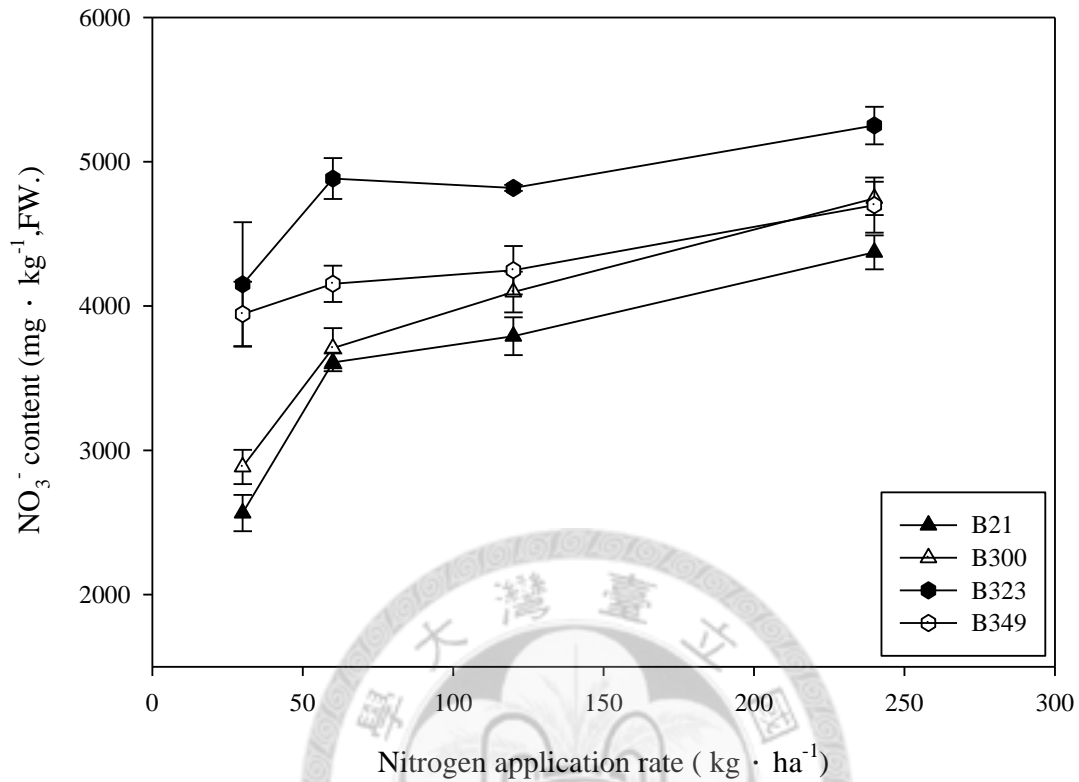


圖 11.春季施氮肥量處理對四品種小白菜全株硝酸鹽含量之影響。

2011年3月21日播種。2011年4月25日採收調查。

Fig. 11. The effect of four levels nitrogen application rate on nitrate content in plant of four cultivars of Chinese mustard in spring. Seeds sowed on 21th Mar. 2011. Plants harvested on 25th Apr. 2011.

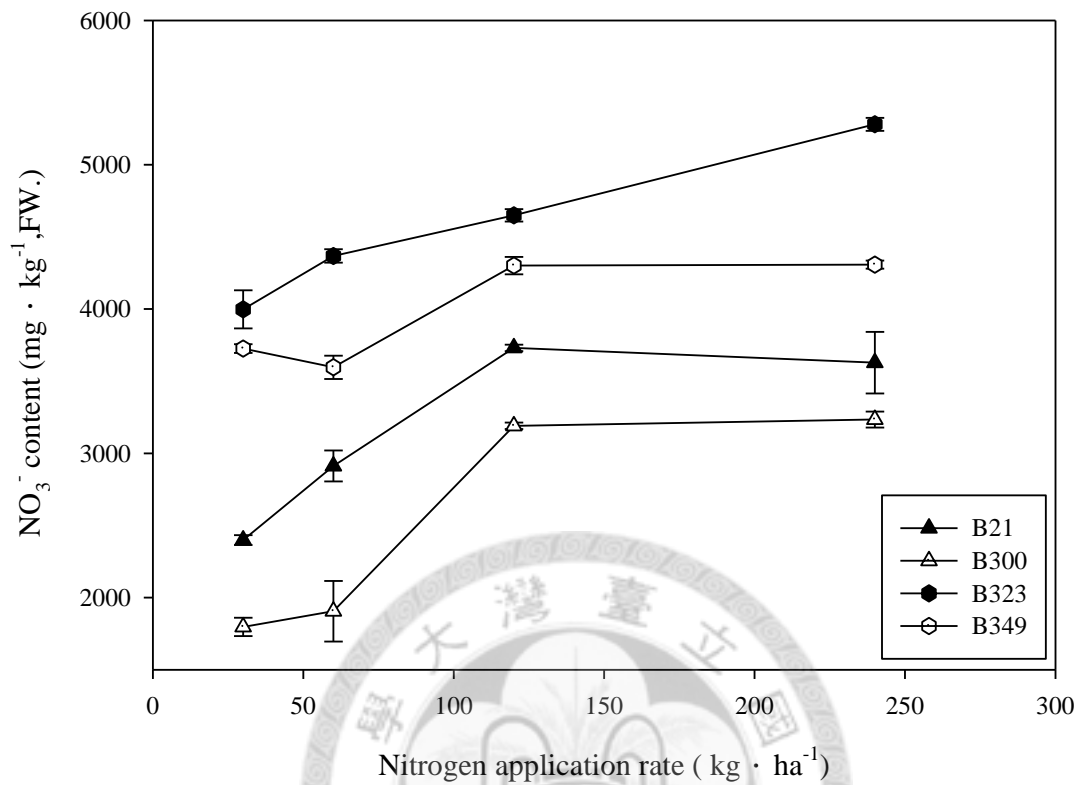


圖 12.春季施氮肥量處理對四品種小白菜葉身硝酸鹽含量之影響。

2011年3月21日播種。2011年4月25日採收調查。

Fig. 12. The effect of four levels nitrogen application rate on nitrate content in leaf blade of four cultivars of Chinese mustard in spring. Seeds sowed on 21th Mar. 2011. Plants harvested on 25th Apr. 2011.

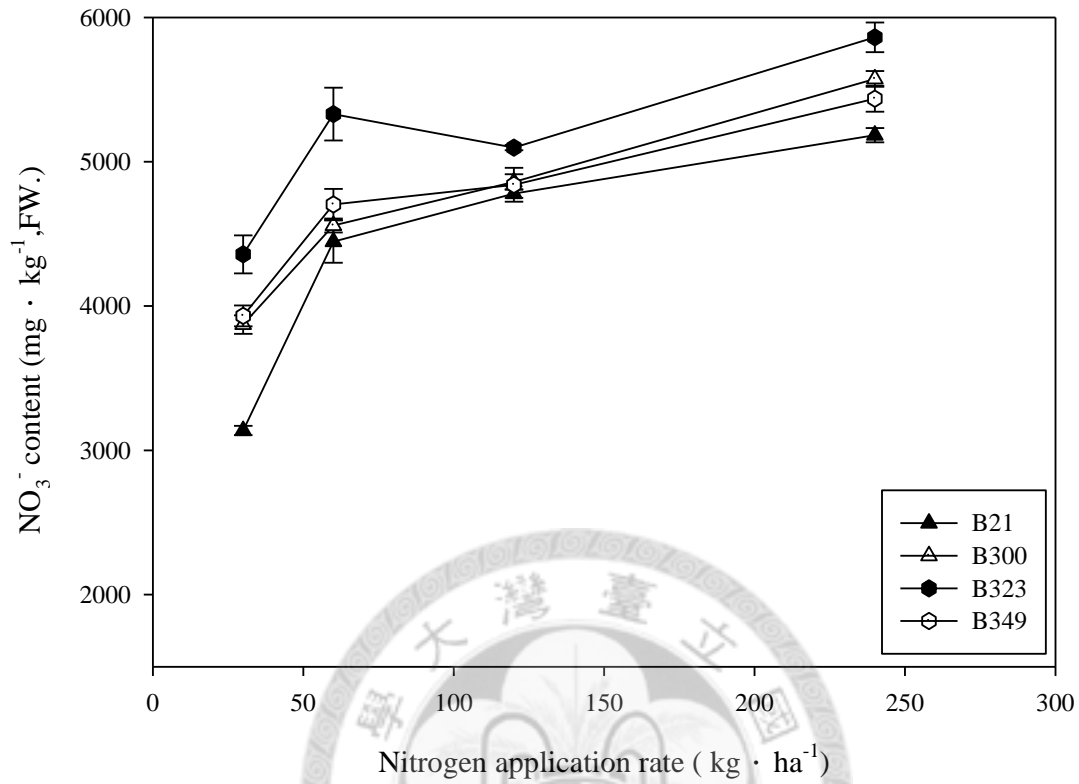


圖 13.春季施氮肥量處理對四品種小白菜葉柄硝酸鹽含量之影響。

2011年3月21日播種。2011年4月25日採收調查。

Fig. 13. The effect of four levels nitrogen application rate on nitrate content in petiole of four cultivars of Chinese mustard in spring. Seeds sowed on 21th Mar. 2011. Plants harvested on 25th Apr. 2011.

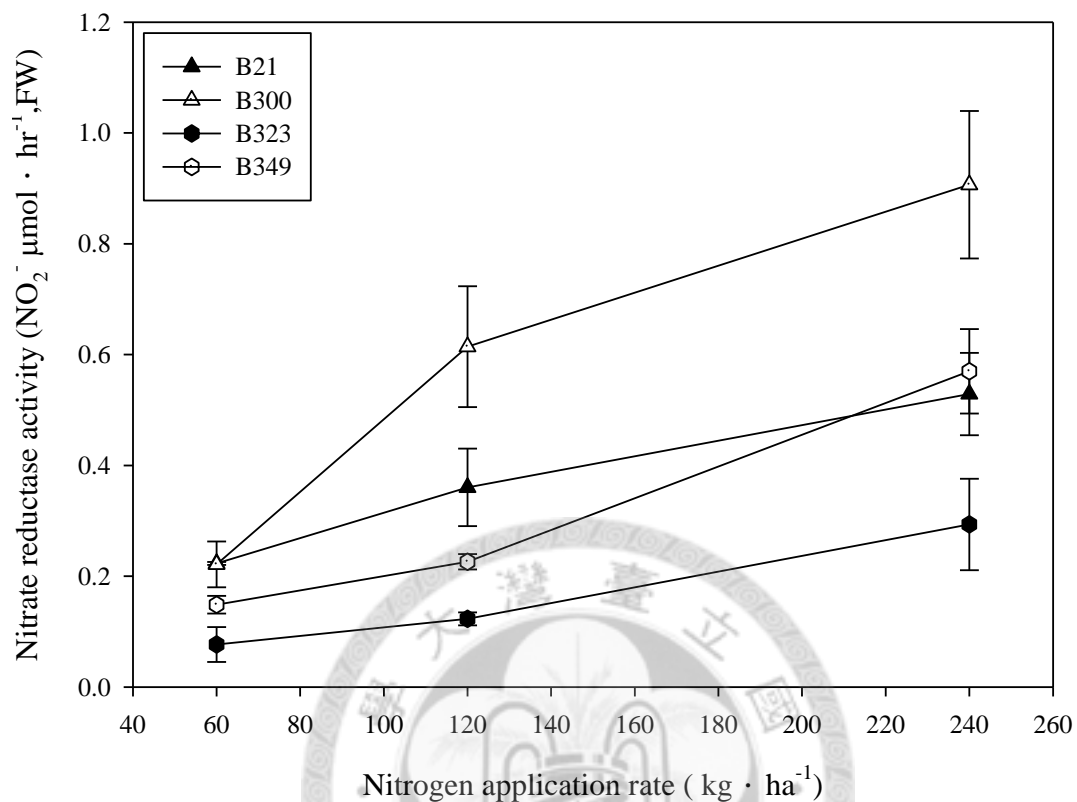


圖 14.冬季施氮肥量處理對四個小白菜品種硝酸還原酶活性之影響。

2010年11月14日播種。2010年12月19日採收調查。

Fig. 14. The effect of three levels nitrogen application rate on nitrate reductase activity of four cultivars of Chinese mustard in winter. Seeds sowed on 14th Nov. 2010. Plants harvested on 19th Dec. 2010.

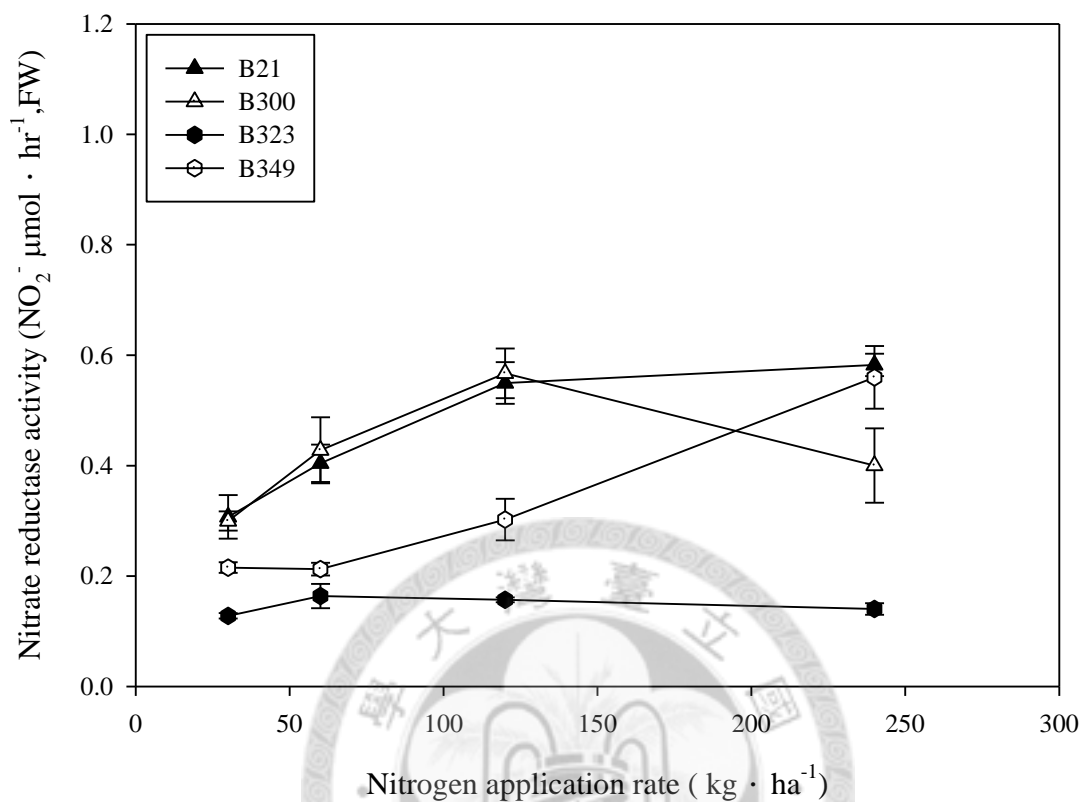


圖 15.春季施氮肥量處理對四個小白菜品種硝酸還原酶活性之影響。

2011年3月21日播種。2011年4月25日採收調查。

Fig. 15. The effect of four levels nitrogen application rate on nitrate reductase activity of four cultivars of Chinese mustard in spring. Seeds sowed on 21th Mar. 2011. Plants harvested on 25th Apr. 2011.

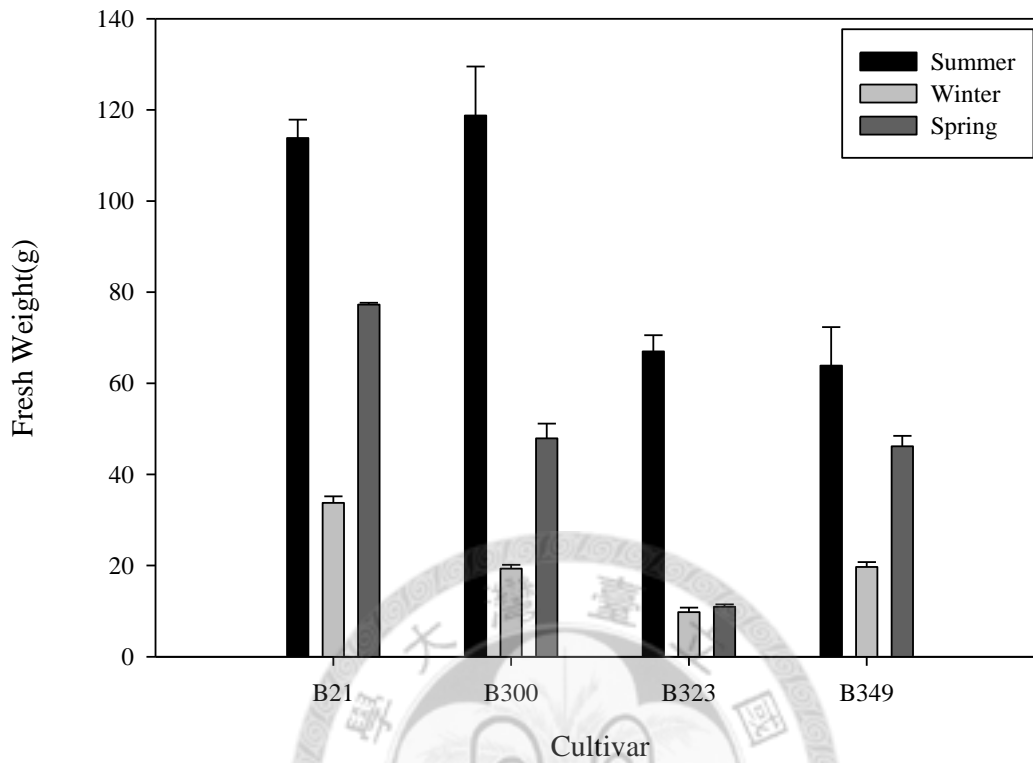


圖 16.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜鮮重之影響。

Fig. 16. The effect of seasons on fresh weight of four cultivars of Chinese mustard by applying $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ nitrogen fertilizer.

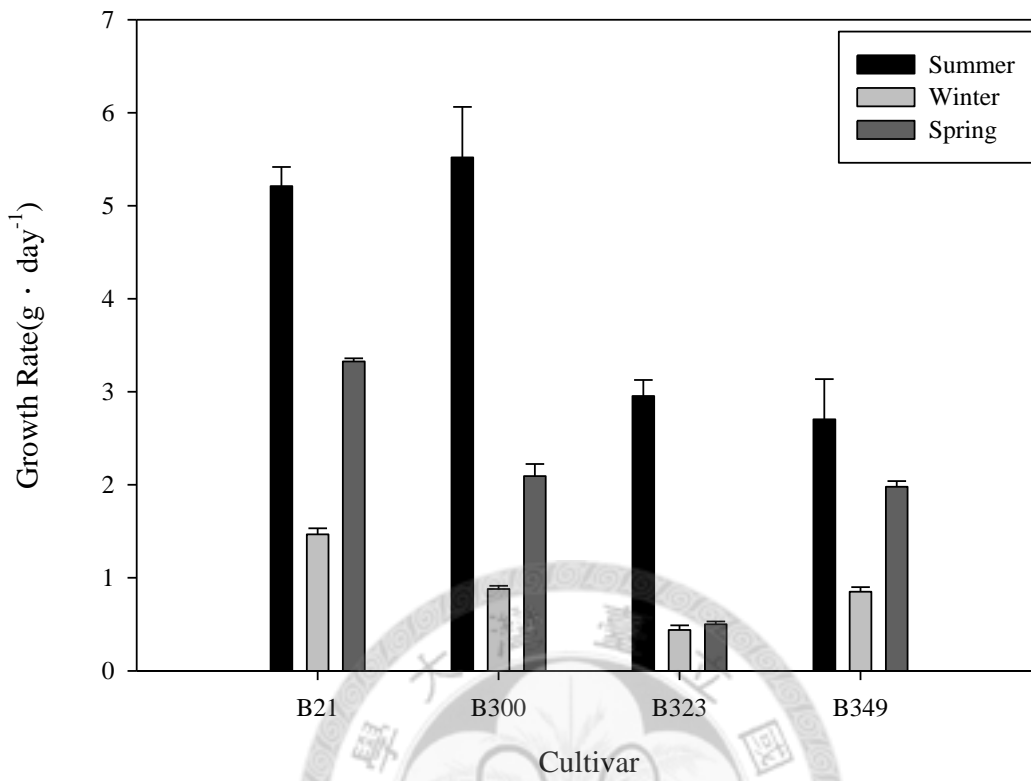


圖 17.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜生長速率之影響。

Fig. 17. The effect of seasons on growth rate of four cultivars of Chinese mustard by applying 120 kg · ha⁻¹ nitrogen fertilizer.

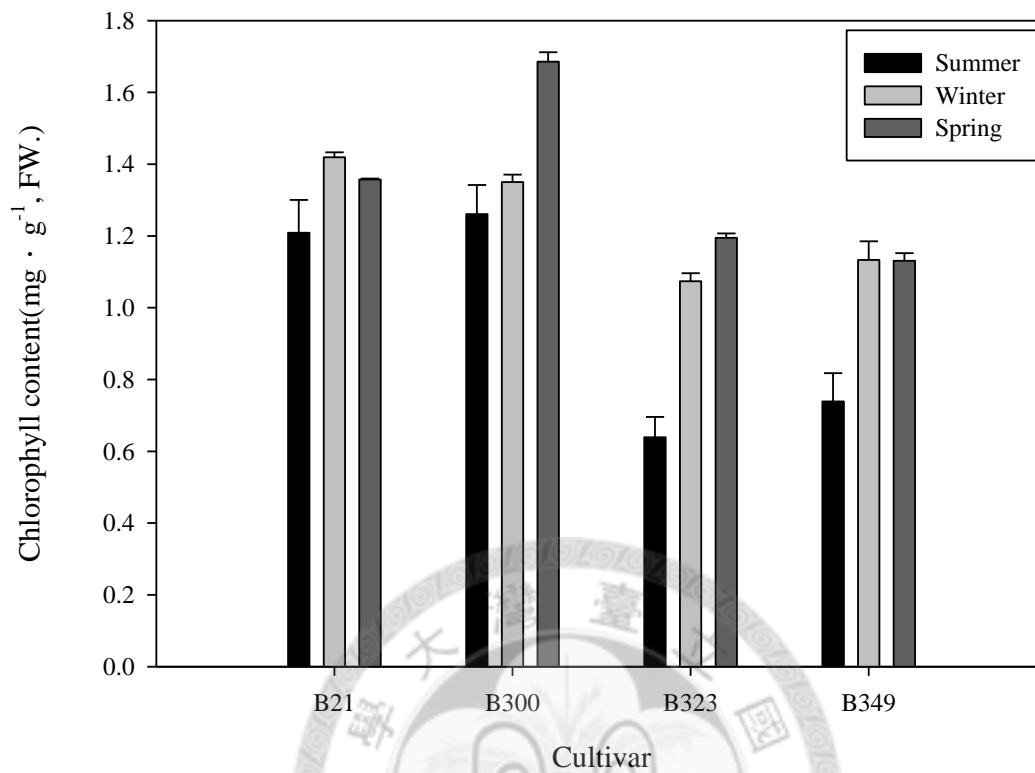


圖 18.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜葉綠素含量之影響。

Fig. 18.The effect of seasons on chlorophyll content of four cultivars of Chinese mustard by applying 120 kg · ha⁻¹ nitrogen fertilizer.

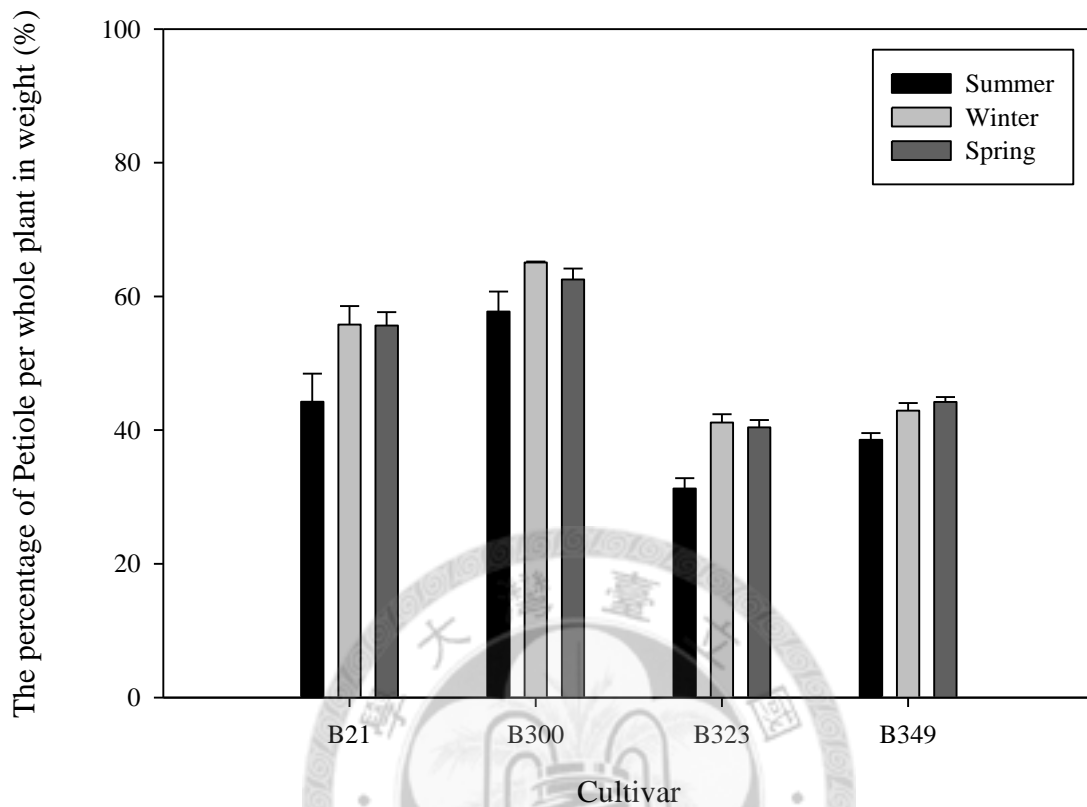


圖 19.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜葉柄重占全株重比率之影響。

Fig. 19. The effect of seasons on the percentage of petiole per whole plant in weight of four cultivars of Chinese mustard by applying $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ nitrogen fertilizer.

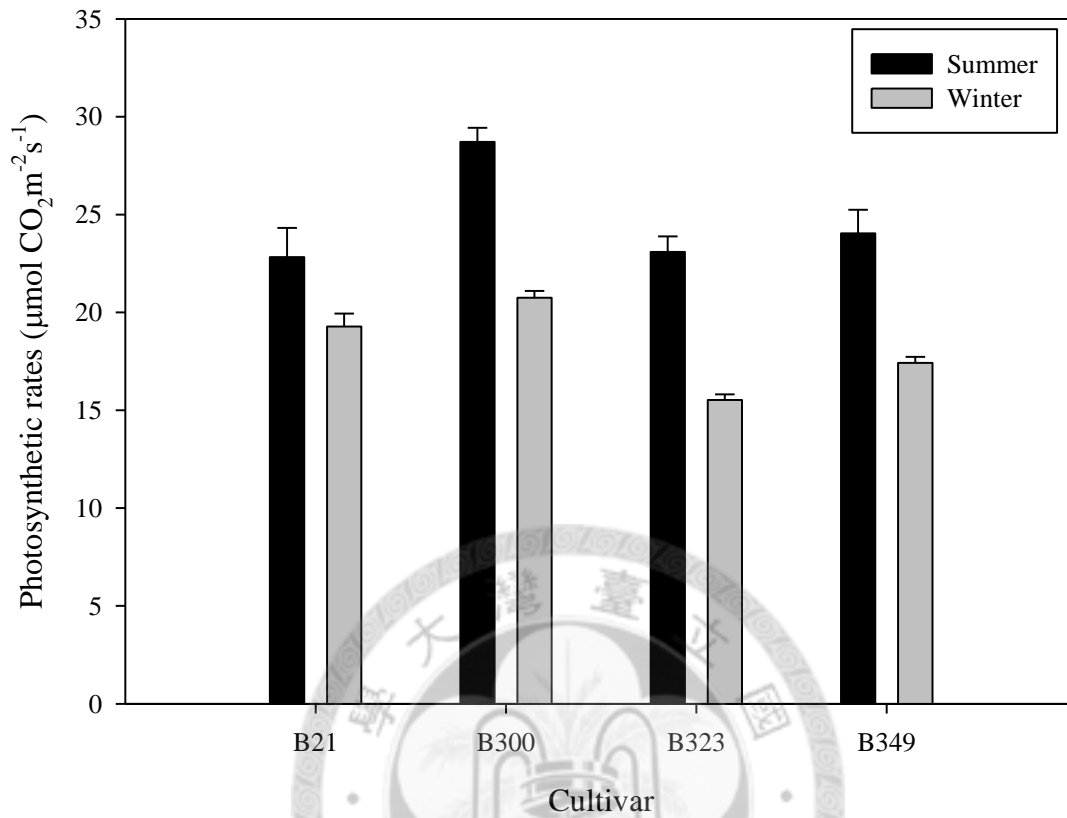


圖 20. 不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜光合作用速率之影響。

Fig. 20. The effect of seasons on the photosynthetic rate of plant of four cultivars of Chinese mustard by applying $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ nitrogen fertilizer.

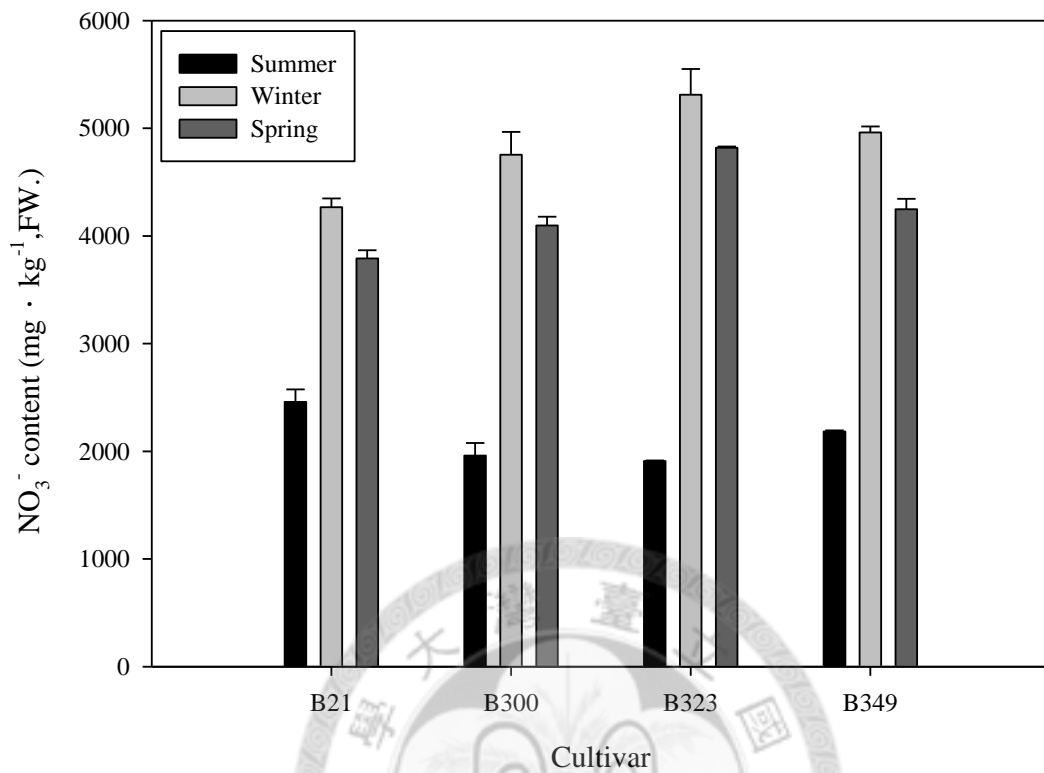


圖 21.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜全株硝酸鹽含量之影響。

Fig. 21. The effect of seasons on nitrate content in plant of four cultivars of Chinese mustard by applying 120 kg · ha⁻¹ nitrogen fertilizer.

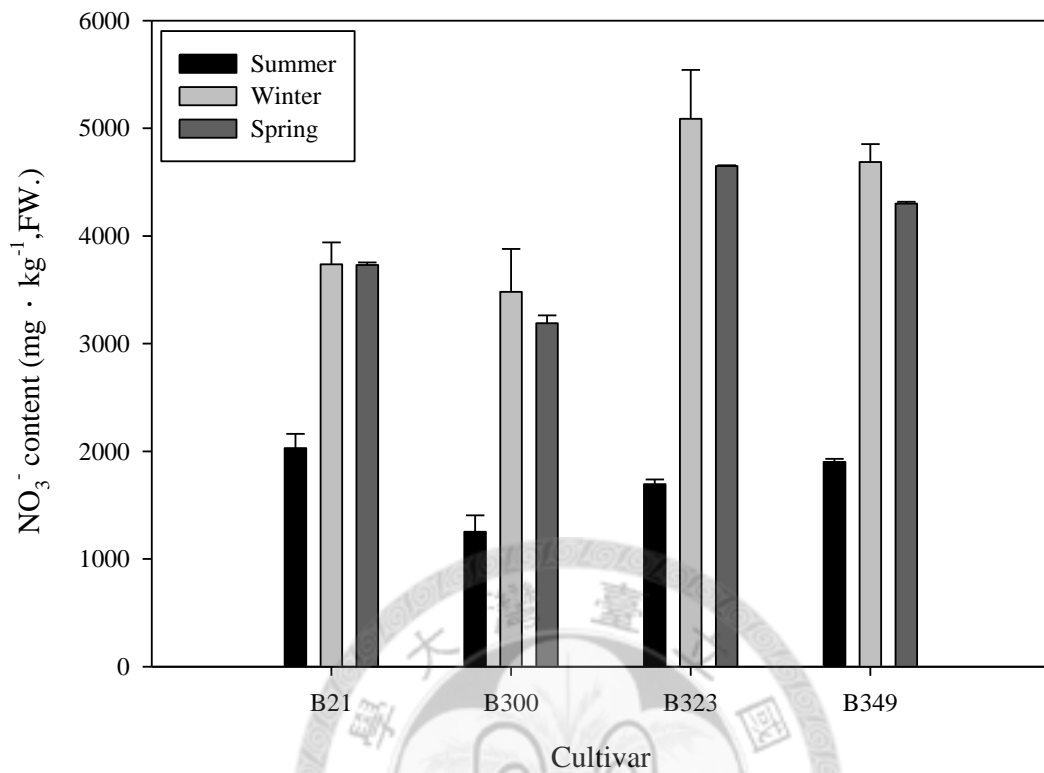


圖 22.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜葉身硝酸鹽含量之影響。

Fig. 22. The effect of seasons on nitrate content in leaf blade of four cultivars of Chinese mustard by applying 120 kg · ha⁻¹ nitrogen fertilizer.

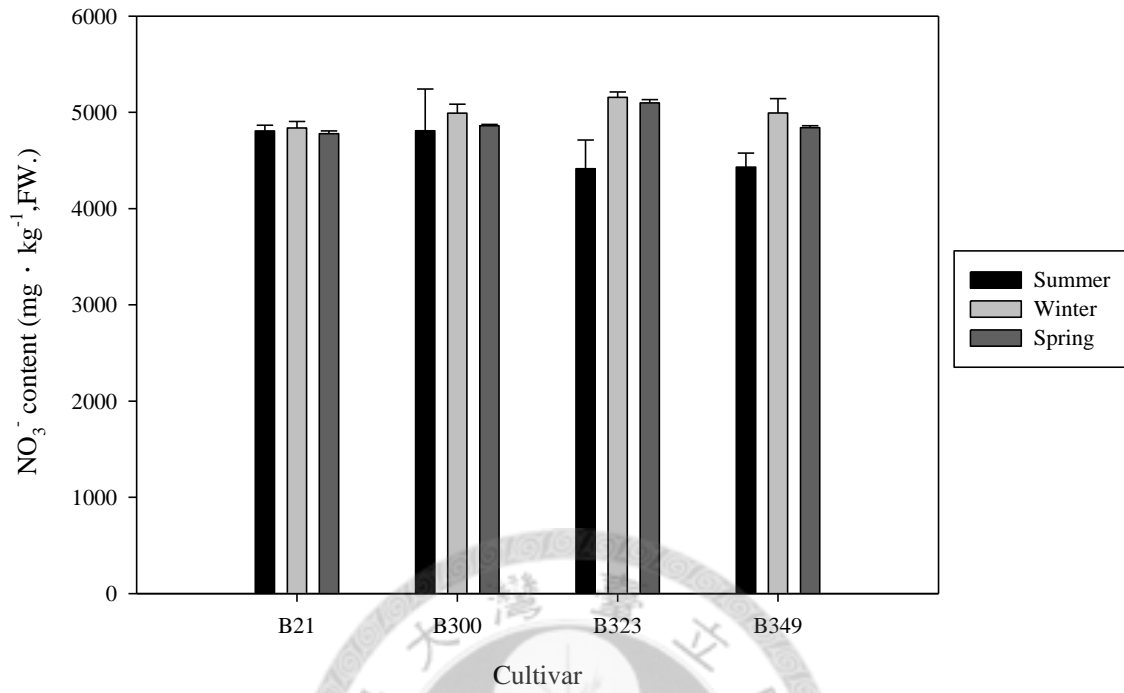


圖 23.不同栽培季節施用推薦施肥量對小白菜葉柄硝酸鹽含量之影響。

Fig. 23. The effect of seasons on nitrate content in petiole of four cultivars of Chinese mustard by applying 120 kg · ha⁻¹ nitrogen fertilizer.

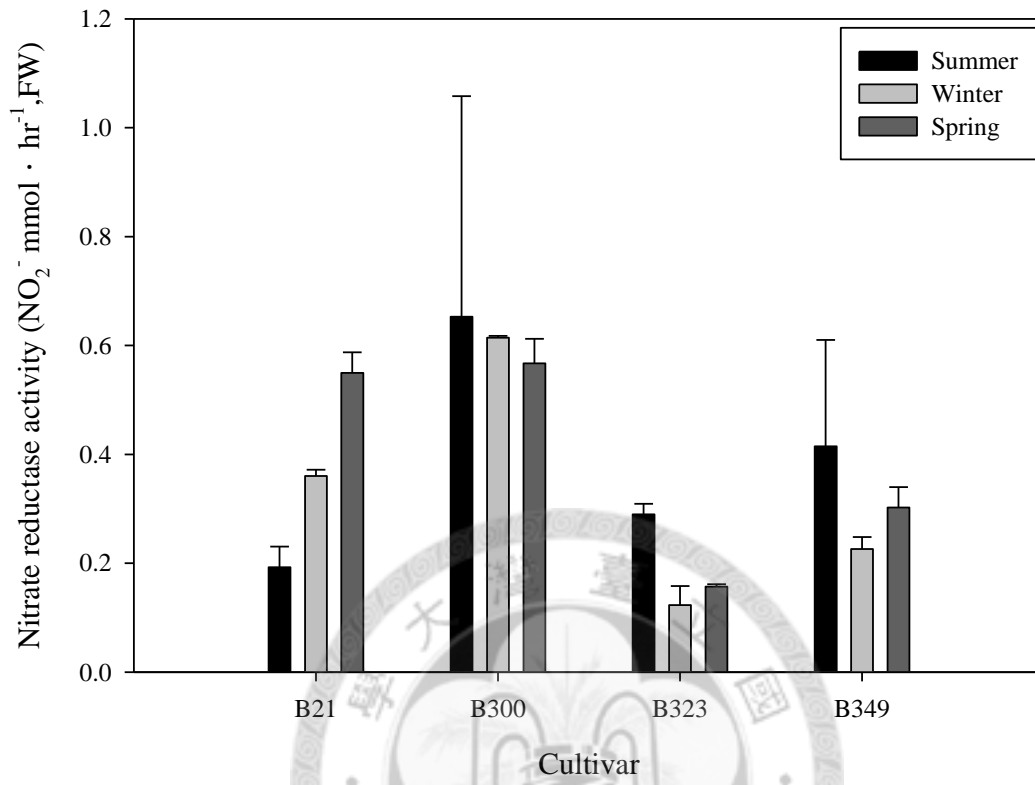


圖 24.不同栽培季節施用推薦施肥量栽培對小白菜葉片硝酸還原酶活性之影響

Fig. 24. The effect of seasons on nitrate reductase activity of four cultivars of Chinese mustard by applying $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ nitrogen fertilizer.

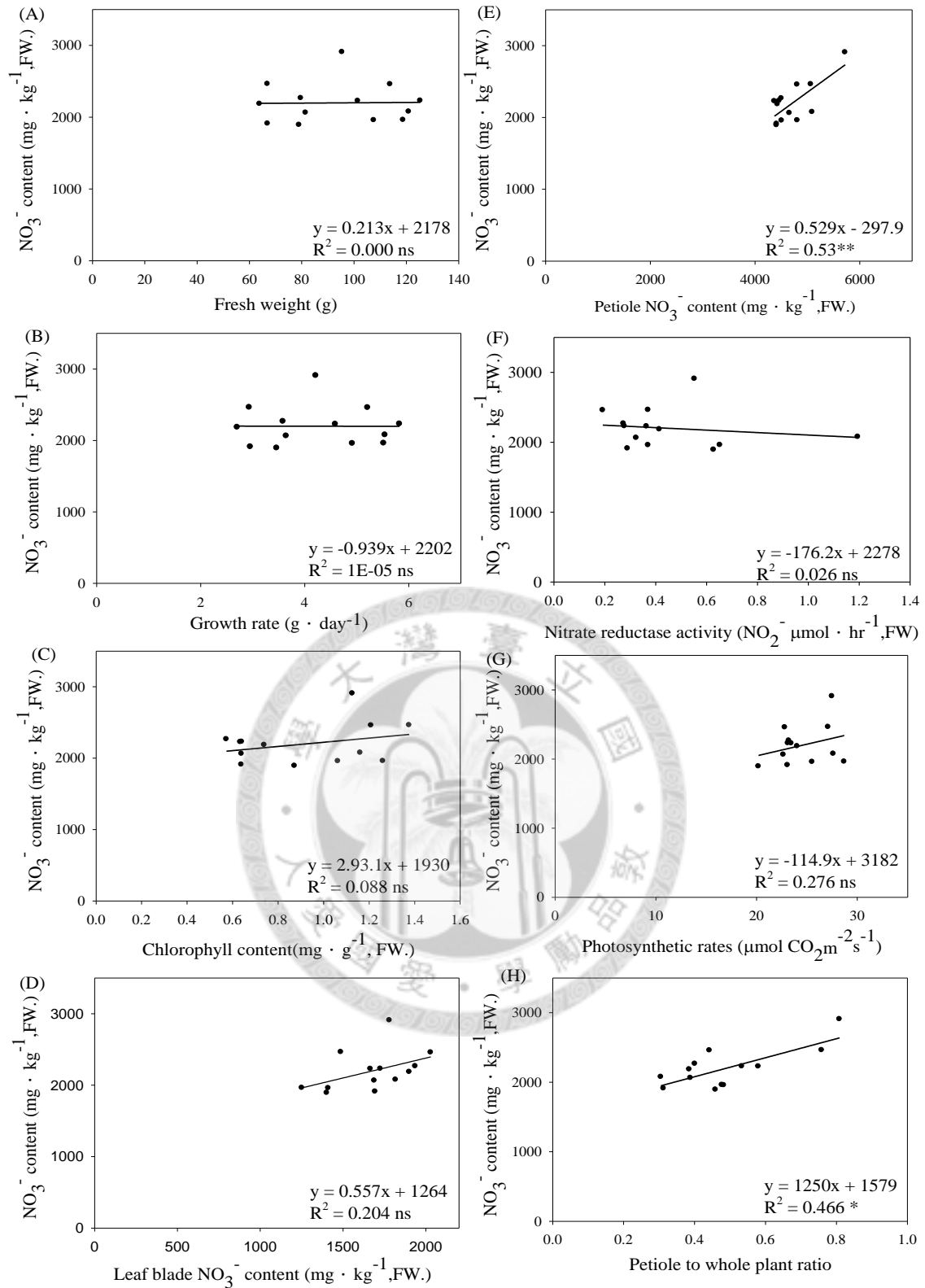


圖 25. 夏季小白菜品種生理性狀與全株硝酸鹽含量相關性分析。

Fig. 25. Relationship between physiological characters of plants and nitrate content of plant for 13 cultivars Chinese mustard in summer.

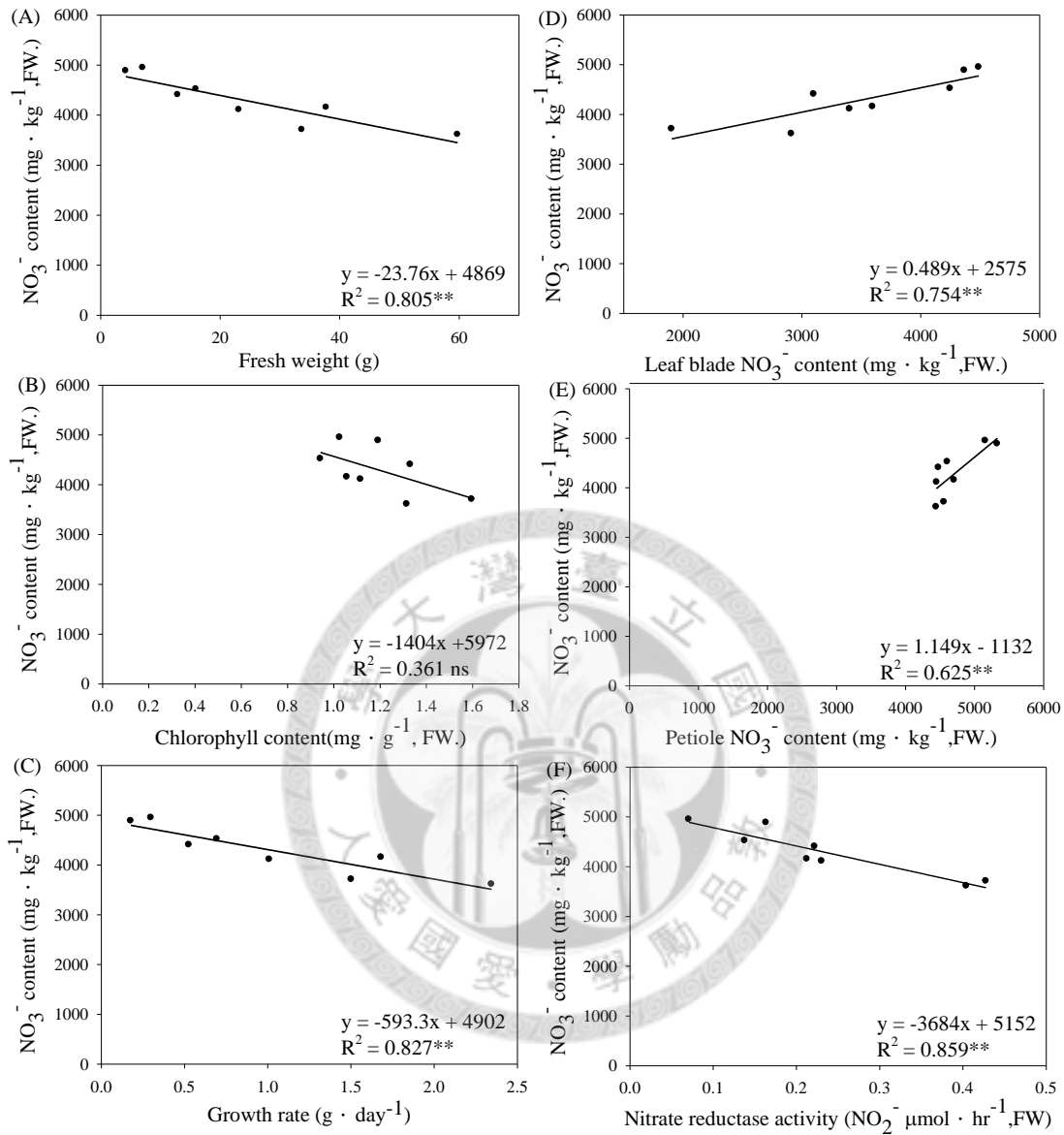


圖 26. 冬季及春季氮肥施用量 $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 小白菜品種生理性狀與全株硝酸鹽含量相關性分析。

Fig. 26. Relationship between physiological characters of plants and nitrate content of plant for Chinese mustard by applying nitrogen fertilizer rate $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ in winter and spring.

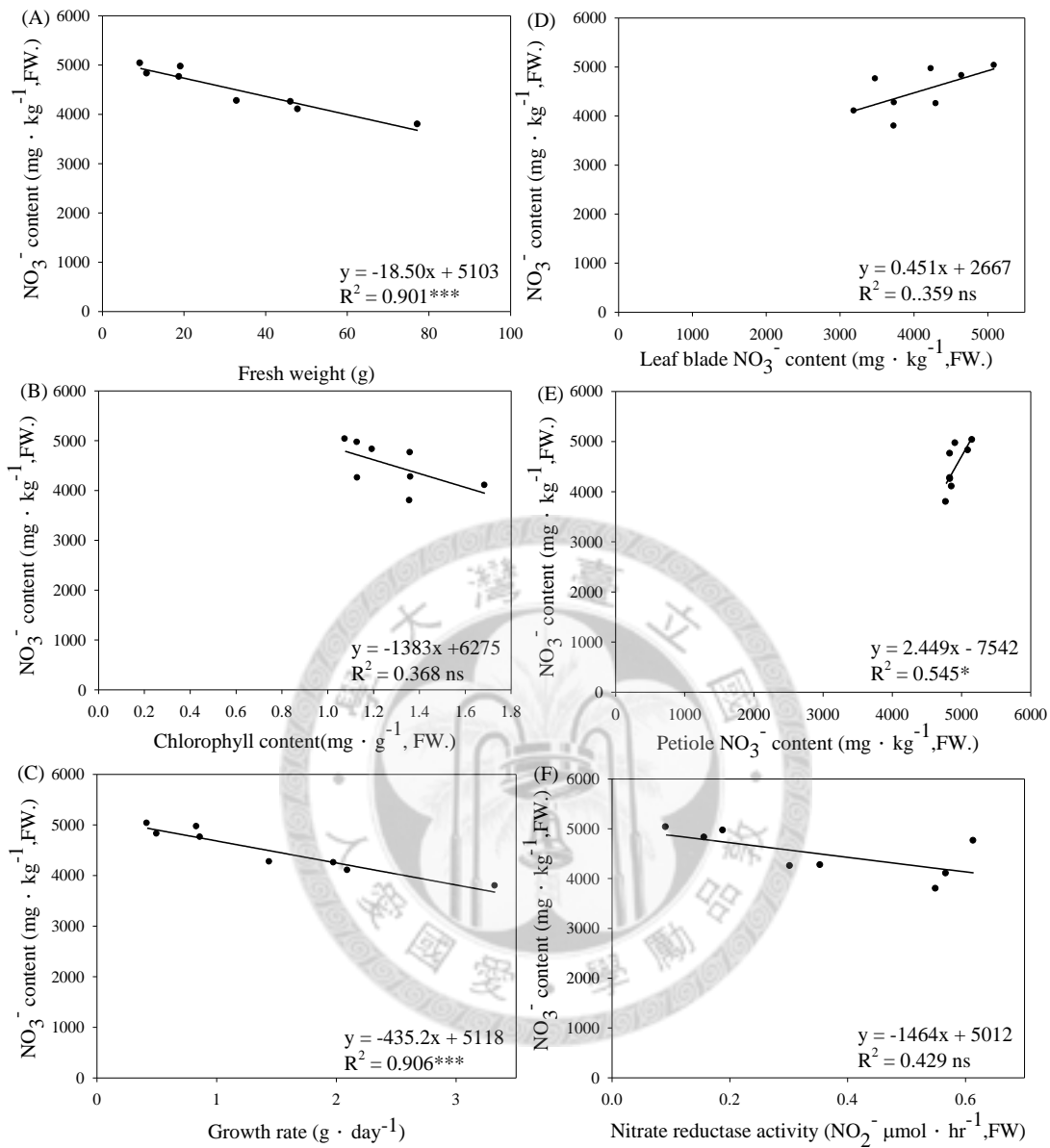


圖 27. 冬季及春季氮肥施用量 $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 小白菜品種生理性狀與全株硝酸鹽含量相關性分析。

Fig. 27. Relationship between physiological characters of plants and nitrate content of plant for Chinese mustard by applying nitrogen fertilizer rate $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ in winter and spring.

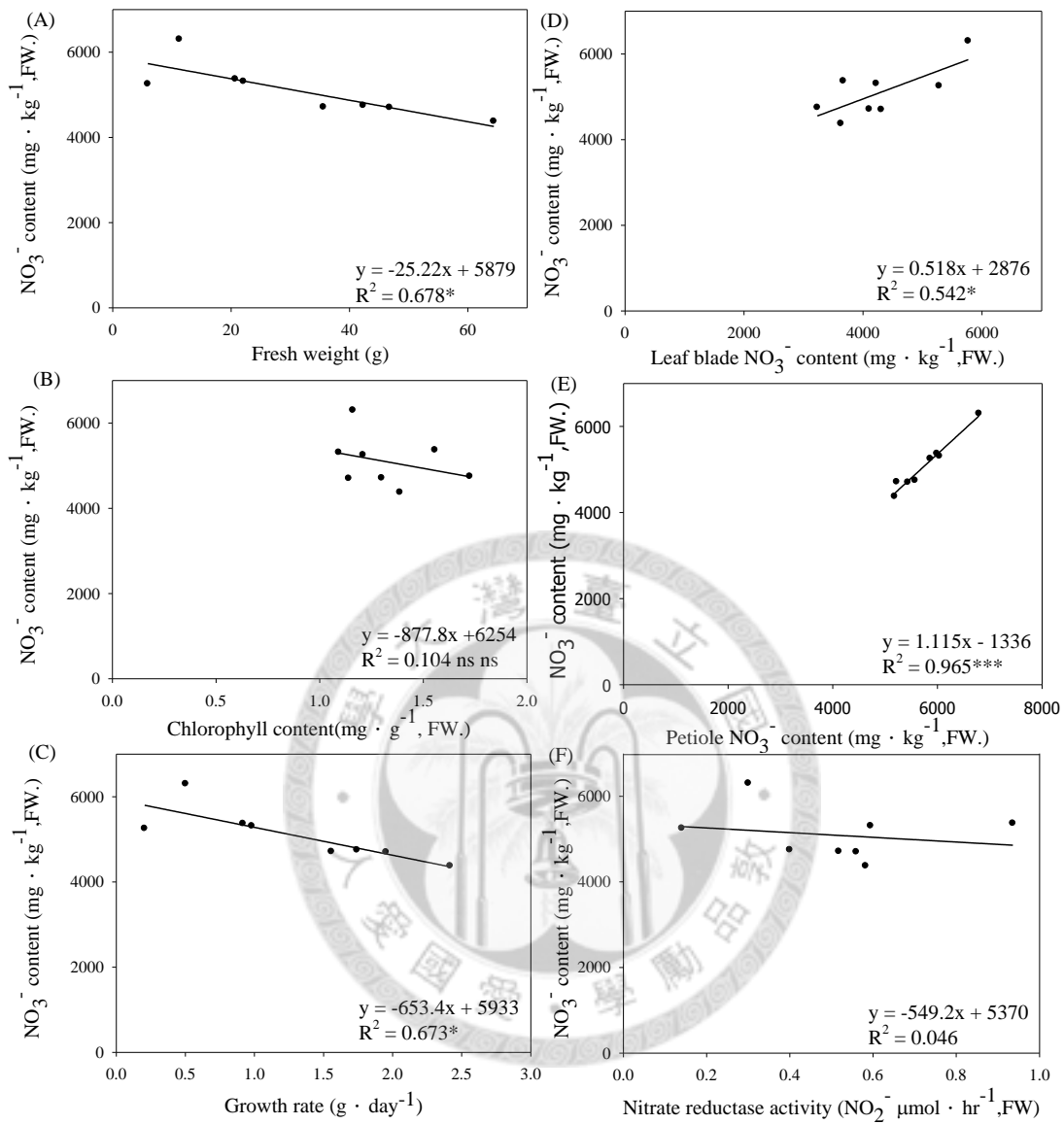


圖 28. 冬季及春季氮肥施用量 $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 小白菜品種生理性狀與全株硝酸鹽含量相關性分析。

Fig. 28. Relationship between physiological characters of plants and nitrate content of plant for Chinese mustard by applying nitrogen fertilizer rate $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ in winter and spring.

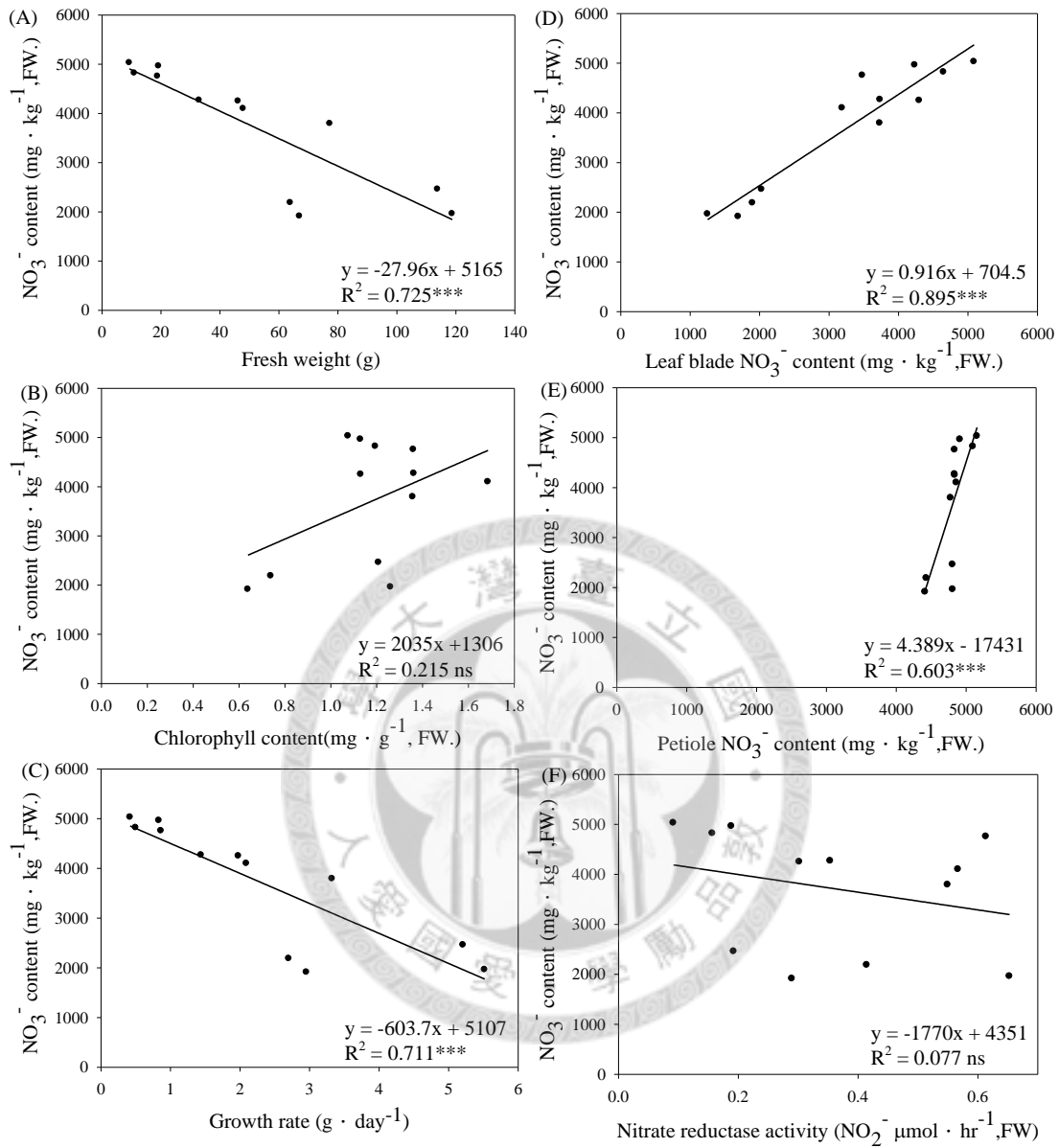


圖 29. 夏冬春三季小菜品種生理性狀與全株硝酸鹽含量相關性分析。

Fig. 29. Relationship between physiological characters of plants and nitrate content of plant for Chinese mustard in three seasons.

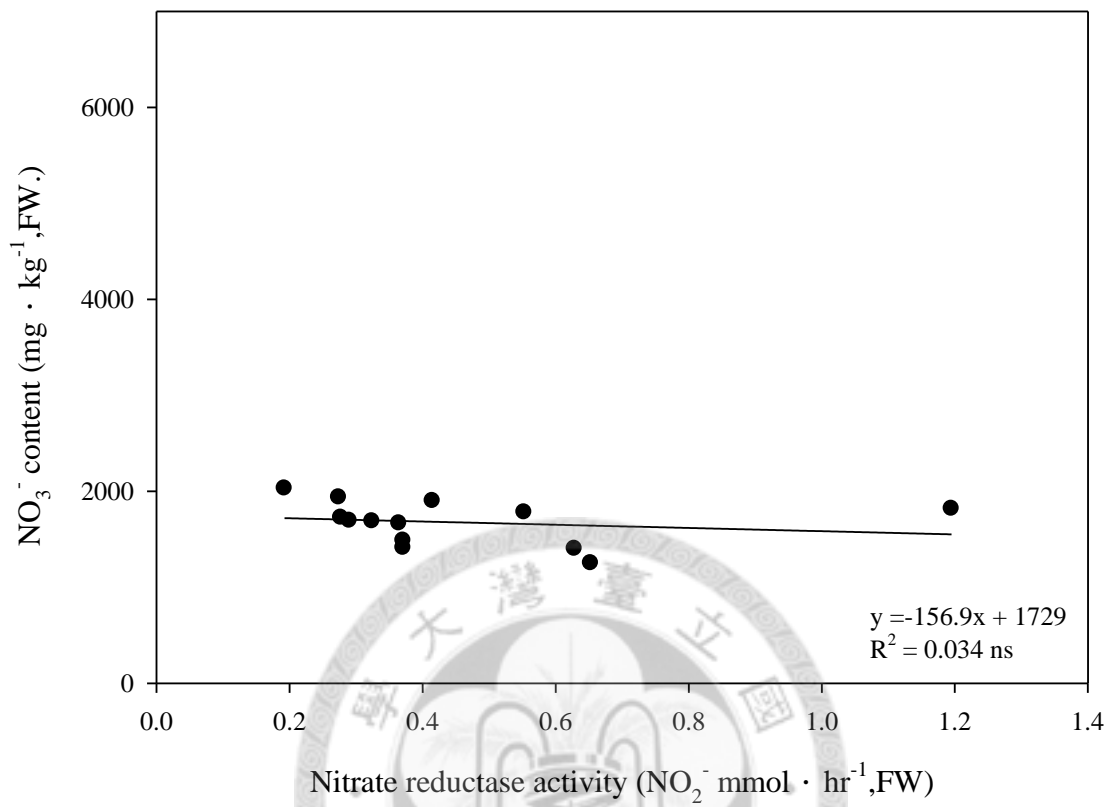


圖 30.夏季小白菜品種葉片硝酸鹽含量與硝酸還原酶活性相關性分析。

Fig. 30. Relationship between nitrate reductase activity of leaf and nitrate content of leaf for 13 cultivars Chinese mustard in summer.

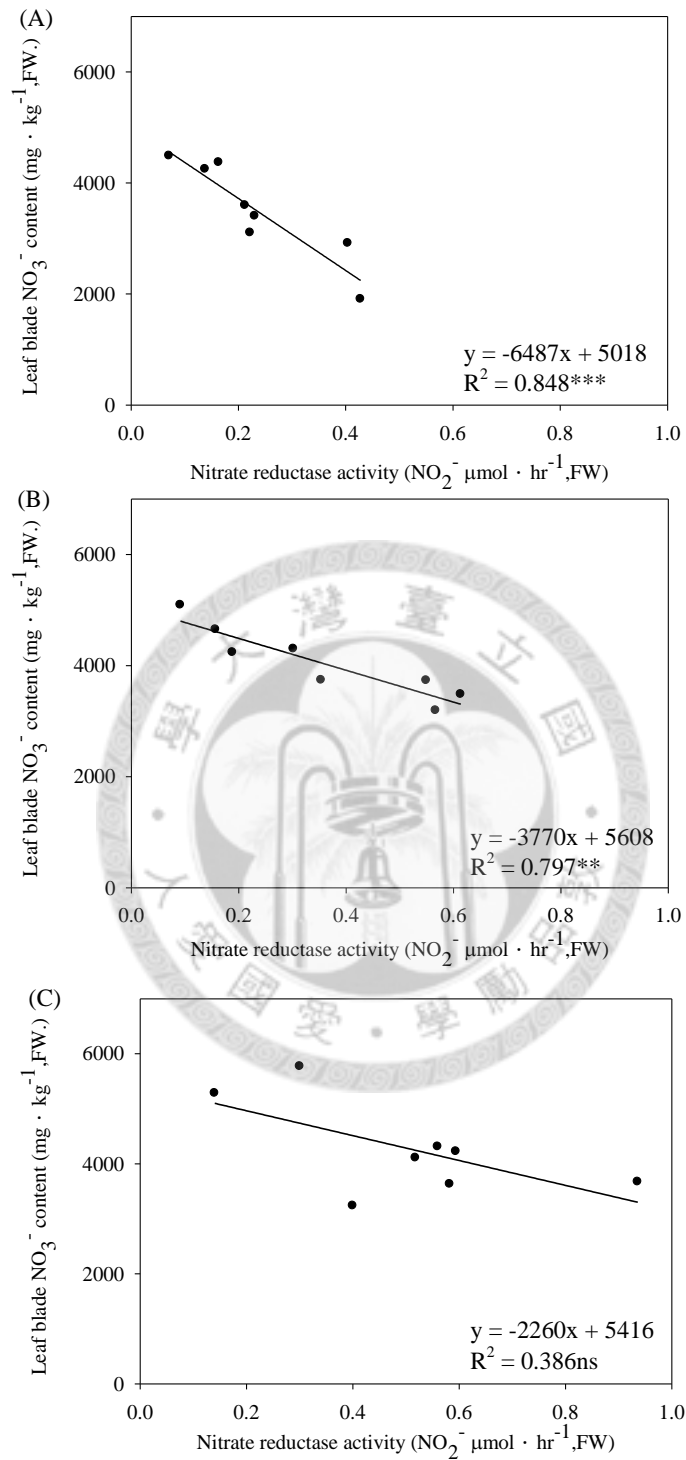


圖 31.冬春季施肥試驗小白菜葉片硝酸鹽含量與硝酸還原酶活性相關性分析。

Fig. 31. Relationship between nitrate reductase activity of leaf and nitrate content of leaf for 4 cultivars Chinese mustard in winter and spring.

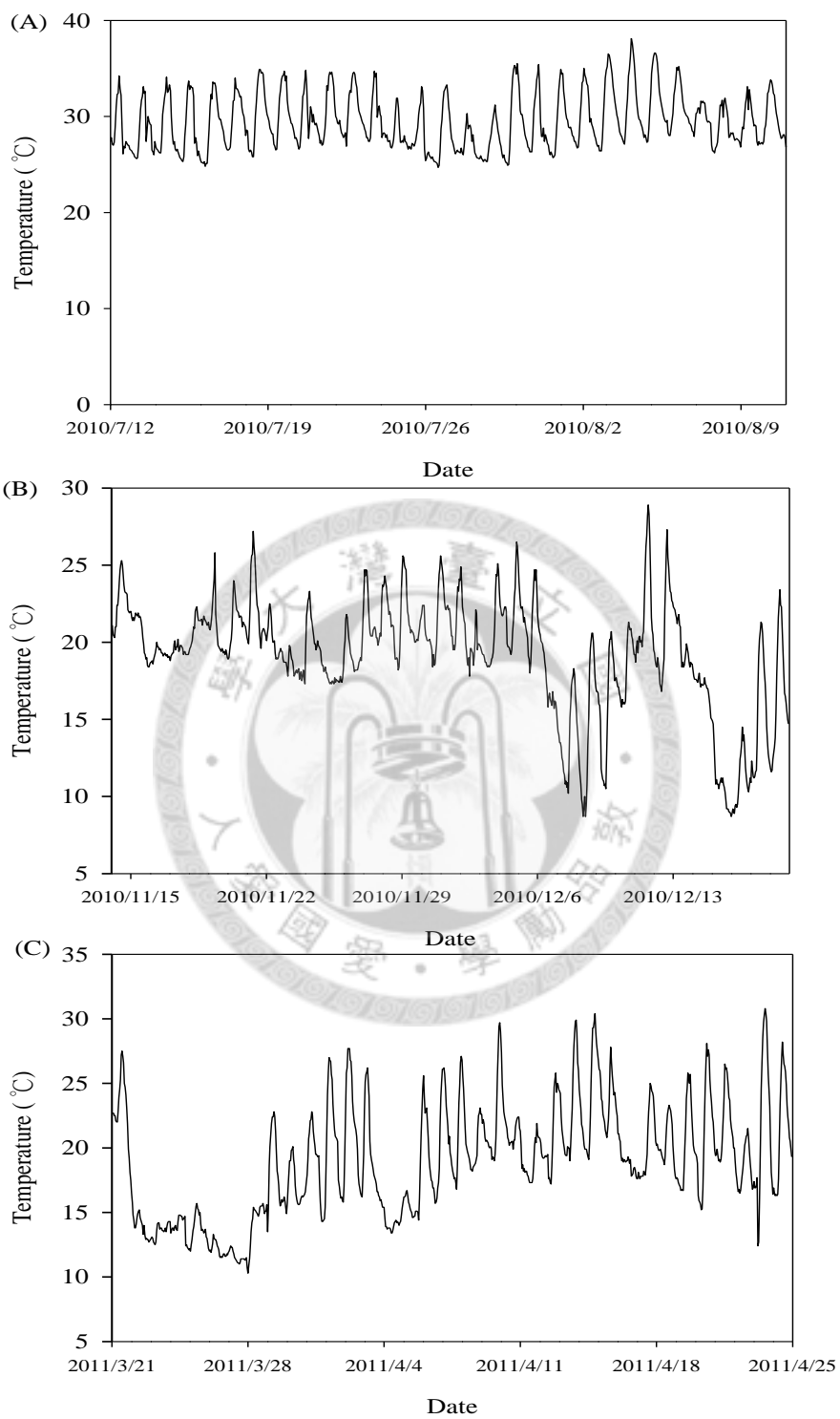


圖 32.夏季(A)、冬季(B)及春季(C)栽培期間溫度變化。

Fig. 32. Changes of temperature during the cultivations in summer(A), winter(B), and spring(C).

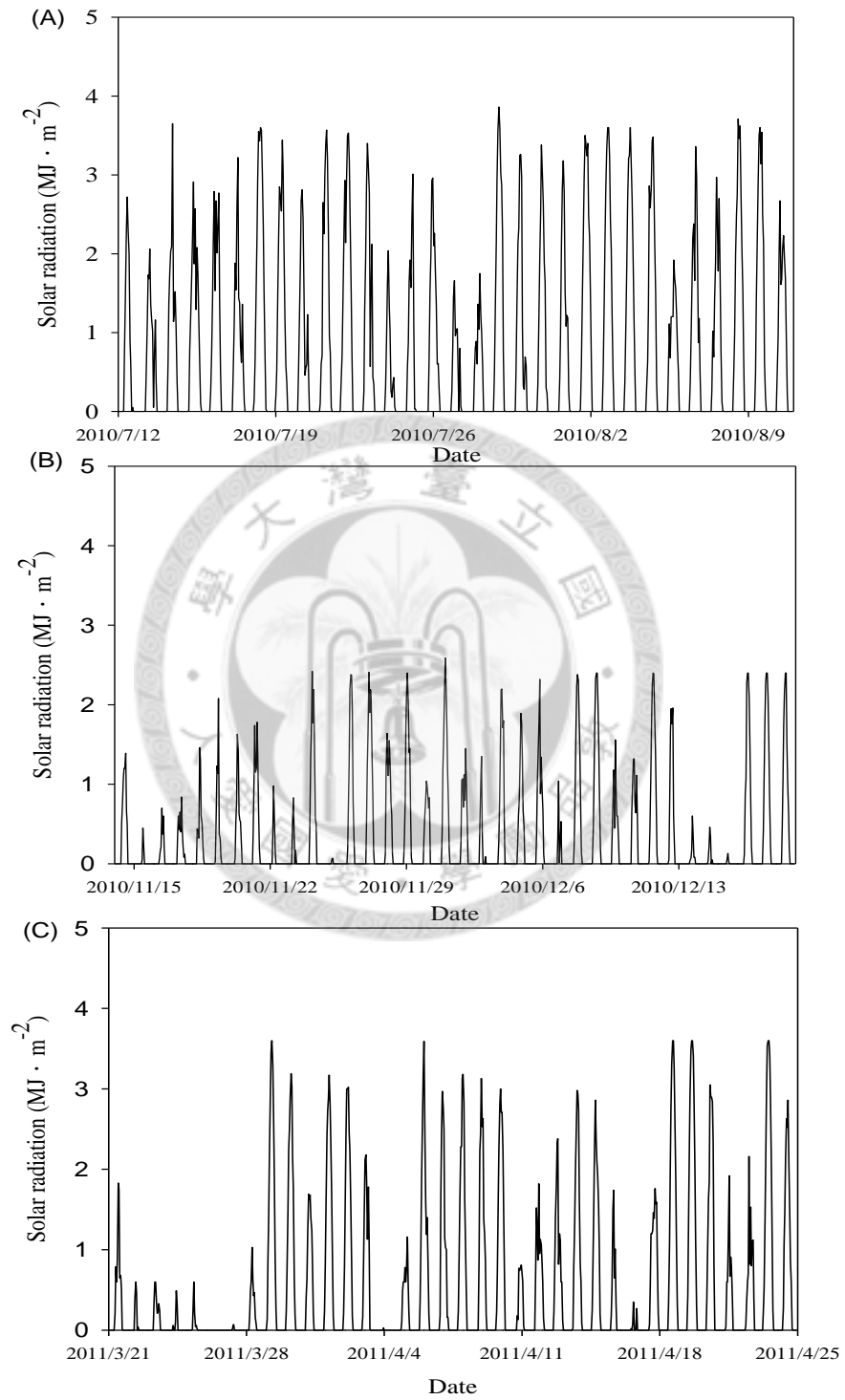


圖 33. 夏季(A)、冬季(B)及春季(C)栽培期間日射量變化。

Fig. 33. Changes of solar radiation during the cultivations in summer(A), winter(B), and spring(C).

表 1.小白菜品種資料

Table 1. Information of Chinese mustard cultivars.

Cultivar ^Z	Generation	Plant Shape ^y	Source	Name of Cultivars
B21	F1	齒	Tokita	鳳京白菜
B299	F1	齒	Sakata	SHIKINOIRODORI
B300	F1	齒	FIRST SEED CO.	四季の彩
A	-	齒	興農種苗	蚵仔白菜
E	-	齒	三光種子行	切葉白菜(東京白)
B196	F1	平	武藏野種苗	金光菜
B265	F1	平	Tokita	王冠白菜
B287	OP	平	農友種苗	三鳳二號
B298	F1	平	誼禾種苗有限 公司	交配鑽石白菜
B317	F1	平	丸種株式會社	京の四季しろば
B322	F1	平	台灣農產企業 股份有限公司	金黃白菜台一號
B323	F1	平	台灣農產企業 股份有限公司	金黃白菜台二號
B349	F1	平	Tokita	彩玉白菜

^Z A 及 E 品種由三光種子行購得，其他品種種子由鳳試所王三太 主任提供。

A and B cultivar bought from “三光”seed store. The other seeds were offered by Director Wang.

^y 植株分為齒葉及平葉品種兩種類型。

The plant shapes were two types.

表 2.夏季 13 個小白菜品種的鮮重、葉長、葉寬、相對生長速率

Table 2.The fresh weight ,leaf length ,leaf width ,and growth rate of thirteen cultivars of Chinese mustard in summer.

cultivar	Fresh weight (g/plant)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Growth rate (g/day Fw.)	Chlorophyll content (mg/g Fw.)
B21	113.83	38.79	19.69	5.21	1.21
B299	120.95	32.00	16.61	5.54	1.16
B300	118.78	32.63	16.74	5.52	1.26
A	66.91	27.14	13.84	2.93	1.38
E	107.57	35.74	16.10	4.92	1.06
B196	101.50	35.62	18.16	4.59	0.63
B265	81.52	30.24	15.37	3.65	0.64
B287	79.70	32.46	18.33	3.58	0.57
B298	125.36	33.30	19.56	5.82	0.64
B317	95.45	37.87	16.14	4.21	1.13
B322	79.03	34.28	18.51	3.46	0.87
B323	66.99	31.57	16.37	2.96	0.64
B349	63.88	30.76	14.98	2.70	0.74
LSD _{0.05}	27.54 ^z	4.61	3.12	1.13	0.22

^zLSD 檢定各處理間 $P \leq 0.05$ 時達顯著差異。

Mean separation within columns by LSD test at $P \leq 0.05$.

^y 2010 年 7 月 12 日播種。2010 年 8 月 11 日採收調查。

Seeds sowed on 12th Jul. 2010. Plants harvested on 11th Aug. 2010.

表 3.冬季及春季試驗前土壤含氮量及 pH 值

Table 3.The soil pH and nitrogen content (%) before sowing in winter and spring.

	Nitrogen content (%)	Soil pH
Winter ^Z	0.23±0.01	4.90±0.05
	0.23±0.01	4.72±0.14
	0.22±0.00	5.01±0.08
Spring ^X	0.21±0.00	4.95±0.08
	0.21±0.00	4.95±0.08
	0.21±0.01	5.00±0.00

^Z 土壤採樣時間 2010 年 11 月 6 日

Time of soil sampling before sowing was on 6th Nov. 2010

^X 土壤採樣時間 2011 年 2 月 26 日

Time of soil sampling before sowing was on 26th Feb. 2011



表 4.冬季施氮肥量對四個品種小白菜全株鮮重之影響

Table 4.The effect of three levels nitrogen application rate on the fresh weight (g) of four cultivars of Chinese mustard in winter.

cultivar	Nitrogen application rate(kg·ha ⁻¹)			LSD _{0.05}
	60	120	240	
B21	23.15 _a ^B	32.99 _a ^A	35.60 _a ^A	5.38
B300	12.92 _b ^B	18.88 _b ^{AB}	20.72 _b ^A	6.71
B323	7.04 _c ^B	9.31 _c ^{AB}	11.28 _c ^A	2.50
B349	15.96 _b ^B	19.24 _b ^{AB}	22.10 _b ^A	4.90
LSD _{0.05}	3.21 ^z	2.7	7.31	

^z LSD 檢定各處理間 $P \leq 0.05$ 時達顯著差異。大寫字母表示氮肥處理差異，小寫字母表示品種差異。

Mean separation within columns and row by LSD test at $P \leq 0.05$. Capital letters correspond to the comparison between nitrogen application rate, and small letters correspond to the comparison between cultivars

^y 2010 年 11 月 14 日播種。2010 年 12 月 19 日採收調查。

Seeds sowed on 14th Nov. 2010. Plants harvested on 19th Dec. 2010.

表 5.冬季施氮肥量對四個品種小白菜葉綠素含量之影響

Table 5.The effect of three levels nitrogen application rate on the chlorophyll content (mg·g⁻¹, FW.) of four cultivars of Chinese mustard in winter.

cultivar	Nitrogen application rate(kg·ha ⁻¹)			LSD _{0.05}
	60	120	240	
B21	1.12 _b ^B	1.36 _a ^A	1.30 _a ^A	0.14
B300	1.33 _a ^B	1.36 _a ^B	1.56 _b ^A	0.06
B323	1.03 _{bc} ^B	1.08 _b ^{AB}	1.16 _c ^A	0.09
B349	0.94 _c ^B	1.13 _b ^A	1.09 _c ^A	0.78
LSD _{0.05}	0.10 ^z	0.11	0.07	

^z LSD 檢定各處理間 P ≤ 0.05 時達顯著差異。大寫字母表示氮肥處理差異，小寫字母表示品種差異。

Mean separation within columns and row by LSD test at P ≤ 0.05. Capital letters correspond to the comparison between nitrogen application rate, and small letters correspond to the comparison between cultivars

^y 2010 年 11 月 14 日播種。2010 年 12 月 19 日採收調查。

Seeds sowed on 14th Nov. 2010. Plants harvested on 19th Dec. 2010.

表 6.冬季施氮肥量對四個品種小白菜生長速率之影響

Table 6.The effect of three levels nitrogen application rate on the growth rate ($\text{g} \cdot \text{day}^{-1}$) of four cultivars of Chinese mustard in winter

cultivar	Nitrogen application rate($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)			LSD _{0.05}
	60	120	240	
B21	1.01 _a ^B	1.44 _a ^A	1.56 _a ^A	0.23
B300	0.53 _c ^B	0.86 _b ^A	0.92 _b ^A	0.31
B323	0.30 _d ^B	0.42 _c ^A	0.50 _c ^A	0.11
B349	0.70 _b ^B	0.83 _b ^{AB}	0.98 _b ^A	0.21
LSD _{0.05}	0.15 ^z	0.13	0.32	

^z LSD 檢定各處理間 $P \leq 0.05$ 時達顯著差異。大寫字母表示氮肥處理差異，小寫字母表示品種差異。

Mean separation within columns and row by LSD test at $P \leq 0.05$. Capital letters correspond to the comparison between nitrogen application rate, and small letters correspond to the comparison between cultivars

^y 2010 年 11 月 14 日播種。2010 年 12 月 19 日採收調查。

Seeds sowed on 14th Nov. 2010. Plants harvested on 19th Dec. 2010.

表 7.冬季施氮肥量對四個品種小白菜光合作用速率之影響

Table 7.The effect of three levels nitrogen application rate on the photosynthetic rate ($\mu\text{ mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) of four cultivars of Chinese mustard in winter.

cultivar	Nitrogen application rate($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)			LSD _{0.05}
	60	120	240	
B21	18.43 _{ab} ^A	19.28 _b ^A	19.30 _{ab} ^A	2.37
B300	20.78 _a ^A	20.75 _a ^A	19.67 _a ^A	2.64
B323	18.76 _{ab} ^A	15.52 _d ^B	16.75 _{bc} ^{AB}	1.62
B349	17.22 _b ^A	17.42 _c ^A	17.15 _c ^A	1.77
LSD _{0.05}	2.32 ^z	1.27	0.32	

^z LSD 檢定各處理間 $P \leq 0.05$ 時達顯著差異。大寫字母表示氮肥處理差異，小寫字母表示品種差異。

Mean separation within columns and row by LSD test at $P \leq 0.05$. Capital letters correspond to the comparison between nitrogen application rate, and small letters correspond to the comparison between cultivars

^y 2010 年 11 月 14 日播種。2010 年 12 月 19 日採收調查。

Seeds sowed on 14th Nov. 2010. Plants harvested on 19th Dec. 2010.

表 8.春季施氮肥量對四個品種小白菜全株鮮重之影響。

Table 8.The effect of four levels nitrogen application rate on the fresh weight (g) of four cultivars of Chinese mustard in spring.

cultivar	Nitrogen application rate(kg·ha ⁻¹)				LSD _{0.05}
	30	60	120	240	
B21	34.22 _a ^C	59.76 _a ^B	77.29 _a ^A	64.38 _a ^B	8.02
B300	23.61 _b ^C	33.70 _b ^B	47.93 _b ^A	42.33 _b ^A	0.86
B323	3.61 _c ^C	4.21 _c ^{B^C}	10.96 _c ^A	5.94 _c ^B	2.01
B349	24.94 _b ^C	37.76 _b ^B	46.19 _b ^A	46.78 _b ^A	0.51
LSD _{0.05}	4.69 ^z	6.48	6.53	7.85	

^z LSD 檢定各處理間 P ≤ 0.05 時達顯著差異。大寫字母表示氮肥處理差異，小寫字母表示品種差異。

Mean separation within columns and row by LSD test at P ≤ 0.05. Capital letters correspond to the comparison between nitrogen application rate, and small letters correspond to the comparison between cultivars

^y 2011 年 3 月 21 日播種。2011 年 4 月 25 日採收調查。

Seeds sowed on 21th Mar. 2011. Plants harvested on 25th Apr. 2011.

表 9.春季施氮肥量對四個品種小白菜葉綠素含量之影響

Table 9.The effect of four levels nitrogen application rate on the chlorophyll content (mg·g⁻¹, FW.) of four cultivars of Chinese mustard in spring.

cultivar	Nitrogen application rate(kg·ha ⁻¹)				LSD _{0.05}
	30	60	120	240	
B21	1.30 _b ^B	1.32 _b ^B	1.36 _b ^{AB}	1.39 _b ^A	0.06
B300	1.49 _a ^C	1.60 _a ^B	1.69 _a ^A	1.73 _a ^A	0.08
B323	0.94 _c ^B	1.19 _c ^A	1.19 _c ^A	1.21 _c ^A	0.03
B349	1.02 _d ^B	1.06 _d ^B	1.13 _d ^A	1.14 _d ^A	0.07
LSD _{0.05}	0.06 ^Z	0.08	0.06	0.05	

^Z LSD 檢定各處理間 P ≤ 0.05 時達顯著差異。大寫字母表示氮肥處理差異，小寫字母表示品種差異。

Mean separation within columns and row by LSD test at P ≤ 0.05. Capital letters correspond to the comparison between nitrogen application rate, and small letters correspond to the comparison between cultivars.

^y 2011 年 3 月 21 日播種。2011 年 4 月 25 日採收調查。

Seeds sowed on 21th Mar. 2011. Plants harvested on 25th Apr. 2011.

表 10.春季施氮肥量對四個品種小白菜生長速率之影響

Table 10.The effect of four levels nitrogen application rate on the growth rate ($\text{g} \cdot \text{day}^{-1}$) of four cultivars of Chinese mustard in spring.

cultivar	Nitrogen application rate($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)				LSD _{0.05}
	30	60	120	240	
B21	1.18 _a ^C	2.35 _a ^B	3.33 _a ^A	2.42 _a ^B	0.26
B300	0.91 _b ^C	1.50 _b ^B	2.09 _b ^A	1.74 _b ^{AB}	0.41
B323	0.16 _c ^B	0.18 _c ^B	0.50 _c ^A	0.21 _c ^B	0.08
B349	0.96 _b ^B	1.68 _b ^B	1.98 _b ^A	1.95 _b ^A	0.15
LSD _{0.05}	0.19	0.23	0.25	0.34	

^z LSD 檢定各處理間 $P \leq 0.05$ 時達顯著差異。大寫字母表示氮肥處理差異，小寫字母表示品種差異。

Mean separation within columns and row by LSD test at $P \leq 0.05$. Capital letters correspond to the comparison between nitrogen application rate, and small letters correspond to the comparison between cultivars.

^y 2011 年 3 月 21 日播種。2011 年 4 月 25 日採收調查。

Seeds sowed on 21th Mar. 2011. Plants harvested on 25th Apr. 2011.

參考文獻

1. 行政院農業委員會. 2009. 農業統計年報. 行政院農業委員會, 臺北.
2. 林岱平. 2006. 在亞熱帶生產低硝酸鹽蔬菜—主婦聯盟生活消費合作社檢驗資料之分析. 國立台灣大學園藝所碩士論文. 臺北.
3. 林俊義. 2004. 設施園藝學. 臺北市七星農田水利研究發展基金會, 行政院農業委員會農業試驗所編. 臺北. 臺灣.
4. 林淑妃. 1998. 利用栽培管理與貯藏方式降低葉菜類硝酸離子含量試驗。國立臺灣大學園藝所碩士論文. 臺北.
5. 林孟姿. 2009. 遮陰、灌溉與氮肥延遲鳳梨冬季自然抽穗. 國立臺灣大學園藝所碩士班論文. 臺北.
6. 柯勇. 2004. 植物的礦物營養. p.105-144. 植物生理學. 藝軒出版社. 臺北.
7. 沈再發、許淼淼. 1989. 作物營養特性及影響養液組成之因素. 養液栽培技術講習會專刊第二輯. p.44-59.
8. 王三太、李子凱. 2005. 小白菜. p.423-428. 台灣農家要覽農作篇(二)
9. 王三太、林深林、張武男. 1998. 不同萵苣栽培品種間的硝酸鹽含量調查. 中國農業研究. 47:63-70.
10. 王銀波、吳正宗. 1992. 水耕養液中的氮素問題. 養液栽培技術講習會專刊第四輯 p.15-27.
11. 王銀波. 1989 培養液的化學性及其管理. 養液栽培技術講習會專刊第二輯 p.60-68.
12. 李郁淳. 2006. 氯化銨處理對間葉萵苣及小白菜生育及硝酸鹽含量之影響. 國立中興大學園藝學系碩士論文. 臺中.
13. 吳正宗、王銀波. 1992. 一些影響小白菜硝酸態氮含量的環境因子. 中國農業化學會誌 33(2):125-133.
14. 翁仁憲. 1990. 日射量及溫度對水耕芥藍菜硝酸態氮含量之影響. 中華農業氣象. 6:97-104.
15. 郭孚耀. 1998. 遮陰及氮肥對芥藍菜硝酸鹽累積之影響. 臺中區農業改良場研究彙報. 58:59-66.
16. 楊月玲. 1995. 設施遮光處理對小白菜之生長及生理影響. 國立中興大學園藝

學系碩士論文. 臺中.

17. 羅秋雄. 2010. 設施葉菜類蔬菜合理化施肥. 作物合理化施肥專輯. 臺中區農業改良場編印. p121-124.
18. Anjana, S. Umar, and M. Iqbal. 2007. Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 27:45-57.
19. Aslam, M., R. L. Travis, and D. W. Rains. 2001. Different effect of amino acids on nitrate uptake and reduction systems in barley roots. *Plant Sci.* 160:219-228.
20. Behr, U. and H. J. Wiebe. 1992. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. *Scientia Hort.* 49: 175-179.
21. Bender, C. and C. Kies. 1994. Nitrate and vitamin C from fruits and vegetables: Impact of intake variations in nitrate and nitrite excretions of humans. *Plant Foods Human Nutri.* 45: 71-80.
22. Blom-Zandstra, M. and A.H. Eenink. 1986. Nitrate content and reduction in different genotypes of lettuce, *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111 :908-911.
23. Boroujerdnia, M., N.A. Ansari, and F.S. Dehcordie. 2007. Effect of cultivars, harvesting time and level of nitrogen fertilizer on nitrate and nitrite content, yield in romaine lettuce. *Asian J. Plant Sci.* 6: 550-553.
24. Burns, I.G., K. Zhang, M.K. Turner, M. Meacham, K. Al-Redhiman, J. Lynn, M.R. Broadley, P. Hand, and D. Pink. 2011. Screening for genotype and environment effects on nitrate accumulation in 24 species of young lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91:553-562.
25. Carrasco, G. A. and S. W. Burrage. 1993. Diurnal fluctuations in nitrate uptake and nitrate accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Acta Hort.* 339: 137
26. Cantliffe, 1972. D.J. Cantliffe, Nitrate accumulation in spinach grown at different temperatures. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 97 :674-676.
27. Cantliffe, 1972. D.J. Cantliffe, Nitrate accumulation in spinach grown under different light intensities. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 97 :152-154.
28. Cantliffe, 1972. D.J. Cantliffe, Nitrate accumulation in vegetable crops as affected by photoperiod and light duration. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 97: 414-418.

29. Cantliffe D.J. 1973. Nitrate accumulation in table beets and spinach as affected by nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition and light intensity. *Agron. J.* 65: 563-565.
30. Cantliffe, D. J. 1973. Nitrate accumulation in spinach cultivars and plant introduction. *Can. J. Plant Sci.* 53:365-367.
31. Cataldo, D. A., M. Haroon, L. E. Schrader, and V. L. Youngs. 1975. Rapid colorimetric of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun Soil Sci. Plant Anal.* 6: 71-80.
32. 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.* 167:635-643.
33. Cires, A. A., A. D. L. Torre, and C. Lara. 1993. Role of light and CO₂ fixation in the control of nitrate-reductase activity in barley leaves. *Planta.* 190: 277
34. Crawford, N. M. 1995. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. *Plant Cell* 7:859-868.
35. Custic M., Poljak M., Coga L., Cosic T., Toth N., Pecina M. 2003. The influence of organic and mineral fertilization on nutrient status, nitrate accumulation, and yield of head chicory. *Plant Soil Environ.* 49: 218-222.
36. Dey P. M. and J. B. Harborne. 1997. *Plant biochemistry.* Academic Press, Inc. 281-285.
37. Dich J, Järvinen R, Knekt P and Penttilä PL, 1996. Dietary intakes of nitrate, nitrite and NDMA in the Finnish mobile clinic health examination survey. *Food Addit Contam* 13:541-552.
38. EC (European Commission), Commission Regulation (EC) No. 655/2004 of 7 April 2004 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards nitrate in foods for infants and young children. *Official J Eur. Commun L.* 104:48-49.
39. Escobar, G., J. A. Burns, G. I. Lee, A. Edmondson, and G. R. N. 2002. Screening lettuce cultivars for low nitrate content during summer and winter production. *J. Hort. Sci. Bio.* 77: 232-237.

40. Gangolli, S.D., P.A. van den Brandt, V.J. Feron, C. Janzowsky, J.H. Koeman, G.J.A. Speijers, B. Spiegelhalter, R. Walker, and J.S. Wishnok. 1994. Nitrate, nitrite and N-nitroso compounds. *Eur. J. Pharmacol: Environ. Toxicol. Pharmacol.* 292:1-38.
41. Gaudreau, L., J. Charbonneau, L. P. Vezina, and A. Gosselin. Effects of photoperiod and photosynthetic photon flux on nitrate content and nitrate reductase activity in greenhouse-grown lettuce. *J Plant Nutr.* 18:437-453
42. Gruda, N. 2005. Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. *Rev. Plant Sci.* 24:227-247
43. Handke S., and H. Junge, 1984. Green matter yield and nitrate content in a dioecious spinach genotype with a long vegetative phase. *Proc. Eucarpia Meeting Leafy Vegetables 28 February-March 1984, Versailles.* p. 110-114
44. Hoff and Wilcox, 1970. J.E. Hoff and G.E. Wilcox, Accumulation of nitrate in tomato fruit and its effect on detinnig. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 95:92-94.
45. Hu, C. X., B. E. Deng, and T. C. Liu. 1992. Effects of nitrogen fertilizer on nitrate accumulation by Chinese cabbage (*Brossica chinenses*) and tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Huazhong Agric. Univ.* 11:239-243.
46. Laine, P., J. Bigot, A. Ourry, and J. Boucaud. 1994. Effects of low temperature on nitrate uptake, and xylem and phloem flows of nitrogen, in *Secale cereale* L. and *Brassica napus* L. *New Phytologist* 127:675-683.
47. Lillo, C., C. Meyer, U. S. Lea, F. Provan, and S. Oltedal. 2004 Mechanism and importance of post-translational regulation of nitrate reductase. *J. Exp. Bot.* 55:1275-1282
48. Luo, J., S. Sun, L. Jia, W. Chen, and Q. Shen. 2006. The mechanism of nitrate accumulation in pakchoi [*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis* (L.)]. *Plant and Soil.* 282:291-300
49. Lichtenthaler. 1987. Chlorophyll and carotenoids pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.* 148: 350-382.
50. Inal, A., T., and G. C.. 2001. Effects of nitrogen forms on growth, nitrate accumulation, membrane permeability, and nitrogen use efficiency of

- hydroponically grown bunch onion under boron deficiency and toxicity. 24:1521-1534
51. Ivashikina, N. V., and O. A. Sokolov. 1997. Regulation of nitrate distribution in maize seedlings by nitrate, nitrite, ammonium and glutamate. *Plant Sci.* 123:29-37.
 52. Jawoski, E. G. 1971. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 43: 1274-1279.
 53. Knekt, P., R. Jarvinen, J. Dich, and T. Hakulinen. 1999. Risk of colorectal and other gastro-intestinal cancers after exposure to nitrate, nitrite and N-nitroso compounds: A follow-up study. *Int. J. Cancer.* 80:852-856.
 54. Knobloch L, Salna B, Hogan A, Postle J and Anderson H, 2000. Blue babies and nitrate-contaminated well water. *Environ Health Perspect* 108:675–678.
 55. Magalhães, A.C., D.B. Peters, and R.H. Hageman. 1976. Influence of Temperature on nitrate metabolism and leaf expansion in Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Seedlings. *Plant Physiology* 58:12-16.
 56. Marler, T.E., B. Schaffer and J.H. Crane 1994. Developmental light level affects growth, morphology, and leaf physiology of young carambola tree. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(4):711-718
 57. Martignon, G., Casarotti, D., Venezia, A., and Malorgio, F. 1994. Nitrate accumulation in celery as affected by growing system and N content in the nutrient solution. *Acta Hort.* 361:583-589
 58. Maynard, D.N., A. V. Barker, P. L. Minotti, and N. H. Peck. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Adv. Agron.* 28:71-118
 59. Maevskaya, S.N. and N.G. Bukhov. 2005. Effect of light quality on nitrogen metabolism of radish plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 52:304-310.
 60. Marsic, N. K., and J. Osvald. 2002. Effects of different nitrogen levels on lettuce growth and nitrate accumulation in Iceberg Lettuce (*Lactuca sativa var. capitata* L.) Grown Hydroponically under Greenhouse Conditions. *J. Hort. Sci.* 67:128-134
 61. Meah M.N., Harrison N., Davies A. 1994. Nitrate and nitrite in foods and the diet. *Food Addit. Contam.* 11: 519-532.

62. Mengel, K. and D. J. P. 1992. Proceedings of the phytochemical society of Europe : Nitrogen Metabolism of Plants. Oxford Science Publications. New York. p.329-334.
63. Miller, A. J, Q. Shen, and G. Xu. 2009. Freeways in the plant: transporters for N, P and S and their regulation. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12:284-290.
64. Nieuwhof, M. 1991. Breeding for low nitrate content in radish (*Raphanus sativus* L.). *Euphytica* 55:171-177.
65. Ohashi-Kaneko, K., M.T.N. Kon, K. Fujiwara, and K. Kurata. 2007. Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf Lettuce, Spinach and Komatsuna. *Environ. Control Biol.* 45:189-198.
66. Olday, F.C., A.V. Barker, and D.N. Maynard. 1976. A Physiological basis for different patterns of nitrate accumulation in two Spinach cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101: 217-219.
67. Ott, K., R. Koenig, and C. Miles. 2008. Influence of plant part on nitrate concentration in Lettuce and Spinach. *Int. J. Veg. Sci.* 14:351 - 361.
68. Raul, C. N., S. Adamowicz, and P. Robin. 1999. Nitrate accumulation in plants: a role for water. *J. Exp. Bot.* 50:613-624
69. Reinink, K., R. Groenwold, and A. Bootsma. 1987. Genotypical differences in nitrate content in *Lactuca sativa* L. and related species and correlation with dry matter content. *Euphytica*. 36:11-18.
70. Reinink, K. 1988. Improving quality of lettuce by breeding for low nitrate content. *Acta Hort.* 222:121-128
71. Richardson, S.J. and M. Hardgrave. 1992. Effect of temperature, carbon dioxide enrichment, nitrogen form and rate of nitrogen fertilizer on the yield and nitrate content of two varieties of glasshouse lettuce. *J. Sci. Food Agri.* 59:345-349
72. Santamaria, P. 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.* 86:10-17
73. Santamaria, P., Gonnella, M., Elia, A., Parente, A. and Serio, F. 2001. Ways of reducing rocket salad nitrate content. *Acta Hort. (ISHS)* 548:529-536
74. Santamaria P., Elia A., Serio F., Todaro E. (1999) A survey of nitrate and oxalate

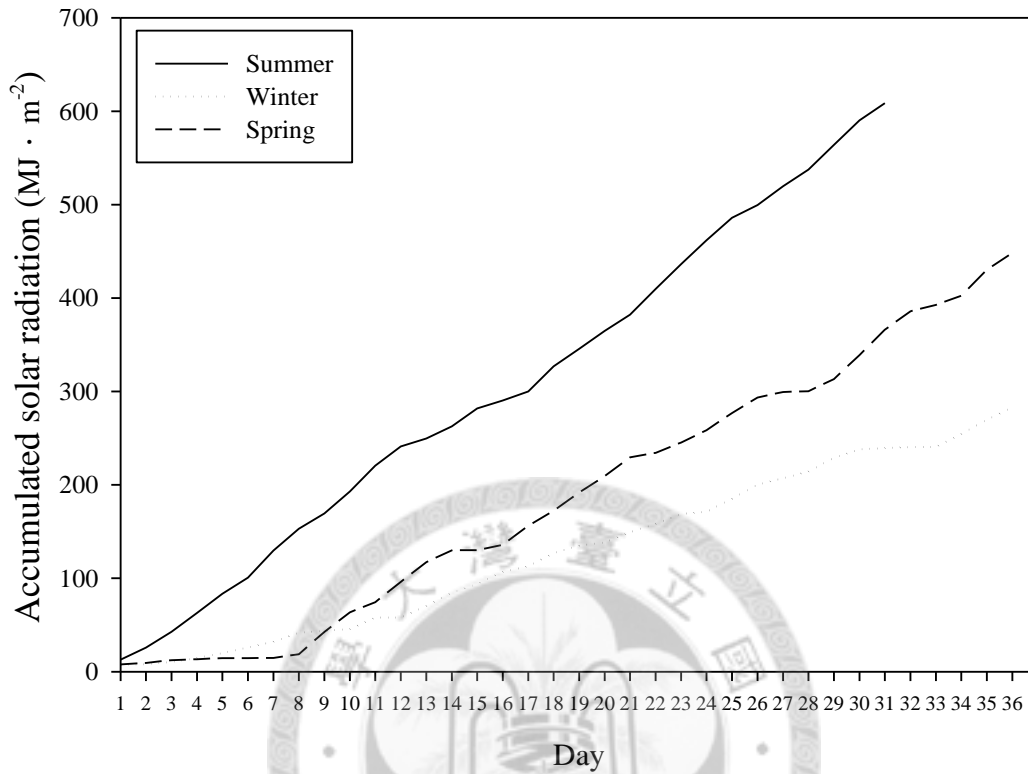
- content in retail fresh vegetables, *J. Sci. Food Agr.* 79:1882–1888.
75. SCF (Scientific Committee on Food), Assessment of dietary intake of nitrates by the population in the European Union, as a consequence of the consumption of vegetables, in Reports on tasks for scientific cooperation: report of experts participating in Task 3.2.3, ed by European Commission, Brussels, p 34 (1997)
 76. Sritharan, R. 1991. Growth and nitrate accumulation in kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes* L.) as influenced by light, water, nutrient supply and CO₂ concentration *Soc. Exp. Biol.* 42: 2060
 77. Stagnari, F., V. Di Bitetto, and M. Pisante. 2007. Effects of N fertilizers and rates on yield, safety and nutrients in processing spinach genotypes. *Sci. Hort.* 114:225-233.
 78. Stoy, V. 1955. Action of different light qualities on simultaneous photosynthesis and nitrate assimilation in wheat leaves. *Physiol. Plant.* 8:963-986.
 79. Taiz L. and E. Z.. 2006. *Plant Physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. pp.290-303.
 80. Ullrich, W. R. 1992. Transport of nitrate and ammonium through plant membranes. In: *Nitrogen Metabolism of Plants*. Oxford University Press. Oxford. p.121-137.
 81. Vander -Boon, J., J. W. Steenhuizen and E. G. Steingrover. 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH₄⁺/NO₃⁻ ratio and temperature of the recirculation nutrition solution. *J. Hort. Sci.* 65: 309
 82. Vieira, I.S., E.P. Vasconcelos, and A. A. Monteiro. 1998. Nitrate accumulation, yield and leaf quality of turnip greens in response to nitrogen fertilisation. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 51:249-258.
 83. Wilkerson, J. O., P. A. Janick and L. M. Siegel. 1983. Siroheme-Fe₄S₄ interaction in spinach nitrite reductase (NIR). *Fed. Prco. Fed. Am.* pp. 5048-5054.
 84. Wyn Jones, R. and R.W. Sheard. 1977. Effects of blue and red light on nitrate reductase level in leaves of maize and pea seedlings. *Plant Sci. Lett.* 8:305-311.
 85. Yin, Y. X. 1993. An investigation of nitrate content of vegetables in Yin Chuan and

of methods of contamination evaluation and prevention. *Ningxia J. Soc. Exp. Biol.* 42: 20-60.

86. Zhang, H., D. S., R. N. A., and E.J. G. 1996. Potato nitrogen management by monitoring petiole nitrate level. *J. Plant Nutr.* 19:1405-1412

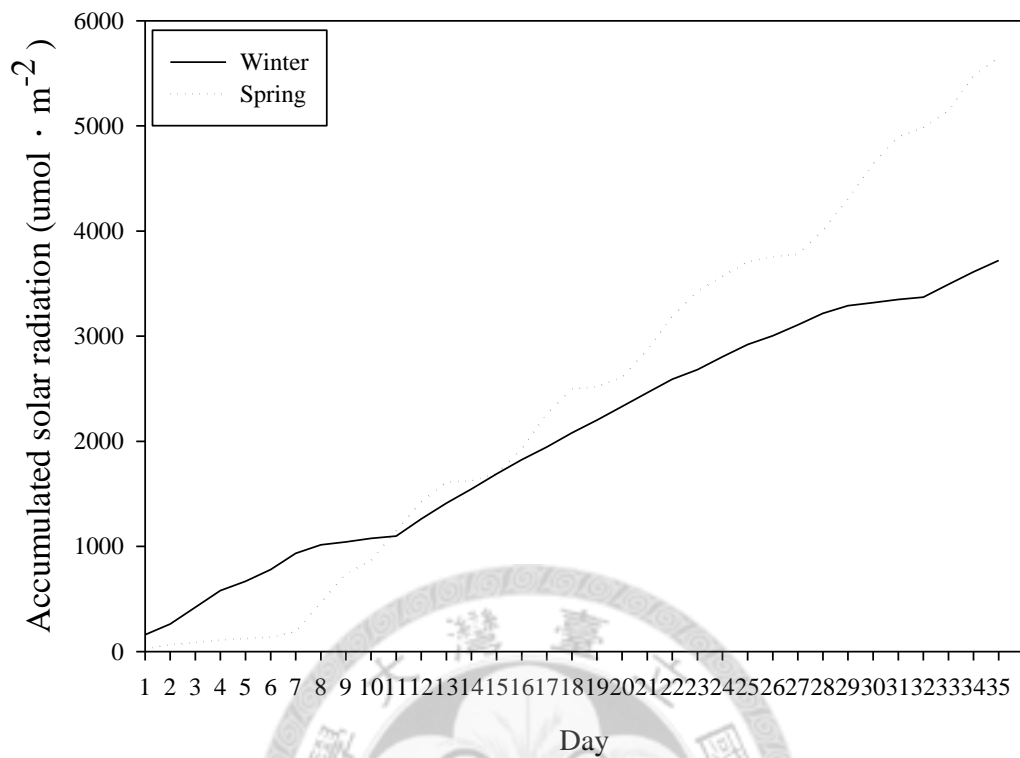


Appendix



附錄 1. 夏季、冬季及春季播種後至採收累積光量(MJ·m⁻²)。

Appendix 1. Accumulated solar radiation from the time of sowing for each experiment in summer, winter, and spring.



附錄 2. 冬季及春季播種後至採收累積光量($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$)。

Appendix 2. Accumulated solar radiation from the time of sowing for each experiment in winter and spring.