

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

第二名

030205

生入鹼出一探討不同變因對鹼性蛋白凝膠特性的影響

學校名稱：高雄市立福山國民中學

作者： 國二 黃昀蓁 國二 蔡依軒 國二 李宸宇	指導老師： 鄭士鴻
---	------------------

關鍵詞：皮蛋、蛋白凝膠、鹼變性

摘要

蛋白凝膠富有彈性、保存性及營養，除了可食用也有多種加工特性，是肉製品中不可或缺的配料。若能控制凝膠的特性可使其更加貼和市場的需求以應用於乳化型肉製品或火鍋料等食品，故我們以此為出發點來研究不同變因對蛋白凝膠的影響。

實驗發現蛋白混合液的最終 pH 須 12 以上才會變性形成凝膠。加入金屬離子可減少帶負電的蛋白質分子間相互排斥的靜電力；+2 與+3 價之金屬陽離子與+1 價離子相比，更能提供蛋白分子間更多的連結點來形成凝膠。蛋白液溫度實驗顯示溫度越高凝結越快但最大強度越弱。

另外，添加不同種類的醣對凝膠強度有不同程度的加強。最後，我們對凝膠成品進行烹煮加熱，烹煮溫度越高，成品強度便降得越低，甚至使凝膠結構快速崩解。

壹、研究動機

「皮蛋是世界上最噁心的食物」、「皮蛋是用馬尿做的！」、「皮蛋含有重金屬，吃了對身體不健康」……網路上對皮蛋的說法眾說紛紜，其實皮蛋沒有大家想得如此糟糕，皮蛋除了可食用之外，我們發現其蛋白具有多種加工特性。皮蛋蛋白具有良好的彈性與保存性且富含營養，皮蛋蛋白凝膠能顯著提高產品的彈性和硬度，增加適口性，可做為肉製品中的添加劑。若是能改變凝膠的軟硬度使其更加貼合市場的需求，以應用於乳化型肉製品，便能以此開發出具結著性、咀嚼性、利用性及能夠取代聚合磷酸鹽添加之新型態乳化型肉製品為材料做出的即食食品或火鍋料等食品，因此我們將其作為出發點來設計此篇研究。

貳、研究目的

一、測量不同濃度的鹼液對蛋白凝膠的影響

二、觀測加入金屬鹽後對蛋白凝膠的影響

(一) 相同種類不同濃度的金屬鹽 (二) 相同濃度不同種類的金屬鹽

三、不同溫度蛋白液對蛋白凝膠形成的影響

四、添加醣類對蛋白凝膠的影響

(一) 不同濃度的葡萄糖 (二) 不同種類的醣

五、探討以不同溫度對凝膠成品加熱烹煮後，蛋白凝膠的變化

參、研究設備及器材

自製凝膠強度觀測儀零件	藥品	其他設備與器材
T 木條 2*2*30 (4 支)	氫氧化鈉	50、25ml 量筒
木板 25*25*2 (2 片)	蛋白液	1000ml、500ml、250ml、100ml、50ml 燒杯
不銹鋼全牙粗螺絲 30 公分	硫酸銅	1000ml、250ml、100ml 定量瓶
電子天秤	氯化鐵	攝影機
寶特瓶瓶蓋	氯化鋁	數位相機
一字形墊片	氯化銅	恆溫槽
	氯化鎂	探針式電子溫度計
	氯化鈣	溫度計
	氯化鈉	pH 計
	葡萄糖	
	蔗糖	
	異麥芽寡糖	

肆、文獻探討與實驗流程

一、文獻探討

(一) 蛋白質組成與結構

蛋白質的組成元素，主要是碳(約佔 52%)、氧(約佔 23%)、氮(約佔 16%)、氫(約佔 7%)、硫(約佔 0.5%)五種元素所構成的，其中因氮的存在而使蛋白質有別於醣類與脂肪。構成蛋白質的其他少量元素尚有磷、鐵、銅、碘…等。蛋白質的分子量，可由 5000 至百萬不等，所以蛋白質的分子比醣類與脂肪大很多。

蛋白質結構可分為四級(陳佩汶，2014)：

1. 一級結構：蛋白質是由一個 α —胺基酸與另一個 α —胺基酸以醯胺鍵結合形成一條多肽鏈，這種胺基酸序列就是一級構造，由此構成蛋白質的骨架。此一級構造的一端為 N-端 ($-\text{NH}_2$)，另一端為 C-端 ($-\text{COOH}$)。

2. 二級結構：一級結構的胺基酸序列依靠不同胺基酸之間的羰基($>C=O$)和胺基($>N-H$)基團間所形成的氫鍵，是維持二級結構的主要力量，形成的兩種主要結構形狀為 α -螺旋、 β -摺疊，這兩種皆為平面構造，二級構造是蛋白質構形的基礎單位。
3. 三級結構：分子內各部分的二級構造再組合，構成立體結構的三級構造，其構成的作用力有疏水鍵、雙硫鍵、離子鍵、氫鍵等，其中疏水鍵對水溶性蛋白質三級構造之穩定性，貢獻較高。蛋白質分子內兩個半胱胺酸上的 $-SH$ 基可經由氧化而形成雙硫鍵($-S-S-$)，雙硫鍵可加強蛋白質的立體構造。
4. 四級結構：若數個相同或不同的三級構造分子，再結合成一個較大的複合體，才具有完整的活性功能，則稱為四級構造。構成四級構造的每一單位分子，稱為次單位；通常各次單位之間無共價鍵結合，而以離子鍵、氫鍵、疏水鍵為主要結合力。

(二) 皮蛋製作

皮蛋傳統製作上有分成三種方法(黃齡誼，2016)：

1. 塗敷法：

屬於傳統製法，將生石灰、草木灰、蘇打等鹼性物質及食鹽等材料調成泥狀，均勻塗抹於鮮蛋表面，再裹上米糠避免蛋與蛋之間互相沾粘，之後放入密封容器內熟成。

2. 浸漬法：

為現代常用製法，將氫氧化鈉(強鹼)與食鹽、紅茶沫等其他材料製成溶液，再將鮮蛋泡入溶液中熟成，經一定時間後取出。

3. 混合法：

先使用浸漬法，將鮮蛋泡入藥劑溶液中，再使用塗敷法，將此溶液製成泥狀塗抹於鮮蛋表面，最後將其放入密封容器內熟成。

(三) 皮蛋凝膠過程(黃賢齊，2012)

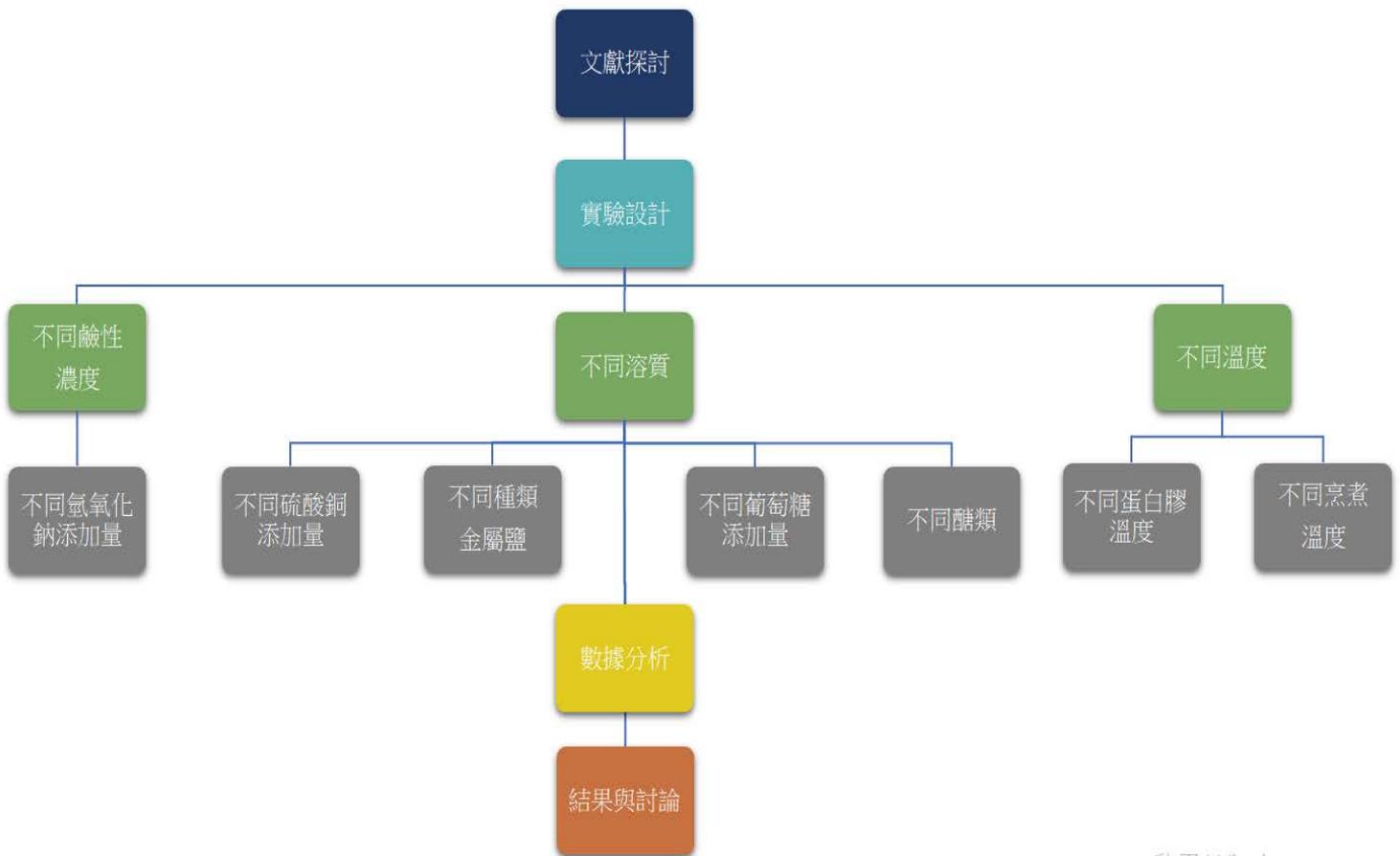
皮蛋的製作原理便是利用鹼性溶液，促使蛋白水化後，蛋白鍵重新排列組合，形成所謂變性蛋白凝固而成。在蛋白質分子變性之後，展開的蛋白質分子，因各種官能基暴露出來，使不同分子間產生新的作用力；而展開的親水性原子團，則與水發生水合作用，因此蛋白質分子間聚集形成有次序的網狀結構，並將水合的水，包埋在網狀的蛋白質結構中，最後便形成凝膠狀結構。

(四) 論文參考

根據第 57 屆科展「健『鹼』happy 蛋~健康皮蛋新面貌」指出「在 25°C，pH=12 以上，於藥劑中浸漬 10~14 天可以形成良好的凝膠，但若 pH 超過 12.8 時，則會因過鹼而導致自體溶解液化的現象，一般氫氧化鈉的濃度大約會控制在 4~6% 左右。」但經計算後發現，氫氧化鈉濃度為 4~6% 時 pH 值遠大於 12.8，這與文中 pH 超過 12.8 會因過鹼而導致自體溶解液化相矛盾，我們很好奇究竟廠商在製造皮蛋時要如何拿捏鹼液的濃度多寡較有利於皮蛋的形成？不同濃度的鹼性環境對蛋白凝膠的形成有什麼影響。

另外我們發現各皮蛋相關論文皆是討論皮蛋的製作成功與否(游依婷，2005；陳昕，2017)等，但卻因為形成的皮蛋形狀不一難以客觀的量化測量蛋白凝膠的特性，故我們在本篇論文設計了不同的皮蛋製作方式以方便我們去探討各變因與凝膠強度的關係。

二、實驗流程



啟用 Windows

伍、研究過程、結果與討論

一、【實驗一】不同濃度鹼液對蛋白凝膠形成之影響

(一) 研究目的：在查詢資料時，我們發現要產生蛋白凝膠所需浸入的鹼液濃度有兩種說法：分別是(1)氫氧化鈉浸漬液的重量百分濃度 4~6%(陳怡兆，2010)；(2)另一種說法是 pH 值須介於 12~12.8 之間(陳昕，2017)。這使我們心生疑惑，兩者的 pH 值不相符且相差甚大(前者 pH 值 14 以上，後者 pH12~13 之間)，我們很好奇究竟要多少強鹼才能使蛋白膠凝固？加入不同濃度強鹼後蛋白膠凝固的狀況有什麼不一樣？因此我們先以兩種配方的最低 pH 值=12 作為出發點去改變不同氫氧化鈉濃度，以探討究竟何種鹼性環境對蛋白凝膠的形成與特性較有利。

(二) 變因：

控制變因	操縱變因	應變變因
1. 容器：100ml 燒杯 2. 蛋白液體積：40ml 3. 氫氧化鈉水溶液體積：10ml 4. 放置溫度：22°C 5. 各組放置時間 1~24 小時 6. 測量間隔時間	不同氫氧化鈉濃度	不同濃度鹼液所形成的蛋白凝膠差異

1. 控制變因

(1) 容器：我們發現傳統皮蛋相關實驗大都是將帶殼蛋泡入浸漬液中，等待固定時間後打開觀察是否成型，較無法直接觀測當下蛋白凝膠的狀況。故我們以 100ml 燒杯作為盛裝蛋白混和液的容器，以方便觀察不同時間蛋白液凝膠的變化情形(如圖 1)。



▲ 圖 1 蛋白液凝膠



▲ 圖 2 純蛋白液



▲ 圖 3 蛋白液 40ml

(2) 雞蛋蛋白液：因傳統皮蛋製作大多以整顆帶殼蛋直接做實驗，較易因每顆雞蛋品質、蛋殼厚度及孔洞大小不一而導致誤差。我們為克服此困難，採用 1 公升

瓶裝的純雞蛋蛋白液(如圖 2)，並在每次使用前將其攪拌均勻使每份平均蛋白質含量較為一致以提升實驗效率與減少誤差。

- (3) 蛋白液體積：經資料查詢，我們發現市售雞蛋一顆平均質量約 66g(參考資料 4)，蛋白占比約為 60%(陳怡兆，2010)。故 1 顆雞蛋所含蛋白液質量約為 $66\text{g} \times 60\% = 39.6\text{g} \approx 40\text{g}$ 。另外蛋白水分含量高達 88%，平均密度約等於 $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，為控制變因以便操作，我們每次皆取體積 40ml 的蛋白液作為每個實驗的控制變因(如圖 3)。
- (4) 氫氧化鈉溶液體積：在先前試做實驗中，我們直接將氫氧化鈉顆粒加入蛋白液中，發現周圍的蛋白迅速形成臍帶狀凝膠將其包覆，阻隔了與其他蛋白液的接觸而造成極大的誤差。因此，我們統一先將氫氧化鈉加水溶成不同濃度的鹼性水溶液 10ml 再混入蛋白液中，使粒子能均勻混和於蛋白液以方便觀察蛋白凝膠的變化與減少上述誤差。
- (5) 放置溫度：本實驗環境為冬天的封閉實驗室，常溫範圍穩定(約 $22\sim 24^\circ\text{C}$)

2. 操縱變因

- (1) 因雞蛋蛋白水分含量約為 88%，平均密度接近 $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，因此我們估算鹼濃度的稀釋與配製時先將蛋白液視為水以方便計算：取 0.02g 的氫氧化鈉(0.0005mol)加水至 10ml 調配成 $[\text{NaOH}] = 0.05\text{M}$ 的氫氧化鈉水溶液，並將其加入 40ml 的蛋白液稀釋成總體積 50ml 的鹼性蛋白液，使混和液 $[\text{NaOH}]$ 降為 $0.01\text{M} = 10^{-2}\text{M}$ ($\text{pH} = 12$) 來觀察其蛋白凝膠情形。實驗結果發現此比例的蛋白液完全不會凝結(如圖 4)；接著依序提高 NaOH 莫耳濃度直至 10 倍 \rightarrow 同體積混和液含 0.2g 氫氧化鈉 (0.005mol)，混和成 $[\text{NaOH}] = 0.1\text{M}$ 、 pH 應為 13 的 NaOH 水溶液，實驗發現竟然還是沒有凝膠出現(如圖 5)。接著在我們慢慢提高蛋白液中的 NaOH 含量後 (0.0075mol)，蛋白才開始出現凝膠。因此我們以添加 0.005mol 氫氧化鈉當出發點依序增加蛋白混和液中所含 NaOH 莫耳數(分別為 0.005、0.0075、0.01、0.0125、0.015mol)，來觀察不同鹼性環境下蛋白液的凝結特性與差異。



▲ 圖 4 $[\text{NaOH}] = 0.01\text{M}$ 的蛋白液



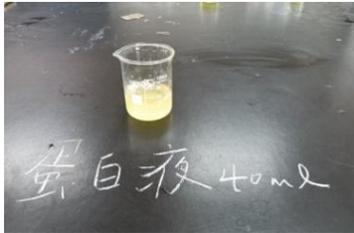
▲ 圖 5 $[\text{NaOH}] = 0.1\text{M}$ 的蛋白液

3.應變變因

我們利用自製凝膠強度觀測儀測量不同鹼性環境下所形成蛋白凝膠之凝膠強度，並藉此了解凝膠強度隨時間變化的關係。

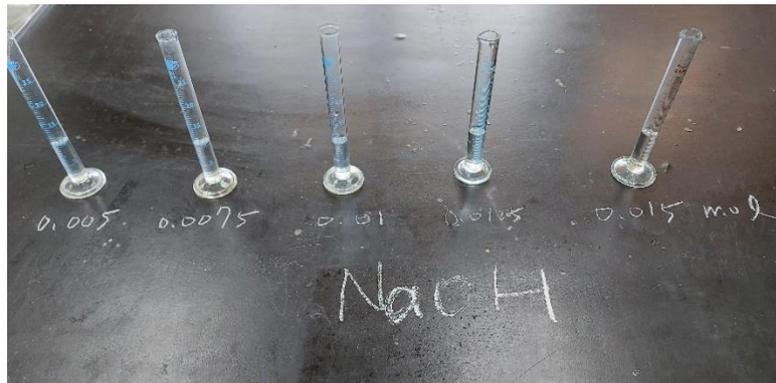
(三) 實驗步驟

1.量取 40ml 雞蛋蛋白液



2.配置不同濃度的氫氧化鈉溶液

(分別為 0.005、0.0075、0.01、0.0125、0.015mol 加水至總體積為 10ml)



3.將不同濃度之氫氧化鈉溶液分別加入 40ml 蛋白液中，並在一分鐘內順時針方向等速攪拌 30 下

4.將配好的蛋白混和液分別在室溫下放置 1Hr / 2Hr / 3Hr / 4Hr / 5Hr / 24Hr



5.觀察與記錄各組在不同時間點的凝結狀況，並利用凝膠強度觀測儀分別測定各組蛋白凝膠之凝膠強度及記錄數據。

(四) 測量方法：

為了可以較客觀的測量不同鹼性濃度在不同時間點時所形成的蛋白凝膠狀態差異，我們自製了一台凝膠強度觀測儀來幫助我們測量不同條件下的蛋白凝膠凝結差異：**本實驗將蛋白凝膠的強度定義為貫穿凝膠至固定深度(1.5cm)所需的力量**，我們要測定不同條件下產生的貫穿凝膠至固定深度所需的力量，首先需要可以穩定施予凝膠下壓力的施力來源，我們參考水龍頭握把設計到五金材料行選購適合的裝置零件：長 30cm 直徑 1cm 的不銹鋼全牙粗螺絲與相對應的螺帽，因螺絲的螺紋與螺距固定，使每圈轉動下壓的距離都一樣，讓粗螺絲可以慢慢旋轉下降給予穩定的下壓力；第二個我們需要一個可以穩定貫穿凝膠的裝置，取一瓶蓋倒置於粗螺絲下使每次粗螺絲皆可以相同面積接觸、下壓蛋白凝膠直至貫穿它，最後將凝膠放置在電子天秤上，當凝膠被貫穿時瓶蓋下壓的力量會精確的傳至天秤並顯示在螢幕上，此時的電秤讀數即為「蛋白凝膠被貫穿至固定深度所需的最小力量」，此過程皆以攝影機拍攝來幫助記錄電子秤的數字變化。材料找齊後我們採用木製框架來結合以上裝置，先測量電子秤的長寬，打造一個略大於電子秤長寬的正方形木板(25cm×25cm)，把電子秤放在正方形木板上再組裝 4 根柱子(皆 2cm×2cm×30cm)在正方形平面的 4 個角落當支撐住，最後將一樣大小的正方形木板(25cm×25cm)固定成上蓋；接著在上蓋的木板的正中央打洞，裝上與不銹鋼全牙粗螺絲相對應的螺帽後旋入要貫穿凝膠的全牙粗螺絲，並且在全牙粗螺絲的最上方加裝一個木製把手幫助施力，最下方倒置一個瓶蓋，再將電子天秤與設好便完成凝膠強度觀測儀(如圖 6)。



▲圖 6 凝膠強度觀測儀

(五) 實驗結果：

1. 不同氫氧化鈉添加量的凝膠狀態



▲圖 7
加入 0.005 mol
氫氧化鈉的凝膠



▲圖 8
加入 0.0075 mol
氫氧化鈉的凝膠



▲圖 9
加入 0.01 mol
氫氧化鈉的凝膠



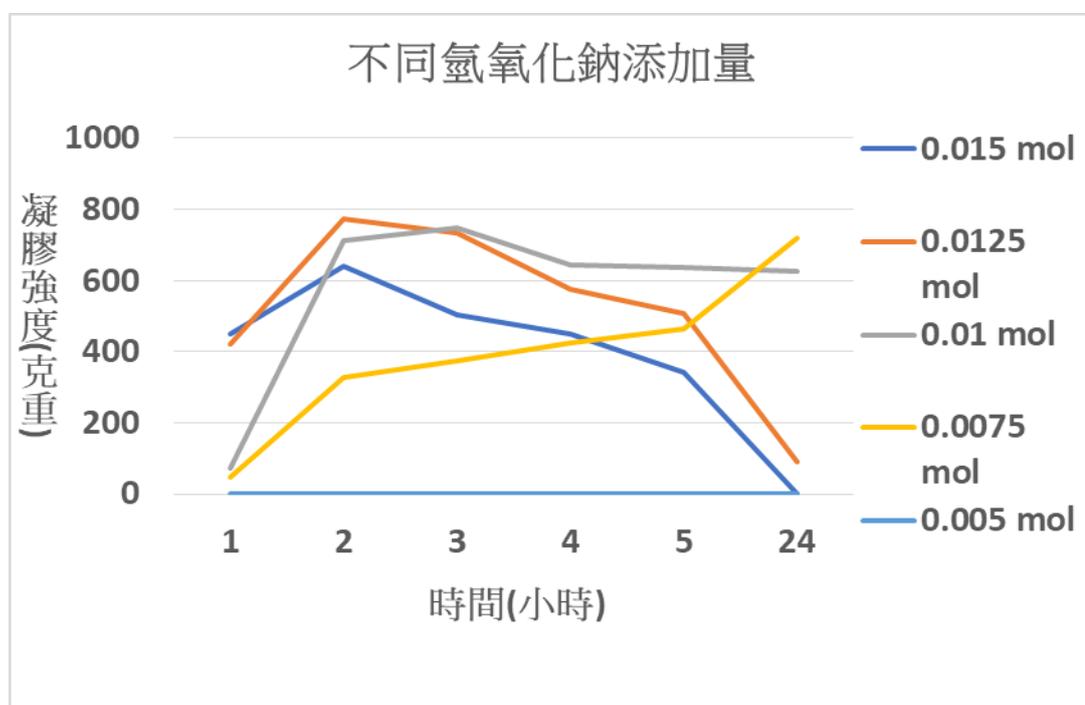
▲圖 10
加入 0.0125 mol
氫氧化鈉的凝膠



▲圖 11
加入 0.015 mol
氫氧化鈉的凝膠

2.不同氫氧化鈉添加量凝膠的凝膠強度(克重)

	1Hr	2 Hr	3 Hr	4 Hr	5 Hr	24 Hr
0.015 mol	449	640	502	449	341	液化
0.0125 mol	420	774	734	575	507	89
0.01 mol	74	713	748	644	636	626
0.0075 mol	47	327	376	425	463	721
0.005 mol	未成形	未成形	未成形	未成形	未成形	未成形



(六) 實驗討論：

實驗結果發現，添加氫氧化鈉的量不同，提供了不一樣的鹼性環境，所形成的蛋白凝膠狀況也不盡相同：

1.我們發現加入的氫氧化鈉量愈多，凝膠的速度愈快：

- (1) 當添加 0.0125、0.015 mol 氫氧化鈉時，凝結速度最快，約 5 分鐘即可完全凝結，甚至將燒杯完全倒立而不殘留液態物質(如圖 10、11)。
- (2) 添加 0.0075、0.01mol 氫氧化鈉時，約 2~3 小時後大致凝結(如圖 8、9)。
- (3) 但添加 0.005mol 氫氧化鈉時，不管時間過多久都完全不會凝結(如圖 7)。

2. 我們發現將氫氧化鈉投入蛋白液後，混合液理論上的 pH 值與實際不相符：

經過試做與實驗，我們發現氫氧化鈉添加量在 0.0075mol 以上時才會形成凝膠；添加量為 0.0005、0.005mol 的兩組卻都無法順利凝膠，但兩組混和後的 pH 值經計算理論上應分別為 12 與 13，符合參考資料所述的可凝膠範圍(pH=12~12.8)，但卻沒有凝結的現象。於是我們以 pH 計測量與觀察氫氧化鈉投入蛋白液後的混和液真實 pH 值(如下表)。

NaOH(mol)/10ml 溶液	0.0005	0.005	0.0075	0.01	0.0125	0.015
取 10mlNaOH(aq)	10.98	11.82	12.03	12.56	12.58	12.69
加入 40ml 蛋白液後之 pH 值						
是否凝結	否	否	是	是	是	是

由實驗結果我們發現蛋白與 NaOH 混和液的實際的 pH 值會較理論值來的低，經過查詢與討論，我們發現這是因為蛋白質裡的胺基酸是一種兩性離子化合物。其中的羧基(-COOH)能與氫氧化鈉解離出的 OH 結合成 H₂O，使氫氧根離子減少，造成混和液整體 pH 值下降；同時此效應造成蛋白質內部分子帶負電，此強烈的靜電排斥力會使原本蛋白質的球狀結構因此展開。展開後露出的親水性原子團和水發生水合作用，使蛋白質分子間聚集成有次序的網狀結構，即為凝膠。相反的，添加 0.0005、0.005mol 氫氧化鈉組因為提供的氫氧根離子不足，無法使蛋白內部產生足夠的靜電排斥力使其展開球狀結構進而交疊，故無法形成凝膠。因此我們知道要使蛋白質鹼變性產生凝膠的條件是蛋白液混合後的 pH 值須大於 12 (如上表)，並非計算出的稀釋後理想計算 pH 值或單純的浸漬液 pH 值為 12，因為他們皆會因上述效應而降低其 pH 值至低於 12，造成 OH 數量不足以使蛋白質產生鹼變性的現象。

3.另外，我們發現加入不同數量氫氧化鈉所造成該組凝膠可達到的最大強度也不相同：

(1) 當添加 0.015、0.0125 mol 氫氧化鈉時，凝膠約 2Hr 達到該組的最大強度。其中添加 0.015mol 氫氧化鈉組的凝膠速度最快，但最大強度相對較弱，接下來便明顯結構崩解液化，最終成液狀；0.0125mol 氫氧化鈉組雖凝結速度快，最大強度強，但在 4Hr 後也開始明顯液化，於 24Hr 結構逐漸崩解。這是因為較高濃度氫氧化鈉組所提供能和胺基酸結合的 OH 較多，使蛋白質鹼變性的進程較快，但因產生過多的負電排斥力使整體凝膠結構較為鬆散、甚至進而繼續破壞到蛋白質的一級結構，導致其最大強度相對較低、液化速度相對較快的現象。

- (2) 添加 0.01mol 氫氧化鈉時，凝膠約 3Hr 達到該組的最大強度，該組提供的鹼性濃度適中，使其凝結速度快、凝膠強度強、整體結構較穩定而沒有明顯液化的現象，故我們後續的實驗皆以此比例當標準液來控制鹼度的變因。
- (3) 添加 0.0075mol 氫氧化鈉時，雖凝結速度較慢，但凝膠強度持續穩定且緩慢的上升，直至 24Hr 強度表現仍佳。卻因整體凝膠速度太慢、時間太長，故後續實驗我們不採此比例做為標準。
- (4) 添加 0.005mol 氫氧化鈉時，蛋白混和液的 pH 值低於 12，無法提供足夠的鹼性環境使其凝膠，故無凝膠強度的測量。

二、【實驗二】 加入金屬鹽對蛋白凝膠形成之影響

- (一) 研究目的：我們查資料時發現早期的皮蛋會加入氧化鉛提高皮蛋製作的成功率，但後來因鉛有毒性，吸收入人體內，將導致鉛中毒，所以現今多使用硫酸銅為添加劑；[全國高級中等學校小論文比賽「金」剛不壞之「蛋」— 重金屬對皮蛋之影響。](#) ([鍾世曜, 2019](#))指出在皮蛋製作過程中加入氧化鉛或硫酸銅能增加皮蛋製作成功率是因為製作皮蛋的商人利用氧化鉛或硫酸銅來產生金屬鹽沉澱堵住蛋殼孔洞以避免過度鹼化來確保成功率，這使我們感到好奇是否金屬離子在凝結過程只有這個功能？他是否在皮蛋的凝結過程還有其他的功用與影響？故我們將實驗設計成【實驗二—1】與【實驗二—2】兩部分，分別探討不同濃度金屬鹽類、不同種類金屬鹽類對所形成的蛋白凝膠狀態差異之為何。

【實驗二—1】 不同濃度的相同金屬鹽對蛋白凝膠形成之影響

- (一) 變因：

控制變因	操縱變因	應變變因
1. 容器：100ml 燒杯 2. 蛋白液體積：40ml 3. 氫氧化鈉水溶液體積：10ml 4. 氫氧化鈉添加莫耳數：0.01mol 5. 硫酸銅水溶液體積：10ml 6. 放置溫度：22°C 7. 各組放置時間 1~5 小時	不同硫酸銅濃度	加入不同濃度硫酸銅水溶液所形成的蛋白凝膠凝膠差異

1.控制變因

(1) 氫氧化鈉溶液濃度：

透過實驗一的結果，我們發現在 40ml 蛋白液中添加 0.01mol 的氫氧化鈉時凝膠狀況較佳。因此我們接下來的實驗皆採用此比例作為鹼液的標準。

(2) 各組放置及測量間隔時間：

我們在溶液配置完成後的 1、2、3、4、5Hr 觀察並紀錄不同金屬鹽濃度對蛋白凝膠狀況之影響。

2.操縱變因

一般市售的皮蛋浸漬液中金屬鹽的重量百分濃度約為 0.5%(廖政皓，2011)。

且因含鉛皮蛋有鉛中毒的疑慮(吳姿蓉，2017)，市售皮蛋常以硫酸銅做為添加的金屬鹽(姜方，2013)。又因我們的蛋白混和液總體積為 60ml，且成分多為水，密度非常接近 1，所以我們取 0.3g 的硫酸銅晶體加水配置成 10ml 的溶液，再依次將硫酸銅及氫氧化鈉水溶液(0.01mol/10ml 水溶液)加入蛋白液(40ml)，得到整體質量約 60g、硫酸銅重量百分濃度約為 0.5%的蛋白混和液。接著以此為標準，上下延伸硫酸銅濃度以利觀測不同濃度金屬鹽對蛋白凝膠形成之影響。

(二)實驗步驟

1. 分別取硫酸銅 0.6、0.3、0.15、0.075、0.0375、0.01875g 加水至總體積為 10ml，並另取純水 10ml 作為空白對照組。



2. 將 10ml 的硫酸銅溶液加入 40ml 蛋白液中，並順時針攪拌一分鐘

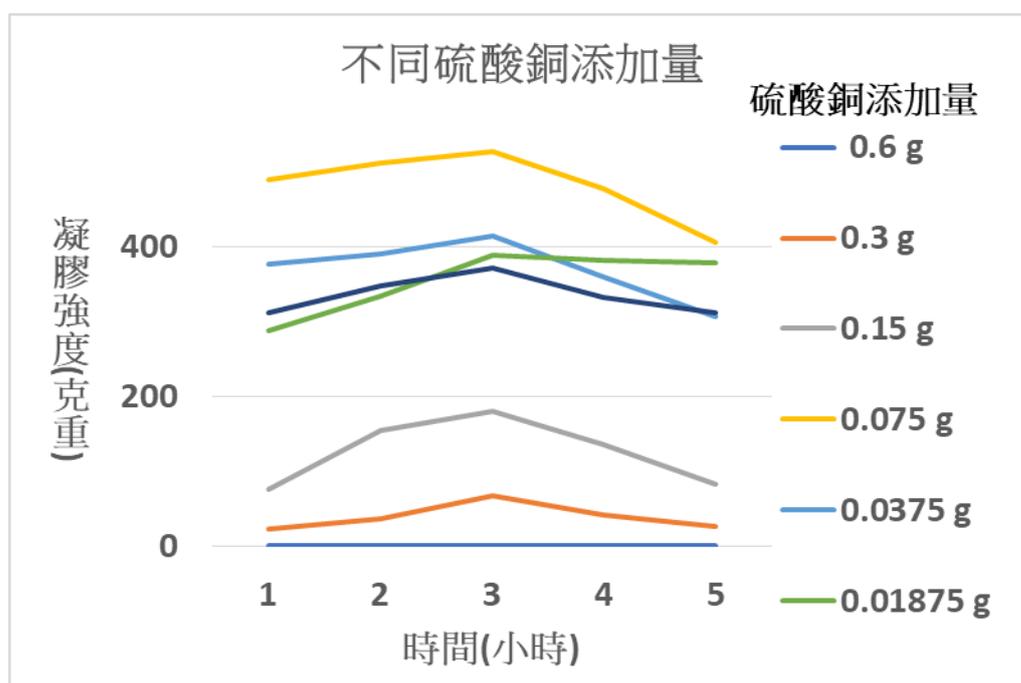
3. 加入氫氧化鈉標準液 10ml，並順時針攪拌一分鐘。

4. 靜置 1、2、3、4、5Hr 後用凝膠強度觀測儀測定各組凝膠強度並記錄數據。

(三)實驗結果：

加入不同硫酸銅添加量凝膠的凝膠強度

	1Hr	2Hr	3Hr	4Hr	5Hr
0.6 g	0	0	0	0	0
0.3 g	22	37	67	42	26
0.15 g	75	154	179	135	83
0.075 g	489	511	527	477	406
0.0375 g	377	390	414	359	306
0.01875 g	288	334	389	381	378
空白組(0g)	312	348	371	332	311



(四)實驗討論：

實驗結果發現，不同的金屬鹽添加量會影響蛋白凝膠的特性：

低濃度組(添加 0.075、0.0375、0.01875g 硫酸銅)，凝膠最大強度皆較未添加任何金屬鹽的空白組佳。而高濃度組(添加 0.6、0.3、0.15g 硫酸銅)，凝膠狀況及最大強度皆較空白組差，添加 0.6g 組甚至完全無法形成凝膠而呈液態狀。這是因為在蛋白凝膠形成的過程中，銅離子(+2 價)可連結在帶負電的不同蛋白質分子之間來充當連接的角色，可給予網狀的蛋白凝膠結構更多的連結點，進而形成更穩定的網狀結構，使整體凝膠強度增加。但若一開始添加的銅離子過量，則會形成過多的氫氧化銅沉澱，使整體溶液的 pH 值快速下降、鹼性程度不足以使蛋白質結構展開而形成凝膠(如實驗一結果)而成液態狀。

【實驗二—2】不同種類金屬鹽所形成的蛋白凝膠差異

(一)變因：

控制變因	操縱變因	應變變因
1.容器：100ml 燒杯 2.蛋白液體積：40ml 3.氫氧化鈉水溶液體積：10ml 4.氫氧化鈉添加莫耳數：0.01mol 5.金屬鹽溶液：10ml 6.各組所含金屬鹽莫耳數：0.0003mol 7.負電原子團 8.放置溫度：22°C 9.各組放置時間：3 小時	添加金屬鹽種類	加入不同種類金屬鹽水溶液所形成的蛋白凝膠差異

1.控制變因

(1)金屬鹽溶液體積及莫耳數：

依實驗 2-1 結果發現在 40ml 蛋白液加入含硫酸銅 0.075g、體積 10ml 的金屬鹽溶液後的蛋白凝膠情況最佳，故我們取此比例作為本實驗的標準。但因各金屬鹽分子的質量不同，我們便取和硫酸銅相同莫耳數的金屬鹽(含水硫酸銅分子量=250，故硫酸銅莫耳數=0.075g/250=0.0003mol)，配置成總體積為 10ml 的溶液，分別加入蛋白液中觀察不同金屬鹽對蛋白凝膠狀況的影響。

(2)各組放置時間：

在前幾次的實驗中，我們發現各組凝膠大都到第三個小時達最大強度，因此在本次實驗便以此為放置時間的標準，以便觀測不同金屬鹽對蛋白凝膠的影響。

(3)負電原子團：

我們固定各金屬鹽的負離子皆為 Cl^- ，以便於觀察不同金屬陽離子對蛋白凝膠形成之影響。

2.操縱變因

根據市售皮蛋的浸漬液配方，我們挑選幾個較常用於添加在皮蛋的金屬鹽，分別為：氯化鐵(分子量=270)、氯化鋁(分子量=241)、氯化銅(分子量=170)、氯化鈣(分子量=110)、氯化鎂(分子量=94)、氯化鈉(分子量=58)、氯化鉀(分子量=74)，並依硫酸銅莫耳數(0.0003mol)做為標準，求出各金屬鹽加水至總體積為 10ml 所需添加

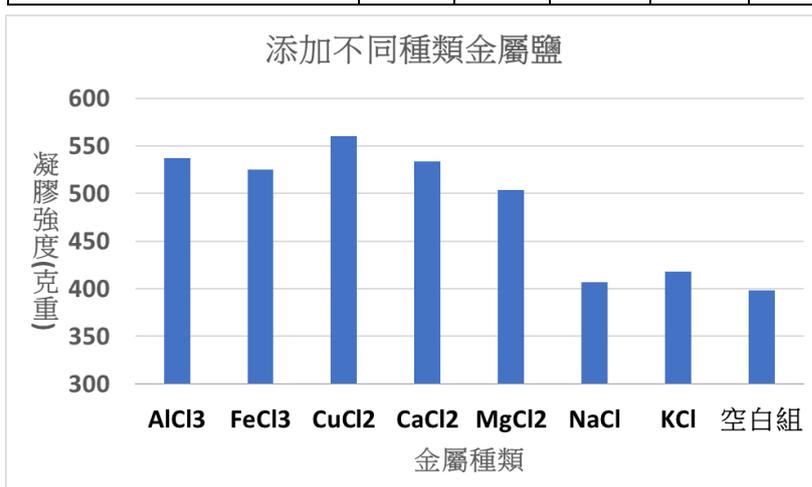
的質量分別是氯化鐵 0.081g、氯化鋁 0.072g、氯化銅 0.051g、氯化鈣 0.033g、氯化鎂 0.0282g、氯化鈉 0.0174g、氯化鉀 0.0222g。

(二)實驗步驟

1.分別量取氯化鋁、氯化鐵、氯化銅、氯化鈣、氯化鎂、氯化鈉、氯化鉀 0.0003mol 加水至總體積為 10ml。並另取純水 10ml 做為空白對照組。
2.將金屬鹽溶液 10ml 加入 40ml 蛋白液中，並順時針攪拌一分鐘。
3.將氫氧化鈉標準液 10ml 加入 50ml 蛋白混和液中，並順時針攪拌一分鐘。
4.在室溫下靜置 3 小時並觀測其變化

(三)實驗結果：

添加不同種類金屬鹽	AlCl ₃	FeCl ₃	CuCl ₂	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	KCl	空白組
凝膠強度(克重)	537	525	560	534	504	407	418	398



(四)實驗討論：

實驗結果發現，添加不同種類金屬鹽，凝膠情形也不盡相同：

- 1.添加金屬離子的組別，因帶正電的金屬離子可和帶負電的鹼化蛋白分子結合，使蛋白內部分子連結加強，因此各組的最大硬度皆較空白組佳。
- 2.添加+2 價與+3 價離子的凝膠最大強度皆比添加+1 價離子大。這是因為帶+2 價與+3 價的離子能同時連結兩個以上帶負電的蛋白分子，進一步加強了整體凝膠結構的穩固。+1 價離子卻只能連結一個蛋白分子，僅是略為減少分子間相互排斥的靜電力而無法像二、三價金屬鹽那樣提供分子間連結的作用，分子間連結的力量仍只有親水性原子團和水發生的水合作用，故所形成的凝膠結構只是略強於空白組一些而已。

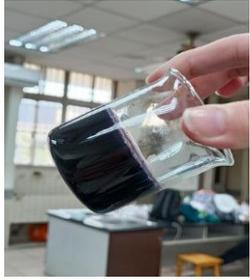
3.另外，為了證明+2 價與+3 價離子的凝膠最大強度較佳是因為能同時連結兩個以上帶負電的蛋白分子來加強整體結構，而不是單純因為正電量較多，故我們進行了固定金屬陽離子總帶電量的實驗：分別量取氯化鐵(+3 價) 0.0002mol、氯化銅(+2 價) 0.0003mol 以及氯化鈉(+1 價) 0.0006mol 來製作蛋白凝膠比較，實驗發現總正電量相同的狀況下，+2 價、+3 價離子凝膠最大強度依舊皆大於+1 價離子(如下表)。

金屬鹽種類	氯化鐵(+3 價)	氯化銅(+2 價)	氯化鈉(+1 價)	空白組
添加金屬鹽 莫耳數	0.0002mol	0.0003mol	0.0006mol	0mol
凝膠強度	322gw	452gw	273gw	262gw

4.添加適量金屬鹽可有效提升蛋白質分子間鍵結性及凝膠強度，若將此比例的凝膠作為食品添加劑，可提高乳化型肉品內部蛋白質分子間的鍵結程度，進而取代磷酸鹽，提高整體肉品彈性。

5.在實驗 2-1 及 2-2 的過程中，我們觀察到一些有趣的現象，添加不同濃度銅離子的蛋白凝膠在實驗中竟會有不同狀況的顏色改變如下表：

硫酸銅質 量	0 g	0.01875 g	0.0375 g	0.075 g
加入當下				
24Hr				

硫酸銅質量	0.15 g	0.3 g	0.6 g
加入當下			
24Hr			

- (1) 高濃度組在加入銅離子及氫氧化鈉當下立即變成藍紫色。低濃度組在加入當下為紫色。因此我們很好奇為何蛋白質會有此顏色變化？經資料查詢後發現，蛋白質在鹼性溶液中會與銅離子發生反應而改變顏色，稱為雙縮脲反應。雙縮脲反應是肽和蛋白質所特有的，但胺基酸所沒有的的一種顏色反應。(參考資料 8)
- (2) 經過 24 小時後，我們觀察到高濃度組仍為藍紫色。這是因為添加過量的銅離子會產生過多的氫氧化銅，使整體溶液 pH 值快速下降、鹼性程度不足以使蛋白質結構完全展開，雙縮脲反應的紫色也因此得以繼續存在。
- (3) 低濃度組在經過 24 小時後，因蛋白結構已展開並交疊成凝膠，帶紫色的雙縮脲反應消失，取而代之的是與皮蛋蛋白相似的棕色(如上圖)。我們發現產生此現象的原因是因為蛋白質在氫氧根離子的作用下，也會分解成多種胺基酸。其中的含硫胺基酸再進一步分解出氨與硫化氫，這種氣味就是為什麼皮蛋在早期會被誤認為是用馬尿浸泡的原因(鄭永銘，2016)。而硫化氫會再進一步與銅離子反應產生硫化銅(棕色)使整體凝膠帶有咖啡色澤。這在我們的實驗中是硫酸銅、氯化銅組才有的現象(其他金屬鹽的硫化物偏白色或無色)，而經查詢發現傳統皮蛋製作時添加氧化鉛也有此效應(最後換產生棕色的硫化鉛)。此特性可以使最終皮蛋的色澤更加漂亮，但又因氯化銅取得成本較高且極易潮解，因此我們推測這也許就是目前市面許多商人皆以硫酸銅來代替傳統的氧化鉛來做皮蛋浸漬液添加物的原因。

三、【實驗三】不同溫度蛋白液對蛋白凝膠形成之影響

(一) 研究目的：我們已知一般化學反應的溫度越高則反應越快，那這個變因對蛋白膠的形成狀況與強度的影響究竟為何？故本實驗調配不同溫度蛋白液來製成鹼性蛋白膠並觀察紀錄其特性的差異。

(二) 變因：

控制變因	操縱變因	應變變因
1.容器：100ml 燒杯 2.雞蛋蛋白液 40ml 3.氫氧化鈉水溶液體積 10ml 4.氫氧化鈉添加莫耳數：0.01mol 5.各組放置時間 6.各組冷卻時間	不同溫度蛋白液	不同溫度蛋白液所形成的蛋白凝膠強度差異

1.控制變因：各組放置及冷卻時間：將蛋白混和液以恆溫槽/冰箱升降溫後放置 1、2、3、4、5Hr，取出在電風扇前以固定距離與風速 30 分鐘加速與室溫熱平衡後，再測量各組凝膠強度。

2.操縱變因：由於蛋白質在約 58~62°C 時，會開始熱變性而導致實驗誤差，因此我們設置低於 58°C 的不同環境溫度(分別為 10、20、30、40、50°C)來探討不同溫度蛋白液所形成的蛋白凝膠差異。

(三)實驗步驟：

1. 分別量取 10ml 氫氧化鈉標準液，並將其加入 40ml 蛋白中順時針攪拌 30 下。

2. 將各組蛋白混和液放置於 10、20、30、40、50°C 環境。

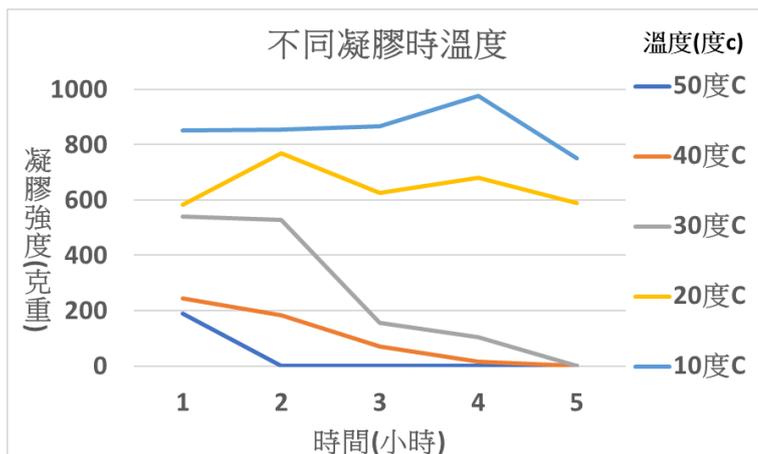


3. 放置 1、2、3、4、5 小時後，利用凝膠強度觀測儀測定各組強度並記錄數據。

(四) 實驗結果：

不同溫度蛋白液形成凝膠的凝膠強度

	1 Hr	2 Hr	3 Hr	4 Hr	5 Hr
50 度 C	190	液化	液化	液化	液化
40 度 C	244	183	70	15	液化
30 度 C	540	528	157	105	液化
20 度 C	584	770	682	626	588
10 度 C	850	854	868	975	752



(五) 實驗討論：實驗結果發現，將蛋白混和液放置於低於其熱變性溫度下的環境溫度，所形成的凝膠狀況有以下差異：

1. 當蛋白液的溫度較高時，蛋白凝膠達到該組最大強度速度較快：

(1) 在 30、40、50°C 時，凝膠皆在 1Hr 後達到該組的最大強度。且蛋白液溫度愈高，最大強度愈弱，液化的速度也愈快。這是因為溫度愈高提供的能量愈多，氫氧根離子與蛋白質碰撞的有效次數增加，使其快速展開球狀結構產生凝膠。但卻因速度太快，造成交疊出雜亂無章的網狀結構，故凝膠的強度較差。且因氫氧根離子進入蛋白內部與氫離子結合的速度加快，導致蛋白內部的靜電力快速增加，一級結構被破壞，所以液化速度也極快，例如：50°C 的蛋白液凝膠於兩小時已大致液化(如圖 12)。



▲ 圖 12 50°C 蛋白凝膠 2 小時

(2) 在 20°C (室溫)時，凝膠的強度在 2Hr 後達到該組的最大強度，且凝膠強、穩定性高使後續結構不會崩解液化。

(3) 在 10°C 時，凝膠強度在 4Hr 後才達到該組的最大強度。且其最大強度幾乎是其他組的兩倍，這是因為在低溫環境的反應速率較慢，展開的蛋白結構也因此能堆疊成更緊密的網狀結構，故其凝膠強度極高。但強度過高的凝膠若作為食品添加劑，會使乳化型肉品口感不佳且等待凝膠時間過長，因此我們認為製作作為食品添加劑的蛋白凝膠最適宜的凝膠溫度約在 20°C 附近，能使產品擁有較佳的口感及彈性。

四、【實驗四】蛋白液中不同葡萄糖濃度對蛋白凝膠的影響

(一) 研究目的：我們在查找資料的過程中發現大多加工過的蛋料理(滷蛋、鐵蛋.....等)皆會加入冰糖或砂糖來一起燉煮增加風味，對此我們感到好奇，醣類在滷蛋、鐵蛋甚至於皮蛋中是否只能扮演增添風味的角色？它對於蛋白凝膠的過程與狀態是否有其他的影響？於是我們設計實驗【實驗四—1】來探討蛋白液中不同葡萄糖濃度對蛋白凝膠的影響；及實驗【實驗四—2】探討不同種類醣對蛋白凝膠的影響。

【實驗四—1】探討蛋白液中不同葡萄糖濃度對蛋白凝膠的影響

(一) 變因：

控制變因	操縱變因	應變變因
1.容器：100ml 燒杯 2.雞蛋蛋白液 40ml 3.氫氧化鈉水溶液 10ml 4.氫氧化鈉添加莫耳數：0.01mol 5.葡萄糖水溶液 10ml 6.各組放置時間	不同葡萄糖濃度	蛋白液中不同葡萄糖濃度所形成的蛋白凝膠強度差異

操縱變因：

我們利用實驗 2-2 加入各金屬鹽的 mol 數(0.0003mol)當作標準，上下延伸濃度至 0.0012、0.0006、0.0003、0.00015mol，再加水配置成 10ml 的葡萄糖水溶液以探討蛋白液中不同葡萄糖濃度對其凝膠的影響。

(二) 實驗步驟：

1.分別取 0.0012、0.0006、0.0003、0.00015mol 葡萄糖並加水使總體積為 10ml。



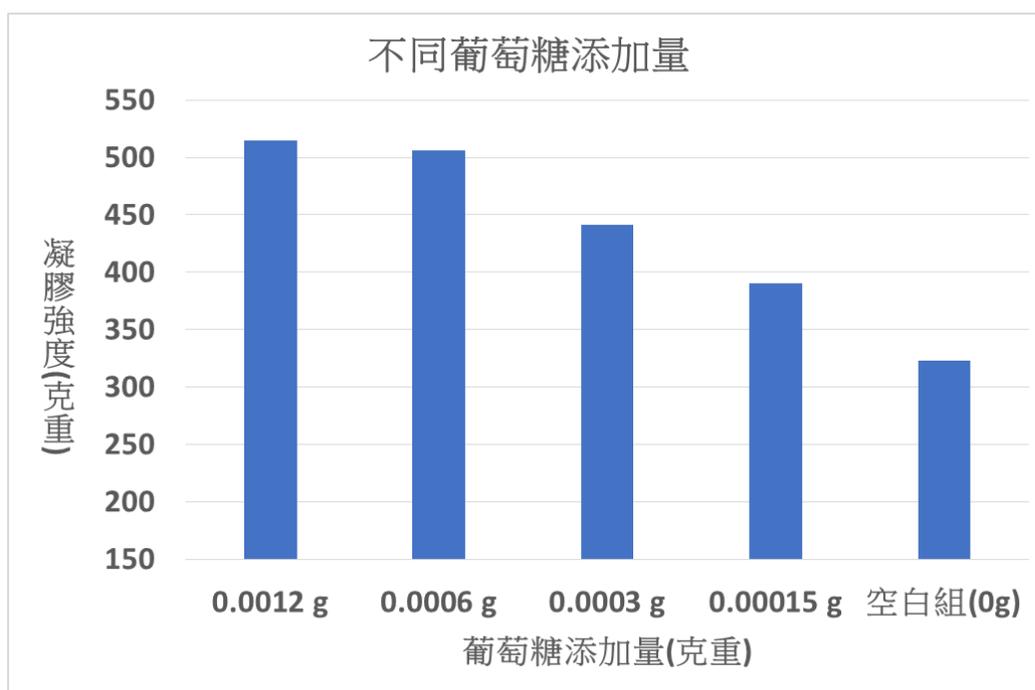
2.將 10ml 葡萄糖液倒入 40ml 蛋白液中，並順時針攪拌一分鐘。

3.將 10ml 氫氧化鈉標準液加入蛋白混合液中，並順時針攪拌一分鐘。

4.放置 3 小時後，利用凝膠強度觀測儀測定其強度並記錄數據。

(三) 實驗結果：

蛋白液中不同葡萄糖添加量(mol)	0.0012	0.0006	0.0003	0.00015	空白組(0 mol)
凝膠強度(克重)	515	506	441	390	323



(四) 實驗討論：

實驗結果發現蛋白液中不同葡萄糖添加量會影響凝膠的凝膠強度：

- 1.我們發現加入葡萄糖能形成的凝膠強度皆高於沒有添加任何葡萄糖的空白組，這是因為在蛋白質的球狀結構被氫氧根離子破壞展開以後，在形成凝膠的過程中葡萄糖可提供額外的氫鍵與蛋白分子連結成更多、更穩定的網狀結構，使整體凝膠強度增加。
- 2.此外，我們也發現在蛋白鹼變性的過程中添加額外的還原醣(葡萄糖)可以促使蛋白質與醣類在鹼性環境中產生更多的梅納反應與醣基化反應(馬磊，2015；Huer，2019等)，這個過程中因為葡萄糖與蛋白質分子上游離氨基酸的特定 NH_2 共價鏈接形成糖蛋白，提供蛋白膠的網狀結構更多連結點使整體凝膠結構更加穩固，若將此比例的凝膠作為添加劑，不僅可增加產品 Q 彈度，還可增加產品的鮮甜度。

【實驗四—2】探討不同種類的醣對蛋白凝膠的影響

(一) 變因：

控制變因	操縱變因	應變變因
1.容器：100ml 燒杯 2.雞蛋蛋白液 40ml 3.氫氧化鈉水溶液 10ml 4.氫氧化鈉添加莫耳數：0.01mol 5.醣水溶液 10ml 6.各組放置時間 7.添加醣類的質量	不同種類的醣	蛋白液中不同醣的種類對所形成的蛋白凝膠強度差異

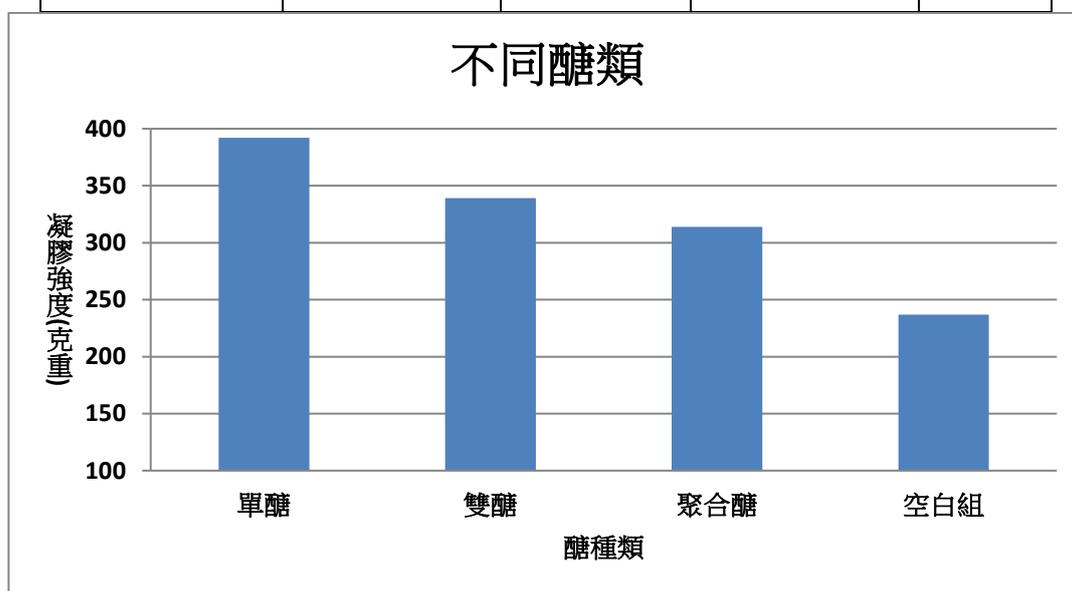
1. 控制變因：我們分別秤取不同種類醣各一克並將之溶於 100mL 水中，再各取 10ml 加入蛋白液做實驗。
2. 操縱變因：我們分別添加單醣(葡萄糖)、雙醣(蔗糖)、聚合醣(寡糖)於蛋白液中，以觀察添加不同醣類對蛋白凝膠之影響。

(二)實驗步驟：

1.分別秤取 1g 葡萄糖、蔗糖、異麥芽寡糖溶於水並加水使總體積為 100ml。
2.各取 10ml 不同醣類溶液倒入 40ml 蛋白液中，並順時針攪拌一分鐘。
3.將 10ml 氫氧化鈉標準液加入蛋白混合液中，並順時針攪拌一分鐘。
4.放置 3 小時後，利用凝膠強度觀測儀測定其強度並記錄數據。

(三)實驗結果：

不同種類的醣	單糖(葡萄糖)	雙糖(蔗糖)	聚合糖(寡糖)	空白組
凝膠強度(克重)	392	339	314	237



(四)實驗討論：

實驗結果發現不同醣類在相同添加質量下製作出來的凝膠強度以單糖最佳，雙糖次之，寡糖最差；但三者的強度皆大於空白組。經查詢與討論後我們發現這是因為在蛋白質的球狀結構被氫氧根離子破壞展開以後，在形成凝膠的過程中不同醣類均可提供額外的氫鍵與蛋白分子連結成更多、更穩定的網狀結構，使整體凝膠強度增加，故強度皆較空白組佳；其中單糖分子結構較小，較容易進入蛋白分子間以及均勻分布於凝膠中，故可提供較多的連結作用使整體強度較大；相反的寡糖是由 3 到 10 個單糖分子所聚合成的醣類，故分子體積很大，較不易均勻地進入蛋白分子之間提供額外的連結點，所以整體強度較單糖差。

五、【實驗五】探討以不同溫度對凝膠成品加熱烹煮後，蛋白凝膠的變化

(一) 研究目的：市面上有些食品會將皮蛋的成品另外加工處理成新一道料理來食用，如油炸皮蛋(高溫油炸)、皮蛋瘦肉粥(水煮)、蒼蠅頭(與肉菜一同熱炒).....等等，這個過程都會將成型的皮蛋蛋白膠重新烹煮加熱，我們很好奇對已成形的皮蛋成品加熱烹煮這個過程對皮蛋凝膠本身的特性會有什麼影響?蛋白凝固的加熱變性和酸鹼變性兩者的影響是否會相互加乘?已先鹼變性後的皮蛋膠是否會二度變性成其他狀態?

(二) 變因：

控制變因	操縱變因	應變變因
1.容器：100ml 燒杯 2.雞蛋蛋白液 40ml 3.氫氧化鈉水溶液 10ml 4.氫氧化鈉添加莫耳數：0.01mol 5.凝膠成品放置時間：24Hr 6.測量間隔時間 7.各組加熱時間 8.各組冷卻時間	對凝膠成品加熱 烹煮的溫度	以不同烹煮溫度加熱蛋白凝膠 成品之影響

1.控制變因

(1) 凝膠成品的控制：

在實驗前，我們先測定放置時間為 24Hr 前後的凝膠強度(皆使用氫氧化鈉標準液 10ml)，發現在放置時間 24Hr 前後的凝膠強度變化相對穩定(如表)，因此我們使用放置 24Hr 的蛋白凝膠進行本次實驗。

放置時間(Hr)	20	24	28
凝膠強度(gw)	402	437	441

(2) 各組加熱與冷卻時間：

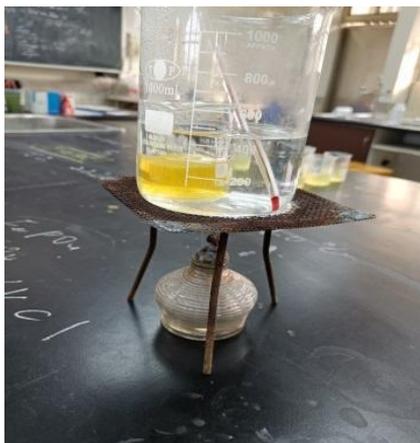
本實驗皆將蛋白凝膠成品放置於不同烹煮溫度 10 分鐘後，取出在電風扇前以固定距離與風速 30 分鐘加速與室溫熱平衡後，再測量各組凝膠強度。

2. 操縱變因

為了觀察不同烹煮溫度使蛋白熱變性後對原本受鹼變性的蛋白凝膠成品的影響，我們設置會使蛋白產生熱變性(58~62°C 以上)的溫度進行實驗，分別是將標準比例的蛋白凝膠品放置於 60、70、80、90、100°C 的恆溫槽烹煮加熱 10 分鐘後，觀察不同烹煮溫度對蛋白凝膠成品之影響。

(三) 實驗步驟：

1. 將凝膠成品分別放置到 60、70、80、90、100°C 恆溫槽及沸水內隔水加熱 10 分鐘。

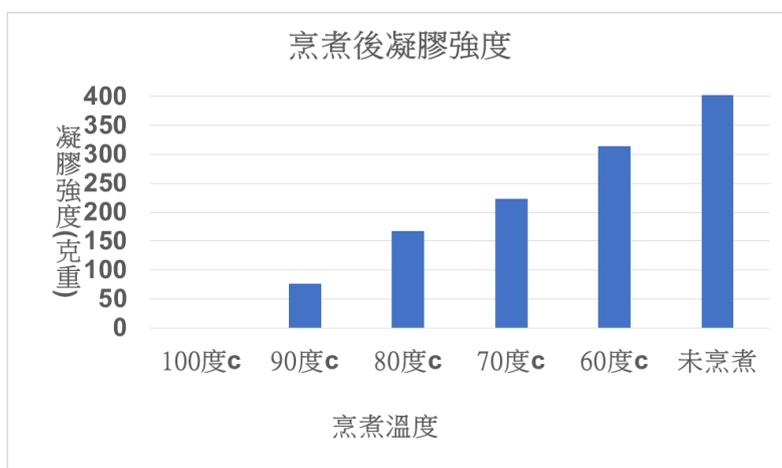


2. 取出加熱完成的蛋白凝膠在室溫下以電風扇冷卻 30 分鐘加速與室溫熱平衡。

3. 利用凝膠強度觀測儀測定各組凝膠強度並記錄數據。

(四) 實驗結果：

不同烹煮溫度	100 度 c	90 度 c	80 度 c	70 度 c	60 度 c	未烹煮
凝膠強度(克重)	0(液化)	76	168	223	314	403



(五) 實驗討論：

實驗結果發現，不同的烹煮溫度會影響蛋白凝膠成品的強度：

1. 我們發現對蛋白凝膠成品進行烹煮的溫度越高，會使蛋白凝膠成品的強度降越低，甚至造成凝膠快速崩解的現象。這是因為當溫度升高時，凝膠內部原本已排列完整的蛋白質分子獲得高溫的能量開始進行激烈的凌亂熱運動(鄭永銘, 2017)，使蛋白凝膠內部分已鍵結的氫鍵或雙硫鍵...等被重新打斷，破壞原先鹼凝結的結構，造成整體凝膠凝膠強度下降，烹煮的溫度越高，此效應越明顯，甚至造成 100°C 組直接液化的結果(如圖 14)。
2. 根據實驗結果，高溫烹煮凝膠成品會破壞其凝膠結構而使整體強度降低。故可以使用初始強度較大的凝膠比例做為添加劑，以維持烹煮後的口感。



▲圖 13 以 90°C 加熱的凝膠



▲圖 14 以 100°C 加熱的凝膠

3. 另外我們發現各組凝膠成品高溫烹煮後不會變成熱變性蛋白般的白色凝膠，而是維持原本的鹼變性黃色透明凝膠狀，而且溫度越高，鹼性環境中產生的梅納反應色澤(橘色)也會越明顯(如圖 13、14)。

由以上兩點可知，鹼變性後的蛋白凝膠烹煮後不會出現如同熱變性蛋白凝膠的特性，且烹煮溫度越高會造成整體強度越低、黃橘色越深。

陸、結論

一、【實驗一】不同濃度鹼液對蛋白凝膠形成之影響

- 1.實驗結果發現加入氫氧化鈉後，混合液的 pH 值會因蛋白質中的羧基(-COOH)和氫氧化鈉的 OH 結合而較理論計算值低，故若混合液的最後實際 pH 值低於 12，便無法順利凝膠。
- 2.添加的氫氧化鈉量越多，凝膠速度越快、凝膠強度越強，但濃度太高會造成最大凝膠強度降低及液化速度加快的現象，其中以添加 0.01mol 組凝結速度快、整體結構穩定，故後續實驗以此比例做標準液。

二、【實驗二-1】不同濃度的相同金屬鹽對蛋白凝膠形成之影響

實驗結果顯示添加適量的銅離子(+2 價)可連結帶負電的不同蛋白質分子，給予網狀的蛋白凝膠結構更多的連結點使整體凝膠強度增加；但若銅離子過量，則一開始便會形成過多的氫氧化銅沉澱，造成混和液的 pH 值快速下降、鹼性程度不足以使蛋白質結構展開成凝膠，故仍為液態。

三、【實驗二-2】不同種類金屬鹽所形成的蛋白凝膠差異

- 1.結果發現添加不同金屬離子皆可使蛋白內部分子的連結加強，使最大硬度皆較空白組佳。添加+2 與+3 價金屬離子，不僅能減少帶負電的蛋白分子間相互的排斥力，還能提供蛋白分子間更多的連結點來形成凝膠，故相較於僅是略為減少分子間相互排斥力的 +1 價金屬離子，更能加強整體凝膠結構的穩固。
- 2.蛋白質在鹼性溶液中會與銅離子發生反應而改變顏色，稱為雙縮脲反應。雙縮脲反應是肽和蛋白質所特有的，但胺基酸所沒有的的一種顏色反應。而我們發現添加不同濃度的銅離子會對蛋白凝膠產生不同影響。
 - (1) 高濃度組 24 小時全程維持藍紫色。因其添加過量的銅離子，使整體溶液鹼性程度不足以使蛋白質結構完全展開，雙縮脲反應的紫色也因此得以繼續存在。
 - (2) 低濃度組添加當下為紫色，但 24 小時後變為棕色。這是因為在蛋白凝膠的形成過程中，蛋白質被分解成胺基酸使雙縮脲反應消失。而胺基酸再進一步被強鹼打斷，分解出硫化氫來與銅離子反應產生棕色的硫化銅便是使低濃度組兩段變色的原因。

四、【實驗三】不同蛋白液溫度對凝膠形成之影響

實驗結果發現不同蛋白液溫度所形成的凝膠狀況有以下差異：

- (1) 30、40、50°C 時，雖能快速凝膠，但凝膠液化速度快、最大強度較弱。
- (2) 20°C 時，凝膠強度強、穩定性高且後續結構不會崩解液化，故認為製作鹼性蛋白膠最適宜的溫度約在 20 附近。
- (3) 10°C 時，最大強度約為其他各組的兩倍，但凝膠速度極為緩慢。這是因為蛋白液的溫度愈高能提供的能量愈多，使氫氧根離子與蛋白質碰撞的有效次數增加而快速展開球狀結構產生凝膠；但若溫度太高使蛋白質凝膠的交疊速度太快反而會使整體結構不穩、甚至加快其液化速度，故高溫組大都凝結快但最大強度較弱、低溫組凝結慢但最大強度較強。

五、【實驗四—1】蛋白液中不同葡萄糖濃度對蛋白凝膠形成之影響

1. 添加葡萄糖能在凝膠過程中提供額外的氫鍵與蛋白分子連結成更多、更穩定的網狀結構，使整體凝膠強度高於沒有添加任何葡萄糖的空白組。
2. 在蛋白鹼變性的過程中添加額外的還原醣(葡萄糖)可以促使蛋白質與醣類在鹼性環境中產生更多的梅納反應與醣基化反應，提供蛋白膠的網狀結構更多連結點來讓整體凝膠結構更加穩固。

六、【實驗四—2】探討不同種類醣類對蛋白凝膠的影響

實驗發現添加相同質量、不同種類的醣，製作出來的凝膠強度以單糖最佳，雙糖次之，寡糖最差；但三者的強度皆大於空白組。我們發現這是因為醣類均可提供額外的氫鍵與蛋白分子連結，使整體凝膠強度增加，故強度皆較空白組佳；其中單糖分子結構較小，較易進入蛋白分子間以及均勻分布於凝膠中，故可提供較多的連結作用使整體強度較大；相反的寡醣是由 3 到 10 個單醣分子所聚合成的醣類，故分子體積很大，較不易均勻地進入蛋白分子之間提供額外的連結點，故整體強度較單糖差。

七、【實驗五】探討以不同溫度對凝膠成品加熱烹煮後，蛋白凝膠的變化

- 1.我們發現對蛋白凝膠成品進行烹煮加熱，會破壞原先鹼凝結的結構，造成整體凝膠凝膠強度下降。且溫度越高，凝膠成品的強度便降得越低，甚至造成凝膠快速崩解的現象。
- 2.成品高溫烹煮後不會變成熱變性蛋白般的白色凝膠，而是維持原本的鹼變性黃色透明凝膠狀，且烹煮溫度越高會造成整體強度越低、黃橘色越深。

八、總結

蛋白凝膠若作為食品添加劑，可以提高食品的硬度與彈性，其特性能取代部分添加磷酸鹽的乳化型肉製品。添加適量金屬鹽或葡萄糖的蛋白凝膠，其強度皆有明顯提高，可有效提升蛋白質分子間的鍵結程度，使食品變得 Q 彈有嚼勁。若食品需要高溫烹煮時，凝膠結構易被破壞使整體強度降低，建議可以使用初始強度較大的蛋白凝膠，以維持食品烹煮後的口感。

柒、參考資料

- 1.黃齡誼(2016)。鮮蛋久放？馬尿浸泡？你想的皮蛋其實不是這樣。食力 foodNEXT
取自: <https://www.foodnext.net/issue/paper/4975339330>
- 2.黃賢齊(2012)。蛋白質凝膠(gelation)。食品技師及食品公職 食化重點。
取自: <https://blog.xuite.net/markjane54130/twblog/144897361>
- 3.陳怡兆(2010)。皮蛋製造原理及製程改良。農業主題館畜產加工。
取自: <https://kmweb.coa.gov.tw/subject/subject.php?id=30263>
- 4.洗選蛋依重量大小分為幾級。永順興牧場。
取自: <https://www.yshf.com.tw/faq-77.html>
- 5.陳怡兆(2010)。蛋之形成、構造與原理。農業主題館畜產加工。
取自: <https://kmweb.coa.gov.tw/subject/subject.php?id=30328>
- 6.吳姿蓉(2017)。吃皮蛋會「鉛中毒」？「無鉛皮蛋」就沒事？兩大「皮蛋迷思」一次破解，這三種人要少碰。每日健康 Health。
取自: <https://healthylives.tw/Art/Health-yaYayM5yP1J.html>
- 7.姜方、趙雅楠(2013)。毒皮蛋與硫酸銅 硫酸銅到底用對了嗎？人民網 people
取自: <http://shipin.people.com.cn/BIG5/n/2013/0621/c85914-21924403.html>
- 8.雙縮脲反應。百科知識。
取自:
<https://www.easyatm.com.tw/wiki/%E9%9B%99%E7%B8%AE%E8%84%B2%E5%8F%8D%E6%87>

- 9.鄭永銘(2016)。皮蛋裡的科學。跟著鄭大師玩科學。
取自 <https://www.masters.tw/107951>
- 10.Huer(2019)。糖基化對蛋白凝膠特性的影響。食品加工包裝在線。
取自: https://m.sjgle.com/article/article_id/39858.html
- 11.鄭永銘(2017)。烘焙的科學（四）蛋白質的熱變性。跟著鄭大師玩科學。
取自:
<https://www.masters.tw/167871/%e7%83%98%e7%84%99%e7%9a%84%e7%a7%91%e5%ad%b84>
- 12.陳佩汶、方靖雯、黃筠琍(2014)。百變蛋白質。全國高級中等學校小論文比賽。
取自: <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2014/09/2014092020394129.pdf>
- 13.游依婷、郭騏惟、張家瑋、陳竝廷(2005)。玩皮蛋。科展第 45 屆。
- 14.陳昕、謝晉瑀、鄧乃碩、楊維鈞、謝昀威(2017)。健「鹼」happy 蛋~健康皮蛋新面貌。科展第 57 屆。
- 15.鍾世曜、謝佩恆、黃培華(2019)。「金」剛不壞之「蛋」— 重金屬對皮蛋之影響。全國高級中等學校小論文比賽。
取自: <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2019/03/2019033017441628.pdf>
- 16.曾政宏、廖政皓(2011)皮蛋製作 - 蛋的凝膠探討。全國高級中等學校小論文比賽。
取自: <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2011/04/2011040110192141.pdf>
- 17.馬磊、閔文靜、趙建英、張建豪、王芳、彭凱明(2015)。中國農業工程學會學報，第 31 卷，第 18 期。
取自: <https://www.ingentaconnect.com/content/tcsae/tcsae/2015/00000031/00000018/art00037#>

【評語】 030205

1. 實驗發想有趣且實驗數據豐富。
2. 自製凝膠強度觀測儀，探討影響蛋白凝膠強度的各種因素，頗具創意。而且完整的探討各項變因，並得到良好的實驗結果。
3. 研究成果可以提供考量使用蛋白凝膠作為食品添加劑的食品加工業者做為參考，具有應用性！
4. 蛋白質分子間的鍵結如何受到離子或氫鍵影響，建議用圖說明。

作品簡報



『生入鹼出』

- 探討不同變因對鹼性蛋白凝膠特性的影響 -

國中化學組
030205



動機與問題



皮蛋

我們想知道：

1. 蛋白液要**怎麼變凝膠**？
2. 有什麼**添加物**可以改變凝膠的特性？
3. **溫度高低**對凝膠特性的影響？
4. **如何測**不同狀況製作出的凝膠特性差異？

我們發現**皮蛋蛋白凝膠**有良好的**黏著度與彈性**，我們若能**改變凝膠的性質**來因應不同市場食材的需求，便能**當天然添加劑**取代傳統磷酸鹽來加入乳化型肉製品或火鍋料等食材，因此我們將其作為出發點來設計此篇研究。



加工製品

實驗流程

鹼性濃度

- 不同濃度鹼液對蛋白凝膠形成之影響

添加物

- 加入金屬鹽對蛋白凝膠形成之影響
- 蛋白液中不同葡萄糖濃度對蛋白凝膠的影響

溫度

- 不同溫度蛋白液對蛋白凝膠形成之影響
- 探討以不同溫度對凝膠成品加熱烹煮後，蛋白凝膠的變化

【實驗一】不同濃度鹼液對蛋白凝膠形成之影響

實驗步驟：

將配好的蛋白混和液分別在室溫下放置 1Hr / 2Hr / 3Hr / 4Hr / 5Hr / 24Hr



▲ 凝膠強度觀測儀

蛋白質在pH值
大於12時，會
產生鹼變性

凝膠強度定義：
貫穿凝膠至固定深
度所需的力量

實驗結果



▲圖 7▲
加入 0.005 mol▲
氫氧化鈉的凝膠▲



▲圖 8▲
加入 0.0075 mol▲
氫氧化鈉的凝膠▲



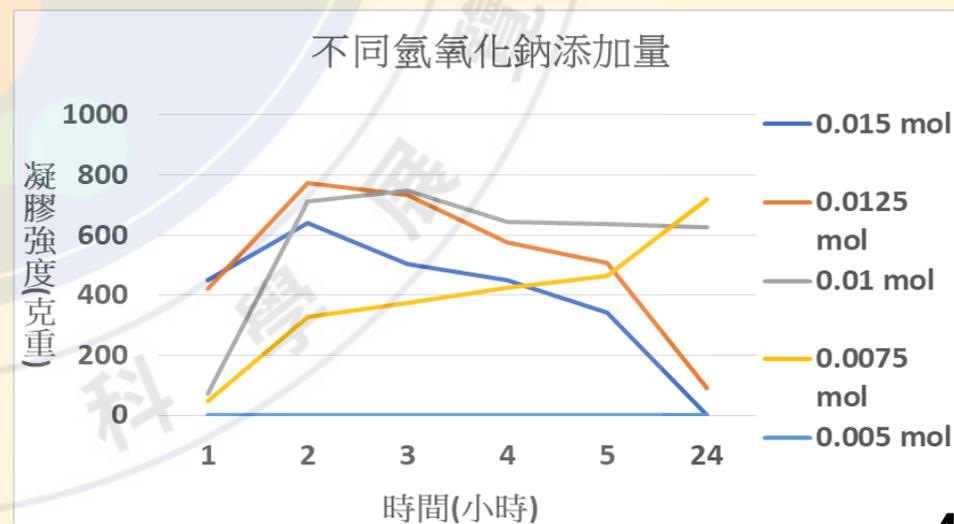
▲圖 9▲
加入 0.01 mol▲
氫氧化鈉的凝膠▲



▲圖 10▲
加入 0.0125mol▲
氫氧化鈉的凝膠▲



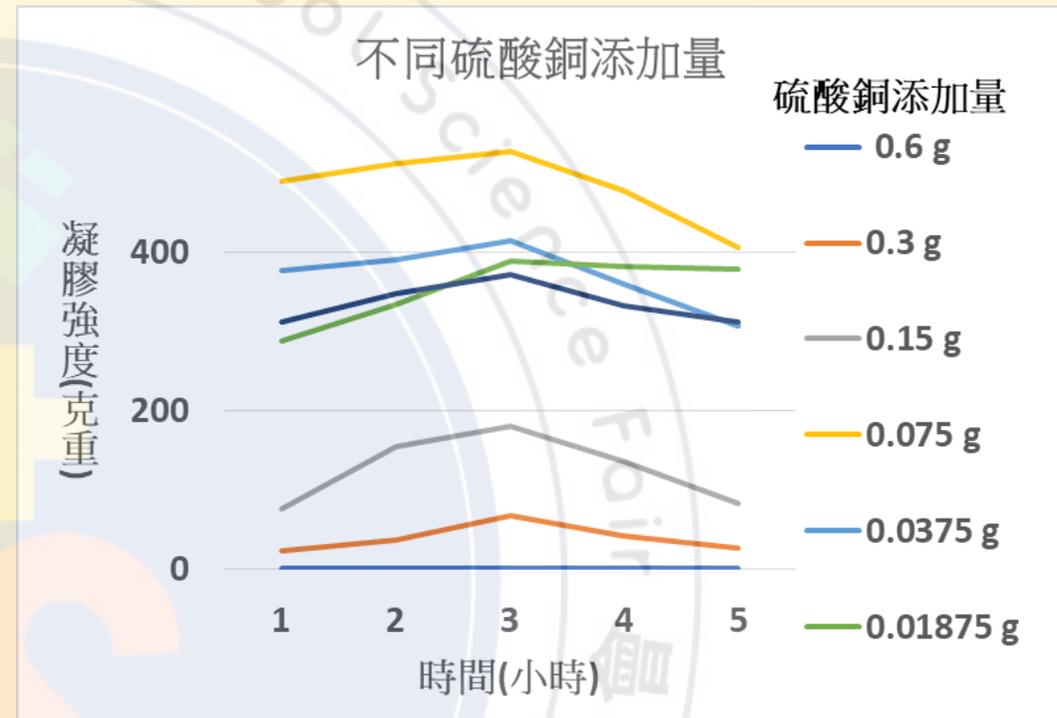
▲圖 11▲
加入 0.015 mol▲
氫氧化鈉的凝膠▲



【實驗二—1】不同濃度金屬鹽對蛋白凝膠形成之影響

實驗結果

	1Hr	2Hr	3Hr	4Hr	5Hr
0.6 g	0	0	0	0	0
0.3 g	22	37	67	42	26
0.15 g	75	154	179	135	83
0.075 g	489	511	527	477	406
0.0375 g	377	390	414	359	306
0.01875 g	288	334	389	381	378
空白組(0g)	312	348	371	332	311



實驗討論

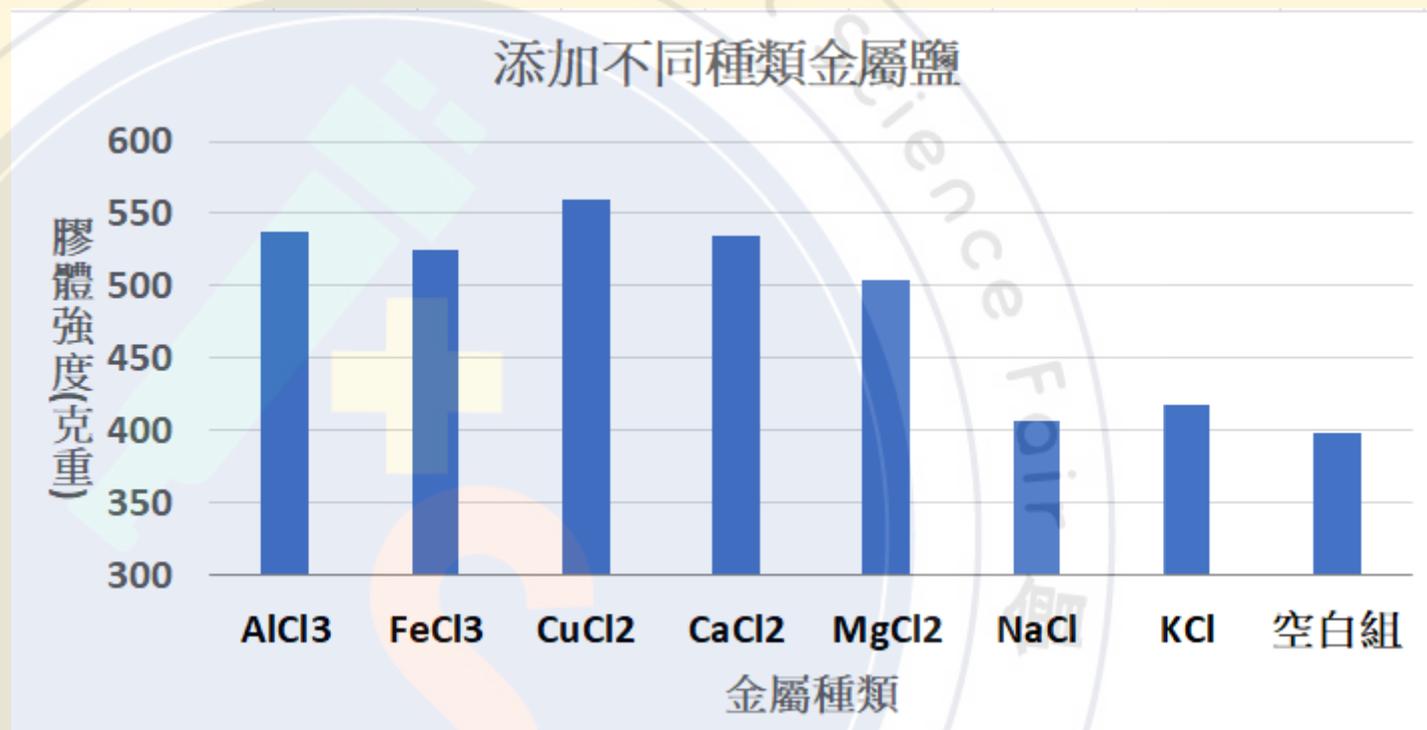
高濃度組 **差** → 銅離子過量，會形成過多的**氫氧化銅沉澱**

低濃度組 **佳** → 銅離子可連結在帶負電的蛋白質分子之間，給予**更多連結點**

【實驗二—2】不同種類金屬鹽形成的蛋白凝膠差異

實驗結果

	凝膠強度
AlCl ₃	537
FeCl ₃	525
CuCl ₂	560
CaCl ₂	534
MgCl ₂	504
NaCl	407
KCl	418
空白組	398



實驗討論

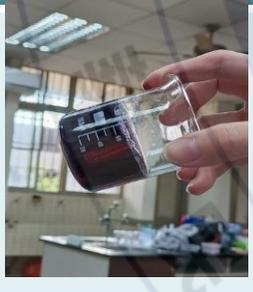
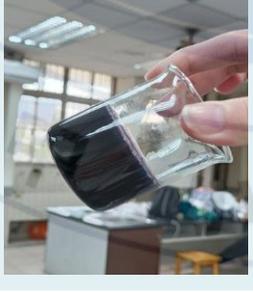
凝膠強度：+2、+3價 > +1價離子

+2、+3價 → 能同時連結兩個以上帶負電的蛋白分子，加強整體結構。

+1價 → 只能連結一個蛋白分子，僅略為減少分子間的相互排斥力。

添加銅離子組的凝膠變色現象

硫酸銅質量	0 g	0.01875 g	0.0375 g	0.075 g
加入當下				
24Hr				

硫酸銅質量	0.15 g	0.3 g	0.6 g
加入當下			
24Hr			

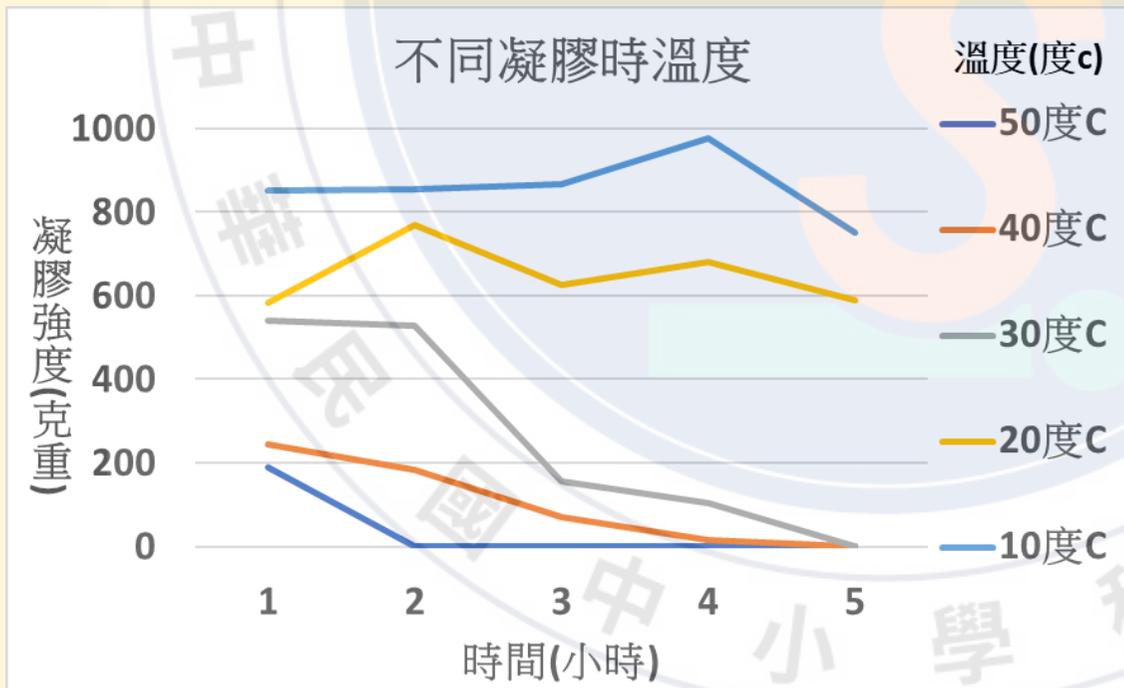
硫化銅
 硫化氫 + 銅離子

雙縮脲反應
 蛋白質 +
 鹼 + 銅離子

【實驗三】不同溫度蛋白液對蛋白凝膠形成之影響

	1 Hr	2 Hr	3 Hr	4 Hr	5 Hr
50 度 C	190	液化	液化	液化	液化
40 度 C	244	183	70	15	液化
30 度 C	540	528	157	105	液化
20 度 C	584	770	682	626	588
10 度 C	850	854	868	975	752

溫度愈高，凝膠速度快、最大強度低

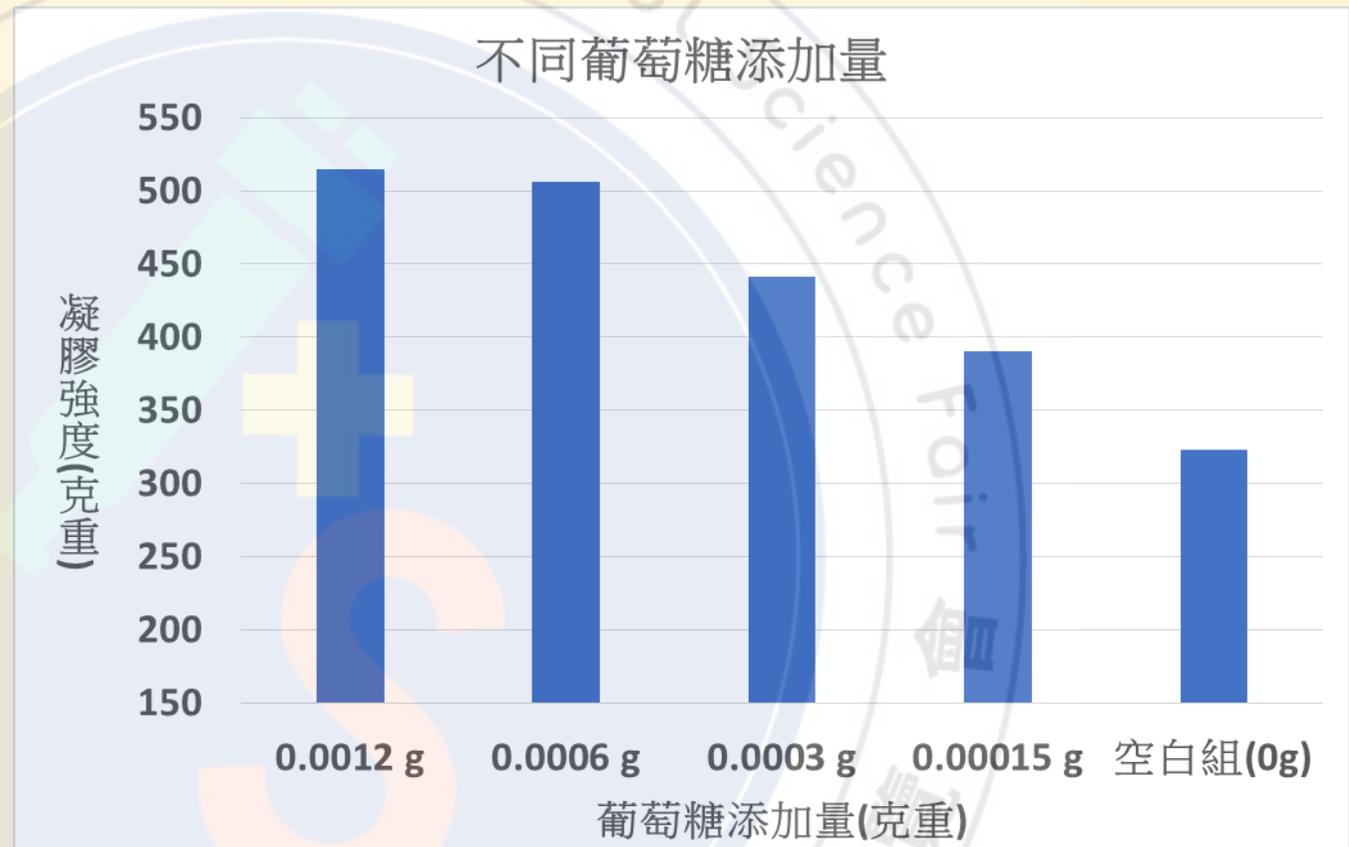


50度C蛋白凝膠(2Hr)

【實驗四—1】蛋白液中不同葡萄糖濃度對凝膠的影響

實驗結果

	凝膠強度
0.0012 g	515
0.0006 g	506
0.0003 g	441
0.00015 g	390
空白組(0g)	323



實驗討論

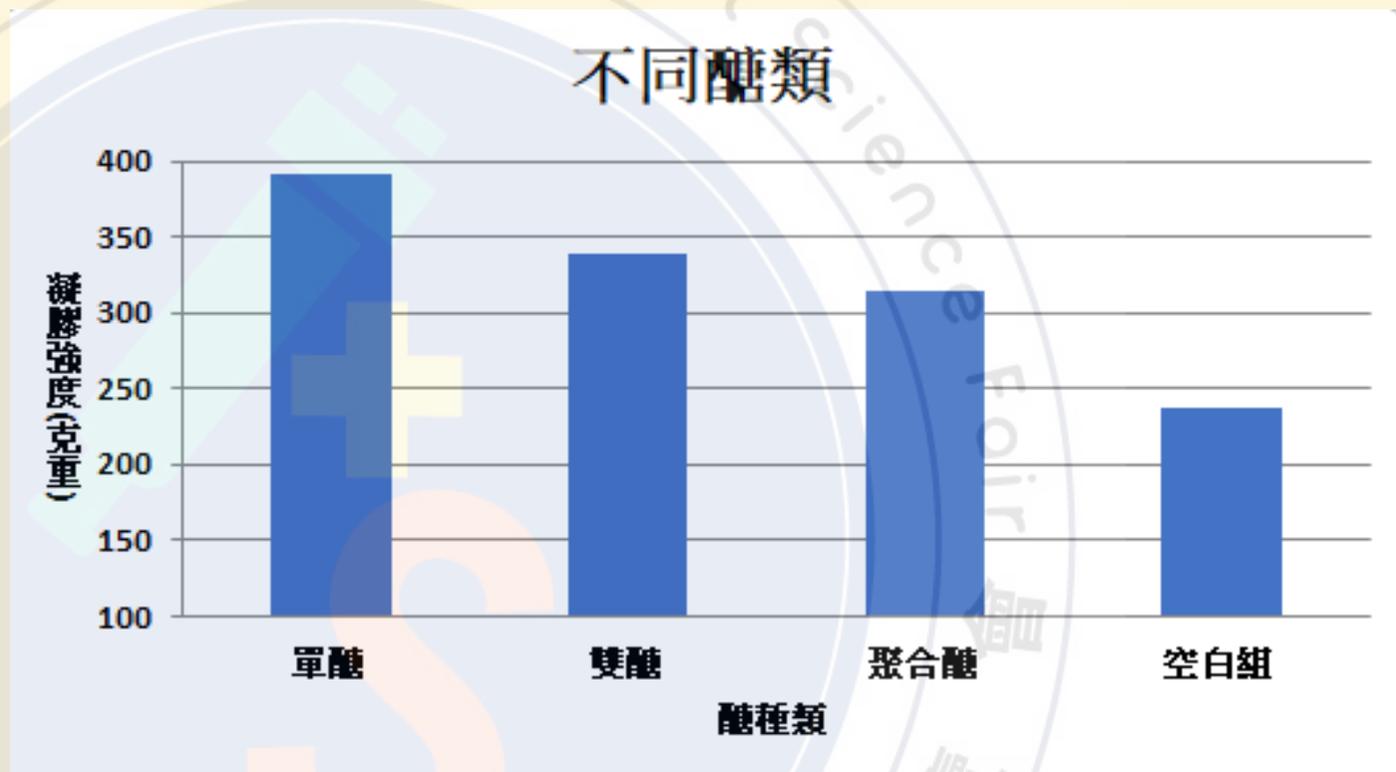
凝膠強度：加入葡萄糖 > 空白組

凝膠過程中葡萄糖提供額外的氫鍵
與蛋白分子連結成更多、更穩定的網狀結構

【實驗四—2】探討不同種類的醣對蛋白凝膠的影響

實驗結果

不同醣類	凝膠強度
單醣	392
雙醣	339
聚合醣	314
空白組	237



實驗討論

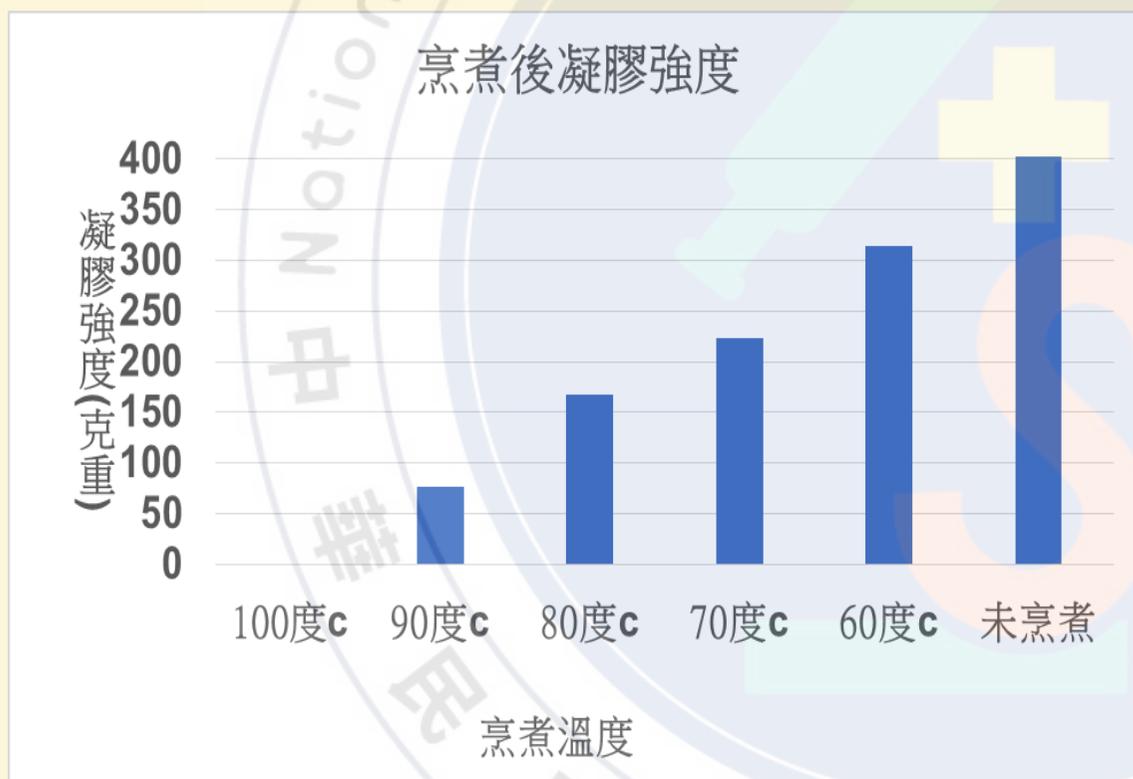
凝膠強度：加入單糖 > 雙糖 > 聚合糖 > 空白組

單糖 → 分子結構較小，較易進入蛋白分子間以及均勻分布於凝膠中

聚合糖 → 分子結構較大，較不易均勻進入蛋白分子間提供額外的連結點

【實驗五】不同溫度對凝膠成品加熱烹煮後的凝膠變化

不同烹煮溫度	100 度 c	90 度 c	80 度 c	70 度 c	60 度 c	未烹煮
凝膠強度(克重)	0(液化)	76	168	223	314	403



以90°C加熱的凝膠



以100°C加熱的凝膠

高溫烹煮凝膠成品：
→ **破壞結構**，強度降低

結論

- 一、添加的**氫氧化鈉**量越多，凝膠速度越快、凝膠強度越強，但濃度太高會造成最大強度降低及液化速度加快的現象。
- 二、添加適量銅離子可連結帶負電的不同蛋白質分子，給予網狀的蛋白凝膠結構更多的連結點。
- 三、添加**+2與+3價金屬離子**，能提供蛋白分子間更多的連結點，故最大強度較+1價離子來的佳。
- 四、添加銅離子組會產生**雙縮脲反應**，而胺基酸也會在進一步分解出硫化氫與銅離子結合成**硫化銅**。
- 五、**溫度**愈高，凝膠速度愈快，最大強度愈低。
- 六、添加**醣類**能給予凝膠額外的連結點；較小分子的糖，易均勻分布於蛋白分子之間，凝膠強度較佳。
- 七、對凝膠**成品烹煮加熱**，會破壞原先鹼凝結的結構，造成整體凝膠強度下降。

參考資料

- 一、陳怡兆(2010)。皮蛋製造原理及製程改良。農業主題館畜產加工。
- 二、鄭永銘(2016)。皮蛋裡的科學。跟著鄭大師玩科學。
- 三、陳昕(2017)。健「鹼」happy蛋~健康皮蛋新面貌。科展第57屆。
- 四、曾政浚(2011)皮蛋製作 - 蛋的凝膠探討。全國高級中等學校小論文比賽。