

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系



碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

植物工場水耕苦苣及其倍半萜內酯類含量之研究

Study on Hydroponically Grown Endive and the Content
of Sesquiterpene Lactones in the Plant Factory

劉彥彤

Yen-Tung Liu

指導教授：羅筱鳳 博士

Advisor: Hsiao-Feng Lo, Ph. D.

中華民國 104 年 1 月

January, 2015

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

植物工場水耕苦苣及其倍半萜內酯類含量之研究
Study on Hydroponically Grown Endive and the Content
of Sesquiterpene Lactones in the Plant Factory

本論文係劉彥彤君 (R01628138) 在國立臺灣大學園藝暨
景觀學系完成之碩士學位論文，於民國 103 年 11 月 28 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：

羅淑鳳

(指導教授)

楊曼如

(召集人)

林淑怡

誌謝

本論文承蒙羅筱鳳老師悉心指導，方得以順利完成。感謝羅筱鳳老師在試驗上的指導與建議，並給予學生諸多自由發揮的空間，以及資源上支持與包容，特別謝謝老師讓我研究此主題。文稿初成，感謝指導教授謝羅筱鳳老師嚴謹詳盡的審閱，口試委員楊雯如老師、林淑怡老師撥冗審查，給予寶貴的建議，使本論文更臻完善。一路走來深刻體會研究需要多方的協助才能順利進行，特別是分析倍半萜內酯類的過程，感謝楊雯如老師實驗室出借冷凍乾燥機，林淑怡老師實驗室出借恆溫震盪培養箱，許輔老師實驗室出借高效能液相層析儀，以及生農學院共同儀器中心林佩吟博士與加工館學長志良和學弟偉齊，在分析方法上的建議指教與幫助。

研究過程感謝易薏學姐在實驗室各種問題上的幫忙，是我們研究室的精神支柱，感謝植物工場憶昇學長在設備上的協助，學長偉順、偉翔、施任青大哥、吾睿在試驗上熱心的建議，尤其是家吟學姐分享分析半萜內酯類的經驗，令我受益良多。感謝同學良州、富翔、香誼、靜樺、璧甄在試驗與生活上的互助討論，還有學弟妹展麒、至緣、陳薇、瑄斐、兆倫、瑞展、佑楨、郁璇、筑郡在實驗室環境上配合我的潔癖，有大家共同學習努力，使研究生生活更添色彩。也感謝承叡、佳螢、涵茵提供部分園藝分場溫室氣象資料。

最後要感謝我的家人，父母和妹妹總是無限的支持與關懷，讓我倍感溫暖且無後顧之憂，還有亭嬌多次在試驗調查與英文摘要上的幫忙，以及一路來的陪伴。雖然本試驗作物目前在臺灣產業規模小，不被看好不被接受，但仍具有其價值，但願未來能開拓一片藍海。感謝所有幫助和關心我的人，吾感恩在心，感謝天。

劉彥彤 謹誌

國立臺灣大學園藝暨景觀學系

中華民國一零四年一月

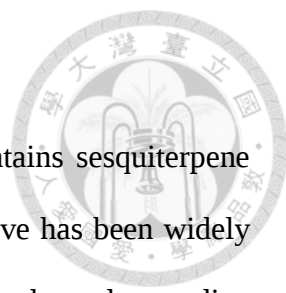
摘要



苦苣(*Cichorium endivia* L.)之營養價值高，含有山萵苣素(lactucin)、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)等倍半萜內酯類(sesquiterpene lactones)，是西歐國家廣泛栽培的蔬菜，但臺灣僅零星栽培。苦苣在長日環境下趨向生殖生長，產量降低，且不同季節栽培品質不一。本研究以苦苣‘綠精靈’(‘Green Curled Ruffec’)為試驗材料，探討適合於植物工場周年生產安全無毒且品質良好苦苣的環境條件。育苗以日/夜溫 25°C/25°C 及山崎氏萵苣水耕養液電導度 1.2 dS·m⁻¹ 較佳。育成期則以 23°C/20°C 及光暗週期 16 hr/8 hr 栽培者產量最高，而因栽培期縮短為 49 天，植株皆維持營養生長狀態，並未受長日影響而抽苔。倍半萜內酯類含量以 20°C/17°C 栽培者較高，但不受日長影響。分別調整山崎氏萵苣水耕養液至磷 32 mg·L⁻¹、硫 32 mg·L⁻¹、鎂 24 mg·L⁻¹、氮 135 mg·L⁻¹、硝酸銨比 25:75 或電導度 1.2 dS·m⁻¹ 栽培苦苣時，產量較高且硝酸鹽含量低。而分別以磷 8 mg·L⁻¹、硫 32 mg·L⁻¹ 或鎂 24 mg·L⁻¹ 栽培苦苣時，其倍半萜內酯類含量提升。苦苣定植於臺北溫網室 28 天，以春季較適合，當春作延至 56 天，則自由態脫氧山萵苣素增加、總倍半萜內酯類含量提升。於夏季栽培，植株趨向生殖生長，自由態脫氧山萵苣素與總倍半萜內酯類含量亦增高。營養生長期苦苣之總倍半萜內酯類含量主要受自由態山萵苣苦素的影響。

關鍵字：皺葉苦苣、山萵苣素、脫氧山萵苣素、山萵苣苦素、硝酸鹽

Abstract



Endive (*Cichorium endivia* L.) has high nutritional value. It contains sesquiterpene lactones including lactucin, 8-deoxylactucin, and lactucopicrin. Endive has been widely cultivated in Western Europe, but is not common in Taiwan. Under long day, endive switches to reproductive growth with reduced yield. The quality also differs in different seasons. This research aimed on the suitable environmental conditions for producing safe endive with good quality all year round using ‘Green Curled Ruffec’ as materials. Day/night temperatures 25°C/25°C and electrical conductivity 1.2 dS·m⁻¹ in Yamazaki nutrient solution for lettuce were suitable for hydroponically grown endive ‘Green Curled Ruffec’ seedlings. After transplanting, the yield of endive grown under 23°C/20°C and photoperiod 16 hr/8 hr was the highest. Because of the shorter cultivation period in this experiment, endive maintained vegetative growth without bolting caused by long day. The content of sesquiterpene lactones was higher at 20°C/17°C, but there was no difference among photoperiod treatments. Endive showed high fresh weight and low nitrate content in modified Yamazaki nutrient solution for lettuce with phosphorous 32 mg·L⁻¹, sulfur 32 mg·L⁻¹, magnesium 24 mg·L⁻¹, nitrogen 135 mg·L⁻¹, nitrogen-form ratio 25:75, or electrical conductivity 1.2 dS·m⁻¹, respectively. The contents of sesquiterpene lactones in endive were increased in modified Yamazaki nutrient solution for lettuce with phosphorous 8 mg·L⁻¹, sulfur 32 mg·L⁻¹ or magnesium 24 mg·L⁻¹, respectively. Among 4 seasons, spring was suitable for endive growth of 28 days in the Plastic/screen house in Taipei. The contents of free 8-deoxylactucin and total sesquiterpene lactones were increased if the cultivation extended to 56 days in spring. Endive grown in summer switched to reproductive growth, and the contents of free 8-deoxylactucin and total sesquiterpene lactones were also increased. The content of total sesquiterpene lactones was affected by free lactucopicrin in vegetative-growing endive.

Key words: curly endive, lactucin, 8-deoxylactucin, lactucopicrin, nitrate



目錄



摘要	I
Abstract.....	II
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VIII
附錄目錄	X
前言	1
前人研究	2
一、苦苣概述	2
二、苦苣之生長栽培	2
三、倍半萜內酯類	5
四、影響倍半萜內酯類含量之因子	6
材料與方法	9
一、植物材料	9
二、試驗地點與設備	9
三、育苗	9
四、苗期溫度及養液電導度試驗	10
五、育成期溫度試驗	10
六、育成期光週期試驗	10
七、育成期養液試驗	11
八、栽培季節試驗	11
九、調查項目	12
十、統計分析	15
結果	16

一、倍半萜內酯類之定性	16
二、溫度及養液電導度對苦苣苗之影響	17
三、溫度對苦苣之影響	17
四、光週期對苦苣之影響	19
五、栽培養液對苦苣之影響	20
(一) 養液氮濃度對苦苣生長及營養成分之影響	20
(二) 養液硝酸態氮與銨態氮比例對苦苣生長及營養成分之影響	20
(三) 養液磷濃度對苦苣生長、營養成分及倍半萜內酯類含量之影響	20
(四) 養液硫濃度對苦苣生長、營養成分及倍半萜內酯類含量之影響	21
(五) 養液鎂濃度對苦苣生長、營養成分及倍半萜內酯類含量之影響	21
(六) 養液電導度對苦苣生長及營養成分之影響	22
六、栽培季節對苦苣之影響	22
討論	24
結論	30
參考文獻	31

表目錄



表 1. 修改之山崎氏萵苣水耕養液配方	37
表 2. 日夜溫度與養液電導度對水耕苦苣苗株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、 葉片數、地上部鮮重及乾重率之變方分析	38
表 3. 養液電導度對水耕栽培苦苣苗株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、 地上部鮮重及乾重率之影響	39
表 4. 日夜溫度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部 鮮重及乾重率之影響	40
表 5. 日夜溫度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量 之影響	41
表 6. 日夜溫度對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響	42
表 7. 光週期對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮 重及乾重率之影響	43
表 8. 光週期對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之 影響	44
表 9. 光週期對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響	45
表 10. 養液氮濃度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地 上部鮮重及乾重率之影響	46
表 11. 養液氮濃度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含 量之影響	47
表 12. 養液硝酸態氮與銨態氮比例對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉 寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響	48
表 13. 養液硝酸態氮與銨態氮比例對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、 糖度及硝酸鹽含量之影響	49
表 14. 養液磷濃度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地 上部鮮重及乾重率之影響	50

表 15. 養液磷濃度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響	51
表 16. 養液磷濃度對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響	52
表 17. 養液硫濃度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響	53
表 18. 養液硫濃度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響	54
表 19. 養液硫濃度對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響	55
表 20. 養液鎂濃度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響	56
表 21. 養液鎂濃度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響	57
表 22. 養液鎂濃度對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響	58
表 23. 養液電導度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響	59
表 24. 養液電導度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響	60
表 25. 栽培季節對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響	61
表 26. 栽培季節對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響	62
表 27. 春季水耕栽培苦苣之株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率	63
表 28. 栽培季節對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響	64
表 29. 春季水耕栽培苦苣之自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量	65

圖目錄

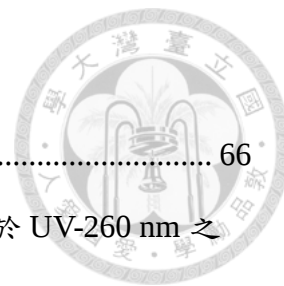


圖 1. 山道年(內標準品)於 UV-260 nm 之層析圖譜.....	66
圖 2. 苦苣萃取物總倍半萜內酯類(A)及自由態倍半萜內酯類(B)於 UV-260 nm 之 層析圖譜.....	67
圖 3. 苦苣萃取物選擇離子荷質比(m/z) 277^+ (A), 261^+ (B), 411^+ (C), 455^- (D) and 247^+ (E) 之層析圖譜.....	68
圖 4. 山萵苣素(層析時間 16.5 分鐘)之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質譜 圖(B)及正離子模式二次質譜圖(C).....	69
圖 5. 脫氧山萵苣素(層析時間 27.4 分鐘)之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式 質譜圖(B)及正離子模式二次質譜圖(C).....	70
圖 6. 山萵苣苦素(層析時間 42.3 分鐘)之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質 譜圖(B)及正離子模式二次質譜圖(C).....	71
圖 7. 山萵苣苦素(層析時間 42.3 分鐘)之負離子模式質譜圖(A)及負離子模式二次 質譜圖(B).....	72
圖 8. 山道年(層析時間 36.9 分鐘)之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質譜圖 (B)及正離子模式二次質譜圖(C).....	73
圖 9. 層析時間 14.1 分鐘未知化合物之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質 譜圖(B)及負離子模式質譜圖(C).....	74
圖 10. 層析時間 28.7 分鐘未知化合物之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質 譜圖(B)及負離子模式質譜圖(C).....	75
圖 11. 層析時間 46.0 分鐘未知化合物之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質 譜圖(B)及負離子模式質譜圖(C).....	76
圖 12. 不同日夜溫度與養液電導度水耕栽培苦苣苗之株高(A)及株幅(B)	77
圖 13. 不同日夜溫度與養液電導度水耕栽培苦苣苗之最大葉長(A)及最大葉寬(B)	78
圖 14. 不同日夜溫度與養液電導度水耕栽培苦苣苗之葉片數(A)、地上部鮮重(B)	

及乾重率(C).....	79
圖 15. 不同日夜溫度環境水耕栽培苦苣之株高(A)、株幅(B)、最大葉長(C)及最大葉寬(D).....	80
圖 16. 不同日夜溫度環境水耕栽培苦苣之葉片數(A)、地上部鮮重(B)及乾重率(C).....	81
圖 17. 不同日夜溫度環境水耕栽培苦苣之葉綠素(A)、類胡蘿蔔素(B)、維生素 C (C)及糖度(D)含量	82
圖 18. 不同光週期水耕栽培苦苣之株高(A)、株幅(B)、最大葉長(C)及最大葉寬(D).....	83
圖 19. 不同光週期水耕栽培苦苣之葉片數(A)、地上部鮮重(B)及乾重率(C).....	84
圖 20. 不同光週期水耕栽培苦苣之葉綠素(A)、類胡蘿蔔素(B)、維生素 C (C)及糖度(D)含量	85

附錄目錄



附錄 1. 生長箱 LED 燈管光譜	86
附錄 2. 生長箱 T5 燈管光譜	87
附錄 3. 植物工場 T5 燈管光譜	88
附錄 4. 國立臺灣大學園藝分場溫室春季(2014/03/24 - 2014/04/21)溫度及光強度	89
附錄 5. 國立臺灣大學園藝分場溫室夏季(2014/06/24 - 2014/07/22)溫度及光強度	90
附錄 6. 國立臺灣大學園藝分場溫室秋季(2014/09/29 - 2014/10/27)溫度及光強度	91
附錄 7. 國立臺灣大學園藝分場溫室冬季(2013/11/25 - 2013/12/23)溫度及光強度	92
附錄 8. 生長箱溫度及相對濕度	93
附錄 9. 國立臺灣大學植物工場 B02 室溫度及相對濕度	94
附錄 10. 硫濃度 $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (A)、 $16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (B) 及 $32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (C) 水耕栽培之苦苳 ...	95
附錄 11. 春季(2014/03/24 - 2014/04/21)(A)及夏季(2014/03/24 - 2014/04/21)(B)水 耕栽培之苦苳	96

前言



苦苣(*Cichorium endivia* L.)原產於歐洲、地中海沿岸(張, 2003; 薛, 2009), 是西歐國家廣泛栽培的蔬菜, 富含礦物質、維生素和膳食纖維, 其營養價值高於萵苣(Koudela and Petříková, 2007; Ryder, 1999)。1976 年自美國引入臺灣, 起初於南投竹山鎮盆栽作為藥用, 以能治療眼疾聞名(吳, 1992)。《神農本草經》中記載:「苦菜性寒, 味苦, 能清熱解毒, 破瘀活血, 排膿, 治療黃疸、肺熱咳嗽、疔腫、痔瘡等」。《本草綱目》亦指出:「苦菜調十二經脈, 安心益氣, 輕身耐老, 強力明目」。雖目前並無苦苣治療眼疾的現代醫學研究, 但苦苣中含有山萵苣素(lactucin)、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)等倍半萜內酯類(sesquiterpene lactones)(Price et al., 1990), 具有抗發炎、抗腫瘤、抗微生物等作用(Merfort, 2002; Rodriguez et al., 1976), 且其萃取物具有誘導大腸癌細胞凋亡的功效(Wang et al., 2012; Wang et al., 2013)。現代人注重健康飲食, 苦苣實為健康養生蔬菜的優良選擇, 但目前在臺灣僅零星栽培, 產期集中於冬至春季(薛, 2009; 吳, 1992), 且不同季節栽培品質不一(Ukłańska-Pusz and Adamczewska-Sowińska, 2011)。

影響倍半萜內酯類含量因子的研究多以萵苣和菊苣為對象, 主要著重於品種比較(Price et al., 1990; Seo et al., 2009a)、栽培液 (Seo et al., 2009b)以及牧草用菊苣於不同栽培地區及栽培季節倍半萜內酯類含量之變化(Foster et al., 2006; Foster et al., 2011), 並無文獻探討影響苦苣倍半萜內酯類含量的因子。本研究期建立苦苣於植物工場的水耕栽培模式, 生產安全無毒、品質良好一致之苦苣, 且能全年供應市場不受季節限制, 並探討環境因子及栽培液對其倍半萜內酯類含量之影響。

前人研究



一、苦苣概述

苦苣(*Cichorium endivia* L.)別名菊苣、苦菜、縮葉苦苣，是菊科菊苣屬一二年生草本植物，原產於歐洲、地中海沿岸(張，2003；薛，2009)。在植物分類學上，苦苣包括皺葉種(var. *crispum*)和寬葉種(var. *latifolium*)。皺葉種(curly endive)葉緣缺刻捲曲，多作為生菜食用；寬葉種(escarole)則葉片平滑，供煮食為主(Gajc-Wolska et al., 2012a; Ryder, 1999)。苦苣株高約 20 cm，葉片互生，密成簇狀，色深綠或淺綠；抽苔開花後株高約 60 cm，花色有白、藍或紫色(黃和洪，1988；薛，2009)。性喜溫暖或冷涼，生育適溫為 15°C-25°C；其土壤適應性廣，但以排水良好，富含有機質之壤土為佳(黃和洪，1988；薛，2009)。苦苣是西歐國家廣泛栽培的蔬菜，食用其簇生嫩葉，富含維生素、礦物質和膳食纖維，其營養價值高於萵苣(Koudela and Petříková, 2007; Ryder, 1999)。苦苣中的倍半萜內酯類是其苦味的主要來源(Price et al., 1990; Van Beek et al., 1990)。從苦苣中萃取的 (3S)-1,2,3,4- tetrahydro- β -carboline- 3-carboxylic acid，能誘導大腸癌 HCT-8 細胞凋亡，具有發展為化學治療藥物的潛力(Wang et al., 2012; Wang et al., 2013)。1976 年自美國引入臺灣，起初作為藥用植物，目前在臺灣僅零星栽培，產期在冬至春季(薛，2009；吳，1992)。

二、苦苣之生長栽培

苦苣之生長發育受栽培溫度、光週期及生長季節影響，雖植株易累積硝酸鹽，但可藉由銨態氮養液栽培，可降低硝酸鹽含量且無銨毒害。

(一) 溫度

苦苣為冷涼季蔬菜作物，生長適溫為 15°C-25°C。高溫下植株生長衰弱，且容易發生頂燒病(tipburn)，因而造成品質降低與產量損失(Jenni et al., 2008)。在超過 28°C 之高溫高光照的溫暖晴天進行噴灌，可降低植株周圍氣溫 3°C-11°C，最高氣溫由 38.1°C 降低至 30.9°C；同時空氣相對濕度提升，使苦苣頂燒病發生率由 97.7% 降低至 18%，頂燒嚴重程度也由 37.5% 降低至 1.7%；若再以葉面施鈣處理，則嚴



重程度由 15.8% 降低至 0.4% (Jenni et al., 2008)。

苦苣生長適溫範圍廣，也可耐寒，但低溫環境使植株趨向生殖生長而抽苔開花，簇生葉片數減少，導致產量降低。在苗期進行 4°C 春化處理 20 天，或於日溫 23°C、夜溫 10°C 下培育，植株抽苔開花，且簇生葉片數較少。在日溫 23°C、夜溫 17°C 和 23°C 下，植株則維持營養生長，而簇生葉片數較多(Rappaport and Bonner, 1960)。無論光週期為 8 hr 或 16 hr，在夜溫 10°C-23°C 下，較高的夜溫處理能維持苦苣較長的營養生長期，夜溫愈高則簇生葉片數愈多，而有較高產量(Rappaport and Bonner, 1960)。

(二) 光週期

苦苣為長日植物，長日使植株趨向生殖生長而抽苔開花，導致產量降低(Ukłańska-Pusz and Adamczewska-Sowińska, 2011)。光照 16 hr 的長日環境下，植株趨向生殖生長，簇生葉片較少；而光照 8 hr 的短日環境，植株則有較長的營養生長期，簇生葉片較多，產量較高(Rappaport and Bonner, 1960)。

(三) 栽培季節

於波蘭栽培 9 個皺葉品種和 5 個寬葉品種的苦苣，無論是皺葉品種或寬葉品種，秋季栽培較春季栽培有較高的可銷售產量百分比(Ukłańska-Pusz and Adamczewska-Sowińska, 2011)。苦苣於波蘭春季栽培，因日長漸長而趨向生殖生長，導致產量降低，平均產量為 15.68 t·ha⁻¹；於秋季栽培，日長漸短而能維持較長的營養生長期，故產量較高，其平均產量 26.80 t·ha⁻¹ 較春季栽培高出 41.5%。此外，9 個皺葉品種的平均產量為 19.33 t·ha⁻¹，較 5 個寬葉品種的平均產量 24.68 t·ha⁻¹ 低，(Ukłańska-Pusz and Adamczewska-Sowińska, 2011)。

於波蘭春季栽培苦苣，其磷、鉀、鎂及葉綠素和類胡蘿蔔素的含量較秋季栽培者高，分別高出 29%、34%、22%、21%及 10%；秋季栽培的苦苣則有較高含量的鈣與維生素 C (Ukłańska-Pusz and Adamczewska-Sowińska, 2011)，但硝酸鹽含量

也會因日照不足而增加。於麻薩諸塞州東法爾茅斯(East Falmouth, Massachusetts)栽培苦苣，3 月採收者因生長期日照充足，硝酸鹽含量較 11 月採收者低 52%-68% (Schonbeck et al., 1991)。

(四) 氮肥型態

苦苣屬於高硝酸鹽含量的蔬菜，每公斤地上部鮮重可累積超過 2,500 mg 硝酸鹽(Santamaria, 2006)。不同型態的氮源和光照是影響蔬菜中硝酸鹽含量的主要因素，因此栽培上可供給銨態氮(NH_4^+)可避免硝酸鹽累積(Santamaria et al., 1998)。但大部分植物會因銨的累積而造成銨毒害，包括土壤介質酸化、根系吸收養分減少、滲透平衡失調、光合電子傳遞鏈之光合磷酸化作用解耦聯等，導致生長減緩或發生生理障礙(Britto and Kronzucker, 2002; Gerendás et al., 1997)。苦苣對銨態氮則具有耐受性，以完全銨態氮栽培之苦苣，地上部鮮重和葉片數與以硝酸態氮栽培者無差異，但其硝酸鹽含量 $183 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ f.w.}$ 較硝酸態氮栽培者 $2,849 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ f.w.}$ 低 (Bonasia et al., 2008)。此外，以不同銨態氮與硝酸態氮比例栽培苦苣，產量無差異，但提高養液銨態氮比例能有效降低硝酸鹽含量，供給完全銨態氮則可生產零硝酸鹽之苦苣(Santamaria and Elia, 1997)。

(五) 遮光軟化栽培

苦苣含有倍半萜內酯類等苦味物質，但苦味常影響消費者的購買意願(Park and Lee, 2006)，故生產上常利用軟化栽培減少其苦味。於採收前 1 至 2 週進行遮光，可使遮光部位苦味降低，且葉綠素合成減少，葉片柔嫩捲曲呈淡黃色 (Adamczewska-Sowińska and Uklańska, 2012; Gajc-Wolska et al., 2012a)。栽培上可利用遮光帽(caps)、鋁箔(Rollo foil)和遮陰網(Black agro-textile) 等不同遮光材料進行軟化栽培。以遮光帽、鋁箔和遮陰網遮光，皆使苦苣乾重率、維生素 C、葉綠素和類胡蘿蔔素含量降低，並且隨著遮光時間增長，其含量越低，因而影響產品品質 (Adamczewska-Sowińska and Uklańska, 2012)。以不同遮光材料而言，遮光帽軟化

栽培之苦苣，維生素 C 含量及乾重率較高；以遮陰網行軟化栽培，則有較高的磷、鉀、鈣、鎂、葉綠素和類胡蘿蔔素含量，但硝酸鹽含量亦大幅增加，超過 2500 mg ·kg⁻¹ f.w.，因此不建議以遮陰網行軟化栽培 (Adamczewska-Sowińska and Uklańska, 2012)。

三、倍半萜內酯類

(一) 萜類化合物

萜類是植物之二級代謝物，根據其結構可以分為單萜、倍半萜、二萜、二倍半萜、三萜、四萜、多聚萜等，其中倍半萜(sesquiterpene)為三個異戊二烯單位所組成的萜類化合物。內酯(lactone)則是化合物中的羥基(-OH)和羧基(-COOH)分子內縮合環化形成的環內酯。倍半萜內酯類(sesquiterpene lactones)是植物精油中常見的成分，亦是菊科植物中常見的二級代謝物，其大多與葡萄糖甙(glucoside)結合成非游離態，具有無色、親脂性和相對穩定等特性(Price et al., 1990; Merfort, 2002; Van Beek et al., 1990)，不同的倍半萜內酯類化合物各具有抗發炎、抗腫瘤、抗微生物等作用(Merfort, 2002; Rodriguez et al., 1976)。苦苣中主要的倍半萜內酯類有山萵苣素(lactucin)、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)，是其苦味的主要來源(Price et al., 1990; Van Beek et al., 1990)。

(二) 倍半萜內酯類生合成途徑

倍半萜內酯類生合成的重要前驅物大根香葉烯 A (germacrene A)，係由法尼基焦磷酸(farnesyl pyrophosphate, FPP)經大根香葉烯 A 合成酶(germacrene A synthase, GAS)催化所生成，大根香葉烯 A 經過氧化、脫水及環化作用形成癩創木內酯(guaianolides) (Bouwmeester et al., 2002; Kraker et al., 1998)。癩創木內酯為苦苣中倍半萜內酯類的基本結構，若鍵結-OH、-H 及-OCOCH₂C₆H₄OH，則分別形成山萵苣素(lactucin)、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin) (Price et al., 1990; Van Beek et al., 1990)。大根香葉烯 A 合成酶於 pH 8、38℃和鎂離子存在之環

境下活性提升(Kim et al., 2005)，故鎂離子可能是影響植株倍半萜內酯類生合成的重要營養元素。



(三) 倍半萜內酯類之苦味

山萵苣素(lactucin)、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)是苦苣苦味的來源，將萵苣、苦苣和菊苣不同品種之官能品評苦味值，與三種主要倍半萜內酯類含量進行回歸分析，結果葡萄糖甙結合態的山萵苣素(lactucin glycoside)與苦味有最高的相關性($r = 0.800$) (Price et al., 1990)。但若以個別倍半萜內酯類之臨界濃度進行評估，則有不同的結果。臨界濃度值是以官能品評的方式，推算個別倍半萜內酯類溶於水中能被人體味覺辨識的最低濃度值。山萵苣素之臨界濃度值為 1.7 ppm，脫氧山萵苣素為 1.1 ppm，山萵苣苦素為 0.5 ppm (Van Beek et al., 1990)。以此臨界濃度推算的苦味活性值(Bitter activity values)，可評估個別倍半萜內酯類之苦味程度。因萵苣中山萵苣苦素(lactucopicrin)之含量較高，且臨界濃度最低，故為影響苦味最主要的成分(Seo et al., 2009a)。

四、影響倍半萜內酯類含量之因子

(一) 品種

山萵苣素、脫氧山萵苣素及山萵苣苦素之含量因物種及品種不同而有所差異，一般而言，苦苣與菊苣之倍半萜內酯類含量較萵苣高(Price et al., 1990)。分析十種韓國常見的萵苣品種，其倍半萜內酯類含量亦依品種而有所差異，且紅葉品種的含量高於綠葉品種，皺葉品種的含量則高於平葉品種，故品種為影響倍半萜內酯類含量之重要因子(Seo et al., 2009a)。

(二) 植株部位

植株不同部位之倍半萜內酯類含量亦有所差異，菊苣(chicory)(*Cichorium intybus* L.)於營養生長期，根部倍半萜內酯類含量較高，基部簇生葉片的含量較低。

隨著植株趨向生殖生長，根部倍半萜內酯類含量降低，而葉片倍半萜內酯類含量提升，且抽苔後愈近頂端的葉片含量愈高。分析萵苣抽苔後之基部簇生葉片、中段葉片(約基部以上 25-30 片葉)以及頂部葉片(約基部以上 50-55 片葉)，基部簇生葉片總倍半萜內酯類含量為 $33.8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ ，中段葉片 $61.8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ ，頂部葉片 $178.7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ ，愈近頂端的葉片含量愈高(Seo et al., 2009a)。菊苣植株開花後根部倍半萜內酯類含量再次提高，而葉片之含量降低(Rees and Harborne, 1985)。顯示倍半萜內酯類含量，隨著植株的生長過程及營養狀態而有所改變。

(三) 栽培養分

以山崎氏萵苣養液之電導度(electrical conductivity, EC) $0.8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 、硫濃度 $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、磷濃度 $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 及鎂濃度 $12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 為基礎，調整不同電導度、硫濃度、磷濃度及鎂濃度進行試驗。以 EC 0.5、1.0、2.0 及 $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 四種養液電導度栽培萵苣，於山崎氏養液 EC $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 有最高的葉面積指數、葉片數、株高、鮮重及葉綠素計讀值，在 EC $0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 下則有最高的山萵苣素、脫氧山萵苣素、山萵苣苦素及總倍半萜內酯類含量(Seo et al., 2009b)。萵苣栽培於硫濃度 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 有最高的總倍半萜內酯類含量 $206.5 \mu\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$ ，磷濃度則以 $48 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 有最高總倍半萜內酯類含量 $295.3 \mu\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$ (Seo et al., 2009b)。相對於硫和磷元素，養液中鎂濃度對萵苣倍半萜內酯類含量影響較小。鎂濃度對萵苣之山萵苣素及脫氧山萵苣素含量無顯著的影響，而於 $6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $60 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下，山萵苣苦素含量較高，分別為 $22.0 \mu\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$ 及 $25.1 \mu\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$ ，總倍半萜內酯類含量亦較高，分別為 $207.3 \mu\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$ 及 $197.5 \mu\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$ (Seo et al., 2009b)。因此養分供應影響萵苣之倍半萜內酯類含量。

(四) 栽培環境

1997 年及 1998 年栽培於美國西維吉尼亞州(West Virginia)及賓夕法尼亞州(Pennsylvania)之牧草用菊苣(chicory)(*Cichorium intybus* L.)，其倍半萜內酯類含量因不同栽培地區而有差異。栽培於西維吉尼亞州者，其脫氧山萵苣素及山萵苣苦素

顯著高於栽培於賓夕法尼亞州者，而山萵苣素則無差異，環境因子可能影響菊苣之倍半萜內酯類含量(Foster et al., 2006)。

2005 年及 2006 年同樣於美國西維吉尼亞州及賓夕法尼亞州栽培牧草用菊苣，期間植株維持營養生長狀態，2005 年採收時間與栽培地區呈現交感作用，2006 年則栽培品種與栽培地區呈現交感作用(Foster et al., 2011)。以總倍半萜內酯類於不同時間的變化而言，2005 年栽培於西維吉尼亞州之菊苣，其倍半萜內酯類含量於初夏達到高峰，而 2006 年含量則呈現平穩狀態。因試驗期間所栽培的牧草用菊苣皆維持於營養生長狀態，無抽苔現象，故可排除因生殖生長所導致的含量提升，其原因可能是 2005 年西維吉尼亞州初夏之最低溫度高於 2006 年，造成菊苣倍半萜內酯類含量的累積(Foster et al., 2011)。此外，2005 年栽培於西維吉尼亞州之菊苣，倍半萜內酯類含量高於次年，可能是 2005 年生長期間之降雨量 335 mm 低於 2006 年降雨量 583 mm 所導致。推測牧草用菊苣在土壤濕度低的環境，倍半萜內酯類含量較高 (Foster et al., 2011)。故溫度、光照和雨量等環境因子皆可能影響菊苣之倍半萜內酯類含量(Foster et al., 2011; Seo et al., 2009a)。

(五) 葉綠素與糖度

萵苣不同品種之葉綠素及糖度皆有顯著差異(Seo et al., 2009a)，將萵苣中三種主要的倍半萜內酯類含量與葉綠素和糖度進行迴歸分析，山萵苣素與葉綠素含量呈負相關 ($r = -0.6726^*$)，與糖度呈現正相關性($r = 0.7420^*$)，而脫氧山萵苣素和山萵苣苦素與葉綠素和糖度則無顯著相關性(Seo et al., 2009a)。植株葉綠素含量與糖度可能受品種、植株部位、供應養分及栽培環境等因子影響，因此兩者與倍半萜內酯類之相關性，可能是影響倍半萜內酯類含量之間接因子。

材料與方法



一、植物材料

本研究以皺葉苦苣(curly endive)‘綠精靈’ V-100 (*Cichorium endivia* L. var. *crispum* ‘Green Curled Ruffec’)為試驗材料，購自農友種苗公司，該公司以「菊苣(Endive)」作為商品名稱，惟其形態外觀確為皺葉苦苣。

二、試驗地點與設備

本研究於下列三處栽培苦苣：

(一) 生長箱

CHANG KUANG 專利新型第 M285207 號生長箱，光源有 LED (Light Emitting Diode)燈管及東亞 FH14N-EX/T T5/5000K 燈管兩種形式，每層配有 8 支燈管，調整光強度為 $220 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，光譜圖如附錄 1 (LED)、附錄 2 (T5) 所示。

(二) 密閉式植物工場

國立臺灣大學密閉式植物工場，一具層架有 3 層 40 L 栽培槽(110 cm × 50 cm × 7 cm)，覆蓋行株距 25 cm 之珍珠板。光源為 PHILIPS Essential TL5 28W/865 6500K 燈管，每層配有 6 支燈管，調整光強度為 $220 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，光譜圖如附錄 3 所示。並採用非循環式養液栽培系統。

(三) 塑膠型溫室

國立臺灣大學農業試驗場園藝分場圓頂力霸塑膠型溫室，其設有內外遮陰網、水牆、負壓式抽風扇 2 具、內循環風扇 2 具及微電腦控制系統。以行株距 25 cm 之珍珠板覆蓋於 18 L 保麗龍箱(43.2 cm × 36.2 cm × 15.4 cm)，行水耕栽培。

三、育苗

苦苣種子浸種 30 min 後，單粒個別播種於完全浸濕之海綿塊(2.5 cm × 2.5 cm)，胚根端垂直埋入海棉塊中，胚芽端些微突出海棉塊約 0.1 cm。海棉塊置於 500 型密林塑膠盆(45 cm × 35 cm × 11 cm)，加入自來水並維持約 2 cm 高度，栽培於日

/夜溫 25°C/25°C 及光週期 16 hr /8 hr 之 LED 燈管生長箱。

七日後篩選胚根突出海綿塊底部，且子葉展開良好之植株，將海綿塊上部吸濕的水擠乾，移至 96 孔方形穴盤中。穴盤置於塑膠盆，加入電導度(electrical conductivity, EC) 1.2 dS·m⁻¹ 之山崎氏萵苣水耕養液，栽培於日/夜溫 25°C/25°C，光週期 16 hr /8 hr 之 LED 燈管生長箱 14 天(約第 5 片真葉展開時)。期間以自來水及 200 倍母液調整養液，維持電導度為 1.2 dS·m⁻¹。

四、苗期溫度及養液電導度試驗

以三種日/夜溫 20°C/20°C、25°C/20°C 及 25°C/25°C，及六種山崎氏萵苣養液電導度 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 及 1.2 dS·m⁻¹ 栽培，共 18 種處理，置於光週期 16 hr /8 hr 之 LED 燈管生長箱。播種 21 天後採 6 株調查生長情形，篩選最適育苗之溫度與養液電導度組合。根據試驗結果再以 25°C/25°C 進行養液電導度 0.2 - 2.0 dS·m⁻¹ 試驗，決定最適育苗之溫度與電導度。

五、育成期溫度試驗

將三週苗定植於 24 L 600 型密林塑膠盆(53 cm × 42.5 cm × 13 cm)，行株距 25 cm，置於 T5 燈管生長箱，行水耕栽培。於光週期 16 hr /8 hr 下，以四種日/夜溫 17°C/14°C、20°C/17°C、23°C/20°C 及 26°C/23°C 栽培。採山崎氏萵苣養液配方，育成期維持 EC 1.2 dS·m⁻¹ 及 pH 5.5 - 6.0。育成期共 28 天，定植後每 7 天採 6 株調查生長情形及分析營養成分，並分析第 28 天植株之倍半萜內酯類含量。

六、育成期光週期試驗

將三週苗定植於 24 L 600 型密林塑膠盆，行株距 25 cm，置於 T5 燈管生長箱，行水耕栽培。於日/夜溫 23°C/20°C 下，以光週期 8 hr /16 hr、12 hr /12 hr 及 16 hr /8 hr 栽培，採養液為山崎氏萵苣養液配方，育成期維持 EC 1.2 dS·m⁻¹ 及 pH 5.5 - 6.0。育成期共 28 天，定植後每 7 天採 6 株調查生長情形及分析營養成分，並分析第 28



天植株之倍半萜內酯類含量。

七、育成期養液試驗

將三週苗定植於密閉式植物工場，於日/夜溫 20°C/20°C、光週期 16 hr /8 hr 下。由於前人研究未有適合苦苣水耕栽培的養液配方，本研究以山崎氏萵苣養液為基礎，分別調整不同元素濃度、硝態氮與銨態氮比例(表 1) 及電導度進行試驗。育成 28 天後採 6 株調查生長情形及分析營養成分，並分析不同磷、硫及鎂濃度栽培之植株倍半萜內酯類含量。

- (一) 氮濃度：90、135 與 180 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
- (二) 硝銨比：0:100、25:75、50:50 與 100:0
- (三) 磷濃度：8、16 與 32 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
- (四) 硫濃度：8、16 與 32 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
- (五) 鎂濃度：6、12 與 24 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
- (六) 電導度：0.8、1.2、1.6 與 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$

八、栽培季節試驗

在不同季節將三週苗定植於塑膠型溫室，使用山崎氏萵苣養液配方，育成期維持 EC 1.2 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 及 pH 5.5 - 6.0，各季節之氣象資料如附錄 4 (春季)、附錄 5 (夏季)、附錄 6 (秋季) 及附錄 7 (冬季)。育成 28 天後採 6 株進調查生長情形及分析營養成分和倍半萜內酯類含量，並比較春季育成 28 天與 56 天之營養生長。

- (一) 春季：於 2014/03/03 播種，2014/03/24 定植，2014/04/21 及 2014/05/19 採收
- (二) 夏季：於 2014/06/03 播種，2014/06/24 定植，2014/07/22 採收
- (三) 秋季：於 2014/09/08 播種，2014/09/29 定植，2014/10/27 採收
- (四) 冬季：於 2013/11/04 播種，2013/11/25 定植，2013/12/23 採收



九、調查項目

(一) 生長調查

測量株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率，乾重率是取 10 g 鮮重之植體，以 80°C 烘箱烘乾 120 hr 後，秤其乾物重再進行換算，
乾重率=樣本烘乾重量/樣本鮮重×100%。

(二) 營養成分分析

1. 葉綠素及類胡蘿蔔素

採用修改自 Lichtenthaler and Wellburn (1983) 及 Porra (2002) 之萃取分析方法。取 0.2 g 鮮重葉片置於玻璃試管內，加入 15 mL 80% 丙酮溶液(甲醇：丙酮 = 1：4)，並以石臘膜封口。樣品置於暗處隔夜(20 hr 以上)，再以分光光度計(U-5100, Hitachi High-Technologies Corp. Japan) 測定萃取液波長 663 nm、646 nm、652 nm 及 470 nm 之吸光值，並以下列公式計算葉綠素與類胡蘿蔔素濃度，其中 V 為 80% 丙酮溶液之體積(mL)，W 為取樣之葉片鮮重(g)。

$$(1) \text{葉綠素 a (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = [12.25 (A_{663}) - 2.55 (A_{646})] \times V/1000 \times 1/W$$

$$(2) \text{葉綠素 b (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = [20.31 (A_{646}) - 4.91 (A_{663})] \times V/1000 \times 1/W$$

$$(3) \text{總葉綠素 (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = A_{652} \times 1000/34.5 \times V/1000 \times 1/W$$

$$(4) \text{類胡蘿蔔素 (mg} \cdot \text{g}^{-1})$$

$$= [1000 \times A_{470} - 3.27(\text{葉綠素 a 濃度}) - 104(\text{葉綠素 b 濃度})] / 227 \times V/1000 \times 1/W$$

2. 維生素 C

取 0.1 g 鮮重葉片置於 2 mL 離心管內，加入 0.9 mL 二次水，以均質機磨碎後，再以 10,000 rpm 離心 2 分鐘。取上清液沾濕抗壞血酸試紙(MQuant™ Merck)，等待 15 秒，以反射式光度計(RQflex10, Reflectoquant® Merck)測定維生素 C 濃度。

3. 糖度

取 0.1 g 鮮重葉片置於 2 mL 離心管內，加入 0.9 mL 二次水，以均質機磨碎後，再以 10,000 rpm 離心 2 分鐘。取上清液以糖度計(Pocket Refractometer PAL-1,

ATAGO®)測定糖度。

4. 硝酸鹽

取 0.1 g 鮮重葉片置於 2 mL 離心管內，加入 0.9 mL 二次水，以均質機磨碎後，再以 10000 rpm 離心 2 分鐘。取上清液沾濕硝酸鹽試紙(MQuant™ Merck)，等待 60 秒，以反射式光度計(RQflex10, Reflectoquant® Merck)測定硝酸鹽濃度。

(三) 倍半萜內酯類含量分析

取 25 g 帶葉柄之葉片，於-40℃冷凍乾燥 48 hr 後，以均質機(sample homogenizer SH-100, Kurabo)磨成粉末，再以修改自 Ferioli and D'Antuono (2012)及 Price et al. (1990) 之方法進行萃取及分析定量。

1. 自由態倍半萜內酯類萃取

- (1) 取 0.5 g 粉末置於 50 mL 離心管內
- (2) 加入 102 µg santonin (Sigma) 作為內標準品(internal standard, IS)
- (3) 加入 15 mL [methanol/water 4/1 (v/v) + 2 % (v/v) formic acid]
- (4) 於室溫下震盪 1 分鐘，再以超音波震盪 10 分鐘
- (5) 以 8,000 rpm 離心 10 分鐘
- (6) 重複步驟 3、4、5，再萃取一次
- (7) 取兩次萃取上清液混合，於 45℃下減壓乾燥
- (8) 乾燥後以 2 mL methanol 浸潤收集萃取物
 - (a) 1 mL 萃取液 + 7 mL dichloromethane {自由態倍半萜內酯類}
 - (b) 1 mL 萃取液進行酵素還原結合態倍半萜內酯類

2. 酵素還原結合態倍半萜內酯類

- (9) 將 8(b) 1 mL 萃取液以氮氣吹乾
- (10) 加入 5 mL 水和 50 mg cellulase from *Aspergillus niger* (Sigma)
- (11) 於 40℃下攪拌 2 hr
- (12) 以 5 mL ethyl acetate 萃取三次



(13) 取乙酸乙酯萃取液於 45°C 下減壓乾燥

(14) 乾燥後以 1 mL methanol 浸潤收集萃取物

(a) 1 mL 萃取液 + 7 mL dichloromethane {自由+結合態倍半萜內酯類}

3. 固相萃取純化倍半萜內酯類

以固相萃取管柱(SI-1 Silica 500 mg / 3 mL, Strata[®] phenomenex)純化倍半萜內酯類萃取液，避免酚類及其他化合物干擾。

(15) 以 6 mL dichloromethane/i-propanol 1/1 (v/v) 沖洗管柱

(16) 以 6 mL dichloromethane 平衡管柱

(17) 將 8(a)、14(a) 樣品萃取液分別充填過濾

(18) 以 6 mL dichloromethane/ethyl acetate 3/2 (v/v) 洗提管柱

(19) 收集樣品濾液和洗提液，於 45°C 下減壓乾燥

(20) 乾燥後以 1 mL methanol/water 1/1 (v/v) 浸潤收集萃取物

(21) 以尼龍注射過濾器(13 mm; 0.45 μ m, Millipore)過濾樣品萃取液

(22) 將樣品儲存於-20°C

4. 倍半萜內酯類定性與定量

以液相層析串聯質譜儀(liquid chromatograph tandem mass spectrometer, LC-MS-MS)進行倍半萜內酯類定性與定量。液相層析儀為 Thermo Finnigan Surveyor, 串聯質譜儀為 Thermo Finnigan LXQ, 液相層析管柱為 Luna C18 (2) (3 μ m, 150 $\times$ 2.0 mm, Phenomenex)。液相層析條件如下，移動相 A 溶液 0.01% formic acid in water; 移動相 B 溶液 0.01% formic acid in methanol, 梯度為 0 min, 86% A; 20 min, 65% A; 30 min, 65% A; 45 min, 36% A; 50 min, 36% A; 52 min, 86% A; 60 min, 86% A, 流速 0.2 mL/min, 注射量 5 μ L。紀錄 UV-260 nm 層析圖譜以及 200 - 600 nm 吸收光譜。串聯質譜條件如下，ESI source: source voltage 5.00 kV; sheath gas flow rate 25.00 arb; aux gas flow rate 15.00 arb; capillary voltage 46.00 V / -35.00 V; capillary temperature 300°C; mass range 50-500 m/z , SRM mode: precursor ion 277⁺, 261⁺, 411⁺, 455⁻ and 247⁺。

資料以 Xcalibur 2.2 SP1 軟體分析，UV-260 nm 層析圖譜為定量依據，並以內標準品山道年(santonin)之標準曲線，作為山萵苣素(lactucin)、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)定量曲線。



十、統計分析

各試驗試驗皆採完全逢機設計(completely randomized design, CRD)，以統計軟體 CoStat 6.4 (CoHort software)分析各處理間最小顯著差異性(least significant difference, LSD) ($P < 0.05$)。

結果



一、倍半萜內酯類之定性

首先以內標準品山道年(santonin) $50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 於 UV-260 nm 之層析圖譜，確定其層析時間為 36.9 min，訊號強度約 950,000 μAU (圖 1)。由苦苣萃取物總倍半萜內酯類 UV-260 nm 層析圖譜可見 14.1 (x)、16.5 (a)、27.4 (b)、28.7 (y)、36.9 (IS)、42.3 (c) 及 46.0 (z) min 有明顯訊號(圖 2 A)，而自由態倍半萜內酯類 UV-260 nm 層析圖譜則有 16.5 (a)、27.4 (b)、36.9 (IS) 及 42.3 (c) min 之訊號(圖 2 B)。透過目標化合物分子量山萵苣素(lactucin) 276、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin) 260、山萵苣苦素(lactucopicrin) 410 及內標準品山道年(santonin) 246，鎖定選擇離子荷質比(m/z) 277^+ 、 261^+ 、 411^+ 、 455^- 及 247^+ 之層析圖譜，其中 455^- 為負離子模式下，山萵苣苦素(lactucopicrin) 410 鍵結一個甲酸分子的分子量。選擇離子荷質比(m/z) 277^+ 、 261^+ 、 411^+ 、 455^- 及 247^+ 層析圖譜分別於 16.6、27.5、42.5、42.5 及 37.0 min 出現訊號(圖 3)，因質譜偵測器串聯於 UV 偵測器之後，故質譜訊號時間略晚於 UV 訊號時間，與 UV-260 nm 層析圖譜時間對照吻合。

由於苦苣中三種主要倍半萜內酯類化合物及內標準品山道年之主要結構相同，僅某一官能基不同，四種化合物應有相似的吸收波段。因此進一步藉由比對上述層析時間析出化合物之 UV/VIS 吸收光譜圖，確認各化合物的吸光性質，以判定是否為目標化合物。比對層析時間 16.5 min (圖 4 A)、27.4 min (圖 5 A) 及 42.3 min (圖 6 A) UV/VIS 吸收光譜圖與山道年(santonin) UV/VIS 吸收光譜圖(圖 8 A)，可知四種化合物吸光性質相似，於波長 243-258 nm 有最大吸收波峰，波長 300 nm 以上則吸收光值極低。而層析時間 16.5 min、27.4 min 及 42.3 min 之質譜圖主要分子量分別為 277^+ (圖 4 B)、 261^+ (圖 5 B)、 411^+ (圖 6 B) 及 455^- (圖 7 A) 亦可再次確認其分子量。

因此比對選擇離子荷質比(m/z)層析圖譜、UV/VIS 吸收光譜圖及質譜圖，可確認 UV-260 nm 層析圖譜(圖 2) 16.5 (a)、27.4 (b) 及 42.3 (c) min 訊號分別為山萵苣素(lactucin)、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin) 及 山萵苣苦素(lactucopicrin)，而三者之二

次質譜圖主要分子量分別為 213^+ (圖 4 C)、 243^+ (圖 5 C)、 259^+ (圖 6 C) 及 408^- (圖 7 B)。

比較苦苣萃取物總倍半萜內酯類(圖 2 A)及自由態倍半萜內酯類(圖 2 B) UV-260 nm 層析圖譜，14.1 (x)、28.7 (y) 及 46.0 (z) min 之訊號為纖維素酶還原後才出現的化合物。由 UV/VIS 吸收光譜圖可確認三種未知化合物與山萵苣素(lactucin)、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)吸光性質不同，於波長 300 nm 以上仍有吸收波峰(圖 9 A、10 A、11A)。三種未知化合物正離子模式質譜圖主要分子量為 181^+ (圖 9 B)、 195^+ (圖 10 B) 及 401^+ (圖 11 B)；負離子模式下則為 258^- (圖 9 C)、 386^- (圖 10 C) 及 285^- (圖 11 C)。

二、溫度及養液電導度對苦苣苗之影響

於 3 種溫度與 6 種養液電導度(electrical conductivity, EC)組合處理試驗中，溫度與養液電導度對苦苣苗生長具交感作用(表 2)。於日/夜溫 $25^{\circ}\text{C}/25^{\circ}\text{C}$ 及 $\text{EC } 1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 下，苦苣苗有最大的株高、株幅(圖 12)、最大葉長、最大葉寬(圖 13) 與地上部鮮重(圖 14)，以及最低的乾重率(圖 14)。在 $25^{\circ}\text{C}/25^{\circ}\text{C}$ 下，於 $\text{EC } 0.2 - 1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 之間，苦苣苗之株高與最大葉片長度皆隨著 EC 提升而增加，於 $\text{EC } 1.2 - 2.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 之間則無差異(表 3)。株幅與地上部鮮重在 $\text{EC } 1.2$ 和 $1.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 達到最大，而後隨著 EC 提升而下降。最大葉片寬度隨著養液 EC 值提升而增加，於 $\text{EC } 1.8$ 和 $2.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 下，苦苣苗有最大的葉片寬。葉片數於 $\text{EC } 0.2 - 0.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 之間隨 EC 提升而增加，再提升養液 EC 值對葉片數並無影響(表 3)。乾重率於 $\text{EC } 0.2 - 1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 之間隨著 EC 提升而減少， $\text{EC } 1.2 - 2.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 之間則無差異(表 3)。

三、溫度對苦苣之影響

(一) 育成期之生長與葉片成分變化

以 $26^{\circ}\text{C}/23^{\circ}\text{C}$ 、 $23^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}/17^{\circ}\text{C}$ 及 $17^{\circ}\text{C}/14^{\circ}\text{C}$ 四種不同日/夜溫栽培苦苣，育成期間株高、株幅、最大葉片長度及最大葉片寬度之生長趨勢一致，整體而言



在較高溫度下生長較好，但以 23°C/20°C 栽培有較大的株高、株幅、最大葉長及最大葉寬(圖 15)。植株葉片數增加和地上部鮮重提升有相同趨勢，其中 26°C/23°C 栽培之苦苣於播種後第 49 天葉片數增幅趨緩，地上部鮮重增幅亦減少，因而低於 23°C/20°C 栽培之植株(圖 16)。比較於 23°C/20°C 與 20°C/17°C 栽培之苦苣，20°C/17°C 下植株葉片數較多，但地上部鮮重較 23°C/20°C 少(圖 16)。而以不同溫度栽培苦苣之乾重率，隨著栽培時間增加而減少，但播種後第 42 天與第 49 天之植株間則無差異(圖 16)。育成期間葉綠素及類胡蘿蔔素含量，整體而言呈現平穩狀態，不受栽培時間影響，但在 17°C/14°C 下，播種後第 28 天植株葉綠素及類胡蘿蔔素含量較高(圖 17)。苦苣之維生素 C 含量及糖度係隨栽培天數而減少，但於 20°C/17°C 和 17°C/14°C 下，播種後 49 天植株糖度較 42 天提升(圖 17)。

(二) 生長與營養成分

比較於不同溫度栽培 49 天之苦苣，在 26°C/23°C 和 23°C/20°C 下，株高、株幅、最大葉長及最大葉寬較大，且地上部鮮重較高，每株約 200 g，分別為 20°C/17°C 及 17°C/14°C 栽培的 1.6 和 2.5 倍。20°C/17°C 栽培之葉片數較多，每株平均達 49 片葉，而其株幅及最大葉長與 26°C/23°C 和 23°C/20°C 栽培者無差異；於 17°C/14°C 栽培則有較高乾重率 7.12% (表 4)。於不同溫度栽培之苦苣，葉綠素 a、總葉綠素、類胡蘿蔔素和維生素 C 含量皆無差異，26°C/23°C 下之葉綠素 b 則較 17°C/14°C 栽培低。此外，隨栽培溫度提升，苦苣糖度降低，且硝酸鹽含量增加(表 5)。

(三) 倍半萜內酯類

於 20°C/17°C 栽培之苦苣，自由態山萵苣素(lactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)含量較高，且有最高的總倍半萜內酯類含量 139.68 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{d.w.}$ ；17°C/14°C 下栽培則自由態山萵苣苦素(lactucopicrin)和總倍半萜內酯類含量較低，分別為 43.85 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{d.w.}$ 及 54.24 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{d.w.}$ (表 6)。自由態脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)於 17°C/14°C 下含量極微，無法定量，其餘溫度栽培者則無差異。結合態倍半萜內酯類僅於 17°C/14°C 栽培者測出山萵苣苦素(lactucopicrin) 7.96 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{d.w.}$ ，其餘結合態山萵苣素(lactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)含量極低(表 6)。



四、光週期對苦苣之影響

(一) 育成期之生長與葉片成分變化

以 16 hr /8 hr、12 hr /12 hr 及 8 hr /16 hr 三種不同光週期栽培，育成期間苦苣株高、株幅、最大葉長及最大葉寬之生長趨勢一致，其中以 16 hr /8 hr 較長的日照有較好的生長，而 8 hr /16 hr 於栽培 49 天之株高略為下降(圖 18)。不同光週期對育成期苦苣葉片數增加幅度無顯著影響，地上部鮮重以 16 hr /8 hr 栽培較佳，8 hr /16 hr 下產量較低；乾重率隨栽培時間增加而降低，但播種後第 42 天與第 49 天之植株間則無差異(圖 19)。育成期間葉綠素及類胡蘿蔔素含量以 16 hr /8 hr 栽培較高且平穩；12 hr /12 hr 下，其含量隨栽培天數而降低；於 8 hr /16 hr 環境時亦呈現下降趨勢，但於栽培 49 天葉綠素及類胡蘿蔔素含量提升(圖 20)。維生素 C 含量及糖度則呈現隨栽培天數而下降的趨勢(圖 20)。

(二) 生長與營養成分

比較不同光週期栽培 49 天之苦苣，16 hr /8 hr 下苦苣有最大的株高、最大葉寬及地上部鮮重，每株重量達 211.93 g；12 hr /12 hr 下株幅、最大葉長及葉片數較多；8 hr /16 hr 栽培則植株矮小生長緩慢，每株重量僅 86.45 g，且乾重率較低(表 7)。以光週期 12 hr /12 hr 栽培，葉綠素及類胡蘿蔔素含量較低，維生素 C 含量亦較 16 hr /8 hr 及 8 hr /16 hr 低，僅有 $24.0 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1} \text{ f.w.}$ ，且硝酸鹽含量大幅增加至 $8736.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ f.w.}$ ，約為其他光週期栽培之 1.7 倍(表 8)。8 hr /16 hr 及 12 hr /12 hr 下，植株糖度分別為 6.2°Brix 及 5.7°Brix ，含量較 16 hr /8 hr 栽培之 4.8°Brix 高(表 8)。

(三) 倍半萜內酯類

以不同光週期栽培苦苣，總倍半萜內酯類含量無差異，三種主要倍半萜內酯類中，僅自由態山萵苣苦素(lactucopicrin)有差異。於 16 hr /8 hr 栽培有較高的山萵苣苦素(lactucopicrin) $83.22 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ ，山萵苣苦素(lactucopicrin)含量則以 8 hr /16 hr 下 $54.13 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ 較低(表 9)。



五、栽培養液對苦苣之影響

(一) 養液氮濃度對苦苣生長及營養成分之影響

苦苣以 3 種氮濃度栽培， $180 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下有較大的株高及葉片數， $90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下則株幅較大(表 10)。植株地上部鮮重於氮濃度 $135 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $180 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培者較高，分別為 194.24 g 及 203.17 g ，乾重率則在 $135 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下較高(表 10)。苦苣葉綠素 a、葉綠素 b、總葉綠素、類胡蘿蔔素含量及糖度亦以氮濃度 135 及 $180 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培者較高；維生素 C 則在 $90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 有較高含量(表 11)。而栽培養液氮濃度提升，植株硝酸鹽含量亦增加，於氮濃度 $135 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 $180 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培，苦苣硝酸鹽含量高達 6080.0 及 $6353.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ f.w.}$ (表 11)。

(二) 養液硝酸態氮與銨態氮比例對苦苣生長及營養成分之影響

隨著養液銨態氮比例提升，苦苣植株高度增加，於硝酸態氮與銨態氮比例 $(\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+)$ $25:75$ 及 $0:100$ 下栽培之植株較高；而銨態氮比例降低時，株幅、最大葉長及最大葉寬增加(表 12)。以硝銨比 $75:25$ 及 $50:50$ 栽培之植株葉片數較多，地上部鮮重除了以全銨態氮栽培之 91.17 g 較低外，其他比例栽培間皆無差異，每株重量約 $120\text{-}140 \text{ g}$ (表 12)。苦苣葉綠素 a、葉綠素 b、總葉綠素及類胡蘿蔔素含量於全銨態氮 $0:100$ 下最高，分別為 1.40 、 0.43 、 2.26 及 $0.51 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ f.w.}$ ，以山崎氏萵苣養液(88:12)栽培則含量最低。而山崎氏萵苣養液(88:12)及硝銨比 $75:25$ 栽培者維生素 C 含量較高；硝銨比 $75:25$ 及 $50:50$ 下則有較高的糖度(表 13)。整體而言，苦苣硝酸鹽含量隨銨態氮比例提升而下降，以全銨態氮栽培之苦苣硝酸鹽含量極低($< 50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ f.w.}$)，但在硝銨比 $75:25$ 下硝酸鹽含量較山崎氏萵苣養液(88:12)栽培者高(表 13)。

(三) 養液磷濃度對苦苣生長、營養成分及倍半萜內酯類含量之影響

以養液磷濃度 8 、 16 及 $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培苦苣，最大葉長、最大葉寬、葉片數及乾重率不因養液磷濃度不同而有差異。株高及株幅於磷濃度 8 及 $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 者較大，

且以磷濃度 $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培之植株地上部鮮重 139.60 g 較 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培者 114.75 g 高(表 14)。不同磷濃度栽培苦苣之葉綠素 a、總葉綠素及類胡蘿蔔素含量間並無差異，葉綠素 b 則在 $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下含量較低(表 15)。以磷 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培苦苣，維生素 C 含量 $40.2 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ f.w.}$ 較 $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培之 $34.5 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ f.w.}$ 高，且有較高的糖度 5.8°Brix 。硝酸鹽含量則以磷 $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培者較低(表 15)。

不同磷濃度栽培苦苣之自由態山萵苣素(lactucin)及結合態山萵苣素(lactucin)、山萵苣苦素(lactucopicrin)含量無差異。於磷濃度 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下，則自由態山萵苣苦素(lactucopicrin) $54.66 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ 和總倍半萜內酯類 $120.39 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ 含量皆較以 $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培者高。而不同磷濃度間總倍半萜內酯類含量之差異與自由態山萵苣苦素(lactucopicrin)之差異性一致(表 16)。

(四) 養液硫濃度對苦苣生長、營養成分及倍半萜內酯類含量之影響

苦苣於 3 種硫濃度中， 16 及 $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培生長較佳，地上部鮮重分別為 139.60 g 及 149.30 g ，而 $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下乾重率 7.23% 較 $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培之 5.10% 高。以硫濃度 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培之苦苣植株外葉乾枯壞死，生長狀況極差，地上部鮮重僅 10.69 g (表 17)。硫 $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下栽培苦苣之葉綠素 a、葉綠素 b、總葉綠素、類胡蘿蔔素和維生素 C 含量亦最高，分別為 1.50 、 0.50 、 2.44 、 $0.51 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1} \text{ f.w.}$ 及 $43.8 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1} \text{ f.w.}$ (表 18)。葉片糖度則以 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下之 8.8°Brix 最高，且硝酸鹽 $940.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ f.w.}$ 含量最低(表 18)。

以硫濃度 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培之苦苣產量低，不足以分析倍半萜內酯類含量。於硫 $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 下栽培之苦苣自由態山萵苣素(lactucin)、山萵苣苦素(lactucopicrin)及總倍半萜內酯類含量較 $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培者高，其中總倍半萜內酯類含量 $188.48 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ 為 $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培的 2.3 倍(表 19)。

(五) 養液鎂濃度對苦苣生長、營養成分及倍半萜內酯類含量之影響

以鎂濃度 8 、 16 及 $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 栽培之苦苣地上部鮮重無差異，每株約 120 – 140 g ；

但 $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下之葉片數較少，且乾重率較低(表 20)。鎂濃度 $24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下苦苣葉綠素 a、葉綠素 b、總葉綠素及類胡蘿蔔素含量較 $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 栽培者高，且於 6 及 $24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 栽培之維生素 C 含量及糖度較高，植株硝酸鹽含量則不受栽培液鎂濃度影響(表 21)。

於鎂濃度 $24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下栽培，苦苣有較高的自由態山萵苣素(lactucin)、山萵苣苦素(lactucopicrin)、結合態山萵苣素(lactucin)與總倍半萜內酯類含量，其中總倍半萜內酯類含量 $194.56 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ ，分別為以鎂 6 及 $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 栽培者之 1.6 及 2.3 倍，且不同鎂濃度間總倍半萜內酯類含量之差異與自由態山萵苣苦素(lactucopicrin)差異性一致(表 22)。

(六) 養液電導度對苦苣生長及營養成分之影響

在 4 種山崎氏萵苣養液電導度中，以 $1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 栽培之苦苣株幅、最大葉長及最大葉寬較大，每株地上部鮮重 139.60 g 及維生素 C 含量 $36.7 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1} \text{ f.w.}$ 亦較高，但葉綠素 a、葉綠素 b、總葉綠素、類胡蘿蔔素含量及糖度皆較其他養液電導度栽培者低；以 $\text{EC } 0.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 栽培則有較高的乾重率 6.80% (表 23、表 24)。苦苣硝酸鹽含量隨栽培液電導度提升而增加，以 $\text{EC } 0.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 栽培者，含量 $1575.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ f.w.}$ 較低(表 24)。

六、栽培季節對苦苣之影響

(一) 生長與營養成分

春季栽培之苦苣有較大之最大葉長 10.7 cm 、葉片數 48 片、每株地上部鮮重 195.67 g 及維生素 C 含量 $49.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ f.w.}$ 。夏季栽培者有較高的乾重率 10.61% 及糖度 9.8°Brix 。冬季栽培則株高、株幅及最大葉長較大，但乾重率、葉綠素 a、葉綠素 b、總葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C 及糖度皆較低。其中春季栽培之地上部鮮重約為其他季節栽培的 2 倍，且硝酸鹽 $1406.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ f.w.}$ 含量最低(表 25、表 26)。冬季栽培者硝酸鹽 $4743.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ f.w.}$ 含量最高，高達春季栽培的 3.4 倍；秋

季栽培者硝酸鹽含量 $3353.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ f.w.}$ ，亦為春季栽培的 2.4 倍(表 26)。此外，比較春季育成 28 天及 56 天之苦苣，育成 56 天之植株外葉老化腐爛，導致株幅及地上部鮮重較育成 28 天者少。株幅由 40.6 cm 減少至 35.7 cm；地上部鮮重由 195.67 g 減少為 158.82 g；株高、最大葉長、最大葉寬、葉片數及乾重率則無差異(表 27)。

(二) 倍半萜內酯類

夏季栽培之苦苣總倍半萜內酯類含量 $128.70 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ ，較春季及秋季者高出 1.5 倍，春季及秋季栽培間則無差異(表 28)。夏季苦苣總倍半萜內酯類含量提升主要來自自由態脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)的增加，其含量 $56.84 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ 遠較其他季節栽培者高。冬季栽培苦苣則自由態山萵苣素(lactucin) $27.86 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ 含量較高，但結合態山萵苣素(lactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)含量極低。不同栽培季節之苦苣自由態山萵苣苦素(lactucopicrin)及結合態山萵苣素(lactucin)、山萵苣苦素(lactucopicrin)含量無差異(表 28)。此外，育成 56 天之苦苣總倍半萜內酯類含量 $162.91 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ ，較育成 28 天 $86.73 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ 高(表 29)。育成 56 天苦苣自由態山萵苣素(lactucin)、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)含量皆較育成 28 天者高，其中自由態山萵苣苦素(lactucopicrin)含量 $124.66 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ d.w.}$ 為主要影響因素，較後者增加 1.8 倍，但結合態山萵苣苦素(lactucopicrin)較低(表 29)。

討論

於日/夜溫 25°C/25°C 下，以山崎氏萬苣養液配方為基礎，調整為 10 種電導度 (electrical conductivity, EC) 培育苦苣苗，EC 1.2 及 1.4 dS·m⁻¹ 栽培者有最大的株高、株幅、最大葉長、葉片數及地上部鮮重；再提升養液電導度雖可增加植株葉片寬度，但株幅及地上部鮮重下降，故於 25°C/25°C 下 EC 1.2 及 1.4 dS·m⁻¹ 為苦苣苗最適生長的養液電導度(表 3)。然考量避免養液的浪費及成本的考量，故選擇 EC 1.2 dS·m⁻¹ 作為苦苣育苗之養液電導度。

苦苣於 4 種育成期溫度中，以 26°C/23°C 及 23°C/20°C 之生長較佳且產量較高，但於 26°C/23°C 栽培 49 天，苦苣葉片發生頂燒，導致植株葉片數減少，也造成整體品質下降。頂燒病是由於植株缺乏鈣元素所引起的生理障礙，當養液中缺乏有效鈣元素或是植株蒸散流減少，都可能造成植株缺鈣而發生頂燒。鈣元素係隨著蒸散流移動，於植體內固定後不易運移，所以當蒸散流減少，便容易導致植株鈣元素缺乏，特別是初生的幼葉。高溫環境下，由於植株蒸散作用強烈，根系吸收水分速度不及蒸散速度，氣孔會關閉以避免過度蒸散(Jenni et al., 2008)。因此植株蒸散流減少，新葉又因高溫環境快速生長，導致鈣元素缺乏而發生頂燒病(Jenni et al., 2008)。此外，於 20°C/17°C 栽培之苦苣葉片數較多，但產量低於 26°C/23°C 及 23°C/20°C 栽培者；17°C/14°C 低溫下則植株矮小生長緩慢，葉片數及地上部鮮重皆較低，但也因此乾重率及糖度較高(表 3、表 4)。以較高的溫度栽培苦苣，雖地上部鮮重較高，但因植株蒸散旺盛，根系大量吸收水分，導致硝酸鹽於植體中累積。

苦苣為長日植物，長日使植株趨向生殖生長而抽苔開花，導致產量減少(Ukłańska-Pusz and Adamczewska-Sowińska, 2011)，16 hr 光照下栽培，植株簇生葉片數較少(Rappaport and Bonner, 1960)。但本研究於光週期 16 hr /8 hr 栽培苦苣，地上部鮮重及乾重率較高；12 hr /12 hr 下葉片數較多，但產量低於 16 hr /8 hr 栽培者；8 hr /16 hr 下則植株矮小生長緩慢(表 7)。本研究與歐洲地區的栽培模式不同而有不同的結果。歐洲地區苦苣生產栽培期約 90-100 天，每株地上部鮮重達 400-500 g，其栽培期較長，可能面臨長日環境，促使植株趨向生殖生長而抽苔開花。本研究

欲建立植物工場苦苣栽培模式，生產上考量空調及光照等能源成本，同時參考臺灣市場上苦苣的銷售重量及消費習慣，將栽培期縮短至 49 天，每株地上部鮮重約 150-200 g。因栽培期較短，植株並未因 16 hr 光照而趨向生殖生長，故無葉片數及產量減少的情況。此外，於長日環境下，糖類因植株快速生長而濃度降低，造成苦苣糖度較低。短日環境下，硝酸鹽因日照不足而累積(Schonbeck et al., 1991)，以 12 hr 日長栽培之苦苣硝酸鹽含量為 16 hr 日長栽培的 1.7 倍，但縮短日長至 8 hr，硝酸鹽含量並未增加，可能因為短日下植株生長緩慢，根系生長狀況及吸收水分養分皆較 12 及 16 hr 日長栽培者差，植體中硝酸鹽因而較少。

無論在不同溫度或光週期，苦苣育成期間維生素 C 及糖度皆呈現隨栽培時間而下降的趨勢(圖 17、圖 20)，可能是隨著植株地上部鮮重增加而濃度降低的緣故。以栽培期 49 天而言，苦苣產量較高的溫度與光週條件為 23°C/20°C 及 16/8 hr，與生產較多葉片數之條件 20°C/17°C 及 12 hr /12 hr 不同。若以產量為生產目標，於 23°C/20°C 及 16 hr /8 hr 下栽培最佳，雖植株糖度較低，但硝酸鹽含量亦較低。

苦苣屬於易累積硝酸鹽的蔬菜作物(Santamaria, 2006)，提升養液氮濃度雖可提高產量，但也造成硝酸鹽含量大幅增加，於氮 135 mg·L⁻¹ 及 180 mg·L⁻¹ 栽培，硝酸鹽含量分別為 90 mg·L⁻¹ 栽培的 1.6 及 1.7 倍(表 10、表 11)。雖然苦苣易累積硝酸鹽，但可藉由提供銨態氮而降低含量，且苦苣對銨的累積具有耐受性，無銨毒害發生(Bonasia et al., 2008; Santamaria and Elia, 1997)。以不同硝酸態氮及銨態氮比例栽培苦苣，植株地上部鮮重除了以全銨態氮栽培者較低外，其餘比例並無差異(表 12)。本試驗過程雖定期維持養液酸鹼值於 pH 5.5-6.0，但以全銨態氮栽培者，可能因養液酸化劇烈，酸鹼值變化太大導致植株生長不良。此外，以 4 N 氫氧化鈉(NaOH)調整栽培液，鈉離子使養液電導度已達栽培標準 1.2 dS·m⁻¹，導致母液添加量不足，可能造成其他營養元素缺乏，而使植株生長不良。隨著養液銨態氮比例提升，苦苣硝酸鹽含量下降，以全銨態氮栽培者，硝酸鹽含量低於偵測極限，但於硝銨比 75:25 栽培之硝酸鹽含量較山崎氏萬苣養液(88:12)栽培者高(表 13)，此結果與 Santamaria and Elia (1997) 相似。

分別調整山崎氏萵苣養液為磷濃度 $32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 及硫濃度 $32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，苦苣有較高的地上部鮮重及較低的硝酸鹽含量；鎂濃度則對兩者無影響(表 14、表 17、表 20)。於硫濃度 $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下，植株外葉乾枯壞死，生長狀況極差，地上部鮮重僅 10.69 g (表 17、附錄 10 A)，故苦苣對缺乏硫元素極為敏感。苦苣於硫濃度 $32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 及鎂濃度 $24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 栽培，葉綠素及類胡蘿蔔素含量較高；磷 $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、硫 $32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 及鎂 6 和 $24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下，則有較高的維生素 C 含量(表 15、表 18、表 21)。

養液電導度以 $\text{EC } 1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 最適合苦苣生產栽培，若提升養液電導度，硝酸鹽含量隨之增加；若降低為 $\text{EC } 0.8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ，雖硝酸鹽含量降低，但植株生長緩慢而產量低(表 23、表 24)。綜上所述，若以高產量且低硝酸鹽為目標，栽培養液磷 $32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、硫 $32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、鎂 $24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、氮 $135 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，硝銨比 25:75 及 $\text{EC } 1.2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ，最適苦苣水耕栽培生產。

苦苣於波蘭秋季栽培之產量較春季栽培者高出 41.5% (Ukłańska-Pusz and Adamczewska-Sowińska, 2011)，但本研究之栽培季節試驗，春季栽培之苦苣有最多的葉片數及最大產量(表 25)，且維生素 C 含量較高(表 26)，可能亦因栽培模式與歐洲地區不同。以栽培溫度而言，本研究春季栽培之溫室均溫為 25°C ，較接近生長箱溫度試驗之最適生長溫度。夏季溫室均溫為 30°C ，溫度過高而植株生長不良，雖日照充足而植株乾重率及糖度較高，但產量及品質不佳。此外，夏季栽培苦苣之葉片形態與其他季節栽培有明顯差異，春季生長狀況良好的苦苣葉片缺刻捲曲，葉片薄嫩；夏季栽培則葉片平滑，較為圓厚(附錄 11)。秋季之溫室均溫 27°C 略高於苦苣生長適溫，產量較低，且因日照不足而硝酸鹽含量較高。冬季栽培之溫室均溫 20°C 且日照不足，苦苣生長緩慢，乾重率、葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C 及糖度皆低於其他季節栽培者，且硝酸鹽含量增加。此外，將春季育成期由 28 天延長至 56 天，苦苣植株外葉老化腐爛，導致株幅及地上部鮮重較育成 28 天減少(表 27)。此結果與前人研究中的歐洲栽培模式有所不同，可能為栽培品種的不同，本研究使用之苦苣‘綠精靈’(‘Green Curled Ruffec’)品種，適合於臺灣以短期葉菜生產模式栽培。Ukłańska-Pusz and Adamczewska-Sowińska (2011)在波蘭春季栽培，期間

溫度約 10°C-18°C，因其緯度較臺北高，春季氣溫較低，且春季長日導致苦苣營養生長期縮短，故其試驗以秋季栽培產量較高。本研究苦苣栽培期 49 天較短，且臺北春季溫室氣溫 25°C 且光照較充足，較適合苦苣栽培生產，故產量最高。

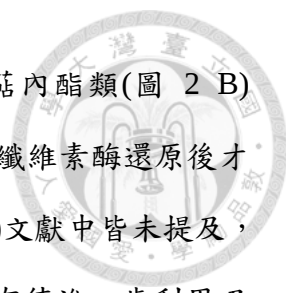
山萵苣素(lactucin)、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)是苦苣中主要的倍半萜內酯類，是其苦味的來源(Price et al., 1990; Van Beek et al., 1990)。可能影響苦苣倍半萜內酯類含量的因子包括品種、植株部位、栽培養分及栽培環境如溫度、濕度等(Foster et al., 2006; Foster et al., 2011; Price et al., 1990; Seo et al., 2009a; Seo et al., 2009b)，但前人尚無以苦苣為材料，探討影響其倍半萜內酯類含量之環境及營養因子。前人研究中皆以 UV-260 nm 層析圖譜作為倍半萜內酯類定量依據，雖考量 UV-260 nm 光學訊號可能有訊號重疊的干擾，本研究嘗試以選擇離子荷質比(m/z) 277⁺、261⁺、411⁺、455⁻及 247⁺層析圖譜進行定量，但結果不理想，各種倍半萜內酯類含量極低無法定量。可能山萵苣素(lactucin)、脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)及山萵苣苦素(lactucopicrin)游離化程度低，導致質譜訊號微弱，因此最終仍採用 UV-260 nm 層析圖譜作為倍半萜內酯類定量依據。

Price et al. (1990)針對不同萵苣、苦苣及菊苣(chicory)品種分析結果，大部分品種結合態倍半萜內酯類含量高於自由態，Ferioli and D'Antuono (2012)研究中，菊苣(chicory)結合態倍半萜內酯類亦佔大部分。但本研究結合態倍半萜內酯類並非苦苣‘綠精靈’(‘Green Curled Ruffec’)中含量較多者，自由態倍半萜內酯類反而是主要的影響成分。雖不排除因纖維素酶還原過程不完全，導致部分結合態倍半萜內酯類未被釋出，但 Price et al. (1990)研究中，部分苦苣品種‘Ione’‘Wallone’倍半萜內酯類含量亦是以自由態為主。此外，於生長箱進行的溫度與光週試驗，與植物工場的磷、硫及鎂濃度試驗，兩者結合態倍半萜內酯類有明顯差異，溫度與光週試驗之苦苣結合態倍半萜內酯類含量低(表 6、表 9)；磷、硫及鎂濃度試驗則結合態山萵苣苦素(lactucopicrin)含量維持在 40-60 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (表 16、表 19、表 22)。生長箱與植物工場環境濕度變化有明顯差異，生長箱一天之中濕度變化較恆定(附錄 8)；植物工場一天之中濕度變化大而不穩定(附錄 9)，且植物工場無日夜溫差，但栽培環

境對結合態倍半萜內酯類含量之影響機制有待深入探討。

苦苣‘綠精靈’(‘Green Curled Ruffec’)於 20°C/17°C 栽培有較高的倍半萜內酯類含量，不同光週期栽培則無差異(表 6、表 9)。而在養液磷濃度 8 mg·L⁻¹、硫濃度 32 mg·L⁻¹ 及鎂濃度 24 mg·L⁻¹ 下，總倍半萜內酯類含量亦較高(表 16、表 19、表 22)，此結果與 Seo et al. (2009b) 萵苣試驗不同，可能是物種的差異。Seo et al. (2009b) 表示磷及硫元素對萵苣倍半萜內酯類含量影響較大，鎂元素則影響較小，但倍半萜內酯類生合成中的關鍵酵素大根香葉烯 A 合成酶受鎂離子影響(Kim et al., 2005)。本研究中將鎂濃度由 12 mg·L⁻¹ 提升至 24 mg·L⁻¹，總倍半萜內酯類含量提高 2.3 倍；硫濃度由 16 mg·L⁻¹ 提升至 32 mg·L⁻¹，總倍半萜內酯類含量亦提高 2.3 倍(表 19、表 22)。因此，栽培養液硫及鎂濃度對苦苣‘綠精靈’(‘Green Curled Ruffec’)倍半萜內酯類含量有顯著影響，磷濃度則影響較小。

不同季節栽培之苦苣，以夏季栽培之總倍半萜內酯類含量最高，其原因可排除溫度提升及光週期延長的直接影響，但可能為高溫及長日下植株趨向生殖生長，而導致倍半萜內酯類含量提升。Rees and Harborne (1985) 研究中，菊苣(chicory)趨向生殖生長時期，根部倍半萜內酯類含量下降，而葉片含量提升。Seo et al. (2009a) 分析抽苔後的萵苣葉片，越頂端葉片之倍半萜內酯類含量亦較高。因此夏季栽培之苦苣可能因趨向生殖生長，倍半萜內酯類含量提升，而高溫及長日則是造成倍半萜內酯類含量增加的間接因素。此外，夏季苦苣總倍半萜內酯類含量的提升主要來自自由態脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)的增加(表 28)，於其他溫度、光週期及養液試驗中，植株自由態脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)含量極低，且上述試驗植株皆無生殖生長之現象。另比較春季育成 56 天之苦苣，其植株接近生殖生長狀態，自由態脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)亦明顯增加(表 29)，因而可以推測自由態脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)是植株趨向生殖生長後含量提升的主要倍半萜內酯類。屏除因植株趨向生殖生長自由態脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)的增加，於各試驗中自由態山萵苣苦素(lactucopicrin)是影響對苦苣‘綠精靈’(‘Green Curled Ruffec’)總倍半萜內酯類含量的主要因子。



比較苦苣萃取物總倍半萜內酯類(圖 2 A)及自由態倍半萜內酯類(圖 2 B) UV-260 nm 層析圖譜，14.1 (x)、28.7 (y)及 46.0 (z) min 之訊號為纖維素酶還原後才出現的化合物，Ferioli and D'Antuono (2012)及 Price et al. (1990)文獻中皆未提及，且其層析圖譜無明顯訊號，因此無法判定三者為何種化合物，有待進一步利用吸收光譜及質譜圖比對確認。尤其總倍半萜內酯類 UV-260 nm 層析圖譜(圖 2 A) 28.7 min 之訊號較三種目標倍半萜內酯類強烈，於苦苣‘綠精靈’(‘Green Curled Ruffec’)中應有較多的含量，且其訊號與脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin) 27.4 min 訊號極為接近，甚至掩蓋脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)之訊號，嚴重影響脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)定量。

於生長箱及植物工場栽培之苦苣除了結合態倍半萜內酯類有差異，每株地上部鮮重亦有落差，生長箱栽培之苦苣於最適溫度下約每株 200 g，植物工場栽培則約 140 g。生長箱溫度為 23°C/20°C，植物工場為 20°C/20°C，可能是日溫造成的差異。且植物工場濕度變化較大，植株氣孔可能因調節不佳，外葉邊緣易失水焦枯，且根系吸收水分養分較少，導致產量較低。另一因素可能是兩者栽培槽高度所影響，生長箱栽培槽高度約 9 cm，植物工場則為 7 cm，前者栽培之苦苣根系較大，雖可能因此消耗更多同化物發展根系，但整體吸收水分及養分提升，因而產量較高。

結論

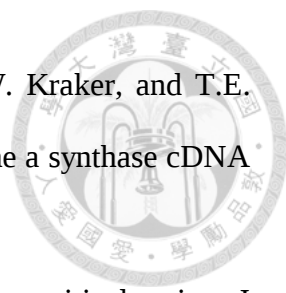


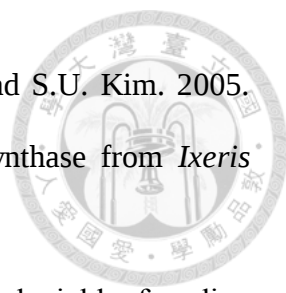
植物工場水耕苦苣‘綠精靈’，育苗以定溫 25℃ 及電導度 1.2 dS·m⁻¹ 之山崎氏萵苣水耕養液較佳。因本研究栽培期較歐洲地區慣行栽培期短，育成期間植株皆未受日長影響，維持營養生長狀態，於日夜溫度 23℃/20℃ 及光週期 16 hr /8 hr 下產量最高；倍半萜內酯類含量以 20℃/17℃ 栽培者較高，但不受光週期影響。苦苣於不同鎂濃度養液栽培產量無差異，但對硫元素缺乏敏感，硫濃度 8 mg·L⁻¹ 下植株外葉乾枯壞死。苦苣易累積硝酸鹽，但對銨態氮具有耐受性，而無銨毒害發生，故可供給較高銨態氮比例之養液，降低植株硝酸鹽含量。分別調整山崎氏萵苣水耕養液為磷 32 mg·L⁻¹、硫 32 mg·L⁻¹、鎂 24 mg·L⁻¹、氮 135 mg·L⁻¹、硝銨比 25:75 及電導度 1.2 dS·m⁻¹，苦苣產量較高且硝酸鹽含量低；而以磷 8 mg·L⁻¹、硫 32 mg·L⁻¹ 及鎂 24 mg·L⁻¹ 栽培，則苦苣倍半萜內酯類含量提升。於臺灣臺北溫室栽培苦苣，秋冬作植株硝酸鹽含量較高，且營養價值低；春季較適合生產，產量高且硝酸鹽含量低，但定植 8 週之苦苣自由態脫氧山萵苣素有增加的趨勢；夏季栽培則苦苣葉片形態改變，且植株趨向生殖生長，自由態脫氧山萵苣素(8-deoxylactucin)增加，總倍半萜內酯類含量亦提升。自由態脫氧山萵苣素可能是苦苣趨向生殖生長的指標之一，而維持營養生長之植株，自由態山萵苣苦素(lactucopicrin)是影響其總倍半萜內酯類含量的主要因子。

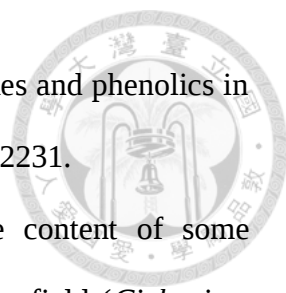
參考文獻



- 黃涵、洪立. 1988. 苦苣. p.73. 刊於：黃涵、洪立編. 台灣蔬菜彩色圖說. 豐年社. 臺北.
- 薛聰賢. 2009. 菊苣. p.18. 刊於：薛聰賢編. 台灣蔬果食用百科1. 薛聰賢出版社. 彰化.
- 張定霖. 2003. 菊苣. p.149. 刊於：周明燕、王小華編. 香藥草植物圖鑑. 行政院農業委員會種苗改良繁殖場. 臺中.
- 吳昭其. 1992. 菊苣. p.126-127. 刊於：吳昭其編. 臺灣的蔬菜(一). 渡假出版社有限公司. 臺北.
- Abou-Hadid, A.F., E.M. Abd-Elmoniem, M.Z. El-Shinawy, and M. Abou-Elsoud. 1996. Electrical conductivity effect on growth and mineral composition of lettuce plants in hydroponic system. *Acta Hort.* 434:59-66.
- Adamczewska-Sowińska, K. and C.M. Uklańska. 2009. Effect of nitrogen fertilization on yield and quality of endive. *Veg. Crop. Res. Bul.* 70:193-201.
- Adamczewska-Sowińska, K. and C.M. Uklańska. 2012. The effects of blanching on biological value of endive (*Cichorium endivia* L.). *Acta Hort.* 934:1197-1203.
- Akoumianakis, K.A., H.C. Passam, P.E. Barouchas, and N.K. Moustakas. 2008. Effect of cadmium on yield and cadmium concentration in the edible tissues of endive (*Cichorium endivia* L.) and rocket (*Eruca sativa* Mill.). *J. Food Agr. Environ.* 6:206-209.
- Azevedo-Meleiro, C.H. and D.B. Rodriguez-Amaya. 2005. Carotenoids of endive and New Zealand spinach as affected by maturity, season and minimal processing. *J. Food Compos. Anal.* 18:845-855.
- Bonasia, A., G. Conversa, M. Gonnella, F. Serio, and P. Santamaria. 2008. Effects of ammonium and nitrate nutrition on yield and quality in endive. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 83:64-70.

- 
- Bouwmeester, H.J., J. Kodde, F.W.A. Verstappen, I.G. Altug, J.W. Kraker, and T.E. Wallaart. 2002. Isolation and characterization of two germacrene synthase cDNA clones from chicory. *Plant Physiol.* 129:134-144.
- Britto, D.T. and H.J. Kronzucker. 2002. NH_4 toxicity in higher plants: a critical review. *J. Plant Physiol.* 159: 567-584.
- Calvo, C., S. Bolado, J. Alvarez-Benedí, and M.A. Andrade. 2006. Arsenic uptake and accumulation in curly endives (*Cichorium endivia* L.) irrigated with contaminated water. *J. Environ. Sci. Health.* 41:459-470.
- Ferioli, F. and L.F. D'Antuono. 2012. An update procedure for an effective and simultaneous extraction of sesquiterpene lactones and phenolics from chicory. *Food Chem.* 135:243-250.
- Foster, J.G., K.A. Cassida, and M.A. Sanderson. 2011. Seasonal variation in sesquiterpene lactone concentration and composition of forage chicory (*Cichorium intybus* L.) cultivars. *Grass Forage Sci.* 66:424-433.
- Foster, J.G., W.M. Clapham, D.P. Belesky, M. Labreuveux, M.H. Hall, and M.A. Sanderson. 2006. Influence of cultivation site on sesquiterpene lactone composition of forage chicory (*Cichorium intybus* L.). *J. Agr. Food Chem.* 54:1772-1778.
- Gajc-Wolska, J., K. Kowalczyk, J. Radzanowska, and M. Marcinkowska. 2012a. Yield and quality attributes of endive (*Cichorium endivia* L.) cultivated in rockwool slabs. *Acta Hort.* 927:367-372.
- Gajc-Wolska, J., K. Kowalczyk, M. Nowecka, K. Mazur, and A. Metera. 2012b. Effect of organic-mineral fertilizers on the yield and quality of endive (*Cichorium endivia* L.). *Acta Sci. Pol.* 11:189-200.
- Jenni, S., J.F. Dubuc, J.C. Desrosiers, and K.A. Stewart. 2008. Cooling the canopy with sprinkler irrigation to reduce tipburn in endive. *Acta Hort.* 792:379-384.

- 
- Kim M.Y., Y.J. Chang, M.H. Bang, N.I. Baek, J. Jin, C.H. Lee, and S.U. Kim. 2005. cDNA isolation and characterization of (+)-Germacrene A synthase from *Ixeris dentata* form. *albiflora* Hara. J. Plant Biol. 48:178-186.
- Koudela, M. and K. Petříková. 2007. Nutritional composition and yield of endive cultivars – *Cichorium endivia* L. Hort. Sci. 34:6-10.
- Kraker, J.W., M.C.R. Franssen, A. Groot, W.A. Konig, and H.J. Bouwmeester. 1998. (+)-Germacrene a biosynthesis: the committed step in the biosynthesis of bitter bisguiterpene lactones in chicory. Plant Physiol. 117:1381-1392.
- Leclercq, E. 1984. Determination of lactucin in roots of chicory (*Cichorium intybus* L.) by high-performance liquid chromatography. J. Chromatogr. 283:441-444.
- Mahmoud, S.S. and R.B. Croteau. 2001. Metabolic engineering of essential oil yield and composition in mint by altering expression of deoxyxylulose phosphate reductoisomerase and menthofuran synthase. Proc. Natl. Acad. Sci. 98:8915-8920.
- Merfort, I. 2002. Review of the analytical techniques for sesquiterpenes and sesquiterpenes lactones. J. Chromatogr. 967:115-130.
- Ocvirk, D., R. Hanzer, S.Š. Marković, and T. Teklić. 2012. Effects of genotype, seed age and KNO₃ on germination of radicchio (*Cichorium intybus* L.) and endive (*Cichorium endivia* L.) seed. Agr. Consp. Sci. 77:185-190.
- Park, K.W. and J.M. Lee. 2006. Wrap-ups: a unique method of vegetable usage and consumption in Korea. Chron. Hort. 46:13-15.
- Price, K.R., M.S. DuPont, R. Shepherd, H.W.S. Chan, and G.R. Fenwick. 1990. Relationship between the chemical and sensory properties of exotic salad crops-coloured lettuce (*Lactuca sativa*) and chicory (*Cichorium intybus*). J. Sci. Food Agr. 53:185-192.
- Rappaport, L. and J. Bonner. 1960. Interactions of gibberellin, vernalization, photoperiod and temperature in the flowering of endive. Plant Physiol. 35:98-102.

- 
- Rees S.B. and J.B. Harborne. 1985. The role of sesquiterpene lactones and phenolics in the chemical defence of the chicory plant. *Phytochem.* 24:2225-2231.
- Rekowska, E. and B. Jurga-Szlempo. 2011. Comparison of the content of some chemical compounds in two endive cultivars grown on an open field (*Cichorium endivia* L.). *J. Elem.* 19:247-253.
- Rodriguez, E., G.H.N. Towers, and J.C. Mitchell. 1976. Biological activities of sesquiterpenes lactones. *Phytochem.* 15:1573-1580.
- Ryder, E.J. 1999. Lettuce, endive and chicory. CABI publishing. New York.
- Santamaria, P. 2006. Review: Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agr.* 86:10-17.
- Santamaria, P., A. Elia, A. Parente, and F. Serio. 1998. Fertilization strategies for lowering nitrate content in leafy vegetables: chicory and rocket salad cases. *J. Plant Nutr.* 21:1791-1803.
- Santamaria, P., A. Elia, and M. Gonnella. 1997. Changes in nitrate accumulation and growth of endive plants during light period as affected by nitrogen level and form. *J. Plant Nutr.* 20:1255-1266.
- Santamaria, P. and A. Elia. 1997. Producing nitrate-free endive heads: effect of nitrogen from on growth, yield and ion composition of endive. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122:140-145.
- Schonbeck, M.W., R. Rivera, J. O'Brien, S. Ebinger, and R.E. Degregorio. 1991. Variety selection and cultural methods for lowering nitrate levels in winter greenhouse lettuce and endive. *J. Sustain. Agr.* 2:49-75.
- Seo, M.W., D.S. Yang, S.J. Kays, G.P. Lee, and K.W. Park. 2009a. Sesquiterpene lactones and bitterness in Korean leaf lettuce cultivars. *HortScience* 44:246-249.
- Seo, M.W., D.S. Yang, S.J. Kays, J.H. Kim, J.H. Woo, and K.W. Park. 2009b. Effects of nutrient solution electrical conductivity and sulfur, magnesium, and phosphorus

- 
- concentration on sesquiterpene lactones in hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Hort.* 122:369-374.
- Seto, M., T. Miyase, K. Umehara, A. Ueno, Y. Hirano, and N. Otani. 1988. Sesquiterpene lactones from *Cichorium endivia* L. and *C. intybus* L. and cytotoxic activity. *Chem. Pharm. Bull.* 36:2423-2429.
- Tamaki, H., R.W. Robinson, J.L. Anderson, and G.S. Stoewsand. 1995. Sesquiterpene lactones in virus-resistant lettuce. *J. Agr. Food Chem.* 43:6-8.
- Tzortzakis, N.G.. 2009. Influence of NaCl and calcium nitrate on lettuce and endive growth using nutrient film technique. *Intl. J. Veg. Sci.* 15:44-56.
- Tzortzakis, N.G.. 2010. Potassium and calcium enrichment alleviate salinity-induced stress in hydroponically grown endives. *Hort. Sci.* 37:155-162.
- Ukłańska-Pusz, C.M. and K. Adamczewska-Sowińska. 2011. Yield and nutritive value of selected endive cultivars grown for spring and autumn harvest. *Folia Hort.* 23:111-118.
- Van Beek, T.A., P. Maas, B.M. King, E. Leclercq, A.G.J. Voragen, and A. Groot. 1990. Bitter sesquiterpene lactones from chicory roots. *J. Agr. Food Chem.* 38:1035-1038.
- Wang, F.X., A.J. Deng, J.F. Wei, H.L. Qin, and A.P. Wang. 2012. ¹H and ¹³C NMR assignments of cytotoxic 3S-1,2,3,4-Tetrahydro-β-carboline-3-carboxylic acid from the leaves of *Cichorium endivia*. *J. Anal. Meth. Chem.* 2012:1-3.
- Wang, F.X., A.J. Deng, M. Li, J.F. Wei, H.L. Qin, and A.P. Wang. 2013. (3S)-1,2,3,4-Tetrahydro-β-carboline-3-carboxylic acid from *Cichorium endivia* L. induces apoptosis of human colorectal cancer HCT-8 cells. *Molecules* 18:418-429.
- Weightman, R.M., C. Dyer, J. Buxton, and D.S. Farrington. 2006. Effects of light level, time of harvest and position within field on the variability of tissue nitrate concentration in commercial crops of lettuce (*Lactuca sativa*) and endive

(*Cichorium endiva*). Food Addit. Contam. 23:462-469.

Zafarbakhsh, G.A., M.J. Shakouri, S.A. Kapourchal, and S. Mafakheri. 2011. The best planting density for three chicory (*Cichorium endivia* L.) varieties. Ann. Biol. Res. 2:522-527.

Zamaniyan, M., J. Panahandeh, S.J. Tabatabaei, and A. Motallebie-Azar. 2012. Effects of different ratios of K:Ca in nutrient solution on growth, yield and chicon quality of witloof chicory (*Cichorium intybus* L.). Intl. J. AgriSci. 2:1137-1142.



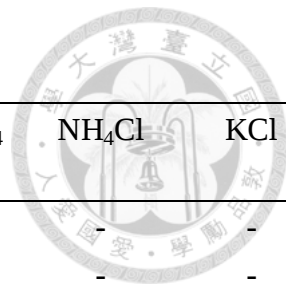


表 1. 修改之山崎氏莴苣水耕養液配方

Table 1. Composition of modified Yamazaki nutrient solution for lettuce.

(mg·L ⁻¹)	KNO ₃	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	NH ₄ H ₂ PO ₄	MgSO ₄ ·7H ₂ O	CaCl ₂	K ₂ SO ₄	MgCl ₂ ·6H ₂ O	KH ₂ PO ₄	NH ₄ Cl	KCl
P level										
32	400	240	60	125	-	-	-	70.2	-	-
16	400	240	60	125	-	-	-	-	-	-
8	400	240	30	125	-	-	-	-	14.0	-
S level										
32	400	240	60	125	-	87.0	-	-	-	-
16	400	240	60	125	-	-	-	-	-	-
8	400	240	60	62.5	-	-	50.0	-	-	-
Mg level										
24	400	240	60	125	-	-	100.0	-	-	-
12	400	240	60	125	-	-	-	-	-	-
6	400	240	60	62.5	-	43.5	-	-	-	-
N level										
180	1000	240	60	125	-	-	-	-	27.4	-
135	700	240	60	125	-	-	-	-	13.7	-
90	400	240	60	125	-	-	-	-	-	-
NO ₃ ⁻ :NH ₄ ⁺										
75:25	288.1	240	60	125	-	-	-	-	59.2	82.4
50:50	123.5	240	60	125	-	-	-	-	146.2	204
25:75	-	192	60	125	29.9	-	-	-	233.2	295.2
0:100	-	-	60	125	149.5	-	-	-	320.2	295.2



表 2. 日夜溫度與養液電導度對水耕苦苣苗株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之變方分析

Table 2. Analysis of variance of influence of temperature and electrical conductivity, effect on the plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter in hydroponically grown endive seedlings.

Source of variance	Plant height	Plant width	Maximum leaf length	Maximum leaf width	Leaf numbers	Fresh weight	Dry matter
Main Effect							
Day/night temperature	***	***	***	***	***	***	ns
Electrical conductivity	***	***	***	***	***	***	***
Interaction							
Day/night temperature × Electrical conductivity	***	***	***	***	***	***	***

NS, *, **, and ***; not significant, or significant at $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ or $P \leq 0.001$, respectively.

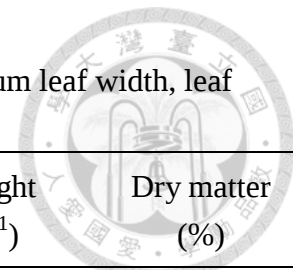


表 3. 養液電導度對水耕栽培苦苣苗株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響

Table 3. The effect of electrical conductivity of nutrient solution on plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter in hydroponically grown endive seedlings.

Electrical conductivity	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Maximum leaf length (cm)	Maximum leaf width (cm)	Leaf numbers	Fresh weight (g·plant ⁻¹)	Dry matter (%)
0.2	2.3±0.1 c ^x	6.3±0.3 f	3.5±0.1 d	1.7±0.1 e	4.0±0.0 c	0.26±0.01 h	15.97±0.44 a
0.4	2.8±0.1 bc	6.7±0.1 f	3.7±0.1 d	1.8±0.1 e	5.0±0.0 c	0.41±0.01 g	13.36±0.44 b
0.6	3.0±0.2 b	9.7±0.3 e	5.2±0.1 c	2.5±0.1 d	5.3±0.2 b	0.61±0.02 f	10.06±0.54 c
0.8	3.3±0.1 b	12.2±0.5 cd	6.7±0.2 b	2.6±0.1 cd	6.0±0.0 a	0.91±0.02 e	8.72±0.36 d
1.0	3.0±0.2 b	11.9±0.4 d	6.8±0.1 b	2.8±0.1 c	6.3±0.2 a	1.02±0.02 d	8.54±0.36 d
1.2	5.0±0.4 a	14.2±0.6 a	8.2±0.3 a	3.1±0.1 b	6.3±0.2 a	1.37±0.04 a	7.52±0.27 e
1.4	5.0±0.2 a	13.7±0.4 ab	7.9±0.3 a	3.3±0.1 b	6.2±0.2 a	1.33±0.02 ab	6.90±0.25 e
1.6	4.7±0.2 a	12.6±0.4 cd	7.8±0.3 a	3.2±0.1 b	6.3±0.2 a	1.26±0.03 c	7.19±0.21 e
1.8	4.7±0.1 a	13.0±0.4 bc	7.8±0.2 a	3.9±0.1 a	6.2±0.2 a	1.27±0.04 bc	7.34±0.20 e
2.0	4.8±0.2 a	12.4±0.4 cd	7.8±0.2 a	3.8±0.1 a	6.0±0.0 a	1.26±0.04 bc	7.11±0.15 e

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level (*P* < 0.05) by LSD test.

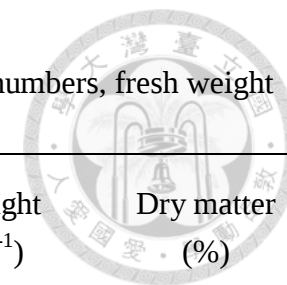


表 4. 日夜溫度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響

Table 4. The effect of day/night temperature on plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter in hydroponically grown endive.

Day/Night temperature (°C)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Maximum leaf length (cm)	Maximum leaf width (cm)	Leaf numbers	Fresh weight (g·plant ⁻¹)	Dry matter (%)
17/14	9.8±0.3 c ^x	38.5±0.5 b	20.3±0.3 b	10.2±0.2 b	32.3±1.1 d	85.84±5.93 c	7.12±0.17 a
20/17	12.6±0.4 b	42.4±1.3 a	25.9±0.8 a	8.4±0.6 c	49.5±1.2 a	132.54±7.81 b	5.96±0.14 b
23/20	15.5±0.4 a	44.6±0.5 a	25.5±0.3 a	14.0±0.1 a	43.7±0.8 b	211.93±12.29 a	6.15±0.35 b
26/23	14.4±0.5 a	42.8±0.8 a	26.9±0.4 a	12.9±0.4 a	37.7±2.5 c	195.36±6.38 a	6.59±0.51 ab

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

表 5. 日夜溫度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響

Table 5. The effect of day/night temperature on the content of chlorophyll, carotene, vitamin C, sugar and nitrate in hydroponically grown endive.

Day/Night temperature (°C)	Chlorophyll (mg·g ⁻¹ f.w.)			Carotene (mg·g ⁻¹ f.w.)	Vitamin C (mg·100g ⁻¹ f.w.)	Sugar (°Brix)	Nitrate (mg·kg ⁻¹ f.w.)
	a	b	a+b				
17/14	1.17±0.04 a ^x	0.38±0.01 a	1.90±0.06 a	0.37±0.03 a	30.5±1.3 a	8.0±0.0 a	3560.0±100.7 d
20/17	1.11±0.06 a	0.36±0.02 ab	1.81±0.09 a	0.35±0.02 a	31.8±1.7 a	6.5±0.2 b	4500.0±117.2 c
23/20	1.13±0.05 a	0.36±0.02 ab	1.83±0.07 a	0.36±0.02 a	33.2±0.7 a	4.8±0.2 d	5113.3±239.0 b
26/23	1.21±0.02 a	0.29±0.05 b	1.82±0.06 a	0.39±0.01 a	30.8±1.4 a	5.5±0.3 c	7960.0±140.1 a

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

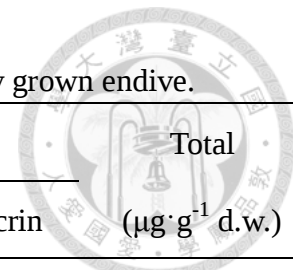


表 6. 日夜溫度對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響

Table 6. The effect of day/night temperature on the content of free, bound and total sesquiterpene lactones in hydroponically grown endive.

Day/Night temperature (°C)	Free			Bound			Total ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ d.w.)
	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	
17/14	1.65±0.85 b ^x	-	43.85±4.25 c	-	*	7.96±3.73	54.24±10.42 c
20/17	28.11±5.21 a	5.84±3.91 a	105.73±7.25 a	-	*	-	139.68±12.39 a
23/20	3.23±1.01 b	1.58±1.11 a	83.22±12.48 ab	-	*	-	88.03±12.63 b
26/23	5.44±1.99 b	4.83±3.09 a	63.68±7.32 bc	-	*	-	73.95±9.35 bc

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

- Trace.

* The peak can not be identified in UV-260 nm chromatogram.

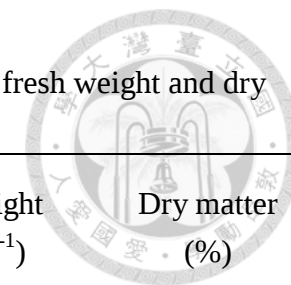


表 7. 光週期對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響

Table 7. The effect of photoperiods on plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter in hydroponically grown endive.

Photoperiod (Day/Night hours)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Maximum leaf length (cm)	Maximum leaf width (cm)	Leaf numbers	Fresh weight (g·plant ⁻¹)	Dry matter (%)
8/16	10.2±0.2 c ^x	41.4±0.6 c	22.5±0.3 c	10.1±0.2 c	42.2±0.8 c	86.45±4.40 c	5.25±0.21 b
12/12	11.3±0.4 b	46.6±0.4 a	26.8±0.4 a	11.5±0.2 b	46.0±1.0 a	177.11±8.80 b	5.47±0.07 ab
16/8	15.5±0.4 a	44.6±0.5 b	25.5±0.3 b	14.0±0.1 a	43.7±0.8 b	211.93±12.29 a	6.15±0.35 a

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

表 8. 光週期對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響

Table 8. The effect of photoperiods on the content of chlorophyll, carotene, vitamin C, sugar and nitrate in hydroponically grown endive.

Photoperiod (Day/Night hours)	Chlorophyll (mg·g ⁻¹ f.w.)			Carotene (mg·g ⁻¹ f.w.)	Vitamin C (mg·100g ⁻¹ f.w.)	Sugar (°Brix)	Nitrate (mg·kg ⁻¹ f.w.)
	a	b	a+b				
8/16	1.02±0.04 a ^x	0.32±0.01 ab	1.62±0.06 a	0.37±0.01 a	34.3±1.1 a	6.2±0.2 a	5433.3±133.6 b
12/12	0.86±0.05 b	0.28±0.02 b	1.38±0.08 b	0.27±0.02 b	24.0±1.8 b	5.7±0.2 a	8736.7±166.1 a
16/8	1.13±0.05 a	0.36±0.02 a	1.83±0.07 a	0.36±0.02 a	33.2±0.7 a	4.8±0.2 b	5113.3±239.0 b

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

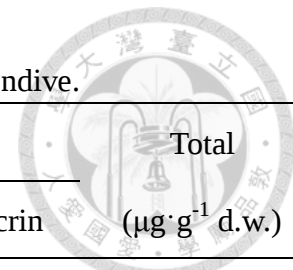


表 9. 光週期對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響

Table 9. The effect of photoperiods on the content of free, bound and total sesquiterpene lactones in hydroponically grown endive.

Photoperiod (Day/Night hours)	Free			Bound			Total ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ d.w.}$)
	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	
8/16	0.87±0.87 a ^x	-	54.13±3.07 b	2.37±0.30 a	*	6.49±1.53 a	63.86±3.14 a
12/12	2.67±1.28 a	3.19±2.18 a	61.71±8.52 ab	3.18±0.33 a	*	10.98±2.96 a	81.72±14.07 a
16/8	3.23±1.01 a	1.58±1.11 a	83.22±12.48 a	-	*	-	88.03±12.63 a

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

- Trace.

* The peak can not be identified in UV-260 nm chromatogram.

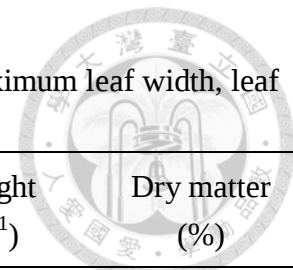


表 10. 養液氮濃度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響

Table 10. The effect of nitrogen level (NO_3^- -N) of nutrient solutions on plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter in hydroponically grown endive.

N level ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Maximum leaf length (cm)	Maximum leaf width (cm)	Leaf numbers	Fresh weight ($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	Dry matter (%)
90	13.2±0.3 b ^x	45.4±1.0 a	25.3±0.8 b	11.8±0.2 a	37.3±1.0 bc	139.60±8.70 c	5.10±0.09 b
135	15.1±0.3 a	39.1±0.5 b	26.5±0.4 ab	11.8±0.2 a	36.2±0.8 c	194.24±7.88 ab	5.98±0.21 a
180	14.0±0.6 ab	40.5±0.3 b	26.7±0.2 a	10.8±0.2 b	39.0±0.7 ab	203.17±6.01 a	5.70±0.25 ab

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

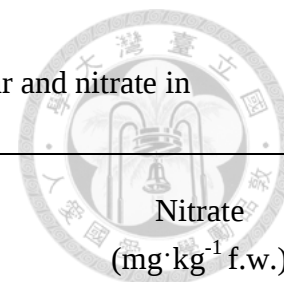


表 11. 養液氮濃度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響

Table 11. The effect of nitrogen level (NO_3^- -N) of nutrient solutions on the content of chlorophyll, carotene, vitamin C, sugar and nitrate in hydroponically grown endive.

N level ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Chlorophyll ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ f.w.)			Carotene ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ f.w.)	Vitamin C ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ f.w.)	Sugar (°Brix)	Nitrate ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ f.w.)
	a	b	a+b				
90	1.01±0.04 b ^x	0.33±0.01 b	1.63±0.05 c	0.35±0.01 b	36.7±1.3 a	4.8±0.2 b	3740.0±78.3 b
135	1.16±0.02 a	0.39±0.01 ab	1.83±0.05 b	0.39±0.01 a	31.3±1.0 b	7.2±0.4 a	6080.0±122.2 a
180	1.19±0.07 a	0.43±0.04 a	2.03±0.10 a	0.42±0.02 a	32.2±0.9 b	8.2±0.3 a	6353.3±106.5 a

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.



表 12. 養液硝酸態氮與銨態氮比例對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響

Table 12. The effect of nitrogen-form ratio ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$) of nutrient solutions on plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter in hydroponically grown endive.

N-form ratio ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Maximum leaf length (cm)	Maximum leaf width (cm)	Leaf numbers	Fresh weight (g·plant ⁻¹)	Dry matter (%)
88:12 ^x	13.2±0.3 b ^y	45.4±1.0 a	25.3±0.8 ab	11.8±0.2 a	37.3±1.0 c	139.60±8.70 a	5.10±0.09 a
75:25	11.9±0.1 c	44.9±0.5 ab	24.6±0.2 ab	12.1±0.1 a	42.0±0.7 a	132.01±5.54 a	5.26±0.05 a
50:50	13.6±0.3 b	42.9±0.7 b	24.0±0.4 b	10.8±0.2 b	40.7±0.8 ab	125.50±8.29 a	5.38±0.14 a
25:75	14.3±0.2 a	40.1±0.7 c	25.4±0.4 a	10.9±0.4 b	38.7±0.8 bc	127.73±14.42 a	5.23±0.16 a
0:100	13.7±0.2 ab	38.1±0.7 c	21.8±0.2 c	9.1±0.2 c	37.8±0.9 c	91.17±6.61 b	5.27±0.63 a

^x Yamazaki nutrient solution for lettuce.

^y Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

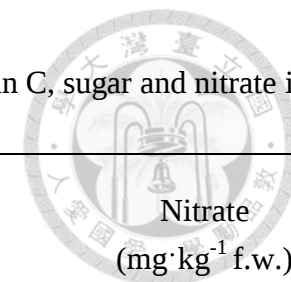


表 13. 養液硝酸態氮與銨態氮比例對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響

Table 13. The effect of nitrogen-form ratio ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$) of nutrient solutions on the content of chlorophyll, carotene, vitamin C, sugar and nitrate in hydroponically grown endive.

N-form ratio ($\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$)	Chlorophyll ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ f.w.)			Carotene ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ f.w.)	Vitamin C ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ f.w.)	Sugar (°Brix)	Nitrate ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ f.w.)
	a	b	a+b				
88:12 ^x	1.01±0.04 c ^y	0.33±0.01 c	1.63±0.05 c	0.35±0.01 c	36.7±1.3 a	4.8±0.2 b	3740.0±78.3 b
75:25	1.14±0.02 b	0.34±0.01 bc	1.88±0.07 b	0.40±0.01 b	35.5±1.1 ab	6.2±0.2 a	5086.7±112.6 a
50:50	1.20±0.03 b	0.37±0.01 b	1.93±0.05 b	0.43±0.01 b	33.3±0.9 b	5.8±0.2 a	2930.0±69.6 c
25:75	1.16±0.05 b	0.35±0.02 bc	1.85±0.09 b	0.42±0.02 b	33.0±0.6 b	4.7±0.2 b	1466.7±57.9 c
0:100	1.40±0.04 a	0.43±0.01 a	2.26±0.05 a	0.51±0.01 a	32.8±0.9 b	4.8±0.3 b	- ^z

^x Yamazaki nutrient solution for lettuce.

^y Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

^z Not detected ($< 50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ f.w.)

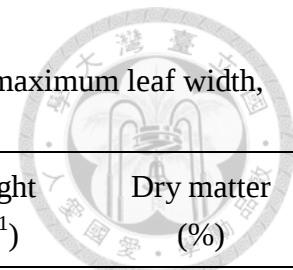


表 14. 養液磷濃度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響

Table 14. The effect of phosphorus level ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) of nutrient solutions on plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter in hydroponically grown endive.

P level ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Maximum leaf length (cm)	Maximum leaf width (cm)	Leaf numbers	Fresh weight ($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	Dry matter (%)
8	13.3±0.3 a ^x	44.9±1.1 a	23.9±0.3 a	11.4±0.4 a	36.0±0.9 a	114.75±6.85 b	5.43±0.16 a
16	13.2±0.3 a	45.4±1.0 a	25.3±0.8 a	11.8±0.2 a	37.3±1.0 a	139.60±8.70 a	5.10±0.09 a
32	11.9±0.1 b	41.6±0.4 b	24.5±0.5 a	11.3±0.2 a	35.8±0.7 a	122.92±7.23 ab	5.16±0.09 a

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

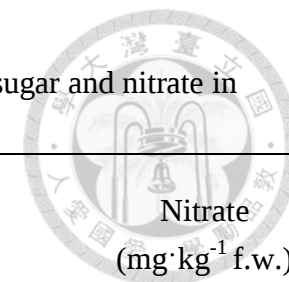


表 15. 養液磷濃度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響

Table 15. The effect of phosphorus level ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) of nutrient solutions on the content of chlorophyll, carotene, vitamin C, sugar and nitrate in hydroponically grown endive.

P level ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Chlorophyll ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ f.w.}$)			Carotene ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ f.w.}$)	Vitamin C ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{ f.w.}$)	Sugar (°Brix)	Nitrate ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ f.w.}$)
	a	b	a+b				
8	1.09±0.06 a ^x	0.36±0.01 a	1.78±0.08 a	0.38±0.01 a	40.2±1.0 a	5.8±0.2 a	3583.3±118.4 ab
16	1.01±0.04 a	0.33±0.01 b	1.63±0.05 a	0.35±0.01 a	36.7±1.3 ab	4.8±0.2 b	3740.0±78.3 a
32	1.06±0.06 a	0.36±0.01 a	1.73±0.08 a	0.38±0.01 a	34.5±1.3 b	4.7±0.2 b	3283.3±182.0 b

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

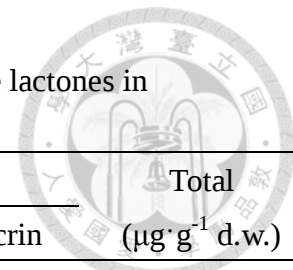


表 16. 養液磷濃度對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響

Table 16. The effect of phosphorus level ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) of nutrient solutions on the content of free, bound and total sesquiterpene lactones in hydroponically grown endive.

P level ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Free			Bound			Total ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ d.w.}$)
	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	
8	3.15±1.11 a ^x	-	54.66±4.02 a	1.11±0.46 a	*	61.47±3.73 a	120.39±6.35 a
16	0.79±0.49 a	-	34.31±3.31 b	0.83±0.36 a	*	47.40±5.77 a	83.33±8.66 b
32	4.16±1.87 a	-	41.75±6.22 ab	4.29±2.15 a	*	58.93±7.14 a	98.59±6.31 ab

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

- Trace.

* The peak can not be identified in UV-260 nm chromatogram.

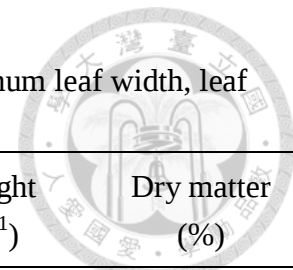


表 17. 養液硫濃度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響

Table 17. The effect of sulfur level ($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$) of nutrient solutions on plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter in hydroponically grown endive.

S level ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Maximum leaf length (cm)	Maximum leaf width (cm)	Leaf numbers	Fresh weight ($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	Dry matter (%)
8	9.1±0.7 b ^x	14.3±0.6 c	10.6±0.5 b	4.3±0.3 c	10.6±2.3 b	10.69±1.01 b	7.37±0.31 a
16	13.2±0.3 a	45.4±1.0 a	25.3±0.8 a	11.8±0.2 a	37.3±1.0 a	139.60±8.70 a	5.10±0.09 b
32	14.9±0.7 a	37.9±0.4 b	23.7±0.6 a	9.4±0.5 b	34.7±0.5 a	149.30±5.96 a	7.23±0.25 a

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

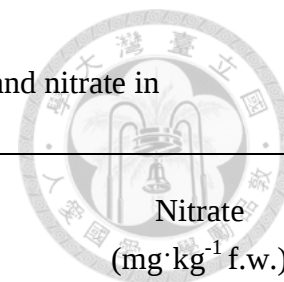


表 18. 養液硫濃度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響

Table 18. The effect of sulfur level ($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$) of nutrient solutions on the content of chlorophyll, carotene, vitamin C, sugar and nitrate in hydroponically grown endive.

S level ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Chlorophyll ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ f.w.}$)			Carotene ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ f.w.}$)	Vitamin C ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{ f.w.}$)	Sugar (°Brix)	Nitrate ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ f.w.}$)
	a	b	a+b				
8	$0.66\pm 0.01\text{ c}^x$	$0.21\pm 0.00\text{ c}$	$1.06\pm 0.02\text{ c}$	$0.23\pm 0.01\text{ c}$	$29.0\pm 1.3\text{ c}$	$8.8\pm 0.2\text{ a}$	$940.0\pm 97.4\text{ c}$
16	$1.01\pm 0.04\text{ b}$	$0.33\pm 0.01\text{ b}$	$1.63\pm 0.05\text{ b}$	$0.35\pm 0.01\text{ b}$	$36.7\pm 1.3\text{ b}$	$4.8\pm 0.2\text{ c}$	$3740.0\pm 78.3\text{ a}$
32	$1.50\pm 0.07\text{ a}$	$0.50\pm 0.03\text{ a}$	$2.44\pm 0.12\text{ a}$	$0.51\pm 0.02\text{ a}$	$43.8\pm 1.1\text{ a}$	$6.8\pm 0.3\text{ b}$	$2576.7\pm 76.1\text{ b}$

^x Mean $\pm$ standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

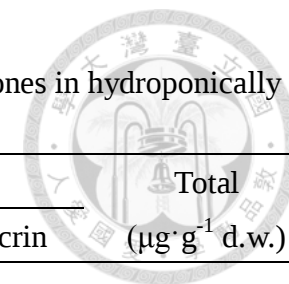


表 19. 養液硫濃度對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響

Table 19. The effect of sulfur level ($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$) of nutrient solutions on the content of free, bound and total sesquiterpene lactones in hydroponically grown endive.

S level ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Free			Bound			Total ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ d.w.)
	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	
8 ^x							
16	0.79±0.49 b ^y	-	34.31±3.31 b	0.83±0.36	*	47.40±5.77 a	83.33±8.66 b
32	26.62±4.29 a	6.17±2.26	120.19±3.24 a	-	*	35.50±3.48 a	188.48±10.72 a

^x Missing data.

^y Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

- Trace.

* The peak can not be identified in UV-260 nm chromatogram.

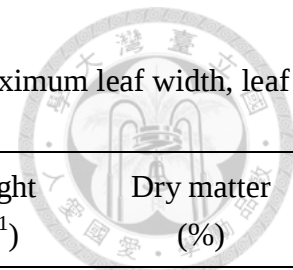


表 20. 養液鎂濃度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響

Table 20. The effect of magnesium level (Mg^{2+}) of nutrient solutions on plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter in hydroponically grown endive.

Mg level ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Maximum leaf length (cm)	Maximum leaf width (cm)	Leaf numbers	Fresh weight ($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	Dry matter (%)
6	12.8±0.2 ab ^x	44.3±0.7 a	25.0±0.5 b	11.7±0.1 a	41.7±0.6 a	121.95±7.86 a	5.74±0.12 a
12	13.2±0.3 a	45.4±1.0 a	25.3±0.8 ab	11.8±0.2 a	37.3±1.0 b	139.60±8.70 a	5.10±0.09 b
24	12.4±0.3 b	45.3±0.5 a	26.9±0.5 a	10.5±0.3 b	42.7±0.5 a	139.56±8.85 a	5.34±0.23 ab

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

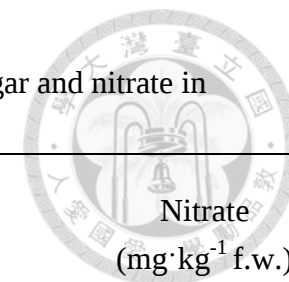


表 21. 養液鎂濃度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響

Table 21. The effect of magnesium level (Mg^{2+}) of nutrient solutions on the content of chlorophyll, carotene, vitamin C, sugar and nitrate in hydroponically grown endive.

Mg level ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Chlorophyll ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ f.w.}$)			Carotene ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{ f.w.}$)	Vitamin C ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\text{ f.w.}$)	Sugar (°Brix)	Nitrate ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ f.w.}$)
	a	b	a+b				
6	1.11±0.04 ab ^x	0.35±0.01 ab	1.78±0.05 ab	0.37±0.01 ab	46.2±1.0 a	7.8±0.3 a	3870.0±132.2 a
12	1.01±0.04 b	0.33±0.01 b	1.63±0.05 b	0.35±0.01 b	36.7±1.3 b	4.8±0.2 b	3740.0±78.3 a
24	1.21±0.07 a	0.39±0.02 a	1.94±0.11 a	0.41±0.02 a	44.8±1.2 a	7.5±0.2 a	3660.0±81.8 a

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

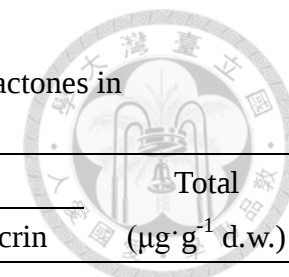


表 22. 養液鎂濃度對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響

Table 22. The effect of magnesium level (Mg^{2+}) of nutrient solutions on the content of free, bound and total sesquiterpene lactones in hydroponically grown endive.

Mg level ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Free			Bound			Total ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ d.w.)
	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	
6	5.48±1.30 b ^x	-	85.01±6.95 b	0.15±0.06 b	*	31.75±3.77 a	122.37±10.82 b
12	0.79±0.49 c	-	34.31±3.31 c	0.83±0.36 b	*	47.40±5.77 a	83.33±8.66 c
24	9.17±0.65 a	-	139.51±10.13 a	7.13±0.53 a	*	38.75±7.71 a	194.56±9.51 a

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

- Trace.

* The peak can not be identified in UV-260 nm chromatogram.

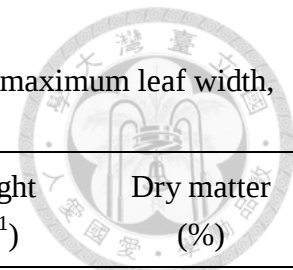


表 23. 養液電導度對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響

Table 23. The effect of electrical conductivity (EC) of nutrient solutions on plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter in hydroponically grown endive.

EC (dS·m ⁻¹)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Maximum leaf length (cm)	Maximum leaf width (cm)	Leaf numbers	Fresh weight (g·plant ⁻¹)	Dry matter (%)
0.8	13.4±0.3 a ^x	36.3±0.5 d	21.0±0.3 c	9.8±0.2 c	35.0±1.2 b	65.96±2.32 c	6.80±0.19 a
1.2	13.2±0.3 a	45.4±1.0 a	25.3±0.8 a	11.8±0.2 a	37.3±1.0 ab	139.60±8.70 a	5.10±0.09 c
1.6	11.5±0.4 b	39.3±1.0 c	21.8±0.3 c	9.1±0.2 c	38.2±0.6 a	103.74±3.15 b	6.13±0.20 b
2.0	12.8±0.3 a	41.8±0.6 b	23.4±0.3 b	10.5±0.4 b	37.2±0.7 ab	103.37±5.24 b	5.53±0.10 c

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

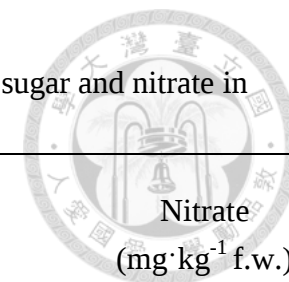


表 24. 養液電導度對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響

Table 24. The effect of electrical conductivity (EC) of nutrient solutions on the content of chlorophyll, carotene, vitamin C, sugar and nitrate in hydroponically grown endive.

EC (dS·m ⁻¹)	Chlorophyll (mg·g ⁻¹ f.w.)			Carotene (mg·g ⁻¹ f.w.)	Vitamin C (mg·100g ⁻¹ f.w.)	Sugar (°Brix)	Nitrate (mg·kg ⁻¹ f.w.)
	a	b	a+b				
0.8	1.12±0.04 ab ^x	0.35±0.01 ab	1.79±0.06 ab	0.41±0.01 a	33.8±0.7 b	7.2±0.5 a	1575.0±128.8 c
1.2	1.01±0.04 b	0.33±0.01 b	1.63±0.05 b	0.35±0.01 b	36.7±1.3 a	4.8±0.2 c	3740.0±78.3 b
1.6	1.22±0.04 a	0.37±0.01 a	1.93±0.06 a	0.44±0.01 a	29.3±0.8 c	6.2±0.2 b	3523.3±281.9 b
2.0	1.20±0.04 a	0.37±0.01 a	1.90±0.06 a	0.43±0.01 a	34.3±0.7 ab	6.0±0.0 b	5120.0±611.4 a

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

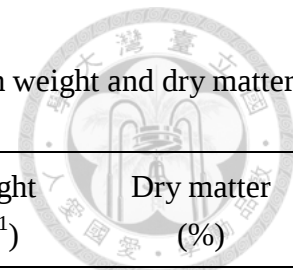


表 25.栽培季節對水耕苦苣株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率之影響

Table 25. The effect of seasons on plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter in hydroponically grown endive.

Season	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Maximum leaf length (cm)	Maximum leaf width (cm)	Leaf numbers	Fresh weight (g·plant ⁻¹)	Dry matter (%)
Spring ¹	18.8±0.3 c ^x	40.6±0.4 b	22.8±0.1 b	10.7±0.4 a	48.5±0.6 a	195.67±8.88 a	7.21±0.25 b
Summer ²	10.3±0.3 d	33.5±0.7 c	18.9±0.2 c	8.4±0.3 c	37.3±0.8 b	101.09±8.60 b	10.61±0.43 a
Autumn ³	20.8±0.4 b	41.5±0.6 b	23.4±0.4 b	9.8±0.4 ab	28.8±1.1 d	90.73±4.96 b	6.14±0.15 c
Winter ⁴	24.3±0.3 a	48.8±0.5 a	29.6±0.4 a	9.2±0.2 bc	33.8±0.6 c	98.34±2.38 b	4.49±0.07 d

¹ Seeding on 2014/03/03 in growth chamber. Planting on 2014/03/24 - 2014/04/21 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

² Seeding on 2014/06/03 in growth chamber. Planting on 2014/06/24 - 2014/07/22 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

³ Seeding on 2014/09/08 in growth chamber. Planting on 2014/09/29 - 2014/10/27 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

⁴ Seeding on 2013/11/04 in growth chamber. Planting on 2013/11/25 - 2013/12/23 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

表 26. 栽培季節對水耕苦苣葉綠素、類胡蘿蔔素、維生素 C、糖度及硝酸鹽含量之影響

Table 26. The effect of seasons on the content of chlorophyll, carotene, vitamin C, sugar and nitrate in hydroponically grown endive.

Season	Chlorophyll (mg·g ⁻¹ f.w.)			Carotene (mg·g ⁻¹ f.w.)	Vitamin C (mg·100g ⁻¹ f.w.)	Sugar (°Brix)	Nitrate (mg·kg ⁻¹ f.w.)
	a	b	a+b				
Spring ¹	1.20±0.04 a ^x	0.36±0.01 a	1.88±0.07 a	0.41±0.01 a	49.3±0.7 a	8.7±0.2 b	1406.7±270.8 c
Summer ²	1.10±0.06 ab	0.35±0.03 a	1.76±0.10 ab	0.42±0.03 a	34.3±1.0 b	9.8±0.2 a	1813.3±115.3 c
Autumn ³	1.02±0.02 b	0.31±0.01 ab	1.61±0.03 b	0.39±0.01 a	33.7±0.7 b	7.3±0.2 c	3353.3±244.8 b
Winter ⁴	0.83±0.03 c	0.27±0.01 b	1.33±0.04 c	0.28±0.01 b	30.3±0.8 c	5.8±0.3 d	4743.3±255.0 a

¹ Seeding on 2014/03/03 in growth chamber. Planting on 2014/03/24 - 2014/04/21 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

² Seeding on 2014/06/03 in growth chamber. Planting on 2014/06/24 - 2014/07/22 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

³ Seeding on 2014/09/08 in growth chamber. Planting on 2014/09/29 - 2014/10/27 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

⁴ Seeding on 2013/11/04 in growth chamber. Planting on 2013/11/25 - 2013/12/23 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

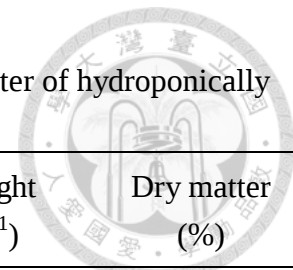


表 27.春季水耕栽培苦苣之株高、株幅、最大葉長、最大葉寬、葉片數、地上部鮮重及乾重率

Table 27. The plant height, plant width, maximum leaf length, maximum leaf width, leaf numbers, fresh weight and dry matter of hydroponically grown endive in spring.

Days after planting	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Maximum leaf length (cm)	Maximum leaf width (cm)	Leaf numbers	Fresh weight (g·plant ⁻¹)	Dry matter (%)
28 ¹	18.8±0.3 a ^x	40.6±0.4 a	22.8±0.1 a	10.7±0.4 a	48.5±0.6 a	195.67±8.88 a	7.21±0.25 a
56 ²	18.6±0.2 a	35.7±0.2 b	22.6±0.3 a	10.7±0.2 a	46.2±1.5 a	158.82±6.82 b	7.17±0.30 a

¹ Seeding on 2014/03/03 in growth chamber. Planting on 2014/03/24 - 2014/04/21 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

² Seeding on 2014/03/03 in growth chamber. Planting on 2014/03/24 - 2014/05/19 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level (*P* < 0.05) by LSD test.

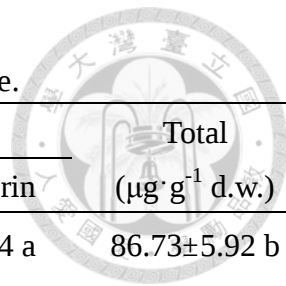


表 28. 栽培季節對水耕苦苣自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量之影響

Table 28. The effect of seasons on the content of free, bound and total sesquiterpene lactones in hydroponically grown endive.

Season	Free			Bound			Total ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ d.w.}$)
	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	
Spring ¹	4.49±0.67 b ^x	-	68.05±4.49 a	0.39±0.26 a	*	13.80±1.64 a	86.73±5.92 b
Summer ²	5.72±0.75 b	56.84±13.33 a	60.57±5.99 a	0.39±0.18 a	*	5.18±1.37 a	128.70±19.62 a
Autumn ³	3.53±0.39 b	2.67±1.10 b	66.76±5.37 a	0.21±0.20 a	*	13.29±5.53 a	86.47±7.28 b
Winter ⁴	27.86±4.57 a	5.17±3.37 b	68.09±5.37 a	-	*	-	101.13±9.84 ab

¹ Seeding on 2014/03/03 in growth chamber. Planting on 2014/03/24 - 2014/04/21 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

² Seeding on 2014/06/03 in growth chamber. Planting on 2014/06/24 - 2014/07/22 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

³ Seeding on 2014/09/08 in growth chamber. Planting on 2014/09/29 - 2014/10/27 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

⁴ Seeding on 2013/11/04 in growth chamber. Planting on 2013/11/25 - 2013/12/23 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

^x Mean ± standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

- Trace.

* The peak can not be identified in UV-260 nm chromatogram.

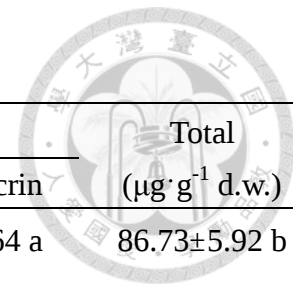


表 29. 春季水耕栽培苦苣之自由態、結合態及總倍半萜內酯類含量

Table 29. The content of free, bound and total sesquiterpene lactones in hydroponically grown endive in spring.

Days after planting	Free			Bound			Total ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ d.w.}$)
	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	lactucin	8-deoxylactucin	lactucopicrin	
28 ¹	4.49±0.67 b ^x	-	68.05±4.49 b	0.39±0.26 a	*	13.80±1.64 a	86.73±5.92 b
56 ²	11.17±1.85 a	26.38±7.58	124.66±21.87 a	0.08±0.05 a	*	0.62±0.4 b	162.91±30.52 a

¹ Seeding on 2014/03/03 in growth chamber. Planting on 2014/03/24 - 2014/04/21 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

² Seeding on 2014/03/03 in growth chamber. Planting on 2014/03/24 - 2014/05/19 in greenhouse of horticultural farm, National Taiwan University.

^x Mean $\pm$ standard error (n = 6). Means with different letters within columns are significantly different at 5% level ($P < 0.05$) by LSD test.

- Trace.

* The peak can not be identified in UV-260 nm chromatogram.

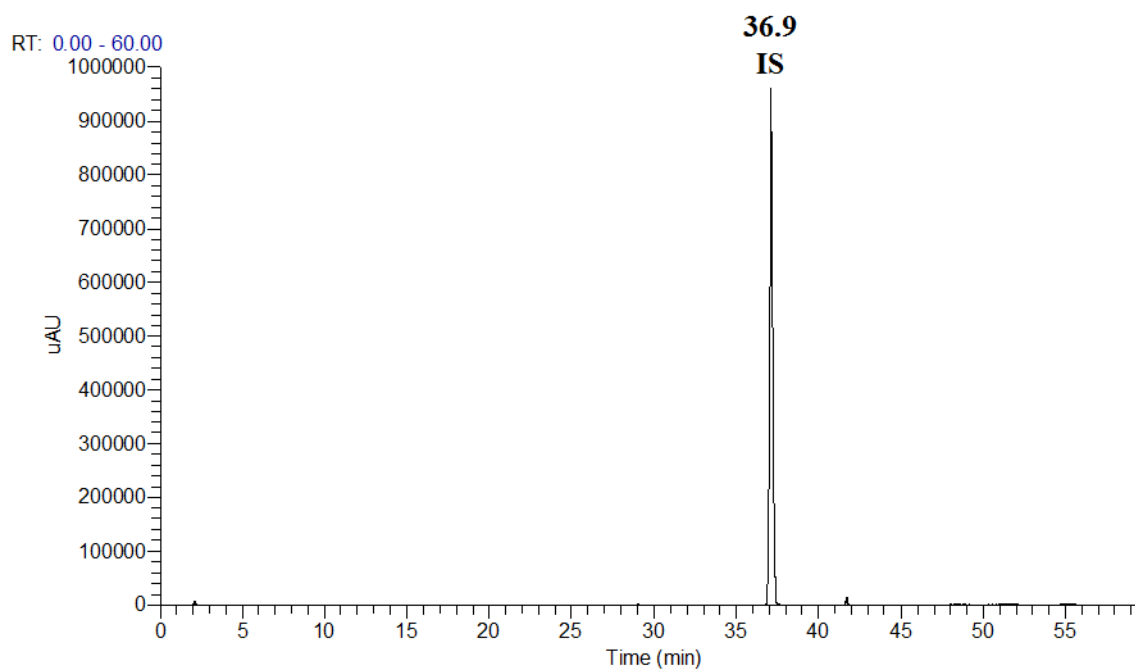


圖 1. 山道年(內標準品)於 UV-260 nm 之層析圖譜

Fig. 1. UV-260 nm chromatogram of santonin (internal standard).

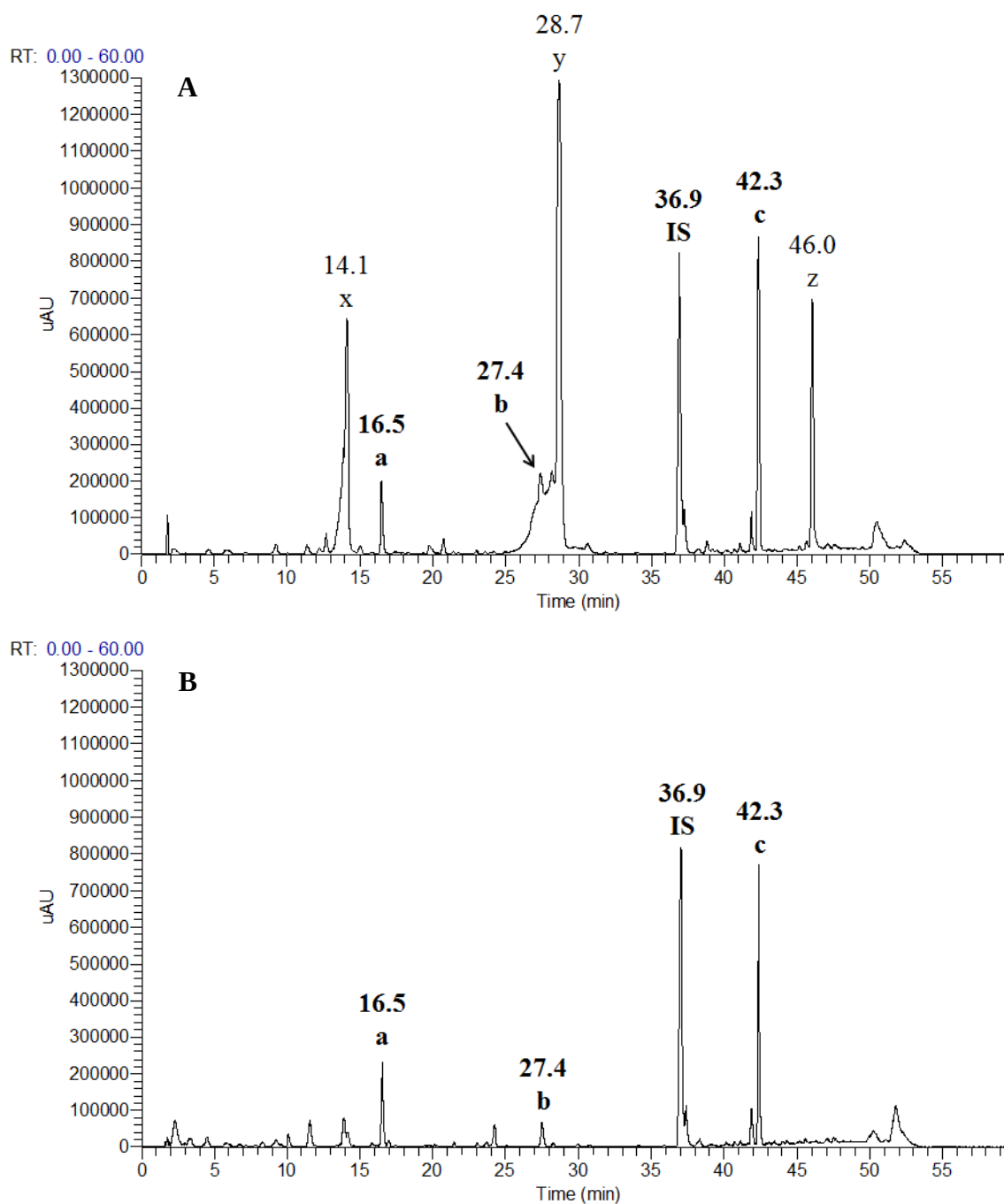


圖 2. 苦苣萃取物總倍半萜內酯類(A)及自由態倍半萜內酯類(B)於 UV-260 nm 之層析圖譜

Fig. 2. UV-260 nm chromatogram of total (bound + free) sesquiterpene lactones (A) and free sesquiterpene lactones (B) extracted and purified from endive.

a: lactucin

b: 8-deoxylactucin

c: lactucopicrin

IS: internal standard (santonin)

x, y, z: unknown compounds

RT: 0.00 - 60.00

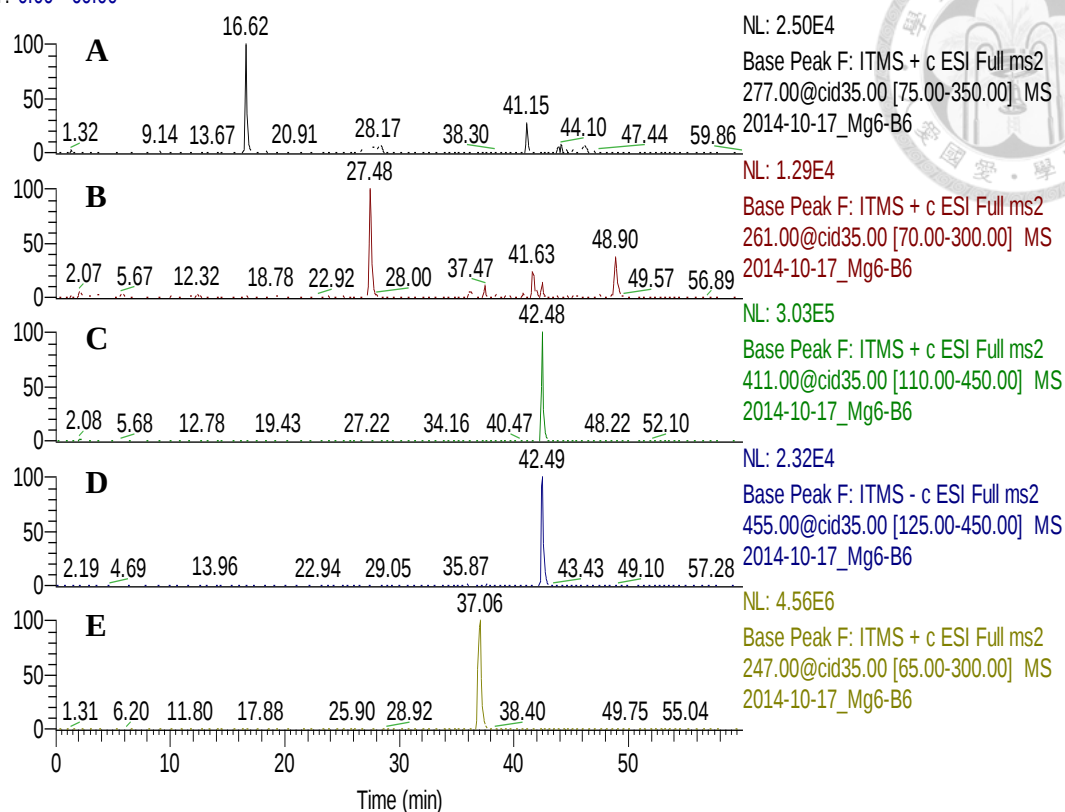
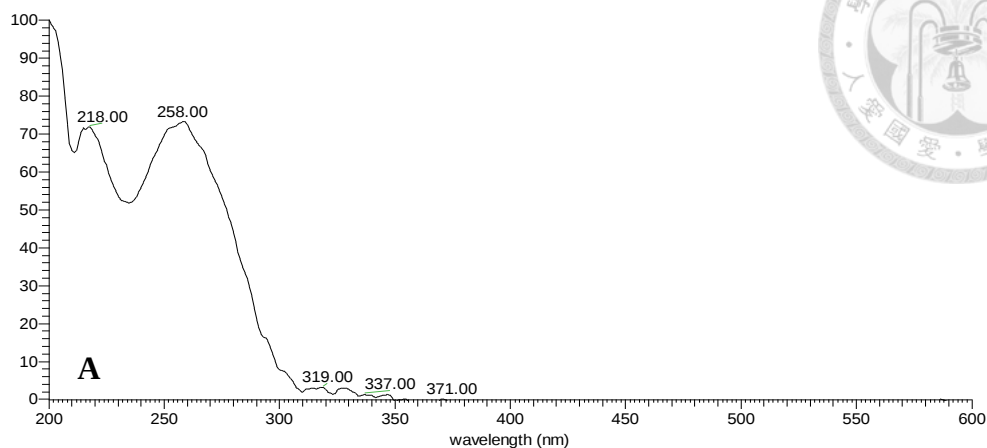


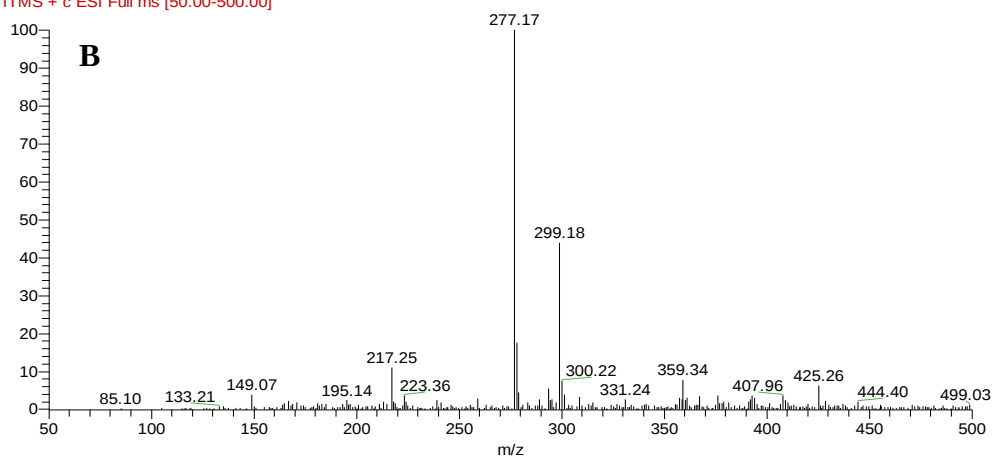
圖 3. 苦苣萃取物選擇離子荷質比(m/z) 277⁺ (A), 261⁺ (B), 411⁺ (C), 455⁻ (D) and 247⁺ (E) 之層析圖譜

Fig. 3. MS chromatogram of selective mass-to-charge (m/z) 277⁺ (A), 261⁺ (B), 411⁺ (C), 455⁻ (D) and 247⁺ (E) extracted and purified from endive.

2014-10-17_Mg6-B6 #19798 RT: 16.50 AV: 1 NL: 8.88E4 microAU
F: ITMS + c ESI Full ms2 247.00@cid35.00



2014-10-17_Mg6-B6 #1746 RT: 16.60 AV: 1 NL: 6.83E4
F: ITMS + c ESI Full ms [50.00-500.00]



2014-10-17_Mg6-B6 #1749 RT: 16.62 AV: 1 NL: 2.50E4
F: ITMS + c ESI Full ms2 277.00@cid35.00

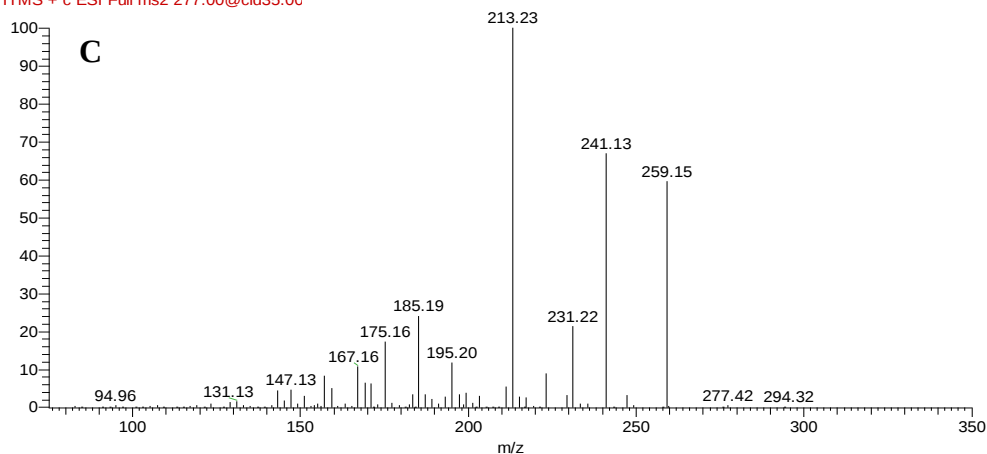
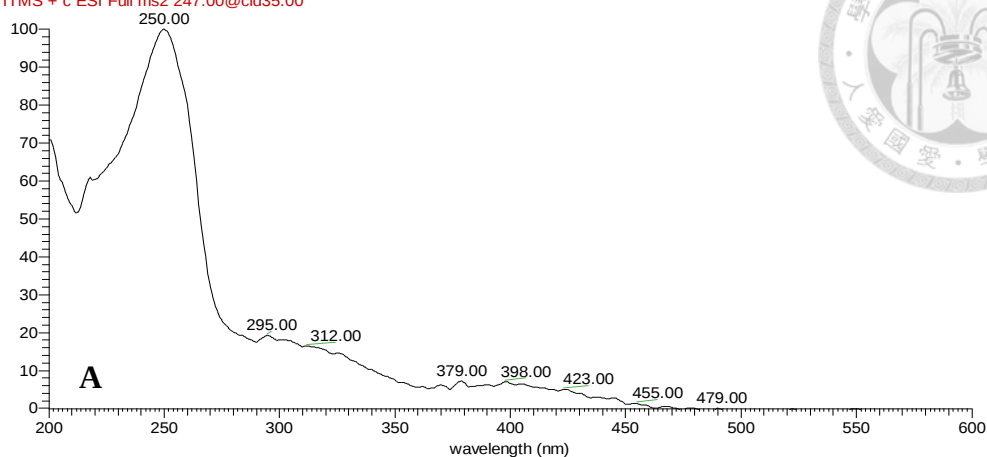


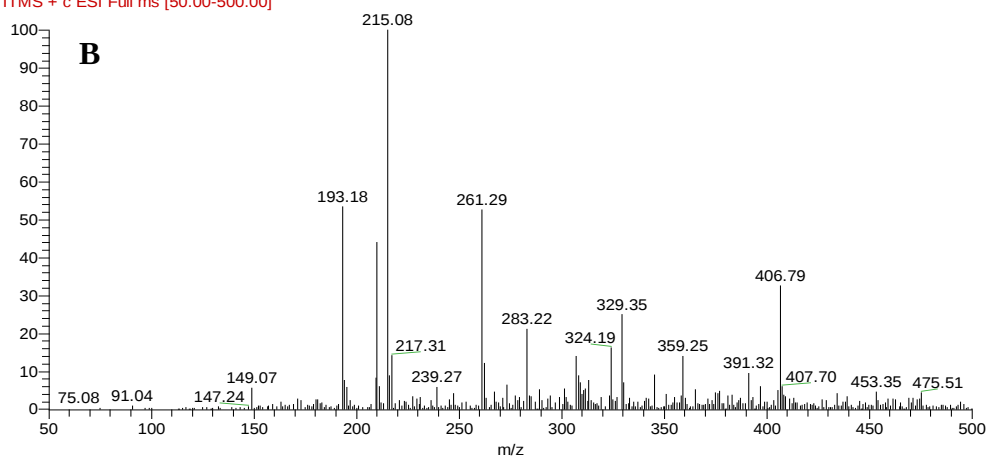
圖 4. 山萵苣素(層析時間 16.5 分鐘)之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質譜圖(B)及正離子模式二次質譜圖(C)

Fig. 4. UV/VIS absorption spectrum (A), positive mode MS spectrum (B) and positive mode MSMS spectrum (C) of lactucin (retention time 16.5 min).

2014-10-17_Mg6-B6 #32882 RT: 27.40 AV: 1 NL: 1.88E5 microAU
F: ITMS + c ESI Full ms2 247.00@cid35.00



2014-10-17_Mg6-B6 #2903 RT: 27.45 AV: 1 NL: 4.59E4
F: ITMS + c ESI Full ms [50.00-500.00]



2014-10-17_Mg6-B6 #2907 RT: 27.48 AV: 1 NL: 1.29E4
F: ITMS + c ESI Full ms2 261.00@cid35.00

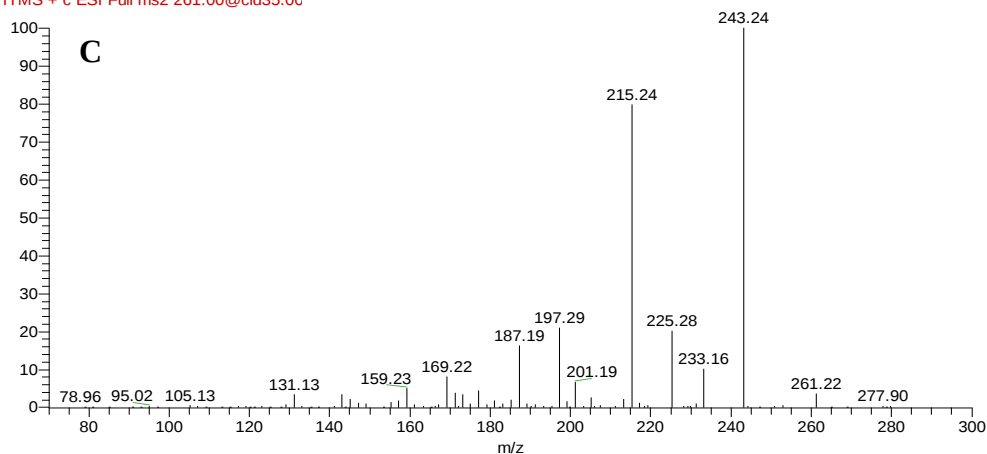
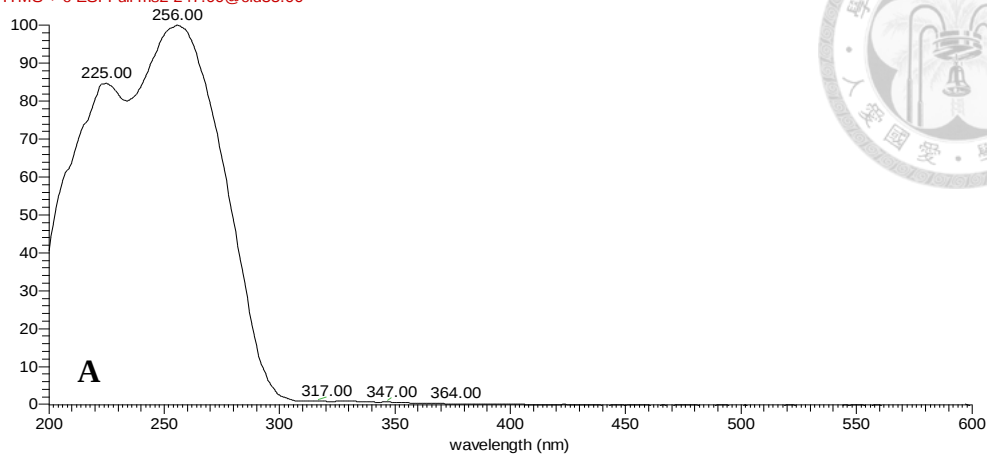


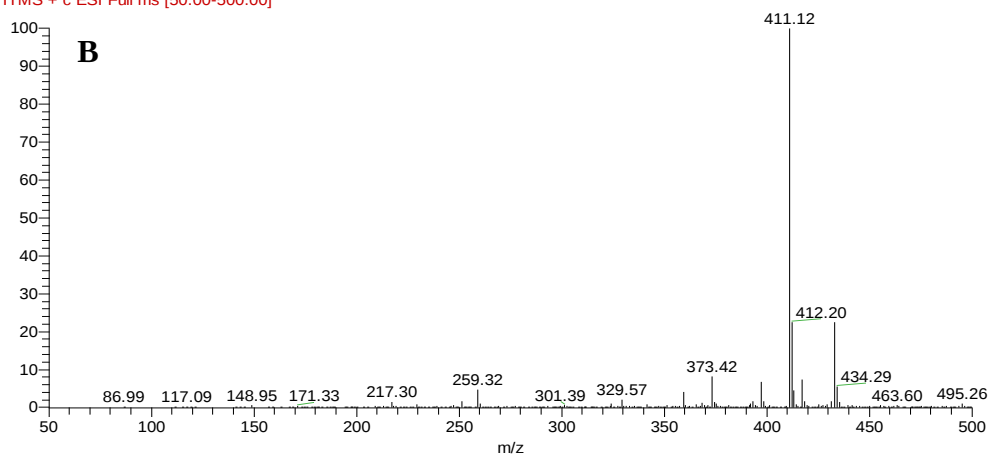
圖 5. 脫氧山萵苣素(層析時間 27.4 分鐘)之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質譜圖(B)及正離子模式二次質譜圖(C)

Fig. 5. UV/VIS absorption spectrum (A), positive mode MS spectrum (B) and positive mode MSMS spectrum (C) of 8-deoxylactucin (retention time 27.4 min).

2014-10-17_Mg6-B6 #50785 RT: 42.32 AV: 1 NL: 6.96E5 microAU
F: ITMS + c ESI Full ms2 247.00@cid35.00



2014-10-17_Mg6-B6 #4581 RT: 42.45 AV: 1 NL: 4.75E5
F: ITMS + c ESI Full ms [50.00-500.00]



2014-10-17_Mg6-B6 #4586 RT: 42.48 AV: 1 NL: 3.03E5
F: ITMS + c ESI Full ms2 411.00@cid35.00

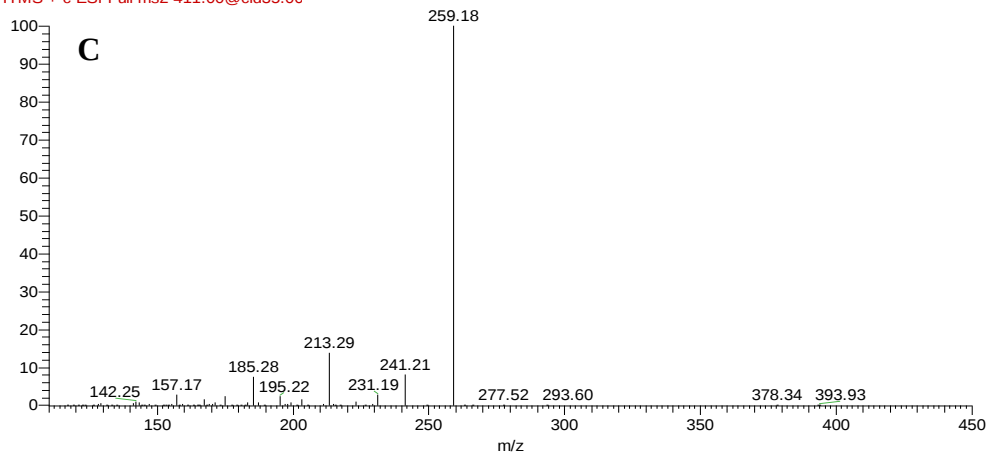
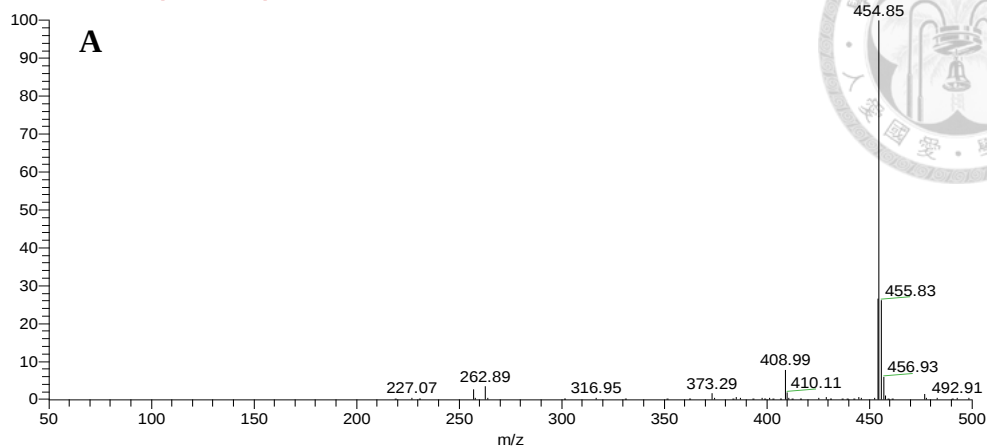


圖 6. 山萵苣苦素(層析時間 42.3 分鐘)之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質譜圖(B)及正離子模式二次質譜圖(C)

Fig. 6. UV/VIS absorption spectrum (A), positive mode MS spectrum (B) and positive mode MSMS spectrum (C) of lactucopicrin (retention time 42.3 min).

2014-10-17_Mg6-B6 #4582 RT: 42.46 AV: 1 NL: 5.51E4
F: ITMS - c ESI Full ms [50.00-500.00]



2014-10-17_Mg6-B6 #4587 RT: 42.49 AV: 1 NL: 2.32E4
F: ITMS - c ESI Full ms2 455.00@cid35.00

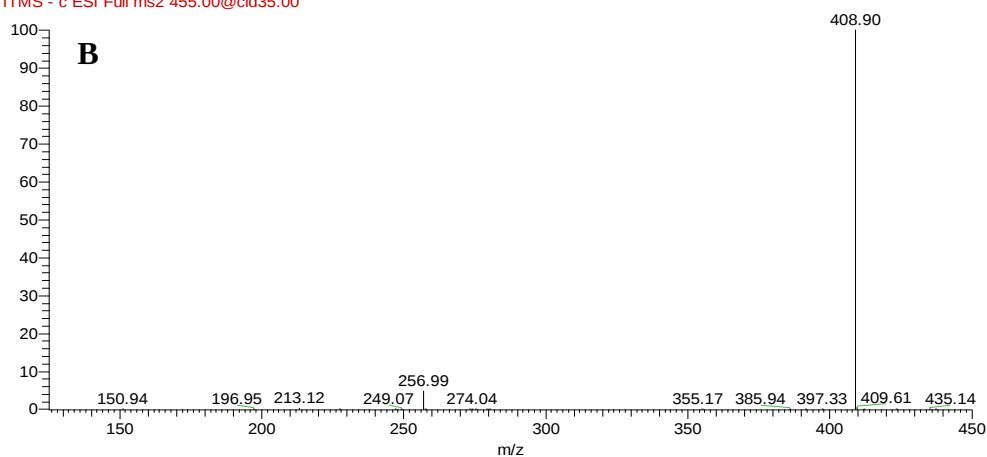
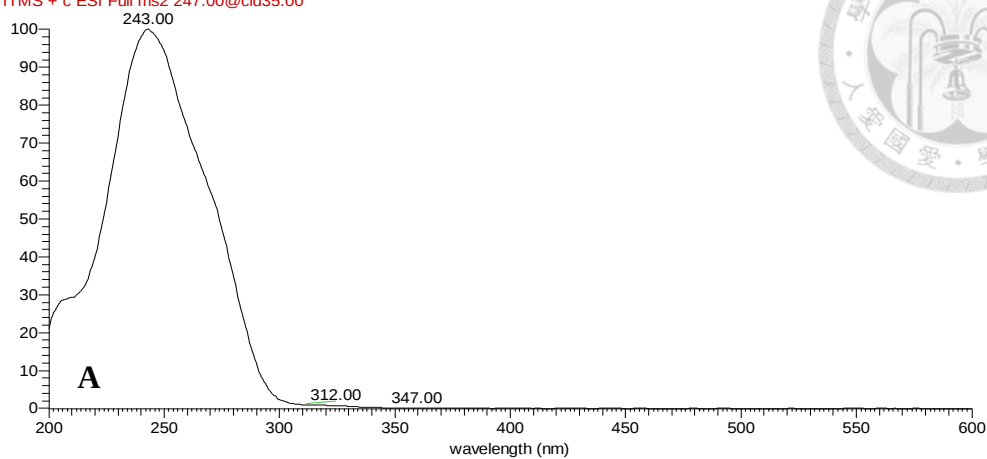


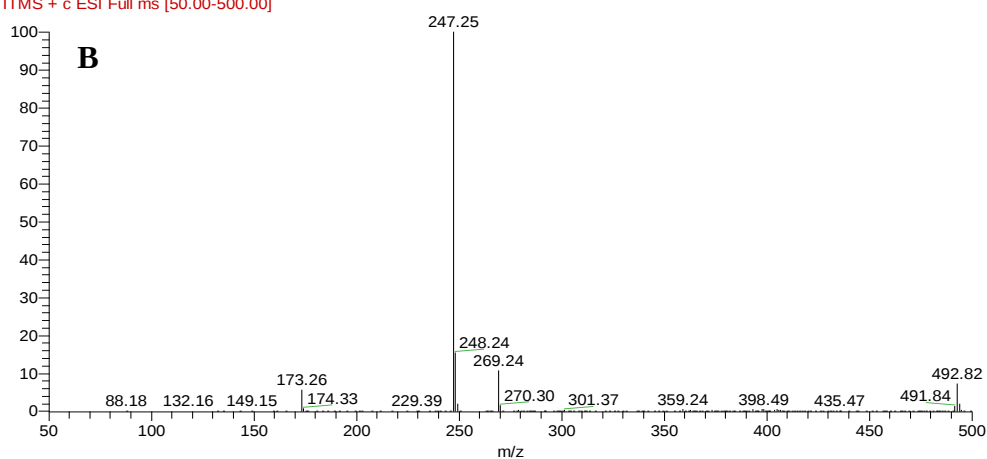
圖 7. 山萵苣苦素(層析時間 42.3 分鐘)之負離子模式質譜圖(A)及負離子模式二次質譜圖(B)

Fig. 7. Negative mode MS spectrum (A) and negative mode MSMS spectrum (B) of lactucopicrin (retention time 42.3 min).

2014-10-17_Mg6-B6 #44255 RT: 36.88 AV: 1 NL: 1.24E6 microAU
F: ITMS + c ESI Full ms2 247.00@cid35.00



2014-10-17_Mg6-B6 #3962 RT: 37.04 AV: 1 NL: 2.33E6
F: ITMS + c ESI Full ms [50.00-500.00]



2014-10-17_Mg6-B6 #3964 RT: 37.06 AV: 1 NL: 4.56E6
F: ITMS + c ESI Full ms2 247.00@cid35.00

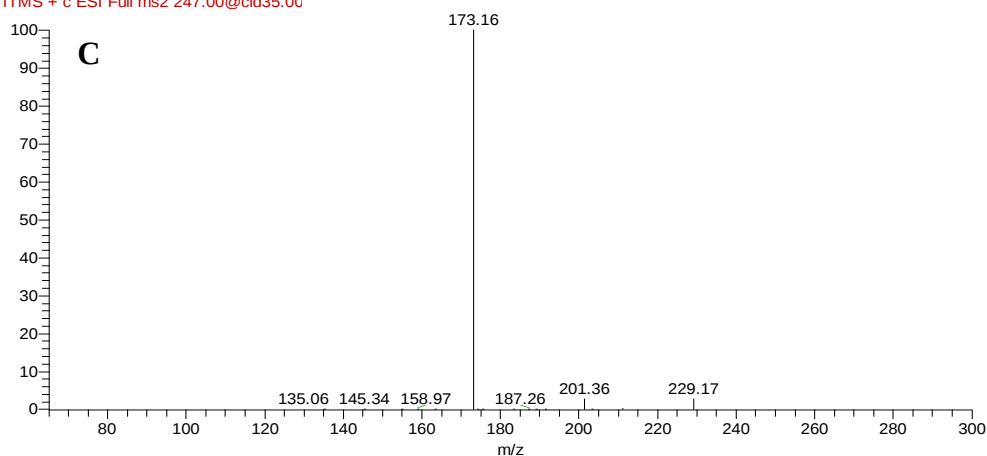
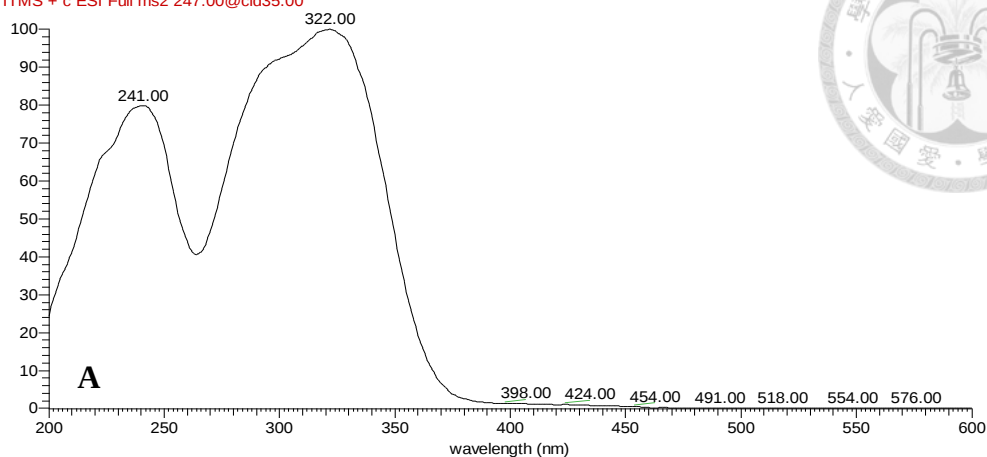


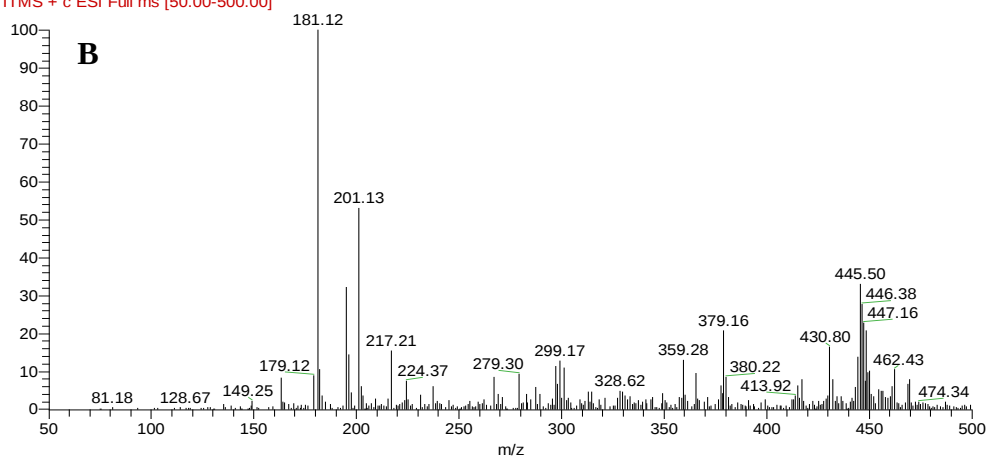
圖 8. 山道年(層析時間 36.9 分鐘)之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質譜圖(B)及正離子模式二次質譜圖(C)

Fig. 8. UV/VIS absorption spectrum (A), positive mode MS spectrum (B) and positive mode MSMS spectrum (C) of santonin (retention time 36.9 min).

2014-10-17_Mg6-B6 #16931 RT: 14.11 AV: 1 NL: 1.22E6 microAU
F: ITMS + c ESI Full ms2 247.00@cid35.00



2014-10-17_Mg6-B6 #1492 RT: 14.21 AV: 1 NL: 3.90E4
F: ITMS + c ESI Full ms [50.00-500.00]



2014-10-17_Mg6-B6 #1493 RT: 14.22 AV: 1 NL: 9.87E3
F: ITMS - c ESI Full ms [50.00-500.00]

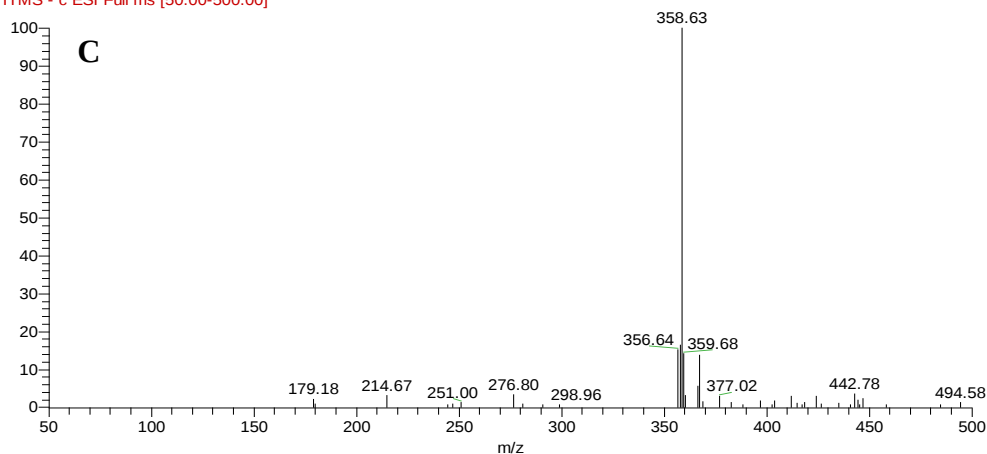
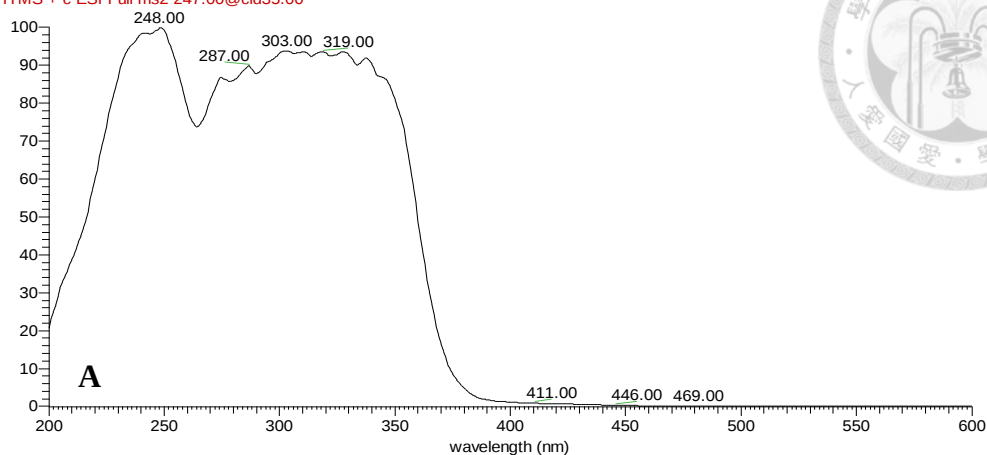


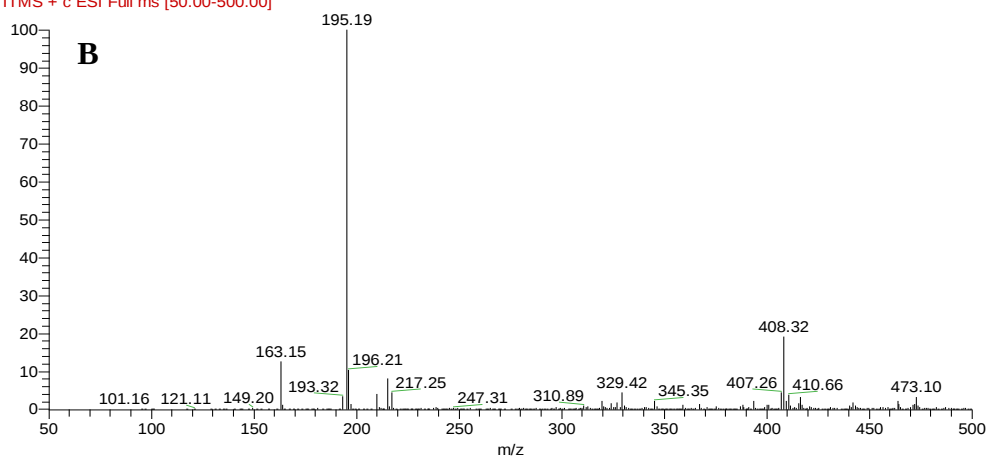
圖 9. 層析時間 14.1 分鐘未知化合物之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質譜圖(B)及負離子模式質譜圖(C)

Fig. 9. UV/VIS absorption spectrum (A), positive mode MS spectrum (B) and negative mode MS spectrum (C) of unknown compound at retention time 14.1 min.

2014-10-17_Mg6-B6 #34377 RT: 28.65 AV: 1 NL: 1.58E6 microAU
F: ITMS + c ESI Full ms2 247.00@cid35.00



2014-10-17_Mg6-B6 #3050 RT: 28.80 AV: 1 NL: 5.55E5
F: ITMS + c ESI Full ms [50.00-500.00]



2014-10-17_Mg6-B6 #3051 RT: 28.81 AV: 1 NL: 8.33E4
F: ITMS - c ESI Full ms [50.00-500.00]

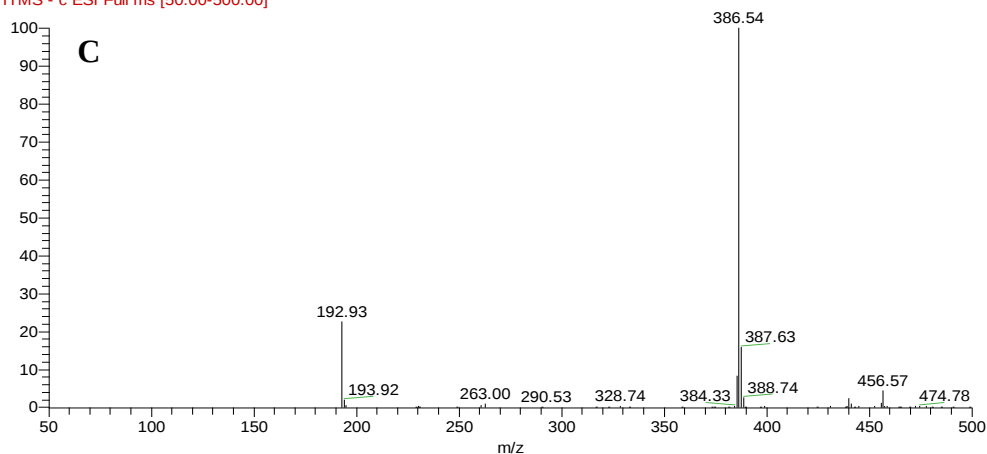
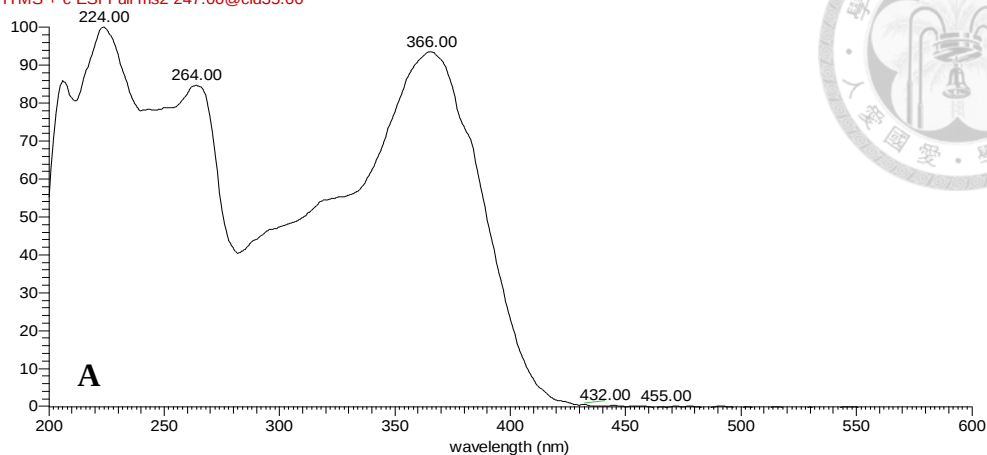


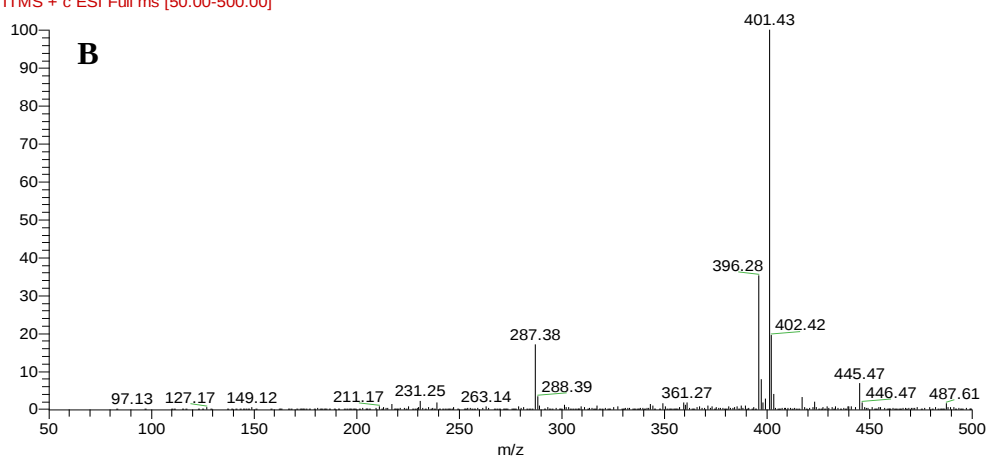
圖 10. 層析時間 28.7 分鐘未知化合物之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質譜圖(B)及負離子模式質譜圖(C)

Fig. 10. UV/VIS absorption spectrum (A), positive mode MS spectrum (B) and negative mode MS spectrum (C) of unknown compound at retention time 28.7 min.

2014-10-17_Mg6-B6 #55225 RT: 46.02 AV: 1 NL: 4.24E5 microAU
F: ITMS + c ESI Full ms2 247.00@cid35.00



2014-10-17_Mg6-B6 #5014 RT: 46.17 AV: 1 NL: 4.20E5
F: ITMS + c ESI Full ms [50.00-500.00]



2014-10-17_Mg6-B6 #5015 RT: 46.18 AV: 1 NL: 2.00E4
F: ITMS - c ESI Full ms [50.00-500.00]

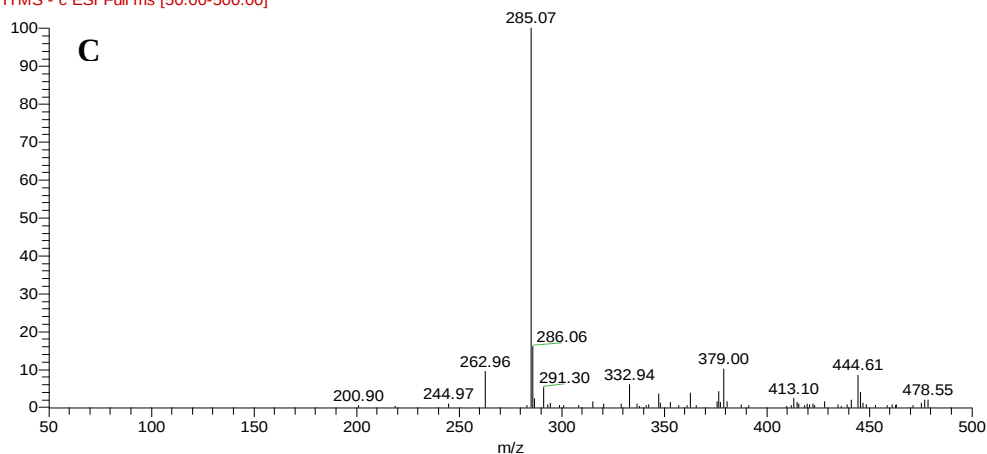


圖 11. 層析時間 46.0 分鐘未知化合物之 UV/VIS 吸收光譜圖(A)、正離子模式質譜圖(B)及負離子模式質譜圖(C)

Fig. 11. UV/VIS absorption spectrum (A), positive mode MS spectrum (B) and negative mode MS spectrum (C) of unknown compound at retention time 46.0 min.

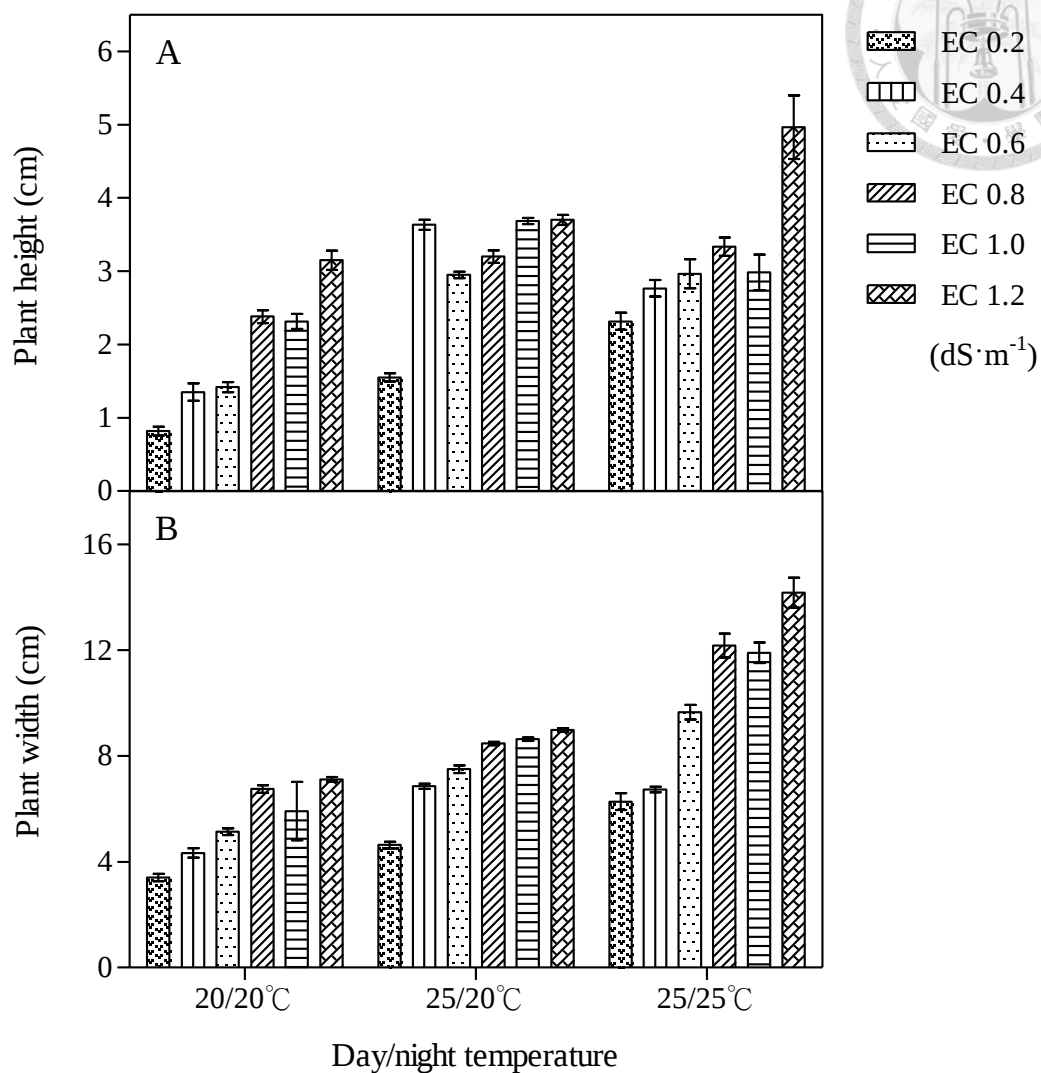


圖 12. 不同日夜溫度與養液電導度水耕栽培苦苣苗之株高(A)及株幅(B)

Fig. 12. The plant height (A) and plant width (B) of hydroponically grown endive seedlings in different day/night temperatures and electrical conductivity nutrient solutions.

Error bar is the standard error of mean.

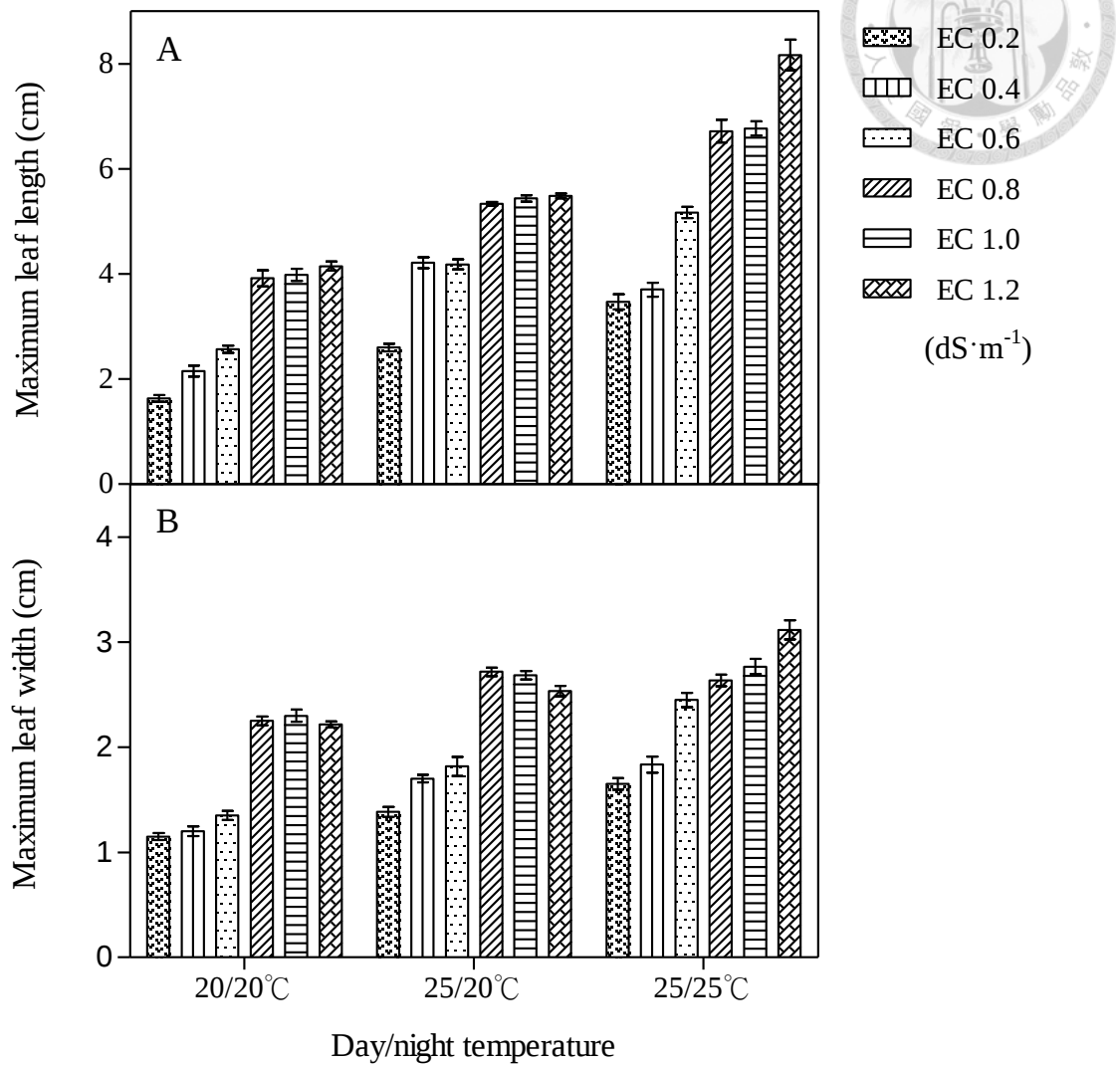


圖 13. 不同日夜溫度與養液電導度水耕栽培苦苣苗之最大葉長(A)及最大葉寬(B)
 Fig. 13. The maximum leaf length (A) and maximum leaf width (B) of hydroponically grown endive seedlings in different day/night temperatures and electrical conductivity nutrient solutions.

Error bar is the standard error of mean.

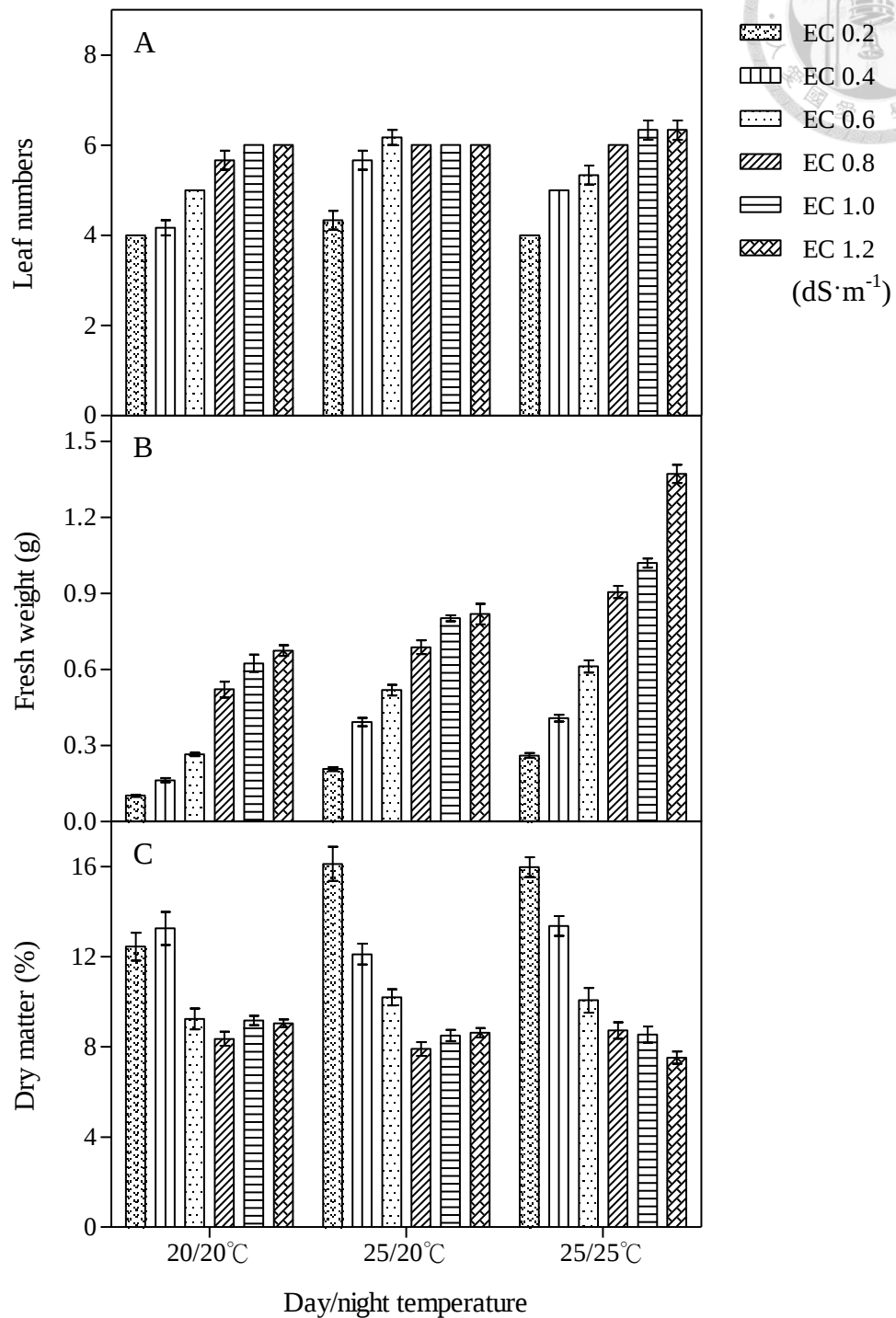


圖 14. 不同日夜溫度與養液電導度水耕栽培苦苣苗之葉片數(A)、地上部鮮重(B)及乾重率(C)

Fig. 14. The leaf numbers (A), fresh weight (B) and dry matter (C) of hydroponically grown endive seedlings in different day/night temperatures and electrical conductivity nutrient solutions.

Error bar is the standard error of mean.

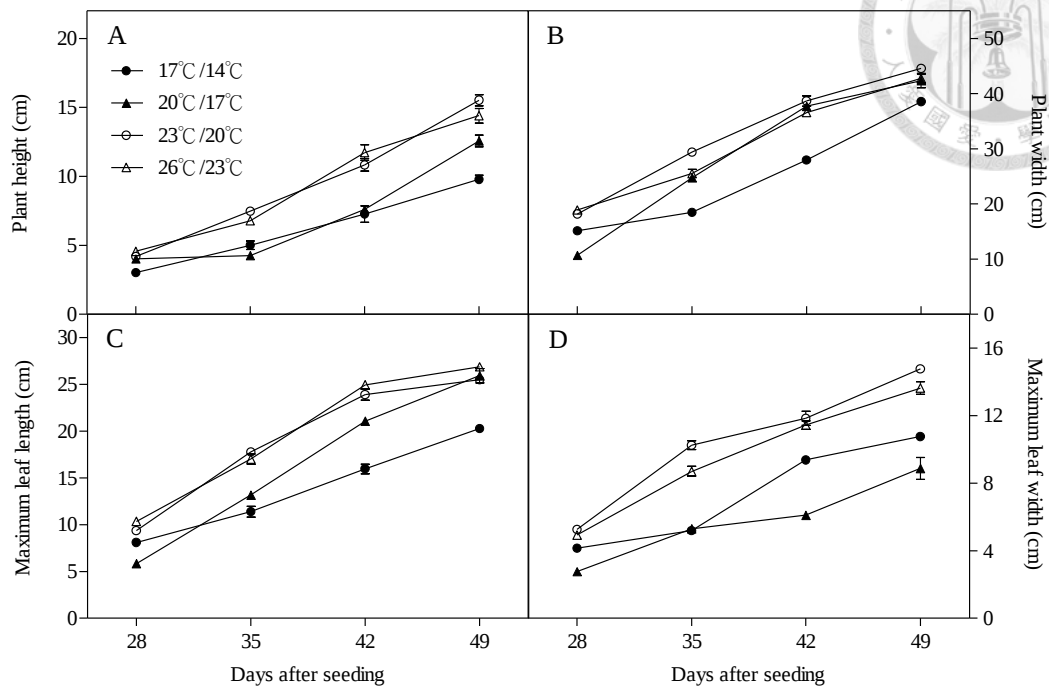


圖 15. 不同日夜溫度環境水耕栽培苦苣之株高(A)、株幅(B)、最大葉長(C)及最大葉寬(D)

Fig. 15. The plant height (A), plant width (B), maximum leaf length (C) and maximum leaf width (D) of hydroponically grown endive in different day/night temperature conditions.

Error bar is the standard error of mean.

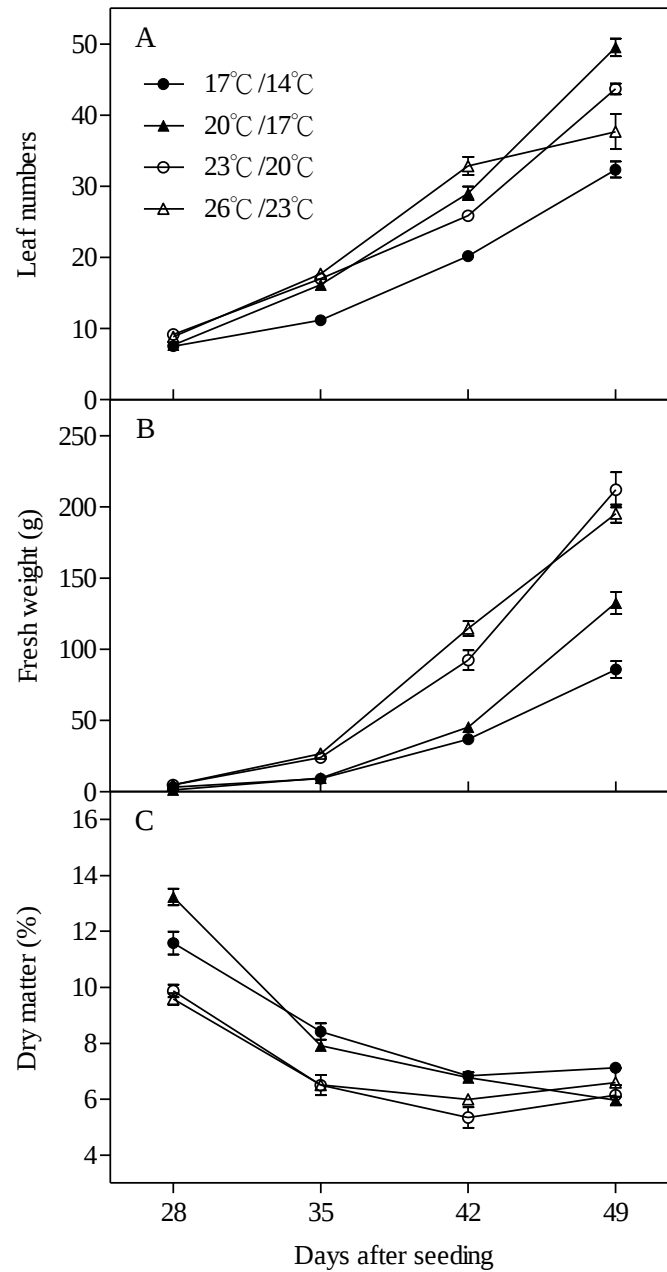


圖 16. 不同日夜溫度環境水耕栽培苦苣之葉片數(A)、地上部鮮重(B)及乾重率(C)

Fig. 16. The leaf numbers (A), fresh weight (B) and dry matter (C) of hydroponically grown endive in different day/night temperature conditions.

Error bar is the standard error of mean.

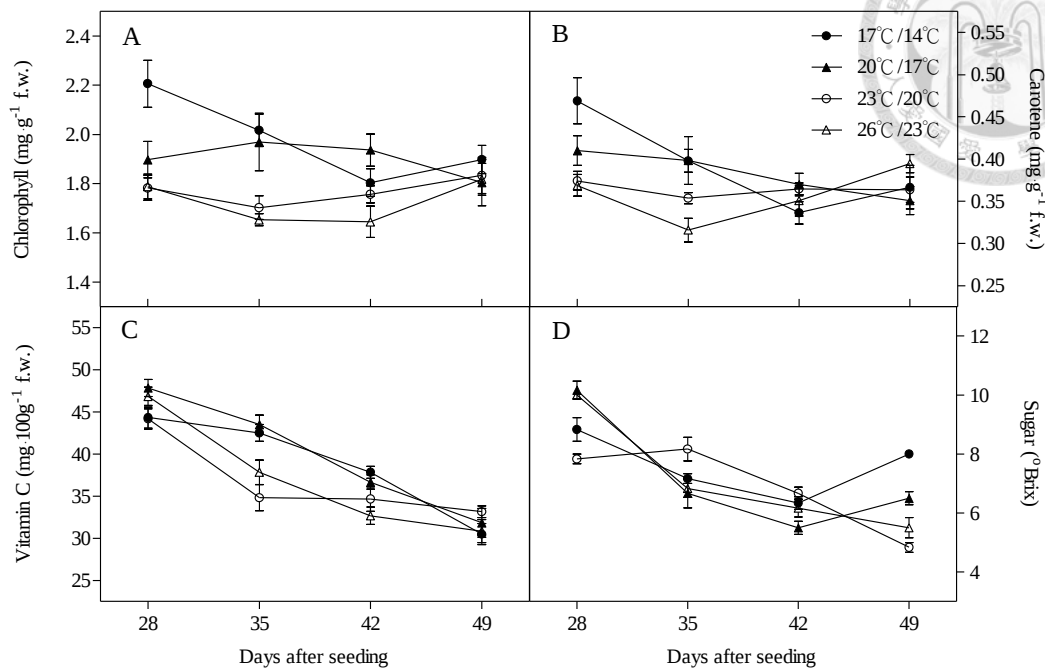


圖 17. 不同日夜溫度環境水耕栽培苦苣之葉綠素(A)、類胡蘿蔔素(B)、維生素 C (C) 及糖度(D)含量

Fig. 17. The content of chlorophyll (A), carotene (B), vitamin C (C) and sugar (D) in hydroponically grown endive in different day/night temperature conditions.

Error bar is the standard error of mean.

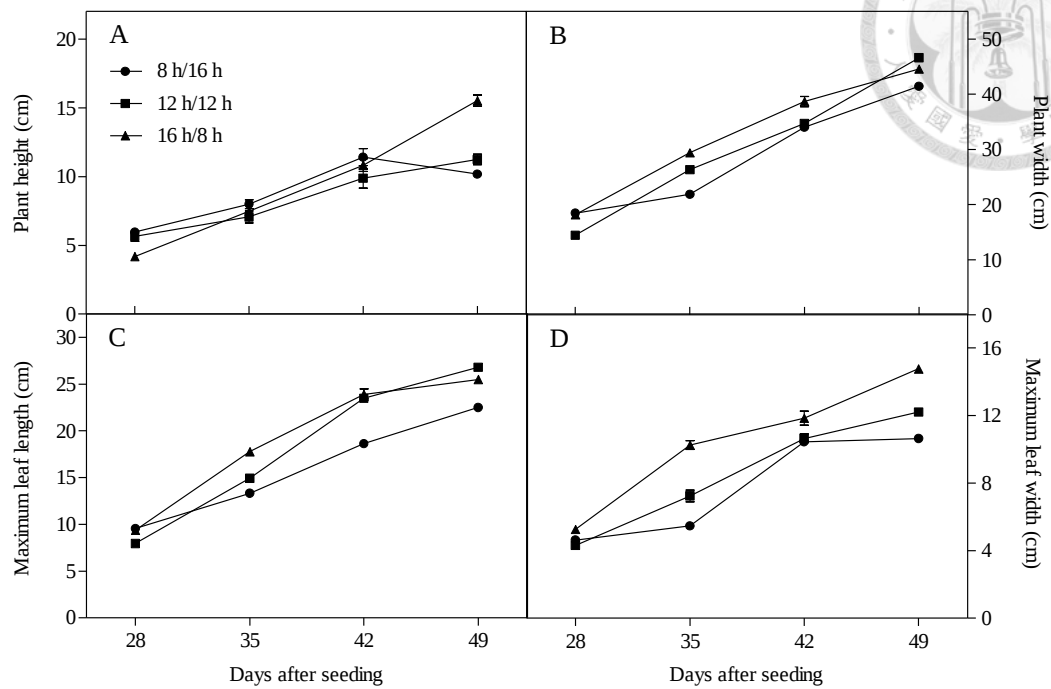


圖 18. 不同光週期水耕栽培苦苣之株高(A)、株幅(B)、最大葉長(C)及最大葉寬(D)
 Fig. 18. The plant height (A), plant width (B), maximum leaf length (C) and maximum leaf width (D) of hydroponically grown endive in different photoperiods.
 Error bar is the standard error of mean.

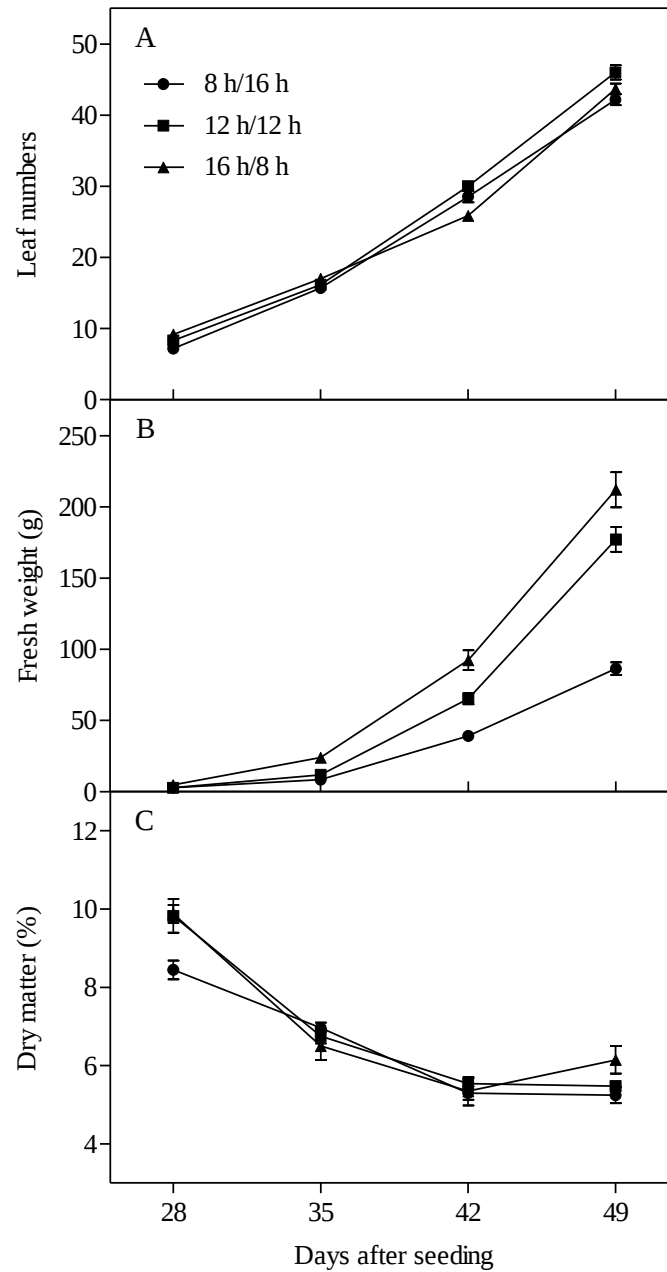


圖 19. 不同光週期水耕栽培苦苣之葉片數(A)、地上部鮮重(B)及乾重率(C)

Fig. 19. The leaf numbers (A), fresh weight (B) and dry matter (C) of hydroponically grown endive in different photoperiods.

Error bar is the standard error of mean.

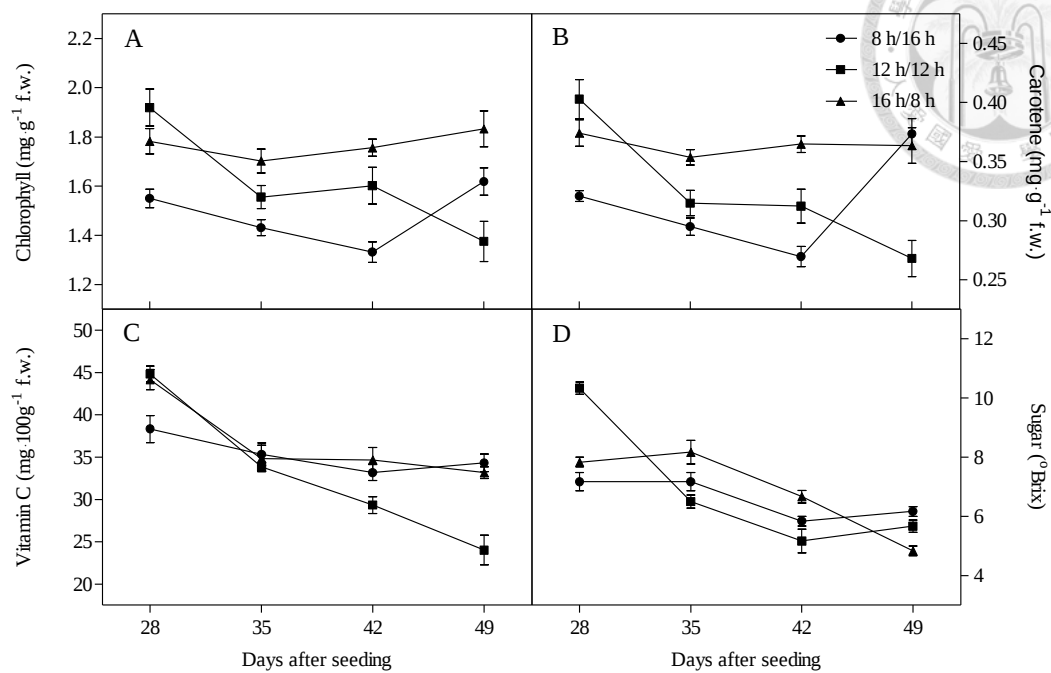


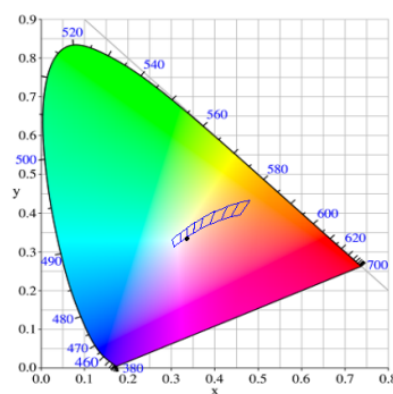
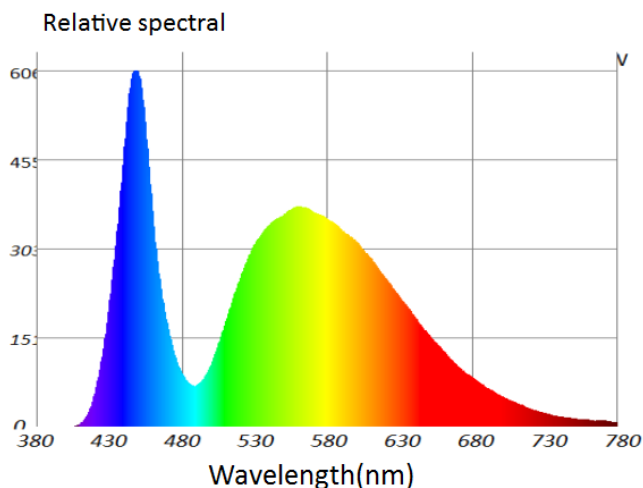
圖 20. 不同光週期水耕栽培苦苣之葉綠素(A)、類胡蘿蔔素(B)、維生素 C (C)及糖度(D)含量

Fig. 20. The content of chlorophyll (A), carotene (B), vitamin C (C) and sugar (D) in hydroponically grown endive in different photoperiods.

Error bar is the standard error of mean.



Spectroradiometric Report



CIE 1931

Spectral Distribution

Chromaticity Diagram

Radiometry and Photometry Measurements Analysis

Ev = 21739.44lx Ee = 69195.4200mW/m²

Spectrum Measurements Analysis

Color Rendering Index : Ra = 74.3

R1 = 74 R2 = 78 R3 = 77 R4 = 75 R5 = 74 R6 = 68 R7 = 82 R8 = 66

R9 = -02 R10 = 44 R11 = 71 R12 = 44 R13 = 74 R14 = 86 R15 = 73

Chromaticity Coordinates : x = 0.3356 y = 0.3344 SDCM = 8.17 u' = 0.2117 v' = 0.4746 Δu'v' = 0.0057

Correlated Color Temperature : Tc = 5349.9K Dominant Wavelength : λd = 485.32nm

Color purity : Purity = 0.87% Peak Wavelength : λp = 448.00nm Half Band Width : Δλd = 26.00nm

Product Name :

Product No :

Operator :

Test Date :

Ambient Temperature :

Humidity :

Manufacturers :

Remarks :

Instrument Manufacturers : Optimum optoelectronics

Instrument Model : SRI2000

Handheld illuminometer system

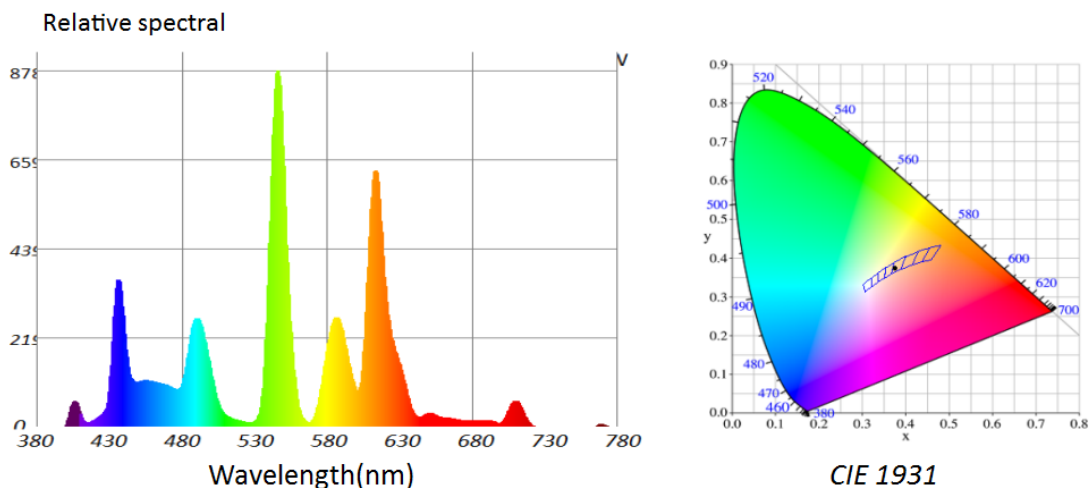
Optimum optoelectronics Corp.

附錄 1. 生長箱 LED 燈管光譜

Appen. 1. Spectrum of LED lamp in growth chamber.



Spectroradiometric Report



Spectral Distribution

Chromaticity Diagram

Radiometry and Photometry Measurements Analysis

$E_v = 14633.53 \text{ lx}$ $E_e = 42166.3400 \text{ mW/m}^2$

Spectrum Measurements Analysis

Color Rendering Index : $R_a = 84.3$

$R_1 = 94$ $R_2 = 95$ $R_3 = 64$ $R_4 = 87$ $R_5 = 85$ $R_6 = 81$ $R_7 = 92$ $R_8 = 77$

$R_9 = 23$ $R_{10} = 57$ $R_{11} = 67$ $R_{12} = 62$ $R_{13} = 96$ $R_{14} = 75$ $R_{15} = 95$

Chromaticity Coordinates : $x = 0.3746$ $y = 0.3743$ $SDCM = 2.60$ $u' = 0.2222$ $v' = 0.4996$ $\Delta u'v' = 0.0011$

Correlated Color Temperature : $T_c = 4143.7\text{K}$ Dominant WaveLength : $\lambda_d = 477.09\text{nm}$

Color purity : Purity = 18.28% Peak Wavelength : $\lambda_p = 546.00\text{nm}$ Half Band Width : $\Delta\lambda_d = 11.00\text{nm}$

Product Name :

Product No :

Operator :

Test Date :

Ambient Temperature :

Humidity :

Manufacturers :

Remarks :

Instrument Manufacturers : Optimum optoelectronics

Instrument Model : SRI2000

Handheld illuminometer system

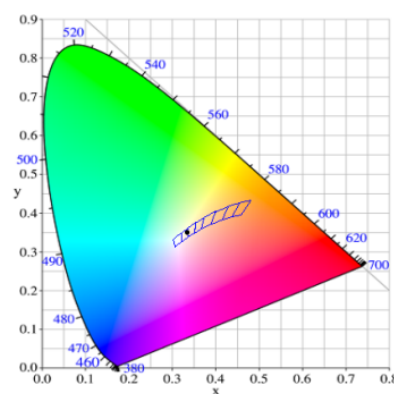
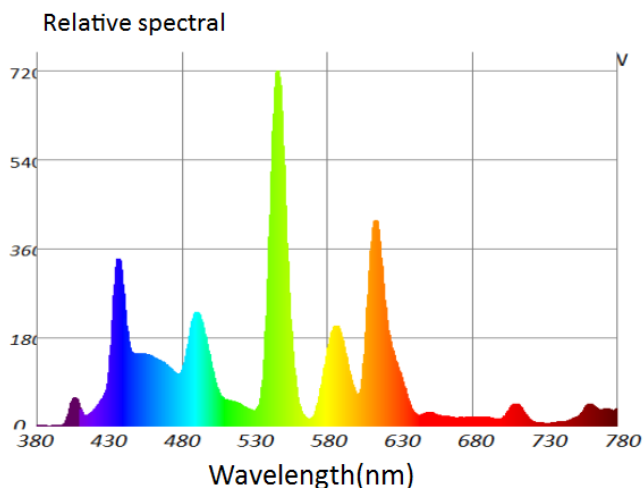
Optimum optoelectronics Corp.

附錄 2. 生長箱 T5 燈管光譜

Appen. 2. Spectrum of T5 lamp in growth chamber.



Spectroradiometric Report



Spectral Distribution

Chromaticity Diagram

Radiometry and Photometry Measurements Analysis

Ev = 12123.06lx Ee = 39205.2000mW/m²

Spectrum Measurements Analysis

Color Rendering Index : Ra = 84.2

R1 = 93 R2 = 92 R3 = 65 R4 = 87 R5 = 86 R6 = 79 R7 = 91 R8 = 81

R9 = 34 R10 = 55 R11 = 70 R12 = 64 R13 = 93 R14 = 77 R15 = 95

Chromaticity Coordinates : x = 0.3336 y = 0.3499 SDCM = 3.48 u' = 0.2043 v' = 0.4821 Δu'v' = 0.0058

Correlated Color Temperature : Tc = 5449.1K Dominant WaveLength : λd = 555.08nm

Color purity : Purity = 5.32% Peak Wavelength : λp = 546.00nm Half Band Width : Δλd = 11.00nm

Product Name :

Product No :

Operator :

Test Date :

Ambient Temperature :

Humidity :

Manufacturers :

Remarks :

Instrument Manufacturers : Optimum optoelectronics

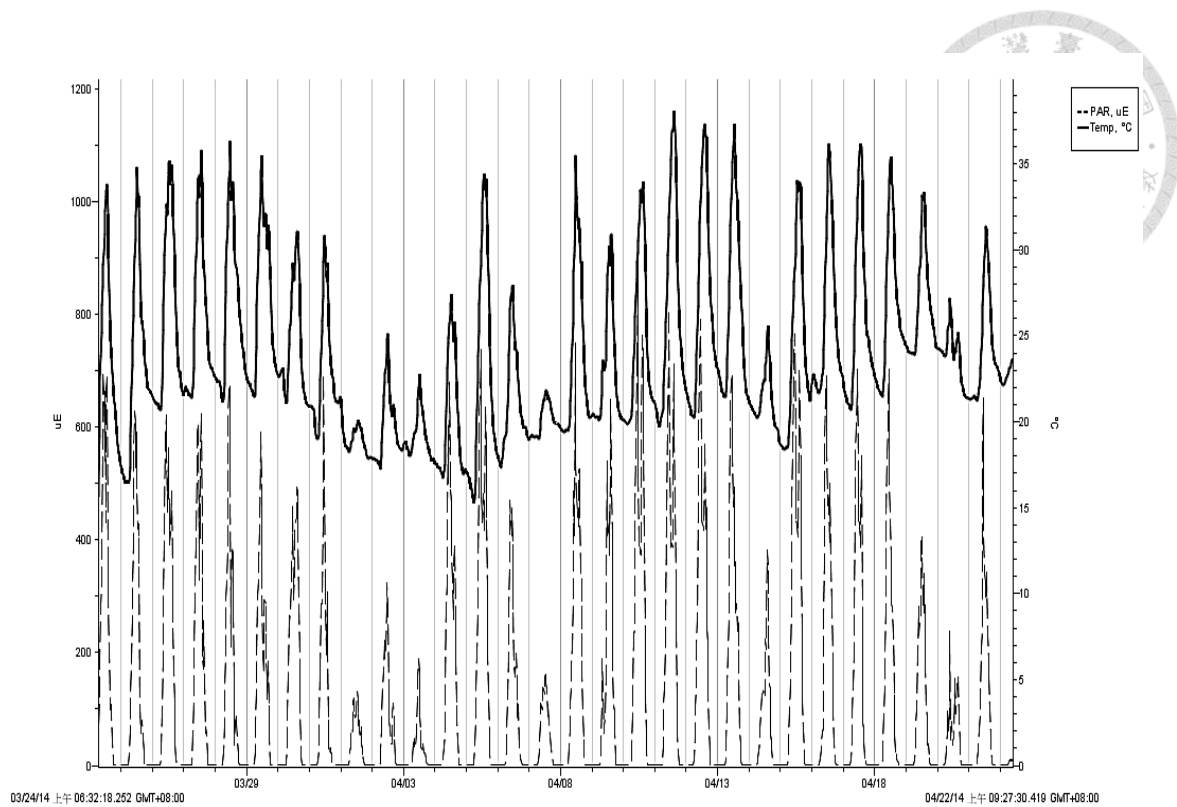
Instrument Model : SRI2000

Handheld illuminometer system

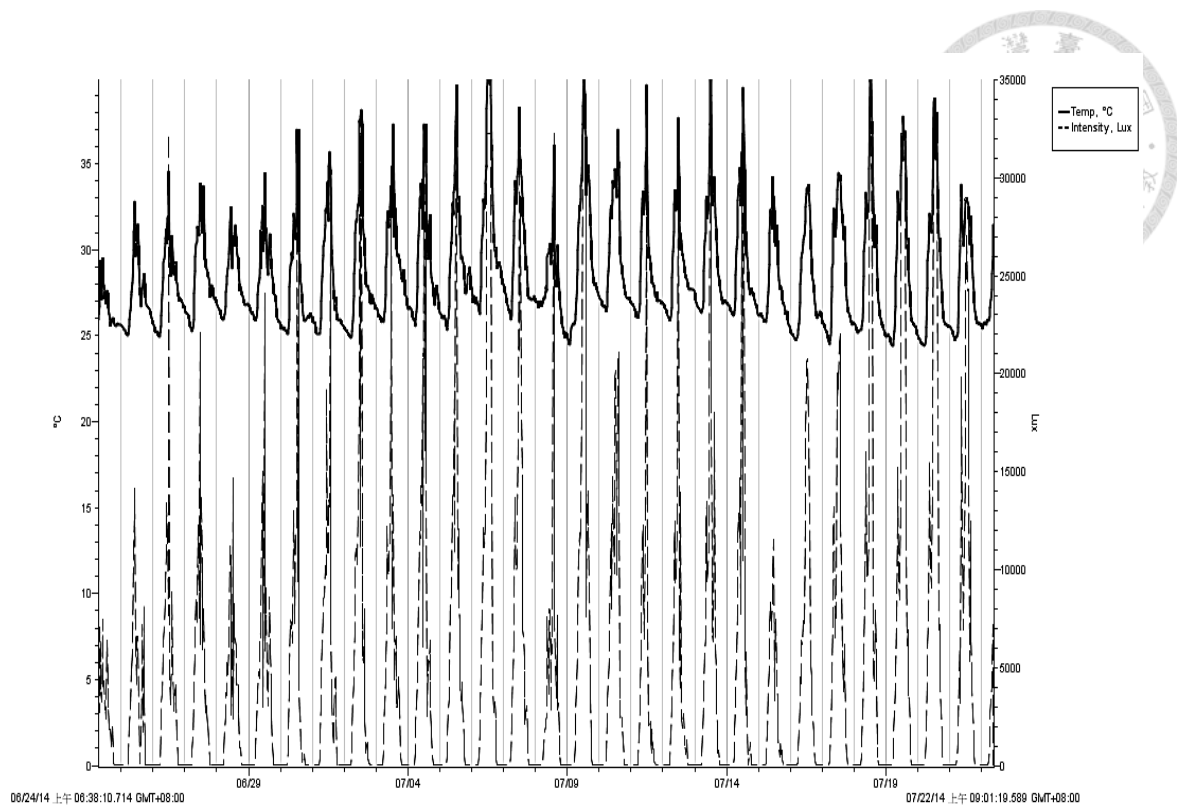
Optimum optoelectronics Corp.

附錄 3. 植物工場 T5 燈管光譜

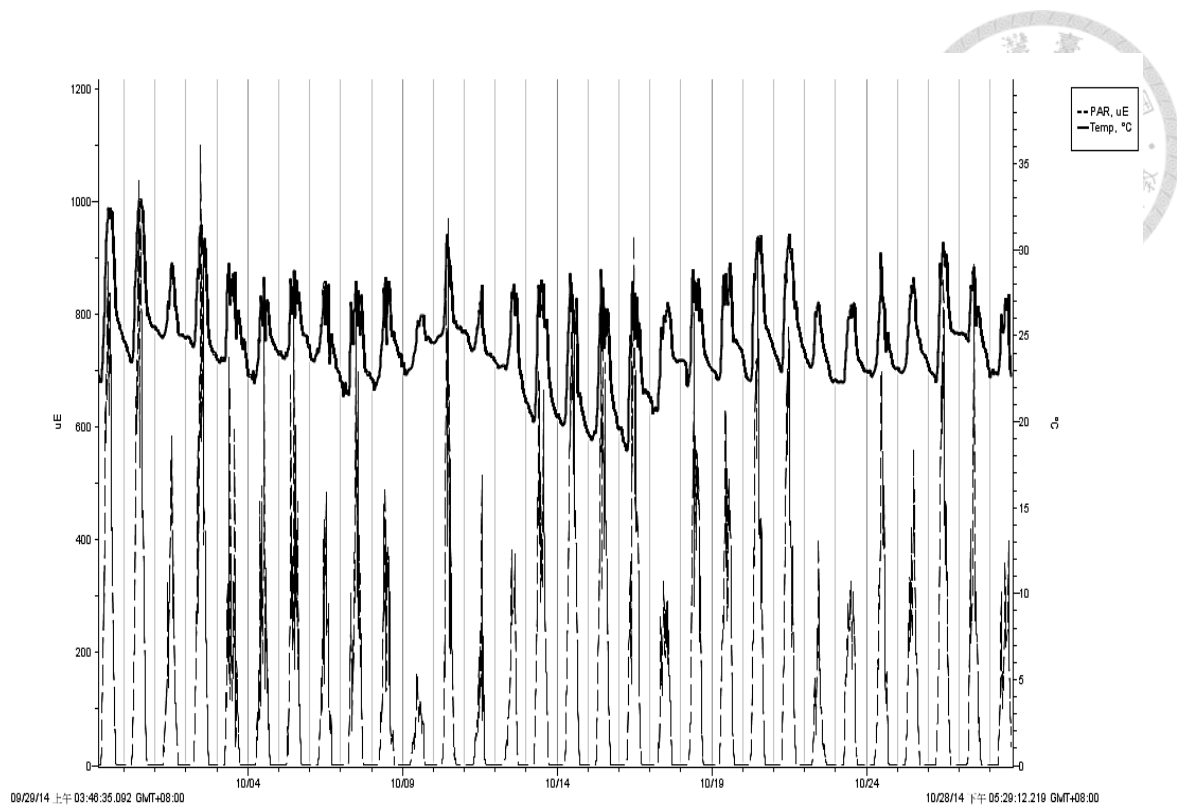
Appen. 3. Spectrum of T5 lamp in plant factory.



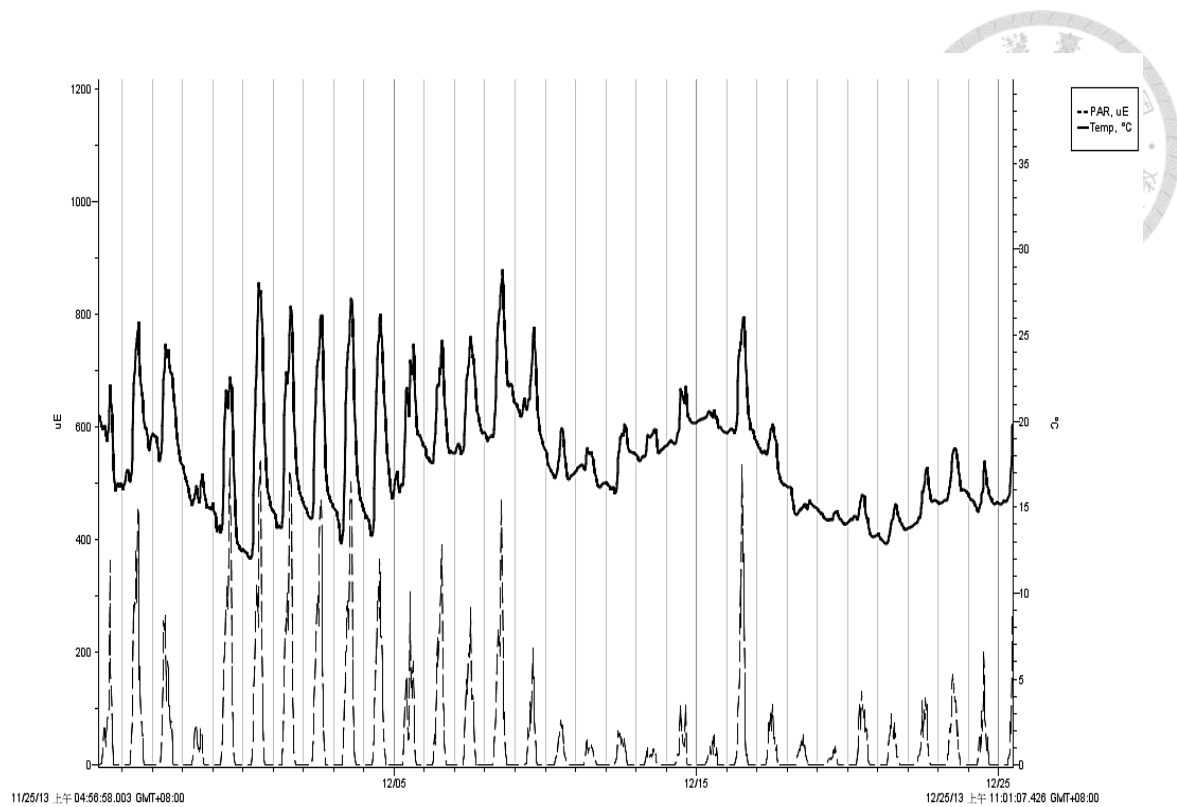
附錄 4. 國立臺灣大學園藝分場溫室春季(2014/03/24 - 2014/04/21)溫度及光強度
 Appen. 4. Spring (2014/03/24 - 2014/04/21) temperature and light intensity in National Taiwan University horticultural farm greenhouse.



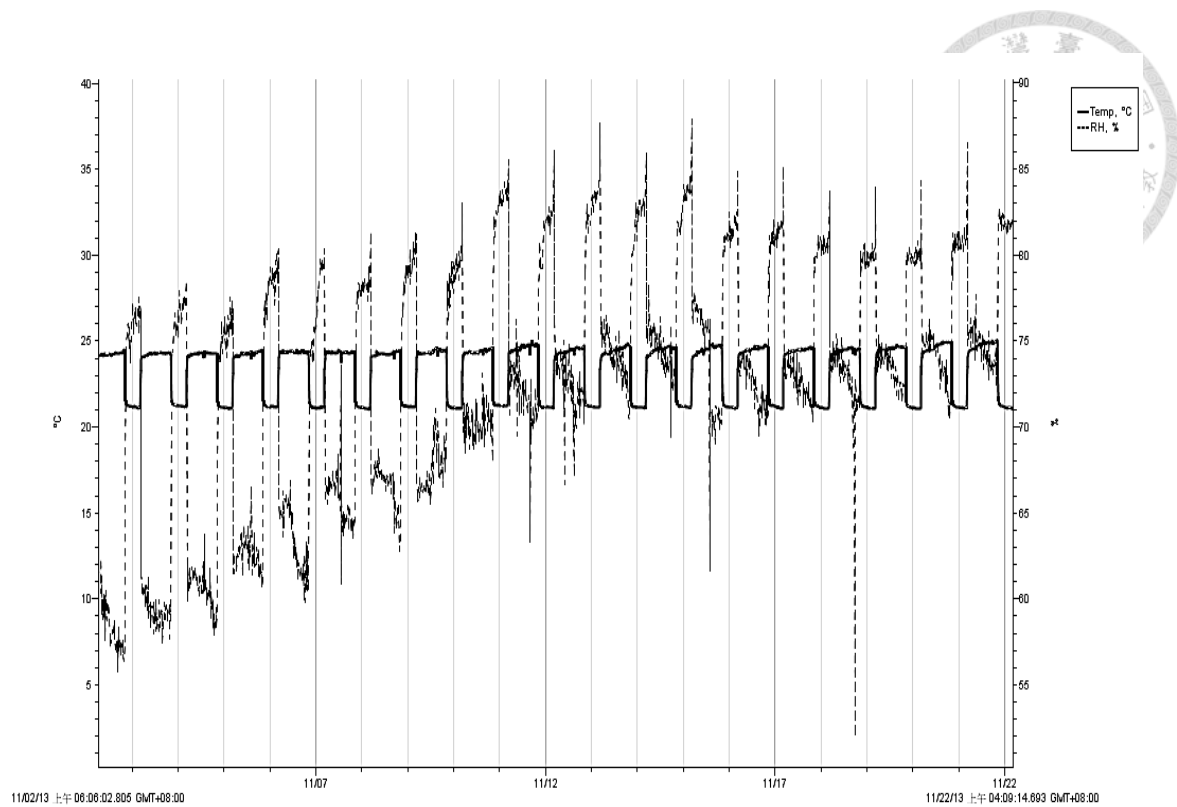
附錄 5. 國立臺灣大學園藝分場溫室夏季(2014/06/24 - 2014/07/22)溫度及光強度
 Appen. 5. Summer (2014/06/24 - 2014/07/22) temperature and light intensity in
 National Taiwan University horticultural farm greenhouse.



附錄 6. 國立臺灣大學園藝分場溫室秋季(2014/09/29 - 2014/10/27)溫度及光強度
 Appen. 6. Autumn (2014/09/29 - 2014/10/27) temperature and light intensity in
 National Taiwan University horticultural farm greenhouse.

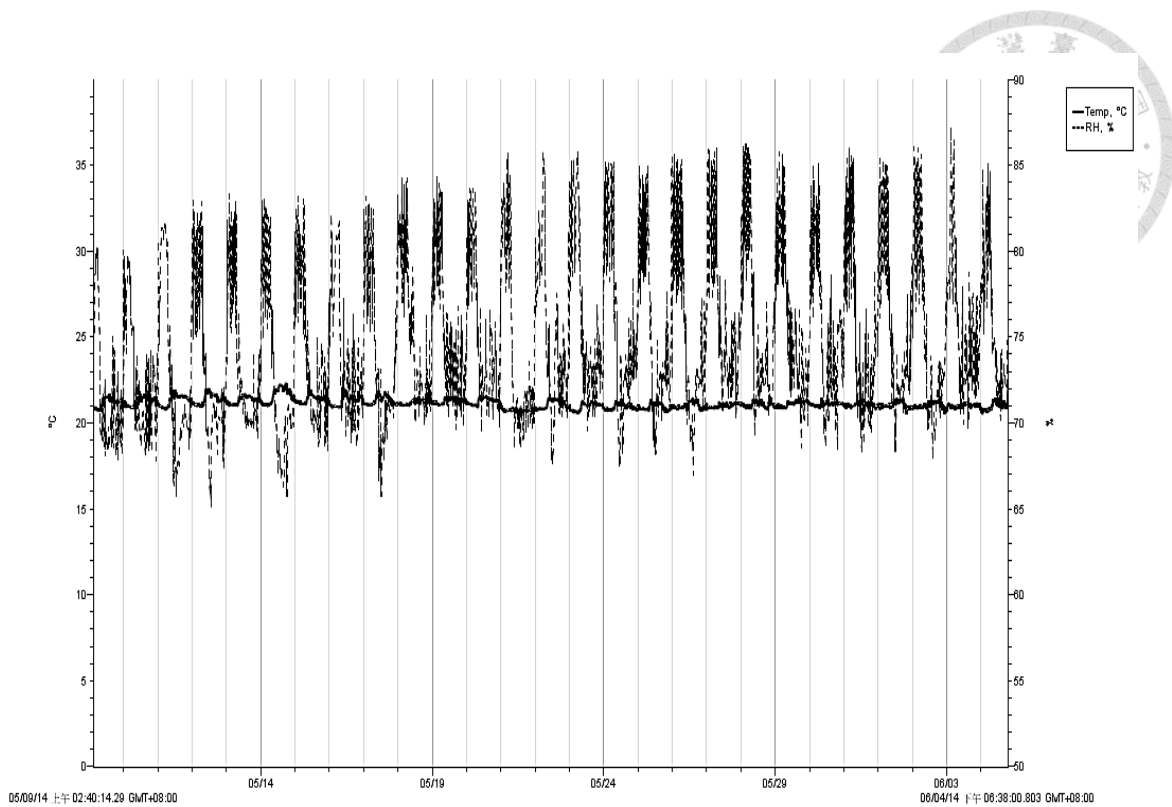


附錄 7. 國立臺灣大學園藝分場溫室冬季(2013/11/25 - 2013/12/23)溫度及光強度
 Appen. 7. Winter (2013/11/25 - 2013/12/23) temperature and light intensity in National Taiwan University horticultural farm greenhouse.



附錄 8. 生長箱溫度及相對濕度

Appen. 8. Temperature and relative humidity in the growth chamber.



附錄 9. 國立臺灣大學植物工場 B02 室溫度及相對濕度

Appen. 9. Temperature and relative humidity in the plant factory B02 in National Taiwan University.



附錄 10. 硫濃度 $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (A)、 $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (B) 及 $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (C) 水耕栽培之苦苣
Appen. 10. Hydroponically grown endive in sulfur level $8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (A), $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (C).



附錄 11. 春季(2014/03/24 - 2014/04/21)(A)及夏季(2014/03/24 - 2014/04/21)(B)水耕栽培之苦苣

Appen. 11. Hydroponically grown endive in spring (A) and summer (B).