

國產硬質玉米之特性與應用

賴喜美^{1,*}

摘要

硬質玉米是農委會自 2013 年推行之「調整耕作制度活化農地」計畫中進口替代補助作物之一，旨在增加農民的收入並擴大了穀物的自給率。在農業試驗單位多年來的努力，已育種及釋出多個硬質玉米品系，而國產硬質玉米具有非基因改造且收穫後加工原料新鮮之優勢，有利於其多元與增值化之應用。為了能與進口玉米在市場利用及價值方面有所區隔，應在品種特性方面尋求特色，朝向營養保健食品之加工利用。因此，本報告以近年來農試所（台中霧峰）育種之高直鏈澱粉玉米（high amylose maize, HAM）及優質蛋白玉米（quality protein maize, QPM）及市售國產硬質玉米為試驗材料，探討其組成與機能成分、理化性質、全穀粉之研磨與安定化技術及相關加工產品之應用與開發。國產高直鏈澱粉玉米之抗性澱粉含量高，濕熱安定化處理後仍可保留 57% 抗性澱粉。將優質蛋白玉米進行濕式處理安定化後，有利於維持慢速消化澱粉與抗性澱粉含量。利用擠壓技術可成功安定化玉米全穀粉，並生產不同冷糊黏度、熱糊黏度之初加工產品，適合用作穀物沖泡粉及預拌粉之主原料；以雙軸擠壓技術可以開發以玉米全穀粉為主原料之未添加糖及添加物之玉米脆片、膨發點心食品、無麩質之玉米全穀西式麵條等。安定化玉米全穀粉之慢速消化澱粉及抗性澱粉、膳食纖維等機能成分較普通玉米（normal corn）含量高，因此，可提供降低升糖指數及維持腸道健康菌群之特性，適合作為保健食品之原料及全穀食品之開發。

關鍵詞： 高直鏈澱粉玉米、優質蛋白玉米、玉米全穀粉、擠壓技術

¹ 國立台灣大學農業化學系

* 通訊作者: hmlai@ntu.edu.tw; Tel.: (+886)-23366-4816

1. 前言

玉米 (*Zea mays* L.)、小麥與稻米為全球產量前三大的穀物作物，其中，玉米除可供作人類糧食外，更是牲畜飼料與生質燃料等之主要原料來源。玉米為禾本科，黍亞科，玉蜀黍屬之一年生草本植物，原產於中南美洲，是早期美洲人的主要糧食，至今在墨西哥及其他中美洲的人民仍以(白)玉米為主要糧食。玉米在 16 世紀經由海上及陸上途徑，傳播到全世界。臺灣在西元 1717 年就有玉米栽培的記載，1980 年時種植面積達 32,760 公頃，至 1987 年高達 79,660 公頃，但至 2012 年則僅剩 22,821 公頃。臺灣玉米屬於內銷型產業，2019 年食用玉米 (green maize) 之年栽培面積約 14,550 公頃、年產量達 105,221 公噸，而硬質玉米之年栽培面積約 15,210 公頃，年產量為 73,540 公噸 (資料來源：行政院農委會各項作物產量排序查詢 https://agr.afa.gov.tw/afa/pgcropsigqty_cond.jsp)。

市場上對玉米的分類，多依用途區分，分別為飼料玉米 (field corn)、青割玉米 (forage corn) 及食用玉米等 3 種。在臺灣，由於長年進口大量玉米，其中 99% 來自美國和巴西，這些幾乎都是基改玉米，主要為飼料用途。為提高國內糧食自給率和活化農地利用，於 2012 年起農業委員因要推動「調整耕作制度活化農地計畫」而將國內農民種植的馬齒種 (dent corn) 或硬粒種 (flint corn) 的黃色玉米統稱為硬質玉米。係指玉米成熟時，植株苞葉枯黃，玉米籽粒質地堅硬，顏色為黃色、橙色或紅色，除可作為飼料外，更希望能作為食品加工或玉米澱粉生產等多元用途，以利雜糧產業推展及增加農民收益。硬質玉米向來為雲嘉南地區重要的雜糧作物，目前其硬質玉米種植面積占全國玉米栽培面積 93% 以上，均為非基改玉米。

玉米之應用非常多元，其主要用途包括：生質酒精之生產、動物飼料、玉米澱粉之生產及其衍生產品之應用、人類主食及相關食品等。目前，世界澱粉總產量有 80% 以上為玉米澱粉。以玉米作為澱粉的生產原料具有兩大優勢，其一為可以長年儲藏，其二為生產不受季節限制。普通玉米 (Normal corn) 籽粒中直鏈澱粉含量約為 22 ~ 27%，但高直鏈澱粉玉米 (high amylose maize, HAM) 則含有至少 50% 以上的直鏈澱粉。相對於一般玉米澱粉，高直鏈澱粉玉米因具有獨特的理化特性，而有不同的應用途。高直鏈澱

粉玉米之澱粉與青香蕉、豌豆、扁豆澱粉同屬於不容易被人體上消化道水解酵素 (包括 amylase、amylglucosidase) 水解的第二類型抗性澱粉 (resistant starch-type II, RS2)[1]。目前已知，抗性澱粉對人體健康有諸多的益處，包括其因攝取後不易被水解成葡萄糖而難以進入能量代謝循環，因此，富含抗性澱粉之食物通常具有低升糖指數 (low glycemic index, low GI) 的特性，長期食用此類食物則具有調節血糖濃度之功能與預防第二型糖尿病的發生 [2,3]。HAM 因高含量直鏈澱粉，易形成高度結晶，致使其不易被水解，屬於膳食纖維的一種，也具有益生質 (prebiotic) 的特性，除了可促進腸胃蠕動外，在腸道分解發酵所產生的短鏈脂肪酸，如醋酸、丙酸與丁酸等，亦被證實可降低腸道酸鹼值，有助於腸道益生菌生長，進而降低結腸癌發生的風險；短鏈脂肪酸亦可提升腸道脂肪代謝效率，有助於人體血脂的調節 [4]。

2. 玉米種類與結構

2.1 玉米種類

一般而言，玉米依據種子胚乳外觀特性的不同，可區分為馬齒種 (dent corn)，硬粒種 (flint corn)，爆裂種 (pop corn)，蠟質種 (waxy corn)，甜質種 (sweet corn) 等類型。蠟質種與甜質種為一般所稱的糯玉米與甜玉米，水煮後即可食用；爆裂種則是作為爆玉米花的原料使用。馬齒種玉米籽粒的側面為硬質澱粉，而頂端到內部則為軟質澱粉，當籽粒乾燥後便凹陷成馬齒形，一般作為動物飼料及澱粉生產加工用。硬粒種玉米籽粒外側為硬質澱粉，內部極少部分為軟質澱粉，乾燥後頂部圓形、有光澤，在食用、飼料與工業上廣為利用，其乾磨產物包括粗粒玉米 (corn grits)、玉米細粉 (corn meal)、玉米粉 (corn flour) 等，通常可用於粥品、玉米餅及擠壓點心食品。常見市售玉米穀粉之規格如下：(1) 粗粒玉米：此乃經研磨後，穀粒破碎成數個小顆粒，粉體粒徑在 0.6-1.4mm 之間；加入熱水攪拌後，可製成糰，並進一步做成玉米餅，在南美洲被當作主食，也常用於點心食品，如：玉米脆片。(2) 玉米細粉：此顆粒較 grits 更小，但比 flour 粗，粉體粒徑在 212-600 μm 之間；常用於各種烘焙產品，可用以增色或提供產品口感及香氣。(3) 玉米粉：此粉體粒徑小於 212 μm ，可透過雙軸擠壓方式製作西式麵條或膨發點心產品；玉米粉由於粉體粒徑小，水溶

性佳，能快速糊化，亦可經由預蒸煮步驟，製得預糊化玉米粉，調配成即時性沖泡穀粉或其飲品等。

由於玉米之主要組成分為澱粉，因此，分離出之玉米澱粉也是目前產量最多，用途最廣的天然澱粉 (**native starch**)，除了可直接用於食品製造之主要原料或副原料外，也可水解製成澱粉糖漿或其水解產物。除此之外，玉米是動物飼料中熱量的最佳來源，也是目前生質酒精的主要生產原料。表 1 為主要食品用普通玉米及特用玉米種類及其用途。

表1、主要食品用普通玉米及特用玉米種類及其用途 [5]

玉米種類	主要食品用途
一般食品級(US Grade No. 1)黃色及白色玉米 (Regular food-grade yellow and white corn)	<ul style="list-style-type: none"> ● 主要以作為加鹼烹煮(<i>masa</i>)及乾磨碾製為目的。 ● 籽粒質地通常為硬質或中等硬度，玉米籽粒屬中粒徑至大粒徑。 ● 籽粒試重(<i>test weight</i>)高、比重大。 ● 加工過程種皮易去除。 ● 玉米芯(<i>Corn cob</i>)一般為白色。若來自於粉色或紅色玉米芯之玉米籽粒則含有較高含量的酚類化合物，加工時易產生不好的風味，尤其是以鹼化處理玉米粉(<i>nixtamalized corn flour</i>)製作之點心產品。
特用玉米 (Specialty corns)	
優質蛋白玉米 (Quality protein maize, QPM)	<ul style="list-style-type: none"> ● 調控隱性<i>opaque-2</i>基因及修飾基因(<i>modifier genes</i>)，顯著改善籽粒硬度及其農藝表現。 ● 相較於一般玉米籽粒，其離胺酸(<i>lysine</i>)及色胺酸(<i>tryptophan</i>)含量通常至少2倍以上，因此，蛋白質品質較佳。 ● 硬質優質蛋白玉米適用於加鹼烹煮及乾磨碾製產品之製作。
糯質玉米 (Waxy corn)	<ul style="list-style-type: none"> ● 籽粒種皮具蠟質感。 ● 支鏈澱粉含量>95%。 ● 主要用於濕磨，以生產糯性玉米澱粉。 ● 糯性玉米澱粉具有較高的熱糊黏度，可以產生較軟、較穩定及較透明的澱粉糊，回凝(<i>retrogradation</i>)程度低，冷凍-解凍穩定性佳，耐凍藏。 ● 可用於製作不同質地之食品。

<p>高直鏈澱粉玉米 (High-amylose corn, amylomaize)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 含高量的直鏈澱粉(通常50-90%)。 ● 由第5號染色體上的隱性 <i>ae</i> 基因調控，使澱粉分支酵素(starch-branching enzymes)無法正常作用。 ● 可產生堅硬、不透明澱粉膠體，適用於糖果、點心製作。 ● 具黏著性，成膜性佳，可用於食用膜製備及其他產品應用。
<p>高油脂玉米 (High-oil corn)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 高油脂玉米之油脂含量(7-8%)，較普通玉米(3-4%)高，通常是做為雞飼料，以提高其營養價值。 ● 具有較高的熱量比重，些微提高玉米籽粒必需胺基酸之平衡性，可改善蛋白質品質。
<p>藍玉米 (Blue corn)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 具粉質(軟)胚乳，有較長的玉米穗(8-12排)。 ● 糊粉層含有花青素而使籽粒外觀呈藍色。 ● 目前被用來製作有機玉米餅(tortillas)及玉米脆片(chips)。 ● 含有較高含量的酚類化合物，為良好的抗氧化物來源。
<p>爆裂種玉米 (Popcorn)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 為一種特殊的硬粒種玉米(flint corn)，為高比例透明(玻璃質)硬粒種之雜交品種，具有高膨發率。 ● 通常商業用爆米花用品種具有35-40倍的膨發率。 ● 籽粒種皮及外層部位可將籽粒完整緊密包覆，加熱時因水蒸氣產生而使其內部形成強大內壓，導致爆裂。 ● 蝴蝶形爆米花有較高程度的膨化，較低的假密度(apparent bulk density)，較佳的口感，而圓球形(蘑菇形或球形)之爆米花易於表面均勻披覆糖漿，適用於糖果點心等。
<p>甜玉米 (Sweet maize)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 具有隱性基因(recessive gene)，<i>sugary 1 (su1)</i>及<i>sugary 2 (su2)</i>，造成胚乳細胞中有較高含量的可溶性糖及較低含量的澱粉。 ● 甜玉米種具有適當的甜度及軟性質地。
<p>庫斯科玉米 (Cuzco/cacahuacintle corn)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 來自於玉米穗為8排的品種，為目前玉米籽粒最大者。 ● 生長於高海拔之白玉米，具軟質胚乳及平淡風味。 ● 主要用於深焙或烤熟玉米粒(cornnuts)、脫皮去胚玉米粒(hominy)及玉米粥(pozole)的製作。

2.2 玉米籽粒結構及組成

玉米籽粒可分為四個主要部位：胚乳 (endosperm, 83%)、胚芽 (germ, 11%)、果皮與種皮 (pericarp, 5%) 及籽粒尖端 (tip cap, 1%)。胚乳中以澱粉為主，主要有硬質 (透明) 及軟質 (不透明) 澱粉兩種。研究指出，硬質澱粉含量與反芻動物體內澱粉消化率成反比 [6]。玉米中蛋白質有 75 % 存在於胚乳內，圍繞在澱粉粒 (starch

granule) 周遭，剩餘的 25% 則分布於胚芽及麩皮中。玉米的蛋白質依其溶解度的不同可大致分為四種：醇溶蛋白 (prolamin, zein)、鹼溶性的穀蛋白 (glutelin, zeinin)、鹽溶性的球蛋白 (globulin) 及水溶性的白蛋白 (albumin)。就營養價值而言，玉米蛋白質並非一個良好的蛋白質來源，主要因為玉米蛋白質的胺基酸組成缺乏離胺酸及色胺酸，此為人體必需胺基酸 (essential amino acid)。若將玉米作為主食，則須攝取其他的食物以補足缺乏的必需胺基酸，才能滿足人體的營養需求。玉米胚芽富含油脂 (33.3%)、酵素、維生素 B 群及維生素 E。玉米胚芽的油脂組成約有 15 % 為飽和脂肪酸，主要為油酸 (oleic acid) 及亞油酸 (linoleic acid)，分別約佔 25 及 55 %；玉米果皮中以纖維素之含量為高 (粗纖維 8.8%)，而一般將玉米籽粒之果皮、種皮與尖端部位統稱為糠層 (bran)，富含維生素 B 群及礦物質。

臨床研究顯示，較高的全穀物攝取量對罹患心血管疾病、肥胖和糖尿病的風險降低有正相關 [7]，而近期的研究結果則指出，與低全穀物攝取者比較時，攝取高量全穀物者之攝取量與總死亡率、心血管病與癌症死亡率呈負相關 [8,9]。因此，雖然各國目前對全穀物食品的定義及其建議攝取量尚未有一致的共識，但長期攝入全穀物食品，以作為健康飲食模式的一部分，應有助於顯著降低慢性炎症所引發的相關疾病，是各國都認同的。

玉米籽粒為典型的全穀粒，與其他穀物比較，玉米籽粒之營養素與植化物 (phytochemicals) 的種類及含量相當特殊 [10] 玉米籽粒中含有維生素 A、B、E 及 K，礦物質則含鎂、磷及鉀；植化素則包括酚酸，例如：阿魏酸 (ferulic acid)、香豆酸 (coumaric acid) 及丁香酸 (syringic acid)，亦含有類胡蘿蔔素 (carotenoids)、葉黃素 (xanthophylls)，例如：葉黃素 (lutein) 與玉米黃素 (zeaxanthin)，類黃酮 (flavonoids)，例如：花青素 (anthocyanins)，及膳食纖維。越來越多的科學證據顯示，經常攝取全玉米籽粒及其製品者，其慢性疾病，包括心血管疾病、第 2 型糖尿病、肥胖症、腸道消化不良等之罹患率均有降低之趨勢 [11]。玉米含有豐富的葉黃素及玉米黃素，前者分子含十個共軛雙鍵，而後者則含有十一個共軛雙鍵，主要存在於角質胚乳，總體含量約 11-30 mg/kg [12]；二者皆能有效吸收藍光，也被證實能夠有效預防老年性黃斑部病變 (age-related macular degeneration, AMD) [13]。Kruger [14] 亦發現，

人體血液及眼睛黃斑部內的葉黃素及玉米黃素濃度與飲食中所攝取的葉黃素及玉米黃素有關。黃色玉米中含有 22 mg/kg 的原維生素 A (provitamin A)，攝食後可於腸道代謝為維生素 A [12]。由於人體無法自行生合成葉黃素及玉米黃素，因此，富含葉黃素及玉米黃素的黃色玉米是良好的食物來源。不過，類胡蘿蔔素因具有長鏈的共軛雙鍵，對氧及光敏感，對於熱與酸鹼的耐受性也較其他天然色素低，因此，加工時應盡量避免光照、氧氣及過度加熱，以減少玉米籽粒中葉黃素的降解。惟目前最迫切的研究工作之一，則是針對玉米籽粒中之生物活性物質如何對人體健康之維護或改善的作用機制探討及科學證據提供，以作為膳食建議之參考。

3. 國產硬質玉米特性

謝 [15] 以臺灣主要種植生產的四種硬質玉米 (normal corn) 之自交與雜交品系 (圖 1)，包括行政院農業委員會農業試驗所 (霧峰、臺灣) 育成之台農 1 號 (TN1)、臺南區農業改良場育成之台南 24 號 (TN24)、及外來飼料用品種：明豐 3 號 (MF3) 及明豐 103 號 (MF103)，將其澱粉分離出來後，觀察其外觀形態並進行其理化性質之比較。結果顯示，不同玉米品種、品系之直鏈澱粉含量各有差異，其含量介於 16.36% (MF3)-22.83% (TNG1)，其中，MF103 之直鏈澱粉含量為 16.94%，與 MF3 之含量非常相近，而 TN24 之直鏈澱粉含量則為 19.78%。四種硬質玉米品種之澱粉顆粒外觀形態也非常相近，均為多邊形，多數澱粉顆粒大小介於 10-15 μm ，少數較大顆粒之大小約為 25 μm 。在少數澱粉顆粒上，可以觀察到明顯孔洞。

四種硬質玉米之澱粉熱性質分析結果顯示，起始糊化溫度 (T_0)、尖峰溫度 (T_p) 及完成溫度 (T_c) 之順序分別為 MF3 (72.22°C、75.97°C 及 79.94°C) > MF103 (71.07°C、74.48°C 及 78.46°C) \geq TN24 (70.22°C、74.20°C 及 78.63°C) > TN1 (63.48°C、67.61°C 及 72.98°C)。熱焓值 (ΔH) 之高低順序則為 MF3 (12.60 J/g) \geq TN24 (12.00J/g) > MF103(10.75J/g) \geq TN1 (10.09J/g)。支鏈澱粉鏈長分布之分析結果顯示，MF3 及 MF103 之短支鏈 (DP 6-12 及 DP 13-24) 相對含量較 TN1 及 TNA24 為低，其中又以 MF103 及 MF3 之 DP 6-24/DP > 25 之比例 (1.93% 及 1.94%) 顯著低於 TNG1 (2.52%) 及 TNA24 (2.61%)，推測此為造成 MF3 及 MF103 有較高的 T_p 及 ΔH 有關 [15]。四種硬質玉米澱

粉之成糊溫度 (pasting temperature, PT) 與尖峰溫度 (peak viscosity temperature, PVT) 之順序為 MF3 > MF103 \geq TN24 > TN1，其 PT 與 PVT 分別為 77.1 與 85.1°C (MF3)、75.5 與 82.6°C (MF103)、75.4 與 82.6°C (TNA24) 及 70.8 與 77.8°C (TNG1)，此趨勢與熱性質分析之結果一致。尖峰黏度 (Peak viscosity, PV) 之高低順序則與 PT 及 PVT 之高低順序相反，而最終黏度 (final viscosity, FV)、崩解黏度 (breakdown, BkD) 與回升黏度 (setback, SB) 之高低順序則為 TN1 > TN24 > MF103 > MF3。由於 TN1 之 T_p 及 PVT 較其他三者為低，因此，在 70°C 時，TN1 之膨潤力與溶出率均顯著較高。在 80°C 時，4 個硬質玉米品種澱粉的膨潤力均明顯上升，但仍以 TN1 顯著高於其他三種，在 95°C 時亦有類似的趨勢，其膨潤力順序為 TN1 (20.61) > MF103 (19.24) \geq TN24 (18.99) > MF103 (16.8) [15,16]。

由謝 [15] 之研究結果顯示，雖然試驗之玉米植株均具有高產、抗病蟲害、抗倒伏等農藝性狀，但四種品種之自交與雜交品系間之玉米籽粒澱粉之理化性質則存在差異性，而此差異是否會對硬質玉米之加工應用造成影響，是值得深入探討之議題。在推廣種植方面，由於臺灣地狹人稠，耕種農地緊鄰，而玉米屬於雌雄同株異花授粉的異交作物，雄穗所產生的大量花粉可以輕易地藉由風媒或蟲媒的方式，傳播至鄰近植株的雌穗花絲上。Goggi et al. [17] 指出，玉米植株距離花粉源 1 公尺的平均雜交率約為 23.5%。因此，建議不同品種及品系玉米在田間種植時，至少需距離 100 公尺以上才能使雜交效應低於 0.1%，以確保玉米胚乳澱粉理化性質一致性，以利加工應用。

3.1 高直鏈澱粉玉米

高直鏈澱粉玉米 (HAM) 首先於 1952 年被證實由第 5 條染色體上的隱性 *ae* (*amylose extender*) 基因所調控，此基因會使澱粉分支酵素 (starch-branching enzymes) 缺失，造成直鏈澱粉生合成量達 50-90% [18]。通常，HAM 澱粉粒形狀會改變，呈現不規則多邊形、橢圓或長條狀，而其形態改變程度與抗性澱粉含量呈正相關。目前唯一公開釋出之高直鏈澱粉玉米自交系 GEMS-0067 之直鏈澱粉含量達 70% [19]，有最高比例 (32%) 的長條狀澱粉粒，其抗性澱粉含量高達 43.2% [20,21]。高直鏈澱粉化學性質上除了直鏈澱粉含量較高外，其介於直 / 支鏈澱粉分子之間的中間分支澱粉 (intermediate branched materials) 數量亦較多 [22]，即具有類似支鏈澱粉的叢狀

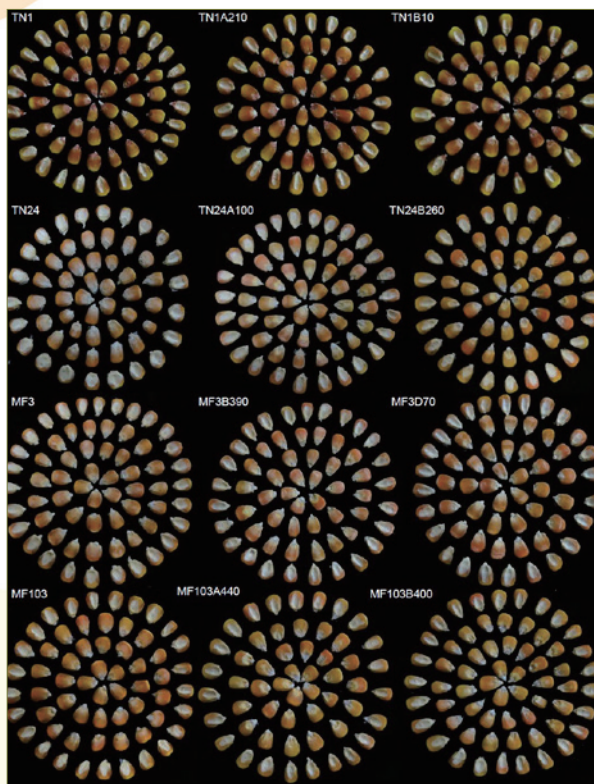


圖1、國產硬質玉米之自交與雜交品系：台農1號(TN1、TN1A210與TN1B10)、台南24號(TN24、TN24A100及TN24B260)、明豐3號(MF3、NF3B390及MF3D70)及明豐103號(MF103、MF103A440及MF103B400)玉米籽粒之外觀。

結構，但分支鏈長較長，且長鏈 / 短鏈的比例變高，此中間分支澱粉之叢狀結構應與澱粉消化性質有關 [23-26]。

近年國內農業試驗所(台中霧峰)陳裕儒先生以 GEMS-0067 為親本，成功栽培並安全生產 (good agriculture practice, GAP) 高直鏈澱粉玉米，提供臺灣大學農業化學系進行國產高直鏈澱粉玉米之全粒玉米、玉米穀粉及玉米澱粉的理化性質與機能成分的分析與測定，並得與國內外現有生產之玉米及其碾磨製品，包括玉米粗粉 (corn meal)、玉米粉 (corn flour) 等之組成分與理化性質進行比較 [27]。結果顯示，國內硬質玉米碾磨工廠提供之進口玉米籽粒之粗蛋白、粗脂肪、灰分、總膳食纖維含量顯著低於高直鏈澱粉玉米籽粒，且其總澱粉含量顯著高於高直鏈澱粉玉米籽粒。此外，農試所提供之第三批高直鏈澱粉玉米全穀粉的總黃色色素、葉黃素及總酚含量皆較市售玉米全穀粉高。國內碾製之進口硬質玉米穀粉隨其粒徑之增大，其總黃色色素、葉黃素及總酚含量減少，但其抗性澱粉含量則提高；推測是玉米籽粒之物理屏障所致，此將造成萃取溶液或酵素難以進入玉米籽粒內部進行水解 (表 2)。

國產高直鏈玉米澱粉之直鏈澱粉含量與市售高直鏈澱粉 Hylon VII 之含量相近 (約 70%)，其糊液黏度與膠體性質亦相近；而國內碾製之硬質玉米穀粉之直鏈澱粉含量僅為 28.99%，與一般玉米澱粉之直鏈澱粉含量相近，其糊液黏度與膠體性質亦相近 (表 3)。高直鏈澱粉玉米全穀粉以澱粉總量計算其抗性澱粉含量相對較市售玉米全穀粉高，且其高直鏈澱粉玉米籽粒全穀粉及澱粉之預估升糖指數值 (estimated glycemic index, eGI) 顯著低於市售玉米穀粉，但所有穀粉樣品均屬於低升糖指數食材 (表 4)。當以高直鏈澱粉玉米全穀粉及澱粉取代麵粉於麵包製作時，麵包之預估升糖指數較未取代者為低；而戚風蛋糕之預估升糖指數則與未取代者無顯著差異，均介於 57 至 61 之間。

表2、國產高直鏈玉米澱粉與市售玉米澱粉一般成分、直鏈澱粉及總澱粉含量

Sample code ¹	Moisture content %	Crude protein	Lipid			Ash	Total starch	Amylose content ³	Starch fraction			
			Crude	Bound ²	Total ²				F1		F2	
									%		x 10 ⁴ g/mol	
THAMC1-s	9.12 ^{4d}	0.37 ^{bc}	0.44 ^{ab}	0.25 ^c	0.69 ^b	0.16 ^a	97.34 ^{bc}	79.33 ^a	8.60	394	91.41	4.57
THAMC2-s	9.57 ^c	0.27 ^{bcd}	0.46 ^a	0.51 ^a	0.97 ^a	0.14 ^{ab}	95.63 ^c	77.29 ^b	8.08	377	91.92	4.90
THAMC3-s	9.41 ^{ef}	0.33 ^{bcd}	0.44 ^{ab}	0.27 ^{bc}	0.71 ^b	0.15 ^{ab}	98.16 ^{ab}	63.47 ^d	15.95	436	84.05	6.06
Hylon V	15.57 ^a	0.45 ^b	0.20 ^{cd}	0.08 ^d	0.28 ^c	0.10 ^{cd}	99.46 ^a	57.03 ^c	11.55	370	88.45	2.83
Hylon VII	15.17 ^b	0.28 ^{bcd}	0.28 ^c	0.39 ^{ab}	0.67 ^{bc}	0.10 ^{cd}	97.97 ^{ab}	68.27 ^c	--	--	--	--
Hi-maize	10.01 ^d	0.87 ^a	0.14 ^d	0.41 ^a	0.55 ^{cd}	0.09 ^d	98.59 ^{ab}	66.69 ^{cd}	25.66	371	74.34	6.22
Cstarch	8.41 ^g	0.15 ^{cd}	0.29 ^{bc}	0.18 ^{cd}	0.47 ^d	0.12 ^{bc}	99.06 ^{ab}	28.99 ^g	69.87	473	30.13	1.09
NC	12.90 ^e	0.12 ^d	0.29 ^c	0.18 ^d	0.47 ^d	0.02 ^c	98.25 ^{ab}	32.04 ^f	69.59	333	30.41	8.65

¹ THAMC represented the domestic grown HAM corn (3 batches); Hylon V, Hylon VII and Hi-maize and NC (normal corn starch) are commercial products; Cstarch was the starch isolated from commercial corn.

² Total lipid was determined by extracting the lipid with n-hexane three times from the gelatinized and followed by hydrolyzing the starch. The bound lipid was the difference of total lipid and crude lipid.

³ Amylose content of 75% n-propanol defatted starch was determined by using colorimetric method at 620 nm and purified corn amylose and purified waxy corn starch were used for preparing the standard solutions.

⁴ Different superscript letters in the same column represented there were significant difference ($p < 0.05$).

表3、國產高直鏈澱粉玉米全穀粉及市售玉米碾磨製品之一般成分、總澱粉及機能成分含量

Sample code ¹	Moisture content	Crude protein	Crude fat	Ash	Dietary fiber ²			Total starch	Total yellow pigment	Lutein	Zeaxanthin	Total phenolics
					IDF	SDF	TDF					
					%, dry basis							
THAMC1	8.98 ^{c3}	12.97 ^b	5.96 ^a	2.03 ^b	30.60	1.74	32.34	62.36 ^c	116.76 ^a	9.81 ^a	36.94 ^a	9.93 ^b
THAMC2	9.45 ^b	13.46 ^b	5.71 ^a	2.07 ^b	30.58	1.20	31.78	61.49 ^c	100.30 ^b	8.75 ^a	34.18 ^{bc}	9.71 ^b
THAMC3	11.78 ^a	15.62 ^a	5.92 ^a	2.36 ^a	30.62	1.47	32.09	59.52 ^d	94.28 ^c	6.70 ^b	24.94 ^c	9.88 ^b
Cwhole	11.68 ^a	9.71 ^c	4.52 ^c	1.33 ^d	10.85	1.07	11.92	76.90 ^b	47.39 ^d	4.53 ^c	32.04 ^{cd}	7.38 ^c
Cflour	12.02 ^a	8.36 ^d	5.15 ^b	1.65 ^c	6.70	1.73	8.43	77.02 ^b	39.88 ^e	4.62 ^c	31.05 ^d	6.56 ^d
Ccone	11.93 ^a	8.50 ^e	2.35 ^d	0.72 ^e	3.93	0.50	4.43	82.45 ^a	37.33 ^d	5.76 ^{bc}	36.24 ^{ab}	4.94 ^e
Cmeal	11.67 ^a	7.93 ^d	1.14 ^e	0.36 ^f	3.73	0.66	4.39	80.18 ^a	21.66 ^f	5.76 ^{bc}	35.67 ^{ab}	4.24 ^e

¹THAMC represented the domestic grown HAM corn (3 batches); Cwhole, Cflour, Ccone and Cmeal represented the commercial products.

²IDF: insoluble dietary fiber; SDF: soluble dietary fiber; TDF: total dietary fiber.

³Different superscript letters in the same column represented there were significant difference ($p < 0.05$).

表4、國產高直鏈澱粉玉米全穀粉及市售玉米碾磨製品之澱粉體外消化性質及升糖指數

Sample code ¹	Treatment ²	<i>in vitro</i> starch digestibility ³						Estimated glycemic index ⁴				
		RDS	SDS	RS	SDS+RS	RS	dRS	C _∞	k	R ²	HI	eGI
		%, db			TS							
THAMC1		14.69 ⁵	9.71 ^k	37.96 ^d	76.44	60.88	--	24.23	0.06	0.897	22.10	51.84 ⁶
THAMC2		11.29 ⁵	11.86 ^{ij}	38.34 ^d	81.64	62.35	--	28.08	0.06	0.937	25.31	53.61 ^f
THAMC3		10.88 ⁵	11.00 ^{jk}	37.65 ^d	81.73	63.25	--	25.86	0.05	0.860	23.11	52.40 ^{fg}
THAMC1-f	Non	17.47 ^e	3.33 ^m	42.81 ^c	72.54	67.30	--	39.58	0.05	0.950	35.34	59.11 ^e
Cwhole		13.36 ^f	13.34 ^{hi}	50.21 ^b	82.63	65.29	--	44.64	0.02	0.925	33.94	58.35 ^e
Cflour		21.26 ^d	17.27 ^{ef}	38.50 ^d	72.40	49.99	--	45.14	0.04	0.929	38.88	61.06 ^d
Ccone		14.23 ^f	17.73 ^e	50.49 ^b	82.74	61.23	--	47.01	0.03	0.913	36.83	59.93 ^{de}
Cmeal		4.04 ^h	5.79 ^l	70.35 ^a	94.96	87.74	--	18.25	0.01	0.924	10.56	45.51 ^h
THAMC1		26.37 ^c	15.86 ^{fg}	20.16 ^{fg}	57.76	32.34	-46.89	64.90	0.07	0.924	59.23	72.23 ^c
THAMC2		26.74 ^c	13.62 ^{hi}	21.08 ^{fg}	56.48	34.31	-44.97	65.75	0.06	0.954	59.87	72.58 ^c
THAMC3		25.73 ^c	15.04 ^{gh}	18.76 ^g	56.78	31.51	-50.18	66.75	0.06	0.941	60.60	72.98 ^{bc}
THAMC1-f	Boiled	25.51 ^c	12.68 ^{ij}	25.43 ^e	59.90	39.97	-40.61	67.13	0.07	0.916	61.77	73.62 ^{abc}
Cwhole		31.26 ^b	24.36 ^d	21.28 ^f	59.34	27.67	-57.62	69.22	0.05	0.908	60.70	73.03 ^{bc}
Cflour		31.46 ^b	26.49 ^c	19.07 ^{fg}	59.15	24.76	-50.47	72.31	0.04	0.932	63.08	74.34 ^{ab}
Ccone		33.64 ^a	29.93 ^b	18.88 ^g	59.20	22.90	-62.61	74.25	0.04	0.924	63.09	74.34 ^{ab}
Cmeal		30.45 ^b	35.52 ^a	14.21 ^h	62.02	17.72	-79.81	77.96	0.03	0.929	64.68	75.22 ^a

¹THAMC represented the domestic grown HAM corn (3 batches); Cwhole, Cflour, Ccone and Cmeal represented the commercial products.

²Non: raw flour; Boiled: flour was cooked in boiling water for 30 min.

³RDS: rapidly digestible starch; SDS: slowly digestible starch; RS: resistant starch; TS: total starch; dRS: the difference of RS between the cooked and the raw starches.

⁴C_∞: potential digestibility of starch (g/100g dry starch); k: kinetic constant; HI: calculated by using glucose as reference (HI = 100); eGI: calculated by using the equation proposed by Goñi, et al. [28]

⁵Different superscript letters in the same column represented there were significant difference ($p < 0.05$)

3.2 優質蛋白玉米

優質蛋白玉米 (QPM) 之育種始於 1963 年，學者 Mertz 發現調控隱性同型基因 *opaque-2* (*o2*) 可以使胚乳中缺乏離胺酸和色胺酸的非水溶性玉米醇溶蛋白 (zein) 比例降低，但卻可以提高其他種類蛋白質的含量 [29]；此類玉米籽粒之胚乳呈現鬆軟、不透明白色。後續育種家則以此為種源，將含 *o2o2* 基因的玉米品系發展出更具良好農藝性狀之 QPM 品系 [30]。

普通玉米約含有 50% 的醇溶蛋白，在此種蛋白質中的離胺酸與色胺酸含量較低，故蛋白質品質較差。但由於此兩種胺基酸是人體必需胺基酸，因此，其含量的高低可做為衡量蛋白質品質的重要指標，當含量越高時品質好，反之，則品質差。優質蛋白玉米與高蛋白玉米 (high protein corn) 於育種方面之目標並不相同，前者在改善玉米蛋白質的組成，降低醇溶蛋白的含量，且提高離胺酸與色胺酸限制性胺基酸的含量，因而提高對蛋白質的吸收利用效率。所以，優質蛋白玉米的蛋白質含量不一定高，也不一定是高蛋白玉米。於是在蛋白質組成成分中富含離胺酸與色胺酸的玉米，被稱之為優質蛋白玉米 (QPM)，其籽粒中離胺酸與色胺酸含量通常比普通玉米提高至少約 80%。研究指出，以玉米為主食的嬰兒或孩童，當以優質蛋白玉米為主食時，其體重增加率較以普通玉米為主食者提高 12%、身高則提高 9% [31]。由此可知，若以優質蛋白玉米為主原料加工生產食品，應對人體生長發育有益，特別是以玉米為主食及蛋白質攝取不易之國家與地區，應可預防胺基酸攝取不均衡之問題發生。

國際玉米與小麥改良中心 (International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT) 針對不同樣品形態 (全穀粒 (粉) 及胚乳部位) 的胺基酸含量分別制定標準 (表 5)。由於色胺酸的定量操作較離胺酸簡單且成本較低，且兩者之含量有正相關性；因此，通常以色胺酸含量作為品質指標 (quality index) 以定義優質蛋白玉米，即若玉米之蛋白質中色胺酸含量達 0.8% 以上則可認定為優質蛋白玉米 [32]。

表5、普通玉米與優質蛋白玉米(o2o2 maize)全穀粉及胚乳中離胺酸及色胺酸含量標準

Base	Amino acid	QPM		Non-QPM
In protein				
	Lysine (%)	>4		<3.5
	Tryptophan (%)	>0.8		<0.5

		Whole grain	Endosperm	Whole grain
In sample	Lysine (%)	>0.35	>0.32	<0.32
	Tryptophan (%)	>0.075	>0.07	<0.065

Source: Twumasi-Afriye et al., [32]

臺灣於 2014 年由國際玉米與小麥改良中心 (CIMMYT) 引進 QPM 自交系繁殖並生產雜交組合，並自 2016 年持續於農試所試驗田 (台中霧峰) 進行多個雜交品系之田間種植，調查比較其產量與適應性；後續於 2018 年提供臺大農化系進行品質分析與食品加工應用潛力評估。

4. 國產硬質玉米之食品加工應用

硬質玉米與大多數的穀物相似，若是以全玉米粒的方式食用時，除了可以提供現代人在精緻飲食習慣下最容易造成缺乏與不足的膳食纖維外，全穀之微量營養素、植化物等亦已知對人體健康有益，另外，硬質玉米中的澱粉亦可以經由玉米品種的選擇、碾磨及製粉方式、熟化及加工處理等改善其消化性質。事實上，加工過程還可能有助於原本緊密結合之植化物從穀物結構中釋放出來，以提高其生物可及性 (bio-accessibility) 及生物可利用性 (bio-availability)[33]。

與國外進口之穀物雜糧比較，國產穀物雜糧之單位生產價格雖然較高，但其具有非基改、具產銷履歷、環境友善及低碳足跡之優勢，因此，國產硬質玉米之新鮮度與安全保障是進口玉米較難抗衡的，所以更適用於食品加工，以提供國人健康、美味之多樣化玉米全穀食品之製造與生產。圖 2 為本研究室近年來以國產硬質玉米所開發之產品，包括以 HAM 澱粉 (30%) 及 HAM 全穀粉 (20%) 取代之土司麵包與戚風蛋糕 [27]、HAM 及 QPM (1 : 1) 全穀擠壓脆片及 QPM 全穀膨發點心 [34,35]、即時沖泡玉米全穀飲 [35] 等。



圖2、以國產高直鏈澱粉玉米澱粉及以HAM與QPM全穀粉與開發之產品 [27, 34, 35]。

4.1 玉米全穀粉安定化技術

黃 [34] 以農試所 (台中霧峰) 提供之高直鏈澱粉玉米 (*ae*-mutant, GEMS1680, HAM) 及市售國產硬質玉米為試驗原料，建立國產硬質玉米及高直鏈澱粉玉米之玉米全穀粉研磨技術，並進行玉米全穀粉貯存穩定性之評估。相較於對照組 (未經熱處理者)，先以乾熱及濕熱處理玉米籽粒後，再行磨粉所製得之全穀粉，在 40°C 加速試驗儲藏 12 週後，全穀粉酸價僅些微上升，顯示磨粉前熱處理確實可抑制籽粒內之氧化酵素活性，使研磨後全穀粉之油脂不致於快速氧化酸敗。糊液黏度性質顯示，濕熱處理並不會造成糊液黏度的差異，但乾熱處理則會使全穀粉黏度大幅下降。外觀及氣味上，濕熱處理並不會造成穀粉顏色及風味的改變，而乾熱處理者則會使全穀粉色澤呈深褐色且有烤焙香味。濕熱處理對研磨樣品之一般成分組成無明顯改變。機能性成分分析結果顯示，濕熱處理會使總黃色色素及總酚類化合物含量下降，而葉黃素及玉米黃素含量上升。消化率分析結果顯示，安定化之高直鏈澱粉玉米全穀粉之抗性澱粉含量較硬質玉米全穀粉為高且具有較低的 eGI 值，顯示前者可供作低升糖指數產品之開發應用。黃 [34] 亦以擠壓技術量化處理玉米全穀粉，不僅可以得到貯藏性質佳之全玉米穀粉，亦可藉由擠壓參數的設定，製備糊化度、糊液黏度、風味不同之全穀粉，可供作全穀食品之加工原料或素材。

當以安定化之硬質玉米與高直鏈澱粉玉米全穀粉取代全麥粉製作鬆餅時，雖然隨著取代量的提高，產品保氣性逐漸下降，但於取代度低於 75% 時，只要進行製程與加水量調整，亦可以製得質地與口感均佳之產品 [35]。詹 [35] 亦以經擠壓安定

化及濕式處理安定化之玉米全穀粉 (QPM 及 HAM) 調配即食沖泡穀飲，並進行小型試量產及品評試驗。依據消化性質、黏度性質及風味考量調配之即時沖泡穀粉，主原料為高抗性澱粉比例之濕式處理 HAM 全穀粉，搭配可提供黏度之濕式處理 QPM 全穀粉及具有烘焙風味的擠壓糊化 HAM 全穀粉。熱糊黏度結果顯示，此即時沖泡玉米全穀飲具有與市售穀粉產品相類似的熱糊黏度，其適口性良好，且因含有相當量之抗性澱粉及慢性消化澱粉，而具有較低的消化速率。

4.2 擠壓膨發玉米全穀產品

詹 [35] 以農試所 (台中霧峰) 提供之高直鏈澱粉玉米 (HAM) 及優質蛋白玉米 (QPM) 為試驗原料，以雙軸擠壓機製作全玉米擠壓脆片及膨發點心產品 (圖 2)，並測定其理化性質與體外澱粉消化性質 (圖 3)。結果顯示，當以 QPM 全穀粉為膨發點心產品製作之唯一原料時，進料水分含量降低或套筒溫度提高時，產品直徑變大、長度變短，顏色由橘黃轉為淺黃色且具光澤；膨發程度越好，澱粉糊化程度越高。當以 HAM 及 QPM 混合之全穀粉製作玉米脆片時，進料水分含量提高，則樣品色澤變為淺黃、直徑變細且因擠出模口時黏度高而易黏著於切刀上；當水分含量高於 25% 時，褐變反應及膨發程度均降低。擠壓產品一般成分組成和總澱粉含量與原物料配方相近；體外澱粉消化性質測定結果顯示，以 QPM 全穀粉製成之全玉米膨發點心產品較以 HAM 及 QPM 混合 (1:1) 全穀粉製成之全玉米脆片有較高的慢速消化及抗性澱粉含量，其消化速率亦較慢。

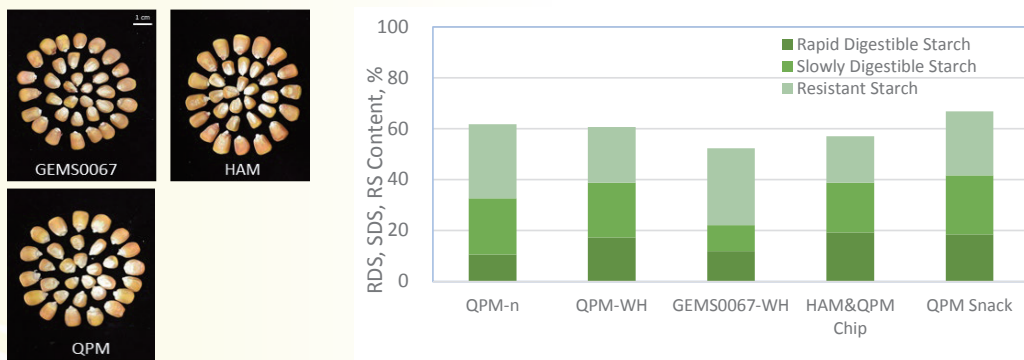


圖3、國產硬質玉米籽粒外觀及其體外澱粉消化性質。

4.3 玉米全穀西式麵條

目前本研究室正在進行以雙軸擠壓技術製作玉米全穀 (QPM 及 HAM) 西式麵條之技術開發；初步試驗結果顯示，當以 QPM 為主原料，控制其磨粉條件、適度調整加水量與擠壓條件設定，則可以製得口感良好及外觀品質佳之玉米全穀類西式麵條。此產品目前是以國產 QPM 為唯一原料，除了具有非基改、原料新鮮、必需胺基酸含量較一般玉米或穀類含量高且蛋白質品質較為完整之優點外，更可以訴求是全穀、不含麵筋之產品，可提供特定族群 (乳糜瀉症 (celiac disease) 患者) 食用，其市場需求含跨海內外。

5. 結論

隨著經濟發展，臺灣食米消費量降低，政府於 1978 年開始推動稻田轉作，鼓勵雜糧生產，並於 2016 年提出「大糧倉計畫」，藉由提高生態獎勵給付、集團栽培，以及推動友善農業與強化有機耕作，期望至 2020 年雜糧種植面積能突破 10 萬公頃，顯示雜糧產業具有相當大的發展潛力。為鼓勵國內食品加工業者多使用臺灣所生產的非基改玉米作為食品加工原料，使國產玉米用途更加多元化，並增進農民收益。國產硬質玉米為了能與進口玉米在市場利用及價值方面有所區隔，除了具有非基改、原料新鮮之優勢外，更應在品種特性方面尋求特色，以利於食品加工之利用，例如：蛋白質之性質較為優良或完整、澱粉消化性質較符合國內民眾尋求之低升糖指數、機能性成分含量高等。如此，加工業者必會樂意採用國產玉米原料進行高品質且具備健康訴求的產品開發、生產及販售；消費大眾也會樂見市面上有以國產原料製作之富營養與保健功能之食品可供選擇與食用。由於消費市場對優良玉米產品的需求提高，食品加工廠必會尋求並購買優質的國產玉米原料以供利用生產，農民也會因為玉米原料的需求量增加及優質玉米原料售價提高，而有更大的意願擴大種植。終其結果，國產硬質玉米產業才能在國內穩定成長，國家農業政策才能得以落實。

參考文獻

1. Vidrine, K.; Ye, J.; Martin, R.J.; McCutcheon, K.L.; Raggio, A.M.; Pelkman, C.; Durham, H.A.; Zhou, J.; Senevirathne, R.N.; Williams, C.; Greenway, F.; Finley, J.; Gao Z.; Goldsmith F.; Keenan, M.J. Resistant starch from high amylose maize (HAM - RS2) and dietary butyrate reduce abdominal fat by a different apparent mechanism. *Obesity society* **2014**, 22, 344-348.
2. DeMartino, P.; Cockbur, D.W. Resistant starch: impact on the gut microbiome and health. *Curr Opin Biotech* **2020**, 61, 66–71.
3. Maki, K.C.; Pelkman, C.L.; Finocchiaro, E.T.; Kelley, K.M.; Lawless, A.L.; Schild, A.L.; Rains, T.M. Resistant starch from high-amylose maize increases insulin sensitivity in overweight and obese men. *J Nutr* **2012**, 142(4), 717-723.
4. Payling, L.; Fraser, K.; Loveday, S.M.; Sims, I.; Roy, N.; McNabb, W. The effects of carbohydrate structure on the composition and functionality of the human gut microbiota. *Trends Food Sci Tech* **2020**, 97, 233–248.
5. Rooney, L.W.; Serba-Saldivar, S.O. Food-grade corn quality for lime-cooked tortillas and snacks. In *Tortillas: Wheat flour and corn products*, AACCI: St. Paul, MN, USA, 2015; pp.227-246.
6. Ngonyamo-Majee, D.; Shaver, R.D.; Coors, J.G.; Sapienza, D.; Lauer J.G. Relationships between kernel hardness parameters and dry matter degradability for diverse corn germplasm II. Ruminal and post-ruminal degradabilities. *Animal Feed Science and Technology* **2008**, 142:259-274.
7. Ye, E.Q.; Chacko, S.A.; Chou, E.L.; Kugizaki, M.; Liu, S. Greater whole grain intake is associated with lower risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, and weight gain. *J Nutr* **2012**, 142:1304-1313.
8. Aune, D.; Keum, N.; Giovannucci, E.; Fadnes, L.T.; Boffetta, P.; Greenwood, D.C.; Tonstad, S.D.; Vatten, L.J.; Riboli, E.; Norat, T. Whole grain consumption and risk of cardiovascular

- disease, cancer, and all cause and cause specific mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *BMJ* **2016**,353:i2716.
9. Zong, G.; Gao, A.; Hu, F.B.; Sun, Q. Whole grain intake and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Circulation* **2016**, 133:2370-2380.
 10. Luo, Y.; Wang, Q. Bioactive compounds in corn. In *Cereals and Pulses--Nutraceutical Properties and Health Benefits*. John Wiley & Sons, Inc.: Ames, Iowa, USA, 2012.
 11. Sheng, S.; Li, T.; Liu, R.H. Corn phytochemicals and their health benefits. *Food SciHum Well* **2018**, 7:185-195.
 12. Watson, S.A.; Ramstad, P.E. In: *Corn: Chemistry and Technology*. AACCI: St Paul, MN, USA, 1987.
 13. Landrum, J.T.; Bone, R.A.; Kilburn, M.D. The macular pigment: a possible role in protection from age-related macular degeneration. *Adv Pharmacol* **1997**, 38:537-556.
 14. Kruger, C.L.; Murphy, M.; DeFreitas, Z.; Pfannkuch, F.; Heimbach, J. An innovative approach to the determination of safety for a dietary ingredient derived from a new source: case study using a crystalline lutein product. *Food Chem Toxicol*, 40;1535-1549.
 15. 謝一民。國產硬質玉米之澱粉理化性質及全玉米穀粉之碾製。國立臺灣大學農業化學系碩士論文2016。臺北市。
 16. 陳裕儒、謝一民、謝光照、賴喜美。臺灣硬質玉米澱粉理化性質分析與比較。農業生技產業專刊2017，49，41-45。
 17. Goggi, A.S.; Caragea, P.; Higinio, L.S.; Mark, W.; Raymond, A.; Clark C. Statistical analysis of cross-fertilization between adjacent maize grain production fields. *Field Crop Res*, **2006** 99, 147-157.
 18. Ferguson V. High amylose and waxy corn. In *Specialty corns*; Hallauer, A.R.; CRC Press: New York, USA, 2001.
 19. Campbell, MR.; Jane, J.L.; Pollak, L.; Blanco, M. O'Brien, A. Registration of maize germplasm line GEMS-0067. *J plant Regist* **2007**, 1:60-61.

20. Jiang, H.; Horner, H.T.; Pepper, T.M.; Blanco, M.; Campbell, M.; Jane, J-l. Formation of elongated starch granules in high-amylose maize. *Carbohydr Polym*, **2010** 80, 533-538.
21. Li, L.; Jiang, H.; Campbell, M.; Blanco, M.; Jane, J-l. Characterization of maize amylose-extender (*ae*) mutant starches. Part I: Relationship between resistant starch contents and molecular structures. *Carbohydr Polym* **2008** 74, 396-404.
22. Takeda, C.; Takeda, Y.; Hizukuri, S. Structure of the amylopectin fraction of amylo maize. *Carbohydr Res* **1993**, 246(1), 273-281.
23. Brewer, L.R.; Cai, L.M.; Shi, Y.C. Mechanism and enzymatic contribution to *in vitro* test method of digestion for maize starches differing in amylose content. *Agr Food Chem* **2012**, 60, 4379–4387.
24. Hong, J.; Zeng, X.A.; Buckow, R.; Han, Z. Structural, thermodynamic and digestible properties of maize starches esterified by conventional and dual methods: Differentiation of amylose contents. *Food Hydrocolloid* **2018**, 83, 419-429.
25. Mario, M.M.; Li, C.; Okoniewska, M.; Mukherjee, I.; Vellucci, D.; Hamaker, B. Slowly digestible starch in fully gelatinized material is structurally driven by molecular size and A and B1 chain lengths. *Carbohydr Polym* **2018**, 197, 531-539.
26. Vamadevan, V.; Bertoft E. Impact of different structural types of amylopectin on retrogradation. *Food Hydrocolloid* **2018**, 80 88-96.
27. 蔡沐芳。臺灣高直鏈澱粉玉米之理化性質及其應用。國立臺灣大學生化科技學系碩士論文2017，臺北市。
28. Goni, I.; Garcia - Alonso, A.; Saura - Calixto, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutri Res* **1997**, 17, 427-437.
29. Mertz, E.T.; Bates, L.S.; Nelson, O.E. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Science* **1964**, 145, 279-280.
30. Nuss, E.T.; Tanumihardjo, S.A. Quality protein maize for Africa: Closing the protein inadequacy gap in vulnerable populations. *Adv Nutr* **2011**, 2, 217-224.
31. Gunaratna, N.S.; Groote, H.D.; Nestel, P.; Pixley, K.V.; & McCabe, G.P. A meta-analysis of

- community-based studies on quality protein maize. *Food Policy* **2010** 35, 202-210.
32. Twumasi-Afriye, S.; Palacios, R. N.; Friesen, D.; Teklewold, A.; Gissa, D.W.; De Groot, H.; Prasanna, B.M. Guidelines for the quality control of quality protein maize seed and grain. CIMMYT: Mexico, 2016.
33. Li, M.; Koecher, K.; Hansen, L.; Ferruzzi, M.G. Phenolic recovery and bioaccessibility from milled and finished whole grain oat products. *Food Funct* **2016**, 7, 3370-3381.
34. 黃永融。臺灣高直鏈澱粉玉米及硬質玉米全穀粉之安定化。國立臺灣大學農業化學系碩士論文2018。臺北市。
35. 詹芷瑄。以高直鏈澱粉玉米與硬質玉米開發具機能性之擠壓膨發與沖泡粉產品。國立臺灣大學農業化學系碩士論文 2020。臺北市。

Characteristics and Applications of Domestic Horneous (Hard) Endosperm Corn

His-Mei Lai^{1,*}

Abstract

Horneous (or hard) endosperm corn is one of the import substitution subsidy crops in the plan of “adjusting the cropping system and activating farmland,” which has been promoted by Council of Agriculture (COA) since 2013, aiming to increase the income of farmers and extend the grain's degree of self-sufficiency. Since then, many hard endosperm corn lines have been bred and released by the Taiwan Agriculture Research Institute and Agriculture Research and Extension Stations. It is recognized that the domestic hard endosperm corn has superiority of the non-genetically modified (non-GM) corn and local consumption, which has the beneficial to its diversified and value-added applications on the view of healthy concern. In addition, to distinguish the domestic corn from imported corn, it is urgent to characterize the properties of specific domestic corn varieties for the processing and the productions of nutritious and healthy corn products. This report reviews the characteristics of high amylose maize (HAM) and quality protein maize (QPM) bred in the Taiwan Agriculture Research Institute (Wufeng Dist., Taichung City) in recent years. The physical and chemical properties of whole corn flour and isolated starch from these corns, the establishments of grinding and stabilization techniques of whole corn flour, and the processed products made of whole corn flour are introduced. Domestic HAM has high resistant starch (RS) content even after heatmoisture stabilization. The similar results were also observed in heat-moisture stabilized QPM whole grain flour, which provide good sources of slowly digestible starch (SDS) and RS and good processing properties. Whole corn flour can be successfully stabilized efficiently by using twin-screw

¹ Department of Agricultural Chemistry, National Taiwan University

* Correspondence: hmlai@ntu.edu.tw; Tel.: +886-2-3366-4816

extruder, producing the stabilized whole corn flour with various degrees of viscosity at cold or at hot stages that can be used for premixes preparation. The whole corn chips and puffed corn snacks, produced by using twin-screw extruder, have a natural pop-corn flavor and can be claimed as whole-grain, gluten-free, no sugar and additives added whole corn products. Recently, a gluten-free pasta-like whole corn noodle has been successfully developed as well. These products use the whole corn flour as the solely or major ingredient can provide more functional components such as SDS, RS, and dietary fiber than those made of normal corn so the characteristics of lowering the glycemic index and maintaining healthy intestinal flora can be expected

Keywords: high amylose maize (HAM), quality protein maize (QPM), whole corn flour, extrusion