

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	030017
參展科別	化學
作品名稱	芋頭生物塑膠材質的熱水即溶包研製

就讀學校	臺中市私立立人高級中學
指導教師	黃昱捷 顏伯昌
作者姓名	吳大謙

關鍵詞	<u>芋頭、生物塑膠、即溶包</u>
-----	--------------------

作者簡介



We are a pair of brothers passionate about science and innovation. In the past, we won a silver medal in an international science and invention competition when we were in elementary school. And later, in high school, we received the Excellence Award at the Macronix Science Awards. These achievements are a recognition of our research abilities and further demonstrate our efforts in applying innovation to real-world solutions. In our daily lives, we enjoy solving problems through collaboration, and we aim to transform scientific knowledge into outcomes that benefit society.

2025年台灣國際科學展覽會 研究報告書

區別：中區

科別：化學科

作品名稱：芋頭生物塑膠材質的熱水即溶包研製

關鍵字：芋頭、生物塑膠、即溶包

編號：(編號由國立台灣科學教育統一填列)

摘要

2023年聯合國氣候變遷大會（COP28）決議2050年淘汰化石燃料。2022年聯合國環境大會制定從源頭減少塑膠垃圾的公約。為了回應這些全球目標，本研究利用廢棄芋頭皮的黏性製作生物塑膠，用於泡麵內調味料的熱水即溶包。常溫下為調味料包裝袋，熱水沖泡後即可溶解，成為富含營養的食材。

我們發現有八種配方能夠成功使其成形。其中，成本最低的配方為芋頭：明膠：小燭樹蠟：甘油：水 = 20：15：9：9：70。該產品在 76 °C 以上的熱水中能夠溶解，第一次裂解時間為8 秒鐘以內，之後會完全溶解。該裂解時間 $y(s)$ 與溫度 $x(^{\circ}C)$ 的關係為： $y=9.53\times 10^{11}x^{-5.98}$ 。這使其適合用於泡麵時的熱水溫度，約80 °C 以上。

物理性質包括：拉伸強度為 0.70 kgf / 15 mm，伸長率為 20.4%，密度為 1.11 g/cm³，含水率為 20.3%。所有配方成分皆可食用，並可溶解於熱水中，適合作為泡麵調味料塑膠包的替代品，有助於減少農產廢棄物的處理量。

Abstract

The 2023 United Nations Climate Change Conference (COP28) resolved to eliminate fossil fuels by 2050. In 2022, the United Nations Environment Assembly established a convention to reduce plastic waste at its source. In response to these global goals, this study utilizes the adhesive properties of discarded taro peels to create bioplastics for instant noodle seasoning water-soluble packs. At room temperature, it functions as a seasoning packet, and when immersed in hot water, it dissolves and becomes a nutrient-rich ingredient.

We identified eight formulations that successfully allowed it to take shape. The most cost-effective formulation consists of taro : gelatin : candelilla wax : glycerol: water = 20 : 15 : 9 : 9 : 70. This product dissolves in hot water above 76 °C, with an initial degradation time of under 8 seconds, after which it completely dissolves. The relationship between degradation time y (seconds) and temperature x (°C) is expressed as: $y = 9.53 \times 10^{11} x^{-5.98}$. This makes it suitable for use in instant noodle hot water temperatures, typically above 80°C.

Its physical properties include a tensile strength of 0.70 kgf / 15 mm, elongation of 20.4 %, density of 1.11 g/cm³, and a moisture content of 20.3 %. All components of the formulation are edible and can dissolve in hot water, making it a viable alternative to plastic noodle seasoning packs and contributing to the reduction of agricultural waste.

目錄

壹、前言	1
一、研究動機	1
二、研究目的	1
三、文獻探討	2
貳、藥品及研究器材	3
一、藥品	3
二、器材	3
參、研究過程及方法	4
一、研究架構	4
二、實驗流程	5
(一) 研製芋頭生物塑膠配方	5
(二) 熱水溶解實驗	6
(三) 生物塑膠降解性測試	6
(四) 物性測試	6
肆、結果與討論	8
一、芋頭生物塑膠最低成本配方	8
二、熱水溶解實驗	10
三、生物塑膠降解性測試	12
四、物性測試	13
伍、結論	15
陸、參考文獻	16
附錄1. 根據田口法第一階段配方製作的的生物塑膠	17
附錄2. 根據田口法第二階段配方製作的的生物塑膠	18

圖目錄

圖1 芋頭去皮作業，遺留許多殘渣	1
圖2 使用的藥品	3
圖3 使用的設備	3
圖4 研究架構	4
圖5 芋頭生物塑膠製造步驟圖解	5
圖6 芋頭生物塑膠成品（B1配方）	9
圖7 第一次裂解時間 y (s) 與溫度 x ($^{\circ}\text{C}$) 相關圖	11
圖8 生物塑膠置於土壤的降解性測試一個月	12
圖9 拉伸強度實驗	13

表目錄

表1 4個變因3種水準的直交表	6
表2 第一階段9種配方實驗結果	8
表3 第二階段8種配方實驗結果	9
表4 生物塑膠片熱水溶解實驗	10
表5 拉伸強度實驗數據	13
表6 密度實驗	14
表7 含水率實驗	14

壹、前言

一、研究動機

台中大甲生產的芋頭製成的產品 例如芋頭酥、芋頭冰、芋粿、芋仔餅是地方上具代表的特色農特產。但去皮產生廢棄物（圖1），也造成不少的困擾。

Sandra Pascoe Oritiz 利用仙人掌汁液，製作出生物可分解塑膠。2023年COP28會議決議：脫離化石燃料及2022年聯合國塑膠減量宣言。我們認為可以結合台灣的農業廢棄物，製造一種全新的天然生物塑膠。又因該生物塑膠可食用且溶解於水，可以取代泡麵內調味料的塑膠袋，於是拿彰化阿公家栽種具有蛋白質黏液的芋頭，製作出芋頭生物塑膠。



圖1 芋頭去皮作業，遺留許多殘渣(圖片來源：親自拍攝)

二、研究目的

本研究主要研製可食用及生物降解的芋頭生物塑膠，製作熱水即溶包，以取代泡麵中內部的塑膠調味包，能減少農漁業的廢棄物，對環境保護有所助益。其目的：

(一) 研製芋頭生物塑膠最低成本的配方

(二) 芋頭生物塑膠熱水溶解實驗

(三) 芋頭生物塑膠降解性測試

(四) 芋頭生物塑膠物性實驗(拉伸強度測試、含水率、密度、可燃性測試)

三、文獻探討

2023年12月第28屆聯合國氣候大會（COP28）於杜拜落幕，談判達成「阿聯共識」（UAE consensus），各國一致同意「以公正、有序且公平」的方式「脫離」化石燃料，以符合科學的方式在2050年達成淨零碳排¹。全球每年生產的塑膠高達4億噸，其中每年有1100萬噸塑膠流入海洋。2022年3月，聯合國環境大會決議確立公約，此公約將涵蓋源頭減廢，而非僅回收再利用²。另外聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)第12項目標-責任消費與生產。即改善用完即丟，快速消耗地球資源，造成環境衝擊。

聚乙烯醇、植物漿、鹽、防水劑和油然後混合過濾。將混合物倒入模具中以獲得材料，然後將其擠出；可以生產出來的易降解購物袋³。

Sandra Pascoe Oritiz 將仙人掌汁液 添加到明膠中，再添加甘油保濕劑，加熱再加入小燭樹蠟，然後將其倒入模具中並使其冷卻，然後將其適當成形以供使用，例如作為包裝材料^{4,5}，以取代塑膠袋。

小燭樹蠟熔點為68~72 °C，可做唇膏；並可添加入大豆油中，作為油炸馬鈴薯片用的膠狀油，該油品具有低飽和脂肪酸且氧化安定性的特性⁶；小燭樹蠟也可以成為巧克力外面呈現亮光的塗層。明膠是膠原蛋白，通常自牛、豬和魚的皮、骨骼、結締組織中提取，是膠原蛋白的一水解形式，冷卻至40 °C以下，成為凝膠狀。常用軟糖、冰淇淋、棉花糖⁷。甘油可用作保水劑和甜味劑⁸，而以上材料皆是可食用。本研究擬以芋頭、明膠、甘油、小燭樹臘為基材，製作一個常溫下可當作調味料的包裝袋，在熱水沖泡下溶解，成為可食用的產品。

貳、研究設備及器材

一、藥品

明膠、甘油、小燭樹臘、芋頭(圖2)。



圖2 使用的藥品(圖片來源：親自拍攝)

二、器材

秤重計、量筒、果汁機、微波爐、加熱板、塑膠模板、打火機、烘箱、拉力試驗機 ADMET eXpert 7601 (圖3) (圖片來源：親自拍攝)。



圖3 使用的設備(圖片來源：親自拍攝)

參、研究過程與方法

一、研究架構(圖4)

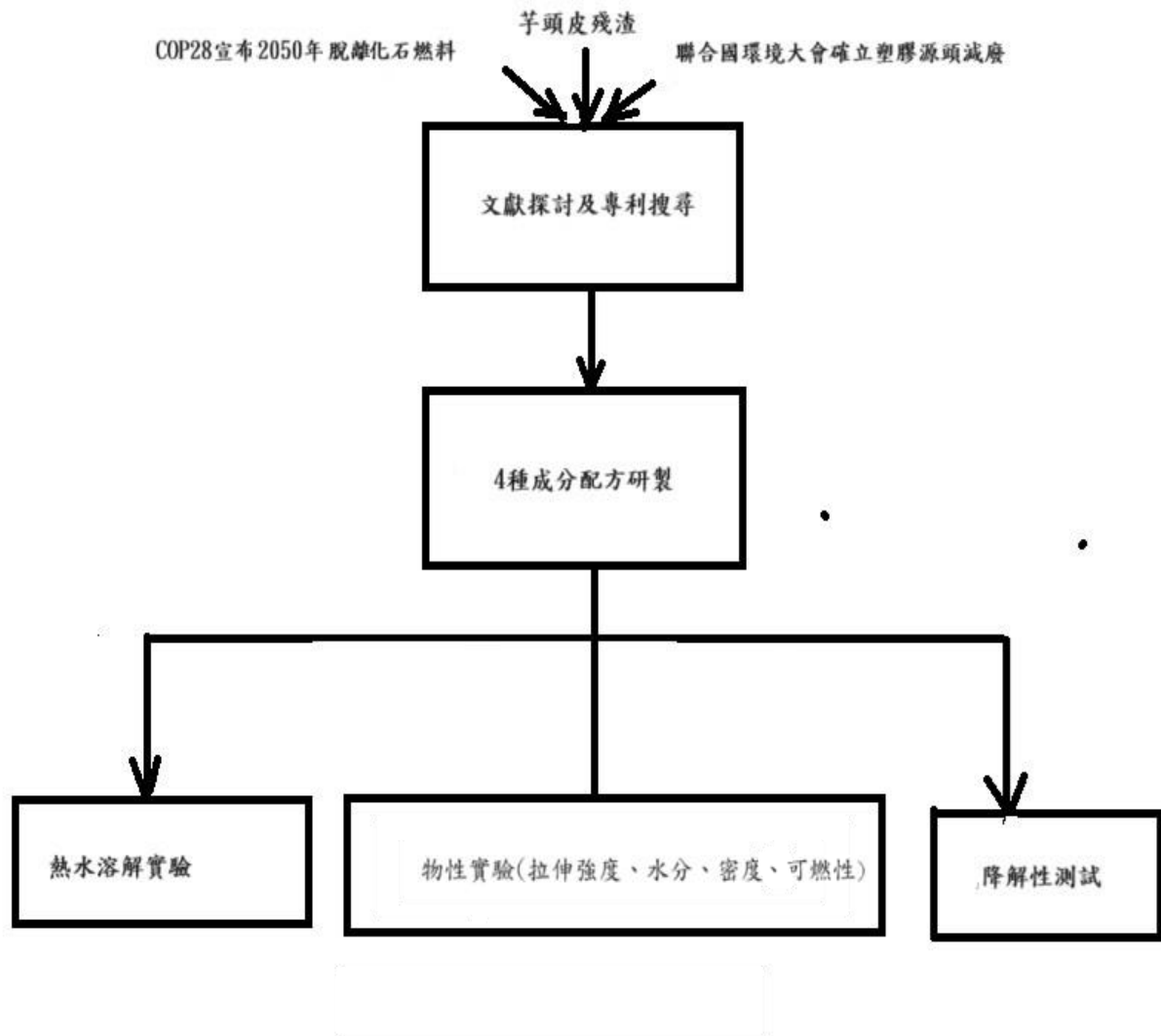


圖4 研究架構

二、實驗流程

(一)研製芋頭生物塑膠配方

利用 A 液（芋頭去皮殘渣、明膠、水）與 B 液（小燭樹臘、甘油），製造出生物塑膠。實驗流程（圖5）：

1. 小燭樹臘（6、9、12）克、甘油（6、9、12）克以微波爐加熱1.5分鐘至物質溶解。
2. （20、30、40）克芋頭 及己二烯酸鉀0.3克加入70克水，以攪拌機打碎。
3. （2）液加上明膠（15、18、21）克以平板電熱器，加熱至完全溶解。
4. （1）液趁熱加入（3）液中。灌入塑膠模具中，靜置3天後拆模。
5. 成品放置於日光處風乾30天。

			
1. 小燭樹臘、甘油 以微波爐加熱。	2 芋頭 己二烯酸鉀及 水，以攪拌機打碎。	3. 將(2)液及明膠以 平板電熱器加熱至完 全溶解；然後再加入 (1)液。	4 . 將(3)液倒入塑膠模 板中。

圖5 芋頭生物塑膠製造步驟圖解(圖片來源：親自拍攝)

本研製配方之變因共4個，每個變因有3種水準。分別是芋頭（20、30、40）克、明膠（15、18、21）克、小燭樹臘（6、9、12）克、甘油（6、9、12）克。為了縮小實驗規模，則根據田口法實施二階段篩選。

利用直交表（如表1） $[A] \cdot [B] = [B] \cdot [C] = [C] \cdot [D] = [A] \cdot [C] = [A] \cdot [D] = [B] \cdot [D] = 36$ 。

表1 4個變因3種水準的直交表

EXP.	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

第一階段則有9種配方，然後第二階段 固定成功樣本的變因，其餘變因再交叉實驗，即可找出可成型的配方。

(二)熱水溶解實驗

- 1.製作2cm*2cm 大小的試片
- 2.將試片置入熱水中，稍微攪拌，生物塑膠片吸飽水後，第一次裂開所需的時間。

(三)生物塑膠降解性測試

將成品埋入土壤中一個月，觀察製作出的生物塑膠分解情形。

(四)物性測試

1.拉伸測試實驗

以薄膜拉伸測試見於 ASTM D882等測試相關規範，用於測試細薄的塑膠試片（小於1 mm），通常厚度小於0.25 mm 即被定義成薄膜，厚度大於1 mm 的塑膠板，應參照 ASTM D638的測試方法，夾持上須注意夾具的選用，過於強力的夾具易造成夾面處破壞。試片長度100 mm 、寬度15 mm。

2.水分測試

將樣品後精秤，放入烘箱中，乾燥溫度為100~110 °C，乾燥時間為1~6小時，精秤樣本，再將樣本繼續乾燥一小時，冷卻、精秤，重複上述步驟直到樣品重量直到恆重。

$$\text{水分含量(\%)} = (\text{樣品重量} - \text{乾燥後恆重的重量}) / \text{樣品重量}$$

3.密度測試

利用天平測定質量，利用排水法測定體積，計算密度。

4.可燃性測試

利用打火機燒生物塑膠片，測試燃燒結果。

肆、結果與討論

一、芋頭生物塑膠最低成本配方

芋頭（20,30,40）克、明膠（15,18,21）克、小燭樹蠟（6,9,12）克、甘油（6,9,12）克，利用田口法找出最佳配方。

表2 第一階段9種配方實驗結果

實驗序列	芋頭	明膠	小燭樹蠟	甘油	結果
A1	20	15	6	6	不成形
A2	20	18	9	9	成形
A3	20	21	12	12	有一部分未成形
A4	30	15	9	12	成形
A5	30	18	12	6	不成形
A6	30	21	6	9	不成形
A7	40	15	12	9	不成形
A8	40	18	6	12	不成形
A9	40	21	9	6	不成形

第一階段配方實驗除 A2及 A4已成形，其餘皆不能使用（表2）。

第二階段配方（參考第一次實驗成形的配方）：芋頭（20,30）g、甘油（9、12）g，明膠15、18g，小燭樹蠟固定9克。

結果：八個均可完美成型，芋頭生物塑膠成品 B1配方樣本如圖9 所示。

表3 第二階段8種配方實驗結果

實驗序列	芋頭	明膠	小燭樹蠟	甘油	結果
B1	20	15	9	9	完美成形
B2	20	15	9	12	完美成形
B3	20	18	9	9	完美成形
B4	20	18	9	12	完美成形
B5	30	15	9	9	完美成形
B6	30	15	9	12	完美成形
B7	30	18	9	9	完美成形
B8	30	18	9	12	完美成形



圖6 芋頭生物塑膠成品（B1配方）（圖片來源：親自拍攝）

小結論：成形的生物塑膠片，以 B1 製造成本最低，

最低成本的配方為芋頭：明膠：小燭樹蠟：甘油：水= 20：15：9：9：70

實驗過程中遇到問題：

- 1.塑膠片厚薄不均：膠質流動分散時間僅有二分鐘，時間過短造成塑膠片厚薄不均。
- 2.塑膠片上面有顆粒：可能是小燭樹蠟熔點為68~72 °C 因此須注意在倒入模板前 需注意溶液溫度下降問題，導致結成顆粒的問題。
- 3.燒焦問題：明膠流動性不佳，常因水分蒸乾後，造成明膠燒焦，因此需攪拌均勻後，立刻到入模板中。

二、熱水溶解實驗

本實驗先製作2cm*2cm 大小的試片，然後將試片置入熱水中，生物塑膠片吸飽水後，稍微攪拌，第一次裂開時間。

表4 生物塑膠片熱水溶解實驗

實驗次數	熱水溫度 (°C)	第一次裂開時間(s)	備註
1	100	0.31	最後生物塑膠完全溶解
2	94	1.05	最後生物塑膠完全溶解
3	90	2.38	最後生物塑膠完全溶解
4	87	2.34	最後生物塑膠完全溶解
5	85	3.21	最後生物塑膠完全溶解
6	81	5.67	最後生物塑膠完全溶解
7	80	5.51	最後生物塑膠完全溶解
8	77	5.66	最後生物塑膠完全溶解
9	76	7.23	最後生物塑膠完全溶解
10	70	13.56	最後生物塑膠有小細塊
11	69	13.55	最後生物塑膠有小細塊
12	67	14.01	最後生物塑膠有小細塊
13	66	15.78	最後生物塑膠有小細塊
14	65	20.12	最後生物塑膠有小細塊
15	60	23.87	最後生物塑膠有小細塊
16	56	31.22	最後生物塑膠有小細塊
17	50	45.55	最後生物塑膠有小細塊
18	48	76.43	最後生物塑膠有小細塊
19	45	160.33	最後生物塑膠大塊狀多
20	40	223.12	最後生物塑膠大塊狀多

利用 ChatGPT 計算以最小二次平方誤差計算關係式 $y=9.53 \times 10^{11}x^{-5.98}$ ，相關係數 $=0.953$ ，第一次裂解時間 y (s), 溫度 x ($^{\circ}\text{C}$)。相關的圖形以圖7表示。

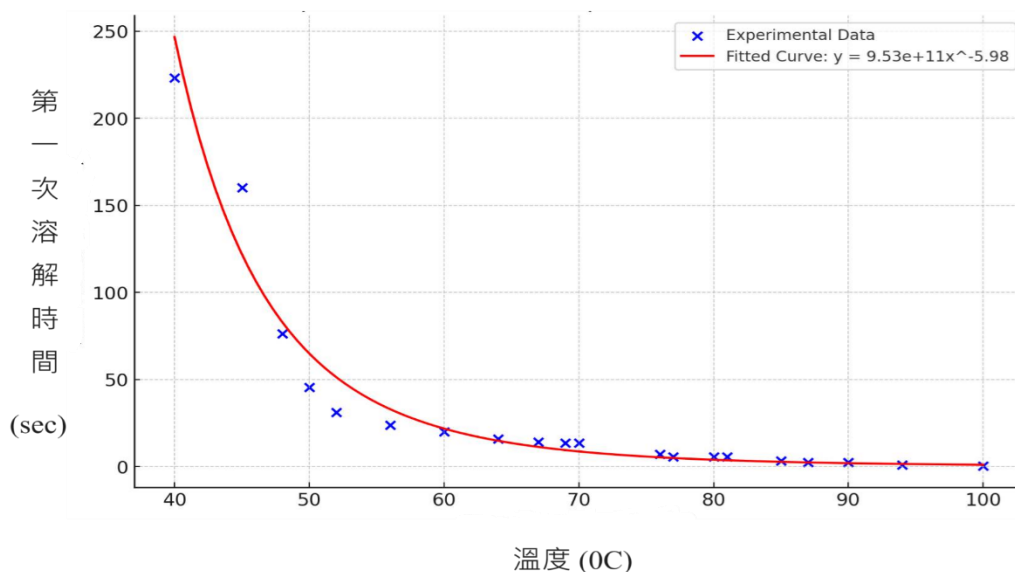


圖7 第一次裂解時間 y (s)與溫度 x ($^{\circ}\text{C}$) 相關圖

小結論：

- 1.以最小二次平方誤差計算關係式 $y=9.53 \times 10^{11}x^{-5.98}$ ，相關係數 $=0.953$ ，第一次裂解時間 y (s), 溫度 x ($^{\circ}\text{C}$)。
- 2.小燭樹蠟熔點為 $68 \sim 72^{\circ}\text{C}$ ，明膠熔點約為 40°C ，因此 76°C 以上，第一次裂開時間在 8 秒鐘以內，爾後會全部溶解於熱水中。可能是小燭樹蠟及明膠完全溶解的關係。
- 3.在 $45 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 以下，雖然生物塑膠吸飽水分後，一樣會裂解，但會有部分不能完全溶解。可能是小燭樹蠟不能溶解，但明膠可溶解。
4. 在 45°C 以下 生物塑膠一樣會裂解，但大塊狀變多，可能是明膠和小燭樹蠟都開始不能溶解。因為明膠冷卻至 40°C 以下，也成為凝膠狀。

實驗過程中遇到問題：

- 1.生物塑膠片吸飽水後，塑膠片裂解後會繼續形成小顆粒，然後會慢慢溶解於水中。
『第一次裂解時間』會因為觀察的角度及主觀認定的不同而產生誤差。
- 2.攪拌也會增加『第一次裂解時間』提早。

三、生物塑膠降解性測試

片狀的生物塑膠放於花盆，以土壤覆蓋，已腐爛（圖8），可見該樣品容易被生物分解，不會對環境產生危害。



(a)



(b)

圖8 生物塑膠置於土壤的降解性測試一個月(a)測試前 (b)測試後

(圖片來源：親自拍攝)

小結論：

生物塑膠於一月份置於土壤的降解性測試一個月，約可生物分解。

實驗過程中遇到的問題：

實驗期間正值冬天 於戶外溫度 15 °C、濕度約60 %，所以其分解時間應較長，如放於夏天高溫高濕環境下，分解時間應較短。

四、物性測試

1. 拉伸強度

本實驗委託新竹食品工業發展研究所，使用 ASTM D882 薄膜拉伸實驗的規範做拉伸實驗，試片於試驗機上拉伸的長度 100 mm、寬度 15 mm。測試速度 12.5 mm/min。該實驗結果如圖 9 及表 5 表示。

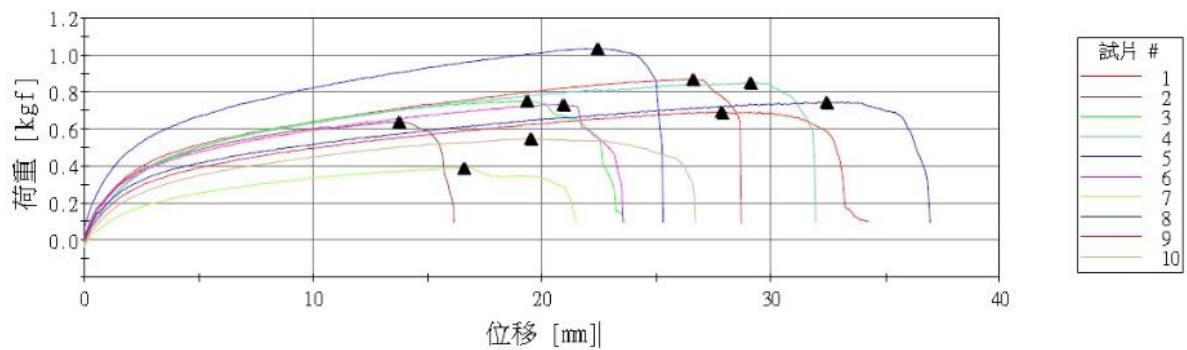


圖 9 拉伸強度實驗

表 5 拉伸強度實驗數據

項次	拉力(kgf)	位移(mm)	伸長率(%)
1	0.39	13.8	13.8
2	0.63	16.9	16.9
3	0.53	19.4	19.4
4	0.72	19.3	19.3
5	0.70	20.9	20.9
6	1.20	20.2	20.2
7	0.87	26.3	26.3
8	0.68	27.4	27.4
9	0.83	29.3	29.3
10	0.91	30.2	30.2
平均值	0.70	22.4	22.4

小結論：拉伸強度=0.70 kgf / 15 mm、標準差：0.217

伸長率：20.4 %、標準差：5.98 %。

實驗過程中遇到的問題：

數據的標準差較大的原因可能是薄膜的厚薄不均 及內部含水率不同所致。

2. 密度：

利用秤量計測定質量，利用排水法測定體積。測試3個樣本，數據如表6所示。

表6 密度實驗

項次	質量(gw)	排水體積(mL)	密度(g/cm ³)
1	7.56	6.8	1.11
2	6.73	6.1	1.10
3	8.71	7.8	1.12

密度的平均值=1.11g/cm³

3. 含水率：

烘箱溫度設定100 °C，數據如表7所示。

表7 含水率實驗

項次	原重(g)	24小時後重量(g)	48小時後重量(g)	含水率(%)
1	2.34	1.84	1.83	21.3
2	3.16	2.54	2.54	19.6
3	2.23	1.78	1.77	20.1

含水率的平均值=20.3%

4. 可燃性：

利用打火機的火不能點燃該生物塑膠。

伍、結論

- 一、研製芋頭生物塑膠八個可成型配方（如表3），成形的生物塑膠片，最低成本的配方為芋頭：明膠：小燭樹蠟：甘油：水=20：15：9：9：70。
- 二、熱水溶解實驗中，關係式 $y=9.53 \times 10^{11} x^{-5.98}$ ，相關係數=0.953，第一次裂解時間 $y(s)$ ，溫度 $x(^{\circ}C)$ 。76 $^{\circ}C$ 以上，第一次塑膠片裂開迅速，時間在 8 秒鐘以內；且最後生物塑膠片完全溶解，可能是熱水溫度高於小燭樹蠟熔點(68~72 $^{\circ}C$)及明膠熔點(40 $^{\circ}C$)。在45 ~70 $^{\circ}C$ 以下，雖然生物塑膠吸飽水分後，一樣會裂解，但會有部分不能完全溶解。可能是小燭樹蠟不能溶解的關係。在45 $^{\circ}C$ 以下生物塑膠一樣會裂解，但大塊狀變多，可能是明膠和小燭樹蠟都開始不能溶解。因為明膠冷卻至40 $^{\circ}C$ 以下，也成為凝膠狀。
- 三、生物塑膠放於土中一個月，即可分解。
- 四、生物塑膠的物性：
 1. 拉伸強度= 0.70 kgf/15 mm、標準差：0.217
伸長率：20.4 %、標準差：5.98 %。
 2. 密度= 1.15 g/cm³
 3. 含水率= 20.3 %
 4. 不可燃
- 五、研製的生物塑膠配方全部是可食用，可以溶解於熱水中，用來取代泡麵內的調味料塑膠包，減少農產廢棄物處理量。

陸、參考文獻資料

1. 環境資訊中心, ”COP28氣候大會回顧：除了脫離化石燃料還談成了什麼？ ”
<https://e-info.org.tw/node/238173>
2. 綠色和平組織, ”推動全球塑膠公約”, 2024年1月15日
<https://www.greenpeace.org/taiwan/%E6%B8%9B%E5%A1%91/%E6%8E%A8%E5%8B%95%E5%85%A8%E7%90%83%E5%A1%91%E8%86%A0%E5%85%AC%E7%B4%84/>
3. P. M.M. Salvador, G.P.O. Felipe, C.Z. Leadro, A.Y.J. David, M.T.M. Cesar, R.J. Carlos, C.F. Jimmy, O.V.D. Juan, O. B. J. Manuel, P.P. Mariana (2017) , ”Biodegradable, programmable synthetic polymeric material and its preparation process”, US patent number : 10781291-B2
4. S.P. Ortiz(2019) , ”How to make biodegradable plastic from cactus juice”, BBC World Service, podcast , <https://www.youtube.com/watch?v=mtvdizhYq6c>
5. S.P. Ortiz (2014) , ”生產可生物降解塑料材料的方法“, 墨西哥專利字號 MX2014015068A
6. 王 俞 婷, 徐 錫 樑(2020), ”添加不同比例小燭樹蠟的大豆膠狀油對油炸馬鈴薯片的品質特性及氧化安定性之影響“, 台灣農業化學與食品科學, 58, 85-96
7. wiki, ”明膠“, 2024年5月12日, <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%98%8E%E8%86%A0>
8. wiki, ”甘油“, 2024年5月12日, <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%94%98%E6%B2%B9>
9. 圖片來源皆親自拍攝。

附錄1

根據田口法第一階段配方製作的生物塑膠(圖片來源：親自拍攝)



A1



A2



A3



A4



A5



A6



A7



A8



A9

附錄2

根據田口法第二階段配方製作的生物塑膠(圖片來源：親自拍攝)



B1



B2



B3



B4



B5



B6



B7



B8

【評語】 030017

研製的生物塑膠配方全部是可食用，可以溶解於熱水中，用來取代泡麵內的調味料塑膠包，減少農產廢棄物處理量。本工作以八種成本最低的配方 芋頭：明膠：小燭樹蠟：甘油：水= 20：15：9：9：70 成功使其成形。該產品在 76 °C 以上的熱水中能夠溶解，第一次裂解時間為 8 秒鐘以內，之後會完全溶解。這使其適合用於泡麵時的熱水溫度，約 80 °C 以上。所有配方成分皆可食用，並可溶解於熱水中，適合作為泡麵調味料塑膠包的替代品，有助於減少農產廢棄物的處理量。可增加化學成分所扮演的角色同學表達清晰，但內容的化學解釋部分稍微欠缺，且強調用芋頭皮上殘餘的澱粉製造，唯芋頭皮的供應有限，侷限未來應用。