

「咁瑪糲」~ 泰雅醃肉的科學

摘要

泰雅語「咁瑪糲」，就是醃肉！早期，泰雅原住民運用經驗和智慧，用鹽、小米、豬肉醃製成既酸又鹹的醃肉製品。巧妙應用了「食物保存原理」、「食品加工原理」、「發酵原理」、「蛋白質變性」的化學反應，創造了泰雅族特有的飲食文化。

將近 8 個月的實驗研究，我們發現：

- 1.製作醃肉必須要放入大約 6%的鹽巴，肉品則不容易腐壞。
- 2.製作醃肉，必須加入含有澱粉的小米或米飯，能使 pH 值降至 4.6 以下。
- 3.醃肉製作，pH 值必須降至 4.6 以下，才可以讓大部分的細菌無法生長。
- 4.肉和小米的比例至少要 3：1 才可以，以 2：1 的比例最佳。
- 5.小米(飯)一定要煮過，全熟、半熟都可以，生米無法製作醃肉。
- 6.醃肉製作的存放時間，常溫下，可以超過 40 天以上，存放越久，pH 值越低。
- 7.肉浸泡在酸性的溶液中，會變得比較軟嫩。
- 8.肉浸泡在酒精濃度較高的溶液中，也會產生變性作用，會變得更硬。
- 9.以外觀的顏色和水分判斷，再以硬度(HA)的大小比較，醃肉應該是變熟了。

看的一般漢人民族的眼中，也許看到原住民吃「醃肉」，覺得又酸又鹹非常不健康；而且最大的疑問是，肉有熟嗎？可以吃嗎？但事實上，「醃肉」卻是泰雅原住民的美味佳餚，更是款待上賓的特色風味喔！

壹、研究動機

經常每到假日，或者有親朋好友到訪，就是我們小朋友最開心的時間了！我們都喜歡圍在媽媽的身邊幫忙做「咁瑪糲」！不是因為我們熱心做家事或者好玩喔！也不是因為放假囉！更不是可以看到好朋友啦！而是因為我們期待有好吃的「咁瑪糲」可以吃了！酸酸的、鹹鹹的滋味、QQ 彈彈的醃肉，可以讓我吃下好幾碗飯耶，真希望每天餐餐都有醃肉可以吃。

可是，媽媽都不讓我多吃，說是太鹹了，吃多了不好！我們開始覺得好奇，為什麼醃肉要放那麼多鹽？害我們不能多吃。而且，製作過程中，也沒有加醋或檸檬啊，為什麼會酸酸的？只是加了一些小米飯和鹽巴就可以把肉醃熟了嗎？這是什麼原理呢？為什麼外面都沒有人在賣「咁瑪糲」？為什麼要發明「咁瑪糲」呢？醃肉為什麼至少要放一個星期才能吃呢？醃肉可以存放多久呢？

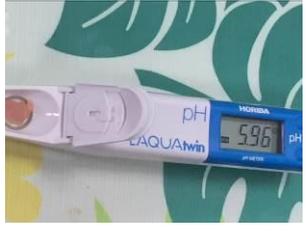
太多的疑問和好奇，讓我忍不住來問老師，老師說這是很棒的問題。而且早期，醃肉可說是泰雅族人招待客人、辦喜事時，最重要且吸引人的上等食品。「醃肉」可以說是我們泰雅族很重要的一項飲食特色。既然喜歡吃「咁瑪糲」，何不來研究一下呢？因為，「醃肉」的製作過程中，其實是含有一些科學原理的。

老師鼓勵我們一起來探討製作醃肉的科學原理，也就這樣開始了我們的科學展覽的探索之旅。

貳、研究目的

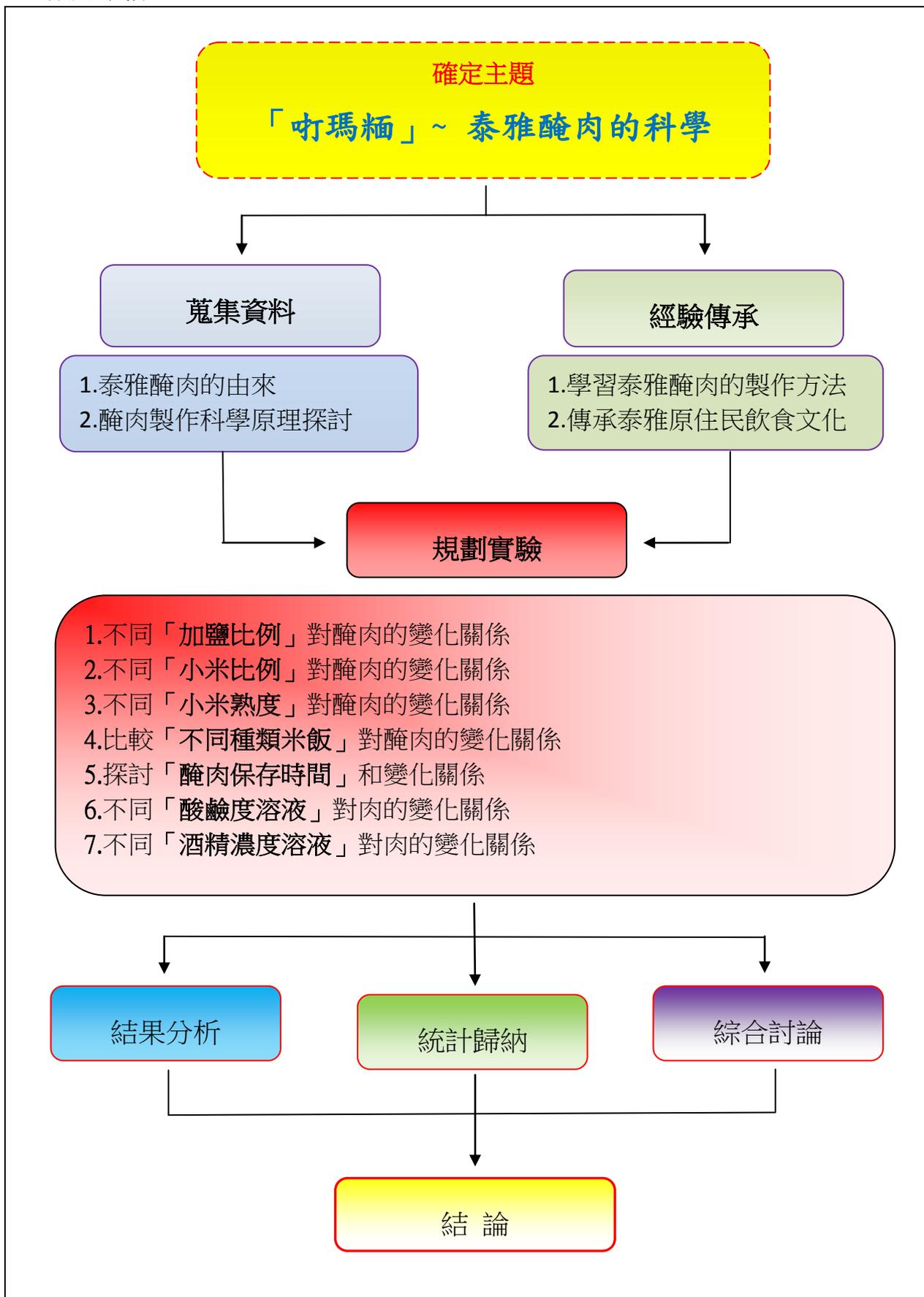
- 一、探討泰雅原住民「醃肉」的製作過程和方法
- 二、探討泰雅原住民製作「醃肉的科學原理」
- 三、探討製作「醃肉含鹽比例」的變化關係
- 四、探討「小米比例和製作醃肉」的變化關係
- 五、探討「小米熟度和製作醃肉」的變化關係
- 六、探討「不同米(飯)種類和製作醃肉」的變化關係
- 七、探討「醃肉的保存時間」和變化關係
- 八、探討「不同酸鹼度溶液和肉」的變化關係
- 九、探討「不同酒精濃度溶液和肉」的變化關係

參、研究設備與器材

			
小玻璃瓶(50ml)	鹽度計、糖度計	電子秤	相機
			
縮時攝影機	數位電流鉤錶	pH 檢測計	鉛球：2773g
			
食用鹽	肉條	吸滴管	硬度計

肆、研究方法

一、擬定架構



二、文獻探討

傳統泰雅族的主要糧食作物，包括旱稻、小米、玉米、蕃薯等等。平時以胡瓜、南瓜、韭、薑、野菜、辣椒、豆類加鹽煮食為副食。獵肉、魚、蝦等只在農閑打獵有所捕獲時才可享用。

(一)泰雅原住民醃肉的傳說

很早以前，泰雅族地區因為在高山叢林穿梭活動，常因大量流汗，所以需要的鹽分很多，只要有鹹味的食物就很下飯。因此在傳統的部落生活裡，母親利用小米、鹽巴醃漬豬肉讓此發酵後，給予外出狩獵的男子們攜帶，方便食用。然而，在高山地帶要取得鹽巴非常不易，才獨創出此一特殊保存食物的方法。傳統上，醃肉並非人人可吃，在一些部落只有長輩能優先吃，泰雅醃肉是對遠道來的親朋好友，最上等的見面禮。

泰雅族人會直接夾醃肉(不經烹煮)配白飯吃，即使現代冰箱已經普及，醃肉仍是泰雅居民的熱門食物，每次只要端上桌大家都會搶著吃，這是專屬於泰雅的家鄉味。

再來，也是因為在早期的環境中，儲藏食物方面沒有更妥善的處理方式，不像現在有冷凍庫可以儲存，唯一的方法，就是用鹽和小米(飯)醃製成既酸又鹹的醃肉製品，何況酸鹹的口味，原本有助於增進食慾的效果。就這樣醃肉的醃製法在泰雅族裡面，便一直普遍的流傳了下來。

(二)泰雅原住民醃肉的製作過程和方法

醃肉的方法是以未完全煮熟的小米夾於肉層，置於容器內使其發酵。醃肉成品帶有濃郁的酸腐味，但非常可口。醃製的材料主要是以生的肉類為主，而配方大致是用白米飯、或是俗稱的小米、跟鹽巴和在一起，而白米或小米，大多是煮成半熟的狀態才不至於變的太爛，製作過程、方法大概如以下步驟：

- 1.首先將肉類，以鹽醃漬一個晚上，也可以石頭壓緊，讓肉類脫水。(也有很多是製作醃肉前直接鹽醃即可)
- 2.將煮成半熟(全熟亦可)的白米或小米、糯米晾乾之後，與大量的鹽巴，將生肉一起醃製。
- 3.醃製時，先在最底層鋪上的醃製材料，再整齊的放置一層新鮮的肉類，逐層依順序擺放。最上一層肉類完成時，再以編織好的芒草葉鋪蓋在上面緊密的封閉。
- 4.在常溫下放置至少 10 天左右，冬天則會醃製時間比較久。以往，製作醃肉多將生肉放在陶甕內。現在，也有放在塑膠容器裡醃製，如果要發酵口味酸一點，可以醃久一點。

(三)探討醃肉製作的「科學原理」

1.食物保存原理

(1)早期泰雅原住民在山上生活，打獵是很重要的食物來源之一，打到的獵物除了分享給部落族人，往往還是會剩下。而早期又沒有冰箱保存這些肉，所以用醃漬的方式來保存食物。

(2)醃豬肉的產生，不外乎就是拉長保存的時間，微生物需要水才能生存

生長。把肉變乾，最簡單的方法就是靠日曬風吹，但**宜蘭泰雅族**在高山上溼冷的環境，要讓肉脫水，只好以大量的鹽巴來保存。

- (3)因為肉含有供給生物生存的各種營養，又含有大量的水分，故肉類非常容易變質。有足夠空氣時，未經適當處理或保存的肉上面會滋生細菌，肉會變得**發霉、發黏**；缺少空氣時，如果沒有保護或處理，也會變酸、腐敗。

2.鹽度的滲透作用

- (1)當鹽度大幅改變時，因為**滲透作用**的關係，細胞可能漲破或萎縮。鹽漬時，食鹽進行滲透作用進入細胞內，細胞內水份則因鹽類之滲透壓而向外部滲出，如此直至平衡為止。
- (2)一般而言，分子會從濃度高的環境流向濃度低的環境(水則會從濃度低的環境流向濃度高的環境)，並在最後達到內外平衡。因此，當外界濃度較低時，水便會試圖流進微生物體甚至使之脹破；反之，若外界濃度夠高(如高鹽)，微生物便無法獲得水分生長。
- (3)食鹽不僅會導致食品脫水，降低微生物可以使用的水分，更會使微生物因滲透壓而無法繁殖，且食鹽中的氯離子對微生物有直接毒性，因此可延長保存時間。

3.蛋白質變性原理

- (1)肉中的蛋白質含量在 10%至 20%之間，而肥肉是脂肪含量較多的肉，瘦肉的蛋白質含量比肥肉多。新鮮肉的平均含水量是 60%至 70%，脂肪含量與水含量成反比。一般的瘦豬肉的蛋白質含量約為 10%至 17%，肥豬肉則只有 2.2%。
- (2)蛋白質在某些物理和化學因素作用下，其特定的空間構象被改變，從而導致其理化性質的改變和生物活性的喪失，這種現象稱為**蛋白質變性**。
- (3)蛋白質變性的作用，是蛋白質受物理或化學因素的影響，改變其分子內部結構和性質的作用。一般認為蛋白質的二級結構和三級結構有了改變或遭到破壞，都是變性的結果。
- (4)能使蛋白質變性的化學方法有：加強酸、強鹼、重金屬鹽、尿素、乙醇、丙酮等，能使蛋白質變性的物理方法有加熱(高溫)、紫外線及 X 射線照射、超聲波、劇烈振蕩或攪拌等。

4.發酵原理

- (1)米的主要成分是澱粉（多糖的一種），尤其以支鏈澱粉為主。當肉的微生物和小米結合時，分泌澱粉酶，將澱粉水解成爲葡萄糖。隨後，葡萄糖在無氧條件下在真菌細胞內發生糖酵解代謝，將葡萄糖分解成爲酒精和二氧化碳，已經生成的酒精也可被氧化成爲醋酸。
- (2)在發酵過程開始時，可以保留少量空氣，以便使食用真菌利用有氧呼吸提供的大量能量快速繁殖，加快發酵速度。然而在真菌增殖後，就應該防止更多氧氣進入，以致葡萄糖被氧化成二氧化碳或者醪糟變酸。

5.食品加工原理

- (1)認識肉毒桿菌

肉毒桿菌為極厭氧之產孢桿菌，其所產生之毒素是致病因子。毒素之產生是由於食品處理或保存不當，醃製食品酸度不足。此毒素不耐熱，經煮沸後毒力會消失。

(2)肉毒桿菌如何預防？

a.要有效地滅菌或控制其 pH 值，將 pH 值控制在 4.5 以下。

b.於醃製或保存食品時，欲使毒素破壞須要煮沸至少 3 分鐘且食物要攪拌。

(3)微生物和 pH 值

不同微生物可適應的 pH 值不同，細菌適合生長的 pH 值是 6.5 ~ 7.5、黴菌則是 4.0 ~ 6.0，而 pH 值低於 4.6 以下的酸性食品會使大部分的細菌無法生長。有關微生物的生長和 pH 值的關係，如圖 4-2-1 所示。



圖 4-2-1 常見微生物的適合生長酸鹼度說明圖
(本圖取自台灣大學食品科學研究所丁俞文老師)

(4)台灣大學食品科學研究所教授丁俞文說：食品品質下降的原因大致上是受到外界因子(例如：溫度、pH 值)、本身成分化學反應(例如：蛋白質變性)、酵素因子和微生物的影響，因為食物本身就是化學結構的組合。因此，產生化學反應是很正常的。

三、經驗傳承(和部落長老的對話)

當我們在文獻資料蒐集的過程中，我們發現：其實每個原住民部落，都有他們自己保存食物的方式。當然，我們泰雅族武塔部落，也有我們自己的特色。我們就是要把我們自己武塔部落特色的傳統文化保存下來。

我們武塔部落的阿嬤，製作的醃肉，是被公認最好吃的。當我們請阿嬤教我們製作醃肉時，阿嬤非常開心，因為我們年輕一輩的原住民，好像都不是很想學；這一次，我們為了科展研究，除了是我們自己要學做醃肉，還要把研究過程記錄下來，所以阿嬤非常開心。阿嬤特別叮嚀：肉一定要用鹽醃漬，可以前一天先醃，或者製作前再醃都可以，但一定要用鹽醃，不然肉會腐壞。

我們這一次經驗傳承，學習製作醃肉的過程照片和說明，如圖 4-3-1 所示



圖 4-3-1 武塔部落阿嬤指導醃肉製作的過程說明圖

四、規劃實驗

經過武塔阿嬤指導醃肉的製作，老師找我們和部落阿嬤一起討論：未來如何規劃設計實驗？醃肉的做過程中可能會有那些變因？

實驗前的討論

一、可能會影響醃肉製作的變因，有以下幾項：

- (1)肉塊的大小。(2)肉的部位。(3)瓶子大小。(4)鹽巴的多寡。(5)小米(飯)的多寡。
(6)放置的位置(溫度)。(7)瓶子是否乾燥。(8)醃製的時間。(9)是否裝填緊密。

二、製作醃肉時，可能會出現那些變化？

- (1)肉可能會變熟。(2)味道改變(酸酸的)。(3)比較鹹。(4)軟硬度。(5)酸鹼度。

三、為了控制變因，這一次實驗，全部以「豬里肌肉」來實驗；而且以小瓶罐封裝，統一放在學校的防潮溫控櫃子裡面。

伍、研究過程、結果和討論

《研究一》不同加鹽比例和醃肉製作的變化關係

從文獻探討和前面的討論，我們知道：製作醃肉時，必須要加入鹽巴，才可以防止醃肉的腐壞。可是，到底要加入多少的鹽呢？不同鹽的比例，對醃肉製作又會產生什麼改變呢？

(一)研究過程

- 1.準備一些肉條(豬里肌肉)，每一條肉的體積大小、長度、重量，盡可能都要一樣。
- 2.準備鹽巴，以不同的比例(4%、5%、6%)，充分混和攪拌，醃漬肉條。
- 3.為了控制變因：將肉裝入小玻璃罐中密封，且固定存放在沒有日照，溫度相同的防潮箱裡面。
- 4.每二天記錄一次，各分裝成 5 罐，記錄 10 天的變化。
- 5.測試記錄不同鹽的比例鹽漬肉的時間，醃肉的各種(pH 值、鹹度、軟硬度、電阻值)變化反應。
- 6.研究的過程與說明，如圖 5-1-1 所示。



圖 5-1-1 不同加鹽的比例和醃肉製作的變化關係過程說明圖

(二)研究結果

- 1.肉加鹽的比例為 4%時，第 4 天開始，肉的外觀雖然沒有異狀，但是味道有點臭；第 6 天開始，肉的外觀已經明顯腐壞，而且腐臭味很重。
- 2.肉加鹽的比例為 5%時，第 4 天時，肉的品質還正常；到了第 6 天時，就有一點腐臭味，第 8 天開始，外觀已經明顯腐壞，也出現較重的腐臭味。
- 3.肉加鹽的比例為 6%時，從第 2~10 天，確實可以有效保存肉品。
- 4.有關實驗的圖片、pH 值、含鹽濃度…等，測試結果和說明，如圖 5-1-2 所示。

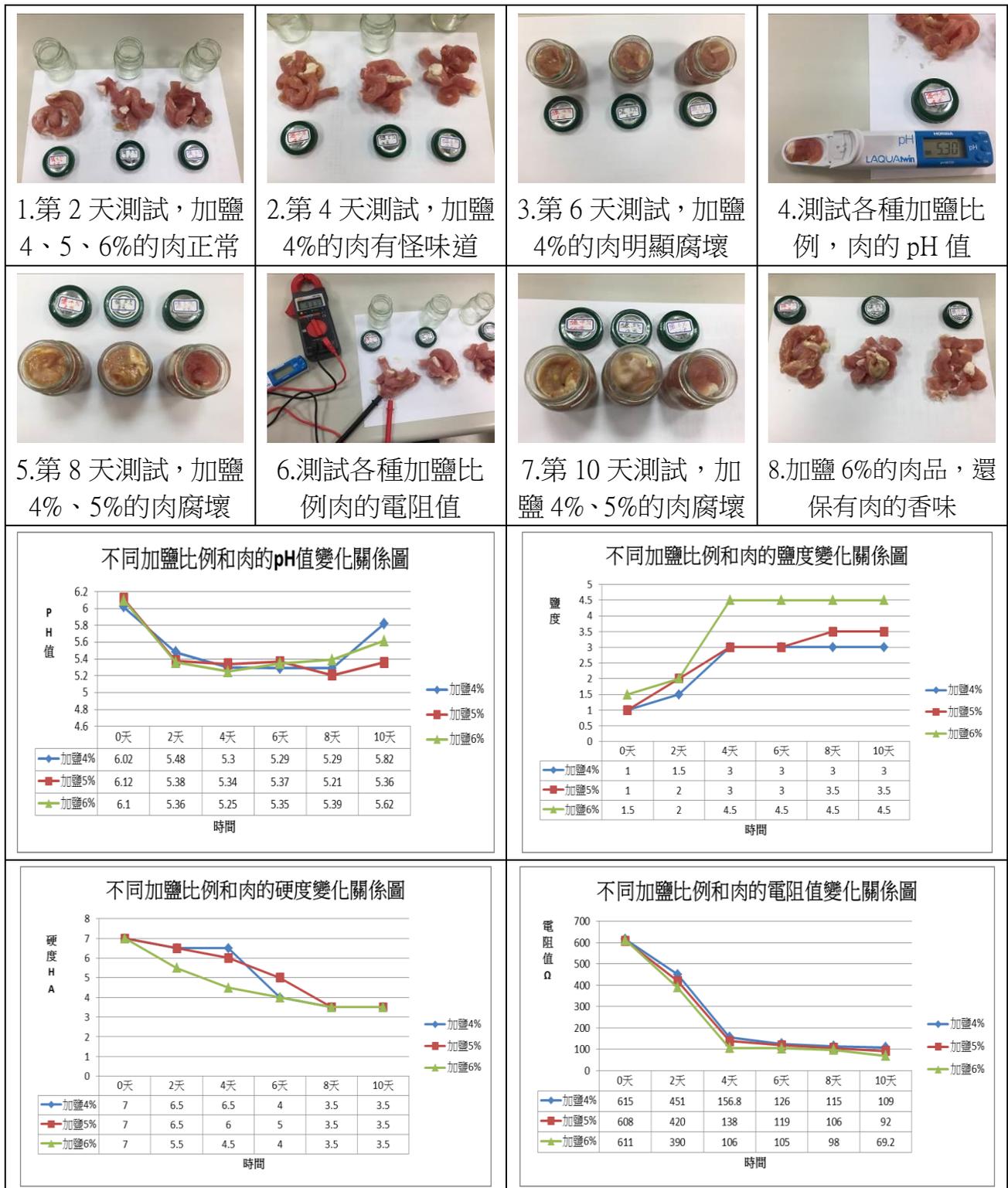


圖 5-1-2 不同加鹽比例對醃肉腐壞程度圖片說明圖

5.從圖 5-1-2 的研究結果，我們發現：

- (1)經過資料查詢，新鮮肉品的 pH 值大約會在 5.5~6.2 之間，我們買的肉品 pH 值大約 6~6.1 之間，是新鮮的肉品。
- (2)不管加鹽的比例多少，肉的 pH 值，都無法有效降至 4.6 以下，pH 值大約在 5.3~6.1 左右；**加鹽的比例和肉的 pH 值應該沒有相關性。**
- (3)加鹽的比例越高，肉品的含鹽度也會越高；肉品加鹽鹽漬的時間大約到第 4-6

天，含鹽度應該就飽和了。

(4)肉品加鹽的比例越高，時間越久，肉的硬度(HA)就會越低，硬度值從 7 下降至 3.5HA，肉變得更軟了。

(5)加鹽的比例越高，電阻值越低，從 610Ω 下降至約 100Ω 左右。我們推測：應該是鹽的成分可以幫助導電；大約鹽漬第三、四天之後，電阻值其實就都很接近。

部落阿嬤的經驗，神準！

- 1.實驗開始，我們請阿嬤指導，也問阿嬤：鹽和肉的比例應該是要多少？其實。阿嬤不知道什麼是比例。
- 2.我們以鹽和肉的比例(2%、3%、4%、5%、6%、7%)，請阿嬤以經驗告訴我們，哪個比例才適合？阿嬤目測後認為：5%的鹽有點少，6%應該會剛好，7%可能會比較鹹。鹽漬後，阿嬤先嚐一下，覺得 5%的鹽還是不夠。
- 3.阿嬤千叮嚀萬交代，要我們不能浪費，鹽比例(4%以下)太少，肉會壞掉，很可惜喲！

(三)討論

1.加鹽的比例，是如何計算的？

加鹽的比例，是指鹽和肉的重量的比例。例如：加鹽比例為 10%，肉的重量的 100g 加鹽 10g。

2.什麼是「pH 值」、「鹽度」、「硬度」、「電阻值」？要如何測試？

(1)pH 值，亦稱氫離子濃度指數、酸鹼值，是溶液中氫離子的濃度，也就是通常意義上溶液酸鹼程度的衡量標準。

新鮮肉品的 pH 值大約在 5.5~6.2 之間，我們的研究主題醃肉，主要是和肉品有關。所以特地購買了日本進口的 HORIBA 食品品質管理檢測計(pH 計)，測量研究過程中，小米和肉的 pH 值。如圖 5-1-3 介紹。

trendtop.com.tw

HORIBA
日本大好評 LAQUA twin

食品品質管理檢測計

簡單多元化
測量方式

滴入 撈取 浸泡 沾取表面 薄膜 粉體 固體

肉類製品的 pH 值

新鮮的肉類食品 pH 值，範圍必須是在 pH5.5 ~ pH6.2 之間。

儲存時，特別是沒有存放在良好保存空間，肉類食品會因此酸化，其 pH 值將會低於 pH5.3。

pH 計可用來做肉品品質的控制及檢查，以確保肉的新鮮度，再賣到消費者，是個快捷的檢查方法。

罐頭食品的 pH 值

食物在被製成罐頭食品時，必須經過一個重要的步驟：充分的酸化。

酸化食品是指在食品原料中，添加酸化劑或其它酸性的食品，使其 pH 值小於 4.6。

肉毒桿菌在 pH 值小於 4.6 的環境下，它的孢子無法萌芽或生長，因此嚴格控制 pH 值小於 4.6，可用「酸」來抑制殘存微生物的生長。

酸化不足可導致肉毒桿菌中毒和保存期限提早失效的問題。

圖 5-1-3 pH 檢測計品牌及使用介紹說明圖

(2)鹽度，鹽度的基本定義為每 1000 克的水溶液內的溶解物質的克數。

a.鹽度計，因為光線從一種介質進入另一種介質時會產生折射現象，且入射角正弦之比恆為定值，此比值稱為折光率。利用鹽溶液中可溶性物質含量與折光率在普通環境下成正比例，可以測定出鹽溶液的折光率，這樣鹽度計就可以算出鹽的濃度。

b.再比較生活上，比較常見的食物鹽度值，就可以知道醃肉大約鹽度的口味了，生活中常見的鹽度值、鹽度計的測試及使用說明，如圖 5-1-4 所示。

<p>醃漬物</p> <p>醃漬食品 1.7 德國泡菜 2.1 韓式泡菜 2.2 橄欖 2.8 醃蘿蔔 3.6 鹽醃 14.3</p>	<p>美乃滋 1.6 蕃茄糊 1.7 沙拉醬 1.7 Taco 醬 2.0 牛排醬 2.0 蕃茄醬 3.0 薄煎餅醬 4.5 BBQ 烤肉醬 4.8 壽司醋 5.2 拉麵沾醬 5.8 醬油沾醬 6.1 韓式泡菜醬 6.1</p>	<p>湯汁</p> <p>火鍋湯底 0.8 義大利蔬菜濃湯 1.2 法式濃湯 1.2 拉麵湯 1.4 泰式酸辣湯 1.5 咖喱 1.6</p>	<p>肉類</p> <p>香腸 0.8 火腿 1.1 義大利 Salami 香腸 1.6 培根 1.7 Prosciutto 煙燻五香火腿 3.2</p>
			
<p>以滴管滴進 5 滴水</p>	<p>吸一滴在鹽度計上</p>	<p>觀察鹽度計的鹽度</p>	<p>觀察鹽度計的鹽度</p>

圖 5-1-4 常見食物鹽度值和鹽度計的測試及使用說明圖

(3)硬度

從資料的查詢和阿嬤的經驗告訴我們：生肉是粉紅色或紅色的，質地柔軟而有嚼勁；全熟的肉已經變成褐色或灰色，質地非常堅硬結實。

如何測試肉的硬度變化？我們購買 A 型邵氏硬度計(0~100HA)，數值越大代表物質越硬；數值越小，表示硬度越小。

為了控制變因，我們以同一個鉛球(重量 2773g)的重量來施力，測試肉的硬度。測試過程說明，如圖 5-1-5 所示。

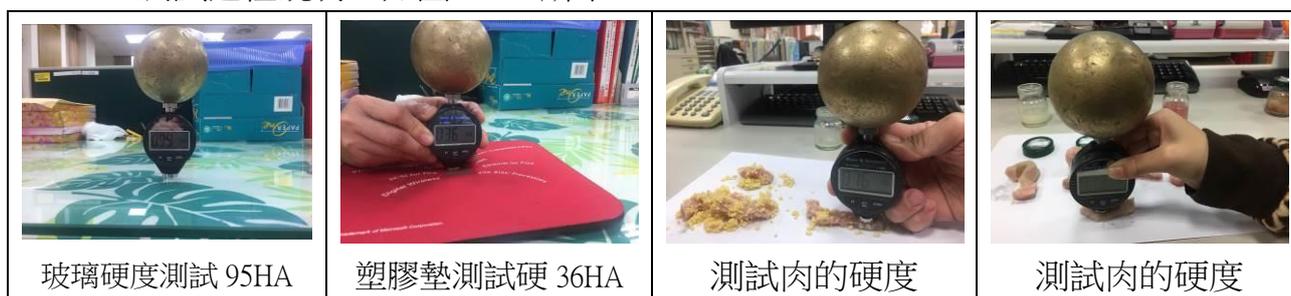


圖 5-1-5 硬度計的測試過程說明圖

(4)電阻

電阻是一個物體對於電流通過的阻礙能力。電阻的單位為歐姆 Ω 。我們在資料的查詢中，發現曾經有研究以三用電表測試肉的電阻值，肉的熟度不同，電阻值可能也會有變化。肉的電阻值測試說明，如圖 5-1-6 所示。

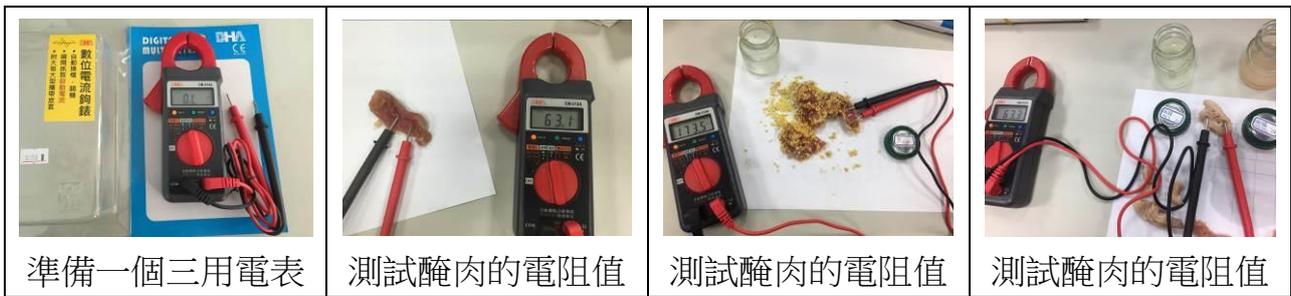


圖 5-1-6 肉的電阻值測試過程說明圖

3.鹽漬的肉，水分會減少嗎？

(1)我們發現用鹽醃漬過的肉，感覺變得比較乾。**我們推測：應該是肉類的水分因為鹽分的透析作用而使水分釋出而減少，肉的重量應該也會減輕。**

(2)依據圖 5-1-2 的實驗，我們知道鹽度大約第 4 天就可以達到最高。

(3)我們取 2 個肉條加約 10%的鹽，紀錄鹽漬前的重量，4 天後再記錄鹽漬後的重量。實驗過程、結果和說明，如圖 5-1-7 所示。



圖 5-1-7 肉經過鹽漬後重量減少變化關係說明圖

(4)從圖 5-1-7 的實驗：

我們發現：肉經過加鹽醃漬後，重量確實會減少，應該會釋出水分。

《研究二》不同小米比例製作醃肉的變化關係

從《研究一》的實驗中，**我們發現：製作醃肉的過程中，一定要加入高比例的鹽巴(大約 6%)，可以防止肉品的腐壞！**因此，後續的實驗，我們將以固定 6%比例的鹽，再探討不同肉和小米比例製作醃肉的變化關係。

(一)研究過程

- 1.先準備一些豬肉條(豬里肌肉)，大小重量幾乎相同；再準備一些小米。
- 2.肉和小米的比例為：(1 比 1)、(2 比 1)、(3 比 1)。
- 3.煮小米的時候，**為了控制變因**：煮的時間控制為 3 分鐘，最後再撈起沖水降溫、濾乾、擰乾。
- 4.將製作好的醃肉，分小罐裝填密封，存放在沒有日照，溫度相同的防潮箱裡面。
- 5.分別記錄 2~14 天的變化關係。研究過程，如圖 5-2-1 所示。

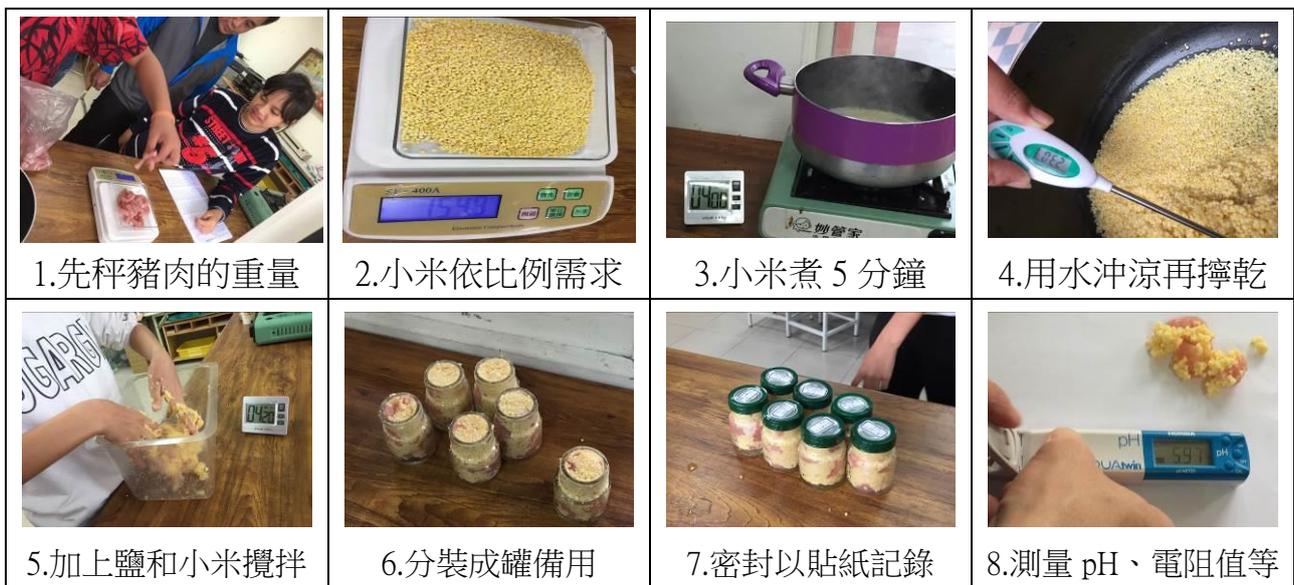
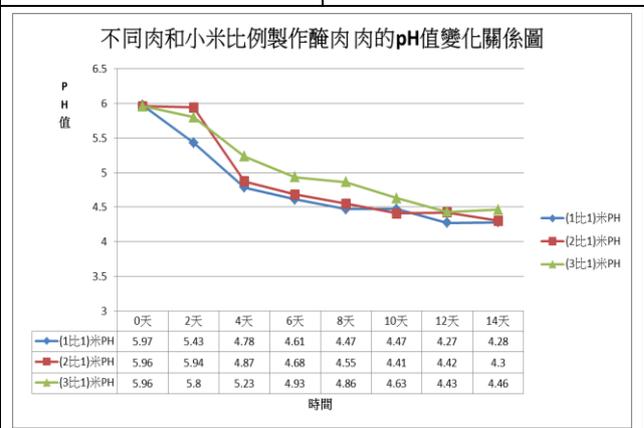
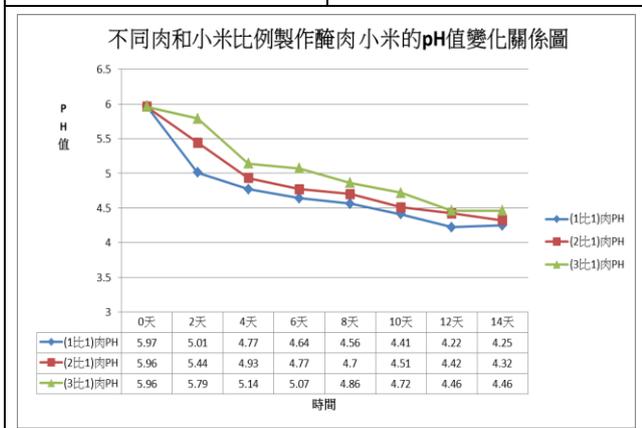
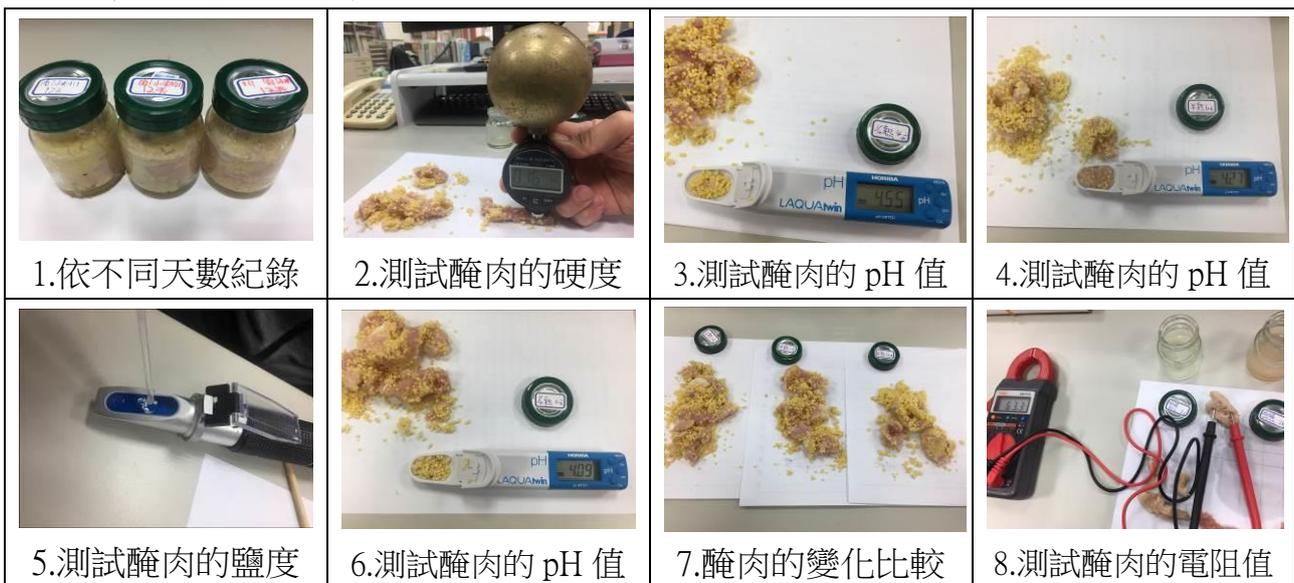


圖 5-2-1 不同小米比例製作醃肉過程說明圖

(二)研究結果

1.我們陸續實驗測試，經過 14 天後(每二天一次)，將醃肉製作的變化過程記錄下來，如圖 5-2-2 所示。



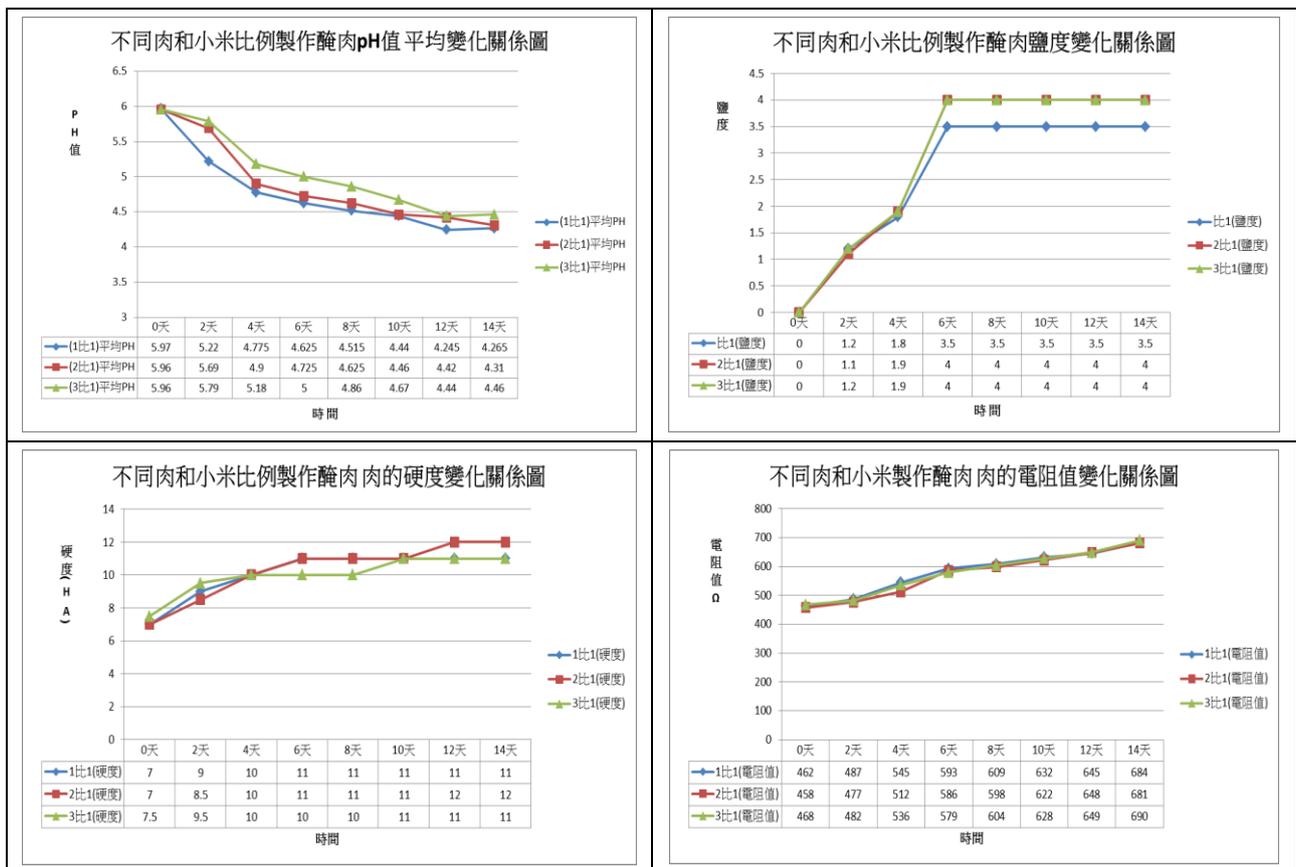


圖 5-2-2 不同小米比例製作醃肉變化關係結果說明圖

2.從圖 5-2-2 的研究結果，我們發現：

- (1)尚未醃製的肉，pH 值大約在 5.97 左右，偏微酸性，是新鮮的肉品。
- (2)製作醃肉的小米，隨著醃製時間越久，pH 值越低。肉和小米的比例約 1：1 時，小米的 pH 值最低。大約在第 6 天時，pH 值可降至 4.6 以下。
- (3)製作醃肉的肉，也是隨著醃製時間越久，pH 值越低。肉和小米的比例 1：1、2：1 時，大約 6-8 天，pH 值可以降到約 4.6 以下。肉和小米的比例 3：1 時，要等到第 10 天，pH 值才會降至 4.6 以下。
- (4)製作醃肉時，小米的比例越高，可以幫助 pH 值快速的降低。
- (5)製作醃肉時，鹽度大約在 0-6 天時，慢慢上升；第 6 天以後，鹽度就幾乎固定，不再升高，大約在 3.5 到 4 左右。
- (6)製作醃肉時，肉的硬度隨著醃製時間越久，硬度越硬，大約從 7HA 上升到 12HA 左右，我們推測：肉應該是變熟了。
- (7)製作醃肉時，肉的電阻值測試，隨著醃製時間越久，電阻值越高，大約從 460 Ω 上升至 685 Ω 左右。但是，肉和小米的比例，對電阻值的變化影響並不大。

(三)討論

1.為什麼醃肉的 pH 值會下降？是因為鹽巴？肉？還是小米的作用？

- (1)從《研究一》的實驗結果發現：肉加鹽巴，不管比例多少，pH 值並不會下降。
- (2)我們推測：會不會是小米的發酵，讓 pH 值下降？
- (3)我們以小瓶罐裝入煮半熟(小米和水的比例 1：0.6)的小米，觀察 0~12 天的小米 pH 值變化關係，如圖 5-2-3 所示。

(4)我們發現：小瓶罐中只有小米，pH 值並不會像醃肉一樣持續下降。

再討論：是不是因為裡面的水分不足，pH 值無法下降？(因為肉含有水分)

(5)我們繼續測試，如果將小米煮全熟(小米和水的比例 1：1.2)，會不會讓 pH 值下降呢？

(6)實驗測試結果如圖 5-2-3 所示。

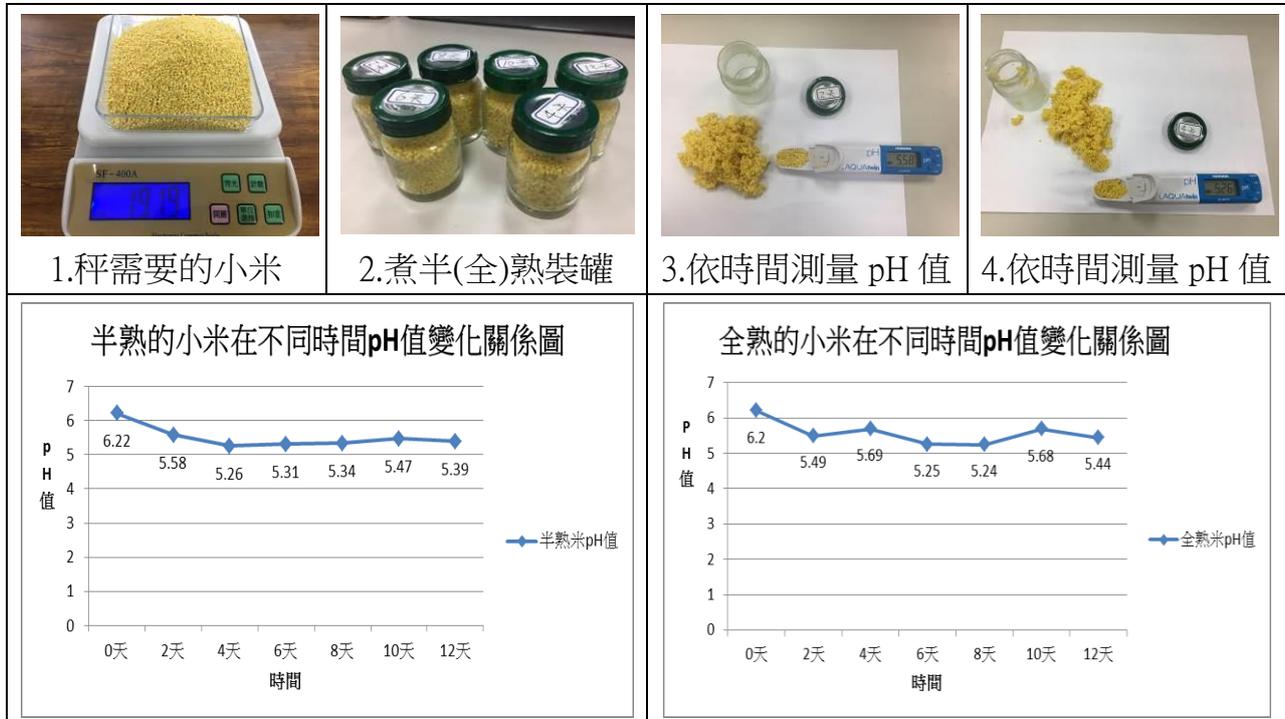


圖 5-2-3 小米 pH 值的變化關係實驗結果說明圖

(7)從圖 5-2-3 的實驗結果，我們發現：醃肉製作過程中，小米並不是醃肉過程中 pH 值下降的原因。

(8)依據「發酵原理」的資料討論，我們推測：

- 因為小米的主要成分是澱粉(多糖)，因為肉的微生物、蛋白質和水分，使澱粉水解成為葡萄糖。
- 隨後，葡萄糖在無氧條件下，在真菌細胞內發生糖酵解代謝，將葡萄糖分解成為酒精和二氧化碳；已經生成的酒精再被氧化成為醋酸。
- 因此在發酵過程開始時，可以保留少量空氣，以便使食用真菌利用有氧呼吸提供的大量能量快速繁殖，加快發酵速度。然而在真菌增殖後，就應該防止更多氧氣進入，以致葡萄糖被氧化成二氧化碳或者醱糟變酸。
- 發酵過程中最好也不要打開瓶罐，一來氧氣會進入，二來可能引起雜菌污染。
- 所以，應該是「小米和肉的結和產生發酵的化學反應」，才會讓醃肉的 pH 值下降。

~ 佩服阿嬤的智慧與經驗 ~

- 當我們要製作「不同小米比例和醃肉製作的變化關係」實驗時，我們以四種肉和小米的比例(1：1)、(2：1)、(3：1)、(4：1)，讓阿嬤看，請阿嬤指點迷津。

2.阿嬤以他的經驗判斷，直接就說：

- (1)肉和小米的比例 1：1，小米的量太多了，浪費小米了。
- (2)肉和小米的比例 2：1，剛剛好，符合阿嬤的經驗。
- (3)肉和小米的比例 3：1，小米較少，但還可以接受。
- (4)肉和小米的比例 4：1，阿嬤說，會壞掉，罵我們浪費食物。

3.在阿嬤面前，我們不敢浪費食物，只好另外再實驗。

4.肉和小米的比例 4：1 製作醃肉的變化關係實驗，和其他比例一同比較，結果如圖 5-2-4 所示。

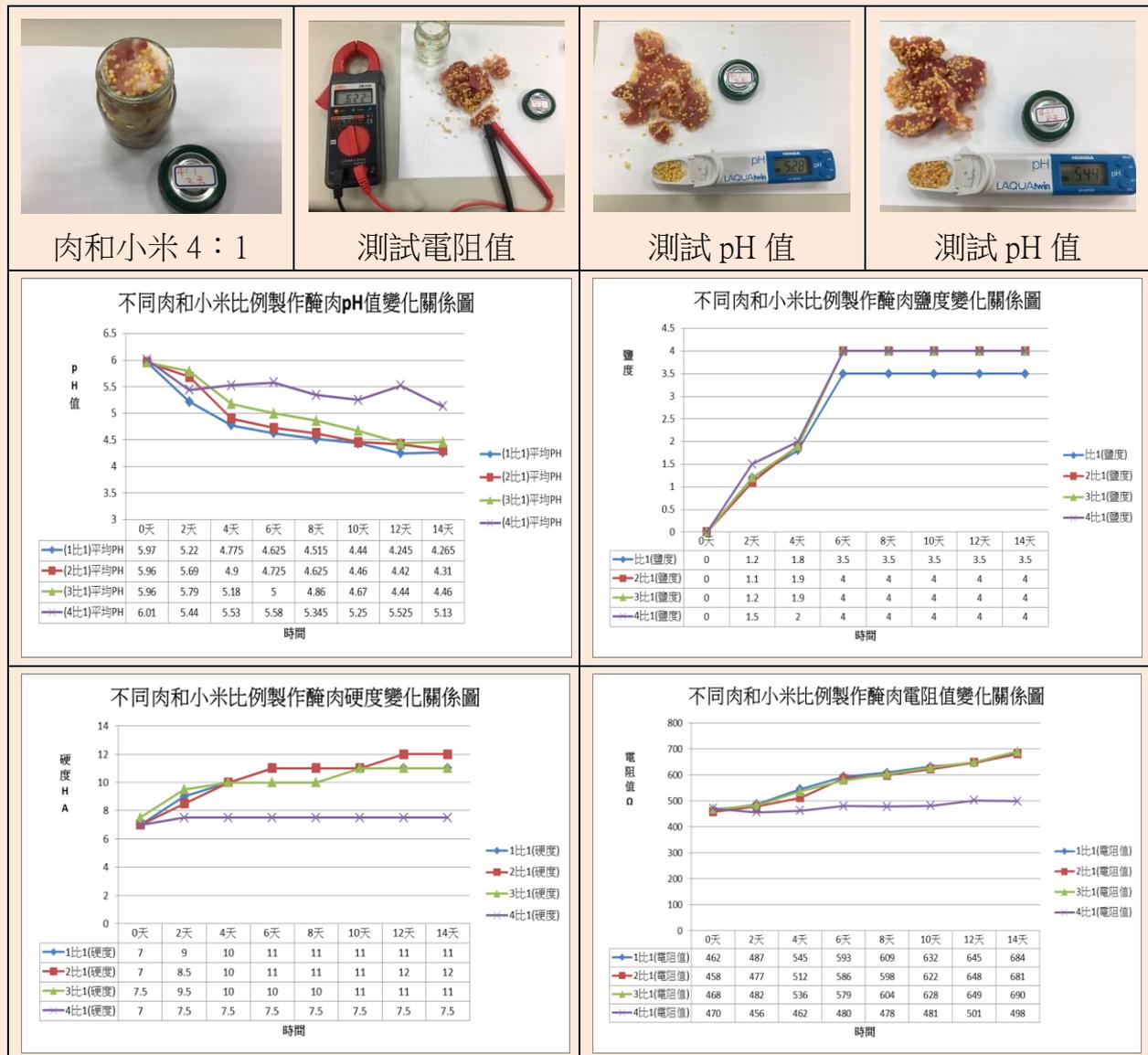


圖 5-2-4 肉和小米 4：1 比例和其他比例變化比較關係圖

5.從圖 5-2-4 的研究結果，我們發現：

肉和小米的比例 4：1 時，醃肉的 pH 值無法下降至 4.6 以下，雖然外觀沒有腐壞現象，但已經有一些腐臭味了。

我們只能說：阿嬤的經驗，真的太厲害了，讓人佩服！

《研究三》不同熟度的小米飯和醃肉製作的變化關係

部落阿嬤告訴我們，製作醃肉時，小米要煮半熟就好？為什麼只要煮半熟？阿嬤也說不出個所以來，小米可以全熟嗎？或者是生的米呢？如何知道米的熟度呢？

(一)研究過程

- 1.先控制變因，將肉和小米的比例固定為 2：1。
- 2.以小米和水的重量比例來控制熟度。例如：小米：水=1：1.2 設定為全熟；小米：水=1：0.6 為半熟；小米：水=1：0.3 為 1/4 熟。
- 3.繼續上一個步驟，統一將小米煮沸 2 分鐘(因為量少，很快就煮沸了)，悶 10 分鐘，放冷至常溫。
- 4.依肉的比例加入 6%的鹽和不同熟度的小米，充分攪拌約 5 分鐘。
- 5.分裝成罐，進行後續的測試、實驗與記錄。
- 6.實驗過程如圖 5-3-1 所示。



圖 5-3-1 不同熟度小米和醃肉製作過程說明圖

(二)研究結果

- 1.我們將圖 5-3-1 的研究，後續記錄 12 天，研究結果如圖 5-3-2 所示。
(其他測試過程、步驟、方法同圖 5-2-2。)



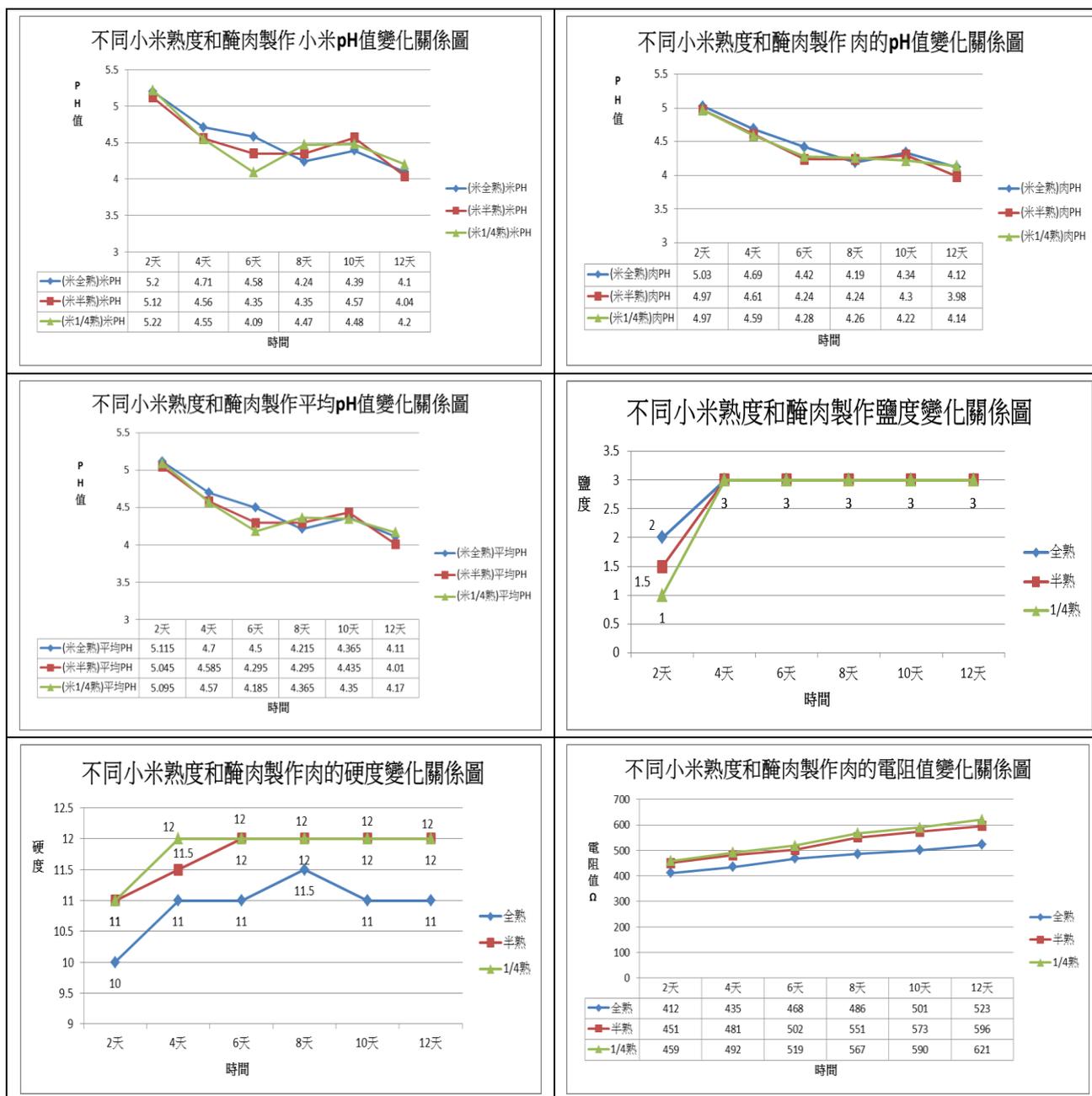


圖 5-3-2 不同小米熟度和醃肉製作變化關係結果說明圖

2.從圖 5-3-2 的研究結果，我們發現：

- (1)不同小米熟度製作醃肉的小米，小米半熟(或 1/4 熟)時，大約 4 天的時間，小米的 pH 值，即可降至約 4.6 以下。
- (2)不同小米熟度製作醃肉的肉，大約需要 6 天的時間，肉的 pH 值，即可降至約 4.6 以下，最低可降至約 4 左右。
- (3)不同小米熟度製作醃肉時，小米的熟度，對醃肉的 pH 值影響不大，pH 值的變化關係都差不多。
- (4)不同小米熟度製作醃肉時，鹽度大約在 0-4 天時，會慢慢上升；第 4 天以後，鹽度就幾乎固定，不再升高，大約在 3 左右。
- (5)不同小米熟度製作醃肉時，肉的硬度隨著醃製時間越久，硬度越硬，大約從 7HA 上升到 12HA 左右；當小米全熟時，醃肉的肉質比較濕，也會出水，硬度

也比較小。

(6)不同小米熟度製作醃肉時，肉的電阻值測試，也是隨著醃製時間越久，電阻值越高；當小米全熟製作醃肉時，電阻值比較低。

(三)討論

1.為什麼部落阿嬤教我們，泰雅原住民要用半熟的小米製作醃肉？

(1)以全熟的小米製作醃肉時，每次打開小玻璃罐，都會發現比較有水分，可能是因為小米全熟了，小米就比較不會吸水。

(2)從前面的鹽漬實驗中，我們推測：肉因為加入鹽，會讓肉失去水分，半熟的小米剛好可以吸水，應該可以延長保存醃肉。

2.如果用生的小米，可以製作醃肉嗎？

(1)我們延續前面(圖 5-3-1)的實驗步驟，用生的小米來製作醃肉，測試醃肉製作的變化關係。

(2)生小米製作醃肉的實驗結果，如圖 5-3-3 所示。

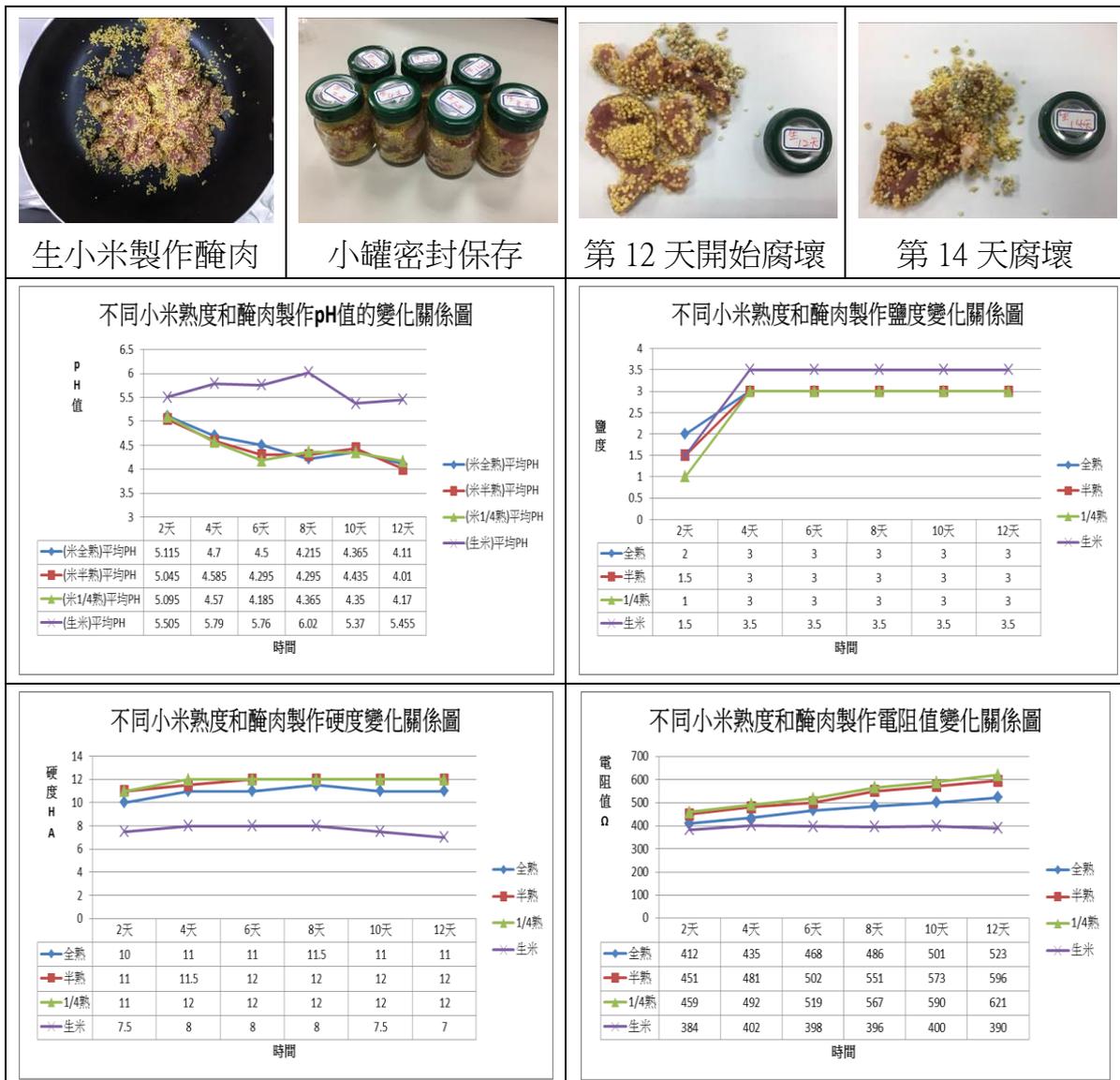


圖 5-3-3 以生小米製作醃肉的變化關係結果說明圖

(3)從圖 5-3-3 的實驗結果，我們知道：

- a.用生米製作醃肉，pH 值無法下降至 4.6 以下，無法有效保存醃肉。
- b.用生米製作醃肉時，大約第 10 開始，就已經出現腐臭味，甚至開始發霉了。

《研究四》不同種類的米飯和醃肉製作的變化關係

製作醃肉時，一定要用小米嗎？用其他的米飯也可以製作醃肉嗎？其他米飯製作醃肉時，變化會不一樣嗎？

(一)研究過程

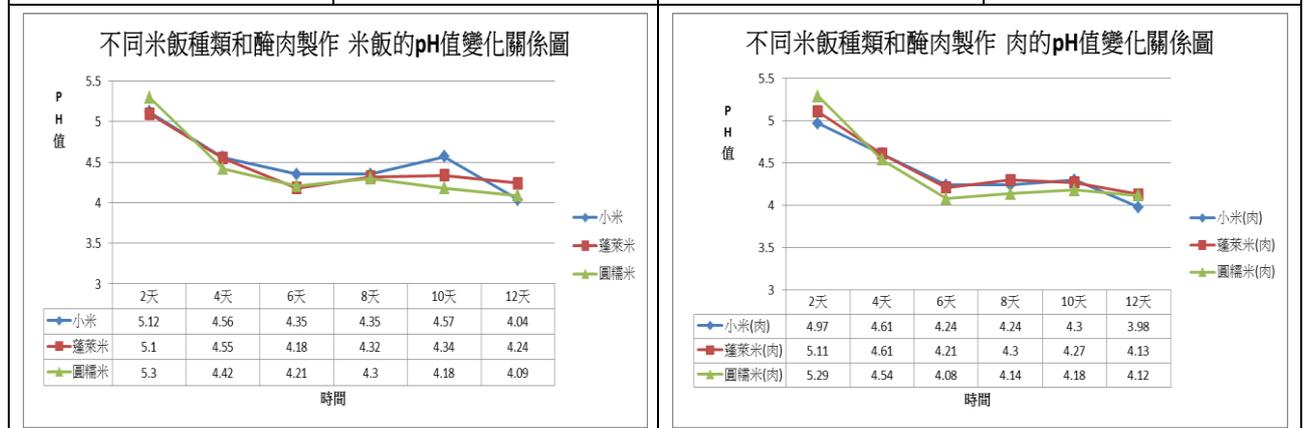
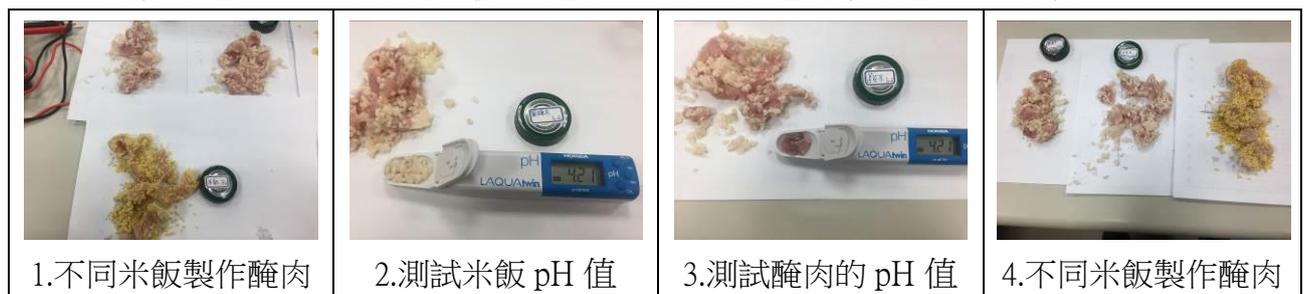
- 1.準備小米、圓糯米、蓬萊米，這三個種類的米來進行測試和比較。
- 2.先控制變因，固定加入 6%比例的鹽，肉和小米的比例為 2：1，小米的熟度為半熟(小米：水=1：0.6)，米煮沸 2 分鐘再悶 10 分鐘，放冷至常溫。
- 3.充分攪拌後分裝成罐，以利後續的測試記錄。實驗步驟、過程和方法，同圖 5-3-1。
- 5.實驗過程說明，如圖 5-4-1 所示。



圖 5-4-1 不同種類米飯製作醃肉過程說明圖

(二)研究結果

- 1.我們將圖 5-4-1 的研究，後續記錄 12 天，研究結果如圖 5-4-2 所示。



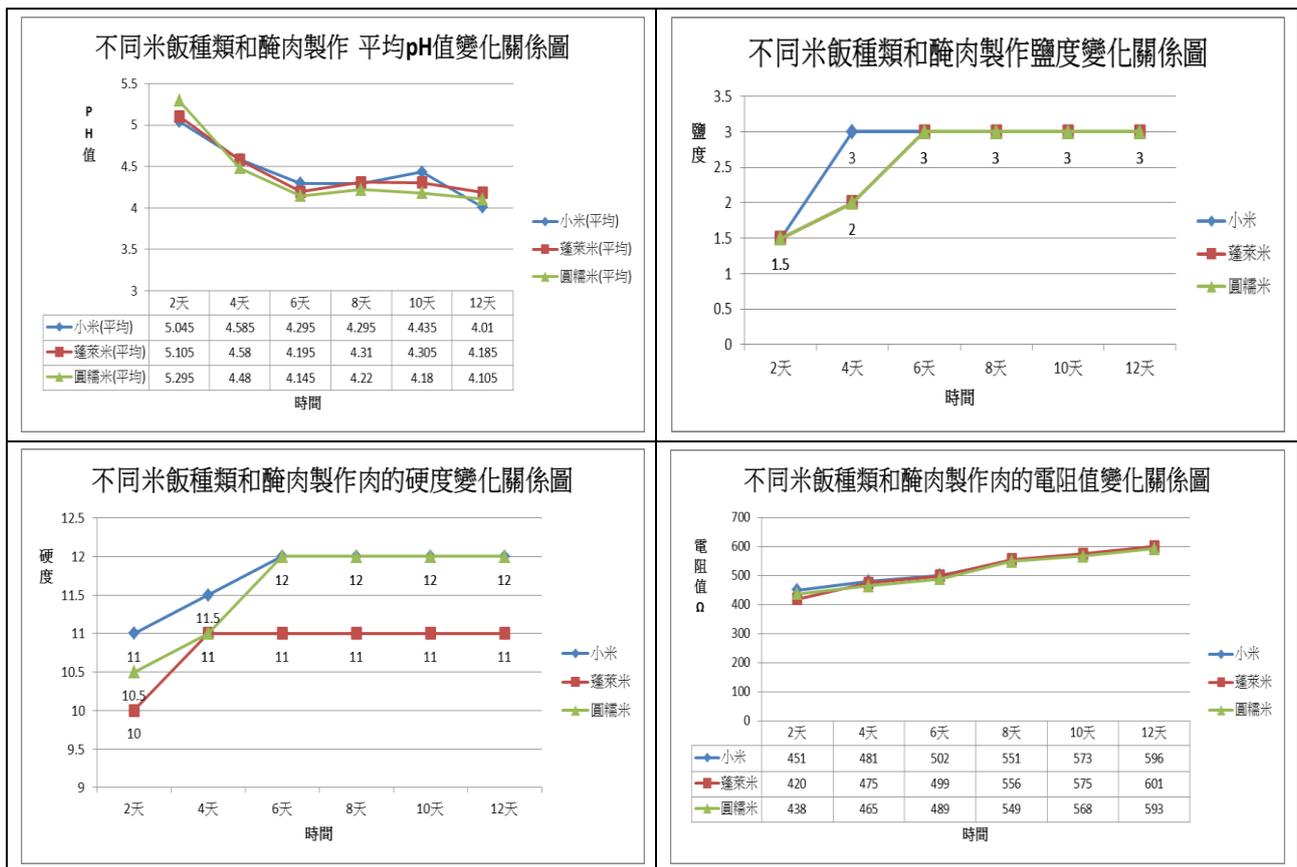


圖 5-4-2 不同米飯種類和醃肉製作的變化關係結果說明圖

2.從圖 5-4-2 的研究結果，我們發現：

- (1)不同米飯種類製作醃肉時，大約 4 天的時間，各種米飯的 pH 值，皆可降至約 4.6 以下，而且隨著醃製的時間越久，pH 值也幾乎會越低。
- (2)不同米飯種類製作醃肉時，大約 4-6 天的時間，醃肉的 pH 值，皆可降至約 4.6 以下，而且隨著醃製的時間越久，pH 值也幾乎會越低。
- (3)不同米飯種類製作醃肉時，鹽度大約在 0-4 天時，會慢慢上升；第 4 天以後，鹽度就幾乎固定，不再升高，大約在 3 左右。
- (4)不同米飯種類製作醃肉時，肉的硬度隨著醃製時間越久，硬度越硬，大約從 7HA 上升到 11~12HA 左右。
- (5)不同米飯種類製作醃肉時，肉的電阻值測試，也是隨著醃製時間越久，電阻值越高。
- (6)我們認為：只要是含有澱粉的米飯，都可以用來醃肉。

(三)討論

- 1.其實任何米飯，都可以用來製作醃肉的，為什麼我們泰雅原住民，都是用小米來製作醃肉？我們推測：**(也和部落阿嬤討論)**
 - (1)原來，早期的泰雅原住民族，小米是最重要的主食，在取得上最為便利。
 - (2)小米在原住民的生活中，是最重要的食物；而醃肉則是餽贈給貴賓或重大節慶才會有的吃的食物，所以就以小米來製作。

《研究五》不同 pH 值的溶液和肉的變化關係

經過資料查詢，蛋白質變性不只是會由加熱引起，也會因為極端的 pH 值（強酸或強鹼）而發生。我們知道強酸、強鹼會使蛋白質變性，是因為強酸、強鹼可以使蛋白質中的氫鍵斷裂。所以，我們想試著將肉浸泡在不同酸度的溶液中，觀察肉的變化關係。

(一)研究過程

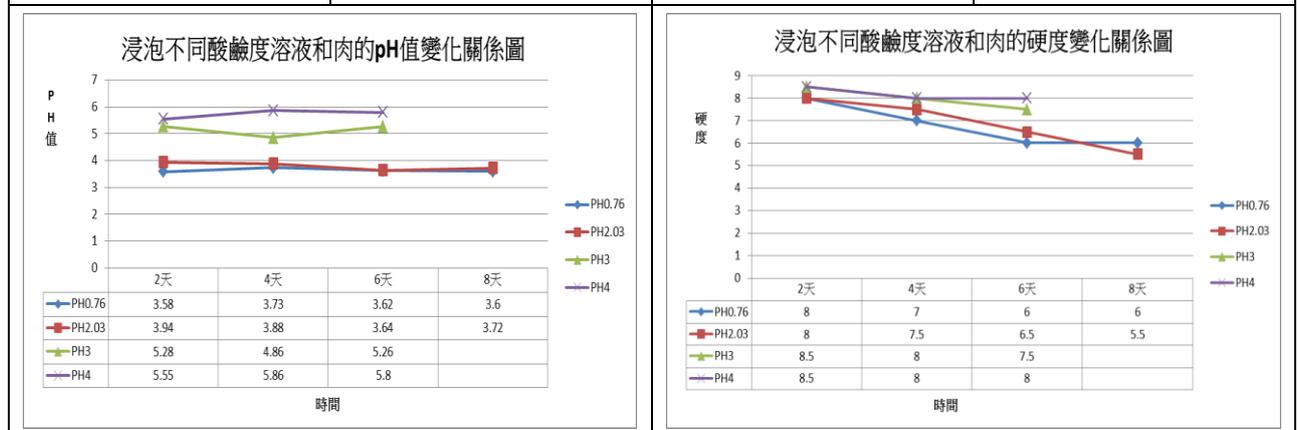
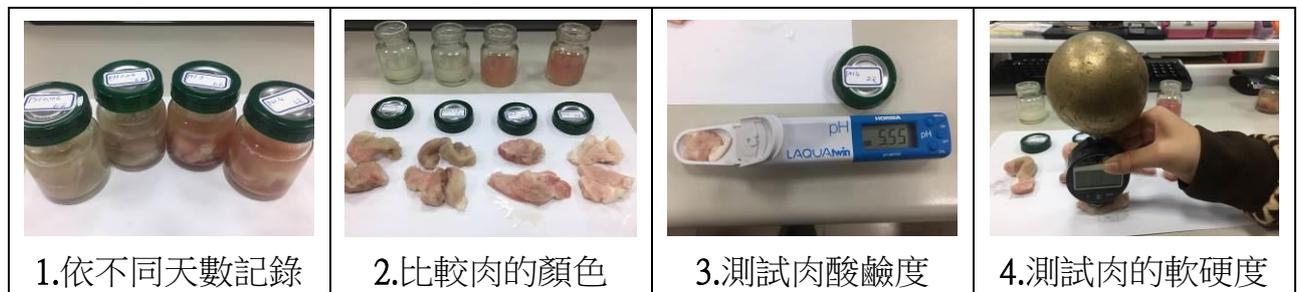
1. 利用市面上容易購買的檸檬原汁，來調出不同 pH 值的溶液。
2. 檸檬原汁的 pH 值，經過測試只有 0.79。
3. 加入水的稀釋，調出 pH 值為 0.79、2.03、3、4 的檸檬汁溶液。
4. 將肉浸泡在不同 pH 值的檸檬汁溶液中。
5. 記錄 2-8 天肉的變化關係，實驗過程說明，如圖 5-5-1 所示。



圖 5-5-1 不同 pH 值溶液和肉的變化關係實驗過程說明圖

(二)研究結果

1. 我們將圖 5-5-1 的研究，後續記錄 8 天，研究結果如圖 5-5-2 所示。



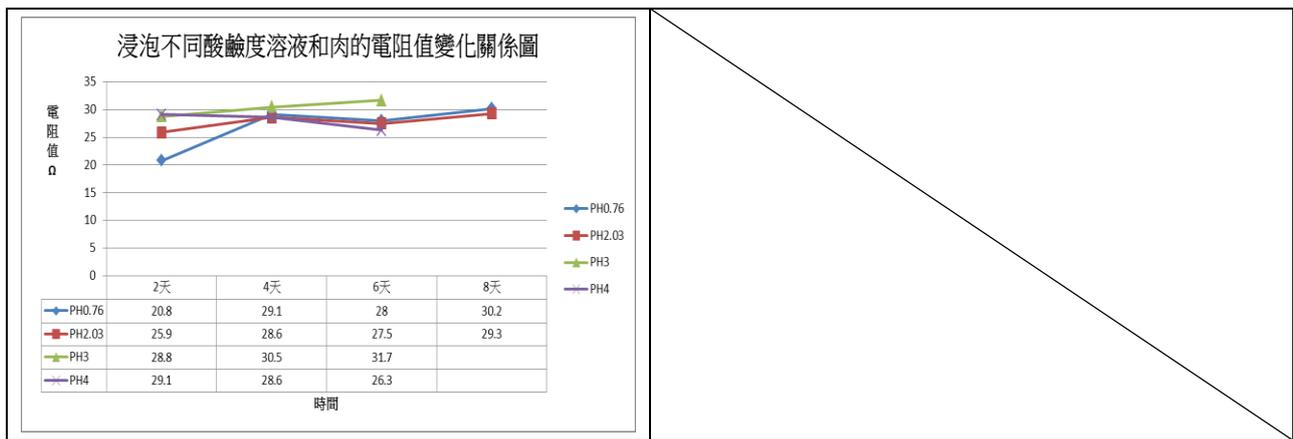


圖 5-5-2 不同 pH 值溶液和肉的變化關係結果說明圖

2.從圖 5-5-2 的研究結果，我們發現：

- (1)肉浸泡在 pH 值 3、4 的溶液中，大約到第 8 天，就已經腐壞了。
- (2)肉浸泡在越酸(pH 值越低)的溶液中，肉的 pH 值也就越低。
- (3)肉浸泡在 pH 值比較低的溶液中，肉的軟硬度變的比較軟；當肉浸泡在 pH 值 0.76、2.03 的溶液中，肉的顏色變得比較白，肉卻更軟了。
- (4)肉浸泡在不同 pH 值的溶液中，電阻值變的非常小。

(三)討論

1.肉浸泡在 pH 值 3 或 4 的溶液中，為什麼會腐壞？

我們推測：

- (1)因為檸檬原汁要調出 pH 值 3 或 4 的溶液，要加入很多的水才能稀釋，因此容易腐壞。

2.肉浸泡在 pH 值較低的溶液中，肉的軟硬度為什麼會變軟？

- (1)經過資料查詢：羅白特·沃克，所著，料理科學：大廚說不出的美味秘密，150 種有趣的烹飪現象與原理判斷。
- (2)使肉軟嫩的浸泡法，幾乎都與酸有關；酸能夠讓肌肉組織中的蛋白質產生解構（變性）。
- (3)酸度越高，肉類的最佳軟化時間也越短。

3.為什麼電阻值變小了？

我們推測：

- (1)肉因為浸泡在酸性溶液中，充滿了水溶液，更加容易導電了。

《研究六》不同酒精度溶液和肉的變化關係

經過資料搜尋：蛋白質溶液加入大量有機溶劑(例：乙醇、丙酮)，則蛋白質分子之水合狀態被破壞，因而集結沉澱，使蛋白質變性。

我們想測試肉浸泡在不同濃度的酒精中，會發生怎樣的變化？

(一)研究過程

- 1.同《研究五》的實驗步驟，將酸性溶液換成不同濃度的酒精溶液。
- 2.用水稀釋酒精，酒精濃度為 95%、47.5%、31.6%。
- 2.實驗過程、步驟和說明，如圖 5-6-1 所示。



圖 5-6-1 不同酒精度溶液和肉的變化關係實驗過程說明圖

(二)研究結果

- 1.我們將圖 5-6-1 的研究，後續記錄 8 天，研究結果如圖 5-6-2 所示。

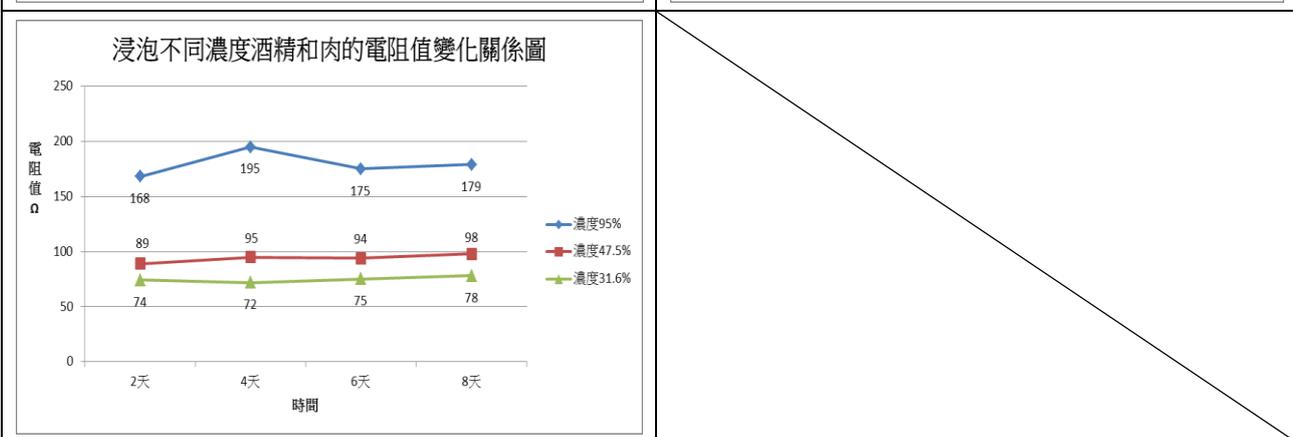
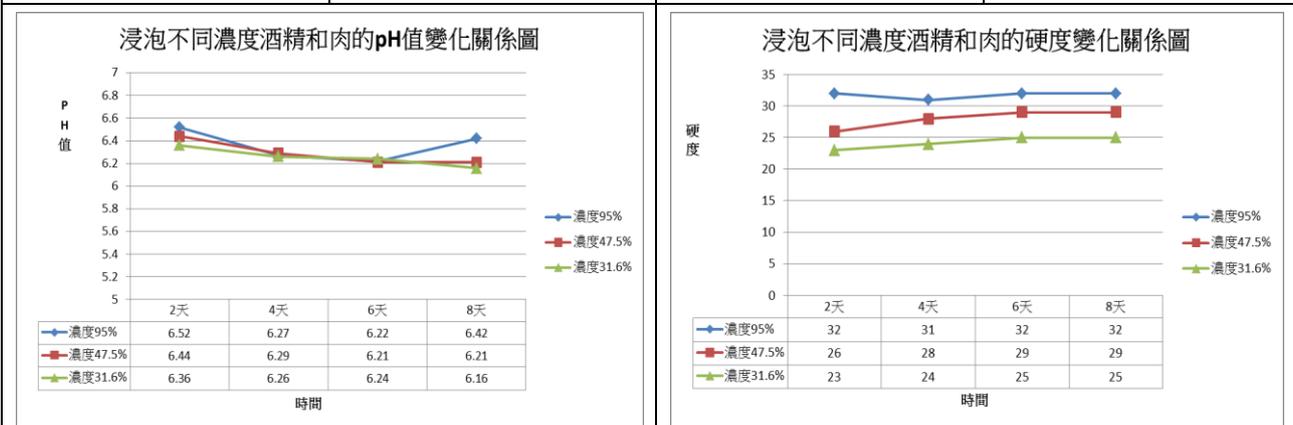
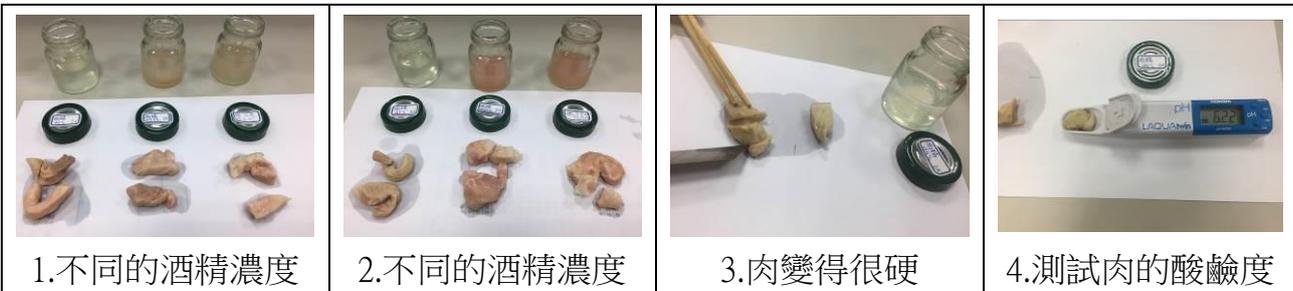


圖 5-6-2 不同酒精度溶液和肉的變化關係結果說明圖

2.從圖 5-6-2 的研究結果，我們發現：

- (1)不管肉浸泡在酒精濃度多少的溶液中，pH 值大約在 6.16~6.52 之間。
- (2)肉浸泡在酒精濃度越高的溶液中，肉的硬度越高：浸泡在濃度 95%的酒精中，硬度達到 32HA。
- (3)肉浸泡在酒精濃度越高的溶液中，電阻值也越高；相反的，肉浸泡在酒精濃度越低的溶液中，電阻值越低。

《研究七》醃肉可以存放多久

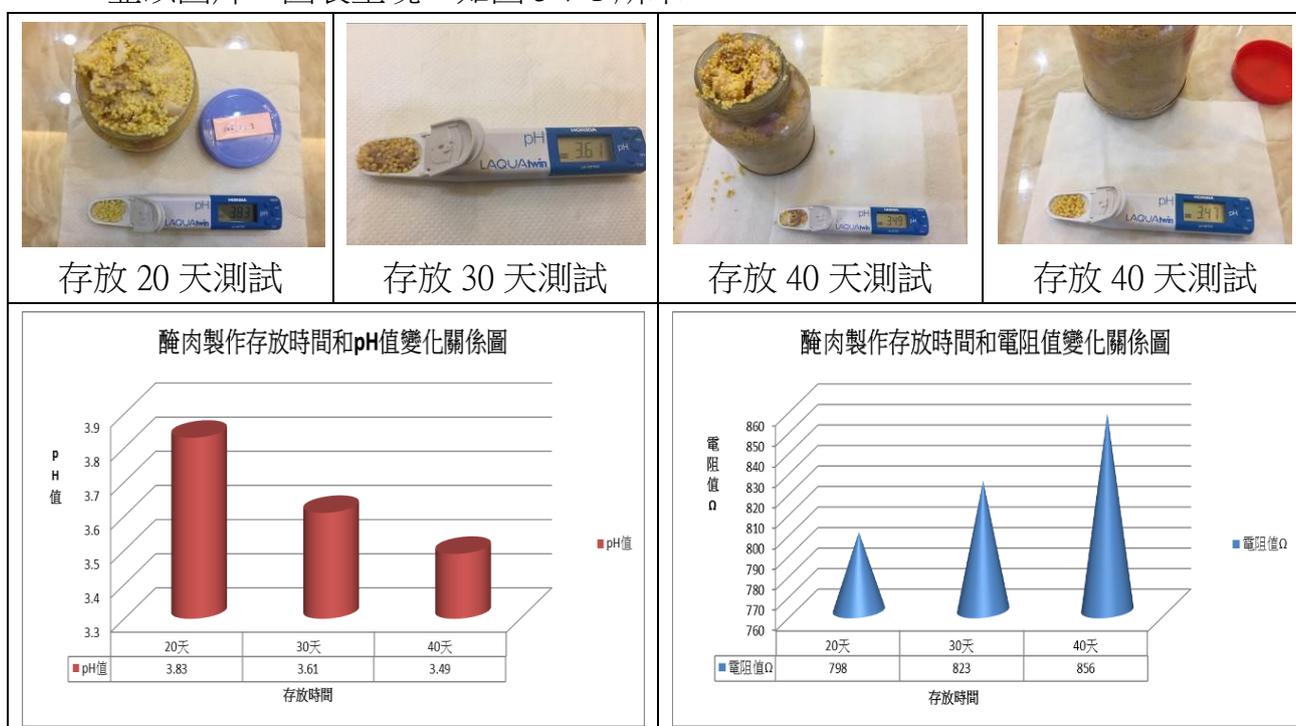
通常，我們醃肉製作完成，都會存放約 10 天左右，就迫不及待地想要享用，而且很快就吃光了。所以，我們也不知道醃肉到底可以存放多久，我們這次要測試要放一個月以上，看看醃肉的變化關係。

(一)研究過程

- 1.我們利用學校辦理遊學課程發表研討會，泰雅醃肉 DIY 的機會，在之前練習的時候，多做了幾罐，故意將存放時間延長，預定存放 20 天、30 天、40 天。
- 2.依據上述實驗數據，肉加鹽的比例為 6%、肉和小米比例為 2：1、小米的熟度為半熟。

(二)研究結果

- 1.我們記錄醃肉 20、30、40 天的保存結果，測試 pH 值、鹽度、硬度和電阻值，並以圖片、圖表呈現，如圖 5-7-1 所示。



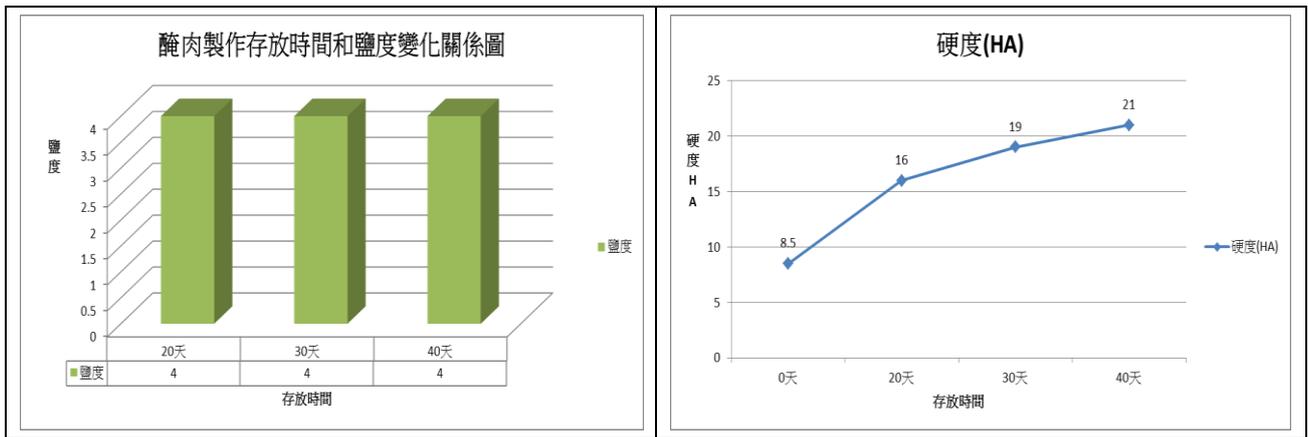


圖 5-7-1 醃肉保存時間的變化關係實驗說明圖

2.從圖 5-7-1 的研究結果，我們發現：

- (1)醃肉製作，存放時間長達 40 天，而且時間越久，pH 值越低。
- (2)醃肉存放時間越久，電阻值越大。
- (3)我們發現：鹽度都是 4，並不會因為存放時間越久而改變。鹽度應該是到一定程度之後，就不會再改變了。
- (4)從這個研究我們知道：醃肉應該可以存放超過 40 天，對於完全沒有防腐劑的食品來說，應該是夠久了。《我們也越來越佩服我們泰雅祖先的智慧了》

(三)討論

1.早期原住民醃肉存放時間是多久？

- (1)阿嬤告訴我們：以前醃肉都不會放太久，因為很快就吃完了。
- (2)阿嬤特別叮嚀我們，醃肉開封後，沒有吃完就必須放冰箱，放半年都沒問題。

2.肉的硬度測試。

- (1)這次實驗所使肉的部分不同，為五花肉，且厚度比較厚，硬度測試的結果和之前的有些不一樣。
- (2)但是，硬度還是隨著醃製時間越久，硬度越大。

《研究八》醃肉熟了嗎

我們原住民的經驗中，醃肉製作完成存放大約 10 天，開封立即食用，並未經過烹煮，醃肉熟了嗎？我們找了很多資料，知道肉品是否變熟，大多是以外觀和軟硬度來判斷。生肉是粉紅色或紅色的，質地柔軟而有嚼勁；全熟的肉已經變成褐色或灰色，質地非常堅硬結實。

(一)研究過程

- 1.以顏色的變化來判斷。
- 2.以硬度的測試來比較。
- 3.以生活經驗來判斷。

(二)研究結果

1.先以顏色來判斷，我們比較生肉和不同醃製時間肉的顏色變化，如圖 8-1-1 所示。

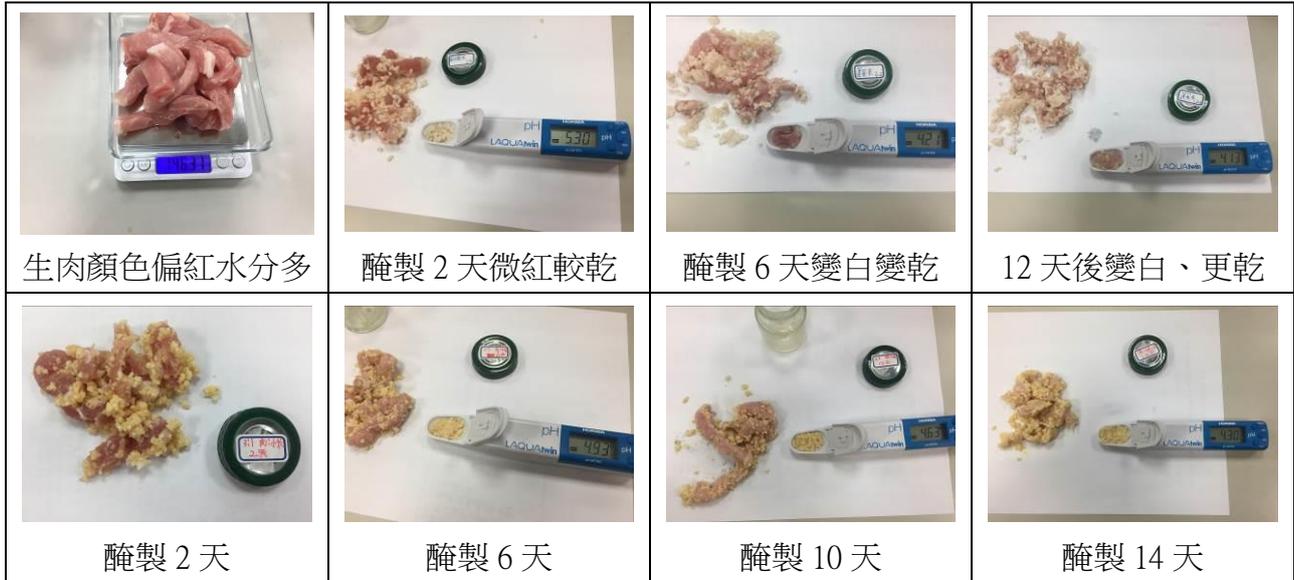


圖 8-1-1 不同醃製時間醃肉的顏色變化比較圖

2.從圖 8-1-1 的比較結果，我們發現：

肉的醃製時間越久，肉的顏色就會比較白，而且看起來水分比較乾。

3.接下來，再以硬度來比較，從圖《5-1-2》、《5-2-2》、《5-2-4》、《5-3-2》、《5-3-3》、《5-4-2》的研究發現：不管是不同比例的小米、不同種類的米飯或是不同熟度的小米製作醃肉時，**醃肉的硬度會從大約 7HA 上升到約 12HA，硬度的測試值(HA)有變大的現象。**

(三)討論

1.肉的熟度和電阻值有關？

(1)從前面的實驗中，我們發現：醃肉的時間越久，電阻值確實會稍微偏高一些，但並不是有非常明顯的變化。

2.還有其他的方法，可以測試肉的熟度嗎？

(1)部落阿嬤告訴我們：要知道肉是不是熟了，可以用筷子刺看看，如果肉可以很容易就刺穿，就是已經熟了。

3.阿嬤說：曾經將醃肉存放約**半年**的時間唷！還是沒有腐壞。

4.但是，醃肉放太久的時候，肉變得又酸又比較硬，比較不好吃，所以通常都只放 14 天左右而已。

陸、結論

「叻瑪麵」是泰雅原住民的醃肉

泰雅原住民運用經驗和智慧，用「鹽」和「半熟的小米」醃製成既酸又鹹的醃肉製品。

食物保存原理

1. 加鹽的比例，大約為肉重量的 6%，否則容易腐壞。
2. 食鹽不僅會導致食品脫水，降低微生物可以使用的水分，更會使微生物因滲透壓而無法繁殖，且食鹽中的氯離子對微生物有直接毒性，因此可延長保存時間。

食品加工原理

1. pH 值低於 4.6 以下的酸性食品，會使大部分的細菌無法生長。

蛋白質變性原理

1. 蛋白質受物理或化學因素的影響，改變其分子內部結構和性質的作用。
2. 應用蛋白質變性的化學方法：強酸、強鹼、重金屬鹽、乙醇等。

發酵原理

1. 澱粉因為和肉的微生物和蛋白質產生作用，變成葡萄糖，再將葡萄糖分解成爲酒精和二氧化碳，已經生成的酒精再被氧化成爲醋酸。
2. 因為發酵作用，讓小米和肉互作用，變酸也變熟，才可以長期保存。

肉和小米的比例關係

1. 肉和小米至少要 3:1 以上的比例，醃肉的 pH 值才會降至 4.6 以下。
2. 再結合原住民的經驗，肉和小米以 2:1 為最佳。

小米的熟度和醃肉的關係

1. 小米必須先煮過才可製作醃肉，以半熟最佳。可以用水量，控制小米的熟度。
2. 傳統經驗以半熟的小米製作醃肉，應該是讓小米吸收醃肉的水分。

米的種類和醃肉的關係

1. 任何米飯(含有澱粉)種類，都可以來製作醃肉。
2. 原住民會以小米醃肉，主要是因為小米是原住民較珍貴且特別的食材。

酸鹼度溶液、酒精濃度和肉的蛋白質變性

1. 肉浸泡在 pH 值越低的酸性溶液中，越容易可以讓肉變性，會使肉變得軟。
2. 肉浸泡在濃度 95% 的酒精裡，很快就變性了。濃度越高的酒精溶液，會使肉變得更硬。

醃肉的保存

1. 常溫保存可以放置超過 40 天，而且時間越久，pH 值越低。
2. 醃肉如同罐頭食品，開封食用後，必須冷藏保存。

柒、延伸思考與應用

一、「醃肉科學」與「遊學課程」的結合

- 1.結合學校的遊學課程，將我們泰雅醃肉的科學原理，配合傳統武塔部落的文化，變成 DIY 的教學活動。
- 2.學校利用寒假期間辦理全國遊學課程講習活動，我們擔任小小解說員，將泰雅醃肉 DIY 教學活動在現場發表與製作，活動過程，如圖 7-1-1。



圖 7-1-1 武塔部落辦理遊學課程講習活動說明圖

二、發展原住民(武塔)部落的特色

- 1.每個民族都有其特殊的食物保存方式，例如：客家的鹹豬肉、靠海的鹹魚…等，原住民的醃肉，似乎很多和人都不曾吃過。
- 2.很多原住民的特有文化應該要保存。「醃肉」可以發展成為部落的教學課程之一，部落裡會做醃肉的長老很多，但卻從來沒有人將這個的科學原理記錄下來。
- 3.「醃肉」，如果可以發展成為部落的特色課程，讓來參觀的遊客自行 DIY，甚至現場品嚐，相信是很棒的文化傳承與交流。

三、野外活動的食物保存

- 1.目前野外活動相當盛行，例如：露營野營、登山健行，往往需要 3-5 天的行程，如果可以延伸「醃肉」的製作，小罐封裝，對於需要高體力的活動，每天都可以補充蛋白質和鹽分。
- 2.對於喜好野外活動的朋友們，「醃肉」是一項很不錯的食物保存方式，在野外蒸煮、火烤，別有一番風味。

四、醃肉美食的變化與應用

- 1.對於一般漢民族來說，也許看到原住民吃「醃肉」，覺得好像很奇怪；但事實上，「醃肉」卻是泰雅原住民的佳餚，更是款待上賓的特色風味。
- 2.其實，醃肉的美食可以有很多的變化唷，例如：水煮、清蒸、火烤；還可以炒青菜、炒洋蔥、夾麵包…等。**非常歡迎美食節目可以來採訪喔！**

- 3.我們請媽媽幫忙，將我們的構想變化出一道道美味可口的醃肉美食。
- 4.沒錯，以前大家都只吃原味的醃肉，沒想到可以變化出這麼多美味佳餚，而且炒煮的過程中，都不需要再加鹽巴了，味道剛剛好！
- 5.醃肉變化應用的美食，如圖 7-4-1 所示。

			
香烤醃肉	蒸煮醃肉	醃肉炒洋蔥	醃肉炒飯
			
醃肉烘蛋	醃肉炒高麗菜	蔥蒜醃肉	原味切片醃肉

圖 7-4-1 泰雅醃肉特色風味菜色說明圖

捌、參考資料

- 一、泰雅勇士 數位教材資源網 <http://www.yyps.tyc.edu.tw/e-hunter/07/07/0709.html>
- 二、不老部落 <http://blog.yam.com/bulaubulau/article/36359767>
- 三、科學小原子 泰雅醃肉 <https://www.youtube.com/watch?v=eGjhT2Y4j3w>
- 四、飛鼠部落-第三屆、第六屆華碩科教獎 <http://www.yabit.org.tw/index.php>
- 五、泰雅美食區 <http://blog.ilc.edu.tw/blog/blog/8778/post/27180/136528>
- 六、寒溪地區美味料理-醃肉 <http://yabit.org.tw/WOLF/PDF/053-cheng.pdf>
- 七、中央通訊社報導 <http://food.cna.com.tw/eatandplay/20150326S005.aspx>
- 八、維基百科-蛋白質
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%9B%8B%E7%99%BD%E8%B4%A8>
- 九、維基百科-肉類食物
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%82%89%E7%B1%BB%E9%A3%9F%E7%89%A9>
- 十、食力 <http://www.foodnext.net/life/lifesafe/paper/4470321383>
- 十一、邵氏硬度計的使用方法 http://www.seafar.cn/zh-tw/seafar_Affiche_315927.html
- 十二、泛科學變質容易保存難-食物保存技術大解密 <http://pansci.asia/archives/109873>
- 十三、維基百科 pH 值 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/PH%E5%80%BC>