

國立臺灣大學生物資源暨農學院農業化學系



碩士論文

Department of Agricultural chemistry

College of Bio-Resources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

氮肥種類與施用量對紫花紫錐菊生長及咖啡酸衍生物
含量的影響

Effects of Different Nitrogen Fertilizers and Application Rates
on the Growth and Caffeic Acid Derivative Contents in
Echinacea purpurea (L.) Moench

盧逸

Yi Lu

指導教授：鍾仁賜 博士

Advisor: Ren-Shih Chung, Ph. D.

中華民國 104 年 7 月

July, 2015

誌謝



時光飛逝，碩士班生涯即將畫下句點，非常感謝恩師 鍾仁賜教授，老師對事情認真負責與親力親為的態度，讓我受用良多。在研究方向以及實驗過程中也給予我許多建議與協助，待人處事上也以身作則，並與我們分享人生經歷，讓我在求學過程中有所成長。老師作為學者的態度和風範，對學生的教導與包容，也成為我學習的典範。謝謝老師在這兩年的指導，讓我得以在兩年完成我的研究並順利畢業。

論文初稿承蒙本系黃良得老師、張必輝老師、中興大學土壤環境科學系陳仁炫老師和黃裕銘老師的詳細批閱，並於口試時提供寶貴的意見，使我能夠更仔細、更多元和更深入的思考實驗結果的意義，論文得以更加完善。

在這兩年中，感謝蘇育菽小姐在生活上的照顧。也謝謝植營實驗室的夥伴們，我會懷念在實驗室嘴砲、大笑、崩潰地做實驗還要邊唱歌的日子，一起開伙、喝下午茶和聚餐的時光，以及去 KTV 唱歌嗨翻天的盛況。謝謝維德、彥涵、承翰學長以及育歆學姊，幫助我熟習各種實驗操作，教導我實驗原理與技巧，並且在我遇到瓶頸時引導我，讓我逐漸地能獨當一面。謝謝俊翰學長，在我需要諮詢時，總會義不容辭地放下手邊的工作，耐心地幫我解決問題，並給予我可靠的建議。謝謝金鳳學姐，教導我使用統計軟體，在繁忙的工作中撥空提點我。謝謝昭穎，在良性競爭中，促使我做實驗更加積極，也讓我抵擋冷笑话的功力更上一層樓，亦學習到如何在人群中擁有高人氣。謝謝勁甫，引領實驗室穿搭走在流行的尖端，以身教使實驗室氣氛更加圓融，讓我嘴賤的功力提升不少。謝謝德宏，總是幫忙實驗室的大小事，你爸滷的豬腳真的超好吃。謝謝鈞憲和朝源，讓實驗室常常有現泡咖啡可以喝，為忙碌的實驗生活帶來歡笑。謝謝泰祥學長和靜芳學姊，不厭其煩地鼓勵我，並給予我許多建議。

謝謝 R02 的夥伴們：佳貞、翎虹、宜、柏勛和蓓伶，每次與你們閒話家常、互相關心實驗進度、加油打氣，都是我完成實驗的動力。謝謝 B98 老同學

們，兩年生活中最期待的就是每次聚會和相遇，彼此更新近況、講八卦和垃圾話，都能使我暫時放鬆。謝謝哲倫，總能與你分享各種事情，雖然相聚的時光不多，但我們的情誼依舊不變。謝謝我的室友：文娟和姿蓉，在宿舍對我的包容，並且讓我每天的心情有個出口。

謝謝系羽的同伴：榮穎學長、大中、雅萍、柏成、曄昕、怡瑄、鼎翔、恆真、心愉、映希和網祐。碩班這兩年跟你們一起練球，在球場上揮灑汗水，一起比賽追求勝利，都可以讓我暫忘實驗的煩惱和壓力。也謝謝在羽球場上遇見的每個人，因為有你們，球場上總是充滿挑戰與歡笑。

特別感謝星佑，忍受我的忙碌、小小任性以及莫名的起床氣。總是能夠很理性地與我討論和分析事情，帶給我許多正面的思考和想法。並且承受我所有的負面情緒，也與我一同分享生活的喜悅。常犧牲形象搞笑帶給我歡樂，讓我能夠樂觀、開朗的迎接每一天。

最後，我要感謝我的家人。爸媽使我在生活上無須擔憂。並且永遠支持我做任何事事情，包容我的任性與壞脾氣，督促我學習，也不忘給予我鼓勵及肯定。當我回家時，總是會有滿桌的菜和切好的水果，讓我感受到滿滿的愛與關懷。哥哥一直都是我的榜樣，並容忍我沒大沒小的態度。謝謝你們無條件的支持，使我在人生道路上能夠勇敢地向前進。

盧逸

2015.08.20

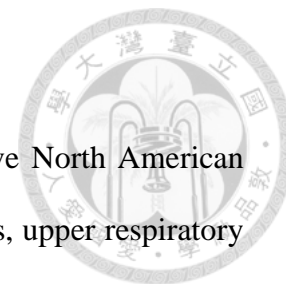
摘要



紫錐菊 (*E. purpurea*) 為菊科紫錐菊屬多年生草本植物，原產地於北美洲，為歐美地區相當風行的藥用植物之一，且市場對其相關產品的需求日益提高。紫錐菊是少數被研究證實具有增強及刺激人體免疫系統的功效之植物，所含的活性成分包括多醣體、咖啡酸衍生物及烷醯胺，而其中最具有指標性的為咖啡酸衍生物，如卡夫塔酸 (caftaric acid)、綠櫟酸 (chlorogenic acid)、洋薊酸 (cynarin)、紫錐菊苷 (echinacoside) 和菊苣酸 (cichoric acid)。由於紫錐菊在臺灣的肥培管理資料不多，目前研究皆未考慮其咖啡酸衍生物的含量，且紫錐菊在臺灣的收穫適期目前也沒有明確的定論。本研究以紫錐菊為材料，探討不同種類的氮肥與施用量對紫錐菊的乾重、氮磷鉀吸收、總酚類及咖啡酸衍生物的影響，同時比較紫錐菊在不同生長階段成分含量的差異。試驗採完全隨機設計，處理分別為控制組 (Control, 0 g N plot⁻¹)、化學肥料 (Chem 1, 0.40 g N plot⁻¹)、兩倍化學氮肥 (Chem 2, 0.80 g N plot⁻¹)、三倍化學氮肥 (Chem 3, 1.20 g N plot⁻¹)、有機質肥料 (Org 1, 0.80 g N plot⁻¹)、兩倍有機質肥料 (Org 2, 1.60 g N plot⁻¹) 和三倍有機質肥料 (Org 3, 2.40 g N plot⁻¹)，共七種處理，每處理四重複。於幼苗移植盆栽後第 150 和 180 天分別採收根部和地上部植體與土壤進行分析。結果顯示施用有機質肥料在紫錐菊採收後能增加土壤有機質含量，且具有較高的總氮、可萃取磷、鈣、鎂及錳的含量，能保持土壤肥力並維持土壤 pH 值。此外，全部肥料處理對紫錐菊的乾重皆沒有顯著影響。紫錐菊在開花期後仍會吸收氮、磷、鉀、鈣及鎂，並將根多量的鉀轉移至地上部。施用高量化學肥料會使植物體中氮和鈣的濃度較高；而施用有機質肥料有助於紫錐菊對磷和鉀的吸收，但會降低植物體中的氮濃度，不過會使紫錐菊之酚類及咖啡酸衍生物的濃度增加。綜上所述，考量紫錐菊之活性成分含量以及土壤的永續經營，施用有機質肥料為較佳的肥培策略。其中以有機質肥料處理 (Org 1) 可得到最高的酚類 (18.3 g kg⁻¹) 及咖啡酸衍生物 (36.1 μmol g⁻¹) 濃度。

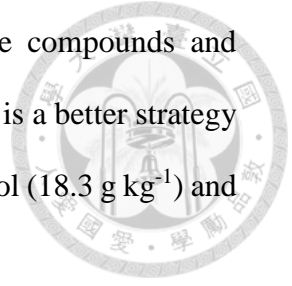
關鍵詞：紫錐花、菊苣酸、卡夫塔酸、養分吸收、二次代謝物。

Abstract



E. purpurea, also known as the purple coneflower, is a native North American perennial medicinal herb and widely used to treat cold, sore throats, upper respiratory infections, and some inflammatory conditions for hundreds of years. The main bioactive compounds responsible for the pharmacological actions are caffeic acid derivatives (CADs), such as caftaric acid, chlorogenic acid, caffeic acid, echinacoside and cichoric acid. Few researches have investigated the relationship between the fertilizer management and the content of bioactive compounds of *E. purpurea* in Taiwan. The aims of this study were: (1) to investigate the effects of different nitrogen (N) fertilizers and application rates on the growth and caffeic acid derivative contents of *E. purpurea*; and (2) to evaluate caffeic acid derivative contents of *E. purpurea* in two different growth stages. The study was conducted under completely randomized design with four replications. The treatments were Control (0 g N plot⁻¹), Chem 1 (0.40 g N plot⁻¹), Chem 2 (0.80 g N plot⁻¹), Chem 3 (1.20 g N plot⁻¹), Org 1 (0.80 g N plot⁻¹), Org 2 (1.60 g N plot⁻¹) and Org 3 (2.40 g N plot⁻¹). The samples of plants (shoots and roots) and soil were taken and analyzed at 150 and 180 days after transplanting (DAT). The results showed that the application of organic fertilizer could maintain pH at a relatively constant level and increase the concentrations of total N, organic matter, Mehlich III extractable phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg) and manganese of soil after harvesting. Moreover, there was no significant difference on the dried weight of *E. purpurea* in all treatments. After blooming stage, *E. purpurea* would uptake considerable amount of N, P, K, Ca and Mg, and transported great amount of K from roots to shoots. The high application rate of chemical fertilizer could increase the N and Ca concentrations of the plant. The application of organic fertilizer would enhance the uptake of P and K, but decrease the production of phenol and caffeic acid derivatives

in *E. purpurea*. In summary, to consider the content of bioactive compounds and sustainable development of soil, the application of organic fertilizer is a better strategy for cultivating *E. purpurea*. The highest concentrations of total phenol (18.3 g kg^{-1}) and caffeic acid derivatives ($36.1 \text{ } \mu\text{mol g}^{-1}$) were found in Org 1.

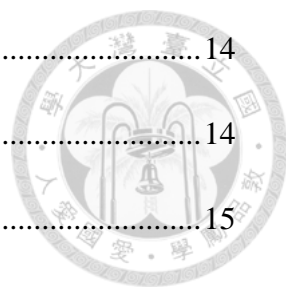


Key words: coneflower, cichoric acid, caftaric acid, nutrients uptake, secondary metabolites.

目錄

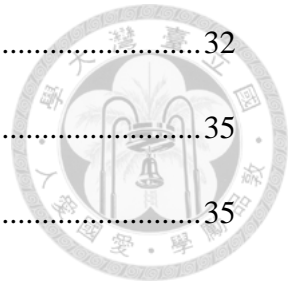


誌謝	I
摘要	III
Abstract.....	IV
目錄	VI
圖目錄.....	X
表目錄.....	XII
第一章 前言.....	1
第二章 前人研究.....	4
一、 紫錐菊簡介.....	4
二、 紫錐菊之二次代謝物.....	5
(一) 親脂性化合物.....	6
(二) 咖啡酸衍生物.....	6
三、 紫錐菊之藥理作用.....	11
(一) 免疫調節.....	11
(二) 抗氧化.....	12
(三) 抗菌.....	12
(四) 抗真菌.....	12
(五) 抗病毒.....	13
(六) 抗致突變.....	13
(七) 抗發炎.....	13

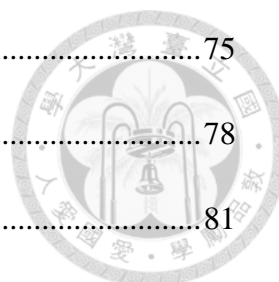


四、 影響紫錐菊活性成分之要素.....	14
(一) 栽培方式.....	14
(二) 肥培管理.....	15
(三) 收穫調製.....	16
(四) 逆境誘導.....	17
(五) 二次代謝物之前驅物.....	18
第三章、研究目的.....	19
第四章 材料與方法.....	20
材料	
一、 試驗地點與時間.....	20
二、 土壤.....	20
三、 肥料.....	20
四、 試驗作物.....	20
方法	
一、 試驗設計與處理.....	23
二、 採樣.....	24
三、 樣品處理.....	24
四、 樣品分析.....	24
(一) 試劑.....	24
(二) 有機質肥料基本性質分析.....	26
(三) 土壤基本性質分析.....	28
(四) 植體分析.....	30

五、 統計分析.....	32
第五章 結果與討論.....	35
一、 施用肥料對種植紫錐菊後之土壤性質的影響.....	35
(一) pH 值.....	35
(二) 土壤飽和水溶液電導度.....	37
(三) 土壤有機質含量.....	39
(四) 總氮.....	41
(五) 無機態氮.....	43
(六) Mehlich III 可萃取磷.....	45
(七) Mehlich III 可萃取鉀.....	47
(八) Mehlich III 可萃取鈣.....	49
(九) Mehlich III 可萃取鎂.....	51
(十) Mehlich III 可萃取鐵.....	53
(十一) Mehlich III 可萃取錳.....	55
(十二) Mehlich III 可萃取銅.....	57
(十三) Mehlich III 可萃取鋅.....	59
二、 紫錐菊生長、養分吸收與分布.....	61
(一) 農藝性狀.....	61
(二) 乾重.....	62
(三) 氮的濃度與吸收.....	66
(四) 磷的濃度與吸收.....	69
(五) 鉀的濃度與吸收.....	72



(六) 鈣的濃度與吸收.....	75
(七) 鎂的濃度與吸收.....	78
三、施用肥料對紫錐菊的酚類與咖啡酸衍生物含量之影響.....	81
(一) 酚類化合物之濃度.....	81
(二) 咖啡酸衍生物之濃度.....	86
第六章 結論.....	94
參考文獻.....	95
附錄	109



圖目錄



圖一、紫錐菊之 21 種主要親脂性化合物的結構式.....	9
圖二、紫錐菊品種所含之五種咖啡酸衍生物的結構式及其生合成途徑.....	10
圖三、不同肥料處理對土壤 pH 值的影響.....	36
圖四、不同肥料處理對土壤 EC 值的影響.....	38
圖五、不同肥料處理對土壤有機質含量的影響.....	40
圖六、不同肥料處理對土壤總氮濃度的影響.....	42
圖七、不同肥料處理對土壤無機態氮濃度的影響.....	44
圖八、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取磷濃度的影響.....	46
圖九、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鉀濃度的影響.....	48
圖十、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鈣濃度的影響.....	50
圖十一、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鎂濃度的影響.....	52
圖十二、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鐵濃度的影響.....	54
圖十三、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取錳濃度的影響.....	56
圖十四、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取銅濃度的影響.....	58
圖十五、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鋅濃度的影響.....	60
圖十六、移植後 150 天，不同肥料處理之紫錐菊生長狀況.....	63
圖十七、移植後 180 天，不同肥料處理之紫錐菊生長狀況.....	64
圖十八、不同肥料處理對紫錐菊根部與地上部之氮含量的影響.....	68
圖十九、不同肥料處理對紫錐菊根部與地上部之總磷含量的影響.....	71
圖二十、不同肥料處理對紫錐菊根部與地上部之鉀含量的影響.....	74

圖二十一、不同肥料處理對之紫錐菊根部與地上部之總鈣含量的影響.....	77
圖二十二、不同肥料處理對之紫錐菊根部與地上部之總鎂含量的影響.....	80
圖二十三、不同肥料處理對紫錐菊全株之總酚濃度的影響.....	84
圖二十四、紫錐菊全株之總酚類化合物濃度與總氮濃度的關係.....	85
圖二十五、紫錐菊咖啡酸衍生物之 HPLC 分析圖譜	88
圖二十六、不同肥料處理對紫錐菊全株之總咖啡酸衍生物濃度的影響.....	91
圖二十七、紫錐菊全株之總咖啡酸衍生物濃度與總氮濃度的關係.....	92
圖二十八、紫錐菊全株之總咖啡酸衍生物濃度與總酚類化合物濃度的關係.....	93

表目錄



表一、土壤之物理和化學性質	21
表二、本試驗施用的有機質肥料之基本性質	22
表三、高效液相層析儀之動相條件	33
表四、本試驗中五種咖啡酸衍生物標準品之滯留時間	33
表五、四種咖啡酸衍生物之標準曲線	34
表六、不同肥料處理對紫錐菊農藝性狀和乾重的影響	65
表七、不同肥料處理對紫錐菊之氮濃度的影響	67
表八、不同肥料處理對紫錐菊之磷濃度的影響	70
表九、不同肥料處理對移紫錐菊之鉀濃度的影響	73
表十、不同肥料處理對移紫錐菊之總鈣濃度的影響	76
表十一、不同肥料處理對紫錐菊之總鎂濃度的影響	79
表十二、不同肥料處理對紫錐菊根及地上部之總酚濃度的影響	83
表十三、不同肥料處理對紫錐菊根之咖啡酸衍生物的影響	89
表十四、不同肥料處理對紫錐菊地上部之咖啡酸衍生物的影響	90

附錄目錄



附錄一、不同肥料處理對土壤 pH、EC 值和有機質含量之影響.....	109
附錄二、不同肥料處理對土壤總氮、無機態氮、Mehlich III 可萃取磷與鉀濃度之 影響.....	110
附錄三、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鈣、鎂、鐵、錳、銅與鋅濃度之 影響.....	111
附錄四、不同肥料處理對紫錐菊之氮含量的影響.....	112
附錄五、不同肥料處理對紫錐菊之磷含量的影響.....	113
附錄六、不同肥料處理對紫錐菊之鉀含量的影響.....	114
附錄七、不同肥料處理對紫錐菊之鈣含量的影響.....	115
附錄八、不同肥料處理對紫錐菊之鎂含量的影響.....	116
附錄九、不同肥料處理對紫錐菊全株之總酚濃度的影響.....	117
附錄十、不同肥料處理對紫錐菊全株之總咖啡酸衍生物濃度的影響.....	117



第一章 前言

人類使用藥用植物已有數千年，近年來由於「回歸自然」的風氣興起，消費者對於草藥的興趣增加。美國於1994年通過膳食補充劑健康教育法 (Dietary Supplements Health and Education Act) 後，草藥產品銷售量每年增加約10-15% (Percival, 2000)。根據Qi與Kelley (2014) 在「世衛組織2014-2023年傳統醫學戰略」的調查顯示，中國在2012年中草藥產值估計達831億美元，與前一年比增加20%以上；韓國於2004年至2009年草藥的開支為由44億增加到74億美元；美國在2008年用於天然物產品的開支為148億美元，故藥用植物在醫藥或保健食品市場具有高度的發展潛力。

在過去，藥用植物主要來自野外採集，由於市場需求量以及對品質的追求提高，野外採集容易受限於數量，且會造成族群減少、遺傳多樣性喪失、當地物種滅絕和環境破壞 (Canter et al., 2005)，藥材的品質也會隨採收時間、地點、方法或植物大小、生長期長短等因子而改變，不利應用。藥用植物的天然化合物結構複雜不易合成，許多具療效的生理活性成分也尚未明瞭，或是並非由單一化合物所貢獻，且人工合成所費不貲，因此，人工栽培藥用植物的方式日趨重要。許多研究顯示栽培方式、施肥、環境及採收時間等條件皆會影響藥用植物的品質 (Shalaby et al., 1997; Knee and Thomas, 2002; El-Sayed et al., 2012; Thomsen, 2012)，且人工栽培可以進行選拔育種，或是以不同的栽培管理來增加藥用植物特定的成分含量。因此，利用栽培管理以生產高品質及產量穩定的藥用植物為目前開發的重點。

肥培管理為栽培過程中重要的環節之一，肥培管理需考慮土壤和作物需求，適當的管理可以提高作物產量，並減少肥料和農藥的施用，達到農業永續發展的目標。植物對氮、磷和鉀養分的需求量高，其中氮為植物蛋白質、葉綠素、核酸、酵素等物質的組成分，而蛋白質為構成植物細胞的要素之一，葉綠素a、b皆為含

氮化合物，因此，氮充足可以促進植物生長良好、產量增加。研究顯示，氮肥可以提高茴香 (*Foeniculum vulgare* Mill.)、草莓 (*Fragaria × ananassa* Duch.)、青錢柳 (*Cyclocarya paliurus*) 及卡琪花蒂瑪 (*Labisia pumila* Blume) 的產量，但對其類黃酮含量有負成長 (Ibrahim et al., 2011; Deng et al., 2012; Ehsanipour et al., 2012; Sun et al., 2012)。因此，如何在最佳的肥培條件下收穫高品質的藥用植物為栽培管理的重要課題之一。

紫錐菊 (*Echinacea* spp.) 為菊科 (Asteraceae) 紫錐菊屬多年生草本植物，主要分布於北美洲和歐洲，是北美洲原住民的傳統草藥，常用來治療蛇蟲咬傷，以及許多疾病，如咳嗽、牙痛和性病等 (Flannery, 1999)。紫錐菊的主要用於免疫調節，例如治療感冒和流感，目前尚未有研究顯示其單一化合物對人體有副作用。許多研究指出紫錐菊所含之親脂性化合物、酚酸和多糖等化合物皆對人體有益，且三種化合物混合後具有顯著的協同作用 (Mazza and Oomah, 2000; Dalby-Brown et al., 2005)。此外，研究顯示紫錐菊成分能抑制HIV-1病毒 (Lin et al., 1999)，使紫錐菊在醫藥用途上更受到重視。

紫錐菊在歐美地區已發展出各式各樣高附加價值的產品，在健康食品店、藥局或超市均可購得，常以茶包、膠囊、酊劑、飲品等形式銷售 (邱等, 2001)。在歐洲紫錐菊產品為2005年銷售最高的藥用植物之第四名 (European Advisory Services, 2006)；為美國2010年第六大銷售商品 (Blumenthal et al., 2011)。根據Keating等 (2015) 的調查顯示，2014年美國藥用植物茶包銷售前五名依序為：洋甘菊 (*Matricaria recutita*) 花、亞歷山大決明 (*Senna alexandrina*) 葉、薑 (*Zingiber officinale*) 根、蒲公英 (*Taraxacum officinale*) 根和葉、紫錐菊 (*Echinacea* spp.) 根和葉。另外，紫錐菊的萃取液也常被添加入許多產品中，如食品、飲品、化妝品或牙膏等，應用範圍廣泛。

紫錐菊屬有九個種 (species)，目前以*E. purpurea*和*E. angustifolia*為主要商業化栽培種，*E. purpurea*約佔80%，*E. angustifolia*約佔20%。臺灣台中區農業改良場於2000年從加拿大引進*E. purpurea*到臺灣種植，發現在臺灣生長良好，具有繁

殖能力，並含有多種活性成分 (邱等, 2001)。紫錐菊為臺灣興新的保健植物之一，具有發展潛力，但影響紫錐菊的生長、產量和化學成分之栽培管理方式或收穫調製方法研究仍缺乏。本研究的目的是探討不同氮肥和施用量對紫錐菊的生長及咖啡酸衍生物含量的影響，作為紫錐菊的肥培管理和收穫之參考，建立營養管理與活性成分的關係。

第二章 前人研究



一、紫錐菊簡介

紫錐菊 (*Echinacea* spp.) 為菊科 (Asteraceae) 紫錐菊屬 (*Echinacea* spp.) 之多年生植物，英文名稱為 coneflower，中文名又稱為松果菊或紫錐花。紫錐菊原生於北美溫帶地區，耐低溫 (-35°C) 及乾旱 (Galambosi et al., 1993; Thomsen et al., 2012)。葉片呈卵形或橢圓形至披針形，粗糙具有細毛，葉脈約三至五條，葉緣有波浪鋸齒狀，長約 15-30 cm；根部依品種不同有鬚根系或主根系 (陳等, 2012b、c)。紫錐菊開花期由夏初至早秋季節，單一或分支且具細毛之花莖，舌狀花著生於頭狀花序基部並呈放射狀 (5-15 cm)，中心則為筒狀花，授粉後會形成針刺狀種子組成錐形的種子球，每株會開一朵以上花，花期可達兩個月，花色隨品種不同，在白色、粉紅或紫色等顏色之間變化，紫錐菊花形美觀，可發展為觀賞或切花用途 (陳等, 2012b、c)。

紫錐菊屬有九個種 (species)，目前僅有三種被廣泛利用，即紫花紫錐菊 (*E. purpurea*)、狹葉紫錐菊 (*E. angustifolia*) 和白花紫錐菊 (*E. pallida*)，以 *E. purpurea* (L.) Moench、*E. angustifolia* D.C. 和 *E. pallida* Nutt. 為主要商業化栽培品種，栽培面積最廣，另外六個品種的利用並不普遍。三者中以紫花紫錐菊最適合種植於臺灣氣候和土壤環境，生長良好，可以收穫種子，且整體的農藝性狀表現最佳，植株產量較高，在臺灣栽培的藥用潛能最佳 (陳等, 2012c；張, 2005)。紫花紫錐菊的莖粗壯、直立、分支、多毛或無毛、高可達 60-180 cm。基生葉 (basal leaves) 之葉柄可長達 25 cm，葉片長 15-22 cm，寬長 5-10 cm，葉片呈卵形至披針形，葉片到基部會縮小；莖生葉 (cauline leaves)，無葉柄，長 7-20 cm，寬 1.5-8 cm，雙面粗糙，外側具絨毛。舌狀花反摺與花莖平行，略帶紫色，花粉粒為黃色。根部為鬚根系，根系不深 (吳, 2007；陳等, 2012b；Mistríková and Vaverková, 2007; Thomsen, 2012)。將紫

花紫錐菊於臺灣早春育苗，再將其移植田間種植，可以在第一年夏季或十至十二月開花，每株花枝數平均三到五枝 (邱等，2001)。



二、紫錐菊之二次代謝物

雖然生命體間的變異很大，但脂質、胺基酸、蛋白質、大部分碳水化合物和核酸之合成與代謝在大多數的生物體中是類似且必要的，這些會直接涉及正常生長、發育和生殖的代謝物，稱作「一次代謝物」 (Seigler, 1977)。然而，很多代謝為某些特定物種或是某些特定細胞分化階段所特有的，這些代謝稱作「二次代謝」，產生的化合物稱作「二次代謝物」 (Luckner, 1990)。二次代謝物常因為其顏色、氣味或味道而被發現，如食物與飲品中的味道或是水果與花的顏色和香味 (Luckner, 1990)。在近年來，許多研究指出二次代謝物參與許多重要的植物功能，包括防止病蟲或環境逆境的攻擊、抵抗紫外線輻射、吸引傳粉和傳播種子的動物、參與毒他作用、代謝等 (Wills et al., 2000)。植物體內能合成的二次代謝物種類很多，基本上可分成三大類如萜烯 (terpenes)、酚類 (phenolics) 與含氮化合物 (nitrogen-containing compounds)，各種分子以簡單或複雜的聚合物形式存在植物的葉、花、果實或樹皮中 (陳，2013)。

紫錐菊具有非專一性免疫調節功能，可早期治療上呼吸道感染 (Barrett, 2003)，其活性成分可分成親脂性成分 (lipophilic compounds)，如烷醯胺類 (alkylamide) 和精油 (essential oils)，以及親水性成分 (hydrophilic compounds)，如咖啡酸衍生物 (caffeic acid derivatives)、醣蛋白 (glycoproteins) 和多醣體 (polysaccharides) (Bauer, 1999; Barnes et al., 2005)。大部分關於紫錐菊活性成分之研究著重於其咖啡酸衍生物和烷醯胺類，因為這兩者被認為是紫錐菊免疫調節功效的來源。但許多研究顯示，紫錐菊中咖啡酸衍生物、烷醯胺類、多醣體三者皆具有療效，且三者混合後具有顯著的加乘效應

(synergistic effect) (Clifford et al., 2002; Speroni et al., 2002; Dalby-Brown et al., 2005; LaLone et al., 2007)。因此，紫錐菊的療效也被認為是許多化合物混合後的加乘效應所造成的，而各成分在反應中所扮演的作用仍尚待釐清。

(一) 親脂性化合物

紫錐菊之親脂性化合物包含酮烯/炔類 (ketoalkenes/alkynes) 和烷醯胺類。酮烯/炔類為脂肪族不飽和碳鏈和酮基相連的化合物 (如圖一，tetradeca-8Z-ene-11,13-diyn-2-one, 化合物 8)，是脂肪酸降解後的副產物。烷醯胺類為多元不飽和脂肪酸與丁基醯胺聚合的化合物 (如圖一，undeca-2E,4Z-diene-8,10-diynoic acid isobutylamide，化合物 1)。紫錐菊之親脂性化合物的碳鏈碳數通常在 11 至 16 之間。根據 Thomsen (2012) 研究顯示紫錐菊之親脂性化合物在三種紫錐菊中差異很大，白花紫錐菊根部大部分為酮烯/炔類；紫花紫錐菊和狹葉紫錐菊根部大部分為烷醯胺類。紫花紫錐菊中含量最高的烷醯胺類為 dodeca-2E,4E,8Z,10E/Z-tetraenoic acid isobutylamide 與其同分異構物 (圖一，化合物 13 和 14)。

(二) 咖啡酸衍生物

紫錐菊所含之咖啡酸衍生物有五種，皆為酚類化合物。來自咖啡酸與酒石酸 (tartaric acid) 反應產生的卡夫塔酸 (caftaric acid) 和菊苣酸 (cichoric acid)、與奎寧酸 (quinic acid) 反應產生的綠櫟酸 (chlorogenic acid) 和洋薊酸 (cynarin)、與糖苷 (glycoside) 反應產生的紫錐菊苷 (echinacoside)，其反應途徑及結構如圖二。五種咖啡酸衍生物的分布會隨紫錐菊品種和生長地區而有差異，例如：狹葉紫錐菊和白花紫錐菊含有紫錐菊苷，而紫花紫錐菊中並未發現，但是在丹麥、中國以及臺灣的紫錐菊根部之研究顯示其含有紫錐菊苷 (Thomsen, 2012)。此外，依大部分研究可歸納出紫花紫錐菊含有菊苣酸和卡夫塔酸；白花紫錐菊含有紫錐菊苷，但缺乏洋薊酸；狹葉紫錐菊含有紫錐菊苷、菊苣酸和洋薊酸

(Binns et al., 2001; Pietta et al., 2004; Sabra et al., 2012; Thomsen et al., 2012)。



1. 卡夫塔酸 (caftaric acid)

其分子式為 $C_{13}H_{12}O_9$ ，為葡萄、萵苣、菠菜和酒中主要的非類黃酮的酚類化合物，具有氫氧自由基，可作為抗氧化劑 (Singleton et al., 1985; Gonthier et al., 2006)。大鼠吸收卡夫塔酸後在 10 至 20 分鐘後能在血漿及腎臟測得，亦可在一些老鼠的大腦中測得，而肝臟與尿液中並未測得。被吸收之卡夫塔酸會轉變為 fertaric acid，並在腎臟被代謝 (Vanzo et al., 2007)。在臺灣栽種之紫花紫錐菊的咖啡酸衍生物中含量僅次於菊苣酸，為咖啡酸衍生物次多的活性成分 (張，2005；吳，2007；Lin et al., 2011)。

2. 綠櫟酸 (chlorogenic acid)

別名為氯原酸，其分子式為 $C_{16}H_{18}O_9$ ，為咖啡中主要的酚類化合物，其具抗氧化能力 (Olthof et al., 2001)、能清除破壞力強的羥基自由基 (Moure et al., 2001)，與抑制突變和致癌性的亞硝基化合物 (Kono et al., 1995)，另也可以保護 DNA 不受到損害 (Shibata et al., 1999)，及抑制由亞麻油酸生成之共軛雙烯 (Ohnishi et al., 1994)。

3. 菊苣酸 (cichoric acid)

其分子式為 $C_{22}H_{18}O_{12}$ ，為紫花紫錐菊中主要的活性成分。研究指出，紫錐菊萃取之菊苣酸可以提高人體免疫能力，且不論在體內或體外皆具有促進巨噬細胞的吞噬作用能力 (Bauer and Wagner, 1991; Letchamo et al., 1999)，並且抑制 HIV type I 病毒的複製能力及其接合酶 (integrase) 的活性 (King and Robinson, 1998; Robinson, 1998; King et al., 1999)。研究也指出，結締組織外圍的成分若是被透明質酸酶降解，會增加發炎反應，而紫錐菊之菊苣酸會抑制透明質酸酶 (hyaluronidase)，保護第三型膠原蛋白 (collagen type III) 免於

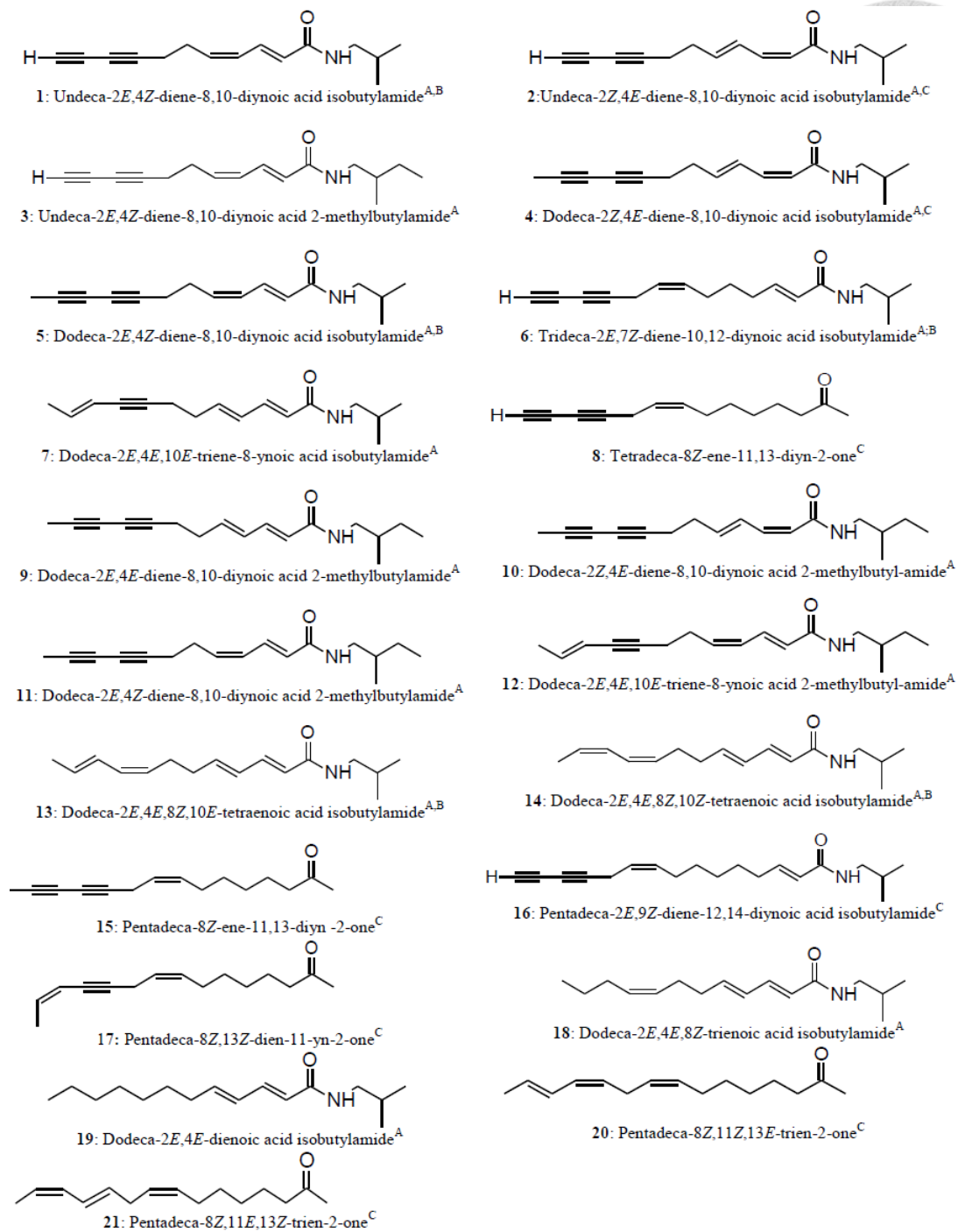
被自由基攻擊而降解 (Bauer and Wagner, 1991; Facino et al., 1995)，故能減減少後續的發炎反應。

4. 洋薊酸 (cynarin)

其分子式為 $C_{25}H_{24}O_{12}$ 。含有洋薊酸之萃取物具有治療肝膽或膽固醇代謝的疾病以及高脂血症 (hyperlipidaemia)，且具有強抗氧化力，能清除 DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 和 ABTS [2,2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)] 自由基 (分別為 $EC_{50} = 14.09$ 和 $28.85 \mu M$) (Jun et al., 2007)。

5. 紫錐菊苷 (echinacoside)

其分子式為 $C_{35}H_{46}O_{20}$ ，為紫錐菊最早被分離出來的化合物。狹葉紫錐菊和白花紫錐菊含有紫錐菊苷，但在紫花紫錐菊中含量很低或是未被發現 (Thomsen, 2012)。此成分可以保護結締組織不受到超氧陰離子和羥基自由基的攻擊而降解，因此，與菊苣酸皆具有抗發炎作用，且可促進傷口癒合 (Facino et al., 1995; Speroni et al., 2002)。另外，紫錐菊苷也具有抗濾過性病毒的能力，可做為抗菌劑 (Bauer and Wagner, 1991; Bergeron et al., 2000)。



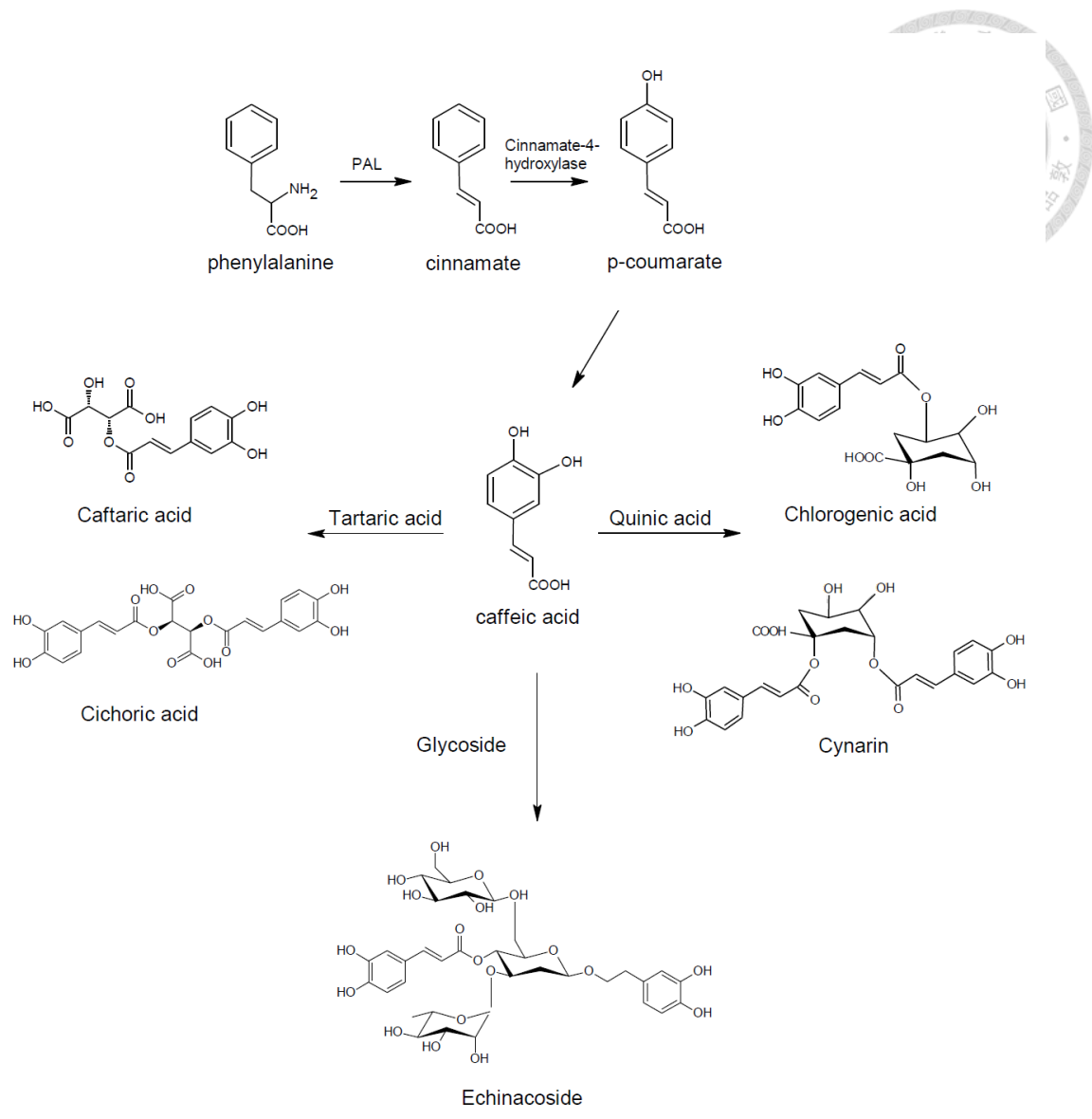
圖一、紫錐菊之 21 種主要親脂性化合物的結構式

Fig. 1. Chemical structures of the main 21 lipophilic compounds of *E. purpurea*.

^ALipophilic compounds found in *E. purpurea* roots. ^BLipophilic compounds found in

aerial parts of *E. purpurea*. ^CLipophilic compounds found in *E. pallida* roots (Thomsen,

2012).



圖二、紫錐菊品種所含之五種咖啡酸衍生物的結構式及其生合成途徑

Fig. 2. Chemical structures and biosynthetic pathway of the five caffeic acid derivatives in *Echinacea* species. (Thomsen, 2012).

三、紫錐菊之藥理作用

紫錐菊早在二十世紀以前就被廣泛的使用，美洲的原住民大量地使用紫錐菊治療各種疑難雜症，包括咳嗽、牙痛、發炎和性病等，或是一些蛇蟲咬傷、外傷與發炎症狀，為原住民提升身體免疫力的傳統藥用植物之一 (邱, 2001; Flannery, 1999)，二十世紀後紫錐菊被廣泛地用來治療外傷，如創傷、燒傷和蚊蟲咬傷，以及內傷，如牙痛、頭痛、胃痙攣、咳嗽、畏寒、麻疹和淋病 (Bauer and Wagner, 1991)。

(一) 免疫調節

紫錐菊的主要功效為刺激和調節免疫系統。其萃取物可以活化殺手細胞，並且會刺激巨噬細胞株 RAW264.7 之 TNF- α 與 NOS 蛋白質的表現，促進一氧化氮 (NO) 產生，NO 可以與活性氧物質結合形成具破壞性的氮氧自由基，是巨噬細胞狙殺病原菌的方式 (郭等, 2006; Lee et al., 2010)。此外，紫錐菊萃取物可調節樹突細胞的分化和樹突細胞中特定免疫相關基因的表現，且施用菊苣酸或正丁醇萃取之紫錐菊作用在人類未成熟的樹突細胞 (human immature dendritic cells) 四小時後，樹突細胞會產生細胞激素 cytokines (IL-8、IL-1 β 、和 IL-18) 以及 chemokines (CXCL 2、CCL 5 和 CCL 2)，並提高抗氧化蛋白以及細胞骨架蛋白的表現量，而樹突細胞為免疫系統中重要的抗原呈現細胞，此結果與紫錐菊萃取物調解人體免疫功能有很大的關聯 (Wang et al., 2006; Wang et al., 2008)。

近年來許多研究也關注紫錐菊之烷醯胺類與免疫調節的關係，烷醯胺類可以活化人體細胞上的第一型以及第二型大麻素受體 (cannabinoid receptor 1, CB1; cannabinoid receptor 2, CB2)，CB1 主要存在大腦，參與許多大腦活動的調節，包括認知、記憶、學習以及運動協調，CB2 主要分布脾臟邊緣區、扁桃腺或免疫細胞 (B 細胞、單核細胞和 T 細胞) 等免疫系統重要器官和細胞，與紫錐菊能增強免疫能力有相當大的關連 (Woelkart et al., 2005; Demuth

and Molleman, 2006; Woelkart and Bauer, 2007)。


(二) 抗氧化

近年來許多研究指出自由基會促進脂質的過氧化，造成 DNA 斷裂，並氧化細胞內的有機分子，造成細胞老化、突變甚至死亡，因此，當體內自由基或活性氧物質增加時，易造成細胞、組織和器官的損傷，並可能引發其他系統性疾病或癌症等 (McCord, 2000; Moskovitz et al., 2002)。酚類化合物常被認為是植物體內的抗氧化劑，因為酚類化合物具有許多氫氧基，可藉由釋放氫氧基上的氫原子與自由基作用，而不成對之電子可在酚類的苯環結構上形成穩定的共振結構 (resonating structure) (古，2006)。許多研究指出紫錐菊萃取物之酚類與咖啡酸衍生物具有抗氧化活性，能抑制脂質的過氧化，並且可以清除自由基 (Speroni et al., 2002; Thomsen, 2012; Yu et al., 2013)。紫錐菊萃取物 ($10 \mu\text{g mL}^{-1}$) 可達到約 50% DPPH 清除能力 [同濃度之抗壞血酸 (ascorbic acid) 約 94%、丁基羥苯甲醚 (BHA) 約 90% 和生育醇 (α -tocopherol) 約 40%] (Tsai et al., 2012)。紫錐菊萃取物 (0.1 mg mL^{-1}) 的總抗氧化能力 (Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC) 為同濃度之抗壞血酸的 30%；紫錐菊萃取物 (2.0 mg mL^{-1}) 之還原力 (reducing power) 可達抗壞血酸的 65%；與二價鐵螯合能力約為 EDTA 的 70%，其超氧陰離子清除能力相當於 90% 的抗壞血酸 (Lee et al., 2009)。

(三) 抗菌

紫錐菊之綠櫟酸會結合和破壞細菌外膜，導致細胞的死亡，具有抗革藍氏陰性菌和陽性菌的活性 (Lou et al., 2011)。不同品種之紫錐菊萃取液對不同細菌的抗性不盡相同 (Sharma et al., 2008)。紫錐菊萃取物對於部分具有致病性的呼吸道感染細菌有直接地殺菌作用，且可以減少病原菌的傳播，緩解感染或感冒症狀 (Hudson, 2010)。

(四) 抗真菌



紫錐菊萃取物具有抗真菌的功效，包括臨床相關致病性真菌。以正己烷萃取之紫錐菊可以抑制酵母菌 (*Saccharomyces cerevisiae*、*Candida shehata*、*C. kefyr*、*C. albicans*、*C. steatulytica* 和 *C. tropicalis*) 的生長 (Binns et al., 2000)。不同品種紫錐菊萃取物對不同品種真菌的抑制效果不同，但紫錐菊根部萃取物對大部分的病原性真菌皆有抑制作用 (Merali et al., 2003)。

(五) 抗病毒

紫錐菊之酚類化合物具有抗病毒的能力。紫錐菊製劑能防止和控制上呼吸道感染 (upper respiratory infections, URIs)，而上呼吸道感染主要是由病毒所引起，與紫錐菊具抗病毒能力有關 (Barrett, 2003)。此外，紫錐菊之菊苣酸具有抗病毒的能力，可以抑制 HIV type I 病毒的複製能力以及其接合酶的活性，並且可以抗單純皰疹病毒 (*Herpes simplex virus*, HSV) (King and Robinson, 1998; Robinson, 1998; King et al., 1999; Binns et al., 2002)。綠櫟酸也被研究指出可作為 A 型流感病毒 H5N1 神經氨酸酶 (neuraminidase) 的抑制劑 (Luo et al., 2011)；神經氨酸酶存在於病毒表面，其被阻斷能使病毒無法離開人體細胞，減緩細胞感染。

(六) 抗致突變

近年研究顯示紫錐菊具有抑制沙門氏菌的致突變性。市售的紫錐菊產品可以抑制沙門氏菌 TA 1535/pSK1002 菌株的致突變活性，另外，紫錐菊之乙醇萃取物能強力抑制沙門氏菌 TA98 和 TA100 的致突變性 (Caillet et al., 2011; Tsai et al., 2012)。

(七) 抗發炎

紫錐菊萃取物具有抗發炎的功効，烷醯胺類可以抑制環氧合酶 (cyclooxygenase-2, COX-2) 的活性以及前列腺素 E₂ 的產生 (Thomsen, 2012)。在發炎部位常發現大量 COX-2 存在，而抑制 COX-2 可以減輕發炎的症狀。另外，紫錐菊萃取物能有效抑制脂多醣 (lipopolysaccharide) 刺激之細胞株

RAW264.7 的 NO 與 TNF- α 產量，以減少後續的發炎反應 (陳等, 2012a; LaLone et al., 2007; Zhai et al., 2009)。另外，研究曾指出紫錐菊的抗發炎作用可能是咖啡酸衍生物與烷醯胺類加乘效應作用的結果 (Zhai et al., 2009)。

四、影響紫錐菊活性成分之要素

(一) 栽培方式

紫錐菊在歐美地區風行已久，而現今紫錐菊幾乎生長在世界各地 (Bauer et al., 1988; Laasonen et al., 2002; Kreft, 2005)，不論是在溫帶、亞熱帶和熱帶地區、低海拔和高海拔、陸地和海岸邊都可以發現其蹤跡 (El-Gengaihi et al., 1998; Stuart and Wills, 2000; Lin et al., 2011)。紫錐菊大部分生長在原產地北美洲貧瘠、日照充足的石礫地，一般土壤栽培可選擇肥力中等的砂質壤土、排水良好且 pH 值介於 6-7 的土壤。根據 Galambosi 等 (1993) 研究顯示，紫花紫錐菊行株距須至少 40×40 cm ($6-7$ plant m^{-2})，在第二年可收穫 4.5 kg FW m^{-2} 之紫錐菊。種植於 80 cm³ 盆栽的紫錐菊於第一年可收穫 210 g FW plant⁻¹，地上部可達 50 g DW plant⁻¹。雖然種植密度增加會降低紫花紫錐菊單株的生長及產量，但單位面積的產量會隨密度增加而提高 (Shalaby et al., 1997)。在雜草防除上，因紫錐菊對雜草競爭力低，在栽培過程中可覆蓋塑膠布，不但可節省成本且可以增加植株乾重達 114%，但要注意夏季土溫過高的問題，可能會導致紫錐菊生長遲緩，也可使用除草劑，如莫多草淨 (metolachlor)、大克草 (DCPA)、樂滅草 (oxadiazon)、及施得圃 (pendimethalin) (邱, 2001)。

由於傳統的栽種方式常常受限於作物栽種時間過長、遭受病蟲害攻擊和天氣不穩定等因子的影響，植物萃取產量常常供不應求，因此，為了開發更有效率的方法來滿足日益增長的需求，許多研究也轉向植物細胞培養的方式，如毛狀根和不定根的栽培等方式來取得植物中的有效成分，以精密的調控生

長因子來增加植物細胞的生長、產量以及其活性成分的含量。利用農桿菌 (*Agrobacterium rhizogenes*) 感染促使植物細胞產生毛狀根，再放入生物反應器進行培養，在第 15 天以超音波處理六分鐘，可以得到最高的咖啡酸衍生物產量 (菊苣酸含量約可達 $18 \text{ mg g}^{-1} \text{ DW}$)，超音波刺激咖啡酸衍生物的增加與細胞內源性 IAA 的生合成和苯丙胺酸解氨酶 (phenylalanine ammonia lyase, PAL) 的活性增加有關 (Liu et al., 2012)。利用不定根栽培來生產紫錐菊之咖啡酸衍生物， 20°C 為最佳孵育溫度，而不定根在黑暗中有最高的生質量，但咖啡酸衍生物的累積則是在光照/黑暗比為 3/21 h 最佳 (Wu et al., 2007)。但兩種方法技術需求高，所需經費不貲，目前大量取得植物之二次代謝物仍以傳統栽種方式為主。

(二) 肥培管理

良好的施肥策略不但可以提升作物的產量及品質，也可以減少農業和肥料的施用，不僅節省成本，也可以避免土壤生產力衰退及對環境造成汙染 (陳, 1999)。合理的肥培管理的策略包括：(1) 添加作物真正需要的養分；(2) 施用正確的肥料和施用量；(3) 施用在正確的位置，以及 (4) 在正確的時間施肥 (陳, 1999)。因此，評估作物的施肥策略需要分析土壤和植體，瞭解土壤養分的高低和植體的營養狀況。氮對植物的生長很重要，氮不只是影響植物生長也會改變植物組織中的二次代謝物含量。而咖啡酸衍生物的前驅物——咖啡酸合成自莽草酸途徑，其中的關鍵酵素為苯丙胺酸解氨酶。許多研究指出缺氮會增加多種植物中苯丙胺酸解氨酶的活性，而當苯丙胺酸解氨酶被活化後，酚類化合物含量就會增加。另一方面，烷醯胺類的化學式中含有氮，因此，缺氮並不會增加烷醯胺類的含量。理論上，缺氮會增加咖啡酸衍生物的含量但會減少烷醯胺類的合成 (Thomsen, 2012)。

紫錐菊的肥培管理資料較有限，目前已知肥料施用量提高會增加地上部的產量，但會降低根的產量 (Galambosi et al., 1993)。氮肥、鉀肥和兩者交互

作用皆會提高紫錐菊的生長和有效成分，不論施用 146 kg N ha^{-1} 、 114 kg K ha^{-1} 或是兩者之複合肥料可得最佳生長（分別為 86.3 、 72.4 和 $90.8 \text{ mg DW plant}^{-1}$ ）及活性成分 (El-Sayed et al., 2012)。但根據 Shalaby 等 (1997) 研究顯示，當氮、鉀肥依不同比例混合施用時，紫錐菊產量並不一定會隨氮肥和鉀肥的施用量增加而提高，適當的氮鉀比才可以得到最佳的紫錐菊生長及產量。一般而言，缺氮會增加咖啡酸衍生物的含量，但沒有任何研究結果顯示紫錐菊在缺氮的情況下咖啡酸衍生物有顯著地增加，但施用氮肥會顯著地增加烷醯胺類的含量 (Thomsen, 2012)。

施用有機質肥料可以改善土壤的物化和生物性質，會影響植物的養分吸收以及各種代謝反應等。有機質在土壤中由微生物及酵素作用而分解，在土壤之碳水化合物會分解而成二氧化碳；水溶性蛋白質分解後成為胺基酸，是胺態氮之來源，然後經過細菌作用而成為硝酸態氮，再被植物利用。除了氮以外，有機質亦提供其他必要元素 (朱, 1984)。紫花紫錐菊從移植後到採收期對養分的吸收量呈現持續增加的趨勢，在採收期施用有機質肥料的紫花紫錐菊養分吸收量大於施用化學肥料者，而施用有機質肥料的紫錐菊之氮：磷：鉀：鈣：鎂等養分吸收量比例約為 $6 : 1 : 12 : 4 : 2$ ，且可以增加其營養要素之絕對吸收速率，其中鉀的絕對吸收率最高 (11.6 mg d^{-1})，其餘依次為氮、鈣、鎂、磷和微量元素等 (蔡等, 2001)。

(三) 收穫調製

紫錐菊的活性成分會隨植物生育階段、採收部位、收穫季節、萃取條件、乾燥方式和溫度，以及貯存容器和溫度等的不同而有差異。根據 Thomsen (2012) 的研究指出，在春天或夏天收穫紫錐菊根部，可以得到高含量的咖啡酸衍生物和一半量的烷醯胺類，且春天收穫紫錐菊根部後，農地可以種植其他經濟作物，夏天收穫則適合一起採收地上部，不建議在秋天收穫紫錐菊，因活性成分含量低。紫錐菊之菊苣酸在花和葉的含量相似，而葉的烷醯胺類

含量僅比花低 50%，並不需要分開收集。紫錐菊產量和咖啡酸衍生物含量會隨植物的年齡而增加，地上部則建議每年採收 (Thomsen, 2012)。地上部可在紫錐菊結花苞時採收，可得最高的咖啡酸衍生物含量，但在花凋謝期烷醯胺類的含量最高，且烷醯胺類與咖啡酸衍生物的總產量較高 (Thomsen, 2012)。紫錐菊採收後以冷凍乾燥處理會保存較多的有效成分，在萃取的過程中以 70% 甲醇超音波萃取兩次可以得到 95% 的咖啡酸衍生物及總酚類化合物，且超音波萃取會比震盪萃取效果好 (林, 2003)。將紫錐菊乾燥樣品放置在 24°C 下貯存 64 週後，會有超過 80% 烷醯胺類降解 (Perry et al., 2000)。

(四) 逆境誘導

當植物受到生物或非生物性逆境時，會被刺激產生和累積二次代謝物，因此，可以利用植物面對逆境的反應，來提高藥用植物的品質。兩種常用的方法為 (1) 添加外源性誘引劑 (elicitors)，在植物遭遇逆境時誘引劑可誘發植物產生防禦機制，為誘發二次代謝物合成的信號；與 (2) 從外部給予植物逆境，皆可以誘發或調節植物二次代謝物的生合成 (Thomsen, 2012)。烷醯胺類在刺激逆境相關之基因中扮演重要的角色 (Méndez-Bravo et al., 2011)，由外部施用茉莉酸甲酯於白花紫錐菊的地上部，其根部之烷醯胺類會受到誘導而增加 (Binns et al., 2001)。咖啡酸衍生的合成與其前驅物—肉桂酸 (cinnamic acid) 息息相關，而肉桂酸是由苯丙胺酸經過苯丙胺酸解氨酶反應後的產物 (Dixon and Paiva, 1995; Winkel-Shirley, 2001)，故可活化苯丙胺酸解氨酶的物質，皆具有作為增加咖啡酸衍生物含量之誘引劑的潛力 (如 H₂O₂、茉莉酸甲酯和水楊酸)。根據 Thomsen (2012) 研究結果指出施加 H₂O₂ 會減少紫錐菊葉的烷醯胺類含量，雖然咖啡酸衍生物在花中的含量增加，但在葉中並沒有顯著差異，而茉莉酸甲酯對紫錐菊的二次代謝物並沒有顯著的影響。在紫錐菊不定根中添加除草劑嘉磷塞也並未如預期地增加紫錐菊的二次代謝物含量，反而抑制不定根咖啡酸衍生物的合成，且發現莽草酸脫氫酶

(shikimate dehydrogenase, SKDH)、分支酸變位酶 (chorismate mutase, CM) 和苯丙胺酸解氨酶與酚類、黃酮類和咖啡酸衍生物含量的改變並沒有直接關係 (Mobin et al., 2015)。在鹽逆境的誘導下，狹葉紫錐菊在 50 mM 氯化鈉處理後，大部分烷醯胺類和酚類化合物相對增加；紫花紫錐菊在 50 和 75 mM 氯化鈉處理後，根的乾重增加 (分別為 121 和 117%)，雖然烷醯胺類沒有明顯差異，但總咖啡酸衍生物含量皆增加 (Sabra et al., 2012)。眾多研究都顯示，不論是傳統栽培或是細胞培養，以逆境誘導紫錐菊增加二次代謝物含量結果不盡相同，仍需要更進一步的研究才能有效地增加植物的有效成分。

(五) 二次代謝物之前驅物

許多二次代謝物是由莽草酸途徑產生，包括咖啡酸衍生物、酚類和黃酮類化合物，此途徑會受到其所需的蛋白質或中間產物的調控，故添加前驅物也可作為在細胞培養下，增加植物二次代謝產物的方法之一。在紫錐菊不定根栽培中添加咖啡酸衍生物之前驅物—苯丙胺酸和色胺酸，會增加紫錐菊不定根的生長和二次代謝物的累積 (Mobin et al., 2015)。

第三章、研究目的

本研究的目的是探討不同氮肥和施用量對紫錐菊的生長及咖啡酸衍生物含量的影響，並調查不同採收時間對紫錐菊的生長及咖啡酸衍生物含量的影響。作為栽種紫錐菊的肥培管理和收穫之參考，建立營養管理與活性成分的關係。





第四章 材料與方法

材料

一、試驗地點與時間

自 2013 年 12 月 4 日至 2014 年 7 月 24 日，於臺灣大學農場溫室 (121°32' 27" E, 25°0' 54" N) 中進行栽種。

二、土壤

試驗用之土壤採集自桃園縣新屋區。屬美國土壤分類之 Hapludults，其基本性質如表一所示。

三、肥料

(一) 有機質肥料：使用市售肥料，為禽畜糞肥，其基本性質如表二所示。

(二) 化學肥料：以硝酸鉀和磷酸二氫鈣作為基肥，尿素作為追肥。

四、試驗作物

紫花紫錐菊 (*Echinacea purpurea*)，種子由行政院農業委員會臺中區農業改良場提供。將種子與砂 (1:1, w/w) 混合，至於塑膠袋保持 10% 含水量，經六週低溫層積處理 (4°C) (邱等, 2001)，於 2013 年 12 月 4 日進行穴盤育苗，介質為珍珠石和泥炭土以 (1:1, v/v) 比例混合，種子發芽後生長至 4-5 片葉子時移植盆栽。

表一、土壤之物理和化學性質

Table 1. Physical and chemical properties of the soil



Physical properties	
Sand (g kg ⁻¹)	520
Silt (g kg ⁻¹)	470
Clay (g kg ⁻¹)	10
Texture	Sandy loam
Chemical properties	
pH (1:1)	4.7
EC ^a (dS m ⁻¹)	1.2
Total nitrogen (g kg ⁻¹)	2.5
M-III ^b phosphorus (mg kg ⁻¹)	87
M-III ^b potassium (mg kg ⁻¹)	134
M-III ^b calcium (mg kg ⁻¹)	84
M-III ^b magnesium (mg kg ⁻¹)	127
M-III ^b iron (mg kg ⁻¹)	564
M-III ^b manganese (mg kg ⁻¹)	30
M-III ^b copper (mg kg ⁻¹)	2.5
M-III ^b zinc (mg kg ⁻¹)	8.0
Organic matter (g kg ⁻¹)	55

^a EC: electrical conductivity of saturated extract. ^b M-III: Mehlich III extractable.

表二、本試驗施用的有機質肥料之基本性質

Table 2. Chemical properties of the organic fertilizer used in the experiment

pH (1:10)	5.0
EC ^a (1:5) (dS m ⁻¹)	13.7
Total nitrogen (g kg ⁻¹ DW ^b)	46.7
Total phosphorus (g kg ⁻¹ DW ^b)	18.1
Total potassium (g kg ⁻¹ DW ^b)	17.5
Total calcium (g kg ⁻¹ DW ^b)	15.1
Total magnesium (g kg ⁻¹ DW ^b)	18.6
Total copper (mg kg ⁻¹ DW ^b)	32.2
Total zinc (mg kg ⁻¹ DW ^b)	142
Total cadmium (mg kg ⁻¹ DW ^b)	1.0
Total nickel (mg kg ⁻¹ DW ^b)	1.3
Total lead (mg kg ⁻¹ DW ^b)	nd ^c
Organic matter (g kg ⁻¹ DW ^b)	855
Water content (g kg ⁻¹ FW ^d)	677

^a EC: electrical conductivity. ^b DW: dry weight. ^c nd: not detected. ^d FW: fresh weight.



方法

一、試驗設計與處理

採盆栽試驗，於 2014 年 1 月 25 日將生長三到四葉之紫錐菊幼苗植入盆栽，每盆含有四公斤風乾土壤，且每盆種植一株紫錐菊。試驗期間月均溫介於 15 至 35°C，相對濕度於 60-85%，每日以自來水適量澆灌。採完全隨機排列 (completely randomized design, CRD)，試驗之變因為肥料和氮施用量。化學肥料以基肥和追肥的形式施用，以硝酸鉀和磷酸二氫鈣作為基肥，以尿素作為追肥。依據 Shalaby 等 (1997)、Chen 等 (2008) 及 El-Sayed 等 (2012)，化學肥料基肥施用約 100 kg N ha⁻¹，並假設有機質肥料的礦化速率為 50%，依化學肥料之氮施用量，計算有機質肥料施用量。於 2014 年 5 月 5 日 (移植後第 100 天) 進行第一次追肥，2014 年 6 月 4 日 (移植後第 130 天) 進行第二次追肥；有機質肥料為一次施用，不施加追肥。本試驗共有七種處理，每處理種植 16 株紫錐菊，每次採樣隨機採收四株。所有盆栽加入六克碳酸鈣調整土壤 pH 值至約 6.0，經過 24 小時進行處理。七種處理分別為：

(一) 空白 (Control)：不施用肥料。

(二) 化學氮肥 (Chem 1)：施用 0.20 g N plot⁻¹、0.30 g P plot⁻¹ 和 0.56 g K plot⁻¹ 作為基肥；第一次追肥施 0.20 g N plot⁻¹，不進行第二次追肥。因此，共施用 0.40 g N plot⁻¹。

(三) 兩倍化學氮肥 (Chem 2)：施用 0.20 g N plot⁻¹、0.30 g P plot⁻¹ 和 0.56 g K plot⁻¹ 作為基肥；第一次追肥施 0.20 g N plot⁻¹，第二次施 0.40 g N plot⁻¹。因此，共施用 0.80 g N plot⁻¹。

(四) 三倍化學氮肥 (Chem 3)：施用 0.20 g N plot⁻¹、0.30 g P plot⁻¹ 和 0.56 g K plot⁻¹ 作為基肥；第一次追肥施 0.20 g N plot⁻¹，第二次施 0.80 g N plot⁻¹。因此，共施用 1.20 g N plot⁻¹。

(五) 有機質肥料 (Org 1)：施 $0.80 \text{ g N plot}^{-1}$ 、 $0.31 \text{ g P plot}^{-1}$ 和 $0.3 \text{ g K plot}^{-1}$ 之有機質肥料，全部以基肥施入，不進行追肥。

(六) 兩倍有機質肥料 (Org 2)：施 $1.60 \text{ g N plot}^{-1}$ 、 $0.62 \text{ g P plot}^{-1}$ 和 $0.6 \text{ g K plot}^{-1}$ 之有機質肥料，全部以基肥施入，不進行追肥。

(七) 三倍有機質肥料 (Org 3)：施 $2.40 \text{ g N plot}^{-1}$ 、 $0.93 \text{ g P plot}^{-1}$ 和 $0.9 \text{ g K plot}^{-1}$ 之有機質肥料，全部以基肥施入，不進行追肥。

二、採樣

第一次採收時間為 2014 年 6 月 24 日 (移植後 150 天, 150 days after transplanting, 150 DAT)，紫錐菊尚未抽台開花，於每處理的 16 株紫錐菊中隨機採收四株並採集盆栽土樣；第二次採收時間為 2014 年 7 月 24 日 (移植後 180 天, 180 DAT)，此時紫錐菊進入開花期，於每處理之剩餘植株中隨機採收四株紫錐菊全株並採集盆栽土樣。

三、樣品處理

紫錐菊採收後，分為地上部和根部，依序以自來水和去離子水沖洗，隨後放入紙袋中以 45°C 烘乾至恆重。以高速粉碎機 (Pulverizing Machine RT-02B, Rong Tsong Precision Technology Co., Taichung, Taiwan) 磨成粉末狀，用於後續分析。

四、樣品分析

(一) 試劑

1. 硝酸-釩酸-鉬酸呈色液：溶解 25 g 鉬酸銨 (ammonium molybdate, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 於 400 mL 純水中，此為 A 液。溶解 1.25 g 偏釩酸銨 (ammonium metavanadate, NH_4VO_3) 於 300 mL 沸水中，冷卻後加入 250

mL 濃硝酸，冷卻，此為 B 液。將 B 液倒入 100 mL 量瓶中，再倒入 A 液，混合後，加純水稀釋成 1,000 mL。

2. Mehlich III 萃取劑 (Mehlich III extraction mixture) (Mehlich, 1984) : 0.2 N

醋酸、0.25 N 硝酸銨、0.015 N 氟化銨、0.013 N 硝酸及 0.001 M EDTA。

(1) Mehlich III 儲備液：加入 277.8 g 氟化銨與 146.1 g EDTA 於 1,200 mL 去離子水中，稀釋 2 L 定量瓶並混合之。

(2) 秤取 1,000 g 硝酸銨於 40 L 純水中，加入 200 mL Mehlich III 儲備液，再加入 575 mL 醋酸及 41 mL 硝酸，以純水稀釋至 50 mL 並混合。此溶液之 pH 值為 2.5 ± 0.1 。

3. 單一試劑 (single solution)

(1) 5 N 硫酸溶液：將 70 mL 濃硫酸稀釋至 500 mL。

(2) 0.07 M 鉬酸銨溶液：將 20 g 鉬酸銨溶於去離子水中並定量至 500 mL。

(3) 0.1 M 抗壞血酸 (ascorbic acid) 溶液：將 1.32 g 抗壞血酸溶於 75 mL 去離子水。

(4) 酒石酸銻鉀 (1 g Sb L^{-1}) 溶液：將 0.2743 g 酒石酸銻鉀 ($\text{KSbC}_4\text{H}_4\text{O}_7$) 溶於去離子水並定量至 1,000 mL。

(5) 250 mL 混合液：將 125 mL 5 N 硫酸、37.5 mL 鉬酸銨、75 mL 抗壞血酸及 12.5 mL 酒石酸銻鉀混合後即可使用，但由於抗壞血酸易氧化，所以混合液不宜放置 24 小時以上，抗壞血酸宜於使用前加入。

4. 1 N 福林酚試劑 (Folin-Ciocalteu's phenol reagent) : 取 50 mL Folin-Ciocalteu's phenol reagent，以去離子水定量至 100 mL。

5. 20% 碳酸鈉 (Na_2CO_3) 溶液：取 100 g 碳酸鈉，以去離子水定量至 500 mL。

(二) 有機質肥料基本性質分析 (國立中興大學土壤調查試驗中心, 2012)



1. pH 值 (1 : 10, w/v)

稱 5 g 堆肥樣品於燒杯中，加入 50 mL 去離子水，攪拌均勻後靜置一小時 (期間偶爾攪拌)，以 pH 計測定。

2. 電導度 (EC) (1 : 5, w/v)


稱 10 g 堆堆肥樣品於燒杯中，加入 50 mL 去離子水，攪拌均勻後靜置六十分鐘 (期間偶爾攪拌)。以 Whatman No. 1 濾紙抽氣過濾，所得之濾液以電導度計測定。

3. 總氮

- (1) 精稱 0.3 g 樣品置於分解管中，加入 0.2 g 水楊酸 (salicylic acid)，及 7 mL 濃硫酸混合均勻後靜置過夜 (需將分解管封口，避免吸入氮氣)，於加熱前加入 0.3 g 硫代硫酸鈉 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)。
- (2) 以微火加熱 (100°C) 至不產生泡沫時，以每 20-30 分鐘升溫 50°C 的速度加熱至 350°C ，於 350°C 加熱至固體分解 (分解液呈醬油色)。
- (3) 取出分解管待冷卻後加入 2 mL 30% 過氧化氫，繼續以 350°C 加熱至澄清，並使過氧化氫分解 (約需 20 分鐘)。
- (4) 未澄清，則重覆步驟 (3) 至澄清為止。
- (5) 待冷卻後，加入少量去離子水使分解液釋出部分稀釋熱。
- (6) 將分解液定量至 50 mL，均勻混合後以 Whatman No. 1 濾紙過濾，裝置塑膠瓶中貯藏待測。
- (7) 以蒸氮法測定總氮。

4. 磷

- (1) 精稱 0.4 g 樣品置於分解管中，加入 6 mL 二酸 (濃硝酸：濃過氯酸 = 4 : 1)，混合均勻後靜置過夜。
- (2) 將分解管置於高溫爐緩慢加熱至 200°C ，持續加熱至澄清狀態。
- (3) 待分解完成後，取出冷卻，將分解液定量至 50 mL。

- 
- (4) 取適量分解液於 50 mL 定量瓶中，加水約 20 mL，再加入硝酸-鈳酸-鉬酸呈色液 10 mL，混合後加去離子水至刻度，混合均勻。
- (5) 靜置 30 分鐘，以分光光度計 (Beckman DU-640 spectrophotometer, Beckman Instruments Inc., CA, USA) 在 420 nm 下測定吸光值。
- (6) 標準液磷之終濃度為 0、2、4、6、8 和 10 mg L⁻¹。

5. 鉀

將磷測定之分解液經適當的稀釋後，鉀以火焰光度計 (Clinical Flame Photometer 410C, Sherwood, Scientific, Ltd, Combridge, UK) 測定。

6. 鈣、鎂、銅、鋅、鎳、鎳與鉛

將總氮測定之分解液經適當的稀釋後，鈣、鎂、銅、鋅、鎳、鎳與鉛以原子吸收光光譜儀 (Atomic Absorption Spectrophotometer, Hitachi 180-30, Tokyo, Japan) 測定。

7. 水分含量測定

秤取樣品約 3 g (S₁)，在烘箱內以 105°C 之溫度烘乾四小時，放置乾燥皿內冷卻，秤出其乾燥損失之重量 (a) 以計算試樣中之水分含量。其計算如下：

$$\text{水分含量 (\%)} = a / S_1 \times 100$$

8. 有機質測定

- (1) 記錄坩堝 (經 600°C 灼熱兩小時，放冷後) 空重。
- (2) 秤取樣品約 2 g (W)，在高溫爐內以 600°C 下加熱四小時後，移至乾燥皿中冷卻，秤其殘留灰分重量 (W_b)。
- (3) 計算試樣之有機質含量及有機碳含量。其計算公式如下：
- (4) 有機質含量 (g kg⁻¹) = (W - W_b)/W × 1000
有機碳含量 (g kg⁻¹) = 有機質含量 × 0.46

(三) 土壤基本性質分析



1. 質地 (Gee et al., 1986)

- (1) 秤 50 g (W) 風乾土置於 500 mL 燒杯中，加入 200 mL 去離子水充分攪拌。
- (2) 加入 10 mL 50 g kg⁻¹ 偏磷酸鈉溶液，並加入去離子水至離杯口約三分之二處，將杯至於攪拌器下攪拌。
- (3) 攪拌後，將全部懸濁液移入 1,000 mL 量筒內，並加去離子水至 1,000 mL。
- (4) 用攪拌槳上下攪動 20 次，取出開始計時。
- (5) 20 秒後，輕放入比重計，不使上下振動，待 40 秒時，記錄比重計讀數 (Ps)，此值為黏土與粉土含量。
- (6) 重新用攪拌槳上下攪動，靜置兩小時後，放入比重計讀取讀數 (Pc)，此值為黏土量。
- (7) 計算：

$$\text{Sand (g kg}^{-1}\text{)} = 1000 - (\text{Ps}/\text{W}) \times 1000$$

$$\text{Clay (g kg}^{-1}\text{)} = (\text{Pc}/\text{W}) \times 100\%$$

$$\text{Silt (g kg}^{-1}\text{)} = 1000 - (\text{Sand} + \text{Clay})$$


2. pH 值 (1 : 1) (McLean, 1982)

秤 20 g 土壤於 100 mL 塑膠燒杯中，加入 20 mL 去離子水，以玻璃棒攪拌均勻後靜置一小時 (期間偶爾攪拌)，以 pH 計測定。

3. 飽和水導電度 (Rhoades, 1982)

秤 50 g 土壤於 100 mL 塑膠燒杯中，加入去離子水使土壤達飽和，攪拌均勻後靜置一小時 (期間偶爾攪拌)。以 Whatman No. 1 濾紙抽氣過濾，所得之濾液以電導度計測定。

4. 總氮 (Bremner, 1965)

- 
- (1) 稱取 1 g 土壤置於分解管中，加入 2 mL 去離子水靜置 30 分鐘，加入 1.1 g 分解物促進劑（硫酸鉀：硫酸銅：硒 = 100：10：1），加入 0.2 g 水楊酸及 8 mL 濃硫酸，混合均勻後靜置過夜（需將分解管封口，避免吸入氯氣），於加熱前加入 0.3 g 硫代硫酸鈉。
 - (2) 以微火加熱（100°C）至不產生泡沫時，以每 20-30 分鐘升溫 50°C 的速度加熱至 350°C，於 350°C 加熱至固體分解（分解液呈醬油色）。
 - (3) 取出分解管待冷卻後加入 2 mL 30% 過氧化氫，繼續以 350°C 加熱至澄清，並使過氧化氫分解（約需 20 分鐘）。
 - (4) 未澄清，則重覆步驟 (3) 至澄清為止。
 - (5) 待冷卻後，加入少量去離子水使分解液釋出部分稀釋熱。
 - (6) 將分解液定量至 50 mL，均勻混合後以 Whatman No. 1 濾紙過濾，裝至塑膠瓶中貯藏待測。
 - (7) 以蒸氮法測定總氮。


5. 無機態氮 (Bremner, 1965)

- (1) 取 4 g 土壤樣品置於 50 mL 離心管中，加入 40 mL 2 M 氯化鉀溶液震盪萃取兩小時，過濾後儲存於塑膠瓶待用。
- (2) 取 50 mL 上述萃取液，加入適量氧化鎂和 Devarda 合金粉，以蒸餾法測定無機態氮含量。

6. Mehlich III 可萃取性磷 (Mehlich, 1984)

- (1) 稱取 4 cm³ 的土壤於 50 mL 離心管中，加入 40 mL Mehlich III 萃取劑振盪五分鐘（200 rpm），以 Whatman No. 1 濾紙過濾，以鉬藍法測定磷濃度。
- (2) 取適量濾液於 50 mL 定量瓶中，添加去離子水使總體積約 40 mL，再加入 8 mL 單一試劑後定量至 50 mL，並均勻混合。
- (3) 呈色 30 分鐘後，以分光光度計於波長 882 nm 下測定其吸光值。

7. Mehlich III 可萃取性鉀、鈣、鎂、鐵、錳、銅與鋅 (Mehlich, 1984)

- 
- (1) 稱取 4 cm³ 的土壤於 50 mL 離心管中，加入 40 mL Mehlich III 萃取劑振盪五分鐘 (200 rpm)，以 Whatman No. 1 濾紙過濾。
 - (2) 濾液經適當稀釋後，以火焰光度計測定鉀濃度，以原子吸收光譜儀測定鈣、鎂、鐵、錳、銅與鋅濃度。

8. 有機質測定 (Soon and Abboud, 1991)

- (1) 記錄乾淨之坩堝重 (W_0)。
- (2) 稱取約 20 g 土壤，在 105°C 之溫度下加熱兩小時，放置乾燥皿內冷卻至室溫後稱重 (W_1)。
- (3) 置於高溫爐中 250°C 下加熱兩小時，再於 375°C 下加熱 16 小時，停止加熱後，在高溫爐中冷卻至約 200°C 時，放入乾燥皿中冷卻至室溫後稱重 (W_2)。
- (4) 計算土壤之有機質含量。其計算公式如下：

$$\text{有機質含量 (g kg}^{-1}\text{)} = (W_1 - W_2) / (W_1 - W_0) \times 1000$$

(四) 植體分析

1. 總氮

如 (二) 之 3 分析法。

2. 磷：消解後，以修正張 (1981) 與 Horwitz 等 (1975) 之鉬黃法測定。

- (1) 精稱 0.2 g 樣品置於分解管中，加入 4 mL 二酸 (濃硝酸：濃過氯酸 = 4：1)，混合均勻後靜置過夜。
- (2) 將分解管置於高溫爐緩慢加熱至 200°C，持續加熱至澄清狀態。
- (3) 待分解完成後，取出冷卻，將分解液定量至 50 mL。
- (4) 取適量分解液於 50 mL 定量瓶中，加水約 20 mL，再加入硝酸-鈳酸-鉬酸呈色液 10 mL，混合後加去離子水至刻度，混合均勻。
- (5) 靜置 30 分鐘，以分光光度計在 420 nm 下測定吸光值
- (6) 標準液磷之終濃度為 0、2、4、6、8 和 10 mg L⁻¹。

3. 鉀

將磷測定之分解液經適當的稀釋後，鉀以火焰光度計測定。

4. 鈣、鎂、鐵、錳、銅與鋅

將磷測定之分解液經適當的稀釋後，鈣、鎂、銅、鋅、鎳、鎳與鉛以原子吸收光光譜儀測定。

5. 總酚及咖啡酸衍生物萃取液之製備：以修正 Bergeron 等 (2000) 之方法萃取。

- (1) 取 0.5 g 烘乾磨碎之樣品，加入 8 mL 70% 乙醇溶液後振盪混合均勻。
- (2) 於常溫水浴中進行超音波振盪 30 分鐘。
- (3) 以 2,000 rpm (CN-5120, HsiangTai, Taipei, Taiwan) 離心 10 分鐘後取上清液。
- (4) 重複萃取三次後，收集上清液混合，將萃取液定量至 25 mL。
- (5) 以孔徑 0.22 μm 之 PTFE syringe filter 過濾，貯存至 -20°C 。

6. 總酚含量測定 (Kujala et al., 2000)

- (1) 取 1.0 mL 稀釋萃取液 (萃取液：70% 乙醇 = 1：9) 於試管中，加入 0.5 mL 1 N 福林酚試劑 (Folin-Ciocalteu's reagent)，均勻混合後靜置五分鐘。
- (2) 加入 2.0 mL 20% 碳酸鈉溶液，均勻混合後於室溫下靜置十分鐘。
- (3) 以 3,000 rpm 離心八分鐘後取上清液。
- (4) 於波長 730 nm 下進行吸光值測定，總酚含量以每克樣品中所含等當量沒食子酸毫克數表示 ($\text{g gallic acid kg}^{-1}$)。
- (5) 標準液為 0、10、20、40、60 和 80 mg L^{-1} 沒食子酸溶液。

7. 咖啡酸衍生物分析 (Bergeron et al., 2000)

- (1) 標準品製備：分別將四種標準品以 70% 乙醇溶解，以孔徑 0.22 μm 之 PTFE syringe filter 過濾，配置成不同濃度以製作標準品檢量線，濃度範圍及檢量線方程式如表五。四種咖啡酸衍生物標準品皆購自 ChromaDex Inc. (Santa Ana, CA, USA)。

(2) 樣品製備：取 1 mL 萃取液，通過 0.2 μm 微孔濾膜，將過濾後之萃取液以逆向高效液相層析儀 (Reverse Phase High Performance Liquid Chromatography, RP-HPLC) 進行分析。咖啡酸衍生物含量以 ($\mu\text{mol g}^{-1}$) 表示。

(3) 分析條件

- A. 機型：幫浦 (SepetraSYSTEM P100, Thermo Separation Products Inc., Floride, USA)、UV 偵測器 (Agilent HP1100, Agilent Technologies Manufacturing GmbH & Co., Waldbronn, Germany)。
- B. 管柱：Mightysil RP-18 GP (4.6 \times 250 mm, 5 μm , Kanto Chemicals, Tokyo, Japan)。
- C. 移動相：A：含有 0.1% 磷酸 (phosphoric acid) 之超純水，B：含有 0.1% 磷酸之乙腈。使用梯度沖提，參考 Bergeron 等 (2000) 及吳 (2007) 方法，略加調整，條件如表三。
- D. 注入體積為 20 μL ，流速為 1.0 mL min^{-1} ，波長為 320 nm，滯留時間如表四。

8. 植體養分吸收量計算：植物根及地上部吸收之該養分濃度分別乘以該株植物根及地上部之乾重，兩者相加可得全株該養分吸收量。

五、統計分析

統計方法採用 R 軟體 (2.15.2) 進行 ANOVA 及 Least significant difference (LSD) 分析，各處理間之差異以 $P < 0.05$ 視為顯著差異。

表三、高效液相層析儀之動相條件

Table 3. Chromatographic conditions of high performance liquid chromatograph

Time (min)	Flow rate (mL min⁻¹)	Solvent A ^a	Solvent B ^b
0	1	90	10
10	1	87	13
15	1	85	15
24	1	85	15
25	1	80	20
30	1	70	30

^a Solvent A: 0.1% phosphoric acid in water. ^b Solvent B: 0.1% phosphoric acid in acetonitrile.

表四、本試驗中五種咖啡酸衍生物標準品之滯留時間

Table 4. The retention time of the five caffeic acid derivatives in this study

Caffeic acid derivatives	Peak number	Retention time (min)
Caftaric acid	1	11.27 ± 0.09
Chlorogenic acid	2	12.36 ± 0.07
Cynarin	3	21.10 ± 0.10
Echinacoside	4	23.10 ± 0.14
Cichoric acid	5	33.40 ± 0.12

表五、四種咖啡酸衍生物之標準曲線

Table 5. Standard calibration curves of the five caffeic acid derivatives

Caffeic acid derivatives	Calibration curves		
	Calibration range (mg L ⁻¹)	Regression equation ^a	Coefficient of determination (R ²)
Caftaric acid	1 - 400	$y = 65.234x + 132.96$	0.9997
Chlorogenic acid	1 - 400	$y = 50.096x + 133.33$	0.9995
Cynarin	1 - 400	$y = 57.904x + 101.16$	0.9997
Echinacoside	1 - 400	$y = 19.168x + 45.135$	0.9992
Cichoric acid	1 - 400	$y = 54.895x + 121.5$	0.9996

^a y: peak area; x: concentration.

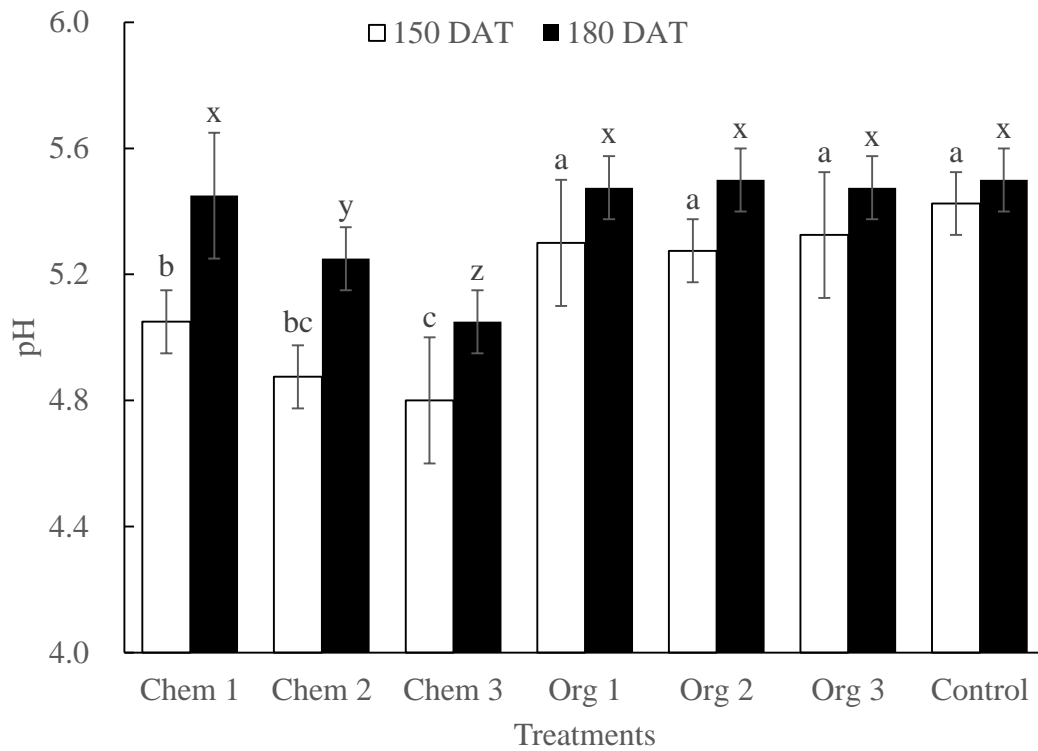
第五章 結果與討論



一、施用肥料對種植紫錐菊後之土壤性質的影響

(一) pH 值

土壤的 pH 值會影響土壤微生物活性、植物的生長、養分吸收以及肥料的有效性，土壤的 pH 值可做為判斷土壤肥力的重要指標之一。由於試驗前土壤 pH 值為 4.7(表一)，而紫錐菊適合生長於 pH 值介於 6-7 的弱酸性土壤中，且偏酸性土壤氮的有效性較低，故所有盆栽皆加入六克碳酸鈣調整土壤 pH 值至約 6.0，以硝酸鉀作為基肥。圖三為紫錐菊移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤 pH 值的影響。在移植後 150 天，Chem 1-Chem 3 處理之土壤 pH 值與控制組比，有顯著降低，其中 Chem 3 處理之土壤 pH 值最低 (4.8)；在移植後 180 天，Chem 2 處理 (5.3) 和 Chem 3 處理 (5.1) 之土壤 pH 值與控制組 (5.5) 比，也顯著較低。此外，不論是移植後 150 天或 180 天，土壤 pH 值隨化學肥料的施用量增加而下降；有機質肥料處理 (Org 1-Org 3) 皆與控制組無顯著差異，並高於化學肥料處理。有機質具有許多官能基，其氫離子解離帶負電荷 (主要帶電位置為 COO^-)，如同多質子弱酸，能緩衝土壤 pH 值在一個很寬的範圍，能維持土壤 pH 值 (Bohn et al., 1985)。有機質肥料中所含的鹽基性離子，也有緩衝土壤 pH 值的作用，稱為石灰效應 (liming effect) (陳，1995；Whalen et al., 2000; Doan et al., 2014)，因此，施用有機質肥料之土壤 pH 值高於施用化學肥料之土壤。所有處理之土壤 pH 值在移植後 180 天皆高於 150 天，此結果與長期施用尿素作為氮肥會導致土壤 pH 值下降不一致 (Bouman et al., 1995)。此結果應是由於土壤 pH 值下降至五以下時，微生物的活性降低，而礦化作用會受到抑制 (Curtin et al., 1998; Kemmitt et al., 2006)，此則與邱等 (2012) 研究結果一致。

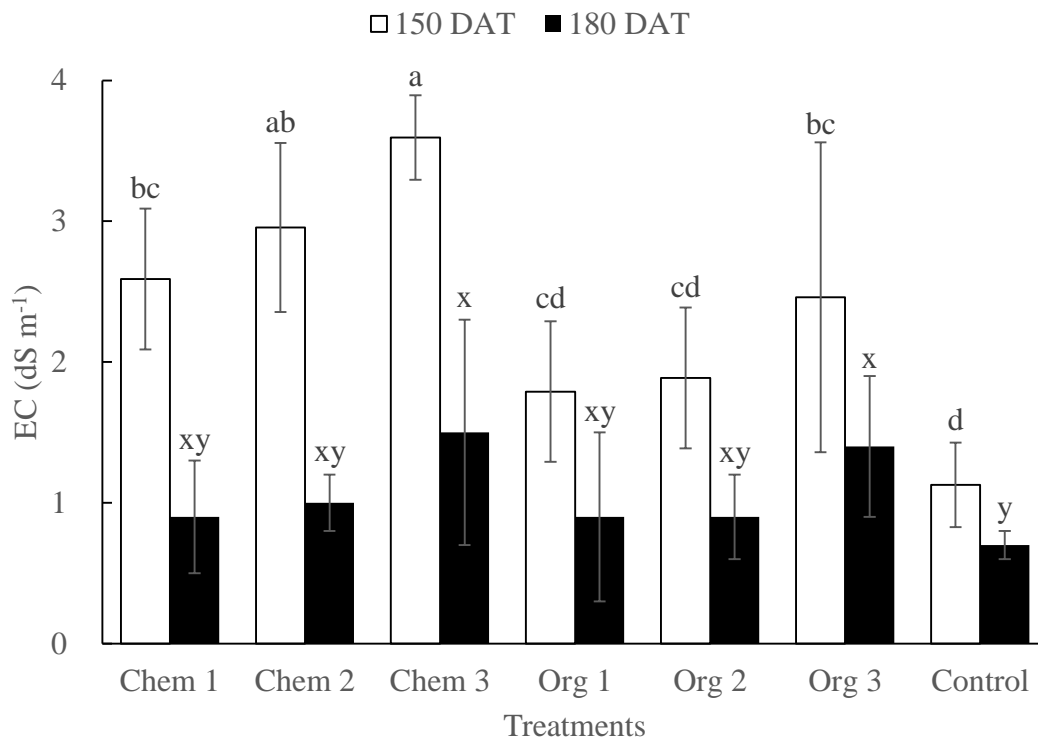


圖三、不同肥料處理對土壤 pH 值的影響

Fig. 3. Effect of different fertilizer treatments on soil pH. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(二) 土壤飽和水溶液電導度


圖四為紫錐菊移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤 EC 值的影響。顯示在移植後 150 天所有處理土壤 EC 值比試驗前者 (表一, 1.2 dS m^{-1}) 高，且土壤 EC 值隨化學肥料施用量增加而增加，在 Chem 3 處理有最高值 (3.6 dS m^{-1})；化學肥料處理 (Chem1-Chem 3) 之土壤 EC 值皆比有機質肥料處理 (Org 1-Org 3) 高，控制組之值最低 (1.1 dS m^{-1})。在移植後 180 天，除了肥料施用量高的處理之土壤 EC 值較高 (Chem 3 和 Org 3, EC 值分別為 1.5 和 1.4 dS m^{-1})，其餘處理之土壤 EC 值皆下降至低於試驗前之土壤，EC 最低值出現在控制組 (0.7 dS m^{-1})。因 150 天至 180 天並未再施用任何追肥，顯示紫錐菊在開花期大量吸收土壤中的養分或是因澆灌到置土壤鹽分的流失，唯有在高劑量肥料處理才能補充土壤的鹽分。此外，施用化學肥料之三種處理下降的比例 (58-67%) 比施用有機質肥料 (44-50%) 大，應是因為化學肥料較易被植物吸收，而且有機質肥料則又可再被礦化所致。土壤溶液中鹽分含量會受土壤中鹽類、肥料種類、施用量及灌溉水的影響，一般藉由土壤飽和水溶液電導度 (EC) 判定。一般而言，其值愈高表示養分含量愈高，但 EC 值大於 4 dS m^{-1} ，造成土壤溶液具高滲透壓，不利於一般不耐鹽植物 (glycophytes) 吸收水分與養分，影響植物生長。



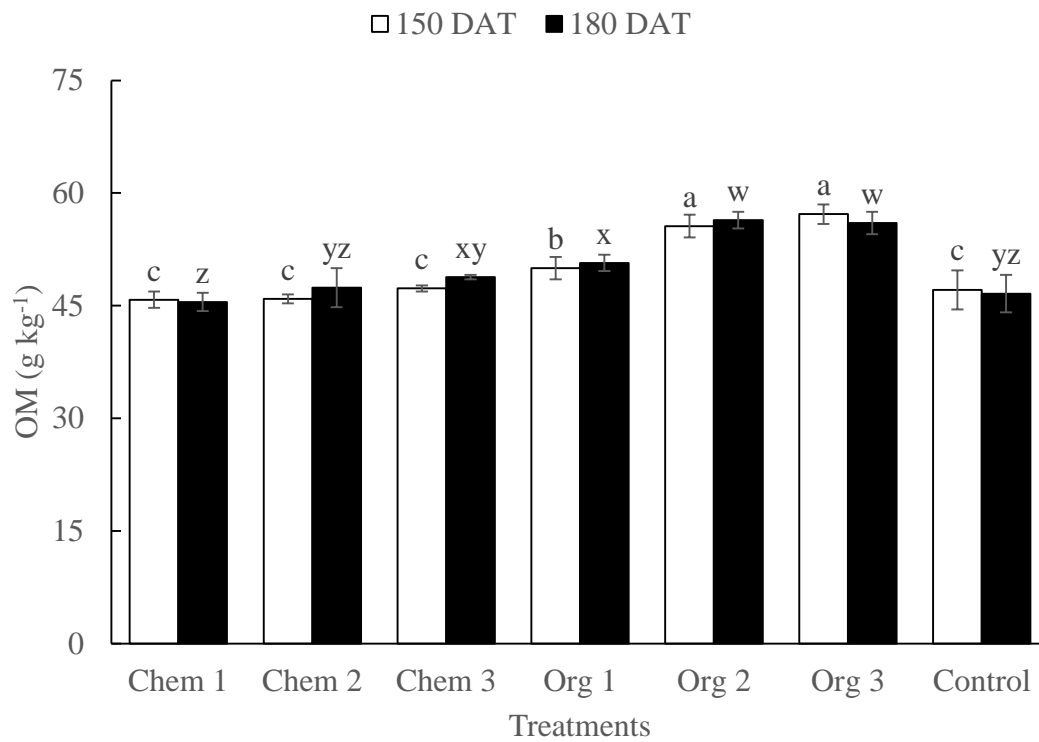
圖四、不同肥料處理對土壤 EC 值的影響

Fig. 4. Effects of different fertilizer treatments on soil EC. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(三) 土壤有機質含量



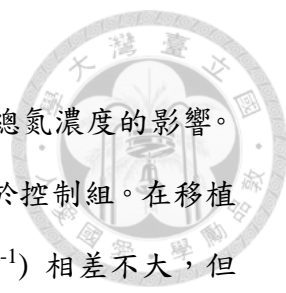
圖五為紫錐菊移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤有機質含量的影響。不論在移植後 150 天或 180 天，化學肥料處理與控制組皆沒有顯著差異，但比試驗前土壤之有機質含量 (表一， 55 g kg^{-1}) 低，表示試驗中土壤有機質被分解；而有機質肥料處理皆顯著高於控制組。唯有 Org 2 及 Org 3 處理之土壤有機質含量比試驗前之土壤高，因此，可知 Org 2 及 Org 3 處理之有機質肥料施用量可以補充土壤被分解的有機質，維持土壤品質。不同採收天數，所有處理之土壤有機質含量差異不大，表示 30 天內有機質分解量少。雖然土壤有機質僅佔土壤的一小部分，但對土壤物理、化學、及生物性質有很大的影響。有機質可以提高土壤陽離子交換容量、保水容量與增加土壤的緩衝能力，以及穩定土壤團粒構造，並提供大部分土壤微生物的能源和碳源；此外，土壤有機質經過分解後，可提供植物養分 (主要為氮、磷及硫)，為緩效性養分貯池，因此，土壤有機質含量為土壤品質的重要指標之一 (朱，1984；Bohn et al., 1985)。



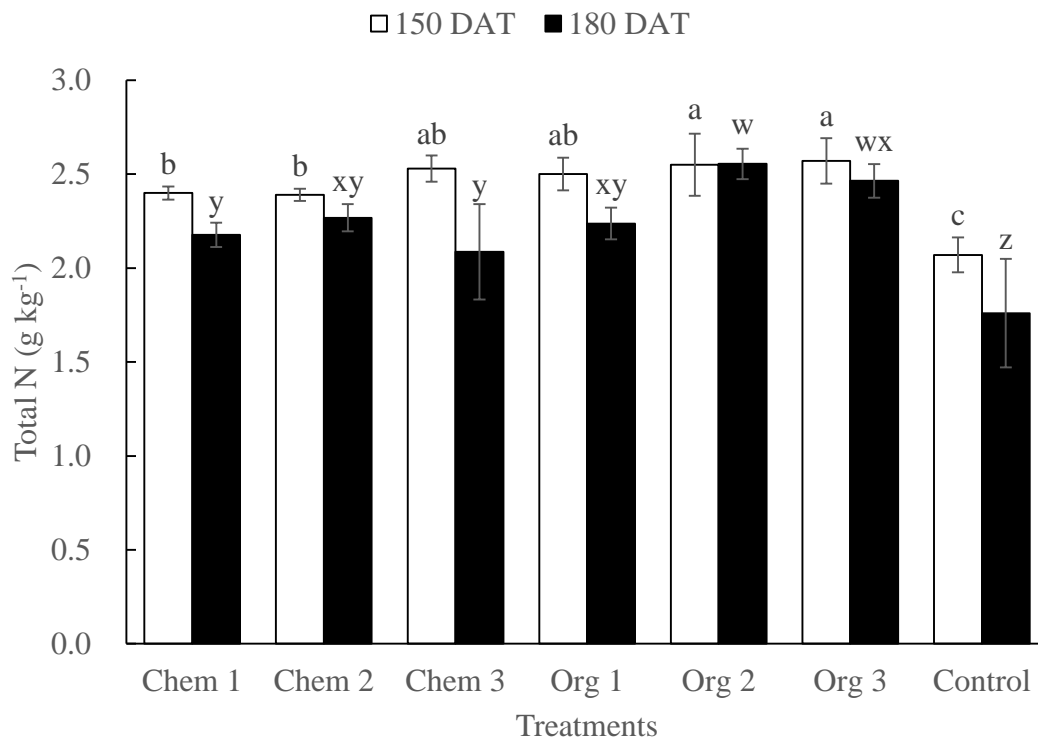
圖五、不同肥料處理對土壤有機質含量的影響

Fig. 5. Effects of different fertilizer treatments on organic matter concentration of soil. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(四) 總氮



圖六為紫錐菊移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤總氮濃度的影響。顯示不論在移植後 150 天或 180 天，所有處理的總氮含量皆高於控制組。在移植後 150 天，所有處理與試驗前的土壤總氮含量 (表一， 2.5 g kg^{-1}) 相差不大，但控制組下降至 2.1 g kg^{-1} ，顯示施用肥料補充土壤減少的氮量，而土壤在試驗過程中損失大量的氮，可能原因為植物吸收。氮氣在大氣中佔約 77%，但植物無法直接利用空氣中的氮，植物所能利用之土壤氮主要來自生物、大氣中放電及工業的固定。土壤氮來源有肥料、作物殘體、有機質、灌溉水和雨水攜來之有效氮，以及微生物自空氣中固定之氮 (fixed form)。在氮循環 (nitrogen cycle) 中，氮會以被作物吸收、排水、淋洗移出或揮發作用 (volatilization) 而損失。在移植後 180 天，Org 2 和 Org 3 的總氮含量 (2.5 和 2.6 g kg^{-1}) 顯著高於化學肥料處理 (Chem 1-Chem 3)，可歸因於有機質肥料處理施用的氮較多及其需經過微生物的分解，才能轉變為植物可利用的形式，緩慢地釋出氮。植物能利用之形態主要為硝酸態氮與銨態氮，銨態氮又會被黏土礦物固定，或是被細菌轉變為硝酸態氮，並易淋溶損失。銨離子 (NH_4^+) 能於黏粒晶體與腐植質表面被吸附，土壤有機質為土壤氮的重要貯藏室，因此，土壤有機質愈高，土壤之氮的蓄存量也愈高 (朱，1984)。

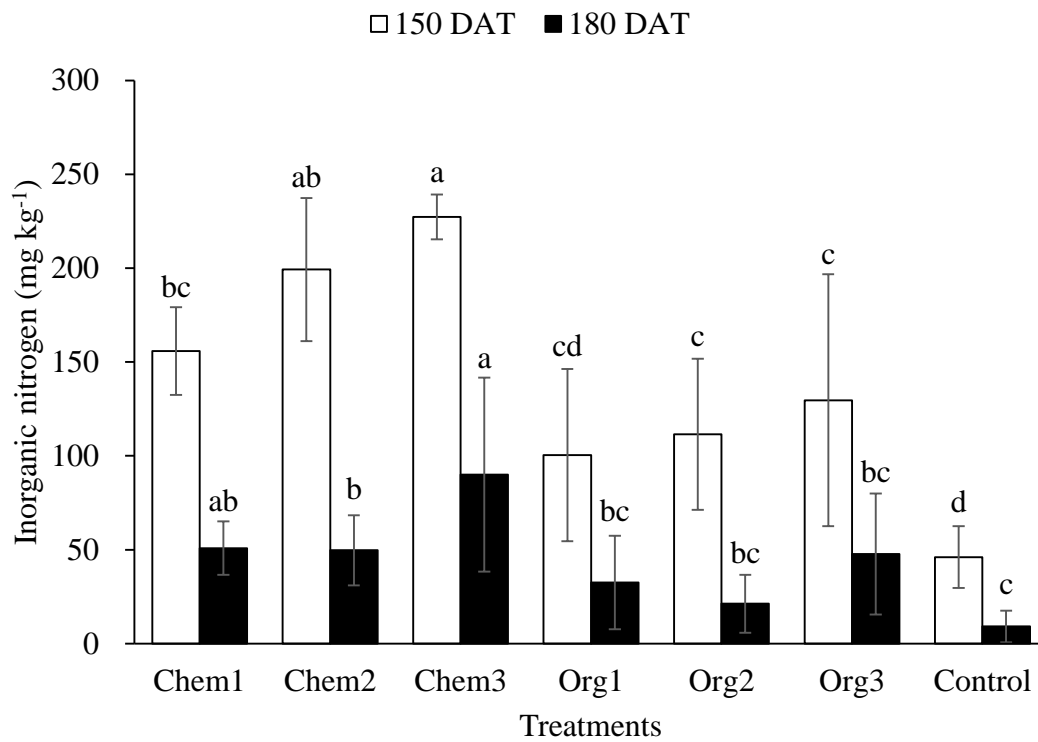


圖六、不同肥料處理對土壤總氮濃度的影響

Fig. 6. Effects of different fertilizer treatments on total nitrogen concentration of soil. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(五) 無機態氮


圖七為不同肥料處理對土壤無機態氮濃度的影響。顯示在移植後 150 天，所有處理組之土壤的無機態氮皆高於控制組，且化學氮肥處理高於有機質肥料處理，並隨化學氮肥和有機質肥料施用增加而提高。移植後 180 天，化學氮肥處理下降約 105 至 150 mg kg⁻¹，有機質肥料處理下降約在 68 至 90 mg kg⁻¹ 間，控制組下降 37 mg kg⁻¹。一般而言，無機態氮約佔土壤總氮的 2-3%，大部分是由硝酸態氮和氨態氮構成，為植物可利用之氮源 (黃, 2014)。本試驗在移植後 150 天土壤無機態氮佔總氮比例，在化學氮料處理 (Chem 1-Chem 3) 介於 6.2-9.5%，有機質肥料處理介於 3.9-5.2%，控制組為 2.2% (Org 1-Org 3)；移植後 180 天土壤無機態氮佔總氮比例，在化學氮料處理介於 2.3-4.3%，有機質肥料處理介於 0.8-1.9%，控制組為 0.5%。有機質肥料需經過微生物的分解及礦化，將有機態氮轉變為無機態氮，才可供植物吸收，因此，有機質肥料處理之土壤無機態氮濃度會低於化學肥料處理。



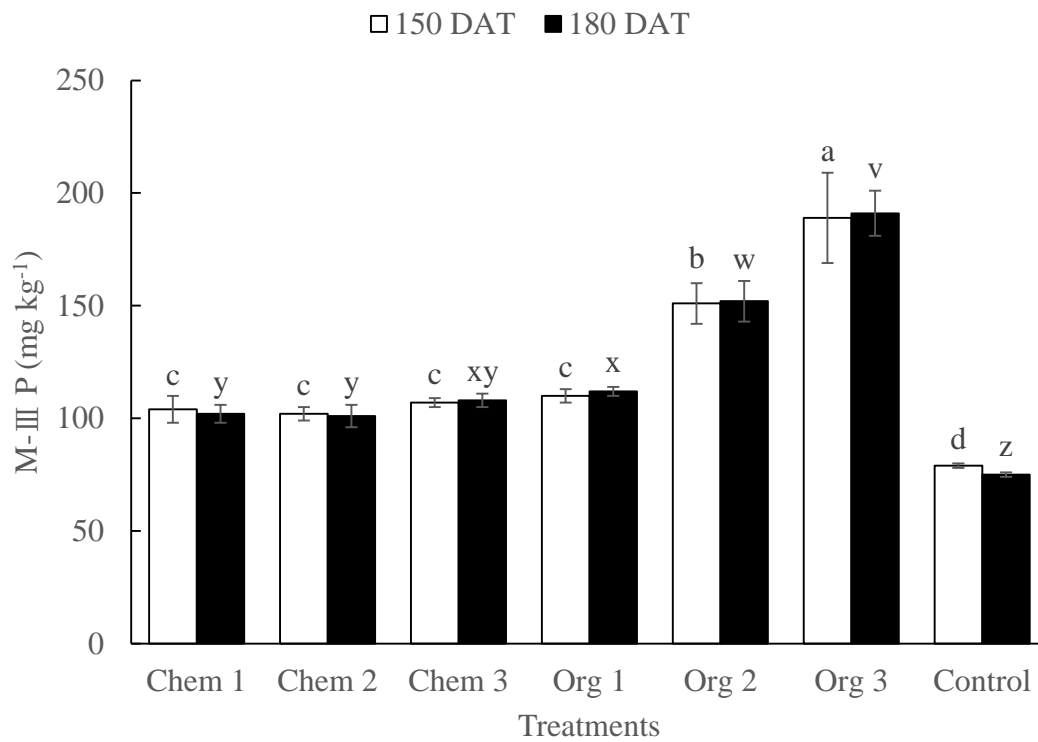
圖七、不同肥料處理對土壤無機態氮濃度的影響

Fig. 7. Effects of different fertilizer treatments on inorganic nitrogen concentration of soil at 150 and 180 DAT. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(六) Mehlich III 可萃取磷



圖八為移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取磷濃度的影響。顯示不論在移植後 150 天或 180 天，磷在三種不同施用量之化學肥料處理間無顯著差異。土壤中磷主要是來自於化學肥料、廐肥、植株殘體及天然有機磷以及無機磷。本研究之化學肥料處理僅在基肥中施加磷酸二氫鈣，且三者基肥施用量皆相等 ($0.30 \text{ g P plot}^{-1}$)，因此，可知施用尿素作為追肥，不會影響土壤中可萃取磷的含量。由於有機質肥料本身含有磷 (Org 1、Org 2 及 Org 3 處理分別施用 0.31 、 0.62 及 $0.93 \text{ g P pot}^{-1}$)，故有機質肥料的施用量增加，土壤可萃取磷含量也隨之增加。不論在移植後 150 天或 180 天，除了控制組的可萃取磷含量 (79 和 74 mg kg^{-1}) 比試驗前之土壤 (表一， 87 mg kg^{-1}) 低之外，其餘處理皆較高，可知施肥可以彌補土壤的磷，以維持地力。磷在土壤溶液中大部分以磷酸根的形式存在，其形態會受到 pH 值的影響，在酸性環境下主要是以 H_2PO_4^- 存在，在鹼性環境則是以 HPO_4^{2-} 為主。土壤中的有效磷會由固定作用、灌溉水的淋洗，以及作物吸收而減少；而土壤中之生物殘體、有機磷的礦化作用，肥料添加以及土壤風化皆能增加土壤有效磷的含量。此外，移植後 150 至 180 天，土壤中的有效性磷並未降低，但由圖十八可知植物在開花期會大量吸收磷，顯示本研究之土壤的有機質被分解產生有效性磷的速率，可補充被植物吸收、經灌溉流失、或是再度被固定的磷。

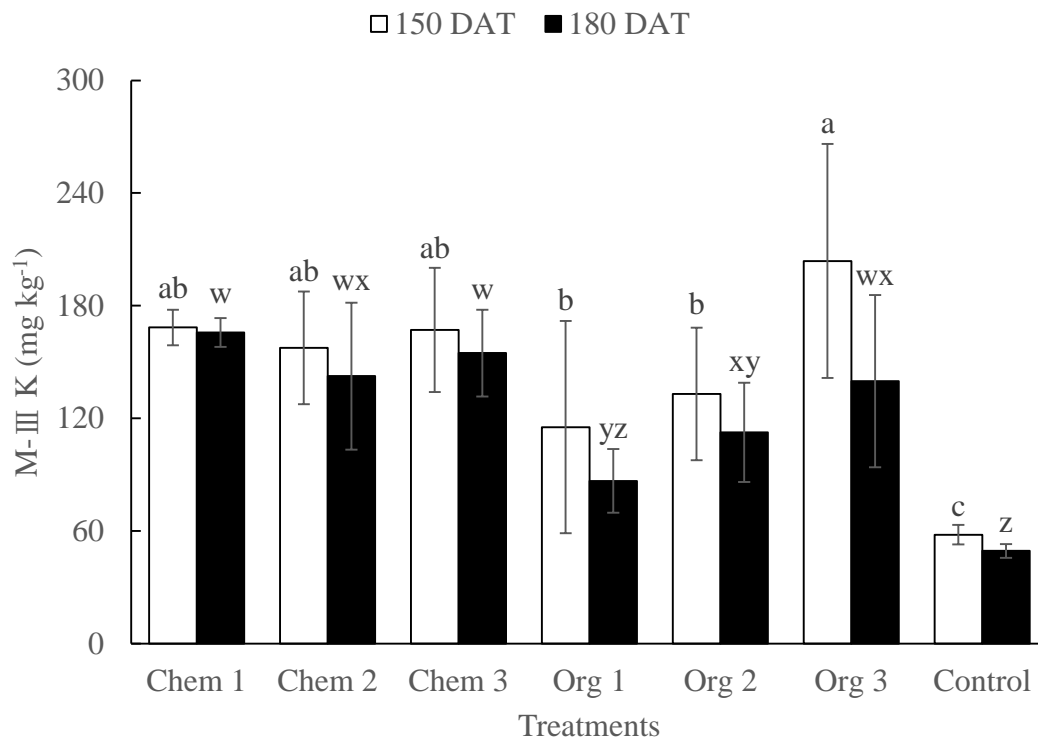


圖八、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取磷濃度的影響

Fig. 8. Effects of different fertilizer treatments on the Mehlich III extractable phosphorus concentration of soil. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(七) Mehlich III 可萃取鉀


Mehlich III 可萃取之鉀、鈉、鈣、鎂、鐵、錳等元素含量可作為土壤中這些養分的有效性指標，因 Mehlich III 萃取劑之酸、鉍合性物種與有機陰離子均可增加陽離子的萃取量。鉀在土壤中約 90% 以上存在於原生礦物中，僅 1 至 2% 是立即對植物有效的。鉀與氮及磷合稱肥料三要素，許多濕潤溫和的溫帶地區之土壤不能提供足量的鉀給作物，可施用石灰或其他石灰物質至酸性土壤中，灰分的鹼度及其鉀含量皆可改善缺鉀之土壤。部分土壤中的層狀矽酸鹽礦物會吸持或固定所添加的鉀肥，而被固定的鉀難以快速被釋放回土壤中，若是土壤缺鉀連續施用鉀肥是必須的 (Bohn et al., 1985)。圖九為移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鉀濃度的影響。化學肥料處理在基肥中施用相同的硝酸鉀，因此，不論是在移植後 150 天或 180 天，三個化學肥料處理之土壤可萃取鉀濃度皆沒有顯著差異，但皆高於控制組。因有機質肥料中含有鉀 (Org 1、Org 2 及 Org 3 處理分別施用 0.30、0.60 及 0.90 g K pot⁻¹)，土壤中可萃取鉀濃度依有機質肥料施用量增加而上升，以 Org 3 處理之鉀濃度最高，在移植後 150 天和 180 天分別為 204 和 140 mg kg⁻¹。在移植後 180 天所有處理之土壤可萃取鉀濃度比 150 天低，是因紫錐菊在開花期會吸收鉀。在移植後 180 天，Org 1、Org 2 處理和控制組 (分別為 87、113 和 49 mg kg⁻¹) 比試驗前之土壤可萃取鉀 (表一，134 mg kg⁻¹) 低，顯示紫錐菊於開花期吸收的鉀多，在施肥管理須注意此特性，在本試驗中顯示施用三倍有機質肥料或是一至三倍化學氮肥較能補充土壤的鉀。



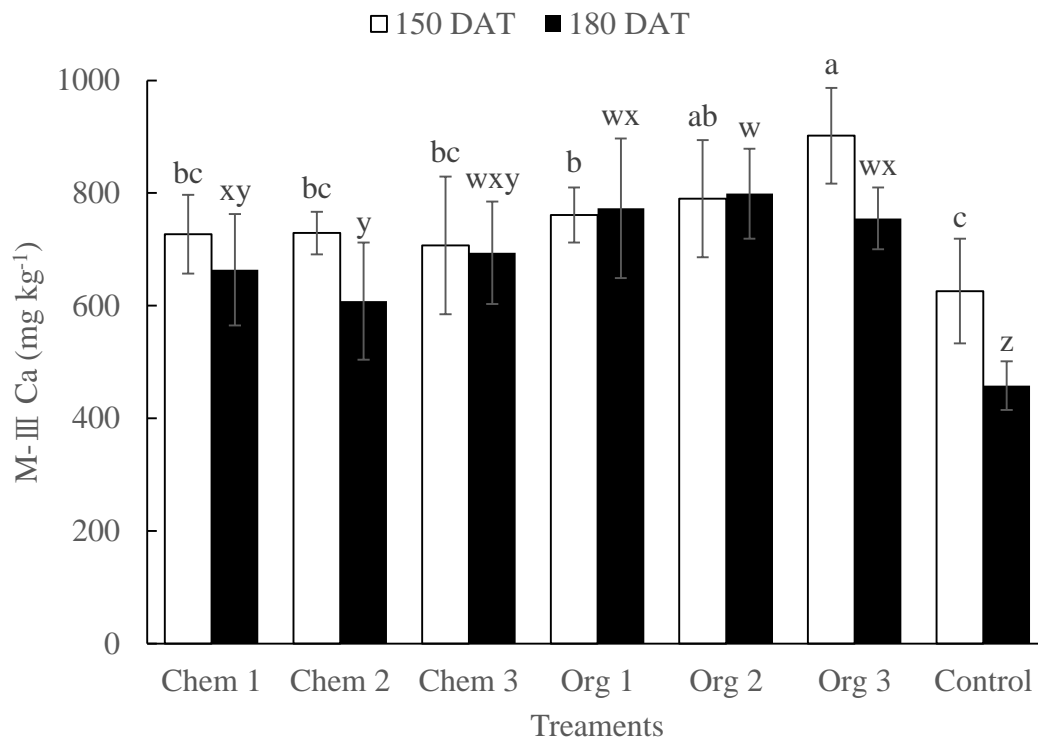
圖九、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鉀濃度的影響

Fig. 9. Effects of different fertilizer treatments on the Mehlich III extractable potassium concentration of soil. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(八) Mehlich III 可萃取鈣




圖十為紫錐菊移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鈣濃度的影響。因為試驗前加入碳酸鈣調整土壤 pH 值，所有處理的可萃取鈣含量皆比試驗前（表一， 84 mg kg^{-1} ）高五至十倍。土壤中鈣濃度決定於母質、風化與淋洗程度。鈣在土壤中甚少缺乏，但在酸性土壤中，鈣含量會較低，不過可能仍足夠供給植物生長所需，且低 pH 值之土壤會抑制作物對鈣的吸收，因此，需進行土壤 pH 的調整。在移植後 150 天，土壤可萃取鈣最高出現在 Org 3 (902 mg kg^{-1})，最低為控制組 (626 mg kg^{-1})。此外，因為化學肥料處理基肥為磷酸二氫鈣，故鈣含量較控制組高。在兩個不同採收時間，施用有機質肥料之土壤可萃取鈣含量都較施用化學肥料的高 (Org 1、Org 2 及 Org 3 處理分別施用 0.26 、 0.51 及 $0.77 \text{ g Ca pot}^{-1}$)，應是施用之有機質肥料本身含有較多的鈣所造成的。



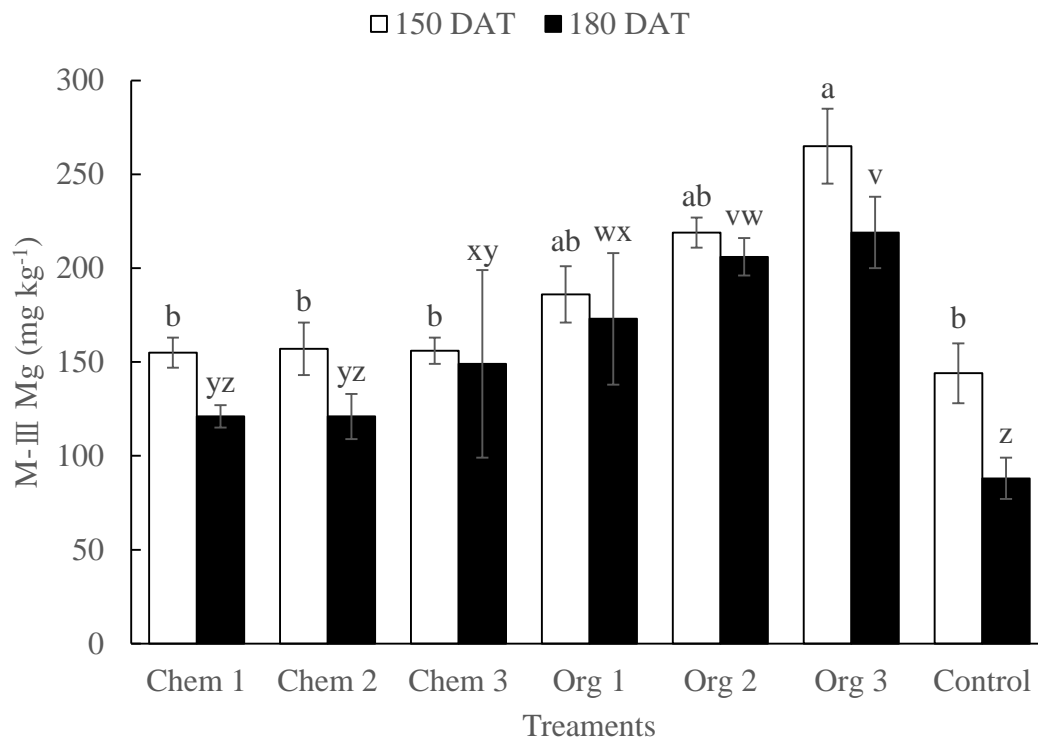
圖十、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鈣濃度的影響

Fig. 10. Effects of different fertilizer treatments on the Mehlich III extractable calcium concentration of soil. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(九) Mehlich III 可萃取鎂



圖十一為紫錐菊移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鎂濃度的影響。顯示兩個不同採收時間，所有處理組之土壤有效鎂的濃度皆比試驗前初始高 (84 mg kg^{-1})，是因為添加了碳酸鈣校正土壤的酸度。鎂在土壤中主要是來自於原生礦物，如黑雲母、白雲母、角閃石等。一般土壤的有效性鎂以交換性鎂與溶液中的鎂為主，為土壤中第二多的交換性陽離子，鎂的缺乏或過量都不常見，植物缺鎂通常發生在酸性、砂質及高度淋洗等的土壤，施用石灰可以校正土壤酸度和鎂的缺乏 (Bohn et al., 1985)。此外，不論是移植後 150 或 180 天，三個化學肥料處理之間沒有顯著差異，而施用有機質肥料之土壤可萃取鎂濃度會隨有機質施用量增加而增加，且有機質肥料處理鎂含量皆高於化學肥料處理，應是有機質肥料本身含有鎂之故 (Org 1、Org 2 及 Org 3 處理分別施用 0.33 、 0.65 及 $0.98 \text{ g Mg pot}^{-1}$)。此外，在移植後 180 天，所有處理之土壤可萃取鎂濃度皆下降，表示紫錐菊在開花期會吸收甚多的鎂。而在兩個不同採收時間，控制組之土壤可萃取鎂濃度皆比化學肥料組低，應是因為化學肥料處理 pH 值較低，導致土壤有效鎂增加。



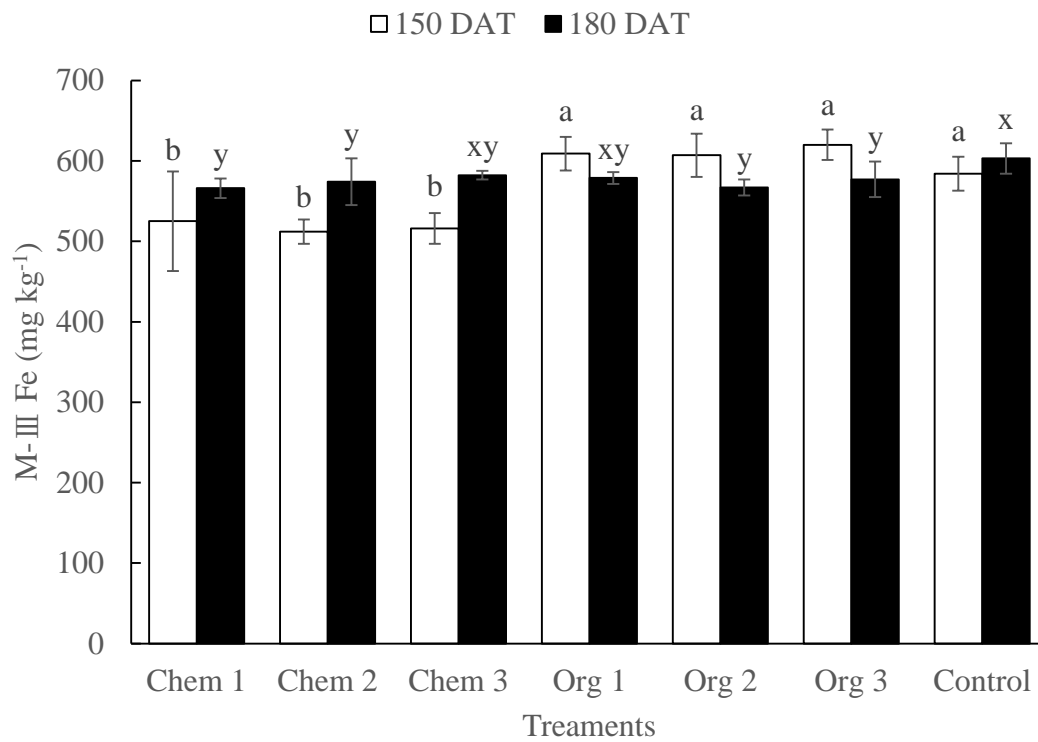
圖十一、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鎂濃度的影響

Fig. 11. Effects of different fertilizer treatments on the Mehlich III extractable magnesium concentration of soil. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(十) Mehlich III 可萃取鐵

土壤溶液中的鐵常以無機形式存在，通常以鉍合態的 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 為主， Fe^{2+} 及 Fe^{3+} 的濃度在土壤溶液中很低。鐵在土壤的有效性主要受 pH 值、氧化還原電位、質地、水分含量與有機質含量的影響，酸性條件下鐵的可溶性及有效性較高。


圖十二為紫錐菊移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鐵濃度的影響。顯示在移植後 150 天有機質肥料處理 (Org 1- Org 3) 之土壤可萃取鐵大於化學氮肥處理 (Chem 1- Chem 3)。施用化學肥料和不施肥之土壤可萃取鐵含量在 150 至 180 天時有上升的趨勢，但施用有機質肥料則是下降。化學肥料處理在 150 至 180 天時鐵的濃度增加的現象，無法以土壤 pH 值加以解釋；而有機質肥料處理則是因為有機質肥料本身提供鐵源以及有機質之存在亦可減少鐵的氧化，故移植後 150 天的鐵含量較化學肥料處理高，紫錐菊由 150 天至 180 天吸收土壤中的鐵，以及土壤 pH 值提高，使得鐵的有效性下降。此外，不論是移植後 150 和 180 天，土壤中鐵含量與施肥量無一定關係。



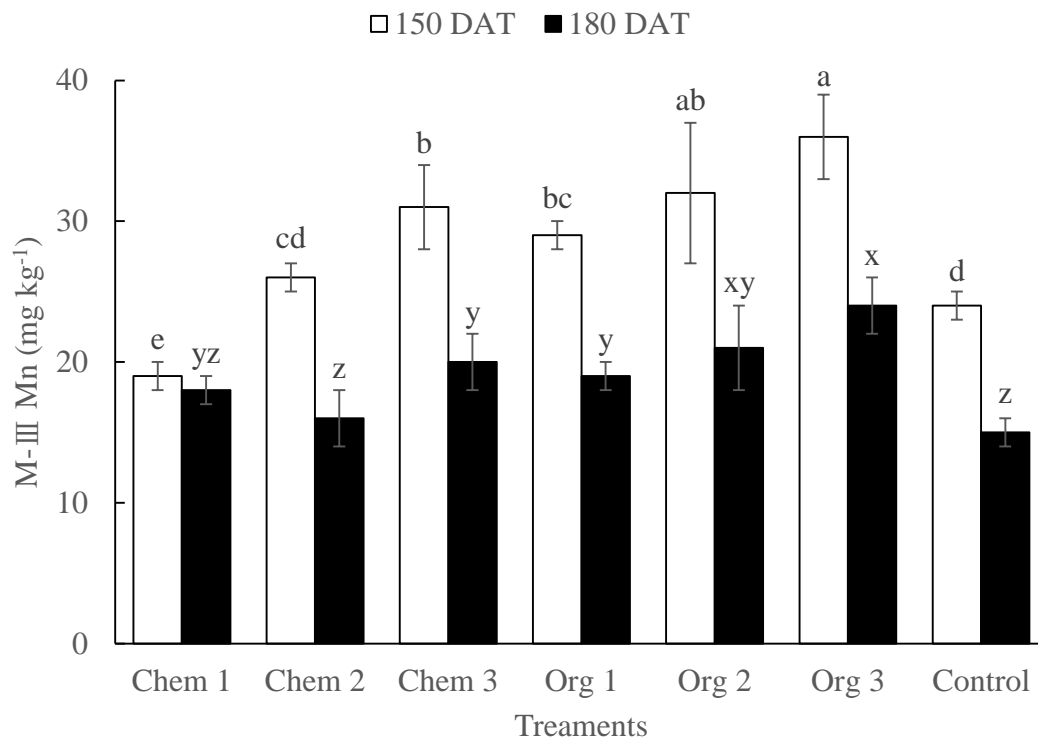
圖十二、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鐵濃度的影響

Fig. 12. Effects of different fertilizer treatments on the Mehlich III extractable iron concentration of soil. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(十一) Mehlich III 可萃取錳



圖十三為紫錐菊移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取錳濃度的影響。在移植後 150 天，可萃取錳會與化學及有機質肥料的施用量有劑量效應，Org 3 處理之土壤有最高的可萃取錳 (36 mg kg^{-1})，而 Chem 1 處理之土壤可萃取錳最低 (19 mg kg^{-1})。因 Chem 1-Chem 3 處理之土壤 pH 值隨化學肥料施用量增加而降低，影響錳的有效性，故可萃取錳濃度隨隨化學肥料施用量增加而增加；而有機質肥料本身含有錳，且有機質能間接促進土壤微生物生長，土壤中氧的消耗增加，使土壤趨向還原狀態，故有效性錳隨著其施用量增加。在移植後 180 天，所有處理之土壤可萃取錳與移植後 150 天比皆減少，應是與紫錐菊在開花期大量吸收錳以及土壤 pH 上升所致。土壤中植物的有效錳會受到 pH 值、氧化還原電位、水分含量與有機質含量的影響。錳在酸性土壤中的可溶性及有效性較高，植物能利用之土壤中的錳形態為 Mn^{2+} 。

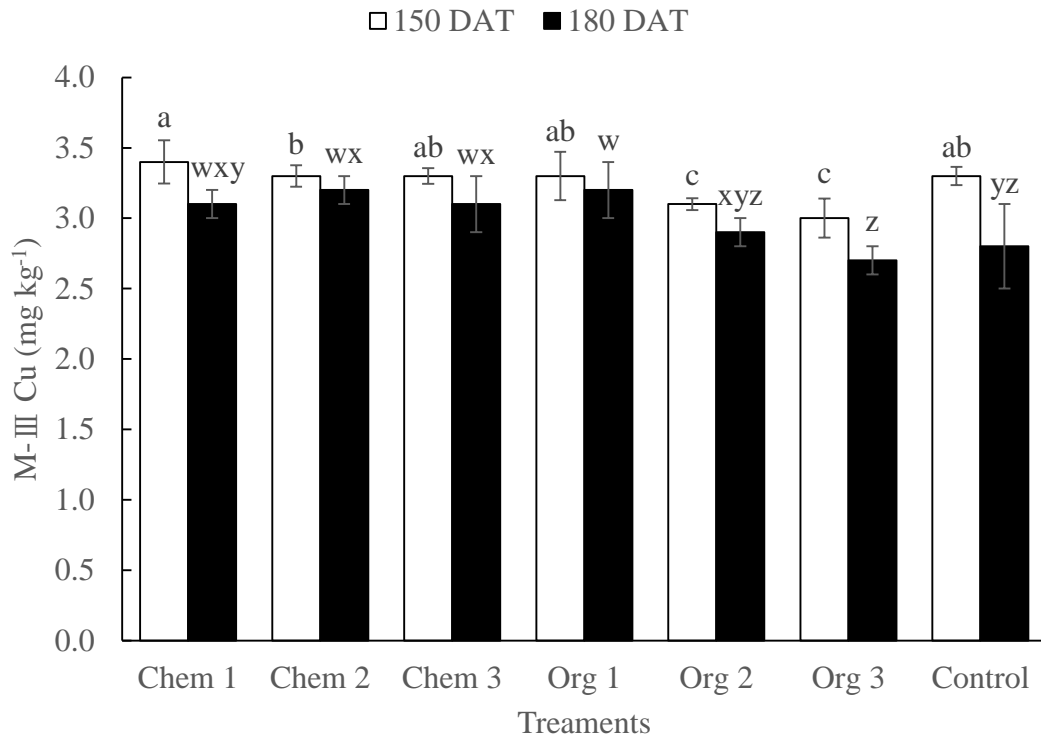


圖十三、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取錳濃度的影響

Fig. 13. Effects of different fertilizer treatments on the Mehlich III extractable manganese concentration of soil. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(十二) Mehlich III 可萃取銅


圖十四為紫錐菊移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取銅濃度的影響。結果顯示化學肥料處理 (Chem 1-Chem 3) 之土壤可萃取銅含量差異不大；因為銅會與有機質肥料中的有機質形成錯合物，故有機質肥料處理之土壤可萃取銅濃度會隨肥料施用量增加而下降。此外，所有處理在移植後 180 天可萃取銅含量皆有下降，顯示紫錐菊在移植後 150 天至 180 天會吸收少量的銅，而在土壤中的銅轉變為更難萃取之形態。土壤 pH 值與有機質含量對銅在土壤中的形態與轉換有很大的影響，當土壤 pH 值高時，大部分的銅會以氫氧化態形成沉澱或與有機質錯合，在酸性土壤中銅的有效性會增加，以植物可利用的 Cu^{2+} 形式存在。



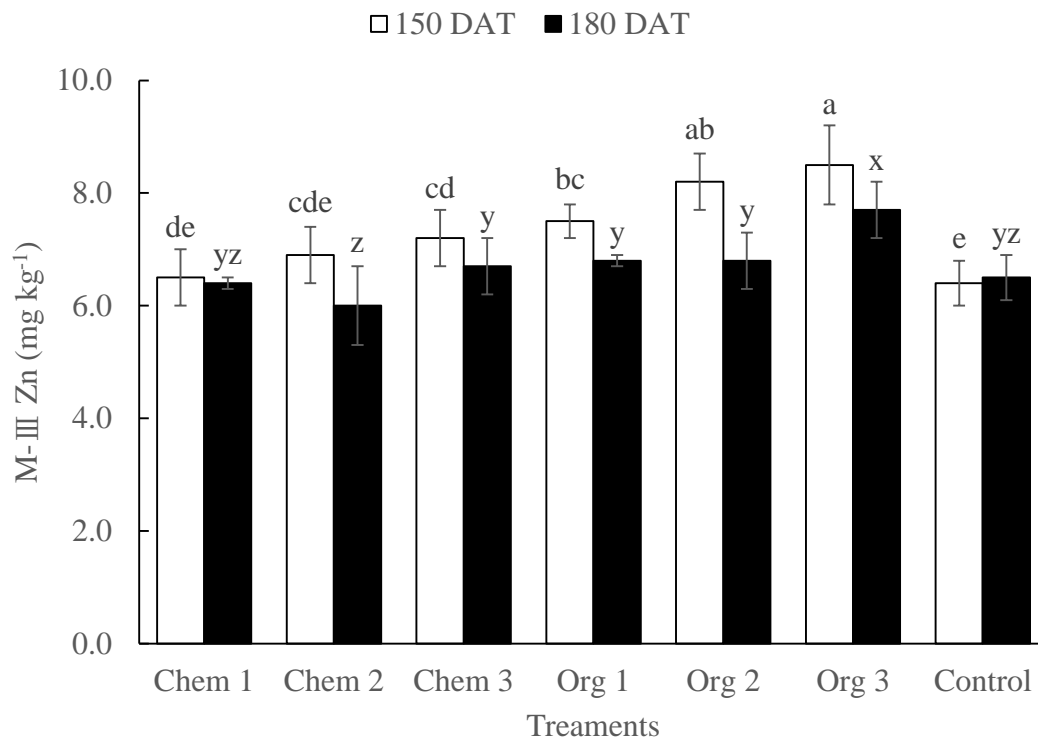
圖十四、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取銅濃度的影響

Fig. 14. Effects of different fertilizer treatments on the Mehlich III extractable copper concentration of soil. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.

(十三) Mehlich III 可萃取鋅



圖十五為紫錐菊移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鋅濃度的影響。有機質肥料處理之土壤可萃取鋅會隨著有機質肥料施用量增加而提高，應是由於有機質肥料本身含有鋅所致，兩個不同採收時間 Org 3 處理之土壤可萃取鋅皆最高（分別為 8.5 和 7.7 mg kg⁻¹）。所有處理在移植後 180 天可萃取鋅含量皆下降，應為鋅在移植後 150 天至 180 天被紫錐菊所吸收。土壤 pH 值與有機質含量影響鋅在土壤中的形態與轉換，鋅以 Zn²⁺、ZnOH⁺及 ZnCl⁺被土壤吸附，或是以有機錯合物的形態存在。在酸性土壤中鋅的有效性會增加，以植物可利用的 Zn²⁺形式存在。



圖十五、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鋅濃度的影響

Fig. 15. Effects of different fertilizer treatments on the Mehlich III extractable zinc concentration of soil. Error bars represent standard deviation ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.



二、紫錐菊生長、養分吸收與分布

(一) 農藝性狀

本研究以紫花紫錐菊 (*E. purpurea*) 為材料，於 2013 年 12 月育苗，在 2014 年 1 月移植至盆栽中，六月進行第一次採收 (移植後 150 天，150 DAT)，七月初開始抽苔開花，七月底進行第二次採收 (移植後 180 天，180 DAT)。圖十六及十七為紫錐菊第一及第二次採收照片，顯示試驗期間紫錐菊生長良好。此外，第二次採收紫花紫錐菊進入開花期，長出帶有紫色及粉紅色的花朵，且抽苔導致株高增加。

農藝性狀與特徵結果如表六所示。顯示不論是移植後 150 天或 180 天，所有處理的平均株高與控制組並無顯著差異。在移植後 150 天，平均株高最大值為 Chem 1 處理達 48.3 公分，控制組為 45.3 公分；在移植後 180 天，平均株高最大值出現在 Chem 1 和 Org 1 處理，都為 63.0 公分，控制組為 55.5 公分。由於植株個體差異大，本研究結果中肥料處理與紫錐菊的株高並無明顯關係。根據吳 (2007) 調查顯示，於臺灣中興大學農藝學系霧峰試驗田種植之 449 株紫花紫錐菊，其株高介於 6.2 至 74.2 公分，平均為 38.2 公分；林 (2003) 試驗結果指出，紫花紫錐菊株高範圍為 43.5 至 69.9 公分，平均值 57.6 公分。

紫錐菊分支數 (shoot number) 在移植後的 150 天，除了 Org 1 處理以外，其餘處理與控制組皆無顯著差異，Org 1 處理 (2 枝) 比控制組 (3.8 枝) 低，而所有處理之紫錐菊的分支數介於 0-6 枝之間。在移植後 180 天，紫錐菊分支數比 150 天多，但所有處理間皆沒有顯著差異，所有處理之紫錐菊分支數介於 0-15 枝之間，Org 2 處理有最高值 6 枝。由於植株個體差異大，本試驗結果中肥料處理與紫錐菊的分枝數並無明顯的關係。根據吳 (2007) 調查顯示，紫錐菊的分枝數範圍為 1 至 26 枝，平均為 10 枝，本研究之紫錐菊的分枝較少，可能是種植於盆栽中，侷限紫錐菊的生長，影響紫錐菊的分枝數。

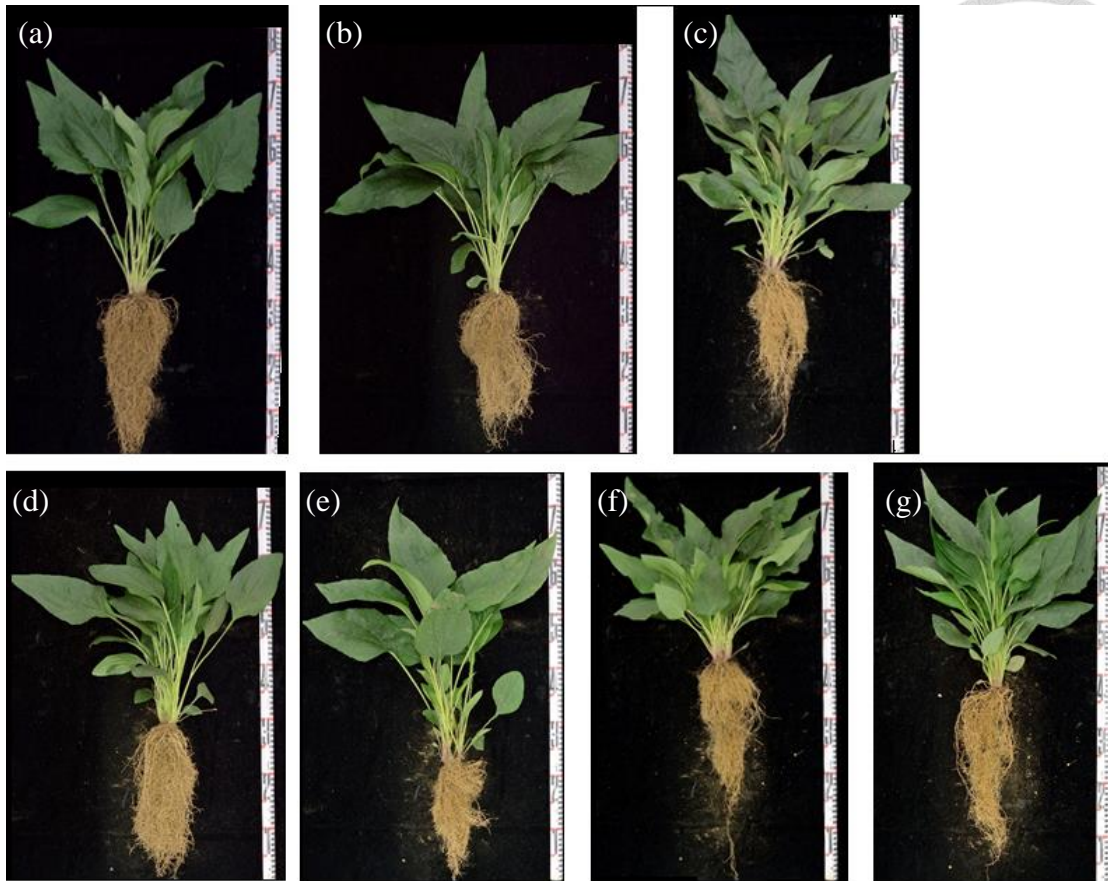
不同肥料處理對紫錐菊花數 (flower heads) 影響的結果顯示，移植後 150 天

尚未抽苔，而後紫錐菊開始抽苔開花，在移植後 180 天花盛開。發現花數最高者為 Org 1 處理，其紫錐菊花數的平均值為 9.3 朵，但與控制組沒有顯著差異。有機質肥料處理 (Org 1-Org 3) 之紫錐菊花數的平均值都比化學肥料處理 (Chem 1-Chem 3) 高，但植株個體差異大，本研究之紫錐菊花數最高為 15 朵，最低為 0 朵，比吳 (2007) 研究的紫錐菊花數大幅減少。

(二) 乾重

移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對紫錐菊乾重的影響，結果如表六所示。在移植後 150 天，Chem 3 處理之紫錐菊根部的乾重最小 (3.0 g plant^{-1})，顯著低於 Chem 1 處理 (4.8 g plant^{-1}) 與 Org 3 處理 (4.6 g plant^{-1})。由於施用三倍化學氮肥後土壤養分充足，植物根部生長會減緩，與前人研究一致 (Galambosi et al., 1993)。所有的處理之紫錐菊地上部的乾重與全株重並沒有顯著差異，地上部乾重最高值出現在 Chem 3 處理 ($13.8 \text{ g plant}^{-1}$)，而 Org 2 和 Org 3 處理之全株乾重有最高值 (兩者皆為 $16.8 \text{ g plant}^{-1}$)。在移植後 180 天，所有處理之紫錐菊不論是根部、地上部及全株的乾重都沒有顯著差異，應是因為紫錐菊原生於貧瘠、日照充足的石礫地，養分需求量不高所致。

紫錐菊的莖根比 (shoot-root ratio)，在移植後 150 天，化學肥料處理之莖根比會隨著施肥料增加而增加，最高值出現在 Chem 3 處理 (4.6)，表示化學肥料施用量提高，會促進紫錐菊地上部的生長，而使根部的生長趨緩，許多前人的研究也顯示施用氮肥會增加植物的莖根比 (Anderson, 1988; Yeh et al., 2000)，但有機質肥料之處理並沒有此趨勢，應是有機質肥料為緩效性肥料，不會一次釋放太多養分供給植物。而在移植後的 180 天，所有處理之莖根比並沒有顯著差異。



圖十六、移植後 150 天，不同肥料處理之紫錐菊生長狀況 (a) Chem 1、(b) Chem 2、(c) Chem 3、(d) Org 1、(e) Org 2、(f) Org 3 及 (g) Control

Fig. 16. Effects of different fertilizers on the growth of *E. purpurea* at 150 DAT. (a) Chem 1, (b) Chem 2, (c) Chem 3, (d) Org 1, (e) Org 2, (f) Org 3 and (g) Control



圖十七、移植後 180 天，不同肥料處理之紫錐菊生長狀況 (a) Chem 1、(b) Chem 2、(c) Chem 3、(d) Org 1、(e) Org 2、(f) Org 3 及 (g) Control

Fig. 17. Effects of different fertilizers on the growth of *E. purpurea* at 180 DAT. (a) Chem 1, (b) Chem 2, (c) Chem 3, (d) Org 1, (e) Org 2, (f) Org 3 and (g) Control

表六、不同肥料處理對紫錐菊農藝性狀和乾重的影響

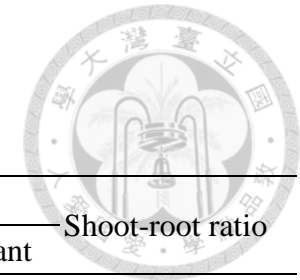


Table 6. Effects of different fertilizer on characters and the dry weight of *E. purpurea*

Treatments	Plant height (cm)	Shoots number (No. plant ⁻¹)	Flower heads (No. plant ⁻¹)	Dry weight (g plant ⁻¹)			Shoot-root ratio
				Root	Shoot	The whole plant	
150 DAT							
Chem 1	48.3 ± 0.5 a	3.3 ± 1.0 ab	nd ^b	4.8 ± 0.8 a	12.5 ± 1.1 a	17.3 ± 1.9 a	2.6 ± 0.3 b
Chem 2	45.0 ± 3.2 ab	2.8 ± 1.0 ab	nd ^b	4.1 ± 1.2 ab	12.7 ± 2.1 a	16.8 ± 3.2 a	3.2 ± 1.1 b
Chem 3	47.5 ± 2.6 a	4.0 ± 2.2 a	nd ^b	3.0 ± 0.6 b	13.8 ± 3.3 a	16.8 ± 3.9 a	4.6 ± 0.9 a
Org 1	44.0 ± 0.8 ab	2.0 ± 0.8 b	nd ^b	4.1 ± 1.3 ab	11.8 ± 2.1 a	15.9 ± 3.4 a	3.0 ± 0.6 b
Org 2	45.5 ± 4.1 ab	3.0 ± 0.8 ab	nd ^b	4.1 ± 0.8 ab	12.2 ± 1.7 a	16.3 ± 2.5 a	3.0 ± 0.2 b
Org 3	42.0 ± 5.5 b	3.8 ± 0.5 a	nd ^b	4.6 ± 1.2 a	12.0 ± 2.0 a	16.6 ± 3.2 a	2.7 ± 0.4 b
Control	45.3 ± 1.3 ab	3.8 ± 0.5 a	nd ^b	4.0 ± 1.2 ab	12.1 ± 1.0 a	16.1 ± 2.2 a	3.2 ± 0.9 b
180 DAT							
Chem 1	63.0 ± 11 a	3.5 ± 0.6 a	3.5 ± 2.5 b	3.9 ± 1.8 a	21.2 ± 5.9 a	25.1 ± 6.5 a	6.0 ± 2.1 a
Chem 2	54.5 ± 7.6 ab	5.5 ± 1.9 a	2.5 ± 2.4 b	5.5 ± 1.7 a	25.8 ± 7.4 a	31.4 ± 8.9 a	4.7 ± 0.7 a
Chem 3	50.0 ± 12 b	4.0 ± 1.4 a	2.5 ± 3.3 b	4.2 ± 2.5 a	20.1 ± 4.6 a	24.4 ± 5.8 a	5.8 ± 2.4 a
Org 1	63.0 ± 8.0 a	4.8 ± 2.5 a	9.3 ± 3.9 a	4.7 ± 1.7 a	22.5 ± 1.6 a	27.3 ± 3.2 a	5.1 ± 1.2 a
Org 2	49.0 ± 5.0 b	6.3 ± 2.6 a	5.5 ± 5.4 ab	6.3 ± 3.6 a	20.6 ± 5.3 a	26.9 ± 8.7 a	4.1 ± 1.9 a
Org 3	60.5 ± 10 ab	5.3 ± 1.9 a	7.5 ± 4.2 ab	5.0 ± 1.0 a	22.6 ± 1.2 a	27.6 ± 1.2 a	4.7 ± 1.1 a
Control	55.5 ± 5.0 ab	5.0 ± 3.4 a	4.0 ± 2.9 ab	5.9 ± 3.6 a	21.3 ± 1.8 a	27.2 ± 2.5 a	4.7 ± 2.8 a

The different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test. ^a DAT: days after transplanting. ^b nd: not detected.

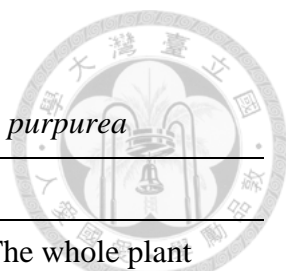
(三) 氮的濃度與吸收

在移植後 150 天，Chem 2 及 Chem 3 處理之紫錐菊總氮濃度不論是在根、地上部或全株皆較高 (表七)，且在全株中氮累積含量也較高 (圖十八)，因化學肥料為速效性肥料，有利植物的快速吸收，因此，植物累積較多氮。在移植後的 180 天，Chem 3 處理之紫錐菊根、地上部和全株的總氮濃度最高；全株之總氮濃度隨化學肥料施用量增加而增加，但有機質肥料處理 (Org 1-Org 3) 三者間並沒有顯著差異，最低值出現在控制組 (8.1 g kg^{-1})，有機質肥料需經過微生物分解才能被植物利用，因此，雖然施用量增加，無法立即有效地被植物吸收。在移植後 180 天，植體全株之總氮含量的結果顯示，Chem 2 及 Chem 3 處理的總氮累積量較高 (皆約 $400 \text{ mg plant}^{-1}$ ，圖十八)，而最低值出現在控制組 ($270 \text{ mg plant}^{-1}$)。雖然施肥量並未對乾重造成顯著的影響，但仍會影響植體中的氮含量，進一步影響植株的生理代謝。氮為植物的必要元素，一般植物幼苗含氮量約佔乾重的 60 g kg^{-1} ，成熟植株約含 $5\text{-}70 \text{ g kg}^{-1}$ 。氮為組成細胞質之主要成分，如合成蛋白質的胺基酸、以及影響遺傳的核酸 DNA 和影響蛋白質合成的 RNA 等。氮與五碳糖和磷結合成 ATP、ADP 及 AMP，皆為生命重要之物質，亦為葉綠體、植物鹼 (如紫錐菊之烷醯胺類) 及一些植物賀爾蒙的組成分 (朱，1984)。

另外，可以發現移植後 150 天至 180 天，紫錐菊根以及地上部的氮量都大量累積，根增加約 2.3 至 3.3 倍，地上部則增加 1.1 至 1.6 倍，表示紫錐菊在開花期仍會吸收土壤中的氮。根據蔡等 (2001) 研究顯示，有機質肥料處理在採收期吸收氮量會高過化學肥料處理，與本試驗結果不一致，可能是因為蔡等 (2001) 試驗之有機質肥料與化學肥料施用量並非以氮作為基準，或是本研究之有機質肥料在土壤中的礦化作用小於 50% 所致。

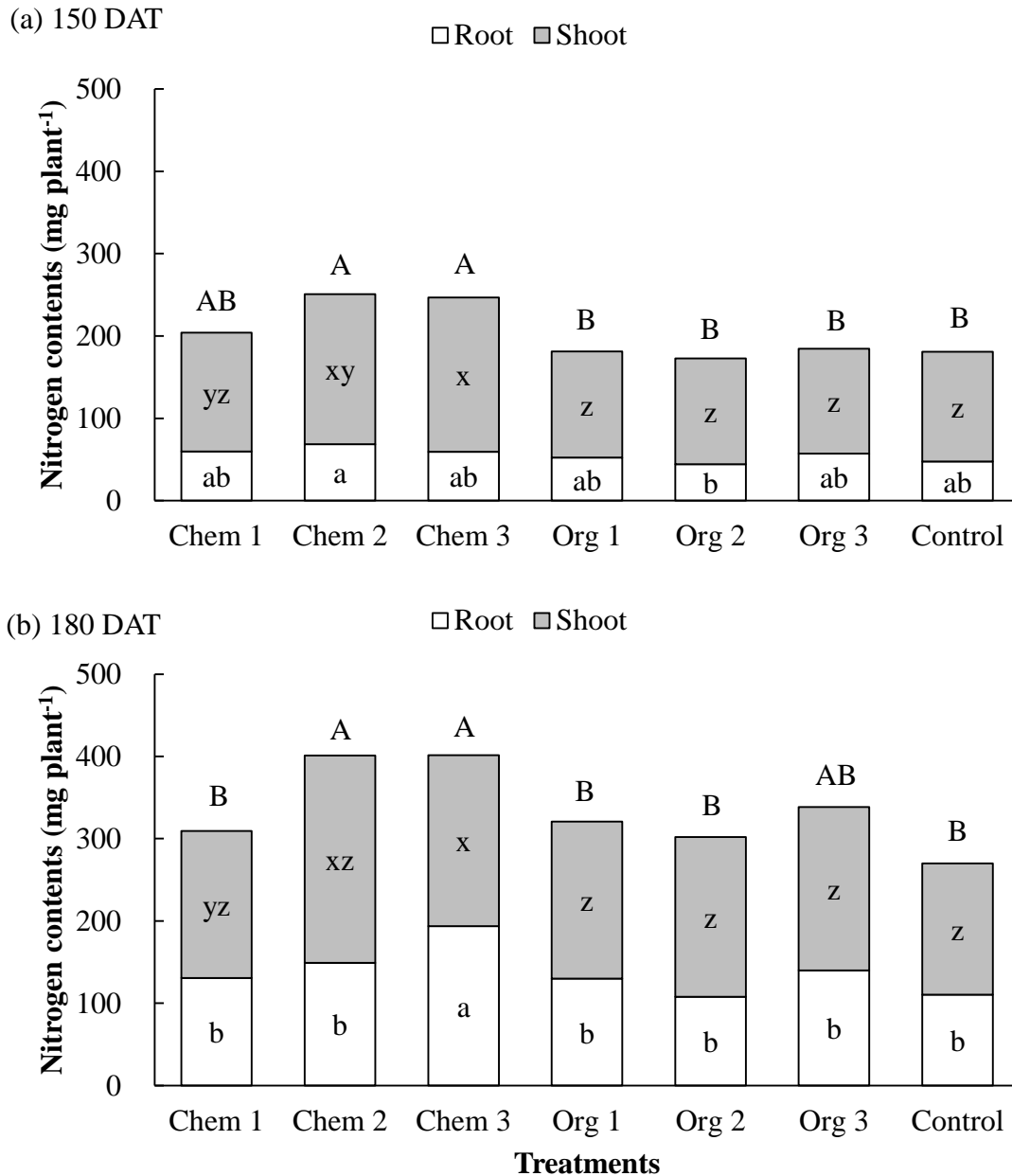
表七、不同肥料處理對之紫錐菊之氮濃度的影響

Table 7. Effects of different fertilizer on nitrogen concentration in *E. purpurea*



Treatments	Nitrogen concentration (g kg ⁻¹)		
	Root	Shoot	The whole plant
150 DAT			
Chem 1	12.4 ± 1.6 b	11.6 ± 0.9 b	11.9 ± 1.0 b
Chem 2	16.8 ± 2.6 a	14.3 ± 1.6 a	14.9 ± 1.5 a
Chem 3	20.0 ± 5.2 a	13.5 ± 0.7 a	14.6 ± 0.8 a
Org 1	12.8 ± 0.8 b	10.9 ± 0.2 b	11.4 ± 0.3 b
Org 2	10.7 ± 0.8 b	10.6 ± 1.0 b	10.7 ± 0.8 b
Org 3	12.6 ± 1.3 b	10.9 ± 1.9 b	11.3 ± 1.4 b
Control	11.9 ± 2.4 b	11.1 ± 0.8 b	11.3 ± 1.0 b
180 DAT			
Chem 1	10.5 ± 2.5 bcd	8.4 ± 2.1 bc	9.2 ± 2.2 bc
Chem 2	11.7 ± 1.2 ab	10.0 ± 1.1 ab	10.6 ± 1.0 ab
Chem 3	14.1 ± 0.9 a	10.6 ± 1.6 a	12.0 ± 1.2 a
Org 1	11.3 ± 2.5 bc	8.5 ± 0.9 bc	9.4 ± 0.9 bc
Org 2	8.9 ± 1.1 d	9.6 ± 0.9 ab	9.2 ± 0.5 bc
Org 3	11.7 ± 1.2 ab	8.8 ± 0.7 bc	9.8 ± 0.5 b
Control	9.2 ± 1.2 cd	7.5 ± 0.2 c	8.1 ± 0.5 c

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at P ≤ 0.05 by LSD test.



圖十八、(a) 移植後 150 天和 (b) 180 天，不同肥料處理對紫錐菊根部與地上部之氮含量的影響

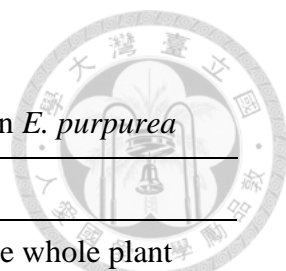
Fig. 18. Effects of different fertilizer treatments on nitrogen content in root and shoot of *E. purpurea* at (a) 150 and (b) 180 DAT. Data are expressed as mean (n = 4), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test. Uppercase is comparison between total nutrients; the lowercase (ab) is comparison between nutrients in root and the lowercase (xy) is comparison between nutrients in the shoot.

(四) 磷的濃度與吸收

表八為移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對紫錐菊之磷濃度的影響。在移植後 150 天，Chem 3 處理之紫錐菊根的磷濃度最低 (5.4 g kg^{-1})，與控制組 (7.5 g kg^{-1}) 有顯著差異；Org 2 及 Org 3 處理之紫錐菊地上部的磷濃度較高；全株的磷濃度在化學肥料處理 (Chem 1-Chem 3) 會依施用量的增加而下降，Chem 3 處理之值最小 (3.9 g kg^{-1})，但所有處理都與控制組無顯著差異。在移植後 180 天，有機質肥料處理 (Org 1-Org 3) 之紫錐菊全株的磷濃度較其他處理和控制組高，因為施用有機質肥料後土壤有效性磷含量增加 (圖八)。此外，紫錐菊在開花期會大量吸收磷，全株的磷含量增加 1.5 至 2.3 倍，主要累積於地上部，而有機質肥料處理之紫錐菊的磷含量較其他處理高 (圖十九)。植物體中含磷 $0.5\text{-}5.0 \text{ g kg}^{-1}$ 。磷與植物之生長和代謝有關，磷脂為構成細胞膜的主要成分，而磷也是核酸、核苷酸、蛋白質之組成分。在氧化還原反應中，磷在 ADP 或 ATP 中為高能源之來源，亦為電子傳遞分子 NADP 之主要成分 (朱，1984)。而磷在植體內的分布與植物生長中心的轉移有關係，多分布在生長點，如根尖或新芽。在植物成熟時，磷多向種子和果實傳輸。

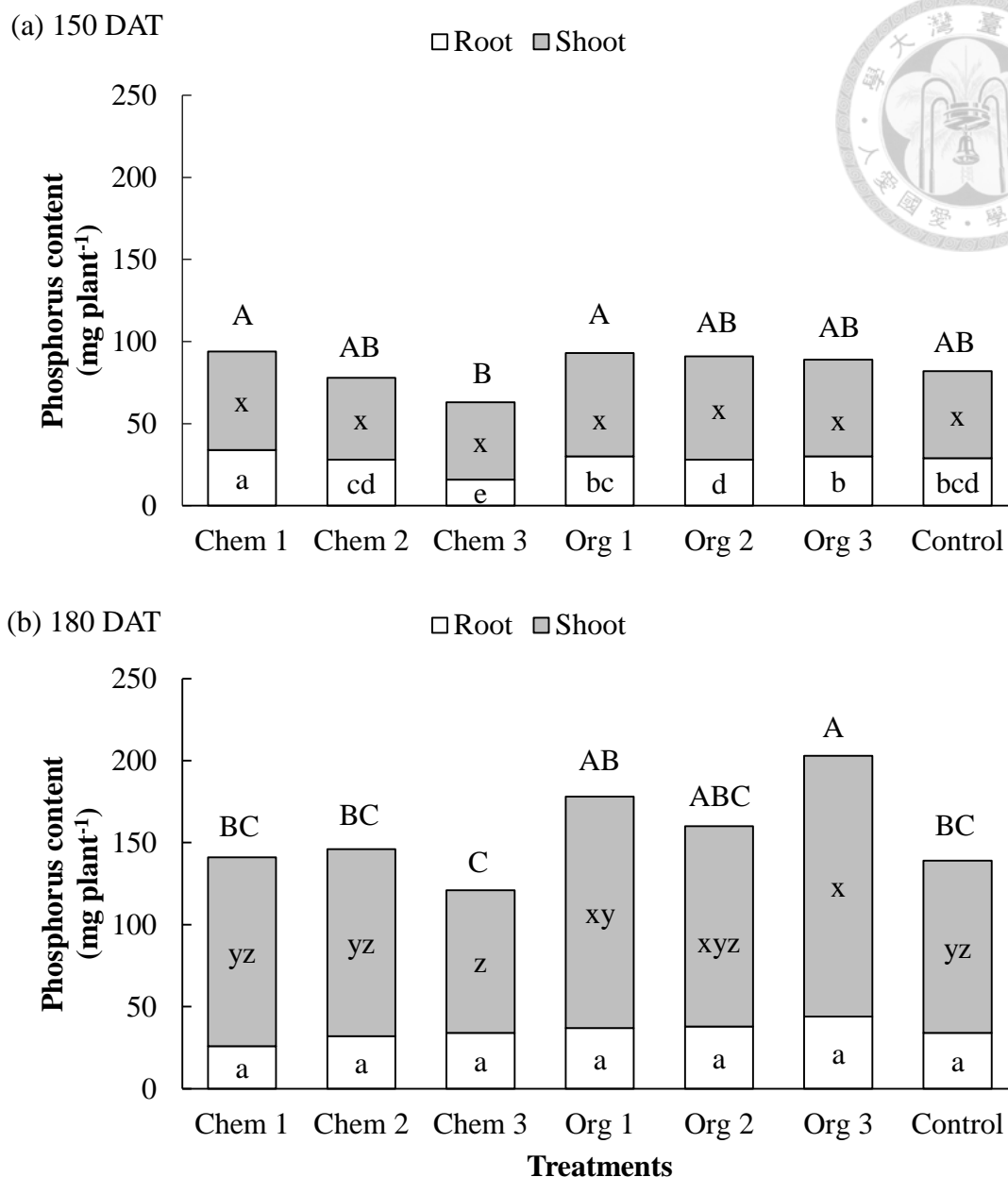
表八、不同肥料處理對紫錐菊之磷濃度的影響

Table 8. Effects of different fertilizer on phosphorus concentration in *E. purpurea*



Treatment	Phosphorus concentration (g kg ⁻¹)		
	Root	Shoot	The whole plant
150 DAT			
Chem 1	7.0 ± 2.1 ab	4.9 ± 1.0 ab	5.5 ± 1.3 a
Chem 2	6.9 ± 1.0 ab	4.1 ± 1.0 ab	4.7 ± 0.7 ab
Chem 3	5.4 ± 0.9 b	3.5 ± 0.8 b	3.9 ± 0.8 b
Org 1	7.5 ± 1.1 a	5.2 ± 1.2 a	5.8 ± 1.0 a
Org 2	6.8 ± 1.1 ab	5.3 ± 1.7 a	5.7 ± 1.4 a
Org 3	6.5 ± 0.9 ab	4.9 ± 0.8 ab	5.3 ± 0.7 a
Control	7.5 ± 1.0 a	4.4 ± 0.8 ab	5.2 ± 0.7 ab
180 DAT			
Chem 1	6.4 ± 1.6 abc	5.5 ± 0.8 bc	5.6 ± 0.8 bc
Chem 2	5.9 ± 1.1 bc	4.5 ± 0.5 c	4.8 ± 0.6 c
Chem 3	8.1 ± 1.3 ab	4.4 ± 0.8 c	5.0 ± 0.5 c
Org 1	8.2 ± 2.8 ab	6.3 ± 0.7 ab	6.6 ± 0.9 ab
Org 2	6.1 ± 0.5 bc	5.9 ± 1.4 ab	5.9 ± 0.9 bc
Org 3	8.7 ± 1.3 a	7.1 ± 1.3 a	7.4 ± 1.3 a
Control	5.8 ± 1.3 c	4.9 ± 0.5 bc	5.1 ± 0.6 c

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test.



圖十九、(a) 移植後 150 天和 (b) 180 天，不同肥料處理對紫錐菊根部與地上部之總磷含量的影響

Fig. 19. Effects of different fertilizer treatments on phosphorus content in root and shoot of *E. purpurea* at (a) 150 and (b) 180 DAT. Data are expressed as mean ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test. Uppercase is comparison between total nutrients; the lowercase (ab) is comparison between nutrients in root and the lowercase (xy) is comparison between nutrients in the shoot.

(五) 鉀的濃度與吸收

表九為移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對移紫錐菊之鉀濃度的影響。在移植後 150 天，控制組之紫錐菊根、地上部及全株的鉀濃度皆最低，紫錐菊地上部的鉀濃度比根高，且所有肥料處理之紫錐菊全株鉀濃度之間都沒有顯著差異，但都顯著高於控制組。表示添加硝酸鉀（化學肥料之基肥）以及有機質肥料，使土壤有效性鉀提高（表一及圖九），能促進植物吸收鉀。在移植後 180 天，施用有機質肥料之紫錐菊的鉀濃度會隨施用量的增加而增加，而化學肥料（Chem 1-Chem 3）間並沒有顯著差異，此結果與土壤中可萃取鉀的結果是一致的（圖九），表示土壤中的有效鉀會影響紫錐菊對鉀的吸收。此外，土壤損失的有效性鉀低於植物吸收的量（圖九和圖二十），表示每日灌溉的自來水中含有鉀供紫錐菊吸收。

移植後 180 天，紫錐菊根的鉀濃度大幅下降，約減少 36 到 72%，也可以發現鉀在紫錐菊根的含量也下降（圖二十），但地上部的鉀含量增加 13 到 53%，表示紫錐菊在開花期會吸收鉀，並且將根的鉀轉移至地上部。許多研究指出植物在開花期會大量吸收鉀並轉移至地上部或果實，在禾穀類作物以分蘗到幼穗分化的階段對鉀的吸收速率特別高（童，2004）；蝴蝶蘭在花梗發育期鉀濃度及含量較其他元素多，且花苞發育期至盛花期，花朵中的鉀含量隨發育成熟而增加（雷，2007）；葡萄也在開花期將鉀運送至果實，葉及莖的鉀含量在開花期增加最後轉移至果實（Williams and Biscay, 1991）。鉀為高等植物體內含量最高的金屬元素， $10-50 \text{ g kg}^{-1}$ (1-5%)。鉀在植物體內的移動性高，其傳輸的方向主要向分生組織。鉀在植物中具有維持細胞膨壓、活化酵素、影響細胞分裂及控制氣孔開關調節植物水分蒸散等功能，且可以促進光合產物之傳輸以及蛋白質與脂肪之合成等。

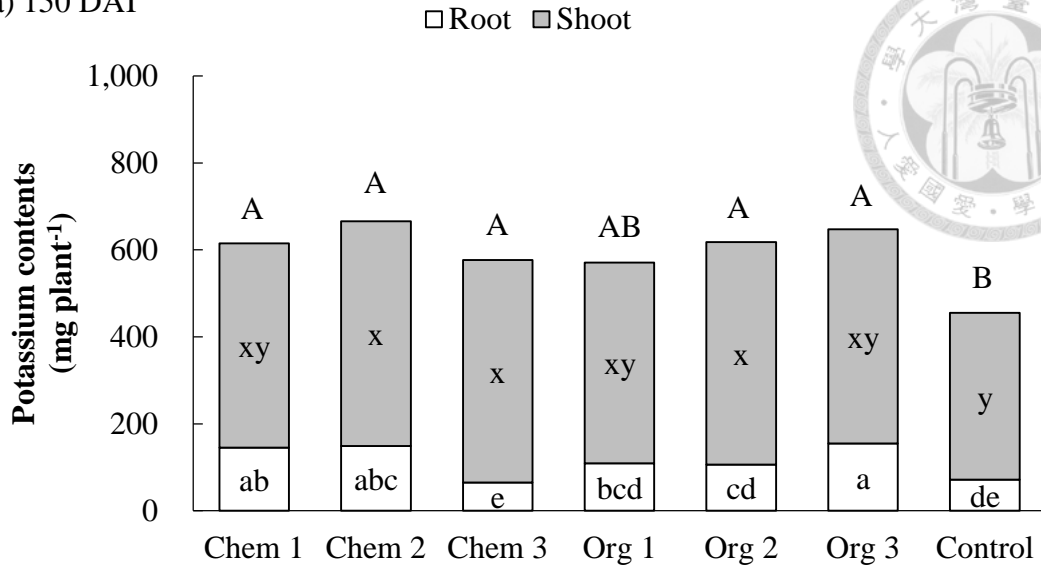
表九、不同肥料處理對移紫錐菊之鉀濃度的影響

Table 9. Effects of different fertilizer on potassium concentration in *E. purpurea*

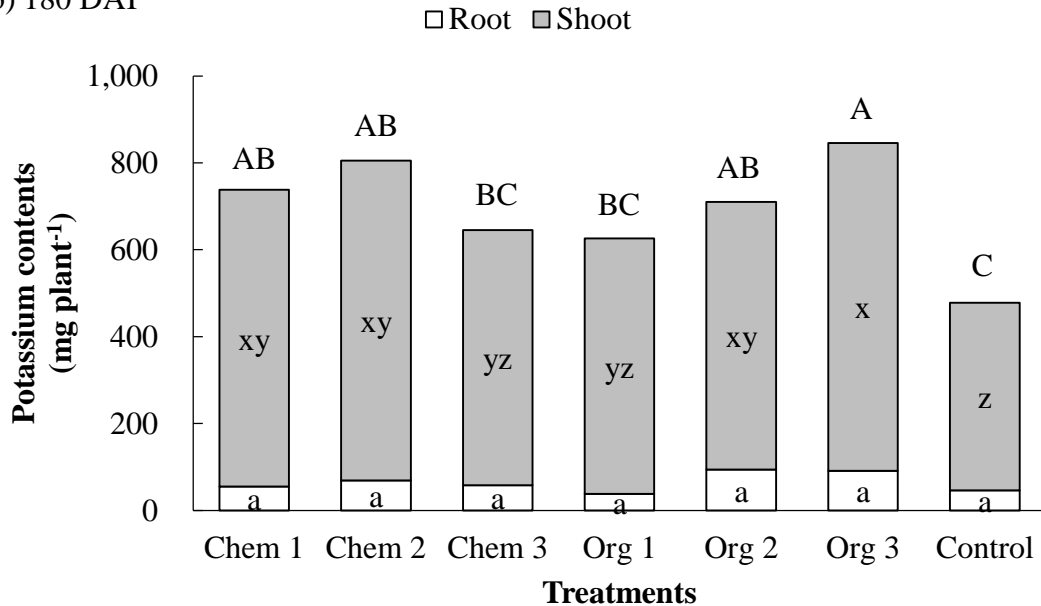
Treatment	Potassium concentration (g kg ⁻¹)		
	Root	Shoot	The whole plant
150 DAT			
Chem 1	30 ± 5 ab	38 ± 2 b	36 ± 1 a
Chem 2	31 ± 3 ab	41 ± 4 ab	39 ± 3 a
Chem 3	22 ± 5 bc	38 ± 4 b	35 ± 4 a
Org 1	29 ± 11 ab	39 ± 2 ab	36 ± 3 a
Org 2	26 ± 6 abc	42 ± 1 a	38 ± 3 a
Org 3	35 ± 9 a	41 ± 5 ab	39 ± 5 a
Control	18 ± 2 c	32 ± 3 c	28 ± 3 b
180 DAT			
Chem 1	14 ± 5 ab	33 ± 5 a	30 ± 4 a
Chem 2	13 ± 6 abc	29 ± 5 ab	26 ± 4 ab
Chem 3	14 ± 6 ab	30 ± 3 ab	27 ± 3 ab
Org 1	8 ± 5 bc	26 ± 1 b	23 ± 2 b
Org 2	15 ± 4 ab	30 ± 2 ab	27 ± 3 ab
Org 3	18 ± 1 a	33 ± 3 a	31 ± 3 a
Control	7 ± 3 c	20 ± 3 c	18 ± 2 c

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at P ≤ 0.05 by LSD test.

(a) 150 DAT



(b) 180 DAT



圖二十、(a) 移植後 150 天和 (b) 180 天，不同肥料處理對之紫錐菊根部與地上部之鉀含量的影響

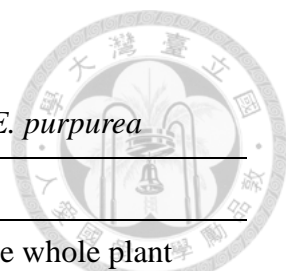
Fig. 20. Effects of different fertilizer treatments on potassium content in root and shoot of *E. purpurea* at (a) 150 and (b) 180 DAT. Data are expressed as mean (n = 4), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test. Uppercase is comparison between total nutrients; the lowercase (ab) is comparison between nutrients in root and the lowercase (xy) is comparison between nutrients in the shoot.

(六) 鈣的濃度與吸收

表十為移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對紫錐菊之鈣濃度的影響。結果顯示，在移植後 150 天，不論紫錐菊根、地上部或全株的鈣濃度在所有處理皆沒有顯著差異。植物根部的鈣濃度低於地上部。在移植後 180 天，化學肥料處理之紫錐菊鈣濃度比有機質肥料者高。此外，移植後 150 天，紫錐菊之鈣含量除了 Chem 2 處理外，其他處理與控制組皆沒有顯著差異 (圖二十一)；在移植後 180 天，Chem 2 及 Chem 3 處理之紫錐菊鈣含量較高，且所有處理之紫錐菊鈣含量比移植後 150 天高 1.6 到 2 倍左右，因鈣可促進植物細胞分裂，且花粉管生長皆需要鈣，花粉管的生長方向也會受鈣濃度的影響。鈣存在於細胞壁中膠層及細胞膜的外表上，能強化細胞壁及控制細胞膜的通透性，亦為細胞生長和分裂的必要物質，能維持細胞膜之正常功能、促進酵素活化等。

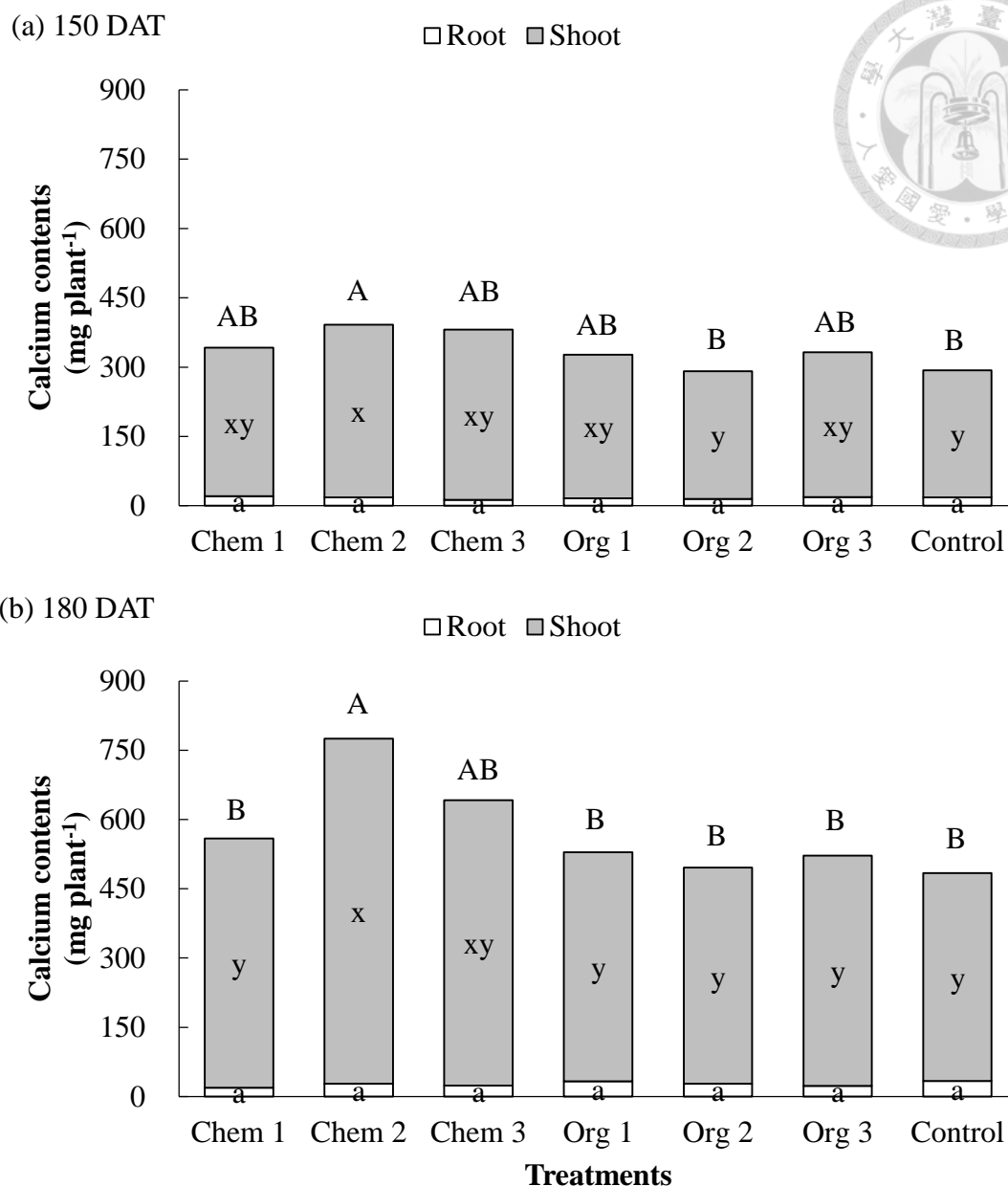
表十、不同肥料處理對移紫錐菊之總鈣濃度的影響

Table 10. Effects of different fertilizer on calcium concentration in *E. purpurea*



Treatment	Calcium concentration (g kg ⁻¹)		
	Root	Shoot	The whole plant
150 DAT			
Chem 1	4.2 ± 0.3 a	26 ± 4 a	20 ± 3 a
Chem 2	4.3 ± 1.1 a	30 ± 7 a	23 ± 5 a
Chem 3	4.2 ± 0.7 a	26 ± 2 a	22 ± 2 a
Org 1	4.1 ± 0.7 a	27 ± 9 a	22 ± 8 a
Org 2	3.4 ± 1.0 a	23 ± 2 a	18 ± 2 a
Org 3	4.3 ± 0.7 a	27 ± 6 a	21 ± 5 a
Control	4.2 ± 0.8 a	23 ± 2 a	18 ± 2 a
180 DAT			
Chem 1	5.0 ± 0.2 bc	25 ± 8 abc	22 ± 5 ab
Chem 2	5.0 ± 0.8 bc	30 ± 8 ab	25 ± 6 a
Chem 3	5.1 ± 1.2 bc	31 ± 5 a	27 ± 3 a
Org 1	7.1 ± 1.6 a	22 ± 2 c	20 ± 2 b
Org 2	4.5 ± 0.4 c	23 ± 3 bc	19 ± 2 b
Org 3	4.5 ± 0.1 c	22 ± 3 c	19 ± 2 b
Control	6.0 ± 0.9 ab	21 ± 4 c	18 ± 2 b


Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at P ≤ 0.05 by LSD test.



圖二十一、(a) 移植後 150 天和 (b) 180 天，不同肥料處理對之紫錐菊根部與地上部之總鈣含量的影響

Fig. 21. Effects of different fertilizer treatments on calcium content in root and shoot of *E. purpurea* at (a) 150 and (b) 180 DAT. Data are expressed as mean (n = 4), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test. Uppercase is comparison between total nutrients; the lowercase (ab) is comparison between nutrients in root and the lowercase (xy) is comparison between nutrients in the shoot.

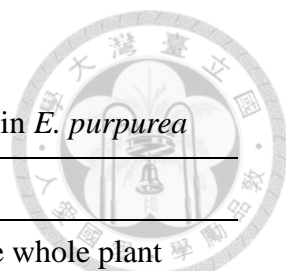
(七) 鎂的濃度與吸收



在移植後 150 天，Chem 2 及 Chem 3 處理之紫錐菊根的鎂濃度較低，且 Chem 3 處理在地上部 (8.7 g kg^{-1}) 及全株 (8.2 g kg^{-1}) 之鎂濃度都最低 (表十一)，而有機質肥料處理與控制組皆沒有顯著差異。因為施用高量之化學肥料導致土壤 pH 值下降 (圖三)，使土壤有效性鎂較低，造成施用化學肥料之紫錐菊的鎂濃度較低。在移植後 180 天，紫錐菊根部的鎂濃度在所有處理間都無顯著差異；紫錐菊地上部及全株的鎂濃度均以有機質肥料處理 (Org 1-Org 3) 高於化學肥料處理，應是施用有機質肥料之土壤中有效性鎂含量較高所致 (圖十一)。此外，可以發現在移植後 150 至 180 天紫錐菊根及地上部的磷含量增加，根部除了 Chem 1 處理減少以外，其餘處理增加 1.1 至 2.2 倍，地上部增加 1.6 至 2 倍 (圖二十二)。植物體中含鎂 $2\text{-}6 \text{ g kg}^{-1}$ ，植物吸收鎂的量比鉀和鈣少。鎂在植物體會參與蛋白質的合成及細胞 pH 值的控制，且能作為酵素的活化劑，如磷酸轉移酶 (phosphokinase)、脫氫酶 (dehydrogenase) 和 RuBP 脫羧酶 (rubulose biphosphate carboxylase) 等，且為葉綠素的組成分。

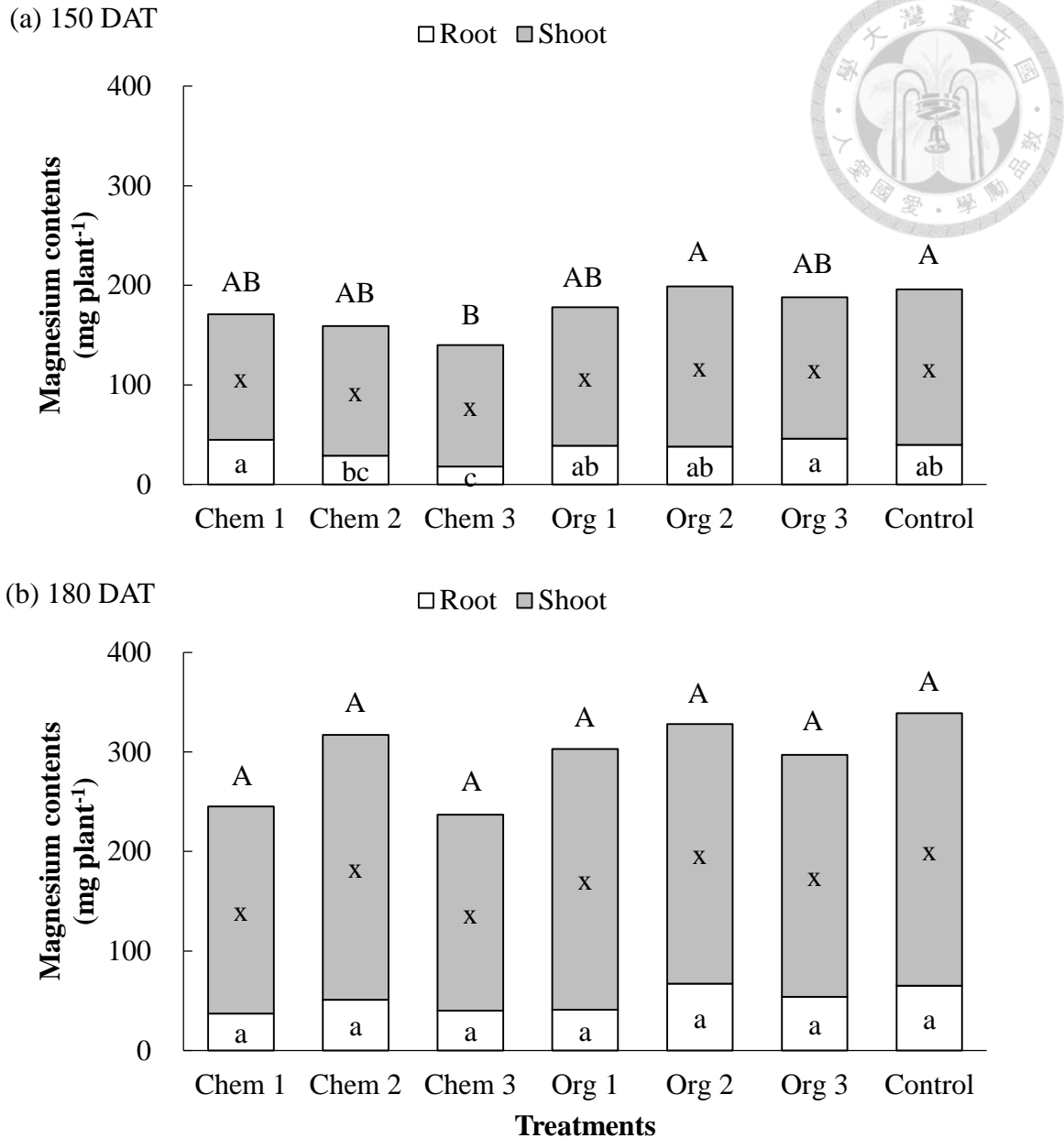
表十一、不同肥料處理對紫錐菊之總鎂濃度的影響

Table 11. Effects of different fertilizer on magnesium concentration in *E. purpurea*



Treatment	Magnesium concentration (g kg ⁻¹)		
	Root	Shoot	The whole plant
150 DAT			
Chem 1	9.3 ± 1.1 a	10.1 ± 0.9 bc	9.9 ± 0.8 bc
Chem 2	7.1 ± 0.8 b	10.2 ± 0.8 b	9.5 ± 0.9 cd
Chem 3	6.1 ± 0.7 b	8.7 ± 0.8 c	8.2 ± 0.8 d
Org 1	9.5 ± 1.3 a	11.8 ± 1.4 a	11.2 ± 1.3 ab
Org 2	9.1 ± 1.0 a	13.1 ± 0.8 a	12.1 ± 0.6 a
Org 3	10.0 ± 1.7 a	11.9 ± 1.2 a	11.4 ± 1.2 a
Control	9.8 ± 1.1 a	12.8 ± 1.0 a	12.1 ± 0.9 a
180 DAT			
Chem 1	9.4 ± 1.4 a	9.5 ± 1.8 c	9.5 ± 1.4 b
Chem 2	9.4 ± 1.0 a	10.1 ± 1.2 c	10.0 ± 0.9 b
Chem 3	8.9 ± 1.6 a	9.8 ± 0.6 c	9.7 ± 0.3 b
Org 1	8.8 ± 1.5 a	11.6 ± 1.2 abc	11.1 ± 1.0 ab
Org 2	9.5 ± 3.3 a	12.9 ± 2.1 ab	12.3 ± 1.8 a
Org 3	10.8 ± 1.2 a	10.7 ± 2.0 bc	10.7 ± 1.8 ab
Control	10.1 ± 2.1 a	12.9 ± 1.4 a	12.5 ± 0.9 a

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at P ≤ 0.05 by LSD test.



圖二十二、(a) 移植後 150 天和 (b) 180 天，不同肥料處理對之紫錐菊根部與地上部之總鎂含量的影響

Fig. 21. Effects of different fertilizer treatments on the magnesium content in root and shoot of *E. purpurea* at (a) 150 and (b) 180 DAT. Data are expressed as mean (n = 4), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test. Uppercase is comparison between total nutrients; the lowercase (ab) is comparison between nutrients in root and the lowercase (xy) is comparison between nutrients in the shoot.

三、施用肥料對紫錐菊的酚類與咖啡酸衍生物含量之影響

(一) 酚類化合物之濃度

表十二為移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對紫錐菊根及地上部之總酚濃度的影響。結果顯示，在移植後 150 天，紫錐菊根部之總酚含量在 Chem 2 及 Chem 3 處理（分別為 10.5 及 10.9 mg kg⁻¹）顯著低於其他處理，且在地上部的濃度也比其他處理低；而有機肥料處理（Org 1-Org 3）之紫錐菊地上部的總酚含量比化學肥料處理（Chem 1-Chem 3）高，而 Org 1 處理之值最高（21.4 mg kg⁻¹）。在移植後 180 天，在紫錐菊地上部之總酚含量在 Chem 2 及 Chem 3 處理（分別為 12.5 及 12.7 mg kg⁻¹）也低於其他處理，Org 1 處理之值最高（18.7 mg kg⁻¹），控制組次之（18.2 mg kg⁻¹）。紫錐菊在施用有機肥料後全株之總酚濃度比施用化學肥料者高（表十二），而紫錐菊全株之總酚濃度與總氮濃度（表七）有相反的趨勢；而且 150 天與 180 天兩次樣品之植體總氮濃度與總酚濃度之線性具負相關，其相關係數分別為 -0.968 ($p \leq 0.01$, $n = 7$) 與 -0.663 ($p \leq 0.05$, $n = 7$)（圖二十四），可知紫錐菊中累積較多的氮會導致植物酚類化合物含量減少。

酚類化合物是植物中重要的二次代謝物，與植物的抗逆境或維持生命有關，如防止病蟲害或環境逆境的攻擊、抗 UV 等。研究指出，水稻稻熱病與總酚含量的相關性高（Lu et al., 2008; Zhu et al., 2009）。此外，大量施用氮肥時，會使莽草酸途徑（shikimic acid pathway）的關鍵酵素—苯丙胺酸解氨酶的活性下降，導致植株中的總酚含量下降；且氮肥雖然可以提高茴香、草莓、青錢柳及卡琪花蒂瑪的產量，但對其類黃酮含量有負成長（Ibrahim et al., 2011; Deng et al., 2012; Ehsanipour et al., 2012; Sun et al., 2012）。對紫錐菊全株而言，施用有機質肥料處理與控制組之總酚類化合物濃度並無顯著差異，但施用兩倍或三倍化學氮肥會顯著低於控制組（圖二十三）。兩個不同時間採收之紫錐菊總酚和總氮的相關係數為 -0.968 ($p \leq 0.01$, $n = 7$) 與 -0.663 ($p \leq 0.05$, $n = 7$)，呈負相關（圖二十四）。此結果可能是因為施用高濃度的氮肥，使植體內的氮濃度高，造成關鍵酵素活性

下降，導致植株中總酚濃度下降，而施用適量的氮肥可提高苯丙胺酸解氨酶的活性 (Ali et al., 2012)。但也有研究指出紫錐菊之酚類、黃酮類和咖啡酸衍生物含量的改變與莽草酸之關鍵酵素，如莽草酸脫氫酶、分支酸變位酶和苯丙胺酸解氨酶與並沒有直接關係 (Mobin et al., 2015)。亦可能是因為施用大量氮肥，會增加植物體內胺基酸（如苯丙胺酸、色胺酸及酪胺酸等）的合成，植體具高氮含量會促使植物合成蛋白質，傾向營養生長，而一次代謝會消耗同為二次代謝的前驅物質之胺基酸，不利於二次代謝物的生合成。

表十二、不同肥料處理對紫錐菊根及地上部之總酚濃度的影響

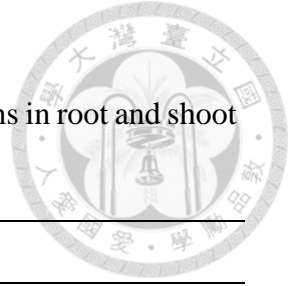
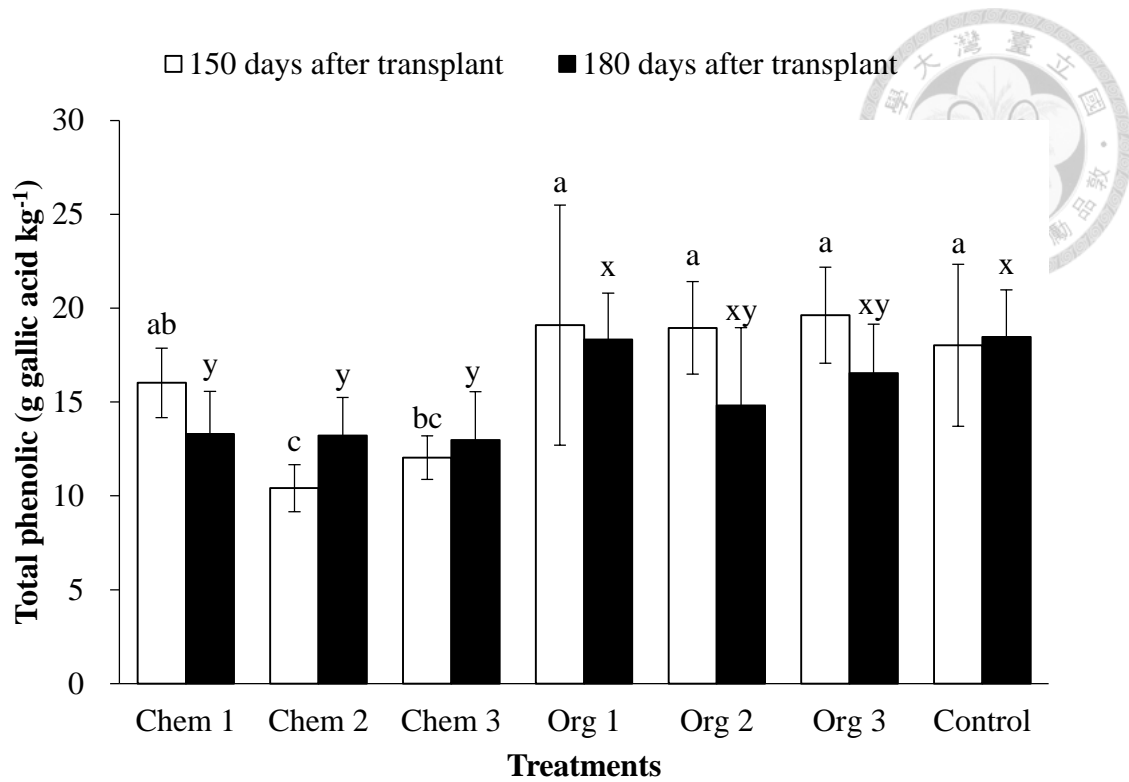


Table 12. Effects of different fertilizer on total phenolic concentrations in root and shoot of *E. purpurea*

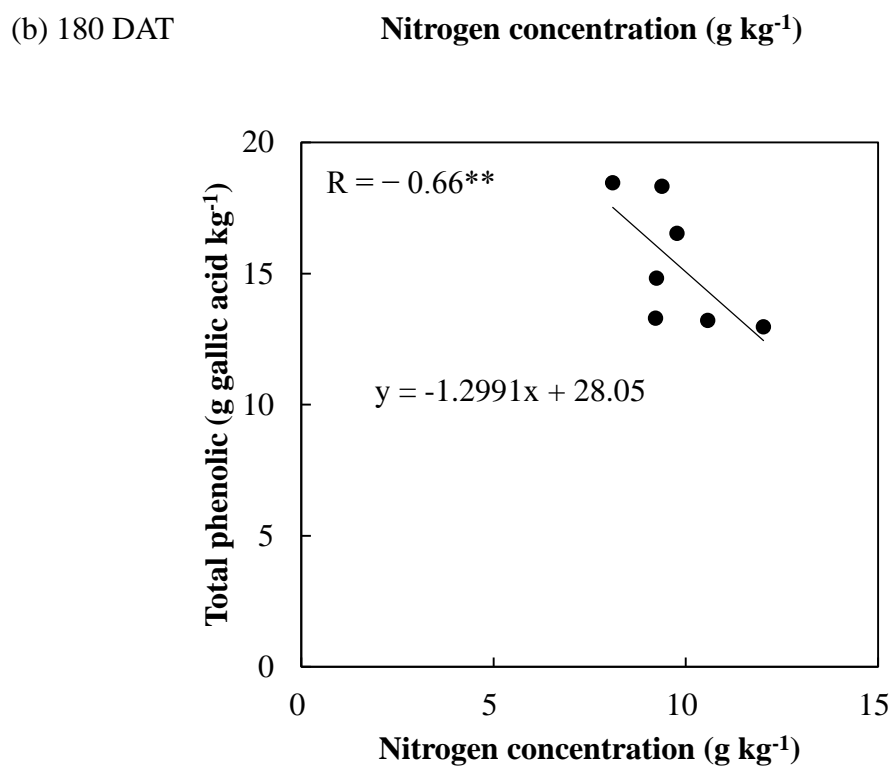
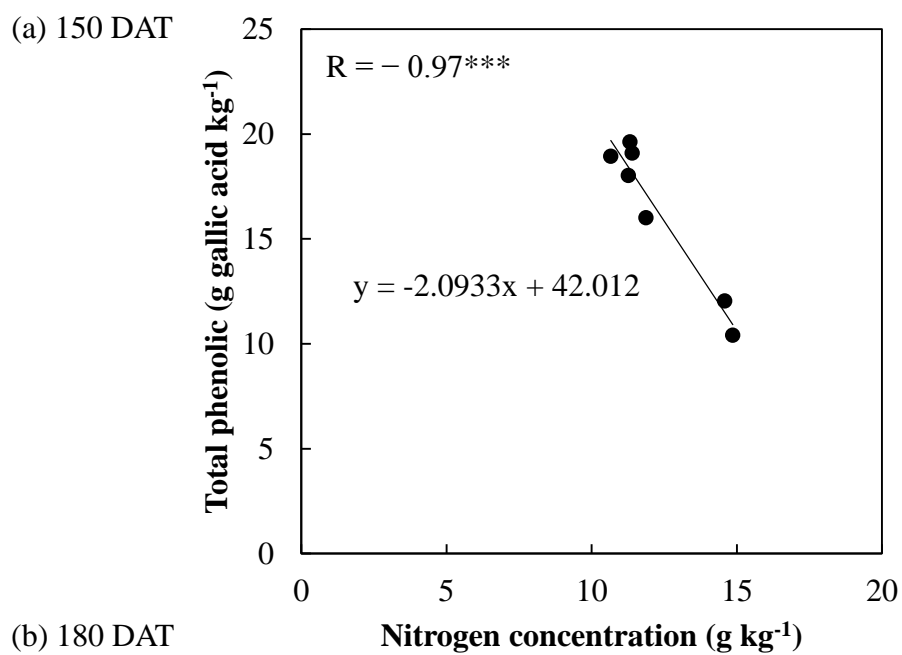
Treatment	Concentration (g gallic acid kg ⁻¹)	
	Root	Shoot
	150 DAT	
Chem 1	17.3 ± 3.3 ab	15.6 ± 2.4 abc
Chem 2	10.5 ± 0.8 d	10.4 ± 1.5 c
Chem 3	10.9 ± 0.7 d	12.3 ± 1.5 bc
Org 1	12.8 ± 2.0 cd	21.4 ± 8.5 a
Org 2	16.4 ± 0.4 ab	19.8 ± 3.4 a
Org 3	18.5 ± 2.1 a	20.1 ± 3.4 a
Control	15.2 ± 2.2 bc	18.8 ± 5.5 ab
	180 DAT	
Chem 1	12.3 ± 0.6 b	16.4 ± 6.0 ab
Chem 2	15.9 ± 5.3 ab	12.5 ± 2.4 b
Chem 3	14.2 ± 3.0 ab	12.7 ± 2.4 b
Org 1	16.6 ± 2.9 ab	18.7 ± 3.2 a
Org 2	15.6 ± 3.6 ab	14.7 ± 4.4 ab
Org 3	16.4 ± 4.7 ab	16.5 ± 2.9 ab
Control	19.4 ± 2.0 a	18.2 ± 2.6 a

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test.



圖二十三、不同肥料處理對紫錐菊全株之總酚濃度的影響

Fig. 23. Effects of different fertilizer treatments on total phenolic concentrations in whole plant of *E. purpurea*. Data are expressed as mean (n = 4), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.



圖二十四、(a) 移植後 150 天及 (b) 180 天，紫錐菊全株之總酚類化合物濃度與總氮濃度的關係

Fig. 24. Correlation between the concentrations of total phenolics and total nitrogen in the whole plant of *E. purpurea* at (a) 150 DAT and (b) 180 DAT.

(二) 咖啡酸衍生物之濃度

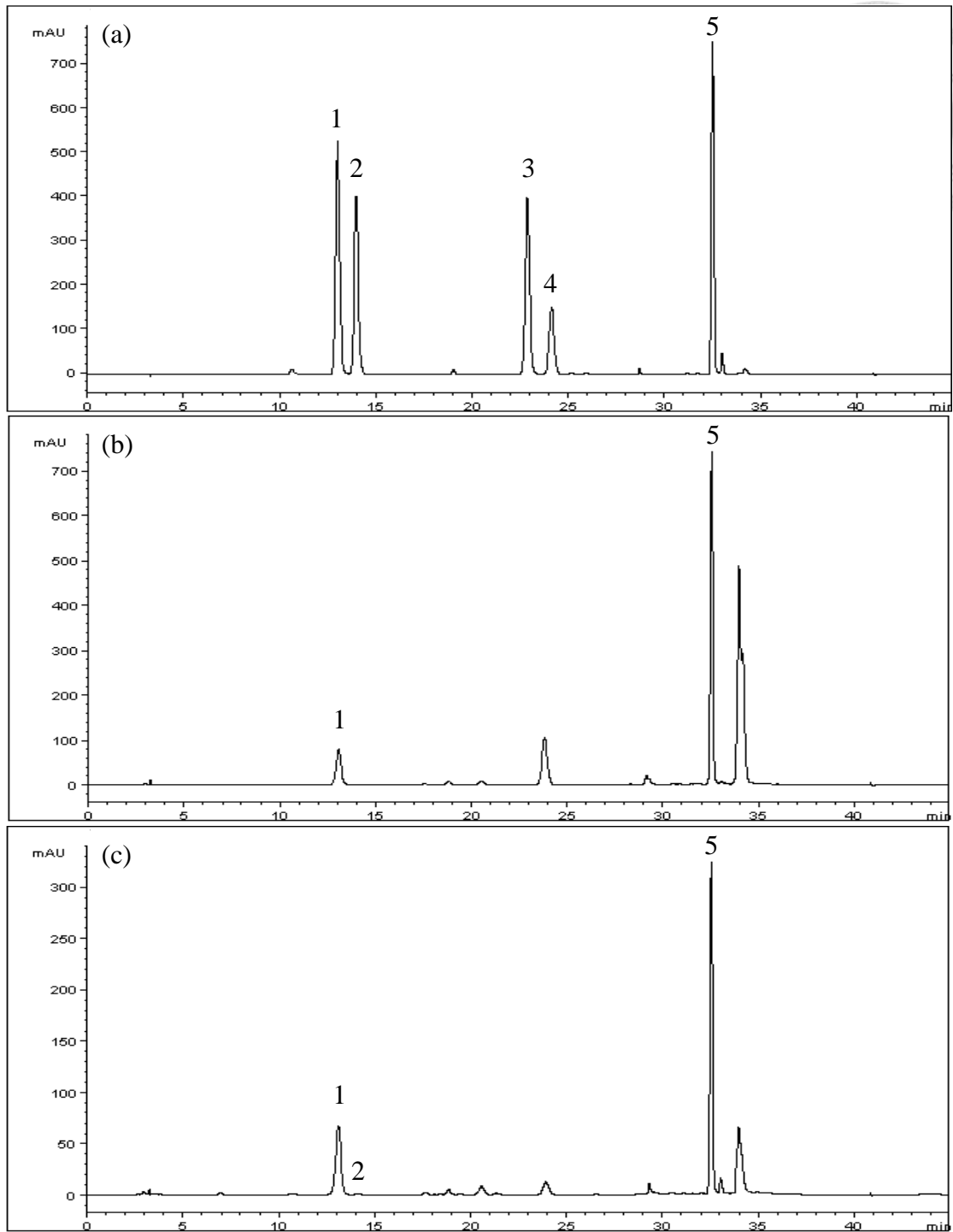
咖啡酸衍生物為紫錐菊品質的重要指標之一。圖二十五為紫錐菊咖啡酸衍生物之 HPLC 分析圖譜。結果顯示，紫錐菊根可測得卡夫塔酸、綠橈酸、洋薊酸及菊苣酸，其中含量最高的為菊苣酸，次高為卡夫塔酸，綠橈酸與洋薊酸極微量，而並未偵測到紫錐菊苷 (表十三)；紫錐菊地上部可測得卡夫塔酸、綠橈酸及菊苣酸，其中含量最高的為菊苣酸，次高為卡夫塔酸，綠橈酸極微量，而並未偵測到洋薊酸與紫錐菊苷 (表十四)，可以發現本研究之紫花紫錐菊只有在根有測得微量洋薊酸，地上部並未測得。不同栽種地區會影響紫錐菊之成分含量 (Thomsen, 2012)，本研究結果與 Pietta 等 (1998) 及 Sabra 等 (2012) 之結果一致，但在許多臺灣栽培之紫錐菊的研究中，皆有發現紫錐菊苷的存在，且紫錐菊苷含量大於洋薊酸 (林, 2003；吳, 2007；Lin et al., 2011)，顯示同樣為臺灣栽培之紫錐菊也會因地區的不同造成紫錐菊活性成分之組成及含量的差異。

在移植後 150 天，紫錐菊根中的卡夫塔酸和綠橈酸在 Chem 1、Org 2、Org 3 處理及控制組的濃度都較高，但在移植後 180 天，總咖啡酸衍生物的含量在處理間無顯著差異，最高值出現在控制組 (表十三， $27.9 \mu\text{mol g}^{-1}$)。此外，紫錐菊根之菊苣酸在總咖啡酸含量中佔 71 至 85%。

在 150 天，Chem 2 及 Chem 3 處理之紫錐菊地上部之卡夫塔酸及菊苣酸的濃度較低 (表十四，卡夫塔酸分別為 6.0 及 $6.3 \mu\text{mol g}^{-1}$ ；菊苣酸分別為 12.2 及 $13.4 \mu\text{mol g}^{-1}$)，各處理之紫錐菊全株總咖啡酸衍生物的濃度由高至低依序為 Org 3、Org 2、Control、Org 1 \approx Chem 1、Chem 3 和 Chem 2；在移植後 180 天，各處理之紫錐菊地上部的總咖啡酸衍生物濃度也有相似的趨勢，最高值出現在 Org 1 處理 ($36.1 \mu\text{mol g}^{-1}$)，而 Chem 2 及 Chem 3 處理有最低值 (表十四， 22.1 及 $20.1 \mu\text{mol g}^{-1}$)。此外，紫錐菊地上部之菊苣酸在總咖啡酸含量中佔 56 至 74%，比例較紫錐菊根低。

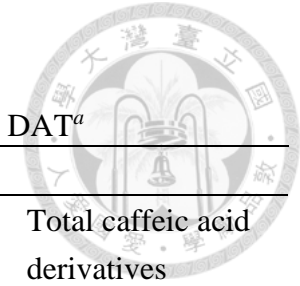
圖二十六為移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對紫錐菊全株之總咖啡酸衍生物濃度的影響。結果顯示，紫錐菊之咖啡酸衍生物與植體內之總氮濃度 (表

七) 有相反的趨勢。因此，可知植體內之總氮濃度低，會促使紫錐菊產生更多的咖啡酸衍生物，且 150 天與 180 天兩次紫錐菊樣品之總咖啡酸衍生物和總氮的相關係數分別為 -0.94 ($p \leq 0.05$, $n = 7$) 與 -0.68 ($p \leq 0.05$, $n = 7$)，兩者具高度與中度負相關 (圖二十七)。紫錐菊之咖啡酸衍生物來自於莽草酸途徑，咖啡酸的前驅物為苯丙胺酸，且 150 天與 180 天兩次紫錐菊樣品之咖啡酸衍生物與酚類化合物的相關係數分別為 0.99 ($p \leq 0.01$, $n = 27$) 與 0.96 ($p \leq 0.01$, $n = 28$)，兩者的變化皆具有高度正相關 (圖二十八)，因此，氮肥影響咖啡酸衍生物的機制可能與酚類化合物含量的相似。



圖二十五、紫錐菊咖啡酸衍生物之 HPLC 分析圖譜 (a) 標準品混合物、(b)紫錐菊根萃取物及(c) 紫錐菊地上部萃取物

Fig. 25. The HPLC chromatograms of the caffeic acid derivatives in *E. purpurea*. (a) mixture standard, (b) the extracts of *E. purpurea* roots and (c) shoots. 1: caftaric acid; 2: chlorogenic acid; 3: cynarin; 4: echinacoside; 5: cichoric acid.

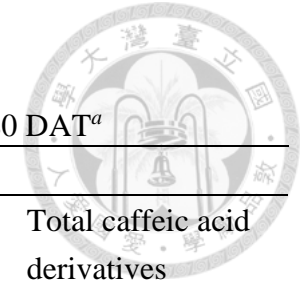


表十三、移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對紫錐菊根之咖啡酸衍生物的影響

Table 13. Effects of different fertilizer on concentrations of caffeic acid derivatives in roots of *E. purpurea* at 150 and 180 DAT^a

Treatment	Concentration ($\mu\text{mol g}^{-1}$)					
	Caftaric acid	Chlorogenic acid	Cynarin	Echinacoside	Cichoric acid	Total caffeic acid derivatives
150 DAT						
Chem 1	5.3 ± 1.1 a	tr ^b	tr ^b	nd ^c	17.3 ± 4.1 a	22.6 ± 5.2 a
Chem 2	2.2 ± 0.7 bc	tr ^b	tr ^b	nd ^c	6.6 ± 2.3 c	8.8 ± 2.9 c
Chem 3	2.0 ± 1.2 bc	tr ^b	tr ^b	nd ^c	8.6 ± 3.8 bc	10.7 ± 5.0 bc
Org 1	1.9 ± 1.3 c	tr ^b	tr ^b	nd ^c	8.5 ± 2.1 bc	10.4 ± 1.9 c
Org 2	4.6 ± 0.9 a	tr ^b	tr ^b	nd ^c	12.7 ± 4.5 ab	17.3 ± 5.2 ab
Org 3	4.3 ± 3.2 ab	tr ^b	tr ^b	nd ^c	16.7 ± 3.8 a	21.0 ± 6.4 a
Control	5.5 ± 1.3 a	tr ^b	tr ^b	nd ^c	13.5 ± 3.3 ab	19.0 ± 4.4 a
180 DAT						
Chem 1	2.9 ± 1.0 b	tr ^b	tr ^b	nd ^c	16.4 ± 7.0 a	19.3 ± 7.4 a
Chem 2	4.5 ± 2.1 ab	tr ^b	tr ^b	nd ^c	15.3 ± 7.9 a	19.8 ± 9.9 a
Chem 3	3.6 ± 0.7 b	tr ^b	tr ^b	nd ^c	16.0 ± 6.5 a	19.5 ± 7.2 a
Org 1	4.5 ± 0.8 ab	tr ^b	tr ^b	nd ^c	13.9 ± 4.1 a	18.3 ± 3.9 a
Org 2	4.8 ± 2.4 ab	tr ^b	tr ^b	nd ^c	16.9 ± 5.9 a	21.7 ± 7.7 a
Org 3	5.0 ± 1.8 ab	tr ^b	tr ^b	nd ^c	15.1 ± 6.0 a	20.1 ± 7.7 a
Control	6.5 ± 1.3 a	tr ^b	tr ^b	nd ^c	21.4 ± 2.5 a	27.9 ± 3.4 a

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test. ^a DAT: days after transplanting. ^b tr: trace. ^c nd: not detected.

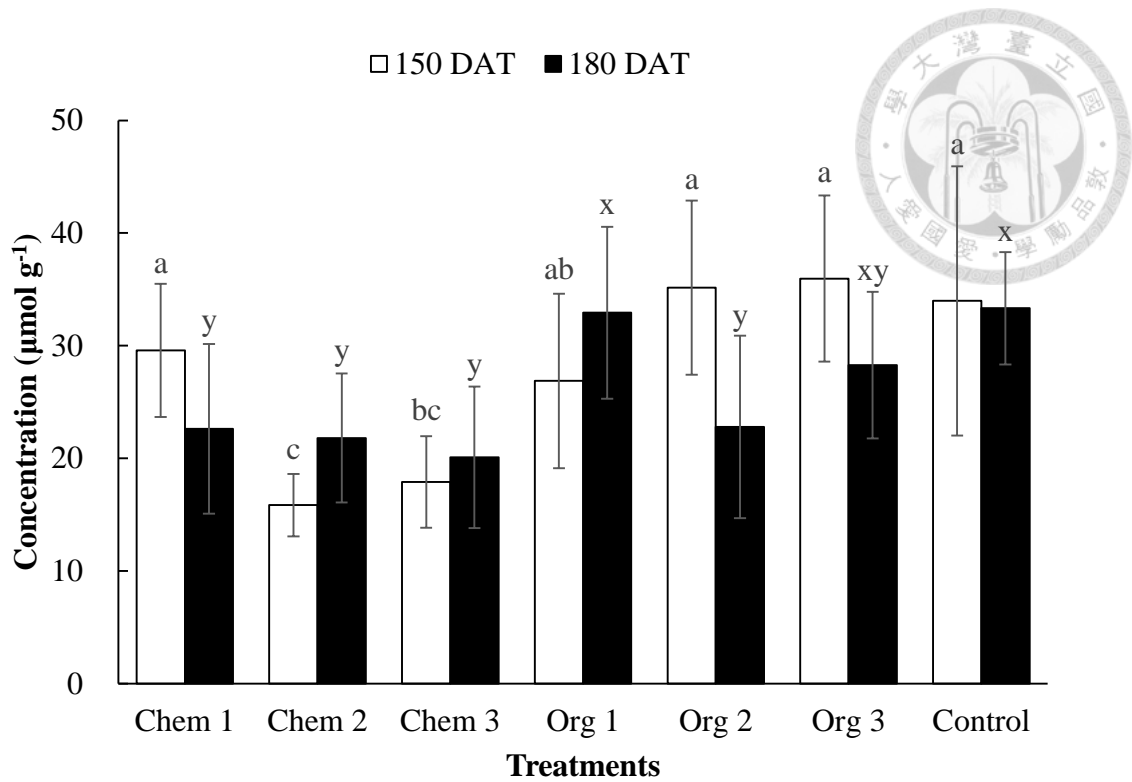


表十四、移植後 150 天和 180 天，不同肥料處理對紫錐菊地上部之咖啡酸衍生物的影響

Table 14. Effects of different fertilizer on concentrations of caffeic acid derivatives in shoots of *E. purpurea* at 150 and 180 DAT^a

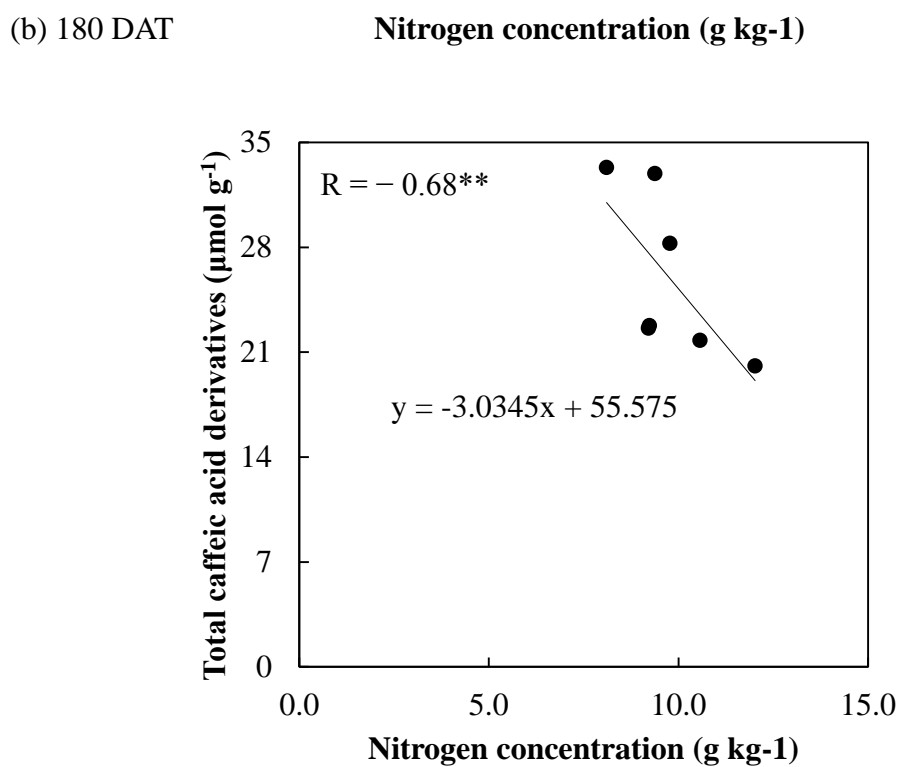
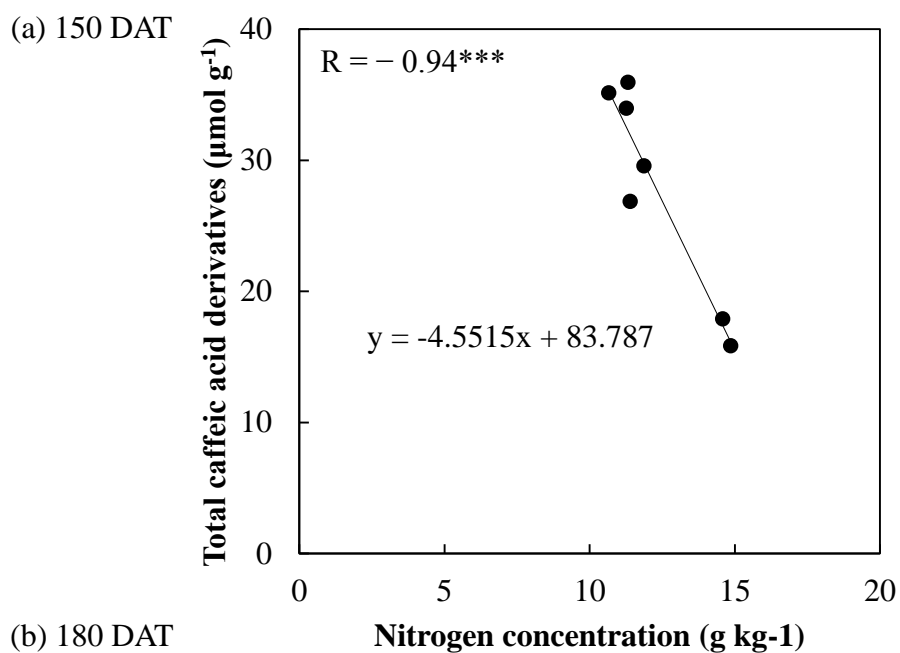
Treatment	Concentration ($\mu\text{mol g}^{-1}$)					
	Caftaric acid	Chlorogenic acid	Cynarin	Echinacoside	Cichoric acid	Total caffeic acid derivatives
150 DAT						
Chem 1	10.9 ± 3.0 ab	tr ^b	nd ^c	nd ^c	21.5 ± 6.0 abc	32.4 ± 8.4 ab
Chem 2	6.0 ± 0.9 b	tr ^b	nd ^c	nd ^c	12.2 ± 3.3 c	18.2 ± 3.5 c
Chem 3	6.3 ± 1.5 b	tr ^b	nd ^c	nd ^c	13.4 ± 4.6 c	19.7 ± 6.0 bc
Org 1	14.2 ± 5.1 a	tr ^b	nd ^c	nd ^c	18.2 ± 10.6 bc	32.4 ± 10.5 ab
Org 2	15.8 ± 0.6 a	tr ^b	nd ^c	nd ^c	25.5 ± 9.4 ab	41.2 ± 9.2 a
Org 3	12.2 ± 4.0 a	tr ^b	nd ^c	nd ^c	29.5 ± 5.2 a	41.7 ± 8.4 a
Control	13.0 ± 5.6 a	tr ^b	nd ^c	nd ^c	25.6 ± 9.0 ab	38.6 ± 14.5 a
180 DAT						
Chem 1	9.7 ± 5.4 ab	tr ^b	nd ^c	nd ^c	19.8 ± 8.9 ab	29.4 ± 13.9 abc
Chem 2	8.6 ± 2.5 ab	tr ^b	nd ^c	nd ^c	13.4 ± 4.1 b	22.1 ± 5.9 bc
Chem 3	5.6 ± 1.3 b	tr ^b	nd ^c	nd ^c	14.5 ± 5.4 b	20.1 ± 6.2 c
Org 1	10.7 ± 2.8 ab	tr ^b	nd ^c	nd ^c	25.4 ± 7.5 a	36.1 ± 10.0 a
Org 2	6.1 ± 5.8 b	tr ^b	nd ^c	nd ^c	17.4 ± 7.8 ab	23.4 ± 9.1 abc
Org 3	9.7 ± 4.5 ab	tr ^b	nd ^c	nd ^c	20.1 ± 4.2 ab	29.8 ± 7.9 abc
Control	13.7 ± 2.4 a	tr ^b	nd ^c	nd ^c	21.4 ± 5.2 ab	35.1 ± 6.6 ab

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test. ^a DAT: days after transplanting. ^b tr: trace. ^c nd: not detected.



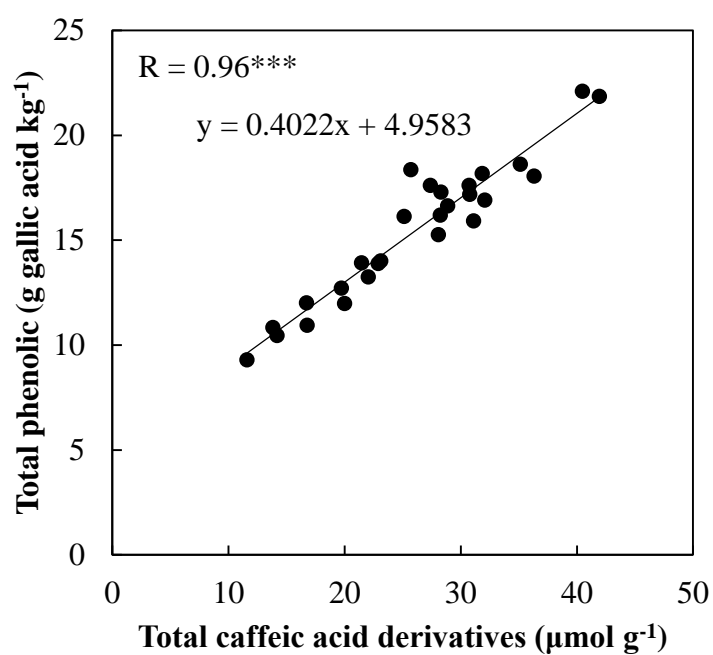
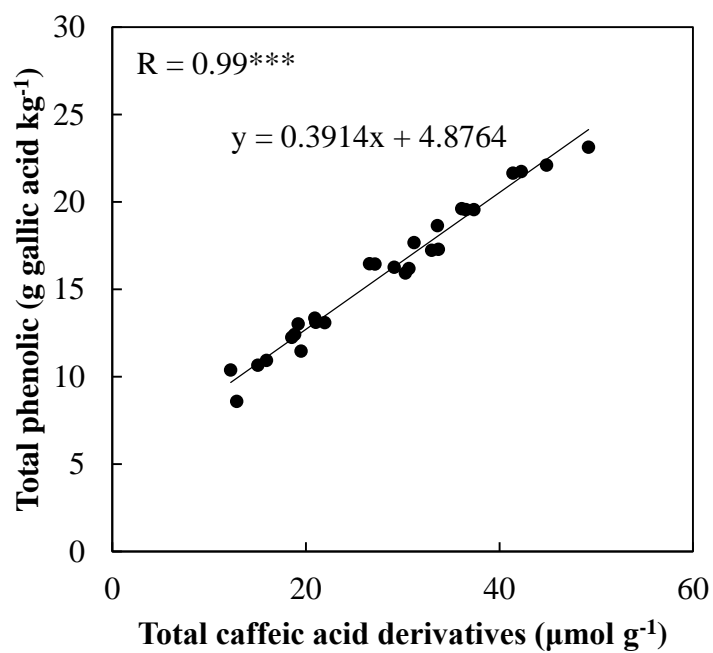
圖二十六、不同肥料處理對紫錐菊全株之總咖啡酸衍生物濃度的影響

Fig. 26. Effects of different fertilizer treatments on the concentrations of total caffeic acid derivatives in the whole plant of *E. purpurea*. Data are expressed as mean ($n = 4$), and the different letter(s) indicate significant differences within treatments of the same sampling day at $P \leq 0.05$ by LSD test.



圖二十七、(a) 移植後 150 天及 (b) 180 天，紫錐菊全株之總咖啡酸衍生物濃度與總氮濃度的關係

Fig. 27. Correlation between the concentrations of total caffeic acid derivatives and total nitrogen in the whole plant of *E. purpurea* at (a) 150 DAT and (b) 180 DAT.



圖二十八、(a) 移植後 150 天及 (b) 180 天，紫錐菊全株之總咖啡酸衍生物濃度與總酚類化合物濃度的關係

Fig. 28. Correlation between the concentrations of total caffeic acid derivatives and total phenolics in the whole plant of *E. purpurea* at (a) 150 DAT and (b) 180 DAT.

第六章 結論



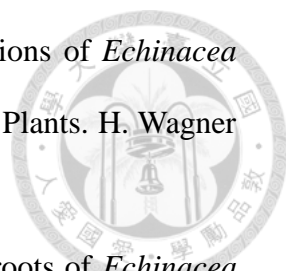
施用不同肥料對種植紫錐菊後之土壤性質會有不同的影響。施用機質肥料後土壤的 pH 值較高，化學肥料處理之土壤 pH 值則會隨施用量增加而降低。有機質肥料在紫錐菊採收後能增加土壤的有機質含量，並且具有較高的總氮、可萃取磷、鈣、鎂及錳的含量，能保持土壤肥力並維持土壤 pH 值。由於紫錐菊原生於貧瘠土壤，在不同肥料處理之紫錐菊的乾重皆沒有顯著差異，但施用有機質肥料處理會使花數增加。紫錐菊在開花期會吸收多量氮、磷、鉀、鈣及鎂，並將根多量的鉀轉移至地上部。施用高量化學肥料會使植物體中氮和鈣的濃度較高；而施用有機質肥料有助於紫錐菊對磷和鉀的吸收，但會降低植物體中的氮濃度，不過紫錐菊之二次代謝物（酚類及咖啡酸衍生物）的含量增加。紫錐菊之酚類與咖啡酸衍生物具有高度正相關，而酚類以及咖啡酸衍生物與紫錐菊之總氮含量具中度負相關，顯示植體中氮濃度增加會降低酚類及咖啡酸衍生物的生合成。綜合上述，雖然所有處理的紫錐菊產量皆無顯著差異，在考量紫錐菊之活性成分的含量以及土壤的永續經營，施用有機質肥料為較佳的肥培策略。其中以有機質肥料處理 (Org 1) 可得到最高的酚類 (18.3 g kg^{-1}) 及咖啡酸衍生物 ($36.1 \text{ } \mu\text{mol g}^{-1}$) 含量。

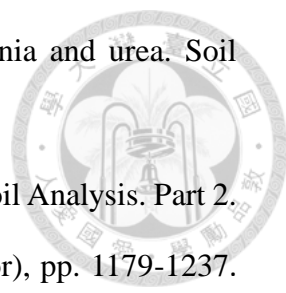
參考文獻

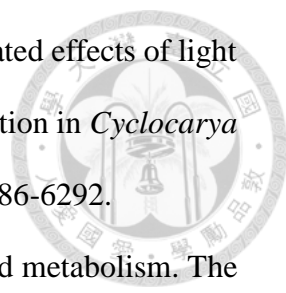


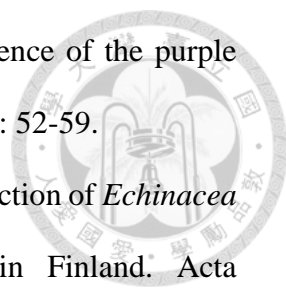
- 古為榮。2006。咖啡果肉抗氧化及揮發性成分之研究。東海大學食品科學研究所碩士論文。台中。
- 朱鈞。1984。作物學通論-作物與環境。臺灣商務印書館。台北。
- 吳孟禧。2007。紫錐菊原料品質評估之研究。國立中興大學農藝研究所碩士論文。台中。
- 林資哲。2003。紫錐菊咖啡酸衍生物含量與抗氧化能力分析。國立中興大學農藝研究所碩士論文。台中。
- 邱建中、張隆仁、泰立德、勵鑫齋。2001。西方草藥—紫錐花 (Echinacea) 的栽培與利用。台中區農業改良場研究彙報 73: 43-54。
- 邱建忠、蔡東纂、陳佩臻。2012。施用十種肥料對土壤酸鹼度及南方根瘤線蟲侵入和發育之影響。植物病理學會刊 21: 21-27。
- 國立中興大學土壤調查試驗中心。2012。肥料檢驗方法。行政院農業委員會農糧署。台中。
- 張世政。2005。臺灣地區紫錐菊生產與品質評估之研究。國立中興大學農藝研究所碩士論文。台中。
- 張淑賢。1981。本省現行植物法。作物需肥診斷技術，pp. 53-59。臺灣農業試驗所。台中。
- 郭肇凱、張隆仁、楊豐旭、許輔、陳榮五。2006。新引進藥用植物之活性分析初步研究。台中區農業改良場研究彙報 93: 1-14。
- 陳仁炫。1995。有機質肥料的添加對土壤磷有效性和磷礦化作用之影響。中國農業化學會誌 33: 533-549。
- 陳仁炫。1999。合理化施肥之要領與對策。合理化施肥說明講習會講義。2: 1-11。中華土壤肥料學會。台中。
- 陳俞瑾。2013。不同濃度的鉀、鐵、錳及不同硝銨比對水耕雷公根產量及

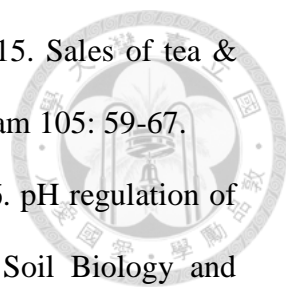
- centelloside 濃度之影響。國立臺灣大學農業化學所碩士論文。台北。
- 陳裕星、秦昊宸、張隆仁。2012a。紫錐菊機能性成分和保健功效。台中區農業專訊 78: 16-20。
- 陳裕星、張隆仁、秦昊宸。2012b。認識紫錐花。台中區農業專訊 78: 4-6。
- 陳裕星、陳鏗斌、張隆仁。2012c。紫錐花一般栽培與管理。台中區農業專訊 78: 7-9。
- 童貫和。2004。不同供鉀水平對小麥旗葉光合速率日變化的影響。植物生態學報 28: 547-553。
- 黃育歆。2014。溪頭三種林相之土壤性質、團粒穩定度和氮磷劃分研究。國立臺灣大學農業化學所碩士論文。台北。
- 雷欣怡。2007。蝴蝶蘭開花期礦物元素組成變化與肥料需求。國立臺灣大學園藝學研究所學位論文。台北。
- 蔡宜峰、張隆仁、邱建中。2001。施用有機質肥料與化學肥料對紫錐花養分析收之影響。台中區農業改良場研究彙報 72: 35-43。
- Ali, L., Alsanus, B. W., Rosberg, A. K., Svensson, B., Nielsen, T. and Olsson, M. E. 2012. Effects of nutrition strategy on the levels of nutrients and bioactive compounds in blackberries. *European Food Research and Technology* 234: 33-44.
- Anderson, E. L. 1988. Tillage and N fertilization effects on maize root growth and root:shoot ratio. *Plant and Soil* 108: 245-251.
- Barnes, J., Anderson, L. A., Gibbons, S. and Phillipson, J. D. 2005. *Echinacea* species (*Echinacea angustifolia* (DC.) Hell., *Echinacea pallida* (Nutt.) Nutt., *Echinacea purpurea* (L.) Moench): A review of their chemistry, pharmacology and clinical properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 57: 929-954.
- Barrett, B. 2003. Medicinal properties of *Echinacea*: a critical review. *Phytomedicine* 10: 66-86.

- 
- Bauer, R. 1999. Chemistry, analysis and immunological investigations of *Echinacea* phytopharmaceuticals. In: Immunomodulatory Agents from Plants. H. Wagner (editor), pp. 41-88. Birkhäuser Verlag, Basel, Switzerland.
- Bauer, R., Remiger, P. and Wagner, H. 1988. Alkamides from the roots of *Echinacea purpurea*. *Phytochemistry* 27: 2339-2342.
- Bauer, R. and Wagner, H. 1991. *Echinacea* species as potential immunostimulatory drugs. In: Economic and Medicinal Plant Research. H. Wagner and N. R. Farnsworth (editors), pp. 253-321. Academic press, New York, USA.
- Bergeron, C., Livesey, J. F., Awang, D. V. C., Arnason, J. T., Rana, J., Baum, B. R. and Letchamo, W. 2000. A quantitative HPLC method for the quality assurance of *Echinacea* products on the North American market. *Phytochemical Analysis* 11: 207-215.
- Binns, S., Hudson, J., Merali, S. and Arnason, J. 2002. Antiviral activity of characterized extracts from *Echinacea* spp.(Heliantheae: Asteraceae) against herpes simplex virus (HSV-I). *Planta Medica* 68: 780-783.
- Binns, S., Purgina, B., Bergeron, C., Smith, M., Ball, L., Baum, B. and Arnason, J. 2000. Light-mediated antifungal activity of *Echinacea* extracts. *Planta Medica* 66: 241-244.
- Binns, S. E., Inparajah, I., Baum, B. R. and Arnason, J. T. 2001. Methyl jasmonate increases reported alkamides and ketoalkene/ynes in *Echinacea pallida* (Asteraceae). *Phytochemistry* 57: 417-420.
- Blumenthal, M., Lindstrom, A., Lynch, M. and Rea, P. 2011. Herb sales continue growth-up 3.3% in 2010. *Herbal Gram* 90: 64-67.
- Bohn, H. L., Myer, R. A. and O'Connor, G. A. 1985. *Soil Chemistry*. 2 ed. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Bouman, O. T., Curtin, D., Campbell, C. A., Biederbeck, V. O. and Ukrainetz, H. 1995.

- 
- Soil acidification from long-term use of anhydrous ammonia and urea. *Soil Science Society of America Journal* 59: 1488-1494.
- Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. A. L. Page (editor), pp. 1179-1237. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, USA.
- Caillet, S., Lessard, S., Lamoureux, G. and Lacroix, M. 2011. Umu test applied for screening natural antimutagenic agents. *Food Chemistry* 124: 1699-1707.
- Canter, P. H., Thomas, H. and Ernst, E. 2005. Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *Trends in Biotechnology* 23: 180-185.
- Chen, C. L., Zhang, S. C. and Sung, J. M. 2008. Biomass and caffeoyl phenols production of *Echinacea purpurea* grown in Taiwan. *Experimental Agriculture* 44: 497-507.
- Clifford, L. J., Nair, M. G., Rana, J. and Dewitt, D. L. 2002. Bioactivity of alkamides isolated from *Echinacea purpurea* (L.) Moench. *Phytomedicine* 9: 249-253.
- Curtin, D., Campbell, C. A. and Jalil, A. 1998. Effects of acidity on mineralization: pH-dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 57-64.
- Dalby-Brown, L., Barsett, H., Landbo, A.-K. R., Meyer, A. S. and Mølgaard, P. 2005. Synergistic antioxidative effects of alkamides, caffeic acid derivatives, and polysaccharide fractions from *Echinacea purpurea* on in vitro oxidation of human low-density lipoproteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 9413-9423.
- Demuth, D. G. and Molleman, A. 2006. Cannabinoid signalling. *Life Sciences* 78: 549-563.

- 
- Deng, B., Shang, X., Fang, S., Li, Q., Fu, X. and Su, J. 2012. Integrated effects of light intensity and fertilization on growth and flavonoid accumulation in *Cyclocarya paliurus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60: 6286-6292.
- Dixon, R. A. and Paiva, N. L. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The Plant Cell* 7: 1085.
- Doan, T. T., Bouvier, C., Bettarel, Y., Bouvier, T., Henry-des-Tureaux, T., Janeau, J. L., Lamballe, P., Van Nguyen, B. and Jouquet, P. 2014. Influence of buffalo manure, compost, vermicompost and biochar amendments on bacterial and viral communities in soil and adjacent aquatic systems. *Applied Soil Ecology* 73: 78-86.
- Ehsanipour, A., Razmjoo, J. and Zeinali, H. 2012. Effect of nitrogen rates on yield and quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions. *Industrial Crops and Products* 35: 121-125.
- El-Gengaihi, S., Shalaby, A., Agina, E. and Hendawy, S. 1998. Alkylamides of *Echinacea purpurea* L. as influenced by plant ontogeny and fertilization. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants* 5: 35-41.
- El-Sayed, A., Shalaby, A., El-Hanafy, H. and El-Razik, T. A. 2012. Effects of chemical fertilizers on growth and active constituents of *Echinacea paradoxa* L. plants. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants* 4: 125-133.
- European Advisory Services. The Use of substances with nutritional or physiological effect other than vitamins and minerals in food supplements. Study undertaken for DG Sanco, European Commission. Service contract nr. San-co/2006/E4/018
- Facino, R. M., Carini, M., Aldini, G., Saibene, L., Pietta, P. and Mauri, P. 1995. Echinacoside and caffeoyl conjugates protect collagen from free radical-induced degradation: A potential use of *Echinacea* extracts in the prevention of skin photodamage. *Planta Medica* 61: 510-514.

- 
- Flannery, M. A. 1999. From *Rudbeckia* to *Echinacea*: The emergence of the purple cone flower in modern therapeutics. *Pharmacy in History* 41: 52-59.
- Galambosi, B., Palevitch, D., Simon, E. and Mathe, A. 1993. Introduction of *Echinacea purpurea* and *Leuzea charthamoides* into cultivation in Finland. *Acta Horticulturae* 331: 169-178.
- Gee, G. W., Bauder, J. W. and Klute, A. 1986. Particle-size analysis. In: *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. A. Klute (editor), pp. 383-411. American Society of Agronomy, Agronomy Monographs, Madison, Wisconsin.
- Gonthier, M. P., Remesy, C., Scalbert, A., Cheynier, V., Souquet, J. M., Poutanen, K. and Aura, A. M. 2006. Microbial metabolism of caffeic acid and its esters chlorogenic and caftaric acids by human faecal microbiota in vitro. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 60: 536-540.
- Horwitz, W., Senzel, A., Reynolds, H. and Park, D. L. 1975. *Official Methods of Analysis*. 12 ed., p. 204. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Hudson, J. B. 2010. The multiple actions of the phytomedicine *Echinacea* in the treatment of colds and flu. *Journal of Medicinal Plants Research* 4: 2746-2752.
- Ibrahim, M. H., Jaafar, H. Z., Rahmat, A. and Rahman, Z. A. 2011. Involvement of nitrogen on flavonoids, glutathione, anthocyanin, ascorbic acid and antioxidant activities of Malaysian medicinal plant *Labisia pumila* Blume (Kacip Fatimah). *International Journal of Molecular Sciences* 13: 393-408.
- Jun, N. J., Jang, K. C., Kim, S. C., Moon, D. Y., Seong, K. C., Kang, K. H., Tandang, L., Kim, P. H., Cho, S. M. and Park, K. H. 2007. Radical scavenging activity and content of cynarin (1, 3-dicaffeoylquinic acid) in Artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Journal of Applied Biological Chemistry* 50: 244-248.

- 
- Keating, B., Lindstrom, A., Lynch, M. E. and Blumenthal, M. 2015. Sales of tea & herbal tea increase 3.6% in United States in 2014. *HerbalGram* 105: 59-67.
- Kemmitt, S. J., Wright, D., Goulding, K. W. and Jones, D. L. 2006. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 898-911.
- King, P. J., Ma, G., Miao, W., Jia, Q., McDougall, B. R., Reinecke, M. G., Cornell, C., Kuan, J., Kim, T. R. and Robinson, W. E. 1999. Structure-activity relationships: Analogues of the dicaffeoylquinic and dicaffeoyltartaric acids as potent inhibitors of human immunodeficiency virus type 1 integrase and replication. *Journal of Medicinal Chemistry* 42: 497-509.
- King, P. J. and Robinson, W. E. 1998. Resistance to the anti-human immunodeficiency virus type 1 compound L-chicoric acid results from a single mutation at amino acid 140 of integrase. *Journal of Virology* 72: 8420-8424.
- Knee, M. and Thomas, L. C. 2002. Light utilization and competition between *Echinacea purpurea*, *Panicum virgatum* and *Ratibida pinnata* under greenhouse and field conditions. *Ecological Research* 17: 591-599.
- Kono, Y., Shibata, H., Kodama, Y. and Sawa, Y. 1995. The suppression of the N-nitrosating reaction by chlorogenic acid. *Biochemical Journal* 312: 947-953.
- Kreft, S. 2005. Cichoric acid content and biomass production of *Echinacea purpurea*. Plants cultivated in Slovenia. *Pharmaceutical Biology* 43: 662-665.
- Kujala, T. S., Loponen, J. M., Klika, K. D. and Pihlaja, K. 2000. Phenolics and betacyanins in red beetroot (*Beta vulgaris*) root: Distribution and effect of cold storage on the content of total phenolics and three individual compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 5338-5342.
- Laasonen, M., Wennberg, T., Harmia-Pulkkinen, T. and Vuorela, H. 2002. Simultaneous analysis of alkaloids and caffeic acid derivatives for the

identification of *Echinacea purpurea*, *Echinacea angustifolia*, *Echinacea pallida* and *Parthenium integrifolium* roots. *Planta Medica* 68: 572-574.

LaLone, C. A., Hammer, K. D., Wu, L., Bae, J., Leyva, N., Liu, Y., Solco, A. K., Kraus, G. A., Murphy, P. A. and Wurtele, E. S. 2007. *Echinacea* species and alkamides inhibit prostaglandin E2 production in RAW264. 7 mouse macrophage cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 7314-7322.

Lee, T. T., Chen, C. L., Shieh, Z. H., Lin, J. C. and Yu, B. 2009. Study on antioxidant activity of *Echinacea purpurea* L. extracts and its impact on cell viability. *African Journal of Biotechnology* 8: 5097-5105.

Lee, T. T., Huang, C. C., Shieh, X. H., Chen, C. L., Chen, L. J. and Yu, B. 2010. Flavonoid, phenol and polysaccharide contents of *Echinacea purpurea* L. and its immunostimulant capacity in vitro. *International Journal of Environmental Science and Development International Journal of Environmental Science and Development* 1: 5-9.

Letchamo, W., Livesey, J., Arnason, T., Bergeron, C. and Krutilina, V. 1999. Cichoric acid and isobutylamide content in *Echinacea purpurea* as influenced by flower developmental stages. In: *Perspectives on New Crops and New Uses*. J. Janick (editor), pp. 494-498. ASHS Press, Alexandria, VA.

Lin, S. D., Sung, J. M. and Chen, C. L. 2011. Effect of drying and storage conditions on caffeic acid derivatives and total phenolics of *Echinacea Purpurea* grown in Taiwan. *Food Chemistry* 125: 226-231.

Lin, Z., Neamati, N., Zhao, H., Kiryu, Y., Turpin, J. A., Aberham, C., Strebler, K., Kohn, K., Witvrouw, M. and Pannecouque, C. 1999. Chicoric acid analogues as HIV-1 integrase inhibitors. *Journal of Medicinal Chemistry* 42: 1401-1414.

Liu, R., Li, W., Sun, L. Y. and Liu, C. Z. 2012. Improving root growth and cichoric acid derivatives production in hairy root culture of *Echinacea purpurea* by

- ultrasound treatment. *Biochemical Engineering Journal* 60: 62-66.
- Luckner, M. 1990. *Secondary Metabolism in Microorganisms, Plants and Animals*. 3 ed., p. 12. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany.
- Luo, H. J., Wang, J. Z., Chen, J. F. and Zou, K. 2011. Docking study on chlorogenic acid as a potential H5N1 influenza A virus neuraminidase inhibitor. *Medicinal Chemistry Research* 20: 554-557.
- Méndez-Bravo, A., Calderón-Vázquez, C., Ibarra-Laclette, E., Raya-González, J., Ramírez-Chávez, E., Molina-Torres, J., Guevara-García, A. A., López-Bucio, J. and Herrera-Estrella, L. 2011. Alkamides activate jasmonic acid biosynthesis and signaling pathways and confer resistance to *Botrytis cinerea* in *Arabidopsis thaliana*. *PloS One* 6: e27251.
- Mazza, G. and Oomah, B. D. 2000. *Herbs, Botanicals & Teas*. 2 ed., pp. 416. Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, United Kingdom.
- McCord, J. M. 2000. The evolution of free radicals and oxidative stress. *American Journal of Medicine* 108: 652-659.
- McLean, E. 1982. Soil pH and lime requirement. In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. A. L. Page (editor), pp. 199-224. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, USA.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* 15: 1409-1416.
- Merali, S., Binns, S., Paulin-Levasseur, M., Ficker, C., Smith, M., Baum, B., Brovelli, E. and Arnason, J. 2003. Antifungal and anti-inflammatory activity of the genus *Echinacea*. *Pharmaceutical Biology* 41: 412-420.
- Mistríková, I. and Vaverková, Š. 2007. Morphology and anatomy of *Echinacea purpurea*, *E. angustifolia*, *E. pallida* and *Parthenium integrifolium*. *Biologia* 62:

2-5.

Mobin, M., Wu, C. H., Tewari, R. K. and Paek, K. Y. 2015. Studies on the glyphosate-induced amino acid starvation and addition of precursors on caffeic acid accumulation and profiles in adventitious roots of *Echinacea purpurea* (L.) Moench. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 120: 291-301.

Moskovitz, J., Yim, M. B. and Chock, P. B. 2002. Free radicals and disease. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 397: 354-359.

Moure, A., Cruz, J. M., Franco, D., Domínguez, J. M., Sineiro, J., Domínguez, H., Núñez, M. a. J. and Parajó, J. C. 2001. Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry* 72: 145-171.

Ohnishi, M., Morishita, H., Iwahashi, H., Toda, S., Shirataki, Y., Kimura, M. and Kido, R. 1994. Inhibitory effects of chlorogenic acids on linoleic acid peroxidation and haemolysis. *Phytochemistry* 36: 579-583.

Olthof, M. R., Hollman, P. C. and Katan, M. B. 2001. Chlorogenic acid and caffeic acid are absorbed in humans. *Journal of Nutrition* 131: 66-71.

Percival, S. S. 2000. Use of *Echinacea* in medicine. *Biochemical Pharmacology* 60: 155-158.

Perry, N. B., van Klink, J. W., Burgess, E. J. and Parmenter, G. A. 2000. Alkamide levels in *Echinacea purpurea*: Effects of processing, drying and storage. *Planta Medica* 66: 54-56.

Pietta, P., Mauri, P. and Fuzzati, N. 2004. Analytical profiles of *Echinacea* species. In: *Echinacea – The Genus Echinacea*. S. C. Miller (editor), pp. 93-110. CRC Press, Florida, USA.

Qi, Z. and Kelley, E. 2014. The WHO traditional medicine strategy 2014-2023: A perspective. *Science* 346: S5-S6.

Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. In: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and*

- Microbiological Properties. A. L. Page (editor), pp. 167-178. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, USA.
- Robinson, W. E. 1998. L-chicoric acid, an inhibitor of human immunodeficiency virus type 1 (HIV-1) integrase, improves on the in vitro anti-HIV-1 effect of Zidovudine plus a protease inhibitor (AG1350). *Antiviral Research* 39: 101-111.
- Sabra, A., Adam, L., Daayf, F. and Renault, S. 2012. Salinity-induced changes in caffeic acid derivatives, alkalamides and ketones in three *Echinacea* species. *Environmental and Experimental Botany* 77: 234-241.
- Seigler, D. S. 1977. Primary roles for secondary compounds. *Biochemical Systematics and Ecology* 5: 195-199.
- Shalaby, A. S., El-Gengaihi, S. E., Agina, E. A., El-Khayat, A. S. and Hendawy, S. F. 1997. Growth and yield of *Echinacea purpurea* L. as influenced by planting density and fertilization. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants* 5: 69-76.
- Sharma, M., Vohra, S., Arnason, J. T. and Hudson, J. B. 2008. *Echinacea*. Extracts contain significant and selective activities against human pathogenic bacteria. *Pharmaceutical Biology* 46: 111-116.
- Shibata, H., Sakamoto, Y., Oka, M. and Kono, Y. 1999. Natural antioxidant, chlorogenic acid, protects against DNA breakage caused by monochloramine. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 63: 1295-1297.
- Singleton, V. L., Salgues, M., Zaya, J. and Trousdale, E. 1985. Caftaric acid disappearance and conversion to products of enzymic oxidation in grape must and wine. *American Journal of Enology and Viticulture* 36: 50-56.
- Soon, Y. K. and Abboud, S. 1991. A comparison of some methods for soil organic carbon determination. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* 22: 943-954.
- Speroni, E., Govoni, P., Guizzardi, S., Renzulli, C. and Guerra, M. C. 2002. Anti-

inflammatory and cicatrizing activity of *Echinacea pallida* Nutt. root extract.
Journal of Ethnopharmacology 79: 265-272.

Stuart, D. L. and Wills, R. B. H. 2000. Alkylamide and cichoric acid levels in *Echinacea purpurea* tissues during plant growth. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants 7: 91-101.

Sun, P., Mantri, N., Lou, H., Hu, Y., Sun, D., Zhu, Y., Dong, T. and Lu, H. 2012. Effects of elevated CO₂ and temperature on yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) at two levels of nitrogen application. PloS One 7: e41000.

Thomsen, M. O. 2012. The impact of cultivation techniques and induced stress on bioactive compounds in *Echinacea* species. Aarhus University, Denmark.

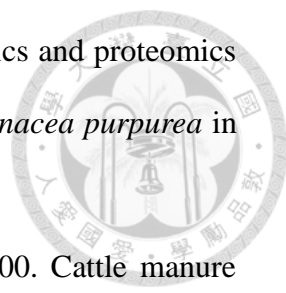
Thomsen, M. O., Fretté, X. C., Christensen, K. B., Christensen, L. P. and Grevsen, K. 2012. Seasonal variations in the concentrations of lipophilic compounds and phenolic acids in the roots of *Echinacea purpurea* and *Echinacea pallida*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 60: 12131-12141.

Tsai, Y. L., Chiou, S. Y., Chan, K. C., Sung, J. M. and Lin, S. D. 2012. Caffeic acid derivatives, total phenols, antioxidant and antimutagenic activities of *Echinacea purpurea* flower extracts. LWT-Food Science and Technology 46: 169-176.

Vanzo, A., Cecotti, R., Vrhovsek, U., Torres, A. M., Mattivi, F. and Passamonti, S. 2007. The fate of trans-caftaric acid administered into the rat stomach. Journal of Agricultural and Food Chemistry 55: 1604-1611.

Wang, C. Y., Chiao, M. T., Yen, P. J., Huang, W. C., Hou, C. C., Chien, S. C., Yeh, K. C., Yang, W. C., Shyur, L. F. and Yang, N. S. 2006. Modulatory effects of *Echinacea purpurea* extracts on human dendritic cells: A cell-and gene-based study. Genomics 88: 801-808.

Wang, C. Y., Staniforth, V., Chiao, M. T., Hou, C. C., Wu, H. M., Yeh, K. C., Chen, C.

- 
- H., Hwang, P. I., Wen, T. N. and Shyur, L. F. 2008. Genomics and proteomics of immune modulatory effects of a butanol fraction of *Echinacea purpurea* in human dendritic cells. *BMC Genomics* 9: 479.
- Whalen, J. K., Chang, C., Clayton, G. W. and Carefoot, J. P. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal* 64: 962-966.
- Williams, L. E. and Biscay, P. J. 1991. Partitioning of dry weight, nitrogen, and potassium in Cabernet Sauvignon grapevines from anthesis until harvest. *American Journal of Enology and Viticulture* 42: 113-117.
- Wills, R. B. H., Bone, K. and Morgan, M. 2000. Herbal products: active constituents, modes of action and quality control. *Nutrition Research Reviews* 13: 47-77.
- Winkel-Shirley, B. 2001. Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. *Plant Physiology* 126: 485-493.
- Woelkart, K. and Bauer, R. 2007. The role of alkamides as an active principle of *Echinacea*. *Planta Medica* 73: 615-623.
- Woelkart, K., Xu, W., Pei, Y., Makriyannis, A., Picone, R. P. and Bauer, R. 2005. The endocannabinoid system as a target for alkamides from *Echinacea angustifolia* roots. *Planta Medica* 71: 701-705.
- Wu, C. H., Murthy, H. N., Hahn, E. J. and Paek, K. Y. 2007. Enhanced production of caftaric acid, chlorogenic acid and cichoric acid in suspension cultures of *Echinacea purpurea* by the manipulation of incubation temperature and photoperiod. *Biochemical Engineering Journal* 36: 301-303.
- Yeh, D. M., Lin, L. and Wright, C. J. 2000. Effects of mineral nutrient deficiencies on leaf development, visual symptoms and shoot-root ratio of *Spathiphyllum*. *Scientia Horticulturae* 86: 223-233.
- Yu, D., Yuan, Y., Jiang, L., Tai, Y., Yang, X., Hu, F. and Xie, Z. 2013. Anti-inflammatory

effects of essential oil in *Echinacea purpurea* L. Pakistan Journal of
Pharmaceutical Sciences 26: 403-408.

Zhai, Z., Solco, A., Wu, L., Wurtele, E. S., Kohut, M. L., Murphy, P. A. and Cunnick,
J. E. 2009. *Echinacea* increases arginase activity and has anti-inflammatory
properties in RAW 264.7 macrophage cells, indicative of alternative
macrophage activation. Journal of Ethnopharmacology 122: 76-85.

附錄



附錄一、不同肥料處理對土壤 pH、EC 值和有機質含量之影響

Appendix 1. Effects of different fertilizer on pH, EC^a and OM^b of the soil

Treatments	pH	EC ^a (dS m ⁻¹)	OM ^b (g kg ⁻¹)
150 DAT			
Chem 1	5.1 ± 0.1 b	2.6 ± 0.5 bc	46 ± 1.1 c
Chem 2	4.9 ± 0.1 bc	3.0 ± 0.6 ab	46 ± 0.6 c
Chem 3	4.8 ± 0.2 c	3.6 ± 0.3 a	47 ± 0.4 c
Org 1	5.3 ± 0.2 a	1.8 ± 0.5 cd	50 ± 1.5 b
Org 2	5.3 ± 0.1 a	1.9 ± 0.5 cd	56 ± 1.5 a
Org 3	5.3 ± 0.2 a	2.5 ± 1.1 bc	57 ± 1.3 a
Control	5.4 ± 0.1 a	1.1 ± 0.3 d	47 ± 2.6 c
180 DAT			
Chem 1	5.5 ± 0.2 a	0.9 ± 0.4 ab	46 ± 1.2 d
Chem 2	5.3 ± 0.1 b	1.0 ± 0.2 ab	47 ± 2.6 cd
Chem 3	5.1 ± 0.1 c	1.5 ± 0.8 a	49 ± 0.3 bc
Org 1	5.5 ± 0.1 a	0.9 ± 0.6 ab	51 ± 1.1 b
Org 2	5.5 ± 0.1 a	0.9 ± 0.3 ab	56 ± 1.1 a
Org 3	5.5 ± 0.1 a	1.4 ± 0.5 a	56 ± 1.5 a
Control	5.5 ± 0.1 a	0.7 ± 0.1 b	47 ± 2.5 cd

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test. ^a EC: electrical conductivity of saturated extract. ^b OM: organic matter.

附錄二、不同肥料處理對土壤總氮、無機態氮、Mehlich III可萃取磷與鉀濃度之影響

Appendix 2. Effects of different fertilizer on total nitrogen, inorganic nitrogen, M-III^a P and M-III^a K concentration of the soil

Treatments	Total N (g kg ⁻¹)	Inorganic N (mg kg ⁻¹)	M-III ^a P (mg kg ⁻¹)	M-III ^a K (mg kg ⁻¹)
150 DAT				
Chem 1	2.4 ± 0.04 b	156 ± 23 bc	104 ± 6 c	168 ± 9 ab
Chem 2	2.4 ± 0.03 b	199 ± 38 ab	102 ± 3 c	157 ± 30 ab
Chem 3	2.5 ± 0.1 ab	227 ± 12 a	107 ± 2 c	167 ± 33 ab
Org 1	2.5 ± 0.1 ab	100 ± 46 cd	110 ± 3 c	115 ± 57 b
Org 2	2.6 ± 0.2 a	112 ± 40 c	151 ± 9 b	133 ± 35 b
Org 3	2.6 ± 0.1 a	130 ± 67 c	189 ± 20 a	204 ± 62 a
Control	2.1 ± 0.1 c	46 ± 16 d	79 ± 1 d	58 ± 5 c
180 DAT				
Chem 1	2.2 ± 0.1 c	50.8 ± 14.2 ab	102 ± 4 d	166 ± 8 a
Chem 2	2.3 ± 0.1 bc	49.7 ± 18.7 b	101 ± 5 d	143 ± 39 ab
Chem 3	2.1 ± 0.3 c	90.0 ± 51.7 a	108 ± 3 cd	155 ± 23 a
Org 1	2.2 ± 0.1 bc	32.5 ± 24.9 bc	112 ± 2 c	87 ± 17 cd
Org 2	2.6 ± 0.1 a	21.2 ± 15.4 bc	152 ± 9 b	113 ± 26 bc
Org 3	2.5 ± 0.1 ab	47.7 ± 32.3 bc	191 ± 10 a	140 ± 46 ab
Control	1.8 ± 0.3 d	9.1 ± 8.4 c	75 ± 1 e	49 ± 4 d

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at P ≤ 0.05 by LSD test. ^a M-III: Mehlich III extractable.

附錄三、不同肥料處理對土壤 Mehlich III 可萃取鈣、鎂、鐵、錳、銅與鋅濃度之影響

Appendix 3. Effects of different fertilizer on the Mehlich III extractable Ca, Mg, Fe, Mn, Cu and Zn of the soil

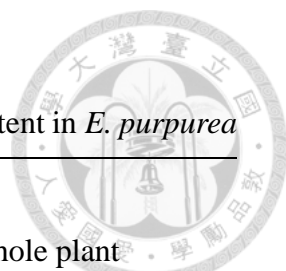
Treatments	Concentration of Mehlich III extraction (mg kg ⁻¹)					
	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
150 DAT						
Chem 1	727 ± 70 bc	155 ± 8 b	525 ± 62 b	19 ± 1 e	3.4 ± 0.15 a	6.5 ± 0.5 de
Chem 2	729 ± 38 bc	157 ± 14 b	512 ± 15 b	26 ± 1 cd	3.3 ± 0.08 b	6.9 ± 0.5 cde
Chem 3	707 ± 122 bc	156 ± 7 b	516 ± 19 b	31 ± 3 b	3.3 ± 0.06 ab	7.2 ± 0.5 cd
Org 1	761 ± 49 b	186 ± 15 ab	609 ± 21 a	29 ± 1 bc	3.3 ± 0.17 ab	7.5 ± 0.3 bc
Org 2	790 ± 104 ab	219 ± 8 ab	607 ± 27 a	32 ± 5 ab	3.1 ± 0.04 c	8.2 ± 0.5 ab
Org 3	902 ± 85 a	265 ± 20 a	620 ± 19 a	36 ± 3 a	3.0 ± 0.14 c	8.5 ± 0.7 a
Control	626 ± 93 c	144 ± 16 b	584 ± 21 a	24 ± 1 d	3.3 ± 0.07 ab	6.4 ± 0.4 e
180 DAT						
Chem 1	664 ± 99 bc	121 ± 6 de	566 ± 12 b	18 ± 1 bc	3.1 ± 0.1 abc	6.4 ± 0.1 bc
Chem 2	608 ± 104 c	121 ± 12 de	574 ± 29 b	16 ± 2 c	3.2 ± 0.1 ab	6.0 ± 0.7 c
Chem 3	694 ± 91 abc	149 ± 50 cd	582 ± 5.4 ab	20 ± 2 b	3.1 ± 0.2 ab	6.7 ± 0.5 b
Org 1	773 ± 124 ab	173 ± 35 bc	579 ± 7.3 ab	19 ± 1 b	3.2 ± 0.2 a	6.8 ± 0.1 b
Org 2	799 ± 80 a	206 ± 10 ab	567 ± 10 b	21 ± 3 ab	2.9 ± 0.1 bcd	6.8 ± 0.5 b
Org 3	755 ± 55 ab	219 ± 19 a	577 ± 22 b	24 ± 2 a	2.7 ± 0.1 d	7.7 ± 0.5 a
Control	458 ± 43 d	88 ± 11 e	603 ± 19 a	15 ± 1 c	2.8 ± 0.3 cd	6.5 ± 0.4 bc

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at P ≤ 0.05 by LSD test.



附錄四、不同肥料處理對紫錐菊之氮含量的影響

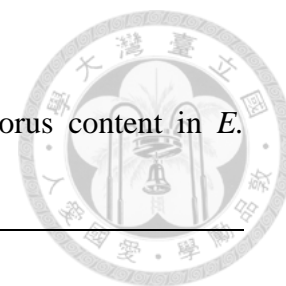
Appendix 4. Effects of different fertilizer treatments on nitrogen content in *E. purpurea*



Treatments	Nitrogen contents (mg plant ⁻¹)		
	Root	Shoot	Whole plant
150 DAT			
Chem 1	59.7 ± 10.9 ab	145 ± 4.8 bc	204 ± 8.4 ab
Chem 2	68.5 ± 17.9 a	182 ± 41 ab	251 ± 51 a
Chem 3	59.4 ± 15.9 ab	187 ± 50 a	247 ± 65 a
Org 1	52.4 ± 18.2 ab	129 ± 24 c	181 ± 42 b
Org 2	44.4 ± 8.2 b	128 ± 14 c	173 ± 20 b
Org 3	57.3 ± 13.1 ab	127 ± 3.7 c	184 ± 12 b
Control	47.8 ± 14.6 ab	133 ± 4.4 c	181 ± 16 b
180 DAT			
Chem 1	131 ± 33.0 b	179 ± 62 b	310 ± 77 b
Chem 2	149 ± 33.9 b	252 ± 52 a	401 ± 57 a
Chem 3	194 ± 47.5 a	208 ± 21 ab	402 ± 62 a
Org 1	130 ± 16.9 b	191 ± 15 b	321 ± 30 b
Org 2	108 ± 22.7 b	194 ± 39 b	302 ± 57 b
Org 3	140 ± 27.6 b	198 ± 26 ab	339 ± 39 ab
Control	110 ± 13.9 b	160 ± 14 b	270 ± 23 b

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test.

附錄五、不同肥料處理對紫錐菊之磷含量的影響

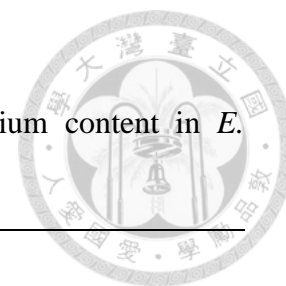


Appendix 5. Effects of different fertilizer treatments on phosphorus content in *E. purpurea*

Treatments	Phosphorus contents (mg plant ⁻¹)		
	Root	Shoot	Whole plant
150 DAT			
Chem 1	34 ± 14 a	60 ± 9 a	95 ± 23 a
Chem 2	28 ± 8 cd	50 ± 8 a	79 ± 7 ab
Chem 3	16 ± 3 e	47 ± 6 a	63 ± 8 b
Org 1	30 ± 9 bc	63 ± 23 a	93 ± 32 a
Org 2	28 ± 4 d	63 ± 13 a	91 ± 11 ab
Org 3	30 ± 12 b	59 ± 16 a	90 ± 27 ab
Control	29 ± 4 bcd	53 ± 12 a	83 ± 12 ab
180 DAT			
Chem 1	26 ± 17 a	115 ± 25 bc	141 ± 39 bc
Chem 2	32 ± 6 a	114 ± 24 bc	146 ± 29 bc
Chem 3	34 ± 20 a	87 ± 25 c	121 ± 26 c
Org 1	37 ± 10 a	141 ± 8 ab	178 ± 12 ab
Org 2	38 ± 22 a	122 ± 50 abc	160 ± 61 abc
Org 3	44 ± 14 a	159 ± 24 a	203 ± 37 a
Control	34 ± 19 a	105 ± 13 bc	138 ± 19 bc

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test.

附錄六、不同肥料處理對紫錐菊之鉀含量的影響

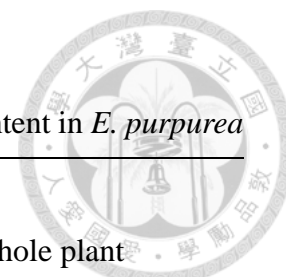


Appendix 6. Effects of different fertilizer treatments on potassium content in *E. purpurea*

Treatments	Potassium contents (mg plant ⁻¹)		
	Root	Shoot	Whole plant
	150 DAT		
Chem 1	145 ± 37 ab	470 ± 35 ab	615 ± 48 a
Chem 2	149 ± 45 abc	517 ± 100 a	647 ± 94 a
Chem 3	65 ± 10 e	512 ± 88 a	577 ± 85 a
Org 1	109 ± 20 bcd	462 ± 77 ab	571 ± 85 ab
Org 2	106 ± 13 cd	512 ± 57 a	618 ± 50 a
Org 3	155 ± 22 a	492 ± 114 ab	647 ± 131 a
Control	72 ± 18 de	383 ± 17 b	455 ± 14 b
	180 DAT		
Chem 1	55 ± 35 a	683 ± 92 ab	738 ± 111 ab
Chem 2	69 ± 35 a	736 ± 177 ab	805 ± 167 ab
Chem 3	58 ± 36 a	587 ± 85 bc	645 ± 110 bc
Org 1	38 ± 22 a	588 ± 47 bc	626 ± 57 bc
Org 2	94 ± 62 a	616 ± 134 ab	709 ± 181 ab
Org 3	91 ± 13 a	755 ± 89 a	846 ± 91 a
Control	46 ± 45 a	432 ± 65 c	477 ± 84 c

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test.

附錄七、不同肥料處理對紫錐菊之鈣含量的影響

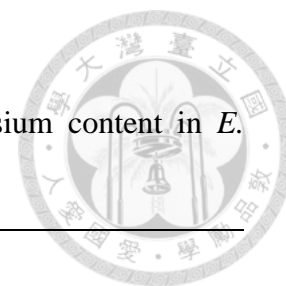


Appendix 7. Effects of different fertilizer treatments on calcium content in *E. purpurea*

Treatments	Calcium contents (mg plant ⁻¹)		
	Root	Shoot	Whole plant
150 DAT			
Chem 1	21 ± 5 a	321 ± 52 ab	342 ± 53 ab
Chem 2	18 ± 9 a	374 ± 88 a	392 ± 94 a
Chem 3	13 ± 4 a	368 ± 109 ab	381 ± 112 ab
Org 1	16 ± 4 a	311 ± 48 ab	327 ± 48 ab
Org 2	15 ± 7 a	276 ± 19 b	291 ± 25 b
Org 3	19 ± 4 a	313 ± 63 ab	333 ± 64 ab
Control	18 ± 9 a	275 ± 9 b	293 ± 12 b
180 DAT			
Chem 1	19 ± 8 a	540 ± 204 b	559 ± 211 b
Chem 2	28 ± 11 a	747 ± 213 a	775 ± 222 a
Chem 3	24 ± 20 a	618 ± 108 ab	642 ± 124 ab
Org 1	33 ± 8 a	496 ± 46 b	529 ± 40 b
Org 2	28 ± 14 a	468 ± 130 b	496 ± 144 b
Org 3	23 ± 5 a	499 ± 78 b	521 ± 79 b
Control	34 ± 18 a	450 ± 73 b	485 ± 85 b

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test.

附錄八、不同肥料處理對紫錐菊之鎂含量的影響

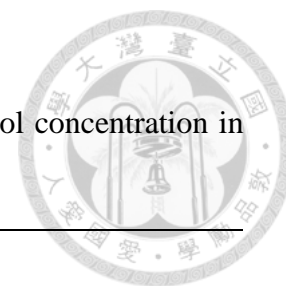


Appendix 8. Effects of different fertilizer treatments on magnesium content in *E. purpurea*

Treatments	Magnesium contents (mg plant ⁻¹)		
	Root	Shoot	Whole plant
	150 DAT		
Chem 1	45 ± 10 a	126 ± 14 a	171 ± 19 ab
Chem 2	29 ± 7 bc	130 ± 28 a	159 ± 30 ab
Chem 3	18 ± 5 c	122 ± 37 a	140 ± 41 b
Org 1	39 ± 14 ab	139 ± 31 a	178 ± 44 ab
Org 2	38 ± 9 ab	161 ± 32 a	198 ± 40 a
Org 3	46 ± 12 a	142 ± 23 a	187 ± 29 ab
Control	40 ± 15 ab	156 ± 23 a	196 ± 26 a
	180 DAT		
Chem 1	37 ± 19 a	208 ± 90 a	245 ± 95 a
Chem 2	51 ± 14 a	266 ± 95 a	317 ± 109 a
Chem 3	40 ± 27 a	197 ± 47 a	237 ± 55 a
Org 1	41 ± 15 a	262 ± 23 a	303 ± 33 a
Org 2	67 ± 57 a	261 ± 68 a	328 ± 112 a
Org 3	54 ± 7 a	243 ± 59 a	296 ± 62 a
Control	65 ± 53 a	274 ± 30 a	339 ± 28 a

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test.

附錄九、不同肥料處理對紫錐菊全株之總酚濃度的影響



Appendix 9. Effects of different fertilizer treatments on total phenol concentration in the whole plant of *E. purpurea*

Treatments	150 DAT	180 DAT
Chem 1	16.0 ± 1.9 ab	13.3 ± 2.3 b
Chem 2	10.4 ± 1.3 c	13.2 ± 2.0 b
Chem 3	12.0 ± 1.2 bc	13.0 ± 2.6 b
Org 1	19.1 ± 6.4 a	18.3 ± 2.5 a
Org 2	18.9 ± 2.5 a	14.8 ± 4.1 ab
Org 3	19.6 ± 2.6 a	16.5 ± 2.6 ab
Control	18.0 ± 4.3 a	18.5 ± 2.5 a

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test.

附錄十、不同肥料處理對紫錐菊全株之總咖啡酸衍生物濃度的影響

Appendix 10. Effects of different fertilizer treatments on the concentration of total caffeic acid derivatives in the whole plant of *E. purpurea*

Treatments	150 DAT	180 DAT
Chem 1	29.6 ± 5.9 a	22.6 ± 7.5 b
Chem 2	15.8 ± 2.8 c	21.8 ± 5.7 b
Chem 3	17.9 ± 4.1 bc	20.1 ± 6.3 b
Org 1	26.9 ± 7.8 ab	32.9 ± 7.6 a
Org 2	35.1 ± 7.7 a	22.8 ± 8.1 b
Org 3	36.0 ± 7.4 a	28.3 ± 6.5 ab
Control	34.0 ± 12.0 a	33.3 ± 5.0 a

Value are means ± standard deviation (n = 4) and the different letter(s) in column of the same sampling day indicate significant differences within each treatments at $P \leq 0.05$ by LSD test.