

高溫水溶解之抑菌包裝薄膜的材料開發與檢測

賴峯民* 黃鈺琇

大葉大學醫學工程學系

515006 彰化縣大村鄉學府路 168 號

*fengmin@mail.dyu.edu.tw

摘要

由於多數塑膠至少需要花費百年以上才能完全分解，造成環境汙染，如今環保意識受到了重視，因此為了為環保問題提供上一份心力，本文研發出可水溶解的環保塑膠袋。由於本文是要做出的活性薄膜（active film）要為抑菌包裝所用，材料皆必須從天然提取出來的，必須要對環保和人體安全為著想，材料分別為聚乙烯醇（polyvinyl alcohol/guar gum, PVA）、瓜爾豆膠（guar gum, GG）、殼聚醣（chitosan, CS）、檸檬酸（citric acid, CA），透過這些材料做出製作第一代（1st PVA）及第二代（2nd PVA）的活性薄膜，將每代調配三種不同比例的CS/PVA分別為(1:3)、(1:1)、(3:1)，其2nd PVA的配方之重量比1st PVA增加兩倍。在拉伸試驗主要檢測1st PVA及2nd PVA的活性薄膜之平均彈性係數均是CS/PVA 配方比例(3:1)最大，分別為216 MPa及388 MPa，且在2nd PVA的CS/PVA配方比例(1:1)的活性薄膜用 OM（optical microscope, OM）觀察，可看出最多氣孔，因為氣孔越多，代表容易就會破掉。通過2nd PVA-1（2nd PVA配方比例(1:3)）水溶解的溶解度為100%、溶解率為2.3 mg/min；透過抑菌檢測來看2nd PVA-1的抑菌效果是最好及最具有親水性。通過本文所研究的成果，2nd PVA-1為最佳配方，可作為抑菌包裝的材料，減少環境汙染問題。

關鍵字：活性薄膜，拉伸試驗，檸檬酸，殼聚醣，瓜爾豆膠

Development and Testing of Water Soluble Films for Food Packaging Pastics

FENG-MING LAI* and YU-XIU HUANG

Department of Medical Engineering, Da-Yeh University

No. 168, University Rd., Dacun, Changhua 515006, Taiwan, R.O.C.

*fengmin@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

Since most plastics take at least a hundred years to completely decompose and cause environmental pollution, environmental awareness has been emphasized to a large extent. In order to contribute to environmental protection issues, this paper therefore addresses an experiment which develops a water-soluble environment-friendly plastic bag. Since the active film to be made in this experiment is to be

used for antibacterial packaging, the materials must be extracted from nature, and the environmental protection and human safety must be considered. As said, the materials are polyvinyl alcohol-powder (PVA) guar gum-powder (GG), chitosan-liquid (CS), citric acid-powder (CA), and active films are made from these materials. Subsequently, three different ratios are prepared, which are formulated by CS/PVA, respectively named PVA-1(1:3), PVA-2(1:1), PVA-3(3:1). The active films in this experiment are produced in the first generation and the second generation, and the difference is that the proportion of the second generation is twice that of the first generation. The solubility of PVA-1 dissolved in water is 100%, and the dissolution rate is 2.3mg/min; the average elastic coefficient of the first and second generation PVA-3 in the tensile test is the largest, respectively 216MPa and 388MPa. According to the test, the antibacterial effect of PVA-1 is the best; the water contact angle of PVA-1 is the most hydrophilic; the observation of OM \times 100 of PVA-2 shows the most pores. Based on the research results of this experiment, the second-generation PVA-1 and PVA-3 are the best formulas, which can be used as a reference for the packaging of beneficial bacteria and can solve the current environmental pollution problems.

Key Words : active film, tensile test, citric acid, chitosan, guar gum

一、前言

從發明後便始終大量使用的物質—塑膠，如今已經是人文發展離不開的物質，如：隨手可見的塑膠袋、一次性的塑膠湯匙、吸管、寶特瓶...等。以上這些都是隨處可見的物品，但就因為這些一次性的物品流到大海中，成為海中的垃圾，傷害到海中生物。近幾年環保意識抬頭，本文研究目的是找出可溶解又用天然材料製成的塑膠，不管是不小心流到大海，或是埋在土壤中，都可隨時間推移自然分解。本文是研究出天然植物製成的抑菌包裝，由聚乙烯醇 (polyvinyl alcohol, PVA) 為主材料搭配其餘環保可分解之材料製成活性薄膜 [2, 6]，Bano [2]指出低分子量殼聚糖表現出顯著的抑菌性能。在燒傷的傷口癒合實驗中知道殼聚糖對傷口癒合表現出更有效的效果。本文的 PVA/殼聚糖 (chit osan, CS) 以三種不同比例(1 : 3)、(1 : 1)、(3 : 1)分別命名為 PVA-1、PVA-2、PVA-3 進行研究，挑選出最符合的抑菌包裝的活性薄膜。其 Bevan[3]探討有機酸對鉀石之溶解影響，pH 值在中性、有草酸及總壓力為 50 Pa 的條件下測量鉀石溶解速率會提升。He [4]探討未改性木質素納米顆粒 (unmodified nanoparticles, LNP) 和改性木質素納米顆粒 (modified lignin nanoparticles, MLNP) 的聚乙烯醇奈米複合材料薄膜中，以改性木質素納米顆粒 (MLNP) 的尺寸穩定性提高和疏水性提高，Sathik[5]討論新型水楊醯殼聚糖/澱粉的混合薄膜對三種細菌 (即大腸桿菌、奇異變形桿菌和金黃色葡萄球菌) 有良好的抑菌效果，新型水楊醯殼聚糖/澱粉的混合薄膜可以

作為良好的抑菌薄膜用於傷口癒合和食品包裝應用。

由此可見殼聚糖有良好的抑菌效果，而 PVA 有水溶解的，因此本文開發 PVA/殼聚糖 (CS) 的活性薄膜為使有溶解及抑菌的功效，所以本文使用五種材料及主要以 PVA/CS 調配三種不同比例做出活性薄膜。為了研究配方，所以本文製作出第一代(1st PVA) 及第二代(2nd PVA)的活性薄膜，其中 2nd PVA 的配方之重量比 1st PVA 增加兩倍，以利後續的檢測對比。若本活性薄膜不小心掉入自然環境，可被天然的氣候及細菌緩慢分解，不會造成環境負擔，因此本文製作的活性薄膜將來可作為抑菌環保包裝袋子，為了得到最佳活性薄膜及應用於環保包裝袋子，本文研發目的如下：

1. 找出最佳的成膜溶液的配方，容易製備出薄膜的成膜溶液。
2. 利用拉伸試驗找出1st PVA或2nd PVA活性薄膜的最佳機械性質，如最大破壞強度。
3. 透過水溶解得知1st PVA或2nd PVA活性薄膜在水裡的溶解率 (溶解率=溶解的重量/時間) 以及溶解度 (溶解度=溶解的重量/原始的重量)。
4. 透過水接觸角儀器來檢測出1st PVA或2nd PVA活性薄膜的親水性，因為本文的薄膜是用在塑膠袋上，所以須證明出是否有親水性。
5. 由於本文活性薄膜是運用於抑菌包裝，因此需做抑菌檢測 [1, 6]，表明出薄膜的抑制效果對菌有效。以抑菌圈的大小來得知薄膜在抑菌包裝上有保鮮度。

二、機械性質

(一) 活性薄膜試片製作

本文利用PVA (分子量80000)、殼聚醣 (分子量161.16)，瓜爾豆膠 (分子量535.1)，檸檬酸 (分子量570.5)，乙酸 (分子量60.05)及蒸餾水等材料來製作活性薄膜，PVA主要功能為水溶解功能、殼聚醣 (CS) 主要為抑菌功能。瓜爾豆膠 (guar gum, GG) 主要應用在食品工業，其主要功能為水溶性、檸檬酸 (citric acid, CA) 主要能中和鹼性污垢，使試片為透明狀、乙酸主要有除垢及兼具抑泡及破泡功能。

本文的拉伸試驗的活性薄膜試片製作兩種不同規格的試片，其1st PVA的15 CC、16 CC、17 CC倒入模具製成拉伸試片，每種活性薄膜至少試作三片 (如表1所示)，因此薄膜需成膜溶液的厚度較厚，製備成膜溶液材料是第二代 (2nd PVA) 17CC薄膜，2nd PVA的配方之重量比1st PVA增加兩倍 (如表2所示)。而1st PVA、2nd PVA的拉伸試片是由氣壓式自動切試片機切割成狗骨頭形狀。依實驗結果將兩種參數來對比，以三種不同比例做研究方向，配合實驗從中找出最佳機械性質、水溶解效果、水接觸角及抑菌檢測的薄膜配比，再利用機械性質、水溶解、水接觸角及抑菌等實驗檢測的實驗數據進行統計並歸納，最後挑選出最適合應用在抑菌包裝中的水溶性環保薄膜。其中瓜爾豆膠 (GG)，檸檬酸 (CA) 及乙酸是固定重量。

(二) 製備成膜溶液

本文1st PVA成膜的配方有三種不同比例，不同於PVA和CS的劑量不同。依照1st PVA-1成膜溶液的實驗流程，之後1st PVA-2，1st PVA-3兩個的CS/PVA比例分別為0.75 g/0.75 g與2.25 g/0.75 g，各加入50 ml蒸餾水利用磁石攪拌混和均勻後，導入模具中成為活性薄膜。2nd PVA 成膜溶液比例為第一代1st PVA配方的兩倍。因此2nd PVA實驗中，2nd PVA的GG及CS配方的量增加，薄膜的重量也會增加。最後比較1st PVA及的機械性質、水溶解、水接觸角及抑菌等檢測。而第一代1st PVA-1 (CS/PVA配方比例(3:1)) 製備成膜溶液的流程，如圖1所示。

(三) 烘乾成膜溶液製成薄膜

為了將半成品的水溶液順利成膜，因此本文採用了熱風循環式乾燥機，將1st PVA及2nd PVA的成膜溶液其CS/PVA的配方比例分別命名為PVA-1、PVA-2、PVA-3，倒入成形模具後統一進入熱風循環式乾燥機 (如圖2)。其中1st PVA成膜溶液設定溫度85°C烘烤時間為12 hr；2nd PVA的成膜溶液

表1. 製備成膜溶液材料的比例 (1st PVA)

試片代號 \ 重量	PVA (g)	CS (g)	GG (g)	CA (g)	乙酸 (ml)	蒸餾水 (ml)
1 st PVA-1	0.75	2.25	1	0.1	0.5	50
1 st PVA-2	0.75	0.75	1	0.1	0.5	50
1 st PVA-3	2.25	0.75	1	0.1	0.5	50

表2. 製備成膜溶液材料的比例 (2nd PVA)

試片代號 \ 重量	PVA (g)	CS (g)	GG (g)	CA (g)	乙酸 (ml)	蒸餾水 (ml)
2 nd PVA-1	1.5	4.5	2	0.2	1	100
2 nd PVA-2	1.5	1.5	2	0.2	1	100
2 nd PVA-3	4.5	1.5	2	0.2	1	100

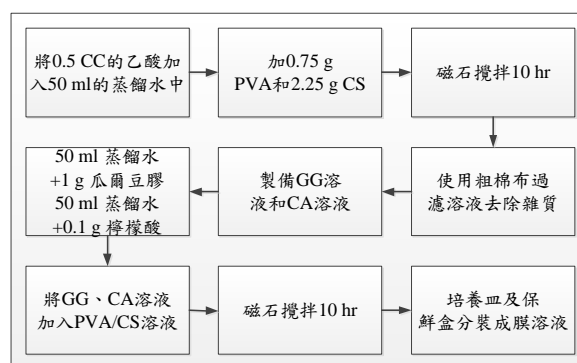


圖 1. 1st PVA-1 製備成膜溶液流程圖



圖2. 熱風循環式乾燥機

(成膜厚度較厚) 設定溫度為90°C烘烤時間為12 hr以上。

(四) 水溶解

本文1st PVA及2nd PVA薄膜的水溶解之流程圖如圖3所示，其水溶解的實驗步驟如下說明。

1. 將薄膜碎片依序加入90°C的熱水，加熱攪拌器轉速設為155 rpm，計時1小時。
2. 將燒杯和剩下薄膜至空曠地方等候乾燥，利用量秤量測

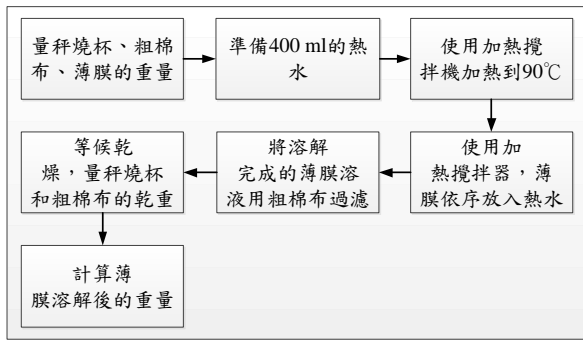


圖3. 水溶解流程圖

出溶解後剩下薄膜重量。

3. 由實驗量測出溶解後的薄膜重量，最後，將原始薄膜重量－溶解後的薄膜重量可得知溶解多少重量，並計算出溶解度與溶解率。

(五) 薄膜試片之拉伸試驗

本文 1st PVA 及 2nd PVA 薄膜的拉伸試驗流程如圖 4 所示，其拉伸試驗機設定的步驟如下說明。

1. 1st PVA及2nd PVA薄膜的拉伸試片製作方式，將乾燥後的活性薄膜使用刀膜（如圖4）及氣壓式自動切試片機（如圖5），依ASTM規範，將薄膜切割成狗骨頭形狀（如圖6，中間寬度6 mm、間距為65 mm）。
2. 設置拉伸實驗設定參數，確認試驗模式為單向試驗；試驗極性為拉伸試驗；試驗方向為上。
3. 設定拉伸試片寬度為6 mm、標點間距為65 mm，設定降伏值、破斷值、最大值的應力應變。
4. 將薄膜夾至拉伸機台（廠牌SHIMADZU型號EZ-TEST，圖7），拉伸試驗速度設為3 mm/min。設定所需的參數後，點選開始測試。

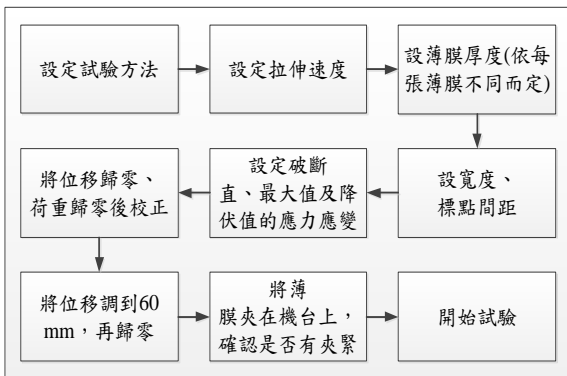


圖4. 拉伸試驗流程圖

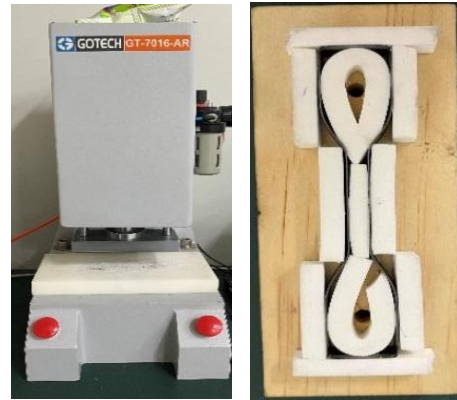


圖5. 氣切機器及試片規格刀模

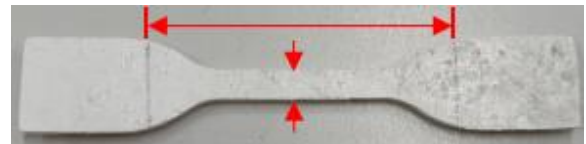


圖6. 拉伸試驗的試片規格



圖7. 拉伸實驗示意圖

(六) 抑菌檢測

本文的步驟為製作培養基、使用吊菌環培養出單一菌落、養菌、放入檢測材料、肉眼看是否有抑菌圈，如有抑菌圈，表示有抑菌能力效果，如圖 8 所示。會使用金黃色葡萄球菌是因為如果在吃餅乾當中，經攝入金黃色葡萄球菌分泌的腸毒素而造成毒素中毒 [1]。而要引起中毒必須具備以下條件：

- (1) 食物被帶有產腸毒素之葡萄球菌污染。
- (2) 污染後食品放置在適合產毒的溫度下，所以本實驗使用金黃色葡萄球菌。本文的金黃色葡萄球菌的濃度（菌的濃度 $2.5 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^6$ cells/ml），養菌時間為 48 小時，本文會加入抗生素-氨苄青黴素（Ampicillin, AMP）是為了要比對薄膜對於金黃色葡萄球菌的抑菌效果。

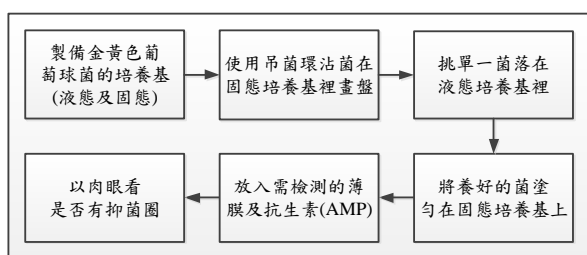


圖 8. 抑菌檢測步驟

(七) 水接觸角檢測

一般包裝食物的包裝必須要知道是親水性還是疏水性，因此可水溶環保塑膠袋也需要檢測水接觸角。本實驗室以 2nd PVA 活性薄膜來檢測水接觸角。水接觸角儀器（如圖 9 所示，廠牌 FIBRO System 型號 PGX+）是將水滴在試片上，使用的水是去離子水，在檢測之前須校正接觸角儀器，校正之後就可開始測試，首先將試片放在桌面上，再將儀器放到試片上，即可開始檢測。

(八) 光學顯微鏡觀察

可水溶環保塑膠袋採用光學顯微鏡（optical microscope, OM）機器進行活性薄膜的氣泡觀察（如圖 10 所示），主要為了看出活性薄膜有沒有氣孔。本文以 2nd PVA 的活性薄膜



圖 9. 水接觸角儀器

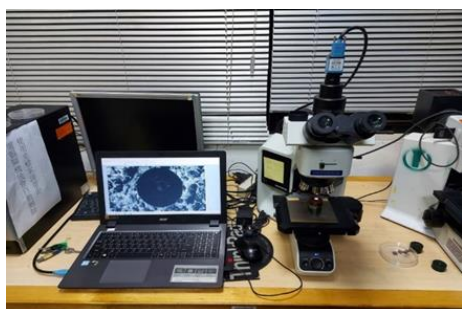


圖 10. 光學顯微鏡（OM）

進行光學顯微鏡（廠牌 Olympus 型號 Future-Tech FR-1AN）進行微觀觀察其斷面，倍率為 100 倍，首先將薄膜放在物鏡下，由於薄膜與物鏡有點距離，導致無法拍得清楚，因此下面用鐵塊墊高，以達到適當的距離，再調亮度就可拍得非常清楚的照片。

三、結果與討論

(一) 水溶解

水溶解薄膜的是 1st PVA-1、2nd PVA-1 薄膜，原本在加熱攪拌時將泡泡看成薄膜碎片，所以計時了七小時（溶解的時間），為了能縮短時間，因此規畫了能否在短時間內溶解，所以計時半小時和一小時來對比，過濾後的燒杯及粗棉布皆要量秤，如表所示，比較哪個時間溶解的最多。公式：溶解度=溶解的重量/原始的重量；溶解率=溶解的重量/時間

1. 水溶解計時七小時

本文 1st PVA-1 薄膜的第一次溶解計時七小時，原始薄膜重量為 0.18 g，溶解過濾後殘渣變成 0.02 g，溶解的重量 0.16 g，溶解度為 88%，溶解率為 0.38 mg/min，整理如表 3 所示。

2. 水溶解計時半小時

本文 1st PVA-1 薄膜的第二次溶解計時半小時，原始薄膜重量為 0.18 g，溶解過濾後變成 0.08 g，溶解了 0.1 g，溶解度為 55%，溶解率為 3.34 mg/min，整理如表 4 所示。

3. 水溶解計時一小時

本文 2nd PVA-1 薄膜的溶解計時一小時，原始薄膜重量為 0.14 g，溶解過濾後變成 0 g，溶解了 0.14 g，溶解度為 100%，溶解率為 2.3 mg/min，整理如表 5 所示。因此在 2nd PVA-1 薄膜的配方之水溶解效果較好。

(二) 拉伸試驗

1. 1st PVA 薄膜拉伸試驗

表 3. 1st PVA-1 薄膜水溶解七小時前後

重量 樣品	燒杯	粗棉布	薄膜
原始(g)	187	0.21	0.18
溶解後(g)	187	0.23	0.02

表 4. 1st PVA-1 薄膜水溶解半小時前後

重量 樣品	燒杯	粗棉布	薄膜
原始(g)	187	0.38	0.18
溶解後(g)	187	0.46	0.08

表5. 2nd PVA-1薄膜水溶解一小時前後

樣品	重量	燒杯	粗棉布	薄膜
原始(g)		187	0.25	0.14
溶解後(g)		187	0.25	0.00

溶解度：100%；溶解率：0.0023 g/min = 2.3 mg/min

圖 11 為活性薄膜的拉伸試片示意圖，1st PVA-1 薄膜拉伸試驗後，1st PVA-1 薄膜的彈性係數平均值，17CC 彈性係數平均值為最佳，平均值為 161 MPa；16 CC 彈性係數平均值為最差，平均值為 122 MPa；15 CC 及 17CC 薄膜的平均最大應力為最佳，平均值為 4.9 N/mm²；16CC 薄膜的平均最大應力為最差，平均值為 4.4 N/mm²，整理如表 6 所示。

在 1st PVA-2 薄膜拉伸試驗後，17CC 彈性係數平均值為最佳，平均值為 213 MPa；16CC 彈性係數平均值為最差，平均值為 151 MPa；15CC 薄膜的平均最大應力為最佳，平均值為 7.9 MPa；16CC 薄膜的平均最大應力為最差，平均值為 5.8 MPa，整理如表 7 所示。

在 1st PVA-3 薄膜拉伸試驗後，15CC 彈性係數平均值為最佳，平均值為 217 MPa；17CC 彈性係數平均值為最差，平均值為 44 MPa；15CC 薄膜的平均最大破壞應力為最佳，



圖11. 活性薄膜的拉伸試片及斷裂試片

表6. 1st PVA -1薄膜的拉伸數據

項目代號	最大應力 (MPa)	最大應變 (%)	彈性係數 (MPa)
15 CC	4.8±0.8	7.9±1.5	157±10
16 CC	4.4±0.6	8±0.9	122±40
17 CC	4.9±0.7	7.1±1.1	161±57

表7. 1st PVA -2薄膜的拉伸數據

項目代號	最大應力 (MPa)	最大應變 (%)	彈性係數 (MPa)
15 CC	7.9±1	6.4±0.5	154±13
16 CC	5.8±0.9	7.7±2.7	151±6
17 CC	6.9±1.3	6.2±0.2	213±10

平均值為4.4 MPa；17CC薄膜的平均最大破壞應力為最差，平均值為1.9 MPa，整理如表8所示。

2. 2nd PVA 薄膜拉伸試驗

在 2nd PVA 三種比例的活性薄膜中，最佳的平均彈性係數為 2nd PVA-3，平均值為 388 MPa；最差的平均彈性係數為 2nd PVA-2，平均值為 211 MPa。而 2nd PVA-3 薄膜的平均最大破壞應力為最佳，平均值為 8.4 MPa；2nd PVA-2 薄膜的平均最大破壞應力為最差，平均值為 6.1 MPa，整理如表 9 所示。

(三) 抑菌檢測

本文的 2nd PVA 的活性薄膜有三個比例，分別 CS/PVA 比例為(1:3)、(1:1)、(3:1)，將這三個比例做抑菌實驗，看能否有抑菌功能，本文採用的菌是金黃色葡萄球菌，對照組中會加入抗生素 (AMP)，主要比對薄膜對於金黃色葡萄球菌的抑菌效果，因此以抗生素 (AMP) 及 PVA 薄膜來做對比抑菌能力。三個比例當中，2nd PVA-1 及 2nd PVA-3 的抑菌能力比較好，抑菌直徑皆為 2.4 cm，相較之下，2nd PVA-2 看不到抑菌圈，明顯看得出來薄膜下都是菌，抑菌直徑為 1.2 cm，而 2nd PVA-3 雖然有抑菌圈，但薄膜有點被菌侵入（如圖 12 所示）。2nd PVA 薄膜和 AMP 相比，AMP 的抑菌直徑分別為 5.43 cm、4.82 cm、5.58 cm，皆都比 2nd PVA 薄膜的抑菌直徑大，所以 2nd PVA 薄膜的抑菌能力沒有 AMP 的強，如表 10 所示。

表8. 1st PVA -3薄膜的拉伸數據

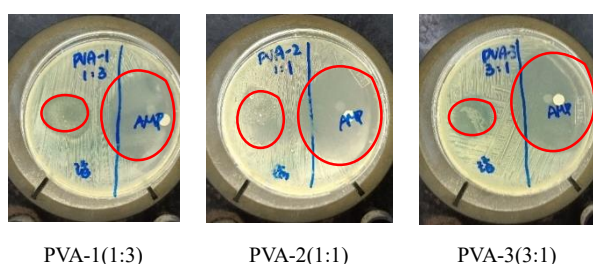
項目代號	最大破壞應力 (MPa)	最大應變 (%)	彈性係數 (MPa)
15 CC	4.4±1.8	8.6±1.7	217±127
16 CC	2.8±0.2	11±7	88±55
17 CC	1.9±0.7	21±4	44±29

表9. 2nd PVA薄膜的拉伸數據

項目代號	最大破壞應力 (MPa)	最大應變 (%)	彈性係數 (MPa)
2 nd PVA-1	7.2±1.2	4.5±0.42	253±53
2 nd PVA-2	6.1±0.6	4.8±0.52	211±48
2 nd PVA-3	8.4±0	4.3±0.7	388±49

表10. 2nd PVA薄膜及抗生素抑菌圈的直徑大小

試片代號	抑菌圈大小 PVA (cm)	AMP (cm)
2 nd PVA-1	2.4	5.43
2 nd PVA-2	1.2	4.82
2 nd PVA-3	2.4	5.58

圖 12. 2nd PVA 薄膜與抗生素抑菌對照圖

(四) 水接觸角檢測

本文以 2nd PVA 活性薄膜做水接觸角檢測，水接觸角檢測是為了檢測是否為親水性，三個比例當中，2nd PVA-1 水接觸角的角度為 70°，2nd PVA-2 水接觸角的角度為 107°，2nd PVA-3 水接觸角的角度為 92°，其中 2nd PVA-1 相較於其他兩個比例較為親水性，2nd PVA-2 和 2nd PVA-3 較為疏水性，（如圖 13 所示）。

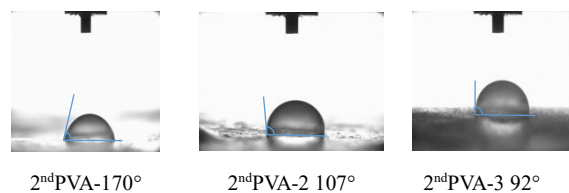
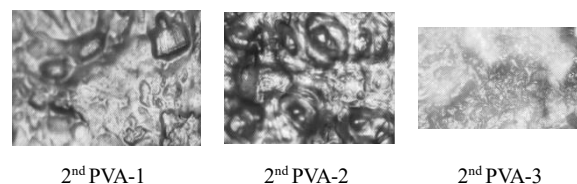
(五) 光學顯微鏡觀察

本文使用光學顯微鏡來觀察為 2nd PVA 的活性薄膜，倍率為 100 倍來觀察，在這三種比例當中，2nd PVA-2 為最多氣孔的，2nd PVA-1 雖然也是有氣孔，但沒有比 2nd PVA-2 的氣孔多，可能也會影響到機械性質，2nd PVA-3 是在裡面當中為最平整（如圖 14 所示）。

四、結論

本文完成不同 PVA 與 CS、GG 的合成為水溶性活性薄膜，在不同的實驗檢測中，已找出適合作為抑菌包裝的參考，本文的結論如下：

1. 本文可以順利將 PVA、CS、GG、CA 合成的活性薄膜，具有水溶解及抑菌的功能未來可以應用於包裝。
2. 本文的第二代（2nd PVA）薄膜為最佳強度及抑菌效果，其烘烤成膜溶液的溫度為 95°C 度，烘烤時間為 12 hr，為 2nd PVA 薄膜的製程。
3. 2nd PVA 運用水溶解之後，1 小時的溶解度可達 100%，溶解率為 2.3 mg/min，屬於環保材料之活性薄膜。
4. 在拉伸試驗中，2nd PVA 活性薄膜的彈性係數當中最高平均為 2nd PVA-3 活性薄膜，平均彈性係數為 388 MPa，最大破壞強度為 8.4 MPa。2nd PVA-2 薄膜的平均最大應力為最佳。
5. 2nd PVA-1 的抑菌能力較好，薄膜沒有抗生素的抑菌能力強。所以 2nd PVA-1 可作為抑菌包裝的參考。

圖 13. 2nd PVA 薄膜水接觸角圖 14. 2nd PVA 薄膜（倍率 500）圖

6. 2nd PVA-1 相較於其他兩個比例較為親水性，角度為 70°，2nd PVA-2 和 2nd PVA-3 較為疏水性，角度分別為 107° 及 92°。角度可能對於薄膜中材料的 CS 有影響。PVA-3 的 CS 比 PVA-1 的 CS 少，所以接觸角的角度會比 PVA-1 來的小。
7. 2nd PVA-2 的薄膜氣孔為最多，假如氣孔較多，代表薄膜為最差，所以 2nd PVA-2 為最差。

誌謝

本論文為國科會計畫編號 110-2221-E-212-007-之計畫成果，由於國科會的支持，使本文得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

1. 衛生福利部食品藥物管理署（112 年 3 月 24 日），各類食品中毒原因介紹--金黃色葡萄球菌（*Staphylococcus aureus*），112 年 6 月 15 日，取自 <https://www.fda.gov.tw/tc/sitecontent.aspx?sid=1937>。
2. Bano, I., M. Arshad, T. Yasin and M. A. Ghauri (2019) Preparation, characterization and evaluation of glycerol plasticized chitosan/PVA blends for burn wounds. *International Journal of Biological Macromolecules.*, 124, 155-162.
3. Bevan, J. and D. Savage (2018) The effect of organic acids on the dissolution of k-feldspar under conditions relevant to burial diagenesis. *Mineralogical Magazine*, 53(372), 415-425.

-
4. He, X., F. Luzi, X. Hao, W. Yang, L. Torre, Z. Xiao, Y. Xie and D. Puglia (2019) Thermal, antioxidant and swelling behavior of transparent polyvinyl (alcohol) films in presence of hydrophobic citric acid-modified lignin nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 127, 665–676.
 5. Sathik, S. J., S. R. M. Kamil, M. A. Sithique and H. A. J. Ali (2014) Synthesis and antimicrobial activity of salicyloyl chitosan and starch blend. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological*, 4(2), 378–383.
 6. Veena, G. B., S. S. Narasagoudr, S. P. Masti, R. Chougale and Y. Shanbhag (2021) Hydroxy citric acid cross-linked chitosan/guar gum/poly(vinyl alcohol) active films for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 30, 166-17.

收件：112.07.12 修正：112.08.08 接受：112.09.13