

# 2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 普高組 成果報告格式

題目名稱：清水煮蔬菜也太好吃! – 蔬菜醃漬魔法大解密

### 一、摘要

在高油高鈉的飲食風氣中，健康總是被人們忽略，身為青少年的我們，面對家中煮的清談飲食，卻總是禁不起外食的誘惑，特別是火鍋，跟家中的清燙蔬菜相比，石頭鍋中煮得軟爛到完美的蔬菜是我們的最愛，但我們在追求美味的同時卻攝取了過多的調味料。

本研究因此設定目標為探討蔬菜醃漬這個現象，以纖維均勻分布的白蘿蔔為探究對象，利用 Node MCU 與抽水馬達自製調味料調配機器，並將石二鍋湯底、醬油膏水、飽和味精水、飽和食鹽水四種常見調味溶液各調配五種濃度，並對其使用毛細管測定表面張力，利用醃漬是由毛細現象與分子擴散共同造成的假設，利用 ImageJ 分析醃漬的溶液醃漬比例與醃漬五分鐘後用清燙烹調給受試者試吃的主觀好吃程度評分作統計分析，探討在不同醃漬液與不同條件下毛細現象與擴散間的作用與探討如何調配最好吃又最健康的醃漬方法。

### 二、探究題目與動機

小時候我總是覺得家裡煮的菜不好吃，對我來說，能吃到一餐外食是一種幸福，尤其喜歡火鍋。隨著長大，補習和學校的時間讓我經常吃外食，尤其是滷味、麻辣燙和小火鍋。這些食物雖然美味，但我也發現其中含有大量鈉，對腎臟不太好。相較之下，母親的菜餚雖然清淡，但更健康。於是，我開始思考如何用少量的調味料達到完美的味道。在做植物切片觀察實驗時，我想到了解決方法，那就是用醃漬。醃漬能讓食物味道不會減少，且湯頭可以更清淡。植物的維管束內有無數小通道，如果醃漬能讓調味料進入這些通道，就能實現快速醃漬。我查資料發現，鹽水等鹼性物質的溶液具有較大的表面張力，能有效促進醃漬。我們因此製作一個裝置，來輔助讓我們進行醬料調配。通過調控料汁濃度和溫度，探討最好吃與最健康的比例，透過生物及物理學的原理幫助我們釐清醃漬究竟是怎麼一回事，在食品加工上做出應用，實現快速且健康的醃漬效果。

### 三、探究目的與假設

本次研究的目的是利用四種不同的醬汁（食鹽水、味精水、醬油、石二鍋湯底）來探討如何運用食品加工中的兩大關鍵→表面張力和滲透的原理，也是我們曾經在自然課本中學習過的內容，利用植物的生理特性，嘗試達成讓醃製後的食物變得更好吃的成效，我們在網路上查詢這兩個主題有關的文獻(Abe, 2008; Butt & Kappl, 2009; Dumais & Forterre, 2012; Ramya & Jain, 2017; van Stokkom et al., 2018)，整理出以下科學假設。

首先，在一篇探討醃漬與脫水的文章 (Ramya & Jain, 2017) 中我們得到以下關鍵：

1. 表面張力和滲透是影響食物在醃漬過後影響好吃程度的最大因素
2. 蘿蔔的細胞膜通透性會影響滲透
3. 不同液體的化學位能差會影響滲透
4. 蘿蔔的體積或形狀越大，會因為滲透所需的長度以及接觸面積的增加導致滲透的效率降低
5. 溫度的上升會導致黏稠度下降，並且導致滲透的效率也一同上升
6. 液體的濃度上升會導致液體的黏稠度上升，並間接導致蘿蔔對於滲透的阻力一同上升
7. 液體的分子量越低，滲透的效率會越高
8. 攪拌液體可以提升滲透的效率，但有可能對醃漬物結構造成傷害
9. 液體與食物接觸面積比例越大，滲透的效率越高

其次，我們透過植物體中維管束與木質部中毛細現象的原理提出假設(Butt & Kappl, 2009; Dumais & Forterre, 2012)，嘗試利用最大化表面張力的方式提升醃漬效率與醃漬程度，毛細現象是一件非常有趣的事，毛細管中液體的攀升高度可簡單的由牛頓力學的力平衡推導而出：

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r}$$

$h$ : 液體在毛細管中上升的高度(m)    $\gamma$ : 液體的表面張力(N/m)    $\theta$ : 液體與毛細管內壁的接觸角(rads)

$\rho$ : 液體的密度(kg/m<sup>3</sup>)    $g$ : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)    $r$ : 毛細管的內半徑(m)

在推論出毛細管中液體攀升高度的簡單定量模型後，我們將對其進行實驗與理論的驗證，配合濃度的研究嘗試找出經驗方程式。

除了透過科學進行蔬菜醃漬的假設，我們也讀了一篇關於蔬菜品嘗與分類的論文(van Stokkom et al., 2018)，並從其中發現蘿蔔在被盲測分類上，味覺的表現並不是很突出，並且我們也從一篇描述味覺與偏好的文獻(Abe, 2008)中讀到，味覺其實是來源於味蕾的細胞膜內外帶電離子的電量差距，以受器的角度對大腦進行刺激，所以味覺其實是一種電訊號刺激的表現，而每個人喜歡的刺激型態都有所差異，但台灣人的刺激偏好(好吃程度分析)我們假設差不多，並用此假設去做後續的好吃程度分析。

#### 四、探究方法與驗證步驟

##### 實驗方法:

為了提高實驗樣本及確保實驗的精確性，本實驗利用了不同濃度的四種醬料來進行蘿蔔醃漬的動作，每組實驗都進行多次量測與使用 Excel 中 STDEV.P 函式進行誤差分析，觀察多因素共作用下，各組實驗之表現並利用前述統整到之表面張力與滲透觀點進行現象解釋。

為了瞭解不同液體在不同濃度時的表面張力，本研究首先利用毛細管實驗來獲取不同液體在不同濃度時的表面張力，並進行製圖分析。

##### 實驗步驟:

##### (一) 利用自製機器調製醬料

1. 將水和醬料分別到入機器的兩個槽
2. 啟動機器，輸入想要的濃度

##### (二) 利用毛細管測量不同液體及濃度的表面張力

1. 將機器調配好的醬料倒入培養皿
2. 將三根毛細管分別插入培養皿裡
3. 等待一段時間並記錄高度
4. 利用公式去推算表面張力



圖一、游標尺測量毛細管中醬汁高度

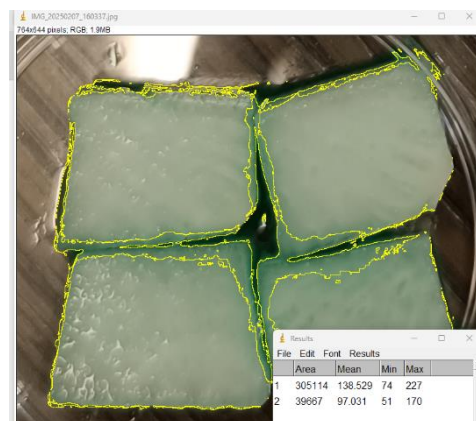
##### (三) 將蘿蔔浸泡在不同液體及濃度裡面

##### (四) 將浸泡五分鐘後的蘿蔔用 ImageJ 進行醃漬面積比例分析，分析醃漬效果

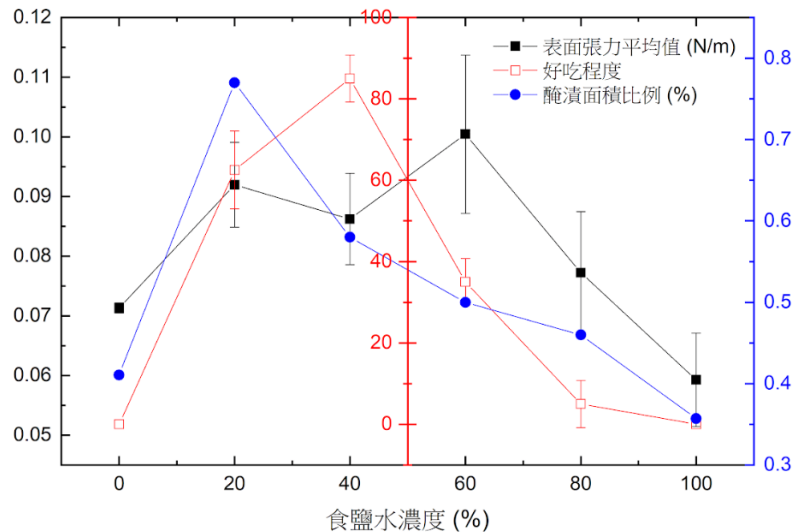
##### (五) 將浸泡過後的蘿蔔給不同的樣本（多位家人）食用，並做評分後統計分析



圖二、調配醬料的機器

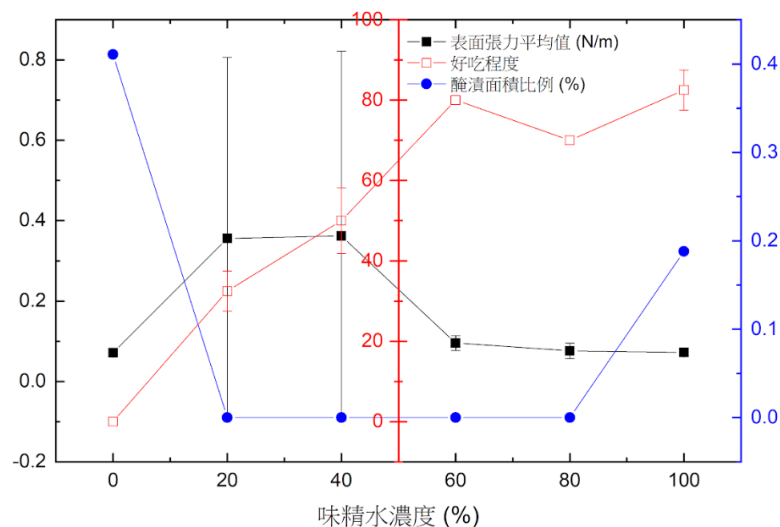


圖三、ImageJ 分析醃漬面積畫面截圖



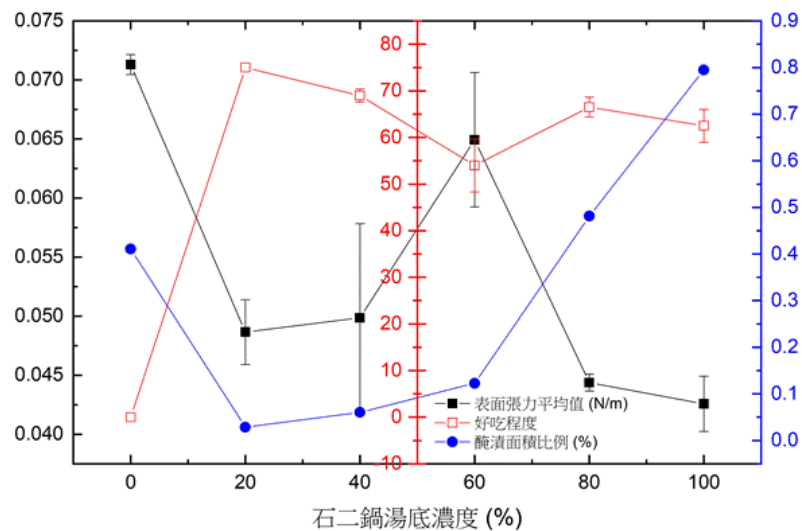
圖四、食鹽水濃度變化下表面張力、好吃程度與醃漬面積比例圖

- 表面張力，好吃程度，以及醃漬面積呈現了正相關，符合本實驗對於表面張力影響的假設。
- 醃漬面積在食鹽水為 80%及 100%的比例較低，這有可能是因為食鹽水在 80%及 100% 時的蘿蔔體積較大，導致滲透的效率降低



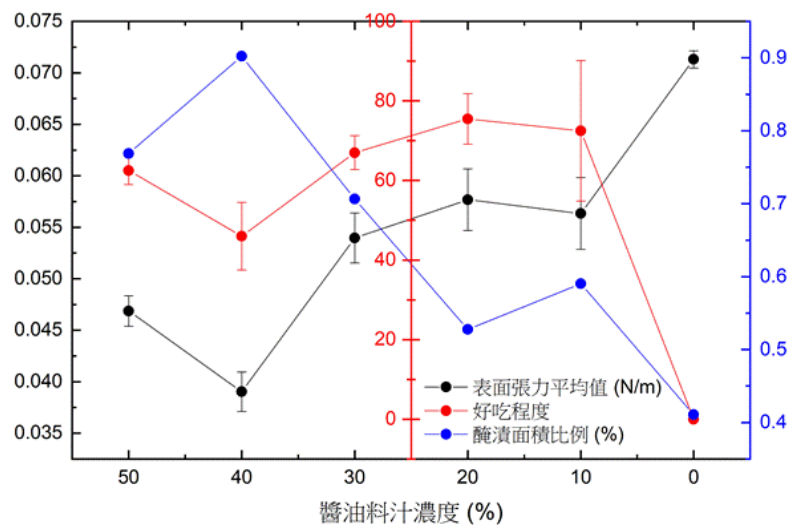
圖五、味精水不同濃度變化下表面張力、好吃程度與醃漬面積比例圖

- 表面張力，好吃程度，以及醃漬面積並沒有呈現了正相關，並符合本實驗對於表面張力影響的假設。
- 醃漬面積在味精水為 20%及 80%的比例為 0，這有可能是因為味精水在此區間時被蘿蔔內部的細胞吸收，導致色素無法在蘿蔔表面顯現，因此在利用 ImageJ 進行分析時醃漬面積為 0。
- 於味精水在 20%及 80%之間還是有被蘿蔔吸收，蘿蔔的好吃程度還是有隨者味精水濃度的增加而增加，表示味精水可以讓蘿蔔變好吃。



圖六、石二鍋湯底不同濃度變化下表面張力、好吃程度與醃漬面積比例圖

- 當湯底濃度較低時，表面張力較高，隨著濃度增加，表面張力下降，這可能與油脂和蛋白質的影響有關
- 好吃程度在某個範圍內達到最大，適中的濃度能帶來最佳風味，但太淡或太濃都可能影響口感
- 醃漬面積比例隨著濃度提高而增加，說明較濃的湯底可能會有更多油脂或懸浮物，使外觀變得模糊，影響分析



圖七、醬油料汁不同濃度變化下表面張力、好吃程度與醃漬面積比例圖

- 表面張力在濃度較高時較大後下降，液體組成在不同濃度下有明顯變化
- 好吃程度的數據起伏較大，可能因為鹹味、甜味和鮮味的平衡點不同，不同濃度下的味道感受也會有所變化
- 醃漬面積比例則在高濃度時較高，然後下降，但在極低濃度時又有所回升，可能與懸浮物或沉澱物的變化有關，濃度調整對醬油質地外觀有影響

## 五、結論與生活應用

總結而言，我們發現醃漬這件事沒有一個通用的物理模型能解釋，不管是植物纖維中之表面張力造成的毛細現象抑或者是滲透壓，其中都會受到多個參數影響，但仍然能分類討論，舉例來說，醬油與石二鍋皆為較濃稠液體，若增加濃度不全然會使表面張力上升，而是因為黏度上升使得毛細管測得較低的表面張力，進而影響其在植物纖維中之毛細現象表現，但在食鹽水中的表現卻迥然不同，在表面張力上符合我們的假設，總而言之，我們發現醃漬是一個高度仰賴主要因子的食品加工問題，有些醬汁太鹹，醃漬過好反而評分差，有些則像上述討論之醬油與鹽水。

雖然我們最後無法給出通用公式解，但我們仍得到了四種醃漬醬料的結論：

- 食鹽水的表面張力、醃製的面積、及蘿蔔好吃程度成正相關，符合本實驗對表面張力的毛細現象假設。食鹽水濃度在 20%到 40%之間好吃程度表現最佳。
- 味精水、石二鍋湯底的表面張力、醃製的面積、及蘿蔔好吃程度不成正相關，但味精水在 60-100%濃度區間以及石二鍋湯底在所有濃度區間都有著很高的好吃評分。
- 醬油的醃漬的面積和蘿蔔好吃程度成正相關，但是與表面張力並不成正相關，總體好吃評分如石二鍋一樣，只是表現稍遜一籌。

本研究最終採取 20%到 40%濃度之間的食鹽水為最佳的調味料濃度。在這個區間時，食鹽水的表面張力落在 0.08 到 0.09(N/m)之間，好吃程度的評分落在 60 到 80 分之間，而醃製面積比例落在 80%到 60%之間。這些數據做為經驗方程式的產出被應用至我們後續的清燙蔬菜料理中，利用科學的假設達到快速醃漬調味（表面張力高）的同時，還醃漬出了最美味的口味並維持低鈉攝取的健康。

## 參考資料

- Abe, K. (2008). Studies on taste: molecular biology and food science. *Biosci Biotechnol Biochem*, 72(7), 1647-1656. <https://doi.org/10.1271/bbb.70690>
- Butt, H.-J., & Kappl, M. (2009). Normal capillary forces. *Advances in Colloid and Interface Science*, 146(1), 48-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.10.002>
- Dumais, J., & Forterre, Y. (2012). “Vegetable Dynamicks”: The Role of Water in Plant Movements. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 44(Volume 44, 2012), 453-478. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-120710-101200>
- Ramya, V., & Jain, N. K. (2017). A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12440. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.12440>
- van Stokkom, V. L., Blok, A. E., van Kooten, O., de Graaf, C., & Stieger, M. (2018). The role of smell, taste, flavour and texture cues in the identification of vegetables. *Appetite*, 121, 69-76. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.10.039>