

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

佳作

080107

『蒸』有學問！—智慧化水煮蛋之冷凝物理機制  
與電鍋節能技術探討

學校名稱：臺北市北投區明德國民小學

作者：  小五 吳昱德  小六 劉得恩  小六 邱以昕	指導老師：  吳柏菱  蔡玲玲
---	-----------------------------

關鍵詞：電鍋、冷凝、節能

## 摘 要

本研究運用電鍋加熱過程中之冷凝物理機制來操控水煮蛋熟度，既節能又可同時蒸製多種熟度水煮蛋。研究分析電鍋內溫度變化、斷電時間、盛裝容器內之冷凝水量、水煮蛋熟度等資訊發現：電鍋容量和外鍋水量會決定鍋內升溫速率和加熱時間，進而影響水煮蛋熟度。此外，雞蛋數量會影響水蒸氣之冷凝循環利用，因而延長加熱時間和提高熟度；若將雞蛋以容器盛裝，則會因容器大小和雞蛋堆疊方式阻礙部分冷凝水之循環利用，縮短加熱時間和降低熟度。若要節省電能和時間來蒸製同熟度水煮蛋，可選用小電鍋、減少外鍋水量、以燜鍋替代。最後，以不同方式堆疊雞蛋、包覆鋁箔，再搭配適當外鍋水量和燜鍋時間，可以同時蒸製出多種熟度水煮蛋，進而達到智慧化之效果。

## 壹、研究動機

雞蛋具有豐富的蛋白質，也有很多烹調方式，其中最簡單、而且不會增加身體額外負擔的烹調方法就是水煮蛋了，特別是網路上有許多烹飪達人分享各種製作溏心蛋的技術，對時間的要求非常嚴格，引發我們的興趣。在研究討論初期，我們認為用水煮的方式需要瓦斯爐，很容易燙到手，並不適合小孩操作，也不容易在學校操作，於是我們想到用蒸的方法來替代，特別是網路上相關技術建議並不多，因此決定要使用幾乎家家戶戶都有，而且被譽為台灣之光的大同電鍋來蒸出像水煮蛋一樣的成果。經過初期試蒸，發現的確可以用電鍋蒸出水煮蛋，而且還發現有很多值得進一步嘗試的調控技術，經過文獻查詢和小組討論，我們也提出可以善用自然課學過的熱空氣對流、物質熱傳導，鋁箔等原理或技術來進行實驗設計，這些都具有探討的價值。特別是，我們也想向網路達人一樣，提供一些具體的操作技術，像是水量、時間…等，讓大家可以依據喜好，快速、有效甚至是節能的方式製作出不同熟度的水煮蛋，特別是在考量現今社會多元的居住生活型態，有單身的、有 3~5 人的小家庭、也有三代同堂的十數人大家庭，因此希望能透過科學研究來同時照顧不同人數、不同口感喜好，且能符合節能目標的智慧化技術來一次同時蒸出不同熟度的水煮蛋，以滿足大家各式各樣的需求。

教材相關性：康軒版三下第二單元『百變的水』

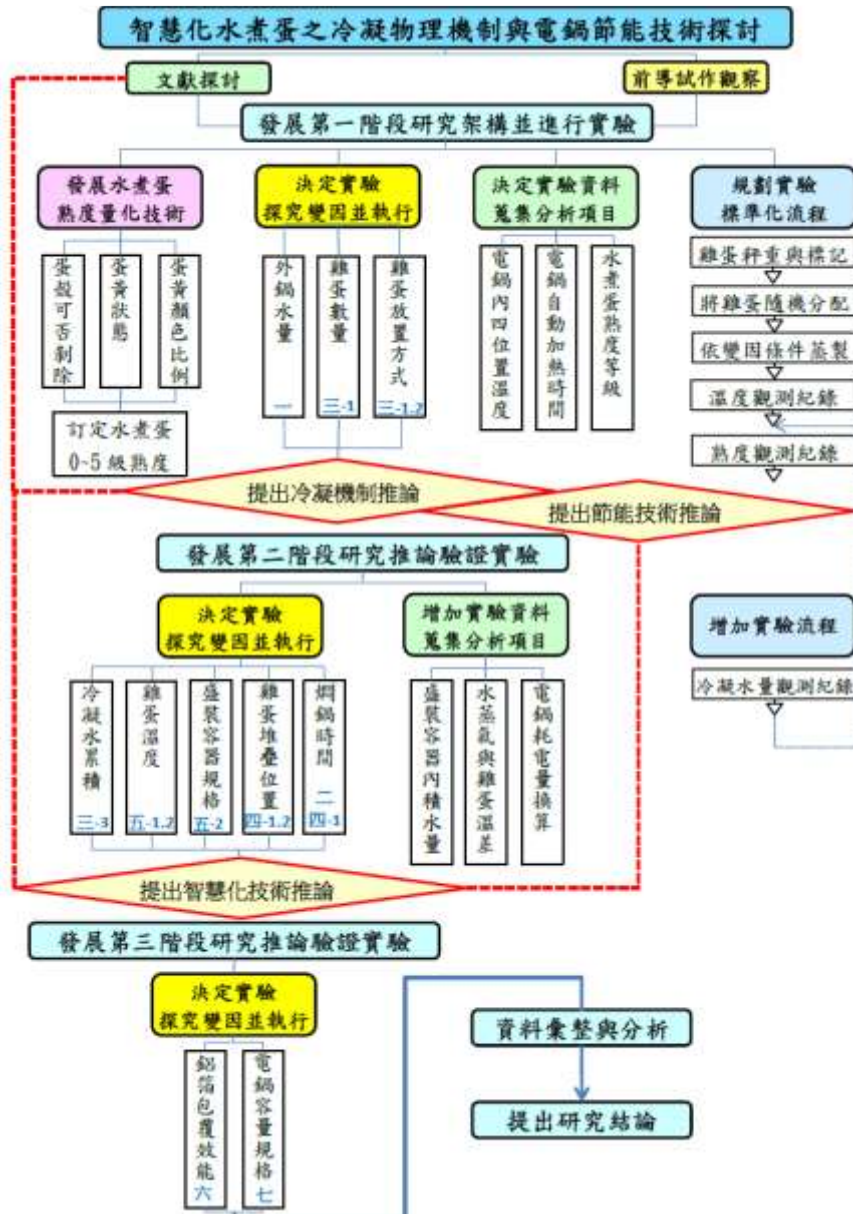
康軒版五上第三單元『熱對物質的影響』

## 貳、研究目的

- 一、探究電鍋的加熱物理機制與加熱期間的鍋內溫度演進特性
- 二、探究影響電鍋內水煮蛋升溫速率與電鍋加熱時間之因素
- 三、探究以電鍋蒸製水煮蛋之節能技術
- 四、探究以電鍋蒸製不同熟度水煮蛋之技術
- 五、探究以電鍋一次蒸製多種熟度水煮蛋之技術
- 六、比較不同容量電鍋對蒸製水煮蛋之效能

## 參、研究方法與研究設備

### 一、研究發展過程與探究架構





## 二、標準化實驗操作流程與設備說明

### (一) 雞蛋秤重、標記與隨機分組流程與實驗設備配置說明

#### 步驟(一)秤重與標記



1. 用電子秤測量每顆雞蛋的重量，並用色鉛筆輕輕書寫記錄在雞蛋鈍面。
2. 根據各實驗設計需求，運用鉛筆把蛋畫分為八或四等分，並做位置標記。

(1) 八等分標記規則：鈍頭朝上，以順時針方向(向左)旋轉，標記 1→4，  
尖頭朝下，以順時針方向(向左)旋轉，標記 5→8。

(2) 四等分標記規則：鈍頭朝上，標記上 1、下 1，尖頭朝下，標記上 2、下 2。



#### 步驟(二)隨機分配

1. 依據各實驗規劃的組別需求(例如 ABC3 組)，選取重量最接近的 3 顆為一份。
2. 將每一份的 3 顆蛋以抽籤的方式，隨機決定每顆蛋分別屬於 ABC 哪一組，並直接在蛋的鈍面重量標記位置上方，再次用色鉛筆分別標示 A1、B1、C1。

### (二) 蒸製水煮蛋流程與溫度測量設備配置說明

#### 步驟(三)蒸蛋

1. 在電鍋內擦乾，倒入實驗規劃的水量(例如 0.5 杯水)，放入蒸架或盛裝容器。
2. 依實驗操作變因規劃，將標記好的生雞蛋整齊排列在蒸架或容器內。
3. 在鍋蓋內或電鍋邊緣用水電膠帶固定熱電耦線，並在熱電耦線上分別貼上 T1~T4 標籤以利辨識。再將熱電耦線插入四通道式熱電耦數字溫度表。
4. 開啟四通道式熱電耦數字溫度表，紀錄起始溫度。
5. 設定好計時功能，按下電鍋加熱開關，同時啟動計時。
6. 在預先設計的溫度觀測紀錄表上，30 秒計錄一次溫度。
7. 依各實驗設計決定記錄到指定的時間 (電鍋自動斷電時間，或是加上燜的時間)。
8. 時間一到便開蓋，戴上隔熱手套將蛋取出放入 5000ml 冷水中冷卻 2 分鐘。



### (三) 水煮蛋剝殼、標記和熟度觀察記錄的流程與設備配置說明

#### 步驟(四)剝蛋殼與位置標記

1. 將蛋從冷水箱取出擦乾，依蛋殼標記放入已貼好標籤的各組別蛋盒中。
2. 用湯匙由蛋殼上記號 **1** 或 **上 1** 的位置開始敲，剝除該部位的蛋殼後記錄蛋白熟成情形，並在該區的兩個端點插入牙籤做標記。



#### 步驟(五)觀察記錄水煮蛋的熟度

1. 依序剝除蛋殼，然後依據實驗需求，用刀將水煮蛋縱切成兩半，或是用切蛋器橫切成數片進行熟度觀察紀錄。
2. 水煮蛋熟度依據下表自訂之規則分成 6 種熟度，以便進行量化比較。

熟度等級	判斷規準	示意圖	實際範例
0	蛋殼無法完全剝除， 蛋白未完全變白色固態， 蛋黃深黃且液態。		
1	蛋殼可以完全剝除， 蛋白變白色固態， 蛋黃深黃且液態。		
2	蛋殼可以完全剝除， 蛋白變白色固態， 蛋黃直徑的 9~10/10 呈深黃固態(或膏狀)。		
3	蛋殼可以完全剝除， 蛋白變白色固態， 蛋黃直徑的 6~8/10 呈深黃固態(或膏狀)。		
4	蛋殼可以完全剝除， 蛋白變白色固態， 蛋黃直徑的 1~5/10 呈深黃固態(或膏狀)。		
5	蛋殼可以完全剝除， 蛋白變白色固態， 蛋黃完全呈淺黃固態。		

### (四) 資料分析方式說明

#### 步驟(六)數據統計、換算和繪圖分析

1. 將各時間的溫度記錄、水煮蛋熟度、加熱時間、鋼鍋內冷凝水量等記錄輸入 excel，依討論變因分組繪製成統計圖，並依圖進行比較分析。
2. 根據 1 度電之訂定標準：『電功率 1000W 的電器用品使用 1 小時之耗電量為 1 度』，換算耗電量為： $(\text{電鍋產品標示之電功率}/1000) \times (\text{電鍋加熱分鐘數}/60)$ 。

## 肆、研究結果與討論




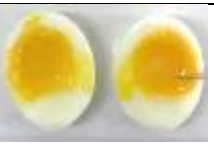
### 實驗一 探究不同外鍋水量對電鍋升溫特性與蒸製水煮蛋之熟度影響

#### (一) 變因操控：

1. 操縱變因：電鍋外鍋水量，包括：1.5 杯(270ml)、1 杯(180ml)、0.75 杯(135ml)、0.5 杯(90ml)、0.25 杯水(45ml)。
2. 控制變因：重量接近的同批雞蛋 7 顆、放在蒸架上、環境溫差不大，起始約 25°C。
3. 應變變因：電鍋內四測溫位置的溫度變化、電鍋加熱之自動斷電時間、水煮蛋熟度。

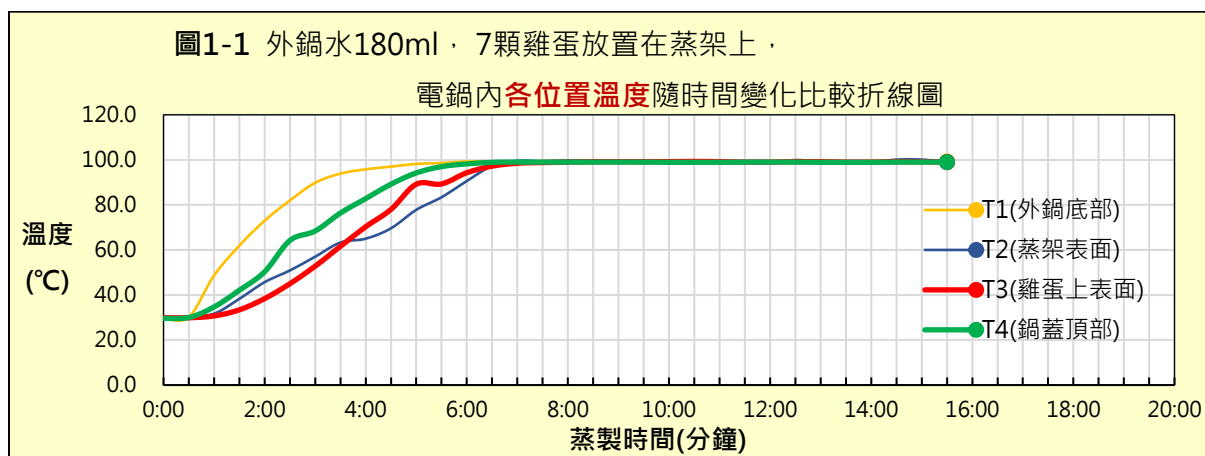
#### (二) 實驗觀察記錄彙整摘錄：

表 1-1：四種外鍋水量對蒸製 7 顆水煮蛋之加熱耗電量和水煮蛋熟度影響比較表

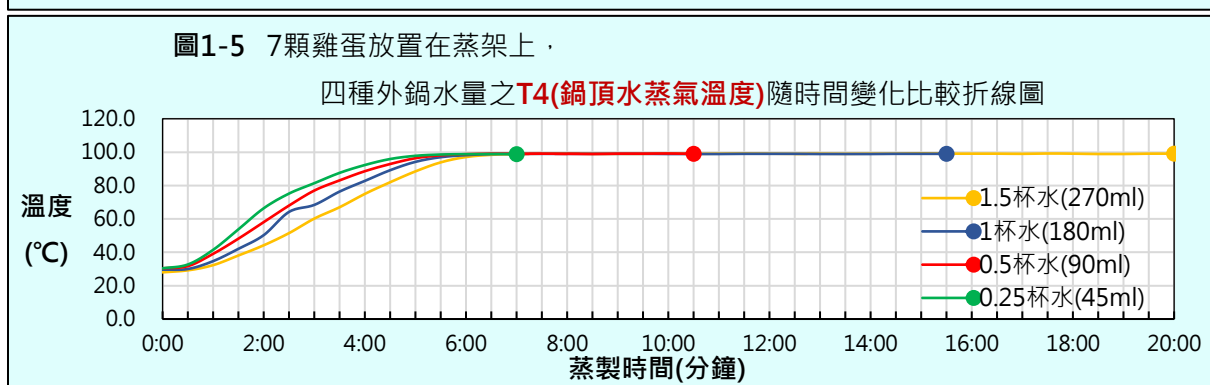
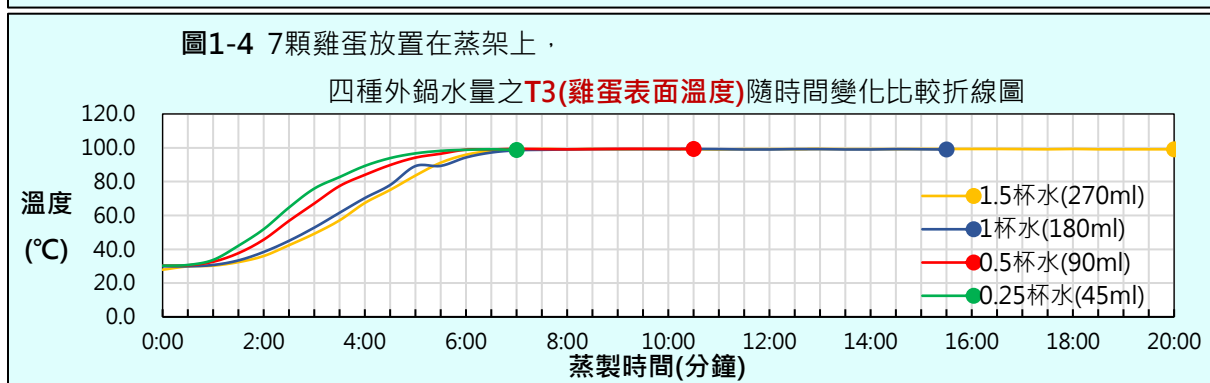
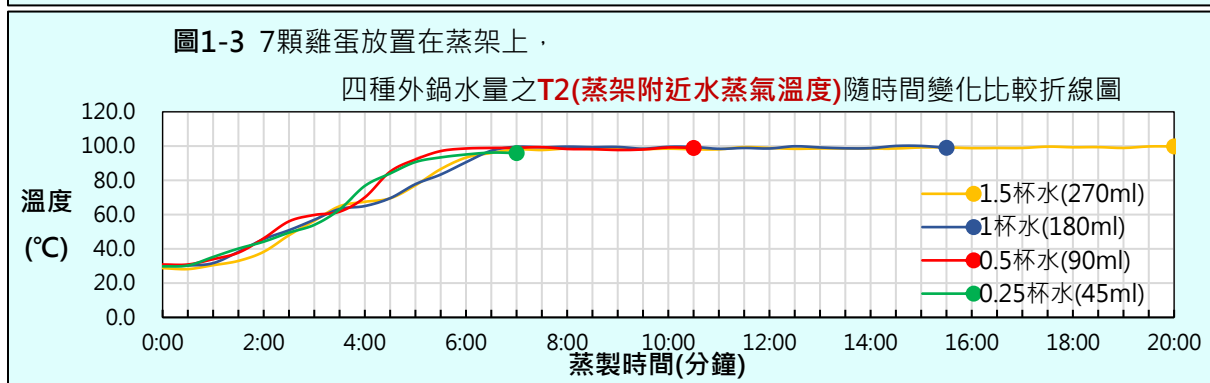
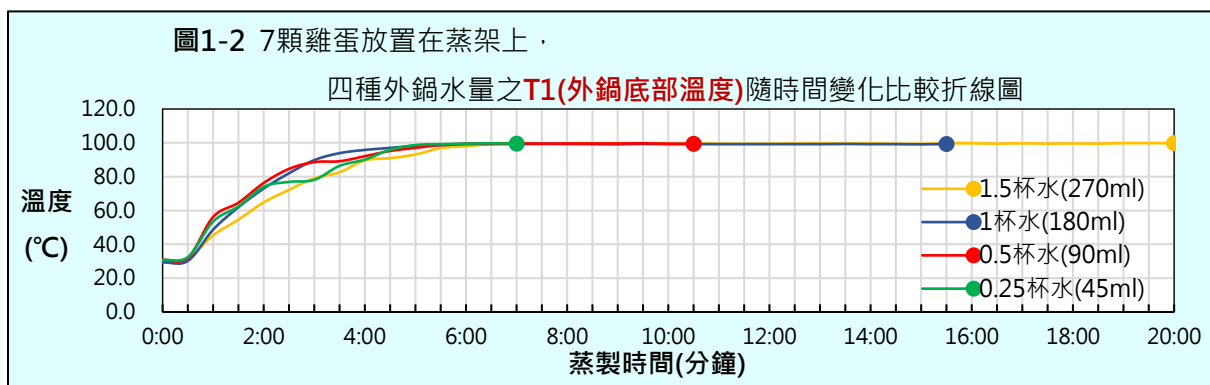
外鍋水量	1.5 杯水(270ml)	1 杯水(180ml)	0.5 杯水(90ml)	0.25 杯水(45ml)
加熱時間(分)	20.4	15.6	10.5	7.3
水煮蛋 平均熟度				
	5	5	2	1
加熱耗電量(度)	0.27	0.21	0.14	0.10
備註	運用功率 800W 的 11 人份電鍋、7 顆雞蛋分散平放在蒸架上			

#### (三) 實驗結果發現：

1. 外鍋水量越少，電鍋加熱開關越早自動斷電，加熱耗電量越少，但是水煮蛋熟度也越低。
2. 以圖 1-1 為例，四種外鍋水量在加熱過程中，皆是 T1(外鍋底部)的水溫上升速率最快，加熱約 3 分鐘後，比較鍋內各位置水蒸氣溫度， $T_4 > T_3 > T_2$ ，即上層水蒸氣溫度高於下層。(對照實驗七，6 人份小電鍋和 15 人份大電鍋的觀測結果亦相同。)



3. 根據下方圖 1-2~圖 1-5，可以發現四種外鍋水量的底部加熱板溫度都是在 4 分鐘左右達到 100°C，升溫速率差異不大；另外三個水蒸氣測溫點，則皆是在 6 分鐘左右達到 100°C，之後保持恆溫一直到電鍋自動斷電。整體而言，外鍋水量越多，升溫速率略慢。
4. 外鍋水量越多，加熱時間越長，代表雞蛋在 100°C 環境中的時間越長，是影響熟度的關鍵。但根據表 1-1 的加熱時間計算，電鍋加熱時間並未和外鍋水量成正比。



#### (四) 實驗討論：

1. 運用同規格電鍋，外鍋水量越少，鍋內水蒸氣升溫速率稍快，不過四種水量之水蒸氣溫度上升至  $100^{\circ}\text{C}$  的速率差異不大，只有 1 分鐘左右的時間差，但是電鍋加熱開關自動斷電自動斷電的時間卻各差了約 3~5 分鐘，真正影響水煮蛋熟度的關鍵，是雞蛋接觸  $100^{\circ}\text{C}$  高溫的時間長短。因此提出以下推論並設計延伸實驗：

##### 節能推論 1

減少外鍋水使升溫更快，並將因外鍋水量減少而減少的加熱時間，改用燜鍋相同時間取代，兩種方法的熟度應該會相同！這樣不是比較省電嗎？

##### 設計：

實驗二 探究燜鍋時的電鍋內溫度變化特性以及對水煮蛋熟度之影響

##### 智慧化推論 1

增加雞蛋數量會讓電鍋內升溫速率變慢，並且因熱量平均分給較多顆雞蛋，可能會降低雞蛋的熟度！因此雞蛋數量越多時，外鍋水量也須加越多。

##### 設計：

實驗三 探究相同外鍋水量時，雞蛋數量對電鍋內的升溫特性與水煮蛋熟度之影響

2. 同時測量電鍋內不同高度位置的水蒸氣溫度時，可以看到升溫速率並不一樣，這和自然課學到的熱空氣會在電鍋內對流有關係。因此引發我們好奇，

##### 智慧化推論 2

若是雞蛋數量多而必須堆放在電鍋的不同高度，會因為鍋內各處升溫不同而造成同一鍋水煮蛋的熟度有差別！

##### 設計：

實驗四 將雞蛋放入容器並堆疊成二到三層，比較各層水煮蛋的熟度。

3. 在進行實驗一後，我們覺得應該同時比較容量規格不同的電鍋，因為不同的家庭可能使用的電鍋容量不同，因此我們覺得應該再蒐集不同容量的電鍋進行實驗比較，好讓我們的 research 能符合更多人的需求。

##### 智慧化推論 3

若是改用不同容量大小的電鍋，外鍋水量相同時，加熱升溫的速率和加熱總時間會不相同，所以不同容量電鍋，要根據雞蛋數量、希望的熟度來搭配適當的外鍋水量。

##### 設計：

實驗七 比較不同容量電鍋之蒸製水煮蛋效能差異。



## 實驗二 探究燜鍋時的電鍋內溫度變化特性與對水煮蛋熟度之影響

### (一) 變因操控：





1. 操縱變因：電鍋加熱開關自動斷電後，繼續燜鍋的時間。共分兩種情況：

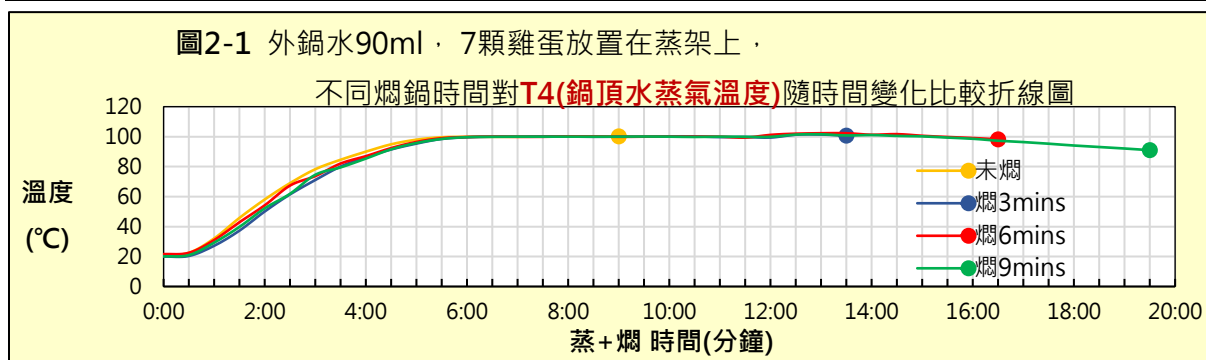
(1) 外鍋加 0.5 杯水(90ml)，依序燜 3 分鐘、6 分鐘、9 分鐘。

(2) 外鍋加 0.25 杯水(45ml)，依序燜 9 分鐘、6 分鐘、3 分鐘。





### (二) 實驗觀察記錄彙整摘錄：

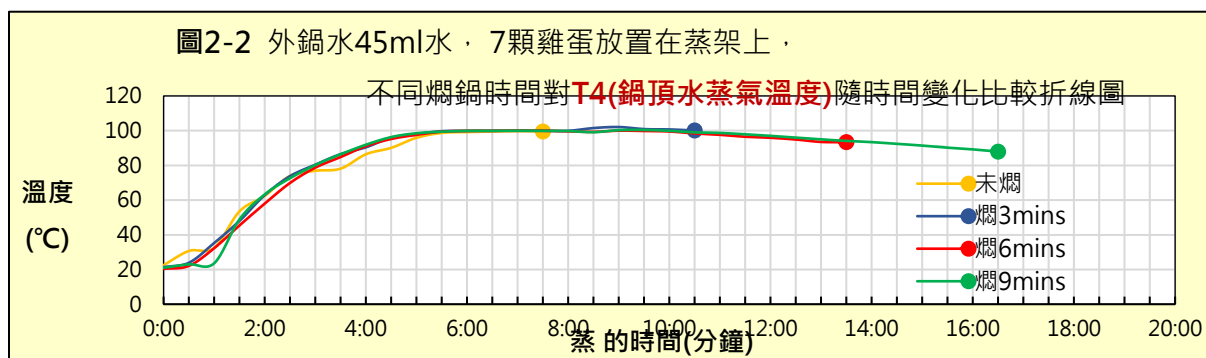
**表 2-1：外鍋水 90ml，三種燜鍋時間對加熱耗電量和水煮蛋熟度影響比較表**

燜鍋時間	0 分鐘	3 分鐘	6 分鐘	9 分鐘
總加熱時間(分)	10.5	10.6+3=13.6	10.5+6=16.5	10.6+9=19.6
水煮蛋平均熟度				
	2	3	5	5
加熱耗電量(度)	0.14	0.14	0.14	0.14
備註	11 人份電鍋、外鍋水 90ml、7 顆雞蛋分散平放在蒸架上。			



**表 2-2：外鍋水 45ml，三種燜鍋時間對加熱耗電量和水煮蛋熟度影響比較表**





燜鍋時間	0 分鐘	3 分鐘	6 分鐘	9 分鐘
總加熱時間(分)	7.3	7.5+3=10.5	7.5+6=13.5	7.4+9=16.4
水煮蛋平均熟度				
	1	2	3	4
加熱耗電量(度)	0.10	0.10	0.10	0.10
備註	11 人份電鍋、外鍋水 45ml、7 顆雞蛋分散平放在蒸架上。			



### (三) 實驗結果發現：

1. 外鍋水量和雞蛋數量固定時，11 人份電鍋加熱開關自動斷電時間幾乎相同，0.5 杯水約加熱 10.5 分鐘，0.25 杯水約加熱 7.5 分鐘。
2. 比較圖 2-1 和圖 2-2，兩種外鍋水量大約都是在 6 分鐘時達到 100°C，外鍋水 0.25 杯(45ml) 只比外鍋水 0.5 杯(90ml)約提早 30 秒達到 100°C。
3. 電鍋加熱開關自動斷電後，電鍋內的溫度會逐漸下降，在燜鍋的 9 分鐘內，溫度約比 100°C 下降 10°C，都還是在 90°C 左右。
4. 根據相同熟度為標準，將燜製結果與實驗一蒸製結果進行耗電量和花費時間做比較，(如表 2-3)，可以發現：為達到相同熟度，選用較少水量再搭配適切燜鍋時間(兩種水量的加熱時間差)，便可以用相近的時間，但大約節能 30% 的方式製作完成。

表 2-3：蒸製與與搭配燜鍋之效能比較表

水煮蛋熟度		5	5	2	2
製作 技術	外鍋水量(ml)	180	90	90	45
	加熱時間(分)	15.6	10.5	10.5	7.5
	燜鍋時間(分)		6		3
	總共花費時間(分)	15.6	16.5	10.5	10.5
水煮蛋熟度成果照片					
加熱耗電量(度)		0.21	0.14	0.14	0.10
燜鍋的節能比例(%)			33%		29%

### (四) 實驗討論：

1. 在燜鍋過程中，電鍋內的溫度會有短暫時間再上升，甚至達到 103°C，經查詢資料，我們推測是水蒸氣過飽和後又再次凝結為水時會放熱的現象。實驗三-3 有相關探討。

### 實驗三-1 將雞蛋放置在蒸架上，探究雞蛋數量對電鍋內升溫特性與水煮蛋熟度之影響




#### (一) 變因操控：

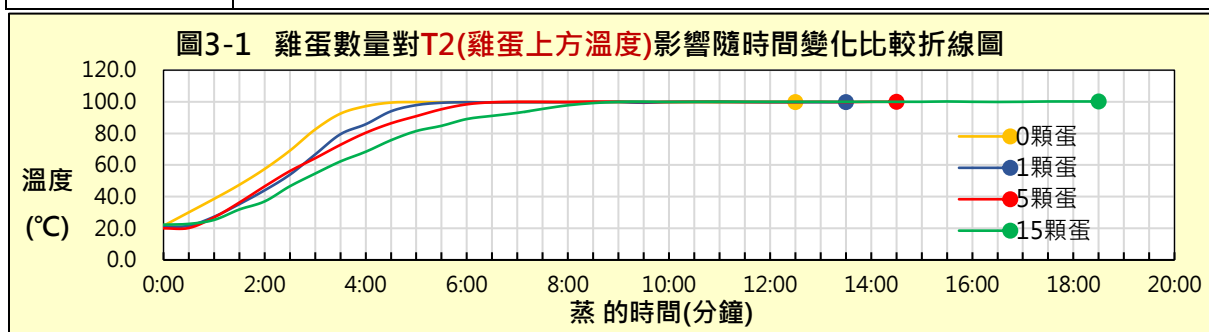
1. 操縱變因：蒸架上的雞蛋數量，分別為 0 顆、1 顆、5 顆、15 顆。
2. 控制變因：外鍋水 1 杯(180ml)、雞蛋都是分散平放在蒸架上。
3. 應變變因：電鍋內三測溫位置的溫度變化、電鍋加熱之自動斷電時間、  
水煮蛋熟度。



#### (二) 實驗觀察記錄彙整摘錄：

表 3-1 蒸架上不同雞蛋數量對加熱耗電量和水煮蛋熟度影響比較表

雞蛋數量	0 顆	1 顆	5 顆	15 顆
加熱時間(分)	13.4	13.5	14.8	18.9
水煮蛋平均熟度	/			
		3	4	5
加熱耗電量(度)	0.18	0.18	0.20	0.25
備註	運用電功率 800W 的 11 人份電鍋、外鍋水 180ml、雞蛋分散平放在蒸架上。			



#### (三) 實驗結果發現：

1. 根據圖 3-1，蒸架上雞蛋數量越多，電鍋內水蒸氣溫度上升到 100°C 的速率越慢，而且電鍋的自動加熱時間越長。
2. 根據表 3-1，蒸架上的雞蛋數量越多，蒸出的水煮蛋越熟。

#### (四) 實驗討論：

1. 原本推測電鍋內雞蛋數量越少，加熱 180ml 外鍋水的熱能平均分給每顆雞蛋的會較多，水煮蛋應該會較熟，結果卻剛好相反！根據圖 3-1，可以看出越多顆雞蛋，會讓電鍋升溫速度減緩，而且會延長加熱時間，讓雞蛋有更多時間吸收熱量，並讓熱能有時間傳導到蛋黃，因此水煮蛋熟度反而較高。

2. 但是，根據實驗一的經驗，水量是影響加熱時間的關鍵，這個實驗的水量都是 180ml，為什麼 15 顆雞蛋的加熱時間會多出約 4 分鐘，是否在加熱過程中還有其他因素會影響電鍋加熱時間，值得進一步探討。後來我們想挑戰更多顆雞蛋是不是會更延長加熱時間，使用不鏽鋼鍋裝了 19 顆雞蛋(實驗數據請參閱實驗三-2)，但是卻意外發現加熱時間並未延長，反而比蒸架上放 5 顆雞蛋的時間還要短，並且在鋼鍋內蒐集到約 70ml 的水，這讓我們有了新的推論：而。

#### 冷凝推論 1

外鍋底部的水在加熱過程中有可能因為遇到鍋內的較低溫物體(鍋壁、鍋蓋、蒸架、鋼鍋、雞蛋)而再次凝結為水並落回鍋底，因此會被循環再利用，延長了電鍋的加熱時間。

但是，如果用容器盛裝雞蛋，雞蛋數量越多，掉落進容器的冷凝水也會越多，反而減少冷凝水再利用的機會，加熱時間便應該會縮短。

#### 設計：

實驗三-2 將雞蛋放置在鋼鍋內，探究雞蛋數量對電鍋升溫特性、加熱時間、冷凝水量、水煮蛋熟度之影響。

#### 冷凝推論 2

冷凝水掉落的現象應該會等到鍋內物體都達到近 100°C 的高溫時才會停止。

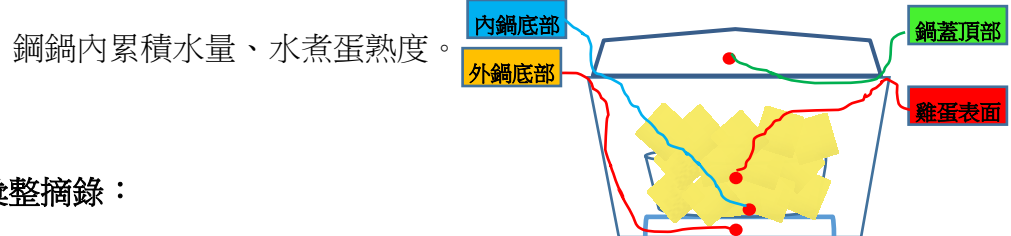
#### 設計：

實驗三-3 以鋼鍋盛裝雞蛋時，探究鋼鍋內冷凝水量累積特性以及對水煮蛋熟度之影響。

**實驗三-2 將雞蛋放置在鋼鍋內，探究雞蛋數量對電鍋內升溫特性與水煮蛋熟度之影響**






(一) 變因操控：

1. 操縱變因：鋼鍋內的雞蛋數量，分別為 0 顆、7 顆、14 顆、19 顆。
2. 控制變因：外鍋水 1 杯(180ml)、鋼鍋放置在蒸架上。
3. 應變變因：電鍋內四測溫位置的溫度變化、電鍋加熱之自動斷電時間、鋼鍋內累積水量、水煮蛋熟度。



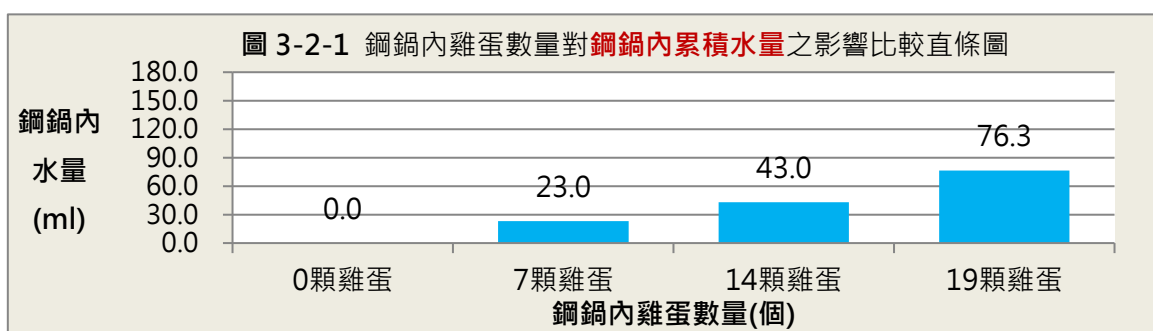
(二) 實驗觀察記錄彙整摘錄：

表 3-2：鋼鍋內不同雞蛋數量對加熱耗電量和水煮蛋熟度影響比較表

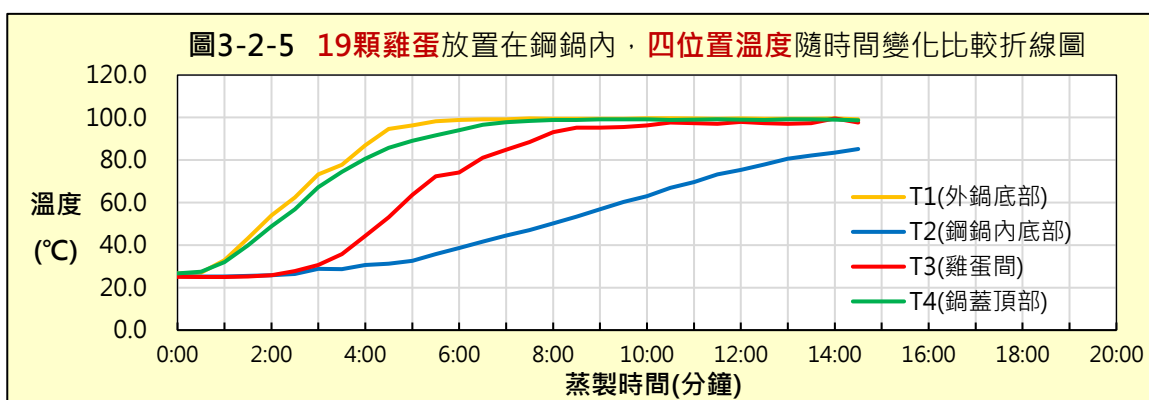
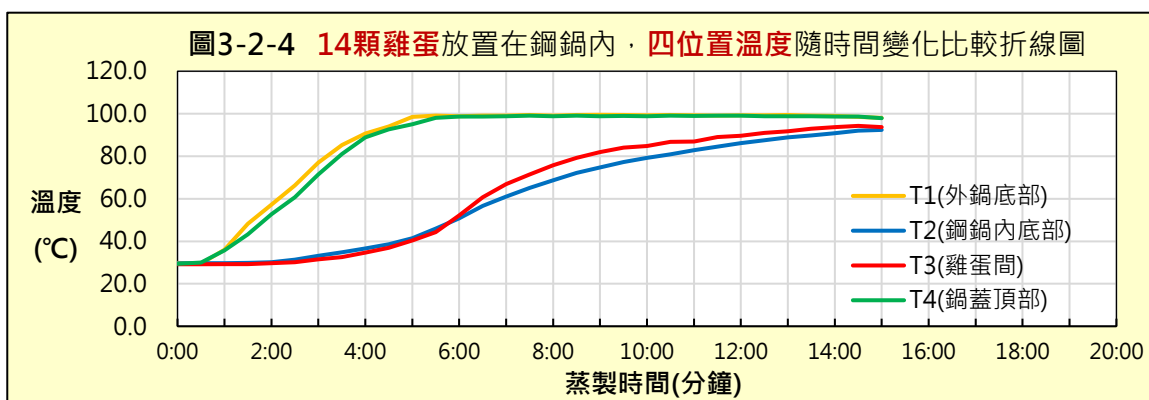
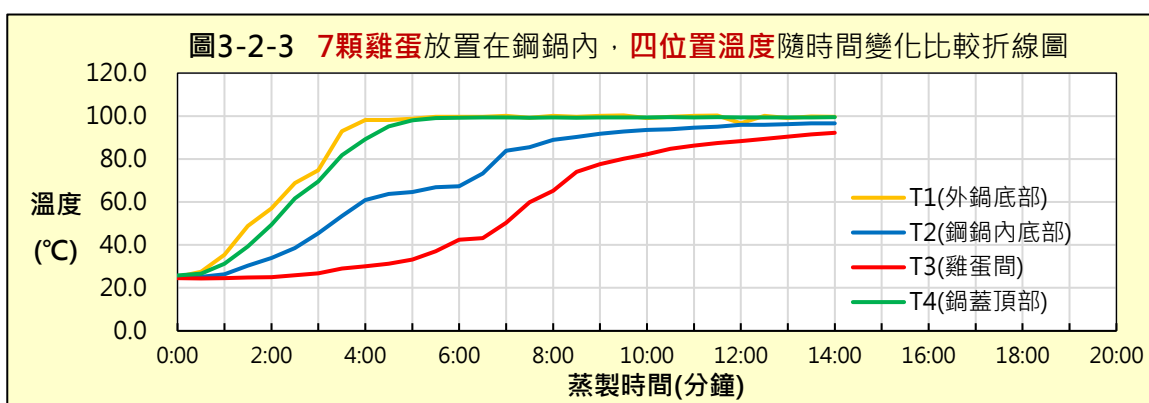
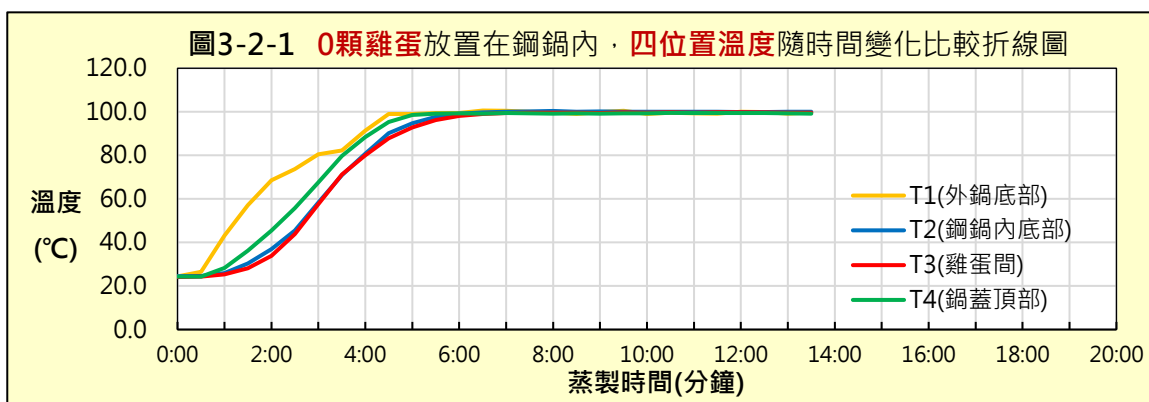
雞蛋數量	0 顆雞蛋(空鍋)	7 顆雞蛋	14 顆雞蛋	19 顆雞蛋
加熱時間(分)	13.6	14.2	14.5	14.6
加熱耗電量(度)	0.18	0.19	0.19	0.19
鋼鍋內積水量(ml)	0.0	23.0	43.0	76.3
上層 水煮蛋熟度				 3
			 4	 2
中層 水煮蛋熟度		 0	 1	 0
備註	11 人份電鍋、外鍋水 180ml、雞蛋放在蒸架上的鋼鍋內。			

(三) 實驗結果發現：

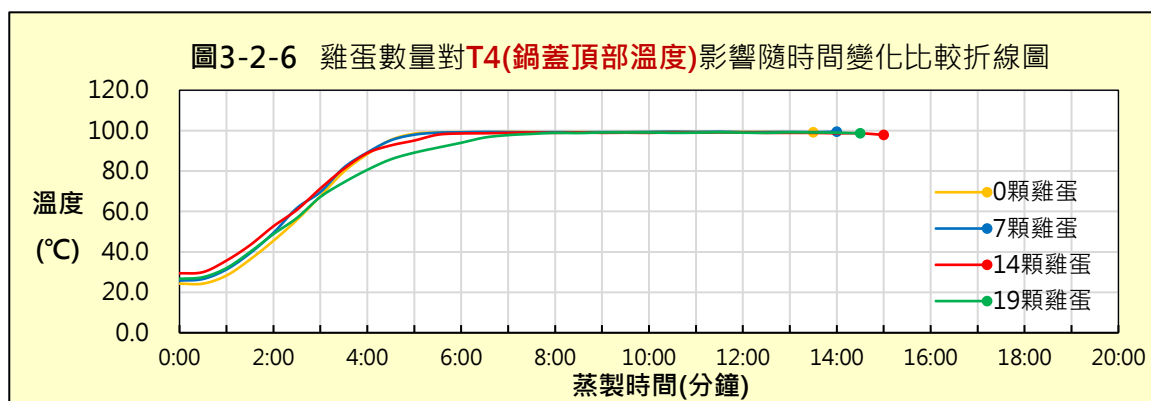
1. 根據表 3-2，多顆雞蛋堆疊在鋼鍋內時，越下層的水煮蛋熟度越低。
2. 根據圖 3-2-1，鋼鍋內的雞蛋數量越多，鋼鍋內累積的水量越多，有接近正比的關係。



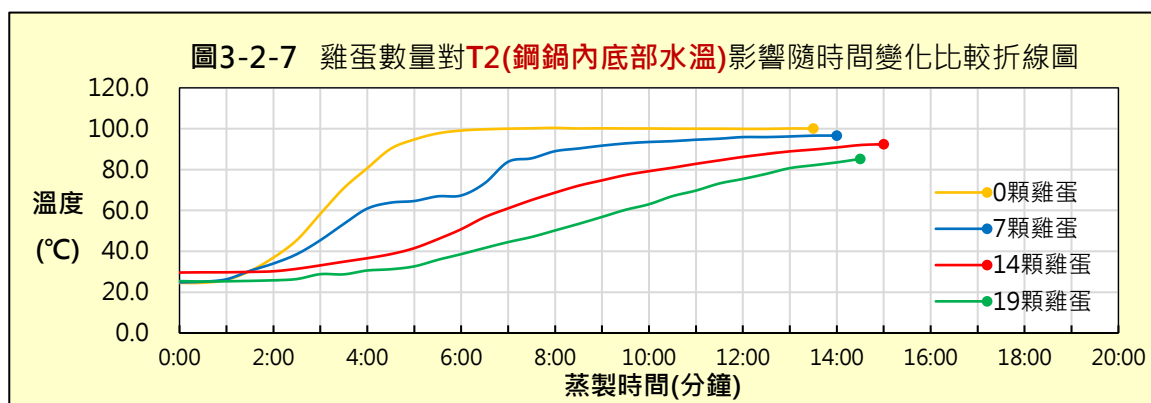
3. 根據圖 3-2-2~圖 3-2-5，不論鋼鍋內的雞蛋數量多寡，電鍋內整體的溫度皆是外鍋底部最高、鍋蓋頂部水蒸氣溫度次之，但兩者溫度差異不大。鋼鍋內底部積水區溫度和雞蛋表面溫度則差異很大，兩者關係請參看下頁結果 5 和結果 6 之分析。



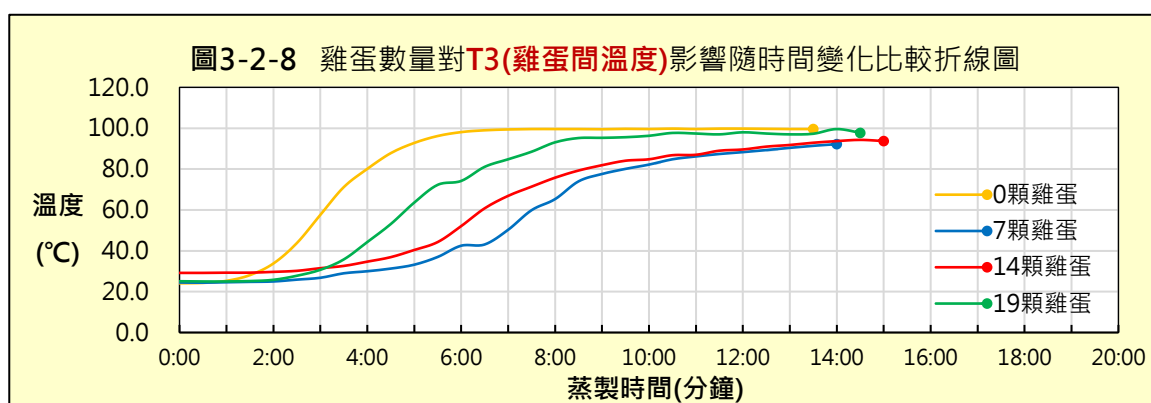
4. 根據圖 3-2-6，鋼鍋內堆疊的雞蛋數量越多，電鍋內水蒸氣升溫速率越慢，19 顆雞蛋約比 7 顆雞蛋晚了 1.5 分鐘達到 100°C，電鍋加熱開關自動斷電時間也慢了約 1 分鐘。



5. 根據圖 3-2-7，鋼鍋內堆疊的雞蛋數量越多，內鍋底部升溫速率明顯較慢，且在電鍋加熱開關自動斷電時，仍未達到 100°C，這可以解釋表 3-2 三組最下層水煮蛋熟度都偏低的現象。



6. 根據圖 3-2-8，鋼鍋內堆疊的雞蛋數量越多，在相同位置雞蛋的表面溫度則越高。



#### (四) 實驗討論：

1. 根據圖 3-2-6，四組電鍋內水蒸氣溫度的高溫期皆持續至少 7 分鐘，比對實驗一的結果分析，雞蛋在此一條件下的熟度應該會達到 5，但進一步觀察圖 3-2-7 和圖 3-2-8，

則會發現鋼鍋內的雞蛋間溫度和底部積水溫度上升緩慢，且達不到雞蛋質變所需溫度，或是達到質變溫度的時間持續長度不足，因此在相同外鍋水量和雞蛋數量的條件下，運用鋼鍋盛裝雞蛋來蒸製水煮蛋，會降低水煮蛋的熟度。

2. 雖然加熱初期(前 6 分鐘)會因雞蛋數量較多，使外鍋底部水溫和電鍋內水蒸氣溫度上升速率較慢，應此延長 1~2 分鐘的加熱時間；但是綜合實驗三-1 和實驗三-2，可以發現熱水蒸氣的冷凝現象明顯影響電鍋後續加熱機制。

#### 冷凝推論 3

在前 6 分鐘的快速升溫期，外鍋底部越來越高溫而產生大量熱水蒸氣時，水蒸氣會與表面溫度較低的雞蛋接觸而遇冷凝結再變成水，且雞蛋數量越多，冷凝水會越多，但是這些冷凝水會落入鋼鍋內，而不是落回外鍋底部，因此和用蒸架的情況不同。也就是外鍋底部可循環利用的冷凝水量較少，因此縮短電鍋整體加熱時間。

#### 設計：

##### 實驗三-3

以鋼鍋盛裝雞蛋時，測量鋼鍋內每隔三分鐘的冷凝水增加量。以觀察水蒸氣冷凝現象在整個加熱期間的何時發生和何時作用最劇烈。

3. 針對鋼鍋內底部水溫和雞蛋間溫度高低不穩定的現象，我們分析是：
- (1) 當雞蛋數量少時，電鍋內整體環境升溫快，鋼鍋底部得到的傳導熱量多，掉入冷凝水少，所以內鍋底部溫度較雞蛋表面溫度高；
  - (2) 當雞蛋數量多時，電鍋內整體環境升溫慢，鋼鍋底部得到的傳導熱量少，加上由上方掉入的冷凝水多，所以內鍋底部溫度較雞蛋表面溫度低。
4. 根據實驗三-1，運用蒸架蒸製水煮蛋時，水煮蛋的熟度全部達到 3 以上，但是在實驗三-2，以鋼鍋堆疊雞蛋來蒸製水煮蛋時，雖然有部分的水煮蛋的熟度很低，甚至無法成形，但卻也意外留意到上下層的水煮蛋熟度不同的現象，這引發了我們的好奇，

#### 智慧化推論 4

雞蛋堆疊在鋼鍋內，除了底部浸泡冷凝水的雞蛋較不易熟之外，各位置雞蛋的溫度會是相同的嗎？如果不同，那就可以利用堆疊雞蛋的方式並搭配適切的外鍋水量和燜鍋時間，讓我們可以一次同時蒸出不同熟度的水煮蛋，以便在節省電能的情況下，還能同時符合不同口感喜好的食用者。

#### 設計：

實驗四 比較鋼鍋內堆疊雞蛋之各位置雞蛋的表面升溫情形差異。



**實驗三-3 以鋼鍋盛裝雞蛋時，探究鋼鍋內冷凝水累積特性及對水煮蛋熟度的影響**

(一) 變因操控：

1. 操縱變因：電鍋蒸和燜的總共時間，分成 3、6、9、12、15、18、21 分鐘等 7 組。
2. 控制變因：外鍋水 1 杯(180ml)、14 顆雞蛋分兩層堆疊在鋼鍋內。
3. 應變變因：電鍋內四測溫位置的溫度變化、鋼鍋內的積水量、外鍋底部剩餘水量、上下層水煮蛋熟度。

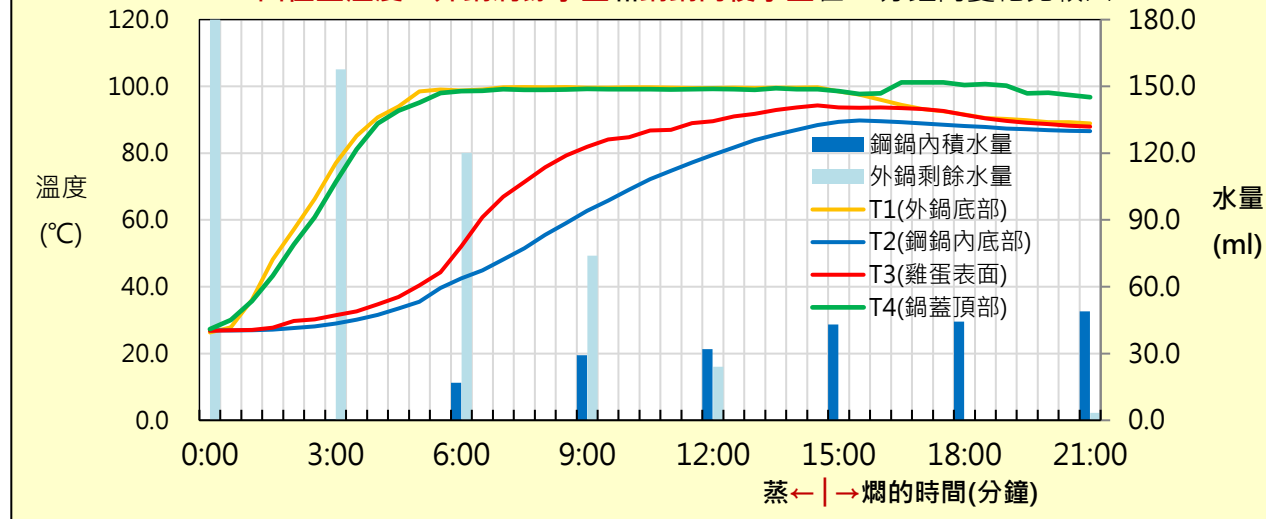
(二) 實驗觀察記錄整理：

表 3-3 不同加熱時間之鋼鍋內積水量、外鍋剩餘水量及水煮蛋熟度比較表

蒸+燜總時間(分)	0	3	6	9	12	15	18	21
開關斷電時間(分:秒)						14:32	14:35	14:42
鋼鍋內積水量(ml)	0.0	0.0	16.9	29.3	31.9	43.0	44.4	49.0
每三分鐘內 鋼鍋內積水增加量		0.0	16.9	12.4	2.6	11.1	1.4	4.6
外鍋剩餘水量	180.0	157.6	120.1	74.0	24.0	0.0	0.0	3.4
每三分鐘內 外鍋水減少量		23.4	37.5	46.1	50.0	24.0	0	-3.4
上層 水煮蛋熟度								
		0	0	1	3	4	5	5
下層 水煮蛋熟度		漏拍		漏拍				
		0	0	0	0	1	3	4
備註	11 人份電鍋、外鍋水 180ml，14 顆雞蛋分兩層堆疊在鋼鍋內							

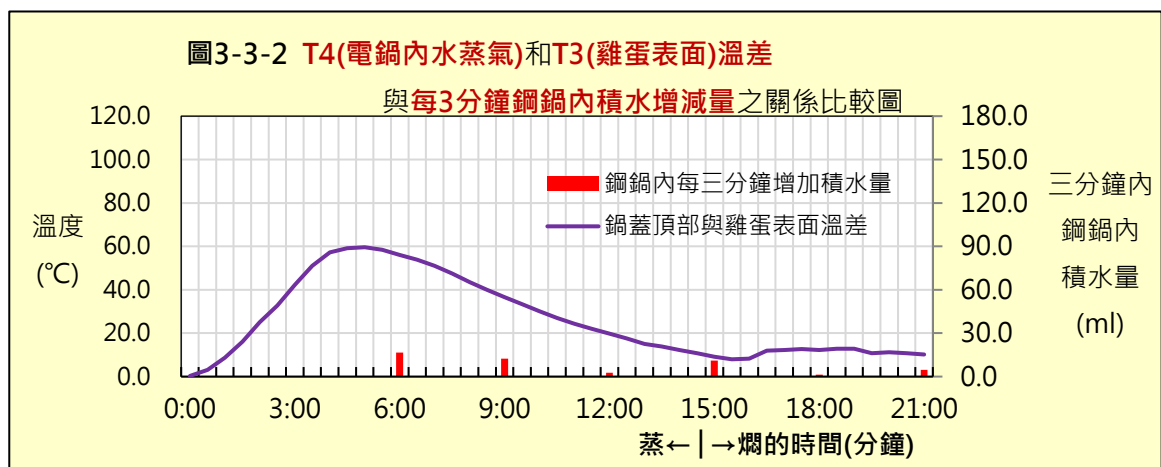
圖3-3-1 外鍋水180ml時，14顆雞蛋堆疊放置在不鏽鋼內鍋中，

四位置溫度、外鍋剩餘水量和鋼鍋內積水量在21分鐘內變化比較圖



### (三) 實驗結果：

1. 根據表 3-3 的第三列和第四列，鋼鍋內積水量在 21 分鐘內逐漸增加，但每三分鐘內的增加量並不相同。
2. 將 T4(鍋蓋頂部水蒸氣的溫度)和 T3(雞蛋表面溫度)相減算出溫差，再和每三分鐘鋼鍋內的積水增加量做對照，繪製出下圖 3-3-2，由圖中可以發現：溫差最大是在 3~9 分鐘之間，而此兩個區段在鋼鍋內累積到的冷凝水也最多，應證我們在實驗三-1 和三-2 對冷凝水會影響電鍋加熱機制的推論。也發現促進水蒸氣冷凝作用的條件和溫差有關係，溫差越大，越有利於水蒸氣冷凝。



3. 但是根據上圖 3-3-2，我們也發現在電鍋自動斷電前，即 12~15 分鐘之間，鋼鍋內又再次出現大量的積水，而此時 T3 和 T4 的溫差並不大。

### (四) 實驗討論：

1. 針對結果 3 的現象，進一步查詢文獻推論得知，在電鍋加熱到最後時，電鍋內整體(水蒸氣和雞蛋)溫度皆高，底部外鍋水因沸騰而大量蒸發，使得電鍋密閉空間中水蒸氣的蒸氣壓已經達到飽和，若是當外鍋底部的水持續沸騰而生成更多額外的水蒸氣，便會造成水蒸氣凝結變回液態水。特別是當水蒸氣凝結成水時會放熱，所以也可以看到 T4(鍋蓋頂部水蒸氣的溫度)會在電鍋斷電後還出現升高的現象。
2. 針對水蒸氣和雞蛋的溫差會造成熱水蒸氣冷凝並影響電鍋加熱的物理機制，我們好奇

#### 冷凝推論 4

若將雞蛋冷藏或冰凍後再進行蒸製，應該會加強冷凝作用並更縮短電鍋加熱時間與降低水煮蛋熟度。

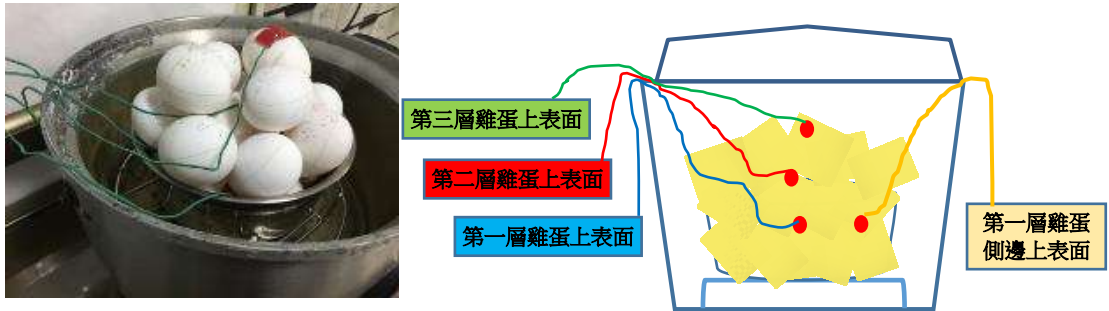
#### 設計：

實驗五 探究雞蛋溫度對不同蒸製方式的加熱時間與水煮蛋熟度影響。

### 實驗四-1 比較鋼鍋內堆疊雞蛋之各位置雞蛋的表面溫度差異

#### (一) 變因操控：

1. 操縱變因：21 顆雞蛋在鋼鍋內堆疊成 3 層，堆疊雞蛋間的位置，如圖示。



2. 控制變因：外鍋水量 360ml、電鍋加熱開關自動斷電後再燜至 40 分鐘。

3. 應變變因：電鍋內四測溫位置的溫度變化、各層水煮蛋熟度、鋼鍋內累積水量。

#### (二) 實驗觀察記錄整理：

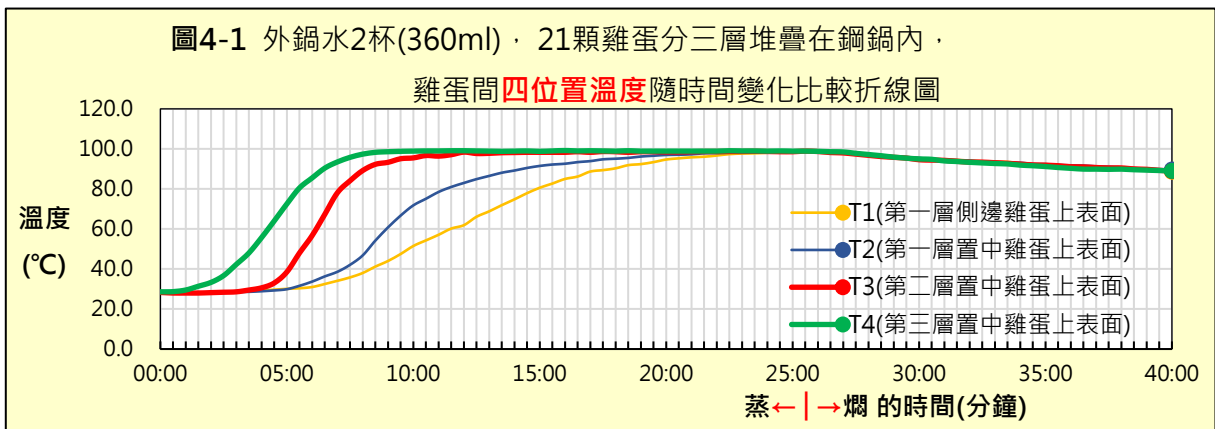


表 4-1 三層堆疊雞蛋在各位置之水煮蛋熟度比較表

雞蛋位置	T1 第一層側邊雞蛋	T2 第一層置中雞蛋	T3 第二層置中雞蛋	T4 第三層置中雞蛋
水煮蛋熟度照片				
水煮蛋熟度	5	5	5	5
電鍋加熱時間	蒸 25.4 分鐘 + 燜 14.6 分鐘 = 40 分鐘			
鋼鍋內積水量	85 ml			

#### (三) 實驗結果：

1. 根據圖 4-1，比較 T2、T3、T4，越上層的雞蛋，雞蛋表面溫度升溫越快。
2. 根據圖 4-1，比較同一層雞蛋 T1、T2，中間位置雞蛋比側邊位置雞蛋表面溫度升溫快。
3. 根據表 4-1，三層雞蛋都全熟，越上層的雞蛋蛋黃外層呈現明顯的灰綠色(賣相不佳)。

## 實驗四-2 將雞蛋堆疊在鋼鍋內，探究一次蒸製出不同熟度水煮蛋的條件

### (一) 變因操控：

1. 操縱變因：燜鍋的時間不同，分別為燜 6 分鐘和燜 3 分鐘。
2. 控制變因：14 顆雞蛋堆疊在直徑 15cm 高 5.5cm 的鋼鍋中，外鍋水 1 杯(180ml)。
3. 應變變因：電鍋內四測溫位置的溫度變化(同實驗三-2)、水煮蛋熟度、鋼鍋內積水量。

### (二) 實驗觀察記錄整理：

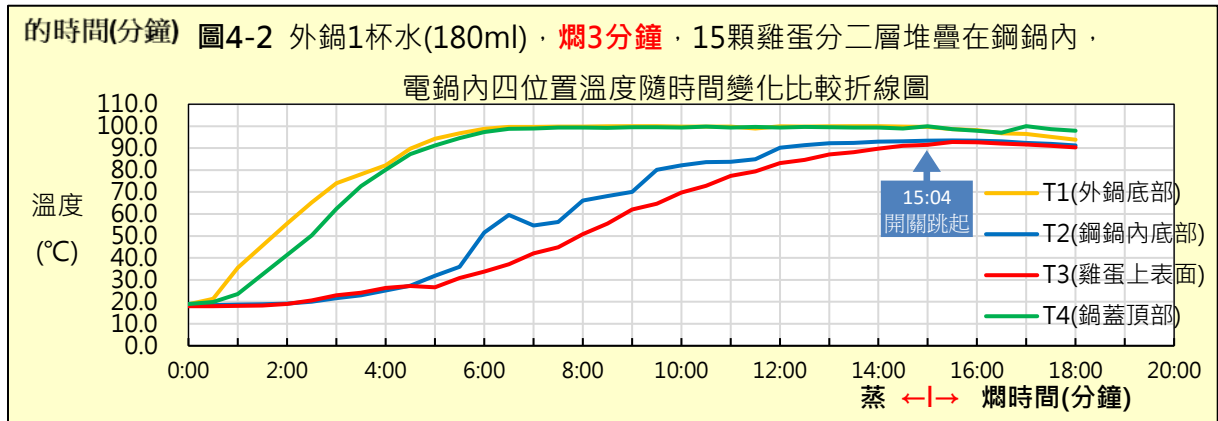




表 4-2 鋼鍋中堆疊之上下層水煮蛋熟度比較表

堆疊位置	上層(7 顆)	下層(7 顆)
水煮蛋熟度		
水煮蛋熟度	4 或 5	2 或 3

### (三) 實驗結果：

1. 根據表 4-2，證明本實驗技術(外鍋水 180ml，燜 3 分鐘)可以同時蒸出至少兩種不同熟度的水煮蛋各 7 顆，耗電量約為 0.2 度。若燜 6 分鐘，水煮蛋熟度更高，耗電量相同。

### (四) 實驗討論：

1. 與實驗一的結果對照，可以發現只要雞蛋附近整體溫度達 80~90°C 以後，約持續維持高溫在 3 分鐘以上，就可以製作出熟度為 1 的水煮蛋，維持高溫越久，就熟越。故後續可以嘗試只燜 1~2 分鐘，應該可以做出下層為熟度 1 的溏心蛋。

**實驗五-1 以蒸架蒸製水煮蛋時，探究雞蛋溫度對加熱耗電量及水煮蛋熟度的影響**

(一) 變因操控：

1. 操縱變因：雞蛋的溫度，分為常溫、冷藏、冰凍 三種溫度。
2. 控制變因：外鍋水 1 杯(180ml)、5 顆雞蛋分散平放在蒸架上。
3. 應變變因：電鍋內三測溫位置的溫度變化、電鍋加熱時間、水煮蛋熟度。

(二) 實驗觀察記錄彙整摘錄：

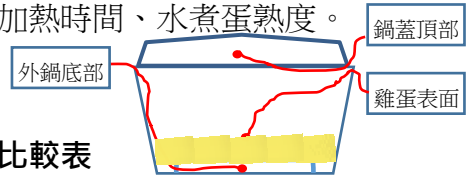


表 5-1 蒸架上不同溫度雞蛋對加熱耗電量和熟度影響比較表

雞蛋溫度	空蒸架	5 顆常溫雞蛋	5 顆冷藏雞蛋	5 顆冰凍雞蛋
加熱時間(分)	13.4	15.2	15.8	15.7
水煮蛋熟度照片				
熟度等級		5	4	3
耗電量(度)	0.18	0.20	0.21	0.21

圖5-1-1 外鍋水180ml，不同溫度雞蛋分散平放在蒸架上，

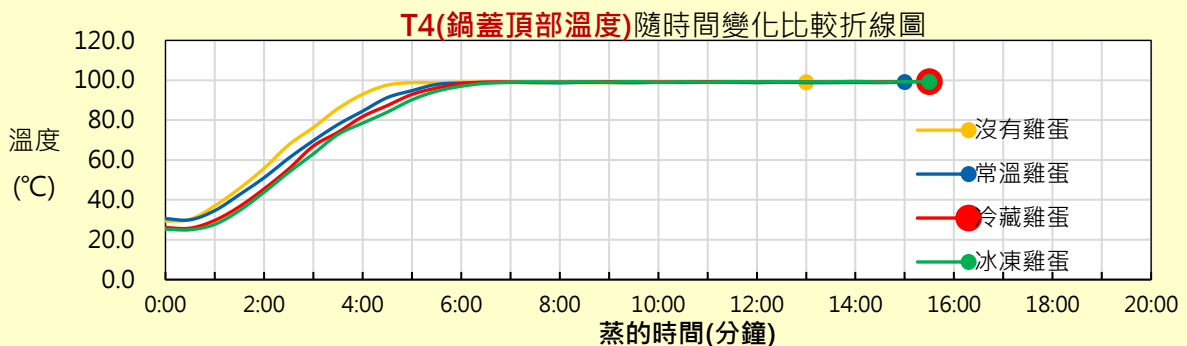
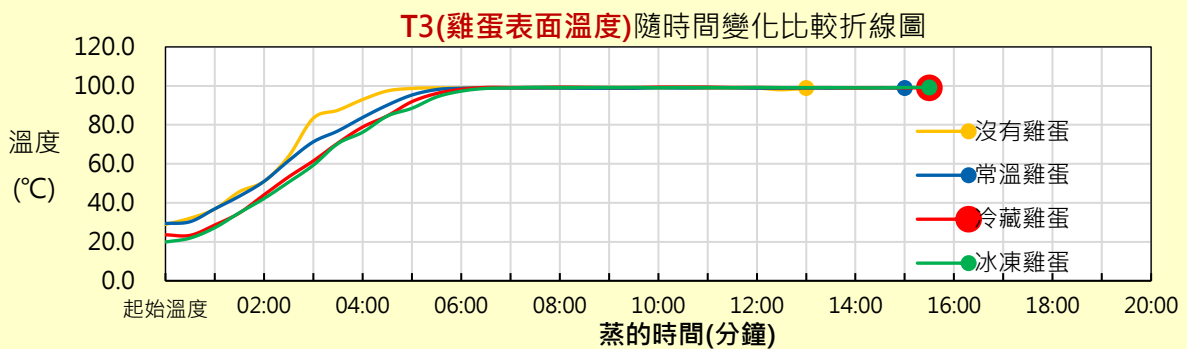


圖5-1-2 外鍋水180ml，不同溫度雞蛋分散平放在蒸架上，



(三) 實驗結果發現：

1. 根據表 5-1，雞蛋溫度低時，加熱時間稍長，耗電量較多，但是水煮蛋熟度卻較低。
2. 根據圖 5-1-1，雞蛋越低溫，各點升溫速率也較慢，達到最高溫的時間約差 30~60 秒。
3. 雞蛋冰凍時，可能因體積膨脹而將蛋殼撐破，故經過測試，冰凍時間不要超過兩小時。







**實驗五-2 以容器盛裝雞蛋時，探究雞蛋溫度對水蒸氣冷凝特性及對水煮蛋熟度的影響**

(一) 變因操控：







1. 操縱變因：雞蛋的溫度，分為常溫、冷藏、冰凍 三種溫度。
2. 控制變因：外鍋水 1 杯(180ml)、雞蛋數量和盛裝容器分成兩種情況，各自做比較：
  - (1)5 顆雞蛋放在小鋼碗內，下層 4 顆雞蛋、上層 1 顆雞蛋。
  - (2)14 顆雞蛋放在鋼鍋內，下層 7 顆雞蛋、上層 7 顆雞蛋。
3. 應變變因：電鍋內四測溫位置的溫度變化、加熱時間、容器內積水量、水煮蛋熟度。

(二) 實驗觀察記錄整理：

**表 5-2-1 鋼碗內不同溫度雞蛋對加熱耗電量、冷凝水累積量和水煮蛋熟度影響比較表**

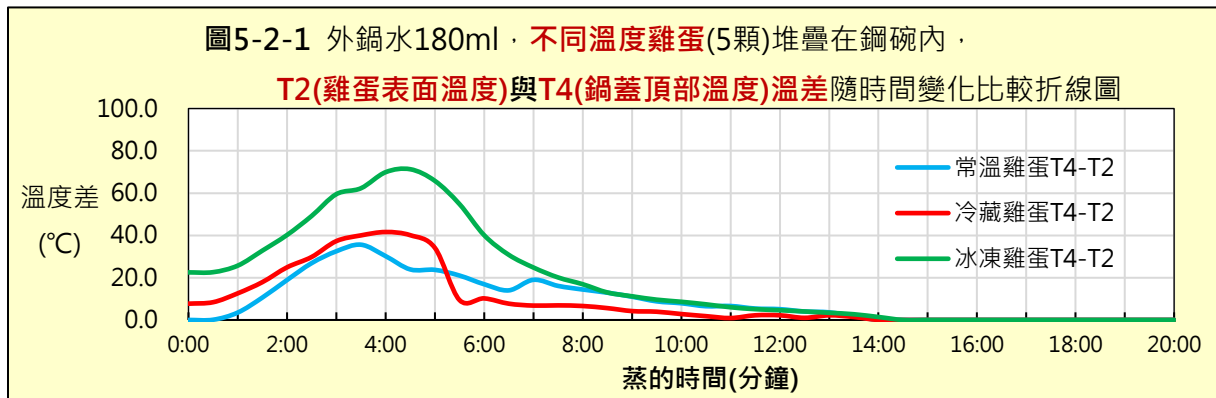
雞蛋溫度	常溫雞蛋	冷藏雞蛋	冰凍雞蛋
加熱時間(分)	13.9	13.8	14.1
上層熟度			
	3	3	3(中心看不出層次)
下層熟度			
	2	1	0
加熱耗電量(度)	0.18	0.18	0.19
鋼碗內冷凝水量(ml)	16.9	24.9	26.1
備註	電功率 800W 的 11 人份電鍋、外鍋水 180ml、5 顆雞蛋放在小鋼碗內。		

**表 5-2-2 鋼鍋內不同溫度雞蛋對加熱耗電量、冷凝水累積量和水煮蛋熟度影響比較表**

雞蛋溫度	常溫雞蛋	冷藏雞蛋	冰凍雞蛋
加熱時間(分)	13.6	15.0	15.5
上層熟度			
	4	3	3(中心看不出層次)
下層熟度			
	1	1	0
加熱耗電量(度)	0.18	0.20	0.21
鋼碗內冷凝水量(ml)	43.0	48.5	53.5
備註	電功率 800W 的 11 人份電鍋、外鍋水 180ml、14 顆雞蛋放在鋼鍋內。		

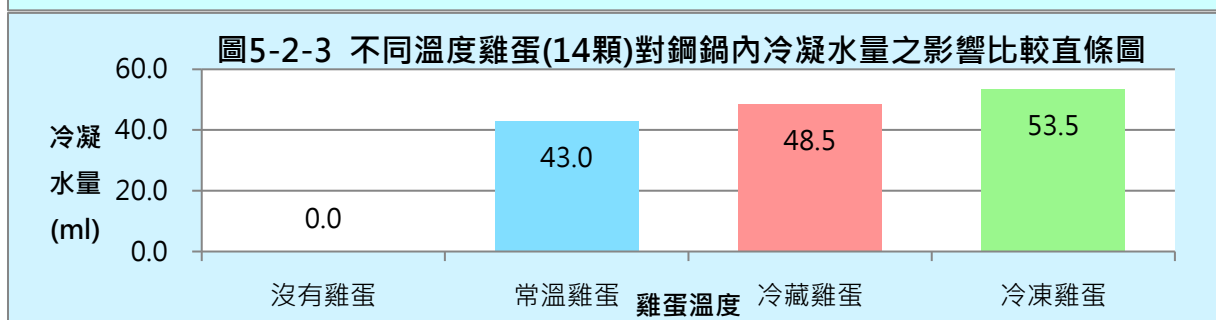
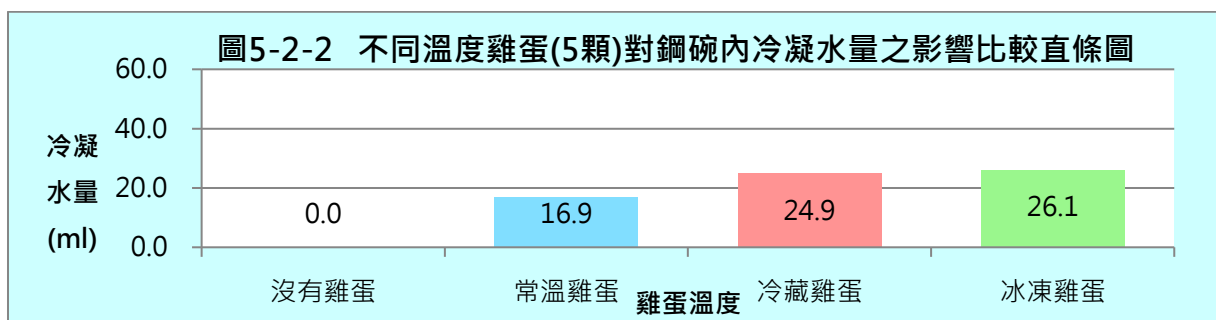
### (三) 實驗結果：

1. 根據表 5-2-1 和表 5-2-2，容器內的雞蛋溫度越低，電鍋加熱開關自動斷電時間越晚，且雞蛋數越多，加熱時間差距越大，耗電量就越大。
2. 容器內放入雞蛋，才容易收集到冷凝水，綜合圖 5-2-1、圖 5-2-2 和圖 5-2-3，容器內的雞蛋溫度越低，加熱初期的水蒸氣溫度和雞蛋溫度差距也越大，冷凝效果較明顯，積水量越多；因此雞蛋數量和雞蛋與水蒸氣的溫差對水蒸氣冷凝現象皆具影響力。



### (四) 實驗討論：

1. 鋼碗的口徑為 12.5cm，與口徑 15cm 的鋼鍋比較，面積約為鋼鍋的 70%，但是鋼碗內積水量，卻只有不鏽鋼鍋的 40~50%，我們推測是因為鋼鍋堆疊了 15 顆雞蛋，雞蛋表面增加了和水蒸氣接觸並使水蒸氣遇冷凝結的機會，因此鋼鍋內的積水多出許多。也從這個比較中讓我們注意到，容器的口徑大小和容器內堆放的雞蛋數量都會影響電鍋內水蒸氣的循環再利用，間接影響電鍋加熱的時間長短和耗電量。



## 實驗六 探究運用包覆鋁箔的技術來達到同時蒸製不同熟度水煮蛋的技術

(一) 實驗設計：基於實驗四運用在鋼鍋內堆疊雞蛋可以同時蒸製出不同熟度水煮蛋的發現，我們構思是否還有別種方法也可以達到相同的效果。因此想到運用鋁箔來包覆雞蛋，以阻礙熱水蒸氣對流傳熱給雞蛋，降低水煮蛋的熟度。

(二) 變因操控：

1. 操縱變因：用四種同方式將雞蛋包覆鋁箔。
2. 控制變因：分散平鋪在蒸架上，測溫點位於蛋和鋁箔中間接觸位置。



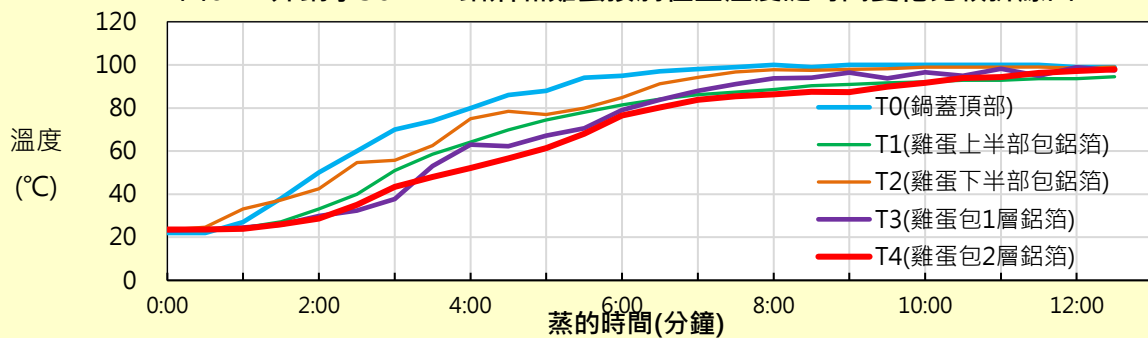
(注意：熱耦感測點要包一層膠帶或保鮮膜，以免和鋁箔起反應而燒壞)

(三) 實驗觀察記錄彙整摘錄：

表 6-1 雞蛋包覆鋁箔對水煮蛋熟度影響比較表

鋁箔包覆方式	不包鋁箔	上半部包鋁箔	下半部包鋁箔	全包1層鋁箔	全包2層鋁箔
外鍋水 180ml 水煮蛋熟度	5	3	5	4	3
外鍋水 90ml 水煮蛋熟度	3	2	2	1~2	1

圖6-1 外鍋水90ml，鋁箔和雞蛋接觸位置溫度隨時間變化比較折線圖



(四) 實驗結果：

1. 包鋁箔能有效降低水煮蛋的熟度，包越多層越明顯。因此可以做為同時蒸製不同熟水煮蛋的技術參考。
2. 同一顆蛋，有包鋁箔的半側比沒有包鋁箔的半側，蛋白較軟，蛋黃較濕潤、顏色較深。
3. 包越多層鋁箔，雞蛋表面溫度上升速率越慢，甚至無法達到 100°C。



## (五) 實驗討論：

1. 只有一半包鋁箔的雞蛋，比較上包和下包的溫度變化，有時是上包得較快升溫，有時是下包得較快升溫，好像沒有絕對。針對這個現象，我們推測是和鋁箔包覆的緊密度有關，也和雞蛋放在電鍋中的位置有關。例如，根據右圖空氣對流情形的推測，中心熱空氣會往上跑，若是雞蛋放在中心位置，熱蒸氣很容易衝進上半鋁箔與蛋之間的縫隙，使溫度較快上升。而下半鋁箔則反而阻擋熱蒸氣立即接觸雞蛋，必須多了經由鋁箔傳導的過程，若是在鋁箔和雞蛋之間出現實驗三的冷凝積水現象，升溫情況就更不理想。相反的，若是雞蛋擺在較外側，遇到的是下降的蒸氣，上面覆蓋鋁箔的雞蛋，蒸氣便不易進入，溫度上升就會較慢，而下面包覆鋁箔雞蛋，就較容易讓熱蒸氣進入。
2. 運用鋁箔控制水煮蛋的熟度，我們認為**外鍋 1 杯水的設計較 0.5 杯水更有增加變化的發展性**，因為 0.5 杯的加熱時間較短，就算不包鋁箔，也不易讓水煮蛋更熟。但是加 1 杯水再搭配包更多鋁箔，一鍋蛋便可以同時有熟度 1~5 的可能，但是會較耗電。
3. 雖然包鋁箔可以讓熱不易傳到蛋中，但是如果繼續爛的話，不知道是否包鋁箔的會較不易散熱，比電鍋內蒸氣溫度下降慢，讓蛋在爛的時候可以有較長時間維持高溫，就可以縮短爛所需的時間，這是後續可以再做實驗的地方。
4. 這個實驗也可以和實驗四將雞蛋堆疊在鋼鍋中不同層，再加上爛的技術，同樣可以挑戰一次蒸出多種熟度的水煮蛋。

## 實驗七 比較不同容量電鍋之蒸製水煮蛋效能差異

### (一) 變因操控：

1. 操縱變因：電鍋的容量規格。分別選用 6 人份、11 人份、15 人份三種容量的電鍋。
2. 控制變因：電鍋品牌、外鍋水量 180ml、7 顆雞蛋放置方式相同。

實驗分成兩種情況做討論：(1)平鋪放在蒸架上固定位置。

(2)平鋪放在不鏽鋼內鍋中。

3. 應變變因：電鍋內三測溫位置的溫度變化、加熱時間(並根據電鍋電功率換算耗電量)、水煮蛋熟度、鋼鍋內累積冷凝水量。

### (二) 實驗觀察記錄彙整摘錄：

表 7-1：三種容量電鍋以雞蛋放置在蒸架上蒸製水煮蛋之效能比較表







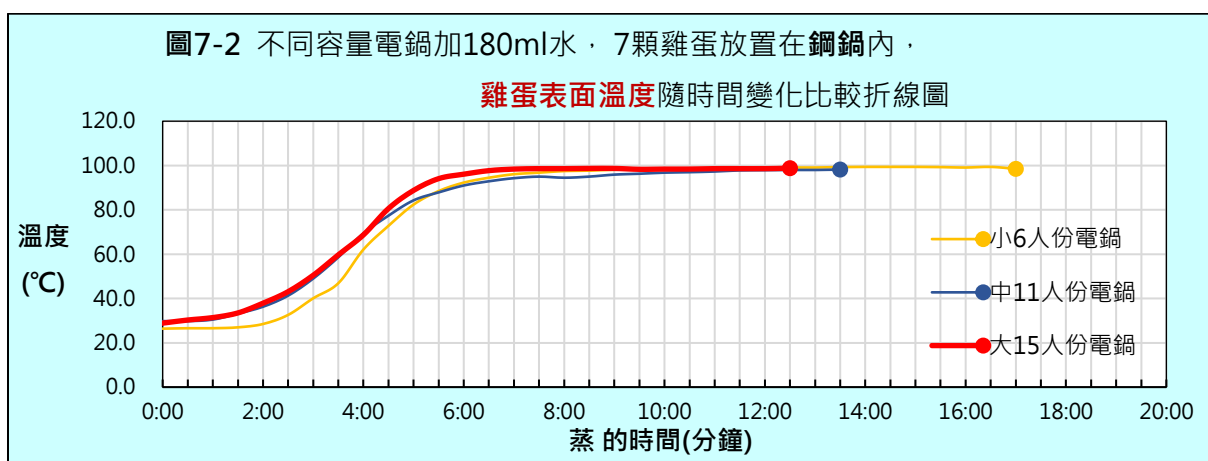
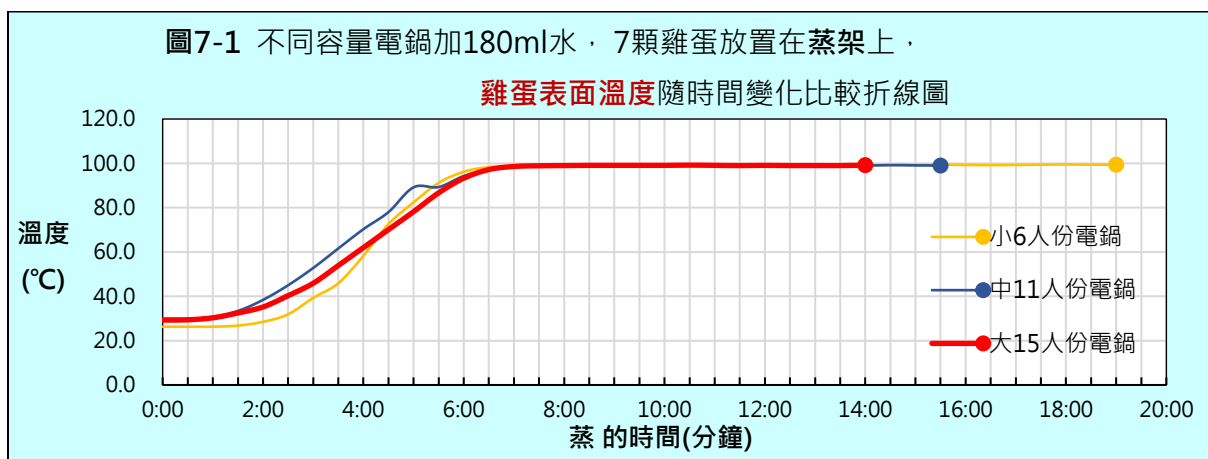
電鍋容量規格	6 人份	11 人份	15 人份
加熱電功率	600W	800W	1000W
空蒸架加熱時間(分)	16.1	13.3	12.7
7 顆蛋加熱時間(分)	19.0	15.6	14.3
水煮蛋熟度照片			
7 顆水煮蛋平均熟度	5	5	4.3
空蒸架加熱耗電量(度)	0.16	0.18	0.21
7 顆蛋加熱耗電量(度)	0.19	0.21	0.24
耗電量增加比例%	以耗電量最少的為基準	11%	26%

表 7-2：三種容量電鍋以雞蛋放置在鋼鍋內蒸製水煮蛋之效能比較表

電鍋容量規格	6 人份	11 人份	15 人份
加熱電功率	600W	800W	1000W
空鋼鍋加熱時間(分)	15.7	13.3	12.4
7 顆蛋加熱時間(分)	17.0	13.7	12.7
水煮蛋熟度照片			
7 顆水煮蛋平均熟度	3.3	2.3	0.0
空鋼鍋加熱耗電量(度)	0.16	0.18	0.21
7 顆蛋加熱耗電量(度)	0.17	0.18	0.21
耗電量增加比例%	以耗電量最少的為基準	6%	24%
鋼鍋內積水量(ml)	25.1	24.0	16.6

### (三) 實驗結果：

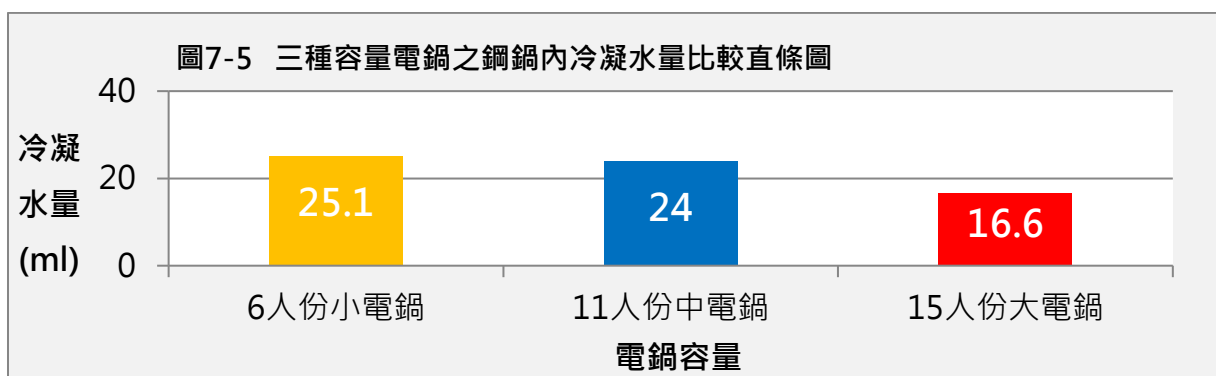
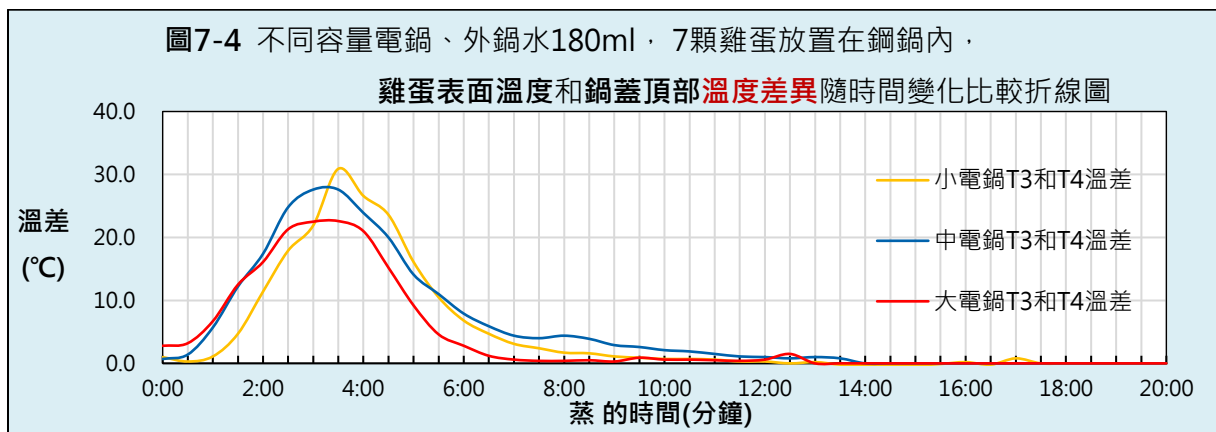
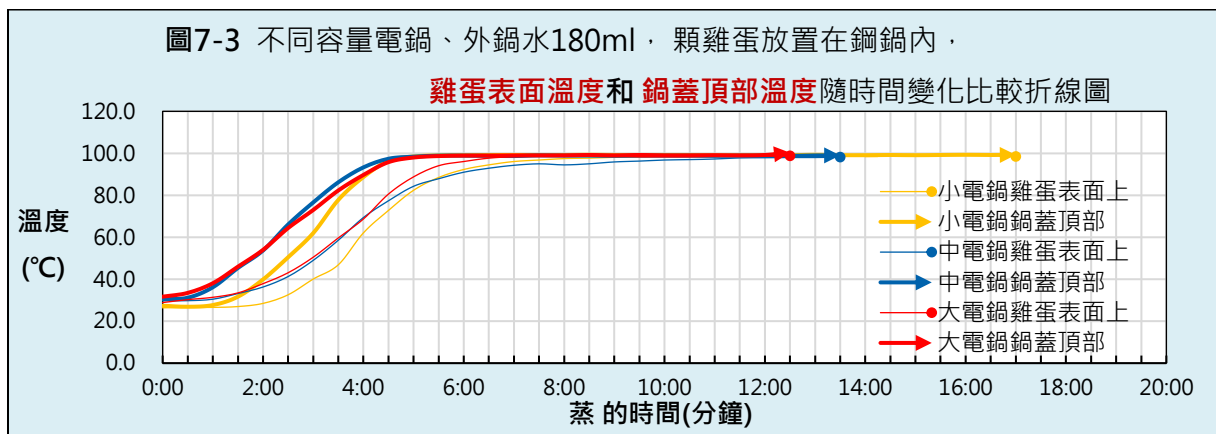
1. 根據表 7-1 和表 7-2，外鍋 1 杯水(180ml)時，7 顆雞蛋放置方式相同(都平放在蒸架上或是都平放在鋼鍋內)，電鍋容量越大，耗電量會越多，但水煮蛋的熟度卻比較低，11 人份和 15 人份大電鍋比 6 人份小電鍋多耗電約 6%~26%。
2. 根據下方圖 7-1 和圖 7-2，三種容量電鍋中，雞蛋表面升溫速率和達到 100°C 恆溫期的時間差不多，大約都在 6~7 分鐘左右。
3. 根據下方圖 7-1 和圖 7-2，雖然三種容量電鍋都在 6 分鐘左右達到近 100°C，且之後就一直保持在 100°C，但電鍋容量越大，電鍋加熱時間會越短，亦即雞蛋能處於 100°C 的時間就越短，最多可差到 5 分鐘，這是造成水煮蛋熟度有差異的原因。



### (四) 實驗討論：

1. 針對結果 2 和結果 3 的加熱時間差異，推測是因為鍋內整體溫度達到 100°C 恆溫期後，底部的沸騰外鍋水會開始快速蒸發，而電鍋容量越大，底面積就越大，單位時間的水蒸發量就越多，因此會較快蒸發完並觸動斷電機制。

- 此一實驗結果亦可再次印證實驗三的雞蛋放置方式比較結果。當電鍋內只有蒸架時，熱水蒸氣可能因碰到較低溫雞蛋而冷凝，導致冷凝水落回外鍋底部，等於增加需加熱的外鍋水量。但是雞蛋放在鋼鍋內時，冷凝水被保留在鋼鍋內，因而不會額外增加外鍋水量，此一差異便會造成兩種加熱方式的加熱時間有差異。
- 蛋放在鋼鍋內蒸製時，測量三種容量電鍋內的雞蛋表面溫度與鍋蓋頂部水蒸氣溫度，(如下圖 7-3)，並計算兩測溫點的溫差，繪製成圖 7-4 三種電鍋之溫差隨時間變化趨勢，可以看出容量越小的電鍋，較大溫差維持的時間較長，亦即比較曲線下方的面積大小，小電鍋面積>中電鍋面積>大電鍋面積，這可以用來解釋圖 7-5 鋼鍋內累積水量較多的現象。



## 伍、研究結論

經過這段時間的研究，深刻體會到，看似簡單的操作步驟，但想要蒸製出一顆令人滿意的水煮蛋也不是真的那麼簡單，必須掌控許多變因和考慮過程中的其他干擾因素，所以用電鍋蒸製水煮蛋可是真的大有學問啊！

以下，便將十一個實驗的發現做歸納整理，並回應我們的研究目的做說明：

### 回應研究目的 一 探究電鍋的加熱物理機制與加熱期間的鍋內溫度演進特性

- 一、外鍋水量是影響電鍋加熱升溫速率和加熱時間的主要因素，但是電鍋內的雞蛋數量、雞蛋盛裝方式會促發水蒸氣的冷凝現象，進而改變外鍋水的循環再利用機制，導致電鍋內各位置的升溫速率出現顯著差異、加熱時間改變、最終影響雞蛋熟度。
- 二、電鍋加熱過程可分為升溫期，從室溫升至 100°C 大約歷時 6 分鐘；恆溫期，維持 100°C 高溫直到外鍋水蒸發完畢，若是外鍋水量多，在電鍋加熱斷電前，或是斷電後若繼續燜鍋，則會出現再升溫期，為過飽和蒸汽凝結並放熱造成，依據鍋內物品數量和特性不同，溫度可能增加數度至數十度；最後則是降溫期，以蒸製水煮蛋之需求而言，十分鐘內大約下降 10°C，對水煮蛋仍具加熱作用。

### 回應研究目的 二 探究影響電鍋內水煮蛋升溫速率與電鍋加熱時間之因素

- 三、雞蛋在電鍋內的放置方式與位置是影響水煮蛋升溫的重要因素，透過水蒸氣冷凝作用，若 14 顆雞蛋放置在蒸架，冷凝水會回流到外鍋底部，約比空蒸架延長 6% 的加熱時間；若以容器盛裝 14 顆雞蛋，部分冷凝水會落入容器內，反而比空蒸架和空鋼鍋都縮短 40% 加熱時間；甚至因雞蛋浸泡在冷凝水中，使容器底部雞蛋升溫速率更慢，降低雞蛋熟度。

### 回應研究目的 三 探究以電鍋蒸製水煮蛋之節能技術

- 四、由於燜鍋期間的溫度可以維持至少 10 分鐘的高溫，若能掌握電鍋升溫至讓雞蛋熟度達到自訂標準為 1 時所需的最少水量，並將蒸至熟度高所需的較多水量與蒸至熟度低的較少水量之加熱時間差，換成以燜鍋時間替代，則可以用既節能又不增加加熱時間的方式蒸製水煮蛋。

#### 回應研究目的四 探究以電鍋蒸製不同熟度水煮蛋之技術

五、影響電鍋蒸製水煮蛋熟度的因素多元且會互相影響，因此必須根據電鍋容量、加熱雞蛋數量、再搭配外鍋水量調控、雞蛋放置方式、節能需求、加熱時間等因素進行組合。

六、下表列舉運用 11 人份電鍋蒸製三種熟度水煮蛋的製作建議，使用者可根據家庭食用人數、各自喜好熟度、或是希望節能並同時蒸製不同熟度水煮蛋等需求喜好做選擇。

熟度	蛋數量	外鍋水量(杯)	燜鍋時間(分)	放置方式	堆疊位置	包鋁箔層數
5	5	0.5	6	平鋪在蒸架		
	15	1		平鋪在蒸架		
	15	1	3~6	堆疊在鋼鍋中	上層	
	15	1		平鋪在蒸架		1
3	1	1		平鋪在蒸架		
	5	0.5	3	平鋪在蒸架		
	5	0.25	6~9	平鋪在蒸架		
	15	1		平鋪在蒸架		2
	15	1	3~6	堆疊在鋼鍋中	下層	
	15	0.5		平鋪在蒸架		1
1	3	0.5	3	放在鋼碗中		
	5	0.5		平鋪在蒸架		
	5	0.25	3	平鋪在蒸架		
	15	0.5		平鋪在蒸架		2

#### 回應研究目的五 探究以電鍋一次蒸製多種熟度水煮蛋之技術

七、選擇讓水煮蛋可達熟度 5 的外鍋水量，再運用將雞蛋堆疊多層在內鍋、將雞蛋包覆不同層數鋁箔以及同時放入不同溫度的雞蛋等方法，都可以一次同時蒸製出至少 3 種以上的不同熟度水煮蛋。其中，包覆越多層鋁箔、堆疊在鍋內越下層、冷藏或冷凍在冰箱的雞蛋都會蒸製出熟度較低的水煮蛋。

#### 回應研究目的六 比較不同容量電鍋對蒸製水煮蛋之效能

八、以製作相近熟度水煮蛋為條件(熟度 3~4)，容量小的 6 人份電鍋，雖然加熱時間會比 15 人份電鍋多 3 分鐘，但因加熱電功率較低，經換算後的耗電量仍然低了 40%，若再結合適當燜鍋時間，則可以更節能。

### 陸、參考資料

- 一、黃子嘉、王滋頌、朱慧瑜(2013)。『蒸』的不用多。中華民國第 53 屆科展國中組生活應用科學科作品。國立台灣科學教育館—科展群傑廳。(未深入探討冷凝水對加熱時間的多元影響機制)
- 二、黃國倫、簡翊琳、王星文、邱怡瑄(2010)。『蒸』的不簡單。中華民國第 50 屆科展國中組生活應用科學科作品。國立台灣科學教育館—科展群傑廳。(未探討食材放入蒸籠後的干擾機制)
- 三、陳光彥、陳藹然(2009)。蒸發與沸騰。高瞻自然科學教學資源平台。

## 【評語】 080107

本研究主題生活化，研究團隊運用電鍋加熱過程中之冷凝物理機制來操控水煮蛋熟度，探討既節能又可同時蒸製多種熟度水煮蛋的方式。研究分析電鍋內溫度變化、斷電時間、盛裝容器內之冷凝水量、水煮蛋熟度等資訊。作品具日常生活應用性。

# 摘要

本研究運用電鍋加熱過程中之冷凝物理機制來操控水煮蛋熟度，既節能又可同時蒸製多種熟度水煮蛋。研究分析電鍋內溫度變化、斷電時間、盛裝容器內之冷凝水量、水煮蛋熟度等資訊發現：電鍋容量和外鍋水量會決定鍋內升溫速率和加熱時間，進而影響水煮蛋熟度。此外，雞蛋數量會影響水蒸氣之冷凝循環利用，因而延長加熱時間和提高熟度；若將雞蛋以容器盛裝，則會因容器大小和雞蛋堆疊方式阻礙部分冷凝水之循環利用，縮短加熱時間和降低熟度。若要節省電能和時間來蒸製同熟度水煮蛋，可選用小型電鍋、減少外鍋水量、以燜鍋替代。最後，以不同方式堆疊雞蛋、包覆鋁箔，再搭配適當外鍋水量和燜鍋時間，可以同時蒸製出多種熟度水煮蛋，進而達到智慧化之效果。



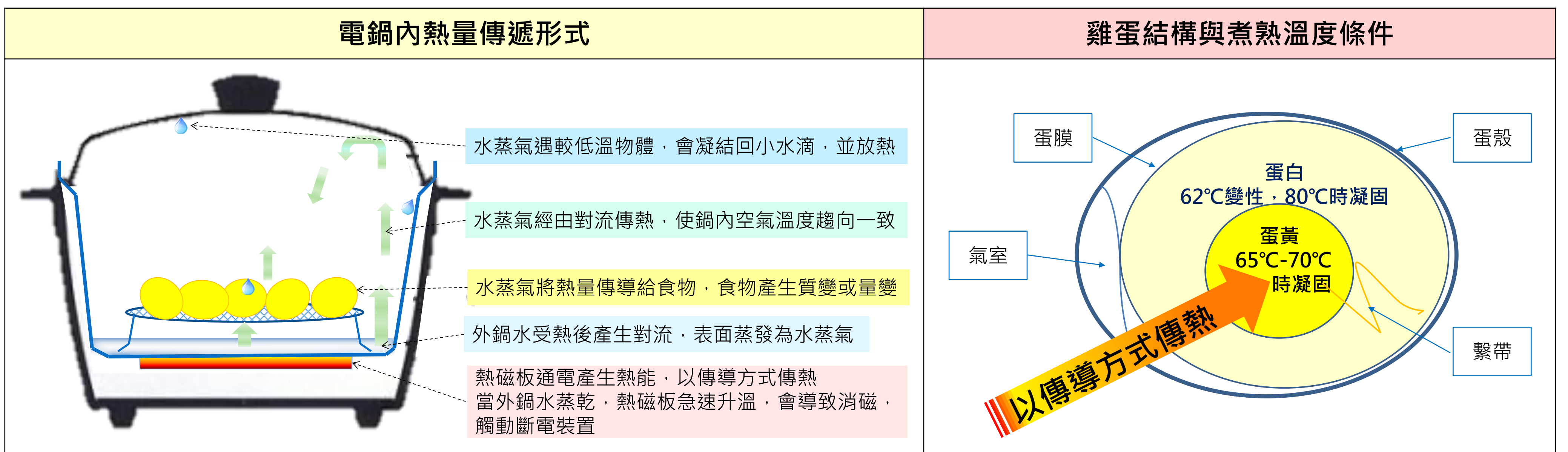
## 壹、研究動機

雞蛋具有豐富的蛋白質，也有很多烹調方式，其中最簡單、而且不會增加身體額外負擔的烹調方法就是水煮蛋了。參考相關研究文獻，發現沸水煮蛋會容易導致雞蛋碰撞破裂且較危險，又相關以蒸籠或電鍋蒸製食物之研究，經常未將食材特性或電鍋容量和食材分量納入變因操控，因此在考量安全與在學校進行實驗操控之方便性，我們決定用電鍋蒸的方法替代水煮來進行深入研究。經過試蒸，確認可以用電鍋蒸出水煮蛋，並且發現許多值得進一步探討的調控技術。此外，我們也希望根據精確的科學探究資料，除了提供一些具體操作技術，也能根據科學原理做微調，特別是在考量現今社會多元的居住生活型態，因此希望能透過科學研究來同時照顧不同家庭人數組合、不同熟度口感喜好，且能符合節能目標的智慧化技術來一次蒸出多種熟度的水煮蛋，以滿足大家各式各樣的需求。

## 貳、研究目的

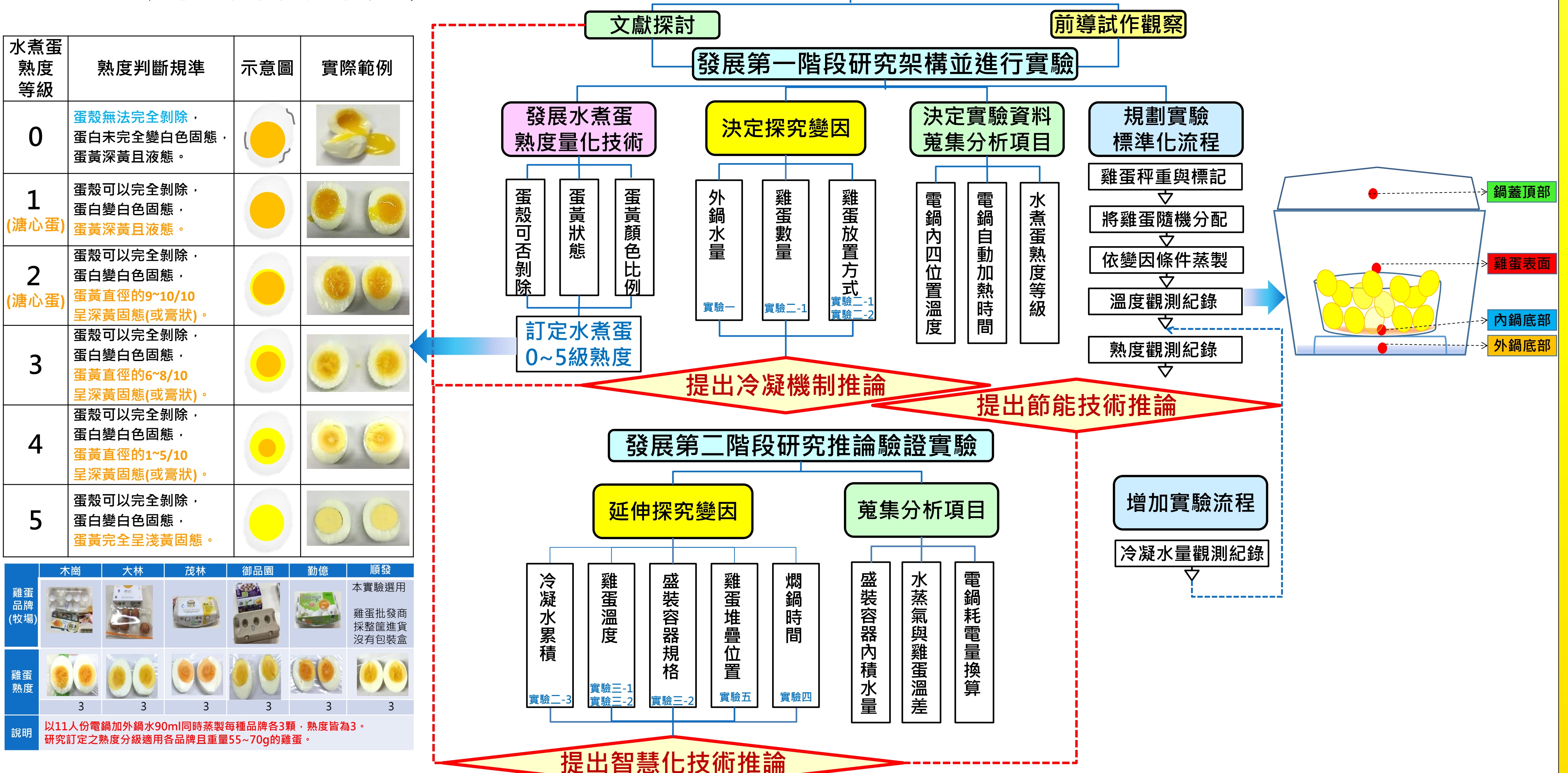
- 一. 探究電鍋加熱物理機制與影響鍋內溫度演進特性之因素
- 二. 探究以電鍋蒸製水煮蛋之節能技術
- 三. 探究以電鍋一次蒸製多種熟度水煮蛋之智慧化技術

## 參、研究理論



## 肆、研究方法與研究設備

### 一、研究過程與探究架構



### 二、研究器材設備

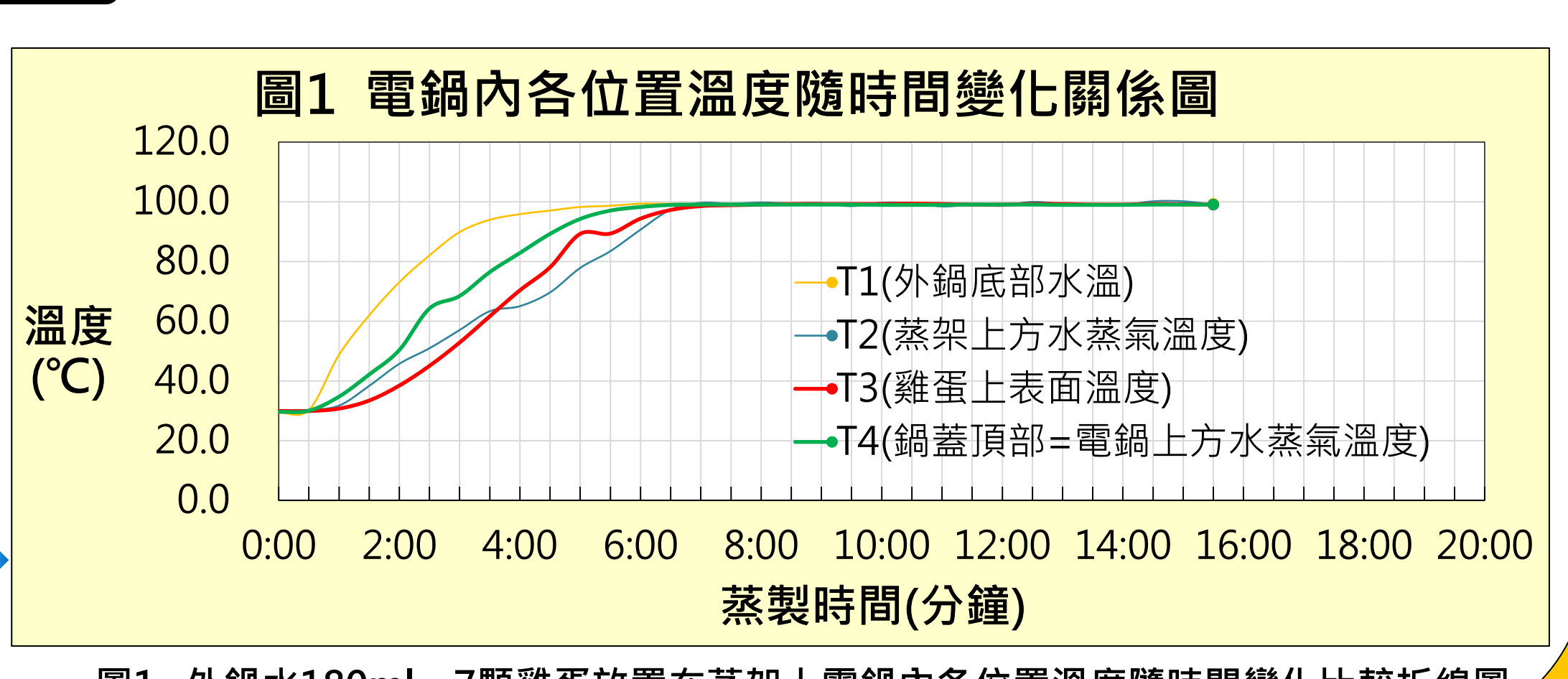
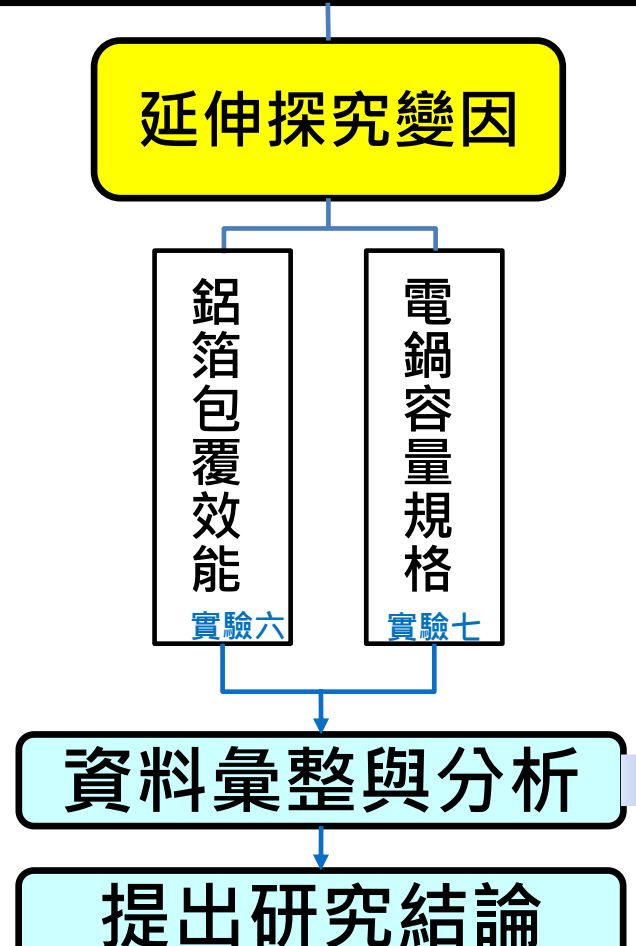
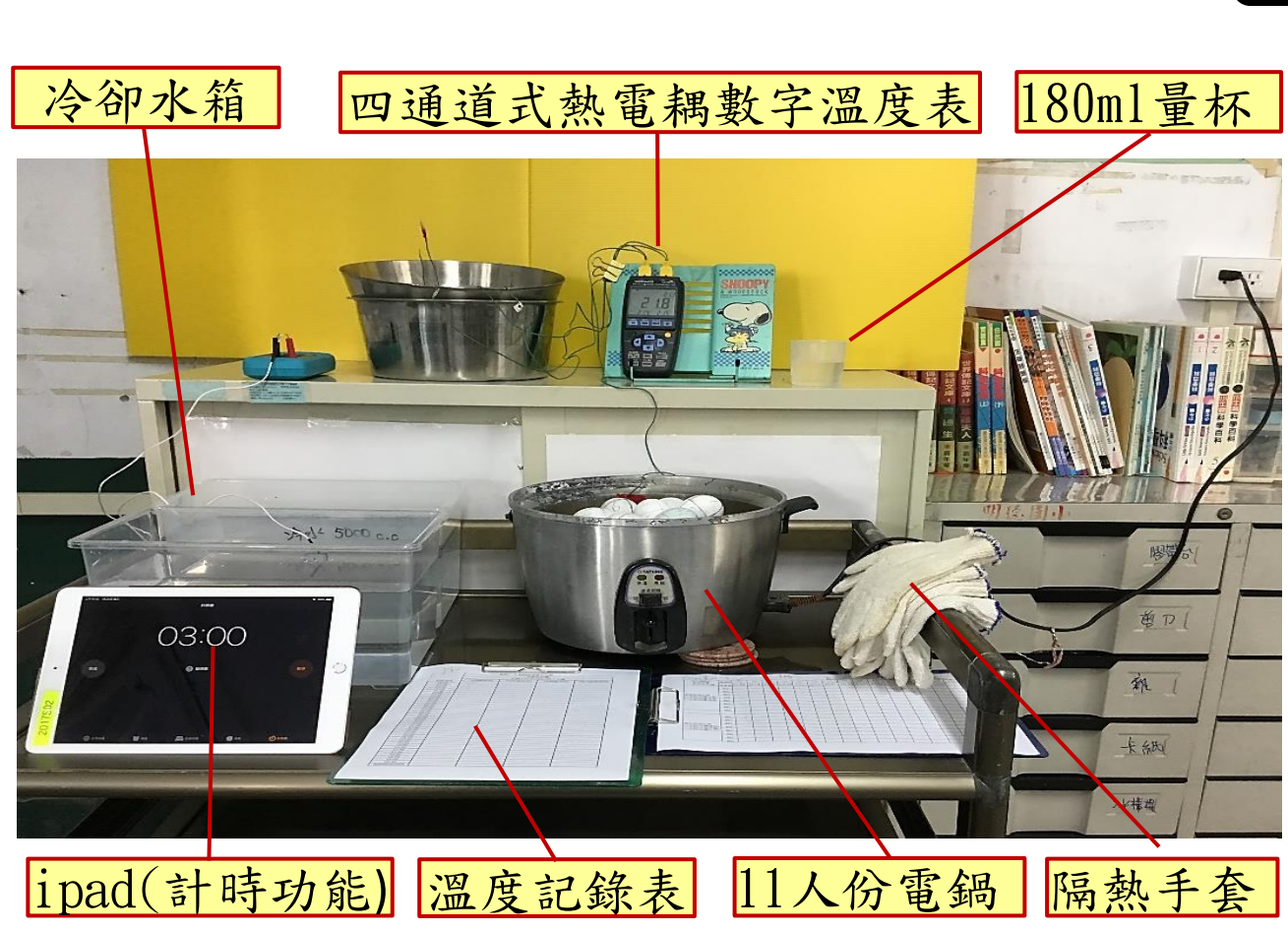


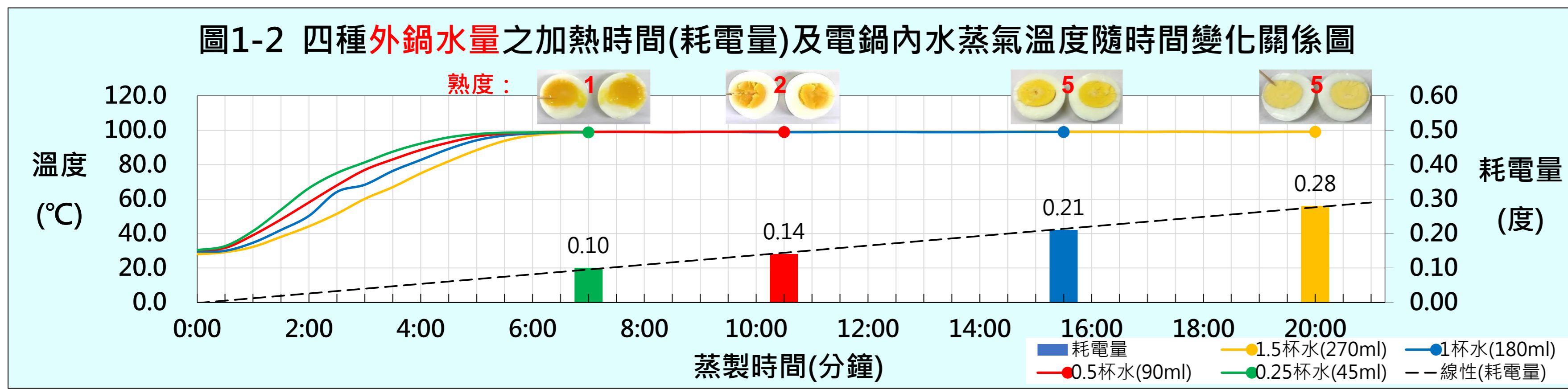
圖1 外鍋水180ml·7顆雞蛋放置在蒸架上電鍋內各位置溫度隨時間變化比較折線圖



# 伍、研究結果

## 電鍋蒸製水煮蛋期間之鍋內溫度演進特性

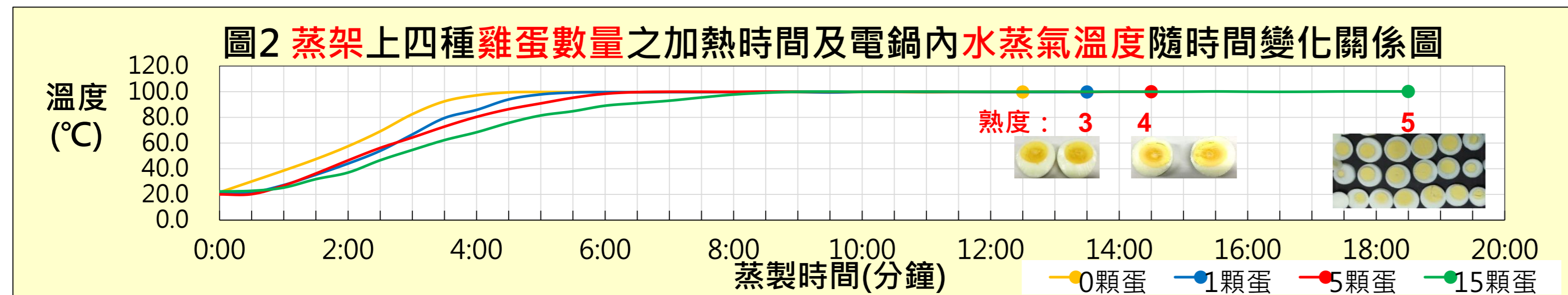
### 實驗一 探究外鍋水量對電鍋升溫特性與蒸製水煮蛋之熟度影響



- 1.根據圖1，四種外鍋水量都在加熱6~7分鐘時達到100°C，然後維持近100°C的高溫至開關自動斷電。
- 2.外鍋水量越多，總加熱時間越長，耗電量越大。  
(水量少時，冷凝機制影響較顯著)
- 3.外鍋水量越多，水煮蛋熟度越高。

圖1-2 7顆雞蛋放置在蒸架上，四種外鍋水量之加熱時間及電鍋內水蒸氣溫度隨時間變化關係圖

### 實驗二-1 探究蒸架上雞蛋數量對電鍋升溫特性與蒸製水煮蛋之熟度影響



- 1.根據圖2，外鍋水量180ml，蒸架上雞蛋數量越多，電鍋內水蒸氣溫度上升到100°C的速率越慢，而且電鍋加熱時間越長。
- 2.蒸架上雞蛋數量越多，水煮蛋熟度竟然越高。

圖2 外鍋水180ml，蒸架上四種雞蛋數量之加熱時間及電鍋內水蒸氣溫度隨時間變化關係圖

## 電鍋加熱會受冷凝物理機制影響

### 實驗二-2 探究鋼鍋內雞蛋數量對電鍋升溫特性與蒸製水煮蛋之熟度影響

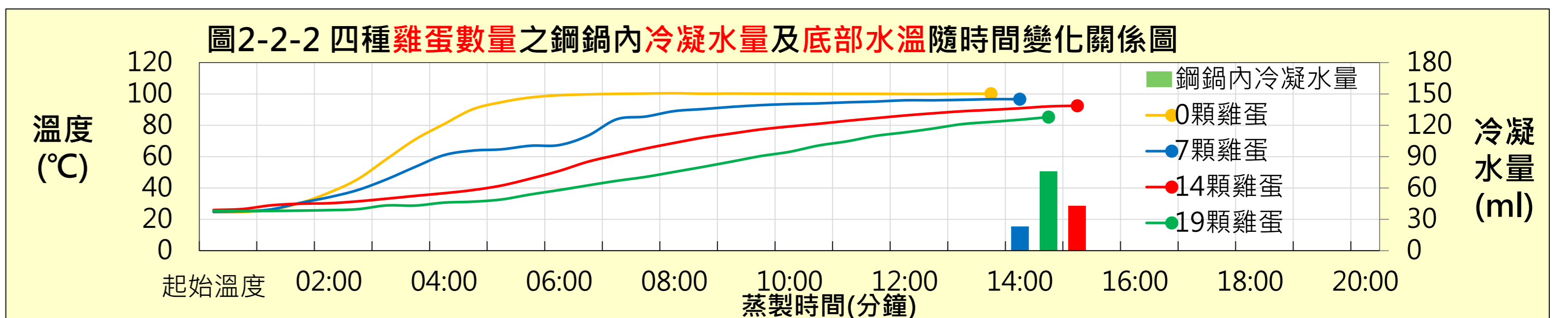
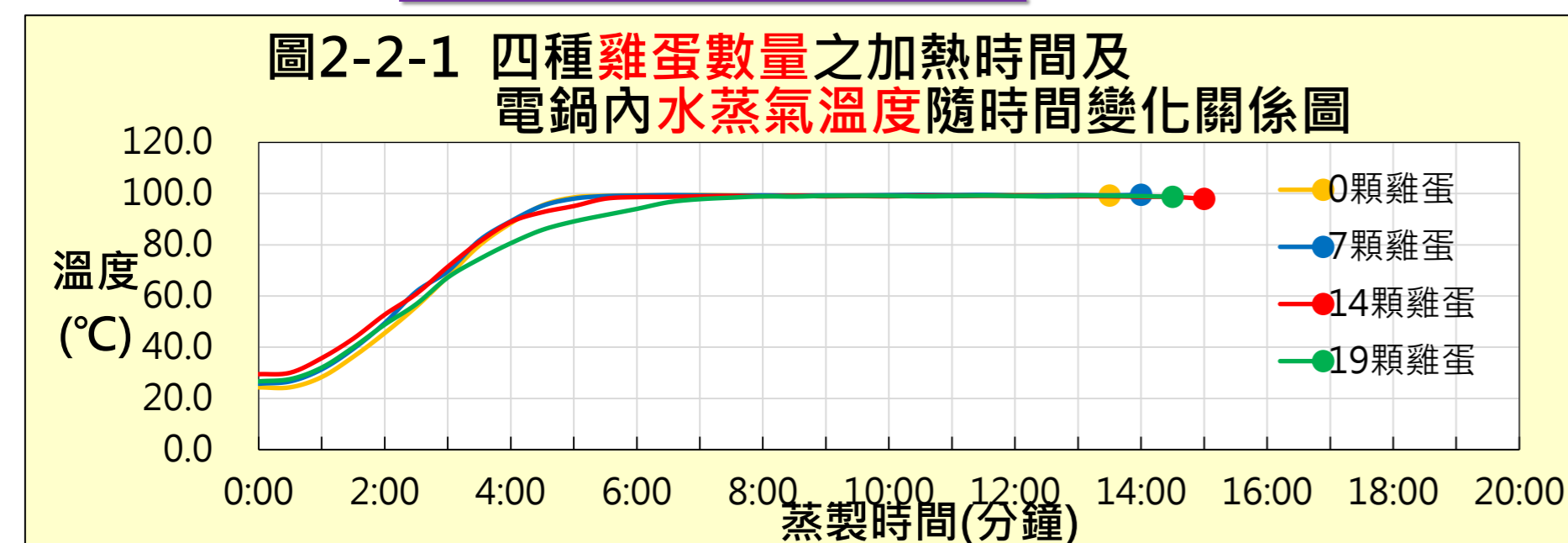


圖2-2-1 外鍋水180ml，四種雞蛋數量之加熱時間及電鍋內水蒸氣溫度隨時間變化關係圖

圖2-2-2 外鍋水180ml，四種雞蛋數量之鋼鍋底部水溫隨時間變化及冷凝水量比較折線圖

表2-2：堆疊在鋼鍋各位置之水煮蛋熟度比較表

雞蛋數量	7顆	14顆	19顆
上層平均熟度			3
中層平均熟度		4	2
下層平均熟度	0	1	0

- 1.根據圖2-2-1，鋼鍋內雞蛋數量越多，電鍋內水蒸氣升溫速率稍慢，但總加熱時間差異不大。
- 2.根據圖2-2-2，雞蛋數量越多，鋼鍋內底部升溫速率較慢，鋼鍋內的冷凝積水量較多。
- 3.根據表2-2，在鋼鍋內堆疊多層雞蛋時，越下層的水煮蛋熟度會越低。

### 實驗二-3 探究鋼鍋內冷凝水累積特性以及對水煮蛋熟度之影響

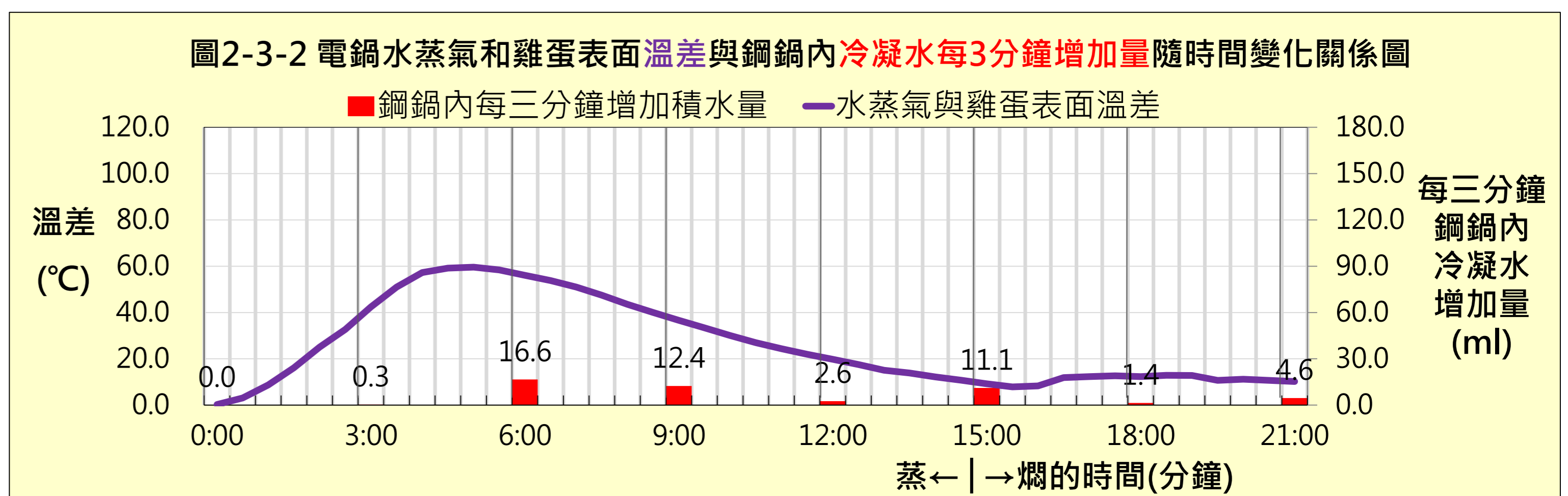
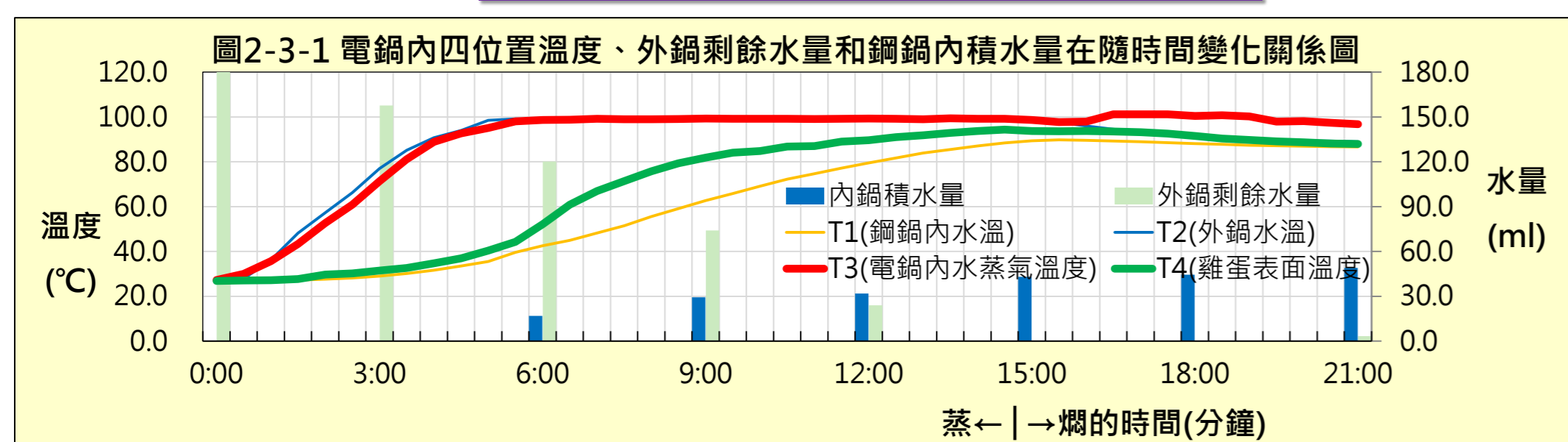


圖2-3-1 外鍋水180ml，14顆雞蛋分兩層堆疊放置在鋼鍋內，電鍋內四位置溫度、外鍋剩餘水量和鋼鍋內積水量隨時間變化關係圖

圖2-3-2 電鍋內水蒸氣和雞蛋表面溫差與鋼鍋內冷凝水每三分鐘增加量隨時間變化關係圖

表2-2：不同加熱時間之水煮蛋熟度比較表

蒸+燜總時間(分鐘)	3	6	9	12	15	18	21
開關斷電時間(分:秒)	3:00	6:00	9:00	12:00	14:32	14:35	14:42
上層水煮蛋熟度	0	0	1	3	4	5	5
下層水煮蛋熟度	0	0	0	0	1	3	4

- 1.根據圖2-3-1，鋼鍋內積水量在21分鐘內逐漸增加，但每三分鐘間距內的增加量並不相同。
- 2.根據圖2-3-2，在電鍋內水蒸氣升溫至100°C的期間，3~9分鐘間的水蒸氣和雞蛋的溫差最大，此段時間內的水蒸氣冷凝作用最顯著。
- 3.電鍋約在14:30斷電，12~15分鐘間，鋼鍋內再次增加許多積水，應是蒸氣壓達過飽和而凝結，但這些凝結水無法延長電鍋加熱時間。

### 實驗三 探究雞蛋溫度對加熱耗電量、冷凝水量及水煮蛋熟度之影響

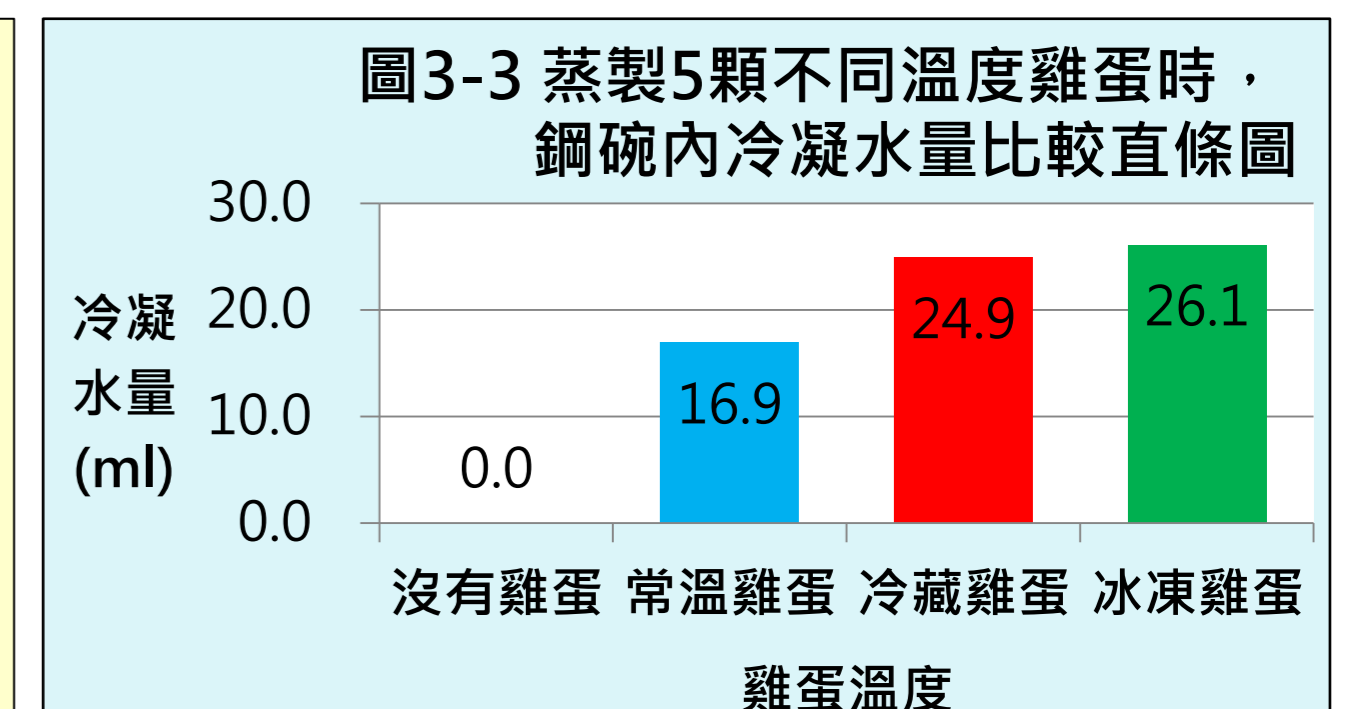
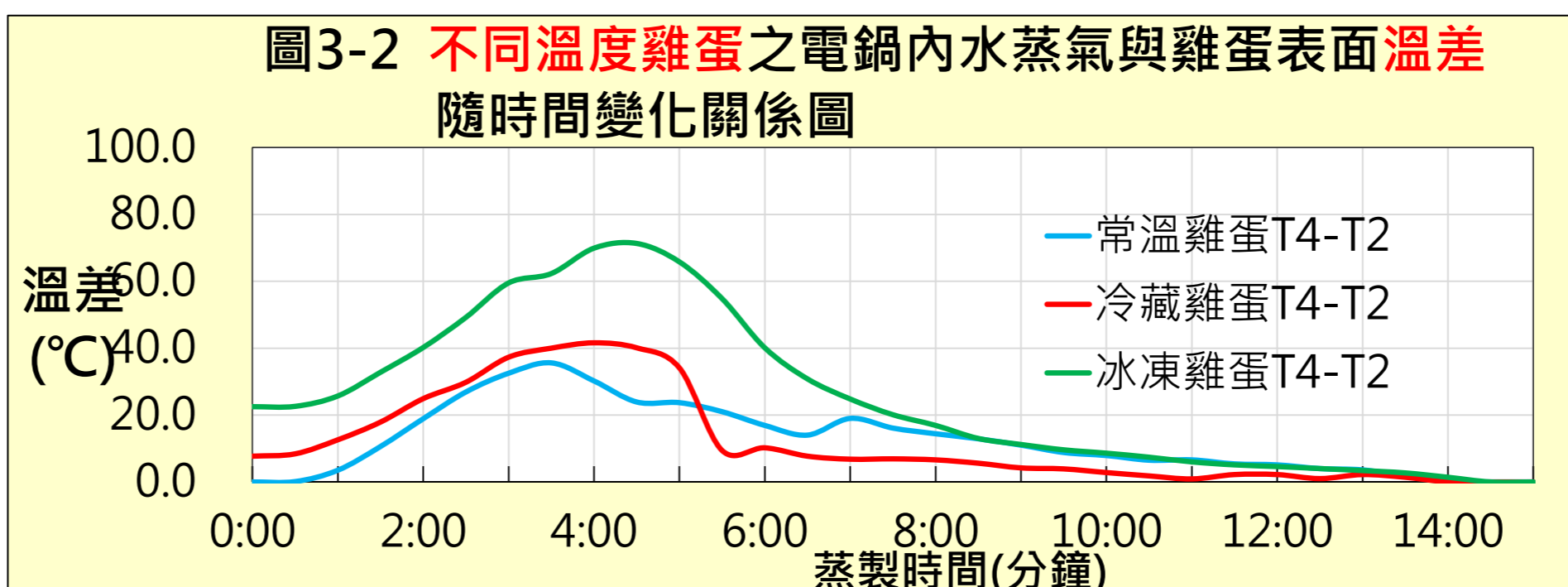
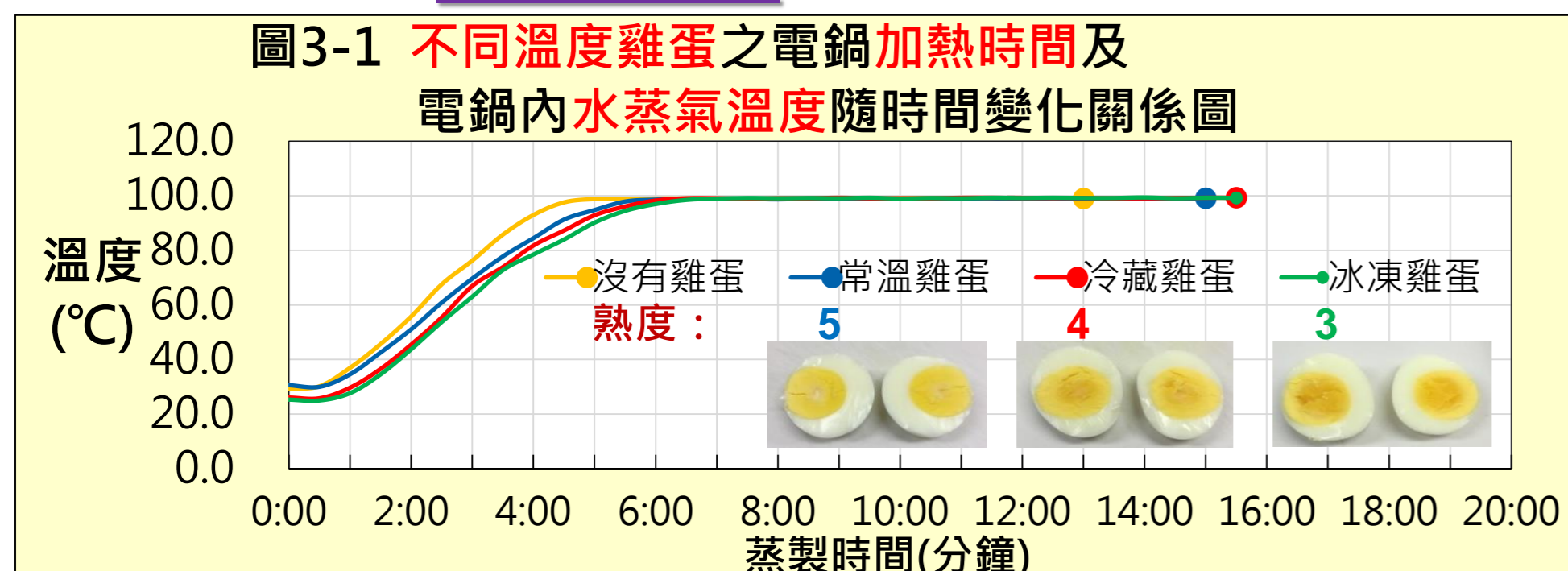


圖3-1 外鍋水180ml，5顆不同溫度雞蛋放在蒸架上，電鍋加熱時間及電鍋內水蒸氣溫度隨時間變化關係圖

圖3-2 外鍋水180ml，5顆不同溫度雞蛋堆在鋼碗內，電鍋內水蒸氣與雞蛋表面溫差隨時間變化關係圖

圖3-3 蒸製5顆不同溫度雞蛋時，鋼碗內冷凝水量比較直條圖

- 1.根據圖3-1，雞蛋溫度比常溫低時，電鍋內升溫速率較慢，加熱時間較長，但水煮蛋熟度卻較低。
- 2.對照圖3-2和圖3-3，雞蛋的初始溫度越低，前6分鐘升溫期的溫差越大，容器內蒐集到的冷凝水量越多。

## 電鍋蒸製水煮蛋之節能技術

### 實驗四 探究燜鍋時的電鍋內溫度變化特性與對加熱耗電量及水煮蛋熟度之影響

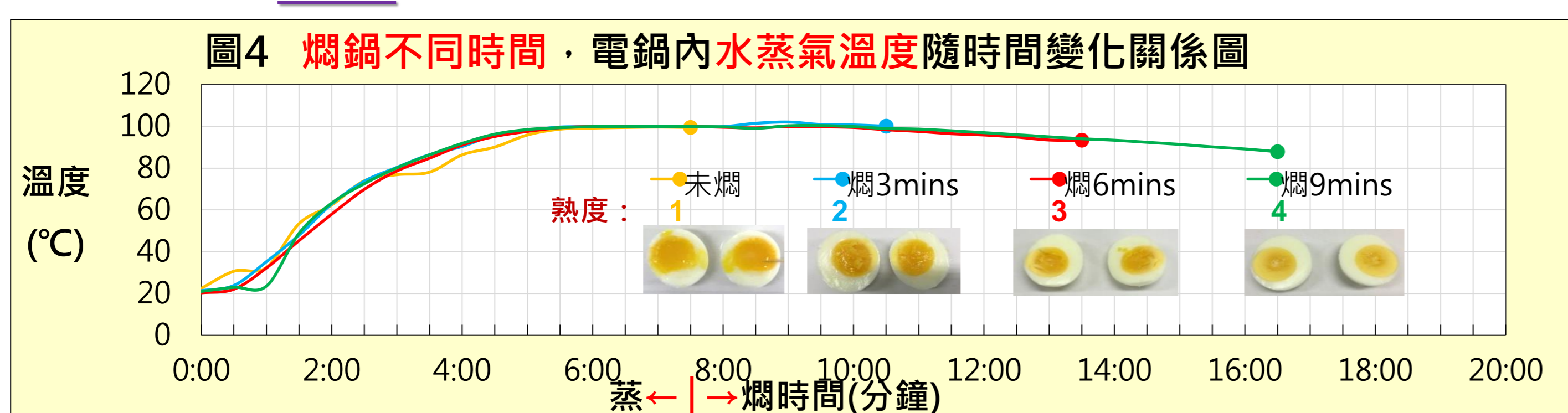


表4：蒸製與搭配燜鍋之效能比較表

製作技術	水煮蛋熟度	5	5	2	2
		180	90	90	45
製作技術	外鍋水量(ml)	180	90	90	45
	加熱時間(分)	15.6	10.5	10.5	7.5
製作技術	燜鍋時間(分)		6		3
	總花費時間(分)	15.6	16.5	10.5	10.5
製作技術	加熱耗電量(度)	0.21	0.14	0.14	0.10
	燜鍋的節能比例		-33%		-29%

- 1.電鍋加熱開關自動斷電後，在燜鍋的9分鐘內，電鍋內溫度會先升高，然後稍微下降不到10°C，可以高於讓雞蛋質變所需最低溫度。
- 2.為達相同熟度，選用較少水量，再搭配適切燜鍋時間(兩種水量的加熱時間差)，便可用相近的時間，但約節能30%的方式製作水煮蛋。

# 電鍋蒸製水煮蛋之智慧化技術

## 實驗五 探究運用在鋼鍋內堆疊雞蛋技術以同時蒸製出多種熟度水煮蛋之條件

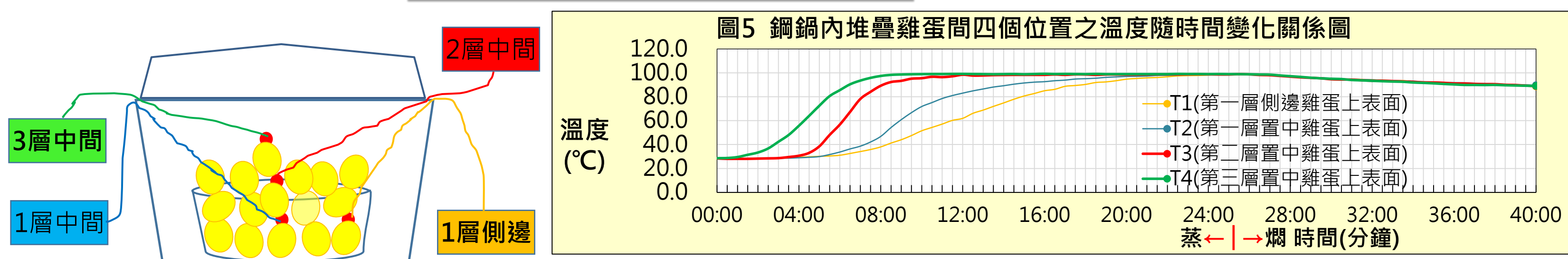


圖5 外鍋水360ml，21顆雞蛋分三層堆疊在鋼鍋內，雞蛋間四個位置之溫度隨時間變化關係圖

1. 根據圖5，雞蛋堆疊在鋼鍋內時，越上層雞蛋的表面溫度上升越快，中間雞蛋的表面溫度上升較外圍快。
2. 根據表5，以14顆雞蛋分二層堆疊在鋼鍋內為例，外鍋水180ml，燜2~6分鐘，可同時蒸出2~4種熟度水煮蛋。

表5：鋼鍋內堆疊之上下層水煮蛋熟度比較表

堆疊位置	上層(7顆水煮蛋)	下層(7顆水煮蛋)
水煮蛋熟度	4或5	2或3

## 實驗六 探究運用包覆鋁箔技術以同時蒸製多種熟度水煮蛋之條件

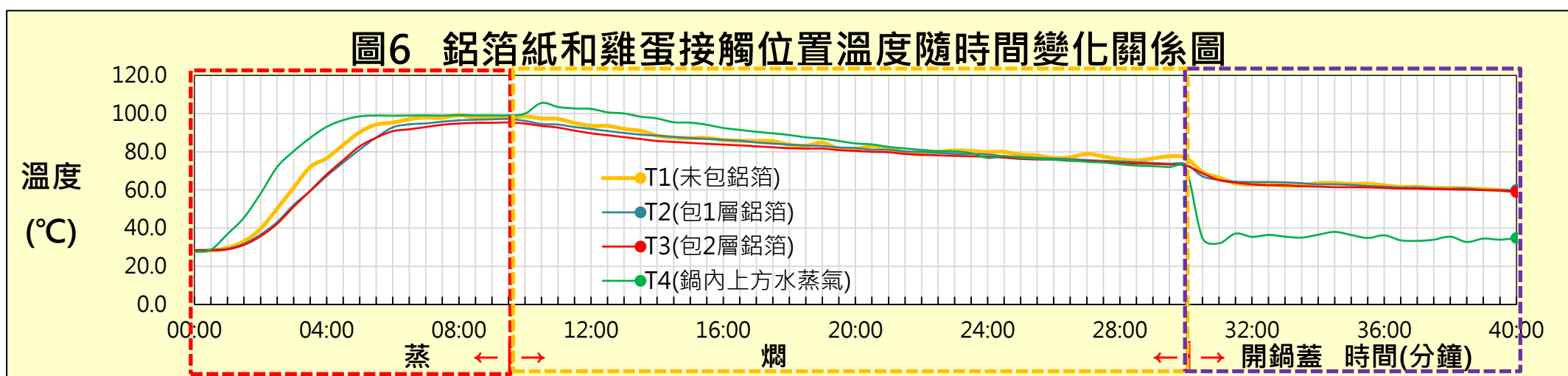


圖6 外鍋水90ml，鋁箔紙和雞蛋接觸位置溫度隨時間變化關係圖

表6：雞蛋包覆鋁箔對水煮蛋熟度影響比較表

鋁箔包覆方式	不包鋁箔	包1層鋁箔	包2層鋁箔
外鍋水180ml 水煮蛋熟度	5	4	3
外鍋水90ml 水煮蛋熟度	3	2	1

1. 根據圖6，包覆鋁箔蒸製，會阻礙熱傳播，減緩雞蛋升溫速率，降低水煮蛋熟度；根據表6，包越多層鋁箔，水煮蛋熟度越低，此技術可做為同時蒸製多種熟度水煮蛋之技術參考。
2. 包覆鋁箔的技術可以運用於蒸架蒸製，也可以運用於鋼鍋蒸製，但蒸架蒸製出的水煮蛋受熱較均勻，外型較美觀。

## 實驗七 比較不同容量電鍋之蒸製水煮蛋效能差異

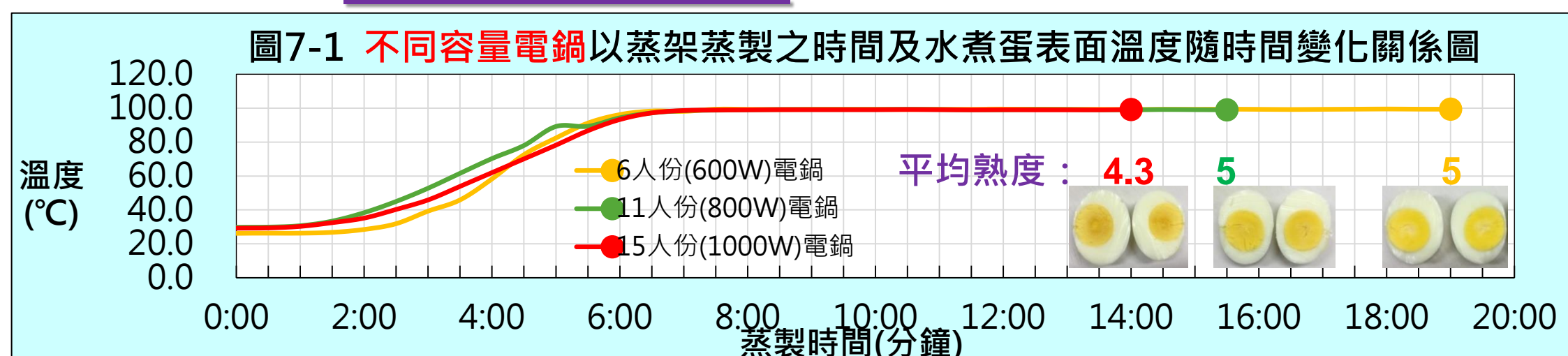


圖7-1 外鍋水180ml，7顆雞蛋放置在蒸架上，不同容量電鍋蒸製之蒸製時間及水煮蛋表面溫度隨時間變化關係圖

表7-1：三種容量電鍋運用蒸架蒸製水煮蛋之效能比較表

電鍋容量(加熱電功率)規格	6人份(600W)	11人份(800W)	15人份(1000W)
7顆蛋加熱時間(分)	19.0	15.6	14.3
7顆蛋加熱耗電量(度)	0.19	0.21	0.24
耗電量增減比例%	-10%	以銷售量最多的11人份電鍋為基準	+14%

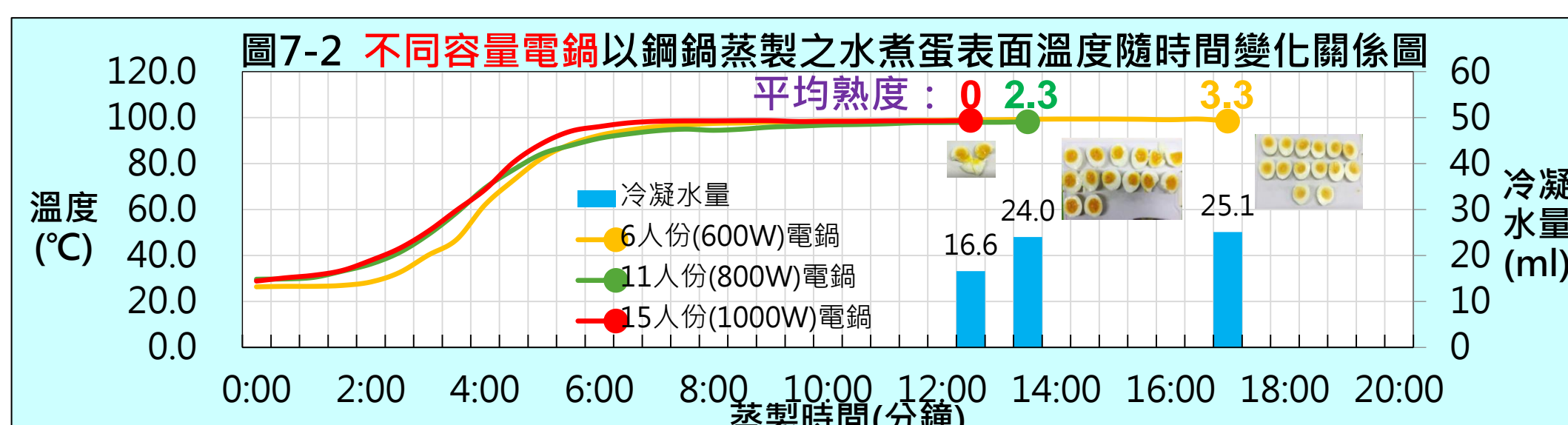


圖7-2 外鍋水180ml，7顆雞蛋放置在鋼鍋內，不同容量電鍋蒸製之水煮蛋表面溫度隨時間變化關係圖

表7-2：三種容量電鍋運用鋼鍋蒸製水煮蛋之效能比較表

電鍋容量(加熱電功率)規格	6人份(600W)	11人份(800W)	15人份(1000W)
7顆蛋加熱時間(分)	17.0	13.7	12.7
7顆蛋加熱耗電量(度)	0.17	0.18	0.21
耗電量增加比例%	-6%	以銷售量最多的11人份電鍋為基準	+17%

1. 根據圖7-1，三種容量電鍋都在6~7分鐘左右達到近100°C，並一直保持100°C左右直到斷電。
2. 電鍋容量越大，加熱時間越短，雞蛋處於100°C的時間就越短，大小電鍋最多差到5分鐘，造成水煮蛋熟度有差異。
3. 根據表7-1&2，電鍋容量越大，耗電量越多，但水煮蛋熟度卻較低，6人份比15人份電鍋約節能24%。
4. 以製作相近熟度水煮蛋為條件(例如熟度3~4)，6人份電鍋比15人份電鍋多加熱3分鐘，但因6人份加熱電功率較低，經換算後，6人份比15人份電鍋節能30%。

# 陸、研究結論

### 回應研究目的一&二 探究電鍋加熱物理機制與影響鍋內溫度演進特性之因素

一. 電鍋加熱過程可分為升溫期、恆溫期、再升溫期、降溫期，而外鍋水量是影響電鍋加熱升溫速率和加熱時間的主要因素。

二. 電鍋內的雞蛋數量、雞蛋溫度、盛裝雞蛋方式會促發升溫期間的水蒸氣冷凝現象，因此改變外鍋的水循環利用機制，進而改變了電鍋加熱時間、各位置升溫速率出現差異，並影響水煮蛋熟度。



圖例	現象說明
	水蒸氣
	水蒸氣遇到低溫物體再次凝結為小水滴—冷凝水。會滯留在外鍋底部或鋼鍋中。
	外鍋底部或是鋼鍋內底部積累之冷凝水。外鍋底部之冷凝水受熱後會再一次蒸發為水蒸氣。
	原始外鍋水經由熱對流升溫，蒸發為水蒸氣。
	熱磁板通電傳熱。



例如14顆雞蛋放置在蒸架，冷凝水會回流到外鍋底部，約比空蒸架延長6%的加熱時間；若以容器堆疊14顆雞蛋，部分冷凝水會落入容器內，反而比空蒸架或空鋼鍋縮短40%加熱時間；甚至因雞蛋浸泡在冷凝水中，使下層雞蛋升溫速率更慢，降低水煮蛋熟度。

### 回應研究目的三&六 探究以不同容量電鍋蒸製水煮蛋之節能技術

- 一. 電鍋加熱自動斷電後繼續悶鍋，溫度可能會在1~2分鐘內短暫上升超過100°C，並在十分鐘內大約只下降10°C，此一燜鍋時間對水煮蛋仍具加熱作用。
- 二. 將蒸至熟度高所需的較多水量與蒸至熟度低的較少水量之加熱時間差，換成以燜鍋相同時間做替代，則可以用既節能又不增加加熱時間的方式蒸製水煮蛋。
- 三. 6人份電鍋雖然加熱時間較長，但因加熱電功率較低，耗電量可比15人份電鍋低30%，若再結合適當燜鍋時間，甚至可以用較少時間，且節能50%以上。

### 回應研究目的四&五 探究以電鍋一次蒸製不同或多種熟度水煮蛋之技術

- 一. 影響電鍋蒸製水煮蛋熟度的因素多元且互相影響，應根據電鍋容量、雞蛋數量、搭配外鍋水量調控、雞蛋放置方式、蒸燜加熱時間等因素進行組合。
- 二. 將雞蛋堆疊多層在內鍋、將雞蛋包覆不同層數的鋁箔、以及同時在鍋內放入不同溫度雞蛋等方法，可以同時蒸製出至少3種以上的不同熟度水煮蛋。

◆ 右表列舉運用11人份電鍋蒸製三種熟度水煮蛋之製作建議，使用者可根據家庭組合人數、各自喜好熟度、或是希望節能並同時蒸製不同熟度水煮蛋等需求喜好做選擇。

熟度	雞蛋數	外鍋水量(杯)	燜鍋時間(分鐘)	放置方式	堆疊位置	包鋁箔層數
5	5	0.5	6	蒸架		
	15	1		蒸架		
	15	1	3~6	堆疊在鋼鍋	上層	
	15	1		蒸架		1
3	1	1		蒸架		
	5	0.5	3	蒸架		
	5	0.25	6~9	蒸架		
	15	1		蒸架		2
	15	1	3~6	堆疊在鋼鍋	下層	
1	15	0.5		蒸架		1
	3	0.5	3	放在鋼碗中		
	5	0.5		蒸架		
	5	0.25	3	蒸架		
	15	0.5		蒸架		2

電鍋  
冷凝  
物理  
機制  
解密

電鍋  
節能  
技術  
建議

智慧化  
蒸製  
水煮蛋  
技術  
建議

## 柒、參考資料

王滋碩、朱慧瑜、黃子嘉(2013)。『蒸』的不用多。中華民國第53屆科展國中組生活應用科學科作品。國立台灣科學教育館—科展群傑廳。  
王星文、邱怡瑄、黃國倫、簡翊琳(2010)。『蒸』的不簡單。中華民國第50屆科展國中組生活應用科學科作品。國立台灣科學教育館—科展群傑廳。