

台灣預熟粳米的製備與特性

李佳燕¹、陳時欣^{2,*}

摘 要

預熟是一個水熱加工的方法，包含浸漬、蒸煮和乾燥三個程序。經過預熟處理的稻米稱之為預熟米。浸漬是一個水合過程，擴散作用主導了米粒的水分吸收量，後續的加熱導致澱粉顆粒的不可逆膨脹和糊化。糊化的澱粉顆粒及其回凝使稻米產生各種變化，包括澱粉鏈的重排，水分的移動等，這對後續的加工操作具重要的影響，如碾糙率、色澤、水合性質、成糊特性及體外消化等。在國際上預熟米雖然不是一個新的產品，但是對大部分的台灣人而言，卻很少聽甚至沒過預熟米。預熟米在台灣算是一個新的食米產品，特別是預熟粳米。本文針對台灣預熟粳米的製備、特性與現況做一個擇要整理，期能讓更多群眾了解台灣預熟米。

關鍵詞：預熟米；粳米；抗性澱粉；升糖指數

¹ 國立宜大學食品科學系

² 國立台灣大學食品科技研究所

* 通訊作者: shchen0422@ntu.edu.tw

1. 預熟米

稻米的主要成分是澱粉，天然澱粉未經烹煮而生食是無法被人體消化吸收，因此會透過加足量的水後，再加熱達一定溫度、一定時間以上的方式使之熟化方可食用，稱為烹煮，在食品加工領域上此過程屬於水熱處理的一種模式。過程中，水分子由顆粒間孔隙中進入澱粉的非結晶區，破壞氫鍵並破壞澱粉分子晶體的排列順序，稱之為糊化。澱粉經過糊化後，結晶結構受到破壞，隨著儲存或冷卻的過程，因溫度的降低而失去澱粉分子的運動性，澱粉鏈之間彼此以氫鍵聚合 [1]，從不定型澱粉分子重新排列成有序的再結晶 [2,3]，此過程稱為回凝。

直鏈澱粉的凝膠作用為影響回凝初期的主因，會使凝膠快速結晶變硬 [1]，其熱穩定性較高。支鏈澱粉分子大且複雜，分子間不易移動或排列，因此回凝後期為支鏈澱粉以氫鍵結合鄰近分子，而緩慢進行再結晶，其熱穩定性則較低 [4]。經過回凝後的直鏈澱粉呈雙股螺旋，對熱穩定性高，並具有食用後難以受酵素分解等性質，為抗解澱粉 (resistant starch, RS) 的主要成分。回凝條件會影響抗解澱粉的生成，González-Soto 等 [5] 指出，經過濕熱處理的青香蕉澱粉在 4℃ 低溫回凝，會比在 60℃ 下高溫回凝，產生更多的抗解澱粉。

蒸穀 (parboiling) 或預熟為一種水熱處理的加工模式，其方法有很多種變化 [6]。基本程序是將稻穀或糙米浸泡於水中，使水分擴散至米粒內部與產生水合，再將浸泡過後的稻穀或糙米，以常溫常壓或高溫高壓進行蒸煮，接著將蒸煮好的稻穀或糙米乾燥，以利於儲藏、碾製。稻穀經過預熟加工後會產生一些物理和化學變化，主要因素取決於加工條件；不同的加工條件會影響基本成分的改變。較高的浸泡溫度會產生較多的澱粉，油脂含量會降低，硫胺含量提高 [7-9]；延長蒸煮的時間會使預熟米的蛋白質、鈣、鐵和鈉降低，脂肪、總灰分和粗纖維增加 [10]。預煮過程中，蛋白質水解會使雙硫鍵增加，從而增加預熟米的黏度及硬度 [11]。脂質體在預煮時因為受到破壞會擴散至表面，使麩皮油性增加，米粒中油脂降低 [7,12]。稻米的維生素主要存於稻穀及糠層中，碾米過程的脫殼、去糠層，致使白米之維生素和礦物質等被去除。經過預熟處理可以保留更多的維生素 B 群 (菸鹼酸及硫胺素)，原因是將稻穀浸泡在水中，水溶性的維生素 B 群會經

由水的擴散作用而進入稻穀內部的胚乳 [13,14]。預熟米的顏色會較一般稻米來的深，原因之一是稻穀的色素因擴散作用至遷移至胚乳，使預熟米具有琥珀色 [15]，另一原因是在加熱過程中，非酵素褐變的梅納反應使顏色變深 [16]。

預熟米具有如下之優點。首先，稻穀中的酵素經熱處理後失去活性，固可延長稻穀的儲藏時間。其次，原本附著於稻穀中的蟲卵經預熟高溫破壞，因此可降低病蟲害 [17]。其三，保留更多的維生素 B 群，如菸鹼酸及硫胺素 [13,14]。其四，預熟、乾燥、回凝致使稻穀硬度提高，於碾米過程可以降低破損率，提高完整米率(head rice yield)[18] (註：完整米為米粒長大於整粒米的 3/4 稱之；米粒長小於整粒米的 1/4 則稱為碎米)。最後，由於水熱處理的過程使澱粉糊化，乾燥使澱粉結晶重排，產生回凝，因此提高抗解澱粉的含量 [19,20]。近年來，抗解澱粉常被視為一種膳食纖維，有利於人類消化道的健康。

Englyst 等 [21] 認為抗解澱粉是一種在人體小腸中無法被酵素分解吸收的澱粉，通過小腸後能被大腸中的微生物發酵利用。以體外試驗而言，在 120 分鐘內不被酵素分解為葡萄糖的澱粉稱之為抗解澱粉。抗解澱粉於生理功能上有類似膳食纖維之功能，其中關鍵為在腸道中的微生物發酵利用，產生短鏈脂肪酸，導致腸內 pH 值下降而影響菌叢，可以減少病原菌增生，增加腸道健康，而使其具預防大腸疾病 (如大腸癌) 的功效。另一方面由於澱粉無法分解為葡萄糖，能延緩餐後血糖上升，可改善升糖指數和胰島素指數，適合第二型糖尿病患者食用 [22]。

2. 國際預熟米概況

世界上約有 20-25% 的稻穀經過預熟處理。南亞和熱帶非洲國家長期以來一直是預熟米的主要生產國，用於消費和出口，美洲和歐洲的一些國家也有在生產和食用預熟米。南亞國家、中國、歐美各國對預熟米都相當熟悉 [17,23,24]，但是預熟米在台灣非常罕見，國人鮮少人知。由於預熟米具有較一般稻米佳的儲存條件及保健功效，因此受到許多食米消費國家、先進國家及追求無麵筋 (gluten free) 飲食者的重視。

2.1. 預熟米的歷史

預熟米在印度已經有千年的歷史了，無法得知何時進入印度人的生活當中。西元第 4-5 世紀的文獻指出，當時居住在印度南部的坦米爾 (Tamils) 人食用的主要穀物為

pulungalarisi，其實就是預熟米 [25,26]。考古證據顯示，預熟米在印度出現的時間點，距今至少有 2000 年之久，但是，當時的預熟穀物不是稻米，而是小麥。在中東國家，預熟小麥仍舊為目前重要主食之一，稱之為 Bulgar [27]。這也說明，預熟的加工製程可適用在各種不同的穀類，只是目前多以稻米為主。

另有一說，預熟米最早起源於西元前 400 多年的春秋時期的吳越。據《杭州市誌》民俗風情篇記載，吳越相爭時，吳國要越國進獻良種稻米，越國大臣文種獻計，將種子蒸熟、曬乾後再送給吳國，致使吳國農民植栽後長不出秧苗而造成大饑荒，越國乘機滅吳。越國臣民大喜，將剩餘的預熟稻穀碾米烹煮以表慶祝，於是沿襲下預熟米的食用習俗。此外，據《中國農業科技史》記載，預熟加工技術最早出現在宋代；西元 1101 年川蜀採用先蒸而後炒的稻米加工方法。

2.2. 預熟米產能

全球稻米產量過剩，近年之年平均總供給量約為 6.2 億公噸，每年平均餘糧高於 1 億公噸。由於育種及植栽技術的進步，自 2009 年起世界累積餘糧突然攀升，近年日趨平緩，維持於 1 億公噸左右。提高稻米消費量與稻米多元產品開發是世界各稻米生產國所面臨的共同議題。

早年預熟米的產銷無官方數據，研究學者的推估數值差異也很大，Bhattacharya [17] 推估在 1984 年約 8 千 8 百萬公噸。後來，FAO 開始進行調查，2008 全球預熟米產量約 1.7 億公噸，2015 年提升至約 2 億公噸 (FAOSATA, 2017)。印度、孟加拉、錫蘭所生產的預熟米幾乎全部作為國內使用；生產預熟米且部分外銷的國家有美國、義大利、西班牙；泰國所生產的預熟米主要作為外銷。此外，預熟米的主要進口國家有奈及利亞、南非、孟加拉、印度、斯里蘭卡、巴基斯坦、中東、西非等國。

印度與孟加拉的預熟米產量占世界總生產量的 90%，幾乎都是預熟秈米。印度是世界最大的預熟米生產國，早年絕大部分供應印度國內消費，外銷比例甚低，但近年來，印度預熟米的出口量卻大幅提升，佔全球總出口量的 2/3。若印度每年預熟米產量以 100 計，孟加拉預熟米產量則為 46，內需仍有不足，須要進口補足需求；泰國生產量有 3.6，內銷需求甚低，幾乎完全作為外銷；美國產量 1.6，外銷佔

其 1/3 (~1)；歐洲預熟米生產國主要為義大利 (0.6) 和西班牙 (0.3)，整個歐洲的預熟米產量不足，仍有進口需求。台灣目前尚未有預熟米通路。整體而言，各國預熟米的生產絕大多數都以國內消費為主，進口及出口量都佔不到 5% (IMARC, 2017)。

2.3. 預熟米的價格

預熟米的市場價格因生產方式的不同，高低價差甚大。一般廉價預熟米只提高約 5-10% 附加價值。美國大宗預熟米的批發價格約比白米的價格提高 15-20% 價值。但是，在零售市場上，高品質預熟米，如 Uncle Ben' s 和 Goya 等廠牌產品，其價格為一般其他進口廠牌產品的 2-3 倍。歐洲市場上的品牌價格差異亦相似。在製程的差異上，Uncle Ben' s 和 Goya 是使用真空浸漬與加壓蒸煮程序，所以產品品質佳。若干預熟米品牌之零售價格如表 1 所示。

表1、若干美國與西班牙預熟米的零售價格

品 牌	零售價格(公斤)	備 註
EL CORTE INFLES	1.25 Euro	西班牙超市
BRILLANTE	1.59 Euro	西班牙超市
UNCLE BEN' S	3.15 Euro	西班牙超市
GREAT VALUE	2.98 USD	Walmart
UNCLE BEN' S	15.376 USD	Walmart
GOYA	13.72 USD	Walmart

2.4. 預熟米的加工程序

預熟有許多不同加工處理方法[6]。製程主要分成三個階段，浸泡、蒸煮及乾燥。浸泡目的為讓米粒吸水與水合；蒸煮為使其米粒之澱粉達到完全或部分糊化；乾燥則為儲藏、防止微生物生長及達到適合碾白處理之水分含量 [17]。

浸泡為第一步驟，原料多為稻穀或糙米，使之吸水以達到水合之作用 [17]，而利於後續蒸煮處理。溫度主要影響浸泡所需時間 [29]。稻穀水分含量濕重達 30-32% 時為完全水合，高溫 (> 65°C) 浸泡下稻穀含水量隨時間上升，因高溫使米粒大量吸水、膨潤及部分糊化，且易導致稻穀破裂。高溫浸泡可減少浸泡所需時間，但耗損

能源較多且會使產品具較深的顏色。文獻指出浸泡溫度低於糊化溫度時可有效減少稻殼裂開及固形物釋出 [30,31]。低溫 ($< 65^{\circ}\text{C}$) 浸泡可減少能源耗損，但可能導致微生物生長 [17,32]、產生不良的氣味、浸泡所需時間長。稻穀浸泡過程中，米粒表面與中心之間產生的水份梯度會使礦物質及維生素等水溶性化合物從麩皮或稻殼中遷移進米粒中心，致使蒸穀米營養價值較一般白米高。為了提高稻穀浸泡的吸水率，可在浸泡前進行真空處理或真空處理後再加壓浸泡，稻米細胞組織內的空氣和水因此被完全置換出來，促進水份的滲透，縮短浸泡時間。

浸泡完將多餘水排除後接著進行蒸煮，目的為使米粒中澱粉達到完全糊化，蒸煮完之米粒水分濕重約為 35%。蒸煮過程中，稻殼因米粒吸水膨潤、糊化，導致破裂，甚至造成米粒變形。不同蒸煮時間及蒸煮壓力對後續碾白米粒之品質 [33] 及米粒顏色變化有很大之影響。Mecham 等 [34] 指出高壓蒸煮能提升碾米後之完整米率。蒸煮過程會使米粒澱粉糊化且顏色變深，且會降低米粒中白堊 (chalk) 的出現，白堊（又稱腹心白）為米粒中澱粉顆粒鬆散排列導致有空洞 (air space) 分散在米粒中，顏色呈現為白色不透明，白堊如果出現於非糯性稻米品種中是不受歡迎的品質。

稻穀蒸煮完水分約在 35-38%，乾燥目的為利於後續碾白、防止微生物生長及長久儲藏。蒸煮後需將稻穀水分降至 12-14%。乾燥過程中，膨潤及糊化之米粒脫水，米中澱粉產生回凝，導致米飯較堅硬。乾燥過程中米粒會重新再結晶，從 X-ray 繞射圖譜可以發現從 A 型結晶轉變為 A 型、B 型及 V 型結晶。另外，乾燥方式對稻米後續碾白品質有很大的影響。乾燥太快會使米粒內部因水分散失太快留下裂縫 (fissure)，在碾米過程易破碎，導致完整米率降低 [18]。乾燥種類有許多種，常見的有日曬、熱風乾燥、室溫乾燥，亦有真空微波乾燥等不同之乾燥方式。

表 2 及表 3 為國際上目前各大預熟米設備廠商的製程概況與品質比較。真空加壓浸漬與高溫短時蒸煮所獲得的預熟米品質較佳售價也較高。預熟米的乾燥設備與條件則與傳統稻穀的模式雷同，但是以真空與乾燥移除蒸煮後的部分自由水同時降溫是一個比較新進的技術。

表2、國際若干預熟米設備的操作程序與條件對照

系統程序	浸 漬	蒸煮溫度	乾 燥	廠 商
批式常壓蒸煮	溫水(20 hr) 蒸氣濕潤再浸水	較低	(預乾燥機) +LSU乾燥機	印度CFTRI 印度INDUSS
連續常壓蒸煮	溫水 (20 hr)	較低	預乾燥機 +循環式熱風乾燥機	中國碧山
批式加壓蒸煮	真空後加壓	可調範圍大	真空乾燥 預乾燥機 +循環式熱風乾燥機	義大利Appiani、 美國RGAC、日本 Satake
垂直連續 加壓蒸煮	溫水/真空 (20 hr)	可微調	預乾燥機 +循環式熱風乾燥機	美國Malek
水平連續 加壓蒸煮	真空後加壓	可調範圍大 蒸煮釜內有 輸送設備	預乾燥機 +循環式熱風乾燥機	義大利Appiani、日 本Satake (蒸煮壓力 不高)

表3、系統操作程序與預熟米品質及售價對照表

系統程序	固定投資 (1最高)	產品均勻度 (1最佳)	產品製程彈性 (1最彈性)	產品售價
批式常壓蒸煮(溫水)	6	6	5	低
批式常壓蒸煮(蒸氣濕潤)	5	5	5	低
連續常壓蒸煮	4	4	4	中
批式加壓蒸煮	2	2	1	高
垂直連續加壓蒸煮	3	3	3	高
水平連續加壓蒸煮	1	1	1	高

預熟米的碾製程序與一般稻米相同：礱穀、選別、精米、淨米、色彩選別。加工處理方式不同會影響預熟米之物化性質，主要影響因素有三點。首先，浸泡、蒸煮及乾燥過程中，米粒外部與內部水分會產生梯度，擴散 (diffusion) 作用將水及水溶性營養物質遷入或遷出。其次，蒸煮過程中，加熱導致澱粉糊化和蛋白質變性，也會影響稻米之物化性質。最後，乾燥過程中，水分散失使得米粒澱粉回凝，甚至在儲藏時有老化的現象 [28]。在外觀上，預熟米色澤偏黃且較深色外，經過預熟的稻米也會變得比較細長 (長軸變長，兩個短軸變小)。

3. 台灣預熟米研究與現況

雖然世界上約有 1/4 的稻米是以預熟型態消費，但是大多數台灣人從未食用過甚至從未聽說過該產品。就如同世界大部分以稻米為主食的國家多植栽秈米，只有少數國家植栽梗米，台灣、日本是梗米消費國家的主要代表。在學術研究上，透過台灣博碩士論文搜尋系統以 **parboiled** 和 **parboiling** 作為關鍵詞，只能獲得七篇相關論文著作，其中以預熟米為探討主題的論文只有四篇 [36-39]，探討預熟浸漬程序的模型有一篇 [40]。探討的米種有台南 11 號 (TN11)、台中秈 10 (TCS10)、高雄 145 (KH145)、台梗 8 (TK8)、台梗 10 (TK10) 和公糧，其中，TCS10 在外觀上雖然像秈米，但是胚乳的直鏈澱粉含量則較接近梗米，所以目前的國內論文都是探討預熟梗米的性質和消化性。足見台灣預熟米的相關研究與產品開發具有努力的空間和一定的發展契機。

3.1. 預熟梗米的物化性質

就色澤言，經過預熟後，亮度 (L 值) 會下降但是黃度 (b 值) 會提高，預熟白米呈現金黃色。

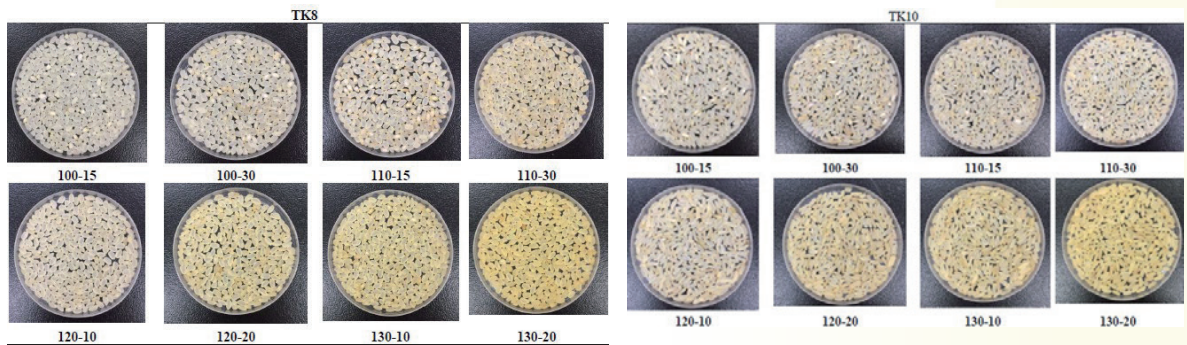


圖1、不同預熟條件下，TK8及TK10預熟白米的外觀

由 X 光繞射光譜得知 (圖 2)，預熟米會產生直鏈澱粉 - 脂質複合物 (amylose-lipid complex)[41]，且具有熱穩定性。

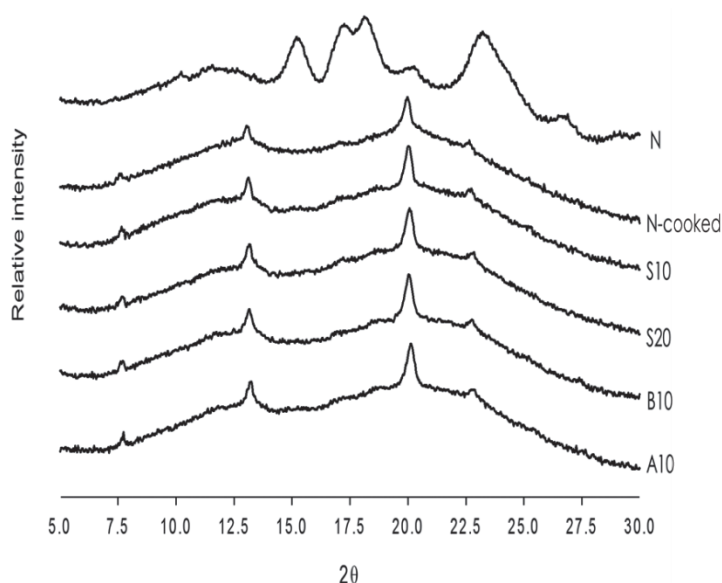


圖2、台農11預熟梗米X光繞射圖。N: 未處理；S10、S20：蒸煮10、20 min的預熟米；B10、A10：經HMT前與後之預熟米。[36,41]

林 [37] 的研究發現，經過預熟處理的 KH145 稻穀其碾米後的整米率 (head-rice yield) 會提高，減少碎米的產生，但是提高比例有限。一般說來，預熟米因硬度高所以整米率會提高，尤其是秈稻。秈稻因為外觀細長所以碾米過程易產生碎米，但是經過預熟處理的秈稻可以大幅減少碎米的產生；預熟秈稻的整米率顯著高於一般秈稻。就梗稻而言，雖然預熟後硬度也會提高，但是因為梗稻的外型較為圓短，所以碾米的碎米產生率較秈稻來的低，經預熟處理雖然可提高梗稻的整米率，但是相較於秈稻而言，較不顯著。簡言之，整米率的提高對預熟秈稻的重要性遠甚於預熟梗稻。此外，碎米率也跟預熟製程的條件相關聯 [36,40]；不同製程條件會讓碎米率的差異相當顯著。

DSC 數據顯示預熟梗米的結晶區會往高溫移動且焓值也提高。表示澱粉糊化回凝使結晶結構改變，致使預熟米飯的質地較一般米飯堅硬 [36-38]。由 RVA 的分析可以知道，預熟的糊化程度會影響預熟米的加工品質跟用途。換言之，調整預熟的操作條件，可以製備不同加工需求的預熟米或是預熟米穀粉。經過預熟處理後，峰值黏度、崩解黏度、熱糊黏度、回升黏度、終值黏度都會顯著下降，這一點在加工用途上有其一定的應用。以不同的預熟製程製備不同加工用途的預熟米會是預熟發

展的重要方向。此外，預熟加工應用在台灣的公糧政策也是一個可以考慮的方向。公糧經過預熟處理可以延長其儲存期限；反之，經陳化的公糧常常只能以低價販售，若將其再經預熟處理，可以提升公糧陳米的用途。圖 3 為不同蒸煮溫度 / 時間下，TK8 及 TCS10 的 RVA 分析。

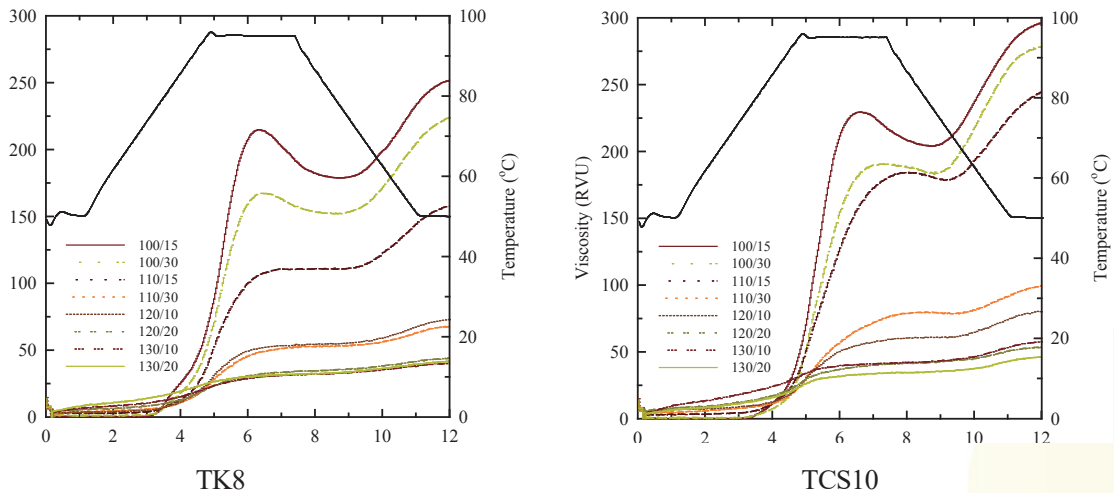


圖3、蒸煮條件對TK8及TCS10預熟米糊性質的影響。X/Y = 蒸煮溫度/蒸煮時間

葉 [38] 曾探討浸泡溫度及時間對稻穀 (TN11、TCS10) 總菌數的影響，其結果發現 60°C 浸泡 5 小時，總菌數可以下降 5 個對數值，後續經過精白也可以維持在 50 CFU/g 以下，仙人掌桿菌的結果也類似。此外，葉 [38] 也發現糠層中脂解酶活性會因高溫的預煮處理，TN11 從 0.729 U/mL 降低至 0.206 U/mL，TCS10 則從 0.568 U/mL 降低至 0.266 U/mL，有效延緩稻米油質氧化速率。

3.2. 預熟梗米的營養性質

在口感上，預熟米較為堅硬且粒粒分明。但是預熟梗米的硬度較預熟秈米低，比較適合國人的食米習慣。預熟梗米適合做為燴飯、燉飯的使用，也適合作為常溫儲存罐頭及殺菌軟袋的即食米飯產品的開發。本研究團隊近幾年的品評試驗發現，年輕族群對預熟梗米的接受度很高，特別是預熟糙米；預熟糙米飯的口感遠甚於一般糙米；預熟糙米飯的糠層（麩皮）不會像一般糙米飯一樣的粗糙感，較為順口。

預熟米之營養價值中首推維生素 B 群，其中又以硫胺 (B1) 和菸鹼酸 (B3) 最為

重要。表 4 為國產預熟梗米的硫胺和菸鹼酸的檢測結果。整體而言，稻米的 B3 含量遠高於 B1，糙米的 B1 和 B3 都高於白米。經預熟處理，B1 和 B3 的藍亮都會顯著提升，但預熟糙米的 B1 含量略較一般糙米低。再度印證預熟處理可以提升 B1 和 B3 的含量 2-3 倍。另外，經過烹煮成米飯，經過預熟處理的樣品，可以保留較多的 B1 和 B3。

廖 [39] 探討預熟製程對 TN11 預熟米之植酸的影響，結果顯示，糙米植酸含量為 10.57 mg/g，浸泡過程不會對植酸含量造成影響，但是，經過蒸煮 15 與 60 分鐘，預熟糙米植酸含量分別為略為下降至 9.60 mg/g、9.72 mg/g。

表4、不同預熟梗米之維生素B1與B3含量。

Sample	Thiamine (B1), g/g	Niacin (B3), g/g
BR	4.03 (0.06)a	
	3.06 (0.16) TN11b	54.33 (3.36) TN11a
	2.31 (0.04) TCS10b	70.20 TCS10d
	3.50d	
WR	0.57 (0.21)a	
	0.60 (0.00) TN11b	14.23 (1.50)a
	0.83 (0.02) TCS10b	4.90c
	0.50d	18.00d
PBR	2.30d	79.10d
PWR	2.03 (0.35)a	
	1.45 (0.08) TN11b	39.23 (2.25)a
	1.55 (0.02) TCS10b	23.90c
	2.10d	57.80d
Cooked BR	3.40d	74.70d
Cooked WR	0.10d	1.30d
Cooked PBR	2.50d	79.20d
Cooked PWR	2.10d	73.90d

a: Kyritsi et al., 2011 (long grain)

b: 葉家豪 (2017)(委託食工所)

c: stock rice (2017, japonica, ILan, Taiwan)(委託SGS)

d: KH145 rice (2019, japonica, ILan, Taiwan)(委託食工所)

3.2. 預熟梗米的體外消化性質

一般生梗稻的抗性澱粉約 10%，但是一旦烹煮成米飯，抗性澱粉含量都會低於 3% 以下，這也是梗米被歸類為高升糖食物的原因。就稻米而言，直鏈澱粉含量與抗性澱粉之間會有正相關性，亦即，直鏈澱粉含量高，其抗性澱粉也會較高。所以，抗性澱粉含量，秈稻高於梗稻，梗稻又高於糯稻；糯稻中，秈糯又略高於梗糯。稻米中的抗性澱粉幾乎都是第二型抗性澱粉（天然生澱粉），所以不耐烹煮。一般梗米煮成米飯後，抗性澱粉含量都小於 3%。預熟梗米因為經過糊化及回凝，所以其抗性澱粉含量較一般白米高 3-5 倍 [36,37]，大約 10-15% [36-39]，雖然在整個澱粉消化性（快速消化澱粉、慢速消化澱粉與抗性澱粉）上所佔的比例仍然不高，但是其熱耐受性較佳。如果將預熟米再經濕熱處理，會提升抗性澱粉含量至約 20% [36,41] 及增強 V 型澱粉的結晶吸收峰。

抗性澱粉含量與其量測方法有關，一般文獻常用的方法有二。其一是 AOAC 的標準法，該法已有商業化的套組 (RS kit, Megazyme)，此法酵素作用時間長，所測得之抗性澱粉含量較低。另一方法則是模擬澱粉於人體體內的消化程序，以相關澱粉酵素於體外進行，此法所測得之抗性澱粉含量較高，且可以進一步依消化時間分類出快速消化澱粉、慢速消化澱粉和抗性澱粉。此外，以消化性為基準的抗性澱粉測量法，可藉由動力學參數分析而求得體外消化的升糖指數 (estimated glycemic index, eGI; predicted glycemic index, pGI)，在缺乏體內 GI 參數的狀況下，可做為澱粉基質食物生理參數的參考。方法二在國際相關探討澱粉基質食物之消化性的期刊文獻中廣被使用。上述的抗性澱粉數值也都是依據體外消化分析所獲得。

統合國內外預熟米消化研究相關文章，秈米經過預熟後的抗性澱粉增加量會高於梗米，因此，預熟秈米的升糖指數會偏向於中低 GI 值，預熟梗米的 GI 值則仍在高中 GI 的邊緣。在烹煮上，預熟米的烹煮比一般稻米快。在口感上，由質地分析數據顯示，預熟秈米的硬度高出預熟梗米甚多，國人的接受度低。

3.3. 國產預熟米設備的開發

預熟米的商業機台早有許多國際大廠生產，例如印度的 CFTRI 和 INDUSS、義大利的 Appiani、美國的 RGAC 和 Malek、日本的 Satake、中國的碧山等。產能都是日產 50 公噸以上，售價達幾千萬新台幣甚至上億，對精緻農業的台灣稻農來說，無法投資及負擔，在產業面上也沒有那麼大的需求。有鑑於此，過內的設備、乾燥、通路、資訊四業者組成跨域聯盟，於 2017 年起，在農委會業界科專的支持下，以三年的期程，著力於預熟米設備的開發。該計畫於 2019 年底已成功地開發出台灣第一台預熟米設備及操作系統；設備日產能 10 公噸預熟米，預計每年可以生產 2000-2500 公噸的預熟米。該設備具有目前現行預熟米製備系統的優點。於浸漬製程可以減壓、常壓、加壓；於蒸煮製程可以動態及靜態與高壓及常壓；於乾燥過程可以減壓移除 3-5% 自由水，再搭配新設計的震動篩乾燥機，可大幅降低預熟濕穀於進入傳統循環式烘穀系統的濕度，縮短烘穀所需時間。在台灣預熟米的發展史上，是一個新的里程碑。

4. 結語

國產預熟梗米是一個新興的食米市場，在國際市場上也是一個少見的產品。就營養價值而言，預熟梗米是一個值得推廣的產品。就全穀飲食概念而言，預熟梗糙米的口適性、穩定性與營養價值都較一般糙米佳。就國際競爭性而言，台灣稻米因生產單價高，所以國際市場的競爭必須以品質做競爭而非以價格競爭。預熟米的價格因品質的不同差異甚高。因此，生產高品質的預熟梗米是未來台灣預熟米出口的一個重要方向。此外，台灣因特殊的戰略狀況，一直有公糧的收購政策，收藏的公糧如果以一定比例進行預熟處理再儲存，可以延長收藏期程與提升公糧品質。

參考文獻

1. Ring, S.G. Some studies on studies on starch gelation. *Starch-Stärke* **1985**, 37, 80-83.
2. Atwell, W.A.; Hood, L.F.; Lineback, D.R.; Varriano-Marston, E.; Zobel, H.F. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Food World* **1988**, 33, 306-311.
3. Kim, J.O.; Kim, W.S.; Shin, M.S. A comparative study on retrogradation of rice starch gels by dsc, x-ray and α -amylase methods. *Starch-Stärke* **1997**, 49(2), 71-75.
4. Miles, M.J.; Morris, V.J.; Orford, P.D.; Ring, S.G. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydr Res* **1985**, 135, 271-281.
5. González -Soto, R.A.; Mora-Escobedo, R.; Hernandez-Sanchez, H.; Sanchez-Rivera, M.; Bello-Perez, L.A. The influence of time and storage temperature on resistant starch formation from autoclaved debranched banana starch. *Food Res Int* **2007**, 40(2), 304-310.
6. Oli, P.; Ward, R.; Adhikari, B.; Torley, P. Parboiled rice: Understanding from a materials science approach. *J Food Eng* **2014**, 124, 173-183.
7. Sareepuang, K.; Siriamornpun, S.; Wiset, L.; Meeso, N. Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice. *World J Agric Res* **2008**, 4(4), 409-415.
8. Chukwu, O.; Oseh, F.J. Response of nutritional contents of rice (*Oryza sativa*) to parboiling temperatures. *Am Eurasian J Sustain* **2009**, 3(3), 381-387.
9. Han, J.A.; Lim, S.T. Effect of presoaking on textural, thermal, and digestive properties of cooked brown rice. *Cereal Chem* **2009**, 86(1), 100-105.
10. Ibukun, E. O. Effect of prolonged parboiling duration on proximate composition of rice. *Sci Res Essays* **2008**, 3(7), 323-325.
11. Derycke, V.; Vandeputte, G.E.; Vermeylen, R.; de Man, W.; Goderis, B.; Koch, M.H.J.; Delcour, J.A. Starch gelatinization and amylose-lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide angle X-ray scattering and differential scanning

- calorimetry. *J Cereal Sci* **2008**, 42(3), 334-343.
- 12.Mahadevappa, M.; Desikachar, H.S.R. Some observations on the histology of raw and parboiled rice. *J Food Sci Technol* **1968**, 5(2), 72-73.
- 13.Aykroyd, W.R.; Krishnan, B.G.; Passmore, R.; Sundararajan, A.R. The rice problem in India. *Indian Med Res Memoirs* **1940**, 32, 84.
- 14.Kik, M.C. Effect of parboiling on thiamine in rice. *Cereal Chem* **1946**, 23(6), 529-539.
- 15.Lamberts, L.; Bie, E.D.; Derycke, V.; Veraverbeke, W.S.; de Man, W.; Delcour, J.A. Effect of processing conditions on color change of brown and milled parboiled rice. *Cereal Chem* **2006**, 83(1), 80-85.
- 16.Lamberts, L.; Rombouts, I.; Brijs, K.; Gebruers, K.; Delcour, J.A. Impact of parboiling conditions on Maillard precursors and indicators in long-grain rice cultivars. *Food Chem* **2008**, 110(4), 916-922.
- 17.Bhattacharya, K.R. Parboiling of rice. In *Rice Chemistry and Technology*, 3rd ed.; Champagne, E.T.; American Association of Cereal Chemists: St Paul, USA, 2004; pp. 329–404.
- 18.Bhattacharya, K.R. *Rice quality: A guide to rice properties and analysis*; Elsevier: NY, USA, 2011.
- 19.Larsen, H.N.; Rasmussen, O.W.; Rasmussen, P.H.; Alstrup, K.K.; Biswas, S.K.; Tetens, I.; Hermansen, K. Glycaemic index of parboiled rice depends on the severity of processing: study in type 2 diabetic subjects. *Eur J Clin Nutr* **2000**, 54(5), 380-385.
- 20.Leethanapanich, K.; Mauromoustakos, A.; Wang, Y.J. Impacts of parboiling conditions on quality characteristics of parboiled commingled rice. *J Cereal Sci* **2016**, 69, 283-289.
- 21.Englyst, H.N.; Kingman, S.; Cummings, J. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur J Clin Nutr* **1992**, 46, S33-S50.
- 22.Salmeron, J.; Manson, J.E.; Stampfer, M.J.; Colditz, G.A.; Wing, A.L.; Willett, W.C. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non—insulin-dependent diabetes mellitus in women. *JAMA* **1997**, 277, 472-477.

- 23.Malkanthi, O.S.; Kimura, T.; Shimisu, N. Present Status of Rice Post Harvest Technology in Sri Lanka. Presented at the Annual Meeting of Kanto Branch, Japanese Society of Agricultural Machinery, 2001. Available from the Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba, Japan.
- 24.Roy, P. Improvement of energy requirement in traditional parboiling process. A Report on Field Study, University of Tsukuba, Japan, 2001.
- 25.Braddon, W.L. *The Cause and Prevention of Beri-beri*; Rebman Limited: London, England, 1907.
- 26.Achaya, K.T. *A historical dictionary of Indian food*; Oxford University Press: New Delhi, India, 1998.
- 27.Bayram, M. Bulgur around the world. *Cereal Food World* **2000**, 45, 80-82.
- 28.Oli, P.; Ward, R.; Adhikari, B.; Torley, P. The diffusion of moisture in paddy during hydration and dehydration processes. *Dry Technol* **2014**, 32(12), 1423-1434.
- 29.Bhattacharya, K.; Subba Rao, P. Processing conditions and milling yield in parboiling of rice. *J Agr Food Chem* **1966**, 14, 473-475.
- 30.Luh, B.S.; Mickus, R.R. Parboiled rice. In *Rice*; Luh B.S.; Springer: Boston, MA, USA; 1991; pp. 470-507.
- 31.Soponronnarit, S.; Nathakaranakule, A.; Jirajindalert, A.; Taechapairoj, C. Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. *J Food Eng* **2006**, 75(3), 423-432.
- 32.Igathinathane, C.; Womac, A.R., Sokhansanj, S.; Pordesimo, L.O. Sorption equilibrium moisture characteristics of selected corn stover components. *T ASAE* **2005**, 48(4), 1449-1460.
- 33.Buggenhout, J.; Brijs, K.; Van Oevelen, J.; Delcour, J.A. Milling breakage susceptibility and mechanical properties of parboiled brown rice kernels. *LWT-Food Sci Technol* **2014**, 59, 369-375.
- 34.Mecham, D.; Kester, E.; Pence, J. Parboiling characteristics of California medium-grain rice. *Food Technol* **1961**, 15, 475-479.

- 35.Derycke, V.; Vandeputte, G.; Vermeulen, R.; De Man, W.; Goderis, B.; Koch, M.; Delcour, J. Starch gelatinization and amylose–lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry. *J Cereal Sci* **2005**, 42, 334-343.
- 36.鄭光哲。預煮處理對稻米理化特性與消化性之影響。國立臺灣大學食品科技研究所碩士論文2016，台北市。
- 37.林靖雯。預煮製程對稻米性質的影響。國立宜蘭大學食品科學系碩士班碩士論文2017，宜蘭市。
- 38.葉家豪。蒸穀粳米與秈米之理化性質與儲存性。國立臺灣大學食品科技研究所碩士論文2017，台北市。
- 39.廖紘菽。蒸煮時間對蒸穀糙米物化性質與植酸含量之影響。國立臺灣大學食品科技研究所碩士論文2019，台北市。
- 40.李佳燕。浸泡壓力和溫度對稻米水分含量之影響及模型參數之建立。國立宜蘭大學食品科學系碩士班碩士論文2019，宜蘭市。
- 41.Cheng, K.-C.; Chen, S.H.; Yeh, A.-I Physicochemical properties and in vitro digestibility of rice after parboiling with heat moisture treatment. *J Cereal Sci* **2019**, 85, 98-104.

Preparation and characteristics of parboiled japonica rice in Taiwan

Jia-Yan Li¹ and Shin-Hsin Chen^{2,*}

Abstract

Parboiling is a hydrothermal process consisting of soaking, steaming and drying. The parboiling processed rice is called parboiled rice. Soaking is a hydration process in which the diffusion controlled water uptake migrates into the rice kernel and subsequent heating leads to irreversible swelling and fusion of starch granules. The starch granules are gelatinized and retrograded as a result various changes occur in rice, involving rearrangement of the starch chains with release of water molecules, which play an important role in the subsequent processing operations, such as milling yield of brown or white rice, color values, hydration properties, pasting properties and in vitro digestibility. Although parboiled rice is not a new product in the world, for most Taiwanese, they have rarely heard or never heard of parboiled rice. Parboiled rice is considered a new rice product in Taiwan, especially parboiled japonica rice. This article concisely summarizes the preparation, characteristics and current situation of Taiwan's parboiled rice, and hopes that more people will learn about Taiwan's parboiled rice.

Keywords: parboiled rice; japonica; resistant starch; GI

¹ Department of Food Science of National Ilan University

² Institute of Food Science and Technology of National Taiwan University

* Correspondence: shchen0422@ntu.edu.tw