

ISSN 0255-5905



農業部臺中區農業改良場

# 田 園 報

第 168 期

中華民國 114 年 9 月

## 目 次

- 綠豆主要性狀遺傳特性與機械化採收適應性分析.....黃貞瑋、林訓仕... 1
- 農產品生命周期碳足跡建立-以稻米產品為例.....  
.....吳以健、郭芝秀、廖崇億、李誠紘、鄧執庸...15
- 保鮮劑預措處理提升百合切花貯藏後之瓶插品質.....馮泓文、陳彥樺...33
- 影響青花菜產量之環境及生育性狀關鍵因子分析...沈峻榮、林煜恆、陳葦玲...51
- 評估有益微生物菌株搭配矽藻土對青蔥之促進效果.....楊馨璵、郭建志...77
- 彰化縣國民學校食農教育推行現況分析與建議.....曾康綺...89

農業部臺中區農業改良場 編印  
彰化縣 大村鄉

# 綠豆主要性狀遺傳特性與機械化採收適應性分析<sup>1</sup>

黃貞瑋<sup>2</sup>、林訓仕<sup>2\*</sup>

## 摘 要

本文綜整臺灣及國際綠豆育種研究進展，回顧主要生長與產量性狀之遺傳特性及其選拔應用。研究顯示，綠豆植株性狀(株高、分枝數、開花及成熟日數)及產量構成性狀(莢數、百粒重、單株產量、裂莢性與成熟同步性)均具高廣義遺傳率與顯著遺傳進展(genetic advance)，顯示具良好選拔潛力。傳統育種已建立以早熟、高產及抗病蟲為目標之品系選拔體系，而現代分子標誌輔助育種揭示VrMYB26a、VrDet1及PDHI等關鍵基因座在裂莢抗性與植株確定性生長中之功能，提供改良基因型之精準選擇依據。臺灣綠豆育種之核心目標在於培育兼具環境適應性與機械化採收潛力之品系。有限生長型與高成熟同步性可促進單次採收並降低勞力投入，早熟性則有助於避開高溫與乾旱等逆境。由於產量及成熟度受基因型與環境交互作用影響，後續應持續進行多地區多環境試驗及基因體選拔(genomic selection)，以選育具廣域適應性與穩定高產潛能之品系。綜合而言，本回顧建議臺灣綠豆育種應結合傳統表型選拔與現代分子工具，建立兼顧區域環境適應與機械化需求的整合型育種策略，以加速新世代高產、早熟、同步與耐逆性綠豆品種之育成。

**關鍵字：**綠豆、品系選拔、裂莢性、成熟同步性、分子輔助育種

## 前 言

綠豆(*Vigna radiata* (L.) Wilczek)是亞洲地區重要的豆科作物之一，也是碳水化合物、優質蛋白質、葉酸和鐵的來源(Kim *et al.*, 2015)。依據人口統計推論、氣候生態、植物形態和中國古文獻紀錄，綠豆於亞洲的遺傳路徑是由南亞傳播到東南亞、東亞，最後到達中亞，由於各地的氣候限制和農民耕作習慣的獨特組合，導致南方品系傾向於高產，而北方品系傾向於短生育且耐旱的品種(Ong *et al.*, 2023)。綠豆主

<sup>1</sup>農業部臺中區農業改良場研究報告第1115號。

<sup>2</sup>農業部臺中區農業改良場計畫助理、副研究員。

\*通訊作者：林訓仕，Email: linhsuns@tcdares.gov.tw

要栽培於亞洲，而亞洲地區種植最多產量地區以南亞、東亞及東南亞為主，其中以印度為世界最大的綠豆生產及消費國，占全球產量50%以上，其次為緬甸及中國。全球平均綠豆產量為721 kg/ha (Nair *et al.*, 2012)。綠豆因其營養價值含量豐富，在世界各地有不同的用途，可作為乾豆、豆芽、澱粉製品、豆沙類甜點、動物飼料或醫療與保健使用，其中部分用途則需要特定的品種(Nair & Schreinemachers, 2020)。

隨著物種的遷移演化，馴化在物種的演化扮演重要的一環，研究資料顯示性狀基因參與其中，而過程中也發生突變，其中突變都與環境逆境與作物適應性相關(Meyer & Purugganan, 2013)。綠豆為自花授粉作物，主要種植於夏秋兩季，可與稻、麥、玉米等作物進行輪作。早期品系產量不高，是因為幼苗活力不足、易落花、結莢率低、不耐逆境、易受病蟲害、光週期敏感、開花期及成熟度不一致等原因，導致收穫指數(harvest index)低，因此育種改良方向需擴大基因多樣性、育成同步成熟與抗逆高產品種(Pataczek *et al.*, 2018; Mehandi *et al.*, 2019)。目前臺灣綠豆栽培以台南5號為主要栽培品種。由於綠豆屬於無限生長型作物，其開花期不一致，因此採收方式多以人工分次採收為主，作業相對費時、耗工，且生產成本偏高。以始花後45天為基準，人工連續採收的產量約為1,480 kg/ha，而機械採收的產量則約為1,083 kg/ha (吳，2021)。國際上綠豆收穫現況多聚焦於機械化採收，在烏茲別克，綠豆於6-7月播種、10-11月收穫，利用聯合收穫機於地表以上5-10 cm處進行採收(Astanakulov *et al.*, 2022)。在韓國，於7月時播種Owool品種，其具有較佳的植株高度與莢果著生高度，被認為最適合機械化收穫，收穫產量為1,580 kg/ha (Kim *et al.*, 2009)。此外，斯里蘭卡的研究顯示，綠豆成熟時施用0.5 M NaCl作為落葉與乾燥處理，可有效提升機械化收穫效率(Gunathilaka *et al.*, 2025)。

因此近年來，傳統育種以培育具高產量、整齊成熟、抗病性及有限生長型(determinate growth habit)的綠豆品系為目標(Dikshit *et al.*, 2020)。而現代育種目標則聚焦於藉由基因體工具與分子育種方法，發展出耐候性、高營養成分、具生物與非生物逆境抗性，並提高產量的優良品種(Schafleitner & Nair, 2020; Kim *et al.*, 2015)。全球種原庫已收集上萬筆種原資源，世界蔬菜中心(World Vegetable Center)保存11,832筆野生型 *Vigna* 屬種原，印度國家植物遺傳資源署、中國農業科學院、美國喬治亞大學等地也保存許多綠豆品系(Kumar *et al.*, 2022)。以傳統與現代育種方式，透過雜交、譜系選拔、誘變育種( $\gamma$  射線、EMS)及分子標記選拔等方法，育出同步成熟與短生育期(利於機械採收)、抗逆境品系(耐乾旱、耐鹽分及耐熱)、抗病(黃化嵌紋病、葉斑病、白粉病、炭疽病、根腐病等)、抗蟲害(白粉蝨、莢蠹、蠅蛆等)

及高產量高營養含量之綠豆品系(Huppertz *et al.*, 2023)。在馴化與關鍵基因選拔育種方面，研究發現 *VrMYB26a* 轉錄因子是控制果莢開裂(*pod shattering*)性狀的主效基因，豆科植物在馴化過程中通常會經過選拔，使莢果扭曲(*pod twisting*)的特徵消失，而不開裂的莢果與此基因座密切相關(Lin *et al.*, 2022)；*PDH1* 被視為綠豆果莢開裂基因座的一部分，其與莢木質化及應力反應相關，是維持不開裂果莢的重要基因(Li *et al.*, 2024; Marsh *et al.*, 2023)；*VrDet1* 為控制頂端生長性(*determinacy*)與植株生長高度有關(Li *et al.*, 2018)，上述基因在馴化過程中經選拔固定，是改良新種的重要分子標記。

綜合上述，綠豆是亞洲起源的古老豆科作物，約 4000-9000 年前在亞洲各地被馴化，經傳播被廣泛應用於亞洲、非洲及中東的糧食中，近年來利用現代育種、分子標記、基因體選拔與生物技術改良成為研究焦點，培育營養品質更高、抗生物和非生物逆境能力更強、產量更高的氣候適應性品種。本篇將回顧綠豆生長各性狀之特徵與遺傳，以利後續種原蒐集、品系選拔及應用。

## 文獻探討

綠豆的生長與發育受基因型遺傳(*genetic constitution*)、環境因子(*environmental factors*)及栽培管理措施(*agronomic management practices*)等多重因素影響。由於在長期演化與馴化過程中受到明顯的地理分化與遺傳多樣性影響，不同地區的品系展現出適應各自生態環境的特徵性狀。近年研究顯示，綠豆主要農藝性狀具有高遺傳變異(*high genetic variability*)、高遺傳率(*high heritability*)與顯著的遺傳進展，顯示上述性狀在育種上可透過選拔有效改良(Lin *et al.*, 2022)。

生長性狀中，株高、分枝數與植株結構及生物量累積有關，是提升產量潛力的重要指標；開花日數與成熟日數反映品種對光週期與氣候環境的適應性，則為調整生育期與區域化栽培策略的關鍵性狀。產量性狀部分，裂莢性與同步成熟性則直接影響收穫效率與機械化採收適應性而莢數與單株產量綜合反映上述多項構成因子間的遺傳交互作用，是評估育種潛力與穩定性的關鍵指標。

### 一、植株性狀

#### (一)株高

Khattak 等人(2002)的研究中指出綠豆的株高同時受累加基因效應(*additive gene effects*)與顯性基因效應(*dominant gene effects*)控制，其中以累加效應為主，不同基因

型之間的株高範圍介於 22.5 至 63.8 cm(Shiow & Alves, 2002)。多項研究顯示，株高的廣義遺傳率高於 60%，且具高遺傳進展，表示株高於後代具有明顯的表型選拔潛力，同時株高與單株總產量則呈正相關(Perera *et al.*, 2017)。環境因素亦對生長表現具影響，例如光線或施肥管理等可顯著提升株高與其他生長參數(Khalilzadeh *et al.*, 2012)。綜上研究可知，綠豆的植株生長高度與遺傳有關，部分基因在不同生長階段的遺傳機制影響植株生長不定性的特性。

## (二)分枝數

綠豆的生育形態展現出顯著的遺傳多樣性，尤其在相同緯度下植株分枝形態與植株構型不同，地理分佈研究指出低緯度地區(例如印尼和泰國)品系，植株高大，多分支且晚熟；高緯度地區(例如韓國、伊朗)品系，主要以矮小、早熟且側枝少為主；中緯度地區(例如臺灣和菲律賓)品系，植株型態較高、分枝數少、早熟且高產，適合集約型耕作；印度地區為綠豆馴化之起源地，具有較高多樣性之品系，生育型分佈較為均勻，適合用來尋找特定基因(例如抗病性或抗蟲性)的來源(Tomooka *et al.*, 1991)。研究結果顯示，分枝數與莢果簇數(pod clusters)性狀呈正相關，而莢果簇數又與種子產量成正相關。因此，被視為選拔高產的重要指標性狀(Khajudparn & Tantasawat, 2011; Saeed *et al.*, 2007)。

## (三)開花日數

綠豆的開花日數(days to flowering)在不同環境與基因型間存在顯著的遺傳變異性，開花時間約為播種後 34 至 70 天不等(Gayacharan *et al.*, 2020)。研究顯示，開花日數與開花持續時間(flowering duration)由不同的基因型所控制，且開花日數受多個數量性狀基因座(quantitative trait locus, QTLs)所調控(Dudley *et al.*, 2025)。大部分綠豆品系屬於短日型作物，其開花受光週期與溫度反應顯著影響。由於 DTF 具有高遺傳率，因此該性狀同時受到基因型與環境因子的交互作用控制，是綠豆育種中極為重要的選拔指標性狀(Imrie & Lawn, 1990)。

## (四)成熟日數

綠豆的成熟日數(days to maturity, DTM)在不同基因型間具有顯著的遺傳變異性，綠豆的成熟期約介於 67 至 86.6 天，不同品系間存在明顯的基因型差異，具有高遺傳變異性，且成熟相關性狀具有高廣義遺傳力(Ahmad *et al.*, 2014; Gayacharan *et al.*, 2020)。在育種計畫中，成熟日數具備良好的育種改良潛力，若育種選拔具有高莢果成熟同步性的特性，則有助於培育出早熟且高產之優良品種。

## 二、產量性狀

### (一) 莢數

綠豆的每株莢果數與種子產量之間具有顯著的正相關性，在基因型與表型層面上，莢果數與產量均呈高度顯著正相關(Saeed *et al.*, 2007; Ahmad & Belwal, 2020)。路徑分析顯示，每株莢果數對單株產量具有極高的直接效應，而每莢種子數則表現出中度直接效應，因此被視為綠豆育種中可靠的選拔指標(Sneha *et al.*, 2019)。

### (二) 百粒重

多項研究指出，百粒重與其他農藝性狀之間具有複雜的關聯性(complex associations)。例如，百粒重與種子產量(seed yield)之間的相關性不一，既有負相關，也有正相關(Tabasum *et al.*, 2010; Singh & Kumar, 2014)，而路徑分析(path analysis)結果顯示，百粒重對種子產量具有正向效應。基因組關聯分析研究則在第 1、4、6、8 和 9 號染色體上鑑定出與百粒重相關的基因座，但環境穩定性存在差異，種子重量與開花期(flowering stage)之間存在遺傳關聯，部分基因區域同時控制這兩種性狀(Somta *et al.*, 2015; Akhtar *et al.*, 2021)。百粒重具有複雜的遺傳架構，此特性影響其在綠豆育種計畫中的改良潛力與選拔應用價值。

### (三) 單株產量

單株產量研究顯示，在不同試驗條件下產量表現受到顯著的遺傳變異及環境不同所影響。單株產量具有極高的遺傳率，且受強烈的累加基因效應所控制，因此可透過選拔進行有效的遺傳改良(Sneha *et al.*, 2019)。研究指出，植株的環境顯著影響綠豆單株產量，Hossain 等人(2011)的試驗中，植株密度在高密度(40 株/m<sup>2</sup>)可獲得最高的田間產量達 1,124 kg/ha；而較而低密度(10 株/m<sup>2</sup>)則促進單株生長與結莢能力，單株產量達 5.6 g，千粒重為 47.5 g。不同基因型間的變異亦十分顯著：在水分逆境條件下，單株產量介於 3.27 g 至 10.71 g 之間(Hossain *et al.*, 2010)。近年透過誘變育種已成功培育出優良突變株，其單株產量介於 21.9 g 至 32.0 g，顯著高於對照品種 11.7 g (Deepthi *et al.*, 2024)。單株產量受遺傳與環境雙重控制，具有高度遺傳潛力與育種應用價值，為綠豆改良高產性的重要目標性狀之一。

### (四) 裂莢性

馴化過程涉及複雜的基因變化，而關鍵性狀則展現出不同的選擇模式。由 *VrMYB26a* 控制的豆莢開裂抗性(pod shattering resistance)呈現強選擇性清除(hard selective sweep)的特徵相對地，而由 *VrDet1* 控制的莖頂端生長性則呈現弱選擇性清除(soft selective sweep)的模式(Lin *et al.*, 2023)。此外，*PDH1* 基因被確認在豆莢開裂控

制(*pod dehiscence control*)中具有關鍵作用，代表豆科作物之間的馴化(*parallel domestication*)現象(Li *et al.*, 2024)。

#### (五)成熟同步性

綠豆的莢果成熟同步性(*synchronized pod maturity*)是實現機械化採收的關鍵性狀，因為若成熟不同步，必須進行多次採收，將大幅增加勞動成本。Tah 等人(2009)研究，成熟同步的程度是由累加性與顯性基因效應共同控制，但累加性效應佔主要作用，且具高廣義遺傳率，進行此項選拔應在較高世代進行。在綠豆全基因組關聯分析中發現有 4 個基因位點與豆莢成熟能力有顯著的相關性，而這些位點位於連鎖強度高的基因區域。部分研究中發現，南亞品系中的 NM92、NM94、NM89 及 VC1560D 四個品系種子充實速率快、種粒較大且成熟期集中，是改善綠豆機械化採收與產量穩定性的理想育種材料(Hamid *et al.*, 1995; Khattak *et al.*, 2001)。

## 討 論

本文綜整許多綠豆的生長性狀之遺傳影響效應，植株性狀包含株高、分枝數、開花日數及成熟日數；產量性狀包含莢數、百粒重、單株產量、裂莢性及成熟同步性。許多研究指出植株性狀除與環境馴化有關，遺傳方面也具有高廣義遺傳率及遺傳進展(Somta *et al.*, 2015)。傳統育種上，不同的生長性狀有利於育種選拔，許多植株性狀也與產量有高度的相關性，如綠豆植株株高、豆莢數及百粒種皆與植株產量有正相關(Hossain *et al.*, 2010)。傳統的綠豆品種多為無限生長型，導致豆莢分批成熟，因此需要 2 到 4 次的人工採收，若能確定植株生長習性也有助於單次化的機械採收，對於臺灣的集約化農耕具有重大經濟效益(Lin *et al.*, 2022)。綠豆是短生長期的作物，通常在 60 至 90 天內收穫，而早熟品種為重要的育種目標，能使作物避免因生長期過長，而遭遇生理逆境，導致加速開花或產量降低(Karimi *et al.*, 2019)。野生型綠豆的果莢成熟時會開裂，以利於種子散播。傳統育種者在馴化過程中，選擇豆莢不開裂的品系，成為豆類作物馴化的基本特徵，此特性可有效減少機械採收中之損失(Lin *et al.*, 2022)。現代育種方面，發現許多 QTLs 及基因序列與百粒重、裂莢性及同步成熟性有相關，藉由準確的基因座，可有效的控制基因開關，並且加速特性選擇過程，針對特定目標性狀進行改良(翁與賴, 1992)。產量是多個要素(如每株豆莢數、每莢種子數、種子大小等)的綜合表現，因此了解上述要素背後的 QTLs，將有助於育種者在不犧牲其他重要性狀的情況下，有針對性地改良單一性狀(Khajudparn & Tantasawat, 2011)。分子輔助育種上，相關研究已識別出與莢果開裂相關的基因組區域(*VrMYB26a*)與莖部確定性生長習性相關的基因 *VrDet1*。

研究發現，特定的單倍型(Haplotype)(如 Clade II T-437/C-1058 和 Clade III A-14/C-1058)能夠降低 *VrDet1* 的表達，透過分子輔助育種方式，從而確定植株生長型及果莢開裂性。除上述條件外，成熟期一致性亦是重要一環。例如世界蔬菜中心的品系，雖然第一次採收在 80 到 85 天內完成，但有時仍需要第二次採收來收穫剩餘的 22%豆莢，由此可知，成熟期一致性仍然是主要的改良目標(Shiow & Alves, 2002)。由於環境因素影響和基因座重疊，除光週期對開花和產量有影響，即使在相同的氣候條件下，土壤和溫度等環境差異也會導致產量表現上的巨大變異。因此仍需在不同地點、季節和環境條件下對品系進行篩選和評估，識別出具備廣泛適應性的優良綠豆品系。

## 結 論

臺灣綠豆育種的兩大核心目標：適應臺灣的農業環境氣候和適合現代機械化採收。若要符合機械採收要點，前提是植株須具備高度同步成熟和單次採收的可能性。因此，育種選擇有限生長型的品種，其主莖頂端會形成花和豆莢，而非持續營養生長，將適合集約化耕作和機械化單次採收。以全球品系進行選種，臺灣及菲律賓地區偏好中等大小，可選擇已馴化之非開裂或非扭曲莢果品系。由於臺灣地區氣候多變且耕作期短，選育具早熟、有限生長型及高成熟同步性的品種，對於確保穩定產量與降低人工採收成本具有關鍵意義。傳統育種已透過表型選拔累積豐富的遺傳資源，而現代分子標誌與 QTLs 定位的應用，使得與裂莢性(*VrMYB26a*)及生長確定性(*VrDet1*)相關之基因調控機制得以被精確解析，提供分子輔助選拔(marker-assisted selection)的技術基礎。未來，結合基因組選拔(genomic selection)、多環境試驗(multi-environment trials)與高通量表型分析(high-throughput phenotyping)，可望加速優良品系之鑑定與推廣。

此外，為達成單次採收與穩定高產的雙重目標，需持續探討環境因子與遺傳因子交互作用(G×E interaction)對產量與成熟期的影響，並建立適合臺灣各農業生態區的品種推薦系統。總體而言，臺灣綠豆育種的未來方向應建立於分子遺傳學與傳統育種並行整合的架構上，以基因層面的精準改良為核心，結合區域性栽培適應性試驗，實現具高產、穩定、同步與機械化潛能的綠豆新世代品種之育成。

## 參考文獻

1. 吳昭慧。2021。綠豆機械化採收適期之研究。臺南區農業改良場研究彙報，(8)，14-21。
2. 翁廷賜、賴森雄。1992。粉綠綠豆新品種台南五號之育成。臺南區農業改良場研究彙報，(8)，1-12。
3. Ahmad, H. B., Rauf, S., Rafiq, C. M., Mohsin, A. U., Shahbaz, U., Sajjad, M. 2014. Genetic variability for yield contributing traits in mung bean (*Vigna radiata* L.). J. Glob. Innov. Agric. Soc. Sci. 2, 52-54.
4. Ahmad, S., Belwal, V. 2020. Study of correlation and path analysis for yield and yield attributing traits in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. Int. J. Chem. Stud. 8, 2140-2143.
5. Akhtar, M. A., Aslam, M., Schafleitner, R., Ahsan, M., Murtaza, G. 2021. Population structure and association mapping for hundred seed weight in mungbean minicore. bioRxiv 2021-05.
6. Astanakulov, K. D., Babaev, K. M., Eshankulov, K. M., Turdibekov, I. M. 2022. Development of technology and equipment for harvesting mung bean crops. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1112, 012008.
7. Deepthi, S. T., Bhat, S., Mogali, S. C., Saabale, P. R., DM, K. 2024. Induced mutagenesis for resistance to mungbean yellow mosaic virus and yield traits in mungbean. J. Food Legumes. 37, 163-166.
8. Dikshit, H. K., Mishra, G. P., Somta, P., Shwe, T., Alam, A. K. M. M., Bains, T. S., Nair, R. M. 2020. Classical genetics and traditional breeding in mungbean. In “The Mungbean Genome”, pp.43-54. Cham: Springer International Publishing.
9. Dudley, C., Van Haften, S., Alahmad, S., Dinglasan, E., Hickey, L. T., Robinson, H., Beveridge, C. A., Udvardi, M., Noble, T., Massel K., Dun, E. A., Smith, M. R. 2025. Time to flowering and flowering duration in mungbean are unrelated physiological traits with independent genetic controls. J. Exp. Bot. 76, 221-234.
10. Gayacharan, Tripathi, K., Meena, S. K., Panwar, B. S., Lal, H., Rana, J. C., Singh, K. 2020. Understanding genetic variability in the mungbean (*Vigna radiata* L.) gene pool. Ann. Appl. Biol. 177, 346-357.

11. Gunathilaka, W. M. N. D., Hewawitharana, T. S., Premarathna, W. G. H. N. 2025. Enhancing mechanized harvesting of mungbean (*Vigna radiata* L.) with defoliation and desiccation using chemical agents in Sri Lanka. *Trop. Agric. Res. Ext.* 28, 2.
12. Hamid, A., Hashem, A., Hamid, A., Miah, M. A., Nag, B. L. 1995. Seed development, quality, maturity synchrony and yield of selected mungbean genotypes. *Bangladesh J. Agric. Sci.* 22, 21-29.
13. Hossain, M. B., Rahman, M. W., Rahman, M. N., Anwar, A. H. M. N., Hossen, A. K. M. M. 2010. Effects of water stress on yield attributes and yield of different mungbean genotypes. *Int. J. Sustain. Crop Prod.* 5, 19-24.
14. Hossain, M. K., Ali, M. H., Uddin, A. F. M. J. 2011. Influence of plant population on growth and yield of summer mungbean (*Vigna radiata*). *Bangladesh Res. Publ. J.* 6, 167-173.
15. Huppertz, M., Kachhap, D., Dalai, A., Yadav, N., Baby, D., Khan, M. A., Petar, B., Panigrahi, K. C. 2023. Exploring the potential of mung bean: From domestication and traditional selection to modern genetic and genomic technologies in a changing world. *J. Agric. Food Res.* 14, 100786.
16. Imrie, B. C., Lawn, R. J. 1990. Time to flowering of mung bean (*Vigna radiata*) genotypes and their hybrids in response to photoperiod and temperature. *Exp. Agric.* 26, 307-318
17. Karimi, R., Nair, R. M., Ledesma, D., Mutisya, D. L., Muthoni, L. 2019. Performance and participatory evaluation of green gram genotypes in the semi-arid environments of Eastern Kenya. *E. Afr. Agric. For. J.* 83, 119-136.
18. Khalilzadeh, R., Tajbakhsh, M., Jalilian, J. 2012. Growth characteristics of mung bean (*Vigna radiata* L.) affected by foliar application of urea and bio-organic fertilizers. *IJACS* 4, 637-642.
19. Khajudparn, P., Tantasawat, P. 2011. Relationships and variability of agronomic and physiological characters in mungbean. *Afr. J. Biotechnol.* 10, 9992-10000.
20. Khattak, G. S. S., Haq, M. A., Ashraf, M., Srinives, P. 2001. Combining ability in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Korean J. Crop Sci.* 46, 424-427.

21. Khattak, G. S. S., Ashraf, M., Haq, M. A., McNeilly, T., Rha, E. S. 2002. Genetic basis of plant height and its degree of indetermination in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Hereditas*, 137, 52-56.
22. Kim, D. K., Choi, J. G., Jung, B. J., Son, D. M., Chon, S. U., Kim, K. H. 2009. Proper seeding time for mechanical harvesting in mungbean. *Korean J. Crop Sci.* 54, 7-12
23. Kim, S. K., Nair, R. M., Lee, J., Lee, S. H. 2015. Genomic resources in mungbean for future breeding programs. *Front. Plant Sci.* 6, 626.
24. Kumar, A., Seema, P., Kumar, R. R., Kushwaha, A., Rashid, M. H., Tarannum, N., Chakraborty, S. 2022. Mungbean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek): Progress in breeding and future challenges. *Int. J. Plant Soil Sci.* 34, 50-59.
25. Li, S., Ding, Y., Zhang, D., Wang, X., Tang, X., Dai, D., Jin, H., Lee, S. H., Cai C., Ma, J. 2018. Parallel domestication with a broad mutational spectrum of determinate stem growth habit in leguminous crops. *Plant J.* 96, 761-771.
26. Li, S., Li, Y., Zhu, H., Chen, L., Zhang, H., Lian, L., Wang, H., Wang, X. 2024. Deciphering *PDHI*'s role in mung bean domestication: a genomic perspective on pod dehiscence. *Plant J.* 118, 1413-1422.
27. Lin, Y. P., Chen, H. W., Yeh, P. M., Anand, S. S., Lin, J., Li, J., Lee, C. R. 2022. Distinct selection signatures during domestication and improvement in crops: A tale of two genes in mungbean. *bioRxiv* 2022-09.
28. Lin, Y. P., Chen, H. W., Yeh, P. M., Anand, S. S., Lin, J., Li, J., Noble, T., Nair, R., Schafleitner, R., Samsononova, M., Bishop-von-Wettberg, E., Nuzhdin, S., Ting, C. T., Lawn, J. R., Lee, C. R. 2023. Demographic history and distinct selection signatures of two domestication genes in mungbean. *Plant physiology*, 193, 1197-1212.
29. Marsh, J. I., Nestor, B. J., Petereit, J., Tay Fernandez, C. G., Bayer, P. E., Batley, J., Edwards, D. 2023. Legume-wide comparative analysis of pod shatter locus *PDHI* reveals phaseoloid specificity, high cowpea expression, and stress responsive genomic context. *Plant J.* 115, 68-80.
30. Mehandi, S., Quatadah, S. M., Mishra, S. P., Singh, I. P., Praveen, N., Dwivedi, N. 2019. Mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek): Retrospect and prospects. In "Legume Crops – Characterization and Breeding for Improved Food Security", eds. A. K. Singh & H. K. Dikshit, pp.215-238. London: IntechOpen.

31. Meyer, R. S., Purugganan, M. D. 2013. Evolution of crop species: genetics of domestication and diversification. *Nat. Rev. Genet.* 14, 840-852.
32. Nair, R. M., Schafleitner, R., Kenyon, L., Srinivasan, R., Easdown, W., Ebert, A. W., Hanson, P. 2012. Genetic improvement of mungbean. In “The Mungbean Genome”, pp.1-12. Cham: Springer International Publishing.
33. Nair, R., Schreinemachers, P. 2020. Global status and economic importance of mungbean. In “The Mungbean Genome”, pp. 1-8. Cham: Springer International Publishing.
34. Ong, P. W., Lin, Y. P., Chen, H. W., Lo, C. Y., Burlyayeva, M., Noble, T., Madhavan, N. R., Schafleitner, R., Vishnyakova, M., Bishop-von-Wettberg, E., Samsonova, M., Nuzhdin, S., Ting, C. T., Lee, C. R. 2023. Environment as a limiting factor of the historical global spread of mungbean. *Elife*, 12, e85725.
35. Pataczek, L., Zahir, Z. A., Ahmad, M., Rani, S., Nair, R., Schafleitner, R., Hilger, T. 2018. Beans with benefits—The role of mungbean (*Vigna radiata*) in a changing environment. *Am. J. Plant Sci.* 9, 1577-1592.
36. Perera, U. I. P., Chandika, K. K. J., Ratnasekera, D. 2017. Genetic variation, character association and evaluation of mungbean genotypes for agronomic and yield components. *J. Natl. Sci. Found. Sri Lanka.* 45, 315-325.
37. Saeed, I., Khattak, G. S. S., Zamir, R. 2007. Association of seed yield and some important morphological traits in mungbean (*Vigna radiata* L.). *Pak. J. Bot.* 39, 2361-2366.
38. Schafleitner, R., Nair, R. M. 2020. Future prospects and challenges. In “The mungbean genome”. pp.181-191. Cham: Springer International Publishing.
39. Shiow, S. L., Alves, A. C. 2002. Comportamento de linhagens de feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) em Santa Catarina. *Ciência Rural* 32, 553-558.
40. Singh, J., Kumar, P. 2014. The interrelationship of various traits with seed yield in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Electron. J. Plant Breed.* 5, 1000-1005.
41. Sneha, M., Saravanan, S., Premkumari, S. M., Pillai, M. A. 2019. Validation of genetic parameters for yield related traits among indigenous mungbean (*Vigna radiata* L.) germplasm. *Electron. J. Plant Breed.* 10, 673-679.
42. Somta, P., Chankaew, S., Kongjaimun, A., Srinives, P. 2015. QTLs controlling seed weight and days to flowering in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek], their conservation in azuki bean and rice bean. *Agrivita J. Agric. Sci.* 37, 159–168.

43. Tabasum, A., Saleem, M., Aziz, I. 2010. Genetic variability, trait association and path analysis of yield and yield components in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). Pak. J. Bot 42, 3915-3924.
44. Tah, P. R. 2009. Induced synchrony in pod maturity in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). Legume Res. 32, 105-110.
45. Tomooka, N., Lairungreang, C., Nakeeraks, P., Thavarasook, C. 1991. Geographical distribution of growth types in mungbean *Vigna radiata* (L.) Wilczek. Jpn. J. Trop. Agric. 35, 213-218.

# Genetic Characteristics and Adaptation to Mechanized Harvesting in Mungbean (*Vigna radiata*)<sup>1</sup>

Zhen-Wei Huang<sup>2</sup> and Hsun-Shih Lin<sup>2\*</sup>

## ABSTRACT

Mungbean (*Vigna radiata*) is an important legume crop in Asia, valued for its short growth duration and adaptability. This study reviews the progress of mungbean breeding in Taiwan and other regions, focusing on the genetic characteristics and selection potential of key growth and yield traits. Results indicate that plant traits (plant height, number of branches, days to flowering, and days to maturity) and yield components (number of pods, hundred-seed weight, single-plant yield, pod dehiscence, and synchronized maturity) exhibit high broad-sense heritability and considerable genetic advance, suggesting strong selection potential. Traditional breeding programs have established effective selection systems targeting early maturity, high yield, and pest and disease resistance. Recent advances in molecular breeding have identified key loci such as *VrMYB26a*, *VrDet1*, and *PDH1*, which regulate pod dehiscence resistance and determinate growth habit, providing molecular tools for marker-assisted selection. In Taiwan, breeding objectives emphasize the development of lines combining environmental adaptability with suitability for mechanized harvesting. Determinate growth and high maturity synchrony enable single-pass harvesting and reduce labor requirements, while early maturity helps avoid heat and drought stress. To enhance breeding efficiency, further multi-location trials and genomic selection are needed to identify lines with broad adaptability and stable yield performance. Overall, this study highlights the integration of traditional phenotypic selection with modern molecular approaches as a practical framework for developing high-yielding, early-maturing,

---

<sup>1</sup> Contribution No.1115 from Taichung DARES, MOA.

<sup>2</sup> Project assistant and Associate Researcher of Taichung DARES, MOA.

\*Corresponding Author: Hsun-Shih Lin, Email: linhsuns@tcdares.gov.tw

synchronized, and stress-tolerant mungbean cultivars suited to Taiwan's agricultural systems.

**Key words:** mungbean, breeding, pod dehiscence, synchronized maturity, marker-assisted selection

# 農產品生命周期碳足跡建立—以稻米產品為例<sup>1</sup>

吳以健<sup>2\*</sup>、郭芝秀<sup>3</sup>、廖崇億<sup>4</sup>、李誠紘<sup>5</sup>、鄧執庸<sup>5</sup>

## 摘 要

本研究依據 ISO 14040 與 ISO 14067 標準，採用生命周期評估(Life Cycle Assessment)方法，建立臺灣稻米產品之碳足跡架構，評估範圍涵蓋原料取得、製造加工、運輸、使用等階段。試驗結果顯示，每 kg 白米產品的總碳足跡為 2.07 kg CO<sub>2</sub>e，其中原料取得階段的田間栽培為碳排放最主要來源，約占總排放量的 70 %，製造加工與使用階段分別占 9 %與 19 %。在田間栽培中，甲烷排放佔整體碳足跡將近一半，為最主要熱點，其次為氧化亞氮排放及化學氮肥製造端的碳排；乾燥作業則為加工階段碳排的主要來源，約占該階段的一半以上。與日本、美國及義大利等地的研究相比，臺灣稻米產品的碳足跡略高於前兩者、低於後者，顯示臺灣生產體系在資材使用效率與能源管理上仍有優化空間。造成差異的主因在於臺灣亞熱帶氣候條件下甲烷生成量較高，且氮肥施用量與期作頻率相對較多。整體而言，稻米產品碳排的關鍵熱點集中於田間栽培與稻穀乾燥，顯示農田管理與能源利用效率對碳足跡影響甚鉅。減碳策略建議包括推廣間歇灌溉與延長季中曬田以抑制甲烷生成，並透過施肥合理化與使用緩效性肥料減少氧化亞氮排放，同時改善烘乾稻穀方式以提升加工階段能源效率。本研究成果不僅呈現臺灣稻米產品碳足跡之結構特性，亦提供量化基礎與依據，可作為稻米產業推動碳標籤、低碳生產及淨零農業政策之重要參考。

**關鍵字：**稻米、溫室氣體、碳足跡、溫室效應潛勢、生命周期評估、產品類別規則、甲烷

---

<sup>1</sup> 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1113 號。

<sup>2</sup> 農業部臺中區農業改良場作物改良科副研究員。

<sup>3</sup> 農業部臺中區農業改良場作物改良科研究助理。

<sup>4</sup> 農業部臺中區農業改良場作物環境科助理研究員。

<sup>5</sup> 農業部臺中區農業改良場作物改良科助理研究員。

\*通訊作者：吳以健，Email: wuyc@tcdares.gov.tw

## 前 言

氣候變遷與環境永續性已成為全球關注的議題，農業生產對溫室氣體排放的影響不容忽視。稻米作為臺灣主要糧食作物之一，其生產過程涉及土地利用、水資源管理、肥料施用與機械操作等多個環節，均會排放溫室氣體，而將產品生產過程以至運輸與使用，意即與產品相關的所有階段，其溫室氣體排放的淨總量，就是該產品的碳足跡，因此，碳足跡是評估產品溫室氣體排放量的重要指標，涵蓋從農地管理、種植、收穫、加工、運輸到消費使用及廢棄的各個階段，並且有國際規範明定應採用「生命周期評估(Life Cycle Assessment, LCA)」來進行建立(ISO, 2018)，透過科學化的碳足跡評估，不僅可量化稻米生產對環境的影響，亦有助於制定低碳農業策略，提高產業競爭力並促進永續發展。稻米是全球三大農作物之一，同時在農業的碳排占有重要角色，水稻在栽培期間的田間碳排放(包括甲烷與氧化亞氮)占全球農業排放的 10%以上(FAO, 2024)，且稻米生產的碳足跡更是其他二大作物的玉米與小麥的 2.7 倍與 5.7 倍(Ritchie *et al.*, 2020)，儘管世界各國對稻米的碳排調查已有許多研究(Blengini and Busto, 2009; Hokazono and Hayashi, 2012; Janz *et al.*, 2019)，然而，目前臺灣稻米產品的碳足跡相關研究仍相對有限，尤其是臺灣特異於各個水稻生產國的兩期作栽培生產體系(張，1999)，因此臺灣稻米產品的碳足跡評估有其必要性。本研究旨在透過生命周期評估方法，分析臺灣稻米產品的碳足跡，並探討該產品生命周期中，碳排放的關鍵階段。藉由碳足跡評估結果中碳排最顯著的熱點(hot spot)，作為減碳策略擬定的重要依據，以促進臺灣稻米產業邁向低碳淨零目標。

## 材料與方法

### 一、生命周期評估定義

LCA起源於20世紀中期，並在1970至1990年間因石油危機的影響而發展。最初，LCA主要用於分析能源使用情形，以提升能源效率並減少石油消耗。隨著環境保護意識的提升，生命周期評估的應用範圍逐漸擴展，並於1993年正式納入國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO) 14000系統之中。根據ISO 14040規範，LCA旨在評估產品從原料取得、加工、包裝、運輸、銷售、使用，直至最終廢棄處理的完整生命周期對環境的影響，其評估面向涵蓋資源消耗、人類健康及生態影響(ISO, 2006)，也包括本研究所聚焦的溫室氣體排放或稱碳足跡。一般而言，生命周期評估包括4個主要步驟：(1)目標與範圍界定(Goal and Scope Definition)；(2)生命周期盤查分析

(Life Cycle Inventory Analysis, LCI)；(3)生命周期衝擊評估(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)；(4)生命周期闡釋(Life Cycle Interpretation)。而生命周期評估之中，針對溫室氣體排放的「碳足跡」更獨立為ISO 14067篇章詳述(ISO, 2018)，本研究將依據上述4個步驟，建立臺灣稻米產品的碳足跡資訊，並於後續章節進行詳細說明。

## 二、目標與範圍界定

「目標與範圍界定」是生命周期評估的第一步，也是最重要的一步，包括決定評估項目及定義評估基礎單位與涵蓋範圍。本研究將進行稻米產品碳足跡資訊建立，因此此階段將以溫室氣體排放為環境衝擊評估之項目，產品則以米屋智農公司的1 kg真空包裝馥米為評估單位，馥米產品乃是採用水稻台中194號品種所製，該品種主要以出色的米質而非豐產聞名，因此預期相較於其他高產品種而言，產品單位重量的碳足跡可能較高。涵蓋範圍又稱為系統邊界(System Boundary)，則決定後續盤查的項目，若涵蓋範圍訂定過小，則無法確實呈現實際環境衝擊；若涵蓋範圍訂定過大，則將耗費過多無謂的時間與人力在影響較小的項目上。本次研究之系統邊界包括5大階段：1.原料取得階段；2.製造加工階段；3.運輸階段；4.使用階段；5.廢棄階段。並將依照此5大階段進行後續的溫室氣體排放相關盤查。而本產品之產品組成如表一所示，稻米產品之產品組成單純，僅有白米與包材。

表一、本研究目標產品組成

Table 1. Constitution of the product in this study

Target product	Ingredient	Material	Weight (kg)	Ratio (%)
1 package of aromatic rice	Polished rice	Polished rice	1	99
	Package	PE	0.01	1
		Total	1.01	100

## 三、生命周期盤查分析

針對上述之生命周期5大階段，進行與碳排相關資料的盤查，茲分述如下：

### 1.原料取得階段:

原料取得階段主要在於產品的稻穀生產，也就是田間栽培階段，包括稻種準備、育苗作業、田間整地、插秧移植、施肥、病蟲草管理、收穫作業，並在這些田間作業調查與碳排相關的資料，包括單位面積之稻種用量、秧苗用量、育苗中心用電量、育苗過程肥料農藥用量、整地機械用油量、肥料種類與用量、施肥機具用油量、病蟲草管理之農

藥種類與用量、噴藥機具用油/用電量、收穫機具用油量，並調查單位面積乾穀產量並換算為白米產量，再將單位面積盤查結果除以單位面積白米產量，即可統整各項目的單位白米產量的資源用量。另一方面，田間甲烷與氧化亞氮的排放將是碳排重點，此項目以國家溫室氣體排放清冊進行計算，本研究之場域與期作為彰化縣一期作，即為每公頃每期作180.6 kg的甲烷與4.408 kg的氧化亞氮(環境部，2024)。此外，最終白米產品的包裝袋用量，亦在此階段進行盤查。

## 2.製造加工階段

稻穀收穫後，即至碾米廠進行烘乾、碾製與包裝，此階段乃進行米屋智農公司之碾米廠烘乾作業之全年度用油量、碾製與包裝作業的機具用電量，以及該廠區其他用電量之盤查，並盤查其總白米生產量，再將用電用油量除以總白米生產量，即可統整此階段的單位白米產量的資源用量，作為下一步驟之碳排計算的資料來源。

## 3.運輸階段

在稻穀收穫後，須以貨車將稻穀載運至碾米廠，而在碾米廠完成生產白米產品後，亦需要以貨車將產品載運到銷售地點，此2段路程的運輸，應盤查每次運輸之里程、用油種類、用油量與載運量，並計算單位白米產量之運輸用油量。

## 4.使用階段

本研究設定白米產品之使用階段為烹煮米飯與食用，食用過程並未有碳排產生，因此使用階段的盤查為使用電子鍋烹煮的用電量，以及每次烹煮的白米用量，並將用電量除以白米用量，即可得出單位白米的烹煮用電量。

## 5.廢棄階段

由於米飯食用後並未有廢棄物，此階段可省略不計，而白米產品之包裝袋重量每包僅0.01 kg，換算為碳排約0.012 kgCO<sub>2e</sub>，佔比低於總碳足跡的1%，因此依ISO 14067的規定，包裝袋的廢棄碳排可省略不計。

## 四、生命周期衝擊評估

將前階段之盤查結果，包括稻種、氮肥、磷肥、鉀肥、農藥、電力、汽油、柴油、甲烷排放及氧化亞氮排放等，依照各自的碳排係數進行換算，即可得出每個項目的碳排量，上述每個碳排係數詳列如表二，此碳排係數資料來源為第一級調查數據、臺灣國家碳足跡資訊網、IPCC第六次評估報告、以及生命周期評估軟體SimaPro 8中的Ecoinvent 3.8資料庫。將每個項目換算為碳排量後，進行加總，即計算出每個白米產品的總碳足跡，以及每個階段占總碳足跡的比例，以評估碳排熱點(Hot Spot)。

表二、各階段生命周期盤查之項目、碳排係數及資料來源

Table 2. Inventory items, carbon emission coefficients and references of LCA inventory

Stage	Inventory items	Coefficiency	unit	reference
Raw materials (seedling production)	Rice seed	1.8	kg CO <sub>2</sub> e / kg	Primary data
	Liquid nitrogen	1.8	kg CO <sub>2</sub> e / L	Ecoivent 3.8
	Liquid phosphorus	0.847	kg CO <sub>2</sub> e / L	Ecoivent 3.8
	Liquid potassium	0.61	kg CO <sub>2</sub> e / L	Ecoivent 3.8
	Prochloraz	14.41	kg CO <sub>2</sub> e / L	Ecoivent 3.8
	Electricity	0.59	kg CO <sub>2</sub> e / kWh	Carbon footprint information platform
Raw materials (field cultivation)	Ammonium Sulfate	0.5628	kg CO <sub>2</sub> e / kg	Ecoivent 3.8
	Urea	1.65	kg CO <sub>2</sub> e / kg	Ecoivent 3.8
	Ammonium type nitrogen	2.68	kg CO <sub>2</sub> e / kg	Ecoivent 3.8
	Phosphorus pentoxide	1.18	kg CO <sub>2</sub> e / kg	Ecoivent 3.8
	Potassium oxide	0.664	kg CO <sub>2</sub> e / kg	Ecoivent 3.8
	Lambda-Cyhalothrin + Thiamethoxam	10.28	kg CO <sub>2</sub> e / L	Ecoivent 3.8
	Kasugamycin	13.69	kg CO <sub>2</sub> e / L	Ecoivent 3.8
	Tricyclazole	14.41	kg CO <sub>2</sub> e / kg	Ecoivent 3.8
	Diesel	3.34	kg CO <sub>2</sub> e / L	Carbon footprint information platform
	Gasoline	3.01	kg CO <sub>2</sub> e / L	Carbon footprint information platform
	Methane emission	27.9	kg CO <sub>2</sub> e / kg	National GHG inventory report
	Nitrous oxide emission	273	kg CO <sub>2</sub> e / kg	National GHG inventory report
Production and Processing	Electricity	0.59	kg CO <sub>2</sub> e / kWh	Carbon footprint information platform
	Diesel	3.34	kg CO <sub>2</sub> e / L	Carbon footprint information platform
	Package (PE)	2.02	kg CO <sub>2</sub> e / kg	Carbon footprint information platform
Transportation	Diesel	3.34	kg CO <sub>2</sub> e / L	Carbon footprint information platform
Use	Electricity	0.59	kg CO <sub>2</sub> e / kWh	Carbon footprint information platform

## 五、生命週期闡釋

完成白米產品的碳足跡評估後，可進行許多進一步探討，本研究將就臺灣白米產品與各國的白米產品碳足跡進行比較，並分析差異之可能原因。另一方面，並藉由碳足跡評估的熱點所在，進行可能減碳策略的討論，作為未來國家稻作低碳生產決策的重要參考。

## 結果與討論

依前述之稻米產品生命週期規劃之盤查項目，進行原料取得階段(包括育苗階段與田間栽培階段)、製造加工階段、運輸階段、使用階段等4個階段的活動數據盤查，並分別依其各自的盤查基礎單位，換算為每包1 kg白米的碳排，茲分述如下。

### 一、原料取得階段

原料取得階段包括育苗與田間栽培，茲分述如下。

育苗作業以每一期作為單位，進行育苗中心的碳排盤查，盤查項目包括稻種、液態氮/磷/鉀肥、消毒藥劑以及電力用量，並依照前述表二之碳排係數，加上育苗中心單期作的總生產秧苗量(175,000盤/單期作)，計算單期作該作業的碳排量，以及單位秧苗之碳排量，最終則結合每公頃耕地的秧苗用量(300盤/公頃)，計算出每公頃耕地的秧苗碳排，並進一步以現地調查之每公頃耕地的白米產量(5,075 kg/公頃)，計算每kg白米的秧苗碳排。計算結果如表三，結果顯示，在育苗時期，每生產1盤秧苗的平均碳排約為558 g CO<sub>2</sub>e，也就是每公頃所使用的秧苗的碳排為167 kg CO<sub>2</sub>e，每kg白米中的秧苗碳排則是0.033 kg CO<sub>2</sub>e。秧苗生產過程中，碳排佔比最大的，乃是稻種與電力使用，雖然液態肥與消毒藥劑也貢獻部分碳排，但由於用量不多，因此計算後的碳排貢獻並不高。前人研究指出，育苗僅占稻米全生命週期碳足跡的5%以下(沈，2020)，儘管改變育苗基質可能有20 %以上的減碳效果，但對於整體稻米碳足跡的減量有限。因此，有些國家(例如美國、巴西等)的水稻栽培乃是採用直接播種方式，省去育苗作業的碳排放之效益，可以推測並不顯著。

田間栽培銜接育苗之後，以每公頃耕地面積為單位，依田間作業項目包括整地、插秧、施肥、噴藥、收穫以及田間直接排放進行資材耗用量與氣體排放量的盤查，再依照前述表二之碳排係數進行計算，最終則以每公頃耕地的白米產量(5,075 kg/公頃)，計算每kg白米的田間栽培各項碳排，計算結果如表四。結果顯示，田間栽培的碳排每公頃達到7.2 Mg CO<sub>2</sub>e，而每kg白米的碳排在此處亦達到1.42 kg CO<sub>2</sub>e，主要來自於田間甲烷排

表三、每期作育苗中心之碳排盤查結果，並以育苗中心單期作育苗量為175,000盤來換算為每盤秧苗的碳排

Table 3. Carbon inventory in seedling nursery center of each cropping season. The carbon emissions per tray of seedlings are calculated based on the seedling production capacity of 175,000 trays per season.

Inventory items	amount	unit	Carbon emissions per season (kg CO <sub>2</sub> e)	Carbon emissions per tray of seedlings (g CO <sub>2</sub> e)	Carbon emissions per ha of field (kg CO <sub>2</sub> e)	Carbon emissions per kg of polished rice (kg CO <sub>2</sub> e)
Rice seed	52,500	kg	94,500	540	162	0.0320
Liquid nitrogen	5.18	L	9.32	0.0532	0.0160	3.16E-06
Liquid phosphorus	6.47	L	5.48	0.0313	0.00939	1.86E-06
Liquid potassium	5.18	L	3.16	0.0180	0.00541	1.07E-06
Prochloraz	31.0	L	448.0	2.56	0.768	0.000152
Electricity	4,406	kWh	2,600	14.85	4.46	0.00088
total				558	167	0.0330

放、田間氧化亞氮排放以及化學肥料的製造端，尤其是田間甲烷排放，更是占田間栽培碳排的70%。目前已發表的各國稻米碳排文獻中，幾乎全數皆指出田間栽培是碳排最顯著的熱點(Blengini and Busto, 2009; Hokazono and Hayashi, 2012; Brodt *et al.*, 2014)，且其中最顯著的碳排正是田間直接甲烷排放，主要原因在於水稻田的湛水栽培方式，缺氧土壤的還原態之下，導致土壤中的甲烷生成菌將土壤有機碳轉變為甲烷，再經由水稻的通氣組織排放至大氣中(Kim *et al.*, 2018)，且臺灣位處亞熱帶，高溫環境促使甲烷更較其他溫帶水稻產國有更高的排放，然而，目前許多的稻米產品碳足跡仍採用跨政府氣候變遷組織(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)係數或國家甲烷排放清冊係數，對於特定田區的排放估算可能有所偏差導致碳排評估的不確定性，未來建議可採用更為準確且考量因素更為全面的模式例如DNDC model取代之(Oo *et al.*, 2020)。此外，田間氧化亞氮排放乃是第二熱點，主要來自未完全吸收的氮肥，在土壤微生物的脫氮作用之下產生的；而化學氮肥製造端則是第三熱點，則是因為目前的化學氮肥主要以哈柏法(Haber-Bosch Process)製造，也就是將氮氣與氫氣在200大氣壓與400°C的狀態下以鐵粉為催化劑，製造氨氣的方式(Smil, 2004)，極大的壓力與高溫，需要極高的能源投入，

因此化學氮肥的製造端相當耗用能源，也帶來大量碳排，且氮肥更是肥料三要素中用量最大者，更顯示氮肥在農業碳排上的重要性。

表四、田間栽培期間單位耕地面積與單位kg白米之碳排盤查結果

Table 4. Carbon inventory per unit of field area and per kg of polished rice during the field cultivation

Activity	Material use or direct emissions	amount	Unit	Carbon emissions per ha of field (kg CO <sub>2</sub> e)	Carbon emissions per kg of polished rice (kg CO <sub>2</sub> e)
Land preparation	Diesel	55.9	L/ha	187	0.0368
Transplanting	Diesel	5.92	L/ha	19.8	0.00390
Fertilization	Gasoline	2.63	L/ha	7.92	0.00156
	Ammonium Sulfate	440	kg/ha	248	0.0488
Fertilizer	Urea	80.0	kg/ha	132	0.0260
	Ammonium type nitrogen	96.0	kg/ha	257	0.0507
	Phosphorus pentoxide	24.0	kg/ha	28.3	0.00558
	Potassium oxide	48.0	kg/ha	31.9	0.00628
Pesticide	Lambda-Cyhalothrin + Thiamethoxam	0.0789	L/ha	0.811	0.000160
	Kasugamycin	0.0152	L/ha	0.208	0.000041
	Tricyclazole	0.228	kg/ha	3.29	0.000648
Harvest	Diesel	11.8	L/ha	39.5	0.00779
Direct Emission	Methane	181	kg/ha	5,047	0.995
	Nitrous oxide	4.41	kg/ha	1,203	0.237
total				7,205	1.42

## 二、製造加工階段

在田間稻穀收穫後，須運送至碾米加工廠進行進一步加工與製造產品，在碾米加工廠主要進行稻穀烘乾、碾米精白及產品包裝等3項作業，其分別與碳排相關的盤查為柴油用量、電力耗用以及包材使用，而此階段的盤查則以碾米廠1整年的用量進行，結果如表五。結果顯示此階段的每kg白米碳排約為0.182 kg CO<sub>2</sub>e，其中超過一半來自烘乾作業，而由於白米產品的內容物組成較單純(只包含白米本身)，因此此階段的作業與投入資材並不複雜，相同情況也可於麥類作物的生命週期中發現(Moresi and Cimini, 2025)，若是進一步精緻加工的食品產品，例如稻米加工製品的米粉絲，或是大麥進一步製造的啤酒，前者將包括陳化儲存過程與蒸煮加工過程的耗能，後者則包括發酵過程與過濾純化過程的碳排，這類產品的碳排在此階段則會進一步增加。

表五、製造加工階段的碳排盤查結果

Table 5. Carbon inventory during the production and processing stage

Activity	Material use	amount	Unit	Carbon emissions per kg of polished rice (kg CO <sub>2</sub> e)
Drying	Diesel	14,000	L/year	0.103
Polishing and packaging	Electricity	45,228	kWh/year	0.0587
Package	PE	0.01	kg/product	0.0202
total				0.182

## 三、運輸與使用階段

運輸階段包括2個部分，第一為田間收穫後的稻穀運輸至碾米廠的過程，第二為碾米廠生產為產品後，將產品運輸至銷售地點的過程，此二部分的運輸皆使用大型貨車運輸，其與碳排相關的盤查為柴油使用。而消費者自銷售地點購買產品回家後，使用階段則是煮飯作業，煮飯使用電子鍋，與碳排相關的盤查為電力使用，盤查結果如表六。結果顯示，此階段的每kg白米碳排約為0.439 kg CO<sub>2</sub>e，最主要來自於煮飯時使用電子鍋的電力使用，另一方面，運輸方面則皆在於貨車的柴油用量，不同於美國或中國等大國常以火車運輸(Brodt *et al.*, 2014)，貨車的運輸效率通常較差，但事實上，由於本次評估產品為國產米，加上臺灣面積不如其他國家，因此運輸里程與運輸碳排亦將低於其他國家。

表六. 運輸與使用階段的碳排盤查結果

Table 6. Carbon inventory for transportation and use stages

Stage	Activity	Material use	amount	Unit	Carbon emissions per kg of polished rice (kg CO <sub>2</sub> e)
Transportation	Grain transportation	Diesel	10	L/trip	0.00418
	Products transportation	Diesel	80	L/trip	0.0411
Use	Cooking	Electricity	0.5	kWh/time	0.393
total	total				0.439

#### 四、全生命周期彙總評估

總結以上各階段碳排結果，彙整如表七，每kg白米碳足跡總計為2.07 kg CO<sub>2</sub>e，比較目前已有登錄產品碳足跡的稻米產品，包括臺中、花蓮、臺東等地所生產，其每kg產品的碳足跡自1.0 kg至4.0 kg CO<sub>2</sub>e都有。碳足跡的差異除了由於栽培管理之外，品種、田區氣候、土壤都可能是影響因子，因此若要彼此比較，仍應詳細評估其每一產品所記載之盤查報告細節。另一方面，若比較其他各國的結果，由於各國研究皆未包括使用階段，因此若扣除使用階段，本研究之每kg白米碳足跡為1.68 kg CO<sub>2</sub>e，高於日本評估結果的1.46 kg CO<sub>2</sub>e (Hokazono and Hayashi, 2012)與美國評估的1.55 kg CO<sub>2</sub>e (Brodt *et al.*, 2014)，低於義大利研究的2.76 kg CO<sub>2</sub>e (Blengini and Busto, 2009)；其中有超過70%來自原料取得階段，若單比較原料取得階段，則本研究之1.45 kg CO<sub>2</sub>e更明顯低於泰國(2.97-5.55 kg CO<sub>2</sub>e)(Thanawong *et al.*, 2014)，而與中國華中地區相當(1.50 kg CO<sub>2</sub>e)(Wang *et al.*, 2010)。也就是說，臺灣目前相較與先進稻米生產國家如美國與日本，田間生產的碳足跡仍略顯偏高，主要原因在於美國之稻米生產一年僅一個期作，氣候、品種、栽培管理之影響下，單位面積產量較高，因此單位稻米之碳足跡則較低，美國加州稻米產區之單位面積乾穀產量甚至可達每公頃9公噸之多(CDFA, 2013)；日本方面雖然產量不如美國，但日本水稻應用間歇灌溉與施用較少氮肥，加上休耕期低溫且不澆水，可有效降低田間碳排(Hokazono and Hayashi, 2012)，臺灣水稻栽培觀念與栽培方式皆近似於日本，水稻減碳策略方面確實可借鏡日本。

表七、各階段貢獻之碳排與產品總碳足跡

Table 7. Carbon emissions contributed by each stage and the total carbon footprint of the product

Stage	Carbon emissions per kg of polished rice (kg CO <sub>2</sub> e)	Percentage of total carbon footprint (%)
Raw materials	1.45	70.1
Production	0.182	8.76
Transportation	0.0453	2.18
Use	0.393	19.0
total	2.07	100

## 五、可能的減碳策略

由本研究評估結果，顯示臺灣稻米產品碳足跡的碳排熱點，主要在於田間甲烷排放、田間氧化亞氮排放與氮肥製造、碾米過程之乾燥耗能，茲就此3項目探討可能減碳策略。

1. 田間甲烷排放: 要減少水稻田的甲烷排放，可從提高田間土壤氧化還原電位與降低田間土壤有機碳二方面著手。由於傳統的湛水方式導致田間土壤缺氧而使甲烷大量排放，因此近年有許多方式針對此方面改善，包括間歇灌溉(Alternative Wetting and Drying Irrigation, AWD)或是延長季中曬田(Prolonging Mid-season Drainage)，經證實，間歇灌溉至少可以減少近50%的田間甲烷排放(Linquist *et al.*, 2015)，而在本場研究亦發現不同強度的間歇灌溉方式能減少田間甲烷排放30-70%(資料未發表)，且在不同水稻品種之間更可能具有差異；另一方面，延長季中曬田亦可降低約52%的田間甲烷排放(Liu *et al.*, 2019)，然而，不管是間歇灌溉或延長曬田期，都應注意期間稻株是否處於缺水逆境，否則將帶來減產的風險(Carrizo *et al.*, 2017)。另一方面，若要降低田間土壤有機碳，針對收穫後稻株殘體的管理亦具有效果。研究指出，其甲烷減降效益可達60-75%(Cordeiro *et al.*, 2024)，而在本場研究則顯示約可降低50-80%的甲烷排放(資料未發表)，顯示其顯著的甲烷減降效益，但仍應考慮移除後的稻稈的用途規劃，不應作為廢棄物焚燒，否則減碳效益將受影響(Cordeiro *et al.*, 2024)。
2. 田間氧化亞氮排放與氮肥製造: 田間氧化亞氮排放量，取決於田間氮肥的施用量，過去有許多研究證實氧化亞氮排放與氮肥施用量呈高度正相關(MacKenzie *et al.*, 1998 ; McSwiney and Robertson, 2005 ; Halvorson *et al.*, 2008)，日本的田間碳排較少，主要原

因之一在於日本為了追求更好的稻米食味，欲降低米粒粗蛋白質含量，常嚴格控制氮肥的施用量(五十嵐與後藤，2025)，研究亦指出氮肥施用越低，氧化亞氮的排放確實呈現降低，且呈明顯正相關(Cole *et al.*, 1997; Freney, 1997)，且氮肥施用量降低，更可直接減少氮肥製造端的碳排，惟過低的氮肥，除了影響產量之外，更可能降低稻米對高溫的耐性而導致白垩質穀粒的增加，傷害外觀品質(Guo *et al.*, 2024)，因此為兼顧減碳與產量品質，應精準評估氮肥用量。另一方面，氧化亞氮的產生主要在於氮肥的釋放速度大於作物吸收速度，因此可應用緩效性氮肥或加入硝化抑制劑(Mosier *et al.*, 1996; Yan *et al.*, 2000)，除了提高氮肥使用效率，降低氮肥使用量之外，將可大幅降低氧化亞氮的排放。

3. 乾燥作業的耗能：稻穀收穫後水分含量大多高於25%，而最適當的儲存狀況則是13-14%，因此需要將稻穀乾燥至最適水分含量，近年此作業多採用稻穀烘乾設備，傳統的烘乾設備使用柴油，因需要產生大量的熱，造成柴油燃燒的碳排頗高，因此若要降低此階段的碳排，可由縮短烘乾時間與改善燃料/能源種類著手，第一，可力行適時收穫，也就是不過早收穫，使稻穀水分含量在田間降至27-28%再收穫，相較於過早收穫的稻穀(水分含量超過30%)，可節約烘乾時間並降低能源使用以及相伴的碳排，前人研究成果顯示，收穫時的玉米或小麥水分每少1%，每噸玉米烘乾時可減少3-5 kg CO<sub>2</sub>e(Choudhury *et al.*, 2023)，而稻米方面，若水分含量差5%，可節省超過15%的烘乾碳排(Müller *et al.*, 2022)。另一方面，可應用生物質能源來替代柴油，像是使用碾米的副產物稻殼，並採用新型烘乾機(設計可燃燒稻殼作為熱源)，可減少柴油耗用並減少碳排，研究指出，採用燃燒稻殼烘乾機來烘乾稻穀，每公噸可以減少97%的碳排(Quispe *et al.*, 2019)。

## 結 論

本研究以生命周期評估LCA方法，依據ISO 14040與ISO 14067標準，建立臺灣稻米產品之碳足跡架構，評估範圍涵蓋原料取得、製造加工、運輸、使用等階段。研究結果顯示，稻米產品的碳排放主要集中於田間栽培階段，其次為使用與加工階段，整體碳足跡結構與國際研究趨勢一致，顯示田間甲烷與氧化亞氮排放為主要熱點來源。造成臺灣稻米碳排相對偏高的原因，與亞熱帶氣候條件、栽培期作次數及肥料投入強度相關。未來若能推廣AWD與延長季中曬田等節水管理技術，將有助於降低湛水狀態下的甲烷生成；同時透過合理化施肥、採用緩效性氮肥或硝化抑制劑，可有效減少氧化亞氮排放；在後段加工階段，若能採行適時收穫與以稻殼燃料取代柴油烘乾，亦可顯著降低能源使

用與碳排放。綜合而言，本研究建立之碳足跡架構與分析結果，可提供我國稻米產品碳管理之基礎依據，並可作為推動低碳生產、碳標籤認證及淨零農業政策的重要參考，促進稻米產業向永續與淨零目標邁進。

## 誌 謝

本研究承蒙米屋智農股份有限公司協助，共同調查其產品生產過程中之資材用量、能源使用量及其他碳排相關項目，謹此誠摯謝忱。

## 參考文獻

1. 五十嵐俊成、後藤英次。2025。北海道における高品質・良食味米生産を目指した施肥・栽培管理技術。日本土壤肥料学雑誌，96(3): 234-240。
2. 沈紅。2020。水稻生產碳足跡評估與減排路徑研究。農業工程學報，36(2)，25-31。
3. 張學焜。1999。台灣稻米栽培之歷史背景及環境與期作性。In. 張彩泉編，台灣稻作發展史(頁259-264) 臺灣，臺北: 臺灣省政府農林廳。
4. 環境部。2024。2024 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。
5. Blengini, G. A. and M. Busto. 2009. The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). *J. Environ. Manage.* 90: 1512-1522.
6. Brodt, S., A. Kendall, Y. Mohammadi, A. Arslan, J. Yuan, I. S. Lee and B. Linqvist. 2014. Life cycle greenhouse gas emissions in California rice production. *Field Crops Res.* 169: 89-98.
7. California Department of Food and Agriculture (CDFA). 2013. California Agricultural Production Statistics: Field Crops. CDFA, Sacramento, CA.
8. Carrijo, D. R., M. E. Lundy and B. A. Linqvist. 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying management: A meta-analysis. *Field Crops Res.* 203: 173–180.
9. Choudhury, S., B. Pradhan, S. A. J. Francis and D. S. Roy. 2023. An energy efficient fog level resource management scheme for software defined cities. *Sustainable Energy Technol. Assess.* 57: 103289.
10. Cole, C. V., J. Duxbury, J. Freney, O. Heinemeyer, K. Minami, A. Mosier, K. Paustian, N. Rosenberg, N. Sampson, D. Sauerbeck and Q. Zhao. 1997. Global estimates of

- potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient Cycling Agroecosyst.* 49: 221-228.
11. Cordeiro, E. U., L. Arenas-Calle, D. Woolf, S. Sherpa, S. Poonia, K. Kritee, R. Dubey, A. Choudhary, V. Kumar and A. McDonald. 2024. The fate of rice crop residues and context-dependent greenhouse gas emissions: Model-based insights from Eastern India. *J. Clean. Prod.* 435: 140240.
  12. FAO. 2024. Emissions from crops: Rice cultivation. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GR>
  13. Freney, J. R. 1997. Strategies to reduce gaseous emissions of nitrogen from irrigated agriculture. *Nutrient Cycling Agroecosyst.* 48: 155-160.
  14. Guo, C., L. Zhang, P. Jiang, Z. Yang, Z. Chen, F. Xu, X. Guo, Y. Sun and J. Ma. 2024. Grain chalkiness is decreased by balancing the synthesis of protein and starch in hybrid indica rice grains under nitrogen fertilization. *Foods* 13: 855.
  15. Halvorson, A. D., S. J. Del Grosso and C. A. Reule. 2008. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. *J. Environ. Qual.* 37: 1337-1344.
  16. Hokazono, S. and K. Hayashi. 2012. Variability in environmental impacts during conversion from conventional to organic farming: a comparison among three rice production systems in Japan. *J. Clean. Prod.* 28: 101-112.
  17. ISO. 2006. ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. International Organization for Standardization, Geneva.
  18. ISO. 2018. ISO 14067: Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification. International Organization for Standardization, Geneva.
  19. Janz, B., S. Weller, D. Kraus, H. S. Racela, R. Wassmann, K. Butterbach-Bahl and R. Kiese. 2019. Greenhouse gas footprint of diversifying rice cropping systems: impacts of water regime and organic amendments. *Agric. Ecosyst. Environ.* 271: 41-54.
  20. Kim, W. J., L. T. Bui, J. B. Chun, A. M. McClung and J. Y. Barnaby. 2018. Correlation between methane (CH<sub>4</sub>) emissions and root aerenchyma of rice varieties. *Plant Breed. Biotechnol.* 6(4): 381-390.

21. Linqvist, B. A., M. M. Anders, M. A. A. Adviento-Borbe, R. L. Chaney, L. L. Nalley, E. F. F. da Rosa and C. van Kessel. 2015. Reducing greenhouse gas emissions, water use, and grain arsenic levels in rice systems. *Global Change Biol.* 21(1): 407-417.
22. MacKenzie, A. F., M. X. Fan and F. Cadrin. 1998. Nitrous oxide emission in three years as affected by tillage, corn–soybean–alfalfa rotations, and nitrogen fertilization. *J. Environ. Qual.* 27: 698-703.
23. McSwiney, C. P. and G. P. Robertson. 2005. Nonlinear response of N<sub>2</sub>O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays* L.) cropping system. *Global Change Biol.* 11: 1712-1719.
24. Moresi, M. and A. Cimini. 2025. Effect of malthouse size and transportation on the environmental profile of malt production. *Sustainability.* 17(11): 5077.
25. Mosier, A. R., J. M. Duxbury, J. R. Freney, O. Heinemeyer and K. Minami. 1996. Nitrous oxide emission from agricultural fields: assessment, measurement and mitigation. *Plant Soil.* 181: 95-108.
26. Müller, A., M. T. Nunes, V. Maldaner, P. C. Coradi, R. S. de Moraes, S. Martens, A. F. Leal, V. F. Pereira and C. K. Marin. 2022. Rice drying, storage and processing: effects of post-harvest operations on grain quality. *Rice Sci.* 29: 16-30.
27. Oo, A. Z., S. Sudo, T. Fumoto, K. Inubushi, K. Ono, A. Yamamoto, S. D. Bellingrath-Kimura, K. T. Win, C. Umamageswari, K. S. Bama, M. Raju, K. Vanitha, P. Elayakumar, V. Ravi and V. Ambethgar. 2020. Field validation of the DNDC-Rice model for methane and nitrous oxide emissions from double-cropping paddy rice under different irrigation practices in Tamil Nadu, India. *Agriculture* 10: 355.
28. Quispe, I., R. Navia and R. Kahhat. 2019. Life cycle assessment of rice husk as an energy source: a Peruvian case study. *J. Clean. Prod.* 209: 1235-1244.
29. Ritchie, H., P. Rosado, M. Roser. 2022. Environmental Impacts of Food Production. Published online at OurWorldinData.org. Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>' [Online Resource]
30. Smil, V. 2004. *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production.* MIT Press, Cambridge, MA.

31. Thanawong, K., S. R. Perret and C. Basset-Mens. 2014. Eco-efficiency of paddy rice production in Northeastern Thailand: a comparison of rain-fed and irrigated cropping systems. *J. Clean. Prod.* 73: 204-217.
32. Wang, M. X., X. F. Xia, Q. J. Zhang and J. G. Liu. 2010. Life cycle assessment of a rice production system in Taihu region, China. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* 17: 157-161.
33. Yan, X., L. Du, S. Shi and G. Xing. 2000. Nitrous oxide emission from wetland rice soil as affected by the application of controlled-availability fertilizers and mid-season aeration. *Biol. Fertil. Soils.* 32: 60-66.

# Establishing the Carbon Footprint of Agricultural Products Across the Life Cycle: A Case Study of Rice Products<sup>1</sup>

Yi-Chien Wu<sup>2\*</sup>, Chi-Shiou Kuo<sup>3</sup>, Chung-Yi Liao<sup>4</sup>, Cheng-Hong Li<sup>5</sup>  
and Chi-Yong Teng<sup>5</sup>

## ABSTRACT

This study applied the Life Cycle Assessment (LCA) approach in accordance with ISO 14040 and ISO 14067 standards to establish a carbon footprint framework for rice products in Taiwan. The assessment covered the stages of raw materials, production, transportation, and use. The results showed that the total carbon footprint of one kg of polished rice was 2.07 kg CO<sub>2</sub>e. Among all stages, field cultivation was identified as the dominant source of emissions, accounting for approximately 70 % of the total, followed by production (9%) and the use stage (19%). Within the field stage, methane emissions contributed nearly half of the total carbon footprint, representing the primary hotspot, followed by nitrous oxide emissions and the upstream production of inorganic nitrogen fertilizers. The drying operation was the main contributor to carbon emissions in the production stage, accounting for more than half of that stage's total. Compared with studies conducted in Japan, the United States, and Italy, the carbon footprint of Taiwan's rice products was slightly higher than those of Japan and the U.S., but lower than that of Italy, indicating opportunities for improvement in resource use efficiency and energy management within Taiwan's production system. The higher

---

<sup>1</sup> Contribution No.1113 from Taichung DARES,COA.

<sup>2</sup> Associate Researcher of Crop Improvement Section Taichung DARES, Changhua, Taiwan, ROC.

<sup>3</sup> Research Assistance of Crop Improvement Section, Taichung DARES, Changhua, Taiwan, ROC.

<sup>4</sup> Assistant Researcher Crop Environment Section, Taichung DARES, Changhua, Taiwan, ROC.

<sup>5</sup> Assistant Researcher Crop Improvement Section, Taichung DARES, Changhua, Taiwan, ROC.

\*Corresponding Author: Yi-Chien Wu, Email: wuyc@tcdares.gov.tw

emissions were mainly attributed to greater methane generation under subtropical climatic conditions and the relatively higher rates of nitrogen fertilizer application and cropping frequency. Overall, the key emission hotspots were concentrated in the field and drying stages, suggesting that field management practices and energy utilization efficiency have substantial impacts on the carbon footprint. Recommended mitigation strategies include promoting alternate wetting and drying (AWD) irrigation and prolonged mid-season drainage to reduce methane emissions, adopting optimized nitrogen management and slow-release fertilizers to mitigate nitrous oxide emissions, and improving rice drying processes to enhance energy efficiency during postharvest processing. The findings of this study not only reveal the structural characteristics of the carbon footprint of Taiwan's rice products but also provide a quantitative foundation and reference for advancing carbon labeling, low-carbon production, and net-zero agricultural policies in the rice industry.

**Key words:** rice, greenhouse gas (GHG), carbon footprint, global warming potential, life cycle assessment (LCA), product category rule, methane

# 保鮮劑預措處理提升百合切花貯藏後之瓶插品質<sup>1</sup>

馮泓文<sup>2</sup>、陳彥樺<sup>2\*</sup>

## 摘 要

為解決低溫黑暗貯藏造成百合(*Lilium* spp. L.)切花品質下降之問題，本研究評估商用保鮮劑「可利鮮」(Chrysal Professional *Lilium*)及臺中區農業改良場研發之國產保鮮劑「百保」作為百合切花貯藏前預措溶液之效益。「莎曼莎」、「節奏舞者」及「試金石」三品種預措處理 24 hr 後，置於 5°C 黑暗冷藏庫離水貯藏 8 日。相較於預措自來水之對照組，預措「可利鮮」及「百保」可使貯藏期間鮮重損失依品種降低 4.0%-43.2%。貯藏結束後瓶插，預措保鮮劑處理可使葉片黃化時間延後 2.1-3.9 倍，瓶插期間葉綠素 SPAD 讀值及光系統 II 光化學效率(Fv/Fm)維持穩定。單花壽命及瓶插壽命因品種而異，「莎曼莎」及「節奏舞者」單花壽命較對照組提升 12.2%-57.8%，瓶插壽命延長 23.3%-47.6%；「試金石」相對耐貯藏，單花壽命僅增加 10.9%-15.6%，瓶插壽命則與對照組無顯著差異，主要效用在維持葉片品質。依研究結果所示，「可利鮮」及「百保」皆為良好之預措溶液，其中，「百保」成本僅為進口保鮮劑的一半以下，且兼具環境友善與經濟效益，整體較進口保鮮劑更具優勢。

**關鍵字：**瓶插壽命、單花壽命、葉片黃化、鮮重變化、採後處理

## 前 言

百合(*Lilium* spp. L.)為臺灣種植面積及產量第二大宗之切花作物。根據農業統計年報，113 年全臺總種植面積為 378 公頃，產地主要集中在中部地區，其中農業部臺中區農業改良場(以下簡稱「臺中場」)所轄之臺中、彰化及南投三縣市合計占百合總種植面積的 94.7% (農業部農糧署，2025b)。每年 1-2 月春節期間為百合交易量之最高峰(農業部農糧署，2025a)，為因應龐大的切花需求量，農民經常將採收後之百合切花裝箱低溫貯藏，再於年節期間販售。然而，低溫貯藏容易造成切花出庫後之瓶插品質下降，亟待克服。

<sup>1</sup> 農業部臺中區農業改良場第 1120 號研究報告。

<sup>2</sup> 農業部臺中區農業改良場計畫助理、副研究員。

\*通訊作者：陳彥樺，Email: chenyh@tcdares.gov.tw

低溫貯藏會造成切花生理劣變並降低觀賞品質，如木質部導管氣泡栓塞(air emboli)、葉片或花瓣萎凋脫落、葉片黃化、莖向地性彎曲(geotropic bending)、莖背地性彎曲(negative geotropic bending)、呼吸作用速率增加、乙烯生成及瓶插壽命縮短等(Maxie *et al.*, 1973; Joyce, 1988; van Meeteren, 1992; Philosoph-Hadas *et al.*, 2001; Reid, 2002; Ahmad *et al.*, 2012)。以百合為例，Han 與 Miller (2003)指出東方型百合‘Stargazer’切花在低溫(3.3°C)黑暗貯藏 2 週後會增加乙烯生成量及其對乙烯之敏感性，導致葉片迅速黃化、花苞消蕾(bud blasting)並縮短瓶插壽命。Han (2003)則指出低溫貯藏會導致碳水化合物不足，進而增加花苞消蕾率，長度 7.0 cm 之花苞在未經貯藏的情況下皆能正常開放，然而，低溫貯藏 2 週後，有 40%的花苞消蕾，若將冷藏後之切花瓶插於含 2%糖之溶液中可以使其恢復 100%的開放率。因此，本研究以葉片黃化與花朵開放表現作為評估預措處理在百合低溫貯藏後效果之主要指標。

為減輕前述低溫貯藏造成之不利影響，實務上常於貯藏前進行保鮮劑預措處理(pretreatment，又稱迫吸 pulsing)，讓切花在短時間內吸收保鮮液。保鮮劑的主要成分包括醣類、殺菌劑(biocide)、酸化劑(acidifier)、乙烯抑制劑(ethylene inhibitor)及植物生長調節劑(plant growth regulator) (Reid & Jiang, 2012)。預措醣類即可提升百合切花貯藏後之瓶插品質，以夏季採收之百合‘Brindisi’為例，其切花於 2.5°C 離水貯藏後瓶插壽命低於 7 天，且部分小花苞乾枯或開放後花朵畸形(花瓣扭曲或花朵較小未達正常尺寸)，經 100 g·L<sup>-1</sup> 蔗糖預措處理 20 hr 可使其瓶插壽命延長至 7 天以上，並且完全沒有出現花苞乾枯及花朵畸形的情況(Prisa *et al.*, 2013)。然而，較高濃度的糖會加速百合葉片黃化，添加激勃素(gibberellin, GA)及細胞分裂素(cytokinin)則能保持葉片鮮綠(Han, 2003; Reid & Jiang, 2012; Geng *et al.*, 2015)。Han (2003)指出，東方型百合‘Stargazer’瓶插於含有 2% 蔗糖保鮮液會使葉片提前 3-4 天黃化，甚至造成貯藏後的切花葉片壞疽(necrosis)或黑化(blackening)，若於瓶插前葉面噴施 50 mg·L<sup>-1</sup> GA<sub>4+7</sub> + BA (6-benzylaminopurine)則能有效延緩葉片黃化，使葉片維持鮮綠時間延長約 5 天。

切花貯藏前預措保鮮劑十分重要，惟百合採收後保鮮長期仰賴進口保鮮劑，成本易受國際原物料價格及運費起伏影響。而且部分進口保鮮劑添加銀化合物，如：硫代硫酸銀(silver thiosulfate)及硝酸銀(silver nitrate, AgNO<sub>3</sub>)，若使用完畢之廢液未能妥善處理可能會造成重金屬汙染(Balas *et al.*, 2006)，因此，開發成本較低且對環境衝擊小(或無)之國產保鮮劑實屬必要。臺中場多年來積極投入切花採後處理相關研究，先前已成功研發出百合專用之保鮮劑(以下簡稱「百保」，英文名“Tcdares”)，成分不含重金屬銀離子，且原料易取得、可量產、耐儲存、對環境友善。除此之外，「百保」之成本不到市售進

口保鮮劑的一半，能提升生產、運輸、零售至消費端使用保鮮劑之意願，有助於推廣採後保鮮的正確觀念。「百保」之研發主要作為瓶插液(holding solution)使用，能抑制微生物繁殖、提升吸水效率、提供碳源(醣類)，並維持適宜之溶液滲透壓，穩定切花瓶插品質。然而，其作為採收後預措液(pulsing solution)的效果尚待評估。因此，本研究旨在探討本場研發之保鮮劑「百保」作為百合切花低溫貯藏前預措溶液之可行性，並比較其與商用保鮮劑「可利鮮(Chrysal)」在改善出庫後瓶插品質上的效用差異。

## 材料與方法

### 一、試驗材料與研究方法

於 2024 年 2 月 6 日自彰化田尾購入百合切花，並於 1 hr 內送至臺中場進行試驗。參試品種為百合‘莎曼莎(Samantha)’、‘節奏舞者(Tabledance)’及‘試金石(Touchstone)’三品種，每支切花具 4 個花苞，莖定長 75 cm，並去除 15-20 cm 下位葉。預措保鮮劑 24 hr 後，於 2024 年 2 月 7 日裝箱入庫離水貯藏(入庫日定義為貯藏第 0 天)，置於黑暗之 5°C 冷藏庫，並於 2024 年 2 月 15 日出庫，累計貯藏 8 天。預措之保鮮劑分別為市售進口保鮮劑「可利鮮(百合專用粉劑)」(Chrysal Professional *Lilium*; Chrysal International, Naarden, The Netherlands) 10 g·L<sup>-1</sup> 及臺中場研發之「百保」，並以自來水為對照組。出庫後剪去基部 3 cm，並將切花瓶插於自來水中，觀察後續品質變化。每品種每處理 5 重複，每支切花為 1 重複。預措處理及瓶插為同一環境，以 T8 日光燈管作為人工光源，平均光強度約 7.5 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>，每日照光 12 hr (07:00-19:00)，溫度 25±1°C，相對濕度 60%-70%。

### 二、調查項目

- (一) 總吸水量：自瓶插開始至壽命結束之累積吸水量。
- (二) 鮮重變化率：(所測鮮重-初始鮮重)/初始鮮重×100%。其中，所測鮮重為各測定日之鮮重，初始鮮重為出庫定長(瓶插前)之鮮重。
- (三) 最大鮮重增加率：每支切花鮮重變化率達最大值之平均，若鮮重未增加則以 0 計。
- (四) 葉片黃化天數：自瓶插日開始至葉片出現黃化之天數。
- (五) 葉綠素讀值測定：以葉綠素計(Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus; Konica Minolta, Tokyo, Japan)測定最下位 2 片葉之 SPAD (soil and plant analysis development)讀值，取其平均值。

- (六) 葉綠素螢光(chlorophyll fluorescence)測定：葉片經 30 min 暗馴化(dark acclimation)，以攜帶式葉綠素螢光分析儀(Chlorophyll Fluorimeter Pocket PEA; Hansatech, Norfolk, UK)測定最下位葉片之光系統 II (photosystem II, PSII)光化學效率(maximum quantum efficiency of PSII photochemistry;  $F_v/F_m$ )。其中  $F_o$  (minimum fluorescence)為暗適應後之基礎螢光值，主要來自天線系統(light-harvesting complex)； $F_m$  (maximum fluorescence)為暗適應後可量得之最大螢光值； $F_v$  (variable fluorescence) =  $F_m - F_o$ 。
- (七) 花朵直徑：於花被片(tepal)完全展開時，沿兩個互相垂直方向量測直徑並取平均值。
- (八) 單花壽命：單支切花上各朵小花自開放至萎凋的日數。一半以上花瓣褐化或脫落視為壽命結束。
- (九) 瓶插壽命：自瓶插日開始至全部花朵萎凋之天數。

### 三、圖表及統計分析

本試驗採完全隨機設計(completely randomized design)。使用 JMP Pro 17 (JMP Statistical Discovery LLC, Cary, North Carolina, USA)軟體進行變異數分析(analysis of variance)及最小顯著性差異檢定(least significant difference test, LSD)比較各處理間之差異顯著性，並進行繪圖。百分比資料於統計分析前先經角度轉換(arcsine square-root transformation)。

## 結果與討論

預措 24 hr 期間，保鮮劑種類對吸水速率的影響因品種而異。‘莎曼莎’及‘節奏舞者’以「可利鮮」吸水量最高，自來水次之，「百保」最低；‘試金石’則各組間無顯著差異(圖一)。經 8 天 5°C 黑暗貯藏後，自來水對照組鮮重明顯下降，三品種較貯藏前減少 5.7% -15.1%，相較之下，預措「百保」及「可利鮮」能有效減少貯藏期間之鮮重損失，失重情形較對照組輕微(圖一)。Kalinowski 與 Dole (2024)指出菊花使用商用保鮮劑預措 8 hr，經 4-12 週貯藏後鮮重損失(Fresh weight loss)顯著少於對照組。本研究結果與其一致，顯示保鮮劑預措有助於維持貯藏期間鮮重，提升切花耐貯性。貯藏結束後將切花瓶插於自來水中，瓶插期間之品質變化如表一及圖二至七。

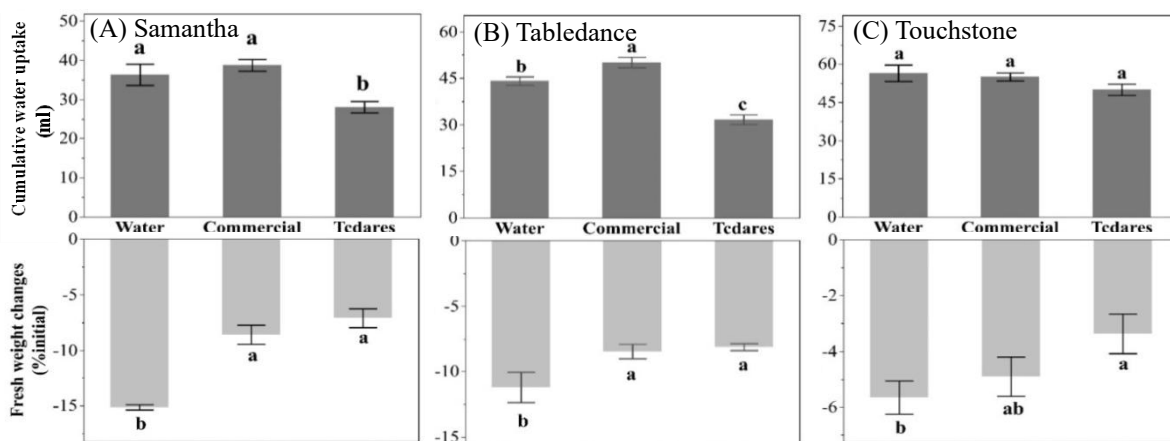
就品種表現而言，重瓣百合‘莎曼莎’為三品種中最不耐貯藏者，尤以自來水對照組最為明顯，其在出庫瓶插後迅速失去觀賞價值。對照組葉片於瓶插 1-2 天內即黃化(表

一)，葉綠素計 SPAD 讀值及 PSII 光化學效率(Fv/Fm)急遽下降(圖三 A)，單花壽命及瓶插壽命分別僅 4.1 天及 4.2 天(表一)。鮮重雖然於第 1 天短暫上升，但隨即急遽下降(圖二 A)，顯示其無法維持水分平衡。預措「百保」24 hr 能顯著改善上述問題。葉片品質方面，「百保」處理組黃化天數延長至 6.2 天(為對照組 3.9 倍)，瓶插期間 SPAD 讀值及 Fv/Fm 維持穩定(表一；圖三 A)。花朵壽命方面，單花壽命及瓶插壽命分別較對照組提升 22.0%及 47.6% (表一)，此效果主要來自第 3 及第 4 朵花壽命的延長，其日數較對照組增加 28.6%及 47.6% (圖四)。整體而言，‘莎曼莎’預措「百保」及「可利鮮」在葉片與花朵各項指標上的效果相近，外觀亦無明顯差異(圖七 A)，「百保」在部分性狀略優於「可利鮮」，但統計上差異不顯著，惟瓶插期間總吸水量「百保」略低於「可利鮮」(表一；圖二 A)。

單瓣百合‘節奏舞者’預措自來水之對照組同樣呈現貯藏後品質快速下降的情形。其鮮重在瓶插 1 天後急遽下降(圖二 B)，葉片在 5.4 天出現黃化(表一)，SPAD 讀值及 Fv/Fm 亦在瓶插第 5 至 6 天後下降(圖三 B)，單花壽命及瓶插壽命為 4.5 天及 8.6 天(表一)。預措「百保」可明顯改善貯藏後之瓶插品質，其鮮重於瓶插期間下降較為緩慢(圖二 B)，葉片黃化天數達 11.2 天，為對照組的 2.1 倍(表一)，SPAD 讀值及 PSII 光化學效率均能維持穩定(圖三 B)。在花朵壽命方面，「百保」處理組單花壽命較對照組增加 2.2 天，提升 48.9%；瓶插壽命亦延長 2.6 天，提升 30.2% (表一)。就花序內各朵花之壽命而言，「百保」對於第 1 及第 2 朵花之延長效果最為顯著，日數增加 78.9%-85.0%，而第 3 及第 4 朵花雖有延長的趨勢，但統計上未達顯著差異(圖五)。與‘莎曼莎’相似，‘節奏舞者’在「百保」與「可利鮮」預措處理間各項品質指標及外觀幾無差異(表一；圖七 B)，僅在吸水量上「可利鮮」優於「百保」(表一；圖二 B)，顯示「百保」在維持貯藏後品質方面可達到與市售進口保鮮劑「可利鮮」相當之效果。

‘試金石’整體表現出較佳的耐貯性。自來水對照組葉片黃化日數為 4.4 天，平均單花壽命 6.4 天，瓶插壽命 11.4 天，瓶插第 2 日葉綠素 SPAD 讀值及 PSII 光化學效率即顯著下降。對照組在瓶插期間之總吸水量較保鮮劑處理組多，鮮重增加幅度也較大(表一；圖二 C)，顯示‘試金石’可能相對耐貯藏，預措保鮮劑對其主要貢獻在於延緩葉片黃化與維持光合作用能力，而非進一步提升鮮重。預措「百保」可顯著維持葉片鮮綠，葉片於 11.4 天才出現黃化，為對照組的 2.6 倍(表一)，瓶插期間葉綠素 SPAD 讀值及 PSII 光化學效率亦維持穩定(圖三 C)。單花壽命為 7.4 天，較對照組增加約 1 天，提升 15.6%，以第 1 及第 2 朵花延長效果較為明顯(圖六)，但瓶插壽命與對照組間則無顯著差異(表一；

圖七 C)。預措「可利鮮」之效果與「百保」類似，同樣可維持葉片與光合作用相關指標，兩者間並無明顯差異。



圖一、保鮮劑對百合(A)‘莎曼莎’、(B)‘節奏舞者’及(C)‘試金石’切花預措 24 hr 期間累積吸水量及貯藏後失重率之影響。

Fig. 1. Effect of preservative on cumulative water uptake during 24 hr pretreatment and fresh weight loss rate after storage of cut lilies (A) ‘Samantha’, (B) ‘Tabledance’ and (C) ‘Touchstone’. Different letters within a column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) by Fisher’s LSD test. Error bars = standard error.

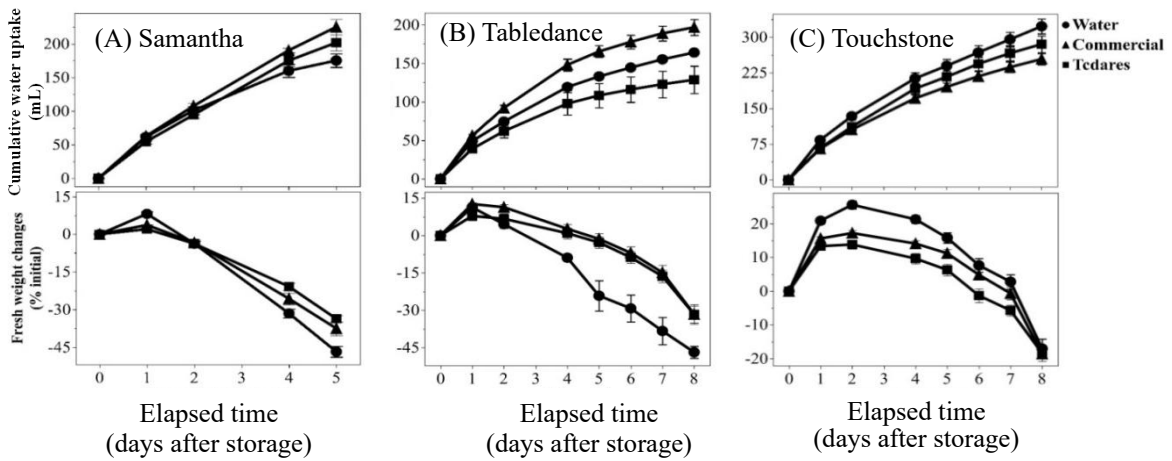
表一、預措處理對百合‘莎曼莎’、‘節奏舞者’及‘試金石’切花瓶插品質之影響

Table 1. Effect of preservative on vase quality of cut lilies ‘Samantha’, ‘Tabledance’ and ‘Touchstone’

Cultivar	Pretreatment solution	Total water uptake (ml)	Maximum fresh weight increment (%)	Days to leaf yellowing (d)	Average flower diameter (cm)	Average individual flower longevity (d)	Vase life (d)
Samantha	Water	175.5 <sup>1</sup> b <sup>2</sup>	8.1 a	1.6 b	10.1 a	4.1 b	4.2 b
	Commercial	225.5 a	3.7 b	5.4 a	11.0 a	4.6 ab	5.4 a
	Tcdares	202.1 ab	2.0 b	6.2 a	10.8 a	5.0 a	6.2 a
Tabledance	Water	163.9 ab	12.6 a	5.4 b	20.3 a	4.5 b	8.6 b
	Commercial	196.7 a	11.3 ab	9.8 a	21.0 a	7.1 a	10.6 a
	Tcdares	128.6 b	8.0 b	11.2 a	20.7 a	6.7 a	11.2 a
Touchstone	Water	323.0 a	25.6 a	4.4 b	18.6 a	6.4 b	11.4 a
	Commercial	254.1 b	17.2 b	11.6 a	18.7 a	7.1 ab	11.6 a
	Tcdares	285.4 ab	14.0 b	11.4 a	18.3 a	7.4 a	11.4 a

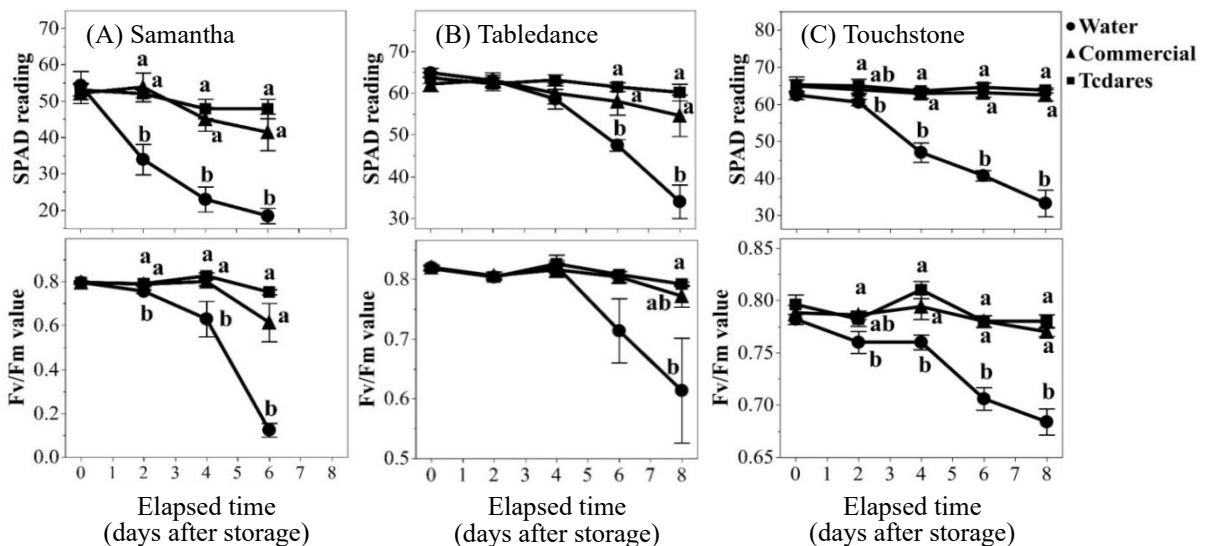
<sup>1</sup>Data are means of 5 replicates.

<sup>2</sup>Different letters within a column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) by Fisher’s LSD test.



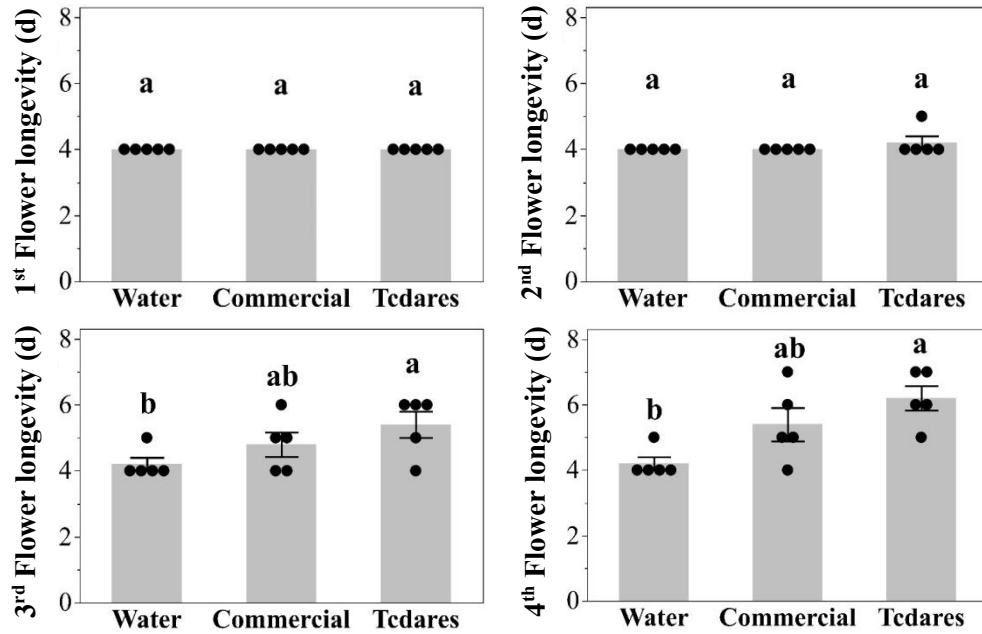
圖二、預措處理對百合(A)‘莎曼莎’、(B)‘節奏舞者’及(C)‘試金石’切花瓶插期間累積吸水量及鮮重變化率之影響。

Fig. 2. Effect of pretreatment on cumulative water uptake and fresh weight changes of cut lilies (A) ‘Samantha’, (B) ‘Tabledance’ and (C) ‘Touchstone’ during the vase period. Error bars = standard error.



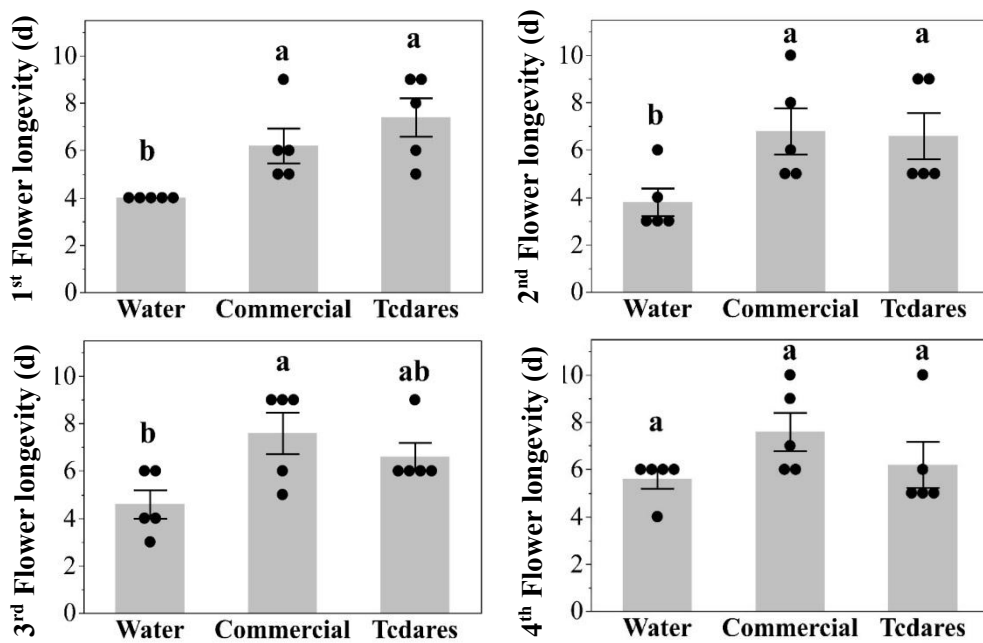
圖三、預措處理對百合(A)‘莎曼莎’、(B)‘節奏舞者’及(C)‘試金石’切花瓶插期間葉片葉綠素讀值及光系統 II 光化學效率(Fv/Fm)變化之影響。

Fig. 3. Effect of pretreatment on SPAD reading and PSII efficiency (Fv/Fm) of cut lilies (A) ‘Samantha’, (B) ‘Tabledance’ and (C) ‘Touchstone’ during the vase period. Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) by Fisher's LSD test. Error bars = standard error.



圖四、預措處理對百合‘莎曼莎’切花瓶插單花壽命之影響。

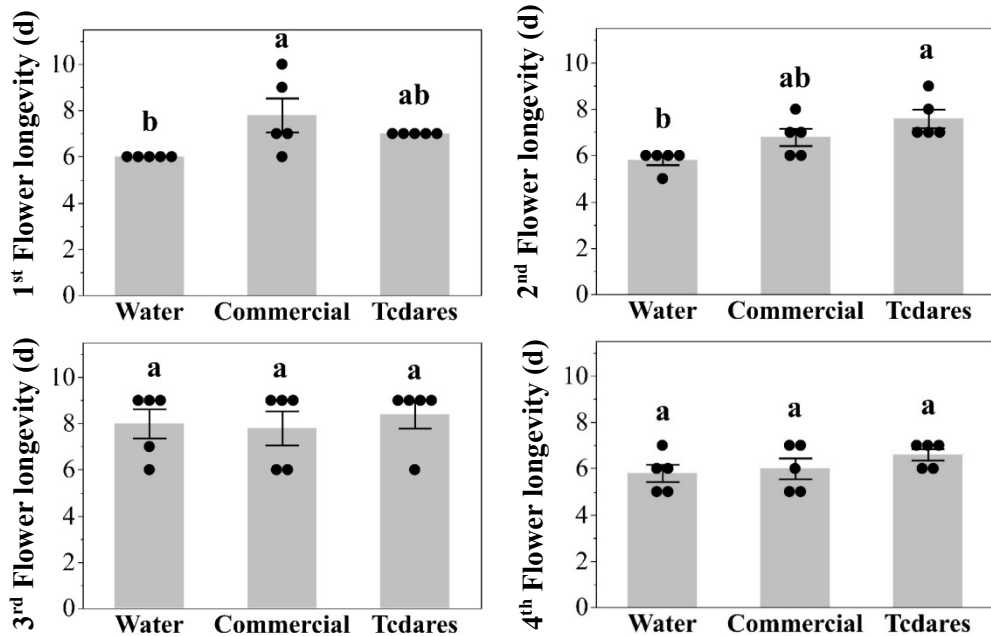
Fig. 4. Effect of pretreatment on individual flower longevity of cut lily ‘Samantha’. Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) by Fisher’s LSD test. Error bars = standard error.



圖五、預措處理對百合‘節奏舞者’切花瓶插單花壽命之影響。

Fig. 5. Effect of pretreatment on individual flower longevity of cut lily ‘Tabledance’.

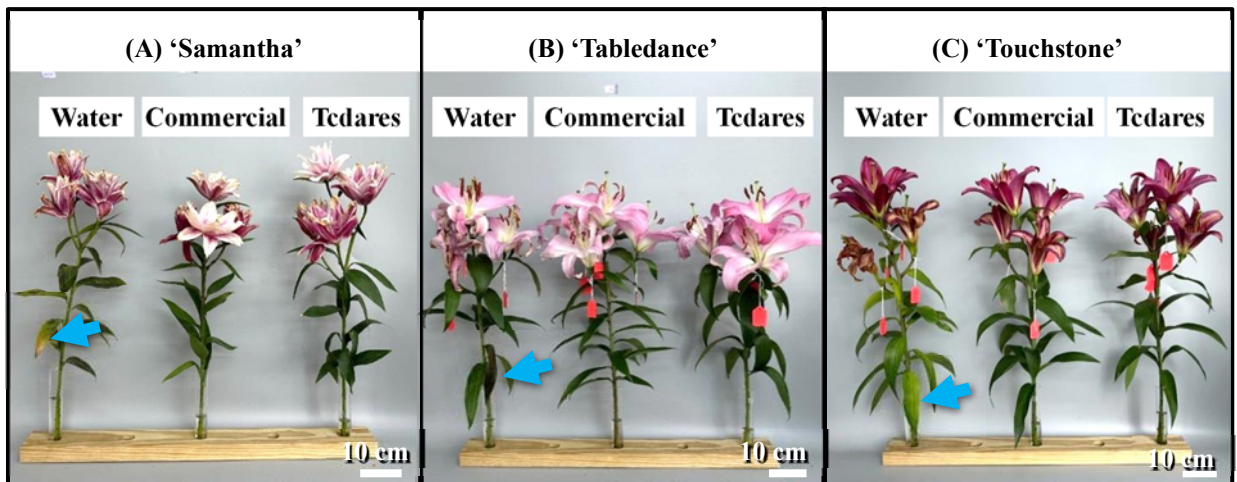
Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) by Fisher's LSD test. Error bars = standard error.



圖六、預措處理對百合‘試金石’切花瓶插單花壽命之影響。

Fig. 6. Effect of pretreatment on individual flower longevity of cut lily ‘Touchstone’.

Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) by Fisher’s LSD test. Error bars = standard error.



圖七、百合(A)‘莎曼莎’瓶插第 4 天、(B)‘節奏舞者’瓶插第 6 天及(C)‘試金石’瓶插第 7 天之外觀變化。藍色箭頭指向葉片黃化或萎凋。Bar = 10 cm。

Fig. 7. Appearance changes of (A) ‘Samantha’ on day 4, (B) ‘Tabledance’ on day 6 and (C) ‘Touchstone’ on day 7. Blue arrows indicate leaf yellowing or wilting. Bar = 10 cm.

綜觀三品種的表現，耐貯性由高至低依序為‘試金石’、‘節奏舞者’、‘莎曼莎’，其中‘莎曼莎’對貯藏逆境最為敏感，因此預措處理的效果最為顯著。三品種之共同趨勢為：相較自來水對照，預措「百保」與「可利鮮」皆可降低貯藏失重、延緩葉片黃化，並使瓶插期間葉綠素 SPAD 讀值與 PSII 指標(Fv/Fm)維持穩定。惟在花朵壽命與瓶插壽命方面，反應呈現品種差異：‘莎曼莎’與‘節奏舞者’之改善幅度較大；相對耐貯藏之‘試金石’則主要表現在葉片品質維持，瓶插壽命未顯著延長。Leonard 與 Nell (2004)指出，東方型百合(oriental lilies) ‘Acapulco’、‘Kissproof’、‘Noblesse’及‘Star Gazer’在 3°C 黑暗貯藏前預措含有 GA+BA 的 Chrysal BVB 1 hr，可完全避免或大幅延緩葉片黃化及脫落，SPAD 讀值在第 12 天依然維持穩定，且‘Acapulco’及‘Noblesse’瓶插壽命延長 2-3 天。「百保」配方中同樣含有植物生長調節劑，在本研究的三個百合品種中，預措「百保」及「可利鮮」皆顯著延緩葉片黃化，葉片黃化天數約為對照組的 2.1 至 3.9 倍，且瓶插期間有效維持 SPAD 讀值與 PSII 光化學效率(圖三)，與前人研究激勃素及細胞分裂素延緩葉片老化之結論相符。

在生理機制上，GA 會促進 DELLA 蛋白(DELLA proteins)降解。DELLA 蛋白之名稱源自其 N 端保守胺基酸序列 Asp-Glu-Leu-Leu-Ala，會抑制細胞伸長(elongation)與增生(proliferation)，因此 GA 能間接維持細胞活性並延緩老化(Ritonga *et al.*, 2023)。細胞分裂素則經由 AHK3 受體(Arabidopsis histidine kinase receptor 3)啟動抗老化路徑，誘導 type-A ARR (type-A Arabidopsis response regulator)與 CRF6 (cytokinin response factor 6)基因表現，進而抑制葉綠素降解、減少葉片黃化，並有助於延長切花瓶插壽命(Zwack *et al.*, 2013; Guo *et al.*, 2021)。此外，細胞分裂素及激勃素皆與離層酸(Abscisic acid)拮抗，並與老化荷爾蒙乙烯拮抗或相互調節，有助於延長葉片及瓶插壽命(Iqbal *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2022)。本研究「百保」及「可利鮮」處理組在延緩葉片黃化及維持 PSII 光化學效率上的優勢，推測來自上述荷爾蒙的調節作用，並有助於延長瓶插壽命。

除了荷爾蒙外，醣類亦是提升貯藏後瓶插品質之關鍵因子。先前以糖度計(Digital Refractometer PR-201α; Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)檢測結果顯示「可利鮮」中含有糖分(數據未顯示)。Geng 等人(2015)研究指出東方型雜交百合‘Sorbonne’迫吸 sucrose 30 g·L<sup>-1</sup> + 8-HQC 200 mg·L<sup>-1</sup> 18 hr 後，相較於去離子水對照組，開花率從 75%提升至 100%，且含糖溶液可降低瓶插後期丙二醛(malondialdehyde)濃度，提高超氧歧化酶(superoxide dismutase)活性，顯示切花受到的氧化傷害程度較低。其他作物例如劍蘭(*Gladiolus ×hortulanus*)‘Peter Pears’，預措 sucrose 200 g·L<sup>-1</sup> + 8-HQ 300 mg·L<sup>-1</sup> 12 hr，顯著提升花被片中的還原糖及非還原糖含量，單一花序開放的小花(floret)數量增加，花徑及花被片

長寬增加，花青素及類胡蘿蔔素濃度亦提高，整體切花品質明顯優於不含糖的處理 (Singh *et al.*, 2009)。本研究於貯藏前預措含糖之「可利鮮」及「百保」，‘莎曼莎’及‘節奏舞者’之單花壽命提升 12.2%至 57.8%，瓶插壽命提升 23.3%至 47.6% (表一)；‘試金石’因較耐貯藏，單花壽命增加幅度較小(10.9%至 15.6%)，瓶插壽命則無顯著差異。

可溶性碳水化合物為植物呼吸作用的主要基質(substrate)，亦可透過調節細胞內滲透勢與水分吸收，促進細胞膨大及組織生長(Monteiro *et al.*, 2002; Norikoshi *et al.*, 2016)。其中蔗糖是植物儲藏、積累及運輸光合同化物的主要形式，也是花瓣生長的主要碳源 (Lalonde *et al.*, 1999; Mayak *et al.*, 2001; Yamada *et al.*, 2007)。切花採收後脫離植株，無法再由母株供應養分及光合同化物，當植體內碳水化合物含量不足時，會加速乙烯生成並提高切花對乙烯的敏感性(Pun & Ichimura, 2003; van Doorn, 2004; Hoerberichts *et al.*, 2007)。在低溫黑暗貯藏期間，切花無法行光合作用，但呼吸作用仍持續消耗碳水化合物，更加速老化進程(Ichimura & Suto, 1999; Pun & Ichimura, 2003)。因此，貯藏前的預措處理至關重要，預措含糖溶液可提高植體內碳水化合物含量，供應呼吸作用與花朵開放所需之基質，並增強花器作為積儲(sink)之強度，有助於維持滲透勢與水分平衡(van Doorn, 2004; Singh *et al.*, 2009; Kato *et al.*, 2022)。此外，適當的糖分供應亦可透過抑制或延緩乙烯生成、降低組織對乙烯的敏感性，並減緩老化相關之氧化壓力，進一步延長切花壽命(Ichimura & Hiraya, 1999; Pun & Ichimura, 2003; Geng *et al.*, 2015; Zeng *et al.*, 2023)。本研究中，「百保」及「可利鮮」處理組在提升單花壽命與瓶插壽命上之表現，推測與預措期間補充糖類、增加植體內碳水化合物儲備有關，使切花在低溫貯藏及後續瓶插期間具有較充足的能量供應，進而延緩老化。

綜合本研究結果，百合切花在低溫貯藏前預措進口商用保鮮劑「可利鮮」或臺中場研發之國產保鮮劑「百保」，皆能顯著延緩葉片黃化，維持葉綠素 SPAD 讀值及 PSII 光化學效率(Fv/Fm)穩定，並提升單花壽命及多數品種之瓶插壽命，顯示預措處理對改善貯藏後瓶插品質具有關鍵作用。在三個試驗品種中，「百保」整體表現已與「可利鮮」相當，於關鍵品質指標上皆有穩定而優異的表現。另一方面，「百保」配方不含銀離子等重金屬，原料易取得、可量產且成本約為「可利鮮」的一半，除可降低產銷成本外，亦能減少含銀保鮮劑的環境風險，進而提升各環節採用保鮮處理的意願。綜上所述，「百保」可作為進口保鮮劑之替代選項，穩定春節等高峰期百合切花之供應，此外，其環保、低成本的優勢有助於推廣保鮮處理之正確觀念，促進產業永續發展，進而帶動百合產業升級。

## 參考文獻

1. 農業部農糧署。2025a。農產品批發市場交易行情站。  
<https://amis.afa.gov.tw/main/Main.aspx> Accessed November 3, 2025.
2. 農業部農糧署。2025b。農業統計年報。  
<https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx> Accessed November 3, 2025.
3. Ahmad, I., Dole, J. M., Amjad, A., Ahmad, S. 2012. Dry storage effects on postharvest performance of selected cut flowers. *HortTechnology* 22(4), 463-469.
4. Balas, J., Coronado, P. A. G., da Silva, J. A. T., Jayatilleke, M. P. 2006. Supporting post-harvest performance of cut flowers using fresh-flower-refreshments and other vase-water additives. In "Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: Advances and Topical Issues", ed. J. A. T. da Silva. pp. 612-629. Isleworth, UK: Global Science Books.
5. Geng, X. M., Liu, J., Li, M., Okubo, H., Ozaki, Y. 2015. Pulsing treatments of abscisic acid and sucrose for improving postharvest quality of cut lily flowers. *J. Fac. Agric., Kyushu Univ.* 60(1), 87-92.
6. Guo, Y., Ren, G., Zhang, K., Li, Z., Miao, Y., Guo, H. 2021. Leaf senescence: Progression, regulation, and application. *Mol. Hortic.* 1, 5.
7. Han, S. S. 2003. Role of sugar in the vase solution on postharvest flower and leaf quality of oriental lily 'Stargazer'. *HortScience* 38(3), 412-416.
8. Han, S. S., Miller, J. A. 2003. Role of ethylene in postharvest quality of cut oriental lily 'Stargazer'. *Plant Growth Regul.* 40, 213-222.
9. Hoeberichts, F. A., van Doorn, W. G., Vorst, O. F. J., Hall, R. D., van Wordragen, M. F. 2007. Sucrose prevents up-regulation of senescence-associated genes in carnation petals. *J. Exp. Bot.* 58(11), 2873-2885.
10. Huang, P., Li, Z., Guo, H. 2022. New advances in the regulation of leaf senescence by classical and peptide hormones. *Front. Plant Sci.* 13, 923136.
11. Ichimura, K., Suto, K. 1999. Effects of the time of sucrose treatment on vase life, soluble carbohydrate concentrations and ethylene production in cut sweet pea flowers. *Plant Growth Regul.* 28, 117-122.

12. Ichimura, K., Hiraya, T. 1999. Effect of silver thiosulfate complex (STS) in combination with sucrose on the vase life of cut sweet pea flowers. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* 68(1), 23-27.
13. Iqbal, N., Khan, N. A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A., Khan, M. I. R. 2017. Ethylene role in plant growth, development and senescence: Interaction with other phytohormones. *Front. Plant Sci.* 8, 475.
14. Joyce, D. C. 1988. Postharvest characteristics of Geraldton wax flowers. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 113(5), 738-742.
15. Kalinowski, J., Dole, J. M. 2024. Extended storage of cut flowers using sub-zero temperature. *HortTechnology* 34(1), 101-115.
16. Kato, M., Kanda, M., Ichimura, K. 2022. Effects of pulse treatments with sucrose, silver thiosulfate complex (STS) and calcium chloride on the vase life and soluble carbohydrate and aurone levels in cut snapdragon flowers. *Hortic. J.* 91(1), 112-121.
17. Lalonde, S., Boles, E., Hellmann, H., Barker, L., Patrick, J. W., Frommer, W. B., Ward, J. M. 1999. The dual function of sugar carriers: Transport and sugar sensing. *Plant Cell* 11(4), 707-726.
18. Leonard, R. T., Nell, T. A. 2004. Short-term pulsing improves postharvest leaf quality of cut oriental lilies. *HortTechnology* 14(3), 405-411.
19. Maxie, E. C., Farnham, D. S., Mitchell, F. G., Sommer, N. F., Parsons, R. A., Snyder, R. G., Rae, H. L. 1973. Temperature and ethylene effects on cut flowers of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 98(6), 568-572.
20. Mayak, S., Meir, S., Ben-Sade, H. 2001. The effect of transient water stress on sugar metabolism and development of cut flowers. *Acta Hortic.* 543, 190-198.
21. Monteiro, J. A., Nell, T. A., Barrett, J. E. 2002. Effects of exogenous sucrose on carbohydrate levels, flower respiration and longevity of potted miniature rose (*Rosa hybrida*) flowers during postproduction. *Postharvest Biol. Technol.* 26, 221-229.
22. Norikoshi, R., Shibata, T., Niki, T., Ichimura, K. 2016. Sucrose treatment enlarges petal cell size and increases vacuolar sugar concentrations in cut rose flowers. *Postharvest Biol. Technol.* 116, 59-65.
23. Philosoph-Hadas, S., Friedman, H., Meir, S., Berkovitz-SimanTov, R., Rosenberger, I., Halevy, A. H., Kaufman, P. B., Balk, P., Woltering, E. J. 2001. Gravitropism in cut flower stalks of snapdragon. *Adv. Space Res.* 27(5), 921-932.

24. Prisa, D., Burchi, G., van Doorn, W. G. 2013. Effects of low temperature storage and sucrose pulsing on the vase life of *Lilium* cv. Brindisi inflorescences. *Postharvest Biol. Technol.* 79, 39-46.
25. Pun, U. K., Ichimura, K. 2003. Role of sugars in senescence and biosynthesis of ethylene in cut flowers. *Jpn. Agric. Res. Q.* 37(4), 219-224.
26. Reid, M. S. 2002. Postharvest handling systems: Ornamental crops. In "Postharvest Technology of Horticultural Crops", 3rd ed., ed. A. A. Kader. pp. 315-325. Oakland, CA: Univ. California, Agric. Nat. Resour.
27. Reid, M. S., Jiang, C. Z. 2012. Postharvest biology and technology of cut flowers and potted plants. In "Horticultural Reviews, Volume 40", ed. J. Janick. pp. 1-54. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
28. Ritonga, F. N., Zhou, D., Zhang, Y., Song, R., Li, C., Li, J., Gao, J. 2023. The roles of gibberellins in regulating leaf development. *Plants* 12(6), 1243.
29. Singh, A., Kumar, J., Kumar, P. 2009. Influence of sucrose pulsing and sucrose in vase solution on flower quality of modified atmosphere low temperature (MALT)-stored gladiolus cut spikes. *Acta Hortic.* 847, 129-138.
30. van Doorn, W. G. 2004. Is petal senescence due to sugar starvation? *Plant Physiol.* 134(1), 35-42.
31. van Meeteren, U. 1992. Role of air embolism and low water temperature in water balance of cut chrysanthemum flowers. *Sci. Hortic.* 51(3-4), 275-284.
32. Yamada, K., Ito, M., Oyama, T., Nakada, M., Maesaka, M., Yamaki, S. 2007. Analysis of sucrose metabolism during petal growth of cut roses. *Postharvest Biol. Technol.* 43(1), 174-177.
33. Zeng, F., Xu, S., Geng, X., Hu, C., Zheng, F. 2023. Sucrose + 8-HQC improves the postharvest quality of lily and rose cut flowers by regulating ROS-scavenging systems and ethylene release. *Sci. Hortic.* 308, 111550.
34. Zwack, P. J., Robinson, B. R., Risley, M. G., Rashotte, A. M. 2013. Cytokinin response factor 6 negatively regulates leaf senescence and is induced in response to cytokinin and numerous abiotic stresses. *Plant Cell Physiol.* 54(6), 971-981.

# Preservative Pretreatments Improve Post-storage Vase Quality of Cut Lilies (*Lilium* spp. L.)<sup>1</sup>

Hong-Wen Feng<sup>2</sup> and Yen-Hua Chen<sup>2\*</sup>

## ABSTRACT

To mitigate the deterioration in quality of cut lilies (*Lilium* spp. L.) during low temperature dark storage, this study evaluated the effectiveness of a commercial preservative, Chrysal (Chrysal Professional *Lilium*), and a domestically developed preservative, “Tcdares,” formulated by the Taichung District Agricultural Research and Extension Station (TCDARES). Flowering stems of cultivars ‘Samantha’, ‘Tabledance’, and ‘Touchstone’ were pulsed for 24 h in tap water (control), Chrysal, or Tcdares, and then stored without water at 5°C in darkness for 8 d. Compared with the control, pretreatment with either preservative reduced fresh weight loss during storage by 4.0%-43.2%, depending on cultivar. After cold storage and transfer to vase conditions, preservative pretreatments delayed the onset of leaf yellowing by 2.1- to 3.9-fold and maintained relatively stable leaf chlorophyll levels, as indicated by SPAD readings, and maximum quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm) throughout the vase period. Effects on individual flower longevity and vase life varied among cultivars. In ‘Samantha’ and ‘Tabledance’, preservative pretreatments increased individual flower longevity by 12.2%-57.8% and extended vase life by 23.3%-47.6% compared with the control. In contrast, ‘Touchstone’ was relatively tolerant to cold storage. Individual flower longevity increased by only 10.9%-15.6%, and vase life did not differ significantly from the control, with the main benefit of pretreatments being the maintenance of leaf quality. Overall, both Chrysal and “Tcdares” were effective pretreatment solutions. Given that “Tcdares” costs less than half of the imported product and is formulated to be more environmentally friendly, it represents a cost-effective and sustainable alternative for improving the postharvest performance of cut lilies subjected to low temperature dark storage.

**Keywords:** vase life, flower longevity, leaf yellowing, fresh weight changes, postharvest treatment

---

<sup>1</sup>Contribution No. 1120 from Taichung DARES, MOA.

<sup>2</sup>Project Assistant and Associate Researcher of Taichung DARES, MOA.

\*Corresponding Author: Yen-Hua Chen, Email: chenyh@tcdares.gov.tw



# 影響青花菜產量之環境及生育性狀關鍵因子分析<sup>1</sup>

沈峻榮<sup>2</sup>、林煜恒<sup>3\*</sup>、陳葦玲<sup>4</sup>

## 摘 要

青花菜(*Brassica oleracea* L. var. *italica*)為臺灣重要冬季蔬菜作物，惟其生育期與產量易受氣象條件影響，常導致花球成熟不一致、不良率偏高，致使生產成本增加。本研究以臺灣常見青花菜品種‘42號’與‘綠寶(BR-8)’為材料，於110-111年期作進行連續分批定植試驗，蒐集環境因子(溫度、相對濕度、降雨量及光照輻射量)與生育性狀資料，並以皮爾森相關分析(Pearson correlation coefficient)探討不同生長階段關鍵因子對產量與不良率之影響。結果顯示，兩品種全生育期皆約為63天，惟其對環境條件之反應具明顯差異。‘42號’之有效產量與總產量主要受營養生長期與生殖生長期之降雨量與平均相對濕度影響，呈高度負相關，顯示高濕與降雨為限制其產量之主要因子；而生殖生長期之高溫與高積溫則顯著提高不良品產量與不良率。相較之下，‘綠寶(BR-8)’之有效產量與總產量對生殖生長期之積溫、最高溫與累積光照輻射量極為敏感，均呈高度負相關，且高溫逆境顯著提高畸形花球比例，顯示其耐熱性較低。生育性狀分析結果顯示，‘42號’於營養生長期之株幅、葉面積及鮮重累積易受高溫抑制，適度降雨則有助於維持生長勢；而‘綠寶(BR-8)’之營養生長性狀對環境因子反應較小，但其生育性狀累積與有效產量呈正相關。綜之，‘42號’較適合於秋冬乾冷且降雨量較少之季節栽培，以降低高濕逆境風險；‘綠寶(BR-8)’則宜於冬季及早春低溫環境下種植，以避免生殖生長期高溫造成產量與品質劣化。本研究釐清不同品種青花菜之產量關鍵影響因子，可作為栽培適期規劃之參考。

**關鍵字：**青花菜、生育期、氣象因子、產量、不良率

---

<sup>1</sup>農業部臺中區農業改良場研究報告第1121號

<sup>2,3</sup>農業部臺中區農業改良場研究助理、副研究員

<sup>4</sup>農業部花卉創新園區研究發展中心研究員兼中心副主任

\*通訊作者：林煜恒，Email: linyh@tcdares.gov.tw

## 前 言

青花菜(*Brassica oleracea* L. var *italica*)為十字花科蕓苔屬世界性大宗蔬菜作物，由野生甘藍馴化而來(Fahey, 2003)，原產於西歐義大利沿海，性喜冷涼，為綠植株春化型植物。臺灣自 40 年代由美國引進青花菜，但消費量極少，直至 1966 年後，因優良品種的引進及採後處理技術普及(王與謝，2005)，再加上研究指出十字花科植物中的硫配醣體(Glucosinolate)經由芥子酶(Myrosinase)水解後產生之異硫氰酸酯(Isothiocyanate)，具有誘導預防癌症發生之代謝酵素作用之功效，例如芳香族及吲哚族硫醣苷水解之產物可藉由抑制 phase1 酵素的氧化還原能力，以及誘導 phase2 酵素的解毒代謝能力，phase2 解毒酶系統是一具誘導非生物性防治系統，能防護哺乳類動物之 DNA 免於受到生化致癌物之傷害(柯，2007)。其中又以青花菜之硫配醣體含量較高(Nicolas, 1989；Bakker *et al.*, 2009)，消費量逐漸提升。依據農糧署統計資料，113 年全國種植面積約 1,750 公頃(Hectare, ha)，產量約 34,000 公噸(ton, t)，若以 112 年全年批發市場均價 31.7 元/kg 計算，產值可達 10 億 7 千萬元。青花菜多以契作栽培為主，集中於冬季裡作 11 月至隔年 3 月，供鮮食及加工兩用，且內外銷皆有市場需求；其經採後處理冷藏調節，可供應市場 1 個月，分切後以急速冷凍(individually quick freezing, IQF)則可供應市場半年以上，既可調節國內夏季蔬菜之需求，亦可供應至外銷市場。青花菜國內市場需求逐年增加，除於國內生產，仍需由國外進口，以供應國內市場需求。根據海關進出口資料，106 年鮮食青花菜進口量為 17,000 t，冷凍加工青花菜為 7,200 t，逐年增加至 113 年鮮食進口量的 24,890 t，冷凍加工品更增加近兩倍為 13,912 t，是極具市場潛力之重要蔬菜。

青花菜的營養生長適溫為 20-22°C，蕾球發育適溫則為 15-18°C(陳等人，2013)。溫度是影響青花菜產量與花球品質的關鍵，且會影響花球分化開始時間，進而影響生長週期長短(Alina *et al.*, 2010)。栽培期間的高溫逆境為青花菜生產之限制因子之一，其產期常因高溫氣候而中斷(Mark & Thomas, 2011)。高溫逆境的影響主要是在花芽分化初期，會延遲花蕾形成時間，以及出現花芽大小不均、萼片葉片化現象、花球重量減少甚至不結花蕾等，進而影響青花菜花球的品質及產量(Heather *et al.*, 1992；Alina *et al.*, 2009；陳等人，2013；Liu & Wang, 2015)，使其只能在夏季氣溫很少超過 30°C 的地區種植(Thomas & Karen, 1998)。

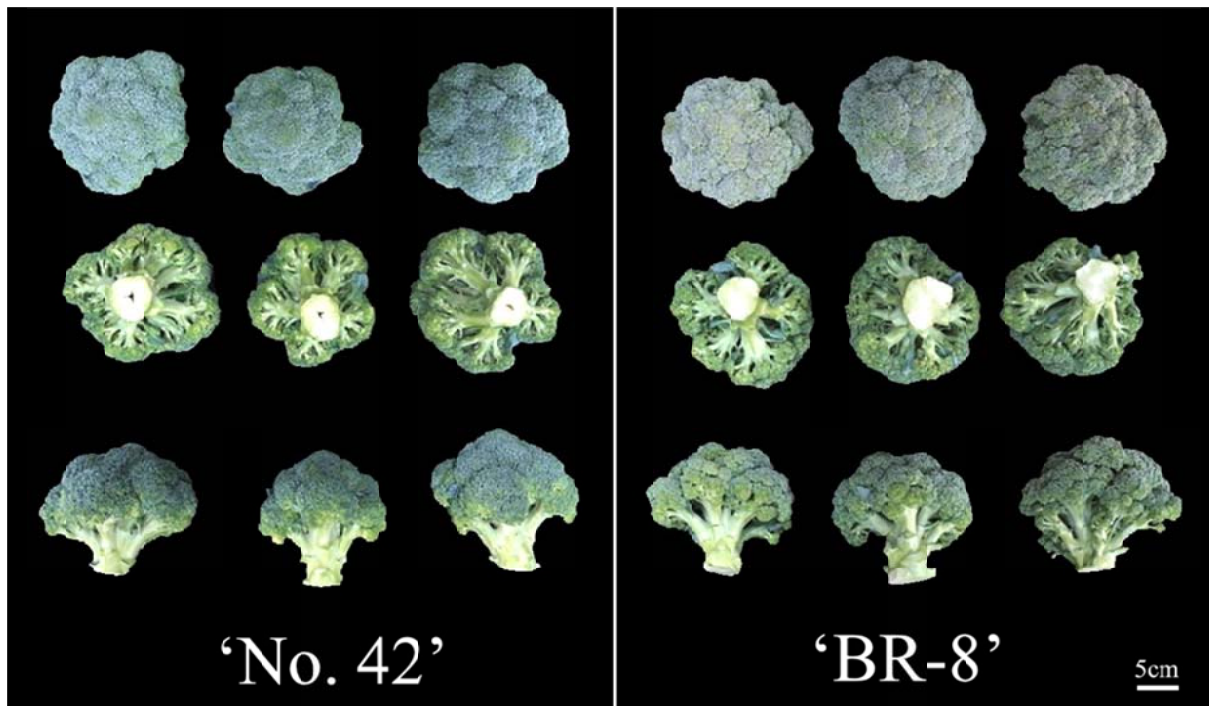
青花菜品質因不同栽培期的氣溫差異，容易造成花蕾成熟度不一，導致農民採收時須分批採收，並依賴農民的經驗判斷花球是否可採收，耗費人力與工時，是一項勞動密集度高的工作，且青花菜高溫易黃化，若沒有額外人力盡快採收便會影響青花菜品質，目前青花菜的採收部分佔總生產成本約四分之一(游等人，2020)。為提升青花菜產業經

營效益，本研究期整合生育監測資料，建構青花菜產期產量預測模式管理平台，期能助於國內生產青花菜時之風險評估、管理決策及產銷規劃，以降低生產管理成本。

## 材料與方法

### 一、試驗材料

使用兩種臺灣常見青花菜商業品種，分別為‘42 號’及‘綠寶(BR-8)’之 4 週大穴盤苗(博華育苗場，彰化，臺灣)。「42 號」為日本阪田公司育成品種，具有耐高溫特性，其花蕾細緻，色澤翠綠，球型圓整，為嘉義地區普遍栽培品種，屬於早生種青花菜。「綠寶(BR-8)」為和生種子股份有限公司販售之品種，其蕾粒細、花型緊密、蕾色青綠，具有耐寒的特性，但較不耐高溫，亦屬於早生種的青花菜，是臺灣加工用主要流通品種(郭等人，2021)(圖一)。



圖一、青花菜品種‘42 號’及‘綠寶(BR-8)’花球外觀。

Fig. 1. The head appearance of broccoli cultivars ‘No. 42’ and ‘BR-8’.

## 二、試驗場域建立

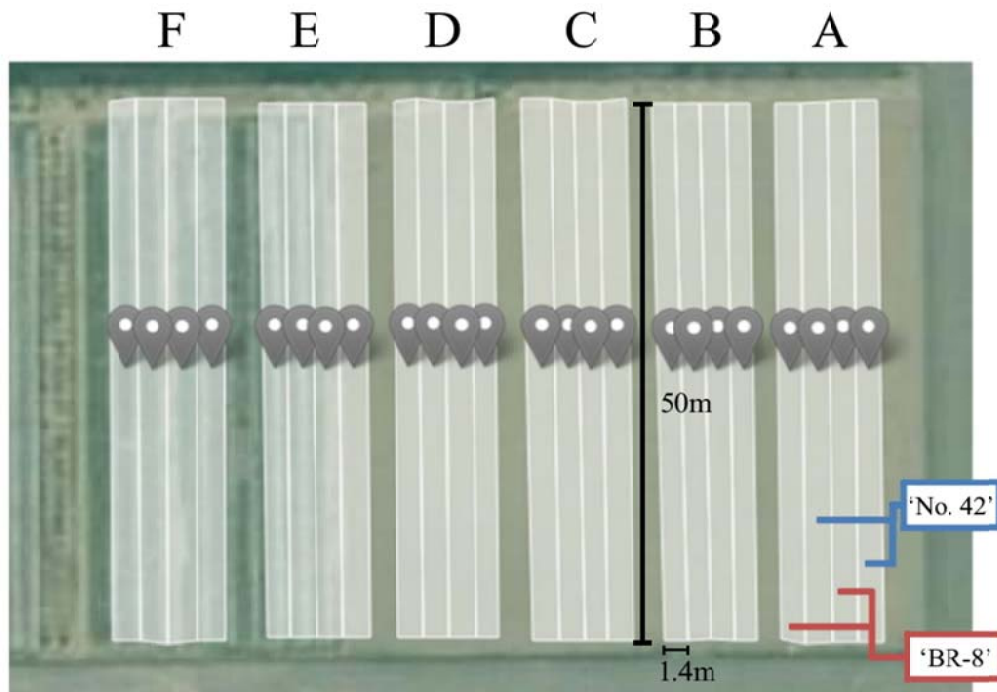
本研究於臺中區農業改良場試驗田(24°08'N, 120°32'E)進行試驗，青花菜之種植方式採 1 畦雙行三角種植，每畦長 50 m，寬(含畦溝) 1.4 m，行距 50 cm，株距 45 cm。以幼苗定植，栽培管理期間視介質或土壤狀態給水以維持水分充足，並以慣行方式管理，包括肥料施用、病蟲害及水分管理等。試驗區域共劃分為 A 至 F 共 6 個批次依序種植，每一批次之試驗田區面積為 252 m<sup>2</sup>，切分為 4 條長畦，兩品種隔畦種植各植 2 條畦，每畦種植青花菜 193 株，扣除每七天性狀調查採樣之植株，採收時青花菜數量為每畦 166 株。

A 至 F 批次依序定植，分別間隔 14 天，A 批次於 110.09.16 定植，B 批次於 110.09.30 定植，以此類推至 110.11.24 完成 F 批次定植，如表一與圖二所示。

表一、青花菜‘42 號’與‘綠寶’試驗 A-F 批次之定植時間、花芽創始日及採收日

Table 1. Transplanting, floral initiation, and harvest dates for each planting batch in broccoli ‘No. 42’ and ‘BR-8’

Cultivar	Planting batch	Transplanting date	Floral initiation date	Harvest date
‘No. 42’	42-A	110.09.16	110.10.26	110.11.18 - 110.12.13
	42-B	110.09.30	110.11.15	110.12.07 - 110.12.24
	42-C	110.10.14	110.11.25	110.12.15 - 110.12.27
	42-D	110.10.28	110.12.15	110.12.27 - 111.01.07
	42-E	110.11.11	110.12.30	111.01.14 - 111.01.24
	42-F	110.11.24	111.01.16	111.01.24 - 111.02.08
‘BR-8’	GB-A	110.09.16	110.10.20	110.11.18 - 110.12.13
	GB-B	110.09.30	110.11.07	110.12.07 - 110.12.24
	GB-C	110.10.14	110.11.23	110.12.15 - 110.12.27
	GB-D	110.10.28	110.12.10	110.12.27 - 111.01.05
	GB-E	110.11.11	110.12.19	111.01.12 - 111.01.19
	GB-F	110.11.24	111.01.06	111.01.24 - 111.01.28



圖二、各批次定植位置圖。

Fig. 2. Transplanting layout for each planting batch. Planting and harvest dates as Table 1.

### 三、數據蒐集與處理

於青花菜試驗植株栽培過程中，試驗數據蒐集主要包括兩部分，分別是環境數據及作物生育性狀調查數據。建立作物的生育資料，作為分析所需之重要參數依據。

(一)環境數據：由農業氣象觀測網監測系統取得臺中區農業改良場於試驗期間的氣象數據，並依據作物生長日期，將環境數據區分成營養生長期與生殖生長期，並區分不同環境因子，將蒐集資料並換算，如表二所示。

1.積溫：植物在健康正常生長發育過程中，每日的平均溫度扣除基礎溫度後累積，即可得到某一發育階段所需的積溫(Growing degree-days, GDD)，其代表的是生物生長過程中所累積的熱量單位，也被廣泛應用於植物生長發育與成熟的溫度，積溫也適用於數種作物的產量與品質之相關研究(Gregory & Wilhelm, 1997；Kim & Yun, 2008)。本研究分別計算營養生長期及生殖生長期的積溫，以探討不同生長期熱量累積對植株及花球發育的影響。積溫的計算公式為每日平均溫度減去基礎溫度後累加求和，代表該生長期的總基溫。Robert (1997)在青花菜之生育積溫計算研究中，曾比較多種基礎溫度(0、1.7、3.1、4.4、5.8 及 7.2°C)，以評估其對生育與採收期

預測之適切性，而 Dhankhar & Chandanshive (2017)於青花菜試驗中，基礎溫度以 5°C 計算，因此本研究將其基礎溫度訂為 5°C，據以計算各生育階段之積溫。

計算公式為： $GDD = \sum(T_{\text{mean}} - T_{\text{base}})$

1. 最高溫：生育期間每日最高溫之最高溫度作為該生長期的最高溫。
2. 平均相對濕度：將生育期間每日的相對濕度平均，作為該生長期之平均相對濕度。
3. 累積光照輻射量：將生育期間每日的光照輻射量全部加總，作為該生長期之累積光照輻射量。
4. 累積降雨量：將生育期間每日的降雨量加總，作為該生長期的累積降雨量。

(二)生育性狀：作物生育性狀於定植後每 7 日調查一次，每次調查 3 株，包括營養生長期的株幅、葉片鮮重、莖鮮重、總葉面積。待花球成熟採收後，調查各批次植株生殖生長期有效產量和不良品產量，並換算總產量和不良率。

1. 株幅：俯瞰植株，量測最遠葉片之對角距離作為長度，再量測垂直 90°的另一最遠葉片之對角距離作為寬度，再套用公式： $(\text{長度}/2) \times (\text{寬度}/2) \times \pi$ ，求得該植株株幅。
2. 葉片鮮重與莖鮮重：將單株之地上部植株貼地砍下，裁剪已展開之所有成熟葉片後，秤取重量並加總即為葉片鮮重，剩餘的部位秤重即為莖鮮重。
3. 總葉面積：將單株之所有成熟葉片剪下，以 LI-3100 AREA METER (Li-Cor Inc., Lincoln, NE., USA) 測量所有葉片之葉面積，並加總得之。葉面積範圍為葉柄之上的葉片。
4. 各畦有效產量：每條畦各別採收成熟之花球，區分為正常花球及畸形花球，量測正常花球的重量即為有效產量，畸形花球或不符合商品價值花球之重量為不良品產量，有效產量與不良品產量加總為總產量。
5. 不良率：不良品產量佔總產量的比率，換算成百分比即得不良率。

曲線下面積(Area Under the Curve, AUC)為一種整合時間序列資料之分析方法，常用於量化變數隨時間變化之整體表現。本研究採用梯形法(trapezoidal rule)進行數值積分，以計算每批植株於營養生長期間生育性狀之累積變化量。

AUC 可同時整合數值變化幅度與其持續時間，除可用於描述作物生育性狀之生長累積外，亦常應用於量作物於逆境條件下之生理反應。有研究利用 AUC 計算植被指數之時間變化，並探討其與馬鈴薯產量間之相關性(Sivarajan, 2011；Stan, 2020)；亦有研究以 AUC 量化辣椒於淹水及病原逆境下，其光譜反射指標之變化幅度(Soumaila *et al.*, 2008)。

因此，本研究參考上述方法，將各生育性狀每週次量測值視為時間序列資料，利用梯形法計算其曲線下面積，以作為青花菜生育性狀於營養生長期間之累積指標(表三)。其計算方式為將相鄰兩次量測值(第  $i$  週與第  $i+1$  週)視為一梯形，以上下底平均值乘以量測間隔時間( $\Delta Time$ )，再加總整個生育期內各梯形面積，其公式為：

$$AUC = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(X_i + X_{i+1})}{2} \times \Delta Time$$

其中， $X_i$  與  $X_{i+1}$  分別代表第  $i$  週與第  $i+1$  週之生育性狀量測值， $\Delta Time$  為相鄰兩次量測之時間間隔(日)。AUC 值代表該生育性狀於營養生長期間隨時間變化之累積總量，並進一步分析其與環境及產量性狀之關係。

#### 四、影響產量之相關參數換算

為探討兩品種之產量變異及其關鍵影響因子，本研究以皮爾森相關係數(Pearson correlation coefficient,  $r$ )分析各項環境因子(積溫、最高溫、平均相對濕度、累積光照輻射量、累積降雨量)及生育性狀(株幅、總葉面積、葉片鮮重、莖鮮重)與四項產量指標(有效產量、總產量、不良品產量、不良率)間之線性相關程度。相關分析分別於營養生長期與生殖生長期進行，以評估不同生長階段環境條件對青花菜產量與品質之影響。

皮爾森相關係數公式為：
$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$r$  值表示兩變數間線性關聯的強度與方向，當  $r$  值越接近 1，代表線性關係越強；正值表示正相關，負值表示負相關。相關性之顯著性以  $p$ -value 進行檢定，顯著水準設定如下：

- $p < 0.05$  表示達顯著相關(\*)
- $p < 0.01$  表示高度顯著相關(\*\*)
- $p < 0.001$  表示極高度顯著相關(\*\*\*)

為利於結果詮釋，本研究依據相關係數  $r$  之絕對值，將相關強度劃分為以下五個等級：

- 0.90 – 1.00：極高度相關(Very high correlation)
- 0.70 – 0.90：高度相關(High correlation)
- 0.50 – 0.70：中度相關(Moderate correlation)
- 0.30 – 0.50：低度相關(Low correlation)
- 0.00 – 0.30：極低或無相關(Negligible or no correlation)

本研究以相關分析結果作為判斷影響產量與品質之關鍵環境因子和生育性狀的基礎，並進一步於結果與討論中，結合不同生長階段與品種間之反應差異，解析氣象條件透過生育性狀影響青花菜產量與品質之可能機制。

表二、生育環境參數調查項目及數據轉換

Parameter	Units	Vegetative growth stage	Reproductive growth stage
Temperature	°C	*Veg_GDD	Repro_GDD
		Veg_Tmax	Repro_Tmax
Relative humidity	%	Veg_Mean_RH	Repro_Mean_RH
Solar radiation	MJ/m <sup>2</sup>	Veg_Solar	Repro_Solar
Rainfall	mm/hr	Veg_Rain	Repro_Rain

Table 2. Growth environment parameters investigated and data transformations

\*Veg means vegetative growth stage ; Repro means reproductive growth stage.

GDD: growing degree days ; Tmax: maximum temperature ; Mean\_RH: mean relative humidity ; Solar: accumulated solar radiation ; Rain: accumulated rainfall

表三、生育性狀調查項目及其 AUC 累積數據轉換

Table 3. Growth traits investigated and AUC-based cumulative data transformation

Parameter	Units	Data transformation
Canopy area	cm <sup>2</sup>	*AUC Canopy area (AUC_CA)
Total leaf area	cm <sup>2</sup>	AUC Total leaf area (AUC_LA)
Leaf fresh weight	g	AUC Leaf fresh weight (AUC_LFW)
Stem fresh weight	g	AUC Stem fresh weight (AUC_SFW)
Marketable yield	kg	Marketable yield
Non-marketable yield	kg	Non-marketable yield
Total yield	kg	Total yield
Rate of malformed heads	%	Rate of malformed heads

\*AUC : means area under the curve.

## 結果與討論

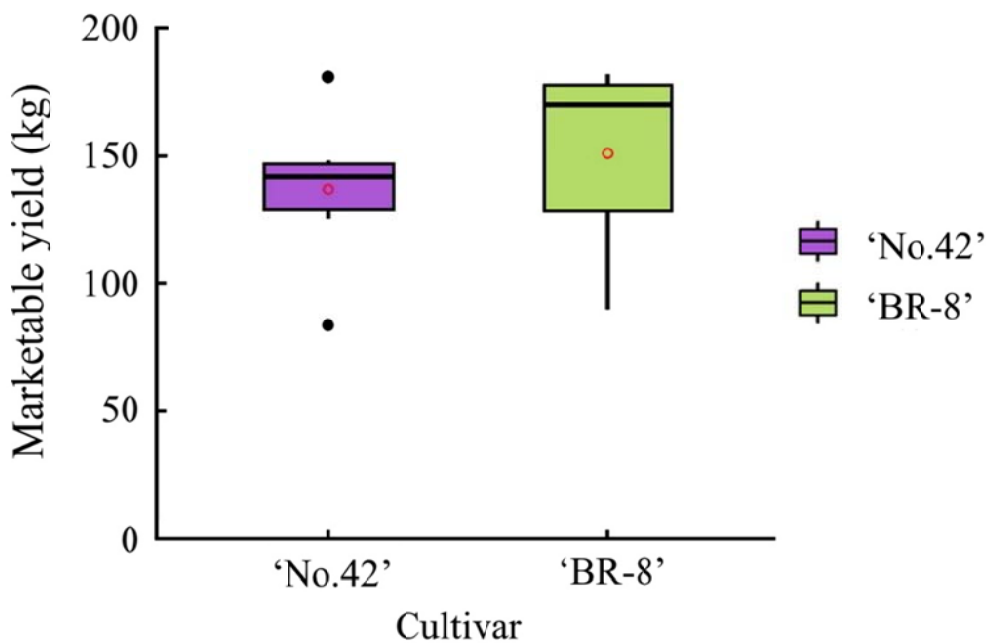
### 一、作物園藝分析

針對青花菜‘42 號’及‘綠寶(BR-8)’的產量結果與生育日數進行探討。產量方面分為總產量及不良品產量，並換算為不良率。而生育日數方面區分為營養生長期與生殖生長期，營養生長期為定植日到開花日，生殖生長期為開花日到採收日，定植日與採收日間

的日數差為總生育日數。

(一)有效產量分布

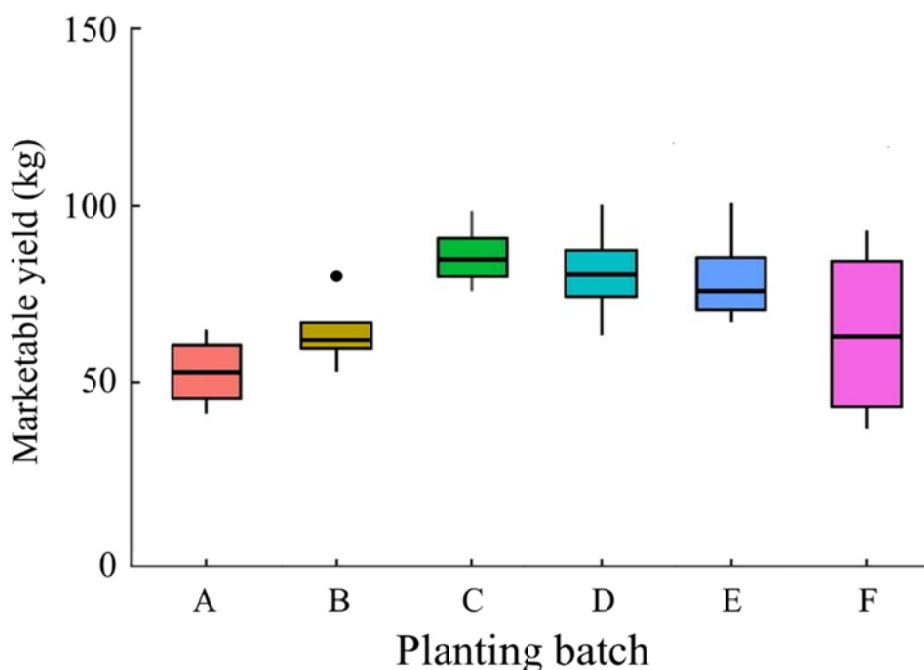
青花菜‘42 號’及‘綠寶(BR-8)’的有效產量分布(圖三),其中‘42 號’的產量較為集中,但有兩個極端值。品種‘綠寶’的產量數據分布較分散,但沒有出現極端值。另外分析各批次的有效產量分布,以 C 批次差異最小, F 批次差異最大, C、D、E 三個批次的產量都較高,且數據較為集中(圖四)。



圖三、青花菜品種‘42 號’及‘綠寶(BR-8)’六個批次之有效產量分布。

Fig. 3. Distribution of marketable yield for 6 batches of broccoli ‘No. 42’ and ‘BR-8’.

Planting and harvest dates as Table 1.



圖四、青花菜‘42 號’及‘綠寶(BR-8)’合併計算各批次之有效產量分布。

Fig. 4. Distribution of marketable yield in each planting batch of broccoli ‘No. 42’ and ‘BR-8’ combined. Planting and harvest dates as Table 1.

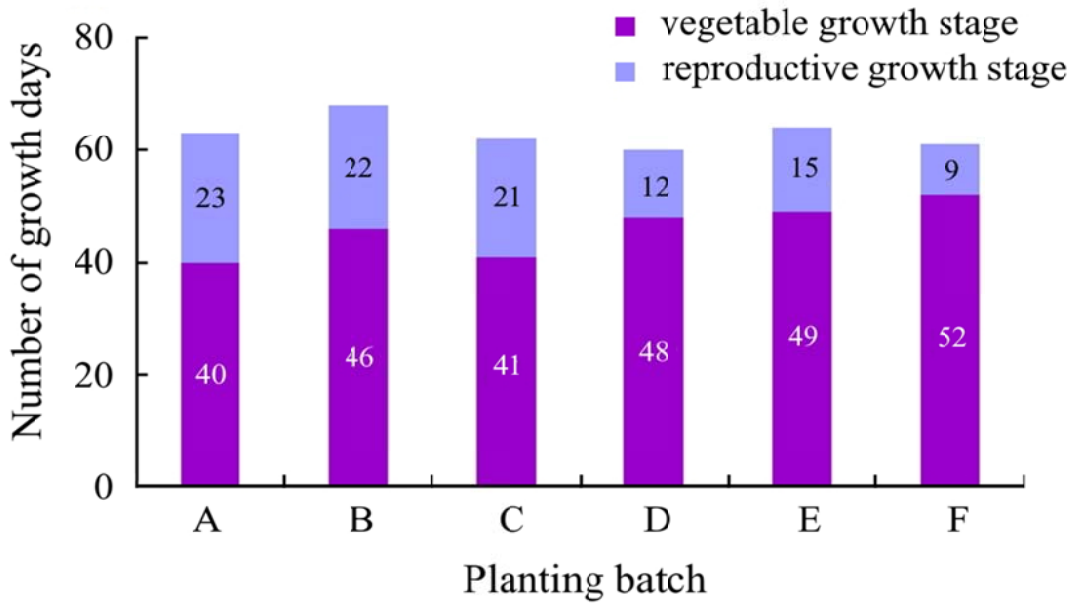
## (二)生育日數

### 1. 青花菜‘42 號’

青花菜‘42 號’的生育日數平均為 63 天，各批次的全生育期長度相差不大，落於 60 至 68 天。但 D-F 批次的平均生殖生長期僅有 12 天，比 A-C 批次的平均生殖生長期 22 天短，相差較大(圖五)。

### 2. 青花菜‘綠寶(BR-8)’

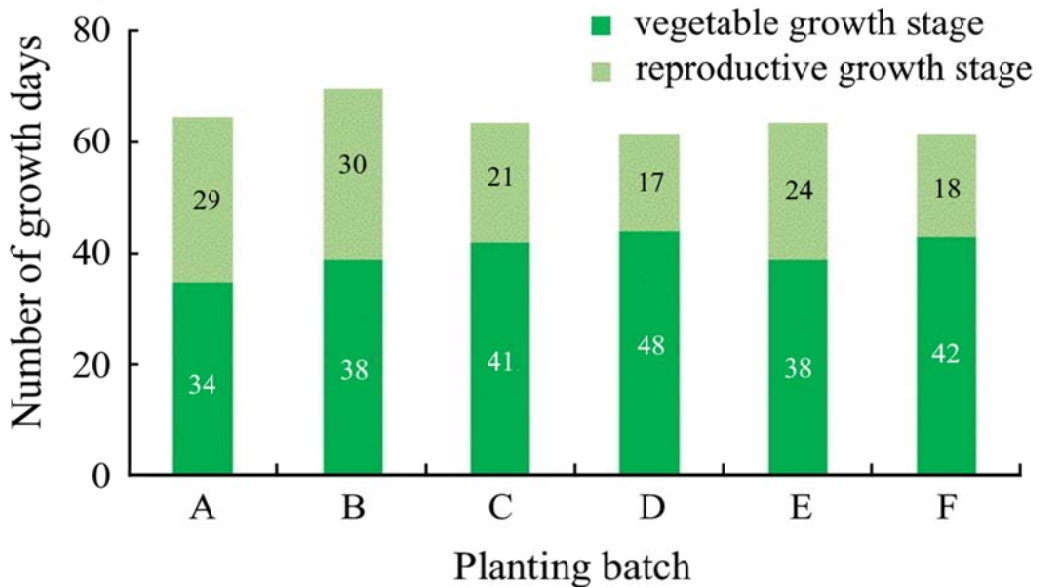
青花菜‘綠寶(BR-8)’生育平均日數同樣為 63 天，各批次的全生育期長度未有明顯差異，相較於‘42 號’植株，‘綠寶(BR-8)’更早進入生殖生長期，生殖生長期的天數較長，但各批次間仍有差異，A、B 批次之平均生殖生長期比 C-F 批次長(圖六)。



圖五、青花菜‘42 號’於各批次之生育天數。

Fig. 5. Growth days for broccoli ‘No. 42’ in each planting batch.

Planting and harvest dates as Table 1.



圖六、青花菜‘綠寶(BR-8)’於各批次之生育天數。

Fig. 6. Growth days for broccoli ‘BR-8’ in each planting batch.

Planting and harvest dates as Table 1.

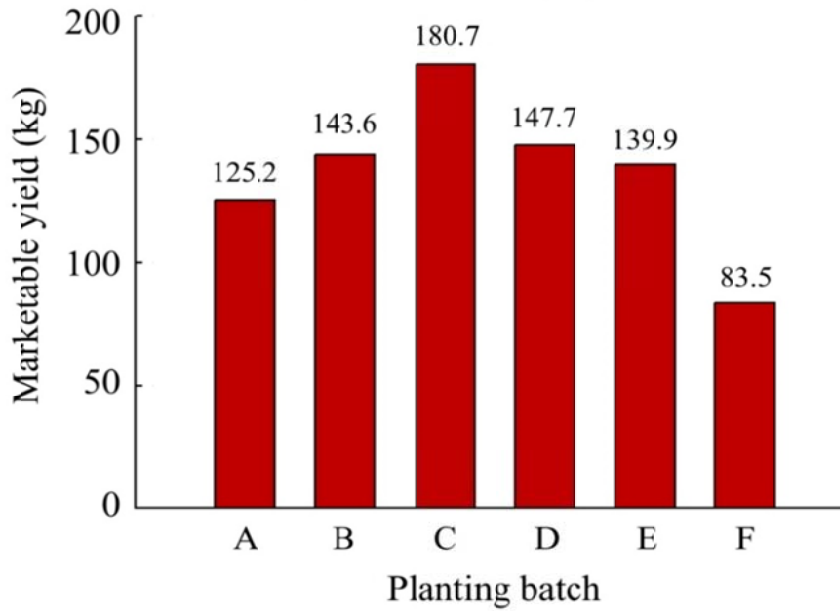
### (三)有效產量分析

#### 1. 青花菜‘42 號’

‘42 號’的有效產量以 C 批次的產量最高，F 批次的產量最低。‘42 號’在 A-F 批次的有效產量分布近似鐘型曲線(圖七)。由圖八可以觀察到 A 批次的不良率最高(16%)，B-F 批次的不良率較低，僅 F 批次的不良率略為再上升，可以推斷高不良率是 A 批次產量減損的主因。由圖九可以看到各批次的降雨量在生育期間的變化，A-C 批次在生殖生長期為無降雨，而 D-F 批次在生殖生長期則有出現降雨。推測這可能是影響 D-F 批次產量減損的原因。其中又以 F 批次的降雨量最多，日累積降雨量大可能是 F 批次總產量減少的原因。

#### 2. 青花菜‘綠寶(BR-8)’

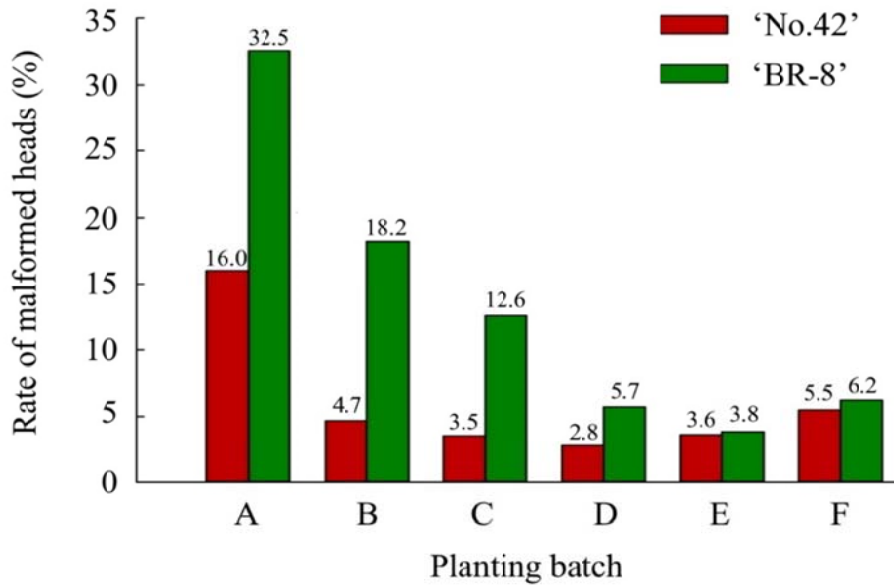
‘綠寶(BR-8)’在 C-F 批次的有效產量相對穩定，但 A、B 批次的有效產量則少了許多(圖十)。由圖八可以觀察到 A 批次的不良率最高達 32.5%，而 B、C 兩批次為次高，分別為 18.2%及 12.6%，可以推斷‘綠寶(BR-8)’的不良率是有效產量減損的主要因素。分析 A-F 批次生育期間的日均溫差異(圖十一)，較早定植的 A、B 批次，其營養生長期的日均溫較高，分別為 27.2 及 25.2°C，相比之下，C-F 批次的營養生長期的日均溫分別為 22.8、21.1、19.8 及 18.5°C，很接近青花菜營養生長及花球發育的適合溫度，分別為 20-22°C 與 15-18°C(陳等人，2013)。探討生殖生長期的日均溫，A-F 批次生殖生長期平均日均溫分別為 22.4、21.1、19.3、18.5、16.8 及 16.9°C，由此可以推斷出生育期間較高的日均溫會影響青花菜的發育，尤其是生殖生長期間的日均溫影響更大，使不良率提高而減損有效產量。



圖七、青花菜品種‘42 號’各批次之有效產量。

Fig. 7. Marketable yield for broccoli ‘No. 42’ in each planting batch.

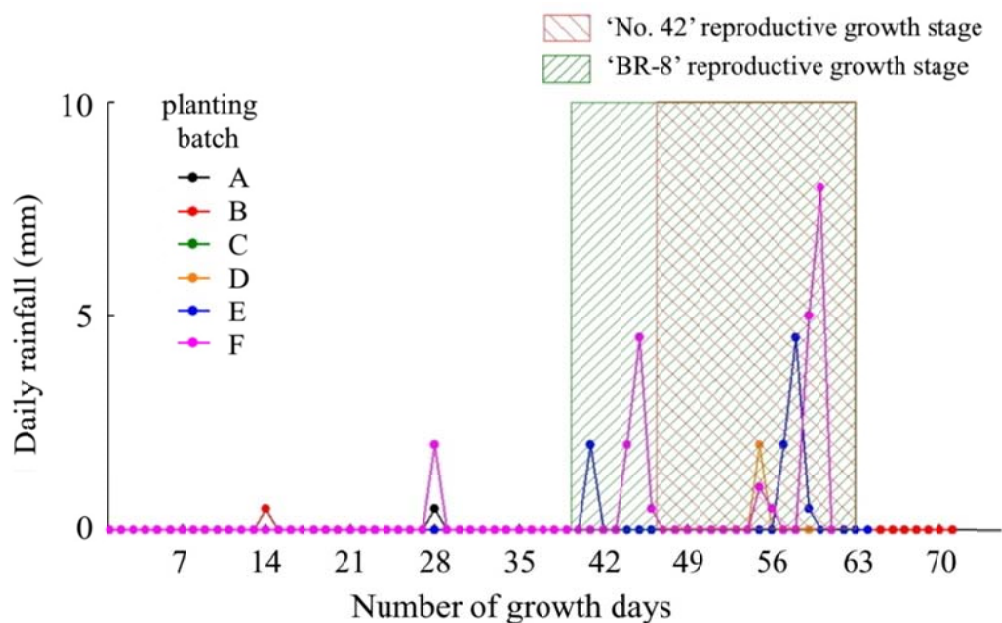
Planting and harvest dates as Table 1.



圖八、青花菜‘42 號’與‘綠寶(BR-8)’各批次之不良率。

Fig. 8. Rate of malformed heads for broccoli ‘No. 42’ and ‘BR-8’ in each planting batch.

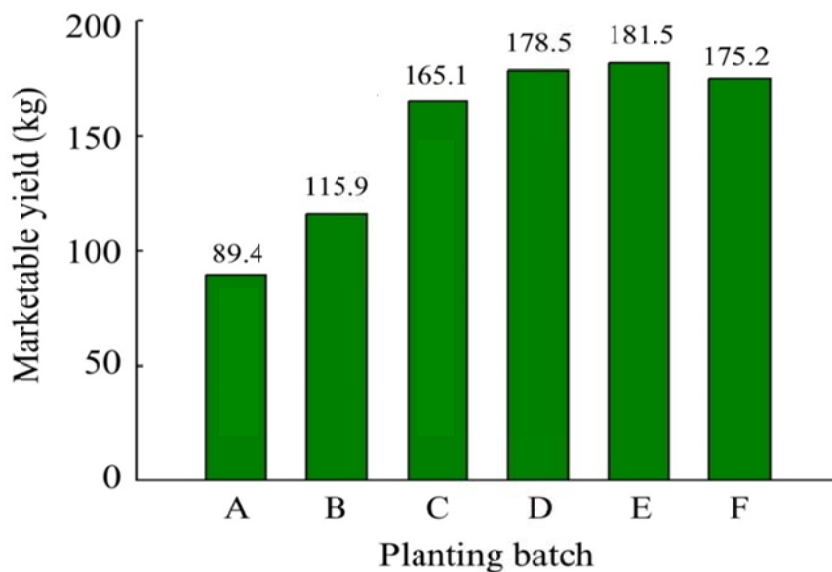
Planting and harvest dates as Table 1.



圖九、各批次青花菜生長期之每日降雨量。

Fig. 9. Daily rainfall in each planting batch of broccoli.

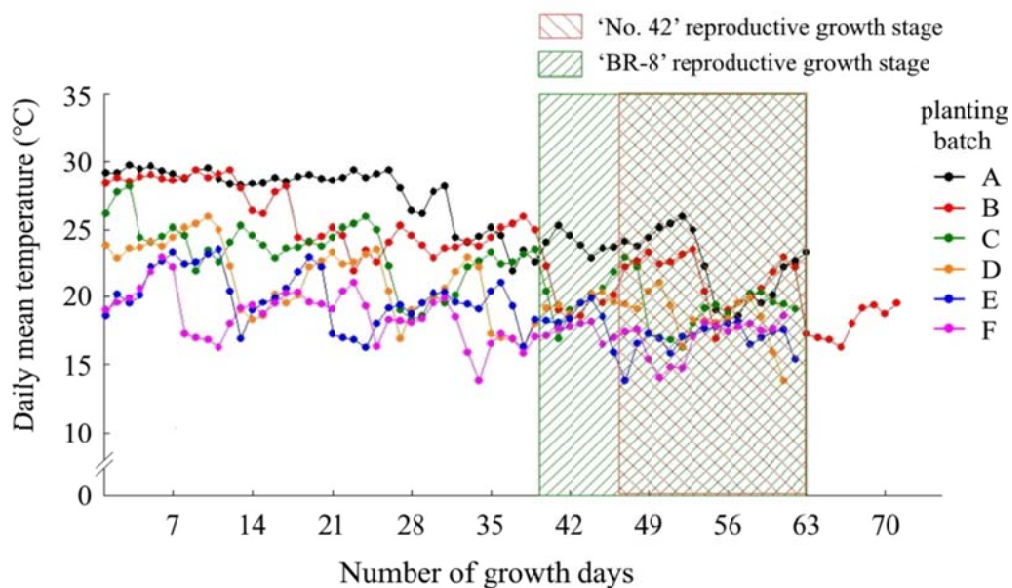
Planting and harvest dates as Table 1.



圖十、青花菜‘綠寶(BR-8)’各批次之有效產量。

Fig. 10. Marketable yield for broccoli ‘BR-8’ in each planting batch.

Planting and harvest dates as Table 1.



圖十一、青花菜各批次之日均溫。

Fig. 16. Daily mean temperature in each planting batch of broccoli.

Planting and harvest dates as Table 1.

## 二、影響青花菜產量關鍵因子分析

為探討影響青花菜‘42 號’及‘綠寶(BR-8)’產量的關鍵因子，故分析青花菜營養生長與生殖生長期間，環境因子(溫度、濕度、雨量和光照輻射量)與生育性狀的變化累積(植株株幅、總葉面積、葉片鮮重與莖鮮重)對四項產量指標(總產量、有效產量、不良品產量與不良率)之相關性，並於環境因子對青花菜生育性狀累積之影響關係，進一步探討其對青花菜產量之影響。

### (一) 青花菜‘42 號’產量影響關鍵因子分析

#### 1. 有效產量與總產量

如表四所示，品種‘42 號’總產量與有效產量之關鍵影響因子十分相近，具有高度一致性。環境因子方面，在營養生長期，累積降雨量和兩者均呈現高度負相關(有效產量： $r = -0.767^{**}$ ；總產量： $r = -0.817^{**}$ )；在生殖生長期，累積降雨量與平均相對濕度也同樣呈現高度負相關(Repro\_Rain:有效產量： $r = -0.716^{**}$ ；總產量： $r = -0.796^{**}$ ) (Repro\_Mean RH:有效產量： $r = -0.725^{**}$ ；總產量： $r = -0.811^{**}$ )，這部份顯示品種‘42 號’對降雨和高濕度非常敏感，無論是在營養生長期或生殖生長期，高降雨與高濕度都是導致總產量與有效產量下降的關鍵環境限制因子。如同 Karistsapol & Quanchit (2014)研究指出，在泰國 9 月至 12 月持續大雨使得氣候潮濕，導致青花菜

因黑腐病而減產。高溫和高濕等環境條件有利於黑腐病的傳播，若生長期間的雨水較多，容易使青花菜感染黑腐病，進而影響青花菜的生長速度和產量，而造成損失 (Arden & Alan, 1986)。

## 2. 不良品產量與不良率

在不良品方面，皆與生殖生長期最高溫與積溫間呈現高度正相關(Repro\_Tmax :  $r = 0.744^{**}$  ; Repro\_GDD :  $r = 0.729^{**}$ )，生殖生長期累積光照輻射量亦與不良品產量呈中度正相關( $r = 0.652^*$ )。而在不良率方面有相似的影響因子，生殖生長期的最高溫與積溫皆與不良率之間呈現中度正相關(Repro\_Tmax :  $r = 0.669^*$  ; Repro\_GDD :  $r = 0.621^*$ )，這些結果顯示生殖生長期間的高溫狀態是導致‘42 號’花球發育不良最主要的环境因子，使得不良品產量增加及不良率上升。

## 3. 環境因子對生育性狀的影響

表五顯示，營養生長期的環境因子對於株幅、總葉面積、葉片鮮重與莖鮮重等性狀具有顯著影響。其中營養生長期最高溫與四者皆呈現極高度負相關(AUC\_CA :  $r = -0.932^{***}$  ; AUC\_LA :  $r = -0.848^{**}$  ; AUC\_LFW :  $r = -0.912^{***}$  ; AUC\_SFW :  $r = -0.874^{***}$ )，積溫亦呈現高度負相關(AUC\_CA :  $r = -0.784^{**}$  ; AUC\_LA :  $r = -0.713^{**}$  ; AUC\_LFW :  $r = -0.789^{**}$  ; AUC\_SFW :  $r = -0.745^{**}$ )，可見‘42 號’在營養生長階段對高溫極為敏感，導致葉、莖之生長勢被削弱。於營養生長期，較高的溫度累積會抑制葉片擴張，進而影響光合產物的累積，使植株呈現較弱的營養生長勢。此外，營養生長期累積降雨量則是與生育性狀累積呈現中度至高度正相關(AUC\_CA :  $r = 0.814^{**}$  ; AUC\_LA :  $r = 0.686^*$  ; AUC\_LFW :  $r = 0.750^{**}$  ; AUC\_SFW :  $r = 0.695^{**}$ )，顯示營養生長期間適度降雨會減緩高溫逆境的影響，使植株生長較為穩定。進一步分析生育性狀對產量之影響，由表六可見四種生育性狀累積量與不良品產量和總產量具有中度負相關( $r = -0.578$  至  $-0.644$ )，代表植株在營養生長期間若能累積較多的生物量，可減少不良品產生；而總產量與生育性狀累積呈負相關，主因是總產量為有效產量和不良品產量的總和，因而與不良品的趨勢相近。

‘42 號’對氣象具高度敏感性，營養生長期間的高溫會抑制生長勢，而適度水分有助於青花菜株幅、葉面積與鮮重等生物量累積。這些生育性狀累積與不良品呈負相關，代表營養期生長越健壯，其不良品產量越低。在生殖生長期間的高溫與高濕環境則會顯著減少有效產量。由於總產量包括有效產量與不良品產量兩部分，有效產量顯著下降時，也會反應在總產量的下降。

## (二) 品種‘綠寶(BR-8)’產量影響關鍵因子分析

### 1. 有效產量與總產量

如表四所示，‘綠寶(BR-8)’的有效產量受到多項生殖期氣象因子的強烈影響，特別是生殖生長期的溫度與日照輻射量。其中，有效產量與生殖生長期積溫之間呈高度負相關( $r = -0.887^{***}$ )，與生殖生長期最高溫亦呈高度負相關( $r = -0.862^{***}$ )，以及生殖生長期累積日照輻射量同樣顯示高度負相關( $r = -0.860^{***}$ )，總產量(Total yield)亦有相同的影響，其與生殖生長期積溫之間呈中度負相關( $r = -0.767^{**}$ )，與生殖生長期累積日照輻射量呈中度負相關( $r = -0.739^{**}$ )，與生殖生長期最高溫則呈中度負相關( $r = -0.712^{**}$ )，此結果顯示‘綠寶(BR-8)’對生殖期高溫與強日照極為敏感。

### 2. 不良品產量與不良率

‘綠寶(BR-8)’的不良品產量與不良率明顯受到生殖期高溫、高積溫與高日照影響。不良品產量方面，不良品產量與生殖生長期最高溫之間呈極高度正相關( $r = 0.918^{***}$ )，與生殖生長期積溫和累積日照輻射量皆呈高度正相關(Repro\_GDD： $r = 0.862^{***}$ ；Repro\_Solar： $r = 0.846^{***}$ )。不良率有相同的影響，其與生殖生長期最高溫與積溫之間皆呈極高度正相關(Repro\_Tmax： $r = 0.935^{***}$ ；Repro\_GDD： $r = 0.915^{***}$ )，與生殖生長期累積日照輻射量呈高度正相關( $r = 0.884^{***}$ )。此外，營養生長期最高溫與不良率亦呈現高度正相關( $r = 0.839^{***}$ )。這些結果顯示綠寶(BR-8)對高熱環境十分敏感，尤其是在生殖生長期，若遭遇高溫逆境會影響花球發育異常，使不良率顯著提升。強日照伴隨著高溫，當花球發育期間遭遇熱逆境會影響花芽細胞分化受阻，陳等人(2013)研究青花菜在花芽分化期的高溫，會導致花芽發育大小不均，以及萼片膨大或蓬鬆化，還有花梗抽長和花蕾褐化敗育等現象，導致花球鬆散、變形或黃化，致使不良品顯著增加。Thomas & Karen (1998)研究也指出青花菜在生殖生長期間，嚴重的熱傷害會導致花芽發育過小而無法採收，影響花球的品質及總產量減少。

### 3. 環境因子對生育性狀的影響

由表五可以看到，營養生長期間的環境因子對於‘綠寶(BR-8)’的生育性狀累積量並無顯著影響，顯示‘綠寶(BR-8)’營養生長期對於環境敏感度較低，生長勢相較於‘42號’比較穩定。而生育性狀對產量的影響可由表六觀察到，株幅、總葉面積、葉片鮮重與莖鮮重等性狀的生長累積對於有效產量與總產量皆呈中度正相關( $r = 0.583^*$ 至 $0.654^*$ )，且莖鮮重累積對於不良率呈中度負相關，這顯示營養生長期間的生長勢越強，可以反應在有效產量的增加，並且減少不良品產生。

整體而言，‘42 號’與‘綠寶(BR-8)’的產量與不良率均受到栽培環境的氣象因子高度影響，但兩者對環境的反應有所不同，尤其在營養生長期的差異較大，除了高溫之外，‘42 號’對於濕度也十分敏感，降雨量多，且高相對濕度的環境下，產量顯著減少。而‘綠寶(BR-8)’雖然在營養生長期間，環境因子對生育性狀的累積較無顯著影響，營養生長與生殖生長期間的高溫與強日照則是顯著影響產量與不良率，在熱逆境下更容易產生不良品與畸形，顯示‘綠寶(BR-8)’的耐熱性較‘42 號’低。根據相關係數來判斷，品種‘42 號’最主要的影響因子為營養生長期降雨量、以及生殖生長期降雨量和平均相對濕度，其容易因降雨和濕度而造成生理性病害或生育障礙。‘綠寶(BR-8)’的部分最主要因子為生殖生長期的積溫、最高溫、光照與相對濕度，以及營養生長期的最高溫與積溫。

### 三、栽培適期探討

根據研究結果顯示，‘42 號’在春季栽培的產量表現沒有秋至冬季栽種高，原因是春季的雨量較多，而栽培環境雨量與濕度對於‘42 號’影響較大，因此春季並不適合‘42 號’生長。‘綠寶(BR-8)’對於溫度的反應較大，高溫逆境會導致畸形花球增加，從秋季定植後日均溫會逐漸下降，反應在‘綠寶(BR-8)’的有效產量會提高，綜合上述結果，‘42 號’適應營養生長期溫度較高、生殖生長期溫度較低，且降雨量較少的季節，因此避開較多雨的春季，選擇在秋冬季種植與採收較適合，有效產量和總產量可以提高。而‘綠寶(BR-8)’對生殖生長期的最高溫與光照極為敏感，較適合生長於溫度較低的季節，因此適合種植並採收於冬季與春季，避免夏季與秋季的高溫影響‘綠寶(BR-8)’的花球品質與產量。

在本次研究中可以發現定植日對於有效產量的影響非常明顯，‘42 號’最高產區的有效產量比整期作平均有效產量高出 32.10%，而‘綠寶(BR-8)’最高產區的有效產量比整期作平均有效產量高出 20.27%；研究結果顯示，透過精確掌握影響產量的關鍵參數以安排適當的種植時機，可以減少因環境導致的產量損失，進而有效提高產量。另外透過在栽培管理上，針對‘42 號’需優先管理濕度與病害的風險，而‘綠寶(BR-8)’則應加強生殖生長期間的降溫與遮陰措施，將可以增加有效產量，並減少畸形花球的產生。

表四、環境因子與青花菜‘42 號’與‘綠寶’四項產量指標間之相關係數( $r$ )及其顯著性( $p$ -value)

Table 4. Correlation coefficients ( $r$ ) and  $p$ -values between environmental factors and four yield indicators of broccoli ‘No. 42’ and ‘BR-8’

Parameter	Marketable yield		Total yield		non-marketable yield		rate of malformed heads	
	$r$	$p$ -values	$r$	$p$ -values	$r$	$p$ -values	$r$	$p$ -values
‘No. 42’								
Veg_GDD	0.157	0.625	0.292	0.357	0.606	0.037*	0.539	0.070
Repro_GDD	0.343	0.275	0.504	0.094	0.729	0.007**	0.621	0.031*
Veg_Tmax	0.431	0.162	0.572	0.052	0.639	0.025*	0.517	0.085
Repro_Tmax	0.195	0.544	0.360	0.250	0.744	0.006**	0.669	0.017*
Veg_Mean RH	-0.587	0.045*	-0.572	0.052	0.056	0.863	0.177	0.583
Repro_Mean RH	-0.725	0.008**	-0.811	0.001**	-0.396	0.203	-0.223	0.487
Veg_Solar	-0.312	0.323	-0.220	0.492	0.409	0.187	0.451	0.141
Repro_Solar	0.431	0.162	0.575	0.051	0.652	0.022*	0.528	0.078
Veg_Rain	-0.767	0.004**	-0.817	0.001**	-0.238	0.457	-0.064	0.844
Repro_Rain	-0.716	0.009**	-0.796	0.002**	-0.372	0.233	-0.205	0.523
‘BR-8’								
Veg_GDD	-0.755	0.005**	-0.627	0.029*	0.797	0.002**	0.796	0.002**
Repro_GDD	-0.887	0.000***	-0.767	0.004**	0.862	0.000***	0.915	0.000***
Veg_Tmax	-0.785	0.003**	-0.653	0.021*	0.825	0.000***	0.839	0.000***
Repro_Tmax	-0.862	0.000***	-0.712	0.009**	0.918	0.000***	0.935	0.000***
Veg_Mean RH	-0.286	0.367	-0.254	0.426	0.262	0.410	0.262	0.411
Repro_Mean RH	0.683	0.014*	0.557	0.060	-0.745	0.005**	-0.719	0.008**
Veg_Solar	-0.627	0.029*	-0.504	0.095	0.702	0.011*	0.691	0.013*
Repro_Solar	-0.860	0.000***	-0.739	0.006**	0.846	0.000***	0.884	0.000***
Veg_Rain	0.197	0.540	0.161	0.616	-0.212	0.508	-0.201	0.531
Repro_Rain	0.479	0.115	0.377	0.227	-0.553	0.062*	-0.532	0.075

Correlation coefficients ( $r$ ) were calculated using Pearson’s correlation analysis.

\*, \*\*, and \*\*\* indicate significance at  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ , and  $p < 0.001$ , respectively.

Veg and Repro represent vegetative and reproductive growth stages, respectively.

表五、環境因子與青花菜‘42 號’與‘綠寶’生育性狀因子間之相關係數( $r$ )及其顯著性( $p$ -value)

Table 5. Correlation coefficients ( $r$ ) and  $p$ -values between environmental factors and growth traits of broccoli ‘No. 42’ and ‘BR-8’

Growth trait	AUC_CA		AUC_LA		AUC_LFW		AUC_SFW	
	$r$	$p$ -values	$r$	$p$ -values	$r$	$p$ -values	$r$	$p$ -values
‘No. 42’								
Veg_GDD	-0.784	0.003**	-0.713	0.009**	-0.789	0.002**	-0.745	0.005**
Veg_Tmax	-0.932	0.000***	-0.848	0.000***	-0.912	0.000***	-0.874	0.000***
Veg_Mean RH	0.484	0.111	0.313	0.322	0.427	0.166	0.363	0.246
Veg_Solar	-0.263	0.408	-0.158	0.623	-0.270	0.396	-0.201	0.530
Veg_Rain	0.814	0.001**	0.686	0.014*	0.750	0.005**	0.695	0.012*
‘BR-8’								
Veg_GDD	-0.209	0.515	-0.380	0.224	-0.366	0.242	-0.377	0.228
Veg_Tmax	-0.355	0.257	-0.473	0.121	-0.462	0.130	-0.486	0.109
Veg_Mean RH	-0.339	0.282	-0.362	0.247	-0.400	0.198	-0.438	0.155
Veg_Solar	0.030	0.927	-0.136	0.674	-0.114	0.725	-0.127	0.695
Veg_Rain	0.118	0.715	0.217	0.498	0.197	0.540	0.132	0.684

Correlation coefficients ( $r$ ) were calculated using Pearson’s correlation analysis.

\*, \*\*, and \*\*\* indicate significance at  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ , and  $p < 0.001$ , respectively.

Veg and Repro represent vegetative and reproductive growth stages, respectively.

\*AUC means area under the curve ; CA: canopy area ; LA: total leaf area ; LFW: leaf fresh weight ; SFW: stem fresh weight

表六、青花菜‘42 號’與‘綠寶’生育性狀與四項產量指標間之相關係數( $r$ )及其顯著性( $p$ -value)

Table 6. Correlation coefficients ( $r$ ) and  $p$ -values between growth trait variables and four yield indicators of broccoli ‘No. 42’ and ‘BR-8’

Growth trait	Marketable yield		Total yield		non-marketable yield		rate of malformed heads	
	$r$	$p$ -values	$r$	$p$ -values	$r$	$p$ -values	$r$	$p$ -values
‘No. 42’								
AUC_CA	-0.511	0.089	-0.653	0.021*	-0.644	0.024*	-0.505	0.094
AUC_LA	-0.462	0.130	-0.596	0.041*	-0.606	0.037*	-0.476	0.118
AUC_LFW	-0.435	0.157	-0.578	0.049*	-0.644	0.024*	-0.518	0.084
AUC_SFW	-0.451	0.141	-0.584	0.046*	-0.604	0.037*	-0.478	0.116
‘BR-8’								
AUC_CA	0.587	0.045*	0.583	0.047*	-0.387	0.214	-0.491	0.105
AUC_LA	0.610	0.035*	0.605	0.037*	-0.405	0.191	-0.492	0.104
AUC_LFW	0.585	0.046*	0.559	0.059	-0.441	0.151	-0.505	0.094
AUC_SFW	0.654	0.021*	0.606	0.037*	-0.538	0.071	-0.612	0.034*

Correlation coefficients ( $r$ ) were calculated using Pearson’s correlation analysis.

\*, \*\*, and \*\*\* indicate significance at  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ , and  $p < 0.001$ , respectively.

Veg and Repro represent vegetative and reproductive growth stages, respectively.

\*AUC means area under the curve ; CA: canopy area ; LA: total leaf area ; LFW: leaf fresh weight ; SFW: stem fresh weight

## 結 論

本研究針對青花菜兩品種及不同產期對其產量之影響進行探討，並透過環境數據與生理性狀的蒐集，瞭解影響青花菜產量的主要關鍵因子，未來的研究應用方向可以擴大至結合不同作物或品種的栽培環境關鍵參數與數據累積，進一步開發精準化的栽培方案，針對不同地區與品種，提供最佳種植時間與模式的建議，從而進一步提升產量與品質，增進生產者的收益。若能深化與契作商及農民的合作，透過實地應用與使用者反饋，加深在田間管理中的應用價值，並建立教育與推廣機制，讓更多生產者能受惠於數據驅動的農業技術。

## 參考文獻

1. 農業部農糧署農情報告資源網。2023。 [https://agr.afa.gov.tw/afa/afa\\_frame.jsp](https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp)
2. 農業氣象觀測網監測系統。2023。  
[https://agr.cwa.gov.tw/NAGR/history/station\\_month](https://agr.cwa.gov.tw/NAGR/history/station_month)
3. 海關進出口統計資料。2025。 [https://portal.sw.nat.gov.tw/APGA/GA31\\_LIST](https://portal.sw.nat.gov.tw/APGA/GA31_LIST)
4. 王仕賢、謝明憲。2005。農家要覽農作篇(二)青花菜 增修訂三版。P.451-454。豐年社 臺北。
5. 柯侑婷。2007。十字花科蔬菜中硫醣苷含量與芥子酶特性之研究。臺灣大學園藝學研究所學位論文。
6. 郭明池、謝明憲、彭瑞菊、張為斌、邱冠融。2021。加工用青花菜品種延長產期試作及省工一次施肥效益評估。臺南區農業改良場研究彙報第 78 號。
7. 陳葦玲、蕭政弘、蕭瑞展。2013。高溫逆境下青花菜之生理、組織結構變化及開花表現之研究。臺中區農業改良場研究彙報第 121 號 p.9-24。
8. 游詩妮、吳建銘、李昱錡、林靈。2020。中部地區甘藍農友轉作青花菜意願之研究。臺中區農業改良場研究彙報第 148 號 p.47-60。
9. Alina K., Włodzimierz K., Mikołaj K. 2009. Effect of temperature on the yield and quality of broccoli heads. *Vegetable Crops Research Bulletin* 71, 51-58.
10. Alina K., Włodzimierz K., Mikołaj K., Jolanta L., Tomasz S., Barbara F. 2010. The effect of temperature on the broccoli yield and length of the period from head initiation to harvest. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus*, 9(3), 167-174.
11. Arden F. S., Alan A. M. 1986. *Vegetable Diseases and Their Control*, pp. 251-253. New York : J. Wiley.
12. Bakker C. J., Swanton C. J., McKeown A. W. 2009. Broccoli growth in response to increasing rates of pre-plant nitrogen. I. Yield and quality. *Canadian Journal of Plant Science*, 89(3), 527-537.
13. Dhankhar S. K., Chandanshive A. V. 2017. Energy requirements for attainment of different phenological stages in broccoli inbreds. *Indian J. Hort.* 74(4), 623-626.
14. Fahey J. W. 2003. Brassicas. In "Encyclopedia of food science and nutrition", eds. C. Benjamin, T. Luiz and F. Paul. pp. 606-615. St Louis : Academic Press.
15. Gregory S. M., Wilhelm W. W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. For. Meteorol.*, 4(87), 291-300.

16. Heather D. W., Sieczka J. B., Dickson M. H., Wolfe D. W. 1992. Heat tolerance and holding ability in broccoli. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 117, 887-892.
17. Karistsapol N., Quanchit S. 2014. Incidence of bacterial disease and yield of broccoli as influenced by different rain protectors and varieties during the rainy season in southern Thailand. *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, 7(13), 2687-2692.
18. Kim J. H., Yun J. I. 2008. On mapping growing degree-days (GDD) from monthly digital climate surfaces for South Korea, *Korean J. of Agri. and Fore. Meteorol.*, 10(1), 1-8.
19. Mark W. F., Thomas B. 2011. Evaluation of experimental broccoli hybrids developed for summer production in the eastern United States. *HortScience*, 46, 858-863.
20. Misael T. D. Jr. 1989. Growth and development studies with broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) : a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Horticulture at Massey University. Massey University.
21. Monteith J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 281(980), 277-294.
22. Nicolas T. 1989. Effect of nitrogen sources and rates on yield and hollow stem development in broccoli. *Can. J. Plant Sci.* 69, 1049-1053.
23. Robert J. D. 1997. Determining heat unit requirements for broccoli harvest in coastal South Carolina. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122, 169-174.
24. Sivarajan S. 2011. Estimating yield of irrigated potatoes using aerial and satellite remote sensing. a dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Irrigation Engineering at Utah State University.
25. Soumaila S., El-Sebai O.I., Sanderson R. 2008. Severity of Verticillium wilt, plant growth, and spectral reflectance indices of chile pepper under periodic flooding and no-flooding conditions. *HortScience* 43(2), 414-419.
26. Stan L. 2020. High-resolution UAV time series for crop monitoring to evaluate Plant-Soil Feedback in a potato experiment. a thesis submitted in partial fulfilment of the degree of Master of Science at Wageningen University and Research Centre.
27. Thomas B., Karen J. P. 1998. High temperature arrest of inflorescence development broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.). *J. Exp. Bot.*, 49, 101-106.

# Analysis of Key Environmental and Growth Trait Factors Affecting Broccoli Yield<sup>1</sup>

Chun-Jung Shen<sup>2</sup>、Yu-Heng Lin<sup>3\*</sup> and Wei-Ling Chen<sup>4</sup>

## ABSTRACT

Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) is an important winter vegetable crop in Taiwan. However, its growth period and yield are highly influenced by environmental conditions, often resulting in uneven curd maturity, increased malformed heads, and elevated production costs. through sequential planting trials conducted during the 2021–2022 growing seasons. Environmental variables, including temperature, relative humidity, rainfall, and solar radiation, as well as growth traits, were systematically collected and analyzed using Pearson's correlation analysis to identify key factors affecting yield and quality at different growth stages. The results showed that, for cultivar 'No. 42', marketable and total yield were strongly and negatively correlated with rainfall and mean relative humidity during both vegetative and reproductive growth stages, indicating that excessive moisture was the primary limiting factor for yield. In addition, high temperature and growing degree days (GDD) during the reproductive growth stage significantly increased non-marketable yield and the rate of malformed heads. In contrast, cultivar 'BR-8' was highly sensitive to thermal and radiative conditions during the reproductive growth stage. Marketable and total yield exhibited strong negative correlations with growing degree days, maximum temperature, and cumulative solar radiation, while high-temperature stress markedly increased the proportion of malformed heads, indicating lower heat tolerance.

Overall, the results indicate that 'No. 42' is better suited to cultivation during cool and relatively dry autumn–winter seasons to avoid high humidity stress, whereas 'BR-8' should

---

<sup>1</sup>Contribution No.1121 from Taichung DARES, MOA.

<sup>2,3</sup>Research assistant and Associate Researcher of Taichung DARES, MOA

<sup>4</sup>Researcher and Deputy Director of of Floral Industry Innovation Center, Ministry of Agriculture, MOA

\*Corresponding Author Email: linyh@tcdares.gov.tw

be planted in winter to early spring under cooler conditions to minimize heat stress during the reproductive growth stage. This study clarifies cultivar-specific key environmental factors affecting broccoli yield and quality, providing a scientific basis for optimizing planting schedules and for the future development of growth period and yield prediction models.

**Keywords:** *Brassica oleracea* L. var. *italica*, growth period, environmental factors, yield, abnormal heads



# 評估有益微生物菌株搭配矽藻土對青蔥之促進效果<sup>1</sup>

楊馨璉<sup>2</sup>、郭建志<sup>3\*</sup>

## 摘 要

本研究評估本場技轉之兩株植物有益微生物液化澱粉芽孢桿菌所製產品之生物農藥菌力寶(*Bacillus amyloliquefaciens* Tcba05)與溶磷菌之微生物肥料產品活力美(*B. amyloliquefaciens* Tcb45)，搭配市售矽藻土澆灌對青蔥苗促進生長的影響。結果發現將矽藻土添加於稀釋後之微生物製劑中不影響兩株菌株的菌數，在培養前添加亦不影響菌種生長及內生孢子生成。在植株試驗時發現，以活力美搭配矽藻土能有效促進青蔥生長，與對照相比能顯著提高青蔥的地上部重(2.15 倍)、株長(1.3 倍) 與蔥白寬(1.51 倍)。單獨使用活力美對青蔥地上部重提升效果不顯著，僅能提升蔥白寬 1.26 倍。單獨使用菌力寶與矽藻土與對照相比無顯著差異，但兩者混合澆灌能提升青蔥的蔥白寬 1.41 倍。綜合上述結果使用微生物肥料活力美搭配矽藻土具有協助促進青蔥生長之能力，可供青蔥農友作為使用參考。

**關鍵字：**有益微生物菌、液化澱粉芽孢桿菌、青蔥、矽藻土

## 前 言

青蔥(*Allium fistulosum* L.)為蔥科蔥屬多年生宿根草本作物，通常以一、二年生栽培。早期由大陸引進，其栽種歷史悠久，是臺灣重要的農作物，國人飲食中最不可或缺的辛香類蔬菜(楊，2009)。目前臺灣全年均有栽培，面積約 4,150 ha，主要產區分布於雲林縣、彰化縣及宜蘭縣，其他縣市亦有零星栽培(臺灣農業統計年報，2024)。主要栽培品種有：1.四季蔥，適於秋冬氣候栽培，其耐旱性佳，葉肉多且柔嫩，分蘖多，全年皆可栽培；2.北蔥，可於夏季生長耐高溫，為南部主要栽培品種，其分蘖少不耐乾燥，葉型細長肉質較硬多以種子繁殖(洪，2003)。其中四季蔥栽培三至四個月為一週期，農民多

<sup>1</sup> 農業部臺中區農業改良場第 1116 號研究報告。

<sup>2</sup> 農業部臺中區農業改良場計畫助理。

<sup>3</sup> 農業部臺中區農業改良場副研究員。

\*通訊作者：郭建志，Email: kuocc@tcdares.gov.tw

採取母株分株後繼續下一週期種植，依蘗株莖徑的粗細選擇適當的分枝數種植(洪，2003)。

矽藻土(Diatomaceous earth, DE)為天然的軟矽質沉積岩，主要成分為二氧化矽( $\text{SiO}_2$ )，由單細胞藻類—矽藻的外骨骼化石沉積而成，顏色為淡黃色或淺灰色，質地輕軟，具有多孔隙、密度低與吸水性強等物理特性(黃等人，2022)。矽藻土因顆粒具鋒利邊緣，在接觸昆蟲時可有效破壞刺穿其外骨骼，致使蟲體失去水分最末脫水而死，使其可在綜合蟲害管理(Integrated Pest Management, IPM)中，達到防治害蟲的效果(黃等人，2022)，現已為動植物防疫檢疫署公告之免登記植物保護資材。此外，矽藻土能夠改善土壤結構、提升作物產量、抵抗病害及緩解各種逆境(Pati *et al.*, 2014; Sandhya *et al.*, 2018; Zeni *et al.*, 2021)。矽為部分植物必需且有益之營養元素，其參與植物的生長與發育，並增加抗病能力，降低病害侵染。研究指出水稻施用 600 kg/ ha 的矽藻土並配合標準施肥程序，可提高磷和鋅的吸收效率並顯著增加稻穀收成，若輔以水分管理，於土壤濕潤條件下施用更能顯著表現。當水稻的矽含量增加強化細胞壁後，亦提升了對於稻熱病與紋枯病抵禦能力(Pati *et al.*, 2014; Sandhya *et al.*, 2018)。

植物生長促進根圈細菌(Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR)指能夠在植物根部及其周圍土壤中自由生存的細菌，這些細菌能夠促進植物的生長、發展和健康。它們通過多種機制，包括 1.分解土壤有機質；2.促進作物營養吸收；3.改善土壤結構等作用提升作物生長，另外部分菌株亦具有生物防治效果，其生物防治的機制可分為 1.拮抗作用：競爭性以排斥病原體快速佔據根系生態圈減少病原體養分來源進而減少植物病害的發生；2.抗生物質產生：某些根圈細菌能夠產生抗生物質，如伊枯草菌 A(Iturin-A)和表面活性素(Surfactin)，藉此抑制其他病原微生物生長與代謝活動；3.誘導系統性抗性：誘導植物合成代謝物，進而增強植物病害防禦力(Chaganti *et al.*, 2023; Jiao *et al.*, 2021)。PGPR 可增進植物控制病害並提升對於鹽鹼或乾旱等環境壓力等逆境的耐受性，進而提高其產量。使用 PGPR 產品是相對於化學藥劑是友善環境的有效方法之一(Zeni *et al.*, 2021)。液化澱粉芽孢桿菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)為芽孢桿菌(*Bacillus spp.*)的一種，可於土壤、空氣、水及植物體內外發現。其歸屬於革蘭氏陽性菌，有周生鞭毛、好氧、活動力強且無夾膜細菌，可生活於 pH 2-10，且具耐高溫特性最適生長溫度為 30-40°C，可生成内生孢子，可於不適於生存的環境下存活(郭等人，2014)。研究發現植物有益微生物可增加植物產量與抵抗病蟲害。透過固定空氣中的氮、溶解土壤中的磷與鉀與分泌植物生長激素及各種分解酵素促進植物生長與肥料吸收(Jiao *et al.*, 2021)。抵抗病蟲害方面可透過分泌二次代謝物、幾丁質分解酶、誘導抗性、營養競爭或產生特定蛋白質達到

防治效果(Köhl *et al.*, 2019)。市售常見植物有益微生物包含菌根菌、木黴菌、芽孢桿菌及放線菌等。

為測試矽藻土與植物有益微生物對青蔥促生長的效果，本試驗選用本場技轉的兩株液化澱粉芽孢桿菌(*B. amyloliquefaciens*)產品：菌力寶與活力美和矽藻土分別澆灌處理與混合澆灌處理，測試可提升青蔥生長之最佳條件。此外，為分析矽藻土混合微生物製劑促進青蔥生長的可能原因，將微生物製劑與矽藻土混和後稀釋後測量菌數變化。另為方便農民使用及增加不可溶性矽的利用率，於液態培養基中加入矽藻土培養兩株液化澱粉芽孢桿菌，並探討矽藻土對菌數變化及內生孢子量的影響。

## 材料與方法

### 一、試驗材料

選用本場留種四季蔥剪去末端葉至 20 cm，試驗用栽培介質為倍翠康泥炭土。微生物菌株：選用本場技術授權之微生物菌株製成的產品液化澱粉芽孢桿菌“菌力寶”(Tcba05) (購自福壽實業股份有限公司，臺灣)以自來水稀釋 250 倍及“活力美”(Tcb45)(購自博堯生物科技股份有限公司，臺灣)以自來水稀釋 500 倍。矽藻土(DE)：大村鄉大豐農藥行購得矽藻土以自來水稀釋 2,000 倍。

### 二、矽藻土對兩株微生物製劑稀釋後菌數影響

將兩個微生物製劑產品分別依推薦稀釋倍數(菌力寶 250 倍)和(活力美 500 倍)懸浮於 100 mL 無菌水中配製成懸浮液後分成兩管，其中一管加入 2.5 mg 矽藻土後，分別靜置培養 2 hrs 及 24 hrs 取樣進行系列稀釋，塗抹至營養瓊脂 Nutrient agar (NA)培養基上，培養於 28°C，無光照之生長箱中，經 72 hrs 後計算菌落數量並推算菌數。

### 三、於培養基中添加矽藻土對兩株微生物內生孢子量影響

利用移植環自甘油保存管中純化菌株至 NA 培養基，待菌落長出後，挑選單一菌落於 5 mL 溶菌肉湯液態培養基 Luria-Bertani (LB) broth 中，置於 30°C 培養箱中，無光照處理，以 125 rpm 轉速震盪培養 24 hrs 後，吸取 1 mL 至含有 0.5 g 矽藻土之 100 mL LB broth 中，置於 30°C 培養箱中，無光照處理，以 125 rpm 轉速震盪培養，每 24 hrs 取樣一次，連續取樣三次，進行系列稀釋，取 100  $\mu$ L 塗抹至 NA 培養基上，培養於 28°C，無光照之生長箱中，經 72 hrs 後計算菌落數量並推算菌量。以不含矽藻土之 100 mL LB broth 為對照。第三次取樣後將樣品置於 60°C 水浴鍋中加熱 10 mins 後依上述方式計算內生孢子數。

#### 四、植株試驗

四季蔥以每 6 株定植於 60 cm\*40 cm\*20 cm 方盆，每處理 3 盆，各試驗處理如表一所示，於定植一周後連續澆灌 6 次，每周一次每盆 2 公升，於定植八周後調查全株長 (Plant height)、地上部重 (Weight)、蔥白長 (leaf Sheath length)、蔥白寬 (leaf Sheath diameter) 及分蘖數 (Tiller)。

表一、本實驗之處理菌株及施用組合

Table 1. Treatment strains and application combinations in this experiment

Groups	Treatment
Control	Water
DE	DE diluted 2000×
Tcba05	Tcba05 diluted 250×
Tcba05+ DE	Tcba05 diluted 250×+DE diluted 2000×
Tcb45	Tcb45 diluted 500×
Tcb45+ DE	Tcb45 diluted 500×+DE diluted 2000×

Each treatment received 2 L of different solutions per week.

DE = Diatomaceous earth, Tcba05 = microbial pesticide product (*Bacillus amyloliquefaciens*

Tcba05), Tcb45 = microbial fertilizer product (*B. amyloliquefaciens* Tcb45).

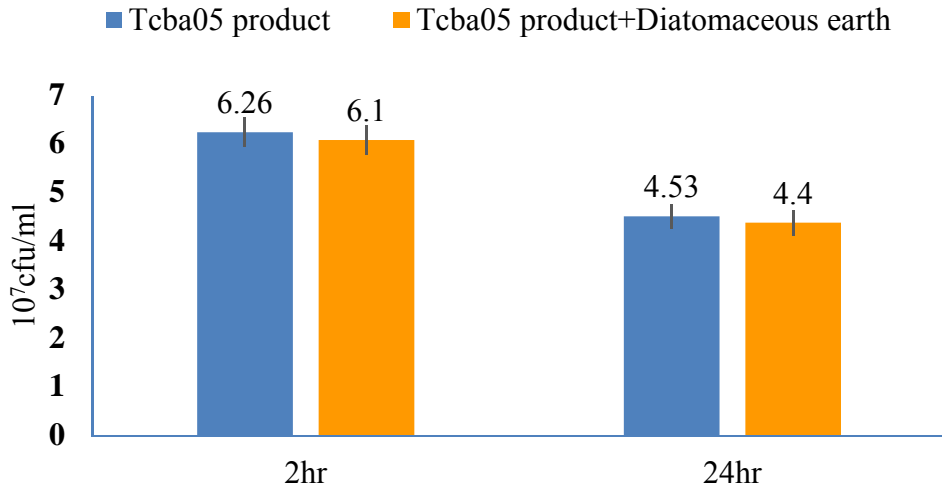
#### 五、統計分析

實驗數據利用 SPSS12.0 軟體進行 one-way ANOVA analysis，利用 least significant difference (LSD) test 在 95 %信賴區間下進行數據分析。

### 結果與討論

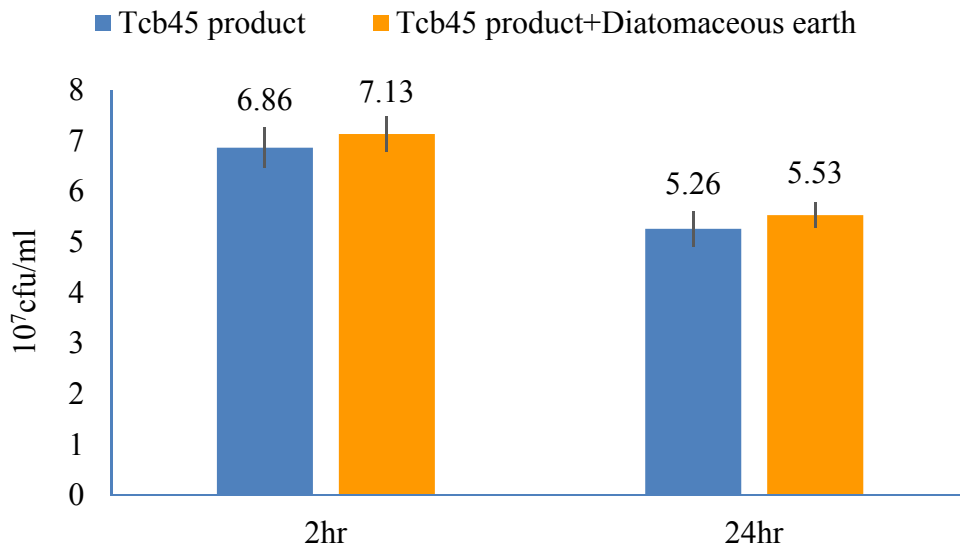
#### 一、矽藻土對兩株微生物製劑稀釋後菌數影響

為了解兩株微生物製劑添加矽藻土是否會對菌數造成影響，將兩株微生物製劑稀釋後個別加入矽藻土後 2 hrs 與 24 hrs 比較矽藻土對菌數變化的影響，結果如圖一與圖二所示，添加矽藻土於 2 hrs 與 24 hrs 後兩菌株之菌數皆保持於  $10^7$  cfu/ml，推測矽藻土並不對兩株菌株造成影響。



圖一、菌力寶產品添加矽藻土稀釋後之 *B. amyloliquefaciens* Tcba05 菌數變化。

Fig. 1. The effect of Diatomaceous earth addition on the growth of commercial Tcba05 product.

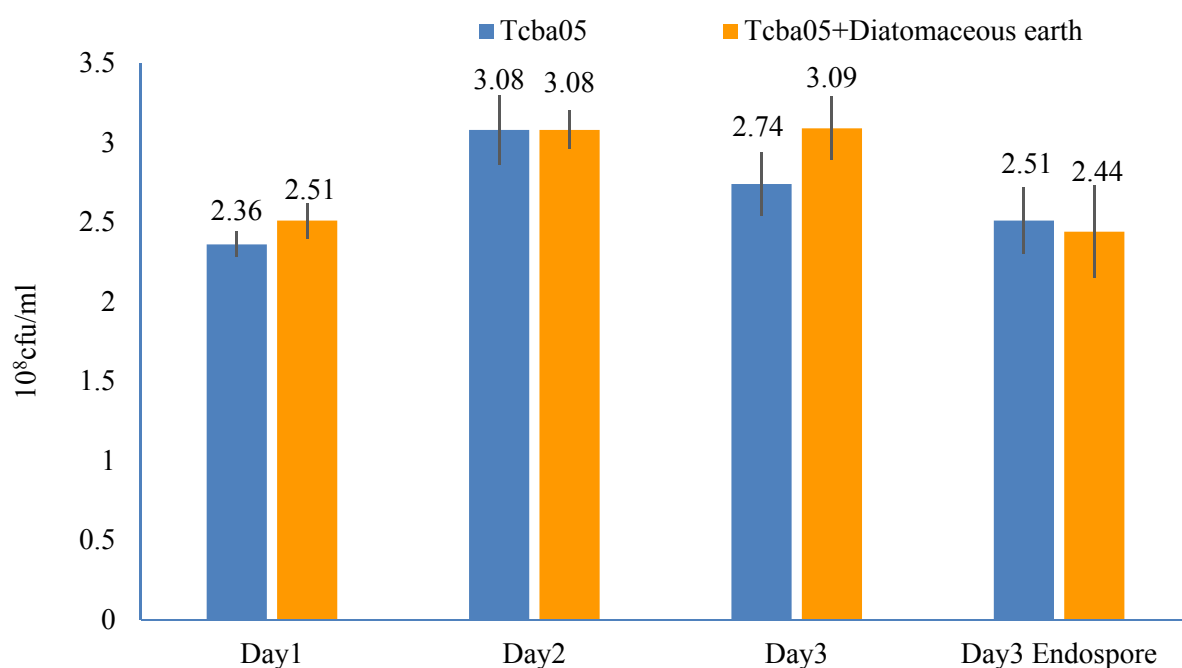


圖二、活力美產品添加矽藻土稀釋後之 *B. amyloliquefaciens* Tcb45 菌數變化。

Fig. 2. The effect of Diatomaceous earth addition on the growth of commercial Tcb45 product.

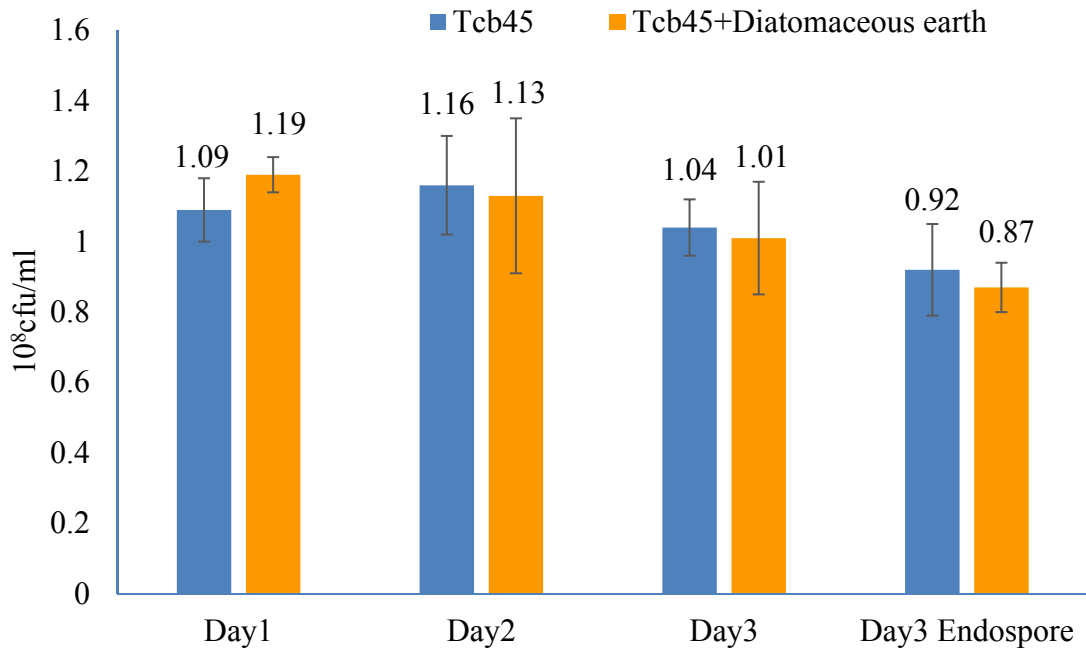
## 二、於培養基中添加矽藻土對兩株微生物菌數與内生孢子影響

為了解兩菌株培養時添加矽藻土是否對菌株造成影響，於液態培養基加入矽藻土連續記錄 3 天的菌數與透過加熱兩株微生物發酵液計算第三天之內生孢子生成數。如圖三與圖四所示，於液態培養時加入矽藻土並不會造成兩菌株的菌數在第一至第三天變化，皆在 24 hrs 時即達到  $10^8$  cfu/ml，芽孢桿菌製成生物製劑多以孢子型態販售，故於培養三天後計算孢子生成量，結果顯示矽藻土對兩株菌株的内生孢子生成亦不造成影響。



圖三、*B. amyloliquefaciens* Tcba05 菌株培養於液態培養基與添加矽藻土，分析其第一天至第三天之菌數變化與第三天之內生孢子含量。

Fig. 3. The effect of Diatomaceous earth on the growth and sporulation of *B. amyloliquefaciens* Tcba05.



圖四、*B. amyloliquefaciens* Tcb45 菌株培養於液態培養基與添加矽藻土，分析其第一天至第三天之菌數變化與第三天之內生孢子含量。

Fig. 4. The effect of Diatomaceous earth on the growth and sporulation of *B. amyloliquefaciens* Tcb45.

### 三、應用液化澱粉芽孢桿菌產品及矽藻土對四季蔥不同處理之園藝性狀表現

個別澆灌 Tcba05、Tcb45、DE 與綜合澆灌 6 次後隔週調查，全株重與株高表現以 Tcb45+DE 表現最顯著可達 65.65 g 及 54.10 cm 顯著優於其他處理組別，與 Control 相較分別達 35.1 g 及 12.8 cm 的重量與長度落差。蔥白寬以 Tcba05+DE 與 Tcb45+DE 效果較顯著，分別為 12.8 mm 與 13.8 mm。蔥白長與分蘖數表現各組間均無顯著差異(表二、圖五)。青蔥植株以葉身、葉鞘、基盤與根所組成，葉身呈中空，葉鞘為數層肉質片包圍著生長點發育，成圓柱狀假莖，即為蔥白，葉片由葉鞘內鱗片伸展而出，最末莖頂由最稚嫩的葉片所包圍。青蔥以蔥白或鞘長為食用部位，品質指標常以葉鞘長為主(洪，2003)。液化澱粉芽孢桿菌菌株 Tcba05 具產生抗生物質能力，而 Tcb45 具有溶磷(phosphate solubilization)及嵌鐵物質(siderophore)，其可產生澱粉、蛋白質與纖維素分解酶，並具耐鹽性(郭等人，2020；郭等人，2014)，兩者分別配合稀釋 2000 倍矽藻土施用，可提升四季蔥之產量。

表二、不同處理之四季蔥園藝特性比較

Table 2. Horticultural characters of welsh onion superior plants of different treatment

Group	Weight (g)	Plant height(cm)	leaf Sheath diameter(mm)	leaf Sheath length(cm)	Tiller
Control	30.5 ± 9.0c	41.3 ± 3.6b	9.1 ± 1.3 c	9.4 ± 0.5 a	2.9 ± 0.4a
DE	30.2 ± 12.5c	39.3 ± 0.8b	9.4 ± 0.9 c	9.3 ± 0.6 a	3.6 ± 0.8 a
Tcba05	35.5 ± 4.1c	41.5 ± 3.3b	10.7 ± 1.7 bc	9.2 ± 0.5 a	4.3 ± 1.8 a
Tcba05+DE	40.5 ± 11.7bc	47.5 ± 4.8b	12.8 ± 1.6 ab	9.5 ± 0.8 a	3.3 ± 0.6 a
Tcb45	40.0 ± 8.6bc	40.6 ± 3.7b	11.5 ± 1.4 b	9.1 ± 0.2 a	3.6 ± 0.5 a
Tcb45+DE	65.6 ± 7.2a	54.1 ± 1.2a	13.8 ± 1.4 a	9.8 ± 0.5 a	5.0 ± 1.3 a

Data is presented as mean ± SD. Different letters within the same column among cultivars indicate significantly difference by LSD test at  $p \leq 0.05$ .



圖五、青蔥生長試驗結果(A)Control (B)DE (C)Tcba05 (D)Tcba05+DE (E)Tcb45 (F)Tcb45+DE。

Fig. 5. Results of the Green Onion Growth Experiment. (A)Control (B)DE (C)Tcba05 (D)Tcba05+DE (E)Tcb45 (F)Tcb45+DE.

## 結 論

臺灣地區多為集約耕作模式，為維持作物高品質、高產量，田間肥培管理多為追求高效高肥分多施化學肥料為主，長久耕作下易使土壤酸化或鹽化、養分地分布不均，有機質含量驟減，進而使土壤中有益微生物族群失衡，土壤劣質引發連作障礙，土壤傳播性病害無法控制等，連帶降低農產品的質量(楊，2006)。研究指出 PGPR 能有效降低化

學肥料施用量、緩和土壤劣化問題，並增加土壤微生物族群豐富度與作物抵禦逆境之耐性(Zeni *et al.*, 2021)，國內亦有許多 PGPR 成分之微生物肥料產品。先前研究指出能利用 PCR 技術可以自 *B. amyloliquifaciens* Tcba05 菌株之核酸中，增幅出伊枯草菌素 A (Iturin-A) 與表面活性素(Surfactin)之專一性 DNA 片段，顯示 Tcba05 菌株具有產生抗生物質之能力並經試驗結果顯示可有效防治豇豆萎凋病與甘藍黑腐病(郭等人，2014)。液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 該菌株具溶磷效果並耐鹽，可產生多種分解酵素如澱粉酶、蛋白酶、纖維素酶及嵌鐵物質，助於蔬菜根系生長發育，顯著提高產量(郭等人，2020)。

矽藻土在農業上常用於防治害蟲。土壤中矽元素對作物的利用率很低，但可以透過矽溶解菌來促進植物利用。這些細菌能夠溶解不溶性矽酸鹽，進而提高土壤中可溶性矽酸鹽的利用率(Chaganti *et al.*, 2023)。本研究顯示兩株有益微生物菌株添加矽藻土後混合澆灌後，均能協力促進青蔥生長，以活力美 Tcb45 菌株混合矽藻土效果較為顯著。

矽藻土因其結構會造成肺部傷害又以粉狀販賣於市面，農民於使用時容易吸入肺部，故使用時需做好安全防護。本試驗將兩株液化澱粉芽孢桿菌菌株所製成之微生物製劑懸浮於無菌水後添加矽藻土後於 2 hrs 與 24 hrs 計算菌數，結果顯示添加矽藻土並不影響兩株菌株的菌數，但 24 hrs 相較 2 hrs 略低，推測為取樣誤差，另矽藻土於培養時加入培養基中結果顯示矽藻土並不影響兩株液化澱粉芽孢桿菌菌株的菌數及内生孢子生成數，可方便使用及減少稀釋時吸入肺部造成傷害的風險，後續測試效果與發酵後加入矽藻土對青蔥與其他作物評估是否有促進生長的效果，以供農民更多選擇。

## 參考文獻

1. 行政院農業部統計資料庫  
<https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/inquiry/InquireAdvance.aspx>. (下載日期 2025 Jul 26)。
2. 郭建志、陳俊位、廖君達、陳葦玲、蔡宜峰。2014。液化澱粉芽孢桿菌在作物病害防治的開發與應用。臺中區農業改良場特刊，121，69-86。
3. 郭建志、林煜恒、張世杰、羅佩昕、廖君達。2020。液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 菌株應用於微生物肥料之開發。臺中區農業改良場特刊，141，111-126。
4. 黃莉欣、白瓊專、李祈益。2022。矽藻土及二氧化矽應用簡介。農業世界雜誌，466，64-69。
5. 洪瑛穗。2003。影響青蔥分蘖性之研究。中興大學園藝系碩士論文。
6. 楊秋忠。2006。微生物肥料在綠色農業之研究與發展。生物技術與綠色農業研討會專刊。行政院農業委員會農業試驗所特刊，127，11-17。
7. 楊素絲。2009。青蔥產業概述。青蔥栽培管理手冊。花蓮區農業改良場，3-7。
8. Chaganti, C., A. Sarjerao, A. S. Phule, L. P. Chandran, B. Sonth, V. P. B. Kavuru, R. govindannagari and R. M. Sundaram. 2023. Silicate solubilizing and plant growth promoting bacteria interact with biogenic silica to impart heat stress tolerance in rice by modulating physiology and gene expression. *Frontiers in Microbiology*. 14.
9. Jiao, X., Y. Takishita, G. Zhou and D. L. Smith. 2021. Plant Associated Rhizobacteria for Biocontrol and Plant Growth Enhancement. *Frontiers in Plant Sci.* Mar. 17(12).
10. Köhl, J., R. Kolnaar and W. J. Ravensberg. 2019. Mode of Action of Microbial Biological Control Agents Against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy. *Front Plant Sci.* 10: 845.
11. Pati, S., B. Pal, and G. Hazra. 2014. Effect of diatomaceous earth on yield and disease infestation of rice. *ORYZA-An International Journal on Rice*. 51(4): 297-301.
12. Sandhya, K., N.B. Prakash, and J.D. Meunier. 2018. Diatomaceous earth as source of silicon on the growth and yield of rice in contrasted soils of Southern India. *Journal of soil science and plant nutrition*. 18(2): 344-360.
13. Zeni, V., G. V. Baliota, G. Benelli, A. Canale and C. G. Athaassiou. 2021. Diatomaceous earth for arthropod pest control: Back to the future. *Molecules*, 26(24): 7487.

# Evaluation of Plant Protection Materials Combined with Diatomaceous Earth for Promoting Growth in Green Onions<sup>1</sup>

Cing-Cong Yang<sup>2</sup> and Chien-Chih Kuo<sup>3\*</sup>

## ABSTRACT

This study evaluated the growth-promoting effect on green onions by applying commercially available diatomaceous earth in combination with two plant beneficial microorganisms developed by our station: the microbial pesticide product (*Bacillus amyloliquefaciens* Tcba05) and the microbial fertilizer product (*B. amyloliquefaciens* Tcb45 phosphate-solubilizing bacteria) through irrigation of green onion seedlings. The results of the experiment showed that the addition of diatomaceous earth to the culture medium did not affect the bacterial count or spore number of the two strains, and adding it before culturing also did not impact bacterial growth or spore formation. In the field trials, it was found that the combination of Tcb45 and diatomaceous earth was most effective in promoting green onion growth, significantly increasing the fresh weight of aboveground parts (2.15 times), plant height (1.3 times), and white pseudostem width (1.51 times) compared to the control group. The sole application of Tcb45 did not significantly increase the fresh weight of aboveground parts, only increasing the white pseudostem width by 1.26 times. The separate use of Tcba05 and diatomaceous earth showed no significant difference compared to the control, but their combined irrigation increased the white pseudostem width of the green onions by 1.41 times. In summary, the use of Tcb45 microbial fertilizer product combined with diatomaceous earth demonstrates the ability to promote green onion growth, which can serve as a suggestion for green onion farmers.

**Keywords:** Plant growth promoting rhizobacteria, *Bacillus amyloliquefaciens*, Green onion

---

<sup>1</sup> Contribution No. 1116 from Taichung DARES, MOA.

<sup>2</sup> Research assistant of Taichung DARES, MOA.

<sup>3</sup> Associate Researcher of Taichung DARES, MOA.

\* Corresponding Author: Chien-Chih Kuo, Email: kuocc@tcdares.gov.tw



# 彰化縣國民學校食農教育推行現況分析與建議<sup>1</sup>

曾康綺<sup>2\*</sup>

## 摘 要

本研究旨在探討彰化縣學校推動食農教育現況與資源需求，透過問卷調查，針對曾參與臺中區農業改良場食農教育研習課程之學校人員進行資料收集，共獲得 66 份有效問卷。調查內容涵蓋受訪者背景資訊、校園農事體驗環境、課程實施情形與教學資源需求等層面。結果顯示，受訪者以國小階段教師為主，尤以兼任行政職務及任教自然、健康與體育領域教師居多。學校食農課程多以綜合活動、家政及彈性學習課程進行，顯示食農教育已初步融入學校教學架構。超過半數受訪者曾參與相關研習，但僅兩成完成教案建置；約七成學校辦理校外教學，合作對象多為在地農場與農民組織，反映社區資源為實作學習之重要支撐。學校課程設計多聚焦於「農業生產與環境」及「飲食健康與消費」，呈現以農業生產安全與飲食健康為核心的導向。飲食體驗活動之教育成效普遍優於農事體驗，惟在教材建置、農事工具配置與文化教育融入方面仍存不足，且教師培訓、教案建置及校外教學經驗均顯著影響資源應用與課程發展意願。建議持續強化教師專業能量，並優化食農教育資訊平台以提升教材應用與跨校交流，同時推動在地資源合作，鏈結農會、農場與社區資源，並加強「飲食生活與文化」面向之融入，以促進三大面向之均衡發展，進一步培養學生食農素養與永續實踐力。

**關鍵字：**食農教育、資源需求、資源盤點

## 前 言

食農教育(Food and Agricultural Education)近年來已成為國際教育的重要趨勢。根據 Joshi, Azuma 與 Feenstra(2008)的研究指出，『從農場到學校』(Farm-to-School, FTS)計畫能顯著改善學生的飲食行為，研究顯示參與該計畫的學生其蔬果攝取量增加幅度可

---

<sup>1</sup> 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1114 號。

<sup>2</sup> 農業部臺中區農業改良場副研究員。

\*通訊作者：曾康綺，Email: tsengyj@tcdares.gov.tw

達 25%至 84%，並能有效提升學校午餐的參與率。食農教育強調實作體驗，結合飲食、農業及環境等領域，是一種與在地資源緊密結合的教育方式，透過跨域整合農事體驗、烹飪、飲食及營養等內容來推動。食育關注於正確的飲食知識與行為教育，而農育則著重於親身參與的農業體驗活動。學校是推動食農教育的重要實踐場域，基於十二年國教課綱中的自發、互動及共好理念，以培養學生的食農素養為目標。學校在設計食農教育課程與體驗活動時，常以「農業生產與環境」、「飲食健康與消費」及「飲食生活與文化」三個面向為指導，每一面向進一步細分為農業生產與安全、農業與環境、飲食與健康、飲食消費與生活型態、飲食習慣及飲食文化等六大主題，涵蓋 25 項學習內容，據此成為十二年國教各教育階段的食農教育範疇及學習策略基礎，並提供農業部推動食農教育計畫的概念架構與學習方向參考。在此基礎上，透過議題融入、議題主題及議題特色課程設計，學校可以聚焦於「飲食教育」與「農業教育」兩大構面，推展食農教育策略，分別導入校部課程之領域學習、校訂課程之彈性學習(林，2022)。

根據食農教育活動的設計類型與執行者，食農教育可以區分為三種類型：學校教育型(由學校教師或營養師執行，課程納入正式課程或特色教學，主要場域為校園菜圃或鄰近農場、社區菜圃)；學校教育支援型(由各類團體或農場人員擔任教學支援角色，提供長期或短期課程，場域包括鄰近學校的農場及社區菜圃)；社區組織型(由團體或農場人員執行，短期課程，場域為鄰近農場或社區菜圃，一般民眾、學童或親子共同參與)(董與蔡，2016)。綜合學校推動食農教育的各種作法，例如校園小農園、校園午餐教育、支援學校學習課程、校園講座及安排食農相關校外教學(陳，2015)。藉由農事體驗實作化、校園午餐食材在地化及食農教育課程系列化來扎根校園，深耕食農素養與體驗教育，採取多元活動與融入教學等方式，積極推動食農教育之宣導推廣、農事體驗與師資培力工作(林，2024)。此外，課程設計亦可融入學校之校本特色課程，結合社區資源推動，例如將食農教育融入九年一貫課程領域，設計短期或長期的學校本位課程，透過教師社群和推動組織的運作來深化課程內容，將食農教育融入學生的日常生活與教材(陳，2017)。

在食農教育政策推動層面，農業部試驗改良場所辦理重要角色，包括開發食農教育實作模組、編彙國產農漁畜產品教材、協助地區學校、農漁會、農民組織等推動食農教育等。此外，針對食農教育人員培訓方面，辦理食農教育基礎培訓課程、專業訓練共同培訓、在職訓練等多元化課程，培育具備食農教育理念與專業知能之推廣人才，期透過系統化訓練，建構食農推動及專業人員對於食農教育「三面六項」核心架構的理解，並強化其在教學設計、資源整合、社區連結與在地行動推廣上的能力。在實務層面，臺中區農業改良場開發「芫荽體驗型教學模組」，以北斗地區特色作物芫荽為核心，設計涵

蓋播種、田間觀察至烹調實作的完整流程，強調學生透過參與與操作深化對農業與食物來源的理解，該模組導入 LINE@智能互動學習系統，以個人化栽培日曆提醒與紀錄功能，促進學生自主學習，教師亦能即時掌握進度，並獲得完整的學習歷程紀錄。此數位化介入有效提升課程互動性與教學成效，實踐「從產地到餐桌」的核心理念。為了深化學生對均衡飲食與食物分類的認識，研發「飲食探索－智慧餐盤」數位教材，結合 RFID 感應技術與六大類食物模型，提供即時熱量與營養分析，並連結食材來源與栽培方式。將傳統靜態教材轉化為互動且直觀的數位學習歷程，使學生在學習均衡飲食的同時，深化農產品與日常飲食之關聯，進而強化健康意識與食物選擇能力。整體而言，農業部試驗改良場所不僅為農業技術推廣機構，而逐步轉型為食農教育的核心推動者。其教材與課程之設計，不僅呼應十二年國民基本教育課綱與「三面六項」核心理念，亦展現數位化、系統化與永續化的發展趨勢，為建構兼具教育性與實務性的食農教育模式提供了重要參考。

校園是推動食農教育的重要場域，不僅能培養學生對食物來源的理解與尊重，更有助於推廣永續飲食與農業價值。然而，學校在實際推動過程中，仍面臨多重挑戰。以臺中地區(中彰投)為例，常見困難包括教學時數不足、經費有限、師生認知不足、教材資源缺乏，以及校園農作空間不足等(張與曾，2017)。此外，在資源分散且缺乏整合共享機制的情況下，缺乏具體教育內涵與專業師資的協助，亦成為學校推動食農教育的重要限制(江，2021)。在此脈絡下，如何有效整合校園與在地資源，並建立系統化推動模式，成為亟需探討的課題。有鑑於此，本研究以彰化縣國民學校為對象，聚焦於學校食農教育資源之現況與問題分析，並透過結構性問卷調查盤點校園可運用之資源，期能結合在地既有條件，建構系統化的食農教育主題，作為課程設計與實踐之依據，進而提供推動校園食農教育的策略參考，最終達成食農教育深耕校園的實質成效。

## 材料與方法

### 一、問卷設計

本研究以探討彰化地區中小學推動食農教育之現況與資源需求為目標，問卷設計分為受訪背景資料、實施現況評估及資源需求三大部分。問卷設計參考張與曾(2019)、林(2024)與教學現場需求，收集受訪者基本資料，包括學校級別、職務類別、是否擔任教學職務、任教年級及教學領域等七項變項，以描繪參與食農教育推動之基本輪廓。

為掌握學校在食農教育推動現況，設計「校園農事體驗環境營造」與「食農教育課程內容」兩份量表。前者包括八個題項，涵蓋學校是否具備農事工具、場地、作物多樣

性、活動資源供應、教學理念契合程度，以及師生共同營造可食地景等實務操作層面，後者細分為「農事體驗活動內容」與「飲食體驗內容」兩個構面，前項構面六個題項聚焦於學生對農業生產過程、在地與季節性作物、農技與文化等認識，後項構面七個題項則關注飲食的感官體驗、營養均衡、飲食技能培養、食物里程觀念與飲食文化等核心內容。兩份量表題項皆採用李克特五點量表(Likert scale)，分數範圍從 1 分(完全不符合)至 5 分(非常符合)，各量表得分愈高，表示學校在推動各類教學活動中的整體契合程度與落實程度愈高。除上述量表外，問卷亦設計封閉式題項，以進一步瞭解學校推動食農教育核心重點與教師專業歷程現況。包括「學校推展食農教育課程時最注重的面向」、「教師是否曾接受食農教育相關訓練」、「曾參與訓練課程之主辦機構類型」以及「是否已完成食農教案建置」。另為瞭解學校對外合作與延伸學習情形，問卷亦納入校外教學相關題項，包括「學校是否曾辦理食農教育相關之校外教學活動」與「是否具有合作之體驗場域或推動單位」，期透過分析，進一步釐清學校於在地資源連結與區域推動狀況。

為進一步瞭解學校在推動食農教育過程所面臨之教學支持需求與資源落差，探討實務推展的限制因素與支援的可行性，以封閉式與開放式題項進行調查，教學支持需求題項包括對農業部推動食農教育「三面六項」教學理念與學習內容的瞭解程度，以及是否具備根據在地農產、農業環境與文化背景，發展校本食農教育課程的實務意願，現行課程中最需要加強之教學面向，以及學校在辦理課程或規劃農場教學活動時，應包含「三面六項」之核心學習內容等。在資源使用情形調查方面，包括學校是否選用地農特產品為教學素材、是否曾應用農業部食農教育資訊整合平臺情形等，另收集目前學校在推動食農教育過程中遇到的問題與建議，以強化資料的質性層面與政策連結。

## 二、資料收集與統計

針對參與 112 年臺中區農業改良場主辦之食農教育專業研習課程學員為研究對象，進行問卷調查。樣本身份別涵蓋彰化地區國中與國小校長、主任、教師與營養師等教育實務人員，其多為參與食農教育政策推動與課程實作之第一線人員，屬於學校端食農教育推動之關鍵參與者。

問卷採便利取樣法，於研習課程現場以紙本方式發放並回收，共回收有效問卷 66 份。收集資料以 IBM SPSS Statistics 23.0 進行統計分析，以描述性統計呈現受訪者基本輪廓，再透過交叉分析與卡方檢定探討不同變項之間的關聯性，並運用 t 檢定比較不同背景受訪者在各量表得分的差異。

## 結 果

### 一、受訪者背景分析

根據受訪者基本資料顯示(表一)，學校級別以國小(69.7%)高於國中(18.2%)與其他(12.1%，含大學、幼稚園等)。有無任教背景方面，有任教者(68.2%)高於無任教者(31.8%)，職務別以教師兼行政最多(51.5%)，其次為校長/行政(18.2%)、教師(12.1%)、營養師/午餐秘書(10.6%)；任教年級以國小(五、六年級)占最多(35.7%)、其次為國小(三、四年級)(19.6%)、國中(17.9%)及國小(一、二年級)(16.1%)；任教科目方面，國中任教科目主要以語文為主(50%)，其次為綜合活動(25%)、社會(16.7%)、生活與自然科技(8.3%)等科目，國小任教科目主要是健康與體育(28.8%)、自然(26.9%)兩科目，其次為綜合活動(11.5%)，另社會、數學、生活、語文、藝術等各科目均低於10%以下；受訪者認為學校所進行食農教育歸屬何種教學領域認知結果，各有31.9%認為應屬於家政/綜合活動與其他(校本；彈性學習；跨領域、社團、融入、營養等課程)，其次為生物/自然科技領域(28.5%)，地理/社會(5.5%)與語文(2.2%)占最低。

在個人參與和學校推行食農教育狀況方面(表二)，受訪者表示有無接受食農教育訓練各占56.1%與43.9%，受訓次數以1次居多數(62.2%)，其次為2-3次(32.4%)，4次以上者僅5.4%，可見參與受訓次數仍偏低。根據參與食農教育訓練主辦機構的複選題分析結果，以政府機關(中央或地方)與學校(含社區大學)為最高，各占31.9%與30.6%，其次農會(20.8%)，社區與其他民間組織相對較低(16.7%)。

依據受訪者結果顯示，完成食農教案建置部分僅佔21.2%，表示對食農教案建置尚有提升空間，而教案內容挑選在地產物為主，於各個年級或全學每周1或2小時之校本課程或彈性課程中進行教學，透過簡報、影像輔助教學，讓學生學習體驗農耕實作或食材料理，並以活動圖像加以記錄。

針對學校辦理食農教育校外教學方面，結果顯示有辦理者(71.2%)高於未辦理者(28.8%)；學校配合食農教育之校外教學單位或體驗場域，以一般農場/休閒農園(農場)/休閒農業區較多(48.7%)，其次為農會等農民團體組織(26.3%)、社區發展協會(15.8%)、政府農業機關(9.2%)。

表一、受訪者背景屬性(n=66)

Table 1. Background characteristics of respondents (n=66)

背景變項	變項內容	次數	百分比
學校級別	國中	12	18.2
	國小	46	69.7
	其他	8	12.1
有無任教	無任教	21	31.8
	有任教	45	68.2
職務別	教師	8	12.1
	校長/行政	12	18.2
	教師兼行政	34	51.5
	營養師/午餐秘書	7	10.6
	其他(專業經理、社區大學職員及綜合輔導團專輔人員)	5	7.6
任教年級別 (複選題)	國小(一、二年級)	9	16.1
	國小(三、四年級)	11	19.6
	國小(五、六年級)	20	35.7
	國中	10	17.9
	其他	6	10.7
國中任教科目 (複選題)	語文	6	50.0
	綜合活動	3	25.0
	社會	2	16.7
	生活與自然科技	1	8.3
	數學	0	0.0
	藝術	0	0.0
	健康與體育	0	0.0
國小任教科目 (複選題)	健康與體育	15	28.8
	自然	14	26.9
	綜合活動	6	11.5
	社會	4	7.7
	數學	4	7.7
	生活	3	5.8
	語文	3	5.8
	藝術	3	5.8
食農教育學習 課程歸屬領域 認知 (複選題)	家政/綜合活動	29	31.9
	其他(校本；彈性學習；跨領域、社團、融入、營 養等課程)	29	31.9
	生物/自然生活科技	26	28.5
	地理/社會	5	5.5
	語文	2	2.2

表二、個人參與和學校推行食農教育狀況

Table 2. Personal participation and school implementation of food and agricultural education

項目	分類	次數	百分比
接受食農教育訓練	否	29	43.9
	是	37	56.1
參加食農教育訓練 次數	1 次	23	62.2
	2-3 次	12	32.4
	4 次以上	2	5.4
參與食農教育訓練之 主辦機構(複選題)	政府機關(中央或地方)	23	31.9
	學校(含社區大學)	22	30.6
	農會	15	20.8
	社區或其他民間組織(含 NPO 組織)	12	16.7
完成食農教案建置	無	52	78.8
	有	14	21.2
學校辦理食農教育校 外教學	無	19	28.8
	有	47	71.2
學校配合食農教育之 校外教學單位或體驗 場域(複選題)	一般農場/休閒農園(農場)/休閒農業區	37	48.7
	農會等農民團體組織	20	26.3
	社區發展協會	12	15.8
	政府農業機關	7	9.2

## 二、學校對食農教育推行狀況

### (一)校園農事體驗環境營造描述性分析

在校園農事體驗環境營造現況之分析(表三)，量表信度為0.959，整體平均分數為3.34分(滿分為5分)，各單項平均分數介於3.00-3.53分，其中「學校師生動手實作，共同動手營造校園可食地景」(M=3.53)、「營造校園食農知識與體驗的良好環境」(M=3.52)分數較高，顯示較偏好師生共同打造食農共學與知識體驗等環境，另「學校農事工具方便取用」(M=3.00)與「學校農事種植體驗作物類別多元」(M=3.20)平均分數較低，顯示在農事工具備置與栽植內容仍然較為不足。總體而言，受訪者校園農事體驗環境營造偏向於普通以上程度。

表三、校園農事體驗環境營造之描述性分析(n=66)

Table 3. Descriptive analysis of the creation of agricultural experience environments on campus (n=66)

校園農事體驗環境營造	平均分數(排序)
學校農事工具方便取用	3.00(8)
學校農事角落或體驗場地多元	3.29(6)
學校農事種植體驗作物類別多元	3.20(7)
學校農事活動或資源能滿足學生學習需求	3.33(5)
學校農事理念符合學生學習目標	3.44(3)
學校師生動手實作，共同動手營造校園可食地景	3.53(1)
營造校園食農知識與體驗的良好環境	3.52(2)
打造校園農園成為農作物種植園圃之體驗基地	3.39(4)
平均	3.34
量表信度	0.959

## (二)學校辦理食農教育課程或活動之學習目標與重點描述性分析

有關學校辦理食農教育課程或活動教學內容之描述性分析(表四)，整體量表信度為0.893，整體平均分數為3.95分(滿分為5分)，其中「農事體驗活動」構面平均得分為3.89，排序較高題項為「認識農業生產與食物之關係(M=4.08)」與「認識在地生產與季節性作物(M=4.02)」，其次為「體驗農業生產之辛勞過程(M=3.92)」與「瞭解當地農業生產技藝與文化(M=3.83)」，較低者為「瞭解農業生產對大自然環境之衝擊(M=3.79)」與「瞭解農業生產初級技能(M=3.71)」。結果顯示農業教育課程較重視引導學生建立農食連結及季節性農作的基礎知識，其次為農事勞動與文化傳承，較為忽視環境議題與農事實務技能之教學。

「飲食體驗活動」構面平均得分為4.01，依據得分顯示，排序較高題項為「培養良好飲食禮儀(M=4.27)」與「瞭解食物里程及吃當季食當地低碳飲食觀念(M=4.12)」，其次為「瞭解營養均衡及多樣性食物攝取的價值(M=4.11)」與「認識食物的原味，強化品嘗及感官教育(M=4.06)」，較低者為「瞭解人類飲食對大自然環境之衝擊(M=4.00)」、「瞭解培養飲食調理初級技能(M=3.80)」及「瞭解食品過度加工與化學添加物內容(M=3.73)」。結果顯示飲食教育較為重視學生態度養成與價值觀引導，其次為永續飲食與健康知識的傳遞及導入原型食物之感官體驗，較為忽視飲食調理實務技

能與食品過度加工之內容。

結果顯示在「農事體驗活動(M=3.89)」與「飲食體驗活動(M=4.01)」兩大構面，整體表現均達中高水準，其中飲食體驗構面得分高於農事體驗構面，且著重於飲食禮儀、低碳飲食與營養均衡等教育目標，顯示食農教育推行現況較為重視學生飲食態度與健康觀念的養成。

表四、學校食農教育課程或活動教學內容之描述性分析(n=66)

Table 4. Descriptive analysis of food and agricultural education experience content in schools (n=66)

學校辦理食農教育課程或活動教學內容		構面平均	平均分數 (排序)
農事 體 驗 活 動	認識農業生產與食物之關係	3.89	4.08(1)
	體驗農業生產之辛勞過程		3.92(3)
	認識在地生產與季節性作物		4.02(2)
	瞭解農業生產初級技能		3.71(6)
	瞭解當地農業生產技藝與文化		3.83(4)
	瞭解人類農業生產對大自然環境之衝擊		3.79(5)
飲 食 體 驗 活 動	認識食物的原味，強化品嚐及感官教育	4.01	4.06(4)
	瞭解營養均衡及多樣性食物攝取的價值		4.11(3)
	瞭解培養飲食調理初級技能		3.80(6)
	瞭解「食物里程」及「吃當季、食當地」低碳食材觀念		4.12(2)
	瞭解食品過度加工與化學添加物內容		3.73(7)
	培養良好飲食禮儀(珍惜、感恩、共享等)		4.27(1)
瞭解人類飲食對大自然環境之衝擊	4.00(5)		
平均			3.95
量表信度			0.893

### 三、教學資源應用與教學需求現況分析

受訪者對農業部推展食農教育三面六項內涵與學習內容瞭解程度方面，以普通(68.2%)最高、其次為很瞭解(19.7%)與非常瞭解(9.19%)，不瞭解者僅占3%；從在地農產、農業環境與文化背景來發展校園食農教育三面六項學習課程的意願，其中有意願者(56.1%)最高，其次為非常有意願(28.8%)、普通(13.6%)，而有1.5%表示非常無意願者；對於目前學校課程大綱，最需要建置的食農教育教案依序為飲食與健康(24.2%)、農業

與環境(20.7%)、飲食文化(17.2%)、農業生產與安全(13.6%)、飲食消費與生活型態(13.1%)、飲食習慣(11.1%)，顯示學校希望課程學習著重依序為飲食健康與消費(37.3%)、農業生產與環境(34.3%)、飲食生活與文化(28.3%)之三大面向。受訪者選用地農特產或食材作為學校食農教育教學內容，以普通者(37.9%)最高，其次為常常(34.8%)，很少與非常頻繁者(13.6%)最少。

受訪者針對農業部建置食農教育資訊整合平臺資源使用方面，於平臺搜尋食農資料頻率以普通(37.9%)最高，很少與從來沒有者占34.9%，常常與非常頻繁者合計27.3%。在平臺最常瀏覽的資料以教學資源(25.5%)最高，其次為食農教育推廣成果(15.4%)與宣導專區(10.1%)，而最新消息、計畫申請、推薦主題則介於7%-10%間。經於課程中宣導說明後有81.8%受訪者表示對平臺資源有教學應用實際需求，且有71.2%表示平臺內容達到符合教學應用需求以上(很符合、非常符合)程度；學校與其他農場、農會/機關或單位等進行跨域合作推動食農教育意願方面，高達78.8%受訪者表示有意願與非常有意願程度，持普通意願者為21.2%。

表五、食農教學資源應用程度與需求分析

Table 5. An Analysis of the Application Level and Needs of Food and Agricultural Teaching Resources

題項	分類、程度	N	百分比
對食農教育三面六項內涵與學習內容瞭解程度	完全不瞭解	0	0.0
	不瞭解	2	3.0
	普通	45	68.2
	很瞭解	13	19.7
	非常瞭解	6	9.1
發展校園食農教育三面六項學習課程意願	非常無意願	1	1.5
	無意願	0	0.0
	普通	9	13.6
	有意願	37	56.1
	非常有意願	19	28.8
目前學校課程大綱，最須學習食農教育課程學習面向(複選題)	農業生產與安全	27	13.6
	農業與環境	41	20.7
	飲食與健康	48	24.2
	飲食消費與生活	26	13.1
	飲食習慣	22	11.1
	飲食文化	34	17.2

題項	分類、程度	N	百分比
選用地農特產或食材作為學校食農教育教學內容	從來沒有	0	0.0
	很少	9	13.6
	普通	25	37.9
	常常	23	34.8
	非常頻繁	9	13.6
到食農教育平臺資源搜尋食農資料頻率	從來沒有	5	7.6
	很少	18	27.3
	普通	25	37.9
	常常	12	18.2
	非常頻繁	6	9.1
在食農教育資訊整合平臺資源搜尋食農資料，最常瀏覽資料別(複選題)	關於本站	1	0.7
	最新消息	11	7.4
	臺灣農產地圖	22	14.8
	計畫申請	14	9.4
	教學資源	38	25.5
	推薦主題	11	7.4
	宣導專區	15	10.1
	食農教育推廣成果	23	15.4
	食農教育法	14	9.4
	大事紀	0	0.0
對食農教育資訊整合平臺資源有教學應用實際需求	非常無需求	0	0.0
	無需求	0	0.0
	普通	12	18.2
	有需求	38	57.6
	非常有需求	16	24.2
食農教育資訊整合平臺資源符合教學上的應用需求	非常不符合	1	1.5
	不符合	1	1.5
	普通	17	25.8
	很符合	35	53.0
	非常符合	12	18.2
進行跨域合作推動食農教育意願	非常無意願	0	0.0
	無意願	0	0.0
	普通	14	21.2
	有意願	30	45.5
	非常有意願	22	33.3

受訪者認為，學校在推動食農教育課程時，應涵蓋「農業生產與環境」、「飲食健康與消費」以及「飲食生活與文化」三大層面(表六)。其中，「農業生產與環境」面向的重視程度最高(71.2%)，其次為「飲食健康與消費」(69.3%)，「飲食生活與文化」則相對較低(63.3%)。此結果顯示，學校課程設計目前多以農業生產與健康飲食為主要重點，而文化相關內容在課程中的比重相對有限。整體而言，三大層面雖皆具有一定的重要性，但不同面向之間的關注程度仍存在差異。

在農業生產與環境構面，觀察值比率顯示最高為「當地、當季農產食材認識」(90.9%)，其次為「農產在地生產方式與特色介紹，基本農作栽種知識教學」(75.8%)與「簡單農業生產技能與農事生產體驗(插秧、栽種、採摘/採收、飼育等)」(74.2%)內容，相對最低的項目為「農村自然資源之永續循環利用」(63.6%)與「農村綠色旅遊體驗」(56.1%)，顯現受訪者在農業生產與環境內容考量上，偏重在地當季食材、基本簡易農業生產知能等農事教育、產地體驗相關內容導入，強調學生對在地農產與基礎農業技能認識。

在飲食健康與消費構面，最受重視的內容為「在地農產品、食材的選購與保存要訣」(72.7%)，其次為「在地農產品營養成分介紹」(71.2%)與「認識有機、友善無毒農法及用藥安全」(71.2%)，相對較低的項目為「農產與其加工品產地消」(66.7%)與「安全農產品標章(三章一Q、產銷履歷)推廣」(65.2%)，顯示受訪者在此層面的考量多集中於健康飲食與食材選購等直接影響日常飲食安全與健康的知能。

飲食生活與文化構面，排序第一為「農產手作體驗(如碾米、米食糕點製作及各類農產品加工DIY等)」(81.8%)，其次為「惜食、廚餘減量宣導」(80.3%)、「在地特色飲食品嚐與賞味(66.7%)」及「農耕精神與感謝生產者辛勞活動體驗(66.7%)」，相對較低的項目為「農村傳統文物展示與當地產業文化遊覽體驗(48.5%)」與「農村日常生活體驗」(42.4%)，觀察值比率分別為48.5%與42.4%，結果顯示，學校在文化層面的課程設計上，傾向以實作性與體驗性活動作為主要形式，尤其是農產加工DIY與惜食教育，較能引起學生的興趣與參與。

表六、學校辦理食農教育教學課程應涵蓋內容

Table 6. Content that should be covered in school food and agricultural education curricula

層面	學校辦理食農教育教學課程應涵蓋內容	觀察值 比率	次數(%)	排序
農業 生產 與 環境	當地、當季農產食材認識	90.9	60(21.2)	1
	農產在地生產方式與特色介紹，基本農作栽種知識教學	75.8	50(17.7)	2
	簡單農業生產技能與農事生產體驗 (插秧、栽種、採摘/採收、飼育等)	74.2	49(17.4)	3
	農場參觀導覽，農產產地環境認識、走訪與實地觀察	66.7	44(15.6)	4
	農村綠色旅遊體驗	56.1	37(13.1)	6
	農村自然資源之永續循環利用	63.6	42(14.9)	5
	觀察值平均比率	71.2	-	-
飲食 健康 與 消費	在地農產品營養成分介紹	71.2	47(14.7)	2
	農產與其加工品產地地消	66.7	44(13.8)	6
	在地農產品、食材的選購與保存要訣	72.7	48(15.0)	1
	國產食材、低碳飲食採用	69.7	46(14.4)	4
	安全農產品標章(三章一Q、產銷履歷)推廣	65.2	43(13.4)	7
	農村健康飲食知識或安全生產的推廣	68.2	45(14.1)	5
	認識有機、友善無毒農法及用藥安全	71.2	47(14.7)	2
觀察值平均比率	69.3	-	-	
飲食 生活 與 文化	在地農業資源手工藝傳承 (如彩繪、染印、陶藝等DIY創作)	59.1	39(11.7)	6
	農產手作體驗 (如碾米、米食糕點製作及各類農產品加工DIY等)	81.8	54(16.2)	1
	在地特色飲食品嚐與賞味	66.7	44(13.2)	3
	惜食、廚餘減量宣導	80.3	53(15.9)	2
	農村日常生活體驗	42.4	28(8.4)	8
	農村傳統文物展示與當地產業文化遊覽體驗	48.5	32(9.6)	7
	農耕精神與感謝生產者辛勞活動體驗	66.7	44(13.2)	3
	農村傳統活動(如控窯等)與童玩文化等手作DIY	60.6	40(12.0)	5
觀察值平均比率	63.3	-	-	

註：以上三大層面各包含6、7、8個內容選項，均採複選方式作答。

#### 四、食農教育資源應用態度之差異分析

為瞭解不同背景變項是否影響學校推動食農教育資源的應用情形與意願，根據受訪者基本資料與食農教育資源應用之相關問項進行卡方獨立性檢測(表七)，結果顯示「學校別」對「發展校園食農教育三面六項學習課程的意願」有顯著差異， $\chi^2$ 為10.524\*( $p=0.032$ )；「建置食農教案」分別與「對食農教育三面六項內涵與學習內容瞭解程度」、「發展校園食農教育三面六項學習課程意願」及「選用地農特產或食材作為學校食農教育教學內容」具顯著差異， $\chi^2$ 各為11.064\*\*( $p=0.004$ )、6.272\*( $p=0.043$ )、10.114\*\*( $p=0.006$ )；「接受食農教育訓練」與「食農教育平臺資源搜尋食農資料頻率」具顯著差異， $\chi^2$ 為6.496\*( $p=0.039$ )；學校辦理食農教育相關校外教學則對「發展校園食農教育三面六項學習課程意願」、「選用地農特產或食材作為學校食農教育教學內容」及「進行跨域合作推動食農教育意願」，具顯著差異， $\chi^2$ 分別為7.552\*( $p=0.023$ )、6.484\*( $p=0.039$ )、3.900\*( $p=0.048$ )。

表七、不同背景與食農教育資源相關問項交叉分析

Table 7. Cross-Tabulation of Respondents' Backgrounds and Food and Agricultural Education Resource-Related Items

背景變項	對食農教育三面六項內涵與學習內容瞭解程度		發展校園食農教育三面六項學習課程意願		選用地農特產或食材作為學校食農教育教學內容			
	$\chi^2$	漸近顯著性	$\chi^2$	漸近顯著性	$\chi^2$	漸近顯著性		
學校級別	6.294	0.178	10.524*	0.032	6.025	0.197		
建置食農教案	11.064**	0.004	6.272*	0.043	10.114**	0.006		
學校辦理食農教育相關校外教學	5.502	0.064	7.552*	0.023	6.484*	0.039		
背景變項	食農教育平臺資源搜尋食農資料頻率		對食農教育資源有教學應用實際需求		食農教育平臺資源符合教學應用需求		進行跨域合作推動食農教育意願	
	$\chi^2$	漸近顯著性	$\chi^2$	漸近顯著性	$\chi^2$	漸近顯著性	$\chi^2$	漸近顯著性
接受食農教育訓練	6.496*	0.039	1.234	0.267	0.134	0.935	2.986	0.084
學校辦理食農教育校外教學	3.293	0.193	1.187	0.276	4.501	0.105	3.900*	0.048

註：\*  $p \leq 0.05$ , \*\*  $p \leq 0.01$ , \*\*\*  $p \leq 0.001$

為瞭解背景變項是否會影響受訪者完成食農教育教案建置的情形，以「是否接受食農教育訓練」為控制變項，進行獨立性卡方檢定，根據交叉分析結果(表八)，顯示兩者之間存在顯著關聯， $\chi^2$ 為6.343\*( $p=0.012$ )。結果顯示受訪者的專業進修與培訓背景，對於食農教育教學內容的落實與系統化發展具關聯性，其中在有完成教案之12人中，有受過訓練(85.7%)比例明顯高於未接受訓練者(14.3%)。

表八、接受食農教育訓練與有無建置食農教案之交叉分析

Table 8. Cross-Tabulation of Food and Agricultural Education Training Participation and Lesson Plan Implementation

變項	類別	完成食農教案建置				$\chi^2$ (P 值)
		無		有		
		人數	%	人數	%	
接受食農教育訓練	無	27	51.9	2	14.3	6.343* (0.012)
	有	25	48.1	12	85.7	
	合計	52	100.0	14	100.0	

註：\*  $p \leq 0.05$ , \*\*  $p \leq 0.01$ , \*\*\*  $p \leq 0.001$

## 討論與建議

研究結果顯示，受訪者以國民小學教職員為主，尤以兼任行政職務與任教中高年級之自然/健康/體育領域者居多，顯示校內推動多由具行政職能者扮演協調與窗口角色，對跨處室整合與課務協調有助益。在教學實務上，多數受訪者認為食農教育較常結合家政、綜合活動、校本課程、彈性課程及跨領域學習等教學領域進行實施，在參訓者的實務經驗中，食農教育已逐漸嵌入學校課程架構中，並在一定程度上引導學生將食物、農業及環境知識整合至整體學習脈絡。在專業增能層面，逾半數受訪者表示曾接受過食農教育相關訓練，其中以參與一次研習者為多，訓練來源以政府機關與學校單位為主，惟實際完成學校教案建置者比例僅約二成，顯示從課程認識到具體教學實作間仍存在落差，與江(2021)所指出之學校缺乏具體教材與教學支援情形相符，反映校園較缺乏足夠的教學引導與素材之整合，未來應強化授課教師對「三面六項」核心理念的實務应用能力，提升課程發展與教學轉化能力，以產出符合各校特色與學生需求之校本食農課程。調查結果亦顯示，約有七成受訪學校已推動食農教育相關之校外教學活動，其合作對象多為一般農場或在地農民組織，反映出社區資源對學校課程延伸具實質助力。建議學校可進一步結合社區、農民團體及在地農業資源，將校外教學與班級課程結合，推動食農教育

之旅，讓學生能夠通過實地體驗，深入地理，瞭解飲食、農業及環境間的連結。

在校園農事體驗環境方面，受訪者普遍給予普通以上的評價，尤以「師生共同營造校園可食地景」及「建構良好的校園食農知識與體驗環境」兩項表現較高。然而，農事工具配置不足與農事活動內容深度不足，仍為推動上的限制。呼應楊等(2020)所指出，將在地文化特色與探究式、實作化活動結合，有助於培養學生的環境倫理觀與問題解決能力。有鑑於此，建議學校在增強食農教育資源時，應優先檢視現有之軟硬體條件與合作夥伴關係，以提升學生食農素養為核心目標，並採取因地制宜且具彈性的規劃方式，強化農事學習體驗與實作活動，逐步營造適切的校園食農學習場域，從而促進環境友善且永續的飲食選擇與農業實踐。

學校在食農教育課程的推動上，應同時涵蓋「農業生產與環境」、「飲食健康與消費」以及「飲食生活與文化」三大領域，且食農素養為應具備飲食相關知能與選擇能力，養成良好的飲食習慣，實踐健全的飲食生活(林, 2022)，調查結果顯示「農業生產」與「飲食健康」的重視程度，相對「飲食文化」高，建議未來學校在推動食農教育時，除延續既有的農業生產與飲食健康課程外，可強化飲食文化相關內容，透過融入在地飲食特色、傳統飲食知識與飲食倫理等元素，使學生能在知識、態度與實踐層面獲得更全面的食農素養，並促進三面六項內涵的均衡落實。

約七成以上的受訪者傾向於選用地農特產品或食材作為教材，並有八成以上認為農業部建置的食農教育平台資源具有教學應用需求與價值，其中以「教學資源」與「食農教育推廣成果」最常被使用，然而，仍有部分受訪者對平台的使用頻率偏低，顯示資源雖具潛力但在推廣上仍需加強，未來可透過培訓課程或工作坊，提供操作指引與應用示例，協助教師熟悉平台使用方式，並提升資源轉化為課程應用的效益。另近八成受訪者表示與農場、農會或其他機關進行跨域合作推動食農教育，顯示跨域合作已成為提升食農教育推動成效的重要策略，不僅能有效補足學校在硬體設備與師資能量上的不足，同時也讓學習內容更貼近農業實務，建議未來在培育課程設計除著重於學校內部資源整合外，亦可增加與農業、教育及社會相關機構的合作鏈結，透過網絡化的協力模式，形成地區共學平台，以共享場域與專業資源。

透過關聯性分析顯示，學校級別、是否接受過食農教育訓練、是否完成食農教案建置，以及是否曾辦理校外教學，均對受訪者的課程發展意願與資源應用行為具有顯著影響，其中，在完成食農教案的受訪者中，受過訓練者的比例明顯高於未接受訓練者，顯示教師專業培訓能有效增強其課程設計與實踐能力，換言之，教師的專業培訓經驗與校園食農教育實踐歷程，對於提升課程規劃能力及資源整合效能具有關鍵作用，因此建議

未來推動食農教育應更加重視教師專業培訓與支持。

綜整研究結果，彰化縣國民學校在推動食農教育課程時，雖已涵蓋「農業生產與環境」、「飲食健康與消費」以及「飲食生活與文化」三大面向，但實際課程設計與實踐，仍以農業生產與飲食健康為核心，著重在地食材認識、農事體驗及健康飲食知能培養，相較之下，在教材建置、教案發展與文化傳承等面向則顯不足。建議未來應加強教師專業增能，並落實「三面六項」核心理念於課程設計與教學實踐，尤其在「飲食生活與文化」層面，應強化文化體驗、地方飲食歷史及生活美學的融入，以促進食農教育於生產、消費與文化三大面向的均衡發展。此外，跨域合作亦是推動食農教育的重要關鍵，可透過鏈結農會、在地農場及社區資源，使校外學習與課程設計相互呼應，進一步深化學生的實作經驗。在此過程中，區域農業改良場可發揮專業支持與資源整合的角色，不僅提供課程示範與教材研發協助，亦能作為政策與學校現場的橋樑，推動課程在地化與系統化，同時，可於培訓課程中導入地區青農資源與合作案例分享，以提升合作效益，增進學生對在地產業與農業永續的理解。另調查結果顯示，受訪者對農業部食農教育平台內容具有高度認可與需求，為提升平台效能，建議持續優化其內容，並強化檢索與應用便利性，同時增設教案範例、教材模組及跨校交流機制，並於相關訓練課程進行推廣與操作使用示範，以擴大教師的使用率與應用效益。

## 參考文獻

- 1.江俊儀。2021。綠色方舟：國中校園推動食農教育之策略。臺灣教育評論月刊，10(1)，198-203。
- 2.林如萍。2022。食農教育教案手冊-國小篇。臺北市：行政院農業委員會。
- 3.林如萍。2024。食農教育教學知能手冊。臺北市：行政院農業部。
- 4.張惠真、曾康綺。2017。學校支援型食農教育推動模式之研究－以臺中地區為例。臺中區農業改良場研究彙報，137，73-87。
- 5.張惠真、曾康綺。2019。食農教育態度對種子教師培訓需求之影響-以中部地區為例。臺中區農業改良場研究彙報，143，19-34。
- 6.張惠真。2018。臺灣食農教育推廣現況。臺中區農業專訊，103，1-3。
- 7.陳美芬。2015。與「食」俱進-談學校食育的推動與規劃。新北市教育季刊 15，14-17。
- 8.陳美芬。2017。學校推動食農教育的理念與做法。屏縣教育季刊，69，10-15。
- 9.楊筑鈞、蔡執仲、鄭蕙玲。2020。發展在地農事體驗課程之省思。環境教育研究，16(2)，83-130。
- 10.董時叡、蔡嫦娟。2016。當筷子遇上鋤頭：食農教育作伙來。臺中市：台灣農業推廣學會。
- 11.Joshi, A., Azuma, A. M., & Feenstra, G. (2008). Do farm-to-school programs make a difference? Findings and future research needs. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 3(2-3), 229-246.

# **Analysis and recommendations on the implementation of food and agriculture education in elementary schools of Changhua County<sup>1</sup>**

Kang-Chi Tseng<sup>2</sup>

## **ABSTRACT**

This study investigates the implementation and resource needs of food and agriculture education in Changhua County schools. A questionnaire survey was conducted among school personnel who had attended training workshops organized by the Taichung District Agricultural Research and Extension Station, yielding 66 valid responses. The survey examined respondent backgrounds, school farming environments, curriculum practices, and resource requirements. Findings revealed that most respondents were elementary school teachers, particularly those with administrative duties or teaching in science, health, and physical education. Food and agriculture education was primarily delivered through integrated activities, home economics, and flexible learning, showing initial incorporation into school curricula. Over half had attended related training, though only 20% completed lesson plans. About 70% of schools organized field trips, mainly partnering with local farms and farmer groups, underscoring the importance of community resources. Curricula focused largely on “agricultural production and environment” and “dietary health and consumption,” reflecting priorities in food safety and healthy eating. While dietary experience activities showed stronger educational outcomes than farming experiences, challenges remained in teaching material development, tool provision, and cultural integration. Teacher training, lesson planning, and field trip experience significantly influenced resource use and curriculum advancement. The study recommends strengthening teacher professional capacity, enhancing the national information platform to support material use and cross-school exchange, and fostering partnerships with local agricultural and community resources.

---

<sup>1</sup>Contribution No. 1114 from Taichung DARES, MOA

<sup>2</sup>Associate Researcher of Taichung DARES, MOA.

\*Corresponding Author: Kang-Chi Tseng, Email: tsengyj@tcdares.gov.tw

Greater integration of “dietary life and culture” is further encouraged to achieve balanced development across the three domains, ultimately cultivating students’ literacy in food and agriculture and their capacity for sustainable practice.

**Keywords:** Food and agricultural education, resource needs, resource inventory



**BULLETIN OF  
TAICHUNG DISTRICT AGRICULTURAL RESEARCH AND  
EXTENSION STATION, MINISTRY OF AGRICULTURE**

No. 168

September 2025

**CONTENTS**

- Genetic Characteristics and Adaptation to Mechanized Harvesting in Mungbean  
(*Vigna radiata*).....Zhen-Wei Huang and Hsun-Shih Lin... 1
- Establishing the Carbon Footprint of Agricultural Products Across the Life Cycle:  
A Case Study of Rice Products .....Yi-Chien Wu,  
Chi-Shiou Kuo, Chung-Yi Liao, Cheng-Hong Li and Chi-Yong Teng...15
- Preservative Pretreatments Improve Post-storage Vase Quality of Cut Lilies  
(*Lilium* spp. L.).....Hong-Wen Feng and Yen-Hua Chen...33
- Analysis of Key Environmental and Growth Trait Factors Affecting Broccoli Yield  
..... Chun-Jung Shen、Yu-Heng Lin and Wei-Ling Chen...51
- Evaluation of Plant Protection Materials Combined with Diatomaceous Earth for  
Promoting Growth in Green Onions.....Cing-Cong Yang and Chien-Chih Kuo...71
- Analysis and recommendations on the implementation of food and agriculture  
education in elementary schools of Changhua County..... Kang-Chi Tseng...89

**TAICHUNG DISTRICT AGRICULTURAL RESEARCH AND  
EXTENSION STATION, MINISTRY OF AGRICULTURE**

Tatsuen Hsiang, Changhua, Taiwan, Republic of China

ISSN: 0255-5905

GPN: 2006500018

定價:新臺幣 100 元