

應用鐵粉披衣稻種的水稻湛水直播之研究¹

吳以健、楊嘉凌²

摘 要

水稻是臺灣最重要的糧食作物，近年來因勞力缺乏，導致秧苗漲價與供應不足。水稻直播栽培方式省去育苗階段，可改善育苗中心勞力缺乏問題，並降低種苗成本，提高經濟效益，惟水稻直播栽培容易遭遇之問題包括初期發芽不穩定、鳥類啄食與後期倒伏風險。故本研究擬分別針對品種篩選、稻種包覆鐵粉與栽培管理效益進行比較。試驗結果顯示，台中秈10號相較於其他推廣品種，具有初期發芽速率快與初期生長勢強的優點，適合用於直播栽培；稻種披覆鐵粉後，發芽速度與最終出土率皆受抑制，且以預浸時間2日與3日者抑制狀況更加顯著，因此可決定預先浸潤時間為0.5~1日較佳；田間試驗方面，直播水稻的產量高於插秧栽培者，原因為單位面積穗數的增加；品質方面無顯著差異；成本效益評估方面，直播栽培若使用臺灣鐵粉，種苗成本可較慣行插秧者節約50%左右，但若使用日本鐵粉美人則無節約效益；田間成本方面，直播栽培可能增加除草劑施用次數；經評估產量與產值後，直播水稻的整體效益較慣行插秧高。總合以上，直播水稻具有省工與增加收益的優點，然而仍需考慮天災、病蟲害、微氣候、土壤性質、雜草相等，未來應更進一步優化各項細節，以達到兼具省工、高效的智慧化栽培系統。

關鍵詞：水稻、直播、智慧農業、成本效益分析

前 言

水稻是臺灣最重要的糧食作物，傳統的水稻栽培採用移植方式，可確保稻苗的萌發與生長，提高稻苗存活率及使用效率，因而成為近代慣用的栽培方式⁽⁵⁾。每期作農忙期間，育苗場出現龐大秧苗需求，並伴隨大量的勞動人力投入。近年來農業人口流失情形嚴重，農業從業人口近10年減少了27.5%⁽¹⁾，對水稻生產無疑是一大負擔。有鑑於此，全球皆致力研究相關的省工栽培方式，其中之一為直播栽培。水稻直播栽培省去育苗作業，直接將種子播於田間進行栽培，一方面可節約育苗階段的投入，另一方面亦紓解農忙期間秧苗供不應求及育苗勞力不足的問題^(11,19)。

直播栽培目前在全球水稻栽培約占有23%的面積⁽¹⁸⁾，在美國、歐洲及澳洲都正廣泛使用中^(12,15,16)。直播栽培大抵分為濕田直播與乾田直播，濕田直播法與傳統插秧法相似，在整地

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0958 號。

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場助理研究員、副研究員兼作物改良課課長。

之後使用與插秧機機型相近之濕田直播機進行點播，或使用動力施肥機進行撒播，因栽培管理與傳統插秧法相近，成為東亞地區多數直播稻農之偏好。然而，濕田直播初期，稻種在水中遭遇缺氧與其導致之種子出土率及生長勢不佳的缺點⁽⁸⁾。現行品種因育種過程為移植方式，多數都無法適應初期萌芽階段的土壤缺氧狀態⁽¹⁰⁾，因此篩選初期生長快速的品種^(6,7)顯得相對重要。再者，為了促進稻種萌芽與生長，田區進行排水曝氣時，往往易遭鳥類啄食危害；此外，播種後稻種深度不夠，造成根系過淺以致後期倒伏風險，都是可能遭遇之挑戰。有鑑於此，在播種前將稻種施以表面披覆鐵粉預措，除了以褐色氧化鐵形成保護色與避免鳥害之外，亦增加稻種重量，沉入土中增加根系深度與稻株穩定⁽²⁾。

民國70~80年代，臺灣尚有5%的稻田採直播方式，然時至目前，臺灣水稻栽培幾乎完全使用插秧移植栽培，意即現行水稻品種與栽培管理方式皆僅適用插秧移植栽培，必須於三方面進行研究與改善：1.適用於直播栽培之品種，需具有種子快速發芽、高出土率、初期生長快速等優點，以提高田間存活率及與雜草之競爭優勢。2.建立臺灣本土之稻種鐵粉披衣作業流程，提高稻種鐵粉披覆效率與後續發芽勢。3.直播水稻之栽培管理，應注意稻種萌芽後生長初期之營養供給、防止鳥類啄食、抑制雜草競爭、預防後期植株倒伏。因此，本研究首先進行現行品種初期發芽特性的篩選，再以日本鐵粉披衣作業為基礎，建立臺灣本土之稻種披衣流程，最後將上述品種進行披衣後的稻種，於田間實地進行直播試驗，以評估直播栽培之最終成本效益，作為未來直播水稻生產之重要參考。

材料與方法

一、品種篩選比較

使用目前水稻推廣品種，粳稻包括台粳2號(TK2)、台粳8號(TK8)、台粳9號(TK9)、台粳14號(TK14)、台粳16號(TK16)、桃園3號(TY3)、台中秈10號(TCS10)、台中秈17號(TCS17)、台中秈糯2號(TCSW2)、台中192號(TC192)、台農71號(TNG71)、台農77號(TNG77)、台南11號(TN11)、台南16號(TN16)、台粳糯1號(TKW1)、台粳糯3號(TKW3)、高雄139號(KH139)、高雄145號(KH145)、高雄147號(KH147)、高雄秈7號(KHS7)、台東30號(TT30)、台東33號(TT33)及台東糯31號(TTW31)共24個品種，稻種皆為2016年一期作生產，於2016年10月，將稻種經風選後，浸潤過後披覆鐵粉與石膏粉(作為黏著之用)，再將披衣稻種播於盆栽土面，採用完全隨機設計(Completely randomized design, CRD)，每個品種4重複，每個重複10粒稻種，並在土面澆水2 cm。播種後14日內，每日調查發芽種子數目，並以出現最多發芽數目日作為完全發芽所需日數，以評估出土率，再於秧苗達到3葉齡後取回烘乾測量乾重作為生物量，以評估初期生長量。

二、稻種鐵粉披衣對發芽特性之影響

稻種的披覆鐵粉作業，包括以下流程：選種、浸種、脫水、披覆、靜置氧化、冷藏。其中，浸種的時間與披覆的鐵粉種類，將可能直接影響鐵粉披覆效率、稻種出土率及發芽速度，

前人研究指出，披覆鐵粉前進行適度浸種預措，可增加種子可溶解糖的含量，進而提高鐵粉稻種在湛水狀況下的出土率⁽¹⁴⁾。本研究以上述品種篩選最優秀者—台中秈10號，分別進行0.5、1、2、3日的浸水後，再分別以臺灣市售鐵粉(鐵粉細，粒徑 $< 50 \mu\text{m}$ ，第一化工，臺灣)與日本直播水稻專用鐵粉(粉美人, S91 iron powder, JFE steel corporation, Japan)⁽¹³⁾進行披覆，同時以不披覆鐵粉作為對照組，靜置待鐵粉完全氧化後，以4°C 冷藏7日取出，採用完全隨機設計(Completely randomized design, CRD)，播於濕潤土面。每個處理組合5重複，每重複100粒種子，每日調查發芽種子數目以計算發芽速率與最終出土率。

三、田間試驗與效益分析

- (一)品種：直播初期表現最佳之品種-台中秈10號。
- (二)田間設計：直播區為兩種鐵粉披衣處理種子進行直播；以插秧處理為對照組，每一田區為0.08 ha，採用完全隨機設計(Completely randomized design, CRD)。
- (三)田間管理：於2月上旬進行2次整地，即粗整地與整平，並於整平前每0.08 ha施用1 kg 滅 芬 免 速 隆 (3.5% 2-(1,3-benzothiazol-2-yloxy)-N-methylacetanilide & 0.13% Methyl-a-(4,6-dimethoxypyrimidin-2-ylcarbamoylsulfamoyl-O-toluate)作為萌前除草劑。種子依上述流程完成鐵粉披衣預措後，於2月下旬使用動力施肥機械進行撒播，播種量為每塊田區乾穀4 kg (等同於每公頃乾穀50 kg)。於播種後10日進行對照區的插秧，對照區使用之秧苗為3葉齡。直播區之田間管理，播種後湛水7日，接著排水曝氣7日，再湛水7日，待稻株達4葉齡，後續田間管理與插秧對照組皆依照水稻臺灣良好農業規範(TGAP)進行。
- (四)調查項目：為評估直播系統之成本效益，計算稻作改以直播栽培之成本投入與收益產出，投入之調查包括稻種價格、稻種用量、預措費用(鐵粉、石膏粉、機具、人工)、播種費用、栽培操作投入(施肥、噴藥)、收穫。並以傳統移植方式作為對照，調查秧苗用量、秧苗價格、插秧費用、栽培操作投入、收穫。產出方面則調查各自之稻穀產量構成要素及品質，品質分析分為外觀品質、成分分析及官能品評，外觀品質測定白米透明度與白垩質程度(心白、腹白、背白)，透明度依白米透明程度，由玻璃般透明的0級至糯米般不透明的5級；白垩質程度則依白垩質在米粒的心部、與胚同側的腹部或與胚異側的背部中加深或擴大的程度，由無白垩質的0級至糯米般不透明的5級；成分分析為白米磨粉後，分別以自動分析儀(Autoanalyzer, Alpkem CO., USA.)與近紅外線光譜分析儀(Near-infra Analyzer 500, Technicon)測定直鏈澱粉含量與粗蛋白質含量；官能品評方面，將樣品白米加以重量1.35倍的水浸泡後蒸煮熟，再以一般栽培之台中秈10號白米作為對照，進行米飯外觀、香味、口味、黏性、硬性及總評的比較，品評結果經分析後區分為3級：外觀、香味、口味及總評之A級表示優於對照品種，B級表示與對照品種相同，C級表示劣於對照品種。黏性之A級表示較對照品種黏，B級表示與對照品種相同，C級表示較對照品種不黏。硬性之A級表示較對照品種硬，B級表示與對照品種

相同，C級表示較對照品種軟。綜合評估產量與品質，計算為單位面積收益。綜合投入與產出資料，評估直播系統之成本效益。

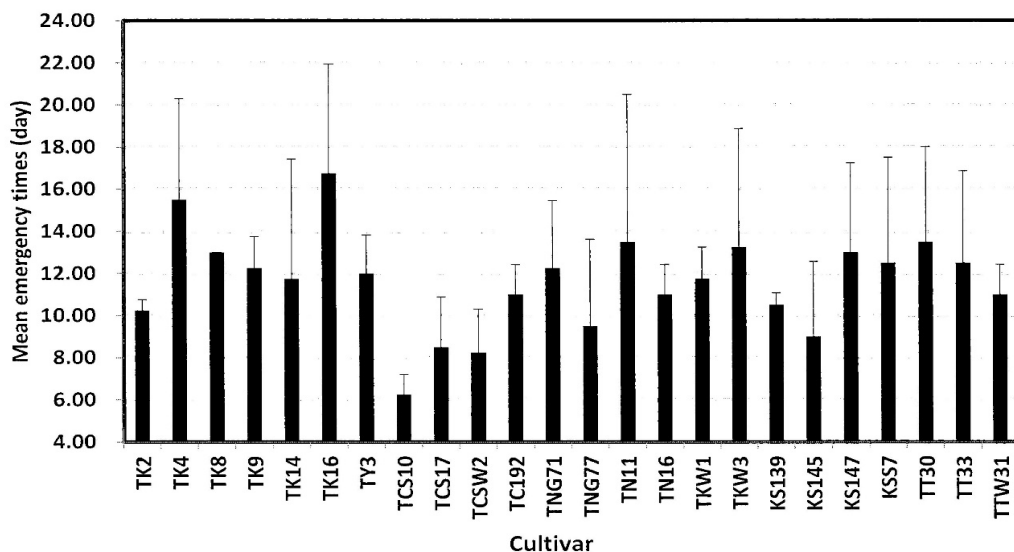
四、統計分析

上述試驗調查結果，以統計軟體R⁽¹⁷⁾計算平均值，並進行變方分析(analysis of variance)及個別比較差異，個別比較使用最小顯著差異法(least significant difference method, LSD)。

結果與討論

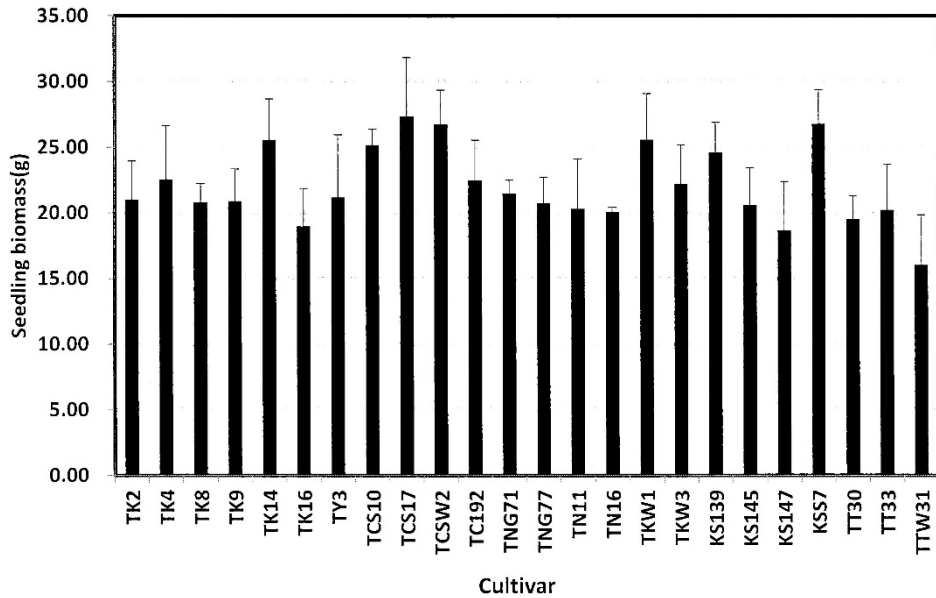
一、適用直播栽培的品種篩選

將24個品種進行初期發芽試驗，結果分別表示如圖一、圖二。發芽日數方面，粳稻以高雄145號(KS145)、台農77號(TNG77)與台梗2號(TK2)的發芽日數最短(9日、9.5日、10.25日)；秈稻則是台中秈10號(TCS10)與台中秈17號(TCS17)最短(6日、8.25日)；糯稻則以台中秈糯2號(TCSW2)為最短(8.25日)。生物量方面，粳稻以台梗14號(TK14)、高雄139號(KS139)與台中192號(TC192)的生物量最大(25.56 g、24.59 g、22.44 g)；秈稻則是台中秈17號(TCS17)與台中秈10號(TCS10)最大(27.37 g、25.16 g)；糯稻則以台中秈糯2號(TCSW2)為最大(26.73g)。綜合以上結果，台中秈10號之發芽速率與初期生物量皆表現優良，推測其於實際田間直播時可具備較佳之苗立率及雜草競爭優勢，可作為直播適用品種。整體而言，秈稻或秈糯稻的表現較粳稻為佳，可能是由於秈稻(印度型稻)通常具有較佳的種子活力與較長的中胚軸，有助於直播於田間後的初期萌芽勢⁽⁵⁾，台中秈10號在秈稻中更具有湛水直播適性，與前人研究結果相吻合⁽⁴⁾。



圖一、24 個推廣品種間濕田直播的平均出土時間比較

Fig. 1. Comparison of mean emergency times among 24 commercial cultivars under wet direct seeding



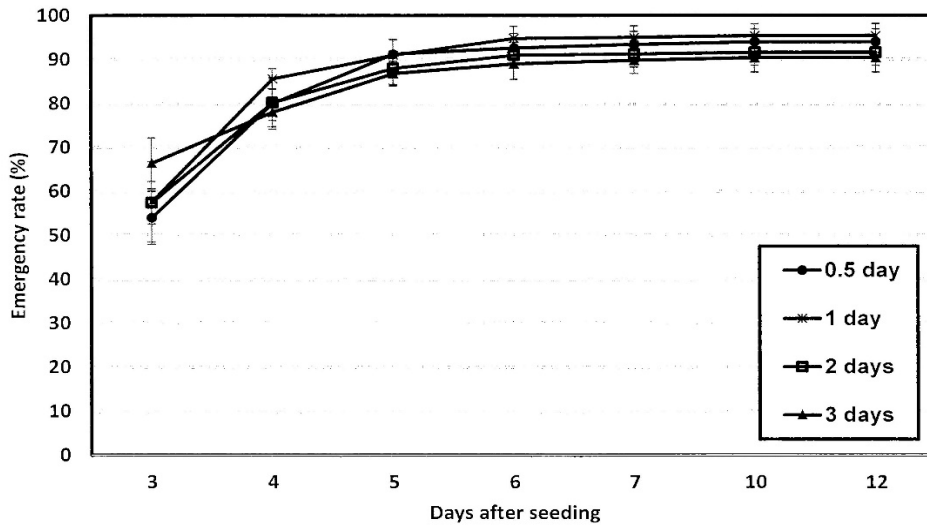
圖二、24 個推廣品種間濕田直播的 3 葉齡幼苗生物量比較

Fig. 2. Comparison of seedling biomass of 3-leaf stage among 24 commercial cultivars under wet direct seeding

二、稻種鐵粉披衣對發芽特性的影響

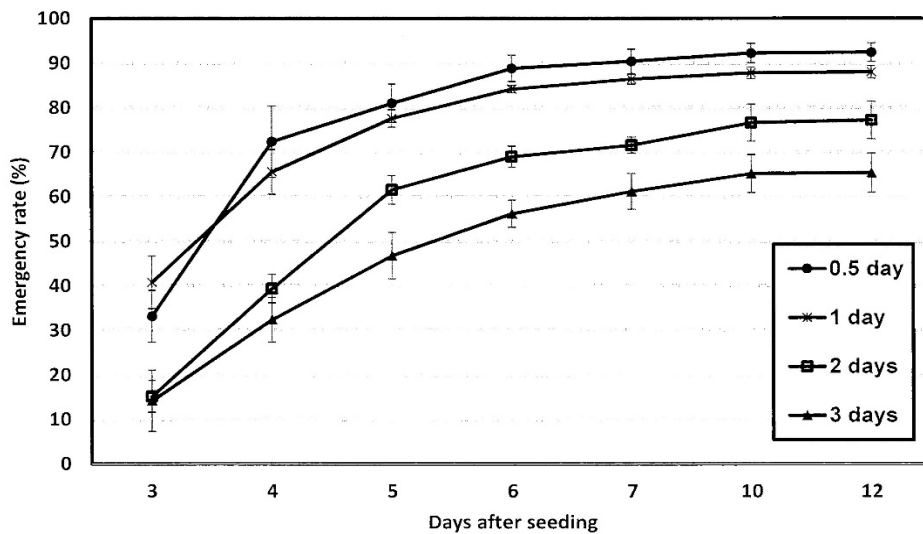
依前述品種篩選結果，使用台中秈10號進行披衣流程試驗及田間直播試驗。結果如圖三~圖五所示。未披衣的稻種，在播種後5日即達到85%以上之出土率，顯示本批稻種之種子活力正常；播種後6日達到最大出土率，最終出土率為預浸0.5日與1日者較高，但與預浸2日與3日者差距不明顯。臺灣鐵粉與日本鐵粉美人披衣者，播種後的發芽狀況皆較不披衣者延遲1~2日，最終出土率同樣為預浸0.5日與1日者較高(88~92.4%與89~92.2%)，並略低於不披衣者(95.4%)，顯示鐵粉披衣將可能減緩稻種吸水速率及芽點伸出，進而抑制稻種發芽；再者，不同於不披衣組，兩種鐵粉披衣組之預浸0.5日/1日者，與預浸2日/3日者之最終出土率差距顯著，顯示若預先浸種時間過久，啟動發芽機制之程度高，因鐵粉包覆而影響出土率的狀況就更顯著。比較臺灣鐵粉與日本鐵粉披覆，臺灣鐵粉披覆之預浸0.5日/1日稻種出土率與日本鐵粉披覆者相近(88~92.4%與89~92.2%)，但預浸2日/3日者，臺灣鐵粉披覆稻種出土率則顯著較日本鐵粉披覆者低(69.4~77.2%與76.2~79.2%)，顯示若預浸較久時間的稻種，在日本鐵粉披覆者受到影響較小，原因可能在於日本鐵粉披覆過程較不易造成稻種受傷，或日本鐵粉粒徑較大，披覆後孔隙較多，稻種較易吸水或萌芽。此外，相較於日本之鐵粉披衣稻種標準作業流程，日本方面作業為預先浸種2~3日(依氣溫不同而增減)再進行鐵粉披衣，在台中秈10號以浸種1日以內者表現較佳，推測原因為臺灣的秈型水稻品種之浸種過程中吸水速度較快，僅浸種1

日以內即適合進行鐵粉披衣，若浸種時間過久，其幼芽已萌發，將可能在披覆鐵粉過程受傷，進而降低最終出土率。另一方面，亦顯示台中秈10號在播種後的發芽速度快，儘管鐵粉包覆造成出土率降低，仍能維持85%以上之出土率。



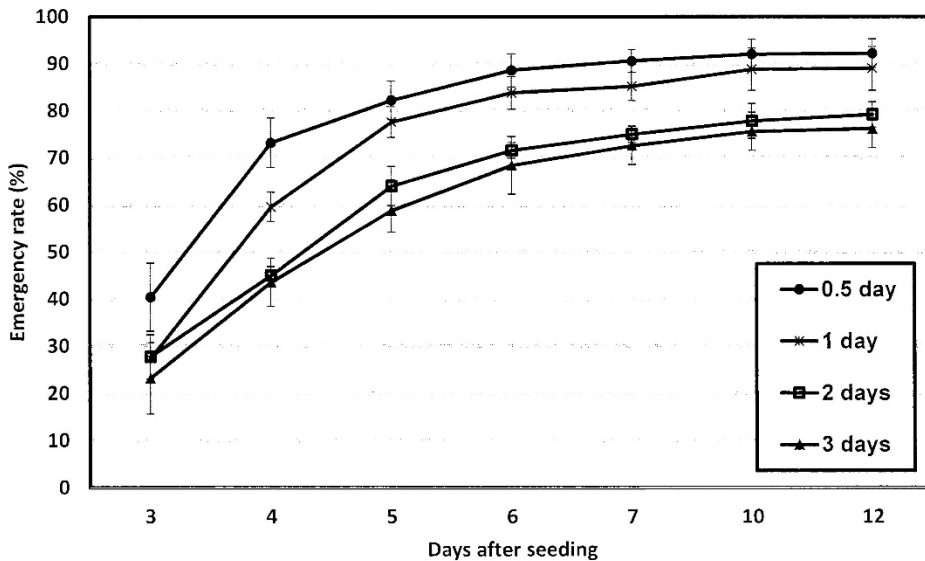
圖三、不披覆鐵粉的稻種在不同時間浸潤之下的出土率

Fig. 3. Emergency rate of rice seeds without coating with different pre-soaking time.



圖四、披覆臺灣鐵粉的稻種在不同時間浸潤之下的出土率

Fig. 4. Emergency rate of rice seeds coated with Taiwanese iron powder with different pre-soaking time.



圖五、披覆日本鐵粉的稻種在預先浸潤不同時間之下的出土率

Fig. 5. Emergence rate of rice seeds coated with Japanese iron powder with different pre-soaking time.

三、田間試驗結果

一期作之產量分析結果如表一，結果顯示，以鐵粉披覆稻種(臺灣鐵粉或日本鐵粉美人)之直播栽培，產量皆高於慣行之插秧栽培者(每公頃7,473 kg或8,487 kg與6,925 kg)，尤以日本鐵粉美人組之差異明顯。產量之差異主要來自單位面積穗數(每平方公尺512支或509支與290支)的差異，儘管千粒重以插秧栽培者略優(24.7 g或25.0 g與26.2 g)，仍無法平衡整體產量之差異。而直播栽培之穗數較高的原因，則可能來自單位面積播種量，日本的直播栽培推薦播種量為每公頃35~40 kg的乾稻種量，本試驗為避免氣候因素導致出土率不佳，播種時略為增加稻種用量(約每公頃50 kg)，另外，由於撒播方式種子之間間距較均勻亦較大，故能有較佳的分蘗空間，促使直播栽培的分蘗勢較強。品質方面，不論在米粒透明度(皆為3.5級)、白垩質(皆小於1級)、直鏈性澱粉含量(13.0%、12.4%與13.5%)、粗蛋白質含量(6.17%、6.11%與6.50%)、米飯官能品評(皆為B等級)，直播栽培者與慣行插秧栽培者皆無顯著差異(表二與表三)，故推測直播栽培者具有同樣優質潛力。在栽培日數方面，自播種或插秧至收穫，直播栽培者與插秧者分別為139日與131日，直播栽培者顯著需要較久的田間生長時間，可能有對天災有較高的風險，並有較多的水資源耗用，然而確切的水資源使用量，有待日後進一步研究證實。直播總體而言，雖然直播栽培之產量較高，然而由於撒播方式的稻株之間無溝行，造成田間通風性較差，高溫高濕的環境可能導致病蟲害發生風險提高⁽⁴⁾。且由於高溫的微氣候環境，若種植對高溫較敏感之梗型水稻品種，可能因此而導致外觀品質(白垩質粒、被害粒、碎粒增加)受損⁽³⁾。另一方面，直播栽培者之田間生長時間較長，可能影響該田地其他栽培時序，亦應納入考量。

表一、不同鐵粉披覆之水稻直播栽培的產量構成要素

Table 1. Yield components of seeds coated with different iron powder in rice direct-seeding systems

	DM ²	PN ²	GN ²	FR ² (%)	GW ² (g)	Yield (kg/ha)
DSTIP ¹	139 a ³	512.0 a	131.2 a	85.9 a	24.7 b	7473 ab
DSJIP ¹	139 a	508.7 a	120.9 a	87.5 a	25.0 b	8487 a
TP ¹	131 b	290.3 b	111.3 a	87.7 a	26.2 a	6925 b

¹ DSTIP: direct-seeding used seeds coated with Taiwanese iron powder; DSJIP: direct-seeding used seeds coated with Japanese iron powder; TP: transplanting.

² DM: days to maturity; PN: panicle number per m²; GN: grain number per panicle; FR: fertility rate; GW: 1000-grain weight.

³ Mean with different letters in a column are significantly different by least significant difference (LSD) test at P ≤ 0.05.

表二、不同鐵粉披覆之水稻直播栽培的外觀品質與相關成分

Table 2. Appearance quality and ingredients about palatability of seeds coated with different iron powder in rice direct-seeding systems

	Appearance of polished rice				Ingredients about palatability	
	TL ²	WC ²	WY ²	WB ²	AC ² (%)	PC ² (%)
DSTIP ¹	3.5 a ³	0.00 a	0.00 b	0.00 a	13.0 a	6.17 a
DSJIP ¹	3.5 a	0.00 a	0.98 a	0.00 a	12.4 a	6.11 a
TP ¹	3.5 a	0.00 a	0.00 b	0.00 a	13.5 a	6.50 a

¹ DSTIP: direct-seeding used seeds coated with Taiwanese iron powder; DSJIP: direct-seeding used seeds coated with Japanese iron powder; TP: transplanting.

² TL: translucency; WC: white center; WY: white belly; WB: white back; AC: amylose content; PC: protein content.

³ Mean with different letters in a column are significantly different by least significant difference (LSD) test at P ≤ 0.05.

表三、不同鐵粉披覆之水稻直播栽培的米飯官能品評

Table 3. Palatability quality of seeds coated with different iron powder in rice direct-seeding systems.

	Appearance	Aroma	Flavor	Cohesion	Hardness	Overall
DSTIP ¹	B ² (0.10)	B (0.00)	B (0.20)	B (0.10)	B (0.15)	B (0.15)
DSJIP ¹	B (0.05)	B (-0.05)	B (0.05)	B (0.05)	B (-0.15)	B (-0.10)
TP ¹	B (0.10)	B (0.05)	B (0.05)	B (-0.10)	B (0.15)	B (0.00)

¹ DSTIP: direct-seeding used seeds coated with Taiwanese iron powder; DSJIP: direct-seeding used seeds coated with Japanese iron powder; TP: transplanting.

² Different letters are difference between samples of treatment and CK. A means the sample of treatment better than CK; B means the sample of treatment same as CK; C means the sample of treatment worse than CK.

四、直播栽培的成本效益分析

水稻直播栽培與插秧方式之成本投入差異，主要在於稻種/秧苗製備、播種/插秧作業與除草劑施用(表四與表五)。結果顯示，直播栽培若選擇以臺灣鐵粉披覆，稻種/秧苗成本可節約50%左右，若使用日本鐵粉美人產品，由於此產品具有專利，且須由日本進口，稻種預處理之鐵粉原料費顯著高於臺灣鐵粉(每公頃42.5元與200元)，導致稻種/秧苗成本反而較秧苗生產為高(表四)。播種/插秧作業方面，由於本試驗使用撒播，採用動力機械之代工成本較機械插秧低(每公頃4,000元與6,000元)。接著是除草劑施用，由於直播栽培之雜草問題較嚴重，每期作需要多噴施1~2次之萌後除草劑，其成本包括除草劑成本與代噴施作業之成本，每公頃約增加5,000~10,000元之雜草防治成本；此外，本次試驗並未遭受顯著病蟲害侵襲，而撒播方式的稻株之間通風較差，容易發生病蟲害⁽⁹⁾，亦可能增加藥劑防治之成本。總合以上，臺灣鐵粉稻種的直播栽培成本約與插秧方式相近，而略低於日本鐵粉稻種的直播栽培。產出方面，產量以直播方式較佳，且品質方面無差異，亦即可依相同收購價計算，因此直播方式之產值較高。綜合評估成本與收益，直播栽培的每公頃收益約為50,000~65,000元，顯著高於插秧栽培的37,000元，顯示直播栽培之具有生產潛力。

表四、不同鐵粉披覆稻種與傳統秧苗生產之原物料成本分析

Table 4. Raw materials costs of seeds coated with different iron powders compared with conventional seedling production.

		STIP*	SJIP*	STP*
Items of input seeds / seedlings		50 kg	50 kg	300 pieces
Unit price of coating seeds/seedlings (NTD)	Iron powder	42.5	200	-
	Labor	17.5	17.5	-
	Gypsum	5	5	-
	Machine	16	16	-
	Seeds	30	30	-
	Seedlings	-	-	39
	Sum	111	268.5	39
Total price per hectare (NTD)		5550	13425	11700

*STIP: seeds coated with Taiwanese iron powder ; SJIP: seeds coated with Japanese iron powder ; STP: seedling of transplanting.

表五、不同鐵粉披覆之水稻每公頃直播栽培之成本及收益分析

Table 5. Costs and benefits assessments per hectare of seeds coated with different iron powders in direct seeding system.

Operation	DSTIP*	DSJIP*	TP*	
Input (NTD)	Tillage	22000	22000	22000
	Coated seeds/seedling	5550	13425	11700
	Seeding/transplanting	4000	4000	6000
	Fertilizer	9158	9158	9158
	Fertilization	20000	20000	20000
	Herbicide	12700	12700	10502
	Herbicide application	18000	18000	15000
	Harvest	13500	13500	13500
	Sum (a)	104908	112783	107860
Output (NTD)	Grain yield (kg)	7473	8487	6924
	Grain price (NTD/kg)	21	21	21
	Sum (b)	156933	178227	145404
Net benefit (b-a)	52025	65444	37544	

*DSTIP: direct-seeding used seeds coated with Taiwanese iron powder; DSJIP: direct-seeding used seeds coated with Japanese iron powder ; TP: transplanting.

結 論

直播栽培可省去育苗階段，節約其資材投入、能源消耗、時間成本及人力需求，在追求效率的未來，是一重要的栽培選擇，由本研究結果，直播栽培的產量相較慣行插秧方式提高或相同，再加上節約時間與勞力的效益，未來將更顯重要。然而，直播栽培仍有許多需要微調的細節，例如本研究年期並未遭遇大型天災與嚴重病蟲害侵襲，尚無法評估其對生物性及非生物逆境之敏感度。再者，各地區之微氣候、土壤性質、雜草相皆不相同，直播栽培管理更需依此進行調整，諸如北部地區的一期作低溫、砂質土壤的保水力、雜草嚴重田區的管理方式，都是影響成功與否的關鍵。此外，國外之直播栽培，常面臨異品種或雜草型紅米混雜的問題，品種純度的維持，更是目前臺灣稻作生產的重要議題。總合以上，雖然直播栽培系統待優化的細節仍存在，未來新元素的投入，例如無人飛行載具的普及與高準確性、新型除草劑的研發、發芽促進技術的問世，都能給予直播栽培有力的幫助，使水稻直播系統更加完善，並作為兼具省工、高效、高收益的智慧農業栽培系統。

參考文獻

1. 行政院農業委員會 農業統計資料查詢系統
<http://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/inquiry/InquireAdvance.aspx>
2. 山本稔 2010 包覆鐵粉種子湛水直播操作指南 農業與食品產業技術總合研究機構。
3. 莊豐鳴 2013 植冠微氣象在高溫及不同栽培密度下對水稻產量及品質之影響(碩士論文)。取自國立臺灣大學機構典藏。

4. 張桂芬、魯傳濤 1995 栽插密度、施氮量對水稻主要病蟲害的綜合生態效應 植物保護學報 1: 38-44。
5. 張學琨 1999 台灣稻米移植栽培技術之演進 p.265-312 台灣稻作發展史 臺北。
6. 楊嘉凌 1996 水稻不同品種間直播萌芽能力之研究(碩士論文)。取自國立中興大學機構典藏。
7. 楊嘉凌、吳詩都、曾富生 1997a 水稻矮性基因在直播栽培下對萌芽及幼苗生長特性之表現 臺中區農業改良場研究彙報 55: 1-9。
8. 楊嘉凌、吳詩都、曾富生 1997b 水稻不同品種間在直播下之萌芽能力 臺中區農業改良場研究彙報 56: 1-9。
9. 廖君達、郭建志 2015 水稻病蟲害防治 臺中區農業技術專刊 193: 63-71。
10. Farooq, M., K. H. M. Siddique, H. Rehman, T. Aziz, D. J. Lee and A. Wahid. 2011. Rice direct seeding: experiences, challenges and opportunities. *Soil and Tillage Research*. 111:87-98.
11. Flinn, J. C. and A. M. Mandac. 1986. Wet seeding of rice in less favored rainfed environments working paper. *Agricultural Economics*. Department, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
12. Gianessi, L., C. Silvers, S. Sankula and J. Carpenter. 2002. Plant biotechnology: current and potential impact for improving pest management in U.S. Agriculture: Case Study 27, Herbicide Tolerant Rice. National Centre for Food and Agricultural Policy, Washington, DC
13. JFE. 2016. Iron Powder “Kona-Bijin™” for Iron Coating Direct Seeded Rice. JFE Technical Report. 21: 85-87.
14. Mori, S., H. Fujimoto, S. Watanabe, G. Ishioka, A. Okabe, M. Kamei and M. Yamauchi. 2012. Physiological performance of iron-coated primed rice seeds under submerged conditions and the stimulation of coleoptile elongation in primed rice seeds under anoxia. *Soil Science and Plant Nutrition*. 58: 469-478.
15. Ntanos, D. 2001. Strategies for rice production and research in Greece. In: Chataigner, J. (Ed.), *Research Strategies for Rice Development in Transition Economies*. CIHEAM-IAMM, Montpellier, France, pp. 115–122.
16. Pandey, S. and L. Velasco. 2005. Trends in crop establishment methods in Asia and research issues. In: *Rice is Life: Scientific Perspectives for the 21st Century*, Proceedings of the World Rice Research Conference, 4–7 November 2004, Tsukuba, Japan, pp.178–181.
17. R Development Core Team. 2007. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <http://www.R-project.org>
18. Rao, A. N., D. E. Johnson, B. Sivaprasad, J. K. Ladha and A. M. Mortimer. 2007. Weed management in direct-seeded rice. *Advanced Agronomy*. 93:153-255.
19. Weerakoon, W. M. W., M. M. P. Mutunayake, C. Bandara, A. N. Rao, D. C. Bhandari and J. K. Ladha. 2011. Direct-seeded rice culture in Sri Lanka: Lessons from farmers. *Field Crops Research*. 121:53-63.

Comparative Study of Seeds Coated with Iron Powder in Wet Direct Seeding of Rice System ¹

Yi-Chien Wu and Jia-Ling Yang²

ABSTRACT

Rice is the staple food crop in Taiwan. Recently, labor shortage has resulted in increased price of rice seedling. Rice direct-seeding system (DSS) could bypass the stage of rice seedling production and improve the problem of lack of labor. Decreasing of labor cost could save the cost of total management and promote the net income. However, rice DSS would encounter unstable seed germination, bird pecking and lodging. We intended to solve the problems by variety selection, seeds coated with iron powder and irrigation management. Rice variety "TCS10" has the advantages of rapid germination and good seedling biomass, and could be the proper variety for DSS. Seed emergence speed and rate were both inhibited by iron coating, especially in seeds with 2 and 3 days pre-soaking. Therefore, pre-soaking time should be 0.5-1 day. In the field, grain yield of DSS was higher than conventional transplanting system (TPS) due to increased panicle number per hectare. There was no significant difference between DSS and TPS in grain quality. For the aspect of cost-benefit assessment, seeds of DSS with Taiwanese iron powder coating could save 50% cost in the seedling stage. However, there was no superiority on cost in terms of coating with Japanese iron powder. In the field, DSS would increase the cost of weed managements. To consider the grain production and price, DSS had the economic benefit. Overall, DSS has the advantages of labor-saving and farmer net income. To develop the perfect DSS system, we should consider natural disasters, pests, microclimate, soil traits and weed types, and improve the corresponding details of management.

Keywords: paddy rice, direct seeding, smart agriculture, cost-benefit analysis

¹ Contribution No. 0958 from Taichung DARES, COA.

² Assistant Researcher, Associate Researcher and Chief of Crop Improvement Section of Taichung DARES, COA.