

屏東縣第65屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生活與應用科學科（二）

組 別：國中組

作品名稱：蒸先孔後，一蒸見穴-探討影響蒸蛋的因素

關 鍵 詞：水合作用、孔洞、硬度

編號：B7003

摘要

蒸蛋是一道台式傳統美食，製作方法簡單，但要做到質地軟嫩、無孔洞且多汁美味的蒸蛋，卻是相當困難。研究從蒸蛋製作條件進行探討，包括有水與蛋的比例、添加的水溫、加熱時間、蒸煮火力以及添加的糖、鹽等。製作中有物理的質傳與熱傳現象、蛋白質變性、乳化作用、水合作用等。研究中利用 ImageJ 軟體進行蒸蛋孔洞分析，並自製設計簡易物性測定儀來測定蒸蛋硬度，透過過濾蒸蛋計算蒸蛋含水量來分析水合作用。結果顯示蒸蛋最佳配方為：蛋液和水比為 1:1.5，80°C 熱水調配蛋液，用塑膠杯裝以小火（500W）烹煮 8 分鐘，可得到較佳的蒸蛋成品，質地紮實柔軟濕潤，水合作用佳，並且孔洞較少。本研究對於蒸蛋製作過程具有指導意義，也可作為未來烹飪研究參考。

目錄

摘要.....	01
壹、前言（含研究動機機、目的、文獻回顧）.....	03
貳、研究設備及器材.....	07
參、研究過程或方法.....	09
肆、研究結果.....	15
伍、討論.....	27
陸、結論.....	29
柒、參考文獻.....	30

壹、前言

一、研究動機

蒸蛋，這是一種古老傳統而普及的料理，在不同國家的飲食文化中扮演了重要角色，不僅具有豐富的營養價值，在中國、日本、韓國等地各有不同的變體和製作方法。然而，這道看似是個十分簡單、容易輕鬆上手料理，卻是的一道有名功夫菜。觀察市面上的餐廳做的蒸蛋，都沒有太多孔洞而且比較Q彈，然而自己在家做的孔洞不僅多，吃起來也很硬。因此引起研究的興趣，想要找出對如何製作出完美蒸蛋的方法。

雖然蒸蛋的製作方法簡單，但影響蒸蛋質地的因素較多，如水與蛋的比例、水溫、蒸的時間與火力等。蒸煮過程更包含了多種物理與化學變化。蒸蛋的主要成分為雞蛋，其中蛋白和蛋黃在加熱過程中會經歷不同的化學變化。研究從食材的基本化學性質、蛋白質結構著手，將深入探討蒸蛋在加熱過程中的化學反應，特別是蛋白質的變性、乳化作用以及水合作用對蒸蛋結構和口感的影響。此外，研究並探討蒸蛋在蒸煮過程中，如何受到鹽和糖的影響。蒸蛋的質地由蛋白質的凝固特性決定，因此鹽和糖的不同濃度會對蛋白質的凝固、蒸蛋的硬度、水合作用、孔洞數量等會產生顯著影響。本研究主要在探討蒸蛋過程中各種因素對蛋質地的影響，並尋找最佳的製作方法。

二、研究目的

(一) 設定評判蒸蛋品質方法，其中包括蒸蛋硬度、蒸蛋水合作用以及孔洞數。

1.自製物性試驗機測量蒸蛋硬度，並確保其準確性。

2.利用影像處理軟體取代人工，正確計算出每個蒸蛋樣品的孔洞。

3.測量計算蒸蛋中的殘水量，據此分析蒸蛋的水合作用。

(二) 研究蒸蛋過程中的關鍵變數，內在的變數包括有：水與蛋的比例、水溫、蒸煮時間、鹽度、糖度、糖鹽交互作用，外在變因包括有蒸煮火力、蒸蛋杯子材質等，並確定最適合的蒸蛋製作條件。

(三) 探究蒸蛋孔洞形成的原因及其對蒸蛋質地的影響。

三、文獻探討

在國一生物課本中（翰林出版社，2023）有提到，蛋白質在受熱後達到一定溫度，它的結構會改變，因此造成蛋白質的變性，這就是蒸蛋會形成類似果凍的固形物的原因。然而，蒸蛋的配方中會加入水去混合調配，研究中推論影響蒸蛋質地的因素主要有：水與蛋的比例、蒸的時間與火力等。其中所用的水更是關鍵的因素。

在蒸蛋的加熱過程中，如果原料的蛋液和水的混合液中，若原料水中含有較高的溶氧量時，隨著蒸蛋的加熱過程，水溫的上升，溶在水中的氣體就會被析出，而跑出的空氣就會造成蒸蛋成品的孔洞，不僅不美觀，更會造成蒸蛋成品又乾又硬的狀況，並且會讓消費者沒有食慾。文獻中一般水溫 20°C 時，水的溶氧量最高約 9 mg/L，而在淡水中的溶氧量又稍高於海水，通常 5 至 14 ppm，因此論水在加熱過程中，當水溫上升，溶氧量就下降，空氣就會跑出來。反之，當水溫降低，溶氧量就上升（台灣環境部，2024）。所以研究中將會比較不同水溫來進行蒸蛋蛋液的調配，在此研究推論利用溶氧量低的熱水會比溶氧量高的冷水，更能做出品質較佳軟嫩無孔洞的蒸蛋。

在 2022 年全國科學探究文獻中（劉等，2022），同時指出水量是會影響蒸蛋軟硬度的最大變因，而添加在蛋液中的水溫，則是也能影響蒸蛋品質的其次變因。所以本研究延續過去文獻的結果，進一步去探討影響蒸蛋孔洞的主要變因，其中包括：水溫、蛋水比和蒸蛋的容器等，以期望找出一個完美比例的蒸蛋製作方式。

（一）蒸蛋形成的變因：

1. 水分多寡：水加的量是影響蒸蛋質地的的重要關鍵，而蒸蛋加入的水分越少，口感越紮實，反之如果想要一個軟綿綿的蒸蛋，加的水越多吃起來就越軟。
2. 水溫的高低：若越高的水溫，水的溶氧量就越低，因此就會減少形成氣孔的狀況。在網路新唐人電視（新唐人電視台，2022）的文獻中，提到盡量選用 40°C-50°C 溫水來做蒸蛋，這裡我們參考了一部影片（彩味明玥 Magic，2021）對添加蛋液的水溫的蒸蛋實驗，影片中發現用冷水做出來蒸蛋的氣孔會很多，由此可見用冷水蒸蛋並不會有太大的好處。
3. 蒸蛋容器：蒸蛋容器的傳導速度和溫度有著一定的關聯性，而導熱好的容器可以有效地將熱傳到碗的四周。

(二) 蒸蛋孔洞形成和分佈：

蒸蛋在加熱過程中，孔洞形成的原因，是蛋液混合液會隨著加熱過程的溫度升高，導致水中溶氧量變低，空氣會隨加熱過程逐漸析出，尤其是在容器邊緣最外圈的是蒸蛋最熱區域，氣體優先析出，伴隨蛋白質變性的凝膠過程，所以表面和容器外緣附近的氣孔會相較內部的氣孔來的多。

(三) 硬度試驗機：

在食品物性研究中，常會使用到物性試驗機，進行二次下壓試驗來測量食物物性的數據，可以得知食品的脆度、硬度、黏度、彈性、咀嚼度、黏著度及回復性等物性數據。研究中將自製簡易版硬度試驗儀來測量蒸蛋硬度，它的主要原理是利用重量下壓待測物時，如圖 3.1，當觸碰到物體後，會隨著不斷的下壓的時間，逐漸增大下壓重量。當物體表面被穿刺破裂後，下壓重量會隨時間逐漸減少，其中待測物所能承受的最高的重量為其硬度。並藉由觀察蒸蛋的軟硬度，並推測它與氣孔的關係（王輝，2020）。

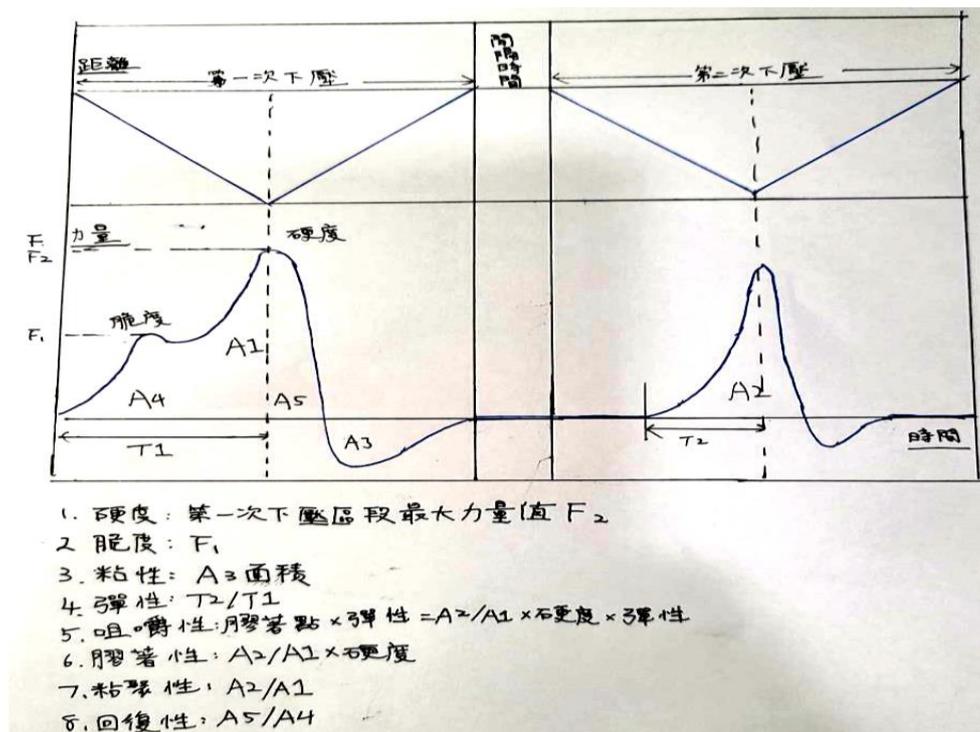


圖 1.1 食品物性測試圖（王輝，2020。自行重繪製）

(四) 蛋白與蛋黃

雞蛋蛋液中包括有蛋白和蛋黃部分，雞蛋白又稱為蛋清，約佔全雞蛋蛋液重量的三分之二，雞蛋白的主要成分是水，占總重的 90%，其餘部分是蛋白質和少量的礦物質、脂肪、維

生素和葡萄糖。雞蛋白中主要的蛋白質包括卵蛋白素、卵運鐵蛋白和卵類粘蛋白等，這些是由氨基酸鏈組成，這些鏈結以特定方式折疊，形成穩定的三維結構，同時藉著於氫鍵、疏水相互作用和離子鍵等弱鍵力維持蛋白質結構的穩定，此外，蛋白具有保護作用，像羊水一樣保護蛋黃（維基百科，2020）。

當蛋白受熱、酸、鹽或攪打等變性因素影響時，會造成蛋白質內的鍵結斷裂，蛋白質分子就會展開折疊結構，然後進行交聯，形成新的分子連結，這就是蛋白質的變性。變性過程中，構建的網狀結構，能鎖住水分和其他液體，變得黏稠並轉為固態化，這就是蛋白質的凝固或凝膠化（維基百科，2020）。

雞蛋黃佔在蛋液的 33%重量，約 60 卡的熱量，為蛋白的三倍。蛋黃內含有脂溶性維生素（A、D、E 與 K），蛋黃中的脂肪酸包括不飽和脂肪酸（油酸 47%、亞麻油酸 16%）和飽和脂肪酸（棕櫚酸 23%），此外，蛋黃含有的卵磷脂可作為乳化劑與表面活性劑。（維基百科，2023）。

雞蛋中蛋白質變性的過程主要受加熱影響，不同蛋白質的凝固溫度不同。卵清蛋白在 62°C 至 65°C 之間凝固。蛋黃中的卵黃蛋白則在 65°C 至 70°C 之間凝固。酸性環境會加速變性過程，影響凝固的速度。加熱過度會使蛋白質過度凝聚，收縮並擠出水分，導致蛋白質乾硬。

貳、研究器材

一、實驗原料

研究用的雞蛋購自屏東縣大武山農場洗選白蛋，從 113 年 10 月到 114 年 2 月間共 200 顆，先儲存於 7°C 冰箱中，使用前先置於室溫下回溫 1 小時，待雞蛋回溫至常溫約 27°C 左右後，再進行後續實驗，每顆雞蛋均於保鮮期 7 天內用完。

二、實驗器材與設備

(一) 器材

100mL 量杯、600mL 量杯、紙杯、塑膠杯、鋁箔碗、湯匙、筷子、刀子、過篩、隔熱手套，游標卡尺。

(二) 設備

1. 電子天平：廠牌 shimadzu, 型號 UX2200H，精度 0.01g，台灣。
2. 冰箱：國際牌，型號 NR-F659WX，日本。
3. ikiiki 陶瓷電火鍋：廠牌 ikiikiu 伊崎，型號 IK-MC3405，中國。
4. 微型電動推桿：廠牌 Hcodland，型號 IP60-50/108-S1-12V-Y，台灣。
5. 計數器：廠牌 SSEAT Tech，型號 MC9999，台灣。
6. 手機：廠牌 Samsung，型號 Galaxy A54，韓國。
7. 自製物性測定儀：自行設計開發，TPA-01，台灣。
8. 飲水機：3M，HEAT3000，台灣

(三) 測量器材：

鐵尺、自製硬度計、酒精溫度計。

(四) 分析軟體：

1. 影像分析軟體：Image J，2015 版本，美國國立衛生研究院及威斯康辛大學 Wayne Rasband 開發，美國，免費軟體。
2. 統計軟體：Excel，2016 版本，美國微軟公司。

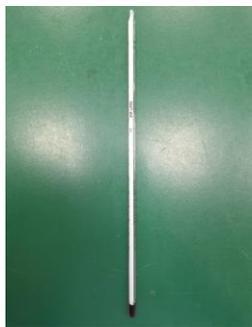
100mL 量杯	600mL 量杯	篩網	游標卡尺
			
鋁箔碗	塑膠杯	紙杯	酒精溫度計
			

圖 2.1 實驗器材（研究自拍實物）

微型電動推桿	冰箱	電子天平	ikiiki 陶瓷電火鍋
			
計數器	手機	自製物性測定儀	飲水機
			

圖 2.2 實驗設備（實物自拍）

參、研究過程與方法

一、研究架構

研究中分別探討蒸蛋的內在變因，其中包括有水量、水溫等。至於外在變因則包括有加熱時間、容器種類等。研究架構如圖 3.1。

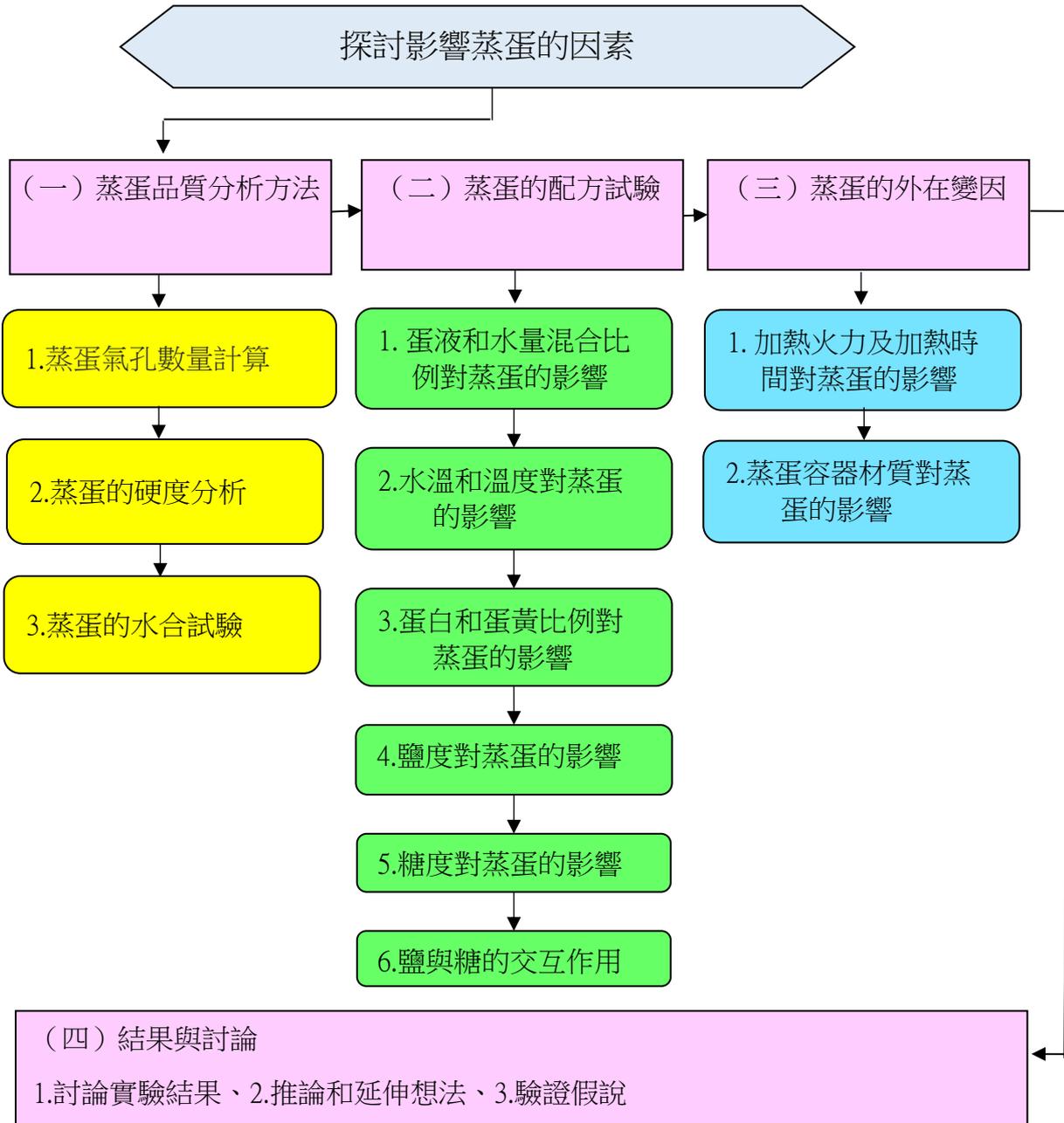


圖 3.1、探討蒸蛋的研究架構圖

二、研究方法

(一) 蒸蛋品質分析方法

1. 蒸蛋氣孔數量計算

研究利用 ImageJ 軟體來針對每張蒸蛋的照片，找出其孔洞區域並計算數量，如圖 4.1 所示。將蒸蛋照片進行灰階處理，將影像成 8-bit 模式，由彩色照片變成黑白，每個像素的亮度值 (Intensity) 由 0 (黑) 到 255 (白) 表示。再由進行影像調整，選取影像中代表孔洞黑色區域的像素分佈臨界範圍，然後選取分析孔洞數量，以此可分析計算出蒸蛋的孔洞數量。實驗中將針對 10 個蒸蛋成品的照片，利用 ImageJ 軟體進行分析計算蒸蛋孔洞，並和人工手算方式做比較。

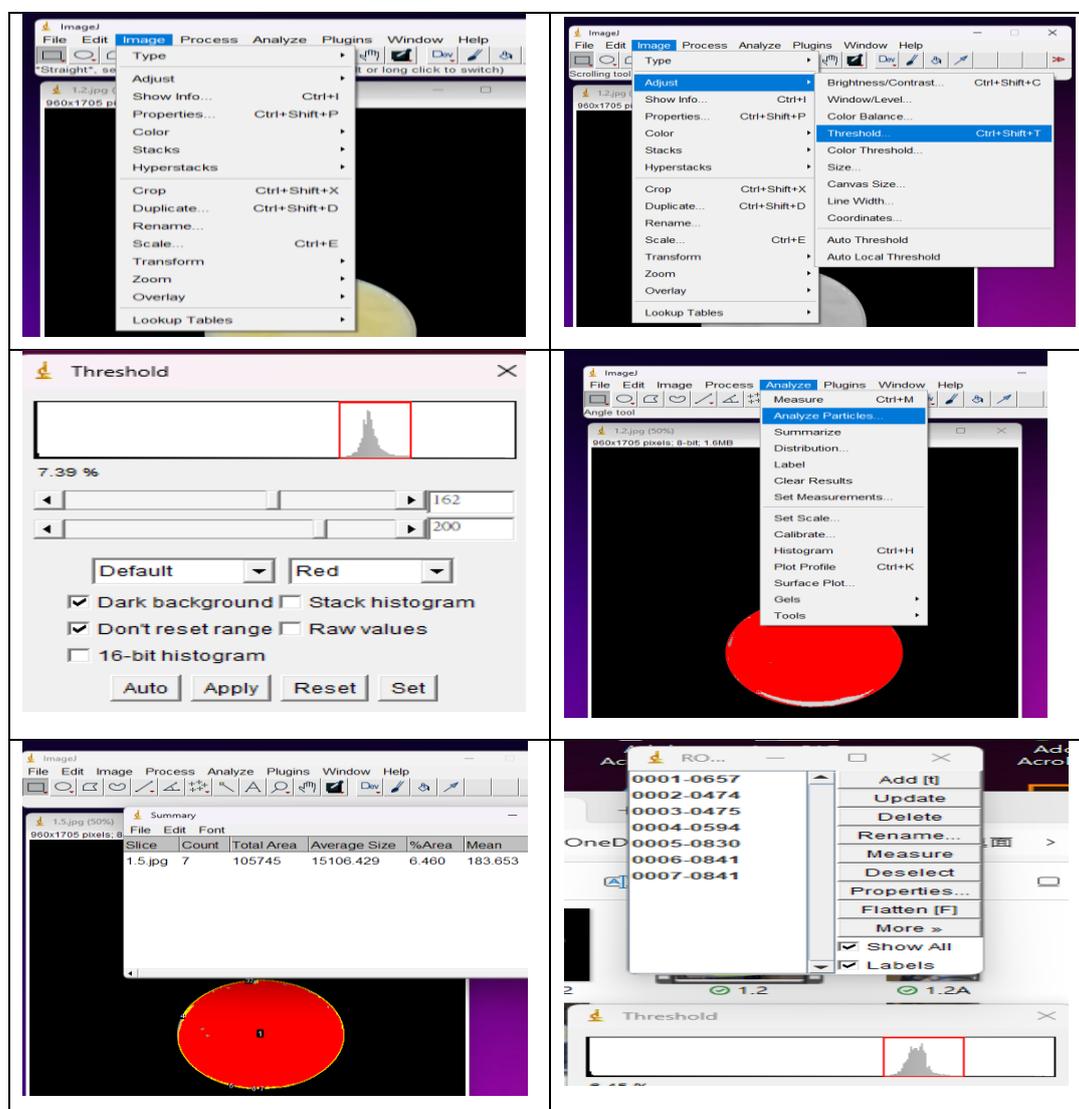


圖 3.2 利用 ImageJ 軟體計算蒸蛋氣孔數量 (研究自拍)

2. 蒸蛋的硬度分析

研究中利用推車、微型電動推桿及微量天平等設備，自行設計製作自製物性測定儀來測量蒸蛋成品的硬度，先將待測物品放置微量天平秤台上，將重量歸零，然後打開微型電動推桿進行穿刺試驗，利用手機攝影紀錄探針穿刺蒸蛋過程中，下壓重量隨時間的變化，找出重量變化的降伏點即為蒸蛋硬度，依此判斷蒸蛋的硬度物性。裝置設計圖如圖 3.3 所示。所用的探針是直徑 24mm 的圓柱體，穿刺接觸面積為 452.39mm^2 ，微型電動推桿的穿刺速度為 4mm/s 、穿刺行程 50mm 以及穿刺力量為 150N。初步試驗將選用 10 個蒸蛋樣品進行測試分析，以驗證自製物性測定儀於硬度量測的可行性。實驗數據經三重覆試驗後，再作統計計算。



圖 3.3 自製物性試驗機裝置設計圖（實物自拍）

3. 蒸蛋的水合試驗

主要在比較蒸蛋後移除水分的重量，用來分析蒸蛋中水合作用抓住的水量，探討蛋白質的水合作用及對蒸蛋品質的影響，實驗數據經三重覆試驗後，再統計計算。

- (1) 空白試驗：分別比較不同材質（塑膠杯、鋁箔杯、紙杯）的杯子，各裝 60mL 純水等量的容積，分別在不同加熱條件（大火 700W，小火 500W）下測試蒸煮 10 分處理，計算蒸煮前後的水的重量變化。
- (2) 分別秤量蒸蛋前的水重 W_0 與蒸蛋後的成品重 W_f 。
- (3) 利用篩網過濾蒸蛋成品的水後，將蒸蛋的固形物秤重 W_d 。

(4) 按照下列公式計算蒸蛋的水合重量 W_h (g) 及蒸蛋水合率 Y_h (%)。

$$\text{水合重量 (g)} : W_h = W_0 - (W_f - W_d) \quad (\text{g}) \text{-----eq. (1)}$$

$$\text{水合率 (\%)} : Y_h = W_h / W_f \quad (\%) \text{-----eq. (2)}$$

(二) 蒸蛋的配方試驗

1. 蛋液和水量混合比例對蒸蛋的影響

- (1) 將雞蛋從 7°C 冰箱裡取出並至於常溫中一小時，再將雞蛋打碎倒入 600ml 的塑膠燒杯內，並利用筷子戳破燒杯的蛋黃，攪拌時筷子需分開，順時針逆時針交替著攪，直到蛋黃和蛋白混和在一起。
- (2) 將蛋液分別倒入實驗容器，按照不同比例的蒸蛋和水量 (1:1, 1:1.2, 1:1.5, 1:1.8, 1:2.0) 配置製作蒸蛋的混合液 60mL，置於電鍋以蒸氣加熱製作蒸蛋。
- (3) 將蒸蛋成品拍照，將照片使用 ImageJ 應用程式來測量蒸蛋表面的氣孔數量。
- (4) 將成品放置於硬度試驗機上，利用儀器上的探頭刺入蒸蛋，進行下壓試驗，在儀器電子秤的重量達到降伏點時，就該蒸蛋的硬度 (g)。
- (5) 將蒸蛋倒入濾網中，過濾排除蒸蛋中的水後秤重，計算蒸蛋的水和作用。
- (6) 紀錄實驗結果 (氣孔數量、蒸蛋硬度、蒸蛋水合重量、水合率)，經三重覆試驗後，再統計計算。

2. 水溫和溫度對蒸蛋的影響

- (1) 用前述如 (二) 1.手法回溫雞蛋，製作蛋液。
- (2) 將蛋液和水按 1:1.5 比例調配 60mL 蛋液混合液 (蛋液 24mL，水 36 mL) 調配 60mL 蛋液混合液。
- (3) 其中添加蛋液混合液中的水，用不同水溫 (0°C, 20°C, 60°C, 80°C, 100°C) 進行試驗，先調配於燒杯中，再在倒入塑膠杯，置於電鍋中，以不同加熱時間 (6min, 8min, 10min) 蒸製。
- (4) 應用前述二 (一) 手法，測量蒸蛋表面的氣孔數量、蒸蛋硬度、蒸蛋水合重量、水合率，實驗數據經三重覆試驗後，再統計計算。

3. 蛋白和蛋黃比例對蒸蛋的影響

- (1) 用前述如 (二) 1.手法回溫雞蛋。
- (2) 將雞蛋打碎，分離出蛋黃和蛋白分別倒入兩個 600ml 的塑膠燒杯內。

- (3) 分別利用筷子戳破蛋黃、蛋白組織，以順時針逆時針交替著攪拌，直到蛋液均勻分布。
注意蛋白攪拌時不可速度過快，避免速度過快會使蛋白摻入空氣，造成蛋白起泡現象。
- (4) 蛋黃和蛋白按 1:0、1:1、1:2（一般雞蛋分布）、1:3、0:1 配置五種蛋液。
- (5) 將蛋液和水按 1:1.5 比例調配 60mL 蛋液混合液（蛋液 24mL，水 36 mL）調配 60mL 蛋液混合液，調配於燒杯中，再在倒入塑膠杯，置於電鍋中，以不同 10min 加熱時間蒸製。
- (6) 應用前述（二）1.手法，測量蒸蛋表面的氣孔數量、蒸蛋硬度、蒸蛋水合重量、水合率，實驗數據經三重覆試驗後，再統計計算。

4. 鹽度對蒸蛋的影響

- (1) 用前述（二）1.手法回溫雞蛋，製作蛋液。
- (2) 在裡面加入不同鹽度 0%、2%、4%的鹽水，將蛋液和鹽水按 1:1.5 比例調配 60mL 蛋液混合液，其中蛋液 24mL，鹽水 36 mL。再將配置好的蛋液混合液裝入塑膠杯中，置於電鍋中，以 10min 加熱時間蒸製。
- (3) 應用前述（二）1.手法，測量蒸蛋表面的氣孔數量、蒸蛋硬度、蒸蛋水合重量、水合率，探討鹽度對蒸蛋品質的影響，經三重覆試驗後再統計計算。

5. 糖度對蒸蛋質地的影響

- (1) 研究中分別配置不同 0%、2%、4%糖水，將蛋液和鹽水按 1:1.5 比例調配 60mL 蛋液混合液，其中蛋液 24mL，鹽水 36 mL。再將配置好的蛋液混合液裝入塑膠杯中，置於電鍋中，以 10min 加熱時間蒸製蒸蛋。
- (2) 應用前述（二）1.手法，測量蒸蛋表面的氣孔數量、蒸蛋硬度、蒸蛋水合重量、水合率，探討糖度對蒸蛋品質的影響，經三重覆試驗後再統計計算。

6. 鹽與糖的交互作用

- (1) 用前述如（二）1.手法回溫雞蛋，製作蛋液。
- (2) 考慮鹽與糖同時存在時，兩者的交互作用也會影響蒸蛋的質地。研究中分別以糖鹽比 1:1 同比例，配置不同 0%、2%、4%糖鹽混合水。將蛋液和糖鹽混合水按 1:1.5 比例調配 60mL 蛋液混合液，其中蛋液 24mL，鹽水 36 mL。再將配置好的蛋液混合液裝入塑膠杯中，置於電鍋中，以 10min 加熱時間蒸製。
- (3) 應用前述（二）1.手法，測量蒸蛋表面的氣孔數量、蒸蛋硬度、蒸蛋水合重量、水合率，來探討不同比例糖鹽度混合液對蒸蛋品質的影響。

(三) 蒸蛋的外在變因

1. 加熱火力及加熱時間對蒸蛋的影響

- (1) 用前述如(二) 1.手法回溫雞蛋，製作蛋液。
- (2) 將蛋液和水按 1:1.5 比例調配 60mL 蛋液混合液（蛋液 24mL，水 36 mL）調配 60mL 蛋液混合液。將蛋液和水按 1:1.5 比例調配 60mL 蛋液混合液（蛋液 24mL，水 36 mL）調配 60mL 蛋液混合液於燒杯中，再在倒入塑膠杯中。
- (3) 分別以小火（500W）和大火（700W）加熱 6min、8min、10min 蒸製蒸蛋。
- (4) 應用前述(二) 1.手法，測量蒸蛋表面的氣孔數量、蒸蛋硬度、蒸蛋水合重量、水合率，數據經三重覆試驗後再統計計算。

2. 蒸蛋容器材質對蒸蛋的影響

- (1) 用前述如(二) 1.手法回溫雞蛋，製作蛋液，如圖 3.4 所示。
- (2) 將蛋液和水按 1:1.5 比例調配 60mL 蛋液混合液（蛋液 24mL，水 36 mL）調配 60mL 蛋液混合液。將蛋液和水按 1:1.5 比例調配 60mL 蛋液混合液（蛋液 24mL，水 36 mL）調配 60mL 蛋液混合液，調配於燒杯中，再倒入試驗杯中。
- (3) 分析的實驗杯分別有：塑膠杯、鋁箔杯、紙杯等實驗容器，配置好後再置於電鍋中，以 10min 加熱時間蒸製，探討不同容器對蒸蛋品質的影響。



圖 3.4 蒸蛋預備試驗（實物自拍）

肆、研究結果與討論

一、蒸蛋的品質分析

(一) 蒸蛋氣孔數量計算

研究利用 ImageJ 軟體來每張蒸蛋的照片中，比對實際計算和電腦計算的結果中，由於蒸蛋成品有時會出現破碎狀態，若用電腦比對照片就會出現誤判狀況，因此在實作上要選擇完整蒸蛋的照片，來避免誤判狀況。

在蒸蛋照片的影像處理上，由於拍照時由於角度的關係，會出現反光及雞蛋陰影的現象，以及在蒸蛋邊緣由於加熱關係，容易產生的裂紋，這些都會造成誤判狀況。這時可以比對實際照片，藉由調整孔洞的像素亮度值（Intensity）範圍，避免類似的問題，達到比較正確的計算結果，如圖 4.1 所示。

表 4.1 為將 10 個不同蒸蛋成品的樣品照片，分別利用眼睛與計數器實際計算，並比對利用 ImageJ 軟體分析孔洞的計算結果。結果顯示當蒸蛋照片中的孔洞數量小於 52 個以下時，手動計算和電腦計算結果非常相近，當孔洞數量超過 52 個以上時，手動計算可能因重複計算或者孔洞有重疊狀況，當孔洞數量過於密集時，就容易產生計算上的失誤，不如電腦用影像處理軟體分析後計算的再現性比較高。研究中藉由分析蒸蛋孔洞的數量，來觀察不同條件下製作的蒸蛋結構，以及評判蒸蛋物性的參考。

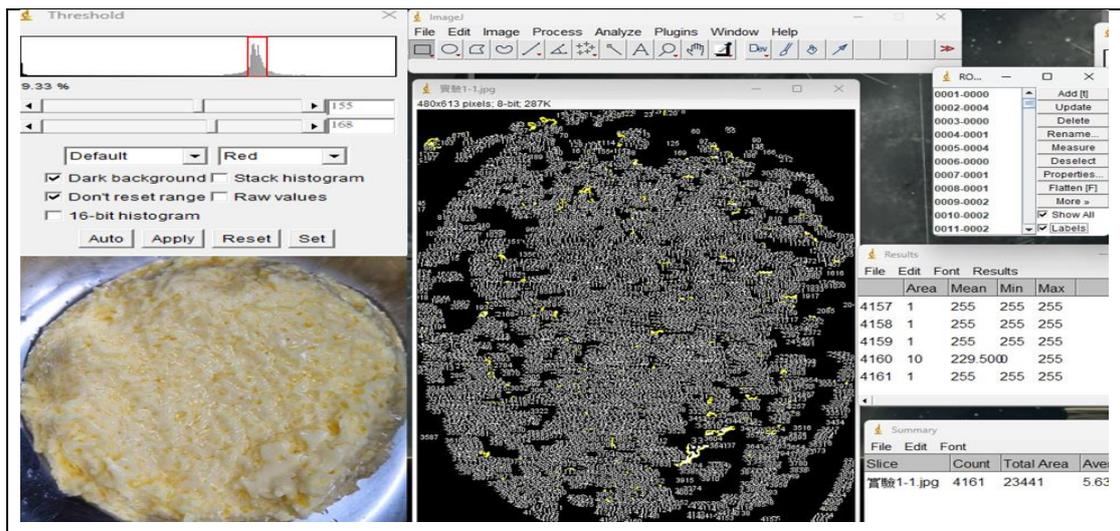


圖 4.1 調整孔洞像素亮度值範圍計算蒸蛋中孔洞數量（研究自拍）

表 4.1 蒸蛋氣孔數量計算結果

編號	手動計算 (個)	電腦計算 (個)	相似率 (%)
樣品 1	61 ± 1	60 ± 0	98.77%
樣品 2	52 ± 0	52 ± 0	100.00%
樣品 3	32 ± 0	32 ± 0	100.00%
樣品 4	12 ± 0	12 ± 0	100.00%
樣品 5	8 ± 0	8 ± 0	100.00%
樣品 6	121 ± 3	124 ± 0	97.31%
樣品 7	132 ± 3	135 ± 0	97.53%
樣品 8	181 ± 2	183 ± 0	98.91%
樣品 9	230 ± 3	236 ± 0	97.60%
樣品 10	54 ± 0	54 ± 0	100.00%

註:將 20 個不同蒸蛋成品 (樣品 1-20) 進行影像分析

(二) 蒸蛋的硬度分析

研究中利用自製物性試驗機來分析蒸蛋的硬度等物性品質，預備試驗中利用蒸蛋成品進行穿刺試驗，紀錄天秤量測重量隨時間變化過程，如圖 4.2 所示。由實驗結果顯示該蒸蛋成品的平均硬度為 144.29gw，研究證明利用自製物性試驗機，的確可以進行蒸蛋硬度的測定，並估算出硬度物理量(g)。

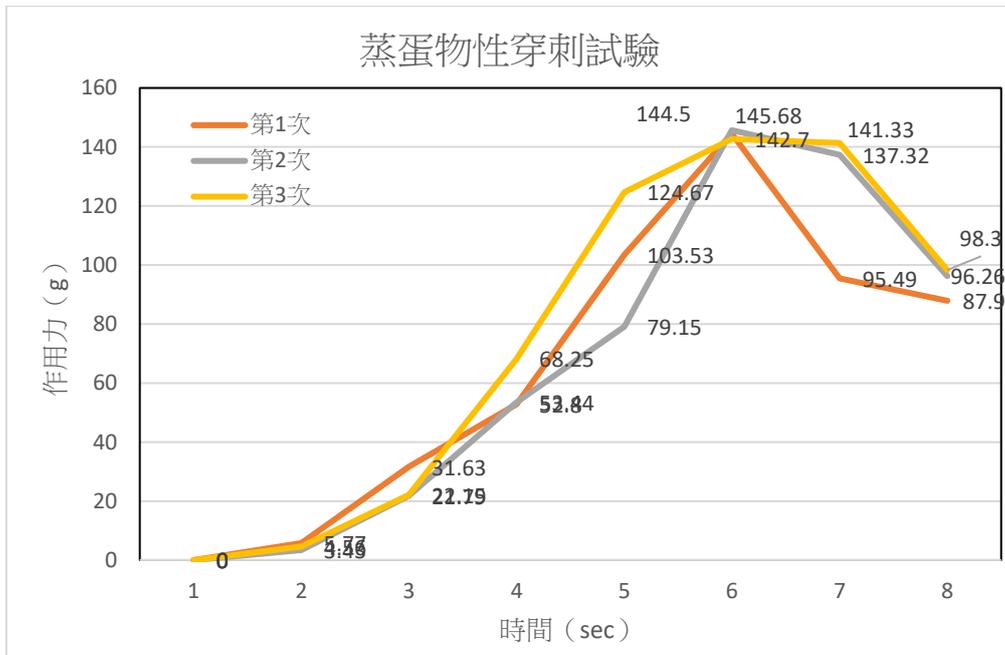


圖 4.2 自製物性試驗機之硬度試驗

(三) 蒸蛋的水合作用

研究利用不同材質（塑膠杯、鋁箔杯、紙杯）的杯子，各裝 60mL 純水等量的容積，分別在不同加熱條件（大火 700W，小火 500W）下測試蒸煮 10 分處理，進行空白試驗來觀察蒸煮前後，不同材質杯中水分蒸散狀況。結果顯示蒸煮前後，杯內水的重量變化不大，差異都在 0.5g 以內，如表 4.2 所示。由此可知蒸煮過程中，在電鍋內因為已達飽和水蒸汽壓的平衡狀態，杯內的水會蒸散到空氣中，同時空氣中的同樣也會凝結回杯中，所以重量變化不大。

蒸煮完後打開鍋蓋取出時，杯內的水會形成蒸氣散逸到空氣中，其中降溫速度最快紙杯，蒸煮前後重量變化狀況最小，其次是鋁箔杯，變化最大的是塑膠杯，研究中為防止蒸煮完後，由於水分的蒸散作用，造成水合重量的誤判，故實驗中蒸蛋蒸煮後會在鍋中放置 30min 待其冷卻後，再進行蒸蛋殘水重量，計算水合重量

一般在蒸煮過程中，隨著加熱溫度升高，蛋白質變性過程中，此時進入蛋白質的結構中水分子含量會影響蛋白質的凝固，而水合作用的程度，更會影響蒸蛋的濕潤度與柔軟度。較高的水合作用，會使蒸蛋呈現過於柔軟濕潤的狀態；相反，水合作用過少則會導致蛋白質過度凝固，質地鬆軟變得乾柴。初步試驗測試三個蒸蛋樣品，結果如表 4.3 所示，透過測量蒸蛋殘水量，比較蒸蛋前重量，利用 eq.1 和 eq.2 可分別計算出蒸蛋的水合重量（g），以及水合率（g），據此可以成功地分析蒸蛋的水合作用。

表 4.2 利用純水於不同材質杯子進行蒸煮的空白試驗

容器種類	煮前杯子總重 (空杯+60mL 水重) (g)	煮後杯子總重 (空杯+60mL 水重) (g)	蒸煮前後重量變化 (g)
大火 (700W)			
塑膠杯	68.63	68.21	-0.42 ± 0.04
鋁箔杯	62.22	61.96	-0.26 ± 0.01
紙杯	61.10	61.02	-0.08 ± 0.01
小火 (500W)			
塑膠杯	67.16	67.64	0.48 ± 0.01
鋁箔杯	61.04	61.25	0.21 ± 0.05
紙杯	60.35	60.27	-0.08 ± 0.01

表 4.3 蒸蛋的水合作用預備試驗

預備試驗	煮前水重 W0 (g)	蒸蛋成品重 Wf (g)	蒸蛋固形物重 Wd (g)	蒸蛋水合重量 Wh= W0-(Wf-Wd)(g)	蒸蛋水合率 Yh= Wh/Wf (%)
樣品 1	30	60	52.19 ± 0.01	22.19 ± 0.01	36.98%
樣品 2	33	60	49.47 ± 0.02	22.47 ± 0.02	37.44%
樣品 3	36	60	52.50 ± 0.02	28.50 ± 0.02	47.51%

二、蒸蛋的配方試驗

(一) 蛋液和水量混合比例對蒸蛋的影響

表 4.4 和圖 4.3 為不同蛋液和水量混合比對蒸蛋的水合作用，結果顯示蛋液和水比例在 1:1.5 的時候，蒸蛋成品的含水率最高，顯示有較好的水合作用。其中比例在 1:2 時，蒸蛋成品呈現水樣化狀態。

表 4.5 為不同蛋液和水量混合比對蒸蛋的硬度試驗和孔洞部分，結果顯示當蛋液含量比較高時，蛋液和水量混合比例為 1:1 時，蒸蛋成品的硬度會較高為 392.33g，蒸蛋呈現較為結實的質地。蛋液和水量混合比例為 1:1.5 時，蒸蛋硬度適中，質地較為軟嫩。隨著添加水的比例越高時，蒸蛋成品的硬度越小，比例為 1:2 時，蒸蛋質地過於鬆散，缺乏彈性，且口感偏向稀薄。蒸蛋的孔洞數量部分，如表 4.5 所示，則以 1:1.5 和 1:2 的比例，形成的孔洞最少，以 1:1.2 的比例所形成孔洞最多。至於 1:2 的比例由於質地比較鬆軟，既使蒸煮時有形成較多孔洞條件，但也會因質地鬆軟而無法形成孔洞。

表 4.4 不同蛋液和水量混合比對蒸蛋的水合作用

蛋液和水混合比例	瀘水後蒸蛋固形物重 Wd (g)	蒸蛋水合重量 Wh (g)	蒸蛋水合率 Yh (%)
1 比 1	52.19 ± 0.01	22.19 ± 0.01	36.98%
1 比 1.2	49.47 ± 0.02	22.47 ± 0.02	37.45%
1 比 1.5	52.51 ± 0.01	28.51 ± 0.01	47.52%
1 比 1.8	48.10 ± 0.01	27.10 ± 0.01	45.17%
1 比 2	47.02 ± 0.02	27.02 ± 0.02	45.04%

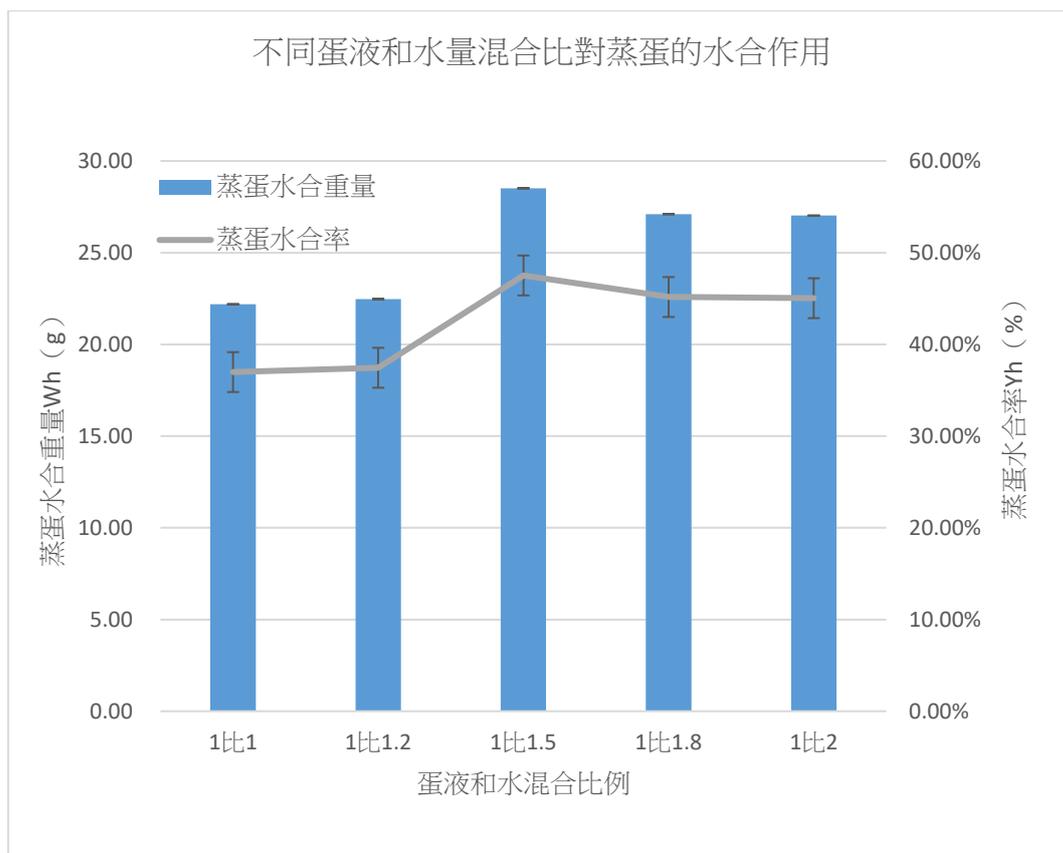


圖 4.3 不同水量和蛋液混合比對蒸蛋的水合作用

表 4.5 不同水量和蛋液混合比對蒸蛋對蒸蛋的硬度及形成孔洞數量

水和蛋液混合比例	硬度 (g)	孔洞數量 (個)
1 比 1	392.33 ± 0.61	12.00 ± 0.82
1 比 1.2	323.30 ± 4.56	16.67 ± 1.70
1 比 1.5	223.89 ± 2.67	3.67 ± 0.47
1 比 1.8	166.52 ± 0.30	10.33 ± 0.47
1 比 2	85.52 ± 4.18	3.00 ± 0.82

(二) 水溫和加熱時間對蒸蛋的影響

表 4.6 是不同水溫下配置的蒸蛋，在不同加熱時間下製成的蒸蛋，結果顯示冷水需要較長的加熱時間，才能使蛋白質變性，溫度越低的 0°C 冰水，加熱時間需要至少 10min 以上才能凝結製成蒸蛋。80°C 熱水以加熱時間 8min 和 10min 可以得到最佳的水合重量 32.82g、32.85g 與水合率 54.69%、54.75%。100°C 沸水加熱時間 10min 時，發現水合重量 29.93g 和水合率 49.88% 有下降狀況，原先蒸蛋中凝固蛋白質，受到高溫破壞，水合作用的水被析出，產生更緊密的交聯結構。

表 4.6 不同水溫及蒸煮時間對蒸蛋的水合作用

添加水的溫度 (°C)	蒸煮加熱時間 (min)	濾水後蒸蛋固形物重 Wd (g)	蒸蛋的水合重量 Wh (g)	蒸蛋水合率 Yh (%)	備註
100	6	52.08 ± 0.01	31.29 ± 0.01	52.15%	
100	8	48.70 ± 0.02	31.96 ± 0.02	53.26%	
100	10	51.04 ± 0.01	29.93 ± 0.01	49.88%	
80	6	49.42 ± 0.01	31.01 ± 0.01	51.68%	
80	8	50.97 ± 0.01	32.82 ± 0.01	54.69%	
80	10	51.27 ± 0.01	32.85 ± 0.01	54.75%	
60	6	47.03 ± 0.01	27.72 ± 0.01	46.20%	部分水樣化
60	8	50.57 ± 0.01	30.23 ± 0.01	50.39%	
60	10	52.67 ± 0.01	31.23 ± 0.01	52.05%	
20	6		NG		無法凝固
20	8	51.03 ± 0.01	31.80 ± 0.01	49.28%	
20	10	51.64 ± 0.01	30.43 ± 0.01	50.72%	
0	6		NG		無法凝固
0	8	37.64 ± 0.02	15.99 ± 0.02	26.66%	水樣化
0	10	52.10 ± 0.01	30.31 ± 0.01	50.51%	

在孔洞分析部分如圖 4.4 與表 4.7 所示，分析不同添加至蛋液的水溫及蒸煮時間下蒸蛋成品側視圖，研究發現 0°C 冰水和 20°C 冷水的蒸蛋和 60°C、80°C、100°C 熱水的蒸蛋，有不同的孔洞形成機制。

由於 0°C 冰水和 20°C 冷水中含有較高溶氣量，氣體會隨水溫的上升慢慢自內部析出，因此孔洞平均分布在蒸蛋內部，加熱溫度超過 80°C 造成蛋白質變性，析出的空氣就會形成蒸蛋的氣孔。尤其以加熱 10min 的蒸蛋成品可以明顯看出，0°C 冰水有較高的溶氣量，所以呈現比較大孔洞（0°C 冰水孔洞直徑約 1-2mm，20°C 冷水孔洞直徑約 0.5-0.8mm），而這些孔洞多呈現無水的空洞。

在 60°C、80°C、100°C 熱水部分，由於水溫高所以溶氧量不高，孔洞的形成與水蒸氣有關，在容器底部的溫度較高，會形成 100°C 水蒸氣冒出來，隨著蛋白質的變性凝固就會形成孔洞，這些孔洞是由水蒸氣冒出來所造成，因此孔洞大多分布在容器的底部受熱面，而且孔洞內多被水所填滿。實驗結果顯示，如表 4.7 所示，以 80°C 熱水調配加熱時間 8min 的蒸蛋所形成的孔洞較少（8 個）。

在蒸蛋的硬度部分，80°C 熱水調配加熱時間 8min 及 10min 可以得到比較扎實蒸蛋品質，硬度分別為 272.73g 及 285.39g。80°C 熱水調配蒸蛋中，加熱時間 8min 的蒸蛋孔洞比較少，保水重量佳。然而加熱時間 10min 的蒸蛋，雖然有較扎實組織，但是蒸蛋內部出現較多孔洞，顯示裡面蛋白質結構開始被破壞，水分子被析出，因此造成蒸蛋結構中會有較多孔洞現象。

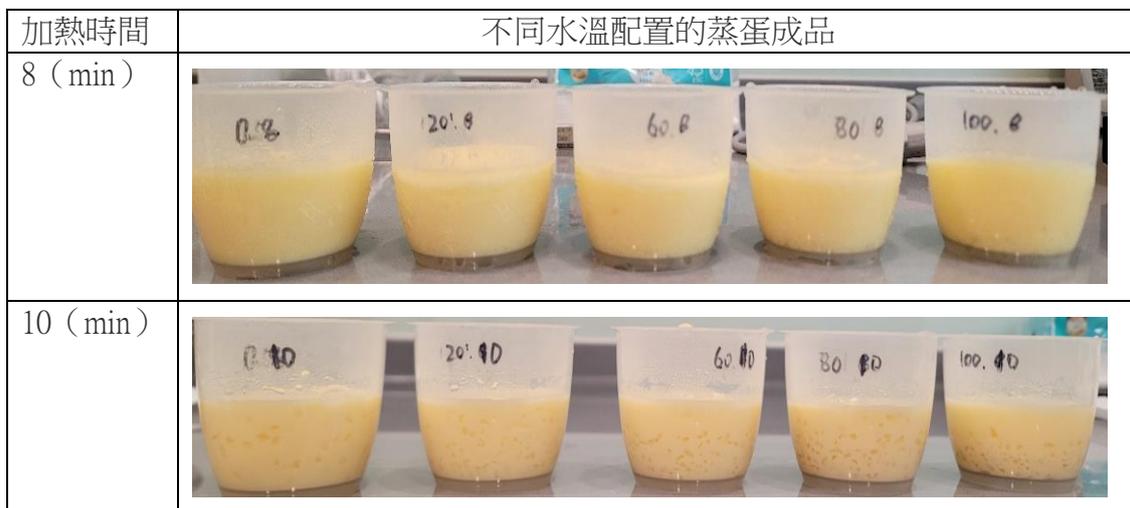


圖 4.4 不同添加至蛋液的水溫及蒸煮時間下蒸蛋成品側視圖（實物自拍）

表 4.7 不同水溫及蒸煮時間對蒸蛋的硬度測試與孔洞數量

添加水的溫度 (°C)	蒸煮加熱時間 (min)	硬度 (g)	孔洞數量 (個)	備註
100	6	127.10 ± 2.12	11.67 ± 0.58	
100	8	148.59 ± 2.52	14.33 ± 0.58	
100	10	117.72 ± 1.19	43.00 ± 1.00	
80	6	123.20 ± 1.96	11.67 ± 0.58	
80	8	272.73 ± 1.01	8.33 ± 0.58	
80	10	285.39 ± 0.80	40.00 ± 1.00	
60	6	57.19 ± 2.23	12.33 ± 0.58	
60	8	189.79 ± 3.70	28.00 ± 2.00	
60	10	252.44 ± 3.31	45.00 ± 1.00	
20	6		NG	蒸蛋無法凝固
20	8	107.58 ± 1.60	41.67 ± 0.58	
20	10	118.51 ± 0.71	46.67 ± 0.58	
0	6		NG	蒸蛋無法凝固
0	8		NG	蒸蛋呈現水樣化
0	10	76.46 ± 7.12	20.00 ± 1.00	

(三) 蛋黃和蛋白比例對蒸蛋的影響

結果如表 4.8 所示：

1. 蛋黃和蛋白配比 1:0 時：此為純蛋黃的蛋液，因為蛋黃含有較高的脂肪和少量的蛋白質，蛋液呈現較為濃稠，蒸出來的蛋質地可能偏向柔軟且滑嫩。脂肪能夠降低蛋白質交聯的程度，蒸蛋的硬度較低。由於缺乏蛋白質的支持，孔洞較少，蒸蛋表面比較平滑。
2. 蛋黃和蛋白配比 1:1 時：蒸蛋會呈現較為適中硬度，這是由於蛋黃的乳化作用會影響蛋白變性，降低蛋白質交聯作用，蒸蛋呈平滑狀態略有彈性。孔洞數略微增加為 2-3 個左右。
3. 蛋黃和蛋白配比 1:2 時：此為一般雞蛋中蛋黃和蛋白配比，蒸蛋質地硬度偏向緊實，蛋白質能夠交聯結構，形成更堅固的結構，蒸蛋有較佳的水合作用。蒸蛋表面出現孔洞較少約 3-4 個，這是由於蛋液中的空氣會在蒸煮過程中析出並形成氣泡。
4. 蛋黃和蛋白配比 1:3 時：蛋白的比例較高，蒸蛋的硬度會增加，質地偏向更緊實。這是因為更多的蛋白質能夠交聯，形成更堅固的結構。蒸蛋表面可能會出現更多小孔約 20 個，蒸蛋表面出現很多皺褶。
5. 蛋黃和蛋白配比 0:1 時：此為純蛋白狀態，蒸蛋的結構較為堅固，蒸蛋成品最硬，並且出現更多的氣泡和更粗的孔洞結構，孔洞約 12 個，此時蒸蛋的水合作用低，蒸蛋口感偏乾。

表 4.8 不同蛋黃和蛋白配比的蒸蛋質地、孔洞及水合作用

蛋黃蛋白比例	蒸蛋的水合重量		蒸蛋水合率 Yh (%)	硬度 (g)	孔洞數量 (個)	
	Wh (g)					
1:0 (全蛋黃)	9.06 ± 0.06		15.10%	392.33 ± 0.61	3.00 ± 0.82	
1:1	10.69 ± 0.16		17.82%	323.30 ± 4.56	16.67 ± 1.70	
1:2 (一般雞蛋)	28.51 ± 0.01		47.52%	223.89 ± 2.67	3.67 ± 0.47	
1:3	13.75 ± 0.07		22.92%	166.52 ± 0.30	20.33 ± 0.47	
0:1 (全蛋白)	2.87 ± 0.32		4.78%	85.52 ± 4.18	12.00 ± 0.82	

(四) 鹽度對蒸蛋質地的影響

鹽能夠改變蛋白質的結構，具體而言，鹽會破壞蛋白質中的氫鍵和靜電作用，降低蛋白質分子之間的相互吸引力，從而影響蒸蛋凝固過程。

圖 4.5 與表 4.9 為不同鹽度對蒸蛋質地、孔洞及水合作用，結果顯示：

1. 無鹽：蒸蛋質地較為嫩滑綿密，所形成的孔洞少（約 4-5 個）。

- 2%鹽量：在低鹽濃度下，蛋白質結構相對穩定，蛋白質分子之間的相互作用較強，蒸蛋會較為緊實且孔洞少（約 2-3 個），質地較為平滑。
- 4%鹽量：在高鹽濃度時會使蛋白質過度破壞結構，導致蛋白質無法有效凝固。蒸蛋質地可能變得較為粗糙或有彈性，水合重量變差 26.27g 水合率差為 43.78%，出現較多孔洞（約 16-17 個）且質地結構略微鬆散。



圖 4.5 不同鹽度下蒸蛋成品（實物自拍）

表 4.9 不同鹽度對蒸蛋質地、孔洞及水合作用

鹽度 (%)	硬度 (g)	孔洞數量 (個)
0	223.89 ± 2.67	4.33 ± 0.47
2	237.54 ± 1.66	2.67 ± 0.94
4	244.50 ± 1.36	16.67 ± 1.70

鹽度 (%)	濾水後蒸蛋固形物重 Wd (g)	蒸蛋的水合重量 Wh (g)	蒸蛋水合率 Yh (%)
0	52.19 ± 0.01	28.19 ± 0.01	46.98%
2	51.80 ± 0.03	27.80 ± 0.03	46.34%
4	50.27 ± 0.02	26.27 ± 0.02	43.78%

（五）糖度對蒸蛋質地的影響

糖的添加會對蛋白質的凝固有不同的作用。糖分子能與水分結合，降低水的自由度，從而影響蛋白質的凝固過程。結果如表 4.10 所示：

- 2%糖量：在低糖濃度下，糖對蒸蛋質地的影響不大。蒸蛋的質地依然可以保持光滑且細緻，糖分主要起到調味作用。糖的濃度適中時，糖分子與水的結合會使蒸蛋的質地更加柔軟。這種改變會使蒸蛋的口感更加細膩、光滑，並且具有輕微的甜味，增添口感層次。
- 4%糖量：在高糖濃度下，糖會進一步改變蛋白質的凝固行為，可能使蒸蛋的質地更加黏稠或過於柔軟，甚至出現水分析出，影響質地的穩定性。

表 4.10 不同糖度對蒸蛋質地、孔洞及水合作用

糖度 (%)	硬度 (g)	孔洞數量 (個)	
0	223.78 ± 2.62	3.67 ± 0.47	
2	217.88 ± 1.83	1.33 ± 0.94	
4	204.20 ± 1.32	19.33 ± 0.47	
糖度 (%)	濾水後蒸蛋固形物重 Wd (g)	蒸蛋的水合重量 Wh (g)	蒸蛋水合率 Yh (%)
0	52.19 ± 0.01	28.19 ± 0.01	46.98%
2	50.80 ± 0.03	26.80 ± 0.03	44.67%
4	48.27 ± 0.02	24.27 ± 0.02	40.45%

(六) 鹽與糖的交互作用

鹽與糖同時加入時，兩者的交互作用也會影響蒸蛋的質地。糖可以幫助保水，使蛋白質不容易脫水，而鹽則能改變蛋白質的結構，兩者共同作用可能會影響蒸蛋的硬度和水合作用。結果如表 4.11 所示。

1. 2%糖鹽度：在低鹽和低糖的情況下，蒸蛋會偏向較為緊實的質地。
2. 4%糖鹽度：當鹽度和糖度同時提高時，蒸蛋的質地變得柔軟，在高糖高鹽的情況下，蒸蛋出現質地不穩定、過於濕潤或呈現顆粒感狀態。

表 4.11 不同糖鹽度對蒸蛋質地、孔洞及水合作用

糖鹽度 (%)	硬度 (g)	孔洞數量 (個)	
0	223.89 ± 2.67	3.67 ± 0.47	
2	237.54 ± 1.66	2.33 ± 0.47	
4	244.50 ± 1.36	32.67 ± 5.25	
糖鹽度 (%)	濾水後蒸蛋固形物重 Wd (g)	蒸蛋的水合重量 Wh (g)	蒸蛋水合率 Yh (%)
0	52.19 ± 0.01	28.19 ± 0.01	46.98%
2	49.63 ± 0.85	25.63 ± 0.85	42.72%
4	42.38 ± 1.83	18.38 ± 1.83	30.63%

三、蒸蛋的外在變因

(一) 加熱火力及加熱時間對蒸蛋的影響

實驗結果如圖 4.6 及表 4.12 所示，蒸蛋的硬度和結構、水合作用和孔洞數量，會隨著加熱火力和時間的不同而有所變化：

1. 電鍋以 700W 大火蒸煮時，由於加熱蒸氣過多，在容器底部容易會形成小水蒸氣泡，進

而造成蒸蛋成品底部會呈現多孔狀態，並且隨著加熱時間的增加，蒸蛋過度凝固，質地變硬，降低水合作用，水分流失較多，蒸蛋品質變得乾燥，表面會出現許多皺褶。

2. 電鍋以 500W 小火蒸煮時，蒸蛋達到最佳的口感，蛋白質變性適中，質地紮實柔軟且濕潤，水合作用佳，並且孔洞較少。
3. 加熱時間上：
 - (1) 蒸煮 6 分鐘的蒸蛋的表面較為平滑，內部保持一定的濕潤感，孔洞約 3-4 個，質地較為鬆散。
 - (2) 蒸煮 8 分鐘的蒸蛋表面較平滑且嫩滑，質地紮實孔洞少約 0-2 個。
 - (3) 蒸煮 10 分鐘的蒸蛋過於乾燥質地較硬，孔洞較多。

表 4.12 加熱火力及加熱時間對蒸蛋質地、孔洞及水合作用

大火加熱時間 (min)	硬度 (g)	孔洞數量 (個)	
6	223.89 ± 2.67	3.67 ± 0.47	
8	237.54 ± 1.66	1.33 ± 0.94	
10	244.50 ± 1.36	16.67 ± 1.70	
小火加熱時間 (min)			
6	226.73 ± 0.43	4.33 ± 0.47	
8	241.40 ± 0.99	1.67 ± 0.47	
10	250.92 ± 0.43	0.67 ± 0.47	
大火加熱時間 (min)	濾水後蒸蛋固形物重 Wd (g)	蒸蛋的水合重量 Wh (g)	蒸蛋水合率 Yh (%)
6	49.42 ± 0.01	31.01 ± 0.01	51.68%
8	50.97 ± 0.01	32.82 ± 0.01	54.69%
10	51.27 ± 0.01	32.85 ± 0.01	54.75%
小火加熱時間 (min)			
6	50.12 ± 0.09	32.91 ± 0.09	54.85%
8	51.48 ± 0.17	34.48 ± 0.17	57.47%
10	53.05 ± 0.60	36.05 ± 0.60	60.08%



圖 4.6 蒸蛋用電鍋（實物自拍）

（二）蒸蛋容器材質對蒸蛋的影響

實驗結果如圖 4.7 所示：

1. 塑膠杯熱傳較差，所以底部不會有過度受熱產生氣泡狀況，比較不會形成孔洞，蒸蛋成品水合作用佳，蒸蛋質地紮實柔軟且濕潤。
2. 鋁箔杯由於熱傳較快，因此容器底部，容易形成析出氣體，加上蛋白質馬上就受到高溫迅速凝固，故蒸蛋呈現多孔性構造，蒸蛋質地差。
3. 紙杯由於紙材厚度較薄，所以跟鋁箔一樣，熱傳較快，容器底部，加上紙材具有透氣性，更容易由底部析出氣體，蒸蛋成品呈現多孔性構造。

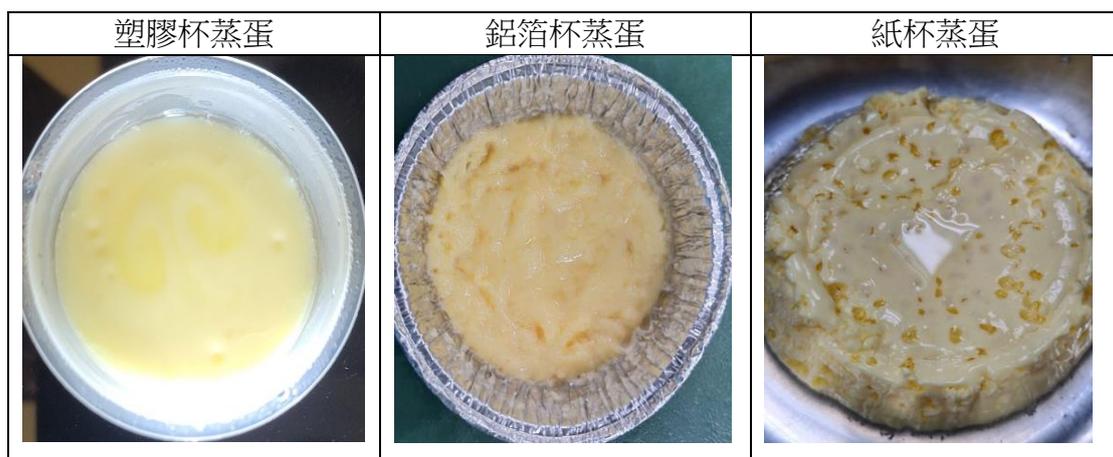


圖 4.7 不同容器製成的蒸蛋（實物自拍）

伍、討論

一、蒸蛋品質分析方法

- (一) 研究中學習利用影像處理軟體 ImageJ 來針對每張蒸蛋的照片，透過調整孔洞像素亮度值 (Intensity) 分佈範圍手法，取代人工手動計算，並避免重複計算問題，可以更精準有效地找出其蒸蛋相片中的孔洞，並計算出正確數量。
- (二) 研究中自行設計製作自製物性測定儀用來測量蒸蛋成品的硬度，的確可以有效正測量蒸蛋的硬度的大小，並且可以據此來探討蒸蛋的品質。
- (三) 研究透過過濾成品析出的水分，計算蒸煮前後的水的重量變化，可以計算出蒸蛋的水合重量，並分析不同配方製成的蒸蛋的水合率，據此來判斷蒸蛋的品質。較高的水合作用，會造成蒸蛋呈現過於柔軟濕潤的狀態；相反，水合作用過少則會導致蛋白質過度凝固，質地鬆軟變得乾柴。

二、蒸蛋的配方試驗

- (一) 蛋液和水量混合比例，研究發現蛋液和水量混合比例為 1:1.5 時，蒸蛋的質地較為嫩滑綿密。隨著添加水的比例越高時，蒸蛋成品的硬度就會越小。
- (二) 在水溫和加熱時間部分，添加低溫冰水的蛋液，加熱時間需要較長的時間，才能凝結製成蒸蛋。添加溫度高於 80°C 沸水時，原先蒸蛋中凝固蛋白質，受到高溫破壞，水合作用的水被析出，產生更緊密的交聯結構。研究也發現添加低溫 0°C-20°C 冰水的蒸蛋和 80°C-100°C 高溫熱水的蒸蛋，有不同的孔洞形成機制，如圖 5.1 所示。
 1. 調配添加的水為冷水時，由於低溫的水含有較高溶氣量，氣體會隨水溫的上升慢慢自內部析出，加熱溫度超過 80°C 造成蛋白質變性時，因此孔洞平均分布在蒸蛋內部，蒸蛋的氣孔泰半是由析出的空氣所造成。
 2. 調配添加的水為熱水時，因為水溫高所以溶氧量不高，孔洞的形成則與氣態的水蒸氣有關，在接觸加熱源的容器底部，其溫度最高，會形成 100°C 氣態水蒸氣冒出來，由於高溫馬上就會造成蛋白質的變性，蛋液就會凝固而水蒸氣就會造成孔洞。這些孔洞是由水蒸氣冒出來所造成，因此孔洞大多分布在容器的底部受熱面，蒸蛋冷卻後孔洞內多被水所填滿。

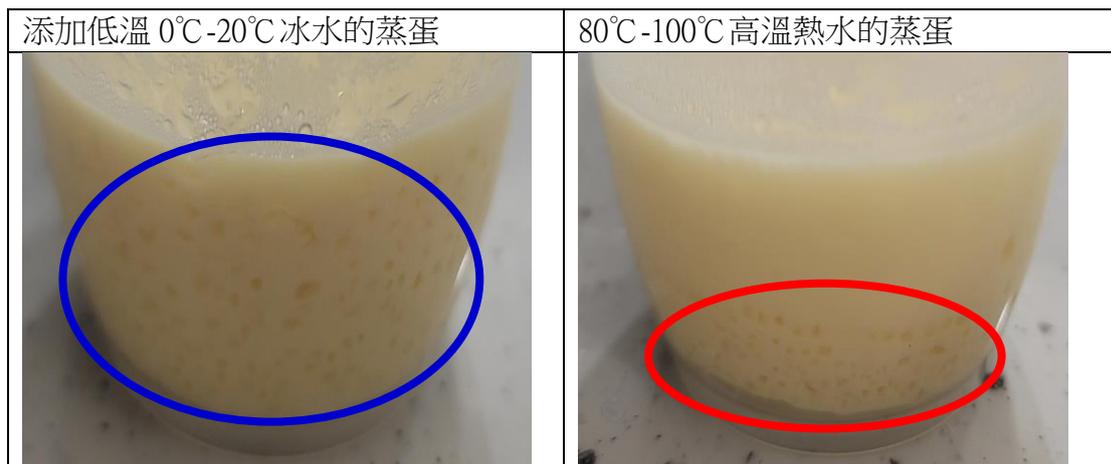


圖 5.1 添加不同水溫下的蛋液所製成蒸蛋的孔洞分布（實物自拍）

- (三) 蛋黃和蛋白比例 1:2 時，蒸蛋質地硬度偏向緊實，蛋白質能夠交聯結構，形成更堅固的結構，蒸蛋有較佳的水合作用，並且蒸蛋的孔洞較少約 3-4 個。
- (四) 鹽能夠改變蛋白質的結構，具體而言，鹽會破壞蛋白質中的氫鍵和靜電作用，降低蛋白質分子之間的相互吸引力，從而影響蒸蛋凝固過程。但是在 2% 低鹽濃度下，蛋白質結構相對穩定，蛋白質分子之間的相互作用較強，蒸蛋會較為緊實且孔洞少（約 2-3 個），質地較為平滑。
- (五) 糖的添加會降低水的自由度，從而影響蛋白質的凝固過程。糖分子與水的結合會使蒸蛋的質地更加柔軟。
- (六) 鹽與糖同時加入時，會形成交互作用，蒸蛋會偏向較為緊實的質地。但是，在高糖高鹽的情況下，蒸蛋出現質地不穩定、過於濕潤或呈現顆粒感狀態。

三、蒸蛋的外在變因

- (一) 以 500W 小火蒸煮時，蒸煮 8 分鐘可使蒸蛋達到最佳的口感，蛋白質變性適中，質地紮實柔軟且濕潤，水合作用佳，並且孔洞較少。
- (二) 選用塑膠杯作蒸蛋，由於塑膠熱傳較差，所以底部不會有過度受熱產生氣泡狀況，較不會形成孔洞，蒸蛋成品水合作用佳，且質地紮實柔軟濕潤。

陸、結論

蒸蛋在電鍋內加熱過程中，其實包含了熱傳與質傳兩部分。在蒸蛋加熱過程中，由於蒸蛋外部會先被加熱，然後，熱量由外層逐漸往內部傳遞，不同容器的材質則會有不同熱傳速度，造成蒸蛋中蛋白質變性凝固的情況也會有所不同。在質傳部分，除了空氣會隨加熱升溫析出外，還有主要是發生在當溫度從 90 到 100°C 時，水蒸氣會以氣泡方式析出，首先容器上形成，然後往內部傳遞，因此容器底部往往會形成多孔洞的結構。雞蛋蛋白所形成的網狀凝膠和植物性大豆蛋白不同，可以鎖住水分和空氣，阻絕包覆在蒸蛋裡面，透過這樣的特性可以鎖住一些特殊的氣體，開發具有創意的分子料理。研究發現蒸蛋最佳配方為：蛋液和水比為 1:1.5，以 80°C 熱水調配蛋液，以塑膠杯裝，用小火（500W）烹煮，加熱時間 8 分鐘，可以得到較佳的蒸蛋成品，質地紮實柔軟且濕潤，水合作用佳，並且孔洞較少。

柒、參考文獻

1. 王輝（2020年5月5日）·如何進行質構儀數據分析·*分析測試百科網*·取自 <https://www.antpedia.com/news/06/n-2387806.html>
2. 台灣環境部（2024）·關於水的知識:：水中溶氧量隨溫度升高而降低·*全國環境水質監測資訊網*·取自 https://wq.moenv.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/WaterKnowledge/Pedia_21.aspx
3. 彩味明玥 Magic（2021年5月15日）·蒸水蛋用熱水還是冷水·取自 https://www.youtube.com/watch?v=GZscy_JSIBE
4. 新唐人電視台（2022年9月27日）·水蒸蛋用冷水還是熱水？蒸幾分鐘？教你正確做法·取自 <https://www.ntdtv.com/b5/2022/09/26/a103537437.html>
5. 維基百科（2020年11月6日）·蛋白·取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%9B%8B%E7%99%BD>
6. 維基百科（2023年4月26日）·蛋黃·取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%9B%8B%E9%BB%83>
7. 劉蕙瑄、曾子論、蔡咏妍、楊詠筑（2022）·清蒸芙蓉何時了，氣孔冒多少·*2022 全國科學探究競賽*·新北市立安溪國民中學。
8. 翰林出版社（2023）·國一自然第3章食品中的養分與能量·台北市。