

臺灣高離胺酸玉米之 育種研究發展及其栽培應用潛力

前言

玉米 (*Zea mays* L.) 起源至中南美洲，經由人類的繁殖與不斷地改良，對於不同土壤與氣候環境適應性良好，現今世界各國皆有廣泛的種植，臺灣在二〇一三年開始實施「調整耕作制度活化農地計畫」，二〇一四年飼料玉米推廣種植面積達 1 萬 4 千餘公頃。臺灣每年進口玉米為 400~500 萬公噸，主要作為動物飼料用，玉米籽粒為提供動物熱量主要來源，一般飼料中所使用的普通玉米的離胺酸 (lysine)、色胺酸 (tryptophan) 等胺基酸含量較低，而這 2 種必需胺基酸在單胃動物體內無法自行合成，所以只用普通玉米籽粒會使飼料胺基酸比例不平

衡，影響畜禽動物在飼養後的生長發育，因此需要額外添加大豆粉、魚粉等來提升飼料蛋白質營養品質。人類很早就發現可通過育種的途徑來改善玉米的營養成分，存在自然界中的 *opaque-2* 突變基因能顯著地提高玉米籽粒中離胺酸的含量，使得玉米籽粒中離胺酸與色胺酸含量達普通玉米的 2 倍，分別達到 0.48、0.13%，於是育種學家利用 *opaque-2* 基因來培育高離胺酸含量的玉米品種，但由於 *opaque-2* 基因連鎖著易破損粉質胚乳、籽粒千粒重輕、病蟲害抗性差等不良農藝性狀，無法應用於田間栽培生產，又隨著人工合成胺基酸技術的成熟發展，高離胺酸玉米育種研究在世界各國一度停止中斷。

然而在國際玉米與小麥改良中心 (CIMMYT) 研究人員鍥而不捨的多年努力之下，利用輪迴選拔具有 *opaque2* 的胚乳修飾基因的玉米族群，成功培育出了硬質胚乳型的抗病性佳且高離胺酸含量的高產量玉米自交系。為了區別於以往軟質胚乳的高離胺酸玉米，重新賦予其新名稱：優質蛋白玉米 (Quality protein maize, QPM)，目前優質蛋白玉米因其良好的蛋白質營養特性，又逐漸獲得世界各國育種研究人員的重視。

國外優質蛋白玉米研究歷史與發展現況

一九六四年美國普渡大學 Mertz 等人發表了由 *opaque2* (*o2*) 突變基因的高離胺酸玉



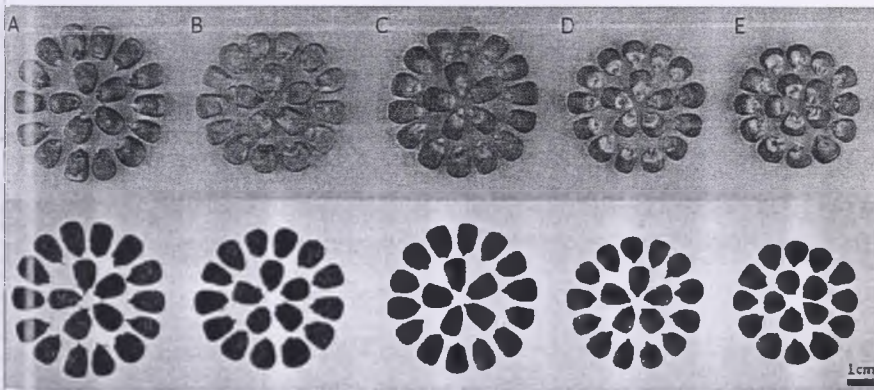
↑圖 1.5 個不
opaque2 玉
質蛋白玉米 (

米後，其他 *Floury2* (*fl2*)、*Opaque6* (*o6*)、*Opaque7* (*o7*)、*Floury3* (*fl3*) 同樣會增加玉米胚乳離胺酸含量的突變基因研究也陸續發表，而這些高離胺酸玉米突變體皆具有嚴重缺陷外表型，但其中 *opaque2* 為遺傳控制效應明顯之隱性對偶基因座，較容易應用於玉米育種計畫中，且基因型為 O_2O_2 玉米籽粒的離胺酸與色胺酸含量為 O_2O_2 與 O_2o_2 基因型玉米的 2 倍，因此育種家皆利用 *opaque2* 突變玉米材料用於改良提升普通玉米離胺酸含量。在燈光照射下 *opaque2* 玉米籽粒會因澱粉粒堆疊鬆散的緣故而呈現不透光，這

種軟胚乳型態的玉米在田間機械收穫時容易破損，加上 *opaque2* 玉米在田間抗病蟲害能力不佳且產量低等嚴重缺陷，讓高離胺酸玉米無法推廣於實際栽培田間。鑒於離胺酸與色胺酸為多數穀類作物欠缺之必須胺基酸，一九七一年國際玉米與小麥改良中心 (CIMMYT) 的育種家 Surinder Vasal 與生物化學家 Evangelina Villegas 的跨領域合作團隊，發現在於不同遺傳背景玉米族群 (如 Caribbean 和 Cuban flints) 具有較多可以提升 *opaque2* 玉米胚乳硬度的修飾基因，再以輪迴選種的策略聚集胚乳修飾基因，將 *opaque2* 玉米

改良成組合力佳且硬胚乳型態的高離胺酸玉米。為有別於原本有不良農藝性狀的 *opaque2* 玉米，將硬胚乳的 *opaque2* 玉米改稱為優質蛋白玉米，優質蛋白玉米也順利成功推廣於田間種植，讓窮困落後地區兒童缺乏均衡蛋白質攝取的困境得到改善。Surinder Vasal 和 Evangelina Villegas 兩人因為這項高離胺酸玉米改良成就，在二〇〇〇年獲得世界糧食獎 (world food prize) 殊榮。

CIMMYT 的高產硬胚乳型高離胺酸玉米的成功選育，世界各國育種研究人員利用 CIMMYT 優質蛋白玉米自交系與當地優良自交系作回交育種。由於高離胺酸性狀為隱性基因所控制，傳統回交育種方法每一次的回交皆需增加一個世代自交工作來挑選高離胺酸籽粒，故育種工作較多且品種選育時間需拉長。美國 Pioneer 公司和 Missouri 大學完成 *opaque2* 基因序列定序，並設計了 3 組 SSR 分子標幟可用來檢測



↑圖1. 5 個不同種類玉米籽粒在一般情況與光源照射之外觀表現。A：臺農一號，B：*opaque2*玉米，C：優質蛋白玉米CML161x163，D：優質蛋白玉米CML161x165，E：優質蛋白玉米CML161x172

表一、亞洲地區已成功選育之優質蛋白玉米品種

品種/雜交組合	成熟期	籽粒顏色	產量	國家地區
Vivek QPM9	特早熟	黃色	5.5	印度
HQPM1	中晚熟	黃色	6.2	印度
HQPM5	中晚熟	黃橘色	5.8	印度
Shaktiman2	中晚熟	白色	6.0	印度
Shaktiman3	中晚熟	黃橘色	6.0	印度
HQ2000	中晚熟	黃色	6.9	越南
中單 9409	晚熟	黃色	9.0	中國大陸
雲瑞 1 號	晚熟	黃色	10.2	中國大陸

玉米植株是否為 *opaque2* 同型結合子，其中 *phi057* 和 *umc1066* 為共顯性分子標幟，*phi112* 則為顯性分子標幟，如在玉米育種材料之間此三組 SSR 分子標幟存在多型性，則只要有少量 DNA 以簡單實驗操作流程，即可分析檢測玉米基因型，將分子標幟利用於回交育種工作中可以大大提升育種效率，降低選育所需時間與成本。目前世界各國利用 CIMMYT 的優質蛋白玉米自交系種原與分子標幟輔助選拔 (Marker assisted selection) 的方式，成功選育了適合當地氣候環境且高產之優質蛋白玉米新品種。

臺灣高離胺酸玉米育種研究發展

一九七七年農業試驗所萬雄前所長發表了臺灣第一篇高離胺酸玉米雙雜交種蛋白質含量與胺基酸組成之研究文章。因在燈光下照射整顆 *opaque2* 籽粒會呈現不透光，故當時稱高離胺酸玉米為暗玉米。接著有關不同來源玉米花粉、不同雜交組合、不同栽培環境條件對暗玉米的蛋白質與離胺酸含量影響的研究文章陸續發表，在一九八三年發表了暗玉米雙交種產量穩定性的研究後，即不再有高離胺酸玉米相關研究文章發表。而二〇

一三年農業委員會開始實施「調整耕作制度活化農地計畫」積極推廣青割與飼料玉米種植，農業試驗所作物組在二〇一四年從國際玉米與小麥改良中心引進優質蛋白玉米自交系種原，作為臺灣優質蛋白玉米品種選育之育種材料，同時也生產黃色胚乳之優質蛋白玉米雜交種，評估其在臺灣環境適應性與產量表現。

二〇一五年春作在農業試驗所霧峰試驗田種植優質蛋白玉米雜交組合以及普通玉米臺農一號與明豐三號作為對照比較。3 個優質蛋白玉米雜交組成熟期介於臺農一號與明豐三號之間，屬於中晚熟種。株高與穗位高 5 者差異不大，而 CML161×165 組合較矮。3 個優質蛋白玉米雜交組合之千粒重與普通玉米相當，而籽粒產量皆為每公頃 7 公噸左右，較臺農一號高產。青割鮮重產量表現差異較為明顯，CML161×163 青割重最高每公頃 59.5 公噸，

表二、二〇一五年春作優質蛋白玉米於霧峰試區之農藝性狀與產量表現

品種 (系)	成熟期	開花 日數 (天)	株高 (公分)	穗位高 (公分)	千粒種 (公克)	小區推估 籽粒產量 (公噸/公頃)	小區推估 青割重 (公噸/公頃)
優質蛋白玉米 CML161×163	中晚熟	69	253	132	3160	7.07	59.5
優質蛋白玉米 CML161×165	中晚熟	66	233	116	3020	6.91	32.7
優質蛋白玉米 CML161×172	中晚熟	67	258	128	3250	6.90	46.9
普通玉米 臺農一號	早熟	67	251	131	3326	5.65	50.1
普通玉米 明豐三號	晚熟	70	248	130	2893	8.12	57.8

CML161×165 青割重最低每公頃 32.7 公噸。

優質蛋白玉米之營養價值與應用潛力

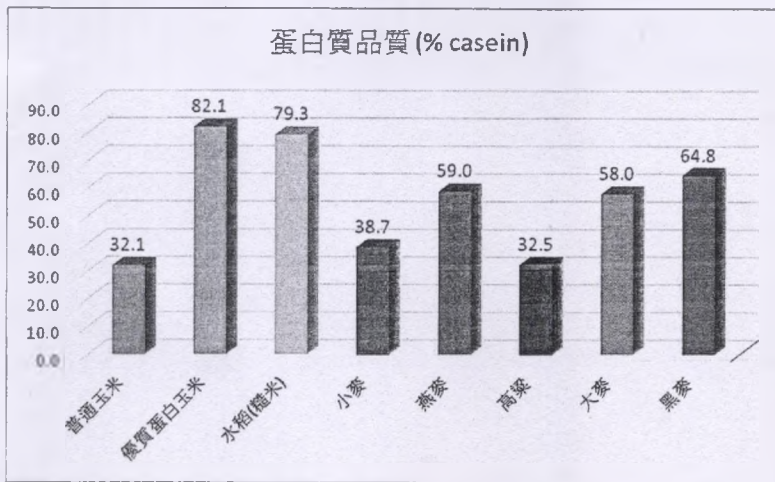
優質蛋白玉米蛋白質品質是目前主要穀類糧食作物中最好，其營養價值相當於 90% 的脫脂牛奶。1000 公克優質蛋白玉米籽粒中含有離胺酸平均 4 公克，色胺酸平均 0.8 公克，含量是普通玉米的 2 倍。優質蛋白玉米的產量已與普通玉米雜交種的產量水準相近，並且優質蛋白玉米的營養價值遠遠

高於普通玉米，優質蛋白玉米不僅可以收穫籽粒作為飼料的主要原料，而且它的莖稈及葉片也因其營養成分含量明顯高於普通玉米而適口性好，更適合作為青貯原料用。江、王等人 (2007, 2015) 指出優質蛋白玉米用作豬隻飼料，每日增重較飼養普通玉米高 30%~50%，除了在哺乳期和斷乳期仔豬需要補充少量蛋白質，其他時期不需添加額外蛋白質來源也能維持正常生長發育，但用普通玉米則不行。優質蛋白玉米作為生蛋雞飼料，其產蛋率可提高 15% 以上，對

平均蛋重、飼料轉化率、破蛋率沒有負面影響，且可提高雞蛋的蛋黃顏色，經濟效益高於普通玉米。優質蛋白玉米青芻料不僅營養價值高而且相當適口，與一般普通玉米青芻料相比，每頭牛日產乳量提高 6.8%；乳脂率提高 4.4%；乳蛋白提高 8%；鮮奶密度提高 5.3%，每頭牛每年增加產乳量達 414 公斤。

結語

玉米屬於土地利用型作物，雖然在臺灣已具備機



↑圖2. 優質蛋白玉米與其他6種穀類作物之蛋白質品質比較
 →圖3. 優質蛋白玉米 CML161 x 172 雜交組合於二〇一五年秋作之植株生長情形



械種植收穫玉米條件，但因為臺灣農地面積零碎較小，玉米籽粒生產數量與成本皆難與國外進口玉米競爭。然而，臺灣可以發展不同於大宗穀物市場之普通飼料玉米，朝向臺灣本土消費市場需求研發新玉米品種是一個可發揮有潛力的方向，其中優質蛋白玉米即是一個選項。臺灣目前有機畜產品中雞蛋已有辦法取得有機認證，但其中有機飼料的來源是有機雞蛋成本高與市場普及度低的原因之一。臺灣所種植的玉米皆為非基因改

造玉米，而玉米籽粒收穫指數較其他農藝作物（如水稻、大豆等）高，對水份、溫度、土壤種植環境要求也相對低，種植過程也具備不噴用化學農藥之栽培技術，在臺灣可生產有機高蛋白營養價值的優質蛋白玉米籽粒，供應臺灣有機雞蛋生產牧場，以提升農民種植玉米收益意願；降低牧場有機飼料來源不穩定成本高之生產風險；消費者獲得安全營養價錢合理有機雞蛋的購買機會。另外，在可供消費者直接食用的玉米種類中，糯玉

米主要品質訴求為胚乳支鏈性澱粉所產生的籽粒口感 Q 彈特性，如能將高離胺酸含量的 *opaque2* 基因導入糯玉米中，選育成具有糯性口感且優質蛋白營養的新食用玉米品種，對於國人營養均衡是有幫助的，因吃糯玉米時即可同時補充人體必須的離胺酸與色胺酸。綜合上述說明，優質蛋白玉米因其蛋白質營養價值，所以在臺灣市場是具有發展潛力之新興玉米品種之一。

