

國立臺灣大學生物資源暨農學院農業化學系

碩士論文

Department of Agricultural Chemistry
College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

以國產稻米取代麵粉製作麵包之研究

Study on Substitution of Wheat Flour with

Domestic Grown Rice in Bread Making



戴丞衍

Cheng-Yan Dai

指導教授：賴喜美 博士

Advisor: Hsi-Mei Lai, Ph.D.

中華民國 102 年 1 月

January 2013

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

以國產稻米取代麵粉製作麵包之研究

Study on Substitution of Wheat Flour with
Domestic Grown Rice in Bread Making

本論文係戴丞衍（R99623031）在國立臺灣大學農業化學系完成之碩士學位論文，於民國 102 年 01 月 29 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

賴喜美

（簽名）

（指導教授）

呂廷璋

張永宏

陳炯堂

林子洸

謝誌

回想剛到台北，處處不習慣，幸好實驗室很有趣，很快可以適應這個「台北國」。這兩年半來，第一要感謝我的父母，使我衣食無虞；第二是感謝老師，一開始收留我、提供實驗協助、以及最後不厭其煩修改我的論文；接著是帶我做實驗的學姊們、有趣的同學以及學弟妹們，謝謝大家！

附上第一年和第二年的照片，哈哈。



中文摘要

本研究包含米穀粉磨粉性質探討以及米穀粉或米飯取代麵粉製作米麵包(35% (烘焙百分比)米穀粉取代)兩大部分。原料選用市售台梗9號兩批(TK9及TK9II)、市售台梗9號白粉質粒米(TK9IIc)、市售糯米(CW)、市售一般白米兩批(CR及CRII)、市售白粉質粒米(CCR)、市售高直鏈米(CHA)、市售碎米(BR)、脆稈秈米(IR64)十種國產稻米，配合三台磨粉機(MA、MB及MC)五種磨粉條件(MA1、MA2、MB1、MB2、MB3及MC)進行試驗。分別探討米種、米粒調濕處理與磨粉設定對米穀粉糊液黏度性質、粒徑分布及破損澱粉含量之影響。並選用CW、CR、CCR、CHA及IR64米穀粉進行一系列之烘焙試驗：(1)比較不同米種以相同製程製作、(2)比較不同米種製作相同比體積之麵包、(3)以糯米及高直鏈米配製序列直鏈澱粉含量之米穀粉、(4)以糯米、白米及高直鏈米配製序列直鏈澱粉含量之米穀粉、及(5)由米飯取代生米穀粉，分別用以製作35%米穀粉及35%米飯(烘焙百分比)取代之米麵包，再以質地剖面分析法(texture profile analysis, TPA)評估新鮮麵包及其儲藏後之品質。實驗結果顯示，磨粉機MA所製米穀粉，具有低破損澱粉含量(3.96–6.73%)但粒徑較粗(148.4–225.7 μm)之特性；MB所製米穀粉之破損澱粉含量最高(13.52–38.37%)，粒徑大小居中(58.6–114.1 μm)；MC所製米穀粉特性為破損澱粉含量居中(12.77–25.70%)，但平均粒徑最小(47.1–53.8 μm)。不同米種中以CW具有最高之破損澱粉含量，CHA破損澱粉含量最低；而粒徑大小則與米種無一定之趨勢。調濕處理可改變磨粉機MB之磨粉性質，降低米粒水分含量可降低米穀粉之破損澱粉含量；但調濕處理則對磨粉機MC所製備米穀粉之破損澱粉含量無影響。烘焙試驗結果顯示，適合製作米麵包之米穀粉應具有低破損澱粉含量且直鏈澱粉含量介於10–15%之特性。製作烘焙產品時，破損澱粉含量越高則比體積越小；直鏈澱粉含量和硬度呈現正相關，但不影響比體積。相同製程下，以CCR米穀粉製作之麵包，其硬度及彈性參數與控制組最接近。所有米穀粉麵包經儲藏後硬化速率皆高於控制組，但可藉由配粉控制初始硬度，改善儲藏後米麵包之品質。米飯麵包質地柔軟且富有特殊甜味，但對於米種及製程要求較高。官能品評結果顯示，米穀粉麵包及米飯麵包在所有項目得分皆與控制組相近甚至更高，顯示米穀粉麵包及米飯麵包極具開發潛力。

關鍵詞：米穀粉、製粉技術、破損澱粉、米麵包、比體積、質地剖面分析(TPA)

Abstract

The objectives of this study included the rice flour milling test for the rice bread making and the rice bread making test with 35% rice flour and cooked rice (on flour basis) substituted. About the rice flour milling test, the effects of different rice varieties, rice tempering and milling conditions on the pasting properties, particle size distribution and damaged starch content of rice flours were investigated. Ten domestic rice (commercial japonica rice, TK9 & TK9II; commercial waxy rice, CW; commercial common rice, CR & CRII; commercial chalky rice, CCR; commercial high amylose rice, CHA; japonica chalky rice, TK9IIc; broken rice, BR; indica rice, IR64) were grounded by three mills (MA, MB and MC) with five settings (MA1, MA2, MB1, MB2, MB3 and MC) were used in this study. CW, CR, CCR, CHA and IR64 rice flours were used for bread making test of 35% rice flour or cooked rice substituted bread. The bread making test included making rice breads (1) with different rice flours by the same processes, (2) with different rice flours and keeping the same specific volume, (3) with different amylose content rice flours blending with CW and CHA, (4) with different amylose content rice flours blending with CW, CR and CHA, and (5) with cooked rice. The quality of fresh made and aged breads were evaluated by texture profile analysis (TPA). The results of milling test indicated that the rice flours milled by MA were low in damaged starch content (3.96–6.73%) with large particle size (148.4–225.7 μm); the rice flours milled by MB were high in damaged starch content (13.52 – 38.37 %) with medium particle size (58.6–114.1 μm); the rice flour milled by MC were medium in damaged starch content (12.77 – 25.70%) with small particle size (47.1-53.8 μm). Compared damaged starch content of rice flours, CW was the highest and CHA was the lowest. There is no correlation between rice varieties and particle size. The influence of

tempering treatment on the damaged starch content of rice flour was significant on the MB, which the lowest moisture content of rice granules had the lowest damaged starch content of rice flour. While, the damaged starch contents of rice flours milled by MC were not influenced by the tempering. The results of baking test indicated that the ideal rice flours for bread making should contain low damaged starch content and have the amylose content between 10–15%. The higher damaged starch content resulted in the smallest specific volume of rice bread. The amylose content of rice flour was positive with the hardness of rice bread, but no correction with the specific volume of bread. With the same bread making process, the TPA values of CCR bread was the most similar to the control, which was made with wheat flour. Although the hardening rates of all rice breads were higher than the control, blending the rice flour with low amylose content could improve the storage quality of aged rice bread with low initial hardness of rice bread. Cooked rice breads, made with special rice specie by modified processing processes, had soft texture and rich in special sweet taste, which were favored by most panelists. To the results of sensory evaluation, rice breads made with rice flour and cooked rice got close or higher scores on all subjects, indicating that the rice breads made in this studies have great potentials for the marketing.

Key words: rice flour, milling, damaged starch, rice bread, specific volume, texture profile analysis (TPA)

目錄

中文摘要	I
Abstract.....	II
目錄	IV
圖目錄	VII
表目錄	VIII
第一章 前言	1
第二章 文獻整理	3
第一節、小麥與麵粉	3
第二節、稻米與米穀粉	5
第三節、米穀粉取代麵粉	6
第四節、麵包老化	9
第三章 材料與方法	12
第一節、材料	12
一、原料米	12
二、麵粉	14
三、酵母及其他材料	14
第二節、製粉	14
第三節、實驗方法	15
一、米穀粉	15
1. 水分含量	15
2. 粗蛋白含量	16
3. 粗脂肪含量	16
4. 灰分含量	16
5. 直鏈澱粉含量	16
6. 篩網篩分	16
7. 糊液黏度性質	17

8. 破損澱粉含量測定	17
9. 米穀粉顯微結構觀察	18
10. 米穀粉粒徑分析	18
二、米粒調濕	18
三、麵包製作流程及性質測定	18
1. 固定製程之麵包製作	18
2. 固定比體積之麵包製作	19
3. 米飯麵包之製作	20
4. 麵包比體積測定	21
5. 麵包熱性質分析	21
6. 麵包儲藏試驗	22
7. 官能品評	23
四、統計分析	25
五、實驗架構	26
第四章 結果與討論	28
第一節、磨粉預實驗結果	28
一、研磨條件對米穀粉粒徑分布之影響	28
二、磨粉條件對米穀粉水分、直鏈澱粉及破損澱粉含量之影響	30
三、磨粉條件對米穀粉之糊液黏度性質之影響	30
五、磨粉預實驗小結	33
第二節、不同精白米研磨製得米穀粉之理化性質	34
一、米穀粉之一般成分分析及破損澱粉含量	34
二、磨粉後米穀粉之糊液黏度性質	35
三、磨粉後米穀粉之粒徑分布	37
四、調濕對磨粉後糊液黏度性質及粒徑分布之影響	39
五、調濕及溫度對破損澱粉含量之影響	41
六、結語	44
第三節、不同米種以相同製程製作米麵包	44
一、麵包外觀及比體積	44

二、TPA 性質測定	47
三、結語	49
第四節、不同米種製作相比體積之米麵包	50
一、外觀及比體積	50
二、TPA 性質測定	50
三、結語	53
第五節、配製不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包(第一組).....	54
一、外觀及比體積	54
二、TPA 性質測定	56
第六節、配製不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包(第二組).....	59
一、外觀與比體積	59
二、TPA 性質測定	60
三、結語	62
第七節、米飯麵包	63
一、條件選擇預實驗	63
二、外觀及比體積	65
三、TPA 性質測定	65
四、熱性質分析	69
五、結語	70
第八節、官能品評	70
第六章 文獻整理	74
附錄	80

圖目錄

圖 一、本實驗使用之稻米外觀形態一覽。	13
圖 二、(a) 鎚式磨粉機、(b) 混合式磨粉機、(c) 氣流式磨粉機，及磨粉機制。 15	
圖 三、TPA profile 及其測定參數。	23
圖 四、不同磨粉條件對台梗 9 號精白米米穀粉之體積粒徑分布。	29
圖 五、台梗 9 號精白米經由不同磨粉條件之糊液黏度圖(2.5%, db)。	31
圖 六、台梗 9 號米穀粉各粒徑範圍之顯微結構。	32
圖 七、五種米經由 Mill A2 磨粉條件磨粉後之糊液黏度性質圖(2.5%, db)。	35
圖 八、不同磨粉條件對粒徑分布圖之影響。	37
圖 九、不同水分含量市售白米之糊液黏度圖;(a) MB3 及(b) MC (2.5%, db)。	40
圖 十、不同水分含量市售白米之粒徑分布圖;(a) MB3 及(b) MC。	41
圖 十一、不同米種以相同製程製作之米麵包橫切面圖。	46
圖 十二、同比體積米麵包之硬化速率。	51
圖 十三、不同直鏈澱粉含量米穀粉取代之米麵包橫切面圖(第一組)。	55
圖 十四、不同直鏈澱粉含量製作相近比體積之米麵包硬化速率(第一組)。	58
圖 十五、不同直鏈澱粉含量米穀粉取代之米麵包橫切面圖(第二組)。	59
圖 十六、不同直鏈澱粉含量製作相近比體積米麵包之硬化速率(第二組)。	60
圖 十七、直接法和快速法製作之米飯麵包外觀照片。	64
圖 十八、米飯麵包外觀及橫切面圖。	66
圖 十九、米飯麵包之硬化速率。	67
圖 二十、米穀粉麵包及米飯麵包官能品評結果;(a) CRs_MA2, (b) BF15, (c) CRR。	71

表目錄

表 一、實驗用稻米之代碼、直鏈澱粉含量及來源。	12
表 二、篩網篩目數與孔徑大小對照表。	17
表 三、米麵包基本配方。	19
表 四、以糯米及高直鏈米配製不同直鏈澱粉含量米穀粉以製作相近比體積米麵包 之麵團最終發酵所需時間。	20
表 五、以糯米、白米及高直鏈米配製不同直鏈澱粉含量米穀粉以製作相近比體積 米麵包之麵團最終發酵所需時間。	20
表 六、米飯麵包配方。	21
表 七、米麵包品評表	24
表 八、台梗 9 號精白米米穀粉之體積粒徑分布。	28
表 九、台梗 9 號精白米於各粒徑範圍內之粉粒重量收率。	29
表 十、不同磨粉條件下米穀粉的水分、直鏈澱粉及破損澱粉含量。	30
表 十一、台梗 9 號精白米米穀粉於各層篩網之破損澱粉含量。	33
表 十二、米穀粉之水分、粗脂肪、粗蛋白、灰分及破損澱粉含量。	36
表 十三、不同磨粉條件對粒徑分布之影響。	38
表 十四、不同水分含量對破損澱粉含量及粒徑分布之影響。	43
表 十五、不同米種相同製程製作米麵包之比體積。	45
表 十六、不同儲藏條件對相同製程米麵包 TPA 性質之影響。	48
表 十七、相同製程米麵包冷藏儲存 48 小時後微波復熱之 TPA 結果。	49
表 十八、相近比體積米麵包所需之最終發酵時間和成品比體積。	50
表 十九、不同儲藏條件對相近比體積米麵包 TPA 性質之影響。	52
表 二十、同比體積米麵包冷藏儲存 48 小時後微波復熱之 TPA 結果。	53
表 二十一、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包最終發酵時間及成品比體積(第 一組)。	54

表 二十二、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包，經不同儲藏條件下之 TPA 性質之影響(第一組)。	57
表 二十三、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包，經冷藏儲存 48 小時後微波復熱之 TPA 結果(第一組)。	58
表 二十四、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包，之最終發酵時間及成品比體積(第二組)。	59
表 二十五、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包，經不同儲藏條件下之 TPA 性質之影響(第二組)。	61
表 二十六、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作米麵包經冷藏儲存 48 小時後微波復熱之 TPA 結果(第二組)。	62
表 二十七、米飯麵包比體積。	65
表 二十八、不同儲藏條件對米飯麵包 TPA 性質之影響。	68
表 二十九、以 MDSC 分析米飯麵包之澱粉回凝情形。	69



第一章 前言

二戰結束後，滿目瘡痍的臺灣接受美國以剩餘農產品援助。美國提供臺灣進口小麥，一方面供給糧食、一方面扶植臺灣麵粉工業。臺灣人習慣吃米，對於麥製品不甚了解，民國五十一年政府及民間團體成立「臺灣區麵麥食品推廣執行委員會」及「臺灣區麵麥食品推廣指導委員會」兩單位，負責麵食推廣事宜，現今麵麥製品與稻米為臺灣兩大主食。

隨著臺灣工業發展、飲食日漸西化，主食漸漸從米製品轉變為小麥製品，又因米食加工創新性和方便性不足，導致稻米消耗銳減而公倉庫存量高，國內每人每年白米消耗量從民國 72 年的 93.1 公斤下降到民國 100 的 45 公斤，反觀小麥的消耗幾乎年年增加，但臺灣小麥幾乎仰賴進口，價格受國際市場影響，間接造成國內物價波動。雖政府推動國人每天多吃一口飯，可增加每人每年白米消耗量 1 公斤，增加耕作面積 5600 公頃，提高 0.24% 糧食自給率；但飲食習慣西化豈是一朝一夕即可改變？評估最有效的解決辦法為以國產稻米部分取代或開發傳統以小麥或玉米為主原料之製品，除了可增加穀物製品多樣性，亦可提高糧食自給率，有助於促進國內稻米產業並降低國際糧食供貨不穩之風險。

若直接以稻米取代小麥製作烘焙產品如麵包時，因為米穀粉缺乏麵筋(gluten)，無法形成適當的連續網狀結構，缺乏良好支撐力維持酵母發酵時所產生的氣體，產品質地差、硬度高。傳統麵食製品小麥須經過製粉，小麥種類及製粉方式皆會影響麵粉性質，影響最終產品的種類、品質及製程。有鑑於此，稻米研磨成米穀粉以取代麵粉製作烘焙產品時，必須從稻米原料的組成分差別，進行米穀粉的規格、理化性質、配方、產品製程訂定修正，針對不同產品及取代度進行專用粉之配粉。

與我國飲食習慣接近的日本，雖然已進行米穀粉取代麵包研究多年，仍無法制定出麵包用米穀粉之必要規格。但研究指出，米種直鏈澱粉含量、破損澱粉含量和粒徑大小及分布，是研究米穀粉取代米麵包製作之重要規格。直鏈澱粉含量可由稻米種類、配粉方式進行調配；破損澱粉含量和粒徑則與製粉技術有關。由於磨粉屬於上游的地域性工業，須配合下游廠商提供適當規格。因此，唯有建立以國產稻米為主要原料的磨粉技術與工業，開發麵包用米穀粉的磨粉方式，配合修正的米麵包配方及製程，才能促進國內米穀粉工業發展、增加米食產品多樣性

並提高糧食自給率。

本研究以數種國產稻米為原料，配合不同原理之磨粉機及磨粉設定、調濕處理等，進行米穀粉磨粉試驗及規格建立。並以米麵包專用米穀粉為主題，探討稻米品種、磨粉條件對米穀粉性質及部分取代麵粉生產米麵包之可行性。



第二章 文獻整理

第一節、小麥與麵粉

根據聯合國糧食農業組織(FAO)統計，小麥是世界上第三大糧食作物，僅次於玉米和稻米，貿易量居所有農作物之冠。玉米產量雖高，但大多用於飼料，小麥和稻米為人類的兩大主食。主要生產國有中國、印度、美國、俄羅斯等等，臺灣僅有台中大雅區及台南學甲等地種植，耕作面積約一百公頃。

小麥在生物學上的分類屬於禾本科(Poaceae)小麥屬(*Triticum*)。美國主要種植的小麥可以分為三大類，一般小麥(common wheat, *Triticum aestivum*)、杜蘭麥(durum wheat, *Triticum durum*)、克拉伯麥(club wheat, *Triticum compactum*)。普通小麥又可依種植季節、麩皮顏色、麥粒質地分為硬紅春麥(hard red spring)、硬紅冬麥(hard red winter)、軟紅冬麥(soft red winter)、硬白麥(hard white)及軟白麥(soft white)，共五個主要種類(賴，1995；US Wheat Associates)。不同的小麥品種具有不同性質，通常蛋白質含量較高的硬質冬麥適合製作發酵類烘焙產品；蛋白質含量較低的軟質小麥粉適合蛋糕、餅乾、點心類產品；然而杜蘭小麥蛋白質含量高，但因麵筋性質差且質地硬(Faridi & Faubion, 1995)，因此，主要用於義大利麵條及通心粉。

不僅小麥品種會影響麵粉性質，磨粉過程也會造成麵粉性質的差異。小麥構造可粗分為麩皮、胚乳、胚芽，磨粉目的即是將這三者分離。小麥磨粉會經過清潔、潤麥、磨粉、篩分、清粉、配粉步驟。潤麥是將麥加入適量水分，使麩皮變韌、軟化胚乳，在磨粉步驟中可較容易將麩皮和胚乳分離。分離出的胚乳會經過一系列滾輪式的磨粉系統碾碎，磨出之麵粉依其篩分過程集成許多粉流，經不同粉道分別收集，最後不同粉道的麵粉依不同需求混合、配製，稱為配粉。通常越靠近胚乳外層的麵粉灰分含量越高，品質較差。出粉率(extraction rate)是評估麥粒可以磨出多少麵粉的重要數值，定義為麵粉的重量除以磨粉前小麥穀粒的重量，以百分比表示。當出粉率為 100% 時，表示麥粒所有部分都會被磨成麵粉，稱為全麥粉(wholemeal flour)；出粉率 80% 時，麵粉可能會包含部分非胚乳部分；一般典型的麵粉出粉率大約是 75% 或更低(Clydesdale, 1994)。

小麥的基本成分中碳水化合物含量最高約有 70%，其次是蛋白質約 9-14%，脂質約 3% 以下，其餘為纖維、灰分等等。麵粉因為品種、產地、種植環境及出粉率不同，碳水化合物大約佔 70-85%，蛋白質 11-14%，脂質 1-2%。

小麥的碳水化合物中，最大來源為澱粉。澱粉由葡萄糖組成，依鏈結方式可分為直鏈澱粉(amylose)和支鏈澱粉(amylopectin)，小麥澱粉中大約含有 21 – 28% 的直鏈澱粉(Shibanuma et al., 1994)。直鏈澱粉是葡萄糖單體以 $\alpha(1\rightarrow4)$ 葡萄糖苷鍵結，分子量大約 10^5 Da (Cura & Krisman, 1990)，且帶有少許分支的長線型分子；支鏈澱粉是葡萄糖單體有 95% 以 $\alpha(1\rightarrow4)$ 葡萄糖苷鍵結、另外 5% 以 $\alpha(1\rightarrow6)$ 葡萄糖苷鍵結成的分支型分子(Tester et al., 2004)，分子量約 10^8 Da(Roger et al., 1999; Roger & Colonna, 1996)。支鏈澱粉的分支鏈可分為 A-chain、B-chain、C-chain 三種，A-chain 表示該鏈段以還原端(reducing end)接在其他分支鏈上，且本身沒有接其他分支者；B-chain 也是指該鏈段以還原端接在其他分支鏈上，但本身也帶有其他分支鏈；C-chain 是指還原端沒有跟其他分支相連接的主鏈(Hizukuri, 1986)。澱粉在充足的水分下加熱，當溫度超過糊化溫度時，此時澱粉顆粒會發生不可逆之膨潤，水分進入結晶區解開雙股螺旋結構，直鏈澱粉溶出至溶液內；支鏈澱粉較不易溶出，即稱為糊化(gelatinization)。在製作烘焙產品如麵包時，烤焙初期麵團會應 CO_2 大量產生而快速膨脹，此時直鏈澱粉可能具有穩定氣室(gas cell)結構的作用，有些麵包在出爐後有皺縮現象，一部份原因可能就是麵粉中沒有足夠的澱粉穩定麵包的結構(Toufeili et al., 1999)。

小麥穀粒在研磨過程中，容易受到機械摩擦力及剪力影響，導致澱粉顆粒的破裂及損傷，這種受損的澱粉顆粒稱為破損澱粉(damaged starch)。破損澱粉粒和完整澱粉粒性質有極大之差異，一般完整小麥澱粉吸水率約是自身重量的 40%，但破損澱粉卻高達兩倍(青木，2008)，甚至部分變為水溶性澱粉。因此極易受麵粉中酵素 α -及 β -amylase 作用分解成麥芽糖(maltose)及糊精(dextrin)，改變麵團特性、影響加工性質(陳，1989)。過高的破損澱粉率會與麵筋蛋白競爭水分，使麵筋水合(hydration)不良，形成較差之網狀結構(Araki et al., 2009)。然而破損澱粉在麵團中並不盡然都是壞處，在麵團發酵初期時，酵素分解破損澱粉產生之麥芽糖團被酵母細胞的利用的代謝速率遠不及葡萄糖，但卻是麵團發酵後期的主要碳源，供酵母在後期發酵產生足夠之氣體；而許多不同分子量之糊精可在焙烤階段賦予麵包適當之黏稠度、色澤以及香氣。因此測定麵團的產氣能力(gassing power of a dough)可反映麵粉中破損澱粉及酵素之關係(陳，1990)。

小麥的蛋白質依 Osborne 溶解度區分法(Orborne, 1907)可分為麥穀蛋白(glutenins)、醇溶蛋白(gliadins)、白蛋白(albumins)、球蛋白(globulins)四種，後兩者

為水溶性蛋白質，佔麵粉總蛋白約 15%。麥穀蛋白和醇溶蛋白為水不溶蛋白質，合稱麵筋蛋白(gluten)，一般硬麥的蛋白質中有超過 80%是麵筋蛋白，軟麥大約只有 50%為麵筋蛋白。麵團攪拌時，麵粉中的蛋白質受水膨潤水合而成連續網狀結構(continuous network)，並使氣體混入麵團之中；澱粉的水合作用初期僅限於澱粉顆粒的表面，此時水扮演塑化劑(plasticizer)之作用，使麵團具黏稠性。持續攪拌後，蛋白質有更多的水分參與水合，形成細絲狀構造(fibrils)。當澱粉顆粒間水分減少且絲狀構造增加時，麵團較不具黏性且抗張強度(resistance to extension)提升，故持續攪拌使澱粉顆粒產生新的表面並持續發生水合作用，最終使水合麵筋蛋白形成連續之網狀結構，此結構成為骨架而將澱粉及其他成分嵌入。水合麥穀蛋白(hydrated glutenin)有較大的接觸面積，有較好的分子締合能力(molecular association)，賦予麵團韌性(toughness)及彈性(elasticity)；水合醇溶蛋白(hydrated gliadin)為較具對稱性的球狀蛋白質，與其他蛋白質接觸面積小，不易產生作用力，較容易移動，卻有黏稠性(sticky)及良好的延展性(extensibility)，由於麵筋蛋白質會形成連續網狀結構，具有保氣性及延展膨大能力，故大部分烘焙產品具有柔軟質地，且體積大比重低(廖，2000)。

第二節、稻米與米穀粉

稻米是我國主要食糧也是世界上最重要的糧食作物之一，全世界超過 50%的人口以稻米為主食(Clampett et al., 2002)，且提供全球人口 21%的熱量來源及 15%的蛋白質需求(Debar et al., 2011)。全球超過 100 個國家種植稻米，其中大多數國家位於東南亞、其餘主要國家為中國、印度、日本、美國、澳洲等等。

稻米為禾本科(Poaceae)作物，溫帶地區一年一期，某些熱帶地區一年可種二期，學名 *Oryza sativa* L.，而 *Oryza sativa* 主要又分為 *japonica* 和 *indica* 兩個亞種(Oka, 1988)。依直鏈澱粉含量可分為糯性和非糯性稻，前者包括粳糯(圓糯)及秈糯(長糯)兩種，後者也可分為粳稻(俗稱蓬萊米)及秈稻(俗稱在來米)兩種(沈，1999)。糯米常用於年糕、湯圓、肉粽、油飯等等；蓬萊米最常做為一般食用米；在來米則用於碗粿、蘿蔔糕等製品。Juliano 在 1971 年提出，將稻米澱粉依直鏈澱粉含量分類，直鏈澱粉含量 2% 以下為糯性(waxy)，2 - 9% 為極低直鏈澱粉(very low amylose)，10 - 20% 為低直鏈澱粉(low amylose)，20 - 25 為中直鏈澱粉(intermediate amylose)，25 - 30% 稱為高直鏈澱粉(high amylose)。

稻米由結構可粗分為殼層、米糠、胚乳及胚芽，通常食用胚乳部分，即精白米。精白米的主要成分為澱粉，米澱粉大小約為 3–9 μm ，是已知和穀類澱粉中顆粒最小的一種(Juliano, 1998)。依照行政院衛生署食品藥物管理局臺灣地區食品營養成分資料庫，精白米主要含有碳水化合物 75–80%、蛋白質 7–8%、脂肪 0.5–1%、其餘為粗纖維及灰分等等。

稻米外層有殼層保護，經礱穀機脫去稻殼後即為糙米，脫殼原理是利用兩個大小相同，轉向與轉速不同的橡膠滾筒，利用旋轉時產生之速度差，使稻殼在逆向拉力地的作用下打開。糙米再由精米機脫去米糠層，精米機採用摩擦式，米粒間相互擠壓摩擦使糠層脫落而得精白米。精白米除了蒸煮後直接供人食用外，也會使用磨粉方式製成米穀粉，供多種傳統米食加工用。

工業用磨米方法分為乾磨、濕磨以及半乾磨(半濕磨)。乾磨即直接以磨粉機將米磨成細微粉末，因為乾磨方法容易、成本低廉，故廣泛用於磨粉工業，但缺點是米穀粉粒徑較粗且破損澱粉含量高。濕磨法也稱為水磨，將米粒浸泡後邊加水邊磨成米漿，米漿還需乾燥，去除水分，所得水磨粉粒徑小、破損澱粉低，但操作成本高，且廢水不易處理。半乾磨為先將米粒浸泡一段時間後瀝乾，將濕潤米粒研磨成細粉，可兼具乾磨和濕磨優點，日本米穀粉產業多使用半乾磨方式。

米種本身的不同，直鏈澱粉含量、澱粉、蛋白質、脂質等成分的高低，皆會對米穀粉造成差異，如糊化特性、膠體性質、吸水率等等。而磨粉機的磨粉機制也會對米穀粉的破損澱粉含量、粒徑分布、平均粒徑大小、顆粒形狀造成影響。因此，不同米種配合不同的磨粉方式，可以製得理化性質和加工特性不同的米穀粉，供給不同需求的產品使用。

第三節、米穀粉取代麵粉

早在數千年前就有人類食用麵包的紀錄；今日麵包已是受歡迎且世界各地廣泛食用的主食之一(Barrett, 1975; Cauvain, 2004)。麵包的型態千變萬化，不同地區的產品、製作方法也不盡相同；但基本原料通常都是麵粉、水、鹽、酵母或膨發劑等等(Martin, 2004; Sluimer, 2005)。雖然人類食用麵包的歷史悠久、地區廣泛，但小麥中的麵筋蛋白質卻有可能引發某些人的腸道過敏反應 – 乳糜瀉(coeliac disease)。乳糜瀉又稱為麩質過敏症(gluten-sensitive enteropathy)，是一種經由攝取醇溶蛋白(gliadins)蛋白引起的遺傳性自體免疫疾病，使自體免疫細胞攻擊小腸絨毛，

導致脹氣、腹瀉、嘔吐、營養不良，症狀嚴重者只能避免食用小麥製品(Bower, 2006; King, 2006; Di Sabatino A, 2009)。在歐洲、美國、澳洲等國家，患有乳糜瀉的孩童約有 0.33 – 1.02% (有些地區高達 5%)、成年人約 0.18 – 1.2% (Catassi, 1999)，因此許多無麩質(gluten-free)麵包的研究因應而生。無麩質飲食在亞洲不如歐美流行，但日本、臺灣由於經濟因素，也有許多以其他穀物取代麵粉的研究。

不論是歐美國家的完全無麩質麵包，或台、日的部分穀物取代麵包，研究面臨最大的問題都是因為其他穀物缺乏麵粉中的麵筋蛋白質。麵筋蛋白除了提供麵團特殊黏彈性外，還可以與澱粉結合形成氣室並且在烘焙過程中穩定氣室，賦予麵包鬆軟特性(Gan et al., 1989)。因此，以其他穀物替代麵粉的製品常常在製作過程中是麵糊狀(batter)，最終產品體積小、質地硬。為了改善麵團的性質，常見的米穀粉取代有以下三種方法，(1)原料完全不含麵筋，但添加膠體、多醣類；(2)以米穀粉為主原料，添加約 20% 活性麵筋(vital gluten)；(3)以米穀粉部分取代麵粉，適合的取代度約 20% (Yoza et al., 2008)，取代度 30% 時不僅比體積小，且官能品評接受度低(Takano, 1984 & Watanabe et al., 2004)。膠體(hydrocolloid)也稱為膠(gum)，可以穩定麵團的乳化系統及氣泡，改變麵團的流變性質和質地(Diezak, 1991)，也可以改變澱粉的糊化特性(Rojas, 1999)。常用於無麩質麵包的膠體有 HPMC (hydroxypropylmethylcellulose)、CMC (carboxymethylcellulose)、三仙膠(xanthan gum)、關華豆膠(guar gum)，這些膠體都廣泛的應用在無麩質麵包(Anton & Artfield, 2008; Lazaridou, 2007; Taofik, 2009)。也有嘗試利用其他蛋白質或胺基酸替代麵筋的，例如乳清蛋白、穀胱甘肽(glutathione)、雞蛋蛋白、大豆分離蛋白等等(Lieke, 2011; Hiroyuki, 2010, Crockett, 2011)。另外也有添加酸、酵素、或以酸麵團發酵(sourdough)的方式改善麵團性質或麵包品質，甚至結合以上數種方法(Renzetti & Arendt, 2009; Onyango et al., 2011; Carlos et al., 2011; Coda et al., 2010; Gujral & Rosell, 2004)。

有別於歐美國家為了乳糜瀉而進行完全無麩質麵包的研究，台日地區主要原因為經濟因素，大多數都是以回添高量活性麵筋至米穀粉中或米穀粉部分取代麵粉。大部米穀粉部分取代麵粉的研究，取代度介於 10 – 30% 之間，此時麵粉雖被米穀粉稀釋，但仍占多數。只是麵筋結構較為脆弱，故研究多偏重於由米穀粉性質下手，類似於麵粉選擇品種、篩分粉道配粉的概念，而不是添加膠體或其他添加物。Takahashi et al. (2009)由品種著手，比較了 16 種直鏈澱粉含量介於 5.9 – 35.6% 之間的米穀粉，發現直鏈澱粉含量越高則麵包比體積越大，低直鏈澱粉含量米麵

包結構脆弱、容易塌陷；高直鏈澱粉含量者結構穩固，但硬度也越高，結論認為直鏈澱粉含量 15 – 25% 的米穀粉最適合製作米麵包。也有學者以不同米種配合不同磨粉方式，比較平均粒徑介於 5.6 – 115.9 μm 、破損澱粉含量 1.0 – 22.1%、直鏈澱粉含量 14 – 21% 的米穀粉，以 8:2 比例混合米穀粉和活性麵筋製作米麵包，實驗顯示破損澱粉越高則麵包比體積越小，直鏈澱粉含量與比體積沒有相關性，平均粒徑大小與比體積也沒有相關性，但是 60 μm 左右的米穀粉製作的米麵包體積最大(Araki et al., 2009)。Yoza et al. (2010)以 8:2 的比例混合米穀粉和活性麵筋，使用以不同磨粉方式製得的米穀粉，比較平均粒徑在 40.9 – 407.2 μm 、破損澱粉含量 6.1 – 27.1% 的米穀粉，結果麵包比體積與破損澱粉含量呈現負相關，與平均粒徑沒有相關性。山澤等人(2012)的報告中同樣也是以 8:2 混合米穀粉和活性麵筋，比較不同磨粉方法的影響，結果認為理想的麵包用米穀粉應該是低破損澱粉含量、且平均粒徑在 63 μm 左右。以上研究顯示米種、破損澱粉含量及平均粒徑的重要性。另一研究方向不需考慮破損澱粉含量及平均粒徑，方法為將熟飯或稀飯與麵粉混合製作麵包。Nakamura 等人(2009)研究指出，培育適合製作米麵包的米種，混合米穀粉或煮成熟飯用以取代麵粉，結果指出混合幾種不同澱粉性質的新米種可不經過複雜技術即可製作麵包，而用飯製作的米麵包比起米穀粉麵包更能保有良好的比體積。Araki et al. (2011)的報告指出，優良的麵包專用米穀粉，破損澱粉應該在 6% 以下、直鏈澱粉含量 16 – 20%，且白粉質粒米(chalky)較容易磨碎，所製米穀粉破損澱粉含量低。高破損澱粉含量可能因為較易搶水，使麵筋水合不良、造成小比體積；若添加更多水量，因麵包支撐力不足，兩側容易塌陷(青木，2008)。Iwashita et al. (2011)比較 11 種米煮成飯後，以 0 – 30% 取代麵粉製作麵包，結果除了高直鏈米種之外，其他 30% 取代的飯麵包比體積都大於 0% 取代的麵包，其中又以日本人常吃的中直鏈米種最適合製作飯麵包，具有良好的黏性和硬度。Tsai et al. (2012)的研究，以 15% 稀飯取代麵粉，結果顯示稀飯麵包有著比一般麵包更大的比體積，且質地更佳、口感更好，經存放三天仍有良好的柔軟度。其中一個原因可能是米飯在浸泡時會大量產生 amylase 酵素(Barrett, and Itani, 2000)，而這些酵素可以將澱粉作用成較小片段的醣類例如 maltotriose 或 maltononaose，達到延緩麵包老化的效果(Min et al., 1998)。也有研究指出較好的結果是源自預糊化，因為預糊化可以促使麵筋水合，形成良好結構、保有許多微小的氣室使結構鬆軟(Shibata et al., 2011)。文獻指出未糊化的澱粉顆粒會刺破麵團中的微小氣室，故預糊化可以保有

較多小氣室，使製品鬆軟(Naito et al., 2005)。

第四節、麵包老化

新鮮麵包表皮酥脆而內部柔軟富有彈性，富有酵母發酵香味及麵粉獨特香氣，此時麵包品質最佳；麵包經過儲藏，香氣散失，且酥脆的表面變軟且具有皮革般韌性，柔軟且富有彈性的內部組織變得乾硬且容易掉屑，這種麵包經儲藏後且非微生物造成的品質劣化現象稱為老化(staling)。

據報導美國每年有 3－5% 的烘焙產品因不新鮮而被丟棄，損失超過十億美元，因此改善麵包經儲藏後之老化現象為烘焙業之一大課題。Bechtel et al. (1953) 將老化定義為：麵包內部組織的狀態的改變導致消費者對產品的接受度降低，且不同於產品受外力作用而品質下降之情形。Gray & Bemiller (2003)認為，即使是配方最簡單的麵包也含有數種組成分，每一種組成分也分別由許多化合物組成，並且在麵包的製作過程中及儲藏過程都會發生改變，因此麵包是屬於相當複雜之異質系統(heterogeneous system)，故老化現象也相當複雜。老化現象大約可分為以下幾種：

一、風味的損失及改變

新鮮的麵包具有獨特酵母發酵酒精香味及小麥香氣，隨著時間增加，香氣便淡、風味損失，只剩麵團味及澱粉味，漸漸不受消費者接受。但麵包再次加熱後，風味又能重現(吳，1995)。

二、麵包皮的皮革化

新鮮麵包的外皮酥脆，經過儲存後外皮逐漸變軟，變成有如皮革般的韌性且帶有苦味。可能是水分由麵包內部移動到外皮所致(Lin & Lineback, 1990)。原先乾硬的外表，逐漸吸水形成較具可塑性如塑膠狀的聚合物，使麵包皮不易被牙齒撕開。苦味的產生可能與梅納反應產物有關，此帶有苦味的產物，因水分的增加而更易溶解，被舌根察覺(吳，1995)。

三、內部組織的硬化

新鮮麵包內部十分柔軟，隨者儲藏時間增加，內部組織會逐漸硬化(crumb firming)，使硬度上升。造成此現象的原因可能是水分重新分布以及支鏈澱粉的回凝。

四、水分含量的變化

麵包儲藏過程中，內部水分可能會因為水分揮發(Lee et al., 2001)及重新分布作用(Stear, 1990)，水分散失、使內部組織變硬，不受消費者接受。

以上即為麵包的老化現象，由上述可知，老化現象相當複雜。而以下將介紹老化現象可能的機制以及成因：

一、澱粉的回凝作用

麵包在烘焙過程中，澱粉顆粒受水作用而膨潤，其中支鏈澱粉膨脹、部分直鏈澱粉釋出(leached out)，故麵包剛烤好時，糊化的澱粉分子散落在各處直鏈澱粉所形成的膠體之中。當麵包冷卻時，大多數的直鏈澱粉進行結晶化，穩定麵包結構；隨者時間增長，支鏈澱粉也逐漸形成結晶，使麵包隨儲藏時間增加而變硬。直鏈澱粉的角色是麵包出爐時穩定麵包的結構，而不是後續儲藏硬化的關鍵，因為直鏈澱粉的回凝是要一快速且高溫之程序，在麵包出爐冷卻時幾乎完成，低溫的回凝則受支鏈澱粉影響較大(Miyazaki et al., 2006; Ghiasi et al.)。但若將經儲藏一段時間的麵包加熱至約 50°C，麵包即可恢復新鮮時的柔軟度。由 X-ray 繞射分析儀、示差熱分析儀(DTA)及示差掃描熱分析儀(DSC)分析之實驗結果顯示，支鏈澱粉所形成的結晶為熱可逆反應(thermal reversible)，但直鏈澱粉形成之結晶為熱不可逆反應(thermal irreversible)，因此澱粉中之鏈澱粉在儲藏期間的回凝、再結晶作用為造成麵包因儲藏而使硬度上升的原因之一。但也有學者發現，由示差掃描熱分析儀測得知熱焓值用以預測麵包經儲存之硬化速率並不相符(Han et al., 2011)，因此麵包中變硬的現象與支鏈澱粉回凝是同時進行，且兩者沒有直接的因果關係。麵包變硬的現象並不完全是支鏈澱粉的回凝造成，只是原因之一(賴，1993)。

二、麵筋蛋白與澱粉顆粒的交互作用

通常麵包中蛋白質含量提高時，麵包的比體積也會隨之提高且儲存後硬化速

率有降低的趨勢。原因可能是麵筋蛋白質提高時。可以減少澱粉顆粒間的作用，因此延緩麵包內部組織的變化。但若單獨以麵筋蛋白質形成之膠體測試，麵筋膠體的堅硬度(rigidity)僅為澱粉膠體的 1/8，且此現象為熱不可逆，故麵包硬化非麵筋蛋白單獨作用，推測是澱粉顆粒與麵筋蛋白間微弱的氫鍵作用，而因儲藏期間動能(kinetic energy)的損失，加強了澱粉與麵筋的交互作用。當麵包添加單甘油脂或酥油時，其可能會與直鏈和支鏈澱粉形成錯合物，阻礙澱粉粒膨潤，由於膨潤程度減少，則能與麵筋接觸的面積下降，也減低的麵筋蛋白與澱粉顆粒的交互作用，達到延緩硬化的效果。添加酵素 α -amylase 至麵包時，烘焙過程中會將部分直鏈澱粉及支鏈澱粉鍵結切斷形成糊精，降低麵筋蛋白與澱粉顆粒的交互作用，也可延緩老化(賴，1993)。

三、水分的移動

一般認為麵包儲藏後外皮變軟內部組織變硬是由於水分由麵包組織往外皮移動，Rogers et al. (1986)的研究指出，水分含量高反而能延長麵包的新鮮期。關於麵包儲藏期間水分如何移動、如何造成內部組織硬化仍有極大的爭議。目前有兩種完全相反的理論，一種為水分因澱粉粒的回凝而由澱粉中釋放，並且被麵筋蛋白所吸收，進而造成內部組織的硬化(Senti & Dimler, 1960)。另一理論為，烘焙過程中，麵團大部分的水分會被麵筋蛋白所吸收，而儲藏期間麵筋蛋白發生變化，緩緩釋放出吸收的水分，被釋放出的水分則有塑化劑的功用，提供澱粉分子移動性，促進支鏈澱粉的回凝發生，造成麵包內部組織的異化。另有學者提出，內部組織的硬化是由於麵筋蛋白的網狀結構與未完全糊化的澱粉分子間產生作用力使麵包變硬(Martin et al., 1991)。

第三章 材料與方法

第一節、材料

一、原料米

本實驗使用十種臺灣自產之國產精白米，如下所述。台稈 9 號米(japonica rice, TK9)由源順食品有限公司(雲林縣，臺灣)提供；市售糯米(commercial waxy rice, CW)、市售一般白米(commercial rice, CR and CRII)、市售白粒米(commercial chalky rice, CCR)、市售高直鏈米(commercial high amylose rice, CHA)、台稈 9 號米(japonica rice, TK9II)、台稈 9 號白粉質粒米(japonica chalky rice, TK9IIc)、碎米(broken rice, BR)，購自億東企業(新北市，臺灣)；脆稈秈米(IR64)由臺中農試所(台中市，臺灣)提供。台稈 9 號米垜白粒率(milky white grain ratio)依栽培密度、氣溫、日照等種植環境影響，最高約 16% (李，2011)。本實驗使用之所有稻米名稱、縮寫、直鏈澱粉含量及來源，整理於表一，外觀型態則如圖一所示。

表 一、實驗用稻米之代碼、直鏈澱粉含量及來源。

Table 1. Code, amylose content, and source of rice used in this study.

Rice	Code	Amylose content (%)
Commercial japonica rice (TK9) ¹	TK9	14.17
Commercial waxy rice ²	CW	0.42
Commercial rice ²	CR	14.11
Commercial chalky rice ²	CCR	12.76
Commercial high amylose rice ²	CHA	29.41
Indica rice ³	IR64	25.09
Commercial japonica rice (TK9) ²	TK9II	16.62
Commercial japonica chalk rice (TK9) ²	TK9IIc	13.55
Commercial rice ²	CRII	15.44
Commercial broken rice ²	BR	16.13

¹Yuan Shun Food Co. (Yunlin, Taiwan)

²Yeedon Enterprise Co., Ltd, (New Taipei City, Taiwan)

³Agricultural Research Institute (Taichung, Taiwan)

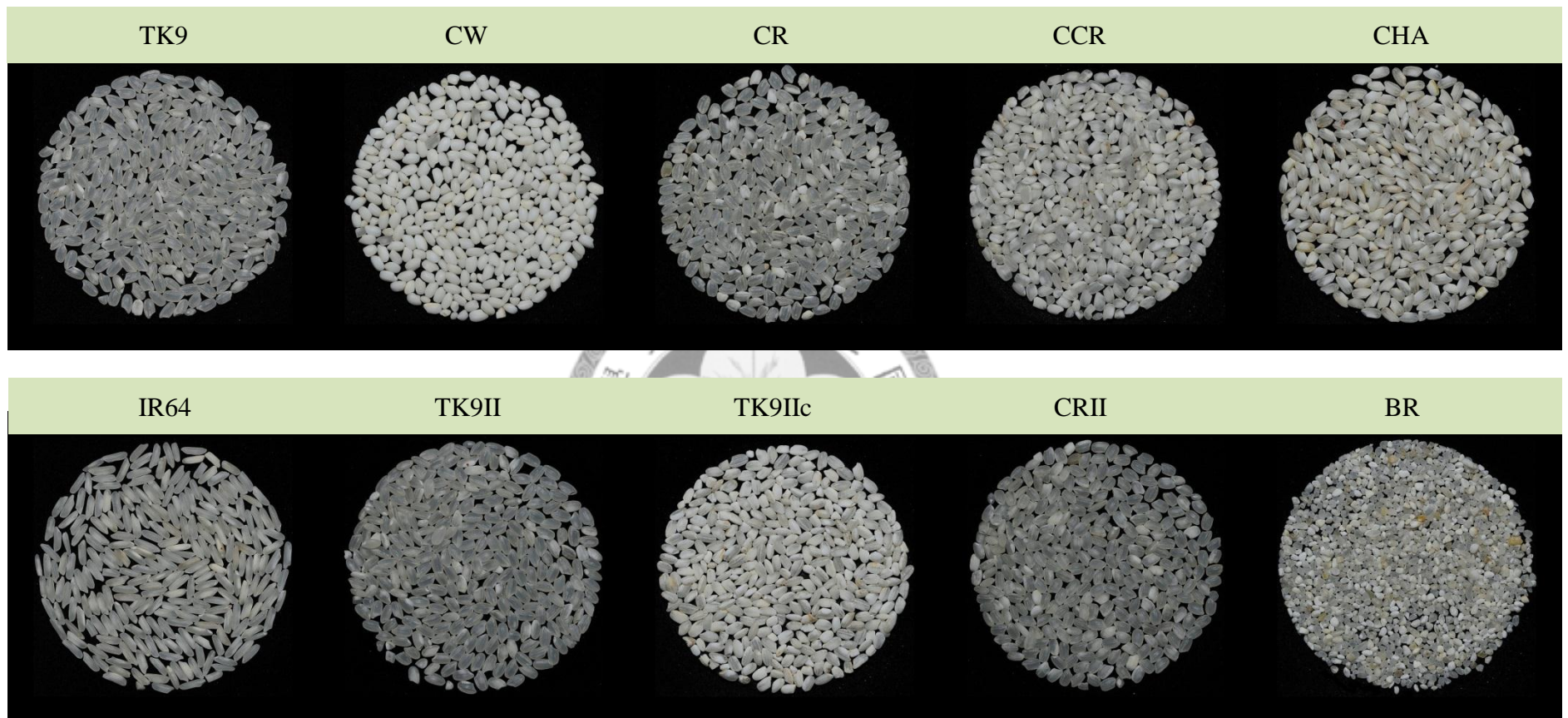


圖 一、本實驗使用之稻米外觀形態一覽。

Figure 1. The appearance of polished rice grains used in this study.

二、麵粉

實驗用之黃鷹牌高筋麵粉由洽發企業股份有限公司(台中市，臺灣)提供，其蛋白質含量為 13%、脂質含量為 1.7%、碳水化合物含量為 71.3%、灰分含量為 0.52%。

三、酵母及其他材料

酵母使用法國燕子牌速發乾酵母(Lesaffre Ltd., MAquette-lez-Lille, France)。砂糖(精製細砂，臺灣糖業公司，台南市，臺灣)、奶油(NZMP 無水奶油、新加坡商永紐股份有限公司臺灣分公司，台北市，臺灣)、奶粉(克寧奶粉，臺灣雀巢股份有限公司，台北市，臺灣)、鹽(台塩高級精鹽，台南市，臺灣)，購自本地超市。

第二節、製粉

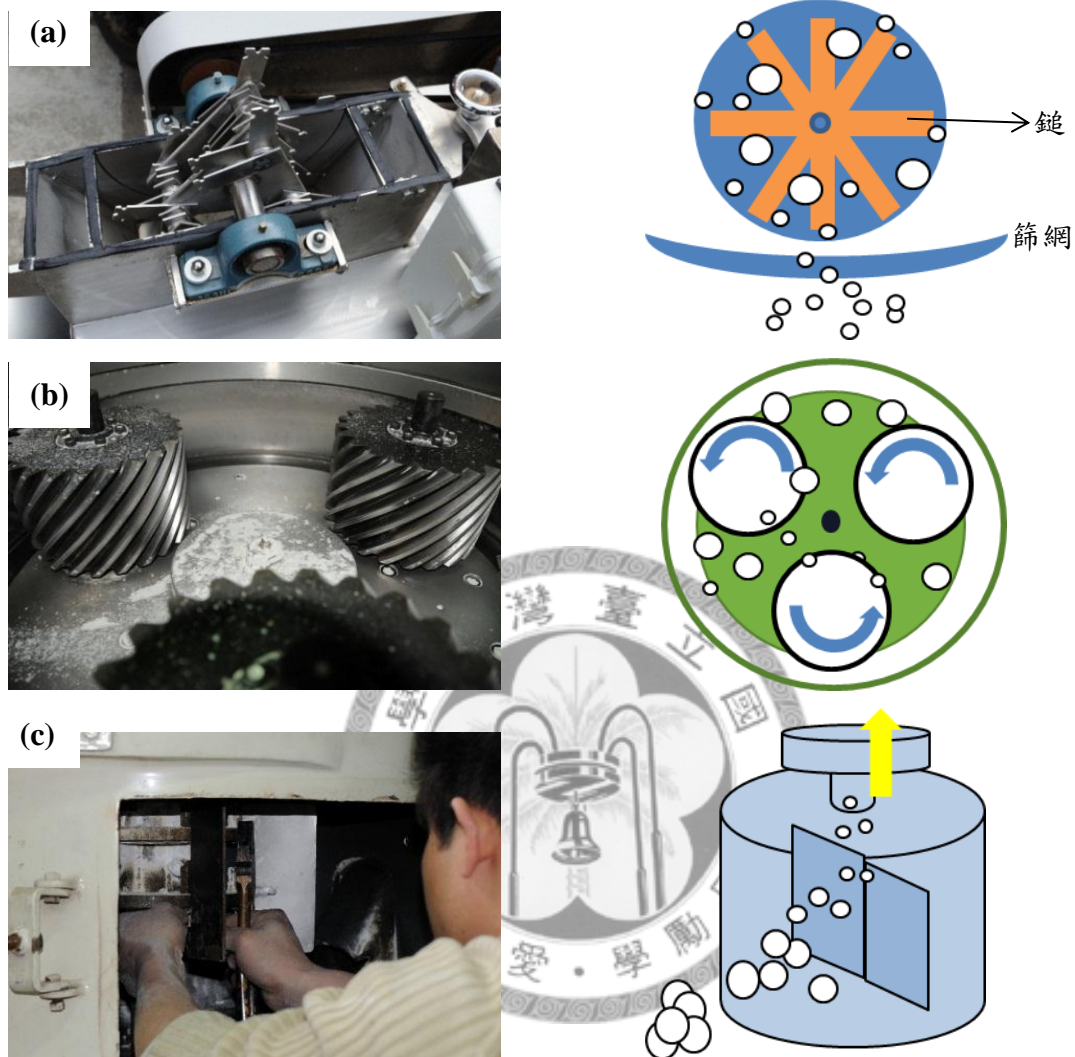
磨粉機及磨粉設定

本實驗使用三種磨粉機、共六種磨粉設定，磨粉機分別以 Mill A、Mill B、Mill C 簡稱之。

Mill A：鏈式磨粉機(MCS3030，王先鋒企業，台中市，臺灣)，利用磨粉槽間數個金屬片(圖二、(a))高速旋轉撞擊，以達粉碎之目的。可藉由置換不同篩目數之篩網劃分不同粒徑之穀粉。磨粉設定包括通過 80 目篩網(MA1)及通過 100 目篩網(MA2)。

Mill B：混合式磨粉機(RC-AB，仁勝工業，嘉義縣，臺灣)，本磨粉機結合氣流式磨粉機及滾輪式磨粉機之磨粉原理。以轉軸將原料送至磨粉槽內，磨粉槽內有三個同向自轉、且公轉之斜紋滾筒(圖二、(b))，利用氣流帶動原料互相撞擊、撞擊滾筒及鋼壁，以及滾筒與鋼壁間相互摩擦使原料磨碎，粉碎之原料再經由風力送至儲存桶。機器可設定三種磨粉粗細，由粗至細分別以 MB1、MB2、MB3 稱之。

Mill C：氣流式磨粉機(MLU-202, Buhler, Berne, Switzerland)。磨粉槽內有旋轉刀片，利用風力帶動原料彼此撞擊或與刀片撞擊(圖二、(c))，達磨碎之目的，粉碎之原料再經由風力送至儲存桶。



圖二、(a) 鎚式磨粉機、(b) 混合式磨粉機、(c) 氣流式磨粉機，及磨粉機制。
Figure 2. (a) Hammer mill, (b) combined mill, and (c) jet mill. And mechanisms of mills.

第三節、實驗方法

一、米穀粉

1. 水分含量

參照自 AACC 44-15A 烘箱乾燥法，秤取 2 - 2.5 g 樣品於預先乾燥之鋁盤中，以 105°C 烘箱乾燥 3 小時，冷卻後秤重，計算水分含量。

2. 粗蛋白含量

參照自 AACC 46-12 凱氏定氮法，秤取約 0.5 g 樣品及 1 g 催化劑($\text{CuSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 = 1:10$, w/w)，以濾紙包妥放入分解管中，加入 25 mL 濃硫酸，以分解爐加熱至溶液澄清，冷卻後以蒸餾裝置(Gerhardt Vapodest 20)進行蒸餾。緩緩通入 30% NaOH 至分解管直至 CuO 黑色沉澱生成，通入蒸氣使 NH_3 至吸收液(0.1 N H_2SO_4)，之後以標定過之 0.1 N NaOH 滴定，計算蛋白質含量(蛋白質轉換係數 $N = 5.95$)。

3. 粗脂肪含量

以索氏(Soxhlet)萃取法進行測定，精秤約 3 g 樣品置於濾紙桶中，放入索氏萃取裝置，以乙醚為溶劑，進行萃取 16 小時，之後將收集瓶置於 105°C 烘箱 30 分鐘乾燥，取出、冷卻後秤重，計算粗脂肪含量。

4. 灰分含量

參照自 AACC 08-01 之方法，秤取約 5 g 樣品於預灰化坩堝中，灰化爐以爐門微開進行碳化 4 小時，關密爐門將溫度升高至 550°C 進行灰化 24 小時，冷卻後秤重並計算。

5. 直鏈澱粉含量

參照自 AACC 61-03 碘呈色法，取預先去脂、乾燥之樣品 9 mg，加入 1 mL 1 M NaOH 於 4°C 冰箱靜置隔夜，再加入 2 mL 85°C 蒸餾水，並於 85°C 水浴 10 分鐘，期間震盪數次使澱粉完全溶出。取 0.1 mL 樣品與 5 mL 0.5% TCA (trichloroacetic acid)溶液混合，加入 50 μL 0.01 N I_2 -KI 溶液，混合後靜置避光反應 30 分鐘，於 620 nm 測量吸光值，比對標準曲線，計算直鏈澱粉含量。標準曲線為一由純直鏈澱粉及支鏈澱粉定出已知直鏈澱粉含量之穀粉，並以該穀粉配製測定樣品所需標準曲線，表示方式為 starch base 百分比。

6. 篩網篩分

取 50 g 樣品於 100、150、200 及 250 目篩網上(勤鋼工業，新北市，臺灣)，以振動篩分機搖晃 20 分鐘，秤殘留於各層篩網上之米穀粉重量，計算各層比例。將

各層米穀粉分別收集，之後進行 SEM 觀察及破損澱粉含量測定。篩網目數與孔徑大小對照表如下。

表 二、篩網篩目數與孔徑大小對照表。

Table 2. Mesh to micron conversion chart.

Mesh No.	Opening (μm)
80	177
100	149
150	104
200	74
250	61

7. 糊液黏度性質

參照自 AACC 61-02 之方法，取乾重 2.5 g 樣品與 22.5 g 蒸餾水混合(固形物 10 %)，以快速糊液黏度分析儀(RVA 4, Newport Pty Ltd., Australia)進行測定。溫度設定為起始溫度 50℃，以每分鐘 3℃速率升溫至 95℃維持 10 分鐘，再以每分鐘 3℃降溫至 50℃，攪拌轉速最初 10 秒為 960 rpm，其後維持 160 rpm。

8. 破損澱粉含量測定

採用 AACC 76-31 測定方法。取米穀粉 100 mg，加入 1 mL α-amylase 並震盪 5 秒，置於 40℃水浴 10 分鐘，之後加入 5 mL 0.2%硫酸溶液終止反應，以 3000 rpm 離心 5 分鐘，取 25 μL 上清液與 25 μL amyloglucosidase 於 40℃反應 12 分鐘，最後加入 1 mL GOPOD 溶液於 40℃反應 25 分鐘，以波長 510 nm 測量吸光值，計算破損澱粉含量，計算方法如下：

$$\text{Starch damaged, \%} = \Delta E \times F \times 60 \times 1/1000 \times 100/W \times 162/180$$

ΔE = absorbance

F = 150 μg glc. / absorbance of 150 μg glc.

W = weight

破損澱粉含量百分比表示為 flour base。

9. 米穀粉顯微結構觀察

以桌上型掃描式電子顯微鏡(TM-1000 Tabletop Microscope, Hitachi, Tokyo, Japan)實驗，將樣品輕灑於載台之碳膠帶上，載台小心放置入儀器，觀察米穀粉表面顆粒型態，電子顯微鏡電壓為 15 kV。

10. 米穀粉粒徑分析

米穀粉樣品配製濃度約 10%，以靜態光散射儀 BeckMan Coulter LS230 (CA, USA)進行測定，測定項目 d_{10} 、 d_{50} 、 d_{90} 及平均粒徑，以體積百分比表示。 d_{10} 表示該樣品中體積百分比有 10% 低於該粒徑，依此類推。

二、米粒調濕

為探討米粒水分含量對磨粉時間、穀粉粒徑大小、破損澱粉含量等影響，故將米粒水分含量提高或降低。提高水分含量方法如下，將已知水分含量的米粒裝入塑膠袋內，分數次緩緩加入經過計算所需添加之水量，邊加入邊混合直到外加水量完全加入後，將塑膠袋密封放入 4℃ 冰箱，每小時翻動塑膠袋，直到沒有米粒聚集，靜置於冰箱等待實驗。降低水分含量作法如下，將米粒平鋪於鋁盤上，放入 105℃ 烤箱中，每 30 分鐘取出輕輕翻攪後秤重，達目標重量後取出、冷卻備用。

三、麵包製作流程及性質測定

1. 固定製程之麵包製作

以五種不同米種、三種磨粉條件，固定製程製作麵包，流程如下。將原料置於桌上型攪拌機(800-J，士邦食品機械廠有限公司，台中市，臺灣)之攪拌缸中，以一速攪拌 1 分鐘混合，再以二速攪拌 15 分鐘。之後置於 30℃/90% RH 發酵箱中進行基本發酵 90 分鐘。取出將麵團分割成五個重 150 克的麵團，麵團滾圓後鬆弛 10 分鐘。整形、裝模，移入 30℃/90% RH 發酵箱進行最終發酵 60 分鐘，送入烤箱以上火 180℃ 下火 190℃ 焙烤 30 分鐘。麵包之配方及烘焙百分比整理於表三。

表 三、米麵包基本配方。

Table 3. The formula of rice bread.

Ingredient	Baker's percentage	Weight
	(%)	(g)
Wheat flour	65	275
Rice flour	35	148
Water	68	288
Dry yeast	1.7	7.2
Salt	1	4.2
Sugar	7	30
Butter	7	30
Milk	2	8.5
Total	186.7	790.9

2. 固定比體積之麵包製作

比體積為影響麵包硬度因素之一(Smith et al., 2012)，為避免因比體積差異過大造成麵包硬度測定評估之不確定性，另製備一組相似比體積之麵包，作為質地測定與儲存試驗樣品。實驗分為：(1)以五種精白米製作麵包、(2)以糯米及高直鏈米配製一序列不同直鏈澱粉之米麵包、(3)以糯米、白米、及高直鏈米配製一序列不同直鏈澱粉含量之米麵包，共三組。麵包製作流程如下：將原料置於攪拌缸中，以一速攪拌 1 分鐘混合，再以二速攪拌 15 分鐘後，置於 30°C/90% RH 發酵箱中進行基本發酵 90 分鐘。取出將麵團分割成五個重 150 克的麵團，麵團滾圓後鬆弛 10 分鐘。整形、裝模，移入 30°C/90% RH 發酵箱進行最終發酵，最終發酵時間以麵團膨脹至模具七分滿為準，依預實驗成品大小微調最終發酵所需時間，以獲得相近比體積之麵包為基準，以上火 180°C 下火 190°C 焙烤 30 分鐘。基本配方同表三，米穀粉配製比例於表四及表五。

表 四、以糯米及高直鏈米配製不同直鏈澱粉含量米穀粉以製作相近比體積米麵包之麵團最終發酵所需時間。

Table 4. The rice flours with different amylose contents which were blended with CW and CHA flour and the proofing time of bread-making to keep the similar specific volume.

Amylose content (%)	Waxy rice flour (CW)	High amylose rice flour (CHA)	Proofing time (min)
	(g)	(g)	
0	148	0	52
5	122	26	49
10	95	53	47
15	69	79	44
20	43	105	42
25	16	132	39

表 五、以糯米、白米及高直鏈米配製不同直鏈澱粉含量米穀粉以製作相近比體積米麵包之麵團最終發酵所需時間。

Table 5. The ratio between waxy rice flour, commercial rice flour, and high amylose flour, and expected proofing time.

Amylose content (%)	Waxy rice flour (CW) (g)	Common rice flour (CR) (g)	High amylose rice flour (CHA) (g)	Proofing time (min)
10	49	99	0	47
15	0	147	1	45
20	0	91	57	42

3. 米飯麵包之製作

經預實驗測試結果得知，若以煮熟米飯取代米穀粉製作米麵包時，必須修正米麵包之配方與製程。方法如下：使用電鍋(TAC-6，大同股份有限公司，台北市，臺灣)以 1:1.3 (米:水)比例煮飯 30 分鐘，趁熱以擀麵棍將米飯壓碎，放置於室溫冷卻、備用。米飯麵包配方如表六所示，烘焙百分比與先前實驗相同，但加水量須扣除米飯中之水量。米飯麵包以快速法製作，流程如下：混入所有材料以一速攪拌 1 分鐘混合材料，再以二速攪拌 15 分鐘。取出麵團分割成五個 150g 麵團，整形裝模後置於 30°C/90% RH 發酵箱中進行發酵。發酵 70 分鐘後，以 180°C 下火 190°C 烤箱焙烤 30 分鐘。

表 六、米飯麵包配方。

Table 6.The formula of bread made with cooked rice.

Ingredients	Baker's percentage (%)	Weight (g)
Wheat flour	65	275
Cooked rice ¹	35 (rice used for cooking)	340
Water ²	68 (including water used for rice cooking)	96
Dry yeast	1.7	7.2
Salt	1	4.2
Sugar	7	30
Butter	7	30
Milk	2	8.5
Total	186.7	790.9

¹ Cooked rice had 62% moisture content.

² The water used for rice cooking should be deducted.

4. 麵包比體積測定

參考自 AACC 10-05 油菜籽置換法。鋁盤上放置一已填滿油菜籽之塑膠盒，以保鮮膜密封麵包，取出盒中部分油菜籽，將麵包放入塑膠盒內，小心回填油菜籽，須避免壓迫麵包，秤鋁盤上油菜籽重量，計算麵包比體積。

Calculation:

Density of rapeseed = weight of rapeseed filled in the container/weight of water in the same container

Specific volume of bread = weight of rapeseed left on the tray/density of rapeseed/weight of bread

5. 麵包熱性質分析

使用調幅式示差掃描熱分析儀(Modulated Differential Scanning Calorimetry, MDSC, Model 2910, TA Instruments Inc., USA)進行實驗。樣品為經不同儲藏條件之麵包經儲藏後，冷凍乾燥並保存於乾燥皿中，待測。儲藏條件依序為剛出爐一小時(新鮮樣品)、室溫存放兩天、4℃冷藏儲存兩天、及 4℃冷藏儲存七天。實驗取約 2.5 mg 樣品，放置於鋁製樣品盤中，加入 3 倍樣品乾重之蒸餾水(需減去樣品原水

量)，蓋上蓋並密封，平衡四小時後進行實驗。MDSC 升溫速率為 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，溫度範圍 $20 - 140^{\circ}\text{C}$ ，記錄樣品升溫過程中熱性質變化，以軟體 Universal Analysis (Version 3.0G, TA Instruments Inc., 2000)進行數據分析。

6. 麵包儲藏試驗

測定樣品包括未經儲藏之新鮮樣品、室溫儲藏 24 小時、 4°C 冷藏 24 小時、 4°C 冷藏 48 小時及 4°C 冷藏 48 小時後再經微波復熱(700W, 10s)之米麵包。經冷藏之米麵包自冰箱中取出後須於室溫下放置 2 小時回溫，再進行測定。

使用質地分析儀(TA-XT2i, Stable Micro System, UK)配備 25 kg load cell，並以 SMS P/35 探頭進行測定。軟體使用 Texture Expert (Version 1.22, Stable Micro Systems, 1999)紀錄實驗結果及進行巨集(macro)運算。方法參照自 Gámbaro et al. (2004)之方法，修改部分參數：形變量 30%、兩次下壓間隔時間 3 秒。測定方法如下，將麵包切成 20 mm 厚之薄片，放置於載台(heavy duty base)上，使用 SMS P/35 探頭組以 2 mm/s 速率(pre-test speed)下降，接觸到樣品後下壓速率為 1 mm/s (test-speed)，下壓形變設定為 30%，再以 2 mm/s 速率上升(post-test speed)至樣品高度，停留 3 秒後，再以 1 mm/s 速率下壓至 30%形變量，最後以 2 mm/s 速度回到測試初始設定高度，紀錄抗力變化及探頭移動距離。TPA 參數說明(如圖三所示)：Hardness：第一次下壓的最大抗力，表示樣品之硬度；Cohesiveness：Area 2/Area 1，樣品第二次形變的總力除以第一次形變的總力，可視為產品經過一次咀嚼整體之回復力；Springiness：Length 2/Length 1，樣品第一次下壓時回復距離除以下壓距離，表示樣品受到壓力時可回復的高度，樣品受壓力時回復至原本高度之能力；Resilience：Area 4/Area 3，樣品第一次下壓時回復力除以下壓力，彈性指標之一。硬化速率：(儲存後樣品硬度-新鮮樣品硬度)/新鮮樣品硬度

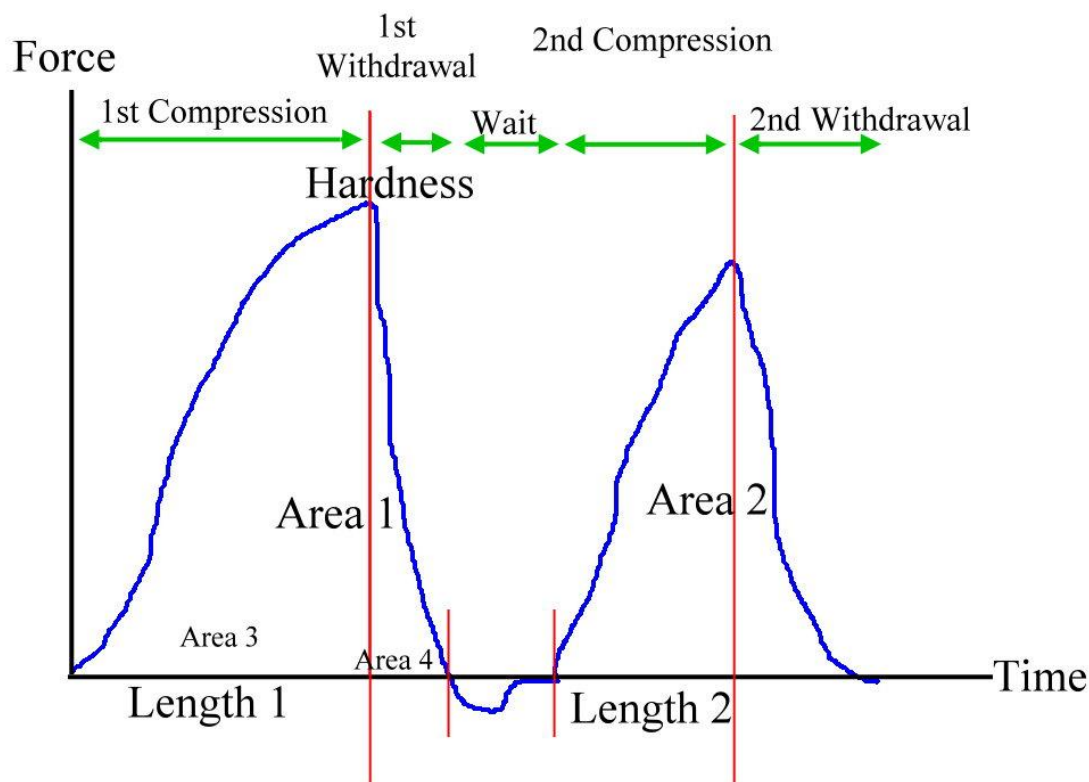


圖 三、TPA profile 及其測定參數。

Figure 3. Typical TPA profile and measured characters.

7. 官能品評

參照 Nakamura et al. (2009)方法稍作修改以進行嗜好性品評。米麵包樣品為(1)市售白米經 Mill A2 磨粉所製作之米麵包，(2)市售糯米及市售高直鏈米經 Mill A2 磨粉後，配粉為 15% 直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包，及(3)市售白米飯製做之米麵包，共三組。樣品以隨機數字命名，品評人員為農化系師生，共 50 名。品評項目包括外觀、香氣、組織硬度、質地(黏彈性)、味道、整體接受度。評分方式以控制組(未取代)為標準，若「差不多」則為 0 分、「略好」得 1 分、「好」得 2 分、「極好」得 3 分、「略差」-1 分、「差」-2 分、極差「-3」分。品評表如表七。

表 七、米麵包品評表

Figure 7. The sensory evaluation form of rice breads.

米麵包品評問卷

姓名：_____ 年齡：_____ 性別：☐男 ☐女 日期：_____年____月____日

說明：本品評目的為評定消費者對米麵包"質地"與"口味"之嗜好性。

請您就品評項目，依個人**喜好程度**，以控制組(一般麵包)作為標準，在適當位置打"√"，謝謝您！

樣品代號：988

	極好	好	略好	差不多	略差	差	極差
1. 外觀	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 香氣	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 組織硬度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 質地(黏彈性)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 味道	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 整體接受度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

樣品代號：205

	極好	好	略好	差不多	略差	差	極差
1. 外觀	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 香氣	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 組織硬度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 質地(黏彈性)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 味道	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 整體接受度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

樣品代號：159

	極好	好	略好	差不多	略差	差	極差
1. 外觀	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 香氣	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 組織硬度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 質地(黏彈性)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 味道	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 整體接受度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

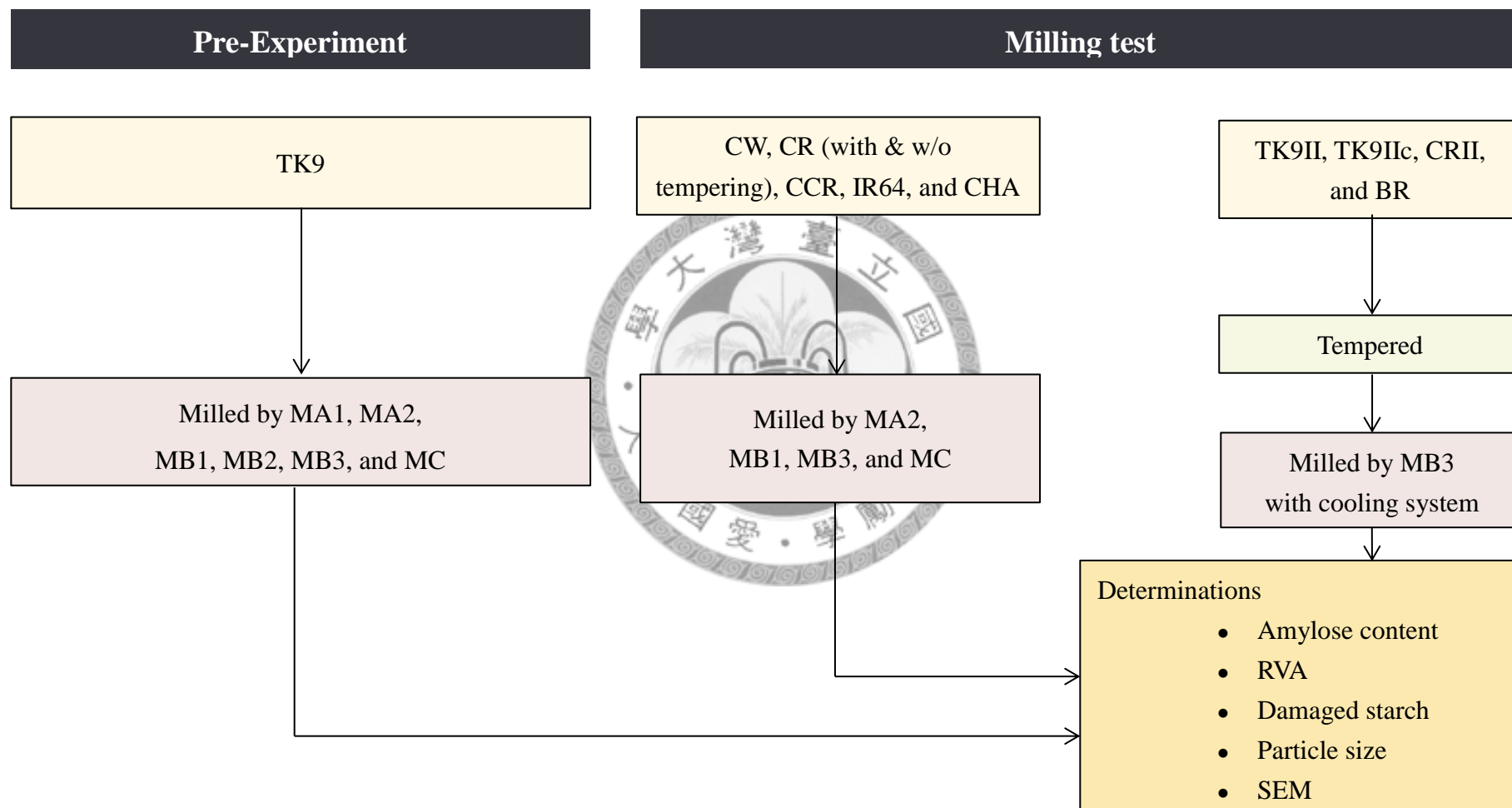
四、統計分析

未特別註明者皆進行三重複以上之試驗，測定結果以統計軟體 R (Version 2.15) 進行分析，以單因子變異數分析(one-way analysis of variance, ANOVA)及 LSD 檢定比較組間差異性，信賴水準為 5%。

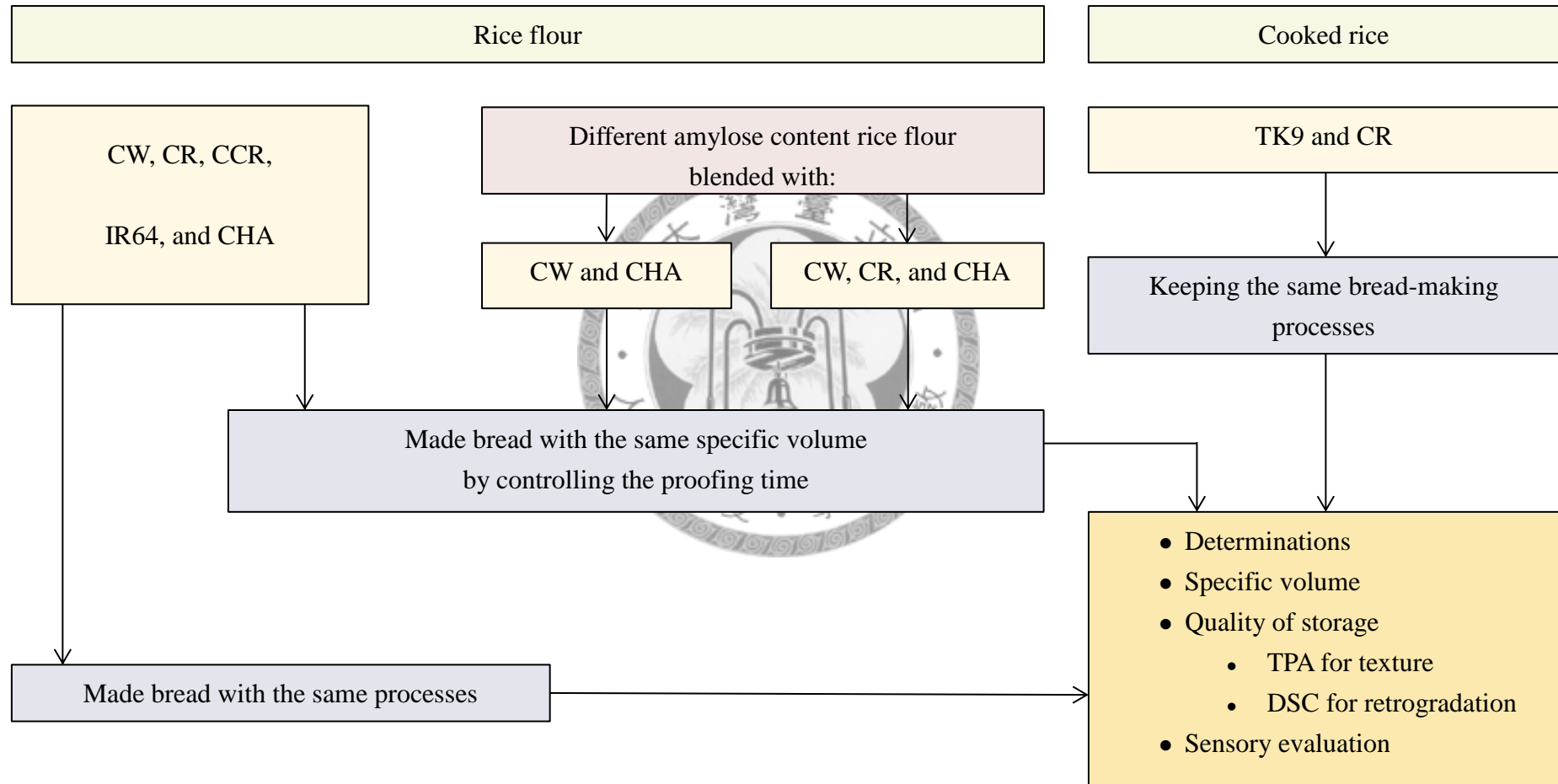
官能品評以 Excel 2010 進行 Student's *t*-test 分析，樣品得分與控制組(0 分)進行兩兩比較，信賴水準 5%。



五、實驗架構



Baking test



第四章 結果與討論

第一節、磨粉預實驗結果

一、研磨條件對米穀粉粒徑分布之影響

本試驗使用之磨粉機代號分別為 Mill A (MA，鋤式磨粉機)、Mill B (MB，混合式磨粉機)及 Mill C (MC，氣流式磨粉機)，其中研磨條件設定分別為 Mill A：通過 80 mesh (MA1)或 100 mesh (MA2)篩網及 Mill B：粗粒(MB1)、中粒(MB2)或細粒(MB3)設定。因此，試驗中須先進行研磨條件之磨粉預實驗，以探討磨粉機型與研磨條件對米穀粉性質之影響，選用稻米材料為市售台梗 9 號精白米。

市售台梗九號精白米以 Mill A 及 Mill B 研磨之米穀粉粒徑分布如圖四及表八所示，其平均粒徑大小依序為 TK9_MA1(粒徑過大，已超出儀器測定範圍)>TK9_MA2 (168.9 μm)>TK9_MB1 (139.0 μm)>TK9_MB2 (105.7 μm)>TK9_MB3 (77.5 μm)。以 Mill B 研磨之米穀粉之粒徑均小於以 Mill A 研磨者，其粒徑分布高峰約為 100 – 120 μm 。表九為以不同篩目之篩網進行篩分得到各粒徑範圍內之粉粒重量收率，結果與粒徑分布測定結果相符(表八)。有關米穀粉粒徑與米麵包製作之相關研究則有不同的看法，Araki et al. (2009)指出，以平均粒徑 60 μm 左右的米穀粉較適合製作米麵包；而 Yoza et al. (2010)則指出，米穀粉之平均粒徑與比體積無顯著相關，但會影響麵團之操作性。

表 八、台梗 9 號精白米米穀粉之體積粒徑分布。

Table 8. The volumetric particle size distribution of TK9 flours.

Sample	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)	Mean (μm)
TK9_MA2	16.4	173.0	311.0	168.9 ^a
TK9_MB1	23.5	126.0	264.0	139.0 ^b
TK9_MB2	12.3	86.4	225.0	105.7 ^c
TK9_MB3	13.7	64.9	156.0	77.5 ^d

¹ Values followed by the different superscription letters within the same column were significantly different at $p<0.05$.

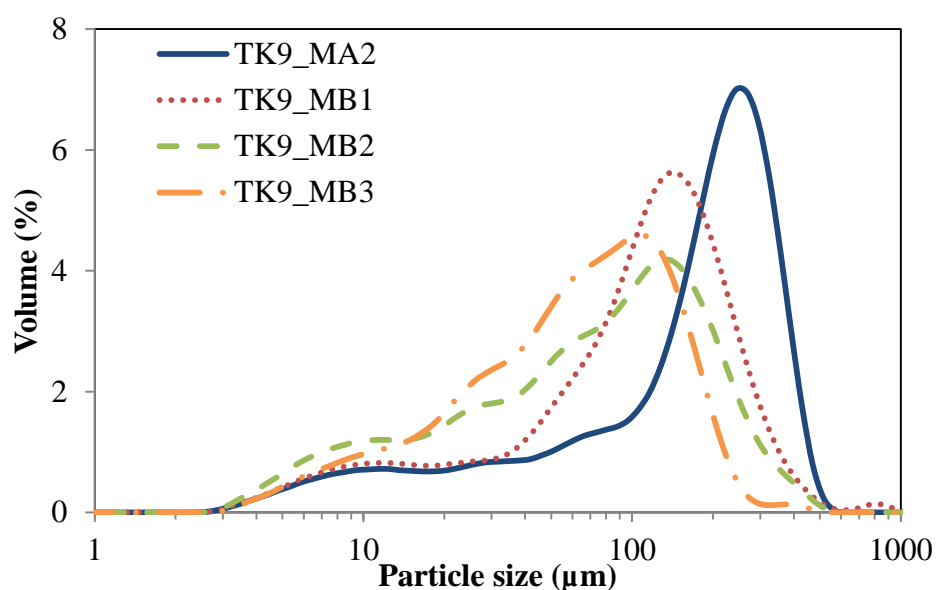


圖 四、不同磨粉條件對台梗 9 號精白米米穀粉之體積粒徑分布。
Figure 4. Effect of different mill conditions on the volumetric particle size distribution of TK9 flours.

表 九、台梗 9 號精白米於各粒徑範圍內之粉粒重量收率。
Table 9. TK9 flours percent yield of different sieves.

Sample	Particle size range				
	> 149 μm (100) ¹	104-149 μm (150)	74-104 μm (200)	61-74 μm (250)	< 61 μm (Base plate)
TK9_MA1	73.11	15.62	7.51	3.22	0.54
TK9_MA2	26.22	61.83	6.52	4.89	0.54
TK9_MB1	14.33	30.44	33.18	17.78	4.27
TK9_MB2	18.02	27.33	26.88	22.40	5.36
TK9_MB3	2.38	15.03	50.81	28.22	3.56

¹ The number in the parentheses was the sieve's mesh, indicating the weight percentage of rice flour residuals on the sieve.

二、磨粉條件對米穀粉水分、直鏈澱粉及破損澱粉含量之影響

表十為台梗 9 號精白米米穀粉之水分、直鏈澱粉含量及破損澱粉含量。米穀粉水分含量以 Mill B 研磨者較低，且不論是以 Mill A 或 Mill B 研磨者，其水分含量均有隨者粒徑降低而減少之趨勢。此乃由於 Mill B 之粉粒收集乃以旋風式收集器進行，故水分散失程度較高，而 Mill A 之磨粉條件設定乃以篩網更換調整米穀粉之粒徑，因此水分散失較少。

破損澱粉含量之分析結果則顯示，以 Mill B 研磨者顯著高於以 Mill A 研磨者，且亦存在著隨者粒徑的降低，其破損澱粉含量則隨之增加之趨勢。山澤(2012)指出，欲製作良好比體積之麵包需使用破損澱粉含量低於 10% 之米穀粉。因此，預實驗之結果顯示，Mill A 為較佳之選擇，而 Mill B 所製得之米穀粉，因其破損澱粉含量相當高，必須由稻米硬度、前處理等克服高破損澱粉含量之問題，始有機會用於米麵包用粉之製備。

表 十、不同磨粉條件下米穀粉的水分、直鏈澱粉及破損澱粉含量。

Table 10. Moisture, amylose, and damaged starch contents of rice flour milled by different milling conditions.

Sample	Moisture content (%, wb)	Amylose content (%, db) ²	Damaged starch (%, db) ³
TK9_MA1	13.49±0.06 ^{a1}	14.56±1.29 ^a	4.50±0.39 ^e
TK9_MA2	13.43±0.02 ^a	14.34±0.88 ^a	6.91±0.20 ^d
TK9_MB1	11.96±0.12 ^b	14.25±1.09 ^a	27.43±0.58 ^c
TK9_MB2	11.87±0.04 ^b	14.09±0.71 ^a	29.77±0.95 ^b
TK9_MB3	11.19±0.10 ^c	13.78±0.39 ^a	32.36±0.59 ^a

¹ Values followed by the different superscription letters within the same column were significantly different at $p<0.05$.

² Starch base.

³ Flour base.

三、磨粉條件對米穀粉之糊液黏度性質之影響

圖五為不同磨粉條件研磨之米穀粉糊液黏度性質，結果發現，以 Mill A 研磨並分別使其通過 80 及 100 mesh 者，其糊液黏度性質無顯著差異，但以 Mill B 研磨者，其尖峰黏度些微降低，而成糊溫度則顯著降低，且當其平均粒徑愈小、破損澱粉含量愈高，其成糊溫度愈低，尖峰黏度及最終黏度亦會受到影響。推測此乃因存在較多破損澱粉粒，因此，糊化過程中水分子較易進入澱粉粒並使其崩解，

故有較低的成糊溫度、尖峰黏度及最終黏度。

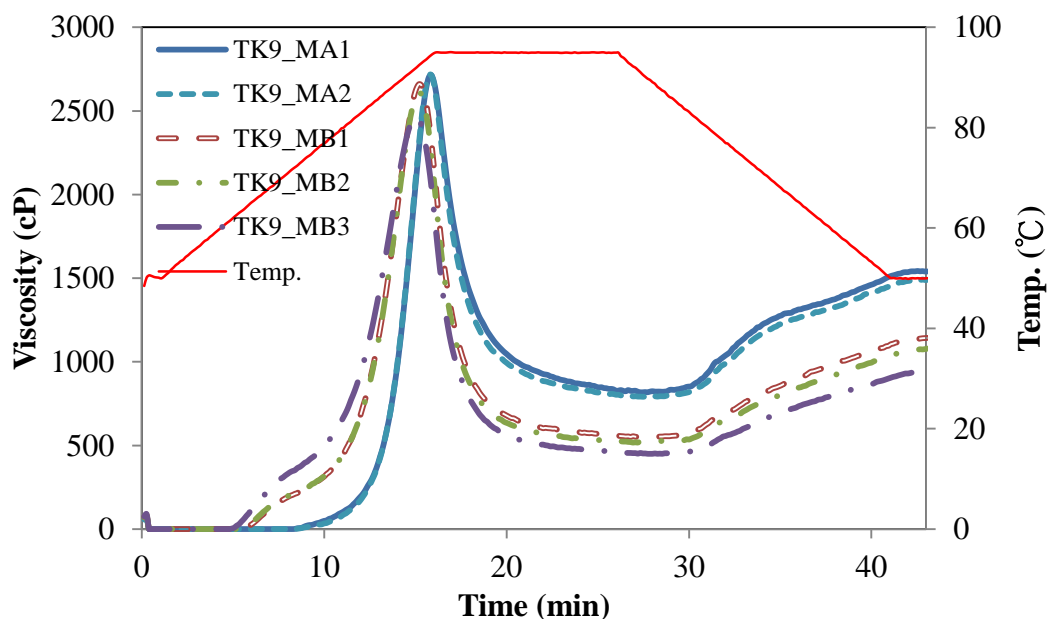
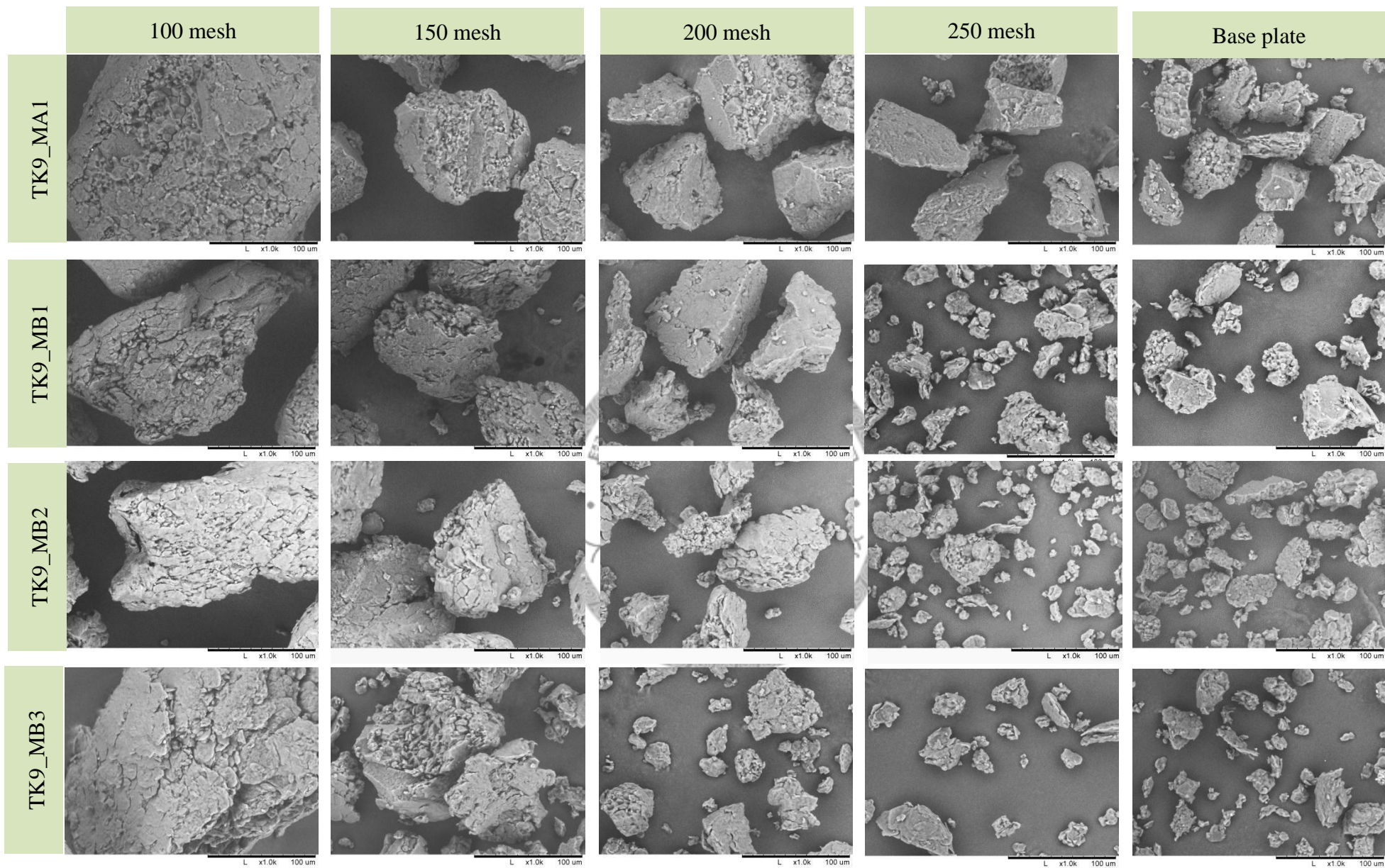


圖 五、台梗 9 號精白米經由不同磨粉條件之糊液黏度圖(2.5%, db)。

Figure 5. Pasting properties of TK9 flours (2.5%, db) milled by different milling conditions.

四、磨粉條件對米穀粉各粒徑範圍之顯微結構及破損澱粉含量之影響

為了解以 Mill B 研磨製得米穀粉於各粒徑範圍之顯微結構及破損澱粉含量是否不同，因此，先以篩網進行篩分，再進行 SEM 觀察與破損澱粉含量測定。未通過 100、150、200 及 250 mesh 篩網之米穀粉之 SEM 照片(圖六)顯示，不論是以何種磨粉條件研磨之米穀粉，其外觀形態均呈不規則狀，部分區域可觀察到裸露的澱粉顆粒，且似乎有變形的現象。比較 Mill A 及 Mill B 在各粒徑範圍內之外觀形態得知，主要差別在於通過 150 mesh 者，以 Mill B 研磨者之粒徑顯著小於以 Mill A 研磨者，而前者之收率為 54.64 - 82.59% (200、250mesh 及底盤所有穀粉之和)，後者則為 11.27 - 11.95%(表九)。



圖六、台梗9號米穀粉各粒徑範圍之顯微結構。

Figure 6. Micro-structure of TK9 flours on different sieves.

不同磨粉條件對台梗 9 號精白米米穀粉各粒徑範圍之破損澱粉含量測定結果整理於表十一。與表十 TK9_MA1 之破損澱粉含量(4.5%)比較，篩分後 TK9_MA1 之破損澱粉含量略有下降(4.1%)，但未達顯著水準，可能是實驗誤差所致。結果顯示，各粒徑範圍內粉粒之破損澱粉含量以粒徑較大者(Mill A 未能通過 100 mesh 及 Mill B 未能通過 150 或 200 mesh)其破損澱粉含量較粒徑較小者為高。推測其原因可能是米粒中較軟質部分因易於磨碎成細粉狀，但較硬質部分則因不易磨碎而須經過多次撞擊，導致破損澱粉含量增加，但也因不易被磨細，因此仍維持較大的粒徑；也有可能是微小的破損澱粉，因濕氣聚集形成較大顆粒所致。雖然用篩分的方式可以將破損澱粉含量區隔，但影響較大的仍是磨粉機器的不同，其中以 Mill B 製得之米穀粉，即使經篩分後，其各粒徑範圍內之米穀粉破損澱粉含量仍然相當高，因此，篩網篩分法並無法有效劃分出低破損澱粉含量之米穀粉。

表 十一、台梗 9 號精白米米穀粉於各層篩網之破損澱粉含量。

Table 11. Damaged starch content of TK9 flour on different sieves.

Sample	Damaged starch content (% db)				
	100 mesh	150 mesh	200 mesh	250 mesh	Base plate
TK9_MA1	4.46±0.52 ^{Ca1}	2.86±0.35 ^{Cb}	3.43±0.31 ^{Cb}	3.47±0.66 ^{Cb}	N.D. ²
TK9_MA2	6.58±0.75 ^{Ca}	3.89±1.21 ^{Cb}	4.83±1.10 ^{Cb}	4.56±0.57 ^{Cb}	N.D.
TK9_MB1	27.13±2.01 ^{Ba}	27.11±0.58 ^{Ba}	26.52±0.73 ^{Ba}	24.74±0.38 ^{Bab}	22.13±0.58 ^{Bb}
TK9_MB2	30.15±2.97 ^{Ba}	27.26±2.39 ^{Bab}	24.84±0.97 ^{Bb}	26.53±0.22 ^{Bb}	25.64±0.94 ^{Bb}
TK9_MB3	35.77±0.42 ^{Aa}	32.52±0.57 ^{Aa}	32.50±2.90 ^{Aa}	28.89±0.05 ^{Ab}	29.09±0.60 ^{Ab}

¹ Values followed by different capital (within the same column) and small letters (within the same row) indicated there were significant differences among milling conditions and among different sieves at $p<0.05$, respectively.

² Amount of sample were not enough to be determined.

五、磨粉預實驗小結

由預實驗結果得知，以鏈式磨粉機 Mill A 所製得之米穀粉，其破損澱粉含量皆低於設定目標值(10%)，但粒徑卻遠大於文獻建議之 50 – 60 μm ，而以混合式磨粉機 Mill B 製得之米穀粉，其粒徑介於 70 - 140 μm ，但破損澱粉含量卻高達 27% 以上。因此，選擇粒徑最粗但破損澱粉含量最少的 MB1、粒徑最細但破損澱粉含量最低與最高的 MB1 與 MB3 及氣流式粉碎機 Mill C 進行後續之實驗。

第二節、不同精白米研磨製得米穀粉之理化性質

一、米穀粉之一般成分分析及破損澱粉含量

由於穀粒硬度及其結構會影響研磨性質，而一般糯米米粒質地較非糯米米粒為軟，且若稻米中有白粉質(chalky)則屬孔隙較多、質地較軟處，因此，選擇以下8種稻米：市售糯米(CW)、市售一般白米(CR)、市售一般白米白粉質粒(CCR)、市售高直鏈米(CHA)、及脆桿秈米(IR64)，進行磨粉實驗，上述米種之直鏈澱粉含量分別如表一。同時，本試驗中亦將探討調濕處理(8–16%)對以 MB3 及 MC 研磨條件所製得米穀粉之性質探討，以作為米種、米粒研磨前處理等條件篩選之參考。

表十二為米穀粉之水分、粗脂肪、粗蛋白、灰分及破損澱粉含量。水分含量最低為 Mill B3 其次是 Mill B1 和 Mill C，最高為 Mill A2。因 Mill B、C 皆由風力帶動穀粉，故整體水分含量較 Mill A 低，而其中 Mill B3 設定較 B1 更細，故米穀粉在磨粉槽中滯留時間長，水分散失更高。除水分外，粗脂肪、粗蛋白及灰份含量不受磨粉條件影響。粗脂肪含量最高的是 CHA (1%)，最低的是 IR64 (0.3%)；粗蛋白含量最高的是 CHA (10%)，最低為 CR (6%)；灰份含量最高的是 CHA (0.88%)，最低的是 CR (0.38%)，顯示 CHA 為本實驗中具有較高脂質、蛋白質及灰分之米種。磨粉後經 MB3 磨粉條件之米穀粉粉溫約為 38℃，本階段未開啟 MB 之冷卻系統。

比較不同磨粉條件，破損澱粉含量由高至低為：MB3 > MB1 > MC > MA2。Mill A2 鏈式磨粉機所製得之米穀粉，其破損澱粉含量皆在 10% 以下，最低為 CHA (3.96%)，最高為 CR (6.73%)。Mill B2 混合式磨粉機製得之米穀粉，破損澱粉含量最低為 CHA (13.52%)，其次為 IR64 (20.81%)，其餘皆高於 30%，最高的是市售糯米 CW (38.37%)。Mill B3 所製得之米穀粉，破損澱粉含量最高的是經過調濕的 CR16%，其破損澱粉含量為 36.19%，其次為 CW (32.98%)；最低的是 CHA (15.82%)、次低為經過調濕的 CR8% (23.96%)。Mill C 氣流式磨粉機製得之米穀粉，破損澱粉含量最高為 CW (25.70%)，最低為 CHA (12.77%)，其餘皆為 20% 左右。

比較不同米種，破損澱粉含量最高的都是市售糯米、最低的是市售高直鏈米，推測原因可能是高直鏈米雖然較硬，但也有較高的脆度，故受到撞擊後容易磨碎，受到撞擊時間短。而糯米雖然軟，但可能具有較高之韌性，受到撞擊後容易變形卻不易粉碎，故破損澱粉含量較高。

由上述結果可知條件，以 Mill A2 所製得之五種米穀粉，破損澱粉含量皆低於 10%，可能為一適合製作米麵包的磨粉條件。山澤(2012)、Araki et al. (2009)及 Aoki

et al. (2010)等人的研究都認為破損澱粉含量越低越好。

另外可觀察到調濕處理對 MC 影響不大，破損澱粉含量差異約 2%；但 MB3 差異卻高達 12%。顯示調濕處理為改變破損澱粉含量的方法之一，後續將進行級距更大的調濕進行試驗。

二、磨粉後米穀粉之糊液黏度性質

圖七為五種米的糊液黏度性質圖。CW 為糯性米種，有最低的 peak viscosity 及 final viscosity 且 set back 不明顯，成糊溫度最低。CHA 為高直鏈米種，有最高的 final viscosity 且 set back 明顯，成糊溫度最高。CR、CCR、IR64 大致趨勢類似其中 CR 和 CCR 又幾乎一樣，IR64 成糊溫度及 final viscosity 三者間最高；CR 的 peak viscosity 最高，之後將以這五種米進行烘焙試驗。

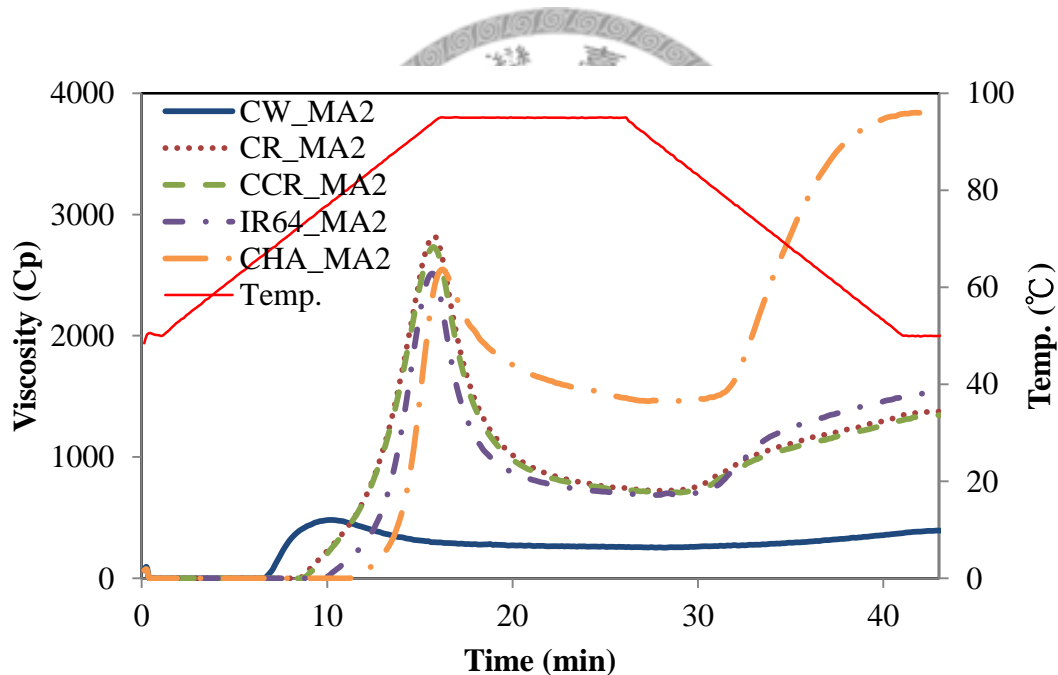


圖 七、五種米經由 Mill A2 磨粉條件磨粉後之糊液黏度性質圖(2.5%, db)。
Figure 7. Pasting properties of five rice varieties milled by MA2 (2.5%, db).

表 十二、米穀粉之水分、粗脂肪、粗蛋白、灰分及破損澱粉含量。

Table 12. Moisture, crude lipid, crude protein, ash, and damaged starch content of rice flours.

Sample	Moisture content	Lipid	Protein	Ash	Damaged starch
	(%, wb)				
Mill A2					
CW	11.72±0.04 ^{c2}	0.70±0.00 ^b	7.63±0.29 ^b	0.47±0.00 ^c	5.17±0.10 ^d
CR	11.93±0.06 ^b	0.70±0.00 ^b	5.92±1.10 ^c	0.38±0.00 ^d	6.73±0.09 ^a
CCR	12.76±0.75 ^a	0.67±0.03 ^b	6.52±1.39 ^{bc}	0.49±0.01 ^b	5.73±0.24 ^c
IR64	11.66±0.03 ^c	0.33±0.01 ^c	7.16±0.26 ^b	0.47±0.02 ^{bc}	6.39±0.22 ^b
CHA	12.00±0.04 ^{ab}	1.01±0.01 ^a	9.00±0.42 ^a	0.89±0.01 ^a	3.96±0.11 ^e
Mill B1					
CW	10.86±0.02 ^c	0.96±0.02 ^b	8.03±0.35 ^b	0.46±0.00 ^c	38.37±1.33 ^a
CR	11.03±0.02 ^b	0.67±0.02 ^c	5.90±0.12 ^d	0.38±0.01 ^d	31.01±1.88 ^b
CCR	11.01±0.02 ^b	0.63±0.04 ^c	6.62±0.27 ^c	0.50±0.00 ^b	32.04±0.33 ^b
IR64	11.32±0.03 ^a	0.42±0.00 ^d	7.89±0.03 ^b	0.46±0.01 ^c	20.81±0.42 ^c
CHA	11.26±0.06 ^a	1.09±0.02 ^a	10.34±0.31 ^a	0.88±0.00 ^a	13.52±1.01 ^d
Mill B3					
CW	10.26±0.02 ^b	0.73±0.03 ^b	7.30±0.30 ^b	0.47±0.01 ^{bc}	32.98±0.57 ^{ab}
CR	10.06±0.03 ^c	0.60±0.05 ^d	6.03±0.11 ^d	0.39±0.00 ^d	32.00±1.79 ^b
CCR	10.59±0.08 ^a	0.67±0.01 ^c	6.20±0.02 ^d	0.48±0.01 ^b	24.29±1.24 ^c
IR64	10.26±0.07 ^b	0.31±0.05 ^e	7.29±0.66 ^{bc}	0.46±0.00 ^c	24.90±1.18 ^c
CHA	10.56±0.02 ^a	0.90±0.02 ^a	9.50±0.38 ^a	0.88±0.00 ^a	15.82±0.18 ^d
CR8% ¹	8.51±0.21 ^d	0.67±0.04 ^{bc}	6.10±0.29 ^{cd}	0.38±0.01 ^d	23.96±4.78 ^c
CR16%	10.68±0.06 ^a	0.69±0.01 ^b	6.53±0.15 ^c	0.38±0.00 ^d	36.19±0.14 ^a
Mill C					
CW	12.18±0.06 ^a	0.98±0.00 ^b	6.77±0.04 ^c	0.46±0.00 ^c	25.70±0.72 ^a
CR	9.87±0.03 ^f	0.59±0.03 ^d	6.11±0.29 ^e	0.38±0.02 ^d	23.11±0.14 ^b
CCR	11.65±0.08 ^b	0.71±0.02 ^c	6.54±0.04 ^d	0.51±0.00 ^b	19.79±0.34 ^c
IR64	10.60±0.03 ^d	0.33±0.02 ^e	7.81±0.14 ^b	0.46±0.01 ^c	20.82±0.88 ^c
CHA	10.20±0.12 ^{ce}	1.05±0.05 ^a	9.42±0.66 ^a	0.88±0.00 ^a	12.77±0.47 ^d
CR8%	8.39±0.03 ^g	0.63±0.03 ^d	6.09±0.04 ^e	0.39±0.00 ^d	25.48±1.51 ^a
CR16%	11.17±0.05 ^c	0.62±0.01 ^d	6.94±0.28 ^c	0.38±0.02 ^d	23.96±0.22 ^{bc}

¹ The moisture content of rice before milling was adjusted to either 8 or 16%.

² Values followed by different letters within the same column indicated there were significant differences among rice flours on the same milling conditions at $p<0.05$.

三、磨粉後米穀粉之粒徑分布

五種米經由 Mill A2、Mill B1、Mill B3、Mill C 四種磨粉條件磨粉後，測量其粒徑分布及平均粒徑。比較不同磨粉條件(表十三)，米穀粉平均粒徑由粗至細為 Mill A2 (148.4 - 225.7 μm)、Mill B1 (81.2 - 114.1 μm)、Mill B3 (58.6 - 70.6 μm)、Mill C (47.1 - 53.8 μm)。Araki (2009)等人的研究指出，平均粒徑在 60 μm 左右的米穀粉所製得之米麵包比體積較大，本實驗之磨粉條件 Mill B3 及 Mill C 較接近此條件。另 Yoza (2010)等人則持不同看法，比較平均粒徑介於 40.9~407.2 μm 的米穀粉，與麵包比體積沒有相關性。比較不同米種，粒徑大小無一定趨勢。

圖八為 CR 經過四種不同磨粉條件之粒徑分布圖。由圖中可見，平均粒徑越小之磨粉條件，其分布高峰越往小尺度位移。MA2、MB1、MB3 的分布較為相似，有單一高峰(60 – 120 μm)，而 MC 則是雙峰分布(20 和 60 μm)。Araki et al. (2009)的研究認為，粒徑大小 5 – 20 μm 的顆粒為單一個或聚集的澱粉顆粒，60 μm 的為細胞壁及平滑表面細胞，100 μm 以上則是更大的細胞片段。

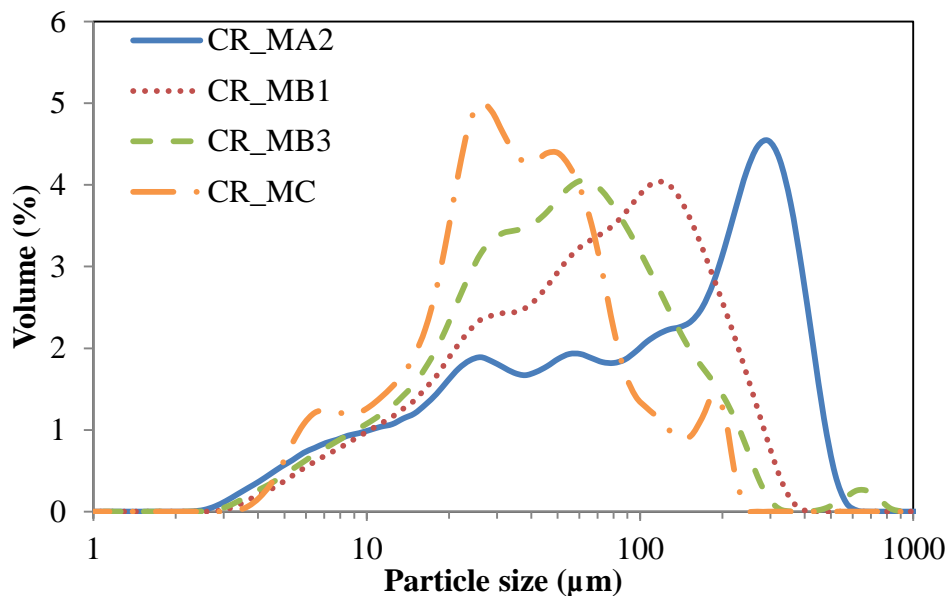


圖 八、不同磨粉條件對粒徑分布圖之影響。

Figure 8. Effect of different mill conditions on particle size distribution.

表 十三、不同磨粉條件對粒徑分布之影響。

Table 13. Effect of different mill conditions on particle size distribution.

Sample	d_{10}	d_{50}	d_{90}	$mean$	
Size (μm)					
CW					
Mill A2	18.12	138.00	369.80	169.90	^{a1}
Mill B1	19.98	83.42	239.60	114.10	^b
Mill B3	17.01	56.34	145.20	70.60	^c
Mill C	11.74	35.15	101.30	47.80	^d
CR					
Mill A2	11.97	107.30	344.40	148.40	^a
Mill B1	13.89	67.55	188.20	86.27	^b
Mill B3	12.59	49.19	148.70	70.59	^c
Mill C	10.48	33.92	97.94	47.12	^d
CCR					
Mill A2	14.79	190.60	454.00	218.40	^a
Mill B1	12.40	60.84	182.80	81.19	^b
Mill B3	12.08	54.55	149.00	69.46	^c
Mill C	9.66	34.86	120.10	52.80	^d
IR64					
Mill A2	17.70	226.20	437.30	225.70	^a
Mill B1	13.62	87.56	241.10	110.40	^b
Mill B3	11.57	46.98	125.00	58.58	^c
Mill C	11.06	38.47	105.80	50.63	^d
CHA					
Mill A2	17.70	226.20	437.30	201.10	^a
Mill B1	13.62	87.56	241.10	94.38	^b
Mill B3	11.57	46.98	125.00	60.56	^c
Mill C	11.06	38.47	105.80	53.79	^d

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p < 0.05$.

四、調濕對磨粉後糊液黏度性質及粒徑分布之影響

圖九為市售白米 CR 經過調濕處理將水分含量調整至 8%、16% 及不調濕的 12% (原水分含量)，經過 Mill B3 及 Mill C 磨粉後之糊液黏度圖。由結果可知，調濕至 8% 的米穀粉，其成糊溫度最高且有最高之最終黏度；而 16% 的則成糊溫度和最終黏度皆最低。因糊液黏度實驗固形物含量皆固定 10%，故可能是調濕時 8% 水分含量之米粒經過 105°C 烘乾，類似乾熱處理，使米粒中澱粉、蛋白質排列更緊密，成糊溫度上升。也有可能是 16% 水量之米穀粉破損澱粉含量較高，以致成糊溫度和最終黏度較低。

圖十為市售白米 CR 經過調濕處理將水分含量調整至 8%、16% 及不調濕的 12% (as is) 經過 Mill B3 及 Mill C 磨粉後之粒徑分布圖。(a) 圖為使用 Mill B3 磨粉之結果，可發現 CR8% 及 CR16% 粒徑分布高峰些微往小粒徑方向移動，且 CR8% 粒徑分布於 20 及 60 μm 呈雙峰分布。5–20 μm 的顆粒為單個或複數的澱粉顆粒，60 μm 的為細胞壁及平滑表面細胞(Araki et al., 2009)，顯示水分含量 8% 的調濕處理利於磨粉機 Mill B。(b) 圖為經由 Mill C 磨粉之結果，不論是粒徑分布高峰、平均粒徑及破損澱粉含量皆差異甚微，顯示調濕處理不會影響磨粉機 Mill C 之結果。

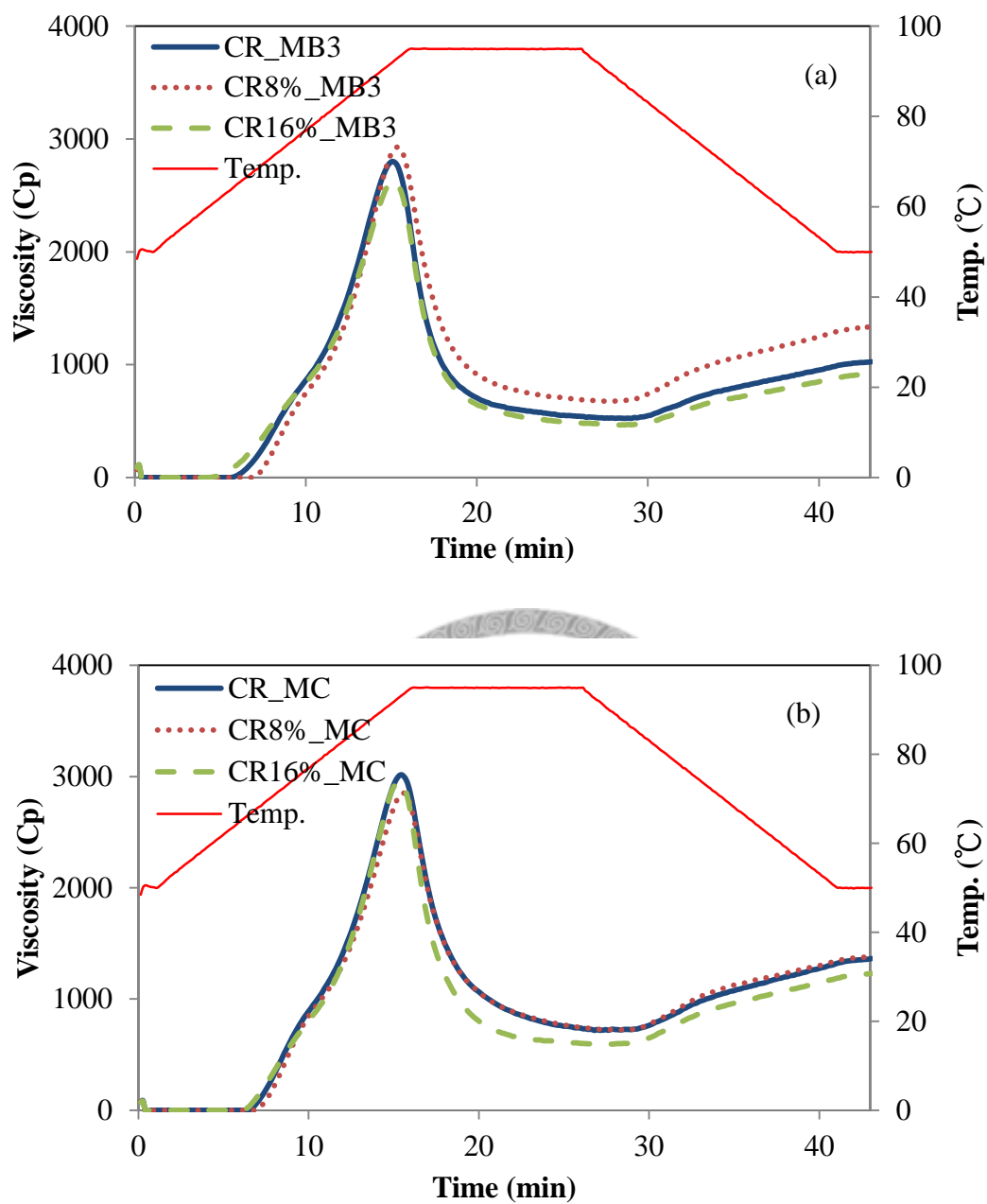


圖 九、不同水分含量市售白米之糊液黏度圖;(a) MB3 及(b) MC (2.5%, db)。
Table 9. Pasting properties of CR on different moisture content (a) MB3 and (b) MC (2.5%,db).

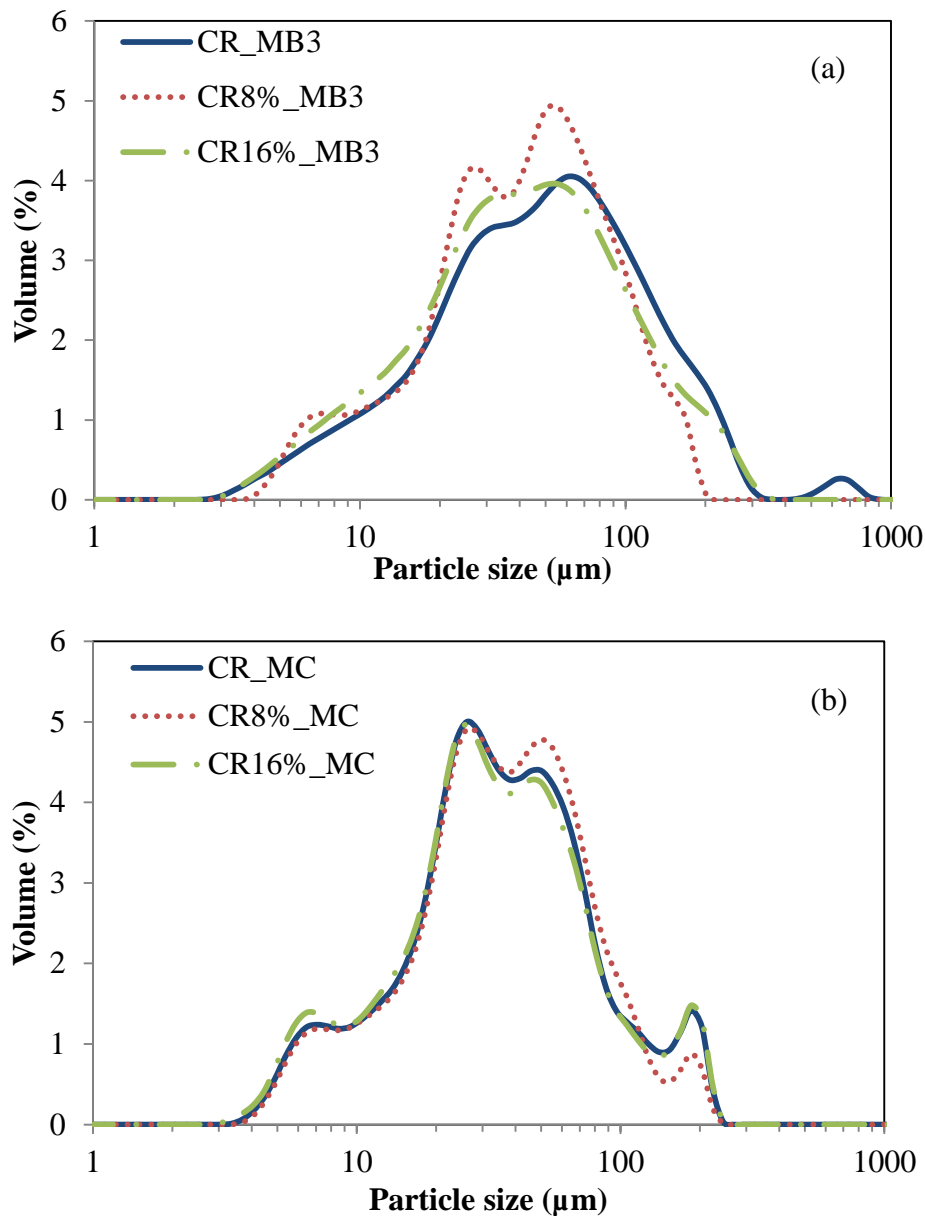


圖 十、不同水分含量市售白米之粒徑分布圖;(a) MB3 及(b) MC。

Table 10. Particle size distribution of CR on different moisture content (a) MB3 and (b) MC.

五、調濕及溫度對破損澱粉含量之影響

Mill B 研磨之米穀粉破損澱粉含量較高，除了機器本身構造不同外，原因之一可能是磨粉時升高的粉溫。鑑於先前實驗結果，調濕處理使破損澱粉含量顯著下降，故實驗再選用另一批米：市售一般白米(CR_{II})、台梗 9 號精白米(TK9_{II})、台梗 9 號白粉質粒米(TK9_{IIc})、碎米(BR)，為了使趨勢明顯，進行級距更大的調濕(6 -

18%)、並開啟磨粉機之水冷系統，紀錄磨粉時間、磨粉後粉溫，並測定磨粉後水分含量、破損澱粉含量、與平均粒徑，比較調濕處理及溫度對破損澱粉含量之影響。

磨粉前後水分含量比較(表十四)，調低水分的 6%、8% 及 10%，由於吸收空氣中的濕氣，磨粉過後水分含量些微上升。而無調濕的及增加水分的 16%、18%，磨粉過後水分皆下降，因 Mill B 樣品靠風力帶動，故水分容易散失。MB3 不論是米種、調濕水量、水冷系統開啟與否，磨粉時間皆在 9 至 10 分鐘。

在 MB3 尚未使用水冷系統前，磨粉後粉溫約在 38°C 左右(data not show)；開啟水冷系統後，TK9II、TK9IIc、CRII、BR 四種米的粉溫約 30°C (最高 33.3°C)，相較於未使用水冷系統，粉溫顯著下降。未開啟水冷系統時，不同水分含量的市售白米破損澱粉含量介於 23.96–36.19% (表十二)；開啟水冷系統後，四種米破損澱粉含量分別是 20.18–36.34% (TK9II)、19.79–29.18% (TK9IIc)、19.60–21.54% (CRII)、及 17.85–41.07% (BR)。結果顯示，雖然開啟水冷系統後粉溫下降，但破損澱粉卻依然分布在 20–40% 左右，在相同磨粉機之下，粉溫對破損澱粉的影響有限。

除了 CRII 中破損澱粉含量最低的是未經調濕處理樣品之外，其餘經由 MB3 磨粉之四種米 CR、TK9II、TK9IIc、及 BR，最低水分含量者亦有最低破損澱粉含量；反之破損澱粉含量最高者為水分含量最高之處理。這項結果與先前實驗表十三的結果相符。推測原因是 Mill B 的磨粉原理，降低水分含量所賦予樣品的「脆性」更能幫助樣品磨碎，Ngamnikom & Songsermpong (2011)以液態氮處理樣品，再經磨粉機磨碎，也有相同結果。但調濕處理對磨粉機 Mill C，不論是破損澱粉或平均粒徑都沒太大影響(表十二、十三)。

平均粒徑與調濕水分含量無固定趨勢。值得一提的是，TK9IIc 不論哪種濕度磨粉後粉溫都較 TK9II 低、破損澱粉含量也較低、平均粒徑也較小，顯然台梗 9 號白粉質粒米較正常台梗 9 號米適合磨粉。先前實驗結果，也可發現市售一般白粉質粒米 CCR 磨粉後破損澱粉含量也比市售一般白米 CR 低(表十二)。白粉質粒米雖作為食用米接受度較低，但由於其價格低廉且適合磨粉之特性，可開發成加工專用米穀粉。

表 十四、不同水分含量對破損澱粉含量及粒徑分布之影響。

Table 14. Effect of different moisture content and temperature on damaged starch content and particle size distribution of rice flour milled by MB3 with cooling system.

Sample	Target moisture	Moisture		Time consumed	Flour temp.	Damaged starch	Average particle size
		before	after				
		(%, wb)	(%, wb)		(°C)	(%, db)	(µm)
TK9II	6%	5.72	8.13	9	30.9	20.18 ^c	53.62 ^{a1}
	10%	9.42	9.93	9	30.7	35.58 ^{ab}	58.17 ^a
	as is	14.49	11.87	9	29.3	34.67 ^b	58.17 ^a
	18%	17.18	12.91	9	28.4	36.34 ^a	55.39 ^a
TK9IIc	6%	5.51	8.50	9	28.3	19.79 ^c	51.48 ^{ab}
	10%	9.04	10.11	8	28.3	21.20 ^{bc}	56.72 ^a
	as is	14.89	12.11	9	28.1	24.20 ^b	51.21 ^{ab}
	18%	17.63	12.69	9	28.0	29.18 ^a	48.49 ^b
CRII	6%	5.90	7.80	9	32.2	19.60 ^d	58.12 ^a
	10%	10.05	10.03	9	31.9	21.54 ^c	55.43 ^{ab}
	as is	14.70	12.33	9	29.9	24.83 ^b	47.57 ^b
	18%	17.20	12.63	10	30.1	36.42 ^a	53.75 ^{ab}
BR	6%	5.63	7.91	9	33.3	17.85 ^d	50.19 ^a
	10%	8.55	9.22	9	32.0	21.53 ^c	53.43 ^a
	as is	14.50	11.52	10	30.7	29.31 ^b	55.14 ^a
	18%	17.37	12.09	10	30.3	41.07 ^a	54.64 ^a

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p < 0.05$.

六、結語

樣品經過不同磨粉機磨粉後具不同性質，差異最大者為破損澱粉含量和平均粒徑。Mill A 磨過之米穀粉破損澱粉含量最低(10%以下)，但粒徑最大(約 150 - 200 μm)；Mill B 三種設定，但彼此性質接近，破損澱粉含量為三台磨粉機最高(約 30%)，平均粒徑約為 50 - 110 μm ；Mill C 所製之米穀粉粒徑最細(約 50 μm)，破損澱粉大約在 20 - 25%。比較不同米種，破損澱粉含量 CHA 最低而 CW 最高，但米種造成的差異仍不及磨粉機本身，顯示磨粉機對米穀粉性質有莫大影響。

本節除探討磨粉後樣品性質外，另將米進行調濕前處理，預期降低破損澱粉含量，提高米穀粉品質。降低水分含量在 Mill A (data not show)、Mill B 可以有效降低破損澱粉含量，惟下降幅度不及磨粉機本身差異，仍不能使 Mill B 所製之米穀粉破損澱粉含量降低至目標 10%內，Mill C 則不受調濕影響。在某些米種或磨粉條件下，調濕會些微改變平均粒徑，但沒有一定趨勢。

第三節、不同米種以相同製程製作米麵包

實驗先以市售糯米 CW (直鏈澱粉含量 0%)、市售白米 CR (直鏈澱粉含量 14.91%)、市售白粉質粒米 CCR (直鏈澱粉含量 12.78%)、脆稈私米 IR64 (直鏈澱粉含量 24.02%)、市售高直鏈米(直鏈澱粉含量 28.11%)、五種不同直鏈澱粉含量米種；選用破損澱粉含量最低的磨粉條件 MA2，另選擇磨粉條件 MB3、MC 所磨之 CR 米穀粉進行實驗，製作 35%米穀粉取代之麵包，比較相同製程之下不同米種及磨粉條件所製樣品之差異。

一、麵包外觀及比體積

麵包比體積為一立即可用肉眼辨識品質之指標，一般以其他材料取代麵粉製作麵包之產品比體積都較低；然而比體積若過大，麵包質地也會隨之下降。表十五為以相同製程製作麵包之比體積，相同發酵時間下，比較同磨粉條件 Mill A2 所製米穀粉製作麵包之差異。控制組具有最大之比體積 5.54 mL/g，其次為 CCRb_MA2 (b meant bread-making with the same process)與 CHAb_MA2，分別是 5.02 mL/g 和 5.03 mL/g。第三級距為 CWb_MA2 (4.70 mL/g)、CRb_MA2 (4.67 mL/g)、IR64b_MA2 (4.75 mL/g)。比體積最低的樣品則是 CRb_MB3 (3.60 mL/g)、CRb_MC

(3.50 mL/g)。有些研究指出直鏈澱粉含量與比體積呈現正相關(Takahashi et al., 2009)，也有部分研究則觀察不到直鏈澱粉含量與比體積的相關性(Yoza, 2010 and Araki, 2009)。本實驗比體積最大的樣品是 CHA 和 CCR，整體而言比體積與直鏈澱粉含量沒有關連性($R^2=0.21$)。

比較同米種 CR 經過不同磨粉條件所得米穀粉製作麵包，CRb_MA2 比體積為 4.67 mL/g 顯著大於 CRb_MB3 (3.60 mL/g)及 CRb_MC (3.50 mL/g)。比較 CR 經過三種磨粉機磨粉後米穀粉之特性，MA2 所得之米穀粉為較大的平均粒徑(148.40 μm)但低破損澱粉含量(6.73%)，經 MB3 與 MC 製得之米穀粉則是小平均粒徑(70.59 μm 和 47.12 μm)、高破損澱粉含量(32.00%和 23.11%)。磨粉條件 MA2 生產之米穀粉，製作麵包後，比體積和外觀俱佳、結構完整；而 MB3 和 MC 條件之麵包，體積小、孔洞大且不均(圖十一)。青木(2008)認為破損澱粉含量影響比體積的原因為破損澱粉易與麵筋搶水，小麥破損澱粉的吸水率大約是本身重量的兩倍，遠高於未受損小麥澱粉的 40%，因此麵筋在攪拌時水合不良、無法形成良好網狀結構，導致比體積小，品質低下。但若增加配方水量，過多的水會使麵包烤完兩側皺縮、塌陷，結構脆弱。文獻指出，優良的麵包用米穀粉平均粒徑應為 60 μm (Araki, 2009)以及低破損澱粉含量，亦有文獻認為平均粒徑不會影響比體積(Yoza et al., 2010)。實驗結果顯示，當破損澱粉含量與平均粒徑衝突時，應以低破損澱粉含量為優先目標。

表 十五、不同米種相同製程製作米麵包之比體積。

Table 15. Specific volume of rice breads made of rice flours by the same making processes.

Sample	Specific volume (mL/g)
Control	5.54±0.27 ^{a1}
CWb_MA2	4.70±0.20 ^c
CRb_MA2	4.67±0.15 ^c
CCRb_MA2	5.02±0.53 ^b
IR64b_MA2	4.75±0.22 ^{bc}
CHAb_MA2	5.03±0.32 ^b
CRb_MB3	3.60±0.32 ^d
CRb_MC	3.50±0.30 ^d

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p<0.05$.

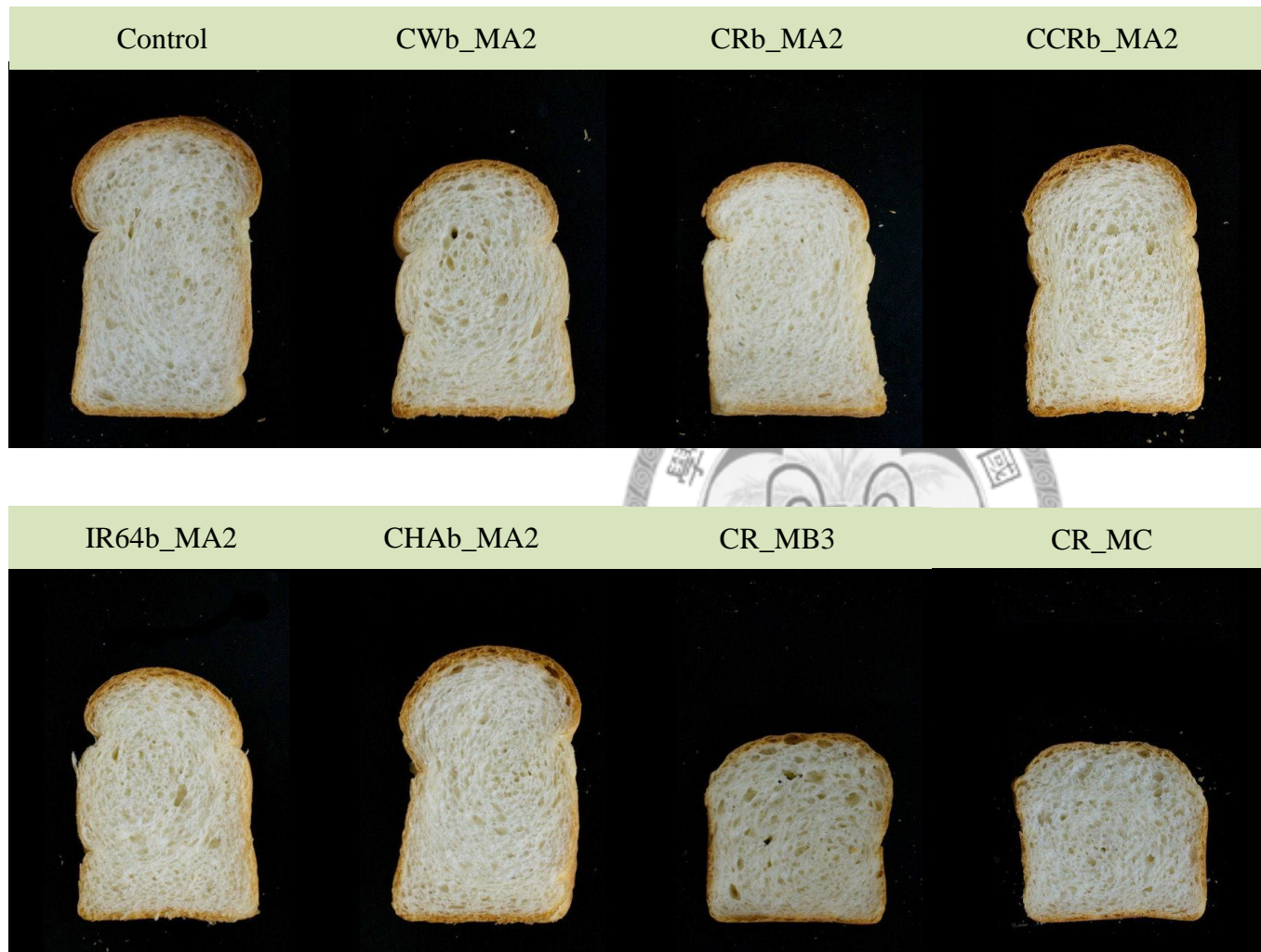


圖 十一、不同米種以相同製程製作之米麵包橫切面圖。

Figure 11. The appearance of rice breads made from different rice varieties with the same making process.

二、TPA 性質測定

表十六比較控制組與磨粉條件 Mill A2 在出爐後一小時後硬度之差異，最低者為控制組(1.07 N)、CWb_MA2 (1.15 N)以及 CCRb_MA2 (1.06 N)；其次 CRb_MA2 (1.40 N)及 IR64b_MA2 (1.21 N)；MA2 磨粉條件所製麵包最硬的是 CHAb_MA2 (1.76 N)。經過 24 小時室溫儲藏後所有樣品硬度皆顯著高於控制組，24 小時冷藏儲藏結果亦同。而 48 小時冷藏儲藏後，除了控制組的硬度為 3.76 N，其餘顯著高於控制組(約 6.5 N)。麵包儲藏後硬度上升的老化現象，有學者認為是麵包中的水分從中間的組織往外皮移動，使外皮變韌、麵包體變得乾硬(Lin and Lineback, 1990)。測定不同儲藏時間樣品的水分含量，雖略有下降，但未達顯著水準(data not shown)。

所有樣品 cohesiveness 皆有隨時間下降的趨勢，而 CCRb_MA2 在除了 48 小時冷藏儲存後低於控制組，其餘不同儲藏條件之結果都與控制組無異。CWb_MA2、CRb_MA2、IR64b_MA2、CHAb_MA2 間彼此差異不大，但皆略低於控制組。Springiness 則不論是哪個樣品或是儲藏條件皆差異不大，麵包存放 48 小時內回復形變的能力不受影響。Tsai et al. (2012)測定米麵包儲藏後的 TPA 參數，以 cohesiveness 及 resilience 下降較明顯，springiness 幾乎沒有變化。所有樣品的 resilience 皆隨時間下降，顯示樣品漸漸變硬、失去彈性，其中 CCRb_MA2 除了冷藏 48 小時後低於控制組，其餘儲藏條件之結果皆與控制組無顯著差異。在兩種彈性參數表現最差者為 CWb_MB2，糯米製之米麵包雖然柔軟度佳，但彈性卻不及控制組。

比較相同米種 CR 以不同磨粉條件所得米穀粉製備麵包之結果，CRb_MB3 (2.70 N)與 CRb_MC (2.93 N)初始硬度就顯著高於 CRb_MA2 (1.40 N)和控制組(1.07 N)，經過儲藏過後硬度更高(12.34 N 及 11.48 N)，幾乎是 CRb_MA2 (6.65 N)的兩倍、控制組(4.12 N)的三倍。雖然硬度較硬，cohesiveness 的結果則不受磨粉條件影響。Springiness 的結果與前段相近，樣品回復形變的能力不受時間影響。resilience 的結果也與前段接近，且不同磨粉條件間沒有顯著差異。

表十七為冷藏儲存 48 小時後微波復熱結果。所有樣品之硬度經微波後皆比新鮮樣品還低。而 cohesiveness 與 springiness 微波後幾乎與新鮮樣品相同，只有 resilience 降至比新鮮樣品低，顯示微波復熱為一良好的麵包復熱方式。

表 十六、不同儲藏條件對相同製程米麵包 TPA 性質之影響。

Table 16. Effect of storage conditions on TPA characters of rice breads with the same making process.

Sample	Hardness (N)				Cohesiveness				Springiness				Resilience			
	RT		4°C		RT		4°C		RT		4°C		RT		4°C	
	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h
Control	1.07 ^{d1}	2.48 ^g	3.76 ^e	4.12 ^c	0.68 ^a	0.62 ^a	0.54 ^a	0.53 ^a	0.46 ^{ab}	0.47 ^{ab}	0.46 ^{bc}	0.46 ^a	0.51 ^a	0.40 ^a	0.30 ^{ab}	0.28 ^a
CWb_MA2	1.15 ^d	2.66 ^f	4.80 ^{cd}	6.35 ^b	0.66 ^b	0.59 ^{bcd}	0.50 ^b	0.44 ^{bc}	0.44 ^c	0.45 ^{bc}	0.45 ^{cd}	0.45 ^a	0.43 ^d	0.34 ^d	0.26 ^{bc}	0.22 ^{cd}
CRb_MA2	1.40 ^c	3.30 ^e	5.30 ^{bcd}	6.65 ^b	0.66 ^b	0.58 ^{cde}	0.47 ^c	0.42 ^{cde}	0.45 ^{bc}	0.46 ^{abc}	0.46 ^{abc}	0.47 ^a	0.48 ^c	0.37 ^{bc}	0.26 ^c	0.21 ^{cde}
CCRb_MA2	1.06 ^d	2.64 ^f	4.50 ^{de}	6.46 ^b	0.67 ^a	0.61 ^{ab}	0.51 ^b	0.46 ^b	0.46 ^{abc}	0.46 ^{abc}	0.48 ^a	0.47 ^a	0.49 ^{abc}	0.39 ^{ab}	0.30 ^a	0.25 ^b
IR64b_MA2	1.21 ^{cd}	3.68 ^d	5.55 ^{bc}	6.30 ^b	0.67 ^a	0.58 ^{de}	0.47 ^c	0.43 ^{cd}	0.46 ^{abc}	0.47 ^a	0.47 ^{ab}	0.47 ^a	0.51 ^{ab}	0.37 ^{bc}	0.25 ^c	0.22 ^c
CHAb_MA2	1.76 ^b	4.35 ^c	5.87 ^b	6.65 ^b	0.66 ^b	0.57 ^e	0.45 ^d	0.40 ^f	0.47 ^a	0.45 ^{bc}	0.47 ^{ab}	0.44 ^a	0.49 ^{bc}	0.37 ^{bc}	0.24 ^c	0.19 ^e
CRb_MB3	2.70 ^a	6.36 ^a	10.17 ^a	12.34 ^a	0.65 ^b	0.57 ^e	0.46 ^{cd}	0.40 ^{ef}	0.46 ^{ab}	0.46 ^{abc}	0.45 ^d	0.44 ^a	0.49 ^{abc}	0.35 ^{cd}	0.27 ^{abc}	0.20 ^{de}
CRb_MC	2.93 ^a	5.34 ^b	9.79 ^a	11.48 ^a	0.65 ^b	0.60 ^{bc}	0.45 ^{cd}	0.41 ^{def}	0.45 ^{bc}	0.45 ^c	0.44 ^d	0.44 ^a	0.48 ^c	0.38 ^{ab}	0.26 ^{bc}	0.19 ^e

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p < 0.05$.

表 十七、相同製程米麵包冷藏儲存 48 小時後微波復熱之 TPA 結果。

Table 17. TPA results of rice breads, made by the same processes, reheated by microwave after storage for 48 h at 4°C.

Sample	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness	Resilience
Control	0.81 ^d	0.68 ^a	0.46 ^a	0.43 ^b
CWb_MA2	0.89 ^{cd}	0.63 ^e	0.44 ^c	0.38 ^e
CRb_MA2	1.21 ^b	0.65 ^{bc}	0.45 ^b	0.41 ^{cd}
CCRb_MA2	0.94 ^{cd}	0.65 ^{bc}	0.45 ^b	0.42 ^{bc}
IR64b_MA2	1.01 ^c	0.65 ^b	0.46 ^{ab}	0.41 ^{cd}
CHAb_MA2	1.22 ^b	0.63 ^{de}	0.46 ^{ab}	0.40 ^d
CRb_MB3	1.87 ^a	0.65 ^{bcd}	0.46 ^{ab}	0.46 ^a
CRb_MC	1.77 ^a	0.64 ^{cde}	0.46 ^{ab}	0.44 ^b

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p < 0.05$.

三、結語

本階段比較了不同米種相同磨粉條件，以及 CR 經不同磨粉條件製作麵包的性質差異。若目標為烘焙產品，磨粉機的選擇應以低破損澱粉含量為優先，例如 Mill A2，以條件 MA2 所製之米麵包，比體積、外觀優良，唯儲藏過後硬度較控制組高。所有樣品中以 CCRb_MA2 在各項參數皆與控制組最接近，且在上個章節有提到，CCR 具有便宜、磨粉後低破損澱粉含量等優點。因此，CCR 具有適合開發成加工專用米穀粉之潛力。

有些研究(Takahashi et al., 2009)指出直鏈澱粉含量與比體積在某區間內具有正相關，但本實驗並沒有此現象，直鏈澱粉含量反而與硬度有關。硬度實驗結果若把 CR 排除，則可發現直鏈澱粉含量與硬度呈現正相關($R^2=0.71$)。另一個影響硬度的主因是比體積(Smith et al., 2012)，體積越大者結構越鬆軟硬度也越低，此實驗階段最軟的控制組也有最大的比體積，下個實驗階段為了排除比體積造成的影響，調整發酵時間使比體積一致。

雖然冷藏過後樣品硬度上升，但微波復熱後可以回復良好柔軟度及彈性，顯示微波復熱是一個良好的麵包復熱方式，微波後的樣品更柔軟但彈性略低於新鮮麵包，適合咀嚼不便或年長者食用，亦可用於便利超商需微波復熱之食品。

第四節、不同米種製作相同比體積之米麵包

一、外觀及比體積

比體積會影響產品硬度，故此階段調整最終發酵時間，使麵包比體積一致，進而比較硬度。比體積預設目標為 4.8 – 4.9 mL/g，可兼具良好體積及質地，最終發酵麵團最低處約模具七分滿。

表十八為製作同比體積麵包所需之最終發酵時間和成品比體積，所有樣品比體積皆控制在 4.8 – 4.9 mL/g，最終發酵時間控制組所需最短(22 分鐘)；最長是糯米的 52 分鐘。除了 CCR 以外，其餘樣品所需發酵時間與直鏈澱粉含量呈現負相關($R^2=0.90$)，直鏈澱粉含量越高所需發酵時間越短；但如果將發酵時間延長，體積並不會無限制成長，直鏈澱粉含量高只會較快達到目標比體積。此現象可能是因為控制組有最多麵筋、結構穩定，很快就能達到目標比體積；而麵筋較低的米穀粉取代麵包，需靠直鏈澱粉的膠性穩定結構(Toufeili et al., 1999)，在最終發酵過程中可以較快達到目標體積，故所需發酵時間短。

表 十八、相近比體積米麵包所需之最終發酵時間和成品比體積。

Table 18. The proofing time and specific volume of rice breads with the same specific volume.

Sample	Proofing time (min)	Specific volume
Control	22	4.87±0.18 ^{a1}
CWs_MA2	52	4.84±0.31 ^a
CRs_MA2	45	4.81±0.16 ^a
CCRs_MA2	43	4.90±0.24 ^a
IR64s_MA2	44	4.86±0.13 ^a
CHAs_MA2	38	4.82±0.12 ^a

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p<0.05$.

二、TPA 性質測定

表十九為固定比體積不同米種所製米麵包之 TPA 圖。當所有樣品比體積一樣時，初始硬度最大的為 CHAs_MA2 (2.92 N) (s meant bread-making with the same

specific volume), 控制組次之(2.11 N), 其餘樣品初始硬度低於控制組。所有樣品室溫儲藏一天後硬度上升, 而 CHAs_MA2 (4.51 N)與 IR64s_MA2 (4.44 N)硬度高於控制組(3.94 N)。冷藏儲存 24 小時之樣品, 控制組(5.79 N)、IR64s_MA2 (5.67 N)、CHAs_MA2 (5.79 N)硬度最高, 經過冷藏儲存 48 小時, 硬度最高的仍是 IR64s_MA2 (7.28 N)與 CHAs_MA2 (7.95 N), 其餘樣品各別與控制組無顯著差異, CWs_MA2 (5.95 N)硬度最低。CWs_MA2、CRs_MA2、及 CCRs_MA2 初始硬度低於控制組, 但經過 48 小時冷藏儲藏硬度接近控制組, 顯示硬化速率較高。儲藏後硬度除以初始硬度, 比較不同樣品的硬化速率(圖十二), 雖然 CWs_MA2、CRs_MA2、及 CCRs_MA2 硬度低, 但冷藏後硬化速率反而比 Control 和 CHAs_MA2 高; 而 CHAs_MA2 因為起始硬度高, 結果硬化速率低最終硬度高。

雖樣品比體積接近, 但 cohesiveness 與 resilience 以控制組就有最佳之性質(表十九), 顯示麵粉中之麵筋結構可提供良好的彈性及回復力。cohesiveness、springiness 與 resilience 三種彈性參數, 在相同比體積之下與控制組最接近的是 CRs_MA2、CCRs_MA2 與 IR64s_MA2。此實驗階段結果, 直鏈澱粉含量在 15 - 25% 區間的米穀粉, 所製作之樣品彈性性質較接近控制組。

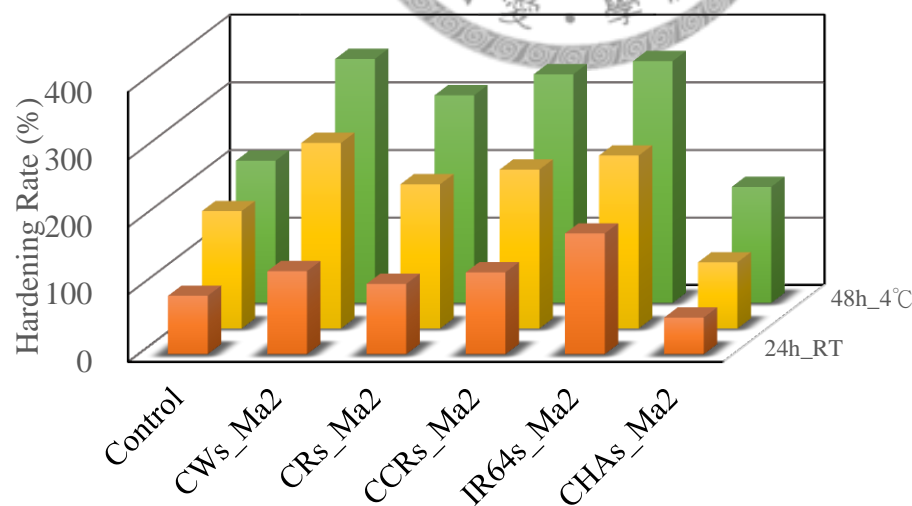


圖 十二、同比體積米麵包之硬化速率。

Figure 12. Hardening rate of rice breads with the same specific volume.

表 十九、不同儲藏條件對相近比體積米麵包 TPA 性質之影響。

Table 19. Effect of storage conditions on TPA characters of rice breads with the same specific volume.

Sample	Hardness (N)				Cohesiveness				Springiness				Resilience			
	RT		4°C		RT		4°C		RT		4°C		RT		4°C	
	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h
Control	2.11 ^{b1}	3.94 ^b	5.79 ^a	6.56 ^{cd}	0.68 ^a	0.62 ^a	0.54 ^a	0.51 ^a	0.46 ^a	0.46 ^b	0.45 ^{bc}	0.46 ^a	0.52 ^a	0.40 ^a	0.28 ^a	0.26 ^a
CWs_MA2	1.29 ^c	2.88 ^d	4.84 ^c	5.95 ^d	0.66 ^b	0.58 ^c	0.50 ^{ab}	0.44 ^b	0.44 ^b	0.44 ^c	0.45 ^c	0.45 ^a	0.43 ^c	0.33 ^c	0.27 ^a	0.22 ^b
CRs_MA2	1.62 ^{bc}	3.31 ^{cd}	5.09 ^b	6.60 ^{bc}	0.67 ^{ab}	0.61 ^b	0.49 ^{bc}	0.43 ^b	0.46 ^a	0.46 ^{ab}	0.46 ^{ab}	0.45 ^a	0.49 ^b	0.40 ^a	0.27 ^a	0.21 ^b
CCRs_MA2	1.53 ^c	3.39 ^{bc}	5.14 ^b	6.71 ^{bc}	0.66 ^b	0.60 ^b	0.47 ^{bc}	0.43 ^b	0.46 ^a	0.46 ^{ab}	0.47 ^a	0.46 ^a	0.48 ^b	0.39 ^{ab}	0.26 ^{ab}	0.22 ^b
IR64s_MA2	1.59 ^c	4.44 ^a	5.67 ^a	7.28 ^b	0.67 ^a	0.58 ^c	0.46 ^c	0.42 ^b	0.45 ^{ab}	0.46 ^{ab}	0.46 ^{ab}	0.45 ^{ab}	0.51 ^a	0.38 ^b	0.25 ^b	0.21 ^b
CHAs_MA2	2.92 ^a	4.51 ^a	5.79 ^a	7.95 ^a	0.64 ^c	0.55 ^d	0.46 ^c	0.39 ^c	0.46 ^a	0.47 ^a	0.45 ^{bc}	0.44 ^b	0.48 ^b	0.34 ^c	0.23 ^b	0.20 ^b

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p < 0.05$.

經 48 小時冷藏儲存之樣品微波復熱後結果於表二十，硬度皆較新鮮樣品低，除了 CRs_MA2 外，其餘硬度大小順序與新鮮樣品相同。Cohesiveness 與 springiness 微波後略低於新鮮樣品，而 resilience 下降幅度較大，表示微波後的樣品更柔軟但彈性較差。

表 二十、同比體積米麵包冷藏儲存 48 小時後微波復熱之 TPA 結果。

Table 20. TPA results of rice breads reheated by microwave after storage for 48 h at 4°C with the same specific volume.

Sample	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness	Resilience
Control	1.43 ^{bl}	0.67 ^a	0.46 ^a	0.46 ^a
CWs_MA2	0.95 ^d	0.64 ^c	0.43 ^b	0.40 ^d
CRs_MA2	1.10 ^c	0.65 ^b	0.45 ^a	0.44 ^{bc}
CCRs_MA2	1.10 ^c	0.65 ^b	0.45 ^a	0.44 ^{bc}
IR64s_MA2	1.24 ^c	0.65 ^b	0.46 ^a	0.45 ^{ab}
CHAs_MA2	1.71 ^a	0.64 ^c	0.45 ^a	0.43 ^c

^lValues followed by the different letters within the same column were significantly different at $p < 0.05$.

三、結語

比體積相等的情形下，除了由市售高直鏈米製作的 CHAs_MA2 初始硬度比控制組高外，其餘樣品皆低於控制組；與第三節實驗比較，顯示比體積會影響硬度。大多數米麵包初始硬度較低，但經過儲藏後，所有樣品硬度提升至接近控制組或高於控制組，只有 CWs_MA2 仍低於控制組，米麵包的硬化速率明顯高於控制組。

另一發現是除了 CRs_MA2 或 IR64s_MA2 之外，初始硬度與直鏈澱粉含量有正相關，下個部分將探討直鏈澱粉含量對硬度與硬化速率的關係。

第五節、配製不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包(第一組)

一、外觀及比體積

為了證實直鏈澱粉含量與硬度、彈性性質之關係，第一組實驗混合不同比例市售糯米與市售高直鏈米，配製 0、5、10、15、20 及 25% 直鏈澱粉含量，製作成相同比體積麵包，比體積控制在 4.8 – 4.9 mL/g。與先前實驗結果相同，直鏈澱粉含量越高所需最終發酵時間越短，最長的是直鏈澱粉含量 0% 的 BF0 需時 52 分鐘，最短則是 BF25 需時 39 分鐘(表二十一)，直鏈澱粉在發酵階段影響到達目標高度所需時間。不同直鏈澱粉含量之米麵包，切面結構相近，且沒有文獻提及低直鏈澱粉含量米麵包容易塌陷之現象(圖十三)。

表 二十一、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包最終發酵時間及成品比體積(第一組)。

Table 21. The proofing time and specific volume of bread made of rice flours with different amylose contents (1st set).

Sample	Proofing time (min)	Specific volume (mL/g)
Control	22	4.87±0.18 ^a
BF0	52	4.84±0.31 ^a
BF5	49	4.87±0.24 ^a
BF10	47	4.86±0.18 ^a
BF15	44	4.85±0.21 ^a
BF20	43	4.83±0.17 ^a
BF25	39	4.85±0.16 ^a

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p<0.05$.

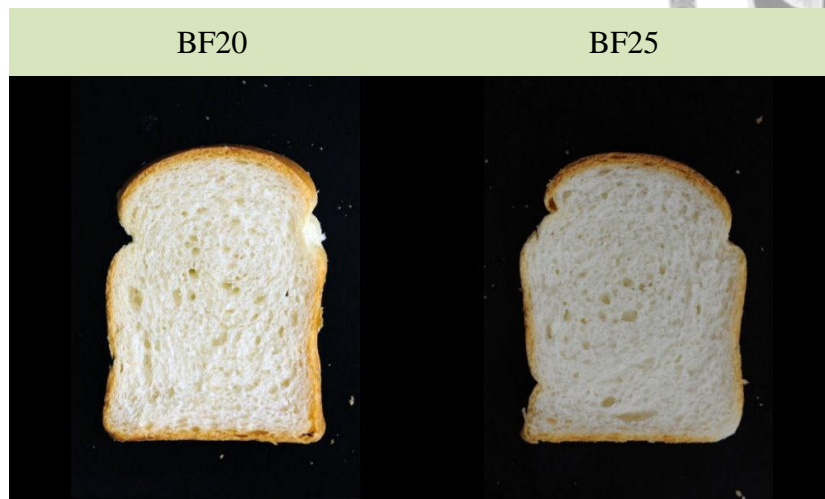
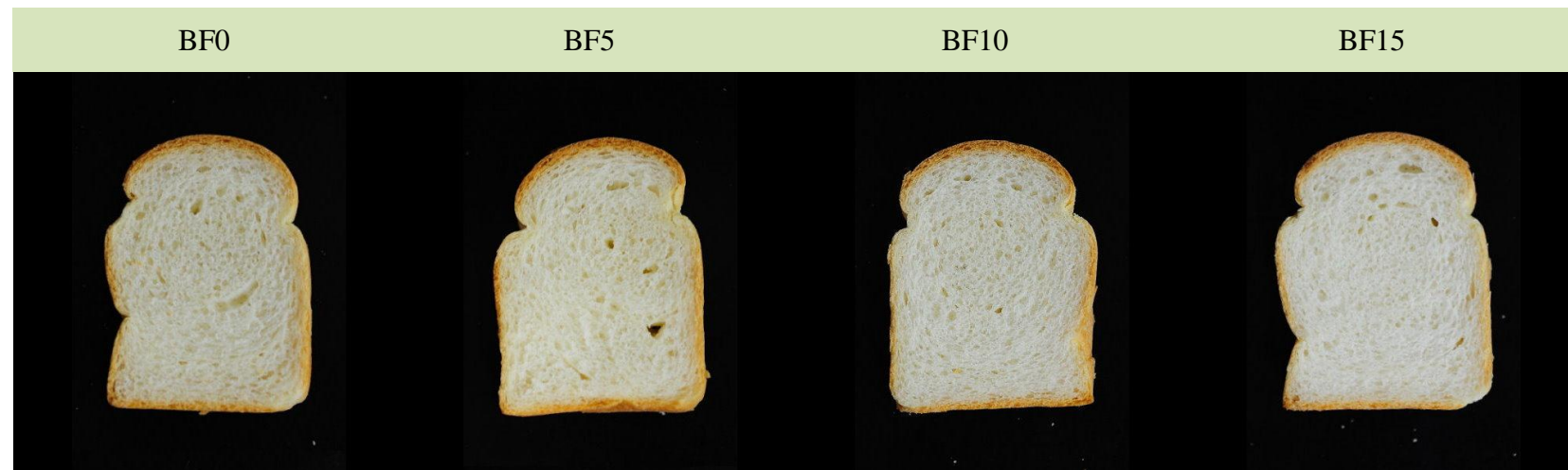


圖 十三、不同直鏈澱粉含量米穀粉取代之米麵包橫切面圖
(第一組)。

Figure 13. The appearance of breads made of rice flours with different amylose contents (1st set).

二、TPA 性質測定

表二十二為序列直鏈澱粉含量製作麵包之 TPA 結果。新鮮麵包的硬度與直鏈澱粉含量呈現正相關($R^2=0.97$)，與第四節結論推測結果相同。除了直鏈澱粉含量 25% 的 BF25 (2.21 N) 初始硬度高於控制組(2.11 N)外，BF15 及 BF20 與控制組無顯著差異；直鏈澱粉含量 0、5、10% 的米麵包硬度顯著低於控制組。經過 24 小時室溫儲藏後，BF0 及 BF5 硬度仍顯著低於控制組，10% 直鏈澱粉含量樣品與控制組無顯著差異，但直鏈澱粉含量 15% 以上的樣品硬度皆顯著高於控制組。24 小時冷藏儲藏後，BF0、BF5 較控制組軟，BF10 與控制組無顯著差異，直鏈澱粉含量 15% 之樣品硬度皆高於控制組。48 小時冷藏後，直鏈澱粉含量 0–15% 之樣品硬度與控制組無顯著差異，BF20、BF25 高於控制組。

圖十四為序列直鏈澱粉含量製作相同比體積米麵包之硬化速率，圖中可發現所有樣品硬化速率都高於控制組，雖然低直鏈澱粉含量的樣品初始硬度較低，但由於硬化速率較快，導致 48 小時冷藏後硬度與控制組無異，而 BF15 及 BF20 在所有米麵包中具有最低之硬化速率。

表二十二為 TPA 測定的彈性參數，控制組具有最佳的 cohesiveness，其餘樣品直鏈澱粉含量越高則 cohesiveness 越低，但差異很小。所有樣品的 cohesiveness 皆隨儲藏時間增加而下降。新鮮樣品之 springiness 除了 BF0 低於其他組，其餘樣品與控制組無顯著差異，且樣品經儲藏過後 springiness 變化不大。所有樣品之 resilience 皆隨儲藏時間下降，控制組具有最好的 resilience，經過冷藏儲存後直鏈澱粉含量低之樣品表現較直鏈澱粉含量高之樣品佳。

表 二十二、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包，經不同儲藏條件下之 TPA 性質之影響(第一組)。

Table 22. Effect of storage conditions on TPA characters of rice breads made of rice flours with different amylose contents (1st set).

Sample	Hardness (N)				Cohesiveness				Springiness				Resilience			
	RT		4°C		RT		4°C		RT		4°C		RT		4°C	
	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h
Control	2.11 ^{ab1}	3.94 ^c	5.79 ^{bc}	6.96 ^{cd}	0.68 ^a	0.62 ^a	0.54 ^a	0.51 ^a	0.46 ^a	0.46 ^{bc}	0.45 ^{ab}	0.46 ^a	0.52 ^a	0.40 ^a	0.28 ^a	0.26 ^a
BF0	1.29 ^d	2.88 ^d	4.54 ^e	6.85 ^d	0.66 ^b	0.58 ^{bc}	0.50 ^b	0.44 ^b	0.44 ^b	0.44 ^d	0.45 ^b	0.45 ^{ab}	0.43 ^e	0.33 ^c	0.27 ^{ab}	0.22 ^{bc}
BF5	1.47 ^{cd}	3.13 ^d	4.96 ^{de}	7.00 ^{cd}	0.66 ^b	0.59 ^b	0.50 ^b	0.45 ^b	0.46 ^a	0.45 ^c	0.46 ^a	0.46 ^{ab}	0.45 ^d	0.34 ^c	0.26 ^{ab}	0.23 ^b
BF10	1.57 ^c	3.69 ^c	5.33 ^{cd}	7.54 ^{bc}	0.65 ^{bc}	0.58 ^{bc}	0.49 ^{bc}	0.43 ^{bc}	0.46 ^a	0.46 ^{bc}	0.46 ^a	0.45 ^b	0.45 ^{cd}	0.35 ^c	0.26 ^{ab}	0.22 ^{bc}
BF15	1.93 ^b	4.34 ^b	5.95 ^b	7.67 ^b	0.65 ^c	0.57 ^{cd}	0.47 ^{cd}	0.42 ^{cd}	0.46 ^a	0.47 ^a	0.46 ^a	0.45 ^{ab}	0.45 ^{cd}	0.35 ^{bc}	0.26 ^b	0.20 ^c
BF20	1.99 ^{ab}	4.65 ^a	6.97 ^a	8.42 ^a	0.65 ^c	0.57 ^d	0.47 ^{de}	0.42 ^{cd}	0.47 ^a	0.46 ^{ab}	0.45 ^{ab}	0.45 ^b	0.46 ^{bc}	0.34 ^c	0.23 ^c	0.21 ^c
BF25	2.21 ^a	4.82 ^{ab}	6.99 ^a	8.42 ^a	0.65 ^{bc}	0.58 ^{bc}	0.45 ^e	0.41 ^d	0.46 ^a	0.47 ^a	0.46 ^a	0.46 ^{ab}	0.47 ^b	0.37 ^b	0.23 ^c	0.20 ^c

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p < 0.05$.

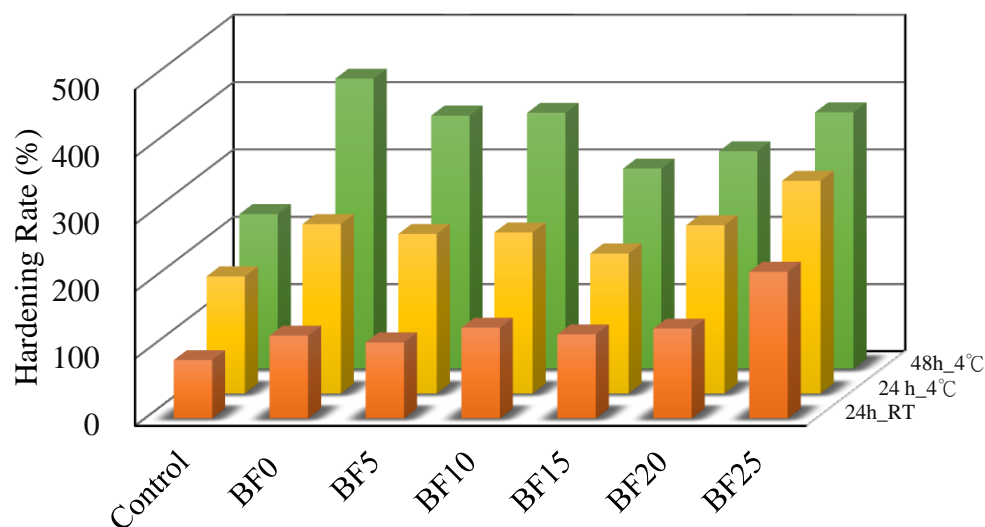


圖 十四、不同直鏈澱粉含量製作相近比體積之米麵包硬化速率(第一組)。
Figure 14. Hardening rate of rice breads made from different amylose content (1st set).

樣品經過 48 小時儲藏後微波復熱結果於表二十三。經過微波後，硬度回復至剛出爐時一小時之硬度甚至更低，而米穀粉配方中直鏈澱粉含量越高硬度越高。與先前實驗結果相同，cohesiveness 與 springiness 微波後略低於出爐後一小時之樣品，而 resilience 下降幅度較大。

表 二十三、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包，經冷藏儲存 48 小時後微波復熱之 TPA 結果(第一組)。

Table 23. TPA results of rice breads made from different amylose content reheated by microwave after storage for 48 h at 4°C (1st set).

Sample	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness	Resilience
Control	1.43 ^b	0.67 ^a	0.46 ^a	0.46 ^a
BF0	0.95 ^e	0.64 ^b	0.43 ^c	0.40 ^c
BF5	1.02 ^e	0.63 ^b	0.45 ^b	0.39 ^c
BF10	1.17 ^d	0.63 ^b	0.45 ^b	0.40 ^c
BF15	1.30 ^c	0.63 ^b	0.45 ^{ab}	0.41 ^c
BF20	1.46 ^{ab}	0.64 ^b	0.45 ^{ab}	0.43 ^b
BF25	1.56 ^a	0.64 ^b	0.46 ^{ab}	0.43 ^b

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p < 0.05$.

第六節、配製不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包(第二組)

一、外觀與比體積

由前實驗結果，10%直鏈澱粉含量之米麵包硬度參數與控制組最接近，經過冷藏後與控制組無顯著差異，Takahashi 等人在 2009 年的研究指出直鏈澱粉含量 15–25%的米種最適合製作米麵包，但前實驗結果顯示 25%直鏈澱粉含量米穀粉製作之麵包硬度較高，故本階段預計以市售白米及市售糯米配製 10%直鏈澱粉含量米穀粉、市售白米與市售高直鏈米配製直鏈澱粉含量 15%及 20%米穀粉進行實驗。

表二十四為各樣品所需之最終發酵時間和成品比體積。與前實驗結果相同，直鏈澱粉含量越高所需最終發酵時間越短。圖十五為麵包切面照片，三種直鏈澱粉含量之米麵包結構相似。

表 二十四、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包，之最終發酵時間及成品比體積(第二組)。

Table 24. The proofing time and specific volume of breads made of rice flours with different amylose contents (2nd set).

Sample	Proofing time (min)	Specific volume (mL/g)
BFII10	47	4.83±0.10 ^{a1}
BFII15	45	4.83±0.12 ^a
BFII20	44	4.85±0.10 ^a

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p<0.05$.

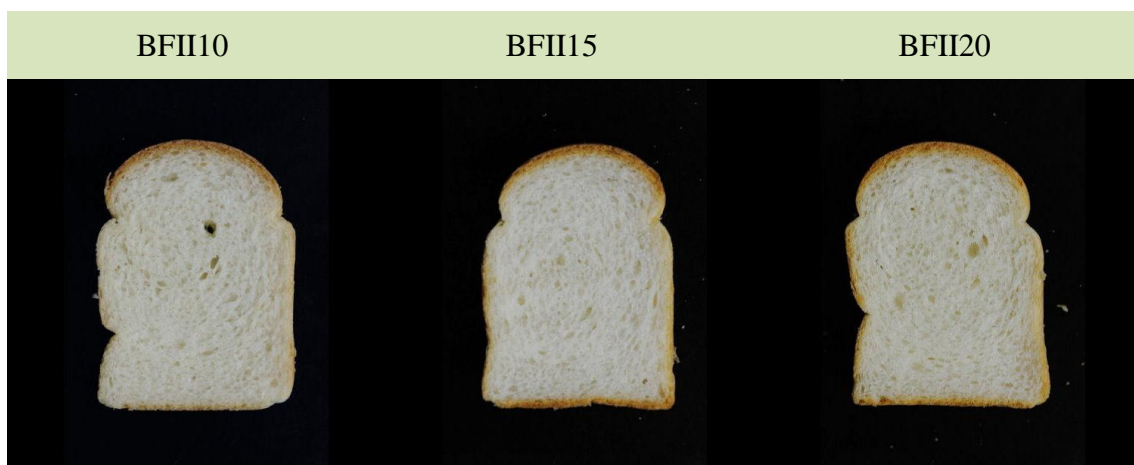


圖 十五、不同直鏈澱粉含量米穀粉取代之米麵包橫切面圖(第二組)。

Figure 15. The appearance of rice breads by using the rice flours with different amylose contents (2nd set).

二、TPA 性質測定

第二批配製 10 – 20% 直鏈澱粉含量米穀粉製作米麵包 TPA 結果於表二十五。直鏈澱粉含量 20% 的 BFII20 在剛出爐及室溫儲藏一天後硬度與控制組無顯著差異，冷藏儲藏 24 及 48 小時後硬度皆高於控制組。直鏈澱粉含量較低的 BF10 及 BF15 在剛出爐時及室溫儲藏一天硬度皆低於控制組，冷藏後 BFII15 及 BFII20 硬度與控制組無顯著差異，顯示米穀粉麵包冷藏儲存後硬化速率高於控制組(圖十六)。

Cohesiveness 初始值 BFII15 與控制組較接近，BF10 與 BF20 低於控制組。經過室溫存放 24 小時，所有樣 cohesiveness 皆下降，BFII20 低於控制組，其餘兩組與控制組無顯著差異。經過冷藏儲藏，不論是 24 或 48 小時，所有樣品 Cohesiveness 皆下降，控制組保有最優良的 cohesiveness。所有樣品的 springiness 在剛出爐一小時及室溫存放 24 小時後結果皆未達顯著差異，冷藏存放 24 小時後 BFII10 最好，控制組最差。48 小時冷藏儲藏後，則是控制組與 BFII15 性質最好。所有彈性參數中以 resilience 經過儲藏後下降最為明顯，在剛出爐時 BFII10 低於控制組，其餘兩個樣品與控制組無異。經過室溫存放 24 小時，直鏈澱粉含量 BFII15 品質較佳，但所有樣品與控制組無顯著差異。冷藏儲存 24 小時後 BFII20 低於控制組，冷藏儲存 48 小時後則所有樣品都低於控制組。

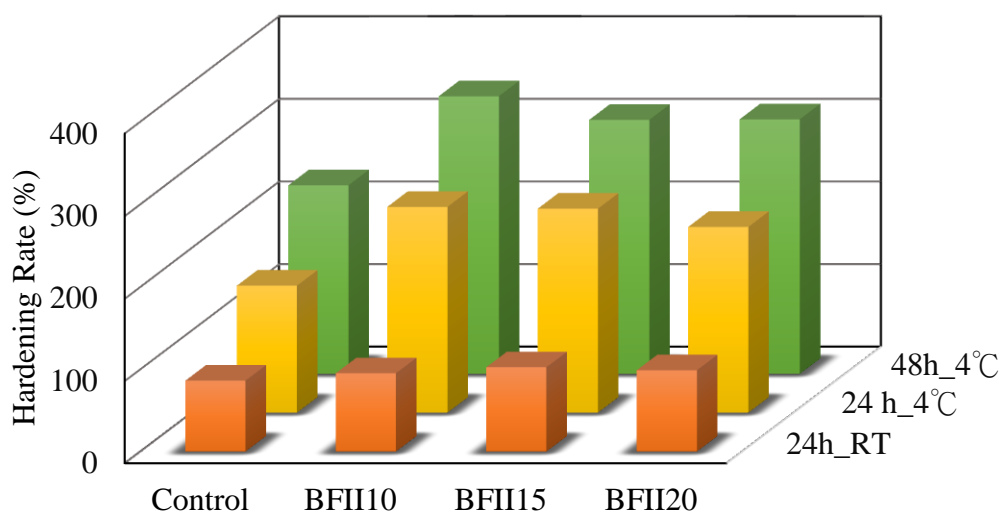


圖 十六、不同直鏈澱粉含量製作相近比體積米麵包之硬化速率(第二組)。
Figure 16. Hardening rate of rice breads made from different amylose content (2nd set).

表 二十五、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作之米麵包，經不同儲藏條件下之 TPA 性質之影響(第二組)。

Table 25. Effect of storage conditions on TPA characters of breads made of rice flours with different amylose contents (2nd set).

Sample	Hardness (N)				Cohesiveness				Springiness				Resilience			
	RT		4°C		RT		4°C		RT		4°C		RT		4°C	
	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h
Control	1.97 ^{a1}	3.67 ^a	5.01 ^b	6.47 ^b	0.67 ^a	0.62 ^a	0.53 ^a	0.51 ^a	0.46 ^a	0.46 ^a	0.45 ^b	0.46 ^a	0.50 ^a	0.39 ^{ab}	0.27 ^a	0.25 ^a
BFII10	1.49 ^b	2.91 ^b	5.21 ^b	6.50 ^b	0.66 ^b	0.61 ^a	0.48 ^b	0.43 ^{bc}	0.46 ^a	0.46 ^a	0.46 ^a	0.45 ^b	0.48 ^b	0.38 ^b	0.26 ^{ab}	0.21 ^b
BFII15	1.56 ^b	3.16 ^b	5.42 ^{ab}	6.36 ^b	0.66 ^{ab}	0.61 ^a	0.48 ^b	0.44 ^b	0.46 ^a	0.46 ^a	0.46 ^{ab}	0.45 ^{ab}	0.50 ^a	0.40 ^a	0.25 ^{ab}	0.21 ^b
BFII20	1.81 ^a	3.60 ^a	5.89 ^a	7.39 ^a	0.66 ^b	0.59 ^b	0.46 ^b	0.42 ^c	0.46 ^a	0.46 ^a	0.46 ^{ab}	0.45 ^b	0.49 ^a	0.38 ^b	0.25 ^b	0.21 ^b

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p < 0.05$.

樣品經過 48 小時冷藏後再經微波復熱的 TPA 測定結果於表二十六。與先前實驗結果相同，微波復熱後硬度可以下降至比新鮮樣品更低，彈性參數也是除了 resilience 外都可以幾乎回復至剛新鮮狀態。雖 resilience 稍低，但仍比室溫存放一天之結果佳。

表 二十六、不同直鏈澱粉含量米穀粉製作米麵包經冷藏儲存 48 小時後微波復熱之 TPA 結果(第二組)。

Table 26. TPA results of rice breads made from different amylose content reheated by microwave after storage for 48 h at 4°C (2nd set).

Sample	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness	Resilience
Control	1.34 ^{a1}	0.66 ^a	0.46 ^a	0.45 ^a
BFII10	0.99 ^c	0.64 ^c	0.45 ^b	0.42 ^b
BFII15	1.04 ^{bc}	0.65 ^b	0.45 ^{ab}	0.43 ^{ab}
BFII20	1.14 ^b	0.65 ^b	0.46 ^a	0.44 ^{ab}

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p < 0.05$.

三、結語

直鏈澱粉含量越高的樣品最終發酵時所需要達到目標高度的時間越短，但若無限制的持續發酵，最終高度與直鏈澱粉含量沒有正相關。直鏈澱粉含量高者，膠體性質較強，可穩定結構(Toufeili et al., 1999)，使麵團較容易到達目標高度。直鏈澱粉含量高低對麵包的影響是初始硬度，而不是影響硬化速率的關鍵，因為直鏈澱粉的回凝是要一快速且高溫之程序，在麵包出爐冷卻時幾乎完成，低溫的回凝則受支鏈澱粉影響較大(Miyazaki et al., 2006; Ghiasi et al.)。

直鏈澱粉含量 10 – 15%的樣品硬度及彈性參數與控制組較接近，雖然直鏈澱粉含量 20%的樣品初始硬度更接近控制組，但由於儲藏後硬度過高且彈性參數較差，故直鏈澱粉含量在 10 – 15%的米穀粉較適合製作部分取代小麥粉的麵包。

以「糯米混合高直鏈米」與「糯米混合白米、白米混合高直鏈米」兩種配粉方式製作出來的產品，雖然直鏈澱粉含量相同，BF15 直鏈澱粉含量樣品冷藏 48 小時後硬度即高於控制組，但 BFII15 在相同條件下與控制組仍沒有顯著差異，故

不同來源米種對米麵包性質有不同影響，先前實驗「不同米種以相同製成製作米麵包」可得相同結論。若不以配粉方式，未來可以進行大規模篩選、育種，挑選合適製作米麵包之米種，例如日本便以超硬稻米 EM10 進行米穀粉取代麵粉之研究(Nakamura et al., 2010)。

第七節、米飯麵包

一、條件選擇預實驗

硬化速率快為米穀粉取代麵包遇到的重要問題之一，Iwashita 等人在 2010 年的研究指出用熟飯代替米穀粉進行 20%的麵粉取代，可以得到具有更大比體積且更柔軟之米麵包；Tsai et al. (2012)研究以稀飯部分取代麵包，也有一樣的結果。原因之一為米飯在浸泡時會大量產生 amylase 酵素(Arai and Itani, 2000)，而這些酵素可以將澱粉作用成較小片段的醣類如 maltotriose 或 maltononaose，達到延緩麵包老化的效果(Min et al., 1998)，也有研究指出較好的結果是因為預糊化，預糊化可以促使麵筋水合，形成良好結構、保有許多微小的氣室使結構鬆軟(Shibata et al., 2011)。另一進行米飯麵包研究之原因為提升國內稻米食用率，若成功開發米飯麵包，則家庭皆可使用餐後剩飯製作米飯麵包，餐餐皆可食用新鮮米飯，達到提升稻米食用率、提高糧食自給率之目的。

本階段目的為開發米飯麵包之製作方法，並以示差掃描熱分析儀探討米飯麵包回凝性質。實驗以市售白米進行，煮飯前先將生米浸泡一小時，煮飯所需水量由配方中扣除，麵包製作流程與先前烘焙實驗流程相同。結果成品比體積小、外觀粗糙、質地差勁且切面孔洞大而不均。實驗又以市售糯米 CW 及市售高直鏈米 CHA 進行，結果仍相同。Yoshii (2011)報告指出，米麵包的麵筋結構脆弱、容易受損，須盡量降低對麵團的處理，故實驗改用快速法進行，減低整形次數，避免麵筋結構破壞。

以快速法製作之麵包比體積可達預定目標(4.8–4.9 mL/g)、外觀顏色較深。但米飯顆粒仍然完整，切面可見完整飯粒，且麵包表面容易被米飯顆粒刺破，外觀稍差、口感不佳，圖十七為以直接法和快速法製作米飯麵包之差異。

為改善米飯顆粒問題，先以擀麵棍磨碎熟飯，再進行麵包製作實驗。結果有效的改善米飯顆粒問題，外觀完整、質地細緻，比體積也在目標範圍內。故實驗

打算將飯粒磨碎並以快速法製作。

製程確定後，第二階段預實驗變數為煮飯水量及米種。米與水的比例由 1:0.5 至 1:2.4(超過配方水量)，麵包製作流程以快速法進行。結果顯示，水量在 1:0.8 以下時只有糯米可以煮透；而水量 1:2(配方全部水量)時，糯米和白米雖然偏軟且濕黏，仍可順利製作米飯麵包；而高直鏈米硬度還是偏高，無法磨碎。市售白米及糯米在水量在 1:1.2 至 1:1.6 間皆可順利製作米飯麵包，故實驗選擇一般常用煮飯加水比例 1:1.3(Lyon et al., 2000 & Rewthong et al., 2011)。

預實驗結果，米種的影響在飯麵包系統遠高於米穀粉系統。以糯米飯製作的麵包雖然質地軟，但結構太脆弱，容易塌陷，且兩側皺縮；而高直鏈米飯飯粒仍粒粒分明，麵包表面被飯粒刺破、且因麵包中有許多飯粒，故口感不佳。只有由市售白米製作之米飯麵包符合預期，結構好、外觀佳，故後續實驗將以市售白米進行。由於研究目的之一是推廣至家庭，故導入另一在臺灣廣受好評的米種台梗 9 號進行飯麵包試驗。

為了探討回凝性質，實驗除了有一般麵包作為控制組外，還需加入同樣以快速法製作的米穀粉麵包，用以對照米飯麵包的回凝性質。但是米穀粉取代麵包以快速法製作比體積無法到達目標，固實驗最後以「相同製程」進行而非「相同比體積」。

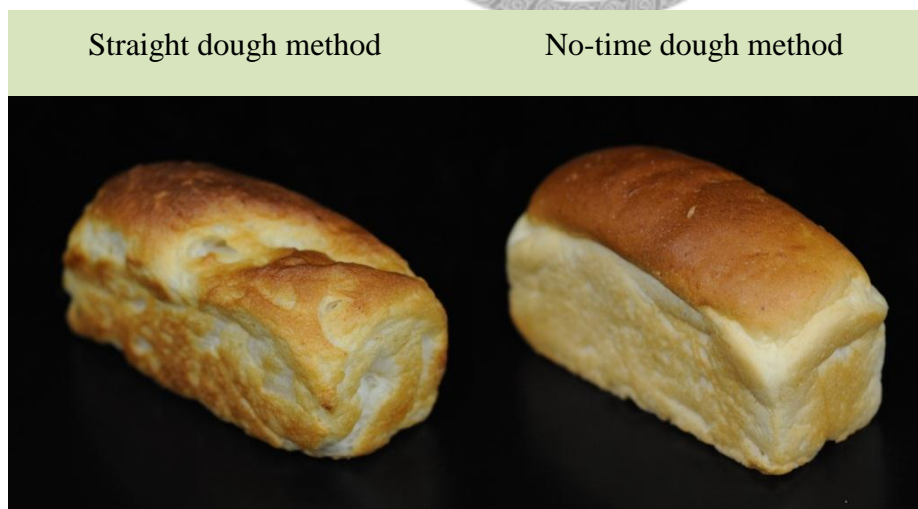


圖 十七、直接法和快速法製作之米飯麵包外觀照片。

Figure 17. Cooked rice breads made by straight dough method (left) and no-time dough method (right).

二、外觀及比體積

麵團發酵時間以白米飯麵包(CRR)和台梗 9 號飯麵包(TK9R)作為標準，所有樣品發酵 70 分鐘。表二十七為成品比體積，最大的是 CRR 及 TK9R，比體積在設定目標的 4.8 – 4.9 mL/g。而控制組和米穀粉麵包比體積無顯著差異，約 4.4 mL/g。控制組及 CRF、TK9F，外觀體積小、顏色較淺且無光澤；而用熟飯製作的 CRR 和 TK9R，比體積大、顏色較深、表面有光澤，由切面圖可見米飯麵包的孔洞小且密集、結構細緻，偶有一些較大的氣泡(圖十八)，因未糊化的澱粉邊緣有稜角、容易刺破麵團中的微小氣泡，預糊化可以保有更多小氣室，故結構較細緻。(Shibata et al., 2011 & Naito et al., 2005)。

表 二十七、米飯麵包比體積。

Table 27. Specific volume of cooked rice breads.

Sample	Specific volume (mL/g)
Control	4.39±0.07 ^b
CRF	4.36±0.09 ^b
CRR	4.87±0.10 ^a
TK9F	4.37±0.15 ^b
TK9R	4.84±0.05 ^a

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p < 0.05$.

三、TPA 性質測定

以米飯製作麵包之 TPA 結果於表二十八。米飯製作的 CRR 和 TK9R 在新鮮狀態具有最低之硬度；而控制組、CRF 及 TK9F 硬度較高。由於比體積大小是造成硬度的差異之一(Smith et al., 2012)，本階段目的為以 DSC 探討麵包儲藏後的回凝程度，故硬度在本章節僅做為參考。儲存後硬度皆有上升的趨勢，不論哪個儲存條件都是米飯麵包 CRR 和 TK9R 硬度最低，兩者無顯著差異。經過 48 小時冷藏儲存後，CRR (4.28 N)和 TK9R (4.46 N)仍保有優良柔軟度。對照圖十九硬化速率，可發現 CRR 及 TK9R 的硬化速率反而最高，顯示兩者硬度較低不是因為硬化速率慢，而是因初始硬度低。

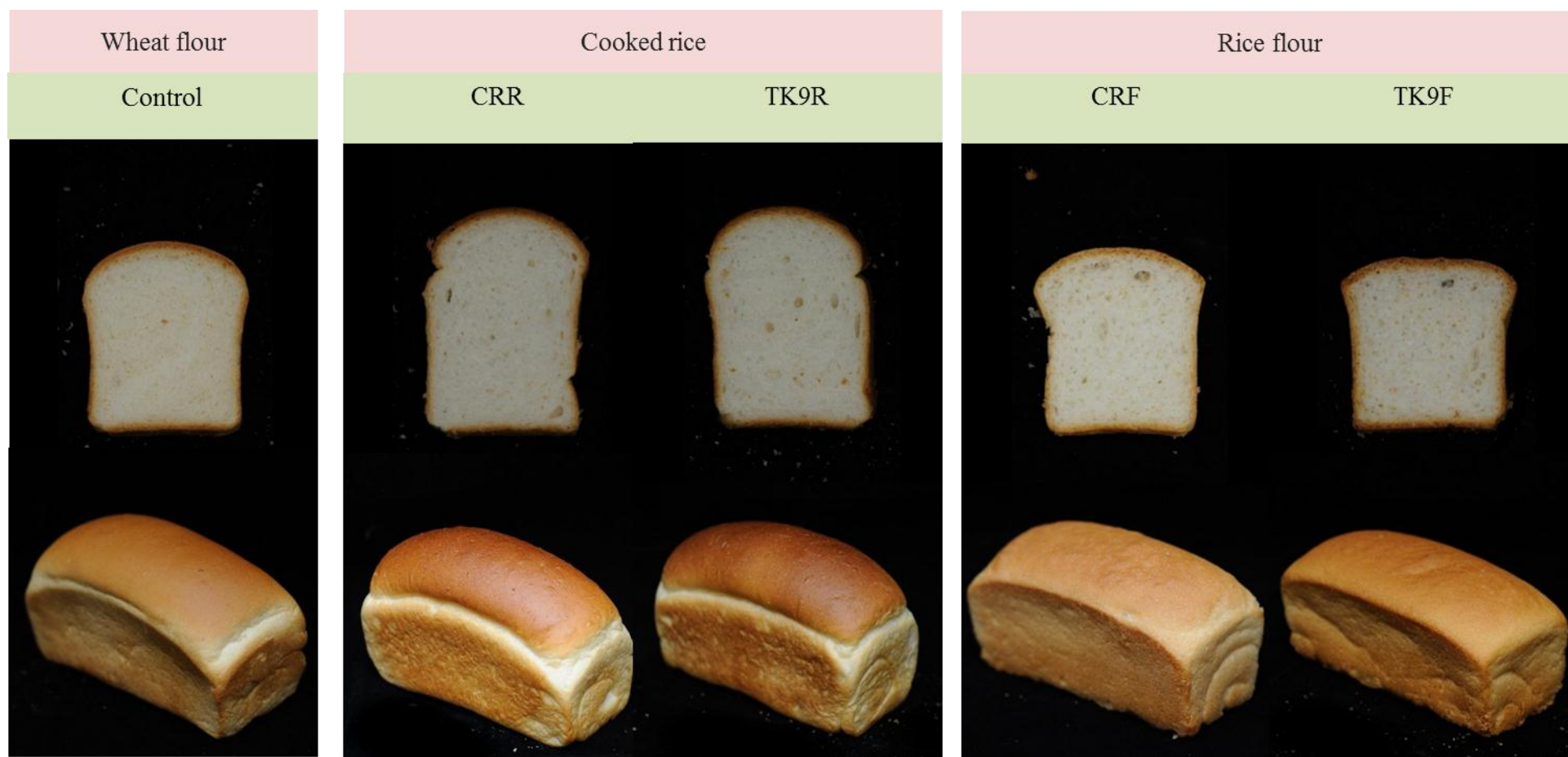


圖 十八、米飯麵包外觀及橫切面圖。
Figure 18. The appearance of cooked rice breads.

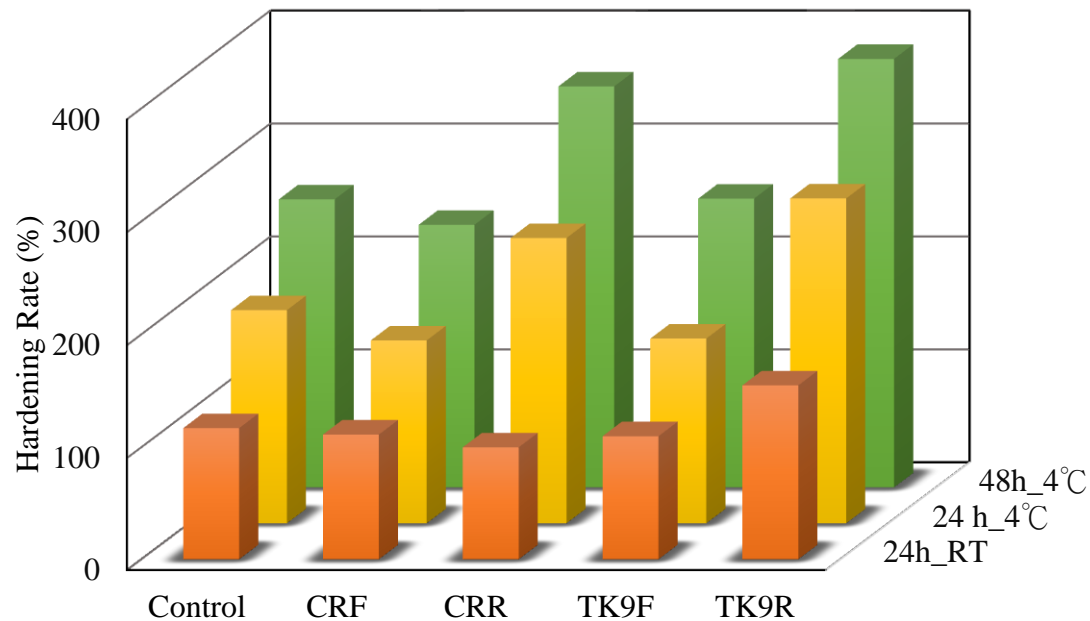


圖 十九、米飯麵包之硬化速率。
Figure 19. Hardening rate of cooked rice breads.

控制組和米飯麵包 CRR、TK9R 在新鮮狀態具有最佳之 cohesiveness。室溫存放 24 小時後，所有樣品 cohesiveness 皆下降，CRR (0.64) 有最高之 cohesiveness、其次是 TK9R (0.63)、控制組 (0.60) 第三，以米穀粉製作的麵包最差。冷藏後不論是 24 小時或 48 小時，皆是控制組 CRR 與 TK9R 有最好的 cohesiveness。新鮮狀態時米穀粉製作的 CRF (0.46) 和 TK9F (0.46) 具有最佳之 springiness，但所有樣品差異都不大 (0.45 – 0.46)。經 48 小時冷藏後，CRF (0.37) 和 TK9F (0.39) 的 springiness 大幅下降，控制組 (0.45)、CRR (0.45) 與 TK9R (0.45) 具有最佳的 springiness。新鮮狀態時控制組 (0.55) 有最佳之 resilience，米穀粉製作的 CRF (0.49) 和 TK9F (0.50) 次之，最低的是 CRR (0.46) 和 TK9R (0.47)；但經過 24 小時室溫存放，最高的是 CRR (0.45)，TK9R (0.41) 與控制組 (0.40) 次之、米穀粉製作的 CRF (0.32) 和 TK9F (0.35) 最低。冷藏 24 小時後，resilience 最好的仍是 CRR (0.33)，控制組 (0.30) 和 TK9R (0.30) 第二，CRF (0.24) 和 TK9F (0.26) 最低。48 小時冷藏儲存後，所有樣品都沒有顯著差異。結果顯示米飯麵包之 TPA 性質為，新鮮狀態低硬度且較具有低之 resilience 值，經過儲藏後仍能保有優良之柔軟度以及良好彈性參數。

表 二十八、不同儲藏條件對米飯麵包 TPA 性質之影響。

Table 28. Effect of storage conditions on TPA characters of breads made of cooked rice.

Sample	Hardness (N)				Cohesiveness				Springiness				Resilience			
	RT		4°C		RT		4°C		RT		4°C		RT		4°C	
	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h	0 h	24 h	24 h	48 h
Control	2.35 ^{a1}	5.10 ^a	6.80 ^a	8.35 ^a	0.68 ^a	0.60 ^c	0.53 ^a	0.48 ^a	0.46 ^{ab}	0.46 ^{ab}	0.45 ^a	0.45 ^a	0.55 ^a	0.40 ^b	0.30 ^{ab}	0.25 ^a
CRF	2.38 ^a	5.03 ^a	6.25 ^a	7.92 ^a	0.65 ^b	0.53 ^e	0.38 ^c	0.37 ^b	0.46 ^a	0.45 ^b	0.37 ^c	0.38 ^b	0.49 ^b	0.32 ^d	0.24 ^b	0.23 ^a
CRR	0.94 ^b	1.88 ^b	3.32 ^b	4.28 ^b	0.68 ^a	0.64 ^a	0.55 ^a	0.49 ^a	0.45 ^b	0.47 ^a	0.46 ^a	0.45 ^a	0.46 ^c	0.45 ^a	0.33 ^a	0.26 ^a
TK9F	2.43 ^a	5.10 ^a	6.42 ^a	8.65 ^a	0.65 ^b	0.56 ^d	0.40 ^b	0.36 ^b	0.46 ^{ab}	0.45 ^b	0.41 ^b	0.39 ^b	0.50 ^b	0.35 ^c	0.26 ^b	0.24 ^a
TK9R	0.93 ^b	2.37 ^b	3.61 ^b	4.46 ^b	0.67 ^a	0.63 ^b	0.52 ^a	0.49 ^a	0.45 ^b	0.47 ^a	0.45 ^{ab}	0.45 ^a	0.47 ^c	0.41 ^b	0.30 ^{ab}	0.26 ^a

¹Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p<0.05$.

四、熱性質分析

樣品在剛出爐一小時及室溫存放 24 小時後，無法測得吸熱焓。冷藏 2 天後，控制組、CRF 與 TK9F 的吸熱焓大約為 1 – 1.1 J/g；CRR 與 TK9R 較低(約 0.5 J/g)。經過 7 天的冷藏儲藏，控制組(1.718 J/g)、CRF(1.879 J/g)與 TK9F(1.631 J/g)之吸熱含上升，而 CRR 與 TK9 分別是 0.905 與 0.967 J/g。顯示米飯麵包可以有效的降低支鏈澱粉回凝。

表 二十九、以 MDSC 分析米飯麵包之澱粉回凝情形。

Table 29. Retrogradation temperature and enthalpy of cooked rice breads.

Sample	Treatment	Retrogradation			
		T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)
Control	1 h	ND ¹	ND	ND	ND
	2 day_RT	ND	ND	ND	ND
	2 day_4°C	41.62±1.53	47.11±1.94	51.85±0.33	1.006±0.08 ^a
	7 day_4°C	39.44±1.17	46.70±0.62	51.60±0.51	1.718±0.09 ^{ab}
CRF	1 h	ND	ND	ND	ND
	2 day_RT	ND	ND	ND	ND
	2 day_4°C	42.20±0.04	47.23±0.44	50.66±0.24	1.042±0.19 ^a
	7 day_4°C	39.63±0.62	46.69±0.86	51.39±0.63	1.879±0.09 ^a
CRR	1 h	ND	ND	ND	ND
	2 day_RT	ND	ND	ND	ND
	2 day_4°C	43.96±0.59	47.20±0.89	52.24±0.46	0.483±0.02 ^b
	7 day_4°C	40.01±0.16	46.15±0.76	51.16±0.37	0.905±0.02 ^c
TK9F	1 h	ND	ND	ND	ND
	2 day_RT	ND	ND	ND	ND
	2 day_4°C	41.29±0.76	47.39±1.58	51.67±1.16	1.176±0.01 ^a
	7 day_4°C	41.20±0.94	47.26±0.52	52.22±1.54	1.631±0.28 ^b
TK9R	1 h	ND	ND	ND	ND
	2 day_RT	ND	ND	ND	ND
	2 day_4°C	42.05±0.65	47.71±0.61	51.11±0.18	0.523±0.01 ^b
	7 day_4°C	40.78±0.52	47.15±0.47	52.38±0.10	0.967±0.01 ^c

¹ND : not detected.

²Values followed by the different letters within the same column were significantly different at $p<0.05$.

五、結語

米飯麵包的比體積佳、結構好、質地鬆軟，且米飯取得容易，不僅適合工廠大量生產，也適合家庭製作。由 MDSC 的結果，米飯麵包可以降低支鏈澱粉回凝。雖然可能因為初始硬度低，米飯麵包的硬化速率不會因降低支鏈澱粉回凝而降低，但是儲存過後米飯麵包仍保有最佳的柔軟度，有文獻指出米麵包的回凝和硬度間相關性稍差(Han et al., 2011)。與先前實驗米穀粉麵包相比，米飯麵包具有耐儲藏之優點，但是製作米飯麵包較受限於米種，且操作時麵團黏性較高，只能用快速法製作；而米穀粉麵包只要挑選適當磨粉條件及米種(或配粉)，操作性與麵粉無異，工廠毋須添購新設備，即可製作多種形態之麵包，且經 48 小時冷藏儲藏過後硬度與控制組無顯著差異。

第八節、官能品評

圖二十為官能品評結果，本實驗針對「喜好度」進行。(a)為由市售白米經製粉條件 Mill A2，所得之米麵包(CRs_MA2)，其所有品評項目皆顯著高於無米穀粉取代的控制組。(b)為以市售糯米和市售高直鏈米經由磨粉條件 Mill A2 之米穀粉，混合成直鏈澱粉含量 15% 製作之麵包(BF15)，所有品評項目皆與控制組無異。(c)為以市售白米製作之米飯麵包(CRR)，其質地、味道、整體接受度優於控制組，外觀、香氣、硬度則無顯著差異。CRs_MA2 優於控制組的原因可能是市售白米有其獨特香氣及甜味，且硬度(1.62 N)比控制組(2.11 N)略軟，接受度也較高。而糯米粉和高直鏈米粉混合的 BF15，因為硬度(1.93 N)與控制組(2.11 N)相近、且高直鏈米粉香氣較淡，故整體分數都跟控制組接近。以市售白米煮飯製得的 CRR 結果較特別，所有測定項目之標準差皆大於前兩組，顯示評價偏向兩極化。CRR 的低硬度(0.94 N)喜好度與控制組(2.11 N)差不多，表示硬度不是越低越好，過低的硬度也可能使喜好度降低。CRR 的質地較細緻、且有獨特甜味，在質地、味道、整體接受度三個項目得分優於控制組。

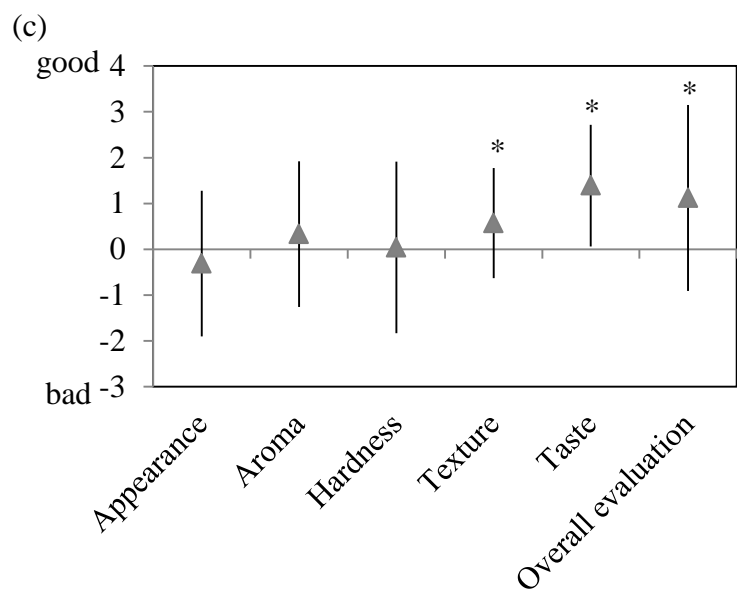
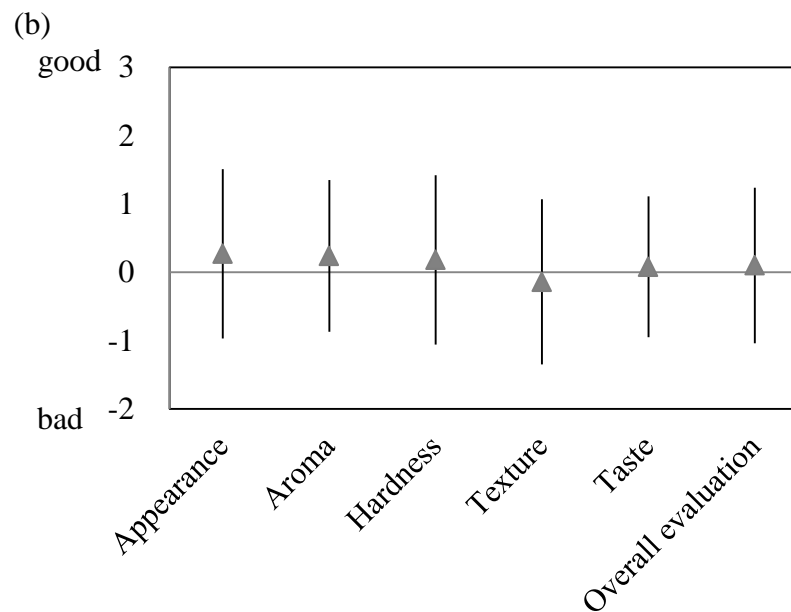
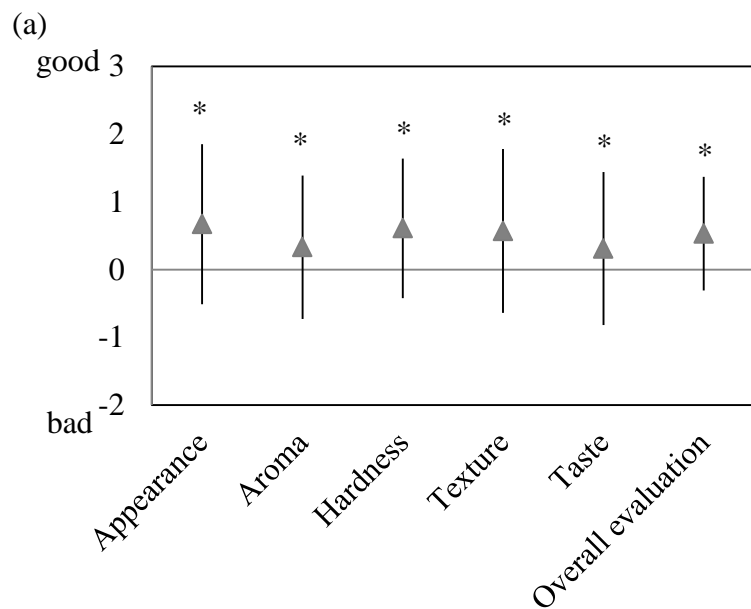


圖 二十、米穀粉麵包及米飯麵包官能品評結果:(a) CRs_MA2 , (b) BF15 , (c) CRR 。

Table 20. The results of sensory evaluation (a) CRs_MA2, (b) BF15, and (c) CRR.

*Meant the significantly different at $p < 0.05$.

第五章 結論

1. 磨粉機的磨粉原理、機制是造成磨粉後平均粒徑和破損澱粉含量差異的最大原因，選擇適當的磨粉機可以降低破損澱粉含量，生產優良品質之米穀粉。
2. 降低米粒中的水分含量，可以使 Mill A 和 Mill B 兩台磨粉機磨粉後破損澱粉含量下降，對 Mill C 則沒有影響，這與磨粉機的磨粉機制有關，降低水分可能可以增加脆度、易於磨碎。
3. 以米穀粉進行 35% 取代製作米麵包時，破損澱粉含量越高則比體積小、硬度高、麵包品質差，粒徑大小不影響比體積。若目標為生產麵包專用米穀粉，應選擇破損澱粉含量低的米穀粉。
4. 以相同製程製作米麵包時，市售白粉質粒米 CCRb_MA2 在各項 TPA 參數皆與控制組最接近，且 CCR 有原料便宜、磨粉後低破損澱粉含量等優點，具有開發成加工專用米穀粉之潛力。
5. 本實驗中米穀粉之直鏈澱粉含量不會影響成品比體積，但與麵包初始硬度有正相關，雖然直鏈澱粉含量 20% 的樣品初始硬度更接近控制組，但由於儲藏後硬度過高且彈性參數較差，故直鏈澱粉含量在 10–15% 的米穀粉較適合製作部分取代麵粉的麵包。
6. 以 CW 及 CHA 或 CW、CR 及 CHA 兩種配粉方式，雖配製之直鏈澱粉含量相同，但製作成米麵包後性質仍有差異，顯示直鏈澱粉含量不是影響硬度的唯一因素。
7. 製作米飯麵包時，如不將米飯磨碎，麵包表面容易有顆粒，且麵包體本身也有米飯顆粒，影響口感。低直鏈澱粉含量的米會使成品結構脆弱、過軟，麵包塌陷；但高直鏈澱粉含量的米又不易磨碎，所以一般食用米(直鏈澱粉含量 15%)較為適合製作米飯麵包。
8. 米飯麵包可能因為浸泡時大量活化的 amylase，降低支鏈澱粉聚合度。經一周冷藏儲存後以 MDSC 測定支鏈澱粉回凝，結果低於米穀粉麵包及控制組，硬度也顯著低於控制組。但若以「硬化速率」比較，由於米飯麵包初始的低硬度，硬化速率不會低於控制組和米穀粉麵包。米飯麵包具有低硬度、質地細緻等優點，適合咀嚼不易者食用。
9. 官能品評結果，以市售白米穀粉製的 CRs_MA2 硬度比控制組低，硬度項目

得分高於控制組；但硬度更低的白米飯麵包 CRR 得分卻是與控制組差不多，顯示麵包不是越軟越好。米穀粉或米飯製作的麵包都有獨特甜味，喜好度優於控制組。CRs_MA2 在各項得分皆高於控制組，且操作方法與一般麵包無異，具有潛力開發成多種米麵包；以糯米粉和高直鏈米粉混合的 BF15，所有評分項目都與控制組相近；市售白米飯製作的 CRR，評價偏向兩極化，但味道和整體接受度是三個樣品中得分最高的，極具發展性。

10. 由於台灣米穀粉產業不發達，雖自產稻米，價格仍高於麵粉，此乃推廣米穀粉麵包之一大阻力。本次實驗使用三台磨粉機，只有 Mill A 生產之米穀粉符合需求，如廠商欲生產米穀粉，必須改變磨粉設備。未來研究方向可往降低破損澱粉含量進行。例如以酵素進行米粒前處理(Yoshii et al., 2011)，減少磨粉時產生之破損澱粉，使廠商不需改變現有設備，即可生產合乎需求之米穀粉。另一研究方向為降低米麵包之硬化速率，若能降低硬化速率，即可藉由配粉(不同直鏈澱粉含量)生產不同性質之米穀粉，提供各種麵包使用。克服以上兩大問題後，可嘗試提高米穀粉取代度，甚至研發無麩質麵包，不僅可提升稻米食用率，還可供乳糜瀉患者食用。



第六章 文獻整理

- 李宜錦。(2011)。栽培密度與栽培期對水稻產量及品質的影響。國立台灣大學農藝學系研究所碩士論文。
- 沈美卿。(1999)。特異稻米品種之澱粉微細結構及其回凝特性。國立台灣大學食品科技研究所碩士論文。
- 吳幸芬。(1995)。麵包老化的原因及影響。烘焙工業，64，38-40。
- 陳賢哲。(1989)。破損澱粉對麵粉加工品的影響。烘焙工業，30，60-64。
- 陳賢哲。(1990)。澱粉水解酵素及破損澱粉對麵包品質的影響。烘焙工業，36，46-51。
- 廖宏儒。(2000)。麵包製程中麵團的物化特性。烘焙工業，89，68-73。
- 賴喜美。(1993)。麵包不新鮮的原因探討。烘焙工業，47，33-36。
- 賴喜美。(1995)。烘焙原料的認識(1)－小麥與麵粉(上)。烘焙工業，64，49-56。
- 山澤正勝、中島千枝、坂本奈央、及日比野久美子。(2012)。米粉食パンの品質に及ぼす米粉製粉技術の影響。名古屋文理大学紀要，12，31-38。
- 吉井洋一。2012。2012 米食加工趨勢國際研討會(系列二)。
- 青木法明。(2008)。米の品種と米粉パンの形状、膨らみとの関係。食品と技術，11，1-9。
- Anton, A. A., & Artfield, S. D. (2008). Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 59, 11-23.
- Aoki, N., Umemoto, T., & Suzuki, Y. (2010). Properties of Bread Made Using Wheat Gluten and Rice Flour from High-Yielding Cultivars. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 57, 107-113.
- Arai, E. & Itani, T. (2000). Effects of Early Harvesting of Grains on Taste Characteristics of Cooked Rice. *Food Science and Technology Research*, 6, 252-256.
- Araki, E., Ikeda, T. M., Ashida, K., Takata, K., Yanaka, M., & Iida S. (2009). Effects of rice flour properties on specific loaf volume of one-loaf bread made from rice flour with wheat vital gluten. *Food Science and Technology Research*, 15, 439 – 448.
- Barrett, F. (1975). Role of bread in international nutrition. *Cereal Foods World*, 20, 323.
- Bechtel, W.G., Meisner, D.G., & Bradley, W.B. (1953). The effect of the crust on the staling of bread. *Cereal Chemistry*, 30, 160-168.
- Bower, S. L. (2006). What is Celiac Disease. In: Bower, S. L., Sharrett, M. K., Plogste,

- S. (Eds.), *Celiac disease: a guide to living with gluten intolerance*, 1ed. Demos Medical Publishing, New York, p.1-9.
- Carlos A.B., Felicidad, R., Blanca P., & Valentín P. (2011). Improving gluten-free bread quality by enrichment with acidic food additives. *Food Chemistry*, 127, 1204–1209.
- Catassi, C., Räscher, I. M., Gandolfi, L., Pratesi, R., Fabiani, E., El Asmar, R., Frijia, M., Bearzi, I., & Vizzoni, L. (1999). Why is coeliac disease endemic in the people of the Sahara? *Lancet*, 354(9179), 647-648.
- Cauvain, S. P. (2004). How much more bread research do we need. *Getreide Technologie*, 58, 364-366.
- Clampett, W. S., Nguyen, V. N., & Tran, D. V. (2002). Sustainable rice production for food security. The development and use of Integrated Crop Management for rice production. In:FAO (Ed.) 20th Session of the International Rice Commission. FAO, Bangkok.
- Clydesdale, F. M., (1994). Optimizing the Diet with Whole Grains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34, 453-471.
- Coda, R., Rizzello, C.G., & Gobetti, M. (2010). Use of sourdough fermentation and pseudo-cereals and leguminous flours for the making of a functional bread enriched of γ -aminobutyric acid (GABA). *International Journal of Food Microbiology*, 137, 236–245.
- Crockett, R, Ie, P., & Vodovotz, Y. (2011). Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread. *Food Chemistry*, 129, 84–91.
- Cura, J. A., & Krisman, C. R. (1990). Cereal grains: A study of their alpha-1,4-alpha-1,6 glucopolysaccharide composition. *Starch/Stärke*, 42, 171–175.
- Depar, N., Rajpar, I., Memon, M. Y., Imtiaz, M., & Zia-ul-hassan. (2011). Mineral nutrient densities in some domestic and Exotic rice genotypes. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, 27, 134-142.
- Diezak, J. D. (1991). A focus on gums. *Food Technology*, 45, 116-132.
- Faridi, H., & Faubion, J. M. (1995). Wheat usage in North America. *Wheat end uses around the world*. American Association of Cereal Chemists.
- Gan, Z., Ellis, P. R., Vaughn, J. G., & Gallard, T. (1989). Some effects of non-endosperm components of wheat and of added gluten on whole-meal bread microstructure. *Journal of Cereal Science*, 10, 81-91.
- Ghiasi K., Hosney R. C., Zeleznak, & Rogers D. E. (1984). Effect of waxy barley starch and re heating on firmness of bread crumb. *Cereal Chemistry*, 61, 281-285.
- Gray, J.A. & Bemiller, J.N. (2003). Bread staling: molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 1-21.
- Han, H. M., Cho, J. H., Kang, H. W., & Koh, B. K. (2012). Rice varieties in relation

- to rice bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 1462-1467.
- Hiroyuki Y. (2010). Improvements in the Bread-Making Quality of Gluten-Free Rice Batter by Glutathione. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 7949–7954.
- Hizukuri, S. (1986). Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. *Carbohydrate Research*, 147, 342-347.
- Iwashita, K., Suzuki, K., Miyashita, K., & Okunishi, T. (2011). Effects of rice properties on bread made from cooked rice and wheat flour blend. *Food Science and Technology Research*, 17, 121-128.
- Juliano, B. O. (1971). A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Science Today*, 16, 334-338.
- Juliano, B.O. (1998). Varietal impact on rice quality. *Cereal Foods World*, 43, 207-211.
- King, J. E. (2006). Mayo Clinic on Digestive Health. *Mayo Clinic Proceedings second ed.* Mayo Clinic . Minnesota.
- Lee, M.R., Swanson, B.G., & Baik, B.K. (2001). Influence of amylose content on properties of wheat starch and bread making quality of starch and gluten blends. *Cereal Chemistry*, 78, 701-706.
- Lieke E.R., Atze J.G., & Rob J.H. (2011). The use of whey protein particles in gluten-free bread production, the effect of particle stability. *Food Hydrocolloids*, 25, 1744-1750.
- Lin, W., & Lineback, D. R. (1990). Changes in carbohydrate fractions in enzyme-supplemented bread and the potential relationship to staling. *Starch/Starke*, 42, 385–394.
- Lyon, B. G., Champagne, E. T., Vinyard, B. T., & Windham, W. R. (2000). Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices. *Cereal Chemistry*, 77, 64-69.
- Martin, P. (2004). Controlling the bread making process: The role of bubbles in bread. *Cereal Foods World*, 49, 72-75.
- Martin, M.L., Zeleznak, K.J. & Hosene, R.C. (1991). A mechanism of bread firming. II. Role of starch swelling. *Cereal Chemistry*, 68, 498-503.
- Naito, S., Fukami, S., Mizokami, Y., Hirose, R., Kawashima, K., Takano, H., Ishida, N., Koizumi, M., & Kano, H. (2005). The effect of gelatinized starch on baking bread. *Food Science and Technology Research*, 11, 194-201.
- Nakamura, S., Satoh, H., & 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.
- Nakamura. S., Suzuki, K., & Ohtsubo, K. (2009). Characteristics of bread prepared

- from wheat flours blended with various kinds of newly developed rice flours. *Journal of Food Science*, 74, 121-130.
- Nishita, K. D., & Bean, M. M. (1982). Grinding methods: Their impact on rice flour properties. *Cereal Chemistry*, 59, 46-49.
- Oka, H. I. (1988). *Origin of cultivated rice*. Japan Scientific Societies Press. Tokyo.
- Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., & Lindhauer, M.G. (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *Food Science and Technology*, 44, 681-686.
- Osborne, T. B. (1907). *The proteins of the wheat kernel*. Carnegie Institute. Washington, D.C.
- Rai, S., Kaur, A., Singh, B., & Minhas, K. S. (2011). Quality characteristics of bread produced from wheat, rice and maize flours. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 786-789.
- Renzetti, S., & Arendt, E.K. (2009). Effect of protease treatment on the baking quality of brown rice bread: From textural and rheological properties to biochemistry and microstructure. *Journal of Cereal Science*, 50, 22-28.
- Rewthong, O., Soponronnarit, S., Taechapairoj, C., Tungtrakul, P., & Prachayawarakorn, S. (2011). Effects of cooking, drying and pretreatment methods on texture and starch digestibility of instant rice. *Journal of Food Engineering*, 103, 258-264.
- Roger, P., & Colonna, P. (1996). Molecular weight distribution of amylose fractions obtained by aqueous leaching of corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 19, 51-61.
- Roger, P., Bello-perez, L. A., & Colonna, P. (1999). Contribution of amylose and amylopectin to the light scattering behaviour of starches in aqueous solution. *Polymer*, 40, 6897-6909.
- Rogers, D.E., Zeleznak, K.J., Lai, C.S., & Hoseney, R.C. (1988). Effect of native lipids, shortening, and bread moisture on bread firming. *Cereal Chemistry*, 65, 398-401.
- Rojas J.A., Rosell C.M., & Barber C.B. (1999). Pasting properties of different wheat flour hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*, 13, 27-33.
- Senti, F.R., & Dimler, R.J. (1960). Changes in starch and gluten during agine of bread. *Bakers Dig*, 34, 28-32.
- Shibanuma, K., Takeda, Y., Hizukuri, S., & Shibata, S. (1994). Molecular structures of some wheat starches. *Carbohydrate Polymers*, 25, 111-116.
- Shibata, M., sugiyama, J., Tsai, C. L., Tsuta, M., Fujita, K., Kokawa, M., & Araki, T. (2011). Evaluation of viscoelastic properties and air-bubble structure of bread containing gelatinized rice. *Procedia Food Science*, 1, 563-567.
- Sluimer, P. (2005). Principles of breadmaking: Functionality of raw materials and

- process steps. *American Association of Cereal Chemists*.
- Smith, B.M., Bean, S.R., Herald, T.J., & Aramouni, F.M. (2012). Effect of hpmc on the quality of wheat-free bread made from carob germ flour-starch mixtures. *Journal of Food Science*, 77, 684-689.
- Stear, A.C. (1990). Chemical changes in yeasted doughs during fermentation. *Handbook of Breadmaking Technology*. Elsevier Science. Barking, England.
- Takahashi, K., Okunishi, T., Suzuki, K., & Yukizaki, C. (2011). Processing suitability evaluation method for rice bread and evaluation of rice flour produced in miyazaki. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 58, 55-61.
- Takahashi, M., Homma, N., Morohashi, K., Nakamura, K., & Suzuki, Y. (2009). Effect of Rice Cultivar Characteristics on the Rice Flour Bread Quality. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 56, 394-402.
- Takano H. (1984). Report of Research Project of Research Council of Agriculture. Forestry and Fisheries Japan, 161, 117-130.
- Taofik A. S., Rashidat A. A., & Evelyn O. A. (2009) Functional effects of xanthan gum on composite cassava-wheat dough and bread. *Food Hydrocolloids*, 23, 2254–2260
- Tester, R. F., Karkalas, J., & Xin Q. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39, 151–165.
- Toufeili, I., Habbal, Y., Shadarevian, S., & Olabi, A. (1999). Substitution of wheat starch with non-wheat starches and cross-linked waxy barley starch affects sensory properties and staling of Arabic bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 1855-1860.
- Tsai, C. L., Sugiyama, J., Shibata, M., Kokawa, M., Fujita, K., Tsuta, M., Nabetani, H., & Araki, T. (2012). Changes in the texture and viscoelastic properties of bread containing rice porridge during storage. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 76, 331-335.
- Watanabe, M., Maeda, T., Tsukahara, K., Kayahara, H., & Morita, N. (2004). Application of pregerminated brown rice for breadmaking. *Cereal Chemistry*, 81, 450–455.
- Yoshii, Y., Homma, N., & Akaishi, R. (2011). Development of rice processing technology in Niigata prefecture. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 58, 187-195.
- Yoza, K., Matsuki, J., Okadome, H., Okabe, M., Suzuki, K., Okunishi, T., Kitamura, Y., Horigane, A., Yamada, S., & Matsukura, U. (2010). Breads made from rice flours prepared by different milling methods. *Report of National Food Research Institute*, 74, 37-44.
- Yoza, K., Okabe, M., & Shima, J. (2008). Present state and issues of rice powder utilization : rice bread. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 55, 444-454.

行政院衛生署食品藥物管理局。(2012)。行政院衛生署食品藥物管理局台灣地區
食品營養成分資料庫。

(<http://consumer.fda.gov.tw/FoodAnalysis/ingredients.htm>)

U.S. Wheat Associates (<http://www.uswheat.org/>)



附錄

一般代碼表

中文名稱	英文名稱	英文縮寫
市售糯米	Commercial waxy rice	CW
市售白米	Commercial rice	CR
調濕至水分 8%	Tempered to 8%	CR8%
調濕至水分 16%	Tempered to 16%	CR16%
市售白粉質粒米	Commercial chalky rice	CCR
市售高直鏈米	Commercial high amylose rice	CHA
翠釋秈米	Indica rice	IR64
市售台梗 9 號米	Commercial japonica rice	TK9
市售台梗 9 號米(第二批)	Commercial japonica rice	TK9II
市售台梗 9 號白粉質粒米	Commercial japonica chalky rice	TK9IIc
市售白米(第二批)	Commercial rice	CRII
市售碎米	Commercial broken rice	BR
鎚式磨粉機	Hammer mill	MA
設定一	Setting 1	MA1
設定二	Setting 2	MA2
混合式磨粉機	Combined mill	MB
設定一	Setting 1	MB1
設定二	Setting 2	MB2
設定三	Setting 3	MB3
氣流式磨粉機	Jet mill	MC
快速糊液黏度分析	Rapid visco analysis	RVA
質地剖面分析	Texture profile analysis	TPA
調幅式示差掃描熱分析儀	Modulated Differential Scanning Calorimetry	MDSC
配粉	Blend flour	
方法一	Method 1	BF
方法二	Method 2	BFII
白米穀粉麵包	CR rice flour bread	CRF
白米飯麵包	CR cooked rice bread	CRR
台梗 9 號穀粉麵包	TK9 rice flour bread	TK9F
台梗 9 號飯麵包	TK9 cooked rice bread	TK9R

組合式代碼表

格式	範例	說明
(米種縮寫)_(磨粉設定縮寫)	CR_MA2	以 MA2 所製之 CR 米穀粉
(米種縮寫)b_(磨粉設定縮寫)	CRb_MA2	以 CR_MA2 米穀粉，經相同製程所製之米麵包
(米種縮寫)s_(磨粉設定縮寫)	CRs_MA2	以 CR_MA2 米穀粉，製作相同比體積之米麵包
BF(數字)	BF10	經配粉之 10% 直鏈澱粉含量之米穀粉
BFII(數字)	BFII10	經第二種配粉方式配粉之 10% 直鏈澱粉含量之米穀粉

