

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科

佳作

030813

「板」中乾坤，「條」理分明

學校名稱：高雄市立茂林國民中學

作者： 國二 金沛琿 國二 范芝晴 國一 鍾婉怡	指導老師： 鍾志華 蔡馨儀
---	-----------------------------

關鍵詞：拉力、稻米、質量

摘要

本研究利用拉力計、電導度計、曲度計等儀器研究不同米類、不同水質、不同質量等實驗條件下所製成的粿條在拉力、電導度及甜度的差異。

拉力大小排列為 在來米>美濃米>長米>蓬萊米>泰國米>糯米>圓糯米；無任何添加物時，大部分米類的拉力一開始會隨著靜置時間增加，但到 20 分到 40 分後便開始下降；而糯米、圓糯米則呈現持續上揚的趨勢。加入蕃薯粉和太白粉後，各種米類的拉力皆會隨著靜置時間增加。

使用不同水質時，拉力大小依序為 蒸餾水<逆滲透水<山泉水<自來水<地下水。增加米類質量會增加拉力，但非成正比；美濃米、在來米從 50g 增加為 100g 時，拉力有較明顯的增加；加入蕃薯粉、太白粉則能大幅增加米漿的拉力，但繼續增加只會微幅提升拉力。

壹、研究動機

自古以來，米飯一直是我國國民的主食，但受西方飲食文化的影響，近年來國人以米飯產品為主食的飲食習慣已漸漸改變，導致稻米在飲食市場的佔有率逐漸下降，以近 30 年來的統計為例，國人稻米平均消費量由每人每年 98 公斤已下降至 48 公斤。我們認為米飯對於我國而言不僅具有重要的本土歷史文化價值、農業永續的傳承外，米類本身也具有豐富的營養健康價值。

在我們鄰近的美濃地區，粿條是遠近馳名的特色傳統美食，這引起我們研究的興趣。我們猜想這可能與美濃產出的米、使用的水、製作的過程息息相關，我們想用科學的方法解開粿條之謎，也為推廣米食盡一份自己的心力。

貳、研究目的

本研究目的如下：

- 一、研究不同類稻米（在來米、美濃米、長米、蓬萊米、泰國米、糯米、圓糯米）的電導度、甜度及對於粿條拉力的影響。
- 二、研究靜置時間對於粿條拉力的影響。
- 三、研究不同水質（蒸餾水、逆滲透水、山泉水、自來水、地下水）對於粿條拉力的影響。
- 四、研究不同添加物（蕃薯粉、太白粉）對於粿條拉力的影響。
- 五、研究不同米類、蕃薯粉和太白粉質量，對於粿條拉力的影響。
- 六、研究不同米漿溶液的電導度與甜度的變化。

參、研究設備

編號	名稱	廠牌	規格
1	拉力計	LT Lutron	EMF-822A
2	電導度計	LT Lutron	CD-4301
3	曲度計	JAF	Brix
4	電子天平	AND	GF-400
5	電鍋	SHING TIEH	ST-107
6	果汁機	Panasonic	MX-V210GN
7	燒杯	永原儀器	
8	稻米		
9	蕃薯粉		
10	太白粉		

肆、研究方法

一、研究不同米類（在來米、美濃米、長米、蓬萊米、泰國米、糯米、圓糯米）對於板條拉力的影響

- （一）取不同種類稻米（在來米、美濃米、長米、蓬萊米、泰國米、糯米、圓糯米）各 50g，置入果汁機中。
- （二）將 300ml 蒸餾水倒入果汁機中，啟動開關 3 分鐘將稻米碎裂成米漿。
- （三）將米漿平分後，分別置於 2 杯中；其中一杯量測其甜度及電導度後，蓋上保鮮膜防止水分散失；另一杯放入電鍋中蒸煮 30 分鐘。
- （四）每隔 20 分鐘量測板條雛形其拉力、電導度及甜度，直到 80 分鐘止。

二、研究不同水質、添加物對於板條拉力的影響

- （一）取不同種類稻米各 50g 置入果汁機中。
- （二）將 300ml 蒸餾水倒入果汁機中，並加入 3 克太白粉，啟動開關 3 分鐘將稻米碎裂成米漿。
- （三）將米漿置於燒杯中，並放入電鍋裡，蒸煮 30 分鐘。
- （四）每隔 20 分鐘量測板條雛形，直到 80 分鐘止
- （五）使用不同水質（逆滲透水、山泉水、自來水、地下水）重複上述步驟。
- （六）將步驟二的太白粉改為番薯粉，然後重複研究步驟。

三、研究不同稻米質量與板條拉力的關係

- (一) 取不同種類稻米，量測不同質量（50g、100g、150g、200g、250g）後，置入果汁機中。
- (二) 將 300ml 蒸餾水倒入果汁機中，加入 3 克太白粉，啟動開關 3 分鐘將稻米碎裂成米漿。
- (三) 將米漿分別置於燒杯中，並放入電鍋中蒸煮 30 分鐘。
- (四) 每隔 20 分鐘量測待測物之拉力，直到 80 分鐘止。

四、研究不同添加物質量對板條拉力的影響

- (一) 取不同種類稻米各 50g 置入果汁機中。
- (二) 將 300ml 蒸餾水倒入果汁機中，並分別加入不同質量的太白粉（3g、6g、9g、12g、15g），啟動開關 3 分鐘，將稻米碎裂成米漿。
- (三) 將米漿置於不同燒杯中，並放入電鍋中蒸煮 30 分鐘。
- (四) 每隔 20 分鐘量測板條雛形，直到 80 分鐘止。
- (五) 將步驟二的蒸餾水改為不同水質（逆滲透水、山泉水、自來水、地下水），重複研究步驟。
- (六) 將步驟二的太白粉改為蕃薯粉，重覆研究步驟。

伍、研究結果

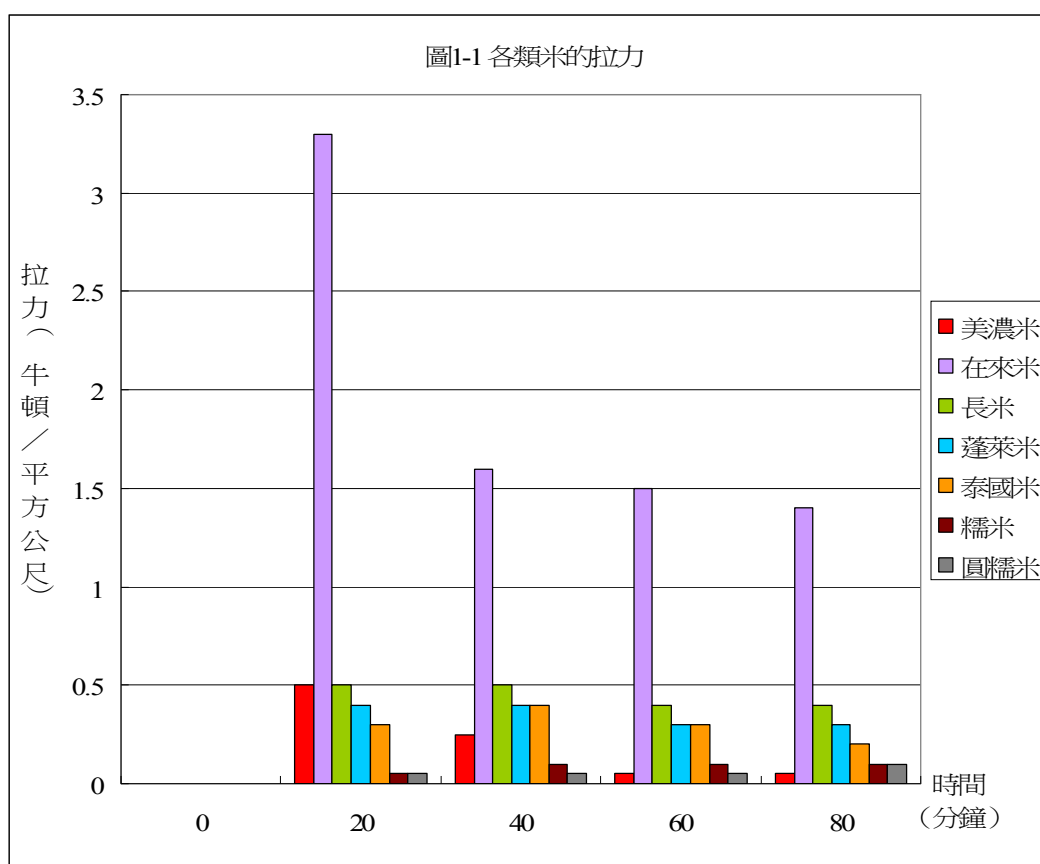


圖1-2 各類米的甜度

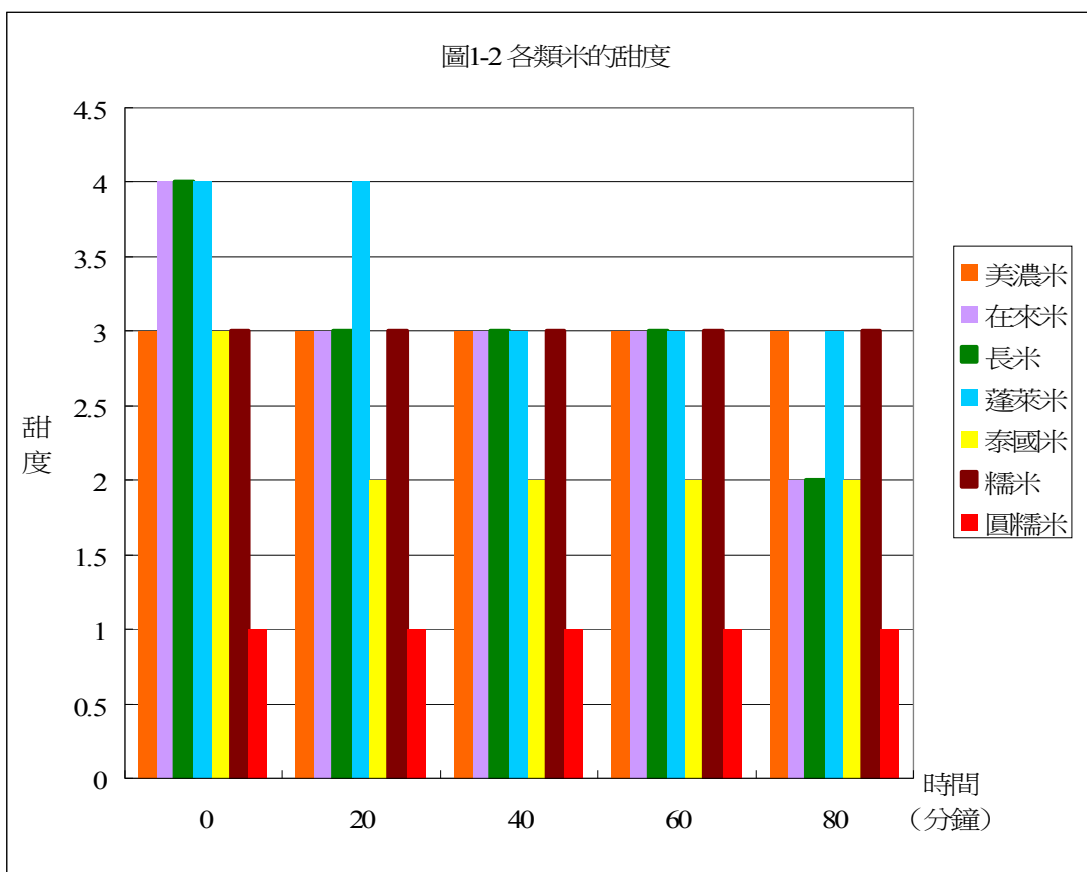


圖1-3 各類米的電導度

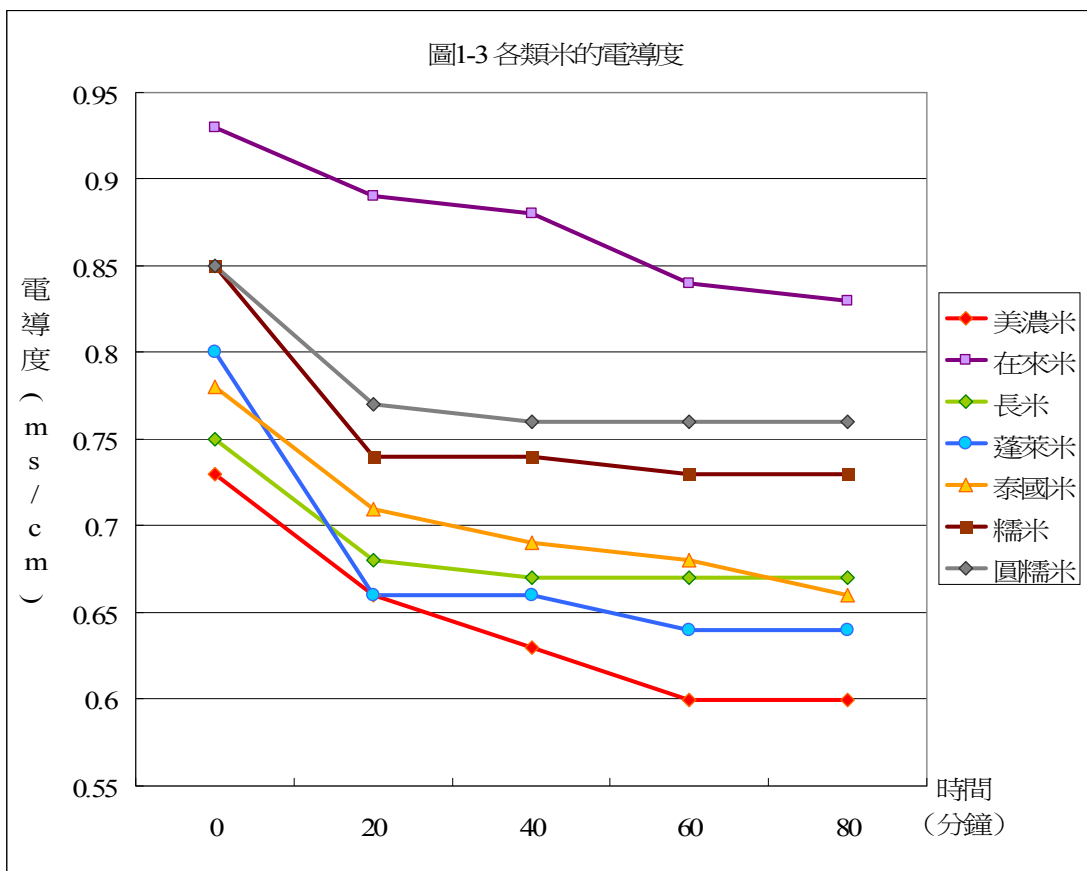


圖2-1 各類米加蒸餾水與3g太白粉後，其拉力強度隨時間的變化

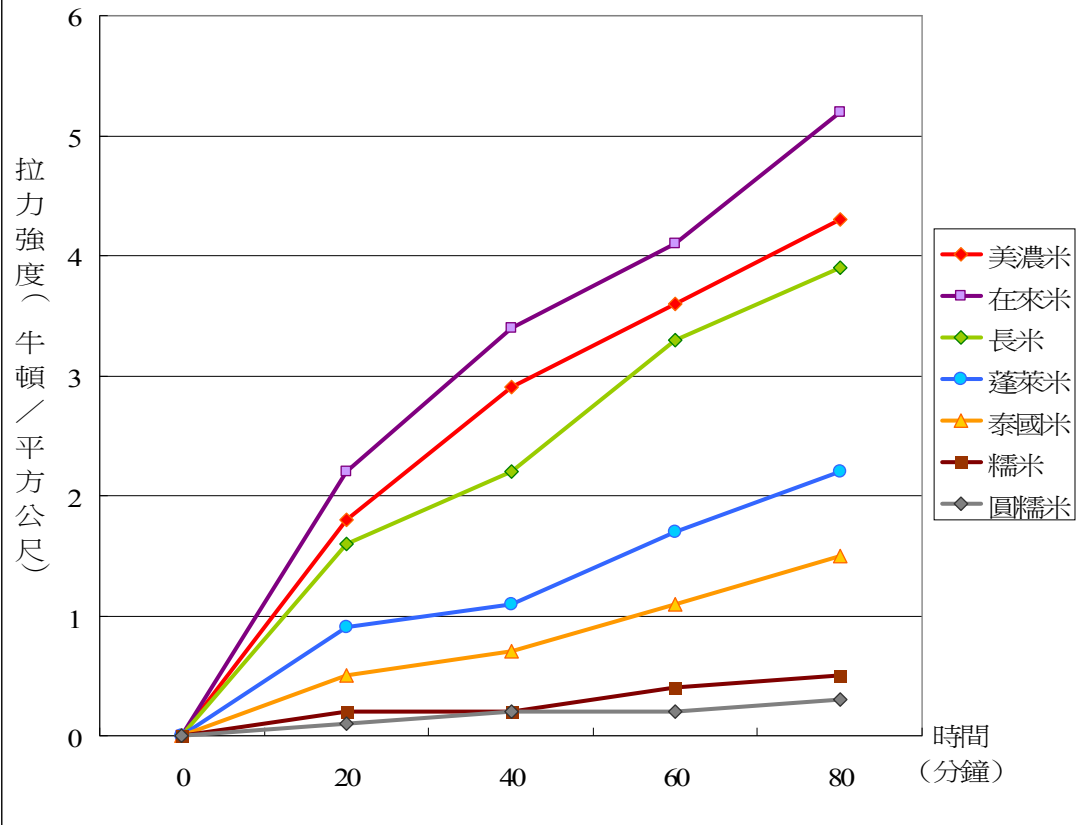
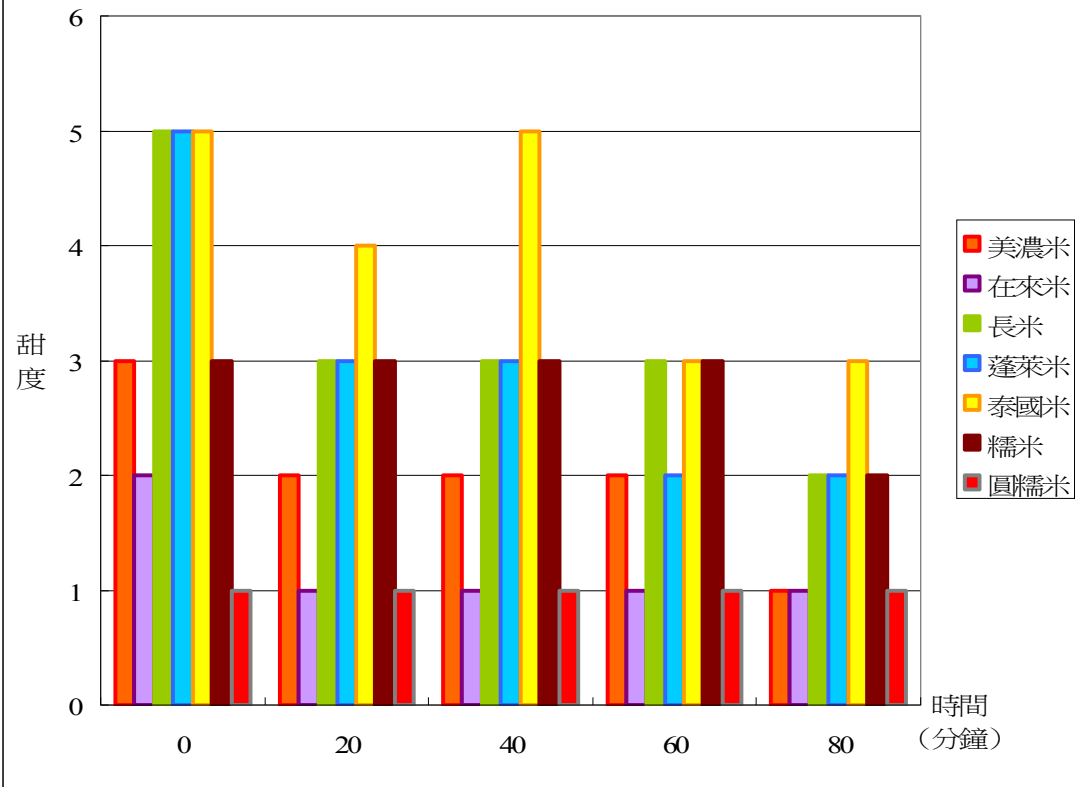


圖2-2 各類米加蒸餾水與3g太白粉後，其甜度隨時間的變化



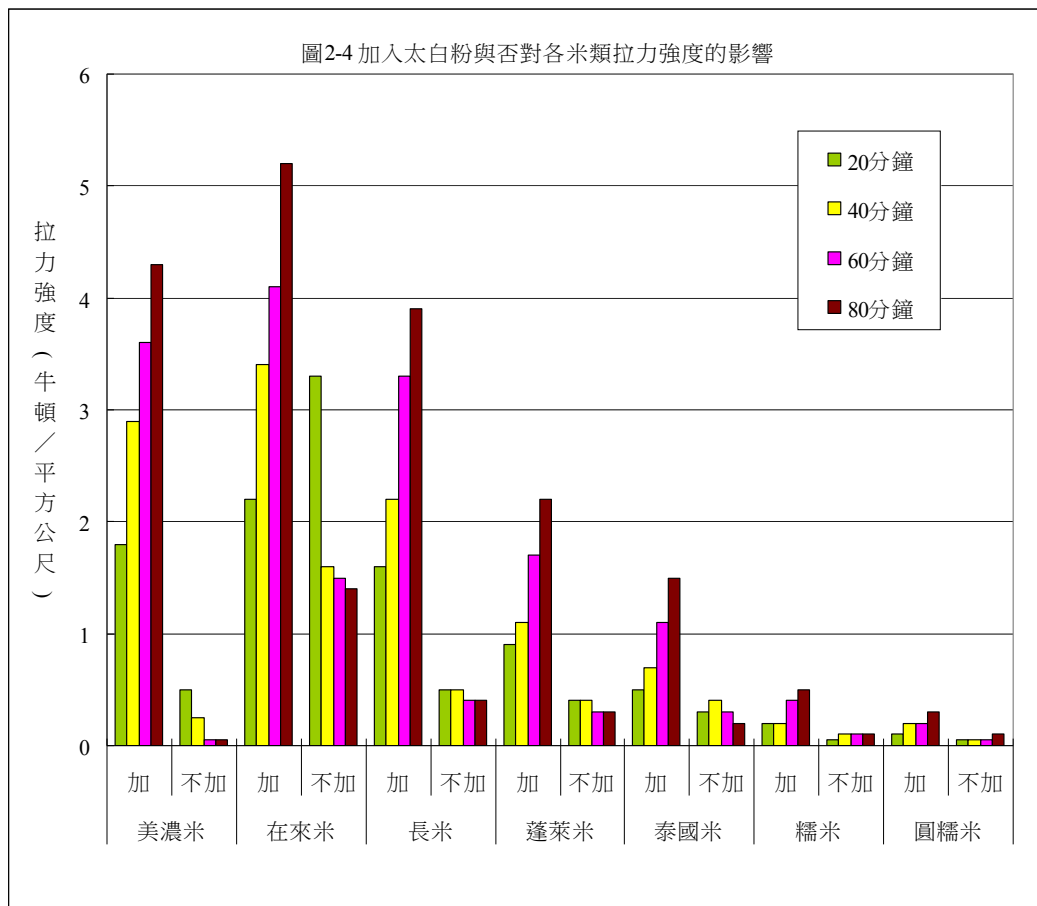
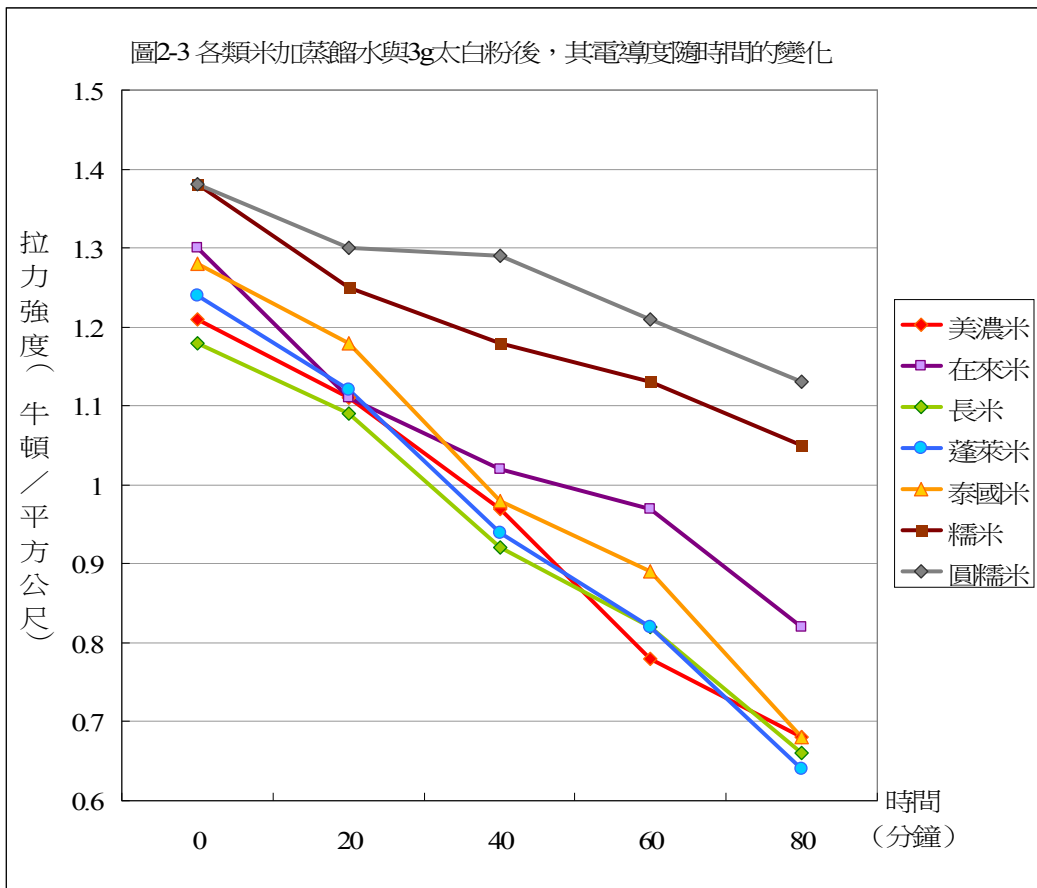


圖2-5 比較加入太白粉後，各類米在拉力強度的變化百分比

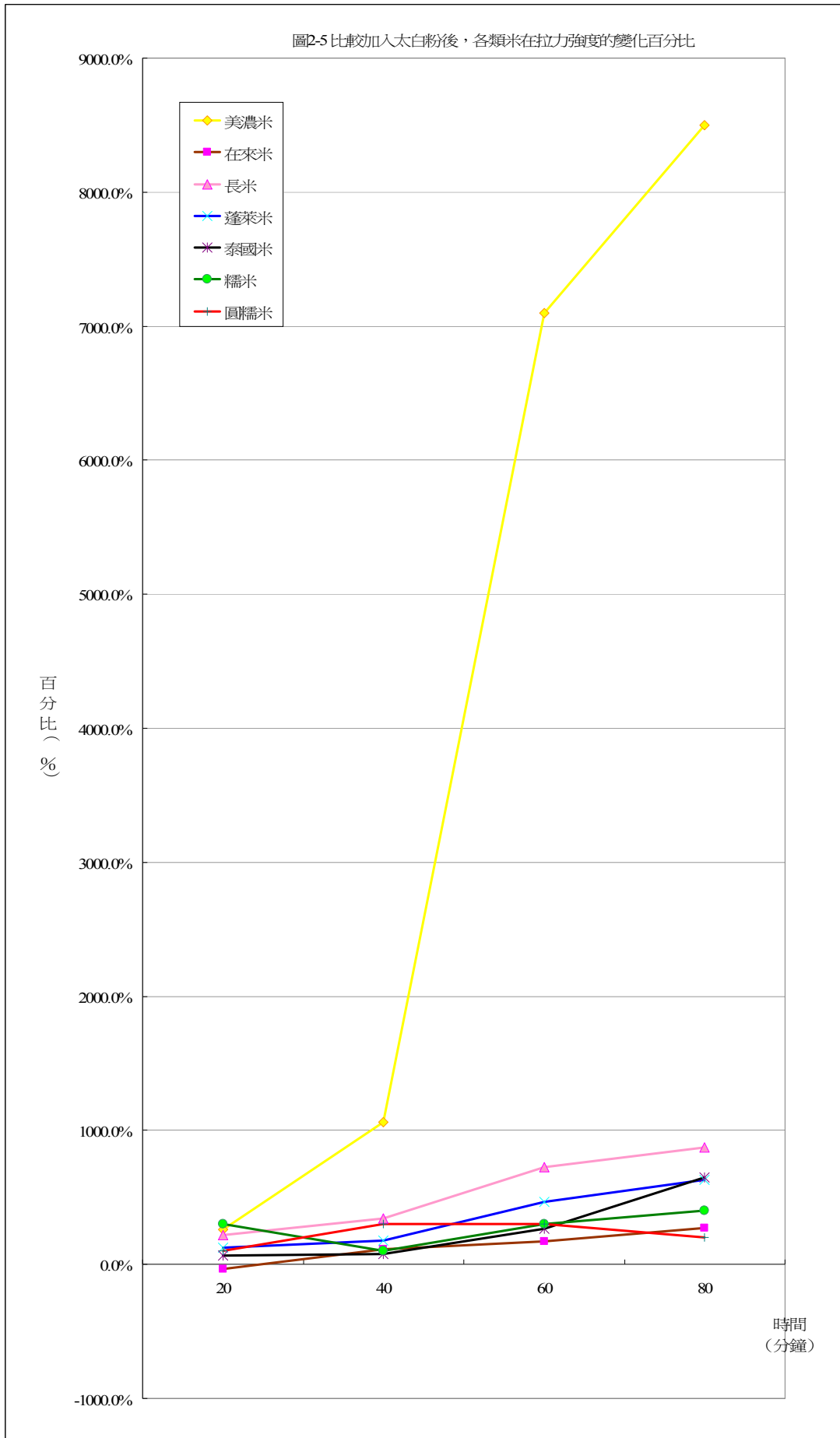


圖2-6 比較加入太白粉後，各類米在拉力強度的變化百分比(去掉美濃米，因為差異大)

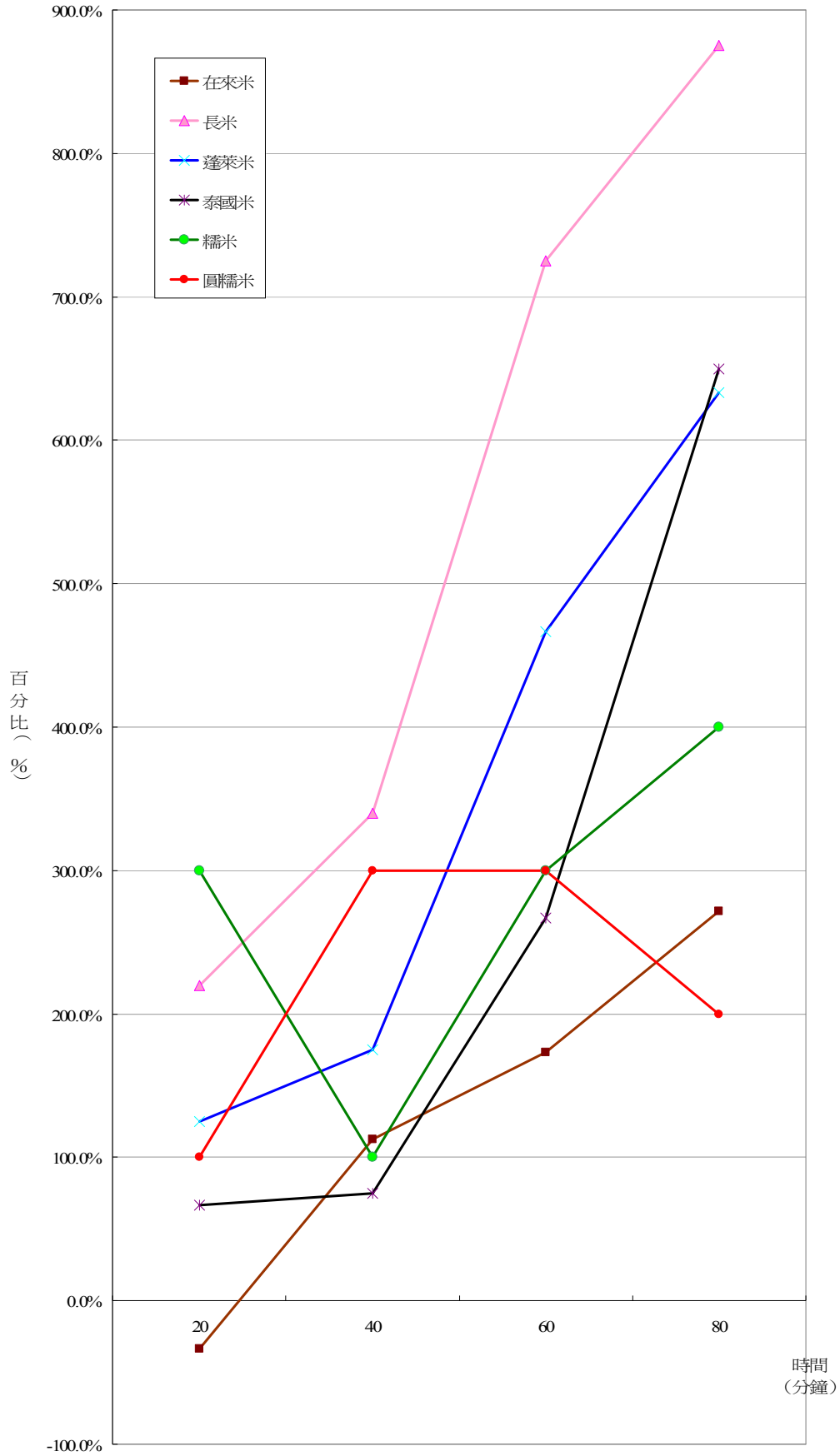


圖2-7 比較加入3g太白粉與否，各米類甜度的影響

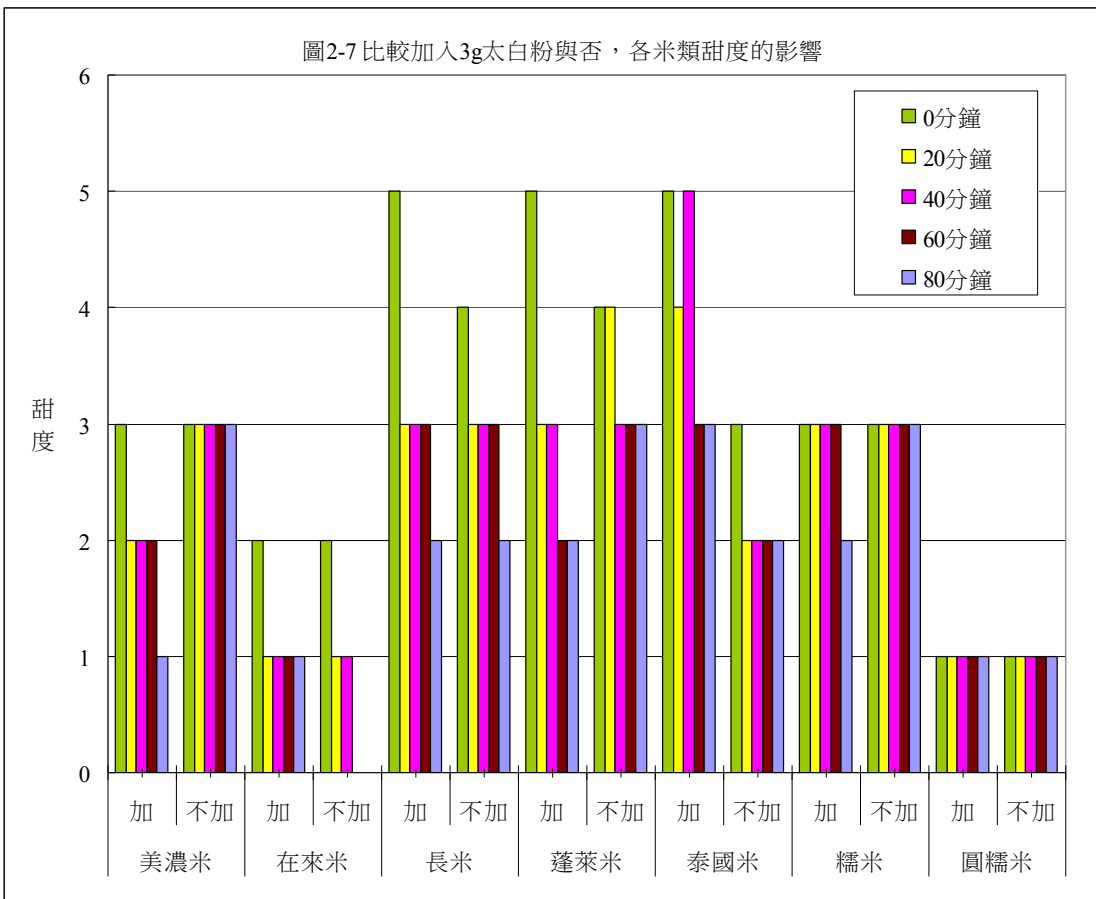


圖2-8 比較加入3g太白粉與否，對各米類溶液的電導度變化

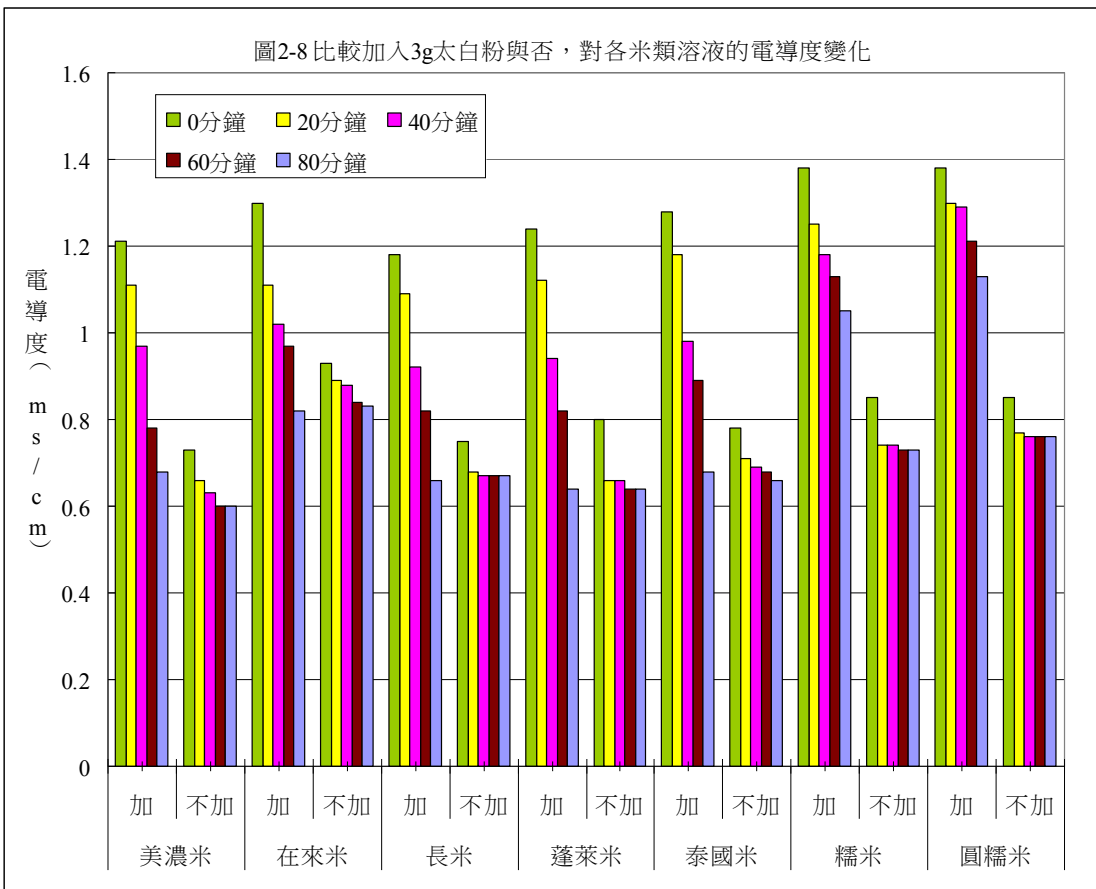


圖2-9 各類米加蒸餾水與3g蕃薯粉後，其拉力強度隨時間的變化

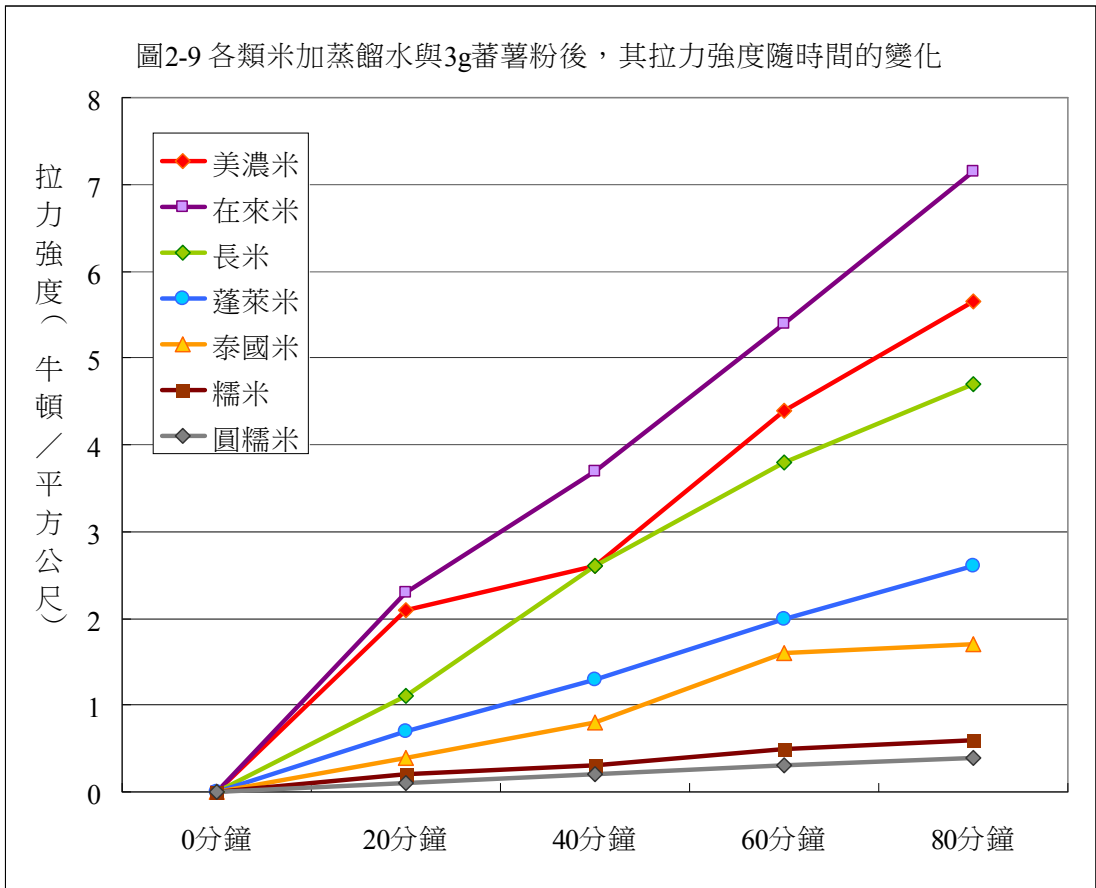


圖2-10 各類米加蒸餾水與3g蕃薯粉後，其甜度隨時間的變化

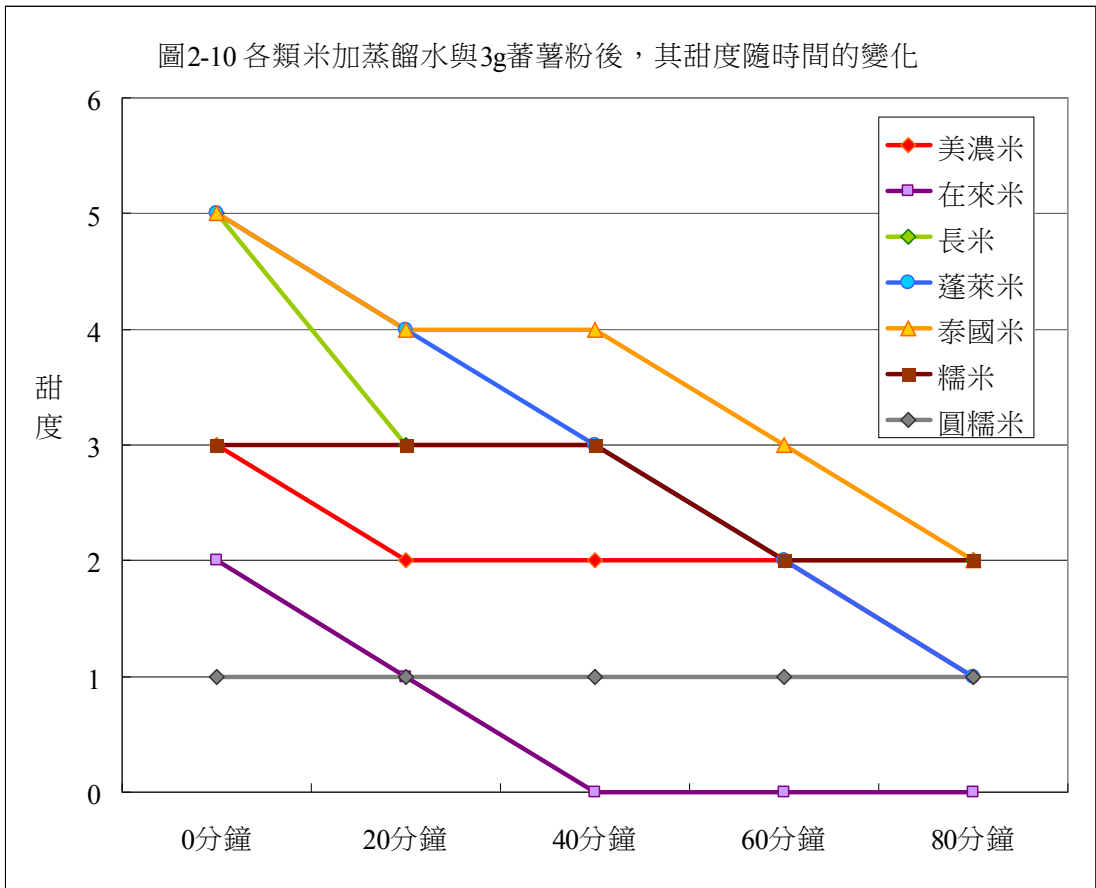


圖2-11 各類米加蒸餾水與3g蕃薯粉後，其電導度隨時間的變化

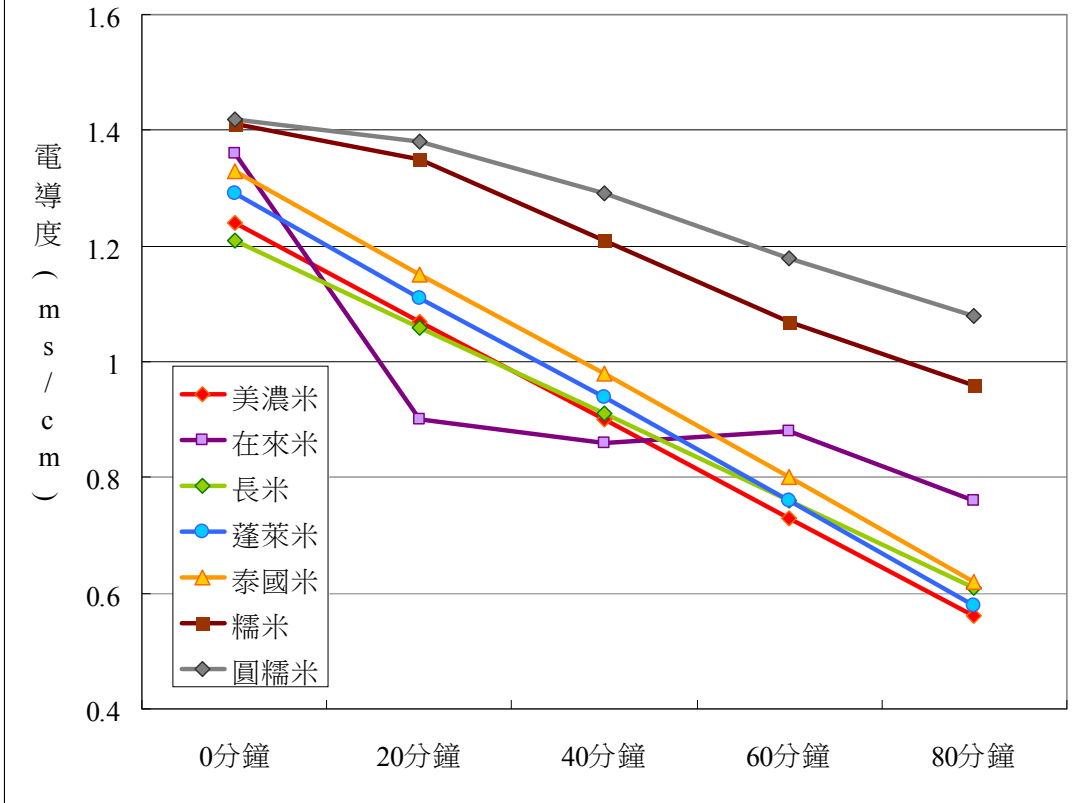


圖2-12 取50g各類米，比較加入3g太白粉、蕃薯粉對於拉力的影響

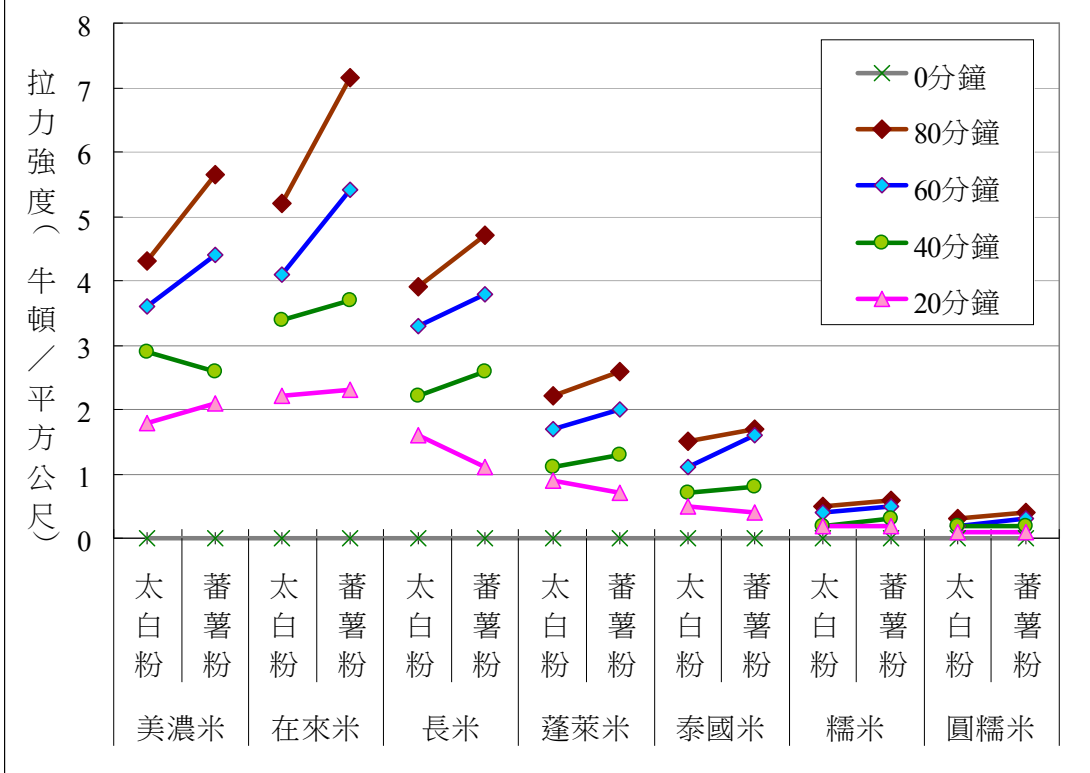


圖3-1 美濃米添加3g太白粉並使用不同水質後，其拉力隨時間的變化

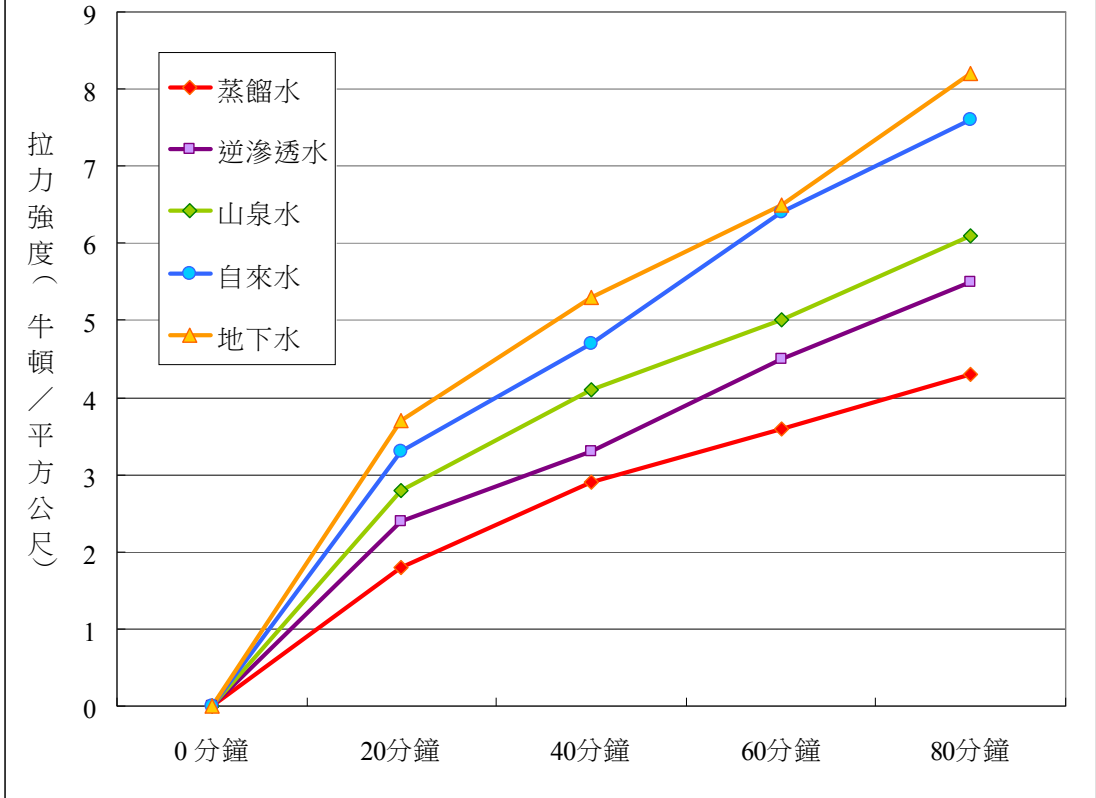


圖3-2 在來米添加3g太白粉並使用不同水質後，其拉力隨時間的變化

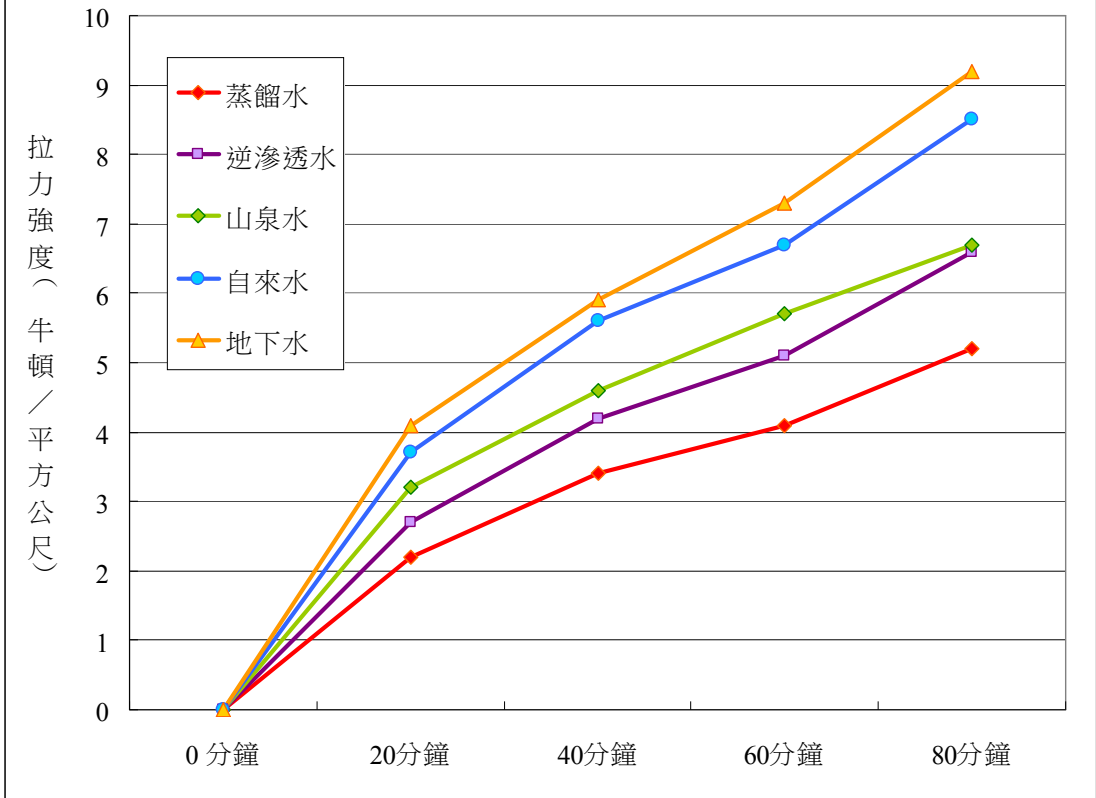


圖3-3 泰國米添加3g太白粉並使用不同水質後，其拉力隨時間的變化

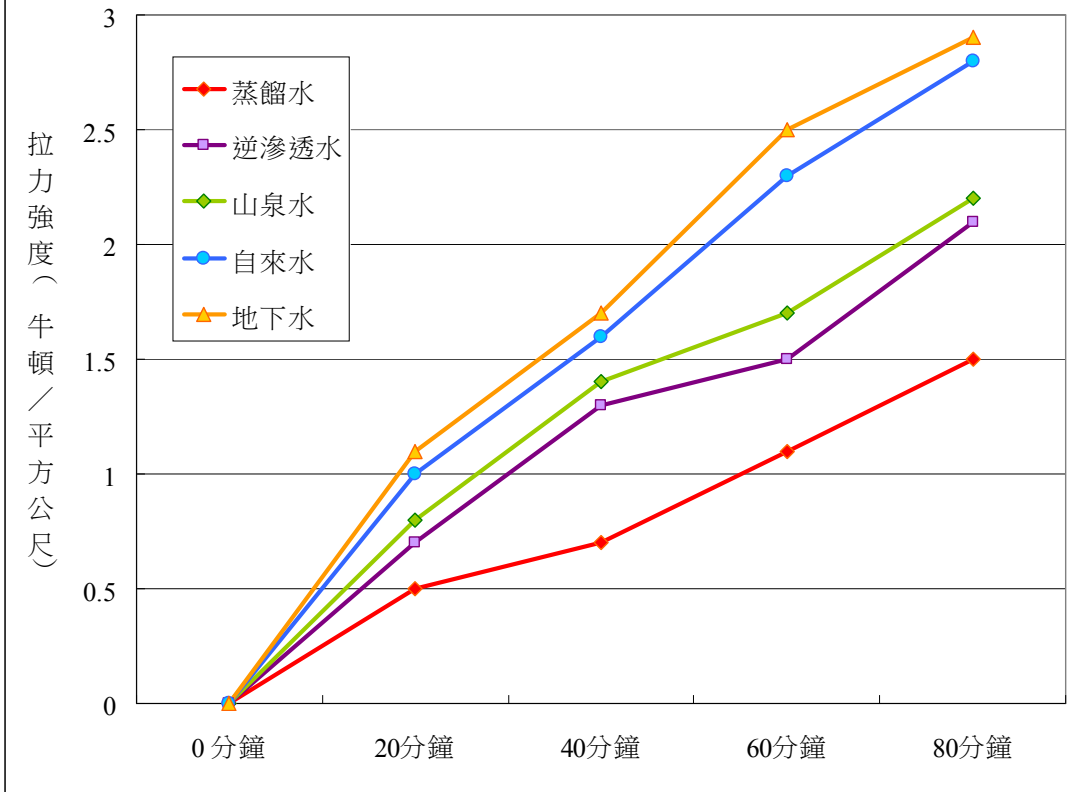


圖3-4 糯米添加3g太白粉並使用不同水質後，其拉力隨時間的變化

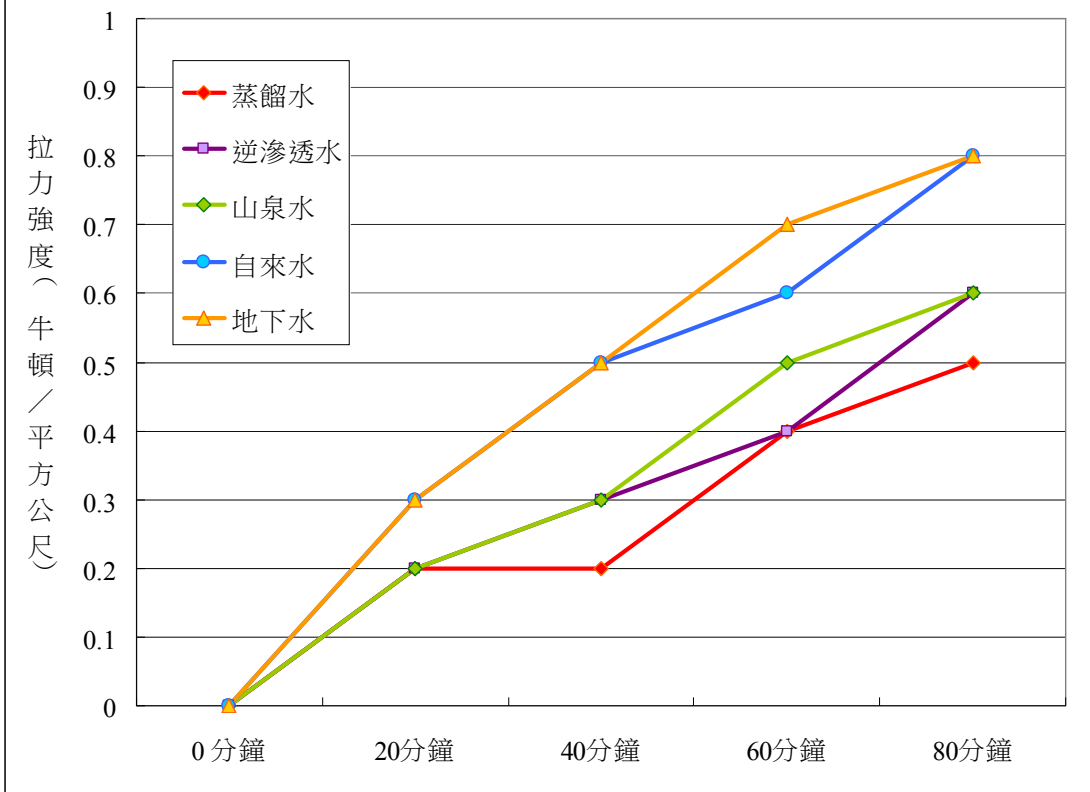


圖3-5 圓糯米添加3g太白粉並使用不同水質後，其拉力隨時間的變化

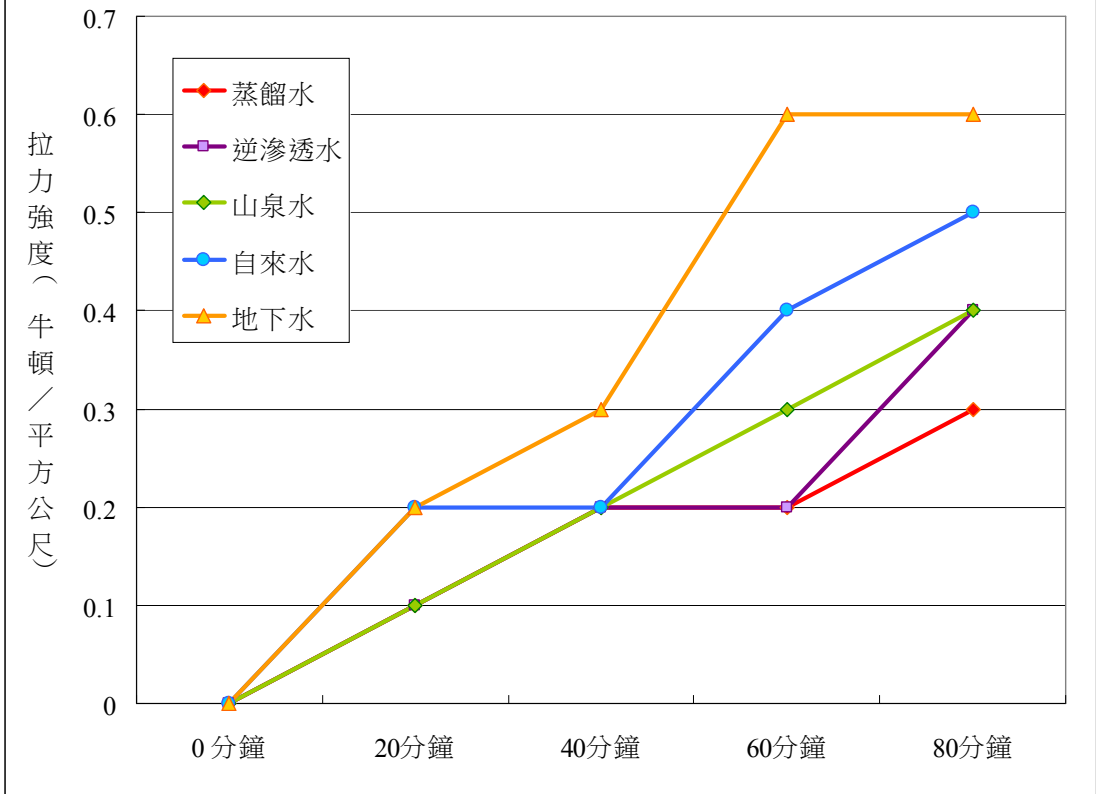
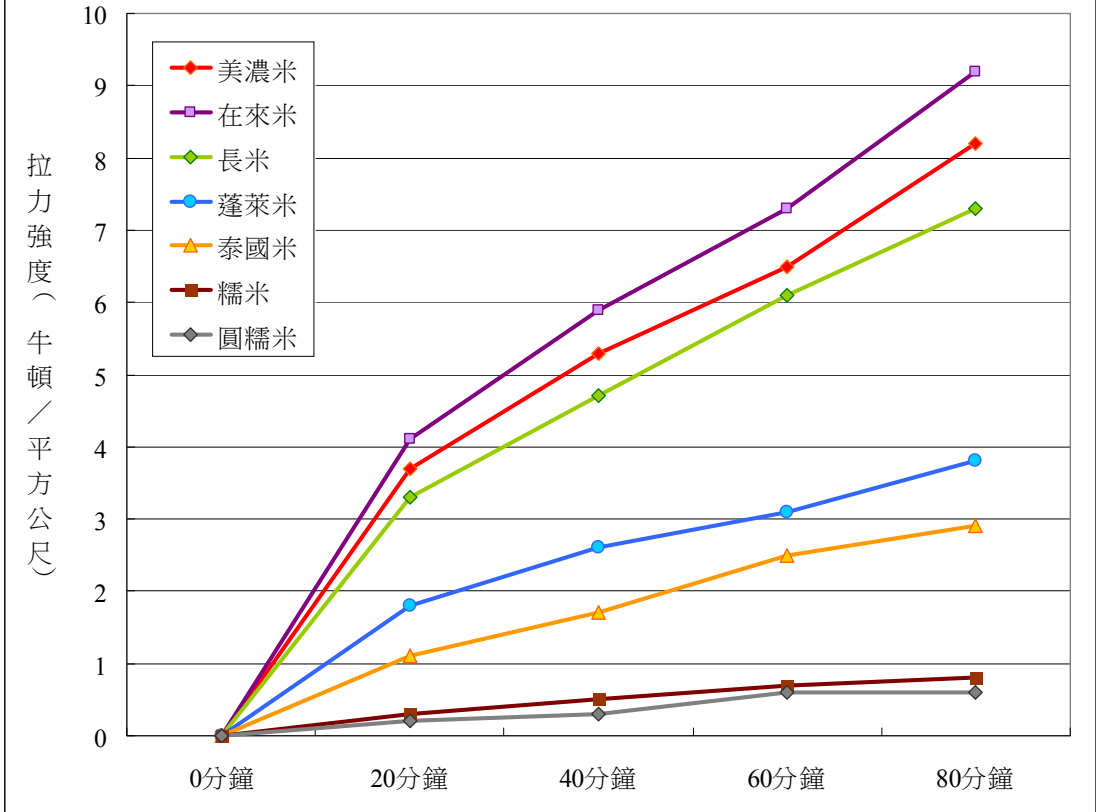


圖3-6 各類米加3g太白粉和地下水後，其拉力強度隨時間的變化



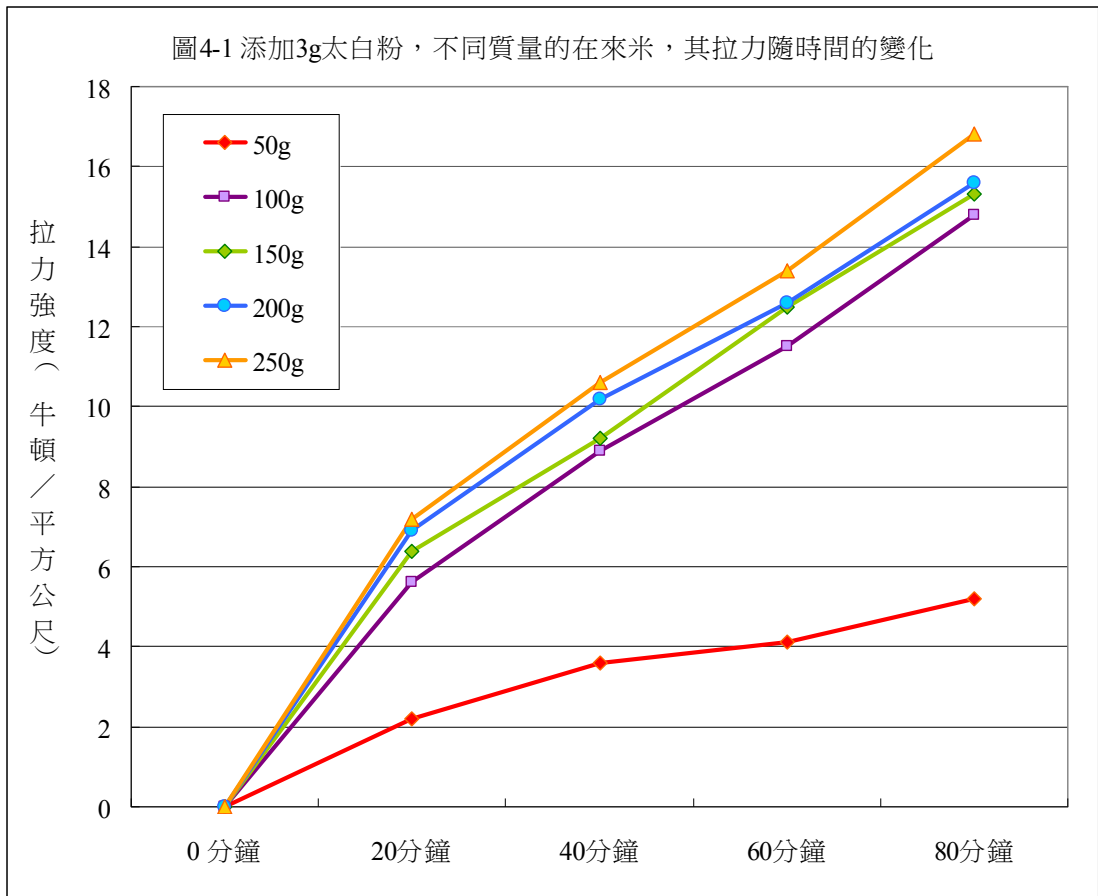
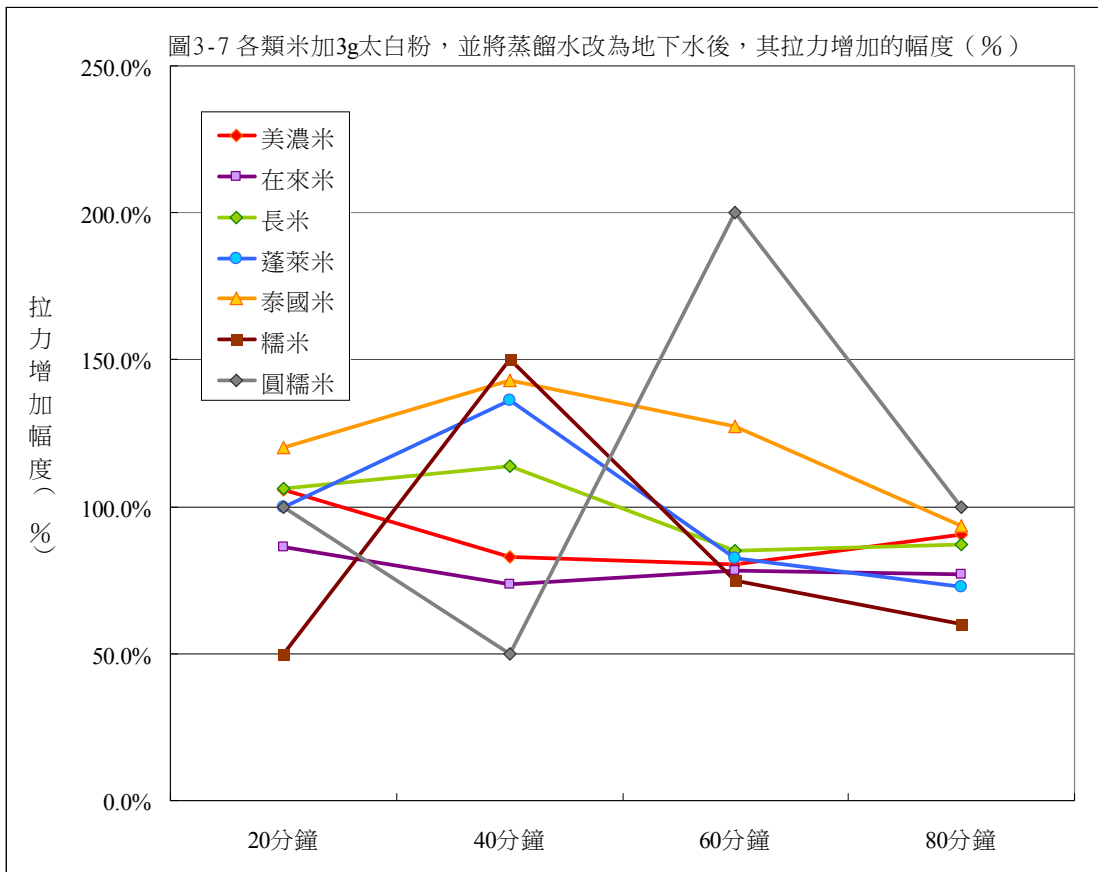


圖4-2 添加3g太白粉，不同質量的美濃米，其拉力隨時間的變化

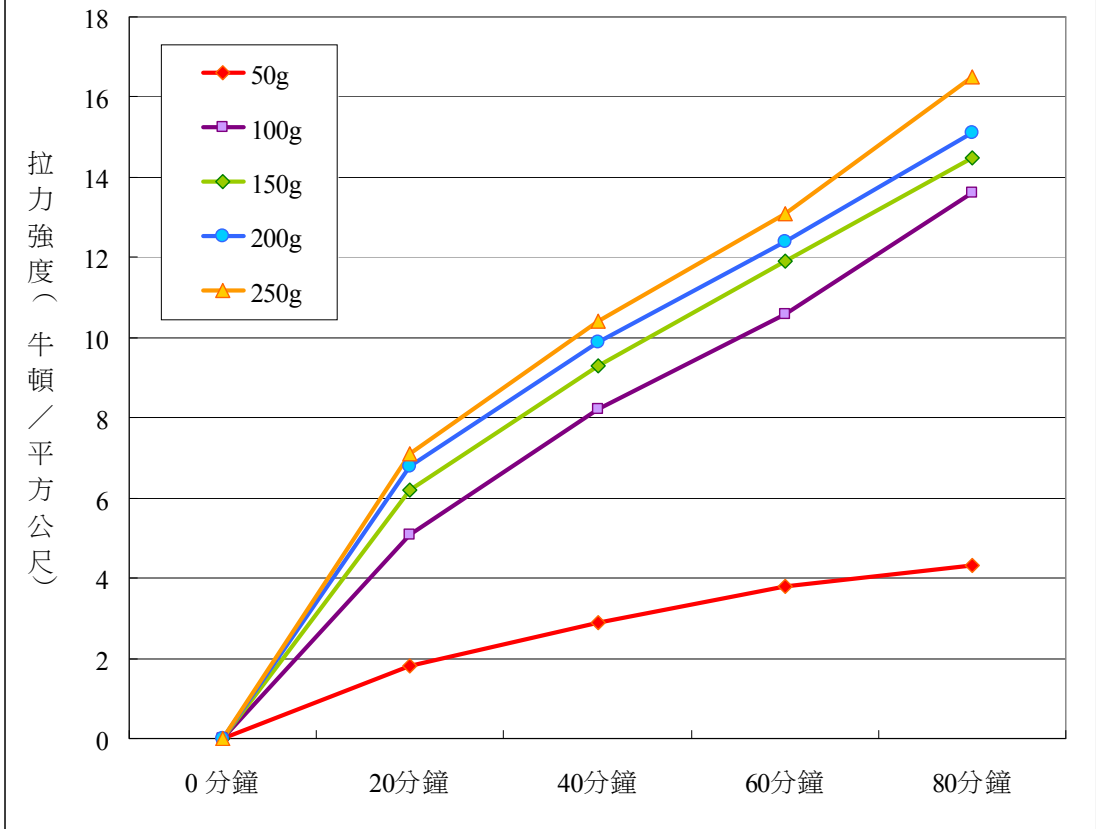


圖4-3 添加3g太白粉，不同質量的圓糯米，其拉力隨時間的變化

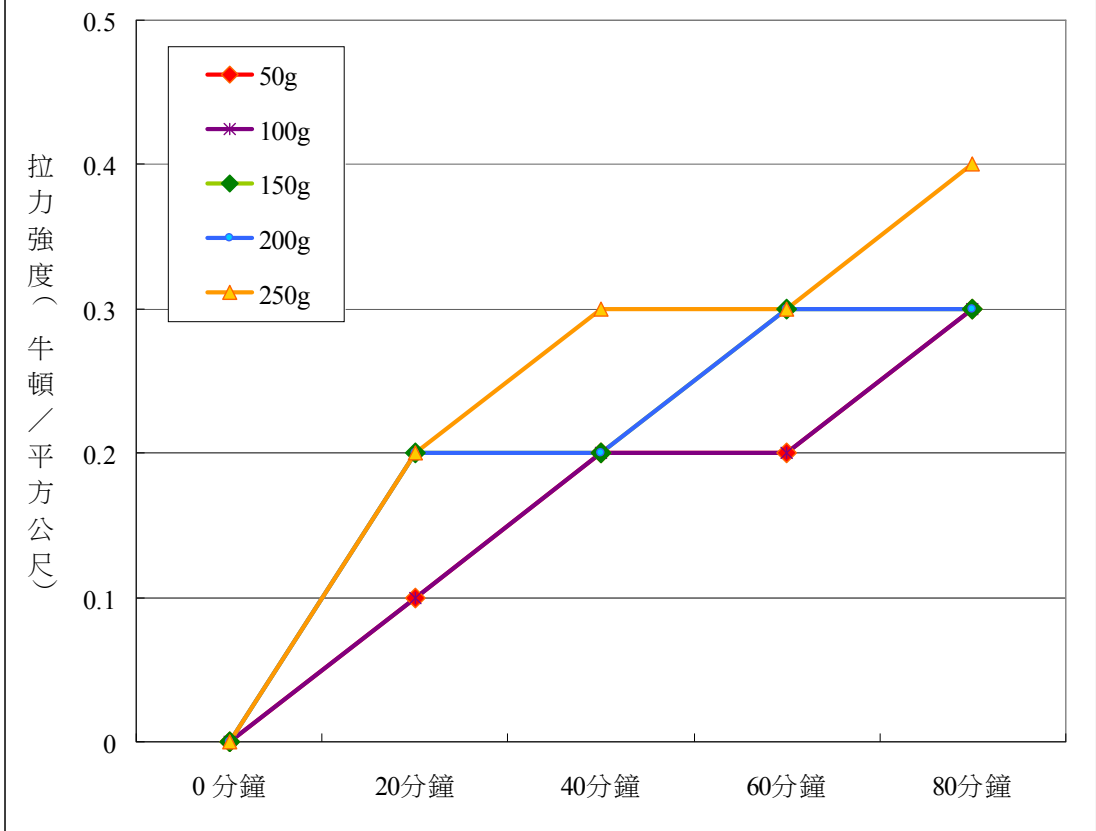


圖5-1 不同質量的太白粉，添加入50g在來米，其拉力隨時間的變化

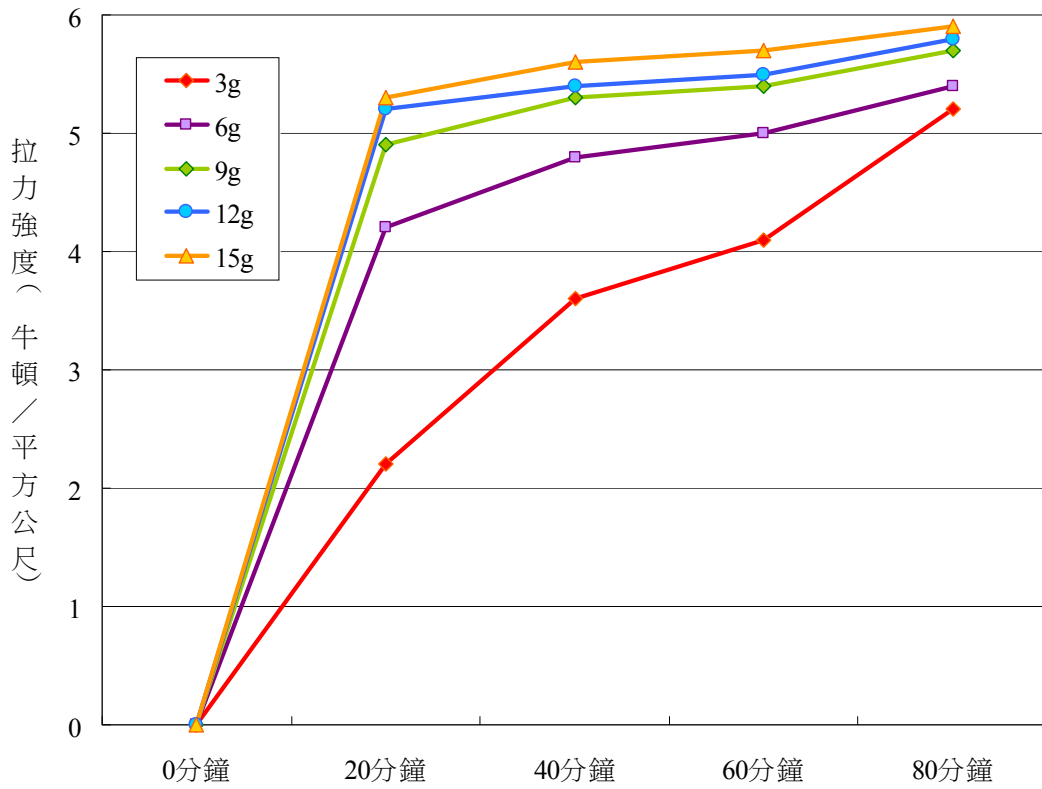


圖5-2 不同質量的太白粉，添加入50g美濃米，其拉力隨時間的變化

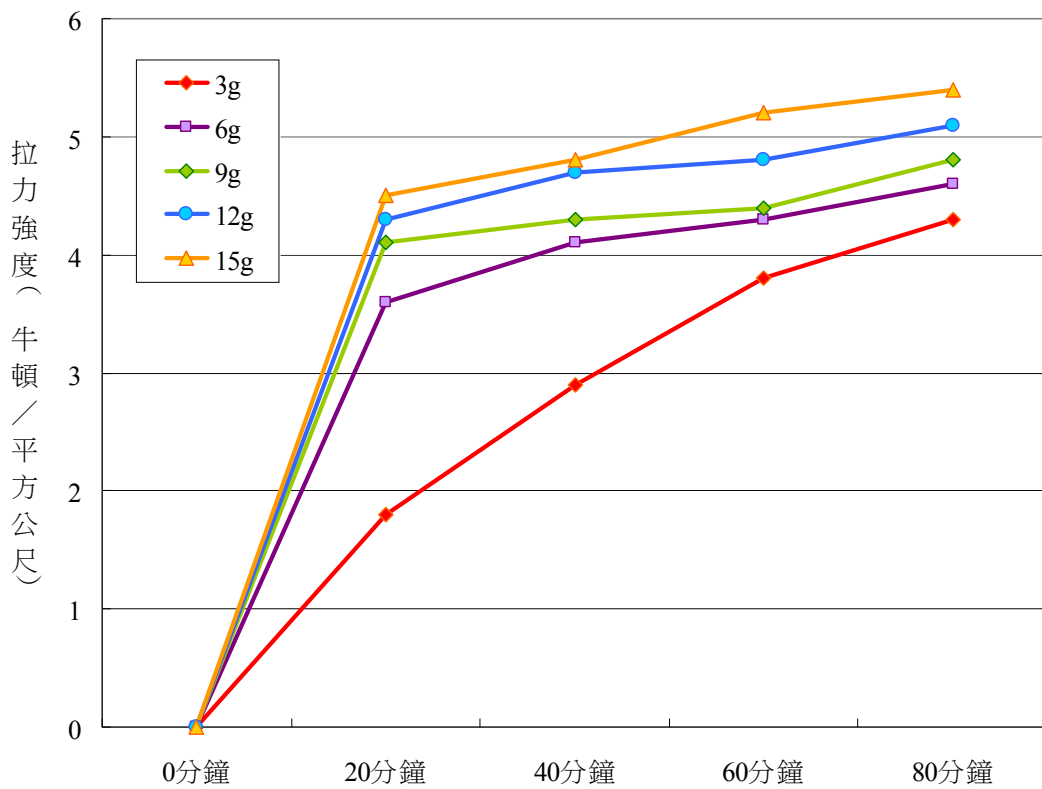


圖5-3 不同質量的太白粉，添加入50g圓糯米，其拉力隨時間的變化

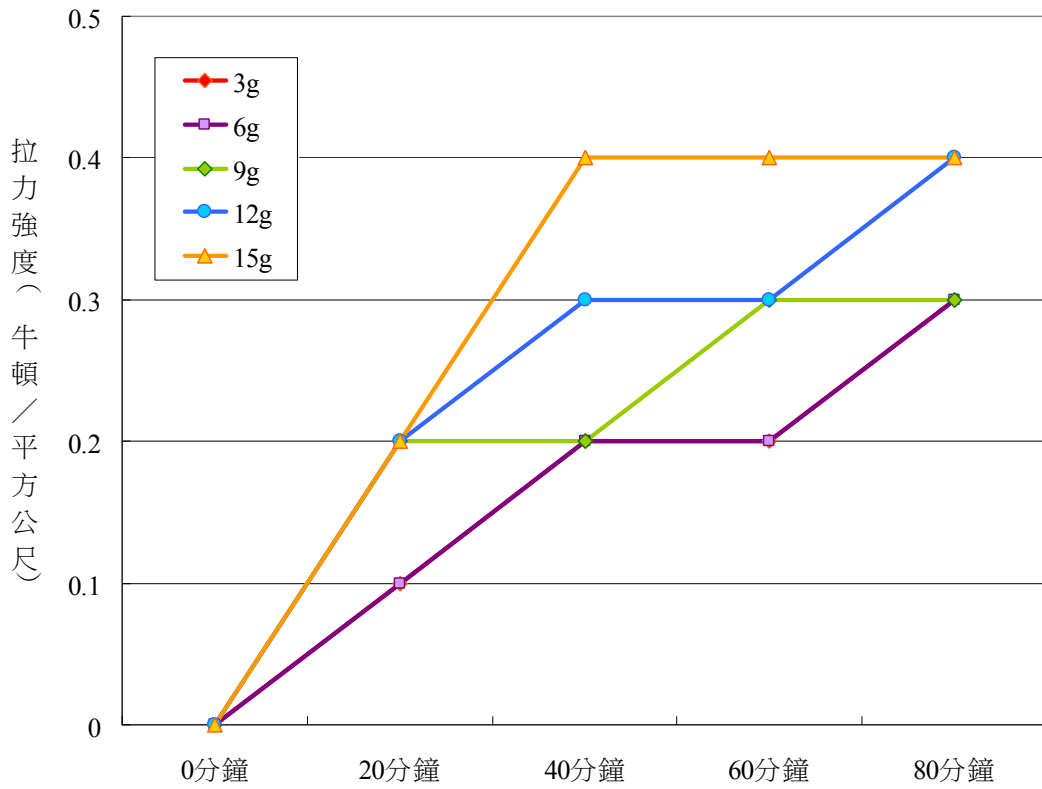


圖5-4 不同質量的蕃薯粉，添加入50g在來米，其拉力隨時間的變化

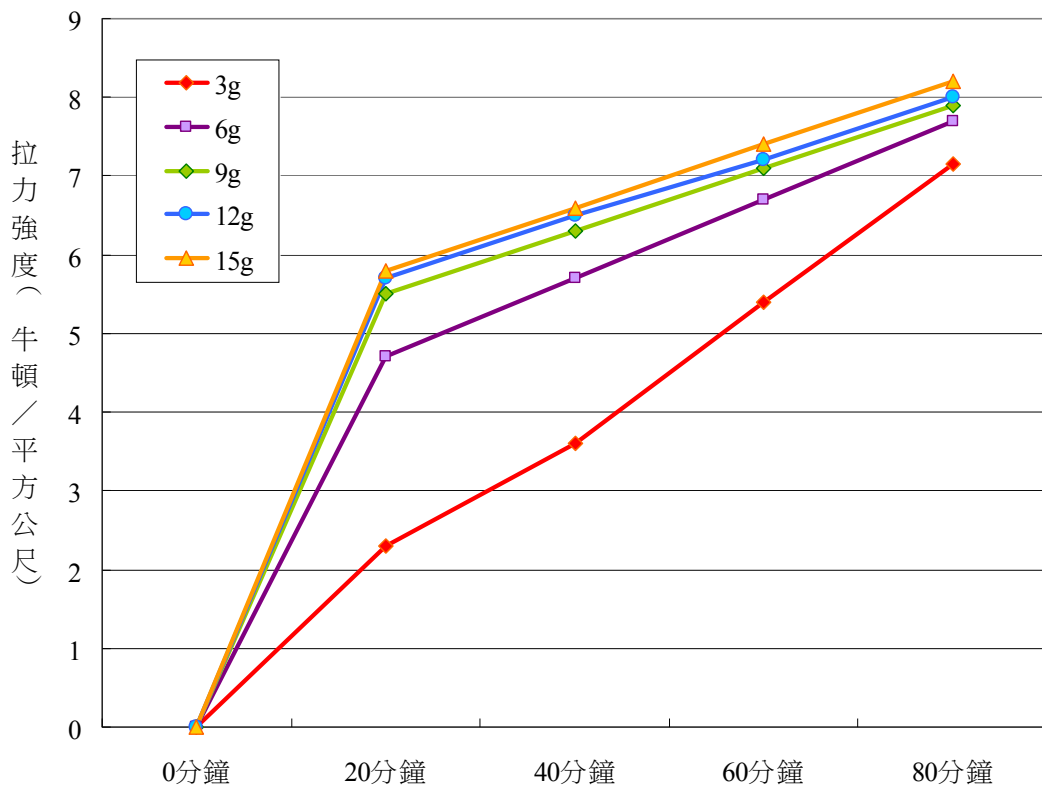


圖5-5 不同質量的蕃薯粉，添加入50g美濃米，其拉力隨時間的變化

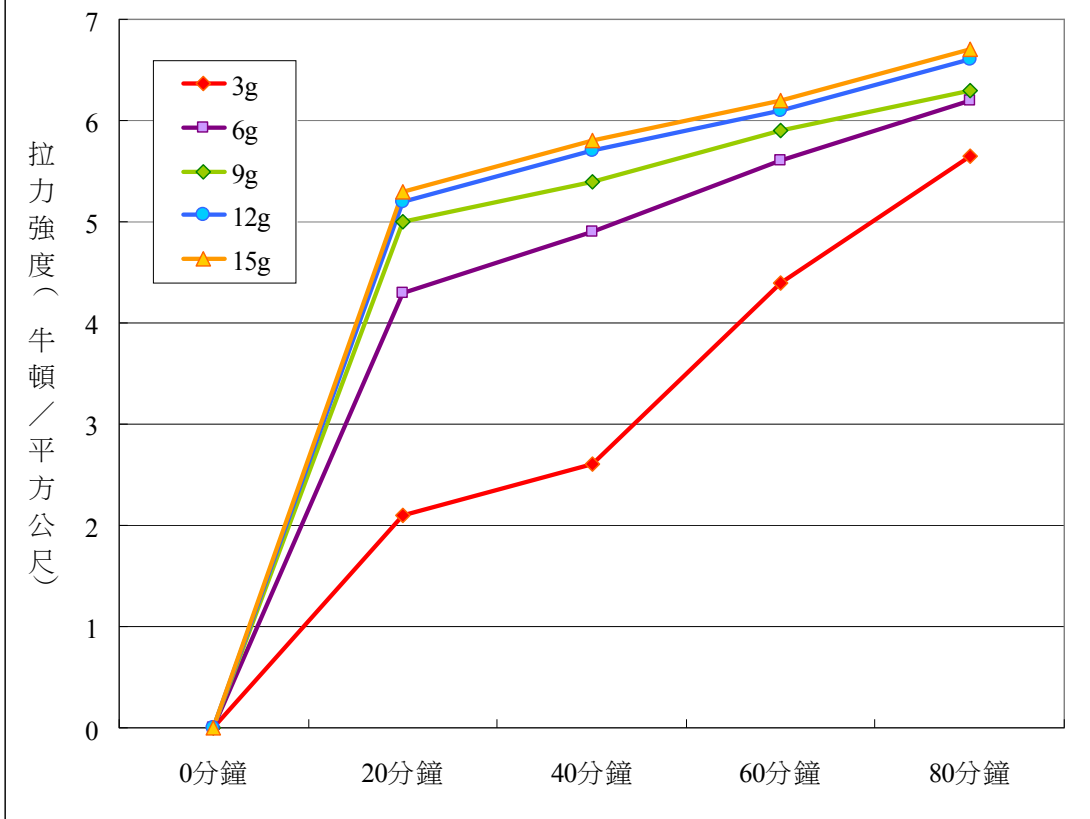


圖5-6 不同質量的蕃薯粉，添加入50g圓糯米，其拉力隨時間的變化

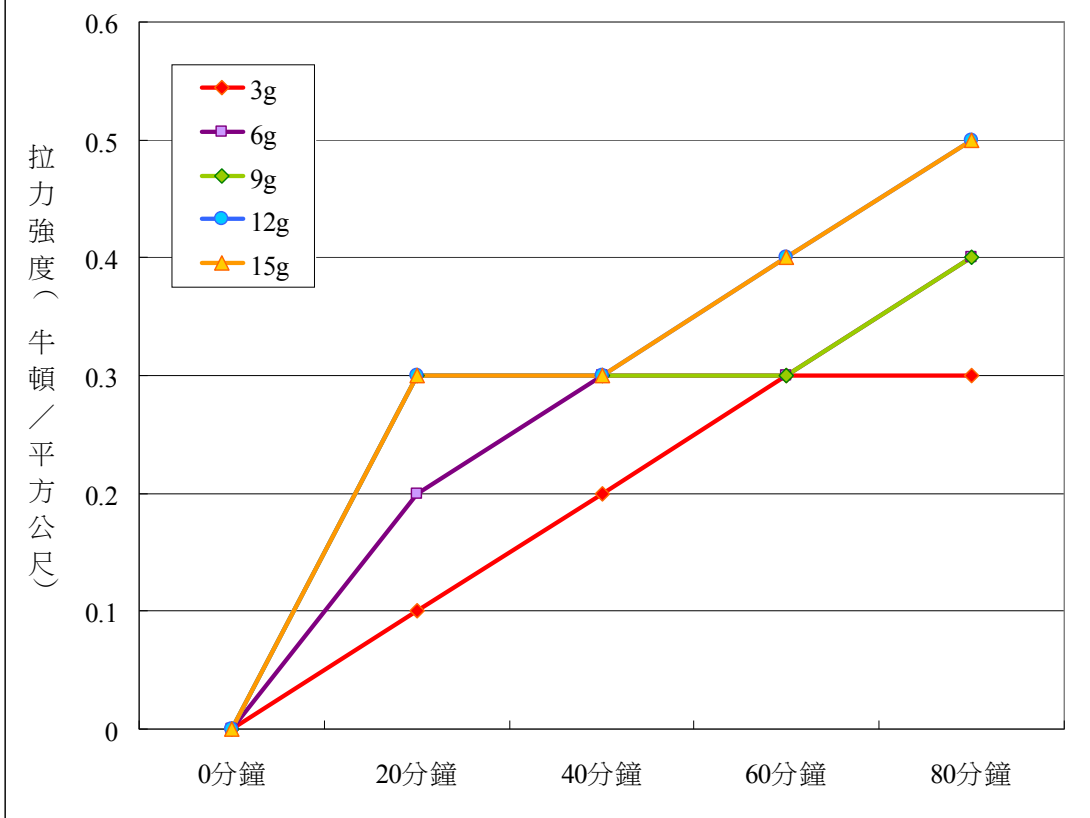
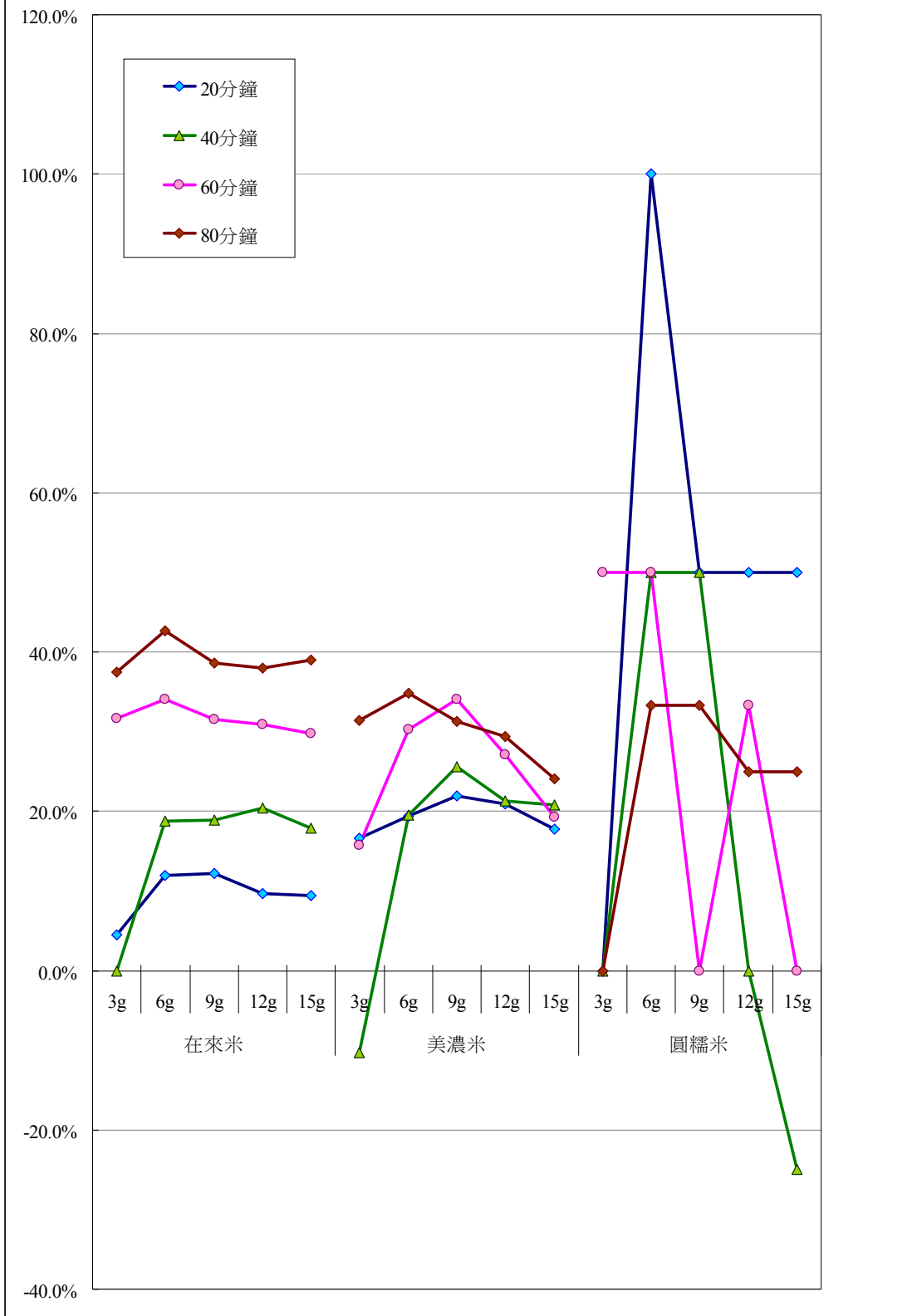


圖5-7 比較添加同量蕃薯粉和太白粉時，其對拉力增加幅度之差異百分比



表一 加蒸餾水時，各種米類隨時間在拉力（ NT/m^2 ）、甜度與電導度（ ms/cm ）的變化

各種米類		靜置時間				
		0min	20min	40min	60min	80min
美濃米	拉力 (nt/m^2)	0	0.5	0.25	0.05	0.05
	甜度	3	3	3	3	3
	電導度(ms/cm)	0.73	0.66	0.63	0.6	0.6
在來米	拉力 (nt/m^2)	0	3.3	1.6	1.5	1.4
	甜度	2	1	1	0	0
	電導度(ms/cm)	0.93	0.89	0.88	0.84	0.83
長米	拉力 (nt/m^2)	0	0.5	0.5	0.4	0.4
	甜度	4	3	3	3	2
	電導度(ms/cm)	0.75	0.68	0.67	0.67	0.67
蓬萊米	拉力 (nt/m^2)	0	0.4	0.4	0.3	0.3
	甜度	4	4	3	3	3
	電導度(ms/cm)	0.8	0.66	0.66	0.64	0.64
泰國米	拉力 (nt/m^2)	0	0.3	0.4	0.3	0.2
	甜度	3	2	2	2	2
	電導度(ms/cm)	0.78	0.71	0.69	0.68	0.66
糯米	拉力 (nt/m^2)	0	0.05	0.1	0.1	0.1
	甜度	3	3	3	3	3
	電導度(ms/cm)	0.85	0.74	0.74	0.73	0.73
圓糯米	拉力 (nt/m^2)	0	0.05	0.05	0.05	0.1
	甜度	1	1	1	1	1
	電導度(ms/cm)	0.85	0.77	0.76	0.76	0.76

表二 太白粉與蕃薯粉的拉力、甜度和電導度

		0min	20min	40min	60min	80min
太白粉	拉力 (nt/m^2)	0	0	0	0	0
	甜度	0	0	0	0	0
	電導度(ms/cm)	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
蕃薯粉	拉力 (nt/m^2)	0	0	0	0	0
	甜度	0	0	0	0	0
	電導度(ms/cm)	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51

表三 加入太白粉後，使用不同水質時，各種米類的拉力隨時間的變化

靜置時間 拉力 (nt/m ²)		0 mim	20mim	40min	60min	80min
		美濃米	蒸餾水	0	1.8	2.9
逆滲透水	0		2.4	3.3	4.5	5.5
山泉水	0		2.8	4.1	5.0	6.1
自來水	0		3.3	4.7	6.4	7.6
地下水	0		3.7	5.3	6.5	8.2
在來米	蒸餾水	0	2.2	3.4	4.1	5.2
	逆滲透水	0	2.7	4.2	5.1	6.6
	山泉水	0	3.2	4.6	5.7	6.7
	自來水	0	3.7	5.6	6.7	8.5
	地下水	0	4.1	5.9	7.3	9.2
長米	蒸餾水	0	1.6	2.2	3.3	3.9
	逆滲透水	0	2.1	3.0	4.2	5.0
	山泉水	0	2.3	3.5	4.1	5.3
	自來水	0	3.1	4.6	5.8	6.9
	地下水	0	3.3	4.7	6.1	7.3
蓬萊米	蒸餾水	0	0.9	1.1	1.7	2.2
	逆滲透水	0	1.1	1.7	2.1	2.7
	山泉水	0	1.3	1.9	2.4	2.9
	自來水	0	1.6	2.5	2.9	3.6
	地下水	0	1.8	2.6	3.1	3.8

表四 各類稻米 50g，加 300ml 蒸餾水與 3g 太白粉時，其拉力、甜度與電導度隨時間的變化

各類稻米		靜置時間				
		0min	20min	40min	60min	80min
美濃米	拉力 (nt/m ²)	0	1.8	2.9	3.6	4.3
	甜度	3	2	2	2	1
	電導度(ms/cm)	1.21	1.11	0.97	0.78	0.68
在來米	拉力 (nt/m ²)	0	2.2	3.4	4.1	5.2
	甜度	2	1	1	1	1
	電導度(ms/cm)	1.30	1.11	1.02	0.97	0.82
長米	拉力 (nt/m ²)	0	1.6	2.2	3.3	3.9
	甜度	5	3	3	3	2
	電導度(ms/cm)	1.18	1.09	0.92	0.82	0.66
蓬萊米	拉力 (nt/m ²)	0	0.9	1.1	1.7	2.2
	甜度	5	3	3	2	2
	電導度(ms/cm)	1.24	1.12	0.94	0.82	0.64
泰國米	拉力 (nt/m ²)	0	0.5	0.7	1.1	1.5
	甜度	5	4	5	3	3
	電導度(ms/cm)	1.28	1.18	0.98	0.89	0.68
糯米	拉力 (nt/m ²)	0	0.2	0.2	0.4	0.5
	甜度	3	3	3	3	2
	電導度(ms/cm)	1.38	1.25	1.18	1.13	1.05
圓糯米	拉力 (nt/m ²)	0	0.1	0.2	0.2	0.3
	甜度	1	1	1	1	1
	電導度(ms/cm)	1.38	1.30	1.29	1.21	1.13

表五 不同重量的米，加入 3g 太白粉，其拉力隨時間的變化

靜置時間 拉力 (nt/m ²)		0 min	20 min	40 min	60 min	80 min
		在來米	50g	0	2.2	3.6
100g	0		5.6	8.9	11.5	14.8
150g	0		6.4	9.2	12.5	15.3
200g	0		6.9	10.2	12.6	15.6
250g	0		7.2	10.6	13.4	16.8
美濃米	50g	0	1.8	2.9	3.8	4.3
	100g	0	5.1	8.2	10.6	13.6
	150g	0	6.2	9.3	11.9	14.5
	200g	0	6.8	9.9	12.4	15.1
	250g	0	7.1	10.4	13.1	16.5
圓糯米	50g	0	0.1	0.2	0.2	0.3
	100g	0	0.1	0.2	0.2	0.3
	150g	0	0.2	0.2	0.3	0.3
	200g	0	0.2	0.2	0.3	0.3
	250g	0	0.2	0.3	0.3	0.4

陸、討論

民以食為天，農作物五穀包括稻、黍（黃米）、稷（小米）、麥（小麥或大麥）、菽（大豆），稻為五穀之首，自古以來「稻米」就是國人的主食，幾千年來養育了無數世代的子民，米糧收成的豐歉，影響民生的安定，與民族命脈密不可分。每逢傳統節慶來臨，在奉天祭祖的禮儀中，米食是珍貴祭品，以表示尊崇之意。平凡的白米更能變化出多樣的米食，而客家板條正是先人創造的米食文化結晶。本研究由科學的角度切入探討，結合傳統文化，探討板條製作的過程以及口感，期待有更多人能更深入認識板條。

一、不同種類稻米對於拉力的影響

一般我們說食物吃起來的「嚼勁」和「彈牙」是跟食物的拉力有關，於是，我們使用市面上常見的米（美濃米、在來米、長米、蓬萊米、泰國米、糯米、圓糯米），在不加入任何添加物下，使用蒸餾水，將其製成板條，比較其拉力。我們發現各米類拉力大小排列為 在來米 > 美濃米 > 長米 > 蓬萊米 > 泰國米 > 糯米 > 圓糯米。對此，我們對照所查之資料：一般米的成分約 75% 澱粉（這是供給人體熱量的最大來源）、其次為蛋白質（約 7%），脂質約 2%，及膳食纖維、維生素 B 群、及 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 等離子。而米漿為何會凝結而產生拉力呢？這是因為膳食纖維中的果膠質（pectins）的成分。果膠質含有 COO^- 基、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等二價離子，離子會形成離子鍵結，最後形成凝膠狀而產生拉力，這也是米漿即使不加入任何添加物，仍會自行凝結而產生拉力的原因。

那為何不同米類的拉力會有不同呢？對此，我們以自然課所學的鏈狀、網狀之有機化合物的鏈結來解釋：稻米的主要成分是直鏈澱粉（Amylose）與支鏈澱粉（Amylopectin），其中直鏈澱粉較容易水解而分解出凝結所需的成分，所以直鏈澱粉較多的稻米自然較易凝結，拉力也較大。

依據我們查得的資料，不同米類的直鏈澱粉與支鏈澱粉所含的比例如下表：

表六 不同米類的直鏈澱粉與支鏈澱粉所含的比例

稻米種類 所含比例	在來米	蓬萊米	糯米
直鏈澱粉	25~30%	20%	0~1%
支鏈澱粉	70~75%	80%	99~100%

由我們實驗所測得的拉力，其結果與各種稻米中所含的直鏈澱粉比例成正相關，研究結果與理論相符合。

二、靜置時間對於拉力的影響

（一）、無添加物的狀況

根據實驗結果，我們發現在來米、美濃米、長米、蓬萊米、泰國米等拉力較大的米，其拉力一開始會隨著靜置時間增加，但約到 20min-40min 便開始下降，而糯米、圓糯米則呈現持續上揚的趨勢。對此我們提出以下的解釋：

1. 造成拉力上升的原因

（1）化學原因：當稻米打成米漿後，隨時間增加而持續釋放出果膠質（pectins）成分，

果膠質內含的 COO^- 基與 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等二價離子離子會形成離子鍵結，最後形成凝膠狀產生拉力。

(2) 物理原因：加熱過的米漿在冷卻後，因流動性減少，形成凝膠狀而產生了膠凝作用，即產生拉力。

2. 造成拉力下降的原因

米漿凝結後，經一段時間，因為濃度擴散原理，水分子會從外部滲透進入凝固的米漿中，使其鍵結結構遭到破壞，導致其拉力下降。

綜合上述原因，我們認為在 0~40 分鐘內，造成拉力上升效應 > 造成拉力下降的效應。但超過 40 分鐘後則轉換變成拉力上升效應 < 造成拉力下降的效應。

(二)、有添加物的狀況

我們將米漿分別加入不同的添加物（蕃薯粉、太白粉）研究拉力的變化。我們發現米的拉力會隨著靜置時間而有一直增加的趨勢，對此我們提出以下解釋：

蕃薯粉是由地瓜做的，太白粉則由樹薯粉所製成的，其組成與稻米相似，也含果膠質（pectins）的成分。果膠質內的 COO^- 與 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等二價離子會形成離子鍵結，最後形成凝膠狀而產生拉力。但我們發現，蒸餾水的米漿溶液不易自行凝結，而加入蕃薯粉或太白粉後，這二種添加物內的果膠質可釋出 COO^- 離子，有助於提升米漿凝結的拉力。

表七 靜置 80 分鐘後，各種稻米的拉力 (nt/m^2)

不同米類 \ 添加物	無添加物	蕃薯粉	太白粉
美濃米	0.05	5.65	4.3
在來米	1.4	7.15	5.2
長米	0.4	4.7	3.9
蓬萊米	0.3	2.6	2.2
泰國米	0.2	1.7	1.5
糯米	0.1	0.6	0.5
圓糯米	0.1	0.4	0.3

三、不同水質對於拉力的影響

我們使用不同米來測量不同水質（蒸餾水、逆滲透水、山泉水、自來水、地下水）所製成的米漿，進行拉力的實驗。由實驗結果可知，不同的水質對米漿拉力大小依序為 蒸餾水 < 逆滲透水 < 山泉水 < 自來水 < 地下水。

在前述的討論中我們知道 COO^- 基與 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等二價離子會形成離子鍵結，形成拉力。我們認為不同水質中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等二價離子的多寡是決定米漿凝結率的關鍵因素，下表為我們所測出不同水質的電導度。

表八不同水質時，其拉力（ nt/m^2 ）的差異

加入添加物 不同稻米	蒸餾水	逆滲透水	山泉水	自來水	地下水
美濃米	4.3	5.5	6.1	7.6	8.2
在來米	5.2	6.6	6.7	8.5	9.2
長米	3.9	5.0	5.3	6.9	7.3
蓬萊米	2.2	2.7	2.9	3.6	3.8
泰國米	1.5	2.1	2.2	2.8	2.9
糯米	0.5	0.6	0.6	0.8	0.8
圓糯米	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6

表九 各水質的電導度

水質	蒸餾水	逆滲透水	山泉水	自來水	地下水
電導度（ ms/cm ）	0	0.013	0.084	0.119	0.255

表中的電導度為溶液中的導電離子。當溶液中插入一對電極且通電之後，在電場的作用下，帶電的離子就會產生一定方向的移動，即溶液中陰離子移向陽極，陽離子移向陰極，讓水溶液起導電作用，溶液導電能力的強弱程度就稱為電導度。電導度反映水中含離子量多少的一個重要指針。當電導度越高，其含離子量也越多。

由上表可知，地下水的電導度最大，我們推論其所含的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等二價離子較多，所以拉力也較佳。我們將拉力最高的地下水與最低的蒸餾水做比較，其拉力增加的幅度整理為下表。由表中結果可知不同的水質影響拉力甚鉅。

表十 不同種類的稻米使用不同的水，加太白粉後，靜置 80 分鐘後的拉力增加情形

稻米	美濃米	在來米	長米	蓬萊米	泰國米	糯米	圓糯米
拉力增加%	91%	77%	87%	73%	93%	60%	100%

四、稻米、蕃薯粉、太白粉質量與拉力的關係

（一）增加稻米的質量

我們研究不同稻米質量（50 g、100g、150g、200g、250g）對於凝結率的影響，其結果如下表。

表十一 不同質量的稻米，靜置 80 分鐘後的拉力值（ nt/m^2 ）

質量（g） 稻米種類	50	100	150	200	250
在來米	5.2	14.8	15.3	15.6	16.8
美濃米	4.3	13.6	14.5	15.1	16.5
圓糯米	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4

由上述的結果可知，增加稻米的質量會增加拉力，但非成正比。比較各類米為 50g 和 100g

時，質量增加為 100%，美濃米的拉力增加 216%，有較明顯的增加；在來米的拉力增加 185%，圓糯米無增加拉力。

但當各米類超過 100g 後，其拉力增加的幅度就急速下降。比較各類米為 100g 和 250g 時，質量增加 150%，在來米的拉力只增加 14%，而美濃米增加的幅度為 21%，圓糯米增加的幅度為 33%。由上述實驗結果可知，適度的增加米類質量可增加板條拉力口感，但過量的增加只會增加製作成本，對於拉力的提升幫助有限。

對以上的結果，我們認為提高稻米質量同時也提高了 COO^- 基，與雙價陽離子的濃度進而增加拉力。但 COO^- 基，與雙價陽離並非等比例的增加，導致繼續增加稻米質量時拉力不會與增加的質量呈正比增加。 COO^- 基，與雙價陽離子其中必有一個的量較少，成為控制鍵結反應的關鍵反應物。為了找出其原因，我們另外做了增加蕃薯粉與太白粉的實驗。

(二) 增加蕃薯粉與太白粉的質量的質量

我們使用不同米類，增加增加蕃薯粉與太白粉的質量，研究其對於拉力的影響，其結果如下表。

表十二 不同的蕃薯粉、太白粉量對於稻米 80 分鐘後的拉力值 (nt/m^2)

添加物量 (g)		稻米種類					
		0	3	6	9	12	15
在來米	蕃薯粉	1.4	7.15	7.7	7.9	8.0	8.2
	太白粉	1.4	5.2	5.4	5.7	5.8	5.9
美濃米	蕃薯粉	0.05	5.65	6.2	6.3	6.6	6.7
	太白粉	0.05	4.3	4.6	4.8	5.1	5.4
圓糯米	蕃薯粉	0.1	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
	太白粉	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4

由上表及圖形可知，加入蕃薯粉或太白粉可以大幅增加米漿的拉力，但繼續增加蕃薯粉或太白粉的量拉力則只會微量增加。

以在來米為例，相較於無添加 (0g) 之情形，加 3g 添加物 (蕃薯粉、太白粉) 均呈現拉力增加，其增加幅度分別為 411%、271%；相較於分別添加 3g 蕃薯粉、太白粉，加 12g 添加物時，其拉力上升幅度變小，分別為 15%、13%。

以美濃米為例，相較於無添加 (0g) 之情形，加 3g 添加物 (蕃薯粉、太白粉)，其拉力增加幅度分別為 11200%、8500%；相較於分別添加 3g 蕃薯粉、太白粉，加 12g 添加物時，其拉力上升幅度變小，分別為 19%、26%。

以圓糯米為例，加 0g 與添加 3g 做比較，在蕃薯粉與太白粉增加的幅度分別為 200%、200%；但添加 3g 與 12g 做比較其幅度降成為 33%、33%。

對於以上結果我們提出解釋為：加入添加物也提高了 COO^- 基的濃度，所以拉力會大幅增加。當我們繼續增加添加物，雖然 COO^- 基的濃度也繼續增加，但可產生鍵結的雙價陽離子並無增加。這點可由沒加入稻米的蕃薯粉與太白粉之蒸餾水溶液中，沒有產生凝結的狀況 (即無鍵結)，所以我們推測蕃薯粉與太白粉裡少有可產生鍵結的雙價陽離子。可見添加物的繼續增加對拉力增加的幅度有限。我們並推論可鍵結雙價陽離子是會影響各類米製品的拉力

大小，因為其所含的濃度應遠小於 COO^- 基的濃度，所以其為為控制鍵結反應的關鍵反應物。

五、溶液電導度與甜度的變化

我們研究米漿溶液的電導度變化。研究發現，米漿溶液電導度會隨著靜置時間下降，其結果整理如下表。

表十三 各種米漿溶液靜置 80 分鐘後，其電導度下降幅度%

稻米種類 添加物	美濃米	在來米	長米	蓬萊米	泰國米	糯米	圓糯米
無	-18%	-11%	-11%	-20%	-15%	-14%	-11%
太白粉	-44%	-37%	-44%	-48%	-47%	-24%	-18%
蕃薯粉	-55%	-44%	-50%	-55%	-53%	-32%	--24%

對於以上的結果，我們提出解釋為：米漿凝結過程需要二價陽離子與 COO^- 基離子，所以造成正負離子的含量會降低，電導度自然下降。而各種米漿電導度下降的幅度皆為 蕃薯粉 > 太白粉 > 無添加物，其結果與拉力大小成正相關性，可見米漿中的其所含的 COO^- 基與 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等二價離子會形成離子鍵結，最後形成凝膠狀，產生拉力，進而導致離子減少，使得電導度下降。另外，隨著靜置時間及拉力的上升，甜度會下降。

柒、結論

- 一、不同米類用蒸餾水且不加入任何添加物時，其製成的板條拉力依大小排列依序為 在來米 > 美濃米 > 長米 > 蓬萊米 > 泰國米 > 糯米 > 圓糯米。
- 二、在不加入任何添加物時，拉力較大的在來米、美濃米、長米、蓬萊米和泰國米等，其拉力一開始會隨靜置時間而增加，但約到 20min-40min 便開始下降，而糯米、圓糯米則呈持續上揚的趨勢。
- 三、各類米漿經一段時間凝結後，因濃度擴散原理，水分子會從外部滲透進入凝固的米漿中，使其鍵結的結構遭到破壞，導致其拉力下降。
- 四、將各類米漿分別加入不同添加物（蕃薯粉、太粉粉）研究拉力的變化，我們發現米的拉力會隨著靜置時間而增加，而無下降的趨勢。
- 五、不同的水質對米漿拉力大小依序為 蒸餾水 < 逆滲透水 < 山泉水 < 自來水 < 地下水
- 六、增加稻米的質量會增加拉力，但非成正比。
- 七、加入蕃薯粉或太白粉可以大幅增加米漿的拉力，但繼續增加蕃薯粉或太白粉的量拉力則只會微量增加。
- 八、米漿溶液電導度、甜度會隨著靜置時間下降。

捌、參考資料

- 一、林英智等（民 101 年）：自然與生活科技。新北市：康軒

【評語】 030813

本作品係將粿條的好吃程度予以科學化探討，包含研究米的種類，不同的水質，不同的添加物和靜置時間，透過實驗利用拉力計，電導度計和曲度計來評估各式粿條之性質。將傳統食品利用科學方法來驗證比較，具研究精神和對本土產業之用心，唯對什麼是好吃要先做科學定義才容易比較。