

國立台灣大學生物資源暨農學院食品科技研究所

碩士論文

Graduate Institute of Food Science and Technology

College of Biosources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

不同加工條件對糙薏仁澱粉消化特性之影響
及開發具改善代謝症候群功效之糙薏仁產品

The effect of different processing conditions on starch
digestibility of dehulled adlay and the development of
product for attenuating metabolic syndrome

李婉君

Christine Wan-Chun Li

指導教授：謝淑貞

Advisor: Shu-Chen Hsieh, Ph.D

中華民國 106 年 7 月

July, 2017



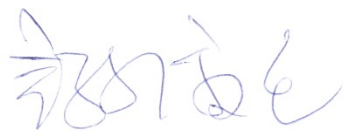
國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

不同加工條件對糙薏仁澱粉消化特性之影響及開發具改
善代謝症候群功效之糙薏仁產品

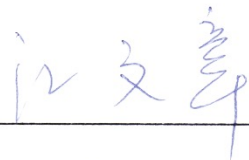
The effect of different processing conditions on starch
digestibility of dehulled adlay and the development of
product for attenuating metabolic syndrome

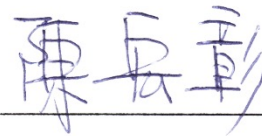
本論文係李婉君 君 (R04641028) 在國立臺灣大學食品科技研
究所完成之碩士學位論文，於民國 106 年 7 月 24 日承下列考試委
員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

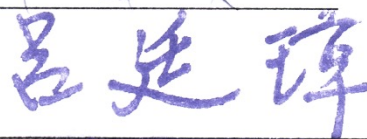


(指導教授)









所長

(簽名)

謝誌



碩士班兩年的生活一眨眼就過了，當初在因緣際會之下加入了謝老師實驗室的大家庭，收穫良多，感謝老師對我的耐心教導及引導，讓我能夠一步一步地完成實驗，雖然過程中一度遭遇瓶頸踏不出來，但老師仍然盡力幫忙，讓曾認為會延畢的自己如期完成論文及口試，心中滿懷感激，也感謝實驗室夥伴們的相互扶持及鼓勵，很開心我的碩士生活有你們。感謝 Leo 成為我的精神支柱為我分擔壓力，也感謝我的家人對我的關心及支持，希望在畢業後仍會記得謝老師曾說的話，讓自己努力從八十分邁向一百分！

中文摘要



近年來由於生活品質提升及生活型態改變，人們的生活習慣多趨向於缺乏運動及高糖高脂的飲食模式，進而導致高血壓、高血糖、高血脂、肥胖等慢性代謝疾病人口的增加。根據衛福部 2016 年國人十大死因統計發現，與代謝症候群相關疾病佔所有死因的 31.2%，已超過癌症的 27.7%，顯示代謝症候群已嚴重威脅國人健康，且代謝症候群會使患者罹患第二型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)的風險增加五倍，發展成心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)的風險增加兩倍。改善代謝症候群可以從生活型態著手，其中飲食控管佔重要地位。為了降低餐後高血糖，選擇低 GI(Glycemic index)，亦即慢性消化澱粉(slowly digestible starch, SDS)含量較高的澱粉類食物較為合適。SDS 的 GI 值較快速消化澱粉來得低，被分解成葡萄糖的速率較慢，能降低飯後高血糖以及胰島素分泌量，因而改善代謝症候群。因此本實驗目的為利用台灣糙薏仁為材料，測試不同加工方式對其慢性消化澱粉含量的影響，並找出能使慢性消化澱粉含量較高的加工條件，將此條件應用在產品開發，製作出適合給代謝症候群患者食用的糙薏仁產品。實驗結果顯示，蒸煮水量之影響不大，蒸煮時間越長則會提高薏仁澱粉消化速率，降低 SDS，而冷藏有助於 SDS 含量提升，以 SDS、快速消化澱粉(rapidly digestible starch, RDS)及感官品評等標準，最後篩選出以 50 度法一倍水量蒸煮 15 分鐘後冷藏一天為較佳的加工條件，且終產品之 RDS 顯著低於白飯，SDS 則顯著高於白飯，具有控制血糖的潛力。

關鍵字：糙薏仁、慢性消化澱粉、快速消化澱粉、代謝症候群、低 GI

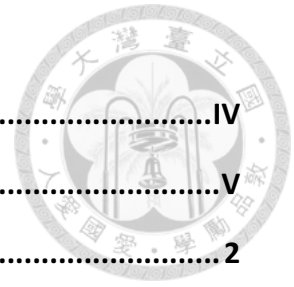
Abstract



In recent years, due to better life quality, people tend to live a sedentary lifestyle and have high-sugar or high-fat diet, which lead to increasing population with metabolic disorder, including hyperglycemia, hyperlipidemia, and hypertension. According to the top ten causes of death in 2016 reporter by Taiwan food and drug administration, metabolic syndrome (MetS) related disease have accounted for 31.2% of death, more than the 27.7% caused by cancer, indicating MetS has been a threaten for people's health. Indeed, MetS has been shown to increase 5-fold risk for diabetes and 2-fold risk for cardiovascular disease. To decrease MetS, diet control is of importance, and starchy foods with more SDS is a good choice to lower the postprandial glucose. SDS exhibits lower GI than RDS and can release glucose slowly, thus it can decrease hyperglycemia and hyperinsulinemia after meal to improve metabolic syndrome. In this study, we aimed to test the influence of different processing conditions on starch digestibility and the content of SDS and RDS using Taiwan dehulled adlay, expecting to find out a condition that can retain more SDS and then adopt this condition to develop products that are suitable for metabolic syndrome patients. As the results showed, the amount of water added for steaming didn't affect

starch digestibility of adlay significantly, while SDS content decreased as the steaming time prolonged. In addition to that, refrigeration can reduce starch digestibility and increase SDS content. Using the content of SDS, RDS and the result of sensory evaluation as screening parameters, we selected an optimized process condition to obtain the final adlay product, which acquired significantly lower RDS content and higher SDS content than cooked rice, indicating the potential to control blood sugar after meal.

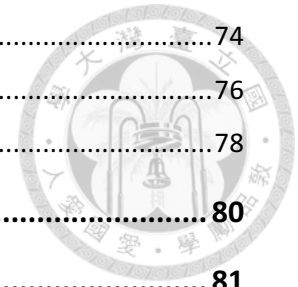
Key words: adlay, slowly digestible starch (SDS), rapidly digestible starch (RDS), metabolic syndrome



中文摘要.....	IV
Abstract.....	V
前言	2
第一章 文獻回顧.....	3
第一節 代謝症候群	3
1.1 代謝症候群的發展	3
1.2 定義	3
1.3 盛行率	4
1.4 治療	5
第二節 薏仁	5
2.1 基本介紹	5
2.2 基本成分及功效	6
2.3 薏仁澱粉結構	6
第三節 慢性消化澱粉	7
3.1 定義	7
3.2 功效	7
3.3 影響消化特性之因子	9
第四節 抗性澱粉(resistant starch, RS).....	10
第五節 澱粉體外消化方法學	11
5.1 人體澱粉消化過程	11
5.2 澱粉體外消化方法介紹與演變	12
5.3 澱粉體外消化三階段	13
5.4 體外消化系統	17
第二章 研究目的與實驗架構.....	19
第一節 研究目的	19
第二節 實驗架構	20
第三章 實驗材料與方法.....	21
第一節 實驗材料、藥品與器材	21
1.1 材料	21
1.2 藥品	21
1.3 器材	22

第二節	材料儲藏	23
第三節	澱粉體外消化實驗	23
3.1	澱粉體外消化	23
3.2	酵素液配製(需實驗當天配製)	26
3.3	關華豆膠溶液配製	26
3.4	Acetate acid buffer solution (0.1 M, pH 5.2)配製	26
3.5	80%酒精配製	27
3.6	葡萄糖標準溶液配製	27
第四節	總澱粉	27
4.1	總澱粉	27
4.2	KOH (2 M)溶液配製	28
4.3	Sodium acetate buffer (1.2 M, pH 3.8)配製	28
第五節	浸泡吸水率	28
第六節	蒸煮預實驗	28
第七節	米心率	29
第八節	樣品製備	29
第九節	冷凍乾燥	30
第十節	乾重	30
第十一節	直鏈澱粉含量	30
第十二節	感官品評	30
第十四節	生菌數	32
第十五節	統計方法	33
第四章	結果與討論	34
第一部分	薏仁澱粉基本構造	34
第一節	直鏈澱粉含量	34
第二部分	澱粉體外消化方法學	35
第一節	體外消化方法選擇	35
第二節	總澱粉	40
第三部分	產品加工條件篩選	43
第一節	浸泡吸水率預實驗	43
第二節	蒸煮預實驗	45
第三節	加工對薏仁澱粉消化之影響	52
第四節	感官品評	68
第五節	冷凍乾燥薏仁之澱粉消化	71

第六節	不同品種糙薏仁凍乾成品之澱粉消化比較	74
第七節	凍乾產品與薏仁一般吃法及白飯消化比較	76
第八節	安全性試驗—生菌數	78
第五章	結論	80
第六章	參考文獻	81
第七章	附圖	94

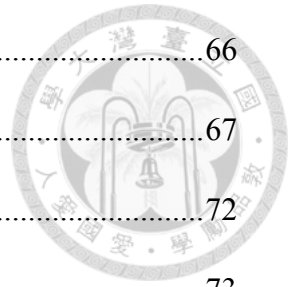


圖目錄



圖 1. 實驗架構.....	21
圖 2. 台灣糙薏仁直鏈澱粉及支鏈澱粉比例.....	34
圖 3. 以玉米澱粉測試澱粉體外實驗方法 A 及 B 之水解曲線.....	37
圖 4. 加膠與否對糙薏仁澱粉水解曲線的影響.....	39
圖 5. 試劑作用時間對台灣糙薏仁總澱粉結果之影響.....	41
圖 6. 不同品種薏仁及玉米澱粉之總澱粉含量.....	42
圖 7. 台灣糙薏仁浸泡吸水率曲線.....	44
圖 8. 兩種蒸煮方法之加工流程.....	46
圖 9. 兩種蒸煮方法之蒸煮時間對米心率之影響.....	47
圖 10. 50 度法一倍水量不同蒸煮時間之糙薏仁剖面.....	48
圖 11. 50 度法兩倍水量不同蒸煮時間之糙薏仁剖面.....	49
圖 12. 浸凍法一倍水量不同蒸煮時間之糙薏仁剖面.....	50
圖 13. 浸凍法兩倍水量不同蒸煮時間之糙薏仁剖面.....	51
圖 14. 50 度法一倍水量及兩倍水量比較.....	53
圖 15. 浸凍法一倍水量及兩倍水量比較.....	54
圖 16. 50 度法一倍水量蒸煮時間之影響.....	57
圖 17. 50 度法兩倍水量蒸煮時間之影響.....	58
圖 18. 浸凍法一倍水量蒸煮時間之影響.....	59
圖 19. 浸凍法兩倍水量蒸煮時間之影響.....	60
圖 20. 50 度法一倍水量不同蒸煮時間之冷藏變化.....	64
圖 21. 50 度法兩倍水量不同蒸煮時間之冷藏變化.....	65

圖 22. 浸凍法一倍水量不同蒸煮時間之冷藏變化.....	66
圖 23. 浸凍法兩倍水量不同蒸煮時間織冷藏變化.....	67
圖 24. 不同加工條件凍乾成品之消化特性.....	72
圖 25. 台灣糙薏仁原料(A)及最終凍乾成品照片(B).....	73
圖 26. 不同品種糙薏仁凍乾成品之消化特性.....	75
圖 27. 台灣糙薏仁凍乾成品與生薏仁、薏仁一般煮法、白飯之消化特 性比較.....	77



表目錄

表 1. A 法及 B 法之生玉米澱粉水解曲線參數及 RDS、SDS、RS.....	38
表 2. 感官品評受試者之人數、性別、年齡.....	69
表 3. 不同加工條件凍乾成品之感官品評結果.....	70
表 4. 台灣糙薏仁終產品生菌數檢測結果.....	79



附圖目錄



附圖 1. 各國際組織對代謝症候群之定義.....	94
附圖 2. 台灣 2005~2008 年年齡別、性別之代謝症候群盛行率.....	95
附圖 3. 薏仁及其他穀類基本成分百分比.....	95
附圖 4. RDS、SDS、RS 之時間定義	96
附圖 5. RDS、SDS、RS 造成之飯後血糖反應曲線	96
附圖 6. 不同破碎方法對澱粉水解率之影響.....	97
附圖 7. 唾液接觸時間對澱粉水解出之葡萄糖量影響.....	98
附圖 8. 唾液接觸時間對後續澱粉體外水解率之影響.....	99
附圖 9. 胃蛋白酶對澱粉水解率之影響.....	100
附圖 10. 添加關華豆膠對胃階段及小腸階段澱粉水解率之影響.....	101
附圖 11. 酸鹼值對胰酶穩定性之影響.....	103
附圖 12. 不同支鏈澱粉鏈長之糊化澱粉在回凝過程之 RDS、SDS 及 RS 變化.....	104
附圖 13. 黑薏仁及白薏仁之支鏈澱粉鏈長分佈.....	105
附圖 14. 生薏仁之支鏈澱粉鏈長分佈.....	105

縮寫表



英文縮寫	英文全名	中文名
CVD	Cardiovascular disease	心血管疾病
GI	Glycemic index	升糖指數
MetS	Metabolic syndrome	代謝症候群
PCA	Plate count agar	塗盤計數培養基
RDS	Rpidly digestible starch	快速消化澱粉
RS	Resistant starch	抗性澱粉
SDS	Slowly digestible starch	慢性消化澱粉
TCS4	Taichung selective NO.4	台中選育四號
TS	Total starch	總澱粉
T2DM	Type 2 diabetes mellitus	第二型糖尿病

前言



現今社會步調快速、科技發達，使得人們的生活型態逐漸改變，追求方便快捷，也因此影響到飲食型態與運動習慣，忙碌的生活使人們沒時間下廚而尋求外食，然而外食卻常常偏向高油、高糖、高鹽飲食，長期食用之下會對健康造成負面影響，又若沒有規律的運動習慣，很容易會提高罹患代謝症候群的風險。由台灣政府西元 2005 年至 2008 年統計資料顯示，台灣人民 19 歲以上男性的代謝症候群盛行率達 25.7% 以上，女性則達 20.4% 以上，且盛行率隨年齡增長而上升，此數據透露出代謝症候群的嚴重性，而從飲食進行控管是最基本的方法。澱粉類食物是造成餐後血糖變化的主要原因，若澱粉被快速分解成葡萄糖，會使血糖急劇上升，研究指出這會導致罹患代謝症候群的機率上升，因此選擇合適的澱粉類食物是進行飲食控管的關鍵，近年來低 GI 飲食逐漸興起，也使得科學家投入心血研究慢性消化澱粉 (slowly digestible starch, SDS)，SDS 被消化吸收的速率相對緩慢，因此不會造成過於急遽的血糖上升現象，有助於控制血糖，進而降低代謝症候群的風險，提升澱粉中 SDS 的比例，使澱粉消化速率降低，可使人們吃得更健康。



第一節 代謝症候群

1.1 代謝症候群的發展

近年來由於生活品質提升及生活型態改變，人們的生活習慣多趨向於缺乏運動及高糖高脂等不當飲食，進而導致高血壓、高血糖、高血脂、肥胖等慢性代謝疾病人口增加。根據衛福部 2016 年國人十大死因統計發現，與代謝症候群有關的心臟病、腦血管疾病、糖尿病、腎臟疾病等，占有所有死因的 31.2%，已超過癌症的 27.7%，由此顯示，代謝症候群已經嚴重威脅國人健康。

1.2 定義

代謝症候群 (metabolic syndrome) 指生理代謝層面的心血管危險因子的聚集現象，這些危險因子主要包括高血壓 (或血壓偏高但未達高血壓診斷標準)、血脂異常 (dyslipidemia) (包含血中三酸甘油酯偏高、高密度脂蛋白膽固醇偏低等脂質代謝異常)、糖尿病 (或空腹血糖偏高/葡萄糖耐受不良 (glucose intolerance))、肥胖 (特別指中心肥胖 (central obesity) 或稱腹部肥胖)、以及高尿酸與凝血因子的不正常等。

代謝症候群之判定標準在世界上有諸多版本，目前已釋出代謝症候群定義的國際組織包括：世界衛生組織 (World Health Organization, WHO)、歐洲胰島素阻抗研究協會 (European Group for the study of Insulin Resistance, EGIR)、美國膽固醇教育計畫成人治療第三版 (National Cholesterol Education



Programme Adult Treatment Panel III, NCEP ATP III)、美國臨床內分泌學家協會 (American Association of Clinical Endocrinologists, AACE)、國際糖尿病聯合會 (International Diabetes Federation, IDF), 其判定標準如附圖 1 所示。

台灣衛生福利部國民健康署已於 2004 年經邀集專家及專業團體, 參酌我國國情, 訂定我國之代謝症候群臨床診斷準則, 於 2007 年 1 月 18 日公告實施。即以下 5 項危險因子中, 若包含 3 項或以上者可判定為代謝症候群:

- (1) 腹部肥胖: (腰圍: 男性 $\geq 90\text{cm}$ 、女性 $\geq 80\text{cm}$)。
- (2) 高血壓: 收縮血壓 (SBP) $\geq 130\text{mmHg}$ / 舒張血壓 (DBP) $\geq 85\text{mmHg}$ 。
- (3) 高血糖: 空腹血糖值 (FG) $\geq 100\text{mg/dl}$ 。
- (4) 高密度脂蛋白膽固醇 (HDL-C): 男性 $< 40\text{mg/dl}$ 、女性 $< 50\text{mg/dl}$ 。
- (5) 高三酸甘油酯 (TG) $\geq 150\text{mg/dl}$ 。

1.3 盛行率

附圖 2 為根據「2005-2008 國民營養健康狀況變遷調查 (Nutrition and Health Survey in Taiwan)」得出之數據圖, 19 歲以上男性盛行率為 25.7%, 女性為 20.4%。65 歲以上男性為 44.5%。女性有 57.3% 罹患代謝症候群。不論性別, 於 45-65 歲年齡層, 代謝症候群之盛行率均約 3 成左右, 可知代謝症候群盛行率隨年齡增加而上升。



1.4 治療

代謝症候群會使患者罹患第二型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 的風險增加五倍，發展成心血管疾病 (cardiovascular disease, CVD) 的風險增加兩倍 (Alberti et al., 2009)。因此落實管理及治療來降低後續疾病的風險對於代謝症候群患者是一項重要的議題。有效的預防方法包括生活方式的改變，主要是減輕體重、注意飲食、運動以及適當使用藥劑來降低特定風險因素。

飲食方面，低GI食物被證實可以改善代謝症候群患者的高血脂及高血糖 (Jenkins et al., 2002)，而高GI食物則和胰島素阻抗及代謝症候群盛行率正相關 (McKeown et al., 2004)。

第二節 薏仁

2.1 基本介紹

薏仁為薏苡種實脫殼後之產物，又名川穀、鳩麥、回回來、菩提子等，學名為 *Coix lachryma-jobi* L.，英文名為 adlay 或是 Job's tears，屬於禾本科薏苡屬草本植物。外型呈長橢圓狀，長約5毫米，目前國內栽種品種有台中1、2、3號及台中選育4號，其中台中選育4號 (Taichung selective No.4, TCS4) 薏苡籽實從外到內每個部位的重量百分比為薏苡殼(35.8%)、薏苡種皮(6.8%)、薏仁麩皮(4.3%)及精白薏仁(53.1%) (黃和江，1999)；一般市售的紅薏仁即為含薏仁麩皮的糙薏仁。



2.2 基本成分及功效

薏仁自古以來就常被用作中藥材或是食療材料，其基本成分主要為澱粉(59.5%)、蛋白質(14.2%)、脂肪(11.0%)、水分(12.8%)、纖維(1.2%)、灰分(1.3%)，其中蛋白質及脂肪含量較其他穀類高，如附圖 3 所示。


先前研究指出，薏仁具有降血脂(Yu et al., 2005)、降血糖(Yeh et al., 2006; Yokoi et al., 2009)、降膽固醇(Wang et al., 2012)等活性，是一具有潛力的食療材料。依據黃(2002)研究指出，在相同劑量(40%取代飼料)下，TCS4降低血中三酸甘油酯及血膽固醇的功效顯著優於泰國的品種，顯示不同產地及品系的薏仁其功效活性亦有所差異。此外，王(2002)的研究有以下發現：

- 1.TCS4薏仁與進口薏仁比較起來有較多谷固醇 β -sitosterol的含量；
- 2.薏苡素(coixol)在薏苡籽實各個不同部位當中，均是以薏苡殼含量最多，其次依序是麩皮、糙薏仁和精白薏仁。
- 3.TCS4 薏仁殼及種皮的 ferulic acid 含量均多於其他部位材料,具有抗氧化之生理機能性。

由以上結果發現:TCS4 薏仁與進口薏仁比較起來具有較多之生理活性物質，具有開發成抗氧化、抗醱化及外用保健產品的潛力。

2.3 薏仁澱粉結構

薏仁澱粉顆粒由掃描式電子顯微鏡觀察呈現多邊形圓球狀，表面有孔洞分佈，而澱粉顆粒大小主要落在兩個範圍，分別為 0.2~3 μm 及 3-30 μm ，平均大小約為 12 μm 左右。由 XRD 圖譜可得知薏仁澱粉屬



於 A 型澱粉，為穀類常見的澱粉類型。而其支鏈澱粉鏈長分佈大部份落在 DP 13~24 之間，與小麥、大麥及其他 A 型澱粉類似，薏仁澱粉平均鏈長約為 DP 21，則較小麥 (DP 23.3) 及大麥 (DP 25.7) 短 (Chaisiricharoenkul et al., 2011; Liu et al., 2016; Kim et al., 2016; Jane et al., 1999; Ao and Jane, 2007)。


第三節 慢性消化澱粉

3.1 定義

澱粉是提供人類生長代謝主要的能量來源之一。而依澱粉被分解消化的速率可以分為三大種：快速消化澱粉 (RDS)、慢性消化澱粉 (SDS) 及抗性澱粉 (resistant starch, RS) (Englyst et al., 1992; Englyst and Englyst, 2005)，快速消化澱粉可以在 20 分鐘內被消化分解，慢性消化澱粉則是在 20 至 120 分鐘之間被分解者，120 分鐘之後尚未被分解的為抗性澱粉，如附圖 4 所示。

3.2 功效

相對來說，SDS 的 GI 值較 RDS 來得低，可以減少血糖負荷 (Ells et al., 2005; Englyst et al., 2003)，而低 GI 飲食已被臨床研究證實對長期血糖控管有適度改善的效果 (Brand et al., 1991; Wolever et al., 1992)。第二型糖尿病患者的相關研究顯示，低 GI 飲食能顯著降低低密度脂蛋白膽固醇 (LDL cholesterol)、游離脂肪酸、載脂蛋白 B (apolipoprotein B)、第一型胞漿素原活化抑制劑 (plasminogen activator inhibitor 1, PAI-



1)(Wolever et al., 1992; Rizkalla et al., 2004)。食入 RDS 後會造成胰島素分泌及血糖快速上升，導致一系列的健康問題，例如：糖尿病及心血管疾病。而 SDS 被分解成葡萄糖的速率較慢，造成的飯後血糖反應及胰島素分泌較低且較持久(附圖 5)，且能降低膽固醇(Ells et al., 2005)，此類型的澱粉能幫助控制及預防糖尿病及代謝症候群相關疾病。

此外，食入 SDS 後的三至五個小時，體內的腸道內分泌賀爾蒙 GLP-1 (glucagon-like peptide-1) 及 GIP (glucose-dependent insulintropic polypeptide) 會增加，GLP-1 及 GIP 分別由迴腸的 L 細胞 (L-cell) 及十二指腸的 K 細胞 (K-cell) 因腸內葡萄糖量的提高才開始分泌，並刺激 β 細胞分泌胰島素，具有調節胰島素的功能，其中 GLP-1 可抑制升糖素 (glucagon) 分泌、降低胃排空效應且可抑制食慾，此現象可能表示 SDS 具有調節後期階段餐後血糖平衡和能量儲存的能力 (Wachters-Hagedoorn et al., 2006)。

總結來說，SDS 能降低飯後高血糖以及胰島素分泌量，而較低的血糖及胰島素能改善代謝症候群風險因子，包括促進胰島素敏感性、 β 細胞功能、高密度脂蛋白膽固醇等 (Bjorck et al., 2000; Aston, 2006)，進而幫助控管或預防代謝症候群相關疾病。



3.3 影響消化特性之因子

3.3.1 澱粉結構

SDS 緩慢釋放葡萄糖的原因可以從澱粉的結構來討論，以生澱粉而言，影響因子包括澱粉粒內部的結晶型態、直鏈澱粉與支鏈澱粉的比例、支鏈澱粉的結構及澱粉粒表面特性 (Oates, 1997)。天然穀類澱粉是較理想的 SDS 來源，由於其結構的關係使其被消化分解的速率緩慢，穀類澱粉屬於 A 型澱粉結構，澱粉粒由結晶區及非結晶區以同心圓方式層層堆疊組合而成，且有通道連接澱粉粒中心至表面孔洞，消化酵素會從孔洞進入通道，同時由孔洞表面及通道表面進行結晶區及非結晶區的消化作用 (Tester et al., 2002)，A 型生澱粉含有約 50% 的 SDS，然而若是將天然穀物和馬鈴薯澱粉在進行試驗前先置入沸水 20 分鐘，則天然穀物澱粉 SDS 的含量將會從原本約 50% 的含量減少至 10%，相反地，RDS 含量會從 25% 增加至 85%。而 B 型馬鈴薯澱粉 SDS 的含量原本只有 15%，含量也會減少至約 10%，RDS 含量則會從 10% 增加至 84%。從這個結果可以看出加熱後 A 型穀物澱粉和 B 型馬鈴薯澱粉之間消化情形的差異會消失，而相同的試驗結果也可以在米、小麥和玉米澱粉中發現。Hamaker (2006) 認為因為烹煮的過程中會完全摧毀天然穀物澱粉粒的半結晶結構，所以從 SDS 消失和 RDS 增加的情形可以確認天然穀物中 A 型的結晶結構才是它們緩慢消化的重要因素 (Zhang et al., 2006)。



3.3.2 糊化、熱、水分

生澱粉的消化速率較糊化澱粉緩慢。澱粉顆粒在糊化過程中會吸水膨潤，溫度上升至糊化溫度以上時澱粉粒的結晶構造會逐漸被破壞，澱粉顆粒變鬆散，使得酵素容易進入澱粉粒進行消化作用，緩慢消化的特性就會降低或是喪失，因此糊化程度會影響澱粉消化速率。


糊化程度主要決定於水量、烹煮時間及溫度，這幾個因素會進一步影響SDS的生成量及血糖反應(Wolever et al., 1986a, 1986b; Holm et al., 1992; Granfeldt et al., 1994; Garsetti et al., 2005)，可以藉由降低加熱溫度、減少水量、縮短加熱時間來降低澱粉的糊化程度，藉此保留較多的SDS(Miao et al., 2015)。

3.3.3 回凝(retrogradation)

改變澱粉結構的方式最常見的就是以低溫或冷藏使澱粉產生回凝作用(retrogradation)，使澱粉結構重組，直鏈澱粉或支鏈澱粉長鏈部位交互作用形成不完美結晶，降低澱粉被酵素水解放化的速率。

第四節 抗性澱粉(resistant starch, RS)

RS 無法被腸胃道酵素消化分解成葡萄糖，被定義為無法在 120 分鐘內被分解的澱粉，但可作為益生質在大腸中被微生物發酵，具有類似膳食纖維的功能。RS 可被分為五個種類，分別為 RS1~RS5，RS1 因物理構造的關係被包覆在無法被分解的網狀結構中，使澱粉酵素無法分解 RS1;RS2 為未糊化的 B 型澱粉，如香蕉及生馬鈴薯;RS3



為糊化後經過回凝作用之澱粉;RS4 為經過化學修飾使其具有不被澱粉酶分解之特性的澱粉;RS5 為直鏈澱粉與脂質形成之複合物。文獻指出抗性澱粉具有許多對人體有益的功能，包括預防糖尿病、心血管疾病、肥胖等，且可降低血糖(Grabitske and Slavin, 2009; Sharma et al., 2008; Scholz-Ahren et al., 2007; Bronus et al., 2002; Nugent, 2005)。

第五節 澱粉體外消化方法學

5.1 人體澱粉消化過程

當含有澱粉的食物被食入後，首先會在口腔中被牙齒及舌頭咬碎並混合，同時，唾液中的澱粉酶(α -amylase)會進行初步澱粉分解。接下來食團被吞入，經過食道抵達胃部，胃會分泌胃蛋白酶及胃酸，使環境酸鹼值下降至約 2.6，是蛋白質主要被分解的地方。食團經過胃的消化後通過十二指腸進入小腸，由於小腸和胰臟有管線相連，因此食團會在小腸中接觸到胰臟所分泌的澱粉酶、脂肪酶、蛋白酶等，而澱粉最主要的分解消化作用會在此處進行，澱粉酶會將澱粉的鍵結切斷釋出葡萄糖，葡萄糖再經由腸壁吸收進入血液中，造成餐後血糖上升，此一系列的作用這就是人體消化澱粉的大致過程。




5.2 澱粉體外消化方法介紹與演變

由於糖尿病及血糖相關疾病盛行率愈趨嚴重，使得人們越來越重視血糖的控管，也因此凸顯出食物造成餐後血糖反應研究的重要性，要對所吃的食物有所瞭解才能對症下藥，選擇合適的食物來進行血糖控管，因此近年來越來越多研究者致力於開發低 GI 食品。GI 的測量需要人體食入樣品食物後檢測其兩小時之間的血糖變化，是個需要龐大資源、花費的時間及金錢多的檢測方法，並不適合用在新產品開發的過程，因此逐漸發展出較快速方便的體外澱粉消化實驗方法來代替人體實驗，以下簡單介紹方法的演變。

Southgate (1969a; 1969b)提出了測定食物中可被消化及不可被消化的碳水化合物測定方法，藉由加入葡萄糖苷酶(amyloglucosidase 及 pullulanase)來分解澱粉，但由於仍有澱粉無法被完全分解而引發一些爭議。因此 Englyst (1982)在方法上面做了一些調整，利用 α -amylase 及 pullulanase 水解可被消化的澱粉，再用 amyloglucosidase 以更激烈的方式水解不可消化之澱粉。而從 1990 年代開始到現在，科學家們提出的體外澱粉消化方法著重在模擬人體內的消化條件，希望能更加重現真實的消化狀況。Granfeldt and Bjorck (1991)使用了創新的消化方法，將食物消化的三個階段納入體外消化方法中，包括口腔階段、胃階段及小腸階段，在那之後陸續有其他科學家效仿這種實驗方法，但之間會有些微的改良或採用條件不同，通常這些方法會同時與體內消化數據進行比較。

在西元 1992 年時，Englyst 等人將澱粉依照其消化速率做了嶄新的定義，將澱粉劃分成三種形式，分別是 20 分鐘內可被消化的快速消化




澱粉(RDS)、20 到 120 分鐘間被消化的慢性消化澱粉(SDS)以及 120 分鐘後仍無法被消化的抗性澱粉(RS)，但是 Englyst 等人在澱粉消化實驗中僅在兩個時間點取樣，20 分鐘及 120 分鐘，單藉由這兩點測得的葡萄糖濃度去換算澱粉百分比，並沒有將澱粉水解的反應過程納入考量。西元 1997 年 Goni 等人增加澱粉消化過程的取樣時間點，從 0 分鐘開始每隔 30 分鐘取樣一次直到 180 分鐘，再將這些取樣點的葡萄糖濃度換算為澱粉水解率並以非線性回歸計算出曲線，可看出整個消化過程的變化，而回歸得到的公式 $C=C_{\infty}(1-e^{-kt})$ 可得知水解曲線的平衡水解率 (C_{∞}) 及反應速率常數 (k)，只要套入某時間點即可計算出其澱粉水解率。目前最被廣泛使用的方法為 Englyst 等人 (1992) 所提出的實驗方法。

5.3 澱粉體外消化三階段

為了模擬人體中消化情形，將口腔、胃部及小腸的條件納入實驗中，但不同科學家採用的條件會有些許差異，也造成在方法上面的多樣化，接下來就針對不同消化階段做個整理和討論。

5.3.1 口腔

口腔階段最主要的功用就是將食物咬碎，而若要達到最真實的狀況就是直接請實驗參與者將食物樣品咀嚼後吐出再進行後續體外消化實驗 (Akerberg et al. 1998; Muir et al. 1995; Woolnough et al. 2010)，但是不同個體咀嚼的習慣和方式有所不同，很容易造成實驗誤差，因此體外消化實驗多採用器具將樣品處理成較小的碎粒來模擬咀嚼後的樣子，較容易控管樣品的顆粒大小，而較常見的破碎方法有切碎(chop)、剁碎



(mince)和過篩(sieve)。Woolnough 等人(2008)針對這些常見的破碎法進行研究，探討不同破碎法是否對澱粉體外消化的水解數據有所影響，同時和咀嚼(chew)的組別進行比較，結果發現對於結構較於鬆散的樣品(例如：白麵包、鷹嘴豆)來說，破碎法並不會影響澱粉水解曲線，而小麥和義大利麵對於破碎法較於敏感(附圖 6)，可見不同破碎方法可能因為產生的顆粒大小不同而導致不同的體外消化結果，因此，針對不同樣品選擇合適的破碎方法使得消化實驗數據更貼近體內消化數據是很重要的。

除了食物的破碎方法之外，在口腔階段需討論的另一個影響因素是唾液中含有澱粉酶(α -amylase)，能夠分解澱粉，為了更加模擬真實消化狀況，有些文獻會將唾液的影響納入實驗中(Brighenti et al., 1995; Lebet et al., 1998; Urooj and Puttraj, 1999; Mishra et al., 2008)。為探討唾液或口腔階段添加的 α -amylase 對於體外消化實驗是否為必要，Woolnough 等人(2010) 將澱粉食物經過人體咀嚼後靜置不同時間(0 分鐘、5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘)使其與唾液中的澱粉酶反應，再接續體外消化實驗，並將以器具切碎且無添加唾液之組別作為比較，結果顯示經過嘴巴咀嚼過的組別其被分解出的葡萄糖會比切碎的組別多，但隨著與唾液接觸的時間拉長，分解出的葡萄糖並不會有顯著提升的現象(附圖 7)。除此之外，在開始進行體外消化實驗之後，任何顯著差異均在十分鐘內消失，也就是說不論有無唾液的前處理，在加入後續的澱粉酵素進行水解反應後，水解曲線會趨近相似，因此口腔階段的唾液並不會影響整體消化的速率和程度(附圖 8)，而在唾液作用階段所分解出



的葡萄糖可被歸類為”極度快速消化澱粉”，當小腸階段開始進行之後，這些極度快速消化澱粉即可被分類至快速消化澱粉(RDS)之中。

5.3.2 胃

胃部是蛋白質主要被水解的地方，根據 Holm and Bjorck (1988)的研究，澱粉和蛋白質之間的交互作用會限制澱粉酶接觸澱粉，為了盡量效仿人體內狀況，部分科學家會將胃部的酸鹼值變化及分泌的胃蛋白酶(pepsin)等因素納入實驗條件中 (Brennan et al., 1996; Goni et al., 1997; Lebet et al., 1998; Weurding et al., 2001)，而其他科學家則否 (Brighenti et al., 1998; Urooj and Puttraj, 1999; Araya et al., 2002)。Woolnough 等人(2008)探討了體外消化實驗中胃蛋白酶(pepsin)的影響，將實驗分為三個組別，分別為不加胃蛋白酶、加入胃蛋白酶作用 30 分鐘以及加入胃蛋白酶作用 60 分鐘三組，各組均有將酸鹼值調整至 2.5，發現對於大部分食物來說，不太會影響澱粉後續被消化水解的速率及程度，因此胃蛋白酶的作用步驟並不是必要的。然而若測試樣品是蛋白質含量較多且澱粉被蛋白質包覆的食物，像是有高密度蛋白質網狀結構的義大利麵，則須考慮添加胃蛋白酶進行體外澱粉消化(附圖 9)。除了胃蛋白酶之外，另一項影響因素為酸鹼值，若 Dartois 等人(2010)將體外消化分為兩個階段進行，第一階段加入模擬胃環境的消化液(pH 1.2)，第二階段再加入模擬小腸環境的澱粉酶，結果顯示在第一階段時並沒有澱粉被分解成葡萄糖，而是在第二階段開始之後澱粉水解率才急劇上升(附圖 10)。




5.3.3 小腸

小腸階段是整個體外消化實驗最主要的步驟，由於有澱粉酶的加入，使得澱粉水解反應幾乎都在此階段進行。這部分的影響因子較多，包括：選用的酵素種類、酸鹼值、消化液的濃稠度等等，接下來會一一討論。

首先，要進行水解反應最重要的就是要有酵素參與反應，而先前文獻選用的酵素主要有兩種，胰酶(pancreatin)或是澱粉酶(α -amylase)，搭配葡萄糖苷酶(amyloglucosidase)使用。澱粉酶(α -amylase)屬於內切酶，會隨機切斷澱粉的 α -1.4鍵結產生葡萄糖或是二聚體，而葡萄糖苷酶(amyloglucosidase)則屬於外切酶，會從澱粉的非還原端開始切斷 α -1.4鍵結和 α -1.6鍵結釋出葡萄糖，胰酶(pancreatin)則含有澱粉酶(α -amylase)及脂肪酶(lipase)，除了可水解澱粉之外也可水解脂質，先前研究點出脂質及澱粉之間的交互作用會降低澱粉在消化過程中的水解率(Guraya et al., 1997; Fardet et al., 1999)，因此將脂質消化的步驟納入實驗中會是較佳的方式，基於此原因，選擇胰酶作為澱粉體外消化實驗的酵素是較為理想的。

再來，酸鹼值是會影響酵素活性的一個重要因素，胰酶及澱粉酶的最適酸鹼值範圍落在pH 6~7之間，而葡萄糖苷酶的最適酸鹼值則落在pH 4~5之間，由於胰酶跟葡萄糖苷酶在實驗中會同時加入，所以為了使兩種酵素均保有較佳的活性，建議採用pH 5作為消化實驗的酸鹼值條件(Muir et al., 1995; Akerberg et al., 1998)。為了確保酵素不會因為使用錯誤的酸鹼值而造成澱粉水解率低估，Woolnough 等人(2008)針對胰

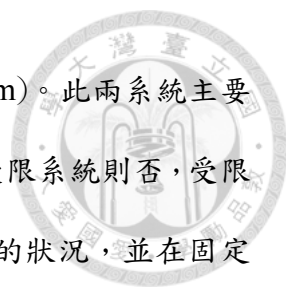


酶以近年各消化實驗所採用的酸鹼值 pH 4.0~6.9 進行穩定性試驗，實驗分兩階段加入樣品澱粉，發現當 pH 落在 5~6.9 時第二階段產生的水解曲線和第一階段相似，但當 pH 為 4 時，第二階段則無法產生類似第一階段該有的水解曲線，說明了胰酶在 pH 4 的環境中活性不穩定(附圖 11)，因此選擇胰酶作為體外消化實驗的酵素時，酸鹼值落在 5~6.9 之間均可以作用。

文獻記載食糜的黏度會影響體內澱粉消化的速率及吸收(Lifschitz et al., 2002; Turnbull et al., 2005)，會降低胃的排空速率，並降低酵素接觸到食糜的機會，因此照理來說應該要模擬食糜在體內的黏度狀況，測出來的澱粉水解率才會較真實，然而現今許多體外消化方法並沒有將黏度納入實驗中，唯有 Englyst 等人(1999)在體外消化時添加了關華豆膠增加黏稠度。Dartois 等人(2010)研究關華豆膠在澱粉體外消化的影響，添加關華豆膠之後澱粉的水解速率及水解程度顯著下降(附圖 10)，而這個現象是因為關華豆膠可以顯著增加黏稠度，並形成膠體網狀結構，將澱粉顆粒限制在膠體中，進而影響酵素及澱粉的傳遞，降低酵素的水解作用。為了確認黏稠度增加是唯一使澱粉水解率下降的原因，Dartois 將原本的體外消化時間兩小時拉長為六小時，在拉長的這段期間內並沒有發現更進一步的澱粉水解，說明關華豆膠的添加不僅延遲，也降低了澱粉消化反應。

5.4 體外消化系統

除了上述的三個階段在不同實驗方法中的細節不同之外，現有實驗方法採用的體外消化系統也有不同之處，主要分為兩大類：受限系統



(restricted system)及非受限系統(non-restricted system)。此兩系統主要的差別在於受限系統是在透析袋中進行實驗，而非受限系統則否，受限系統使用透析袋的目的是為了模擬腸道吸收葡萄糖的狀況，並在固定時間點吸取透析液進行葡萄糖濃度測定；非受限系統則是在試管中進行實驗，固定時間點吸取消化液分析葡萄糖濃度。非受限系統較被廣泛使用(例如 Goni et al., 1997; Englyst et al., 1992)，受限系統則較少被使用(例如 Grandfeldt et al., 1992)。Germaine 等人(2008)以穀類食品為材料對此兩個系統進行比較，同時將樣品破碎方法(咀嚼或剁碎)及破碎時有無添加澱粉酶等因素一起加入比較，結果發現以剁碎且不添加澱粉酶的方式破碎樣品配合非受限系統使用所測得之預估升糖指數和體內測得之升糖指數最接近。

第二章 研究目的與實驗架構



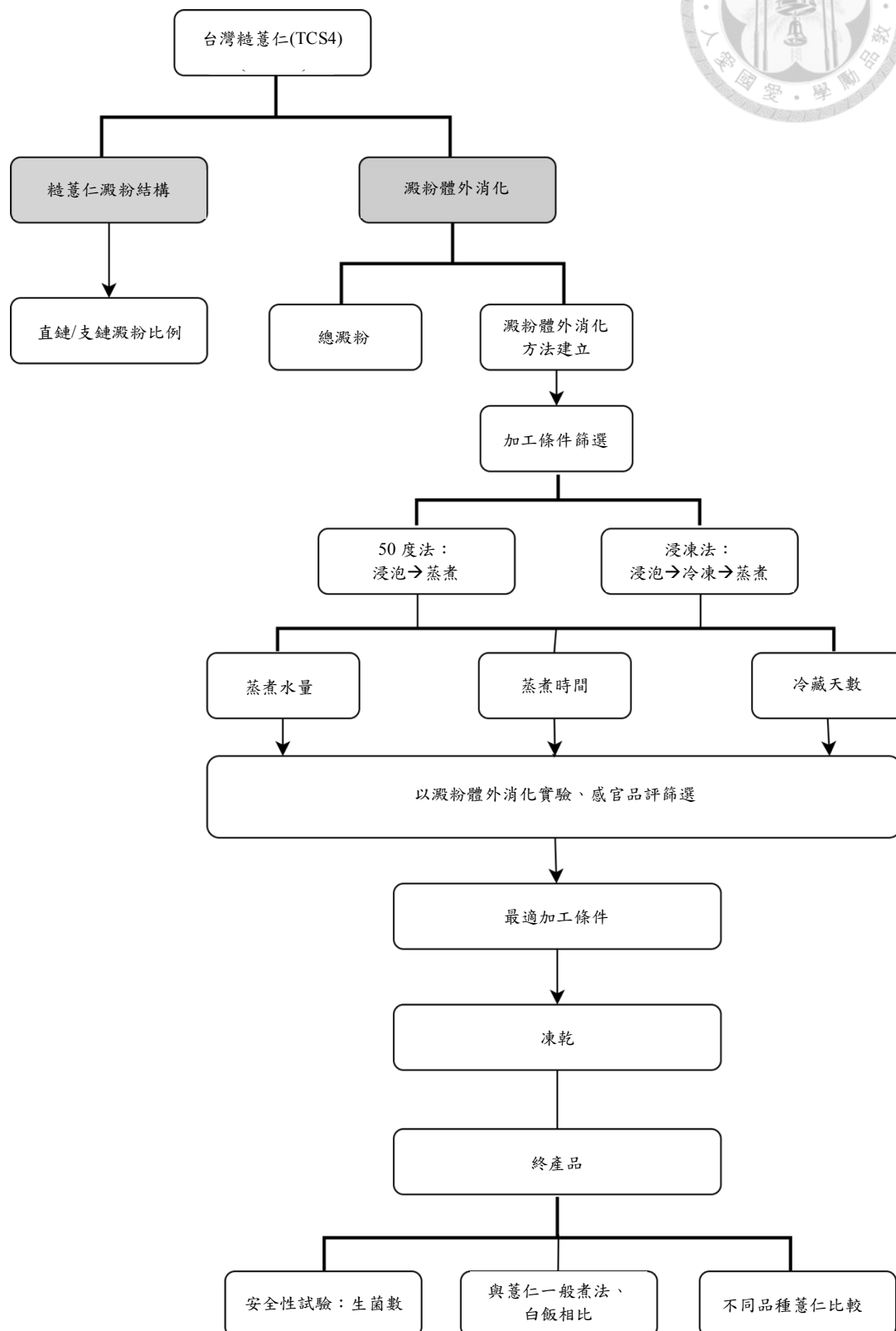
第一節 研究目的

台灣近十年代謝症候群盛行率的變化，男性從 13.6% 上升至 25.5%、女性從 26.4% 上升到 31.5%，且隨著年齡增長，盛行率亦有越高的趨勢。此現象透露出代謝症候群需被重視的必要性，若代謝症候群患者不進行健康控管的話，發展成糖尿病或是心血管疾病的風險會增加。而改善代謝症候群可以從生活型態著手，其中飲食控管佔重要地位，為了降低餐後高血糖，澱粉類食物選擇低 GI 者較合適，也就是慢性消化澱粉 (slowly digestible starch, SDS) 含量較高、快速消化澱粉 (rapidly digestible starch, RDS) 含量較低的澱粉類食物。

因此本實驗目的為利用台灣糙薏仁(台中選育 4 號)為材料，測試不同加工條件對其慢性消化澱粉含量及快速消化澱粉含量的影響，並找出能使慢性消化澱粉含量相對較高的加工條件，將此條件應用在產品開發，製作出適合給代謝症候群患者食用的糙薏仁產品，而現今社會人們步調快速，講求方便，因此產品的形式鎖定在即食型食品，不需進一步烹調即可食用。



第二節 實驗架構





第三章 實驗材料與方法

第一節 實驗材料、藥品與器材

1.1 材料

台灣台中選育 4 號糙薏仁 (江文章老師提供)

寮國黑殼糙薏仁 (江文章老師提供)

寮國白殼糙薏仁 (江文章老師提供)

越南糙薏仁 (江文章老師提供)

玉米澱粉 (S4126, Sigma)

白米 (三光米股份有限公司，產地：台灣南投縣名間鄉)

1.2 藥品

pancreatin (P7545, Sigma)

amylglucosidase (A7095, Sigma)

acetic acid (Macron)

GOPOD kit (Megazyme)

Total starch kit (Megazyme)

KOH

圖 1. 實驗架構

Figure 1. Flowchart of this study.



sodium acetate (1.06268.0250, Merck)

pepsin (1.07185.0100, Merck)

guar gum (G4129, Sigma)

benzoic acid

potato amylose (Sigma)

Hydrochloric acid (1.00317.2500, Merck)

Sodium hydroxide (昭和化學株式會社)

Sodium chloride (SO D002.1, BioShop)

Plate count agar (Becton Dickinson)

1.3 器材

ELISA reader (Epoch™ Microplate Spectrophotometer, BioTek Instruments)

100 ml 定量瓶 (KIMAX)

恆溫水浴槽(SB301, TKS)

抽濾機 (2511B-01, WELCH)

磁石攪拌機 (SP131325, Thermo scientific)

滅菌釜

蒸籠

鋁杯

離心機 (3500, KUBOTA)



第二節 材料儲藏

原料生糙薏仁運送至實驗室後會儲藏在 -20°C 冷凍庫，實驗前將部分糙薏仁取出，以清水沖洗並挑掉破損薏仁後於室溫陰乾約一至兩小時，待糙薏仁乾燥後再移至 4°C 冰箱儲放備用。

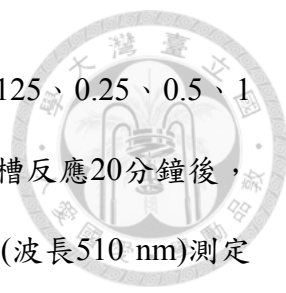
第三節 澱粉體外消化實驗

3.1 澱粉體外消化

參考Englyst等人(1992)及Goni等人(1997)的方法進行體外澱粉消化特性試驗，以胰酶(pancreatin)及葡萄糖苷酶(amyloglucosidase)混合作為酵素液，測定不同時間點澱粉之水解率。本實驗採用兩種方法，分別為A法及B法，以下為實驗步驟：

- A法：

1. 先取乾重100毫克以上之樣品以湯匙先壓碎再切碎模擬人體口腔咀嚼，混勻後取樣稱重。
2. 精秤乾重約100毫克樣品於50毫升圓底離心管中，加入4 ml acetate acid buffer solution (0.1 M, pH 5.2)、直徑3毫米之玻璃球約20顆及一個攪拌子，置於 37°C 水浴中攪拌30分鐘。
3. 每樣品以1分鐘間隔加入1 ml酵素液，在加入酵素液之前以及加入之後20、60、90、120、180分鐘取樣29.5 μL 樣品溶液至1.3 ml 95%酒精中並混合均勻使酵素停止反應。
4. 待所有時間點樣品收集完成後離心(1,500 \times g,10分鐘)，取23.3 μL 上清



液加入0.7 ml GOPOD試劑,同時以0、0.0625、0.125、0.25、0.5、1 mg/ml之葡萄糖標準溶液為標準品,於50°C水浴槽反應20分鐘後,每樣品三重複吸取加至96孔盤中,以分光光度計(波長510 nm)測定其吸光值。

● B法：

1. 先取乾重1000毫克以上之樣品以湯匙先壓碎再切碎模擬人體口腔咀嚼,混勻後取樣秤重。
2. 精秤乾重約1000毫克樣品於50毫升圓底離心管中,加入10 ml去離子水、5 ml acetate acid buffer solution (0.1 M, pH 5.2)、10 ml 關華豆膠(guar gum)溶液、直徑3毫米之玻璃球約20顆及一個攪拌子,置於37°C水浴中攪拌20分鐘。
3. 每樣品以1分鐘間隔加入10 ml酵素液,在加入酵素液之前以及加入之後20、60、90、120、180分鐘取樣29.5 μ l樣品溶液至1.3 ml 80%酒精中並混合均勻使酵素停止反應。
4. 待所有時間點樣品收集完成後離心(1,500 \times g,10分鐘),取23.3 μ L上清液加入0.7 ml GOPOD試劑,同時以0、0.0625、0.125、0.25、0.5、1 mg/ml之葡萄糖標準溶液為標準品,於50°C水浴槽反應20分鐘後,每樣品三重複吸取加至96孔盤中,以分光光度計(波長510 nm)測定其吸光值。
5. 以各時間點測得之葡萄糖濃度換算澱粉水解率,換算公式如下：

$$\text{水解率(\%)} = \text{葡萄糖濃度(mg/ml)} \times 1.3295 \times (35/0.0295) \times (162/180) \times (100/TS)$$



- 葡萄糖濃度 (mg/ml): 為樣品吸光值代入標準曲線所得到之濃度
- 1.3295 (ml): 為各時間點取樣樣品加入酒精後的總體積
- 35/0.0295: 為稀釋倍數
- 162/180: 為葡萄糖含量推算成澱粉量之轉換因子(脫掉一個水分子)
- TS (mg): 為樣品中的澱粉含量(乾重)

6. 澱粉水解動力曲線 (kinetics of starch hydrolysis):

將各時間點測得之澱粉水解率以非線性回歸計算出水解曲線，即可得到平衡水解率(C_{∞})、反應速常數(k)及下列公式：

$$C=C_{\infty}(1-e^{-kt})$$

C: 於t時間點之澱粉水解率(%)

C_{∞} : 澱粉反應180分鐘之平衡水解率

k: 反應速率常數

t: 某時間點(分鐘)

7. RDS、SDS、RS計算：

將不同時間點t以及平衡水解率和反應速率常數代入上文公式中可得到t時間點之澱粉水解率，參考Englyst(1992)對RDS、SDS、RS之定義，計算方式為下：

$$\text{RDS (\%)}=C_{20}-C_0$$



$$\text{SDS (\%)} = C_{120} - C_{20}$$

$$\text{RS (\%)} = 100 - \text{RDS} - \text{SDS}$$

3.2 酵素液配製(需實驗當天配製)

- A 法：

秤取 1.2 g 胰酶(pancreatin from porcine pancreas)加 8 ml 去離子水，以磁石攪拌均勻約 10 分鐘，以 1500 × g 離心 10 分鐘，取上清液 6 ml，加入 0.6 ml 葡萄糖分解酶(amyloglucosidase)(260 U/ml)混勻即為酵素液，此配方可做 6 個樣品，可依照樣品數量等比例調整各酵素秤取的量。

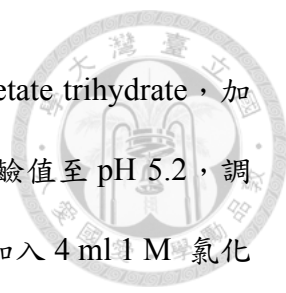
- B 法：

秤取 9.9 g 胰酶(pancreatin from porcine pancreas)加 66 ml 去離子水，以磁石攪拌均勻約 10 分鐘，以 1500 × g 離心 10 分鐘，取上清液 52.8 ml，加入 5.07 ml 葡萄糖分解酶(amyloglucosidase)(260 U/ml)及 3.18 ml 去離子水混勻即為酵素液，此配方可做 6 個樣品，可依照樣品數量等比例調整各酵素秤取的量。

3.3 關華豆膠溶液配製

在 1 L 0.05 M HCl 溶液中添加 5g 關華豆膠(guar gum)粉末及 0.05g 胃蛋白酶(pepsin)，攪拌均勻即完成，保存於 4°C 冰箱。

3.4 Acetate acid buffer solution (0.1 M, pH 5.2)配製



於 250 ml 苯甲酸飽和溶液中加入 13.6g sodium acetate trihydrate，加去離子水至接近 1000 ml，以 0.1 M acetic acid 調整酸鹼值至 pH 5.2，調整完酸鹼值之溶液總體積為 1 公升，最後每公升溶液加入 4 ml 1 M 氯化鈣溶液即可。

3.5 80%酒精配製

取 421 ml 95%酒精與 79 ml 去離子水混勻即得 500 ml 80%酒精。

3.6 葡萄糖標準溶液配製

1 mg/ml 葡萄糖標準溶液為 GOPOD 套組(Megazyme Intl. Ltd., Ireland)所附，取 0.5 ml 1 mg/ml 葡萄糖溶液加 0.5 ml 去離子水混勻得 0.5 mg/ml 葡萄糖溶液，同理進行序列稀釋得到 0.25、0.125、0.0625 mg/ml 之葡萄糖溶液。

第四節 總澱粉

4.1 總澱粉

以總澱粉測定套組(Megazyme Intl. Ltd., Ireland)測定之。將薏仁磨粉後，以 0.5 mm 篩網過篩，所收集的薏仁粉用於測定總澱粉。精秤約 100 mg 樣品於玻璃試管中，加入 0.2 ml 之 80%酒精溶液(v/v)濕潤樣品，加入 2 ml 的 2 M KOH 及一個攪拌子(5×15 mm)並於冰/水浴上攪拌 20 分鐘。加入 8 ml 1.2 M 之 sodium acetate buffer (pH 3.8)於玻璃試管中，持續攪拌，迅速加入 0.1 ml 的 thermostable α -amylase 及 0.1 ml amyloglucosidase，攪拌均勻後置於 50°C 水浴槽 30 分鐘，期間每 2 分鐘取出震盪一次，再以定量瓶稀釋至 100 ml，混勻後離心(1800×g,10 分鐘)，取上清液 0.1 ml 至



新的玻璃試管，加入 3 ml GOPOD 試劑，並以 1 mg/ml 之葡萄糖標準溶液為標準品，於 50°C 水浴槽反應 20 分鐘，以分光光度計(波長 510 nm)測定其吸光值。

4.2 KOH (2 M)溶液配製

於 500 ml 血清瓶中加入 450 ml 去離子水，再加入 56.1g KOH，攪拌均勻後以去離子水補足至 500 ml 即完成。

4.3 Sodium acetate buffer (1.2 M, pH 3.8)配製

取約 400 ml 去離子水於 500 ml 血清瓶中，加入 34.8 ml 冰醋酸，再以 4 N NaOH 調整 pH 至 3.8，補足去離子水至 500 ml 即可。

第五節 浸泡吸水率

將薏仁放入杯中，加入 1.5 倍水量浸泡並以保鮮膜封起避免水分蒸發，放入 50°C 及 30°C 水浴槽中，浸泡期間定時取出浸泡容器，倒入抽濾機中將水與薏仁分離，再取出薏仁秤重，秤完重量後再將抽濾出的水及薏仁重新倒回杯中並以保鮮膜封起繼續浸泡實驗直到吸水率飽和。

吸水率(%) = (浸泡後重量 - 浸泡前重量) / 浸泡前重量 * 100

第六節 蒸煮預實驗

將浸泡完成或浸泡並冷凍過(依加工方法不同而變)之薏仁樣品以薏仁濕重之一倍水量、兩倍水量進行蒸煮試驗。取薏仁約 10 g 於鋁杯中，加入相對倍數之水量後以鋁箔蓋起，放入已將水煮沸之蒸籠中，分批蒸煮不同時間後取出瀝乾，每杯取十顆薏仁切開觀察橫切面是否有白色米心並計算其米心率，重複動作直到無白色米心之時間點，即判斷為蒸煮所需時間。



第七節 米心率

作為判斷薏仁是否熟了的依據。將薏仁以不同時間蒸煮後取出十粒，以刀片切開觀察橫切面，若有觀察到白白的部分則判斷為未熟，每個時間點取樣約五重複。米心率計算(%)= 未熟的薏仁顆數/10 顆×100

第八節 樣品製備

7.1 蒸煮樣品

薏仁樣品製備依據加工方法的不同分為兩種方式，分別為 50 度法及浸凍法。50 度法為將薏仁以 50°C 水浴浸泡 4 小時後瀝乾，再以薏仁濕重的一倍或兩倍水量蒸煮 5、20 及 45 分鐘，蒸煮時先將水鍋加熱至沸騰再將薏仁放入蒸籠中，蒸完以濾網瀝掉水，樣品冷卻後再進行實驗，依據實驗需求不同會將蒸好的薏仁以夾鍊袋包起並平鋪於 4°C 冰箱中冷藏 1 至 3 天後再進行澱粉體外消化實驗。而浸凍法則是在薏仁以 50°C 浸泡 4 小時後移至-30 度冰箱冷凍一天，再進行蒸煮。

7.2 粉狀樣品

將糙薏仁、白米等生料放入磨粉機中磨碎成粉，以 40 mesh (0.42 mm) 篩網過篩後收集至夾鍊袋中，置於防潮箱保存備用。

7.3 白飯樣品

取生白米約 20 g 加入 1.5 倍水，放入大同電鍋中，外鍋加一杯水蒸煮。



7.4 糙薏仁一般煮法樣品

取約 25 g 糙薏仁加 1.5 倍水量浸泡 50°C 水浴 4 小時，瀝乾後將薏仁放入已煮沸的水鍋中，以滾水狀態煮約 40 分鐘至薏仁呈現軟爛狀後撈起即可。

第九節 冷凍乾燥

將蒸熟的薏仁先放入 -80°C 冷凍庫，待結冰後移至冷凍乾燥機進行乾燥，約乾燥兩天後取出樣品並放置防潮箱內備用。

第十節 乾重

將樣品紀錄原始濕重後放入 100°C 烘箱中，每隔一段時間取出樣品並以微量天平秤重，重複動作直到重量不再變化時即為乾重，每樣品兩重複。

第十一節 直鏈澱粉含量

參考 AACC 61-3 (2000) 之方法。秤取 100 mg 樣品 (事先以索氏萃取裝置脫脂) 於 100 mL 錐形瓶，加入 1 mL 95%酒精分散後，再加入 9 mL 1N NaOH，靜置 10 分鐘後放入沸水浴加熱 10 分鐘，待冷卻後將樣品倒入 100 mL 定量瓶中，並以去離子水定量至 100 mL，過程中均勻攪拌。接著從定量瓶中取出 5 mL 樣品，移至事先加入 50 mL 去離子水之 100 mL 定量瓶，加入 1 mL 1N acetic acid 與 2 mL 含 0.2% I₂ 與 2% KI 之水溶液，再以去離子水定量至 100 mL，搖晃混和均勻，避光靜置 20 分鐘，利用分光光度計測量波長 620 nm 之吸光值。而直鏈澱粉含量標準曲線由不同比例之馬鈴薯直鏈澱粉 (Sigma-Aldrich) 以及糯米穀粉建立而得。

第十二節 感官品評

採用九分制喜好度/接受度品評試驗，選定 32 位未經品評專業訓練之受試者，對樣品進行喜好性評分，一分表示非常不喜歡，九分表示非常喜



歡。凍乾樣品共六組，分別為 50 度法一倍水 10 分鐘、50 度法一倍水 15 分鐘、50 度法一倍水 20 分鐘、浸凍法一倍水 10 分鐘、浸凍法一倍水 15 分鐘及浸凍法一倍水 20 分鐘，將各組樣品以三位數亂碼編號，讓受試者試吃並評分。品評問卷如下所示：

糙薏仁凍乾產品喜好度/接受度感官品評問卷

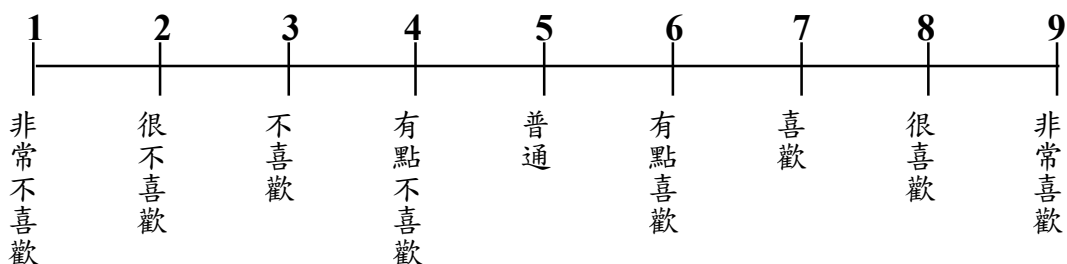
性別： 男 女

年齡： 21-25 26-30 31-35 36-40 > 41

感謝您協助品評試驗，本產品為健康取向，具有調節血糖的潛力。

請先看過有哪些項目後，再依個人喜好程度填入對應的分數，謝謝您。

下圖為評分量尺：



品評項目	喜好度評分					
樣品編號：						
外觀						
香味						
口感						
硬度						
整體接受度						



第十四節 生菌數

參考台灣衛生福利部食品藥物管理署公佈之“食品微生物之檢驗方法-生菌數之檢驗”方法。取氯化鈉 8.5 g 溶於 1000 ml 去離子水中作為稀釋液，經 121°C 滅菌 15 分鐘後備用，另配製平板計數培養基 (Plate count agar, PCA)，經滅菌後稍微放涼至手可碰觸之溫度，再倒入適當量之培養基至培養皿中，待培養基凝固後包起並放入 4°C 冰箱保存備用。取 10 g 樣品與 90 g 稀釋液一同均質打碎作為 10 倍稀釋檢液，並吸取 1 ml 之 10 倍稀釋檢液加入 9 ml 稀釋液作為 100 倍稀釋檢液，同理，依序作成 1000 倍、10000 倍等稀釋檢液。將稀釋檢液充分混勻後吸取 0.1 ml 於培養皿中，以火燒滅菌過之玻璃塗抹棒均勻塗散稀釋檢液於培養基上，各檢液至少兩重複，另吸取稀釋液 0.1 ml 作為空白對照組。塗抹完成後將培養皿倒置放入 35°C 恆溫培養箱中培養 48 小時。經培養後選取 25~250 個菌落之兩個平板來計數，其生菌數表示方式為 CFU/g 或 CFU/ml。各稀釋倍數之菌落數若均小於 25 個時，則以最低稀釋倍數之平板菌落數平均值乘其稀釋倍數，並註明其為估計值。若各稀釋倍數均無菌落生長者，則生菌數應小於 1 乘以最低稀釋倍數，需註明為估計值。

第十五節 統計方法



實驗數據以統計軟體 GraphPad Prism 6 (USA)進行統計分析，澱粉水解曲線以非線性回歸(non-linear regression, One phase exponential association)建立而得，由軟體計算可得知平衡水解率及反應速率常數。RDS、SDS、SDS/RDS 及感官品評分數以單因子變異數分析(one-way ANOVA)及 Tukey's multiple comparisons test 來比較平均值是否有顯著差異($p < 0.05$)。



第一部分 薏仁澱粉基本構造

第一節 直鏈澱粉含量

台灣糙薏仁 (TCS4)測得之直鏈澱粉含量僅佔了澱粉的 0.77%，其餘 99.23%為支鏈澱粉(圖 2)，且從糯米的分級來看，直鏈澱粉含量落在 1~12%可被分類為糯性品種，且含量越低糯性越強(高，1986)，由此可知 TCS4 薏仁屬於偏糯性的品種，其直鏈澱粉含量也接近其他品種如：台中 1 號(1.05%)、台中選育 1 號(1.3%)、台中選育 5 號(0.7%)、台中育 17 號(0.85%)等(高，1986;曾，1995;曾，2009)。

Amylose/Amylopectin

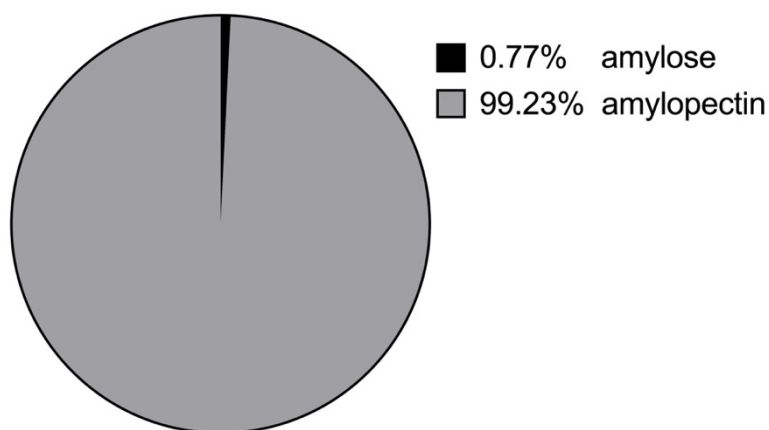


圖 2. 台灣糙薏仁直鏈澱粉及支鏈澱粉比例

Figure 2. The percentage of amylose (black part) and amylopectin (grey part) of Taiwan dehulled adlay.



第二部分 澱粉體外消化方法學


第一節 體外消化方法選擇

本實驗採用目前的主流方法，也就是 Englyst 等人(1992)所提出之澱粉體外實驗方法，並稍作修改成兩種方法，分別為 A 法及 B 法，比較此兩方法何者較合適，而此兩法最大的差異在於有無添加關華豆膠，其餘較小的差異在於酵素液的配製及反應總體積大小。首先以未糊化的玉米澱粉測試此兩法，結果如圖 3 及表 1 所示，B 法的平衡水解率(C_{∞})及反應速率常數(k)較接近文獻的值(Chung et al., 2008)，尤其是 C_{∞} ，但此篇的 SDS 計算是將 20 分鐘至 180 分鐘之間消化的澱粉定義為 SDS，180 分鐘以上消化的澱粉定義為 RS，與 A、B 法的定義不同所以不能直接比較，而若與 SDS 及 RS 時間定義相同之文獻(Chung et al., 2009)相比的話可，得知 B 法測得之 RDS、SDS、RS 較符合文獻數值，故決定採用 B 法進行後續實驗。

此外，為得知關華豆膠是否是 A、B 法之間最關鍵的影響因素，以未糊化的糙薏仁粉進行測試，將 A 法加入不同量的關華豆膠溶液，結果如圖 4 所示，A 法的水解曲線隨著關華豆膠溶液量的增加逐漸偏向 B 法，可見關華豆膠確實是重要影響因素。

綜合以上討論，本實驗採用的澱粉體外消化方法為 B 法，實驗條件選擇原因詳述如下：

由於人的口腔在咬碎食物時是結合切碎(cutting)及壓碎(crushing)，所以在處理樣品時會將樣品先以湯匙壓碎後再切至適當大小，不像 chopping 只涉及切碎(cutting)。又因口水在整個澱粉消化的過程中並沒有扮演很重要的角色，為了方便實驗操作，因此省略。為了模擬腸胃黏液造成的食糜黏稠度，添加關華豆膠來增加



消化液的黏度，且關華豆膠溶液中有添加胃蛋白酶幫助蛋白質分解，胃蛋白酶雖不是必要添加的酵素，但考慮到薏仁是穀類中蛋白質含量較高者，為避免蛋白質造成實驗誤差，將蛋白質分解納入胃及小腸階段中進行。又前文提到胃階段的低酸性不會造成澱粉水解，因此可以省略此階段的酸鹼變化，直接進入小腸消化階段，小腸階段是整個體外消化實驗的主軸，本實驗所選擇的體外消化系統為非受限系統，酵素則為胰酶及葡萄糖苷酶，胰酶是多種酵素的混合，含有澱粉酶之外還含有脂肪酶及蛋白酶，可以分解脂肪及蛋白質，避免脂質或蛋白質與澱粉的交互作用使澱粉的水解率被低估，而胰酶中所含的澱粉酶為內切酶，搭配屬於外切酶的葡萄糖苷酶能使可被消化的澱粉幾乎被分解為葡萄糖。採用的酸鹼值為 pH 5.2，在這個酸鹼環境酵素可以保有良好的穩定性，且從附圖六第二階段的曲線可看出當 pH 為 5.2 時，其水解曲線和第一階段的曲線最相似，因此 pH 5.2 是較為理想的酸鹼條件，然而本實驗的方法是將酸性的關華豆膠溶液與醋酸緩衝溶液(pH 5.2)同時加入，故緩衝溶液會影響關華豆膠溶液的酸鹼值，而胃蛋白酶最佳作用酸鹼值約為 pH 2 (Piper et al., 1965)，因此可能會降低胃蛋白酶的活性，但後續小腸階段的胰酶仍可以分解蛋白質，排除蛋白質對澱粉水解造成的影響，此外，實驗反應溫度設定為接近人體內的溫度 37°C。澱粉消化數據的計算採用 Goni 等人(1997)的方法，以多個取樣時間點建立水解曲線，結合 Englyst 等人(1992)對澱粉的定義來計算 RDS、SDS 及 RS，將時間點代入 $C=C_{\infty}(1-e^{-kt})$ ，RDS 為 $C_{20}-C_0$ 、SDS 為 $C_{120}-C_{20}$ ，RS 則為 100 減去 RDS 及 SDS。



corn starch

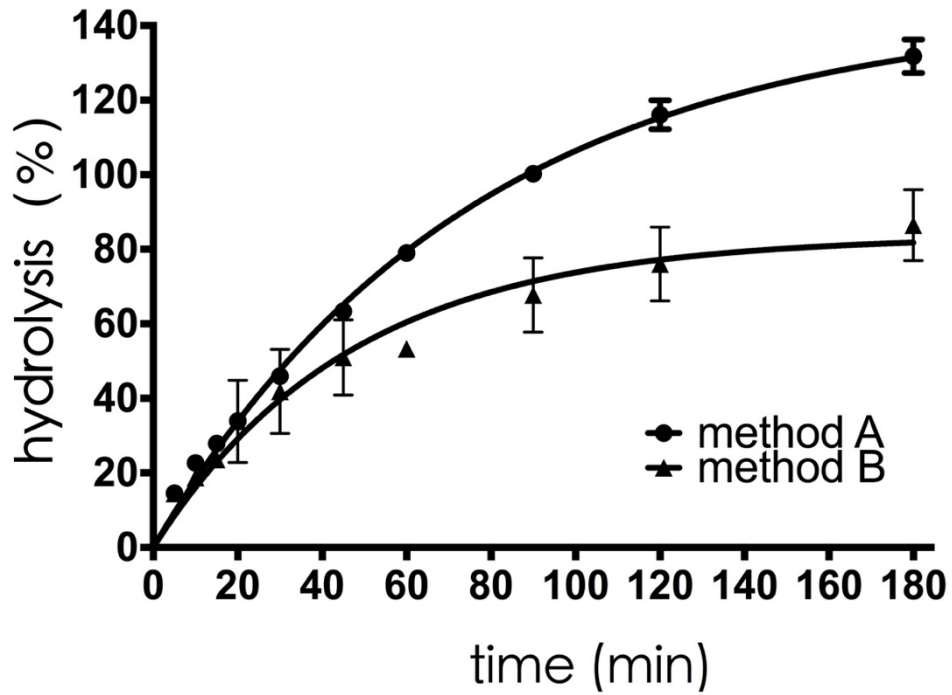


圖 3. 以玉米澱粉測試澱粉體外實驗方法 A 及 B 之水解曲線

Figure 3. The starch hydrolysis curves of corn starch using method A and method B. Samples were taken at different time points to calculate starch hydrolysis value (%) (mean \pm standard deviation).

表 1. A 法及 B 法之生玉米澱粉水解曲線參數及 RDS、SDS、RS

Table 1. The parameter of starch hydrolysis curve of corn starch using method A and

	Method A	Method B	Chung et al., 2008*	Chung et al., 2009 [#]
C_{∞}	144.6	83.6	88.3	-
k	0.013	0.021	0.017	-
RDS(%)	33.8	29.1	25.6	23.4
SDS(%)	81.5	48.1	62.8	56.9
RS(%)	-15.3	22.8	11.7	19.7

method B.

* Starch hydrolysis between 20 min and 180 min was used to calculate SDS (%).

Same as method A and method B, starch hydrolysis between 20 min and 120 min was used to calculate SDS (%).

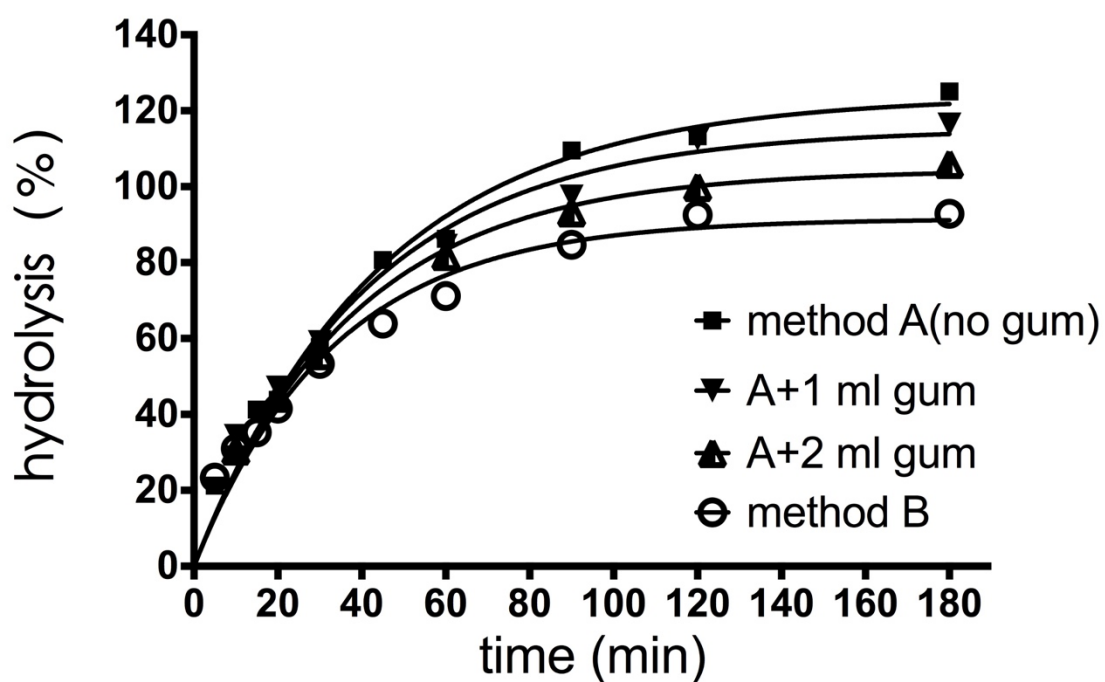



圖 4. 加膠與否對糙薏仁澱粉水解曲線的影響

Figure 4. The effect of guar gum on starch hydrolysis curve of dehulled adlay.

Samples were taken at different time points to calculate starch hydrolysis value (%)

第二節 總澱粉



因總澱粉含量測定採用市售套組進行分析(Megazyme Intl. Ltd., Ireland)，原理為利用 KOH 及澱粉酶將澱粉切成葡萄糖，再以 GOPOD 試劑將葡萄糖轉換為紅色產物，經由測定吸光值並比對葡萄糖標準曲線得知澱粉含量，因此 KOH 及澱粉酶作用的這個步驟可視為關鍵，為確保套組標示的試劑作用時間充足，故進行作用時間的影響試驗，測試減短或延長作用時間是否會影響總澱粉含量的測定結果。套組標示之作用時間(kit time)為 KOH 作用 20 分鐘後再以澱粉酶作用 30 分鐘，圖 5 顯示在一半作用時間之下(1/2 kit time，KOH 10 分鐘及澱粉酶 15 分鐘)測出之總澱粉含量較套組規定作用時間(kit time)少，而延長作用時間至 2 倍、3 倍、4 倍長並不會使總澱粉含量隨時間上升，可知此套組標示之作用時間即可充分將澱粉水解成葡萄糖，因此後續實驗及採用套組標示之時間進行實驗。

圖 6 則為以套組測定出之不同品種糙薏仁及玉米澱粉總澱粉含量，玉米澱粉為 94.62%，澱粉含量顯著較薏仁高，而不同品種薏仁之間並無顯著差異，總澱粉含量由高而低分別為寮國黑殼(63.97%)、寮國白殼(63.00%)、台灣(62.38%)、越南(61.05%)，其中玉米澱粉及台灣糙薏仁有送至中華穀類食品工業技術研究所分析總澱粉含量，且測定出之數值與本實驗數據相近，玉米澱粉及台灣糙薏仁測得之總澱粉分別為 95.5%及 62.7%，故後續會以本實驗數據代入澱粉體外消化實驗來計算澱粉水解率。



總澱粉時間測試

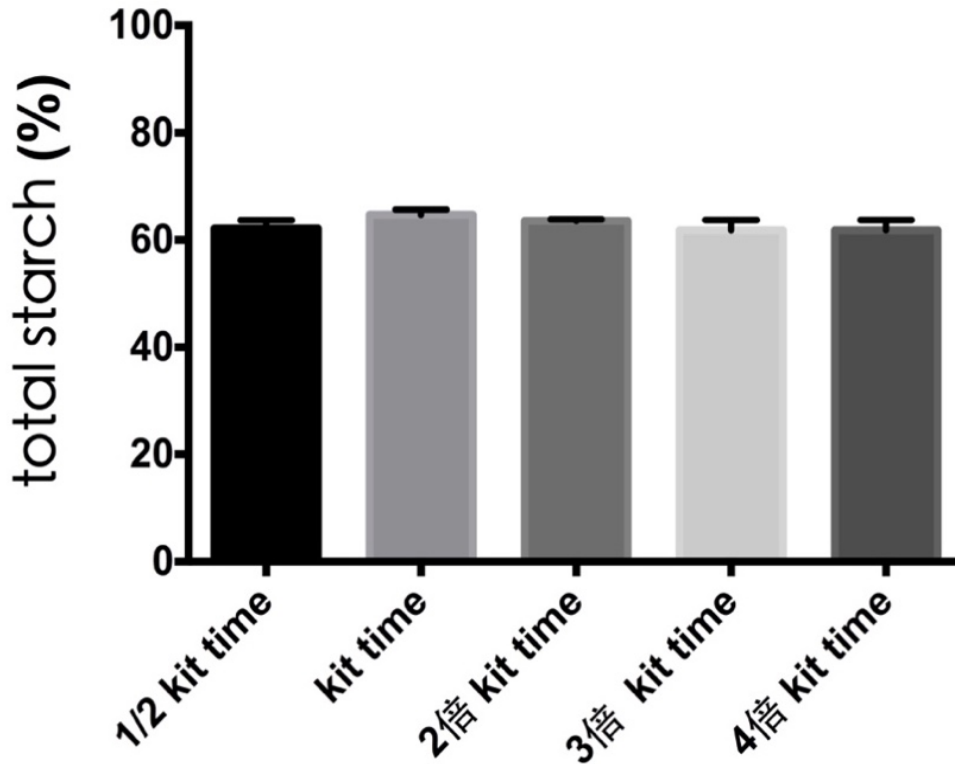


圖 5. 試劑作用時間對台灣糙薏仁總澱粉結果之影響

Figure 5. The effect of reaction time on total starch of adlay (%) (mean \pm standard deviation)

1/2 kit time: KOH 10 分鐘及澱粉酶 15 分鐘

kit time: KOH 20 分鐘及澱粉酶 30 分鐘

2 倍 kit time: KOH 40 分鐘及澱粉酶 60 分鐘

3 倍 kit time: KOH 60 分鐘及澱粉酶 90 分鐘

4 倍 kit time: KOH 80 分鐘及澱粉酶 120 分鐘



Total starch of different species

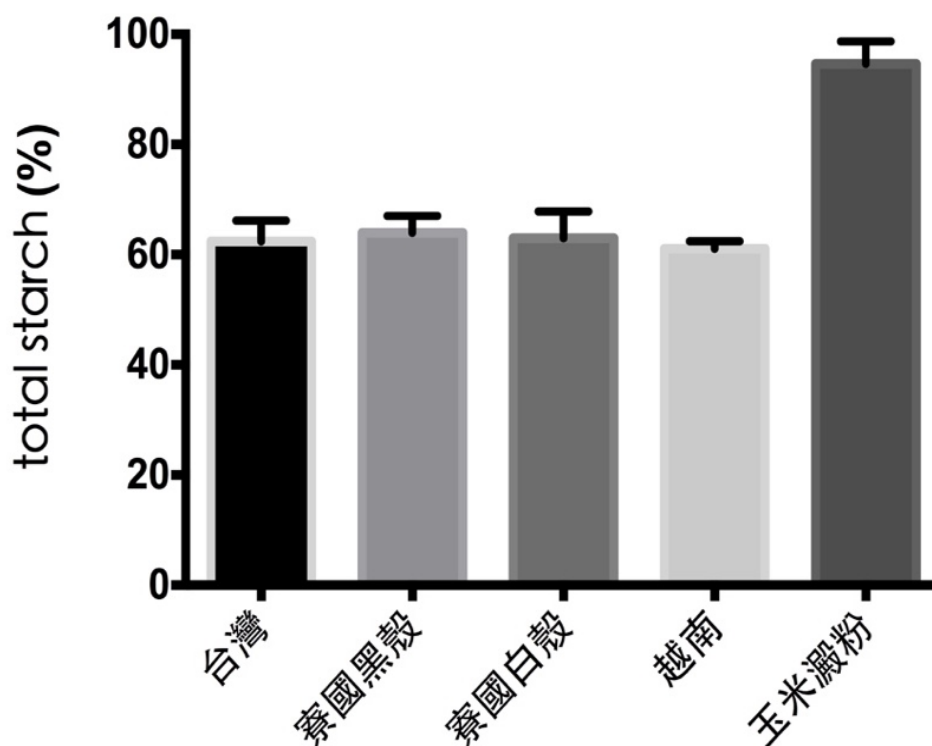


圖 6. 不同品種薏仁及玉米澱粉之總澱粉含量

Figure 6. Total starch of corn starch and different species of adlay (%) (mean \pm standard deviation).



第三部分 產品加工條件篩選

第一節 浸泡吸水率預實驗

在蒸煮薏仁之前通常會先浸泡，有助於薏仁在蒸煮時吸收水份更為均勻並縮短烹煮時間。澱粉在糊化的過程中會因外界的熱能而打開澱粉顆粒內部的氫鍵，露出親水基團(-OH)並與水分子親和，吸水膨潤，因此水分在澱粉的糊化過程中扮演重要角色，而穀物中的水分含量越大越利於蒸煮糊化，且煮熟時間會減短，有文獻指出薏仁因為高澱粉結晶度及高初始糊化溫度等因素使得其相對於糯米來說是較難糊化的(劉，2012)，這不僅對食品工業或是家庭來說皆較不方便，會因為所需烹煮時間較長而降低效率或增加能源耗損，因此烹煮前事先浸泡對薏仁來說更為需要。曾有文獻以 60°C 水溫來浸泡糙薏仁，但發現在長時間浸泡之下會造成薏仁因為吸水膨潤而部分糊化與質地軟化的情形(何，2014)，又薏仁的初始糊化溫度約為 65.22°C(劉，2012)，故本實驗採用低於薏仁糊化溫度的 50°C 及接近室溫的 30°C 來進行浸泡實驗。從圖 7 可看到不論是哪個溫度，在浸泡初期的吸水率均急速上升，後期則逐漸平緩到達飽和，且浸泡於 50°C 的吸水速率較 30°C 高，浸泡過程中水份進入糙薏仁中的速率與溫度呈正相關，在浸泡約四小時時，50°C 水溫的組別吸水率幾乎達飽和，吸水率達 42.10%，而 30°C 的組別則要浸泡至約 9 小時才達飽和，吸水率 45.26%。為了節省時間及提高實驗效率，決定採用浸泡 50°C 四小時作為後續實驗的浸泡條件。

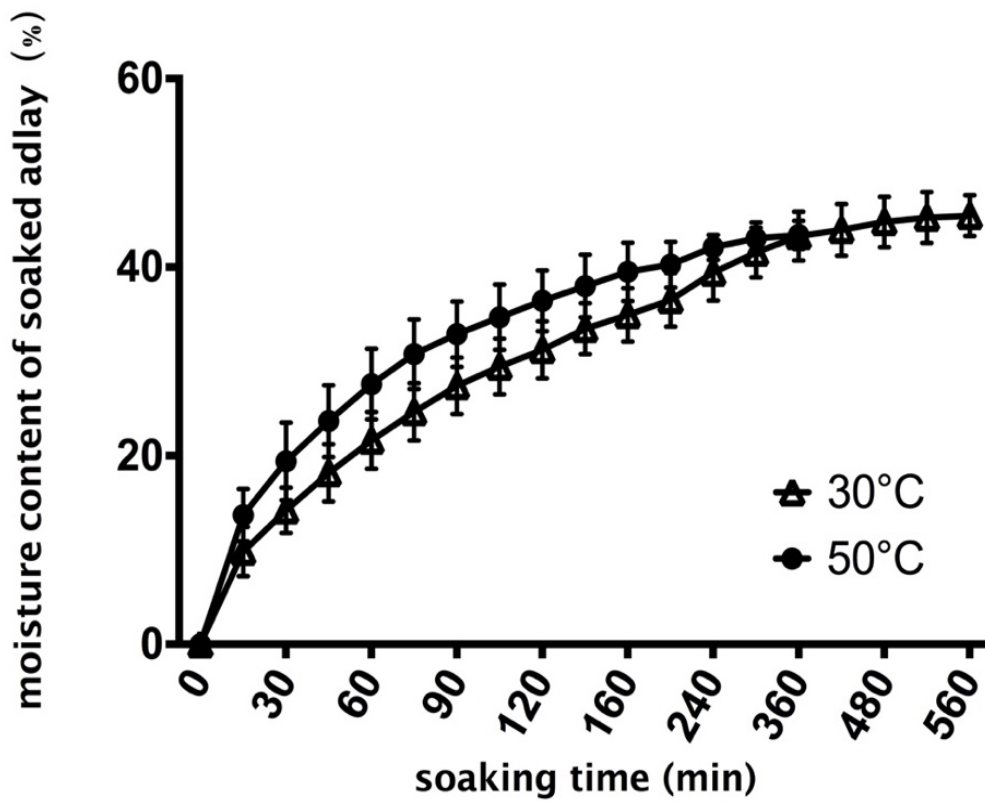


圖 7. 台灣糙薏仁浸泡吸水率曲線

Figure 7. Moisture content of dehulled adlay during soaking in 30 °C or 50 °C water bath. Moisture content (%) results were mean \pm standard deviation.

第二節 蒸煮預實驗

本實驗的蒸煮採用兩種方法，分別為 50°C 法(50°C method)以及浸凍法(soaking-freezing method)。兩種方法主要的差別在於浸凍法在浸泡之後多了冷凍的步驟，想探討冷凍是否會影響蒸煮時間以及後續的澱粉消化特性，由於水在結冰之後體積會增大，因此預想薏仁在浸泡吸飽水份之後若經過冷凍，可能會因為冰晶而撐破內部結構，使得後續在蒸煮時水分較容易滲透進去使澱粉糊化，進而縮短蒸煮時間，圖 8 為兩種蒸煮方法的加工流程。

由於目前並沒有對“煮熟”這個詞有很明確的定義，通常是相當主觀的一種概念，可能因人而異，而為了方便實驗進行，參考 He 等人(1987)判斷米飯熟化程度的方法，將烹煮後的米粒置於兩片玻璃之間施壓，觀察米粒中心是否有白點，當白點不存在時則判斷為完全熟化，然而本實驗的材料糙薏仁有一層褐色麩皮，若以施壓的方式觀察不太能清楚看到穀粒中心，因此改用剖面的方式觀察米心白點，並將完全無白點的蒸煮時間定義為所需蒸煮時間，圖 9 為兩種蒸煮方法在薏仁重量之一倍水量及兩倍水量的情況下其米心率變化曲線圖，不論是 50 度法還是浸凍法，開始蒸煮後五分鐘均會使米心率急劇下降，然後逐漸緩和達到零米心率，在蒸煮期間兩倍水量的組別米心率較一倍水量低，但是水量對最終到達零米心率的時間影響不大，50 度法一倍水量及兩倍水量所需蒸煮時間均落在 43 分鐘左右，而浸凍法一倍水量及兩倍水量所需蒸煮時間則分別為 37 分鐘及 36 分鐘，經過冷凍的方法其所需蒸煮時間確實比較短。為了後續實驗的進行，選擇各組均蒸熟的時間 45 分鐘以及 20 分鐘和 5 分鐘的蒸煮時間處理薏仁樣品。圖 10 至圖 13 為 50 度法及浸凍法一倍水量或兩倍水量蒸煮不同時間之糙薏仁橫切面照片。

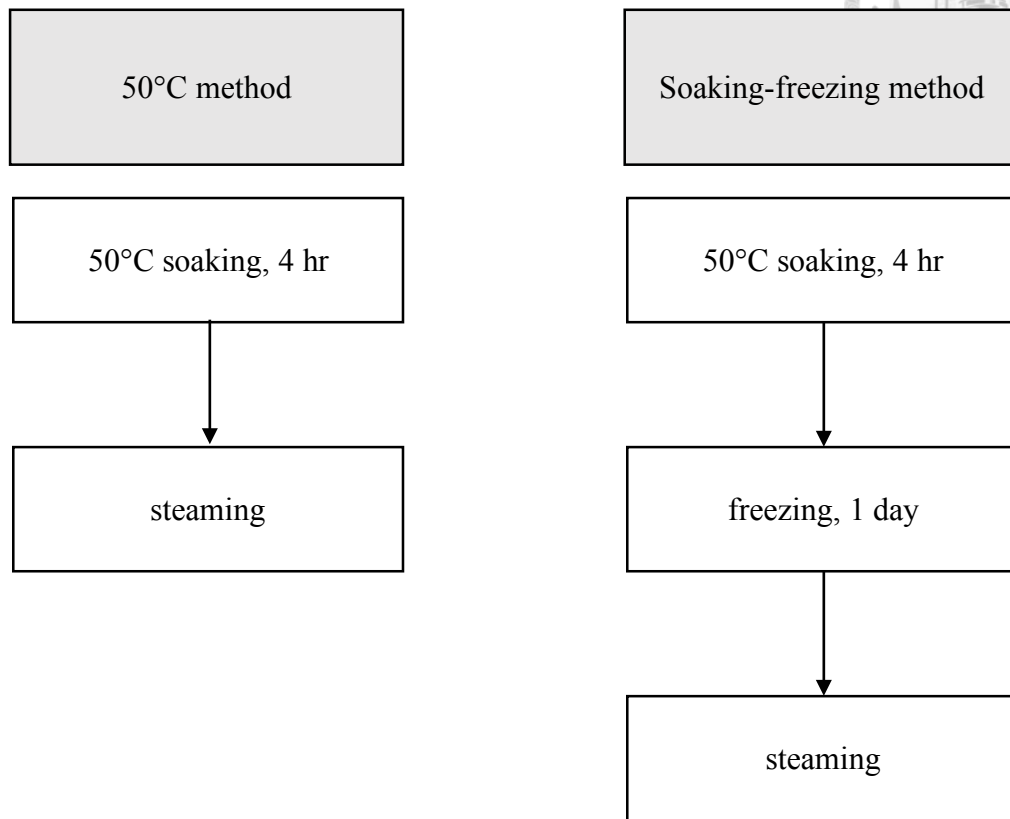


圖 8. 兩種蒸煮方法之加工流程

Figure 8. Flowchart of two processing methods.

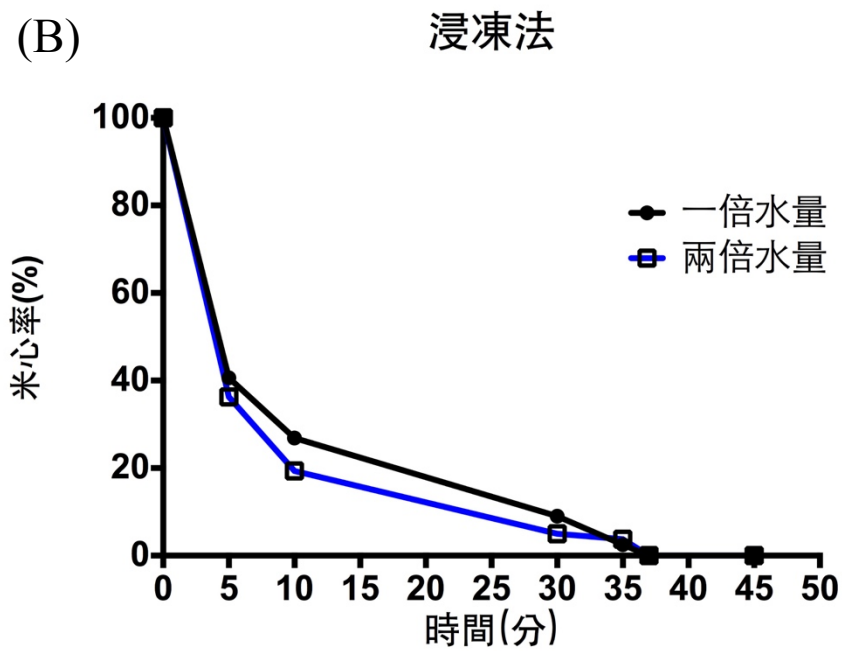
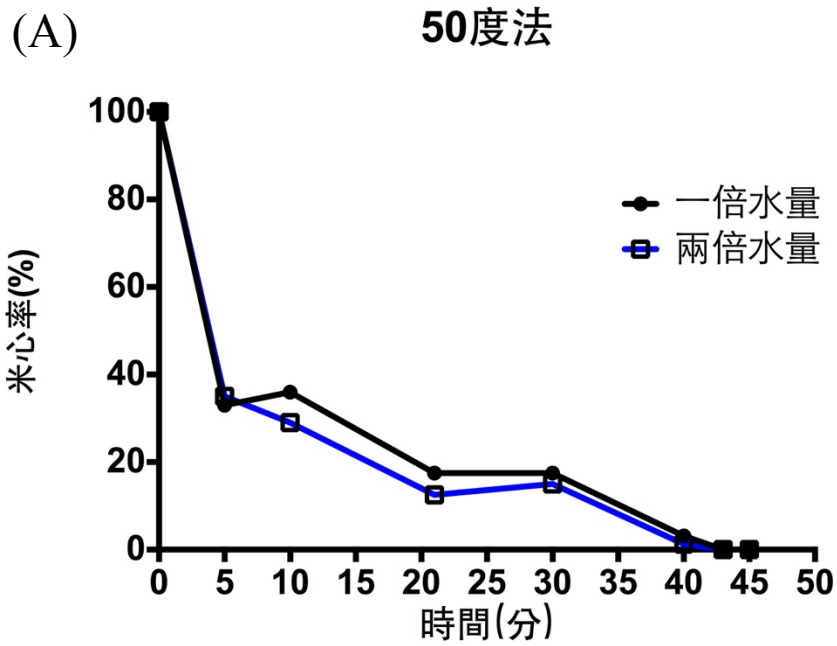
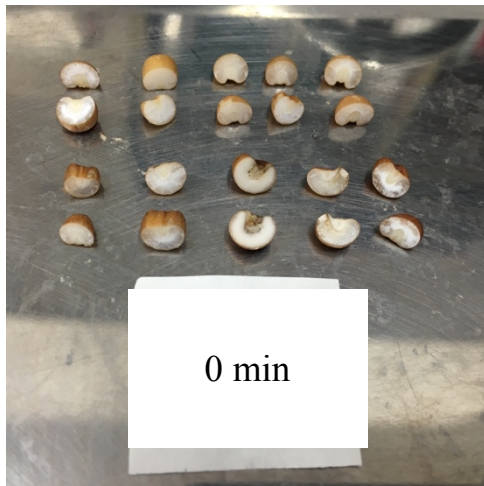


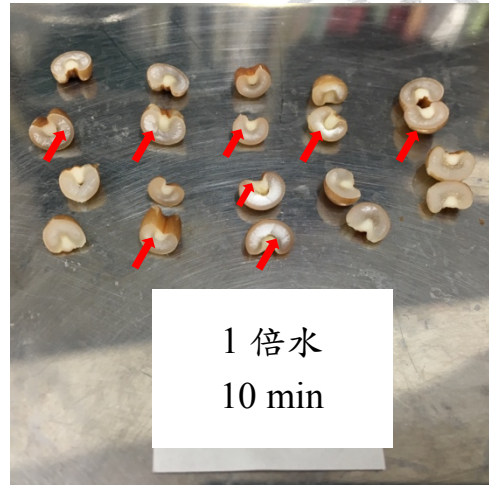
圖 9. 兩種蒸煮方法之蒸煮時間對米心率之影響

(A)50度法米心率變化 (B)浸凍法米心率變化

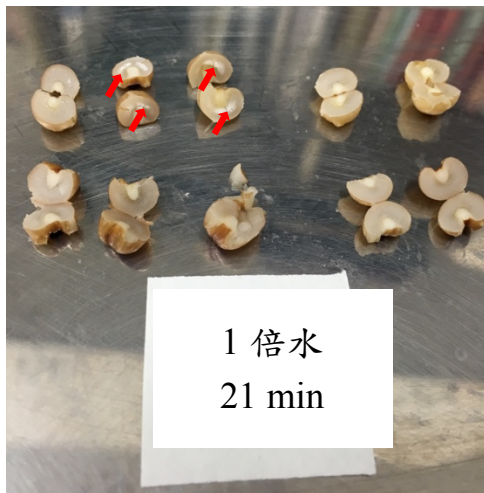
Figure 9. Steaming time of dehulled adlay using 50 °C method or soaking-freezing method with different amount of water.



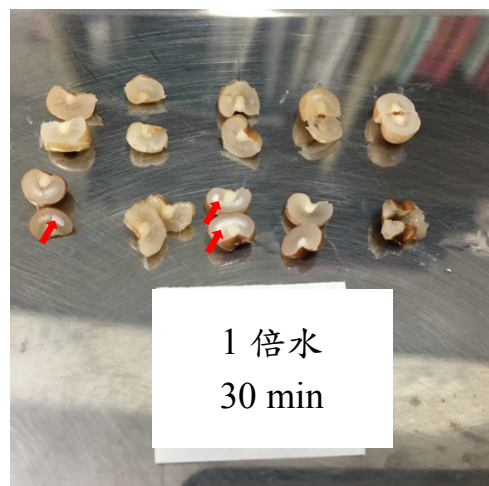
(A)



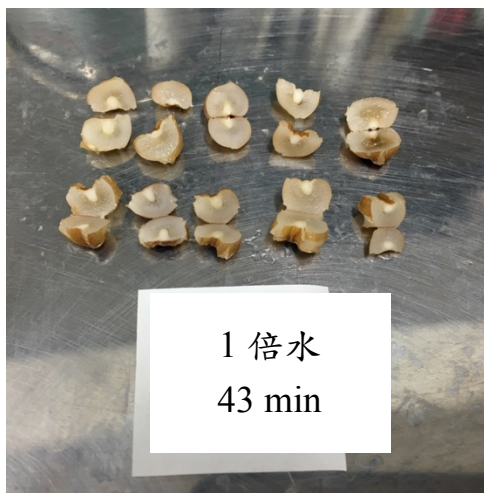
(B)



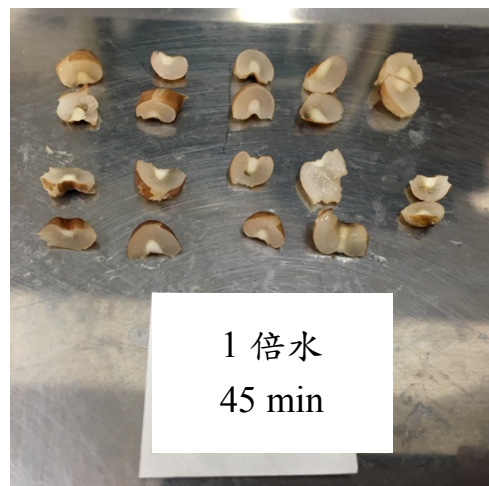
(C)



(D)



(E)

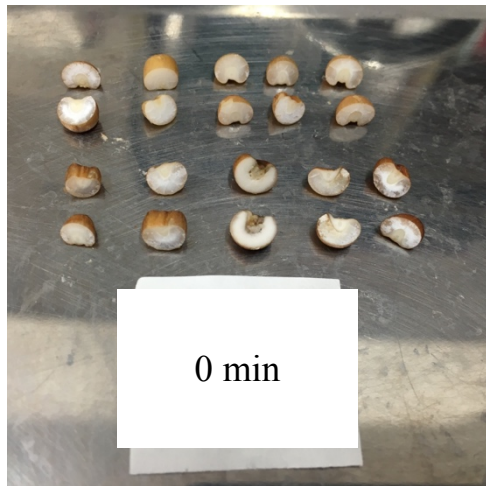


(F)

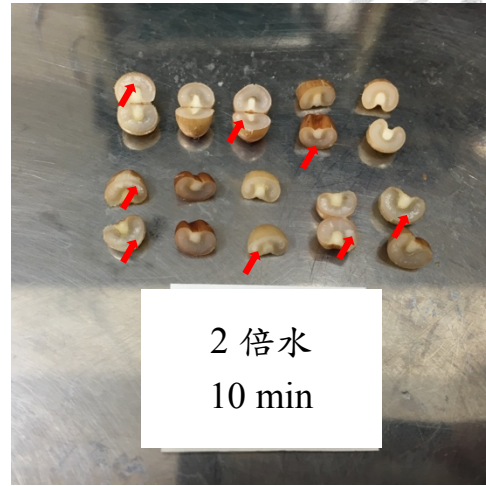
圖 10. 50 度法一倍水量不同蒸煮時間之糙薏仁剖面

(A)0 分鐘 (B)10 分鐘 (C)21 分鐘 (D)30 分鐘 (E)43 分鐘 (F)45 分鐘

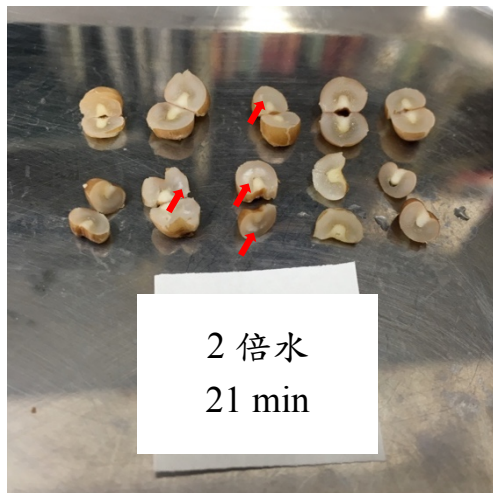
Figure 10. Cross section photos of dehulled adlays steaming with 50 °C method using the same amount of water as adlay weight at different time points. The arrow heads indicated the raw parts of the adlay, which were still white.



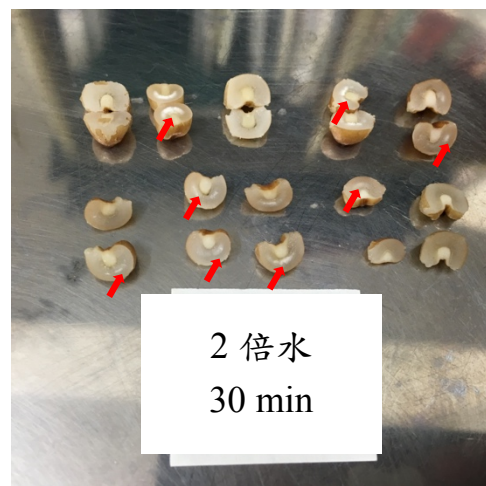
(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

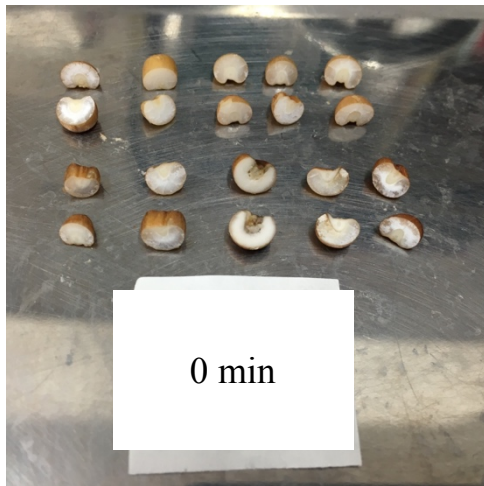


(F)

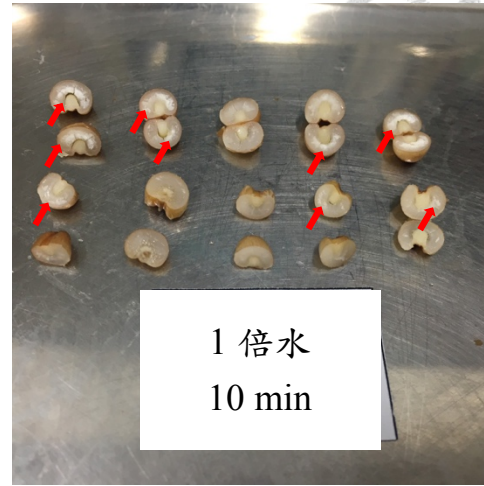
圖 11. 50 度法兩倍水量不同蒸煮時間之糙薏仁剖面

(A)0 分鐘 (B)10 分鐘 (C)21 分鐘 (D)30 分鐘 (E)42 分鐘 (F)45 分鐘

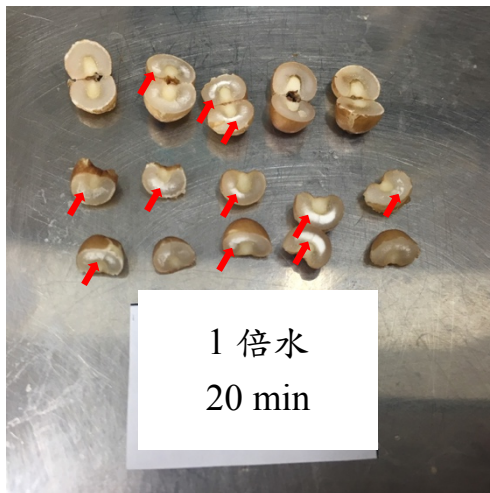
Figure 11. Cross section photos of dehulled adlays steaming with 50 °C method using double water amount at different time points. The arrow heads indicated the raw parts of the adlay, which were still white.



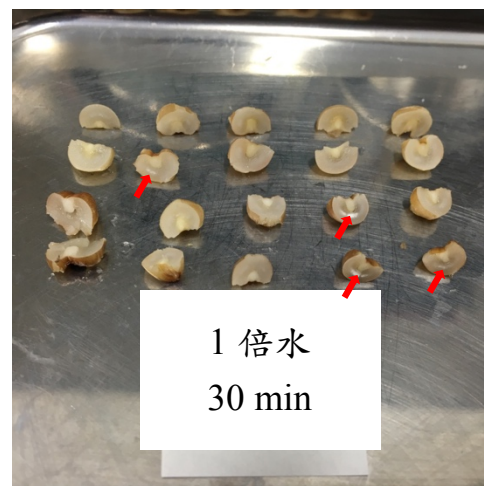
(A)



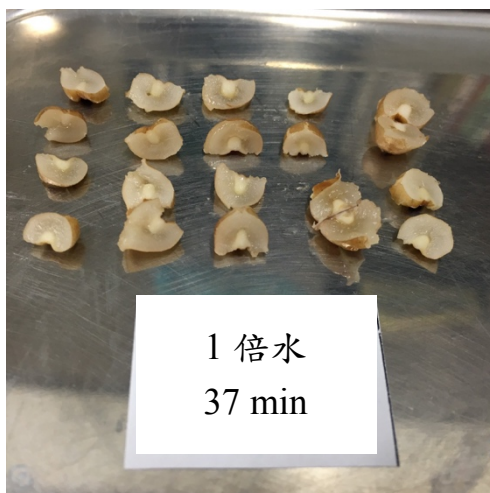
(B)



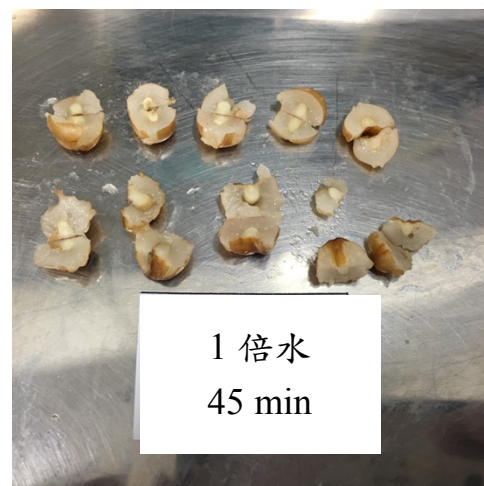
(C)



(D)



(E)

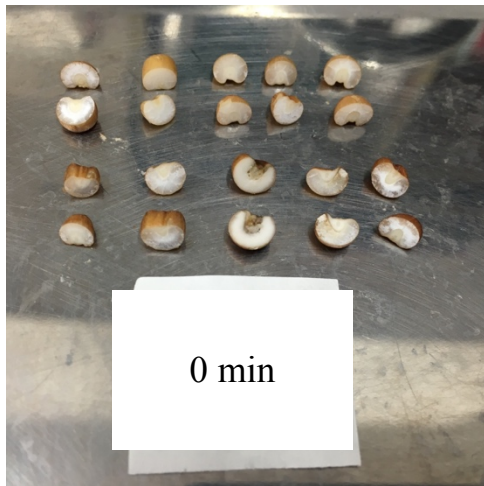


(F)

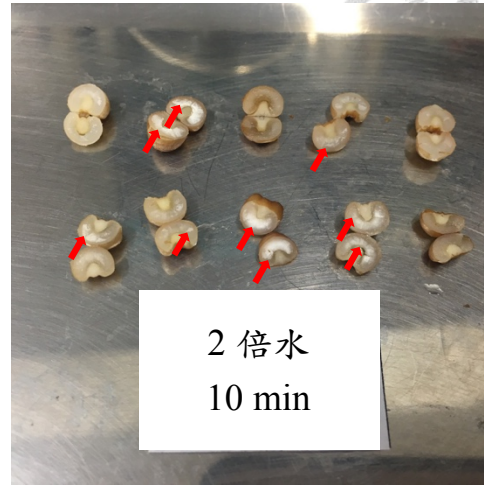
圖 12. 浸凍法一倍水量不同蒸煮時間之糙薏仁剖面

(A)0 分鐘 (B)10 分鐘 (C)20 分鐘 (D)30 分鐘 (E)37 分鐘 (F)45 分鐘

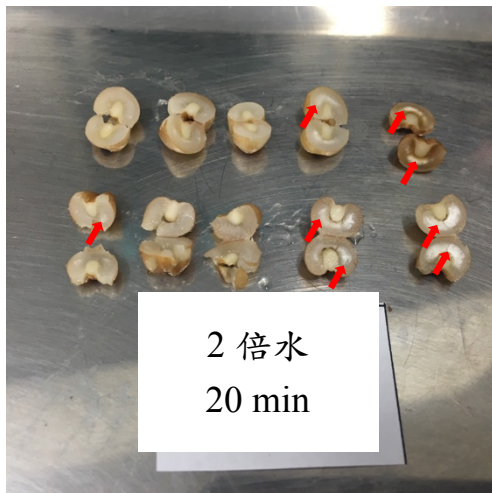
Figure 12. Cross section photos of dehulled adlays steaming with soaking-freezing method using the same amount of water as adlay weight at different time points. The arrow heads indicated the raw parts of the adlay, which were still white.



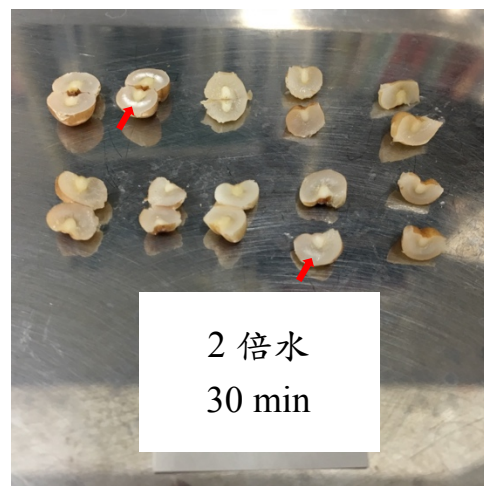
(A)



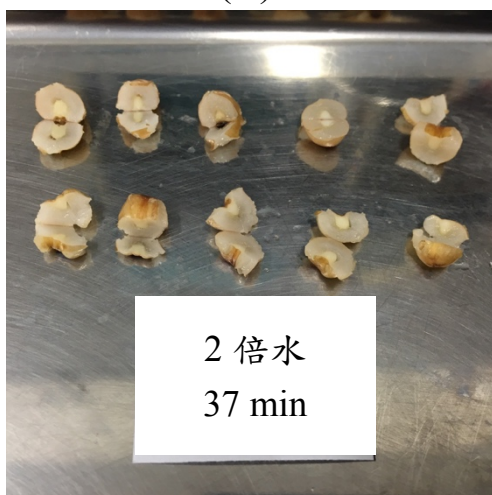
(B)



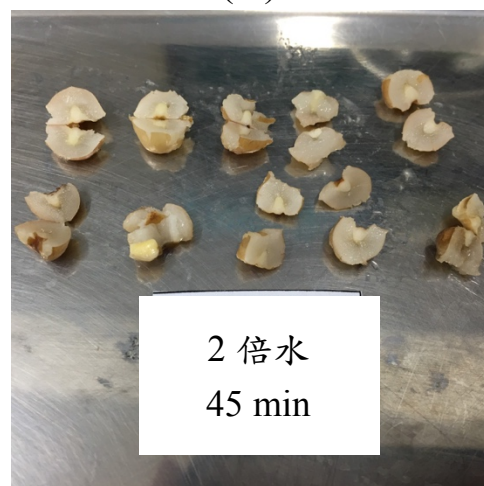
(C)



(D)



(E)




(F)

圖 13. 浸凍法兩倍水量不同蒸煮時間之糙薏仁剖面

(A)0 分鐘 (B)10 分鐘 (C)20 分鐘 (D)30 分鐘 (E)37 分鐘 (F)45 分鐘

Figure 13. Cross section photos of dehulled adlays with soaking-freezing method using double amount of water at different time points. The arrow heads indicated the raw parts of the adlay, which were still white.

第三節 加工對薏仁澱粉消化之影響



生澱粉是 SDS 的理想來源，尤其是穀類澱粉(A-type)，因為其結構的關係使其澱粉消化速率較緩慢，然而這緩慢消化的特性在糊化之後被改變。Zhang 等人(2006a; 2006b)比較玉米澱粉烹煮前後的消化特性，發現烹煮糊化之後玉米澱粉的 RDS 含量顯著提升，SDS 含量則顯著下降，故糊化是影響澱粉消化的重要因素。而糊化的程度取決於加工時的水量、溫度、時間等(Miao et al., 2015)，降低糊化程度可以藉由降低溫度、減少水量、縮短加工時間來達到，因此本實驗針對加工時的水量多寡及時間長短研究其對澱粉消化速率的影響。此外，回凝作用是常被用來改變澱粉結構的方法之一，故也探討回凝的影響，以下就各因子一一討論。

3.1 水量

在相同時間及相同冷藏天數的狀況下，可比較水量對澱粉消化的影響，圖 14 及圖 15 分別為 50 度法及浸凍法在不同條件之下的澱粉消化數據，由圖顯示，不論是 50 度法還是浸凍法，一倍水量及兩倍水量測得之 RDS、SDS 及 SDS/RDS 均相似，並無明顯差異，因此蒸煮水量對糙薏仁澱粉消化影響並不大。雖文獻指出可藉由降低水量來保持較多 SDS，但在本實驗數據中並無此現象，推測可能是因為本實驗採用的水量差距太小以至於影響較不明顯，或是因為糙薏仁表層有麩皮，會限制澱粉吸水。

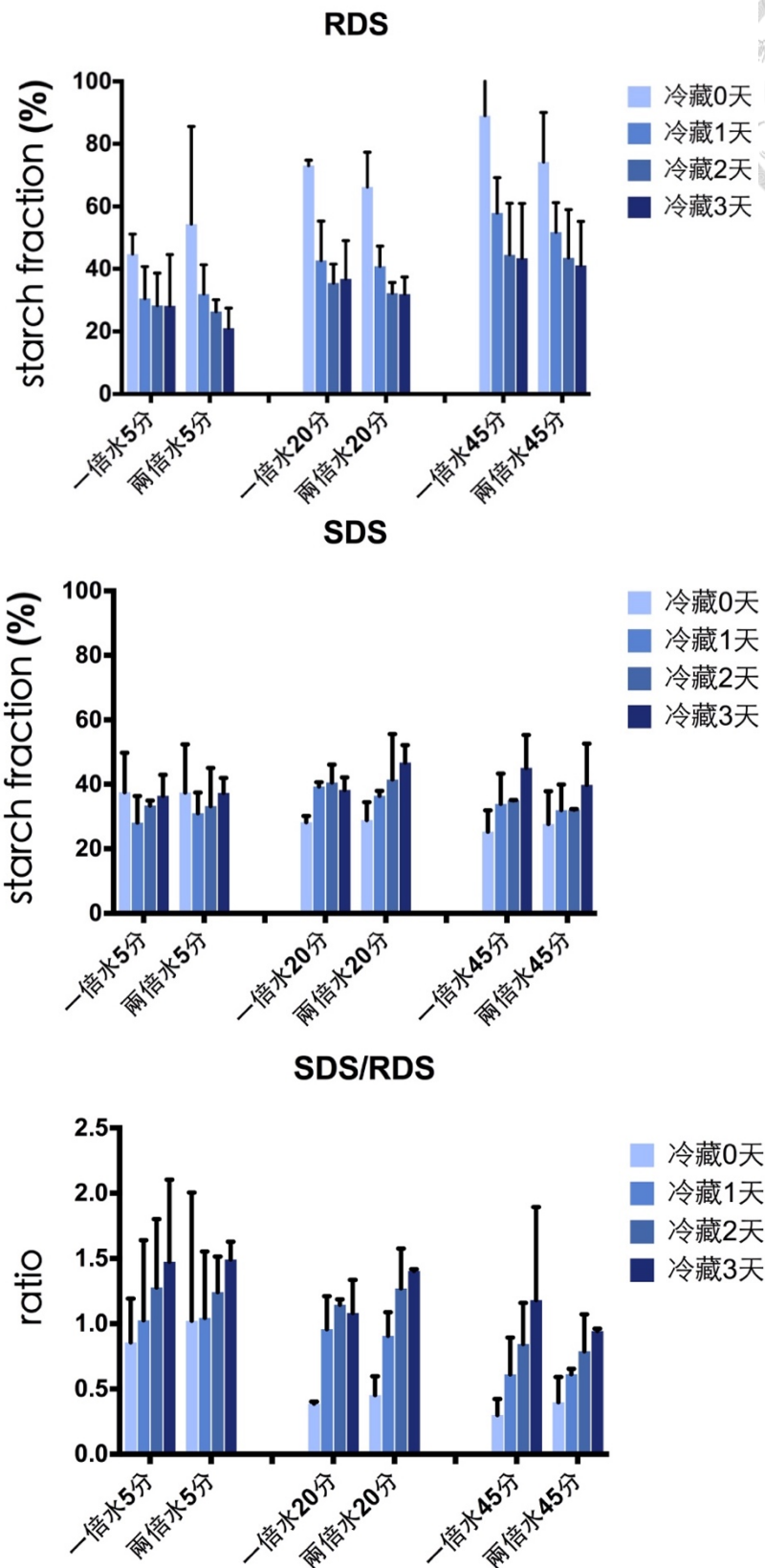


圖 14. 50 度法一倍水量及兩倍水量比較

Figure 14. The effect of water amount on adlay starch digestibility steaming with 50 °C method.

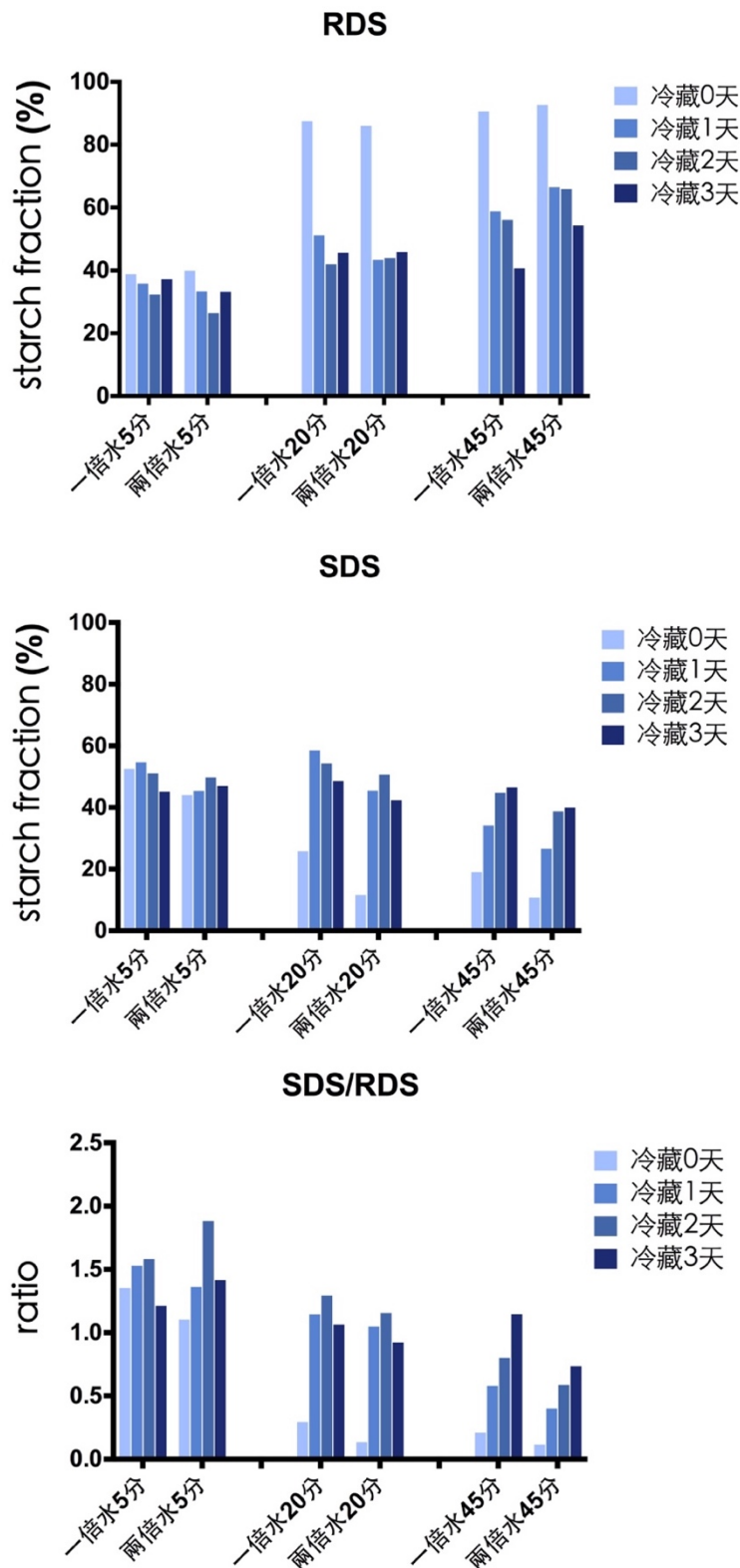


圖 15. 浸凍法一倍水量及兩倍水量比較
 Figure 15. The effect of water amount on the starch digestibility of adlay with soaking-freezing method.



3.2 時間

如圖 16 至圖 19 所示，不論是何種蒸煮方法搭配多少蒸煮水量及多長的冷藏天數，在相同的條件之下比較不同蒸煮時間之數據，可發現所有組別的 RDS 均隨著蒸煮時間拉長而有上升的趨勢，當蒸煮時間越久時，糙薏仁澱粉糊化的程度會越高。Chung 等人(2006)的實驗發現部分糊化的澱粉其水解率會介於生澱粉和糊化澱粉之間，表示澱粉水解率會隨著澱粉糊化程度上升而提高，因此糊化是影響澱粉消化速率的重要因子，糊化程度越高表示澱粉顆粒的完整度越低，也就表示澱粉酶能更容易進去接觸到澱粉進行水解反應，使得測得之 RDS 含量越高。

所有組別在冷藏 0 天的條件下，SDS 會隨著蒸煮時間拉長而有下降的趨勢，原因也與糊化相關，糊化程度越高會使澱粉消化得愈快，所測得之 SDS 自然就會較低。然而將糙薏仁冷藏之後，糊化澱粉會開始發生回凝作用，重新排列改變澱粉的消化特性，造成 SDS 之數據趨勢與冷藏 0 天之數據趨勢稍微不同。經過冷藏 1 天至 3 天後，50 度法一倍、兩倍水及浸凍法一倍水的組別其 SDS 大致呈現在蒸煮 5 分鐘時含量較低，20 分鐘上升，45 分鐘又稍微下降的趨勢，推測原因為蒸煮 5 分鐘的時間較短，此時的澱粉大部分尚未糊化，因此 RDS 較少、SDS 較多，而經過冷藏的回凝作用導致 RDS 轉變為結構較緊密之 SDS，SDS 則轉變為 RS，使得原本的 SDS 含量下降，造成 SDS 的趨勢隨時間的拉長呈現先上升再下降的狀況。

由 SDS/RDS 可看出 SDS 和 RDS 之間的相對關係，比單看 SDS 或 RDS 更能看出整體的趨勢。由圖 16 至圖 19 所示所有組別不論是在何種蒸煮方法、水量、冷藏天數的條件下，其 SDS/RDS 的值均隨著蒸煮時間拉長而下

降，顯示出雖然 SDS 在不同組別有些許差異，但可能造成的影響不大，使得 RDS 納入計算之後會減弱 SDS 的影響力，造成蒸煮時間與 SDS/RDS 呈現反比的結果。



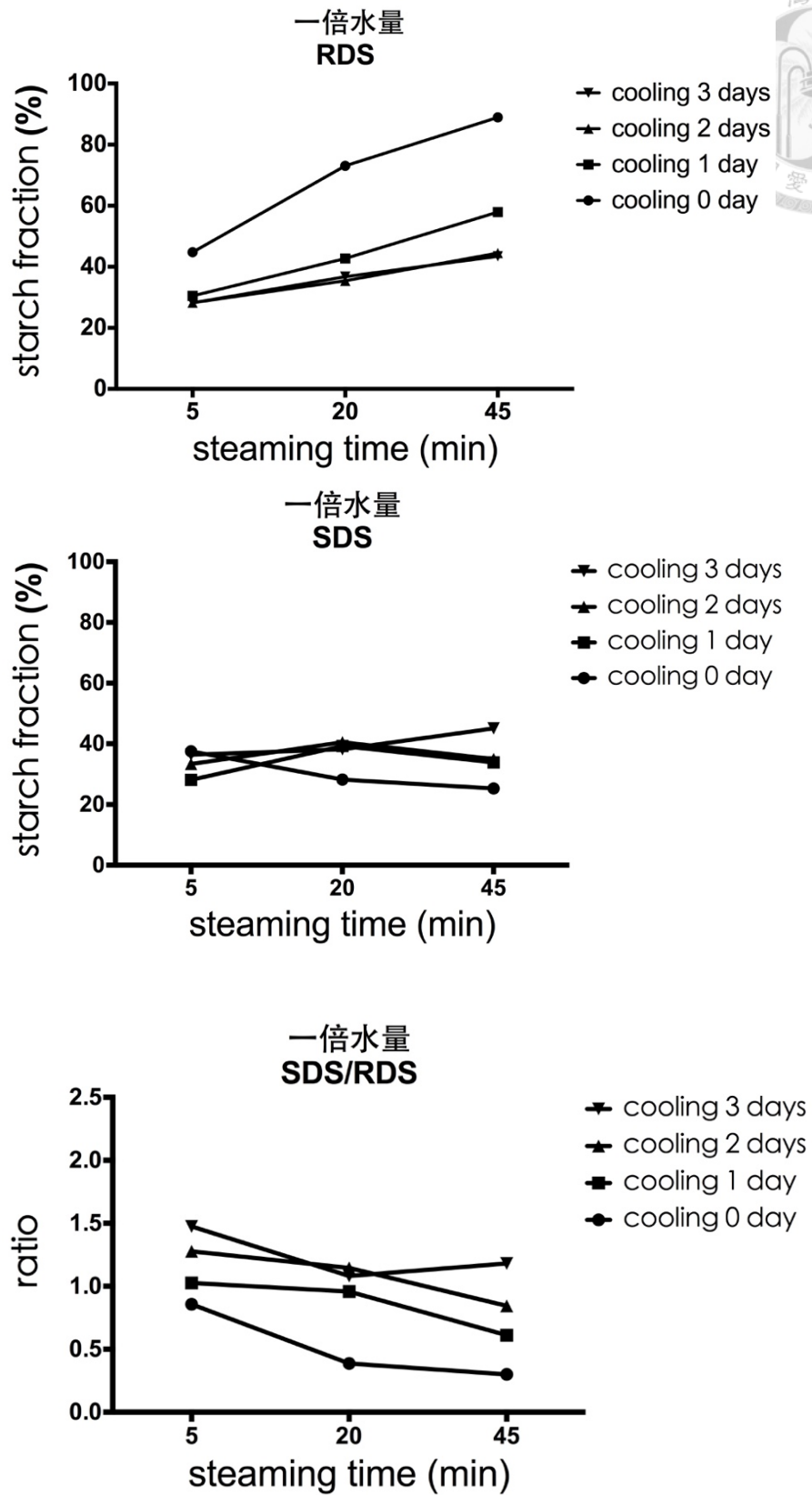


圖 16. 50 度法一倍水量蒸煮時間之影響

Figure 16. The effect of steaming time on adlay starch digestibility steaming using 50 °C method with the same amount of water as adlay weight.

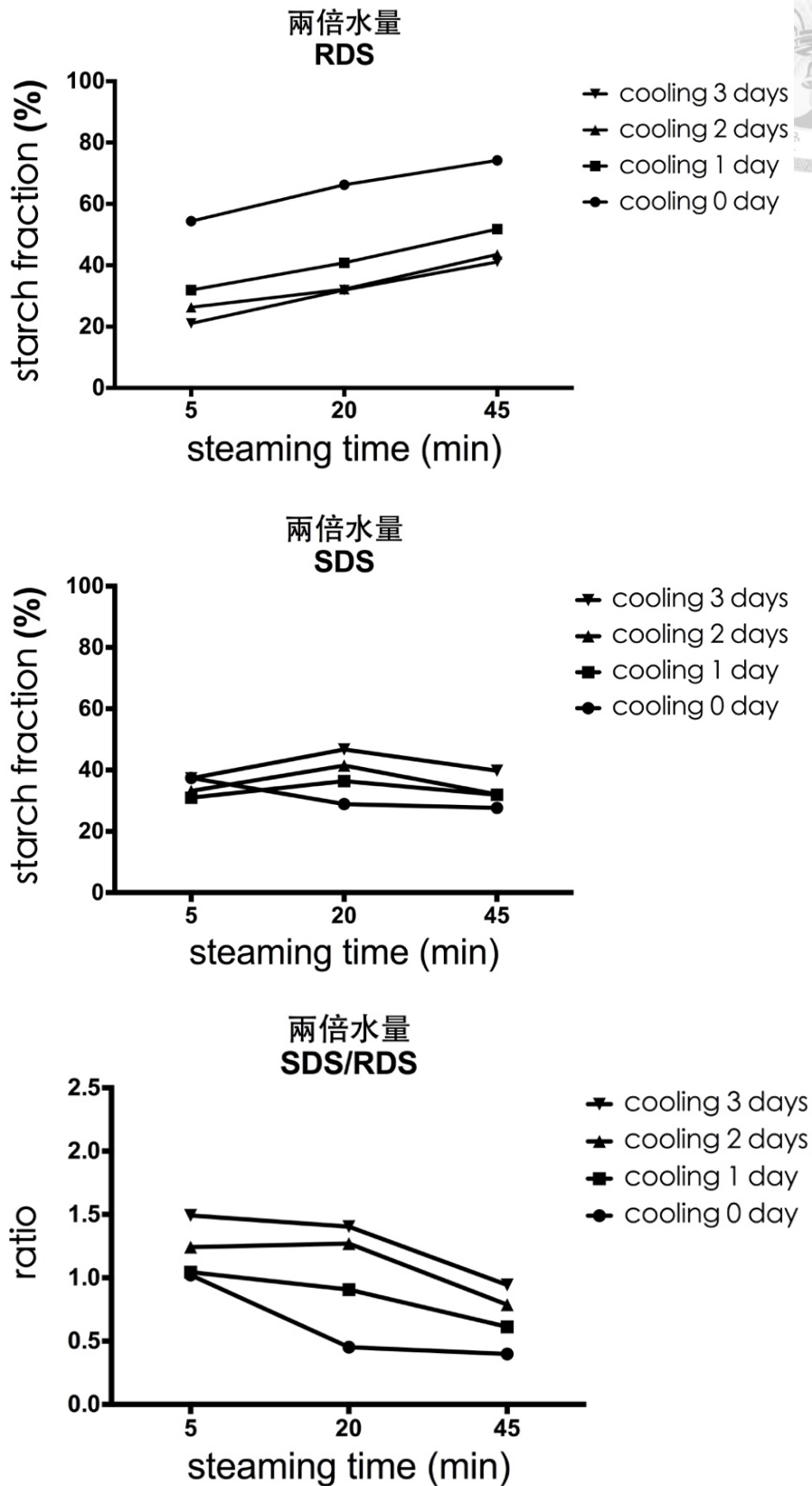


圖 17. 50 度法兩倍水量蒸煮時間之影響

Figure 17. The effect of steaming time on adlay starch digestibility steaming using 50 °C method with double amount of water.

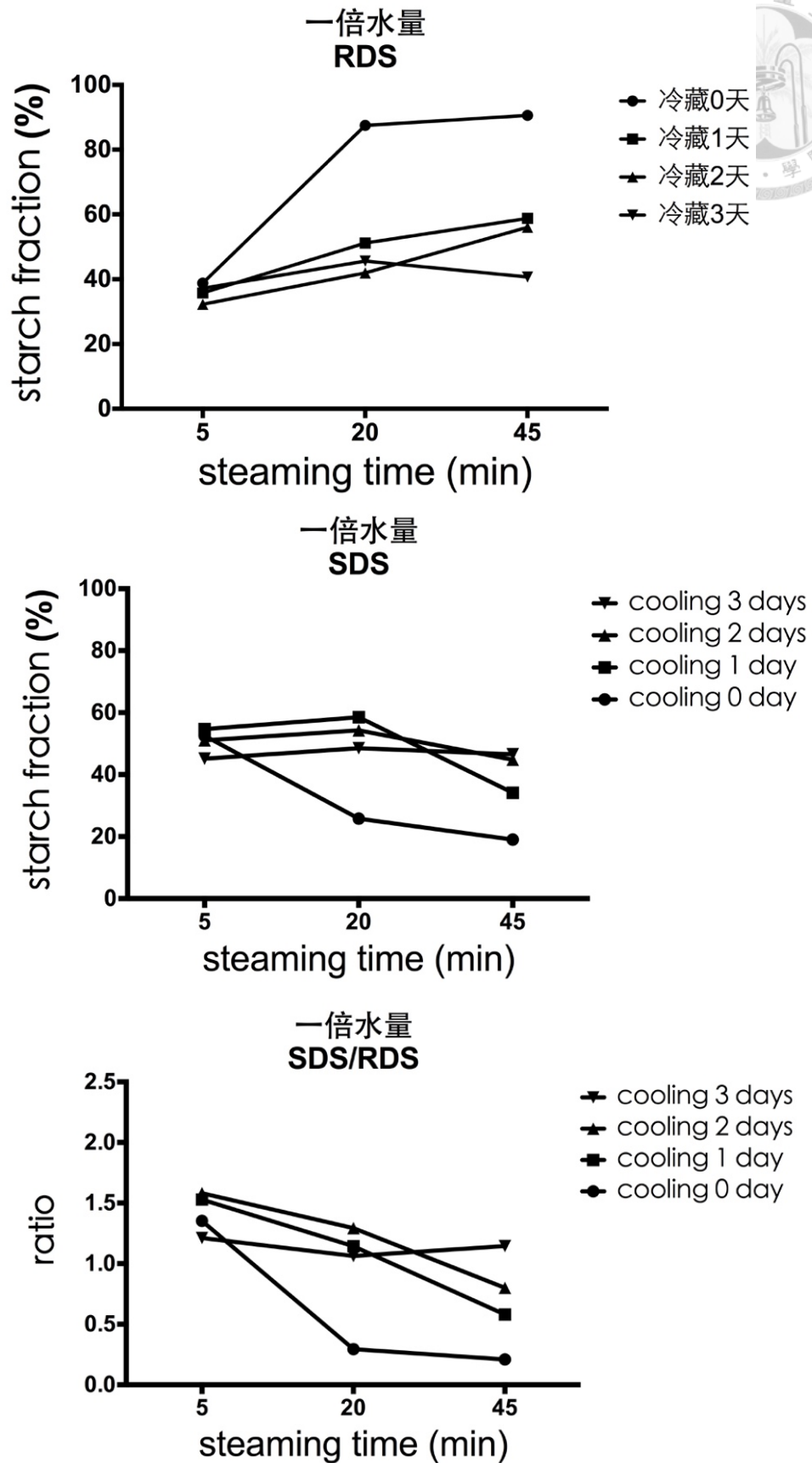


圖 18. 浸凍法一倍水量蒸煮時間之影響

Figure 18. The effect of steaming time on adlay starch digestibility steaming using soaking-freezing method with the same amount of water as adlay weight.

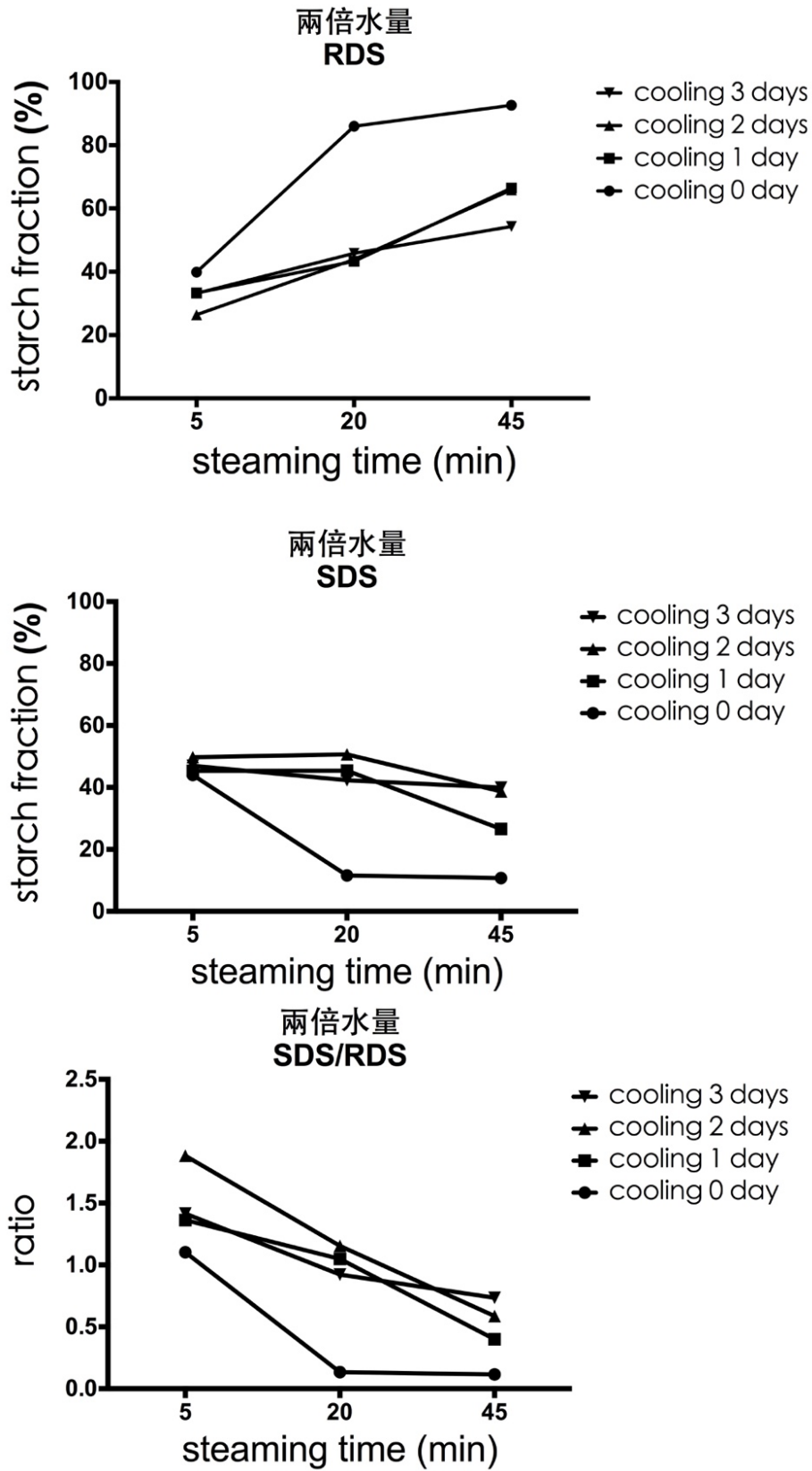


圖 19. 浸凍法兩倍水量蒸煮時間之影響


Figure 19. The effect of steaming time on adlay starch digestibility steaming using soaking-freezing method with double amount of water.



3.3 冷藏


將糊化澱粉置於低溫環境儲藏會促使澱粉進行回凝作用，支鏈澱粉及直鏈澱粉之間的氫鍵逐漸形成，重新排列成結構較緊密的結晶構造，進而減弱酵素對澱粉的水解反應 (Eerlingen et al., 1994; Cui and Oates 1997; Chung et al., 2006; Zhou and Lim 2012; Farhat et al., 2001; Okuda et al., 2006)。儲藏溫度及時間長度是影響回凝的重要因素，最常被用來研究回凝的溫度為 4°C 及 25°C 或 30°C，而 4°C 能比 25°C 或 30°C 引發更快的支鏈澱粉結晶化 (Wang et al., 2015)，故本實驗採用 4°C 為儲藏條件。圖 20 至圖 23 顯示，所有組別的 RDS 在冷藏過後均會下降，且冷藏 1 天即可使 RDS 明顯地減少，除了蒸煮 5 分鐘的組別其下降程度不如 20 分鐘及 45 分鐘的組別，推測是因為 5 分鐘的蒸煮時間較短，澱粉糊化程度也較低，RDS 本來就不多，因此能減少的程度有限。回凝作用初期進行的速率較快，後期會緩慢下來 (Wang et al., 2015)，此現象也可在本實驗中觀察到，RDS 含量在冷藏一天時明顯下降，而在冷藏 2 至 3 天後下降的速率減緩。

SDS 的含量也會受到回凝作用而變化，因為 SDS 和 RDS 是一體兩面的物質，通常要提高 SDS 的含量先要考量的手法就是降低 RDS 的量，因為 SDS 及 RDS 在含量或性質上是負相關的關係，而經過回凝之後 SDS 的構造會較接近 RS，所以通常 SDS 和 RS 會共存在加工過的澱粉食物中 (Zhang et al., 2008)，此外，RDS、SDS 及 RS 是一種以時間為區分的連續概念，所以是可以相互轉換的。由圖 20 至圖 23 可看出 RDS 和 SDS 冷藏後的趨勢是相反的，符合文獻所提及的概念，而 50 度法蒸煮 5 分鐘不論一倍水還兩倍水，其 SDS 均在冷藏一天時下降後再上升，浸凍法 5 分鐘不論水量其 SDS



趨勢則為先上升再下降，此差異推測是因為 50 度法和浸凍法相比，在同一蒸煮時間之下浸凍法的糊化程度會稍微高一些（由圖 9 米心率得知之蒸煮所需時間推測），因此 50 度法 5 分鐘的組別由於較生，冷藏 0 天已有的 SDS 經過冷藏 1 天後轉變為結構更緊密的 RS，造成 SDS 含量減少，而冷藏 2 天開始後期的回凝作用促使 RDS 逐漸轉變為 SDS，導致 SDS 回升。浸凍法 5 分鐘的 SDS 變化趨勢推測因為比 50 度法糊化程度更高，所以冷藏 1 天會使冷藏前的 RDS 轉變為 SDS，隨著冷藏時間拉長，SDS 逐漸轉變為 RS 導致 SDS 含量稍微下降，此情況在 50 度法及浸凍法 20 分鐘也可以觀察到。所有組別蒸煮 45 分鐘時，其 SDS 變化趨勢均隨著冷藏時間增加而增加，因為此蒸煮時間糊化較完全，澱粉有約 80% 為 RDS，因此經過冷藏之後會逐漸轉變為 SDS，造成 SDS 含量隨時間上升，SDS/RDS 的變化趨勢則大致和 SDS 相符。

糊化澱粉的回凝作用與澱粉的細微構造相關，初期快速的再結晶主要是由直鏈澱粉主導，支鏈澱粉的再結晶需要較長的時間，因此後期的回凝作用主要由支鏈澱粉主導，又圖 2 顯示本實驗使用的台灣薏仁其澱粉主要由支鏈澱粉所構成，佔了 99.23%，因此支鏈澱粉的影響力較大。而支鏈澱粉的回凝與其結構相關(Zhang et al., 2008)。Zhang 等人以已糊化的玉米澱粉為材料研究支鏈澱粉結構對回凝的影響，以支鏈澱粉的短鏈/長鏈比值為標準分為兩組，澱粉鏈長長短可用聚合度大小來區分，聚合度(degree of polymerization, DP)為衡量聚合物分子大小的指標，實驗分為短鏈(DP<13)多和長鏈(DP≥13)多兩組，儲存於 4°C 一星期觀察澱粉 RDS、SDS 及 RS 的變化，發現短鏈多的組別其 RDS、SDS 及 RS 均無顯著變化，但長鏈多的組別則隨儲藏時間而有明顯的變化，SDS 先快速上升至最高值後再下降，RDS



趨勢和 SDS 相反，呈現鐘型的曲線(附圖 12)，此現象在本實驗中也可以觀察到，故推測台灣薏仁(TCS4)屬於長鏈較多的品種，由文獻數據也可得知薏仁澱粉的支鏈澱粉鏈長分佈大多落在 DP13-24 之間(Kim et al., 2016; Chaisiricharoenkul et al., 2011)，如附圖 13 及 14 所示。但由於本實驗的儲藏時間只有三天，所以沒有看到完整的鐘型曲線。

綜合以上，從曲線變化可得知薏仁的 RDS 及 SDS 含量是可以變化的，取決於冷藏時間的長短，以 SDS/RDS 作為選擇條件的指標，可得知蒸煮時間越短越好，對 SDS 的保留較有利，且冷藏可以提高 SDS/RDS 的數值，然而雖然 SDS/RDS 會隨著冷藏時間拉長而提高，但冷藏時間大於一天以上所提升的程度和冷藏一天相比並無明顯差異，有些組別甚至會下降，考慮到樣品製作效率及能源耗量的問題，將樣品冷藏一天處理即可。另外，一倍水及兩倍水造成的影響差別不大，因此選擇較少水量的一倍水即可，如此有助於廠商於較少的經濟成本下生產本產品。

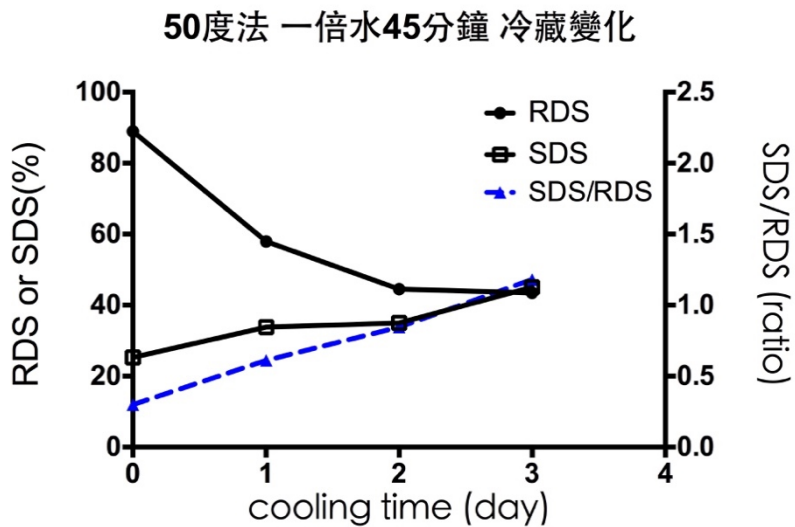
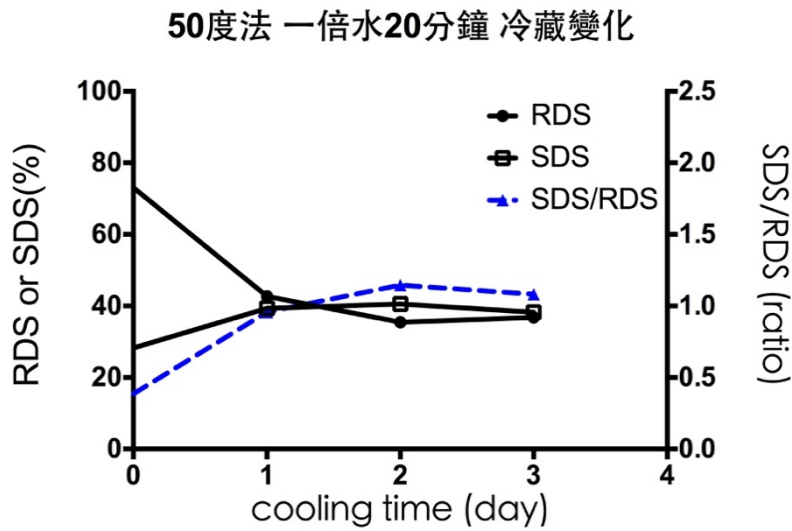
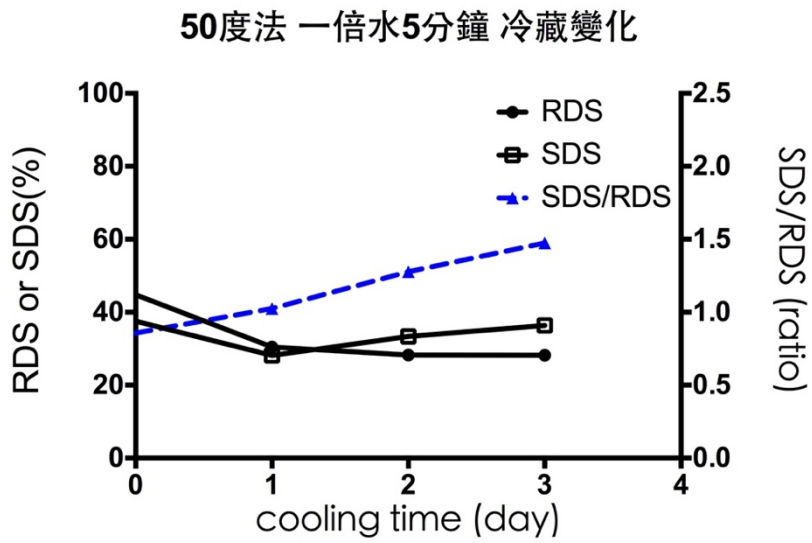


圖 20. 50 度法一倍水量不同蒸煮時間之冷藏變化
 Figure 20. The changes of starch digestibility of adlay that steamed with 50 °C method during refrigeration.

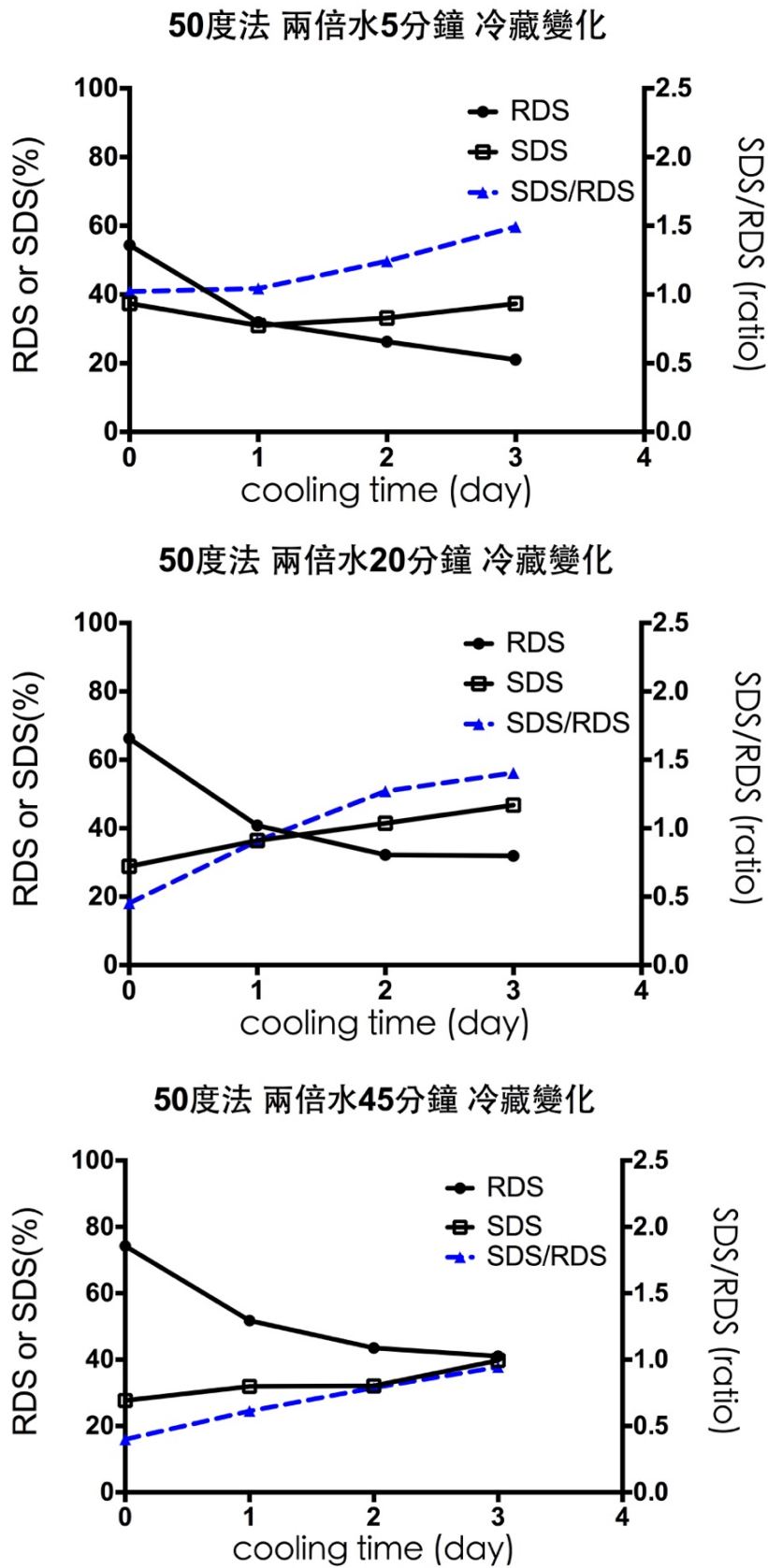
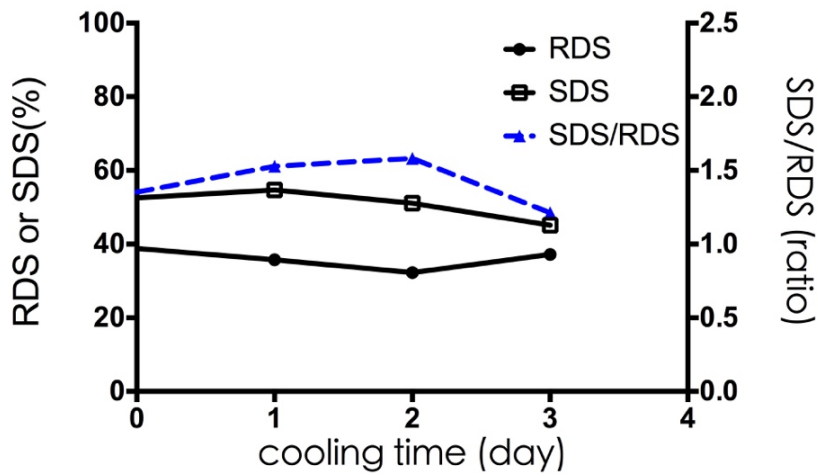


圖 21. 50 度法兩倍水量不同蒸煮時間之冷藏變化

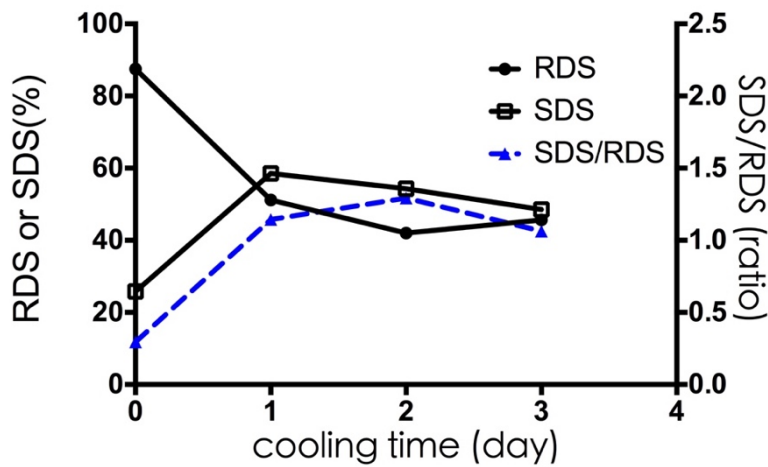
Figure 21. The changes of starch digestibility of adlay that steamed with 50 °C method during refrigeration.



浸凍法 一倍水5分鐘 冷藏變化



浸凍法 一倍水20分鐘 冷藏變化



浸凍法 一倍水45分鐘 冷藏變化

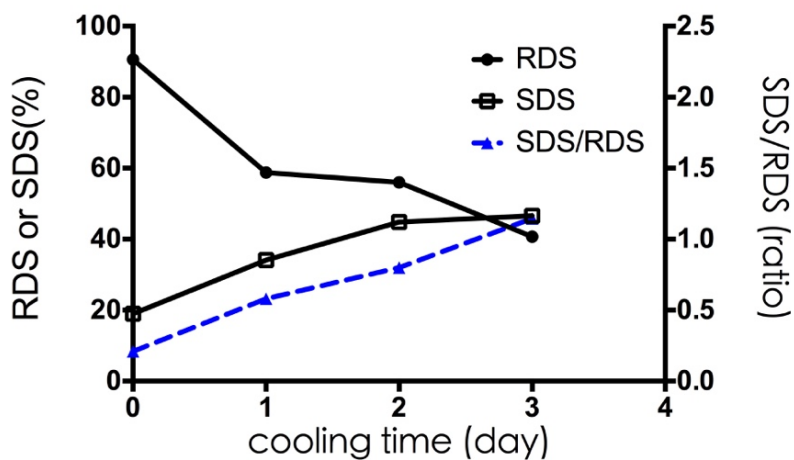


圖 22. 浸凍法一倍水量不同蒸煮時間之冷藏變化

Figure 22. The changes of starch digestibility of adlay that steamed with soaking-freezing method during refrigeration.

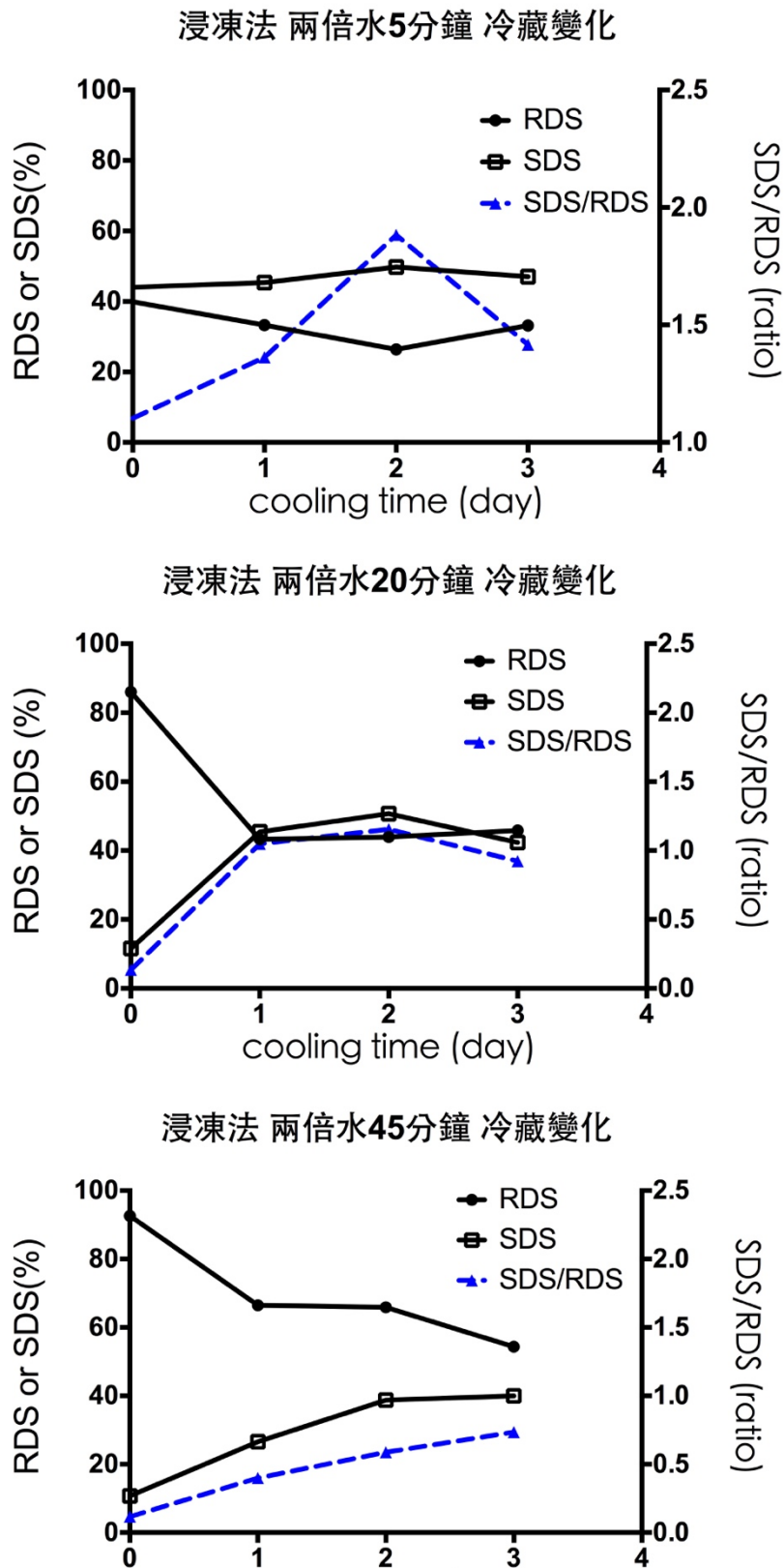


圖 23. 浸凍法兩倍水量不同蒸煮時間織冷藏變化

Figure 23. The changes of starch digestibility of adlay that steamed with soaking-freezing method during refrigeration.

第四節 感官品評



由於本實驗的最終目標希望能將糙薏仁樣品產品化，而若要開發產品，消費者的接受度就是個需考量的重要因素，因此實驗在此介入感官品評試驗，來看消費者對此實驗樣品的接受度及喜好度。由蒸煮水量、時間及冷藏時間對澱粉消化速率影響的數據已篩選出一倍水量、冷藏一天的加工條件，蒸煮時間則是越短越佳，然而蒸煮時間的選擇尚未確定，因此想利用消費者接受度之感官品評將無法被接受之蒸煮時間淘汰，試圖篩選出消費者能接受之最短蒸煮時間。

感官品評的候選樣品採用最終產品形式供受試者品評，因為本產品預計開發成即食食品，所以以冷凍乾燥後的形式提供，冷凍乾燥前的加工條件採用一倍水量蒸煮不同時間後，移至 4°C 冷藏一天，再進行冷凍乾燥得到品評樣品。在決定蒸煮時間範圍之前，有進行預實驗淘汰了蒸煮 5 分鐘的樣品，因為質地太硬無法接受，而蒸煮 20 分鐘及 45 分鐘則可被接受，故將品評樣品蒸煮時間範圍訂在 10~20 分鐘，樣品包括下列：50 度法一倍水 10 分鐘、50 度法一倍水 15 分鐘、50 度法一倍水 20 分鐘、浸凍法一倍水 10 分鐘、浸凍法一倍水 15 分鐘、浸凍法一倍水 20 分鐘。

感官品評採用九分制喜好度/接受度試驗，以一分到九分為樣品打分數，一分表示非常不喜歡，九分表示非常喜歡，中間值五分則代表普通，本實驗將大於 5 分定義為可被接受。受試者性別及年齡分佈如表 2 所示，共 32 位未受感官品評訓練之參與者。品評項目包括樣品外觀、硬度、口感、香味以及整體接受度，結果如圖 24 至圖 28 所示，六個樣品的外觀分數並無顯著差異，50 度法的三個樣品其硬度、口感、香味分數隨著蒸煮時間拉長而有上升的趨勢，浸凍法的三個樣品之硬度、口感、香味分數則無顯著差異。從



整體接受度來看，50 度法一倍水 10 分鐘之樣品分數顯著低於其餘五個樣品，且分數低於中間值 5 分，故將此樣品淘汰，其餘五個樣品因無顯著差異，且分數均高於 5 分，因此留下繼續後續實驗。

表 2. 感官品評受試者之人數、性別、年齡

Table 2. Number, sex, age of participants that took part in the sensory evaluation test of adlay products.

	Sex		Age				
	Male	Female	21-25	26-30	31-35	36-40	>41
Number	9	23	24	3	1	1	3



表 3. 不同加工條件凍乾成品之感官品評結果

Table 3. Sensory evaluation score of adlay products. Results were mean \pm standard deviation.

	258	175	894	606	134	941
Appearance	5.677 \pm 1.326	5.581 \pm 1.285	5.419 \pm 1.336	5.839 \pm 1.128	5.355 \pm 1.170	5.774 \pm 1.283
Flavor	5.000 \pm 1.291 ^a	5.581 \pm 0.886 ^{ab}	5.871 \pm 1.118 ^b	5.677 \pm 1.249 ^{ab}	5.710 \pm 1.071 ^{ab}	5.742 \pm 1.264 ^{ab}
Texture	4.806 \pm 1.352 ^a	5.484 \pm 1.503 ^{ab}	5.935 \pm 1.413 ^b	5.710 \pm 1.395 ^{ab}	5.839 \pm 1.241 ^b	6 \pm 1.317 ^b
Hardness	4.935 \pm 1.548 ^a	5.806 \pm 1.327 ^{ab}	6.161 \pm 1.267 ^b	5.871 \pm 1.5436 ^{ab}	6.290 \pm 1.039 ^b	6.194 \pm 1.223 ^b
Overall acceptability	4.625 \pm 1.338 ^a	5.625 \pm 1.289 ^b	5.8125 \pm 1.223 ^b	5.875 \pm 1.408 ^b	5.875 \pm 1.129 ^b	6.031 \pm 1.282 ^b

Sample codes of 6 products stands for:

258: 50 °C method, steamed for 10 min, refrigerated for 1 day and then freeze-dry.

175: 50 °C method, steamed for 15 min, refrigerated for 1 day and then freeze-dry.

894: 50 °C method, steamed for 20 min, refrigerated for 1 day and then freeze-dry.

606: soaking-freezing method, steamed for 10 min, refrigerated for 1 day and then freeze-dry.

134: soaking-freezing method, steamed for 15 min, refrigerated for 1 day and then freeze-dry

941: soaking-freezing method, steamed for 20 min, refrigerated for 1 day and then freeze-dry

第五節 冷凍乾燥薏仁之澱粉消化



由於感官品評篩選出之五個凍乾樣品之接受度分數無顯著差異，故進行澱粉體外消化實驗進一步以消化速率作為標準來篩選最終產品。圖 29 顯示各樣品的 RDS、SDS 及 SDS/RDS，其中 50 度法 15 分鐘與浸凍法 15 分鐘的 RDS 有顯著差異，這兩組除了蒸煮方法不同其餘條件均相同，因此可看出 50 度法是優於浸凍法的。而各樣品之間的 SDS 及 SDS/RDS 均無顯著差異，但 50 度法 15 分鐘之 SDS/RDS 值是五個樣品中最高的，且其 RDS 較低，SDS 較高，因此選擇 50 度法一倍水 15 分鐘冷藏一天後凍乾作為最終產品的加工條件，圖 30 為台灣生糙薏仁以及最終凍乾產品照片，可見終產品保持了原料的外型，薏仁在加工過程並無受到嚴重物理性破壞，而組織完整度可作為其澱粉消化速率較低之解釋之一。

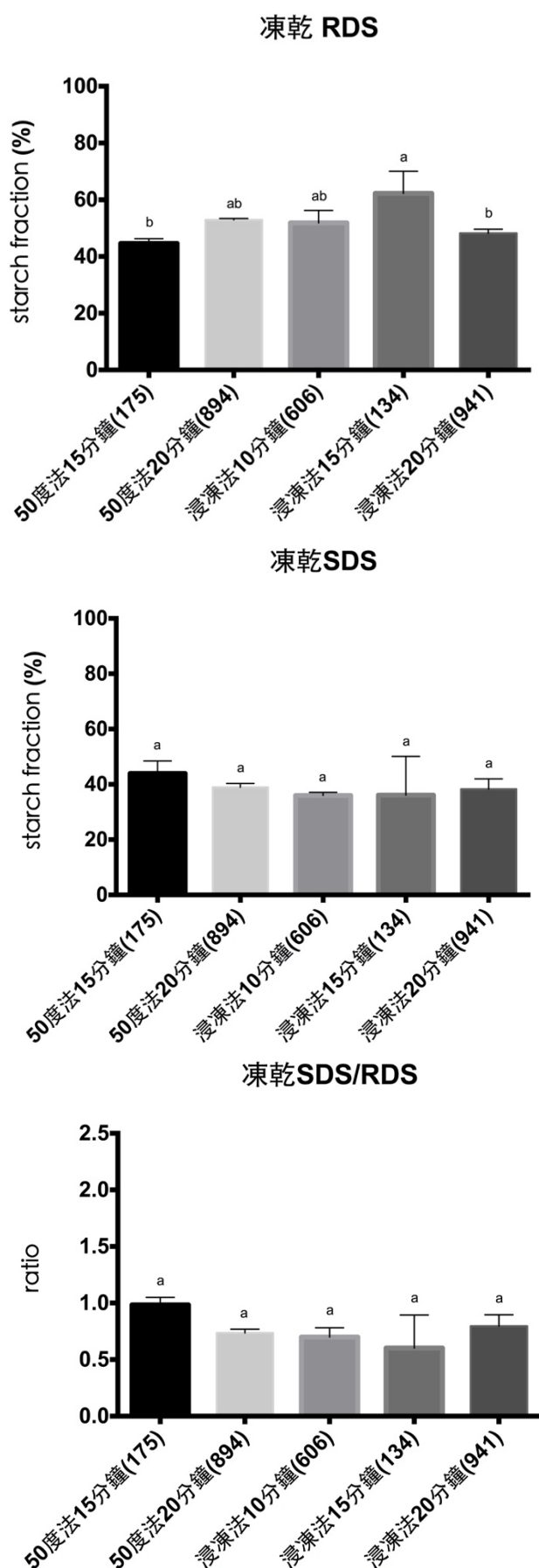
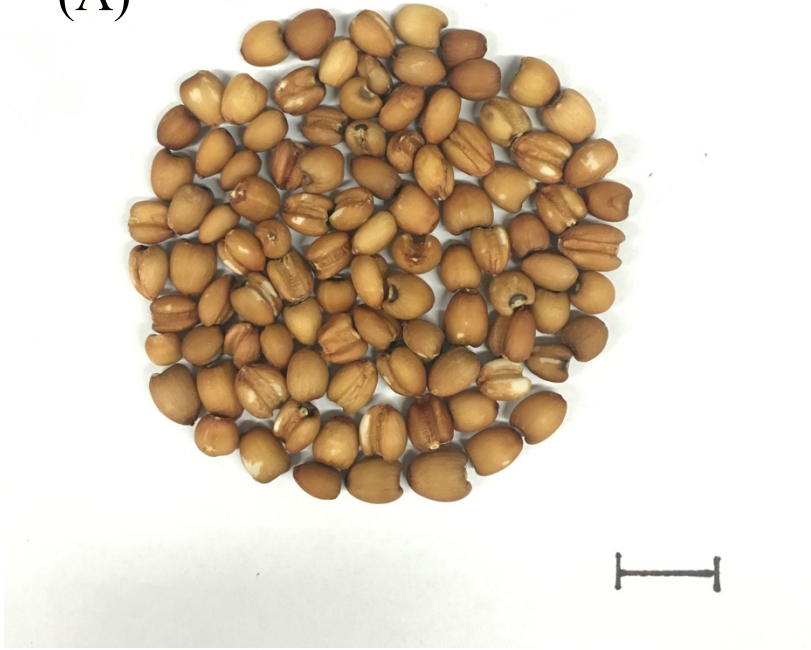


圖 24. 不同加工條件凍乾成品之消化特性

Figure 24. Starch digestibility of adlay products. Results were mean \pm standard deviation.



(A)



(B)

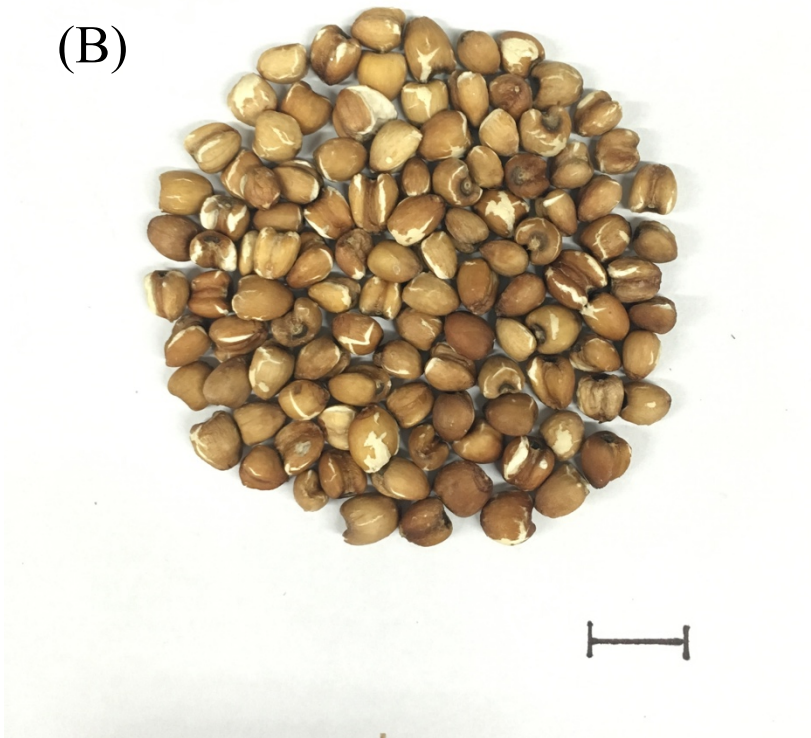


圖 25. 台灣糙薏仁原料(A)及最終凍乾成品照片(B)

Figure 25. Photos of raw Taiwan dehulled adlay (A) and its final product (B).

The scale bar indicates 1 cm.

第六節 不同品種糙薏仁凍乾成品之澱粉消化比較



確立產品加工條件後，將此條件套入其他品種的糙薏仁來看品種之間是否有差異，比較的品種包括寮國黑殼種、寮國白殼種和越南種。

圖 31 顯示台灣種糙薏仁的 RDS 是四個品種中最低的，且與寮國黑殼種有顯著差異，但四種品種的糙薏仁之 SDS 均無顯著差異，SDS/RDS 也均無顯著差異，不過單就平均值來看，台灣種之 SDS/RDS 是第二高的，僅次於越南種。由此可得知在相同的加工條件之下，台灣種糙薏仁並沒有明顯突出，而這四個品種糙薏仁之間的些微差異可能是其澱粉構造所造成，包括直鏈澱粉及支鏈澱粉的比例、支鏈澱粉鏈長分佈等因素，若要瞭解細節則需進一步實驗證實。

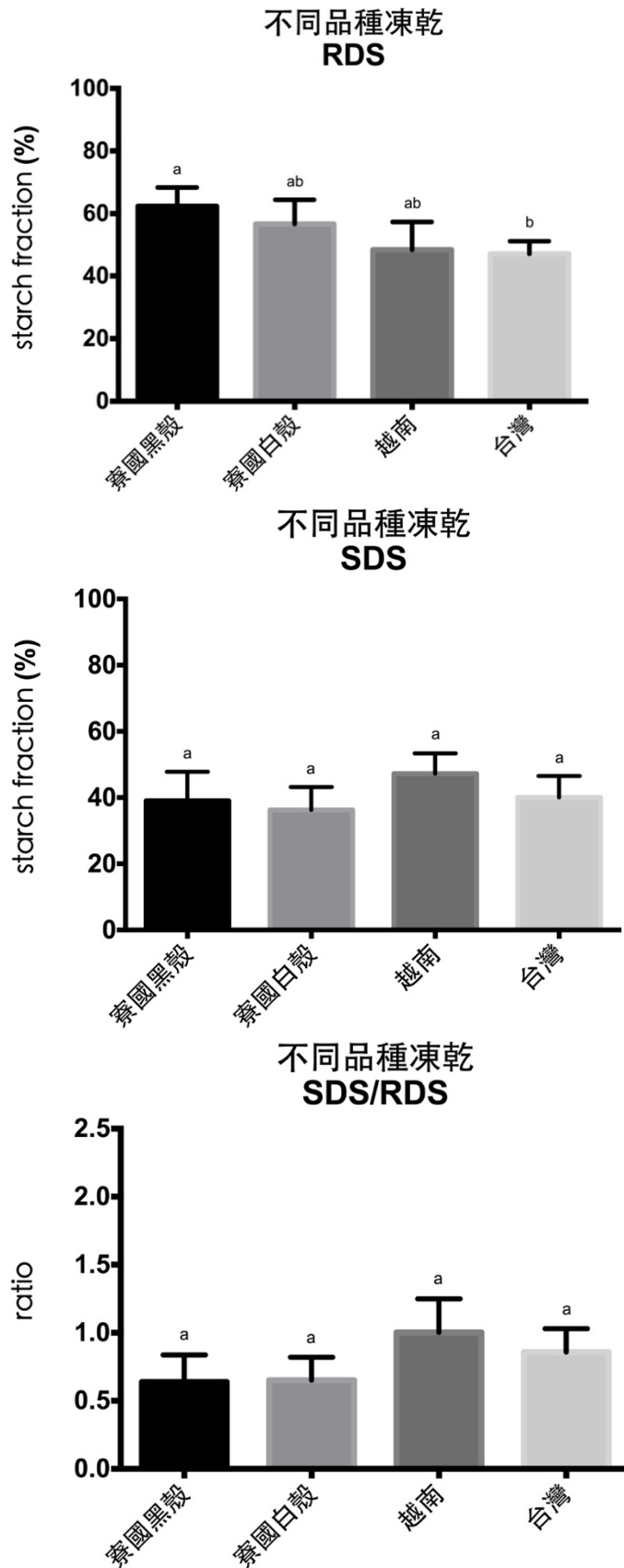



圖 26. 不同品種糙薏仁凍乾成品之消化特性

Figure 26. Starch digestibility of different species of dehulled adlay final products. Results were mean \pm standard deviation.

第七節 凍乾產品與薏仁一般吃法及白飯消化比較



為了凸顯出本產品的優勢，將凍乾糙薏仁產品與生薏仁、薏仁一般煮法及白飯相比其 RDS、SDS 及 SDS/RDS。由圖 32 可知生薏仁經過一般家庭的烹煮方法煮熟之後會顯著提高其 RDS 含量，由於通常會將薏仁煮到軟爛的狀態食用，其糊化程度高，生薏仁澱粉顆粒的完整度也被破壞殆盡，因此較容易被酵素消化，RDS 的量即明顯增加。然而薏仁經過本實驗篩選出的加工條件處理之後，凍乾產品之 RDS 含量與一般煮法之組別相比顯著下降，且與生薏仁無顯著差異，也就是說本實驗之加工條件可以保留生薏仁澱粉緩慢消化的特性，使人體食入之後血糖不會急劇上升。白飯是亞洲人的澱粉主食，而其 RDS 是所有組別中最高的，甚至比薏仁的一般煮法還高，與白飯相比，凍乾產品之 RDS 顯著較低。

除了 RDS 之外，SDS 也可看出凍乾產品的優勢，生穀類澱粉是 SDS 的良好來源，大部份生穀類澱粉測出的 SDS 含量高，約佔澱粉的 50% 甚至以上，由於其結構的關係使其消化速率較緩慢(Zhang et al., 2006)，且 Seal 等人(2003) 在人體實驗證實了玉米澱粉造成的飯後血糖曲線較緩慢且延長。本實驗測出的生薏仁 SDS 含 47.77%，而凍乾產品之 SDS 與生薏仁之 SDS 無顯著差異，但顯著低於白飯組別，由此可知凍乾產品對於血糖的控管是有利的。

同樣從較具整體代表性之 SDS/RDS 來看，凍乾組別與一般煮法組及白飯組有顯著差異，薏仁一般煮法及白飯之 SDS/RDS 較低，而與生薏仁組別無顯著差異，成功保留生薏仁澱粉緩慢消化的性質。故可將凍乾產品取代部分白飯主食，作為控管血糖的方法之一，至於需取代多少量則需要進一步的實驗證明。

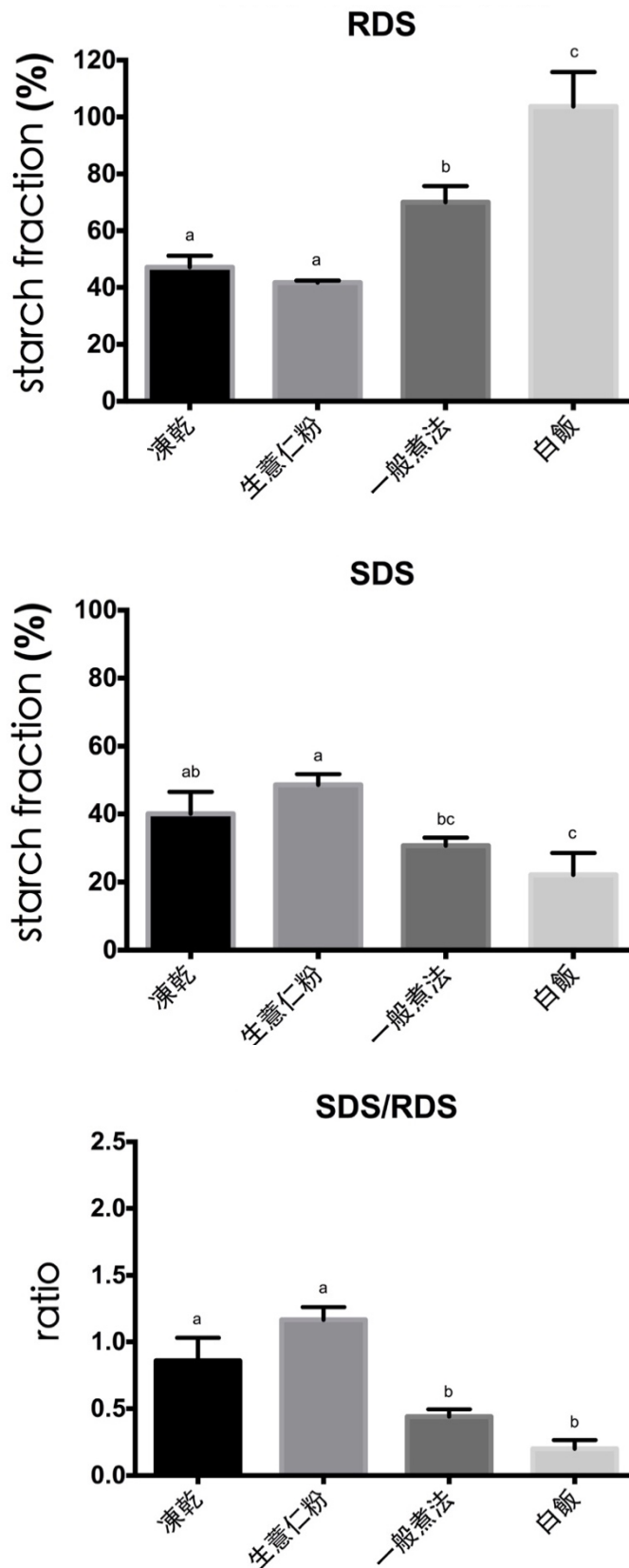



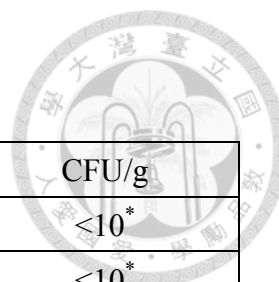
圖 27. 台灣糙薏仁凍乾成品與生薏仁、薏仁一般煮法、白飯之消化特性比較

Figure 27. Differences of starch digestibility among dehulled adlay final product, raw dehulled adlay, dehulled adlay cooking with regular method and cooked rice. Results were mean \pm standard deviation

第八節 安全性試驗—生菌數



產品開發除了功效及消費者接受度需考量外，產品的安全性也是一項重要因素，故在此進行總生菌數試驗，由於生菌數測試的培養條件為 35 °C 有氧環境，因此檢出的菌屬於非厭氧的中溫菌，而檢出菌量與食品之製造環境細菌污染狀況具有相關性，因此試驗結果可作為評估食品安全性、保存性、衛生處理是否良好之有效方法，當檢出菌量少時，表示食品在製造、加工、輸送及貯藏過程的處理方式衛生狀況良好，若菌量過高，則表示處理不當，食品中可能含有引起食品中毒之病原菌。表 3 為生菌數之結果，在各稀釋倍數的組別均無菌落生長，且空白對照組也無菌落生長，表示實驗操作或稀釋液沒有污染樣品的疑慮，依據台灣衛生福利部所公布之生菌數檢驗方法中的計算方式，各稀釋倍數均無菌落生長者，則生菌數應小於 1 乘以最低稀釋倍數並註明估計值，因此本實驗之凍乾產品生菌數小於 10 CFU/g，符合限量 10^5 CFU/g 之衛生標準，可說明加工過程無衛生疑慮，大部份細菌在蒸煮階段被高溫殺死，且後續的冷凍乾燥使產品的水分含量極低，微生物難以生長。



樣品	稀釋倍數	菌落數	CFU/g
台灣糙薏仁 50 度法一倍水 15 分鐘冷藏一天 之凍乾品	10	0	<10 [*]
		0	<10 [*]
		0	<10 [*]
		0	<10 [*]
		0	<10 [*]
	100	0	<10 [*]
		0	<10 [*]
		0	<10 [*]
		0	<10 [*]
		0	<10 [*]
		0	<10 [*]
	1000	0	<10 [*]
		0	<10 [*]
		0	<10 [*]
		0	<10 [*]
		0	<10 [*]
		0	<10 [*]
	空白組(稀釋液)	0	<10 [*]
		0	<10 [*]
	空白組(動作) [#]	0	<10 [*]

表 4. 台灣糙薏仁終產品生菌數檢測結果

Table 3. The results of total plate count of dehulled adlay final product

有標記*為估計值

* Estimated value, calculated as 1 multiply the minimum dilution factor.

Blank group without diluent, only operating movements.

第五章 結論



本實驗以台灣糙薏仁為實驗材料篩選可使澱粉消化速率較緩慢的加工條件，以 RDS、SDS、SDS/RDS 為篩選標準，探討蒸煮方法、蒸煮水量、蒸煮時間及冷藏時間對澱粉消化的影響，結果發現水量對糙薏仁消化速率的影響不明顯，而隨著蒸煮時間拉長其消化速率越高，也就是 RDS 越高，SDS 越低，因此蒸煮時間越短越有利。經過冷藏之後能引發澱粉的回凝作用，使澱粉 RDS 明顯下降，SDS 提升。另外，顧慮到本實驗是為了開發產品，故消費者接受度是個重要因子，經過感官品評及進一步澱粉消化實驗後，篩選出以 50 度法一倍水量蒸煮 15 分鐘後冷藏一天的條件是各實驗條件中最佳的，因此以此條件製作凍乾產品，而與一般煮法的薏仁及白飯相比，凍乾產品的消化速率顯著較低，因此可將凍乾產品取代部分白飯作為飲食控管，有控制血糖的潛力，至於取代後是否確實有效則需進一步以體內實驗證實。雖然凍乾產品在感官品評中是可被接受的，但得分並不是很高，未來可將產品以不會增加消費者健康負擔的方式改善其風味，提高消費者接受度。此外，產品的飽足感也需納入考量，若產品無法達到取代一餐的飽足感，則消費者可能會另行攝食更多食物而造成反效果。

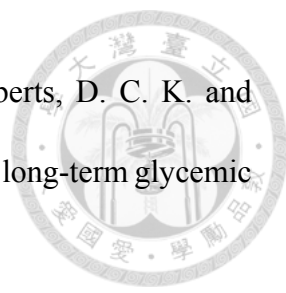
第六章 參考文獻

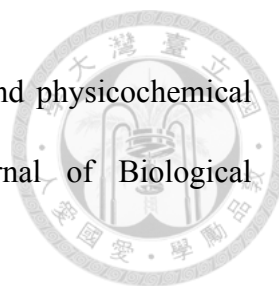


1. 王思涓。2002年。薏苡籽實中特殊生理機能性成分的定量分析與比較。國立臺灣大學食品科技研究所碩士論文。台北。
2. 黃詠凱。2002年。不同產地的糙薏仁對倉鼠脂質代謝之影響。國立臺灣大學食品科技研究所碩士論文。台北。
3. 黃士禮及江文章。1999年。薏苡籽實各部位之組成及其丙酮萃取物之抗突變作用。食品科學 26(2):121-130。
4. 行政院農委會台中區農業改良場 農推專訊28期。
5. 高德錚及梁純玲。1986年。省產薏仁品質之檢定。台中區農業改良場研究彙報13，11-18。
6. 曾勝雄及高德錚。1995年。薏苡台中1號之育成。台中區農業改良場研究彙報47，11-22。
7. 曾勝雄、廖宜倫及陳裕星。2009年。薏苡台中3號之育成。台中區農業改良場研究彙報102，59-69。
8. 劉曉娟、楊磊、毛新、趙力超、周愛梅及劉欣。2012年。薏米難糊化的機理研究。中國食品學報12(7)。
9. 鄭光哲。2016年。預煮處理對稻米理化特性及消化性之影響。國立臺灣大學食品科技研究所碩士論文。台北。

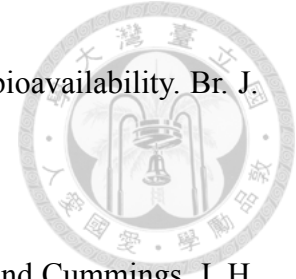


10. 何珮華及江伯源。2014年。紅薏仁吸水特性及對烹煮品質的影響。台灣農業化學與食品科學。52(1):15-24.
11. Akerberg, A. K. E., Liljeberg, H. G. M., Granfeldt, Y. E., Drews, A. W. and Bjorck, I. M. E. (1998). An in vitro method, based on chewing, to predict resistant starch content in foods allows parallel determination of potentially available starch and dietary fiber. *Journal of Nutrition*, 128, 651-660.
12. Alberti, K. G. M. M., Eckel, R. H., Grundy, S. M., Zimmet, P. Z., Cleeman, J. I., Donato, K. A., Fruchart, J. C., James, W. P., Loria, C. M., Smith, S. C. (2009). Harmonizing the metabolic syndrome: A joint interim statement of the international diabetes federation task force on epidemiology and prevention. *Circulation*, 120, 1640-1645.
13. Ao, Z. and Jane, J.L. (2007). Characterization and modeling of the A- and B-granule starches of wheat, triticale and barley. *Carbohydr. Polym.*, 67, 46-55.
14. Araya, H., Contreras, P., Alvina, M., Vera, G. and Pak, N. (2002). A comparison between an in vitro method to determine carbohydrate digestion rate and the glycemic response in young men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56, 735-739.
15. Aston, L. M. (2006). Glycaemic index and metabolic disease risk. *Proc. Nutr. Soc*, 65, 125-134.
16. Bjorck, I., Liljeberg, H. and Ostman, E. (2000). Low glycaemic-index food. *Br. J. Nutr.*, 83, 149-155.

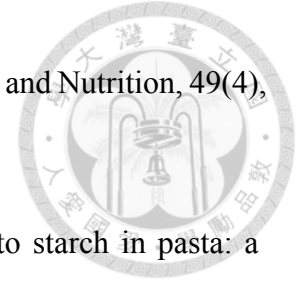
- 
17. Brand, J. C., Colagiuri, S., Crossman, S., Allen, A., Roberts, D. C. K. and Truswell, A. S. (1991). Low-glycemic index foods improve long-term glycemic control in NIDDM. *Diab. Care*, 14, 95–101.
 18. Brennan, C. S., Blake, D. E., Ellis, P. R. and Schofield, J. D. (1996). Effects of guar galactomannan on wheat bread microstructure and on the in vitro and in vivo digestibility of starch in bread. *Journal of Cereal Science*, 24, 151–160.
 19. Brighenti, F., Pellegrini, N., Casiraghi, M. and Testolin, G. (1995). In vitro studies to predict physiological effects of dietary fibre. *European Journal of Clinical Nutrition*, 49, 81–88.
 20. Brouns, F., Kettlitz, B., and Arrigoni, E. (2002). Resistant starch and the butyrate revolution. *Trends in Food Science & Technology*, 13, 251–261.
 21. Chaisiricharoenkul, J., Tongta, S. and Intarapichet, K. O. (2011). Structure and chemical and physicochemical properties of job's tear (*coix lacryma-jobi* L.) kernels and flours. *Suranaree J. Sci. Technol*, 18(2):109–122.
 22. Chung H. J., Lim H. S., Lim S. T. (2006). Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch. *J Cereal Sci*, 43, 353–9.
 23. Chung H. J., Shin D. H., Lim S. T. (2008). In vitro starch digestibility and estimated glycemic index of chemically modified corn starches. *Food Research International*, 41, 579–585.
 24. Chung H. J., Hoover R., Liu Q. (2009). The impact of single and dual



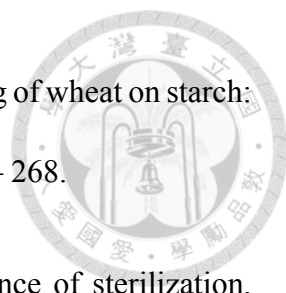
- hydrothermal modifications on the molecular structure and physicochemical properties of normal corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 44, 203–210.
25. Cui, R., Oates, C.G. (1997). The effect of retrogradation on enzyme susceptibility of sago starch. *Carbohydr polym*, 32, 65–72.
 26. Dartois, A., Singh, J., Kaur, L. and Singh, H. (2010). Influence of Guar Gum on the In Vitro Starch Digestibility—Rheological and Microstructural Characteristics. *Food Biophysics*, 5, 149–160.
 27. Eerlingen, R. C., Jacobs, H, Delcour, J. (1994). Effect of retrogradation of waxy maize starch on enzyme susceptibility. *Enzyme-Resistant Starch*, 71, 351–355.
 28. Englyst, H. N., Kingman, S. M., and Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur J Clin Nutr*, 46, 33–50.
 29. Englyst, H. N., Wiggins, H. S. and Cummings, J. H. (1982). Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas–liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. *The Analyst*, 107, 307–318.
 30. Ells, L. J., Seal, C. J., Kettlitz, B., Bal, W. and Mathers, J. C. (2005). Postprandial glycaemic, lipaemic and haemostatic responses to ingestion of rapidly and slowly digested starches in healthy young women. *Br. J. Nutr.* 94, 948–955.



31. Englyst, K. N. and Englyst, H. N. (2005). Carbohydrate bioavailability. *Br. J. Nutr*, 94, 1–11.
32. Englyst, K. N., Englyst, H. N., Hudson, G. J., Cole, T. J. and Cummings, J. H. (1999). Rapidly available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glycemic response. *Am J Clin Nutr*, 69, 448–54.
33. Englyst, K. N., Vinoy, S., Englyst, H. N. and Lang, V. (2003). Glycaemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. *Br. J. Nutr*, 89, 329–339.
34. Fardet, A., Hoebler, C., Armand, M., Lairon, D. and Barry, J. L. (1999). In vitro starch degradation from wheat-based products in the presence of lipid complex emulsions. *Nutrition Research*, 19, 881– 892.
35. Farhat, I. A., Protzmann, J., Becker, A., Valles-Pamies, B., Neale, R., and Hill, S. E. (2001). Effect of the extent of conversion and retrogradation on the digestibility of potato starch. *Starch/Stärke*, 53, 431–436.
36. Germaine, K. A., Samman, S., Fryirs, C. G., Griffiths, P. J., Johnson, S. K. and Quail, K. J. (2008). Comparison of in vitro starch digestibility methods for predicting the glycaemic index of grain foods. *J Sci Food Agric*, 88, 652–658.
37. Garsetti, M., Vinoy, S., Lang, V., Holt, S., Loyer, S. and Brand-Miller, J. C. (2005). The glycemic and insulinemic index of plain sweet biscuits: Relationships to in vitro starch digestibility. *J. Am. Coll. Nutr*, 24, 441–447.
38. Grabitske, H. A., and Slavin, J. L. (2009). Gastrointestinal effects of low-

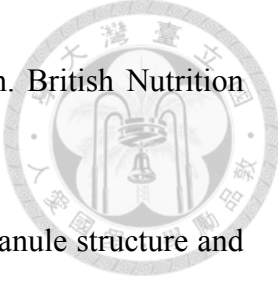


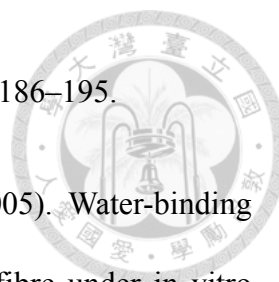
- digestible carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(4), 327–360
39. Granfeldt, Y. and Bjorck, I. (1991). Glycemic response to starch in pasta: a study of mechanisms of limited enzyme availability. *Journal of Cereal Science*, 14, 47–61.
40. Granfeldt, Y., Liljeberg, H., Drews, A., Newman, R. and Björck, I. (1994). Glucose and insulin responses to barley products: Influence of food structure and amylose-amylopectin ratio. *Am. J. Clin. Nutr*, 59, 1075–1082.
41. Granfeldt, Y., Björck, I., Drews, A. and Tovar, J. (1992). An in vitro procedure based on chewing to predict metabolic response to starch in cereal and legume products. *Eur J Clin Nutr*, 46, 649–660.
42. Guraya, H. S., Kadan, R. S. and Champagne, E. T. (1997). Effect of rice starch-lipid complexes on in vitro digestibility, complexing index, and viscosity. *Cereal Chemistry*, 74, 561–565.
43. Goni, I., Garcia-Alonso, A. and Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17, 427–437.
44. Hamaker, B. R. and Han, X. (2006). Slowly digestible starch. US Patent 20060257977.
45. He, G., Suzuki, H. (1987). The relationship between translucency of rice grain and gelatinization of starch in the grain during cooking. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 33, 263–273.

- 
46. Holm, J. and Bjorck, I. (1988). Effects of thermal processing of wheat on starch: II. Enzymic availability. *Journal of Cereal Science*, 8, 261–268.
47. Holm, J., Koellreutter, B. and Wu'rsch, P. (1992). Influence of sterilization, drying and oat bran enrichment of pasta on glucose and insulin responses in healthy subjects and on the rate and extent of in vitro starch digestion. *Eur. J. Clin. Nutr*, 46, 629–640.
48. Hsu, R. J.-C., Chen, H.-J., Lu, S., and Chiang, W. (2015). Effects of cooking, retrogradation and drying on starch digestibility in instant rice making. *Journal of Cereal Science*, 65, 154–161.
49. Hsu, R. J.-C., Chen, H.-J., Lu, S., and Chiang, W. (2015). Effects of added water and retrogradation on starch digestibility of cooked rice flours with different amylose content. *Journal of Cereal Science*, 61, 1–7.
50. Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., and Kasemsuwan, T. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chem.*, 76(5):629–637.
51. Jaspinder Kaur. (2014). A comprehensive review on metabolic syndrome. *cardiology research and practice*. 1–21.
52. Jenkins, D. J., Kendall, C. W., Augustin, L. S., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A., Jenkins, A. L., Axelsen M. (2002). Glycemic index: overview of implications in health and disease. *Am J Clin Nutr*, 76, 266–273.
53. Kim, E. J., Kim, H. R., Choi, S. J., Park, C. S. and Moon, T. W. (2016). Low

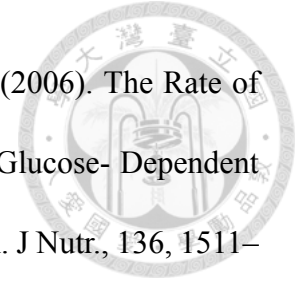


- digestion property of amylosucrase-modified waxy adlay starch. *Food Sci. Biotechnol*, 25(2): 457–460.
54. Lebet, V., Arrigoni, E. and Amado, R. (1998). Digestion procedure using mammalian enzymes to obtain substrates for in vitro fermentation studies. *Lebensmittel–Wissenschaft und-Technologie*, 31, 509–515.
55. Lifschitz, C. H., Grusak, M. A. and Butte, N. F. (2002). Carbohydrate digestion in humans from a beta-glucan-enriched barley is reduced. *Journal of Nutrition*, 132, 2593–2596.
56. McKeown, N. M., Meigs, J. B., Liu, S., Saltzman, E., Wilson, P. W., Jacques, P. F. (2004). Carbohydrate nutrition, insulin resistance, and the prevalence of the metabolic syndrome in the Framingham Offspring Cohort. *Diabetes Care*, 27, 538–46.
57. Miao, M., Jiang, B., Cui, S. W., Zhang, T. and Jin, Z. (2015). Slowly digestible starch—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55, 1642–1657.
58. Mishra, S., Monro, J. A. and Hedderley, D. (2008). Effect of processing on slowly digestible starch and resistant starch in potato. *Starch/Stärke*, 60, 500–507.
59. Muir, J. G., Birkett, A., Brown, I., Jones, G. and O’Dea, K. (1995). Food processing and maize variety affects amounts of starch escaping digestion in the small intestine. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 61, 82–89.

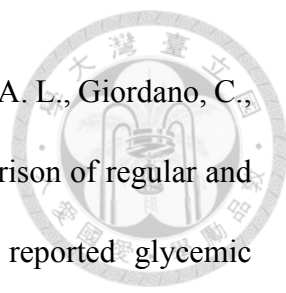
- 
60. Nugent, A. P. (2005). Health properties of resistant starch. *British Nutrition Foundation, Nutrition Bulletin*, 30, 27–54.
61. Oates C. G. (1997). Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. *Trends Food Sci. Tech*, 8, 375–382.
62. Okuda, M., Aramaki, I., Koseki, T., Inouchi, N., and Hashizume, K. (2006). Structural and retrogradation properties of rice endosperm starch affect enzyme digestibility of steamed milled-rice grains used in sake production. *Cereal Chem.*, 83, 143–151.
63. Piper, D. W. and Fenton, B. H. (1965). pH stability and activity curves of pepsin with special reference to their clinical importance. *Gut*, 6, 506–508.
64. Rizkalla, S. W., Taghrid, L., Laromiguere, M., Huet, D., Boillot, J., Rigoir, A., Elgrably, F. and Slama, G. (2004). Improved plasma glucose control, whole-body glucose utilization, and lipid profile on a low-glycaemic index diet in type 2 diabetic men: A randomized controlled trial. *Diab. Care*, 27, 1866–1872.
65. Southgate, D. A. T. (1969a). Determination of carbohydrates in foods I – available carbohydrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 20, 326–330.
66. Southgate, D. A. T. (1969b). Determination of carbohydrates in foods II. – Unavailable carbohydrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 20, 331–335.
67. Tester, R. F., Karkalas, J. and Qi, X. (2002). Starch structure and digestibility

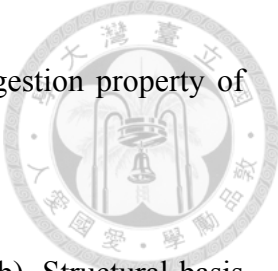


- enzyme- substrate relationship. *World's Poultry Sci. J.*, 60, 186–195.
68. Turnbull, C. M., Baxter, A. L. and Johnson, S. K. (2005). Water-binding capacity and viscosity of Australian sweet lupin kernel fibre under in vitro conditions simulating the human upper gastrointestinal tract. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56, 87– 94.
69. Scholz-Ahrens, E., Ade, P., Marten, B., Weber, P., Timm, W., Yahya, A. (2007). Prebiotics, probiotics, and synbiotics affect mineral absorption, bone mineral content, and bone structure. *Journal of Nutrition*, 137, 838–846
70. Seal, C. J., Daly, M. E., Thomas, L. C., Bal, W., Birkett, A. M., Jeffcoat, R., Mathers, J. C. (2003). Postprandial carbohydrate metabolism in healthy subjects and those with type 2 diabetes fed starches with slow and rapid hydrolysis rates determined in vitro. *British J. Nutr.*, 90, 853–864.
71. Sharma, A., Yadav, B. S., and Ritika (2008). Resistant starch: Physiological roles and food applications. *Food Reviews International*, 24, 193–234.
72. Southgate, D.A.T. (1969a). Determination of carbohydrates in foods I – available carbohydrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 20, 326–330.
73. Urooj, A. and Puttraj, S. (1999). Digestibility index and factors affecting rate of starch digestion in vitro in conventional food preparation. *Nahrung*, 43, 42–47.
74. Wachters-Hagedoorn, R. E., Priebe, M. G., Heimweg, J. A. J., Heiner, A. M.,



- Englyst, K. N., Holst, J. J., Stellaard, F., and Vonk, R. J. (2006). The Rate of Intestinal Glucose Absorption Is Correlated with Plasma Glucose- Dependent Insulinotropic Polypeptide Concentrations in Healthy Men. *J Nutr.*, 136, 1511–1516.
75. Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q. and Wang, S. (2015). Starch retrogradation: a comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 568–585.
76. Wang, L., Sun, J., Yi, Q., Wang, X. and Ju, X. (2012). Protective Effect of Polyphenols Extract of Adlay (*Coix lachryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf) on Hypercholesterolemia-Induced Oxidative Stress in Rats. *Molecules*, 17(8), 8886–8897.
77. Weurding, R. E., Veldman, A., Veen, W. A. G., Van Der Aar, P. J. and Verstegen, M. W. A. (2001). In vitro starch digestion correlates well with rate and extent of starch digestion in broiler chickens. *Journal of Nutrition*, 131, 2336–2342.
78. Wolever, T. M. S., Jenkins, D. J. A., Vuksan, V., Jenkins, A. L., Wong, G. S. and Josse, R. G. (1992). Beneficial effect of low-glycemic index diet in overweight NIDDM subjects. *Diab. Care*, 15, 562–564.
79. Wolever, T. M. S., Jenkins, D. J. A., Kalmusky, J., Giordano, C., Giudici, S., Jenkins, A. L., Thompson, L. U., Wong, G. S. and Josse, R. G. (1986a). Glycemic response to pasta: Effect of surface area, degree of cooking, and protein enrichment. *Diab. Care*, 9, 401–404.

- 
80. Wolever, T. M. S., Jenkins, D. J. A., Kalmusky, J., Jenkins, A. L., Giordano, C., Giudici, S., Josse, R. G. and Wong, G. S. (1986b). Comparison of regular and parboiled rices: Explanation of discrepancies between reported glycemic responses to rice. *Nutr. Res*, 6, 349–357.
81. Woolnough, J. W., Monro, J. A., Brennan, C. S. and Bird, A. R. (2008). Simulating human carbohydrate digestion in vitro: a review of methods and the need for standardization. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 2245–2256.
82. Woolnough, J. W., Bird, A. R., Monro, J. A., Brennan, C. S. (2010). The Effect of a Brief Salivary α -Amylase Exposure During Chewing on Subsequent in Vitro Starch Digestion Curve Profiles. *Int J Mol Sci*, 11(8): 2780–2790.
83. Yeh, Chiang and Chiang. 2006. Effects of Dehulled Adlay on Plasma Glucose and Lipid Concentrations in Streptozotocin-induced Diabetic Rats fed a Diet Enriched in Cholesterol. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 76,(5):299–305.
84. Yokoi, H., Mizukami, H., Nagatsu, A., Ohno, T., Tanabe, H., Inoue, M. (2009). Peroxisome proliferator-activated receptor gamma ligands isolated from adlay seed (*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* STAPF.). *Biol Pharm Bull*, 32(4):735–40.
85. Yu, Y. T., Lu, T. J., Chiang, M. T., and Chiang, W. (2005). Physicochemical properties of water-soluble polysaccharide enriched fractions of adlay and their hypolipidemic effect in hamsters. *J. Food Drug Anal.*, 13(4):361–367

- 
86. Zhang, G., Ao, Z. and Hamaker, B. R. (2006a). Slow digestion property of native cereal starches. *Biomacromolecules*, 7, 3252–3258.
87. Zhang, G., Venkatachalam, M. and Hamaker, B. R. (2006b). Structural basis for the slow digestion property of native cereal starches. *Biomacromolecules*, 7, 3259–3266.
88. Zhang, G., Sofyan, M., and Hamaker, B. R. (2008b). Slowly digestible state of starch: mechanism of slow digestion property of gelatinized maize starch. *J. Agri. Food Chem.*, 56, 4695–4702.
89. Zhou, X., Lim, S. T. (2012). Pasting viscosity and in vitro digestibility of retrograded waxy and normal corn starch powders. *Carbohydr Polym* 87, 235–239.

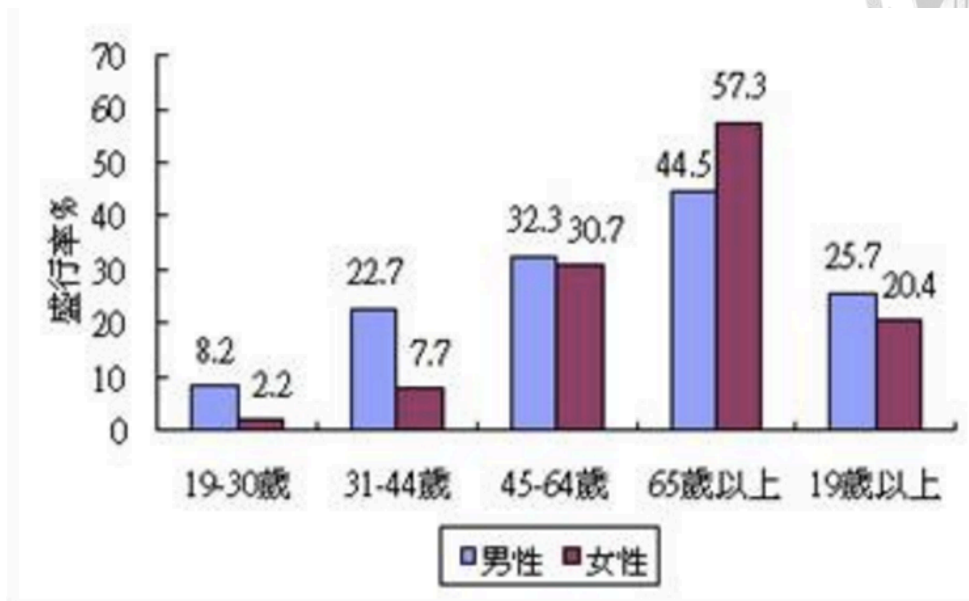
第七章附圖



Clinical measures	WHO (1998) [5]	EGIR (1999) [6]	ATPIII (2001) [7]	AACE (2003) [8]	IDF (2005) [9]
Insulin resistance	IGT, IFG, T2DM, or lowered insulin Sensitivity ^a plus any 2 of the following	Plasma insulin >75th percentile plus any 2 of the following	None, but any 3 of the following 5 features	IGT or IFG plus any of the following based on the clinical judgment	None
Body weight	Men: waist-to-hip ratio >0.90; women: waist-to-hip ratio >0.85 and/or BMI > 30 kg/m ²	WC ≥94 cm in men or ≥80 cm in women	WC ≥102 cm in men or ≥88 cm in women	BMI ≥ 25 kg/m ²	Increased WC (population specific) plus any 2 of the following
Lipids	TGs ≥150 mg/dL and/or HDL-C <35 mg/dL in men or <39 mg/dL in women	TGs ≥150 mg/dL and/or HDL-C <39 mg/dL in men or women	TGs ≥150 mg/dL HDL-C <40 mg/dL in men or <50 mg/dL in women	TGs ≥150 mg/dL and HDL-C <40 mg/dL in men or <50 mg/dL in women	TGs ≥150 mg/dL or on TGs Rx. HDL-C <40 mg/dL in men or <50 mg/dL in women or on HDL-C Rx
Blood pressure	≥140/90 mm Hg	≥140/90 mm Hg or on hypertension Rx	≥130/85 mm Hg	≥130/85 mm Hg	≥130 mm Hg systolic or ≥85 mm Hg diastolic or on hypertension Rx
Glucose	IGT, IFG, or T2DM	IGT or IFG (but not diabetes)	>110 mg/dL (includes diabetes)	IGT or IFG (but not diabetes)	≥100 mg/dL (includes diabetes) ^b
Other	Microalbuminuria: Urinary excretion rate of >20 mg/min or albumin: creatinine ratio of >30 mg/g.			Other features of insulin resistance ^c	

附圖 1. 各國際組織對代謝症候群之定義

(Jaspinder Kaur, 2014)

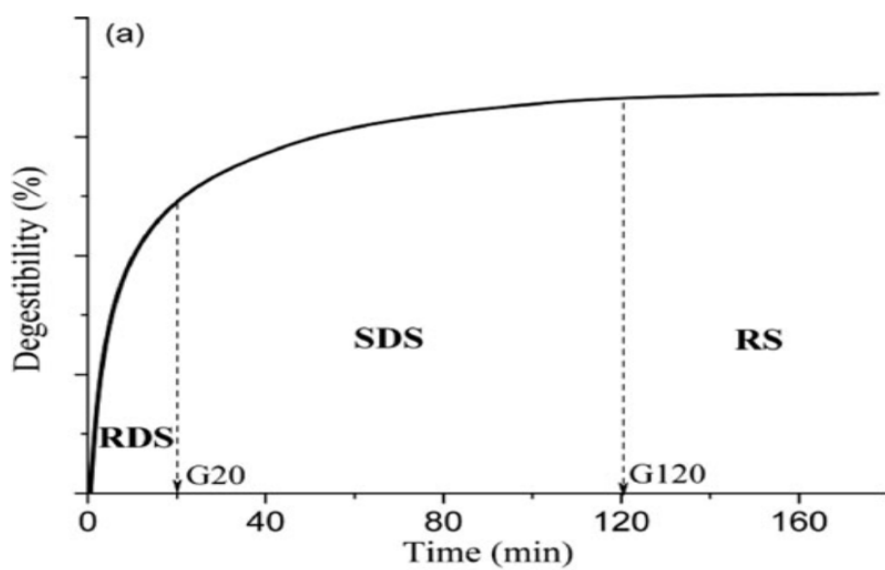


附圖 2. 台灣 2005~2008 年年齡別、性別之代謝症候群盛行率

作物	水分(%)	蛋白質(%)	脂肪(%)	澱粉(%)	纖維(%)	灰分(%)	熱量(卡/100公克)
薏仁	12.8	14.2	11.0	59.5	1.2	1.3	397.1
白米	15.5	7.4	2.3	72.5	1.3	1.3	351.9
小麥	13.5	12.0	2.1	64.5	1.5	1.5	335.9
大麥	14.0	10.0	1.9	66.5	2.4	2.5	338.5

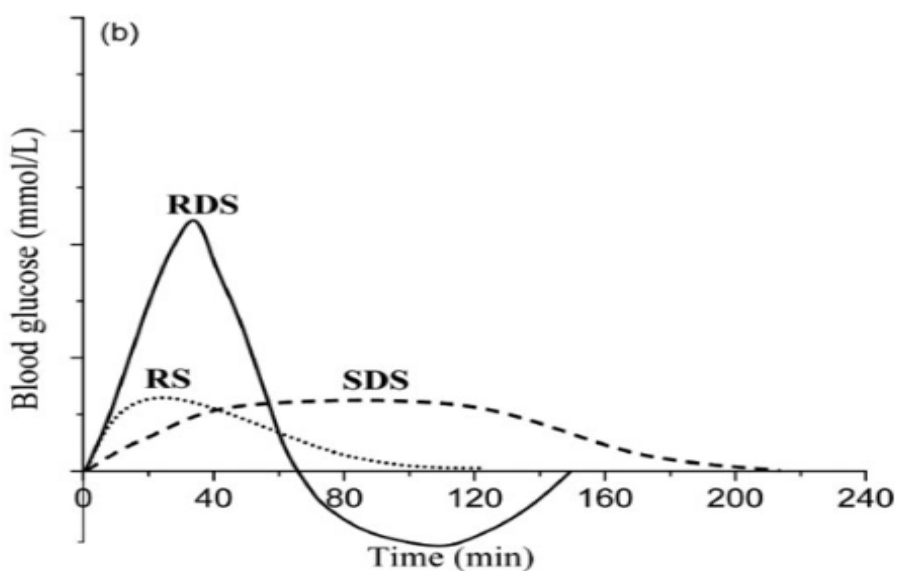
附圖 3. 薏仁及其他穀類基本成分百分比

(行政院農委會台中區農業改良場 農推專訊 28 期)



附圖 4. RDS、SDS、RS 之時間定義

(Englyst et al., 1992)



附圖 5. RDS、SDS、RS 造成之飯後血糖反應曲線

(Englyst et al., 1992)

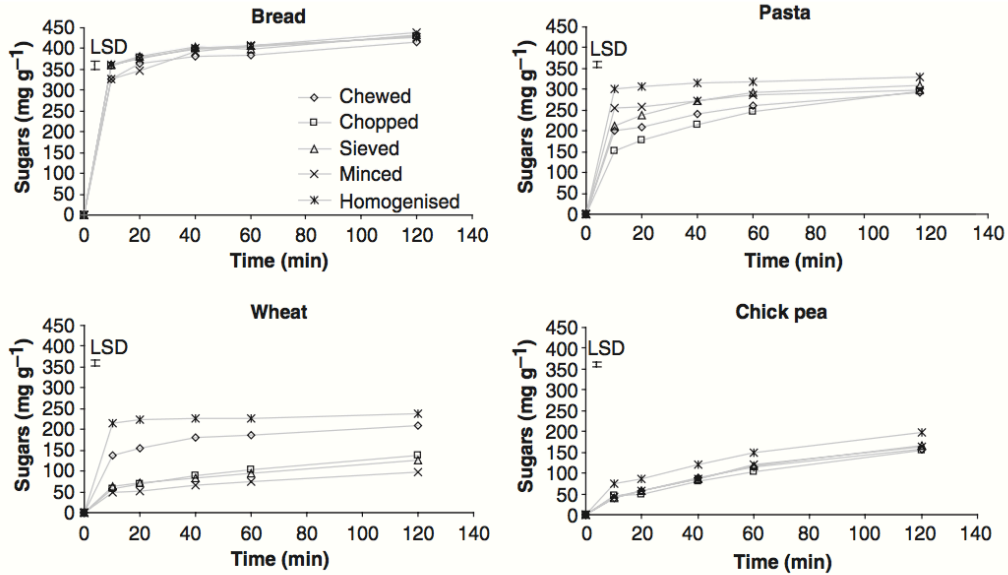


Figure 2 Mode of mechanical breakdown and resultant digestibility. 2.5 g samples of bread and 5 g samples of boiled wheat, pasta and chick pea were chopped (Zyliss chopper 20×), sieved (4 mm), minced (plate 0.9 cm), chewed (until the urge to swallow), or homogenised. Triplicate samples were dispersed in 30 mL distilled water in 70 mL plastic biopsy pots fitted with magnetic stirrers. Pepsin was added and the samples were incubated at pH 2.5 and 37 °C for 30 min with slow constant mixing. Incubate pH was adjusted to 6 with addition of NaHCO₃ and sodium maleate buffer. Pancreatin was added and the final volume made up to 55 mL with distilled water. Hydrolysis proceeded for 2 h with 1 mL aliquots drawn to 4 mL ethanol at 10, 20, 40, 60 and 120 min of digestion. Reducing sugars were measured by DNS colourimetry. Results are mean values ($n = 3$). Bread LSD = 20.4, Pasta LSD = 14.5, Wheat LSD = 16.0, Chick Pea LSD = 11.8. (LSDs are least significant differences of means ($P < 0.05$), comparing treatments at a given time point)

附圖 6. 不同破碎方法對澱粉水解率之影響

(Woolnough et al., 2008)

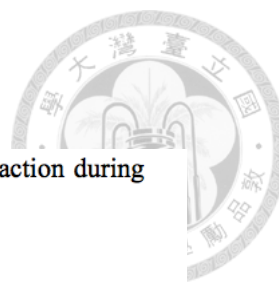
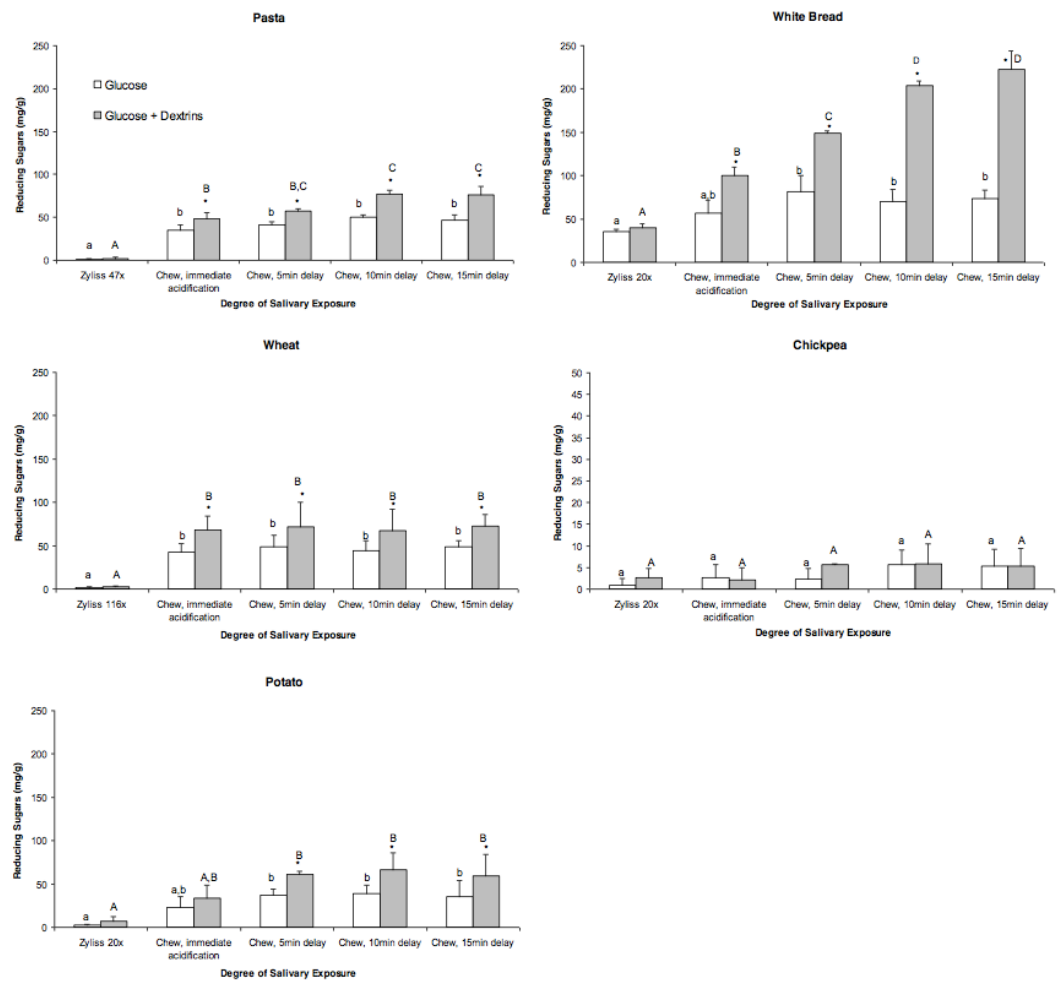


Figure 2. The amounts (mg/g) of glucose and dextrins released by salivary action during chewing of different foods^a.

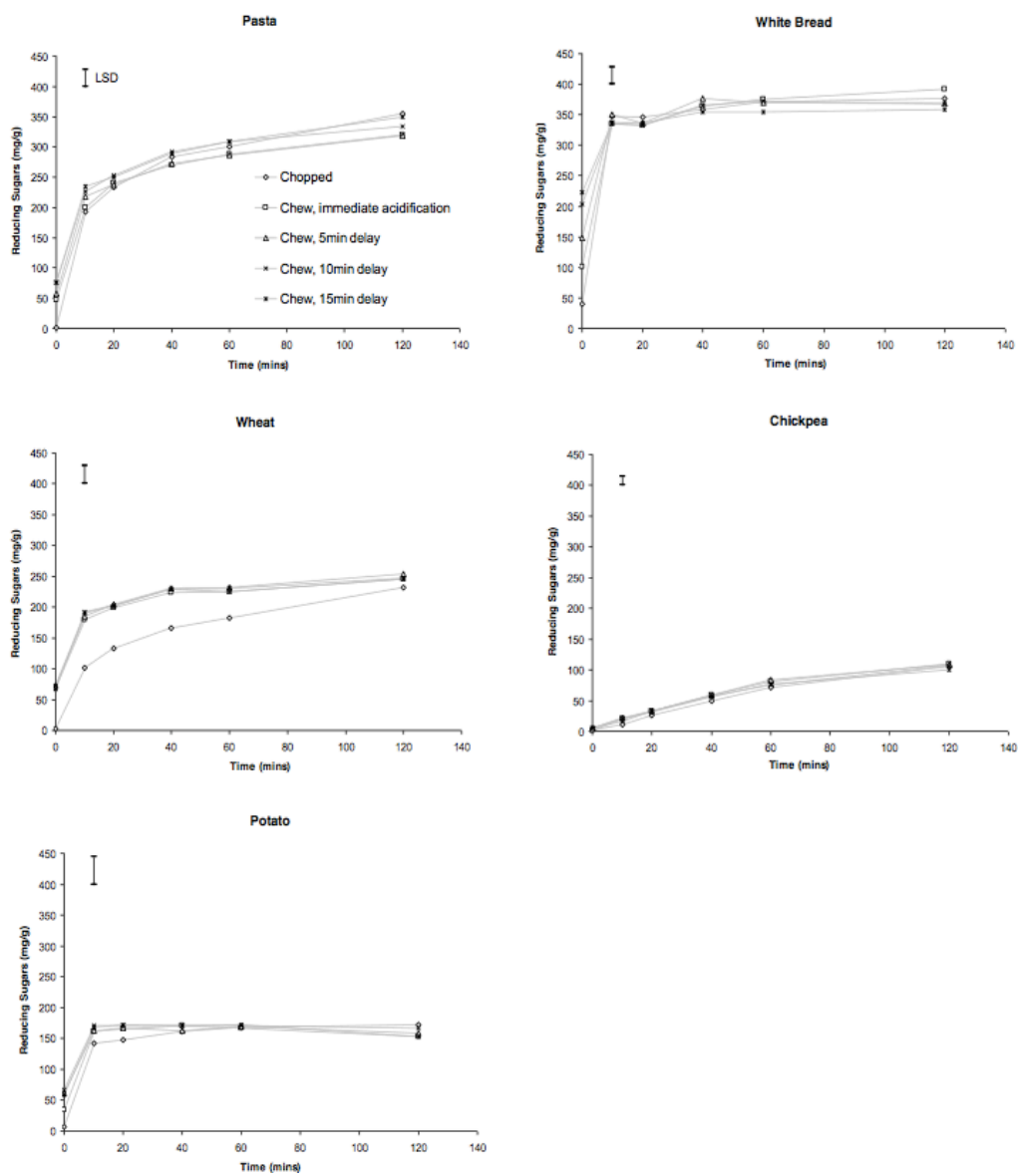


附圖 7. 唾液接觸時間對澱粉水解出之葡萄糖量影響

(Woolnough et al., 2010)



Figure 1. Effect of differences in the degree of salivary exposure during the oral phase on subsequent *in vitro* digestion curve profiles of different foods^a.



附圖 8. 唾液接觸時間對後續澱粉體外水解率之影響

(Woolnough et al., 20010)

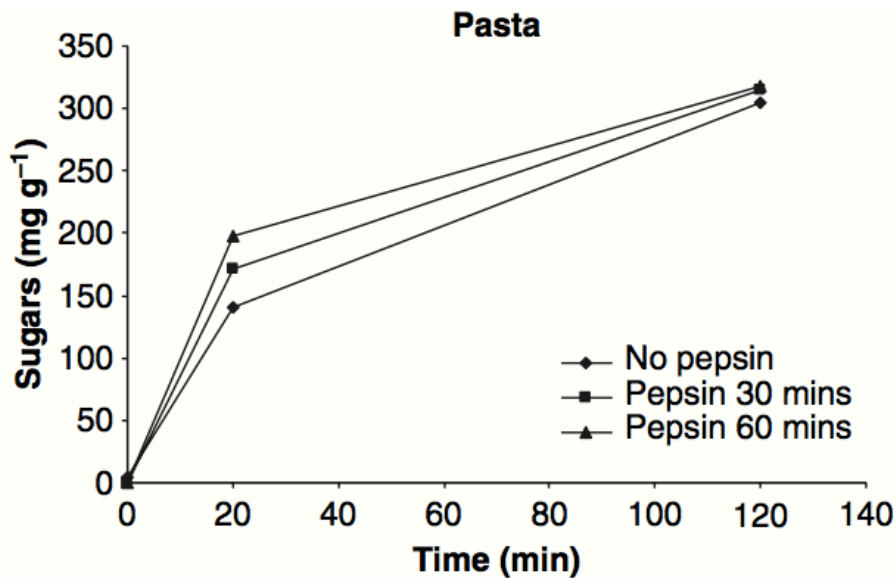


Figure 3 Omission and inclusion of a pepsin digestion of varying duration. 2.5 g samples of bread and 5 g samples of boiled wheat, pasta and chick pea were artificially ‘chewed’ by rubbing through a 4 mm sieve. Food samples were dispersed in 30 mL distilled water in 70 mL plastic biopsy pots fitted with magnetic stirrers, and divided into three test categories: ‘no pepsin,’ ‘pepsin 30 min,’ and ‘pepsin 60 min.’ The pH of all samples in each category was adjusted to 2.5 with addition of 1 M HCl and 1 mL of a 10% pepsin solution added to the two latter test categories. Proteolysis occurred at 37 °C for 30 and 60 min, with slow constant mixing, after which time the pH of every sample was adjusted to 6 with addition of NaHCO₃ and sodium maleate buffer. Pancreatin was added and the final volume made up to 55 mL with distilled water. Hydrolysis proceeded for 2 h with 1 mL aliquots drawn to 4 mL ethanol at 20 and 120 min of digestion. Reducing sugars were measured by DNS colourimetry

附圖 9. 胃蛋白酶對澱粉水解率之影響

(Woolnough et al., 2008)

(SGF 代表胃模擬階段，SIF 代表小腸模擬階段)



附圖 10. 添加關華豆膠對胃階段及小腸階段澱粉水解率之影響

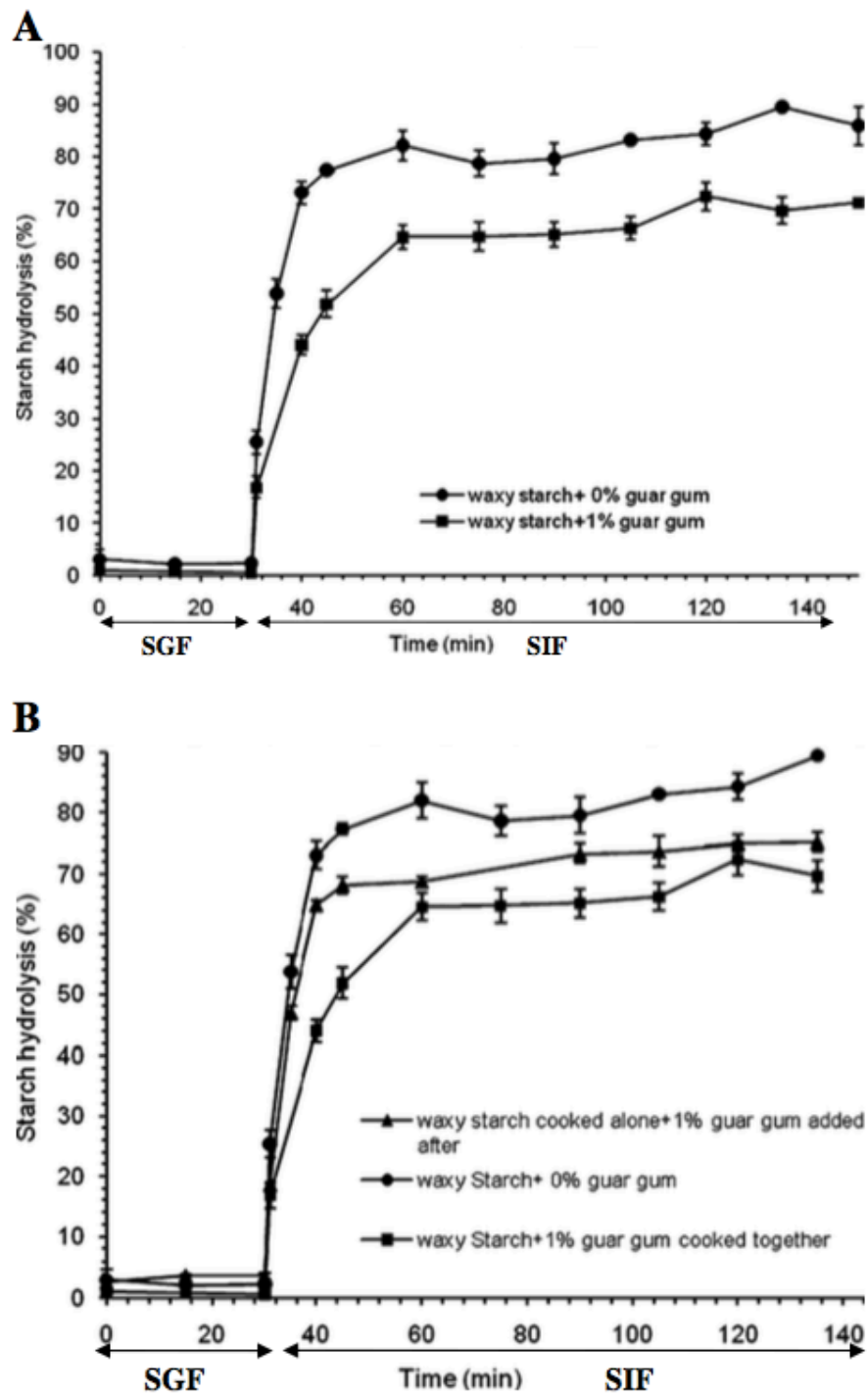


Fig. 1 a Effect of the addition of guar gum on the starch hydrolysis (%) during simulated gastric and intestinal digestion. **b** Effect of sample preparation method on starch hydrolysis (%) during simulated gastric and intestinal digestion

(Dartois et al., 2010)

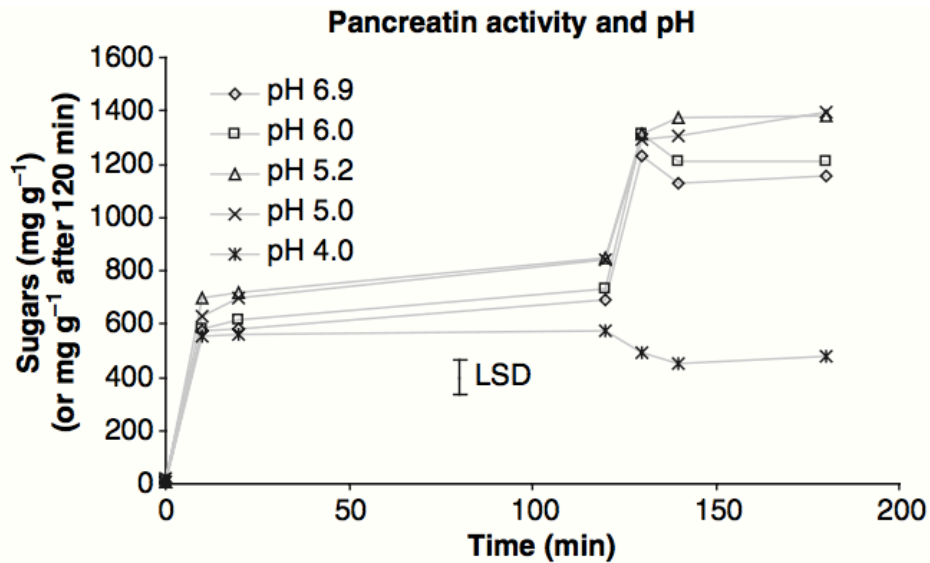


Figure 4 Incubation pH and starch-digestion capacity of pancreatin. 2.5 g of pre-gelatinised starch was dispersed (in duplicate) in 40 mL of buffer solution adjusted to one of five pH values: pH 6.9, 6.0 (sodium maleate buffer), 5.2, 5.0 and 4.0 (sodium acetate buffer) in 70 mL plastic biopsy pots fitted with magnetic stirrers. Pancreatin was added and the final digesta volume made up to 55 mL with distilled water. Hydrolysis proceeded for 2 h with 1 mL aliquots drawn to 4 mL ethanol at 10, 20 and 120 min of digestion. A further 2.5 g of pre-gelatinised starch was then added to each pot, hydrolysis allowed to proceed with further 1 mL aliquots being drawn to ethanol at 130, 140 and 180 min. Reducing sugars were measured by DNS colourimetry. Results are mean values ($n = 2$). LSD = 129.78. (LSDs are least significant differences of means ($P < 0.05$), comparing treatments at a given time point.)

附圖 11. 酸鹼值對胰酶穩定性之影響

(Woolnough et al., 2008)

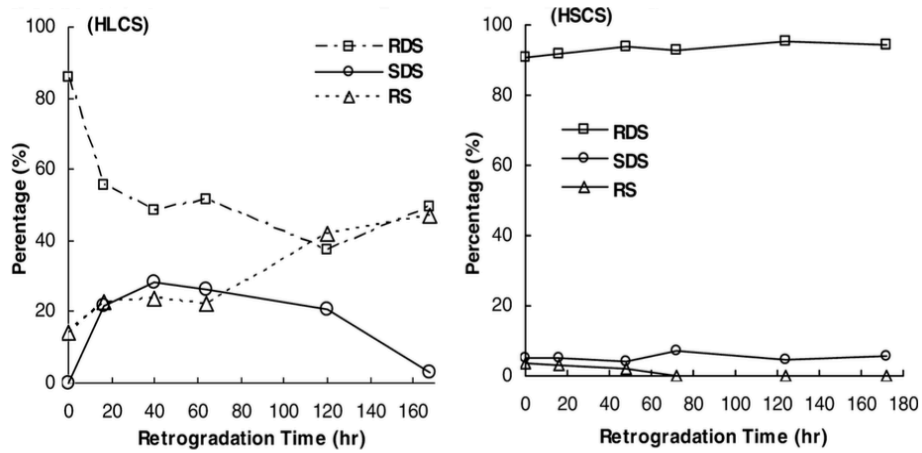


Figure 1. RDS, SDS, and RS content changes of 10% cooked starch pastes over a 7 day retrogradation period at 4 °C. HLCS, highest long-chain starch; HSCS, highest short-chain starch (see Table 1 for sample information).

附圖 12. 不同支鏈澱粉鏈長之糊化澱粉在回凝過程之 RDS、SDS 及 RS 變化

(Zhang et al., 2008)

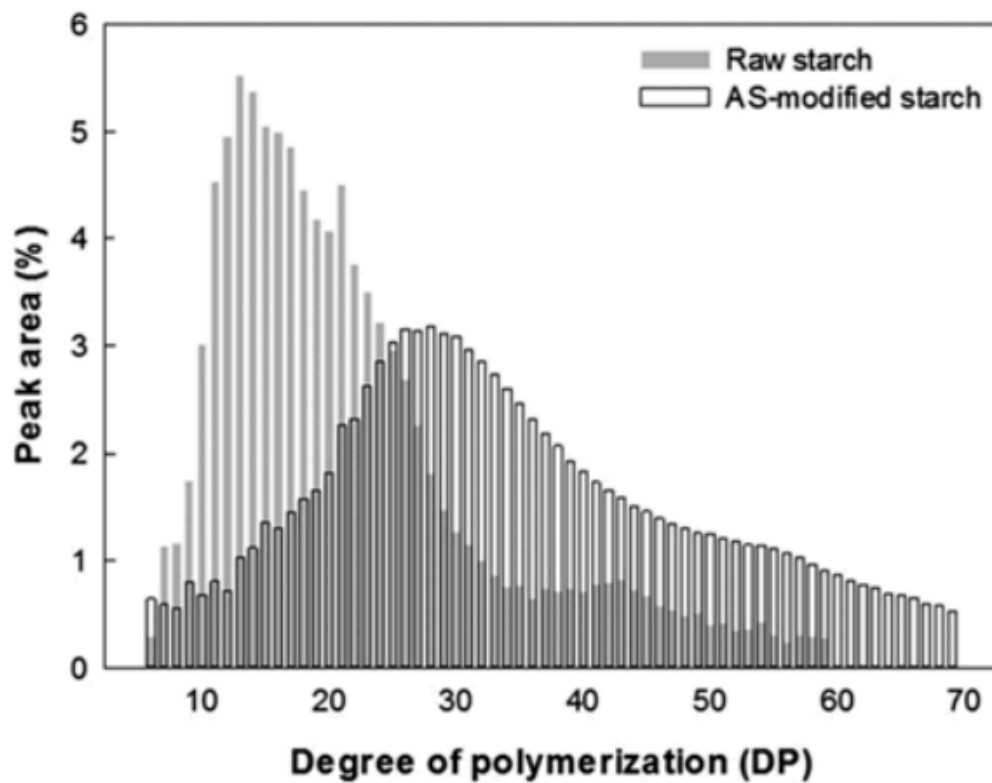


Fig. 1. Branch chain length distributions of raw and AS-modified starches.

附圖 14. 生薏仁之支鏈澱粉鏈長分佈

(Kim et al., 2016)

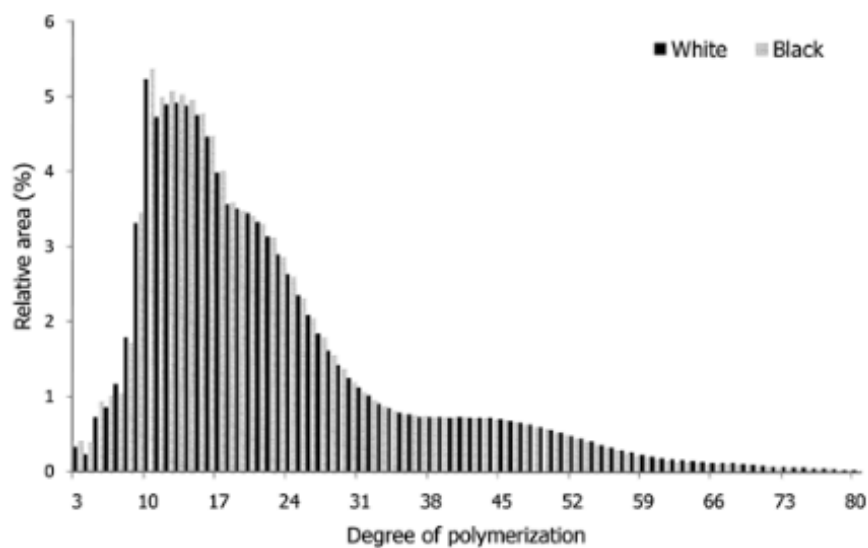


Figure 5. Chain length distribution of white and black Job's tear amylopectin

附圖 13. 黑薏仁及白薏仁之支鏈澱粉鏈長分佈

(Chaisiricharoenkul et al., 2011)