

台灣水稻誘變庫 之應用性評估

農試所生技組 林大鈞 游舜期 林思好

嘉義分所農藝系 周思儀 吳永培

國立中興大學農藝學系 曾文彬 王強生

台灣經濟研究院 劉依蓁 余祁暉

一、前言

水稻是全球最主要的糧食作物，也是台灣本地最重要的糧食作物，同時也是研究穀類基因功能最重要的模式植物。如何快速自水稻種原收集，篩選目標性狀 (如產量、抗病、抗蟲、耐鹽、耐旱等生物及非生物逆境抗性、品質及機能特性相關性狀)，以因應多變氣候變遷及多元化國際市場的需求，甚至解決「糧食安全」，已是目前水稻育種家當前首要解決的問題。

誘變是增加物種遺傳變異的常用手段之一。而常見的誘變方法，可分為物理性及化學性。在物理性誘變方面，主要是利用輻射照射 (X射線、 α 、 β 及 γ 射線、中子或宇宙射線等)，誘發植物基因組發生突變破壞，進而啟動修復機制，導致基因組重組頻率的增加。在化學誘變部分，則主要是利用疊氮及烷基化合物等化學誘變劑。前者多用疊氮化鈉 (sodium azide； NaN_3)；後者則慣用

EI (ethylene imine)、 EMS (ethyl methane sulphonate) 或 NMU (N-methyl-N-nitroso-urea) 等。其中，利用疊氮化鈉 (NaN_3) 誘導突變，以創造新品種，已被應用於很多農園藝作物的育種工作。而化學誘變所產生之各種不同遺傳背景的突變系，也已被廣泛地應用在育種、遺傳及其它基礎或應用研究。近年來，國內外在誘變育種成果豐碩。中國自1957年開始啟動幅射誘變，至1984年已育成至少150個以上的作物品種，其中水稻部份有65個品種，占總數的42%。而日本在1986年即有23個水稻品種直接或間接利用誘變育種方式育成。

二、水稻誘變庫之簡介

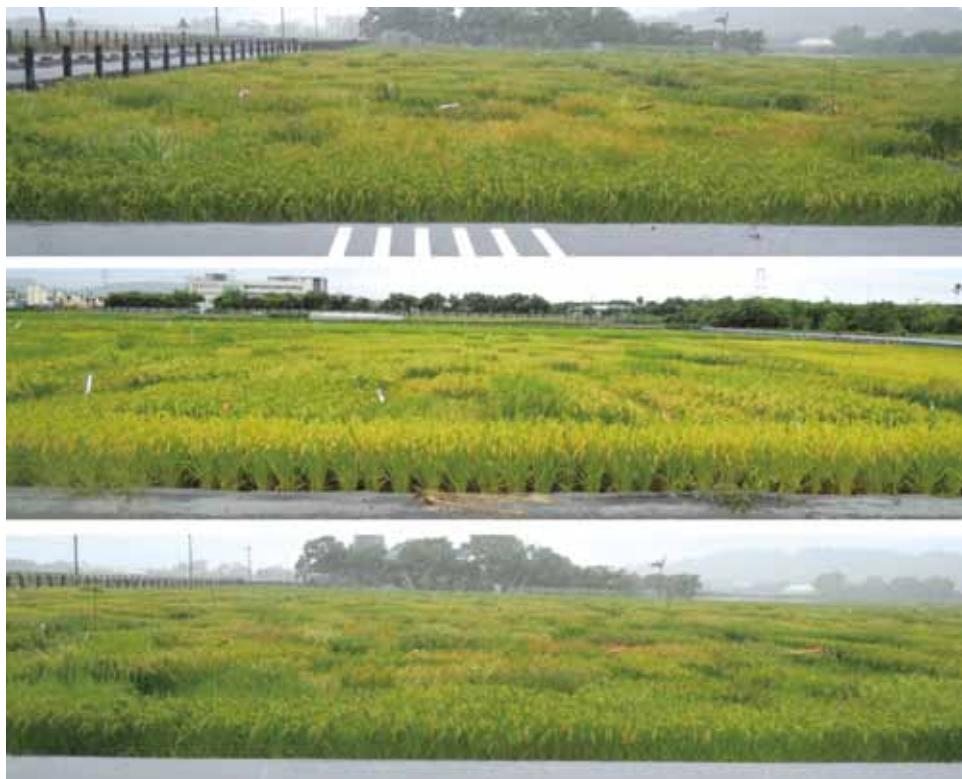
前農業試驗所 (本所) 農藝組分子遺傳研究室王強生博士及稻作研究室陳治官先生，自1994年起，開始使用 NaN_3 建立台農67號 (TNG67) 水稻誘變庫，目前已累積有2,713個突變品系 (圖一)。其中，所選拔之高產品系-SA0419，其澱粉具延展性且不易老化，適合湯圓、麻糬等米食加工品的製作，已於2007年通過

作者：林大鈞聘用副研究員
連絡電話：04-23317353

命名為「台農籼糯21號」(TNGSW21)。此外，經評估及特性檢定亦發現誘變庫中包含：抗病(稻熱病、白葉枯病)、抗蟲(褐飛蟲、白背飛蟲)、抗除草劑、抗逆境(UV、低溫、耐旱、耐鹽)、米粒特性突變(糙米顏色、粒型、米粒化學成分及香味)、各類植株形態變異(株型、成熟期、葉型、葉色)及其它近百種形態變異的突變體。另一方面，王強生博士於2005年至中興大學農藝系任職時，亦應國際水稻中心梁曦博士之請，利用NaN₃建立IR64誘變庫(籼稻型)，經過多世代(至少M₁₀世代)繁殖、純化及檢定，亦發現該誘變庫包含抗病、抗除草劑、米粒特性突變(糙米顏色、粒型、米粒化學成分及香味)品系、植株形態變異(株型、成熟

期、葉型、葉色)及其它近百種形態變異的突變體。

本所鄭統隆博士亦針對國內良質米品種，利用NaN₃進行誘變，選育特殊米質突變體，如低直鏈性澱粉突變體或高機能性突變體。此外，嘉義分所農藝系吳永培博士團隊則是利用NaN₃、EMS及NMU等誘變劑，進行台灣栽培稻品種的誘變。結果於早期世代的田間種植，即可發現晚熟、葉綠體、黃葉、各類短桿、短穗、不稔等性狀突變體。進而在晚期世代篩選胚乳突變體，結果發現黃金米、巨胚米、低心腹白、低直鏈澱粉(半糯性)、大心白、低蛋白質(5.6%)、食味口感佳、糯稻、低直鏈澱粉含量(8~12%)、粉狀質突變體及香米等性狀突變體。同



圖一、台農67號突變庫(2017年一期作)。

時，這些突變體大多在植株生育、其它農藝特性及稔實率均呈現與誘變親相似，因此這些突變體已應用在該團隊良質米育種及多用途品種研究上利用，如耐鹽及耐旱特性。

三、水稻誘變庫在高生物質量、穀粒外觀及抗性澱粉突變體篩選之應用性

由於水稻誘變庫的多樣性，因此，本研究團隊(包含本所生技組、嘉義分所農藝系、中興大學農藝系及台灣經濟研究院)即於2014年，利用前述水稻誘變庫材料，針對國際水稻產業目前的育種目標，進行生物及非生物逆境抗性品種的選育，以因應氣候變遷的需求；並於糧食安全與增加農民收益的前提下，進行產量特性的研究及選育；另一方面，為了提升米食利用率，進行加工米及機能米的選育；同時，針對友善環境的目的，進行有機栽培用品種的選育。冀能透過此次研究開發具海外商品化潛力之核心收集、分子標誌或品種，供國際種子公司、學界、育種者或農民所利用。此外，台經院也針對團隊可能研究產出，進行產業化布局的對策探討，並針對現行市場需求，回饋給團隊形成新的研究課題。

其中，我們針對2,713個TNG67突變體，於秧苗期、營養生長期、生殖生長期及成熟期等時期，進行30個農藝性狀調查，並比對性狀調查的歷史資料，以確定品系的正確性及相關性狀的穩定性。接著，每個品系分別取3株單株作

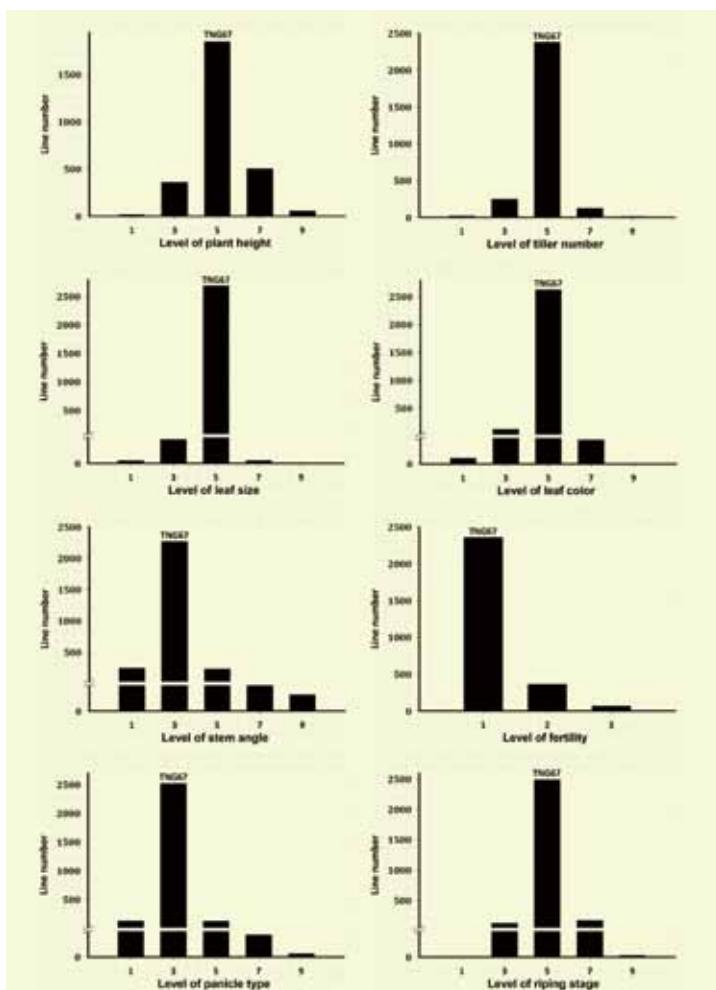
為樣品，進行考種。由於本計畫著重於生產力性狀的選拔，生長期的性狀調查主要是針對株高、分蘖、葉片大小、莖桿角度、葉色、稔實率、穗型及成熟期等性狀進行觀察(圖二)。結果發現，大部分性狀頻佈圖呈現常態分佈(normal distribution)，也就是多數品系的相關性狀，類似誘變親-TNG67，但仍可選拔出相當比例的變異突變品系，如株高、分蘖、葉片大小、莖桿角度、葉色、穗型及成熟期等性狀調查結果，均可發現較高或低於TNG67的突變品系。在稔實率的部分，則發現有429個品系的稔實率明顯低於TNG67，其餘則皆類似TNG67。這些結果顯示TNG67突變庫具有廣大的外表型歧異度，可作為篩選這30個性狀「核心種原」之優良母體族群。

由於穀粒外觀對於產量及市場喜好性，扮演極為重要的角色。因此，本團隊利用NIAS所開發的SmartGrain軟體，建置穀粒外觀分析系統，並針對2,713個品系的穀粒，進行外觀性狀調查，包含穀粒長(grain length)、穀粒寬(grain width)、長寬比(length to width ratio)、面積(area size)、圓週長(perimeter length)、週徑(circularity)及distance between IS(長寬交叉點) and CG(重心點)等。調查結果如圖三所示，所有性狀皆呈現常態分布。進一步根據多期作調查資料，選拔出H228突變體，其穀粒外觀明顯大於TNG67的突變品系(圖四)。目前，已完成其粒長、粒寬及長/寬比等相關基因定位及分子標誌之開發(相關數據將發表於其它國際學術期刊)。

抗性澱粉 (resistance starch, RS) 早已被發現對人體消化道、消化道內微生物群相、血膽固醇濃度及餐後血糖濃度等，均有正面影響，故已被食品產業廣泛應用於糖尿病控制的輔助。而台灣近來罹患糖尿病已高達9.2%，65歲以上男性罹病率甚至高達28.5%。一般而言，水稻品種 (系) 的抗性澱粉含量多小於1% (w/w)，被分類為高GI食品，僅有抗性澱粉含量高於3% (w/w) 的水稻品種 (系)，方有可能被分類為中GI食品。因此，本

團隊亦針對的1,000個TNG67誘變品系中，進行高抗性澱粉突變體的篩選，結果發現7個突變體的抗性澱粉含量>3%。但本團隊亦同時針對台灣目前栽培面積最大的前17個商業品種，進行抗性澱粉含量的測定，結果發現 稻抗性澱粉濃度為0.2- 0.9 % (w/w)；秈稻抗性澱粉濃度為0.1-0.2 % (w/w)；糯稻抗性澱粉濃度為0.09- 0.10 % (w/w)，顯示以抗性澱粉含量來看， 稻優於秈稻，而糯稻的抗性澱粉含量則是最低 (圖五)。另一方面，綜觀所

有商業品種，所有樣品之抗性澱粉濃度均小於1 % (w/w)，顯示現行商業品種恐無法被應用於高抗性澱粉品種育種。此外，團隊亦同時自上述突變庫，針對耐鹽、脆桿、高花青素含量 (有色特性) 及白葉枯病抗性等特性進行篩選，並獲得相關「核心收集」(core collection)、相關性狀基因的定位及分子標誌的開發 (相關數據將發表於其它國際學術期刊)。同時，已開始利用這些材料及分子標誌，分別啟動「脆性、有色及抗白葉枯病特性堆疊分子輔助育種計畫」及「短粒、黃色、巨胚、紫米特性堆疊分子輔助育種計畫」，並已取得穩定的高級育種世代，待完成品種權相關試驗工作，即可申請品種權及品種釋出與推廣。



圖二、TNG67誘變庫之株高、分蘖、葉片大小、莖桿角度、葉色、稔實率、穗型及成熟期等性狀頻佈圖。

四、結論與建議

目前台灣水稻誘變庫已發現抗病(稻熱病、白葉枯病)、抗蟲(褐飛蟲、白背飛蟲)、抗除草劑、抗逆境(UV、低溫、耐旱、耐鹽)、米粒特性突變(糙米顏色、粒型、米粒化學成分及香味)、各類植株形態變異(株型、成熟期、葉型、葉色)及其它近百種形態變異的突變體。而近來，本研究團隊亦針對國際水稻產業現行育種目標，已建立澱粉、高產潛力、花青素含量(有色)、脆桿及耐鹽等特性突

變體之核心收集。同時，亦針對選育之低直鏈性澱粉、黃色胚乳、粒型、花青素含量及脆桿等特性性狀，完成相關基因的定位及分子標誌的開發。此外，亦選育具優良農藝性狀之低直鏈性澱粉、高產、高花青素含量、脆桿、耐鹽等突變體及「脆性、有色及抗白葉枯病堆疊品系」與「短粒、黃色、巨胚、紫米特性堆疊品系」，並完成相關品種權調查的前期試驗，作為品種權的申請及品種釋出與推廣的基礎。這些研究成果，除可

作為未來誘變庫技轉給國際種子公司的加值基礎外，亦可供學界進行澱粉生合成、產量、花青素生合成、脆桿或耐鹽等特性分子機制的探討。

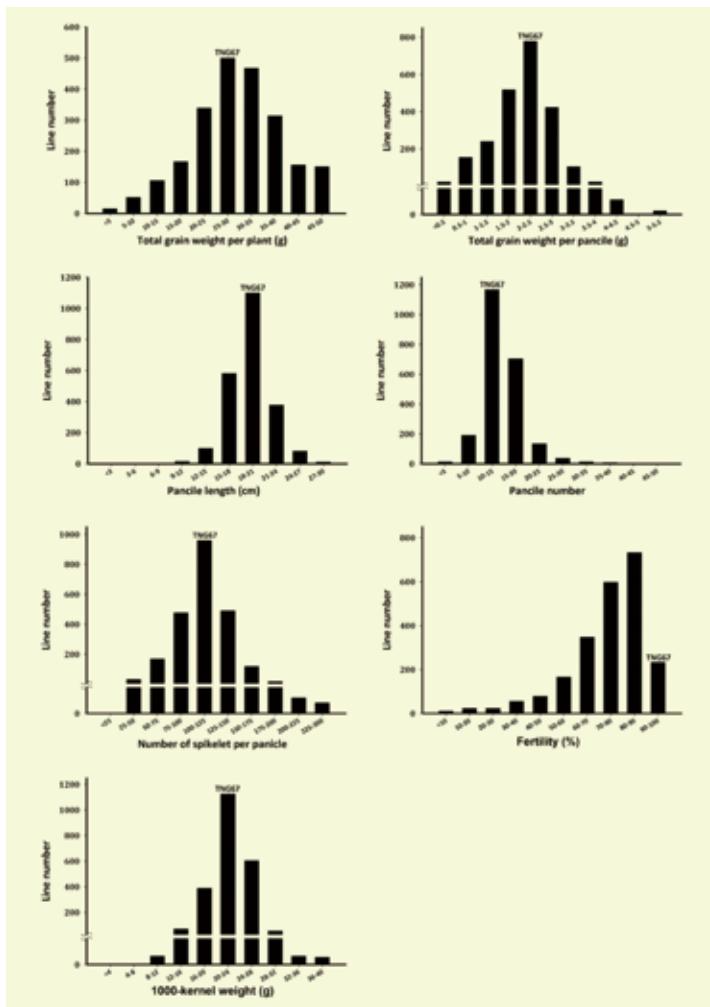
此外，針對各品種研發效益及拓展策略說明如下：

1. 低直鏈性澱粉水稻

國內小包裝米之零售價價差達到4.4倍，顯示產品的差異化具有溢價的空間，國內可籌組具公信力之團隊或平台，提供低GI米之認驗證服務及產品標示，提升機能米或相關膳食產品之附加價值，甚至推廣至醫院端使用。

2. 耐鹽水稻

全球約有7,700萬公頃農地為鹽鹹地，造成每年約200億美元的經濟損失，而耐鹽水稻品種可提高鹽



圖三、TNG67誘變庫之穀粒外觀性狀頻佈圖。

鹹農地之稻米產量，推估在菲律賓、孟加拉、印度以及印尼等地區所帶來之經濟效益介於2.2億美元~44.8億美元。國內沿海地區之鹽化土壤可用於種植耐鹽水稻，解決緊急時期或極端氣候發生之糧食安全問題，於非緊急時期且無糧食安全問題時可作為飼料用米或加工米等用途，另外種植耐鹽水稻具有改善土壤鹽化的作用，可用於我國沿海地區之國土保育，此外，轉種耐鹽(耐旱)水稻預估可節水30%。

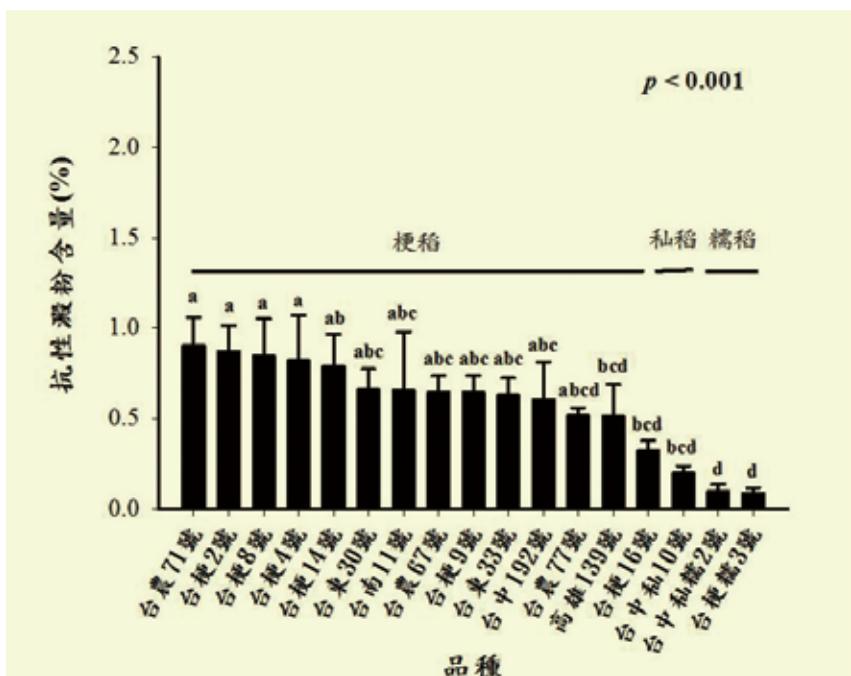
3.抗白葉枯病水稻

從減少農業損失及減少農藥使用等面向進行分析，台灣抗白葉枯病水稻品種研發效益約為新台幣9.4億元，若推廣至印尼種植，其效益則達到新台幣28億元。抗病水稻結合多種優良農藝性狀可增加競爭優勢，如生长期短、高產、脆桿，或具營養價值之有色米等

農藝性狀。白葉枯病病原菌具多種生理小種，若推廣到海外，應與目標市場既有之抗病品種進行抗病性比較，並於目標市場透過接種當地流行之病原菌菌株進行水稻抗病試驗，以利於當地推廣種植。



圖四、H228突變體及TNG67植株及穀粒外觀。



圖五、台灣目前栽培面積最大的前17個商業品種之抗性澱粉含量。

此外，台灣水稻誘變庫多具有廣大的遺傳變異性，可作為特定重要性狀篩選的良好材料。以本次團隊進行抗性澱粉突變體為例。台灣目前栽培面積最大的前17個商業品種，其抗性澱粉濃度均小於1% (w/w)，均不適用於高抗性澱粉品種的選育。而其可能肇因於台灣長期育種方向，均著重於台灣本土嗜好性良質米的發展方向。因此，在育種過程中，可能早已淘汰某些抗性澱粉生合成的基因。然而，在台農67號誘變庫中，針對1,000個TNG67誘變體，進行高抗性澱粉特性的篩選，結果發現7個突變體的抗性澱粉含量>3%。故台灣水稻誘變庫可作為某些早期被認定不良性狀，但於現今栽培環境或是人體健康有需求之特性的優良篩選材料。同時，因其遺傳背景近於現行台灣栽培品種，因此可降低育種計畫的難度或是減少回交的世代。

針對台灣水稻誘變庫之開發價值，可參考過去農業種原及育種材料庫研究成果交易個案資料，通常以合作開發、授權合作的形式進行，交易金額介於1,820萬美元~14億美元，若成功授權業者進行銷售，可收取權利金比例為產品銷售額的0.5%~17.5%。現行國際及台灣育種者慣用目標性狀基因的來源，或來自於野生種或是國外的秈稻品系，而台灣的商業品種大多為梗稻品系，因而增加遠緣雜交導入 (introgressing) 抗性基因的難度。而前述水稻誘變庫多源自於國內知名品種，其特定性狀材料可配合國內稻米政策進行品種研發，如開發生長期可與雜糧作物搭配輪作之水稻品種以

健全水稻與雜糧輪作制度。因此，本團隊此次所建立澱粉、高產潛力、花青素含量 (有色)、脆桿及耐鹽等特性突變體之核心收集，應可作為良好的性狀提供親，直接應用於台灣本土的相關育種計畫，或可針對國內外市場需求、或企業界有興趣開發的項目來進行客製化研發工作，並掌握異業 (如生醫業者) 之特色米需求，先推現有品種建立合作關係，再推中長期育種計畫替業者量身打造。

配合南向政策，針對南向國家稻米技術需求 (表一)，建議組成技術專家小組，針對各項稻米研發項目至南向國家進行評估，了解我國稻米技術優勢，以利結合具解決當地水稻生產問題之研發成果，透過實證農場的試驗，將台灣稻米研發成果推向國際，提升海外輸出技術的機會，同時也達到國際外交的效益。

五、參考文獻

- Amano, E. (1986). Development of breeding materials in rice by use of induced mutation. *Gamma Field Symposia* 25, 37-53.
- Chang, H.Y., Hsu, C.C., Pan, W.H., Liu, W.L., Cheng, J.Y., Tseng, C.H., Bai, C.H., Yeh, W.T., and Hurng, B.S. (2010). Gender differences in trends in diabetes prevalence from 1993 to 2008 in Taiwan. *Diabetes Research and Clinical Practice* 90, 358-364.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M.J., Sánchez-Zapata, E., and Pérez-

表一、南向國家稻米技術需求盤點

國家/水稻性狀	高產	耐鹽	耐淹	耐旱	耐白葉 枯病	耐稻熱 病	耐病毒 病害	耐蟲害	低GI米 需求	蛋白米 需求	黃色米 需求
澳洲	V			V							
新加坡									V		
紐西蘭									△		
汶萊									V		
馬來西亞	V	V		V	V	V	V	V	V		
泰國		V	V	V	V	V		V			△
斯里蘭卡	V										V
印尼	V				V	V	V	V	V		△
菲律賓	V		V		V	V	V	V	V		
不丹											V
越南		V	V	V	V	V		V			
寮國			V	V	V						
印度		V			V				V		V
巴基斯坦		V							V		
孟加拉	V				V				V		V
緬甸		V		V					V		△
柬埔寨			V	V				V			
尼泊爾	V									V	V

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心整理（106年12月）

註：V：表示有需求；△：表示可能有需求。

- Álvarez, J.A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International* 43, 931-942.
- Hu, P., Zhao, H., Duan, Z., Linlin, Z., and Wu, D. (2004). Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. *J Cereal Sci* 40, 231-237.
- Wang, C.S., Tseng, T.H., and Lin, C.Y. (2003). Rice biotech research at the Taiwan Agricultural Research Institute. In *Rice biotech research at the Taiwan Agricultural Research Institute in Rice Genomics (I): A holistic approach to rice research and genetic engineering*, H. Yang, Yu, J., Ramachandran, S., Pan, S., ed. (Singapore: World Scientific Publishing Co.), pp. 111-128.
- 吳永培, and 廬箎生 (2002). 水稻誘變育種. *Chinese Agron J* 12, 219-239.
- 林彥蓉, 郭素真, 吳泓書, 周思儀, and 吳永培 (2013). 水稻多樣化育種與多樣化利用. 良質米產業發展研討會專刊, 1-18.
- 章振集, and 尹道川 (1984). 花培育種和誘變育種. In *中國稻作學* (中國北京: 中國農業科學院主編), pp. 405-418.
- 陳姿翰 (2012). 誘導突變在作物育種上之利用. 台中區農業改場一〇一專題討專集, 225-229.
- 曾東海, 鄭統隆, 吳明哲, 陳治官, 顏信沐, and 王強生 (2007). 仙型糯稻新品種台農仙糯21號之育成. *技術服務* 72, 1-3.