

怎樣種出高產又好吃的米？臺灣水稻氮肥、水分管 理與栽植密度對產量、米質、用水及成本之整合研 究

How Can Rice Be Grown for Both Yield and Eating Quality? An Integrated Study of Nitrogen, Water Management, Planting Density, Grain Quality, Water Use, and Production Costs in Taiwan

周秉漢 / CHOU, BING-HAN

ORCID : 0009-0000-7018-5096 | handson0102@hotmail.com

完成日期：2026-07-17 | DOI : 10.5281/zenodo.21404207

授權：CC BY 4.0僅適用於作者有權授權的原創內容

這份研究目前回答的是「如何可信地驗證」，不是「哪一種種法已經最好」。

本文尚未種植、採樣或取得田間結果；公開內容是證據整合、8種處理、32小區先導方案、192小區期作確認性方案、量測鏈與分析工具。

摘要

「高產」與「好吃」不是同一個結果。較高氮肥可能促進群體生長與產量構成，卻也可能提高穀粒蛋白質、改變完整米率與食味；間歇灌溉可能節省灌溉水，但效果受到土壤、氣候、供水穩定性與抽穗期管理影響；栽植密度則同時改變單位面積穗數、每穗粒數、冠層通風、倒伏與病害環境。若只比較單一投入，便難以回答哪一種種法能同時兼顧產量、品質、用水與成本。

本文整合臺灣農業部、農業試驗所、農業改良場、International Rice Research Institute (IRRI) 及正式研究文獻，建立一套適合臺灣移植水稻的前瞻性研究方案。核心設計為氮肥（地方推薦量100%與80%）、水分（連續淺水與安全間歇灌溉）及栽植密度（30×15 cm與30×24 cm）的2×2×2完全因子試驗。每個試驗點每一期作設4個區集，每區集包含8種處理，共32小區；確認性方案擴充為北部、中部與東部三個試驗點、兩個期作，合計192個小區期作觀測。配置以固定亂數種子20260717產生，研究包公開處理表、隨機表及空白資料模板。

共同主要結果為14%水分標準化稻穀產量、盲碼官能食味與儀器食味值、實際灌溉水量及每公斤完整生產成本。次要結果包括有效穗數、每穗實粒、千粒重、倒伏、病害、糙米率、完整米率、白垩質、粗蛋白質與直鏈澱粉。統計上預先指定氮肥×水分×密度混合模型，將試驗點、期作及其交互作用納入，區集嵌套於試驗點一期作作為隨機截距。確認性方案在簡化的平衡獨立假設下，對二水準主效應的近似最小可辨識標準化差異為 $d=0.404$ ；這是規劃值，不是效果量保證。

農業部2024年統計顯示，樣本粳稻平均產量一期作為7,083 kg/ha、二期作為5,409 kg/ha；第二種生產成本分別為每100 kg新臺幣1,866元與2,487元。這些全國樣本統計只作外部比較基準，不能代替試驗田逐筆投入紀錄。本文的實質結論是：在田間結果完成前，不能宣稱減氮、間歇灌溉或寬植必然兼顧高產與食味；可信的答案必須由同一品種、同一田區區集、實際水表、標準化收穫與盲碼米質檢測共同建立。

關鍵詞：水稻栽培、氮肥管理、安全間歇灌溉、栽植密度、稻米品質、食味、生產成本、田間試驗、臺灣

Abstract

High yield and eating quality are distinct outcomes. Increasing nitrogen may strengthen canopy growth and yield components while also increasing grain protein and changing head-rice recovery and palatability. Alternate wetting and drying may reduce irrigation demand, but its performance depends on soil, climate, water delivery, and management around flowering. Planting density simultaneously changes panicle number, grains per panicle, canopy aeration, lodging, and disease conditions. A single-factor comparison therefore cannot identify a management combination that jointly performs well on yield, quality, water use, and cost.

This public working paper integrates evidence from Taiwan's Ministry of Agriculture, agricultural research and extension institutions, the International Rice Research Institute, and formal research literature. It specifies a prospective 2×2×2 factorial field protocol for transplanted rice: 100% versus 80% of the soil-tested local nitrogen recommendation; continuous shallow flooding versus safe alternate wetting and drying; and 30×15 cm versus 30×24 cm spacing. Each site-season contains four randomized complete blocks and 32 plots. A confirmatory design covers three coded regions and two crop seasons, yielding 192 plot-season observations. The release package provides a deterministic randomization schedule, blank field-data template, measurement schedule, and prespecified analysis plan.

Co-primary domains are paddy yield standardized to 14% moisture, blinded sensory and instrumental eating-quality measures, metered irrigation water, and full production cost per kilogram. The proposed mixed model estimates nitrogen, water, density, and interactions while accounting for site, season, and blocks nested within site-season. Under a simplified balanced and independent planning assumption, the confirmatory design has an approximate minimum

detectable standardized difference of $d=0.404$ for a two-level main effect at two-sided $\alpha=.05$ and 80% power. This is a planning calculation, not an observed or guaranteed effect.

No rice has been planted, sampled, or tested for this study. The paper reports evidence-based hypotheses and a field-ready protocol, not empirical treatment effects. Its central conclusion is procedural: claims about producing rice that is simultaneously high yielding, palatable, water efficient, and economical require same-variety randomized comparisons, metered water, standardized harvest and milling, and blinded quality assessment.

1. 研究問題與可檢驗命題

1.1 為什麼不能只問「哪一種方法產量最高」

水稻栽培是一個多目標決策。農民可能在意每公頃產量，碾米業者重視完整米率，消費者重視米飯黏彈、香氣與口感，灌溉管理者關注用水，經營者則必須計算每公斤成本。單獨提高其中一項，可能犧牲另一項。因此本文不建立一個任意加權的「總分」宣稱最佳處理，而是把四個共同主要領域並列報告，再以預先設定的非劣性與改進門檻進行決策。

1.2 研究問題

1. 將氮肥由土壤檢測與地方推薦量的100%降至80%，是否能在不造成實質產量損失下，降低粗蛋白質並改善食味？
2. 安全間歇灌溉是否能降低實際灌溉水量，同時維持產量與米質？
3. 30×15 cm與 30×24 cm的密度差異，如何改變有效穗、每穗粒數、倒伏、病害與完整米率？
4. 氮肥、水分與密度是否存在交互作用，使單一因子的平均效果不足以指導生產？
5. 哪些處理在逐筆成本紀錄下具有較低的直接成本、完整成本及每公斤成本？
6. 期作與試驗點是否改變上述效果，限制「全臺通用最佳種法」的成立？

1.3 預先提出的假說

- H1：N80相較N100可能降低穀粒粗蛋白質並改善部分食味指標，但產量反應取決於土壤肥力與期作。
- H2：安全AWD相較連續淺水可降低灌溉量；若在抽穗前後保持安全水層，平均產量可望維持，但不能先驗保證。
- H3：D22將提高單位面積叢數，D14則可能增加單叢分蘗與通風；最終產量取決於穗數與每穗粒數補償。
- H4：N×D及N×水分交互作用可能存在，故不以三個單因子試驗代替完整因子設計。
- H5：單位產量最高的處理不一定具有最低每公斤完整成本或最佳食味。

2. 既有證據

2.1 氮肥、產量與食味

臺灣優質水稻管理資料指出，氮肥過晚或穗肥過量可能提高蛋白質並影響食味，管理重點不是一味增加總量，而是依土壤、品種與生育期安排。農業試驗所1993至1994年四期作試驗以四品種及多個氮量比較，觀察到粗蛋白質隨氮量上升，完整米率、容重與直鏈澱粉反應則受品種與期作影響；該歷史試驗的具體適量不能直接當成2026年所有田區的推薦值，但支持同時測量產量與米質。

另有臺灣研究以臺梗9號與臺農67號、0、90及180 kg N/ha及三種密度擴大葉色變異，發現抽穗前後葉色與產量、穀粒氮含量具有關聯。這支持以SPAD或葉色作過程指標，但相關性不等於可直接由葉色決定最終施肥量。

2.2 水分管理

臺灣官方資料依生育期提出淺水、曬田與間歇灌溉管理，並提醒幼穗形成與抽穗開花期需避免水分壓力。IRRI的安全AWD方法以田間水管觀察水位，約降至土面下15 cm時再灌至約5 cm，抽穗前一週至後一週維持水層。本文採此方法作可操作起點，但地方土壤滲漏、灌區輪灌與降雨會改變實際門檻，故必須由農藝專家在播種前完成現地安全審查。

2.3 栽植密度

臺灣公開試驗資料曾比較30×15、30×18、30×21及30×24 cm等密度；國內外研究也顯示密度會改變有效穗、粒數、灌漿與品質，且與品種和氮量交互作用。本文選擇30×15與30×24 cm作兩端比較，而不是宣稱其中之一已被證明最佳。每叢苗數、秧苗日齡與補植規則固定，避免「密度」同時混入苗齡與每叢苗數差異。

2.4 米質與食味不能只看一個儀器分數

臺灣資料將稻米品質區分為碾製品質、外觀、理化與食味。粗蛋白質與直鏈澱粉會影響口感，但品種、期作、成熟度、乾燥、儲藏、碾米與炊飯條件也會造成差異。本文因此要求同批乾燥與碾米、樣品盲碼、固定加水與浸泡條件，並同時保留官能與儀器指標；不把單一食味計分數等同消費者普遍偏好。

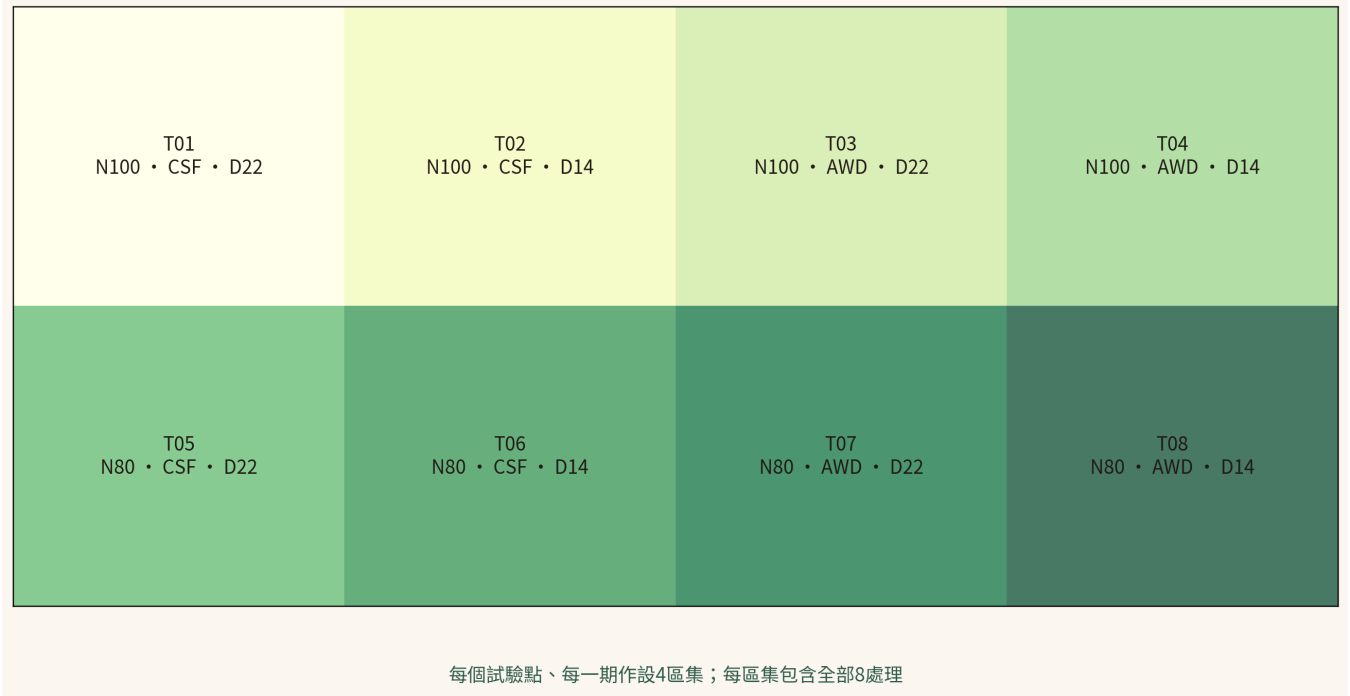


3. 方法：2×2×2田間試驗

3.1 處理定義

因子	水準1	水準2	研究界線
氮肥	N100：土壤檢測與地方推薦量100%	N80：同一推薦量80%	實際kg N/ha必須在各點播種前登錄
水分	CSF：連續淺水並依生育期調整	AWD：安全間歇灌溉	抽穗前後不得故意造成水分逆境
密度	D22：30×15 cm，約22.2叢/m ²	D14：30×24 cm，約13.9叢/m ²	每叢苗數與苗齡固定

圖1 2 × 2 × 2 因子試驗的八種處理



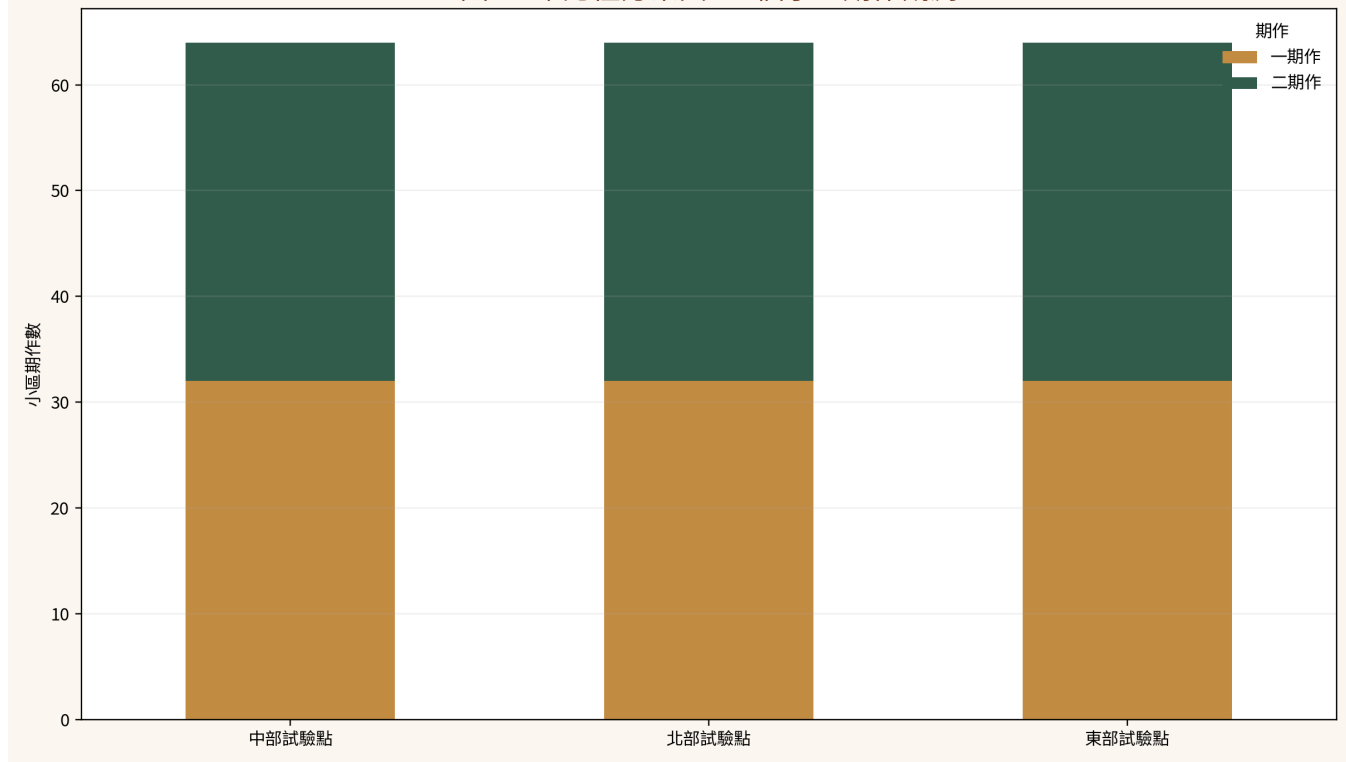
2×2×2因子試驗的八種處理

使用相對推薦量而不是直接指定全臺一致的kg N/ha，是因為土壤肥力、品種與地方施肥建議不同。N100並不代表慣行農民實際施肥量，也不代表官方認可本試驗；N80只是研究對照，不應在田間結果完成前被當成普遍減肥處方。

3.2 試驗規模與隨機化

最低先導方案為一個試驗點、一個期作、4區集，每區集8處理，共32小區。確認性方案為三個試驗點、兩個期作，每個試驗點一期作仍為32小區，共192個小區期作。每個區集內八處理以固定亂數種子20260717排列，公開randomization_schedule.csv；現地若受灌排方向限制，必須在揭盲前由試驗設計者記錄調整理由。

圖2 確認性方案共192個小區期作觀測



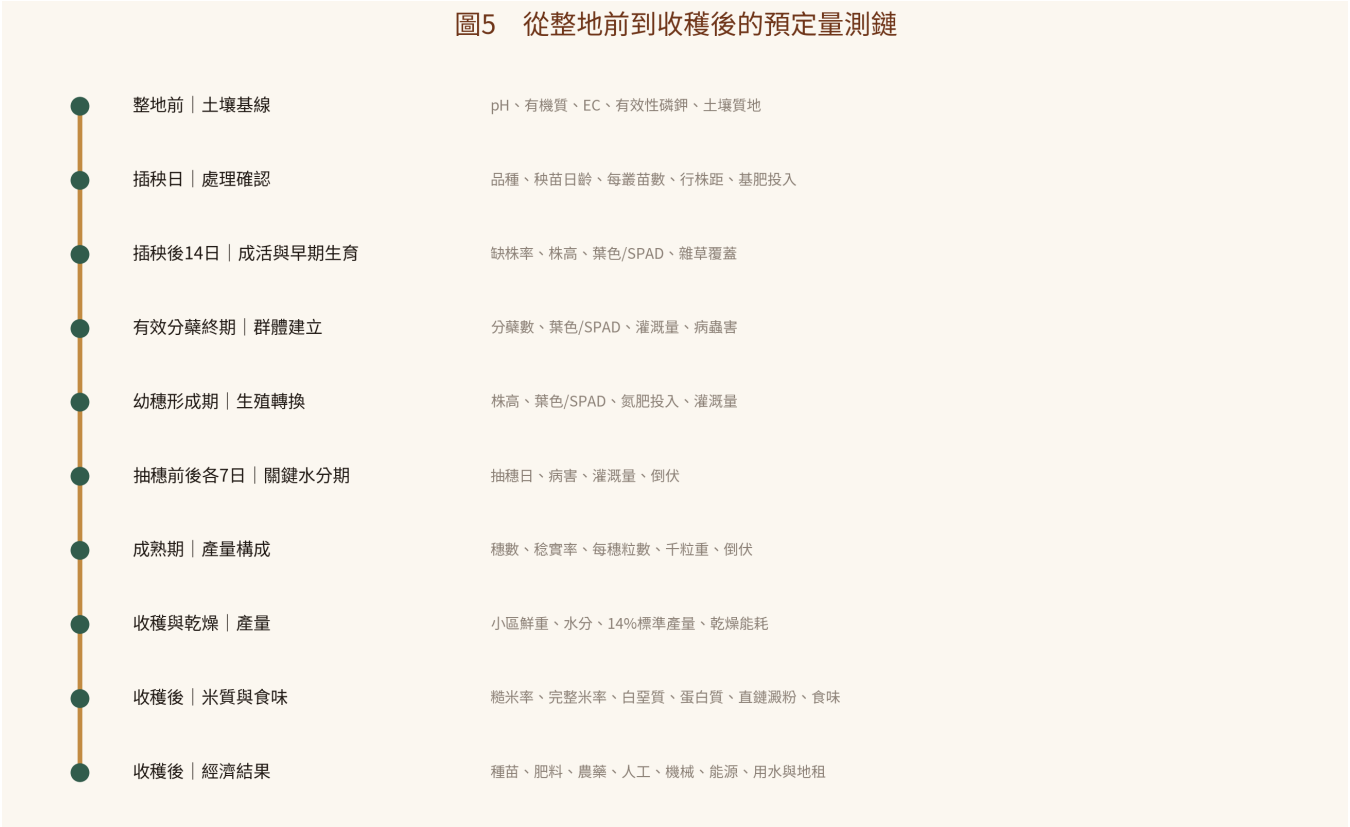
三地兩期確認性方案配置

三個試驗點只以北、中、東部作規劃代碼，尚未取得田區、地主或農民同意，也沒有精確座標。正式執行前必須簽署場地與資料使用同意，公開資料僅保留模糊化地區；個人姓名、電話、地址、地籍與精確座標不納入公開資料包。

3.3 共同管理條件

- 同一試驗點一期作使用同一品種與同批種子。
- 種子消毒、育苗介質、苗齡、每叢苗數、整地、磷鉀管理及病蟲害整合管理保持一致。
- 農藥只依核准標示、地方病蟲預警與專業指導使用；本文不是用藥處方。
- 各小區設邊行，收穫面積與含水率校正方法在插秧前固定。
- 水分處理需有獨立進排水或可證明不互相滲漏；無法隔離時不得聲稱完成水分隨機試驗。
- 收穫成熟度、乾燥溫度、乾燥終點、儲藏日數、碾米機與精白度保持一致。

3.4 量測鏈



從整地前到收穫後的預定量測鏈

主要產量以小區實收稻穀重量校正至14%含水率並換算kg/ha。灌溉水應以流量計、量水堰或經校正的流量×時間計算m³/ha，降雨另記；只記「灌幾次」不足以估計節水量。食味樣品以亂碼送檢，分析者在完成主要資料清理前不取得處理名稱。

4. 結果指標與判定

4.1 四個共同主要領域

1. 產量：14%含水率標準化稻穀產量kg/ha。
2. 食味與米質：盲碼官能總評、儀器食味值、粗蛋白質與直鏈澱粉；不以任一指標單獨取代全部品質。
3. 用水：實際灌溉水量m³/ha及水分生產力kg/m³。
4. 成本：每公頃直接成本、完整成本及每公斤完整成本。

4.2 次要與安全指標

有效穗數、每穗實粒、千粒重、稔實率、倒伏面積、病害嚴重度、糙米率、完整米率、白堊質、能源與人工時數列為次要結果。若水分或施肥處理造成顯著植株傷害、病害擴大或不可逆田間風險，安全與農藝判斷優先於維持試驗處理。

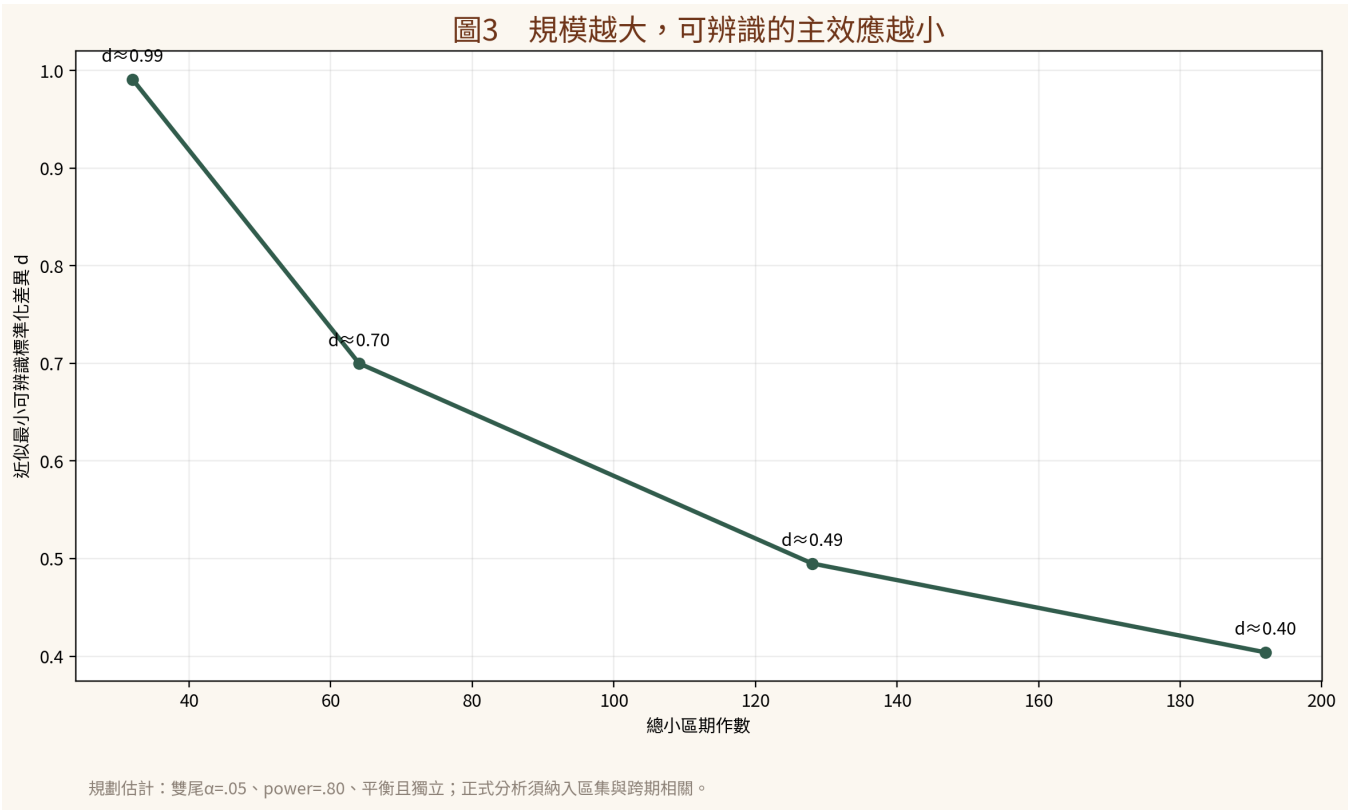
4.3 不建立事後「最佳總分」

處理要被建議進入擴大驗證，至少應同時滿足：產量不低於事前設定的非劣界值、食味或品質沒有實質惡化、用水或成本至少一項改善，且沒有增加倒伏、病害或執行風險。非劣界值必須由農藝專家與生產者在插秧前依商業可接受損失設定，不能看過結果後再調整。

5. 統計分析與檢定力

主要模型以氮肥、水分、密度及三者交互作用為固定效果，加入試驗點、期作及預先指定交互作用；區集嵌套在試驗點一期作為隨機截距。連續結果報告估計差、95%信賴區間與原始尺度，不只報p值。比例結果使用合適的廣義混合模型；模型不收敛時，必須公開替代方法與理由。

先導32小區的近似最小可辨識主效應為 $d=0.99$ ，主要用於檢查流程、變異與設備，不足以可靠辨識中小效果。三地兩期192小區的簡化規劃值為 $d=0.404$ 。計算假設觀測獨立、平衡、雙尾 $\alpha=.05$ 及 $\text{power}=.80$ ，尚未納入區集內相關與試驗點異質性，因此正式功效分析須以先導變異重新估計，不能把0.404當成保證。



試驗規模與近似最小可辨識差異

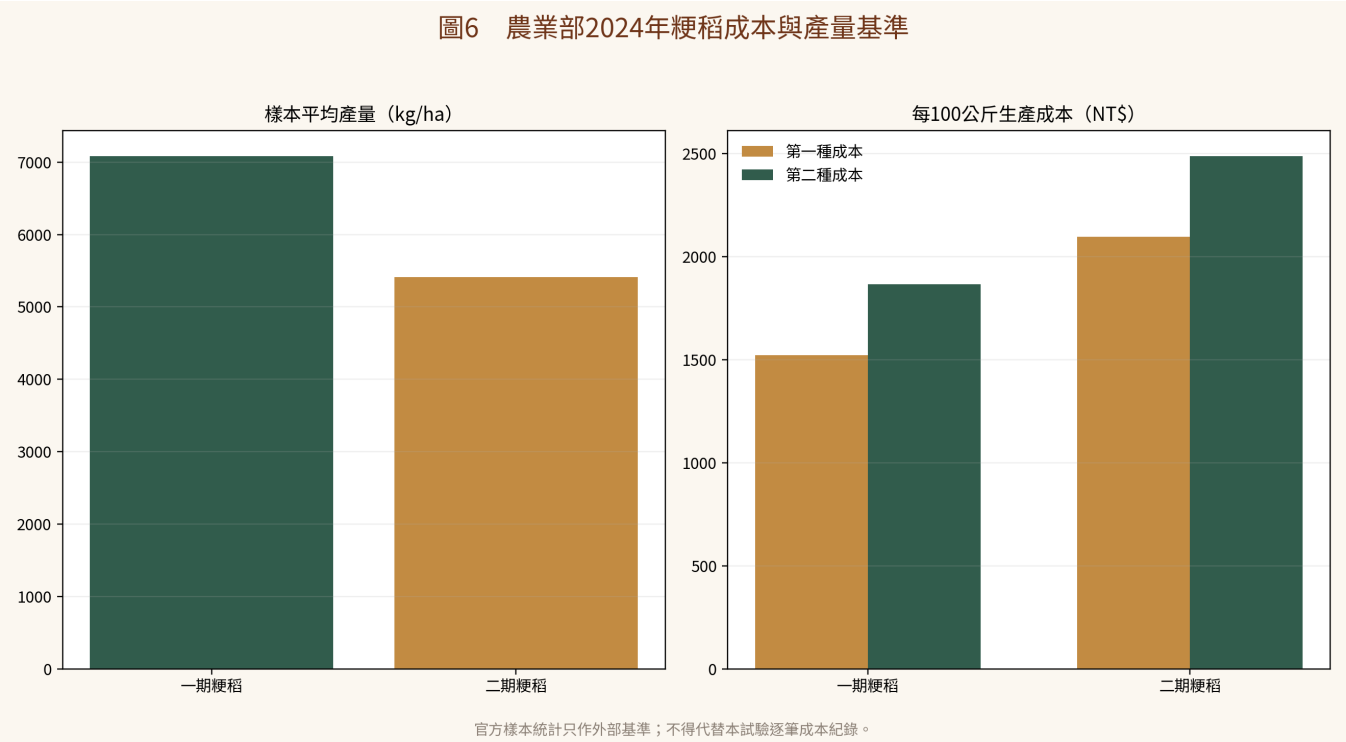
缺失值不在主要分析中插補，應逐筆記錄缺失原因。四個共同主要領域分別呈現，次要結果明確標示探索性。所有偏離方案、排除小區、設備失效、極端天氣與補植均在揭盲前建立事件紀錄。

6. 成本分析

農業部2024年農業統計年報提供以下外部基準：

指標	一期粳稻	二期粳稻
樣本平均產量 (kg/ha)	7,083	5,409
第一種生產成本 (NT\$/ha)	107,787	113,399
第二種生產成本 (NT\$/ha)	132,167	134,542
第一種成本 (NT\$/100 kg)	1,522	2,096
第二種成本 (NT\$/100 kg)	1,866	2,487
肥料費 (NT\$/ha)	12,617	13,727
購水費 (NT\$/ha)	2,366	1,729

第一種生產成本不含設算地租與資本利息並扣除副產物價值；第二種成本再加地租與資本利息。這些數字來自全國調查樣本，不是本研究田區成本，也不是2026年報價。試驗必須逐筆記錄種苗、肥料、藥品、人工、機械包工、能源、材料、用水、設施、農機具、地租及資金成本，並同時報告每公頃與每公斤結果。



農業部2024年粳稻產量與成本外部基準

7. 可執行的水稻種植流程

本文不是一份全臺通用施肥或用藥處方，但可將試驗與生產流程整理為：

1. 田區與品種：確認灌排條件、前作、土壤檢測、品種適地性與種子來源。
2. 育苗：記錄種子批號、消毒方式、播種量、苗齡及秧苗健康；不同處理使用同批苗。
3. 整地：完成田面平整與田埂防漏；水分試驗需能獨立量水。
4. 插秧：依密度處理插秧，每叢苗數固定，記錄缺株與補植。

5. 分蘖期：依方案施基肥與追肥，測葉色、分蘖、雜草、病蟲害及灌溉量。
6. 幼穗與抽穗：登錄穗肥；抽穗前後避免水分逆境並密集記錄病害。
7. 充實與成熟：追蹤倒伏、稔實與田間水分，依地方建議安排收穫前排水。
8. 收穫乾燥：排除邊行、量測鮮重與水分，統一乾燥程序並保存樣品鏈。
9. 碾米檢測：統一儲藏、碾米與精白條件，盲碼檢測完整米率、白垩質及理化品質。
10. 炊飯品評：固定洗米、加水、浸泡、炊飯與保溫條件，由訓練或至少標準化的品評程序完成。

每一步的具體日期、肥料種類、藥劑與灌溉門檻必須由當地改良場、植保與灌溉條件決定。讀者不得把本文處理水準直接套用於自己的田區而省略土壤檢測與專業判斷。

8. 研究限制

第一，本文尚無田間觀測，因此不能回答哪一種處理已經高產、好吃、節水或省錢。第二，確認性方案仍只有三個規劃試驗點與兩個期作，不能代表臺灣所有品種、土壤、氣候與灌區。第三，N80與N100是相對地方推薦量，跨點絕對氮量可能不同。第四，水分處理需要獨立灌排；若田間側滲嚴重，處理對比會被稀釋。第五，官能食味具有評審與烹調變異，儀器值也不是消費者偏好的完整替代。第六，2024官方成本只能作背景比較，2026實際投入價格與契作條件可能不同。第七，未將甲烷、氧化亞氮、砷或鎘列為共同主要結果；若未來加入，須另訂採樣、實驗室與安全方案。

9. 結論

本研究沒有提出一個尚未驗證的「神奇種法」。它把「高產又好吃」拆成可量測、可能互相衝突的結果，並提供一套能實際驗證的設計：同品種、 $2 \times 2 \times 2$ 因子、區集隨機、三地兩期、實際量水、標準化收穫、盲碼米質與逐筆成本。既有證據支持減少過量氮肥、採安全間歇灌溉及調整密度具有研究價值，但不能在本研究田間資料完成前宣稱任何一種組合優於其他組合。

最合理的執行順序是先完成32小區先導試驗，確認水分隔離、量水、收穫與食味流程，再以先導變異修正功效分析，擴充至三地兩期192個小區期作。田間結果完成後，應建立新版本，保留本版方案與所有偏離紀錄，使後續結論可以被追溯與檢驗。

資料、程式與重現

公開研究包包含：

- analysis.py：產生處理表、固定亂數配置、規劃計算與原創圖表。
- outputs/treatment_catalog.csv：8種處理定義。
- outputs/randomization_schedule.csv：192小區期作隨機配置。
- outputs/field_data_template.csv：未填入結果的田間資料模板。
- outputs/measurement_schedule.csv：量測時程與品質控制。
- outputs/evidence_matrix.csv：證據方向及邊界。
- outputs/official_2024_cost_benchmark.csv：人工抄錄並核對的官方統計衍生表。
- outputs/analysis_plan.json：預先指定統計方案。

- source-log.csv：來源、網址、擷取日與授權狀態。

研究包不重新散布第三方文章全文、政府PDF、圖片或完整網頁。田區、農民、地主、地籍、電話、地址與精確座標也不在公開包中。未來實際資料公開前，須先完成同意、去識別與敏感位置審查。

AI使用聲明與作者責任

生成式AI（OpenAI Codex）協助來源線索整理、試驗配置程式、圖表、語言起草、PDF與網站製作；AI不列為作者。周秉漢負責研究問題、來源核對、農藝判斷、研究設計、公開決策與後續更正。AI沒有進行田間種植、採樣或實驗室檢測。

CRedit：概念化、方法設計、資料查核、軟體、視覺化、寫作一審閱與編輯：周秉漢。

利益衝突

作者經營米糧相關事業，可能因優質米、訂閱服務或研究內容提高能見度而間接受益。本文不證明作者所經營商品具有較高產量、較佳食味、較低成本或優於其他產品，也不得作為「研究證明本產品較好」的廣告依據。作者未接受肥料、農藥、種苗、灌溉設備或檢測儀器業者委託。

研究範圍聲明

本研究僅描述指定來源於標示擷取日期可觀察之公開資訊，並提出待執行方案。「未觀察到」或「未揭露」不表示相關個人、企業或機構實際未提供該能力、未遵守法令、服務品質較差或存在違法情形。本文不構成肥料、農藥、灌溉、食品安全、法律、投資或交易建議；田間操作須依土壤檢測、產品核准標示及地方農業專業指導。

第三方權利及授權聲明

除另有標示外，CC BY 4.0僅適用於作者有權授權的原創分析、文字編排、研究程式、試驗表格及原創圖表。第三方名稱、商標、網址、資料、圖片、文字摘錄及其他內容，仍依原權利人或來源授權條款使用，不因收錄於本研究而改以CC BY 4.0授權。公開研究包不含第三方全文或下載圖片。

更正申請聲明

本研究依2026-07-17可取得的公開資訊製作。被提及之個人、企業或機構如認為資料有誤、已更新或缺乏必要脈絡，可提供具體來源申請更正。作者核實後將依版本政策修訂並保留修訂紀錄。更正申請：handson0102@hotmail.com。

版本紀錄

- v0.9 • 2026-07-17 • 完成證據整合、田間試驗方案、隨機表、空白資料模板與發佈前定稿。

參考文獻

1. 吳永培、廖大經、周思儀。優質水稻栽培管理技術（下）。農業部農業知識入口網。[來源](#)
2. 農業部農業知識入口網。稻米主題館－栽培管理技術。[來源](#)
3. 賴明信等。現行水稻推廣品種生產力與氮肥用量之關係－II.氮肥用量對稻米容重及品質之影響。台灣農業研究。[來源](#)
4. Lo, J.-C., & Chen, Y.-S. Yield and Grain Nitrogen Content in Relation to Leaf Color in Rice Cultivars TK 9 and TNG 67. *Journal of Taiwan Agricultural Research*. [來源](#)
5. 農業試驗所。重點作物健康管理生產體系及關鍵技術研發成果研討會論文集。[來源](#)
6. International Rice Research Institute. Saving Water with Alternate Wetting and Drying (AWD).[來源](#)
7. International Rice Research Institute. Water Management Practices.[來源](#)
8. 農業部農業知識入口網。水稻品種間炊飯特性與食味值表現之探討。[來源](#)
9. 謝順景。稻米食味的理化性及稻米分級之研究。[來源](#)
10. International Rice Research Institute. Grain Quality.[來源](#)
11. 農業部。113年農業統計年報：農產品生產費用與收益。[來源](#)
12. 農業部農業試驗所。水稻合理施肥減碳建議。[來源](#)
13. Planting density affects the yield and quality of indica-japonica hybrid rice by regulating grain filling characteristics. *The Crop Journal*. DOI
14. Effects of Cultivar, Nitrogen Rate, and Planting Density on Rice-Grain Quality. *Agronomy*, 8(11), 246. DOI