

中華民國第 53 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

030803

「蒸的不用多」－電鍋加水量的探討

學校名稱：嘉義市立北興國民中學

作者： 國一 黃子嘉 國二 王滋頌 國一 朱慧瑜	指導老師： 黃嘉惠 徐宜廷
---	-----------------------------

關鍵詞：電鍋、糊化、電功率

壹、摘要

以熱電耦偵測電鍋加熱過程溫度的變化時發現，升溫過程，中上層的溫度偏高，但差異不大，當達飽和蒸氣期時，鍋內各層溫度呈100°C恆溫狀態，而水分近乾時，過熱蒸氣開始產生，越上層的，升溫越快，因此，食物置於中上層位置，受熱效果將較佳。

在加水量對饅頭蒸熟的實驗中發現，加水量愈少者，當達糊化溫度後，鍋內飽和蒸氣恆溫期短，以致饅頭內部吸水量低，糊化程度就偏低，若加水達到一定量後，飽和蒸氣期延長，糊化破裂程度將趨一致，此時過多的水，將造成能源的浪費，此點由顯微鏡澱粉顆粒的觀察與澱粉糊化破裂的程度得到證明。

在節能測試中，以3個中型冷凍饅頭為例，加水量110克與200克皆可達相同的蒸熟程度，但此水量的差異，將造成33%耗電量的浪費，因此電鍋蒸煮時若能控制適當的加水量，不只可有效蒸熟食品，也能達到節能省電的目的。

貳、研究動機

自然課本中曾提到，電鍋是利用電能轉變為熱能的電器，亦即利用電能將水加熱產生水蒸氣而將食物加熱蒸熟，但對於熱源—加水量，每次大人們用量都不同，結果雖然都有蒸熟，但加熱時間不同，耗電量就不同，尤其電鍋屬於高耗電的家電，在電價高漲的時代裡，若能在減少通電時間下又能達相同蒸熟效果，則不僅合乎食品安全衛生的要求又能達到省時節能的目的。

參、研究目的

- 一、探討電鍋蒸煮加熱過程中，鍋內溫度的變化
- 二、探討電鍋以不同加水量加熱，對饅頭澱粉糊化程度的影響
- 三、建議以電鍋蒸煮饅頭或同性質食品在兼具節能與安全衛生下的最適條件

肆、研究設備與材料

一、研究設備與器具



大同電鍋（十人份）



熱電耦溫度計



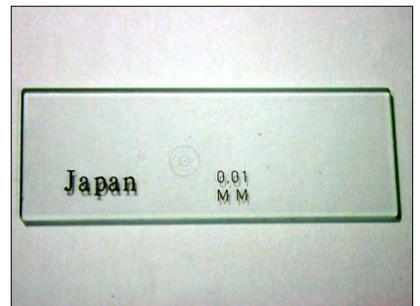
小型鑽孔機



電鍋蒸架



研鉢及杵



接物測微計



筆記型電腦



光學顯微鏡



照相光學顯微鏡



瓦時計



高速離心機



分光光度計



高壓殺菌釜



無菌操作台

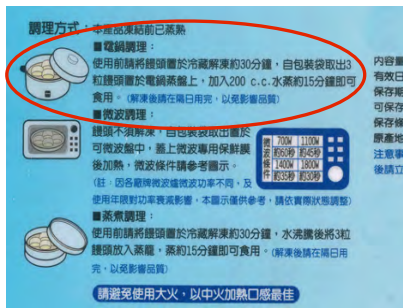


均質混合機

二、材料



市售品牌的冷凍饅頭



饅頭包裝蒸煮說明



市售中筋麵粉



碘(I₂)與碘化鉀(KI)



0.01N 碘染色液



Petrifilm 總菌數快速檢驗片

說明：

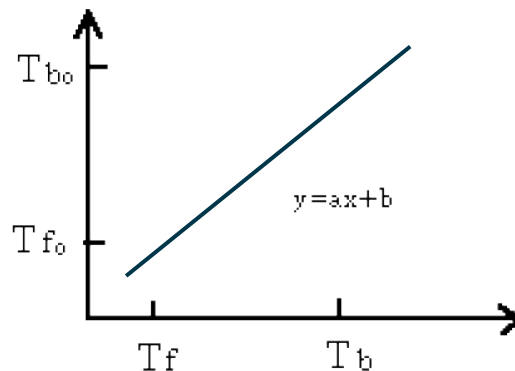
1. 饅頭包裝蒸煮說明：使用前將饅頭置於冷藏解凍約30分鐘，自包裝袋取出3粒饅頭置於電鍋蒸盤上，加入200 cc水蒸熟食用。
2. 碘液配製（王暉崑等，2007）
 - (1) 0.1N 碘液配製：秤取13克的碘，40克的碘化鉀，加水溶解後以褐色定量瓶加水稀釋至1000ml，靜置隔夜。
 - (2) 0.01N 碘液配製：量取0.1N 碘液25ml置於250ml褐色定量瓶中，加水稀釋至250ml。

伍、研究過程與方法

一、文獻整理

(一) 溫度計的校正 (佘瑞琳、林哲仁，2008)

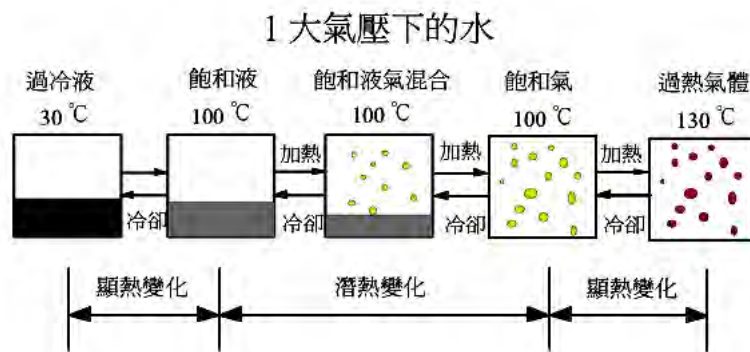
760mm-Hg下，水的凝固點溫度為 0°C ，水的沸點溫度為 100°C ，若以溫度計測量純水的凝固點與沸點，其測量值分別為 T_f 、 T_b ，將這些測量值對真實溫度 T_{f_0} 、 T_{b_0} 做圖，即可求得此溫度計之校正直線方程式 $y = ax + b$ ，其中 y ：真實溫度值 x ：溫度計讀值 a 、 b ：常數。當使用此溫度計測量溫度時，只需將溫度計的測量值，代入此直線方程式即可計算得到真實溫度。



溫度計的校正曲線 (佘瑞琳、林哲仁，2008)

(二) 過冷液體、飽和液體、飽和蒸氣與過熱蒸氣 (薛允榮，2002)

一定壓力下，密閉容器中的液體，受熱後溫度逐漸升高，到達將沸騰產生蒸氣的狀態稱為該壓力下的**沸點飽和液體**（例如一大氣壓下， 100°C 的水）。此時若熱量持續加入，液體變成氣體，形成**沸點飽和液氣混合狀態**，溫度將維持於 100°C ，當液體蒸發完畢時，容器內處於沸點飽和蒸氣狀態，此時熱量持續加入，蒸氣溫度將開始上升，形成**過熱蒸氣**。反之，若飽和蒸氣冷卻，蒸氣冷凝為液體，溫度維持不變，則回到飽和液體狀態，當熱量再度持續被帶走，溫度開始下降，這些溫度較低的液體稱為過冷液體。



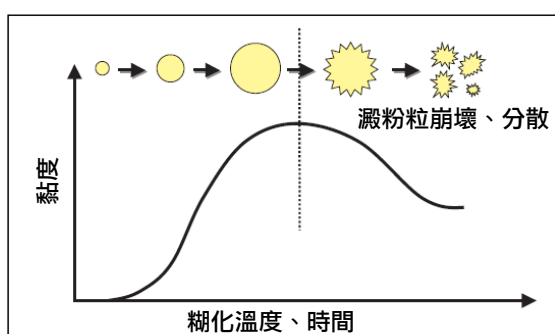
過冷液體、飽和液體、飽和蒸氣與過熱蒸氣 (薛允榮，2002)

(三) 澱粉

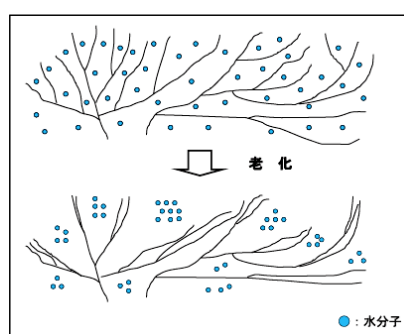
澱粉是由葡萄糖聚合而成的多醣類，主要由直鏈澱粉與枝鏈澱粉兩種多醣分子組成，通常澱粉粒同時含有此二種分子，其中直鏈澱粉佔15-30%，枝鏈澱粉佔70-85%，但澱粉種類不同，其差異也很大。

1. 澱粉的糊化（張為憲，1992）

糊化乃是澱粉分子加熱到一定溫度時，因澱粉粒的吸水急速澎潤甚至破裂，造成膠粒輻射方向及複屈折性消失的現象，此時的溫度稱為糊化溫度。糊化溫度為一溫度範圍而非一點，如小麥澱粉糊化溫度為62~83°C（李錦楓、林志芳，2008），不同來源的澱粉，其糊化溫度也不一樣。



澱粉糊化過程



澱粉的老化

（取自 <http://www.alic.go.jp/starch/japan/basic/200805-01.html>）

2. 澱粉的老化（張為憲，1992）

糊化的澱粉若於室溫或冷藏時因分子間鍵結擴大，凝膠堅實化而收縮離水，逐漸形成堅硬組織，此種現象稱為老化，此因直鏈及枝鏈澱粉間的氫鍵增加，使凝膠組織越來越緻密，因而顯得較硬。老化的速率與溫度、澱粉大小、形狀、濃度及其他食品成份有關，一般澱粉於0°C下，最容易老化。老化的澱粉由於不易被酵素水解，故消化率較差。

(四) 電（汪永文，1988）

電器產品負載的大小一般用電功率來表示，電功率(P)是負載在單位時間(1秒)內所消耗電能的量，若電能以焦耳(Joule)作為單位，則電功率P是1焦耳/秒，亦即1 瓦特[W]。電器消耗電能的大小，除了電功率的因素外，還要看通電的時間。時間越多，用電量就越多。電能的代號是W，其計算公式如下：

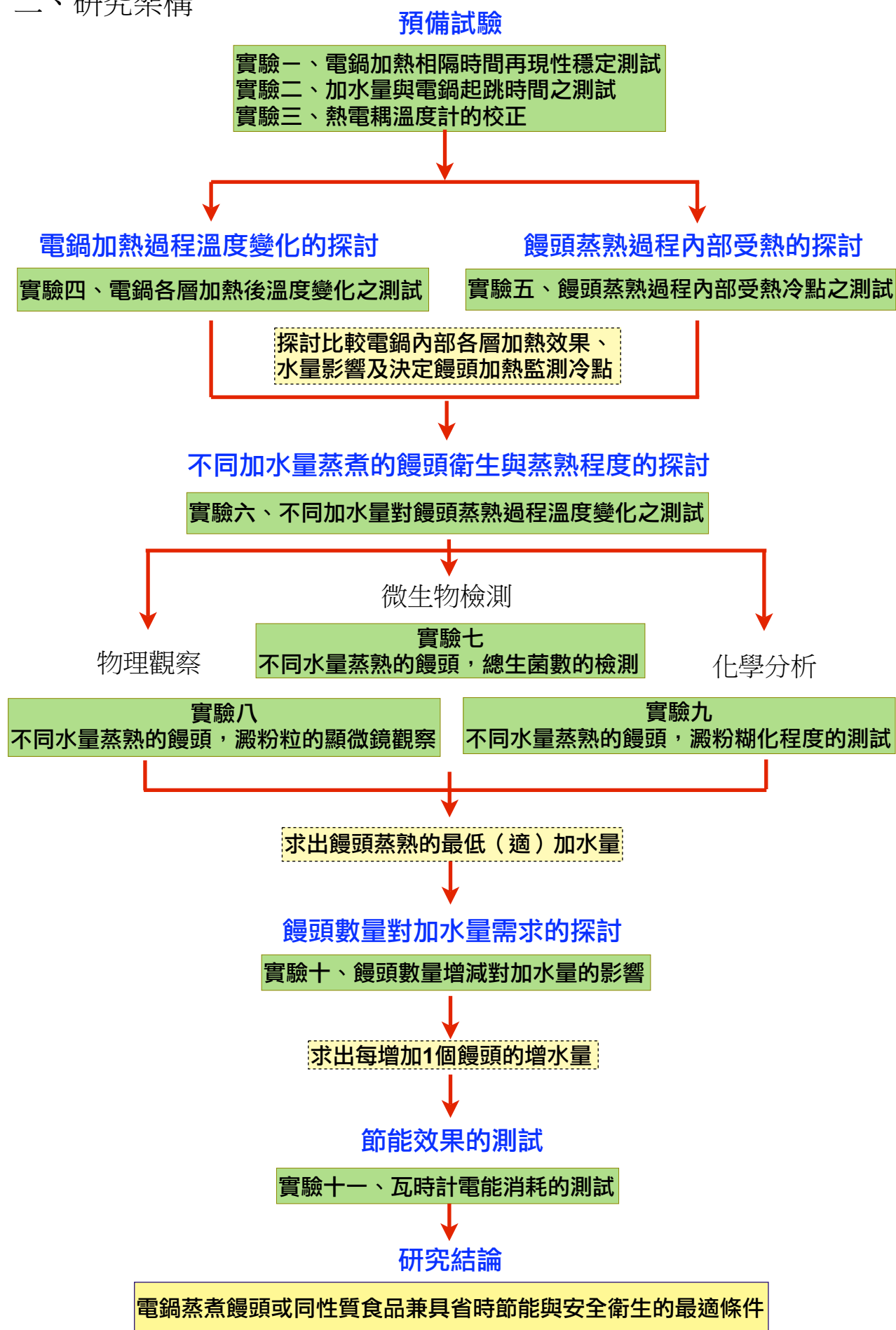
$$W = P \cdot t$$

W：電能 [焦耳][J] P：電功率 [瓦特][W] t：時間 [秒][s]。

因此，為了節能省電，我們可以從加熱時間(通電時間)的長短來控制用電量的大小。本實驗即是從外鍋的水量多寡來控制加熱時間。

電力公司是以用電度數來計算電費，1度電就是1,000(W)瓦特耗電的電器產品，使用一小時所消耗的電量，表示為 1千瓦小時(kWH) (1000WH)。目前台灣家戶平均用電量約 350 度/月。

二、研究架構



三、研究方法與結果

(一) 預備試驗

實驗一、電鍋加熱相隔時間再現性穩定測試

電鍋經加熱後的餘溫將影響下次電鍋起跳時間，因此須經適當時間的穩定，才能確保實驗之準確性。

<步驟>

- 1 電鍋取出內鍋，並秤取120克的水倒入鍋底，按下加熱開關，開始計時，記錄加熱停止，開關跳起的時間。
- 2 拔掉電源，鍋底擦乾，相隔30分鐘後，倒入120克水，重複1步驟，記錄時間。
- 3 拔掉電源，鍋底擦乾，相隔60分鐘後，倒入120克水，重複1步驟，記錄時間，依此類推，分別記錄相隔30、60、90、120分鐘，電鍋加水加熱後，開關跳開時間。

<結果>

- 1 溫度將影響電鍋開關跳開時間，本實驗的時間為冬季，氣溫約為18-22°C左右。
- 2 電鍋蒸煮再現性測試結果如表1所示，相隔加熱時間確實會影響電鍋蒸煮後開關跳鍋時間。
- 3 以曲線圖表示，可發現相隔時間越短，電鍋加熱後開關跳開時間越短。

表1 電鍋蒸煮再現性測試

相隔測試時間	對照組	10分	30分	60分	90分	120分
蒸煮跳電時間	12分21秒	11分8秒	12分11秒	12分25秒	12分30秒	12分28秒

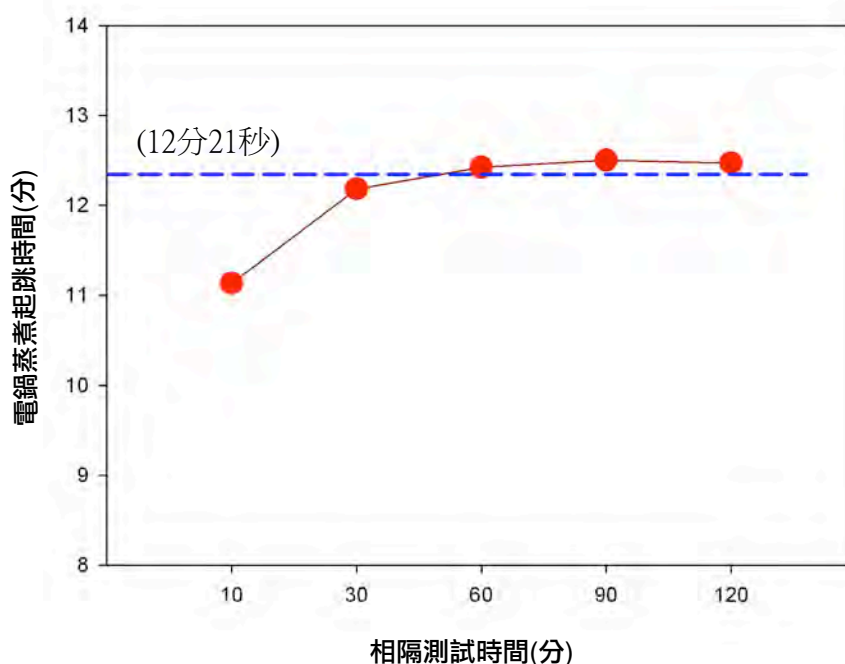


圖1 電鍋蒸煮再現性測試

<討論>

- 1 電鍋起跳後，隨即進入保溫狀態，以弱電供應熱量，因此必須拔掉電源，靜待餘熱消失後，才能再次進行實驗。
- 2 由實驗結果顯示，相隔60分鐘後，加熱至開關跳起的時間，已呈穩定狀態。

實驗二、加水量對電鍋起跳時間的測試

<步驟>

- 1 電鍋取出內鍋，並秤取60克的水倒入鍋底，按下加熱開關，開始計時，記錄加熱停止，開關跳起的時間。
- 2 拔掉電源，鍋底擦乾，相隔60分鐘後，倒入80克水，重複1步驟，記錄時間，依此類推，分別記錄加水量60克、80克、100、120克、140克、160克、180克的電鍋加熱後，開關跳開時間。

<結果>

表2 不同加水量對電鍋開關跳開時間的影響

蒸煮條件	電鍋開關跳開時間（秒）				
外鍋加水量(g)	第一次	第二次	第三次	平均值	標準差
60	609	612	602	608	5
80	650	642	650	647	5
100	747	754	744	748	5
120	812	821	812	815	5
140	920	912	907	913	7
160	1020	1015	1030	1022	8
180	1125	1120	1132	1126	6

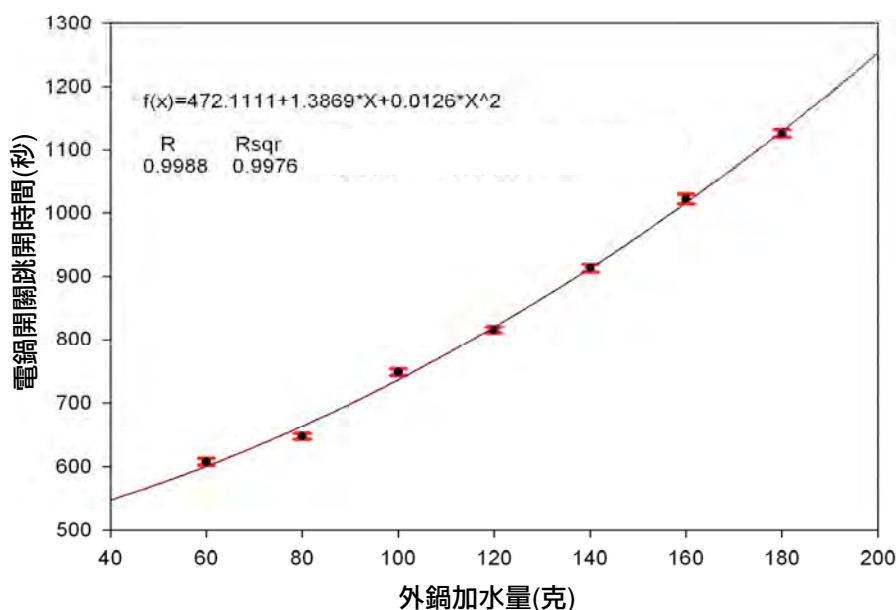


圖2 加水量與電鍋起跳時間

<討論>

- 1 實驗所用的電鍋，外鍋加水量至少60克才能蓋過底層，因此實驗加水量至少以60克為起始量。
- 2 由實驗的結果得知，加水量與電鍋開關跳起時間呈正相關但非正比例關係，此因電鍋的蒸氣近似密閉容器內的溶液加熱，有蒸氣再冷凝的現象，隨著加水量的增多，蒸氣冷凝循環再加熱的量也加多，故開關跳開時間將更增加，兩者呈現二次回歸的曲線關係。

實驗三、熱電耦溫度計的校正

為求實驗溫度數據的準確性，溫度計的校正是必要，校正的原理（余瑞琳、林哲仁，2008）是利用一大氣壓下，純水的沸點 100°C ，冰點 0°C 的溫度特性進行。

<步驟>

- 1 以純水冷凍作成冰塊，加入純水使成冰水狀態，4支熱電耦溫度計分別測10次的溫度測定值，利用Excel求10次的平均值及標準偏差。
- 2 以純水加熱至沸騰狀態，4支熱電耦溫度計分別測10次的溫度測定值，利用Excel求10次的平均值及標準偏差。



溫度計校正－冰點測定



溫度計校正－沸點測定

- 3 將平均值及標準差代入sigmaplot軟體，畫出溫度計校正直線，並求出直線方程式 $y = ax + b$ ，其中 y 為真實溫度值， x 為溫度計讀值， a 、 b 則為常數。

<結果>

- 1 實驗當時大氣壓依氣象局公佈的測站氣壓資料為 1014.5hPa ，水沸點改變約為 0.03°C ，遠小於溫度計的誤差範圍，影響程度非常微小。
- 2 表3、表4為熱電耦冰點與沸點的溫度測量值。
- 3 4支熱電耦溫度計的校正式分別為

$$T1: Y=0.9973X+0.1596$$

$$T2: Y=0.9981X-0.0699$$

$$T3: Y=0.9926X+0.1886$$

$$T4: Y=0.9909X+0.2081$$

表3 熱電耦溫度計校正－冰點測量值

熱電耦	冰水 (0°C) 量測溫度(°C)										平均值	標準差
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
T1	-0.3	-0.2	0.0	-0.3	-0.1	-0.2	0.0	-0.3	0.1	-0.3	-0.16	0.15
T2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.07	0.07
T3	-0.2	0.0	-0.3	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	-0.19	0.09
T4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	0.0	-0.2	-0.21	0.09

表4 熱電耦溫度計校正－沸點測量值

熱電耦	沸水 (100°C) 量測溫度(°C)										平均值	標準差
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
T1	100.0	100.1	100.0	100.3	100.2	100.1	99.9	100.0	100.3	100.2	100.11	0.137
T2	100.5	100.4	100.1	100.0	100.1	100.4	100.1	100.4	100.1	100.5	100.26	0.196
T3	100.6	100.7	100.6	100.7	100.5	100.6	100.5	100.4	100.7	100.3	100.56	0.135
T4	100.5	100.7	100.7	100.6	100.8	100.7	100.9	100.7	100.8	100.7	100.71	0.110

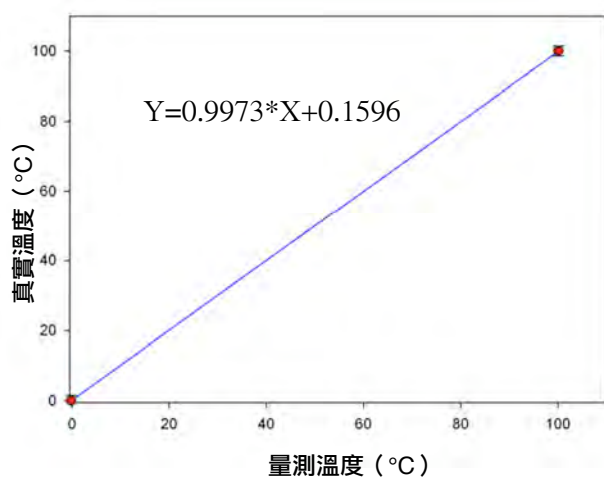


圖3 T1熱電耦溫度計校正直線方程式

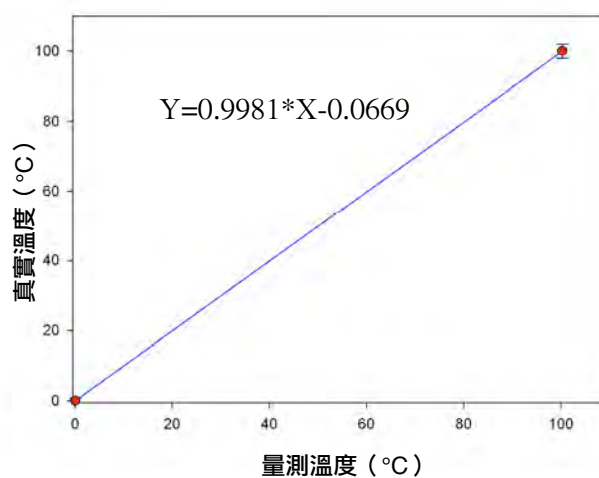


圖4 T2熱電耦溫度計校正直線方程式

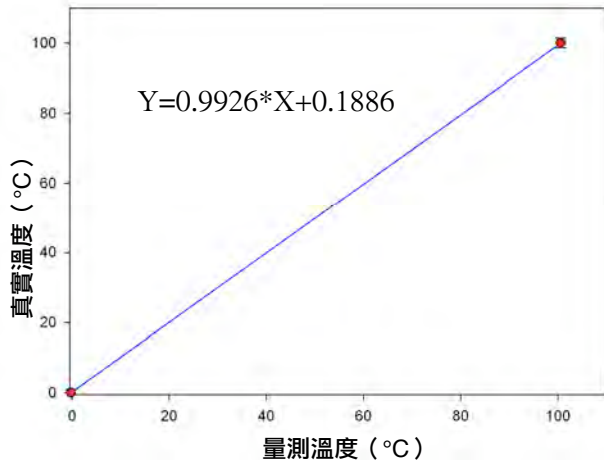


圖5 T3熱電耦溫度計校正直線方程式

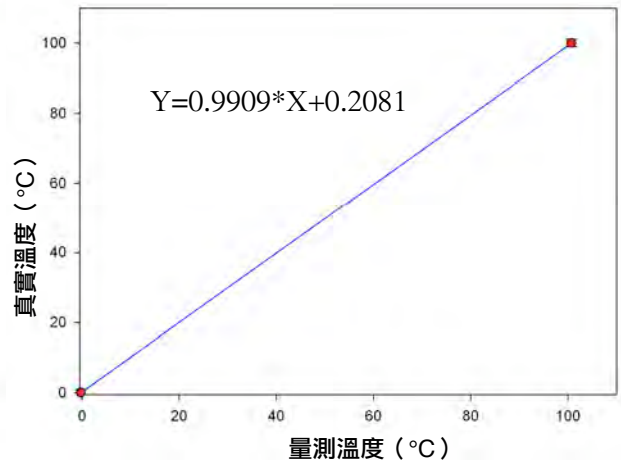


圖6 T4熱電耦溫度計校正直線方程式

<討論>

- 1 4支熱電耦溫度計經重複測量後均在 廠商所標示 $\pm(0.5\% + 1^\circ\text{C})$ 準確度範圍內。
- 2 但因溫度計製作時每支的品質會有差異，溫度多少會有所偏移，因此利用此實驗求出每一支熱電耦的溫度校正直線方程式，如圖3至圖6所示。
- 3 本研究的所有溫度測定值，均代入方程式，以求出更準確的真實溫度，再作分析，期求實驗之準確性。

(二) 電鍋加熱過程溫度變化的探討

實驗四、電鍋各層加熱後溫度變化的測試

大同電鍋內部中心點的高度，約為16公分，從底部開始於4公分、8公分、12公分處代表電鍋下、中、上層，分別測其於不同水量加熱下溫度的變化。

<步驟>

- 1 測溫蒸架的製作：以竹筷分別於4公分、8公分、12公分處做記號並鑽孔，熱電耦線穿越孔洞並固定於支架上。



(1)蒸架焊接支架



(2)測溫點畫記號



(3)測溫點鑽孔



(4)熱電耦線固定於蒸架上

- 2 熱電耦溫度計與電腦連線，每5秒記錄溫度。
- 3 稱取60克水加入外鍋內，放入測溫蒸架，接上電源，按下開關進行測試，並計時電鍋電源跳開時間。



電腦與熱電耦溫度計連線



測溫蒸架入鍋，外鍋加水



電鍋蒸煮並計時

- 4 測試完畢後，拔掉電源，擦乾外鍋及鍋蓋，室溫冷卻60分鐘以上。
- 5 重複1~2之步驟分別秤取120克、200克的水，進行測試。
- 6 將所得的實驗數據以sigmaplot進行繪圖。

<結果>

- 1 電鍋於外鍋內單獨加水蒸煮時，電鍋內各層的溫度變化如圖7、8、9所示。
- 2 無論加水量多或少，溫度曲線走勢相同，A為加熱升溫期，B為100°C恆溫期，C則為過熱蒸氣升溫期，但加水量越少者，曲線時間點往前移，各時期時間縮短。

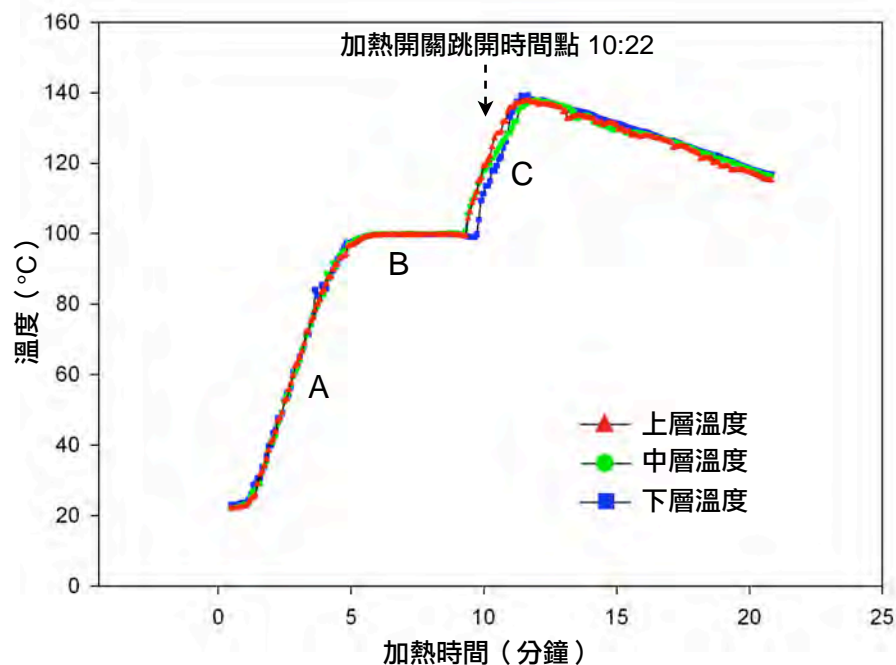


圖7 加水量60克的電鍋各層蒸煮加熱時溫度的變化

說明：A 加熱升溫期 B 100°C恆溫期 C 過熱蒸氣升溫期

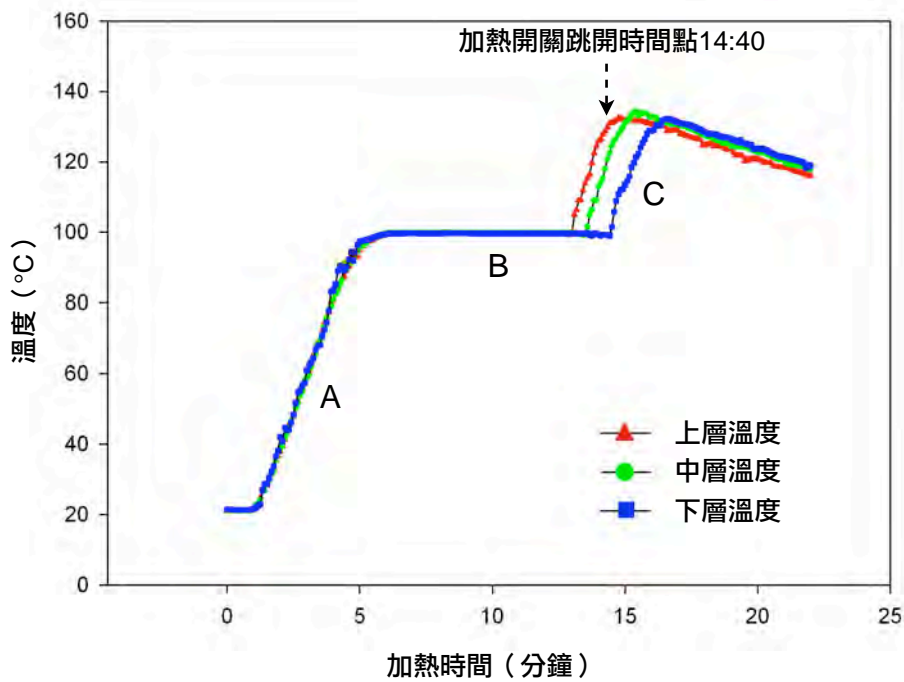


圖8 加水量120克的電鍋各層蒸煮加熱時溫度的變化
 說明：A 加熱升溫期 B 100°C恆溫期 C 過熱蒸氣升溫期

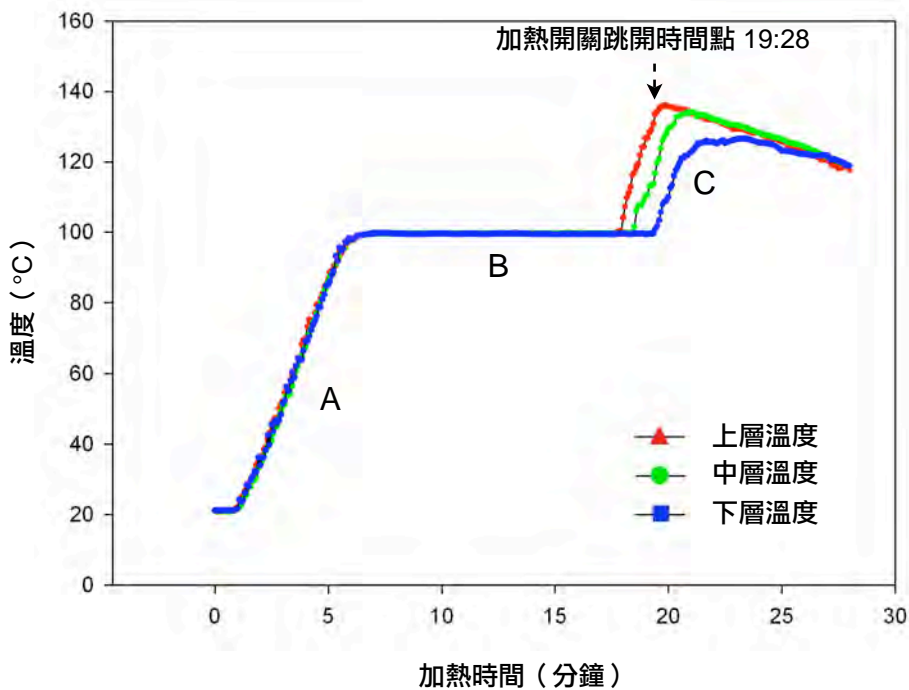


圖9 加水量200克的電鍋各層蒸煮加熱時溫度的變化
 說明：A 加熱升溫期 B 100°C恆溫期 C 過熱蒸氣升溫期

<討論>

- 1 電鍋加熱後，鍋內各層的溫度從室溫開始上升，因熱對流的關係，最上層的溫度稍高，但各層的溫度差異並不大。當水溫度達100°C時，形成沸點飽和液體，而隨著更多熱量的加入，水開始沸騰蒸發，形成沸點飽和液—氣混合物，此時電鍋各層溫度穩定維持於100°C。

- 當外鍋水分近蒸乾時，熱源直接加熱於蒸氣，使得溫度開始攀升，形成過熱蒸氣。電鍋上層則因蒸氣冷凝放熱的現象，溫度上升最快最明顯。當最後一滴水分蒸發，電鍋開關跳開後，因尚有保溫微熱仍在供應，下層溫度也接續上升，因此空電鍋開關跳開後，鍋內中上層溫度最高可達130°C以上，下層溫度也可到125°C。而後因流失的熱大於保溫作用產生的熱，各層溫度將緩慢的下降。
- 若將不同加水量下，同層溫度的變化作圖(圖10)，也可發現對同位置的鍋內溫度而言，加水量愈少，升溫速度愈快，但100°C飽和蒸氣溫度的維持時間愈短。
- 無論加水量為何，從加熱開始至保溫期間，中上層的溫度相對較高，因此將食品置於此位置上蒸煮效果較好。

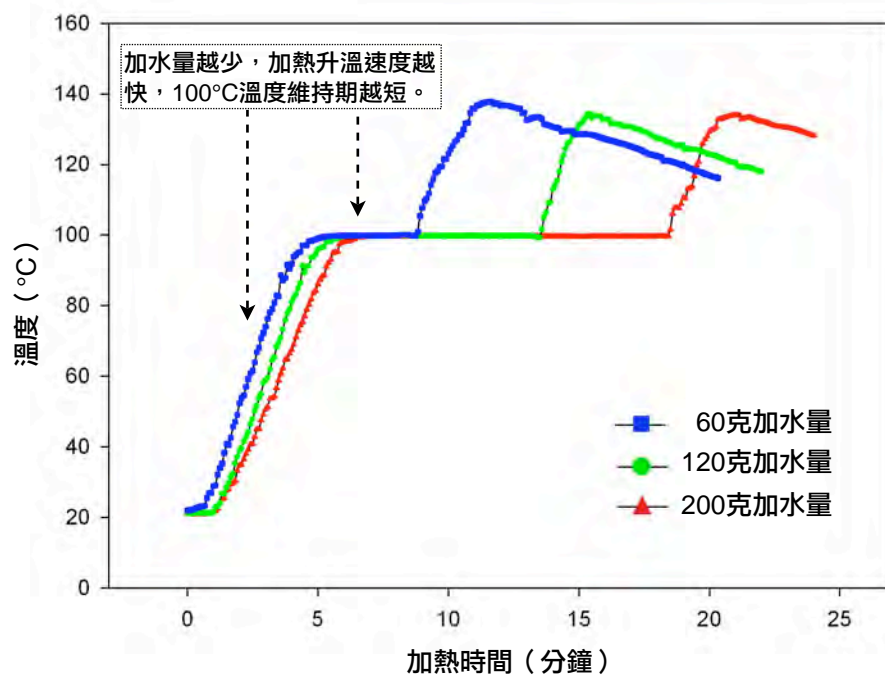


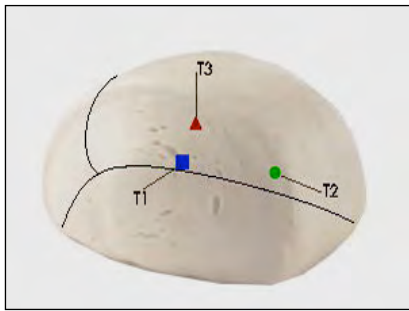
圖10 不同加水量下電鍋中層蒸煮加熱時間與溫度的變化

(三) 饅頭蒸熟過程內部受熱的探討

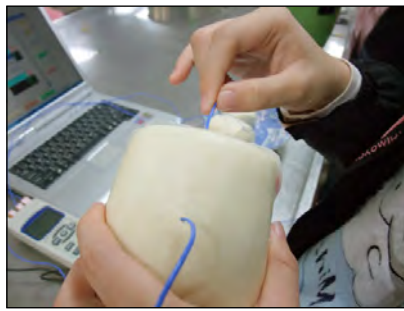
實驗五、饅頭蒸熟過程，內部受熱冷點測試

<步驟>

- 取市售的調理冷凍饅頭1個，冷藏解凍30分鐘。電鍋外鍋加水量120克。
- 饅頭內部正中心點、中心點與左右、上下側1/2位置上各取1點，共三點，接上熱電耦溫度計。



饅頭冷點測定位置



熱電耦插入測定點



置於蒸架上的情形

3 將接上熱電耦溫度計的饅頭置於市售的中層蒸架（高6公分）上，並於離底8公分位置上（饅頭中心點相對高度），以熱電耦監測溫度變化。

<結果>

1 饅頭內部蒸熟過程中，溫度與時間變化如圖11，T1曲線，升溫最慢。

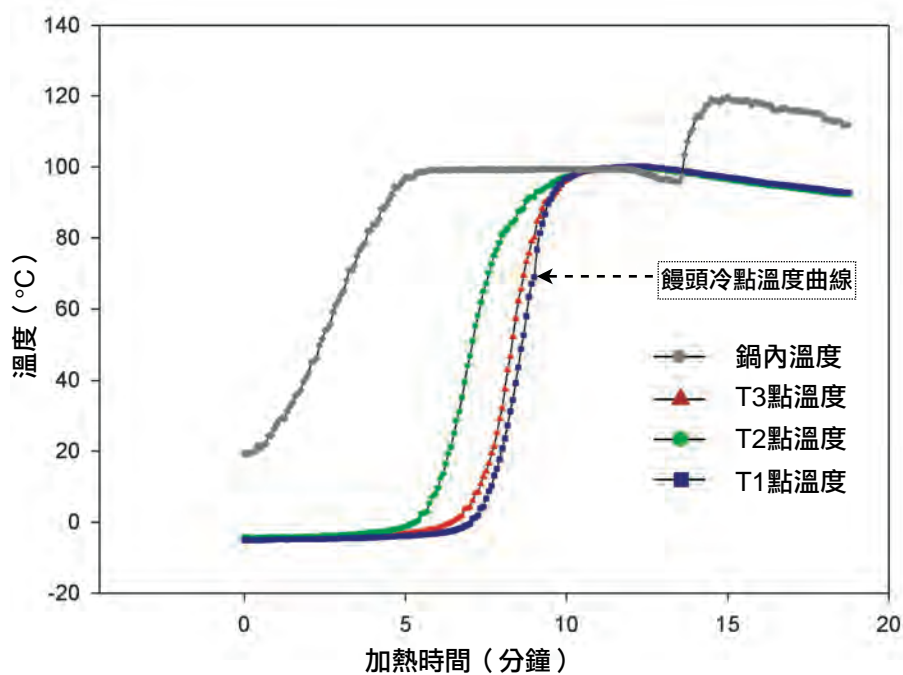


圖11 電鍋蒸煮過程饅頭內部溫度的變化

說明： T1為正中心點溫度，T2、T3為饅頭中心與左(右)、上(下)側1/2位置上之溫度、T4則為饅頭中心點相對高度之鍋內溫度

<討論>

- 1 T1為饅頭的正中心點，溫度升溫最慢，此點為饅頭的加熱冷點。
- 2 小麥澱粉蒸熟糊化的溫度為62-83°C（李錦楓、林志芳，2008）。因此，中心溫度85°C以上已足夠作為蒸熟的參考溫度。

(四) 不同加水量對饅頭蒸熟程度的探討

實驗六、不同加水量對饅頭蒸熟過程溫度變化之測試

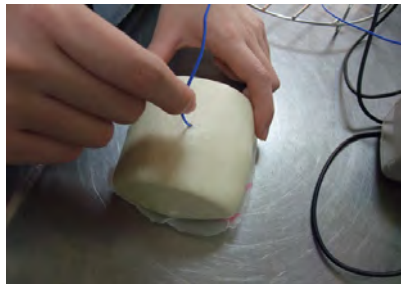
食品的溫度、質量與比熱都將影響電鍋內溫度的變化，本實驗以冰箱冷藏解凍30分鐘（溫度約-4~-6℃）的市售品牌的冷凍饅頭（85g/個）為原料，3個為一組，分別以60克、90克、120克、150克及商品建議量200克加水量，以電鍋加熱蒸熟，並監測每個饅頭中心冷點的溫度變化。

<步驟>

- 1 取市售品牌的冷凍饅頭（85g/個）3個（編號分別為ABC）於冰箱冷藏解凍30分鐘（解凍後溫度約-4~-6℃）。
- 2 饅頭內部正中心點接上熱電耦溫度計，置市售的中層蒸架（高6公分）上，另於離底8公分位置上（饅頭中心點相對高度），以熱電耦監測溫度變化
- 3 稱取60克水加入電鍋外鍋內，放入蒸架與饅頭，按下開關並開始計時。
- 4 重複1~3步驟，加水量改為90克、120克、150克、200克，監測蒸熟過程饅頭冷點溫度的變化。



冷凍饅頭冷藏解凍



饅頭中心點接上熱電耦



接熱電耦饅頭置於蒸架上

<結果>

- 1 饅頭以不同水量蒸熟時，電鍋跳鍋時間與中心冷點溫度變化如表5。加水量在60克以上時，饅頭中心點溫度即可達94℃以上，保溫5分鐘後，仍有90℃的溫度。

表5 加水量對電鍋蒸煮饅頭的影響

加水量(g)	跳鍋時間(min)	饅頭中心最高溫度(°C)	保溫5min後饅頭中心溫度 (°C)
60	10分30秒	94	90
90	11分41秒	97	93
120	13分46秒	99	95
150	16分04秒	99	97
200	18分50秒	100	95

- 2 不同加水量的電鍋蒸熟過程中，饅頭中心冷點溫度、鍋內溫度的時間曲線如圖12~16

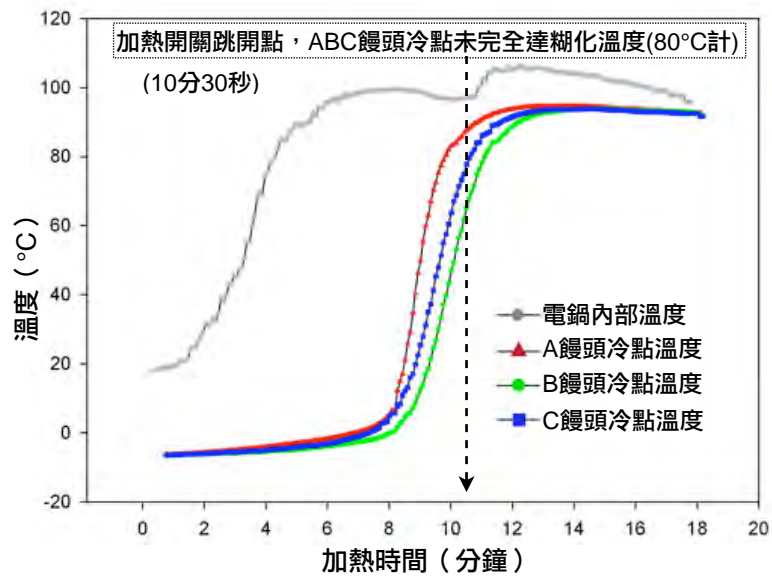


圖12 電鍋(加水量60g)蒸煮過程饅頭冷點溫度的變化

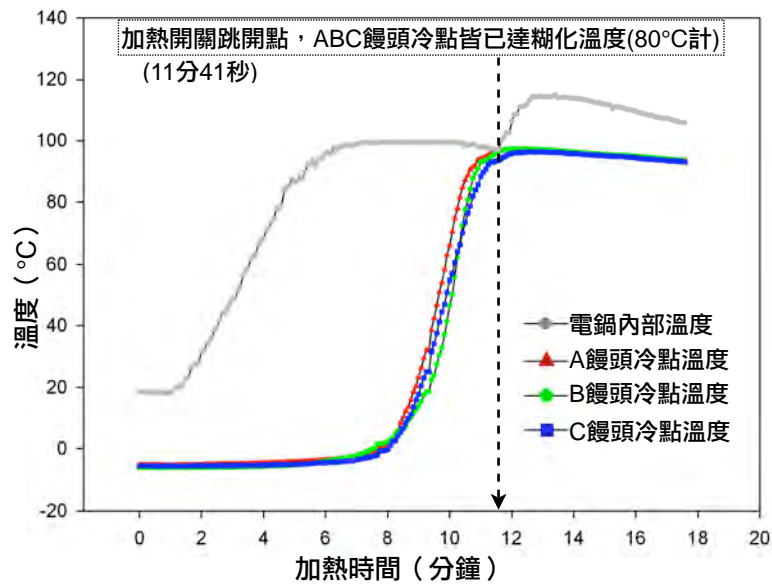


圖13 電鍋(加水量90g)蒸煮過程饅頭冷點溫度的變化

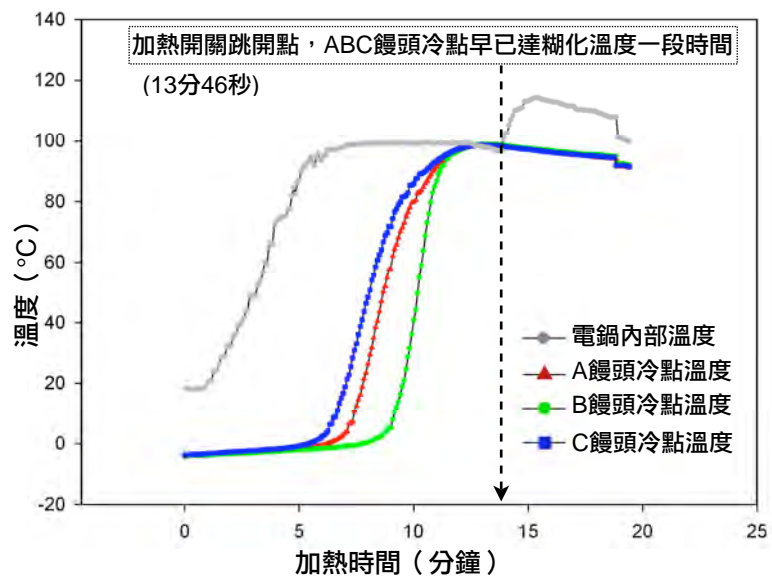


圖14 電鍋(加水量120g)蒸煮過程饅頭冷點溫度的變化

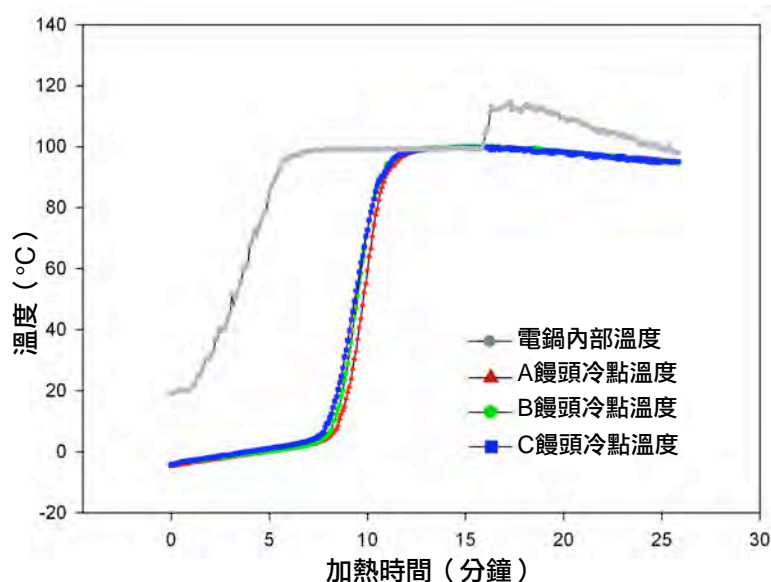


圖15 電鍋(加水量150g)蒸煮過程饅頭冷點溫度的變化

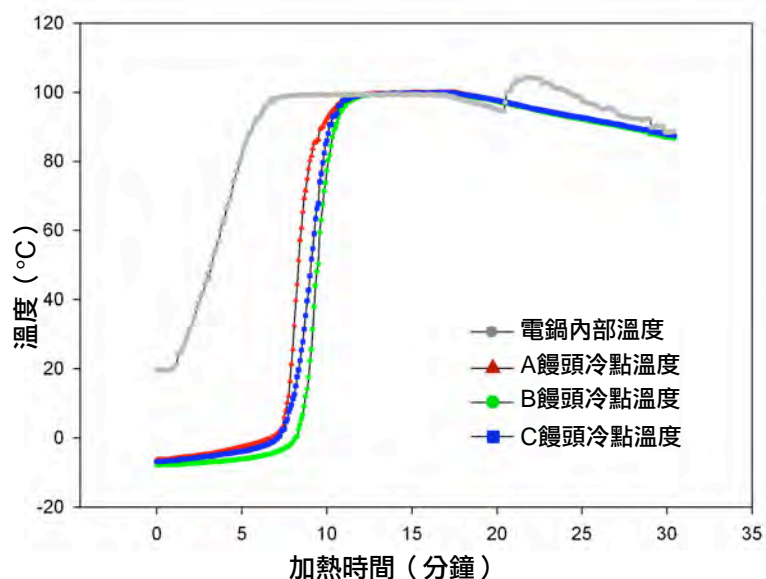


圖16 電鍋(加水量200g)蒸煮過程饅頭冷點溫度的變化

<討論>

- 1 經冷藏解凍處理的饅頭，溫度開始明顯上升的時刻，皆在鍋內達100°C沸點飽和蒸氣溫度後幾分鐘內才開始。
- 2 同一鍋內的每個饅頭冷點溫度上升的情況互有差異，除了饅頭本身因素外，也與鍋內溫度的不均有關，但達最高點後，無明顯溫度差異。
- 3 鍋內溫度於接近水分蒸乾，開關跳起時，溫度也急劇上升，形成過熱蒸氣，但因提供的熱源除加熱蒸氣外，也用於饅頭上，故蒸氣的溫度已不如空鍋高。
- 4 60克加水量蒸煮的饅頭，電鍋開關跳開後，中心溫度尚未完全達80°C以上，保溫過程雖能使溫度升高，但因溼度較低，內部澱粉糊化程度將不完全。而120克以上加水量者，當饅頭中心溫度達澱粉糊化溫度時，鍋內仍是沸點飽和蒸氣狀態，且維持一段時間，因此有充分時間將澱粉顆粒糊化。

- 5 饅頭冷點溫度，於開關跳起保溫的5分鐘內皆能維持在相對的高點上，此時仍以微弱的電能，持續維持饅頭內部的高溫，但若保溫時間太久，將因鍋內溼度低，加上保溫加熱作用，使得饅頭外表呈乾黃現象。

實驗七、不同加水量蒸熟的饅頭總生菌數的檢測

饅頭的蒸煮，微生物問題也是必要的考量。本實驗以不同加水量蒸熟的饅頭，進行總生菌數的檢測，以作為蒸熟饅頭的衛生指標。

<步驟>

- 1 將實驗饅頭3個放入電鍋內的中層蒸架上，分別加入60，90，120克的水加熱蒸熟，自開關跳開，保溫5分鐘後，拔掉電源，迅速取出饅頭。
- 2 於無菌操作台內自饅頭內部中心，秤取5克重量，放入已殺菌內含45ml蒸餾水的均質瓶內，以均質機混合成均勻乳液，即為稀釋10倍的樣品液。
- 3 無菌操作台內，以殺菌過的吸管從10倍稀釋液中取1ml放入含9ml已殺菌過的無菌水中混合均勻，即為稀釋100倍的樣品液，以同樣的方法將100倍稀釋液稀釋成1000倍。
- 4 無菌操作台內取出3M Petrifilm 總生菌數快速檢測片，打開上層膜，以無菌吸管注入1ml的稀釋液於中心點，再以壓板輕壓使成圓形凝膠片，每種倍數做二重複，每個樣品做6片，置於35°C的保溫培養箱內，培養48±3小時，觀察紅色點狀物即為生菌落。
- 5 另取1ml的無菌稀釋液及一片快速檢驗片做空白試驗。



1.自蒸熟饅頭中心內部取樣



2.以無菌水均質混合



3.取出均質液再進行稀釋



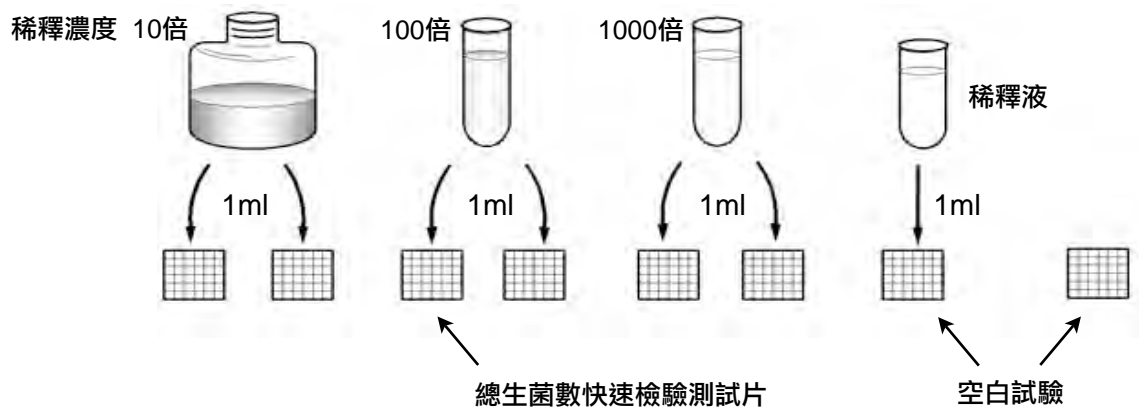
4.以無菌水稀釋過程



5.樣品液置於快速檢測片內



6.以壓板使樣品液凝膠成形



<結果>

不同加水量蒸熟的饅頭總生菌數測定結果如圖17所示，除90克1000倍稀釋液與120克100倍稀釋液各有一片檢驗片有單一紅色菌落外，其他檢驗片並無發現紅色菌落。

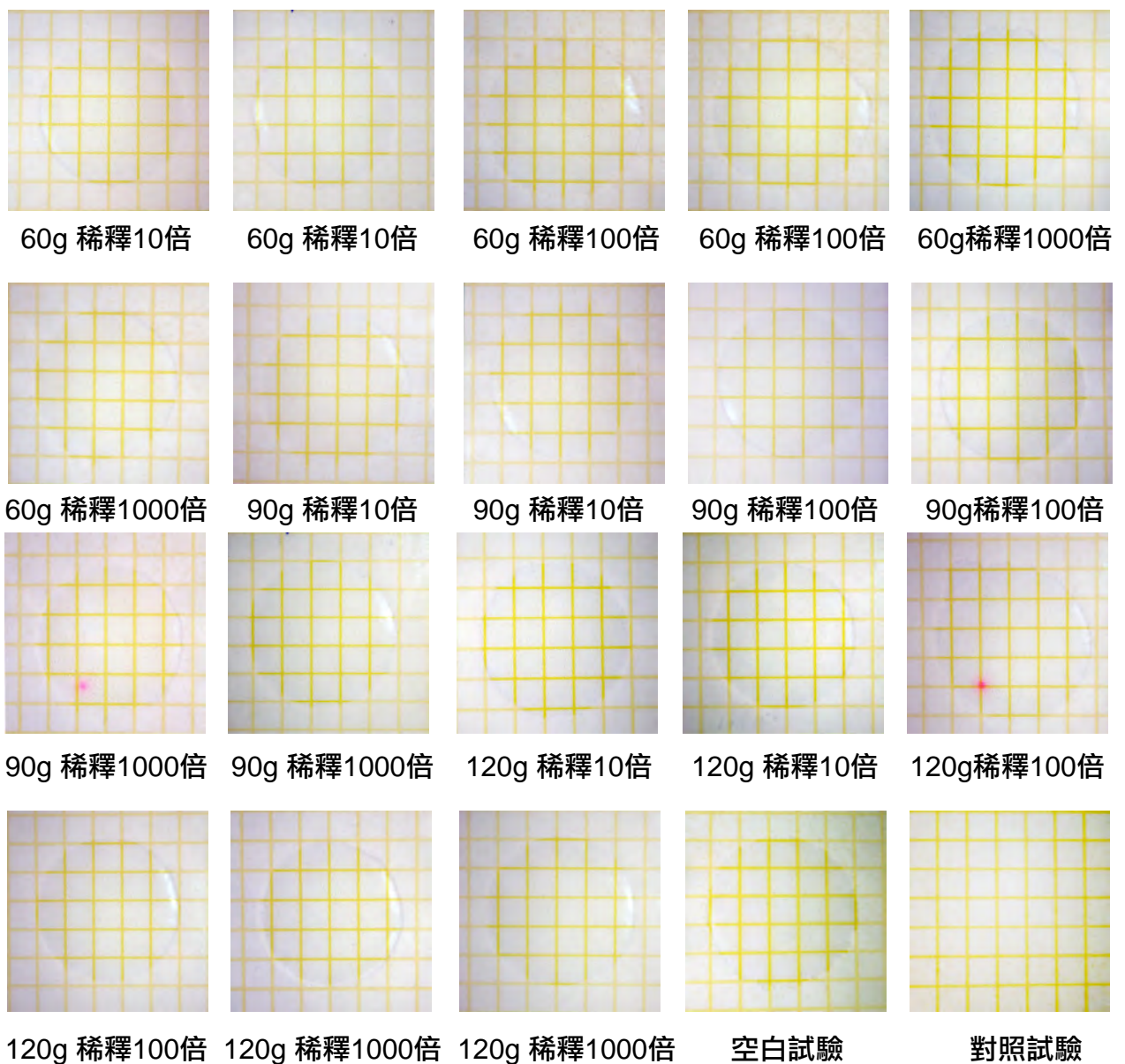


圖17 不同加水量蒸熟的饅頭生菌數的檢測

<討論>

- 1 實驗結果雖有兩片檢驗片有單一紅色菌落，但更低稀釋倍數與60克最低加水量者皆無菌落發現，此應為實驗誤差。
- 2 以60克以上加水量蒸熟的饅頭，中心溫度可達94℃，理論上可殺死病原菌與一般的腐敗菌（黃忠村，2007），加以冷凍調理饅頭蒸熟後即急速冷凍，耐高溫菌不易於冷凍期間繁殖；而實驗的結果也證實，**電鍋加水量60克以上蒸熟的饅頭，總生菌數為零，完全符合食品衛生安全的要求。**

實驗八、不同加水量蒸熟的饅頭，澱粉顆粒的顯微鏡觀察

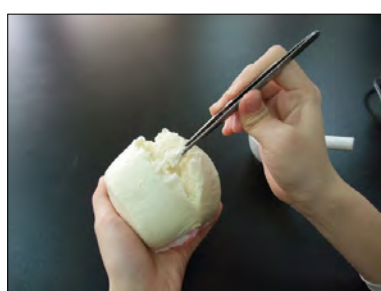
饅頭加熱蒸熟過程中，澱粉顆粒因吸水澎潤甚而破裂，若以光學顯微鏡觀察澱粉顆粒形態的變化，將有助於了解糊化的程度。

<步驟>

- 1 將實驗饅頭3個放入電鍋內的中層蒸架上，分別加入90，120，150，200克（市售商品建議加水量）的水加熱蒸熟，自開關起跳後，保溫5分鐘後，拔掉電源，取出饅頭。
- 2 自饅頭內部中心，秤取1克重量，放入研鉢並加水40ml，以杵將饅頭磨細而成均勻的乳液。
- 3 將乳液充分混勻，取一滴於載玻片，蓋上蓋撥片，以顯微鏡觀察並照相。另取一片載玻片，於乳液上再滴一滴0.01N碘液，以400倍顯微鏡觀察並照相。
- 4 取冷凍不蒸熟的饅頭，依步驟2~3做對照試驗。
- 5 取1克的中筋麵粉，加水40ml，攪拌混勻後，以400倍顯微鏡觀察，進行比較試驗。
- 6 取接物測微計（0.01mm/格），以400倍顯微鏡觀察照相。



1.撥開饅頭



2.內部取樣



3.磨成乳液



4.樣品乳液



5.鏡檢玻片製作



6.顯微照相

<結果>

- 1 圖18為400倍顯微鏡下，生麵粉、冷凍饅頭與不同電鍋加水量蒸煮饅頭的澱粉粒觀察。90克以上加水量蒸熟的饅頭，其澱粉粒糊化吸水膨大扭曲破裂的情況相當明顯。
- 2 圖19則為加碘液觀察的結果，藍色顆粒為澱粉顆粒，圖片下為同倍數下接物測微計的刻度，每格為0.01mm。

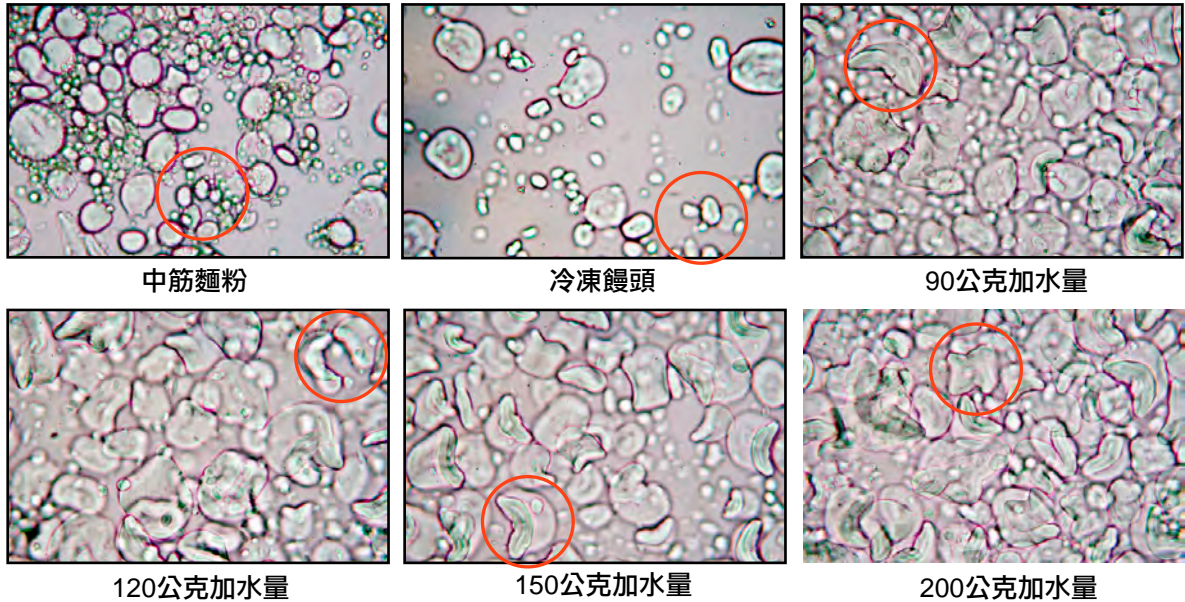


圖18 生麵粉、冷凍饅頭與不同加水量蒸煮的饅頭澱粉顆粒的顯微鏡觀察

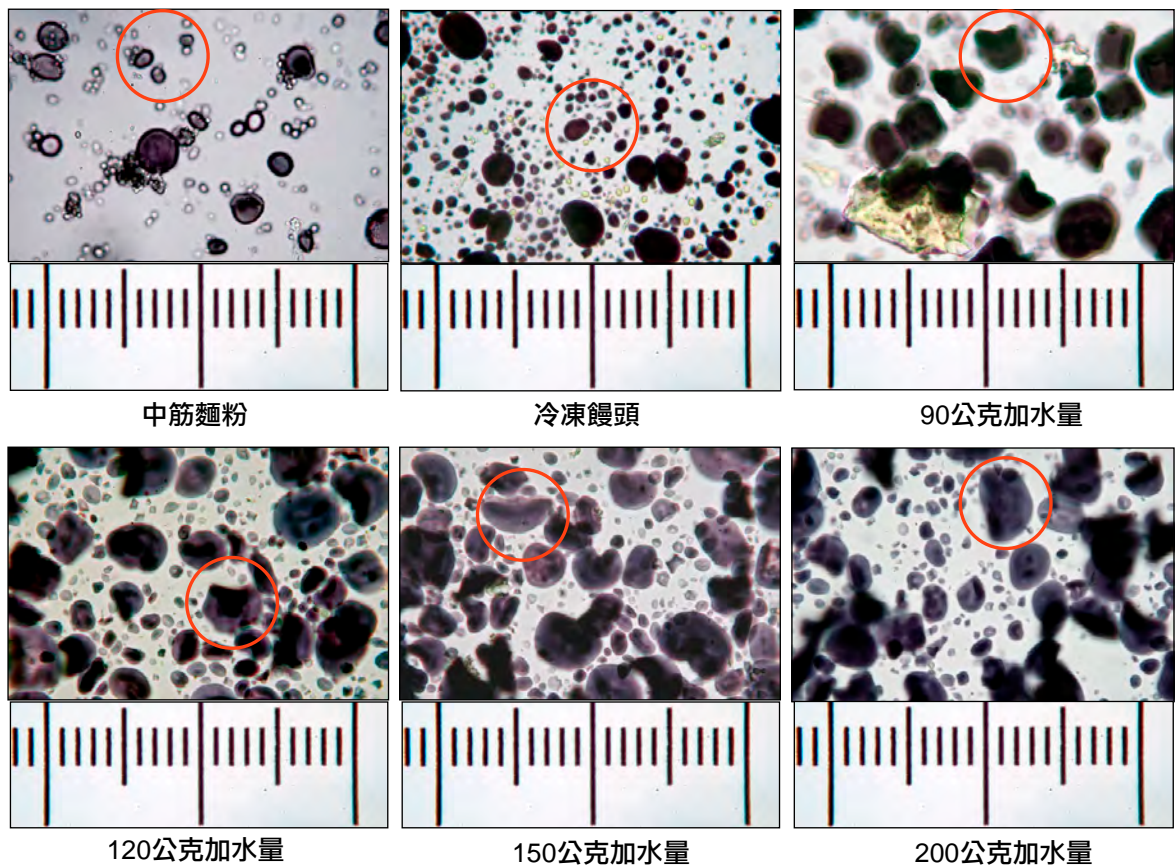


圖19 生麵粉、冷凍饅頭與不同加水量蒸煮的饅頭澱粉顆粒的顯微鏡碘液染色觀察

說明：刻度圖為同倍數下接物測計的顯微照相圖，每格刻度為0.01mm

<討論>

- 1 冷凍未蒸熟的饅頭之澱粉顆粒部份比生麵粉大，此為饅頭製作蒸熟時，澱粉加熱吸水膨大的緣故，之後澱粉顆粒雖經冷凍老化、脫水萎縮，但部份顆粒仍保有膨大的現象。
- 2 經加水蒸熟後的饅頭，澱粉顆粒膨大現象更為明顯，且外型扭曲變形，不同於未蒸熟的冷凍饅頭，此為澱粉顆粒吸水糊化甚至破裂的證明。
- 3 加水量90克以上蒸熟的饅頭，其澱粉顆粒膨大破裂的視野比例接近相似，亦即澱粉顆粒糊化程度相似。

實驗九、不同加水量蒸熟的饅頭，澱粉糊化程度的測試

據文獻資料（王暉崙、郭子歆、邱耀慶，2007）指出，澱粉糊化後，澱粉顆粒脹破，直鏈澱粉流出，溶於水層中，此直鏈澱粉與碘液作用將成藍色，顏色愈深，糊化破裂程度愈高。

<步驟>

- 1 饅頭蒸熟條件，同實驗八。
- 2 取90克以上，不同加水量蒸熟的饅頭1公克（中心內部），加水40ml，於研鉢內磨成乳液。
- 3 放入離心管，以5000rpm的轉速，離心10分鐘。
- 4 分光光度計熱機30分鐘後，以蒸餾水做空白試驗，校正620nm吸光值。
- 5 取上層液5ml加入0.01N碘液0.1ml，以波長620 nm可視光測其混合作用時間1分鐘後的吸光值（王暉崙，2007）。
- 6 另取冷凍未蒸熟的饅頭，以同樣前處理進行對照試驗。



1 檢測樣品液的製作



2 樣品液高速離心



3 離心後的上層液



4 分光光度計歸零



5 加碘液的離心上層液



6 吸光度測定

<結果>

- 1 離心上層液吸光值的測定結果如表6，未蒸煮的吸光值明顯偏低。
- 2 加水量110克、120克與200克的樣品液，吸光值差異不大（圖20）。

表6 不同加水量蒸煮的饅頭樣品加碘液的吸光值

蒸煮條件	吸光值 (OD)				
外鍋加水量	第一次	第二次	第三次	平均值	標準偏差
未蒸煮	0.448	0.386	0.411	0.418	0.031
90克	0.733	0.772	0.704	0.736	0.034
100克	0.080	0.779	0.780	0.786	0.012
110克	0.898	0.858	0.942	0.899	0.042
120克	0.866	0.996	0.844	0.901	0.082
200克	0.887	0.947	0.852	0.897	0.048

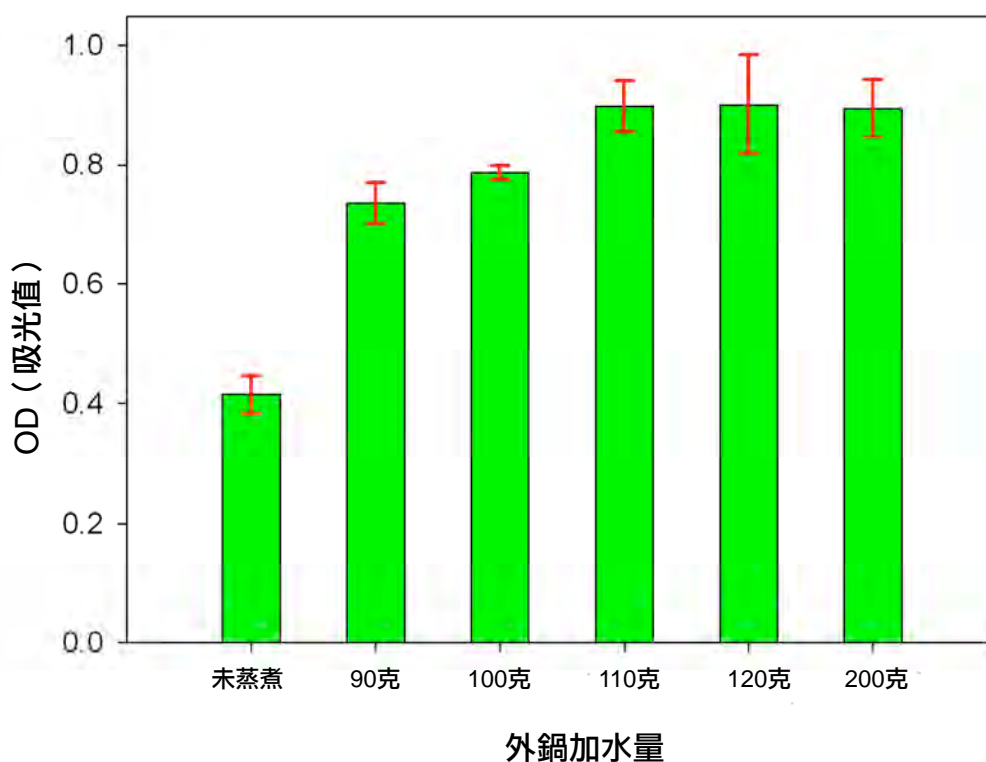


圖20 不同加水量蒸煮的饅頭樣品液加碘液的吸光值

<討論>

- 1 未蒸熟的冷凍饅頭，吸光度明顯的偏低，表示膨潤破裂的澱粉顆粒少，溶出的直鏈澱粉少。
- 2 加水110克、120克與200克蒸熟的饅頭，其吸光值無明顯差異，表示澱粉膨潤破裂顆粒相似，糊化程度相同，此結果頗合乎實驗八的顯微照相圖，並與實驗六的推論一致。

(五) 饅頭數量對加水量需求的探討

實驗十、饅頭數量增減對電鍋加水量的影響

饅頭的蒸熟，以澱粉糊化為指標，本實驗以此為基礎，求出增減饅頭時，達到相同澱粉糊化破裂程度時，所需增減的加水量。

<步驟>

- 1 將實驗饅頭2個放入電鍋內的中層蒸架上，分別加入80，90，100克的水加熱蒸熟，自開關起跳後，保溫5分鐘，拔掉電源，取出饅頭。
- 2 自饅頭內部中心，秤取1克重量，加水40ml稀釋，於研鉢內磨成均勻乳液後進行吸光值測定，處理條件同實驗九。
- 3 另取實驗饅頭4個放入電鍋內的中層蒸架上，分別加入120，130，140克的水，進行蒸熟並做吸光值測定，蒸熟與處理條件同前項。

<結果>

- 1 2個及4個蒸煮量饅頭，於不同加水量下加碘液之吸光值測定結果分別如表7、表8所示。
- 2 圖21則為2組不同蒸煮量的饅頭於不同加水量下吸光值與實驗九參考熟度的吸光值(0.9)之比較

表7 不同加水量蒸煮的饅頭樣品加碘液的吸光值（2個饅頭蒸煮量）

蒸煮條件	吸光值 (OD)				
	第一次	第二次	第三次	平均值	標準偏差
外鍋加水量					
80克	0.691	0.730	0.748	0.723	0.029
90克	0.830	0.876	0.916	0.874	0.043
100克	0.932	0.950	0.879	0.920	0.037

表8 不同加水量蒸煮的饅頭樣品加碘液的吸光值（4個饅頭蒸煮量）

蒸煮條件	吸光值 (OD)				
	第一次	第二次	第三次	平均值	標準偏差
外鍋加水量					
120克	0.939	0.881	0.858	0.893	0.042
130克	0.883	0.912	0.924	0.906	0.024
140克	0.853	0.889	0.967	0.903	0.058

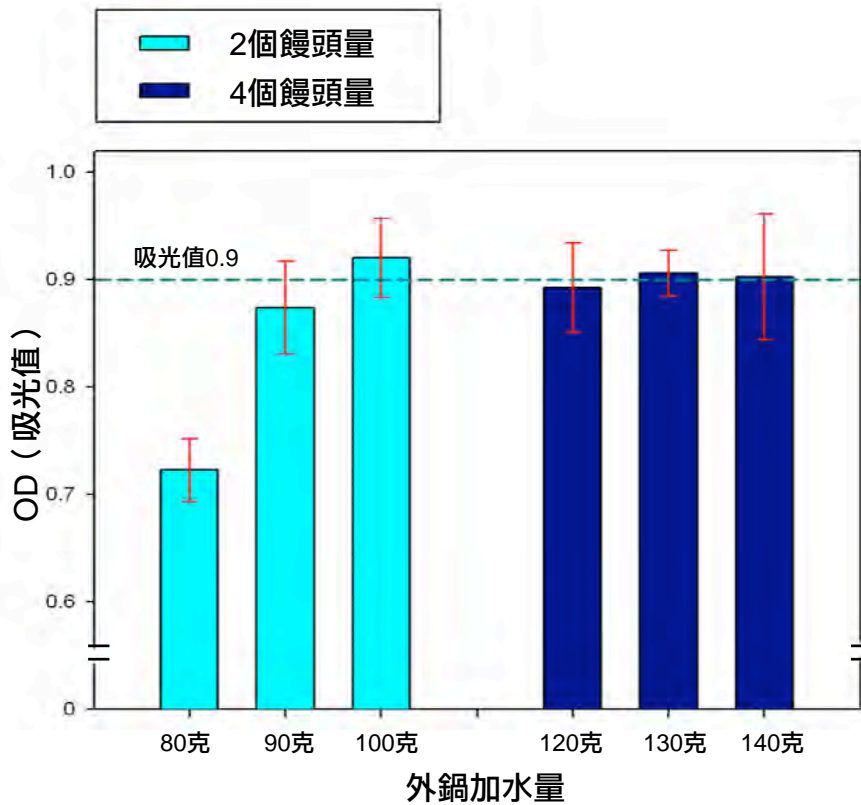
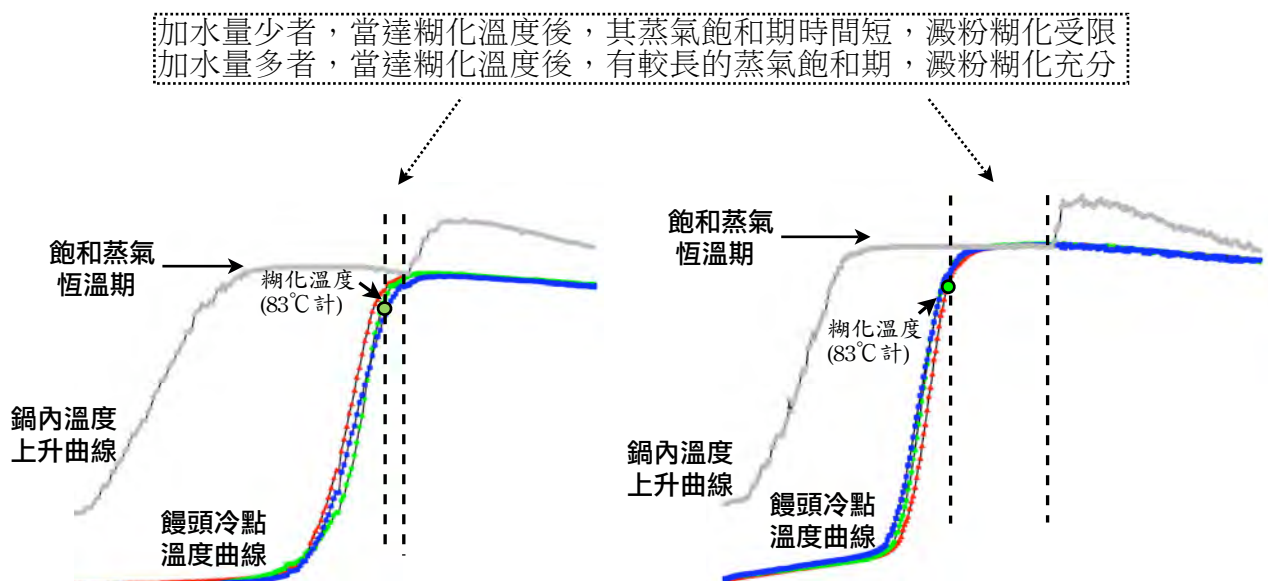


圖21 不同蒸煮量的饅頭樣品液加碘液的吸光值

<討論>

- 1 依實驗九結果，若以0.90左右的吸光值作為饅頭蒸熟程度的參考值，則蒸熟2個饅頭所需的加水量約在90-100克之間，蒸熟4個饅頭時，120克以上的加水量，即可達到要求（圖21）。亦即，當饅頭數由2個增為3個時，所需增加的水量為10-15克；由3個增加為4個時，增加的水量則約為10克（蒸熟3個饅頭加水量以110克計）。
- 2 當加水量達一定數量時，由於蒸氣飽和期時間延長，饅頭內部有充分時間吸水糊化（如下圖說明），因此每增加一個饅頭的相對加水量將稍減，但若饅頭個數太多甚至堆疊在一起，則將影響吸水的程度，使得實際的糊化程度受影響。



(六) 節能效果測試

實驗十一、瓦時計耗電能測試

由實驗八、實驗九結果顯示，蒸煮3個中型饅頭時，加水量110克與商品建議量的200克，兩者其澱粉粒糊化程度並無差異，但加水量差90克，加熱時間相差5分鐘，以節能觀點來說，實屬不必要的浪費。

<步驟>

- 1 電鍋電源接上瓦時計。
- 2 以實驗饅頭3個放入電鍋內的中層蒸架上，分別加入110克與200克的水計時加熱蒸熟，開關跳開後，保溫5分鐘後，拔掉電源，取出饅頭。
- 3 加熱時間每3分鐘記錄瓦時計上的電功率，求出平均電功率。
- 4 計算加熱時間及保溫時間的總耗電能。



電鍋接上瓦時計



瓦時計上的量測值

<結果>

- 1 電鍋蒸煮時間所消耗的電能如表9所示，其中平均電功率是以第3分鐘、6分鐘、9分鐘、12分鐘及15分鐘時的測定值平均而得。
- 2 蒸煮過程所消耗的總電能為加熱蒸煮時間與保溫時間兩者所消耗電能的總和。

表9 電鍋蒸煮耗電能測試

加水量	蒸煮平均電功率 (W)	蒸煮時間 (分秒)	保溫平均電功率 (W)	保溫時間 (分)	總耗電能 (kWh)	相對耗電%
200g	780.7	18分35秒	40.3	5分	0.245	100
110g	753	12分45秒	39.8	5分	0.163	67

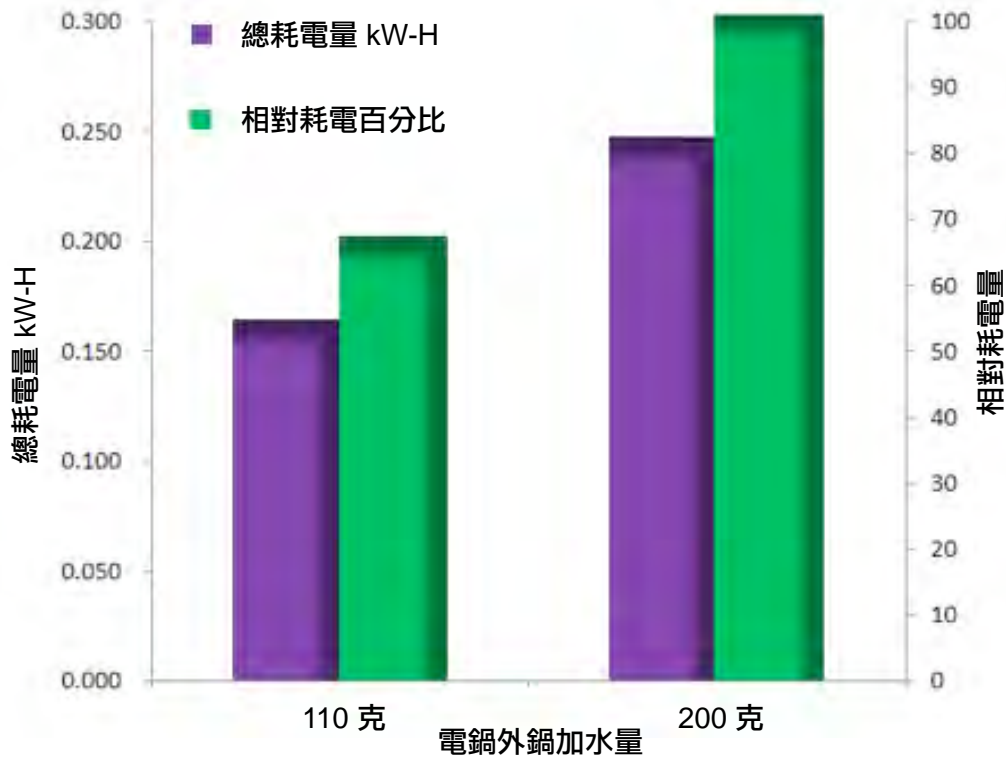


圖22 瓦時計電能耗电測試

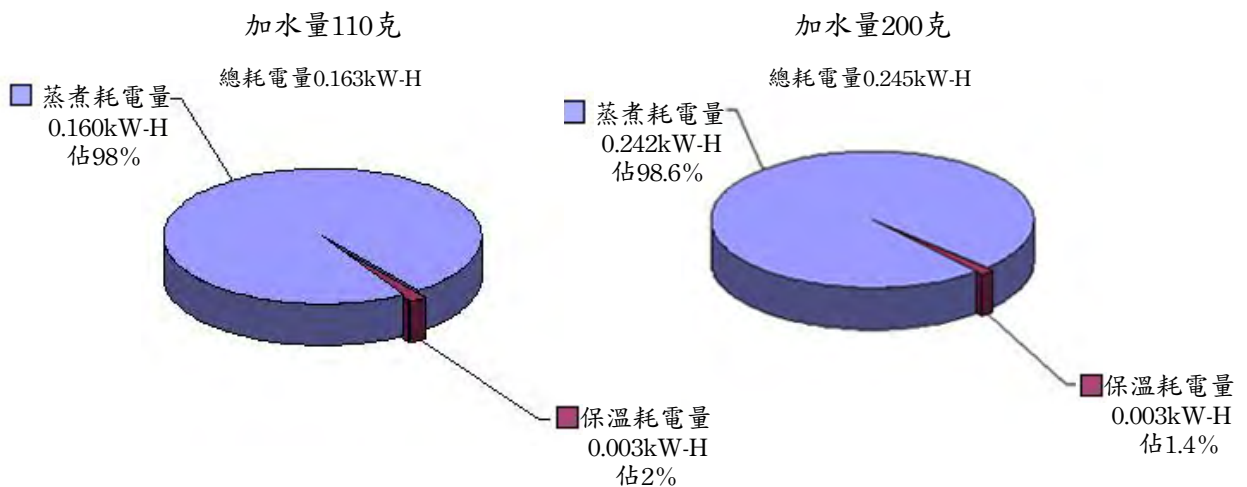


圖23 蒸煮與保溫期電鍋耗電量之比較

<討論>

- 1 瓦時計電能耗电測試結果，蒸一次饅頭，兩者耗電量分別為0.245kW-H、0.163kW-H，單一耗電量來看，電費節省不多，但每蒸一次，電量就相差33%（圖22），在電費高漲的時代，若能推廣而行，省電效益將有滴水成河的效果，為國內的節能減碳貢獻助益。
- 2 電鍋於保溫時間所消耗的電量約佔總電量的1~2%（圖23），這種微小比例的電量，卻能在電鍋開關跳開後，以過熱蒸氣的效應，持續維持於高溫狀。
- 3 本實驗是以市售知名品牌饅頭為對照，改變外鍋加水量為變因進行比較測試，若再從解凍方法與時間（如常溫解凍，30分鐘）上改變，使饅頭內溫升高後再蒸煮，則可預見的，節能效果將更大

陸、研究結論

一、實驗結論

- 1 電鍋的蒸煮，因有蒸氣冷凝再加熱的現象，故加水量與跳鍋時間呈現二次回歸的曲線關係，亦即加水量增加，蒸氣冷凝循環再加熱的量也加多，故開關跳開時間將更增加。此外，我們也發現，蒸煮過程中，不管升溫速度、100°C 鍋內恆溫到達時間或是過熱蒸氣的產生，皆以上層最快。因此，電鍋的蒸煮越上層受熱效果越佳。
- 2 饅頭的蒸煮時，儘管升溫過程中，每個饅頭因個別差異而有溫度差，但不久即趨於一致。以3個中型冷凍饅頭經冷藏解凍30分鐘後，分別加入60克、90克、120克、150克、200克外鍋水量進行測試，饅頭中心點的溫度分別可到達94°C、97°C、99°C、99°C與100°C，理論上皆已超過澱粉糊化所需的溫度與衛生要求。
- 3 實際上以生菌數測定、顯微鏡觀察與分光光度計檢測的結果發現，3個中型饅頭在外鍋加水量60克以上的電鍋蒸煮後，並未檢測出生菌數。加水量90克以上者，則可達到一定程度的糊化度，而加水量110克者與商品建議的200克加水量，在蒸熟程度上並無差異，且合乎衛生的要求，但節省電量則可達33%。
- 4 以電鍋蒸煮饅頭時，決定蒸熟程度的關鍵，在於饅頭內部到達糊化溫度後，鍋內飽和蒸氣恆溫期的長短。時間太短者，饅頭內部吸水量低，澱粉糊化破裂程度就偏低，若飽和蒸氣時間達一定長度以上時，澱粉糊化破裂程度將一致，差異不大，此時過多的加水量，將造成能源的浪費。
- 5 在饅頭增減量對加水量需求的實驗中，我們發現，每多蒸1個饅頭，加水量約需增加10-15克，而隨著總加水量的增加，飽和蒸氣期的延長，單位饅頭追加的水量將減少。然而，實際上因空間關係，當多個饅頭共同蒸煮時，將因堆疊而影響吸水量與糊化，實際的加水量將比預估的多。
- 6 『蒸的不用多』，以電鍋進行饅頭或食品的蒸煮時，真的不用過多的水，再配合保溫期過熱蒸氣的加熱作用，鍋內的溫度仍可到相當高溫，達到蒸熟食品的目的。本研究是以冷凍饅頭冷藏解凍30分鐘進行實驗，若解凍條件再改變（如冷藏解凍60分鐘、常溫解凍30~60分鐘）則蒸熟的加水量將再減少，節能效果將更大。

二、具體貢獻

節能減碳不僅保護地球，在高電價時代更顯得它的重要性，以往以電鍋蒸煮食物，加水量多憑經驗添加，但加水量過多導致的浪費，常被忽視。本實驗以饅頭為例證明，「加水量在夠不在多」，若各家廠商能在電鍋蒸煮條件下註明「最適量」的加水量，除能達到立即省電的直接效應外，也將建立節能省電的新觀念。

三、未來展望

除饅頭、包子等澱粉類食品外，電鍋也常用於魚肉類等蛋白質食品的加熱或蒸熟，這類食品沒有澱粉糊化須吸水的問題，若能以適當的水量，配合保溫時過熱蒸氣的加熱作用，未來將是探討的一個方向，希望也能對節能省電方面貢獻一份心力。

四、相關課程的應用

課目名稱	課程單元	作品應用部份
國中數學第二冊	二元一次方程式	溫度計的校正
國中自然與生活科技	水與溶液	電鍋蒸煮過程溶液與蒸氣變化探討
國中自然與生活科技	能量形態的改變	電鍋蒸煮過程溫度變化測試
國中自然與生活科技	電流的熱效應	瓦時計耗能測試
國中自然與生活科技	食品與生物科技	澱粉性質的探討

柒、參考資料

1. 余瑞琳、林哲仁(2008)。國立台灣大學化學系，大學普通化學實驗，第十二版。台北市：國立台灣大學出版中心。
2. 薛允榮(2002)。氣冷式冷凍冷藏系統技術手冊，五版，p0-4。高雄縣：一丞冷凍工業股份有限公司。
3. 張為憲(1992)。高等食品化學，六版，p33-35。台北市：華香園出版社。
4. 汪永文(1988)。電工大意，p1-p24，台北市：全華科技圖書股份有限公司。
5. 郭重吉主編(2012)。國民中學自然與生活科技 2上，p130-p154。台南市：南一書局企業股份有限公司。
6. 洪有情 主任委員(2012)。國民中學數學課本第二冊，p6-p16，p54-p92。新北市：康軒文教事業股份有限公司。
7. <http://www.alic.go.jp/starch/japan/basic/200805-01.html>
8. 王暉崙、郭子歆、邱耀慶(2007)。解開澱粉—碘的藍色密碼。中華民國第47屆中小學科學展覽優勝作品。
9. 李錦楓、林志芳(2008)。食物製備學：理論與實物。台北縣：鼎易印刷事業股份有限公司。
10. 黃忠村(2008)。食品微生物學，二版，p83-84，p187-197。台南市：台灣復文興業股份有限公司。
11. 江春梅、陳彩雲(2011)。食品微生物實習Ⅱ，初版，p177-p188。台南市：台灣復文興業股份有限公司。

【評語】 030803

此實驗為以工程評估方式討論使用電鍋蒸熟饅頭時用水量之減量研究，具生活實用應用，且亦兼食品衛生與節能雙效，唯食品蒸熟程度除糊化外建議應可思考口感方面之評估。