

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科(二)

第一名

032912

真空能加速醃製食物？高壓可以嗎？探究氣壓對
醃製速率的影響

學校名稱：苗栗縣私立君毅高級中學(附設國中)

作者：	指導老師：
國一 陳永昇	周鳳君
國一 鍾享廷	
國一 李玥彤	

關鍵詞： 真空抽氣、負壓、高壓

得獎感言

我們與全國科展的距離

在全國科展中榮獲第一名，我們首先要感謝周鳳君老師的辛苦指導。老師不僅傳授了我們課外的知識並教導我們如何分析數據資料，還利用假日時間陪同我們一起進行實驗，讓我們受益匪淺。而父母的全力支持和教授的專業建議，都使我們的作品能更完美的呈現。

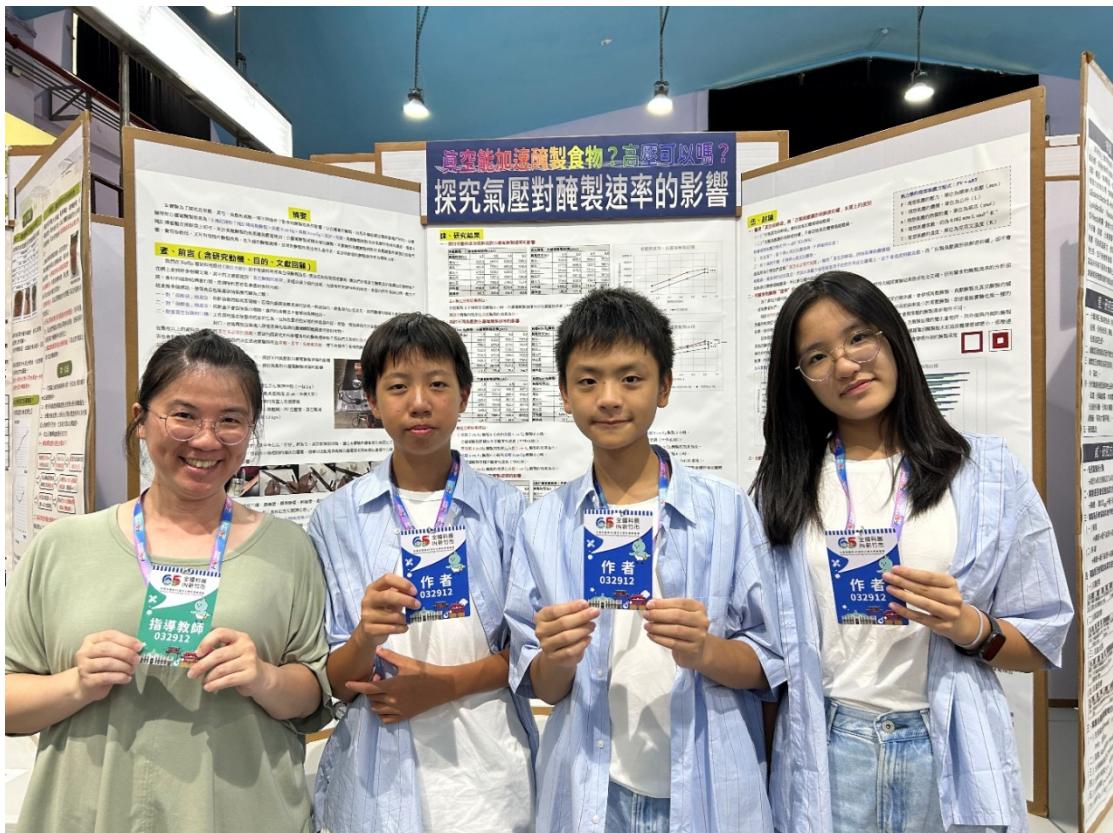
在研究的過程中，我們面臨最大的挑戰是無法量化蘿蔔醃製的效果，經過查詢多方資料以及向老師請教，最終克服了這道難關，得以讓實驗順利推進。我們幾乎每個假日都要到學校，進行一次又一次的實驗，分析一組又一組的數據，這樣不斷反覆相同的實驗過程，讓我們學會了耐心與堅持、謹慎與細心及如何有效利用時間，並體會到團隊合作的重要性。

從一開始對作品成果缺乏自信，到代表苗栗縣參加全國賽，一路上我們突破重重關卡，彷彿經歷了一場奇幻之旅。在揭曉成績的那一刻，我們緊張不已，當主持人宣布我們的作品獲得第一名時，我們驚聲尖叫，開心的擁抱彼此，簡直無法相信我們真的做到了！所有的辛苦與努力都幻化成甜美的果實！能參與全國科展這場盛會真是難得可貴的經驗，讓我們受益良多。

最後，我們想對未來參加科展的學弟妹們說：不去嘗試，你永遠不會知道困難會在哪裡！不要害怕失敗，每一次錯誤都在幫助你更接近答案。只要持續提問、勇敢嘗試，你也能找到屬於自己的突破與成就。



幫蘿蔔們拍了破百張寫真照，當下沒想過要為自己留影，直到參展



終於評審結束，不管有沒有得獎，也要為自己留下輝煌時刻的紀念

真空能加速醃製食物？高壓可以嗎？探究氣壓對醃製速率的影響

摘要

本實驗為了探究在常壓、真空、負壓和高壓…等不同條件下對食物醃製效果的影響，以白蘿蔔為醃製對象，利用各種裝置改變氣壓進行一系列研究。

由實驗得知白蘿蔔的醃製效果為 6 塊紅磚和 7 塊紅磚高壓醃製 > 負壓 8cm-Hg > 負壓 4cm-Hg > 真空 > 常壓。高壓醃製相對於其他氣壓條件的表現為最佳，僅需 6 塊紅磚重壓在保鮮袋上即可。至於負壓醃製的效果隨著負壓值的增加，白蘿蔔醃製面積有增加趨勢。

本實驗的高壓醃製相對於負壓醃製所需要的技術門檻、費用皆較低，又可有效提升醃製效果，是不錯的醃製選擇。不建議購買「市售真空抽氣棒」，因功率小、吸力差，未如產品說明書上所說可使保鮮罐達真空狀態。如果對醃製效果沒有太過苛求，真空保鮮袋的醃製操作更為簡單方便。

壹、前言（含研究動機、目的、文獻回顧）

之前我們在 Netflix 看到了紅遍全球的韓國美食料理綜藝節目《黑白大廚：料理階級大戰》，當中有一位專門製作分子料理的廚師甚至自備了專業的料理器具，而其中有一道料理就是利用真空袋醃製西瓜，使西瓜在極短的時間內甜度變高，因此引發了我們對真空醃製的好奇，想要瞭解真空醃製真的可以讓西瓜加速變甜嗎？

我們在網路上查到了一些有關真空醃製的文章，其中《真空機醃漬的魔力：讓美味快速鎖住》的文章中點出了「真空醃製的原理」是經由減少袋內的空氣，從而加速食材對調味料的吸收。當真空機將袋內的空氣抽出時，壓力下降，食材的細胞結構會被打開，這使得調味料更容易滲透到食材內部。另外在《Anova Culinary 精密®炊具》網站中的一篇文章中也指出：「真空的壓力會彈出食物中的空氣和水袋，當真空被釋放時，食物周圍的風味分子將會充滿那些打開的袋子。雖然這種情況正在積極發生，但看到食物冒泡是完全正常的現象，因為空氣從食物中溢出，這使得美味的分子能夠從某些食物中提取出來或注入到其他食物中。」

然而我們又查詢、研讀多個網站資料，發現了「市售的食品包裝真空抽氣機」的運作方式大不相同，可歸納為三類：

一、直接對「保鮮袋」抽真空：

保鮮袋會因抽氣而體積塌縮壓扁，如果保鮮袋內有盛裝液體，則液體容易連同空氣一起被抽氣機抽出，最後袋內近似真空，然而大氣壓力依然隔著袋子作用在白蘿蔔上，因此袋內並未造成明顯負壓。

二、直接對「保鮮盒」抽真空：

保鮮盒不會因抽氣而明顯塌縮壓扁，盒內盛裝的液體也不會被抽氣機抽出。

三、腔室真空包裝封口機：

這一類的食品包裝封口機通常是餐廳廚房或食品加工廠專用，價格比較昂貴。腔室密封器的工作原理是先去除整個腔室內的所有空氣，包括放置在腔室裡面的包裝袋內部，從而創造一個包裝袋內外皆處於同樣真空負壓的環境條件下進行封口，袋內盛裝的液體也不會因抽真空而被抽出，而後才釋放空氣進入腔室內使得包裝袋的體積瞬間塌縮壓扁進而完全密封食物。

在搜尋與整理以上真空醃製的相關資料中，我們瞭解到真空未必等於負壓，那麼這些因素到底是如何影響食物的醃製速率呢？而後我們又聯想到如果不是「減壓」而是「額外加壓」，是否也會影響食物的醃製速率呢？於是我們決定透過實驗探究在常壓、真空、負壓和高壓…等不同條件下對食物醃製速率的影響。

以下為本實驗的研究目的：

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 一、探討常壓對白蘿蔔醃製速率的影響 | 三、探討不同負壓對白蘿蔔醃製速率的影響 |
| 二、探討真空保鮮袋對白蘿蔔醃製速率的影響 | 四、探討高壓對白蘿蔔醃製速率的影響 |

貳、研究設備及器材

一、研仔白蘿蔔、台糖精緻特砂糖（一包 1 kg）、食用紅色七號調合粉（一包 2 g）

二、鋁塊（2.5 cm × 2.5 cm × 3.5 cm）、燒杯、量筒、玻璃棒、電子天平

三、13 塊紅磚（長 20.5 cm × 寬 9.5 cm × 高 5.0 cm，平均重量為 1.8 kgw）

四、市售《Kuhn Rikon 瑞康屋》真空抽氣棒（功率 5W）、真空保鮮袋、真空保鮮罐

五、圓形保鮮密封罐（1000 ml）

廢棄方形塑膠桶、止洩帶

負壓錶、負壓產生器

調壓閥、PU 空壓管

工業用真空幫浦

六、實驗專用鐵架及

鐵環（離桌面高度 20 cm，
放置手機的支架）、手機



本圖片由作者拍攝▶

參、研究過程或方法

一、前測預備實驗：

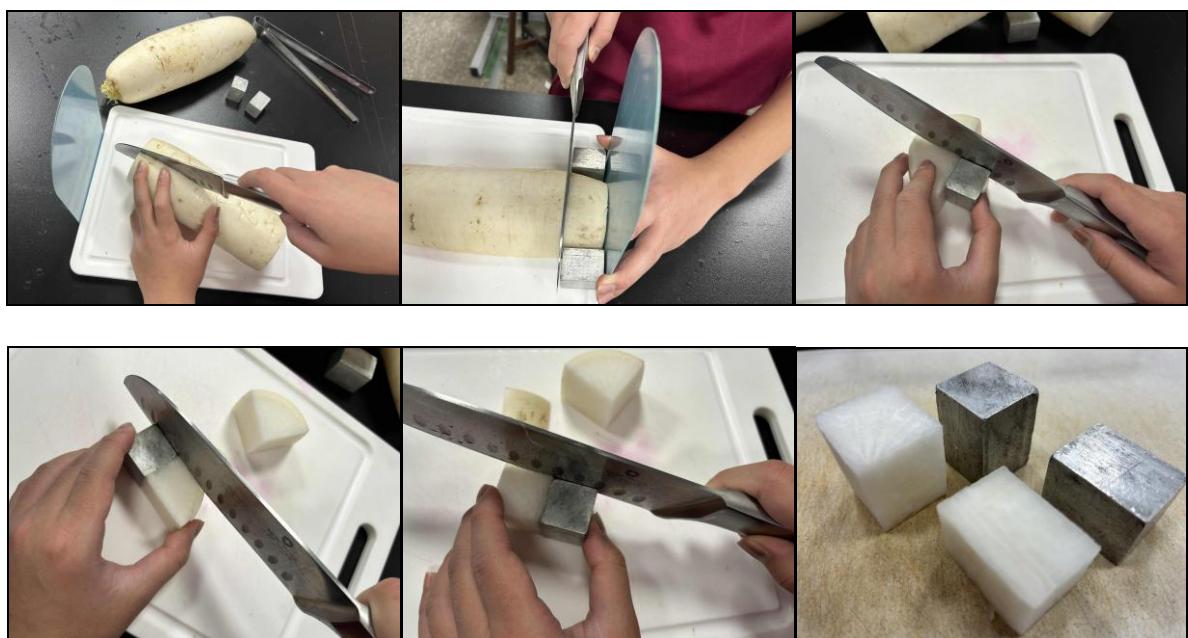
(一) 醃製食材的挑選：

以當季食材為主，因冬季盛產白蘿蔔，其肉白較不影響實驗結果的分析，本實驗決定以白蘿蔔為醃製食材。但不同品種的白蘿蔔外型差異頗大，其中全台以「研仔」群為主，其形狀類似酒瓶，頗適合本實驗對白蘿蔔裁切成固定尺寸的需求。

(二) 白蘿蔔裁切方法的統一：

起初我們並未使用任何輔助工具裁切白蘿蔔，但易造成裁切的白蘿蔔大小不一，因而間接影響到實驗的分析結果。後來靈機一動想到可以利用實驗室裡的鋁塊作為裁切輔助工具，其裁切步驟如下：

- 1、先將整條白蘿蔔從正中間對半剖開，利用兩個鋁塊固定在半條白蘿蔔兩側進行裁切，使裁切後的每塊半圓形的白蘿蔔厚度統一。
- 2、再將半圓形的白蘿蔔從正中間對半裁切，依照長方體鋁塊的長、寬、高，切成大小皆相同的塊狀白蘿蔔。
- 3、利用這樣統一裁切的方法可以確保每塊長方體的白蘿蔔都有兩面靠近白蘿蔔的中心線，另外兩面則是靠近白蘿蔔的外側，使醃製結果不受裁切方式影響。



▲6張圖片由指導老師協助拍攝

(三) 醃製醬汁的調配：

以簡單調配為主，由於蜜餞經常使用糖水進行醃製，我們決定選用「台糖精緻特砂糖」進行醃製實驗。上網查詢了常見糖漿比例主要有三種：濃糖漿（糖和水比例 2：1）、

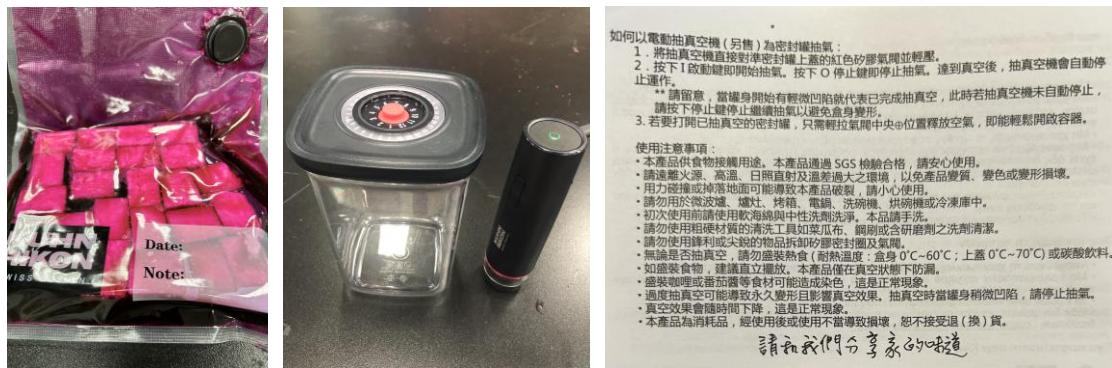
標準糖漿（糖和水比例 1：1）、輕糖漿（糖和水比例 1：2）。親自動手調配後，發現濃糖漿較濃稠，白蘿蔔明顯上浮、不易醃製均勻，而輕糖漿濃度太低，於是我們決定使用「標準糖漿比例」配置糖水。實驗時，分別秤取 100 g 的糖和水，外加一包 2 g 「製作紅龜粿專用的食用紅色七號調合粉」即可。



▲食用紅色七號調合粉（3張圖片由作者拍攝）

（四）測試「市售真空抽氣棒」的抽氣效果：

- 1、直接對「真空保鮮袋」進行抽氣，最後袋內的確近乎真空。
- 2、直接對「真空保鮮罐」進行抽氣，測試抽氣前後「蓋子上的紅色矽膠氣閥」吸附在蓋子上的鬆緊程度，確定抽氣後的矽膠氣閥吸附在蓋子上較緊貼，但並未如產品說明書上所說會造成罐身或蓋子輕微凹陷，即使延長抽氣時間也是一樣的結果。



▲真空保鮮袋 ▲真空保鮮罐、真空抽氣棒 ▲產品說明書（3張圖片由作者拍攝）

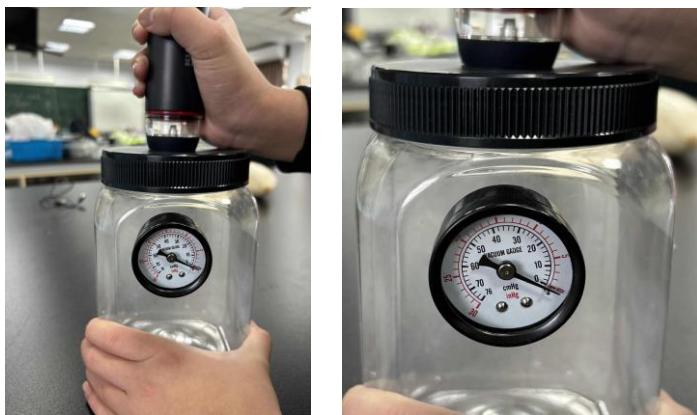
- 3、在保鮮罐上安裝負壓錶，以再次確認「市售真空抽氣棒」的抽氣效果：

由於該產品提供的「真空保鮮罐」不適合鑽孔安裝負壓錶，於是我們決定自行改造「廢棄方形塑膠桶」，改造方法如下：

- (1)先於塑膠桶側面安裝負壓錶，並於蓋子上預留抽氣孔。
- (2)使用止洩帶在桶子開口處的螺紋上纏繞 10 圈以上，防止蓋子旋入鎖緊後漏氣。
- (3)對「改造後的塑膠桶」進行抽氣並同時測量桶內氣體的負壓值變化。

經由實驗測試，發現負壓錶上的指針竟然完全不轉動，測量不出負壓值，表示抽

氣機的吸力不足，桶內仍保留大部分空氣，僅造成微小負壓。證明此款「市售真空抽氣棒」並未如產品說明書上所說「可使保鮮罐達到真空狀態」。



▲負壓錶上的指針不轉動，測量不出負壓值（2張圖片由指導老師協助拍攝）

（五）為了探討不同負壓對白蘿蔔醃製速率的影響，必須自製一個可達明顯負壓、又可控制負壓值的保鮮罐。

- 1、因「市售真空抽氣棒」功率只有 5W、吸力不足，無法達到明顯負壓，被排除。
- 2、曾經利用「家用吸塵器」取代「市售真空抽氣棒」，但因「家用吸塵器」的吸氣口過大或形狀特殊，難以達到密封不漏氣的完整連接於保鮮罐上，也被排除。
- 3、因專業知識不足與技術問題，我們與指導老師多次討論，最後終於自製一個可達明顯負壓、又可控制氣壓值的保鮮罐，自製方法如下：
 - (1)為了能夠承受較大負壓值，選用較厚的圓形保鮮密封罐。
 - (2)先於蓋子上安裝負壓錶及負壓產生器。（註：負壓錶後來改裝於罐身）
 - (3)使用止洩帶在桶子開口處的螺紋上纏繞 10 圈以上，防止蓋子旋入鎖緊後漏氣。
 - (4)再利用 PU 空壓管將工業用真空幫浦、調壓閥及負壓產生器連接起來即可完成。
- 4、本實驗利用「調壓閥」的裝置來控制罐內氣體的負壓值。



▲方形塑膠桶太薄，無法承受太大負壓，改選用較厚的圓形保鮮密封罐（3張圖片由作者拍攝）

二、探討常壓對白蘿蔔醃製速率的影響

- (一) 將白蘿蔔洗淨、切去頭尾、從正中間剖半切開，然後取半邊蘿蔔依序對準長方體鋁塊，將其裁切成與鋁塊大小相同以備用。
- (二) 依照「標準糖漿比例」配置糖水，分別秤取 100 g 的糖和水，外加一包 2 g 「食用紅色七號調合粉」即可。
- (三) 取 20 塊的白蘿蔔（外加 2 塊備用）放置入方形塑膠桶裡並倒入糖水 300 ml 後，鋪上一層廚房紙巾，蓋上蓋子進行醃製。
- (四) 每間隔 1.5 小時隨機選取 5 塊白蘿蔔放置在廚房紙巾上，等待紙巾吸乾白蘿蔔表面殘留的糖水，將長方體的白蘿蔔沿著長邊對半切並使其剖面朝上，手機放置在固定高度 20 cm 的支架上，由上往下俯拍，以取得白蘿蔔醃製程度的畫面。
- (五) 每次取出 5 塊白蘿蔔後，立即蓋上蓋子並重新計時 1.5 小時繼續進行醃製，重複相同實驗共 4 次。

三、探討真空保鮮袋對白蘿蔔醃製速率的影響

- (一) 另取 20 塊白蘿蔔（外加 2 塊備用）放置入保鮮袋中並倒入糖水 300 ml 後完整密封，使用真空抽氣棒進行抽氣直至保鮮袋近似真空以進行醃製。
- (二) 每間隔 1.5 小時，取出 5 塊白蘿蔔，**重複實驗二方法（四）相同步驟**。
- (三) 每次取出 5 塊白蘿蔔後，立即密封保鮮袋再次抽真空並重新計時 1.5 小時繼續進行醃製，重複相同實驗共 4 次。

四、探討不同負壓對白蘿蔔醃製速率的影響

- (一) 取 20 塊白蘿蔔（外加 2 塊備用）放置入「自製負壓圓形保鮮密封罐」中並倒入糖水 300 ml 後，鋪上一層廚房紙巾，蓋上蓋子鎖緊。
- (二) 開啟真空幫浦對密封罐進行抽氣，使用「調壓閥」調整罐內氣壓值為負壓 2 cm-Hg 以進行醃製。整個實驗過程中，真空幫浦必須保持在開啟狀態，才能維持罐內的氣壓值。
- (三) 每間隔 1.5 小時，取出 5 塊白蘿蔔，**重複實驗二方法（四）相同步驟**。
- (四) 每次取出 5 塊白蘿蔔後，立即蓋上蓋子鎖緊並重新計時 1.5 小時繼續進行醃製，重複相同實驗共 4 次。
- (五) 使用「調壓閥」更改調整罐內的氣壓值，依序調整為負壓 4 cm-Hg、負壓 6 cm-Hg、負壓 8 cm-Hg，重複本實驗方法（二）（三）（四）相同實驗。



▲自製負壓圓形保鮮密封罐

▲下方為可調控罐內氣體負壓值的「調壓閥」(2張圖片由作者拍攝)

五、探討高壓對白蘿蔔醃製速率的影響

(一) 取 20 塊白蘿蔔（外加 2 塊備用）放置入保鮮袋中，倒入足量糖水 800 ml 以充滿保鮮袋，擠出多於空氣後完整密封，再將封口處對折 2 次並黏貼上「黑色布膠帶」補強，以避免糖水從此處外漏。

(二) 取大小適中的塑膠盒，在盒內兩側放入書架充當磚塊支架，隨後將保鮮袋置入盒內，於袋上平鋪一層塑膠袋及厚紙張，以避免紅磚直接重壓蘿蔔及磨破保鮮袋，最後於上方放置 5 塊紅磚即可。

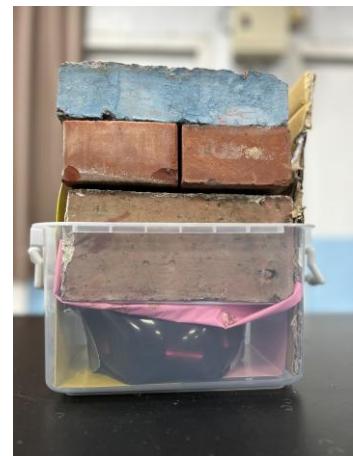
補充說明：5 塊紅磚總重量約為 9 kgw。

(三) 每間隔 1.5 小時，取出 5 塊白蘿蔔，**重複實驗二方法（四）相同步驟。**

(四) 每次取出 5 塊白蘿蔔後，立即密封保鮮袋重複方法（一）（二）並重新計時 1.5 小時繼續進行醃製，重複相同實驗共 4 次。

補充說明：進行高壓醃製時，必須隨時關注保鮮袋是否因高壓導致糖水從封口處外漏溢出，以預防磚塊直接重壓在蘿蔔上造成裂損，進而影響實驗結果。

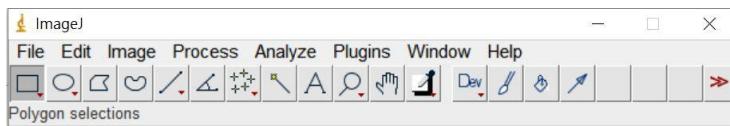
(五) 改變磚塊數量依序調整為 6 塊、7 塊，重複本實驗方法（二）（三）（四）相同實驗。



▲使用「黑色布膠帶」補強保鮮袋夾鏈封口處 (3 張圖片由作者拍攝)

六、白蘿蔔醃製程度的圖像分析方法

(一) 打開 Image J 軟體，點選 File 並點選 Open，開啟想要分析的圖片。



◀本圖片由作者截圖製作

(二) 回到 Image J 初始介面，點選 File 下方的【多邊形選擇圖示 Polygon selections】，

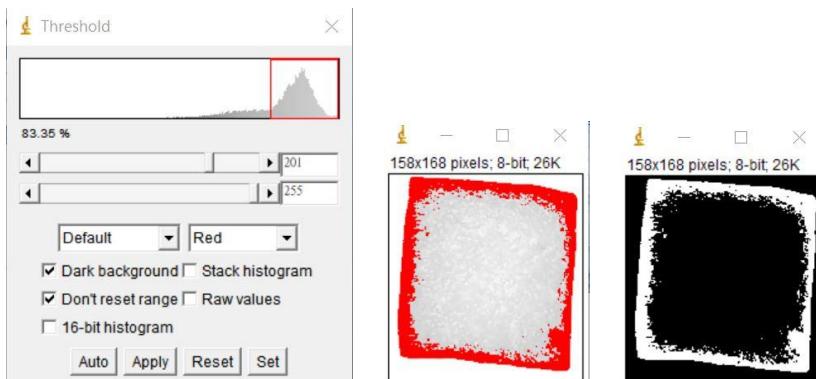
框出要分析的範圍，再選取 Image 中的 Crop，刪去框外範圍。

(三) 點選 Image，選擇 Type，並按下 8-bit，讓圖片變成灰階。



▲4 張圖片由作者截圖製作

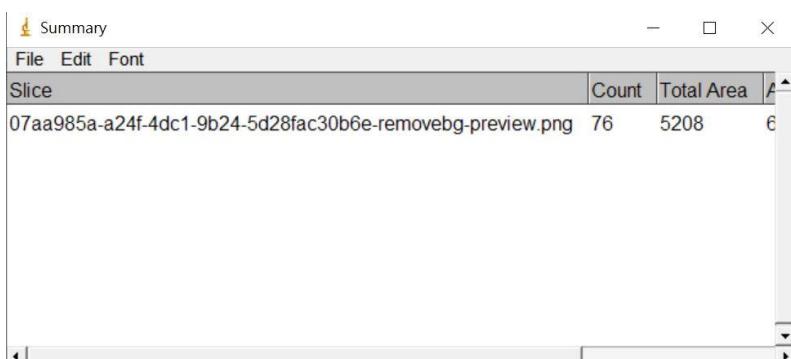
(四) 點選 Image，選擇 Adjust 並按下 Threshold，使圖片由灰階變為紅白，拉到所需範圍再按下 Apply，圖片顏色就會由紅白轉為白黑。



◀3 張圖片由作者截圖製作

(六) 最後點選 Analyze 中的 Analyze Particles…，就可以顯示數據了。

我們取得的數據來自 Total Area (醃製面積單位：像素 pixel)。

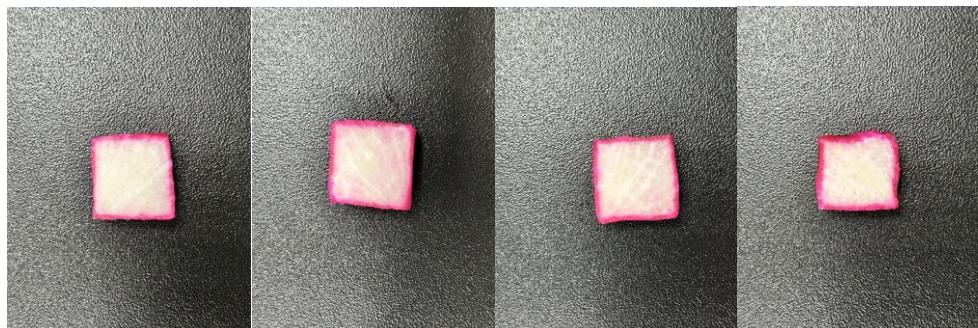
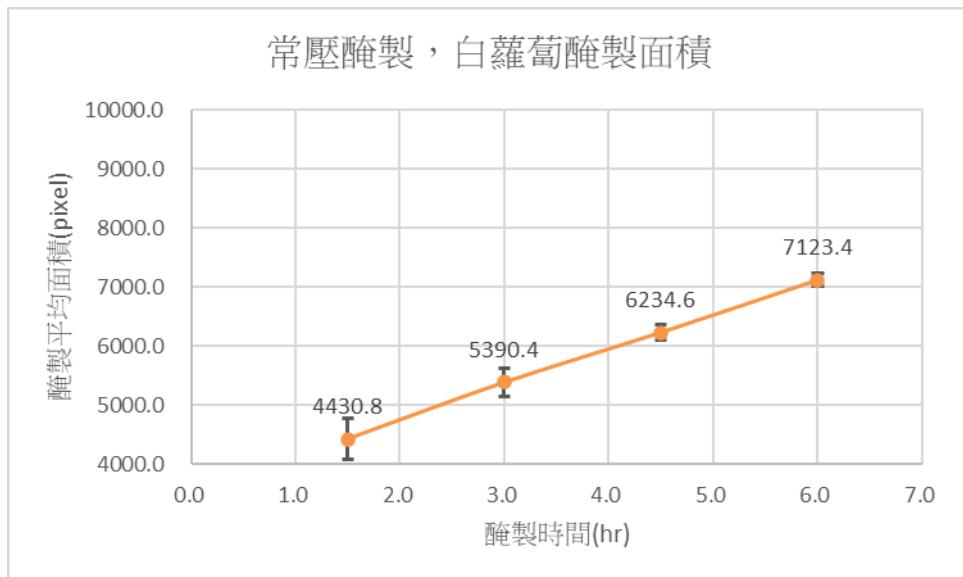


◀本圖片由作者截圖製作

肆、研究結果

一、探討常壓對白蘿蔔醃製速率的影響

常壓醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	4142.0	5445.0	6366.0	7068.0
樣品二	4851.0	5790.0	6042.0	7010.0
樣品三	4169.0	5230.0	6200.0	7132.0
樣品四	4237.0	5287.0	6367.0	7286.0
樣品五	4755.0	5200.0	6198.0	7121.0
平均值	4430.8	5390.4	6234.6	7123.4
標準差	343.2	242.6	136.4	103.0



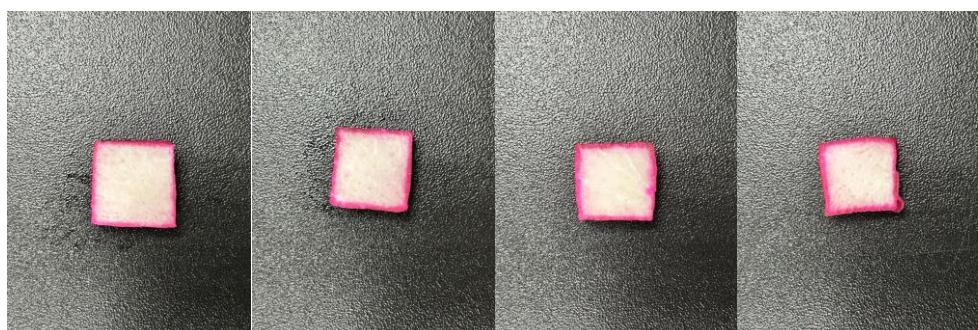
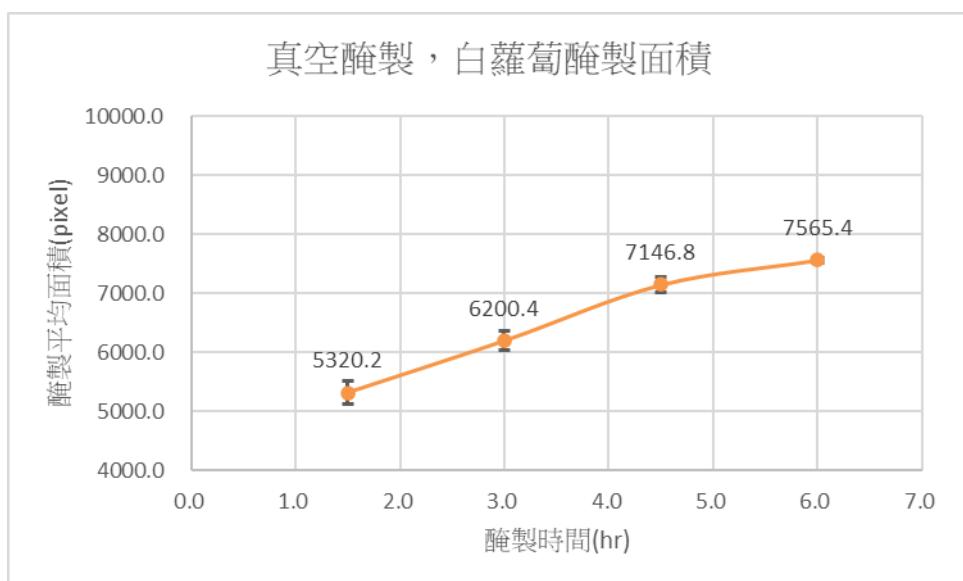
▲醃製 1.5 小時 ▲醃製 3.0 小時 ▲醃製 4.5 小時 ▲醃製 6 小時 (4 張圖片由作者拍攝)

由實驗結果得知：

常壓醃製時間越長，白蘿蔔醃製面積越大。

二、探討真空保鮮袋對白蘿蔔醃製速率的影響

真空醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	5053.0	6055.0	7022.0	7515.0
樣品二	5377.0	6440.0	7262.0	7607.0
樣品三	5574.0	6078.0	7313.0	7564.0
樣品四	5261.0	6101.0	7043.0	7613.0
樣品五	5336.0	6328.0	7094.0	7528.0
平均值	5320.2	6200.4	7146.8	7565.4
標準差	188.9	173.0	132.3	44.5



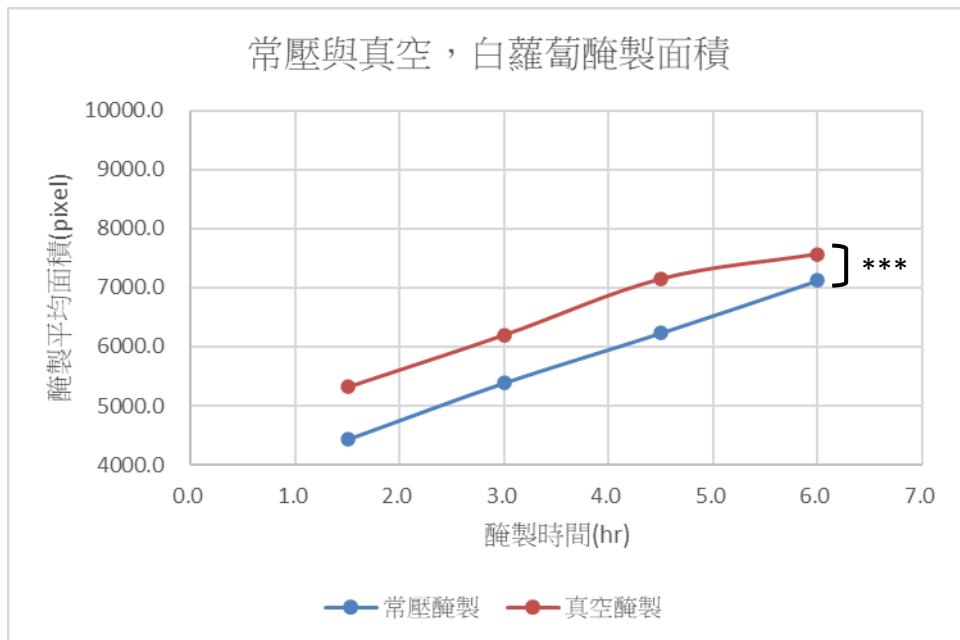
▲醃製 1.5 小時 ▲醃製 3.0 小時 ▲醃製 4.5 小時 ▲醃製 6 小時 (4 張圖片由作者拍攝)

由實驗結果得知：

真空醃製時間越長，白蘿蔔醃製面積越大。

※ 探究常壓醃製與真空醃製，比較白蘿蔔醃製面積的差異

常壓與真空，白蘿蔔醃製“平均面積”(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
常壓醃製	4430.8	5390.4	6234.6	7123.4
真空醃製	5320.2	6200.4	7146.8	7565.4



t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

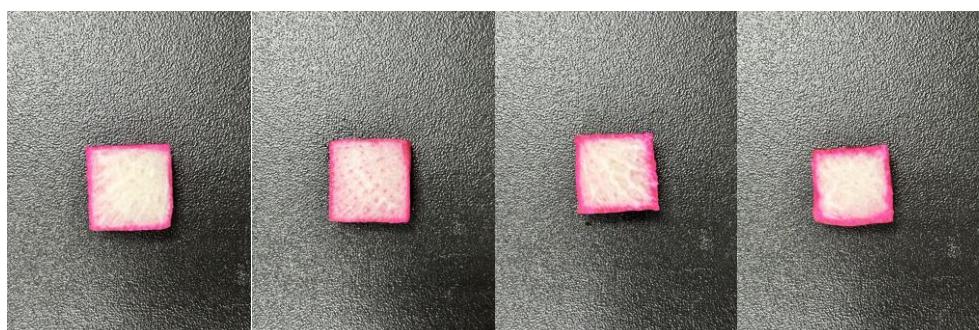
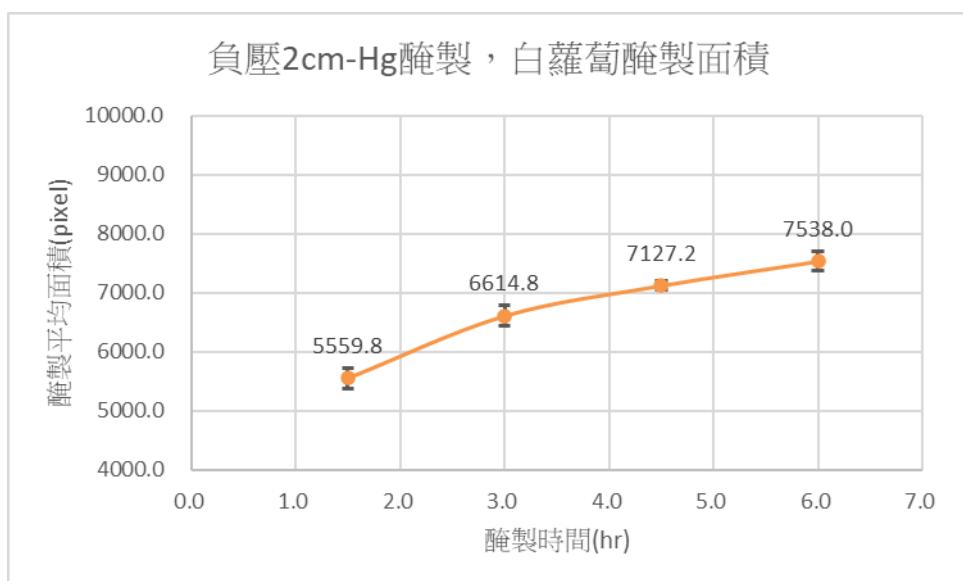
	常壓 6.0 hr	真空 6.0 hr
平均數	7123.4	7565.4
變異數	10611.8	1984.3
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	5	
t 統計	-8.806213727	
P(T<=t) 單尾	0.000156719	
臨界值：單尾	2.015048373	
P(T<=t) 雙尾	0.000313439	
臨界值：雙尾	2.570581836	

由 t 檢定分析結果得知：

常壓醃製 6 小時與真空醃製 6 小時，白蘿蔔醃製面積有非常顯著性差異 ($***P<0.001$)，而真空醃製的效果比常壓醃製的效果為佳。

三、探討不同負壓對白蘿蔔醃製速率的影響

負壓2cm-Hg醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	5684.0	6322.0	7068.0	7387.0
樣品二	5708.0	6572.0	7079.0	7612.0
樣品三	5652.0	6685.0	7158.0	7523.0
樣品四	5326.0	6725.0	7248.0	7403.0
樣品五	5429.0	6770.0	7083.0	7765.0
平均值	5559.8	6614.8	7127.2	7538.0
標準差	171.5	179.4	76.4	156.7

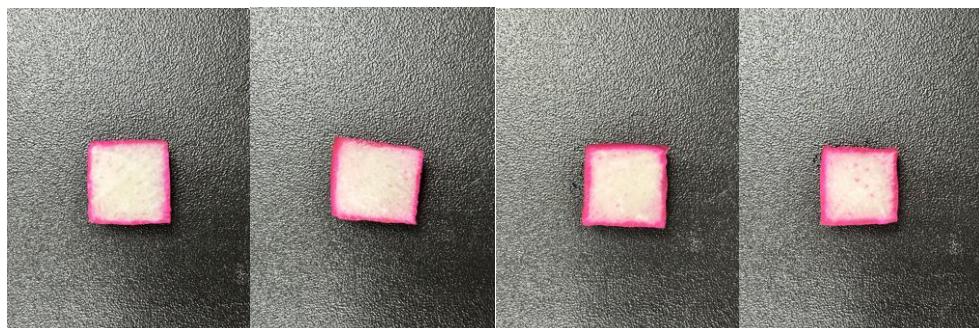
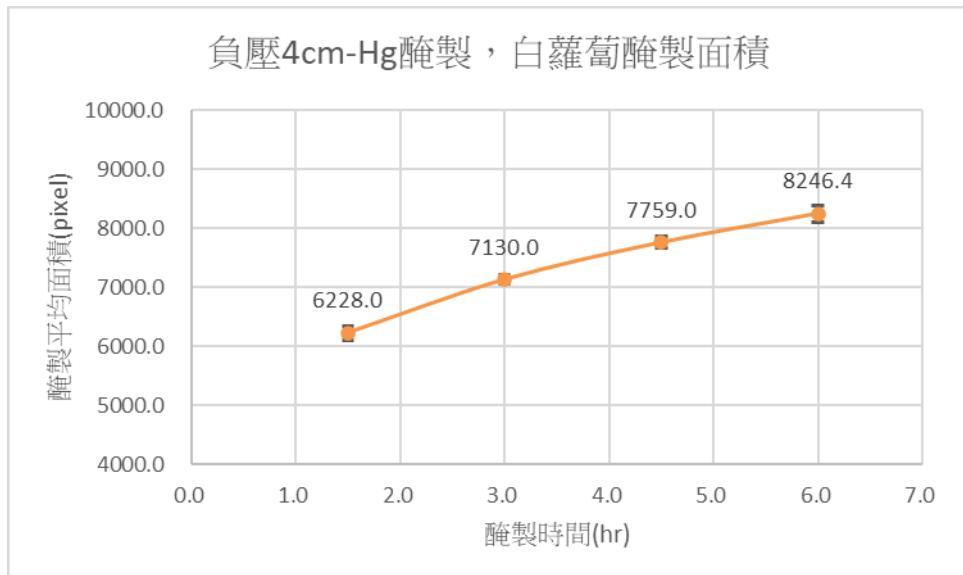


▲醃製 1.5 小時 ▲醃製 3.0 小時 ▲醃製 4.5 小時 ▲醃製 6 小時 (4 張圖片由作者拍攝)

由實驗結果得知：

負壓 2 cm-Hg 醃製時間越長，白蘿蔔醃製面積越大。

負壓4cm-Hg醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	6133.0	7032.0	7730.0	8281.0
樣品二	6088.0	7203.0	7872.0	8244.0
樣品三	6236.0	7080.0	7707.0	8306.0
樣品四	6392.0	7122.0	7837.0	8380.0
樣品五	6291.0	7213.0	7649.0	8021.0
平均值	6228.0	7130.0	7759.0	8246.4
標準差	122.0	78.1	92.9	135.5

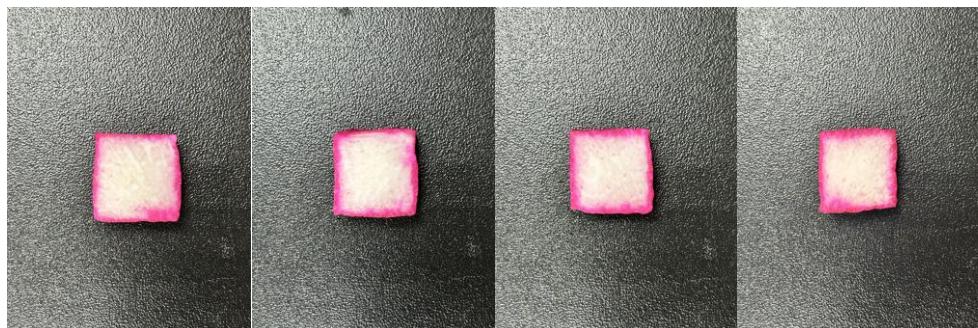
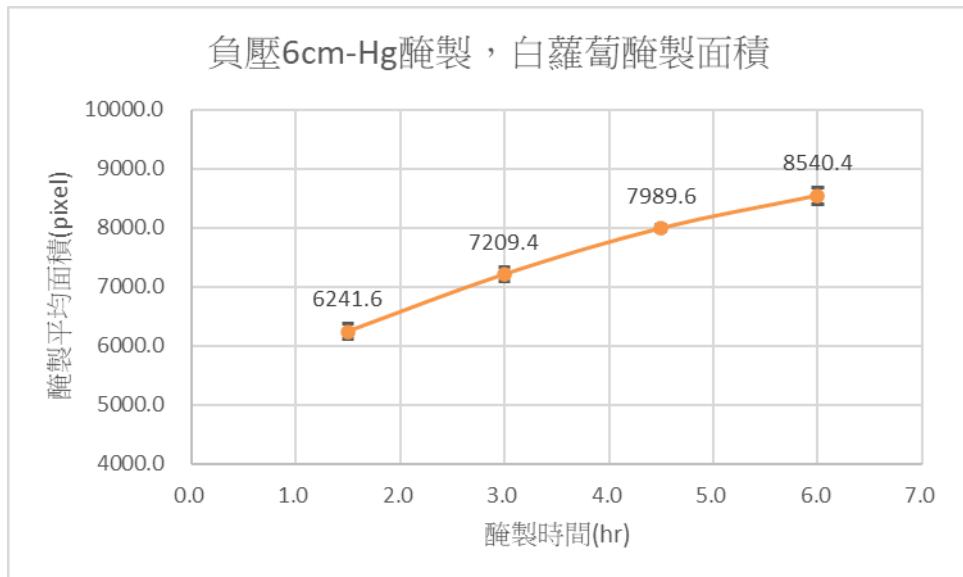


▲醃製 1.5 小時 ▲醃製 3.0 小時 ▲醃製 4.5 小時 ▲醃製 6 小時 (4 張圖片由作者拍攝)

由實驗結果得知：

負壓 4 cm-Hg 醃製時間越長，白蘿蔔醃製面積越大。

負壓6cm-Hg醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	6243.0	7337.0	7905.0	8687.0
樣品二	6401.0	7033.0	8003.0	8425.0
樣品三	6321.0	7179.0	8013.0	8370.0
樣品四	6095.0	7235.0	8023.0	8677.0
樣品五	6148.0	7263.0	8004.0	8543.0
平均值	6241.6	7209.4	7989.6	8540.4
標準差	124.5	113.9	48.0	143.6

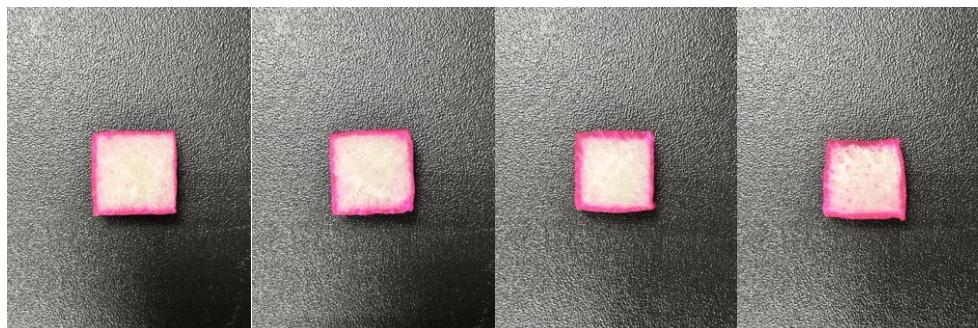
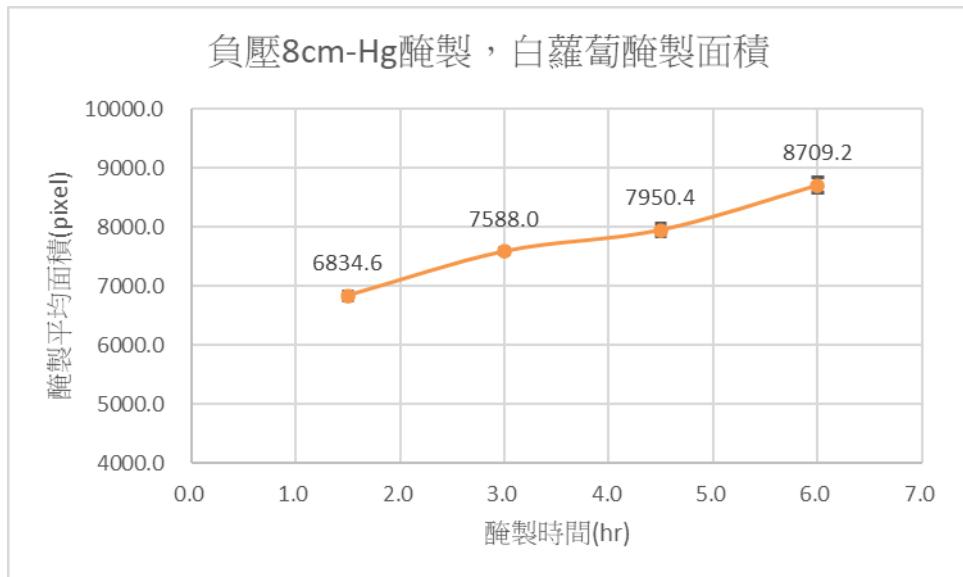


▲醃製 1.5 小時 ▲醃製 3.0 小時 ▲醃製 4.5 小時 ▲醃製 6 小時 (4 張圖片由作者拍攝)

由實驗結果得知：

負壓 6 cm-Hg 醃製時間越長，白蘿蔔醃製面積越大。

負壓8cm-Hg醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	6799.0	7585.0	7813.0	8817.0
樣品二	6774.0	7645.0	7864.0	8805.0
樣品三	6885.0	7619.0	7946.0	8761.0
樣品四	6953.0	7597.0	8033.0	8648.0
樣品五	6762.0	7494.0	8096.0	8515.0
平均值	6834.6	7588.0	7950.4	8709.2
標準差	81.8	57.3	116.6	127.4



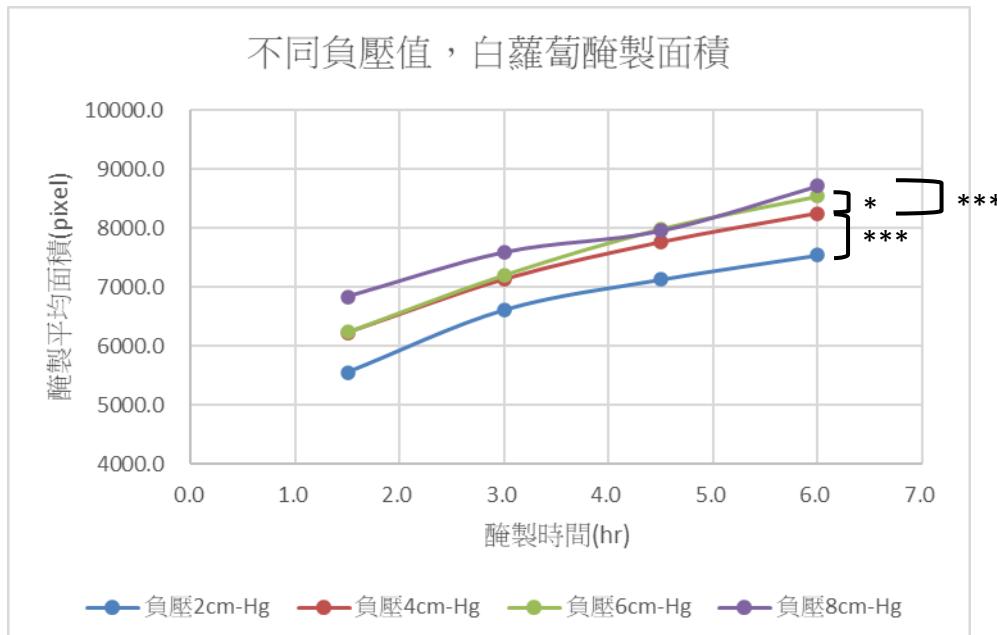
▲醃製 1.5 小時 ▲醃製 3.0 小時 ▲醃製 4.5 小時 ▲醃製 6 小時 (4 張圖片由作者拍攝)

由實驗結果得知：

負壓 8 cm-Hg 醃製時間越長，白蘿蔔醃製面積越大。

※ 探究不同負壓值醃製，比較白蘿蔔醃製面積的差異

不同負壓值，白蘿蔔醃製“平均面積”(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
負壓2cm-Hg	5559.8	6614.8	7127.2	7538.0
負壓4cm-Hg	6228.0	7130.0	7759.0	8246.4
負壓6cm-Hg	6241.6	7209.4	7989.6	8540.4
負壓8cm-Hg	6834.6	7588.0	7950.4	8709.2



t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等		
	負壓2cm-Hg 6.0 hr	負壓4cm-Hg 6.0 hr
平均數	7538	8246.4
變異數	24564	18352.3
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	8	
t 統計	-7.646319103	
P(T<=t) 單尾	3.01888E-05	
臨界值：單尾	1.859548038	
P(T<=t) 雙尾	6.03776E-05	
臨界值：雙尾	2.306004135	

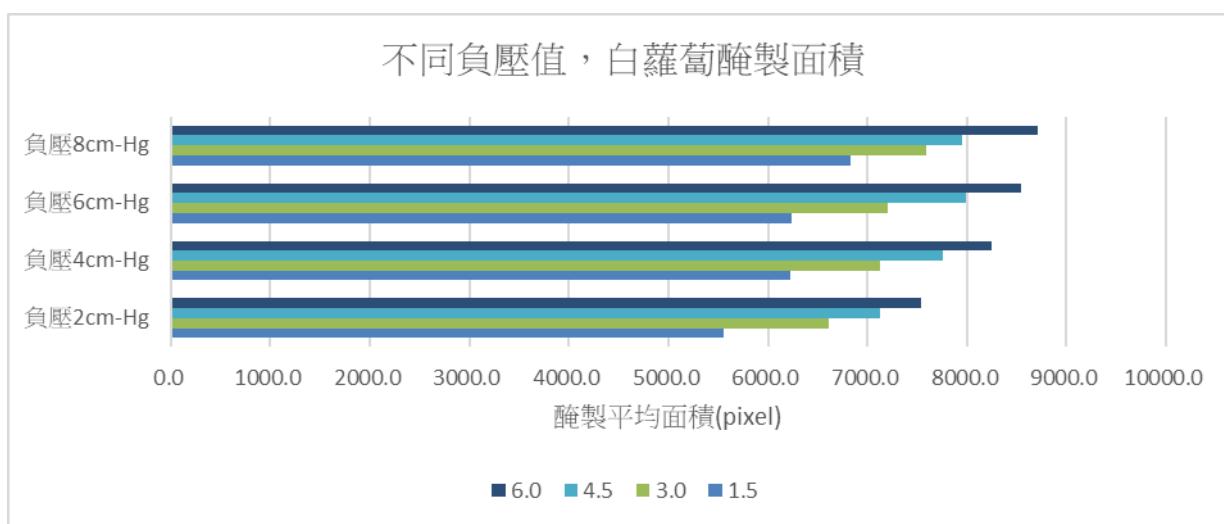
t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等		
	負壓4cm-Hg 6.0 hr	負壓6cm-Hg 6.0 hr
平均數	8246.4	8540.4
變異數	18352.3	20627.8
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	8	
t 統計	-3.3297441	
P(T<=t) 單尾	0.005194179	
臨界值：單尾	1.859548038	
P(T<=t) 雙尾	0.010388357	
臨界值：雙尾	2.306004135	

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等		
	負壓4cm-Hg 6.0	負壓8cm-Hg 6.0
平均數	8246.4	8709.2
變異數	18352.3	16235.2
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	8	
t 統計	-5.564405438	
P(T<=t) 單尾	0.000265959	
臨界值：單尾	1.859548038	
P(T<=t) 雙尾	0.000531918	
臨界值：雙尾	2.306004135	

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等		
	負壓6cm-Hg 6.0 hr	負壓8cm-Hg 6.0 hr
平均數	8540.4	8709.2
變異數	20627.8	16235.2
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	8	
t 統計	-1.965903095	
P(T<=t) 單尾	0.04243989	
臨界值：單尾	1.859548038	
P(T<=t) 雙尾	0.08487978	
臨界值：雙尾	2.306004135	

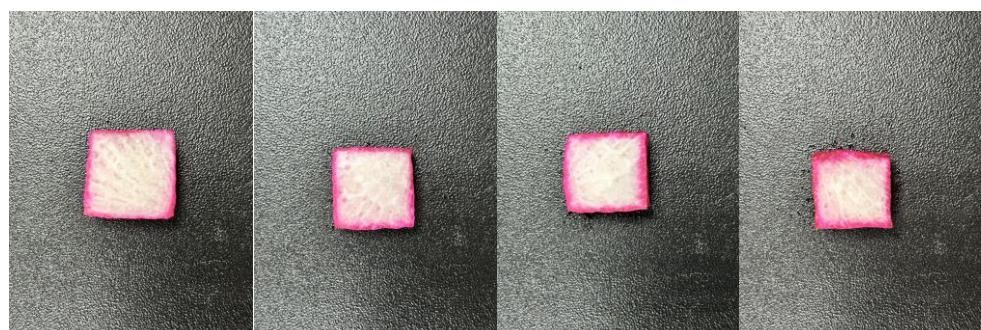
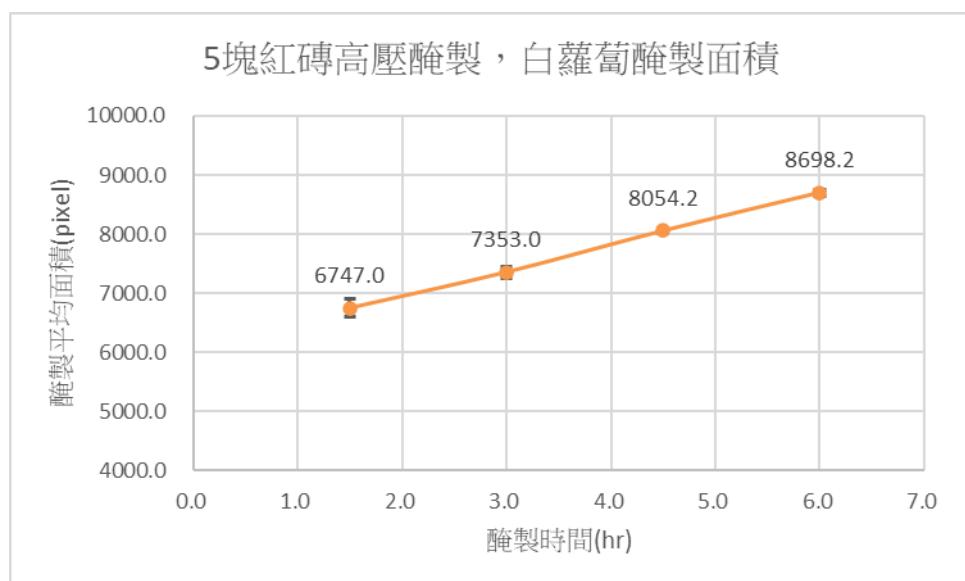
由 t 檢定分析結果得知：

- (一) 負壓 2 cm-Hg 醃製 6 小時和負壓 4 cm-Hg 醃製 6 小時，
白蘿蔔醃製面積有非常顯著性差異 ($***P<0.001$)，
而負壓 4 cm-Hg 醃製的效果比負壓 2 cm-Hg 醃製的效果為佳。
- (二) 負壓 4 cm-Hg 醃製 6 小時和負壓 6 cm-Hg 醃製 6 小時，
白蘿蔔醃製面積有顯著性差異 ($*P<0.05$)，
而負壓 6 cm-Hg 醃製的效果比負壓 4 cm-Hg 醃製的效果為佳。
- (三) 負壓 4 cm-Hg 醃製 6 小時和負壓 8 cm-Hg 醃製 6 小時，
白蘿蔔醃製面積有非常顯著性差異 ($***P<0.001$)，
而負壓 8 cm-Hg 醃製的效果比負壓 4 cm-Hg 醃製的效果為佳。
- (四) 負壓 6 cm-Hg 醃製 6 小時和負壓 8 cm-Hg 醃製 6 小時，
白蘿蔔醃製面積較無顯著性差異 ($P>0.05$ 雙尾； $P<0.05$ 單尾)。
- (五) 由 t 檢定分析結果得知，隨著負壓值的增加，白蘿蔔醃製面積有增加趨勢。



四、探討高壓對白蘿蔔醃製速率的影響

5塊紅磚高壓醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	6867.0	7467.0	8086.0	8690.0
樣品二	6622.0	7369.0	8108.0	8702.0
樣品三	6959.0	7362.0	8037.0	8785.0
樣品四	6684.0	7209.0	8032.0	8612.0
樣品五	6603.0	7358.0	8008.0	8702.0
平均值	6747.0	7353.0	8054.2	8698.2
標準差	157.9	92.3	41.3	61.4

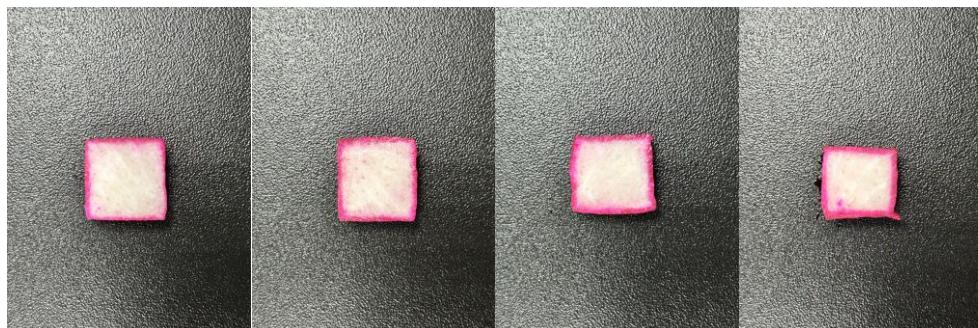
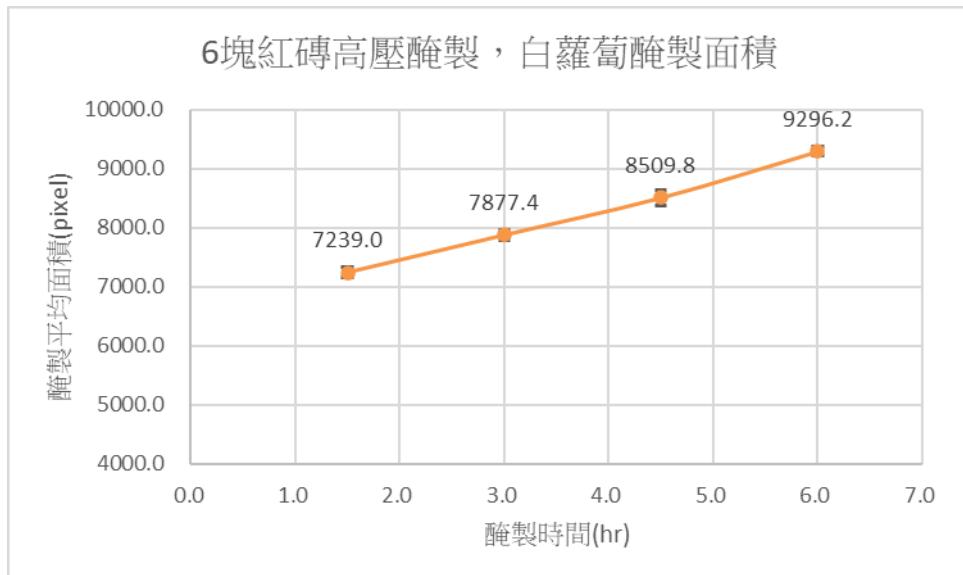


▲醃製 1.5 小時 ▲醃製 3.0 小時 ▲醃製 4.5 小時 ▲醃製 6 小時 (4 張圖片由作者拍攝)

由實驗結果得知：

5塊紅磚高壓醃製時間越長，白蘿蔔醃製面積越大。

6塊紅磚高壓醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	7152.0	7988.0	8644.0	9275.0
樣品二	7274.0	7856.0	8563.0	9163.0
樣品三	7182.0	7914.0	8321.0	9365.0
樣品四	7219.0	7892.0	8457.0	9327.0
樣品五	7368.0	7737.0	8564.0	9351.0
平均值	7239.0	7877.4	8509.8	9296.2
標準差	85.3	92.1	124.7	82.0

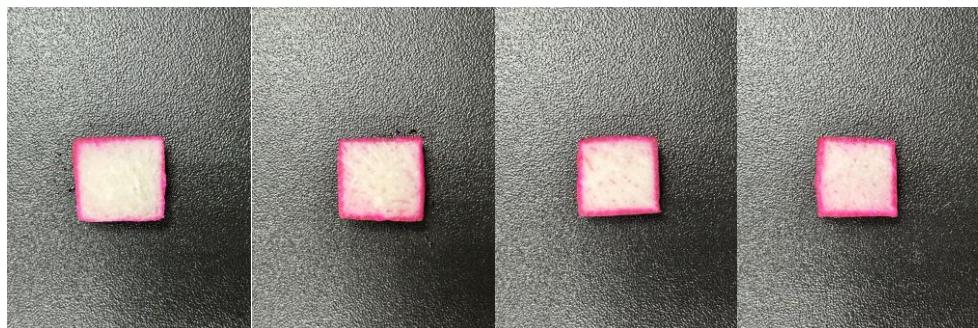
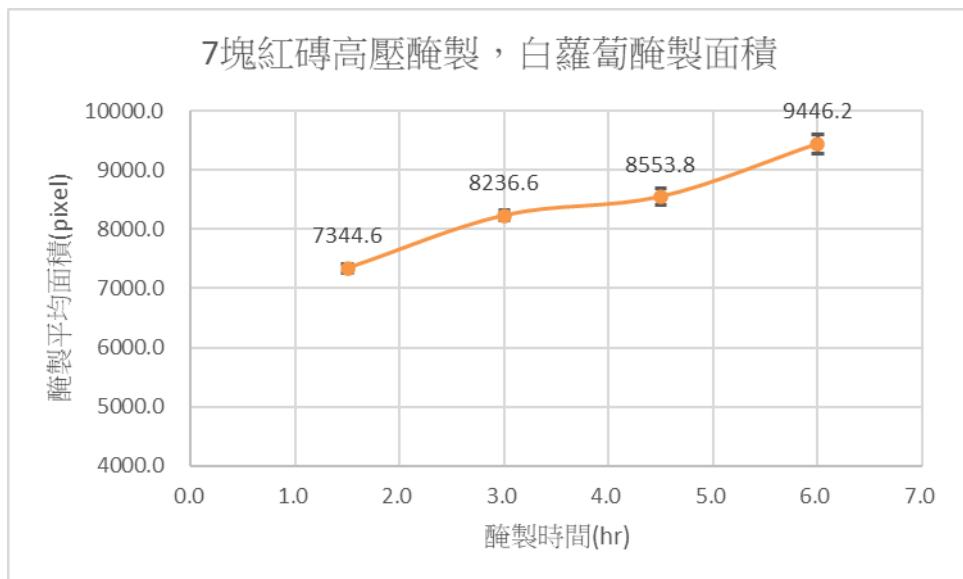


▲醃製 1.5 小時 ▲醃製 3.0 小時 ▲醃製 4.5 小時 ▲醃製 6 小時 (4 張圖片由作者拍攝)

由實驗結果得知：

6塊紅磚高壓醃製時間越長，白蘿蔔醃製面積越大。

7塊紅磚高壓醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	7428.0	8092.0	8495.0	9258.0
樣品二	7416.0	8264.0	8547.0	9423.0
樣品三	7256.0	8214.0	8352.0	9514.0
樣品四	7302.0	8358.0	8664.0	9352.0
樣品五	7321.0	8255.0	8711.0	9684.0
平均值	7344.6	8236.6	8553.8	9446.2
標準差	74.6	96.5	142.4	162.8



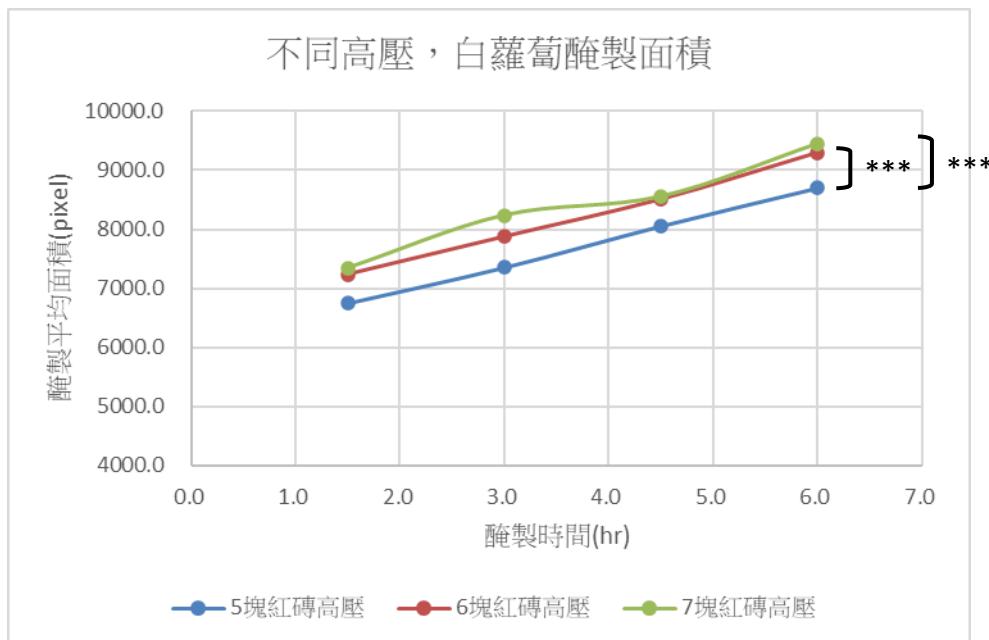
▲醃製 1.5 小時 ▲醃製 3.0 小時 ▲醃製 4.5 小時 ▲醃製 6 小時 (4 張圖片由作者拍攝)

由實驗結果得知：

7塊紅磚高壓醃製時間越長，白蘿蔔醃製面積越大。

※ 探究不同高壓醃製，比較白蘿蔔醃製面積的差異

不同高壓，白蘿蔔醃製“平均面積”(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
5塊紅磚高壓	6747.0	7353.0	8054.2	8698.2
6塊紅磚高壓	7239.0	7877.4	8509.8	9296.2
7塊紅磚高壓	7344.6	8236.6	8553.8	9446.2



t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

	5塊紅磚 6.0 hr	6塊紅磚 6.0 hr
平均數	8698.2	9296.2
變異數	3765.2	6719.2
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	7	
t 統計	-13.05913451	
P(T<=t) 單尾	1.79875E-06	
臨界值：單尾	1.894578605	
P(T<=t) 雙尾	3.59751E-06	
臨界值：雙尾	2.364624252	

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

	5塊紅磚 6.0 hr	7塊紅磚 6.0 hr
平均數	8698.2	9446.2
變異數	3765.2	26494.2
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	5	
t 統計	-9.615158415	
P(T<=t) 單尾	0.000103142	
臨界值：單尾	2.015048373	
P(T<=t) 雙尾	0.000206283	
臨界值：雙尾	2.570581836	

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

	6塊紅磚 6.0 hr	7塊紅磚 6.0 hr
平均數	9296.2	9446.2
變異數	6719.2	26494.2
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	6	
t 統計	-1.840431226	
P(T<=t) 單尾	0.057654612	
臨界值：單尾	1.943180281	
P(T<=t) 雙尾	0.115309225	
臨界值：雙尾	2.446911851	

由 t 檢定分析結果得知：

(一) 5 塊紅磚高壓醃製 6 小時和 6 塊紅磚高壓醃製 6 小時，

白蘿蔔醃製面積有非常顯著性差異 ($***P<0.001$)，

而 6 塊紅磚高壓醃製的效果比 5 塊紅磚高壓醃製的效果為佳。

(二) 5 塊紅磚高壓醃製 6 小時和 7 塊紅磚高壓醃製 6 小時，

白蘿蔔醃製面積有非常顯著性差異 ($***P<0.001$)，

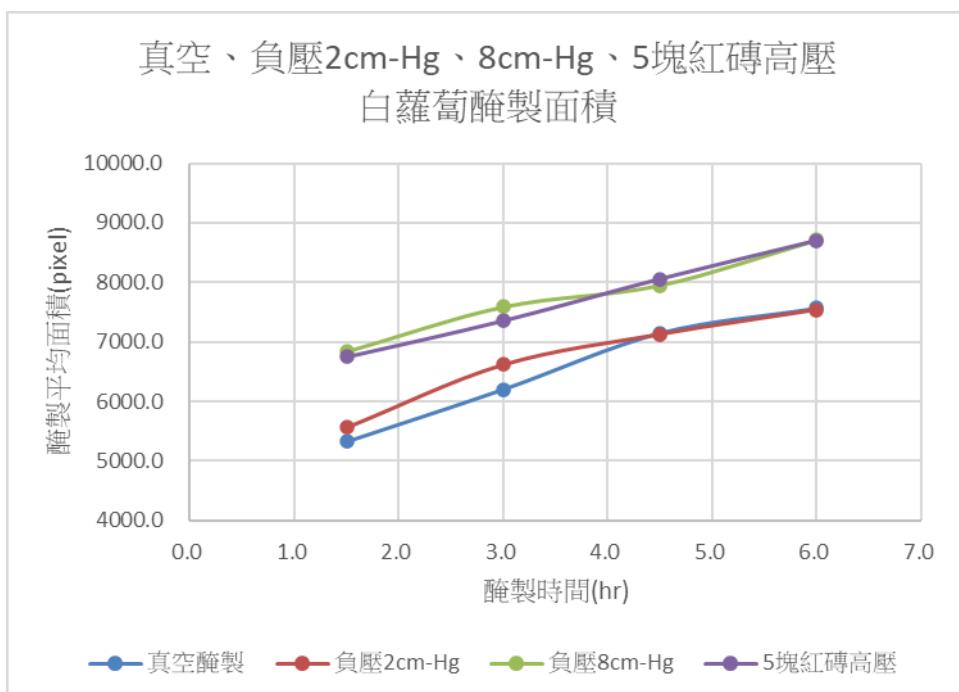
而 7 塊紅磚高壓醃製的效果比 5 塊紅磚高壓醃製的效果為佳。

(三) 6 塊紅磚高壓醃製 6 小時和 7 塊紅磚高壓醃製 6 小時，

白蘿蔔醃製面積無顯著性差異 ($P>0.05$)。

五、交叉比對，探討不同氣壓值對白蘿蔔醃製速率的影響

真空、負壓2cm-Hg、負壓8cm-Hg、5塊紅磚高壓 白蘿蔔醃製“平均面積”(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
真空醃製	5320.2	6200.4	7146.8	7565.4
負壓2cm-Hg	5559.8	6614.8	7127.2	7538.0
負壓8cm-Hg	6834.6	7588.0	7950.4	8709.2
5塊紅磚高壓	6747.0	7353.0	8054.2	8698.2



t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

	真空6.0 hr	負壓2cm-Hg 6.0 hr
平均數	7565.4	7538
變異數	1984.3	24564
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	5	
t 統計	0.376025421	
P(T<=t) 單尾	0.361162315	
臨界值：單尾	2.015048373	
P(T<=t) 雙尾	0.72232463	
臨界值：雙尾	2.570581836	

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

	負壓8cm-Hg 6.0 hr	5塊紅磚 6.0 hr
平均數	8709.2	8698.2
變異數	16235.2	3765.2
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	6	
t 統計	0.173923532	
P(T<=t) 單尾	0.433822648	
臨界值：單尾	1.943180281	
P(T<=t) 雙尾	0.867645296	
臨界值：雙尾	2.446911851	

由 t 檢定分析結果得知：

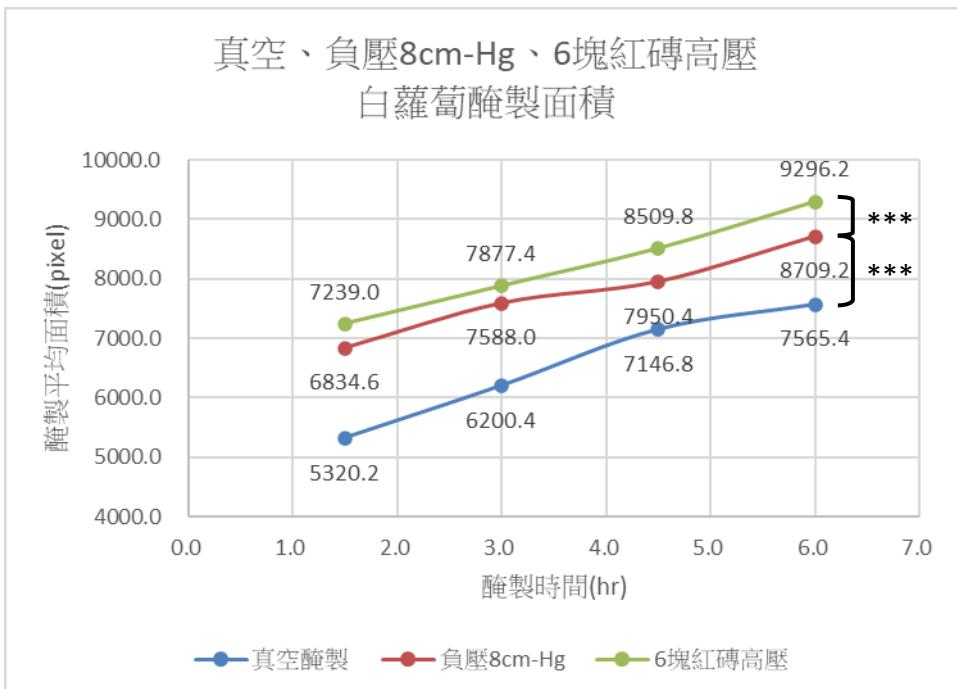
(一) 真空醃製 6 小時和和負壓 2 cm-Hg 醃製 6 小時，

白蘿蔔醃製面積無顯著性差異 ($P>0.05$)。

(二) 負壓 8 cm-Hg 醃製 6 小時和和 5 塊紅磚高壓醃製 6 小時，

白蘿蔔醃製面積無顯著性差異 ($P>0.05$)。

真空、負壓8cm-Hg、6塊紅磚高壓 白蘿蔔醃製“平均面積”(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
真空醃製	5320.2	6200.4	7146.8	7565.4
負壓8cm-Hg	6834.6	7588.0	7950.4	8709.2
6塊紅磚高壓	7239.0	7877.4	8509.8	9296.2



t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

	真空6.0 hr	負壓8cm-Hg 6.0 hr
平均數	7565.4	8709.2
變異數	1984.3	16235.2
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	5	
t 統計	-18.94815232	
P(T<=t) 單尾	3.77195E-06	
臨界值：單尾	2.015048373	
P(T<=t) 雙尾	7.5439E-06	
臨界值：雙尾	2.570581836	

t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數不相等

負壓8cm-Hg 6.0 hr 6塊紅磚 6.0 hr		
平均數	8709.2	9296.2
變異數	16235.2	6719.2
觀察值個數	5	5
假設的均數差	0	
自由度	7	
t 統計	-8.663435188	
P(T<=t) 單尾	2.73103E-05	
臨界值：單尾	1.894578605	
P(T<=t) 雙尾	5.46205E-05	
臨界值：雙尾	2.364624252	

由 t 檢定分析結果得知：

(一) 真空醃製 6 小時和 負壓 8 cm-Hg 醃製 6 小時，

白蘿蔔醃製面積有非常顯著性差異 ($***P<0.001$)，

而負壓 8 cm-Hg 醃製的效果比真空醃製的效果為佳。

(二) 負壓 8 cm-Hg 醃製 6 小時和 6 塊紅磚高壓醃製 6 小時，

白蘿蔔醃製面積有非常顯著性差異 ($***P<0.001$)，

而 6 塊紅磚高壓醃製的效果比負壓 8 cm-Hg 醃製的效果為佳。

伍、討論

一、釐清「真空保鮮袋」與「自製負壓圓形保鮮密封罐」本質上的差別

(一)「真空保鮮袋」會因抽氣而體積塌縮壓扁；

(二)「自製負壓圓形保鮮密封罐」不會因抽氣而體積塌縮壓扁。

根據理想氣體方程式 $PV = nRT$ 可以得知，在定溫下，當 V 與 n 成正比關係時， P 將維持定值；若 V 維持不變，則 P 將與 n 成正比關係。

這就是為什麼我們宣稱「真空未必等於負壓」，雖然「真空保鮮袋」因抽氣導致體積塌縮壓扁，最後袋內近似真空，然而大氣壓力卻是隔著袋子依然作用在白蘿蔔上，並不會造成明顯負壓。而「自製負壓圓形保鮮密封罐」卻不會因抽氣而體積塌縮壓扁，所以會在罐內造成負壓。

補充說明：熱力學的理想氣體方程式 $PV = nRT$

P ：理想氣體的壓力，單位為標準大氣壓 (atm)

V ：理想氣體的體積，單位為公升 (L)

n ：理想氣體的物質的量，單位為莫耳（mol）

R ：理想氣體常數，約為 $0.082 \text{ atm}\cdot\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

T ：理想氣體的溫度，單位為克耳文溫度（K）

二、有關食物醃製“速率”的分析，一直困擾著我們

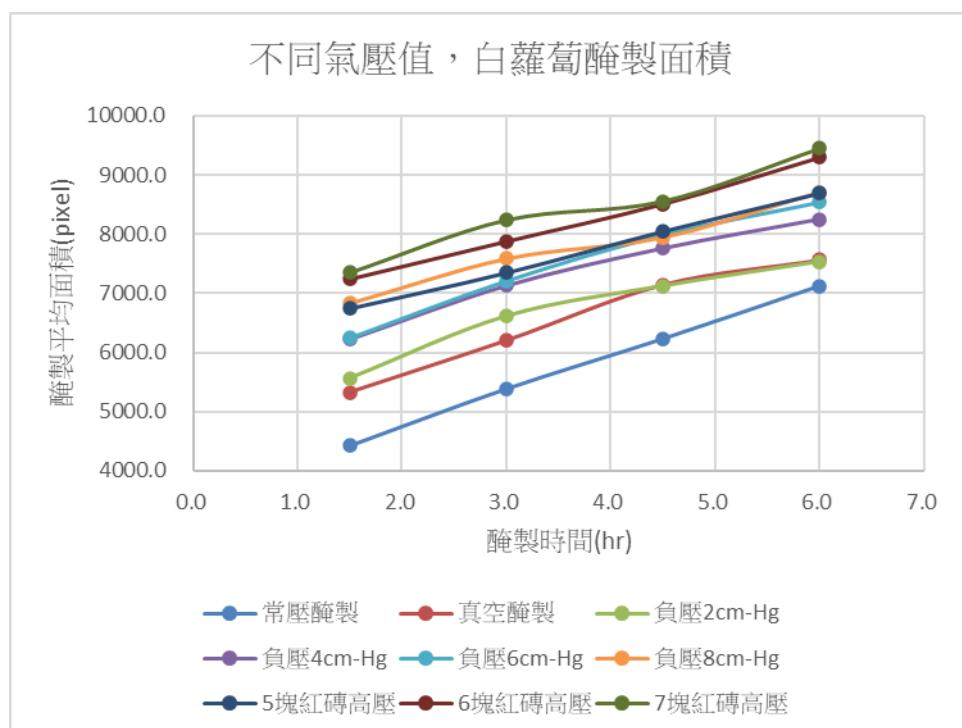
為了參加全國科展，我們謹慎的重做了一次實驗，也做了一些改進，想再次確認實驗結果是否完全正確。但有關食物醃製速率的分析卻一直困擾著我們。

假設食物的醃製速率 = 醃製面積的變化量／時間間隔，從醃製平均面積與醃製時間的關係圖，會發現高壓醃製、負壓醃製及真空醃製的關係圖是較接近平行線，其斜率與常壓醃製差不多、並未明顯不同於常壓醃製，甚至部分時段的斜率是小於常壓醃製，即使重做實驗也是一樣的結果。除非將一開始 0 時至 1.5 小時的醃製時間納入計算，這樣計算出來的平均醃製速率才會與常壓的醃製速率有所不同。

但若假設食物的醃製速率 = 醃製深度距離的變化量／時間間隔，可推論在相同時間間隔，若醃製面積的變化量相同，則外側與內側的醃製深度距離的變化量就不同，那麼即可間接證明「在不同氣壓條件下，醃製速率不同」。如果再考慮蘿蔔因醃製脫水而造成體積萎縮變小，那麼速率的分析會比想像中的還要複雜。[下圖為蘿蔔醃製示意圖](#)，紅色部分為相同醃製面積變化量，你會發現外側的醃製深度較薄，內側的醃製深度較厚。

但本實驗因無法精確量取「醃製深度的距離」，
因此僅就白蘿蔔的醃製面積差異做深入分析討論。

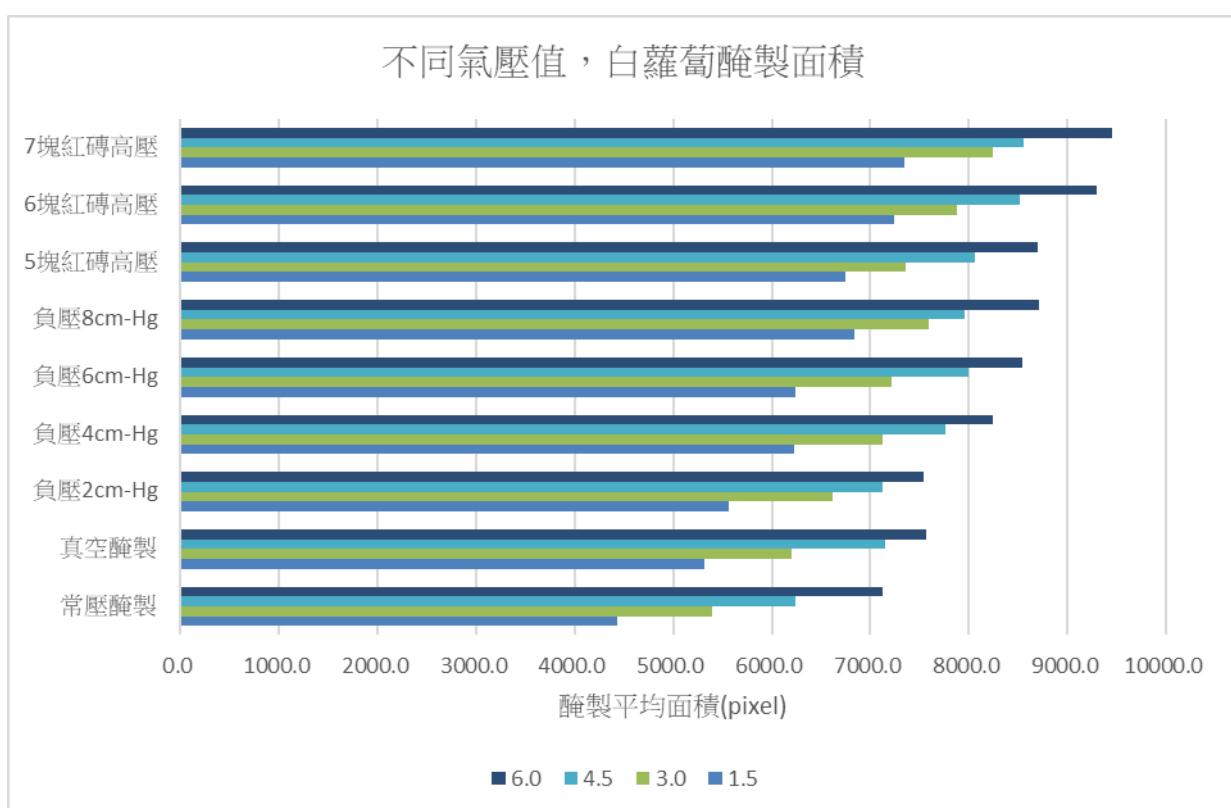
本示意圖由指導老師協助繪製



三、比較在常壓、真空、負壓和高壓…等不同條件下對食物醃製速率的影響

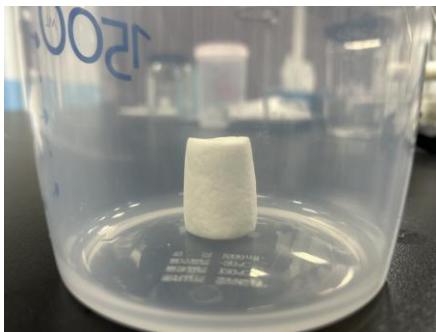
由 t 檢定分析結果得知，在醃製 6 小時的條件下，常壓醃製面積的確是最小的，與預測結果完全相符；負壓醃製面積則會隨著負壓值的增加也有增加的趨勢；而高壓醃製面積也會隨著放置的紅磚數量增加而有上升的趨勢，其中放置 6 塊紅磚和 7 塊紅磚的醃製面積是相差不多的。**負壓是減壓，而高壓是增壓，竟然都能加速蘿蔔醃製，真是太神奇了！**

比較真空、負壓和高壓對白蘿蔔醃製面積效果的影響，6 塊紅磚與 7 塊紅磚高壓醃製的效果竟比負壓 8 cm-Hg 醃製的效果為佳，出乎我們意料之外，使我們為之驚奇。至於真空保鮮袋的醃製效果，我們原本預測應與常壓醃製效果差不多，然而實驗分析結果卻是較常壓醃製效果佳，與負壓 2 cm-Hg 的醃製效果相差不多，也超越了我們的預想。

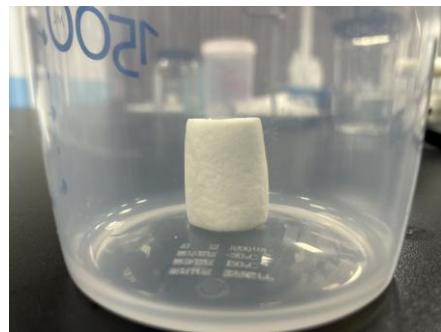


四、辨別負壓醃製與高壓醃製的作用差異

在《真空機醃漬的魔力：讓美味快速鎖住》的網路文章中點出了當真空機將袋內的空氣抽出時，因壓力的下降，食材的細胞結構會被打開，這使得調味料更容易滲透到食材內部。我們對於「食材的細胞結構會被打開」的這個說詞是保留質疑、有待驗證的，畢竟我們因設備技術上的困難，無法透過顯微鏡親眼見證。但負壓環境的確可以使物體因內部壓力大於外部壓力而將物體體積撐大，根據理想氣體方程式 $PV = nRT$ ，為使物體內外壓力達到平衡，勢必造成物體體積的膨脹。以下為我們額外加做的棉花糖負壓實驗，驗證上述體積撐大的理論。



▲常壓下的棉花糖



▲負壓 35cm-Hg 的棉花糖 (2 張圖片由作者拍攝)

至於有關高壓醃製的網路文章實屬不多，在《高壓醃制對雞胸肉微觀結構的影響》的網路文章中提出 150 MPa 以下處理組的肌肉組織結構無顯著差異，肌細胞形狀規則，排列有序；200 MPa 處理下雞胸肉的肌纖維排列疏鬆，肌纖維之間肌束膜開始破裂；300 MPa 處理下雞胸肉的肌束膜發生大量斷裂和崩解，雞胸肉的肌原纖維結構也發生明顯變化。從文章中可以得知高壓醃製具有破壞、改變雞胸肉肌原纖維結構的能力。而本實驗所進行的高壓醃製僅是 7 塊紅磚所造成的額外加壓，7 塊紅磚的總重量約為 12.6 kgw，保鮮袋的受力面積約略為三塊紅磚面積（長 20.5 cm × 高 5.0 cm），這樣的額外加壓還不至於使白蘿蔔的內部組織結構斷裂或崩解，但或許因為外界環境的高壓而迫使醃製醬料加速滲透進入白蘿蔔內部。

補充說明：

- (一) 1 標準大氣壓為 1013.25 hPa
- (二) 150 MPa 約略為 1 標準大氣壓的 1500 倍

五、探討真空保鮮袋對白蘿蔔醃製速率的影響

由 t 檢定分析結果得知，真空醃製的效果比常壓醃製的效果為佳，雖然「真空保鮮袋」因抽氣導致體積塌縮壓扁，最後袋內近似真空，然而大氣壓力依然隔著袋子作用在白蘿蔔上，並未造成明顯負壓，但其醃製效果卻較常壓醃製效果佳。我們推測因真空環境容易促使白蘿蔔釋放細胞組織結構間存在的空氣或物質，進而使醃製醬料較不受空氣阻隔而順利滲透進入白蘿蔔內部。

陸、結論

雖然網路媒體、市售醃製器材的廠商大肆宣稱真空負壓可加速食物醃製、效果奇佳，但經由實驗結果得知白蘿蔔醃製效果：[6塊紅磚和7塊紅磚高壓醃製>負壓8 cm-Hg>負壓4 cm-Hg>真空>常壓](#)，高壓醃製的效果一點也不輸給負壓醃製。如果有人想要透過負壓進行加速食物醃製，不建議購買「市售真空抽氣棒」，因為經由實驗證明「市售真空抽氣棒」通常功率小、吸力不足，無法使負壓錶上的指針轉動，僅造成真空保鮮罐內部微小負壓，並未如產品說明書上所說「會造成罐身或蓋子輕微凹陷，可使保鮮罐達到真空狀態」。

本實驗的高壓醃製相對於負壓醃製所需要的設備及技術門檻、還有費用皆較低，又可有效提升醃製效果，是不錯的醃製選擇，因為只要放置6塊紅磚重壓在保鮮袋上，即可達到顯著的醃製效果，經濟又實惠呀！如果對醃製效果沒有太過苛求的話，真空保鮮袋的醃製操作更為簡單方便。如果追求迅速、不在乎價錢，也可直接購買市售專業等級的「腔室真空包裝封口機」，同時兼顧真空與負壓，市價大約在1萬~2萬元左右。

柒、參考文獻資料

一、真空機醃漬的魔力：讓美味快速鎖住

http://www.dailypack.com.tw/news_detail.aspx?seq=1128

二、什麼是腔室真空封口機？

<https://anovaculinary.com/tw-tw/products/anova-precision-chamber-vacuum-sealer>

三、你絕對沒聽過的「真空吸引」料理法！讓食材一秒入味的神奇醃漬之術！| 克里斯丁上菜 Feat.料理之王 Avery

<https://www.youtube.com/watch?v=jWf73ud5ib8>

四、高壓醃制對雞胸肉微觀結構的影響

<https://www.spkx.net.cn/fileup/HTML/201501019.shtml>

五、不同腌制工艺对鸡胸肉品质的影响

<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20143286221>

六、壓力是什麼？如何分辨相對壓力及絕對壓力？一分鐘帶您認識

<https://www.sj-gauge.com.tw/blog/gauge-vs-absolute-pressure>

【評語】032912

本作品選用隨手可得的材料，以科學步驟解析網路文章的說法，可看出參賽選手努力控制變因，也以有限資源能設計實驗來回答假設的問題(例如棉花糖的實驗)，是用心呈現科學訓練的好作品。以下建議供同學參考：

1. 對應於探討真空的影響有使用真空表量化，於探討高壓與真空保鮮袋影響時，亦可使用適當的壓力計量化壓力值。
2. 建議在 ImageJ 的處理上，可以校正每一個像素對應的距離，可以更好的以 SI 單位討論醃漬的成效。
3. 研究中重覆 5 個樣品且同學有正確的考慮實驗的重複性並提供標準差，可以看出實驗的穩定性和一致性，有正確的科學研究態度，應詳述這些樣品是來自不同批次的成品或是同一批次，作品可考量以不同批次、不同時間論述再現性。
4. 作品中應敘明進行白蘿蔔醃製速率測量時所分析的切片的位置。

5. 醃製速率也應納入初始速率，為提高觀測度，也可考慮用螢光染劑。
6. 報導數值時，應考慮有效數字。T-檢定的數字過多，沒有科學意義。此外，面積計算時因為不可能量測到 <1 的像素，有效數字必然只到整數，故報導到小數點以下一位沒有科學意義。
7. 建議要釐清例如「負壓 2 cm-Hg」是指比環境大氣壓力低 2 cm-Hg 或絕對壓力是 2 cm-Hg。此外，cm-Hg 不是 SI 單位，建議使用 Pa 等符合 ISO 標準的 SI 單位。
8. P. 17 各顏色對應的數值（6.0、4.5、3.0 與 1.5）需要有意義與單位。
9. 建議對「真空醃製」能完整描述為「使用真空保鮮袋醃製」，否則易與負壓混淆。

作品海報

真空能加速醃製食物？高壓可以嗎？

探究氣壓對醃製速率的影響

摘要

本實驗為了探究在常壓、真空、負壓和高壓…等不同條件下對食物醃製效果的影響，以白蘿蔔作醃製，利用各種裝置改變氣壓進行研究。由實驗得知白蘿蔔醃製效果為：6塊紅磚和7塊紅磚高壓醃製>負壓8 cm-Hg>負壓4 cm-Hg>真空>常壓。高壓醃製相對其他氣壓的表現為最佳，僅需6塊紅磚重壓在保鮮袋上即可。至於負壓醃製的效果隨負壓值增加，白蘿蔔醃製面積有增加趨勢。本實驗的高壓醃製相對於負壓醃製所需要的技術門檻、費用皆較低，又可有效提升醃製效果，是不錯的醃製選擇。如果對醃製效果沒有太過苛求，真空保鮮袋的醃製操作更為簡單方便。

壹、前言（含研究動機、目的、文獻回顧）

我們在 Netflix 看到料理節目《黑白大廚》，其中有道料理用真空袋醃製西瓜，使西瓜短時間甜度變高，讓我們好奇真空醃製真的能讓西瓜變甜嗎？在網上查到許多相關文章，其中的文章都提到「**真空醃製的原理**」是經由減少袋內空氣，加速食材對調味料的吸收。當袋內的空氣抽出時，壓力下降，食材的細胞結構會打開，使調味料更容易滲透到食材內部。

經查詢多個網站，發現食品包裝真空抽氣機可歸為三類：

- 一、對「**保鮮袋**」抽**真空**：保鮮袋會因抽氣而塌縮，若袋內盛裝液體易連同空氣一起被抽出，最後袋內近似真空，但因體積的塌縮不會造成負壓。
- 二、對「**保鮮盒**」抽**真空**：保鮮盒不會因抽氣而塌縮，盒內的液體也不會被抽氣機抽出。
- 三、**腔室真空包裝封口機**：工作原理是去除整個腔室的空氣，包括放置在腔室裡的包裝袋內部，創造一個包裝袋內外皆處於同樣真空負壓的環境下封口，而後釋放空氣進入腔室使得包裝袋的體積瞬間壓扁進而密封食物。

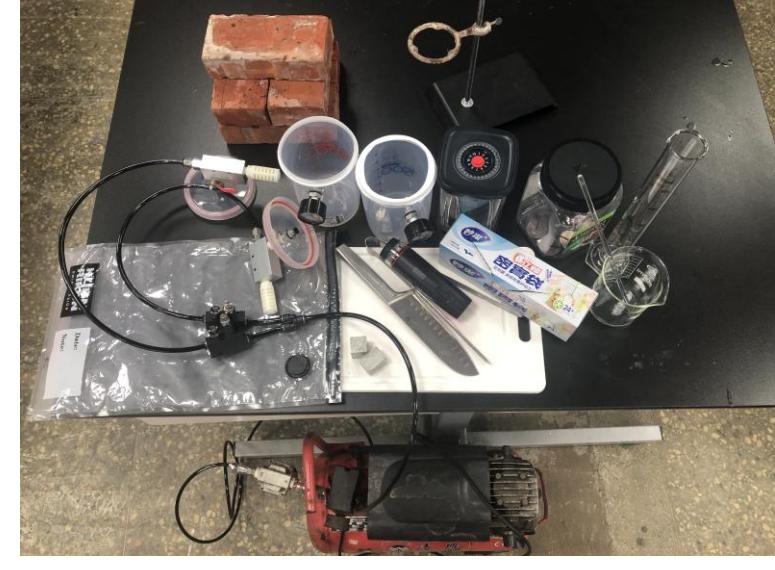
在整理以上的資料中，了解到**真空未必等於負壓**，那這些因素是如何影響食物的醃製速率呢？而我們又想到**如果不是「減壓」而是「額外加壓」**，是否也會影響食物的醃製速率呢？於是我們決定透過實驗探究在**常壓、真空、負壓和高壓**…等不同條件下對食物醃製速率的影響。

以下為本實驗的研究目的：

- 一、探討常壓對白蘿蔔醃製速率的影響
- 二、探討真空保鮮袋對白蘿蔔醃製速率的影響
- 三、探討不同負壓對白蘿蔔醃製速率的影響
- 四、探討高壓對白蘿蔔醃製速率的影響

貳、研究設備及器材

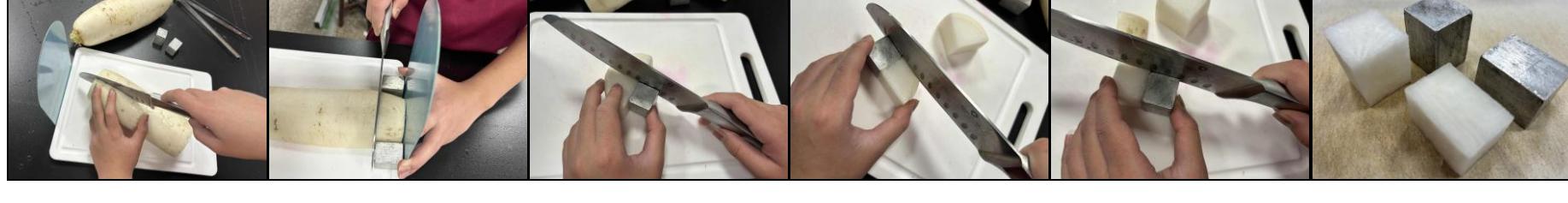
- 一、研仔白蘿蔔、台糖精緻特砂糖（一包1 kg）、食用紅色七號調合粉（一包2 g）
- 二、鋁塊（2.5 cm × 2.5 cm × 3.5 cm）、鐵架+鐵環（離桌面高度20 cm，手機支架）
- 三、市售真空抽氣棒、真空保鮮袋、真空保鮮罐、廢棄的有蓋方形塑膠桶
- 四、圓形保鮮密封罐、止洩帶、負壓錶、負壓產生器、調壓閥、PU空壓管、真空幫浦
- 五、13塊紅磚（20.5 cm × 9.5 cm × 5.0 cm，平均重量1.8 kgw）



參、研究過程或方法

一、前測預備實驗：

- (一) **醃製食材的挑選**：白蘿蔔肉白不影響分析，其中全台以「研仔」群為主，其形狀類似酒瓶，適合本實驗對蘿蔔裁切成固定尺寸的需求。
- (二) **白蘿蔔切法的統一**：以鋁塊輔助裁切，切成大小皆相同的塊狀白蘿蔔。這種切法能確保每塊白蘿蔔都有兩面靠近蘿蔔中心線，另外兩面則靠近蘿蔔外側，使實驗結果不受裁切影響。



- (三) **醃製醬汁的調配**：網上常見糖漿比例有三種：濃糖漿、標準糖漿、輕糖漿。最後我們決定使用「標準糖漿比例」配置糖水，實驗時分別秤取100 g糖和水及一包「食用紅色七號調合粉」。



- (四) **在前測預備實驗中我們測試了市售真空抽氣棒抽氣效果，但抽氣效果不佳：**

我們改造了「廢棄方形塑膠桶」，於側面安裝負壓錶，進行抽氣實驗，發現錶上指針完全不轉動，桶內僅是微小負壓，證明此抽氣棒無法使保鮮罐變真空。

- (五) **為了探討不同負壓對白蘿蔔醃製速率的影響，決定自製一個可達明顯負壓、又可控制氣壓值的保鮮罐：**
在保鮮罐上安裝負壓錶及負壓產生器，利用PU空壓管將真空幫浦、調壓閥及負壓產生器連接起來即可。



二、探討常壓對白蘿蔔醃製速率的影響

- (一) 將白蘿蔔裁切成鋁塊大小，把蘿蔔放入塑膠桶且倒入糖水，鋪上一層紙巾，蓋上蓋子醃製。
- (二) 每隔1.5小時取5塊白蘿蔔放在紙巾上，等紙巾吸乾蘿蔔表面糖水，
將白蘿蔔對半切並使其剖面朝上，以手機俯拍取得醃製畫面。

- (三) 立即蓋上蓋子並重新計時1.5小時繼續進行醃製，重複相同實驗共4次。



三、探討真空保鮮袋對白蘿蔔醃製速率的影響

- (一) 取20塊白蘿蔔放入袋中並倒入糖水300 ml後密封，用抽氣棒抽氣至袋內近似真空以進行醃製。
- (二) 每隔1.5小時，取出5塊白蘿蔔，重複實驗二方法(二)相同步驟。
- (三) 立即密封保鮮袋再次抽真空並重新計時1.5小時繼續醃製，重複相同實驗共4次。



四、探討不同負壓對白蘿蔔醃製速率的影響

- (一) 取20塊白蘿蔔放入保鮮密封罐中倒入糖水，鋪上一層紙巾，蓋上蓋子鎖緊。
- 開啟真空幫浦抽氣，將罐內氣壓調整為負壓2 cm-Hg進行醃製。
- (二) 每隔1.5小時，取出5塊白蘿蔔，重複實驗二方法(二)相同步驟。
- (三) 立即蓋上蓋子鎖緊並重新計時1.5小時繼續醃製，重複相同實驗共4次。
- (四) 利用「調壓閥」改變罐內氣壓值，調整為負壓4、6、8 cm-Hg，重複本實驗方法(二)(三)相同實驗。



五、探討高壓對白蘿蔔醃製速率的影響

- (一) 取20塊白蘿蔔放入保鮮袋，倒入糖水800 ml，擠出多於空氣後密封，將封口處對折2次並黏上「黑色膠帶」補強，避免糖水從此處外漏。將袋子置入塑膠盒內，於袋上平鋪塑膠袋及厚紙張，避免磚塊直接重壓蘿蔔及磨破保鮮袋，最後放上5塊紅磚即可。
- (二) 每隔1.5小時，取出5塊白蘿蔔，重複實驗二方法(二)相同步驟。
- (三) 立即密封保鮮袋重複方法(一)(二)並重新計時1.5小時繼續醃製，重複相同實驗共4次。
- (四) 改變磚塊數量調整為6塊、7塊，重複本實驗方法(二)(三)(四)相同實驗。



肆、研究結果

一、探討常壓與真空保鮮袋對白蘿蔔醃製速率的影響

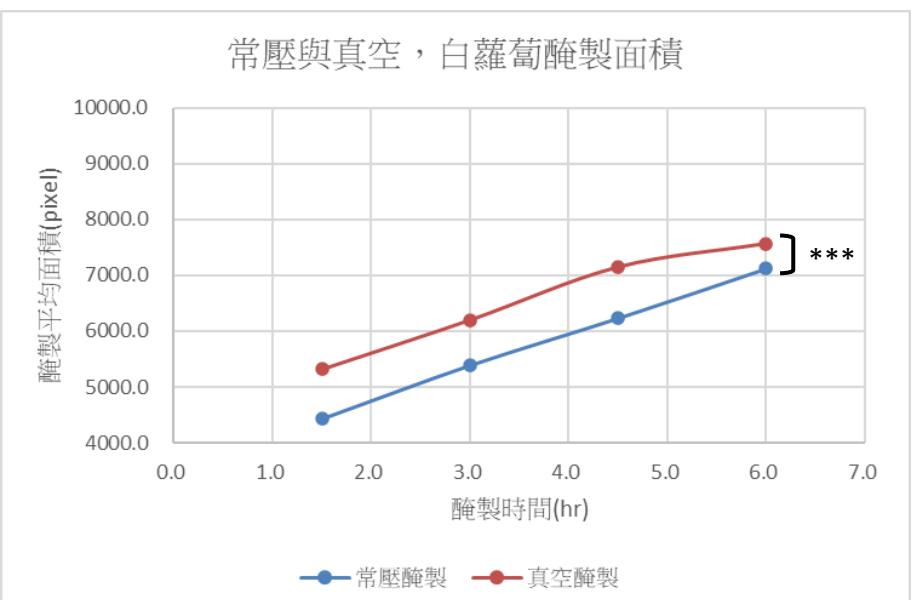
常壓醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	4142.0	5445.0	6366.0	7068.0
樣品二	4851.0	5790.0	6042.0	7010.0
樣品三	4169.0	5230.0	6200.0	7132.0
樣品四	4237.0	5287.0	6367.0	7286.0
樣品五	4755.0	5200.0	6198.0	7121.0
平均值	4430.8	5390.4	6234.6	7123.4
標準差	343.2	242.6	136.4	103.0

真空醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	5053.0	6055.0	7022.0	7515.0
樣品二	5377.0	6440.0	7262.0	7607.0
樣品三	5574.0	6078.0	7313.0	7564.0
樣品四	5261.0	6101.0	7043.0	7613.0
樣品五	5336.0	6328.0	7094.0	7528.0
平均值	5320.2	6200.4	7146.8	7565.4
標準差	188.9	173.0	132.3	44.5

由t檢定分析結果得知：

常壓醃製6小時與真空醃製6小時，白蘿蔔醃製面積有非常顯著性差異 ($***P<0.001$)，

而真空醃製的效果比常壓醃製的效果為佳。



二、探討不同負壓對白蘿蔔醃製速率的影響

負壓2cm-Hg醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	5684.0	6322.0	7068.0	7387.0
樣品二	5708.0	6572.0	7079.0	7612.0
樣品三	5652.0	6685.0	7158.0	7523.0
樣品四	5326.0	6725.0	7248.0	7403.0
樣品五	5429.0	6770.0	7083.0	7765.0
平均值	5559.8	6614.8	7127.2	7538.0
標準差	171.5	179.4	76.4	156.7

負壓4cm-Hg醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	6133.0	7032.0	7730.0	8281.0
樣品二	6088.0	7203.0	7872.0	8244.0
樣品三	6236.0	7080.0	7707.0	8306.0
樣品四	6392.0	7122.0	7837.0	8380.0
樣品五	6291.0	7213.0	7649.0	8021.0
平均值	6228.0	7130.0	7759.0	8246.4
標準差	122.0	78.1	92.9	135.5

負壓6cm-Hg醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	6243.0	7337.0	7905.0	8687.0
樣品二	6401.0	7033.0	8003.0	8425.0
樣品三	6321.0	7179.0	8013.0	8370.0
樣品四	6095.0	7235.0	8023.0	8677.0
樣品五	6148.0	7263.0	8004.0	8543.0
平均值	6241.6	7209.4	7989.6	8540.4
標準差	124.5	113.9	48.0	143.6

負壓8cm-Hg醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	6799.0	7585.0	7813.0	8817.0
樣品二	6774.0	7645.0	7864.0	8805.0
樣品三	6885.0	7619.0	7946.0	8761.0
樣品四	6953.0	7597.0	8033.0	8648.0
樣品五	6762.0	7494.0	8096.0	8515.0
平均值	6834.6	7588.0	7950.4	8709.2
標準差	81.8	57.3	116.6	127.4

由t檢定分析結果得知：

(一) 負壓2cm-Hg醃製6小時和負壓4cm-Hg醃製6小時，白蘿蔔醃製面積有非常顯著性差異 ($***P<0.001$)，而負壓4cm-Hg醃製的效果比負壓2cm-Hg醃製的效果為佳。

(二) 負壓4cm-Hg醃製6小時和負壓6cm-Hg醃製6小時，白蘿蔔醃製面積有顯著性差異 ($*P<0.05$)，而負壓6cm-Hg醃製的效果比負壓4cm-Hg醃製的效果為佳。

(三) 負壓4cm-Hg醃製6小時和負壓8cm-Hg醃製6小時，白蘿蔔醃製面積有非常顯著性差異 ($***P<0.001$)，

而負壓8cm-Hg醃製的效果比負壓4cm-Hg醃製的效果為佳。

(四) 負壓6cm-Hg醃製6小時和負壓8cm-Hg醃製6小時，白蘿蔔醃製面積較無顯著性差異 ($P>0.05$ 雙尾； $P<0.05$ 單尾)。

(五) 由t檢定分析結果得知，隨著負壓值的增加，白蘿蔔醃製面積有增加趨勢

三、探討不同高壓對白蘿蔔醃製速率的影響

5塊紅磚高壓醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	6867.0	7467.0	8086.0	8690.0
樣品二	6622.0	7369.0	8108.0	8702.0
樣品三	6959.0	7362.0	8037.0	8785.0
樣品四	6684.0	7209.0	8032.0	8612.0
樣品五	6603.0	7358.0	8008.0	8702.0
平均值	6747.0	7353.0	8054.2	8698.2
標準差	157.9	92.3	41.3	61.4

6塊紅磚高壓醃製，白蘿蔔醃製面積(pixel)				
醃製時間(hr)	1.5	3.0	4.5	6.0
樣品一	7152.0	7988.0	8644.0	9275.0
樣品二	7274.0	7856.0	8563.0	9163.0
樣品三	7182.0	7914.0	8321.0	9365.0
樣品四	7219.0	7892.0	8457.0	9327.0
樣品五	7368.0	7737.0	8564.0	9351.0
平均值	7239.0	7877.4	8509.8</td	

伍、討論

一、釐清「真空保鮮袋」與「自製負壓圓形保鮮密封罐」本質上的差別

- (一)「市售真空保鮮袋」會因抽氣而體積塌縮壓扁。
(二)「自製負壓圓形保鮮密封罐」不會因抽氣而體積塌縮壓扁。

根據理想氣體方程式 $PV = nRT$ 可以得知，

- 1、在定溫下，當 V 與 n 成正比關係時， P 將維持定值；
2、若 V 維持不變， P 將與 n 成正比關係。

這就是為什麼我們宣稱「**真空未必等於負壓**」，雖然「**真空保鮮袋**」因抽氣導致體積塌

縮壓扁，最後袋內近似真空，然而大氣壓力卻是隔著袋子依然作用在白蘿蔔上，並不會造成明顯**負壓**。而「**自製負壓圓形保鮮密封罐**」卻不會因抽氣而體積塌縮壓扁，所以會在罐內造成**負壓**。

二、有關食物醃製“速率”的分析，一直困擾著我們

為了參加全國科展，我們謹慎的重新做了一次實驗，也做了一些改進，想再次確認實驗結果是否完全正確。但有關食物醃製速率的分析卻一直困擾著我們。

假設**食物的醃製速率 = 醃製面積的變化量／時間間隔**，從醃製平均面積與醃製時間的關係圖，會發現高壓醃製、負壓醃製及真空醃製的關係圖是較接近平行線，其斜率與常壓醃製差不多、並未明顯不同於常壓醃製，甚至部分時段的斜率是小於常壓醃製，即使重做實驗也是一樣的結果。除非將一開始 0 時至 1.5 小時的醃製時間納入計算，這樣計算出來的平均醃製速率才會與常壓的醃製速率有所不同。

但若假設**食物的醃製速率 = 醃製深度距離的變化量／時間間隔**，可推論在相同時間間隔，若醃製面積的變化量相同，則外側與內側的醃製深度距離的變化量就不同，那麼即可間接證明「在不同氣壓條件下，醃製速率不同」。如果再考慮蘿蔔因醃製脫水而造成體積萎縮變小，那麼速率的分析會比想像中的還要複雜。右圖為蘿蔔醃製示意圖，紅色部分為相同醃製面積變化量，你會發現外側的醃製深度較薄，內側的醃製深度較厚。

但本實驗因無法精確量取「醃製深度的距離」，因此僅就白蘿蔔的醃製面積差異做深入分析討論。

熱力學的理想氣體方程式： $PV = nRT$

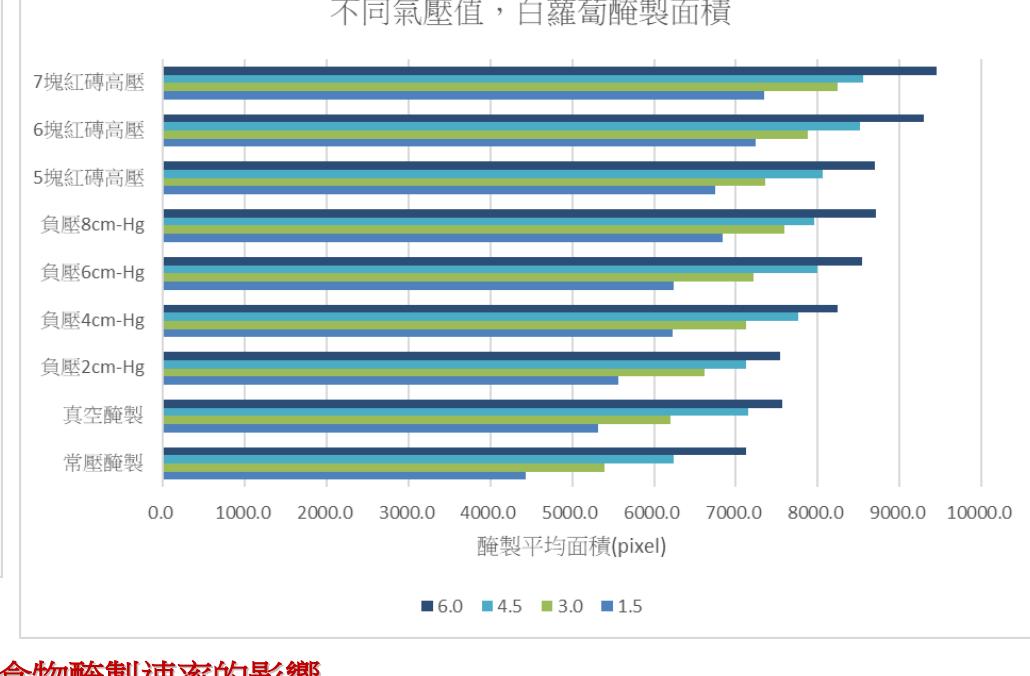
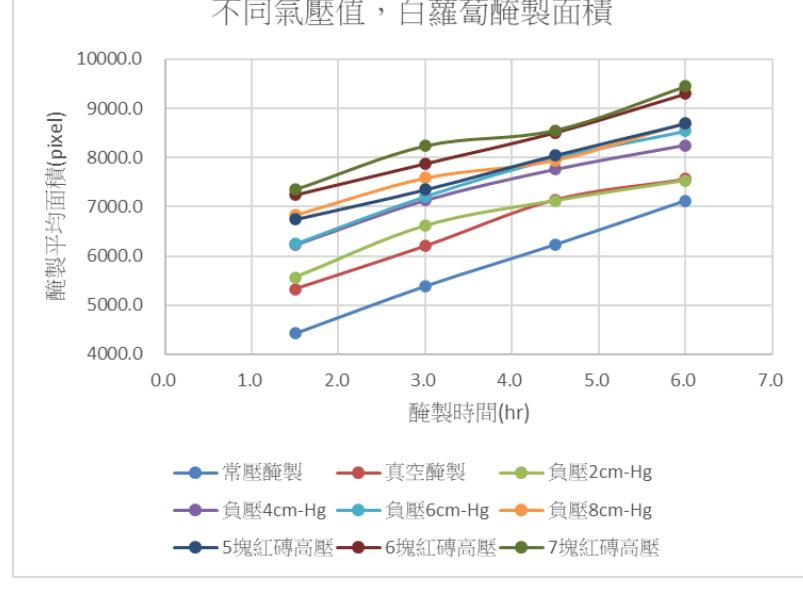
P ：理想氣體的壓力，單位為標準大氣壓 (atm)

V ：理想氣體的體積，單位為公升 (L)

n ：理想氣體的物質的量，單位為莫耳 (mol)

R ：理想氣體常數，約為 $0.082 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T ：理想氣體的溫度，單位為克耳文溫度 (K)



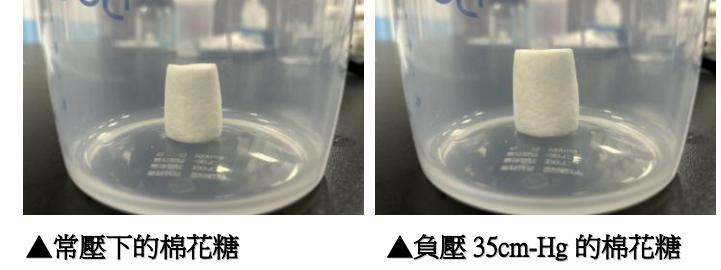
三、比較在常壓、真空、負壓和高壓…等不同條件下對食物醃製速率的影響

由 t 檢定分析結果得知，在醃製 6 小時的條件下，常壓醃製面積的確是最小的，與預測結果完全相符；負壓醃製面積則會隨著負壓值的增加也有增加的趨勢；而高壓醃製面積也會隨著放置的紅磚數量增加而有上升的趨勢，其中放置 6 塊紅磚和 7 塊紅磚的醃製面積是相差不多的。負壓是減壓，而高壓是增壓，竟然都能加速蘿蔔醃製，真是太神奇了！

比較真空、負壓和高壓對白蘿蔔醃製面積效果的影響，6 塊紅磚與 7 塊紅磚高壓醃製的效果竟比負壓 8 cm-Hg 醃製的效果為佳，出乎我們意料之外，使我們為之驚奇。至於**真空保鮮袋的醃製效果**，我們原本預測應與常壓醃製效果差不多，然而實驗分析結果卻是較常壓醃製效果佳，與負壓 2 cm-Hg 的醃製效果相差不多，也超越了我們的預想。

四、辨別負壓醃製與高壓醃製的作用差異

在《真空機醃漬的魔力：讓美味快速鎖住》的網路文章中點出了當真空機將袋內的空氣抽出時，因壓力的下降，食材的細胞結構會被打開，這使得調味料更容易滲透到食材內部。我們對於「食材的細胞結構會被打開」的這個說詞是保留質疑、有待驗證的，畢竟我們因設備技術上的困難，無法透過顯微鏡親眼見證。但負壓環境的確可以使物體因內部壓力大於外部壓力而將物體體積撐大，根據理想氣體方程式 $PV = nRT$ ，為使物體內外壓力達到平衡，勢必造成物體體積的膨脹。右上圖為我們額外加做的棉花糖負壓實驗，驗證體積撐大的理論。



▲常壓下的棉花糖

▲負壓 35cm-Hg 的棉花糖

至於有關高壓醃製的網路文章實屬不多，在《高壓醃制對雞胸肉微觀結構的影響》的網路文章中提出 150 MPa 以下處理組的肌肉組織結構無顯著差異，肌細胞形狀規則，排列有序；200 MPa 處理下雞胸肉的肌纖維排列疏鬆，肌纖維之間肌束膜開始破裂；300 MPa 處理下雞胸肉的肌束膜發生大量斷裂和崩解，雞胸肉的肌原纖維結構也發生明顯變化。從文章中可以得知高壓醃製具有破壞、改變雞胸肉肌原纖維結構的能力。而**本實驗所進行的高壓醃製僅是 7 塊紅磚所造成的額外加壓**，7 塊紅磚的總重量約為 12.6 kgw，保鮮袋的受力面積約略為三塊紅磚面積（長 20.5 cm × 高 5.0 cm），這樣的額外加壓還不至於使白蘿蔔的內部組織結構斷裂或崩解，但或許因為外界環境的高壓而迫使醃製醬料加速滲透進入白蘿蔔內部。**補充說明：**(一) 1 標準大氣壓為 1013.25 hPa (二) 150 MPa 約略為 1 標準大氣壓的 1500 倍

五、探討真空保鮮袋對白蘿蔔醃製速率的影響

由 t 檢定分析結果得知，真空醃製的效果比常壓醃製的效果為佳，雖然「**真空保鮮袋**」因抽氣導致體積塌縮壓扁，最後袋內近似真空，然而大氣壓力依然隔著袋子作用在白蘿蔔上，並未造成明顯負壓，但其醃製效果卻較常壓醃製效果佳。我們推測因真空環境容易促使白蘿蔔釋放細胞組織結構間存在的空氣或物質，進而使醃製醬料較不受空氣阻隔而順利滲透進入白蘿蔔內部。

陸、結論

雖然網路媒體、市售醃製器材的廠商大肆宣稱真空負壓可加速食物醃製、效果奇佳，但經由實驗結果得知白蘿蔔醃製效果：**6 塊紅磚和 7 塊紅磚高壓醃製 > 負壓 8 cm-Hg > 負壓 4 cm-Hg > 真空 > 常壓**，高壓醃製的效果一點也不輸給負壓醃製。如果有人想要透過負壓進行加速食物醃製，不建議購買「市售真空抽氣棒」，因為經由實驗證明「市售真空抽氣棒」通常功率小、吸力不足，無法使負壓錶上的指針轉動，僅造成真空保鮮罐內部微小負壓，並未如產品說明書上所說「會造成罐身或蓋子輕微凹陷，可使保鮮罐達到真空狀態」。

本實驗的高壓醃製相對於負壓醃製所需要的設備及技術門檻、還有費用皆較低，又可有效提升醃製效果，是不錯的醃製選擇，因為只要放置 6 塊紅磚重壓在保鮮袋上，即可達到顯著的醃製效果，經濟又實惠呀！如果對醃製效果沒有太過苛求的話，真空保鮮袋的醃製操作更為簡單方便。如果追求迅速、不在乎價錢，也可直接購買市售專業等級的「腔室真空包裝封口機」，同時兼顧真空與負壓，市價大約在 1 萬~2 萬元左右。