



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

No. 169

December 2025

CONTENTS

- Effects of Applying Different Boron Concentrations on the Growth of Shoots in Grafted Pears..... Huei-ling Liu and Ching-Mu Hsu... 1
- Study on the Cognitive and Behavioural Intentions of Agricultural Personnel towards Zero Net Agricultural Emissions..... Shih-Fang Chen and Pei-Jen Chen...13
- Establishment of a Modified Growing Degree Day Prediction Model for Broccoli in Taiwan's Subtropical Climate.....Chia-Wei Chang, Chin-Yuan Chang, Yu-Chen Hung and Wei-Ling Chen...35
- Effects of intermittent irrigation treatments on growth characteristics and yield of rice varieties TNG71 and TN..... Chi-Shiou Kuo, Yi-Chien Wu...53
- Development of an automated passion fruit grading system integrating deep learning and multi-object tracking technologies..... Hsin-Chang Chen, Yu-Chen Hung, Chin-Yuan Chang and Chia-Wei Chang...87
- Optimization of Urediniospore Germination Conditions of Grapevine Rust for Fungicide Efficacy Evaluation..... Yung-Feng Ho and Ching-Ching Hsu...109

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

農
業
部
臺
中
區
農
業
改
良
場



第169期

ISSN 0255-5905

農業部臺中區農業改良場
研究彙報

中華民國114年12月

目 次

- 高接梨施用不同濃度硼對新梢生長之影響.....劉惠菱、徐錦木... 1
- 農業人員淨零排放認知與行為意向之研究.....陳世芳、陳蓓真...13
- 建立適用於臺灣亞熱帶氣候區之青花菜修正積溫預測模型.....
.....張佳偉、張金元、洪榆宸、陳葦玲...35
- 乾溼交替灌溉處理對水稻台農71號與台南11號生長特性與產量之影響.....
.....郭芝秀、吳以健...53
- 整合深度學習與多目標追蹤技術於百香果自動化篩選系統之研製.....
.....陳信彰、洪榆宸、張金元、張佳偉...87
- 葡萄銹病夏孢子發芽之影響因子與殺菌劑抑制效果評估....何湧峰、許晴情...109

研
究
彙
報
第
一
六
九
期

中
華
民
國
一
一
四
年
十
二
月

農業部臺中區農業改良場 編印
彰化縣 大村鄉

高接梨施用不同濃度硼對新梢生長之影響¹

劉惠菱²、徐錦木^{3*}

摘 要

高接梨生產過程中，萌芽後須多次進行摘心及除梢工作，耗費人力及時間成本。為簡化此流程，本研究於梨穗高接後新梢生長至4片葉及7片葉完全展開時分別施用硼500 ppm、250 ppm及170 ppm，結果可提早新梢停心及控制新梢伸長，皆顯著抑制新梢生長。試驗結果以7片葉完全展開時施用硼500 ppm，於新梢停心及停止伸長日數分別為15日及16.9日有最佳效果，但會造成葉片損傷，本研究中僅硼170 ppm處理未出現葉片損傷表現。硼處理之著果率以4片葉完全展開時，採硼250 ppm及170 ppm處理為最佳，分別為71.7%及66.7%。因此綜合考量建議於4片葉完全展開時施用硼170 ppm，即可達抑制新梢生長效果，且不影响後續著果數，可兼顧摘心及除梢之省工栽培及維持產量。

關鍵字：硼、抑梢、果實品質

前 言

高接梨為臺灣特殊生產梨果的方式，其栽培方式為12月中旬至隔年2月下旬間，以帶有花芽之梨枝條為接穗高接於砧木(橫山梨、豆梨及鳥梨等)徒長枝上，嫁接後約20-30天開花，依接穗品種不同於5-9月間採收。高接前後為使作為砧木枝梨樹能順利萌芽，常使用4-5%氰氨化鈣之澄清液加200倍美利得青液肥全樹噴施，促進梨樹萌芽(徐與黃，1990)。由於梨芽為複合芽，內含花序及葉芽(圖一)，新梢生長旺盛時會與花序形成養分競爭，不利著果，因此果農多在4片葉完全展開前多次進行摘心或剪除新梢(圖二)，抑制營養生長以促進著果，提升著果率，但此舉耗費相當多的人力及時間成本。

植株正常栽培下硼主要透過木質部從土壤中運輸至植體(Clarkson & Hanson, 1980; Raven, 1980)，並在植體中傾向於累積在葉片及幼果等小範圍移動區域，並透過木質部的供給及韌皮部的再分配(Shelp, 1993)。且硼在大部分植物為組成分生組織重要成分，

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第1119號

^{2,3} 農業部臺中區農業改良場研究助理、助理研究員

*通訊作者：徐錦木，Email: hsucm@tcdares.gov.tw

Warington(1923)在培養皿試驗中證明缺硼會導致植物死亡，若再添加硼可使植物再次生長；除此之外硼亦會影響細胞壁結構、代謝作用、質膜完整性、苯酚代謝及 IAA 的擴散等。植物在酸性土壤中以硼酸(H_3BO_3)的形式吸收土壤中的硼，而在中性或鹼性 pH 值下則以四氫基硼酸鹽 $[\text{B}(\text{OH})_4^-]$ 的形式吸收(Vera-Maldonado *et al.*, 2024)。植物透過質膜通道吸收硼酸，並經由特定載體以 $\text{B}(\text{OH})_4^-$ 形式運輸(Stangoulis *et al.*, 2001; Yoshinari & Takano, 2017)。

硼對果樹著果具有關鍵作用。在梨(*Pyrus pyrifolia*)上的研究顯示，花後葉面施用 200 mg L^{-1} 硼酸顯著促進花粉萌芽及花粉管生長，並增加花藥及花粉重量(Lee *et al.*, 2009)。在草莓上，葉面及土壤施用硼可提高花粉活力達 71.8 % (Saridaş *et al.*, 2021)。在‘哈斯’酪梨中，一定的硼濃度範圍內(每株樹 15 g)與初期著果率呈強烈正相關，施用硼可改善自花授粉後的著果(Hapuarachchi *et al.*, 2022)。此外，硼在梨果類中可與多元醇(如山梨醇)形成穩定複合物，促進硼在韌皮部中的移動與再分配(Minchin *et al.*, 2012)。

硼具有抑制新梢生長的效果已在多種作物上獲得證實。如南瓜幼苗使用 40 ppm 硼於 72 hr 後根系生長停止且抑制莖伸長(Lovatt & Bates, 1984)；亦有研究指出葡萄開花期前單獨施用硼調整植體碳氮比，抑制結果枝新梢之徒長(謝，1988；Abd *et al.*, 2011)。此外葡萄及枇杷噴施過磷酸鈣 100 倍或第一磷酸鈣配合硼酸 800 倍，可減少新梢節位數而達抑梢效果(林與張，1994；葉等，2012)。

因此本研究以不同濃度硼分別於新梢 4 片葉及 7 片葉時完全展開施用，探討濃度與施用時期對新梢生長之影響，期能找到最適施用濃度及時期，以達到使用噴施硼即可調整新梢長度，提升著果率，減少果園摘心的作業勞力，穩定高接梨生產品質。



圖一、梨接穗開花時花序及腋芽同時生長形成養分競爭。

Fig.1. When pear scions bloom, the inflorescence and axillary buds grow simultaneously, created competition for nutrients.



圖二、農民通常於腋芽長出 3-4 片葉時進行摘心作業，耗費大量人力。

Fig.2. Farmers typically pinch off the tips of axillary buds when they have grown 3-4 leaves, which requires a lot of manpower.

材料與方法

一、試驗及調查方法：

(一)試驗材料及設計

2022 年 1 月 18 日於本場以梨‘台中 2 號’為砧木，高接已滿足低溫需求梨‘台中 5 號’之梨穗，並於高接後 5 日內以 5% 氰氨化鈣之澄清液加 200 倍美利得青液肥(精澧農業)催芽處理，2 月 10 日開始萌芽。

試驗採完全區集設計(RCBD)，分別於 4 片葉完全展開時與 7 片葉完全展開時(圖一)施用硼($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)，B 含量 20.5%。以單株砧木梨‘台中 2 號’為一小區，共分為 3 小區，每小區隨機選取生長一致枝條，重複數為 3 枝。處理濃度包括 170 ppm(1,200 倍)、250 ppm(800 倍)、500 ppm(400 倍)及對照組(不施硼)，每一枝條施用量約 3 mL。



(A)



(B)

圖三、4 片葉(A)及 7 片葉(B)完全展開。

Fig.3. Fourth leaf stage (A) and sevenyh leaf stage.

(二)調查方法及項目：

每枝條於硼處理前調查 0 天數據，包含處理前新梢長度、節間數及開花數，並於每隔 3-4 天調查一次，調查至該枝條新梢停止生長。調查項目為整枝新梢長度、枝條節數、

枝梢停心(如圖二)及停止伸長日數、節間長度、新梢停止生長前總生長長度(計算公式：處理後新梢長度－處理前新梢長度)、每枝著果數、每枝採收果實數，並計算著果率(計算公式：著果數÷開花數×100%)。果實成熟採收後測量重量、果實長度及寬度，並以果實硬度計(fruit hardness tester, Lutron Electronic, model FR- 5120)測量果肉硬度，數位式屈折計(hand refractometer; Atago, model PR210a)測量果肉總可溶性固形物等果實品質相關數據。

數據分析以 SAS enterprise guide 進行最小顯著差異(Fisher's least significant difference, LSD test)分析，顯著水準以 P 值為 5% 為界，分析各處理間有無顯著差異。



圖四、梨枝梢停心情形。

Fig. 4. Pear shoot growth cessation.

結 果

噴施不同硼濃度對高接後新梢生長的結果(詳如表一)，在萌芽至新梢停止生長日數、新梢停心及停止伸長日數上，不論是在 4 片葉或 7 片葉完全展開時處理，有施用硼者皆有縮短萌芽至新梢停止生長日數，及促進新梢停心及停止伸長的效果。並以 4 片葉完全展開時以 500 ppm 硼處理之效果最佳，萌芽至新梢停止生長日數較不施用硼之處理縮短 14.9 日；表示施用硼可以加速新梢停心並停止新梢伸長達抑制新梢生長效果。

在新梢長度及節間數增加量的結果(表二)與表一結果相似，施用硼可以減少新梢長度及節間數，4 片葉完全展開時以硼 250 ppm 及 7 片葉完全展開時以硼 0.050 %處理新

梢總長度較短，分別為 25.1 及 25.3 cm；7 片葉完全展開時處理新梢伸長之長度及增加的節間數較少，分別為 10.1 cm 及 1.9。節間長度不論是否施用硼之結果差異不大，以 7 片葉完全展開時施用硼濃度 500 ppm 具顯著較長，為 6.1 cm。

綜合上述結果顯示，施用硼抑制新梢生長，主要為縮短新梢生長日數，即減少新梢細胞分裂速度，以及減少節間數。但在硼高濃度處理下葉片容易受損，由圖三可得知不論是在 4 片葉或 7 片葉完全展開時處理硼 500 ppm 及 250 ppm 皆會對葉片造成損傷，綜合考量兼具縮短新梢停心及停止伸長日數、新梢長度及減少節間數的效果，以 4 片葉或 7 片葉完全展開時施用硼 170 ppm，為最佳處理條件。

表一、不同硼濃度對高接後梨新梢生長相關物候性狀

Table 1. Effects of different boron concentrations on phenological traits related to the growth of shoots in grafted pears

Concentration(ppm)	Days from budbreak to shoot growth cessation	Days to terminal bud formation	Days to cessation of shoot elongation
CK	44.8 a ^z	30.1 a	34.2 a
4 leaf stage 500	29.9 b	27.3 ab	38.3 a
250	34.8 b	29.1 ab	38.6 a
170	35.3 b	29.2 ab	32.8 ab
7 leaf stage 500	31.0 b	15.0 c	16.9 c
250	32.4 b	16.8 c	20.0 c
170	30.3 b	20.9 bc	24.0 bc

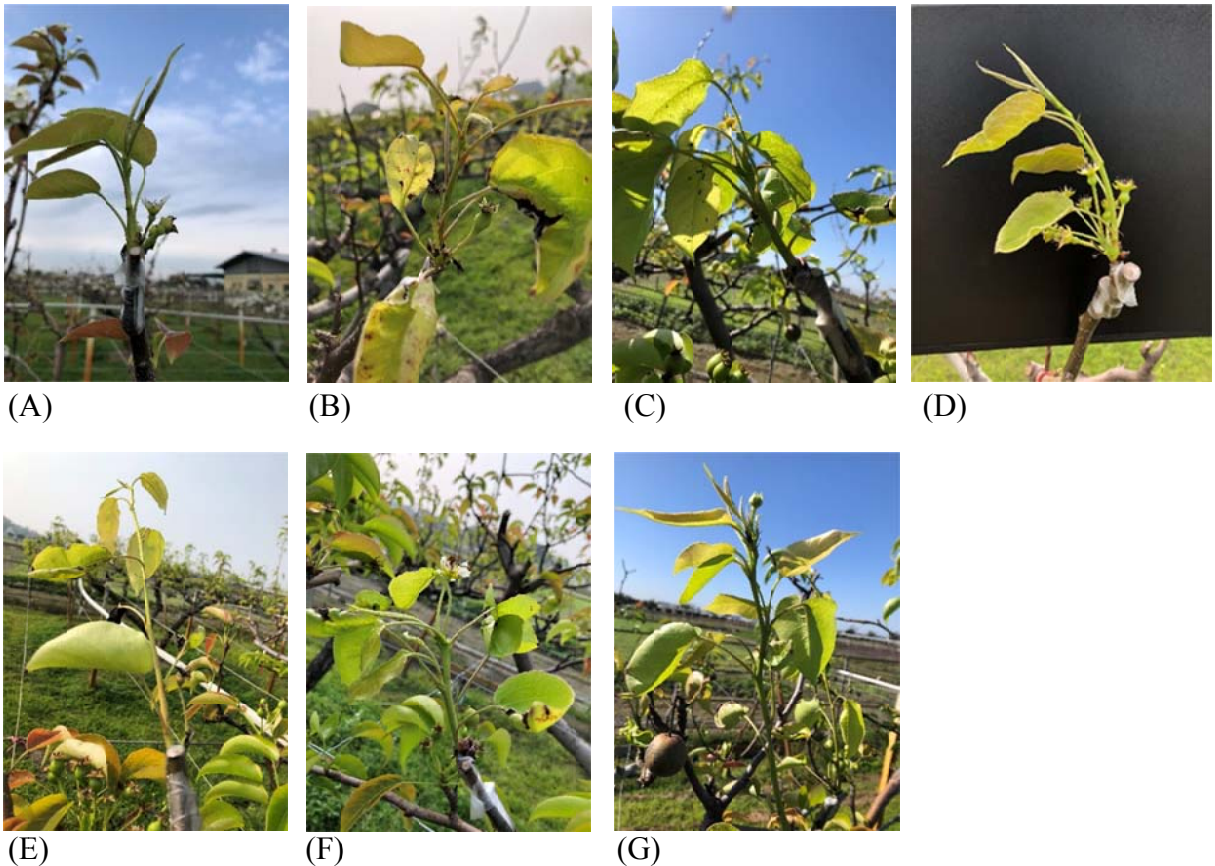
^zMeans within each column followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.

表二、不同硼濃度對高接後新梢長度之影響

Table 2. Effect of boron concentration on the growth of shoots length after top grafted

Concentration(ppm)	Total shoot length (cm)	Total elongation length (cm)	Total increased internodes	Internodes length(cm)
CK	34.9 a ^z	27.4 a	7.4 a	4.1 b
4 leaf stage 500	28.0 a	23.9 a	5.8 a	4.1 b
250	25.1 a	21.3 ab	5.9 ab	4.6 b
170	27.6 a	23.4 a	7.0 a	3.8 b
7 leaf stage 500	25.3 a	10.1 b	1.9 c	6.1 a
250	26.6 a	10.4 b	2.4 bc	4.6 b
170	30.7 a	16.4 ab	3.9 abc	4.7 ab

^zMeans within each column followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.



圖五、4 片葉及 7 片葉完全展開時施用不同濃度硼葉片受損情形，對照組(A)、4 片葉 500 ppm(B)、4 片葉 250 ppm(C)、4 片葉 170 ppm(D)、7 片葉 500 ppm (E)、7 片葉 250 ppm(F)及 7 片葉 170 ppm(G)。

Fig. 5. Leaf damage when different boron concentrations were applied to leaves at 4 leaf and 7 leaf stage. CK (A), 4 leaf stage 500 ppm (B), 4 leaf stage 250 ppm (C), 4 leaf stage 170 ppm (D), 7 leaf stage 500 ppm (E), 7 leaf stage 250 ppm (F) and 7 leaf stage 170 ppm (G).

硼可抑制新梢生長，但在著果及果實品質的影響如表三，著果率、果實採收數、總可溶性固形物結果於各處理間無顯著差異。就數據結果顯示 4 片葉完全展開時施用硼可使著果率增加，7 片葉完全展開時施用硼效果則隨著濃度減少著果率下降；各處理濃度單一枝條採收時果數則無顯著差異。

果實重量結果落差大且與處理時期及硼濃度無相關，以 7 片葉完全展開時施用硼 170 ppm 最重，為 517.4 g；4 片葉完全展開時施用硼 170 ppm 最輕，為 319.1 g，果實長度及寬度結果亦相似，果實重量越重者果實大小越大(圖二)。果實硬度結果以 4 片葉完

全展開時施用硼 170 ppm 最高，為 78.2 N，但 4 片葉完全展開時施用硼時並不隨著施用濃度增加而增加；但由 7 片葉完全展開時施用硼的結果可以得知隨著硼施用濃度越高，硬度越高。

表三、硼濃度對高接梨果實著果及品質之影響

Table 3. Effect of boron concentration on fruit set and quality of top grafted pear

Concentration on (ppm)	Fruit Setting (%)	Harvest No.	Fruit weight (g)	Fruit length (mm)	Fruit width (mm)	Firmness (N)	Total soluble solid (°Brix)
CK	51.0 a ^z	1.7 a	372.5 b	76.5 bc	90.0 ab	62.3 ab	14.5 a
4 leaf stage							
500	58.5 a	1.0 a	327.5 b	72.4 c	85.9 b	72.1 ab	14.7 a
250	71.7 a	1.6 a	394.9 b	81.0 ab	95.1 a	62.3 b	15.2 a
170	66.7 a	1.8 a	319.1 b	75.7 bc	85.0 b	78.2 a	14.1 a
7 leaf stage							
500	60.4 a	1.5 a	367.5 b	77.9 bc	91.3 ab	74.0 ab	14.2 a
250	50.0 a	1.3 a	374.2 b	78.1 bc	91.0 ab	72.1 ab	13.9 a
170	28.6 a	1.5 a	517.4 a	88.7 a	99.9 a	68.2 ab	13.8 a

^zMeans within each column followed by the different letter (s) are significantly different at $P < 0.05$ by Fisher's protected LSD test.



圖六、新梢不同硼濃度處理後採收果實外觀。

Fig. 6. Fruit appearance after different boron concentrations were treated on shoots.

討 論

硼對於新梢的影響主要機制如下：植體中硼藉由果膠中的 rhamnogalacturonan-II (RG-II)形成硼酸酯(borate-RG-II)，而硼酸酯與 Ca^{2+} 的結合影響果膠的甲基化程度與負電荷分佈，進一步改變細胞壁上可結合陽離子的位點及細胞壁的可塑性。硼過量時會減少細胞壁穩定性，抑制細胞膨大與伸長，從而阻礙新梢伸長。除了上述原因之外，硼也會改變細胞質內 Ca^{2+} 含量並誘發 Ca^{2+} 相關通道與轉運子(如 CNGC、ACA、CAX)及 Ca-sensor 基因的表達變化，造成訊息傳遞異常，影響細胞分裂、分化及分生組織活動，最終抑制頂端生長(María *et al.*, 2010；Vera-Maldonado *et al.*, 2024)。試驗結果施用硼於新梢停心、停止伸長日數、新梢長度及節間數有顯著抑制效果，與前人研究結果一致，表示試驗所施用之硼濃度對高接梨新梢而言屬於過量，可以達抑制新梢生長之效果。然而硼施用過多會改變碳水化合物運輸增加酚類或醌類等易氧化物質，誘發 ROS 生成；若抗氧化系統無法充分應對，將造成細胞損傷、膜功能下降與代謝受阻等傷害，因此使用濃度不宜過高(Juan *et al.*, 2015)。

前人研究中施用硼之後除了可以抑制新梢生長以外，對於葡萄及蘋果著果亦有促進的效果(林與張，1988；陳，1997)，本試驗中雖因處理枝條數過少差異不顯著，但由結果可以得知於 4 片葉完全展開時施用硼仍有增加著果率的趨勢。此外前人施用硼可增加果實硬度，酥梨採收前施用 $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼可維持較高硬度(牛等，2019)，與本噴施硼處理組硬度具高於未處理組之趨勢，但差異未達顯著性。

綜合上述結果梨穗高接後施用硼皆可抑制新梢生長，施用較高濃度硼將造成葉片受損，建議不論 4 片葉或 7 片葉完全展開時施用濃度以 170 ppm 為佳。果實品質顯示，由於 7 片葉施用硼 170 ppm 新梢長度較長，因此果實重量較重；但抑制新梢生長，4 片葉完全展開時施用硼 170 ppm 可改善著果率，且操作時期較早，有利養分回流至果實。建議 4 片葉完全展開時施用硼 170 ppm，可減少農民除梢摘心之操作，促進著果率，達省工省時的效果。

參考文獻

1. 牛佳佳、張四普、郭超峰、徐振玉。2019。采前硼處理對酥梨品質和貯藏性的影響。河南農業科學，12，146-151。
2. 林嘉興、張林仁。1988。促進葡萄著果之管理。葡萄生產技術，14: 209-218。
3. 林嘉興、張林仁。1994。枇杷之結果枝性狀與花芽分化。頁 37-49。枇杷生產技術。
4. 徐信次、黃和炎。1990。寄接梨之栽培管理。臺南區農業改良場技術專刊第 116 號。

5. 陳仁寧。1997。蘋果樹葉面噴施硼肥試驗。農村科技，1002: 6193。
6. 葉文彬、邱禮弘、劉惠菱。2012。‘巨峰’葡萄結果枝抑梢處理之研究。臺中區農業改良場研究彙報。115: 23-31。
7. 謝慶芳。1988。葡萄園土壤之管理。頁 71-73。葡萄生產技術。臺中區農業改良場特刊第 14 號。
8. Abd, E. E., Treutter, D., Saleh, M. M. S., El-Shammaa, M., Amera, A. F., Abdel-Hamid, N. 2011. Effect of nitrogen and potassium fertilization on productivity and fruit quality of ‘Crimson seedless’ grape. *Agric. Biol. J. N. Am.* 2(2): 330-340.
9. Clarkson, D.T., Hanson, J.B. 1980. Mineral nutrition of higher plants. *An. Rev. Plant Physiol.* 31: 239 - 298.
10. Hapuarachchi, N.S., Kämper, W., Wallace, H.M., Hosseini Bai, S., Ogbourne, S.M., Nichols, J., Trueman, S.J. 2022. Boron effects on fruit set, yield, quality and paternity of Hass avocado. *Agronomy*, 12: 1479.
11. Juan, J. C. C., Esperanza, M. M. R., Begoña, H. R., Teresa, M. N. G., Jesús R., Agustin, G. F. 2015. Boron deficiency inhibits root cell elongation via an ethylene/auxin/ROS-dependent pathway in *Arabidopsis* seedlings. *J. of Exp. Bot.* 66(13): 3831-3840.
12. Lee, S.H., Kim, W.S., Han, T.H. 2009. Effects of post-harvest foliar boron and calcium applications on subsequent season's pollen germination and pollen tube growth of pear (*Pyrus pyrifolia*). *Sci. Hort.*, 122: 77-82.
13. Lovatt, C. J., Bates, L. M. 1984. Early effects of excess boron on photosynthesis and growth. *Cucurbita pepo* J. of Exp. Bot. 35(112): 297-305.
14. María, B. H. R., Agustín, G. F., Jesús, R., Juan, J.C.C., José, M. M., María, M. M. 2010. Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stresses. *Plant Stress* 4(2): 115-122.
15. Minchin, P.E.H., Thorp, T.G., Boldingh, H.L., Gould, N., Cooney, J.M., Negm, F.B., Brown, P. 2012. A possible mechanism for phloem transport of boron in 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) trees. *Jour of Hort Sci and Biot*, 87: 23-28.
16. Raven, J.A. 1980. Shortand long-distance transport of boric acid in plants. *New Phyto.* 84: 231-249.

17. Sarıdaş, M.A., Karabıyık, Ş., Eti, S., Paydaş Kargı, S. 2021. Boron applications and bee pollinators increase strawberry yields. *International Journal of Fruit Science*, 21: 481-491.
18. Shelp, B.J. 1993. Physiology and biochemistry of boron in plants. In: Boron and Its Role in Crop Production. U.C. Gupta (Ed.). CRC Press, Boca Raton. Pp. 53-85.
19. Stangoulis, J., Brown, P. H., Bellaloui, N., Reid, R. J., Graham, R. D. 2001. The efficiency of boron utilisation in canola. *Aust. J. Plant Physiol.* 28, 1109-1114.
20. Warington, K. 1923. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Ann. Bot.* 37: 457-466.
21. Vera-Maldonado, P., Aquea, F., Reyes-Díaz, M., Cárcamo-Fincheira, P., Soto-Cerda, B., Nunes-Nesi, A., Inostroza-Blancheteau, C. 2024. Role of boron and its interaction with other elements in plants. *Plant Sci.* <http://10.3389/fpls.2024.1332459> Accessed June 20, 2025.
22. Yoshinari, A., Takano, J. 2017. Insights into the mechanisms underlying boron homeostasis in plants. *Front. Plant Sci.* 8. <http://doi: 10.3389/fpls.2017.01951> Accessed June 20, 2025.

Effects of Applying Different Boron Concentrations on the Growth of Shoots in Grafted Pears¹

Huei-ling Liu ² and Ching-Mu Hsu ^{3*}

ABSTRACT

In top-grafted pear production, frequent topping and shoot thinning are required following bud break, making it a labor-intensive and time-consuming process. This study investigated the effects of different boron concentrations on new shoot growth on top-grafted pear trees. Boron treatments were applied when new shoots reached the stages of four and seven fully expanded leaves. Results showed that boron concentrations of 250 ppm and 170 ppm effectively promoted shoot apex development while significantly inhibiting shoot elongation compared with the untreated control.

Application of 500 ppm boron markedly suppressed new shoot growth; however, excessive inhibition resulted in leaf injury. The optimal inhibition effect was observed when shoot elongation ceased at 15 and 16.9 days after treatment, although higher boron concentrations increased the risk of leaf damage. In particular, leaf injury was observed when 170 ppm boron was applied at the four-leaf stage.

Among all treatments, 250 ppm and 170 ppm boron exhibited the highest inhibition rates, reaching 71.7 % and 66.7 %, respectively. Overall, application at the four fully expanded leaf stage provide the best balance between growth suppression and plant safety. Furthermore, applying 170 ppm boron at this stage effectively inhibited new shoot growth without negatively affecting subsequent fruit set, indication potential benefits for reducing labor input in orchard management.

Key words: Key word: boron, shoot growth inhibition, fruit quality

¹Contribution No. 1119 from Taichung DARES, MOA.

^{2,3}Research Assistant and Assistant Research of DARES, MOA.

*Corresponding Author: Chin-Mu Hsu, Email: hsucm@tcdares.gov.tw

農業人員淨零排放認知與行為意向之研究¹

陳世芳^{2*}、陳蓓真²

摘 要

為傳遞農業部淨零排放相關知識觀念，臺中區農業改良場於 2024 年辦理農業淨零排放低碳耕作管理講習，欲瞭解參加人員對農業淨零排放知識之學習成效與後續課程規劃建議，針對 184 名參加之農業人員進行課前與課後問卷調查，量測其認知與行為意向的變化，結果發現：1.課後認知答對率由 90.3% 提升至 96%，行為意向課後平均值亦由 4.53 分提升至 4.66 分，皆達顯著差異，表示講習後可瞭解農耕行為改變對減少溫室氣體排放的重要性，進而提升認同程度。2.參訓人員認為農業溫室氣體排放來源專有名詞較不易理解，建議以農林漁牧產業實例佐以說明，並與非農業部門之排放源作區別。綜整建議，未來課程內容需兼具實務導向與案例教學並重，並輔導農民節水、精準施肥、減少使用農藥、資源循環利用及使用節能機具設施等低碳耕作管理，及教育農民團體與農企業應用碳資訊工具自我盤查碳排放量與減碳技術，以利農業部門加速邁向淨零排放的目標。

關鍵字：農業淨零排放、認知、行為意向

前 言

根據中華民國國家溫室氣體排放清冊報告(2025)統計 2023 年我國溫室氣體總排放量為 3,331kt 二氧化碳當量，農業部門占比約為 1.2%，相較於 1990 年減少 41.51%。農業部門排放來源主要包括「畜禽腸胃發酵」、「畜禽糞尿管理」、「水稻種植」、「農業土壤」、「草原焚燒」、「作物殘體燃燒」、「石灰處理」及「尿素施用」等八項，其中以農業土壤排放占比最高(35.28%)，其次為畜禽糞尿管理(28.52%)、畜禽腸胃發酵(19.29%)與水稻種植(16.26%)，主要排放氣體為二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)及氧化亞氮(N₂O)，其來源分別為尿素施用、水田湛水及畜禽腸胃發酵、含氮肥料施用與作物殘體燃燒。

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1118 號

² 農業部臺中區農業改良場副研究員

* 通訊作者：陳世芳，Email: chensf@tcdares.gov.tw

面對全球氣候變遷壓力，2023 年聯合國第 28 屆氣候大會強調加速甲烷減量，50 家全球主要能源企業共同承諾於 2030 年前減少甲烷排放 80-90%(柳與李，2024)。以國內外採行之減排與增匯作為而言，燃料燃燒部分可透過節能設備與發展綠能取代化石燃料；畜牧業則可藉由調整飼料成分、發展生質能源、資源再利用等方式減排；農糧部門可藉由推動合理化施肥，提升氮肥利用效率，應用水田間歇性灌溉，減少農地溫室氣體排放；另一方面，農地管理可依永續土壤管理原則進行，如減少土壤侵蝕、增加有機質含量、強化水分與養分管理等，以提升土壤碳匯潛力；或是應用碳捕獲與封存技術，以增加土壤碳封存量(陳，2022；Wollenberg，2016)。

劉等人(2022)歸納國際農林淨零實踐經驗，指出可從「調整生產活動」、「應用綠能技術」、「改變飲食文化」與「發展負碳技術」四大面向推動。為實現 2050 年淨零目標，我國依據氣候變遷因應法第 36 條，於 2023 年成立臺灣碳權交易所，協助企業進行碳權交易，並辦理碳諮詢與教育訓練，推廣碳市場概念。江(2022)與鄭(2022)亦指出企業減碳應從產品碳足跡盤查開始，針對排放熱點採行減碳措施，並向消費者揭露碳足跡資訊，促進綠色消費行為。

農業部為提前於 2040 年達成淨零排放目標，以減量、增匯、循環、綠趨勢四大主軸策略性推動，以減少碳排 50%為減量目標，推動節水、精準施藥、施肥、節能機具設施、智能養殖等措施，並藉由碳價值化如溫室氣體增量抵換與自願減量專案進行跨域合作，同時發展自然碳匯策略，如森林、土壤及海洋碳匯，建立循環農業場域，將農業剩餘資源進行肥料化、飼料化、資材化及能源化處理，以零廢棄為目標。綠趨勢方面，期望於 2040 年前達成農業用電 100%由農業綠能供應，農業綠能提供全國 40% 用電為目標(楊與莊，2024)。

自然碳匯方面，農業部正研擬本土適用方法學，將各種可以增匯的耕作模式，例如減少耕犁/免耕犁、友善農法應用、草生栽培、肥培管理及綠肥輪作等，整併成為單一方法學與應用範例，依據環境部「溫室氣體自願減量專案管理辦法」推動實施，迄今共公告 143 項減量方法學(含國內 33 項、國外 110 項)，農民可透過第三方查驗取得碳權，創造額外收入(蔡，2024)，環境部已核准之農業減量方法包括「低蓄積林增匯專案」、「造林與植林碳匯專案活動」、「加強森林經營碳匯專案」、「竹林經營碳匯專案」及「改進農業土壤管理方法學」等五項。

當前多數農業淨零研究聚焦於技術層面與碳足跡，針對農業從業人員之認知與行為研究仍顯不足。而知識的傳遞與政策溝通是推動農業淨零轉型的關鍵，因此，臺中區農業改良場於 113 年舉辦三場「農業淨零排放與低碳耕作管理講習」，由知識推廣

講師與農企業管理者共同分享水稻減排與農業循環經驗，期望提升農業人員對淨零排放的理解與觸發其從事低碳耕作管理之行為。因此，本研究目的在於探討農業人員參與講習課程前後，對淨零排放之認知與行為意向的變化，以作為未來農業淨零推廣課程規劃與政策調整之參考。

材料與方法

- 一、知識推廣課程設計：本研究訪談農業部淨零排放主辦專家與臺中區農業改良場淨零排放知識推廣種子講師，討論農業人員所需學習之基礎知識包括農業部門政策、農業溫室氣體排放內涵、碳匯與碳權及農林漁牧業案例，據以規劃設計農業淨零排放與低碳耕作管理講習課程，包括農業淨零排放推動策略、水稻低碳生產管理、農企業碳足跡及農業循環經濟案例分享、農業剩餘資材在循環場域之應用及土壤增匯管理技術。藉由讓農業人員瞭解氣候變遷議題對農業之重要性、溫室氣體基礎觀念與農業部門減量、增匯、循環、綠趨勢因應措施，土壤碳匯、碳交易概念與增匯管理方法及農牧業剩餘資材包括菱殼碳、禽畜糞沼渣沼液循環利用之應用實例。希望農業人員具備農業淨零排放認知後，在行為上，能影響農民實踐低碳耕作管理。
- 二、問卷設計：本研究參考莊(2022)、莊等(2023)、吳(2023)、郭(2023)、曾(2023)、張(2023)、林(2024)、蔡(2024)及張等(2024)文獻資料，並與本場四位農業淨零排放知識推廣種子講師討論問卷題目之設計。問卷題項分為四部分包括基本資料、淨零排放認知、淨零排放行為意向及對於課程的回饋建議。在淨零排放認知題目採是非題共 13 題，答對給 1 分，答錯 0 分，得分最高為 13 分。淨零排放行為意向共 13 題，採李克特氏五等尺度量表，評定的分數分別為非常同意給 5 分；同意給 4 分；普通給 3 分；不同意給 2 分；非常不同意給 1 分。對於課程的回饋建議採開放式題目，由參訓者直接填寫或於課程中向講師提問。辦理講習時進行教學前後認知與行為意向的調查，於課程開始前發放前測問卷，填寫完收回，課程結束再進行後測。
- 三、研究對象：三場次農業淨零排放與低碳耕作管理講習，分別為 2024 年 4 月 16 日於彰化縣臺中區農業改良場、5 月 21 日於南投縣草屯鎮農會及 6 月 14 日於臺中市烏日區農會辦理，每場次 6 小時課程，研究對象為參訓之農業人員。
- 四、資料整理分析：以 SPSS22.0 版社會統計軟體進行分析，淨零排放行為意向量表信度係以 Cronbach's α 係數檢驗問卷題項間之內部一致性，再以極端組檢驗法與因素

分析檢測行為意向題項之效度。對於基本背景資料、認知、行為意向認同程度採用敘述性統計，成對樣本 t 檢定、單因子變異數分析檢測課程前後對淨零排放認知與行為意向之差異。

研究結果

一、量表信度、效度檢測

信度與效度係指測量指標與構念間的相互關係，及其減除影響測量結果因素後的準確程度。信度是指可靠性或一致性，是用來分析測量指標的穩定性；若信度值愈高，則顯示量表內部各因素構面其組成題項彼此之間有顯著的相關性，亦即其內部一致性愈趨穩定。信度良好指標在同樣類似的條件與環境下重複施測，將可得到一致穩定的結果。效度亦即為正確性，藉以研究變數概念化定義與操作化指標之間的適合程度，可進行量度測量指標所欲瞭解的特質或關聯(陳，2022)。因此，須對研究問卷各題項變數進行效度檢測，判別其標準是否符合研究所需，方可正式進行測量。

(一)信度分析

本研究以低碳耕作管理講習參訓人員為調查對象，瞭解講習之成效，分析比較講習前後對農業淨零排放認知與行為意向效果差異，行為意向採用 Cronbach's α 值為檢驗的標準，以 Cronbach's α 值大於 0.7 以上為可信任之條件分析結果。淨零排放行為意向 13 個題項之信度均達 0.7 以上，整體 α 值為 0.962，顯示問卷之內容具有可信任之內部一致性(表一)。

表一、淨零排放行為意向量表信度分析

Table 1. Reliability analysis of the net-zero emission behavior intention scale

題項	Cronbach's α
1.採友善農耕減少溫室氣體排放	0.959
2.用農藥前要確認對土壤酸化的影響	0.959
3.依照合理化施肥推薦用量進行施肥	0.959
4.田間應增加有機質投入與草生栽培	0.957
5.農田地表要做好覆蓋減少土壤流失	0.958
6.我會減少土壤耕犁次數	0.961
7.採不同作物輪作增加生態多樣性	0.962
8.農業生產過程中盡量使用再生資源	0.958
9.不要將廢棄枝條或稻稈直接燃燒	0.961
10.可淘汰老舊燃油農機改使用電動	0.962
11.由產品碳足跡發現熱點進行減碳	0.957
12.選購農產品會考慮是否在地生產，符合低食物里程原則	0.958
13.主動參加農業淨零排放教育課程	0.960

(二)效度分析

本問卷經與臺中區農業改良場之農業淨零排放知識推廣研究人員討論、修改及確定問卷，具有專家效度，並採取描述性統計之題項極端組檢驗法與因素負荷量檢測效度(陳等, 2022)。計算結果探索性因素分析之因素負荷量需大於 0.5，且 KMO 值大於 0.8，當 KMO 值愈大時，表示變項間的共同因素越多相關性越高，或是極端組檢驗法內部一致性未達顯著其鑑別力不佳，為不符合標準可考量刪除題目。13 個行為意向題項之極端組檢驗法之 t 值均達顯著差異，另使用因素分析的主成分分析法，藉由 Bartlett 球形檢定與實施 KMO 取樣適切性檢定方法進行分析，檢定結果 Bartlett 球形檢定之卡方統計量的觀測值為 2,438.924，達到顯著水準，同時 KMO 值為 0.931 大於 0.8，適合進行因素分析。經效度分析(表二)後 13 個題項均予以保留。

表二、淨零排放行為意向之效度分析

Table 2. Summary of the net-zero emission behavior intention validity analysis

題項	極端組檢定	因素分析
1.採友善農耕減少溫室氣體排放	9.552 ^{***}	0.744
2.用農藥前要確認對土壤酸化的影響	8.549 ^{***}	0.727
3.依照合理化施肥推薦用量進行施肥	6.680 ^{***}	0.698
4.田間應增加有機質投入與草生栽培	10.000 ^{***}	0.816
5.農田地表要做好覆蓋減少土壤流失	8.916 ^{***}	0.794
6.我會減少土壤耕犁次數	8.626 ^{***}	0.606
7.採不同作物輪作增加生態多樣性	8.043 ^{***}	0.561
8.農業生產過程中盡量使用再生資源	9.518 ^{***}	0.760
9.不要將廢棄枝條或稻稈直接燃燒	6.483 ^{***}	0.571
10.可淘汰老舊燃油農機改使用電動	7.520 ^{***}	0.570
11.由產品碳足跡發現熱點進行減碳	9.479 ^{***}	0.834
12.選購農產品會考慮是否在地生產，符合低食物 里程原則	9.864 ^{***}	0.761
13.主動參加農業淨零排放教育課程	9.773 ^{***}	0.677

註：* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

二、受訪者基本資料分析

本研究共回收184份有效問卷，分析結果受訪者之居住縣市別分別為彰化縣占37%、臺中市占28.2%、南投縣占20.1%、雲林縣占14.7%。性別分布男性占66.3%、女性占33.7%，符合任一性別不低於總數之三分之一，取樣具性別平等性。教育程度以大學(專)居多占59.8%、其次是研究所及以上占30.4%。年齡以36至45歲最多占30.4%，35歲以下次之占28.8%，56歲以上占23.9%。在工作類別中以農民占比最高(34.8%)，其次為農會人員(27.7%)，農企業(14.7%)及其他農民團體比例(12%)則略低(表三)。

表三、受訪者基本背景分析

Table 3. The background of respondents

項目	組別	次數(N=184)	百分比(%)
縣市別	臺中市	52	28.2
	彰化縣	68	37.0
	南投縣	37	20.1
	雲林縣	27	14.7
性別	男性	122	66.3
	女性	62	33.7
教育程度	高中(職) 及以下	18	9.8
	大學(專)	110	59.8
	研究所及以上	56	30.4
年齡	35 歲以下	53	28.8
	36 至 45 歲	56	30.4
	46 至 55 歲	31	16.8
	56 歲以上	44	23.9
工作類別	農政機關	20	10.9
	農會	51	27.7
	農民團體	22	12.0
	農企業	27	14.7
	農民	64	34.8
是否為農民	是	64	34.7
	否	120	65.3

此外，為瞭解不同背景變項於講習後，是否對農業淨零排放之認知與行為意向有差別，進行 t 檢定與單因子變異數分析(ANOVA)，結果如下：

- 1.性別與是否為農民差異分析：在 5%顯著水準下，男女性及農民與非農民在認知與行為意向皆未達顯著差異(表四)。
- 2.變異數分析：在 5%顯著水準下，受訪者之縣市別、年齡、教育程度與工作類別在認知與行為意向的態度皆不顯著(表五)。

整體而言，本研究樣本背景多元，但在農業淨零排放認知與行為意向的表現上，未因基本屬性而有顯著差異。

表四、性別與是否為農民對農業淨零排放認知與行為意向之 t 檢定差異分析

Table 4. T-Test analysis of gender differences in awareness and behavioral intentions toward net-zero emission in agriculture

變項	組別	平均數		t 值		p 值	
		認知	行為意向	認知	行為意向	認知	行為意向
性別	男	12.40	4.63	1.552	1.282	0.122	0.201
	女	12.60	4.73				
是否為農民	是	12.58	4.70	1.497	0.832	0.136	0.407
	否	12.41	4.64				

註:*表示 $p<0.05$, ** 表示 $p<0.01$, *** 表示 $p<0.001$

表五、受訪者對農業淨零排放認知與行為意向之變異數分析

Table 5. Analysis of variance in respondents awareness and behavioral intentions regarding net-zero emission in agriculture

變數	組別	平均數		F	
		認知	行為意向	認知	行為意向
縣市別	臺中市	12.57	4.61	1.178	0.532
	彰化縣	12.44	4.67		
	南投縣	12.27	4.70		
	雲林縣	12.52	4.73		
教育程度	高中(職) 及以下	12.50	4.49	0.533	1.212
	大學(專)	12.42	4.68		
	研究所及以上	12.55	4.68		
年齡	35 歲以下	12.57	4.63	0.504	0.253
	36 至 45 歲	12.46	4.65		
	46 至 55 歲	12.45	4.72		
	56 歲以上	12.36	4.68		
工作類別	農政機關人員	12.70	4.73	2.875	1.317
	農會	12.16	4.53		
	農民團體	12.50	4.77		
	農企業	12.59	4.68		
	農民	12.58	4.70		

註:*表示 $p<0.05$, **表示 $p<0.01$, ***表示 $p<0.001$

三、講習課程前後認知差異 t 檢定

由表六得知參加講習人員對於農業淨零排放認知情形，其中題項「9.自然碳匯申請碳權需要經過監測、報告及查驗機構查證」、「11.透過食農教育和鼓勵採購在地有機農產品有助於減少溫室氣體排放」、「12.全球持續暖化，未來 20 年內恐升溫超過 1.5°C，全球須在 2050 年左右達到淨零排放，始有可能減緩暖化速度」在後測答對率均達 100%，顯示課後已充分理解並有正確認知。題項「1.為減緩地球暖化，政府制定淨零排放策略，首要是減少溫室氣體的排放」、「3.農業生產排放的主要溫室氣體有二氧化碳、甲烷、氧化亞氮」、「4.減量、增匯、循環及綠趨勢是農業部門淨零排放推動策略」、「5.建立低碳農漁畜產的生產模式及有機農業是低碳農業生產模式」、「6.農業剩餘資源經過氣化與裂解處理可以循環再利用」、「7.漁電共生、設置太陽光電可蓄電提供農漁村用電」、「8.三大自然碳匯路徑為森林、土壤及海洋」、「10.農產品碳足跡是將產品從原料取得、製造、配送銷售、使用到廢棄處理回收的五大階段所產生的溫室氣體排放量加總起來」等 8 個題項答對比率達 96.2%以上，至於後測答對率仍未達 90%的 2 題分別為「13.農業部要求農民 2040 年要開始進行碳盤查」答達率僅 73.4%、「2.農業部門溫室氣體排放量占全國第一」答對率占 86.4%。

除量化統計結果外，本研究亦彙整參訓人員於課程中所填寫之開放式回饋意見，以補充量化數據之發現。整體而言，多數參與者肯定課程有助於釐清農業淨零排放政策方向與低碳耕作實務作法，並表示透過實例說明較能理解陌生的政策概念。然而，部分參訓人員指出，課程中涉及之農業溫室氣體排放來源如氧化亞氮、甲烷等專有名詞較不易理解，需再以農林漁牧產業實例加以說明，並與非農業部門之排放源區別，而碳盤查的內涵及自願性與強制性碳盤查的區別，對部分受訪者而言仍不夠清楚，需要以更淺顯的內容輔以案例說明。

針對農業淨零排放認知是非題各題項進行成對樣本 t 檢定前後測差異分析(表六)，獲知在 13 個題項中「2.農業部門溫室氣體排放量占全國第一」、「5.建立低碳農漁畜產的生產模式及有機農業是低碳農業生產模式」、「6.農業剩餘資源經過氣化與裂解處理可以循環再利用」、「7.漁電共生、設置太陽光電可蓄電提供農漁村用電」、「11.透過食農教育和鼓勵採購在地有機農產品有助於減少溫室氣體排放」及「13.農業部要求農民 2040 年要開始進行碳盤查」等 6 個題項，具有顯著性差異，表示上課後測答對率明顯高於上課前測，顯示講習說明能夠讓參訓人員增加淨零排放認知。而未達顯著差異之 7 個題項前後測答對率僅有「1.為減緩地球暖化，政府制定淨零排放策略，首要是減少溫室氣體的排放」略減 1.1%，推測可能原因為對題意尚不瞭解。其他 6 個題項均呈現些微進步或

持平的認知。

淨零排放之認知(是非題) 整體答對比率由前測 90.3%，提升為後測 96%，進步比率為 5.7%，整理淨零排放認知面向之前後測結果，前測答對題數平均值為 11.77 分，後測平均值 12.47 分，後測認知提升 0.7 分，t 值 10.988、t 檢定($p \leq 0.0001^{***}$)達顯著差異(表七)，表示講習課程能增進參與人員學習成效。

四、講習課程前後行為意向與 t 檢定

根據淨零排放行為認同程度分析(表八、表九)，整體淨零排放行為意向前測為 4.53 分、後測為 4.66 分，前測各題項平均分數介於 4.28-4.71 分之間，受訪者有 92.9% 認同程度介於「同意」與「非常同意」之間，表示尚可者占 6.2%，僅 0.9% 認為「不同意」與「非常不同意」程度。後測各題項平均分數介於 4.54-4.73 分，受訪者有 96.7% 認同程度為「同意」與「非常同意」之間，表示尚可者占 2.4%，僅 1% 認為「不同意」與「非常不同意」程度，前後測均顯示行為都偏向認同程度。以後測而言，依平均數高低，排序前三項分別為「9.不要將廢棄枝條或稻稈直接燃燒」(M=4.73)、「3.依照合理化施肥推薦用量進行施肥」(M=4.72)及「11.由產品碳足跡發現熱點進行減碳」(M=4.7)、「13.主動參加農業淨零排放教育課程」(M=4.7)，均有相當積極行為。至於相對較低分的三題項為「6.我會減少土壤耕犁次數」(M=4.54)、「7.採不同作物輪作增加生態多樣性」(M=4.59)及「10.可淘汰老舊燃油農機改使用電動」(M=4.61)，推測因部分受訪者因農耕地理環境與農事操作習慣，無法採行減少土壤耕犁次數、以及長期作物不易輪作。另偏遠鄉村受訪者考量山區缺乏充電電源，使用電動農機恐無法因應長時間工作之需，以及過往對電動機具耐用程度相對較傳統農機短，且維修成本多的印象，影響受訪者對淘汰老舊燃油農機改使用電動之認同度。

表六、講習訓練前後淨零排放之認知(是非題) 答對率與差異分析

Table 6. Differential analysis of true-false question responses on net-zero emission knowledge before and after training

題 項	答對率 %		差異 進步比率	t 值	p 值
	前測	後測			
1.為減緩地球暖化，政府制定淨零排放策略，首要是減少溫室氣體的排放	98.9	97.8	-1.1	-1.000	0.319
2.農業部門溫室氣體排放量占全國第一	73.4	86.4	3.0	4.308	0.000***
3.農業生產排放的主要溫室氣體有二氧化碳、甲烷、氧化亞氮	95.1	97.8	2.7	1.513	0.132
4.減量、增匯、循環及綠趨勢是農業部門淨零排放推動策略	99.5	99.5	0	0.000	1.000
5.建立低碳農漁畜產的生產模式及有機農業是低碳農業生產模式	96.2	99.5	3.3	2.484	0.014*
6.農業剩餘資源經過氣化與裂解處理可以循環再利用	94.6	98.4	3.8	2.690	0.008**
7.漁電共生、設置太陽光電可蓄電提供農漁村用電	91.8	96.2	4.4	2.884	0.004**
8.三大自然碳匯路徑為森林、土壤及海洋	98.9	99.5	0.6	1.000	0.319
9.自然碳匯申請碳權需要經過監測、報告及查驗機構查證	100	100	0	0.000	1.000
10.農產品碳足跡是將產品從原料取得、製造、配送銷售、使用到廢棄處理回收的五大階段所產生的溫室氣體排放量加總起來	99.5	99.5	0	0.000	1.000
11.透過食農教育和鼓勵採購在地有機農產品有助於減少溫室氣體排放	96.7	100	3.3	2.484	0.014*
12.全球持續暖化，未來 20 年內恐升溫超過 1.5℃，全球須在 2050 年左右達到淨零排放，始有可能減緩暖化速度	98.4	100	1.6	1.742	0.083
13.農業部要求農民 2040 年要開始進行碳盤查	31.5	73.4	41.9	10.191	0.000***
平均值	90.3	96.0	5.7		

表七、講習訓練前後淨零排放認知檢定結果

Table 7. Assessment results of net-zero emission knowledge before and after training sessions

講習訓練	平均值 (答對題數)	標準差	t 值	顯著性 p 值
前測	11.77	0.863	10.988	0.000***
後測	12.47	0.809		

註:*表示 $p<0.05$ ，**表示 $p<0.01$ ，***表示 $p<0.001$

表八、農業淨零排放行為之認同程度(前測)

Table 8. Pre-test on the acceptance level of agricultural net-zero emission practices

題項	平均數	排序	百分比%				
			非常不同意	不同意	普通	同意	非常同意
1.採友善農耕減少溫室氣體排放	4.55	4	0	1.1	8.2	29.9	60.3
2.用農藥前要確認對土壤酸化的影響	4.56	3	0	0	5.4	33.2	61.4
3.依照合理化施肥推薦用量進行施肥	4.71	1	0.5	0.5	0.5	24.5	73.9
4.田間應增加有機質投入與草生栽培	4.58	2	0	0.5	5.4	29.3	64.7
5.農田地表要做好覆蓋減少土壤流失	4.55	4	1.1	0	3.8	33.2	62.0
6.我會減少土壤耕犁次數	4.28	8	0	1.1	19	31.0	48.9
7.採不同作物輪作增加生態多樣性	4.49	7	0.5	0.5	6.5	33.7	58.7
8.農業生產過程中盡量使用再生資源	4.51	6	0.5	0.5	5.4	34.2	59.2
9.不要將廢棄枝條或稻稈直接燃燒	4.54	5	1.1	0.5	4.9	29.9	63.6
10.可淘汰老舊燃油農機改使用電動	4.49	7	1.1	0.5	7.1	31.0	60.3
11.由產品碳足跡發現熱點進行減碳	4.54	5	0	0	3.3	39.1	57.6
12.選購農產品會考慮是否在地生產，符合低食物里程原則	4.51	6	0	0.5	6.5	34.8	58.2

13.主動參加農業淨零排放教育課程	4.56	3	0	0.5	4.3	33.7	61.4
平均值	4.53		0.4	0.5	6.2	32.1	60.8

表九、農業淨零排放行為意向之認同程度(後測)

Table 9. Post-test on the acceptance level of agricultural net-zero emission practices

題項	平均數	排序	百分比%				
			非常不同意	不同意	普通	同意	非常同意
1.採友善農耕減少溫室氣體排放	4.63	7	0.5	0	3.8	27.2	68.5
2.用農藥前要確認對土壤酸化的影響	4.67	5	0.5	0	2.2	26.6	70.7
3.依照合理化施肥推薦用量進行施肥	4.72	2	0.5	0	1.1	23.4	75.0
4.田間應增加有機質投入與草生栽培	4.67	5	0.5	0	1.6	27.2	70.7
5.農田地表要做好覆蓋減少土壤流失	4.66	6	1.1	0	1.1	27.2	70.7
6.我會減少土壤耕犁次數	4.54	10	0.5	0.5	7.1	28.3	63.6
7.採不同作物輪作增加生態多樣性	4.59	9	0.5	2.2	1.1	29.9	66.3
8.農業生產過程中盡量使用再生資源	4.69	4	0.5	0.5	1.1	25.0	72.8
9.不要將廢棄枝條或稻稈直接燃燒	4.73	1	0.5	0.5	0.5	21.7	76.6
10.可淘汰老舊燃油農機改使用電動	4.61	8	1.1	0	4.9	24.5	69.6
11.由產品碳足跡發現熱點進行減碳	4.70	3	0.5	0	1.1	25.5	72.8
12.選購農產品會考慮是否在地生產，符合低食物里程原則	4.67	5	0.5	0.5	3.8	23.4	72.3
13.主動參加農業淨零排放教育課程	4.70	3	0	0.5	2.2	24.5	72.8
平均值	4.66		0.6	0.4	2.4	25.7	71.0

淨零排放行為意向之前測平均值 4.53 分，後測平均值 4.66 分，後測行為意向提升 0.13 分，較前測提升 2.87%，成對樣本 t 檢定值 3.882 達顯著差異(表十)，表示講習課程後行為意向均有明顯提升，在 13 項行為意向題項中，多數題項於課程後皆呈現顯著提升。然而，「1.採友善農耕減少溫室氣體排放」、「3.依照合理化施肥推薦用量進行施肥」及「7.採不同作物輪作增加生態多樣性」之前後測差異未達統計顯著水準，從第 3 題之前測平均值已達 4.71 分，發現參訓人員原本即高度認同合理化施肥之重要性，因此提升幅度有限，第 1 題亦屬農政政策長期推廣內容，基礎認知已具相當程度，至於第 7 題輪作議題，雖平均分數提升，但受限於部分農民長期栽培制度、作物類型與土地條件等因素，實際可行性考量而影響其行為意向改變幅度。

相較之下，「6.減少土壤耕犁次數」、「8.使用再生資源」、「9.不要將廢棄枝條或稻稈直接燃燒」、「11.由產品碳足跡發現熱點進行減碳」、「12.選購農產品會考慮是否在地生產，符合低食物里程原則」及「13.主動參加農業淨零排放教育課程」等則呈現顯著提升，顯示對於可操作應用於農業場域之行為具有明顯促進效果。

表十、講習訓練前後淨零排放行為意向檢定結果

Table 10. Assessment results of net-zero emission behavior intentions before and after training sessions

講習訓練	平均值	標準差	t 值	p 值
前測	4.53	0.457	3.882	0.000***
後測	4.66	0.499		

註:*表示 $p < 0.05$ ，**表示 $p < 0.01$ ，***表示 $p < 0.001$

表十一、講習訓練前後淨零排放之行為意向差異分析

Table 11. Differential analysis of net-zero emission behavior intentions before and after training sessions

題項	t 值	p 值
1.採友善農耕減少溫室氣體排放	1.021	0.309
2.用農藥前要確認對土壤酸化的影響	2.497	0.013 [*]
3.依照合理化施肥推薦用量進行施肥	0.404	0.687
4.田間應增加有機質投入與草生栽培	2.129	0.035 [*]
5.農田地表要做好覆蓋減少土壤流失	2.393	0.018 [*]
6.我會減少土壤耕犁次數	4.752	0.000 ^{***}
7.採不同作物輪作增加生態多樣性	1.742	0.083
8.農業生產過程中盡量使用再生資源	3.487	0.001 ^{**}
9.不要將廢棄枝條或稻稈直接燃燒	3.450	0.001 ^{**}
10.可淘汰老舊燃油農機改使用電動	2.472	0.014 [*]
11.由產品碳足跡發現熱點進行減碳	3.496	0.001 ^{**}
12.選購農產品會考慮是否在地生產，符合低食物里程原則	3.652	0.000 ^{***}
13.主動參加農業淨零排放教育課程	3.471	0.001 ^{**}

註:*表示 $p < 0.05$ ，**表示 $p < 0.01$ ，***表示 $p < 0.001$

結論與建議

本研究旨在分析農業淨零排放知識推廣課程的學習成效，探討參與者在課程前後對於農業淨零排放相關認知及行為意向的差異。研究結果顯示，該課程在提升農業人員對農業淨零排放政策與實務的理解，以及在行為層面的實踐意願方面，均具有顯著成效。經統計分析，將研究結果歸納如下：

一、結論

- (一)參訓人員整體認知與行為意向，並不會因為性別、縣市別、年齡、工作類別及是否為農民而有差異，可能反映講習課程以農業淨零排放之入門知識設計與講解，在知識與行為觀念推廣方面，能跨越背景限制，達到一致性的學習成效。
- (二)淨零排放認知成效明顯提升：透過課程學習，受試者對農業淨零排放的政策內涵及案例分享能夠理解，從課前平均答對率 90.3% 提升至課後的 96%，其中針對「農

業減量與增匯策略」、「水稻間歇灌溉減少甲烷排放」以及「農業剩餘資材循環利用」等議題的答對率提高尤為顯著。顯示參訓人員能夠掌握農業減碳核心概念，並認同這些策略可應用於實際耕作。測驗中有兩項反向題的答對率未達九成，分別為「農業部要求農民 2040 年要開始進行碳盤查」與「農業部門溫室氣體排放量占全國第一」，講師應在課程中特別強調 2040 年是農業部門達成淨零排放的目標，而非要求農民進行強制性盤查，再透過淺顯的案例說明「自願性」與「強制性」碳盤查的差異，以釐清政策目標與碳盤查對象，在講習中增加互動詢答，針對這類易混淆的課題進行即時回饋，以加深參訓者的正確印象。然而訓練前後淨零排放認知之平均答對題數逾 11 題，顯示以是非題檢測之題項較簡單，未來進行研究時需設計包含難、中、易等不同題項。

- (三)淨零排放行為意向顯著改善：在行為意向量表部分，課後的行為意向平均分數由 4.53 分提升至 4.66 分，達到顯著差異($p < 0.001$)。受訪者對於「友善農耕技術」、「施用有機資材」、「合理化施肥」及「選擇本地農產品」等具體行為展現了較高的認同度與實踐意願。尤其在「不燃燒農業廢棄物」與「合理化施肥」等減碳行為上，後測認同度達到 4.7 分以上，顯示參與者已充分理解這些行為對減少農業溫室氣體排放的重要性，而「減少土壤耕犁次數」、「採不同作物輪作增加生態多樣性」及「淘汰老舊燃油農機改使用電動燃油農機改使用電動」之認同排序轉變程度較小。

二、建議

根據上述相關研究課題，提出以下幾點建議，俾供農業淨零排放知識推廣及後續研究參考：

- (一)實務導向與案例教學並重：講習課程設計重點包括農業淨零排放政策、減量與增匯技術、作物低碳生產管理、農業剩餘資源循環利用、碳足跡及土壤增匯等主題。從研究結果觀察，與課程內容高度相關之題項，在認知與行為意向上皆呈現顯著提升，顯示教學重點與學習成效具有對應關係，然而，在制度轉譯與案例說明上可再加強。建議未來課程設計以更多案例導向進行教學，結合農林漁牧各產業的實際案例，使學員能從具體情境中學習如何應用減碳技術。並可安排現場參訪或示範操作，讓參與者能夠更直觀地理解低碳耕作與循環農業的情境。此外，針對專有名詞或較難理解的概念，應配合圖解或影片輔助教學，提升學習效果，例如利用統計圖表明確對比農業部門與非農業部門的排放來源與比例差異，導正溫室

氣體排放占比認知。

- (二)農務日常用語與實例解說，為貼近農民的知識推廣要件：參與者反映，部分專有名詞如「氧化亞氮(N_2O)」與「甲烷(CH_4)」等較為晦澀，應搭配以農民慣用的俗話或當地方言解說較能融入。另外，碳盤查的自願性與強制性區別不夠清楚，部分參訓人員對於如何實際操作碳盤查存有疑問，建議未來課程加強相關內容的淺顯講解，並結合農業實例說明，以增進理解。
- (三)推廣碳盤查工具與減碳技術：政府部門可針對農民團體與農企業教育其運用農業部建立的農業淨零資訊網中的碳足跡簡易計算機，或利用數位工具農務 e 把抓系統，建置產品碳足跡原料取得階段資料，逐步依循產品類別規則自我盤查碳排放，從中發現碳排放熱點據以採取改善措施。
- (四)辦理示範觀摩活動現場學習：農業試驗改良場所可透過辦理田間觀摩活動，示範低碳生產管理技術包括輪作作物增加生態多樣性、草生栽培、合理化施肥、智慧灌溉節水、精準施肥、用藥及使用節能機具設施之減碳效果，讓參與者能在實踐中更具方向性。並持續優化耐用年限長且便利充電之電動農機，逐步解決電動農機使用疑慮。

參考文獻

- 1.環境部。2025 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。
<https://www.cca.gov.tw/information-service/publications/national-ghg-inventory-report/13123.html/2025>.
- 2.江秀娥、方尚仁。2022。農業減碳的起點-農產品碳足跡盤查。因應氣候變遷之農業減碳增匯作為研討會論文輯，廖君達、田雲生、蕭政弘、李紅曦主編，p.53-68。彰化：臺中區農業改良場。
- 3.李宗樺。2023。低碳農業推廣輔導政策效果：青年農民採用意圖與行為之分析。國立臺灣大學生物資源暨農學院農業經濟學系研究所碩士論文，臺北，臺灣。
- 4.吳以健、廖崇億。2023。農產品碳足跡與減碳策略。臺中區農業專訊，123，6-12。臺中區農業改良場編印。
- 5.周孟群、施雅惠。2022。農業低碳栽培模式與減碳增匯效益評估。因應氣候變遷之農業減碳增匯作為研討會論文輯，廖君達、田雲生、蕭政弘、李紅曦主編，p.89-106。彰化：臺中區農業改良場。
- 6.林鈺荏。2024。減少水稻田甲烷排放之可行措施。苗栗區農業專訊，105，4-7。苗

栗區農業改良場編印。

- 7.柳婉郁、李天裕。2024。2025 淨零碳排放之挑戰。農業世界，486，57-63。
- 8.莊老達。2022。我國農業淨零排放推動策略。因應氣候變遷之農業減碳增匯作為研討會論文輯，廖君達、田雲生、蕭政弘、李紅曦主編，p.33-42。彰化：臺中區農業改良場。
- 9.莊老達、陳昭宏、盧虎生、邱祈榮、陳琦玲、黃文輝、黃嘉琳、王怡絜。2023。淨零趨勢下台灣農業的預期情境分析研究。財團法人中正農業委技社會公益基金會，陳建智主編，p.33-42，臺北：財團法人豐年社。
- 10.陳琦玲。2022。農業部門減排與增匯技術。中臺灣農業科技前瞻論壇專刊，林煜恒、陳葦玲、陳裕星、李紅曦主編，頁 48-51。彰化：臺中區農業改良場。
- 11.陳寬裕、王正華。2022。論文統計分析實務：SPSS 與 AMOS 的運用，p.499-781，臺灣：五南圖書出版股份有限公司。
- 12.郭雅紋。2023。碳匯有草開始。臺中區農業專訊，123，13-16。臺中區農業改良場編印。
- 13.楊槐駒、莊老達。2024。因應氣候變遷布局永續藍圖。農政與農情，380，9-14。
- 14.曾宥紘。2023。減少化學肥料用量之作物栽培技術。臺中區農業專訊，123，17-22。臺中區農業改良場編印。
- 15.張佳偉、張金元。2023。環境資源永續應用-電動農機。臺中區農業專訊，123，17-22。臺中區農業改良場編印。
- 16.張琇妍、嚴國恩、黃浩銓。2024。利用田間栽培管理調節水田之溫室氣體排放。花蓮區農業專訊，127，2-7。花蓮區農業改良場編印。
- 17.劉哲良、蔡綾容。2022。國內外農林領域溫室氣體減緩因應措施盤點分析。因應氣候變遷之農業減碳增匯作為研討會論文輯，廖君達、田雲生、蕭政弘、李紅曦主編，頁 53-52。彰化：臺中區農業改良場。
- 18.蔡正賢。2024。農地土壤自然碳匯管理技術。苗栗區農業專訊，105，1-3。苗栗區農業改良場編印。
- 19.鄭仲凱。2022。淨零碳排產品碳足跡實務分享。中臺灣農業科技前瞻論壇專刊，林煜恒、陳葦玲、陳裕星、李紅曦主編，p.53-54。彰化：臺中區農業改良場。
- 20.Cordero, E., Todd, A. M., Abellerra, D. 2008. Climate change education and the ecological foot print. Bulletin of the American Meteorological Society, 89(6), 865-872.
- 21.Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlik, P., Obersteiner, M., Tubiello, F. N.,

Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., van Vuuren, D. P., Dickie, A., Neufeldt, H., Sander, B. O., Wassmann, R., Sommer, R., Amonette, J. E., Falcucci, A., Herrero, M., Opio, C., Roman-Cuesta, R. M., Stehfest, E., Westhoek, H., Ortiz-Monasterio, I., Sapkota, T., Rufino, M. C., Thornton, P. K., Verchot, L., West, P. C., Soussana, J.-F., Baedeker, T., Sadler, M., Vermeulen, S., & Campbell, B. M. 2016. Reducing emissions from agriculture to meet the 2 °C target. *Global Change Biology*, 22(12), 3859-3864.

Study on the Cognitive and Behavioural Intentions of Agricultural Personnel towards Zero Net Agricultural Emissions¹

Shih-Fang Chen ^{2*} and Pei-Jen Chen ²

ABSTRACT

To convey the concepts of net-zero carbon emission in agriculture to agricultural practitioners in central Taiwan, the Taichung District Agricultural Research and Extension Station. It organized a training workshop on low-carbon farming management in 2024. The workshop featured lectures by seed instructors who explained net-zero emission policies and shared experiences on agricultural circular economy practices by agricultural enterprise managers. To assess the effectiveness of this training program, a survey was conducted with 184 participants, including agricultural officials, agricultural association promoters, farmers' organizations, agricultural enterprise personnel, and farmers. The results showed that the cognitive correct response rate significantly increased from 90.3% before the training to 96.0% after the training. The mean score of behavioral intention also increased significantly from 4.53 to 4.66, indicating that the program effectively enhanced participants' awareness of the importance of adopting low-carbon farming practices to mitigate greenhouse gas emissions. However, participants reported difficulties in understanding technical terminology related to agricultural greenhouse gas emission sources and suggested incorporating practical examples from the crop, forestry, fishery, and livestock sectors, as well as clearer distinctions between agricultural and non-agricultural emission sources. These findings suggest that future training programs should integrate practice-oriented approaches and case-based learning, while promoting low-carbon farming practices such as water-saving irrigation, precision fertilization, rational pesticide use, resource recycling, and energy-efficient agricultural machinery. Furthermore, encouraging farmer organizations and agribusinesses to adopt

¹Contribution No. 1118 from Taichung DARES, MOA.

²Associate Researcher, Associate Researcher of Taichung DARES, MOA.

*Corresponding Author: Shih-Fang Chen, Email: chensf@tcdares.gov.tw

carbon information tools for emission assessment and mitigation may facilitate the agricultural sector's transition toward net-zero emission.

Key words: Agricultural net zero emission, cognitive, behavioral intention

建立適用於臺灣亞熱帶氣候區之青花菜修正積溫預測模型¹

張佳偉^{2*}、張金元²、洪榆宸²、陳葦玲³

摘 要

青花菜(*Brassica oleracea* var. *italica*)為喜冷涼作物，在臺灣亞熱帶氣候條件下主要於秋冬裡作栽培。近年受氣候變遷影響，秋冬季異常高溫頻繁發生，使標準積溫模式(Standard Growing Degree Days, GDD)於生育期預測上產生明顯偏差，增加生產排程與採收人力調度之不確定性。本研究旨在建立一套符合亞熱帶氣候特性之非線性「修正積溫預測模型(Modified GDD)」，提升青花菜栽培品種「42號」在不同定植季節採收期預測的穩定性與適用性。本研究蒐集2021至2025年間於彰化地區青花菜田間生育調查資料(n=35)，涵蓋早秋、正冬及晚春等不同定植期，包含完整現蕾紀錄(n=23)與缺現蕾紀錄之(n=12)，搭配鄰近氣象站逐日氣溫資料進行分析。修正GDD模型依不同生育階段導入生理限制邏輯：營養生長期採用平頂切除法(Cut-off method，上限30℃)，生殖生長期採用三角懲罰法(Triangular penalty method，最適溫22℃、上限30℃)，並與僅設定基礎溫度($T_{base}=5^{\circ}\text{C}$)之標準GDD模式進行比較。結果顯示，標準GDD模式於早秋與晚春高溫條件下，全生育期積溫累積高達1280-1380 GDD，而正冬期僅累積940-990 GDD，季節間呈現較大變異，顯示標準GDD模式無法反映高溫對其之發育抑制熱障礙(Heat Penalty)。修正GDD模式則可有效校正高溫期間之無效熱累積，將不同季節的全生育期穩定收斂於950-1050 GDD之間。本研究推導出青花菜「42號」營養生長期門檻值為730修正GDD，於亞熱帶氣候條件下之積溫需求具有相對穩定性；並量化出早秋定植批次受高溫影響平均產生熱障礙約93 GDD，惟其變異程度較高，解釋了高溫環境下生理停滯導致生育延遲之現象。建議產業應用上可設定730修正GDD作為花芽分化預報，並以1000修正GDD

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1122 號。

² 農業部臺中區農業改良場助理研究員、副研究員、助理研究員。

³ 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：張佳偉，Email: changcw@tcdares.gov.tw

作為採收期預測標準，模型能協助農民在早春或晚秋等季節遇高溫等極端氣候時，進行精準生產排程。有效降低季節性氣溫變動對生育期預測之影響，可作為氣候不穩定環境下青花菜生產排程與管理決策參考。

關鍵字：青花菜、修正積溫、高溫逆境、熱障礙、物候預測

前 言

青花菜(*Brassica oleracea* var. *italica*)為十字花科薺屬蔬菜作物，原產西歐義大利沿海，性喜冷涼氣候，屬於綠植株春化型作物。臺灣自1960年代引進優良品種後，消費量逐年提升，目前全臺種植面積約為1,500-1,750公頃，年產量超過3萬公噸，產值逾10億元，除鮮食外，亦可作為冷凍加工蔬菜，調節國內夏季蔬菜供應。主要產區集中於雲林、嘉義等地，多於秋冬裡作(11月至隔年3月)栽培(游等人，2020；沈等人，2025)。然而因臺灣位處亞熱帶氣候區，秋冬季節氣溫變異大，近年更受氣候變遷影響，「暖冬」與「早春回暖」現象頻繁發生，高溫已成為限制青花菜生育進程與產期穩定性的關鍵環境因子。

溫度為影響青花菜生長發育之主要環境因子。研究指出，青花菜營養生長適溫約為20-22℃，而花球發育最適溫度則約為15-18℃(陳等人，2013)。若花芽分化或花球發育期間遭遇高溫(>25℃)，極易導致花芽分化延遲、花球異常(如花球不平整、夾葉、貓眼)、品質劣化及產量下降(Björkman et al.,1998)。研究亦顯示，花序形成初期為青花菜對高溫逆境最為敏感之關鍵階段，高溫可能導致花器內植物荷爾蒙(phytohormones)平衡失調，進而造成發育停滯或敗育(Heather et al.,1992)。此外，高溫環境亦可能縮短花球採收適期，導致花蕾黃化與成熟度不一，增加採收人力調度之困難(郭等人，2021)。

積溫(Growing Degree Days, GDD)為目前廣泛應用於作物物候期預測之量化指標。Dufault(1997)於青花菜生育研究中比較多種基礎溫度後，建議以5℃作為積溫計算之基礎，並被後續研究廣泛採用。傳統GDD模式僅設定基礎溫度並進行線性累加，假設溫度愈高，作物發育速率愈快。但在亞熱帶高溫環境下，當氣溫超過作物生理最適範圍時，生長速率往往不再增加，甚至因高溫逆境而停滯。既有研究指出，即使為耐熱品種，高溫仍可能造成花芽分化與花球發育之延遲或停滯現象(Björkman et al.,1998；Tan et al.,2000)。溫度影響青花菜自花球啟動至採收期間之發育速率與產量表現，且可透過溫度積分模式進行預測(Grevsen,1998；Alina et al.,2010)。若沿

用傳統GDD模式，常會高估高溫期間之有效發育進度，導致物候預測產生系統性誤差。

臺灣常見的早生耐熱青花菜品種‘42號’，因具備一定程度的耐熱性而適合秋冬裡作栽培，惟目前仍缺乏其在臺灣亞熱帶氣候條件下之精確積溫參數研究，特別是在高溫逆境下的生育模式修正。多數研究仍集中於生理性狀或肥培管理層面，較少結合長期田間資料與逐日氣象數據，建立可反映高溫抑制效應的物候預測模型。因此，如何在積溫架構中納入高溫對不同生育階段之生理限制，是亞熱帶青花菜生產管理中急需補足之研究缺口。

本研究提出一套以生育階段為核心、納入高溫生理懲罰機制之修正積溫預測架構，以修正線性積溫模式於亞熱帶高溫條件下可能產生之系統性誤差。於熱時間與作物物候模型中，除基礎溫度(base temperature)外，常另納入上限溫度(upper threshold)或以基礎溫度、最適溫度與最高溫度組成之cardinal temperatures，藉以描述高溫下發育速率不再增加，甚至下降之現象；其中，上限截頂(cut-off)與三角型溫度反應(triangular temperature response)為常見之處理(Baskerville and Emin, 1969; Yan and Hunt, 1999)。本研究依據青花菜高溫生理與花球發育研究結果，將營養生長期與生殖生長期分別設定不同之高溫限制邏輯：營養生長期以30°C作為有效溫度上限，生殖生長期則設定最適溫22°C、上限溫30°C，以反映青花菜於高溫條件下之發育抑制現象(Björkman and Pearson, 1998; 陳等人, 2013)。試驗蒐集2021至2025年間中部地區青花菜田間生育資料，結合鄰近氣象站逐日氣溫資料，建立適用於臺灣亞熱帶氣候條件之修正積溫(Modified GDD)預測模型，並驗證其於花芽分化與採收期預測之穩定性與適用性。

材料與方法

一、供試材料與試驗地點

試驗以臺灣青花菜早生品種‘42號’為試驗材料。試驗田區：(1)臺中區農業改良場試驗田(彰化縣大村鄉，24°00'N, 120°32'E)；(2)彰化縣竹塘鄉專業農戶田區。皆採慣行栽培管理。試驗期間涵蓋2021年至2025年，共計跨越5個年度之多年期作栽培。

二、資料蒐集與分組

本研究共蒐集35筆具有完整定植與採收紀錄之田間數據(如附表一)。為探討季節性氣候差異，本研究依據定植月份將所有樣本明確劃分為三個氣候群集：早秋群

集(9-10月定植，初期遇高溫， $n=11$)、正冬群集(11-1月定植，氣候適宜， $n=20$)及晚春群集(2-3月定植，後期遇高溫， $n=4$)。

在模型建立與驗證策略上，本研究先自受熱逆境影響最小的「正冬群集」中，篩選出具備完整現蕾紀錄之批次作為「建模基準組(Calibration Set, $n=11$)」，用以推導並建立營養生長期的生理積溫門檻值。隨後，將此建立好之模型參數，套用於其餘包含早秋、晚春及部分正冬在內的「跨季驗證組(Validation Set, $n=24$)」，檢驗模型在非當季、且面臨高溫逆境時的真實預測準確度。

三、氣象資料來源

逐日氣象資料(最高溫、最低溫、平均溫)取自鄰近試驗田區之農業氣象觀測站。大村試驗田數據取自交通部中央氣象署農業氣象觀測網「臺中農改」測站(代碼72G600)，竹塘試驗田數據取自「田頭村」測站(代碼C2G980)。

四、積溫計算模式

為探討高溫對青花菜發育之影響，本研究採用「標準積溫模式」與「修正積溫模式」進行比對。基礎溫度(T_{base})設定為 5°C ，係參照 Dufault 與 Dhankhar & Chandanshive (Dufault, 1997；Dhankhar et al., 2017)之研究。

(一) 標準積溫模式(Standard GDD Model)採用傳統線性累加方式，不設上限溫度。計算公式如下：

$$GDD_{std} = \sum_{i=1}^n \max(0, T_{avg,i} - T_{base})$$

其中 $T_{avg,i}$ 為第 i 日之平均氣溫， T_{base} 為作物生長發育所需的最低臨界溫度。

(二) 修正積溫模式(Modified GDD Model)考量亞熱帶氣候高溫對青花菜不同發育階段之生理限制，本試驗依據高溫逆境下青花菜生理(陳等人，2013)及青花菜花芽分化生理條件(Björkman et al., 1998)之研究，將生育期劃分為營養生長期與生殖生長期，分別導入不同高溫限制參數：

1. 營養生長期(Vegetative Growth Stage)：定植日至現蕾日，主要為葉片及生物量之累積，對高溫耐受度較高。採用平頂切除法(Cut-off Method)，即當日平均氣溫超過設定之上限溫度時，僅以上限值作為有效溫度參與積溫計算，以避免高溫條件下不具生理效益之熱量被持續線性加總。此類以上限溫度限制熱量累積之處理方式，已廣泛應用於熱時間與 degree-day 計算概念中(Baskerville and Emin, 1969)。依據陳等(2013)之研

究指出，青花菜在30°C以上光合作用效率顯著下降，且熱逆境指標(如過氧化氫)升高。故設定生長上限溫度(T_{upper})為30°C，當氣溫超過此限值光合作用效率不再增加。

$$T_{eff} = \min(T_{avg}, 30)$$

$$GDD_{veg} = \max(0, T_{eff} - 5)$$

其中 T_{eff} 為有效溫度(effective temperature)，表示經上限溫度修正後，實際用於當日積溫計算之溫度值；當日平均氣溫未超過30°C時， T_{eff} 等於 T_{avg} ，超過30°C時則以30°C計，以避免高溫條件下無效熱量被高估。

2. 生殖生長期(Reproductive Growth Stage)：現蕾日至採收日。採用三角懲罰法(Triangular Penalty Method)，以基礎溫度(T_{base})、最適溫度(T_{opt})與最高溫度描述高溫下發育速率之變化。可表達作物發育速率於最適溫附近達到最高，當溫度高於最適溫後逐漸下降，並於最高溫時降為零，為作物物候與熱時間模型常見之處理架構(Yan and Hunt, 1999)。參考 Björkman & Pearson (1998)對青花菜花芽分化之研究，當花序發育在超過25°C時發生停滯(Arrest)現象。本研究考量田間日夜溫差緩衝效應，設定最適溫度(T_{opt})為22°C、上限致死溫度(T_{max})為30°C。當氣溫超過最適溫時，發育速率隨溫度升高而遞減；超過上限溫時，視為無效積溫($GDD=0$)。

$$GDD_{rep} = \begin{cases} 0 & \text{if } T_{avg} \leq 5 \\ T_{avg} - 5 & \text{if } 5 < T_{avg} \leq 22 \\ (22 - 5) \times \frac{30 - T_{avg}}{30 - 22} & \text{if } 22 < T_{avg} < 30 \\ 0 & \text{if } T_{avg} \geq 30 \end{cases}$$

修正GDD模式中，先以營養生長期公式逐日累積修正積溫；當累積值首次達730 GDD之當日，仍視為營養生長期，並自次日起切換為生殖生長期，套用三角懲罰法進行積溫計算。採收期預測，依兩模型之全樣本實際累積平均值設定及提前預告原則，設定為1000 GDD。當自定植日起累積值首次達到採收閾值之日期，即定義為預測採收日，計算比較預測天數與實際天數之平均絕對誤差(MAE)。

五、物候推估與熱障礙量化

因部分試驗批次缺乏現蕾日紀錄，本研究建立物候推估流程。參數推導邏輯因青花菜在早秋與晚春易受高溫逆境影響而產生發育延遲，若直接使用全部具現蕾日紀錄的數據($n=23$)平均值，恐造成門檻值因熱障礙而產生高估誤差。因此本研究利用前述「建模

基準組」之數據統計營養生長期積溫需求，以平均積溫作為營養生長期的生理積溫常數 (Physiological Constant)。

無現蕾日之批次自定植日起逐日累加積溫，當累積數值達到該門檻值之日期，即定義為「推估現蕾日」，據此劃分營養生長與生殖生長階段。

為量化高溫環境下作物所累積之無效積溫與生育延遲，本研究定義「熱障礙差異值 (Heat Penalty)」，計算公式為同一批次下「標準積溫模式累積值」減去「修正積溫模式累積值」之差額，用以量化高溫環境下作物所累積之無效積溫與生育延遲。

六、統計分析

試驗數據利用Microsoft Excel進行整理與積溫運算。採用皮爾森積動差相關係數(Pearson correlation coefficient, r)分析氣溫因子與生育日數之相關性；並計算各栽培季節下兩種積溫模式之變異係數(Coefficient of Variation, CV%)，以評估模型之穩定性與預測能力。

結 果

一、氣候條件與採收天數之季節性變異

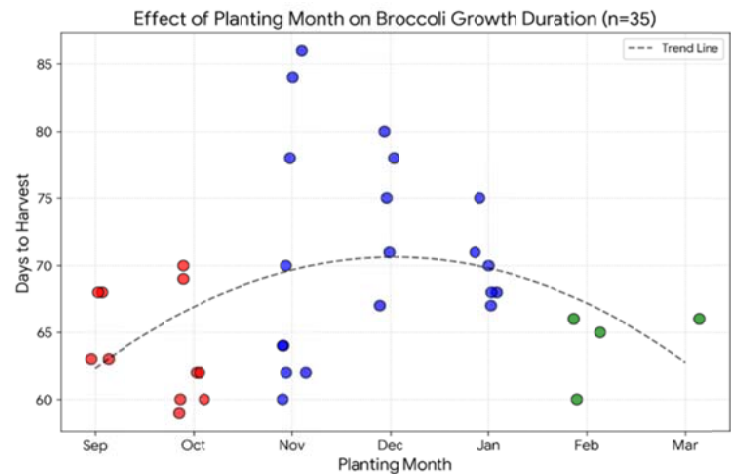
本研究彙整2021-2025年間共35筆田間試驗資料(如附表一)，涵蓋早秋(9-10月)、正冬(11-1月)及晚春(2-3月)等不同定植期，可觀察到氣候條件與生育表現呈現顯著季節性差異。正冬群集平均氣溫 $18.0 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ ，落在青花菜適合的生理溫度範圍($15-22^{\circ}\text{C}$)，標準差小(1.1°C)，氣候相對穩定，其平均定植至採收天數為 71.0 ± 7.4 天，為三群集中最長。早秋群集平均氣溫 $22.8 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ ，初期頻繁遭遇 25°C 至 30°C 以上高溫，其平均定植至採收天數為 64.0 ± 4.0 天。晚春群集平均氣溫為 $21.1 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ ，後期逐漸進入升溫環境，平均定植至採收天數為 64.3 ± 2.9 天，與早秋相似。

各批次實際定植至採收天數介於59至86天之間(圖一)，最短者出現在早秋定植批次，最長者則出現在正冬定植批次，兩者相差達27天。即青花菜採收天數與定植月份之關係並非單純線性，可能受不同季節、氣溫、生育階段之生理發育及環境等因素共同影響。

表一、不同栽培季節下青花菜‘42號’之氣象條件與定植至採收天數
Table 1. Summary of meteorological conditions and growth duration of broccoli ‘42’ in different cropping seasons

Cropping Season	Planting Month	Mean Temperature (°C)	Mean Growth Duration (Days)	Range (Days)	Sample Size (n)
Early Autumn	Sep - Oct	22.8±1.9	64.0±4.0	59 -70	11
Winter	Nov - Jan	18.0±1.1	71.0±7.4	60 -86	20
Late Spring	Feb - Mar	21.1±1.9	64.3±2.9	60 -66	4

Note: Data represents mean ± standard deviation. Statistics are derived from 35 field datasets collected between 2021 and 2025.



圖一、不同定植月份對青花菜全生育日數之影響。不同顏色分別代表不同栽培季節群集：紅色為早秋9-10月定植、藍色為正冬11-1月定植、綠色為晚春2-3月定植。X軸為定植月份，Y軸為定植至採收天數。

Fig. 1. Effect of planting month on total growth duration of broccoli. Red, blue, and green indicate Early Autumn (Sep-Oct), Winter (Nov-Jan), and Late Spring (Feb-Mar), respectively. X-axis: planting month; Y-axis: days from planting to harvest.

二、營養生長期門檻值之推導

為確定青花菜‘42 號’從營養生長期轉向生殖生長期的生理積溫需求，本研究採用 11 筆正冬建模基準組數據進行分析。推導出標準積溫模式與修正積溫模式兩者之關鍵預測參數，如表二。分析結果日均溫皆未觸發修正模型所設定的高溫懲罰閾值(30℃)，

兩種模式計算出之正冬子集營養生長期平均積溫完全相同，皆為 782.2 GDD(標準差為 64.6 GDD)。

數據顯示，部分早生批次在累積約 717 GDD 時即啟動花芽分化。基於農業實務操作預報原則，本研究將門檻值設定為 730 修正 GDD，約與平均值減去 1 倍標準差相近 (782.2-64.6 =717.6)，以此作為判定花芽分化啟動的通用門檻值。以此數值應用於驗證組的物候推估，界定營養期與生殖期的時間分界。

標準積溫模式計算之全樣本平均總積溫為 1056.9 GDD，而修正積溫模式計算之全樣本平均總積溫為 1024 GDD。

表二、營養生長期積溫門檻值之推導過程(冬季建模組數據)(n=11)

Table 2. Derivation of the vegetative growth threshold based on winter calibration batches (n=11)

Batch ID	Planting Date	Observed Floral Initiation Date	Vegetative Growth Duration (Days)	Standard GDD Accumulation	Modified GDD Accumulation
21-Winter-01	2021/01/14	2021/03/10	55	743.4	743.4
21-Winter-02	2021/01/29	2021/03/25	55	795.5	795.5
21-Winter-03	2021/11/11	2021/12/30	49	743.3	743.3
21-Winter-04	2021/11/11	2021/12/30	49	743.3	743.3
21-Winter-05	2021/11/25	2022/01/16	52	717.6	717.6
21-Winter-06	2021/11/25	2022/01/16	52	717.6	717.6
23-Winter-03	2023/11/07	2023/12/29	52	841.5	841.5
23-Winter-04	2023/12/07	2024/01/29	53	717.7	717.7
24-Winter-02	2024/11/28	2025/02/05	69	841.3	841.3
24-Winter-03	2024/11/29	2025/02/12	75	899	899
24-Winter-04	2024/12/03	2025/02/12	71	844	844
Mean			57.5	782.2	782.2
Standard Deviation (SD)			9.4	64.6	64.6
Set Threshold				730	730

Note: This table only includes batches planted between November and January with complete floral initiation records (n=11). The threshold is set at the mean minus one standard deviation (rounded) to cover the requirements of early-maturing individuals.

三、標準與修正積溫模式之穩定性比較

為評估模式的廣泛適用性，本研究納入全數35筆田間試驗數據(含建模組與驗證組)進行分析，比較「標準GDD」與「修正GDD」在不同季節下的全生育期累積積溫統計特徵(表三)。

結果顯示，在早秋定植批次中，標準GDD之平均累積值為1211.9 GDD，變異係數(CV)為12.4%；修正GDD為1118.7 GDD，CV為7.0%。在晚春定植批次中，標準GDD之平均累積值為1103.2GDD，CV為14.4%，修正GDD之平均累積值為948.6 GDD，CV為5.6%。正冬批次中，標準GDD之平均累積值為962.5 GDD，修正GDD之平均累積值為952.5 GDD，兩種模式之CV均為7.7%。

表三、標準積溫與修正積溫模式在不同栽培季節之全生育期累積積溫比較

Table 3. Comparison of accumulated GDD statistics between Standard and Modified models across different cropping seasons (n=35)

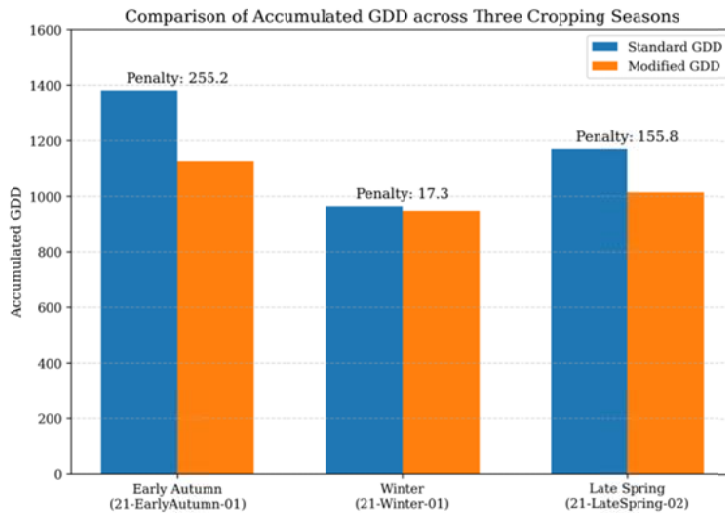
Cropping Season	GDD Model	Mean Accumulated GDD	Standard Deviation (SD)	Coefficient of Variation (CV%)
Early Autumn	Standard GDD	1211.9	149.8	12.4%
	Modified GDD	1118.7	78.8	7.0%
Winter	Standard GDD	962.5	74.6	7.7%
	Modified GDD	952.5	73.1	7.7%
Late Spring	Standard GDD	1103.2	158.6	14.4%
	Modified GDD	948.6	52.7	5.6%

四、高溫熱障礙(Heat Penalty)之量化分析

圖二從35筆樣本中挑選具代表性的早秋(21-Early Autumn-01)、正冬(21-Winter-01)與晚春(21-Late Spring-02)各1筆試驗批次來呈現積溫差異。在適溫的正冬(1月中旬定植)，標準模式與修正模式的累積數值幾乎一致，熱障礙僅17.3 GDD；然在遭遇熱逆境的早秋(9月中旬定植)與晚春(3月中旬定植)中，標準GDD顯著飆高，分別產生了高達255.2與155.8 GDD的無效熱障礙。

為驗證修正GDD模型，本研究從35筆資料中選取「早秋」與「晚春」案例各1筆資料，見表四。早秋案例(21-早秋-01)於9月中旬定植，10月上旬前平均氣溫皆介於29-31℃，10月中旬後平均氣溫常介於24-26℃，以標準GDD模式分析在累積至約43天(約10月底)即達可採收門檻，但實際上需等到63天。修正GDD模式扣除約255

GDD無效熱能，將預測校正為55天達可採收，縮小誤差。晚春案例(21-晚春-02)於2月底定植，生長後期遇春季高溫。標準GDD估算之生長發育較快，預測58天採收。修正模型則透過生殖生長期的三角懲罰機制，推導出高溫導致發育停滯，得到65天的預測採收日，與實際66天幾乎一致。



圖二、不同栽培季節代表性批次之積溫累積量比較。

Fig. 2. Comparison of accumulated GDD for representative batches across cropping seasons.

針對早秋與晚春兩個極端群集，分析「無效積溫(熱障礙)」發生於哪個發育階段。其中21-LateSpring-03因生殖生長期連續高溫，造成採收預期顯著偏差(附表一)，為避免其對回歸參數與統計過度影響，Heat Penalty分析及採收期預測誤差之驗證排除該筆資料(表五)。統計數據顯示青花菜‘42號’之熱障礙在營養生長階段低，多集中在生殖生長期(早秋平均92.7 GDD，晚春平均89.5 GDD)。觀察早秋定植時日平均氣溫約在28-29℃，持續超過30℃設定上限的現象少，「花芽分化啟動期」處於氣溫較高的10月中下旬，導致花球發育初期受抑制。晚春定植時氣溫涼冷，營養生長期無障礙，進入採收期(4-5月)時氣溫快速回升至25-30℃。此時為花球膨大期，以標準GDD模式計算，將因高溫產生無效積溫，而修正GDD模型則透過「三角懲罰機制($T_{opt}=22^{\circ}\text{C}$, $T_{max}=30^{\circ}\text{C}$)」避免無效積溫快速累積造成誤判。

本研究以生殖生長期平均氣溫為自變數(x)，熱障礙(Heat Penalty)為應變數(y)進行線性迴歸分析。結果顯示兩者之間呈顯著正相關($R^2 = 0.65$, $p < 0.01$)(圖三)。其線性回歸方程式為：

$$y = 22.53x - 401.28$$

依據此回歸方程式推估，當生殖生長期平均氣溫約高於17.81℃時，Heat Penalty可能開始出現正值；且在此線性關係下，均溫每上升1℃，Heat Penalty約增加22.53 GDD。

表四、早秋與晚春代表性案例之積溫與預測差異比較表

Table 4. Comparison of GDD accumulation and prediction discrepancies between representative Early Autumn and Late Spring batches

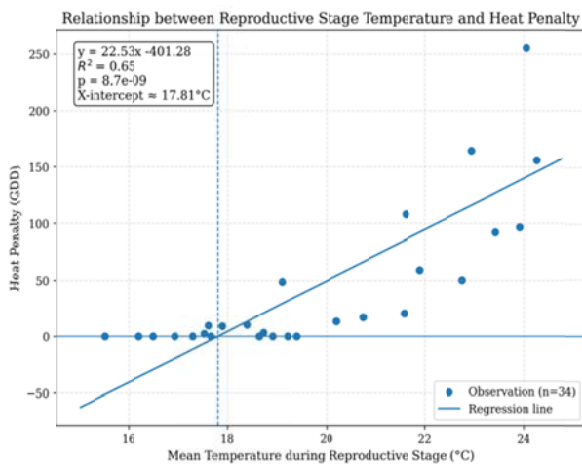
Comparison Item	Early Autumn Case	Late Spring Case
Batch ID	21-Early Autumn-01	21-Late Spring-02
Planting Date	Sep16	Feb26
Actual Harvest Date	Nov18	May 03
Actual Duration	63 Days	66 Days
Modified GDD Model		
Total Accumulated GDD	1125 GDD	1013.5 GDD
Predicted Days	55 Days (Error -8 Days)	65 Days (Error -1 Days)
Standard GDD Model		
Total Accumulated GDD	1380.2 GDD (Overestimated)	1169.3 GDD (Overestimated)
Predicted Days*	43 Days (Error -20 Days)	58 Days (Error -8 Days)
Heat Penalty	255.2 GDD	155.8 GDD

Note: Predicted days for the Standard GDD model were simulated assuming a harvest target of 1000 GDD for comparison purposes.

表五、早秋與晚春群集之熱障礙(Heat Penalty)分布階段統計

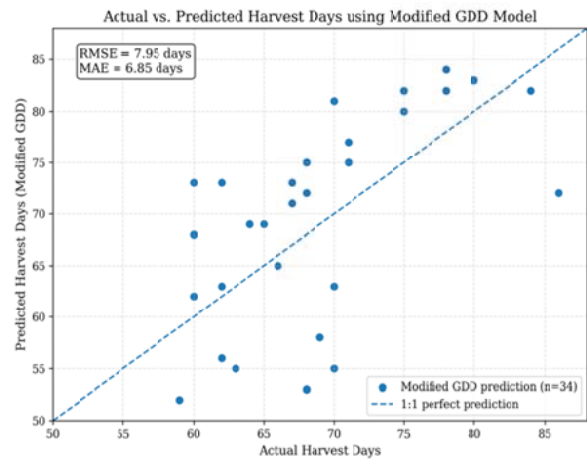
Table 5. Distribution of Heat Penalty across growth stages in Early Autumn and Late Spring clusters

Cluster	Vegetative Growth Penalty	Reproductive Growth Penalty	Primary Source of Penalty
Early Autumn (Sep-Oct)	0.5±0.9 GDD	92.7±94.7 GDD	Reproductive Growth Stage
Late Spring (Feb-Mar)	0.0±0.0 GDD	89.5±67.7 GDD	Reproductive Growth Stage



圖三、生殖生長期平均氣溫與熱障礙 (Heat Penalty) 之線性關係(排除極端 heat-forced 批次 21-Late Spring-03, $n=34$)。

Fig. 3. Linear relationship between mean temperature during the reproductive stage and heat penalty.



圖四、利用修正 GDD 模式預測之採收天數與實際田間採收天數之散佈圖 (排除極端 heat-forced 批次 21-Late Spring-03, $n=34$)。

Fig. 4. Scatter plot comparing actual harvest days to predicted harvest days using the Modified GDD model ($n=34$).

五、採收期預測準確度驗證

利用本研究建立的修正GDD模式參數(營養期門檻730 GDD, 全生育期目標1000 GDD), 進行採收日預測, 並與實際田間觀測天數進行逐筆比對, 驗證結果如圖四。多數樣本點分布於1:1 對角線附近, 表示修正GDD模式預測之採收天數與實際採收天數具良好一致性。

排除生殖生長期極端高溫之「21-Late Spring-03」, 本研究針對34筆樣本進行預測誤差分析(表六)。修正GDD模式的平均絕對誤差(MAE)6.85 天, 均方根誤差(RMSE)7.95天, 整體誤差變異係數(CVRMSE)11.64%, 各項指標皆優於標準GDD模式。

表六、標準與修正積溫模式於各栽培季節之採收天數預測誤差分析

Table 6. Prediction error analysis of harvest days using Standard and Modified GDD models across different cropping seasons.

Cropping Season	Sample Size (n)	Model	MAE (Days)	RMSE (Days)	CV(RMSE)
Early Autumn	11	Standard GDD	13.18	15.11	23.61%
		Modified GDD	8.64	9.78	15.29%
Winter	20	Standard GDD	5.55	6.55	9.22%
		Modified GDD	6.25	7.12	10.00%
Late Spring	3	Standard GDD	5.33	5.89	9.25%
		Modified GDD	4.33	5.2	8.16%
Total (Excluding extreme heat-forced batch)	34	Standard GDD	8.00	10.11	14.84%
		Modified GDD	6.85	7.95	11.64%

Note: MAE is the mean absolute error between predicted and observed harvest days. RMSE is the root mean square error, with greater sensitivity to large errors. Lower values indicate better prediction accuracy. Prediction error analysis was conducted after excluding the extreme heat-forced batch 21-Late Spring-03.

討 論

一、亞熱帶環境下修正積溫模型之穩定性與必要性

綜合不同定植季節之生育日數與積溫分析結果，青花菜於亞熱帶氣候條件下，其發育並非隨氣溫升高而呈現線性加速關係。特別是在早秋與晚春等高溫風險較高之批次中，即使氣溫較高使標準GDD累積迅速，實際生育日數卻未相應縮短，顯示以日曆天數或線性標準GDD模型，容易造成產期預測的系統性偏差。反映在亞熱帶環境中，作物發育行為已明顯偏離線性溫度反應假設。

相較之下，本研究建立修正GDD模式，透過劃分生育階段並納入高溫生理限制邏輯，使跨季節批次之全生育期積溫需求收斂於較穩定區間，以氣候最穩定的正冬數據(11筆)建立基礎模型，套用於非當季的早秋與晚春進行跨季驗證，有效降低各季節變異係數，表三修正GDD模式成功將早秋與晚春兩者的CV%縮小至7.0%與5.6%，顯示當作物發育存在明確的最適溫範圍與高溫抑制現象時，僅以線性熱時間

作為生育時鐘可能不足，必須考慮高溫所造成的有效熱量折減或發育停滯效應，方能合理描述田間實際發育行為。

二、高溫懲罰(Heat Penalty)之量化意義與生理連結

本研究進一步以Heat Penalty(標準GDD與修正GDD之差值)量化高溫條件下所產生的「無效熱累積」，使高溫逆境的影響由經驗性描述轉為可計算分析的指標。由分階段分析可知，Heat Penalty主要集中於生殖生長期(現蕾至採收)，顯示青花菜‘42號’在花球啟動與發育階段對高溫更為敏感。此現象與文獻指出高溫可能導致花序發育停滯或延遲之結果一致(Heather et al.,1992；Björkman & Pearson,1998)，亦呼應國內研究所述高溫逆境下生理壓力上升與同化作用效率下降的特性(陳等人，2013)。

由生殖生長期之平均氣溫與Heat Penalty回歸分析($y = 22.53x - 401.28$)可知，當回歸線 $y = 0$ 時，其對應之氣溫約為 17.81°C ，表示當生殖期均溫接近或低於此推估溫度時，高溫造成的Heat Penalty趨近於零，顯示高溫抑制效應較不明顯。此數值與文獻所指出青花菜花球發育適溫範圍($15-18^{\circ}\text{C}$)呼應(陳等人，2013)，顯示本研究所設定之參數具備合理的生理基礎。另一方面，透過該回歸斜率可知，當生殖期均溫超過適溫範圍後，每上升 1°C ，作物全生育期將額外累積約22.53單位的無效積溫，合理解釋暖冬或早秋栽培中常見的現象：儘管熱量累積迅速，花球發育卻反而因高溫抑制而延後。

三、在地化參數應用

過去溫帶地區作物物候預測多採線性GDD架構，以設定 T_{base} 來描述發育進程；研究指出自花球啟動後起算之溫度積分，可有效描述青花菜花球生長並預測特定頭球大小之到達時間(Grevsen,1998)；而在亞熱帶地區因高溫抑制效應，模型容易出現跨季節失穩。本研究進一步在亞熱帶條件下將高溫抑制效應納入生殖生長期之修正架構。保留 $T_{\text{base}} = 5^{\circ}\text{C}$ (與既有青花菜研究一致)，進一步以分階段方式導入高溫限制：營養期以cut-off(上限 30°C)描述高溫下發育增益不再增加，生殖期以triangular penalty($T_{\text{opt}} = 22^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{\text{max}} = 30^{\circ}\text{C}$)描述超過最適溫後發育速率遞減甚至無效的情形，作為針對亞熱帶栽培環境的預測修正，將‘42號’的物候預測參數具體化，成為可操作的門檻值(營養期730修正GDD與採收期約1000修正GDD)，以利作為栽培排程與採收人力調度的決策依據。同時本研究提供了一個可移植的概念框架：當作物在特定

發育階段存在明確高溫抑制區間時，僅採線性熱時間可能產生系統性偏差，需以階段化與懲罰函數處理，才能反映生理真實發育。

四、研究限制、適用範圍與後續擴充方向

本研究以2021-2025年間35筆田間批次資料建立與驗證模型，並涵蓋試驗站與農戶慣行管理情境，結果顯示其在實務可接受範圍內具備預測能力。然而，本研究亦存在部分限制：首先，本模型聚焦於溫度因子，尚未納入可能影響發育與田間表現的其他逆境或管理變因(例如連續降雨造成的濕害壓力、病害風險、土壤水分狀態等)；其次，門檻值(如730修正GDD)係以具完整現蕾紀錄之適溫批次推導，雖具有穩定性與可操作性，但在不同品種或更極端氣候情境下是否需校正，仍有待擴充資料驗證。

分析結果顯示在晚春如3月上旬定植之「21-Late Spring-03」，修正模型產生了嚴重誤差，較實際延遲達32天。此為作物在不同發育階段面臨高溫的「生理歧異性」。修正GDD模型之生殖期設定 $T_{\max}=30^{\circ}\text{C}$ 發育將完全停滯，GDD積累為0。在早秋「花芽分化期」遇高溫氣候時符合；但當晚春於「採收末期」遭遇逾 30°C 高溫，此時植株已完成花芽分化，面臨高溫生理逆境，傾向於加速老化、花球鬆散甚至提早抽薹(Bolting)以完成生命週期，而非停滯生長(Farnham et al., 2011; 陳等人, 2013)。因此在實務應用上，建議修正模型之最佳適用定植期為「9月至翌年2月」；而3月後定植者，當模型於生殖生長期給出GDD連續為0的遞延訊號時，栽培管理決策應解讀為「將失去商品價值」之高風險預警，而非預測採收日。

為提升模型在極端氣候下的應用性，未來可評估加入事件型或階段型的附加懲罰項(例如以降雨或霪雨作為風險修正因子)，使模型由「單因子GDD」延伸為「多逆境物候預測」工具，進一步強化其在生產排程上的應用價值。

致 謝

本研究承蒙蔬菜研究室沈峻榮、許誌裕、農機研究室李東霖、劉志聰、李安心、茆聰銘及賴碧琴等同仁鼎力配合協助，方得以順利完成，謹此一併誌謝。

參考文獻

1. 沈峻榮、林煜恒、陳葦玲。2025。影響青花菜產量之環境及生育性狀關鍵因子分析。臺中區農業改良場研究彙報,168, 51-75

2. 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，121, 9-24。
3. 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，78, 32-45。
4. 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，148, 47-60。
5. 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.
6. Baskerville, G. L., & Emin, P. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. Ecology, 50(3), 514-517.
7. Björkman, T., & Pearson, K. J.1998. High temperature arrest of inflorescence development in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.). Journal of Experimental Botany, 49, 101-106.
8. 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.
9. Dufault, R. J.1997. Determining heat unit requirements for broccoli harvest in coastal South Carolina. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 122, 169-174.
10. Farnham, M. W., & Björkman, T.2011. Breeding Vegetables Adapted to High Temperatures: A Case Study with Broccoli. HortScience.
11. Grevsen, K.1998. Effects of temperature on head growth of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*): parameter estimates for a predictive model. J. Hort. Sci. Biotechnol.,73,235-244.
12. 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.
13. Tan, D. K. Y., Birch, C. J., Wearing, A. H., & Rickert, K. G.2000. Predicting broccoli development I. Development is predominantly determined by temperature rather than photoperiod. Scientia Horticulturae,84(3-4),227-243.
14. Yan, W., & Hunt, L. A. 1999. An Equation for Modelling the Temperature Response of Plants using only the Cardinal Temperatures. Ann. Bot., 84(5), 607-614.

附 錄

附表一：青花菜‘42號’35筆試驗批次之標準與修正積溫模式計算及預測誤差比較表

Appendix Table1. Full dataset of field observations and GDD model predictions.

Batch ID	Planting Date	Observed Floral Date	Actual Harvest Date	Actual Days	Actual Standard GDD	Actual Modified GDD	Predicted Days-Modified	Modified Error (Days)	Predicted Days-Standard	Standard Error (Days)
--- Early Autumn (Sep-Oct) ---										
21-EarlyAutumn-01	2021-09-16	2021-10-26	2021-11-18	63	1380.2	1125	55	-8	43	-20
21-EarlyAutumn-02	2021-09-16	2021-10-26	2021-11-18	63	1380.2	1125	55	-8	43	-20
21-EarlyAutumn-03	2021-09-30	2021-11-15	2021-12-07	68	1329	1221.1	53	-15	48	-20
21-EarlyAutumn-04	2021-09-30	2021-11-15	2021-12-07	68	1329	1221.1	53	-15	48	-20
21-EarlyAutumn-05	2021-10-14	2021-11-23	2021-12-15	62	1110.4	1096.8	56	-6	55	-7
21-EarlyAutumn-06	2021-10-14	2021-11-25	2021-12-15	62	1110.4	1096.8	56	-6	55	-7
21-EarlyAutumn-07	2021-10-28	2021-12-15	2021-12-27	60	987.1	987.1	62	2	62	2
21-EarlyAutumn-08	2021-10-28	2021-12-15	2021-12-27	60	987.1	987.1	62	2	62	2
22-EarlyAutumn-01	2022-10-07		2022-12-15	69	1340.2	1175.8	58	-11	49	-20
22-EarlyAutumn-02	2022-10-21		2022-12-30	70	1212	1163.3	55	-15	52	-18
23-EarlyAutumn-01	2023-10-06	2023-11-26	2023-12-04	59	1165.6	1106.7	52	-7	50	-9
--- Winter (Nov-Jan) ---										
21-Winter-01	2021-01-14	2021-03-10	2021-03-23	68	963.7	946.4	72	4	71	3
21-Winter-02	2021-01-29	2021-03-25	2021-04-06	67	1041.4	944.9	71	4	65	-2
21-Winter-03	2021-11-11	2021-12-30	2022-01-14	64	940	940	69	5	69	5
21-Winter-04	2021-11-11	2021-12-30	2022-01-14	64	940	940	69	5	69	5
21-Winter-05	2021-11-25	2022-01-16	2022-01-24	60	840.4	840.4	73	13	73	13
21-Winter-06	2021-11-25	2022-01-16	2022-01-26	62	870.8	870.8	73	11	73	11
22-Winter-01	2022-11-10		2023-01-19	70	1093.4	1084.2	63	-7	63	-7
22-Winter-02	2022-12-01		2023-02-10	71	939	939	77	6	75	4
22-Winter-03	2022-12-16		2023-03-01	75	953.4	943.6	80	5	79	4
23-Winter-01	2023-01-05		2023-03-17	71	951.5	951.5	75	4	74	3
23-Winter-02	2023-01-18		2023-03-27	68	946.6	896.4	75	7	72	4
23-Winter-03	2023-11-07	2023-12-29	2024-01-08	62	991.6	991.6	63	1	63	1
23-Winter-04	2023-12-07	2024-01-29	2024-02-12	67	923.6	920.2	73	6	73	6
24-Winter-01	2024-11-11		2025-02-05	86	1166.2	1166.2	72	-14	72	-14
24-Winter-02	2024-11-28	2025-02-05	2025-02-14	78	946.5	946.5	82	4	82	4
24-Winter-03	2024-11-29	2025-02-12	2025-02-21	84	1025.7	1025.7	82	-2	82	-2
24-Winter-04	2024-12-03	2025-02-12	2025-02-21	80	970.6	970.6	83	3	83	3
24-Winter-05	2024-12-05		2025-02-21	78	937.8	937.8	84	6	84	6
25-Winter-01	2025-01-02		2025-03-18	75	927.3	916.8	82	7	81	6
25-Winter-02	2025-01-13		2025-03-24	70	879.6	877.2	81	11	78	8
--- Late Spring (Feb-Mar) ---										
21-LateSpring-01	2021-02-09	2021-04-05	2021-04-15	65	1054.6	962.4	69	4	63	-2
21-LateSpring-02	2021-02-26	2021-04-25	2021-05-03	66	1169.3	1013.5	65	-1	58	-8
21-LateSpring-03	2021-03-12		2021-05-17	66	1279.6	929.8	98	32	55	-11
23-LateSpring-01	2023-02-04		2023-04-05	60	909.2	888.8	68	8	66	6

Establishment of a Modified Growing Degree Day Prediction Model for Broccoli in Taiwan's Subtropical Climate¹

Chia-Wei Chang^{2*}, Chin-Yuan Chang², Yu-Chen Hung²
and Wei-Ling Chen³

ABSTRACT

Climate change-induced high temperatures in subtropical Taiwan reduce the accuracy of conventional Growing Degree Day (GDD) models for predicting broccoli phenology. This study developed a Modified GDD model for the primary cultivar ‘No.42’ using 35 cultivation batches (2021-2025), incorporating stage-specific physiological constraints: a cut-off method (upper limit 30°C) for the vegetative stage and a triangular penalty function (optimum 22°C, maximum 30°C) for the reproductive stage. Compared with the standard model (Tbase = 5°C), which overestimates effective thermal accumulation under high-temperature conditions, the modified model more accurately reflects crop developmental responses by excluding ineffective heat accumulation. The vegetative-to-reproductive transition was identified at 730 modified GDD, while heat-induced developmental inhibition (“Heat Penalty”) averaged approximately 93 GDD in early autumn plantings, albeit with high variability. These results explain the systematic underestimation of harvest time by conventional GDD models under warm conditions. Accordingly, thresholds of 730 modified GDD for floral initiation and 1000 modified GDD for harvest are recommended to improve prediction accuracy and support production scheduling under increasingly unstable climatic conditions.

Key words: broccoli, Modified Growing Degree Days (GDD), heat stress, heat penalty, phenology prediction

¹ Contribution No.1122 from Taichung DARES, MOA.

² Assistant Researcher, Associate Researcher, Assistant Researcher and Assistant Researcher of Taichung DARES, MOA.

³ Researcher and Deputy Director of of Floral Industry Innovation Center, Ministry of Agriculture, COA.

*Corresponding Author: Chia-Wei Chang, Email: changcw@tcdares.gov.tw

乾溼交替灌溉處理對水稻台農71號與台南11號生長特性與產量之影響¹

郭芝秀²、吳以健^{3*}

摘 要

本研究旨在評估乾溼交替灌溉(Intermittent Irrigation, ITI)在臺灣水稻栽培中的適用性與永續價值，並比較其不同氮肥施用下對“台農 71 號”(TNG71)與“台南 11 號”(TN11)之生理性狀與產量構成要素的影響。試驗於 2021 與 2022 年進行，設置乾溼交替與慣行持續性淹水兩種灌溉處理，並以智慧灌溉系統精準控制水位，調查項目包括株高、葉綠素含量(SPAD)、穗數、稔實率、千粒重與單位面積產量。結果顯示，乾溼交替灌溉不僅未抑制植株生長，反而因改善土壤通氣性，使株高略低於慣行淹水，有助降低倒伏風險；葉綠素含量呈品種差異，TNG71 對灌溉方式與氮肥量較敏感，在中等施肥下表現最佳，而 TN11 在各處理間皆能維持較高 SPAD 值，顯示其具有較佳的氮素利用能力。在產量構成方面，兩品種穗數與粒數大多隨氮肥增加而提升，但乾溼交替在高氮下常出現稔實率下降，使產量未必持續增長；然 TNG71 在乾溼交替下維持較高的千粒重與穩定的稔實率，使其可在節水條件下仍保持良好產量，而 TN11 則因高氮下充實度下降，對氮肥過量較為敏感。整體而言，乾溼交替灌溉在兩品種中皆展現節水、降低甲烷排放且不影響產量的優勢，並能提升根系環境與養分利用效率，配合智慧監測更具推廣潛力。未來建議結合碳足跡評估、氣候風險調適與精準灌溉決策，以建構具在地化、低碳且高效率的水稻灌溉管理模式，促進臺灣稻作永續發展。

關鍵字：水稻、乾溼交替、水分管理、氮肥、株高、葉綠素、產量、智慧灌溉

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1117 號。

^{2,3} 農業部臺中區農業改良場計畫助理、副研究員。

*通訊作者：吳以健，Email: wuyc@tcdares.gov.tw

前 言

水稻作為全球超過半數人口的主食，其穩定生產關乎世界糧食安全與社會穩定。然而，水稻的傳統栽培方式，尤其是持續性淹水灌溉，對水資源的依賴性極高，據統計，臺灣水稻田每公頃每年兩期作總計耗用 20,000-28,000 m³ 的灌溉用水(Yang *et al.*, 2025)，而臺灣的水稻面積多達 240,000 公頃(農糧署, 2024)，再加上農業用水部分被移撥至工業後，將導致糧食自給率的危機(林等, 2020)，且中部地區身為臺灣水稻最重要產區之一，反而處於最具風險的缺水困境(黃等, 2023)，因此，尋找一種既能節約水資源、又能兼顧環境效益與產量的新型水稻栽培模式，已成為當前農業研究的迫切議題。

在眾多替代方案中，乾溼交替灌溉(Intermittent Irrigation, ITI)，因其顯著的節水效果與潛在的環境效益而受到廣泛關注。此模式透過週期性地控制土壤水分，使其經歷湛水與排水的過程，而非持續保持湛水狀態。這不僅能大幅減少灌溉用水量，更能改善土壤的通氣性，從而抑制甲烷的產生與排放(Loaiza *et al.*, 2024)，另一方面，水田有助於穩定水循環與地下水補充，所以提高水田生產的用水效率，並不只有節水的效益，而是有助整個環境的水資源(甘等, 2021；賴等, 2022)。此外，乾溼交替的環境能促進水稻根系的健康發育。相較於傳統淹水灌溉下根系主要集中於土壤表層且活力易於衰退，乾溼交替能刺激根系向下扎根，增加根系量與活力(Sandhu *et al.*, 2017)，從而增強植株對養分的吸收能力與對逆境的抵抗力(Yadav *et al.*, 2025)。特別是氮素(N)的吸收與利用，在適度通氣的土壤中能得到有效提升(Engelaar *et al.*, 2000；Rubinigg *et al.*, 2002)，進而提高整體養分利用效率，減少肥料流失，達到永續農業的目標。

然而，乾溼交替灌溉對水稻生長發育與最終產量的影響，仍存在一些變數。其一，品種之間對乾溼交替灌溉的反應不盡相同，前人研究就指出，品種間的甲烷排放與產量效應可能有超過 30% 的差異(Loaiza *et al.*, 2025)；其二，雖然理論上此模式有利於根系發育與養分吸收，但過度的乾旱逆境也可能對植株生理造成壓力(Bittawat *et al.*, 2025)，進而影響其生長指標，如株高、分蘗數與葉色(Adzigbe *et al.*, 2025)。這些生長指標是反映植株健康狀態與生長勢的關鍵參數，其變化與最終產量之間存在複雜的關聯(Zhou *et al.*, 2023)。同時，在氣候變遷所帶來的極端高溫與降雨不確定性下，水稻對灌溉管理的敏感性可能進一步加劇，使得探討在實際田間環境中，乾溼交替灌溉如何影響水稻的生理性狀與產量構成要素顯得尤為重要。

本研究旨在探討在臺灣中部地區，以“台南 11 號”與“台農 71 號”做為試驗材料，採用國興科技智慧灌溉系統進行精準水分管理下的乾溼交替灌溉模式(田間水深維持在 0-5 cm)，對其生育期間的生理性狀與最終產量的影響。研究透過每週記錄植株高度、

分蘗數及葉色等關鍵生長指標的變化，並在收穫期調查產量構成要素，包括穗數、穗重、千粒重、不稔粒數與稔實率，以量化評估乾溼交替灌溉對水稻產量表現的實際效益。同時將納入米飯食味品質(熟飯食味計與硬度黏度儀)及官能品評分析，全面評估乾溼交替灌溉模式的綜合效益，為臺灣水稻產業發展提供一套更具彈性、高效率與永續性的灌溉管理策略，以應對日益嚴峻的氣候挑戰，確保糧食生產的穩定與永續。

材料與方法

一、試驗地點與材料

本試驗分別於 2021 年與 2022 年進行，試驗地點為臺中區農業改良場二甲南一至南四試驗田區(24°00'12.9"N 120°31'58.5"E)，試驗材料選用目前國內栽培面積最廣的品種“台南 11 號”與(Tainan 11, TN11)及“台農 71 號”(Tainung 71, TNG71)作為試驗品種，並使用智慧灌溉系統(Smart Irrigation System, 國興科技)進行水分管理，探討不同氮肥施用量與灌溉方式對水稻生長及產量的影響。

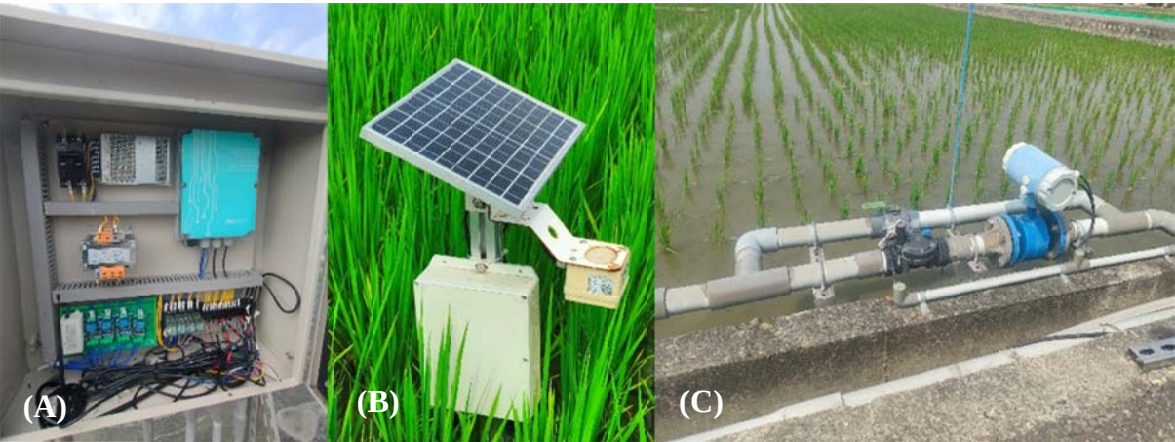
二、試驗處理

(一)田間栽培準備

將水稻秧苗以機械插秧方式，行距 30 cm、株距 21 cm，種植於 4 塊 0.08 ha 的田地，東邊兩大區塊種植“台南 11 號”、西邊兩大區塊種植“台農 71 號”，於田間設置水位尺標，並以 0 cm 處對齊土面，每一區塊各設置五支。

田邊設置智慧灌溉系統控制面板，與水管線路連接至蓄水池電箱的灌溉馬達，手機連接上系統操作頁面，將數值校正過後即可開始灌水。啟動系統頁面開關，待該區電磁閥開關畫面顯示 ON，以及瞬時流量出現數值即可。

待田間土面無水時於各田區中央處安裝一支超音波水位計(Ultrasonic Liquid Level Sensor, ARI-UD, 銘祥科技)於智慧灌溉系統調整設備參數，將水位數值調整為 0 cm，並設定水位超高點警報，以維持試驗標準。



圖一、智慧灌溉系統主機面板(A)、超音波水位計(B)、電磁閥馬達與水位流量計(C)。
Fig. 1. Smart irrigation system main console (A), ultrasonic water level gauge (B), and a solenoid valve motor with a water flow meter (C).



圖二、智慧灌溉系統開關水操作畫面(A)、水位計數值設定操作畫面(B)。
Fig. 2. Operation screen of the smart irrigation system's on/off water control (A) and the setting screen for the water level gauge (B).

(二)水分處理

試驗田區由西至東依序劃分為四個長條區塊，配置分別為：TNG71-乾溼區、TNG71-慣行區、TN11-慣行區及 TN11-乾溼區。

為確保水分管理之精確度，各處理均以智慧灌溉系統與水位感測器進行即時監控。乾溼交替灌溉處理係指除分蘖盛期進行常規曬田 7 日外，其餘生育期間採循環灌溉模

式：待水位自然降至土表無水(0 cm)時，即重新灌溉至 5 cm，以此循環操作至收穫前斷水；慣行灌溉處理，則除中期曬田外，則以長期維持 3-5 cm 湛水層，作為對照基準。試驗以超音波水位計與水位流量計，記錄每日水位變化，及每期作之灌溉水用量，並換算為每公頃灌溉水用量(圖一)。同時記錄各田區之灌溉日期，以計算灌溉次數、總湛水日數(水位大於 0 公分之日數)及復灌時間(由水深 5 cm 至 0 cm 的日數)。

(三)栽培管理

田間進行粗整地後以台肥 39 號當基肥施用(12-18-12-10 (有機質) 20 kg/0.08 ha)、萌前除草劑(克稗，butyl (R)-2-[4-(4-cyano-2-fluorophenoxy)phenoxy]propionat，82.5 ml/0.08 ha，臺灣道禮股份有限公司)、稻田喜(3-(2,2-difluoroethoxy)-N-(5,8-dimethoxy[1,2,4]triazolo[1,5-c]pyrimidin-2-yl)-a,a,a-trifluorotoluene-2-sulfonamide，82.5 ml/0.08 ha，臺灣道禮股份有限公司)與苦茶粕(Camillia oil meal，(N- P₂O₅- K₂O)3-1.5-2.1-90(有機質)，10 kg/0.08 ha，三木實業)以防治福壽螺。

行株距 30 cm * 21 cm 的多本植插秧，於插秧後間隔 4 至 5 天後開始進行灌溉處理，並分別於插秧後約 12、26、55 日，以硫酸銨施用第一次追肥(21-0-0，農友牌)、以硫酸銨施用第二次追肥(21-0-0，農友牌)、以硫酸銨(21-0-0，農友牌)及氯化鉀(0-0-60，農友牌)施用穗肥。抽穗期間持續進行間歇灌溉處理，於收穫前一星期斷水，收穫期進行樣本收割，每一區肥料處理各割取兩重複，每一重複收穫 100 株。

表一、氮素單位面積用量(kg/ha)

Table 1 . Nitrogen application rates (kg/ha)

Cultivar	First dressing			Second dressing		Panicle fertilizer	
	N	ITI (N)	CP (N)	ITI (N)	CP (N)	ITI (N)	CP (N)
TNG71	80	16.7	16.7	18.24	17.81	18.24	17.81
	120	30	30	32.76	32	32.76	32
	160	43.3	43.3	47.29	46.19	47.29	46.19
	200	56.7	56.7	61.92	60.48	61.92	60.48
TN11	60	9.42	9.42	10.29	10.27	10.29	10.27
	180	33.85	34.76	50.72	52.09	33.65	34.55
	260	56.35	57.86	84.57	86.84	56.35	57.86
	340	78.95	81.07	118.42	121.6	78.95	81.07

*ITI: Intermittent Irrigation ; CP : Conventional Practice

(四) 肥料管理

在田間配置上，每個品種的各水分處理組由南至北設有 6 個小區，其中最南與最北的小區為保護行(N0，無氮處理)，中間 4 個小區則配置不同的氮肥施用級距(N-levels)，小區與小區之間以浪板相隔，浪板插入土中 15 公分深並維持土上 45 公分高作為區隔，以防止肥分交互干擾。

關於兩品種氮肥級距之設定，本研究依據品種生理特性採取差異化策略，以確保數據之有效性。針對台南 11 號，依前人相關研究(陳等，2018)，並鑑於其具有較佳之耐肥性與高產潛力，故設定較高之氮肥梯度(最高達 340 kg/ha)以探討其極限產量反應；反觀“台農 71 號”，考量其易倒伏且對氮素敏感，若施用過量氮肥恐導致嚴重倒伏而影響採樣準確度，故採用較低且密集之氮肥級距(80-200 kg/ha)，以精確評估其最適施肥量。

三、水稻植株生理性狀與產量調查

(一) 植株生理調查

測量株高及葉色。植株葉色則以手持式葉綠素計(SPAD-502Plus，廣柏實業)測定，每株取 3 片最上位完全展開葉，葉脈左右各測量 1 個數值，共計 6 個數值，一小區共 18 個數值平均。

(二) 產量調查

於水稻收割適期，進行產量調查與樣品收穫，採收時機以稻穗成熟度為採收基準。當每穗稻穀中基部(最下方)二至三粒稻穀仍呈現綠色，其餘穀粒已達充分成熟(呈金黃色且乾燥)時，即可進行採收。此標準確保穀粒整體成熟度與品質符合收穫要求，同時避免過早或過晚採收對產量與品質造成的影響。

每個肥料等級小區各收穫 200 株，進行脫粒後將穀粒乾燥至水分含量 14%，接著使用電動風選機調整標準適當風速進行篩選，並以手捏是否有充實穀粒為標準，再進行秤重，並依照行株距 30 cm*21 cm 之單位公頃株數，進行單位面積產量之計算。

試驗於碾製白米的過程同時測量稻穀與糙米容積重。稻穀容積重的量測方式係以手動方式為之，首先取適量之稻穀放入容積重量測量容器(bulk density measuring container)之盛料斗，打開閘門讓稻穀自然落入一公升之量測容器，刮平後秤重，所得之重量即為容積重。

(三) 產量構成要素調查

於水稻成熟期，每個小區隨機採三株作為產量構成要素材料，調查穗數、穗重、

千粒重、不稔粒數、粒重，依公式推算稔實率與單位面積穗數。

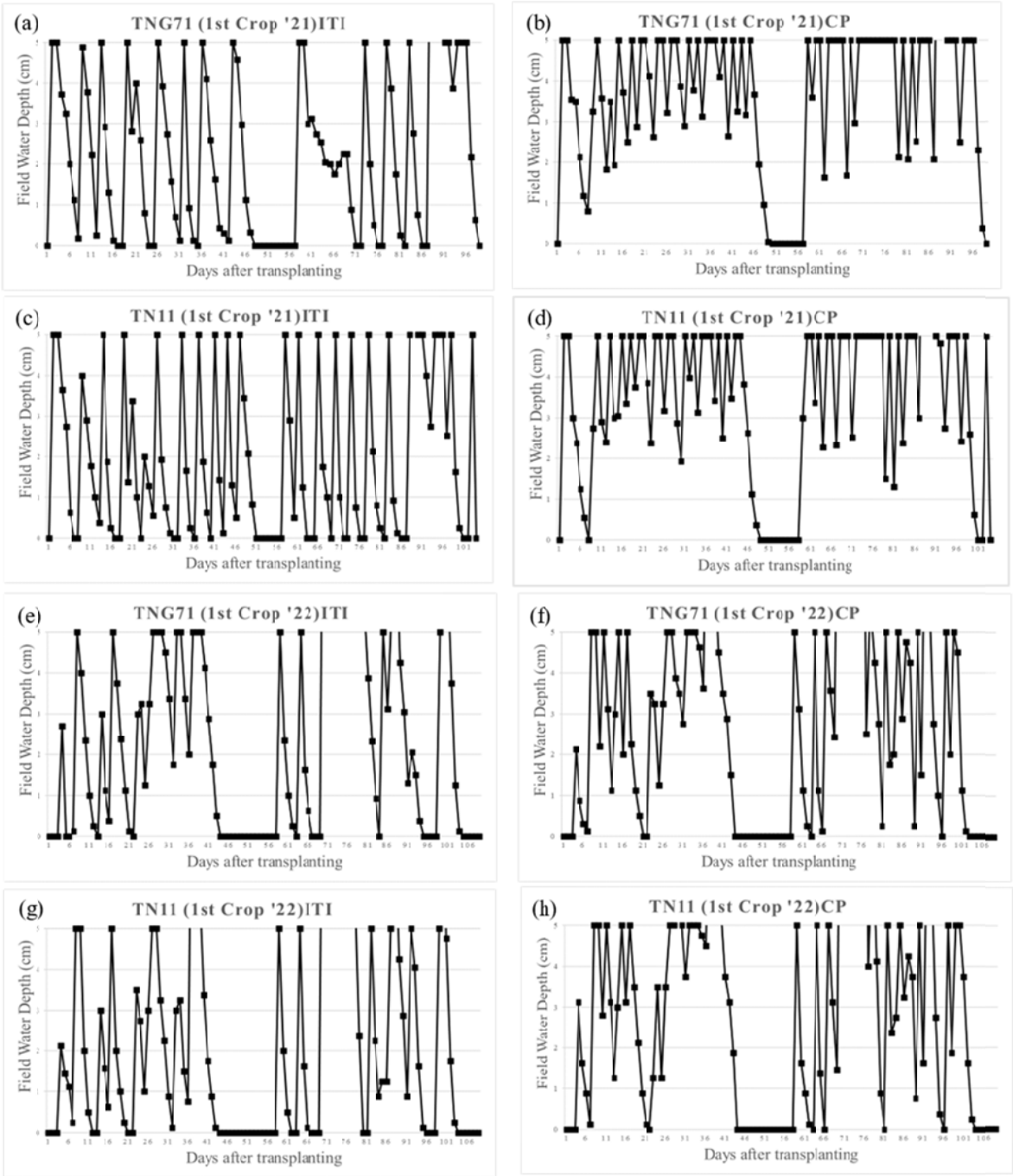
考種步驟為，先將該區樣本(含穀粒、穗軸)進行秤重、計算穗數，使用玻璃培養皿將穀粒全數脫落，拔除殘留於穀粒上的小穗軸，使穀粒重量精確。脫粒後使用礱穀機 (THU35B, SATAKE) 進行風選，分出稔實粒及不稔實粒，不稔實粒數為手動計算，稔實粒數則使用數粒器計算，並攫取 1,000 粒作為千粒重，依稔實粒數與不稔實粒數以下列方式計算稔實率。

1. 稔實率(Fertility Rate): $(\text{稔粒數}/(\text{稔粒}+\text{不稔粒}))\times 1000$
2. 單位面積穗數(Number of Panicles per Unit Area): 單叢穗數*面積

結 果

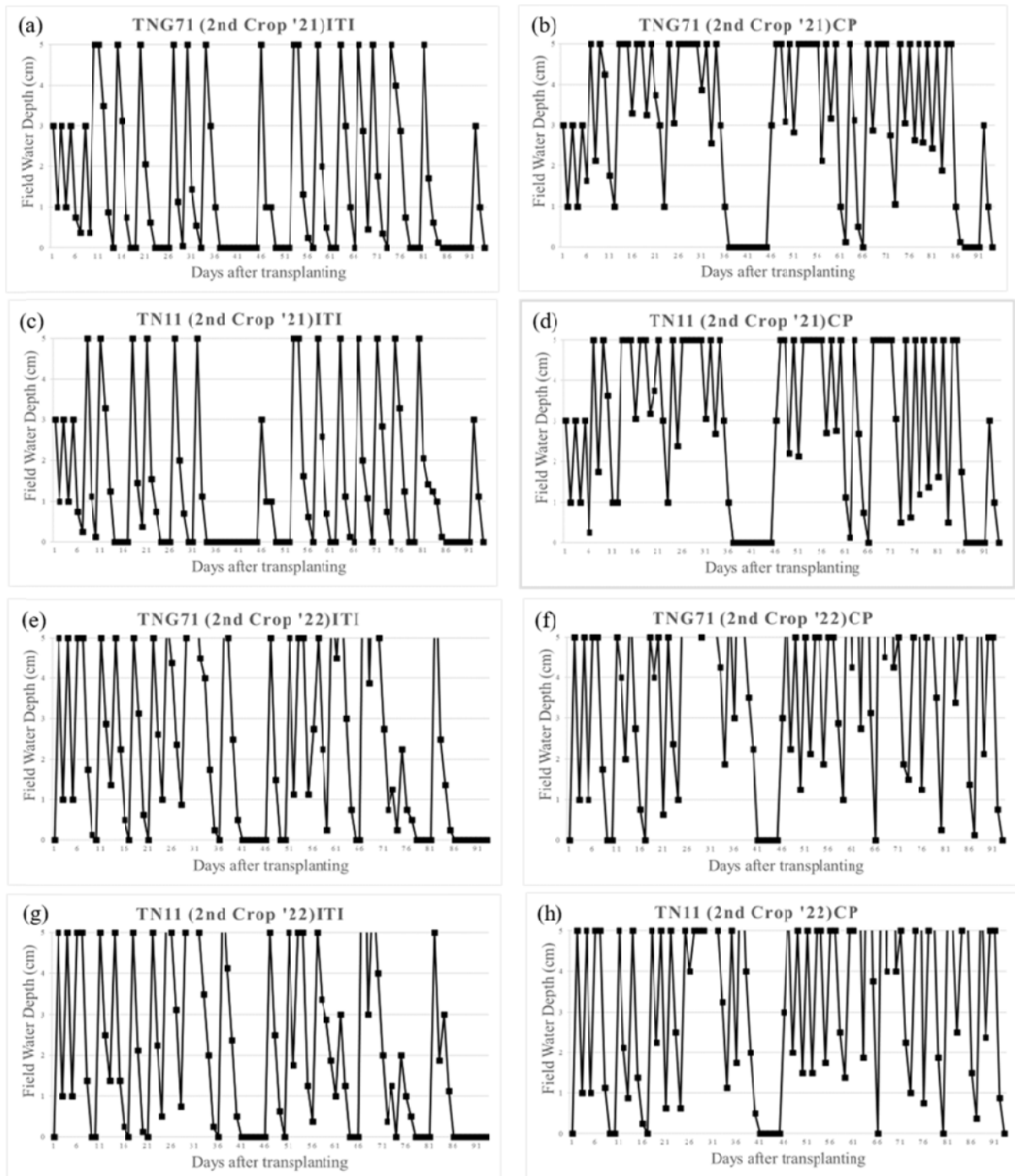
一、乾濕交替灌溉之水位變化與灌溉相關結果

使用“台農 71 號”與“台南 11 號”於 2021 年與 2022 年進行乾溼交替灌溉試驗，與作為對照的慣行灌溉進行比較，水位變化如圖三與圖四，結果顯示，除了 2022 年一期作外，其他的 3 個期作的乾溼交替灌溉的水位都明顯較慣行灌溉低，可看出田區的水位與水分狀態都以乾溼交替灌溉處理較低，因此其每期作的總用水量、灌溉次數、總湛水日數、復灌時間皆以乾溼交替灌溉處理較少(表二)，顯示其灌溉處理確實營造田間水分環境的差異。



圖三、2021 年與 2022 年一期作乾溼交替灌溉處理與慣行灌溉處理在台農 71 號與台南 11 號田區的逐日水位資料。

Fig. 3. Daily water level data for the 1st crop ITI and CP in TNG71 and TN11 fields in 2021 and 2022.



圖四、2021 年與 2022 年二期作乾溼交替灌溉處理與慣行灌溉處理在台農 71 號與台南 11 號田區的逐日水位資料。

Fig. 4. Daily water level data for the 2nd crop ITI and CP in TNG71 and TN11 fields in 2021 and 2022.

表二、乾溼交替灌溉處理與慣行灌溉處理的每期作每個品種的總灌溉水用量、總湛水日數、復灌日數、灌溉次數

Table 2. Total irrigation water usage, flooding days, re-irrigation days, and number of irrigations for each crop and variety under alternating wet and dry irrigation and conventional irrigation

Year	Crop	Variety	Irrigation	Irrigation water usage (m ³ /plot)	Flooding days	Re-irrigation days	Number of irrigations
2021	1st crop	TNG71	ITI	109.5	75	7	11
			CP	166.3	89	2	38
		TN11	ITI	106.8	73	4	19
			CP	159.4	89	2	37
	2nd crop	TNG71	ITI	82.7	57	4	14
			CP	206.2	79	2	39
		TN11	ITI	151.3	54	5	15
			CP	187.8	78	2	37
2022	1st crop	TNG71	ITI	92.8	73	6	8
			CP	207.4	80	3	15
		TN11	ITI	80.0	71	5	7
			CP	242.0	80	3	17
	2nd crop	TNG71	ITI	81.5	66	3	14
			CP	374.1	82	2	35
		TN11	ITI	131.1	64	3	14
			CP	376.7	81	2	35

二、乾溼交替灌溉對株高的影響

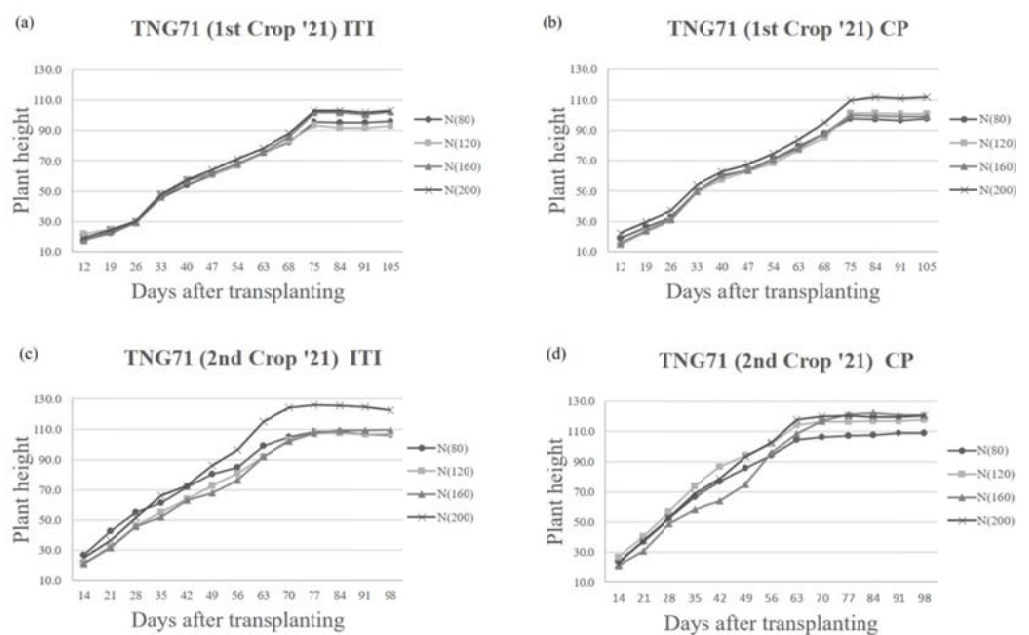
株高結果如圖五-圖八所示。於 2021 年時，“台農 71 號”在二期作中，各種處理間變化較為穩定，而在二期作中株高增加幅度較一期作更大(如圖五)。在灌溉方式方面，“台農 71 號”在二期作時，於乾溼灌溉下的肥料間株高差距較慣行灌溉明顯，其中慣行灌溉下高氮肥處理組的株高較突出；然而二期作時趨勢相反，慣行灌溉下的氮肥料差距反而較乾溼灌溉明顯。在肥料處理方面，一期作的慣行灌溉下 N200 處理組的株高較其

他處理明顯偏高，而乾溼灌溉則呈現變化不大的穩定成長；惟至二期作時，乾溼灌溉下高氮肥處理組的株高增加更為明顯，且整體上升趨勢亦高於一期作。

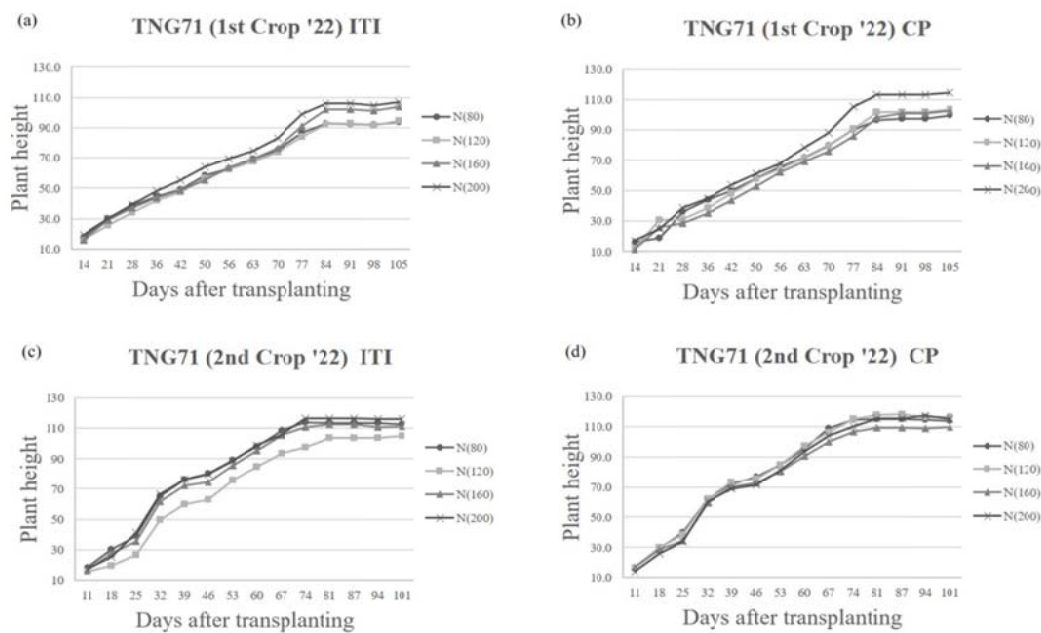
2022 年的結果顯示，如圖六，“台農 71 號”株高於各種處理間的變化較 2021 年更為穩定，且肥料處理間的差距仍屬明顯。在灌溉方式方面，“台農 71 號”在一期作時，乾溼灌溉下的各肥料處理間株高差距較慣行灌溉明顯；二期作時，兩種灌溉模式的株高差異則趨於相近。在肥料處理方面，一期作的慣行灌溉 N200 處理組株高最高，乾溼灌溉則保持穩定成長；惟至二期作時，乾溼灌溉的 N120 處理與慣行灌溉的 N160 處理株高較其他氮肥處理低。

“台南 11 號”於 2021 年時，如圖七，在各處理間皆呈現穩定的上升趨勢，高氮肥處理的植株高度普遍高於低氮肥處理。在灌溉方式方面，一期作中兩種灌溉方式下的各肥料處理間差異皆相當明顯，且慣行灌溉的低氮肥處理株高明顯低於其他氮肥處理；然而至二期作時，乾溼灌溉下各處理的生長曲線變化趨於相近，慣行灌溉下的株高則整體略高，顯示該品種對水分條件的反應相對穩定。在肥料處理方面，一期作的慣行灌溉下 N60 處理組的株高遠低於其他氮肥處理，這與乾溼灌溉下各氮肥處理間呈現平均差異的趨勢不同；惟至二期作時，乾溼灌溉的高氮肥處理組(N260 與 N340)與低肥處理組(N60 與 N180)兩組曲線呈現明顯的分群現象，差異拉開，而慣行灌溉則各肥料處理間差異明顯且維持穩定。

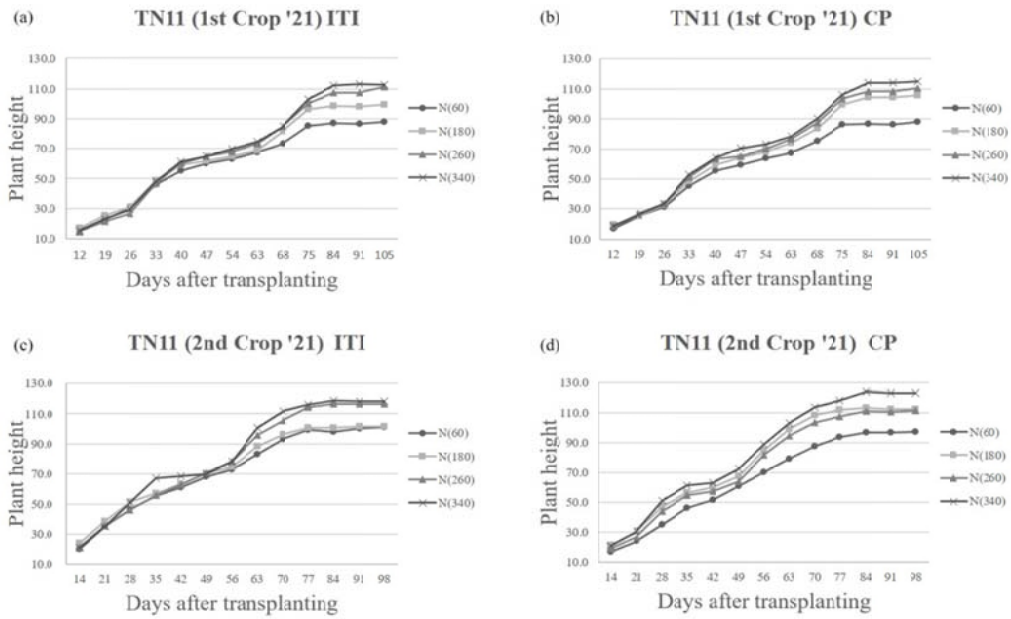
到了 2022 年，如圖八，“台南 11 號”的株高在各肥料處理間變化幅度較 2021 年小，顯示其具有良好的氮素利用效率與穩定的生理反應。在灌溉方式方面，一期作時兩種灌溉方式下的各肥料處理間生長曲線相近，並無太大變化；二期作時，慣行灌溉下的各肥料處理間株高差距拉開的程度較乾溼灌溉明顯。在肥料處理方面，一期作的慣行灌溉下 N340 處理組株高略低於 N180，顯示即使如“台南 11 號”之耐肥性佳的品種，過量施肥仍可能導致生理抑制而影響生長；惟至二期作時，N340 處理組在各灌溉處理中皆為最高，且慣行灌溉的 N60 處理組株高略高於 N180。



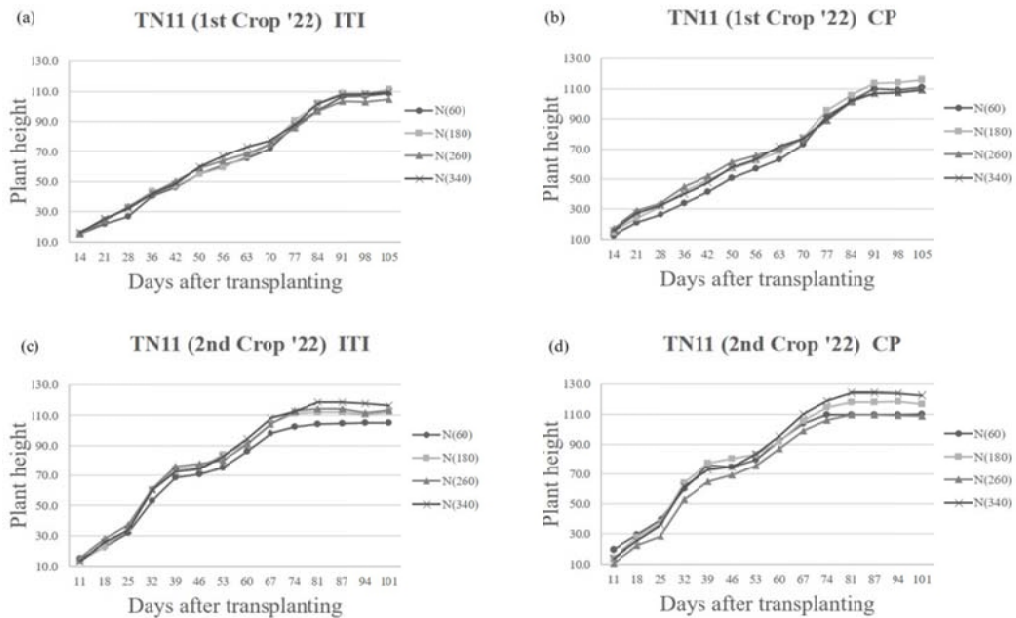
圖五、2021 年台農 71 號乾濕交替灌溉處理與慣行灌溉處理之株高。
Fig. 5. Plant height of Tainung 71 under ITI and CP treatments in 2021.



圖六、2022 年台農 71 號乾濕交替灌溉處理與慣行灌溉處理之株高。
Fig. 6. Plant height of Tainung 71 under ITI and CP treatments in 2022.



圖七、2021 年台南 11 號乾濕交替灌溉處理與慣行灌溉處理之株高。
Fig. 7. Plant height of Tainan 11 under ITI and CP treatments in 2021.



圖八、2022 年台南 11 號乾濕交替灌溉處理與慣行灌溉處理之株高。
Fig. 8. Plant height of Tainan 11 under ITI and CP treatments in 2022.

三、乾溼交替灌溉對葉綠素含量的影響

乾溼交替灌溉對葉綠素含量的影響，調查結果如圖九-圖十二所示。2021 年試驗中，“台農 71 號”與“台南 11 號”在不同期作、灌溉方式及施肥處理下均呈現明顯變化。於 2021 年試驗中，如圖九，“台農 71 號”在不同期作與處理下的葉綠素含量呈現顯著變化。在灌溉方式方面，一期作時，於乾溼交替灌溉下的各肥料處理初期數值相近，直至抽穗後高氮肥與處理才逐漸高於低氮肥處理；而在慣行灌溉下，僅高氮肥處理數值明顯高於其他氮肥處理；二期作時，乾溼交替灌溉與慣行灌溉皆呈現相似的變化趨勢，且各肥料處理間的差異略大於一期作，葉綠素含量於生育後期皆呈緩慢下降，顯示葉片在後期的老化現象。在肥料處理方面，一期作時，前期各處理趨勢相近，直至抽穗後，乾溼交替灌溉下的高氮肥處理(N160 與 N200)與低肥處理(N80 與 N120)差距拉大，慣行灌溉處理間差距雖不大，但仍以 N200 處理組最高，且兩種灌溉下的葉綠素含量皆於後期呈現急速下降；二期作時，各肥料處理間的整體趨勢接近，乾溼交替灌溉與慣行灌溉的趨勢相似，其中慣行灌溉下的各肥料間差距較為明顯，N200 處理僅略高於其他氮肥處理，且所有處理之葉綠素含量在後期皆呈緩慢下降趨勢。

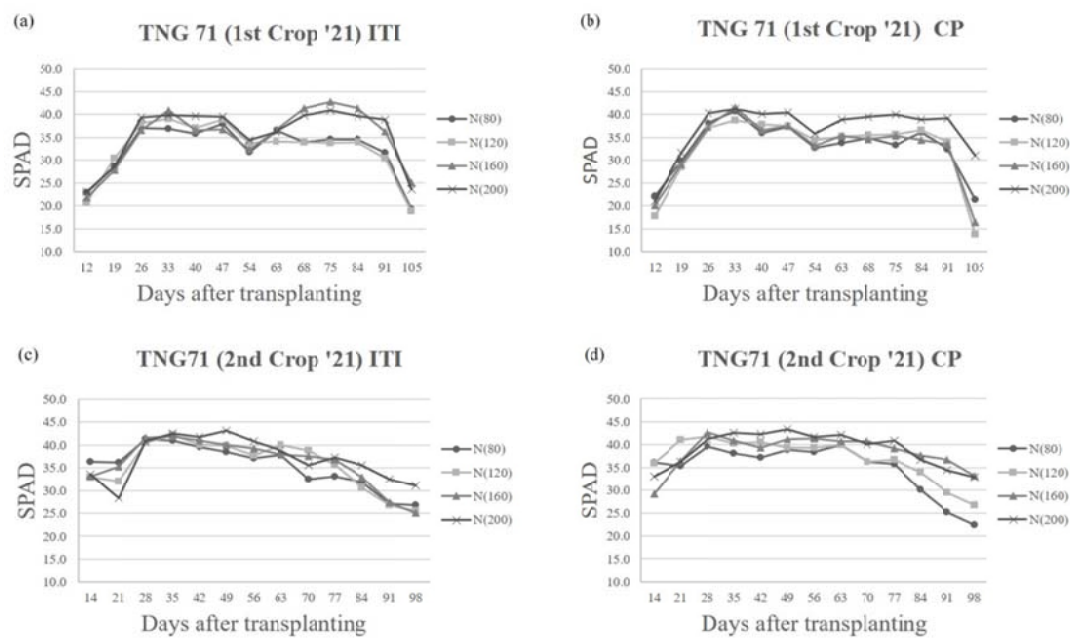
到了 2022 年時，在氣候條件相對穩定的環境下(如圖十)“台農 71 號”的葉綠素變化趨勢較前一年平緩，且至收穫前皆呈緩慢下降。在灌溉方式方面，一期作時，慣行灌溉的整體葉綠素含量數值高於乾溼交替灌溉，且至收穫前的下降趨勢較為平緩，其中高氮肥處理的表現較為突出；二期作時，兩種灌溉方式下的各肥料處理間差異不大，但至收穫前的下降趨勢較一期作更為明顯。在肥料處理方面，一期作時皆以高氮肥處理 N200 的葉綠素值最高，顯示此施肥量有助於維持葉片的光合作用能力；二期作時，僅乾溼交替灌溉下的高氮肥處理 N200 葉綠素略高於其他處理；反觀慣行灌溉下，各肥料處理間無太大變化，甚至出現低氮肥 N80 數值略高於高氮肥 N200 的現象。

“台南 11 號”於 2021 年時的葉綠素含量普遍高於“台農 71 號”(如圖十一)，顯示其具備較強的葉片含氮量及光合作用潛力。在灌溉方式方面，一期作時，兩種灌溉方式下的趨勢相近，中高氮肥肥處理的葉綠素持續上升，低氮肥處理則緩慢下降，且高氮肥處理直至生育後期仍維持上升趨勢；二期作時，慣行灌溉下的各肥料處理間趨勢相近，而乾溼交替灌溉下的各肥料處理間則出現明顯差距，惟兩種灌溉處理的葉綠素含量於最後一週皆急速下降，顯示氣候條件與成熟階段對葉片氮素再分配具有顯著影響。在肥料處理方面，一期作於抽穗後各肥料處理之間的變化更為明顯，高氮肥處理(N340)在收穫前仍維持上升趨勢，反映該品種對高氮供應的耐受與利用能力較佳。二期作則呈現相反趨勢，高氮肥處理(N340 與 N260)除最後一周下降幅度較一期作大之外，於慣行灌溉處理下，

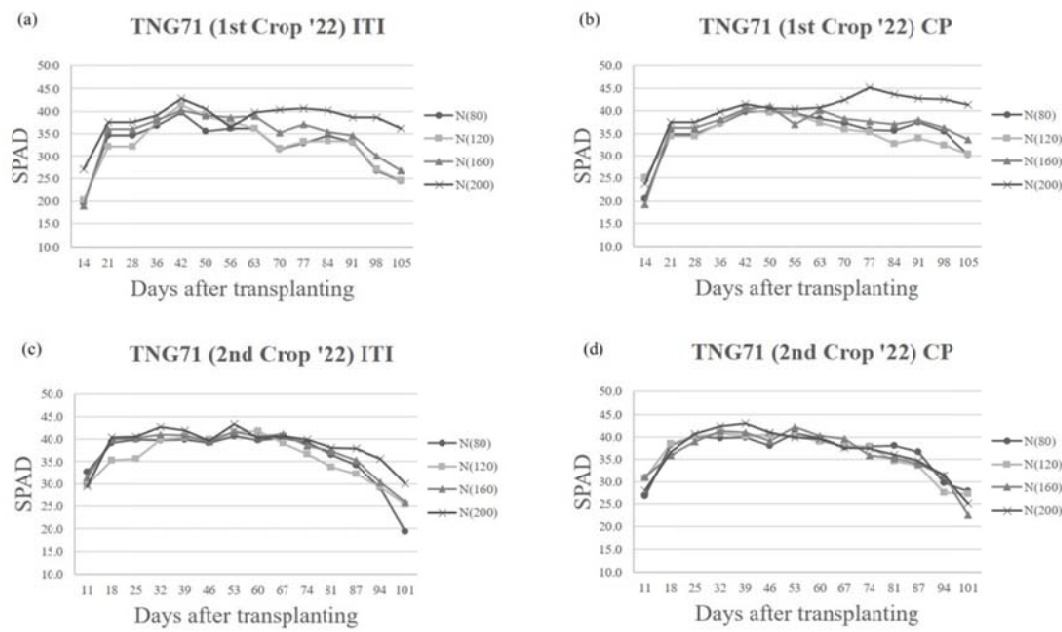
其數值甚至低於中低氮肥(N60 與 N180)。

2022 年的試驗結果顯示，“台南 11 號”的葉綠素含量在相對穩定的氣候條件下，如圖十二，“台南 11 號”的葉綠素含量變化趨勢較 2021 年更為平緩，且至收穫前皆呈現緩步下降的趨勢。在灌溉方式方面，一期作時，於慣行灌溉下各肥料處理間的差異較為顯著，且數值皆於穗肥施用後呈現緩慢上升，其生育後期之葉綠素含量高於乾溼交替灌溉，至收穫前，乾溼交替灌溉的數值趨於平穩，而慣行灌溉則呈現平緩下降；二期作時，慣行灌溉下各肥料處理間的差異依然明顯，並隨生育後期緩慢下降；反觀乾溼交替灌溉，各肥料處理間的差異較小，收穫前同樣呈現緩降趨勢。在肥料處理方面，一期作的慣行灌溉下，低氮肥處理 N60 與中氮肥處理 N180 間的葉綠素差異顯著，乾溼交替灌溉雖呈現類似趨勢，但其處理間的差距幅度略小於慣行灌溉，且兩種灌溉模式下的整體變化幅度均低於 2021 年；二期作時，各肥料處理間的葉綠素變化趨勢相對穩定，兩種灌溉模式下的高氮肥處理 N340 僅略高於其他氮肥處理；其中，慣行灌溉各處理間的差異直至穗肥施用後才逐漸拉開，並於收穫前緩慢下降，而乾溼交替灌溉雖有細微差異，但低氮肥處理(N60 與 N180)在後期的下降幅度較大。

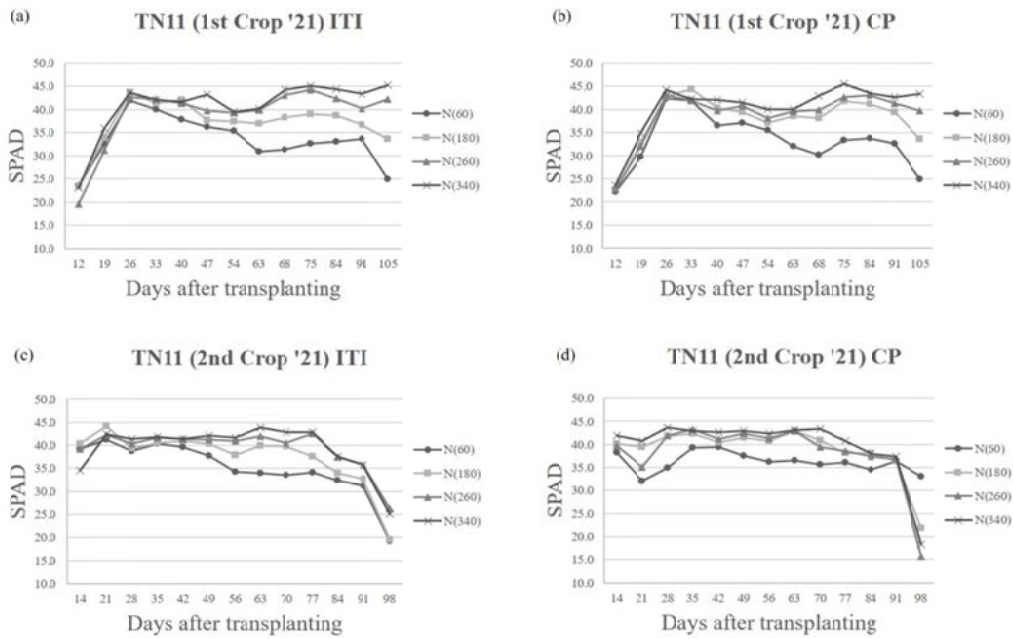
整體而言，“台農 71 號”對肥料施用量及灌溉方式的反應較為明顯，葉綠素含量在中等施肥量(N120 至 N160)下維持最佳水平，而“台南 11 號”則能在不同施肥條件下維持穩定的葉綠素表現。兩品種於二期作後期皆呈下降趨勢，推測與氣溫上升、成熟期葉片氮素再分配及生理老化有關，顯示氣候條件與品種特性在葉綠素變化中具關鍵影響。



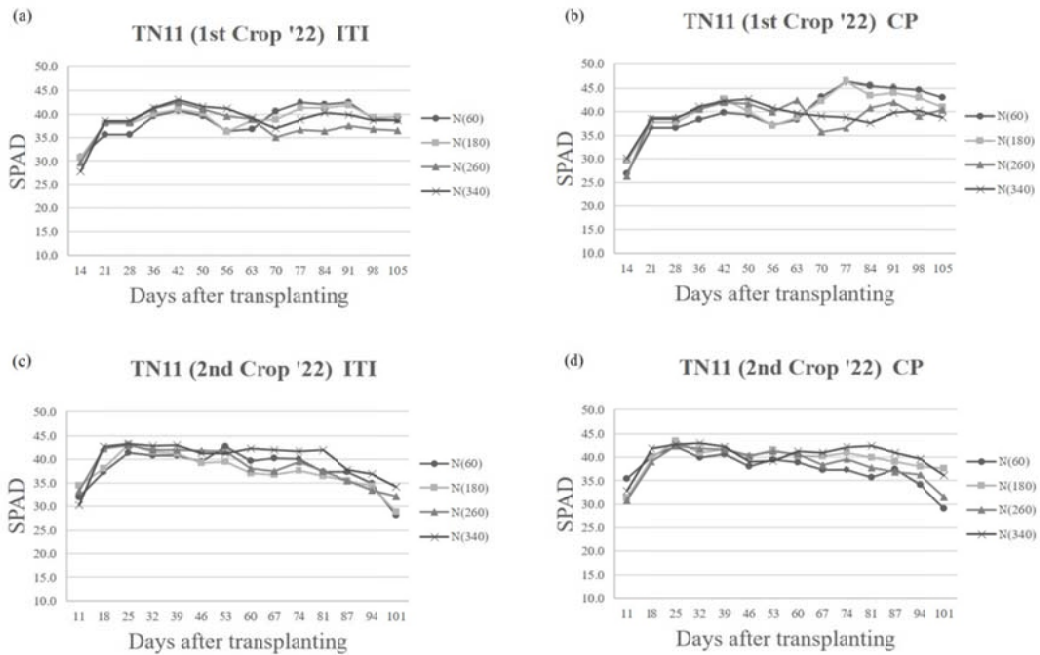
圖九、 2021 年台農 71 號乾濕交替灌溉處理與慣行灌溉處理之 SPAD 值。
Fig. 9. Leaf color SPAD values of Tainung 71 under ITI and CP treatments in 2021.



圖十、 2022 年台農 71 號乾濕交替灌溉處理與慣行灌溉處理之 SPAD 值。
Fig. 10. Leaf color SPAD values of Tainung 71 under ITI and CP treatments in 2022.



圖十一、2021 年台南 11 號乾濕交替灌溉處理與慣行灌溉處理之 SPAD 值。
Fig. 11. Leaf color SPAD values of Tainan 11 rice under ITI and CP treatments in 2021.



圖十二、2022 年台南 11 號乾濕交替灌溉處理與慣行灌溉處理之 SPAD 值。
Fig. 12. Leaf color SPAD values of Tainan 11 under ITI and CP treatments in 2022.

四、產量構成要素結果

2021 年與 2022 年“台農 71 號”與“台南 11 號”的產量構成要素分析結果如表三至表六所示。2021 年，“台農 71 號”的產量與構成要素表現，如表三所示。在灌溉方式方面，“台農 71 號”於一期作時，在乾溼交替灌溉之下，整體產量展現出隨著氮肥增加而持續攀升的趨勢，顯示該灌溉模式在一期作環境下利於發揮高氮肥的增產潛力；反觀慣行灌溉雖產量隨氮肥提升，至 N200 處理反而出現下滑，顯示長期湛水環境限制了高氮肥的轉化效率；二期作的趨勢則不同，乾溼交替灌溉下的產量在低氮肥區間即達高峰，隨氮肥增加反而呈現下降，顯示該期作環境下乾溼交替灌溉對高氮肥的承載力較弱，而慣行灌溉在高氮肥處理仍能維持相對穩定的高產量，整體高氮肥表現優於同期的乾溼交替灌溉。在肥料處理方面，於一期作時，乾溼交替灌溉下的 N200 處理組產量達到最高，穗數部分也隨著肥料而增加，在慣行灌溉下，產量於 N120 達到高峰，當氮肥提高至 N200 時，雖然穗數隨之提升，但稔實率卻大幅下降，導致產量不增反減；二期作時，乾溼交替灌溉的最佳產量出現在低氮肥的 N80，高氮肥 N200 反而產量下降；慣行灌溉則在 N160 處理組達到最高產量，顯示在二期作環境中，適度的水分保持配合中高氮肥較能達到最佳產量。

2022 年的“台農 71 號”的產量與構成要素表現，如表四所示。在灌溉方式方面，於一期作時，在乾溼交替灌溉之下，產量隨著低氮肥增加呈現微幅上升，但當進入高氮肥區間後，產量反而出現顯著下降的趨勢，而在慣行灌溉之下，產量隨著氮肥持續增加，最高氮肥處理時急劇下降，顯示一期作環境下，無論何種灌溉方式，過高的氮肥施用皆不利於最終產量；二期作時，乾溼交替灌溉下的產量表現呈現波動狀態，雖在中高氮肥處出現產量高峰，但在最高氮肥時又再度下降，反觀慣行灌溉之下，產量隨著氮肥增加呈現較為穩定的上升趨勢，並在最高氮肥處理組達到最高產量，顯示慣行灌溉於二期作較能承載高氮肥的施用以提升產量。在肥料處理方面，於一期作時，雖然穗數隨氮肥增加而提升，且於最高氮肥處理下達到高峰，但並未轉化為產量優勢，主因在於高氮肥處理導致稔實率與千粒重顯著下降，特別是稔實率的急遽下降，抵消了穗數增加的效益，導致高氮肥處理產量反而低於無氮肥處理。至於二期作，乾溼交替灌溉在中高氮肥處理 N260 下產量最高，高氮肥處理 N340 則同樣因稔實率下降而減產，而在慣行灌溉中，儘管最高氮肥處理的稔實率與千粒重同樣受到抑制而略有下降，但因穗數與粒數的顯著增加，且足以彌補穀粒充實的缺失，使得最終產量仍能隨著氮肥增加。

“台南 11 號”於 2021 年時的產量與構成要素表現，如表五所示。在灌溉方式方面，一期作時，兩種灌溉方式之下，整體產量趨勢皆呈現隨著氮肥增加而上升，但在最高氮

肥處理時皆出現轉折下降的趨勢；二期作時，乾溼交替灌溉的產量在達到高峰後，隨著氮肥繼續增加反而呈現明顯的下降趨勢，反觀慣行灌溉，其產量隨著氮肥增加呈現持續上升的趨勢，顯示在二期作環境下，慣行灌溉較能維持高氮肥下的產量表現。在肥料處理方面，於一期作時，兩種灌溉方式的產量皆在 N260 處理組達到最高，穗數隨氮肥增加而提升，然而當氮肥增加至 N340 時，雖然穗數與每穗粒數仍維持高檔，但稔實率卻明顯下降，導致最終產量不增反減；二期作，乾溼交替灌溉在 N180 處理組達到高峰，N340 處理組雖然每穗粒數大幅增加，但產量卻隨著稔實率大幅下降；反之，慣行灌溉在二期作的 N340 處理組仍維持最高產量，主因在於其在高氮肥下仍能維持相對穩定的稔實率。

2022 年“台南 11 號”的產量與構成要素表現，如表六所示。在灌溉方式方面，“台南 11 號”於一期作時，於兩種灌溉處理之下，產量表現呈現出對高氮肥的耐受性較低，整體趨勢在低氮肥與無氮肥區間維持較高產量，隨著氮肥增加最高時，產量反而出現明顯下降，顯示一期作環境下，過量施肥對兩種灌溉模式皆產生了負面影響；二期作的趨勢則與一期作截然不同，兩種灌溉方式下的產量在經歷低氮肥的波動後，隨著氮肥增加至高氮肥區間，產量呈現回升並持續攀升的趨勢，且在最高氮肥處理時皆達到該灌溉組別的產量高點，顯示在二期作環境下，“台南 11 號”配合兩種灌溉模式皆能有效利用高氮肥來維持或提升產量，未如一期作般出現嚴重的減產現象。在肥料處理方面，於一期作時，雖然穗數隨著氮肥增加而呈現上升趨勢，然而高氮肥處理卻同時導致了稔實率與千粒重的顯著下降，這種穀粒充實度的不足抵消了穗數增加帶來的優勢，導致產量在最高氮肥處理時不增反減；二期作時，雖然低氮肥處理曾出現產量波動，但在進入中高氮肥區間後，穗數隨著氮肥增加而提升，且稔實率與千粒重並未像一期作那樣隨氮肥增加而大幅下降，而是維持在相對穩定的狀態，使得穗數增加能夠確實轉化為最終產量，因此在高氮肥處理組觀察到產量隨之升高的現象。

表三、2021 年台農 71 號於不同水分處理下之產量構成要素

Table 3 . Yield components of TNG71 under different water management treatments in 2021

TNG71 Treatment	N Rate	1st Crop					2nd Crop				
		PN	GN	FR (%)	GW (g)	Yield (kg/ha)	PN	GN	FR (%)	GW (g)	Yield (kg/ha)
ITI	N(0)	21	44.2	77.6	27.2	4229	17	45.6	85.6	24.0	4177
	N(80)	18	43.8	73.8	28.5	5024	19	47.8	75.7	25.4	5235
	N(120)	22	47.1	70.3	27.5	6194	20	39.9	87.5	26.9	4824
	N(160)	23	46.5	67.4	28.9	6305	20	44.4	85.4	24.6	4225
	N(200)	27	46.9	68.0	28.0	6503	26	50.4	75.5	24.0	4751
CP	N(0)	19	37.0	92.0	28.3	4557	20	44.9	86.3	24.3	3870
	N(80)	26	40.0	89.3	26.6	5638	22	42.5	84.4	26.1	4970
	N(120)	26	43.2	87.6	24.9	6048	27	45.1	79.4	26.1	4736
	N(160)	29	41.0	89.1	26.0	5824	26	46.9	80.2	24.6	5682
	N(200)	34	49.1	70.8	25.5	5548	27	45.2	77.5	26.5	5551

*ITI: Intermittent Irrigation ; CP : Conventional Practice ; PN: Panicle Number per hill ; GN: Grain Number per panicle ; FR: Fertility ; GW: 1000-grain weight.

表四、2022 年台農 71 號於不同水分處理下之產量構成要素

Table 4 . Yield components of TNG71 under different water management treatments in 2022

TNG71 Treatment	N Rate	1st Crop					2nd Crop				
		PN	GN	FR (%)	GW (g)	Yield (kg/ha)	PN	GN	FR (%)	GW (g)	Yield (kg/ha)
ITI	N(0)	20	44.6	89.8	23.4	4511	20	45.0	84.3	25.1	5546
	N(80)	20	44.3	85.3	24.7	4752	16	39.6	87.5	27.5	4830
	N(120)	26	46.9	83.8	23.5	4772	15	41.3	86.1	26.7	4617
	N(160)	24	44.7	85.8	23.5	3331	17	45.6	84.6	24.6	5976
	N(200)	33	67.3	62.5	20.3	3700	22	51.4	73.2	24.3	5236
CP	N(0)	18	43.1	90.3	24.3	6747	21	50.4	83.0	22.4	4953
	N(80)	24	43.4	84.2	25.3	6752	21	44.7	81.4	25.8	4097
	N(120)	26	52.5	71.7	23.6	6467	22	44.6	83.2	25.4	5256
	N(160)	26	49.5	77.9	23.7	6587	25	46.2	82.4	24.1	4878
	N(200)	26	51.6	71.5	24.0	4586	27	53.2	71.9	23.9	5369

*ITI: Intermittent Irrigation ; CP : Conventional Practice ; PN: Panicle Number per hill ; GN: Grain Number per panicle ; FR: Fertility ; GW: 1000-grain weight.

表五、2021 年台南 11 號於不同水分處理下之產量構成要素

Table 5. Yield components of TN11 under different water management treatments in 2021

TN11 Treatment	N Rate	1st Crop					2nd Crop				
		PN	GN	FR (%)	GW (g)	Yield (kg/ha)	PN	GN	FR (%)	GW (g)	Yield (kg/ha)
ITI	N(0)	19	38.4	93.6	27.7	4386	16	41.5	90.5	25.3	3808
	N(60)	22	37.8	93.6	28.0	5849	16	41.6	90.4	25.2	5500
	N(180)	20	38.5	93.4	27.5	7794	20	45.6	79.5	25.3	5877
	N(260)	25	43.5	88.0	25.4	8081	16	45.5	76.6	26.3	5761
	N(340)	28	44.3	82.4	26.1	7335	19	53.6	68.5	24.1	5157
CP	N(0)	20	37.4	94.3	28.3	6259	13	43.8	86.9	24.5	3670
	N(60)	24	37.5	95.0	28.0	5946	17	48.7	81.7	23.2	3720
	N(180)	29	43.2	87.7	25.6	8276	18	41.0	86.5	25.9	5240
	N(260)	26	46.3	84.1	24.6	8763	22	43.4	86.4	24.8	5475
	N(340)	27	48.1	78.9	26.0	7830	17	43.4	84.4	25.3	5693

*ITI: Intermittent Irrigation ; CP : Conventional Practice ; PN: Panicle Number per hill ; GN: Grain Number per panicle ; FR: Fertility ; GW: 1000-grain weight.

表六、2022 年台南 11 號於不同水分處理下之產量構成要素

Table 6 . Yield components of TN11 under different water management treatments in 2022

TN11 Treatment	N Rate	1st Crop					2nd Crop				
		PN	GN	FR (%)	GW (g)	Yield (kg/ha)	PN	GN	FR (%)	GW (g)	Yield (kg/ha)
ITI	N(0)	15	38.0	94.6	26.4	6189	17	43.6	88.5	24.2	6081
	N(60)	24	40.0	91.5	25.7	5926	19	43.9	81.1	26.2	5022
	N(180)	24	44.1	84.8	24.0	5955	19	44.1	86.5	24.5	5925
	N(260)	25	43.0	85.7	25.3	6185	19	48.9	77.9	24.0	6024
	N(340)	25	46.3	78.3	25.2	4610	22	42.9	88.1	24.2	6254
CP	N(0)	18	43.1	90.3	24.3	6747	16	41.3	87.9	25.9	6582
	N(60)	24	43.4	84.2	25.3	6752	15	41.4	89.0	25.7	5598
	N(180)	26	52.5	71.7	23.6	6467	19	47.0	80.2	24.6	6025
	N(260)	26	49.5	77.9	23.7	6587	19	46.1	80.5	24.7	6181
	N(340)	26	51.6	71.5	24.0	4586	21	46.1	81.1	24.6	6647

*ITI: Intermittent Irrigation ; CP : Conventional Practice ; PN: Panicle Number per hill ; GN: Grain Number per panicle ; FR: Fertility ; GW: 1000-grain weight.

整體觀察顯示,“台農 71 號”與“台南 11 號”在乾溼交替灌溉與慣行灌溉下,於株高、葉綠素含量與產量構成均呈現明顯差異反應。“台南 11 號”在慣行灌溉條件下普遍具有較高的株高與葉綠素含量,顯示其具較佳的氮素吸收與光合能力;而“台農 71 號”於乾溼交替灌溉下株高表現相對穩定,尤其在二期作高溫長日照環境下表現更佳。葉綠素方面,“台農 71 號”在乾溼交替灌溉配合中等施肥時表現最佳,顯示其對水分變動及氮肥供應敏感;“台南 11 號”則在兩種灌溉條件下皆能維持高葉綠素值,僅於成熟期呈快速下降,反映其氮素再移轉特性。產量構成要素顯示,兩品種於兩種灌溉方式下皆呈隨施肥量增加,穗數與粒數上升的趨勢,但乾溼交替灌溉組的高氮肥處理常出現稔實率下降,導致產量未必持續增加;其中“台南 11 號”在高氮肥下更易產生籽粒充實度下降,而“台農 71 號”於乾溼交替灌溉仍能維持相對穩定的稔實率。綜合而言,乾溼交替灌溉對兩品種之生理指標與產量並未造成負面影響,甚至在“台農 71 號”上可兼具節水與維持產量之效果;惟“台南 11 號”在高氮與穩定水分條件下產量潛力較高,但對施肥過量與後期水分變動較敏感,顯示不同品種仍需採取差異化灌溉與肥培管理策略。

討 論

臺灣與東亞地區的傳統水稻栽培多採用持續湛水的方式,會耗用相當大的水資源,乾溼交替灌溉或間歇灌溉提供了現代與未來水稻一個解方,將可降低灌溉水的使用,本研究亦印證此方面的結果,乾溼交替灌溉降低了19-67%的用水量(表二),更可能降低田間溫室氣體甲烷的排放(Lagomarsino *et al.*, 2016),以本研究結果來說,除了降低了灌溉用水,對於未來氣候變遷下的水資源不穩定提供解方的選擇之外,同時也節約了灌溉次數,即表示農民可較傳統方式更減少灌溉作業的時間與人力,若該田區採用抽取地下水的方式,甚至可節約抽水機的電力或柴油,達到節約能源與降低能源碳排的效益(Karimi *et al.* 2012 ; Nalley *et al.* 2015)。

然而,導入這些新栽培技術的同時,維持稻株健康生理以及最終的穀粒產量更是重要的前提,因此,本研究針對乾溼交替灌溉下的生理性狀如株高與葉色,以及最終的單位面積產量與產量構成要素進行分析,同時並進行不同期作以及不同氮肥等級處理的多面向評估,以作為未來更全面的栽培管理參考。

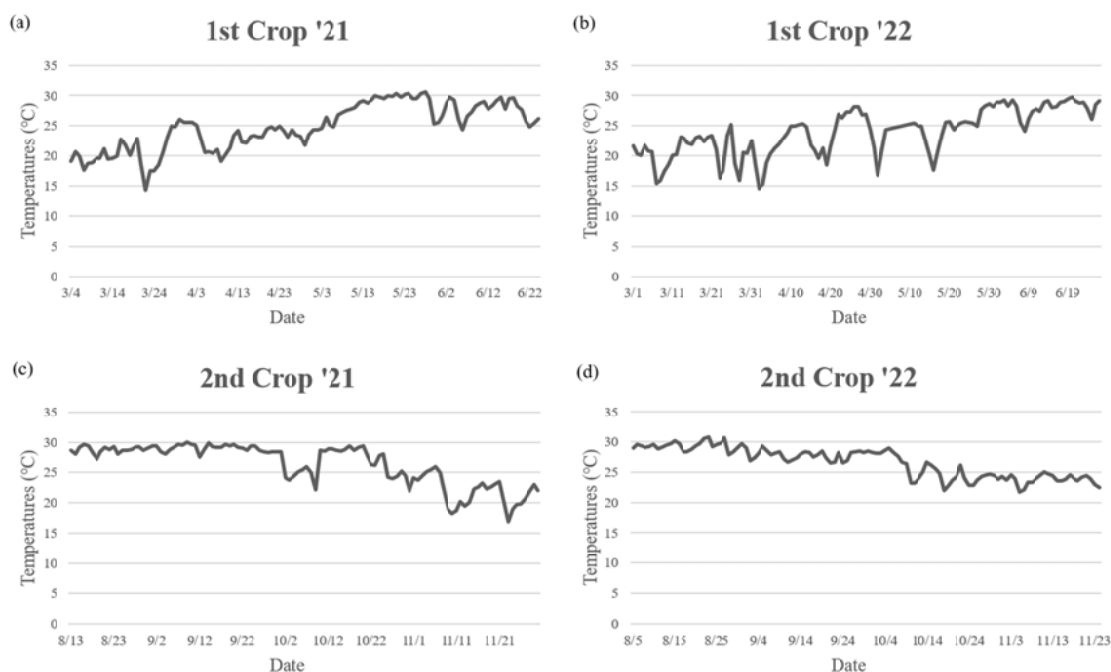
在株高方面,大抵上乾溼灌溉組的株高皆略低於慣行灌溉組,且在低氮肥處理組或一期作的差異更為顯著,主要原因在於慣行灌溉組的湛水時間久,一般來說,灌溉水中含有 1-3 mg/L 的氮素,湛水越久,吸收氮素越多,因而導致株高的增加(Cheng, 2025),更可能進一步導致倒伏。在低氮肥處理組差異更大也是由於低氮組的長期湛水可促進氮

素的吸收(Chen *et al.*, 2025)，以補外加氮肥的不足，提供株高生長的需要；而一期作則因為生長季較長，氮素需求高且生長時間充份，更能夠造成株高上的明顯差異，前人研究亦指出間歇灌溉處理可以改善水稻節間的生長、形態與理化特性，進而降低倒伏的風險(Gu *et al.*, 2025)，然而，灌溉處理對於品種之間的效應可能有所不同，一般來說，但可能關聯到品種本身的早晚熟特性與氮素吸收效率，以及對氣候環境的交感，另一方面，氮素吸收同時也受到氣象環境的影響，舉例來說，如圖十三，2022 年一期作的氣溫較 2021 年低且不穩定，因此 2022 年株高的增長速度較平緩，可能可以推測是氣溫較涼爽的原因(Stuerz and Asch, 2021)，且在慣行灌溉處理下，也就是氮素充足的狀況下更為顯著；在二期作方面，2022 年株高在氮素處理之下的差異較不明顯，則是可能由於降雨量的差異，因 2022 年二期作的降雨較 2021 年高(圖十四)，雨水將作為額外的氮素投入(Cheng, 2025)，將可能造成原本氮素處理的效應變得較不明顯，此外，降雨較多的現象，也可能造成田區湛水時間變長，湛水期間的土壤氮素更不容易被分解為氣體流失(Wu *et al.*, 2023)，也是使稻株吸收氮素較多的原因，另一方面，降雨較多正會讓乾溼交替灌溉的效果減弱(圖三)，使整體水分環境更接近慣行灌溉。

在葉綠素含量方面，一般來說，葉片的葉綠素含量與葉色呈正相關，而葉色同時也是栽培者在辨識稻株氮素營養狀況的一個重要的依據，因此若氮素充分，稻株葉片的葉綠素含量通常會較高，也就是 SPAD 值會較高。與株高相似的趨勢是，乾溼交替灌溉的在一期作低氮肥組的葉綠素含量較低，且二期作也有類似但幅度較小的趨勢，因此葉綠素含量與株高方面呈現相似的結果。前人研究指出，葉綠素與氮素投入量將較株高更有關聯性(Yang *et al.*, 2014)，與葉綠素含量較相關的時期為栽培前期，而二期作之降雨量較一期作高，可能使二期作氮肥施用的效應不如一期作明顯，尤其是在慣行灌溉處理或是雨量較高的年份(如 2022 年二期作)。另一方面，前人亦就品種的差異進行研究，Yeboah *et al.*, 2026 指出，傳統舊有品種在間歇灌溉處理下的葉綠素含量與總氮含量都較低，但新改良的品種(氮素利用效率較高的品種)的葉綠素含量與總氮含量則在間歇灌溉與慣行灌溉之間並無差異，也就是說在品種之間仍具有交感，且可能有更顯著的效應，而這些葉綠素含量的差異，或是 SPAD 值的差異，將可能導致產量上的差異(Liu *et al.*, 2025 ; Sarkar *et al.*, 2025)，以及品質上的差異(Fitri *et al.*, 2025)。

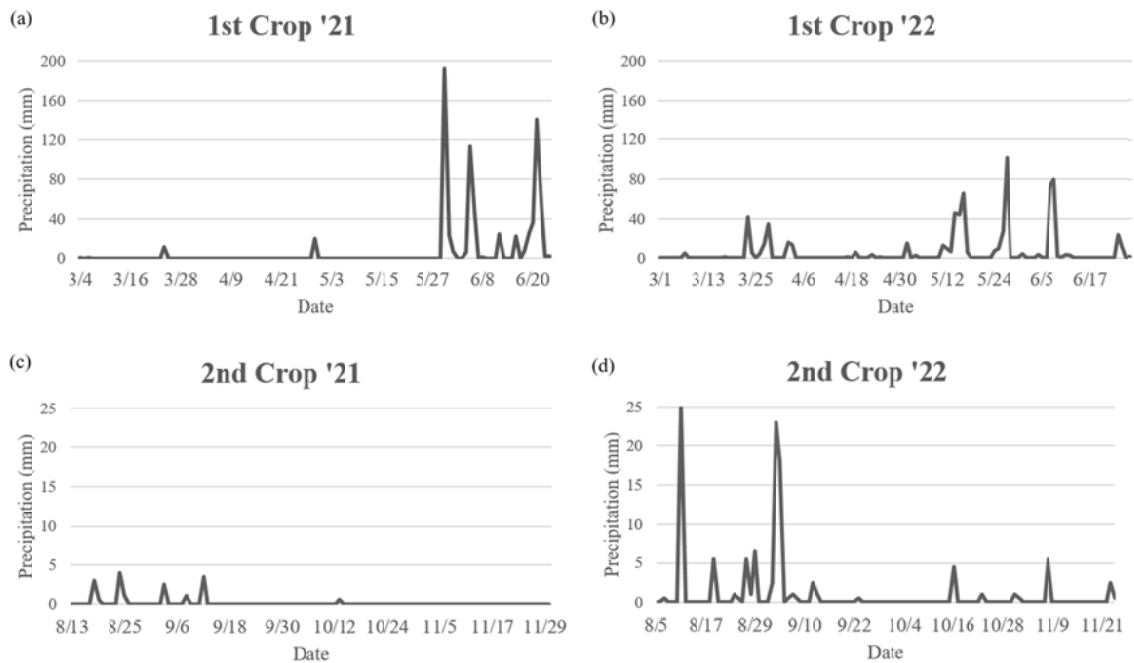
依照前述的株高與葉綠素含量結果，進一步探討產量構成要素，大抵上單位面積產量皆隨著氮素施用的增加而提高，而主要來自單株穗數的增加，並對比到可作為稻株氮素營養狀態指標的葉綠素含量，顯示單株穗數的增加是由於氮素供給的充足，且灌溉處理之間也有相同的趨勢，慣行灌溉組的穗數確實高於乾溼交替灌溉組(Sun *et al.*, 2020)，

然而，千粒重方面則以乾溼交替灌溉組較高，推測原因在於穗數的較少亦等同於單株總穀粒數的較少，而若在相同的「源」(source)之下，乾溼交替灌溉組的「庫」(sink)較低，也就是說能夠有更優良效率的每顆穀粒的充實，進而使千粒重更加優良(Zhang *et al.*, 2025)，最終在灌溉處理之間，其單位面積產量並無顯著差異。值得注意的是，若進一步分析氮肥與灌溉之交互作用，結果顯示，乾溼交替灌溉在適當氮肥施用下可維持與慣行灌溉相當之產量，且有助於台農71號之千粒重；惟在高氮肥處理下，乾溼交替可能因稔實率下降而限制產量增長。這可能歸因於高氮肥促進了營養生長，但在水分交替的環境中，生殖生長期的養分競爭加劇，導致稔實率受損，顯示此灌溉模式須配合適當的肥培管理策略。同時，依千粒重的結果，亦可推測，這樣優良的穀粒充實狀況，可能促進穀粒品質，有較優良的外觀與良好的食味(Wu *et al.*, 2020 ; Idowu *et al.*, 2023)。另一方面，在期作之間，與株高與葉綠素含量的狀況相似，以一期作的灌溉處理間與氮肥處理間的差異較為顯著，而前人研究亦提到，二期作的田間溫室氣體甲烷的排放顯著高於一期作(游等，2024)，綜上所述，若在二期作導入乾溼交替灌溉，並搭配合宜的氮肥管理，則可以在不影響產量的前提下，抑制甲烷排放以達到田間減碳的效益。



圖十三、2021 年與 2022 年一期作與二期作之逐日氣溫變化。

Fig. 13. Daily air temperature during the 1st and 2nd crops in 2021 and 2022.



圖十四、2021 年與 2022 年一期作與二期作之逐日降雨變化。

Fig. 14. Daily rainfall during the 1st and 2nd crops in 2021 and 2022.

儘管本試驗有於田區限制，無法規劃重複區集，因此以年度作為重複，進行產量構成要素之統計分析，以複因子變方分析進行，各因子之分析結果如表七與表八，肥料等級相較於期作與灌溉處理，對水稻產量構成要素具有較明顯的影響，顯示在本試驗條件下，氮素供應仍是調節分蘖形成、穗粒發育與穀粒充實的重要因子，然而，雖然部分產量構成要素對肥料等級呈現顯著反應，但最終產量未必同步達顯著差異，可能與水稻本身具有產量補償效應有關(Kumar *et al.* 2016)。另一方面，灌溉處理對多數產量構成要素及產量未呈現顯著影響，表示間歇灌溉在本試驗條件下可能尚未造成足以限制稻株生長、開花授粉或穀粒充實的水分逆境。因此間歇灌溉應具有作為節水及低碳栽培管理策略之潛力。然而，少數交感作用出現在特定品種與性狀，顯示不同品種對期作環境、水分管理及肥料供應的反應可能並不一致，未來仍需進一步釐清其生理與栽培機制。由於本試驗並無重複或區集，統計分析結果應審慎解讀，尤其在田間環境容易受到土壤肥力、水分分布、微地形及氣象條件變異影響的情況下，缺乏區集設計可能降低處理差異判斷的穩定性。因此，未來應進行區集之設計，以提高統計分析的可靠性，並更明確評估期作、灌溉與肥料管理對水稻產量構成及產量表現之實際影響。

表七、台農 71 號之期作、灌溉、肥料等級對各產量構成要素之處理顯著性 P 值Table 7. Significance P -values of the effects of Crop season, Irrigation, and Fertilizer rate on each yield component of TNG71

	PN	GN	FR	GW	Yield
Crop season	ns	ns	ns	ns	ns
Irrigation	ns	ns	ns	ns	ns
Fertilization	***	**	***	*	ns
Crop season x Irrigation	ns	ns	ns	ns	ns
Crop season x Fertilization	ns	ns	ns	*	ns
Irrigation x Fertilization	ns	ns	ns	ns	ns
Crop season x Irrigation x Fertilization	ns	ns	ns	ns	ns

*(ns: $P > 0.05$; *: $0.05 > P > 0.01$; **: $0.01 > P > 0.001$; ***: $0.001 > P$)

表八、台南 11 號之期作、灌溉、肥料等級對各產量構成要素之處理顯著性 P 值

Table 8. Significance P -values of the effects of Crop season, Irrigation, and Fertilizer rate on each yield component of TN11. (ns: $P > 0.05$; *: $0.05 > P > 0.01$; **: $0.01 > P > 0.001$; ***: $0.001 > P$)

	PN	GN	FR	GW	Yield
Crop season	ns	ns	ns	ns	ns
Irrigation	ns	ns	ns	ns	ns
Fertilization	***	**	**	ns	ns
Crop season x Irrigation	*	ns	*	ns	ns
Crop season x Fertilization	ns	ns	ns	ns	ns
Irrigation x Fertilization	ns	ns	ns	ns	ns
Crop season x Irrigation x Fertilization	ns	ns	ns	ns	ns

*(ns: $P > 0.05$; *: $0.05 > P > 0.01$; **: $0.01 > P > 0.001$; ***: $0.001 > P$)

結 論

本研究旨在評估乾溼交替灌溉於臺灣水稻栽培之可行性與永續價值。綜合整體研究成果與相關文獻，可歸納出乾溼交替灌溉不僅能兼顧節水與減碳效益，亦符合當前智慧農業及氣候變遷調適的發展方向。此灌溉模式透過間歇性水分管理，能在維持生產穩定的前提下，有效提升水分利用效率、減少溫室氣體排放，並促進根系健康與養分循環，展現出在未來氣候風險下的韌性與可持續性。此結果顯示，若能配合智慧感測與自動化控制技術，乾溼交替灌溉可成為水稻栽培體系中兼顧產量、品質與環境永續的核心策略。未來應進一步結合碳足跡評估、農業淨零政策及區域水資源管理，建構更具精準與在地化的水稻灌溉決策模式，推動臺灣稻作向高效率、低碳化與智慧化方向發展。

參考文獻

1. 甘俊二、鄭涵予、陳榮松。2021。臺灣水田生態系服務功能之量化與評估。農業工程學報。67: 12-28。
2. 林國慶、蘇明道、張嘉玲。2020。氣候變遷對臺灣農業用水及糧食安全之影響評估。農業經濟叢刊。26: 89-112。
3. 陳鴻堂、曾宥紘、郭雅紋、鄭佳綺。2018。水稻台南11號、台梗9號及台中秈10號於砂頁岩及粘板岩混合沖積土壤之最適氮肥用量研究。臺中區農業改良場研究彙報。139: 65-76。
4. 黃紹毅、吳儀宣、林映辰。2023。氣候變遷下臺灣中部地區水稻生產風險之空間分析。農林學報。72: 21-38。
5. 賴哲緯、蘇明道、游進裕。2022。水田灌溉對區域地下水補注貢獻之時空分析：以彰化地區為例。臺灣水利。70: 34-51。
6. 游承翰、廖崇億、吳以健、郭芝秀。2024。臺灣中部地區水田甲烷排放因子調查。臺中區農業改良場研究彙報。165: 49-62
7. 農業部。2024。農業統計資料查詢網。
<https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/inquiry/InquireAdvance.aspx>
8. Adzigbe, J., Frimpong, F., Danquah, A., Danquah, E. Y., Asante, I. K., Abebrese, S. O., Dormatey, R., Afriyie-Debrah, C., Ribeiro, P. F., Danquah, E. O., Agyeman, K., Bam, R. K., Asante, M. D. 2025. The responses and adaptations of rice (*Oryza sativa* L.) to drought stress: A review. *Climate Smart Agriculture*. 2(4), 100080.
9. Bittawat, W., Intrman, A., Junhom, P., Puttrawutichai, S., Rewtragulpaibul, C., Suksaroj, C. 2025. The effect of irrigation practices on stress-related physiological characteristics, water productivity, and water footprint in rice cultivation. *Environmental and Sustainability Indicators*. 26, 100695.
10. Chen, S., Zhao, C., Yang, W., Wang, W., Zhu, Q., He, M., Elrys, A. S., Meng, L., Meng, H., Cai, Z., Zhang, J., Müller, C. 2025. Enhancing rice nitrogen use efficiency via plant-microbe-soil interactions: Insights from ¹⁵N tracing. *Applied Soil Ecology*. 207, 105931.
11. Cheng, W. 2025. Preface to the Special Section “Research Frontiers on Organic Rice Farming from the Soil Science and Plant Nutrition Perspectives (SSPN-ORF)”. *Soil Science and Plant Nutrition*. 71, 227-228.

12. Engelaar, W., Matsumaru, T., Yoneyama, T. 2000. Combined effects of soil waterlogging and compaction on rice (*Oryza sativa* L.) growth, soil aeration, soil N transformations and ¹⁵N discrimination. *Biology and Fertility of Soils*. 32, 484-493.
13. Fitri, A., Basyah, B., Zakaria, S. 2025. Morpho-physiological characters and their relationship with the yield and quality of improved rice lines on upland. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1476(1), 012043.
14. Gu, H., Xiao, Z., Meng, Q., Fa, X., Wang, C., Jing, W., Wang, W., Zhu, K., Zhang, W., Gu, J., Liu, L., Zhang, J., Zhang, H. 2025. The synergistic effect of variety improvement and alternate wetting and drying irrigation on yield, water use efficiency and lodging resistance in rice. *European Journal of Agronomy*. 164, 127507.
15. Idowu, O., Katsube-Tanaka, T., Shiraiwa, T. 2023. Nitrogen fertilizer application does not always improve available carbohydrate per spikelet but decreases chalkiness under high temperature in rice (*Oryza sativa* L.) grains. *Field Crops Research*. 290, 108741.
16. IPCC. 2023. Summary for policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team: H. Lee, J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 1-34.
17. Karimi, P., Qureshi, A. S., Bahramloo, R., Molden, D. 2012. Reducing carbon emissions through improved irrigation and groundwater management: A case study from Iran. *Agricultural Water Management*. 108, 52-60.
18. Kumar, U., Laza, M. R., Soulié, J. C., Pasco, R., Mendez, K. V. S., Dingkuhn, M. 2016. Compensatory phenotypic plasticity in irrigated rice: Sequential formation of yield components and simulation with SAMARA model. *Field Crops Research*. 193, 164-177.
19. Lagomarsino, A., Agnelli, A. E., Linqvist, B., Adviento-Borbe, M. A., Agnelli, A., Gavina, G., Ravaglia, S., Ferrara, R. M. 2016. Alternate wetting and drying of rice reduced CH₄ emissions but triggered N₂O peaks in a clayey soil of central Italy. *Pedosphere*. 26(4), 533-548.
20. Liu, W., Gai, D., Liang, J., Cui, J., Geng, Y., Zhang, Q., Guo, L., Shao, X. 2025. Paclobutrazol enhances lodging resistance and yield of direct-seeded rice by optimizing plant type and canopy light transmittance. *Field Crops Research*. 331, 109882.
21. Loaiza, S., Verchot, L., Valencia, D., Costa, C., Trujillo, C., Garcés, G., Puentes, O.,

- Ardila, J., Chirinda, N., Pittelkow, C. 2024. Identifying rice varieties for mitigating methane and nitrous oxide emissions under intermittent irrigation. *Journal of Environmental Management*. 372, 123376.
22. Nalley, L., Linquist, B., Kovacs, K., Anders, M. 2015. The economic viability of alternative wetting and drying irrigation in Arkansas rice production. *Agronomy Journal*. 107(2), 579-587.
23. Rubinigg, M., Stulen, I., Elzenga, J. T. M., Colmer, T. D. 2002. Spatial patterns of radial oxygen loss and nitrate net flux along adventitious roots of rice raised in aerated or stagnant solution. *Australian Journal of Plant Physiology*. 29, 1475-1481.
24. Sandhu, N., Subedi, S. R., Yadaw, R. B., Chaudhary, B., Prasai, H., Iftekharuddaula, K., Thanak, T., Thun, V., Battan, K. R., Ram, M., Venkateshwarlu, C., Lopena, V., Pablico, P., Maturan, P. C., Sta. Cruz, M. T., Raman, K. A., Collard, B., Kumar, A. 2017. Root traits enhancing rice grain yield under alternate wetting and drying condition. *Frontiers in Plant Science*. 8, 1-10.
25. Sarkar, M., Saha, P., Ghosh, M., Banerjee, S., Gunri, S. K., Biswas, T., Mani, P. K., Patra, B. C., Kundu, C. K. 2025. Physiology, productivity and grain quality of aromatic rice under organic manure and LCC-based N top dressing by neem-coated urea, nano urea and mustard cake. *Vegetos*.
<https://doi.org/10.1007/s42535-025-01410-y>
26. Stuerz, S., Asch, F. 2021. Responses of rice growth to day and night temperature and relative air humidity — leaf elongation and assimilation. *Plants*. 10(1), 134.
27. Sun, Y., He, Z., Wu, Q., Zheng, J., Li, Y., Wang, Y., Chen, T., Chi, D. 2020. Zeolite amendment enhances rice production, nitrogen accumulation and translocation in wetting and drying irrigation paddy field. *Agricultural Water Management*. 235, 106126.
28. Wu, Q., Wang, Y., Chen, T., Zheng, J., Sun, Y., Chi, D. 2020. Soil nitrogen regulation using clinoptilolite for grain filling and grain quality improvements in rice. *Soil and Tillage Research*. 199, 104547.
29. Yang, H., Li, J. W., Yang, J. P., Wang, H., Zou, J. L., He, J. J. 2014. Effects of nitrogen application rate and leaf age on the distribution pattern of leaf SPAD readings in the rice canopy. *PLOS ONE*. 9(3), e92509.

30. Yang, X. C., Huang, M. Y., Chen, C. I., Lin, C. H., Huang, W. H. 2025. Impact of alternate wetting and drying irrigation on greenhouse gas emissions and water use in rice paddies in Taiwan. *Taiwania*. 70(2), 175-185.
31. Yeboah, S., Amankwaa-Yeboah, P., Puértolas, J., Agyenim, F. B., Semple, K. T., Dodd, I. C. 2026. Different responses of African rice cultivars to alternate wetting and drying irrigation and anaerobic digestate application. *Field Crops Research*. 335, 110189.
32. Zhang, H., Mi, K., Chen, T., Zhang, M., Xu, F., Zhang, H. 2025. Enlarged sink capacity and optimized population physiological characteristics are key to high yield in conventional japonica rice. *Rice Science*. 15, 1-10.
33. Zhou, Z., Struik, P. C., Gu, J., van der Putten, P. E. L., Wang, Z., Yin, X., Yang, J. 2023. Leaf-colour modification affects canopy photosynthesis, dry-matter accumulation and yield traits in rice. *Field Crops Research*. 290, 108746.

Effects of intermittent irrigation treatments on growth characteristics and yield of rice varieties TNG71 and TN¹

Chi-Shiou Kuo ², Yi-Chien Wu ^{3*}

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the applicability and sustainability of intermittent irrigation (ITI) in Taiwan's rice cultivation and to compare its effects, under different nitrogen application levels, on the physiological traits and yield components of two major cultivars, Tainung 71 (TNG71) and Tainan 11 (TN11). Field experiments were conducted in 2021 and 2022 with two irrigation treatments—intermittent irrigation and conventional continuous flooding—using a smart irrigation system to precisely control water levels. Measurements included plant height, leaf chlorophyll content (SPAD), panicle number, fertility rate, thousand-grain weight, and grain yield. The results showed that ITI did not suppress plant growth; rather, by improving soil aeration, it produced slightly shorter plants than continuous flooding, thereby reducing lodging risk. Leaf chlorophyll responses differed by cultivar: TNG71 was more sensitive to irrigation and nitrogen levels and performed best under moderate nitrogen supply, whereas TN11 consistently maintained higher SPAD values across treatments, indicating stronger nitrogen-use efficiency. In terms of yield components, both cultivars showed increasing panicle and grain numbers with higher nitrogen levels, but under high nitrogen, ITI frequently led to reduced fertility, limiting further yield gains. Nevertheless, TNG71 maintained stable fertility and higher thousand-grain weight under ITI, allowing it to sustain good yield performance under water-saving conditions, while TN11 exhibited reduced grain filling under excessive nitrogen, indicating higher sensitivity to over-fertilization.

¹Contribution No.1117 from Taichung DARES, COA.

²Research Assistance of Crop Improvement Section Taichung DARES, Changhua, Taiwan, ROC.

³Associate Researcher of Crop Improvement Section, Taichung DARES, Changhua, Taiwan, ROC.

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

Overall, ITI demonstrated advantages in water saving, methane reduction, and maintaining yield performance, while enhancing root-zone conditions and nutrient uptake efficiency. When combined with smart monitoring technology, ITI shows strong potential for broader adoption. Future work should integrate carbon-footprint assessment, climate-risk adaptation, and precision-irrigation decision frameworks to establish localized, low-carbon, and high-efficiency irrigation strategies that support the sustainable development of rice production in Taiwan

Key words: rice, intermittent irrigation, water management, nitrogen fertilizer, plant height, chlorophyll, yield, smart irrigation.

整合深度學習與多目標追蹤技術於百香果 自動化篩選系統之研製¹

陳信彰²、洪榆宸^{2*}、張金元²、張佳偉²

摘 要

本研究旨在開發一套整合影像辨識與機電控制技術之「百香果病徵即時偵測與自動化篩選系統」。在影像辨識方面，導入多目標追蹤技術進行定位優化，僅使用 YOLO 進行高速辨識時，容易受運算負載而導致偵測不穩定或漏檢情形。實驗評估比較 YOLOv8-Nano(v8n)搭載 7 種追蹤演算法(ByteTrack、BoT-SORT、OC-SORT、DeepOC-SORT、Strong-SORT、BoostTrack、Hybrid-SORT)與單獨 v8n 模型之效能差異，採兩階段評估流程：首階段針對辨識效能(精確率、召回率與 F1-score)進行初步篩選，評估原生 v8n 以及結合 7 種不同追蹤演算法之 v8n 配置間的統計顯著性與系統穩定度；次階段則透過多目標追蹤效能指標進行演算法效能的綜合定論。結果顯示，在模型綜合辨識效能評估下，v8n-OC-SORT 與 v8n-BoostTrack 展現較佳的平衡，如兩者的 F1-score 分別達 88.6%與 88.0%，於統計表現上領先其它演算法。然而，兩者在多目標追蹤效能指標比較中，v8n-OC-SORT 展現出最佳整體效能：其多目標追蹤準確率(MOTA)達到 85.4%，相較之下 v8n-BoostTrack 只達 58.8%；且在衡量追蹤穩定性(IDF1)指標上高達 92.3%，身份切換次數(IDs)僅 7 次。因此，在百香果病果汰除作業上，使用 v8n-OC-SORT 能有效克服目標遮擋與身份混淆，具備系統可靠性，更能有效應對複雜環境，展現整體效能穩定性。

關鍵字：百香果、影像辨識、深度學習、追蹤演算法

前 言

臺灣百香果產業在採後處理階段長期仰賴人工進行分級與篩選，傳統作業不僅耗

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1123 號。

² 農業部臺中區農業改良場計畫助理、助理研究員、副研究員、助理研究員。

*通訊作者：洪榆宸，Email: ychung@tcdares.gov.tw

時、勞力密集且成本高昂，更重要的是，人工判讀易受主觀意識與疲勞影響，導致篩選標準不一或計數誤差，難以作為供應鏈管理所需的精確數據。在市場對於無瑕疵、高品質水果的需求日益嚴格，為解決農業缺工與品質管控，迫切需要導入自動化、非侵入式的智慧偵測系統，以提升作業效率並確保農產品的經濟價值(Chen *et al.*, 2021)。百香果在進入自動化篩選產線後，其圓球狀外型在輸送帶上易產生無規則的滾動與碰撞，導致影像監測中的目標軌跡難以預測。此外，高密度作業下的果實密集堆疊與相互遮擋，加上輸送設備振動所引發的影像模糊，皆會影響影像辨識系統的追蹤穩定性與病害辨識率。這些場景下的技術瓶頸，使得傳統演算法難以直接應用，需要針對其特性進行最佳化設計。

為解決傳統方法的局限，影像辨識與深度學習技術在近年有顯著突破。以YOLO(You Only Look Once)系列為代表的單階段目標偵測演算法，因其在速度與準確度上的優異平衡，已成為農業領域的主流選擇。YOLOv8透過提出C2f模組的結構優勢，在保持輕量化的同時顯著提升特徵提取能力，適用於處理百香果這類具備複雜遮蔽與小目標特性的作物(Tu *et al.*, 2025; Wu *et al.*, 2025)。然而，單純的目標偵測在面對輸送帶或連續影像等動態場景時仍顯不足，必須結合多目標追蹤(Multi-Object Tracking, MOT)技術以避免重複計數並鎖定個別果實的ID。為解決上述傳統追蹤框架的侷限，多目標追蹤(MOT)技術近年來經歷了顯著的演進。Alex Bewley等人提出的SORT演算法有效利用卡爾曼濾波與匈牙利演算法可解決基本抖動與ID不連貫等問題，但應對複雜場景仍稍不足(Bewley *et al.*, 2016)。後續研究衍生出兩大改良方向：其一是以DeepSORT、StrongSORT為代表(Du *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2022)，透過引入重新識別(Re-ID)來解決身分交換問題，惟犧牲運算速度；其二是以ByteTrack、BoT-SORT與BoostTrack為代表，透過強化ID連貫性策略，例如利用低信心偵測框來提升召回率(Aharon *et al.*, 2022; Stanojevic & Todorovic, 2024; Zhang *et al.*, 2022)。然而傳統的卡爾曼濾波器在處理非線性運動或長時間遮蔽時容易產生ID切換(ID Switch)的錯誤(Du *et al.*, 2024)。近期研究OC-SORT演算法透過「以觀測為中心」的更新策略，能有效解決果實因遮蔽或震動造成的軌跡丟失問題，在百香果與蘋果的動態計數中展現優於DeepSORT的穩定性(Tan *et al.*, 2025)；而ByteTrack演算法則透過ID連貫性，使低信心分數的偵測框，進一步提升在密集場景下的追蹤精度(Dong *et al.*, 2025)。

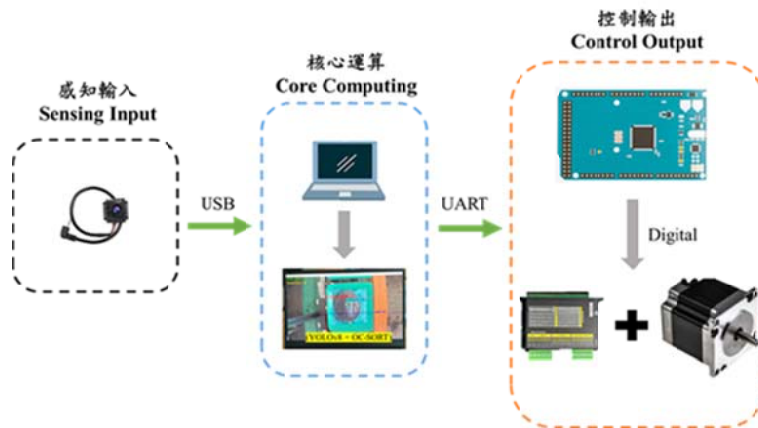
基於上述背景，本研究旨在研發一套整合深度學習偵測模型與目標追蹤技術的「百香果病徵即時偵測與自動化篩選系統」。本研究將採用YOLOv8模型作為偵測

心，並結合多種追蹤演算法，搭配篩選機構，以解決百香果在動態輸送過程中因光影變化及高速移動所導致的辨識難題。

材料與方法

一、系統架構敘述(System Overview)

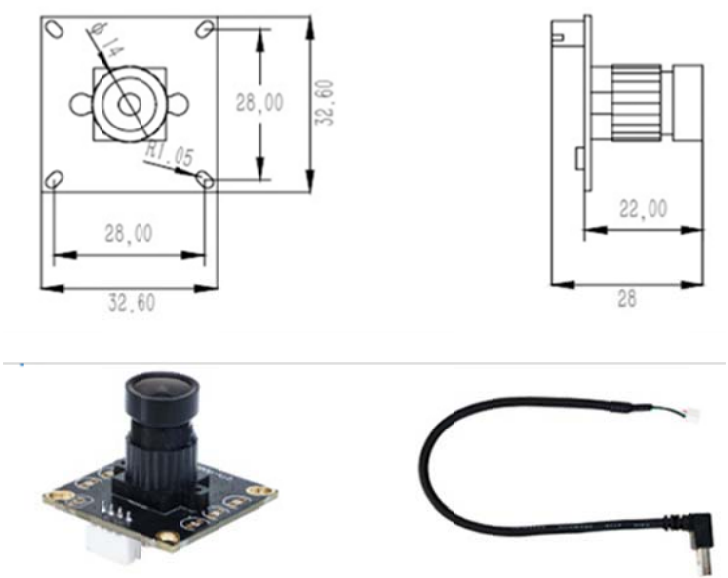
本研究開發一套百香果病徵即時偵測與自動化篩選系統，旨在整合深度學習影像辨識、多目標追蹤技術(MOT)與機電控制，以自動化作業取代傳統人工篩選。系統架構依功能屬性劃分為「影像辨識處理單元」與「自動化傳輸控制機構」兩大核心模組，採用分層式控制架構運作。整體硬體配置依據訊號處理流程，由左至右劃分為感知輸入、核心運算與控制輸出三大層級，如圖一所示：



圖一、系統系統組成與硬體架構示意圖。

Fig. 1. Schematic diagram of system components and hardware architecture.

當影像辨識判定果實為病果時，運算平台透過序列通訊發送觸發指令至微控制器(Arduino MEGA 2560 Rev3)。控制器驅動步進馬達，將病果精確導向至次級品收集區；若判定為無病害果實，則不觸發使果實順利通過。為確保影像識別之精確度與執行機構之響應速度，本系統選用Yabhoome高幀率廣角攝影機作為影像輸入核心，架設於輸送帶上方41 cm處以垂直俯視視角進行900×600解析度之連續影像採集；攝影機幀率(FPS)設定為60 fps，攝影機規格及參數如圖二、表一所示。



圖二、攝影機規格示意圖。

Fig. 2. Schematic diagram of camera specifications.

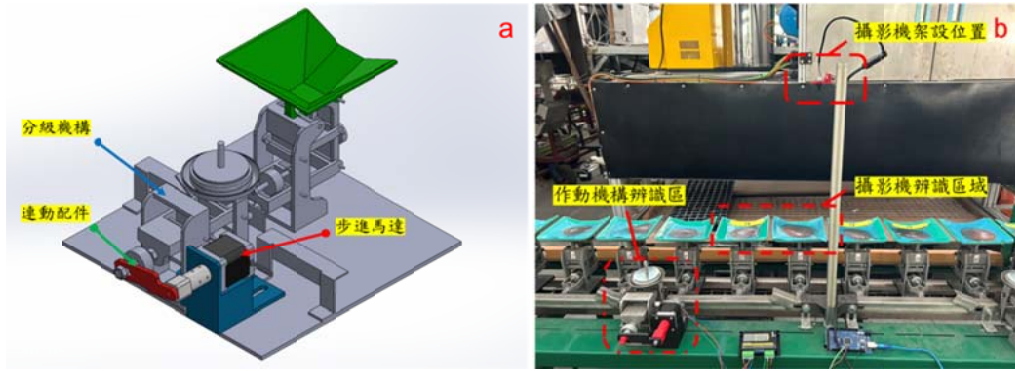
表一、攝影機參數性能表

Table 1. Specification and performance of camera

參數項目	設定值/說明
攝影機型號(Camera Model)	Yabhoome 高幀率廣角攝影機
解析度(Resolution)pixels	900 × 600
畫面更新率(FPS)	60
亮度(Brightness)	0
對比(Contrast)	32
曝光(Exposure)EV	-6.0
放大倍率(Magnification)	-1.0
焦距(Focal Length)	-1.0
飽和度(Saturation)	50
清晰度(Sharpness)	2
色差補正(Gamma Correction)	100
白平衡(White Balance)K	4600
背光補償(BLC)	1

二、外掛式篩選機構設計

本研究針對百香果重量式分級機設計外掛式篩選機構，其機構掛載於分級機之配重機構上，採用步進馬達作為動力來源，在控制端，由Arduino MEGA 2560 Rev3發送訊號至馬達控制板，精確驅動步進馬達帶動配重機構，在連續運作中達成精準的汰除病果作業，如圖三所示。攝影機架設於輸送路徑正上方，形成固定的拍攝視角與取像點，此配置不僅確保影像的穩定性，更確立了取像點至執行機構的固定距離，配合恆定的輸送速率，作為後續計算精確觸發延遲的基礎。



圖三、篩選系統硬體架構。(a)篩選機構設計示意圖；(b)百香果重量式分級機實體配置。

Fig. 3. Hardware architecture of the grading system. (a) Schematic Diagram of the Screening Mechanism; (b) Physical layout of the weight-based passion fruit grader.

系統採用「距離延遲控制」：當影像辨識到病果時，微控制器會依據「取像點至執行機構的距離」與「輸送速率」，計算出精確的延遲時間，如式(1)所示：

$$T_{delay} = \frac{L}{V} \quad (1)$$

其中：

- T_{delay} 為觸發延遲時間(s)
- L 為攝影機取像點至執行機構之距離(m)
- V 為輸送速率(m/s)

確保執行機構能在果實抵達作動區時精準觸發，系統需計算果實從取像點至作動點的物理位移時間(T_{delay})。經計算， $L = 0.39 \text{ m}$ 且 $V = 0.5 \text{ m/s}$ 時，經實測，整體機構之響應時間(Response Time)約為0.78 s，完成病果汰除作業後即自動復歸，以利後續篩選流程。

三、影像辨識流程與判斷策略

為滿足篩選系統之即時性(Real-time)需求，需要龐大系統計算量，於軟體端導入Python的多執行緒(Multi-threading)平行處理架構(Mei *et al.*, 2018)。傳統的序列式處理流程中，攝影機取像、演算法推論與硬體控制訊號發送皆在同一執行緒中依序進行，其將導致系統在等待影像辨識運算時，無法同時進行下一幀影像的擷取，進而造成幀率(FPS)下降與觸發延遲。

引入「非排序處理任務」設計，利用threading模組將核心任務解耦為3個獨立運行的執行緒，分別為：

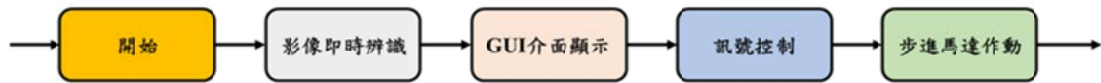
- (一) 影像擷取執行緒(Image Capture Thread)：從攝影機持續讀取畫面、幀率，並存入共享緩衝區(Buffer Queue)，確保取像不因後端運算而中斷。
- (二) 辨識運算執行緒(Inference Thread)：從緩衝區提取影像進行YOLO模型推論，判斷病果與位置。
- (三) 硬體控制執行緒(Control Thread)：根據辨識結果計算延遲時間，並透過序列埠(Serial)非同步發送指令至微控制器，驅動步進馬達進行篩選。

透過佇列(Queue)作為執行緒間通訊橋樑，系統實現了非同步的資料擷取與處理機制，有效解決I/O阻塞問題，確保硬體機構動作與影像處理流程能精確同步，如圖四所示。

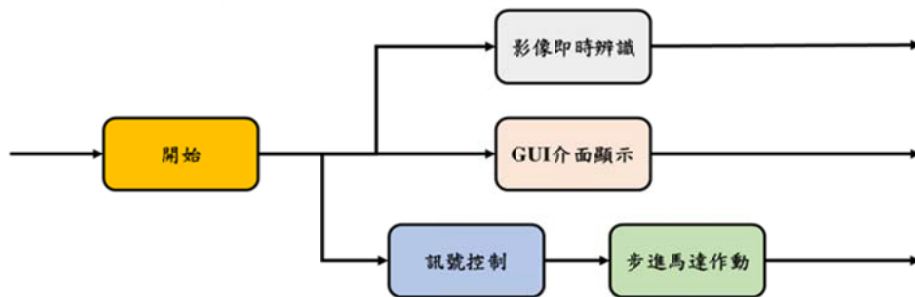
為實現自動化篩選系統的即時監控、除錯便利性以及運作狀態的可視化，本研究基於 Python開發一套整合式圖形使用者介面(GUI)。此介面採用多執行緒架構設計，將介面刷新、影像擷取辨識與硬體控制邏輯分離，確保在進行高負載運算時，監控畫面仍能保持流暢即時。如圖五所示，本系統之監控介面主要劃分為三個功能區塊，茲說明如下：

- (一) 即時影像處理顯示區(Live Video Feed)：介面主體為攝影機視野的即時串流。系統將後端演算法(如YOLO)辨識完成的結果，包含果實目標框(Bounding Box)、類別標籤及信心指數，顯示於原始影像上。

排序處理任務

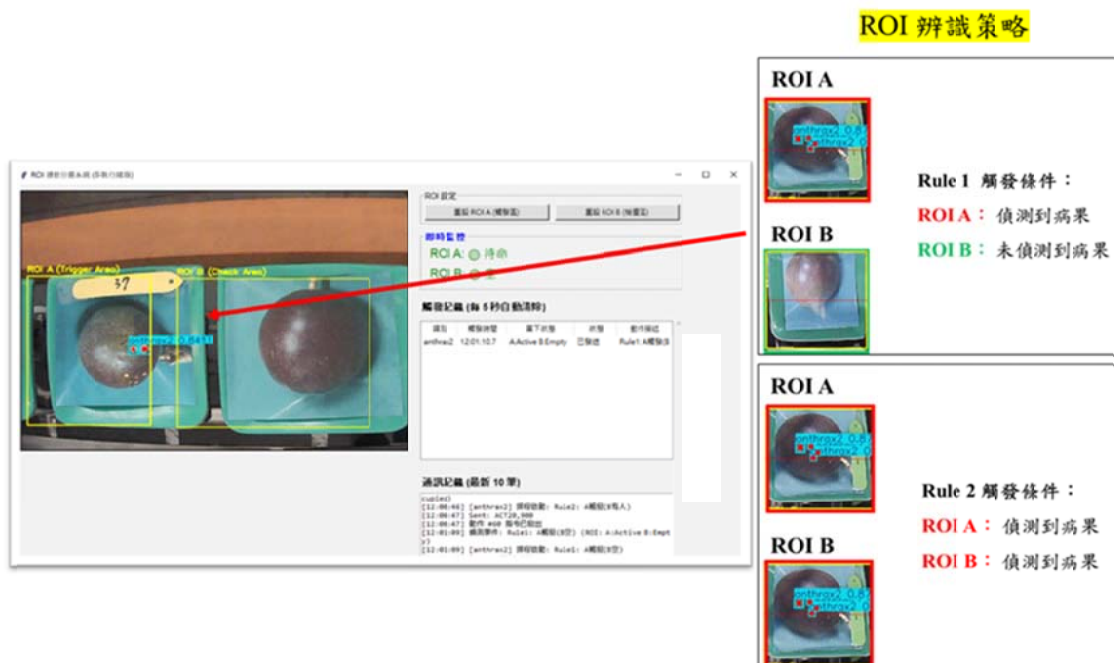


非排序處理任務



圖四、非排序處理任務示意圖。

Fig. 4. Schematic diagram of a non-sequential processing task.



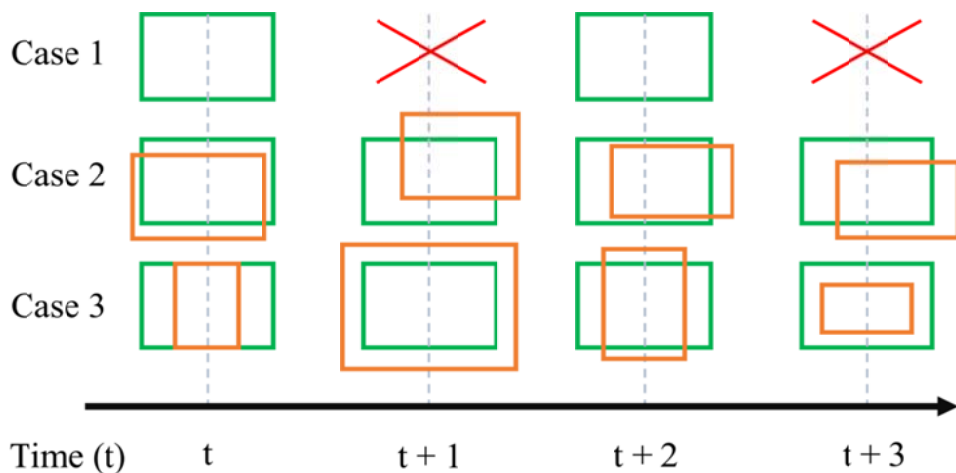
圖五、GUI 可視化界面示意圖。

Fig. 5. Schematic diagram of GUI visualization interface.

- (二)即時影像處理顯示區(Live Video Feed): 介面主體為攝影機視野的即時串流。系統將後端演算法(如YOLO)辨識完成的結果，包含果實目標框(Bounding Box)、類別標籤及信心指數，顯示於原始影像上。
- (三)篩選排序佇列動態監視(Dynamic Sorting Queue): 為視覺化軟體內部的決策流程，介面側邊設計一個動態列表，用以映射當前輸送帶上的果實狀態。此佇列依循先進先出(FIFO)原則，即時顯示即將經過執行機構的果實類別順序(例如：觸發Rule1、觸發Rule2)。
- (四)Arduino MEGA 2560 Rev3控制訊號觸發日誌(Control Signal Log): 介面下方設有滾動式的純文字日誌區，詳細記錄控制端發送至微控制器的所有關鍵指令及其精確的時間戳記。

四、追蹤演算法引入

在影像辨識領域中，目標偵測模型(如YOLO系列)雖然能提供單張影像中的目標位置，但若直接應用於連續影像分析，往往面臨「不穩定」的挑戰。根據Zhang等人的研究指出，影像偵測的品質不應僅由準確度(如Precision)來衡量，更應包含時間軸上的穩定性(Zhang & Wang, 2016)。事實上，偵測器的準確度與穩定性之間的相關性並不高，高準確度的偵測器仍可能產生劇烈的軌跡抖動。



圖六、影像偵測不穩定說明示意圖。目標框(綠色)、預測框(橘色)。

Fig. 6. Schematic diagram of unstable image detection. Target bounding box(green), prediction bounding box (orange).

單純使用YOLO即時演算法會導致多種不穩定誤差，如圖六所示，這些誤差正是引入追蹤演算法所要解決的核心問題：

- (一) 軌跡遺失(Fragment Error)：受限於遮擋或動態模糊，偵測器常在某些幀中遺漏目標(如圖紅色打叉處)，導致連續的軌跡斷裂，破壞了軌跡的完整性。
- (二) 中心位置與尺度抖動(Center Position & Scale Jittering)：如圖所示，偵測器對每一幀獨立運算，導致預測框的中心點與長寬比在連續畫面中產生隨機跳動。
- (三) 缺乏身分識別(Lack of Identity)：偵測器無法記憶目標，當多個目標彼此靠近或交錯時，無法區分個體。

為解決上述的穩定性問題，並同時維持系統的即時運算能力，單純依賴目標偵測器進行連續分析往往面臨中心抖動、軌跡破碎與身分缺失等穩定性挑戰，因此引入多目標追蹤(MOT)演算法。以下針對本研究所評估之7種追蹤演算法核心特色進行說明：

1. ByteTrack：藉由保留並回收低置信度(Low-confidence)的偵測框參與關聯匹配，有效降低因目標受遮蔽或模糊而造成的軌跡中斷與漏檢現象(Zhang *et al.*, 2022)。
2. BoostTrack：延續回收低置信度偵測框的優勢，並進一步針對追蹤演算法在複雜環境下的匹配機制進行優化，強化目標關聯的整體穩定度(Stanojevic & Todorovic, 2024)。
3. OC-SORT (Observation-Centric SORT)：主要利用真實觀測值來修正卡爾曼濾波器的預測誤差，透過慣性補償與虛擬軌跡策略，有效克服目標非線性運動與遮蔽帶來的軌跡漂移(Cao *et al.*, 2023)。
4. DeepOC-SORT：在OC-SORT強大的運動學修正基礎上，進一步融合了深度外觀特徵(Appearance Features)，使其在目標密集交錯或外觀相似的情境下，能更精準地維持身分(ID)一致性(Maggiolino *et al.*, 2023)。
5. BoT-SORT (Bag-of-Tricks SORT)：引入相機運動補償(Camera Motion Compensation, CMC)技術與優化後的卡爾曼濾波狀態，能有效穩定動態視角與背景位移下的目標追蹤(Aharon *et al.*, 2022)。
6. Strong-SORT：結合了強化的特徵提取網路與更嚴謹的運動狀態估計，並配備無外觀關聯機制(AFLink)，以提升整體軌跡的平滑度與長效身分保持能力(Du *et al.*, 2023)。

7. Hybrid-SORT：在匹配過程中加入目標高度等輔助狀態線索，結合運動學與特徵資訊，進一步強化在擁擠或高度重疊場景下的追蹤平滑度與穩定性(Yang *et al.*, 2024)。

五、統計方法與效能指標

評估系統實際之分類效能並確保實驗數據之可靠性，本研究於評估實驗中共採用45顆百香果作為測試樣本。樣本組態設定為正常果30顆、病果15顆，正常果與病果之比例為2:1。為確保實驗數據之可靠性並降低隨機誤差，首先採用九重複 (Triplicate, $n=9$)實驗設計。針對每一組參數設定均進行九次獨立測試，並以算術平均數(μ)與樣本標準差(s)作為數據之中心趨勢與離散程度代表，其計算方式分別如下，如式(2)所示：

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n - 1}} \tag{2}$$

其中 x_i 代表第 i 次測試之觀測值。在靜態分類效能方面，定義精確率 (Precision)與召回率(Recall)和F1-score作為核心指標；Precision用於衡量模型在判定為正類樣本中之準確程度，而Recall則反映模型對實際正類樣本的檢出能力；透過F1-score綜合評估，以全面衡量自動化篩選系統之分類性能。

(一) 混淆矩陣(Confusion Matrix)

透過比較模型預測與實際標籤，混淆矩陣可視覺化地呈現出模型的預測結果分佈，包含四個主要組成項目：真陽性(True Positive, TP)、假陽性(False Positive, FP)、真陰性(True Negative, TN)與假陰性(False Negative, FN)，如下圖九所示。

	Positive	Negative
Positive	TP (True Positive)	FP (False Positive)
Negative	FN (False Negative)	TN (True Negative)

圖七、混淆矩陣示意圖。
Fig. 7. Schematic Diagram of the Confusion Matrix.

其中：

1. TP(True Positive)：實際為病果，且模型正確辨識為病果。
2. FP(False Positive)：實際無病果，但模型誤判為病果(誤報)。
3. FN(False Negative)：實際有病果，但模型未能成功辨識(漏檢)。
4. TN(True Negative)：實際無病果，且模型正確判定為無病果。

基於混淆矩陣之統計結果，為更全面評估模型之分類效能，本研究進一步採用包含精確率(Precision)與召回率(Recall)及F1-score等指標進行分析，其定義如下所示：

精確率(Precision)：衡量所有被預測為病果樣本中，實際為病果的比例，如式(3)所示。

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

召回率(Recall)：衡量所有實際為病果樣本中，被模型正確辨識出的比例，如式(4)所示。

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

F1 - score :為Precision與Recall的調和平均，用以綜合評估模型在精確率與召回率之整體表現，其計算方式如式(5)所示。

$$F1 = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (5)$$

透過 Precision、Recall 與 F1-score 等指標，可全面評估模型之分類效能。

(二) Tukey HSD事後檢定(Tukey HSD Post-hoc Test)

判別標準：如果計算出的 $P\text{-value} \leq 0.05$ ，則拒絕虛無假設(H_0)，代表至少有兩個模型的表現有顯著統計差異，如式(8)所示。

$$HSD = q_{\alpha, k, v} \sqrt{\frac{MS_W}{n}} \quad (8)$$

(三) 多目標追蹤準確率評估(MOTA Evaluation)

藉此精確區辨不同模型配置間的效能優劣。最後，為評估系統在動態場景下的連續監測能力，本研究導入多目標追蹤準確率(MOTA)。此指標綜

合考量漏檢(FN)、誤報(FP)以及目標編號切換($IDsw_t$)等誤差類型，其數學定義如下，如式(9)所示：

$$MOTA = 1 - \frac{\sum_t (FN_t + FP_t + IDsw_t)}{\sum_t GT_t} \quad (9)$$

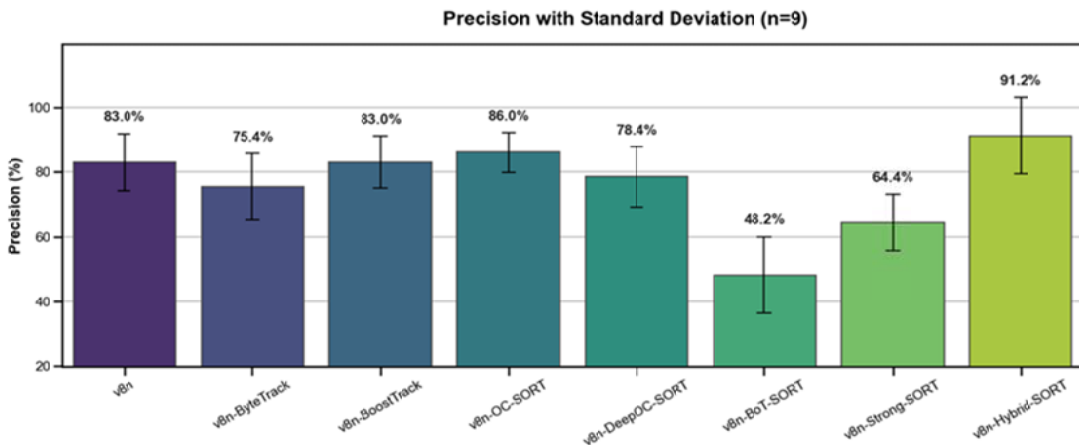
其中 t 為幀數索引，GT為第 t 幀之真實目標總數。MOTA能與前述之Precision、Recall及F1-score互為補充，建構出完整的系統效能評估框架。

結果與討論

本章節旨在分析不同 YOLOv8-Nano(v8n)追蹤演算法配置在動態追蹤的綜合效能。透過分析 $n=9$ 次重複實驗數據，首先以辨識指標精確率(Precision)與召回率(Recall)進行比較後，透過 Tukey HSD 事後檢定分析各模型之統計顯著性差異，最後再以綜合評估指標 F1-score 進行探討。

一、辨識效能分析

根據圖八之實驗結果，v8n-Hybrid-SORT在精確率(Precision)指標上達91.2%，於本次比較的模型中表現最佳。此結果初步顯示，該模型在抑制背景雜訊對匹配機制的干擾上具備潛力，推測將有助於減少百香果病徵之誤報(False Positive, FP)情形。



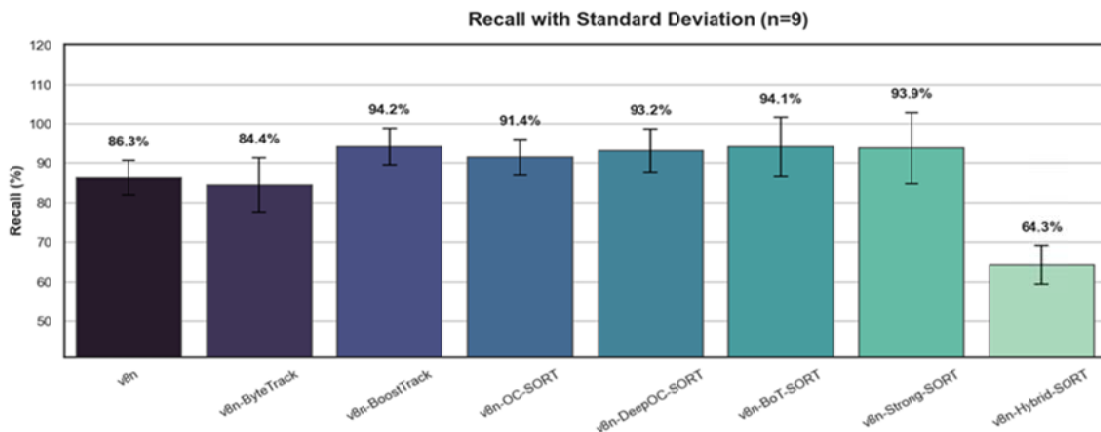
圖八、YOLOv8-Nano 搭配各追蹤演算法配置精確率比較圖。

Fig. 8. Comparison of Average Precision Among YOLOv8-Nano Tracker Configurations.

其次為v8n-OC-SORT(86.0%)與v8n-BoostTrack(83.0%)，兩者亦維持相對穩定之精確率表現，顯示其特徵關聯與目標匹配機制具備良好可靠度。相較之下，v8n-BoT-SORT之平均精確率為48.2%，顯著低於其他模型，代表很多不是病果被判成病果，意指部分背景雜訊或瑕疵目標被錯誤賦予有效ID，導致誤報率增加。

根據圖九之召回率(Recall)結果，各追蹤演算法在避免漏檢能力上呈現差異。v8n-BoostTrack以94.2%之召回率位居首位，其後依序為v8n-BoT-SORT(94.1%)、v8n-Strong-SORT(93.9%)與v8n-DeepOC-SORT(93.2%)，皆維持於高召回率區間。此結果顯示上述模型在動態場景與短暫遮蔽條件下，能有效維持目標持續檢出能力，降低漏檢(False Negative, FN)發生機率。

然而，各模型結合在各追蹤演算法後，精確率與召回率之間呈現不同程度之權衡關係。例如，v8n-Hybrid-SORT之召回率為64.3%，為所有追蹤演算法中最低。此現象可能與其匹配門檻設定較為嚴格有關，使部分真實目標未被納入追蹤範圍。相對地，v8n-OC-SORT 在維持 91.4%召回率的同時，亦未出現精確率下降之情形，顯示其在目標關聯與匹配策略上取得較為均衡的表現。



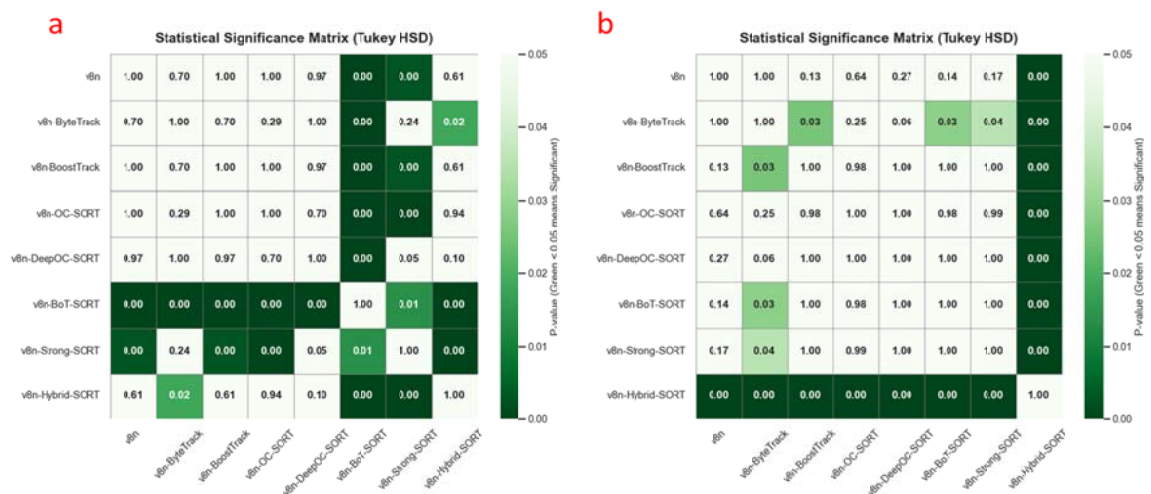
圖九、YOLOv8-Nano 搭配各追蹤演算法配置召回率比較圖。

Fig. 9. Comparison of Average Recall Among YOLOv8-Nano Tracker Configurations.

二、Tukey HSD (Honestly Significant Difference)分析

在前述辨識效能評估中所觀察到之數據落差，本研究進一步採用Tukey HSD進行成對比較，並透過顯著性矩陣視覺化各追蹤演算法之間的統計距離，其中 $P \leq 0.05$

之深綠色區塊代表模型間存在顯著差異，而 $P > 0.05$ 之淺色或白色區塊則表示無顯著差異。



圖十、YOLOv8-Nano 搭配不同追蹤演算法於(a)精確率(b)召回率之 Tukey HSD 比較結果。

Fig. 10. Tukey HSD significance matrices for (a) precision and (b) recall among tracking algorithms.

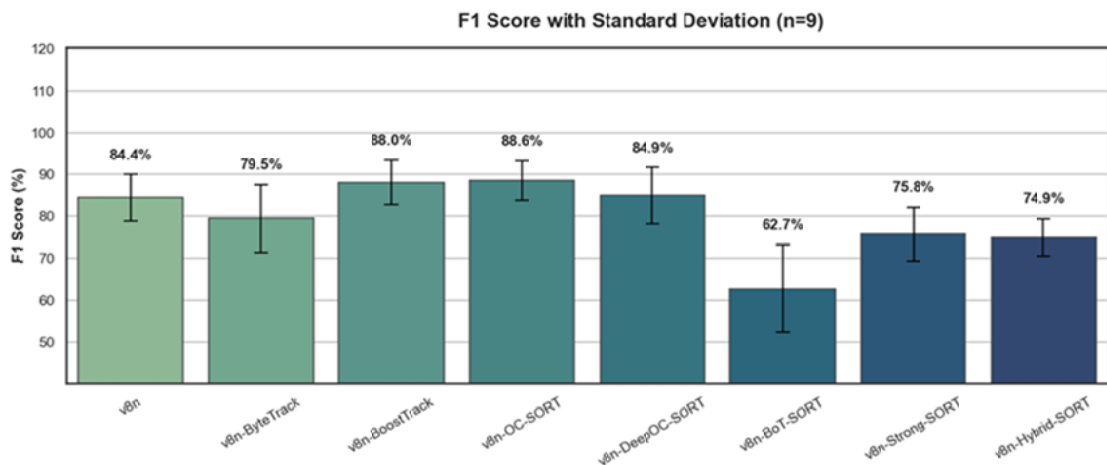
從圖十(a)之精確率顯著性矩陣可觀察到，表現相對較低的v8n-BoT-SORT及v8n-Strong-SORT，比較多數模型之 P 值皆小於0.05(深綠色區塊)，顯示其精確率顯著低於其他演算法。此結果反映該類模型在抑制誤報方面之穩定性較不足，於複雜背景或特徵干擾情境下較易產生錯誤辨識。相對而言，精確率表現較佳之模型(如v8n-Hybrid-SORT、v8n-OC-SORT與v8n-BoostTrack)彼此間之 P 值皆大於0.05(如v8n-Hybrid-SORT與v8n-OC-SORT之比較 $P = 0.94$)，顯示其精確率於統計上並無顯著差異，可歸屬於同一表現。另一方面，在圖十(b)之召回率顯著性矩陣中，數據呈現不同之分布趨勢。v8n-Hybrid-SORT與其他所有模型之比較 P 值皆小於0.05，顯示其召回率顯著低於其餘模型，反映該模型於持續追蹤目標與避免漏檢方面存在明顯不足。相對地，召回率表現優異之模型(包括v8n-BoostTrack、v8n-OC-SORT及v8n-DeepOC-SORT等)彼此間之 P 值皆大於0.05，顯示其在目標捕捉能力上具備統計上的等效性與高度一致性。

綜合兩項指標之Tukey HSD檢定結果可知，部分模型(如Hybrid-SORT、BoT-

SORT)雖於單一評估指標上展現相對優勢，但同時伴隨另一指標之顯著劣勢，顯示其整體效能存在權衡現象。相較之下，v8n-OC-SORT與v8n-BoostTrack在精確率與召回率之統計檢定中皆維持於無顯著差異之領先群組內，顯示其於雙指標間具備較佳之平衡性與整體穩定度。

三、F1-score分析

由圖十一結果顯示，在整合不同追蹤演算法後，各模型於F1-score表現上存在差異。其中 v8n-OC-SORT之F1-score為88.6%，為所有方法中表現最佳，顯示其有多目標追蹤過程中能有效維持目標識別與追蹤的穩定性。其次為v8n-BoostTrack (88.0%)與v8n-DeepOC-SORT(84.9%)。相較之下，v8n-BoT-SORT之F1-score僅為62.7%，為所有追蹤演算法中最低，且其標準差相對較大，顯示在不同測試情境下表現較不穩定。而v8n-ByteTrack(79.5%)、v8n-StrongSORT(75.8%)及v8n-HybridSORT (74.9%)則屬於中等表現，綜合上述分析結果可知，v8n-OC-SORT與v8n-BoostTrack在精確率與召回率之平衡表現上，具有較佳表現。



圖十一、YOLOv8-Nano 搭配不同追蹤演算法之 F1-score 比較。

Fig. 11. Average F1 Score of YOLOv8-Nano with Various Tracking Algorithms.

四、多目標追蹤效能指標之分析

針對v8n-OC-SORT與v8n-BoostTrack兩種多目標追蹤演算法進行量化評估，實驗結果如表四、表五所示。在表四中，IDF1為衡量追蹤穩定性與身份一致性之指標，

其值v8n-OC-SORT高達92.3%，相較v8n-BoostTrack之59.4%，兩者相差約3成。其表明v8n-OC-SORT在處理目標遮擋或交互運動時，能夠極有效地維持同一目標的ID，大幅減少身份切換(ID Switch)的錯誤。此外，從識別精確率(IDP)與識別召回率(IDR)來看，v8n-OC-SORT分別達到96%與88.9%，均顯著優於v8n-BoostTrack，顯示出該模型在特徵提取與關聯匹配上的穩定性。

在軌跡完整性的表現上，v8n-OC-SORT同樣表現出色。數據顯示，v8n-OC-SORT將絕大多數的目標歸類為多數被追蹤(Mostly Tracked, MT)，數量達到52個，且僅有2個目標被歸類為多數丟失(Mostly Lost, ML)。相比之下，v8n-BoostTrack的MT僅為31個，且ML高達7個，說明BoostTrack在長時間追蹤過程中容易發生軌跡斷裂或丟失目標的情況。綜合RcII與Prcn的高水準表現，v8n-OC-SORT在偵測覆蓋率與追蹤連續性上均優於v8n-BoostTrack，更適合應用於對漏檢率與身份錯誤敏感的場景。

表四、多目標追蹤各項指標分析-1

Table 4. Comparison of Multi-Object Tracking Accuracy

Model	IDF1 (%) ¹	IDP (%) ²	IDR (%) ³	RcII (%) ⁴	Prcn (%) ⁵	GT ⁶	MT ⁷	PT ⁸	ML ⁹
v8n-OC-SORT	92.3	96	88.9	89.0	96.2	67	52	13	2
v8n-BoostTrack	59.4	71.4	50.9	66.5	93.4	86	31	48	7

¹IDF1 (Identification F1-score): the F1-score for identity recognition.

²IDP (Identification Precision): the precision of identity recognition.

³IDR (Identification Recall): the recall of identity recognition.

⁴RcII (Recall): the recall rate.

⁵Prcn (Precision): the precision rate.

⁶GT (Ground Truth): the total number of ground-truth trajectories.

⁷MT (Mostly Tracked): the number of trajectories that are mostly tracked.

⁸PT (Partially Tracked): the number of trajectories that are partially tracked.

⁹ML (Mostly Lost): the number of trajectories that are mostly lost.

在表五中，MOTA為多目標追蹤綜合整體之指標，其值v8n-OC-SORT達85.4%，優於v8n-BoostTrack之58.8%。另細究誤檢數(FP)、漏檢數(FN)與身份切換數(IDs)三項指標，兩者性能差異主要來自FN與IDs。v8n-BoostTrack的漏檢數(FN)高達1278，約為v8n-OC-SORT的2.6倍，顯示其在追蹤過程中較易發生目標遺失，進而導致追蹤中斷。進一步由目標身份轉移(IDt)、目標身份新增(IDa)與目標身份遺失(IDm)等指標觀察可知，v8n-BoostTrack在IDt與IDa上皆高於v8n-OC-SORT，且亦發生身份遺失(IDm)，反映其在目標身份管理上的不穩定性。在身份切換數(IDs)方面，

v8n-OC-SORT 僅發生7次，顯著低於v8n-BoostTrack之117次，顯示其在多目標情境下仍能維持穩定的目標身份對應關係。此外，在軌跡連續性方面，v8n-OC-SORT的軌跡碎片數(FM)為81，顯著低於v8n-BoostTrack之211，顯示其追蹤軌跡具有穩定且連續性。至於定位精度(MOTP)方面，v8n-BoostTrack略優於v8n-OC-SORT，顯示其在目標位置估計上具有較高精度。整體而言，v8n-OC-SORT在降低漏檢、抑制身份切換及維持軌跡完整性方面均具優勢，整體追蹤效為最具代表性的。

表五、多目標追蹤各項指標分析-2

Table 5. Comparison of Multi-Object Tracking Accuracy

Model	FP ¹	FN ²	IDs ³	FM ⁴	MOTA(%) ⁵	MOTP ⁶	IDt ⁷	IDa ⁸	Idm ⁹
v8n-OC-SORT	81	408	7	81	85.4	0.003	0	4	0
v8n-BoostTrack	179	1278	117	211	58.8	0.001	10	85	1

¹FP (False Positives): the number of false detections.

²FN (False Negatives): the number of missed detections.

³IDs (Identity Switches): the number of identity switches.

⁴FM (Fragmentations): the number of trajectory fragmentations.

⁵MOTA (Multiple Object Tracking Accuracy): the accuracy of multi-object tracking.

⁶MOTP (Multiple Object Tracking Precision): the precision of multi-object tracking.

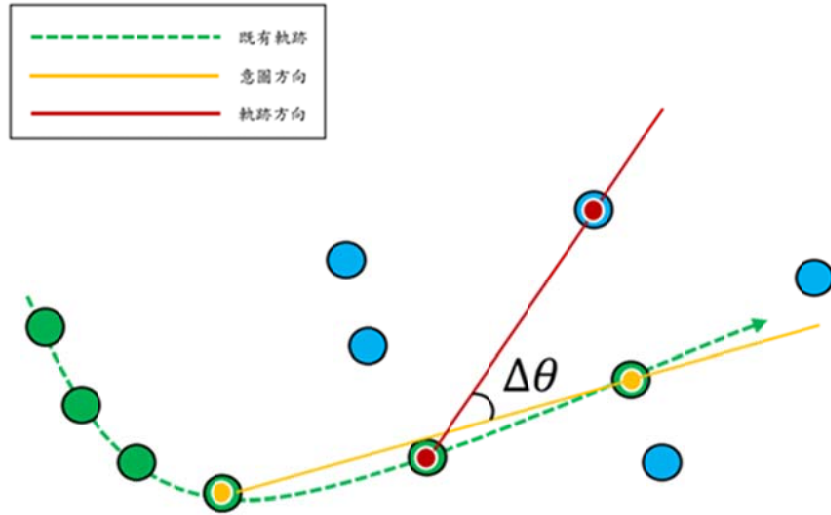
⁷IDt (Identity Transfers): the number of identity transfers.

⁸IDa (Identity Additions): the number of identity additions.

⁹IDm (Identity Misses): the number of identity losses.

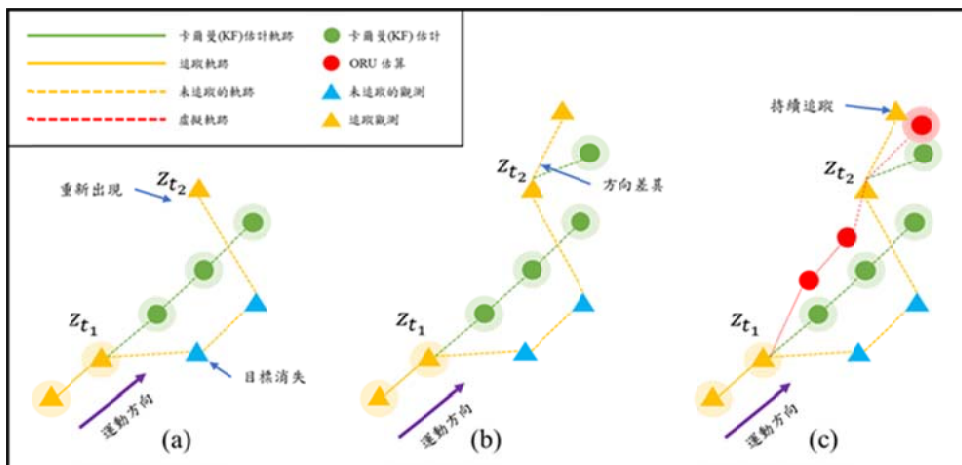
OC-SORT演算法主要在保留SORT高速架構的優勢下，引入2項關鍵技術以克服傳統濾波器的局限性(Mei *et al.*, 2023)。首先，針對百香果受影像光線遮擋等情況所造成的軌跡漂移，演算法利用以觀測修正預測(Observation-Centric Re-Update, ORU)機制，採取虛擬軌跡(Virtual Trajectory)策略來回溯並修正預測誤差，如圖十二所示。

其次，針對百香果在分級機上受到震動或輕微相機誤差產生的非線性運動，則引入以觀測為中心的動量(Observation-Centric Momentum, OCM)，將動量方向的一致性納入ID連貫性計算，如圖十三所示。上述機制使其能有效應對高速移動場景中的複雜變因，並在百香果於分級機上因震動或輕微干擾所產生的非線性運動情境下，精準修正卡爾曼濾波的預測誤差，進而提升單一ID連貫性的穩定，成為兼顧運算速度與追蹤穩定性的最佳選擇。



圖十二、OCM 模型中運動方向偏差之計算示意圖。

Fig. 12. Schematic diagram of movement direction deviation calculation in OCM model.



圖十三、(a)軌跡在 t_1 遺失後於 t_2 與 z_{t_2} 重新連貫。(b)無 ORU：即使 KF 獲得更新，但運動方向仍有偏差，導致後續與偵測值失配(藍色)。(c)有 ORU：透過更新速度修正運動方向，使估計值(紅色)貼近真實觀測，實現穩定追蹤。

Fig. 13. (a) Track re-association after loss; (b) Without ORU: Movement direction remains despite KF update, leading to subsequent mismatch with detection (blue); (c) With ORU: Correcting movement direction by updating velocity, aligning estimation (red) with actual observation to achieve stable tracking.

結論與建議

本研究針對百香果病徵即時偵測與自動化篩選系統，整合YOLOv8目標偵測模型與多種多目標追蹤演算法進行量化評估。在精確率(Precision)方面，v8n-BoT-SORT表現最為低迷(僅48.2%)，其原因為追蹤機制易產生過度匹配(Over-matching)，無法有效過濾背景雜訊，進而造成大量誤報；相對地，v8n-Hybrid-SORT雖以嚴苛的匹配門檻取得高精確率(91.2%)，卻在召回率(Recall)上只有64.3%，說明其容易在目標遭遇搖晃或遭短暫遮蔽時發生漏檢，且透過Tukey HSD檢定，v8n-BoT-SORT在精確率，以及v8n-Hybrid-SORT在召回率皆與其他模型具備顯著差異($P < 0.05$)，確切表明此二款演算法因各自機制缺陷，無法在複雜影像中維持辨識穩定度。而在綜合評估指標(F1-score)上，v8n-OC-SORT與v8n-BoostTrack表現較為突出，故針對此兩種顯算法進行進一步之比較。因此在多目標追蹤效能指標分析方面，v8n-OC-SORT則展現了決定性的優勢，其多目標追蹤準確率(MOTA)高達85.4%，高於v8n-BoostTrack之58.8%。v8n-BoostTrack在此階段的表現落差，主因在於高達1278次的漏檢(FN)導致軌跡頻繁斷裂，更為關鍵的是，在衡量身份一致性IDF1指標上，v8n-OC-SORT達到92.3%，且全測試序列僅發生 7次身份切換(IDs)。綜合各項指標結果可知，v8n-OC-SORT在追蹤穩定性與身份一致性方面皆展現出最佳整體表現，透過此方法實現高精確度、低重複計數率的自動化辨識，為百香果提供精準辨識的解決方案。

致 謝

本研究承蒙農業部科技計畫項下補助經費，感謝中興大學生物產業機電工程學系蔡耀全教授、勤益科技大學電機工程系簡伯霖教授斧正，以及農機研究室茆聰銘、劉志聰、李安心及賴碧琴同仁鼎力配合協助，方得以順利完成，謹此一併誌謝。

參考文獻

1. Aharon, N., Orfaig, R. and Bobrovsky, B. Z. 2022. BoT-SORT: Robust associations multi-pedestrian tracking. arXiv preprint arXiv:2206.14651.
2. Bewley, A., Ge, Z., Ott, L., Ramos, F. and Upcroft, B. 2016. Simple online tracking. 2016 IEEE international conference on image processing (ICIP).
3. Cao, J., Pang, J., Weng, X., Khirodkar, R. and Kitani, K. 2023. Observation Rethinking sort for robust multi-object tracking. Proceedings of the conference on computer vision and pattern recognition.
4. Chen, Y., An, X., Gao, S., Li, S. and Kang, H. 2021. A Deep Learning-F System Combining Detection and Tracking for Fast On-Line Citrus Sorti Research]. *Frontiers in Plant Science*, Volume 12-2021.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.622062>
5. Dong, Z., Long, W., Yang, F., Yu, C., Du, J., Wang, K. and Lyu, L. 2025. Fruit detectio and yield estimation in *Camellia oleifera* based on improved YOLOv8 and ByteTrack algorithm. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101435.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101435>
6. Du, P., Chen, S., Li, X., Hu, W., Lan, N., Lei, X. and Xiang, Y. 2024. Green pepper fruits counting based on improved DeepSort and optimized Yolov5s [Original Research]. *Frontiers in Plant Science*, Volume 15 - 2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1417682>
7. Du, Y., Zhao, Z., Song, Y., Zhao, Y., Su, F., Gong, T. and Meng, H. 2023. Strongsort: Make deepsort great again. *IEEE Transactions on Multimedia*, 25, 8725-8737.
8. Maggolino, G., Ahmad, A., Cao, J. and Kitani, K. 2023. Deep oc-sort: Multi-pedestrian tracking by adaptive re-identification. 2023 IEEE International conference on image processing (ICIP).
9. Mei, Y., Shen, Y., Zhu, Y. and Huang, L. 2018. STEP: A Distributed Multi-threading Framework Towards Efficient Data Analytics. arXiv preprint arXiv:1812.04971.
10. Stanojevic, V. D. and Todorovic, B. T. 2024. BoostTrack: Boosting the similarity measure and detection confidence for improved multiple object tracking. *Machine Vision and Applications*, 35(3), 53.

11. Tan, S., Kuang, Z. and Jin, B. 2025. AppleYOLO: Apple yield estimation method using improved YOLOv8 based on Deep OC-SORT. *Expert Systems with Applications*, 272, 126764. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.126764>
12. Tu, S., Huang, Y., Huang, Q., Liu, H., Cai, Y. and Lei, H. 2025. Estimation of passion fruit yield based on YOLOv8n + OC-SORT + CRCM algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 229, 109727. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109727>
13. Wu, N., Wu, J., Wang, Z., Zhao, Y., Xu, X., Wang, Y., Skobelev, P. and Mi, Y. 2025. Maturity detection and counting of blueberries in real orchards using a novel STF-YOLO model integrated with ByteTrack algorithm [Original Research]. *Frontiers in Plant Science*, Volume 16 - 2025. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1682024>
14. Yang, F., Zhang, X. and Liu, B. 2022. Video object tracking based on YOLOv7 and DeepSORT. *arXiv preprint arXiv:2207.12202*.
15. Yang, M., Han, G., Yan, B., Zhang, W., Qi, J., Lu, H. and Wang, D. 2024. Hybrid-sort: Weak cues matter for online multi-object tracking. *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence*.
16. Zhang, H. and Wang, N. 2016. On the stability of video detection and tracking. *arXiv preprint arXiv:1611.06467*.
17. Zhang, Y., Sun, P., Jiang, Y., Yu, D., Weng, F., Yuan, Z., Luo, P., Liu, W. and Wang, X. 2022. Bytetrack: Multi-object tracking by associating every detection box. *European conference on computer vision*.

Development of an automated passion fruit grading system integrating deep learning and multi-object tracking technologies¹

Hsin-Chang Chen², Yu-Chen Hung^{2*}, Chin-Yuan Chang²
and Chia-Wei Chang²

ABSTRACT

This study develops a "Real-time Passion Fruit Disease Detection and Automated Sorting System" integrating image recognition and electromechanical control. To resolve detection instability and missed detections caused by high computational loads during high-speed YOLO recognition, multi-object tracking (MOT) was introduced to optimize localization. A two-stage evaluation compared a standalone YOLOv8-Nano (v8n) model against v8n paired with seven tracking algorithms (ByteTrack, BoT-SORT, OC-SORT, DeepOC-SORT, Strong-SORT, BoostTrack, and Hybrid-SORT). The first stage evaluated recognition performance (Precision, Recall, and F1-score) to assess statistical significance and system stability, while the second stage assessed overall algorithm performance using MOT metrics. Results showed v8n-OC-SORT and v8n-BoostTrack achieved the best recognition balance, leading with F1-scores of 88.6% and 88.0%, respectively. However, v8n-OC-SORT significantly outperformed in MOT metrics, achieving a Multi-Object Tracking Accuracy (MOTA) of 85.4%, compared to only 58.8% for v8n-BoostTrack. Furthermore, its tracking stability (IDF1) reached 92.3% with only 7 Identity Switches (IDs). Consequently, v8n-OC-SORT effectively overcomes target occlusion and identity confusion, ensuring highly reliable and stable automated culling of diseased passion fruits in complex environments.

Key words: passion fruit, image recognition, deep learning, tracking algorithm

¹ Contribution No.1123 from Taichung DARES, MOA.

² Project Assistant, Assistant Researcher, Associate Researcher and Assistant Researcher of Taichung DARES, MOA.

*Corresponding Author: Yu-Chen Hung, Email: ychung@tcdares.gov.tw

葡萄銹病夏孢子發芽之影響因子與殺菌劑抑制效果評估¹

何湧峰²、許晴情^{2*}

摘 要

葡萄銹病(Grapevine rust)常導致植株提早落葉，嚴重影響果實品質及來年產量。由於化學防治仍是目前主要的管理手段，本研究旨在優化環境因子(光暗時序、溫度、產孢起始後天數與瓊脂來源)，建立穩定之葡萄銹病菌(*Neophysopella meliosmae-myrianthae*)藥劑評估平臺。實驗結果顯示，夏孢子於溫度 28℃ 搭配先黑暗 12 hr 後光照 12 hr 之光暗時序(12 hr D/L)處理下，發芽率可達 75.0%，顯著高於連續黑暗處理。在孢子活性方面，以產孢起始後第 1-2 天之新鮮孢子發芽活性最強，另使用高級洋菜粉製備之培養基表現優於 Bacto Agar。進一步透過離體葉片圓盤接種試驗發現，雖然孢子發芽最適溫為 28℃，但病斑發展則以 22℃ 最為穩定；在藥劑感受性試驗中，四氯異苯腈、克熱淨、護汰芬、得克利、百克敏、鋅錳乃浦及改良式硫黃等參試藥劑能 100.0% 抑制孢子發芽。在葉片圓盤防治效果評估中，四氯異苯腈、克熱淨、護汰芬、三泰隆、菲克利、百克敏及改良式硫黃展現極佳防護效果，抑制率均達 100.0%。本研究釐清了葡萄銹病感染初期的關鍵環境參數，並完成多種化學與友善防治資材藥劑感受性評估，其結果可作為田間防治策略更具科學性之依據。

關鍵字：葡萄銹病、葡萄銹病菌、夏孢子發芽、殺菌劑、葉片圓盤接種法

前 言

葡萄(*Vitis* spp.)為葡萄科(Vitaceae)的溫帶果樹，是臺灣重要的果樹作物之一。根據 113 年農情調查統計(https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp)，總栽培面積達 2,278 ha、總生產量為 60,771 ton，年產值為 44 億元。中部地區為主要臺灣鮮食葡萄生產地，其中臺中、彰化及南投這三個縣市種植的葡萄面積即占全臺約八成。

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1124 號。

² 農業部臺中區農業改良場計畫助理、助理研究員。

*通訊作者：許晴情，Email: hsuching@tcdares.gov.tw

臺灣屬亞熱帶氣候，平均溫度較高，配合修剪催芽技術，可發展一年二收，分別為夏果(6-8月)及冬果(12-1月)，或採一年一收秋果(9-11月)生產模式(葉，2021)，致此，使得葡萄在栽培期間容易發生許多病害。包含白粉病、露菌病、銹病、晚腐病、房枯病、白腐病、苦腐病、灰斑病、灰黴病、黑痘病、葉斑病、褐斑病、白絹病、枝枯病、褐根病、白紋羽病、線蟲及病毒等病害(黃，2004；賴，2006)。在眾多的葡萄病害中，葡萄銹病為常見的葉部病害之一。本病原菌在分類學上經歷多次變動：早期常被鑑定為 *Phakopsora ampelopsidis*，後經 Ono(2000)重新鑑定為 *Ph. euvitis*。然而，最新的分子系統發育學研究(Ji *et al.*, 2019)指出，葡萄銹病與大豆銹病(*Ph. pachyrhizi*)親緣關係遙遠，應獨立為新屬 *Neophysopella*，而 *Ph. euvitis* 則被視為 *Neophysopella meliosmae-myrianthae* (Henn. & Shirai) Jing X. Ji and Kakish. 之異名。根據針對東亞地區的族群遺傳鑑定，來自臺灣臺中(樣本編號 IBAR 10240)的病原菌已被證實屬於 *N. meliosmae-myrianthae* 支系(異名：*Phakopsora meliosmae-myrianthae*)(Pota *et al.*, 2015；Ono *et al.*, 2020)。該菌在東亞地區廣泛感染「Kyoho 巨峰」等商業栽培品種，是造成商業葡萄園葉部病害的主要原因(Okane *et al.*, 2025)。葡萄銹病於葡萄生育後期發生，於6月後及10-12月間發生較多，主要為害成熟葉，發病初期於葉表形成黃色斑點，葉背則呈現多數小突起，隨後破裂出現橘黃色粉狀夏孢子堆，藉風傳播，是銹病最重要的傳播感染源(余與楊，2010)。近期研究顯示，銹病造成的傷害遠超其病斑本身，包括光合作用效率下降、改變葉內碳水化合物代謝、根部儲糖減少，造成葡萄植株的整體生長力下降，進而影響次年萌芽及果穗形成，顯示銹病對葡萄植株的影響，並非僅是當季的產量減低，反而可能是慢性、系統性的影響(Nogueira Júnior *et al.*, 2017)。

孢子發芽為感染初期的關鍵步驟，並受環境因子調控，包括溫度、相對濕度及光照條件(Tapsoba & Wilson, 1997；Mueller & Buck, 2003)。早期研究已針對 *N. meliosmae-myrianthae*(文中標註為 *Ph. ampelopsidis*)在不同溫度梯度、光質處理(不同光質、連續光照或連續黑暗)及濕度對夏孢子發芽率的影響，結果顯示最適發芽條件約為 24°C，且在完全黑暗下發芽率最高(呂與吳，1983)。

然而本研究前期試驗發現，即便採用文獻建議的最佳條件，夏孢子發芽表現仍不穩定，難以作為藥劑感受性之基準。此差異顯示實驗系統存在環境變異，可能為溫度及光照以外的未知因子干擾孢子發芽，值得進一步探討。因此，本研究除重新檢視光照處理模式及溫度梯度外，亦將產孢起始後天數(反映不同孢子日齡之生理活性)及不同來源的水瓊脂培養基納入評估，作為試驗因子，以釐清其對夏孢子發芽率可能造成的影響，並建立穩定的體外發芽條件。

在建立穩定的發芽試驗條件後，考量到葡萄銹病菌為絕對寄生性真菌(Biotrophic fungus)，單純的離體水瓊脂培養(In vitro)難以評估其在寄主組織上建立感染的真實情況。此外，傳統的田間或溫室植株藥效試驗，除耗時外成本亦高，其發病情況更易受不同栽培系統所產生的微氣候差異影響(Naruzawa *et al.*, 2006)。為此，本研究除了優化體外發芽條件外，進一步利用葡萄葉片圓盤接種法(Leaf disc assay)，建立一套兼具生物代表性且環境受控的藥劑感受性評估系統。同時針對現行之銹病防治藥劑進行抑制效果評估，並擴大藥劑感受性評估範疇，納入數種已登記於葡萄其他病害之常用藥劑，旨在評估其對 *N. meliosmae-myrianthae* 夏孢子之生理活性與抑制表現，以期對葡萄產業常用藥劑之抑菌譜有更全面的瞭解。

材料與方法

一、葡萄銹病夏孢子接種源之製備

葡萄銹病菌(*N. meliosmae-myrianthae*)夏孢子接種源取自臺中區農業改良場(彰化縣大村鄉)果園內葡萄‘巨峰’(*Vitis vinifera* × *V. labrusca* 'Kyoho')的罹病成熟葉片。為進行離體增菌，採集健康無病斑之成熟葉片，修剪後以葉背朝上置於鋪有濕潤濾紙之 9 cm 培養皿中。使用毛筆輕刷受 *N. meliosmae-myrianthae* 感染葉片以取得夏孢子，再均勻塗佈於健康葉片的葉背表面，置於 22-24℃ 生長箱培養。經觀測其潛伏期(Latent period)約為 9 天，於葉背可觀察到橘黃色夏孢子堆形成，作為後續試驗之接種源。

二、影響夏孢子發芽之因子評估

本研究評估光暗時序、溫度、產孢起始後天數與瓊脂來源對夏孢子發芽之影響。試驗參考黃等(2002)之試驗方法，以吹佈方式將夏孢子均勻散佈於 2%水瓊脂(water agar, WA)平板表面，培養 24 hr 後利用光學顯微鏡(Leica DM750, Leica Microsystems, Wetzlar, Germany)記錄發芽率。夏孢子發芽之判定標準定義為發芽管長度大於或等於孢子之直徑。各發芽試驗中，每一重複均以 100 顆夏孢子計算其發芽率，各試驗之重複數依試驗類型而有所不同，詳述如下。

(一)光暗時序處理對夏孢子發芽率之影響

接種後的 2% WA (光惠貿易有限公司)平板置於 24℃、相對濕度 90%之生長箱中進行培養。試驗分為全黑暗處理組(D)與光暗時序處理組(12D: 12L)。全黑暗組以鋁箔紙完全包覆培養皿以達遮光效果。為確保各處理間之初始生理條件一致，所有平板於培養初期均先置於黑暗環境 12 hr，隨後 12D:12L 組依序轉入光照環境 12 hr。培養共

24 hr 後記錄夏孢子發芽率，本試驗每一處理設 4 個重複。

(二)不同溫度處理對夏孢子發芽率之影響

為評估溫度對夏孢子發芽之調控，接種後的 2% WA(光惠貿易有限公司)平板置於具備梯度溫度設定之生長箱中。光照模式統一設定為先黑暗 12 hr 後光照 12 hr 之光暗時序(12D: 12L)，測試分別為溫度為 16°C、20°C、24°C、28°C 及 32°C。培養 24 hr 後記錄發芽率，本試驗中，每一溫度處理 8 個重複。

(三)產孢起始後天數對夏孢子發芽率之影響

為瞭解夏孢子於病斑上自然累積時間(即孢子日齡，Spore age)對其發芽活力之影響，本實驗於 22-24°C 條件下進行。經觀測其潛伏期(Latent period)平均為 9 天，故自接種後第 9 天開始，分別依據產孢起始後天數 1、2、3、4 天進行夏孢子收集(對應總天數第 9 至 12 天)進行發芽試驗。收集前不預先刷除葉片上既有之孢子，以獲取於病斑表面自然累積之混合日齡夏孢子群體。所得之夏孢子吹佈於 2% WA(光惠貿易有限公司)平板，置於 28°C、相對濕度 90%及先黑暗 12 hr 後光照 12 hr 之光暗時序(12D:12L)條件下培養 24 hr，並記錄發芽率。本試驗中，每一處理設有 4 個重複。

(四)不同瓊脂來源對夏孢子之發芽率之影響

本研究選用兩種不同純化等級之瓊脂材料。其一為實驗級瓊脂 Bacto Agar (Difco, BD, Sparks, MD, USA)，屬細菌學等級(bacteriological grade)，依據其技術手冊 Difco™ & BBL™ Manual 所述，該產品經過嚴格純化，使外來物質、色素及鹽類含量降至最低，並降低鐵、銅等有害金屬離子含量，同時相對缺乏可被微生物利用之礦物質與化合物。其二為高級洋菜粉(Premium Agar Powder；原產地：智利；光惠貿易有限公司，臺中市，臺灣)，屬食品級(food-grade)規格，其純化程度相較實驗級瓊脂較低。兩者皆製備 2% WA 平板。接種後將平板置於 28°C、相對濕度 90%及先黑暗 12 hr 後光照 12 hr 光暗時序(12D:12L)之生長箱中培養 24 hr，並記錄發芽率，本試驗中，每一瓊脂來源處理 8 個重複。

三、藥劑抑制效果測試

(一)體外試驗 (In vitro)

1.殺菌劑對夏孢子發芽之影響

供試的殺菌劑及其配置之稀釋倍率如表一所列，包含氟殺克敏(Fluxapyroxad + Pyraclostrobin；臺灣巴斯夫股份有限公司)、三氟敏(Trifloxystrobin；臺灣拜耳股份有限公司)、四氯異苯腈(Chlorothalonil；安旺特股份有限公司)、貝芬普寧

(Carbendazim + Mepronil；臺灣庵原農藥股份有限公司)、克熱淨(Iminoctadine triacetate；億豐農化廠股份有限公司)、護汰芬(Flutriafol；臺灣富美實有限公司)、賽福座(Triflumizole；日本曹達株式會社)、三泰隆(Triadimenol；聯利農業科技股份有限公司)、菲克利(Hexaconazole；高事達農化有限公司)、白列克敏(Pyraclostrobin + Boscalid；臺灣巴斯夫股份有限公司)、得克利(Tebuconazole；臺灣拜耳股份有限公司)、亞托敏(Azoxystrobin；臺灣先正達股份有限公司)、百克敏(Pyraclostrobin；臺灣巴斯夫股份有限公司)、鋅錳乃浦(Mancozeb；臺灣道禮股份有限公司)、貝芬替(Carbendazim；聯利農業科技股份有限公司)及改良式硫黃(Sulfur；臺中區農業改良場)，共 16 種。配置含前述藥劑之 2% WA (Bacto Agar) 平板，並以無添加藥劑者作為對照組。將銹病夏孢子吹佈於平板上，隨即置於 28°C 定溫箱、先黑暗 12 hr 後光照 12 hr 光暗時序(12D:12L)光暗時序中培養 24 hr 後，觀察孢子發芽的情形，並計算孢子發芽率(%)。處理組再與對照組比較，換算成孢子發芽抑制率(conidiospore germination inhibition rate, %)。計算孢子發芽抑制率(%) = [(對照組孢子發芽率 - 不同藥劑處理所得之孢子發芽率) / (對照組孢子發芽率)] × 100。每一藥劑處理 12 個重複。

(二)離體葉片圓盤試驗(Ex vivo / Detached leaf disc assay)

1. 葡萄葉片圓盤製備與接種操作流程

本研究採用葉片圓盤接種法，參考黃等(2002)之方法並予以修改：選取葡萄「巨峰」頂端算起第 5-6 片完全展開葉，葉片以自來水洗淨後，浸泡於含 1% 次氯酸鈉(NaOCl)並添加 Tween-20(數滴)的消毒液中進行表面消毒 30 s，隨後以無菌水漂洗兩次，並以滅菌衛生紙吸乾表面水分。使用經高溫滅菌之金屬打孔器取直徑 1.4 cm 之葉圓盤，將葉片背面朝上置於鋪有濕潤濾紙之塑膠培養皿(直徑 9 cm)中備用。接種方式採吹落分生孢子法，並參考前人於接種環境放置水瓊脂塊之定量技術，於葉圓盤旁放置 1 cm² 水瓊脂塊以估算單位面積之孢子密度，控制接種量約為 1,000 conidia/cm²。

2. 葉圓盤接種之最適溫度篩選

為確立葡萄銹病穩定發病條件，比較 22°C 與 28°C 對病斑面積擴展之影響。接種後之葉圓盤維持 12D:12L 光暗時序與相對濕度 90-95% 持續培養。於第 12 天以數位相機記錄發病情形，並使用 ImageJ 軟體(National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA; Schneider *et al.*, 2012)分析病斑面積，每一溫度處理設 10 個重複。

3.藥劑對離體(Ex vivo)葉片圓盤接種銹病菌之防護效力

製備完成的葉片圓盤分別浸泡於不同藥劑溶液(表一)中 30 s，對照組則以無菌水處理。處理後之葉片圓盤置於 22℃ 黑暗條件下避光培養約 24 hr，以利藥劑吸收。藥劑處理 24 hr 後，再以吹佈接種後，將葉片圓盤置於 22℃、光週期為(12D:12L)之培養箱中培養。培養 10 d 後，以數位相機記錄葉片圓盤發病情形，並使用 ImageJ 軟體分析病斑面積，並轉換成藥劑抑制率。藥劑抑制率(Inhibition rate, %)依下列公式計算：藥劑抑制率(%) = [(對照組發病面積－不同藥劑處理所得之發病面積) / (對照組發病面積)] × 100。每一藥劑處理 6 個葉片圓盤重複。

表一、本研究使用之殺菌劑種類

Table 1. The list of fungicides used in this study

Fungicide	Formulation Type ¹	Dilution	FRAC Code ²	Chemical Group
25% Fluxapyroxad + 25% Pyraclostrobin	SC	6,000	C3+C2	QoI + SDHI
50% Trifloxystrobin	WG	6,000	C3	QoI
75% Chlorothalonil	WP	600	M5	Chloronitrile
20% Carbendazim + 55% Mepronil	WP	1,500	B1+C2	MBC + SDHI
25% Iminoctadine triacetate	SL	800	M7	Guanidine
11.8% Flutriafol	SC	2,000	G1	DMI (Triazole)
30% Triflumizole	WP	3,000	G1	DMI (Imidazole)
23% Triadimenol	DC	5,500	G1	DMI (Triazole)
10% Hexaconazole	EC	6,000	G1	DMI (Triazole)
12.78% Pyraclostrobin + 25.2 % Boscalid	WG	1,200	C3+C2	QoI + SDHI
25.9% Tebuconazole	EW	1,500	G1	DMI (Triazole)
25% Azoxystrobin	SC	2,000	C3	QoI
23.6% Pyraclostrobin	EC	3,000	C3	QoI
33% Mancozeb	SC	600	M3	Dithiocarbamate
41.7% Carbendazim	SC	2,000	B1	MBC
18% Sulfur	SL	500	M2	Sulfur

¹ SC: suspension concentrate; WG: water dispersible granules; WP: wettable powder; SL: soluble concentrate; DC: dispersible concentrate; EC: emulsifiable concentrate; EW: emulsion, oil in water.

² FRAC, Fungicide Resistance Action Committee.

四、統計分析

本研究使用楊(2022)所開發的 R 的完全隨機設計(completely randomized design, CRD)函數，進行單因子完全隨機設計分析(CRD)，若處理差異顯著，則使用最小顯著性差異測驗(least significant difference, LSD)比較處理間差異是否已達到 5%之顯著性 ($P < 0.05$)，以及圖表繪製與部分資料整理則使用 EXCEL 2016 軟體進行統計及繪圖。

結 果

一、影響夏孢子發芽之因子

(一)光暗時序處理

將戶外採集之新鮮銹病夏孢子接種於 2%水瓊脂(WA)後，以鋁箔紙進行遮光處理，在 24℃ 連續黑暗 24 hr 的條件下，其發芽率為 5.0%。相較之下，若先黑暗 12 hr 後光照 12 hr 之光暗時序(12D:12L)處理組，其發芽率為 18.5%(圖一)。數據顯示，12D:12L 處理組之夏孢子發芽率高於持續黑暗組。

(二)溫度

在有全黑暗處理組(D)與光暗時序處理組(12D:12L)兩種條件下，夏孢子在 16℃、20℃、24℃、28℃ 及 32℃ 均可觀察到發芽現象。發芽率隨溫度上升而增加，在 28℃ 達到最高，其中黑暗條件下的發芽率為 56.6%，而光暗時序處理組(12D:12L)則為 75.0%。當溫度升至 32℃ 時，黑暗組與光暗時序組之發芽率分別降至 3.9%與 0.3%(圖二)。

(三)產孢起始後天數

在光暗時序條件(12D:12L)下，葡萄銹病夏孢子在 1-4 天的產孢起始後天數(Days after onset of sporulation)的發芽率均高於 50.0%。數據顯示，夏孢子發芽率隨產孢起始後天數增加而降低。產孢後第 1-2 天(對應接種後第 9-10 天)之發芽率最高，分別為 75.3%與 72.3%，第 3 天與第 4 天則分別降至 61.5%與 50.3%。相較之下，全黑暗(D)處理組的發芽率較低，且其隨天數增加而下降之幅度與光暗時序組不同：產孢起始後第 1-3 天(對應接種後第 9-11 天)發芽率介於 30.0-45.0%之間，至第 4 天(對應接種後第 12 天)則降至 6.8%(圖三)。

(四)瓊脂來源

在光暗時序條件(12D:12L)、28℃ 以及相同孢子日齡的培養條件下，不同來源的瓊脂基質對夏孢子發芽率有顯著差異。使用高級洋菜粉製備的水瓊脂平板，其孢子發芽率為 80.8%；相較之下，以 Bacto Agar 製備的平板則為 53.9%(圖四)。

二、殺菌劑對葡萄銹病夏孢子發芽影響

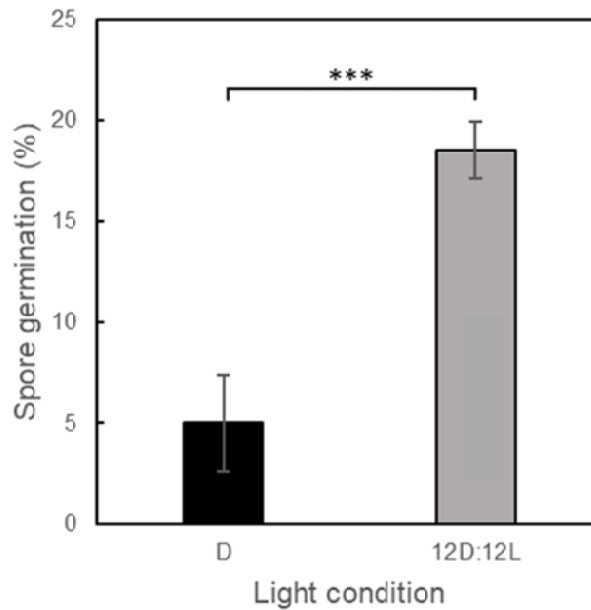
在本試驗中，選用 16 種常用之殺菌劑評估其對葡萄銹病夏孢子在處理後 24 hr 之發芽抑制效果。結果如表二顯示，在各藥劑之建議使用濃度下，四氯異苯腈、克熱淨、護汰芬、得克利、百克敏、鋅錳乃浦及改良式硫黃，其抑制率均達 100.0%。其次，氟殺克敏、貝芬普寧、賽福座及亞托敏之抑制率介於 90.3%至 99.8%之間。相較之下，貝芬替與白列克敏之抑制率較低，分別為 80.2%與 72.7%，而菲克利之抑制率僅 12.6%。三氟敏與三泰隆處理之發芽率高於對照組，其抑制率分別為-76.3%與-92.8%。

三、培養溫度對銹病接種於離體葉片圓盤之發病病斑面積之影響

為建立適合葡萄銹病於離體葉片圓盤上穩定發病之培養條件，比較接種後於 22℃ 與 28℃ 培養之發病表現。結果顯示，於 22℃ 培養之葉片圓盤，其罹病面積整體分布明顯大於 28℃ 處理(圖五)。相較之下，28℃ 條件下之病斑面積較小，且變異幅度較低。基於此結果，後續葉片圓盤藥劑防治試驗皆採用 22℃ 作為培養溫度。

四、殺菌劑對葡萄銹病在葡萄葉片圓盤上感染之影響

本研究針對 16 種葡萄登記藥劑進行離體葉片圓盤藥效篩選測試。結果如表三顯示，四氯異苯腈、克熱淨、護汰芬、三泰隆、菲克利、百克敏及改良式硫黃等 7 種藥劑能完全抑制銹病病徵產生(抑制率達 100.0%)。其餘參試藥劑抑制率均在 80.0%以上。此外，得克利處理組因造成葉片圓盤明顯黃化(藥害反應)，干擾病原菌之正常感染程序，故該項數據不列入藥效評估之最終分析。

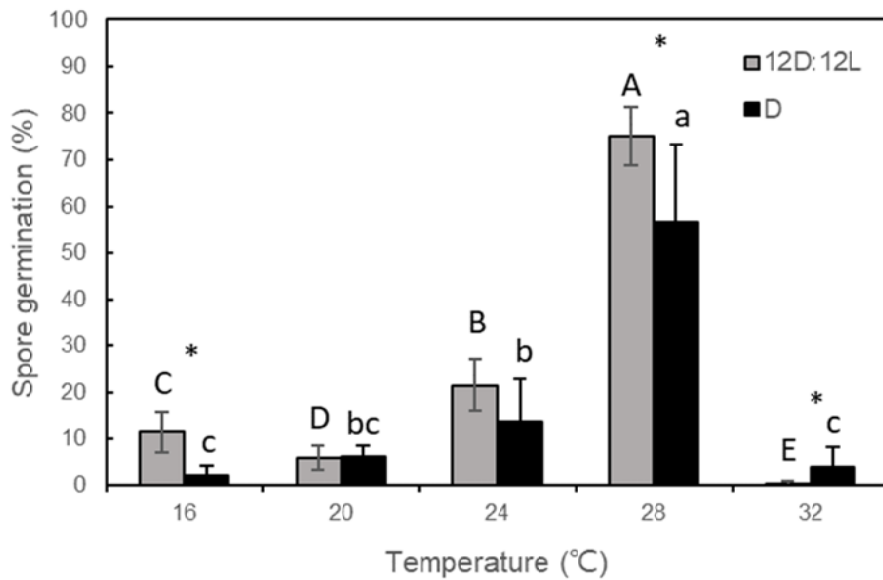


圖一、24°C 下不同光照時序與對葡萄銹病夏孢子發芽率之影響。

比較連續黑暗與先黑暗 12 hr 後光照 12 hr 之光暗時序 (12D:12L) 處理，在 24°C 定溫環境下培養 24 hr 之夏孢子發芽率表現。誤差線表示標準差(SD)，*** 表示在 $P < 0.001$ 下達顯著差異。

Fig. 1. Effect of light treatment at 24°C on the germination rate of urediniospores of grapevine rust (*Neophysopella meliosmae-myrianthae*) at 24°C.

Germination rates were compared between sequential dark-light treatment (12 hr dark followed by 12 hr light, 12D:12L) and continuous darkness (D) over a 24-hr incubation period. Error bars represent standard deviation (SD). *** indicates significant differences at $P < 0.001$.

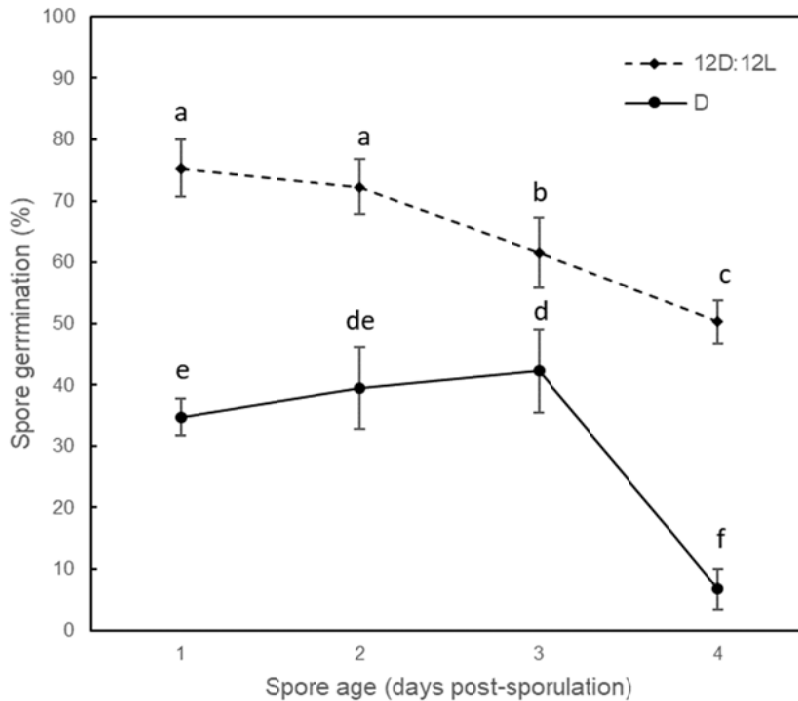


圖二、溫度對葡萄銹病夏孢子發芽率之影響。

比較不同溫度條件下，先黑暗 12 hr 後光照 12 hr 之光暗時序 (12D:12L) 處理與全黑處理(D)對夏孢子發芽率之影響。誤差線表示標準差(SD)。不同大小寫字母分別表示 12D:12L 與 D 處理內溫度間之顯著差異；* 表示相同溫度下兩處理間差異達顯著水準($P < 0.05$)。

Fig. 2. Effect of temperature on the germination rate of urediniospores of grapevine rust (*Neophysopella meliosmae-myrianthae*).

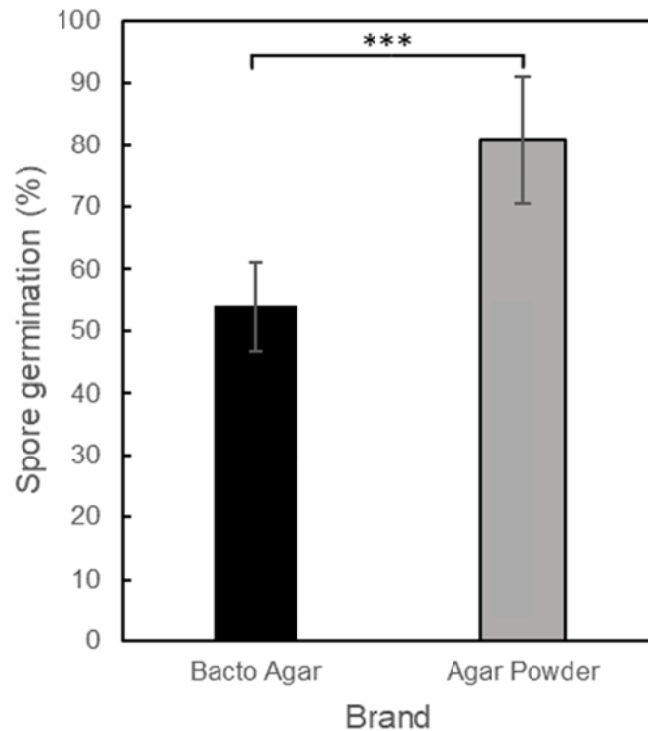
Germination rates were compared under different temperatures, between sequential dark-light treatment (12 hr dark followed by 12 hr light, 12D:12L) and continuous darkness (D) over a 24-hr incubation period.. Error bars represent standard deviation (SD). Uppercase and lowercase letters indicate significant differences among temperatures within 12D:12L and D treatments, respectively. Asterisks (*) indicate significant differences between 12D:12L and D at the same temperature ($P < 0.05$).



圖三、28°C下不同產孢起始後天數對葡萄銹病夏孢子發芽率之影響。

比較 28°C下不同產孢起始後天數之夏孢子於先黑暗 12 hr 後光照 12 hr 之光暗時序 (12D:12L)與全黑處理(D)下之發芽率表現。誤差線表示標準差(SD)，不同字母表示處理間差異達顯著水準($P < 0.05$)。

Fig. 3. Effect of different days after onset of sporulation on the germination rate of urediniospores of grapevine rust (*Neophytophthora meliosmae-myrianthae*) at 28°C. Germination rates of spores with different ages (days after onset of sporulation) were compared under sequential dark-light treatment (12 hr dark followed by 12 hr light, 12D:12L) and continuous darkness (D) over a 24-hr incubation period. Error bars represent standard deviation (SD). Different letters indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

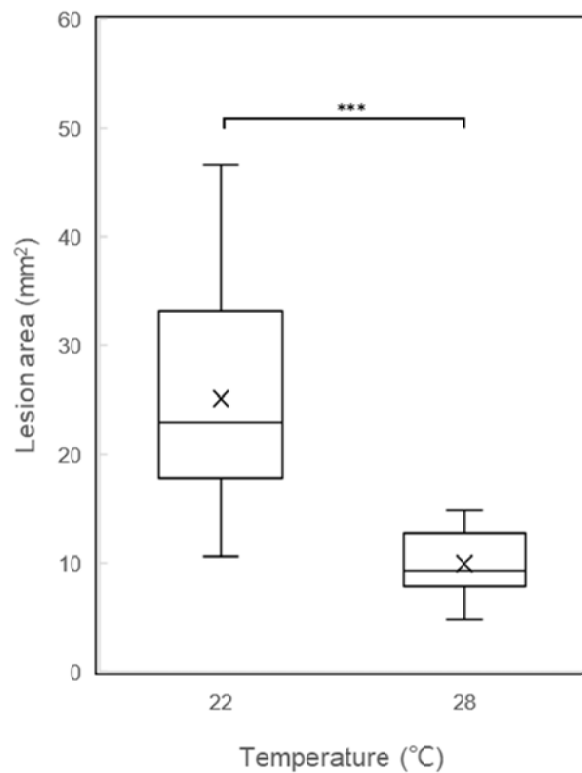


圖四、28℃下不同來源之瓊脂粉對葡萄銹病夏孢子發芽率之影響。

比較不同來源之 2%水瓊脂培養基於於先黑暗 12 hr 後光照 12 hr 之光暗時序 (12D:12L)下對夏孢子發芽率之影響。誤差線表示標準差(SD)，*** 表示在 $P < 0.001$ 下達顯著差異。

Fig. 4. Effect of water agar from different sources on the germination rate of urediniospores of grapevine rust (*Neophysopella meliosmae-myrianthae*) at 28°C.

Germination rates were compared on 2% WA plates prepared from different agar sources under sequential dark-light treatment (12 hr dark followed by 12 hr light, 12D:12L). Error bars represent standard deviation (SD). *** indicates significant differences at $P < 0.001$.



圖五、培養溫度對葡萄銹病於離體葉片圓盤上發病表現之影響。

葉片圓盤接種 *Neophytophthora meliosmae-myrianthae* 夏孢子後，於不同溫度條件下培養，並比較病斑面積之差異。盒狀圖顯示中位數(盒內橫線)、平均值(X)及第25與第75百分位數，*** 表示在 $P < 0.001$ 下達顯著差異。

Fig. 5. Effect of incubation temperature on disease development of grapevine rust on detached leaf discs.

Leaf discs inoculated with urediniospores were incubated under different temperature conditions, and lesion areas were compared. Boxplots indicate median (line within the box), mean (X), and the 25th and 75th percentiles. *** indicates significant differences at $P < 0.001$.

表二、不同藥劑對葡萄銹病菌夏孢子發芽抑制率之影響

Table 2. Effects of various fungicides on the germination inhibition of *Neophysopella meliosmae-myrianthae* urediniospores

Fungicide	Conidiospore germination inhibition rate (%) ¹
Fluxapyroxad + Pyraclostrobin	93.5 ± 1.1 b ²
Trifloxystrobin	-76.3 ± 2.8 f
Chlorothalonil	100.0 ± 0.0 a
Carbendazim + Mepronil	90.3 ± 2.6 b
Iminoctadine triacetate	100.0 ± 0.0 a
Flutriafol	100.0 ± 0.0 a
Triflumizole	93.6 ± 1.3 b
Triadimenol	-92.8 ± 1.8 g
Hexaconazole	12.6 ± 4.8 e
Pyraclostrobin + Boscalid	72.7 ± 1.7 d
Tebuconazole	100.0 ± 0.0 a
Azoxystrobin	99.8 ± 0.2 a
Pyraclostrobin	100.0 ± 0.0 a
Mancozeb	100.0 ± 0.0 a
Carbendazim	80.2 ± 3.0 c
Sulfur	100.0 ± 0.0 a

¹ Inhibition rate (%) = [(Mean of spore germination of the control – Mean of spore germination of the treatment)]/mean of spore germination of the control × 100.

² Mean ± standard error (n = 12). Means within a column followed by the same letters are not significantly different at P = 0.05 based on least significant difference (LSD) test.

表三、不同藥劑對葡萄銹病於葉片圓盤上之保護效力評估

Table 3. Protective efficacy of various fungicides against grape rust (*Neophytophthora meliosmae-myrianthae*) on leaf discs

Fungicide	Inhibition rate (%) ¹
Fluxapyroxad + Pyraclostrobin	98.5 ± 0.9 a ²
Trifloxystrobin	83.6 ± 3.7 d
Chlorothalonil	100.0 ± 0.0 a
Carbendazim + Mepronil	89.4 ± 2.9 c
Iminoctadine triacetate	100.0 ± 0.0 a
Flutriafol	100.0 ± 0.0 a
Triflumizole	83.6 ± 4.0 d
Triadimenol	100.0 ± 0.0 a
Hexaconazole	100.0 ± 0.0 a
Pyraclostrobin + Boscalid	96.8 ± 1.2 ab
Tebuconazole	ND ³
Azoxystrobin	96.2 ± 1.7 ab
Pyraclostrobin	100.0 ± 0.0 a
Mancozeb	98.3 ± 1.0 a
Carbendazim	92.0 ± 3.1 bc
Sulfur	100.0 ± 0.0 a

¹ Inhibition rate (%) = [(Mean of lesion area of the control – Mean of lesion area of the treatment)]/mean of lesion area of the control × 100.

² Mean ± standard error (n = 6). Means within a column followed by the same letters are not significantly different at P = 0.05 based on least significant difference (LSD) test.

³ ND = No data.

討 論

本研究首先針對葡萄銹病菌(現更名為 *Neophytophthora meliosmae-myrianthae* ; 異名 *Phakopsora euvitis*)夏孢子萌發率偏低之瓶頸進行優化。結果顯示, 現有菌株的培養條件上與早期紀錄(呂與吳, 1983)存在顯著差異, 環境因子如光暗時序、溫度、產孢起始後天數與瓊脂來源, 對孢子活力均具顯著影響。建立此穩定之發芽條件後, 本研究進一步透過體外(In vitro)孢子發芽抑制與離體(Ex vivo)葉片圓盤(Leaf disc assay)進行藥劑感受性試驗, 評估了不同防治藥劑對該菌之抑制效力, 為現行葡萄銹病藥劑防治提供了更具

實務參考價值的資訊。

在病原鑑定方面，溫帶亞洲地區的葡萄銹病主要由 *Neophytophthora meliosmae-myrianthae* 與 *N. montana* 引起。根據 Okane 等人(2025) 的調查，儘管人工接種實驗證實兩者均具備感染商業品種之潛力，但在日本田間的實際分布具有顯著的宿主特異性：*N. meliosmae-myrianthae* 為商業栽培品種(如'Delaware'與 'Kyoho')的主要病原，而 *N. montana* 則主要侷限於野生的山葡萄(*Vitis coignetiae*)。該研究更進一步確認，在具發病症狀的商業葡萄樣本中，僅能檢出 *N. meliosmae-myrianthae*。由於臺灣商業葡萄生產高度集中於「巨峰」品種，且過往針對臺中鑑定樣本(IBAR 10240)經分子鑑定已證實屬於 *N. meliosmae-myrianthae* (Pota et al., 2015 ; Ono et al., 2020)，此一寄主偏好與臺灣的產業現況高度吻合。考量到兩地栽培品種的一致性與商業環境的高強度選擇壓力，顯示 *N. meliosmae-myrianthae* 較 *N. montana* 具備更高的競爭優勢，為目前臺灣商業產區的主要病原。因此，本研究選用場內巨峰葡萄樣本進行防治藥劑篩選，對產業實務提供了充分的代表性。此外，近年研究將東南亞與澳洲族群鑑定為新種 *N. tropicalis* (Ono et al., 2020)。參考 Santos 等人(2021)在巴西的發現，該國已證實 *N. meliosmae-myrianthae* 與 *N. tropicalis* 同時存在，但呈現明顯的地理區隔：*N. tropicalis* 主要分佈於氣候較多樣的中南部，而 *N. meliosmae-myrianthae* 則侷限於東北部。這說明兩者可能由不同來源獨立引進，且皆能在商業生產體系下造成重大損失。綜合上述研究，*N. tropicalis* 主要分佈於熱帶區域，而 *N. meliosmae-myrianthae* 則廣泛存在於溫帶亞熱帶。由於台灣地跨亞熱帶與熱帶，具備這兩類病原菌生存的氣候條件，因此未來除了監測現有的 *N. meliosmae-myrianthae* 族群外，亦需防範熱帶種 *N. tropicalis* 的入侵風險。

在光線影響方面，本研究顯示，在光暗時序處理組(12D:12L)條件下，葡萄銹病夏孢子的平均發芽率於 24-28°C 時高於完全黑暗處理。此結果與過去研究指出光照對該屬菌種具有顯著抑制作用(如 6 hr 連續光照下)之結論不同(呂與吳，1983 ; Naruzawa et al., 2006)。過去多數研究因觀察到光照會降低發芽率，而將光線視為一種強烈的環境壓力因子。然而，本研究在建立藥劑評估平臺的初期測試中發現，若重複前人文獻作法採取連續 24 hr 黑暗處理，其發芽率僅約 5.0% (以 24°C 為例)，導致後續藥劑抑制試驗難以獲得穩定且可信的結果。實驗結果顯示，當調整為「先黑暗 12 hr 後轉入光照 12 hr 的時序處理」後，其 24 hr 後之發芽率可顯著提升至 18.5% (24°C)，後續溫度試驗中在 28°C 下更可達 75.0%，表現明顯優於持續黑暗處理。這說明光線對發芽之影響並非單向抑制，而是受到「光暗時序」調控。推測孢子在萌發初期先經歷充足的黑暗預處理後，可能已完成關鍵的生理調整，使隨後的光照不再產生抑制作用，反而有助於提升整體的

發芽活性。因此，相較於極端黑暗條件，此種光暗切換的時序安排更適合建立穩定的葡萄銹病研究系統。

進一步而言，不同銹病菌對光的敏感性具有物種特異性。以 *Puccinia graminis* var. *tritici* 為例，其孢子發芽受光抑制之現象為可逆反應，當轉入黑暗後仍可恢復發芽能力 (Givan & Bromfield, 1964)。Buck 等人(2010)比較八種銹病菌後亦指出，在光照 0-10 hr 後再進入 24 hr 黑暗處理下，*P. sorghi*、*P. triticea*、*P. pelargonii-zonalis* 與 *P. iridis* 的發芽率相對不受光照影響；然而屬於層銹菌屬(*Phakopsora*)之大豆銹病菌(*Ph. pachyrhizi*)則對光極為敏感，顯示即使同為銹病菌，對光仍存在反應差異。再者，光照時間長短亦可能影響銹病菌之發芽反應。Buck 等人(2010)指出，雖部分物種之發芽率在短時間光照下不受影響，但其發芽管生長仍普遍受到抑制，而當光照時間延長至 18 hr 以上時，孢子之發芽能力與發芽管生長即便再轉入黑暗亦難以恢復。此結果顯示光照時間長短可能影響銹病菌之發芽反應與後續發芽管生長表現。綜合文獻比較，本研究與過去結果之差異，可能與「光暗時序」有關。在 12 hr 暗/12 hr 光處理中，孢子萌發初期先經歷 12 hr 黑暗，可能已完成萌發前之生理調整，使後續長時間光照(12 hr)未產生抑制作用。Khan(1977)亦指出，短時間光照不論安排於黑暗前或後，皆可促進 *Aspergillus niger* 孢子發芽，顯示光可扮演刺激訊號角色。類似地，本研究的 12 hr 光週期模式，可能因孢子已先經歷萌發初期之黑暗調整階段，使後續長時間光照未產生抑制，並在光暗節律交替條件下呈現較高的發芽表現。

值得注意的是，光照的刺激作用顯著調節了產孢起始後天數對孢子發芽率的影響。本研究觀察到，隨著孢子日齡增加，夏孢子發芽能力呈現下降趨勢，這與前人研究指出孢子老化會導致發芽時間增加及生理活力衰退的趨勢一致(Dantigny & Nanguy, 2009)。然而，本研究發現光照能顯著延緩此一衰退過程。數據顯示，產孢起始後第 4 天(接種後第 12 天)的夏孢子在光週期(12D:12L)下仍維持>50.0%的發芽率，顯著優於黑暗組(僅 6.8%)。此一結果與 Naruzawa 等人(2006)觀察到孢子在自然環境下 7 天內發芽率趨近於零的現象有所差異，這可能是因為自然陽光包含高能光譜且強度極高，具備較強的殺菌速度(Buck et al., 2010)；相比之下，本研究將離體葉片圓盤培養於人工光源下穩定的濕潤環境。這暗示了在排除極端致死強度的前提下，規律的光暗切換對衰老孢子具有生理喚醒或補償效果，能延緩因日齡增加而導致的發芽力衰退。因此，光對孢子發芽的影響受特定物種、光強度、光暗時序、時間尺度等因子共同決定。本研究建議，評估葡萄銹病孢子發芽條件時，應考慮更接近田間自然的光週期模式，而非僅限於短時間或極端黑暗的恆定條件。

在溫度方面，本研究發現 *N. meliosmae-myrianthae* 夏孢子在 28°C 呈現最高的發芽率。早期研究(當時鑑定為 *Ph. euvitis*)指出 24-25°C 為孢子最適發芽溫度(Naruzawa *et al.*, 2006)，而後續相關研究亦顯示在 26-29°C 的條件下仍可維持高發芽率(Magalhães *et al.*, 2011)，顯示該病原菌對較高溫度具有良好的適應性。本研究結果與上述研究趨勢相近，顯示夏孢子在接近 30°C 的條件下仍能維持良好的萌發能力。

除了光照與溫度等環境因子，瓊脂來源亦會影響孢子的發芽率。本研究發現，同樣 2% 水瓊脂培養基(Water Agar)配製濃度下，採用不同純度等級的瓊脂粉製成並進行培養時，銹病夏孢子的發芽率仍有顯著差異。雖然研究指出食品級和細菌學級的瓊脂膠在膠體特性、毒性、代謝惰性及穩定性方面表現相當(Petrovski & Tillett, 2012)，但本實驗結果顯示，選用光惠洋菜膠的發芽率明顯高於 Bacto Agar。誠如材料方法所述，Bacto Agar 由於經過高度純化，相對缺乏具有代謝用途之礦物質；而食品級洋菜則保留了天然海藻萃取過程中殘留的微量礦物質與離子，如 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} (Petrovski & Tillett, 2012)。在水瓊脂中添加特定濃度的大豆葉片萃取成分能顯著促進大豆銹病夏孢子萌發，證實了微量營養物質的促進作用(Blum *et al.*, 2015)。據此推論，食品級洋菜中殘留的雜質可能扮演了類似的營養輔助角色，進而提升夏孢子的萌發能力。綜合上述結果，在建立標準化藥劑評估流程時，除了控制光照與溫度條件外，維持孢子來源的一致性與培養基規格(如瓊脂膠等級)亦為確保實驗可重複性的關鍵因素。

為進一步評估葡萄銹病菌對藥劑的感受性，除針對夏孢子進行體外最適發芽條件試驗外，考量到僅觀測「體外發芽抑制」難以全面反映病原菌於寄主組織建立感染的真實情況，亦難以評估藥劑進入植物組織後的系統性影響。許多單一作用點殺菌劑(如三唑類)的主要機制是阻礙菌絲生長階段的固醇生物合成，而非直接殺死孢子，因此在發芽初期往往無法完全抑制發芽管萌發(Pontzen & Scheinpflug, 1989)。另一方面，雖然過去在評估葡萄銹病的藥效時多依賴大規模田間試驗或溫室盆栽試驗，但針對大量藥劑進行感受性評估時，往往面臨成本高、耗時且受空間限制等挑戰。此外，Naruzawa 等人(2006)的研究亦指出，田間試驗的結果極易受到不同栽培系統(如棚架式與直立式)所產生的微氣候差異影響，進而干擾藥效評估的準確度。綜合上述體外發芽試驗的侷限性與田間試驗的不可控變因，為了更真實地模擬感染過程，並準確、客觀地比較植體吸收藥劑後對病原菌擴展的抑制效果，宜採用標準化且具再現性之離體(Ex vivo)葉片圓盤法(leaf disc assay)進行藥劑感受性評估(Angelotti *et al.*, 2014; Gomes *et al.*, 2019)。

筆者先前試驗，若在孢子「體外最適發芽溫度」下進行葉片圓盤接種，其病斑罹病面積顯著偏低($<10 \text{ mm}^2$)，若以此條件進行葉片圓盤藥劑感受性試驗，可能使處理組與

對照組間的數據差異縮小進而放大試驗誤差，亦難以客觀評估藥劑在組織上的防治效能。因此，在進行藥劑敏感性試驗前，本研究先針對離體葉片圓盤在不同溫度下的病勢擴展測定。結果顯示，在相同接種條件下，葉片圓盤於接種後培養於 22°C 可顯著提升發病面積，顯示相對低溫更有利於病原菌在植體組織內的擴展，此結果說明孢子發芽與侵入後感染建立的最適溫度並不一定相同。前人研究亦指出，高溫(如 30°C)會抑制感染建立，而在約 20°C 且葉面濕潤 12-24 小時的條件下，罹病程度最高(Angelotti *et al.*, 2013)，此趨勢與本研究觀察一致。綜合上述考量，後續之藥劑感受性試驗，將分別以 28°C 及 22°C 作為藥劑對「孢子發芽抑制」與「葉片圓盤保護效力評估」的試驗條件。

經前述試驗將條件確立後，進一步評估 16 種常用殺菌劑對葡萄銹病菌之孢子發芽抑制」與「葉片圓盤保護效力評估」。在夏孢子發芽抑制方面，四氯異苯腈、克熱淨、護汰芬、得克利、百克敏、鋅錳乃浦及改良式硫黃，均能 100.0% 抑制夏孢子發芽。其中，得克利、護汰芬與百克敏的強效抑制表現，與過去研究指出 DMI 類(三唑類, Triazoles) 與 QoI 類(史托比類, Strobilurins) 藥劑能顯著降低夏孢子活力的結果吻合(Angelotti *et al.*, 2014)。而亞托敏與氟殺克敏等藥劑亦具備 90.0% 以上的高抑制率。

而葉片圓盤法進行藥劑感受性評估測試中，四氯異苯腈、克熱淨、護汰芬、三泰隆、菲克利、百克敏及改良式硫黃等 7 種藥劑能完全阻止銹病感染(抑制率 100.0%)，而其餘藥劑的抑制效果則至少 80.0% 以上。其中，菲克利與三泰隆雖然在第一階段的孢子發芽實驗中抑制效果較弱(抑制率分別僅為 12.6% 與 92.8%)，但在葉片圓盤試驗中卻展現了卓越的防護效果，這與先前文獻提到三唑類之作用機制特性有關(Pontzen & Scheinpflug, 1989)，由於銹病孢子含有足夠固醇儲備，且在發芽管生長末期(約 6-8 hr)才啟動固醇生物合成路徑，因此儘管三唑類藥劑能迅速進入孢子並抑制目標酵素，但在發芽初期因孢子尚無需合成新固醇，導致離體發芽實驗出現藥效較弱的偽陰性結果，這同時也揭示藥劑感受性測試不應僅依賴發芽試驗，應結合活體或離體葉片圓盤法才能更準確評估三唑類藥劑的實際防護潛力。

而值得關注的是，本研究中三唑類的三泰隆與史托比類的三氟敏在離體孢子發芽試驗中，抑制率卻呈現顯著之負值(分別為 -92.8% 與 -76.3%)，而葉片圓盤試驗則分別達 100.0% 及 83.6% 的優異防治效果，此結果顯示，在本試驗條件下，此二藥劑於所設定之濃度未達抑制效果，甚至可能對孢子發芽產生促進作用。此結果打破一般傳統的農藥藥效與毒理評估中，多習慣以「線性無閾值模型 (Linear no-threshold model, LNT)」作為直觀的解釋基礎，亦即預期藥劑濃度與抑制力呈絕對正相關，施用田間推薦高濃度理應能全面抑制病原菌 (Calabrese & Baldwin, 2003)。針對此一「體外促進、離體葉片圓盤

抑制」現象，推測可能與殺菌劑的毒物興奮效應(Hormesis)及藥劑理化性質特性使其於基質間的擴散限制有關。首先，相關毒理文獻指出當病原真菌遭遇低於「無觀察到不良反應劑量(NOEL)」的亞抑制劑量(Subinhibitory doses)殺菌劑時，可能會因恆定性(Homeostasis)受干擾而啟動過度補償機制(Overcompensation)。此機制打破傳統 LNT 模型的線性預期，表現出「低劑量刺激」的雙相劑量反應，導致發芽率異常增強(Garzón & Flores, 2013; Calabrese, 2014; Dharma & Widiastuti, 2024)。此外，藥劑之理化性質方面，三氟敏與三泰隆皆為高親脂性(Log P 分別為 4.5 及 3.2)，而疏水性化合物在親水性水瓊脂介質中難以自由均勻擴散，易導致實際接觸病原菌的生物可利用率(Bioavailability)大幅下降(Klancnik *et al.*, 2010; Balouiri *et al.*, 2016; Vines *et al.*, 2023)。

綜合上述文獻，推估此兩種藥劑在本研究體外孢子發芽抑制試驗中，因其理化特性難以溶於親水性固態基質中致擴散受限，使其在水瓊脂培養基無法達到有效致死濃度，進而可能形成亞抑制環境並誘發 Hormesis 效應產生假性促進；反之，在葉片圓盤試驗中，藥劑得以透過植物表皮蠟質順利附著或溶入組織，從而發揮其原有的抑制效力。本研究使用田間推薦濃度進行感受性測試，雖觀察到此一特殊之表現落差並推論可能之毒理機制與藥劑理化特性，然其實際之交互作用，仍有待未來研究透過多濃度梯度或使用藥劑原體對照試驗進一步驗證與釐清。

綜合兩項藥劑試驗結果，針對葡萄銹病化學防治，本研究顯示推薦藥劑中以四氯異苯腈與克熱淨的抑制效果最為顯著。此外，數種原登記於防治白粉病(如護汰芬、三泰隆、菲克利)或晚腐病(如得克利、百克敏)的藥劑，在葡萄銹病夏孢子離體試驗中，亦展現顯著的抑制活性。在藥劑選擇策略上，三唑類殺菌劑為目前防治銹病的主流且效果優異，多作用點藥劑則次之，建議優先納入輪替使用以延緩抗藥性。然而，在追求病害控制的同時，必須審慎評估藥害風險。本研究觀察到得克利處理組會導致葉片圓盤產生明顯黃化現象，顯示該藥劑在特定濃度或環境下可能對植物生理造成負面影響。值得注意的是，在葉片圓盤試驗結果顯示，單劑(如百克敏、貝芬替)的病害抑制率略優於其相應的合劑(如氟殺克敏、白列克敏、貝芬普寧)，雖未達統計顯著差異，但這暗示了藥劑混合後可能存在拮抗作用或干擾效果，值得後續深入探討。除了上述化學藥劑的感受性與風險評估，開發低風險的友善資材以符合當前減農藥栽培趨勢，亦為本研究之重點。在葡萄病害的友善防治體系中，如何全面涵蓋四大主要病害(露菌病、白粉病、晚腐病及銹病)為整合性管理能否成功的關鍵。過去本場研究指出，亞磷酸在防治露菌病與白粉病上已具備顯著成效，然而對於晚腐病與銹病則無顯著防效(劉等人，2010)，這顯示在目前的友善防治體系中，銹病防治仍存在技術缺口。針對此一缺口，本研究進一步證實

改良式硫黃對於葡萄銹病夏孢子具有優異的抑制效果。儘管過去硫黃多被歸類為防治白粉病的傳統資材(Grădilă *et al.*, 2020)，但本研究結果顯示其具備開發為銹病友善資材之潛力，能有效補足亞磷酸的防治侷限。藉由整合亞磷酸(針對露菌、白粉病防治)與改良式硫黃(針對銹病、白粉病防治)之應用，將可提供有機轉型或減農藥栽培業者更為系統性且全面的病害防治選擇。

參考文獻

1. 余思葳、楊秀珠。2010。害物管理手冊(葡萄篇)，頁 1。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局、行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所編印。
2. 呂理桑、吳宏國。1983。葡萄銹病病菌夏孢子之發芽及侵入過程。植保會刊，25，167-175。
3. 黃秀華。2004。葡萄病害整合性管理技術。臺中區農業改良場特刊，67，127-153。
4. 黃晉興、王毓華、羅朝村。2002。利用葉片圓盤接種法篩選甜瓜抗白粉病品種。中華農業研究，51，49-56。
5. 葉文彬。2021。臺灣鮮食葡萄品種與產期調節技術發展。臺中區農業專訊，114，1-4。
6. 楊滿霞。2022。使用程式語言 R 輕鬆完成試驗設計分析(一)完全隨機設計。農業試驗所技術服務季刊，33，32-37。
7. 劉興隆、趙佳鴻、沈原民、吳世偉。2010。評估亞磷酸防治葡萄主要病害之效果。臺中區農業改良場研究彙報 106，55-64。
8. 賴守正。2006。葡萄主要病害發生與安全用藥。苗栗區農業專訊，33，12-13。
9. Agathokleous, E., Calabrese, E. J. 2021. Fungicide-induced hormesis in phytopathogenic fungi: A critical determinant of successful agriculture and environmental sustainability. J Agric Food Chem. 69, 4561-4563.
10. Angelotti, F., Scapin, C. R., Tessmann, D. J., Vida, J. B., Canteri, M. G. 2013. The effect of temperature, leaf wetness and light on development of grapevine rust. Australas. Plant Pathol. 43, 593-600.
11. Angelotti, F., Buffara, C. R. S., Tessmann, D. J., Vieira, R. A., Vida, J. B. 2014. Protective, curative and eradicated activities of fungicides against grapevine rust. Cienc. Rural. 44, 1367-1370.
12. Balouiri, M., Sadiki, M., Ibnsouda, S. K. 2016. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. J Pharm Anal. 6, 71-79.

13. Bartlett, D. W., Clough, J. M., Godwin, J. R., Hall, A. A., Hamer, M., Parr-Dobrzanski, B. 2002. The strobilurin fungicides. *Pest Manag. Sci.* 58, 649-662.
14. Blum, M. M. C., Reis, E. M., Vieira, F. T., Carlini, R. 2015. In vitro effect of substrate, temperature and photoperiod on *Phakopsora pachyrhizi* urediniospore germination and germ tube growth. *Summa Phytopathol.* 41, 101-106.
15. Buck, J. W., Dong, W., Mueller, D. S. 2010. Effect of light exposure on in vitro germination and germ tube growth of eight species of rust fungi. *Mycologia.* 102, 1134-1140.
16. Calabrese, E. J., & Baldwin, L. A. 2003. Toxicology rethinks its central belief. *Nature.* 421, 691-692.
17. Calabrese, E. J. 2014. Hormesis: a fundamental concept in biology. *Microb Cell.* 1, 145-149.
18. Dantigny, P., Nanguy, S. P.-M. 2009. Significance of the physiological state of fungal spores. *Int J Food Microbiol.* 134, 16-20.
19. Dharma, K. S., Suryanti, Widiastuti, A. 2024. Hormesis in pathogenic and biocontrol fungi: From inhibition to stimulation. *Caraka Tani J Sustain Agric.* 39, 281-296.
20. Garzón, C. D., Flores, F. J. 2013. Hormesis: Biphasic dose-responses to fungicides in plant pathogens and their potential threat to agriculture. In *Fungicides-Showcases of Integrated Plant Disease Management from Around the World.* pp. 311-328. InTech
21. Givan, C. V., Bromfield, K. R. 1964. Light inhibition of uredospore germination in *Puccinia graminis* var. *tritici*. *Phytopathology.* 54, 382-384.
22. Gomes, B. R., Bogo, A., Copatti, A., Guginski-Piva, C. A., de Moraes, A. C., Zanghelini, J. A., Bitencourt, C., Stefen, D., Orsi, N., Paixão, C. A., Dal Vesco, L. L., Ritschel, P. S., Welter, L. J. 2019. Assessment of grapevine germoplasm collection for resistance to grape leaf rust (*Phakopsora euvtis*) using a leaf disc assay. *Euphytica.* 215, 1-11.
23. Grădilă, M., Jalobă, D., Vasile, J. 2020. Control of powdery mildew in vineyards using several applications of unpollutant treatments of sulphur fungicides in Romania. *J Int Sci Publ Agric Food.* 8, 81.
24. Ji, J.-X., Li, Z., Li, Y., Kakishima, M. 2019. Life cycle of *Nothoravenelia japonica* and its phylogenetic position in Pucciniales, with special reference to the genus *Phakopsora*. *Mycol Prog.* 18, 855-864.

25. Khan, M. 1977. Light stimulation of fungus spore germination. *Z. Pflanzenphysiol.* 81, 374-376.
26. Klancnik, A., Piskernik, S., Jersek, B., Mozina, S. S. 2010. Evaluation of diffusion and dilution methods to determine the antibacterial activity of plant extracts. *J Microbiol Methods.* 81, 121-126.
27. Magalhães, E. E., Angelotti, F., Peixoto, A. R., Fernandes, H. A., Barbosa, L. G., Pinheiro, G. S. 2011. Germinação de urediniósporos de *Phakopsora euvitidis* sob diferentes aumentos da temperatura. *Trop Plant Pathol.* 36, 1253.
28. Mueller, D., Buck, J. 2003. Effects of light, temperature, and leaf wetness duration on daylily rust. *Plant Dis.* 87, 442-445.
29. Naruzawa, E. S., Celoto, M. I. B., Papa, M. F. S., Tomquelski, G. V., Boliani, A. C. 2006. Estudos epidemiológicos e controle químico de *Phakopsora euvitidis*. *Fitopatol Bras.* 31, 41-5.
30. Nogueira Júnior, A. F., Ribeiro, R. V., Appezzato-da-Glória, B., Soares, M. K. M., Rasera, J. B., Amorim, L. 2017. *Phakopsora euvitidis* causes unusual damage to leaves and modifies carbohydrate metabolism in grapevine. *Front Plant Sci.* 8, 1675.
31. Okane, I., Kurita, A., Ono, Y. 2025. Is the co-occurrence of *Neophysopella meliosmae-myrianthae* and *N. montana* (Pucciniales) common on grapevines in Japan? *J Fungi.* 11, 193.
32. Ono, Y. 2000. Taxonomy of the *Phakopsora ampelopsidis* species complex on vitaceous hosts in Asia including a new species, *P. euvitidis*. *Mycologia.* 92, 154-173.
33. Ono, Y., Okane, I., Chatasiri, S., Pota, S., Unartngam, J., Ayawong, C., Nguyen, H. D., Le, C. T. M. 2020. Taxonomy of Southeast Asian-Australasian grapevine leaf rust fungus and its close relatives. *Mycol Prog.* 19, 905-919.
34. Petrovski, S., Tillett, D. 2012. Back to the kitchen: Food-grade agar is a low-cost alternative to bacteriological agar. *Anal Biochem.* 429, 140-141.
35. Pontzen, R., Scheinpflug, H. 1989. Effects of triazole fungicides on sterol biosynthesis during spore germination of *Botrytis cinerea*, *Venturia inaequalis* and *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Neth J Plant Pathol.* 95, 151-160.
36. Pota, S., Chatasiri, S., Unartngam, J., Yamaoka, Y., Hosaka, K., Ono, Y. 2015. Taxonomic identity of a *Phakopsora* fungus causing the grapevine leaf rust disease in Southeast Asia

- and Australasia. *Mycoscience*. 56, 198-204.
37. Santos, R. F., Primiano, I. V., Amorim, L. 2021. Identification and pathogenicity of *Neophysopella* species associated with Asian grapevine leaf rust in Brazil. *Plant Pathol.* 70, 74-86.
38. Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*. 9, 671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
39. Tapsoba, H., Wilson, J. P. 1997. Effects of temperature and light on germination of urediniospores of the pearl millet rust pathogen, *Puccinia substriata* var. *indica*. *Plant Dis.* 81, 1049-1052.
40. Vines, P. L., Hoffmann, F. G., Tomaso-Peterson, M. 2023. In vitro fungicide sensitivity and effect of organic matter concentration on fungicide bioavailability in take-all root rot pathogens. *Plant Health Prog.* 24, 205-212.

Optimization of Urediniospore Germination Conditions of Grapevine Rust for Fungicide Efficacy Evaluation¹

Yung-Feng Ho² and Ching-Ching Hsu^{2*}

ABSTRACT

Grapevine rust (*Neophrysopella meliosmae-myrianthae*) commonly causes premature defoliation, severely affecting fruit quality and yield in the following season. As chemical control remains the primary management strategy, this study aimed to optimize environmental factors, including light, temperature, spore age, and culture media, to establish a stable fungicide sensitivity assessment platform for *N. meliosmae-myrianthae*. Experimental results showed that urediniospores incubated at 28°C under sequential dark-light treatment (12 hr dark followed by 12 hr light, 12D:12L) achieved a germination rate of up to 75.0%, which was significantly higher than that under continuous darkness. Regarding spore viability, fresh spores collected 1-2 days after the onset of sporulation (9-10 days post-inoculation) exhibited the highest germination activity. In addition, culture media prepared with premium agar powder performed better than those made with Bacto Agar. In fungicide sensitivity assays, 7 out of the 16 tested fungicides, namely chlorothalonil, iminoctadine triacetate, flutriafol, tebuconazole, pyraclostrobin, mancozeb, and sulfur, completely inhibited spore germination (100.0% inhibition). Further detached leaf disc inoculation assays revealed that although 28°C was optimal for spore germination, lesion development was most stable at 22°C. In efficacy evaluations, chlorothalonil, iminoctadine triacetate, flutriafol, triadimenol, hexaconazole, pyraclostrobin, and sulfur exhibited excellent protective activity, all achieving 100.0% disease suppression. This study clarifies the key environmental parameters during the early infection stage of grapevine rust and identifies

¹ Contribution No. 1124 from Taichung DARES, MOA.

² Project Assistant and Assistant Researcher of Taichung District Agricultural Research and Extension Station, MOA.

*Corresponding Author: Ching-Ching Hsu, Email: hsuching@tcdares.gov.tw

promising chemical and eco-friendly control materials, providing a scientific basis for field disease management strategies.

Key words: grapevine rust, *Neophysopella meliosmae-myrianthae*, urediniospore germination, fungicide, leaf disc assay

臺中區農業改良場研究彙報稿約

- 一、本刊以供本場同仁發表試驗研究成果為原則，但可邀請外稿。
- 二、來稿一經刊登其著作權歸農業部臺中區農業改良場所有，本人聲明並保證授權著作為本人所自行創作，若屬多人共同創作，則本人亦取得其他作者同意，有權為本同意之各項授權。且授權著作未侵害任何第三人之智慧財產權。
- 三、來稿一律不支稿費，但經刊用後，則致贈單行本 10 本(可要求至 20 本)。
- 四、文章之架構為題目(Title)、作者(Author)、摘要(Abstract)、關鍵字(Keywords)、前言(Introduction)、材料與方法(Materials and Methods)、結果(Results)、討論(Discussion)、誌謝(Acknowledgements)及參考文獻(References)。摘要包括中文及英文兩種，中文文稿之中文摘要置於前言之前，英文摘要置於文末；英文文稿之英文摘要則需置於前言之前，中文摘要置於文末。作者群若有數人則以頓號(、)標明區分，並以阿拉伯數字 1、2、3...個別標示，且須標示通訊作者(加註*)，並於下方註明處填寫通訊作者之 Email。英文題目下之作者英文姓、名首字用大寫，其餘小寫，以用全名為原則，名在前，姓在後，如 Jia-Shin Lin，作者二人時，則用 and 連接，三人以上則如 Jia-Shin Lin, Lin-Ren Chang and Wan-Jean Liaw。英文關鍵字除專用學名(如 Ringspot Virus)、元素符號縮寫(如 Ca, Mg)等首字母大寫，其餘一般性語詞用小寫。
- 五、來稿以 A4 紙“雙行距”印出，並加連續行號。文稿請用標準字形：中文以新細明體、英文以 Times New Roman 字型、12 點字體打字，題目為粗體字型、16 點；作者資料及章節標題亦為標準字型，點數為 12 點；其餘論文內容包含圖表說明請用標準字型，點數為 12 點。
- 六、來稿以精簡易懂為原則，學名、et al., via 等需以斜體字印出，引用書名以 In：表示。
- 七、關於表格之注意點：
 - (一)表格上方須並列中英文標題，中文在上，英文在下，並加表一、(Table 1.)等冠號，不需句號，但表註則需句號。
 - (二)表格內容只用英文，只有第一個字母大寫，不可中英文並列。
 - (三)能以文字說明之小表或項目，請用文字說明。
 - (四)原始記錄應統計分析並簡化後始可列入表中。
 - (五)表註用小號 1 或 2 等註明於表中數字之右上角。
 - (六)表格一律設計成“可被彙報篇幅正常容納”之大小。
- 八、關於插圖之規定：
 - (一)插圖應單頁獨立，註明文題。
 - (二)插圖下方須有標題，並加圖一、圖二、(Fig. 1. 2.....)等冠號，且須加註句號。
 - (三)所繪製線條粗細、標號、數字及文字等應注意協調及清楚。
 - (四)已列表中之內容，勿再重複以插圖表示。
- 九、關於照片之規定：
 - (一)照片用紙一律採用光面紙，黑白照片為佳，品質為要。
 - (二)需有圖說，如有特別指明點應標示之。
 - (三)可在文中用文字說明清楚之非必要照片請剔除。
 - (四)若為數位圖檔請提供解析度 300 dpi 以上之清晰 tif 或 jpg 圖檔。
- 十、關於參考文獻之規定：
 - (一)參考文獻以引用為限，如係來自轉載之其他書刊時必須加註明。
 - (二)本國及日本作者則依據姓名筆劃數為序，若無作者而以出版機關(社)為首時，則以首字筆劃列入參考文獻之排序。以上三種文獻均列於英文作者之前。作者之姓置於前，名或簡寫隨之。
 - (三)中、日期刊文獻作者姓名以後為發行年份，然後為論文名稱，期刊名稱、卷期數及頁數。
 - (四)西文雜誌名之縮寫方式儘量根據美國出版之“Biological Abstracts”雜誌；中日文雜誌用全名(例 1)。
 - (五)書籍必須加註版別及出版書局。

(六)引用西文書籍之寫法為：作者姓名－年份－章節名－書名(西文書名除介詞外其餘首字母大寫)－編輯者－引用頁數－出版地－出版社(例 5)。

(七)西文參考文獻作者姓在前，名用縮寫接在後(見例 2～5)。

(八)引用機關或出版社編著之非定期性中、日書刊寫法：1.書籍有分篇作者時：分篇作者－年份－章節名－書名－主編－參考頁數－出版地－出版社(機關)(見例 6)。2.書籍無分篇作者時：作者名－年份－章節名－書名－參考頁數－出版地點－出版社(見例 7)。3.無作者但有發行(編輯)機關(社)時：發行機關－年份－書名－參考頁數－出版社(見例 8)(此時並以首字之筆畫列入參考文獻之排序)，以上如缺某項時可略過，但順序不宜變更，且重要項目不可少。

(九)內文敘述及中文參考文獻時，請以(作者，年分)方式註明於該文句之末，若有數篇文章以分號(；)區隔；中英文文獻分開，並各自以引述文獻之出版年份先後依序排列，例如：(李，2012)、李(2012)，(Smith, 1985)、Smith (1985)，(林與張，1960)、林與張 (1960)，(Smith & Kline, 1968)、Smith 與 Kline (1968)。作者三人以上 (含三人)，採用 (陳等人，1989)、陳等人 (1989)，(Smith *et al.*, 1990)、Smith 等人 (1990)。本文以英文撰寫則為 Smith & Kline (1968)，Smith *et al.* (1990)。

例如：

1.張守敬。1954。臺灣水稻肥料施用適量之分區。科學農業，2(5)，1-6。

2.Jones, J. W., Longley, A. E. 1941. Sterility and aberrant chromosomes numbers in Caloro and other varieties of rice. J. Agr. Res. 62, 381-399.

3.作者 3 人之寫法：Jone, A. B., Lin, L. H., Chen, A. B. 1991. The biological control ...

4.作者 3 人以上之寫法：Jone, A. B., Lin, L. H., Wang, C. D., Chen, A. B. 1991. The biological control ...

5.Eastop, V. F. 1977. World importance of aphids as virus vectors. In "Aphid as Virus", eds. K. F. Harrrts and K. Maramorosch. pp.1-61. London: Academic Press.

6.黃正華、朱永華。1970。臺灣雜糧生產現況與增產潛力之探討。頁 66-67。臺灣雜糧增產之研究，科學農業叢書第 7 號。

7.郭魁士。1978。土壤水。出自“土壤學”，頁 XX-XX。屏東：中國書局。

8.臺灣省政府農林廳。1990。臺灣農業年報，臺灣省政府印刷廠。

(十)網路相關資源引用方式說明如下：

1.Crotty, D. 2020. Ritual, process, and social interaction: The world's oldest surviving video rental store. The Scholarly Kitchen.

<https://scholarlykitchen.sspnet.org/2020/03/06/ritual-process-and-social-interacti-on-the-worlds-oldest-surviving-video-rental-store/> Accessed March 3, 2020.

2.洪文琪、陳明俐、紀凱齡、劉瑄儀、莊裕澤。2019。如何避開掠奪性期刊及研討會的陷阱。Research Portal 科技政策觀點。<https://doi.org/10.6916/STPIRP>. Accessed June 20, 2019.

(十一)未正式發行之報告，如各機關年度成果報告，不可引用為參考文獻。

十一、文字敘述之號次以下列為序：中文用：一(一) 1.(1)A(A)，英文用：1.(1)A(A)a(a)。

十二、腳註以小號 1 或 2 等阿拉伯字標於右上角，說明時阿拉伯字置於左上角及文辭回復正常大小。

十三、文字敘述中之數字，儘量用阿拉伯字表示之。

十四、單位須用公制單位記號，例如以 m、cm、mm、m²、ml、l、mg、g、kg、ha、℃、pH、N、ppm、t、hr 等，不必用中文表示之。

十五、原稿審查後經由科室送還作者，作者對審查意見有異議，可書面申覆。修正後需將原稿、審查意見表及修正稿送回編輯。必要時可再外審，且本刊有刪改權。“完全定稿”後送請排版(排版後不接受大幅度修改)。

十六、作者“自行、完全”負責格式及內容之校對。

十七、其他未盡事項，得經場長核定後，隨時補充修正之。

BULLETIN OF TAICHUNG DISTRICT AGRICULTURAL RESEARCH AND EXTENSION STATION

Publisher

H. Y. Yang

Editorial Board

C. H. Hsiao

C. Y. Chang

K. F. Pai

J. L. Yang

Y. S. Tien

M. S. Chen

C. M. Wu

C. J. Wang

Y. C. Wu

Y. C. Lee

B. Y. Tsai

書 名：農業部臺中區農業改良場研究彙報(第 169 期)

出版機關：農業部臺中區農業改良場

通 訊 處：彰化縣大村鄉田洋村松槐路 370 號

網 址：<https://www.tcdares.gov.tw/>

電 話：04-8523101-7

發 行 人：楊宏瑛

編輯委員：蕭政弘(總編輯)、張金元(副總編輯)

白桂芳、楊嘉凌、田雲生、陳盟松、吳建銘、王照仁、吳以健、李昱錡、蔡本原

出版年月：114 年 12 月

定 價：新臺幣 100 元整

展 售 處：農業部臺中區農業改良場

展售書局：1.五南文化廣場臺中總店／400 臺中市臺灣大道 2 段 85 號 (04)22260330

2.國家書店松江門市／104 臺北市松江路 209 號 1 樓 (02)25180207

中華郵政中臺字第 0 四九九號執照登記認為第一類新聞紙類

新聞局登記權：局版臺誌字第五八二三號

GPN: 2006500018

ISSN: 0255-5905

版權所有，翻拷必究

114年研究彙報

第166期至第169期

審稿委員名單

(按姓氏筆劃順序排列)

- | | | |
|--------------|----------------|--------------|
| 1. 朱玟霖 副教授 | 14. 張哲嘉 特聘教授 | 27. 楊秋忠 講座教授 |
| 2. 江一蘆 副教授 | 15. 許奕婷 副教授 | 28. 楊智閔 助理教授 |
| 3. 江伯源 特聘教授 | 16. 許惠貞 副教授 | 29. 劉程煒 教授 |
| 4. 吳東鴻 副教授 | 17. 陳以錚 助理教授 | 30. 蔡必焜 教授 |
| 5. 李固遠 副教授 | 18. 陳威臣 助理教授 | 31. 蔡耀全 副教授 |
| 6. 沈佛亭 教授 | 19. 陳昶霖 助理教授 | 32. 謝昌衛 特聘教授 |
| 7. 沈原民 助理教授 | 20. 陳柏中 助理教授 | 33. 鍾興穎 助理教授 |
| 8. 林汶鑫 教授 | 21. 陳韋誠 副教授 | 34. 簡伯霖 教授 |
| 9. 林信宏 助理教授 | 22. 陳錦木 副教授 | 35. 顏志恒 副研究員 |
| 10. 林宣佑 助理教授 | 23. 陳麗如 副教授兼主任 | 36. 羅筱鳳 兼任教授 |
| 11. 林慧玲 教授 | 24. 黃文理 教授 | 37. 羅靜琪 助理教授 |
| 12. 邱凱瑩 教授 | 25. 黃國益 教授 | 38. 鐘文鑫 教授 |
| 13. 馬鴻文 教授 | 26. 黃 琿 教授 | |