

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：原來烘焙師傅的經驗裡處處充滿了科學原理-掀開打發蛋白的神秘面紗
一、摘要： <p>現今市面受所販售的甜品為了博得消費者的青睞在外觀上增添了许多巧思，然而也不能忽略其內在的本質，因為味道的好壞才是評判甜品美味與否的重點。當您將甜品放入口中時，舌上的味蕾首先接觸到的就是蛋白霜，所以蛋白霜的好壞會直接影響甜品的成與敗。本研究希望透過蛋白起泡的過程了解蛋白霜打發的化學原理，並提供甜點新手正確的打發蛋白的方式與技巧並破除網路上不恰當的留言。例如將蛋黃和蛋白分離時，不能將蛋黃、油或水混到蛋白裡，否則蛋白就無法打發!這是真的嗎?或是在蛋白中加入檸檬汁可以讓蛋白霜更穩定!真是的嗎?這又是什麼原理呢?本文將以實驗的方式去驗證網路上所提出的各項技巧，期許能用科學的方式找出正確打出比重小、安定性高的蛋白霜。</p>
二、探究題目與動機 Ex.問題來源與動機(可用科學的方式來解釋)。 <p>對一個新手來說在學習烘焙過程中，最重要的基本功就是的就是打發蛋白，不管是戚風蛋糕、海綿蛋糕、天使蛋糕以及各式甜點例如馬卡龍、法式小點心馬林糖、薑餅屋上黏稠的白雪等等，都是靠蛋白打發延伸出食物的美味。</p> <p>打發蛋白形成蛋白霜聽起來很簡單，但對於一個老手來說，將蛋白可以打發成蛋白霜是烘焙中是件稀鬆平常的事，但對於新手來說其實有一定的難度經常在打發蛋白霜的過程中慘遭失敗!我們在開始接觸烘焙並製做戚風蛋糕時，就因蛋白沒有打發完全而導致戚風蛋糕失敗而在製作過程中，也累積了不少經驗並掌握了一些技巧。因此我們希望能藉由實驗驗證網路上所提出的各項技巧並徹底了解蛋白打發的科學原理，並讓大家了解烘焙過程中所見到的特殊科學現象。</p>
三、探究目的與假設 Ex. 針對觀察到的現象提出假設(不一定只有一項假設)，並以現有資訊為基礎，運用邏輯思考推導出的假設。 <p>根據上述探究題目與動機，本研究將以蛋白打發為主軸，探究蛋白打發過程中的科學現象以及實證網路上大家討論的方式是否正確，本研究探究問題如下所示：</p> <ol style="list-style-type: none">1. 容器(玻璃盆或鐵盆)對蛋白的影響？2. 蛋白霜打法的區別對蛋白的影響？3. 不同添加物對蛋白的影響？4. 不同時間糖加入對蛋白的影響？
四、探究方法與驗證步驟 Ex.利用科學原理，透過觀察或進行實驗來蒐集新的訊息，以驗證假設成立。
(一) 實驗器材：

		
雞蛋	玻璃盆	鋼盆
		
糖	油	水
		
刮刀	玻璃小碗	電子秤

(二) 探究方法與實驗設計：

蛋白打發成蛋白霜的歷史

計量學研究者拉胡爾·曼達爾（Rahul Mandal）認為，烘焙是物理、化學與生物三學門完美的結合，廚房則是人類最古老的實驗室。

蛋白霜傳聞是於瑞士的邁林根小鎮所發明，隨後由十八世紀義大利廚師 Gasparini 發揚。但這是一個具有爭議的歷史，有一派說瑞士人說法是居住在這裡的義大利廚師 Gasparini，有一天將剩下的蛋白與砂糖攪打混合後放入烤箱烘烤，沒想到烤出來的口感脆脆的很受大家歡迎，於是他從 1720 年就開始販賣這種甜點；另一派瑞士人說義大利廚師 Gasparini 是拿破崙的隨軍廚師，1800 年拿破崙大軍在邁林根大勝奧地利軍隊，Gasparini 為了慶祝戰爭的勝利而發明了這款甜點，後來這種甜點做法就世代代傳下來；向來自詡為甜點至尊的法國人也不高興了，聲稱法皇亨利四世的御廚早在 1653 年就寫了需要用到打發蛋白技法的食譜（糖雪餅），且於 1692 年就出版了。

所以就算真的有一個義大利廚師跑到邁林根小鎮做了這道甜點，也一定是從我們法國人這裡學的；然而波蘭人又聲稱蛋白霜是他們偉大的國王斯坦尼斯瓦所發明，他做的那款點心叫做瑪露曾卡真是比雪花還要美麗啊！總之這些歐洲人就因蛋白霜的起源吵了起來，吵到現在也沒吵個結果來。（取自百科全書與(2015)烘培家關於蛋白打發的歷史）

蛋白的成分與架構：

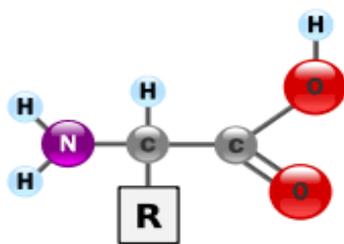
按水分和固形物所佔比重：水分 87% · 固形物 13%；而固形物中 ~90% 是蛋白質 (取自百科全書) · 以下為蛋白內所含蛋白質的百分比列表

蛋白質	比例	功能
卵白蛋白	75 %	主要養分 · 卵白蛋白是一種含磷蛋白質 · 含 1.7% 的甘露糖
卵類粘蛋白	15 %	卵類粘蛋白是一個混合物 · 其中含有溶酶菌 · 卵蛋白酶抑制物 · 卵類粘蛋白 · 卵糖蛋白 · 卵黃素蛋白。
卵粘蛋白	7 %	卵粘蛋白含 14.9% 的混合醣類 · 其中甘露糖與半乳糖含量相等。
伴白蛋白	3 %	伴白蛋白含 2.8% 的混合醣類 · 其中甘露糖 3 份 · 半乳糖 1 份。
游離葡萄糖	大約 0.4 %	

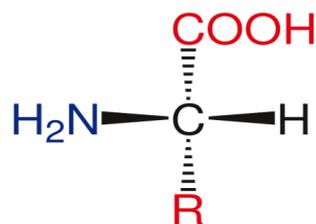
蛋白質：所有蛋白質都是由 20 種不同的 L 型 α 胺基酸連接形成的多聚體 · 在形成蛋白質後 · 這些胺基酸又被稱為殘基。蛋白質的分子結構可劃分為四級 · 以描述其不同的方面：

- **一級結構：**組成蛋白質多肽鏈的線性胺基酸序列。
- **二級結構：**依靠不同胺基酸之間的 C=O 和 N-H 基團間的氫鍵形成的穩定結構 · 主要為 α 螺旋和 β 摺疊。
- **三級結構：**透過多個二級結構元素在三維空間的排列所形成之蛋白質分子的三維結構。
- **四級結構：**用於描述由不同多肽鏈(亞基)間相互作用形成具有功能的蛋白質複合物分子。

胺基酸：胺基酸是生物學上重要的有機化合物 · 由胺基 (-NH₂) 和羧基 (-COOH) 的官能團 · 以及連到每一個胺基酸的側鏈組成。胺基酸是構成蛋白質的基本單位 · 賦予蛋白質特定的分子結構形態 · 使其分子具有生化活性 (biochemical activity)。(取自維基百科)



胺基酸



蛋白質 (取自維基百科)

蛋白打發比對：



濕性打發：拉起打蛋器的時 · 蛋白霜會垂掛下來 · 外型長長尖尖且不會滴下來。

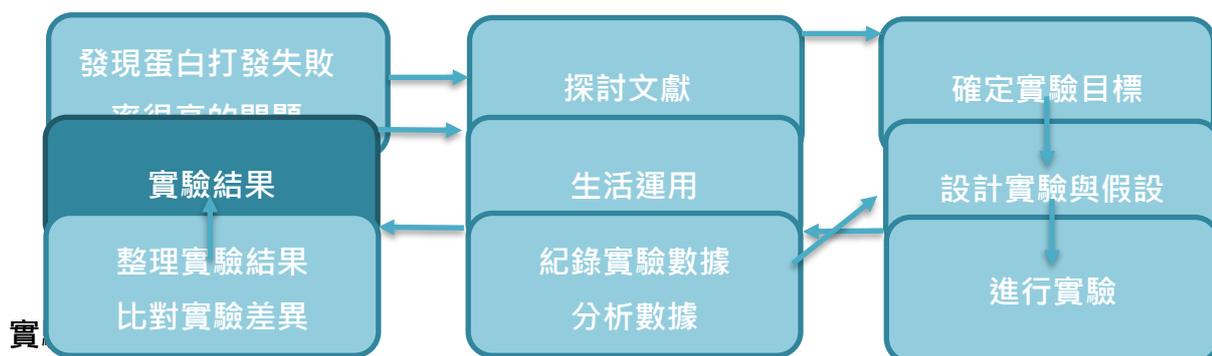


中性打發：拉起打蛋器時 · 蛋白霜前端會有一個小彎鉤。



乾性打發：拉起打蛋器時 · 蛋白霜會前端會形成小尖角 · 搖晃打蛋盆時蛋白霜不會跟著搖晃。

研究架構：



固定數值：

打發標準為中性發泡

白砂糖用量 (g)	蛋白用量 (g)	打蛋器擋速	分三次加糖時間 (秒)	分二次加糖時間 (秒)	一次性加糖時間 (秒)
20	40	3	10、27、46	10、30	0

本次實驗最終是以玻璃盆來做實驗所以當每份蛋白打到 1 分半時將會停下查看狀態，查看是否需繼續打。

比重：

容器 (ml)	比重計算方式
140	<ul style="list-style-type: none"> 將容器置於電子秤上再歸零 將容器裝滿水後，記錄滿水時的重量，進而計算容器的容積。 先將容器水倒掉並擦乾，再將打發好的蛋白裝滿容器後，並用抹刀抹平表面。 計算方式：打發蛋白的重量÷容器的容積 = 比重值。 比重值越小=蛋白霜越蓬鬆；比重值越大=蛋白霜越扎實且沈重 比重是衡量攪拌有沒有消泡、打發程度是否足夠等等的重要指標!

實驗一：玻璃盆與鋼盆對打發蛋白的影響

實驗步驟：

- 準備玻璃盆與鋼盆，分別放入等量的蛋白液。
- 記錄蛋白液打至中性發泡後的時間並計算比重。

編號	容器	比重(g/cm ³)	打發成形時間 (分·秒)
1	鋼盆	0.25	1:35
2	玻璃盆	0.21	1:30

小結：經過實驗我們發現玻璃盆與鋼盆打發蛋白用的時間差不多但比重卻相差了 0.04(g/cm³)因此我們決定使用玻璃盆作為往後實驗的容器。

編號	打蛋器種類	比重 (g/cm ³)	1 分半時狀態	打發成形時間 (分·秒)
3	雙頭	0.21	中性發泡	1:30

實驗二：蛋白霜打法的區別	4	單頭	0.25	溼性發泡	4:00
---------------------	---	----	------	------	------

實驗步驟：

1. 記錄雙頭與單頭打蛋器將蛋白液打發至中性發泡後所需要的時間並計算比重。

小結：法國甜點師曾提出使用八字形打法打蛋白是最好的方法。然而我們發現市售的手持打蛋器就是使用八字形打法來打發蛋白!所以本實驗改以研究雙頭與單頭打蛋器間的差異。經實驗證實單頭打蛋器打發蛋白所需要的時間較長，而雙頭打蛋器打出來的比重值較低。

實驗三：不同添加物對蛋白霜的影響

實驗設計：

1. 記錄不同添加物對蛋白液打發至中性發泡後所需要的時間並計算比重。
2. 分別以油、水以及蛋黃作為添加物並觀察改變，在打發至 1 分半時觀察蛋白的狀態(1:30 是正常蛋白打發時間)

編號	添加物名稱	比重(g/cm ³)		1 分半時狀態		打發成形時間 (分·秒)	
	添加量 (g)	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
3	食用油	0.36	0.49	淡淡的紋路 不打時消失	溼性發泡	2:25	3:35
4	水	0.24	0.28	中性發泡	溼性發泡	1:30	2:00
5	蛋黃	0.33	0.49	淡淡的紋路 不打時消失	失敗	2:56 溼性發泡	3:00 失敗

小結：

水：實驗發現水對蛋白打發的影響不大，只要加入的水量能保持在蛋白液的 40% 以內，對蛋白霜的穩定性就不會有太大的影響，相反地還會增加打發蛋白的體積，但如果水量太多會使蛋白液太稀黏度不夠，自然就無法打發。

油：油就是當脂肪和蛋白質充分混合的時候，會暫時乳化並破壞膠體結構，形成乳濁液的物質，因此也就沒辦法打發，如果蛋白液中摻入 0.01%-1.0% 的棉籽油就會使打發後的蛋白霜體積大幅減少且結構不穩定，故烤出來打蛋糕就會很扁，所以蛋白液裡如果有油，就會讓打發後的蛋白體積縮小兩倍以上。

蛋黃：從圖表上可得知在蛋白液中加入 0.5 克的蛋黃雖然可以打發蛋白但無法打至中性發泡，若於蛋白液中加入 1.0 克的蛋黃卻無法以打發蛋白。因此驗證部分烘培影片或專業論文裡提出只要蛋黃小於蛋白量的 0.5% 就還是可以打發蛋白是可信的。

然而在全蛋液打發中可發現，當加熱到 40 度左右即可破壞蛋黃和卵蛋白形成的複合體，讓全蛋液也可以像蛋白一樣被打發，這也就是海綿蛋糕的製作方法。(查自寫食 2020)

編號	糖量	比重 (g/cm ³)	1 分半時狀態	打發成形時間 (分·秒)
7	一次加全部	0.29	幾乎無紋路	2 : 05
8	一次加一半	0.28	微紋路	2 : 00
9	一次加三分之一	0.21	溼性發泡	1 : 35

實驗四：分次加入糖對蛋白霜的影響

實驗步驟：
1. 記錄添加不同糖量對蛋白液打發 1 分半以及打至中性發泡後所需要的時間並計算比重。

小結：文獻中有提到蛋白的水分會被砂糖吸收，使氣泡膜不容易被破壞讓蛋白霜會更穩定。相反地，砂糖也會抑制蛋白液中的蛋白質變性使得蛋白不易被打發。

以相同的砂糖量一次性加入比分兩次、三次加入更不容易打發，因為在攪打過程中很容易產生小氣泡，雖然可以得到細緻的氣泡，但蛋白霜的體積較小，內部氣泡也較少。

將砂糖分兩次將入即每次添加量為 1/2，相較之下僅比一次性加入的更容易打發一點，但打出的氣泡卻沒有比較好，比重值也沒有提升。

將砂糖分三次加入即每次添加量為 1/3，較前兩者容易打發並可打出更大量的氣泡，所形成的蛋白霜體積相對也更大。

五、結論與生活應用 Ex.同樣的成果可以應用到生活哪些領域？

本實驗希望可以藉由打發蛋白讓大家更了解烘焙裡的化學原理，在實驗過程中我們了解了蛋白的架構。也了解打發蛋白的原理是因為蛋白具有親水性的與疏水性這兩個氨基酸讓蛋白液可以打發，真的非常有趣。

經由實驗證實，若蛋白液中有一點蛋黃、油、或水是不會對打發蛋白有太大的影響。

蛋黃量只要小於蛋白液的 0.5%，而添加的水只要保持在蛋白液的 40% 以內就可以將蛋白液打發。然而油是蛋白霜最大的敵人，蛋白裡的的韌性最怕油脂來搗亂，因油脂是一種消泡劑，打蛋時應避免與油脂接觸。油脂的表面張力很大，而蛋白泡沫很薄，當油脂接觸到蛋白起泡時，油脂的表面張力大於蛋白膜本身的延伸力而將蛋白膜拉斷。黏度對蛋白的穩定性影響很大，黏度大的物質有助於泡沫的形成和穩定，因此在打蛋白時常加入適量的糖，除可利用糖本身具有黏度來穩定蛋白霜外，已可增強蛋白的起泡性。

(查自 2020 食譜自由配 王安琪老師)

參考資料 需註明出處。

1. [巧兒\(2017\)七堂烘焙教我的科學課，要是當年的理化老師可以跟我這樣解釋我就懂了](#)
2. [夢幻廚房在我家\(2018\)「做烘焙最難拿捏的技巧！」如何打發全蛋 / 打發蛋白](#)
3. [于美食\(2018\)高手之間的較量，在於如何打造優質的蛋白霜](#)
4. [GetIt01 \(08-20\)為什麼蛋白里混進了蛋黃就會變得不容易打發了？](#)
5. [于美食 \(2019\)烘焙：物理、化學與生物學的完美結合](#)
6. [第 60 屆中小學科學展覽會 蛋白生"氣"了！~蛋白起泡性之探究](#)