

米食多元化加工技術- 米穀粉之研究與開發

撰文/賴喜美

前言

稻米，僅次於玉米，為全球生產量第二大之穀物作物，全球人口一半以上以稻米為主食，比用途甚廣之小麥食用人口數更多。依據聯合國農糧組織的統計資料，2010 年全球稻作面積約為 1.6 億公頃，稻米總生產量約為 7 億公噸，每公頃耕作面積之平均產量為 3,600 公斤。

長久以來，稻米為臺灣人民的主食，食用方式主要為米飯形式。因此，水稻為臺灣栽培面積最大的單項作物，其耕作面積占全國農地的 51.3%，且以適宜米飯品質之低直鏈澱粉粳稻及軟秈稻為主要栽培品種，其栽培面積達 87%、適宜傳統米食加工用之高直鏈澱粉硬秈稻次之 (9%)，其餘則為糯稻 (4%)。

由於社會結構的變遷、生活形態與飲食習慣的改變，許多人的三餐主食不再是米飯，導致國人每人每年的稻米平均消費量逐年漸減，目前僅將近 45 公斤，此為 1981 年的 45%。自 1989 年來，政府為減輕收購稻穀與處理餘糧之財政負擔，以及因應加入 WTO，陸續推出稻田轉作與休耕計畫，使臺灣稻穀收穫面積降至 2004 年 23.7 萬公頃的低點。2011 年起受到稻穀保證收購價格調漲、開放公糧濕穀收購與鼓勵休耕地復耕之影響，臺灣稻作面積開始上升，2012 年稻穀收穫面積約 26.1 萬公頃，稻穀產量約 136.8 萬公噸，產值為新臺幣 397.5 億元。

臺灣稻米價格受到生產成本較高與公糧保價收購政策之影響，米價明顯高於國際價格。以 2012 年為例，臺灣粳稻年平均產地價格每公斤新臺幣 23.1 元，白米批發價年平均價格每公斤新臺幣 34.1 元，皆高於國際白米基準價格 (泰國 100% B 級白米年平均價格每公斤新臺幣 17.5 元)。

基於國家安全存糧之必要性及提升國家糧食自給率，農糧署因應國人多樣化、方便性之飲食需求，推動以在地化原料開發新穎性米食產品之政策。而要提高稻米原料之加工適用性與方便性，米穀粉產業鏈之建構為米食多元應用最迫切需要的工作。農糧署並於 2013 年辦理甄選「米穀粉及新興米食產業鏈」合作廠商，以貼近小麥價格之最低糙米每公斤 15 元或白米每公斤 17.5 元方案，供應庫存國產或進口整粒硬型 (中、短粒型) 糙米或白米以供加工。期望可以降低業者受國際穀物價格波動之影響，促進開發新式米食加工品，增加米食多樣性及替代部分進口小麥麵粉，以擴大供應消費需求，增加稻米使用量，達到提高糧食自給率之目的。

稻米的加工應用

稻米之澱粉組成是決定米食加工產品特性的重要因素，一般依精白米 (乾重) 測得之視直鏈澱粉含量 (apparent amylose content, AC) 高低，將稻米分為糯米 (0-2%)、非常低直鏈澱粉稻米 (5-12%)、低直鏈澱粉稻米 (12-20%)、中直鏈澱粉稻米 (20-25%) 及

高直鏈澱粉稻米 (25-33%)。在國產稻米中常見的粳糯及秈糯屬於糯米、一般食用米飯之粳米與軟秈屬於低直鏈澱粉稻米，而常見粉漿類米食製品使用之硬秈則屬於高直鏈澱粉稻米。

加工應用時，稻米與小麥不同之處，在於稻米中澱粉組成為米食製品品質特性之重要決定因子，當含有直鏈澱粉時，糊化的澱粉不僅具有成糊性 (pasting) 亦具有凝膠性 (gelation)，且直鏈澱粉含量越高者，其膠體強度越強。稻米蛋白質中雖然含有少量的醇溶蛋白 (prolamin) 及大量的穀蛋白 (glutelin)，但並不具備可以形成類似小麥麵筋性質之水不溶蛋白質 (穀膠蛋白 (gliadin) 及小麥穀蛋白 (glutenin))。因此，米食與麵食加工製作之原理與產品特性並不相同。一般而言，傳統麵食之製程或產品性質若是需要利用到麵筋特性者，包括發酵類麵食製品 (例如：麵包、饅頭等) 或以麵帶方式製作者 (例如：中式麵條、蘇打餅乾等)，以米穀粉直接置換或取代 30% 以上之小麥粉而未作其他配方或製程調整者，困難度相對提高。

傳統的米食加工製品，依據米原料之使用形態及製程可分為米粒、米漿、米糰、熟粉及膨發五大類，其代表性產品如表一所示。除米粒及部分膨發類產品是以米粒形式製作外，其餘主要是以穀粉方式製作。而目前有些產品製作時，為了調整其軟硬度、黏稠度及口感，在米種選用上，也會有將不同直鏈澱粉含量之米種以不同比例組合混合使用之作法。

傳統米穀粉的研磨與特性

雖然傳統米食加工中部分產品是以米粒形式應用，但大部分仍需要磨製成米穀粉 (漿) 使用。一般而言，生 (米穀) 粉為米粒磨粉前或磨粉後並未經加熱糊化處理，而熟 (米穀) 粉則是指米粒磨粉前或磨粉後經過加熱糊化處理，使其具有冷水可溶及提供黏稠度之特性。表二為傳統米粒磨粉方法，依研磨製程中使用之水量可區分為三大系統，即濕磨 (wet milling)、半乾磨 (semi-dry milling) 及乾磨

表一 中式傳統米食加工製品

分類	糯米	粳米、軟秈	硬秈
米粒類	飯糰、糯米腸、油飯、筒仔米糕、肉粽、鹼粽、八寶粥、豬血糕	飯糰、壽司、廣東粥、鹹粥	
米漿類	甜年糕	米漿、發糕、倫敦糕(白糖糕)	板條、碗粿、蘿蔔糕、芋頭糕、板條(河粉)、倫敦糕(白糖糕)
米糰類	湯圓、麻糰、米糰、紅龜粿、鼠麴粿、芋粿巧	寧波年糕	米粉、米苔目、芋粿巧
熟粉類	鳳片糕、豬油糕、糕仔崙、糕仔崙、雪片糕、冰皮月餅	糕仔崙	
膨發類	爆米香、米花糖、鍋巴、米糰	米花糖	

表二 傳統米粒磨粉方式

磨粉方式	成品	製作方法	產品
濕磨	米漿	將米浸泡後(通常3小時以上)，以3倍體積水量，混合磨成米漿。	粳米或軟秈米漿：核桃酪、芝麻糊等。
	粿粉糰	米浸約6小時，加水磨成米漿，脫水成乾粉糰，又稱「粿」。	圓糯米粿粉糰：湯圓等。
半乾磨	濕磨粉(生粉)(或稱水磨粉)	乾粉糰篩成粉末後乾燥。	各式米食製品。
	潮粉	將米粒浸漬一段時間後瀝乾，磨粉。	鬆糕、狀元糕。
乾磨	半乾磨粉(生粉)	將米粒浸漬一段時間後瀝乾，磨粉，乾燥。	各式米食製品。
	乾磨粉(生粉)	米洗淨，晾至極乾，磨粉。	各式米食製品。
乾磨	乾磨粉(熟粉)	米粒以焙炒、膨發等方式進行熟化後，磨粉。	鳳片糕、豬油糕、雪片糕等茶食糕點。

(dry-milling) 法，不同研磨方式所製得之米穀粉，其理化性質並不相同，對米食製品之質地影響也不盡相同。

一般而言，濕磨粉由於研磨前米粒經長時間浸泡，因此，研磨時穀粒較軟且質地均勻，易被研磨成細小均勻顆粒，又因加入大量水進行研磨，不易產生摩擦熱而導致穀粉性質改變。為利於後續乾燥程序，米漿須先經過濾或離心以去除大部分的水，因此，一些可溶性物質（例如：酵素等）或小分子物質（例如：礦物質等）均有可能隨著多餘的水而被排除。所以，濕磨米穀粉白度及亮度較高、粒徑較小（300 mesh 以下）且分布較窄、破損澱粉含量較低、蛋白質、脂質和灰分含量亦較低，因此，貯存穩定性較高。相較於濕磨粉，乾磨（生）粉由於米粒較硬且其硬度內外不一樣，研磨時易產生摩擦熱。因此，乾磨（生）粉通常具有較大的粒徑且粒徑分布較廣、破損澱粉含量較高（10% 以上）、蛋白質、脂質和灰分含量較高等穀粉性質。半乾磨粉，乃將米粒浸泡、瀝乾後研磨，研磨後若未經乾燥直接使用，則稱為潮粉，若經乾燥，則為半乾磨粉。此磨粉方法，採濕磨法中米粒浸泡以降低米粒硬度及質地均勻之優點及乾磨法中大幅減少廢水產生與降低乾燥時所需之能量成本，以得到介於濕磨粉與乾磨粉之間特性的米穀粉。一般而言，浸漬後米粒硬度、磨粉溫度、粒徑及破損澱粉含量（5% 以下）皆隨浸漬時間增長而顯著下降，但品種間仍有差異。可想而知的是，米種本身特性、浸米溫度與時間及研磨設備與研磨條件，甚至是乾燥程序均會影響米穀粉的理化性質，皆可進而影響到產品製作時之加工適性（例如：加水量、膨潤力、黏稠性等）與終產品品質（例如：膠體強度、彈性、硬度等）。總而言之，米種直鏈澱粉含量、澱粉、蛋白質、脂質等成分的高低，皆會對米穀粉理化性質造成差異，而磨粉方式的不同也會對米穀粉的破損澱粉含量、粒徑分布、平均粒徑大小、顆粒形狀等造成影響。當不同米種配合不同的磨粉方式，則可以製得理化性質和

加工特性不同的米穀粉，供給不同需求的產品使用。

傳統上以米穀熟粉製作者，以節慶應景產品及茶食點心較為人所熟知，包括：雪片糕、椒鹽桃片糕、糕仔崙等。然而，近年來即時穀粉沖泡包之盛行，也提高對熟米穀粉生產在質與量方面的需求。熟粉即是將穀粒或穀粉進行熟化處理，過程中，最重要的步驟即是將澱粉糊化，方法包括乾式預糊化，例如：焙炒 (roasting) 及膨發 (puffing)，及濕式預糊化，例如：滾筒乾燥 (drum drying)、蒸煮、擠壓 (extrusion) 等。同樣地，米種特性、熟化方式與條件及粉粒粒徑均為熟粉之重要規格指標。

多元應用米穀粉之研磨與產製

自 2002 年加入世界貿易組織後，開放國外稻米進口，而國內稻米生產穩定，供應量充足。反觀世界小麥生產，因氣候變遷及市場需求量大，價格大幅飆漲，且供源不穩定，這對小麥幾乎全部依賴進口的臺灣，造成相當大的衝擊。而近年來國人飲食習慣西化，米食消費用量銳減，但考量國家糧食自給率、農民生產意願及維持農地生態等因素，「提升稻米的利用性」成為近幾年政府重要的課題。因此，行政院農委會積極推廣米穀粉多元化加工應用，提出「在地食材 在地消費」觀念及鼓勵措施，透過米穀粉多元化加工應用推廣，繼續活絡消費者與麵粉加工業者對「臺灣稻米」多元化應用之了解，以創造更多米穀粉的市場需求，並藉由發展多元化米食製品與提升製作技術，將多樣化米食融入日常生活中，賦予米穀粉加工更多新元素。希望經由積極的推廣後，對國產米的消費量可大幅提昇，使國人更樂於食用國產米食，達成農委會推動「在地消費，提振國產米食」之政策目標。

借鏡於日本，為了擴展國產稻米的使用量及需求量，近 20 年來日本許多研發單位大力投入製粉用國產稻米的選育與製粉技術的研發，並搭配米穀粉的特性及傳統麵食製品的配方、製程與產品特性，進行以米穀粉為主原料或次原料之相關產品的配方

及製程改良。例如：日本作物研究所分別對高產量飼料用米、主食用米、低穀蛋白 (glutelin) 米、粉質米等進行製粉特性評估，以挑選出能合乎麵包店需求的最佳品種。研究指出，單位面積產量較高的飼料用米，製粉後仍能保持水分，保有「Q 勁」口感，為低成本、適用性高的製粉用米。許多研究結果均指出，米穀粉中破損澱粉含量與麵包比體積成反比，而米穀粉粒徑以主要為 60 μm 之粉粒及少量較大粉粒者所製作之麵包比體積較大。因此，如何研磨出粒徑小且破損澱粉含量低之米穀粉為米麵包用米穀粉之關鍵技術。

為了能大量生產米穀粉以供多元應用，乾磨方式是較為符合生產經濟效益與應用方便性之原則。常見之米穀粉乾磨設備有 (1) 角柱式研磨機 (Pin Mill)、(2) 錘擊式研磨機 (Hammer Mill)、(3) 滾輪式研磨機 (Roller Mill) 及 (4) 氣流 (噴射) 式研磨機 (Jet or Self-pulverization Mill)。角柱式研磨機之研磨原理主要是利用衝擊及剪切力將米粒破碎及細化，其研磨程序為將原料從入料斗進入粉碎室，經迴轉盤之最內圈刀具衝擊及與固定盤所形成之剪切力為第一輪粉碎，依此類推形成微粉再經篩網過濾，如小於篩網孔徑者就是成品，而無法通過者，再經粉碎直至通過網孔為止，最後經由旋轉閥止風排料，將粉料排出。因此，粒徑大小可由篩網規格設定，惟若篩網孔洞較小時，穀粒在粉碎室中滯留時間較長，反覆研磨的結果容易造成破損澱粉含量提高。錘擊式研磨機之研磨原理主要是利用衝擊、剪切及摩擦力將米粒破碎及細化，其研磨程序為將物料均勻進入破碎機腔中，以高速迴轉錘頭衝擊、剪切撕裂物料，導致物料被破碎，同時，物料自身的重力作用使物料從高速旋轉的錘頭衝向粉碎腔內擋板、篩條，當物料大於篩孔尺寸時，則阻留在篩板上繼續受到錘子的打擊和研磨，直至破碎至所需出料粒度，才會通過篩板排出機外。滾輪式研磨機之研磨原理主要是利用壓縮、剪切或撕裂、摩擦力等將米粒破碎及細化，其研磨程序與商業小麥粉研磨相

似，即物料在一組 (兩個) 或連續多組滾輪間受到壓力而粉碎，並可搭配篩網將米粒依穀粒部位及粒徑進行區分。氣流 (噴射) 式研磨機體包括氣流粉碎機與旋風分離器、除塵器、引風機所組成之一整套粉碎系統。其研磨程序為將經過濾、乾燥之壓縮空氣通過拉瓦爾噴嘴高速噴射入粉碎腔，並在多股高壓氣流的交匯點處，物料被反覆碰撞、磨擦、剪切而粉碎，粉碎後的物料在風機抽力作用下隨上升氣流運動至分級區，在高速旋轉的分級渦輪產生強大離心力作用下，使粗細物料分離，符合粒度要求的細顆粒將通過分級輪進入旋風分離器和除塵器收集，粗顆粒則下降至粉碎區繼續粉碎。角柱式研磨機、錘擊式研磨機及氣流 (噴射) 式研磨機亦可適用於半乾式及乾式穀粒研磨，而氣流 (噴射) 式研磨機則可以進行濕式研磨，經乾燥後可以得到粒徑較小之粉粒。為調控穀粒的磨粉特性以得到適當的穀粉粒徑大小與破損澱粉含量，米粒進入研磨機前之預處理 (例如：水分調濕、浸泡後再乾燥、酵素處理等)，均可有效改善乾磨米穀粉的性質，以適用於特定米食產品之製作。

米穀粉多元應用及新穎產品開發

雖然，米飯為傳統上國人的主食，長久以來國產稻米的種植及育種研究也大多偏向於低直鏈澱粉的粳型及軟秈型稻米。但曾幾何時，米飯並不見得餐餐可見於餐桌上，而非米粒類的米食加工製品卻未曾從民眾的食物選單中消失。因此，在推動「提升稻米的利用性」政策上，國產稻米的多元化應用絕對是必要的，而我們更應善用稻米品種的多樣性，適性適用。針對稻米原料之應用與國家政策考量，傳統米食製品精緻、方便與健康養生取向、米穀粉於傳統麵食製品之應用及米穀粉於新穎性食品之開發，為筆者個人認為可行的三個主要研發方向。

1. 傳統米食製品精緻、方便與健康養生取向

傳統米食是文化與歷史的產物，許多產品也都可以在家自行製作，但隨者時代的演進、科技的

進步與發展，傳統米食製品除了須保有傳統上應有的產品特色外，更應朝著提供精緻、方便與健康養生方面進行新素材的應用或搭配，同時結合人文與歷史背景，賦與傳統米食新生命。以精緻、方便為訴求時，可以開發少量多樣之DIY預拌粉，提供在家自行簡易製備精緻可口傳統米食產品。以健康養生為訴求時，發芽米因含有高含量的 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)、糙米則富含多種機能成分，包括酚類及黃酮類化合物、酚酸、米糠醇(γ -oryzanol)、生育酚(tocopherol)及生育三烯酚(tocotrienol)，若是使用有色米，更含有花青素(紫米或黑米)及原花青素(紅米)，這些均是非常好的米穀原料來源，可開發成預拌粉或專用粉。

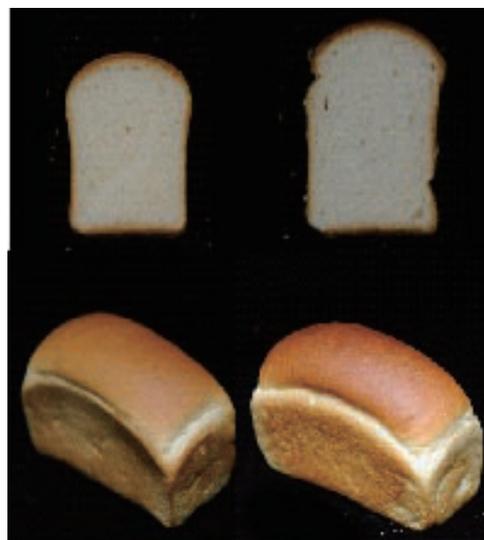
2. 米穀粉於傳統麵食製品之應用

基於提高稻米利用率及糧食自給率之目標，以國產稻米取代以小麥為主原料之主食產品為最有效方法之一。因此，以稻米或米穀粉取代小麥麵粉製作類麵食製品時，小麥麵條及麵包為首要品項。不幸的是，此兩種麵食製品之製作原理均需仰賴小麥麵筋的特性，而稻米中則缺乏具有可形成與小麥麵筋相似黏彈性質麵糰之組成分。因此，任何米穀粉均無法在配方中完全取代小麥麵粉。許多研究指出，若僅是進行部分取代，米穀粉的取代量最高可達30%，其產品外觀品質亦符合可接受程度。另外，若選擇搭配不同直鏈澱粉含量的米穀粉，甚至可以改善產品之質地與口感。例如，以20%糯性米穀粉及80%麵粉混合之組合麵粉製作饅頭時，饅頭之外觀品質與以100%麵粉製得者接近，且饅頭硬度及貯存後之硬度均低於以100%麵粉所製得者(圖一)。若以有色米為原料時，以經濕熱處理之有色米米穀粉取代部分小麥粉組配成30%與51%取代之有色米麵條預拌粉製作麵條時，可以得到操作性、烹煮性及食用性良好之富含機能成分之有色米麵條。當以米穀粉取代部分麵粉製作麵包時，適合的取代度約為20%(圖二)，而米種之直鏈澱粉含量以15-25%最為適合。試驗結果亦顯示，直鏈澱粉含



註：左：100%小麥粉；右：20%糯米穀粉+80%小麥粉

圖一 以20%糯性米穀粉及80%麵粉之組合麵粉製作饅頭



註：左：100%小麥粉；右：20%米穀粉+80%小麥粉

圖二 以米穀粉取代部分麵粉製作麵包

量和麵包硬度呈正相關，但不影響麵包比體積，而破損澱粉含量越高，則麵包比體積越小。結果亦指出，20%米穀粉取代之麵包，經儲藏後，硬化速率皆高於100%小麥麵包，但可藉由直鏈澱粉含量不同之米穀粉來調配以控制初始硬度，達到改善儲藏後米麵包之品質。

3. 米穀粉於新穎性食品之開發與應用

近年來，全穀物產品的消費量增加，與其可以降低中風、慢性疾病、心血管疾病、第二型糖尿病、肥胖與癌症之風險有關，而這些對人體有益的物質主要為全穀物中特定的植物化學物質(phytochemicals)。因此，若能以糙米穀粉或是有色米穀粉為原料開發產品，將具有新穎性及市場競爭性。例如：以國產有色米為原料，利用超微細化研磨技術經由適當球磨珠大小之選用與研磨時間搭配，可將有色米及糙米超微細化，得到粒徑小於 10 μ m 的細緻均質米漿，可有效改善全穀粉粉粒粗糙之口感，使不可溶性膳食纖維降解而提高可溶性膳食纖維之含量，亦可有效提高麩皮中營養素及機能成分的釋放與生物可利用性(圖三)。

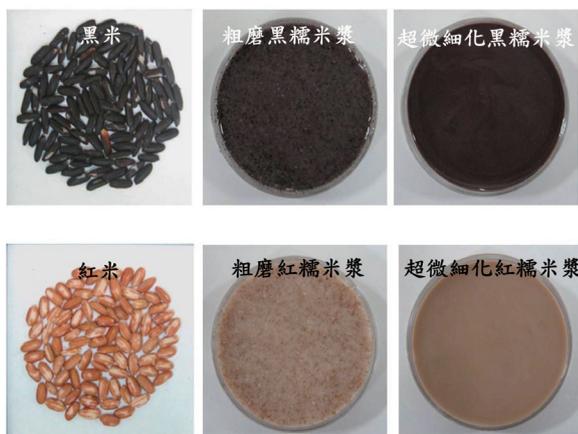
乳糜瀉症(Celiac disease)為人體自體免疫系統疾病，在西方國家中至少有 1% 的人口被診斷出患有此疾病。這些患者若食用含麵筋(gluten)食品，包括以小麥、大麥及黑麥為原料製作之產品，其小腸絨毛細胞對穀物中醇溶蛋白之部分胺基酸序列產生過敏反應，小腸絨毛呈現平滑的狀態，致使患者無法充分吸收養分，且產生脹氣、腹瀉及嘔吐等症狀。此類患者終其一生不能吃含有麵筋的產品，因此，不含麵筋或無麵筋(non-gluten, gluten-free)食品自有其市場需求。稻米屬於低過敏原穀物原料，主要成

分亦為澱粉，且因其色淺、無特殊風味，適用於取代或置換小麥粉，用以作為無麵筋食品的主要原料。

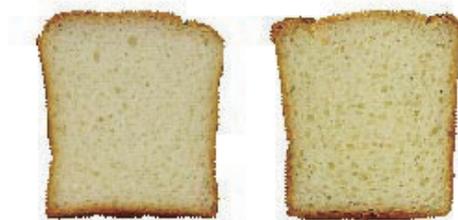
現在市面上已有許多標榜無麵筋產品，如無麵筋餅乾、蛋糕及麵條等產品，其中以需發酵之麵包類烘焙產品技術門檻最高。此乃因麵包製作過程中，需依靠小麥中非水溶性蛋白質，其經加水、揉捏後所形成具連續網狀結構之麵筋，可使麵糰具特殊黏彈性質，在發酵過程中具有保氣性與延展性，致使麵包產品具有綿密細緻的孔洞，及特殊輕盈柔軟的質地。米穀粉因無法形成相當於麵筋特性之組成分，而缺乏保氣與膨脹之能力，導致產品比體積小，口感差。但經由特殊米穀磨粉條件及調整無麵筋類麵包(non-gluten bread-like)產品之配方與最適加水量，再搭配製程修正，亦可以製作出具有良好比體積、組織質地、口感及貯存性質之無麵筋類麵包產品(圖四)。另外，當以全穀物、無麵筋產品開發為訴求時，則可以以稻米為主原料，搭配雜糧作物，以擠壓機製作無麵筋全穀物西式麵條(gluten-free whole grain pasta-like products)，此類產品富含膳食纖維及機能成分、適口性佳(圖五)。

結論

由歷史文化的背景來看，稻米與我們有不可分割的情感；由糧食安全的國家政策面來看，稻米為



圖三 黑米及紅米之粗磨與細磨米漿



註：固形物中含70% 米穀粉，不含小麥粉

圖四 無麵筋類麵包



註：以糙米為主原料、雜糧為副原料，不含小麥粉

圖五 無麵筋全穀物西式麵條

重要農糧作物，不可不種；由食品原物料的應用面來看，稻米組成分及加工的多樣性，讓稻米的應用可以更多元。為了能落實「提高國產稻米利用率」之政策，除了米飯的傳統形式外，以米穀粉形式不失為一有效的作法，因為，它的應用可以更多元。相信在持續投入米穀粉產業所需要之相關研發工作與國家政策推動下，「在地消費，提振國產米食」之政策目標應該可以落實。

AgBIO

賴喜美 國立臺灣大學 農業化學系 教授

參考文獻

1. FAO Statistical Yearbook 2013--World food and agriculture, From <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>
2. Juliano B. O. 2003. Rice Chemistry and Quality. page 64-65. Island Publishing House, Inc.: Manila, Philippines
3. 吳秀蘭。2011。國產有色米加工處理對機能物質之影響。國立臺灣大學農業化學系，碩士論文。
4. 周煒霖。2013。無麩質類麵包產品之研製--米穀粉原料性質與配方探討。國立臺灣大學農業化學系，碩士論文。
5. 段以南。2013。以國產富機能性有色米穀粉開發新穎式中式麵條。國立臺灣大學農業化學系，碩士論文。
6. 鄭博謙。2014。無麩質全穀物西式麵條之研發。國立臺灣大學農業化學系，碩士論文。
7. 劉仲華。2004。糯性米穀粉及預糊化處理對麵糰性質及饅頭品質之影響。國立臺灣大學農業化學系，碩士論文。
8. 戴丞衍。2013。以國產稻米取代麵粉製作麵包之研究。國立臺灣大學農業化學系，碩士論文。