

115 年度氣候變遷創意實作競賽

決賽作品說明書

隊伍編號+名稱	No. 14 銀黑殺手 Silver-black Marvel
作品中文名稱	永續農業方案:回收纖維農膜結合LDHs 土壤改良促進土壤碳匯
作品英文名稱	A Sustainable Agriculture Approach Using Recycled Fiber Mulches and LDHs to Improve Soil Quality and Carbon Sequestration

參賽學校：國立宜蘭大學、國立成功大學

指導老師：楊汶達

團隊成員：張宸唯、葉翰霖

摘要

面對氣候變遷，農業已成減碳關鍵戰場。鑑於傳統聚乙烯農膜的高碳排與污染問題，我們將農業材料從環境負擔轉化為氣候調適工具。

我們開發結合「廢棄植物纖維」與「層狀雙氫氧化物 (LDHs)」的可分解功能型農膜。透過 LDHs 的離子交換特性，此農膜不僅能覆蓋作物，更能調控水分、養分與微氣候，實質提升土壤韌性。我們期望透過此創新材料，同時達成減碳效益與氣候變遷因應，為永續農業開啟新局。

Abstract

As climate change intensifies, agriculture has become a critical battleground for carbon reduction. In response to the high carbon emissions and pollution associated with conventional polyethylene mulch films, we sought to transform agricultural materials from environmental burdens into climate adaptation tools.

We developed a biodegradable functional mulch film combining recycled plant fiber and Layered Double Hydroxides (LDHs). Leveraging the ion-exchange properties of LDHs, this film goes beyond simple crop coverage — it actively regulates moisture, nutrients, and microclimate to enhance soil resilience. Through this innovation, we aim to simultaneously achieve carbon reduction and meaningful climate adaptation, opening a new chapter for sustainable agriculture.

目錄

一、 設計構想.....	1
二、 作品材料說明.....	3
(一) 再生紙纖維基材	3
(二) 層狀雙氫氧化物	3
(三) 材料性能測試	4
1. 保水試驗.....	4
2. 磷酸根陰離子交換 LDHs 之土壤緩釋試驗.....	5
3. 實場試驗.....	6
4. 環境用途之安全測試.....	8
三、 創作特點與創意說明.....	9
(一) 師法自然	9
(二) 可調控材料設計	9
(三) 高值化策略	9
(四) 分解即改良	10
四、 應用範圍與潛能.....	11
(一) 碳排量與生命週期評估 (LIFE CYCLE ASSESSMENT) 比較.....	11
(二) 成本評估與比較	12
(三) 商業潛能	13
(四) 商業計劃 (BUSINESS PLAN) 分析.....	13
(五) 強弱危機 (SWOT) 分析.....	14
五、 工作分配.....	15
六、 參考文獻.....	15

圖目錄

圖 1 (a-b) 宜蘭縣境內傳統塑膠農膜使用與棄置；(c-e) 臺中市境內傳統塑膠農膜使用與翻埋。.....	1
圖 2 設計構想概念圖.....	2
圖 3 (a) LDHs 結構之示意圖 (Altalhi et al., 2024)； (b) 鈣質土壤與紅土添加生物碳與含鋅 LDHs 對小白菜生長之影響 (Gao et al., 2020)	4
圖 4 (a) 團隊生產不同金屬離子組成之 LDHs；(b) 早期以漂白之纖維素製備 (右)，後以未漂白之纖維素製備 (左)	5
圖 5 LDHs 纖維農膜小盆栽試驗，觀察纖維素農膜的自然分解情形	5
圖 6 (a) 未交換磷酸根之 LDHs 之 EDS 結果；(b) 交換磷酸根之 LDHs 之 EDS 結果	6
圖 7 (a) 栽培作物覆蓋纖維素農膜之實驗組及對照組；(b) ~ (d) 分別為第一到第三周纖維素農膜分解及作物生長情形	7
圖 8 彰化縣二林鎮商用農場現地試驗.....	7
圖 9 功能性纖維素農膜說明圖 (LDHs 擷取自 Bukhtiyarova (2019)，並使用 Gemini、ChatGPT 繪製其他素材改編)	10
圖 10 Business plan 商業計劃分析圖.....	14
圖 11 功能性纖維素農膜 SWOT 分析.....	15

表目錄

表 1 不同農膜材料各項特性.....	3
表 2 再生粒料溶出檢測結果.....	8
表 3 農用紙膜與傳統塑膠農膜 (LDPE) 碳排計算與比較.....	11
表 4 傳統塑膠農膜與農用紙膜成本比較.....	12
表 5 造紙產業高值化效益評估——傳統工紙與農用紙膜對造紙產業價創比較	13
表 6 我國常見農膜作物使用農用紙膜，促進造紙產業收益.....	13

一、設計構想

傳統塑膠農膜因不可分解之特性，使農民為了降低回收成本而選擇將其棄置、掩埋於土壤或就地焚燒，分別造成空間佔用、塑膠微粒污染，以及二氧化碳、多環芳香烴 (PAHs) 與戴奧辛 (Dioxin) 釋放等環境破壞與污染問題 (Bi et al., 2024; He et al., 2025; Pandian et al., 2024)。臺灣每年傳統塑膠農膜用量約達五萬噸，然而根據農業部於 2024 年的調查，回收農業廢棄塑膠膜僅約 11,410 噸 (農業部, 2025)，意即每年仍有近四萬噸的農膜形成高昂的環境成本。可分解農膜雖被視為取代一次性高周轉傳統塑膠農膜的首要解方，然而現行可分解材料以生物可分解之聚酯類 (如：PLA、PBAT) 為主，仍受限於嚴苛的溫濕度條件與過長的分解週期，高成本投入亦難以在缺乏額外效益的前提下，取代傳統塑膠農膜的便利性與成本優勢。此外，傳統塑膠農膜雖具備抑草與保水之效果，卻無法協助作物適應極端高溫、乾旱與降雨型態不穩定等氣候變遷衝擊。我們認為，盡快解決傳統塑膠農膜帶來的環境問題，以及現有可分解農膜的成本劣勢，在農產業中已是刻不容緩的課題。



圖 1 (a-b) 宜蘭縣境內傳統塑膠農膜使用與棄置；(c-e) 臺中市境內傳統塑膠農膜使用與翻埋。

本團隊以「氣候變遷因應型材料」為核心概念，提出開發以廢棄材料為來源的功能性纖維素農膜。此關鍵材料須同時具備兩項重要功能：(1) 可於普遍農田環境條件下在適當時間內自然降解，且對土壤結構與生態系統不造成負面影響；(2) 具備傳統農膜所不具備的耕作附加效益，以高值化策略取代傳統塑膠農膜。以「高值化」作為核心路徑，將可分解農膜從一次性覆蓋耗材升級為能夠提升作物對氣候變遷適應力的永續農業材料。

依據上述兩項核心概念，我們選擇再生紙纖維作為基材，以實現可控自然分解、低碳排放與低成本來源之目標，並將少量層狀雙氫氧化物（Layered Double Hydroxides, LDHs）複合於纖維基質中，賦予農膜養分緩釋與土壤調節功能，提升作物與土壤在氣候變遷下的環境適應力，同時以顯著的耕作附加效益，突破現有可分解農膜成本高而效益有限的市場困境。



圖 2 設計構想概念圖

二、作品材料說明

(一) 再生紙纖維基材

再生紙纖維主要由纖維素 (Cellulose) 組成，是自然界中最豐富的高分子之一，可於常溫下經微生物分解，轉化為土壤有機質，成為土壤碳匯之補充來源，對生態系統影響極低。相較於廢棄紙材循傳統途徑處理 (如：焚燒、掩埋) 時，所含碳幾乎全數以二氧化碳形式釋放，將其製成農膜並於田間自然降解，可確保部分碳固存於土壤之中，在碳循環上具備顯著的相對優勢。除材料特性外，使用再生紙纖維之關鍵考量更在於其「來源」，以廢棄紙材為原料不僅大幅降低製造成本，突破現有生物可分解農膜的成本困境，同時實現廢棄物資源化循環，使農膜從耗材升級為兼顧固碳與永續的農業材料。

表 1 不同農膜材料各項特性

特性	傳統塑膠農膜	聚酯類可分解農膜	再生纖維農膜
原料來源	石化原料	生質原料	木質纖維 (可再生)
使用壽命	長	中等，視環境決定	較短，易受環境條件影響
抑草效果	良好	良好	良
保溫/保水能力	易造成土壤高溫	普	增加土壤含水
生物降解性	無法降解	特定條件下可緩慢分解	完全自然分解
處理方式	多焚化、棄置或掩埋	可於土壤中分解或工業堆肥	無需處理，可直接翻入土壤，促進土壤碳匯
生產成本	低	較 PE、PVC 高	較高

(二) 層狀雙氫氧化物

層狀雙氫氧化物 (LDHs, $[M_{1-x}^{2+}M_x^{3+}(OH)_2]^{x+}[A_{x/n}^{n-} \cdot mH_2O]^{x-}$) 是一種無基層狀雙金屬氫氧化物，為類水滑石結構，由二價與三價金屬陽離子之氫氧八面體構成，透過控制二價與三價金屬陽離子之比例，調控層間需補償的陰離子數量，進而控制陰離子交換容量 (Anion Exchange Capacity, AEC)。其獨特的結構、高可調控性、高比表面

積、優異的陰離子儲存與交換能力，以及良好的化學穩定性，使其近年在材料科學與環境工程領域被視為具有高度應用潛力的材料。在自然界中，由 Mg^{2+} 與 Al^{3+} 以莫爾數比 3:1 構成之層狀雙氫氧化物即為水滑石 (Hydrotalcite, $Mg_6Al_2(CO_3)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$)，特性與土壤中既有的黏土礦物類似，均透過組成層之金屬陽離子的取代與邊緣羥基，具備吸附或置換陰離子與陽離子的能力。我們認為，將該材料複合於與土壤直接接觸之農膜中，能使農膜搭載特定土壤所需之養分，藉由層間陰離子緩釋特性，針對作物與耕作土壤之養分需求釋放所需養分（如： NO_3^- 、 $H_2PO_4^-$ ），提升肥料使用效益 (Altalhi et al., 2024; Buates & Imai, 2021; Everaert et al., 2022; Gao et al., 2020; Torres-Dorante et al., 2009)，並因其與土壤礦物之良好相容性，降低材料導入對土壤環境造成負面影響之風險。這種陰離子交換機制亦使其在捕捉與固化大氣或土壤中的 CO_2 方面具有潛在優勢，除了能吸附與轉化 CO_2 (Mehrab A. Hassan et al., 2025; Zhang et al., 2025)，還能夠促進穩定碳酸鹽的形成，為改善土壤碳匯功能提供材料路徑 (Sahoo et al., 2014)。

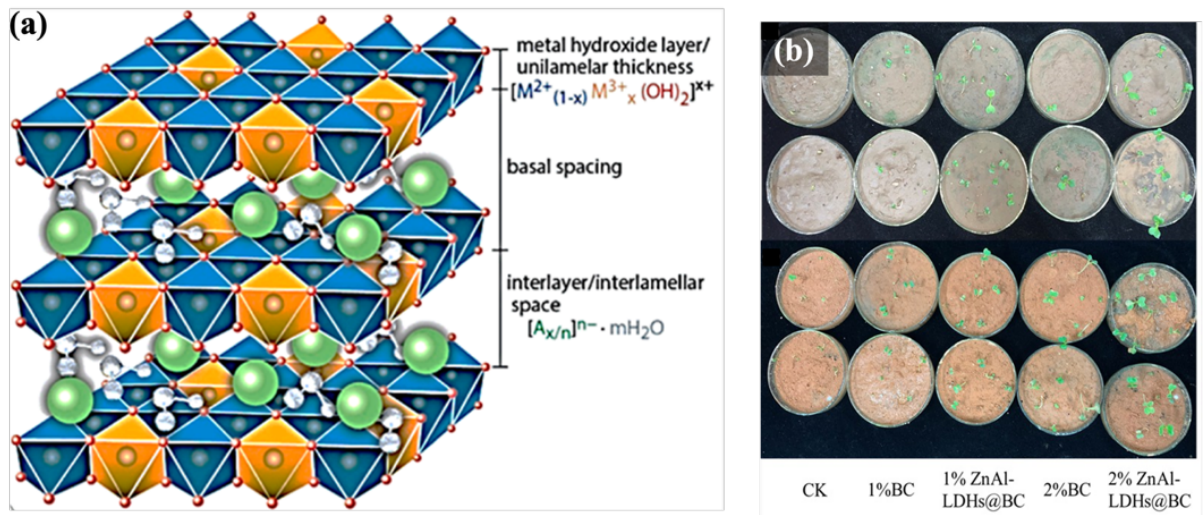


圖 3 (a) LDHs 結構之示意圖 (Altalhi et al., 2024)； (b) 鈣質土壤與紅土添加生物碳與含鋅 LDHs 對小白菜生長之影響 (Gao et al., 2020)

(三) 材料性能測試

1. 保水試驗

LDHs 因富含羥基，且層間陰離子與金屬陽離子所帶之電荷可吸引極性水分子，加之層狀結構與高比表面積，使其具備良好的土壤保水特性。團隊以小型盆栽進行初步保水性測試，比較鋪設 LDHs 纖維與未鋪設農膜之盆栽土壤於澆水後的含水量變化 (圖 5)。結果顯示，鋪設 LDHs 纖維農膜之盆栽土壤在澆水後能維持較高的含

水量，表土乾燥速度明顯降低，同時植栽根系周圍的土壤仍保持良好通氣狀態，顯示此農膜能在保水與透氣之間取得平衡。此初步結果支持 LDHs 纖維農膜在實際土壤環境中具備改善水分穩定性的潛力，為後續功能驗證提供基礎依據。

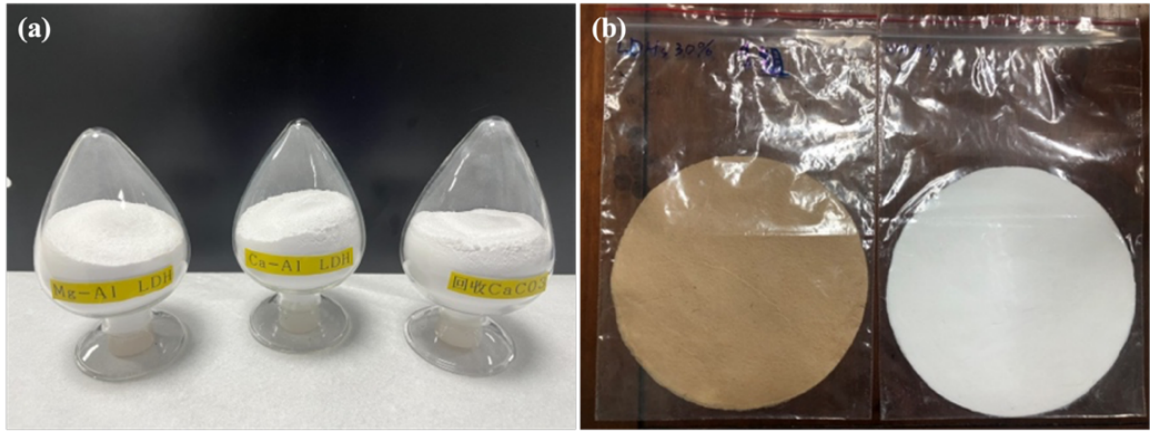


圖 4 (a) 團隊生產不同金屬離子組成之 LDHs ; (b) 早期以漂白之纖維素製備 (右)，後以未漂白之纖維素製備 (左)

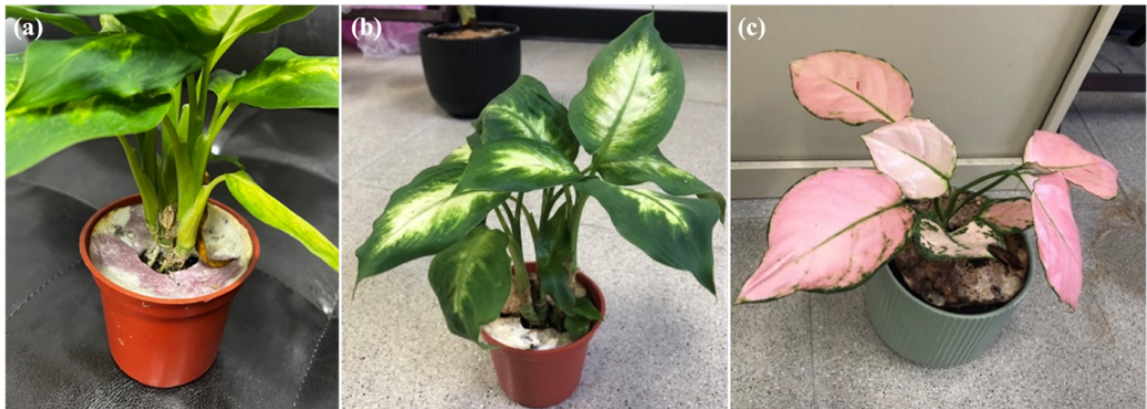


圖 5 LDHs 纖維農膜小盆栽試驗，觀察纖維素農膜的自然分解情形

2. 磷酸根陰離子交換 LDHs 之土壤緩釋試驗

本團隊以種植蕃茄之高雄阿蓮區肥料容易受到沖刷而流失之案例，參考 Everaert et al. (2022) 及 Buates and Imai (2021)，將製備之 Mg-Al LDHs 搭載磷酸根 (PO_4^{3-})，並以掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscopy, SEM) 搭載能量色散光譜儀 (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy, EDS) 分別針對 LDHs 粉末之表面形貌與元素組成進行觀察，由二次電子影像 (Secondary Electron, SE) 觀察可知 (圖 6)，LDHs 粉末由微小片狀結晶組成數十微米之團塊，團塊結構鬆散且富含孔隙。經能量色散

光譜儀分析（圖 6），確認磷酸根已成功負載於 LDHs 之中。

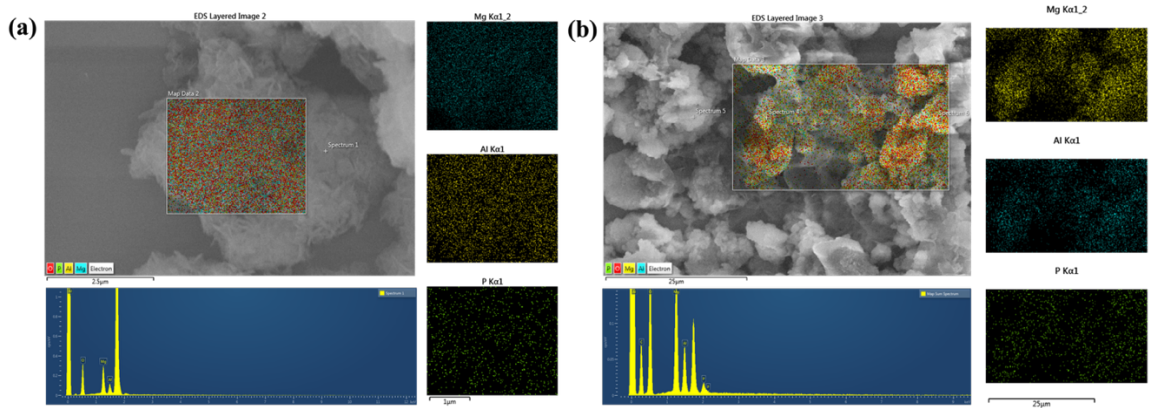


圖 6 (a) 未交換磷酸根之 LDHs 之 EDS 結果；(b) 交換磷酸根之 LDHs 之 EDS 結果

3. 實場試驗

本團隊目標建立配合作物農期的降解時間可控技術，透過可控制的再生纖維製程，調整纖維素農膜的厚度與結構，以達成作物生育期內具覆蓋功能，採收期可自然崩解，便於後續農機作業之應用需求。

目前已於不同農業場域展開分階段現地試驗。初步試驗於宜蘭縣境內之實習農場栽培區進行，以玉米與秋葵各 250 株作為測試作物，透過覆蓋與未覆蓋纖維素農膜（未加入 LDHs）之對照設計，觀察纖維素農膜對作物生長表現與農膜本身降解行為的影響。該階段鋪設之纖維素農膜規格為 50 g/m^2 ，兩期耕作總鋪設面積約 146.7 坪，並配置未覆蓋纖維素農膜的對照組，以利統計比較。試驗預期將於二至三個月內完成降解，團隊每週至現地記錄作物生長狀況、雜草覆蓋程度以及纖維素農膜之降解進程。試驗結束後，將測定作物乾重作為生長的量化指標，並分別採集地上部與下部樣本，量測土壤總有機碳 (Total organic carbon, TOC)、陽離子交換容量 (Cation exchange capacity, CEC)、土壤 pH 等重要指標，以評估該農膜對農田碳循環與土壤碳匯潛力的影響。

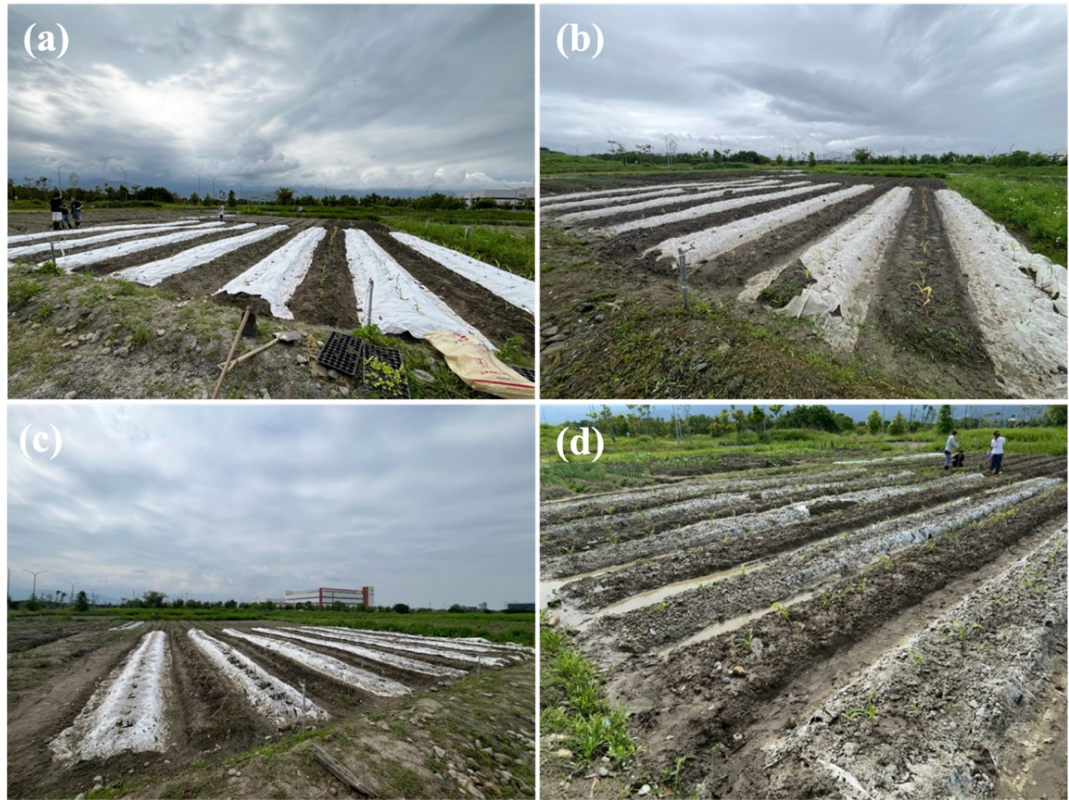


圖 7 (a) 栽培作物覆蓋纖維素農膜之實驗組及對照組；(b) ~ (d) 分別為第一到第三周纖維素農膜分解及作物生長情形

依前三週的現地觀察結果顯示 (圖 7)，鋪設纖維素農膜可明顯抑制雜草生長，表土保持較佳濕潤狀態，相對地，未覆蓋區域則出現顯著雜草滋生現象。在材料行為方面，纖維素農膜於暴露於大氣、降雨與微生物作用下已開始出現結構鬆解與纖維分散，顯示其具備可控制的生物降解特性。



圖 8 彰化縣二林鎮商用農場現地試驗

隨著材料與製程逐步穩定，試驗規模進一步擴大至彰化縣二林鎮之農場現地試驗 (圖 8)，選擇番茄與絲瓜等高經濟作物進行田間測試，以評估該材料在實際農業生產條件下的適用性與操作性。

4. 環境用途之安全測試

為了確定 LDHs 實際應用於功能性纖維素農膜之安全性，團隊以行政院環境部所訂定之「再生粒料環境用途溶出程序 (NIEAR222.11C)」，將用於土壤改質之 Mg-Al LDHs 依標準程序萃取重金屬，並以感應耦合電漿質譜儀 (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ICP-MS) 量測萃取液濃度。根據量測結果，萃取液中的重金屬濃度遠低於規定標準，Mg-Al LDHs 可應用於功能性纖維素農膜，實際使用於耕作中。

表 2 再生粒料溶出檢測結果

檢測項目	濃度 (ppm)			
	品質標準	Mg-Al LDH_1	Mg-Al LDH_2	Mg-Al LDH_3
Ni	≤1	0.376 (<LOQ)	未檢出	未檢出
Cu	≤10	未檢出	未檢出	未檢出
Zn	≤50	0.963±0.008	未檢出	未檢出
Cd	≤0.05	未檢出	未檢出	未檢出
Cr	≤0.5	未檢出	未檢出	0.277 (<LOQ)
Pb	≤0.1	0.021 (<LOQ)	未檢出	未檢出
Hg	≤0.02	未檢出	未檢出	未檢出
As	≤0.5	1.099 (<LOQ)	未檢出	未檢出

三、創作特點與創意說明

本團隊以鴻海科技日 (HHTD25) 之計畫「113 森林資材利用與高固碳材料開發技術」及「114 自動化規模化量產類水滑石製備纖維素環保農膜於宜蘭現地示範」為研究基礎，進一步探索將 LDHs 負載磷酸根作為緩釋肥料之應用潛力，並透過植栽試驗實際驗證其對作物生長之助益。此外，亦針對再生紙纖維於實際環境中的分解速度進行測試，確認可透過調整厚度有效控制分解週期，以因應不同作物農期之需求。本團隊所研發之功能性纖維素農膜創意之處分為四點說明：

(一) 師法自然

借鑑自然解方 (Natural-based solutions, NbS)，以低成本材料主動改值自然環境。功能性纖維素農膜所使用的再生紙纖維與層狀雙氫氧化物，兩者均為自然界中本已穩定存在的物質為基礎。再生紙纖維源自廢棄植物纖維，而 LDHs 之原形為自然礦物水滑石，兩者均具備與土壤生態系統的高度相容性。有別於高成本的聚酯類生物可分解材。本團隊借鑑自然，透過低環境風險、低成的方式主動調節土壤環境，同時解決了農業剩餘資材因堆肥掩埋產生甲烷，去化管道受限而難以有效處理之困境。

(二) 可調控材料設計

本團隊所選擇之再生紙纖維與 LDHs，不僅原料簡單、易於製造，兩材料皆具備高度的可調控性質。透過控制再生紙纖維厚度，能夠控制分解時間，根據不同作物之農期達成收耕後完成分解。LDHs 則能夠透過調控合成時金屬陽離子的種類與比例，針對不同土壤與作物需求客製化調整材料設計。

(三) 高值化策略

聚酯類可分解農膜長期面臨市場與技術困境，在於其效益與傳統農膜無異，農民卻需要承擔更高的使用成本，導致農民缺乏替代誘因。功能性纖維素農膜賦予農膜養分緩釋、土壤調節、增進土壤碳會與廢棄物循環經濟等優勢，使農民採用可分解農膜時，還能夠獲得對作物與土壤的實質增益。以增加作物與土壤對氣候變遷背景下的適應能力的高值化策略，提升農業端的推廣困境與主動採用意願。

(四) 分解即改良

可分解的功能性纖維素農膜設計終點不只是零污染地消失，本農膜將分解過程重新定位成功能釋放的方法。功能性纖維素農膜於田間自然降解的同時，LDHs 隨之進入土壤參與改質，同時部分碳亦進入黃碳循環當中，使農膜從被動的覆蓋耗材，轉變為主動改善土壤環境的媒介，讓可完全自然分解之過程賦予多重價值。

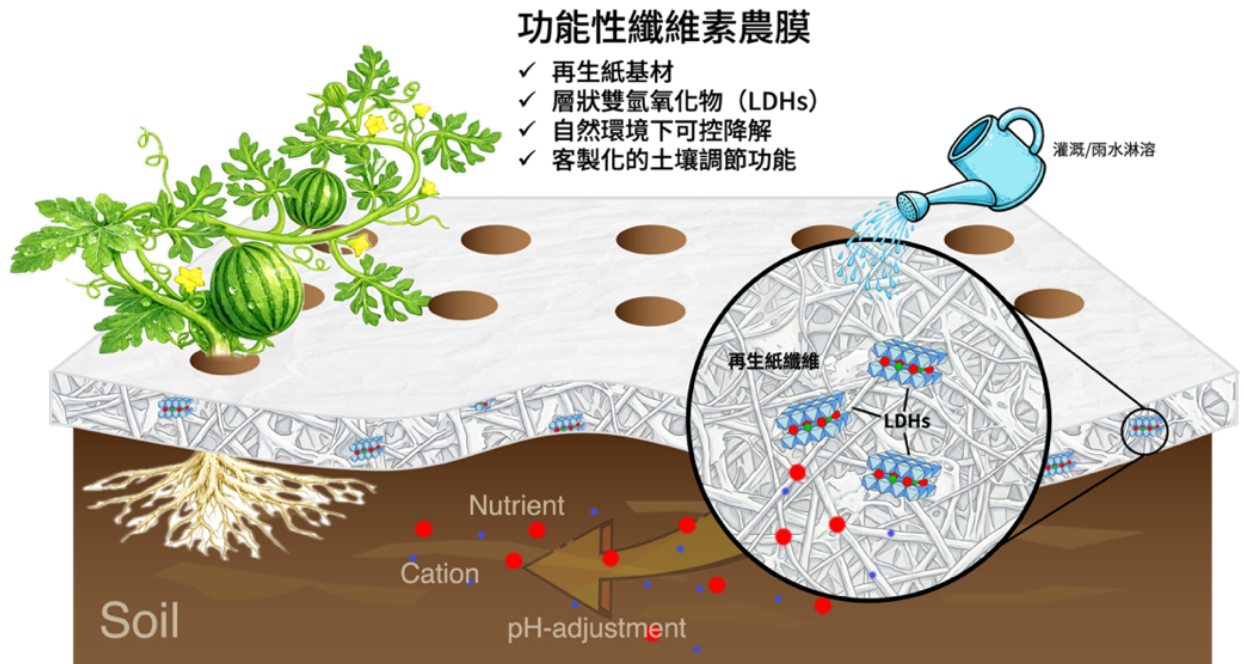


圖 9 功能性纖維素農膜說明圖 (LDHs 擷取自 Bukhtiyarova (2019)，並使用 Gemini、ChatGPT 繪製其他素材改編)

四、應用範圍與潛能

(一) 碳排量與生命週期評估 (Life cycle assessment) 比較

根據 EcoCover 再生紙產品生命週期評估報告 (Barber, 2011) 的數據，使用廢棄紙纖維因避免了紙張在掩埋場當中分解之碳排，選擇使用再生紙纖維作為原料可帶來 1.61 kgCO_{2e}/kg 的碳抵減。相較之下，選擇使用傳統 LDPE 塑膠農膜的碳排放量約為 3.26 kgCO_{2e}/kg。單位面積的紙膜雖然所需重量是傳統塑膠的 3.3~5.4 倍，但使用再生紙因具備碳抵減之效益，選用再生紙纖維作為農膜基材每公頃可減少約 2349~3315 kgCO_{2e}，若以臺灣年需五萬噸的傳統塑膠農膜計算，改為再生紙纖維作為基材每年將減少約 43~60 萬噸的二氧化碳排放，相當於台灣農業碳排量的 6~9%，選用以廢棄紙為原料的功能性纖維素農膜將具備絕對的減碳效益。

表 3 農用紙膜與傳統塑膠農膜 (LDPE) 碳排計算與比較

項目	正隆環保抑草紙	傳統塑膠農膜 (LDPE)	資料來源
單位面積重量 (kg/ha)	900~1500	276	正隆股份有限公司 (2026) 與 Barber (2011)
每公斤淨碳排放 (kgCO _{2e} /kg)	-	3.26	Barber (2011)
每公斤淨碳抵減 (kgCO _{2e} /kg)	1.61	-	Barber (2011)
每公頃碳排放 (kgCO _{2e} /ha)	-1449~-2415	900	本計算

雖然目前學術與工業界尚未針對 LDHs 計算完整的生命週期評估資料。考量其添加比例通常為基材的數個百分比內，佔比極低，且 LDHs 原料與製程簡單，預估對整體碳排結果的影響有限，不影響功能性纖維素農膜相較於 LDPE 傳統塑膠農膜的碳排優勢。

(二) 成本評估與比較

在台灣農業生產體系中，塑膠農膜已成為多項重要作物的關鍵投入材料，廣泛應用於冬季西瓜、草莓、鳳梨、胡瓜、小番茄、四季豆等露地與設施型作物，以達到保溫、保濕、抑草與穩定產量之效果。然而隨著產季結束，大量廢棄農膜的去化問題逐年累積，已成為農村環境與基層治理的長期結構性困境。

傳統塑膠農膜之單位碳排放量高達 $5.3\text{kgCO}_2\text{e/kg}$ ，顯著高於農用紙膜之 $0.26\text{kgCO}_2\text{e/kg}$ ，顯示兩者在材料生命週期即存在明顯環境效益差距。雖然農用紙膜單價較塑膠農膜高 2.5元/m^2 ，但塑膠農膜於實務應用中仍須額外負擔回收人力成本與廢棄處理費（每噸 1.5 萬元），使其實際使用成本大幅上升。依據整體成本計算結果，即使在未納入任何附加價值或政策誘因的情境下，以環保農膜取代傳統塑膠農膜，每平方公尺僅需多付 0.62949 元（表 4），此結果是在未考慮塑膠農膜所衍生之塑膠微粒污染、非法棄置與焚燒行為所造成長期環境與健康外部成本的前提之下。與之相比，農用紙膜在材料本質與最終去化途徑上，明顯具備降低環境風險與污染累積的潛力，使其在整體社會成本與永續農業目標下，具有更高的替代合理性。

表 4 傳統塑膠農膜與農用紙膜成本比較

農膜種類	項目	成本 (NTD/m ²)	平均成本 (NTD/m ²)	成本資料來源
農用紙膜	材料	4.4	4.40936	游昇俯 (2025)、 正隆股份有限公司 (2026)、 涂心怡 (2023) 與游昇俯 (2025)
	碳費	0.00936		
塑膠農膜	材料	2.50	3.77987	游昇俯 (2025)
	人力回收	1.03		
	廢物處理	0.23		正隆股份有限公司 (2026)、 農業部 (2025) 與環境部資 源循環署 (2026)
	碳費	0.02385		
農用紙膜效益 (NTD/m ²)			-0.62949	

(三) 商業潛能

農用紙膜除了對環境與農民帶來巨大的潛力，我們認為高值化產品需同時考慮製造商之利益。若比較紙廠出售之工紙與農用紙膜價格，農用紙膜每公噸售價高於工紙約 16500 元（表 5）。農用紙膜除了對農民土地與耕作有更高的效益，造紙商也能夠透過售出農用紙膜獲得巨大的商機，以全台常見需農膜之作物種植面積計算，農用紙膜多得收入每年可達上億商機（表 6）。

表 5 造紙產業高值化效益評估——傳統工紙與農用紙膜對造紙產業價創比較

紙種類	每噸售價 (NTD/t)	每噸售價價差 (NTD/t)	資料來源
工紙	19500	16500	邱莉玲 (2021)
農用紙膜	36000		正隆股份有限公司 (2026) 與游昇俯 (2025)

表 6 我國常見農膜作物使用農用紙膜，促進造紙產業收益

作物	全台種植面積 (m ²)	增加收益 (NTD)	種植面積 資料來源
西瓜	67,779,500	134,203,410	農業部 (2024)
草莓	5,975,200	11,830,896	農業部 (2024)
番茄	38,810,000	76,843,800	農業部 (2023)
萵苣	37,738,400	74,722,032	農業部 (2024)
農用紙膜總多得收入 (NTD)		297,600,138	

(四) 商業計劃 (Business Plan) 分析

透過 Business Plan 架構，說明本團隊開發之 LDHs 纖維素農膜於農業實場中的發展潛力，由市場與環境問題出發接軌農民耕作需求，進而聚焦於本團隊所提出的產品創新與功能性設計，並透過田間試驗驗證其實場發展的可能性，最後結合減碳效益、廢棄物減量、政策對齊等面向，呈現本農膜於低碳農業與循環經濟體系中的整體價值。

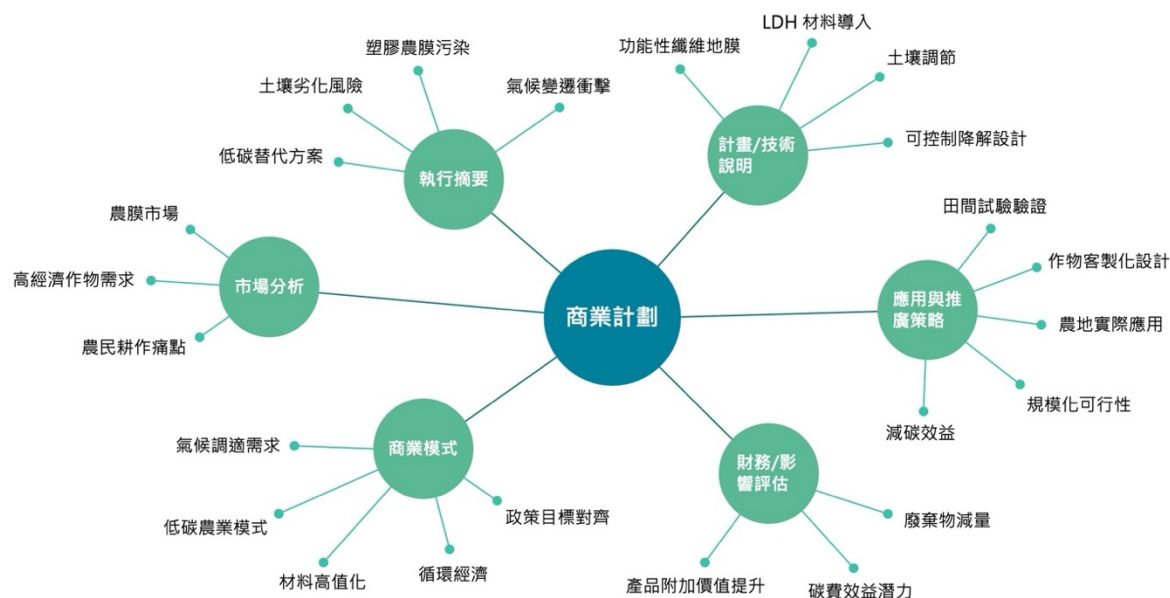


圖 10 Business plan 商業計劃分析圖

(五) 強弱危機 (SWOT) 分析

以 SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) 分析評估功能性纖維素膜在農業應用上的可行性與推廣潛力，釐清其相較於傳統塑膠農膜的優勢與限制。圖 8 整理本農膜的主要優勢、潛在弱點、可把握的發展機會，以及可能面臨的推廣挑戰。

於優勢面 (Strengths) LDHs 農膜具備可調控的土壤養分緩衝與調節能力，可抑制微塑膠殘留並維持土壤結構穩定，同時其分解條件與使用壽命可依農業需求進行設計，且製備流程相對簡單，有利於材料功能整合與應用推廣。然而在劣勢面 (Weaknesses) 上，目前 LDHs 農膜的製造成本仍高於傳統農膜，且其機械強度與延展性相較塑膠農膜仍有優化空間，限制其於大面積、低附加價值作物中的即時導入。在機會面 (Opportunities)，隨著農業減塑政策、微塑膠污染管制及淨零碳排目標的推進，兼具回收再利用、土壤改良與環境友善特性的功能性農膜，具備顯著的政策支撐與市場需求，此外原料端若能結合廢棄物回收與資源循環，亦有助於推動循環經濟體系的形成。相對地在威脅面 (Threats) 上，農民對新型材料的接受度與使用習慣仍需時間培養，同時生質可分解農膜已快速商品化，形成潛在市場競爭。因此 LDHs 環保農膜若能在成本優化、田間驗證與政策銜接上持續精進，將有機會成為兼顧農業生產與環境永續的關鍵解決方案。

S - Strengths (優勢)

1. 可調控的土壤營養鹽調節能力
2. 抑制微塑膠形成，保護土壤碳匯
3. 適當的分解條件與可控的分解時間
4. 製程簡單

O - Opportunities (機會)

1. 避免廢棄物棄置與燃燒污染罰款
2. 淨零趨勢政府鼓勵使用回收再利用之產品
3. 原料來源促進循環經濟



W - Weaknesses (威脅)

1. 成本較傳統農膜高
2. 機械強度較傳統農膜低

T - Threats (威脅)

1. 農民接受度不足
2. 其他生質可分解農膜快速商品化

圖 11 功能性纖維素農膜 SWOT 分析

五、工作分配

組員姓名	工作項目
張宸唯 (隊長)	作品說明書、實驗架設、影片、海報
葉翰霖	作品說明書、海報、影片

六、參考文獻

- 正隆股份有限公司. (2026). 農用紙膜. Retrieved Jan. 01 from <https://www.clc.com.tw/agricultural-paper?i=37>
- 邱莉玲. (2021). 成本攀高 紙箱、紙張業 12 月喊漲. 工商時報. Retrieved Jan. 18 from https://ieknet.iek.org.tw/ieknews/news_open.aspx?nsl_id=10c360c13d464d07a175ec30699ce5a1
- 涂心怡. (2023). 新型膜材讓大地永續不息. In 工業技術與資訊月刊.
- 游昇俯. (2025). 農用紙膜抑制雜草 有機水稻栽培產量增一倍 成本比用塑膠膜更低. 農傳媒. Retrieved Jan. 01 from <https://www.agriharvest.tw/archives/124481/>
- 農業部. (2023). 番茄主題館. Retrieved Jan. 10 from <https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=4143>
- 農業部. (2024). 農業知識入口網. Retrieved Jan. 10 from https://kmweb.moa.gov.tw/theme_list.php?theme=production_map
- 農業部. (2025). 綠色國民所得帳農業固體廢棄物歷年表 https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/common/Download_file.ashx%3Flist_id%3D26&ved=2ahUKEwjbxummIGSaxU6lK8BHTPSH3MQFnoECBcQAQ&usq=AOvVaw3l-JhXFsCLeS_Gr0QTiveK
- 環境部資源循環署. (2026). 清除處理機構服務管理資訊系統. Retrieved Jan. 10 from <https://wcds.moenv.gov.tw/WCDs/Anonymous/TreCostSearch.aspx>

- Altalhi, A. A., Mohamed, E. A., & Negm, N. A. (2024). Recent advances in layered double hydroxide (LDH)-based materials: fabrication, modification strategies, characterization, promising environmental catalytic applications, and prospective aspects. *Energy Advances*, 3(9), 2136-2151. <https://doi.org/10.1039/d4ya00272e>
- Barber, A. (2011). *EcoCover™, Woody Mulch and LDPE Primary Energy and Greenhouse Gas Emissions*. A. N. Z. Ltd.
- Bi, S. S., Liu, S. F., Liu, E. F., Xiong, J., Xu, Y., Wu, R. Y., Liu, X., & Xu, J. L. (2024). Adsorption behavior and mechanism of heavy metals onto microplastics: A meta-analysis assisted by machine learning. *Environmental Pollution*, 360. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124634>
- Buates, J., & Imai, T. (2021). Assessment of plant growth performance and nutrient release for application of phosphorus-loaded layered double hydroxides as fertilizer. *Environmental Technology & Innovation*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101505>
- Bukhtiyarova, M. V. (2019). A review on effect of synthesis conditions on the formation of layered double hydroxides. *Journal of Solid State Chemistry*, 269, 494-506. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2018.10.018>
- Everaert, M., Degryse, F., McLaughlin, M. J., Smolders, S., Andelkovic, I., Baird, R., & Smolders, E. (2022). Enhancing the phosphorus content of layered double hydroxide fertilizers by intercalating polymeric phosphate instead of orthophosphate: A feasibility study. *Journal of Colloid and Interface Science*, 628, 519-529. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.07.149>
- Gao, X., Peng, Y. T., Guo, L. L., Wang, Q., Guan, C. Y., Yang, F., & Chen, Q. (2020). Arsenic adsorption on layered double hydroxides biochars and their amended red and calcareous soils. *Journal of Environmental Management*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111045>
- He, J. N., Zhang, X. L., Luo, X. T., Qi, T., Zhao, X. Q., Tian, X. X., Li, H. R., Wang, R. D., Li, Q., Li, C., Zou, X. Y., Chang, C. P., Li, J. F., & Guo, Z. L. (2025). Duration-and area-dependent influences of plastic film mulch on soil microplastics abundance. *Journal of Hazardous Materials*, 499. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.140331>
- Mehrab A. Hassan, Sheikha F. Wahdain, & Onaizi, S. A. (2025). Recent advances in CO2 capture and mineralization using layered double hydroxide-based materials: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 32, 27368-27412. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35446-5>
- Pandian, K., Vijayakumar, S., Mustaffa, M. R. A., Subramanian, P., & Chitraputhirapillai, S. (2024). Biochar - a sustainable soil conditioner for improving soil health, crop production and environment under changing climate: a review. *Frontiers in Soil Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1376159>
- Sahoo, P., Ishihara, S., Yamada, K., Deguchi, K., Ohki, S., Tansho, M., Shimizu, T., Eisaku, N., Sasai, R., Labuta, J., Ishikawa, D., Hill, J. P., Ariga, K., Bastakoti, B. P., Yamauchi, Y., & Iyi, N. (2014). Rapid Exchange between Atmospheric CO2 and Carbonate Anion Intercalated within Magnesium Rich Layered Double Hydroxide. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 6(20), 18352-18359. <https://doi.org/10.1021/am5060405>
- Torres-Dorante, L. O., Lammel, J., & Kuhlmann, H. (2009). Use of a layered double hydroxide (LDH) to buffer nitrate in soil: long-term nitrate exchange properties under cropping and fallow conditions. *Plant and Soil*, 315(1-2), 257-272. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9748-4>
- Zhang, S. M., Liang, K. Y., Liu, Y. J., Tan, X. Q., Liu, Y., Yao, Z. F., & Hou, Y. P. (2025). Review: LDHs-based photocatalysts for CO2 reduction-modification strategies, performance, and mechanisms. *Journal of Materials Science*, 60(9), 4148-4180. <https://doi.org/10.1007/s10853-025-10716-w>