

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

光照及栽培模式對四季蔥生長及揮發性成分之影響
Effect of light and cultivation method on growth
and volatile compounds of green onion (*Allium*
fistulosum L.)



吳鴻均

Hung-Chun Wu

指導教授：張祖亮 博士

Advisor: Tsu-Liang Chang, Ph.D.

中華民國 101 年 6 月

June, 2012

論文口試委員審定書

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

光照及栽培模式對四季蔥生長及揮發性成分之影響

Effect of light and cultivation method on growth and
volatile compounds of green onion (*Allium*
fistulosum L.)

本論文係吳鴻均君 (R97628120) 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 101 年 4 月 25 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：

張祖堯

(指導教授)

陳問憲

羅筱鳳

誌謝

由衷感謝恩師 張祖亮 博士，讓學生自由選擇學習方向，並加以指點和教導，亦幫我校閱論文，學生獲益良多，也增長見聞許多。雖修業年限稍長，但在作物與電機研究室，精溫的這些日子裡，感受到師長同學之間互相的友愛及幫助，學長姐們：繼中、康康、怡如、NIKE、婉玲、婷雁、怡瑛、宜靜、同學們：心怡、婉婷、志仁、智均，及學弟妹們：柏任、宜潔等，謝謝你們的給我的助力及互相指教，很感謝心怡在論文上的互相勉勵及督促。感謝口委羅筱鳳 博士 及 亦是輔委的陳開憲 博士，您們在論文中修改、指正及在實驗上的指導，讓我可順利完成論文。

歷時四年，雖晚了些，但終以慰父靈，我想應該盡入你眼簾吧，兒將於此邁入人生下一階段。很感謝母親，這些年來從未給我壓力，讓我可追求自己的理想；大姐孟虹、二姐季虹、三姊孟修、四姐柏青，有妳們這些姊姊幫忙打點家裡一切，給我支持，讓我可不負沉重壓力。修業之餘，亦有國中、高中及大學的兄弟們：學鈞、家良、鳳森、祥威、至晟、宏穎、明達、弘道、秉諺、義信等(人數過多，無法一一列出，請見諒)，陪我排解心情、去除苦悶，也很感謝你們在我實驗過程中的幫忙。還有，感謝建國花市台北市農會的大哥大姐們，讓我在花市期間也可準備學業。另外，特別感謝的是小姍，這幾年來，妳在我身旁默默的支持，勉勵及打氣，傾聽我的聲音，也沒給過我壓力，一路走來倍感溫馨，真的非常的謝謝妳！！

最後，再次感謝於我修業這段期間，所有於生活上、實驗上、心靈上幫助過我的每一個人，願你們一生快樂平安順心。

摘要

本研究於生長箱內栽種四季蔥地方品系‘黑葉’，以霧耕及水耕為栽培模式，並利用三種光質作為栽培光源，調查植株生長情形。另以固相微萃取法（solid-phase microextraction, SPME）及氣相層析質譜儀（gas chromatography - mass spectrometry, GC-MS）分析蔥青及根部揮發性成分。

首先為確立適宜的光強度，測得‘黑葉’於 $1,500 \pm 43$ ppm 二氧化碳起始濃度下，測得光飽和點為 $382.15 \pm 27.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ （相當於 $24,993.46 \pm 1,818$ lux）；二氧化碳起始濃度增至 $3,000 \pm 71$ ppm時，光飽和點大於 $711 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

霧耕及水耕栽培時，其蔥青生長速率指標（蔥青表面積）無顯著差異，但平均發根數及發根速率則以霧耕栽培較好，呈極顯著差異。

於白光、紅光及藍光下栽培，‘黑葉’平均葉片數生長量與表面積生長量，呈極顯著差異，以白光栽培為佳。分析揮發性成分，以新鮮葉片配合 75°C 加熱溫度與SPME加熱吸附7分鐘。

白光栽培下之‘黑葉’蔥青，Dipropyl disulfide、1,2-Dithiolane 及 Dipropyl trisulfide，高於紅光及藍光栽培者。藍光栽培者 3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane，高於白光及紅光栽培者，紅光栽培者則所有揮發性成份皆較低。

‘黑葉’根部所含的揮發性成分比蔥青多，而根部於藍光栽培下，5種揮發性成分（Methyl 2-propenyl disulfide、Dimethyl trisulfide、(Z)-1-(methylthio)-1-propene、(E)-1-(methylthio)-1-propene、3-Isopropyl-4-methyl-dec-1-en-4-ol），

含量顯著高於白光及紅光栽培者。白光栽培下，Dipropyl disulfide、Dipropyl trisulfide，則高於紅光與藍光栽培者，皆呈顯著差異。另外，與溫室內栽種的根部比較，三種處理的揮發性成分大多高於溫室自然光栽培者。Methyl propyl disulfide、Dipropyl disulfide、3,3-Dimethyl-piperidine、2-[(methylthio)ethynyl]-thiophene 及 3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane 這 5 種揮發性成分含量，皆是根部大於蔥青，而 1,2-Dithiolane 則是蔥青大於根部。

關鍵字：室內栽培、霧耕、光質、光強度、固相微萃取法、氣相層析質譜儀



Abstract

The purpose of this study is to investigate the growing of a local strain-Black leaf, a variety of green onion called Shy-Zih, They were planted in the growth chambers for fogoponic and hydroponic culture systems. Three kinds of light qualities are used as artificial light source. Additionally, the solid-phase microextraction (SPME) and gas chromatography - mass spectrometry (GC-MS) were used to analyze the volatile components from the leaves and roots.

First is to establish the proper light intensity, the measured light saturation point of the “Black leaf” is $382.15 \pm 27.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (equivalent to $24,993.46 \pm 1,818$ lux) if the initial concentration of carbon dioxide was at $1,500 \pm 43$ ppm; when the initial concentration of carbon dioxide increased at $3,000 \pm 71$ pp, the light saturation point is greater than $711 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

No significant difference in the green-leaf growth rate (green-leaf surface area) by fogoponic and hydroponic culture systems. But the average of rooting number and growth rate with fogoponic cultivation is better.

Under the white, red and blue light, the average growth number of leaf and surface area of “Black leaf” it makes significant difference among them and it grows best under the white light. The analyzing condition of the volatile components of fresh leaves is to heat temperature up to $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ and SPME heating adsorption for 7

minutes.

The Dipropyl disulfide、1,2-Dithiolane and Dipropyl trisulfide of green-leaf of 'Black Leaf' contents is higher than it grown under red and blue light. The 3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane contents is higher than it grown under other two kinds light and the volatile compounds are the lowest among all.

The roots of the "Black-leaf" content more volatile compounds than the green-leaf. If the roots are grown under the blue light, the 5 kinds of volatile compounds(Methyl 2-propenyl disulfide、Dimethyl trisulfide,(Z)-1-(methylthio)-1-propene、(E)-1-(methylthio)-1-propene、3-Isopropyl-4-methyl-dec-1-en-4-ol) content are higher than it grown under red and blue light and the difference is very significant. Besides, compare with the roots grown in greenhouse, the 3 kinds of volatile compounds are higher than it was grown under the natural light. The 5 kinds of volatile compounds of roots, Methyl propyl disulfide、Dipropyl disulfide、3,3-Dimethyl-piperidine、2-[(methylthio)ethynyl]-thiophene and 3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane, are higher than the green-leaf but the 1,2-Dithiolane is opposite.

Key words: indoor cultivation, fogoponic, light quality, light intensity, SPME, GC-MS

目錄

	頁次
論文口試委員審定書	i
誌謝	ii
摘要	iii
Abstract	v
目錄	vii
圖目次	ix
表目次	xiv
壹、前言	1
貳、前人研究	4
一、青蔥植物型態及台灣栽培種之分類	4
二、青蔥之繁殖及栽培	7
三、青蔥常見之病害	11
四、青蔥香氣成分來源	12
五、蔥屬作物揮發性有效成分之利用	13
六、立體化栽培及霧耕栽培介紹	13
七、霧耕栽培對作物生長之影響	15
八、應用人工光源於蔬菜類之生產	16
參、材料與方法	20
一、試驗材料	20
二、生長箱與自動控制系統建立	20
三、霧耕與水耕栽培	21
四、光合作用速率計算	22

五、栽培環境之光條件	23
六、生長速率測量	24
七、氣味成分分析方法	24
八、質譜數據統計與分析	26
肆、結果與討論	37
伍、結論	73
陸、參考文獻	75
附錄 ..	87



圖目次

頁次

圖 1. 四季蔥品種‘黑葉’	28
Fig. 1. Green onion (<i>Allium fistulosum</i> L.) Black Leaf.....	28
圖 2. 自製生長箱 3D 示意圖	29
Fig. 2. 3D-diagram of self-assembly growth chamber	29
圖 3. 自製生長箱透視圖	30
Fig. 3. Perspective of self-assembly growth chamber.....	30
圖 4. 自製生長箱內部構造(一).....	31
Fig. 4. Interior structure of self-assembly growth chamber(1).....	31
圖 5. 自製生長箱內部構造(二).....	32
Fig. 5. Interior structure of self-assembly growth chamber(2).....	32
圖 6. 自動控制及資料收集系統	33
Fig. 6. Automatic control and data collection system.....	33
圖 7. 霧耕栽培系統示意圖(一).....	34
Fig. 7. Diagram of fogoponic system(1).....	34
圖 8. 霧耕栽培系統示意圖(二).....	34
Fig. 8. Diagram of fogoponic system(2).....	34
圖 9. 自組光合作用速率計算裝置	35
Fig. 9. Self-assembly device of calculate rate of photosynthesis .	35
圖 10. 蔥青面積計算方式	36
Fig. 10. Calculate method of Green-leaf area	36
圖 11. 根影像截面積計算流程圖	36

Fig. 11. Flowchart of calculate of image cross-sectional area	36
圖 12. 青蔥‘黑葉’在二氧化碳起始濃度 1500 ppm 下，於不同 光強度時之二氧化碳變化量	45
Fig. 12. Variation of carbon dioxide concentration of Green onion variety “Black Leaf” at different level of light inintensity in 1500 ppm initial CO ₂	45
圖 13. 青蔥‘黑葉’在二氧化碳起始濃度 3000 ppm 下，於不同 光強度時之二氧化碳變化量	46
Fig. 13. Variation of carbon dioxide concentration of green onion variety “Black Leaf” at different level of light inintensity in 3000 ppm initial CO ₂	46
圖 14. 青蔥‘黑葉’於二氧化碳起始濃度 1500 及 3000 ppm 之 淨光合作用速率(n=3)	47
Fig. 14.Net photosynthetic rate of green onion variety “Black Leaf” in 1500 and 3000 ppm initial CO ₂ (n=3)	47
圖 15. 青蔥‘黑葉’於霧耕栽培下每株蔥青表面積平均生長趨勢	48
Fig. 15. Average growth tendency of green leaf surface area per plant of green onion variety “Black Leaf” by fogoponic	48
圖 16.青蔥‘黑葉’於水耕栽培下每株蔥青表面積平均生長趨勢	49
Fig. 16. Average growth tendency of green leaf surface area per plant of green onion variety “Black Leaf” by hydroponic	49
圖 17. 青蔥‘黑葉’於霧耕及水耕栽培下蔥青表面積平均生長 速(n=15)	50
Fig. 17.Average growth rate of green leaf surface area per plant of green onion variety“Black Leaf”by fogoponic and hydroponic(n=15)	

.....	50
圖 18. 青蔥 ‘黑葉’ 於霧耕及水耕栽培下根部生長速率 (n=15)	51
Fig. 18. Growth rate of root of green onion variety “Black Leaf” by fogoponic and hydroponic (n=15)	51
圖 19. 青蔥 ‘黑葉’ 於霧耕及水耕栽培下根部平均影像截面積，n=15，***：極顯著差異 (P<0.001，LSD=1.4821)	52
Fig. 19. Average root image sectional area of green onion variety “Black Leaf” by fogoponic and hydroponic	52
圖 20. 青蔥 ‘黑葉’ 於霧耕栽培下根部影像	53
Fig. 20. Root image of green onion variety “Black Leaf” by fogoponic	53
圖 21. 青蔥 ‘黑葉’ 於水耕栽培下根部影像	53
Fig. 21. Root image of green onion variety “Black Leaf” by hydroponic	53
圖 22. 青蔥 ‘黑葉’ 全紅光栽培 40 天平均葉片數及平均蔥青表面積之相關性 (n=8)	54
Fig. 22. The relation of between average leaf number and green-leaf average surface area of green onion variety “Black Leaf” by red light treatments during 40 days (n=8)	54
圖 23. 青蔥 ‘黑葉’ 全藍光栽培 40 天平均葉片數及平均蔥青表面積之相關性 (n=8)	55
Fig. 23. The relation of between average leaf number and green-leaf average surface area of green onion variety “Black Leaf” by blue light treatments during 40 days (n=8)	55
圖 24. 青蔥 ‘黑葉’ 全白光栽培 40 天平均葉片數及平均蔥青表	

面積之相關性(n=8).....	56
Fig. 24. The relation of between average leaf number and green-leaf average surface area of green onion variety "Black Leaf" by white light treatments during 40 days(n=8).....	56
圖 25. 青蔥 '黑葉' 三種光質栽培 40 天平均葉片數	57
Fig. 25. Average leaf number of green onion variety "Black Leaf" by three light treatments during 40 days(n=8)	57
圖 26. 青蔥 '黑葉' 三種光質栽培 40 天平均蔥青表面積(n=8).....	58
Fig. 26. Green-leaf average surface area of green onion variety "Black Leaf" by three light treatments during 40 days(n=8).....	58
圖 27. SPME 於三種溫度下吸附 3、5 及 7 分鐘各成分之 A_I 指數， A_I (為參試樣品中成分含量指數) = A_{TC} (參試樣品中成分之總離子質譜層析圖之波峰面積) / A_{IS} (參試樣品中內標準品之波峰面積)	59
Fig. 27. The index of A_I of each constituents of SPME absorbed 3, 5 and 7 minutes in three temperature regimes.....	59
圖 28. 青蔥 '黑葉' 於三種光質處理下，蔥青所含之 19 種揮發性成分之 A_I 值	60
Fig. 28. A_I value of 19 volatile components of green onion variety "Black Leaf" green-leaf under three light qualities treatments .	60
圖 29. 青蔥 '黑葉' 於三種光質處理及自然光栽培下，根部所含之 28 種揮發性成分之 A_I 值(不包括編號 9)	61
Fig. 29. A_I value of 28 volatile components of green onion variety "Black Leaf" root under three light qualities treatments and sun-light culture(not include No. 9).....	61

圖 30. 青蔥‘黑葉’於藍光處理下，蔥青與根部所含揮發性成分 含量之比較	62
--	----

Fig. 30. Difference of volatile components of green onion variety “Black Leaf” green-leaf and root under blue light treatment	62
---	----

圖 31. 青蔥‘黑葉’於紅光處理下，蔥青與根部所含揮發性成分 含量之比較	63
--	----

Fig. 31. Difference of volatile components of green onion variety “Black Leaf” green-leaf and root under red light treatment.....	63
--	----

圖 32. 青蔥‘黑葉’於白光處理下，蔥青與根部所含揮發性成分 含量之比較	64
--	----

Fig. 32. Difference of volatile components of green onion variety “Black Leaf” green-leaf and root under white light treatment...	64
--	----

圖 33. 青蔥‘黑葉’蔥青與根揮發性成分平均含量之比較	65
------------------------------------	----

Fig. 33. Difference of average content of volatile components of green onion variety “Black Leaf” green-leaf and root	65
--	----

表 目 次

頁 次

表 1. 不同數量的 LED 燈管之光強度(勒克斯及光量子流密度).. 66

Table 1. The light intensity(lux and $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) of different
number of Light-Emitting Diode lamps 66

表 2. 八種揮發性成分含量各別於不同加熱吸附時間及加熱溫度
下最佳條件 67

Table 2. The eight volatile components, respectively under the best
conditions for the different heating adsorption
times and heating temperatures 67

表 3. 蔥青及根部全部揮發性成分之平均滯留時間 69

Table 3. Average retention time of all volatile components of
green-leaf and root 69

表 4. 蔥青的 19 種揮發性成分含量各別於三種光質處理下之差
異性 60

Table 4. Difference of 19 volatile components of green-leaf,
respectively under three light qualities treatments 70

表 5. 根部的 28 種揮發性成分含量各別於三種光質處理及自然
光栽培下之差異性 61

Table 5. Difference of 19 volatile components of root under three
light qualities treatments and sun-light culture 71

壹、前言

青蔥為中國菜中最普遍使用香料之一，也是烹調上不可或缺之重要佐料，不僅色鮮味美，且具獨特香氣，富含維生素和碳水化合物，食後能保持體溫，也有清血效用，每日攝取少量對身體健康頗有助益，因此甚受消費者喜愛（楊，1994；楊，2003）。

蔥屬作物之典型香氣，源自揮發性含硫化物，具有不同的藥理和治療特性，有助於癌症、心血管疾病、發炎、過敏、病毒及細菌感染的療效。其大蒜辣素的前趨物具有強烈抗微生物及移除肉類與魚類腥味之效果，另對呼吸道、汗腺與泌尿道，能輕微刺激這些管道分泌而呈現發汗、祛痰與利尿之效。而青蔥之粘液質亦有保護胃粘膜和皮膚的作用（楊，2003；Teyssier and Siess, 2000）。

依據農委會 2010 農業統計年報，台灣青蔥 (*Allium fistulosum* L.) 總栽培面積為 4,972 公頃，主要栽培地區為雲林縣(1,832 公頃)、彰化縣(1124 公頃)、宜蘭縣(628 公頃)及高雄縣(350 公頃)等。宜蘭縣全年栽培青蔥面積為 628 公頃，總收量約 11,913 公噸，佔全台灣產量的 12.7%。宜蘭地區生產之青蔥蔥白長、粗細適中，甚受消費大眾喜愛，拍賣價格較高，年產值高達 5 億元(全台灣青蔥年產值約 17 億元)。青蔥全年皆有種植，大致上可分成三期作，即春作(2-5 月)、夏作(6-9 月)、秋冬作(10-翌年 1 月)(尤等, 2007)。

青蔥生產亦如一般蔬菜生產，有春梅雨；夏高溫、豪雨及颱風，不利蔬菜生長與發育的問題，造成夏季蔬菜供應不穩，時而短缺，致使菜價飆漲。在冬季，氣候適宜，產量豐盛，造成滯銷困擾；寒流過境，使其生長緩慢或遭受霜害，亦會短期供應失調，

因而發生『菜土菜金』現象(曹和羅，2001a)。

颱風過後，蔬菜價格往往居高不下，而青蔥即為價格指標作物之一，其中宜蘭三星蔥更具代表性。宜蘭為台灣三大青蔥產地之一，青蔥品質優良，深受消費者青睞，為宜蘭地區重要高經濟作物之一。

目前台灣栽種青蔥上面臨的問題：

1. 宜蘭蔥農習慣高畦栽培，為了降低作畦成本的支出，常連續種植，為維持其品質，需大量施用化學肥料，使得土壤通氣性及保水力變劣，嚴重影響青蔥吸收養分的能力，而長期連作導致青蔥病蟲害的問題加重(曾，2009)。
2. 台灣夏季高溫、多濕，若遇颱風、豪雨的侵襲，導致生育不佳，產量銳減，造成夏秋季青蔥產銷失衡，嚴重影響蔥農的經濟收入(行政院農業委員會桃園區農業改良場，2011)。
3. 青蔥品種間開花期差異頗大，如四季蔥。三至五月間開花結實，而北蔥可早至九月即開始開花，進行育種工作雜交授粉時，常遭遇到開花期不一致之問題，目前對蔥科作物的開花生理研究較少(黃和張，1994)。
4. 四季蔥以無性繁殖為主，繁殖倍率低，且成本費用高；北蔥繁殖則以傳統土播，成本雖低，卻受氣候季節及病蟲害以及生長期較長等因素，亦導致青蔥在颱風與豪雨災害後無法儘速恢復生產。為縮短青蔥栽培，急需就青蔥穴盤育苗生產技術之開發，以達到有效的解決穩定青蔥夏季產銷失衡的困境（行政院農業委員會桃園區農業改良場，2011）。

本論文研究設施栽培之光環境及霧耕栽培模式對於四季蔥生

長勢及氣味之變化，希望藉此提供室內栽培青蔥模式及改善四季蔥生產上，種苗生產產量與品質之參考資料。



貳、前人研究

一、青蔥植物型態及台灣栽培種之分類

Allium fistulosum L. 為蔥科 (Alliaceae) 蔥屬 (*Allium*) 之一年生或多年生宿根性單子葉草本作物(丁, 1995), 英名為 Welsh onion、Green bunching onion、Spring onion、Green onion 及 Japanese bunching onion, 俗稱蔥仔, 具有辛辣味。青蔥葉片由葉身、葉鞘組成; 上半部光滑圓錐狀, 中空, 深綠色, 表層覆有白色臘粉的葉身, 俗稱為蔥青; 下半部圓管狀, 多層套生葉鞘及內部包裹的4~6個幼葉組成假莖, 俗稱為蔥白。真正的莖部為短縮在蔥白假莖的基部, 黃白色扁球形, 由此莖盤著生葉和長出細白的根部。青蔥根為淺根性, 白色弦線狀鬚根, 根數、長度與粗細隨發生葉數的增多而增長, 根粗可達1~2mm, 平均長30~40cm。花莖中空, 長40~75cm, 繖形花序成球形, 種子黑色盾形, 有不規則密集皺紋(黃, 1995; 曹和羅, 2001b; 洪, 2003)。

蔥科作物在華人歷史上栽培悠久, 其原產地為中國西部至西伯利亞貝加爾湖一帶(郭和張, 2008), 早在西元前1313年至西元前1066年, 張遷自西域引進大蒜時, 記錄有許多的青蔥生長在敦南西方40公里處(Feng, 1994)。而蔥科不只是蔬菜, 也是華人地區常用的香藥草作物, 是在東亞主要的蔥類作物, 但在歐洲卻很罕見(Feng, 1994; Lazic *et al.*, 1997), 直至中世紀以後才有利用青蔥之紀錄(楊等, 2004)。台灣青蔥主要的栽培種可分為大蔥、北蔥及四季蔥三類。

(一) 大蔥: 台灣栽培較少, 喜冷涼氣候, 植株較高大, 葉色濃綠,

葉片及葉鞘(蔥白)均粗大。蔥白經培土後特別粗長, 以採收

蔥白為主，但品質稍粗硬。本種在台灣不易抽苔開花，分蘗較少約 2~3 枝，通常用種子播種栽培。目前常見栽培品種有金長、千住、岩槻。

1. 金長：葉呈綠色，葉身直立，不分蘗，葉鞘部粗大，軟白部 40~45 公分，品質良好，產量高，耐運輸，也較耐高溫。播種期 8 月下旬~10 月(陳，1991)。

2. 千住：又分為黑柄千住、合柄千住、赤柄千住三種。

(1) 黑柄千住：蔥白長 24~30 公分、直徑 3 公分，葉色濃綠，葉身短大(陳，1991)。

(2) 合柄千住：葉鞘部長，為黑柄及赤柄的中間品種(陳，1991)。

(3) 赤柄千住：伸長力旺盛，軟白部 30~36 公分，分蘗多，葉色淡綠，葉身直立，品質優良。耐寒性強。播種期 9 月上旬~10 月。(楊，1994；陳，1991)

3. 岩槻：葉色鮮綠軟白部分細長，早生，分蘗多，香味濃(陳，1991)。

(二) 北蔥：早期以台灣北部栽培最多，後來被四季蔥取代，又名麥蔥或水蔥。耐濕耐熱性較強，但較不耐旱，可在夏季栽培，多用種子播種，3~9 月為播種適期，供應期為 6~12 月，目前以台灣南部栽培較多。一般葉身都較細長，葉肉較薄，蔥白較短，肉質中硬，中等品質，分蘗性中等，遇低溫易抽苔開花，常在 12~3 月抽苔開花(楊，1993；楊，1994；黃和張，1994；黃，1995)。

(三) 四季蔥：又名九條蔥、大廣蔥、日本蔥或日蔥。本類之青蔥植株較北蔥粗大，分蘗較多，葉肉較厚而柔軟，蔥白較長，

品質優良。對低溫較不敏感，抽苔開花較晚，多在 3~4 月開始抽苔開花，但有些地區或品種在冬季低溫不足時，也有不抽苔或不開花的現象。耐熱性及耐濕性雖不如北蔥強，但稍可耐乾旱，較適合涼爽季節栽培。全台各地均有栽培，但以北部的栽培最多，一年四季都有供應，只是於夏季高溫多濕的季節，有些地區生育較差，供應會有短缺，且品質較差(楊，1993；楊，1994；黃和張，1994；黃，1995)。宜蘭三星鄉主要栽種此種。花蓮區農業改良場蘭陽分場育出之「蘭陽一號」，商業名「青玉」及為此種。另外尚有農友自行培育、命名的地方品種「黑葉」與「小慙」(陳，2009)，而目前市面上著名的三星蔥，主要可分為以下四種地方品種，彼此的耐旱性及生長期有異：

1. 大旺：又稱大慙、四季蔥 1 號，葉尖較圓且粗，植株展幅 29 公分，單叢重 319 公克，株高 76 公分，蔥白長 17 公分，分蘗數 6 支，葉數 25 片，蔥白直徑 14 公厘，葉寬 15 公厘等。
2. 二旺：又稱二慙，葉短而尖，口感較柔細、不耐熱，產量因此較低，價格於是相對較高。
3. 小旺：又稱小慙、四季蔥 2 號，植株展幅 31 公分，單叢重 296 公克，株高 70 公分，蔥白長 15 公分，分蘗數 6 支，葉數 30 片，蔥白直徑 13 公釐，葉寬 12 公釐、口感較柔細。
4. 黑葉：又稱四季蔥 3 號，葉黑尾長，口感較粗，植株展幅 24 公分，單叢重 279 公克，株高 76 公分，蔥白長 18 公分，分蘗數 6 支，葉數 24 片，蔥白直徑 15 公厘，葉寬 15 公厘等(行政院農委會農業試驗所網站，2011)。

二、青蔥之繁殖及栽培

青蔥繁殖方法依品種而異，以種子繁殖之大蔥播種時期為8~9月，條播；北蔥則為1~3月，撒播；在台灣四季蔥因冬季不易開花，而採收種子困難，通常採分株法繁殖，每穴約2~3枝。近年來，亦以組織培養繁殖四季蔥，解決無性繁殖時出現族群植株感染病毒病情形(劉 等，2005)。取青蔥基盤置放於含1mg/L與5mg/L TDZ之MS培養基中，處理1.5個月後，更換培養基於含有1mg/L NAA之MS，經1個月後可誘導約43-62個新梢。大蔥發芽後20天進行疏苗，育苗期80~90天後定植，不分藥品種株距5~6cm，分藥品種株距12cm，北蔥育苗期較短50~60天，定植時每穴一株，深度約15cm，以利假莖生長(黃，1995；楊，2001；Brewster, 2008)。

青蔥對於肥料需求高，追肥以尿素為主，生長期間需追肥三至四次(曹和羅，2001b)。氮、硫供應不足或過量的氮，會延遲生長及降低蔥的辛辣味，足夠的硫則可促進其生長及辛辣味(Liu *et al.*, 2009)。氮素：磷鉀：氧化鉀=150：100：75公斤/公頃的施用量對於青蔥生育情形良好，且可降低葉尖枯萎比率(全和楊，2008)。低氮促進花芽分化和葉鞘膨大，如同洋蔥(Yamashita *et al.*, 2005)。每次追肥後需培土，有利於葉鞘部白化變軟，也助青蔥向上生長，但不使其肥大。因此，培土不宜過早過厚，以免有礙生長。每次培土厚度至最下葉基部為止，即將葉柄部完全掩蓋(黃，1995)。

青蔥栽培與下列環境因素有關：

(一) 溫度

青蔥可依生長季節，分為夏季生育而冬季休眠的「夏蔥型」，及冬季不休眠之「冬蔥型」兩類(楊，1994)。青蔥栽培於韓國、

中國北方及日本北方，因氣候較寒冷，冬天平均溫度為 5℃ 時，處於休眠狀態，生長緩慢；平均溫度 25℃ 以上，則生長良好；台灣、日本南方及中國南方，因氣候溫暖，在冬天平均溫度 5℃ 時無休眠情形，生長良好。但於夏天平均溫度 25℃ 以上，生長卻無良好表現。其生長、發芽和光合作用最適溫度範圍為 15~20℃ (Brewster, 2008)。在台灣，青蔥種子發芽適宜溫度為 15~30℃，最佳溫度為 20℃；生長發育之適溫則依品種而異，大蔥在 12~18℃，北蔥在 23~30℃，四季蔥在 16~21℃ (楊, 1994)。青蔥栽培上除了育種目的外，通常不讓其抽苔開花，因為花莖質地較硬且風味較差 (Yamasaki *et al.*, 2003)。青蔥生長至一定大小時，會因低溫而誘導抽苔開花。於寒冷地區種植的栽培品種 ‘Kaga’，需 11~12 葉片，假莖直徑為 5~7mm 才會誘導開花；於溫暖地區種植栽培品種 ‘Pei Chang’ 假莖直徑為 4.5mm 即可因春化作用而開花，而 35℃ 高溫的去春化作用可抑制開花 (Inden and Asahira, 1990)。

(二) 光

光線對植物生理上的影響可依其性質分為光質(光波長的組成份)、光強(光照射量)及光週(光照時數)等三個部分：

1. 光質

光質對於青蔥生長調節上的研究較少。Hidaka 等(2008)使用了光譜轉換薄膜(spectrum conversion film)作為調整光質材料。紅色薄膜可使藍綠光(450-550nm)轉換成紅光(600-700nm)，藍色薄膜可使 UV 光(350-450nm)轉換成藍綠光。在紅色薄膜處理下，青蔥地上部的鮮重和乾重較高，藍色薄膜處理下則促進

青蔥葉片抽長。青蔥地上部乾重在處理紅色薄膜和藍色薄膜下比透明薄膜高，且紅色比藍色高，被認為是因紅光增加而促進葉片光合作用，從而促進青蔥地上部的生長。Hamaoto 等(2008)指出，在日本春天時，使用 UV-visible ray translation film(UV 穿透率 20%，PAR 穿透率 80%，把 60%藍光→90%紅光)改變光質，可明顯促進青蔥生長，比使用 new UV-cut film(UV 穿透率 10%，PAR 穿透率 90%)及 UV-cut film(UV 穿透率 20%，PAR 穿透率 80%)的效果好，秋天則無明顯差異。

Levine 等(2005)利用了光譜偏藍的冷白熾螢光燈管(cool white fluorescent lamp；CWF)及光譜偏紅的高壓鈉燈(high pressure sodium lamps；HPS)，兩者光強度皆調整為 $300 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，栽種八種青蔥品種，測量其丙酮酸含量。由於青蔥氣味源自於含硫化合物，含硫化合物前體生成一個單位的含硫化合物，同時也會生成兩個單位的丙酮酸，而丙酮酸易於直接測定，因此，目前國際上通用的方法是用丙酮酸的生成量來間接表示含硫化合物的含量，以代表其辛辣度(劉，2009)試驗結果指出，以 CWF 與 HPS 栽種者，對於八個青蔥品種的辛辣度無差異性，差異性只存在於品種間。

2. 光強度

光合作用之光強度是以光波長範圍 400~700 nm 之間，光合作用光子通量 (Photosynthetic Photon Flux, PPF)為對象，是計算單位時間內落到單位面積上的光合作用有效光的光子數，一日當中總光子通量稱為日累積光量 (Daily Light Integral, DLI) 單位為 $\mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (王，2010；鄭，2011)。

Samuolienė 等(2009)於採收前三天以 500 PPF 之紅光 LED(638 nm)照射萵苣、馬鬱蘭及青蔥，加強照光量，結果顯示因光合作用的提升將植株之硝酸鹽轉化成醣類，有效的降低硝酸鹽含量及增加碳水化合物含量。

Levine 等(2005)利用冷白熾螢光燈為光源，光強度為 8.6、17.3及 25.9 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ， CO_2 濃度為 400、1200及 4000 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 栽培青蔥。結果顯示，植體鮮重會隨著光強度增強而增加，但相同光強度下， CO_2 濃度達 1200 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 時，鮮重即不再增加，而光強度增強也會使蔥白的辛辣度增加。另外，於 CO_2 濃度達 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 時，蔥青丙酮酸含量會隨光強度增強而減少。

3. 光週期

青蔥於光照 8 及 16 小時 20℃ 的日溫及 7℃ 夜溫時，短日較長日照易促進花芽誘導，且低溫處理前的長日照會使誘導減緩，而低溫處理天數依品種而異。在花芽創始階段，長日照會加速花莖伸長(Yamasaki *et al.*, 2000)。Yamasaki 等(2000)指出長日照會使葉片生長加速，也會使植株高度增加，主要為葉鞘延伸的影響。青蔥和韭菜於 23℃，115 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 光合作用活性輻射(576/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)下，24 小時的日照處理比 12 小時的日照處理，相對生長率(RGR)平均增加 40%，淨同化率(NAR)增加 108%，葉創始率(leaf initiation rate)增加 17%，葉面積比(LAR)則下降 32% (Brewster, 1990)。

(三) 水分

青蔥之根系直接由莖基部長出，為淺根性鬚根，新生根分布在老根上層，根系雖密但分支稀疏且缺乏根毛，故宜適當灌溉，以促進肥料之營養成分吸收。但青蔥不耐浸水，所以田間排水必須良好，否則蔥白及根部易腐爛(全和楊，2008)。

(四) 土壤

青蔥頗耐酸性，土壤pH值於5.7~7.4範圍內均適宜，因此全台灣各地皆有栽培。其栽種之土質，以富含有機質之黏質壤土較適宜。保水力及排水良好，土層深厚者為佳。在此類土壤生產的青蔥，蔥白部分肉質緻密而柔軟，品質佳，而砂土或礫土所生產之青蔥，肉質硬而品質劣。另外，葉蔥類在土層較薄的土地仍能適應，而大蔥需以深厚土層才可栽種(楊，1994；全和楊，2008)。

三、青蔥常見之病害

常見的病毒病之病源有韭蔥黃條紋病毒(*Leek yellow dwarf virus*, OYDV)、分蔥黃條斑紋病毒(*Shallot yellow stripe virus*, SYSV)、分蔥潛隱病毒(*Shallot latent virus*, SLV)，主要的媒介為蚜蟲。感染 OYDV 時，葉片會出現系統性的斑紋、葉和花莖捲曲、發育不良，感染 SYSV 會出現系統性黃色斑紋，而感染 SLV 則無明顯病徵(Brewster, 2008)。

Altemaria porri 引起的「紫斑病」、*Puccinia* 引起的「銹病」、及 *Ciborinia allii* 引起的「小粒菌核病」。台灣常見的真菌性病害。近年來，在宜蘭縣三星鄉、南投縣草屯鎮、彰化縣芳苑鄉及溪湖鎮等青蔥栽培地區，陸續發現由 *Phytophthora parasitica* 引起的「青蔥疫病」，造成青蔥大面積死亡，受害面積擴展快速，造成農

民嚴重損失，已被認為是影響青蔥產業重要病害之一(高等，2008)。另外亦有由 *Stemphylium botryosum* Wallr.引起的「黑腐病」(蔡和童，1997)、由 *Cladosporium allii-cepae* 引起的「葉斑病」、*Peronospora destructor* 引起的「露菌病」。而由 *Urocystis cepulae* (or *U. colchici*)引起的「黑粉病」目前並未在台灣發現(Brewster, 2008；動植物防疫檢疫局，2010)。

細菌性病害為「軟腐病」，危害於大部分蔥屬作物上，由 *Erwinia chrysanthemi* 引起，病徵於鱗莖出現黃色至褐色軟腐，發出難聞惡臭，並伴隨有具黏性液體(Brewster, 2008)。

四、青蔥香氣成分來源

蔥科主要香氣成分並非原就存於組織中，完整之蔥科植物體所含有兩種含硫化合物 S-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxides 及 γ -glutamyl peptides可視為其主要香味前驅物，當蔥科組織細胞破裂時，經由酵素(Alliinase)與 S-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxides作用產生香氣。除了cysteine(色胺酸)及methionine及其衍生物外，此兩種含硫化合物是蔥科植物中含量豐富且最具生物活性之物質(蔣，1993；Block, 1992;劉等，2005)。

劉等(2008)，以 SPME-GC/MS 萃取及分析四種蔥屬作物(3個大蔥品種及1分蔥品種)，鑑定其揮發性成分。顯示四種蔥屬作物內，一硫化物主要以3,4-二甲基噻吩(3,4-dimethyl thiophene)為主，最高含量為15.16%，二硫化物主要以二丙基二硫醚(dipropyl disulfide)及甲基丙基二硫醚(methyl propyl disulfide)為主，最高含量為15.35%以及19.05%，三硫化物主要以二丙基三硫醚(dipropyl trisulfide)為主，最高含量為13.55%。四種蔥屬作物，所含上述硫

化物成分含量不一，不同類型的蔥，形成香氣的主要成分也不同。

五、蔥屬作物揮發性有效成分之利用

青蔥富含維生素C、鋅及鐵，營養價值高，且蔥屬作物具有不同的藥理和治療特性，有助於癌症、心血管疾病、發炎、過敏、病毒及細菌感染的療效(Lazić et al., 1997; Teyssier and Siess, 2000)。已確定的活性化合物主要是含硫化物，大蒜內的 diallyl disulfide (DADS)及其他蔥屬作物內的 dipropyl disulfide (DPDS)，也是香氣主要成分聚硫化物的前驅物(Lancaster and Boland, 1990; Teyssier and Siess, 2000)。Hori (2007)以 SPME 及 GC-MS 分析 *A. fistulosum* L.，共揮發性成分主要是 dipropyl disulfide、1-propenyl propyl disulfide 和 dipropyl trisulfide。Dipropyl disulfide 可防止 benzopyrene (BP) 誘導小鼠癌症的發生率，也可抑制雜環芳香胺類 (Srivastava et al., 1997; Shin et al., 2002)。而濃度 0.01% 的 dipropyl trisulfide 對於蔥蚜蟲 (*Neotoxoptera formosan*) 具有顯著吸引力，dipropyl disulfide 則否 (Hori, 2007)。另外，有研究也指出 dipropyl disulfide 具良好的抑制真菌潛力，目前已知的可抑制的真菌種類有豌豆根腐病菌、馬鈴薯炭疽病菌、鐮孢菌、尖鐮胞菌、疫病菌、腐霉菌、立枯絲核菌、白絹病菌及菌核病菌等，且雙硫化物對於白蟻亦有毒害作用 (Auger et al., 2004)。

基於上述，青蔥除可當辛香料使用外，亦可利用於保健食品、殺菌殺蟲劑及忌避(誘引)部分昆蟲上。

六、立體化栽培及霧耕栽培介紹

設施栽培可全年生產且不受氣候影響，是解決耕作面積小且

生產成本高問題的方案之一。立體化栽培異於傳統農業的平面栽培，可於相同栽種面積上，大幅的增加作物的生產量，有助於提升空間利用率(甘等，2010)。對於未來人口增加，耕地面積不足以供應糧食需求時，此栽培模式為解決途徑之一(簡等，2009；Despommier and Ellingsen, 2008)。立體化栽培的規模，小至草莓水耕的垂直栽培系統使用的聚乙烯栽培管或是室內蔬菜育苗時所用的層架栽培(Linardaki and Manios, 1989；王，2010)，大至如Despommier(1999)所提出的垂直農場的概念，皆屬之。立體化垂直農場計畫，已於2001年成立於紐約(Despommier and Ellingsen, 2009)。由於立體化栽培需採人工光源，能源成本高是其缺點，但當層數達到某一規模時，由於產量大增，單位產品的能源負荷就不再是高不可攀了(方，2001)。

為搭配立體化栽培，通常是以無土栽培(soilless culture)為栽培模式而不用土壤(陳，1995；高，1986)。其定義是不用土壤，而以砂礫、泥炭、蛭石、浮石、鋸屑等化學惰性物質作為培養基質，然後供給含所有必需元素的營養液，使其能正常生長與發育的一種科學栽培植物的方法，又稱為養液栽培(Nutriculture)(張，1998)。

無土栽培的類型如附錄圖 3. 及附錄表 2. (Ikeda,1985;Takemoto,1990;Olympios,1999)。而霧耕(aeroponic culture)屬於養液栽培的一種，可以改善水耕系統浮根栽培溶氧量不足問題，植物根系在霧耕系統中可獲得充分的氧氣供應(馮，1997；Christie and Nichols, 2004)。在 1942 年，Cater 首先採用霧耕栽培，由於易促使植物發根，起初被視為研究工具(Carter, 1942；Hayden *et al.*, 2004)。如在 1973-1974 期間 Cabot Foundation

實驗室用於研究豌豆根瘤(Zobel *et al.*, 1976)。而從 1970 到 1980 年期間，始拿來種植蔬菜作物(Hayden *et al.*, 2004)。其原理是使植物根部懸於黑暗密閉空間，利用霧化裝置噴出含有養液的薄霧，此方法不需要固體介質而易促進長根(Pagliarulo and Hayden, 2002)。

霧耕常用的霧化裝置有兩種：1. 高壓幫浦配上噴霧頭(high-pressure pump and spray nozzle)及 2. 超音波霧化器(ultrasonic atomizer)。霧耕的類型又可分為水霧耕及氣霧耕兩種，水霧耕是指一部分根系浸於養液中，其他暴露於霧化的養液環境中；氣霧耕則是植物根系完全暴露於霧化的養液環境中。Pagliarulo 和 Hayden(2002)提出了霧耕的八項優點：

1. 無介質污染的問題。2. 加速栽培週期。3. 高密度種植。4. 可環控栽培。5. 精確控制根域。6. 促進根產量和植化素，並降低病害。7. 利用養分和水的回收能力最小化。8. 單一多年生作物的根可重複採收。

實際應用時，霧耕可完全控制根域環境，包括：溫度、養液、pH、濕度、噴霧頻率及持續時間以及氧氣供應等(Pagliarulo and Hayden, 2002)。

七、霧耕栽培對作物生長之影響

霧耕栽培對於多種作物(胡瓜、馬鈴薯、番茄、牛蒡及紫錐花)都具有良好的生長表現(Pagliarulo and Hayden, 2002; 王等, 2009; 孫等, 2006; Christie and Nichols, 2004; Ritter *et al.*, 2001)。以霧耕栽培胡瓜，42 天後，其株高分別比水耕栽培和固體介質栽培提高 17.8% 和 64.1%；莖粗分別提高 23.7% 和 30.2%；葉面積分別提

高25%和36.6%；根系體積分別提高24.53%和43.40%。栽培番茄49天後，其株高較固體介質栽培提高了41.2%，而莖粗則無顯著差異。Pagliarulo和Hayden(2002)種植紫錐花及牛蒡，發現比田間栽培，明顯增加根部乾重及縮短栽培時間；馬鈴薯，於霧耕栽培下比水耕栽培，單株塊莖產量高出70%，塊莖數量多出2倍，但平均塊莖重則減少33%。

綜合言之，霧耕栽培明顯提高植物生長勢，增加地上部及根部產量，推測可能是充分改善了植株根系的氧氣與養液供應條件(孫等，2006；王等，2009；Ritter *et al.*, 2001；Pagliarulo and Hayden, 2002；Christie and Nichols, 2004)。

八、應用人工光源於蔬菜類之生產

1. 人工光源類型

隨科技進步及農業生產型態的改變，漸漸導入人工光源來取代或補充天然日光的不足已是環控農業中的常態。人工光源早已成功的被利用在人工氣候室、植物生長箱等人工環境，以及露天栽培中(方和饒，2004；邱等，2004)。

人工光源種類繁多且發光特性亦有所區別。一般人工栽培環境中使用之燈具，應具有能提供光合作用所需之高光度光源，且能依需要調整光質。常見的高壓鈉燈、金屬水銀燈、金屬鹵素燈等，因燈具成本頗高，較不符合一般露天栽培利用(邱等，2004)。而近年來逐漸被廣泛運用的超高亮度發光二極體(Light-Emitting Diode, LED)，主要因為具有較高的光電轉換效率、產生熱能較一般螢光燈管低與波長特定等優點(陳，2005；Hemming, 2009；Schmid and Dring, 1993；Folta *et al.*, 2005)，所以常應用於封閉和半封閉的

生態系統中的植物生產，例如：組織培養，植物工廠(Yanagi *et al.*, 1996)。

整理比較目前植物常用的人工光源，可分為，白熾燈源(Incandescent)—白熾鎢絲燈(Incandescent Lamp)；螢光燈源(Fluorescent)—螢光燈(Tubular Fluorescent Lamp, TFL)；放電燈源(Discharge)—高壓鈉燈(High Pressure Sodium Lamp, HPS)、金屬鹵素燈(Metal Halide Lamp, MHL)；以及近年來發展的超高亮度發光二極體(Light-Emitting Diode, LED)，相對於LED有人將前三類稱為傳統的園藝光源(方和饒，2004；Argus Control Systems Ltd, 2010)。根據Caglayan和Ertekin(2010)各燈具性能規格如下：白熾鎢絲燈是固態照明、發光效率為20 lm/W、使用壽命為3000 hours、啟動電流需稍高電流、啟動緩衝時間>150毫秒、演色性高；TFL是氣體放電照明、發光效率為80 lm/W、使用壽命為10000 hours、啟動電流需瞬間大電流、啟動緩衝時間>800毫秒、演色性中等；HPS是氣體放電照明、發光效率為100 lm/W、使用壽命為8000 hours、啟動電流需瞬間大電流、啟動緩衝時間>1分鐘、演色性低；LED是固態照明、發光效率為80 lm/W、使用壽命>50000 hours、啟動電流為正常輸入電流、不需要啟動緩衝時間、演色性高。

2. 應用於蔬菜類之生產

最早應用於溫室生產之人工光源為白熾鎢絲燈，其提供的藍色光譜較少，遠紅色光較多，使得 R/FR 比值變小，植物較自然光下生長者為高(周等，2008)。其他人工光源的 R/FR 比值都較自然光者大(周和王，1999)。螢光燈提供較多黃、藍、綠光譜，但紅光譜較少，遠紅光譜比例很低，R/FR 比值偏高，適用於組織培

養和種苗生產，且較白熾鎢絲燈節能 3~4 倍。金屬鹵素燈較接近自然光光譜，因鹵化物不同 R/FR 比值約於 1.2~3.5，適用於藍光補光處理。高壓鈉燈含有較多的紅橙光和較少的藍綠光，R/FR 比值 3.6~4.4，主要用於光合作用補光(周等，2008)。發光二極體，則除了可調控 R/B 比和 R/FR 比外，也具有較高的光電轉換效率，目前正推廣應用於植物工廠式的生產。雖然目前人工光源種類繁多，但仍無法完全模擬太陽並具備低耗能之效，另外，除發光二極體外，人工光源表面溫度較高，冷卻成本增加。

應用人工光源於商業生產，有下列幾種方式：

1. 替換照明：在室內種植上，完全取代太陽輻射。
2. 補光照明：在溫室內，低自然光時，補充光線用或調整光質，增進植物品質。
3. 光週照明：促進或影響植物光週期反應，例如：開花調節或是營養生長。

(Argus Control Systems Ltd, 2010; Weir, 1975)

葉萵苣於室內栽培以人工光源取代自然日照，分別以六種光質處理。其乾重率((乾重g/鮮重g)×100%)以螢光燈管及藍光LED栽培下，各別小幅度增加(Shimizu *et al.*, 2011)。設施之結構與覆蓋物，都會導致植物能利用之光照不足，須以人工光源補充日照之不足。Hu等(2007)測量茄子和甜椒，以日光、超亮白光發光二極體和白螢光燈三種光源，測定九種光強度下的淨光合作用速率，做為補光效率的指標；隨光強度越強，兩作物淨光合作用速率也越高，且茄子高於甜椒。高光強度時顯著差異大，而日光較人工光源好，超亮白光二極體和白螢光燈無顯著差異。

也有研究指出，日出前2小時和日落後2小時對西瓜和胡瓜苗進行補光，胡瓜苗期生長受到延長光照之效應，以下胚軸伸長的影響最大，且可能延續至田間幼株初期生長，對於西瓜新蘭栽培種之效應則僅及於苗期，亦以下胚軸具較強反應。西瓜甜美人栽培種可延續至定植後7天(楊等，2011)。不同光質補光對蔬菜幼苗生長影響顯著且存在差異，不同蔬菜種類及品種對光質反應不一。苗期於6:00~8:00及16:00~18:00補充紅光或紅藍光可促進黃瓜、辣椒和番茄幼苗的生長及可溶性糖含量，有利於培育壯苗及提升品質(崔等，2009)。



參、材料與方法

一、試驗材料

本研究參試之材料，為青蔥(*Allium fistulosum* L.)，四季蔥地方品種(系)‘黑葉’(圖 1. 四季蔥品種‘黑葉’)，為宜蘭三星鄉農民所提供。移植於臺灣大學園藝暨景觀學系之精密溫室後，以分株法繁殖，並每 15 天以尿素稀釋 1000 倍於進行葉面施肥，以供日後實驗之用。試驗期間為 2010 年 12 月份至 2011 年 12 月份。

二、生長箱與自動控制系統建立

本試驗鑒於室內栽培為避免大量介質之使用及栽培期間搬運過程重量負荷太大，於是採用霧耕及水耕栽培，並比較兩者試驗間之差異。調查項目為青蔥‘黑葉’蔥青面積、葉數、發根數及根部影像截面積。試驗地點為自製生長箱試驗空間內。

為進行本研究之各項試驗，因處理組數較多，乃自製控溫之生長箱(圖 2)以利實驗之進行。生長箱之建置如下：以兩組鐵力士架(180 公分×45 公分×210 公分)為骨幹，兩鐵力士架間相隔 60 公分作為走道，並以 5 公分厚寶麗龍板作為隔間及隔熱保溫之用，將兩組鐵力士架包於其中，形成密閉空間，並開一道門，再於兩組鐵力士架內隔出共八個試驗空間(圖 3)。在八個試驗空間內，各裝設保麗龍門板，內壁四周貼一層鋁箔紙及一層 PCV 透明塑膠板，用以隔熱以及反光，而生長箱最外層以黑色遮陰網覆蓋，以減少光照對內部溫度的影響。

於整間生長箱內中央走道末端配置一台冷氣，做為降溫之用。為維持生長箱內設定之溫度，於試驗空間內裝設燈管做為光源及

熱源。另外加裝定時器控制日照長短，以及裝設有熱電偶線以便偵測試驗空間內之溫度。於八個試驗空間之保麗龍門板上方，各配置一只風扇(110V，12 公分×12 公分)做為進氣降溫的入口，以調節試驗空間內之溫度。於空間對角的下方，各開設一個 5 吋的圓孔做為排氣孔，並於排氣孔外設立一個止逆閥門，空間內溫度過高時，啟動進氣口之風扇打入冷空氣，當同時自動開啟排氣閥門，空間內降溫。反之，則升溫(圖 4 及圖 5)。

自動控制及資料收集系統以 Campbell Scientific, Inc 所出產之 measurement & control CR1000 datalogger 資料擷取器，連接筆記型電腦，可連續監測並收集所有現地之數據。另外接上 25 位腳的 print port-output 卡(圖 6)，針對熱電偶之訊號程式化處理後輸出，控制風扇啟閉，以調節試驗空間內之溫度，整個自動控制及資料收集系統及程式由 Campbell Scientific, Inc 所提供之。

三、霧耕與水耕栽培

霧耕栽培系統(圖 7 及圖 8)以保麗龍箱(外徑：48 公分×41 公分×26 公分，內徑：43.5 公分×36 公分×23 公分)為栽培容器，並於箱子上方開 20 個直徑 4 公分之孔洞，下方開 1 孔連接水管引流，以利多餘之霧氣凝集後排水用，另於側邊開 1 洞是為霧氣進口，連接管路至造霧盒霧氣之出口。造霧盒材質為 PCV，外徑：34 公分×24 公分×16.5 公分，內徑：31.5 公分×21.5 公分×16 公分，盒子周圍開 2 孔，2 孔高度相差 3 公分，較低者為養液進孔，較高者養液溢出孔，形成養液供應路徑循環。盒內放置 2 個超音波造霧器，其霧化片為 20mm 1.7MHz，電源為 DC24-28V，500-600mA，養液震盪成霧氣候，經由造霧盒蓋子上開之孔洞，所裝設之 DC

12V，4 公分×4 公分×2.8 公分風扇，將造霧盒內霧氣送入栽培容器內，除供應植物根部所需之養液外，另可冷卻造霧盒中溫度。

水耕系統其霧耕系統相近，將霧氣循環改為養液循環；養液儲存於栽培容器內，養液配方為高德錚葉菜類養液配方(附錄表 3)。

四、光合作用速率計算

青蔥葉片部可分為上半部的中空圓錐狀部分及下半部的中空圓管狀部分，現今使用之光合作用測量儀器難於進行青蔥之量測，故自行組裝量測裝置進行量測。測量項目為光照中單位時間及單位葉面積中所吸收二氧化碳的量($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)與黑暗中單位時間及單位葉面積釋出二氧化碳的量($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。

量測裝置如圖 9，分為三個部分。第一部分由 YIH DER 公司出品的 BL-710D 低溫循環冰水機、雙層玻璃中空管柱、內管壁上有玻璃細管從頂部通到底部、杯狀底蓋、開有三個孔洞(1、2 及 3)(圖 9.)之頂部圓蓋及作為人工光源之中空管柱周圍的燈管組成；第二部分為 1,000ml 血清瓶(換氣瓶)並於頂蓋開三個洞(1'、2' 及 3')(圖 9.)；第三部分為二氧化碳鋼瓶、雙錶氣壓閥、二氧化碳計泡器、混氣盒及 otto sa-8000 型的空氣幫浦組成。二氧化碳計泡器及空氣幫浦放置於混氣盒內混氣盒共開 3 個孔洞(1"、3" 及 4")，頂部開一個孔洞(2")；將此三部分連接為密閉系統。

二氧化碳鋼瓶的氣體管路通過混氣盒孔洞 2"，接於二氧化碳計泡器將二氧化碳打入混氣盒內，透過雙錶氣壓閥調節氣體流速，並以二氧化碳計泡器計算二氧化碳流量，混氣盒內空氣幫浦有兩條打氣管，由混氣盒前孔洞 1" 及 3"，出去匯集成一條通過頂部圓

蓋孔洞 3，接到玻璃細管，將氣體打入雙層玻璃中空管柱底部。氣體經頂部圓蓋孔洞 2，接管路到 1,000ml 血清瓶內，於血清瓶內部放置 Lutron GCH-2018 的 CO₂ Meter，測量二氧化碳濃度。血清瓶頂部接管路至混氣盒內，使整個系統為密閉空間且氣體可藉由空氣幫浦達到混合均勻效果。另外放置 LI-1000 Datalogger (Li-Cor, Inc.) 光度計於雙層玻璃中空管柱內，以測量不同燈管數下之光強度。

將青蔥‘黑葉’放置於玻璃中空管柱內，控制內循環系統二氧化碳濃度為 1,500±43ppm 及 3,000±71ppm，達穩定後維持 10 分鐘，分別以 0、2、4、6、8、10 及 12 根燈管處理，並於兩小時內每 1 分鐘測量一次內循環系統的二氧化碳濃度，重複測量三次。由此計算出青蔥‘黑葉’於兩種二氧化碳濃度下之光飽和點及二氧化碳補償點。

五、栽培環境之光條件

於自製生長箱內，以三種 T5 燈管 Top[®] light T5 Plant red aquarium lamp, 24W/7500K、Marine blue aquarium lamp, 24W/25000K 及 Sun white aquarium lamp, 24W/7500K)，作為栽培光源。三種光源之光強度，調整為試驗之所需，調整步驟如下：將 LI-1000 Datalogger 置於栽培箱中，調整燈管距離，使三種光源之光強度為一致。另外，因考慮青蔥為圓錐狀葉片，燈管為垂直架設於試驗空間中的燈管架設區(圖 5)。

六、生長速率測量

蔥青部位：

可將蔥青部分視為圓柱體及圓錐體之組合(圖 10)，蔥青表面積則為圓柱體側面積加上圓錐體扇形部分面積之和。

公式如下：

(蔥青基部直徑 $\times\pi\times$ 圓柱體高) $+$ (圓錐體基部半徑 $\times\pi\times$ 圓錐體母線長)

根部：

以自寫面積計算程式計算根部影像截面積，此程式可讀取 JPEG 形態檔案並計算出面積，使用時先將欲計算面積的根部連同比例尺以數位相機拍攝，儘量不讓根部間互相重疊，影像檔輸入電腦後執行主要三個步驟 A.讀取影像 B.以中間灰階值二元化 C.以 DPI 計算面積。計算出的根部影像截面積乘上係數(實際比例尺面積/影像中比例尺面積)即可得知實際根部截面積(圖 11)。

七、氣味成分分析方法

1. 固相微萃取 (solid-phase microextraction, SPME) 裝置及分析儀器

青蔥氣味分析採固相微萃取裝置及分析之儀器使用美國 SUPELCO 公司生產之 50/30 μm DVB/caboxneTM/PDMS stableFlexTM SPME 纖維進行萃取，再以 Hewlett Packard 5890 氣相層析儀(gas chromatograph, GC)分析。分離管柱為 DB-5MS 毛細管柱 (30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm film)，載體氣體為氦氣(純度 99.999%)，流速為 0.818 mL/min。其他分析條件設定如下：注射口溫度為 250℃，MS 離子源溫度為 280℃。

經預備試驗先不同升溫條件測試調整後設定起始溫度為 40℃ 維持 2 分鐘，第一段升溫以每分鐘 8℃ 升至 120℃ 並維持 5 分鐘，第二段升溫再以每分鐘 10℃ 升至 220℃ 並維持 5 分鐘。各成分的質譜以 Wiley275 及 NIST05 (Nation Institute of Standards and Technology) 之資料庫進行比對分析。

2. 內標準品之應用

本實驗使用兩種內標準品溶液分別是 n-hexanecane (99.1%) (Sigma-Aldrich, Inc.) 及 n-tridecane (99.5%) (Chem Service, 21 Inc.)。

3. 成分分析基本流程

本實驗利用頂空固相微萃取法 (headspace solid-phase microextraction, HS-SPME)，利用 SPME 纖維吸附其頂空揮發性香氣，其優點在於只需要些微的植物材料便可以測定出揮發性香氣成分，避免溶劑萃取或水蒸氣蒸餾等外來因子干擾。

實驗之基本流程如下：

- I. 每批樣品試驗時，取蔥青長度 10cm，寬度 1.5cm 之蔥段，每段再切成 0.5cm 之 20 小段，並秤其鮮重。將蔥青小段置於 20 mL 之頂空瓶內，頂空瓶之瓶蓋附有墊片，其墊片包覆鐵氟龍 (Teflon) 以防止香氣成分吸附於墊片上造成實驗誤差，並注入內標準品。
- II. 再將頂空瓶置於乾熱器 (Dry bath Incubator, Violet BioSciences, Inc.) 以裝有吸附纖維之 SPME 針筒插入瓶中後將纖維旋出，以 75℃ 加熱及萃取 7 分鐘，使纖維吸附頂空之揮發性香氣。

III. 將 SPME 針筒手動注入 GC-MS 注射口，30 秒後開始進行分析。SPME 針筒則留置於 GC-MS 注射口內 10 分鐘，以熱脫附纖維上之殘留成分。

4. SPME 纖維吸附條件之確立

青蔥樣品制備同前，將加熱溫度設為 55℃、65℃、75℃ 及 SPME 纖維吸附時間為 3、5、7 分鐘(同為加熱時間)，進行最佳化測試。

SPME 纖維吸附時間為 3、5、7 分鐘，取蔥青長 10cm，寬 1.5cm 之一段，每段切成 0.5cm 之 20 小段進行分析，取下之蔥青小段置入 20 mL 之頂空瓶中並加入內標準品，蓋子上附有包覆鐵氟龍 (Teflon) 之墊片，再將頂空瓶置於乾熱器上以 55℃、65℃、75℃ 加熱，使葉片之揮發性香氣釋出，再將 SPME 纖維置入頂空瓶內吸附揮發性香氣，最後再將 SPME 纖維移至 GC-MS 進行分析。分析所得結果之離子層析圖，面積積分後，依下法進行標準化再行比較。

八、質譜數據統計與分析

資料分析軟體為 ChemStation (G1701DA, Version D. 00.00.38, Agilent Technologies)，各成分之總離子層析圖以 Wiley275 及 NIST05 (Nation Institute of Standards and Technology) 之資料庫進行比對分析。針對青蔥‘黑葉’揮發性香氣主要成分進行比較。各樣品內加入內標準品以校正不同情況下對其成分含量之測值。將離子層析圖之各目標成分之積分面積 (Area of Target Compound, A_{TC}) 除以內標準品積分面積 (Area of Internal Standard,

A_{IS})得到成分含量面積指數 (Target Compound Area Index, A_I) ,

作為含量變化之比較。其公式參考廖(2008)如下：

$$\text{Target Compound Area Index } (A_I) = \frac{\text{Area of Target Compound}(A_{TC})}{\text{Area of Internal Standard } (A_{IS})}$$

A_I ：為參試樣品中成分含量指數

A_{TC} ：參試樣品中成分之總離子質譜層析圖之波峰面積

A_{IS} ：參試樣品中內標準品之波峰面積



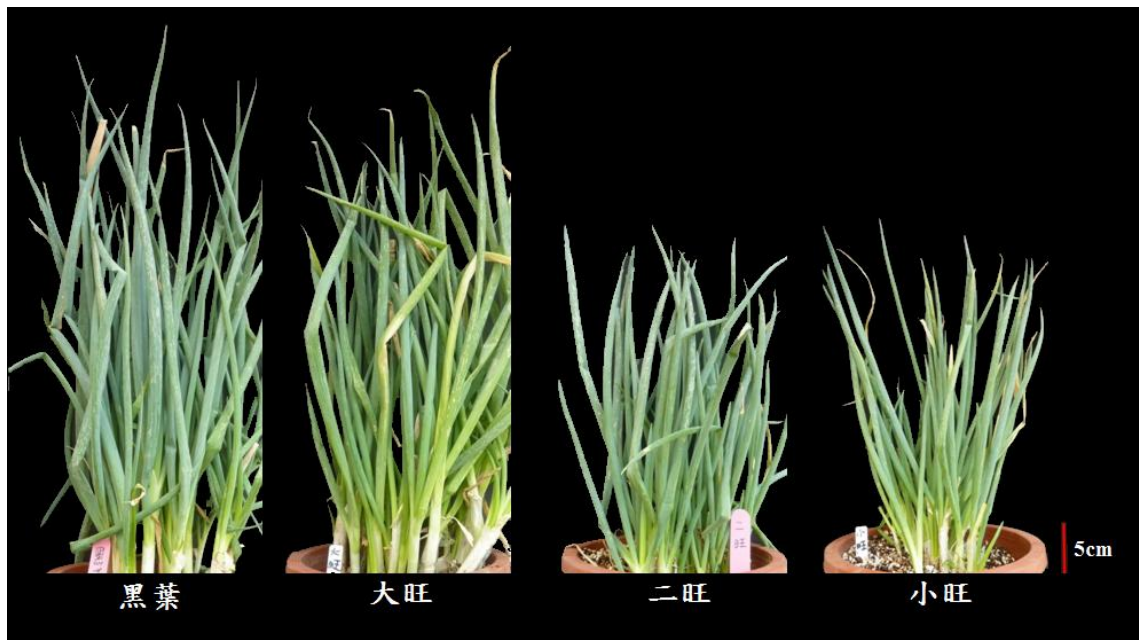


圖 1. 四季蔥品種‘黑葉’

Fig. 1. Green onion (*Allium fistulosum* L.) Black Leaf

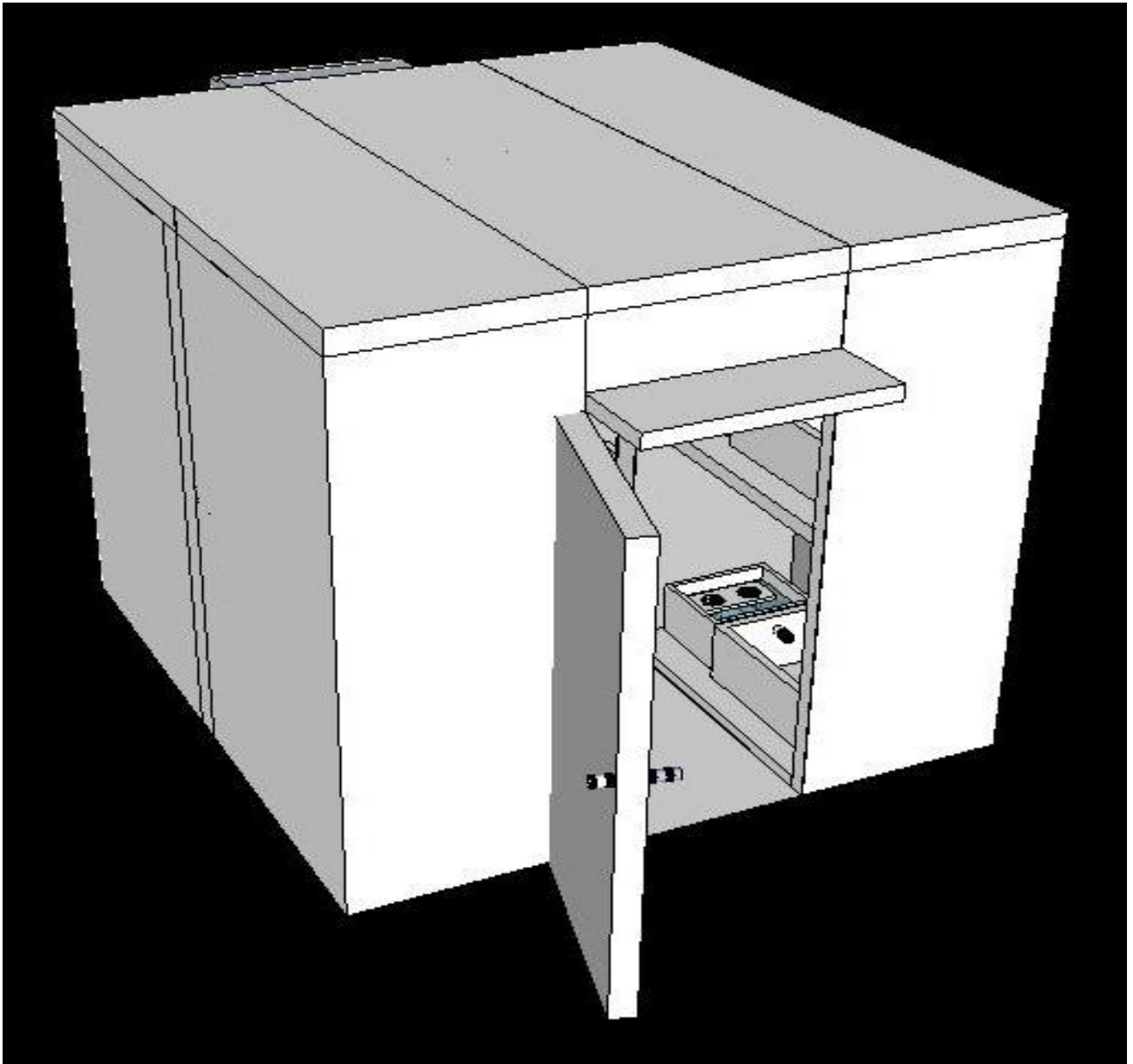


圖 2.自製生長箱 3D 示意圖

Fig. 2. 3D-diagram of self-assembly growth chamber

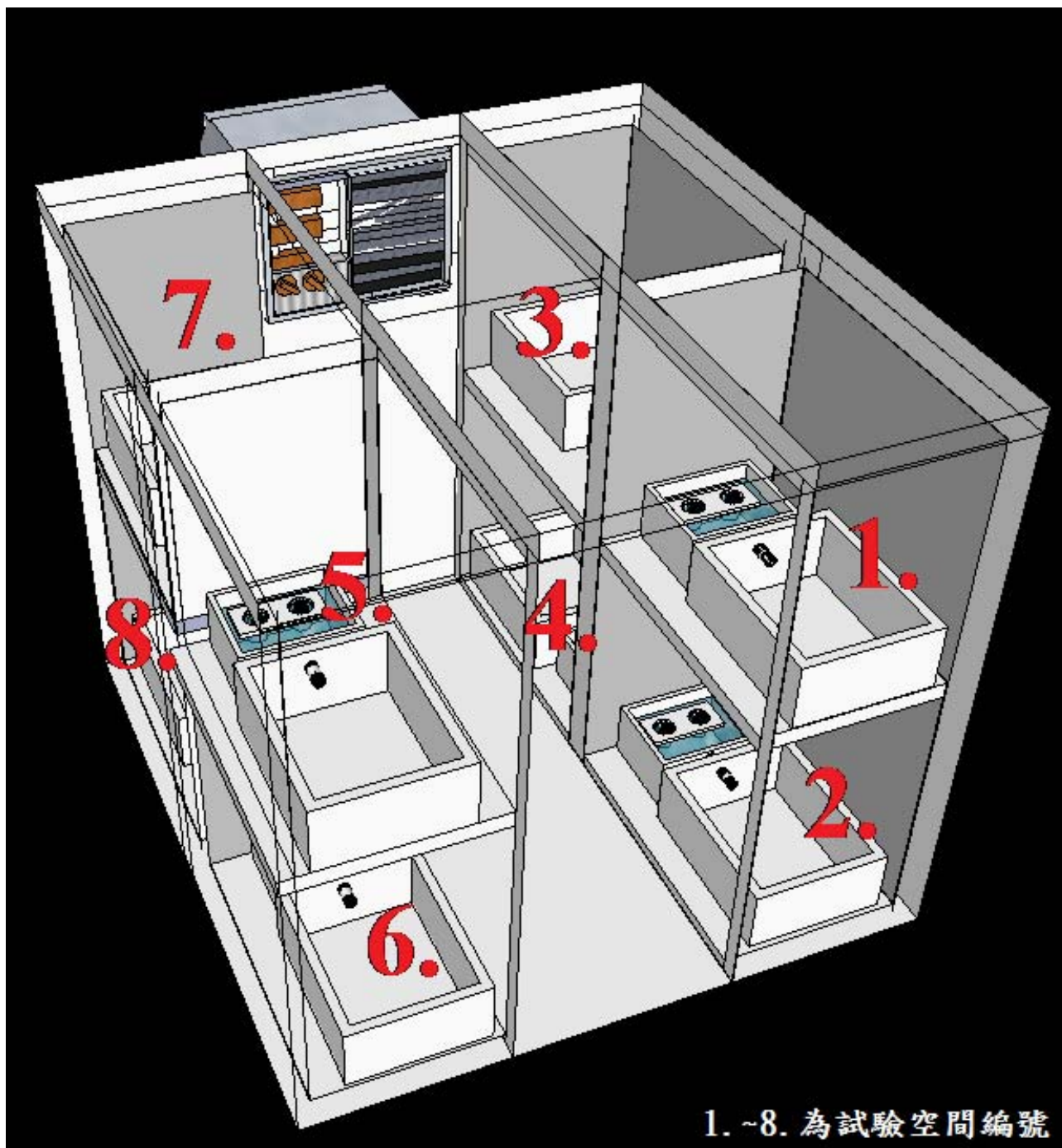


圖 3. 自製生長箱透視圖

Fig. 3. Perspective of self-assembly growth chamber

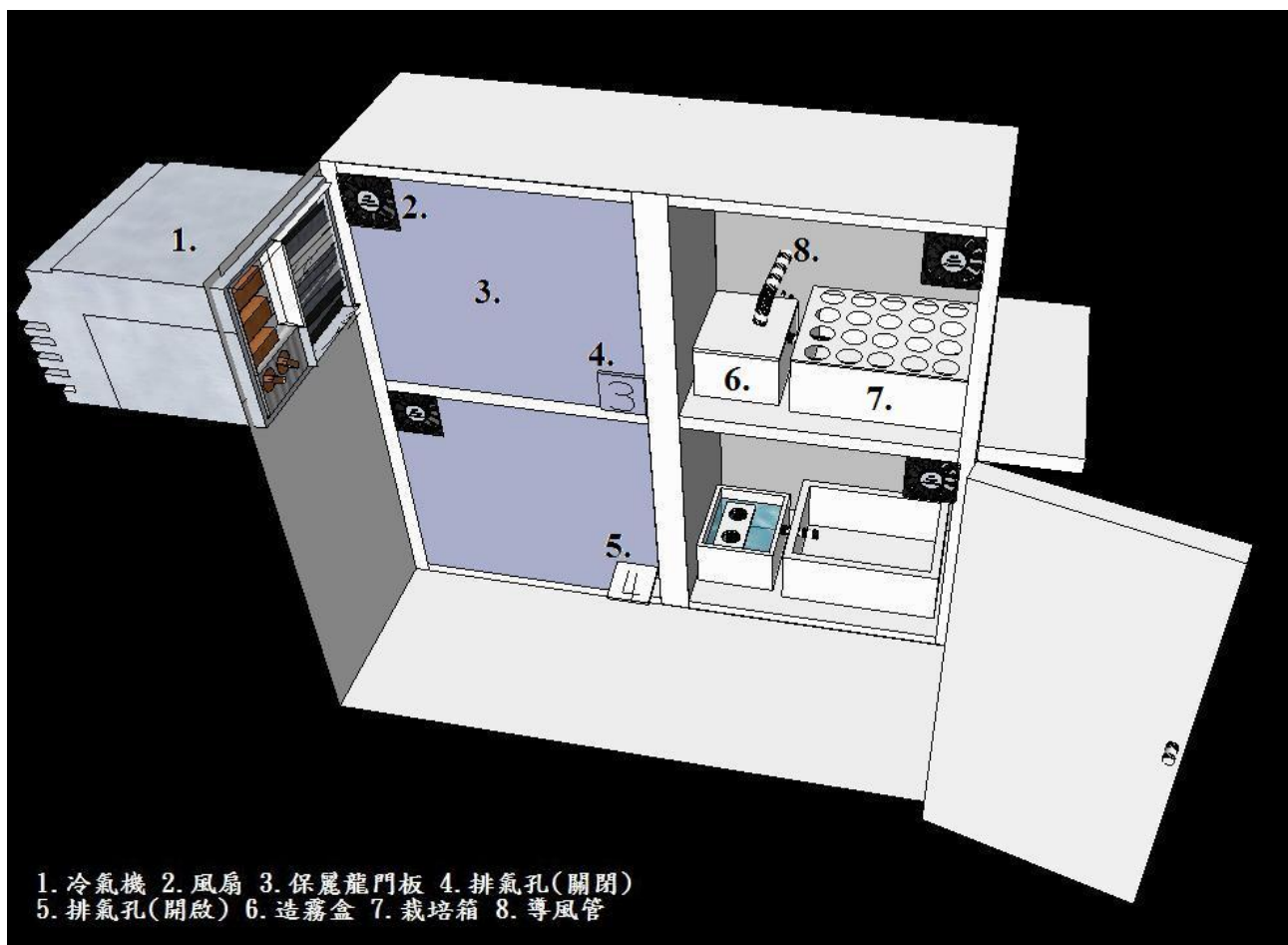
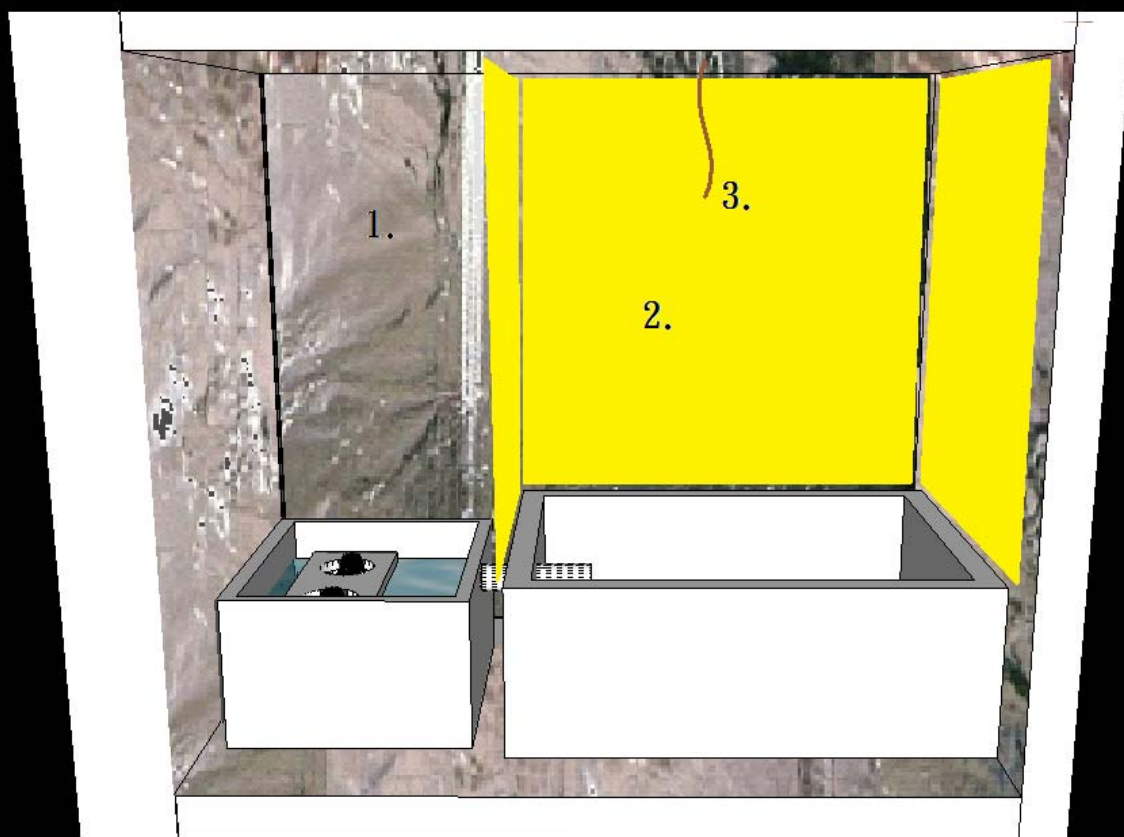


圖 4. 自製生長箱內部構造(一)

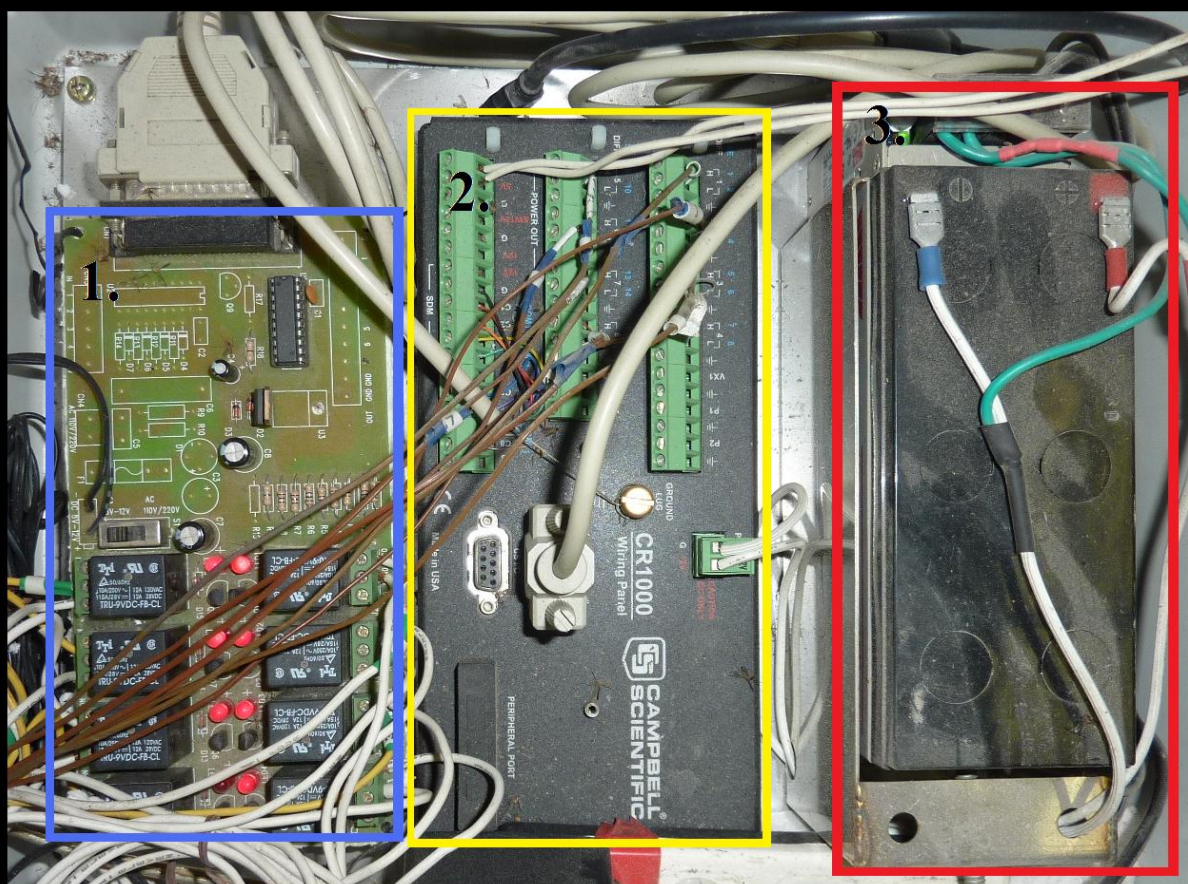
Fig. 4. Interior structure of self-assembly growth chamber(1)



1. 試驗空間內壁鋁箔
2. 光源架設區(黃色區塊)
3. 熱電偶線

圖 5. 自製生長箱內部構造(二)

Fig. 5. Interior structure of self-assembly growth chamber(2)



1. print port - output card
2. measurement & control datalogger
3. power

圖 6. 自動控制及資料收集系統

Fig. 6. Automatic control and data collection system

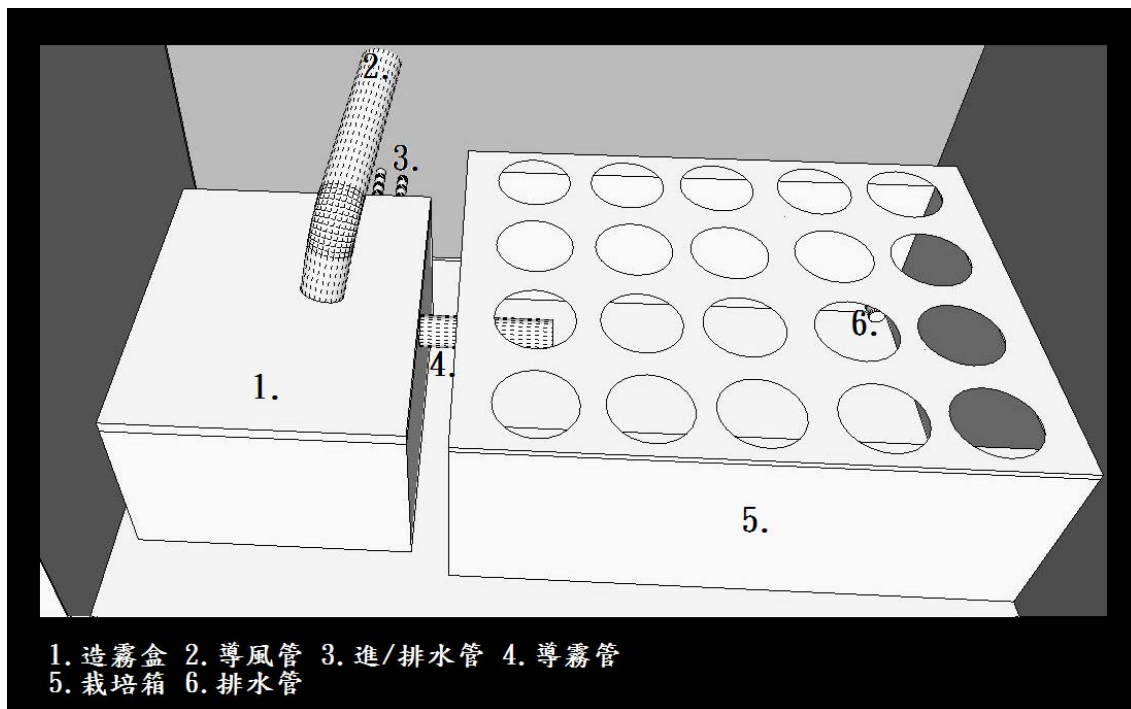


圖 7. 霧耕栽培系統示意圖(一)

Fig. 7. Diagram of fogponic system(1)

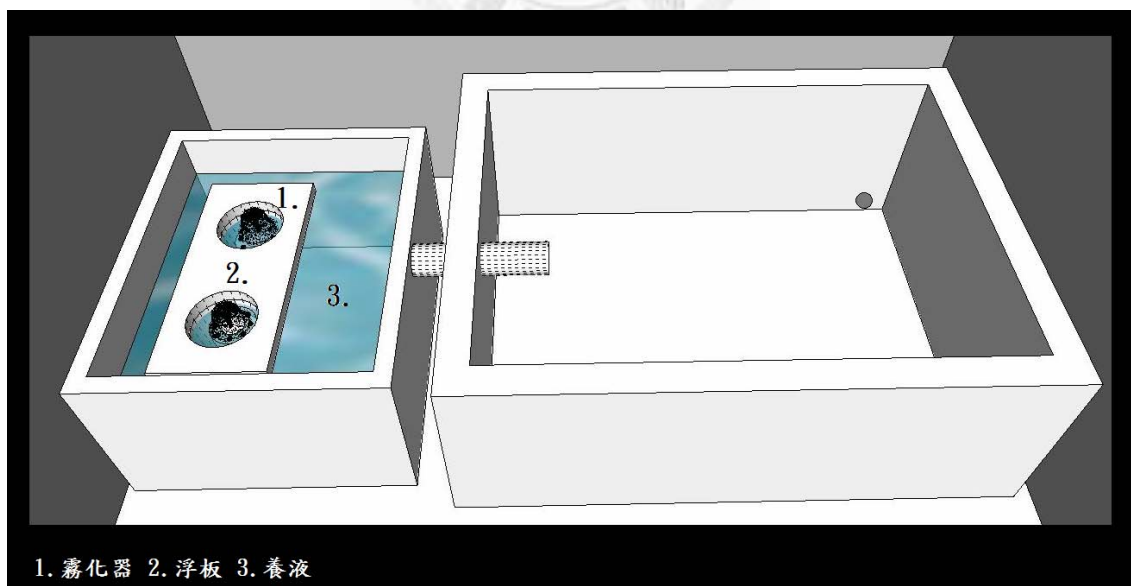


圖 8. 霧耕栽培系統示意圖(二)

Fig. 8. Diagram of fogponic system(2)

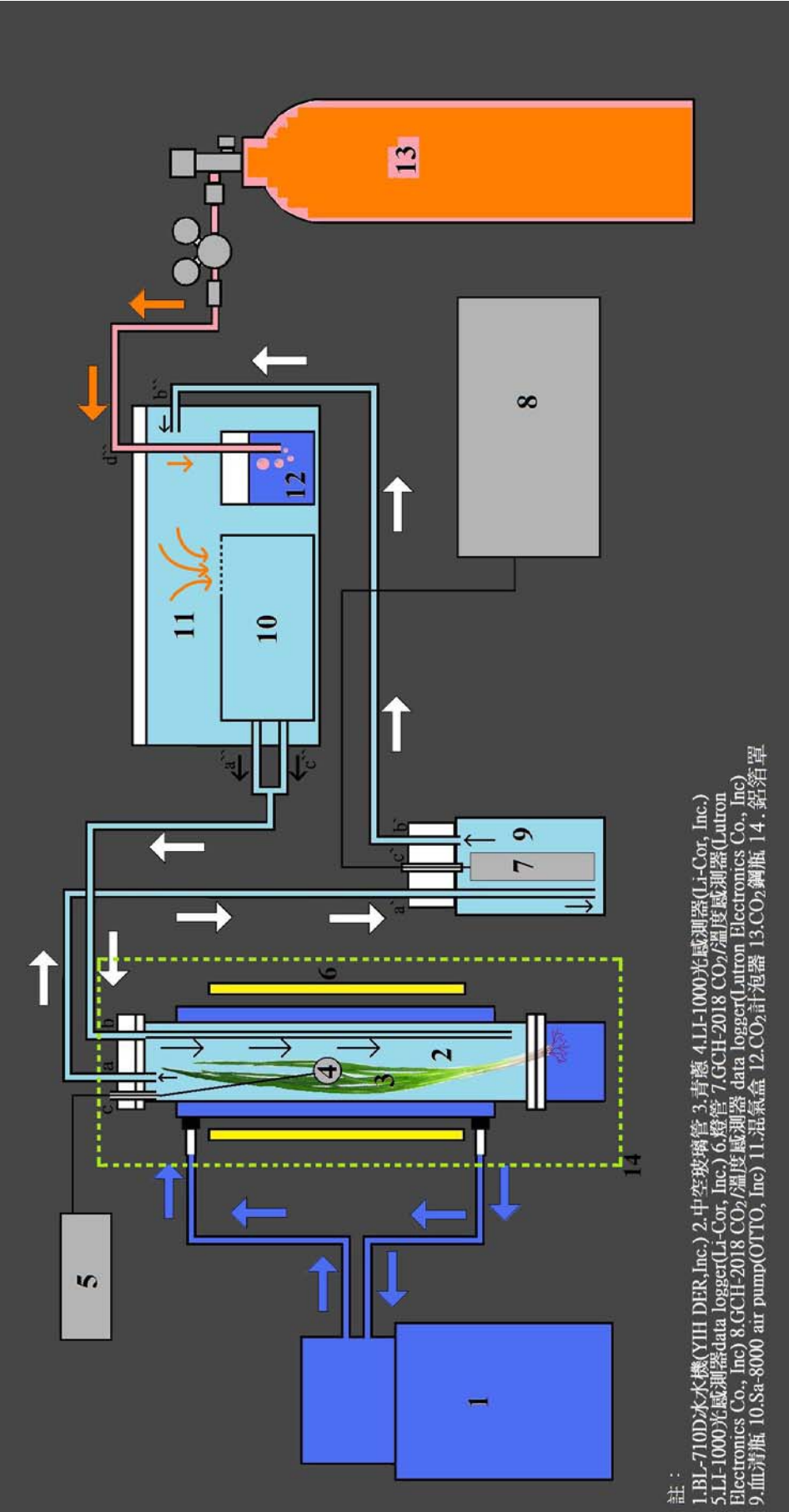


圖 9. 自組光合作用速率計算裝置

Fig. 9. Self-assembled device of calculate rate of photosynthesis

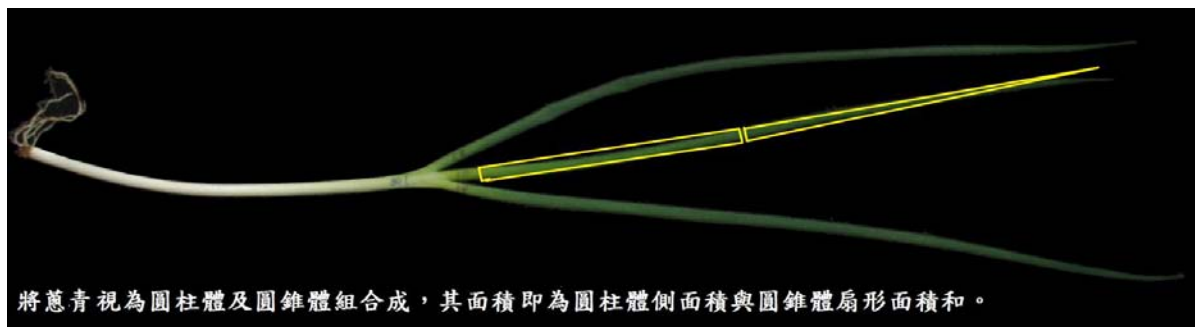


圖 10. 蔥青面積計算方式

Fig. 10. Calculate method of Green-leaf area

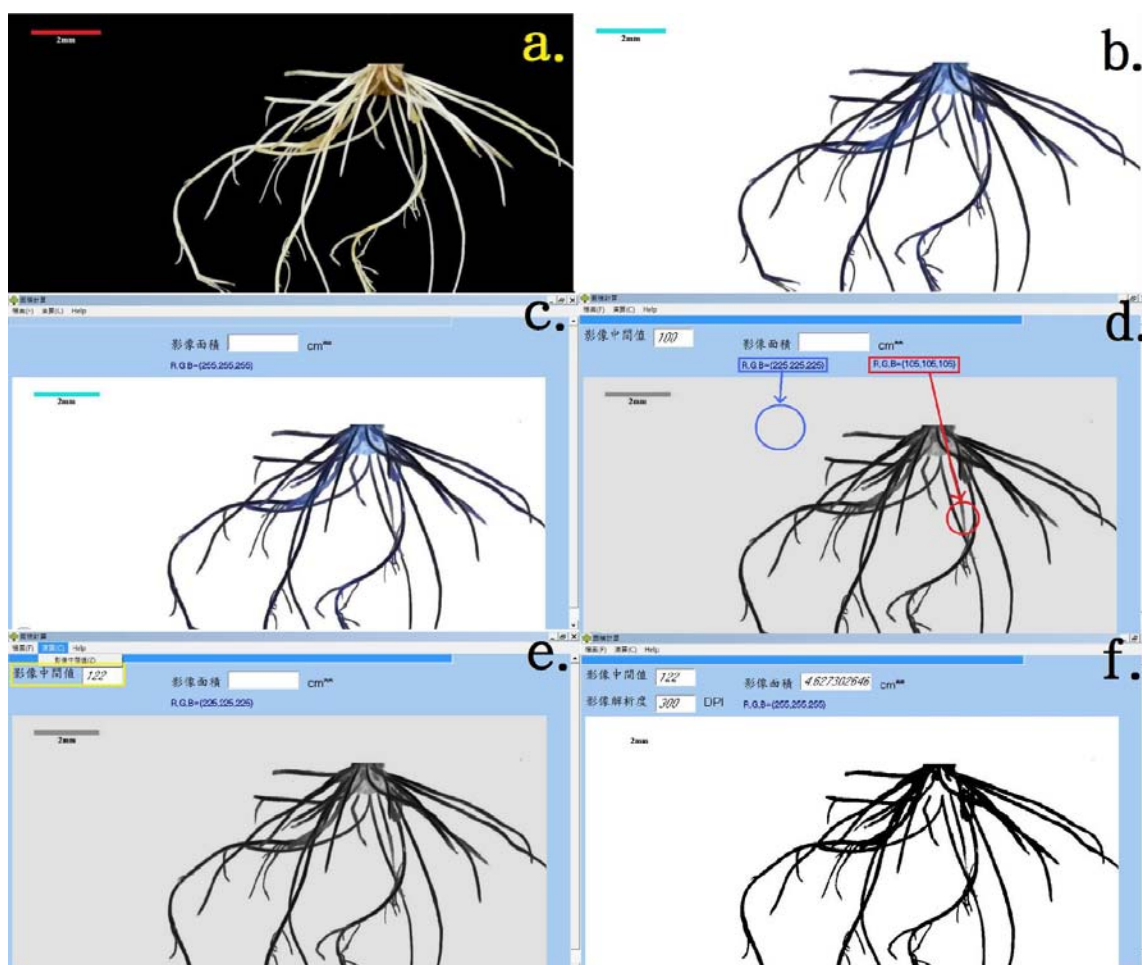


圖 11. 根影像截面積計算流程圖

Fig. 11. Flowchart of calculate of image cross-sectional area

- a. 截取根部影像 b. 影像反白 c. 載入影像 d. 影像灰階化
e. 輸入影像中間值(為 d. 背景值(藍色區域顏色值)-根部最亮(紅色區域顏色值)) f. 影像解析後計算影像面積

肆、結果與討論

一、青蔥‘黑葉’人工光源光強度條件之確立

本試驗以自組光合作用速率量測裝置，先測量出裝置漏氣量及青蔥‘黑葉’於二氧化碳起始濃度 $1,500 \pm 43 \text{ ppm}$ 及 $3,000 \pm 71 \text{ ppm}$ 時，以 0(即黑暗中)、2、4、6、8、10 及 12 支 LED 燈管照射，即光強度為 0 、 $6,848 \pm 59$ 、 $14,580 \pm 117$ 、 $23,300 \pm 176$ 、 $28,460 \pm 192$ 、 $35,850 \pm 206$ 及 $46,500 \pm 228 \text{ lux}$ 時的二氧化碳變化量(圖 12 及圖 13)。

由圖 12 及圖 13 中的 b 線可以看出黑暗中二氧化碳濃度隨著時間增加而緩慢上升，此為青蔥‘黑葉’呼吸作用所產生的二氧化碳變化量；在不同光強度下二氧化碳隨著時間增加下降速率亦有不同，於二氧化碳起始濃度 $1,500 \pm 43 \text{ ppm}$ ，6 支 LED 燈管 ($23,300 \pm 176 \text{ lux}$) 以上時，二氧化碳下降速率已達一致，於二氧化碳起始濃度 $3,000 \pm 71 \text{ ppm}$ 時也是如此，但於 12 支 LED 燈管 ($46,500 \pm 228 \text{ lux}$) 時，則下降速率稍微增加，此為青蔥‘黑葉’光合作用所產生的二氧化碳變化量。

二氧化碳下降速率扣除二氧化碳上升速率及漏氣速率則可得到淨光合作用速率(圖 14)。由此可見，青蔥‘黑葉’於二氧化碳起始濃度 $1,500 \pm 43 \text{ ppm}$ 下，淨光合作用速率達平衡時，光飽和點為 $382.15 \pm 27.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (相當於 $24993.46 \pm 1,818 \text{ lux}$)；二氧化碳起始濃度增為 $3,000 \pm 71 \text{ ppm}$ 時，淨光合作用速率隨光強度增強而增加，光飽和點大於 $711 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

另外對照 Levine and Pare'(2009)以三種 CO_2 濃度(400、1,200 及 $4,000 \mu\text{mol mol}^{-1}$)及三種光強度(150、300 及 $450 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)，

栽種青蔥，相同 CO_2 濃度之下，光強度由 $150\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 提高至 $300\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 生物量增加一倍，光強度由 $300\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 提高至 $450\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 生物量提高 0.3 倍，可推測，有最佳光強度落於 300 至 $450\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之間，也印證坊間流傳青蔥於日光下，光飽和點為 25,000 lux。

二、霧耕與水耕對生長之比較

本試驗於附錄圖 4 所示之日夜溫差下及依燈管數(LED 白光燈管，由陳開憲博士提供)及距離調整光強度落於 $25,215 \pm 1,818$ lux 範圍內，以高德錚葉菜類養液配方，採霧耕及水耕模式栽培三十五天後，每處理 15 重複，測量四季蔥品種‘黑葉’蔥青面積、發根數及根部影像截面積。

青蔥‘黑葉’於霧耕及水耕栽培下每株蔥青平均表面積生長速率如圖 15 及圖 16 所示。而兩處理之蔥青平均表面積如圖 17 所示，P 值 >0.05 呈不顯著差異，但水耕處理則有達到平均 $100\text{cm}^2/\text{株}$ 以上，霧耕則無。

青蔥‘黑葉’發根數如圖 18 所示，於水耕栽培初期平均較霧耕略高，後期則霧耕栽培下，平均發根速率明顯高於水耕。而圖 19 顯示霧耕栽培下，最後根的影像平均截面積為 21.27cm^2 ，水耕栽培下的則是 9.87cm^2 ，以 SAS 9.1 (Statistical Analysis System)採變方分析 (analysis of variance, ANOVA) 進行最小顯著差異分析 (Least significant difference, LSD)，其 $\text{LSD}=1.4821$ ，P 值 <0.001 ，呈極顯著差異。

圖 20 及圖 21 為霧耕及水耕栽培 40 天後青蔥‘黑葉’的根部影像比較圖，可明顯看出霧耕栽培下之根系多於水耕栽培。

對照前人研究(全和楊，2008)指出青蔥根系雖密但分支稀疏且缺乏根毛，故宜適當灌溉，以促進肥料之營養成分吸收，及前人研究(Pagliarulo and Hayden, 2002；王等，2009；孫等，2006；Christie and Nichols, 2004；Ritter *et al.*, 2001)指出，以霧耕栽培可以促進多種作物的根產量是由於改善了氧氣及養液供應條件，以及最小化利用養分和水的回收能力。而本試驗中以霧耕 400ml/hr 的造霧量計算，當霧氣完全充滿 43.5×36×18(公分)的栽培空間，耗時約 10 分鐘，共耗水量為 66.6ml，以水耕計算則需 28188ml。

雖然兩栽培模式，對於地上部蔥青生長量，無顯著差異，但於地下部根系生物量，則以霧耕栽培下來得好，所以總生物量應以霧耕栽培為佳。因此，對於室內栽培時，若是採用霧耕系統應可部分增加地下部產量，進而提升養分利用力及減少水資源之消耗。

三、不同光質對於青蔥‘黑葉’生長之影響

本試驗於附錄圖 4.所示之日夜溫差下及用三種不同光質(附錄圖 5)的人工光源，依燈管數及距離調整光強度落於 25,215±1,818 lux 範圍內，以高德錚葉菜類養液配方，採霧耕模式栽培四十天後，每處理 8 重複數，測量四季蔥品種‘黑葉’蔥青數及蔥青面積。

青蔥‘黑葉’於全紅光、全藍光及全白光栽培下，每株平均蔥青數及每株平均蔥青面積生長量之相關性如圖 22、圖 23 及圖 24 所示，三者皆呈曲線相關， R^2 分別為 0.8645、0.6714 及 0.8547。

圖 25 顯示青蔥‘黑葉’於三種光質栽培 40 天後，平均葉片

數之比較，另外，白光栽培平均每日葉片生長量為 0.3676 片/day，紅光栽培為 0.0734 片/day，藍光栽培為 0.0313 片/day，以 SAS 9.1 進行最小顯著差異分析，其 $LSD=0.2197$ ， P 值 <0.001 ，呈極顯著差異。

圖 26 顯示青蔥‘黑葉’於三種光質栽培 40 天後，平均蔥青表面積之比較。另外，白光栽培平均每日表面積生長量為 $6.403\text{ cm}^2/\text{day}$ ，紅光栽培為 $2.739\text{ cm}^2/\text{day}$ ，藍光栽培為 $2.387\text{ cm}^2/\text{day}$ 以 SAS 9.1 進行最小顯著差異分析，其 $LSD=2.4433$ ， P 值 <0.001 ，呈極顯著差異。

對照前人研究(Hidaka *et al.*2008，Hamaoto *et al.*2008)指出，在改變自然光全光譜下(只減少藍光波長，提高紅光波長)，青蔥地上部鮮重和乾重較高及(只減少紫光波長，提高藍光波長，偏藍)下，促進青蔥葉片抽長，認為是因為紅光增加而促進葉片光合作用而導致青蔥地上部的生長促進。另外，Hamaoto 等人(2008)的試驗中也有春秋兩季，春天顯著，秋天則無差異，或許與光強度相關；但本試驗則藍光與紅光栽培下葉片生長量與表面積生長量無顯著差異，推論有可能是因為所使用的人工光源是單色光，而非以自然光譜轉換而成，亦有包含自然光譜的全波段，相較之下，本試驗也以全白光做為栽培光源時，對於青蔥‘黑葉’的生長效果較明顯，是否因全白光比全藍光及全紅光包含較廣泛之光譜，而造成此結果，未來亦可進一步探討。

四、 SPME 纖維吸附條件之確立

每批參試樣品取蔥青長 10cm，寬約 1cm，每段切成 0.5cm 之 20 小段，以加熱溫度為 55°C 、 65°C 、 75°C 及 SPME 纖維吸附時間為 3、

5、7分鐘(同為加熱時間)，將各成分之離子層析圖面積換算成為面積指數 (A_I) 並統整分析其變化。以 SAS9.1 用於實驗數據分析採用變方分析並根據隨機區集設計 (randomized block design)。統計之顯著差異依據最小顯著差異並達 5% 之顯著水準 ($P=0.05$)。

圖 27 結果顯示以 55°C、65°C 及 75°C 加熱溫度之下加熱吸附 3 分鐘，八種揮發性成分 2,4-Dimethyl thiophene、Dipropyl disulfide、1,2-Dithiolane、5-Methyl-3H-1,2-dithiole-3-thione、3,3-Dimethyl-piperidine、Dipropyl trisulfide、3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane、4-Methyl-2(3H)-thiazolone 之 A_I 值比較，只出現 Dipropyl disulfide、1,2-Dithiolane、5-Methyl-3H-1,2-dithiole-3-thione、3,3-Dimethyl-piperidine，共四種揮發性成分。

圖 27 顯示加熱吸附五分鐘時，於三種溫度下，除上述四種外，還多了 Dipropyl trisulfide，於 65°C 及 75°C 下又多了 4-Methyl-2(3H)-thiazolone，於 75°C 下又多了 3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane。

圖 27 顯示加熱吸附七分鐘時，於三種溫度下，除上述五種外，又多了 2,4-Dimethyl thiophene，而於 55°C 下，也出現了 4-Methyl-2(3H)-thiazolone。

所以，由圖 27 可得知加熱時間越長，揮發性成分出現的越多，而其中以 75°C 下出現的揮發性成分較多。

而八種揮發性成分各別於不同加熱吸附時間及加熱溫度下最佳條件如表 2 所示，2,4-Dimethyl thiophene 只於加熱吸附時間 7 分鐘下出現，Dipropyl disulfide 於加熱吸附時間 5 分鐘顯著差異，加熱溫度不顯著，1,2-Dithiolane 於兩條件下都不顯著，

5-Methyl-3H-1,2-dithiole-3-thione 則是加熱吸附時間 7 分鐘和 65℃ 有顯著差異，3,3-Dimethyl-piperidine 於加熱吸附時間 3 分鐘有顯著差異，加熱溫度則不顯著，Dipropyl trisulfide 於兩條件下都不顯著，3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane 於加熱吸附時間 7 分鐘和 75℃ 下有顯著差異，4-Methyl-2(3H)-thiazolone 於加熱吸附時間 7 分鐘和 75℃ 下有顯著差異。

目前以 SPME 吸附配合 GC-MS 分析青蔥的研究，大多是採萃取液進行分析。若依照本試驗的結果，新鮮蔥青以 55℃、65℃ 及 75℃ 加熱溫度配合加熱吸附 3、5 及 7 分鐘，隨加熱吸附時間增加所出現的揮發性成分也越多，而又以 75℃ 加熱溫度條件下，各成分有顯著差異。由於青蔥揮發性成分來源，是藉由組織細胞破裂時，經由酵素與香味前驅物作用產生的，而本試驗採用的樣品則為新鮮青蔥切斷，比對前人研究的樣品磨粉處理，於揮發性成分上分析出來的值可能較低，未來可於此處進一步探討之蔥青切碎最佳效果比較，也可於時間及加熱溫度上做更細化的探討。

五、不同光質對於青蔥‘黑葉’揮發性成分之影響

本試驗以三種光質做為栽培光源之處理，採霧耕模式栽培青蔥‘黑葉’40 天後，每批參試樣品取蔥青長 10cm，寬約 1cm，每段切成 0.5cm 之 20 小段，以 HS-SPME 萃取，GC-MS 分析；另外亦分析其根部成分含量(並比較於生長於溫室中根系)。

表 3 顯示出蔥青及根部全部揮發性成分之滯留時間，表示蔥青含有 19 種化合物，而根部則含有 28 種化合物，根部除了蔥青所含有的 3-(Methylthio)propanoic acid ethyl ester 沒有外，還多了 9 種化合物，依滯留時間順序分別是 Dimethyl tetrasulfide、

2-amino-5-methyl-thiazole、Ethanethioamide、Tetrahydro-thiazole、
Dodecamethyl-pentasiloxane、m-Aminophenylacetylene、
3-Isopropyl-4-methyl-dec-1-en-4-ol、
5-Ethyl-2,2-dimethyl-1,3-dioxane、
N-Methoxy-N-methylamonodifluorophosphine，根部的揮發性成分
多於蔥青。

圖 28 顯示出青蔥‘黑葉’於三種光質下，蔥青所含之 19 種
揮發性成分之 A_I 值，而表 4 說明 19 種不同揮發性成分各別於三
種光質下之差異性，Methyl 2-propenyl disulfide 及
3,5-Dinitro-benzoic acid 於藍光栽培時有顯著差異，Dipropyl
disulfide、1,2-Dithiolane、2-Vinyl-1,3-dithiane、Dipropyl trisulfide
及 3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane 於白光栽培時有顯著差異

2,4-Dimethylthiophene、3,3-Dimethyl-piperidine、Dimethyl
ester 2-propenyl-propanedioic acid 及 4-Methyl-2(3H)-thiazolone
則於三種光質下無顯著差異，Dimethyl trisulfide、
5-Methyl-3H-1,2-dithiole-3-thione 及
Ethenyldimethoxymethyl-silane 只於白光栽培下出現，
3-(Methylthio)propanoic acid ethyl ester 於紅光及藍光栽培下出現，
(Z)-1-(methylthio)-1-propene 只於藍光栽培下出現、
(E)-1-(methylthio)-1-propene 於藍光及白光栽培下出現。

圖 29 顯示根部於三種光質及於溫室自然光栽培下之 28 種揮
發性成分之 A_I 值，表 11.則顯示出其差異性。圖 30、圖 31 及圖
32 顯示藍光、紅光及白光栽培下蔥青及根部所有揮發性成分 A_I
值之比較。

圖 33 則為蔥青與根部揮發性成分平均含量之比較，可看出成

分 NO. 2、5、6、10、11 及 18 呈現顯著差異($\alpha=0.05$)，於根部中的五種揮發性成分(NO. 2、5、10、11 及 18)含量大於蔥青中含量，蔥青中只有成分 NO. 6 含量大於根部，而成分 NO.1、3、4、7、8、12、13、14、17、24、25 及 26 呈現無顯著差異。

不同光質栽培下，對蔥青及根部揮發性成分亦有影響，葉部與根部反應不一；若要針對青蔥單一揮發性成分含量之提升或各成分間含量變化時，則可進而探討人工光源光質之紅:藍:白光比例之影響。另外與溫室內自然光下栽種的根部比較下，三種處理的揮發性成分大多高於溫室內自然光下栽種的，推論可能是霧耕較介質種植改善含氧量或是根溫不同所致，此處可設計試驗進一步探討。由此可見，青蔥‘黑葉’根部除了揮發性成分之種類比蔥青多且含量亦多於蔥青，若以霧耕栽培提升根部產量，則可增加青蔥利用性。



initial: 1500 ppm CO₂

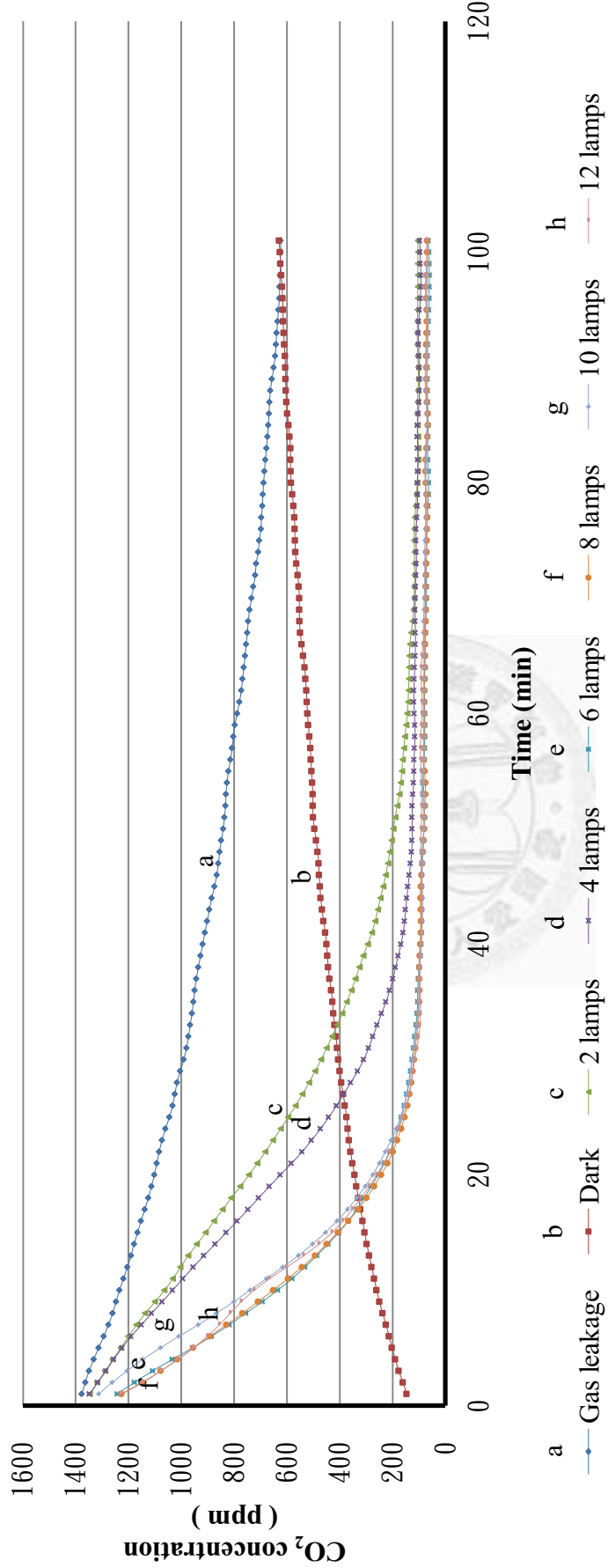


圖 12. 青蔥 '黑葉' 在二氧化碳起始濃度 1500 ppm 下，於不同光強度時之二氧化碳變化量

Fig. 12. Variation of carbon dioxide concentration of Green onion variety "Black Leaf" at different level of light intensity in 1500 ppm initial CO₂

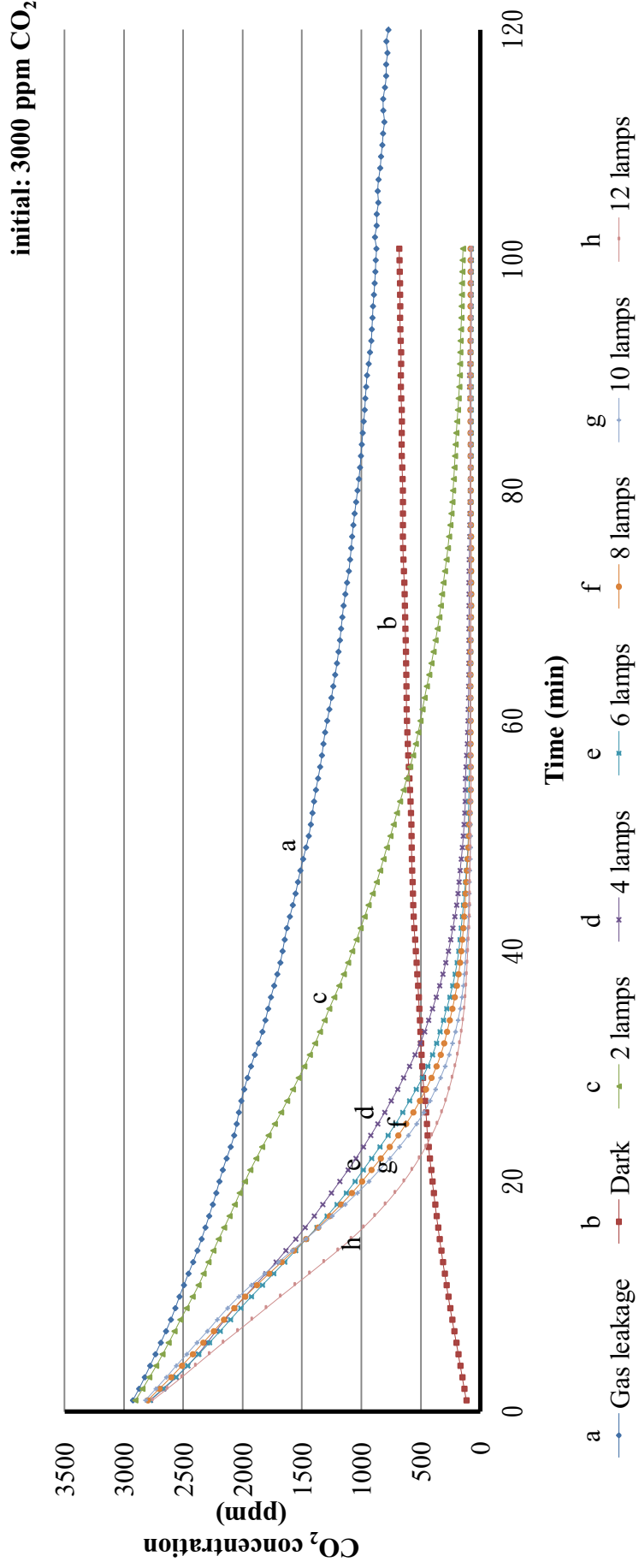


圖 13. 青蔥 '黑葉' 在二氧化碳起始濃度 3000 ppm 下，於不同光強度時之二氧化碳變化量

Fig. 13. Variation of carbon dioxide concentration of green onion variety "Black Leaf" at different level of light intensity in 3000 ppm initial CO₂

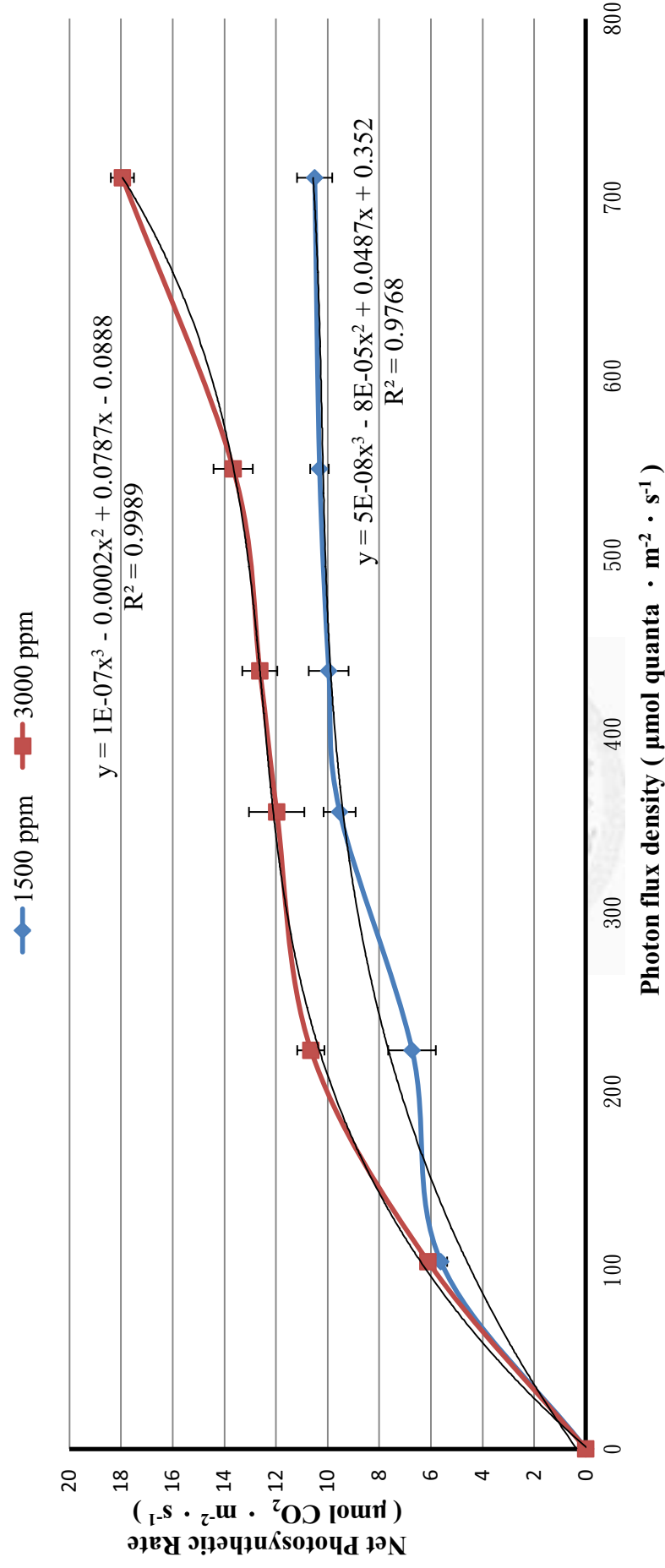


圖 14. 青蔥 ‘黑葉’ 於二氧化碳起始濃度 1500 及 3000 ppm 之淨光合作用速率 (n=3)

Fig. 14. Net photosynthetic rate of green onion variety “Black Leaf” in 1500 and 3000 ppm initial CO₂ (n=3)

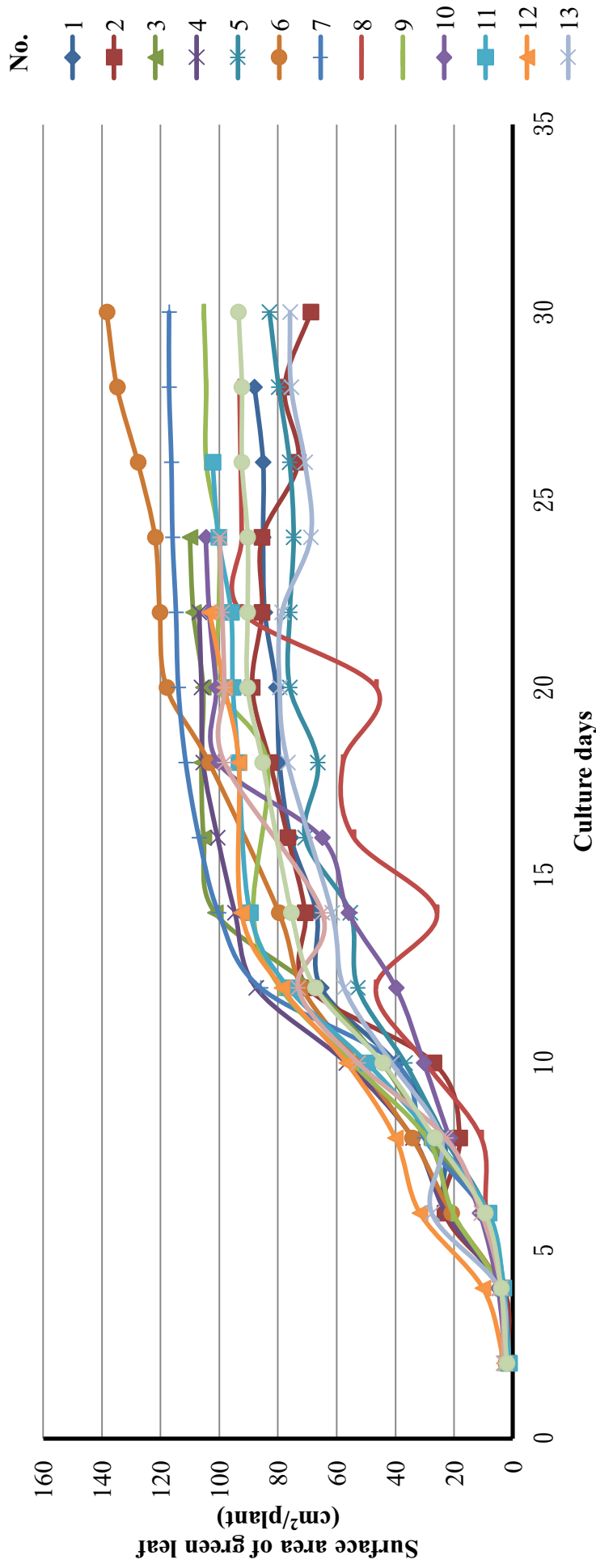


圖 15. 青蔥‘黑葉’於霧耕栽培下每株蔥青表面積平均生長趨勢

Fig. 15. Average growth tendency of green leaf surface area per plant of green onion variety “Black Leaf” by fogponic

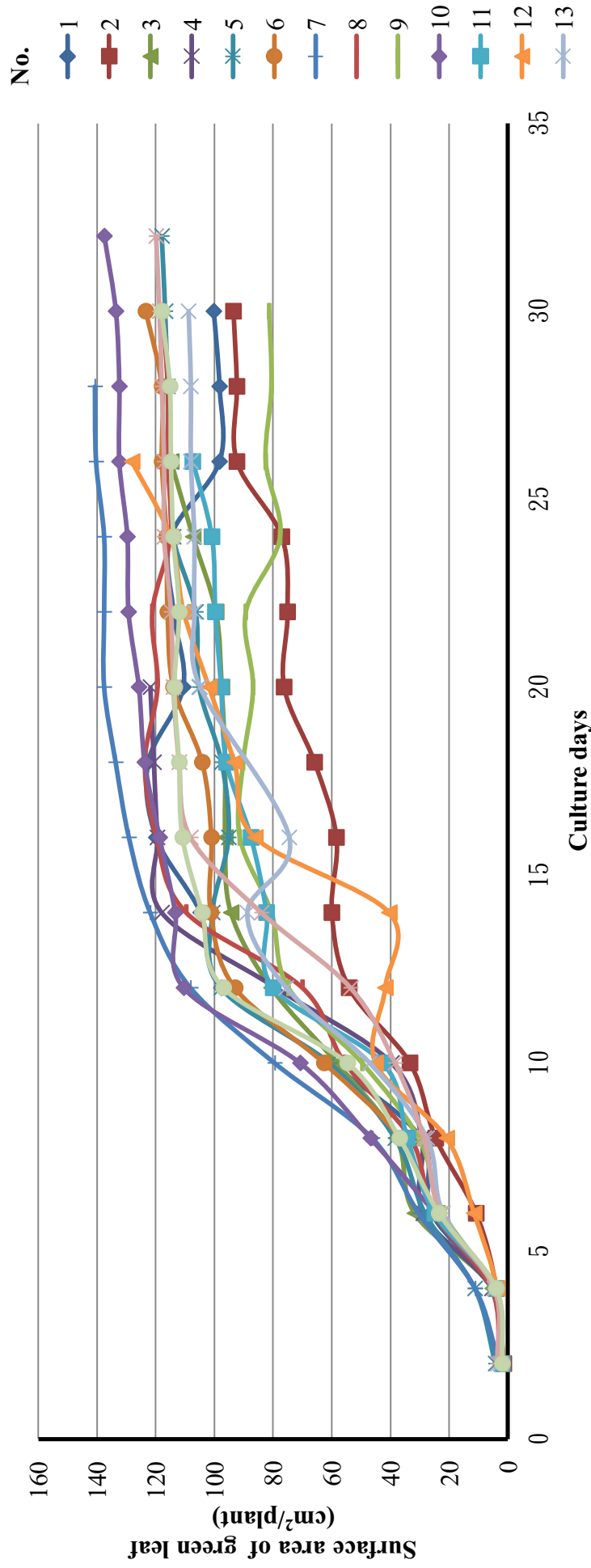


圖 16.青蔥‘黑葉’於水耕栽培下每株蔥青表面積平均生長趨勢

Fig. 16. Average growth tendency of green leaf surface area per plant of green onion variety “Black Leaf” by hydroponic

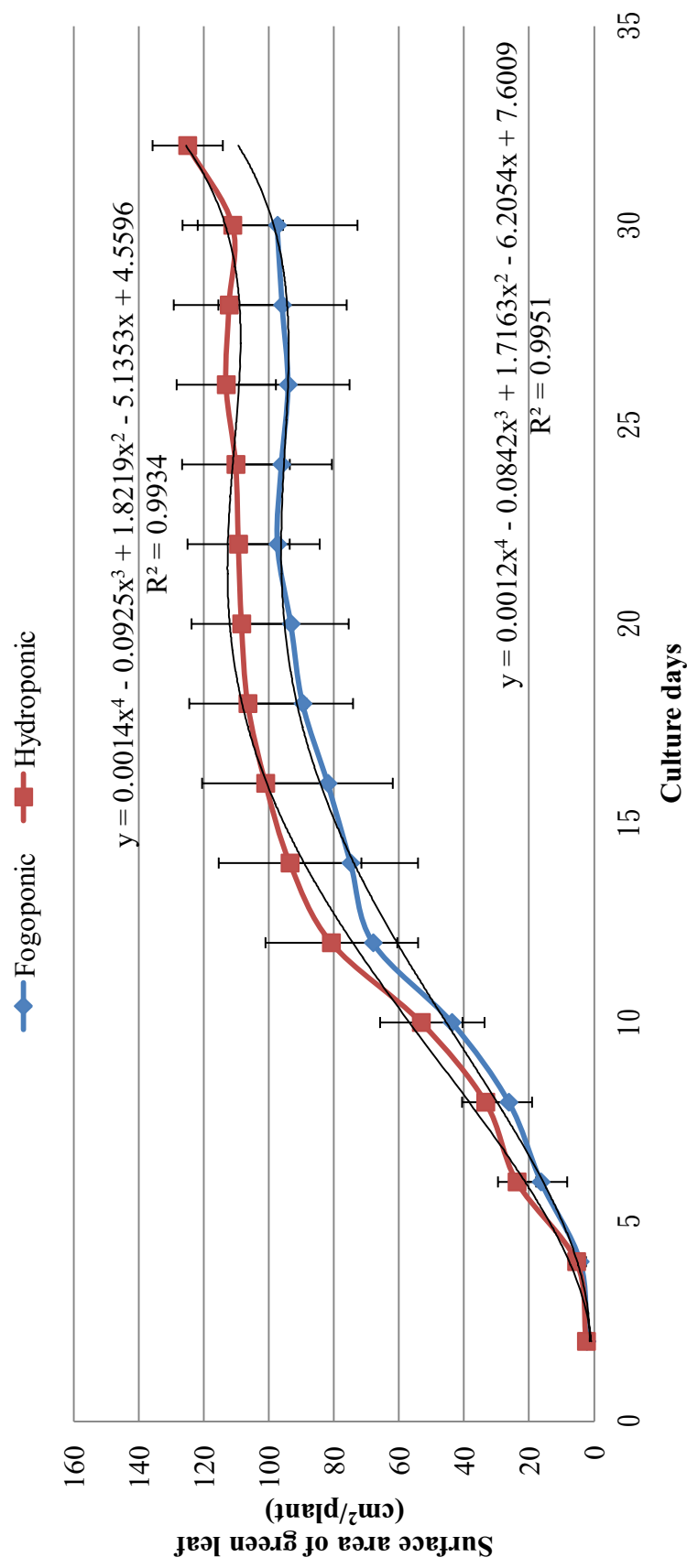


圖 17. 青蔥「黑葉」於霧耕及水耕栽培下蔥青表面積平均生長速 (n=15)

Fig. 17. Average growth rate of green leaf surface area per plant of green onion variety "Black Leaf" by fogponic and hydroponic (n=15)

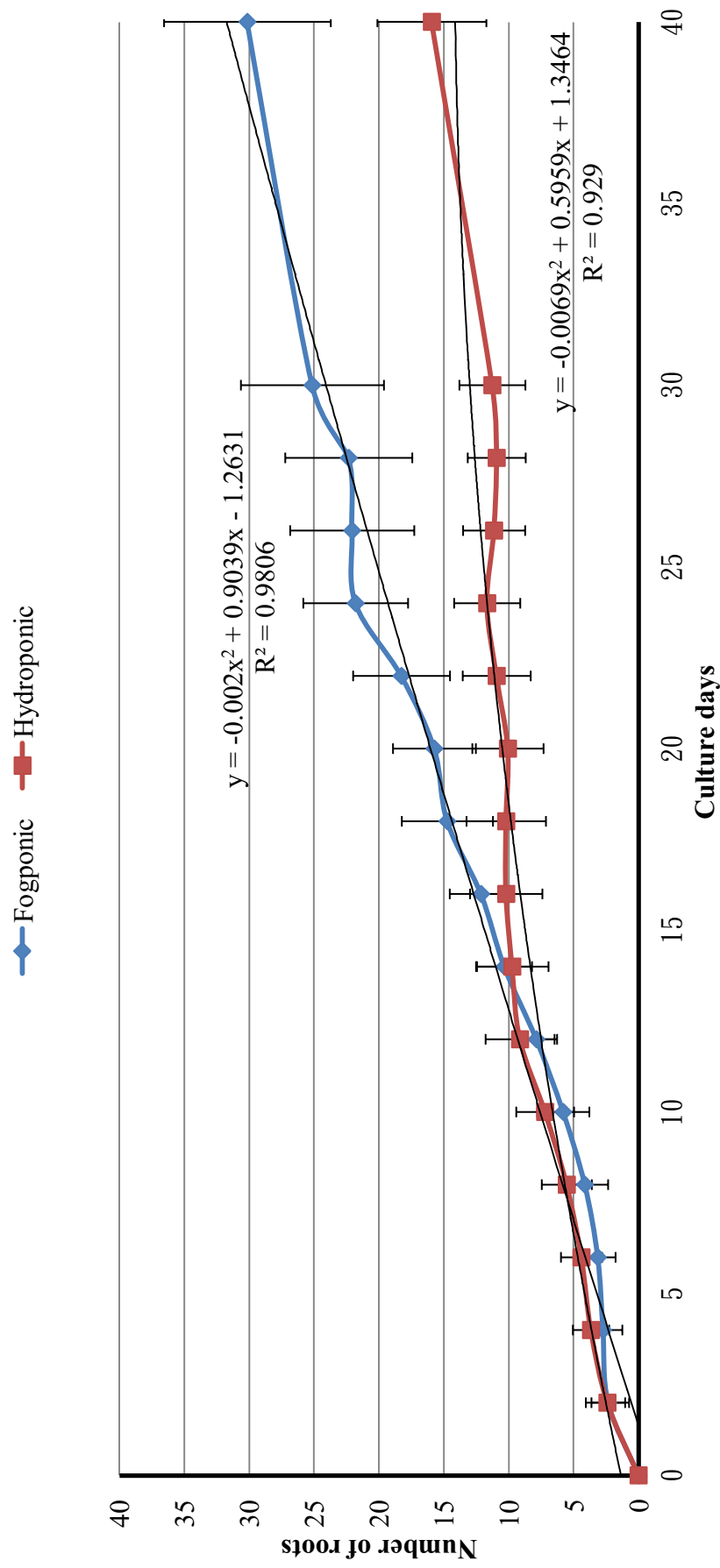


圖 18. 青蔥 '黑葉' 於霧耕及水耕栽培下根部生長速率 (n=15)

Fig. 18. Growth rate of root of green onion variety "Black Leaf" by fogponic and hydroponic (n=15)

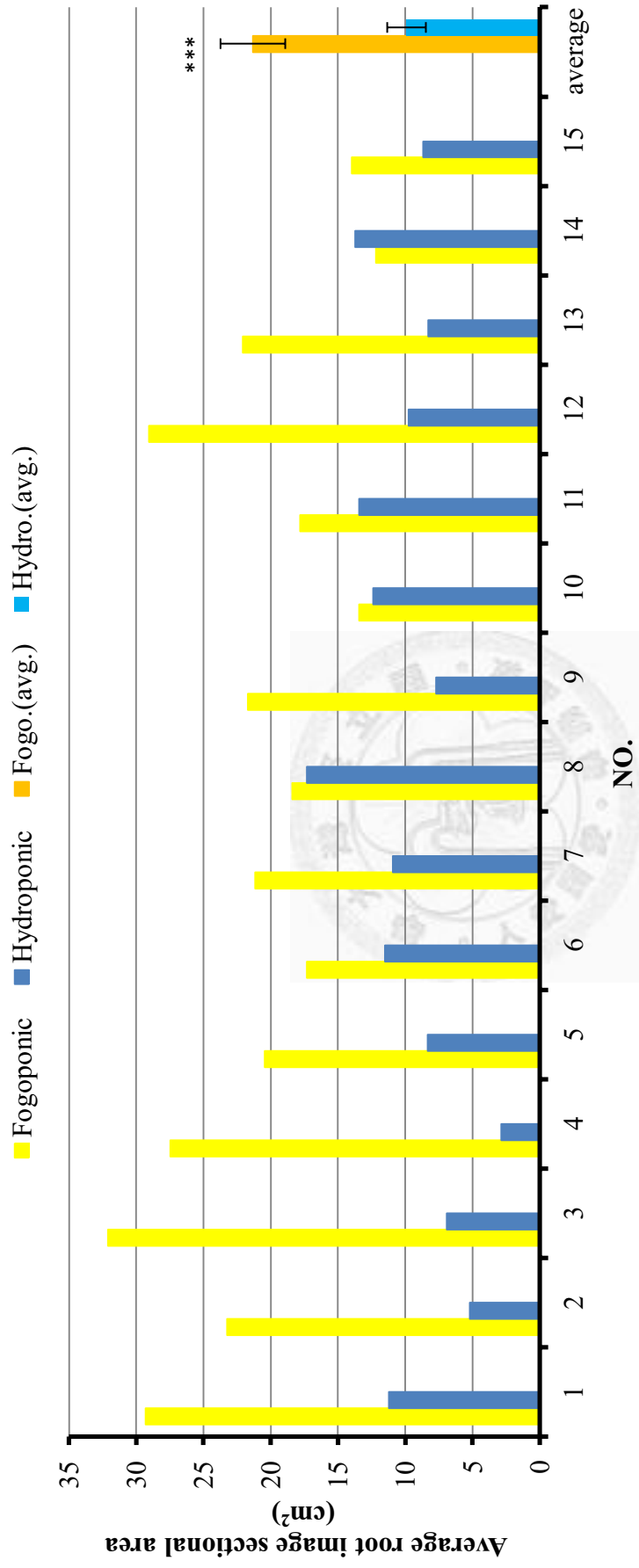


圖 19. 青蔥 ‘黑葉’ 於霧耕及水耕栽培下根部平均影像截面積， n=15，***：極顯著差異 (P<0.001，LSD=1.4821)

Fig. 19. Average root image sectional area of green onion variety “Black Leaf” by fogoponic and hydroponic



圖 20. 青蔥‘黑葉’於霧耕栽培下根部影像

Fig. 20. Root image of green onion variety “Black Leaf” by fogponic

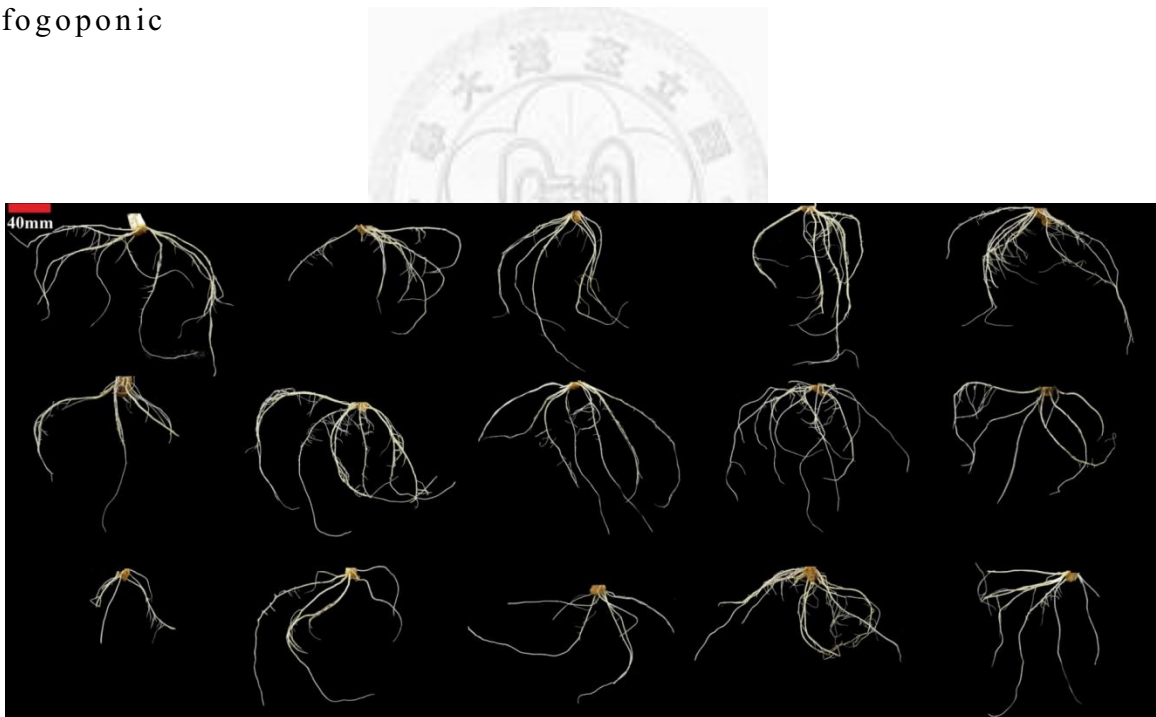


圖 21. 青蔥‘黑葉’於水耕栽培下根部影像

Fig. 21. Root image of green onion variety “Black Leaf” by hydroponic

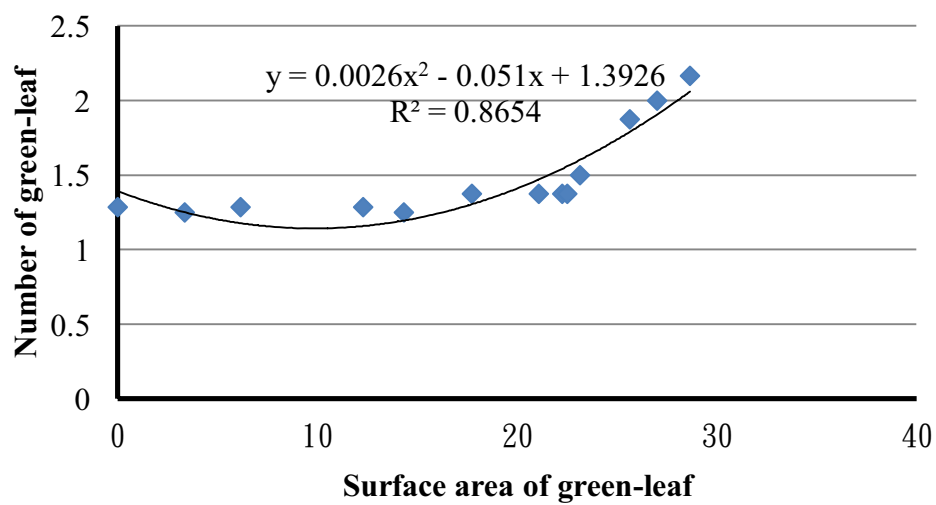
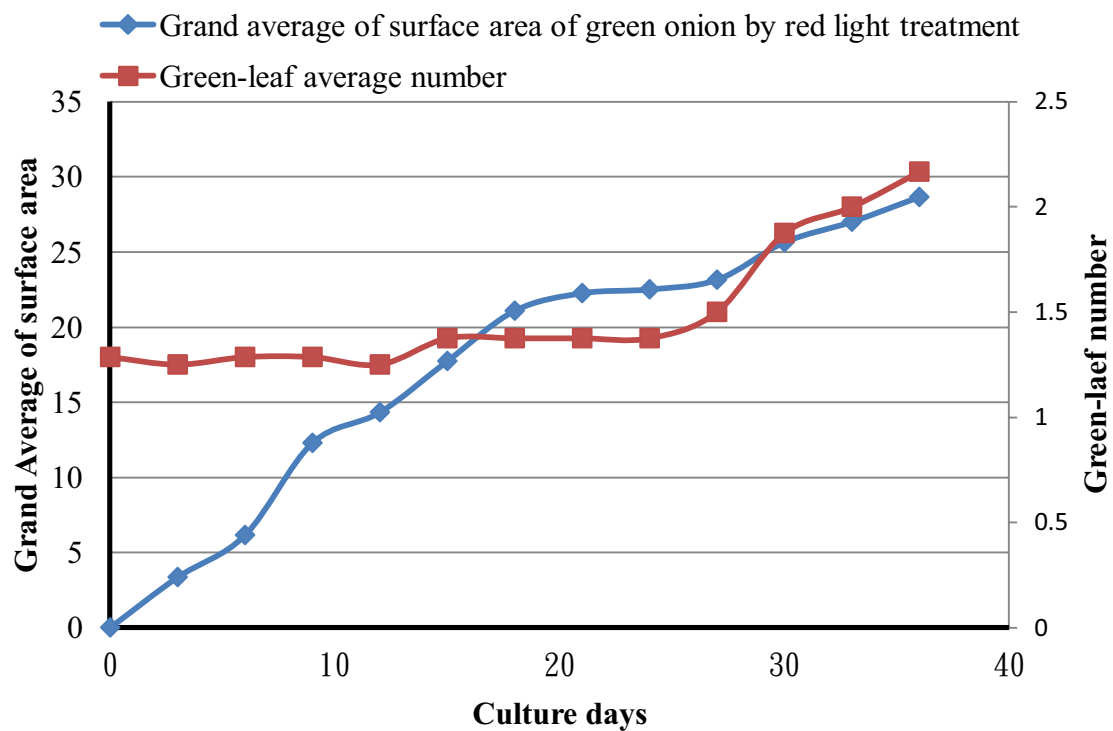


圖 22. 青蔥‘黑葉’全紅光栽培 40 天平均葉片數及平均蔥青表面積之相關性(n=8)

Fig. 22. The relation of between average leaf number and green-leaf average surface area of green onion variety "Black Leaf" by red light treatments during 40 days(n=8)

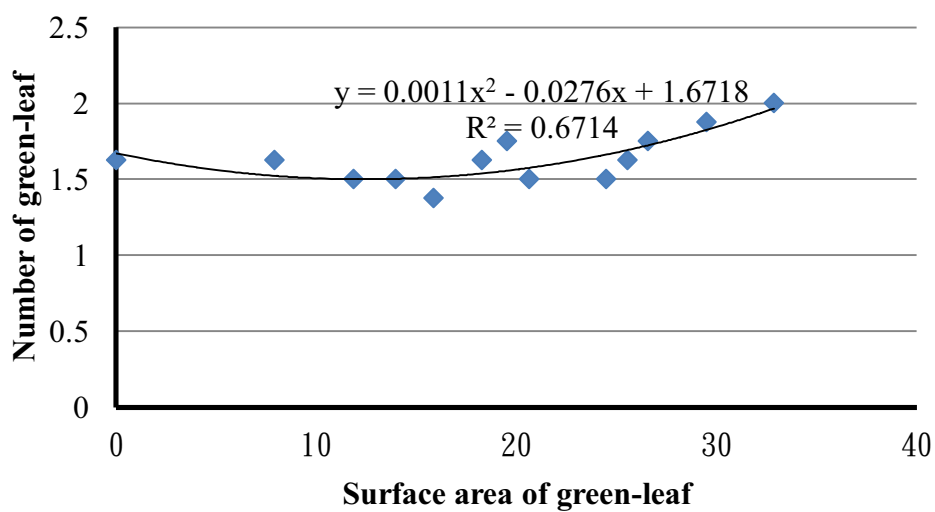
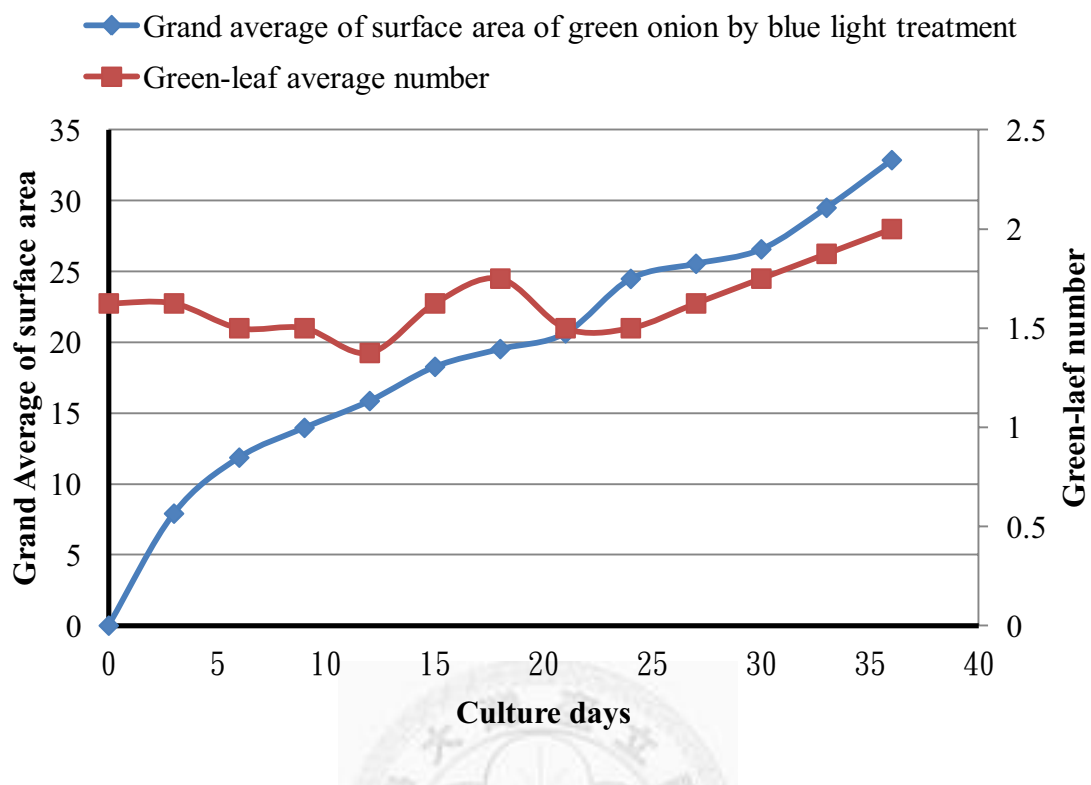


圖 23. 青蔥「黑葉」全藍光栽培 40 天平均葉片數及平均蔥青表面積之相關性(n=8)

Fig. 23. The relation of between average leaf number and green-leaf average surface area of green onion variety "Black Leaf" by blue light treatments during 40 days(n=8)

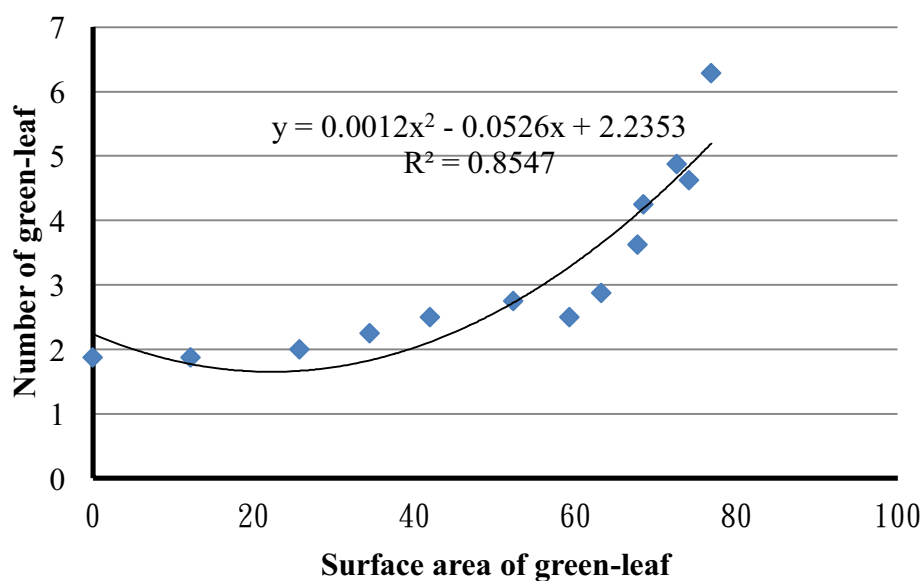
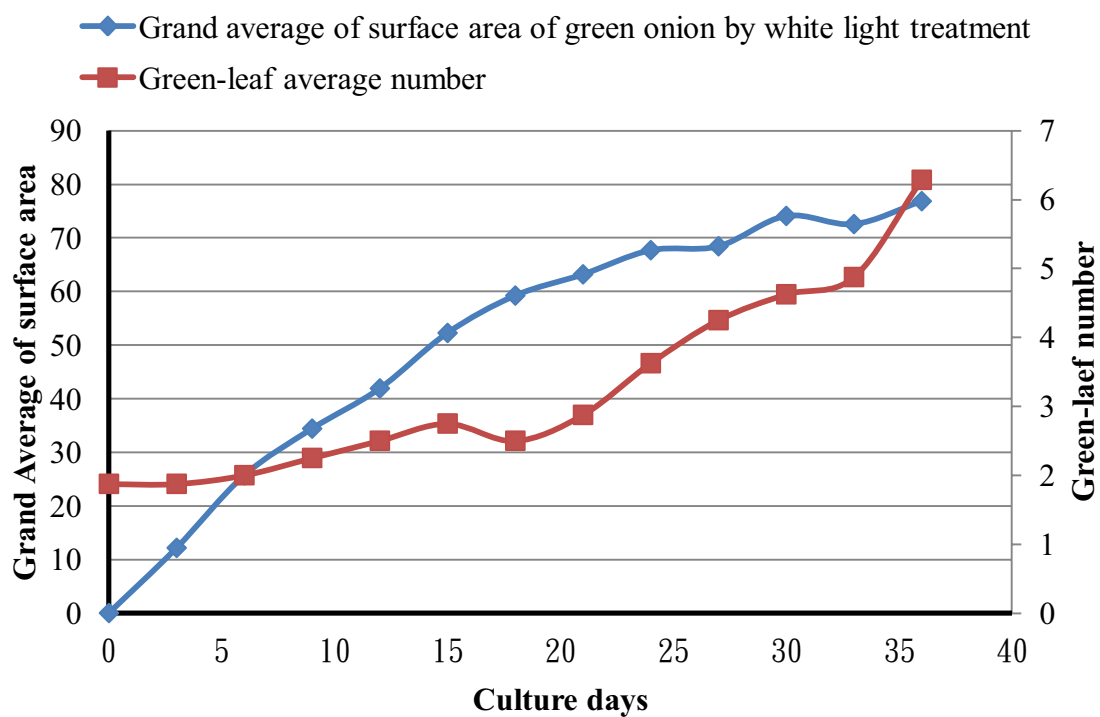


圖 24. 青蔥‘黑葉’全白光栽培 40 天平均葉片數及平均蔥青表面積之相關性(n=8)

Fig. 24. The relation of between average leaf number and green-leaf average surface area of green onion variety “Black Leaf” by white light treatments during 40 days(n=8)

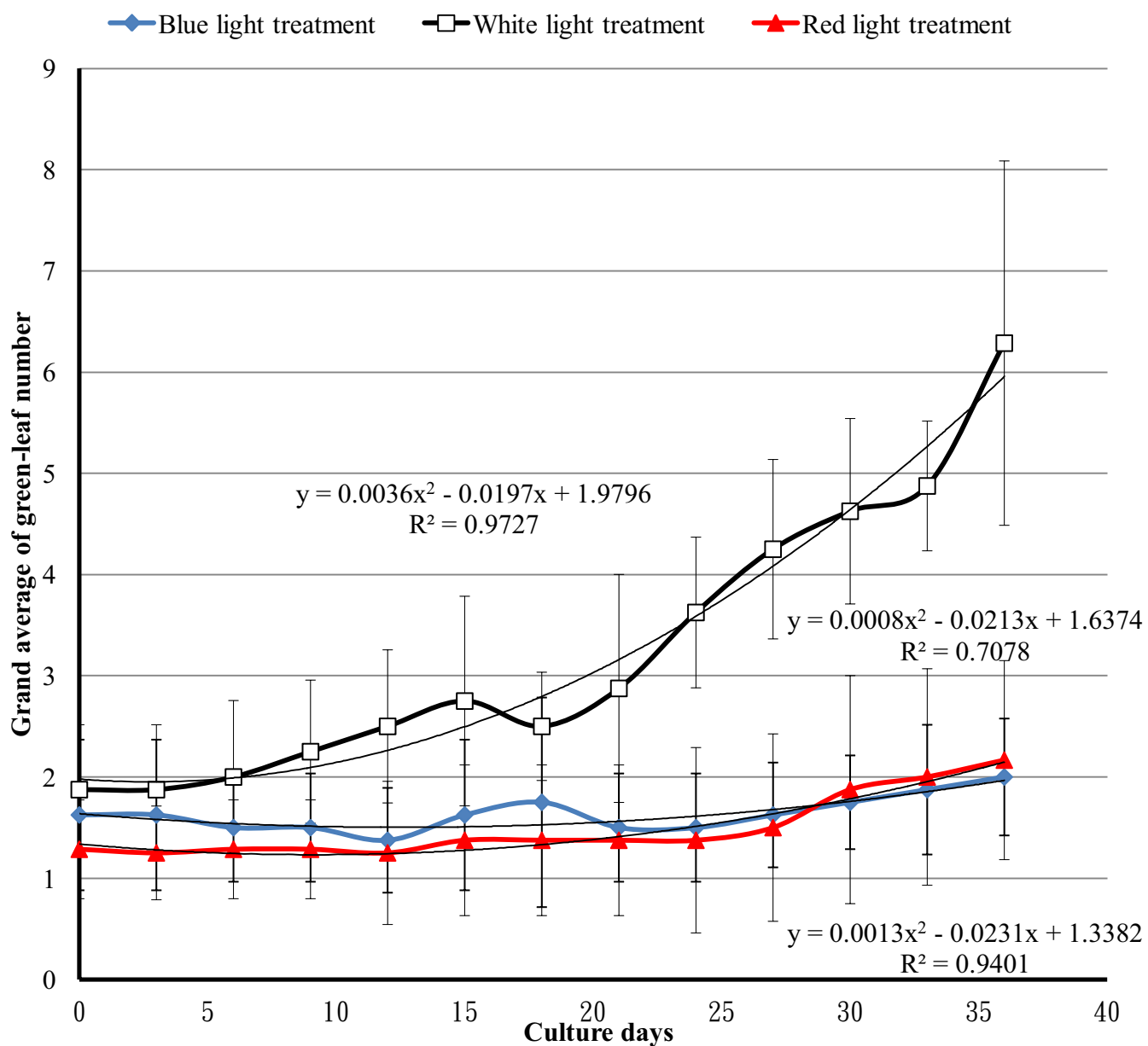


圖 25. 青蔥 '黑葉' 三種光質栽培 40 天平均葉片數

Fig. 25. Average leaf number of green onion variety "Black Leaf"

by three light treatments during 40 days(n=8)

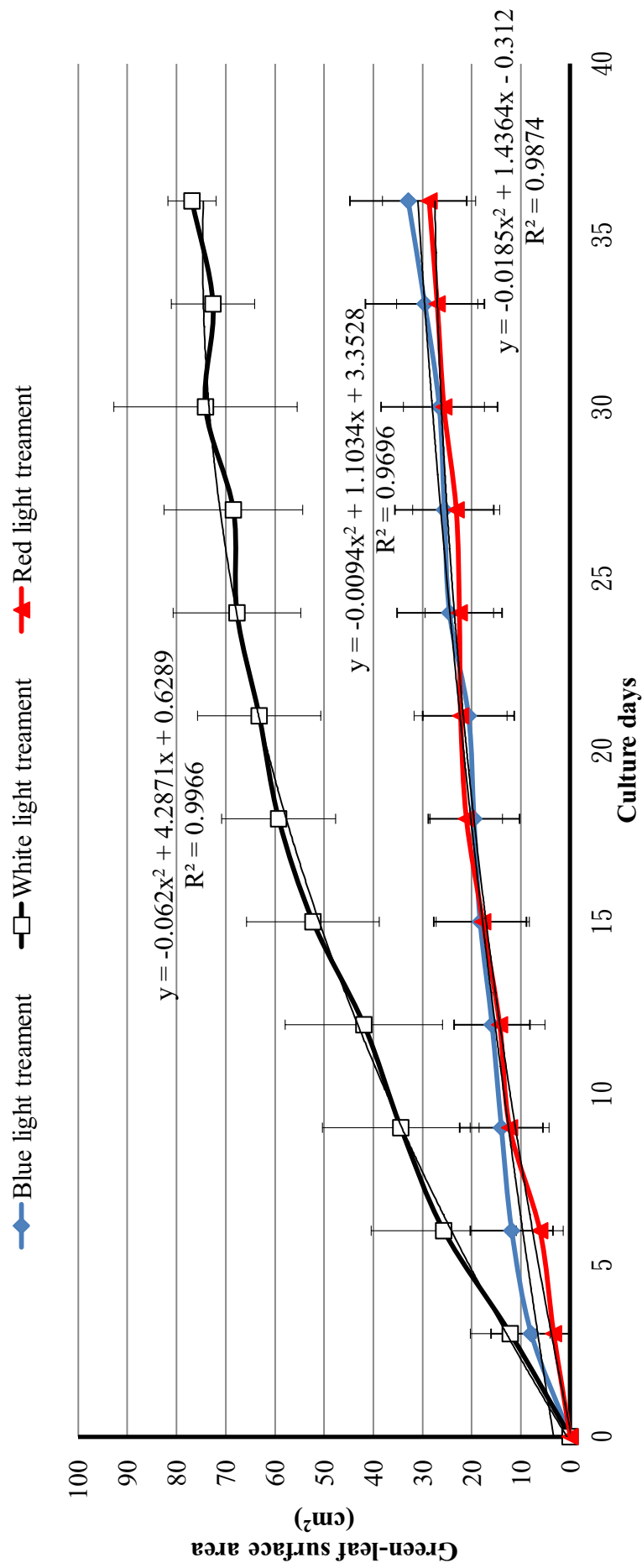


圖 26. 青蔥 '黑葉' 三種光質栽培 40 天平均蔥青表面積 (n=8)

Fig. 26. Green-leaf average surface area of green onion variety "Black Leaf" by three light treatments during

40 days (n=8)

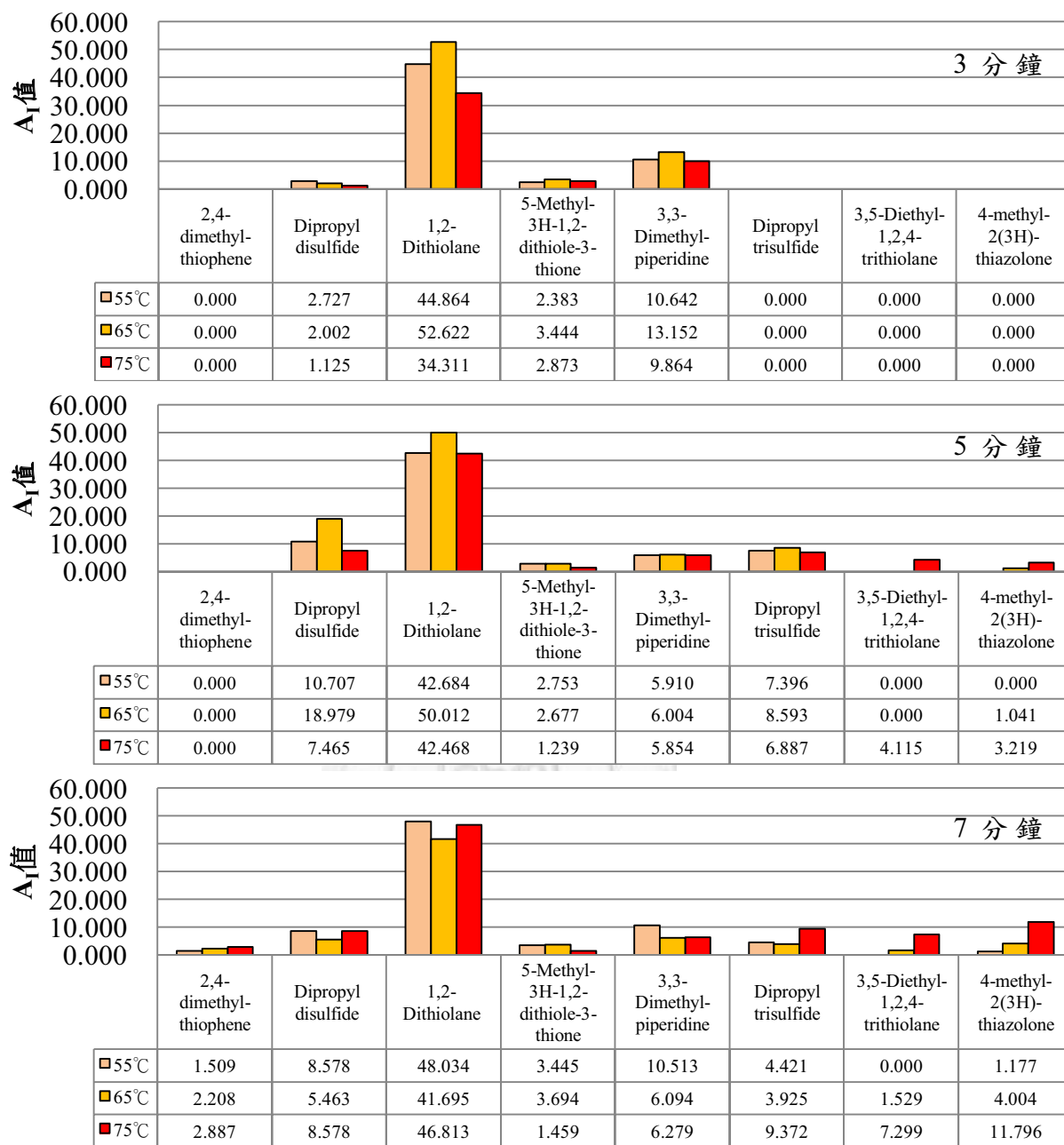


圖 27. SPME 於三種溫度下吸附 3、5 及 7 分鐘各成分之 A_I 指數，
 A_I （為參試樣品中成分含量指數）= A_{TC} （參試樣品中成分之總離子質譜層析圖之波峰面積）/ A_{IS} （參試樣品中內標準品之波峰面積）

Fig. 27. The index of A_I of each constituents of SPME absorbed 3, 5 and 7 minutes in three temperature regimes

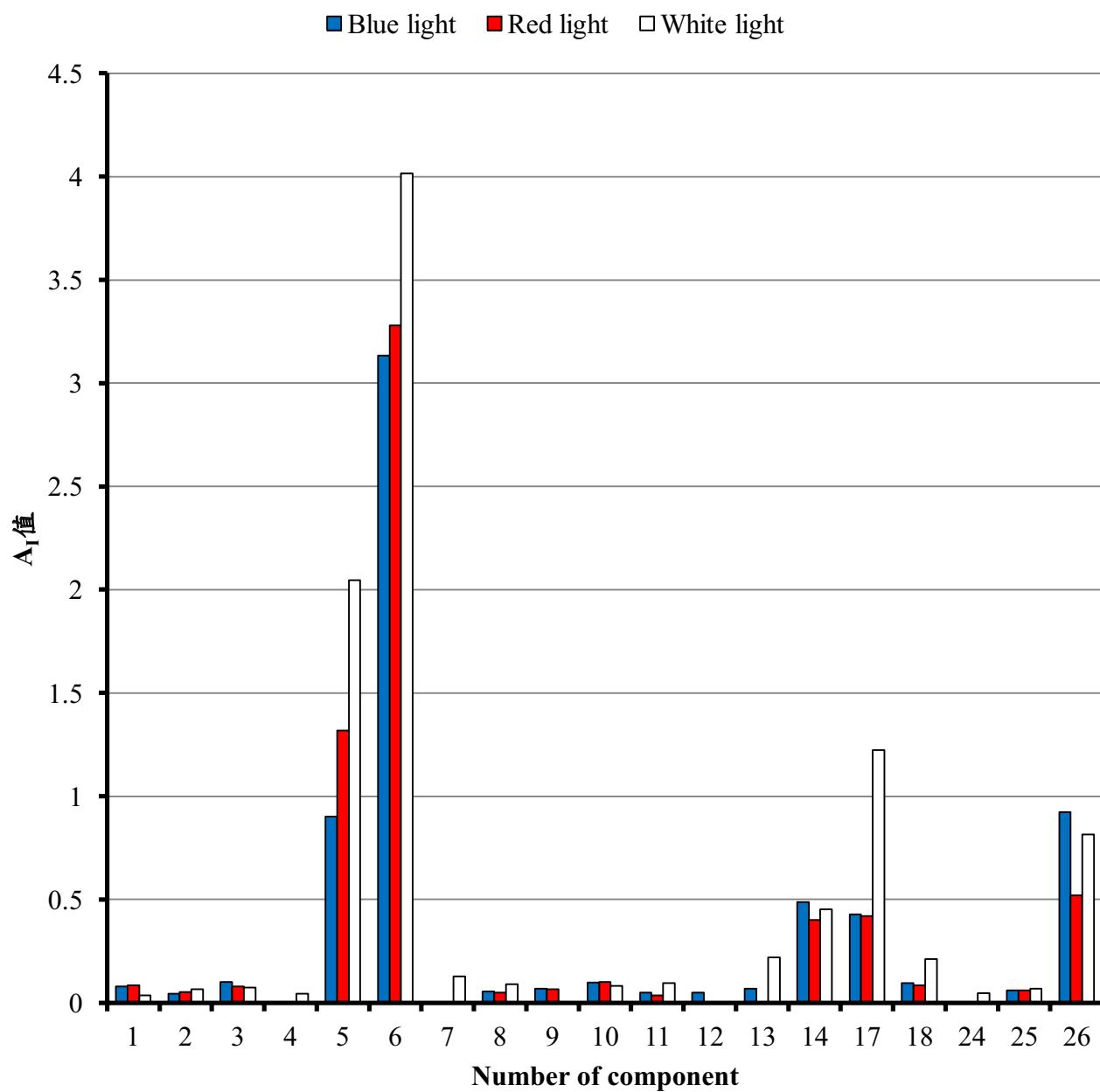


圖 28. 青蔥‘黑葉’於三種光質處理下，蔥青所含之 19 種揮發性成分之 A_I 值

Fig. 28. A_I value of 19 volatile components of green onion variety “Black Leaf” green-leaf under three light qualities treatments

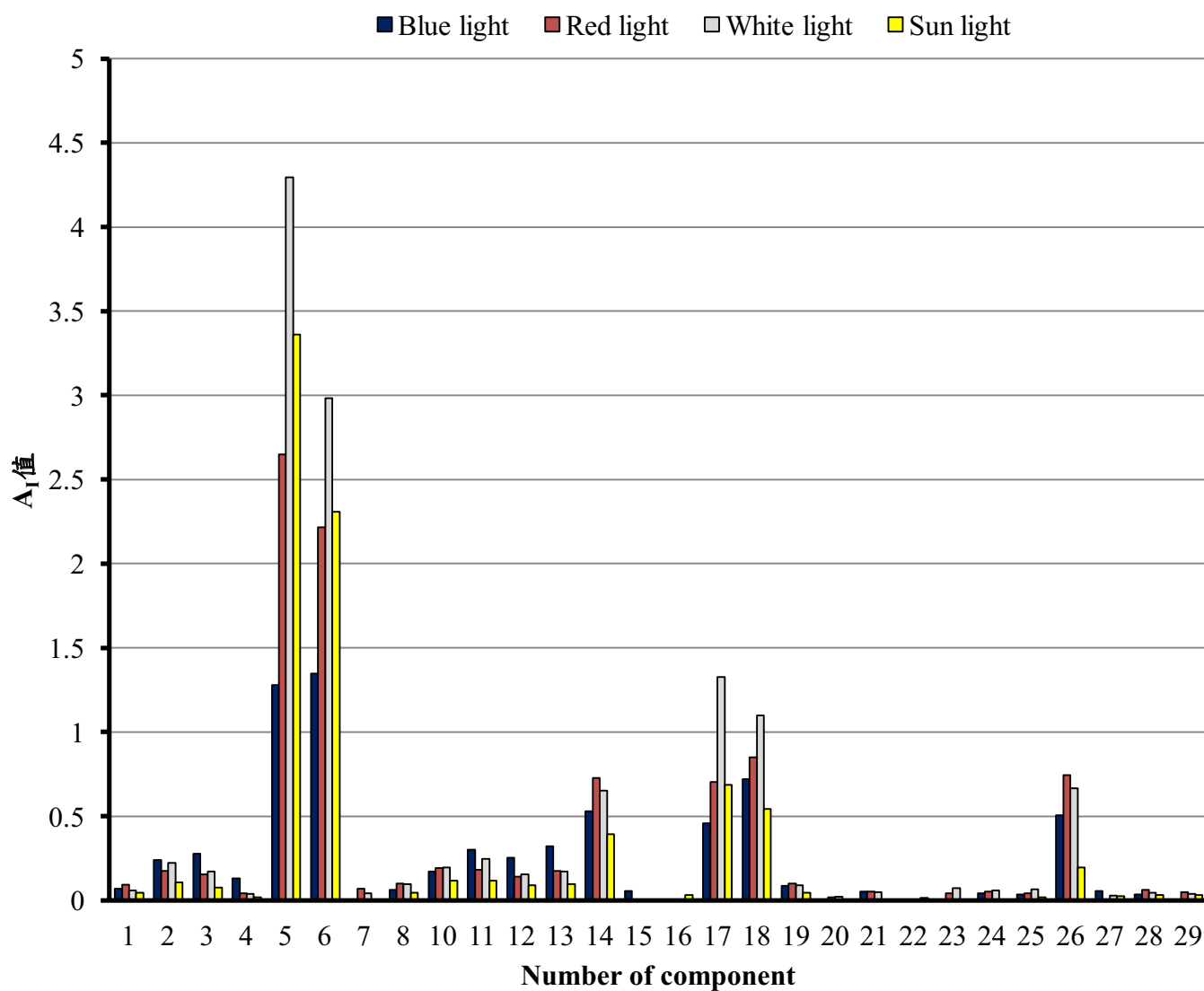


圖 29. 青蔥‘黑葉’於三種光質處理及自然光栽培下，根部所含之 28 種揮發性成分之 A_1 值(不包括編號 9)

Fig. 29. A_1 value of 28 volatile components of green onion variety “Black Leaf” root under three light qualities treatments and sun-light culture(not include No. 9)

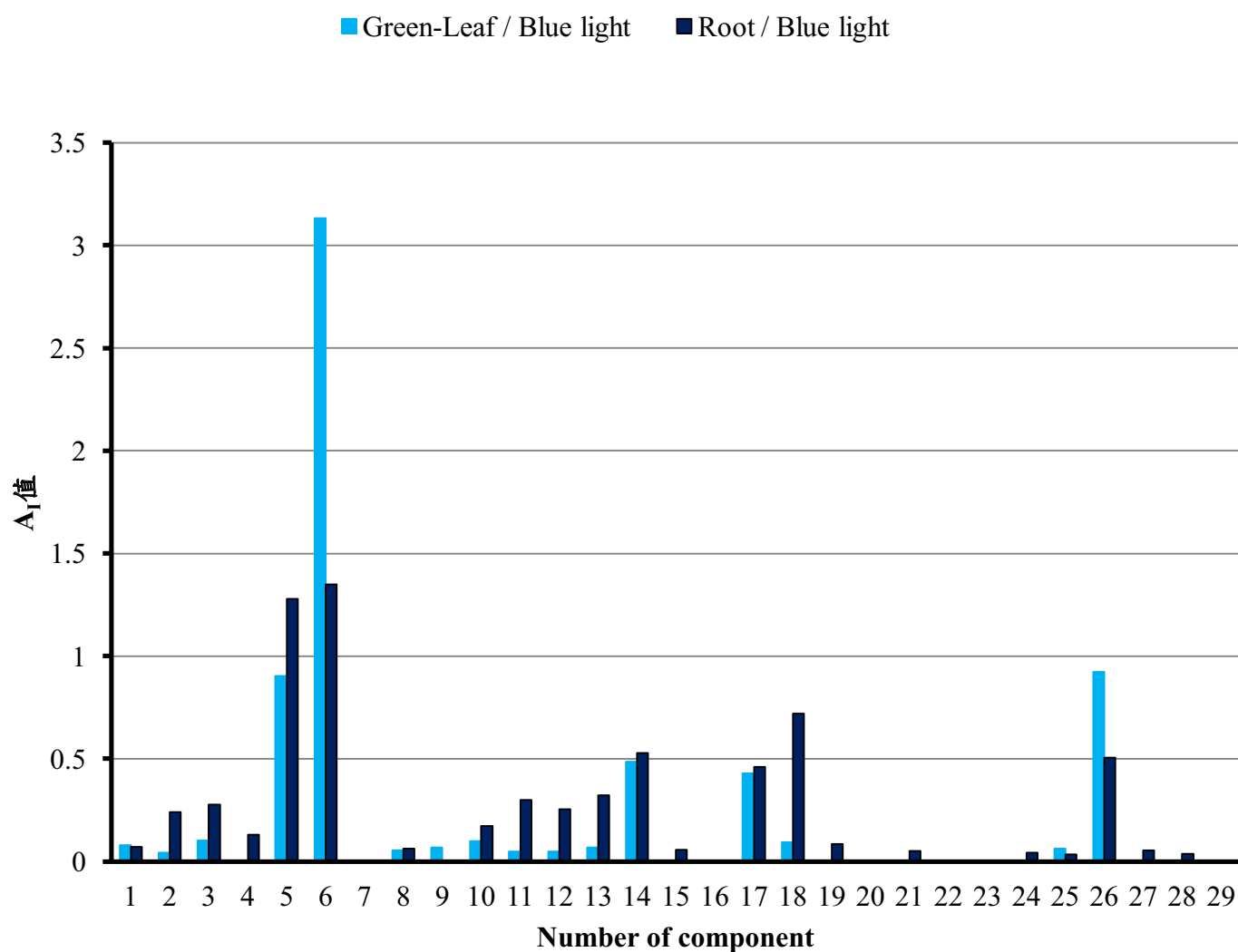


圖 30. 青蔥‘黑葉’於藍光處理下，蔥青與根部所含揮發性成分含量之比較

Fig. 30. Difference of volatile components of green onion variety “Black Leaf” green-leaf and root under blue light treatment

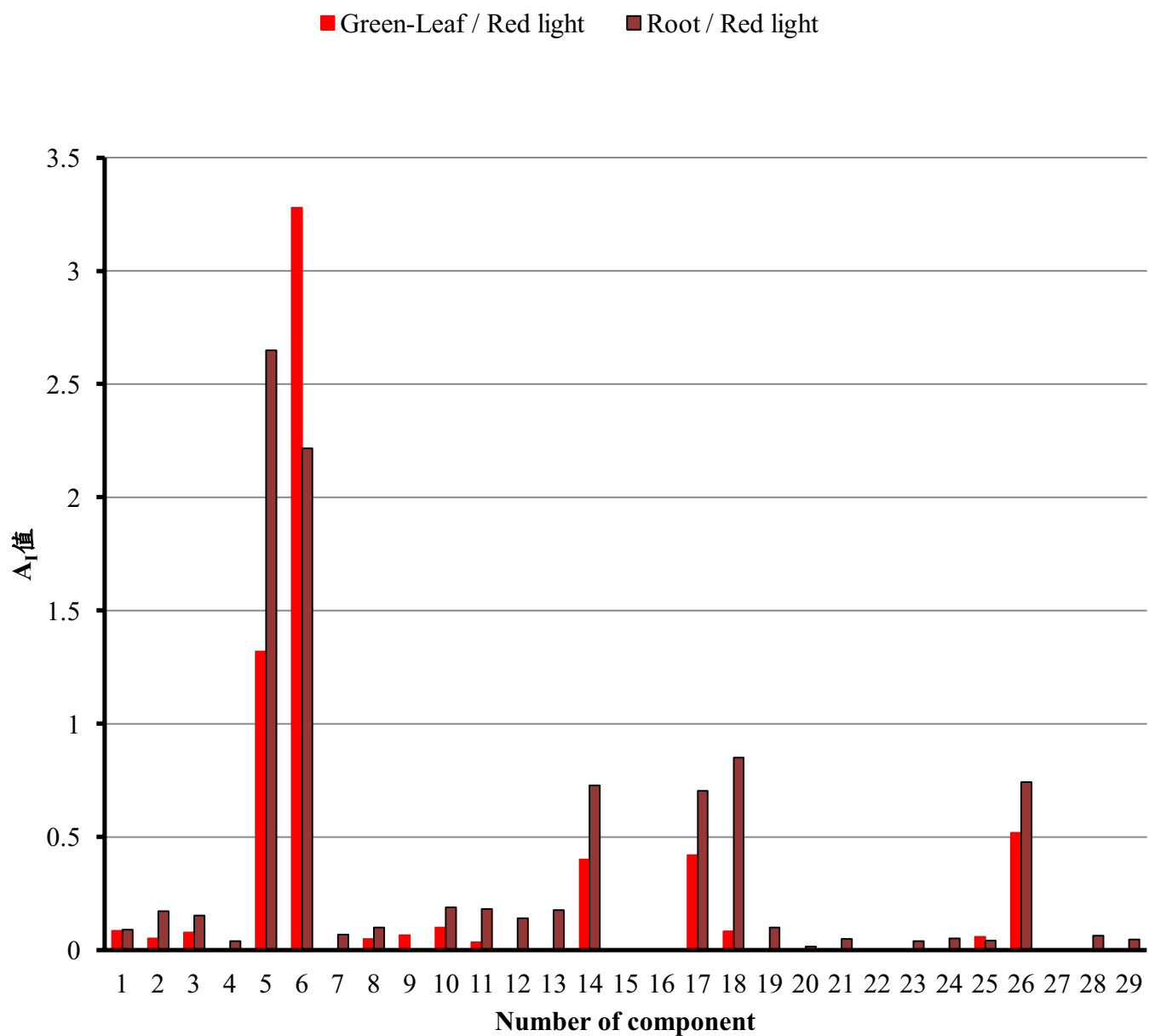


圖 31. 青蔥‘黑葉’於紅光處理下，蔥青與根部所含揮發性成分含量之比較

Fig. 31. Difference of volatile components of green onion variety “Black Leaf” green-leaf and root under red light treatment

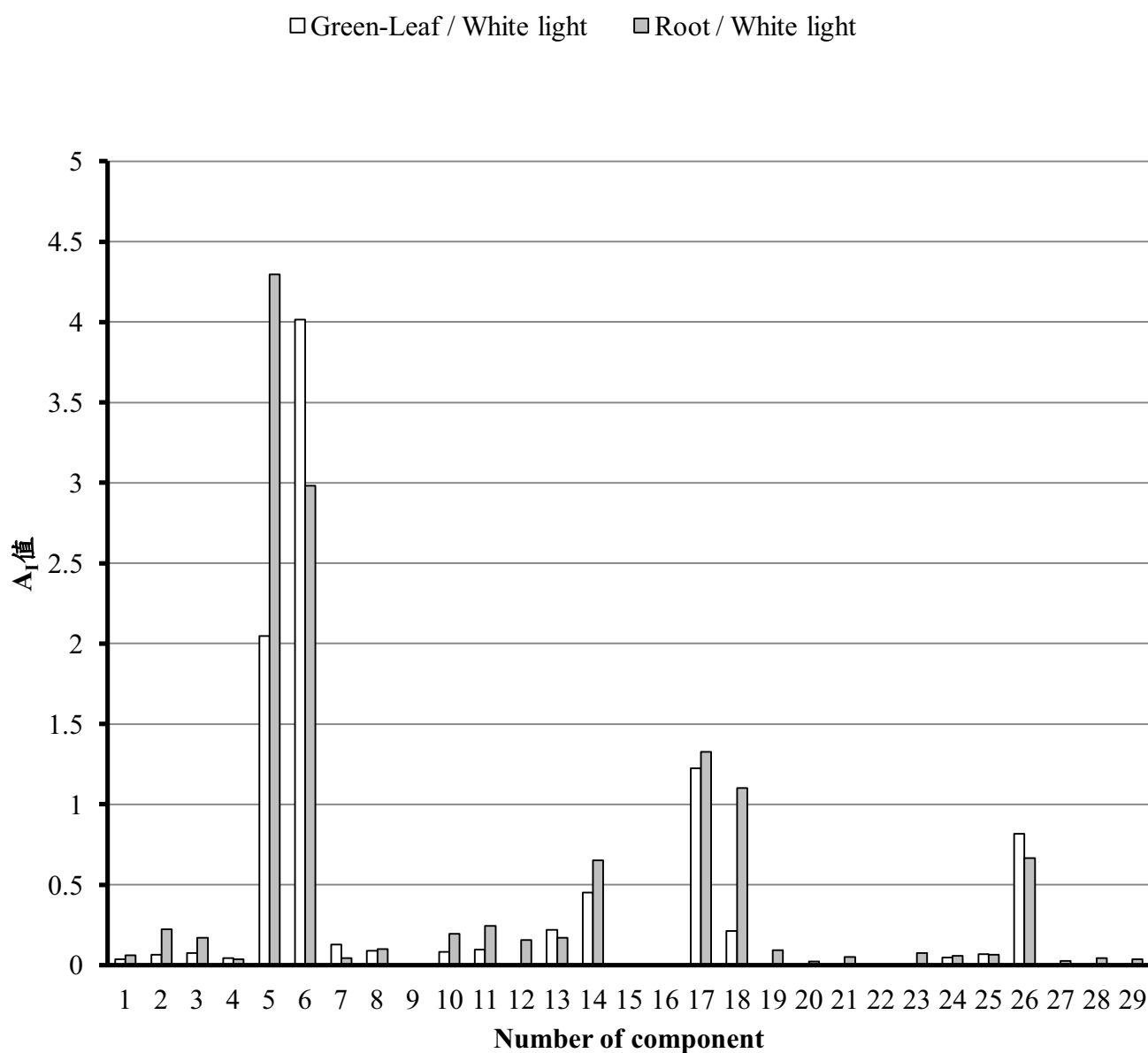
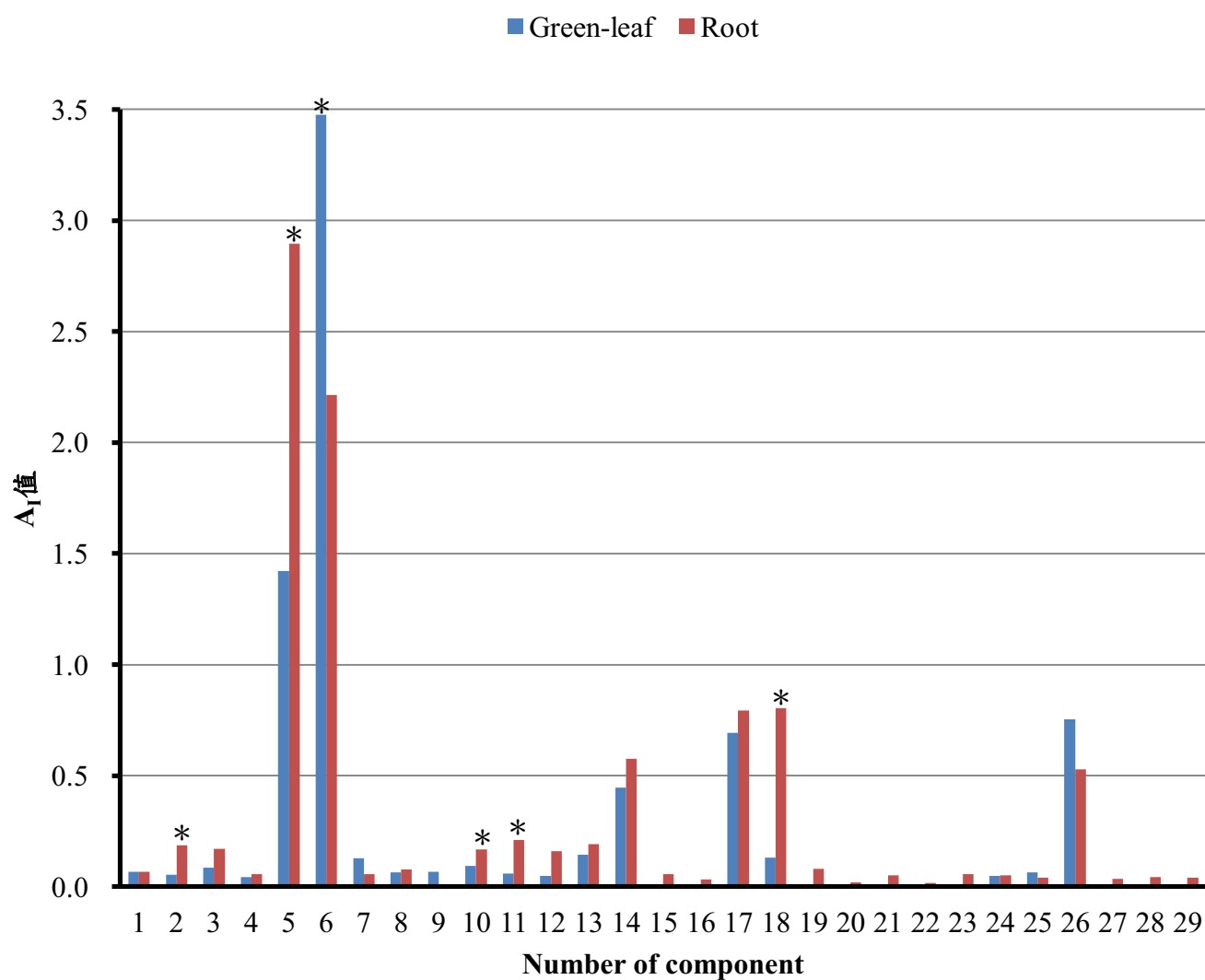


圖 32. 青蔥‘黑葉’於白光處理下，蔥青與根部所含揮發性成分含量之比較

Fig. 32. Difference of volatile components of green onion variety “Black Leaf” green-leaf and root under white light treatment



* : 顯著差異 ($P < 0.05$)

圖 33. 青蔥‘黑葉’蔥青與根揮發性成分平均含量之比較

Fig. 33. Difference of average content of volatile components of green onion variety "Black Leaf" green-leaf and root

表 1.不同數量的 LED 燈管之光強度(勒克斯及光量子流密度)

Table 1. The light intensity(lux and $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) of different number of Light-Emitting Diode lamps

Number of lamp	Lux	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
1	3019±76	46.16±0.9
2	6848±59	104.70±1.1
3	9838±98	150.42±0.7
4	14580±117	222.92±0.6
5	19320±148	295.40±0.4
6	23300±176	356.25±0.4
7	25460±120	389.28±0.5
8	28460±192	435.15±0.3
9	32900±175	503.04±0.4
10	35850±206	548.14±0.3
11	40100±183	613.12±0.4
12	46500±228	710.98±0.3

表 2. 八種揮發性成分含量各別於不同加熱吸附時間及加熱溫度
下最佳條件

Table 2. The eight volatile components, respectively under the best
conditions for the different heating adsorption times and heating
temperatures

2,4-Dimethyl-thiophene								
	3min		5min		7min		avg.	
55°C	-	-	-	-	1.509	-		
65°C	-	-	-	-	2.208	-		
75°C	-	-	-	-	2.887	-		
avg.								
Dipropyl disulfide								
	3min		5min		7min		avg.	
55°C	2.727	B	10.707	A	8.578	AB	7.337	ns
65°C	2.002	B	18.979	A	5.463	AB	8.815	ns
75°C	1.125	B	7.465	A	8.578	AB	5.722	ns
avg.	1.951	B	12.383	A	7.540	AB	LSD=6.77	
1,2-Dithiolane								
	3min		5min		7min		avg.	
55°C	44.864	ns	42.684	ns	48.034	ns	45.194	ns
65°C	52.622	ns	50.012	ns	41.695	ns	48.110	ns
75°C	34.311	ns	42.468	ns	46.813	ns	41.197	ns
avg.	43.932	ns	45.055	ns	45.514	ns	LSD=9.0832	
5-Methyl-3H-1,2-dithiole-3-thione								
	3min		5min		7min		avg.	
55°C	2.383	Bb	2.753	Bb	3.445	Ab	2.860	b
65°C	3.444	Ba	2.677	Ba	3.694	Aa	3.272	a
75°C	-	-	-	-	-	-	-	-
avg.	2.913	B	2.715	B	3.569	A	LSD=0.4049	
3,3-Dimethyl-piperidine								
	3min		5min		7min		avg.	
55°C	10.642	A	5.910	B	10.513	B	9.022	ns
65°C	13.152	A	8.004	B	6.094	B	9.083	ns
75°C	9.864	A	5.854	B	6.279	B	7.332	ns
avg.	11.219	A	6.589	B	7.629	B	LSD=1.9076	

Dipropyl trisulfide								
	3min		5min		7min			
55°C	-	-	7.396	ns	4.421	ns	5.908	ns
65°C	-	-	8.593	ns	3.925	ns	6.259	ns
75°C	-	-	6.887	ns	9.372	ns	8.130	ns
avg.			7.625	ns	5.906	ns	LSD=1.8823	
3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane								
	3min		5min		7min		avg.	
55°C	-	-	-	-	-	-	-	-
65°C	-	-	0.862	Bb	1.529	Ab	1.196	b
75°C	-	-	4.115	Ba	7.299	Aa	5.707	a
avg.	-	-	2.488	B	4.414	A	LSD=0.2923	
4-Methyl-2(3H)-thiazolone								
	3min		5min		7min		avg.	
55°C	-	-	1.177	Bc	1.177	Ac	1.177	c
65°C	-	-	2.083	Bb	4.004	Ab	3.043	b
75°C	-	-	6.438	Ba	11.796	Aa	9.117	a
avg.	-	-	3.233	B	5.659	A	LSD=0.1942	



表 3. 蔥青及根部全部揮發性成分之平均滯留時間

Table 3. Average retention time(A.R.T.) of all volatile components of green-leaf and root

Peak no.	Composition	Green leaf of A.R.T.	Root of A.R.T.
1	2,4-Dimethylthiophene	7.90	7.98
2	Methyl propyl disulfide	8.36	8.35
3	Methyl 2-propenyl disulfide	8.54	8.54
4	Dimethyl trisulfide	9.30	9.33
5	Dipropyl disulfide	12.61	12.58
6	1,2-Dithiolane	12.75	12.76
7	5-Methyl-3H-1,2-dithiole-3-thione	12.84	12.87
8	2-Vinyl-1,3-dithiane	13.00	13.00
9	3-(Methylthio)propanoic acid ethyl ester	13.06	-
10	3,3-Dimethyl-piperidine	13.24	13.24
11	2-[(methylthio)ethynyl]-thiophene	13.71	13.72
12	(Z)-1-(methylthio)-1-propene	14.01	13.99
13	(E)-1-(methylthio)-1-propene	14.12	14.12
14	Dimethyl ester 2-propenyl-propanedioic acid	14.56	14.57
15	Dimethyl tetrasulfide	-	15.81
16	Acetate 3,7-dimethyl-2,6-Octadien-1-ol	-	17.80
17	Dipropyl trisulfide	19.55	19.56
18	3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane	19.90	19.92
19	2-Amino-5-methyl-thiazole	-	20.16
20	Ethanethioamide	-	21.70
21	Tetrahydro-thiazole	-	22.08
22	Dodecamethyl-Pentasiloxane	-	22.63
23	m-Aminophenylacetylene	-	24.66
24	Ethenyldimethoxymethyl-silane	24.77	24.78
25	4-Methyl-2(3H)-thiazolone	24.89	24.90
26	3,5-Dinitro-benzoic acid	25.23	25.24
27	3-Isopropyl-4-methyl-dec-1-en-4-ol	-	25.37
28	5-Ethyl-2,2-dimethyl-1,3-dioxane	-	27.74
29	N-Methoxy-N-methylamonodifluorophosphine	-	28.05

表 4. 蔥青的 19 種揮發性成分含量各別於三種光質處理下之差異性

Table 4. Difference of 19 volatile components of green-leaf, respectively under three light qualities treatments

Peak No.	Composition	Light			LSD	
		Blue	Red	White	(α=0.05)	
1	2,4-Dimethylthiophene	0.0784 ns	0.0857 ns	0.0354 ns	ns	
2	Methyl propyl disulfide	0.0435	0.0526	0.0654		
3	Methyl 2-propenyl disulfide	0.1018 a	0.0799 b	0.074 b	b	0.0447
4	Dimethyl trisulfide	-	-	0.0437		
5	Dipropyl disulfide	0.9027 b	1.3194 ab	2.0465 a	a	0.0332
6	1,2-Dithiolane	3.1325 b	3.2786 b	4.0145 a	a	0.601
7	5-Methyl-3H-1,2-dithiole-3-thione	-	-	0.1275		
8	2-Vinyl-1,3-dithiane	0.0535 b	0.05 b	0.09 a	a	0.0321
9	3-(Methylthio)propanoic acid ethyl ester	0.0675	0.0661	-		
10	3,3-Dimethyl-piperidine	0.0989 ns	0.1011 ns	0.0822 ns	ns	
11	2-[(methylthio)ethynyl]-thiophene	0.0483	0.0351	0.0944		
12	(Z)-1-(methylthio)-1-propene	0.0491	-	-		
13	(E)-1-(methylthio)-1-propene	0.0679	-	0.2197		
14	Dimethyl ester 2-propenyl-propanedioic acid	0.4867 ns	0.4019 ns	0.4522 ns	ns	
17	Dipropyl trisulfide	0.4289 b	0.4212 b	1.2248 a	a	0.3467
18	3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane	0.0939 b	0.0845 b	0.2121 a	a	0.1076
24	Ethenyldimethoxymethyl-silane	-	-	0.047756		
25	4-Methyl-2(3H)-thiazolone	0.0613 ns	0.0594 ns	0.0692 ns	ns	
26	3,5-Dinitro-benzoic acid	0.9242 a	0.5192 b	0.8159 ab	ab	0.3132

表 5. 根部的 28 種揮發性成分含量各別於三種光質處理及自然光栽培下之差異性

Table 5. Difference of 19 volatile components of root under three light qualities treatments and sun-light culture

Peak No.	Composition	Light				LSD	
		Blue	Red	White	Sun	(α=0.05)	
1	2,4-Dimethylthiophene	0.070	ab	0.059	ab	0.046	b
2	Methyl propyl disulfide	0.240	a	0.173	ab	0.106	b
3	Methyl 2-propenyl disulfide	0.277	a	0.154	bc	0.076	c
4	Dimethyl trisulfide	0.129	a	0.041	b	0.019	b
5	Dipropyl disulfide	1.278	c	2.648	bc	4.295	a
6	1,2-Dithiolane	1.348	b	2.216	ab	2.308	ab
7	5-Methyl-3H-1,2-dithiole-3-thione	-	0.070	ns	ns	-	-
8	2-Vinyl-1,3-dithiane	0.063	ab	0.100	a	0.046	b
10	3,3-Dimethyl-piperidine	0.172	ns	0.190	ns	0.116	ns
11	2-[(methylthio)ethynyl]-thiophene	0.300	a	0.183	bc	0.245	ab
12	(Z)-1-(methylthio)-1-propene	0.254	a	0.142	b	0.155	b
13	(E)-1-(methylthio)-1-propene	0.322	a	0.176	b	0.171	b
14	Dimethyl ester 2-propenyl-propanedioic acid	0.529	ab	0.727	a	0.652	ab
15	Dimethyl tetrasulfide	0.056	-	-	-	-	-
16	Acetate 3,7-dimethyl-2,6-Octadien-1-ol	-	-	-	-	0.032	-
17	Dipropyl trisulfide	0.459	b	0.704	b	1.327	a
18	3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane	0.719	ab	0.851	ab	1.100	a
19	2-Amino-5-methyl-thiazole	0.085	a	0.100	a	0.091	a

20	Ethanethioamide	-	0.017	ns	0.022	ns	-
21	Tetrahydro-thiazole	0.051	ns	0.051	ns	0.049	-
22	Dodecamethyl-Pentasiloxane	-	-	-	-	-	0.016
23	m-Aminophenylacetylene	-	0.040	ns	0.073	ns	-
24	Ethenyldimethoxymethyl-silane	0.042	ns	0.052	ns	0.058	-
25	4-Methyl-2(3H)-thiazolone	0.034	bc	0.043	ab	0.064	a 0.017 c 0.021
26	3,5-Dinitro-benzoic acid	0.506	a	0.743	a	0.666	a 0.195 b 0.280
27	3-Isopropyl-4-methyl-dec-1-en-4-ol	0.054	a	-	0.027	b	0.023 b 0.020
28	5-Ethyl-2,2-dimethyl-1,3-dioxane	0.036	b	0.064	a	0.044	ab 0.033 b 0.023
29	N-Methoxy-N-methylamonodifluorophosphine	-	0.049	ns	0.037	ns	0.033 ns



伍、結論

藉由人工光源光強度條件之確立可以得知，栽種青蔥四季蔥地方品系‘黑葉’時，人工光源，可以 $385.5 \pm 27.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (相當於 $25,215 \pm 1,818 \text{ lux}$) 為基準。根據霧耕及水耕栽培模式試驗得知，霧耕栽培較水耕栽培可提升根部產量(總生物產量亦有提升)，且減少耗水量。而在白光栽培下，平均葉片生長量與表面積生長量較佳。GC-MS 分析前之處理，‘黑葉’新鮮葉片，以 75°C 加熱溫度，配合加熱吸附 7 分鐘為佳；分析結果，‘黑葉’蔥青於三種光質下栽培，藍光栽培，可使 3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane 含量增加，白光栽培時，Dipropyl disulfide、1,2-Dithiolane 及 Dipropyl trisulfide 成分含量相對較高，紅光栽培時，各揮發性成分皆不提升；根部揮發性成分種類比蔥青多，Methyl propyl disulfide、Dipropyl disulfide、3,3-Dimethyl-piperidine、2-[(methylthio)ethynyl]-thiophene 及 3,5-Diethyl-1,2,4-trithiolane 這五種成分含量，於根部大於蔥青。

只有 1,2-Dithiolane 含量，蔥青大於根部。在藍光栽培下，根部內 Methyl 2-propenyl disulfide、Dimethyl trisulfide、(Z)-1-(methylthio)-1-propene、(E)-1-(methylthio)-1-propene 及 3-Isopropyl-4-methyl-dec-1-en-4-ol 這五種成分含量較高，白光栽培下以 Dipropyl disulfide 和 Dipropyl trisulfide 含量較高，於紅光栽培下，根部各揮發性成分皆較低。另外，與溫室內自然光栽種的根部比較下，三種處理的揮發性成分大多高於自然光栽種者。

室內栽培，以霧耕栽培青蔥，則搬運重量比介質耕減少，又比水耕節省水，更提高根系產量，搭配不同光質，可使特定揮發

性成分含量提高。未來若進一步了解蔥青及根部揮發性成分之關係及光質比例對揮發性成分之影響，則可提升青蔥利用率，例如：應用根部替代蔥青於食品加工上，或是於有效性成分萃取上。



陸、參考文獻

1. 丁文彥. 1993 蘭陽地區青蔥栽培土壤酸化及連作障礙之改進方法. 花蓮區農業專訊. 6:2-4.
2. 丁文彥. 1995. 青蔥連作，如何克服生育不良，並維護田間地力. 花蓮區農業改良場農技報導. 27 1-3.
3. 尤進欽、郭純德、方怡丹、劉芯瑄. 2007. 藍耕栽培對青蔥生育之影響. 植物種苗. 9:19 -33.
4. 方煒. 2001. 自動化植物工廠. p. 103 - 111 In:林達德、李桂芝 (eds.). 設施栽培自動化專輯.ed. 國立臺灣大學生物產業機電工程學系. 台北.
5. 方煒、饒瑞佑. 2004. 高亮度發光二極體在生物產業的應用. 中華農學會報. 5:432-446.
6. 王琚玲、孫周平、劉廣晶. 2009. 霧培對黃瓜植株生長、產量和品質的影響 江蘇農業科學. 1:174-176.
7. 王慧媛. 2010. 環境控制下波士頓萵苣兩階段立體化栽培模式之探討. 國立臺灣大學農學院生物產業機電工程學系碩士論文. 台北.
8. 王鎬杰. 2007. 歷年重大農業天然災害蔬菜批發價格變動分析. 農政與農情. 186:49-54.
9. 甘俊二、江福松、李健全、吳榮杰、林俊義、陳世銘、陳保基、黃裕星、鄒麓生、盧虎生、韓選棠、顏建賢. 2010. 農業. p. 129-207. 刊於:許菁芳等編著. 遠東 60 週年白皮書 - 開創新猶 預約大未來. 遠東集團—財團法人徐元智先生紀念基金會. 台北.

10. 全中和、楊素絲. 2008. 維持蔬菜健康生長之栽培管理—以番茄及青蔥為例. 花蓮區農業專訊. 65:16-19.
11. 行政院農委會農業試驗所. 2011.
<<http://www.tari.gov.tw/taric/>>.
12. 行政院農業委員會. 2010. 農業統計年報 99 年.ed. 行政院農業委員會. 台北.
13. 行政院農業委員會桃園區農業改良場. 2011. 青蔥品種改良.
<<http://tydares.coa.gov.tw/view.php?catid=1567>>.
14. 行政院農業委員會農糧署. 2010. 農產品交易行情站 - 蔬菜行情專區 - 旬月平均價比較圖.
<<http://amis.afa.gov.tw/v-asp/top-v.asp>>.
15. 吳宛玲. 2009. 椰香天竺葵葉片揮發性成分及其遺傳分析. 國立臺灣大學. 台北.
16. 周啟芳、王爾鎮. 1999. 高效園藝設施與園藝照明光源. 長江蔬菜. 1:1-4.
17. 周國泉、徐一清、付順華、吳家森、鄭紅平. 2008. 溫室植物生產用人工光源研究進展. 浙江林學院學報. 25:798-802.
18. 邱祝櫻、翁仁憲、黃明得. 2004. 光源對印度棗生育之研究. 高雄區農業改良場研究彙報. 15:49-59.
19. 洪瑛穗. 2003. 影響青蔥分蘖性之研究. 國立中興大學. 台中.
20. 孫周平、劉濤、蘭姍姍、李天來. 2006. 霧培對番茄植株生長、產量和品質的影響. 瀋陽農業大學學報. 37:488-490.
21. 高清文、李昱輝、楊森源、蔡勇勝. 2008. 青蔥疫病
(*Phytophthora parasitica* Dastur). 植保會刊. 50:101-106.
22. 高德錚. 1986. 水耕栽培—精緻蔬菜生產技術之開發. 台中區

農推專訊. 56:22-31.

23. 動植物防疫檢疫局・植物檢疫組. 2010. 輸出植物檢疫證明書核發及加註規定.
<http://163.29.152.82/Publish/Plant_quarantine_website/Chapter2/2.1.4.html>.
24. 張祖亮. 1998. 養液栽培之應用技術. p. 1-12. In:馮丁樹 (eds.). 種苗生產自動化技術專輯. Vol. 3.ed. 種苗生產自動化技術服務團. 台北.
25. 崔瑾、馬志虎、徐志剛、張歡、常濤濤、劉海俊. 2009. 不同光質補光對黃瓜、辣椒和番茄幼苗生長及生理特性的影響. 園藝學報. 36:663-670.
26. 曹幸之、羅筱鳳. 2001a. 蔬菜(I).ed. 復文書局.
27. 曹幸之、羅筱鳳. 2001b. 蔬菜(II).ed. 復文書局.
28. 曹怡和 張建成. 2006. 光化學技術.ed. 新文京開發出版股份有限公司. 台北.
29. 陳加忠. 1995. 植物工廠自動化介紹. 台灣省農業試驗所技術服務. 21:3-8.
30. 陳佳慧、蔡順仁. 1991. 青蔥精油與精油樹脂香氣成分之分析. 國立中興大學食品科學研究所碩士論文. 台中.
31. 陳金男. 2005. LED 光環境控制系統之建立與其應用於星辰花組培苗生理影響之探討. 臺灣大學生物產業機電工程學研究所. 台北.
32. 陳歆怡. 2009. 三星蔥醬，蔥滿誠意. 台灣光華雜誌.7:42.
33. 郭肇凱、張隆仁. 2008. 保健藥用植物系列 6—威爾斯蔥.
34. 馮丁樹. 1997. 種苗生產自動化---網室及養液栽培裝置. p.

- 1-23. 種苗生產自動化通訊. Vol. 3. 種苗生產自動化技術服務團編印. 農機中心發行. 台北.
35. 黃鵬. 1995. 台灣農家要覽農作篇(二).ed. 財團法人豐年社.
36. 黃鵬、張志因. 1994. 溫度與激勃素對蔥生長與抽苔之影響. 花蓮區研究彙報. 10:43-51.
37. 楊宏瑛. 1993. 選育中的青蔥—宜蘭選一號之簡介. 花蓮區農業專訊. 2:4-7.
38. 楊宏瑛. 1994. 青蔥栽培管理(一). 花蓮區農業專訊. 9:8-10.
39. 楊宏瑛. 1995. 青蔥栽培管理(二). 花蓮區農業專訊. 11:18-19.
40. 楊宏瑛. 2001. 「蘭陽一號」四季蔥健康種苗快速繁殖技術之研究. 花蓮區農業專訊. 37:10-12.
41. 楊宏瑛. 2003. 為宜蘭蔥尋生路. 花蓮區農業專訊. 45:17-21.
42. 楊宏瑛、張武男、曾夢蛟. 2004. 青蔥耐熱指標之建立—田間性狀篩選. 花蓮區研究彙報. 22:75-82.
43. 楊宏瑛、楊素絲. 2001. 青蔥新品種「福蔥—蘭陽三號」之栽培管理. 花蓮區農業改良場農技報導. 55 1-3.
44. 楊純明、李裕娟、蕭巧玲、王毓華、林子凱. 2011. 特定光輻射延長明期光照對西瓜及胡瓜苗株生長之影響. Crop、Environment & Bioinformatics 8:201-208.
45. 廖俊銘. 2008. 香葉天竺葵 *Pelargonium graveolens* 及 *P. capitatum* cv. Attar of Rose 之葉片香氣成分分析-葉齡及白化處理的影響. 國立臺灣大學. 台北.
46. 劉兆烘、李文汕、張武男. 2005. 四季蔥莖頂培養之研究. 植物種苗. 7:41-55.

47. 劉松忠、何洪巨、馮固、陳清. 2009a. 氮、硫供應對章丘大蔥生長和含硫有機物含量的影響. 植物營養與肥料學報. 15:884-889.
48. 劉松忠、陳清、高莉敏、唐曉偉、馮固、陳運起、何洪巨. 2009b. 固相微萃取-氣相色譜質譜法-分析中國蔥中的揮發性成分. 質譜學報. 28:88-91.
49. 曾崢萌. 2009. 花蓮區農業改良場將舉辦青蔥生產整合技術觀摩會. 花蓮區農情月刊. 108.
50. 蔡竹固、童伯開. 1997. 石蒜科蔬菜黑腐病的發生及防治. 農業世界. 176:45-47.
51. 蔣慎思. 1993. 青蔥麩胺基轉之研究--純化, 特性及香氣增強效果. 國立中興大學食品科學系碩士論文. 台中.
52. 鄭志玄. 2011. 自動化 LED 植物工廠. 國立成功大學工程科學系碩士論文. 台南.
53. 簡君良、張明毅、方煒. 2009. 立體化植物栽培環控室之建立. 2009 年生物機電與農機科技論文發表會論文集. 463-468.
54. Auger, J., I. Arnault, S. Diwo-Allain, M. Ravier, F. Molia, and M. Pettiti. 2004. Insecticidal and fungicidal potential of *Allium* substances as biofumigants. *Agroindustria* 3:5-8.
55. Block, E. 1992. The Organosulfur Chemistry of the Genus *Allium* – Implications for the Organic Chemistry of Sulfur. *Angew. Chem.* 31:1135-1178.
56. Block, E., D. Putman, and S.-H. Zhao. 1992. *Allium* Chemistry: GC-MS Analysis of Thiosulfinates and Related Compounds from Onion, Leek, Scallion, Shallot, Chive, and Chinese Chive. *J.*

- Agrlc. Food Chem. 40:2431-2436.
57. Brewster, J.L. 1990. The effect of the duration of daily irradiance on the growth rates of seedlings of leek (*Allium ampeloprasum* L.) and Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.). Scientia Horticulturae 43:207-211.
58. Brewster, J.L. 2008. Onions and Other Vegetable Alliums. 2nd ed. Biddles Ltd, King`s Lynn.
59. Caglayan, N. and C. Ertekin. 2010. Chapter 9 : Using of led lighting technologies to substitute traditional lighting systems in greenhouses, p. 93-104. In: P. F. Borowski, A. Chochowski, M. Jaros, M. Klimkiewicz, A. Kupczyk, Z. Majewski and M. Powalka (eds.). Energetic and ecological aspects of agricultural production.ed. Faculty of Production Engineering Warsaw University of Life Sciences, Warszawa.
60. Carter, W.A. 1942. A method of growing plants in water vapor to facilitate examination of roots. Phytopathology 732:623 - 625.
61. Christie, C.B. and M.A. Nichols. 2004. Aeroponics - A Production System and Research Tool. Acta Hort. 648:185-190.
62. Despommier, D. and E. Ellingsen. 2008. The Vertical Farm:The sky-scraper as vehicle for a sustainable urban agriculture. CTBUH 8th World Congress 2008:1-8.
63. Dissanayake, P.K., N. Yamauchi, and M. Shigyo. 2008. Chlorophyll degradation and resulting catabolite formation in stored Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.). J Sci Food Agric 88:1981-1986.

64. Feng, D. 1994. Resources, research, and utilization of alliums in China. *Acta Horticulturae* 358:143-146.
65. Folta, K.M., L.L. Koss, R. McMorrow, H.-H. Kim, J.D. Kenitz, R. Wheeler, and J.C. Sager. 2005. Design and fabrication of adjustable red-green-blue LED light arrays for plant research. *BMC Plant Biol.* 5:1-11.
66. Grevsen, K. 1989. Effect of sowing dates on different varieties of welsh onion (*allium fistulosum* L.) under temperature coastal climate. *Acta Horticulturae* 242:319-324.
67. Hamamoto, H., K. Ueno, and K. Yamazaki. 2008. Effects of an Ultraviolet-Visible Rays Translation Film on Growth of Leaf or Root Vegetables. *J. Agric. Meteorol.* 64:81-86.
68. Hayden, A.L., T.N. Yokelson, G.A. Giacomelli, and J.J. Hoffmann. 2004. Aeroponics: An Alternative Production System for High-Value Root Crops. *Acta Hort.* 629:207-213.
69. Hemming, S. 2009. Use of natural and artificial light in horticulture - interaction of plant and technology. *Acta Hort.* 907:25-35.
70. Hidaka, K., K. Yoshida, K. Shimasaki, K. Murakami, D. Yasutake, and M. Kitano. 2008. Spectrum Conversion Film for Regulation of Plant Growth. *J. Fac. Agr* 53:549-552.
71. Hong, S.-I. and D.-M. Kim. 2001. Influence of oxygen concentration and temperature on respiratory characteristics of fresh-cut green onion. *International Journal of Food Science and Technology* 36:283-289.

72. Hori, M. 2007. Onion aphid (*Neotoxoptera formosana*) attractants, in the headspace of *Allium fistulosum* and *A. tuberosum* leaves. *Journal of Applied Entomology* 131:8-12.
73. Hu, Y., P. Li, and J. Jiang. 2007. Developing a new supplemental lighting device with ultra-bright white LED for vegetables. *PROCEEDINGS- SPIE THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING* 6486:64861A.
74. Ikeda, H. 1985 Soilless Culture in Japan. *Farming Japan* 19:35-45.
75. Inden, H. and T. Asahira. 1990. Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.). In: Brewster JL, Rabinowitch HD (eds) *Onions and allied crops*. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton.
76. Lancaster, J.E. and M.J. Boland. 1990. Flavor biochemistry, p. 33-72. In: H. D. Rabinowitch and J. L. Brewster (eds.). *Onions and allied crops*. Vol. 3. ed. CRC Press, Boca Raton, Fla.
77. Lazic, B., N. Cupurdija, M. Tomcic, and J. Gvozdanovic. 1997. Agrobiological characteristics of rare onion *A. fistulosum* L., *A. nutans* L. and *A. schoenoprasum* L. *Acta Hort.* 462:577-583.
78. Levine, L.H., J. Bauer, S. Edney, J. Richards, N. Yorino, K. Li, P.W. Paré, and R. Wheeler. 2005. Scallion (*Allium fistulosum* L.) Chemistry Affected by Variety and Environmental Conditions (Light and CO₂). *SAE Tech. Papers* 2005-01-2770:1-9.
79. Levine, L.H. and P. W. Paré'. 2009. Antioxidant capacity reduced in scallions grown under elevated CO₂ independent of assayed light intensity. *Adv. Space Res.* 44:887–894

80. Linardakis, D.K. and V.I. Manios. 1989. Hydroponic culture of strawberries in plastic greenhouse in a vertical system. *Acta Horticul.* 287:317-326.
81. Liu, S., H. He, G. Feng, and Q. Chen. 2009. Effect of nitrogen and sulfur interaction on growth and pungency of different pseudostem types of Chinese spring onion (*Allium fistulosum* L.). *Scientia Horticulturae* 121:12-18.
82. Ltd, A.C.S. 2010. *Light and Lighting Control in Greenhouses*.ed. Argus Control Systems Ltd., Canada.
83. Olympios, C.M. 1999. Overview of soilless culture: advantages, constraints and perspectives for its use in Mediterranean countries. *Cahiers Options Méditerranéennes* 31:307-324.
84. Pagliarulo, C.L., A.L. Hayden, and f. Plasticulture. 2002. Potential for greenhouse aeroponic cultivation of medicinal root crops, p. 23-26. *Proceedings of the 30th National Agri.ed. Plastics Congress, Amer. Soc, San Diego, California.*
85. Pino, J. A., A. Rosado and V. Fuentes. 2000. Volatile Flavor Compounds from *Allium fistulosum* L. 12:553-555
86. Phillippy, B.Q. 1998. Purification and Catalytic Properties of a Phytase from Scallion (*Allium fistulosum* L.) Leaves. *J. Agric. Food Chem.* 46:3491-3496.
87. Ritter, E., B. Angulo, P. Riga, C. Herrán, J. Relloso, and M.S. Jose. 2001. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research* 44:127-135.

88. Samuolienė, G., A. Urbonavičiūtė, P. Duchovskis, Z. Bliznikas, P. Vitta, and A. Žukauskas. 2009. Decrease in Nitrate Concentration in Leafy Vegetables Under a Solid-state Illuminator. *HortScience* 44:1857-1860.
89. Schmid, R. and M.J. Dring. 1993. Evidence for two different blue-light-receptor systems for the fast responses of stimulation of photosynthetic capacity and acidification of the plant surface in brown algae. *Planta* 191:489-495.
90. Shimizu, H., Y. Saito, H. Nakashima, J. Miyasaka, and K. Ohdoi. 2011. Light Environment Optimization for Lettuce Growth in Plant Factory. *World Congress* 18:605-609.
91. Shin, I.S., W.J. Rodgers, E.A. Gomaa, G.M. Strasburg, and J.I. Gray. 2002. Inhibition of heterocyclic aromatic amine formation in fried ground beef patties by garlic and selected garlic-related sulfur compounds. *J. Food Prot.* 65:1766-1770.
92. Srivastava, S.K., X. Hu, H. Xia, H.A. Zaren, M.L. Chatterjee, R. Agarwal, and S.V. Singh. 1997. Mechanism of differential efficacy of garlic organosulfides in preventing benzo(a)pyrene-induced cancer in mice. *Cancer Lett.* 68:61-67.
93. Takemoto, T. 1990. A Study on Significance of Arable Soil in Farm Management -An Analysis of Nutriculture. *Memoirs of The Institute of Social Sciences* 28:257-278.
94. Teyssier, C. and M.H. Siess. 2000. Metabolism of dipropyl disulfide by rat liver phase I and phase II enzymes and by isolated perfused rat liver. *Drug metab. dispos.* 28:648-654.

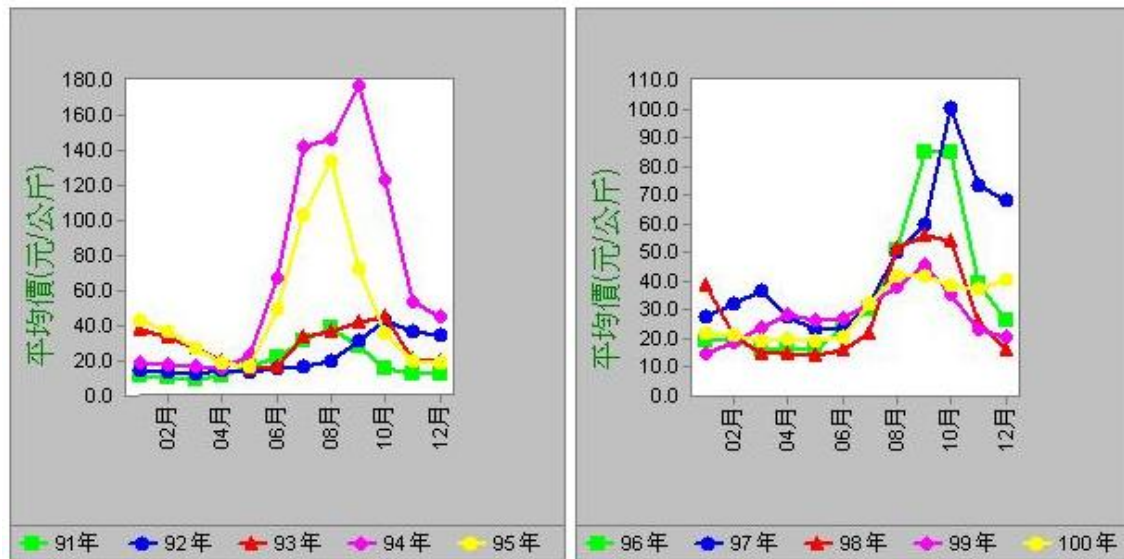
95. Weir, J. 1975. Artificial lighting for commercial horticulture. *Lighting research and technology* 7:209-225.
96. Yamane, A., A. Yamane, and T. Shibamoto. 1994. Propanethial S-Oxide Content in Scallions (*Allium fistulosum* L. Variety *Caespitosum*) as a Possible Marker for Freshness during Cold Storage. *J. Agric. Food Chem.* 42:1010-1012.
97. Yamasaki, A., H. Miura, and K. Tanaka. 2000. Effect of photoperiods before, during and after vernalization on flower initiation and development and its varietal difference in Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.). *J. Hort. Sci. & Bio.* 75:645-650.
98. Yamasaki, A., K. Tanaka, and N. Nakashima. 2003. Effect of photoperiod on the induction of devernalization by high day temperature in field-grown Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.) *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 72:18-23.
99. Yamashita, K., T. Wako, T. Ohara, H. Tsukazaki, and A. Kojima. 2005. Improvement of rust resistance in bunching onion (*Allium fistulosum* L.) by recurrent selection. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 74:444-450.
100. Yanagi, T., K. Okamoto, and S. Takita. 1996. Effects of blue, red, and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. *Acta Hort.* 440:117-122.
101. Yin, M.-c. and S.-m. Tsao. 1999. Inhibitory effect of seven *Allium* plants upon three *Aspergillus* species. *International*

Journal of Food Microbiology 49:49-56.

102. Zobel, R.W., P.D. Tredici, and J.G. Torrey. 1976. Method for Growing Plants Aeroponically. Plant Physiol. 57:344-346.

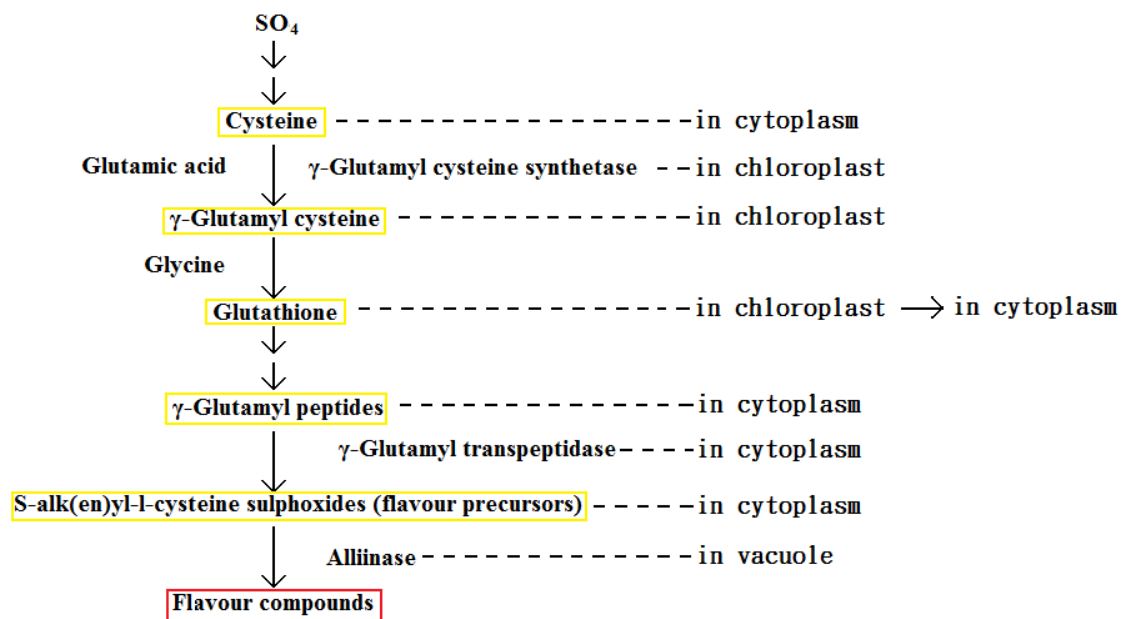


附錄



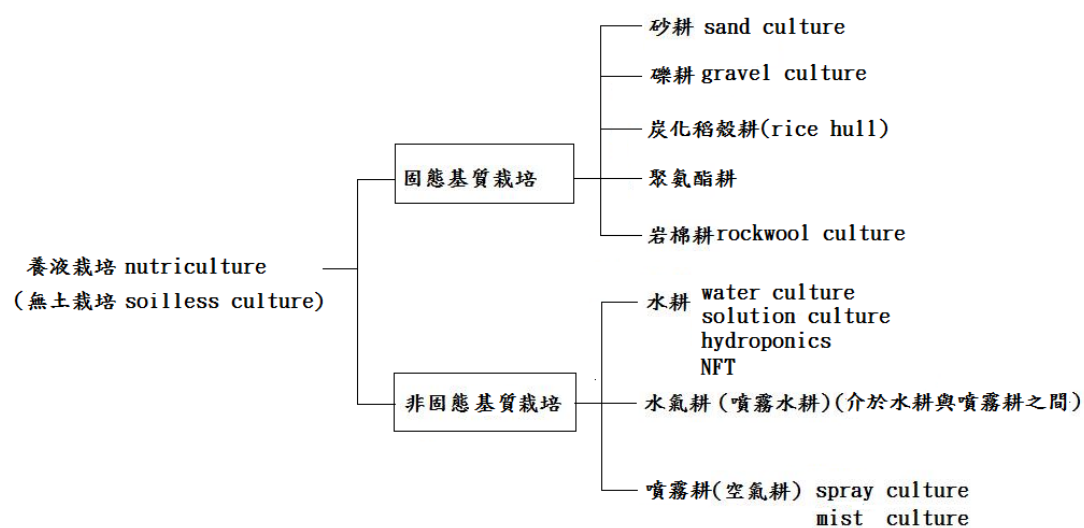
附錄 圖 1. 青蔥民國 91 年至 100 年每月平均價

(摘自農產品交易行情站，2011)



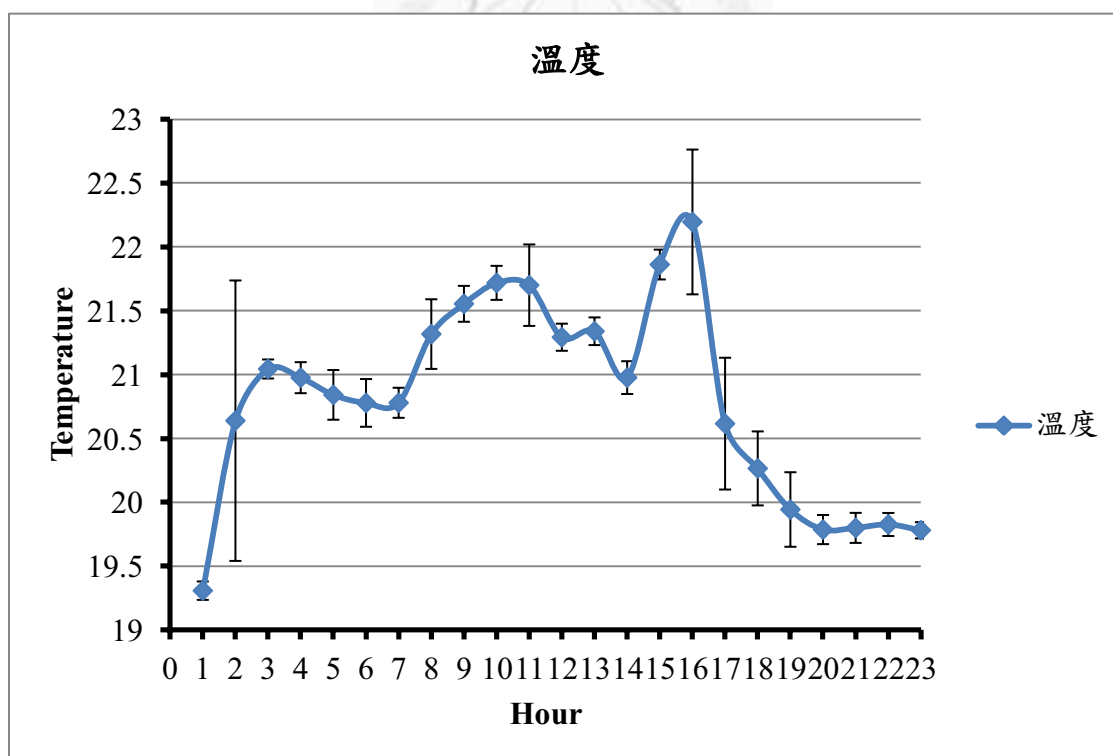
附錄 圖 2. 蔥科植物香味前驅物與酵素之關係與存在位置

(修改自陳，1991)

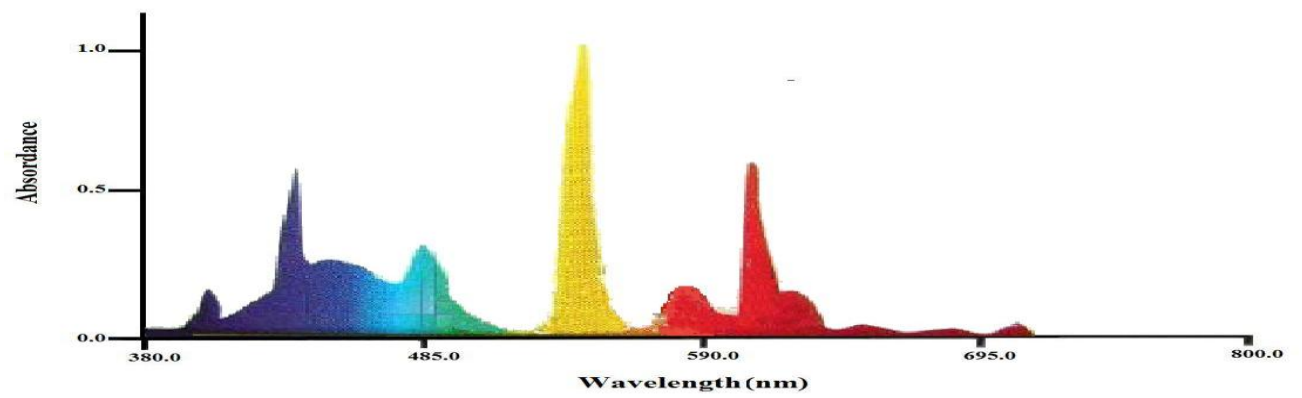


附錄 圖 3. 各式無土栽培系統

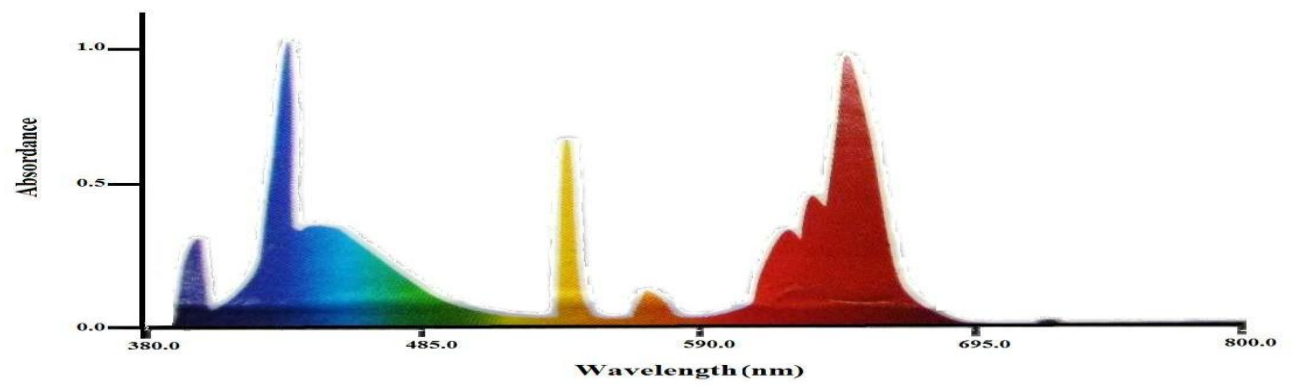
(修改自 Takemoto, 1990)



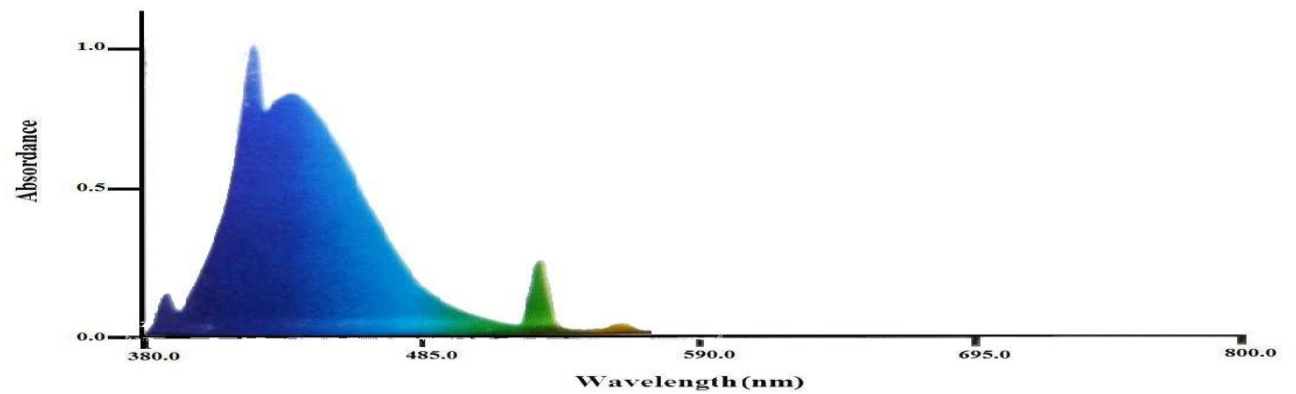
附錄 圖 4. 各試驗空間內每日平均溫度變化



白光波長

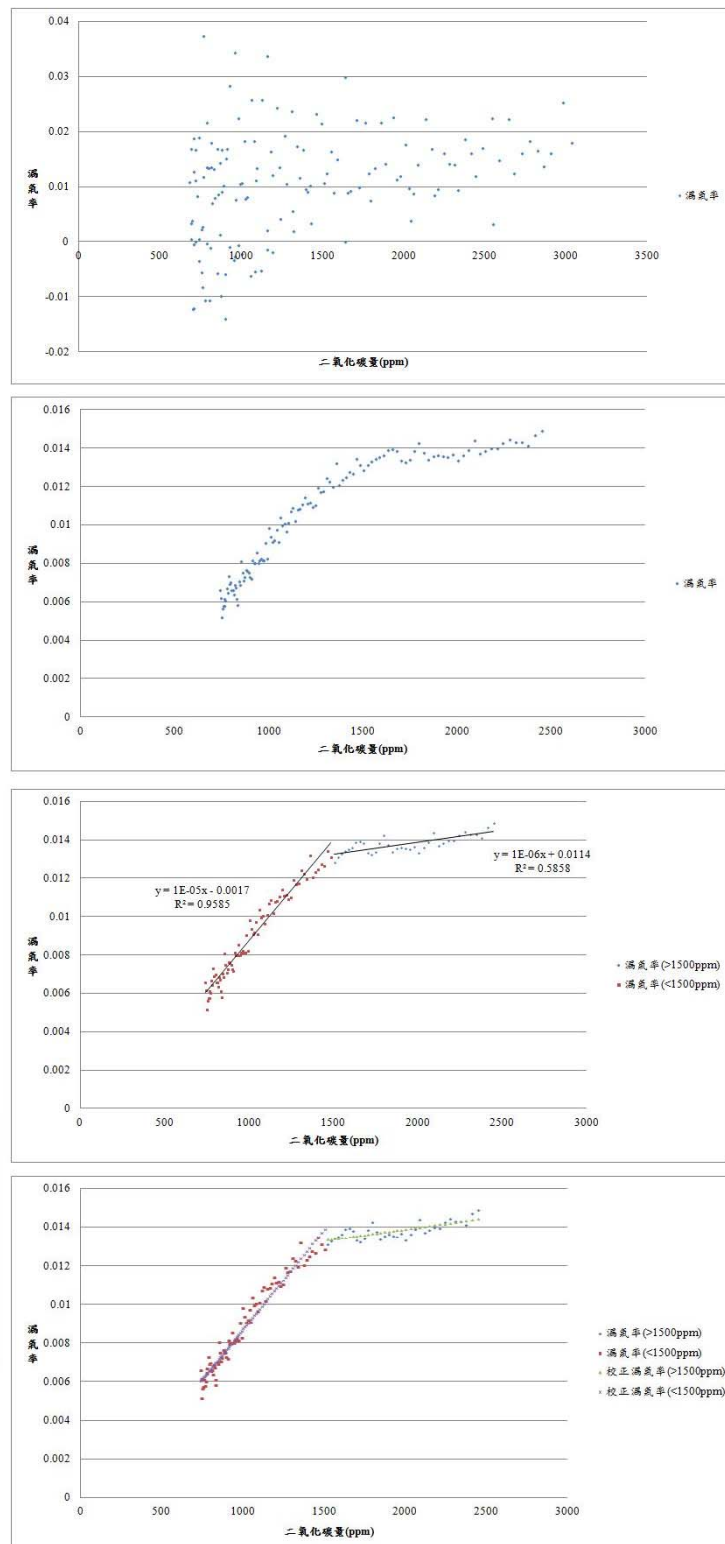


紅光波長



藍光波長

附錄 圖 5. 三種 T5 燈管的光波圖譜



附錄 圖 6. 二氧化碳量測裝置，二氧化碳洩漏率校正過程

附錄 表 1. 民國 93 年至 96 年歷次重大農業災害青蔥變動分析

類別 週別	敏督利 93.7.1		豪雨 94.6.12		海棠 94.7.18		柯羅莎 96.10.6	
	平均價	交易量	平均價	交易量	平均價	交易量	平均價	交易量
前 1 週	20.7	173	59.8	199	177.6	145	101.5	164
第 1 週	27.8	193	71.2	150	137.7	131	103.3	129
%	34%	12%	19%	-25%	-22%	-10%	2%	-21%
第 2 週	39.0	231	104.5	170	231.9	78	134.4	106
%	88%	34%	75%	-15%	31%	-46%	32%	-35%
第 3 週	44.3	232	108.2	206	183.1	114	87.0	136
%	114%	34%	81%	4%	3%	-21%	-14.3%	-17.1%
第 4 週	38.1	247	137.8	161	158.6	98	60.1	153
%	84%	43%	130%	-19%	-11%	-32%	-40.8%	-6.7%

註：1.交易價格及交易量為批發市場週平均資料；另青蔥種類包括日蔥及北蔥。2.各週變動百分比為災後各週與災前第 1 週之變動率。

(王，2007)



附錄 表 2. 各式無土栽培系統

SOLUTION CULTURE ("TRUE HYDROPONICS")	AGGREGATE SYSTEMS		
	INORGANIC MEDIA ("HYDROPONIC")		ORGANIC MEDIA
	NATURAL MEDIA	SYNTHETIC MEDIA	
1. STATIC SOLUTIONS	1. SAND	1. FOAM MATS (PUR) (POLYURETHANE)	1. SAWDUST
2. CIRCULATING SOLUTIONS (NFT)	2. GRAVEL	2. "OASIS" (PLASTIC FOAM)	2. BARK
3. AEROPONICS	3. ROCKWOOL	3. HYDROGEL	3. WOOD CHIPS
	4. GLASSWOOL		4. PEAT
	5. PERLITE		5. FLEECE
	6. VERMICULITE		6. MARC
	7. PUMICE		7. COCOSOIL
	8. EXPANDED CLAY		
	9. ZEOLITE		
	10. VOLCANIC TUFF		
	11. SEPIOLITE		

(Olympios, 1999)

附錄 表 3. 蔬菜養液配方(公克/1000 公升)

(高, 1986)

組成分	葉菜	萵苣	芥藍	番茄
硝酸鈣	118	94	165	1,180~1,776
硝酸鉀	606	484	848	606~909
磷酸一銨	77	62	107	77~116
硫酸鎂	492	394	689	492~738
磷酸一鈣	84	67	118	84~126
鉍形鐵	20	20	20	20
硼酸	1.2	1.2	1.2	1.2
氯化錳	0.72	0.72	0.72	0.72
硫酸鋅	0.09	0.09	0.09	0.09
硫酸銅	0.04	0.04	0.04	0.04
鉬酸鈉	0.01	0.01	0.01	0.01
pH	6.0	6.0	6.0	6.0
EC(mS/cm)	1.4	1.1	2.0	1.4~2.1

附錄 表 4. T5 藍光及紅光燈管轉換係數

Blue light				Red light		
cm	lux	$\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$	coefficient	lux	$\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$	coefficient
20	1294.3	27.04	0.0208916	1704	28.48	0.0167136
40	971.1	19.664	0.0202492	1147.2	16.808	0.0146513
60	626.3	16	0.0255469	806.7	14.064	0.017434
80	462	11.44	0.0247619	603	10.504	0.0174196
100	441	10.8	0.0244898	477.5	8.104	0.0169717
average of co.			0.0231879	average of co. 0.016638		
white light						
cm	lux	$\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$	coefficient			
20	1737	29.58	0.0170294			
40	1353.2	22.73	0.0167972			
60	1068.7	19.41	0.0181623			
80	779	13.76	0.0176637			
100	623.4	11.53	0.0184953			
average of co.			0.0176296			