

國立臺灣大學生物資源暨農學院農業化學所



碩士論文

Department of Agricultural Chemistry  
College of Bioresources and Agriculture  
National Taiwan University  
Master Thesis

以國產富機能性有色米穀粉開發新穎式中式麵條

Domestic Bioactive Colored Rice Flour  
for Novel Chinese Noodles Making

段以南

Enan Duan

指導教授：賴喜美 博士

Advisor: Hsi-Mei Lai, Ph.D.

中華民國 104 年 7 月

July 2015

## 謝誌



從大學至研究所期間，感謝指導教授賴喜美教授所給予的科學訓練。大至研究架構，小至論文撰寫細節，鉅細靡遺地盡心指導，使我在邏輯思考與規劃上受益良多，並得以一窺學海之浩瀚。感謝賴教授在生活上的照顧與包容，使我在農業化學所，無後顧之憂地順利完成學業。感謝賴教授和論文口試委員林子清科長、張永和教授、陳烱堂教授，在論文和口試中細心的指導，使此論文得以更臻完善。

感謝學姐黃玉嬋、林佩吟、張馨云在研究上多方的指導與協助，訓練我獨立思考與解決問題的能力，使得以逐漸成為能獨當一面的人。感謝實驗室同儕與同仁們，在研究期間每日生活上的包容、愛心與研究上的幫助；在同甘共苦後，成為更珍惜彼此的人。

感謝父母和家人，無條件地全力支持我的每一個決定，讓我無後顧之憂地專心在研究上；感謝家人們不遺餘力地在論文實驗上的協助。感謝每一位陪我經歷喪親之痛的朋友，使我安然走過最忙碌的碩二下生活。



## 摘要

本研究選用國產有色米（花蓮太巴壠紅糯米(RW)與花蓮太巴壠黑糯米(BW)）為試驗材料，分析其理化性質及機能性成分，並探討濕熱處理對有色米理化性質之影響。試驗中，以 30%及 51%有色米穀粉（未處理及濕熱處理）取代小麥麵粉，建立製程，製備富含機能成分之中式米麵條，並探討取代程度及濕熱處理米穀粉，對有色米麵條的烹煮品質與質地之影響。此外，將米麵條預拌粉（米穀粉：小麥粉=3:7 及 51:49），進行 90 天貯藏試驗，分析其於貯藏期間，機能性成分與游離脂肪酸含量變化。實驗結果發現，紅糯米與黑糯米經濕熱處理後，澱粉分子內部發生重排，因此糊化溫度提高。且濕熱處理 15 分鐘以上，可使米穀粉中酵素活性失活，造成黏度分析中，最高黏度與最終黏度上升。此外，以稻穀形式進行濕熱處理，可降低濕熱處理中熱與水分對其糊液黏度性質之影響程度。熱性質分析結果顯示，濕熱處理將造成吸熱峰往高溫移動，並使熱焓值減少。濕熱處理時糊化情形隨加水量之增加漸趨明顯，且水分對糊化程度的影響較時間更為顯著。以濕熱處理 15 分鐘之米穀粉和小麥麵粉 30%或 51%進行配粉，其糊液黏度特性與純小麥麵粉最為接近，故以此配粉製作米麵條。米麵條中，以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘之米穀粉製作米麵條，麵糰成糰性較佳，與小麥麵條之外觀亦較為相近。麵條性質與質地測定結果中發現，以米穀粉取代之米麵條，烹煮時間顯著減少；以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘後，其米麵條烹煮損失率最低，並具有較低的黏著力與較大的拉伸性。以 51%米穀粉取代之米麵條，添加活性麵筋可使米麵條之烹煮損失率與黏著力下降，並提升其硬度、咀嚼性與柔軟度。添加 8.8%活性麵筋可維持熟麵條之完整性，增強麵條結構。官能品評結果顯示，51%米穀粉取代之紅糯及黑糯米麵條之接受度較 30%取代之米麵條為高。濕熱處理 15 分鐘之紅糯米穀粉所製備之 51%取代米麵條，其整體接受度在紅米麵條中最佳。以濕熱處理 15 分鐘之紅糯米穀粉，和以未經處理之黑糯米穀粉或濕熱處理 15 分鐘之黑糯米穀粉，添加 8.8%之活性麵筋，所製備之 51%取代米麵條，最具開發潛力。貯藏試驗中，濕熱處理會抑制酵素活性；而 4 °C 貯藏則可降低游離脂肪酸含量。機能性成分測定中，黑糯米麵條總酚含量為紅糯米麵條之兩倍。黑糯米穀粉總花青素含量不受貯藏溫度

之影響。製成黑糯米麵條後，總花青素含量仍維持原料之 70%。本研究結果不僅提升國產有色米應用範疇，更提供國人富機能性新穎米食製品之新選擇。

關鍵詞：有色米、總酚、濕熱處理、米麵條、貯藏、游離脂肪酸

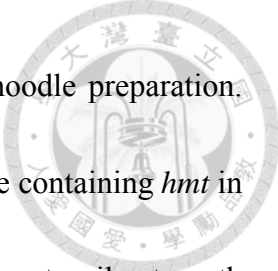


## Abstract



The physical properties and bioactive compounds of domestic colored rice (RW and BW) were investigated. Furthermore, the effects of heat-moisture treatment (*hmt*) of the colored rice on the physical properties were investigated. The process of 30% and 51% substitution of colored rice (including *hmt* rice) with wheat flour for bioactive Chinese rice noodle making was built up. The effect of rice replacement levels and *hmt* levels on cooking quality and textural properties of colored rice noodles were also investigated. The mixture of rice flour and wheat (rice flour: wheat = 3:7 and 51:49) was stored for 90 days to evaluate the changes of free fatty acids and bioactive compounds during storage. The pasting properties analysis results showed that the *hmt* rice flour had higher pasting temperature due to molecular rearrangement of starch molecules. When *hmt* time is over 15 min, it inactivated enzyme, and caused peak and final viscosity increased. When the heat-moisture treatment was processed in rough rice form, the effect of heat and moisture to pasting properties was reduced. The thermal properties analysis results showed that *hmt* caused  $T_0$  shifted to higher values and enthalpy reduced. The additional moisture during *hmt* caused higher gelatinization level, and the effect of moisture to gelatinization level was more obvious than heating time to it. The mixture of wheat and *hmt* rice (30% and 51%) showed a pasting viscosity similar

to pure wheat flour and may ideally substitute for wheat flour in noodle preparation.



Rice noodle had less cooking time than wheat noodle. The rice noodle containing *hmt* in rough rice form had lower cooking loss and adhesiveness, and higher tensile strength than noodle containing untreated rice. Adding 8.8% vital gluten in 51% substitution rice noodles decreased cooking loss and adhesiveness, and also increased firmness, chewiness and tenderness. The sensory evaluation results showed that the 51% substitution rice noodle had the higher value on total acceptance. The 51 % substitution *hmt* (15 min) red rice noodle had the highest value of total acceptance in red rice noodle. 51% rice noodle prepared from *hmt* red rice, native or *hmt* black rice showed the best potential to rice noodle products. During storage, the lower storage temperature at 4 °C and *hmt* caused less free fatty acid. In bioactive compounds analysis, total phenolics in black rice noodle was two times of red rice noodle. Total anthocyanins in black rice was not affected by storage temperature. There was 70% maintenance in total anthocyanins from black rice flour to black noodles. The results of this study not only promote the application category in domestic colored rice but also provide new choice about bioactive novel rice products for compatriots.

**Keywords:** colored rice, total phenolics, heat-moisture treatment, rice noodle, storage, free fatty acid.

# 目錄



摘要 .....	I
Abstract .....	III
目錄 .....	V
圖目錄 .....	VII
表目錄 .....	IX
第一章、前言 .....	1
第二章、文獻整理 .....	2
第一節、有色米 .....	2
第二節、濕熱處理 (Heat-moisture Treatment) .....	8
第三節、小麥麵條與米麵條 .....	12
第三章、材料與方法 .....	14
第一節、材料與試劑 .....	14
一、米穀粉及麵粉 .....	14
第二節、樣品製備及實驗設計 .....	14
一、稻米樣品製備 .....	14
二、貯藏試驗 .....	14
三、米穀濕熱處理試驗 .....	15
四、麵條製作 .....	15
五、麵條配方 .....	16
七、官能品評 .....	16
第三節、分析方法 .....	18
一、一般成分分析 .....	18
二、多酚類化合物分析 .....	19



三、米穀粉與配粉糊液黏度性質測定 .....	21
四、熱性質分析 .....	21
五、直鏈澱粉含量測定 .....	22
六、麵條烹煮性質測定 .....	22
七、麵條質地測定 .....	23
第四章、結果與討論 .....	28
第一節、一般成分含量 .....	28
第二節、濕熱處理之米穀粉理化性質 .....	28
二、糊液黏度性質 .....	34
三、熱性質分析 .....	43
第三節、配粉之理化性質測定 .....	48
一、糊液黏度性質 .....	48
第四節、有色米穀粉取代之中式米麵條烹煮品質及質地 .....	52
一、30%有色米穀粉取代之中式米麵條 .....	52
二、51%有色米穀粉取代之中式米麵條 .....	59
第五節、米穀粉與米麵條之微結構--掃描式電子顯微鏡 .....	68
第六節、官能品評 .....	73
第七節、貯藏試驗中游离脂肪酸與機能性成分之變化 .....	82
第五章、結論 .....	93
第六章、參考文獻 .....	95
附 錄 .....	104



## 表目錄



表一、有色米在體內試驗中的氧化壓力生物指標 .....	7
表二、官能品評評分表 .....	17
表三、快速糊液黏度測定之條件設定 .....	21
表四、熟麵條堅實度測定條件 .....	23
表五、熟麵條黏著性測定設定 .....	24
表六、熟麵條抗拉伸強度測定設定 .....	25
表七、紅糯米與黑糯米之一般成分 .....	29
表八、紅糯米經濕熱處理之米穀粉水分含量 .....	33
表九、黑糯米經濕熱處理之米穀粉水分含量 .....	33
表十、濕熱處理紅糯米穀粉之糊液黏度性質 .....	39
表十一、濕熱處理黑糯米穀粉之糊液黏度性質 .....	42
表十二、紅糯米於不同濕熱處理條件下之熱性質分析 .....	46
表十三、黑糯米於不同濕熱處理條件下之熱性質分析 .....	47
表十四、30%紅糯米穀粉取代之紅糯米麵條煮麵品質 .....	54
表十五、30%紅糯米穀粉取代之熟麵條寬度、厚度及膨脹度 .....	54
表十六、30%黑糯米穀粉取代之黑糯米麵條煮麵品質 .....	55
表十七、30%黑糯米穀粉取代之熟麵條寬度、厚度及膨脹度 .....	55
表十八、30%紅糯米穀粉取代之熟麵條質地 .....	58
表十九、30%黑糯米穀粉取代之熟麵條質地 .....	58
表二十、51%紅糯米穀粉取代之紅糯米麵條煮麵品質 .....	61
表二十一、51%紅糯米穀粉取代之熟麵條寬度、厚度及膨脹度 .....	61
表二十二、51%黑糯米穀粉取代之紅糯米麵條煮麵品質 .....	62
表二十三、51%黑糯米穀粉取代之熟麵條寬度、厚度及膨脹度 .....	62

表二十四、51%紅糯米穀粉取代之熟麵條質地.....	66
表二十五、51%黑糯米穀粉取代之熟麵條質地.....	66
表二十六、第一次紅糯米麵條嗜好性官能品評結果.....	75
表二十七、第一次黑糯米麵條嗜好性官能品評結果.....	75
表二十八、第二次紅糯米麵條嗜好性官能品評結果.....	75
表二十九、第二次黑糯米麵條嗜好性官能品評結果.....	76
表三十、濕熱處理與貯藏溫度對游離脂肪酸含量之影響.....	86
表三十一、濕熱處理與貯藏溫度對總酚之影響.....	87
表三十二、黑糯米、紅糯米麵條之總酚含量.....	87
表三十三、濕熱處理與貯藏溫度對總類黃酮之影響.....	91
表三十四、米麵條之總類黃酮含量.....	91
表三十五、濕熱處理與貯藏溫度對總花青素之影響.....	92
表三十六、黑糯米麵條之總花青素.....	92

## 圖目錄



圖一、類黃酮之基本結構 .....	4
圖二、有色米中花青素之結構 .....	5
圖三、米澱粉之掃描式電子顯微鏡影像 .....	10
圖四、預蒸煮米從稻穀至米穀粉的製作步驟 .....	11
圖五、熟麵條堅實度測定示意圖 .....	23
圖六、麵條黏性測定示意圖 .....	24
圖七、麵條抗拉伸度測定示意圖 .....	25
圖八、實驗架構 .....	27
圖九、紅糯稻穀及糙米經濕熱處理後之紅糯糙米外觀照片 .....	30
圖十、黑糯稻穀經濕熱處理後之黑糯糙米外觀照片 .....	31
圖十一、黑糯糙米經濕熱處理後之外觀照片 .....	32
圖十二、紅糯糙米經濕熱處理之穀粉糊液黏度變化圖；(A) 濕熱處理 5 及 15 分鐘及(B) 濕熱處理 30 分鐘 .....	37
圖十三、紅糯稻穀經濕熱處理之米穀粉糊液黏度變化圖 .....	38
圖十四、米穀粉溶於蒸餾水與 2.5 mM AgNO <sub>3</sub> 溶液之糊液黏度變化圖 .....	38
圖十五、黑糯糙米經濕熱處理之米穀粉糊液黏度變化圖；(A) 濕熱處理 5 及 15 分鐘及(B) 濕熱處理 30 分鐘 .....	40
圖十六、黑糯稻穀經濕熱處理之米穀粉糊液黏度變化圖；(A) 濕熱處理 5 及 15 分鐘及(B) 濕熱處理 30 分鐘 .....	41
圖十七、小麥麵粉與濕熱處理之紅糯米穀粉之糊液黏度變化圖；(A)-(C) 30%濕熱處理紅糯米穀粉取代之配粉；(D)-(E) 51%, 70%濕熱處理紅糯米穀粉取代之配粉50	
圖十八、小麥麵粉與濕熱處理之黑糯米穀粉之糊液黏度變化圖，(A)-(C) 30%濕熱	

處理黑糯米穀粉取代之配粉；(D)-(E) 51%濕熱處理黑糯米穀粉取代之配粉.....	51
圖十九、30%紅糯米取代之麵帶及麵條外觀照片.....	56
圖二十、51%米穀粉取代之麵帶與麵條外觀照片.....	63
圖二十一、黑糯米麵條外觀照片.....	64
圖二十二、小麥麵條及 30%米穀粉取代之紅糯生麵條之掃描式電子顯微鏡影像	69
圖二十三、小麥麵條及 30%米穀粉取代之紅糯熟麵條掃描式電子顯微鏡影像....	70
圖二十四、51%米穀粉取代之紅糯熟麵條掃描式電子顯微鏡影像.....	71
圖二十五、51%米穀粉取代之黑糯熟麵條掃描式電子顯微鏡影像.....	72
圖二十六、第一次紅糯米麵條官能品評之分數分布圖.....	77
圖二十七、第一次黑糯米麵條官能品評之分數分布圖.....	78
圖二十八、第一次米麵條官能品評之整體接受度分數分布圖.....	79
圖二十九、第二次官能品評不同年齡層之整體接受度分數分布圖.....	80

## 第一章、前言

稻米為世界重要糧食之一，亦為國人常年主食。近年來台灣稻作平均面積約26萬公頃，年產近120萬公噸糙米。相較於民國七十年之稻作面積67萬公頃與237萬公噸糙米，明顯下降。近三十年來國人每年消耗米食自98公斤降為48公斤，探究其消費量下降原因，可歸納為外食人口增加，使米食消費管道減少、缺乏方便與多樣性等因素，而致米食消費用量銳減。為提升米食消費管道，可從米食多元化與保健效益雙方面進行，進而提升其方便性、健康新穎性，達稻米多元化發展(張學琨、侯福分, 2006)。

近年來為拓展稻米多元化發展，國內致力於非米飯類型之新型態製品的開發研究。農委會農糧署亦於民國100年起「推動在地消費，提振國產米食」措施(劉玉文, 2011)。面臨米食消費下降問題，應從米食多元化與保健效益雙方面進行訴求，藉此提升消費者意願從而改善國人飲食結構，促進國民健康，提升糧食自給率並活絡農業生產。

本研究選取富機能性成分國產有色米，將其磨製成米穀粉，並與小麥麵粉進行配粉後，分析其理化性質、麵條烹煮品質與質地性質，以及貯存過程中，機能性成分之變化。同時，將紅糯米、黑糯米以稻穀或糙米形式進行濕熱處理，探討不同程度之濕熱處理，對米穀粉理化性質之影響，以及濕熱處理對改善米麵條烹煮品質與質地之影響。經由本試驗，得以建立米穀粉於麵條製品之可行配方，將富機能性國產有色米及一般糙米應用於麵條製品，以開發國產稻米取代傳統麵食製品，達到米食多元化、健康新穎性之訴求。

## 第二章、文獻整理



### 第一節、有色米

#### 一、有色米與有色米之全穀物利用

稻米(*Oryza sativa* Linn.)是亞洲地區主要的糧食作物，亦是全球近一半人口數之主要糧食作物。稻米在種源庫中亦有許多顏色的穀粒，稱為有色米(colored rice; pigmented rice)。人類消費最多的米為白米，約占85%，其次則為有色米(Deng et al., 2013; Osawa et al., 1992)。有色米主要為黑米、紅米、深紫米。有色米主要的消費群為中國、日本和韓國，其中以可增進健康和口感之目的為主(Lee et al., 1988; Simmons and Williams, 1997; Yoshinaga, 1986)。在中藥裏，有色米則被用做滋陰、增強腎臟功能、治療貧血、增進血液循環、去除淤血、消腫、治療糖尿病、改善視力等作用(Ma et al., 2000)。黑米和紅米被視為保健食品，其萃取物也被用在麵包、冰淇淋、酒類的增色(Yoshinaga, 1986)。

有色米的色素主要分佈於穎果皮(pericarp)或種皮(seed coat)，其顏色來源主要由花青素所貢獻。稻米中許多機能物質，如礦物質、膳食纖維、多酚類化合物、維生素E與植物固醇等，均集中於麩皮；若可將稻米麩皮完整保留，不進行精白，而以全穀物形式進行稻米之利用，則人體可攝取更多機能性成分。然而，因糙米麩皮主成分為纖維，口感上較為粗糙且乾硬，不易廣受消費者喜愛；因此發展出消費者可接受之有色米產品，將可使國產有色米營養價值之利用大為提升。

近年來，全穀物與其產品的消費量增加，與其可降低中風、慢性病、心血管疾病、第二型糖尿病(T2DM)、肥胖與癌症之風險有關(Okarter and Liu, 2010)。而這些對人體有益的物質存在於全穀物中特定的植物性化學物質中而受到重視(Liu, 2007)。全穀物食品包括如黑麵包(dark bread)、全穀物早餐麥片、爆玉米花、燕麥粥、麥芽、糙米、麩皮等(Truswell, 2002)。根據Shao et al. (2014)研究指出，在白米、紅米和黑米中，總酚含量在麩皮部分最高，分別佔總酚含量的60% (白米)、86% (紅米)和84% (黑米)。而根據Hegsted et al. (1993)研究顯示，若食用稻米麩皮100 (g/day)可有效降低血漿中的總膽固醇(TC)7%。若食用道米麩皮60 (g/day)則可

輕微降低低密度脂蛋白-膽固醇(LDL-C)、增加高密度脂蛋白-膽固醇(HDL-C)，並顯著地降低TC與HDL-C的比例、顯著降低三酸甘油酯(TAG) (Kestin et al., 1990)。而食用稻米麩皮30 (g/day)，則可降低血漿中的TG (Sanders and Reddy, 1991)。然而，一般食用稻米時，以精白米為主，不若燕麥以完整穀粒食用，因此欲每日食用至前述含量，可行性上具其困難度。然而，食用有色米時，一般以完整穀粒進行烹煮與食用，若可增加有色米的應用範疇，將可增加人類飲食中食用稻米麩皮之含量，增加全穀物產品之選擇性。

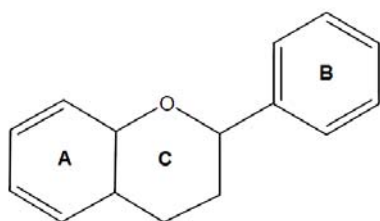
## 二、有色米中之植物性化學物質

在稻穀的外層麩皮部分，含有抗氧化物質，如多酚類化合物、花青素、維生素E和米糠醇等。其中米糠醇( $\gamma$ -oryzanol)的量可達維生素E的10倍之多，可還原膽固醇的氧化，被視為麩皮上主要的抗氧化物質(Xu et al., 2001)。而比較有色米與一般白米，有色米的抗氧化能力比白米強，是因為黑米含有白米中所沒有的花青素(Hu et al., 2003)。

### 1. 多酚類化合物

酚類化合物廣泛存在於蔬菜、水果、豆類與穀類如稻米中，在低濃度下可延緩食品或生物體中碳水化合物、脂質及DNA等基質氧化，因而被視為重要的天然抗氧化劑。酚類化合物可分為類黃酮(flavonoids)和非類黃酮(non-flavonoids)兩大類，其中非類黃酮類亦稱為酚酸類(phenolics acids)。類黃酮之基本結構為C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>如圖一所示，可再分為黃酮醇類(flavonols)、黃酮類(flavones)、黃烷醇類(flavanols)、黃烷酮類(flavavones)和花青素類(anthocyanidins)五大類(Singh et al., 2008)。其中常見的槲黃素(querctetin)屬於黃酮醇類，而異黃酮屬於黃酮類，其B環接在C環之C<sub>2</sub>位置上，因而亦有另起異黃酮一類者。稻米中所含有之兒茶素(catechin)屬於黃烷醇類。

酚酸類則廣泛存在自然界中，其基本結構為C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>，可分為羥基苯甲酸(hydroxybenzoate)與羥基肉桂酸(hydroxycinnamic acid)；稻米中則以阿魏酸(ferulic acid)與咖啡酸(caffeic acid)形式存在為主。



圖一、類黃酮之基本結構。

Figure 1. Chemical structure of flavonoids.

飲食中數以千種的多酚類化合物，可在人體腸道內被微生物叢利用，經由水解(hydrolysis)、還原(reduction)、去羥基(dehydroxylation)、去甲基(demethylation)與脫羧(decarboxylation)等作用，從 C 環逐漸裂解，最終成為可被人體吸收之形式，如沒食子酸(gallic acid)、苯酚等(Selma et al., 2009)。穀物中的多酚類化合物含量豐富，可依其結構區分為 benzoic acid 與 cinnamic acid 兩大類。稻米中的多酚類化合物以 ferulic acid 含量最多，其他如 sinapic acid, vanillic acid, hydroxybenzoic acid, protocatechuic acid, syringic acid, caffeic acid 與 chlorogenic acid 等。有色米中富含酚類化合物，其中游離態酚酸以阿魏酸(ferulic acid)含量最高(Yawadio et al., 2007; Zhou, 2004)，可達 255-362 mg ferulic acid eq./kg 的含量(Zhou, 2004)。

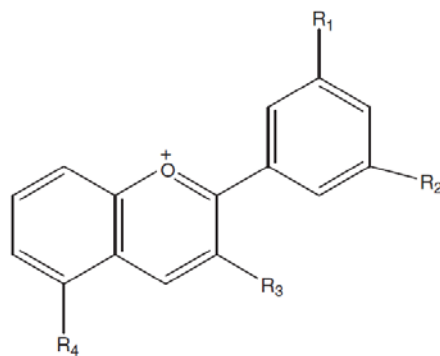
類黃酮類化合物對人體健康有利的作用機制可分為：(1) 抑制特定酵素如 xanthine oxidase 和 aldose Reductase (AR)；(2) 抗氧化活性(Cotelle, 2001)。體外試驗中，黑米與糙米中之酚類化合物均可有效抑制 AR 作用(Yawadio et al., 2007)。

## 2. 花青素

花青素屬於酚類化合物中的類黃酮類，為水溶性的紫色物質，被認為是有色米中最主要的功能性成分(Hiemori et al., 2009)。其基本結構為C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>，可因結構上之羥基數目、羥基甲基化程度與糖基化數目與連接位置等差異，而呈現不同的顏色(Chiu and Fan, 1998)；稻米可按顏色分為紅、綠、黑、白米，其顏色即為依花青素組成而不同。與其他類黃酮的差別是其可形成2-苯基苯吡喃酮陽離子(flavylium(2-phenylbenzopyrylium) cation)。自然界中的花青素主要有紫紅色的矢車菊素(cyanidin)、橘紅色的天竺葵素(pelargonidin, Pg)、藍紫色的飛燕草素(delphinidin, Dp)、紅色的芍藥素(peonidin, Pn)、紫色的矮牽牛素(petunidin, Pt)及深紫色的錦葵



素(malvidin, Mv) (Chiu and Fan, 1998)。在紅米與黑米中，其花青素具有特定結構，普遍帶有醣基結構，包括cyanidin-diglucoside (Cy-diGlu), cyanidin-3-glucoside (Cy-3-Glu), cyanidin-3-rutinoside (Cy-3-Rut)與peonidin-3-glucoside (Pn-3-Glu)；其中紅米與黑米所具有之花青素含量以Cy-3-Glu為最多(Abdel-Aal et al., 2006)占總花青素95%以上含量。黑米中的花青素含量，一般以Cy-3-Glu及Pn-3-Glu為主(Shao et al., 2014; Sompong et al., 2011b)。圖二為稻米中常見之花青素結構(Deng et al., 2013)。一般而言，B環中羥基愈多則該結構極性愈大，甲基愈多則極性愈小。花青素具水溶性，可作為天然色素，易受酸鹼值與溫度等影響而改變其呈色。



Anthocyanin	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
Cyanidin	OH	H	OH	OH
Malvidin	OCH <sub>3</sub>	OCH <sub>3</sub>	OH	OH
Cyanidin 3-glucoside	OH	H	O-β-D-glucoside	OH
Peonidin 3-glucoside	OCH <sub>3</sub>	H	O-β-D-glucoside	OH
Cyanidin 3,5-diglucoside	OH	H	O-β-D-glucoside	O-β-D-glucoside
Pelargonidin 3,5-diglucoside	H	H	O-β-D-glucoside	O-β-D-glucoside
Cyanidin 3-rutinoside	OH	H	O-rutinoside	OH

圖二、有色米中花青素之結構。

Figure 2. Chemical structure of several anthocyanins in pigmented rice.

花青素屬多酚類化合物，具有重要的生物功能。研究指出，含花青素之有色米，具有效的抗氧化物質，可減低由氧化壓力所造成之疾病發生率，並可增進食品中之顏色與風味(Chung and Shin, 2007)。在動物試驗中，從黑米所萃取出之花青素 Cy-3-Glu 及 Pn-3-Glu，可有效降低大鼠肝臟、心臟、主動脈與血漿中之總膽固



醇(TC)、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)與三酸甘油脂(TAG)，改善高血壓症狀 (Zawistowski et al., 2009)；也可抑制 NO 的形成和 ROS 所引起的超螺旋 DNA 結構斷裂(Hu et al., 2003)。而體外(*in vitro*)試驗發現，黑米中的花青素，可藉由抑制基質金屬蛋白酶 9 (MMP-9)和激酶纖維蛋白溶酶原活化體(u-PA)的表現，來抑制癌細胞的生長(Chen et al., 2006)。除此之外，花青素可抑制糖尿病所引起的白內障、抑制酒精性肝損傷(AID) (Hou et al., 2010)、降低氧化損傷、預防心血管疾病 (Xia et al., 2003)；Cy-3-Glu 可有效保護脂肪細胞避免 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 與 TNF- $\alpha$  所引起之胰島素阻抗(IR) (Guo et al., 2008)。表一為 Fardet et al. (2008)所整理出，以有色米進行體內試驗 (包含動物試驗和人體試驗)，其對於氧化壓力的生物指標 (僅列出有色米部分)。

帶有醣基之花青素結構相對較穩定，在 20-40 °C 下貯藏四個月，其含量並無顯著下降(Htwe et al., 2010)；但將黑米進行蒸煮、高壓蒸煮(Hiemori et al., 2009)或擠壓(Sompong et al., 2011a)，將使花青素含量流失，降解為較小之酚酸化物原兒茶素。此外，原兒茶素被視為花青素之代謝物，亦具有生物活性功能；研究發現，原兒茶素可在 Apo-E 小鼠中有效抑制早期動脈粥狀硬化進展(Wang et al., 2010)。

在 Laokuldilok et al. (2011)的研究中指出，有色米的麩皮較長白米具有較高的還原力。其麩皮中的抗氧化物質，穀維素( $\gamma$ -oryzal)佔 39-63%，酚酸類佔 33.43%。黑米中則以花青素佔抗氧化物質的 18-26%，其中 58-95%為 Cy-3-Glu。此外，在小麥麵粉中加入 5%的黑米麩皮，可顯著地增加氧化氫除力和抗氧化力。綜合以上，本論文研究選用太巴塢紅糯米與黑糯米，測定有色米中植物性化學物質含量，並將有色米穀粉以 30%及 51%的比例，取代小麥麵粉製成米麵條，測定米麵條中的總酚、總類黃酮及總花青素含量。

表一、有色米在體內試驗中的氧化壓力生物指標 (Fardet et al., 2008)

Table 1. In vivo studies (animal and human) with coloured rice and their effect on oxidative stress biomarkers (Fardet et al., 2008)



Cereal products tested	Control diet	Model	Pro-oxidative treatment	Study duration	Antioxidant markers
<i>Animal studies</i>					
<b>Coloured rice</b>					
White, black or red rice powder (30 g/100 g diet)	Normal diet	Male New Zealand White rabbits (6–8/group)	High-cholesterol diet (0.5 g/100 g)	10 wks	Black and red rices ↑ liver total antioxidant capacity and erythrocyte SOD, and ↓ liver reactive oxygen species and aortic MDA
Red or black rice	White rice	Rats (3–8/group)	Renal tubular damage induced by ferric nitrilotriacetate (Fe-NTA)	6 days followed by Fe-NTA injection	Kidney catalase ↑ after 6 days of black rice without Fe-NTA injection, kidney TBARS ↑ with white rice not with coloured rices after Fe-NTA injection
White or black rice outer layer fractions (5 g/100 g diet)	Normal diet	Male New Zealand White rabbits (8/group)	High-cholesterol diet (0.5 g cholesterol/100 g and 3.5 g lard/100 g diet)	60 days	Black rice outer layer fraction ↓ aortic 8-OHdG, serum and aorta MDA, and no difference for serum vitamin E and erythrocyte and aorta SOD
White or black rice outer layer fractions (5 g/100 g diet)	AIN-93G diet	Normal (C57BL/6J) and apoE-deficient mice (15/group)	ApoE-deficient mice	16 wks	Black rice outer layer fraction ↓ antioxidantized LDL antibody titre
Black rice extract (5%)	Control without black rice extract	Male C57BL/6J mice (11/group)		10 wks	↓ plasma TBARS, ↑ hepatic SOD and CAT
Brown and/or black rice powder (50%)	White rice powder (50%)	40 male rats (10/group)		8 wks	↓ liver TBARS, no change in liver SOD and CAT, and ↑ liver glutathione and GSH-Px
Anthocyanin-rich extract from black rice (300 mg/kg/d)	AIN-93G diet	30 male apoE deficient mice (10/group)	ApoE-deficient mice	20 wks	No effect on total serum antioxidant capacity
Anthocyanin-rich extract from black rice (5 g/kg of high-fructose diet)	AIN-93G purified chow diet	60 male Sprague–Dawley rats (12/group)	High-fructose diet (63 g/100 g)	8 wks	↓ plasma TBARS and oxidized glutathione (GSSG), no change in plasma glutathione

## 第二節、濕熱處理 (Heat-moisture Treatment)



濕熱處理(Heat-moisture Treatment, *hmt*)為一種物理修飾，相較於化學修飾更為自然且安全。濕熱處理包括以低水分含量於高溫環境進行加熱，水分含量範圍可為 10-35%，溫度範圍為 90-120 °C，時間範圍為 15 分鐘至 16 小時。

一般而言，濕熱處理所造成澱粉結構與性質之變化隨澱粉來源與直鏈澱粉含量而異。根據研究指出，相較於根莖類澱粉，濕熱處理對豆科或穀物澱粉所造成之影響較大(Gunaratne and Hoover, 2002)。而將馬鈴薯、樹薯澱粉(Gunaratne and Hoover, 2002)、米澱粉(Horndok and Noomborn, 2007)、高粱澱粉(Olayinka et al., 2008)或玉米澱粉(Chung et al., 2009)進行濕熱處理，均可見其膨潤力下降。而膨潤力下降之因，包括在濕熱處理過程中，澱粉顆粒的結晶度(crystallinity)增加、水合度(hydration)降低、直鏈澱粉與支鏈澱粉的交互作用、分子內鍵結增強、直鏈澱粉與脂質形成複合物，與澱粉的結晶區發生重排等(Zavareze and Dias, 2011)。濕熱處理對於澱粉溶解度的影響則不一。對班巴拉花生(bambara groundnut)澱粉進行濕熱處理，於 60-90 °C 下，均可見其溶解度下降(Adebowale and Lawal, 2002)。濕熱處理造成澱粉膨潤力與溶解度下降的原因，是澱粉分子內部的重排，致使和其他官能基形成更多的交互作用(Hoover and Manuel, 1996)，而在澱粉顆粒內部產生更多雙股排列規整的支鏈澱粉側鏈叢與直鏈澱粉-脂質複合物(Olayinka et al., 2008; Tester and Morrison, 1990)。

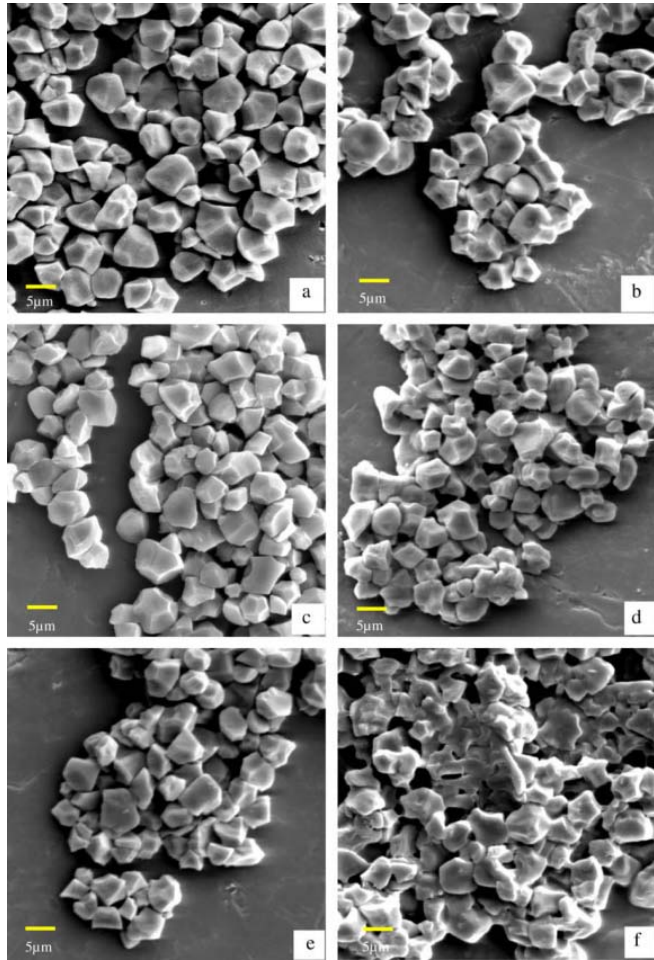
對米進行濕熱處理，將造成糊液黏度性質顯著的改變(Horndok and Noomhorm, 2007; Zavareze et al., 2010)。該研究指出，造成糊液黏度性質改變，主要原因是非結晶區中鏈間的交聯(cross link)，而使結晶度上升，且當濕熱處理的含水量上升時，此現象更為明顯。在 Arns et al. (2015)的研究中則指出，濕熱處理造成的糊化溫度上升，是因濕熱處理後，澱粉顆粒中鄰近的支鏈澱粉聯結被強化，而增進其結晶薄片(crystalline lamella)結構。

Olayinka et al. (2008)對高粱澱粉進行濕熱處理發現，當澱粉的水分含量增多(18-27%)時，糊化溫度上升，且最高黏度下降。此外，崩解黏度與回凝程度顯著降低。造成這些現象的主要原因是，分子內的鍵結力增強，而使得澱粉需要更多的熱才可崩解形成糊液。而濕熱處理使得崩解黏度降低，則是澱粉對於連續熱與攪

動更加穩定(Adebowale et al., 2005; Hormdok and Noomhorm, 2007; Olayinka et al., 2008; Watcharatewinkul et al., 2009)。Zavareze et al. (2010) 分別對高直鏈、中直鏈與低直鏈澱粉進行濕熱處理(水分含量 15%、20%及 25%)，發現高直鏈的影響最大；其糊化溫度提高，而尖峰黏度、崩解黏度、最終黏度與回凝黏度均降低。並且，在外觀形態上，低直鏈澱粉含量的米澱粉經過濕熱處理(25%)後，在掃描式電子顯微鏡底下發現失去其結構完整性，澱粉顆粒表面亦擴張延伸，如圖三所示；但濕熱處理對高直鏈與中直鏈澱粉，僅些微造成澱粉顆粒表面不規則與結塊。此現象在澱粉濕熱處理時含較高的水分含量(25%)時發生，因較高的水分含量較亦使部分糊化的情形發生而造成外觀形態的改變。Dutta and Mahanta (2012)的研究中，對不同直鏈澱粉含量的稻米進行預蒸煮(parboiling)。在低直鏈澱粉含量(直鏈澱粉含量 1.1%)的兩種稻米中，以 100 °C 進行預蒸煮 10、15 與 20 分鐘後，其糊液黏度特性之尖峰黏度均顯著升高，作者指出此乃因支鏈澱粉的影響。而以 120 °C 進行蒸煮 10、15 及 20 分鐘後，則見糊化溫度顯著降低，且尖峰黏度的升高趨勢比 100 °C 蒸煮時略低或比預蒸煮前些微下降。

濕熱處理對於澱粉糊化的影響，可由熱性質分析得知。濕熱處理將影響澱粉熱性質分析中的起始溫度( $T_0$ )、尖峰溫度( $T_p$ )、終止溫度( $T_c$ )與熱焓值( $\Delta H$ )；其影響程度因濕熱處理程度、澱粉來源與直鏈澱粉含量而異。研究發現，對馬鈴薯澱粉、樹薯澱粉、山藥(true yam)澱粉(Gunaratne and Hoover, 2002)，以及玉米澱粉(Chung and Shin, 2007; Hoover and Manuel, 1996; Maache-Rezzoug et al., 2008)、美人蕉(Watcharatewinkul et al., 2009)等進行濕熱處理後，其  $T_0$ 、 $T_p$  與  $T_c$  均上升，且隨熱與水量之增加，上升情形更為明顯。而造成此現象的原因，是濕熱處理過程中，造成澱粉結構上的改變，包括直鏈澱粉-直鏈澱粉，與直鏈澱粉-脂質的交互作用(Hoover and Vasanthan, 1993)。Adebowale et al. (2009)的研究指出，糊化過程中，結晶區的熔化與雙股螺旋解開，可由非結晶區的水合與膨潤力決定。當非結晶區膨潤時，將帶給結晶區外力，而使結晶區的 polymer chain 由結晶區釋出。而濕熱處理將減低非結晶區分子的移動能力，因此需要更高的溫度才可膨潤，並使結晶區崩解，因而擁有較高的  $T_0$ 、 $T_p$  與  $T_c$ 。而對於濕熱處理造成熱焓值的下降，Gunaratne and Hoover (2002)的研究指出，其原因為濕熱處理造成結晶區與非結晶區中，雙股螺旋的崩解所致。然而，Hormdok and Noomhorm (2007)的研究則認為，濕熱處理

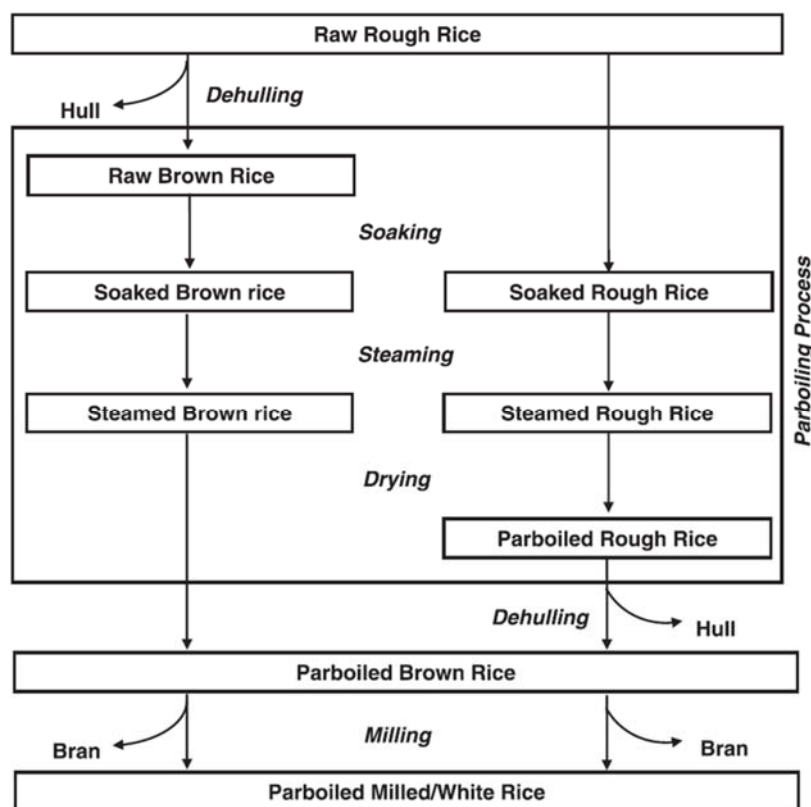
將造成直鏈澱粉與支鏈澱粉的不穩定，而導致熱焓值下降。



圖三、米澱粉之掃描式電子顯微鏡影像；未濕熱處理之高直鏈澱粉 (a)；濕熱處理 (25%含水量)之高直鏈澱粉 (b)；未濕熱處理之中直鏈澱粉 (c)；濕熱處理 (25%含水量)之中直鏈澱粉 (d)；未濕熱處理之低直鏈澱粉 (e)；與濕熱處理 (25%含水量)之低直鏈澱粉 (f)。

Figure 3. Scanning electron micrographs of high-amylose native starch (a); high-amylose – HMT 25% (b); medium-amylose native starch (c); medium-amylose – HMT 25% (d); low-amylose native starch (e); and low-amylose – HMT 25% (f). (Zavareze et al., 2010)

在 Min et al. (2014)指出，預蒸煮(parboiling)是一種傳統的濕熱處理方法，包含了浸泡(soaking)、蒸煮 (steaming)和乾燥(drying)，其後再進行脫殼和磨粉。預蒸煮對蒸煮米的質地和特性造成的影響，包括其煮熟的預蒸煮米，整精米率(head rice yield)提高、顏色變暗、硬度提高、黏度下降，並具有更多營養物質(Buggenhout et al., 2013)。圖四為預蒸煮米從稻穀至米穀粉的製作步驟(Buggenhout et al., 2013)。



圖四、預蒸煮米從稻穀至米穀粉的製作步驟 (Buggenhout et al., 2013)。

Figure 4. Steps in the conversion of rough rice to milled parboiled rice (Buggenhout et al., 2013).

在 Bhattacharya (2011) 中整理出預蒸煮對一般非糯性米和其產品造成的影響，包括浸泡時影響酵素和水溶性小分子，蒸煮時影響澱粉、脂肪、蛋白質等。本論文研究所選用的米種為糯性米種，濕熱處理所造成的影響可與之所比較。

在有色米的植物性化學物質之抗氧化功效研究中，多為針對未處理之有色米進行研究。然而，有色米中植物性化學物質的含量，會受到影響濕熱處理的影響。研究指出，將有色糙米和稻穀進行濕熱處理後，親脂性的抗氧化物含量提高，而水溶性部分總酚含量及抗氧化力均下降。然而，若以稻穀方式預蒸煮，則有助於維持水溶性抗氧化物質的含量 (Min et al., 2014)。此外，濕熱處理也可使麩皮上的植物性化學物質往內部移動，在有色米被精白後仍保有游離態酚類化合物含量 (Paiva et al., 2016)。

本論文研究中選用太巴壟紅糯米與黑糯米，探討「濕熱處理」對糯米理化性質的影響，以及濕熱處理後，有色米中植物性化學物質含量（包含總酚含量、總類黃酮含量及總花青素含量等）的變化趨勢。



### 第三節、小麥麵條與米麵條

東方式麵條(Asian noodles)主要以中國技術配合日本改良技術製造，並逐漸流傳於全球。若從含鹽組成區分，可區分為一般含鹽麵條(regular salted noodles)和黃鹼麵條(alkaline noodles)；若從製作方法區分，則可區分為新鮮麵條(fresh noodles)、乾麵條(dried noodles)、蒸煮麵條(steamed noodles)、熟麵條 (boiled noodles，可再分為半熟和全熟麵條)、冷凍／無菌熟麵條(frozen boiled noodles and sterilized boiled noodles)、蒸煮和油炸速食麵條(steamed and deep-fried instant noodles)和蒸煮和熱空氣乾燥麵條(steamed and hot-air dried noodles)等。一般麵條除以小麥麵粉製成，亦可由米、蕎麥等製成粉絲(starch noodles)、蕎麥麵(buckwheat noodles)和米粉(rice noodles)等。但因米、蕎麥缺乏穀蛋白(gluten)，在製作時需要將澱粉糊化使結合在一起，或者和小麥混合。因此穀蛋白的有無將決定製作的方法。一般麵條所需的材料為麵粉(flour)、水、鹽、含鹼物(alkaline reagents)(0.1-0.3%增進質地，或0.5-1.5%加強鹼味)、澱粉、油、改良劑和防腐劑等。麵條的製程則包含混合(mixing)、複合壓延成麵帶(sheeting)、切條(cutting)、乾燥(drying)、蒸煮(steaming)、油炸(frying)、水煮(boiling)、冷凍(freezing)等步驟(Fu, 2008)。

以一般小麥麵粉製成的麵條，含有灰分( $<0.4\%$ )、水分( $\leq 35\%$  on flour base)、鹽類(NaCl)或鹼性鹽(alkaline salt)(Kruger, 1996; Miskelly, 1996)。製作麵條時須將小麥麵粉、水、(鹼性)鹽、及蛋(若需要，適度)混合後複合為麵糰(Delcour and Hosney, 2010; Miskelly, 1996)。一般而言，製麵所需要的水分低於製麵包所需的水分；水分過多會使麵糰難以壓延(dough sheeting)，水分吸收過少則造成麵糰過硬而形成缺乏延展性的麵帶(less extensive noodle sheets)(Hatcher et al., 1999)。而麵粉中的直鏈澱粉(AM)與支鏈澱粉(AP)的比例、破損澱粉程度、膨潤及糊化性質，均將決定麵條質地(Delcour and Hosney, 2010; Kruger, 1996)。烹煮麵條時，若麵條表面的澱粉過度地被烹煮，將造成麵條表面過黏；相反地，若烹煮適當的時間，則可使麵條表面具有滑順口感(Delcour and Hosney, 2010)。為使麵條達到好的食用品質(eating quality)，一般選用尖峰黏度高、成糊溫度低且直鏈澱粉含量低的小麥麵粉來製作(Crosbie, 1991; Kruger, 1996)。



在以小麥麵粉之外的生物材料來源，製成麵條時，將改變其麵條性質。Choo and Aziz (2010)的研究指出，以青香蕉粉(green banana flour)30%取代小麥麵粉，對於麵條的纖維、抗性澱粉、酚類含量有正面的影響。在 Yoenyongbuddhagal and Noomhorm (2002)研究中指出，對米穀粉進行濕熱處理可增進義大利麵條(vermicelli)的品質。而除了以全麥或外添加纖維來製作麵條，若外添加纖維於米麵條，可改善其製程、烹煮品質和貯存狀態(Ross, 2013)。

此外，Hormdok and Noomhorm (2007)的研究亦指出，對米澱粉進行濕熱處理，將改善米麵條的質地。研究中對米澱粉進行濕熱處理（110 °C，1.5 小時，水分含量 20%）和 annealing（55 °C，24 小時）；其後將處理過的澱粉 50%取代未處理的澱粉，進行米麵條製作，發現以濕熱處理取代者，其麵條品質和市售麵條品質相仿。該研究推論可用米澱粉的糊液黏度特性與成膠性做為預測麵條品質的參數。在對米進行預蒸煮的過程中，冷卻和乾燥會使澱粉再交聯而形成直鏈澱粉結晶 (AM crystallites)(Lamberts et al., 2009)和老化支鏈澱粉(retrograded AP)(Derycke et al., 2005a; Mahanta et al., 1989; Ong and Blanshard, 1994)。因為 AP 的糊化溫度約在 50 °C，因此形成 AP crystallites 並不會影響煮熟米的質地；然而，AM 的糊化溫度大於 100 °C，因此會連帶影響煮熟米的質地。然而，這些需要進一步的研究。在的研究中發現，澱粉的崩解程度隨著預蒸煮溫度而提高，並影響預蒸煮米煮熟後的硬度(Mahanta et al., 1989; Ramesh et al., 1999)。此外，預蒸煮不僅影響米中澱粉的改變。Derycke et al. (2005b)的研究指出，預蒸煮將破壞蛋白質體，並有助於形成蛋白質的雙硫鍵鍵結，使得米在蒸煮的過程中，防止固形物流失，並造成吸水下降、硬度上升與黏度下降。

本試驗以糯性米穀粉 30%及 51%取代小麥麵粉，製作米麵條。因糯性米穀粉缺乏一般小麥麵粉所含有的穀蛋白，易缺乏直鏈澱粉含量，而期望以濕熱處理方式提高米麵條製作可行性，並提升米麵條之烹煮品質與質地。此外，模擬預拌粉的貨架期，將米穀粉與小麥麵粉配粉進行貯藏試驗，以瞭解貯藏期間各機能性成分變化與游離脂肪酸含量變化。

## 第三章、材料與方法



### 第一節、材料與試劑

#### 一、米穀粉及麵粉

本試驗所使用之有色米為 99 年第二期之花蓮太巴塢紅糯米(RW)及花蓮太巴塢黑糯米(BW)，購自花蓮光豐地區農會。

本試驗製作米麵條所使用之高筋小麥麵粉，購自洽發企業股份有限公司。活性麵筋(vital gluten)則由羅蓋特(Roquette)公司提供，其水分含量為 7.62%，粗蛋白含量為 62.70% (db)。

#### 二、試劑

膳食纖維含量測定之  $\alpha$ -amylase、protease 及 amyloglucosidase 購自 Megazyme (Wicklow, Ireland)，活性分別為 3000、3000 及 3260 U/mL。2-(N-morpholino)ethanesulfonic acid (MES)、tris(hydroxymethyl)aminomethane (TRIS)、兒茶素(catechin)、抗壞血酸(ascorbic acid)與阿魏酸(ferulic acid)購自 Sigma-Aldrich Inc. (Saint Louis, MO, USA)。其餘藥品為試藥級。

### 第二節、樣品製備及實驗設計

#### 一、稻米樣品製備

以脫殼機(THM-1, Long Good industry corp., Taiwan)去殼後之糙米為分析樣品。以小型磨粉機 (RT-02A, 裕勝光, 臺灣) 將糙米研磨後，過 40 mesh 篩網之米穀粉以雙層 PE 袋密封後，置於乾燥箱內備用。

#### 二、貯藏試驗

將紅糯米、黑糯米未處理與濕熱處理之米穀粉，30%及 51%米穀粉取代之配粉，置於真空包裝袋中，真空包裝後，分別置於 4 °C 及 25 °C 中，測定在貯藏 0-3 個月過程中，游離脂肪酸與機能性成分含量變化。



### 三、米穀濕熱處理試驗

分為浸泡、蒸煮與乾燥三階段。

#### 1. 浸泡 (Soaking)

取黑糯米或紅糯米之稻穀或糙米置於容器內，加入適量水量浸泡。稻穀加水量為稻穀重之 1.5 倍(w/w)；糙米加水量為糙米之飽和吸水量，紅糯米加水量為米重之 0.31 倍(w/w)，黑糯米加水量為米重之 0.33 倍(w/w)，採分次逐量噴灑。加入適當水量後，於 4 °C 下隔夜浸泡，使其吸水量達飽和，取出瀝乾 15 分鐘。

#### 2. 蒸煮 (Steaming)

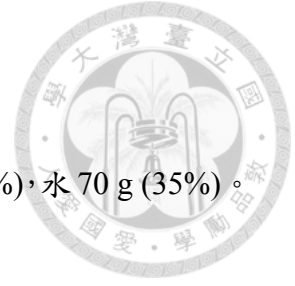
於 100 °C 下蒸煮 5、15 與 30 分鐘，並於同一蒸煮時間條件下，於容器內添加相對於米重之 0、0.1、0.3、0.4 與 0.5 倍之水量。

#### 3. 乾燥 (Drying)

參考並修飾自 Lai (2001)。將蒸穀米放入恆溫恆濕箱中(45 °C/70% RH)乾燥 15-16 小時，直至水分含量為 11-14%。

### 四、麵條製作

參考自Huang and Lai (2010)麵條製作方法。麵條製作可分為攪拌、複合、壓延、熟成與切條等5步驟。秤取200 g之配粉，以適當水量溶解5 g食鹽後攪拌並複合成麵糰，鬆弛30分鐘後整型一次，再鬆弛30分鐘後以壓麵機(中部電機，臺中，臺灣)於滾輪間距1 cm之設定下，反覆對摺並旋轉90°重複壓延8次。鬆弛60分鐘後，於相同滾輪間距下，再次摺疊，反覆壓延9次。鬆弛60分鐘後，逐漸調小間距以連續壓延，每次壓延厚度比不超過2/3，直至麵帶最終厚度為0.3 cm；每次壓延後均鬆弛30分鐘。以切麵刀(SK-207，中部電機，臺中，臺灣)將麵帶切為5 mm寬度之麵條。所製得之生麵條以30倍(w/w)微沸水烹煮，直至麵心消失為最適煮麵時間，撈起後立即以4 °C流水冷卻30秒，瀝乾備用。



## 五、麵條配方

### 1. 30%米穀粉取代米麵條

糯米穀粉 60 g (30%)，高筋小麥麵粉 140 g (70%)，鹽 5 g (2.5%)，水 70 g (35%)。

### 2. 51%米穀粉取代米麵條

糯米穀粉 102 g (51%)，高筋小麥麵粉 98 g (49%)，鹽 5 g。無添加活性麵筋者，水 70 g；兩種活性麵筋(vital gluten, v)添加量：7.2 g (3.6%)及 17.6 g (8.8%)，以分別達到與 30%米穀粉取代麵條及小麥麵條相近之蛋白質含量；因應活性麵筋之添加，前者之加水量調整為 75 g 而後者之加水量則為 76 g。添加 3.6%活性麵筋之代號為 v3.6，添加 8.8%之代號為 v8.8。

## 七、官能品評

採用嗜好性評分法(Hedonic scale test)，以九分制(nine point hedonic scale)進行。評分標準為：1 分為極差(very bad)，3 分為不滿意(unsatisfactory)，5 分為可接受(acceptable)，7 分為好(good)，及 9 分為極佳(very good)。第一次品評對象為未經受訓之 20~24 歲臺灣大學農化系學生，共 47 人。第二次品評對象為未經受訓之 26-60 歲臺灣大學教職員，共 72 人，以 10 歲為一年齡層進行分析，30 歲以下 27 人，31~40 歲 13 人，41~50 歲 18 人，51~60 歲 14 人。品評樣品為 30%米穀粉取代之黑糯米與紅糯米麵條各一種(W70BW 及 W70RW)及 51%米穀粉取代之黑糯米與紅糯米麵條各兩種(W49BWv8.8，W49rBW15v8.8，W49RWv8.8 及 W49rRW15v8.8)；黑糯米麵條與紅糯米麵條分別進行品評。品評項目包括色澤(color)、氣味(aroma)、風味(flavor)、彈性(springness)、硬度(hardness)、黏性(adhesiveness)與整體接受度(total acceptance)。官能品評評分表如表二所示。

## 八、掃描式電子顯微鏡(scanning electron microscope, SEM)觀察

將生麵條、熟麵條冷凍乾燥後，以液態氮冷凍後將其脆斷，固定於冷凍載臺上，以桌上型掃描式電子顯微鏡(SEM, TM-1000, Hitachi Ltd., Tokyo, Japan)觀察斷面結構。

表二、官能品評評分表

Table 2. Sensory evaluation table for colored rice noodles.

品評員編號：\_\_\_\_\_

請針對下列各項屬性，於評分空格內勾選☑。評分標準：每項最高 9 分，最低 1 分。1 分為極差(very bad)，3 分為不滿意(unsatisfactory)，5 分為可接受(acceptable)，7 分為佳(good)，9 分為極佳(very good)。

樣品編號：

項目	1 極差	2	3 不 滿意	4	5 接受	6	7 佳	8	9 極佳
色澤 (Color)									
氣味 (Aroma)									
風味 (Flavor)									
彈性 (Springiness)									
硬度 (Hardness)									
黏性 (Adhesiveness)									
整體接受度 (Total Acceptance)									



### 第三節、分析方法

#### 一、一般成分分析

一般成分依照AACC標準分析方法(AACC, 2000)進行。

##### 1. 水分含量測定

依據AACC Method 44-15A (Air-Oven Method)方法，採一階段乾燥方式。稱取2.5 g 樣品粉末，置於已稱重之乾燥鋁盤內，於130 °C下烘乾兩小時後，置於乾燥皿中，冷卻後稱重。以樣品減少之重量為水分含量，以百分比表之。

##### 2. 灰分含量

依據AACC Method 08-01 (Ash-Basic Method )方法測定。精稱2.0 g烘乾樣品於預灰化處理後之坩堝內，於灰化爐中250 °C下碳化2小時，再於500 °C下灰化24小時，冷卻後稱重。灰分含量以百分比表之。

##### 3. 粗脂肪含量

依據AACC Method 30-25 (Crude Fat in Wheat, Corn, and Soy Flour, Feed, and Mixed Feeds)方法測定。精稱2.5 g烘乾之樣品，以烘乾濾紙包捲後置於脂肪抽提器中，抽提器置於45 °C水浴中，以無水乙醚中萃取16小時，以5-10 °C之95% 乙醇迴流冷凝。將抽提瓶置於100 °C烘箱乾燥30分鐘，冷卻至室溫後稱重。粗脂肪含量以百分比表之。

##### 4. 粗蛋白含量

依據 AACC Method 46-12 (Crude Protein-Kjeldahl Method, Boric Acid Modification)方法，稱取0.5 g烘乾之樣品與1.0 g觸媒劑( $5\text{H}_2\text{O}\cdot\text{CuSO}_4\cdot\text{K}_2\text{SO}_4 = 1:10$ , w/w)於稱量紙上，包妥後置於Kjeldahl蛋白質分解管中，加入25 mL濃硫酸，於分解爐(Tecator Model 2008 Digester, Foss Tecator, Höganäs, Sweden)以360 °C加熱分解至澄清，靜置冷卻。分解液移至蒸餾裝置(Tecator Model 1002 Distillator, Foss Tecator, Höganäs, Sweden)中，加入30% NaOH至溶液呈鹼性，以0.1 N之硫酸為吸

收劑進行蒸餾；再以已標定濃度之氫氧化鈉滴定，計算其氮含量並轉換為粗蛋白質含量。蛋白質轉換係數，小麥為5.7，米穀粉為5.9。



## 5. 膳食纖維含量

參考AACC Method 32-07 (Soluble, Insoluble, and Total Dietary Fiber in Foods and Food Products)方法。秤取1.0 g乾燥去脂樣品，加入40 mL MES TRIS (pH 8.2) 緩衝溶液與100  $\mu$ L  $\alpha$ -amylase (Megazyme E-BLAAM, 300 U/mL)，於95-100  $^{\circ}$ C水浴中震盪反應45分鐘，冷卻至60  $^{\circ}$ C並添加100  $\mu$ L protease (Megazyme E-BSPRT, 3000 U/mL)，再於60  $^{\circ}$ C水浴中震盪反應35分鐘後，調整溶液pH值至4.0-4.7，加入200  $\mu$ L amyloglucosidase (Megazyme E-AMGDF, 3260 U/mL)，60  $^{\circ}$ C反應35分鐘後，以抽氣過濾裝置(Fibertec System E, Foss Tecator, Sweden)進行過濾。預灰化過之玻璃坩堝上鋪層0.5 g矽藻土。殘留固體經70 $^{\circ}$ C蒸餾水、78及95%乙醇清洗乾燥後為不可溶性膳食纖維(IDF)測定樣品，濾液以60  $^{\circ}$ C, 95%乙醇沉澱1小時後過濾，重複上述之清洗、乾燥步驟，可得為可溶性膳食纖維(SDF)。坩堝以烘箱乾燥，冷卻後秤重，膳食纖維殘渣連同矽藻土分別測定其粗蛋白質和灰分含量，以扣除樣品中之粗蛋白質和灰分含量。

## 6. 游離脂肪酸含量測定

參考Lowry and Tinsley (1976)及Kwon and Rhee (1986)方法。取0.3 g米穀粉或配粉，以1.8 mL 正己烷於室溫下震盪(900 rpm)萃取 5 min，離心(3000 rpm，5分鐘)後取0.8 mL上清液於預先秤重之2 mL微量離心管中，待溶劑揮發後，秤重並計算油脂重；另取0.8 mL上清液，加入copper-pyridine試劑(5% cupric acetate (w/v), pH 6.1)，震盪後離心(3000 rpm，1分鐘)後，測量715 nm波長下之吸光值。以油酸為標準品制定檢量線，計算游離脂肪酸含量(goleic acid equiv/100 g lipid)。

## 二、多酚類化合物分析

### 1. 萃取條件

參考並修飾自 Walter et al. (2013) 及 Jun et al. (2012)方法。將 0.3 g 米穀粉樣品

置於 50 mL 超高速離心管中，以 15 mL 80% 甲醇室溫下萃取 1 小時，離心(300 rpm、10 min)後收集上清液；殘餘物再以 15 mL 酸化甲醇(pH 2.0)於室溫下萃取 1 小時，離心(300 rpm、10 min)後收集上清液；殘餘物再以 40% 丙酮 15 mL 於室溫下萃取一小時，離心(1000 g、10 min)後收集上清液。合併三次上清液，過濾後以定容瓶定容至 50 mL，進行多酚類化合物含量分析。

## 2. 總酚含量測定

參考自 Taga et al. (1984) 方法。取 50  $\mu$ L 樣品萃取液，加入 50  $\mu$ L 50% Folin-Ciocalteu's phenol reagent，混合均勻後靜置 5 分鐘；再加入 1 mL 2% 碳酸鈉溶液，混合均勻後於室溫下避光靜置 30 分鐘，測量 750 nm 波長下之吸光值。以 ferulic acid 為標準品，計算其當量(mg ferulic acid equiv/g, db)。

## 3. 總類黃酮含量測定

參考自 Saikia et al. (2012) 和 Zhishen et al. (1999) 方法，取 1 mL 樣品萃取液，加入 4 mL 蒸餾水與 0.3 mL 5%  $\text{NaNO}_2$ ，6 分鐘後加入 0.3 mL 10%  $\text{AlCl}_3$  溶液反應 1 分鐘，加入 2 mL 1 N  $\text{NaOH}$  與 2.4 mL 蒸餾水混合稀釋，測量 510 nm 波長下之吸光值，以 catechin 為標準品，計算其當量(mg catechin equiv/g, db)。

## 4. 總花青素含量測定

參考自 Fuleki and Francis (1968) 和 Lin and Lai (2011) 方法，以 pH-differential method 進行測定。取 0.4 mL 樣品萃取液，分別以 0.025 M  $\text{KCl}$  緩衝溶液(pH 1.0)及 0.4 M  $\text{CH}_3\text{COONa}$  緩衝溶液(pH 4.5)定容至 2 mL，混勻後避光 15 分鐘，測量 510 nm 及 700 nm 波長下之吸光值。依下列公式計算總花青素含量：

$$\text{花青素含量(mg/g)} = (A \times 449.2 \times \text{DF} \times V) / (26900 \times l \times W)$$

其中

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$$

DF = 稀釋倍數(dilution factor)

V = 定容體積 (50 mL)





449.2 = cyanidin-3-glucoside之分子量

26900 ( $L\ cm^{-1}\ mol^{-1}$ ) = Cy3Glc 之消光係數( $\epsilon$ , extinction coefficient)

$l$  = Path length (1 cm)

$W$  = 樣品乾重(g)

### 三、米穀粉與配粉糊液黏度性質測定

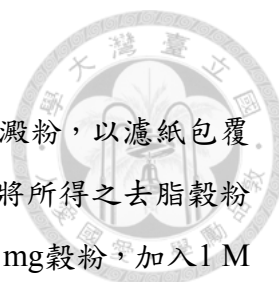
精秤2.5 g米穀粉或配粉(30%及51%米穀粉取代)(db)，放入已秤好適量蒸餾水之鋁杯中，使總重達25 g，以玻璃棒均勻攪拌後，立即以快速糊液黏度測定儀(RVA-4, Newport Scientific, Warriewood, Australia)進行測試，測試條件如表三所示。測定結果包含成糊化溫度(pasting temperature, PT)、尖峰黏度(peak viscosity, PV)、熱糊黏度(trough, T)、最終黏度(final viscosity, FV)、崩解黏度(breakdown, BkD = PV-T)及回凝黏度(setback, SB = FV-PV)。

表三、快速糊液黏度測定之條件設定

Time scale (min)	temperature ( $^{\circ}C$ )	speed (rpm)
0	35	960
1/6	35	160
1	35	160
21	95	160
31	95	160
46	50	160
48	50	160

### 四、熱性質分析

精秤2.5 mg (db)米穀粉於示差掃描熱分析儀專用鋁盤中，加入適量蒸餾水使其水量為乾基之2.5倍，平衡4小時後，以調幅式示差掃描熱分析儀(MDSC 2910, TA Instruments Inc., New Castle, DE, USA)進行熱性質分析。將樣品及參考盤(空盤)依序置於MDSC爐內，升溫條件設定為：升溫速率 $5\ ^{\circ}C/min$ ，溫度範圍自 $5\ ^{\circ}C$ 升溫至 $120\ ^{\circ}C$ ，溫度振幅 $\pm 1\ ^{\circ}C$ 、週期40秒，記錄MDSC曲線之起始溫度(onset temperature,  $T_o$ )、尖峰溫度(peak temperature,  $T_p$ )、熱焓值(transition enthalpy,  $\Delta H$ )及終止溫度(conclusion temperature,  $T_c$ )。2-3重複，取其平均值。



## 五、直鏈澱粉含量測定

以澱粉-碘液親和性呈色法測定(Chrastil, 1987)。秤取約0.5 g澱粉，以濾紙包覆後連同濾紙筒放入索式萃取裝置，以75% n-propanol萃取7 hr。將所得之去脂穀粉置於105 °C烘箱乾燥3 hr後，於乾燥皿內冷卻30分鐘；從中秤取9 mg穀粉，加入1 M NaOH 1 mL，於4 °C靜置隔夜。加入85 °C 蒸餾水2mL，於85 °C恆溫水浴加熱10分鐘，震盪攪拌使澱粉完全溶出。分別取0.1mL標準溶液與樣品溶液於試管內，加入0.5% Trichloroacetic acid (TCA)溶液後，加入0.01 N I<sub>2</sub>-KI溶液50 μL，均勻混合後避光靜置30分鐘，測量於620 nm波長之吸光值。以市售蓬萊米澱粉劃分之純化直鏈澱粉與台中私糯劃分之純化支鏈澱粉為標準品，繪製標準曲線。

## 六、麵條烹煮性質測定

### 1. 麵條水分含量測定

以 AACC Method 44-15(Air-Oven Method)二階段水分乾燥方法測定麵條水分含量。將麵條置於 40-45 °C 烘箱放置 24 小時，再於 105 °C 下乾燥至恆重。

### 2. 烹煮損失率

參考自 Lee et al. (1998)方法，取 2 L 蒸餾水煮沸，放入 10 條已秤重之 30 cm × 5 mm × 3 mm 麵條，於蒸餾水保持微沸下進行麵條烹煮，至最適烹煮時間後將麵條撈出，將煮麵水於 105 °C 下烘乾至恆重，依下列公式計算烹煮損失率。

Cooking loss (%) =

$[\text{Residue in cooking water (g)} / \text{noodle weight before cooking (g)}] \times 100\%$

### 3. 麵條吸水率與膨脹度

將熟麵條重量扣除麵條乾重，除以麵條乾重所得為麵條吸水率(water absorption)。並參考自 Lai and Hwang (2004)之方法，以游標卡尺測量生麵條與熟麵條之長、寬、厚度，將熟麵條測得值除以生麵條測得值，所得即為麵條長、寬、厚度之膨脹度(degree of swelling)。每次取十條測量。



## 七、麵條質地測定

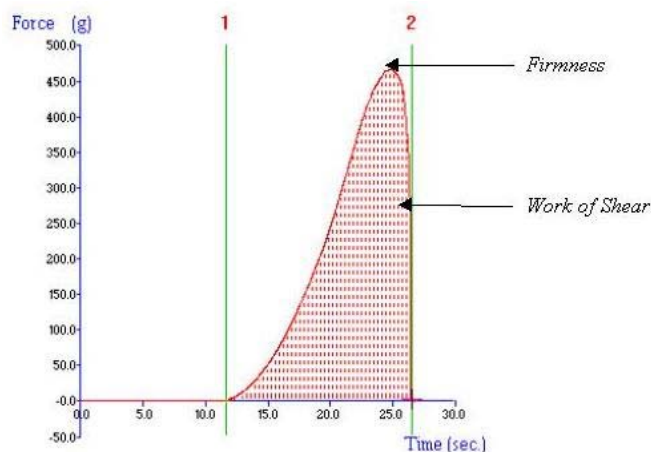
### 1. 熟麵條堅實度

參考自 AACC Method 16-50 (Cooking Characteristics)方法測定麵條的堅實度。利用質地分析儀(TA-XT2i, Stable Micro systems, Surrey, UK)進行測試，探頭為 1 mm 寬的有機玻璃刀具(A/LKB-F)，相鄰放置 5 條麵條於刀具軸向中心下方，開始測試。麵條煮熟後 15 分鐘內測定完畢，10 重複。測定最大正向力為麵條堅實度 (firmness)；正向作用面積(work of shear)為功，定義為咀嚼性(chewiness)；最大作用力／斷裂時間為柔軟度(tenderness)。質地分析儀(TA)測試設定如表四，測定圖如圖五。

表四、熟麵條堅實度測定條件

Table 4. The determination conditions for cooked noodles firmness

Load cell	5 kg
Probe	A/LKB-F
Test Mode	Measure Force in Compression
Option	Return to start
Pre Test Speed	2.0 mm/s
Test Speed	0.2 mm/s
Post Test Speed	0.2 mm/s
Distance	90 %
Trigger	Auto - 5 g



圖五、熟麵條堅實度測定示意圖。

Figure 5. The diagram of noodle firmness measurement.

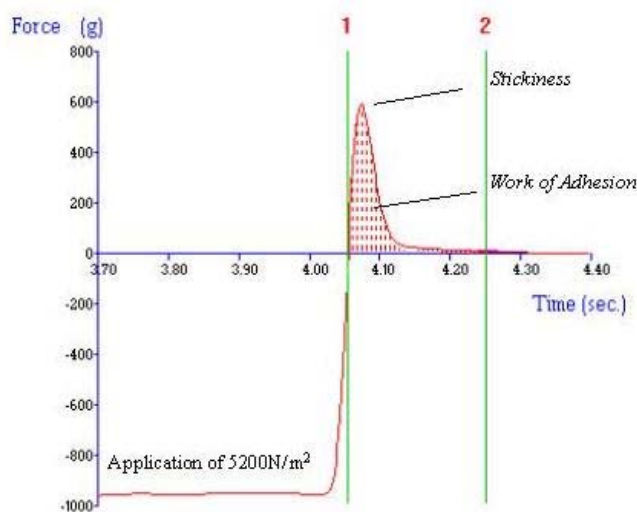
## 2. 熟麵條黏著性

利用質地分析儀進行測試，探頭為 HDP/PFS。將麵條的黏性測試裝置放在承重平臺上，矩形探頭放置在力量感應元上，放低探頭至支撐平臺上，調整承重平臺位置後固定。將相鄰 5 條麵條放置在支撐平臺上（麵條長度需長於夾具且短於平臺），固定夾具，開始黏性測試。麵條煮熟後 15 分鐘內測定完畢，4 重複。測定最大正向力為黏著力(adhesiveness)。TA 測試設定如表五，測定圖如圖六。

表五、熟麵條黏著性測定設定

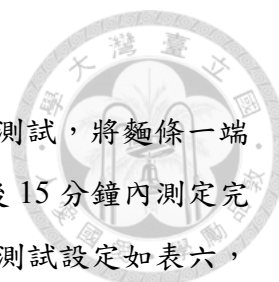
Table 5. The determination conditions for cooked noodles adhesiveness

Load cell	5 kg
Probe	HDP/PFS
Load-bearing platform	HDP/90
Test Mode	Adhesive Test
Option	Return to start
Pre Test Speed	1.0 mm/s
Test Speed	0.2 mm/s
Post Test Speed	0.2 mm/s
Pressure	500 g
Pressure time	2 sec
Distance	30.0 mm
Trigger	Auto - 20 g



圖六、麵條黏性測定示意圖。

Figure 6. The diagram of noodle stickiness measurement.



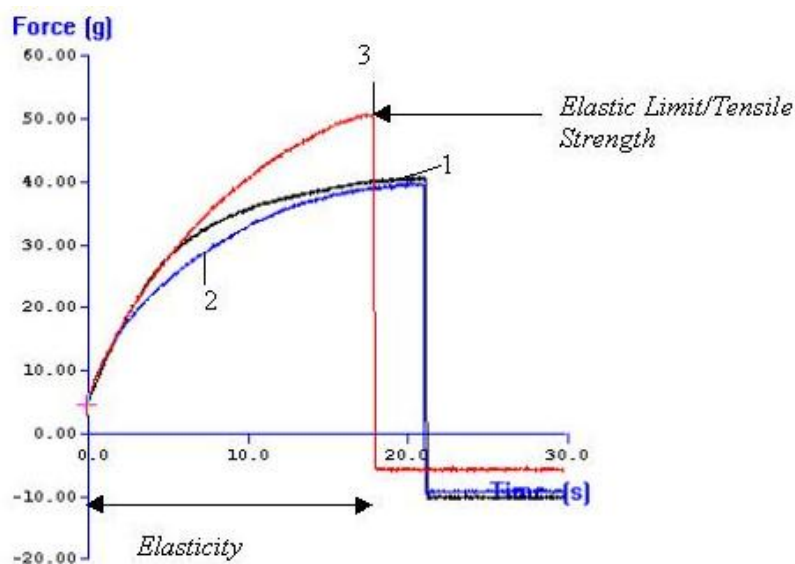
### 3. 熟麵條抗拉伸強度

利用質地分析儀進行測試，探頭為 A/SPR。麵條單條進行測試，將麵條一端繞過探頭，另一端繞過下端夾具，固定後進行測試。麵條煮熟後 15 分鐘內測定完畢，10 重複。測定最大正向力為抗拉伸強度(tensile strength)。TA 測試設定如表六，測定圖如圖七。

表六、熟麵條抗拉伸強度測定設定

Table 6. The determination conditions for cooked noodles tensile strength

Load cell	5 kg
Probe	A/SPR
Test Mode	Measure Force in Tension
Option	Return to start
Pre Test Speed	1.0 mm/s
Test Speed	3.0 mm/s
Post Test Speed	10.0 mm/s
Distance	100.0 mm
Trigger	Auto - 5 g



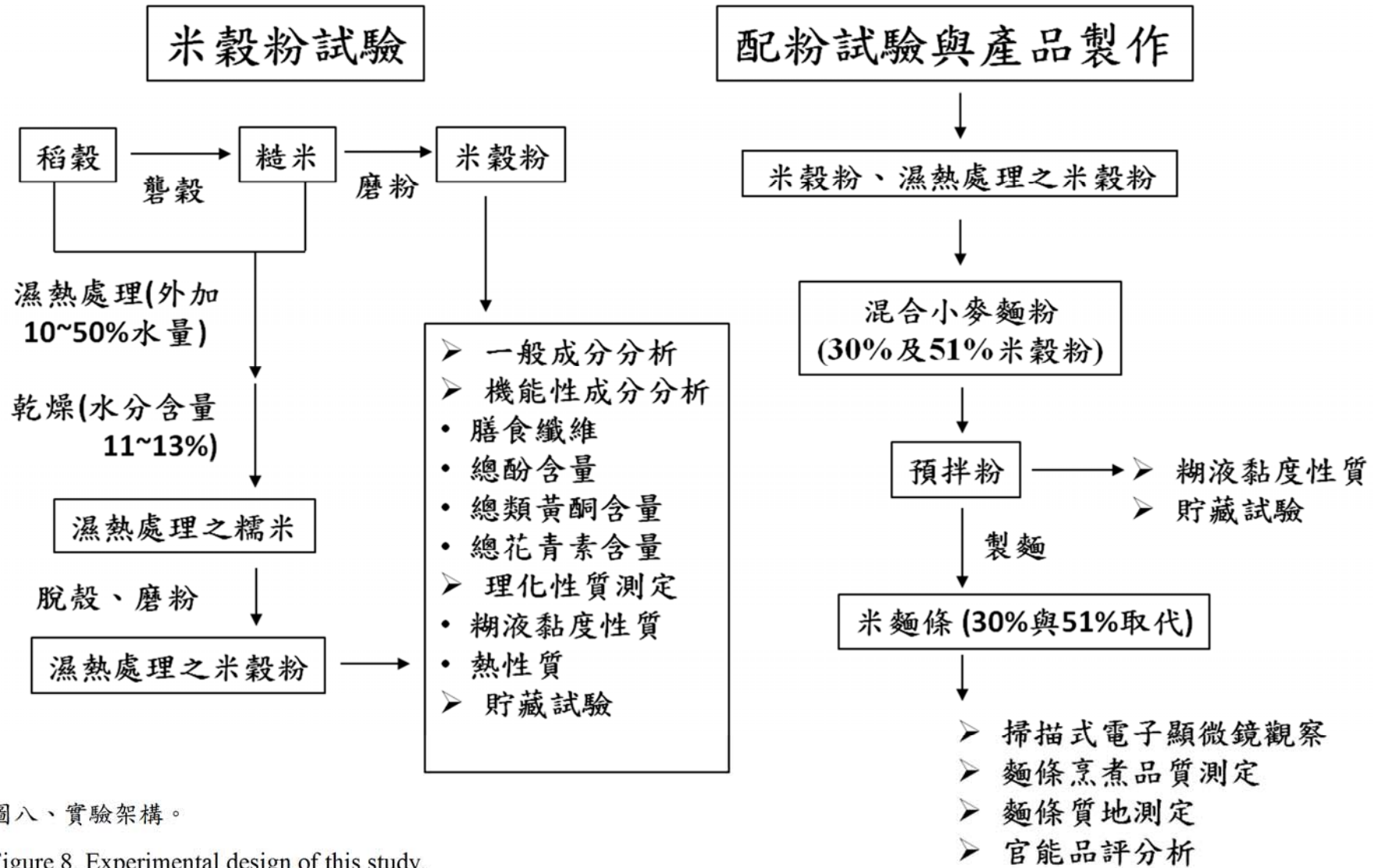
圖七、麵條抗拉伸度測定示意圖。

Figure 7. The diagram of noodle tensile strength measurement.

## 八、統計分析

本試驗結果以 Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., Cary, NC)軟體進行 ANOVA(analysis of variance)與 Duncan's New Multiple-Range Test 統計分析，比較是否具顯著性差異( $p < 0.05$ )。





圖八、實驗架構。

Figure 8. Experimental design of this study.

## 第四章、結果與討論



### 第一節、一般成分含量

本試驗所使用之黑糯米及紅糯米一般成分如表七，兩者之水分、灰分、粗脂肪、粗蛋白與膳食纖維含量上差異不大，其視直鏈澱粉含量均為0%。

麵條製作所使用之小麥麵粉，其水分含量為13.14%，粗蛋白含量為12.68% (db)。活性麵筋之水分含量為7.62%，粗蛋白含量為62.70% (db)。

### 第二節、濕熱處理之米穀粉理化性質

#### 一、米穀外觀

紅糯米及黑糯米分別以糙米或稻穀形式，經濕熱處理後，其外觀照片如圖九、圖十及圖十一所示。由外觀可見，本試驗所選用之紅糯米屬於粳糯（圓糯），黑糯米則屬於秈糯（長糯）。紅糯米經濕熱處理後，紅色色澤偏深、暗，且外皮皺縮；當濕熱處理過程中加水量增加時，趨勢更為顯著。推測因浸泡過程中，糯米吸水膨脹將外皮部分撐起；再經濕熱處理並調整水分至 11-14%時，水分含量減少而體積減小，造成外皮皺縮。而若以稻穀型式進行濕熱處理，則因稻穀之保護，色澤變化趨勢較為緩和。黑糯米進行濕熱處理後，外觀變化與紅糯米趨勢相同，濕熱處理過程中所添加之水分含量高時，外皮皺縮並微裂。紅糯米與黑糯米經濕熱處理後，水分含量介於 11-14%之間，如表八與表九所示。Bhattacharya (2011)指出，隨著濕熱處理的程度增強，米的顏色也會隨之變深；變深的程度為紅色大於黃色偏光向度，而紅色與黑色向度相當。而 Kim et al. (2014)的研究指出，隨著濕熱處理的程度增強，米麩皮的顏色會隨之變深，可能是梅納反應所造成。然而，亦有學者認為此為非梅納反應的呈褐色化(Oli et al., 2014)。在 Buggenhout et al. (2013)的研究中指出，在預蒸煮米浸泡的過程中，吸水將造成稻穀、米粒上的裂縫，而乾燥的過程中，脫水也會造成裂縫，這些均將影響含水量。





表七、紅糯米與黑糯米之一般成分

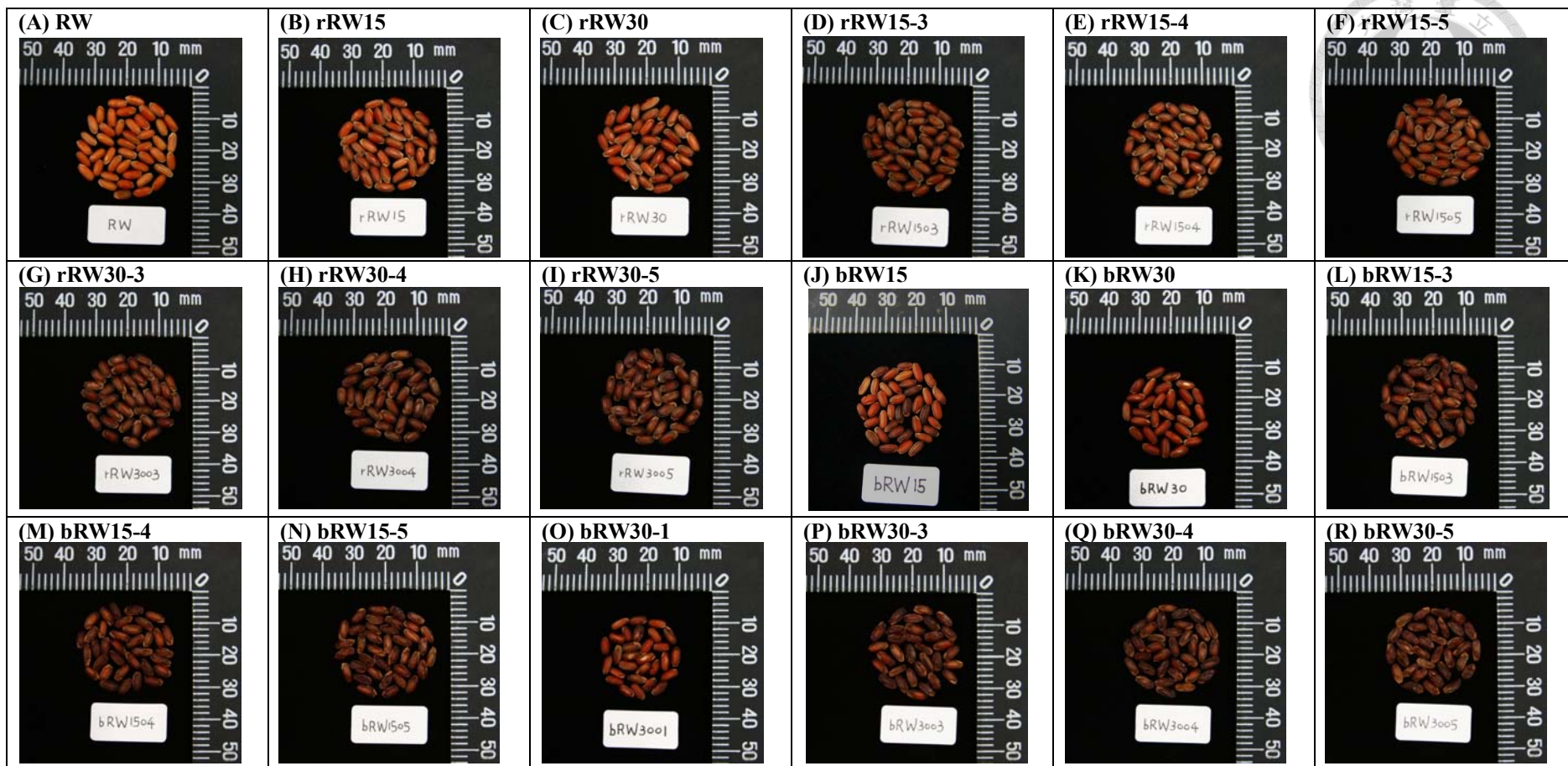
Table 7. Proximate composition of red and black waxy rice

Sample	Moisture content (%)	Ash	Crude lipid	Crude protein	Dietary Fiber <sup>1</sup>			Amylose content <sup>2</sup> (%)
					SDF	IDF	TDF	
(%, db)								
RW	13.97±0.06	1.72±0.03	3.20±0.10	8.88±0.06	0.26±0.08	4.02±0.16	4.28±0.12	0
BW	13.99±0.08	1.53±0.01	3.67±0.09	8.60±0.07	0.22±0.03	4.11±0.08	4.33±0.07	0

Data expressed as mean±SD.

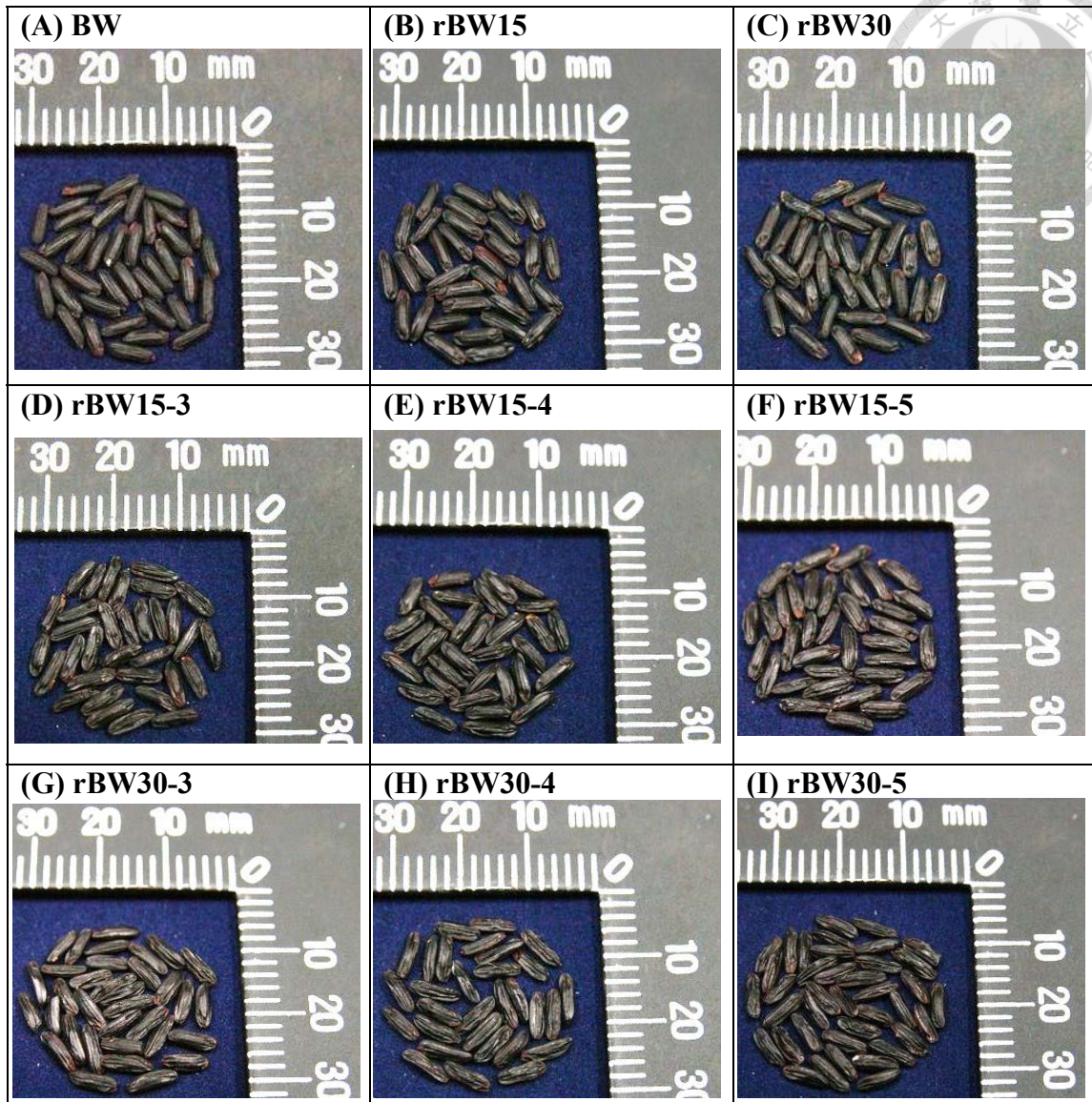
<sup>1</sup> SDF, IDF and TDF are the abbreviations of soluble, insoluble and total dietary fiber, respectively.

<sup>2</sup> Based on total starch.



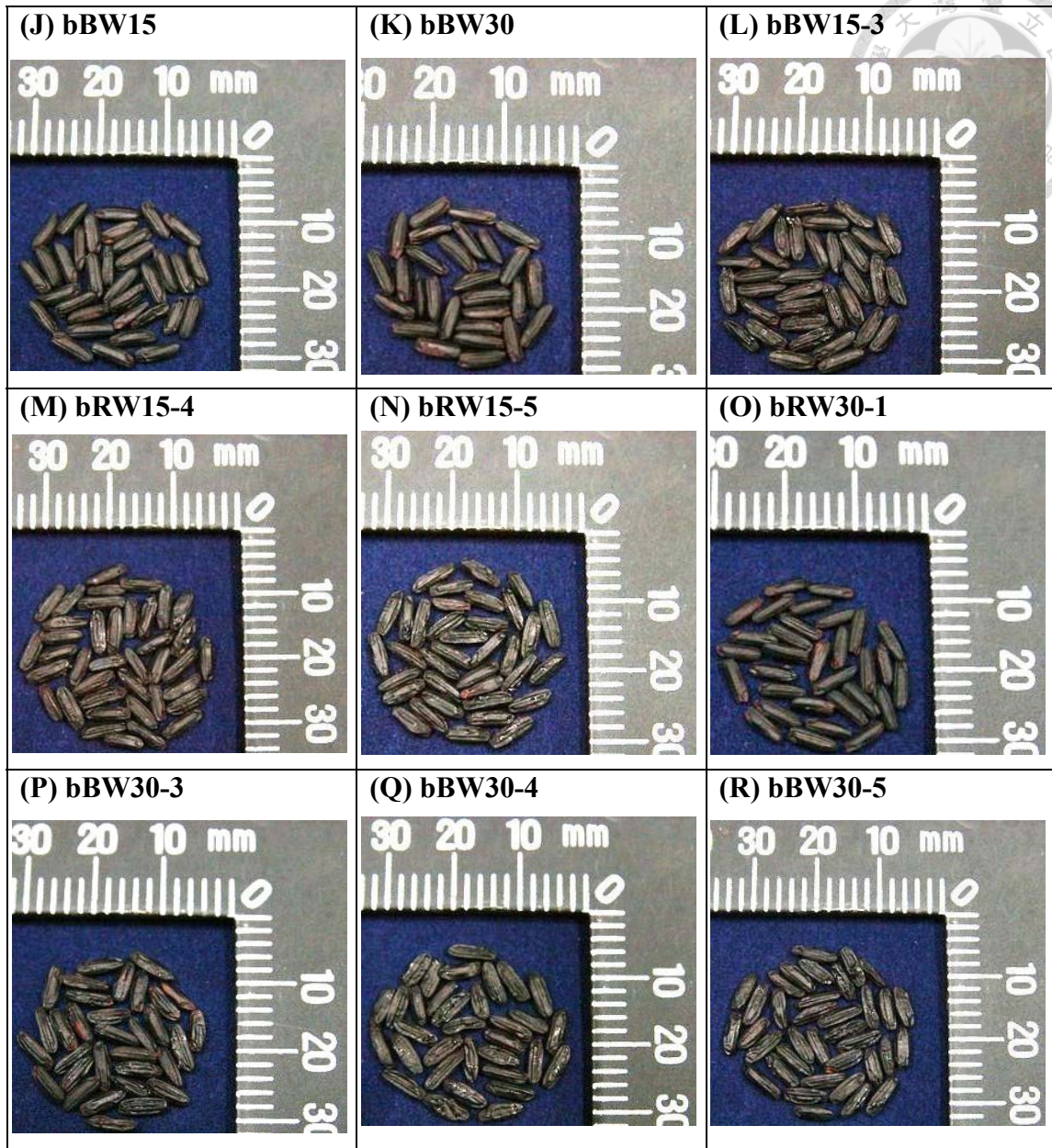
圖九、紅糯稻穀及糙米經濕熱處理後之紅糯糙米外觀照片。

Figure 9. Pictures of heat-moisture treated red waxy rice; RW: original red waxy rice, bRW: *hmt* brown RW, rRW: *hmt* rough RW, dehulled, RWxx-y, xx and y indicated the heating time and one tenth ratio of water addition based on the rice weight during *hmt*.



圖十、黑糯稻穀經濕熱處理後之黑糯糙米外觀照片。

Figure 10. Pictures of heat-moisture treated rough black waxy rice; BW: original black waxy rice, rBW: *hmt* rough BW, dehulled, BW $_{xx-y}$ ,  $xx$  and  $y$  indicated the heating time and one tenth ratio of water addition based on the rice weight.



圖十一、黑糯糙米經濕熱處理後之外觀照片。

Figure 11. Pictures of heat-moisture treated brown black waxy rice; BW: original black waxy rice, BWxx-y, xx and y indicated the heating time and one tenth ratio of water addition based on the rice weight.

表八、紅糯米經濕熱處理之米穀粉水分含量

Table 8. Moisture content of heat-moisture treated red waxy rice flour <sup>1</sup>

Sample	Moisture content (%)	Samples	Moistures content (%)
<b>bRW5</b>	12.94±0.08	<b>rRW5</b>	13.47±0.10
<b>bRW15</b>	12.53±0.22	<b>rRW15</b>	12.81±0.05
<b>bRW15-3</b>	11.86±0.06	<b>rRW15-3</b>	12.52±0.04
<b>bRW15-4</b>	12.03±0.01	<b>rRW15-4</b>	12.59±0.05
<b>bRW15-5</b>	12.64±0.05	<b>rRW15-5</b>	12.30±0.00
<b>bRW30</b>	12.07±0.07	<b>rRW30</b>	11.93±0.05
<b>bRW30-3</b>	11.82±0.03	<b>rRW30-3</b>	12.79±0.00
<b>bRW30-4</b>	11.61±0.04	<b>rRW30-4</b>	12.07±0.06
<b>bRW30-5</b>	11.74±0.19	<b>rRW30-5</b>	11.86±0.16

Data expressed as mean±SD.

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

表九、黑糯米經濕熱處理之米穀粉水分含量

Table 9. Moisture content of heat-moisture treated black waxy rice flour <sup>1</sup>

Sample	Moisture content (%)	Samples	Moisture content (%)
<b>bBW5</b>	13.07±0.08	<b>rBW5</b>	12.94±0.03
<b>bBW15</b>	13.70±0.04	<b>rBW15</b>	12.94±0.04
<b>bBW15-3</b>	11.70±0.01	<b>rBW15-3</b>	11.98±0.03
<b>bBW15-4</b>	11.63±0.25	<b>rBW15-4</b>	11.91±0.06
<b>bBW15-5</b>	11.66±0.05	<b>rBW15-5</b>	12.01±0.02
<b>bBW30</b>	11.39±0.01	<b>rBW30</b>	11.71±0.09
<b>bBW30-3</b>	11.89±0.04	<b>rBW30-3</b>	11.99±0.13
<b>bBW30-4</b>	11.61±0.03	<b>rBW30-4</b>	12.07±0.06
<b>bBW30-5</b>	11.35±0.82	<b>rBW30-5</b>	12.01±0.14

Data expressed as mean±SD.


<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .



## 二、糊液黏度性質

紅糯米濕熱處理後，其連續糊液黏度變化圖如圖十二與圖十三所示；圖十二為紅糯米以糙米形式進行濕熱處理結果，圖十三為以稻穀形式進行濕熱處理結果。當紅糯米濕熱處理 5 分鐘後，可見最高黏度迅速提升，由未處理前之 1001 (cps) 上升至 1998 (cps)；濕熱處理 15 分鐘與 30 分鐘後，最高黏度亦維持在 2262 與 2213 (cps)，顯示濕熱處理 5-30 分鐘時，不論處理時間長短，均可使 PV 值提升。此外，濕熱處理 5-30 分鐘後，糊液黏度之 T、BkD 與 FV 亦顯著提升，Trough 由 512 (cps) 提升至 1121 (cps)，BkD 由 489 (cps) 提升至 1231 (cps)，FV 由 755 (cps) 提升至 1583 (cps)，SB 由 243 (cps) 提升至 492 (cps)，如表十所示；顯示紅糯米經濕熱處理後，在糊液黏度測定上糊化較慢（較高之 PT）、吸水力較強（較高的 PV），其後的成膠性較佳（較高的 FV 與 SB）。此外，當濕熱處理時間由 5 分鐘延長為 15 與 30 分鐘時，FV 可由 1270 (cps) 提升至 1523 與 1583 (cps)，可知濕熱處理 15 分鐘以上，可提供較佳之糊液黏度特性。因此，可預期若以濕熱處理後之紅糯米進行米麵條之製作，可提升其吸水力與成糰性，並使麵糰之操作性提升。

本論文試驗中，將 2.5 mM  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  取代蒸餾水，加入未濕熱處理之樣品中進行 RVA 測定，則見 PV、T、BkD、FV 與 SB 均上升，且與濕熱處理過之結果一致，如圖十四所示。一般而言， $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  可在 RVA 測定中作為 alpha-amylase 的抑制劑，證實穀粉中的內生性 amylase 作用，避免酵素干擾糊液黏度特性之測定 (Abdel-aal et al., 2002; Collado and Corke, 1999)。因此，本論文試驗中加入  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  可證實 amylase 的作用會使 PV 值等降低。在 Zhu et al. (2010) 研究中，將三種糯性米穀粉進行 RVA 測試，固性物含量為 10%，升溫條件為 50-90-50 °C 下，米穀粉之 PV 值在 1000-2800 (cps) 之間，若將 RVA 溶液以 0.5 mM  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  取代，則可見 PV 提升至 3000-3500 (cps) 之間，與本試驗有相同之趨勢。此外，本試驗中若以  $\text{AgNO}_3(\text{aq})$  取代蒸餾水，所得之 PV、T、FV 與 BkD、SB 值，均較濕熱處理後之值略微高出 50-300 (cps)，顯示濕熱處理 5-30 分鐘可能無法使所有的酵素活性失活，但可使大部分之酵素活性失活。因此，本試驗中，濕熱處理中之高溫處理，可使大部分之 amylase 等酵素失活，而可預期在麵條製作上有較佳之成形性，並具有較長之穀粉貯存期。



濕熱處理過程中，若添加相對於米重之 0.1-0.5 倍水量於盛裝糙米之有蓋容器中，在 RVA 測試中，有不同的糊液黏度性質，如表十所示。在添加 0.1 倍水量，濕熱處理 30 分鐘樣品中，bRW15-1 的 PV 值與 PT 值與未添加水量者相比無變化，但添加 0.3 倍水量時，濕熱處理 15 分鐘樣品中，bRW15-3 的 PT 明顯下降，於測定 5 分鐘即有黏度顯示，如圖十二(A)；而添加 0.3 倍水量、濕熱處理 30 分鐘樣品中，bRW30-3 除了 PT 明顯下降外，其 Trough 值亦略為下降，如圖十二(B)所示，此現象指出在濕熱處理過程中，添加水量達 0.3 倍起，水分將加速澱粉之糊化，澱粉亦較容易崩解，使得 PT 值與 T 值下降。在濕熱處理中添加 0.4 倍與 0.5 倍水量時，此現象更趨明顯，可由更低之 PT 值，與 bRW30-4 和 bRW30-5 明顯下降之 PV 值得知；此時，在相同的加水量下，PV 的下降程度以濕熱處理 30 分鐘較 15 分鐘更加明顯。自添加 0.3 倍水量起，糊液黏度曲線呈現雙峰值，顯示濕熱處理過程中已造成澱粉部分糊化，而在 RVA 測定中迅速達到第一峰值，而未糊化部分則使曲線達第二峰值。

將紅糯米以稻穀形式進行濕熱處理，5-30 分鐘的濕熱處理時間，均可使 PV、T、FV 等值提升，且不受添加水量之影響，可推測因濕熱處理時，以稻穀形式進行，稻穀達到了保護的作用，而減緩濕熱處理時水分對糊化程度之影響力。此外，此組試驗中，除濕熱處理時未添加水分之 rRW5 與 rRW15 外，其餘樣品之 PT 均略微上升 2 °C，推測較長的濕熱處理時間（30 分鐘）與濕熱處理時添加 0.3 倍以上的水量，可能使分子內部發生重排，而造成 PT 值上升。

將黑糯米進行濕熱處理後，糊液黏度特性如圖十五及十六所示。和紅糯米趨勢相同的是，以糙米形式進行濕熱處理後之樣品，其 PV、T、FV 等值均上升，且與濕熱處理後之紅糯米相仿。而未經處理之黑糯米，其 PV、T、FV 等值，較未經處理之紅糯米低，推測為米種之不同，黑糯米中的酵素活性較強所致。在濕熱處理過程中，添加相對於米重之 0.3-0.5 倍水量時，不論處理 15 或 30 分鐘，PV 值均隨水量之加增而更加下降，由原先 bBW15 的 PV 值 1904 (cps) 降至 bBW15-5 的 PV 值 1505 (cps)；bBW30 的 PV 值 1922 (cps) 降至 bBW30-5 的 PV 值 1333 (cps)，下降程度較同加水量下之紅糯米明顯，顯示黑糯米在濕熱處理過程中，較紅糯米易受水分影響。在 bBW30-4 與 bBW30-5 樣品中，除可見雙峰值特性，其 FV 亦較其他相同加水量之樣品低，此亦顯示黑糯米在濕熱處理過程中較易受水分影響。

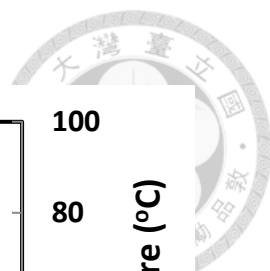
此試驗之黑糯米屬於長糯，外形較細長易脆，而所選用之紅糯米屬於圓糯，外形較寬而硬，因此在濕熱處理過程中，黑糯米可能因此較紅糯米易受到水分與熱之影響。

將黑糯米以稻穀形式進行濕熱處理，不添加水量的情形下，處理 5、15 及 30 分鐘之結果，與以糙米形式進行濕熱處理之結果相仿。在 15 分鐘處理下，當添加水量達 0.3-0.5 倍時，PT 值略為變動，在圖十六(A)中，比未添加水分者較早出現黏度值，但仍維持單一 PV 峰值；在 30 分鐘處理下，當添加水量達 0.3-0.5 倍時，水分的影響較 15 分鐘時更為劇烈，由迅速下降之 PT 與 PV 值可知，澱粉已部分糊化，且形成雙峰 PV 值特性。當同樣以稻穀形式進行濕熱處理時，糊液黏度特性顯示，黑糯米比紅糯米易受濕熱處理期間之水分影響，黑糯米雖亦有稻穀之保護，但因形狀偏細長，仍較紅糯米易受水分影響而糊化。

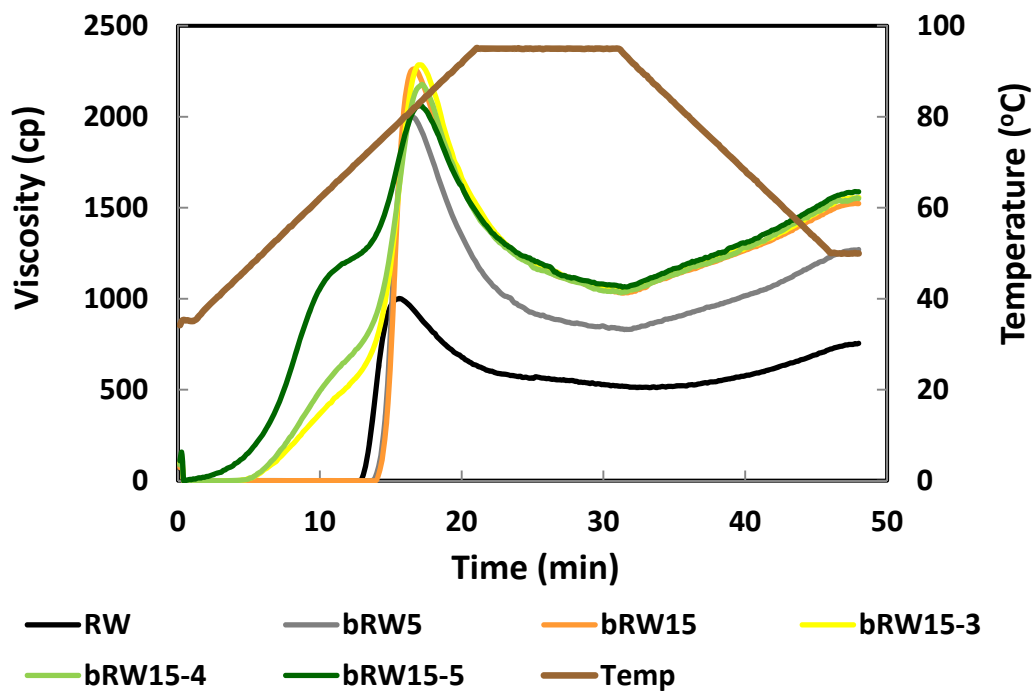
#### 小結

由糊液黏度測定結果可知，濕熱處理後使米穀粉中酵素活性失活並造成部分糊化，造成 PV 與 FV 上升，預期可能改善米麵條製程上之操作性，加強麵糰之成糰性。濕熱處理後使 PT 值提升，推測可能因澱粉分子內部發生重排，可藉由熱性質分析進一步瞭解。以稻穀形式進行濕熱處理，稻穀可保護其內部結構減緩濕熱處理中熱與水分之影響；合併考慮濕熱處理時之方便性，以稻穀形式進行濕熱處理 15 分鐘，可達到方便與經濟之效能。

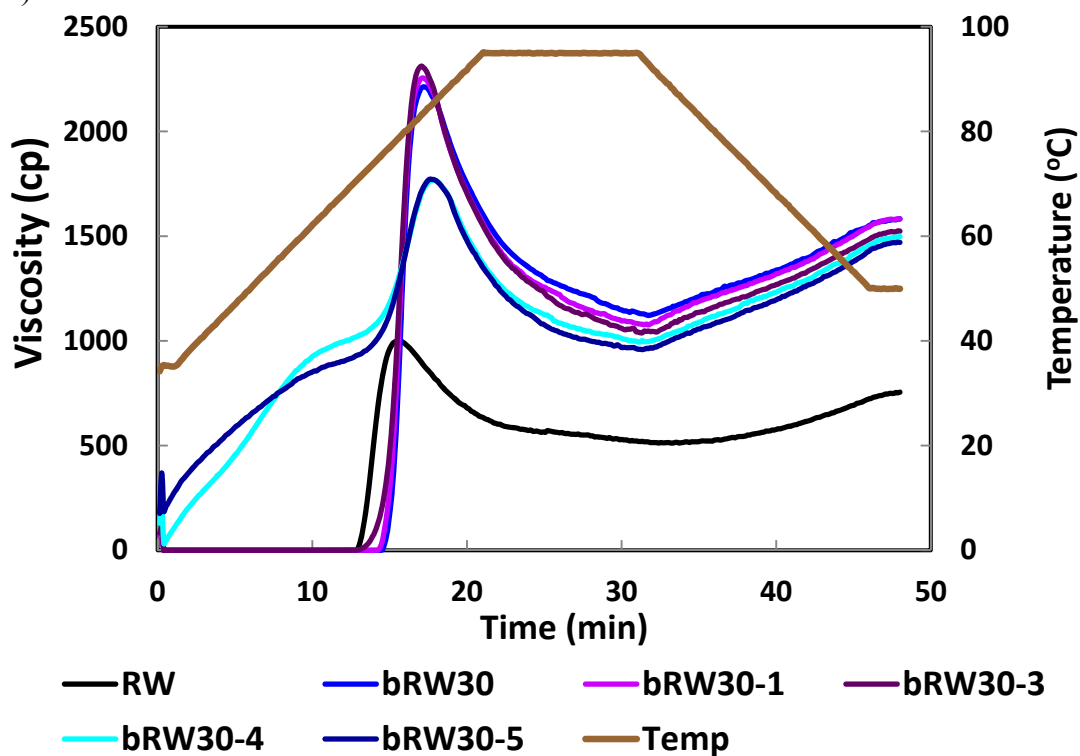




(A)

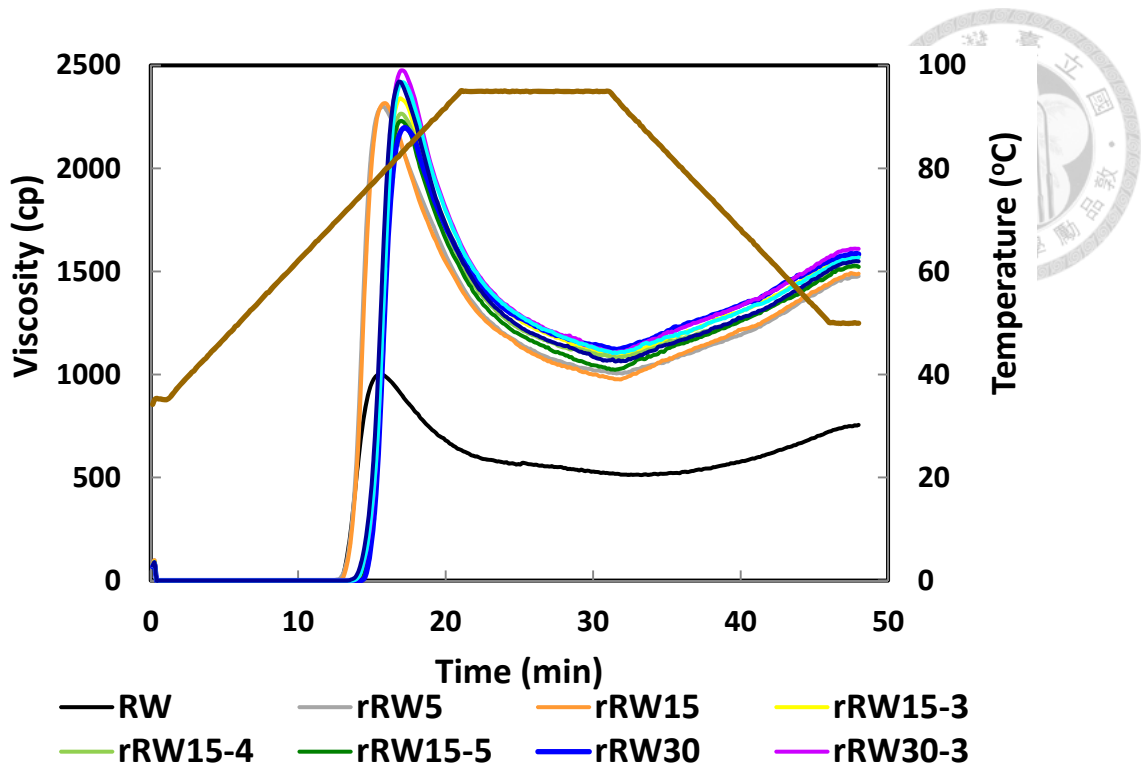


(B)

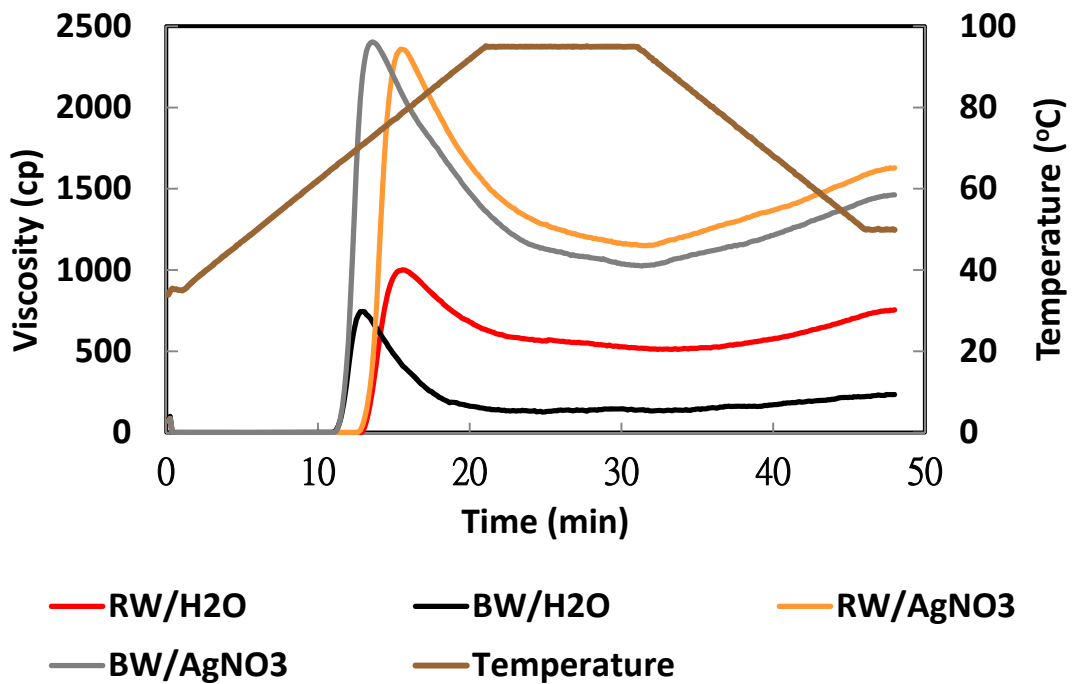


圖十二、紅糯糙米經濕熱處理之穀粉糊液黏度變化圖；(A) 濕熱處理 5 及 15 分鐘及(B) 濕熱處理 30 分鐘。

Figure 12. Viscograms of *hmt* brown red waxy rice flour; (A) heat-moisture treatment 5 and 15 mins, (B) heat-moisture treatment 30 min.



圖十三、紅糯稻穀經濕熱處理之米穀粉糊液黏度變化圖。  
Figure 13. Viscograms of *hmt* rough red waxy rice flour.



圖十四、米穀粉溶於蒸餾水與 2.5 mM AgNO<sub>3</sub> 溶液之糊液黏度變化圖。  
Figure 14. Viscograms of rice flours in water and 2.5 mM AgNO<sub>3(aq)</sub>.

表十、濕熱處理紅糯米穀粉之糊液黏度性質

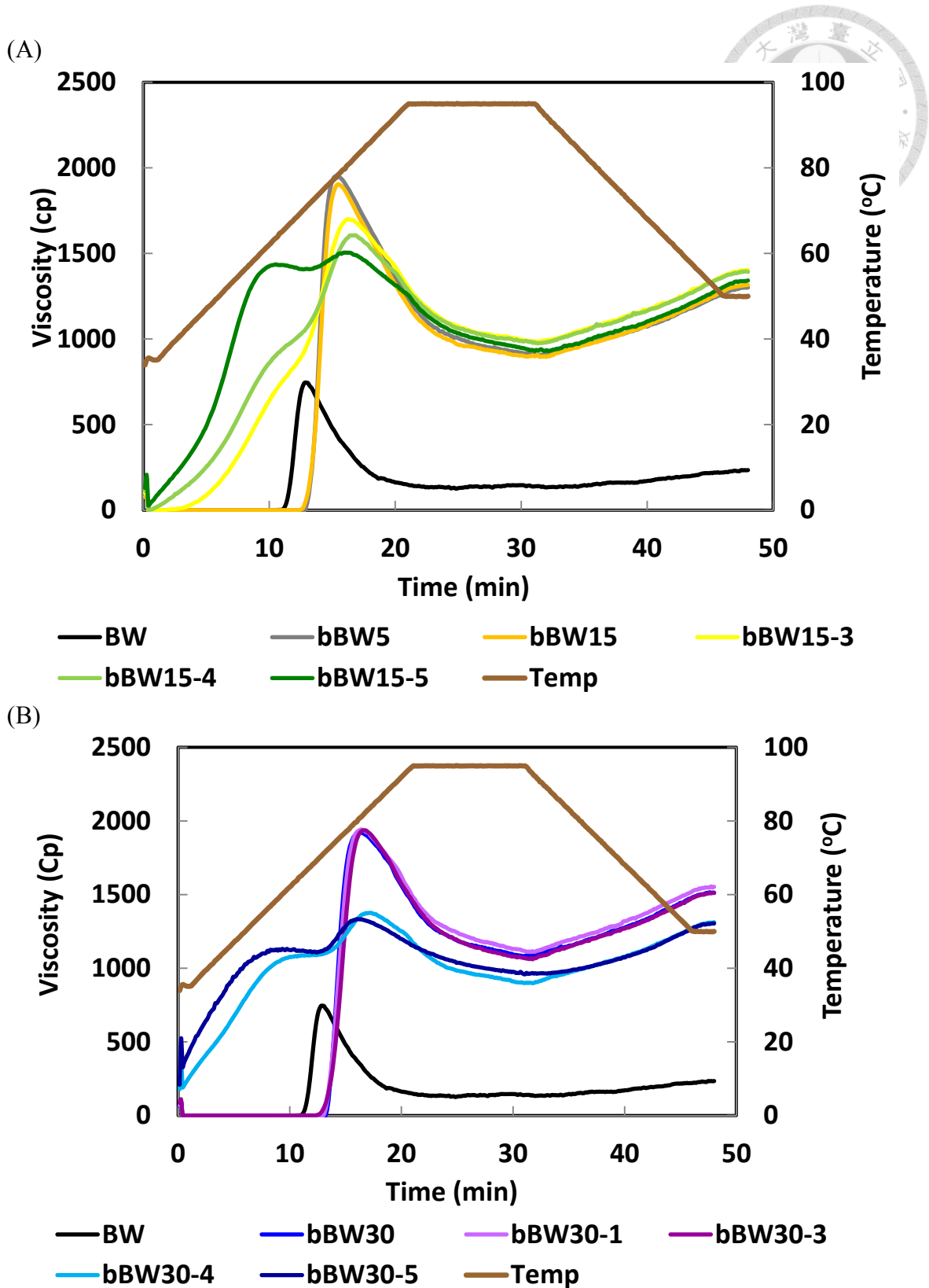
Table 10. Pasting property of heat-moisture treated red waxy rice flour<sup>1</sup>

Samples	PT (°C)	PV (cps)	Trough (cps)	BkD (cps)	FV (cps)	SB (cps)
<b>RW</b>	71.00	1003.5±3.5 <sup>k</sup>	509.0±4.2 <sup>j</sup>	494.5±7.8 <sup>j</sup>	748.0±9.9 <sup>k</sup>	239.0±5.7 <sup>g</sup>
<b>bRW5</b>	73.40	1995.5±3.5 <sup>i</sup>	822.0±12.7 <sup>i</sup>	1173.5±9.2 <sup>de</sup>	1273.5±4.9 <sup>j</sup>	451.5±17.7 <sup>f</sup>
<b>bRW15</b>	74.25	2292.0±42.4 <sup>cd</sup>	1039.0±11.3 <sup>e</sup>	1253.0±31.1 <sup>b</sup>	1550.0±38.2 <sup>def</sup>	511.0±26.9 <sup>abc</sup>
<b>bRW15-3</b>	50.00	2265.5±27.6 <sup>de</sup>	1037.5±4.9 <sup>e</sup>	1228.0±22.7 <sup>bc</sup>	1538.0±26.9 <sup>ef</sup>	500.5±21.9 <sup>abcd</sup>
<b>bRW15-4</b>	48.60	2176.5±0.7 <sup>g</sup>	1039.5±9.2 <sup>e</sup>	1137.0±9.9 <sup>ef</sup>	1553.5±3.5 <sup>cdef</sup>	514.0±5.7 <sup>abc</sup>
<b>bRW15-5</b>	43.80	2045.5±21.9 <sup>h</sup>	1059.5±6.4 <sup>cde</sup>	986.0±15.6 <sup>h</sup>	1582.5±7.8 <sup>bcd</sup>	523.0±1.4 <sup>a</sup>
<b>bRW30</b>	75.85	2211.5±2.1 <sup>fg</sup>	1109.5±16.2 <sup>ab</sup>	1102.0±14.1 <sup>fg</sup>	1592.5±13.4 <sup>bc</sup>	483.0±29.7 <sup>bcd</sup>
<b>bRW30-1</b>	75.05	2256.0±1.4 <sup>de</sup>	1085.0±12.7 <sup>bcd</sup>	1171.0±11.3 <sup>de</sup>	1584.0±4.2 <sup>bcd</sup>	499.0±8.5 <sup>abcd</sup>
<b>bRW30-3</b>	72.98	2284.5±38.9 <sup>cd</sup>	1028.5±13.4 <sup>ef</sup>	1256.0±25.5 <sup>b</sup>	1526.5±3.5 <sup>fg</sup>	498.0±17.0 <sup>abcde</sup>
<b>bRW30-4</b>	35.00	1768.0±1.4 <sup>j</sup>	995.5±2.1 <sup>g</sup>	772.5±0.7 <sup>i</sup>	1499.0±1.4 <sup>gh</sup>	503.5±0.7 <sup>abc</sup>
<b>bRW30-5</b>	35.00	1766.5±7.8 <sup>j</sup>	948.5±13.4 <sup>h</sup>	818.0±5.7 <sup>i</sup>	1467.5±3.5 <sup>hi</sup>	519.0±9.9 <sup>ab</sup>
<b>rRW5</b>	70.65	2297.5±3.5 <sup>cd</sup>	985.5±27.6 <sup>gh</sup>	1312.0±24.0 <sup>a</sup>	1463.5±19.1 <sup>hi</sup>	478.0±8.5 <sup>cdef</sup>
<b>rRW15</b>	71.43	2384.0±46.7 <sup>cd</sup>	961.0±21.2 <sup>gh</sup>	1323.0±25.4 <sup>a</sup>	1459.0±42.4 <sup>i</sup>	498.0±21.2 <sup>abcde</sup>
<b>rRW15-3</b>	74.58	2328.0±17.0 <sup>bc</sup>	1091.5±4.9 <sup>bcd</sup>	1236.5±21.9 <sup>bc</sup>	1584.0±14.1 <sup>bcd</sup>	492.5±9.2 <sup>abcde</sup>
<b>rRW15-4</b>	75.43	2259.0±8.5 <sup>de</sup>	1053.5±40.3 <sup>de</sup>	1205.5±31.8 <sup>bcd</sup>	1514.5±13.4 <sup>fg</sup>	461.0±26.9 <sup>def</sup>
<b>rRW15-5</b>	75.05	2224.0±8.5 <sup>ef</sup>	1033.5±14.8 <sup>ef</sup>	1290.5±23.3 <sup>cd</sup>	1527.0±7.1 <sup>fg</sup>	493.5±7.8 <sup>abcde</sup>
<b>rRW30</b>	75.38	2195.5±3.5 <sup>fg</sup>	1111.5±12.0 <sup>ab</sup>	1084.0±8.5 <sup>g</sup>	1570.5±19.0 <sup>cde</sup>	459.0±7.1 <sup>ef</sup>
<b>rRW30-3</b>	73.85	2464.0±17.0 <sup>a</sup>	1136.0±41.0 <sup>a</sup>	1328.0±58.0 <sup>a</sup>	1620.0±14.1 <sup>ab</sup>	484.0±26.9 <sup>abcde</sup>
<b>rRW30-4</b>	74.20	2430.0±17.0 <sup>a</sup>	1095.5±12.0 <sup>bc</sup>	1334.5±29.0 <sup>a</sup>	1570.0±2.8 <sup>cde</sup>	474.5±14.8 <sup>cdef</sup>
<b>rRW30-5</b>	73.83	2428.5±12.0 <sup>a</sup>	1067.0±4.2 <sup>cde</sup>	1361.5±7.8 <sup>a</sup>	1546.0±4.2 <sup>def</sup>	479.0±8.5 <sup>cdef</sup>
<b>RW/AgNO<sub>3</sub><sup>2</sup></b>	70.68	2351.0±11.3 <sup>b</sup>	1141.0±12.7 <sup>a</sup>	1210.0±1.4 <sup>bcd</sup>	1630.0±2.8 <sup>a</sup>	489.0±15.6 <sup>abcde</sup>

Data expressed as mean±SD.

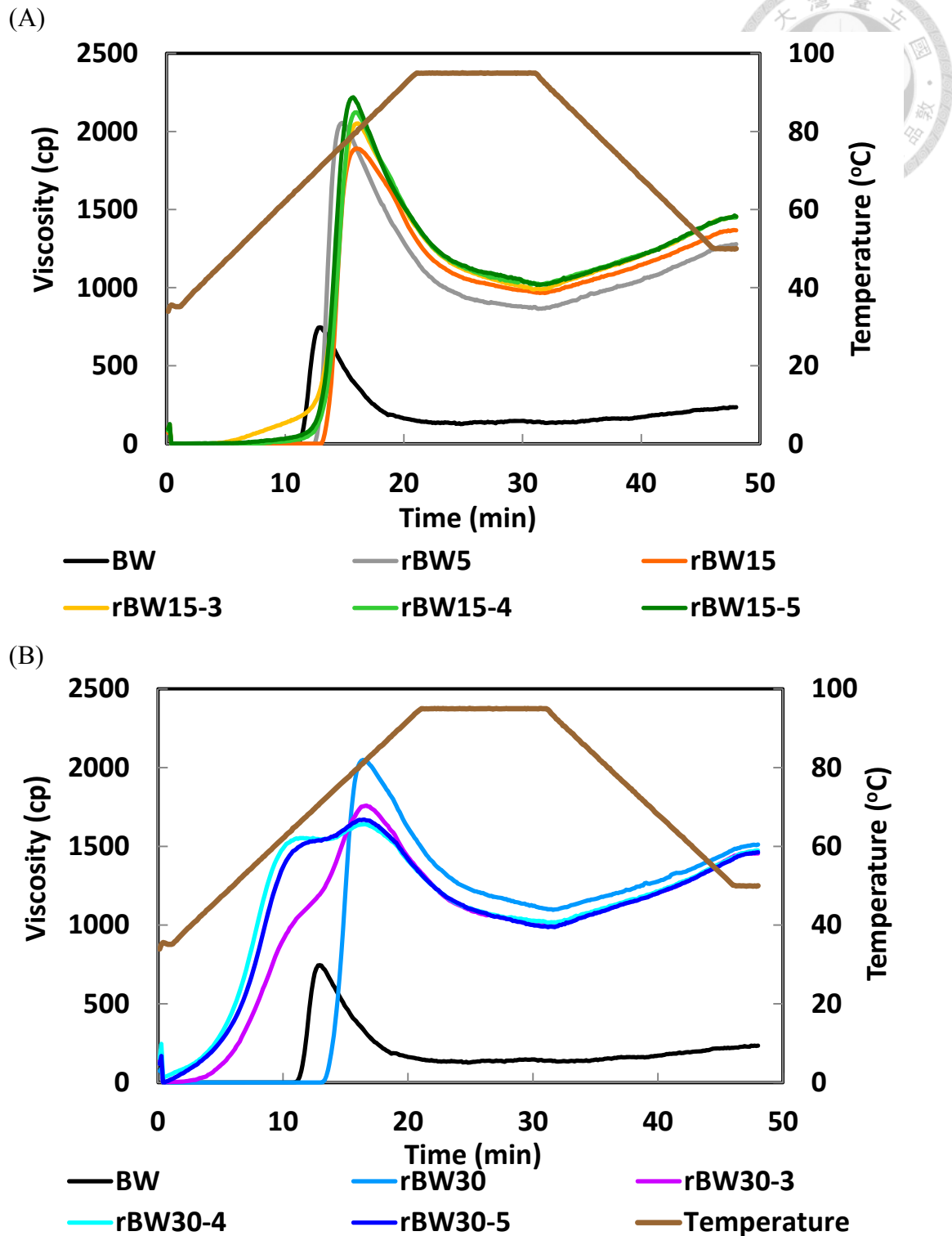
<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> RW/AgNO<sub>3</sub>: rapid viscosity profiles of red waxy flours in 2.5 mM AgNO<sub>3(aq)</sub>.



圖十五、黑糯糙米經濕熱處理之米穀粉糊液黏度變化圖；(A) 濕熱處理 5 及 15 分鐘及(B) 濕熱處理 30 分鐘。

Figure 15. Viscograms of *hmt* brown black waxy rice flour; (A) heat-moisture treatment 5 and 15 mins, (B) heat-moisture treatment 30 min.



圖十六、黑糯稻穀經濕熱處理之米穀粉糊液黏度變化圖；(A) 濕熱處理 5 及 15 分鐘及(B) 濕熱處理 30 分鐘。

Figure 16. Viscograms of *hmt* rough black waxy rice flour; (A) heat-moisture treatment 5 and 15 mins, (B) heat-moisture treatment 30 min.

表十一、濕熱處理黑糯米穀粉之糊液黏度性質

Table 11. Pasting property of heat-moisture treated black waxy rice flour.<sup>1</sup>

Samples	PT (°C)	PV (cps)	Trough (cps)	BkD (cps)	FV (cps)	SB (cps)
<b>BW</b>	65.43	745.0±0 <sup>o</sup>	124.5±2.1 <sup>j</sup>	620.5±2.1 <sup>j</sup>	230.0±5.7 <sup>j</sup>	105.5±3.5 <sup>f</sup>
<b>bBW5</b>	70.65	1952.0±2.8 <sup>e</sup>	901.5±7.8 <sup>h</sup>	1050.5±4.9 <sup>d</sup>	1316.5±21.9 <sup>g</sup>	415.0±29.7 <sup>d</sup>
<b>bBW15</b>	70.18	1908.5±6.4 <sup>fg</sup>	903.5±10.6 <sup>h</sup>	1005.0±4.2 <sup>e</sup>	1324.5±12.0 <sup>g</sup>	421.0±1.4 <sup>cd</sup>
<b>bBW15-3</b>	46.18	1701.5±0.7 <sup>i</sup>	977.0±11.3 <sup>defg</sup>	724.5±12.0 <sup>h</sup>	1397.5±7.8 <sup>e</sup>	420.5±3.5 <sup>cd</sup>
<b>bBW15-4</b>	37.73	1593.5±17.7 <sup>k</sup>	978.0±4.2 <sup>defg</sup>	615.5±21.9 <sup>jk</sup>	1394.5±2.1 <sup>e</sup>	416.5±2.1 <sup>d</sup>
<b>bBW15-5</b>	35.00	1518.5±19.0 <sup>l</sup>	940.0±14 <sup>gh</sup>	578.5±4.9 <sup>k</sup>	1353.0±15.5 <sup>f</sup>	413.0±1.4 <sup>d</sup>
<b>bBW30</b>	71.83	1929.0±9.9 <sup>ef</sup>	1108.5±38.9 <sup>ab</sup>	820.5±29.0 <sup>g</sup>	1521.0±11.3 <sup>b</sup>	412.5±27.6 <sup>d</sup>
<b>bBW30-1</b>	71.48	1950.0±11.3 <sup>e</sup>	1137.0±38.2 <sup>a</sup>	813.0±26.9 <sup>g</sup>	1555.0±2.8 <sup>a</sup>	418.0±35.4 <sup>d</sup>
<b>bBW30-3</b>	70.28	1921.0±22.6 <sup>efg</sup>	1079.5±26.2 <sup>b</sup>	841.5±48.8 <sup>g</sup>	1507.0±5.7 <sup>b</sup>	427.5±31.8 <sup>bcd</sup>
<b>bBW30-4</b>	35.00	1375.5±0.7 <sup>m</sup>	902.5±4.9 <sup>h</sup>	473.0±5.7 <sup>l</sup>	1311.5±0.7 <sup>gh</sup>	413.0±5.7 <sup>d</sup>
<b>bBW30-5</b>	35.00	1336.5±4.9 <sup>n</sup>	973.5±20.6 <sup>efg</sup>	363.0±15.6 <sup>m</sup>	1293.5±14.8 <sup>hi</sup>	320.0±35.4 <sup>e</sup>
<b>rBW5</b>	69.83	2038.5±23.3 <sup>d</sup>	862.0±2.8 <sup>i</sup>	1176.5±20.5 <sup>b</sup>	1275.0±4.2 <sup>i</sup>	413.0±1.4 <sup>d</sup>
<b>rBW15</b>	71.43	1895.0±5.7 <sup>g</sup>	955.0±15.6 <sup>g</sup>	940.0±21.2 <sup>f</sup>	1368.0±1.4 <sup>f</sup>	413.0±17.0 <sup>d</sup>
<b>rBW15-3</b>	61.10	2066.5±20.5 <sup>d</sup>	1004.0±22.6 <sup>cdef</sup>	1062.5±2.1 <sup>d</sup>	1464.5±13.4 <sup>cd</sup>	460.59.2 <sup>abc</sup>
<b>rBW15-4</b>	69.43	2133.0±14.1 <sup>c</sup>	1016.0±4.2 <sup>cd</sup>	1117.0±18.4 <sup>c</sup>	1448.0±2.8 <sup>cd</sup>	432.0±1.4 <sup>abcd</sup>
<b>rBW15-5</b>	67.75	2214.5±6.4 <sup>b</sup>	1013.0±7.1 <sup>cde</sup>	1201.5±0.7 <sup>b</sup>	1453.5±3.5 <sup>cd</sup>	440.5±3.5 <sup>abcd</sup>
<b>rBW30</b>	72.18	2041.5±10.6 <sup>d</sup>	1091.0±8.5 <sup>b</sup>	950.5±2.1 <sup>f</sup>	1510.5±0.7 <sup>b</sup>	419.5±7.8 <sup>d</sup>
<b>rBW30-3</b>	45.03	1773.0±19.8 <sup>h</sup>	1012.0±12.7 <sup>cde</sup>	761.0±7.1 <sup>h</sup>	1454.5±0.7 <sup>cd</sup>	442.5±13.4 <sup>abcd</sup>
<b>rBW30-4</b>	35.00	1644.0±4.2 <sup>j</sup>	1004.0±17.0 <sup>cdef</sup>	640.0±21.2 <sup>ij</sup>	1469.0±5.7 <sup>c</sup>	465.0±11.3 <sup>ab</sup>
<b>rBW30-5</b>	35.00	1643.5±36.0 <sup>j</sup>	970.0±24.0 <sup>fg</sup>	673.5±12.0 <sup>i</sup>	1444.5±24.7 <sup>d</sup>	475.5±0.7 <sup>a</sup>
<b>BW/AgNO<sub>3</sub><sup>2</sup></b>	65.85	2402.0±1.4 <sup>a</sup>	1022.5±3.5 <sup>c</sup>	1376.5±2.1 <sup>a</sup>	1463.5±2.1 <sup>cd</sup>	433.0±5.7 <sup>bcd</sup>

Data expressed as mean±SD.

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> BW/AgNO<sub>3</sub>: rapid viscosity profiles of black waxy flours in 2.5 mM AgNO<sub>3(aq)</sub>.



### 三、熱性質分析

紅糯米及黑糯米經濕熱處理後，其熱性質分析結果如表十二與表十三所示。未處理之紅糯糙米穀粉及黑糯糙米穀粉分別在 63.51 °C ( $T_0$ )至 81.83 °C ( $T_c$ ) 及 61.37°C ( $T_0$ ) 至 74.1 °C ( $T_c$ )間有一吸熱峰。當經濕熱處理後，所有樣品其  $T_0$  值均上升，熱焓值下降，糊化溫度範圍( $T_c-T_0$ )則隨濕熱處理時，加水量提高而縮小。

根據 Jiranuntakul et al. (2011)研究，以中直鏈澱粉含量之米澱粉(AM: 21.72%)、糯米澱粉(AM: 1.64%)、玉米澱粉(AM: 25.19%)、糯性玉米澱粉(AM: 2.06%)、馬鈴薯澱粉(AM: 28.97%)及糯性馬鈴薯澱粉(AM: 3.92%)，進行 16 小時濕熱處理後，其米穀粉（水分含量 25%）之  $T_0$  值均上升，且糯性澱粉比一般澱粉上升程度較為顯著。而經濕熱處理後，所有澱粉之熱焓值  $\Delta H$  均顯著下降，且糊化溫度範圍除糯性米澱粉外，其餘均顯著增大，此結果在糯性米澱粉部分，與本實驗結果趨勢大致相同。

以糙米或稻穀形式進行濕熱處理，紅糯米在未添加水分之情形下，當濕熱處理時間增長，其  $T_0$  均愈高。以糙米進行濕熱處理時，bRW5、bRW15 及 bRW30 之  $T_0$  分別為 68.86、69.91 及 70.47 °C。以稻穀進行濕熱處理時，rRW5、rRW15 及 rRW30 之  $T_0$  則分別為 64.43、66.47 及 71.02 °C。Lim et al. (2001)研究結果顯示，濕熱處理將使原先澱粉顆粒內的晶間無定形區轉為結晶形態，使結晶區內的短鏈擁有更多的空間；如此 crystalline micelles 結構上發生變化，對熱力之穩定度提升，因此  $T_0$  值提升。其中，澱粉分子內分子的重排，特別是支鏈澱粉的重排，是使澱粉顆粒更強韌的主因。

與實驗結果相比較，Jiranuntakul et al. (2011)的研究則認為，濕熱處理將使澱粉樣品的結晶度及糊化熱焓值均下降，分別為 0.9-10.5%與 1.0-6.7 J/g，推論此乃因濕熱處理會破壞結晶區與無定形區的澱粉雙股螺旋，而濕熱處理後  $T_0$  值上升的原因，可能是濕熱處理使得澱粉顆粒形成一個新的表層，而阻止了水分的穿透，因而阻礙了澱粉顆粒膨潤，造成  $T_0$  往高溫移動。在 Jiranuntakul et al. (2013)的研究中，以原子力顯微鏡觀察濕熱處理後之米澱粉、玉米澱粉與馬鈴薯澱粉，發現濕熱處理後之中直鏈含量之米澱粉、糯性米澱粉與玉米澱粉，均形成較處理前更光滑的表面，代表澱粉部分糊化，且馬鈴薯澱粉表面的突起物(protrusions)顯著減小。此

新形成的結構可能阻止水分進入澱粉顆粒，而造成熱性質分析中  $T_o$  值上升並  $\Delta H$  下降。

以紅糯糙米進行濕熱處理 15 及 30 分鐘時，添加 0.3-0.5 倍的水量，可見  $T_o$  值上升外， $\Delta H$  較未添加水分時顯著降低，在 bRW15-5、bRW30-4 及 bRW30-5 則無法測得吸熱峰，顯示濕熱處理過程中水量將加速澱粉糊化，且較長的濕熱處理時間，將使水分之影響更為顯著，此現象與糊液黏度性質測定結果一致。以紅糯稻穀進行濕熱處理過程中，添加 0.3 及 0.5 倍水量， $T_o$  持續上升，且  $\Delta H$  較未添加水分時低，但程度不若糙米明顯，顯示稻穀可減緩濕熱處理過程中水分與熱之影響，此結果與糊液黏度性質測定結果一致。紅糯米以糙米或稻穀形式濕熱處理 5 分鐘後， $T_p$  值上升至 76.58 °C (糙米) 與 73.34 °C (稻穀)，稻之變化較糙米小；延長濕熱處理時間至 15 與 30 分鐘時， $T_p$  持續上升，此現象與糊液黏度性質測定中，當濕熱處理時間由 5 分鐘延長至 15 及 30 分鐘時，尖峰黏度持續上升之結果一致。顯示延長濕熱處理時間達 15 分鐘以上，可更有效地抑制米穀粉中之酵素作用，使米穀粉較慢糊化。

在黑糯米穀粉之熱性質分析中，與紅糯米穀粉趨勢大致相同，濕熱處理將造成澱粉部分糊化，而使  $T_p$  提升且  $\Delta H$  下降。以糙米形式濕熱處理時添加 0.3-0.5 倍水量，均無法測得吸熱峰，可知黑糯米較紅糯米在濕熱處理過程中更易受到水分之影響。並且，黑糯米 rBW15-5 與 rBW30-5 之  $\Delta H$  均較紅糯米 rRW15-5 與 rRW30-5 之  $\Delta H$  小，此與糊液黏度性質測定中，黑糯米 rBW30-3、rBW30-4 與 rBW30-5 之 PT 明顯下降，但紅糯米 rRW30-3、rRW30-4 與 rRW30-5 之 PT 與 PV 均不受影響之趨勢一致。在(Puncha-arnon and Uttapap, 2013)研究中指出，濕熱處理對於米穀粉的影響將遠大於米澱粉。隨著濕熱處理的程度由水分 20% 升至 30%，米穀粉與米澱粉的  $T_p$  均上升，米澱粉由 73.1 °C 升至 82.4 °C，米穀粉則由 73.2 °C 升至 83.2 °C。而  $T_c-T_o$ ，米澱粉由 8.7 °C 升至 16.2 °C，米穀粉則由 8.4 °C 升至 16.4 °C。此外，在快速糊液黏度測定中，米澱粉和米穀粉的糊化溫度，均隨濕熱處理程度而升高。米澱粉由 76.8 °C 升至 81.5 °C，米穀粉則由 81.9 °C 升至 92.0 °C。此結果與本論文試驗結果相較，糊化溫度上升與  $T_p$  上升的現象趨勢一致，而  $T_c-T_o$  的趨勢相反，推測此為米種、直鏈澱粉含量與濕熱處理方式不同所造成。



## 小結

本試驗中，濕熱處理將造成吸熱峰往高溫移動，且熱焓值減少。在相同的加熱時間處理下，隨著添加水量之增加，糊化情形漸趨明顯；其  $T_o$  與  $T_p$  提高， $T_c$  與  $T_o$  之差值減小，熱焓值減少，當加水量達米重之 0.3 倍起，糊化程度顯著提升，熱焓值顯著降低，顯示在濕熱處理過程中，水分對糊化情形的影響力較時間對澱粉糊化情形之影響力顯著。此外，以稻穀進行濕熱處理可減緩時間與水分對糊化度的影響，此與糊液黏度測定結果一致。

表十二、紅糯米於不同濕熱處理條件下之熱性質分析

Table 12. Effects of different *hmt* levels on thermal properties of red waxy rice flours<sup>1</sup>

Samples	T <sub>o</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>c</sub> -T <sub>o</sub>	ΔH
	(°C)			(J/g)
<b>RW</b>	63.51±0.39 <sup>i</sup>	73.22±0.49 <sup>g</sup>	18.32±0.80 <sup>a</sup>	10.45±0.45 <sup>a</sup>
<b>bRW5</b>	68.86±0.03 <sup>g</sup>	76.58±0.15 <sup>e</sup>	16.10±0.40 <sup>bc</sup>	8.38±0.02 <sup>bc</sup>
<b>bRW15</b>	69.91±0.17 <sup>efg</sup>	77.56±0.25 <sup>d</sup>	17.20±0.11 <sup>ab</sup>	7.34±0.43 <sup>d</sup>
<b>bRW15-3</b>	74.66±0.04 <sup>b</sup>	80.38±0.04 <sup>a</sup>	12.77±0.01 <sup>d</sup>	0.74±0.00 <sup>h</sup>
<b>bRW15-4</b>	75.09±1.17 <sup>a</sup>	79.37±1.24 <sup>b</sup>	10.36±0.86 <sup>e</sup>	0.38±0.03 <sup>hi</sup>
<b>bRW15-5</b>	N.D. <sup>j 2</sup>	N.D. <sup>h</sup>	N.D. <sup>f</sup>	N.D. <sup>i</sup>
<b>bRW30</b>	70.47±0.34 <sup>de</sup>	77.59±0.28 <sup>d</sup>	16.40±0.53 <sup>abc</sup>	8.72±0.20 <sup>bc</sup>
<b>bRW30-3</b>	71.95±0.93 <sup>c</sup>	79.20±0.58 <sup>bc</sup>	15.26±0.79 <sup>c</sup>	2.72±0.11 <sup>g</sup>
<b>bRW30-4</b>	N.D. <sup>j</sup>	N.D. <sup>h</sup>	N.D. <sup>f</sup>	N.D. <sup>i</sup>
<b>bRW30-5</b>	N.D. <sup>j</sup>	N.D. <sup>h</sup>	N.D. <sup>f</sup>	N.D. <sup>i</sup>
<b>rRW5</b>	64.43±0.33 <sup>i</sup>	73.34±0.11 <sup>g</sup>	16.62±0.10 <sup>abc</sup>	8.17±0.37 <sup>c</sup>
<b>rRW15</b>	66.47±0.00 <sup>h</sup>	75.07±0.12 <sup>f</sup>	15.90±0.52 <sup>bc</sup>	7.25±0.01 <sup>d</sup>
<b>rRW15-3</b>	70.34±0.26 <sup>def</sup>	78.48±0.37 <sup>bcd</sup>	16.86±0.00 <sup>abc</sup>	6.62±0.09 <sup>e</sup>
<b>rRW15-4</b>	70.35±0.34 <sup>def</sup>	78.23±0.25 <sup>cd</sup>	17.69±1.74 <sup>ab</sup>	6.24±0.25 <sup>e</sup>
<b>rRW15-5</b>	71.02±0.21 <sup>cde</sup>	78.96±0.25 <sup>bc</sup>	17.16±0.39 <sup>abc</sup>	5.63±0.56 <sup>f</sup>
<b>rRW30</b>	69.06±0.62 <sup>fg</sup>	77.78±0.49 <sup>d</sup>	16.78±1.73 <sup>abc</sup>	8.84±0.01 <sup>b</sup>
<b>rRW30-3</b>	71.51±0.16 <sup>cd</sup>	78.77±0.42 <sup>bc</sup>	16.58±0.16 <sup>abc</sup>	3.24±0.55 <sup>g</sup>
<b>rRW30-5</b>	71.47±0.13 <sup>cd</sup>	78.22±0.29 <sup>bcd</sup>	16.74±0.04 <sup>abc</sup>	3.25±0.02 <sup>g</sup>

Data expressed as mean±SD.

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> N.D., not detected.

表十三、黑糯米於不同濕熱處理條件下之熱性質分析

Table 13. Effects of different *hmt* levels on thermal properties of black waxy rice flours<sup>1</sup>

Samples	T <sub>o</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>c</sub> -T <sub>o</sub>	ΔH
	(°C)			(J/g)
<b>BW</b>	61.37±0.00 <sup>f</sup>	67.29±0.16 <sup>f</sup>	12.73±0.18 <sup>c</sup>	7.56±0.35 <sup>ab</sup>
<b>bBW5</b>	65.61±0.07 <sup>e</sup>	72.30±0.04 <sup>de</sup>	14.07±0.45 <sup>b</sup>	4.72±0.25 <sup>d</sup>
<b>bBW15</b>	65.45±0.74 <sup>e</sup>	73.57±0.28	16.07±0.47 <sup>a</sup>	7.36±0.02 <sup>b</sup>
<b>bBW15-3</b>	69.34±0.01 <sup>b</sup>	76.20±0.12 <sup>a</sup>	12.1±0.41 <sup>cd</sup>	0.56±0.13 <sup>gh</sup>
<b>bBW15-4</b>	N.D. <sup>g 2</sup>	N.D. <sup>g</sup>	N.D. <sup>f</sup>	N.D. <sup>h</sup>
<b>bBW15-5</b>	N.D. <sup>g</sup>	N.D. <sup>g</sup>	N.D. <sup>f</sup>	N.D. <sup>h</sup>
<b>bBW30</b>	66.91±0.07 <sup>d</sup>	72.67±0.20 <sup>d</sup>	13.12±0.05 <sup>c</sup>	8.24±0.65 <sup>a</sup>
<b>bBW30-3</b>	70.93±0.17 <sup>a</sup>	74.94±0.11 <sup>b</sup>	10.86±0.04 <sup>e</sup>	1.36±0.01 <sup>f</sup>
<b>bBW30-4</b>	N.D. <sup>g</sup>	N.D. <sup>g</sup>	N.D. <sup>f</sup>	N.D. <sup>h</sup>
<b>bBW30-5</b>	N.D. <sup>g</sup>	N.D. <sup>g</sup>	N.D. <sup>f</sup>	N.D. <sup>h</sup>
<b>rBW5</b>	64.82±0.11 <sup>e</sup>	71.72±0.16 <sup>e</sup>	14.38±0.34 <sup>b</sup>	6.51±0.12 <sup>c</sup>
<b>rBW15</b>	65.35±0.24 <sup>e</sup>	72.36±0.02 <sup>de</sup>	14.17±0.39 <sup>b</sup>	5.82±0.07 <sup>c</sup>
<b>rBW15-5</b>	69.15±1.79 <sup>bc</sup>	75.06±0.31 <sup>b</sup>	12.86±0.40 <sup>c</sup>	1.01±0.47 <sup>fg</sup>
<b>rBW30</b>	68.11±0.08 <sup>c</sup>	73.64±0.22 <sup>c</sup>	11.69±0.44 <sup>de</sup>	3.66±0.33 <sup>e</sup>
<b>rBW30-3</b>	N.D. <sup>g</sup>	N.D. <sup>g</sup>	N.D. <sup>f</sup>	N.D. <sup>h</sup>
<b>rBW30-4</b>	N.D. <sup>g</sup>	N.D. <sup>g</sup>	N.D. <sup>f</sup>	N.D. <sup>h</sup>

Data expressed as mean±SD.

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> N.D., not detected.



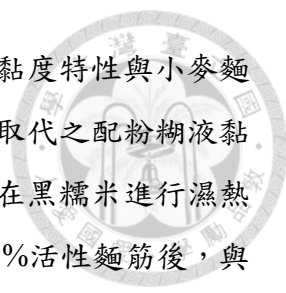
### 第三節、配粉之理化性質測定

#### 一、糊液黏度性質

將小麥麵粉與紅糯米穀粉以 70:30 及 49:51 之配粉，進行糊液黏度測試，結果如圖十七所示。圖十七(A)中，將小麥麵粉和紅糯米穀粉以 7:3 重量比例混合，其糊液黏度特性偏向以比例較多之小麥麵粉原趨勢，小麥麵粉與未經濕熱處理之紅糯米穀粉之配粉樣品，PT 與 FV 均較純米穀粉顯著升高。圖十七(B)中，以糙米或稻穀形式，濕熱處理 15 分鐘之紅糯米穀粉與小麥麵粉混合之樣品，其糊液黏度之 PV、T 和 FV 等均與小麥麵粉相同，而糊化溫度略微下降；推測以濕熱處理 15 分鐘之米穀粉，進行 30%取代之米麵條製作時，將可能最接近純小麥麵條之質地，此與糊液黏度測定和熱性質分析結果一致。圖十七(C)中，配粉之 PV、T 及 FV 均較純小麥麵粉之值顯著降低，推測以濕熱處理時添加水量之米穀粉進行配粉時，將可能影響米麵條製作時之成形性。

將小麥麵粉與紅糯米穀粉以 49:51 和 3:7 之重量比例進行混合，並添加 3.6% 與 8.8%活性麵筋時，其糊液黏度性質受米穀粉糊液黏度性質顯著影響，如圖十七(D)與(E)所示。圖十七(D)中，以未經濕熱處理之紅糯米穀粉與小麥麵粉進行配粉，其 PV、T 與 FV 均較純小麥麵粉之值低，且 T 值與紅糯米穀粉之 T 值相同，顯示當米穀粉含量占配粉 50%以上時，將支配配粉之糊液黏度特性，而較低的 PT 值，推測將影響米麵條製作時之成糰性與操作性。圖十七(E)中，以濕熱處理 15 分鐘之紅糯米穀粉與小麥麵粉進行配粉，在 49:51 之比例中，配粉的 PV 與 FV 與純小麥麵粉相仿，且 T 值較小麥麵粉高，顯示以濕熱處理後之米穀粉進行高取代度(51% 取代)配粉時，仍可與原小麥麵粉之糊液特性相仿，推測此配粉進行 51%米穀粉取代之米麵條製作，將可能較接近純小麥麵條之特性。圖十七(D)與(E)中，添加 3.6% 與 8.8%活性麵筋，彼此間無顯著差異，將於製成米麵條後進行烹煮品質與質地測定時做進一步比較。

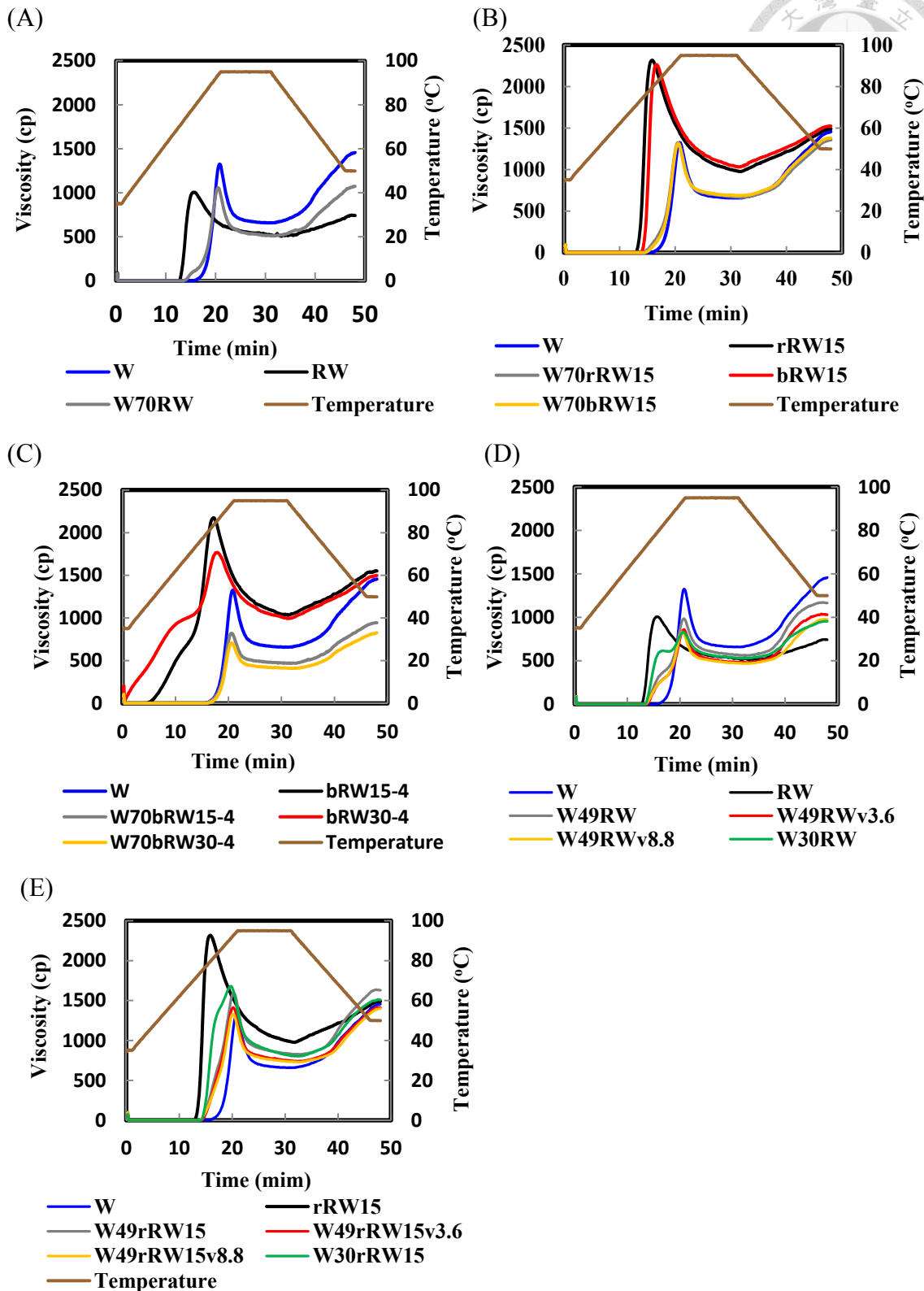
以黑糯和小麥麵粉進行配粉之糊液黏度特性，如圖十八所示。圖十八(A)中，30%黑糯米穀粉配粉之 PT 值較黑糯米穀粉高，趨向小麥麵粉之糊液黏度特性，但配粉的 PV 值較黑糯米穀粉低，顯示配粉後，小麥麵粉使配粉之 PT 值提高，但黑糯米穀粉中之酵素活性，仍使 PV 值顯著降低。圖十八(B)中，以糙米或稻穀形式



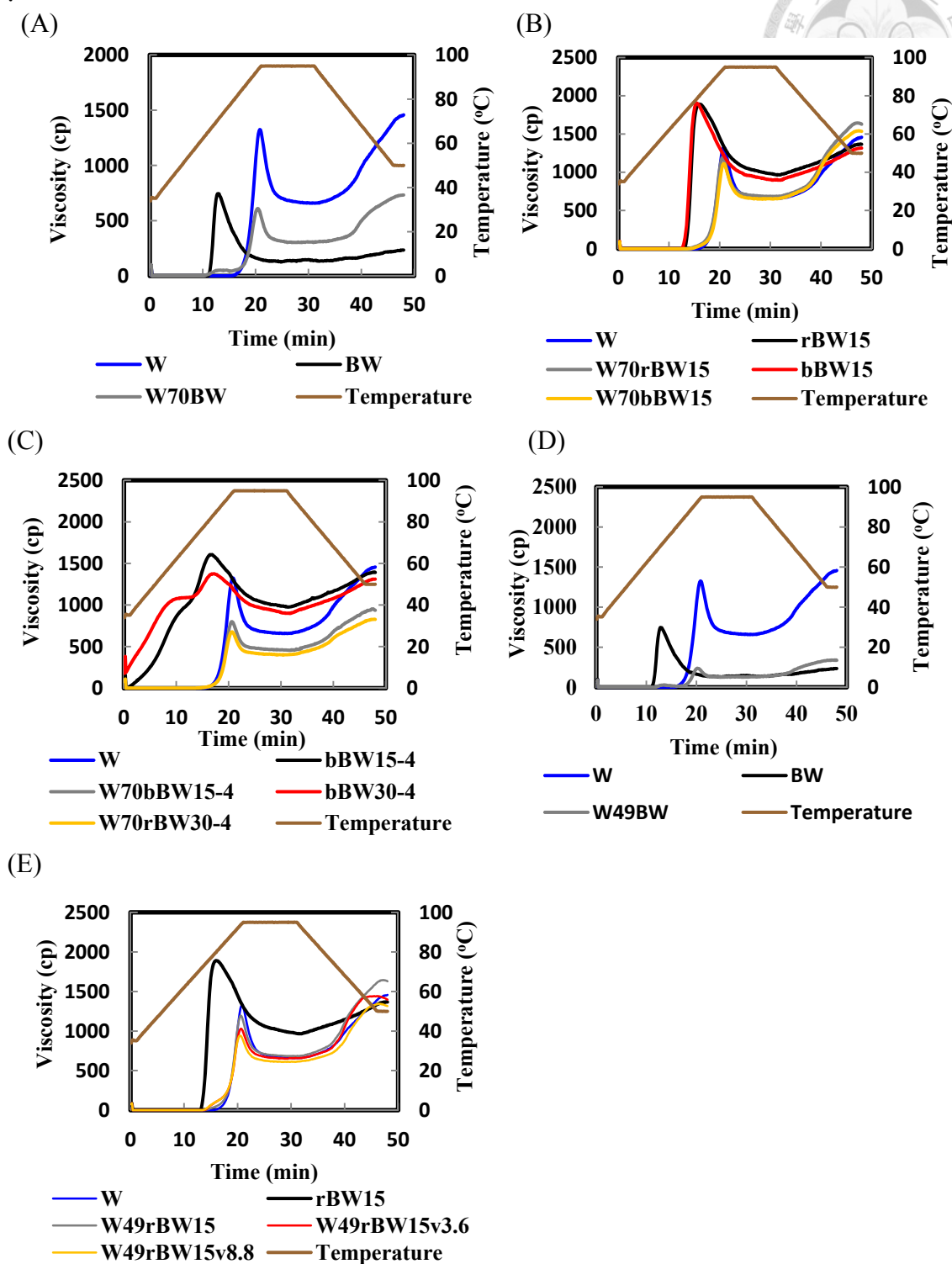
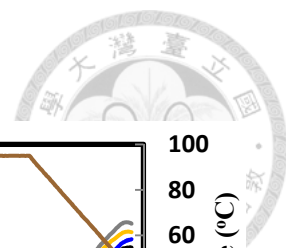
進行濕熱處理 15 分鐘後，30%取代之黑糯米穀粉配粉，其糊液黏度特性與小麥麵粉相仿，PV 與 FV 比小麥麵粉略高，此現象與 30%紅糯米穀粉取代之配粉糊液黏度特性相同。圖十八(C)與(D)中，51%黑糯米穀粉取代之配粉，在黑糯米進行濕熱處理後，配粉的糊液黏度特性與小麥麵粉相同，添加 3.6%與 8.8%活性麵筋後，與添加前之糊液黏度曲線相近，但 PV 與 FV 值略微下降，且活性麵筋添加量較多時其下降量較顯著。圖十八(E)中，當黑糯米穀粉占配粉之 70%時，濕熱處理亦未能顯著提升 PV 與 FV 值，推測可能顯示出 70%米穀粉取代之米麵條製作上的難度。

### 小結

由紅糯米與黑糯米，和小麥麵粉進行配粉後之糊液黏度特性，可知以濕熱處理 15 分鐘之米穀粉，進行 30%及 51%米穀粉取代之麵條製作，最可能與小麥麵條之質地相仿，與米穀粉之糊液黏度特性和熱性質分析結果相符。



圖十七、小麥麵粉與濕熱處理之紅糯米穀粉之糊液黏度變化圖；(A)-(C) 30%濕熱處理紅糯米穀粉取代之配粉；(D)-(E) 51%, 70%濕熱處理紅糯米穀粉取代之配粉。  
 Figure 17. Viscograms of wheat and *hmt* red waxy rice flour; (A)-(C) the mixture of wheat and 30% *hmt* red waxy rice flour; (D)-(E) the mixture of wheat and 51% or 70% *hmt* red waxy rice flour.



圖十八、小麥麵粉與濕熱處理之黑糯米穀粉之糊液黏度變化圖，(A)-(C) 30%濕熱處理黑糯米穀粉取代之配粉；(D)-(E) 51%濕熱處理黑糯米穀粉取代之配粉。  
 Figure 18. Viscograms of wheat and *hmt* black waxy rice flour; (A)-(C) the mixture of wheat and 30% *hmt* black waxy rice flour; (D)-(E) the mixture of wheat and 51% *hmt* black waxy rice flour.

## 第四節、有色米穀粉取代之中式米麵條烹煮品質及質地



### 一、30%有色米穀粉取代之中式米麵條

#### (一) 烹煮品質

以 30%紅糯米及黑糯米穀粉取代之米麵條烹煮品質測定結果，整理於表十四至表十七。圖二十為 30%紅糯米穀粉取代之麵帶與米麵條之外觀照片。

#### 1. 煮麵時間

表十四與表十六中，以未經處理之紅糯米與黑糯米穀粉製備 30 %米穀粉取代之米麵條(W70RW 及 W70BW)，相對於小麥麵粉製成之麵條，煮麵時間較短。而以濕熱處理之紅糯米與黑糯米，製成 30%米穀粉取代之米麵條，煮麵時間更為縮短。將糯米以稻穀或糙米形式進行濕熱處理，所製得 30%米穀粉取代米麵條，煮麵時間相近(W70rRW15 與 W70bRW15，W70rBW15 與 W70bBW15)。隨著濕熱處理時所添加的水量加增，煮麵時間更顯著地縮短；顯示濕熱處理時添加 0.4 倍的水量，將使糊化情形更為顯著，與先前之糊液黏度測定及熱性質分析結果一致。由此可知，濕熱處理使澱粉部分糊化，進而使其後米麵條的煮麵時間減少，達到經濟效益。

#### 2. 烹煮損失率

表十四與表十六中，以 30 %米穀粉取代之米麵條，其烹煮損失率均較小麥麵粉製成之麵條(W)提高。若將糯米進行濕熱處理，處理過程中未添加水量，則可保持其烹煮損失率與未經濕熱處理者相仿。濕熱處理時添加 0.4 倍水量，則所製成之米麵條具有更高的烹煮損失率。此結果顯示濕熱處理時若不添加水量，可減少其後製成米麵條之烹煮損失率。一般而言，煮麵時較少的烹煮損失率是較受消費者所接受的。比較表十四中之 W70bRW15-4 與 W70bRW30-4 可知，濕熱處理過程中，相同的加水量條件下，延長濕熱處理時間，將造成更高的烹煮損失率，表十六中之 W70bBW15-4 與 W70bBW30-4 亦具有相同趨勢。由此可知，將糯米進行濕熱處理的時間與加水量，將顯著影響其後製作米麵條之烹煮損失率，必須選擇適中的濕熱處理時間。因此，將糯米進行濕熱處理後，製成 30%米穀粉取代之米麵條，





以濕熱處理 15 分鐘，不添加水量之條件，其烹煮損失率在紅糯米麵條與黑糯米麵條中均最低，為較佳的 30%米穀粉取代之米麵條製作條件。

### 3. 吸水率

測定煮麵時之吸水力，如表十四與表十六所示，可知以未經濕熱處理之糯米，和以濕熱處理 15 分鐘（不添加水量）之糯米，製成 30%米穀粉取代之米麵條，其吸水率均顯著大於傳統小麥麵條。推測米穀粉中的麩皮可幫助米麵條吸水，且濕熱處理造成酵素失活，亦可使吸水率提升。此與糊液黏度性質測定中，糯米濕熱處理後，其 PV 值顯著提高之結果相符。若於濕熱處理過程中添加 0.4 倍水量，則不論濕熱處理時間，或以稻穀、糙米形式進行濕熱處理，均可見其吸水率顯著降低；此與糊液黏度性質測定中，添加水量將造成 PV 與 PT 值顯著下降，且熱性質分析中，添加水量將造成  $\Delta H$  值將顯著下降之結果相符。

### 4. 熟麵條寬度、厚度與膨脹度

以 30%米穀粉取代所製成之米麵條，其熟麵條之寬度、厚度與膨脹度如表十五（紅糯）與十七（黑糯）所示。由結果可知，以米穀粉取代小麥麵粉製成米麵條時，熟麵條的寬度與長度之膨脹度，均比小麥麵條顯著降低。小麥麵粉中含有 12.68% (db)的蛋白質，其中含有可形成麵筋結構之麥穀蛋白及醇溶蛋白，可形成較強韌的 network 結構，而 30%米穀粉取代之米麵條，因小麥麵粉含量降低，而使結構較為鬆散，因而烹煮損失率提高，且烹煮後在寬度，與長度膨脹度上較小麥麵條偏低。然而，以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘之紅糯及黑糯，所製得之 30%米穀粉取代米麵條，其熟麵條之長度膨脹度上均較其他米麵條高，顯示此樣品在作為米麵條產品上之優勢。

### 5. 麵帶與麵條外觀

紅糯米穀粉 30%取代之米麵條，其生麵條外觀如圖十九(A)所示。以未經濕熱處理之紅糯米穀粉製成米麵條，麵條較為乾硬無彈性，觸摸表面有粉粒感而不光滑。以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘（無額外添加水量）之米穀粉製成之米麵條，在麵糰粗整複合階段，其成糰性較佳，反覆壓延後表面較光滑，與小麥麵條之表面

外觀較相近。而以糙米形式進行濕熱處理，過程中添加 0.4 倍水量，其米穀粉所製成之米麵條，在粗整複合與反覆壓延階段，均較黏手及壓麵機，造成操作上的不便，其生麵條亦黏手且較軟，放置時易受外力變形，尤其 W70bRW30-4（濕熱處理 30 分鐘），製成麵條後極易受外力而嚴重變形。以 30%米穀粉取代之紅糯米麵條，其熟麵條外觀如圖十九(B)所示。在濕熱處理中增加水量，將造成熟麵條顯著較為軟爛，且以手觸摸時明顯較其他樣品黏手。其中以 W70RW 與 W70rRW15 之樣品，較不黏手，亦較不受放置時之外力而變形。

表十四、30%紅糯米穀粉取代之紅糯米麵條煮麵品質

Table 14. Cooking quality of rice noodles prepared with blends of wheat and red waxy rice flour (70:30 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Cooking time (min)	Moisture (%)	Cooking loss (%)	Water absorption <sup>2</sup> (%)
W	14.5	61.09±0.69	3.63±0.13	1.35±0.01 <sup>c</sup>
W70RW	12.5	63.22±0.17	4.70±0.08	1.61±0.02 <sup>a</sup>
W70rRW15	12.0	61.86±0.54	5.40±0.06	1.60±0.03 <sup>a</sup>
W70bRW15	11.5	62.99±1.14	5.79±0.12	1.51±0.02 <sup>b</sup>
W70bRW15-4	8.0	60.73±0.68	6.12±0.02	1.30±0.06 <sup>d</sup>
W70bRW30-4	8.0	65.21±1.06	8.30±0.10	1.36±0.09 <sup>c</sup>

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> Water absorption was reported as the percent increase in the weight of the cooked noodles (weight of cooked noodle minus weight of dried noodle) compared to the dry noodle weight.

表十五、30%紅糯米穀粉取代之熟麵條寬度、厚度及膨脹度

Table 15. The width, thickness and the degree of swelling of cooked rice noodle prepared with blends of wheat and red waxy rice flour (70:30 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Width (cm)	Thickness (cm)	Degree of swelling <sup>2</sup>		
			Length	Width	Thickness
W	0.65±0.02 <sup>a</sup>	0.37±0.03 <sup>c</sup>	1.20±0.02 <sup>a</sup>	1.30±0.04 <sup>b</sup>	1.09±0.09 <sup>e</sup>
W70RW	0.61±0.00 <sup>b</sup>	0.37±0.01 <sup>c</sup>	1.17±0.01 <sup>c</sup>	1.22±0.01 <sup>d</sup>	1.12±0.03 <sup>d</sup>
W70rRW15	0.61±0.01 <sup>b</sup>	0.37±0.02 <sup>c</sup>	1.19±0.00 <sup>b</sup>	1.22±0.01 <sup>d</sup>	1.22±0.07 <sup>b</sup>
W70bRW15	0.61±0.00 <sup>b</sup>	0.34±0.03 <sup>d</sup>	1.18±0.01 <sup>c</sup>	1.22±0.01 <sup>d</sup>	1.14±0.09 <sup>cd</sup>
W70bRW15-4	0.60±0.02 <sup>c</sup>	0.41±0.01 <sup>a</sup>	1.14±0.03 <sup>d</sup>	1.34±0.07 <sup>a</sup>	1.15±0.08 <sup>c</sup>
W70bRW30-4	0.61±0.20 <sup>b</sup>	0.39±0.01 <sup>b</sup>	1.13±0.01 <sup>d</sup>	1.24±0.06 <sup>c</sup>	1.26±0.09 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> Degree of swelling was reported as the length, width or thickness of cooked noodles compared to the dry noodles.

表十六、30%黑糯米穀粉取代之黑糯米麵條煮麵品質

Table 16. Cooking quality of rice noodle prepared with blends of wheat and black waxy rice flour (70:30 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Cooking time (min)	Moisture (%)	Cooking loss (%)	Water absorption <sup>2</sup>	
				(%)	
<b>W</b>	14.5	61.09±0.69	3.63±0.13	1.35±0.01 <sup>bc</sup>	
<b>W70BW</b>	13.0	61.04±0.53	5.31±0.15	1.33±0.03 <sup>c</sup>	
<b>W70rBW15</b>	11.0	60.55±0.19	5.23±0.16	1.42±0.09 <sup>a</sup>	
<b>W70bBW15</b>	11.0	60.98±0.46	5.90±0.10	1.36±0.05 <sup>b</sup>	
<b>W70bBW15-4</b>	8.5	59.95±0.26	6.34±0.22	1.20±0.06 <sup>d</sup>	
<b>W70rBW30-4</b>	9.5	58.35±0.39	7.30±0.12	1.15±0.01 <sup>e</sup>	
<b>W70bBW30-4</b>	8.0	57.18±0.65	5.63±0.02	1.04±0.02 <sup>f</sup>	

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> Water absorption was reported as the percent increase in the weight of the cooked noodles (weight of cooked noodle minus weight of dried noodle) compared to the dry noodle weight.

表十七、30%黑糯米穀粉取代之熟麵條寬度、厚度及膨脹度

Table 17. The width, thickness and the degree of swelling of cooked rice noodles prepared with blends of wheat and black waxy rice flour (70:30 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Width (cm)	Thickness (cm)	Degree of swelling <sup>2</sup>		
			Length	Width	Thickness
<b>W</b>	0.65±0.02 <sup>a</sup>	0.37±0.03 <sup>d</sup>	1.20±0.02 <sup>a</sup>	1.30±0.04 <sup>a</sup>	1.09±0.09 <sup>d</sup>
<b>W70BW</b>	0.63±0.01 <sup>b</sup>	0.37±0.01 <sup>d</sup>	1.18±0.01 <sup>b</sup>	1.26±0.02 <sup>c</sup>	1.10±0.03 <sup>d</sup>
<b>W70rBW15</b>	0.63±0.01 <sup>b</sup>	0.39±0.01 <sup>c</sup>	1.18±0.01 <sup>b</sup>	1.26±0.01 <sup>c</sup>	1.18±0.04 <sup>a</sup>
<b>W70bBW15</b>	0.63±0.01 <sup>b</sup>	0.39±0.01 <sup>c</sup>	1.16±0.01 <sup>c</sup>	1.27±0.03 <sup>b</sup>	1.13±0.04 <sup>c</sup>
<b>W70bBW15-4</b>	0.62±0.03 <sup>c</sup>	0.39±0.02 <sup>c</sup>	1.18±0.02 <sup>b</sup>	1.26±0.05 <sup>c</sup>	1.17±0.07 <sup>b</sup>
<b>W70rBW30-4</b>	0.63±0.01 <sup>b</sup>	0.44±0.01 <sup>b</sup>	1.18±0.01 <sup>b</sup>	1.26±0.02 <sup>c</sup>	1.08±0.03 <sup>e</sup>
<b>W70bBW30-4</b>	0.62±0.01 <sup>c</sup>	0.50±0.02 <sup>a</sup>	1.18±0.02 <sup>b</sup>	1.24±0.02 <sup>d</sup>	1.13±0.05 <sup>c</sup>

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> Degree of swelling was reported as the length, width or thickness of cooked noodles compared to the dry noodles.

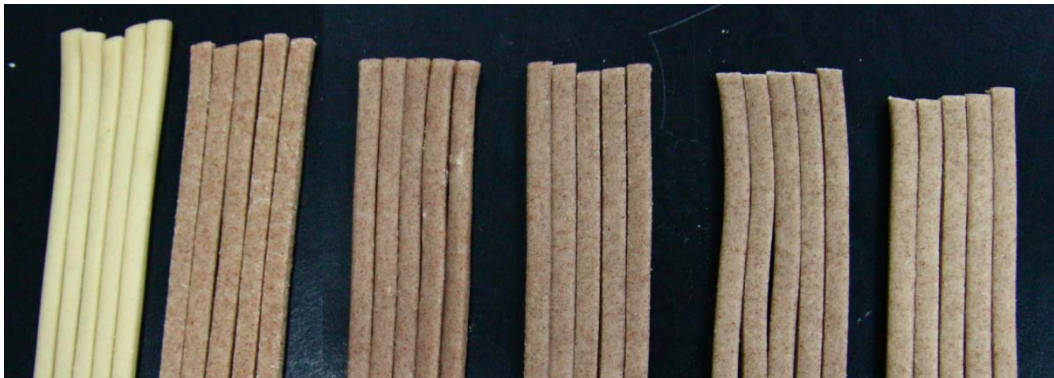
**(A) 30% red rice noodle sheets**

W, W70RW, W70bRW15-4, W70rRW15, W70bRW15, W70bRW30-4



**(B) 30% raw red rice noodles**

W, W70RW, W70bRW15-4, W70rRW15, W70bRW15, W70bRW30-4



**(C) 30% cooked red rice noodles**



圖十九、30%紅糯米取代之麵帶及麵條外觀照片。

Figure 19. Pictures of 30% red rice noodle sheets and noodles; (A) 30% red rice noodle sheets, in sequence from the left side to the right: W, W70RW, W70bRW15-4, W70rRW15, W70bRW15, (B) 30% raw rice noodles, the same order to (A), (C) 30% cooked rice noodles, the same order to (A).



## (二) 米麵條質地

以紅糯米及黑糯米穀粉 30%取代之米麵條質地測定結果，整理於表十八與十九。在硬度測試中，相較於小麥麵粉麵條而言，以米穀粉 30%取代小麥麵粉製成之米麵條硬度較低，且咀嚼性（表中之做功面積）與柔軟度均較低。

### 1. 硬度、咀嚼性與柔軟度

米麵條硬度中，以未經濕熱處理之米穀粉，製成米麵條時，硬度、咀嚼性與柔軟度最高。經濕熱處理後，以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘之米穀粉所製成之米麵條，硬度、咀嚼性與柔軟度最接近濕熱處理前之值。而以糙米形式進行濕熱處理，以及在濕熱處理過程中添加相對於米重之 0.4 倍水量，將造成硬度、咀嚼性與柔軟度更為降低，此亦可由麵帶、生麵條與熟麵條之初步外觀觀察結果得知（圖十九）。由此可知，濕熱處理將造成米麵條在硬度、咀嚼性與柔軟度的質地下降，但以稻穀形式進行濕熱處理 15 分鐘，可減緩其下降程度；且濕熱處理後之糯米，可提升麵糰操作性，亦使米穀粉內部之酵素失活，延長其貨架期，具有其開發優勢。

### 2. 黏著力與柔軟度

在黏性測定結果中，未經過濕熱處理之米穀粉，與以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘之米穀粉所製得之米麵條，前者之黏性均較高，而後者之拉伸性顯著較佳 ( $W70rRW15 > W70RW$ )；顯示出適當的濕熱處理（濕熱處理 15 分鐘，不添加水）將可提升米麵條的質地，使黏性降低，拉伸性提升。此與麵條之外觀觀察結果一致，未經濕熱處理之米穀粉製得的米麵條，較乾硬且無彈性；而濕熱處理造成的部分糊化，可使麵糰成糰性較佳，麵帶表面亦較光滑。

整體而言，以米穀粉 30%取代小麥麵粉所製得之米麵條，其烹煮時間顯著減少。以未經濕熱處理之米穀粉，與以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘之糯米，所製得之米麵條，可維持較低的烹煮損失率，與較高的熟麵條硬度；且後者較前者具有較低的黏度與較佳的拉伸性；顯示出適當的濕熱處理在製作米麵條上之優勢。根據 2010 年行政院衛生署食品藥物管理局公布之「全穀產品宣稱及標示原則」，產品所含全穀成分占配方總重量百分比 51%(含)以上，方可以全穀產品或以其所含穀物名稱宣稱。將選取以稻穀為原料，濕熱處理 15 分鐘之糯米，與未濕熱處理之糯米，做為全米麵條（51%米穀粉取代）的米穀粉來源。

表十八、30%紅糯米穀粉取代之熟麵條質地

Table 18. Textural properties of rice noodles prepared with mixtures of wheat and red waxy rice flour (7:3 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Firmness (g)	Work (g·s)	Tenderness (g/s)	Adhesiveness (g)	Tensile strength (g)
W	1355±1 <sup>a</sup>	13549±34 <sup>a</sup>	71±1 <sup>a</sup>	153±22 <sup>f</sup>	163±13 <sup>a</sup>
W70RW	573±10 <sup>b</sup>	6424±89 <sup>b</sup>	40±1 <sup>b</sup>	240±13 <sup>c</sup>	61±5 <sup>f</sup>
W70rRW15	557±10 <sup>c</sup>	5791±75 <sup>c</sup>	40±2 <sup>b</sup>	194±41 <sup>d</sup>	111±6 <sup>b</sup>
W70bRW15	483±7 <sup>d</sup>	5007±55 <sup>d</sup>	35±1 <sup>c</sup>	294±9 <sup>a</sup>	84±11 <sup>de</sup>
W70bRW15-4	425±5 <sup>e</sup>	4636±27 <sup>e</sup>	26±2 <sup>d</sup>	285±28 <sup>b</sup>	89±14 <sup>d</sup>
W70bRW30-4	315±6 <sup>f</sup>	3400±53 <sup>f</sup>	21±1 <sup>de</sup>	187±29 <sup>e</sup>	104±9 <sup>c</sup>

Data expressed as mean±SD.

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

表十九、30%黑糯米穀粉取代之熟麵條質地

Table 19. Textural properties of noodles prepared with mixtures of wheat and black waxy rice flour (7:3 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Firmness (g)	Work (g·s)	Tenderness (g/s)	Adhesiveness (g)
W	1355±1 <sup>a</sup>	13549±34 <sup>a</sup>	71±1 <sup>a</sup>	153±22 <sup>d</sup>
W70BW	573±10 <sup>b</sup>	6561±27 <sup>b</sup>	37±1 <sup>b</sup>	360±41 <sup>a</sup>
W70rBW15	548±4 <sup>c</sup>	5822±19 <sup>d</sup>	36±1 <sup>c</sup>	210±27 <sup>c</sup>
W70bBW15	495±6 <sup>e</sup>	5543±44 <sup>f</sup>	31±1 <sup>d</sup>	264±7 <sup>b</sup>
W70bBW15-4	374±8 <sup>g</sup>	3567±24 <sup>g</sup>	26±2 <sup>c</sup>	135±2 <sup>e</sup>
W70rBW30-4	523±6 <sup>d</sup>	6324±41 <sup>c</sup>	26±1 <sup>e</sup>	156±13 <sup>d</sup>
W70bBW30-4	425±14 <sup>f</sup>	5653±36 <sup>e</sup>	20±1 <sup>f</sup>	45±14 <sup>f</sup>

Data expressed as mean±SD.

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .



## 二、51%有色米穀粉取代之中式米麵條

### (一) 烹煮品質

以紅糯米及黑糯米穀粉 51%取代之米麵條，其烹煮品質測定結果，整理於表二十與二十一（紅糯米），及表二十二與二十三（黑糯米）。

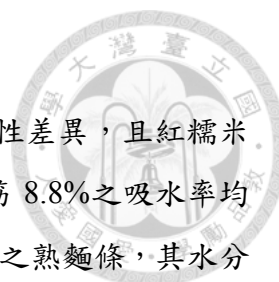
#### 1. 煮麵時間與熟麵條水分含量

以 51%米穀粉取代小麥麵粉所製得之米麵條，其煮麵時間明顯下降；當添加活性麵筋後，煮麵時間比未添加者稍長，顯示活性麵筋可使麵條結構更強韌，而需較長之煮麵時間。在 Ti et al. (2015)的研究中，將紅米及黑米進行預蒸煮的濕熱處理後，測定其煮米時間(rice cooking time)的變化。濕熱處理將造成紅米的煮米時間增長，對黑米的煮米時間則為縮短。整體而言，51%米穀粉取代之米麵條含水量顯著小於小麥麵條；紅糯米麵條之熟麵條含水量介於 54.54-56.54%之間(表二十)，黑糯米麵條則在 55.48-57.15%之間(表二十一)，顯著小於小麥麵條之水分含量 61.09%，水分含量降低可能造成麵條口感上的差異。

#### 2. 烹煮損失率

紅糯米麵條中，不同樣品間均具顯著性差異，烹煮損失率最低者為 W49RWv8.8，較同組之 W49RWv3.6 具較低之烹煮損失率，顯示以未經濕熱處理之米穀粉製作米麵條，添加較多(8.8%)之活性麵筋，可使烹煮損失率下降。而以濕熱處理後之米穀粉製作米麵條，添加活性麵筋樣品的烹煮損失率亦較低。添加 8.8%活性麵筋時，烹煮損失率為 3.39 及 3.81%，較 30%紅糯米穀粉取代之米麵條（同原料）之烹煮損失率 4.7 與 5.4%低。由此可知，添加活性麵筋，可使 51%紅糯米穀粉取代之米麵條烹煮損失率下降，且可比 30%紅糯米穀粉取代之烹煮損失率低。

黑糯米麵條中，整體上烹煮損失率均顯著高於小麥麵條之烹煮損失率。未經濕熱處理的米穀粉所製備之米麵條，添加 8.8%活性麵筋的烹煮損失率較添加 3.6%高；將黑糯米濕熱處理 15 分鐘後，亦是相同的趨勢。顯示黑糯米穀粉取代之米麵條，添加活性麵筋並無法降低烹煮損耗率，推測在高取代度(51%)的黑糯米麵條製作上，因黑糯米本身之特性，而無法以添加活性麵筋增強麵條結構。



### 3. 麵條吸水率

以 51%米穀粉取代之紅糯米麵條中，不同樣品間均具顯著性差異，且紅糯米麵條之吸水率均較小麥麵條低。同一處理條件下，添加活性麵筋 8.8%之吸水率均較添加活性麵筋 3.6%之吸水率小；此現象與添加活性麵筋 8.8%之熟麵條，其水分含量小於添加活性麵筋 3.6%之趨勢一致。一般而言，活性麵筋在麵糰成糰過程中會搶水，因此在製麵過程中，添加活性麵筋時須調整加水量，由 35%提升至 37.5 與 38%。一般中式麵條製程中，加水量為 35-40%，若添加活性麵筋時，可再提升加水量，或可改善其熟麵條含水量與麵條吸水率，以增進麵條質地。

以 51%米穀粉取代之黑糯米麵條中，吸水率均顯著小於小麥麵條。同一活性麵筋添加量條件下，其吸水率均以未濕熱處理之樣品大於濕熱處理之樣品 ( $W49BWv3.6 > W49rBW15v3.6$ ;  $W49BWv8.8 > W49rBW15v8.8$ )，顯示將米穀粉進行濕熱處理 15 分鐘，將使麵條之吸水率下降。

### 4. 熟麵條寬度、厚度與膨脹度

紅糯米（表二十一）與黑糯米（表二十三）51%取代之米麵條，其熟麵條寬度較小麥麵條小，而膨脹度在長度與寬度上亦較小麥麵條小，此與 51%米麵條之吸水率小於小麥麵條之趨勢一致。而添加活性麵筋後，其熟麵條寬度與膨脹度、長度之膨脹度均較添加活性麵筋前 ( $W49rRW15$  與  $W49rBW15$ ) 高，顯示添加活性麵筋可增強麵條結構，使米麵條結構部分回復至小麥麵條之結構程度。

### 5. 麵帶與麵條外觀

圖二十與圖二十一為 51%米穀粉取代之麵帶與麵條之外觀照片。51%之紅糯米生麵條外觀表面均較 30%乾硬，添加活性麵筋後，在麵條製作過程中，麵糰成糰性較佳，且麵帶表面亦較光滑，添加活性麵筋含量愈多，此現象愈明顯。不添加活性麵筋時，濕熱處理亦無法加強麵條之強度，煮熟後及斷裂成小條狀，顯示出 51%米麵條添加活性麵筋之必要性。而添加活性麵筋 3.6%時，熟麵條之外觀呈現微裂狀態，無法呈現完整之麵條形狀，如圖二十一(C)，顯示出 51%之米麵條，需添加較多量之活性麵筋(8.8%)，以增強麵條結構，維持熟麵條之外觀完整性。



表二十、51%紅糯米穀粉取代之紅糯米麵條煮麵品質

Table 20. Cooking quality of noodle prepared with blends of wheat and red waxy rice flour (49:51 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Cooking time (min)	Moisture (%)	Cooking loss (%)	Water absorption <sup>2</sup>
				(%)
W	14.5	61.09±0.69 <sup>a</sup>	3.63±0.13 <sup>d</sup>	1.35±0.01 <sup>a</sup>
W49rRW15	7.0	55.55±0.78 <sup>bc</sup>	4.09±0.05 <sup>a</sup>	1.22±0.06 <sup>d</sup>
W49RWv3.6	8.5	56.39±0.61 <sup>b</sup>	3.84±0.02 <sup>b</sup>	1.28±0.10 <sup>c</sup>
W491RWv8.8	8.0	54.54±0.37 <sup>c</sup>	3.39±0.08 <sup>e</sup>	1.17±0.04 <sup>e</sup>
W49rRW15v3.6	8.0	56.65±0.33 <sup>b</sup>	3.76±0.04 <sup>c</sup>	1.30±0.01 <sup>b</sup>
W49rRW15v8.8	9.0	56.59±0.15 <sup>b</sup>	3.81±0.10 <sup>b</sup>	1.27±0.05 <sup>c</sup>

Data expressed as mean±SD.

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> Water absorption was reported as the percent increase in the weight of the cooked noodles (weight of cooked noodle minus weight of dried noodle) compared to the dry noodle weight.

表二十一、51%紅糯米穀粉取代之熟麵條寬度、厚度及膨脹度

Table 21. The width, thickness and the degree of swelling of cooked red rice noodles prepared with blends of wheat and red waxy rice flour (49:51 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Width (cm)	Thickness (cm)	Degree of swelling <sup>2</sup>		
			Length	Width	Thickness
W	0.65±0.02 <sup>a</sup>	0.37±0.03 <sup>de</sup>	1.20±0.02 <sup>a</sup>	1.30±0.04 <sup>a</sup>	1.09±0.09 <sup>c</sup>
W49rRW15	0.57±0.11 <sup>c</sup>	0.37±0.13 <sup>d</sup>	1.07±0.02 <sup>e</sup>	1.14±0.02 <sup>d</sup>	1.15±0.03 <sup>ab</sup>
W49RWv3.6	0.61±0.04 <sup>b</sup>	0.38±0.05 <sup>bc</sup>	1.09±0.05 <sup>cd</sup>	1.21±0.01 <sup>b</sup>	1.14±0.02 <sup>ab</sup>
W49RWv8.8	0.58±0.10 <sup>bc</sup>	0.39±0.08 <sup>b</sup>	1.11±0.00 <sup>bc</sup>	1.16±0.02 <sup>cd</sup>	1.12±0.02 <sup>bc</sup>
W49rRW15v3.6	0.57±0.11 <sup>bc</sup>	0.37±0.12 <sup>cde</sup>	1.08±0.01 <sup>de</sup>	1.15±0.02 <sup>cd</sup>	1.14±0.06 <sup>ab</sup>
W49rRW15v8.8	0.58±0.09 <sup>bc</sup>	0.42±0.11 <sup>a</sup>	1.12±0.01 <sup>b</sup>	1.16±0.02 <sup>cd</sup>	1.17±0.03 <sup>a</sup>

Data expressed as mean±SD.

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> Degree of swelling was reported as the length, width or thickness of cooked noodles compared to the dry noodles.

表二十二、51%黑糯米穀粉取代之紅糯米麵條煮麵品質

Table 22. Cooking quality of noodle prepared with blends of wheat and black waxy rice flour (49:51 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Cooking time (min)	Moisture (%)	Cooking loss (%)	Water absorption <sup>2</sup>
				(%)
W	14.5	61.09±0.69 <sup>a</sup>	3.63±0.13 <sup>e</sup>	1.35±0.01 <sup>a</sup>
W49rBW15	7.0	56.06±0.57 <sup>cd</sup>	5.26±0.02 <sup>c</sup>	1.21±0.05 <sup>e</sup>
W49BWv3.6	6.5	56.50±0.06 <sup>bc</sup>	5.24±0.10 <sup>c</sup>	1.29±0.04 <sup>b</sup>
W49BWv8.8	8.0	57.15±0.20 <sup>b</sup>	6.90±0.02 <sup>b</sup>	1.28±0.10 <sup>c</sup>
W49rBW15v3.6	7.5	57.27±0.56 <sup>b</sup>	4.80±0.06 <sup>d</sup>	1.27±0.06 <sup>d</sup>
W49rBW15v8.8	8.0	55.48±0.38 <sup>d</sup>	9.05±0.12 <sup>a</sup>	1.19±0.10 <sup>f</sup>

Data expressed as mean±SD.

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> Water absorption was reported as the percent increase in the weight of the cooked noodles (weight of cooked noodle minus weight of dried noodle) compared to the dry noodle weight.

表二十三、51%黑糯米穀粉取代之熟麵條寬度、厚度及膨脹度

Table 23. The width, thickness and the degree of swelling of cooked black rice noodles prepared with blends of wheat and black waxy rice flour (49:51 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Width (cm)	Thickness (cm)	Degree of swelling <sup>2</sup>		
			Length	Width	Thickness
W	0.65±0.02 <sup>a</sup>	0.37±0.03 <sup>d</sup>	1.20±0.02 <sup>a</sup>	1.30±0.04 <sup>a</sup>	1.09±0.09 <sup>c</sup>
W49rBW15	0.55±0.07 <sup>d</sup>	0.38±0.17 <sup>cd</sup>	1.08±0.01 <sup>e</sup>	1.11±0.01 <sup>d</sup>	1.19±0.05 <sup>a</sup>
W49BWv3.6	0.60±0.14 <sup>b</sup>	0.39±0.07 <sup>c</sup>	1.11±0.01 <sup>cd</sup>	1.20±0.03 <sup>b</sup>	1.14±0.02 <sup>b</sup>
W49BWv8.8	0.60±0.08 <sup>b</sup>	0.41±0.07 <sup>b</sup>	1.13±0.00 <sup>b</sup>	1.20±0.02 <sup>b</sup>	1.07±0.02 <sup>c</sup>
W49rBW15v3.6	0.58±0.08 <sup>c</sup>	0.40±0.05 <sup>b</sup>	1.10±0.01 <sup>d</sup>	1.16±0.01 <sup>c</sup>	1.08±0.02 <sup>c</sup>
W49rBW15v8.8	0.59±0.07 <sup>c</sup>	0.44±0.08 <sup>a</sup>	1.11±0.01 <sup>cd</sup>	1.17±0.01 <sup>c</sup>	1.09±0.03 <sup>c</sup>

Data expressed as mean±SD.

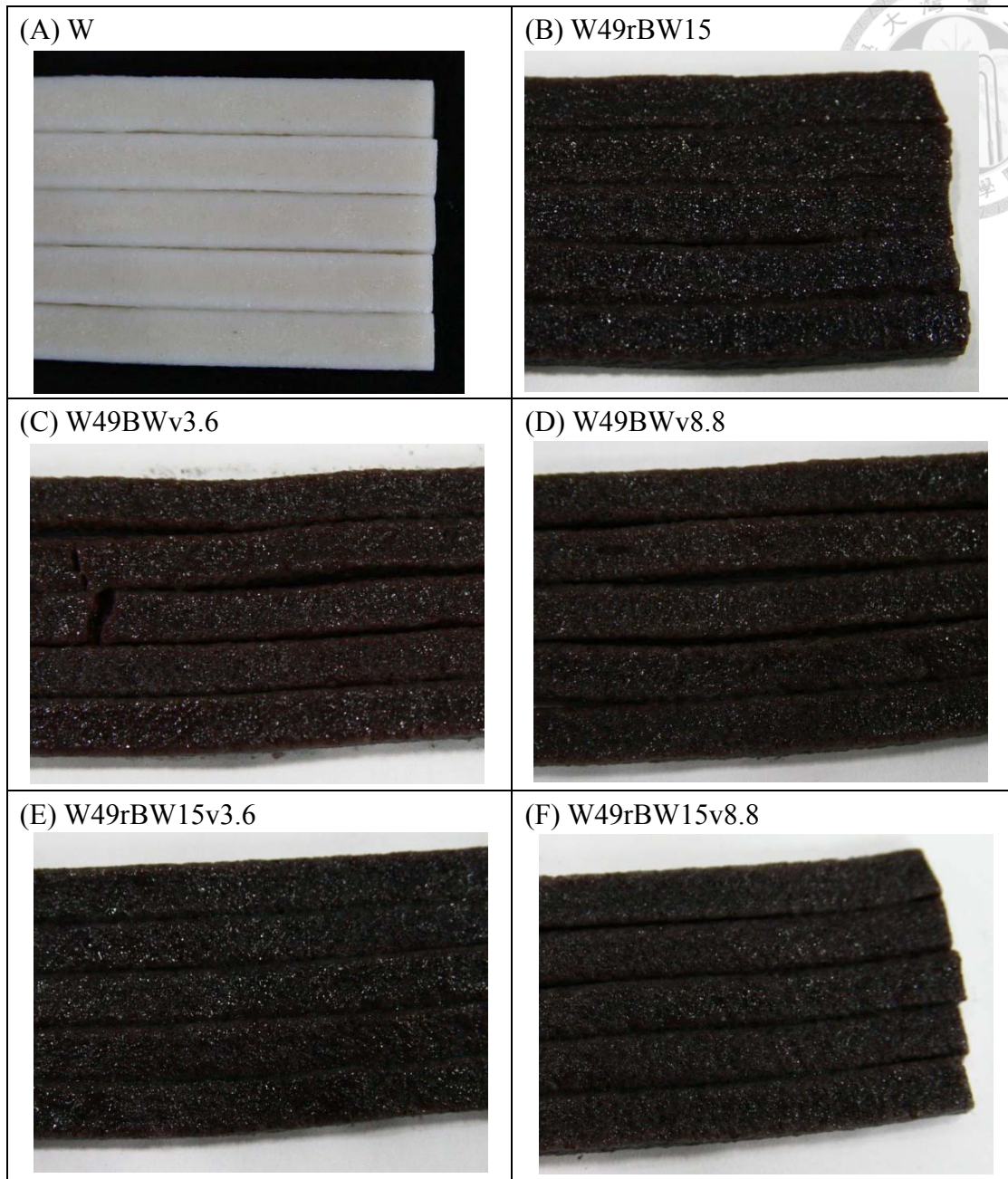
<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> Degree of swelling was reported as the length, width or thickness of cooked noodles compared to the dry noodles.



圖二十、51%米穀粉取代之麵帶與麵條外觀照片。

Figure 20. Pictures of noodle sheets and noodles; (A) to (E) 51% red rice raw noodles, (F) 51% red rice cooked noodles, in sequence from the left side to the right: W, W49RWv3.6, W49rRW15, W49RWv8.8, W49rRW15v3.6, W49rRW15v8.8, (G) 51% black rice noodle sheets, in sequence from the left side to the right: W, W49rBW15, W49BWv3.6, W49BWv8.8, W49rBW15v3.6, W49rBW15v8.8.



圖二十一、黑糯米麵條外觀照片。

Figure 21. Pictures of cooked black rice noodles; (A) W, (B) W49rBW15, (C) W49BWv3.6, (D) W49BWv8.8, (E) W49rBW15v3.6, (F) W49rBW15v8.8.



## (二) 米麵條質地

以紅糯米及黑糯米穀粉 51%取代之米麵條，其質地測定結果，整理於表二十四與二十五。

### 1. 硬度、咀嚼性與柔軟度

紅糯米麵條中，各樣品之硬度均有顯著性差異。整體而言，紅糯米麵條之硬度、咀嚼性與柔軟度均小於小麥麵條。紅糯米麵條中，添加活性麵筋愈多時，其硬度、咀嚼性與柔軟度值愈高。無添加活性麵筋之 W49rRW15 硬度，與同組間添加活性麵筋 8.8%之 W49rRW15v8.8，前者硬度為後者之 58.8%；顯示添加活性麵筋，可大幅提升米麵條硬度。在添加同量之活性麵筋情形下，其硬度與柔軟度以未經濕熱處理之 W49RW 較大，而 W49rRW15 較小(W49RWv3.6 > W49rRW15v3.6; W49RWv8.8 > W49rRW15v8.8)；顯示濕熱處理將使米麵條硬度與咀嚼性降低。

黑糯米麵條中，各樣品之硬度均有顯著性差異。黑糯米麵條之趨勢與紅糯米麵條相仿，各組間添加活性麵筋愈多時，其硬度、咀嚼性與柔軟度愈大。經濕熱處理 15 分鐘之黑糯米穀粉所製得之米麵條，添加 8.8%活性麵筋後，其硬度可比添加 8.8%未經濕熱處理之米麵條硬度顯著較大，顯示添加活性麵筋對經濕熱處理之米麵條，在硬度回升上效用較大。整體而言，當活性麵筋添加量達 8.8%，可使米麵條之硬度達小麥麵條硬度之 82.6%（紅糯米麵條）與 67.8%（黑糯米麵條）。

### 2. 黏著力

紅糯米麵條之黏著力均顯高於小麥麵條。其中以濕熱處理 15 分鐘之紅糯米穀粉製備紅糯米麵條，添加活性麵筋 8.8%之黏著力較添加 3.6%低；未經濕熱處理之樣品間則相反。在添加活性麵筋含量 3.6%麵條中，其黏著力以經濕熱處理之樣品較高，而在添加活性麵筋含量 8.8%麵條中則相反。一般而言，較低的麵條黏著力對於消費者接受度較高。此結果顯示經過濕熱處理之紅糯米穀粉，添加活性麵筋含量較多時，可降低其米麵條黏著力，提升消費者接受度。

黑糯米麵條中，未添加活性麵筋的樣品，其黏著力最大；添加活性麵筋可降低米麵條之黏著力，且濕熱處理 15 分鐘之黑糯米穀粉所製得之米麵條，添加活性麵筋達 8.8%時，其黏著力可與小麥麵條之黏著力相仿，具有低黏著力。可知以濕

熱處理之米穀粉製備米麵條，增加活性麵筋含量可顯著降低其黏著力。整體而言，在 51%有色米穀粉取代之米麵條中，添加活性麵筋可降低其黏著力，且對濕熱處理後之樣品具有較顯著的影響力。



表二十四、51%紅糯米穀粉取代之熟麵條質地

Table 24. Textural properties of noodles prepared with mixtures of wheat and red waxy rice flour (49:51 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Firmness (g)	Work (g·s)	Tenderness (g/s)	Adhesiveness (g)	Tensile strength (g)
W	1355±01 <sup>a</sup>	13549±34 <sup>a</sup>	71±1 <sup>a</sup>	153±22 <sup>d</sup>	163±13 <sup>ab</sup>
W49rRW15	574±05 <sup>f</sup>	6229±93 <sup>e</sup>	42±2 <sup>f</sup>	358±15 <sup>b</sup>	N.D. <sup>2</sup>
W49RWv3.6	766±26 <sup>d</sup>	8154±93 <sup>c</sup>	49±2 <sup>d</sup>	275±0 <sup>c</sup>	155±10 <sup>b</sup>
W49RWv8.8	1120±04 <sup>b</sup>	10919±72 <sup>b</sup>	59±2 <sup>b</sup>	377±35 <sup>ab</sup>	112±05 <sup>b</sup>
W49rRW15v3.6	673±10 <sup>e</sup>	7318±94 <sup>d</sup>	45±1 <sup>e</sup>	415±11 <sup>a</sup>	166±09 <sup>a</sup>
W49rRW15v8.8	976±14 <sup>c</sup>	10922±57 <sup>b</sup>	52±2 <sup>c</sup>	281±0 <sup>c</sup>	96±06 <sup>d</sup>

Data expressed as mean±SD.

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> N.D., non-detectable.

表二十五、51%黑糯米穀粉取代之熟麵條質地

Table 25. Textural properties of noodles prepared with mixtures of wheat and black waxy rice flour (49:51 weight ratio) <sup>1</sup>

Samples	Firmness (g)	Work (g·s)	Tenderness (g/s)	Adhesiveness (g)	Tensile strength (g)
W	1355±01 <sup>a</sup>	13549±34 <sup>a</sup>	71±1 <sup>a</sup>	153±22 <sup>c</sup>	163±13 <sup>a</sup>
W49rBW15	439±06 <sup>f</sup>	4734±07 <sup>e</sup>	29±1 <sup>f</sup>	392±31 <sup>a</sup>	61±04 <sup>d</sup>
W49BWv3.6	627±05 <sup>d</sup>	6553±67 <sup>d</sup>	41±1 <sup>d</sup>	308±16 <sup>b</sup>	97±04 <sup>c</sup>
W49BWv8.8	889±06 <sup>c</sup>	9056±79 <sup>c</sup>	48±1 <sup>b</sup>	270±06 <sup>b</sup>	131±03 <sup>b</sup>
W49rBW15v3.6	587±04 <sup>e</sup>	6566±71 <sup>d</sup>	34±1 <sup>e</sup>	304±07 <sup>b</sup>	95±03 <sup>c</sup>
W49rBW15v8.8	920±12 <sup>b</sup>	9769±64 <sup>b</sup>	45±1 <sup>c</sup>	191±25 <sup>c</sup>	133±02 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ . Data expressed as mean±SD.



### 3. 拉伸強度

紅糯米麵條中，W49rRW15 樣品煮熟後斷裂成小條狀，無法測定其拉伸強度，顯示出 51%米穀粉取代之米麵條，添加活性麵筋之必要性。

黑糯米麵條中，添加活性麵筋 8.8%之樣品，其拉伸強度均較添加活性麵筋 3.6%之樣品大，而在相同的活性麵筋添加量條件下，未經濕熱處理與濕熱處理之米穀粉所製成之米麵條，其拉伸強度相同。

對稻米進行濕熱處理，以改善麵條質地之相關研究，可與本試驗相互比較。Hormdok and Noomhorm (2007) 指出，以未經處理之米穀粉(native rice flour)與濕熱處理之米澱粉(hmt rice starch)所製得之米麵條，較未經處理的米穀粉所製得之米麵條，具有更強之拉伸力、硬度與彈性，並具較低之烹煮損失率。Cham and Suwannaporn (2010)之研究指出，濕熱處理之米麵條(hmt rice noodles)具有更強之拉伸力、膠體硬度，並可提升烹煮產量(cooking yield)。Chung et al. (2012)之研究指出，以發芽糙米進行米麵條之製作，糙米和小麥麵粉之比例為 1:1 時，其糊液黏度性質最接近純小麥麵粉之糊液黏度。以濕熱處理之發芽糙米，與小麥麵粉所製備之米麵條，相較於以未處理之發芽糙米與小麥麵粉所製備之米麵條，前者具較低之烹煮損失率，較高之麵條硬度與拉伸力。而 Nakamura et al. (2010)的研究指出，因發芽糙米中含有高含量的抗性澱粉，將發芽糙米(super-hard cultivar EM10)和小麥麵粉混合，可製成高品質的麵包和麵條。

#### 小結

整體而言，51%米穀粉取代之米麵條，添加活性麵筋可使米麵條之烹煮損失率下降，硬度、咀嚼性與柔軟度提升，並降低黏著力，且對濕熱處理後之樣品具有較顯著的影響力。在黑糯米條麵中，8.8%的活性麵筋添加量，與小麥麵條之蛋白質含量相當時，可維持熟麵條之完整性，增強麵條結構使米麵條結構部分回復至與小麥麵條相仿之程度。

本試驗以糯米做為米穀粉來源，將米穀粉進行濕熱處理，可改善高取代度之米麵條質地。選取米穀粉及小麥麵粉之配粉中，其糊液黏度性質與小麥麵粉最接近者，所得之麵條質地性質亦較佳，因此，可從配粉之糊液黏度性質，推測麵條之質地性質，並可經由適量的活性麵筋添加，以改善米穀粉高取代時之全米麵條的烹煮與食用品質。

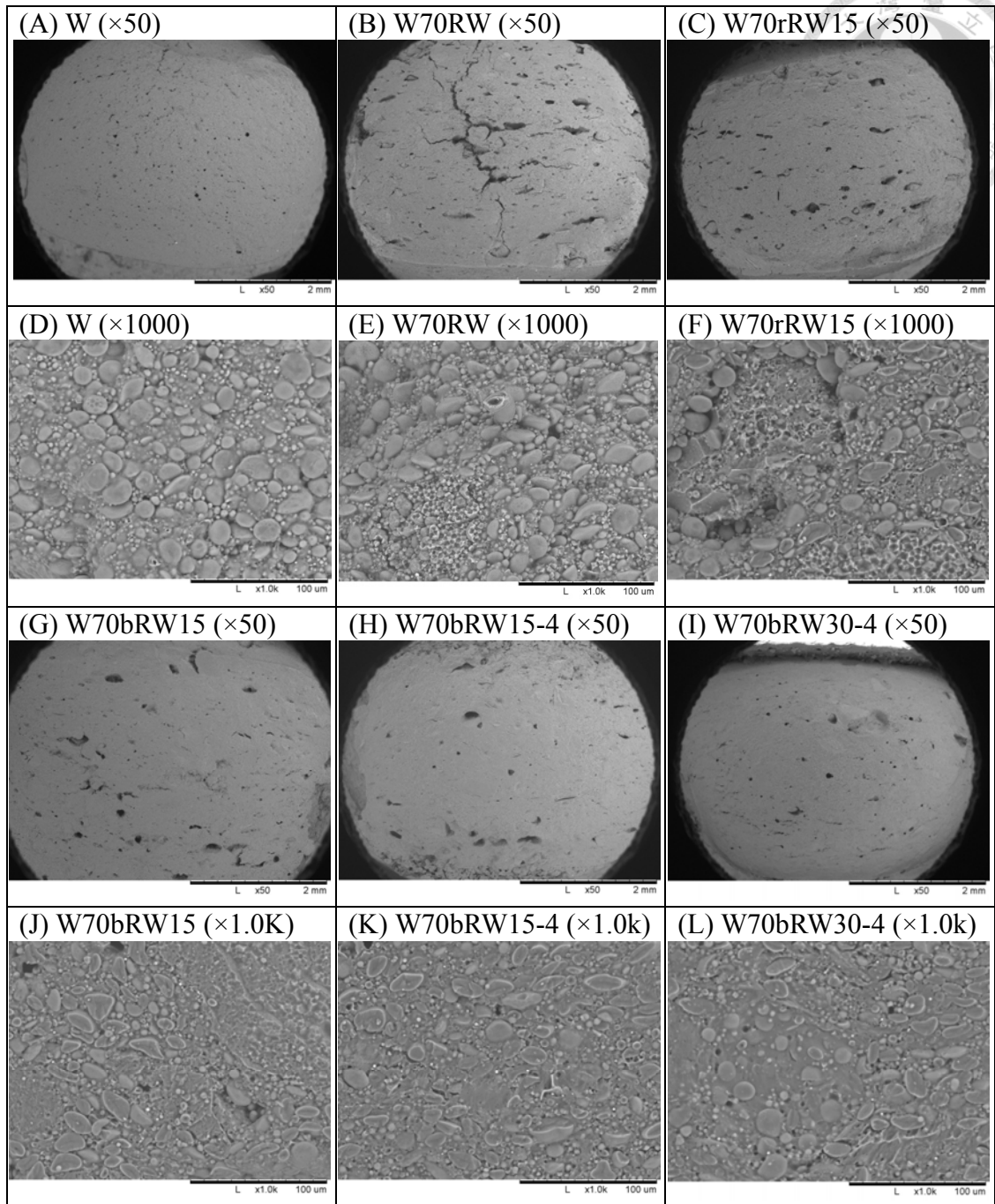
## 第五節、米穀粉與米麵條之微結構--掃描式電子顯微鏡

以掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察 30%及 51%米穀粉取代之生麵條與熟麵條外觀結構，結果如圖二十二至圖二十五所示。在 50 倍的放大倍率下，可看見小麥麵粉麵條質地較為緊密，孔洞小而多；以 30%紅糯米穀粉取代之米麵條，其質地較為疏鬆，孔洞較大且有裂痕，推測因生澱粉不易與麵筋結構產生結合所致。經過濕熱處理後之紅糯米穀粉，與小麥麵粉製成生麵條後，因濕熱處理造成澱粉部分糊化，因此在麵條外觀結構上較不易產生裂痕；而未經濕熱處理之紅糯米穀粉，與小麥麵粉製成米麵條後，可看見生麵條產生許多裂痕，如圖二十二(B)，此與觀察 W70RW 之結構較乾硬而無彈性之結果相符。紅糯米穀粉中，濕熱處理程度高者，製成米麵條後質地較細緻孔洞較少，雖為生麵條但外觀上已和熟麵條相似如圖二十二(H)及(I)所示。在煮麵品質測定與質地測試結果中，濕熱處理程度高者，其煮麵損失率增高，煮麵時吸水量下降，硬度較低且黏度較高；因此在 SEM 結果中，結構看似細緻但不緊密，生麵條中的澱粉顆粒已部分糊化，如圖二十二(K)及(L)所示。在圖二十二(F)、(J)、(K)及(L)中可看見，隨著濕熱處理程度增高，米澱粉分子顆粒逐漸變小，顯示濕熱處理造成澱粉部分糊化。

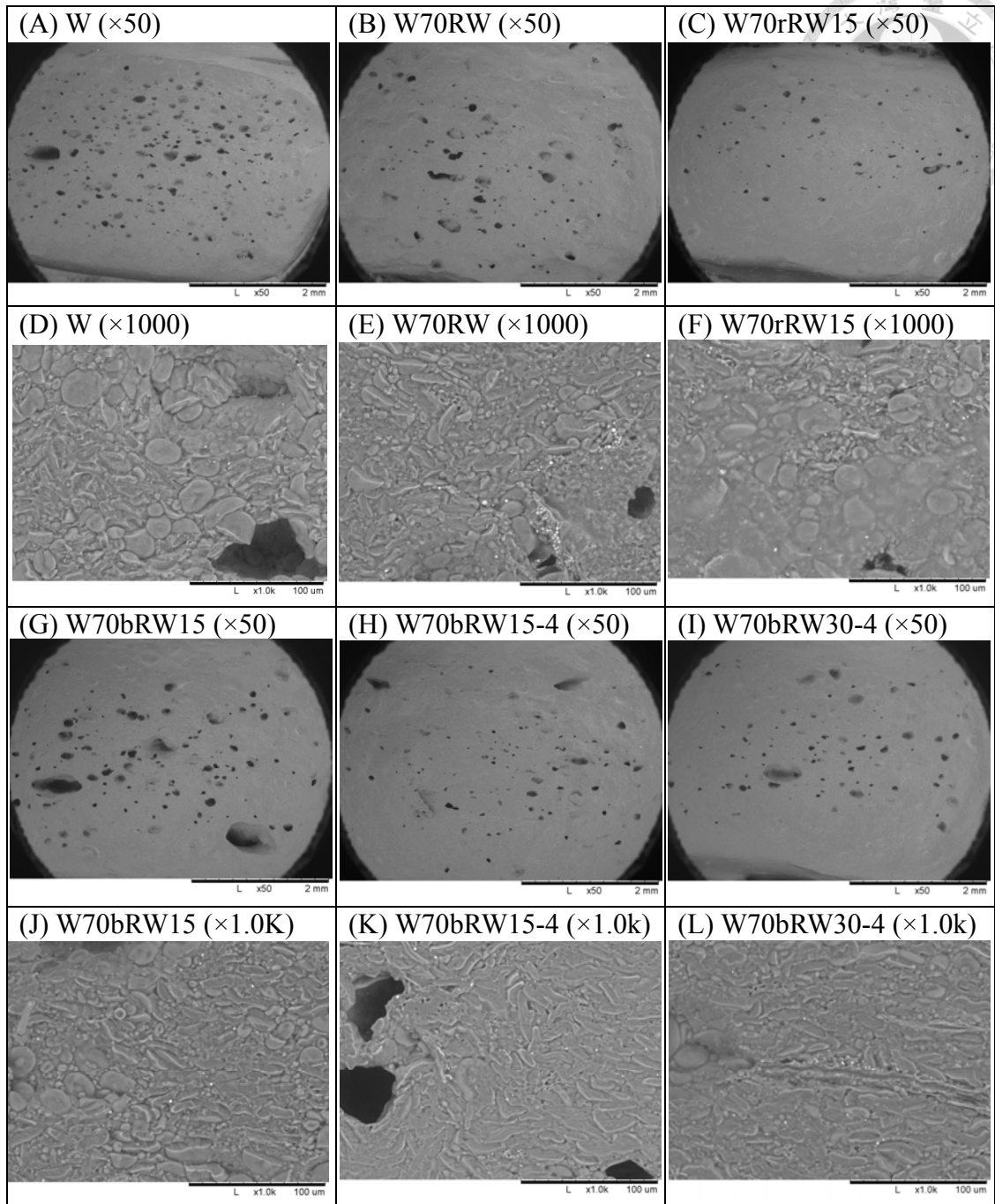
圖二十三為 30%紅糯米穀粉取代之熟麵條，可發現 30%米穀粉取代之米麵條中，小麥澱粉顆粒變小，且隨著米穀粉之濕熱處理程度愈高，小麥澱粉顆粒變形更為嚴重，成為細長型，如圖二十三(K)及(L)所示。然而，(K)與(L)之最適煮麵時間相較於其它樣品較短，可知在煮麵過程中，因米穀粉糊化程度高，加速了小麥澱粉之糊化作用。

圖二十四與圖二十五為 51%熟麵條之 SEM 影像圖，圖二十四為紅糯米麵條，圖二十五為黑糯米麵條。圖二十四中，在熟麵麵條之中心位置部分(center)，仍有一些澱粉顆粒未糊化，而表面部分(surface)則呈現網狀結構；添加活性麵筋後，網狀結構較未添加者(F)連續且完整，其網狀結構為由活性麵筋所形成之膠體物質。圖二十五中，添加 8.8%活性麵筋之樣品，擁有較完整且連續的網狀結構，而未添加活性麵筋之米麵條，因小麥麵粉含量僅占 49%，其網狀結構明顯較為鬆散，孔洞較大。

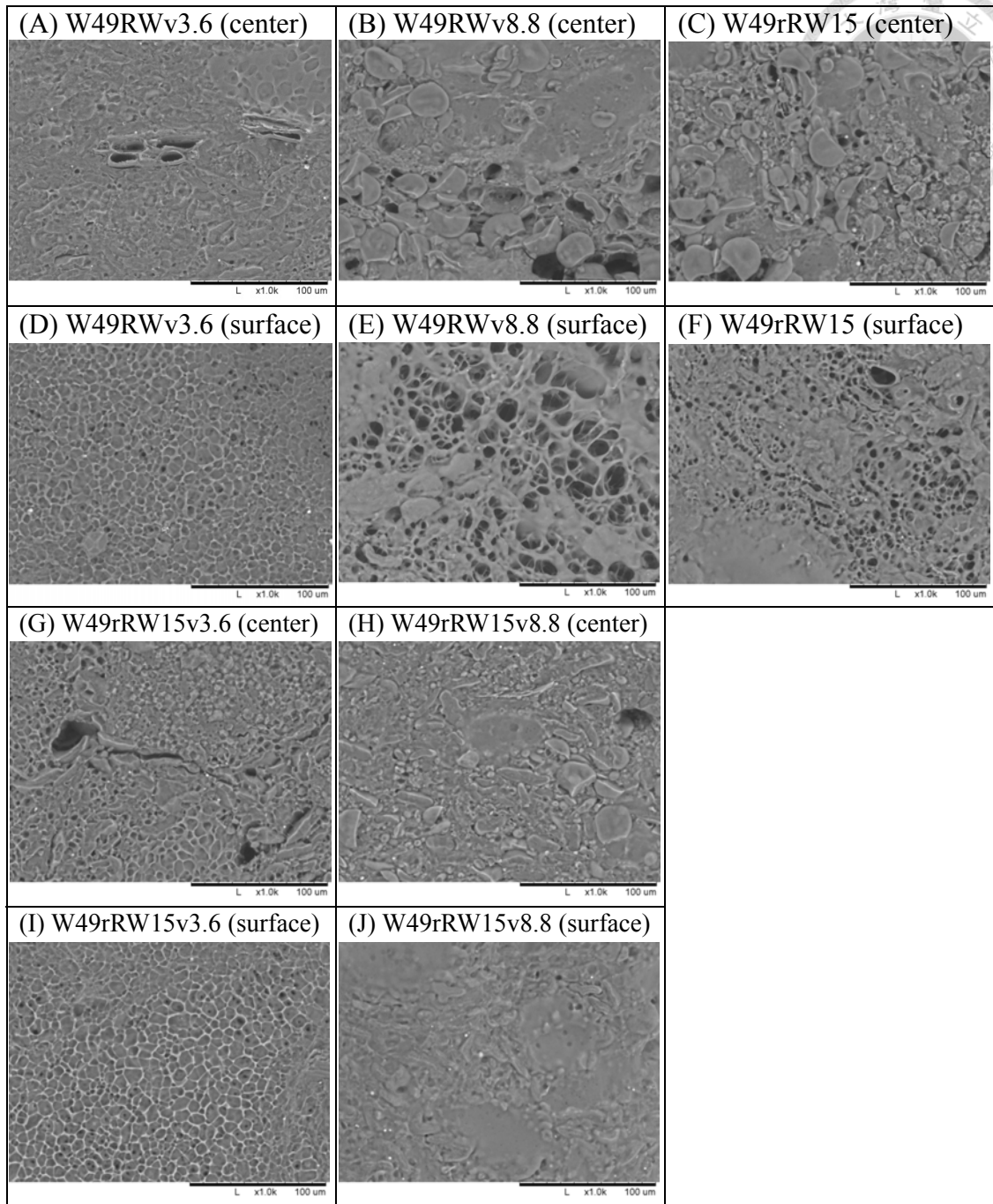




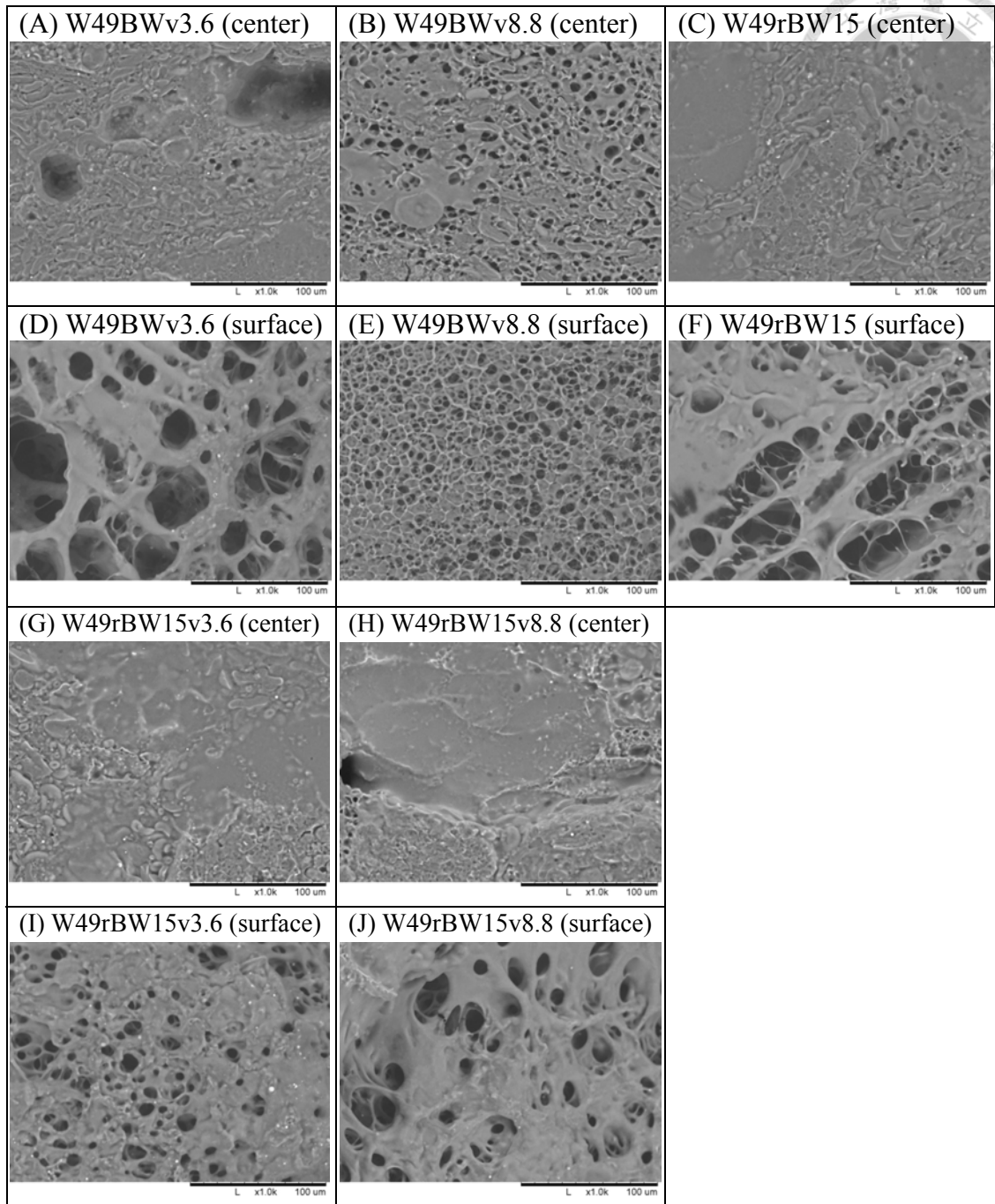
圖二十二、小麥麵條及 30%米穀粉取代之紅糯生麵條之掃描式電子顯微鏡影像。  
 Figure 22. SEM images of raw wheat noodle and 30% red rice noodles; bar (—) = 100  $\mu\text{m}$ .



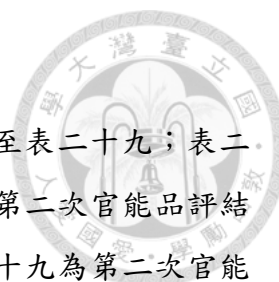
圖二十三、小麥麵條及 30%米穀粉取代之紅糯熟麵條掃描式電子顯微鏡影像。  
Figure 23. SEM images of cooked wheat noodle and 30% red rice noodles; bar (—) = 100  $\mu\text{m}$ .



圖二十四、51%米穀粉取代之紅糯熟麵條掃描式電子顯微鏡影像。  
 Figure 24. SEM images of cooked 51% red rice noodles; bar (—) = 100  $\mu$ m.



圖二十五、51%米穀粉取代之黑糯熟麵條掃描式電子顯微鏡影像。  
 Figure 25. SEM images of cooked 51% red rice noodles; bar (—) = 100  $\mu$ m.



## 第六節、官能品評

紅糯米麵條與黑糯米麵條之官能品評分數結果，表二十六至表二十九；表二十六與表二十七為第一次官能品評，表二十八與表二十九則為第二次官能品評結果。圖二十六至圖二十八為第一次官能品評分數分布圖，圖二十九為第二次官能品評分數之不同年齡層分布圖。

### 一、整體接受度

紅糯米之官能品評項目中，整體接受度分數均無顯著性差異。第一次品評結果，樣品 W49rRW15v8.8 (51%取代) 之整體接受度 5 分以上之高分群較多；其他 W70RW (30%取代) 與 W49RWv8.8 (51%取代) 之分數分布群較廣，其中以 W49RWv8.8 更為顯著。整體接受度分數在 5 分以上者，W70RW 佔 68.18%，W49RWv8.8 佔 63.83%，W49rRW15v8.8 佔 86.05%。第二次官能品評中，整體接受度分數在 5 分以上者，W70RW 佔 80%，W49RWv8.8 佔 75.38%，W49rRW15v8.8 佔 86.56%，顯示受試者對以濕熱處理後之紅糯米穀粉，作為 51%取代之紅糯米麵條接受度較高。而整體上有大於六成之受試者可接受 30%與 51%紅糯米穀粉取代之米麵條。

黑糯米之官能品評項目中，第一次官能品評結果，整體接受度分數以 W49BWv8.8 (51%取代) 顯著高於其他二者，其整體接受度分數在 5 分以上者佔 90.9%，顯示此次官能品評有九成以上受試者對 W49BWv8.8 此樣品可接受或更佳。第二次官能品評結果，其整體接受度分數在 5 分以上者，W70BW 佔 63.77%，W49BWv8.8 佔 71.21%，W49rBW15v8.8 佔 70.15%，顯示受試者對於 51%的黑糯米穀粉取代米麵條接受度大於 30%取代。

### 二、顏色

紅糯米麵條顏色之官能品評中，第一次官能品評結果，不同樣品間分數群分布均以 5 分者最多，7 分者次之；其分數在 5 分以上者，W70RW 佔 76.59%，W49RWv8.8 佔 85.11%，W49rRW15v8.8 佔 80.85%，其中後二者為 51%取代，顯示受試者對於紅糯米穀粉取代較多而紅色澤較深之米麵條，其接受度較高。第二次官能品評結果，其分數在 5 分以上者，W70RW 佔 85.92%，W49RWv8.8 佔 81.94%，

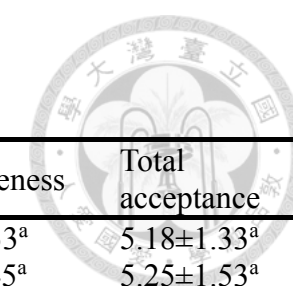
W49rRW15v8.8 佔 82.19%，顯示有八成以上受試者可接受紅糯米麵條之色澤。

黑糯米麵條之顏色官能品評，第一次官能品評結果，W70BW（30%取代）與 W49BWv8.8（51%取代）以 5 分者最多，W49rBW15v8.8 則以 6 分者最多；其分數在 5 分以上者，W70BW 佔 78.26%，W49BWv8.8 佔 80%，W49rBW15v8.8 佔 76.09%。其中 W49rBW15v8.8 因黑糯米為濕熱處理之糯米穀粉，其顏色為三者中最深者，受試者對其色澤喜好不一：分數 6 分者佔 21.74%，分數於 5 分以下者佔 23.91%。由此可知，對於黑糯米麵條之黑色色澤，受試者對於顏色較不黑之色澤接受度較高。第二次官能品評結果，其分數在 5 分以上者，W70BW 佔 54.17%，W49BWv8.8 佔 62.5%，W49rBW15v8.8 佔 62.5%，此結果與第一次官能品評結果相反，且受試者對於黑糯米麵條之顏色接受度較第一次低。

### 三、香氣

第一次官能品評結果，受試者對於紅糯米麵條之香氣接受度趨勢相同，以 5 分者最多，7 分者次之；5 分以上者，W70RW 佔 82.61%，W49RWv8.8 佔 88.64%，W49rRW15v8.8 佔 91.49%。顯示受試者有八成至九成以上可接受紅糯米麵條顏色之香氣。第二次官能品評結果，分數在 5 分以上者，W70RW 佔 75%，W49RWv8.8 佔 83.56%，W49rRW15v8.8 佔 78.08%，顯示有 75% 以上受試者可接受紅糯米麵條之香氣，且對 W49RWv8.8 之接受度較高。

黑糯米麵條中，第一次官能品評結果，受試者對香氣之接受度不一；W70BW 以 5 分者最多，4 分者次之；W49BWv8.8 中 7 分和 5 分之人數百分比相同；W49rBW15v8.8 則以 5 分者最多，7 分者次之。5 分以上者，W70BW 佔 77.78%，W49BWv8.8 佔 84.44%，W49rBW15v8.8 佔 82.61%。第二次官能品評結果，W70BW 佔 54.17%，W49BWv8.8 佔 73.61%，W49rBW15v8.8 佔 57.14%，顯示出受試者對 W49BWv8.8 之接受度較高。



表二十六、第一次紅糯米麵條嗜好性官能品評結果<sup>1</sup>

Table 26. Results first time sensory evaluation of red rice noodles

Samples	Color	Aroma	Flavor	Springiness	Firmness	Adhesiveness	Total acceptance
W70RW	5.57±1.79 <sup>a</sup>	5.55±1.57 <sup>a</sup>	5.04±1.68 <sup>a</sup>	4.74±1.50 <sup>b</sup>	4.70±1.30 <sup>a</sup>	5.04±1.33 <sup>a</sup>	5.18±1.33 <sup>a</sup>
W49RWv8.8	5.55±1.46 <sup>a</sup>	5.83±1.56 <sup>a</sup>	5.39±1.69 <sup>a</sup>	4.91±1.77 <sup>ab</sup>	5.00±1.55 <sup>a</sup>	5.11±1.45 <sup>a</sup>	5.25±1.53 <sup>a</sup>
W49rRW15v8.8	5.74±1.65 <sup>a</sup>	5.79±1.27 <sup>a</sup>	5.67±1.21 <sup>a</sup>	5.53±1.57 <sup>a</sup>	4.94±1.36 <sup>a</sup>	5.35±1.30 <sup>a</sup>	5.65±1.11 <sup>a</sup>

Data expressed as mean±SD.

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

表二十七、第一次黑糯米麵條嗜好性官能品評結果<sup>1</sup>

Table 27. Results first time sensory evaluation of black rice noodles

Samples	Color	Aroma	Flavor	Springiness	Firmness	Adhesiveness	Total acceptance
W70BW	5.70±1.63 <sup>a</sup>	5.49±1.24 <sup>a</sup>	4.76±1.35 <sup>b</sup>	5.28±1.66 <sup>a</sup>	5.04±1.32 <sup>a</sup>	5.04±1.43 <sup>a</sup>	5.25±1.26 <sup>b</sup>
W49BWv8.8	5.64±1.72 <sup>a</sup>	5.93±1.50 <sup>a</sup>	5.89±1.47 <sup>a</sup>	5.69±1.40 <sup>a</sup>	5.51±1.22 <sup>a</sup>	5.48±1.28 <sup>a</sup>	5.98±1.37 <sup>a</sup>
W49rBW15v8.8	5.93±1.93 <sup>a</sup>	5.76±1.48 <sup>a</sup>	5.16±1.43 <sup>b</sup>	5.39±1.58 <sup>a</sup>	5.26±1.39 <sup>a</sup>	5.24±1.32 <sup>a</sup>	5.40±1.33 <sup>b</sup>

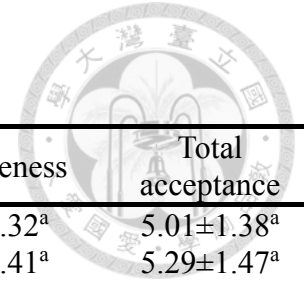
<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

表二十八、第二次紅糯米麵條嗜好性官能品評結果<sup>1</sup>

Table 28. Results of second time sensory evaluation of red rice noodles

Samples	Color	Aroma	Flavor	Springiness	Firmness	Adhesiveness	Total acceptance
W70RW	5.60±1.48 <sup>a</sup>	5.38±1.50 <sup>a</sup>	5.46±1.56 <sup>a</sup>	5.35±1.59 <sup>a</sup>	5.49±1.49 <sup>a</sup>	5.57±1.55 <sup>a</sup>	5.53±1.45 <sup>a</sup>
W49RWv8.8	5.38±1.41 <sup>a</sup>	5.78±1.57 <sup>a</sup>	5.70±1.54 <sup>a</sup>	5.58±1.65 <sup>a</sup>	5.52±1.34 <sup>a</sup>	5.49±1.46 <sup>a</sup>	5.65±1.50 <sup>a</sup>
W49rRW15v8.8	5.40±1.33 <sup>a</sup>	5.48±1.50 <sup>a</sup>	5.49±1.43 <sup>a</sup>	5.59±1.58 <sup>a</sup>	5.42±1.37 <sup>a</sup>	5.53±1.47 <sup>a</sup>	5.61±1.17 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .



表二十九、第二次黑糯米麵條嗜好性官能品評結果<sup>1</sup>

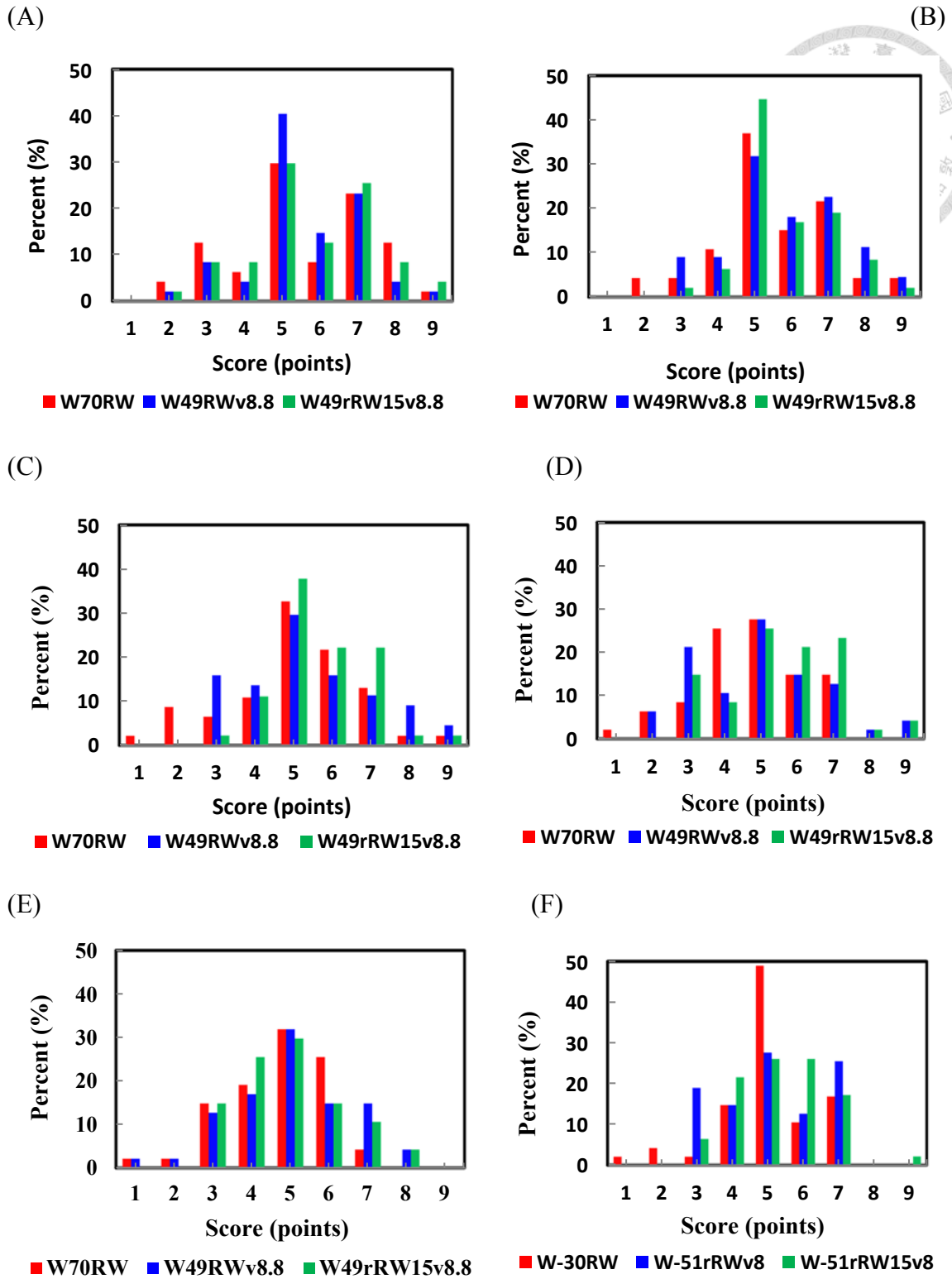
Table 29. Results of second time sensory evaluation of black rice noodles

Samples	Color	Aroma	Flavor	Springiness	Firmness	Adhesiveness	Total acceptance
W70BW	4.85±1.52 <sup>a</sup>	4.76±1.44 <sup>b</sup>	4.75±1.41 <sup>b</sup>	4.92±1.28 <sup>a</sup>	5.06±1.33 <sup>a</sup>	5.06±1.32 <sup>a</sup>	5.01±1.38 <sup>a</sup>
W49BWv8.8	5.05±1.68 <sup>a</sup>	5.32±1.52 <sup>a</sup>	5.25±1.49 <sup>a</sup>	5.40±1.42 <sup>a</sup>	5.38±1.50 <sup>a</sup>	5.46±1.41 <sup>a</sup>	5.29±1.47 <sup>a</sup>
W49rBW15v8.8	5.04±1.73 <sup>a</sup>	4.84±1.65 <sup>ab</sup>	4.79±1.55 <sup>ab</sup>	5.21±1.34 <sup>a</sup>	5.13±1.44 <sup>a</sup>	5.25±1.43 <sup>a</sup>	5.03±1.44 <sup>a</sup>

Data expressed as mean±SD.

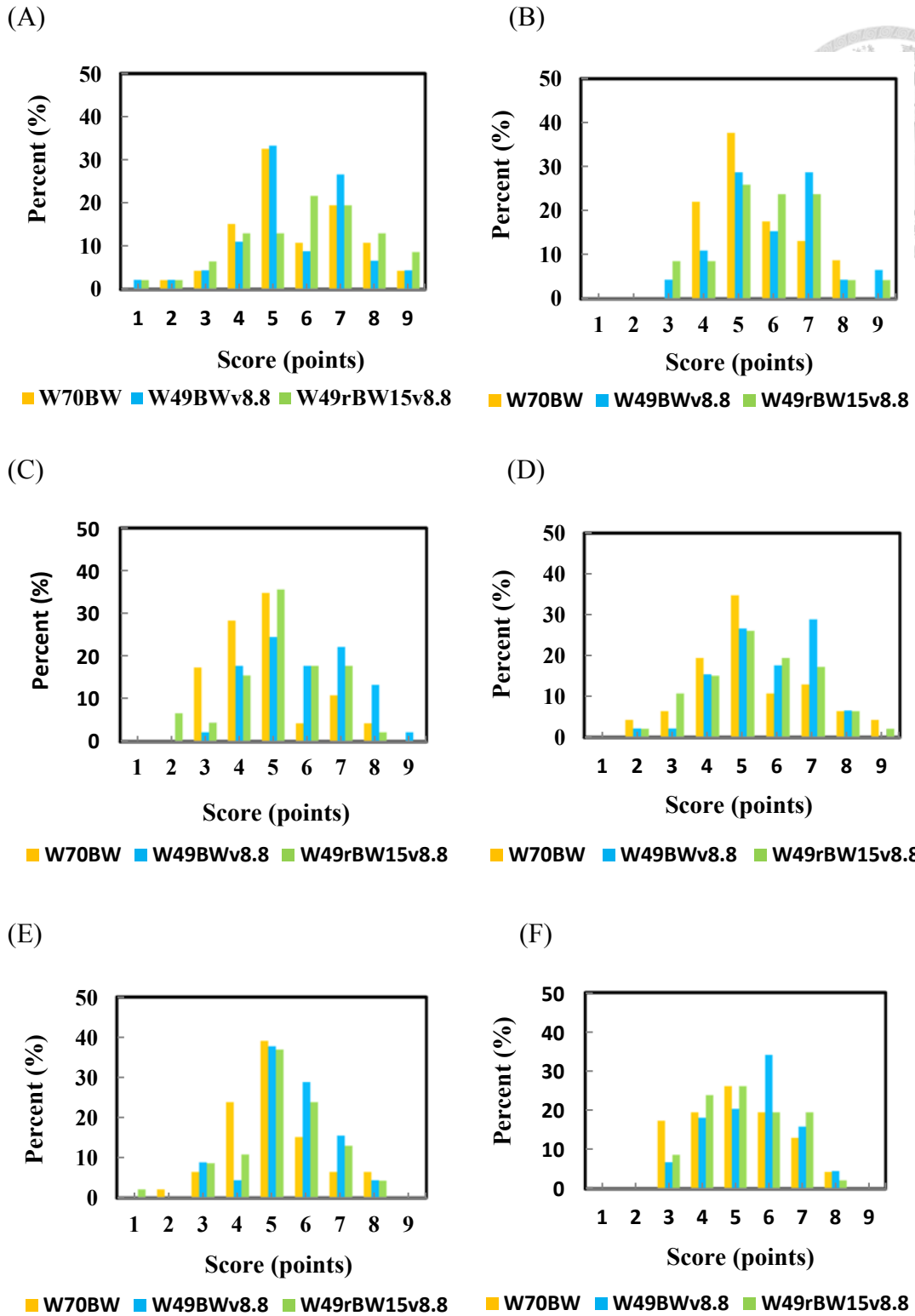
<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .





圖二十六、第一次紅糯米麵條官能品評之分數分布圖。

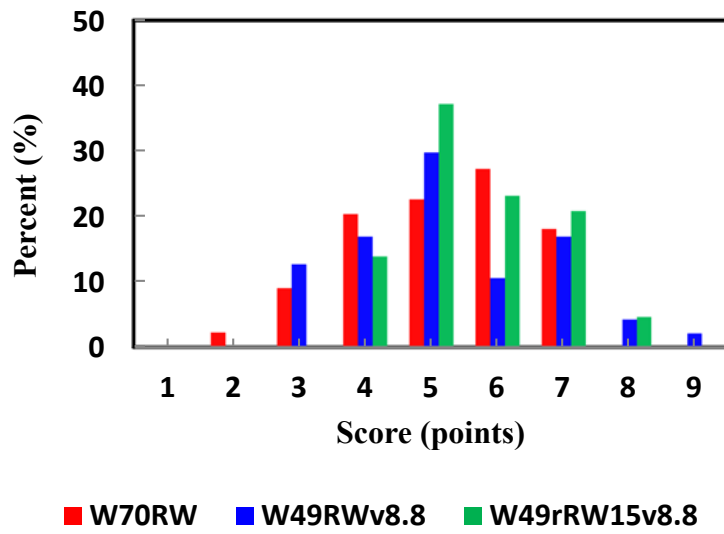
Figure 26. Histogram of the first time sensory evaluation of red rice noodles; evaluation items, (A) color, (B) aroma, (C) flavor, (D) springiness, (E) hardness, (F) adhesiveness.



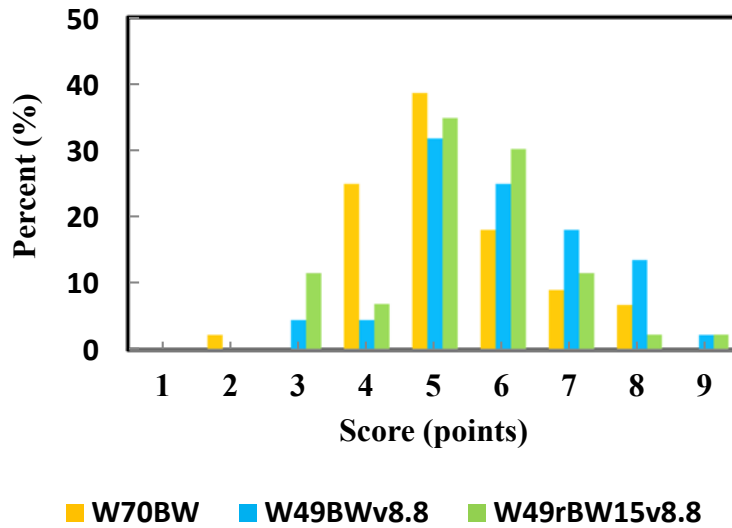
圖二十七、第一次黑糯米麵條官能品評之分數分布圖。

Figure 27. Histogram of the first time sensory evaluation of black rice noodles; evaluation items, (A) color, (B) aroma, (C) flavor, (D) springiness, (E) hardness, (F) adhesiveness.

(A)



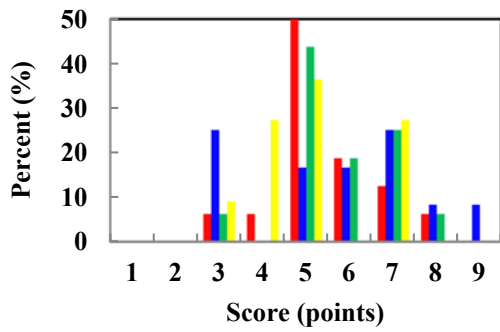
(B)



圖二十八、第一次米麵條官能品評之整體接受度分數分布圖。

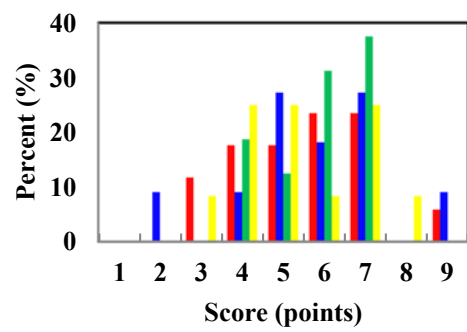
Figure 28. Histogram of the first time sensory evaluation of rice noodles; evaluation items, (A) total acceptance for red rice noodles, (B) total acceptance for black rice noodles.

(A)



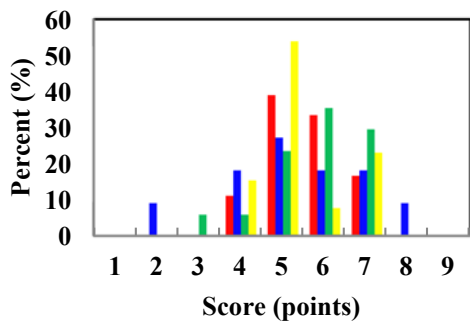
■ 26-30歲 ■ 31-40歲 ■ 41-50歲 ■ 51-60歲

(B)



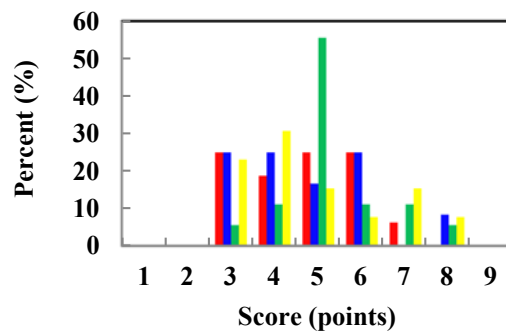
■ 25-30歲 ■ 31-40歲 ■ 41-50歲 ■ 51-60歲

(C)



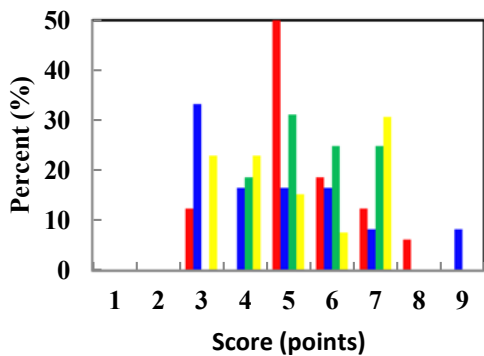
■ 26-30歲 ■ 31-40歲 ■ 41-50歲 ■ 51-60歲

(D)



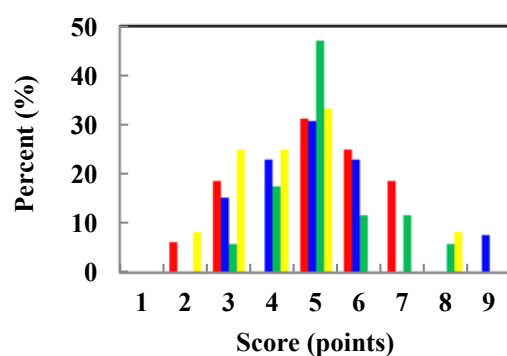
■ 26-30歲 ■ 31-40歲 ■ 41-50歲 ■ 51-60歲

(E)



■ 26-30歲 ■ 31-40歲 ■ 41-50歲 ■ 51-60歲

(F)



■ 26-30歲 ■ 31-40歲 ■ 41-50歲 ■ 51-60歲

圖二十九、第二次官能品評不同年齡層之整體接受度分數分布圖。

Figure 29. Histogram of total acceptance for the second time sensory evaluation of rice noodles (A) W70RW, (B) W49RWv8.8, (C) W49rRW15v8.8, (D) W70BW, (E) W49BWv8.8, (F) W49rBW15v8.8.

#### 四、風味

紅糯米麵條之風味品評，第一次官能品評結果，樣品間趨勢均以 5 分者最多；W49rRW15v8.8 之 5 分以上高分群較多，佔 86.67%；W70RW 和 W49RWv8.8 僅佔 71.74%與 70.45%。此與整體接受度趨勢相同，高分群以 W49rRW15v8.8 之人數百分比最多，佔八成以上；其餘二者則在 63.83-71.74%之間。第二次官能品評結果，分數在 5 分以上者，W70RW 佔 76.38%，W49RWv8.8 佔 82.19%，W49rRW15v8.8 佔 76.39%，顯示出受試者對 W49RWv8.8 之接受度較高。

黑糯米麵條風味品評中，第一次官能品評結果，51%取代度之米麵條，5 分以上者顯著多於 30%取代者；W49BWv8.8 (51%取代) 佔 80.00%，W49rBW15v8.8 (51%取代) 佔 73.33%，W70BW (30%取代) 僅佔 54.34%，顯示相對於 30%取代之黑糯米麵條，受試者較能接受 51%取代之黑糯米麵條風味。第二次官能品評結果與第一次之趨勢相同，受試者對於 30%取代之黑糯米麵條接受度偏低，5 分以上者僅佔 48.61%，而 51%取代之黑糯米麵條，5 分以上者佔 69.44%(W49BWv8.8) 及 61.11%(W49rBW15v8.8)，顯示出受試者對 51%黑糯米麵條接受度大於 30%黑糯米麵條。第二次官能品評結果，以雙因子變異數分析結果，各項官能品評項目，皆不因年齡層與樣品而有顯著差異；而不論年齡層之因素，以未經處理之黑糯米穀粉，製成 51%米穀粉取代之米麵條，在氣味與風味上顯著大於其餘二種樣品，最具開發潛力。

#### 五、小結

1. 紅糯米麵條之官能品評中，受試者較能接受 51%取代之米麵條色澤；濕熱處理 15 分鐘之紅糯米穀粉所製備之 51%取代米麵條，其整體接受度最佳，並有 90% 以上受試者可接受其香氣。
2. 黑糯米麵條之官能品評中，麵條之整體接受度以 51%取代黑糯米麵條最佳，有 90%以上受試者可接受此樣品。
3. 黑糯米麵條官能品評中，以 51%取代者之風味接受度顯著高於以 30%取代者。
4. 以濕熱處理 15 分鐘之紅糯米穀粉(rRW15)，和以未經濕熱處理之黑糯米穀粉(BW)或濕熱處理 15 分鐘之黑糯米穀粉(rBW15)，添加 8.8%活性麵筋，所製備之 51%取代之米麵條，最具開發潛力。

## 第七節、貯藏試驗中游離脂肪酸與機能性成分之變化



### 一、游離脂肪酸含量變化

紅糯米穀粉、黑糯米穀粉與配粉，在貯藏期間之游離脂肪酸變化如表三十所示。未經濕熱處理之紅糯米穀粉與黑糯米穀粉，在貯藏期間，游離脂肪酸含量持續增加，且貯藏在 25 °C 的樣品增加幅度顯著大於貯藏於 4 °C 下，顯示在低溫環境將抑制如脂肪酶等酵素活性，而 25 °C 環境則使酵素活性上升。紅糯與黑糯米穀粉在 4 °C 下貯藏 90 天後，其游離脂肪酸含量與貯藏於 25 °C 下 5 天之游離脂肪酸含量低或相當，顯示貯藏溫度大幅影響游離脂肪酸含量。在米穀粉貯藏過程中，因脂肪酶(lipase)、脂加氧酶(lipoxygenase)之酵素作用，使游離脂肪酸含量增加。一般而言，脂肪酶能與其他酶協同作用催化分解油脂類物質生成醣類，提供種子發芽時所必需之養分；在貯藏過程中，可催化三醯甘油酯及水不溶性酯類之水解、醇解、酯化、轉酯化等反應。脂肪或游離脂肪酸，經氧化可產生氫過氧化物(hydroperoxides)及羰基化合物，並繼續降解為易揮發而產生氣味之小分子羰基化合物(Moritaka and Yasumatsu, 1972)。一般而言，由脂肪酸降解所產生之氣味（油耗味）會降低消費者對產品之接受度，因此較低的游離脂肪酸，可提高消費者對於米穀粉配粉之接受度。根據 Sharp and Timme (1986)之研究，將糙米貯藏於 3、22 與 38 °C，貯藏於 3 °C 的糙米比高溫貯藏者具有較低之游離脂肪酸、氣味(odor and flavor)變化較小，此結果與本試驗之結果相符。

將米穀粉進行濕熱處理後，貯藏期間之游離脂肪酸上升幅度大為下降，此乃因濕熱處理過程中，100 °C 高溫使大部分酵素失活，造成脂肪酶無法作用，致使貯藏過程中游離脂肪酸較濕熱處理前顯著減少。許多文獻指出，蒸煮熟處理、微波熱處理(Lakkakula et al., 2004; Ramezanzadeh et al., 2000; Thanonkaew et al., 2012)或電阻熱處理(Loypimai et al., 2009)，均可使稻米麩皮安定化，主因是高溫可使酵素失活，因而可避免脂質降解，且不破壞或影響其營養價值。而 Kim et al. (2014)的研究亦指出，以壓力鍋在 120 °C 下對米的麩皮進行濕熱處理 20 分鐘，將有效減緩游離脂肪酸生成。因此，對有色糯米進行濕熱處理，可使大部分之酵素活性失活，安定米穀粉中之脂質，而延長其貯存期與貨架期，可作為米穀粉預處理方式之良好選擇。

表三十中，在貯藏 60 天至 90 天過程中，所有樣品之游離脂肪酸皆下降，推測此乃因脂肪酸因酵素作用而降解為含羰基之小分子，致使游離脂肪酸測定量降低。本試驗所選取之游離脂肪酸測定方式，主要根據與 Cupric 試劑反應而呈色，因此當脂肪酸降解後，則無法呈色。在 Wang and Hsieh (1988)的研究中指出，糙米貯藏期間，脂肪酸之變化，在 20 天以前呈現波動狀態，而在貯藏 20-35 天期間呈現上升狀態，其後至 60 天則呈現些微下降，此結果與本試驗結果相符。整體而言，4 °C 的低溫貯藏條件，並對糯米進行濕熱處理抑制其酵素活性，將可有效降低貯藏期游離脂肪酸之生成量，減少繼續降解後所產生之氣味，並延長貯存期。

## 二、總酚含量變化

紅糯米與黑糯米在貯藏期間，與濕熱處理後之貯藏期間，其總酚含量變化如表三十一與三十二所示。本試驗貯藏過程中，小麥麵粉之總酚含量為 3.77-4.56 (mg/g, db)，貯藏前紅糯米之總酚含量為 9.82 (mg/g, db)，黑糯米總酚含量為 12.14 (mg/g, db)，紅糯米總酚含量為黑糯米之 81%。根據 Sompong et al. (2011b)研究指出，測量泰國、中國和斯里蘭卡的紅米和黑米的總酚含量，紅米的總酚含量為 79.18-691.37 (mg ferulic acid eq./100 g)，黑米的總酚含量則為 336.69-665.16 (mg ferulic acid eq./100 g)不等，均較本試驗之紅米及黑米總酚含量少。將貯藏期間，紅糯米在第 50 天以前，總酚含量逐漸下降，但在貯藏 50-90 天中，總酚含量明顯上升，貯藏第 90 天之總酚含量較貯藏前上升 11.3% (4 °C)與 9.8% (25 °C)。黑糯米在貯藏期間，總酚含量呈現波動趨勢，貯藏 90 天後，總酚含量亦提升，較貯藏前提高 7.08% (4 °C)與 14.25% (25 °C)。紅糯米與黑糯米的預拌粉貯藏變化與紅糯米、黑糯米穀粉趨勢相同，貯藏期間總酚含量呈現波動，貯藏 90 天後總酚含量較貯藏前上升。推測上升原因可能為貯藏期間，產生酵素性氧化現象，造成多酚類化合物之降解；並且，使游離脂肪酸降解為帶有如醛基、酮基等含羰基之小分子，而與 Folin-Ciocalteu 試劑反應呈色所致。在總酚含量測定中，Folin-Ciocalteu reagent (FCR)可在鹼性環境下與酚類化合物作用，酚解離出一個質子(pton)生成酚陰離子，而與 FCR 進行電子轉移後，環原 FCR 中的  $\text{Mo}^{6+}$  成為  $\text{Mo}^{5+}$ ，而呈現藍色化合物，其顏色深淺與總酚含量呈正相關。Huang et al. (2005)指出，FCR 最早使用在測定蛋白質中含一 phenol group 之 Tyrosine 上，其後逐漸發展為測定總酚含量的方法；其作用原理亦即測定樣品之還原力，對樣品中總酚之專一性不如以 polyphenol oxidase

所測定之總酚含量。而本試驗中，游離脂肪酸在貯藏第 50-90 天中極速下降，表示可能降解為含醛基等帶有羰基之化合物(carbonyl compounds)，此類化合物亦可能與 FCR 產生電子轉移的情形，而表現在總酚含量中。貯藏期間，細胞壁上之游離態酚類、不可溶態酚類與可溶態酚類與游離脂肪酸之作用，亦可能影響最終總酚類含量測定之結果。總酚含量於貯藏期間下降之主因，推測為貯藏期間所產生之游離脂肪酸，與多酚類抗氧化物質作用所致。整體而言，紅糯米與黑糯米在貯藏前與貯藏 90 天後，總酚含量變化量不大，約為小麥麵粉總酚含量之 2-3 倍，富含較高之機能性成分。

濕熱處理後，總酚含量在紅糯米、黑糯米上均呈現下降趨勢。紅糯米以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘後，總酚含量下降 13.23%，黑糯米以相同條件濕熱處理 (rBW15) 後則下降 11.61%。在 Ti et al. (2015) 研究中指出，將糙米和精白米蒸煮後，將造成總酚含量下降 47.9% 及 71.0%，並造成總類黃酮含量下降 31.8% 及 72.9%。rRW15 在貯藏期間，總酚類含量呈現波動，貯藏 90 天後，總酚含量較貯藏前低，4 °C 貯藏之總酚含量低於 25 °C 貯藏，分別下降 21.12% (4 °C) 與 6.57% (25 °C)。rBW15 在貯藏期間，總酚類含量亦為波動趨勢，4 °C 貯藏 90 天後，總酚含量與貯藏前無差異，25 °C 貯藏則升高 5.22%，此可能與 rBW15 游離脂肪酸在 25 °C 比 4 °C 為多之故 (表三十)。然而，濕熱處理後因酵素失活，總酚含量變化比未濕熱處理之樣品小。濕熱處理後之米穀粉與小麥麵粉配粉後，貯藏期間之總酚含量變化，與濕熱處理之米穀粉趨勢相同，呈現波動變化；貯藏 90 天後，其總酚含量占原本含量之 62.09-95.47%。整體而言，紅糯米與黑糯米經濕熱處理後，在貯藏前與貯藏 90 天後總酚含量變化量不大，約為小麥麵粉總酚含量之 2 倍，富含較高之機能性成分；且濕熱處理可抑制酵素活性，降低游離脂肪酸含量、增加配粉之貨架期並提升製麵過程之操作性，為有色米麵條製作上良好的預處理方式。

表三十二為生麵條與熟麵條中總酚含量變化。將配粉製成生麵條後，除 W49rRW15v8.8 樣品外，其總酚含量與配粉之貯存時間與溫度無關。W49rRW15v8.8 生麵條中，以不貯存而直接製成麵條的樣品，其總酚含量最高，顯著大於配粉貯存後所製成之生麵條總酚含量。在熟麵條中，所有樣品之總酚含量，皆與配粉貯存與否無關；顯示出貯存期不影響配粉所製成之最終產物中的總酚含量，而米穀粉與小麥麵粉之配粉，在貯存 90 天後，仍可維持其總酚含量之機能性成分。



許多研究指出，食用富含阿魏酸之全穀物產品可降低心血管疾病發生率(Rao and Muralikrishna, 2004)，其生理作用機制為降低 LDL 氧化作用(Trombino et al., 2004)、抑制 IL-8 發炎因子(Mathew and Abraham, 2004)等，可延緩糖尿病與其併發症(Balasubashini et al., 2003; Balasubashini et al., 2004)和阿茲海默症等與自由基氧化壓力相關之退化性疾病。若可將紅糯米、黑糯米及其米麵條加入日常飲食中，將可提升飲食攝取中之機能性成分，達有益健康之效能。

表三十、濕熱處理與貯藏溫度對游離脂肪酸含量之影響

Table 30. Effect of *hmt* and storage temperature on free fatty acids (goleic acid eq./ 100 g lipid) <sup>1</sup>

Sample name	W	RW	rRW15	W70RW	W49rRW15v8.8	BW	rBW15	W70BW	W49rRW15v8.8
<b>1d</b> <sup>2</sup>	17.67±0.35 <sup>e</sup>	1.84±0.09 <sup>f</sup>	0.64±0.01 <sup>e</sup>	12.54±0.34 <sup>b</sup>	9.26±0.49 <sup>bc</sup>	7.33±0.89 <sup>h</sup>	2.66±0.97 <sup>bc</sup>	13.09±0.55 <sup>ef</sup>	9.12±0.69 <sup>b</sup>
<b>5 d</b>	23.90±0.94 <sup>cd</sup>	3.70±0.80 <sup>de</sup>	0.87±0.08 <sup>de</sup>	13.74±0.80 <sup>c</sup>	5.60±0.07 <sup>g</sup>	7.13±0.29 <sup>h</sup>	1.49±0.14 <sup>d</sup>	12.15±0.61 <sup>fg</sup>	5.98±0.62 <sup>c</sup>
<b>20 d</b>	23.16±0.27 <sup>bc</sup>	2.33±0.38 <sup>f</sup>	0.82±0.13 <sup>de</sup>	13.31±0.17 <sup>cd</sup>	7.83±0.24 <sup>de</sup>	8.88±0.77 <sup>g</sup>	1.71±0.30 <sup>bc</sup>	13.74±0.28 <sup>e</sup>	7.42±0.18 <sup>c</sup>
<b>4°C</b>									
<b>30 d</b>	22.76±0.17 <sup>bc</sup>	2.59±0.73 <sup>ef</sup>	0.86±0.08 <sup>de</sup>	8.11±0.58 <sup>f</sup>	7.13±0.70 <sup>def</sup>	7.64±0.11 <sup>h</sup>	1.50±0.03 <sup>b</sup>	11.10±1.35 <sup>gh</sup>	6.37±0.39 <sup>c</sup>
<b>60 d</b>	21.96±1.31 <sup>d</sup>	3.68±0.52 <sup>de</sup>	1.29±0.02 <sup>cd</sup>	11.83±0.80 <sup>e</sup>	6.51±0.76 <sup>efg</sup>	13.29±0.17 <sup>f</sup>	1.43±0.05 <sup>a</sup>	15.14±0.55 <sup>d</sup>	6.38±0.28 <sup>c</sup>
<b>90 d</b>	11.77±0.61 <sup>f</sup>	4.76±0.80 <sup>d</sup>	0.81±0.04 <sup>de</sup>	7.38±0.83 <sup>f</sup>	6.17±0.81 <sup>fg</sup>	14.92±0.90 <sup>e</sup>	2.51±0.73 <sup>b</sup>	10.71±0.94 <sup>h</sup>	6.86±0.94 <sup>c</sup>
<b>5 d</b>	23.90±0.56 <sup>d</sup>	4.28±0.23 <sup>d</sup>	0.84±0.06 <sup>de</sup>	12.43±0.35 <sup>de</sup>	7.08±0.72 <sup>def</sup>	16.16±0.33 <sup>d</sup>	1.93±0.22 <sup>cd</sup>	15.60±0.88 <sup>d</sup>	9.79±0.82 <sup>b</sup>
<b>20 d</b>	24.18±0.58 <sup>b</sup>	8.52±0.69 <sup>c</sup>	2.34±0.44 <sup>b</sup>	13.88±0.53 <sup>c</sup>	9.74±0.91 <sup>b</sup>	25.30±0.09 <sup>c</sup>	2.70±0.32 <sup>bc</sup>	17.01±0.23 <sup>c</sup>	11.56±0.54 <sup>a</sup>
<b>25°C</b>									
<b>30 d</b>	26.78±0.81 <sup>b</sup>	8.77±0.48 <sup>c</sup>	3.41±0.49 <sup>a</sup>	10.70±0.60 <sup>f</sup>	8.38±0.48 <sup>cd</sup>	26.36±0.96 <sup>c</sup>	3.46±0.11 <sup>b</sup>	15.35±0.67 <sup>d</sup>	12.42±0.14 <sup>a</sup>
<b>60 d</b>	30.63±0.06 <sup>a</sup>	14.27±0.67 <sup>a</sup>	2.03±0.38 <sup>b</sup>	19.34±0.27 <sup>a</sup>	11.41±0.88 <sup>a</sup>	38.14±0.15 <sup>a</sup>	5.39±0.04 <sup>a</sup>	20.93±0.03 <sup>a</sup>	10.14±0.42 <sup>b</sup>
<b>90 d</b>	11.30±0.53 <sup>f</sup>	12.61±0.79 <sup>b</sup>	1.54±0.11 <sup>c</sup>	15.43±0.50 <sup>b</sup>	7.78±0.85 <sup>de</sup>	33.81±0.17 <sup>b</sup>	3.47±0.58 <sup>b</sup>	18.80±0.65 <sup>b</sup>	9.62±0.31 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

<sup>2</sup> 1d stands for day 1; 5d stands for day 5 and so on.

表三十一、濕熱處理與貯藏溫度對總酚之影響

Table 31. Effect of *hmt* and storage temperature on total phenolics (mg ferulic acid eq./g, db) <sup>1</sup>

Sample name	RW	rRW15	W70RW	W49rRW15v8.8	BW	rBW15	W70BW	W49rRW15v8.8
<b>Day 1</b>	9.82±0.10 <sup>b</sup>	8.52±0.05 <sup>a</sup>	3.77±0.05 <sup>b</sup>	6.86±0.10 <sup>a</sup>	12.14±0.20 <sup>d</sup>	10.73±0.05 <sup>bc</sup>	5.16±0.05 <sup>d</sup>	7.06±0.00 <sup>a</sup>
<b>4°C</b>								
Day 10	9.96±0.29 <sup>b</sup>	7.83±0.24 <sup>bc</sup>	2.97±0.20 <sup>e</sup>	3.22±0.05 <sup>c</sup>	12.73±0.25 <sup>bc</sup>	10.53±0.15 <sup>cd</sup>	4.85±0.06 <sup>e</sup>	5.39±0.00 <sup>d</sup>
Day 20	9.79±0.05 <sup>b</sup>	7.31±0.20 <sup>de</sup>	3.25±0.02 <sup>d</sup>	2.17±0.15 <sup>e</sup>	11.96±0.05 <sup>d</sup>	9.42±0.24 <sup>f</sup>	5.27±0.04 <sup>d</sup>	4.63±0.20 <sup>e</sup>
Day 50	3.90±0.24 <sup>d</sup>	7.79±0.00 <sup>bc</sup>	2.97±0.00 <sup>e</sup>	3.32±0.10 <sup>c</sup>	9.50±0.00 <sup>e</sup>	10.94±0.24 <sup>abc</sup>	5.13±0.00 <sup>d</sup>	6.19±0.24 <sup>c</sup>
Day 90	10.93±0.20 <sup>a</sup>	6.72±0.05 <sup>f</sup>	3.49±0.05 <sup>c</sup>	4.26±0.05 <sup>b</sup>	13.00±0.15 <sup>b</sup>	10.70±0.10 <sup>bc</sup>	5.93±0.15 <sup>b</sup>	6.68±0.15 <sup>b</sup>
<b>25°C</b>								
Day 10	9.85±0.15 <sup>b</sup>	7.65±0.29 <sup>bcd</sup>	3.01±0.05 <sup>e</sup>	2.94±0.25 <sup>d</sup>	12.17±0.34 <sup>d</sup>	10.04±0.34 <sup>e</sup>	4.40±0.05 <sup>f</sup>	5.53±0.10 <sup>e</sup>
Day 20	10.17±0.10 <sup>b</sup>	7.03±0.10 <sup>ef</sup>	4.09±0.20 <sup>a</sup>	2.07±0.10 <sup>e</sup>	12.34±0.10 <sup>cd</sup>	10.18±0.05 <sup>de</sup>	5.58±0.05 <sup>c</sup>	4.49±0.10 <sup>d</sup>
Day 50	5.56±0.05 <sup>c</sup>	7.52±0.00 <sup>cd</sup>	3.18±0.00 <sup>de</sup>	3.36±0.05 <sup>c</sup>	9.53±0.05 <sup>e</sup>	11.04±0.20 <sup>ab</sup>	4.71±0.20 <sup>e</sup>	6.30±0.00 <sup>c</sup>
Day 90	10.79±0.20 <sup>a</sup>	7.96±0.05 <sup>b</sup>	4.02±0.10 <sup>a</sup>	4.19±0.05 <sup>b</sup>	13.87±0.20 <sup>a</sup>	11.29±0.05 <sup>a</sup>	6.35±0.05 <sup>a</sup>	6.74±0.05 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

表三十二、黑糯米、紅糯米麵條之總酚含量

Table 32. Total phenolics in rice noodles (mg ferulic acid eq./g, db) <sup>1</sup>

Sample name	W70RW	W49rRW15v8.8	W70BW	W49rBW15v8.8
<b>raw noodles</b>				
Day 0	3.32±0.04 <sup>a</sup>	3.98±0.09 <sup>a</sup>	5.11±0.18 <sup>a</sup>	5.63±0.27 <sup>a</sup>
Day60 (4°C)	3.39±0.05 <sup>a</sup>	3.10±0.04 <sup>b</sup>	5.14±0.04 <sup>a</sup>	5.48±0.03 <sup>a</sup>
Day60 (25°C)	3.35±0.04 <sup>a</sup>	3.10±0.18 <sup>b</sup>	5.15±0.13 <sup>a</sup>	5.27±0.13 <sup>ab</sup>
<b>cooked noodles</b>				
Day 0	2.53±0.00 <sup>b</sup>	3.07±0.04 <sup>b</sup>	4.46±0.05 <sup>b</sup>	4.83±0.22 <sup>bc</sup>
Day60 (4°C)	2.35±0.23 <sup>b</sup>	2.45±0.27 <sup>bc</sup>	4.39±0.14 <sup>b</sup>	4.73±0.00 <sup>c</sup>
Day60 (25°C)	2.34±0.23 <sup>b</sup>	2.76±0.00 <sup>c</sup>	4.48±0.14 <sup>b</sup>	5.06±0.04 <sup>c</sup>

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

### 三、總類黃酮含量變化

表三十三為貯藏過程中，總類黃酮含量之變化。本試驗貯藏過程中，貯藏前紅糯米之總類黃酮含量為 6.13 (mg/g, db)，黑糯米總酚含量為 5.78 (mg/g, db)。根據 Tang et al. (2016) 的研究，針對 *Oryza stiva* L. *indica* 糯性與非糯性黑米，糯性黑米的總類黃酮含量為 2.81 (mg catechin eq./g)，非糯性黑米的總類黃酮含量為 3.91 (mg catechin eq./g)，均較本試驗總類黃酮含量低。貯藏期間，溫度與時間對總類黃酮含量的影響力，無明顯之趨勢。貯藏過程中總類黃酮含量曲線呈現波動趨勢。而將米穀粉進行濕熱處理後，總類黃酮含量在紅糯米中下降，但在黑糯米中則上升；推測可能是濕熱處理過程中，造成不可溶態酚類化合物之降解，而造成濕熱處理後總類黃酮含量上升。貯藏 90 天後，經濕熱處理者，均未經濕熱處理前之總類黃酮含量低，顯示濕熱處理可造成總類黃酮結構不穩定，而降解成其他小分子如酚酸類物質，而造成總類黃酮含量下降。

表三十四為以米穀粉取代製成米麵條，總類黃酮含量的變化。在生麵條中，僅 W49rBW15v8.8 樣品，以 4 °C 貯藏 60 天時之預拌粉製成之生麵條總類黃酮含量較貯藏前與以 25 °C 貯藏 60 天之預拌粉製備者為低外，其餘樣品之總類黃酮含量未受貯藏溫度與時間之影響。熟麵條中所有樣品，其總類黃酮含量皆與貯藏時間與溫度無關。顯示出，貯存 90 天之預拌粉仍可用於製備有色米麵條，而仍有相當含量之總類黃酮。此外，51% 取代之黑糯米麵條的總類黃酮含量，為 30% 取代者的 1.65 倍，顯示出高有色米穀粉取代之黑糯米麵條，可擁有較高含量之機能性成分。根據 Li et al. (2015) 研究，以有色小麥（深紫、淺紫和黑色）製作中式麵條後，其總酚含量和總類黃酮含量均下降；麵條的總酚含量為原初小麥粉總酚含量之 29.93%，總類黃酮含量則為原初的 27.02%。

### 四、總花青素含量變化

表三十五與三十六中顯示黑米之總花青素含量，在濕熱處理、貯藏過程與米麵條製程中之變化。本試驗中，以 pH 差異法所測得小麥麵粉與紅米之總花青素含量均為 0 (µg/g, db)。黑米(BW)中總花青素含量為 2914.50 (µg/g, db)，將其於 4 °C 與 25 °C 下避光貯藏 90 天後，其含量分別下降 3.58% 與 1.65%，顯示在貯存過程中，總花青素含量變化不大。在 Htwe et al. (2010) 研究中，將黑米、紅米貯藏在 20, 30 及 40 °C 環境中 4 個月，發現溫度與貯藏時間對花青素含量之影響不顯著，此結果

與本試驗結果相符。然而該研究中，以 70% acetone 萃取總花青素含量，紅米之花青素含量為 0.45 (mg Cy3Glu eq./100 g, db)，黑米則為 29.77 (mg Cy3Glu eq./100 g, db)，貯藏期間之變動在 26-33 (mg Cy3Glu eq./100 g, db)之間，其黑米總花青素含量結果遠低於本試驗之總花青素含量，推測與萃取花青素試劑之選取與黑米之品種不同有關。而在 Sompong et al. (2011b)研究中，黑米的總花青素含量則在 109.52-256.61 (mg Cy3Glu eq./100 g)，亦低於本試驗測得之黑米總花青素含量。在 Abdel-Aal et al. (2006)研究中指出，黑米中的總花青素含量因品種不同而有極大的差異，而在(Chen et al., 2012)研究結果中，黑米的總花青素含量為 795-3410 ( $\mu\text{g/g}$ , db)，與本試驗所得含量 2697-3163 ( $\mu\text{g/g}$ , db)相符。其他研究指出，在高粱中總花青素含量，隨溫度之升高而含量下降(Leonard, 2007)。而 Chanphrom (2007)則指出，將黑米於室溫與冷藏中貯藏 3 個月後，於室溫下貯存者，其 cyanidin 與 peonidin 的含量明顯低於冷藏貯存。此二篇研究結果與本試驗結果相異，推測為黑米品種之不同所致，而黑米中之 Cy-3-Glu 在貯藏期間可能對於特定溫度具穩定性。

將黑米以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘後，其總花青素含量為 1430.58 ( $\mu\text{g/g}$ , db)，相較濕熱處理前下降 50.9%，可知濕熱處理過程中，總酚含量下降主因為花青素之流失或降解。將濕熱處理後之黑米進行貯藏試驗，貯藏 90 天後，其總花青素含量在 4 °C 與 25 °C 下分別下降 19.55%與 21.23%，推測濕熱處理後可能造成花青素之不穩定，使花青素於貯藏期間較未濕熱處理前更易降解。30%黑糯米穀粉取代之預拌粉，其花青素含量為 844.34 ( $\mu\text{g/g}$ , db)，為 BW 之 28.97%，接近配粉比例 (30%黑糯米穀粉取代)；將黑糯米以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘後與小麥麵粉進行配粉，其花青素含量為 649.52 ( $\mu\text{g/g}$ , db)，為 rBW15 之 45.4%，接近配粉比例 (rBW15 米穀粉占 46.87%，包含活性麵筋含量)。在此黑糯米穀粉貯藏試驗期間，預拌粉總花青素含量偶有上升現象，貯藏期間花青素含量有些微之升降，與 Htwe et al. (2010)研究結果相符。此外，不論是否經過濕熱處理，米穀粉與預拌粉在貯藏期間，溫度對總花青素含量之影響不顯著。

將未貯存之預拌粉製成黑糯米麵條後，30%米穀粉取代之生麵條總花青素含量為 671.39 ( $\mu\text{g/g}$ , db)，熟麵條則為 732.17 ( $\mu\text{g/g}$ , db)，較預拌粉分別下降 20.48%與 13.28%，可知將預拌粉製成黑糯米麵條期間，總花青素含量可維持約 80%，而在煮麵過程中，可能使更多花青素自細胞壁上脫落，而測得較多的總花青素含量。在米穀粉 51%取代之黑糯米麵條中，以新鮮預拌粉所製成生麵條之總花青素含量

為 340.93 ( $\mu\text{g/g, db}$ ), 熟麵條則為 512.09 ( $\mu\text{g/g, db}$ ), 較預拌粉下降 47.5% 與 21.16%; 可見以濕熱處理後之米穀粉製成米麵條時, 其總花青素含量下降程度將較濕熱處理前明顯, 顯示出多次的高溫蒸煮將使花青素流失。此外, 預拌粉的貯藏時間與貯藏溫度, 對生麵條與熟麵條的總花青素含量影響無明顯趨勢。目前以黑米和紅米製成米麵條之文獻尚不充足, 多以黑米等形式蒸煮後, 探討花青素含量。在 Hiemori et al. (2009) 的研究中, 以高效液相層析儀 (HPLC-PDA) 和質譜儀 (LC-(ESI)MS/MS) 分析黑米花青素成分, 可知其中以 Cy-3-Glu 含量 (572.47  $\mu\text{g/g}$ ; 91.13% of total) 與 Pn-3-Glu 含量 (29.78  $\mu\text{g/g}$ ; 4.74% of total) 最多。將黑米蒸煮 20-50 分後, 花青素含量明顯下降, 其 Cy-3-Glu 含量下降 65.4-79.8%, 其中以壓力鍋蒸煮時下降 79.8% 最為明顯。然而, 原兒茶酸 (protocatechuic acid) 的含量則均顯著增加, 蒸煮後其含量上升 2.7-3.4 倍。作者推測蒸煮黑米致使 Cy-3-Glu 熱解成為原兒茶酸。

整體而言, 黑糯米穀粉在貯藏 90 天期間, 總花青素含量可維持在 96% 以上, 而不受貯藏溫度之影響。濕熱處理後之黑糯米穀粉, 仍保有約 50% 之總花青素含量, 足以作為富含機能性成分之食品來源。30% 與 51% 黑糯米穀粉取代之黑糯米麵條, 其總花青素含量在米麵條製程上可維持 68-80%, 煮熟後花青素含量可維持 80-87%, 顯示以黑糯米穀粉進行米麵條製作時, 總花青素含量可維持約七成以上至最終產品, 因此以黑糯米穀粉部分取代小麥麵粉所製成之米麵條, 預期可作為富含機能性成分產品, 作為有益於人體健康之產品選擇。

表三十三、濕熱處理與貯藏溫度對總類黃酮之影響

Table 33. Effect of *hmt* and storage temperature on total flavonoids (mg catechin eq./ g, db) <sup>1</sup>

Sample name	RW	rRW15	W70RW	W49rRW15 v8.8	BW	rBW15	W70BW	W49rRW15 v8.8
<b>Day 1</b>	6.13±0.18 <sup>c</sup>	4.55±0.06 <sup>c</sup>	1.46±0.12 <sup>a</sup>	2.49±0.06 <sup>a</sup>	5.78±0.23 <sup>b</sup>	6.29±0.29 <sup>a</sup>	1.26±0.06 <sup>b</sup>	2.37±0.00 <sup>a</sup>
<b>4°C</b>								
Day 10	5.06±0.18 <sup>e</sup>	7.65±0.00 <sup>a</sup>	0.59±0.05 <sup>c</sup>	1.42±0.06 <sup>b</sup>	5.61±0.47 <sup>bc</sup>	6.37±0.18 <sup>a</sup>	0.92±0.06 <sup>d</sup>	1.50±0.18 <sup>d</sup>
Day 20	7.26±0.23 <sup>b</sup>	6.53±0.06 <sup>b</sup>	1.42±0.18 <sup>a</sup>	0.88±0.00 <sup>de</sup>	7.56±0.41 <sup>a</sup>	4.93±0.00 <sup>c</sup>	1.34±0.06 <sup>b</sup>	1.25±0.06 <sup>e</sup>
Day 50	1.62±0.12 <sup>f</sup>	4.35±0.00 <sup>c</sup>	0.34±0.06 <sup>de</sup>	1.01±0.06 <sup>cd</sup>	3.16±0.06 <sup>f</sup>	4.76±0.12 <sup>c</sup>	0.96±0.00 <sup>d</sup>	1.79±0.00 <sup>bc</sup>
Day 90	5.72±0.06 <sup>cd</sup>	2.69±0.00 <sup>e</sup>	0.47±0.00 <sup>cd</sup>	0.80±0.00 <sup>ef</sup>	4.87±0.00 <sup>de</sup>	3.69±0.00 <sup>d</sup>	1.13±0.00 <sup>c</sup>	1.54±0.00 <sup>cd</sup>
<b>25°C</b>								
Day 10	8.04±0.64 <sup>a</sup>	6.99±0.35 <sup>b</sup>	0.79±0.00 <sup>b</sup>	1.13±0.12 <sup>c</sup>	4.41±0.18 <sup>e</sup>	5.34±0.12 <sup>b</sup>	0.92±0.06 <sup>d</sup>	1.58±0.06 <sup>cd</sup>
Day 20	6.80±0.06 <sup>b</sup>	3.64±0.06 <sup>d</sup>	1.59±0.06 <sup>a</sup>	0.17±0.06 <sup>g</sup>	5.90±0.29 <sup>b</sup>	5.30±0.06 <sup>b</sup>	1.50±0.06 <sup>a</sup>	0.96±0.12 <sup>f</sup>
Day 50	2.16±0.06 <sup>f</sup>	3.22±0.53 <sup>c</sup>	0.38±0.00 <sup>de</sup>	0.88±0.00 <sup>de</sup>	3.12±0.12 <sup>f</sup>	4.64±0.06 <sup>c</sup>	0.59±0.06 <sup>e</sup>	1.92±0.18 <sup>b</sup>
Day 90	5.23±0.18 <sup>de</sup>	3.23±0.06 <sup>d</sup>	0.26±0.06 <sup>e</sup>	0.67±0.06 <sup>f</sup>	5.07±0.06 <sup>cd</sup>	3.69±0.12 <sup>d</sup>	1.13±0.00 <sup>c</sup>	1.42±0.06 <sup>de</sup>

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

表三十四、米麵條之總類黃酮含量

Table 34. Total flavonoids in rice noodles (mg catechin eq./ g, db) <sup>1</sup>

Sample name	W70RW	W49rRW15v8.8	W70BW	W49rBW15v8.8
<b>raw</b>				
Day 0	0.79±0.11a	0.54±0.05a	1.16±0.00a	1.66±0.05a
Day60 (4°C)	0.84±0.05a	0.42±0.11ab	1.14±0.16a	1.40±0.11b
Day60 (25°C)	0.80±0.11a	0.41±0.00ab	0.98±0.05abc	1.65±0.05a
<b>cooked</b>				
Day 0	0.79±0.06a	0.43±0.00ab	0.91±0.00bc	1.22±0.05b
Day60 (4°C)	0.67±0.00a	0.39±0.05b	1.02±0.06ab	1.41±0.11b
Day60 (25°C)	0.70±0.05a	0.31±0.05b	0.82±0.00c	1.36±0.16b

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .



表三十五、濕熱處理與貯藏溫度對總花青素之影響

Table 35. Effect of *hmt* and storage temperature on total anthocyanins ( $\mu\text{g Cy3glc eq./g, db}$ )<sup>1</sup>

Sample name		BW	rBW15	W70BW	W49rRW15v8.8
Day 1		2914.50±79.48 <sup>bc</sup>	1430.58±56.51 <sup>a</sup>	844.34±34.10 <sup>ab</sup>	649.52±22.68 <sup>abc</sup>
4°C	Day 10	2850.27±56.77 <sup>cd</sup>	1246.76±12.11 <sup>b</sup>	844.01±11.37 <sup>ab</sup>	625.46±11.22 <sup>abc</sup>
	Day 20	2786.04±56.77 <sup>de</sup>	1118.86±45.21 <sup>c</sup>	827.93±34.10 <sup>ab</sup>	697.63±11.34 <sup>a</sup>
	Day 50	2874.36±22.71 <sup>bcd</sup>	1286.72±11.30 <sup>b</sup>	803.82±45.47 <sup>b</sup>	641.50±22.68 <sup>abc</sup>
	Day 90	2810.13±22.71 <sup>cd</sup>	1150.85±45.21 <sup>c</sup>	876.16±11.37 <sup>a</sup>	585.37±11.34 <sup>abc</sup>
25°C	Day 10	2697.72±22.71 <sup>e</sup>	1286.72±56.51 <sup>b</sup>	731.48±34.10 <sup>c</sup>	601.41±11.34 <sup>bc</sup>
	Day 20	2962.67±34.06 <sup>b</sup>	1246.76±22.60 <sup>b</sup>	691.29±0.00 <sup>c</sup>	713.67±11.34 <sup>a</sup>
	Day 50	3163.40±45.42 <sup>a</sup>	1270.73±11.30 <sup>b</sup>	691.29±22.74 <sup>c</sup>	681.59±34.02 <sup>ab</sup>
	Day 90	2866.33±34.06 <sup>bcd</sup>	1126.88±11.30 <sup>c</sup>	739.51±0.00 <sup>c</sup>	625.46±22.68 <sup>c</sup>

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .

表三十六、黑糯米麵條之總花青素

Table 36. Total anthocyanins in black rice noodles ( $\mu\text{g Cy3glc eq./g, db}$ )<sup>1</sup>

Sample name		W70BW	W49rBW15v8.8
raw noodles	Day 0	671.39±10.21 <sup>b</sup>	340.93±10.26 <sup>d</sup>
	Day60 (4°C)	599.69±20.69 <sup>c</sup>	414.12±10.27 <sup>c</sup>
	Day60 (25°C)	470.37±30.70 <sup>e</sup>	441.15±30.68 <sup>bc</sup>
cooked noodles	Day 0	732.17±32.02 <sup>a</sup>	512.09±00.00 <sup>a</sup>
	Day60 (4°C)	527.91±00.00 <sup>d</sup>	475.56±10.35 <sup>ab</sup>
	Day60 (25°C)	680.82±10.58 <sup>b</sup>	458.66±10.30 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Means within each column with the identical superscript letter are not significantly different at  $P < 0.05$ .



## 第五章、結論

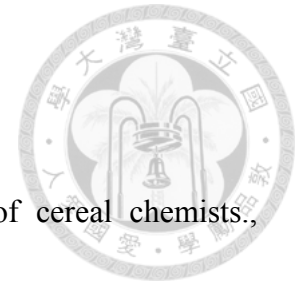


1. 對紅糯米與黑糯米進行濕熱處理後，因澱粉分子內部發生重排與部分糊化，致使糊液黏度測定中糊化溫度提升。濕熱處理 15 分鐘以上，將使酵素失活，造成最高黏度與最終黏度上升，可改善米麵條製程上之操作性與麵糰之成糰性。
2. 以稻穀形式進行濕熱處理，稻穀可保護其內部結構減緩濕熱處理中熱與水分之影響。合併考慮濕熱處理時之實用性，以稻穀形式進行濕熱處理 15 分鐘，可達快速與經濟效能。
3. 由熱性質分析結果可知，濕熱處理造成吸熱峰往高溫移動，且熱焓值減少。在相同加熱時間處理下，隨添加水量之增加，糊化情形漸趨明顯；其  $T_0$  與  $T_p$  提高， $T_c$  與  $T_0$  之差值減小，熱焓值減少，且水分對糊化程度之影響力較時間對澱粉糊化程度之影響顯著。此外，以稻穀進行濕熱處理可減緩時間與水分對糊化程度的影響。
4. 由紅糯與黑糯米穀粉和小麥麵粉進行配粉後之糊液黏度測定結果得知，以濕熱處理 15 分鐘之米穀粉，進行 30% 及 51% 米穀粉取代，其糊液黏度特性和純小麥麵粉最接近，以此條件進行米麵條製作，最可能與小麥麵條之質地相仿。
5. 以未經濕熱處理之糯米穀粉製成米麵條，麵條較為乾硬無彈性，表面有粉粒感而不光滑。以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘之米穀粉製成之米麵條，麵糰成糰性較佳，反覆壓延後表面較光滑，與小麥麵條之表面性質較相近。
6. 以米穀粉 30% 取代小麥麵粉所製得之米麵條，其烹煮時間顯著減少。以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘之紅糯及黑糯，所製得之 30% 米穀粉取代米麵條，其烹煮損失率在紅、黑米麵條中最低，其熟麵條之長度膨脹度上最高，且具有較低的黏度與較佳的拉伸性。
7. 51% 之紅糯米生麵條外觀表面均較 30% 乾硬，添加活性麵筋後，麵糰成糰性較佳，且麵帶表面亦較光滑。未添加活性麵筋時，濕熱處理無法加強麵條之強度，煮熟後易斷裂成小條狀，顯示出 51% 米麵條添加活性麵筋之必要性。
8. 51% 米穀粉取代之米麵條，添加活性麵筋時，可使米麵條之烹煮損失率下降，硬度、咀嚼性與柔軟度提升，並降低黏著力，且對濕熱處理後之樣品具有較顯

著的影響力。添加 8.8%活性麵筋時，可維持熟麵條之完整性，增強麵條結構使米麵條結構部分回復至與小麥麵條相仿之程度。

9. 官能品評中，受試者對 51%取代之紅糯米及黑糯米麵條接受度較 30%取代者高，有 90%以上受試者可接受 51%黑糯米麵條。濕熱處理 15 分鐘之紅糯米穀粉所製備之 51%取代米麵條，其整體接受度最佳。以濕熱處理 15 分鐘之紅糯米穀粉，和以未經濕熱處理之黑糯米穀粉或濕熱處理 15 分鐘之黑糯米穀粉，添加 8.8%之活性麵筋，所製備之 51%取代之米麵條，最具開發潛力。
10. 4 °C 貯藏及濕熱處理可有效降低貯藏期間游離脂肪酸之生成量，避免因油之氧化酸敗所產生之不良氣味，延長預拌粉之貯存期限。
11. 紅糯米與黑糯米經濕熱處理後，在貯藏前與貯藏 90 天後總酚含量變化量不大，約為小麥麵粉總酚含量之 2 倍，富含機能性成分。
12. 黑糯米穀粉在貯藏 90 天期間，總花青素含量可維持在 96%以上，且不受貯藏溫度之影響。濕熱處理後之黑糯米穀粉，仍保有 50%之總花青素含量，足以作為富含機能性成分之食材。以黑糯米穀粉進行米麵條製作時，總花青素含量可維持 70%以上，可開發為富含機能成分之新穎式中式米麵條產品。

## 第六章、參考文獻



- AACC (2000). Approved method of the american association of cereal chemists., AACC Inc. MN. USA.
- Abdel-aal, M.e.-s., Hucl, P., Chibbar, R.N., Han, H.L., and T., D. (2002). Physicochemical and structural characteristics of flours and starches from waxy and nonwaxy wheats. *Cereal Chemistry* 79, 458-464.
- Abdel-Aal, M.E.-s., Young, J.C., and Rabalski, I. (2006). Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 4696-4704.
- Adebowale, K.O., Afolabi, T.A., and Olu-Owolabi, B.I. (2005). Hydrothermal treatments of Finger millet (*Eleusine coracana*) starch. *Food Hydrocolloid* 19, 974-983.
- Adebowale, K.O., Henle, T., Schwarzenbolz, U., and Doert, T. (2009). Modification and properties of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa* Hochst. Ex A. Rich.) Harms starch I: Heat moisture treatments and annealing. *Food Hydrocolloid* 23, 1947-1957.
- Adebowale, K.O., and Lawal, O.S. (2002). Effect of annealing and heat moisture conditioning on the physicochemical characteristics of bambarra groundnut (*Voandzeia subterranea*) starch. *Nahrung-Food* 46, 311-316.
- Arns, B., Bartz, J., Radunz, M., Evangelho, J.A.d., Pinto, V.Z., Zavareze, E.d.R., and Dias, A.R.G. (2015). Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch. *LWT - Food Science and Technology* 60, 708-713.
- Balasubashini, M.S., Rukkumani, R., and Menon, V.P. (2003). Protective effects of ferulic acid on hyperlipidemic diabetic rats. *Acta diabetologica* 40, 118-122.
- Balasubashini, M.S., Rukkumani, R., Viswanathan, P., and Menon, V.P. (2004). Ferulic acid alleviates lipid peroxidation in diabetic rats. *Phytotherapy research : PTR* 18, 310-314.
- Bhattacharya, K.R. (2011). Effect of parboiling on rice quality. *rice quality*, 247-297.
- Buggenhout, J., Brijs, K., Celus, I., and Delcour, J.A. (2013). The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: A review. *Journal of Food Engineering* 117, 304-315.
- Cham, S., and Suwannaporn, P. (2010). Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality. *Journal of Cereal Science* 51, 284-291.
- Chanphrom, P. 2007. Antioxidants and antioxidant activities of pigmented rice varieties and rice bran. Bangkok, Thailand: Mahidol University, MSc thesis.
- Chen, P.N., Kuo, W.H., Chiang, C.L., Chiou, H.L., Hsieh, Y.S., and Chu, S.C. (2006).

Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. *Chemico-biological interactions* 163, 218-229.

Chen, X.Q., Nagao, N., Itani, T., and Irifune, K. (2012). Anti-oxidative analysis, and identification and quantification of anthocyanin pigments in different coloured rice. *Food Chem* 135, 2783-2788.

Chiu, H.-L., and Fan, M.-J. (1998). Anthocyanins and flower color expression. *Journal of the Chinese Society for Horticultural Science* 44, 102-115.

Choo, C.L., and Aziz, N.A.A. (2010). Effects of banana flour and  $\beta$ -glucan on the nutritional and sensory evaluation of noodles. *Food Chemistry* 119, 34-40.

Chrastil, J. (1987). Improved calorimetric determination of amylose in starches or flours. *Carbohydrate Research* 159, 154-158.

Chung, H.-J., Cho, A., and Lim, S.-T. (2012). Effect of heat-moisture treatment for utilization of germinated brown rice in wheat noodle. *LWT - Food Science and Technology* 47, 342-347.

Chung, H., and Shin, J. (2007). Characterization of antioxidant alkaloids and phenolic acids from anthocyanin-pigmented rice (*Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo). *Food Chemistry* 104, 1670-1677.

Chung, H.J., Liu, Q., and Hoover, R. (2009). Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydr Polym* 75, 436-447.

Collado, L.S., and Corke, H. (1999). Accurate estimation of sweetpotato amylase activity by flour viscosity analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47, 832-835.

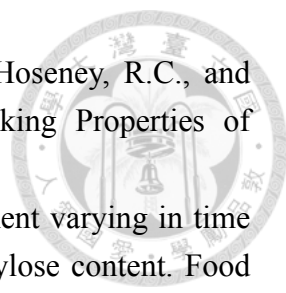
Cotelle, N. (2001). Role of flavonoids in oxidative stress. *Current topics in Medicinal Chemistry* 1, 569-590.

Crosbie, G.B. (1991). The Relationship Between Starch Swelling Properties paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours. *Journal of Cereal Science* 13, 145-150.

Delcour, J.A., and Hosney, R.C. (2010). *Principles of Cereal Science and Technology* (American Association of Cereal Chemists).

Deng, G.F., Xu, X.R., Zhang, Y., Li, D., Gan, R.Y., and Li, H.B. (2013). Phenolic compounds and bioactivities of pigmented rice. *Critical reviews in food science and nutrition* 53, 296-306.

Derycke, V., Vandeputte, G.E., Vermeulen, R., De Man, W., Goderis, B., Koch, M.H.J., and Delcour, J.A. (2005a). Starch gelatinization and amylose–lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry. *Journal of Cereal Science* 42, 334-343.

- 
- Derycke, V., Veraverbeke, W.S., Vandeputte, G.E., De Man, W., Hosoney, R.C., and Delcour, J.A. (2005b). Impact of Proteins on Pasting and Cooking Properties of Nonparboiled and Parboiled Rice. *Cereal Chemistry* 82, 468-474.
- Dutta, H., and Mahanta, C.L. (2012). Effect of hydrothermal treatment varying in time and pressure on the properties of parboiled rices with different amylose content. *Food Research International* 49, 655-663.
- Fardet, A., Rock, E., and Rémésy, C. (2008). Is the in vitro antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected in vivo? *Journal of Cereal Science* 48, 258-276.
- Fu, B.X. (2008). Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing. *Food Research International* 41, 888-902.
- Fuleki, T., and Francis, F.J. (1968). Quantitative methods for anthocyanins-2. *Journal of food science* 33, 78-83.
- Gunaratne, A., and Hoover, R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydr Polym* 49, 425-437.
- Guo, H., Ling, W., Wang, Q., Liu, C., Hu, Y., and Xia, M. (2008). Cyanidin 3-glucoside protects 3T3-L1 adipocytes against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>- or TNF- $\alpha$ -induced insulin resistance by inhibiting c-Jun NH<sub>2</sub>-terminal kinase activation. *Biochemical pharmacology* 75, 1393-1401.
- Hatcher, D.W., Kruger, J.E., and Anderson, M.J. (1999). Influence of Water Absorption on the Processing and Quality of Oriental Noodles. *Cereal Chemistry* 76, 566-572.
- Hegsted, M., Windhauser, M.M., Morris, K., and Lester, S.B. (1993). Stabilized rice bran and oat bran lower cholesterol in humans. *Nutrition Research* 13, 387-398.
- Hiemori, M., Koh, E., and Mitchell, A.E. (2009). Influence of cooking on anthocyanins in black rice (*Oryza sativa* L. *japonica* var. SBR). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 1908-1914.
- Hoover, R., and Manuel, H. (1996). The effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of normal maize, waxy maize, dull waxy maize and amylo maize V starches. *Journal of Cereal Science* 23, 153-162.
- Hoover, R., and Vasanthan, T. (1993). The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches. *Journal of Food Biochemistry* 17, 303-325.
- Horndok, R., and Noomborm, A. (2007). Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT - Food Science and Technology* 40, 1723-1731.
- Horndok, R., and Noomhorm, A. (2007). Hydrothermal treatments of rice starch for

improvement of rice noodle quality. *LWT - Food Science and Technology* 40, 1723-1731.

Hou, Z., Qin, P., and Ren, G. (2010). Effect of anthocyanin-rich extract from black rice (*Oryza sativa* L. *Japonica*) on chronically alcohol-induced liver damage in rats. *J Agric Food Chem* 58, 3191-3196.

Htwe, N.N., Srilaong, V., Tanprasert, K., Tongchitpakdee, S., Kanlayanarat, S., and Uthairatanakij, A. (2010). Effects of storage time and temperature on radical scavenging activities and bioactive compounds in colored rice varieties. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8, 26-31.

Hu, C., Zawistoski, J., Ling, W., and Kitts, D.D. (2003). Black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 5271-5277.

Huang, D., Ou, B., and Prior, R.L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 1841-1856.

Huang, Y.-C., and Lai, H.-M. (2010). Noodle quality affected by different cereal starches. *Journal of Food Engineering* 97, 135-143.

Jiranuntakul, W., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Pancha-arnon, S., and Uttapap, D. (2011). Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches. *Journal of Food Engineering* 104, 246-258.

Jiranuntakul, W., Sugiyama, S., Tsukamoto, K., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., Pancha-Arnon, S., and Uttapap, D. (2013). Nano-structure of heat-moisture treated waxy and normal starches. *Carbohydr Polymers* 97, 1-8.

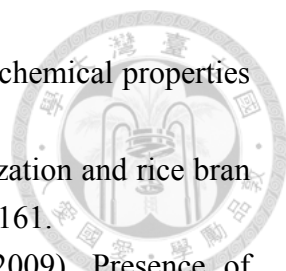
Jun, H.I., Song, G.S., Yang, E.I., Youn, Y., and Kim, Y.S. (2012). Antioxidant activities and phenolic compounds of pigmented rice bran extracts. *Journal of food science* 77, C759-764.

Kestin, M., Moss, R., Clifton, P.M., and J., N.P. (1990). Comparative effects of three cereal brans on plasma lipids, blood pressure, and glucose metabolism in mildly hypercholesterolemic men. *American Journal of Clinical Nutrition* 52, 661-666.

Kim, S.-M., Chung, H.-J., and Lim, S.-T. (2014). Effect of various heat treatments on rancidity and some bioactive compounds of rice bran. *Journal of Cereal Science* 60, 243-248.

Kruger, J.E. (1996). Noodle quality-What can we learn from the chemistry of breadmaking? (American Association of Cereal Chemists).

Kwon, D.Y., and Rhee, J.S. (1986). A simple and rapid colorimetric method for determination of free fatty acids for lipase assay. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 63, 89-92.

- 
- Lai, H.-M. (2001). Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. *Food Chemistry* 72, 455-463.
- Lakkakula, N.R., Lima, M., and Walker, T. (2004). Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating. *Bioresource Technology* 92, 157-161.
- Lamberts, L., Gomand, S.V., Derycke, V., and Delcour, J.A. (2009). Presence of Amylose Crystallites in Parboiled Rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 3210-3216.
- Laokuldilok, T., Shoemaker, C.F., Jongkaewwattana, S., and Tulyathan, V. (2011). Antioxidants and antioxidant activity of several pigmented rice brans. *J Agric Food Chem* 59, 193-199.
- Lee, H., Oh, S.-K.O., Choi, H.-C., and Kim, S.-U. (1988). Identification of anthocyanins from pigmented rice seed. *Agricultural Chemistry & Biotechnology* 41, 257-262.
- Lee, L., Baik, B.-K., and Czuchajowska, Z. (1998). Garbanzo bean flour usage in cantonese noodles. *Journal of food science* 63, 552-558.
- Leonard, O.O. (2007). Color stability of sorghum 3-deoxyanthocyanin against sulfite and ascorbic acid degradation; pH influence. In Faculty of the Graduate School (University of Missouri, Columbia).
- Li, Y., Ma, D., Sun, D., Wang, C., Zhang, J., Xie, Y., and Guo, T. (2015). Total phenolic, flavonoid content, and antioxidant activity of flour, noodles, and steamed bread made from different colored wheat grains by three milling methods. *The Crop Journal* 3, 328-334.
- Lim, S.T., Chang, E.H., and Chung, H.J. (2001). Thermal transition characteristics of heat-moisture treated corn and potato starches. *Carbohydr Polym* 46, 107-115.
- Lin, P.-Y., and Lai, H.-M. (2011). Bioactive compounds in rice during grain development. *Food Chemistry* 127, 86-93.
- Liu, R.H. (2007). Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science* 46, 207-219.
- Lowry, R.R., and Tinsley, I.J. (1976). Rapid colorimetric determination of free fatty acids. *Journal of the American Oil Chemists Society* 53, 470-472.
- Loypimai, P., Moongarm, A., and Chottanom, P. (2009). Effects of ohmic heating on lipase activity, bioactive compounds and antioxidant activity of rice bran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3, 3642-3652.
- Ma, J., Chen, W.X., and Ling, W.H. (2000). The health efficacy of red rice and black rice. *Journal of food science* 21, 139-140.
- Maache-Rezzoug, Z., Zarguili, I., Loisel, C., Queveau, D., and Buléon, A. (2008). Structural modifications and thermal transitions of standard maize starch after DIC

hydrothermal treatment. *Carbohydr Polym* 74, 802-812.

Mahanta, C.L., Ali, S.Z., Bhattacharya, K.R., and Mukherjee, P.S. (1989). Nature of Starch Crystallinity in Parboiled Rice. *Starch - Stärke* 41, 171-176.

Mathew, S., and Abraham, T.E. (2004). Ferulic acid: an antioxidant found naturally in plant cell walls and feruloyl esterases involved in its release and their applications. *Critical reviews in biotechnology* 24, 59-83.

Min, B., McClung, A., and Chen, M.H. (2014). Effects of hydrothermal processes on antioxidants in brown, purple and red bran whole grain rice (*Oryza sativa* L.). *Food Chem* 159, 106-115.

Miskelly, D.M. (1996). The use of alkali for noodle processing (American Association of Cereal Chemists).

Moritaka, S., and Yasumatsu, K. (1972). The effect of sulfhydryl groups on storage deterioration of milled rice. *Journal of Japan Society of Nutrition and Food Sciences* 25, 59-62.

Nakamura, S., Satoh, H., and Ohtsubo, K. (2010). Palatable and bio-functional wheat/rice products developed from pre-germinated brown rice of super-hard cultivar EM10. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry* 74, 1164-1172.

Okarter, N., and Liu, R.H. (2010). Health benefits of whole grain phytochemicals. *Critical reviews in food science and nutrition* 50, 193-208.

Olayinka, O.O., Adebowale, K.O., and Olu-Owolabi, B.I. (2008). Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of white sorghum starch. *Food Hydrocolloid* 22, 225-230.

Oli, P., Ward, R., Adhikari, B., and Torley, P. (2014). Parboiled rice: Understanding from a materials science approach. *Journal of Food Engineering* 124, 173-183.

Ong, M.H., and Blanshard, J.M.V. (1994). The significance of the amorphous-crystalline transition in the parboiling process of rice and its relation to the formation of the amylose-lipid complex and the recrystallisation (retrogradation) of starch. *Food Science and Technology* 8, 217-226.

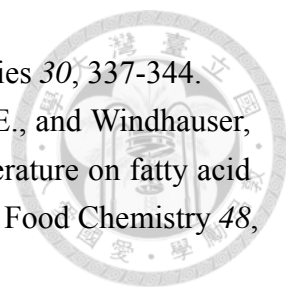
Osawa, T., Ramarathnam, N., Kawakishi, S., and Namiki, M. (1992). Antioxidative defense systems generated by phenolic plant constituents. *ACS Symposium Series* 507, 122-134.

Paiva, F.F., Vanier, N.L., Berrios Jde, J., Pinto, V.Z., Wood, D., Williams, T., Pan, J., and Elias, M.C. (2016). Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. *Food Chem* 191, 105-112.

Puncha-arnon, S., and Uttapap, D. (2013). Rice starch vs. rice flour: differences in their properties when modified by heat-moisture treatment. *Carbohydr Polym* 91, 85-91.

Ramesh, M., Ali, S.Z., and Bhattacharya, K.R. (1999). influence of parboiling on rice





starch and its relation to cooked-rice texture. *Journal of Texture Studies* 30, 337-344.

Ramezanzadeh, F.M., Rao, R.M., Prinyawiwatkul, W., Marshall, W.E., and Windhauser, M. (2000). Effects of microwave heat, packaging, and storage temperature on fatty acid and proximate compositions in rice bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 464-467.

Rao, R.S.P., and Muralikrishna, G. (2004). Non-starch polysaccharide-phenolic acid complexes from native and germinated cereals and millet. *Food Chemistry* 84, 527-531.

Ross, A.S. (2013). *Fibre-enriched and whole wheat noodles* (Woodhead publishing).

Saikia, S., Dutta, H., Saikia, D., and Mahanta, C.L. (2012). Quality characterisation and estimation of phytochemicals content and antioxidant capacity of aromatic pigmented and non-pigmented rice varieties. *Food Research International* 46, 334-340.

Sanders, T., and Reddy, S. (1991). The influence of rice bran on plasma lipids and lipoproteins in human volunteers. *European Journal of Clinical Nutrition* 46, 161-172.

Selma, M.V., Espin, J.C., and Tomas-Barberan, F.A. (2009). Interaction between phenolics and gut microbiota: role in human health. *J Agric Food Chem* 57, 6485-6501.

Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J., and Beta, T. (2014). Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). *Journal of Cereal Science* 59, 211-218.

Sharp, R.N., and Timme, L.K. (1986). Effects of storage time, storage temperature, and packaging method on shelf life of brown rice. *Cereal Chemistry* 63, 247-251.

Simmons, D., and Williams, R. (1997). Dietary practices among Europeans and different South Asian groups in coventry. *British Journal of Nutrition* 78, 5-14.

Singh, M., Arseneault, M., Sanderson, T., Murthy, V., and Ramassamy, C. (2008). Challenges for research on polyphenols from foods in Alzheimer's disease: bioavailability, metabolism, and cellular and molecular mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 4855-4873.

Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Berghofer, E., and Schoenlechner, R. (2011a). Extrusion cooking properties of white and coloured rice varieties with different amylose content. *Starch - Stärke* 63, 55-63.

Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-Martin, G., and Berghofer, E. (2011b). Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry* 124, 132-140.

Taga, M.S., miller, E.E., and Pratt, D.E. (1984). Chia Seeds as a Source of Natural lipid antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 61, 928-931.

Tang, Y., Cai, W., and Xu, B. (2016). From rice bag to table: Fate of phenolic chemical compositions and antioxidant activities in waxy and non-waxy black rice during home

cooking. *Food Chem* 191, 81-90.

Tester, R.F., and Morrison, W.R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chemistry* 67, 551-557.

Thanonkaew, A., Wongyai, S., McClements, D.J., and Decker, E.A. (2012). Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold-pressed rice bran oil (*Oryza sativa* L.). *LWT - Food Science and Technology* 48, 231-236.

Ti, H., Zhang, R., Li, Q., Wei, Z., and Zhang, M. (2015). Effects of cooking and in vitro digestion of rice on phenolic profiles and antioxidant activity. *Food Research International*.

Trombino, S., Serini, S., Nicuolo, F.D., Celleno, L., Ando, S., Picci, N., Calviello, G., and Palozza, P. (2004). Antioxidant effect of ferulic acid in isolated membranes and intact cells: synergistic interactions with  $\alpha$ -Tocopherol, beta-carotene, and ascorbic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 2411-2420.

Truswell, A. (2002). Cereal grains and coronary heart disease. *European Journal of Clinical Nutrition* 56, 1-14.

Walter, M., Marchesan, E., Massoni, P.F.S., da Silva, L.P., Sartori, G.M.S., and Ferreira, R.B. (2013). Antioxidant properties of rice grains with light brown, red and black pericarp colors and the effect of processing. *Food Research International* 50, 698-703.

Wang, D., Wei, X., Yan, X., Jin, T., and Ling, W. (2010). Protocatechuic acid, a metabolite of anthocyanins, inhibits monocyte adhesion and reduces atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice. *J Agric Food Chem* 58, 12722-12728.

Wang, L.H., and Hsieh, S.C. (1988). Changes in rice grain quality during storage. In *Symposium on Rice Grain Quality*, pp. 282-300.

Watcharatewinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., and Uttapap, D. (2009). Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydr Polym* 75, 505-511.

Xia, M., Ling, W.H., Ma, J., Kitts, D.D., and Zawistosdki, J. (2003). Supplementation of Diets with the Black Rice Pigment Fraction Attenuates Atherosclerotic Plaque Formation in Apolipoprotein E Deficient Mice. *The Journal of Nutrition* 133, 744-751.

Xu, Z., Hua, N., and Godber, J.S. (2001). Antioxidant Activity of Tocopherols, Tocotrienols, and  $\gamma$ -Oryzanol Components from Rice Bran against Cholesterol Oxidation Accelerated by 2,2'-Azobis(2-methylpropionamide) Dihydrochloride. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 2077-2081.

Yawadio, R., Tanimori, S., and Morita, N. (2007). Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. *Food Chemistry* 101, 1616-1625.

Yoenyongbuddhagal, S., and Noomhorm, A. (2002). Effect of physicochemical properties of high-amylose Thai rice flours on vermicelli quality. *Cereal Chemistry* 79, 481-485.

Yoshinaga, K. (1986). Liquor with pigments of red rice. *Journal of the Brewing Society of Japan* 81, 337-342.

Zavareze, E.d.R., and Dias, A.R.G. (2011). Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydr Polym* 83, 317-328.

Zavareze, E.d.R., Storck, C.R., de Castro, L.A.S., Schirmer, M.A., and Dias, A.R.G. (2010). Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. *Food Chemistry* 121, 358-365.

Zawistowski, J., Kopec, A., and Kitts, D.D. (2009). Effects of a black rice extract (*Oryza sativa* L. *indica*) on cholesterol levels and plasma lipid parameters in Wistar Kyoto rats. *Journal of Functional Foods* 1, 50-56.

Zhishen, J., Mengcheng, T., and Wu, J. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry* 64, 555-559.

Zhou, Z. (2004). The distribution of phenolic acids in rice. *Food Chemistry* 87, 401-406.

Zhu, L.-J., Liu, Q.-Q., Sang, Y., Gu, M.-H., and Shi, Y.-C. (2010). Underlying reasons for waxy rice flours having different pasting properties. *Food Chemistry* 120, 94-100.

張學琨、侯福分 (2006). 稻米產銷對環保及健康之影響. Paper presented at: 生物技術與綠色農業研討會 (行政院農業委員會農業試驗所、中華永續農業協會).

劉玉文 (2011). 推動在地消費，作伙來呷臺灣米. *農政與農情* 234, 126.

## 附 錄



縮寫代號	說明
W (wheat flour)	小麥麵粉
RW (red waxy)	紅糯米穀粉
BW (black waxy)	黑糯米穀粉
rRW (rough red waxy)	以稻穀形式濕熱處理的紅糯米穀粉
bRW (brown red waxy)	以糙米形式濕熱處理的紅糯米穀粉
rRW15	以稻穀形式濕熱處理 15 分鐘的紅糯米穀粉
bBW30	以糙米形式濕熱處理 30 分鐘的黑糯米穀粉
rRW1503	以稻穀形式並外添加相對於稻穀重量 0.3 倍的水，濕熱處理 15 分鐘的紅糯米穀粉
W70RW	以 30%紅糯米穀粉取代小麥麵粉
W49rBW15v8.8	以 51%經濕熱處理 15 分鐘的黑糯米穀粉取代小麥麵粉，並額外添加 8.8%活性麵筋



縮寫代號	英文名稱	中文名稱	測定項目
AM	Amylose	直鏈澱粉	澱粉的直鏈澱粉含量
PT	Pasting temperature	糊化溫度	糊液黏度性質
Tp	Peak temperature	尖鋒溫度	糊液黏度性質
PV	Peak viscosity	尖鋒黏度	糊液黏度性質
T	Trough	熱糊黏度	糊液黏度性質
FV	Final viscosity	最終黏度	糊液黏度性質
BkD	Breakdown	崩解黏度	糊液黏度性質
SB	Setback	回凝黏度	糊液黏度性質
To	Onset temperature	起始溫度	熱性質分析
Tp	Peak temperature	尖鋒溫度	熱性質分析
Tc	Conclusion temperature	終止溫度	熱性質分析
$\Delta H$	Transition enthalpy	熱焓值	熱性質分析