

利用‘IR64’突變庫篩選耐旱水稻之研究

吳永培^{1,*}

摘要

吳永培。2013。利用‘IR64’突變庫篩選耐旱水稻之研究。台灣農業研究 62(3): 195–208。

本研究利用經二次疊氮化鈉突變誘發所培育之‘IR64’誘變庫為材料，於水稻幼苗期利用 28% PEG 6000 模擬缺水逆境之水耕液栽培方式，由 2,500 個突變體迅速篩選出 152 個耐旱突變品系，其後再利用水旱田栽培方式進行突變品系成株期耐旱性之評估，試驗結果顯示有 58.7% 之突變品系其產量耐旱指數(水田產量/旱田產量百分比)表現較佳，具有耐缺水逆境之潛力；進一步以 9 個突變品系進行成株期耐旱性的評估，結果發現各突變品系在產量與耐旱等級之表現趨勢一致，並以 SM47 及 SM100 兩突變品系的耐旱特性表現最佳。由試驗結果可知水稻耐旱育種之操作可在幼苗期先透過 PEG 6000 進行缺水耐受性的篩選，其後再透過產量耐旱指數進行篩選，如此便可快速選育出適合台灣栽培利用之耐旱水稻新品種。

關鍵詞：突變品系、耐旱、水稻。

前言

利用誘變方式可創造及產生變異，藉此途徑找到耐逆境材料而解決台灣耐逆境種原缺乏的困境，故其是台灣發展耐逆境水稻育種的重要關鍵因素，而國內水稻利用化學誘變劑進行誘變研究諸如疊氮化鈉 (sodium azide; SA) 和 ethyl methane sulphonate (EMS) 已有不錯的成效，農委會農業試驗所利用疊氮化鈉誘變法產生 3,000 個台農 67 號突變品系，其中包括米粒顏色、米粒外觀、蛋白質含量及組成、脂肪酸、食味、直鏈澱粉、抗病蟲性、農藝特性等多種具有實用或學術研究價值的突變系 (Chern & Huang 1984; Wang *et al.* 2002; Chou 2004)。而 Wu & Lur (2002) 亦利用疊氮化鈉、EMS 及 N-methyl-N-nitrosourea (NMU) 等三種化學誘變劑誘變‘台農 67 號’、‘台農 72 號’、‘台稈 8 號’及‘台稈 9 號’等國內栽培品種，結果亦得到相當多品質及營養特性上有高度利用價值的突變體 (Liao 2012)，具有發展新特性的潛力。Wu *et al.* (2007) 更以 EMS 誘變嘉農

育 911303 號，並從突變後代中篩選出強香、中香、微香及無香等 4 種不同香味程度的品系，且由米粒品質的檢定中發現後代突變品系之蛋白質、脂肪酸含量及食味值有大量變異性存在，顯示利用化學誘變可擴大目前栽培稻的香味類型，增加香味種類及強度。而國外學者研究報告亦指出，可利用化學誘變劑 NMU 誘發稻米品質特性之突變，諸如蛋白質、貯藏性蛋白質、胺基酸、心白、大胚、粉狀質、澱粉特性、糯性、半糯性 (Kikuchi 1994)、高直鏈澱粉 (Sato & Omura 1981; Okuno *et al.* 1983) 等，顯示利用誘變方式改變水稻品質特性是十分可行的途徑。

水稻是亞洲 30 億人口主要的食物，亞洲人民消費了 90% 世界生產的稻米 (Li & Xu 2007)。現今水稻總生產面積達 154,000,000 ha，且超過 45% 水稻栽培於多雨地區，因此若面臨灌溉水分匱乏，其會發生乾旱並對產量造成嚴重的影響 (IRRI 2002)。而 95% 的亞洲低緯度地水稻產量均相當低，約 1.0–2.5 Mg ha⁻¹，主要是因為雨量的不穩定及缺乏所造成。過去在缺水的栽培

投稿日期：2013 年 2 月 20 日；接受日期：2013 年 5 月 14 日。

* 通訊作者：wuypei@dns.caes.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所嘉義試驗分所農藝系副研究員。台灣 嘉義市。

環境下，對於水稻耐旱性遺傳改良的進展相當有限且緩慢 (Evenson & Gollin 2003)。其原因主要是對耐旱特性的遺傳行為了解相當少，尤其是缺乏有效的篩選技術來挑選耐旱雜交後代 (Khush 2001)，因此有學者建議以植株耐旱性狀，諸如根部性狀、生理活性等作為評價耐旱性良劣之指標 (Nguyen *et al.* 1997; Bernier *et al.* 2008; Kamoshita *et al.* 2008)。水資源是一不易改變的自然狀況，因此選育對乾旱具抗性或耐受性之高產水稻品種，乃成為水資源有限且日益缺水環境下改進稻作生產的主要手段，亦是水稻育種者未來所面臨的重大挑戰 (Zhao *et al.* 2008)。

水分缺乏會改變作物之外表型表現及農藝特性，降低作物之產量，影響程度依乾旱時間點及發生時期長短而定 (Jongdee *et al.* 2002)。基本上乾旱影響水稻生產有三個模式，即早期、間歇性及後期乾旱逆境 (Fukai & Cooper 1995)。早期乾旱經常導致耕作或移植延遲，發生於營養生長最高分蘗期之早期乾旱對稻穀生產的影響較小，一般會導致分蘗數減少 (Boonjung & Fukai 1996; Jongdee *et al.* 2006)；在分蘗期至開花期間若發生間歇性或連續性乾旱，則外表型可能並未表現明顯出現之乾旱特徵，如葉片捲曲，但會導致產量大幅降低。其原因主要是葉片伸展及光合作用受到抑制而導致減產 (Fukai & Cooper 1995)。當乾旱於生長後期發生時，即於幼穗形成及開花期時，小穗稔實率降低是造成產量損失的主要因素 (Liu *et al.* 2006)。因此，不同的乾旱模式對作物會有不同的影響，故於育種前，育種家當對不同生育期之水稻耐旱性進行評估，即選定育成抗何種乾旱模式的水稻品種是相當重要的考量。因為它將會決定及影響抗旱水稻育種策略及操作的擬定 (Fukai & Cooper 1995)。

水稻在中度水分缺乏期間，由於水稻根系小，快速氣孔關閉及葉片老化等，使得水稻成為對乾旱反應相當敏感的作物之一 (Hirasawa 1999)。就像其它作物一樣，水稻具有育成抗乾旱逆境作物的潛力，可由三個不同的策略來進行，即逃旱性 (drought escape)、避旱性 (drought avoidance)、耐旱型 (drought toler-

ance) 等三種。調整栽培期讓水稻對乾旱逆境最敏感的時期能有充足水分供給，是逃旱性的主要策略 (Price *et al.* 2002)；利用深根系特性進入深層土壤中吸取水分，或在不影響產量的情形下降低蒸散作用，是避旱性的有效策略 (Price *et al.* 2002)；而水稻在土壤水分潛勢降低的情形下，可利用調整滲透潛勢 (osmotic adjustment; OA) 的機制，維持細胞膨壓則為耐旱性 (Price *et al.* 2002)。避旱性的機制即使在非水份逆境下仍會運作表現，是一種構造性的機制，而耐旱性則是受乾旱逆境誘導後開啓保護反應的一種結果 (Hazen *et al.* 2005)，因此是發展水稻乾旱逆境抗性的最合適策略。一般乾旱逆境若是短暫且可預期時，利用逃旱性種植早熟性品種，由當中選育高產潛能的品種是較好的策略，而當乾旱發生的時期及長短是無法掌握預期時，避旱型及耐旱型的水稻種植及選育則為必需且合適的運用策略 (Pantuwan *et al.* 2002)。

到目前為止，水稻育種計畫於乾旱抗性的進展仍十分有限 (Fukai & Cooper 1995)，其主要歸因於抗旱特性受到許多不同效應的基因控制，且乾旱發生的時間點及嚴重程度不同，更影響抗旱性評估之穩定性的表現。也更顯示乾旱抗性的複雜度，諸如逆境下控制產量的有關基因，其基因與基因、基因與環境間之交感效應，均會使得抗旱育種的困難度大幅提升 (Price *et al.* 2002)。另外最大的原因則在於對耐旱水稻種原之篩選上投入不足 (O'Toole 2004)。很少研究計畫將耐旱種原的篩選列為育種中例行性的工作項目，因此雖然在遺傳與生理上的分析已進行相關研究，但不同來源之耐旱種原仍相當有限。大部陸稻生長栽培環境，其乾旱的發生均是無法預期的，且因乾旱並非每年均會發生，致使農民不願犧牲現已種植之最高產量潛能水稻品種，轉而栽培乾旱逆境下有較高產量維持之水稻品種。育種家因此必須找尋在非逆境與逆境下均能表現出高產之水稻品種，因此育種家過去十年來致力於 3 個主要目標之開發 (Rosielle & Hamblin 1981)：(1) 增加高產潛能；(2) 選育水稻開花期剛好能有足夠水分供應的新品種；(3) 改良乾旱抗

性 (Mackill *et al.* 2003)。而產量潛能的評估在非逆境與逆境下具正相關關係 (Bernier *et al.* 2007; Atlin *et al.* 2004; Venuprasad *et al.* 2007)。Atlin *et al.* (2004) 證實即使非逆境較逆境下平均產量高 50%，其在未經選拔之不同族群重組自交系中不同基因型間，在兩種環境下之產量表現仍維持正相關關係，因此可在中度乾旱環境下藉由產量潛能選拔出產量表現優良之品種 (Atlin *et al.* 2004)。而當水分逆境發生的時期是可預測時，選拔水分逆境發生前，水稻便能完成開花之基因型是相當可行的策略，這在水分逆境發生於水稻栽培末期之地區，如印度東部、泰國和洛杉磯等是可行的方式。至於水分逆境的發生若無法預測時，則以選育耐旱性品種為主要考量。台灣地區水分逆境的發生，基本上偏向於無法預測，且由於暖化趨勢過去百年間升溫約 1.0–1.4°C，是全球平均值的 2–2.5 倍，受環境逆境影響可謂相當大，而台灣主要栽培的糧食作物為水稻，故應積極投入對環境等非生物性逆境水稻之研發，以利台灣農業因應暖化時代的來臨。

材料與方法

材料

以 'IR64' 經疊氮化鈉 2 次誘變庫為材料，其第 1 次誘變以 2 mM 之疊氮化鈉溶液進行誘變後， M_1 世代單本種植於田間約 3,000 株，成熟自交後單株收穫，每 1 單株取 2 粒進混合培育成爲 M_2 族群並種植於田間，同樣單株收穫後再取 2 粒混合進行第 2 次誘變，第 2 次則以 1.5 mM 之疊氮化鈉溶液進行誘變，依第 1 次誘變的操作方式，於第 2 次誘變操作時單株收穫 M_2 稻株約 2,500 株，每 1 單株取 2 粒種子分別進行幼苗期之缺水耐受特性篩選。

耐旱特性之篩選

'IR64' 突變庫耐旱特性之篩選：本試驗使用之 'IR64' M_3 種子先以稀釋 1,000 倍的免賴得粉劑進行種子消毒，其後置於發芽皿中以 30°C 進行催芽並每日換水，待參試種子皆萌芽後即點播於 80 孔之水耕盤上進行水耕方式栽培，搭配塑膠水槽及水耕盤置於溫室中培養水

稻幼苗。本試驗使用改良木村式 B 式水耕配方 (Yoshida *et al.* 1976)，種子點播入水耕盤後即使用 0.5 倍水耕液培養幼苗，待材料生長至 1 葉齡後更換為 1 倍水耕液，3 葉齡時則更換為 1.5 倍水耕液培養。待約 14 d 後幼苗平均達 3–4 葉齡時將培養之水耕液更換為含 20% 聚乙二醇 (PEG 6000) 之 1.5 倍水耕液，從而進行水稻幼苗期模擬缺水處理試驗，缺水處理 3 d 後，反復沖洗稻根數次後，水耕盤中加入自來水並培育 1 d 後，再加入 0.5 倍水耕液培育 7 d，其後將存活之 M_3 秧苗以單本植方式移植於田間，令其自交且單株收穫自交之 M_4 種子供缺水耐受特性之再確認利用。

突變體秧苗期缺水耐受特性之再確認：'IR64' 突變庫經秧苗期缺水耐受性篩選所得之 152 株 M_3 耐旱株，經移植田間培育最後存活之 126 株之 M_3 植株，分別收穫自交單株之 M_4 種子，即成立為 126 個 M_4 品系，126 個誘變品系分別再經 28% 之 PEG 6000 缺水耐受性處理，每品系 2 重複，並於缺水耐受性處理後每天調查水稻幼苗乾旱等級表現，調查標準採用國際水稻研究所訂定之水稻乾旱分級標準 (Standard Evaluation System; IRRI 1996)，依照水稻幼苗葉片捲曲及乾枯程度進行 0、1、3、5、7 及 9 等不同等級之鑑別，以區別幼苗間耐旱能力 (圖 1)，缺水處理之復水標準則評估缺水敏感型對照品種 'IR64' 之耐旱等級表現，當 'IR64' 幼苗之耐旱等級平均達 7 級，即為本試驗之恢復水耕液正常培育之時期。

耐旱 M_4 突變系水旱田間實用性之評估：利用篩選之 126 個 M_4 世代之耐旱突變品系為材料，100 年二期作將材料分別種植於水旱田試驗區，其中旱田區在每叢分蘗數目平均達到 12 穗時，即進行 24 d 之乾旱斷水處理，其後再進行一次水深 5 cm 的人工灌水，直至收穫時均不再進行人工灌水，由於斷水處理開始至收穫期過程中並未出現自然降雨情形，因此不會影響斷水乾旱處理之效果，故在水田及旱田試驗之灌溉水供給均採用人工給水方式進行。水旱田區之突變品系種植以每系 3 行植，每行 8 株，不設重複，採用順序排列進行，每 30 突變品系即種植 'IR64' 做為產量校正用對照品

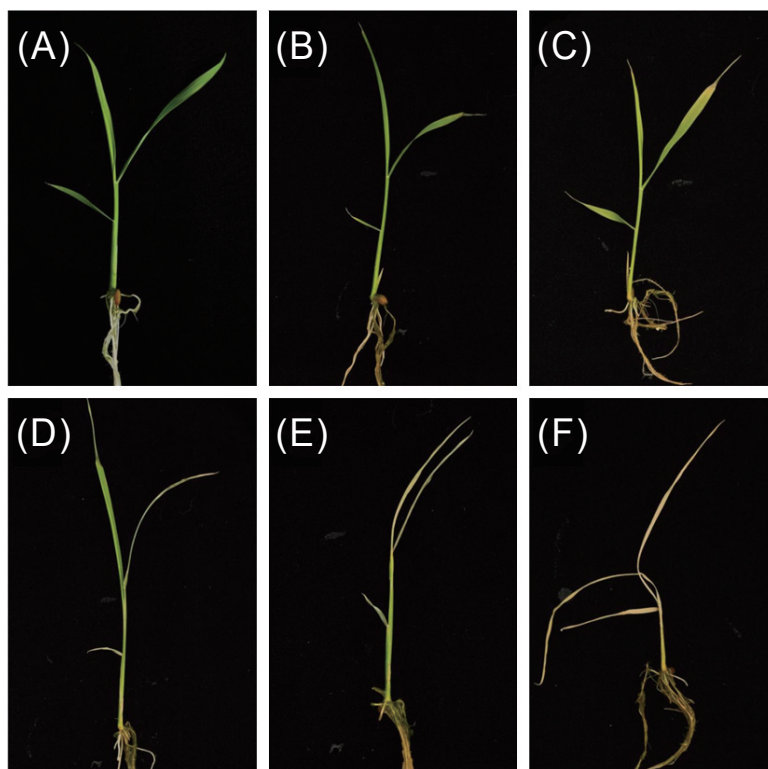


圖 1. 水稻幼苗耐旱等級之型態。(A)–(F) 為水稻三葉齡幼苗進行耐旱處理後，不同耐旱表現之等級，分別為 0 (未乾旱處理)、1 (極抗旱)、3 (抗旱)、5 (耐旱)、7 (敏感不耐旱)、9 (極敏感不耐旱)。

Fig. 1. The different scales of rice morphology in response to drought treatment. (A)–(F) Rice was treated with drought during 3-leaf seedling and scaled as 0 (no drought treatment), 1 (high resistance), 3 (resistance), 5 (tolerance), 7 (sensitivity), and 9 (high sensitivity), respectively.

種，而當各突變品系達成熟期時，每品系混合收穫中間行 10 叢稻株調查稻穀產量，並利用 'IR64' 之稻穀產量做為校正基礎，換算產量百分比。

幼苗期具高耐旱性之突變品系之成株期耐旱特性評估：利用突變體秧苗期缺水耐受性再確認之結果為基礎，挑選幼苗期耐旱等級表現 3 級之 SM13、SM36、SM47、SM66、SM72、SM100、SM103、SM117、SM130 等 9 個突變系 (M_5 世代) 為材料，並以敏感型之 'IR64' 為對照品種，將所有材料種植於 12 m × 5 m 長之水泥槽中，水泥槽於加水攪拌成泥漿並待泥漿沉澱後，採用 RCBD 試驗設計種植所有品系，3 重複，每品系種植 1 行植，每行 25 株秧苗，行株距為 0.25 m × 0.20 m。於分蘖數平均達到 12 個分蘖時，乃開始停止供給水分，並於參試材料葉片開始發生捲曲時後，

即開始進行耐旱傷害等級調查，直至各參試材料出現明顯之耐旱等級差異為止，而於對照 'IR64' 葉片達到感極 7 級時，開始恢復灌水，此時期為 'IR64' 開始準備開花抽穗時期。

高級產量試驗：SM13、SM47、SM72、SM100、SM103 和 SM117 等 7 個突變系之 M_4 突變系於單株收穫後，其穀粒供進行一年二期作之高級產量試驗 (M_5 及 M_6 世代)，試驗於 2012 年一及二期作進行，並以 'IR64' 做為參試之對照品種，試驗採用 RCBD 設計，每一品系 4 行植，每行 25 株，行株距為 0.30 m × 0.15 m，4 重複，於成熟時收穫並調查各品系之株高、穗長、穗重、穗數、一穗穎花數、稔實率、千粒重及小區稻穀產量。

本試驗所有材料之培育及種植均於農業試驗所嘉義分所水稻試驗田區進行，其田間管理按一般慣行法栽培。

結果

‘IR64’ 突變庫耐旱特性之篩選

利用 2,500 株經 2 次疊氮化鈉誘變 ‘IR64’ 之 M_3 種子為材料，於水稻秧苗達 3 葉齡時，即進行 20% 之 PEG 6000 缺水逆境處理，結果如圖 2 所示，在 2,500 株之幼苗中，結果發現有 152 株呈現 3–5 級之抗 (耐) 旱性反應，佔總誘變株比率為 6.08%，顯示利用疊氮化鈉處理確實已誘變 ‘IR64’ 產生變異，而移植這些存活 M_3 植株於田間培植，結果僅 126 株可正常成長並收獲得到 M_4 世代種子，此 126 株 M_3 植株乃單株收穫分別成立 M_4 突變品系。

為了確認 126 個獲選突變品系 (M_4) 之缺水耐受性，模擬缺水逆境處理改採 28% PEG 6000 進行處理，經調查各突變品系 2 重複的試驗結果，挑出突變品系之抗旱等級在 2 重複均達 3 級者，結果發現 SM13、SM36、SM47、SM72、SM100、SM103、SM117、SM130 等 9 個突變品系 (M_3 世代) 其 2 重複均出現 3 級抗性反應，此即為獲選之幼苗期優良高耐旱性突變品系。

M_4 突變系水旱田稻穀產量之評估

以幼苗期經 20% PEG 6000 缺水逆境處理獲選之 126 個 ‘IR64’ M_4 突變系為材料，於 2011 年 2 期利用水田及旱田栽培模式同時進行突變品系成株期稻穀產量調查，結果發現在水田栽培狀態下，以 ‘IR64’ 稻穀產量為 100% 之對照，126 個突變品系之產量指數介於 21–143% (圖 3)，其中有 21 個突變品系之稻穀產量高於對照品種 ‘IR64’，佔所有參試突變系比率 16.7%，而有 3 個突變品系稻穀產量與 ‘IR64’ 相同，合計與 ‘IR64’ 稻穀產量相同或高者有 24 個，佔所有耐旱突變系比率約 19%，顯示有相當比率之 M_4 突變品系，在水田栽培下不因為突變品系增加缺水耐受性，致使其稻穀產量表現受到影響，尤其突變品系 SM7、SM28、SM30、SM31、SM34、SM35、SM47、SM55、SM65、SM68、SM77 等 11 個品系，其稻穀產量指數均高於 ‘IR64’ 對照品種 10% 以上，顯示具有高產潛能，

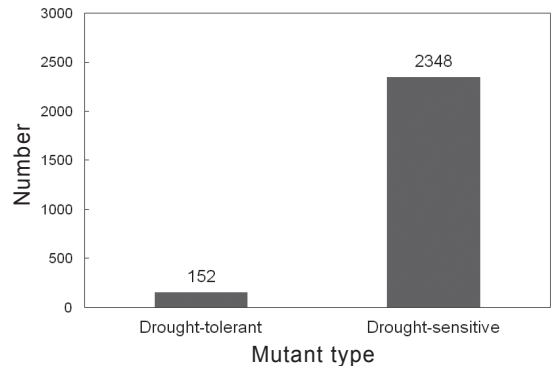


圖 2. ‘IR64’ 之 M_3 突變庫經 20% PEG 6000 缺水逆境處理之耐旱及敏感株數分布圖。

Fig. 2. The number of the drought-tolerant and sensitive mutants in the ‘IR64’ M_3 mutation stock after treatment with 20% of PEG 6000.

尤其 SM65 及 SM68 之稻穀產量指數分別為 137% 及 143%，高產潛能十分優良；唯有 10 個突變品系稻穀產量指數僅達 ‘IR64’ 約 50% 以下，顯示這 10 個品系之稻穀產量表現受到嚴重之影響。

在 126 個 M_4 突變品系利用旱田栽培之突變品系稻穀產量試驗中，結果發現在旱田栽培狀態下，以對照 ‘IR64’ 之稻穀產量指數為 100%，換算 126 個突變品系之稻穀產量指數則介於 8–122% (圖 4)，其中有 20 個突變品系之稻穀產量高於對照品種 ‘IR64’，佔所有耐旱突變品系比率為 15.9%，顯示有相當比率之突變品系於旱田栽培下，由於突變品系增加了耐旱特性，故其在導入旱田栽培的情況下，其稻穀產量指數有提升之效益。尤其突變品系 SM2、SM68、SM87、SM107 等 4 個品系，其稻穀產量指數均高於 ‘IR64’ 對照品種 11% 以上，顯示具有高缺水耐受性及高產之潛能，尤其 SM2 之稻穀產量指數分別為 122%，顯示高產潛能十分優良；唯亦有 7 個突變品系之稻穀產量指數僅達 ‘IR64’ 約 50% 以下，顯示這 7 個品系稻穀產量之表現受到缺水逆境嚴重影響，此 7 個突變品系應不具有成株期的缺水耐受性。

水稻栽培過程中若孕穗期遭遇缺水逆境時，其稻穀產量會因稔實率等產量構要素受到缺水影響而降低，因此為了解獲選突變品

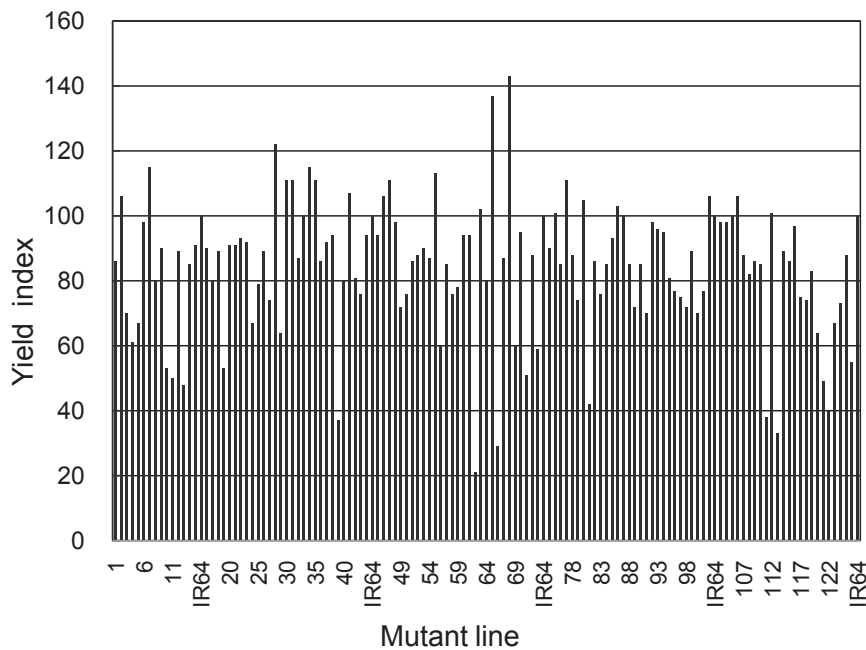


圖 3. 126 株 'IR64' 耐旱突變系水田產量指數分布圖。

Fig. 3. The grain yield indices of 126 'IR64' drought-tolerant mutant lines under irrigated cultivation.

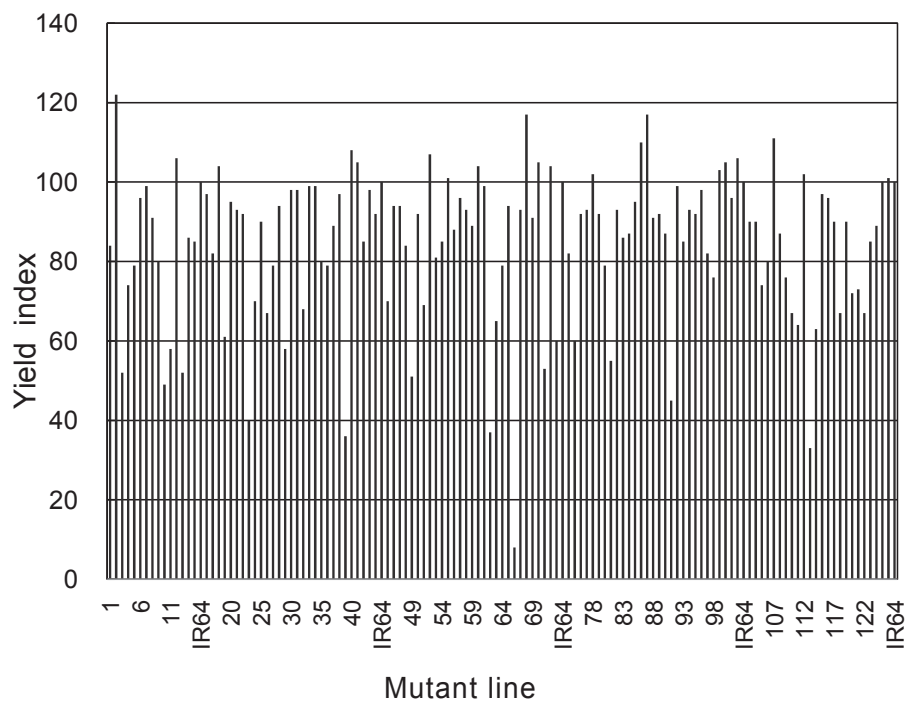


圖 4. 'IR64' 耐旱突變系旱田產量指數分布圖。

Fig. 4. The grain yield indices of 126 'IR64' drought-tolerant mutant lines under upland cultivation.

系(秧苗期具耐旱性)在成株期是否仍表現缺水耐受性,乃進一步以旱田與水田之稻穀產量之比值換算成百分比指數(稻穀產量耐旱指數)後。再探討突變品系在成株期之耐旱性程度,結果如圖5所示,其旱田與水田突變品系稻穀產量耐旱指數介於31–198%,其中較具耐旱潛力且超過對照‘IR64’者有74個突變品系,佔所有參試品系比率為58.7%,尤其是SM4、SM5、SM12、SM40、SM43、SM50、SM52、SM56、SM57、SM60、SM62、SM67、SM69、SM70、SM72、SM79、SM81、SM89、SM96、SM100、SM101、SM107、SM111、SM121、SM122、SM123、SM126等稻穀產量之耐旱指數均高120%以上,為耐旱性潛力較高之品系,其中SM62、SM69、SM111、SM122、SM126等5個突變品系之稻穀產量耐旱指數高於150%以上,耐旱特性十分值得進一步深入探討與利用。

至於突變品系在成株期之耐旱特性表現較敏感者,其稻穀產量之耐旱指數則介於

31–99%,其中較敏感且低於對照‘IR64’者有49個突變品系,佔所有參試品系數38.9%,尤其是SM3、SM23、SM26、SM28、SM32、SM35、SM49、SM51、SM63、SM65、SM66、SM75、SM80、SM91、SM105、SM106、SM、SM110、SM114等,其旱田稻穀產量低於水田產量20%以上,尤其SM23及SM66旱田稻穀產量低於水田產量50%以上,顯示此2品系在成株期耐旱特性之潛力較差,是屬於敏感的突變品系。再者,進一步檢視對照品種‘IR64’之5個小區之稻穀產量,其耐旱指數表現介於99–113%左右,平均為103%,顯示本實驗在水旱田栽培之處理並未對‘IR64’之稻穀產量造成影響,是否因乾旱處理的強度不足,仍有待進一步釐清後,才能更有效了解突變品系在成株期耐旱特性之表現,唯由‘IR64’的水田及旱田栽培下之生長反應,似顯示‘IR64’生長旺盛,因此在遭逢缺水逆境時,其耐受性表現不錯,因此‘IR64’可能是幼苗期對缺水逆境較敏感之品種而已,未來進行

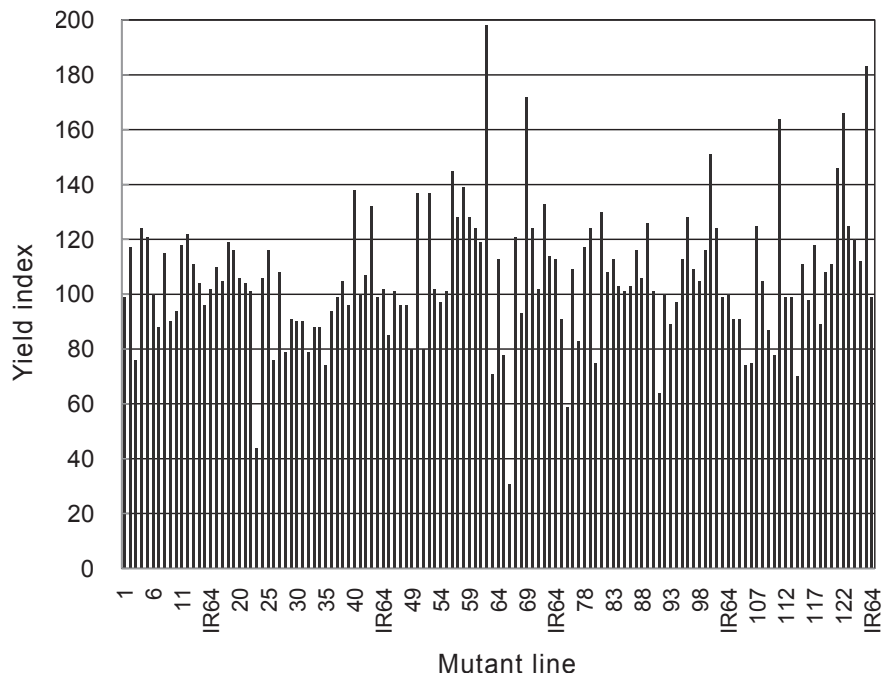


圖5. ‘IR64’耐旱突變系旱田和水田稻穀產量比率分布圖。

Fig. 5. The grain yield indices of 126 ‘IR64’ drought-tolerant mutant lines under upland and irrigated cultivation.

田間耐旱性稻穀產量評估時，宜利用本次試驗中表現較為敏感之突變品系做為對照品種。

幼苗期具高耐旱性之突變品系成株期耐旱特性之表現

利用幼苗期耐旱等級表現出 3 級之 SM13、SM36、SM47、SM66、SM72、SM100、SM103、SM117、SM130 等 9 個突變系 (M_5 世代) 為材料，並以敏感型之 'IR64' 為對照品種，於水泥槽進行缺水逆境處理，減少因田間變異因素過多，造成耐旱性評估上的誤判。其試驗結果發現，在 9 個突變品系中 (表 1)，SM66 由於植株高度發生劇烈矮化現象，導致稻穀產量表現相當低，僅 352 kg ha^{-1} ，其餘 8 個品系之稻穀產量則介於 $3,410\text{--}6,358 \text{ kg ha}^{-1}$ ，對照品種 'IR64' 之稻穀產量為 $5,764 \text{ kg ha}^{-1}$ ，與 SM36、SM47、SM72、SM100、SM103、SM117 及 SM130 間並無顯著差異，唯其中以 SM47、SM72、SM117 等 3 個突變品系稻穀產量分別 $6,248$ 、 $6,248$ 、 $6,538 \text{ kg ha}^{-1}$ ，由於稻穀產量已高於 $6,000 \text{ kg ha}^{-1}$ ，顯示具有相當高產潛能，值得進一步探討利用。

9 個幼苗期呈現耐旱表現之突變品系，當進行斷水之缺水逆境處理，在土壤水分張力

表 1. 2011 年一期作 'IR64' 和 9 個耐旱突變系產量試驗之稻穀產量表現。

Table 1. The grain yield of 'IR64' and 9 drought-tolerant mutant lines in yield trials at the first cropping season of 2011.

Line or variety	Grain yield (kg ha^{-1})	Scale of drought-tolerance
SM13	3,410 b ^z	7.7 a
SM36	5,632 ab	6.1 b
SM47	6,248 a	5.3 b
SM66	352 c	8.6 a
SM72	6,248 a	5.6 b
SM100	5,610 ab	5.3 b
SM103	5,368 ab	5.8 b
SM117	6,358 a	5.7 b
SM130	4,422 ab	7.7 a
'IR64'	5,764 a	6.0 b

^z Means with the same letter of a row are not significantly different at 5% level by LSD test.

達 -50 kPa 時，即開始進行耐旱等級調查，當各參試品系之耐旱等級出現明顯差異，乃以各品系 2 重複之耐旱等級進行統計分析，結果如表 1 所示，各突變品系之耐旱等級介於 5.3–8.6 間，而對照品種 'IR64' 之耐旱等級則為 6.0。其中 SM13、SM66 及 SM130 間之耐旱等級差異不顯著，是成株期對缺水逆境較為敏感者；而 SM47、SM36、SM72、SM100、SM103、SM117 等 6 個品系間耐旱等級亦差異不顯著，且與 'IR64' 間無顯著差異存在，而在 9 個突變品系中，以 SM47 及 SM100 之耐旱等級 5.3 的表現值最低，是成株期對缺水逆境表現較具耐受性者。然 SM13 等 3 個較為敏感品系，則與較具缺水耐受性之 6 個品系間存在顯著性之差異。

高級產量試驗經變方分析發現，一期作所有參試材料在株高、穗數、稔實率、千粒重和小區產量等 5 個存在顯著差異，而穗長、穗重、一穗穎花數則無差異存在 (表 2)；至於二期作則穗數差異不顯著外，其餘 7 個特性在參試材料間均存在顯著性差異 (表 3)。而由產量試驗結果發現其中 SM100 及 SM117 之產量潛力表現最佳，並與對照品種 'IR64' 間差異不顯著；而二期作則除 SM13 的小區產量表現最差外，其餘突變品系與對照品種 'IR64' 間差異不顯著。

討論

'IR64' 突變庫經稻秧苗缺水逆境篩選，其結果顯示疊氮化鈉已誘發水稻耐旱性發生改變，尤其兩次之誘變處理可大幅提高耐旱突變率達 6.08%，與 Jwo (2007) 以疊氮化鈉 (NaN_3) 誘變水稻台農 67 號選育出耐鹽性及感鹽性突變品系，Yen (2011) 由 EMS 誘變系中篩選出 11 個耐鹽品系，並發現 SM75 與 SM61 兩品系耐鹽性表現較 Pokkali 和 Nona Bokra 優良等結果相似。尤其 Kuo (2012) 利用 5 個 EMS 耐鹽性突變品系為材料，探討 200 mM 之氯化鈉溶液逆境處理下，不同突變系之耐鹽基因遺傳控制機制，結果發現突變品系 SM61 及 SM75 之耐鹽性為一對顯性基因控制之遺傳模式，突變品系 SM77 及 SM143 之耐鹽性為一對或二

表 2. 2012 年一期作 'IR64' 和 7 個耐旱突變品系水田栽培下高級產量試驗之表現。

Table 2. Performance of 'IR64' and seven drought-tolerant mutant lines in the advanced yield trials under irrigated culture at the first cropping season of 2012.

Line or variety	Plant height (cm)	Panicle length (cm)	Panicle weight (g)	Panicle number (No.)	Spiketlet/panicle (No.)	Seed set (%)	1000-grain weight (g)	Grain yield (kg ha ⁻¹)
SM13	92.98 e ^z	24.04	2.13	21.28 a	92.28	84.75 b	24.41 c	7,386 bc
SM36	94.70 d	23.25	2.44	17.98 b	93.63	91.32 a	27.05 a	7,042 c
SM47	98.65 c	23.10	2.12	18.18 b	83.98	91.85 a	26.31 ab	7,847 bc
SM72	105.30 a	23.90	2.30	17.23 b	89.60	84.25 b	27.44 a	8,018 bc
SM100	99.65 c	23.68	2.29	19.23 ab	88.68	91.53 a	26.29 ab	8,630 ab
SM103	99.55 c	23.42	2.14	17.50 b	79.80	90.58 a	28.03 a	7,519 c
SM117	101.33 b	23.45	2.27	19.15 ab	94.45	91.24 a	25.07 bc	9,066 a
'IR64'	99.03 c	23.02	2.29	18.53 b	87.98	92.44 a	27.78 a	8,613 ab

^z Means with the same letter of a row are not significantly different at 5 % level by LSD test.

表 3. 2012 年二期作水田栽培下 'IR64' 和 7 個耐旱突變品系高級產量比較試驗之表現。

Table 3. Performance of 'IR64' and seven drought-tolerant mutant lines in the advanced yield trials under irrigated culture at the second cropping season of 2012.

Line or variety	Plant height (cm)	Panicle length (cm)	Panicle weight (g)	Panicle number (No.)	Spiketlet/panicle (No.)	Seed set (%)	1000-grain weight	Grain yield (kg ha ⁻¹)
SM13	79.20 e ^z	22.20 b	1.94 c	19.98	87.39 ab	80.52 b	24.49 c	4,037 b
SM36	80.50 de	21.56 c	2.32 ab	18.95	92.54 a	82.14 b	26.95 a	5,965 a
SM47	82.93 bc	22.41 ab	2.43 a	18.90	90.02 a	92.92 a	26.52 ab	6,577 a
SM72	86.20 a	22.91 a	2.36 a	16.75	90.01 a	91.80 a	26.47 ab	6,918 a
SM100	82.03 bcd	22.18 b	2.25 ab	18.00	87.81 a	92.39 a	26.50 ab	5,965 a
SM103	81.35 cd	22.24 b	2.13 bc	17.53	81.88 b	92.55 a	27.79 a	6,010 a
SM117	83.03 bc	22.64 ab	2.27 ab	18.60	91.58 a	90.07 a	24.77 c	6,169 a
'IR64'	83.48 b	22.38 ab	2.37 a	18.83	91.22 a	90.77 a	25.31 bc	6,396 a

^z Means with the same letter of a row are not significantly different at 5 % level by LSD test.

對隱性基因控制之遺傳模式，而 SM76 突變品系則為二對互補基因控制之遺傳模式。是以在 EMS 所誘發水稻之耐鹽性，其突變基因都為少數基因控制之遺傳模式。且透過分子標幟輔助的方式，順利用將耐鹽特性轉移至 'IR64' 中；由於透過化學誘變劑誘發之變異多屬於少數基因或單基因的變異，尤其疊氮化鈉之誘變後代之大部份性狀並無顯著之影響 (Kleinhofs *et al.* 1974; Singh *et al.* 1981)，且其使用量少而誘變效率高，分解快又殘效少、致癌能力低 (Ulland *et al.* 1973)，因此相當符合誘變育種上創新種原的需求。而本研究透過幼苗期 20%

PEG 6000 模擬缺水逆境之水耕液篩選方式，可於 1 個月內將大量的突變材料進行初步篩選，在參試材料數目大幅減少後，再以增加重複數降低環境影響所造成誤差，進而減少誤判耐旱等級之發生。最後再以 28% PEG 6000 篩選方式，快速篩選出缺水耐受性突變體，使篩選達到有效、快速、簡易及準確之要求，而短期內篩選出水稻幼苗期具高缺水耐受性之突變體。未來透過這些耐旱特性水稻突變品系之利用，快速創育出適合國人栽培利用之耐旱性水稻種原，加速水稻在耐旱育種的發展。

利用水稻幼苗 3 葉齡進行缺水耐受性測

定，其可預期材料之耐受特性將遭受環境因素影響，故試驗環境的均一性為試驗設計之考量重點。而由於利用田間栽培測定，容易因田間小區間土壤水分含量有所不同而產生差異，使得處理間之缺水程度不易控制，造成材料因缺水處理之逆境程度不同而形成誤差，故本次試驗幼苗期乃採用水耕系統代替田間操作測定，並以高分子量的聚乙二醇水溶液模擬水分逆境，由於聚乙二醇不會被水稻根部及葉片吸收，故不會影響分析結果，可藉由滲透調節以模擬田間植株缺水情況 (Cui *et al.* 2008)。且由於聚乙二醇水溶液為均質的狀態，不但處理時可提高各材料在水分逆境上的均勻性及一致性，更可藉由調整聚乙二醇水溶液濃度，探討不同缺水程度處理下，不同材料對逆境程度之反應，故高分子量的聚乙二醇目前已廣為學者所使用，可代替水稻幼苗期田間缺水處理試驗 (Sinhbabu & Kar 2003; Cui *et al.* 2008; Srividhya *et al.* 2011)。

由於多數學者指出水稻對乾旱逆境之反應會因水稻生育時期不同，其表現之缺水耐受性反應會有所不同，基此原因乃進一步利用水旱田兩種水分管理模式，探討經幼苗期 PEG 6000 篩選所得之突變品系於成株期田間耐旱性的差異，試驗結果有 11 個品系稻穀產量指數均高於 'IR64' 對照品種，具有高產潛能，而亦有 10 個突變品系稻穀產量指數僅達 'IR64' 約 50% 以上，顯示稻穀產量表現受到嚴重的影響。由此顯示，化學誘變雖已誘發水稻幼苗期之缺水耐受基因表現，但增加了幼苗期耐旱性基因表現，但對突變品系成株期稻穀產量其正負面影響均會出現。此種趨勢亦同樣發生在旱田試驗中，在旱田試驗中有 20 個突變品系 (15.9%) 之稻穀產量高於對照品種 'IR64'，呈現於成株期稻穀產量之正面效益。

藉由水旱田水稻成株期產量表現可了解水稻在分蘖盛期結束且逐漸進入生殖生長期時 (約接近孕穗期)，若遭遇缺水逆境時，其稻穀產量降低的程度可供評估參試材料之缺水耐受性，當旱田稻穀產量降低情形小時，則表示該品系對缺水逆境具有較高耐受性，即較具好的耐旱性。而由圖 5 之旱田與水田突變品系稻

穀產量耐旱指數結果顯示，成株期較具耐旱潛力者有 74 個突變品系，佔所有參試品系比率為 58.7%，顯示在旱田之乾旱逆境處理下，這些利用幼苗期篩選所得之缺水耐受性較高的突變品系，其在成株期在遭逢缺水影響時，仍有近 59% 突變品系之稻穀產量降低幅度較小，顯現出較高的耐旱特性。尤其 SM62、SM69、SM111、SM122、SM126 等 5 個突變品系之稻穀產量耐旱指數高於 150% 以上，顯示缺水處理對這些耐旱突變品系之稻穀產量具有正面效益，究其原因是否因台灣為 2 期作連續水稻栽培制度，長期土壤處於湛水狀態，對土壤物化特性及稻株根部發育均有不利影響，而經過 24 d 的斷水處理反而出現正面效益。故未來可利用稻穀產量耐旱指數表現潛力優良之突變品系為材料，發展台灣水稻之節水栽培模式，以達到降低栽培水稻之用水量及保障高產之稻穀收穫的目的，進而因應糧食安全上之需求。

多位學者已利用水旱田水稻產量表現來篩選缺水耐受性佳之水稻耐旱品種，如 Atlin *et al.* (2004) 指出非逆境雖較逆境下平均稻穀產量高 50%，但在不同族群且未經選拔之重組自交系中，產量基因型之平均在兩種環境間仍維持有正相關關係，因此可藉由產量潛能選拔方式，在中度乾旱環境下選育出產量維持一定表現之耐旱水稻品種 (Atlin *et al.* 2004)。此一結論與本次研究結果相當一致；而 Raman *et al.* (2012) 亦利用乾旱產量指數和平均產量指數進行 'ARB8' 和 'IR55419-04' 間之 129 個雜交品系和 39 個不同品種在水田、中度乾旱及高度乾旱等 3 種不同環境下進行耐旱性選拔研究，結果亦顯示可利用稻穀產表現可協助育種者進行耐旱基因型選拔。故未來國內在耐旱水稻育種上，其應可透過在水旱田兩種栽培下，利用產量耐旱指數的表現來選拔適合台灣利用的耐旱水稻品種。

在 SM13、SM36、SM47、SM72、SM100、SM103、SM117、SM130 等 9 個突變系成株期之缺水逆境處理中，結果顯示 SM36、SM47、SM72、SM100、SM103 及 SM117 是成株期較具缺水耐受性之品系，故此 6 個品系應是幼苗期及成株期均具缺水耐受

性之突變品系；而 SM13、SM66 及 SM130 等雖其幼苗期表現出高耐旱特性，唯其成株期之表現卻是對缺水逆境之反應敏感，其中除了 SM66 因植株之株高明顯矮化外，僅約 45 cm 左右，故造成了成株期生長軟弱且稻穀產量十分低下，因此不具實際利用價值。而 SM13 及 SM130 兩突變系，則僅是幼苗期具耐缺水逆境耐性而成株期不具耐受性之突變品系。若對照 9 個突變品系耐旱等級之表現，其結果亦顯示 SM36、SM47、SM72、SM100、SM103、SM117 等 6 個品系之耐旱等級表現較好，而以 SM13、SM66 及 SM130 表現等級較差。再者，由於稻穀產量之高低及耐旱等級之反應兩者之結果相當一致，未來於耐旱水稻育種選拔時，可利用稻穀產量表現進行選拔，如此應可於耐旱與敏感親本的雜交後代中，選育出具有缺水耐受性之耐旱水稻新品種。此一結果，與許多學者指出產量潛能的評估在非逆境與逆境下具正相關關係的結論相呼應 (Atlin *et al.* 2004; Bernier *et al.* 2007; Venuprasad *et al.* 2007)。尤其由高級產量試驗結果顯示，誘變已造成突變品系主要農藝特性產量發生差異，惟透過小區產量表現來看，如 SM100 及 SM117 在二個期作之稻穀產量均與對照 'IR64' 相似，表現出高產潛能，顯示透過誘變操作可誘發栽培稻耐旱性改變，且獲選之耐旱品系在產量潛能上仍可達實用價值，是台灣水稻耐旱育種上值得嚐試之途徑。而本次試驗獲選之耐旱突變品系，未來將可供台灣一期作節水栽培及耐旱水稻育種利用。

水分缺乏會改變作物之外表型表現及農藝特性，降低作物之產量，影響程度則依乾旱時間點及發生時期的長短而定 (Jongdee *et al.* 2002)。且基本上乾旱影響水稻生產有 3 個模式，即早期、間歇性及後期乾旱逆境 (Fukai & Cooper 1995)。早期乾旱經常導致耕作或移植延遲，發生於營養生長最高分蘖期之早期乾旱對稻穀生產的影響較小，一般會導致分蘖數減少 (Boonjung & Fukai 1992; Jongdee *et al.* 2006)；在分蘖期至開花期間若發生間歇性或連續性乾旱，則外表型可能並未表現明顯之乾旱特徵，如葉片捲曲，但會導致產量大幅降

低。其原因主要是葉片伸展及光合作用受到抑制而導致減產 (Fukai & Cooper 1995)。當乾旱於生長後期發生時，即於幼穗形成及開花期時，小穗稔實率降低是造成產量損失的主要因素 (Liu *et al.* 2006)。因此，不同的乾旱模式對作物會有不同的影響，於育種前，育種家應對不同生育期水稻耐旱性之評估，即選定育成抗何種乾旱模式的水稻品種是相當重要的，因為它將會決定及影響抗旱水稻育種策略及操作的擬定 (Fukai & Cooper 1995)。

由試驗顯示，不同突變系其對缺水逆境之幼苗期與成株期之反應並不相同，因此進行耐旱性篩選時，宜根據各突變品系表現之耐旱機制分別進行。利用 PEG 6000 所進行之幼苗期模擬缺水逆境之篩選，其僅能區別幼苗期是否具耐旱性，其獲選材料成株期之缺水逆境之耐受性，仍需於田間進一步評估與測試，如此方能選育出全生育期均具缺水耐受性之耐旱水稻新品種。而由本試驗結果顯示，透過 PEG 6000 的篩選，大幅降低田間缺水耐受性之品系評估數目，故利用水泥槽進行較精密環境控制之缺水逆境試驗，從而獲得較精確之成株期缺水耐受性資料，據而選出全生育期均具缺水耐受性之耐旱突變品系，如 SM47 其稻穀產量及耐旱等級均表現優良，不但可供未來育成耐旱水稻新品種，亦可供國內水稻耐旱育種時之耐旱種原親本來源，藉以因應全暖化下所帶來之缺水逆境危機。

引用文獻

- Atlin, G. N., M. Laza, M. Amante, and H. R. Lafitte. 2004. Agronomic performances of tropical aerobic, irrigated, and traditional upland rice varieties in three hydrological environments at IRRI. *in: Proceedings of the 4th International Crop 25 Science Congress. September 26–October 1, 2004. Brisbane, Australia. Australian Society of Agronomy, Brisbane.*
- Bernier, J., A. Kumar, V. Ramaiah, D. Spaner, and G. Atlin. 2007. A large-effect QTL for grain yield under reproductive stage drought stress in upland rice. *Crop Sci.* 47:507–516.
- Bernier, J., G. N. Atlin, R. Serraj, A. Kumar, and D. Spaner. 2008. Review: Breeding upland rice for drought resistance. *J. Sci. Food Agric.* 88:927–939.

- Boonjung, H. and S. Fukai 1996. Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions. 2. Phenology, biomass production and yield. *Field Crops Res.* 48:47–55.
- Chern, C. G. and C. S. Huang. 1984. Mutagenic efficiency of sodium azide on rice variety Tainung 67. *J. Agric. Assoc. China.* 33:345–353. (in Chinese with English abstract)
- Chou, S. Y. 2004. Characterization of rice (*Oryza sativa L.*) Tainung 67 and its aromatic mutant SA0420 using proteomic approach. Master thesis. Department of Agronomy, National Chung Hsing University. Taichung, Taiwan. 106 pp. (in Chinese with English abstract)
- Cui, K., J. Huang, Y. Xing, S. Yu, C. Xu, and S. Peng. 2008. Mapping QTLs for seedling characteristics under different water supply conditions in rice (*Oryza sativa L.*). *Physiol. Plant.* 132:53–68.
- Evenson, R. E. and D. Gollin. 2003. Assessing the impact of the green revolution, 1960–2000. *Science* 300:758–762.
- Fukai, S. and M. Cooper. 1995. Development of drought-resistant cultivars using physiomorphological traits in rice. *Field Crops Res.* 40:67–86.
- Hazen, S. P., M. S. Pathan, A. Sanchez, I. Baxter, M. Dunn, B. Estes, H. S. Chang, T. Zhu, J. A. Kreps, and H. T. Nguyen. 2005. Expression profiling of rice segregating for drought tolerance QTLs using a rice genome array. *Funct. Integr. Genomics* 5:104–116.
- Hirasawa, T. 1999. Physiological characterization of rice plant for tolerance of water deficit. p.89–98. *in: Genetic Improvement of Rice for Water-Limited Environments.* (Ito, O., J. C. O'Toole, and B. Hardy, eds.) International Rice Research Institute. Los Baños and Philippines. 353pp.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1996. Standard Evaluation System for Rice. International Rice Research Institute, Manila, Philippines. 52 pp.
- IRRI (International Rice Research Institute). 2002. Rice almanac. IRRI; WARDA; CIAT; FAO, Los Banos. 249pp.
- Jongdee, B., G. Pantuwan, S. Fukai, and K. Fischer. 2006. Improving drought tolerance in rainfed lowland rice: An example from Thailand. *Agric. Water Manage.* 80:225–240.
- Jongdee, B., S. Fukai, and M. Cooper. 2002. Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice. *Field Crops Res.* 76:153–163.
- Jwo, W. S. 2007. Physiological characterizations of salt tolerance at germination and seedling stages in rice (*Oryza sativa L.*) Tainung 67 mutants. Master thesis. Master programs of Life Sciences, National Chung Hsing University. Taichung, Taiwan. 122 pp. (in Chinese with English abstract)
- Kamoshita, A., R. C. Babu, N. Manikanda Boopathi, and S. Fukai. 2008. Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments. *Field Crops Res.* 109:1–23.
- Khush, G. S. 2001. Green revolution: the way forward. *Nat. Rev. Genet.* 2:815–822.
- Kikuchi, H. 1994. Improving the eating quality of rice using low amylose mutants. *Gamma Field Symp.* 33:1–17.
- Kleinhofs, A., C. Sander, R. A. Nilan, and C. F. Konzak. 1974. Azide mutagenicity mechanism and nature of mutants produced. p.195–199. *in: Proceedings of Polyploidy and Induced Mutations in Plant Breeding.* October 2–10, 1972. Vienna, Austria. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Kuo, S. C. 2012. The inheritance and marker-assisted selection of salt tolerance in rice (*Oryza sativa L.*). Master thesis. Graduate Institute of Agronomy, National Chiayi University. Chiayi, Taiwan. 72 pp. (in Chinese with English abstract)
- Li, Z. K. and J. L. Xu. 2007. Breeding for drought and salt tolerant rice (*Oryza sativa L.*): progress and perspectives. p.531–564. *in: Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops.* (Jenks, M. A., P. M. Hasegawa, and S. M. Jain, eds.) Springer. Dordrecht, Netherlands. 817pp.
- Liao, Y. N. 2012. The genetic analysis and coarse mapping of the rice floury gene, *FLOURY ENDOSPERM6 (FLO6)*. Master Thesis. Graduate Institute of Agronomy, National Chiayi University. Chiayi, Taiwan. 73 pp. (in Chinese with English abstract)
- Liu, J. X., D. Q. Liao, R. Oane, L. Estenor, X. E. Yang, Z. C. Li, and J. Bennett. 2006. Genetic variation in the sensitivity of anther dehiscence to drought stress in rice. *Field Crops Res.* 97:87–100.
- Mackill, D. J., S. Fukai, and A. Blum. 2003. Indirect selection for physiological traits for drought tolerance. p.49–54. *in: Breeding Rice for Drought-prone Environments.* (Fisher, K. S., R. Lafitte, S. Fukai, G. Atlin, and B. Hardy, eds.) International Rice Research Institute. Los Baños and Philippines. 103pp.
- Nguyen, H. T., R. C. Babu, and A. Blum. 1997. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations. *Crop Sci.* 37:1426–1434.
- Okuno, K. 1983. Inheritance of induced mutations in rice, *Oryza sativa L.* and their application for rice breed-

- ing. Bull. Natl. Inst. Agric. Sci., Series D 34:187–274.
- O'Toole, J. C. 2004. Rice and water: The final frontier. p.1–26. *in*: Proceedings of The First International Conference on Rice for the Future. August 31–September 2, 2004. Bangkok. Thailand. The Rockefeller Foundation, Bangkok.
- Pantuwan, G., S. Fukai, M. Cooper, S. Rajatasereekul, and J. C. O'Toole. 2002. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to drought under rain-fed lowlands: 2. Selection of drought resistant genotypes. *Field Crops Res.* 73:169–180.
- Price, A. H., J. E. Cairns, P. Horton, H. G. Jones, and H. Griffiths. 2002. Linking drought-resistance mechanisms to drought avoidance in upland rice using a QTL approach: Progress and new opportunities to integrate stomatal and mesophyll responses. *J. Exp. Bot.* 53:989–1004.
- Raman, A., S. B. Verulkar, N. P. Mandal, M. Variar, V. D. Shukla, J. L. Dwivedi, B. N. Singh, O. N. Singh, P. Swain, A. K. Mall, S. Robin, R. Chandrababu, A. Jain, T. Ram, S. Hittalmani, S. Haefele, H. P. Piepho, and A. Kumar. 2012. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. *Rice* 5:31.
- Rosielle A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 21:943–946.
- Satoh, H. and T. Omura. 1981. New endosperm mutations induced by chemical mutagens in rice *Oryza sativa* L. *Jpn. J. Breed.* 31:316–326.
- Singh, R. B., R. S. N. Pillai, and H. Kumar. 1981. Induced translocations in safflower. *Crop Sci.* 21:811–815.
- Sinhababu, A. and R. K. Kar. 2003. Comparative responses of three fuel wood yielding plants to PEG-induced water stress at seedling stage. *Acta Physiol. Plant.* 25:403–409.
- Srividhya, A., L. R. Vemireddy, P. V. Ramanarao, S. Sridhar, M. Jayaprada, G. Anuradha, B. Srilakshmi, H. K. Reddy, A. S. Hariprasad, and E. A. Siddiq. 2011. Molecular mapping of QTLs for drought related traits at seedling stage under PEG induced stress conditions in rice. *Amer. J. Plant Sci.* 2:190–201.
- Ulland, B., E. K. Weisburger, and J. H. Weisburger. 1973. Chronic toxicity and carcinogenicity of industrial chemicals and pesticides. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 25:446.
- Venuprasad, R., H. R. Lafitte, and G. N. Atlin. 2007. Response to direct selection for grain yield under drought stress in rice. *Crop Sci.* 47:285–293.
- Wang, C. S., T. H. Tseng, and C. Y. Lin. 2002. Rice biotech research at the Taiwan agriculture research institute. *APBN* 6:950–956.
- Wu, Y. P. and H. S. Lur. 2002. Rice mutation breeding. *Chinese J. Agron.* 12:219–239. (in Chinese with English abstract)
- Wu, Y. P., P. Y. Ko, T. H. Tseng, and C. S. Wang. 2007. Screening for the scent and grain quality in rice mutants. *J. Taiwan Agric. Res.* 56:121–133. (in Chinese with English abstract)
- Yen, C. C. 2011. Mutagenetic breeding and linkage-marker analyses of salt-tolerant rice. Doctoral dissertation. Department of Life Science, National Chung Hsing University. Taichung, Taiwan. 141 pp. (in Chinese with English abstract)
- Yoshida, S. 1976. Routine procedures for growing rice plants in culture solution. p.61–66. *in*: Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice. (Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cook, and K. A. Gomez, eds.) International Rice Research Institute. Manila, Philippines. 83 pp.
- Zhao, X. Q., J. L. Xu, M. Zhao, R. Lafitte, L. H. Zhu, B. Y. Fu, Y. M. Gao, and Z. K. Li. 2008. QTLs affecting morpho-physiological traits related to drought tolerance detected in overlapping introgression lines of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Sci.* 174:618–625.

Drought Tolerant Rice Lines by Screening an 'IR64' Mutant Stock

Yong-Pei Wu^{1,*}

Abstract

Wu, Y. P. 2013. Drought tolerant rice lines by screening an 'IR64' mutant stock. *J. Taiwan Agric. Res.* 62(3):195–208.

Breeding new rice varieties with drought tolerance is one of important topics of modern breeding programs. In this study, we screened mutant lines of drought tolerance from a mutant stock of 'IR64' which was a widely cultivated cultivar in the world, and induced by sodium azide twice. A total of 152 mutant lines of drought tolerance out of 2,500 mutants were selected by using PEG 6000 to mimic water deficiency during the seedling stage. Consequently, the mutant lines of drought tolerance were evaluated grain yield harvested from paddy and upland cultivations. The yield indices were used to assess drought tolerance of each mutant line. As a result, up to 58.7% of mutant lines performed good potential for drought tolerance according to its index of yield drought-tolerance (the percentage of yields of paddy cultivation/upland cultivation). However, the nine mutant lines rated as scale 3 of drought tolerance at the seedling stage were assessed drought tolerance for multiple experimental field trials at the adult stage. The results revealed that all mutants exhibited same trend in yield and drought tolerance, and two mutant lines, SM47 and SM100, had the best performance. This study demonstrated the strategy of rice breeding for drought tolerance: first, screening drought tolerant lines by treatment of PEG 6000 during the seedling stage to exclude lots of materials with poor tolerance because of water deficiency; second, the selected lines were evaluated by the index of yield drought-tolerance. Therefore, this strategy may help rice breeders to facilitate breeding of new drought tolerant rice varieties in Taiwan.

Key words: Mutant lines, Drought tolerance, Rice.

Received: February 20, 2013; Accepted: May 14, 2013.

* Corresponding author, e-mail: wuypei@dns.caes.gov.tw

¹ Associate Research Fellow, Department of Agronomy, Chiayi Agricultural Experiment Station, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.