

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 動物與醫學科

(鄉土)教材獎

052011

養耕共生～黑柿柑仔蜜的微膠囊應用

學校名稱：嘉義市私立宏仁女子高級中學

作者： 高三 張叡妮	指導老師： 蔡珮新
-------------------	------------------

關鍵詞：養耕共生、黑柿番茄、微膠囊

摘要

環保、健康、資源再利用是發展趨勢，故創建「生態綠生活園區」，運用養耕系統種植黑柿番茄，其生長速率快、抗氧化佳，製備成發酵液，其 SOD 活性達 682.8 U/g，抗氧化力 89.11%，與新鮮番茄液有顯著差異。為維持抗氧化力的穩定性，製備含 γ -聚麩胺酸的微膠囊，包覆率 85.98%。室溫放置一個月，抗氧化力下降量 11.8%，較開封後室溫保存兩週的發酵液，抗氧化力下降量 35.9% 少。取具抗菌功效的蜂蜜當粘稠劑，加入微膠囊製成無毒天然貼布，取代市面上含化學成分的貼布。模擬使用時拍壓擠破微膠囊，讓發酵液與蜂蜜混合的外敷膏狀物，測定經皮吸收速率，第一小時速率為 $1.38 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{hr}$ 較新鮮番茄液的外敷膏狀物快，能減少敷料時間即可吸收，未來可應用於醫藥保健產品實施相關性之研究。

壹、研究動機

疫情期間因減少移動，加上居家上班或線上學習，長期使用電腦，易出現腰酸背痛、肩頸疼痛的問題，許多人習慣使用痠痛貼布來緩解不適感。2007 年美國發生一名學生，因過量使用減輕肌肉痠痛藥物導致死亡的案例，其體內含過量甲基水楊酸，最後證實是同時使用痠痛貼布又吃消炎藥，導致肝壞死（陳蔚承，2021）。因現今環保、健康、資源循環再利用的趨勢興起，故設置「生態綠生活園區」。發揮創意設計建構養耕共生系統，在整合水生動物與水生植物一起的生態平衡永續發展概念，進行真實耕作與養殖，從生活中發現問題並解決問題。故採用園區內魚菜共生系統，種植具抗氧化力的黑柿番茄，欲製作一款含有天然成分，又可保持其抗氧化力的微膠囊貼布。提高無毒環境的零污染目標，減少環境中有害化學物質的使用，落實生活環保及綠色生活理念。

貳、研究目的

一、研究目的

- (一) 發揮創意設計建構養耕共生系統，結合環保永續且具文創美學的「生態綠生活園區」。
- (二) 量測養耕共生系統水質之 pH 值、溫度、電導度的變化，對系統中生物的影響。
- (三) 採用養耕共生系統進行之水耕栽培方式與傳統土耕栽種方式種植黑柿番茄，比較其生長速率及狀態。再取水耕黑柿番茄製成番茄發酵液，測三者間 SOD 活性及抗氧化力有無顯著差異。
- (四) 以番茄發酵液與海藻酸鈉、 γ -聚麩胺酸，製備成「黑柿柑仔蜜微膠囊貼布」，測其經皮吸收速率，縮短敷料時間。並運用微膠囊化，增加番茄發酵液抗氧化物質儲存的安定性。

二、文獻探討

(一) 魚菜共生

養耕共生系統的原理是將養殖生物排放至水中的廢物，經硝化作用後由農作物吸收，藉作物將水淨化後，再回收當新的養殖用水，提高水的利用效率，是一種耗能低且對環境很友善的生產方式。(楊清富、鄭安秀，2016)

(二) 火山岩

火山岩是火山爆發後，形成的非常珍貴之多孔形石材，含有豐富的鈉、鎂、鋁、矽、鈣、錳、鐵、磷、鎳、鈷等幾多種礦物質。(陳彥嘉，2015) 因其在表面均勻布滿氣孔，同時具抗風化、耐高溫、吸聲降噪、吸水防滑阻熱、調節空氣濕度，改善生態環境等功效。

(三) 水質檢測 (王銀波, 1989)

1. pH 值：即水體的酸鹼值，飼養大多數魚類的水體 pH 值約為 6.5 至 8.5。若 pH 值過低時，魚類會出現新陳代謝減速、生長緩慢之狀況，長時間則會使神經系統和呼吸系統受損；若 pH 值過高時，可能出現鰓絲出血、皮膚腫脹，長期會導致死亡且易被寄生蟲寄生。
2. 溫度：水溫的變化易受氣候影響，對生物的活性及代謝速率有影響。
3. 電導度 (EC)：即表示水傳導電流的能力，與水中離子總濃度、移動性、水溫等有關。當電導度愈高時，水中電解質含量較多，因大部分鹽類都可電離，故水中總溶解固體的多寡可用電導度來呈現。電導度太高對灌溉有不佳的影響，為灌溉水質之重要檢測項目之一。

(三) 黑柿番茄與番茄紅素

黑柿番茄，別稱黑番茄、一點紅，為果實類的中藥材，外表呈翠綠色，果實大，外皮薄，營養價值頗高。較紅番茄，有大約高 10 倍左右的維生素 c 及抗氧化劑，且含大量花青素，能與人體內產生較強的生物學效應，起抗癌的作用。能降低膽固醇、滋陰壯陽、抗菌消炎、抗衰老、防止毛細血管破裂和血管老化等功效。(陳芊穎, 2014)

番茄紅素 (Lycopene) 又稱茄紅素，一般而言，以番茄中所含的番茄紅素含量最為豐富，其分子式為 $C_{40}H_{56}$ ，屬類胡蘿蔔素之一種，為脂溶性，結構呈紅色針狀或柱狀，具有十一個連續的共軛雙鍵結構，因此擁有極佳的電子或自由基吸收能力，是一種天然的抗氧化劑。

(李名達, 2001)

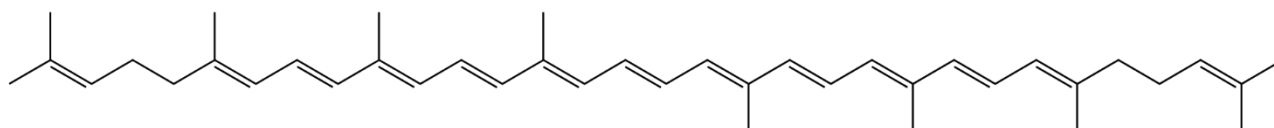


圖 1、茄紅素的化學結構式 (資料來源：李名達, 2001)

(四) 抗氧化原理

DPPH•具有一個不成對電子，溶於乙醇溶液中呈藍紫色，在 517 nm 下有強的吸光值，是相當穩定的自由基。抗氧化劑 (AH) 能提供氫離子，DPPH•得以被清除 ($\text{DPPH}\cdot + \text{AH} \rightarrow \text{DPPH-H} + \text{A}\cdot$)，顏色由藍紫轉為淡黃色，吸光值隨之降低。故藉由 517 nm 下吸光值的變化，評估抗氧化物清除自由基的能力。當吸光值越低時表示樣品抗氧化物的供氫能力越強，即清除 DPPH•自由基能力越強。(劉奐亭，2007)

(五) 分光光度計原理

採用一個可以產生多個波長的光源，通過分光裝置，產生特定波長的光源，光源透過測試的樣品後，部分光源被吸收，計算樣品的吸光值 (Optical Density, 簡寫成 OD)，轉化成樣品的濃度。樣品的吸光值與樣品的濃度成正比。(李昌厚，2010)

(六) 發酵

日本發酵文化協會的定義：「發酵為透過微生物的作用，將有機物分解、變化，進而產出新物質的現象，其主要在缺乏氧氣的環境下進行，目的為微生物為了獲取養份能量。」成熟果實的果皮上有天然酵母菌，可行自然發酵，在一定的環境條件下，對有效成分進行生物學轉化成發酵液，將大分子物質轉變成能夠被人體吸收的小分子成分(王艾迪，2020)。其主要成分為發酵代謝物，大多為碳水化合物及多種生物酶，如超氧化物歧化酶 (SOD)、過氧化氫酶等酵素活性。(秦宇蒙等，2022)

(七) 超氧化物歧化酶 (SOD)

具有超氧化物歧化酶活性的蔬果可促進人體健康，減少文明病或慢性病的發生(Liochev and Fridovich, 2010)。超氧化物歧化酶是一種抗氧化酵素，具有很強的自由基清除能力 (Fridovich, 1995)，能清除 $\text{O}_2\cdot^-$ ，有效預防 $\text{O}_2\cdot^-$ 對身體的毒害作用，進而達到抗衰老、抗發炎、抗腫瘤及抗輻射等功能，於保健品、醫藥和化妝品中具有重要的應用價值。

SOD 能催化超氧化物陰離子發生歧化作用，生成 H_2O_2 和 O_2 ，在生物抗氧化系統中具

有重要作用。藉黃嘌呤及黃嘌呤氧化酶反應產生超氧陰離子 ($O_2^{\cdot-}$)， $O_2^{\cdot-}$ 可與 WST-1 反應生成水溶性黃色甲臍，在 450nm 處有吸收。SOD 可清除 $O_2^{\cdot-}$ ，從而抑制了甲臍的形成。反應溶液的顏色越黃，表示 SOD 活性愈低。(張宇賢，2011)

(八) 微膠囊釋放機制

微膠囊技術是一種將功能性氣體、液體或固體顆粒包覆在微型容器內的技術，具有包覆物質之功能。微型容器以高分子聚合物為主材，如海藻酸鈉，可依所包覆之核心物質而有不同的功效。且微膠囊的芯材能夠透過電擊、化學法與物理性得撞擊來破壞殼材，釋放出有效物質 (曾詣安，2022)。

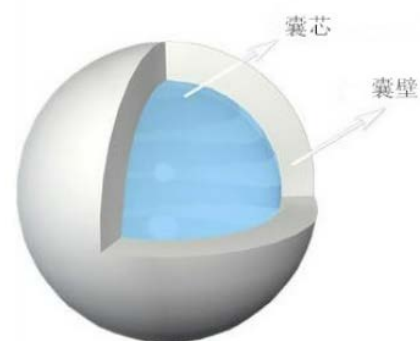


圖 2、微膠囊以囊壁包護囊芯中的有效物質 (資料來源：Presafar)

(九) 海藻酸鈉 (鄒文心，2016)

海藻酸鈉的分子式 ($C_6H_7NaO_6$)_n，分子量約為 32000 至 200000。是天然無毒的陰離子直鏈狀高分子聚合物，由兩種單醣所組成，甘露醣醛酸及古洛糖醛酸結合成多醣高分子。具吸濕性，於 25°C 下，密封良好的容器中有相當高的穩定性，可適用於藥物傳輸系統 (King and Zall,1983)。海藻酸鈉可形成球體和微膠囊，其膠體可包護易揮發、易流失的物質。

(十) γ -聚麩胺酸

聚麩胺酸 (γ -polyglutamic acid) 是由微生物發酵合成一種生物可降解的天然高分子材料，分子量約 100 KDa~3000KDa。照射聚麩胺酸可形成高吸水性之水凝膠材料，作為藥物釋放材料。亦可成為有效擔體和動物膠合併後，包覆核心物質，能增加儲存的安定性。(吳芳禎等，2017)

(十一) 物性測定儀原理

物性測定儀是採量測時間、力、距離三種數據，繪製質構曲線，再經數值的計算，算

出對應的數值。主要反應與力學特性相關的食品質地特性，可通過配備的軟件對結果進行準確的感官量化處理，以量化指標客觀評價食品，避免人為因素對食品品質評價結果的主觀影響。其原理是測量探頭以等速度下壓食物，當食物產生形變時，產生一股抵抗於探頭表面的力，同時機器記錄不同時間點探頭下所受到的力值，進一步再將測量到的數值進行分析轉換，可求出模仿手拍下壓力之分析。(劉亞平、李紅波，2011)

(十二) 蜂蜜

蜂蜜主要成分為醣類，含有鉀、鈣、鎂、維生素 B1、維生素 B2、維生素 K 等各種礦物質與維生素。於中醫理論上，蜂蜜甘平無毒，能益氣補中。在西醫方面上，擁有抗菌、促進傷口癒合、降低心血管疾病風險、消除疲勞、抗氧化等功效。用於外敷時，能讓皮膚具有彈性，更加養顏美容，是天然的護膚品，亦能消除皮膚上的色素沉著、促進上皮組織再生。(文子齊，2022)

(十三) 經皮吸收

皮膚為人體的第一道防線，能阻隔外界異物或病菌的入侵，藥物得從三種途徑進入人體（如圖 3），第一種為直接穿透角質層，第二種則由角質細胞間隙進入，第三種是從附屬器官開口進入，如毛囊、汗腺、皮脂腺等。

經皮吸收指的是外用藥物或化妝品的有效成份透過皮膚到達身體不同層面作用的過程，廣泛用於評估藥物、化妝品、保養品等擴散穿透皮膚的效率。豬的表皮顆粒層的厚度為 21-26 (μm)，與人類皮膚的構造在組織學上有許多相似之處，兩者均呈現相似的穿透性，另外豬耳皮膚毛囊密度為 ($20 \mu/\text{cm}^2$) 與人類頭部 14-32 (μ/cm^2) 接近，適合作為經皮吸收試驗材料。(林詠凱等，2020)

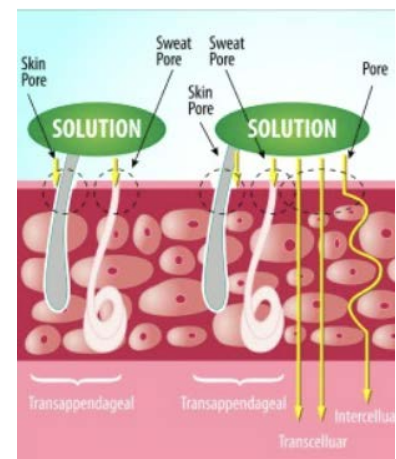


圖 3、經皮吸收的三大途徑

(資料來源：科安知識庫)

參、研究設備及器材

一、材料 (圖 4~圖 12)

- (一) 乳酸鈣 (二) 極火蝦 (三) 蜂蜜 (四) γ -聚麩胺酸 (五) 豬耳皮膜 (六) 海藻酸鈉
(七) 沈水馬達 (八) 赤玉土 (九) 火山岩 (十) 超氧化物歧化酶活性檢測試劑盒
(十一) 培養土

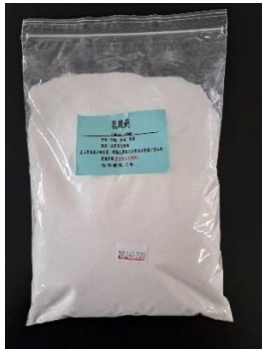


圖 4、乳酸鈣



圖 5、極火蝦



圖 6、蜂蜜



圖 7、 γ -聚麩胺酸



圖 8、豬耳皮膜



圖 9、海藻酸鈉



圖 10、沈水馬達



圖 11、赤玉土



圖 12、火山岩

二、設備及器材（圖 13～圖 24）

- （一）精密天平：HZK-FA210（二）無菌操作台（三）微量滴管（四）試管振盪器
（五）分光光度計：SP-7205（六）組裝之經皮吸收儀器（七）滅菌釜（八）水質檢測計
（九）游標尺（十）Franz 垂直擴散槽（十一）物性測定儀（十二）高速離心機：CN-2200



圖 13、精密天平



圖 14、無菌操作台



圖 15、微量滴管



圖 16、試管振盪器



圖 17、分光光度計



圖 18、組裝之經皮吸收儀器



圖 19、滅菌釜



圖 20、水質檢測計



圖 21、游標尺



圖 22、Franz 垂直擴散槽

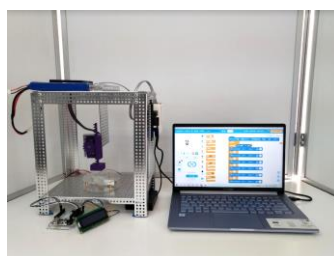


圖 23、物性測定儀



圖 24、高速離心機

肆、研究過程或方法

一、實驗大綱

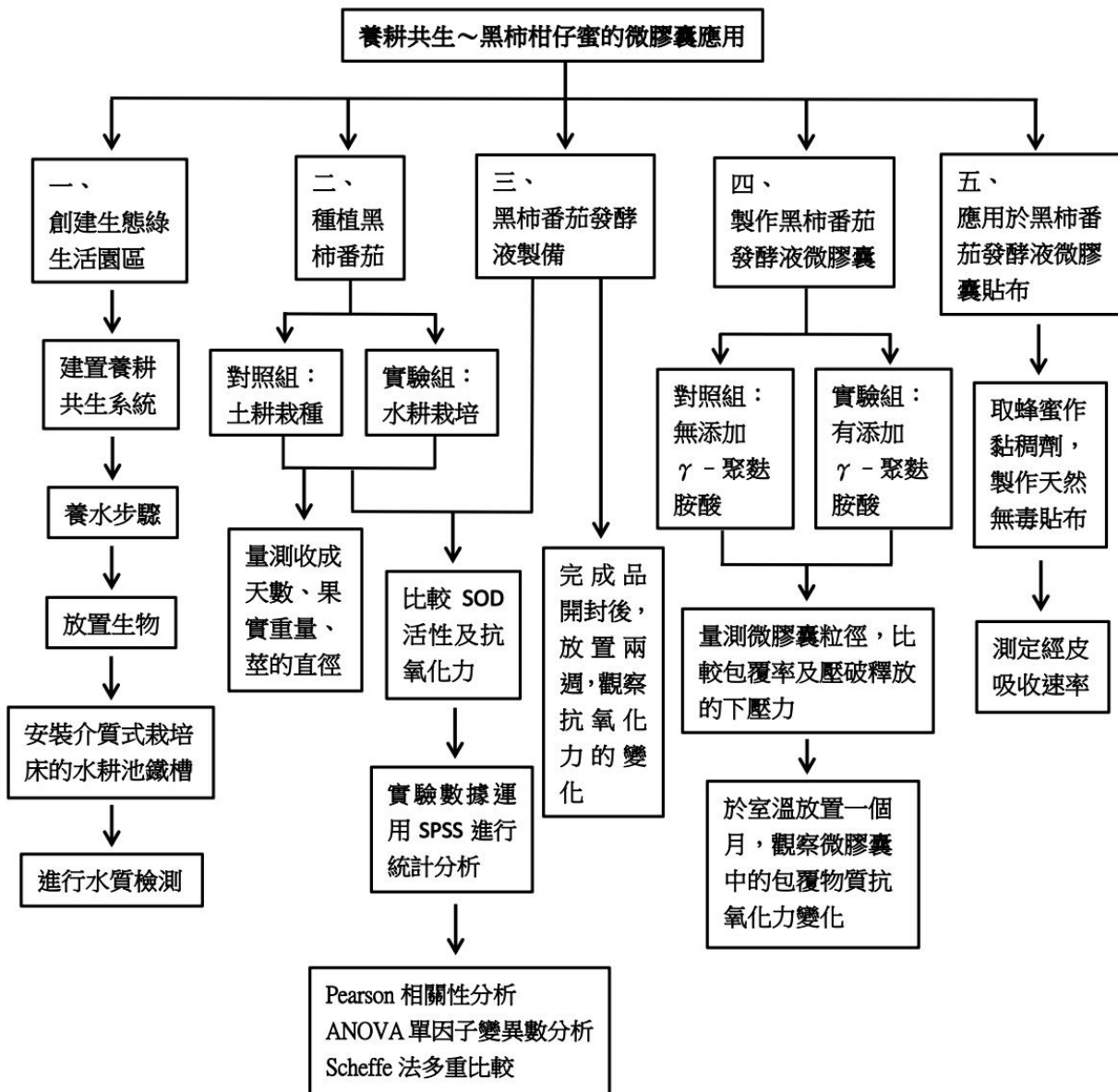


圖 25、養耕共生~黑柿柑仔蜜的微膠囊應用之實驗流程

二、研究方法

(一) 養耕共生系統的建構

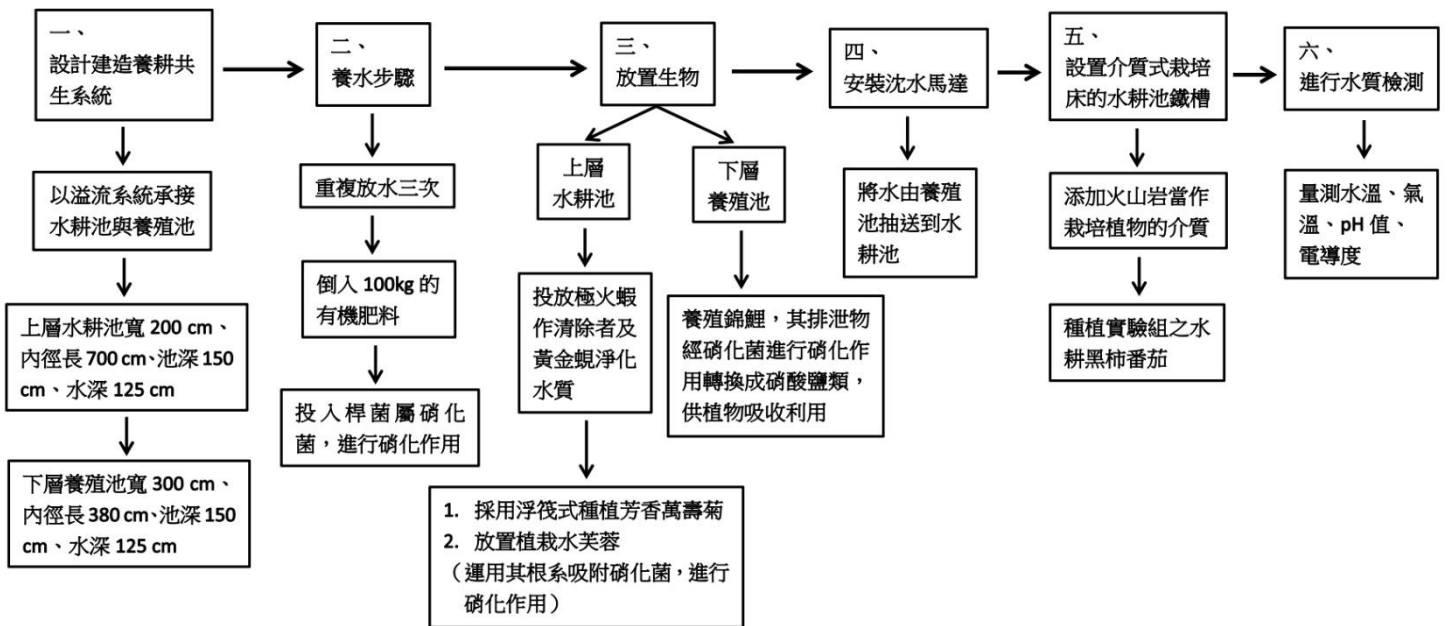


圖 26、設計建構養耕共生系統之流程

依照圖 26 設計建構養耕共生系統，設置介質式栽培床的水耕池鐵槽，種植實驗組之水耕栽培黑柿番茄，並進行水質檢測，量取水溫、氣溫、pH 值及電導度。

(二) 種植黑柿番茄

1. 本研究採用品種為「農友 933」之黑柿番茄進行實驗，其耐熱性較佳。
2. 土耕（對照組）：使用太空包種植，置入培養土、火山岩、赤玉土比例各一，並安裝自製自動滴定管，提供水源。
3. 水耕（實驗組）：以介質式栽培床栽種黑柿番茄，並懸吊童軍繩供植物直立生長。介質填充的植栽床使用火山岩作為介質，將植物種在植栽床上，水由養殖池抽送到植栽床的上方，再持續流動經過植栽床。
4. 比較土耕栽種及水耕栽培從播種至收成的平均收成天數、果實重量、莖之直徑、SOD 活性及抗氧化力。

(三) 番茄發酵液製備

以圖 27 流程製作番茄發酵液，測定其 SOD 活性及抗氧化力。

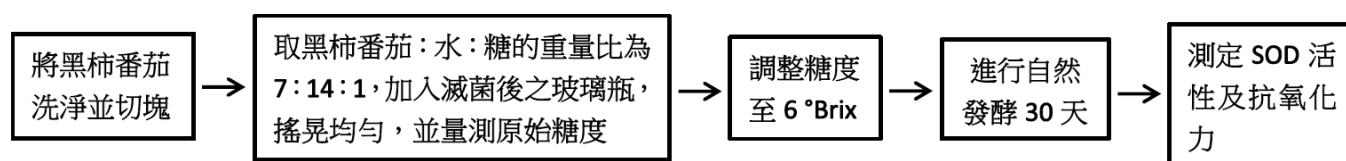


圖 27、黑柿番茄發酵液製作流程

(四) 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性測定：(資料來源：WST - 1 法操作手冊)

1. 測定土耕栽種、水耕培養之黑柿番茄及黑柿番茄發酵液的 SOD 活性。
2. 使用超氧化物歧化酶活性檢測試劑盒 (WST - 1 法) 進行測定，內含有 SOD 提取液、試劑一、試劑二、試劑三、試劑四、試劑五。
3. 先將試劑二離心再混合均勻，依樣本數取量，稀釋 10 倍後使用。將試劑四加入試劑五中並震盪溶解。測定前將試劑一、三和五置於 37°C 水浴 5mins 以上。
4. 樣本製備：將發酵液 0.1 g 與 SOD 提取液 1mL 置於冰水浴上混合均勻，以 8000rpm、4°C 離心 10mins，取其上清液於冰水浴中待測。
5. 按表 1 配置溶液，分別標記為測定管、對照管、空白管 1、空白管 2，混合均勻並置於 37°C 水浴 30mins，再以分光光度計設定波長為 450nm，測其吸光值。

表 1、樣本測定使用 WST - 1 法的各試劑用量表

試劑名稱(μL)	測定管	對照管	空白管 1	空白管 2
樣本	90	90	0	0
試劑一	225	225	225	225
試劑二	10	0	10	0
試劑三	175	175	175	175
試劑五	450	460	540	550
蒸餾水	50	50	50	50

6. 公式計算

- (1) ΔA 測定 = A of 測定管 - A of 對照管。 ΔA 空白 = A of 空白管 1 - A of 空白管 2。(A 為吸光值)
- (2) 抑制百分率 = $(\Delta A \text{ 空白} - \Delta A \text{ 測定}) \div \Delta A \text{ 空白} \times 100\%$ 。
- (3) SOD 活性 (U/g) = $[\text{抑制百分率} \div (1 - \text{抑制百分率}) \times \text{反應物總體積}] \div (\text{樣本質量} \times \text{加入反應之樣本體積} \div \text{加入之 SOD 提取液體積}) \times \text{樣本稀釋倍率} = 11.11 \times [(\frac{\text{抑制百分率}}{1 - \text{抑制百分率}}) \div \text{樣本質量} \times \text{樣本稀釋倍率}]$ 。
- (4) SOD 活性單位：在黃嘌呤氧化酶偶聯反應中抑制百分率為 50%時，反應中的 SOD 活性定義為一個酶活性單位。

(五) 抗氧化力測定

1. 測定土耕栽種、水耕培養之黑柿番茄及黑柿番茄發酵液的抗氧化能力。
2. 試劑配置：精秤 DPPH 2 mg 溶於 100 mL 乙醇中備用，並避光保存。
3. 對照組為乙醇 1250 μ L 加入 DPPH 3750 μ L，置於室溫下避光反應 30 分鐘。
4. 取 50 μ L 的待測樣品加入乙醇 1200 μ L，再加入 DPPH 3750 μ L，經試管振盪器混合均勻，置於室溫下避光反應 30 分鐘。
5. 反應完成後，進行分光光度計檢測，並計算抗氧化能力，公式： $\text{抗氧化能力}(\%) = 1 - \frac{A_{517 \text{ of sample}}}{A_{517 \text{ of control}}} \times 100\%$ 。
A_{517 of sample}：待測物在 517nm 下之吸光值
A_{517 of control}：對照組在 517nm 下之吸光值。

(六) 微膠囊製備

1. 配置 5% 的乳酸鈣水溶液，作為固化劑。
2. 對照組為未添加 2g 的 γ -聚麩胺酸，實驗組為有添加 2g 的 γ -聚麩胺酸。配置 2% 海藻酸鈉溶液後，依照對照組及實驗組分別添加 γ -聚麩胺酸，再加入 10mL 黑柿番茄發酵液，攪拌均勻，製成發酵混合液。

3. 將 5% 乳酸鈣水溶液置於容器中，以緩慢的速率滴入發酵混合液並攪拌。
4. 待微膠囊成形後過濾，將微膠囊濾液儲存備用，微膠囊則用蒸餾水洗滌三遍即得成品，並測量其平均直徑與下壓破碎力。
5. 平均直徑：以游標尺量測平均粒徑。下壓力：使用物性測定儀將微膠囊放置探頭的正下方，量取微膠囊的硬度，模擬手拍下壓微膠囊破碎時，所需的力道，並記錄不同時間點探頭下所受到的力值。

(七) 微膠囊包覆率測定

1. 設定黑柿番茄萃取液為濃度 100% 的標準品，將溶液稀釋成 0.02g/mL、0.04 g/mL、0.08 g/mL、0.1 g/mL、0.2 g/mL、0.3 g/mL、0.4 g/mL、0.5 g/mL，再使用分光光度計測得吸光值，將波長設定為 474nm（藤秀蘭等，2013），製作標準檢量線及線性迴歸方程式。
2. 量測微膠囊濾液取得吸光值，代入線性迴歸方程式，導出番茄濃度，再套入公式計算出包覆率。包覆率(%) = $\frac{\text{原始黑柿番茄發酵液量} - \text{流失黑柿番茄發酵液量}}{\text{原始黑柿番茄發酵液量}} \times 100\%$ 。

(八) 黑柿番茄發酵液微膠囊貼布應用

1. 將蜂蜜裝進容器入滅菌釜滅菌後，保存於室溫中儲備。
2. 取蜂蜜與黑柿番茄發酵液微膠囊攪拌調勻，塗抹至紗布放置在不織布上，製成黑柿柑仔蜜微膠囊貼布。

(九) 測定經皮吸收速率

1. 組裝測定經皮吸收速率的儀器（如圖 29），將 Franz 垂直擴散槽（圖 28）與 12V 馬達以水管相接，設定恆溫水槽維持在 37°C，讓樣品吸收時處於恆溫狀態。
2. 將豬耳皮膜置入擴散槽中，以固定夾夾住。樣品由藥物投入口放入，測定時間為四小時，測量擴散前、擴散後的擴散瓶總量。計算每小時的擴散速率，比較

新鮮番茄液、番茄發酵液加入蜂蜜各混合外敷膏狀物不同時數的經皮吸收速率，
公式：(曾啟銘，2017)

$$\text{經皮吸收速率} \left(\frac{\text{g}}{\text{hr} \cdot \text{cm}^2} \right) = \frac{\text{擴散前擴散瓶總量(g)} - \text{擴散後擴散瓶總量(g)}}{\text{時數(hr)} \times \text{吸收膜面積}(\text{cm}^2)}$$

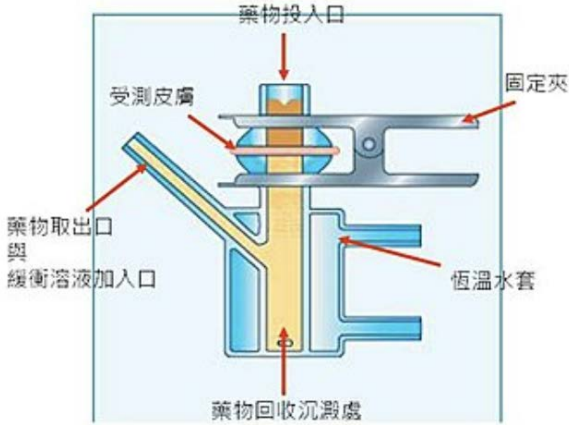


圖 28、Franz 垂直擴散槽構造解剖圖

(資料來源：隨意窩)

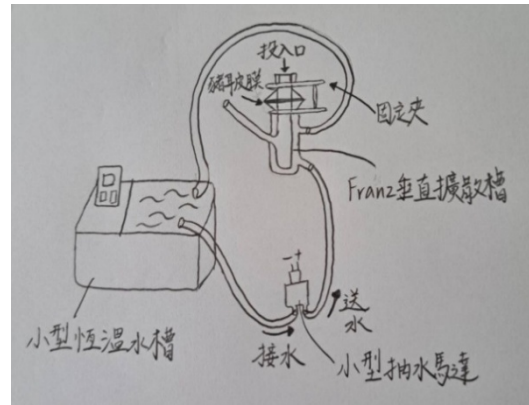


圖 29、組裝測定經皮吸收速率的儀器

(資料來源：作者手繪圖)

(十) 將存放於室溫的黑柿番茄發酵液微膠囊打破，測定囊芯液體之抗氧化效力，並觀察下降趨勢。

伍、研究結果

一、養耕共生系統建置

(一) 養耕共生把水產養殖與水耕栽培，兩種不同的技術，透過生態設計達到協同(圖 30)。水中懸浮物與有害元素，經硝化菌等益菌的轉化為營養小分子後，供給植栽芳香萬壽菊的根吸收(圖 31)，經光合作用促使植物成長，同時也淨化了水質，溢流回下層的養殖池提供魚類健康的生長環境。利用水循環交換的設備，讓水生動物與水耕植物合作生長。實現養魚不換水而無水質憂慮，種植栽不用施肥而能正常成長的生態。



圖 30、上層水耕池及下層養殖池



圖 31、芳香萬壽菊的根系

(二) 設計加裝上層水耕鐵槽 (圖 32)，以火山岩作介質式栽培床，提供給水耕植物生長，並用來改善於栽植過程中發現水耕池中的芳香萬壽菊葉子，因植株生長旺盛，但缺乏微量元素，使得葉綠素來不及轉化，造成黃化現象。故藉由火山岩提供植物缺乏的微量元素，同時也能穩定水質，使植株穩定生長。



圖 32、加裝上層介質式栽培床的水耕池鐵槽

二、養耕共生系統之水質檢測

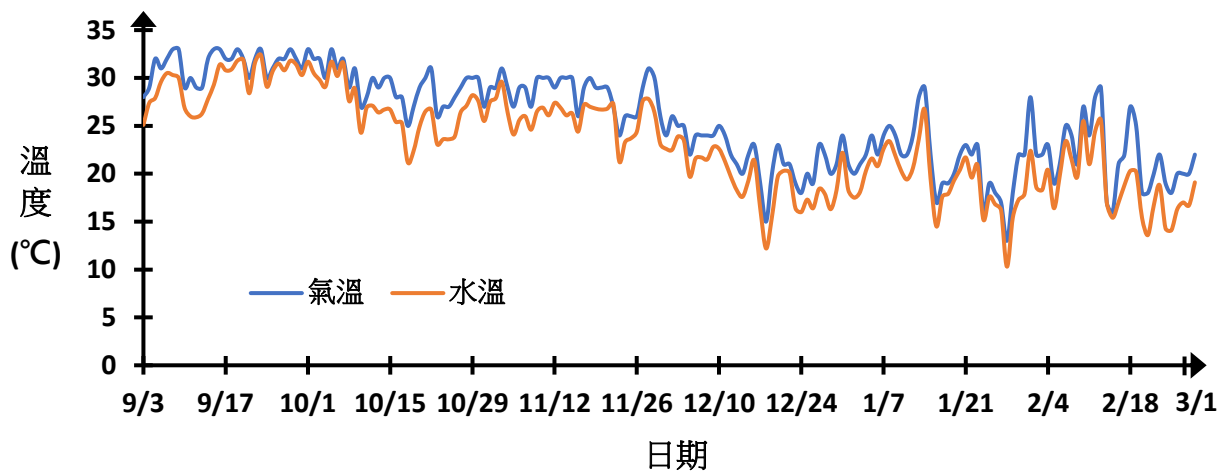


圖 33、111 年九月至 112 年二月氣溫與水溫的折線圖

圖 33 所示九月至二月的氣溫與水溫的折線圖，圖 34 所示九月至二月 pH 值的折線圖。因 9 月 3 日至 9 月 11 日為水池的養水時間，加入自來水 pH 值 7.8。因綠藻最適應的水溫為 25~33℃，9 月 5 日至 10 月 7 日區間，水體溫度超過 30℃，引起綠藻繁殖茂盛。單一的藻相會導致光合作用非常強烈，使養殖水體 pH 值持續偏高達 8.39，為避免 pH 值大幅升降，故設置黑紗網，並開天窗維持空氣流通來降溫，維持養耕系統的水溫及 pH 的穩定性。每日水溫比氣溫下降約 3~5℃，pH 值約維持 8.15。

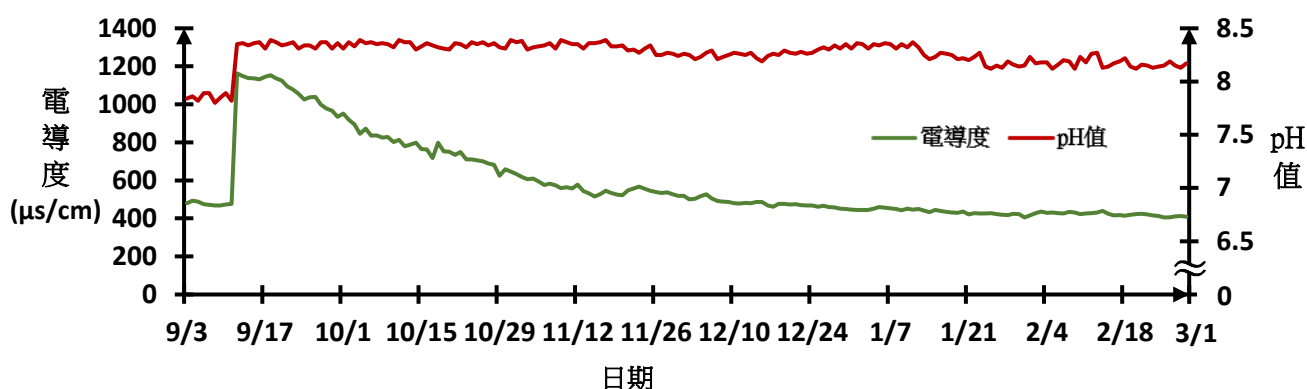


圖 34、111 年九月至 112 年二月電導度與 pH 值的折線圖

圖 34 表示，9 月 3 日至 9 月 11 日為水池的養水時間自來水導電度約為 480 μ s/cm，9 月 12 日投入有機肥料，9 月 13 日加入硝化菌。故導電度在 9 月 12 日後急遽約上升至 1163 μ s/cm，加硝化菌後經硝化作用將有機肥料轉變成硝酸鹽類物質，可以直接被植物吸收利用，故離子濃度降低，導電度約降低至 410 μ s/cm。

三、種植黑柿番茄，並比較土耕黑柿番茄（圖 37）與水耕黑柿番茄（圖 40）

（一）種植黑柿番茄

1. 土耕（對照組）：採用太空包種植黑柿番茄，並安裝自製自動滴定澆水裝置（圖 36），注水速率為 60 mL/hr。（圖 35）



圖 35、土耕栽種



圖 36、自製自動滴定澆水裝置



圖 37、土耕黑柿番茄果實

2. 水耕（實驗組）：利用水耕池鐵槽，以火山岩作為介質填充的栽培床，並懸吊童軍繩供黑柿番茄（圖 39）直立生長。（圖 38）



圖 38、水耕栽種



圖 39、水耕黑柿番茄



圖 40、水耕黑柿番茄果實

（二）比較土耕栽種、水耕栽培之生長速率

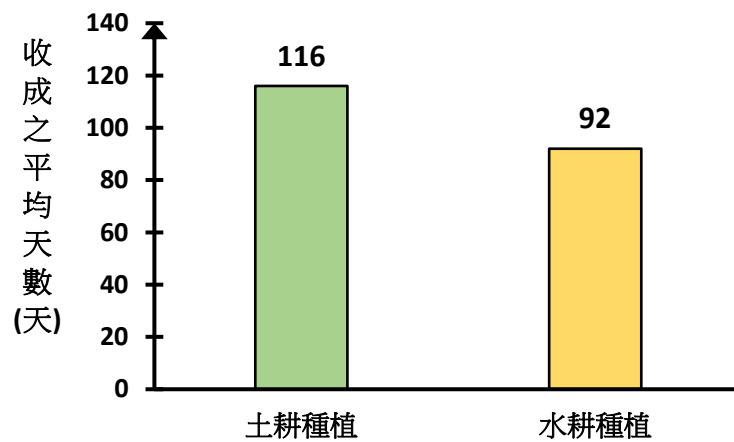


圖 41、黑柿番茄經土耕、水耕種植之收成平均天數比較

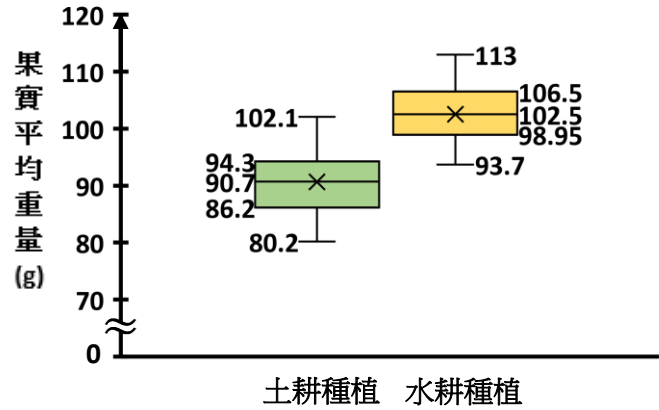
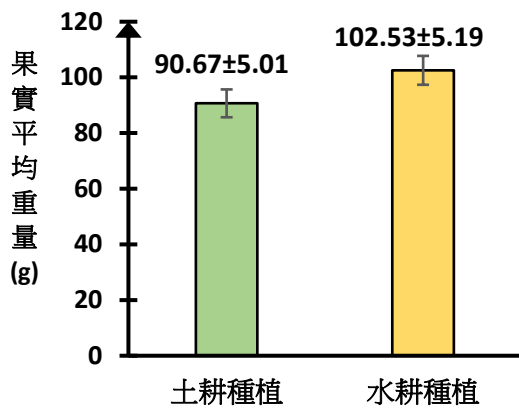


圖 42、黑柿番茄經土耕、水耕種植後果實平均重量

圖 43、果實平均重量之數據分散情況

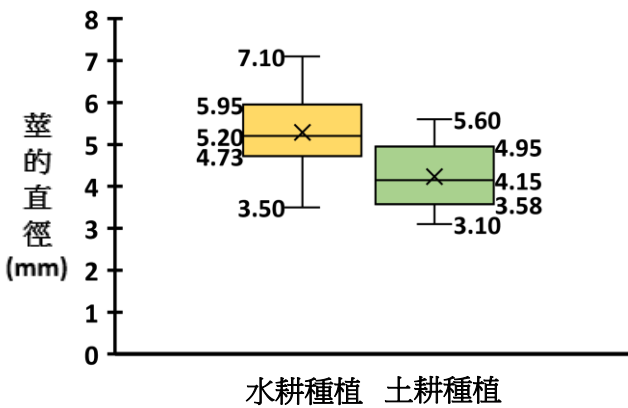
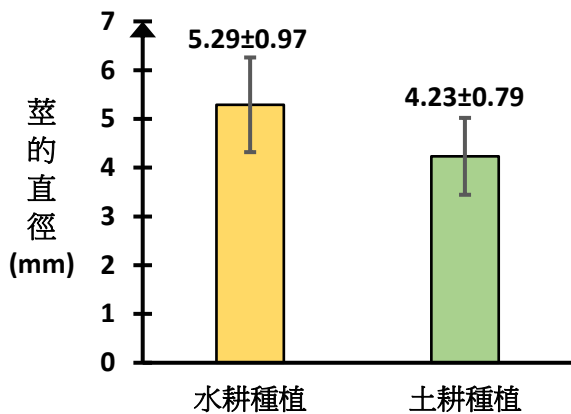


圖 44、黑柿番茄經土耕、水耕種植後莖的平均直徑

圖 45、莖的平均直徑之數據分散情況

由圖 41 可得知從播種至收成水耕栽培的平均天數 92 天較土耕栽種的 116 天短，水耕栽培的黑柿番茄較生長速率較傳統土耕栽種快。由圖 42、44 可得知水耕栽培之番茄果實平均重量與莖的平均直徑分別為 102.53 ± 5.19 g 與 5.29 ± 0.97 mm，土耕栽培之番茄果實平均重量與莖的平均直徑分別為 90.67 ± 5.01 g 與 4.23 ± 0.79 mm。圖 43、45 為土耕及水耕番茄果實平均重量與莖的平均直徑之各組數據分散情形。養耕共生系統的水質經 6 個月時間越趨穩定，水耕栽培的黑柿番茄之生長速率、果實重量、莖的直徑也皆較土耕栽種佳。

四、製作黑柿番茄發酵液並測定超氧化物歧化酶（SOD）活性及抗氧化力

表 2、土耕、水耕黑柿番茄與番茄發酵液 SOD 活性及抗氧化力的平均值及標準差



圖 46、黑柿番茄發酵液

項目	SOD活性(U/g)		抗氧化力(%)	
	平均值(M)	標準差(SD)	平均值(M)	標準差(SD)
土耕黑柿番茄	363.32	25.95	64.07%	4.77%
水耕黑柿番茄	396.07	23.91	68.13%	5.58%
黑柿番茄發酵液	682.81	27.15	89.11%	4.89%

土耕黑柿番茄、水耕黑柿番茄及黑柿番茄發酵液超氧化物歧化酶（SOD）活性測定，取 0.1g 黑柿番茄發酵液加入 1mL 酶提取液均勻混合後離心，將上清液稀釋 50 倍，測其中一次數據計算得知：

$$\Delta A \text{ 測定} = A \text{ of 測定管} - A \text{ of 對照管} = 0.768 - 0.058 = 0.710$$

$$\Delta A \text{ 空白} = A \text{ of 空白 1} - A \text{ of 空白 2} = 0.852 - 0.055 = 0.797$$

$$\text{抑制百分率} = (\Delta A \text{ 空白} - \Delta A \text{ 測定}) \div \Delta A \text{ 空白} \times 100\% = 10.92\%$$

$$\text{SOD 活性 (U/g)} = 11.11 \times \left[\left(\frac{10.92\%}{1-10.92\%} \right) \div 0.1 \times 50 \right] = 680.93 \text{ (U/g)}$$

土耕黑柿番茄、水耕黑柿番茄及黑柿番茄發酵液測定抗氧化力，以番茄發酵液其中一次測定，分光光度計測得吸光值為 0.064，對照組吸光值為 0.337，得知：

$$\text{番茄發酵液之抗氧化力} = 1 - \frac{0.064}{0.337} \times 100\% = 81\%$$

(一) 土耕種植、水耕栽培的黑柿番茄與黑柿番茄發酵液之平均 SOD 活性及抗氧化能力比較

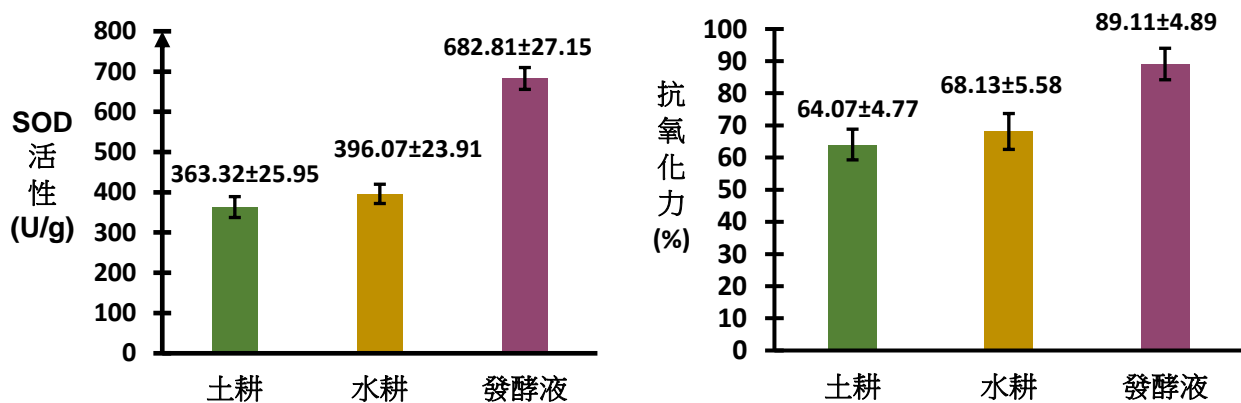


圖 47 及 48、比較土耕、水耕及黑柿番茄發酵液之平均 SOD 活性及平均抗氧化力

由表 2、圖 47 及 48 得知土耕黑柿番茄、水耕黑柿番茄其平均 SOD 活性分別為 363.32 ± 25.95 U/g、 396.07 ± 23.91 U/g，平均抗氧化力為 $64.07 \pm 4.77\%$ 、 $68.13 \pm 5.58\%$ ，由此可知水耕栽培之黑柿番茄較土耕栽種的佳。將 SOD 活性及抗氧化能力佳的水耕黑柿番茄製成發酵液後（圖 46），測定黑柿番茄發酵液的 SOD 活性為 682.81 ± 27.15 U/g 及抗氧化力為 $89.11 \pm 4.89\%$ ，為三者中最高。

（二）土耕、水耕及發酵液測定的 SOD 活性與抗氧化力之 Pearson 相關性分析

將土耕、水耕種植之黑柿番茄與番茄發酵液測定的 SOD 活性與抗氧化力，進行 Pearson 相關性分析（如表 3），結果發現：土耕栽種的番茄之 SOD 活性（ $r = .835$ ， $p < .001$ ）與抗氧化力有顯著正相關。水耕栽培的番茄之 SOD 活性（ $r = .772$ ， $p < .001$ ）與抗氧化力有顯著正相關。黑柿番茄發酵液之 SOD 活性（ $r = .880$ ， $p < .001$ ）與抗氧化力有顯著正相關。且 SOD 活性愈強，抗氧化力愈佳，故將耕、水耕種植之黑柿番茄與番茄發酵液進行抗氧化力的統計分析。

表 3、土耕、水耕及發酵液測定的 SOD 活性與抗氧化力之 Pearson 相關性分析

方式			抗氧化力	SOD 活性
土耕栽種的番茄	抗氧化力	皮爾森 (Pearson) 相關性	1	.835
		顯著性 (雙尾)		<.001
水耕栽培的番茄	抗氧化力	皮爾森 (Pearson) 相關性	1	.772
		顯著性 (雙尾)		<.001
黑柿番茄發酵液	抗氧化力	皮爾森 (Pearson) 相關性	1	.880
		顯著性 (雙尾)		<.001

($p < 0.05$ ↓ 為顯著差異)

（三）土耕、水耕種植之黑柿番茄與番茄發酵液在抗氧化能力單因子變異數分析

(ANOVA) 及 Scheffe 法之多重比較

以單因子獨立樣本 ANOVA 分析不同種植方式（土耕、水耕）及製成發酵液對抗氧化能力之效果，結果如表 4。結果發現：土耕黑柿番茄、水耕黑柿番茄及黑柿番茄發酵液在抗氧化能力上有顯著差異， $F(2, 87) = 208.93$ ， $p < .001$ 。Scheffe 事後比較（如表 5）顯示：土耕

種植的黑柿番茄抗氧化力 ($M=64.07$, $SD=4.77$) 顯著小於水耕栽培的黑柿番茄 ($M=68.13$, $SD=5.58$) ($p=.011$)、黑柿番茄發酵液抗氧化力 ($M=89.11$, $SD=4.89$) 顯著大於土耕種植的黑柿番茄 ($p<.001$)、黑柿番茄發酵液抗氧化力顯著大於水耕栽培的黑柿番茄 ($p<.001$)。故取含 SOD 的番茄發酵液測定室溫下保存兩週的抗氧化力變化趨勢。

表4、土耕、水耕種植之黑柿番茄與番茄發酵液在抗氧化力中的單因子變異數分析

變異來源	離均差平方和(SS)	自由度(df)	平均值平方(MS)	檢定值(F)	顯著性(p)
項目	10839.52	2	5419.76	208.93	<.001
誤差	2256.79	87	25.94		
總和	13096.32	89			

($p<0.05$ ↓ 為顯著差異)

表5、土耕、水耕種植之黑柿番茄與番茄發酵液在抗氧化力中的Scheffe法之多重比較表

Scheffe 法	(I)	(J)	平均值差異		顯著性	95% 信賴區間	
			(I-J)	標準誤		下界	上界
	土耕 黑柿番茄	水耕 黑柿番茄	-4.0600*	1.31504	.011	-7.3351	-.7849
		黑柿番茄 發酵液	-25.0433*	1.31504	<.001	-28.3185	-21.7682
	水耕 黑柿番茄	土耕 黑柿番茄	4.0600*	1.31504	.011	.7849	7.3351
		黑柿番茄 發酵液	-20.9833*	1.31504	<.001	-24.2585	-17.7082
	黑柿番茄 發酵液	土耕 黑柿番茄	25.0433*	1.31504	<.001	21.7682	28.3185
		水耕 黑柿番茄	20.9833*	1.31504	<.001	17.7082	24.2585

($p<0.05$ ↓ 為顯著差異)

(四) 黑柿番茄發酵液經一個月發酵完成，開封後放置室溫下兩週的抗氧化力變化趨勢由圖 49 得知番茄發酵液經一個月發酵完成，開封後將其放置室溫。番茄發酵液的抗氧化力為 89.1%，於兩週後下降至 53.2%，線性迴歸方程式為 $y = -2.5207x + 89.445$, $R^2 = 0.9558$ ，發酵後放置室溫保存天數與抗氧化力呈現負相關，隨著放置天數增加，抗氧化力有下降的趨勢。

勢。由圖 53 可知經一個月發酵完成，開封後將其放置室溫兩週，其抗氧化力由 89.1% 下降至 53.2%，下降量約 35.9%，因發酵液中物質易流失，為保存番茄發酵液發酵後的抗氧化力，故製成微膠囊包覆。

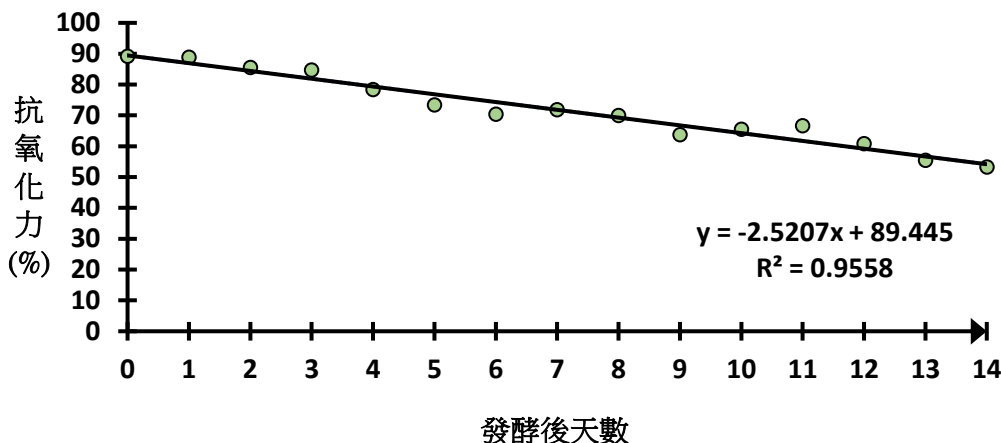


圖 49、黑柿番茄發酵液經 30 天發酵完成，開封後放置室溫兩週的抗氧化力變化趨勢圖

五、製作黑柿番茄發酵液微膠囊

利用微膠囊技術包覆黑柿番茄之有效物質，設計對照組為無添加聚麩胺酸之微膠囊，實驗組為有添加聚麩胺酸之微膠囊。並量測平均粒徑與下壓力，測試當微膠囊製成貼布敷於皮膚上時，打破微膠囊的所需力道，使其內容物質能夠釋放出來。



圖 50、製作出的微膠囊可包覆物質



圖 51、黑柿番茄發酵液微膠囊

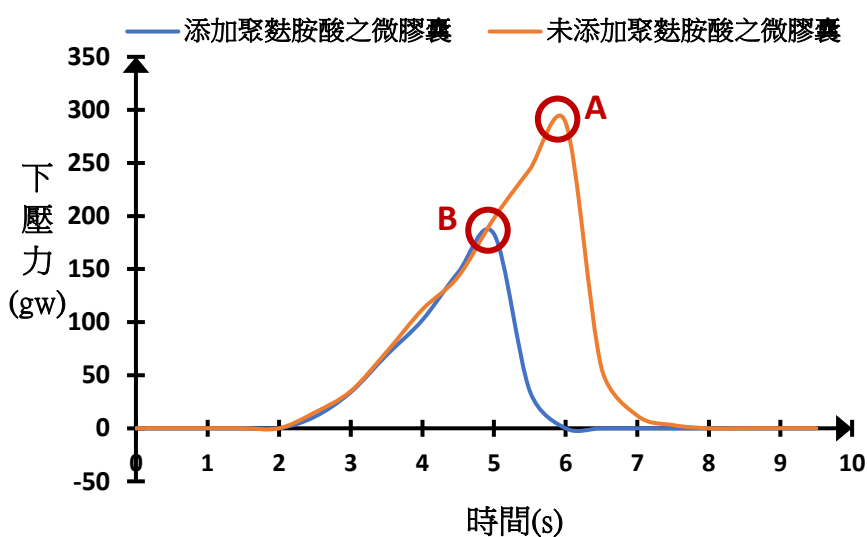


圖 52、下壓微膠囊的 F-t 圖

圖 51 為黑柿番茄發酵液微膠囊成品，以游標尺量測微膠囊粒徑，經計算後平均粒徑為 $3.66 \pm 0.69 \text{ mm}$ ，由圖 50 可得知製作出的微膠囊有明顯的囊壁，囊芯可包覆番茄發酵液之 SOD 等有效物質。圖 52 為以物性測定儀量測下壓微膠囊的 F - t 圖，前兩秒為探頭等速下降至待測物之間的運行時間，兩秒之後探頭下壓至待測物進行下壓力的量測，未添加聚麩胺酸之微膠囊硬度為壓縮時的最大峰值（A 值）288gw，添加聚麩胺酸之微膠囊硬度（B 值）為 183gw，添加聚麩胺酸之微膠囊較無添加聚麩胺酸之微膠囊易破，所需的下壓力較少。

六、測定黑柿番茄發酵液微膠囊的包覆率

（一）黑柿番茄標準檢量線

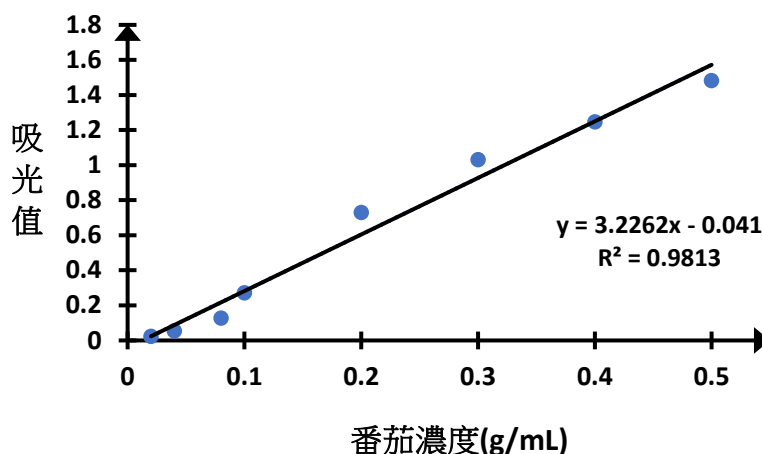


圖 53、黑柿番茄標準檢量線

設定黑柿番茄發酵液為濃度 100%標準品，將溶液稀釋成 0.02g/mL、0.04 g/mL、0.08 g/mL、0.1 g/mL、0.2 g/mL、0.3 g/mL、0.4 g/mL、0.5 g/mL，再使用分光光度計，輸入波長 474nm，於不同濃度的吸光值下得到標準檢量線，如圖 53，線性方程式為 $y = 3.2262x - 0.041$ （x 為番茄濃度，y 為吸光值）， $R^2 = 0.9813$ 。用此方程式來定量製備微膠囊中所流失的黑柿番茄發酵液含量，進而計算出微膠囊之包覆率。

（二）包覆率測定及計算

測定微膠囊的包覆程度，如表 6，以未添加聚麩胺酸之第一次製作微膠囊的濾液為例，取 10g 番茄發酵液製成微膠囊後，將濾液以 474nm 測得吸光值 $y = 0.019$ ，代入標準檢量線的線性

方程式 $y=3.2262x - 0.041$ (y 為吸光值, x 為濃度), 可得黑柿番茄發酵液微膠囊濾液的濃度 $x = 0.019$ g/mL, 乘上總濾液量, 故得總流失量為 0.019 g/mL \times 99mL=1.88g, 再將總流失量代入包覆率公式, 計算出微膠囊包覆率。

$$\text{包覆率}(\%) = \frac{\text{原始黑柿番茄發酵液量} - \text{流失黑柿番茄發酵液量}}{\text{原始黑柿番茄發酵液量}} \times 100\% = \frac{10\text{g} - 1.88\text{g}}{10\text{g}} \times 100\% = 81.2\%。$$

表 6、未添加聚麩胺酸之微膠囊包覆率

項目 \ 次數	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
吸光值	0.019	0.023	0.020	0.013	0.016	0.014	0.018	0.022	0.015	0.020
濃度(g/mL)	0.019	0.020	0.019	0.018	0.018	0.017	0.018	0.020	0.017	0.019
濾液總量(mL)	99	98	95	97	98	98	97	96	98	99
包覆率(%)	81.2	80.4	82.0	82.5	82.4	83.3	82.5	80.8	83.3	81.2

如表 7, 以添加聚麩胺酸之第一次製作微膠囊的濾液為例, 取 10 g 番茄發酵液製成微膠囊後, 將濾液以 474 nm 測得吸光值 $y=0.003$, 代入標準檢量線的線性方程式 $y=3.2262x - 0.041$ (y 為吸光值, x 為濃度), 可得黑柿番茄發酵液微膠囊濾液的濃度 $x=0.014$ g/mL, 乘上總濾液量, 故得總流失量為 0.014 g/mL \times 96 mL=1.34 g, 再將總流失量代入包覆率公式, 計算出微膠囊包覆率。包覆率(%) = $\frac{10\text{g} - 1.34\text{g}}{10\text{g}} \times 100\% = 86.6\%$ 。

表 7、添加聚麩胺酸之微膠囊包覆率

項目 \ 次數	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
吸光值	0.003	0.006	0.002	0.005	0.007	0.003	0.004	0.006	0.010	0.005
濃度(g/mL)	0.014	0.015	0.013	0.014	0.015	0.014	0.014	0.015	0.016	0.014
濾液總量(mL)	96	99	98	99	97	96	99	95	99	97
包覆率(%)	86.6	85.2	87.3	86.1	85.5	86.6	86.1	85.8	84.2	86.4

(三) 比較有無添加聚麩胺酸之平均包覆率

為提高發酵液抗氧化能力的安定性，故實驗組設計添加聚麩胺酸製備成微膠囊。由圖 54 可以得知添加聚麩胺酸之平均包覆率為 85.98 %，較無添加聚麩胺酸之平均包覆率 81.96 % 佳。且添加聚麩胺酸之微膠囊較無添加聚麩胺酸之微膠囊易破，使內容物質較易釋放，故製備應用於貼布上，提供人們既天然又無毒環保的方法。

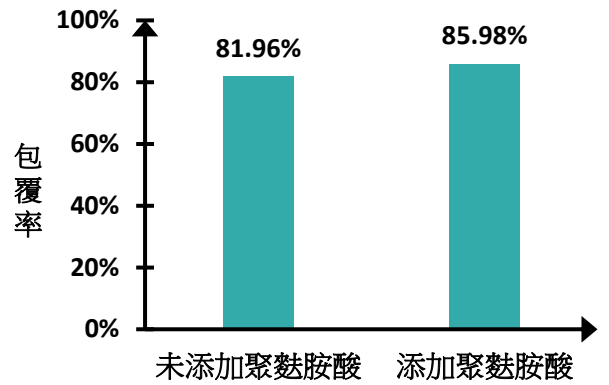


圖 54、有無添加聚麩胺酸之各平均包覆率比較

七、製作黑柿番茄發酵液微膠囊貼布及測量經皮吸收速率

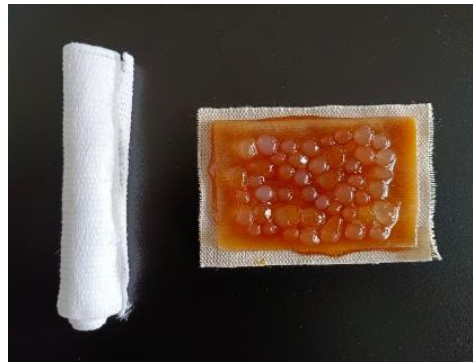


圖 55、黑柿番茄發酵液微膠囊貼布

取黑柿番茄發酵液微膠囊加入蜂蜜調拌均勻，鋪至紗布上，製成黑柿番茄發酵液微膠囊貼布（圖 55）。設計模擬人類敷貼布之不同吸收時數，其經皮吸收總量與豬耳皮膜面積 $0.5 \times 0.5 \times 3.14 = 0.785 \text{ cm}^2$ （圖 8）有關，在相同吸收時間下，比較蜂蜜添加發酵液的混合外敷膏狀物和新鮮番茄液的混合外敷膏狀物之經皮吸收總量與吸收速率的變化。如表 8，以番茄發酵液加蜂蜜的混合外敷膏狀物吸收第一小時為例，經皮吸收總量 = 擴散前擴散瓶總量 - 擴散後擴散瓶總量 = $70.17 - 69.09 = 1.08 \text{ g}$ ，因取豬耳皮膜面積為 0.785 cm^2 與測定時數為一小時，故得

$$\begin{aligned} \text{知：經皮吸收速率} &= \frac{\text{擴散前擴散瓶總量(g)} - \text{擴散後擴散瓶總量(g)}}{\text{時數(hr)} \times \text{吸收膜面積}(\text{cm}^2)} \\ &= \frac{70.17 - 69.09}{1 \times 0.785} = 1.38(\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{hr}) \end{aligned}$$

表 8、比較新鮮番茄液與番茄發酵液加入蜂蜜製成混合外敷膏狀物其不同時數的經皮吸收速率

項目	番茄發酵液加蜂蜜混合外敷膏狀物				新鮮番茄液加蜂蜜混合外敷膏狀物			
	一	二	三	四	一	二	三	四
吸收第幾時數								
擴散前 擴散瓶總量(g)	70.17	70.58	70.40	69.93	69.89	70.16	69.69	69.83
擴散後 擴散瓶總量(g)	69.09	69.66	69.99	69.75	69.18	69.58	69.44	69.72
經皮吸收量(g)	1.08	0.92	0.41	0.18	0.71	0.58	0.25	0.11
經皮吸收速率 (g/cm ² · hr)	1.38	1.17	0.52	0.23	0.91	0.74	0.32	0.14

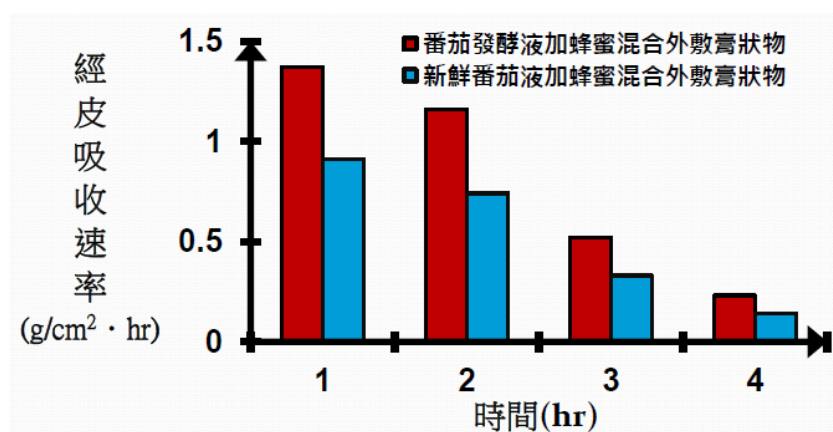


圖 56、不同處理方式的混合外敷膏狀物的經皮吸收速率比較

探討蜂蜜加發酵液或新鮮番茄液各混合外敷膏狀物於不同時數下的吸收速率(圖 56)，蜂蜜加番茄發酵液的混合外敷膏狀物整體吸收速率皆較新鮮番茄液的混合外敷膏狀物佳。表 8 得知，番茄發酵液混合外敷膏狀物的經皮吸收速率第一小時為 1.38 g/cm² · hr、第二小時為 1.17 g/cm² · hr、第三小時為 0.52 g/cm² · hr、第四小時為 0.23 g/cm² · hr，速率有下降的趨勢。顯示第一小時的吸收速率最佳。

八、微膠囊抗氧化力存放變化

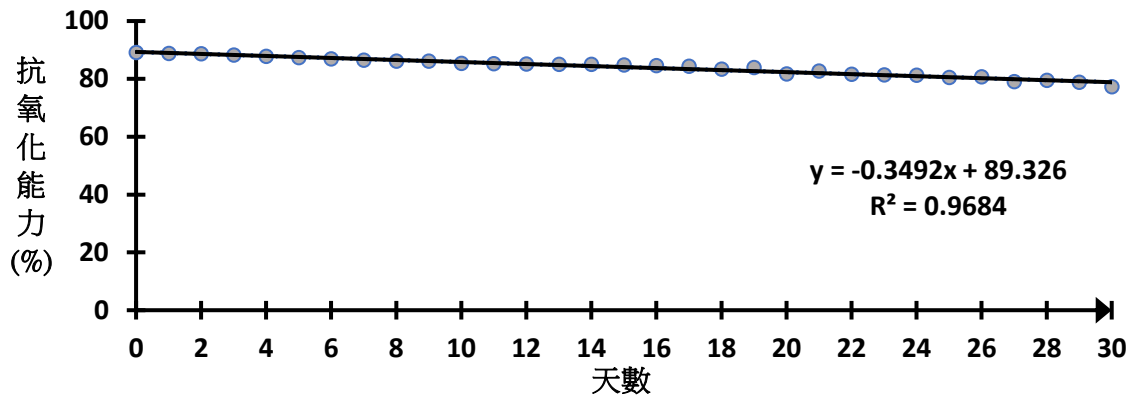


圖 57、保存一個月之微膠囊的抗氧化能力變化

由圖 57 得知微膠囊置於室溫存放一個月後，其抗氧化力由 89.1% 下降至 77.3%，下降量約為 11.8%，比開封後放置室溫兩週後的番茄發酵液抗氧化力(圖 49)由 89.1% 下降至 53.2%，下降量 35.9% 少。故取微膠囊去製備黑柿柑仔蜜微膠囊的貼布，能保存其抗氧化力之功效，未來可應用於醫藥保健產品的製備。

陸、討論

- 一、養耕共生系統中，硝化菌進行的硝化作用會消耗鹽度及 pH 值。水質中 pH 值及電導度，易受生物作用而改變，光合作用進行時會消耗水中的鹽度，pH 值會上升。故在水池上方加蓋黑紗網降溫，可防止陽光直照植物導致光合作用旺盛，影響 pH 值。
- 二、水溫越高水中的離子運動速率越快，電導度也越高。水體溫度超過 30 度，引起綠藻大量繁殖，導致光合作用非常強烈，使養殖水體 pH 值持續偏高。增設上層介質式栽培床水耕池鐵槽，添加火山岩當介質，補充微量元素，並維持水流暢通，預防藻類大量繁殖。在高溫季節保持每天加少量水，或適量換水，可避免 pH 值大幅提升，維持水質穩定。
- 三、採用火山岩作介質式栽培床，為無土介質的栽培方式，可讓植物更容易吸收營養成分。故自播種到採收約 92 天，生長速率會比有土介質自播種到採收約 116 天更快。且無土介質可維持種植地的整潔，並節省清潔保養時間。
- 四、新鮮番茄富含的茄紅素具備強力抗氧化作用，黑柿番茄發酵液製程 30 天即可完成，因發

酵液進行發酵作用能產生 SOD，為番茄酵素抗氧化活性功效酶的來源之一，從而可增加抗氧化力，故抗氧化力達 $89.11 \pm 4.89\%$ ，較未發酵之水耕新鮮番茄液 $68.13 \pm 5.58\%$ 高，且具顯著差異。但發酵完成，開封後放置室溫兩週其抗氧化力下降量約 35.9%，故將番茄發酵液製作成微膠囊，利用微膠囊技術維持其抗氧化力的穩定性。

五、利用 γ 一聚麩胺酸為無毒性、可分解的天然高分子聚合物之特性，包覆黑柿番茄中的有效物質，提高抗氧化力的安定性。故添加 γ 一聚麩胺酸之微膠囊，其包覆率 85.98% 較無添加的高，並以物性測定儀量測微膠囊硬度，數值 183gw 較無添加的硬度低，故較易破。經一個月存放後，微膠囊中的有效物質仍存在，且其抗氧化力約為 77.3%。

六、將黑柿番茄微膠囊，加入蜂蜜作黏稠劑製成貼布，因發酵作用能使大分子物質，經微生物轉換，成為小分子成分，此狀態更容易被皮膚吸收，所以選用養耕共生栽培的番茄進行發酵，製成微膠囊，加入蜂蜜黏稠劑製備成無毒天然的貼布，實踐環保、健康、資源循環再利用。

柒、結論

養耕共生系統進行的水耕栽培，不需化肥且無農藥，天然又安全，實驗結果顯示黑柿番茄果實重量約為 102.53 ± 5.19 g、莖的直徑約為 5.29 ± 0.97 mm、SOD 活性約為 396.07 ± 23.91 U/g、抗氧化力約為 $68.13 \pm 5.58\%$ 、播種至收成天數約為 92 天，比土耕栽種的生長速率快、SOD 活性與抗氧化力較佳。

將土耕、水耕黑柿番茄及番茄發酵液，進行 SOD 活性及抗氧化能力測定，得知黑柿番茄發酵液 SOD 活性 682.81 ± 27.15 U/g、抗氧化能力 89.11% 為最優。因微膠囊技術能包覆抗氧化物質，故取黑柿番茄發酵液以微膠囊技術進行包覆，設計添加 γ 一聚麩胺酸，作包覆黑柿番茄有效物質的擔體，增加抗氧化能力的安定性。實驗結果顯示添加 γ 一聚麩胺酸之包覆率為 85.98%，較無添加 γ 一聚麩胺酸之包覆率為 81.96% 良好，且模擬手拍微膠囊下壓力為 183gw 也較無添加 γ 一聚麩胺酸的下壓力 288gw 小、較易壓破，使內容物質能夠釋放。故與蜂蜜作

黏稠劑製成黑柿番茄發酵液微膠囊貼布，測定其經皮吸收速率，發酵液加蜂蜜之混合外敷膏狀物製成的貼布其第一小時經皮吸收速率為 $1.38 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{hr}$ 較新鮮番茄液加蜂蜜之混合外敷膏狀物製成的貼布經皮吸收速率 $0.91 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{hr}$ 快，能減少敷用時間即達吸收效果。因長期敷用含化學成分的貼布對身體健康不利，故製備一個無毒、天然環保的應用產品，未來可應用於醫藥保健產品實施相關性之研究。

捌、參考資料及其他

- 陳蔚承（2021 年 12 月 21 日）。痠痛貼布貼錯小心傷肝腎 專家建議 2 大使用重點。康健雜誌。取自 <https://www.commonhealth.com.tw/article/85554>。
- 楊清富、鄭安秀（2016）。魚菜共生系統原理與方法。台南市：五南。
- 陳彥嘉（2015）。北台灣火山岩和沉積岩流域化學風化率和對大氣二氧化碳消耗率。台北：中國文化大學化學系應用化學碩士論文。
- 王銀波（1989）。培養液的化學性及其管理。養液栽培技術講習會專刊，第二輯，60~68。
- 陳芊穎（2014）。探討番茄對於停經後婦女代謝症候群的影響。台北：臺北醫學大學保健營養學研究所碩士論文。
- 李名達（2001）。番茄紅素分析和安定性的研究。新北：輔仁大學食品營養學系碩士論文。
- 劉奐亭（2007）。抗氧化物對自由基所引起的 DNA 及細胞傷害之保護效應評估。台南：嘉南藥理科技大學生物科技研究所碩士論文。
- 李昌厚（2010）。紫外可見分光光度計及其應用。上海市：化學工業出版社。
- 王艾迪（2020 年 4 月 2 日）。中藥也能發酵？全面了解中藥發酵技術！知乎專欄。取自 <https://reurl.cc/n7LG6e>。
- 秦宇蒙、王艷麗、周笑犁、董平坤、吳棟斐（2022）。番茄酵素自然發酵過程中主要功效酶的變化。食品工業科技。第 43 卷，第 20 期。
- Liochev, S. I. and Fridovich, I. (2010). Mechanism of the peroxidase activity of Cu, Zn superoxide

dismutase. Free Radic. Biol. Med. 48: 1565-1569.

Fridovich, I. (1995) . Superoxide radical and superoxide dismutases. Annu. Rev. Biochem. 64: 97-112.

張宇賢 (2011)。評估酵素加工過程中之菌相、pH 值、糖度和抗氧化活性之變化。台北：實踐大學食品營養與保健生技研究所碩士論文。

曾詣安 (2022)。以海藻酸鈉包覆藍莓皮萃取液之製備與應用研究。台中：靜宜大學化粧品科學系碩士論文。

APP 的微膠囊化處理 (2016 年 7 月 23 日)。Presافر。取自 <https://reurl.cc/7RMze5>。

鄒文心 (2016)。尚楠葉精油海藻酸鈉微膠囊的製備及其釋放特性。台中：國立中興大學森林學系碩士論文。

King, V. A. E. and R. R. Zall (1983) Ethanol fermentation of whey using calcium alginate entrapped yeasts. Process Biochemistry 18 (6) : 17-20.

吳芳禎、吳嘉興、邵亦遠、施英隆 (2017)。以批次醱酵槽生產聚麩胺酸並探討其化學衍生物吸水性質之研究。科學與工程技術期刊，第十三卷，第二期。

劉亞平、李紅波 (2011)。物性測定儀及 TPA 在蔬果質構測試中的應用綜述。百度文庫。取自 <http://wenku.baidu.com/view/1d467128bd64783e09122be0.hermentml>。

文子齊 (2022 年 9 月 9 日)。蜂蜜好處超級多 護膚、抗氧化全都搞定。Hello 醫師。取自 <https://helloyishi.com.tw/healthy-eating/nutrition/honey-benefits/>。

林詠凱、林詠翔、謝昌衛、張祐維、吳彰哲、許藝瓊 (2020)。經皮吸收控制藥物釋放設計與驗證模式最新發展。化工，第 67 卷，第 1 期。

經皮吸收是什麼？從原理到常見的經皮吸收試驗系統 (2021 年 11 月 26 日)。科安知識庫。取自 <https://reurl.cc/a14jW4>。

藤秀蘭、蒲陸梅、王興民 (2013)。分光光度法測定番茄紅素。理化檢驗 - 化學分冊，第 49 卷。

模擬經皮吸收實驗 (2008 年 11 月 12 日)。隨意窩。取自 <https://reurl.cc/2WENQ6>。

曾啟銘 (2017)。維生素 C 與維生素 C 葡萄糖苷之經皮吸收研究。台南：嘉南藥理科技大學化粧品科技研究所碩士論文。

【評語】 052011

本研究利用耕養共生方式培養黑柿番茄，並以微膠囊製成的無毒天然貼布進行了一個月的室溫保存評估，也測試了經皮吸收效力。這是一個相當生活化、在地化與具鄉土性的題目，十分有趣；而且同學一個人完成所有的實驗，非常辛苦。

但是本實驗有些部分可再加強，例如：

1. 結果太過發散且不夠聚焦，像是討論土耕、水耕和發酵液中 SOD 活性，測量後可再討論原因；
2. 未提供與其他類似產品或方法的比較，像是與市售的抗氧化產品或其他天然材料的比較；
3. 缺乏對照組的比較限制了對所提出的方法和產品的優勢和效果的評估；
4. 未提供更長時間的結果或長期使用的效果，因為了解產品的長期穩定性和效果對於評估其應用於醫藥保健產品的可行性至關重要。未來若能加以改善，將會是很好的作品。

作品海報

養耕共生～



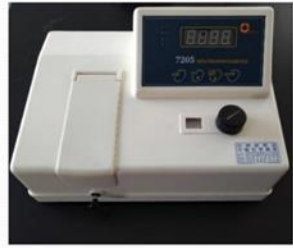
黑柿柑仔蜜的微膠囊應用

摘要

環保、健康、資源再利用是發展趨勢，故創建「生態綠生活園區」，**運用養耕系統種植黑柿番茄**，其生長速率快、抗氧化佳。**製成發酵液**，其SOD活性達682.8 U/g，抗氧化力89.11%，與新鮮番茄液有顯著差異。為維持抗氧化力的穩定性，**製備含 γ -聚麩胺酸的微膠囊**，包覆率85.98%。室溫放置一個月，抗氧化力下降量11.8%，較開封後室溫保存兩週的發酵液，抗氧化力下降量少。取具抗菌功效的蜂蜜當粘稠劑，加入微膠囊**製成無毒天然貼布**，取代市面上含化學成分的貼布。模擬使用時拍壓擠破微膠囊，使發酵液與蜂蜜混合成外敷膏狀物，**測定其經皮吸收速率**，第一小時為1.38 g /cm² · hr較新鮮番茄液的外敷膏狀物快，能減少敷料時間即達吸收，**期望未來可應用於過敏性疾病，例如異位性皮膚炎的相關性研究**。

研究器材

- (一) 分光光度計：SP-7205
- (二) 水質檢測計
- (三) Franz垂直擴散槽
- (四) 組裝之經皮吸收儀器
- (五) 無菌操作台
- (六) 物性測定儀
- (七) 高速離心機
- (八) 精密天平：HZK-FA210



研究方法與內容

01 建置養耕共生系統

- (1) 設計水耕池與養殖池以**溢流系統**承接，打造模擬天然瀑布的景態。
- (2) 進行養水步驟並放置生物，於養殖池安裝沈水馬達，水耕池設置**介質式栽培床的水耕池鐵槽**，並檢測養耕共生系統之水質。

02 種植黑柿番茄並製成發酵液

➤ 種植黑柿番茄

- (1) **土耕**（對照組）：使用**太空包**種植，投入培養土、火山岩、赤玉土，安裝製作**自動滴定澆水器**，提供水源。
- (2) **水耕**（實驗組）：利用**水耕池鐵槽**，以火山岩作為介質填充的栽培床。
- (3) 比較土耕栽種及水耕栽培收成的平均天數、果實平均重量、莖之平均直徑。



➤ 製備成番茄發酵液

取黑柿番茄：水：糖重量比為7：14：1，置入滅菌後之玻璃瓶，搖晃均勻，調整糖度至 6°Brix，進行自然發酵30天。

研究動機

為整合水生動物與植物的生態平衡永續發展概念，發揮創意設計建構**養耕共生系統**，進行真實耕作與養殖，從生活中發現問題並解決問題。故採用園區內魚菜共生系統，種植具抗氧化能力的**黑柿番茄**，欲製作一款含有天然成分，又可保持其抗氧化力的**微膠囊貼布**。提高無毒環境的零污染目標，減少環境中有害化學物質的使用，**落實環保、綠色生活理念**。

研究目的

- (一) 結合環保永續，發揮創意設計建構具文創美學的**養耕共生系統**。
- (二) 量測養耕共生系統水質之pH值、溫度、電導度的變化，對系統中生物的影響。
- (三) 採用養耕共生系統進行之**水耕**栽培方式與傳統土耕栽種方式種植黑柿番茄，比較其生長速率及狀態。再取水耕黑柿番茄製成**番茄發酵液**，測三者間SOD活性及抗氧化力有無顯著差異。
- (四) 以番茄發酵液與海藻酸鈉、 γ -聚麩胺酸，胺酸，製備成「**黑柿柑仔蜜微膠囊貼布**」，測其經皮吸收速率，縮短敷料時間。並運用微膠囊化，增加番茄發酵液抗氧化物質儲存的安定性。

03 測定SOD活性及抗氧化力

- (1) 利用**超氧化物歧化酶(SOD)能清除O₂⁻**的能力，測定土耕栽種、水耕培養之黑柿番茄及黑柿番茄發酵液的**SOD活性**。

SOD活性計算 = [抑制百分率 ÷ (1 - 抑制百分率) × 反應物總體積] ÷ (樣本質量 × 加入反應之樣本體積 ÷ 加入之SOD提取液體積) × 樣本稀釋倍率 (資料來源：WST-1法操作手冊)

- (2) 利用**DPPH評估抗氧化物清除自由基的能力**，測定土耕栽種、水耕培養之黑柿番茄及黑柿番茄發酵液的**抗氧化力**。(劉興亭，2007)

$$\text{抗氧化力(\%)} = 1 - \frac{A_{517} \text{ of sample}}{A_{517} \text{ of control}} \times 100\%$$

- (3) 實驗數據運用SPSS進行Pearson相關性分析、ANOVA統計分析抗氧化力的效果及Scheffe法事後多重比較三者顯著性差異。

04 製備微膠囊，量測其破碎力道

配置2%海藻酸鈉溶液，依對照組及實驗組分別有無添加2g的 γ -聚麩胺酸，再各加入10mL黑柿番茄發酵液，製成發酵混合液。將5%乳酸鈣水溶液置於容器中，以緩慢的速率滴入發酵混合液並攪拌，**製成微膠囊**。使用自製物性測定儀(張薰文等，2022)，將微膠囊放置探頭的正下方，**模擬手拍下壓微膠囊**，製作力與時間的關係圖(F-t圖)，**了解將內容物質釋放出來的時間快慢**。

05 包覆率測定

➤ 包覆率測定

- (1) 設定黑柿番茄發酵液為濃度100%的標準品，將溶液稀釋成0.02、0.04、0.08、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 g/mL，輸入波長474 nm (藤秀蘭，2013)，測得吸光值，製作標準檢量線及線性迴歸方程式。
- (2) 量測微膠囊濾液取得吸光值，代入線性迴歸方程式，得知番茄濃度，導出流失黑柿番茄發酵液量，再套入公式計算出包覆率。(曾詣安，2022)

$$\text{包覆率} = \frac{\text{原始黑柿番茄發酵液量} - \text{流失黑柿番茄發酵液量}}{\text{原始黑柿番茄發酵液量}} \times 100\%$$

06 黑柿番茄發酵液微膠囊貼布應用與經皮吸收速率測定

➤ 黑柿番茄發酵液微膠囊貼布應用

取蜂蜜與微膠囊攪拌調勻，塗抹至紗布並放置於不織布上，製成黑柿柑仔蜜微膠囊貼布。

➤ 測定經皮吸收速率

- (1) 組裝測定經皮吸收速率的儀器，將Franz垂直擴散槽與12V馬達以水管相接，並設定恆溫水槽維持在37°C。
- (2) 經皮吸收總量與豬耳皮膜面積有關，測量每小時的擴散速率，比較**番茄發酵液加蜂蜜混合成外敷膏狀物**與**新鮮番茄液加蜂蜜混合外敷膏狀物**，經皮吸收總量與吸收速率的變化。(曾啟銘，2017)

經皮吸收速率(g/cm²·hr)

$$= \frac{\text{擴散前擴散瓶總量(g)} - \text{擴散後擴散瓶總量(g)}}{\text{吸收膜面積(cm}^2\text{)} \times \text{時數(hr)}}$$

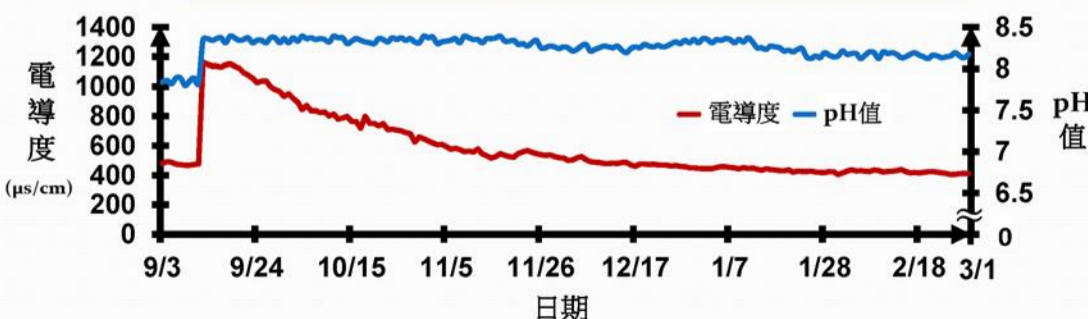
結果與討論

01 養耕共生系統設置



利用創建的魚菜共生設備，讓水生動物與水耕植物合作生長。加裝上層水耕鐵槽，**以火山岩作介質式栽培床**，提供植物缺乏的微量元素，同時也能穩定水質，使植株穩定生長。

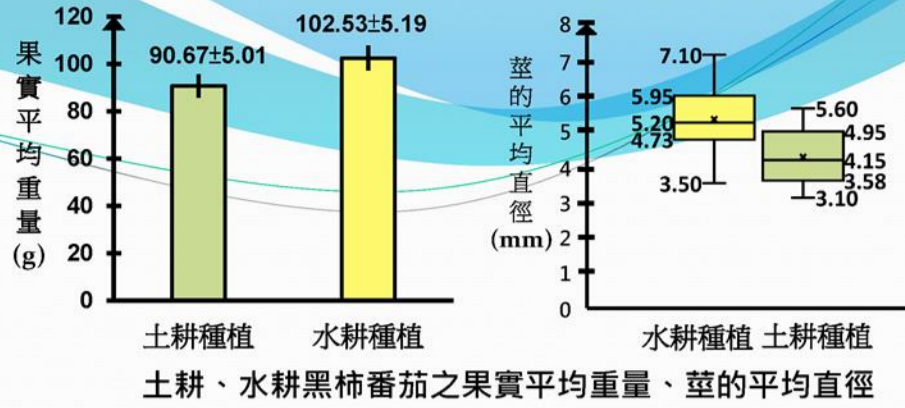
02 養耕共生系統之水質檢測



111年九月至112年二月電導度與pH值的折線圖

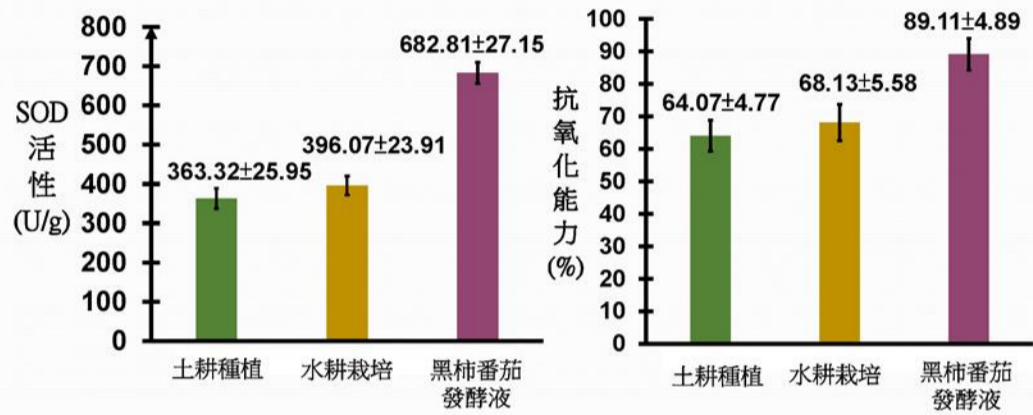
為避免pH值大幅升降，故**設置黑紗網**，並開天窗保持空氣流通來降溫，維持養耕系統的水溫及pH的穩定性，pH值約8.15。加入硝化菌後經**硝化作用**將有機肥料轉變成硝酸鹽類物質，能直接被植物吸收利用，故離子濃度降低，電導度降低至約410 µs/cm。

03 比較土耕黑柿番茄及水耕黑柿番茄的生長速率及狀況



水耕番茄採用火山岩作介質式栽培床，可讓植物更容易吸收營養成分。水耕栽培之黑柿番茄收成平均天數約92天，**生長速率**會比土耕播種的116天快，其**果實重量、莖的直徑**皆較土耕栽種佳。

04 測定SOD活性及抗氧化力



土耕、水耕黑柿番茄與番茄發酵液的SOD活性及抗氧化力

比較土耕、水耕黑柿番茄及番茄發酵液的SOD活性與抗氧化力，其中**黑柿番茄發酵液的SOD活性**682.81±27.15U/g、**抗氧化力**89.11±4.89%最高。

土耕、水耕及發酵液測定的SOD活性與抗氧化力之Pearson相關性分析

方式	抗氧化力	SOD活性
土耕栽種的番茄	皮爾森相關性	1 .835
	顯著性(雙尾)	<.001
水耕栽培的番茄	皮爾森相關性	1 .772
	顯著性(雙尾)	<.001
黑柿番茄發酵液	皮爾森相關性	1 .880
	顯著性(雙尾)	<.001

進行Pearson相關性分析顯示：土耕、水耕黑柿番茄及番茄發酵液的SOD活性與抗氧化力皆具有顯著正相關，故**SOD活性愈強，抗氧化力愈佳**。

土耕、水耕種植之黑柿番茄與番茄發酵液在抗氧化力中的單因子變異數分析(ANOVA)

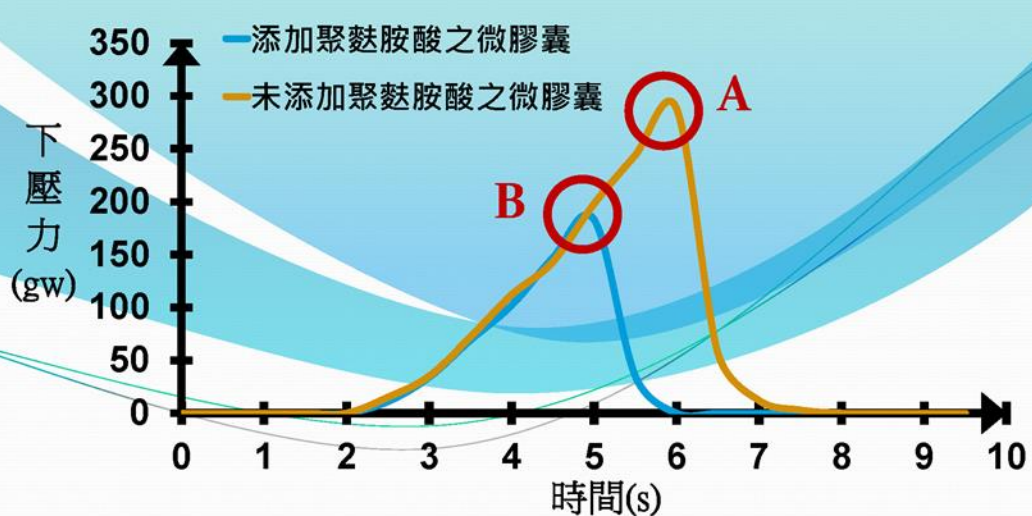
變異來源	離均差平方和(SS)	自由度(df)	平均值平方(MS)	檢定值(F)	顯著性(p)
項目	10839.5	2	5419.8	208.9	<.001
誤差	2256.8	87	25.9		
總和	13096.3	89			

土耕、水耕種植之黑柿番茄與番茄發酵液在抗氧化力中的Scheffe法之多重比較

(I)	(J)	平均值(I-J)	標準誤	顯著性	95% 信賴區間	
					下界	上界
土耕	水耕	-4.060	1.315	.011	-7.335	-.785
	黑柿番茄	-25.043	1.315	<.001	-28.318	-21.768
水耕	土耕	4.060	1.315	.011	.784	7.335
	黑柿番茄	-20.983	1.315	<.001	-24.258	-17.708
黑柿番茄	土耕	25.043	1.315	<.001	21.768	28.318
	發酵液	20.983	1.315	<.001	17.708	24.258

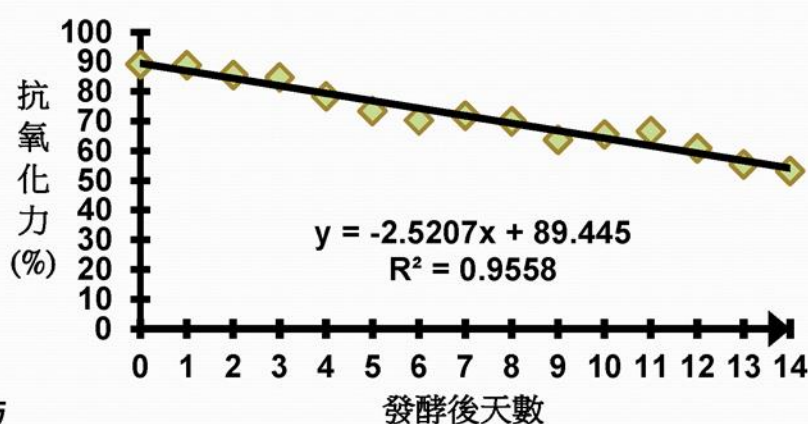
(p < 0.05 ↓ 為顯著差異)

以ANOVA分析不同種植方式（土耕、水耕）及製成發酵液對抗氧化能力之效果，F值愈大，表示三組間存在顯著差異。Scheffe事後比較顯示：**黑柿番茄發酵液抗氧化力顯著大於水耕栽培及土耕栽種的黑柿番茄** ($p < .001$)。



下壓微膠囊的力與時間關係圖(F-t圖)

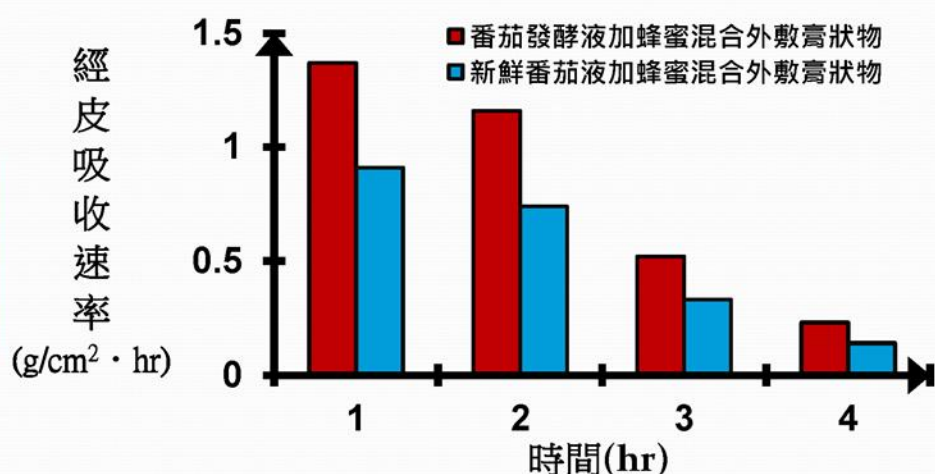
由圖得知**添加聚麩胺酸之微膠囊(B值約183gw)**較無添加聚麩胺酸之微膠囊(A值約288gw)**易破**，所需的下壓力較少，較易釋放出內容物質。



黑柿番茄發酵液

黑柿番茄發酵液經一個月發酵完成，開封後放置室溫下兩週的抗氧化力變化

番茄發酵液經一個月發酵完成，開封後將其放置室溫兩週，其抗氧化力由89.1%下降至53.2%，**下降量約35.9%**。因**發酵液中物質易流失**，為保存番茄發酵液發酵後的抗氧化力，故製成微膠囊包覆。



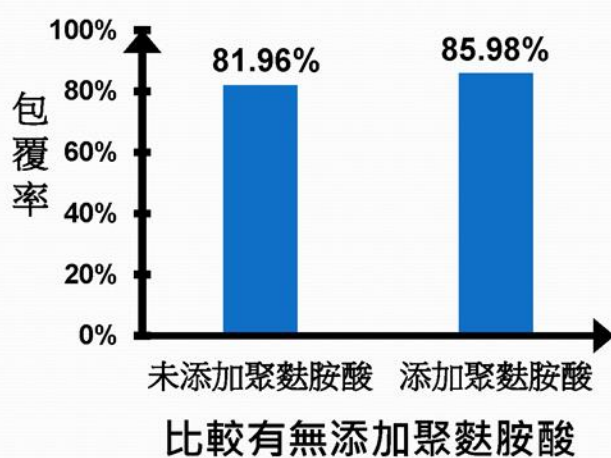
不同處理方式的外敷膏狀物之經皮吸收速率比較

番茄發酵液加蜂蜜混合外敷膏狀物，經皮吸收速率皆較新鮮番茄液加蜂蜜混合外敷膏狀物佳，其經皮吸收速率在第1小時約為1.38 g/cm²·hr最高。

05 製成微膠囊及包覆率測定



黑柿番茄發酵液微膠囊



比較有無添加聚麩胺酸

結論與未來展望

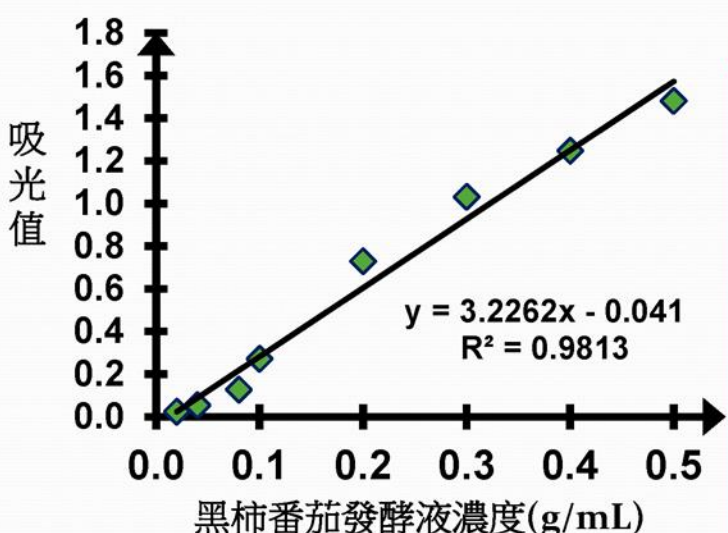
養耕共生系統進行的水耕栽培，不需化肥且無農藥，天然又安全。實驗結果顯示水耕栽培的黑柿番茄平均果實重量、莖的直徑、收成天數、SOD活性、抗氧化力，皆比土耕栽種佳。將土耕、水耕黑柿番茄及**番茄發酵液**，進行SOD活性與抗氧化力之測定，得知黑柿番茄發酵液的**SOD活性約為682.81 ± 27.15 U/g及抗氧化力約為89.11%為最優**。

微膠囊技術能包覆抗氧化物質，故取黑柿番茄發酵液，以**微膠囊技術**進行包覆。設計添加γ-聚麩胺酸，作包覆黑柿番茄有效物質的載體，增加抗氧化力的安定性。實驗結果顯示**添加γ-聚麩胺酸之包覆率約為85.98%**，較無添加γ-聚麩胺酸之包覆率約為81.96%良好，且模擬手拍微膠囊下壓力約為183gw也較無添加γ-聚麩胺酸的下壓力約288gw小，較易壓破，使內容物質能夠釋放。

因長期敷用含化學成分的貼布對身體健康不利，故製備一個無毒、天然環保的產品。將蜂蜜作黏稠劑製成**黑柿番茄發酵液微膠囊貼布**，測定經皮吸收速率，發酵液加蜂蜜混合外敷膏狀物製成的貼布其第1小時經皮吸收速率約為1.38 g/cm²·hr，較新鮮番茄液加蜂蜜的膏狀物貼布快，能減少敷用時間，即達吸收效果。**推動綠生活概念，可加深對土地的連結、友善環境，達到永續發展。**

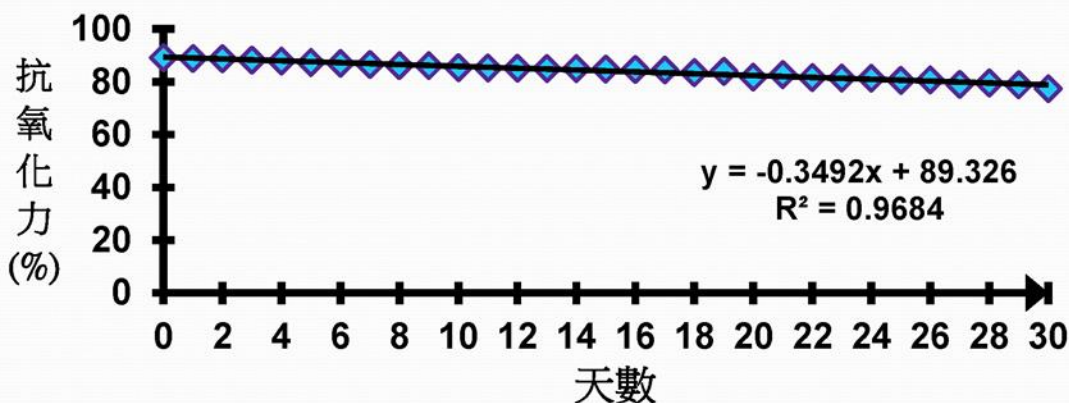
參考資料

- 李名達 (2001)。番茄紅素分析和安定性的研究。新北：輔仁大學食品營養學系碩士論文。
- 曾詣安 (2022)。以海藻酸鈉包覆藍莓皮萃取液之製備與應用研究。台中：靜宜大學化粧品科學系碩士論文。
- 曾啟銘 (2017)。維生素 C 與維生素C 葡萄糖苷之經皮吸收研究。台南：嘉南藥理科技大學化粧品科技研究所碩士論文。



黑柿番茄發酵液標準檢量線

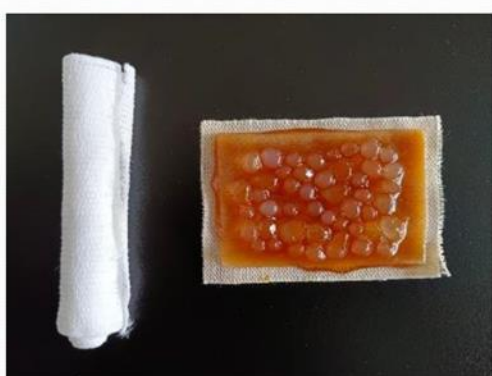
以此線性迴歸方程式定量製備微膠囊中所流失的黑柿番茄發酵液含量，計算微膠囊之包覆率。得知有**添加聚麩胺酸的微膠囊包覆率約為85.98%較高**。



黑柿番茄微膠囊保存一個月的抗氧化能力變化

微膠囊置於室溫存放一個月後，**微膠囊中的有效物質仍存在**，其抗氧化力由89.1%下降至77.3%，**下降量約為11.8%**。比開封後放置室溫兩週後的番茄發酵液抗氧化力下降量約35.9%少。

06 微膠囊貼布應用及測量經皮吸收速率



黑柿番茄發酵液微膠囊貼布



模擬人類經皮吸收之豬耳皮膜