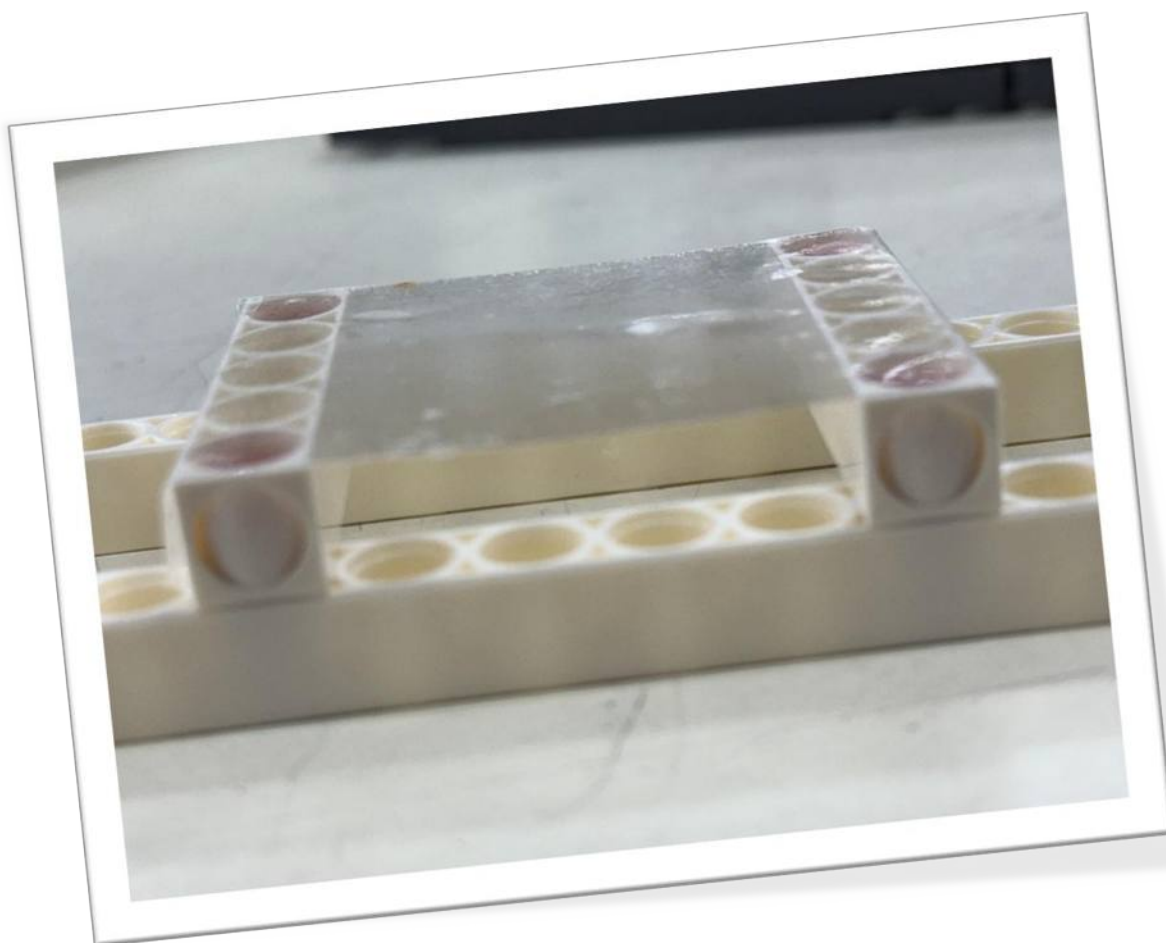


「膜」力全開— 自製環保薄膜



學生：蕭欣彤、張懿、劉思涵、林恩平、黃靖錄
指導老師：黃鑠茜老師

摘要

本研究探討以海藻酸鈉與明膠為基礎的環保薄膜之成膜效果、物理性質及應用潛力。首先在交聯反應中，發現海藻酸鈉 1.5%~2.5%與氯化鈣 1%~2%可成功成膜，最佳組合為 2.5%海藻酸鈉與 6%明膠以 2:1 比例混合，搭配 3.5%氯化鈣交聯效果最理想。添加物方面，8%甘油可提升薄膜韌性與穩定性，GDL (0.5 g) 則在兼顧抗拉與抗穿刺強度間具良好平衡，若強調穿刺強度則以 2 g GDL 最佳。環境因素部分，含甘油薄膜在冷藏或冷凍下穩定，但不適用微波；在酸性或中性環境中穩定，而鹼性環境則加速分解。應用上，薄膜能有效延長食品保鮮期限、調控水分、延緩氧化，具備應用於食品包裝及生醫敷料的潛力。最後，實驗證實其於自然環境中可逐步分解，尤以掩埋條件下效果更顯著，展現其作為環保材料的可行性。

第壹章 緒論

第一節 研究動機

每次只要走近超市的冷藏區，總是會看見琳琅滿目的生鮮食品，上面包了一層又一層的塑膠保鮮膜，但保鮮膜不容易在自然情況下分解，不能重複利用的保鮮膜則會對環境造成極大的汙染與傷害。因此我們想從自然界中尋找並製作不含塑膠成分、能自然分解的薄膜。也因為資優班有做過相關的分子料理實驗，所以我們決定利用海藻酸鈉和氯化鈣等成分來製作環保的食品包裝膜。

第二節 研究目的

- 一、探討薄膜交聯反應與組成比例
- 二、探討環境溫度對薄膜性質之影響
- 三、探討酸鹼環境下薄膜穩定性
- 四、探討海藻酸鈉與明膠混合凝膠於食品包裝膜的應用
- 五、探討自製環保薄膜自然分解的效果

第三節 名詞解釋

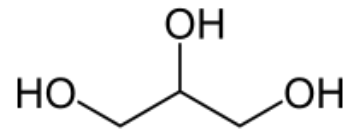
明膠：明膠（Gelatin），又稱吉利丁、動物膠，是由動物皮膚與骨骼中的膠原蛋白水解而成的天然膠體，屬於不可逆水解形式的蛋白質。其外觀為淺黃色透明，無味，具良好保水性與膠凝特性。明膠主要應用於食品、藥品及化妝品中，常見於軟糖、棉花糖、冰淇淋及優格等食品，能作為增稠劑、膠凝劑及高蛋白來源。其使用方式通常為顆粒或片狀，需以 60 - 70℃ 熱水預溶。

海藻酸鈉：海藻酸鈉是從褐藻如海帶或馬尾藻中提取碘與甘露醇後的副產物，具高黏度，常作為食品增稠劑、乳化劑、穩定劑等，也廣泛應用於醫藥、紡織與造紙等領域。其分子含有大量—COO—，在水溶液中具聚陰離子特性，具有黏附性並可作為藥物載體。海藻酸鈉對 pH 具敏感性：在酸性條件下親水性降低，鹼性條件下則增加。它可在溫和條件下與 Ca^{2+} 、 Sr^{2+} 等二價陽離子交聯形成凝膠與半透膜。

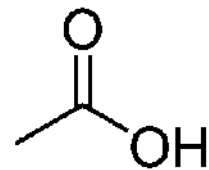
凝膠：凝膠是一種由分子間交互作用形成的三維網狀結構，具有穩定、不流動的特性，可表現為柔軟或堅硬的黏彈性材料。根據交聯方式可分為物理性與化學性凝膠：物理性凝膠具有可逆性，能隨溫度、pH 等變化於溶膠與凝膠間轉換；化學性凝膠則為不可逆，常透過熱或光等能量進行交聯。凝膠內部常含大量液體，無流動性，應用上具有良好的吸水性與穩定性。例如彈性凝膠如明膠，失水後體積縮小，但可再次吸收水分膨脹。此特性有助於薄膜材料的水分調控與機械穩定性，適合應用於可吸水、具結構彈性的包裝薄膜研發。

交聯作用：交聯作用是指許多分子（一般為線型分子）相互交聯成網狀結構的較穩定分子的反應，這種作用使線型或輕度支鏈型的大分子轉變成立體網絡結構。反應中的鍵結多是氫鍵，藉由交聯作用可使高分子聚合物變得有彈性或變硬。當聚合物藉由交聯作用連接在一起，他們失去一些他們作為單獨聚合物移動的能力。

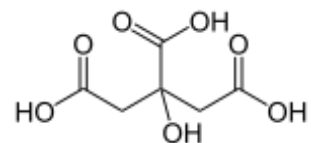
甘油：甘油主要存在於被稱為甘油酯的脂質中，通常從植物和動物來源獲得，其中它以三酸甘油酯、甘油與長鏈羧酸的酯形式存在。可與水混溶並具有吸濕性，還廣泛用作食品工業中的甜味劑和藥物配方中的保濕劑。



醋酸：醋酸又稱乙酸，是一種有機化工原料，主成分為醋，可用來當漂白劑。醋酸也被用來當作除垢劑。米或馬鈴薯搗碎後發酵生成，也存在於蘋果酒或葡萄酒混合穀物、麥芽中。



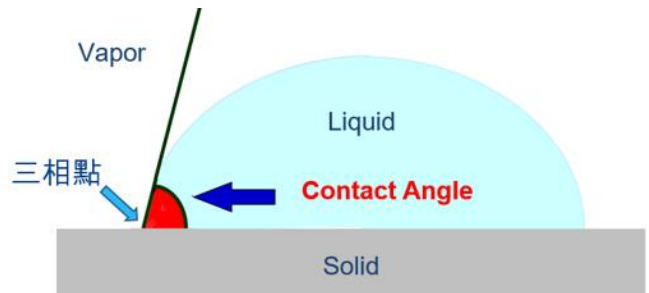
檸檬酸：檸檬酸是自然在柑橘類水果中產生的一種天然防腐劑，也是食物和飲料中的酸味添加劑。此外，它也是一種對環境無害的清潔劑。



許多蔬果都含有檸檬酸，尤其柑橘屬水果通常含有大量檸檬酸，例如檸檬和青檸，其乾燥後檸檬酸含量可達 8%。

葡萄糖酸內酯：葡萄糖酸內酯，在食品工業用作酸化劑，純品為白色粉末狀無味結晶。存在於水果，紅酒，蜂蜜中，酸度是檸檬酸的三分之一，用於製造豆花、嫩豆腐的凝固劑、烘焙食品、降低 pH 值可幫助抑菌效果。

接觸角：接觸角（Contact Angle）是液體與固體表面接觸時，液體表面與固體表面之間所形成的角度。這個角度反映了液體對固體表面的濕潤性，通常是液滴在固體表面上形成的角度。接觸角的大小可以用來描述液體與固體表面之間的相互作用強度，進而推測表面的特性，如親水性或疏水性。



精志科技

市售的 PE 保鮮膜：主要由聚乙烯（PE）材料製成。它具有良好的抗濕性、耐油性和透明性，常用於包裝食品或保鮮。常用於存放水果、蔬菜、肉類、海鮮等食物。不過市售 PE 保鮮膜屬於一次性塑料，使用後可能對環境造成負擔，因此在使用時也要注意環保問題。

市售的生物分解保鮮膜：市售的生物分解保鮮膜能在自然環境中分解。常見類型包括：PLA（聚乳酸）保鮮膜(植物糖類)、PHA（聚羥基脂肪酸酯）保鮮膜(微生物)、植物纖維基保鮮膜(木漿或甘蔗渣)、蠶絲蛋白膜(天然蠶絲蛋白)、澱粉基保鮮膜(玉米或土豆澱粉)。

第貳章 文獻探討

一、海藻酸鈉製膜科展作品探討

作品名稱	研究摘要
好膜成雙-幾丁聚醣複合保鮮膜製作之探討 (第 60 屆科展)	成分：海藻酸鈉、幾丁聚醣、明膠蜂蠟、甘油、明膠、數化劑、S60 乳酸鈣 實驗流程： 1、調配出海藻酸鈉(甘油+明膠)、幾丁聚醣膜(蜂蠟+乳化劑+橄欖油)。 2、將海藻酸鈉膜液各取 70ml 並分別到入鐵盤中，再倒入等量乳酸鈣溶液交聯 15 分鐘，倒掉反應液。 3、接著再倒入幾丁聚醣膜液，並用 40 度烘烤 4 小時。 測試項目： 韌性、拉力、變形率、疏水性、酸鹼的影響、蒸發量 結果：以 2%幾丁聚醣與 2%海藻酸鈉複合膜，加入添加物甘油、明膠、蜂蠟、乳化劑和橄欖油，可有效防止吐司發霉，也可防止香蕉較慢變黑。 研究方向參考 優點：該作品將海藻酸鈉加入甘油和明膠，增加海藻酸膜的柔軟度；倒入鐵盤的製膜方式。 缺點：製作過程太過於繁複
把新鮮包起來-非塑料環保薄膜之研發 (第 60 屆科展)	成分比例：2%海藻膠糊液、添加 2%甘油、1.5%醋酸 實驗流程： 1、秤取 2g 海藻酸鈉，加入 100ml 的冷水中，以均質機攪拌 10 分鐘 2、添加甘油 2.0g，醋酸添加 1.5g。 3、抽真空後均勻塗抹在不鏽鋼板上。 4、將 10%的氯化鈣噴灑在海藻酸鈉表面 5、放入熱風乾燥機中進行乾燥(設定溫度：50℃，乾燥時間：4 小時)。 6、乾燥後取出冷卻至室溫。 測試項目： 不透明度、穿刺強度、抗拉強度、冷藏保鮮、微波蒸煮、貯藏性 研究方向參考 發現添加 2g 甘油和 1.5g 醋酸是最接近市售保鮮膜的材質和比例。
走塑入膜 (第 61 屆科展)	成分比例：2%海藻酸鈉、5% 乳酸鈣膜、20%甘油及 8%醋酸。 製膜流程： 1、2g 海藻酸鈉於 100ml 開水中攪拌至完全溶解，加入 20ml 甘油及 8ml 醋酸 2、再取同等量 5%乳酸鈣，約 10 分鐘可成膜。 3、用水沖洗掉盒內殘留的反應液，置於陽光下曬乾四小時，再置於室內自然乾燥後剝下。 測試項目：

	不同配方保鮮膜的防水性、耐溫性、耐酸性、透氣性、衝擊性、拉伸性、分解性、燃燒性。 結果： 海藻酸鈉加乳酸鈣的配方功能與市售保鮮膜相似，價格低廉，食物保鮮效果佳，包覆食物微波加熱時，不易脫落且保水性佳，可取代市售含塑保鮮膜。 研究方向參考 測試項目：不同配方保鮮膜的防水性、耐溫性、拉伸性、分解性。 成分比例：20ml 甘油及 8ml 醋酸增加柔軟性。
果然塑這樣 (第 63 屆科展)	成分比例：果膠：海藻酸鈉：甘油：純水以比例 1：1：4：100 實驗流程： 1、收集當季農業廢棄果皮，將果皮、切碎、水煮、過濾、沉澱、淡化、低溫烘烤製成果膠細粉。 2、果膠細粉、海藻酸鈉、甘油、純水以比例 1：1：4：100 混合，隔水加熱，倒入模具，66 度烘乾 20 個小時。 測試項目： 保鮮膜耐熱、耐冷、溶解度測試、冷凍後膠膜滲水、黴菌生長測試實驗、保鮮膜保濕實驗、薄膜拉力測試、保鮮膜生物降解實驗、保鮮膜之實測 結果：果膠與海藻酸鈉的製成的膜，其能於空氣中耐熱至少 122 度，會於 85 度熱水中部份溶解；經黴菌生長測試 13 日發現其不會於空氣中生長黴菌；經拉力測試發現添加橘子保鮮膜拉力佳且優於 PVC 保鮮膜；經滲水實驗發現柚子果膠保鮮膜的滲水速度最慢；經掩埋測試三週後可完全降解。 研究方向參考與優缺點 優點：該作品將自製果膠與海藻酸鈉混合製作成保鮮膜有別於僅使用海藻酸鈉製成膜的作法。 缺點：果膠薄膜雖不會生長黴菌，但保濕效果較 PVC 保鮮膜還要差。
不是魔法！ 用紙中 「膜」法創 造風華絕 「袋」-以海 藻酸鈉薄膜 混合自製環 保袋 (第 63 屆科展)	成分比例：0.5%海藻酸鈉、0.5%乳酸鈣 實驗流程： 1、將 0.5%海藻酸鈉水溶液加入添加物。 2、倒入 150mL 海藻酸鈉水溶液在托盤中。 3、噴灑 300mL 0.5%乳酸鈣水溶液在托盤上。 4、將薄膜放置 30 分鐘使其反應後將水倒掉並輕微擦乾薄膜後放入烘箱中 24 小時，溫度設定 40 度。 測試項目： 耐酸鹼度、耐油、耐溫、防水、載重、含水量、耐受性、縮小率 研究方向參考 1、水溶性衛生紙的添加可以增加薄膜的載重。 2、在鹼性溶液中，薄膜的強度明顯降低。 3、不同水溫和油的對薄膜載會降低載重量，但影響並不明顯。

二、海藻酸鈉與明膠製成的水凝膠膜相關研究

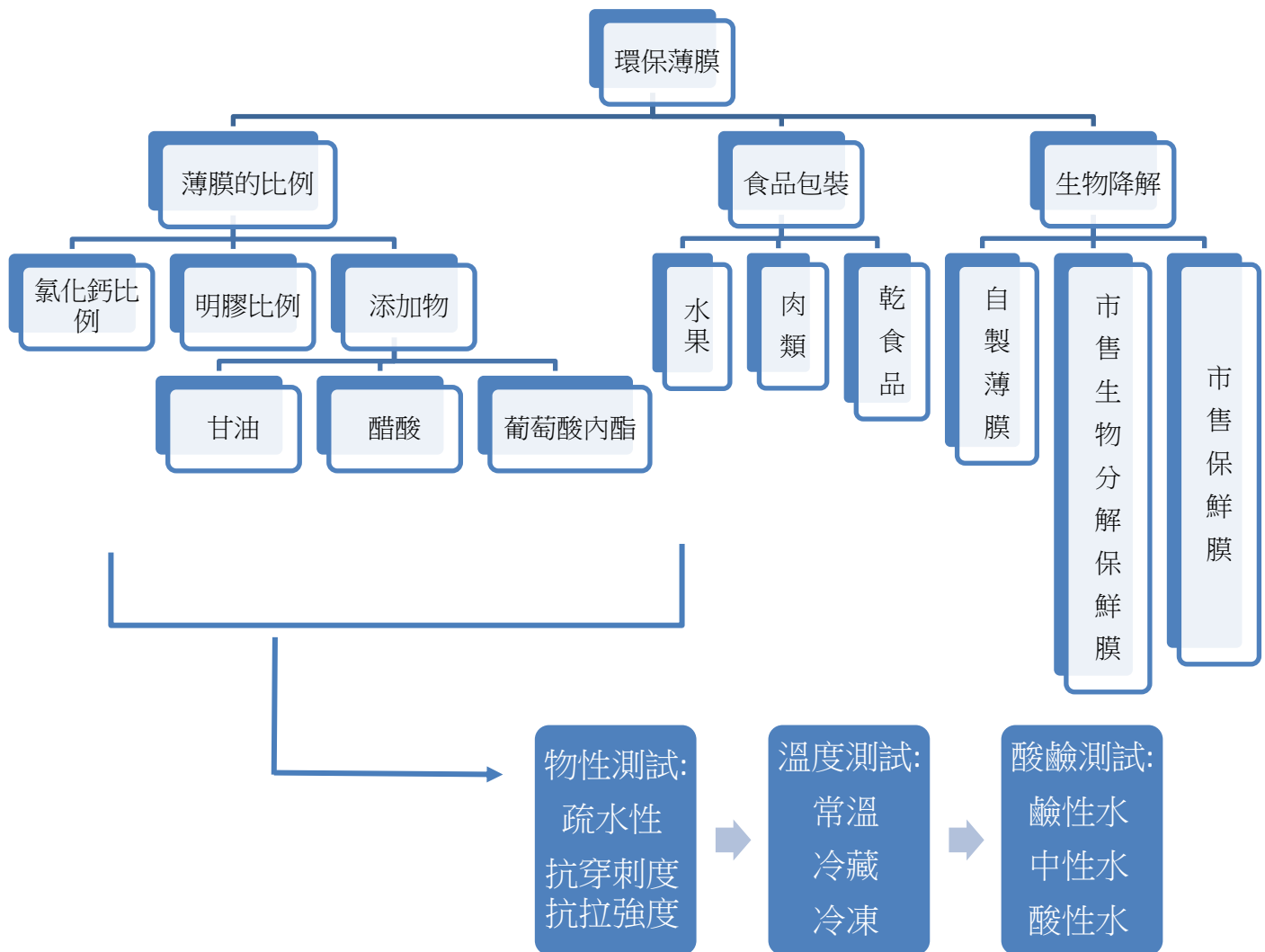
海藻酸鈉水凝膠膜的物理性質研究	內容摘要 水凝膠膜極易脫水收縮，三維網狀結構單一及熱機械性質較差等問題，具體以海藻酸鈉和明膠為成膜基材，以碳酸鈣和葡糖酸內酯為交聯劑，以流延法製備水凝膠膜。結果顯示：明膠和海藻酸鈉之間的作用力主要為氫鍵和聚電解質相互作用，明膠的引入有效改善了單一海藻酸鈉水凝膠膜的三維網絡結構，提高了水凝膠膜的凝膠含量和疏水性，增強了水凝膠膜的機械性能和熱性能，但明膠/海藻酸鈉的比例過大也會造成明膠與海藻酸鈉相容性和機械性能的下降。當明膠/海藻酸鈉的比例為 3：6 時，水凝膠膜的拉伸強度（29.6 MPa）、彈性模量（164.99 MPa）、凝膠含量（38.91%）和溶脹率（2942.50%）最高，此時水凝膠膜的物理性質最佳。
	研究方向參考 海藻酸鈉水溶液加上明膠，並以碳酸鈣與葡萄糖酸內酯進行交聯，會強化水凝膠膜的拉伸強度、彈性等。

三、海藻酸鈉製成容器之相關性研究

作品名稱	研究摘要
「囊囊」上口-新型水膠囊之研發 (全國科展第 63 屆)	最佳製作濃度為 3.0 %海藻酸鈉與 1.0 %氯化鈣溶液水膠囊耐重力為 1830 gw，是冰式水膠囊的 4 倍之多，耐拉力 755.8 gw、耐摔力 188cm、總溶解固體量 19.6
探囊取水-探討雙層膜水膠囊的製作方法、保存方法與各項測試 (全國科展第 61 屆)	理想濃度為 0.5~3.0%的海藻酸鈉水溶液與 0.8%、1.0%的氯化鈣水溶液組合。囊膜分解結果，經過 30 天，在空氣中可分解至僅剩 3.7%。 水質測試，雙層膜水膠囊水的 pH 值、總硬度、TDS 測試都符合飲用水質標準。
吃我一顆水球-探討無瓶水製造方式和性質檢測 (全國科展第 56 屆)	海藻酸鈉溶液應選擇 0.5 % ~2.0 % 濃度;氯化鈣溶液濃度至少 1.0 % 乳酸鈣水溶液濃度至少要 2.0 % 較易製作出水球膜。製作方式：純水冰加氯化鈣或乳酸鈣溶液再次結冰後，再浸置海藻酸鈉溶液中。
『膠囊』牙膏 (高中 110 年專題競賽)	將自製牙膏裝入市售膠囊殼中，接著在外層裹上海藻酸鈉，泡入氯化中，一小時後取出。 二次成膜：第一次成膜作法重複二次。 吸管成膜：把吸管剪短，放入內容物，過一段時間取出並用海藻酸鈉封口。

第參章 研究方法與架構

第一節 研究架構



第二節 研究材料與器材

海藻酸鈉、明膠、氯化鈣、醋酸、葡萄糖內酯、檸檬酸、果膠、保鮮膜、積木、電子秤、電子拉力秤、手機照相機、培養皿、塑膠滴管、燒杯、量筒、磁力攪拌器、玻棒、筆電、picpick、相關文書處理軟體。

第三節 資料蒐集方法及程序

一、文獻探討

從網路查詢並蒐集相關實驗結果，找出海藻酸鈉、氯化鈣、明膠、甘油、醋酸與葡萄糖內酯等材料在製膜上的可能適用比例範圍。

透過閱讀與整理相關文獻，將他人的研究成果作為本研究的基礎，進一步了解各種薄膜在抗拉性、抗穿刺性與疏水性方面的表現，並據此設計出一系列的實驗。

二、實驗研究法

透過一系列的實驗，找出最適合海藻酸鈉和明膠水溶液的比例以及製作流程，並且探討薄膜在不同溫度、不同酸鹼時的表現，接著進一步進行薄膜包覆測試，最後探討膠膜的自然分解的效果。

（一）探討薄膜交聯反應與組成比例

實驗 1-1 探討不同濃度下海藻酸鈉與氯化鈣交聯成膜的效果，找出最佳成膜比例

實驗 1-2 探討海藻酸鈉與明膠混合後，經氯化鈣交聯成膜的最佳混合比例

實驗 1-3 探討不同添加物對海藻酸鈉-明膠薄膜性質的影響

（二）探討環境溫度對薄膜性質之影響

實驗 2-1 探討不同溫度對海藻酸鈉-明膠薄膜的影響

（三）探討酸鹼環境下薄膜穩定性

實驗 3-1 探討不同酸鹼溶液中，海藻酸鈉-明膠薄膜的變化

（四）探討海藻酸鈉與明膠混合凝膠於食品包裝膜的應用

實驗 4-1 比較水果、肉類與乾食品以海藻酸鈉-明膠薄膜、市售保鮮膜包裝以及未包裝在冷藏下的保鮮效果

（五）探討自製環保薄膜自然分解的效果

實驗 5-1 探討自製環保薄膜在掩埋與曝露環境下，經不同天數後的降解情形

第參章 研究過程與討論

一、探討薄膜交聯反應與組成比例

實驗 1-1 探討不同濃度下海藻酸鈉與氯化鈣交聯成膜的效果，
找出最佳成膜比例

實驗步驟

- 1、調出濃度 0.5%、1%、1.5%、2.5%、3%的海藻酸鈉和濃度 1%、1.5%、2%、2.5%的氯化鈣。
- 2、將不同濃度的海藻酸鈉分別到入金屬的底盤中，並將其鋪平。
- 3、噴灑 10 毫升的氯化鈣，並靜置 10 分鐘進行交聯。
- 4、把反應液沖洗掉後脫膜。
- 5、放在室內自然陰乾。

實驗結果

海藻酸鈉 氯化鈣	0.5%	1%	1.5%	2%	2.5%	3%
1%						
1.5%						
2%						
2.5%						

發現

- 1、製膜過程調整：**在製膜初期，我們參考文獻中常見的鐵盤成膜法，選用金屬材質作為底盤。然而實驗中發現，交聯作用進行時，薄膜在乾燥過程中會快速收縮，影響膜的平整性。推測可能與底盤材質及表面不平整有關，導致溶液附著力不足。為改善成膜狀況，我們後續改以培養皿作為底盤，以增加液體附著性並減少收縮情形。
- 2、成膜濃度對應變化：**實驗發現，當海藻酸鈉與氯化鈣的濃度比例達(2%, 1%)時，膠膜開始出現明顯的收縮現象；隨著氯化鈣濃度提高，收縮程度也愈發明顯。特別是在海藻酸鈉和氯化鈣的濃度為(2%, 1%)、(2.5%, 2%)、(2.5%, 2.5%)、(3%, 2%)及(3%, 2.5%)等比例下，薄膜收縮最為明顯，顯示氯化鈣濃度與交聯強度呈正相關。
- 3、成膜性質分析與濃度選擇：**實驗結果顯示，海藻酸鈉濃度越高，所形成的薄膜越透明，但同時也變得較硬且脆；若濃度過低，則會導致薄膜太薄，無法有效包覆食品。另一方面，氯化鈣濃度越高，薄膜則越硬且不透明。為製作出理想中「透明且柔軟」的薄膜，我們篩選出海藻酸鈉的最佳濃度為 1.5%、2%與 2.5%；氯化鈣則選定 1%、1.5%與 2%進行接下來的實驗，並參考他人實驗中使用的 10%氯化鈣濃度進行後續對比分析。

小結

適合製膜的海藻酸鈉的重量百分比濃度 1.5%、2%、2.5%，氯化鈣濃度 1%、1.5%和 2%。

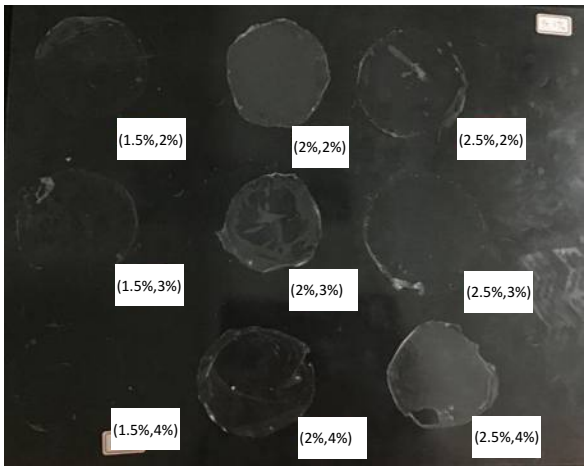
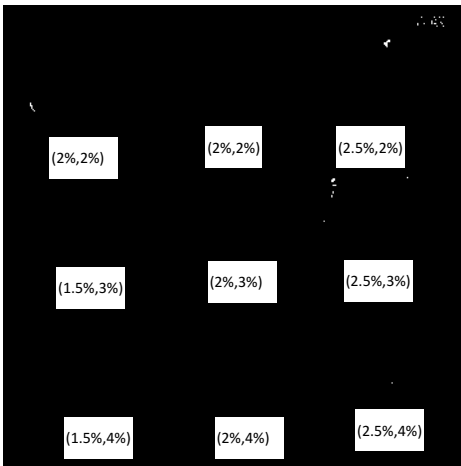
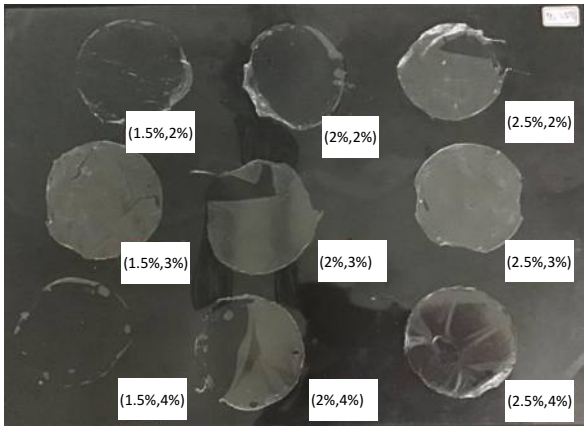
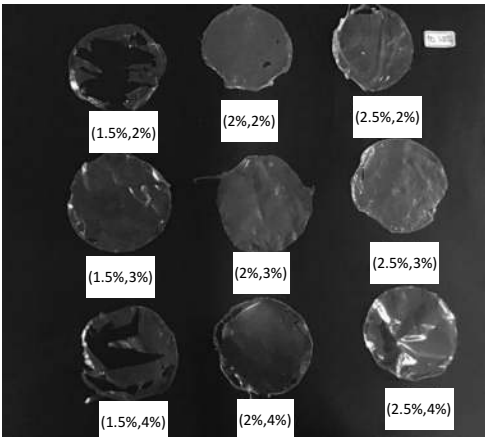
實驗 1-2 探討海藻酸鈉與明膠混合後，經氯化鈣交聯成膜的最佳混合比例

1-2-1 添加明膠後海藻酸鈉濃度實驗

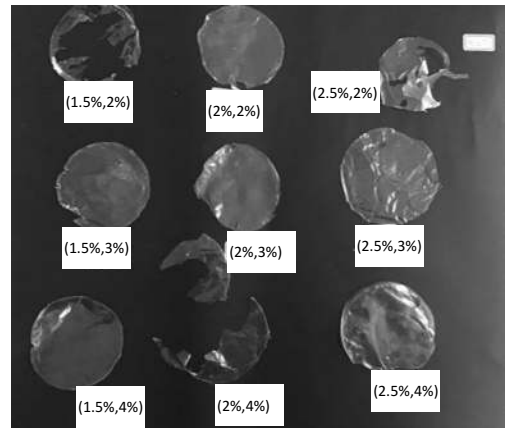
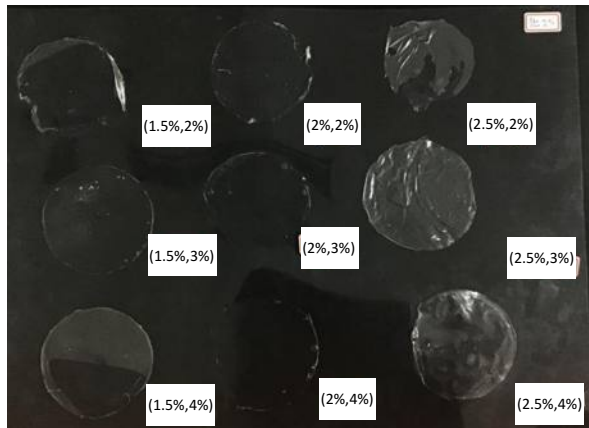
實驗步驟

- 1、調出百分比濃度 2.5%、2%、1.5% 的海藻酸鈉、2%、3%、4% 的明膠和 1%、1.5%、2% 的氯化鈣水溶液。
- 2、將 5ml 的明膠加入 10ml 的海藻酸鈉形成不同濃度配方的混和溶液。
- 3、把混和的溶液鋪平在培養皿上，接著均勻的把 10ml 的氯化鈣噴至培養皿。
- 4、最後等 10 分鐘後脫膜放置室內光滑平面上，等待自然乾燥。

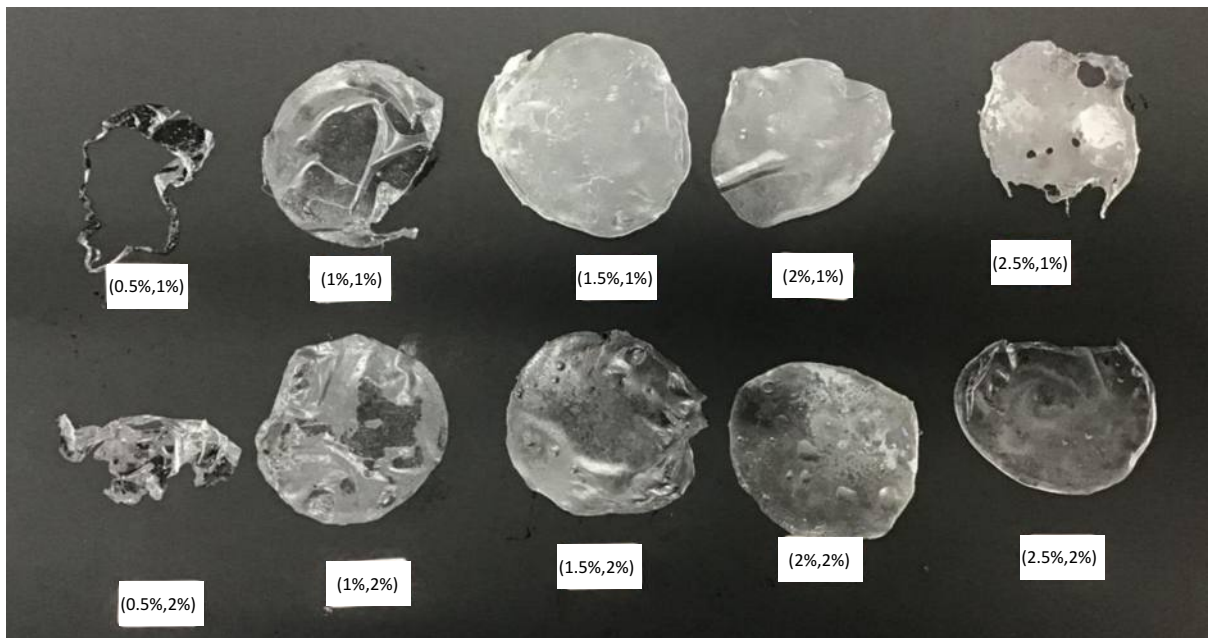
實驗結果

未脫膜	脫膜
氯化鈣 1%(海藻酸鈉濃度, 明膠濃度)	
	
氯化鈣 1.5%(海藻酸鈉濃度, 明膠濃度)	
	

氯化鈣 2%(海藻酸鈉濃度, 明膠濃度)

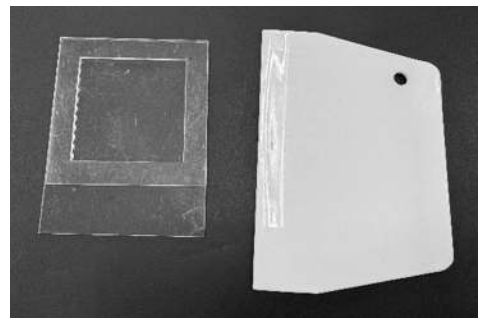


氯化鈣 10%(海藻酸鈉濃度, 明膠濃度)



發現

1、製作流程改進：在初期製膜時，我們將海藻酸鈉與明膠的混合溶液倒入培養皿中，盡可能維持薄膜層的均勻性。然而，由於溶液黏稠度不一，難以控制每次的量與厚度一致。為改善此問題，我們參考其他研究的方法，改採挖空且厚



度為 1mm 的壓克力板作為模板，使用刮刀將溶液均勻刮平，確保每次製得的薄膜厚度穩定一致。

2、明膠對膜性質的影響：實驗結果顯示，加入明膠後，薄膜的彈性與柔軟度明顯提升，整體觸感更佳；此外，薄膜的透明度也比未添加明膠的配方更高，外觀上更加清澈透明。

3、氯化鈣含量對物性影響：增加氯化鈣的濃度有助於提升薄膜的物理強度，使其更加堅固。然而，當濃度過低（如 1%）時，薄膜在脫模時容易脆裂；相對地，濃度過高（如文獻中的 10%）則會顯著降低薄膜的透明度。因此，在物理強度與外觀之間須取得平衡。

4、影響厚度的因素：薄膜的厚度會隨以下因素增加而變厚：交聯時間延長、氯化鈣濃度提高、以及海藻酸鈉與明膠的濃度增加。

5、配比調整建議：氯化鈣、海藻酸鈉與明膠的濃度皆不宜過高，以免影響薄膜的柔軟性與透明度。特別是明膠的加入，根據文獻明膠和海藻酸鈉存在強烈的氫鍵和離子交互作用，多點交互作用促使明膠與海藻酸鈉形成強韌、穩定的三維網狀結構，不僅有助於提升透明度，也有助改善成膜性。

小結

根據薄膜的透明度、硬度以及是否過於容易脆化，我們選擇最適合的比例是 2.5% 的海藻酸鈉；此外，因為添加明膠以後會增加薄膜的透明度、可塑性與韌性，所以接下來我們添加更高濃度的明膠與氯化鈣進行測試。

1-2-2 增加明膠濃度後明膠與氯化鈣的濃度實驗

實驗步驟

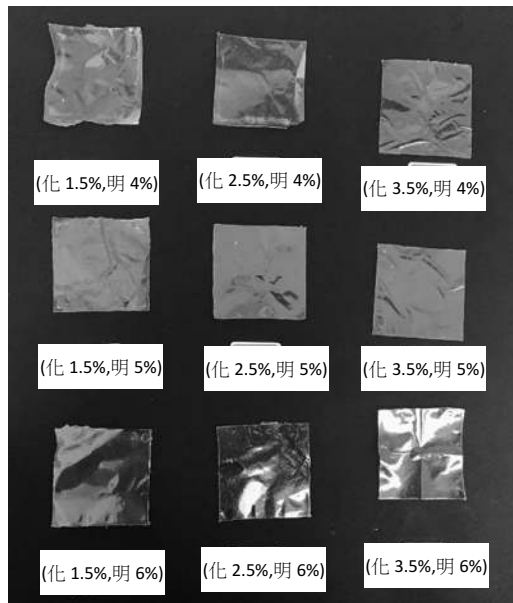
- 1、調出百分比濃度 2.5% 的海藻酸鈉、4%、5%、6% 的明膠和 1.5%、2.5%、3.5% 的氯化鈣水溶液。
- 2、將 5ml 的明膠加入 10ml 的海藻酸鈉形成不同濃度配方的混和溶液。
- 3、把混和的溶液鋪平在製膜的模型上，接著均勻的把 15ml 的氯化鈣噴至

薄膜上。

4、最後等 15 分鐘後脫膜放置室內光滑平面上，等待自然乾燥。

實驗結果

(氯化鈣, 明膠)



發現

1. **最佳比例：**明膠和氯化鈣濃度越高物理性質越堅固，薄膜的透明度與厚度也隨之提升，不容易脆化且能耐得住對折，但是 6% 的明膠厚度是我們認為最接近理想的食品包裝膜的狀態，再更多的明膠濃度，可能會導致薄膜太厚不利於包覆食物。

2. **製作流程：**明膠濃度越高會更稠，氣泡也會變多，製膜時也要盡量將氣泡刮掉，以免成膜時，薄膜會因為過多的氣泡變霧。

小結

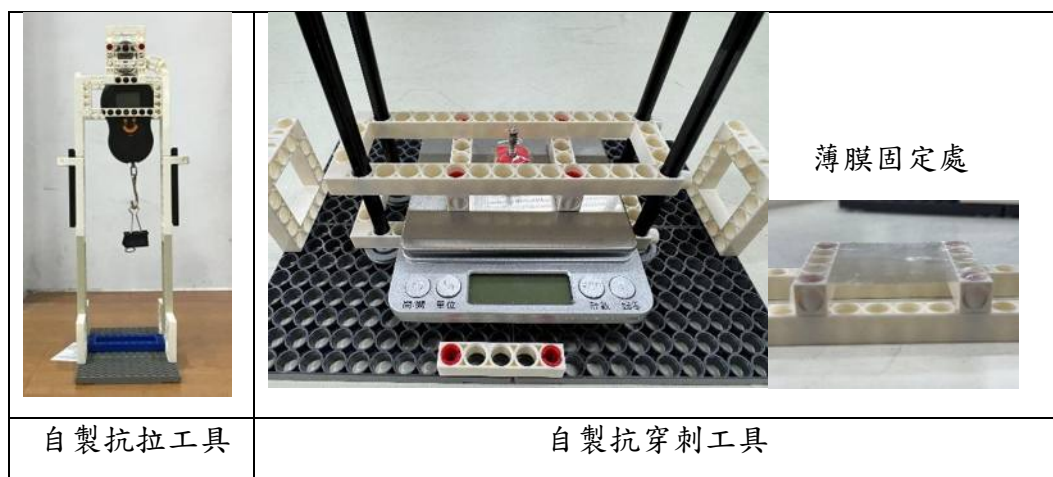
根據實驗結果，2.5% 海藻酸鈉和 6% 明膠以 2：1 的比例形成的混合溶液，和 3.5% 氯化鈣進行交聯是最適合的比例。

實驗 1-3 探討不同添加物對海藻酸鈉-明膠薄膜性質的影響

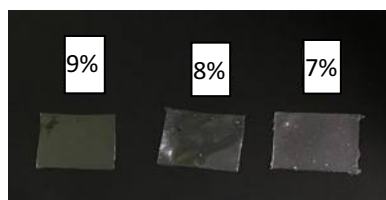
1-3-1 添加塑化劑-甘油

實驗步驟

- 1、將 2.5% 的海藻酸鈉與 6% 的明膠以 2：1 的比例進行混合。
- 2、混合均勻後分別取出 93g、92g 與 91g 的混合溶液，加入 7g、8g 和 9g 的甘油，製成百分比濃度 7%、8% 和 9% 的甘油混合溶液。
- 3、倒入壓克力片上並刮平。
- 4、噴灑 15 毫升的氯化鈣、交聯 15 分。
- 5、用水沖洗掉盒內殘留的反應液，置於室內乾燥環境下放乾後剝下。
- 6、將實驗成果進行五次的抗拉與抗穿刺測試，刪除極端值後進行平均。
- 7、拍攝並記錄接觸角。



實驗結果



自製薄膜

抗拉測試

甘油	7%	8%	9%
1	2.53	1.76	1.34
2	2.84	3.13	2.88
3	2.84	1.56	2.35
4	2.1	2.01	1.06
5	2.84	3.54	1.98
平均	2.74	2.3	1.89

抗穿刺測試

甘油	7%	8%	9%
1	318	310	92.5
2	276.7	389	277.6
3	588.8	310	222.1
4	242.7	611	144.1
5	115.1	590	302.9
平均	308.3	430.3	214.6

單位：lb

單位：g

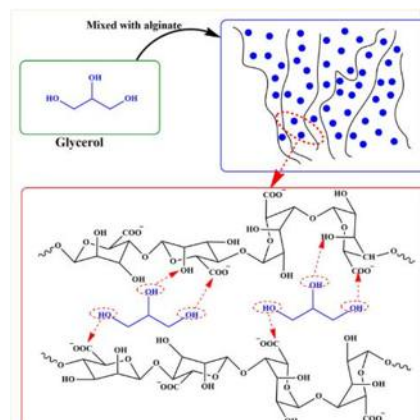
接觸角

甘油	9%	8%	7%
照片			
角度	118.14°	92.01°	75.60°

發現

- 1、**抗穿刺的測試的意義**：反映薄膜在局部集中受力（尖銳物刺入）時的抵抗能力，如果抗穿刺能力變強，通常代表**薄膜結構更加緊密、交聯更高**，但抗穿刺高的材料不一定很硬，可能是**韌性好**，可以吸收能量而不破裂；但有些高抗穿刺的膜可能變硬變脆（特別是酸性太強時），所以還要搭配**抗拉測試**一起看才完整。
- 2、**抗拉與抗穿刺測試結果**：添加甘油後，在**抗拉測試**中，甘油含量為 7% 時表現最佳，抗穿刺也有不錯的表現，顯示材料具有較佳的韌性與柔軟性；而在**抗穿刺測試**中，甘油含量為 8% 時效果最佳，代表其結構更為堅固、耐穿刺性能較強。
- 3、**接觸角變化與分析**：在接觸角實驗中，我們發現添加 9% 甘油的薄膜具有最大的接觸角，顯示出相對較佳的疏水性。原先預期甘油具親水性，應會降低接觸角，但實驗結果與預期相反。進一步查詢資料(參考文獻 10)發現，甘油雖為親水性小分子，甘油主要扮演可塑劑角色，當其被摻入海藻酸鈉與明膠所構成的高分子網絡中時與聚合物形成穩定網絡，並且可能會改變表面結構。

具體來說，甘油分子可能會嵌入薄膜結構中，覆蓋原本暴露於表面的極性基團，減少這些基團與空氣或水分子直接接觸的機會；此外，甘油的潤滑特性也使薄膜表面更加平滑，讓水滴更容易保持球形，而不易攤平，進一步提升接觸角。



(Zahra Eslami et al., 2023)

雖然甘油具吸水能力，但其吸濕作用較為緩慢，不會立即影響水滴外觀，反而因其滲入結構中形成較均勻的分佈，增加了表面疏水性。然而，當甘油添加過多時，會產生表面油膩感，影響觸感與實際應用性。因此，綜合防水效果與使用手感，我們選擇甘油濃度以約 8% 為最適配方。

小結

甘油 8% 綜合表現佳，兼具韌性、疏水性與穩定性，為較適合的添加比例。

1-3-2 添加醋酸

實驗步驟

- 1、將 2.5% 的海藻酸鈉與 6% 的明膠以 2：1 的比例進行混合，取出 92g 混合溶液並加入 8g 的甘油。
- 2、混合均勻後，分別滴入醋酸 0.1g、0.5g、1g 並抽真空。
- 3、倒入壓克力片上並刮平
- 4、噴灑 15 毫升的氯化鈣後交聯 15 分
- 5、用水沖洗掉盒內殘留的反應液，置於室內乾燥環境下放乾後剝下。
- 6、將實驗成果進行五次的抗拉與抗穿刺測試，刪除極端值後進行平均。
- 7、拍攝並記錄接觸角。

實驗結果

抗拉測試

醋酸	0.1g	0.5g	1g
1	2.6	2.16	2.31
2	4.58	1.98	2.14
3	4.61	1.75	2.24
4	3.71	2.8	1.63
5	4.46	1.35	2.95
平均	4.25	約 1.96	2.23

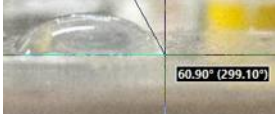
單位：lb

抗穿刺測試

醋酸	0.1g	0.5g	1g
1	32.3	42.2	35
2	40.4	60.4	47.6
3	52.4	42.4	67.8
4	52.8	54.2	76.3
5	45.0	56.8	68.2
平均	45.9	51.1	61.2

單位：g

接觸角

醋酸	0.1g	0.5g	1g
照片			
角度	42.62°	60.90°	37.70°

發現

- 1、混合溶液呈白色的原因：加入醋酸會使整體混合溶液呈現白色，推測是因為酸性物質與明膠中的蛋白質作用，導致蛋白質變性或變質。
- 2、抗拉與抗穿刺測試結果：當混合溶液中添加 0.1g 醋酸時，薄膜的抗拉測試表現最佳，具有較好的柔韌性；添加 1g 醋酸時，薄膜的抗穿刺能力最佳，但整體變得較硬，較容易斷裂。這表示醋酸濃度增加會提升硬度，但犧牲柔韌性。
- 3、接觸角變化與分析：添加 0.5g 醋酸的薄膜，其接觸角最大；然而，接觸角並不隨醋酸濃度線性變化，當酸化速度過快時，容易造成凝膠變性或分布不均；當醋酸濃度大於 1g，會導致蛋白質進一步變性，使膜的表面變得粗糙，影響接觸角表現。



小結

加入醋酸會影響明膠蛋白質的性質，造成變性並影響薄膜外觀與機械性質。0.1g 醋酸提升柔韌性，1g 則提升抗穿刺但易斷裂。接觸角以 0.5%濃度最大，過高濃度反而使表面粗糙、影響均勻性。

1-3-3 添加葡萄糖內酯

實驗步驟

- 1、將 2.5%的海藻酸鈉與 6%的明膠以 2：1 的比例進行混合，取出 92g 混合溶液並加入 8g 的甘油。
- 2、混合均勻後，分別加入葡萄糖內酯 0.5g、1g、2g 並抽真空。
- 3、倒入壓克力片上並刮平
- 4、噴灑 15 毫升的氯化鈣並交聯 15 分
- 5、用水沖洗掉盒內殘留的反應液，置於室內乾燥環境下放乾後剝下。
- 6、將實驗成果進行五次的抗拉與抗穿刺測試，刪除極端值後進行平均。
- 7、拍攝並記錄接觸角。

實驗結果

抗拉測試

葡萄糖 內酯	0.5g	1g	2g
1	3.25	0.89	5.86
2	3.06	1.01	5.06
3	3.65	1.98	1.72
4	4.46	0.84	2.56
5	3.1	1.69	3.98
平均	約 3.3	約 1.2	約 3.89

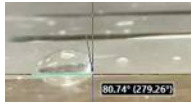
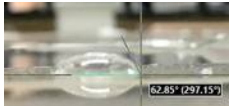
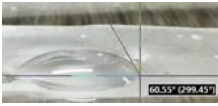
單位：lb

抗穿刺測試

葡萄糖 內酯	0.5g	1g	2g
1	103.8	68.9	87.8
2	89	50.6	178.9
3	98.7	72.4	61.2
4	99.2	54	129.2
5	89.3	53.2	108
平均	約 95.7	58.7	約 108

單位：g

接觸角

葡萄糖 內酯	0.5g	1g	2g
照片			
角度	80.74°	62.85°	60.55°

發現

- 1、添加葡萄糖內酯以後的混合物，和醋酸一樣，若不快速的製模，混合溶液就會產生變化甚至結塊。
- 2、根據參考文獻(參考文獻 7、8)，海藻酸鈉在中性 pH 時，羧酸基 ($-COO^-$) 以負電荷形式存在，因相互排斥使分子鏈較為鬆散。當加入 GDL 或醋酸降低 pH 時， $-COO^-$ 逐漸轉為中性的 $-COOH$ ，電荷量下降，分子鏈間排斥減少，排列變得更緊密。在微酸性條件 (pH 約 4.5~6.0) 下，仍保有少量 $-COO^-$ ，可與 Ca^{2+} 形成「蛋盒模型」(egg-box model) 進行交聯。此外，表面極性基團 ($-OH$ 、 $-COOH$) 均勻暴露，有助於與水分子形成氫鍵，進一步提升親水性。

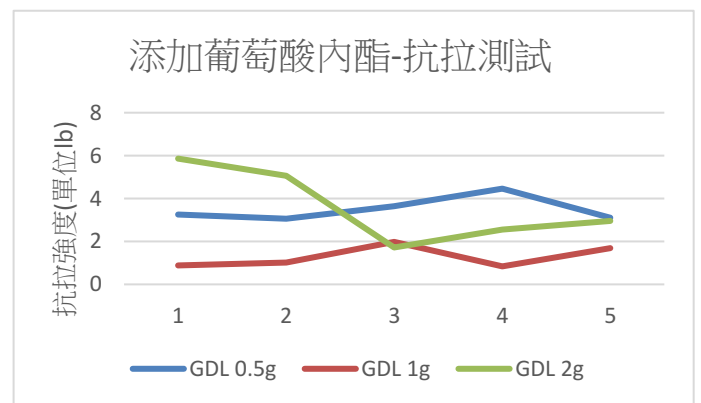
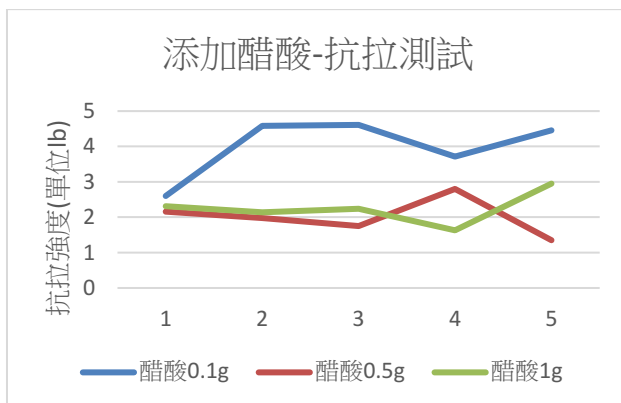
3、2g 葡萄糖內酯在抗拉和抗穿刺測試的表現都是最好，代表**薄膜結構更加緊密、交聯更高、韌性好**；而接觸角是 0.5g 的葡萄糖內酯薄膜最佳，因為較高濃度的葡萄糖內酯會使親水性增加而導致接觸角下降。

小結

比起醋酸，葡萄糖內酯較穩定，能緩慢地讓 PH 下降，所以在製膜的部分建議使用葡萄糖內酯。但因為較高濃度的葡萄糖內酯會提高薄膜的親水性，所以如果以物理特性，要包覆乾食品，建議添加 2g 葡萄糖內酯，若是包覆含有水份較多的食品，則是 ≤ 0.5 g 葡萄糖內酯會是比较好的選擇。

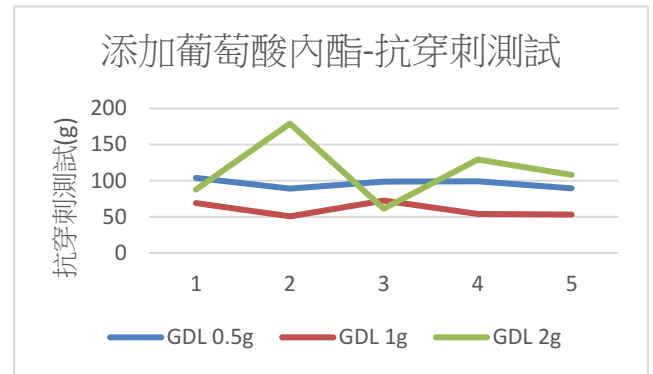
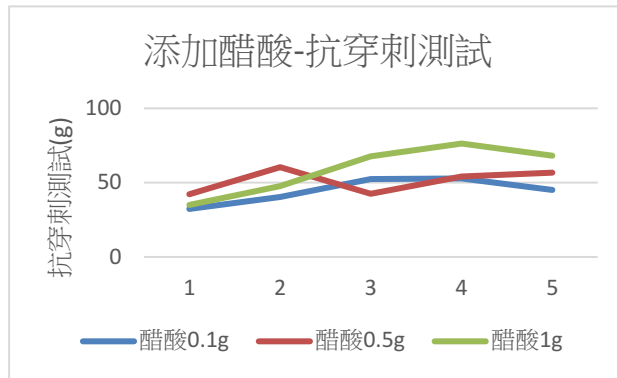
添加物總結

- **甘油添加量**：以添加 8% 甘油效果相對較佳，可有效提升薄膜的韌性、疏水性與穩定性，為最適比例。
- **醋酸影響**：醋酸會使明膠蛋白質結構變性，影響薄膜外觀與機械性質。
 - 添加 0.1g 醋酸：提升柔韌性。
 - 添加 1g 醋酸：提升抗穿刺性但薄膜易斷裂。
 - 添加 0.5g 時接觸角最大，濃度過高則導致表面粗糙與不均。
- **GDL（葡萄糖內酯）**：作用較溫和，可緩慢降低 pH，有助於穩定成膜過程，建議取代醋酸。
 - 具親水性，濃度過高會影響薄膜結構，需依用途調整：
 - 包覆乾燥食品：建議添加 2g GDL，有助吸附水氣。
 - 包覆含水食品：建議添加 0.5g GDL，避免吸水過多。



- 醋酸 0.1g：抗拉強度最高（4.25 lb），表現穩定，顯示低濃度醋酸能強化明膠-海藻酸鈉薄膜的拉伸性能。

- GDL 2g：次高（約 3.89 lb），雖稍低於醋酸 0.1g，但數值變異較大。
- GDL 0.5g：有不錯的表現（約 3.3 lb），且穩定性較佳。
- 醋酸 0.5g 與 1g、GDL 1g：抗拉強度明顯較差。

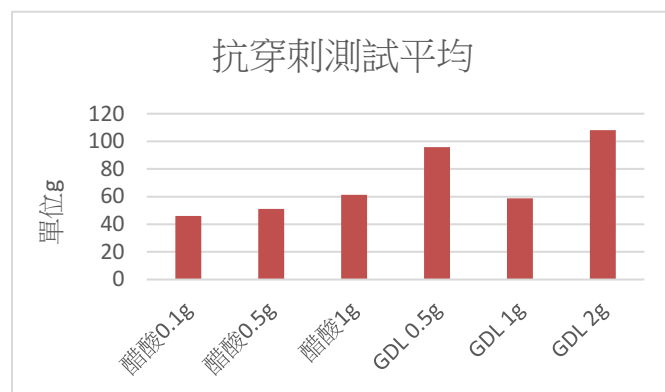
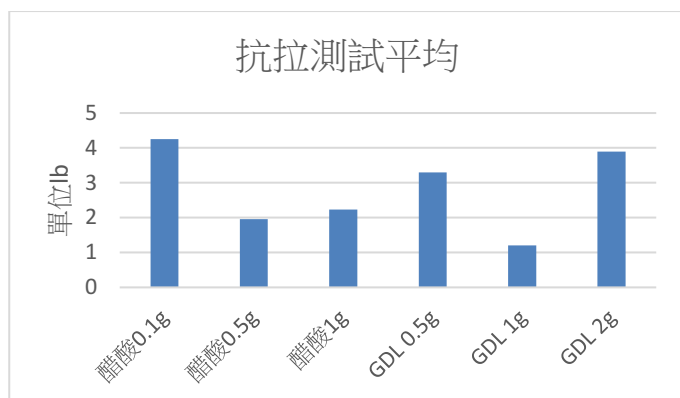


GDL（葡萄糖酸內酯）組整體抗穿刺優於醋酸組

- GDL 能緩慢釋放 H^+ ，穩定地降低 pH，使海藻酸鈉 - 明膠 - Ca^{2+} 網絡更緻密，因而提升抗穿刺強度。
- 0.5g 與 2g GDL 的平均值分別高達 95.7g、108.0g，均顯著高於相同或相近濃度的醋酸組。

濃度依賴性與波動

- 醋酸組隨濃度增加，抗穿刺強度從 45.9→51.1→61.2g 呈線性上升，顯示醋酸在較高濃度下能進一步改變膠體結構，但其整體強度仍不及 GDL。
- GDL 1g 時平均 58.7g，低於 0.5g 與 2g，可能因中等量 GDL 網絡結構較鬆散。
- GDL 2g 數據雖然最高，變異較大（最低 61.2g、最高 278.9g），反映高濃度 GDL 若分散或交聯不均，易產生局部強結構與弱區域並存的現象。



葡萄糖酸內酯（GDL）在提升抗穿刺方面遠勝醋酸，且適中濃度（0.5 g）即可兼顧強度與穩定性；而醋酸在提升抗拉強度時，0.1 g 的低濃度效果尤佳。可依最終包裝需求（牆厚、柔韌度、耐穿刺性）選擇對應添加劑與濃度。

二、探討環境溫度對薄膜性質之影響

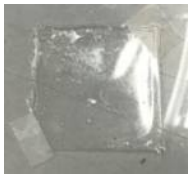
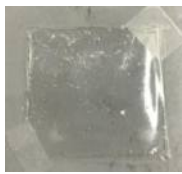
實驗 2-1 探討不同溫度對海藻酸鈉-明膠薄膜的影響實驗步驟

實驗步驟

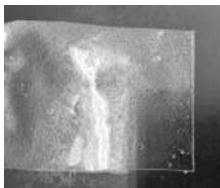
- 1、將自製保鮮膜(海藻酸鈉 2.5%+明膠 6%+氯化鈣 3.5%+甘油 8g+葡萄糖酸內酯 0.5g)，切成 5x5 的大小。
- 2、分別放置冰箱(冷藏)1 天、2 天、3 天，冰箱、(冷凍)3 天、4 天、5 天，微波爐加熱 1 分、2 分、3 分，常溫半天、1 天、1 天半。
- 3、觀察薄膜變化並拍照記錄。

實驗結果

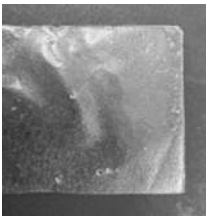
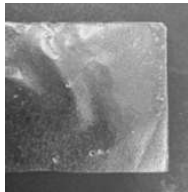
常溫

	半天	1 天	1 天半
自製薄膜			

冷藏

	1 天	2 天	3 天
自製薄膜			

冷凍

	3 天	4 天	5 天
自製薄膜			

微波加熱

	1 分	2 分	3 分
自製薄膜			

發現

1、**常溫、冷藏、冷凍**：薄膜在常溫、冷凍、冷藏看起來沒有太大的變化，穩定性高，據資料顯示，甘油具有防凍劑的功能，可以破壞冰的形成，因此儘管薄膜在冷凍的狀態，仍然保持柔軟。

2、**微波**：添加含有甘油的薄膜在微波一分鐘後，即產生沸騰烤焦的狀況，因為微波會快速加熱物質中的水分與甘油(極性分子)。在微波中會快速升溫、甚至過熱，因此容易碳化或焦化。

未添加甘油的薄膜，在微波後會變得有點黏，但一段時間後會恢復原樣，沒有太大影響。



添加甘油的薄膜微波後

小結

在**冷凍、冷藏**以及**常溫**環境中，可以使用**添加甘油的薄膜**，因為這種薄膜較為穩定，適合保存。但在**微波加熱**時，適合使用未含有甘油的薄膜。

三、探討海藻酸鈉與明膠在酸鹼環境中的穩定性

實驗 3-1 探討不同酸鹼溶液中，海藻酸鈉-明膠薄膜的變化

實驗步驟

- 1、準備 3 組試劑溶液：**酸性溶液**：1%的檸檬酸水溶液；**中性溶液**：純水；**鹼性溶液**：0.6%硼砂水溶液
- 2、取 3 片薄膜，分別浸入三種 pH 液中分別浸泡 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘
- 3、取出後自然陰乾，拍照並記錄結果。

實驗結果

	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘
酸性溶液			
中性溶液			
鹼性溶液			

靜置 1 個半小時	靜置 2 個半小時
	

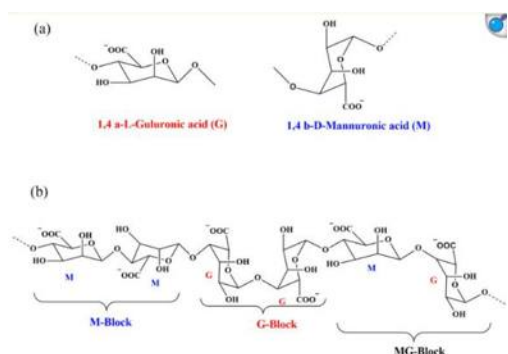
發現

1、**中性、酸性溶液**：薄膜與中性或鹼性水溶液相比，在酸性水溶液中較不容易分解，穩定性較高。

2、**鹼性溶液**：相反地，薄膜在鹼性水溶液中容易分解且變形嚴重，分析原因：

明膠的影響：鹼性環境會導致蛋白質鏈水解，導致明膠結構解離 → 機械強度下降。

海藻酸鈉的影響：海藻酸鈉是一種多醣類，由 β -D-mannuronic acid (M) 和 α -L-guluronic acid (G) 單元組成，鹼性條件會促進 β -消除反應，導致薄膜結構崩壞，特別是在 G-block 區域，原本與 Ca^{2+} 的「egg-box」結構也會解離(文獻 10)。



(Zahra Eslami et al., 2023)

交聯作用的影響：高 pH 可能引發 Ca^{2+} 離子釋放，減弱交聯網絡，某些鹼性離子（如 OH^- ）會結合形成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，或透過間接方式讓 Ca^{2+} 離開。

3、由此我們發現，若希望加速薄膜在自然環境中的分解速度，可以在掩埋薄膜的土壤中撒上對環境影響較小的石灰粉，以提升鹼性，進而加快薄膜的分解。

小結

經由實驗發現，薄膜在酸性和中性的溶液中表現穩定，鹼性溶液會呈現分解的狀態，因此此薄膜可以包覆中性和微酸性食物，並在鹼性土壤或添加鹼性物質的土壤中加速分解。

四、探討海藻酸鈉與明膠混合凝膠於食品包裝膜的應用

實驗 4-1 比較水果、肉類與乾食品以海藻酸鈉-明膠薄膜包裝與未包裝在冷藏下的保鮮效果

實驗步驟

- 1、先將要測試的香蕉、蘋果、雞肉和土司切成小塊，用自製膠膜和市售生物分解包鮮膜包起來，並放在冷藏 3 天。
- 2、觀察並紀錄其變化。

實驗結果

	水果(蘋果)			水果(香蕉)		
	實驗組	對照組	未包膜	實驗組	對照組	未包膜
第 0 天						
第 1 天						
第 2 天						
第 3 天						

	肉類(雞肉)			乾食品(吐司)		
	實驗組	對照組	未包膜	實驗組	對照組	未包膜
第 0 天						
第 1 天						
第 2 天						
第 3 天						

發現

- 1、**肉類的表現**：薄膜會吸收肉中的水分，導致肉的顏色變深，並且使薄膜與雞肉融合在一起。
- 2、**吐司的表現**：由於薄膜具有吸水性，經過一段時間後，吐司逐漸變乾，最後甚至變成類似餅乾的質地。
- 3、**蘋果的表現**：薄膜會吸取蘋果的水分，使蘋果體積逐漸縮小。雖然薄膜無法完全防止水分流失，但它能有效減少蘋果與空氣的接觸，進而延緩氧化現象的發生。
- 4、**香蕉的表現**：香蕉中的多酚氧化酶與空氣接觸或隨著成熟過程，都會導致香蕉變黑，自製薄膜的包覆相較於保鮮膜氧化程度較低，所以隔絕空氣能力較佳。
- 5、**薄膜導致食材表面脫水的現象**：推測應該是葡萄酸內酯的緩慢酸化作用與海藻酸鈉、明膠本身的親水性與成膜性所導致；其中 GDL 的作用不是直接脫水，而是透過控制 pH 下降速度，間接誘發薄膜內部的結構緊縮與水分釋出(析水)。這個過程會在薄膜與食材之間產生水分落差，進而造成食材脫水，甚至讓薄膜與食材黏合、融合為一體。因此，GDL 的緩慢酸化作用，在這種食材包覆系統中，是引發脫水效應的關鍵因子之一。

6、生醫用途：人工皮或仿生膜

從結果中發現，自製的薄膜或許可以製成人工皮或仿生膜，因為海藻酸鈉+明膠 → 提供親水性與膠體黏性，貼合傷口；甘油 → 維持柔軟度、防止膜變乾硬；GDL → 控制 pH，微酸環境有助抑菌，若是能夠添加抗菌成份或是直接添加藥物，例如：抗生素，就能更有效的保護甚至進一步治療傷口。

食品包覆膜：

水果、肉品的保鮮膜（能抑制氧化、延緩水分流失或吸收水分做脫水處理）

新鮮肉類表面熟成膜，有助提升質地或風味（如乾式熟成的外層保護膜）
可食性包裝（例如可吞嚥膠囊、醬料袋）

小結

我們自製的海藻酸鈉複合薄膜在包覆不同食材時展現出良好的吸水性與貼合性，能有效吸收水分，使肉類顏色加深、蘋果縮小、吐司變乾，甚至與雞肉融合。這種脫水現象推測與葡萄糖內酯的緩慢酸化作用及薄膜親水特性有關。薄膜亦可應用於食品包裝，延緩氧化、調控水分，或作為乾式熟成保護膜。更進一步，這種薄膜具備柔軟性、黏附性與微酸環境，有潛力發展為人工皮或生醫敷料，若能添加藥物或抗菌成分，將提升其傷口護理與治療效果。

五、探討自製環保薄膜自然分解的效果

實驗 5-1 探討自製環保薄膜在掩埋與曝露環境下，經不同天數

後的降解情形

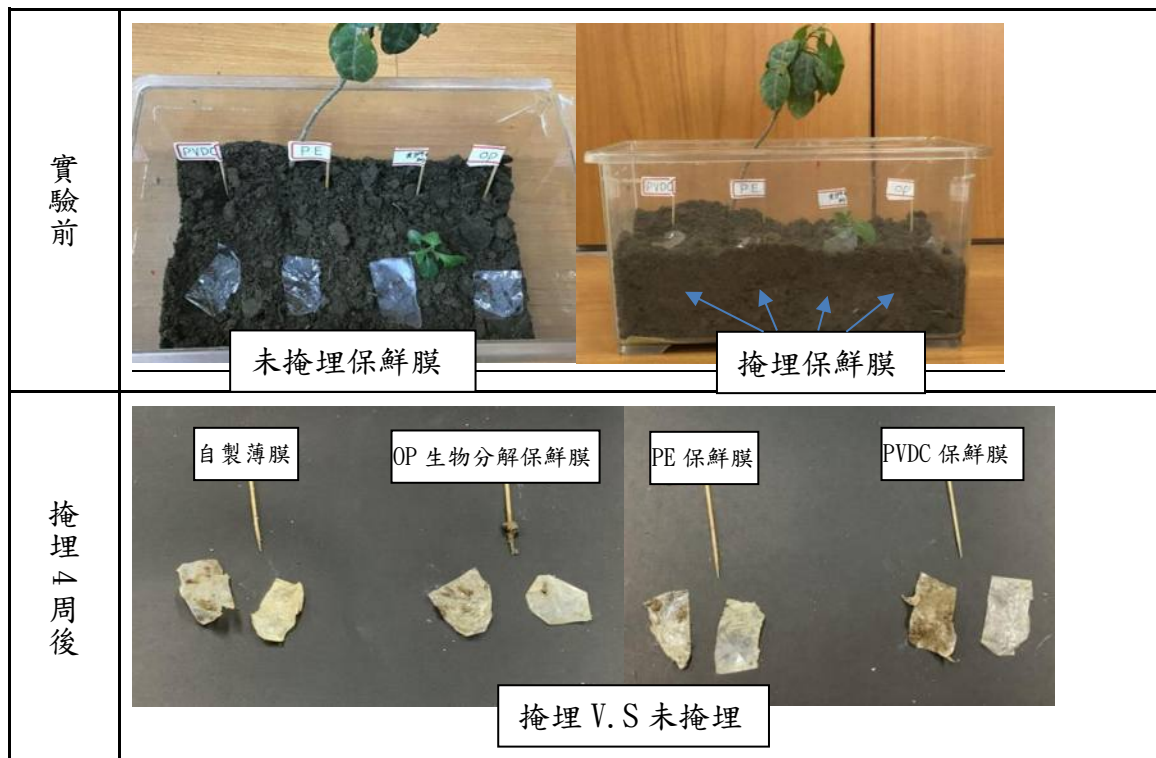
實驗步驟

- 1、將自製新型保鮮膜、市售生物分解保鮮膜、市售 PE 保鮮膜、市售 PVC 保鮮膜，分為掩埋降解性測試、未掩埋降解性測試等二組樣品。
- 2、(1)掩埋降解性測試：取含蚯蚓之培養土模擬自然生態可生物降解之土壤，將四種保鮮膜以 2cmX3cm 放置於土壤下 5cm 的土壤中覆蓋掩埋，且每天澆水，經 4 週掩埋測試後，觀察並拍攝降解

變化情形。

(2)未掩埋降解性測試：將四種保鮮膜以 2cmX3cm 放置於培養土表面，且每天澆水，經 4 週測試後，觀察並拍攝降解變化情形。

實驗結果



發現

- 1、外觀變化：聚合物鏈段斷裂 → 網狀結構崩塌 → 表面不均勻收縮變形，因此外觀的變化可以做為降解的參考；在掩埋腐化的部分，市售的保鮮膜把土剝掉後外表沒有改變，和未掩埋的結果一致，但自製的保鮮膜，保鮮膜明顯有皺褶，較原本的薄膜來得硬與脆，部分產生破裂與小洞，而且透明度也變差，泡水後也未見恢復；自製薄膜的變化，掩埋部分較未掩埋明顯。
- 2、物理性質變化：在抗拉測試的部分，僅呈現 0.13 磅的結果，遠低於未掩埋前的 3.89 磅，明顯機械性能下降。



掩埋 6 周後的自製薄膜

小結

自製的保鮮膜較市售的保鮮膜更能在環境中被降解，尤其掩埋的效果更佳。

第五章 研究結論與建議

一、研究結論

(一) 探討薄膜交聯反應與組成比例

實驗 1-1 探討不同濃度下海藻酸鈉與氯化鈣交聯成膜的效果，找出
最佳成膜比例

適合製膜的海藻酸鈉的重量百分比濃度 1.5%、2%、
2.5%，氯化鈣濃度 1%、1.5%和 2%。

實驗 1-2 探討海藻酸鈉與明膠混合後，經氯化鈣交聯成膜的最佳混
合比例

海藻酸鈉與明膠的混合薄膜，發現兩者之間存在強烈的氫
鍵和離子交互作用，根據實驗結果，2.5%海藻酸鈉和 6%明
膠以 2：1 的比例形成的混合溶液，和 3.5%氯化鈣進行交聯
是較適合的比例。

實驗 1-3 探討不同添加物對海藻酸鈉-明膠薄膜性質的影響

- 1、**甘油添加量**：以添加 8% 甘油效果相對較佳，可有效提
升薄膜的韌性、疏水性與穩定性，為最適比例。
- 2、**葡萄糖內酯和醋酸添加**：葡萄糖內酯（GDL）在提升抗穿
刺方面遠勝醋酸，且適中濃度（0.5 g）即可兼顧強度與
穩定性；而醋酸在提升抗拉強度時，0.1 g 的低濃度效果
尤佳。可依最終包裝需求選擇對應添加劑與濃度。
 - 追求最高機械強度
抗拉：醋酸 0.1 g 或 GDL 2 g。
抗穿刺：GDL 2 g。
 - 追求性能與穩定度平衡
抗拉與抗穿刺都考量：GDL 0.5 g 為最佳折衷
（Tensile $\approx$ 3.3 lb，Puncture $\approx$ 95.7 g）。

- 只考慮成本或簡易配方

醋酸組僅需 0.1 g 即可顯著提升抗拉，簡單易行；但若需要更佳抗穿刺，仍建議少量加入 GDL。

(二) 探討環境溫度對薄膜性質之影響

實驗 2-1 探討不同保存溫度對海藻酸鈉-明膠薄膜的影響

在冷凍、冷藏以及常溫環境中，可以使用添加甘油的薄膜，因為這種薄膜較為穩定，適合保存。但在微波加熱時，因為微波會快速加熱物質中的水分與甘油，所以適合使用未含有甘油的薄膜。

(三) 探討酸鹼環境下薄膜穩定性

實驗 3-1 探討不同 pH 值環境下，海藻酸鈉-明膠薄膜的變化

經由實驗發現，薄膜在酸性和中性的溶液中表現穩定，鹼性溶液會呈現分解的狀態，因此此薄膜可以包覆中性和微酸性食物，並在鹼性土壤或添加鹼性物質的土壤中加速分解。

(四) 探討海藻酸鈉與明膠混合凝膠於食品包裝膜的應用

實驗 4-1 比較水果、肉類與乾食品以海藻酸鈉-明膠薄膜包裝與未包裝在冷藏下的保鮮效果

自製的海藻酸鈉複合薄膜在包覆不同食材時展現出良好的吸水性與貼合性，能有效吸收水分，使肉類顏色加深、蘋果縮小、吐司變乾，甚至與雞肉融合。這種脫水現象推測與葡萄糖內酯的緩慢酸化作用及薄膜親水特性有關。薄膜亦可應用於食品包裝，延緩氧化、調控水分，或作為乾式熟成保護膜。更進一步，這種薄膜具備柔軟性、黏附性與微酸環境，有潛力發展為人工皮或生醫敷料，若能添加藥物或抗菌成分，將提升其傷口護理與治療效果。

(五) 探討自製環保薄膜自然分解的效果

實驗 5-1 探討自製環保薄膜在掩埋與曝露環境下，經不同天數

後的降解情形

自製的保鮮膜較市售的保鮮膜更能在環境中被降解，
尤其掩埋的效果更佳。

二、建議

(一)製膜方式

1. 製作薄膜時容易產生氣泡，因此混合材料時需避免引入過多空氣。
2. 可透過適度抽真空來去除氣泡。
3. 因交聯反應可能導致薄膜收縮，選用表面平整的壓克力板作為模具，有助於固定薄膜，保持平整度與尺寸穩定性。
4. 使用氯化鈣噴灑時，應保持適當距離，避免將空氣一併噴入，影響效果。
5. 建議採用由上而下的噴灑方式，以確保覆蓋均勻。

(二)測試

1. 抗拉可增加捲尺設計，根據的薄膜形變探討其延展性。
2. 可增加抗拉與抗穿刺測試的次數。

(三)添加物

1. 在梅雨季節時，我們發現薄膜表面會出現黏膩感，可能與空氣濕度變化或其他因素有關；而在乾燥天氣下則無此現象。因此，建議可嘗試降低甘油濃度進行進一步測試，並將濕度、溫度等環境變因納入常溫放置時的觀察項目。

(四)掩埋腐敗性測試

1. 測試時間僅四週，若延長掩埋時間，結果將更加明顯。
2. 可進一步添加石灰粉進行腐敗測試的比較。
3. 可加入測量重量作為腐化程度的參考。

(五)薄膜的應用與觀察

1. 製作出的薄膜具有吸水與隔絕空氣的特性，因此可以進一步根據這個特性，發展除了包覆食物以外，不同的使用方式，並進一步測試其成效。

參考文獻

- 1、李安石、黃子薰、黃紹恩、郭于茹、何苡丞、吳苾以，2020，走塑入膜，第 61 屆全國中小學科展作品。
- 2、林耘樂、林沛瑜、王睿宏，2022，「纖」來變「膜」術，第 63 屆全國中小學科展作品。
- 3、林國琰、蔡乙綾、莊凱堯，2019，把新鮮包起來-非塑料環保薄膜之研發，第 60 屆全國中小學科展作品。
- 4、黃靖晴、黃幸妍、葉依潔、王映婷、吳重均，2022，「果」然「塑」這樣-農業廢棄物回收自製果膠保鮮膜之探究，第 63 屆全國中小學科展作品。
- 5、盧禹安、王定康，2019，好膜成雙-幾丁聚醣複合保鮮膜製作之探討，第 60 屆全國中小學科展作品。
- 6、Ayse su giz, melisa berberoglu , Semira bener, Sena aydelik-ayazogluari, halil bayraktar, B erdem alaca, & Huceste catalgil-giz. (2021). A Detailed Investigation of the Effect of Calcium Crosslinking and Glycerol Plasticizing on the Physical Properties of Alginate Films. *Int J Biol Macromol*, 148, 49–55.
- 7、Chuhuan hu, Wei lu, Analucia mata, Katsuyoshi nishinari, & Yapeng fang. (2021). Ions-Induced Gelation of Alginate: Mechanisms and Applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 177, 578–588.
- 8、Lianqi cao, Wei lu, Analucia mata, Katsuyoshi nishinari, & Yapeng fang. (2020). Egg-Box Model-Based Gelation of Alginate and Pectin: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 242.
- 9、Vincenzo guarino, tania caputo, rosaria altobelli, & Luigi ambrosio. (2015). Degradation Properties and Metabolic Activity of Alginate and Chitosan Polyelectrolytes for Drug Delivery and Tissue Engineering Applications. *AIMS Materials Science*, 2(4), 497–502.
- 10、Zahra eslami, Saïd elkoun , mathieu robert, & kokou adjallé. (2023). A Review of the Effect of Plasticizers on the Physical and Mechanical Properties of Alginate-Based Films. *Molecules*, 28(18), 6637.