

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(二)

082919

羽毛不見了

學校名稱：嘉義縣朴子市大同國民小學

作者： 小五 黃瓊徵 小五 孔夢鈺	指導老師： 楊耿豪
-------------------------	--------------

關鍵詞：羽毛、厭氧發酵、液肥

羽毛不見了

摘要

本研究旨在觀察和降解禽類羽毛，並使用水解後的有機液肥澆灌植物，以觀察其生長效果。通過顯微鏡觀察和分析，我們發現羽毛在外形特徵、大小、顏色和長短方面存在巨大差異。在實驗中，我們將雞羽毛提供給微生物進行厭氧發酵分解，結果發現厭氧微生物成功消化了羽毛。在羽毛水解實驗中，我們添加了培養的羽毛分解菌，七天內成功將羽毛水解，同時生成了生質氣體和液肥。我們將羽毛消化液稀釋後澆灌在種植的小蕃茄、白菜、油菜等植物上，實驗結果顯示，使用液肥的農作物生長更加茂盛，產量也更高。其中，白菜的生長增幅最佳，達到了 35.4%至 46.1%。透過這項研究，我們更深入地了解了禽類羽毛廢棄物在農業上的應用，同時也對環境產生了友善的影響。

關鍵字：羽毛、厭氧發酵、液肥

壹、研究動機

嘉義地區為禽畜養殖的重鎮，全台每年產生的養殖產生的羽毛廢棄物（初步估計每年約為 5 萬公噸），其中羽毛在一般條件下不易分解（角蛋白），蓬鬆又容易因風吹而四散，因此我們想利用羽毛來製作有機液體肥來澆灌植物，因為羽毛的成分為蛋白質，利用火燒會產生臭味，其中富含氮、硫的元素，如果能將羽毛（feather）製成植物可利用的肥料，是一個既環保又永續的發現，嘉義也是個農業大縣，很多鄉鎮都在推行精緻農業，很多地方都蓋上了溫室，如果將羽毛肥料推廣至農業上，應該是很不錯的選擇。

研究羽毛厭氧生物分解的相關研究主要集中在國內外的學術單位，相關研究應用在歷屆科展較少探討其應用，我們研究動機主要來自以下幾點（見表 1、表 2）：

- 一、羽毛是一種具有廣泛應用價值的生物資源，其含有大量的蛋白質和氨基酸等有用物質，但由於其特殊的結構和成分，往往難以被傳統的生物處理方法有效分解和回收，因此探索一種可行的羽毛處理方法具有重要意義。
- 二、羽毛廢棄物的處理對環境保護和生態平衡具有重要意義。羽毛中含有大量的有機物質，

若長期堆放在自然環境中，易對土壤和水質造成污染，對生態環境造成不良影響。

三、羽毛處理技術的研究和開發有助於提高生物資源的綜合利用效率，實現資源的循環利用和可持續發展。

表 1 與本研究課題相關之課本章節

版本	年級	章節
翰林	五下	第四章 防鏽與食品保存 4-2 食品保存
翰林	六下	第三章 環境與自然資源 3-2 生物與環境

表 2 科展相關研究主題的搜尋與分析：

屆別	題目	研究焦點	與本研究之關聯性
57	輕鬆種好菜-紅糟堆肥再生紙	馬祖紅糟製作成堆肥，觀察溫度、pH 值、外觀判斷堆肥已完成；再測其碳氮比及發芽率，確認是否已腐熟而能種植。利用導電度控制紅糟堆肥及紙的比例在植物適合生長的範圍。	1.有機廢棄物分解可產生液肥與堆肥。 2.醱酵可藉由溫度、pH 值、外觀來觀察。 3.種子發芽率驗證液肥的效果。
61	以藻類淨化畜牧廢水並進行後續藻體加值利用	利用微藻中所含的養分製成液態肥料，提供植物生長所需養分，觀察植物的生長速率及外觀，判斷微藻液肥是否有效促進植物生長。種植後發現適量的液肥確實能夠加快植物生長速率，並且順利的生長。	1.利用醱酵方式製作液肥。 2.探討液肥施用在植物上面的表現。
54	羽毛特徵與功能探討	利用顯微鏡觀察鳥類羽毛特徵和結構，探索羽毛的不同功能，進一步分析比較羽毛功能與其構造是否有相關。羽毛結構上有共同特點，有羽軸、片羽、羽枝、小羽枝、羽鉤和小結點的構造。	1.羽毛結構與成分。 2.羽軸結構較強不易分解。

羽毛水解液作為一種廢棄物資源的再利用，具有永續發展的前景。透過羽毛水解液，實現廢棄物的減量化和資源化利用，提高農作物產量和品質，改善土壤品質和生態系統功能，

並在微藻培養領域中提供替代的氮源和碳源，促進生物燃料和生物製品的生產。在其他國家研究團隊努力下，羽毛水解液的應用潛力已經得到初步驗證，但仍需進一步研究和探索以解決存在的挑戰和限制。

在羽毛水解液的應用研究方面，許多文獻報導了從羽毛降解菌中分離和純化禽鳥羽毛角蛋白酶（*keratinase*），並研究了其催化機理和應用潛力。

綜合來看，研究羽毛厭氧生物分解的動機是基於綜合利用資源、保護環境和推動可持續發展的考慮，並且具有廣泛的應用前景和經濟價值，在國際上發表的論文有相當多的討論及驗證，以下為我們收集參考的資料（見表 3）。

表 3 國際上其他國家研究團隊針對羽毛水解的相關研究(依年代排序)

Williams, C. M. and Shih, J. C. H. (1989)	在持溫的家禽廢物厭氧消化槽中收集了一些微生物，並發現一種降解羽毛的菌群。該研究為進一步探索羽毛降解微生物的應用奠定後續的基礎。
Williams, C. M. et al. (1990)	分離、鑒定和表現了一種降解羽毛的細菌。該研究描述該菌株的特性以及其對羽毛降解的能力。
Lin, X. et al. (1992)	從羽毛降解的 <i>Bacillus licheniformis</i> 中純化和表現了一種角蛋白酶。該研究提供該酶的純化方法和其對角蛋白的降解特性的描述。
Wang, J. J. and Shih, J. C. H. (1999)	研究從 <i>Bacillus licheniformis</i> PWD1 和重組 <i>B. subtilis</i> FDB-29 發酵生產角蛋白酶的方法。研究探討了酶的產量和活性，為角蛋白酶的工業生產提供參考的方法。
Shih, J. C. H. and Wang, J. J. (2006)	介紹了角蛋白酶技術的應用。該研究總結角蛋白酶在羽毛降解、飼料添加劑和引起狂牛症蛋白病毒的破壞等方面的應用。
Chen, Y. et al. (2014)	評估了羽毛水解液作為微藻 <i>Chlorella vulgaris</i> 培養的替代氮源。研究發現，羽毛水解液可以作為一種有效的氮源來支持微藻的生長，同時還能促進微藻生物質積累和油脂產量。
Chen, S. et al. (2016)	研究了羽毛水解液對植物生長和抗病性的影響。研究發現，羽毛水解液可以促進植物生長，提高葉片品質和營養的含量，並具有一定的抗病作用。
Xue, S. et al. (2016)	研究了羽毛水解液作為微藻培養中的潛在營養補充劑。研究發現，羽毛水解液的添加可以顯著提高微藻的生長速度和油脂積累，並提高生物質產量。
Hao, Y. et al. (2017)	研究了羽毛水解液對土壤肥力和作物生長的影響。研究結果表明，羽毛水解液可以改善土壤肥力，提高土壤有機質含量和養分供應，

續表

	從而促進作物的生長和產量。
Yi, H. et al. (2018)	研究羽毛水解液對葉菜類蔬菜生長和品質的影響。研究發現，施用羽毛水解液可以顯著提高葉菜類蔬菜的生長速度和葉片的品質，並增加營養成分的含量。
Singh, P. et al. (2020)	研究了羽毛水解液在海洋微藻 <i>Nannochloropsis gaditana</i> 中的應用，以提高生物量和油脂產量。研究結果顯示，羽毛水解液的添加可以顯著增加微藻的生物量，並提高油脂產量。

本團隊整理







貳、研究目的

研究羽毛厭氧生物分解的目的在於探索一種可行的羽毛處理方法，來實現我們對羽毛廢棄物的高效回收和利用，同時減少其對環境的不良影響。綜合來說，其主要目的包括：

- 一、研究羽毛厭氧生物分解的過程和機理，探索其分解機制和影響因素。
- 二、評估羽毛厭氧生物分解的處理效果，包括羽毛分解率、產氣率和產物組成等，並比較不同處理條件對處理效果的影響。
- 三、探索羽毛厭氧生物分解產生的產物的應用價值和可行性，如甲烷氣的利用、有機肥料的製備等。
- 四、評估羽毛厭氧生物分解對環境的影響，包括其對土壤和水質的影響，進一步評估其經濟和環境效益。

參、研究設備及器材

- 一、實驗物品：羽毛、一般土壤、液體廚餘堆肥、小白菜等種子、菌種、番茄苗。
- 二、實驗器材：恆溫箱、電子天平、花盆（直徑 13 公分）、小鏟子、寶特瓶、量筒、滴管、鑷子、切菜刀或剪刀、顯微鏡、相機、pH/ORP 計（見圖 1）。

羽毛	一般土壤	液肥	小白菜種子	菌種	番茄苗
					

恆溫箱	電子天平	花盆	小鏟子	寶特瓶	量筒
					
滴管	鑷子	剪刀	USB 顯微鏡	相機	pH/ORP 計
					

圖 1 實驗器材與用品

肆、研究過程或方法

我們透過 USB 顯微鏡觀察和分析，發現羽毛在外形特徵、大小、顏色和長度上存在著巨大的差異。在羽毛水解實驗中，我們添加了培養的羽毛分解菌，並將這些微生物餵食雞的羽毛。驚人的是，微生物能夠消化掉難以分解的羽毛，僅需七天的時間就將其水解，同時產生了生質氣體和有機液肥。我們將這些水解後的有機液肥應用於農作物的生長實驗中，具體做法是將羽毛的消化液稀釋後灌溉我們種植的小蕃茄及一些葉菜類植株。詳細的研究過程可見於圖 2。

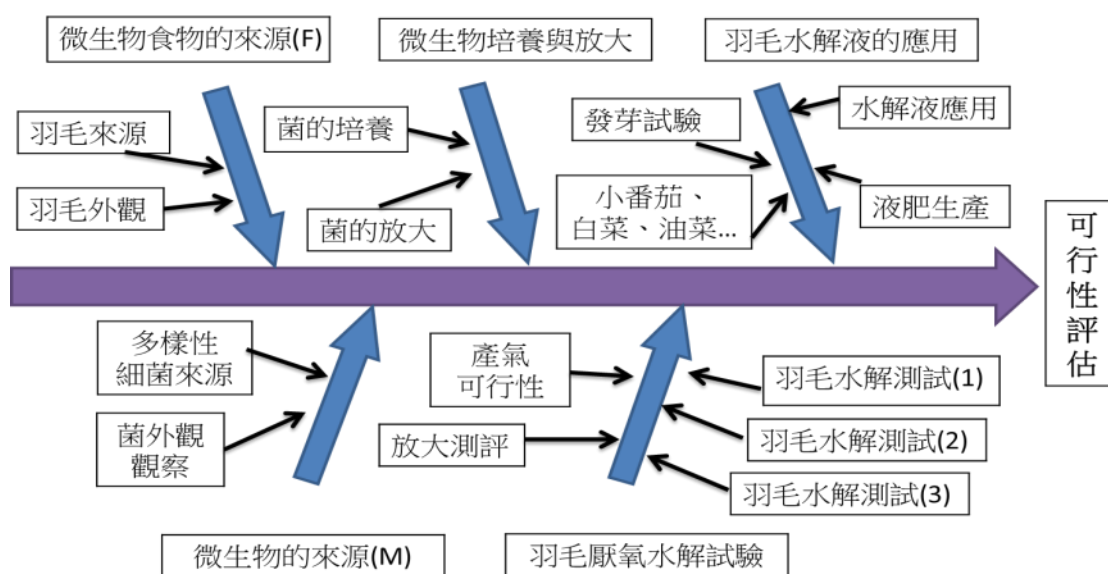


圖 2 『羽毛不見了』研究魚骨圖

一、以下是使用 **USB 電子顯微鏡** 觀察羽毛堆肥及羽毛的方法和流程：

- (一) 準備樣品：從羽毛堆肥中取出需要觀察的樣品，將其放在玻璃片上。
- (二) 固定樣品：使用夾子或膠帶將樣品固定在玻璃片上，避免移動或晃動。
- (三) 調整電子顯微鏡：將 **USB 電子顯微鏡** 插入電腦中，開啟相應的軟體。
- (四) 調整顯微鏡的對焦和曝光度，以獲得清晰的圖像。
- (五) 拍攝圖像：使用 **USB 電子顯微鏡** 拍攝樣品的圖像。可以調整顯微鏡的放大倍率，以獲得所需的觀察效果。同時，也可以進行圖像標記和測量等操作，對圖像進行進一步處理。
- (六) 分析結果：根據觀察得到的圖像，進行羽毛堆肥及羽毛的形態、結構、成分等方面的分析，評估其特徵和特性。

二、厭氧微生物處理羽毛產氣實驗

厭氧微生物處理羽毛產氣實驗的設計及流程可以按以下步驟進行：

- (一) 準備實驗設備：包括密閉產氣瓶、厭氧操作箱、**pH** 計、溫度計等。
- (二) 準備菌液：可以選用不同種類的堆肥如羽毛堆肥、廚餘堆肥，進行淘洗將大部分的固體物移除，留下棉絮狀的污泥進行培養，當作微生物植種來源。
- (三) 收集羽毛樣品：從家禽身上收集到新鮮的羽毛樣品，並根據需要進行粉碎或切碎處理。
- (四) 加入羽毛樣品：將羽毛樣品加入產氣瓶中，並加入稀釋水。
- (五) 進行厭氧微生物接種：從堆肥發酵物中選取合適的厭氧微生物進行接種，並根據實驗要求調整接種量。
- (六) 進行產氣試驗：在 **35** 度恆溫箱中和初始 **pH** 值為中性條件下進行產氣試驗。在試驗過程中，可以定期取樣進行分析，測定產氣率等指標，並根據需要調整培養條件。
- (七) 評估試驗結果：根據試驗結果，分析厭氧微生物處理羽毛的產氣效果及其影響因素，評估羽毛厭氧生物分解的可行性。

三、羽毛醱酵液進行種子發芽試驗的流程步驟

- (一) 準備種子：選擇需要測試的白菜種子，並進行清洗和消毒，篩掉不良的種子，並浸泡在水中半天備用。
- (二) 調製羽毛醱酵液：將醱酵的羽毛醱酵液過濾，加入一定比例的水，混合均勻備用。
- (三) 放置處理種子：將需要測試的種子放入平鋪濾紙的培養皿中，加入羽毛醱酵液不同比例定量的稀釋羽毛醱酵液體，使得種子表面濕潤。
- (四) 培養種子：將培養皿放入恆溫恆濕箱中，控制合適的溫度、光照和濕度等條件，進行種子的發芽和生長。
- (五) 三天後紀錄種子發芽的情況並分析。

四、番茄及其他植物植株澆灌影響

利用羽毛醱酵液澆灌番茄的試驗，可以提高土壤的有機質含量和改善土壤肥力，促進植物的生長和發育，減少農藥和化肥的使用，對環境和人體健康具有良好的效益。以下是利用羽毛醱酵液澆灌番茄的試驗及注意事項：

- (一) 準備羽毛醱酵液：如前所述，準備好羽毛醱酵液，選擇合適的醱酵液體稀釋濃度（以種子發芽試驗條件來稀釋），保持醱酵液的成熟度和穩定性。
- (二) 準備土壤：選擇適合的土壤，將土壤裝在培植袋中。
- (三) 準備番茄苗：選擇健康的番茄苗栽種在培植袋內。
- (四) 澆灌羽毛醱酵液：將羽毛醱酵液注入澆灌設備中，按照需要的量進行澆灌。
- (五) 澆灌番茄苗：讓羽毛醱酵液均勻地灌溉到土壤中，避免過度澆灌和浸泡。
- (六) 監測和調整：定期監測土壤和番茄的生長情況，調整羽毛醱酵液的用量和澆灌頻率，以確保番茄植株的生長。
- (七) 其他植物種植同番茄。

伍、研究結果

一、USB 電子顯微鏡污泥觀察

為了獲得不同微生物的來源，我們取得牛糞、椰子殼以及羽毛的堆肥來觀察：

(一) 牛糞堆肥（如圖 3）：

主要來源是牛的糞便，經過發酵和分解，產生有機質肥料。文獻指出，牛糞堆肥含有豐富的氮、磷、鉀等養分，有助於促進植物的生長，堆肥的外觀有複雜的植物纖維，明顯可以看到植物片段，可見此堆肥熟成的時間不足，未能利用微生物將植物纖維片段處理。

(二) 椰子殼堆肥（如圖 4）：

主要來源是椰子殼，經過碾碎、發酵和分解，產生有機質肥料。文獻指出，椰子殼堆肥含有較高的鉀含量，有助於提高土壤的肥力和水分保持能力。但是椰子殼堆肥中的氮和磷含量相對較低，需要添加其他有機肥料來補充，我們從椰子殼堆肥發現，椰殼堆肥色澤比較黑，顯示熟成時間足夠，椰殼纖維也被分解成小片段。

(三) 羽毛堆肥（如圖 5、圖 6）：

主要來源是禽類的羽毛，經過分解和堆積，產生有機質肥料。文獻指出，羽毛堆肥含有高含量的蛋白質，能夠增加土壤的有機質含量，提高土壤的肥力。但是羽毛堆肥中的氮含量高，磷和鉀含量相對較低，需要添加其他有機肥料來補充，在羽毛堆肥外觀觀察，顏色色澤偏黑色，顯示熟成時間足夠，另外堆肥的含水率較高，污泥呈現黏著特性，堆肥之間還可以看到部分未被分解的羽毛梗，其中也有發現一些原生動物在裡面蠕動。我們將上述的堆肥，依據 1：1 的比例混合後，加入清水浸泡一段時間，將底部沉積物移除，留下懸浮的污泥，當作我們植種菌原的培養來源。





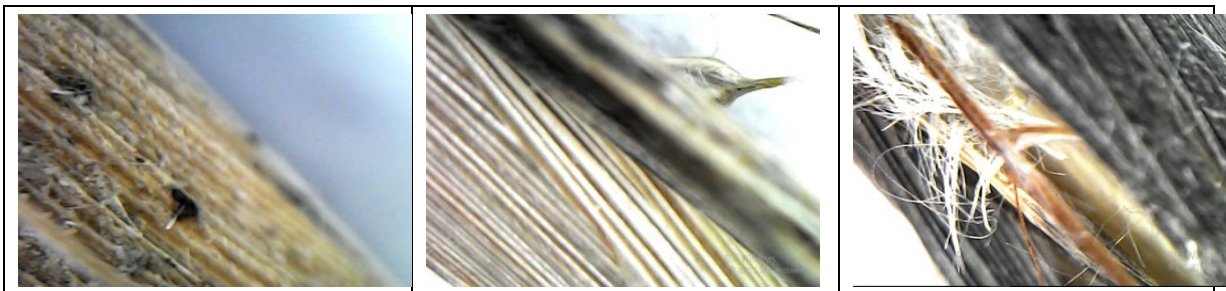
圖 3 USB 電子顯微鏡觀察—牛糞



圖 4 USB 電子顯微鏡觀察—椰子殼



圖 5 USB 電子顯微鏡觀察—雞糞



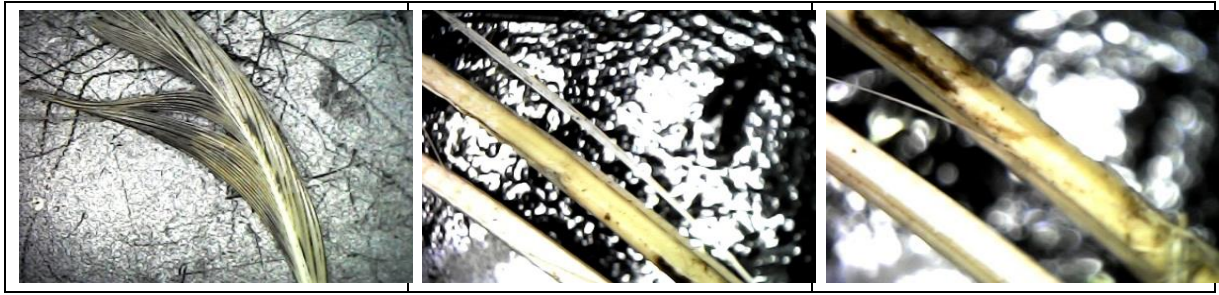


圖 6 電子顯微鏡觀察一雞羽毛

二、厭氧羽毛水解液種子發芽實驗

進行一連串的水解實驗後，我們得到了一些關於羽毛水解液的一些有趣結果。我們根據不同的稀釋倍率（10、100、200、500、800、1000），配置了相對應濃度的液肥。將這些液肥依序注入裝有棉紙的培養皿中，並在每個培養皿中放置 20 顆已浸泡過清水的白菜種子，3 天後記錄了種子的發芽狀況（見圖 7、圖 8）。

實驗結果顯示，未稀釋的原液對種子發芽有一定的抑制效果。這一結果在不同批次的試驗中都得到了證實。然而，當稀釋倍率為 10 倍時，液肥對種子的發芽沒有明顯的影響，發芽率可達 90%。然而，稀釋倍率較小的組別（見表 4），在種子的根系發展方面，仍然存在明顯的差異，根系較短。只有當稀釋倍率達到 800 倍以上時，種子的根系才能與使用 RO 水的組別相媲美。這表明種子發芽後，根系仍受到羽毛水解液中的物質影響。因此，當我們使用液肥來灌溉番茄苗和其他植物時，我們將按照稀釋倍率 1000 進行試驗。

根據表 5 中的根系發展長度來看，以白菜為例，高濃度的水解液對白菜種子有積極的影響，因此稀釋倍率為 10 倍的種子發芽後的根系會比使用 RO 水培養的根系短。然而，在油菜的情況下，我們發現水解液的高濃度對根系的發展有益。在稀釋倍率為 10 倍至 500 倍的濃度下，有助於油菜種子的生長。這是一個非常特殊的現象，表明不同的植物在生長過程中對營養需求的差異（見圖 9）。因此，在未來使用羽毛水解液時，我們需要考慮到不同植物的生長營養需求。

表 4 種子發芽率實驗記錄

項目	原液		10		100		200		500		800		1000		RO 水	
2022/11/2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
白菜種子數	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
發芽數	1	1	20	20	20	20	20	20	19	19	20	20	20	20	20	20
發芽比率，%	5	5	100	100	100	100	100	100	95	95	100	100	100	100	100	100
2022/11/9																
白菜種子數	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
發芽數	1	1	20	20	20	20	20	20	19	19	20	20	20	20	20	20
發芽比率，%	5	5	100	100	100	100	100	100	95	95	100	100	100	100	100	100
2023/5/3																
白菜種子數	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
發芽數	0	0	5	5	17	20	20	19	20	20	19	20	20	20	19	20
發芽比率，%	0	0	25	25	85	100	100	95	100	100	95	100	100	100	95	100
2023/5/10																
白菜種子數	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
發芽數	0	1	20	19	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
發芽比率，%	0	5	100	95	100	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2023/5/3																
油菜種子數	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
發芽數	0	0	1	0	20	20	17	18	20	17	20	19	19	16	20	20
發芽比率，%	0	0	5	0	100	100	85	90	100	85	100	95	95	80	100	100
2023/5/10																
油菜種子數	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
發芽數	0	0	20	20	20	19	20	20	20	20	20	19	19	20	19	19
發芽比率，%	0	0	100	100	100	95	100	100	100	100	100	95	95	100	95	95

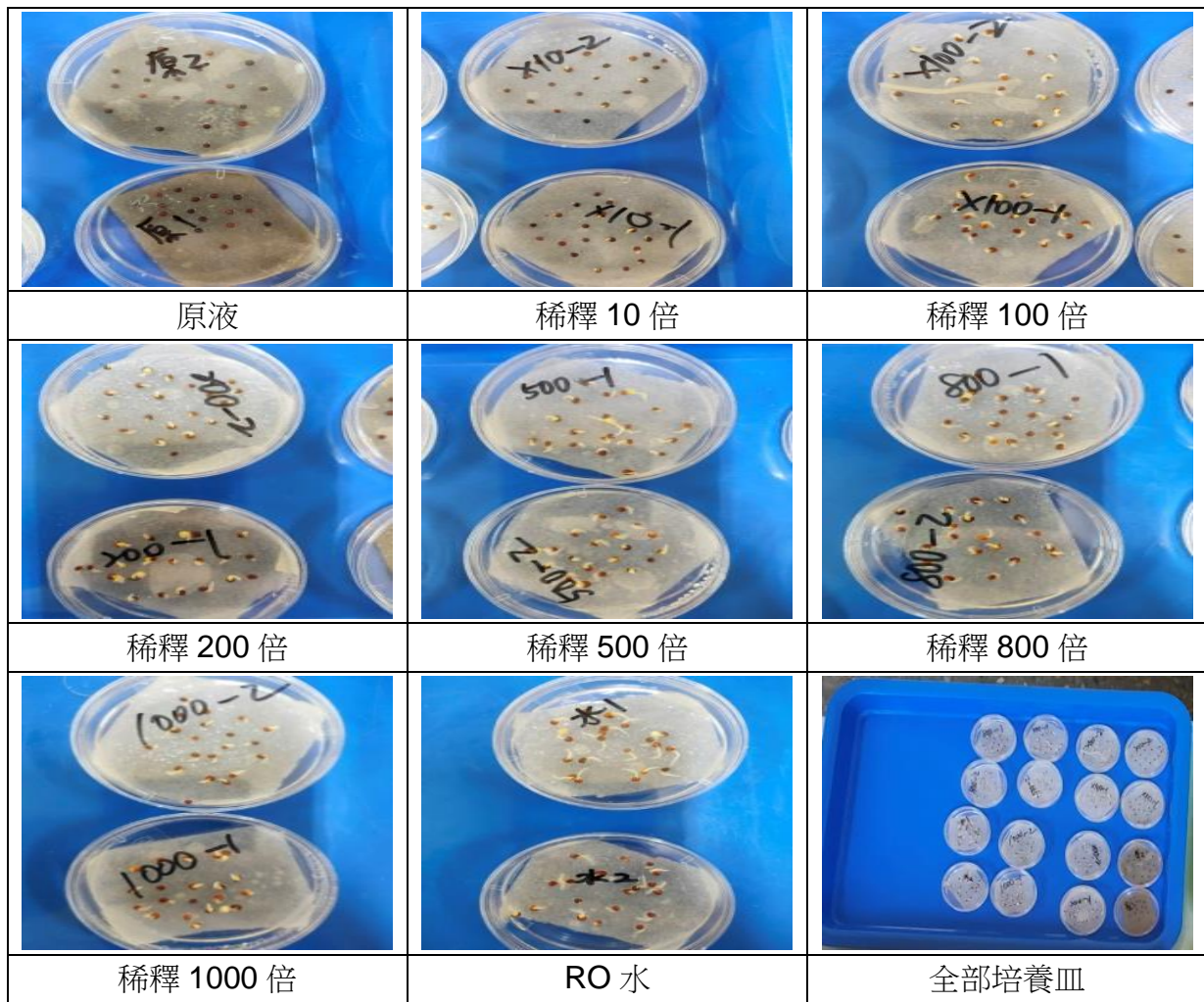
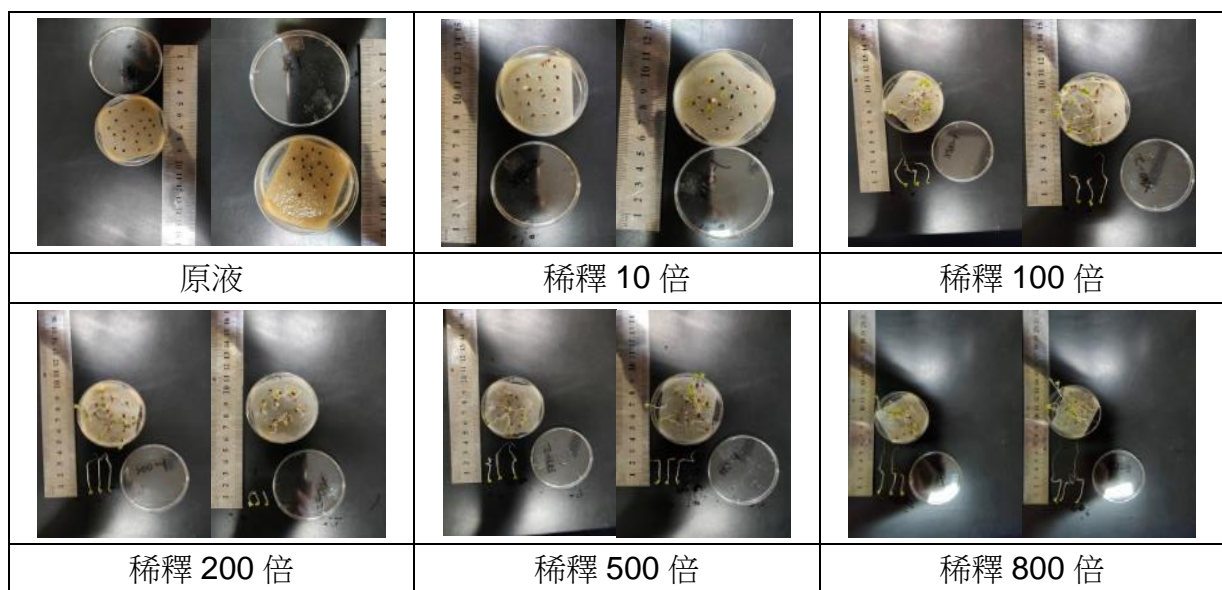


圖 7 不同稀釋倍率的羽毛水解液體與種子發芽率之關係(2022/11/2)



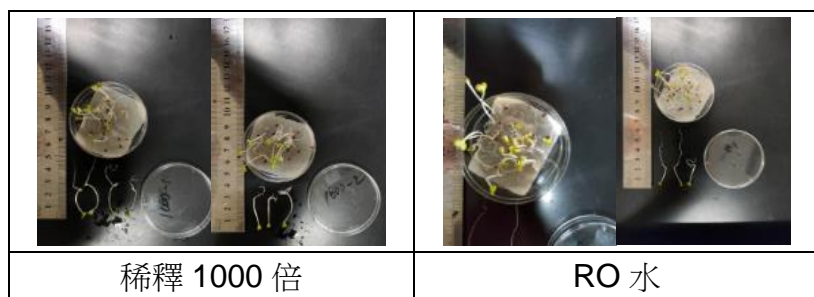


圖 8 不同稀釋倍率的羽毛水解液體與種子發芽率之關係(2022/11/2)

表 5 種子發芽根系量測實驗記錄

2023/5/10		白菜 (根長, mm)					油菜(根長, mm)				
組別	#1	#2	#3	#4	平均	#1	#2	#3	#4	平均	
0--1	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0.0	
0--2	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0.0	
10--1	15	12	10	12	12.3	16	18	18	16	17.0	
10--2	13	10	11	10	11.0	12	13	14	13	13.0	
100--1	14	10	10	10	11.0	20	20	18	16	18.5	
100--2	12	10	11	12	11.3	20	23	17	15	18.8	
200--1	14	12	13	14	13.3	15	16	15	18	16.0	
200--2	13	15	15	14	14.3	16	20	15	18	17.3	
500--1	14	13	14	14	13.8	16	17	16	17	16.5	
500--2	19	16	15	16	16.5	17	19	16	15	16.8	
800--1	17	12	16	10	13.8	14	16	11	11	13.0	
800--2	18	15	20	18	17.8	16	15	13	16	15.0	
1000--1	25	13	17	17	18.0	13	13	14	15	13.8	
1000--2	15	17	15	21	17.0	13	13	14	14	13.5	
RO 水--1	12	14	15	17	14.5	13	13	15	15	14.0	
RO 水--2	17	20	16	19	18.0	11	11	14	13	12.3	

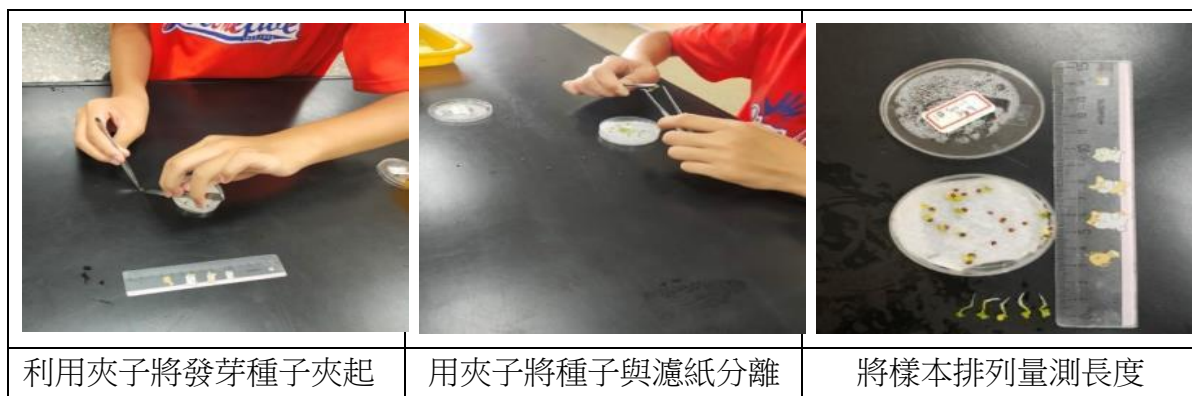


圖 9 種子根系分析流程

三、羽毛水解產氣潛能實驗

(一) 批次實驗：

不同克數的羽毛水解產氣實驗，我們以培養一段時間的污泥來進行批次實驗（如圖 10）。

(二) 羽毛分解菌的培養：

其菌源來自於羽毛堆肥及其它種堆肥，藉由淘洗堆肥污泥將微生物淘洗出來，固體物大部分為堆肥的殘渣，漂浮在殘渣上面的污泥即為我們要的菌源。

(三) 菌源培養：

我們將菌源放置於一個密閉的環境中，以隔絕氧氣，並在恆溫培養箱中保持 35 度的恆溫。每天觀察產氣情況並定期測量生質氣體的產量。

在培養的初期 1 至 2 天，幾乎無法測量到任何產生的氣體量，產氣極少。然而，當培養進入第五天後，厭氧微生物開始明顯產生氣體。我們從液體採樣中觀察到，氧化還原電位（ORP）呈現負值，即呈現還原狀態。根據資料搜尋，這樣的還原環境對於厭氧微生物的生長是適合的。此外，pH 值也略微上升並保持在 7 以上的範圍內。

這些結果顯示我們提供了一個適合厭氧微生物生長的環境，並且在培養過程中成功產生了大量的生質氣體。這對於我們了解厭氧微生物的生態特性以及在生物技術和廢棄物處理方面的應用是很重要的指標。

(四) 產氣實驗：

我們將羽毛破碎粉末進行不同量的產氣潛能的實驗，將不同重量的羽毛加入到批次瓶中。按照順序，我們加入了 100 毫升的稀釋水和 150 毫升的菌種，然後封瓶並放入恆溫箱中以 35 度進行培養。在培養的 30 分鐘後，我們進行排氣操作，以達到內壓平衡。

實驗結果顯示，從累積產氣圖（見圖 11~圖 13）中觀察，1 至 5 公克羽毛在實驗初期並沒有明顯的抑制現象。然而，在培養達到第 4 天時，產氣量急劇增加，其中 5 公克羽毛組別累積產氣量最多。繼續培養至 14 天時，各組的產氣量已達到平衡狀態，這可能是因為內部易分解的羽毛物質已被微生物利用，而剩餘部分則需要更長時間進行分解。

我們將各組的累積產氣量與添加羽毛量的比值進行試算並繪製圖表，發現添加 2 公克

羽毛的條件下具有最佳的單位羽毛產氣量，達到每公克羽毛產生 180 毫升氣體。相反地，過多的羽毛對於厭氧發酵反而具有抑制作用，這與文獻中指出羽毛的成分角蛋白有關。在厭氧條件下，角蛋白會水解釋放出氨氮，而高濃度的氨氮對微生物產生一定的影響。此外，在高 pH 環境下，氨氮也會釋放到氣相中，這就解釋了每次我們打開批次瓶時嗅到濃烈的氨水味道的原因。

這些實驗結果提供了對於羽毛分解的有價值的資訊。我們可以了解到在特定條件下，適量的羽毛添加對於產氣效果是最佳的，而過多的羽毛則可能產生抑制效應。這些發現對於進一步優化和控制羽毛分解過程，以及最大程度地利用羽毛廢棄物具有重要的意義。

（五）連續放大培養：

我們將羽毛分解菌進行放大培養實驗，將其置於一個 5 公升的容器中。在培養 2 周後，我們觀察到羽毛從懸浮的狀態逐漸沉澱為底泥，同時容器中持續產生氣體。每當我們添加新的羽毛時，產氣曲線（見圖 14）呈現明顯的波動，且氣體產量不斷增加，並且沒有觀察到遲滯期的現象。在第一階段，產氣平衡大約需要花費 30 天的時間，這與處理有機固體廢棄物的厭氧消化系統中的停留時間相近。

在放大批次培養中，我們需要特別注意的是每次添加羽毛作為微生物的食物後，定期排放特定量的混合物以維持容器內污泥的量和抑制物的濃度。這樣的操作可以確保培養的穩定性和可持續性。

這些觀察結果表明，我們成功地將羽毛分解菌進行了放大培養。放大培養過程中，羽毛逐漸轉化為底泥，並產生持續的氣體產物。這項技術的發展對於羽毛廢棄物的處理具有重要意義。我們可以利用這種方法有效地處理大量的羽毛，同時產生有用的產物(甲烷與液肥)，並減少對環境的影響。放大批次培養的優化和控制將是未來研究的重點，這將有助於進一步提升羽毛分解菌的應用價值和可行性。

（六）羽毛水解實驗：

我們進行了羽毛可分解性的實驗，使用已經培養兩周以上的微生物(如圖 15、圖 16)。實驗中，我們將羽毛固定在瓶子內，用棉線將羽毛束綁在一起，然後倒入培養好的微生物。同時，我們也設置了一個空白組，只倒入無菌的 RO 水作為試驗對照。我們每天定期拍攝

並記錄羽毛的外觀變化。

我們觀察到，在培養至第 3 天時，添加了微生物的羽毛開始呈現下垂的現象。到了第 5 天，羽毛的外部已無法完全展開，並且液體中有些許羽毛碎屑懸浮。相比之下，對照組並未出現相同的現象，並保持完好的狀態。在實驗觀察至第 7 天時，添加了微生物的羽毛已經在液體中部分凋落，無法辨識出原來的羽毛形狀。而未添加微生物的組別，羽毛仍然保持完整，顯示未添加微生物時，羽毛無法在浸泡的水中脫落。這一實驗結果在進行了 3 批次重複試驗後仍然得到相同的反應和表現。

這些觀察結果顯示，羽毛水解菌的加入對羽毛具有明顯的分解作用。微生物的存在加速了羽毛的分解過程，使羽毛的結構逐漸崩解。這一發現對於利用羽毛作為資源的再利用具有重要的意義。透過這項技術，我們可以更有效地處理和分解羽毛，並將其轉化為有價值的產品或資源。這將有助於解決羽毛廢棄物的問題，同時開啟了一個具有潛力的新的應用領域。



圖 10 批次試驗

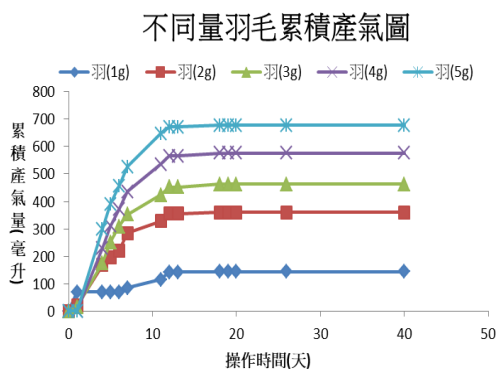


圖 11 厭氧污泥處理羽毛水解產氣累積圖

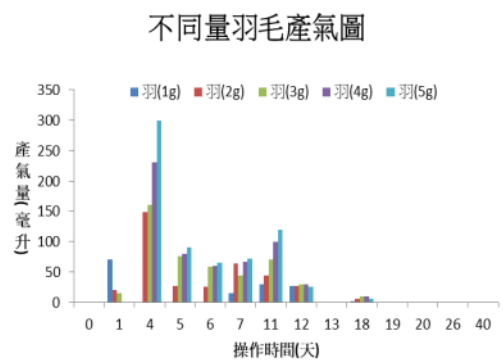


圖 12 厭氧污泥處理羽毛水解產氣圖

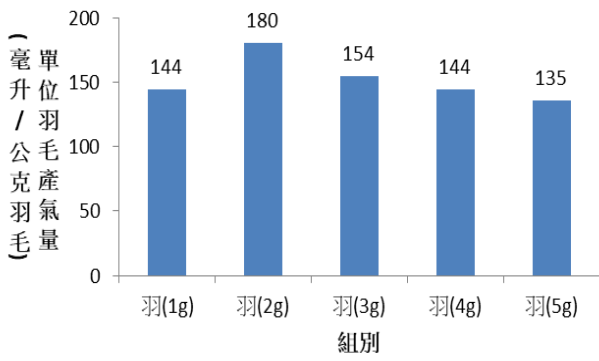


圖 13 厭氧污泥處理羽毛水解效率圖

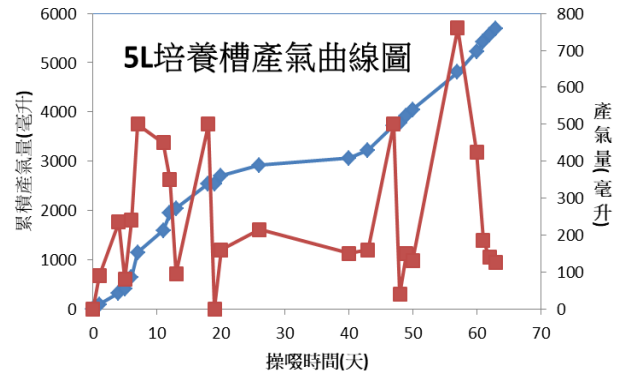


圖 14 5L 培養槽羽毛水解產氣曲線圖

11/16 5L 培養瓶	11/22 5L 培養瓶	12/21(+) 5L 培養瓶
		以5L培養瓶培養的羽毛水解菌為菌源，添加在批次瓶內進行試驗。
12/23 5L 培養瓶	排水集氣法收集氣體	



圖 15 羽毛分解菌實驗流程

12/7 羽毛分解菌實驗(1)	12/12 羽毛分解菌實驗(1)	12/12 羽毛分解菌實驗(1)
12/14 羽毛分解菌實驗(1)	12/14 羽毛分解菌實驗(1)	12/14 羽毛分解菌實驗(1)
12/15 羽毛分解菌實驗(2)	12/16 羽毛分解菌實驗(2)	12/19 羽毛分解菌實驗(2)
12/20 羽毛分解菌實驗(2)	12/21 羽毛分解菌實驗(2)	12/21 羽毛分解菌實驗(2)

12/21 羽毛分解菌實驗(3)	12/22 羽毛分解菌實驗(3)	12/23 羽毛分解菌實驗(3)
		
12/27 羽毛分解菌實驗(3)	12/28 羽毛分解菌實驗(3)	12/29 羽毛分解菌實驗(3)
		
12/30 羽毛分解菌實驗(3)	2023 1/3 羽毛分解菌實驗(3)	2023 1/6 羽毛分解菌實驗(3)

圖 16 羽毛分解菌實驗

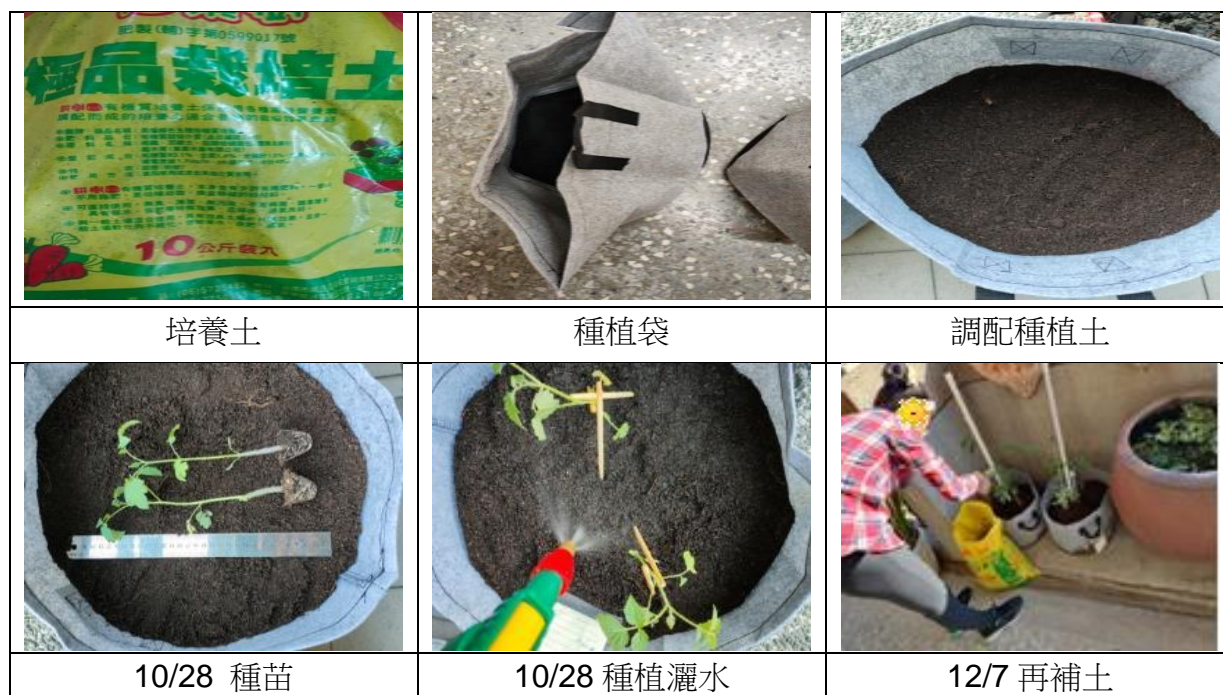
四、液肥澆灌蕃茄的結果

根據保守估計，國內每年產生至少 5 萬公噸的雞、鴨羽毛，這些羽毛通常被視為農業廢料，幾乎沒有任何用途。傳統上，農民會將羽毛當作有機肥料，但由於羽毛中含有難以分解的「角蛋白」，這種方式並不理想。然而，我們成功地利用「羽毛分解菌」，在短短 14 天內完全分解了羽毛，並將分解後的發酵液轉化為液體肥料，有效地提高了農作物的產量，這一技術可作為新的處理方法。

羽毛具有高蛋白和豐富的營養成分，經過發酵後成為極為豐富的有機肥料。然而，傳統的堆肥方法需要長達 3 個月的時間，且產生非常惡臭的氣味，常引起抗議。因此，將羽毛應用於有機肥料的過程並不順利。然而，通過添加「羽毛分解菌」，我們成功地將發酵時間縮短至 14 天。這種分解菌能夠快速而有效地分解羽毛，將蛋白質轉化為胺基酸。將羽毛發酵液用於灌溉蔬果，可以促進植物的根系生長。以澆灌羽毛發酵液的番茄苗為例，其植株高度和葉子狀況均優於未使用發酵液的對照組（見表 6、圖 17），這表明這項技術具有廣泛應用的價值，值得推廣。

表 6 番茄種植紀錄表

日期	液肥 1	液肥 2	水 1	水 2
2022 10/28 種植	每周 稀釋 1000 倍 500 毫升	每周 稀釋 1000 倍 500 毫升	每周 500 毫升	每周 500 毫升
10/28 植株高度	27cm	30cm	32cm	30cm
12/22 植株高度	60	59	73	42
12/28 植株高度	76cm	69cm	77cm	50cm
2023 1/3 植株高度	94cm	85cm	88cm	59cm
1/11 植株高度	115 cm	110 cm	105 cm	80 cm
1/17 植株高度	131 cm	125 cm	109 cm	85 cm
1/18 花苞紀錄	有花苞	有花苞	開花	尚未有花苞
1/19 植株高度	134 cm	128 cm	109 cm	90 cm



12/7	12/7	12/28 紀錄高度
12/28	12/28 紀錄	12/30
12/30 外觀觀察	1/3	1/3
1/12	澆灌自來水	澆灌肥水
1/17	1/18 長出花苞	

圖 17 利用羽毛發酵液澆灌番茄植株觀察紀錄

五、液肥澆灌葉菜類蔬菜的結果

我們進行了一項實驗，將羽毛水解液稀釋 1000 倍後，用於澆灌白菜和油菜。結果顯示，添加羽毛水解液的組別的植物表現出了特別大的葉子和修長的葉柄。這可能是因為羽毛水解液中含有一些有益的植物營養物質，如氮、磷和鉀等。這些營養物質可以促進植物的生長和發育。因此，澆灌羽毛水解液後，白菜和油菜呈現出更好的生長狀態（見表 7）。

經過 24 天的培育，添加羽毛水解液的組別中，白菜和油菜的四株植物總重分別為 26.3 克和 41.8 克。在經過四周（28 天）後，相同組別中的白菜四株植株總重達到 113.9 克，油菜則達到 172.8 克。這顯示在後期添加水解液有助於植物的生長。相較於未添加水解液的對照組，添加水解液的組別呈現出明顯的生長效果。值得注意的是，白菜對水解液的反應比油菜更為顯著，這表明白菜在生長過程中更需要充足的營養。在添加水解液的組別中，油菜的根系比較雜亂，有較多的鬚根，而白菜的根系變化不大，但根部較長（見表 7）。

我們的研究結果顯示，添加羽毛水解液對白菜和油菜的生長有正面影響（見圖 18）。澆灌水解液後，植物呈現出更大的葉子和修長的葉柄。此外，添加水解液的組別中的植物總重也顯著增加。這些結果表明水解液中的營養物質對植物的生長和發育起到了積極的促進作用。

表 7 葉菜類種植收成紀錄

實驗設計	白菜		油菜	
實驗組別	實驗組	對照組	實驗組	對照組
是否添加羽毛水解液	澆灌稀釋 1000 倍羽毛水解液	澆灌水	澆灌稀釋 1000 倍羽毛水解液	澆灌水
植株外觀描述	植株相對高大	植株相對矮小	植株相對高大	植株相對矮小
葉片狀態描述	葉片大	葉片小	葉片大	葉片小
根部狀態描述	根比較長	根較短	鬚根比較多	鬚根較少
四株植物總重 (2023/5/1-5/25) ，公克	48.8(46.1%↑)	26.3	41.8(24.1%↑)	31.7
四株植物總重 (2023/5/1-5/29) ，公克	113.9(35.4%↑)	73.6	172.8(17.7%↑)	142.2

<p>植物外觀觀察</p>		
<p>油菜根系觀察</p>		







		
<p>播種</p>	<p>疏苗</p>	<p>量測生長情況</p>
		
<p>觀察小苗成長形況</p>	<p>收成</p>	<p>整理植株</p>



圖 18 葉菜植物栽種觀察

六、液肥澆灌水生及其他植物的結果

我們從實驗室外的生態缸中進行了一項實驗，使用金魚藻和槐葉蘋作為研究對象（見圖 19）。結果顯示，添加羽毛水解液的組別生長速度比較快。然而，三天後，我們觀察到水體顏色迅速變為綠色，這表明水中營養過多導致了大量藻類生長。在顯微鏡下觀察，我們發現這些綠色水體是由許多小綠球藻組成的。添加水解液的組別的水體中的生物豐富度更高。根據文獻資料，羽毛水解液可以促進水中藻類的生長，並且有研究報告指出，通過利用水解液培養的藻類作為魚蝦的食物，可以減少對人工飼料的需求，從而降低養殖成本。

此外，我們還使用羽毛水解液來培養生態缸中的植物（見圖 20），結果顯示添加水解液的生態缸植物生長狀況良好。儘管一開始水解液的添加帶來一些特殊味道，但許多蜜蜂、蝴蝶和鴿子都會聚集在附近。這說明添加水解液的生態缸吸引了更多的昆蟲和鳥類，為生態環境增添了活力。

總結而言，我們的研究結果顯示，羽毛水解液對水中藻類生長具有促進作用。同時，將水解液應用於植物栽培也取得了良好的效果。此外，添加水解液的生態缸吸引了更多的昆蟲和鳥類，為生態環境帶來了豐富多樣的生物相。

我們也扦插地瓜苗，利用水解液澆灌的地瓜苗，葉子相較未澆灌的大，也偏綠，無明顯皺褶，有澆灌植株 22 公分高、未澆灌植株 16 公分高。顯示羽毛水解液可以提供地瓜苗較佳的成長（見圖 21）。



利用羽毛水解液培養金魚藻



利用羽毛水解液培養槐葉蘋



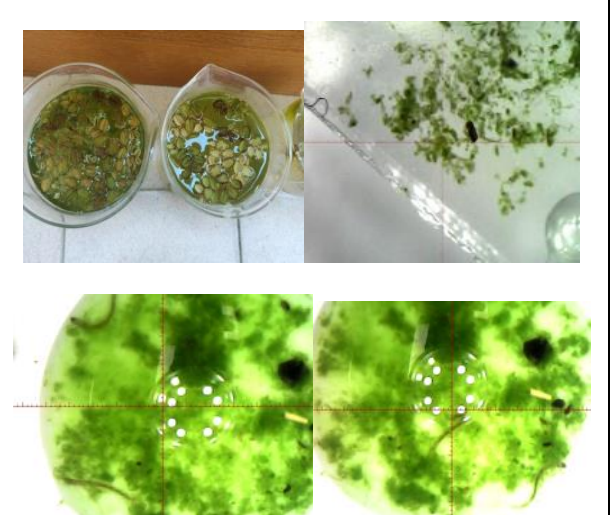
培養 20 天的結果



培養 20 天的結果



培養 20 天的結果



培養 20 天的結果

結論：添加羽毛水解液的組別，水都特別綠，金魚藻的長度在添加水解液的組別比較長。

結論：槐葉蘋在有添加羽毛水解的組別長的比較快，水也是綠色的，我們用顯微鏡觀察，發現這些綠色的液體來至於一顆顆綠色聚集成團的球藻。

圖 19 羽毛水解液應用在水生生物栽培

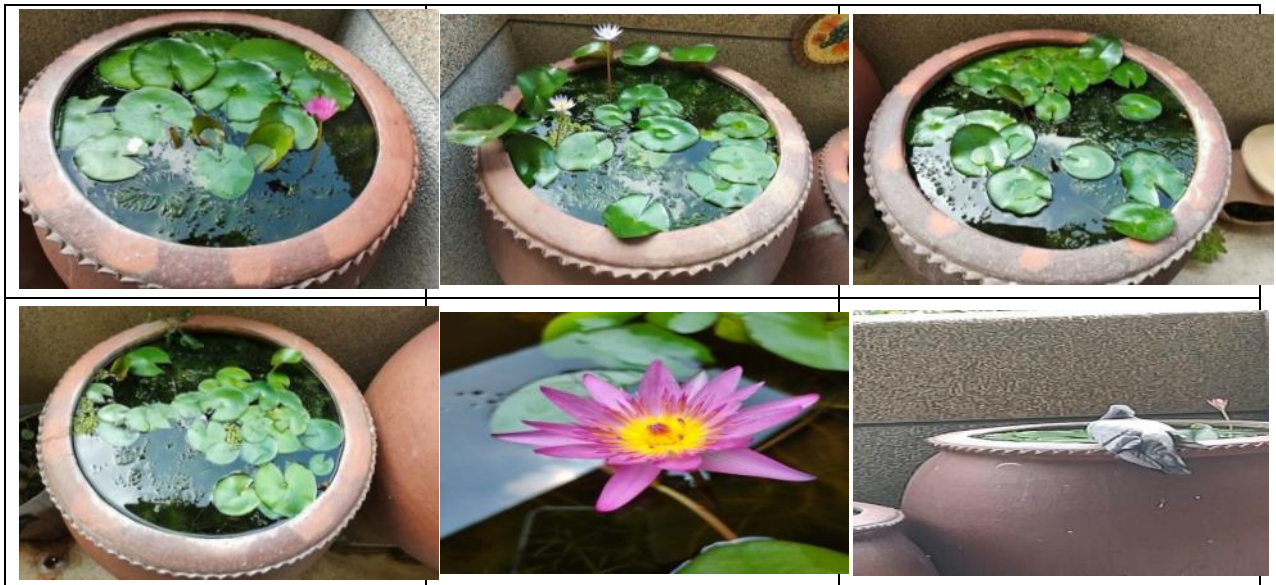


圖 20 利用羽毛水解液培養的生態缸

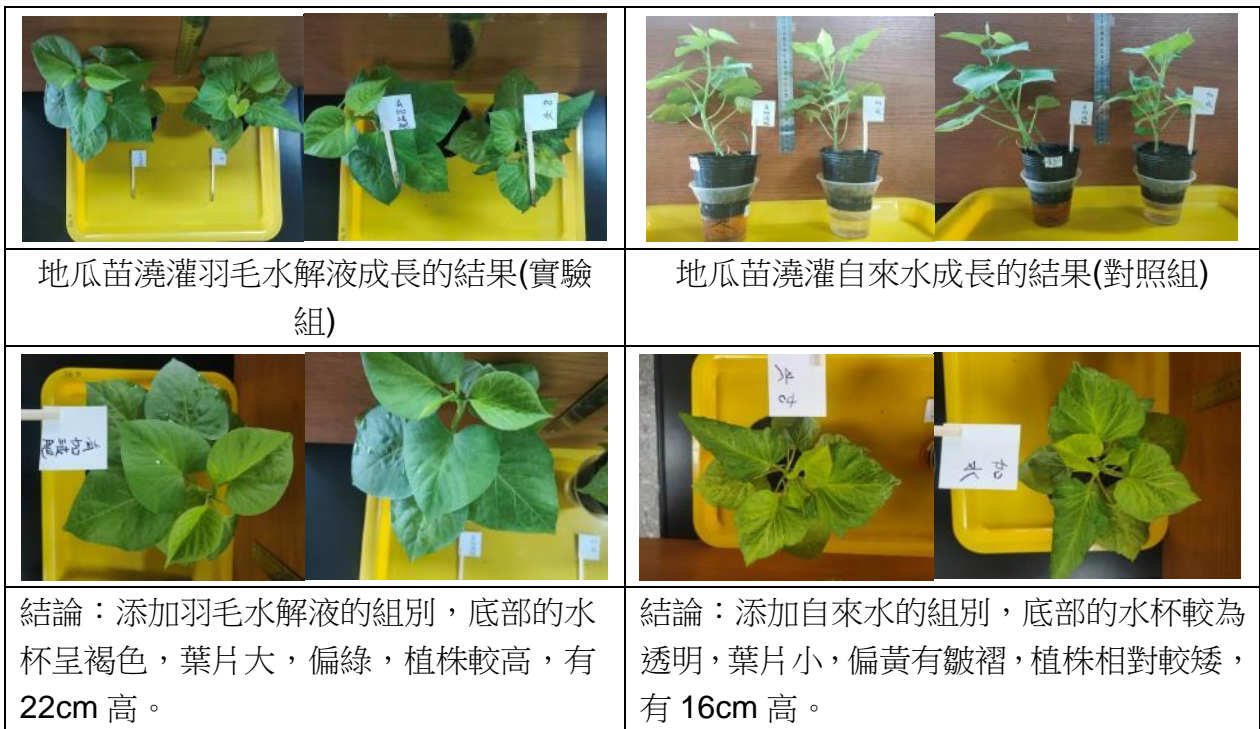


圖 21 利用羽毛水解液培養的地瓜葉苗(扦插生長)

陸、結論與建議

一、結論

(一) 本研究的結果顯示，我們選用的不同原料經過發酵和分解後的堆肥含有不同的營養成分。牛糞堆肥含有豐富的氮、磷、鉀等養分，椰子殼堆肥則富含高鉀含量，而羽毛堆肥則富含蛋白質和氮。我們通過混合不同堆肥，浸泡並培養懸浮的污泥，以增加植種菌原的多樣性，並成功篩選出羽毛的水解菌。

- (二) 在進行羽毛水解液的研究中，我們根據不同倍率的稀釋，進行液肥的製備。進行了一系列白菜種子的發芽實驗，結果顯示未稀釋的液肥具有抑制作用，但當稀釋倍率達到 10 倍時，發芽率可達到 90%。然而，在較低的稀釋倍率下，發芽種子的根系生長仍然存在差異，直到稀釋倍率達到 800 倍以上，根系才與對照組相似。這表明羽毛水解液對種子發芽後的根系生長具有影響。因此，在使用液肥澆灌番茄苗時，建議按照 1000 倍稀釋倍率進行實驗。
- (三) 從不同堆肥中收集的微生物中，我們成功從污泥中分離出所需的細菌。通過在恆溫環境中培養細菌並監測氣體產生情況，我們確定了厭氧環境中 35°C 的最適培養條件。在羽毛厭氧水解的研究中，我們量取羽毛粉末並與細菌溶液一同培養，結果顯示，在培養 4 天後氣體產生顯著增加，且使用 2 克羽毛粉時產生的氣體量最佳。此外，羽毛分解細菌在 5 升容器中培養兩週，羽毛會沉積在底部，且氣體產生持續增加。整個氣體產量平衡階段需要約 30 天，與厭氧消化系統處理時間相近。
- (四) 進行了羽毛在菌液中消化的觀察實驗，結果顯示菌液能夠有效地分解羽毛。從種植番茄、葉菜類和水生生物的實驗中得出結論，使用羽毛水解液可以為植物提供豐富的營養物質，並刺激植物的生長和發育過程。此外，羽毛水解液中的植物生長激素和有機物質對植物的根系生長、葉片展開和莖幹增粗具有促進作用。我們的研究還顯示，使用羽毛水解液澆灌白菜可以增加產量 35.4%~46.1%。
- (五) 綜上所述，羽毛厭氧水解技術可以有效地處理禽畜廢棄物，同時提高農作物的產量。使用羽毛分解菌製成的液肥具有縮短發酵時間和減少臭味的優勢，更易於農民接受和應用。此外，羽毛分解還能轉化羽毛為有用的肥料，並釋放出對植物生長和發育有益的胺基酸。這項技術在澆灌番茄、白菜、油菜等實驗中取得了良好的效果，有望在其他作物中得到應用。羽毛水解液中含有豐富的植物營養物質，對植物生長和發育起到重要作用。這項技術有望成為解決農業廢棄物處理問題，同時提高農作物產量和品質的有效方法。

二、建議

未來，我們團隊可以考慮以下研究方向來深入探索羽毛水解液的應用和改進：

- (一) 優化水解液的製備方法：研究如何進一步優化羽毛的水解過程，以提高水解液中營養物質的含量和有效性。可以嘗試不同的水解條件，例如溫度、pH、負荷、蛋白質消化酶的使用、水解時間等因素，以獲得更好的羽毛水解液。
- (二) 營養物質的分析與優化配方：進行詳細的分析和研究，確定羽毛水解液中各種營養物質的含量和比例。瞭解不同作物對於氮、磷、鉀等養分的需求，並根據作物的特性和生長階段，優化水解液的配比，使其能夠滿足植物生長個階段的需求。
- (三) 植物生長激素的研究：探索羽毛水解液中的植物生長激素成分及其對植物生長發育的影響。瞭解植物生長激素的作用機制，最佳化水解液的製備過程，以提高植物生長激素的穩定性和活性。
- (四) 土壤改良效果的研究：研究羽毛水解液對土壤質地、結構和微生物活動的影響。通過對土壤 pH、養分含量、微生物群落結構等方面的分析，來評估羽毛水解液對土壤改良的效果，為農業生產提供更有益的土壤環境。
- (五) 不同作物的效果研究：擴大研究範圍，考察羽毛水解液在不同作物上的效果。探索其在果樹、蔬菜、糧食作物等不同類型的農作物中的應用潛力，瞭解作物對羽毛水解液的適應性差異。
- (六) 羽毛水解液的應用技術研究：研究羽毛水解液的施用方法和時間，探索最佳的澆灌濃度、施肥頻率等參數。同時，研究如何結合其他農業管理措施，如有機肥料、微生物肥料等，以進一步提高羽毛水解液的效果。
- (七) 對於環境的影響評估：對羽毛水解液的應用進行對環境的影響評估，包括對土壤、水源和生態系統的影響。瞭解澆灌羽毛水解液對環境的長期影響，提出相關的管理建議，可確保可持續性的農業生產。

這些可能的研究方向在未來都有助於深入瞭解羽毛水解液的特性、優化其製備方法，探索其在不同作物上的應用效果，並對其在農業生產中的可持續性進行評估。通過這些研究，我們可以進一步推動羽毛水解液技術的發展與應用。

柒、參考文獻資料及其他

- 王亭巖、薛秩棋、李柏叡(2021)。以藻類淨化畜牧廢水並進行後續藻體加值利用。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 孫睦桓、張譯心、李亭萱(2014)。『羽』眾不同—羽毛特徵與功能探討。中華民國第 54 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 陳爽華、陳彥綦、朱晨瑜(2017)。輕鬆種好菜-紅糟堆肥再生紙。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 曾宥紘(2022)。羽毛水解液肥對草莓生產之影響。行政院農業委員會臺中區農業改良場研究彙報(第 156 期)。
- Chen, Y., Yu, H., Zhang, Q., Zhao, F., & Chen, H. (2014). Evaluation of feather hydrolysate as an alternative nitrogen source for the cultivation of microalgae *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technology*, 153, 389-393.
- Chen, S., Li, X., Lu, W., & Zhou, H. (2016). Effect of feather hydrolysate on promoting plant growth and suppressing plant diseases. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(7), 1569-1576.
- Hao, Y., Zhu, Y., & Zhao, L. (2017). Effects of feather hydrolysate on soil fertility and crop growth. *Journal of Plant Nutrition*, 40(10), 1462-1470.
- Lin, X., E. S. Casale, C. G. Lee, and J. C. H. Shih. 1992. Purification and characterization of a keratinase from a feather-degrading *Bacillus licheniformis*. *Appl. Environ. Microbiol.* 58:3271–3275.
- Shih, J. C. H., and J. J. Wang. 2006. Keratinase technology: From feather degradation and feed additive, to prion destruction. *CAB Rev.: Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour.* 1. No. 42, 1–6. <http://www.cababstractsplus.org/cabreviews> Accessed [October 2006](#).
- Singh, P., Kumari, P., & Guldhe, A. (2020). Valorization of feather hydrolysate for enhancing biomass and lipid production in marine microalga *Nannochloropsis gaditana*. *Journal*

of Environmental Management, 270, 110946.

- Wang, J. J., and J. C. H. Shih. 1999. Fermentation production of keratinase from *Bacillus licheniformis* PWD1 and recombinant *B. subtilis* FDB-29. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 22:608–616.
- Williams, C. M., and J. C. H. Shih. 1989. Enumeration of some microbial groups in thermophilic poultry waste digesters and enrichment of a feather-degrading culture. *J. Appl. Bacteriol.* 67:25–35.
- Williams, C. M., C. S. Richter, J. M. MacKenzie Jr., and J. C. H. Shih. 1990. Isolation, identification, and characterization of a feather-degrading bacterium. *Appl. Environ. Microbiol.* 56:1509–1515.
- Xue, S., Zhang, Q., Kong, F., & Hu, Z. (2016). Feather hydrolysate as a potential nutrient supplement in microalgal cultivation for lipid production. *Bioresource Technology*, 207, 224-229.
- Yi, H., Lim, C. M., Ahn, J. W., & Oh, B. T. (2018). Effects of feather hydrolysate on the growth and quality of leafy vegetables. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 59(4), 477-483.

【評語】 082919

此研究由微生物分解的角度，探討如何將家禽副產物(羽毛)，由廢棄物轉成綠金的方法，期望達到家禽飼養業的循環經濟。實驗過程觀察仔細，實驗記錄詳盡，整個實驗工作非常用心。關於羽毛分解的微生物，已有文獻提及，建議可與本篇微生物進行比較，進行文獻整理。以羽毛分解液作為肥料的實驗，建議對照組為有機肥料或是其它液肥，以了解是否羽毛分解液在促進生長上較具優勢。

作品海報

羽毛不見了



羽毛厭氧生物分解，實現羽毛廢棄物的高效回收和利用，同時減少對環境的不良影響。

本研究旨在觀察和降解禽類羽毛，並使用水解後的有機液肥澆灌植物，以觀察其生長效果。通過顯微鏡觀察和分析，我們發現羽毛在外形特徵、大小、顏色和長度方面存在巨大差異。在實驗中，我們將雞羽毛提供給微生物進行厭氧發酵分解，結果發現厭氧微生物成功消化了羽毛。在羽毛水解實驗中，我們添加了培養的羽毛分解菌，七天內成功將羽毛水解，同時生成了「生質氣體」和「液肥」。我們將羽毛消化液稀釋後澆灌在種植的小番茄、白菜、油菜等植物上，實驗結果顯示，使用液肥的農作物生長更加茂盛，產量也更高。其中，白菜的生長增幅最佳，達到了35.4%至46.1%。透過這項研究，我們更深入地了解了禽類羽毛廢棄物在農業上的應用，同時也對環境產生了友善的影響。**關鍵字：羽毛、厭氧發酵、液肥**

研究動機

- 一、禽養地區是禽畜養殖的重要地方，全台每年估計產生約5萬公噸的禽類羽毛廢棄物。
- 二、羽毛在一般條件下不容易分解，因為其主要成分是角蛋白，且羽毛容易被風吹散。
- 三、我們計劃利用這些羽毛製作有機液體肥料，用於澆灌植物。由於羽毛主要是蛋白質組成，若以火燒會產生臭味。然而，羽毛中含有豐富的氮和硫等元素。
- 四、將羽毛製成植物可利用的肥料是一個既環保又永續的發現。禽糞作為農業大糞，許多鄉鎮都在推行精緻農業並蓋有溫室。如果將羽毛肥料推廣至農業上，將是一個不錯的選擇。

目的

- 一、研究羽毛厭氧生物分解的過程和機理，探索其分解機制和影響因素。
- 二、評估羽毛厭氧生物分解的處理效果，包括羽毛分解率、產氣率和產物組成等，並比較不同處理條件對處理效果的影響。
- 三、探索羽毛厭氧生物分解產生的產物的應用價值和可行性，如甲烷氣的利用、有機肥料的製備等。
- 四、評估羽毛厭氧生物分解對環境的影響，包括對土壤和水質的影響，進一步評估其經濟和環境效益。



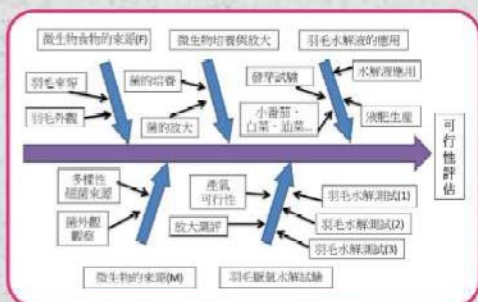
研究材料及器材

- 實驗材料：
- ✓ 羽毛
 - ✓ 一般土壤
 - ✓ 液體廚餘堆肥
 - ✓ 小白菜種子
 - ✓ 菌種
 - ✓ 番茄苗
- 實驗器材：
- ✓ 恆溫箱
 - ✓ 電子天平
 - ✓ 花盆
 - ✓ 小錐子
 - ✓ 寶特瓶
 - ✓ 量筒
 - ✓ 滴管
 - ✓ 鏟子
 - ✓ 切菜刀或剪刀
 - ✓ 顯微鏡
 - ✓ 相機

未來的發展

1. 特殊功能菌的分離
2. 酵素的生產純化
3. 禽畜功能性飼料的開發
4. 特殊致病病毒處理(狂牛症、非典型肺炎...)
5. 土壤水體的改質
6. 生質廢棄物的處理

研究過程與方法



USB電子顯微鏡污泥觀察的方法



厭氧微生物處理羽毛產氣實驗的流程

- 一、準備實驗設備：包括密閉產氣瓶、厭氧操作箱、pH計、溫度計等。
- 二、準備菌液：可以選用不同種類的堆肥或羽毛堆肥、廚餘堆肥，進行淘洗將大部分的固體物移除，留下稀泥狀的污泥進行培養，當作微生物種液來源。
- 三、收集羽毛樣品：從家禽身上收集到新鮮的羽毛樣品，並根據需要進行粉碎或切碎處理。
- 四、加入羽毛樣品：將羽毛樣品加入產氣瓶中，並加入稀釋水。
- 五、厭氧微生物接種：從堆肥廢物中選取合適的厭氧微生物進行接種，並根據實驗要求調整接種量。
- 六、進行產氣試驗：在35度恆溫箱中初始pH值為中性條件下進行產氣試驗。在試驗過程中，可以定期取樣進行分析，測定產氣率等指標，並根據需要調整培養條件。
- 七、評估試驗結果：根據試驗結果，分析厭氧微生物處理羽毛的產氣效果及其影響因素，評估羽毛厭氧生物分解的可行性。

羽毛醱酵液進行種子發芽試驗的流程

- 一、準備白菜種子：選擇需要測試的白菜種子，並進行清洗和消毒，撿掉不良的種子，並浸泡在水中半天備用。
- 二、調製羽毛醱酵液：將醱酵的羽毛醱酵液過濾，加入一定比例的水，混合均勻備用。
- 三、放置處理種子：將需要測試的種子放入平鋪濾紙的培養皿中，加入羽毛醱酵液不同比例定量的稀釋羽毛醱酵液，使得種子表面潤滑。
- 四、培養種子：將培養皿放入恆溫恆濕箱中，控制合適的溫度、光照和濕度等條件，進行種子的發芽和生長。
- 五、定期紀錄：三天後紀錄種子發芽的情況並分析。

組別	白菜 (根長, mm)				平均	油菜 (根長, mm)				平均
	#1	#2	#3	#4		#1	#2	#3	#4	
0-1	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0.0
0-2	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0.0
10-1	15	12	10	12	12.3	16	18	18	16	17.0
10-2	13	10	11	10	11.0	12	13	14	13	13.0
100-1	14	10	10	10	11.0	20	20	18	16	18.5
100-2	12	10	11	12	11.2	20	22	17	18	19.8
200-1	14	12	13	14	13.3	15	16	15	16	16.0
200-2	13	15	15	14	14.3	16	20	16	18	17.3
500-1	14	13	14	14	13.9	16	17	18	17	16.8
500-2	19	16	16	16	16.5	17	19	16	16	16.8
800-1	17	12	10	10	13.0	14	16	11	13	13.0
800-2	16	15	20	18	17.8	16	15	13	16	15.0
1000-1	25	13	17	17	18.0	13	13	14	14	13.8
1000-2	16	17	16	21	17.0	13	13	14	14	13.5
1000-3	12	14	15	17	14.3	13	13	10	10	14.0
1000-4	17	20	16	19	18.0	11	11	14	13	12.3

種子發芽根系量測實驗記錄



番茄植株澆灌注意事項




厭氧羽毛水解液種子發芽實驗

羽毛水解液依10、100、200、500、800、1000不同的稀釋倍率配置液肥，注入不同的稀釋倍率液肥於培養皿中，未稀釋的原液具有抑制性，稀釋10倍後，種子的發芽機率第二天可達90%；稀釋倍率小的根系比較短，稀釋倍率達800倍以上，種子的根系才與RO水組的根系發長相當。顯示種子發芽後，根系還是會受到羽毛醱液體中的物質所影響，因此以稀釋倍率1000的液肥來進行澆灌蕃茄苗試驗。

USB電子顯微鏡污泥觀察


牛糞堆肥

含有豐富的氮、磷、鉀等成分，有助於促進植物的生長，堆肥的外觀有複雜的植物纖維，明顯可以看到植物片段。




椰子殼堆肥

含有較高的鉀含量，有助於提高土壤的肥力和水分保持能力，堆肥色澤比較黑，纖維也被分解成小片段。

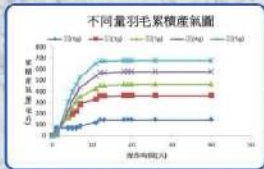


羽毛堆肥

有高含量的蛋白質，能夠增加土壤的有機質含量，堆肥外觀色澤偏黑，污泥呈現黏著特性，還可看到部分未被分解的羽毛梗，其中還有一些原生動物在裡面蠕動。

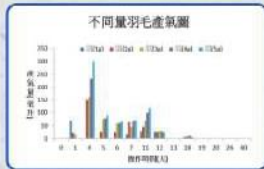


不同量羽毛累積產氣圖



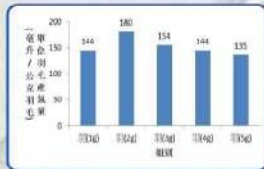
厭氧污泥處理羽毛水肥產氣種類圖

不同量羽毛產氣圖

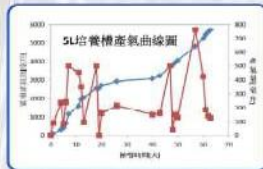


厭氧污泥處理羽毛水肥產氣圖

厭氧污泥處理羽毛水肥效率圖



5L培養槽羽毛水肥產氣曲線圖



羽毛水解液產氣潛能實驗

批次實驗

- 不同克數的羽毛水解液實驗，我們以培養一段時間的污泥來進行批次實驗

羽毛分解菌的培養

- 菌源來自於羽毛堆肥及其它種堆肥，藉由淘洗堆肥污泥將微生物淘洗出來，固體物大部分為堆肥的殘渣，漂浮在殘渣上面的污泥即為我們的菌源。

菌源培養

- 菌源需隔絕氧氣，培養在35度的恆溫培養箱中，初期1~2天，產氣量幾乎測不出來，5天後，厭氧微生物明顯產氣，液體深綠發現，氧化還原電位ORP呈現負的狀態，屬於還原態，是適合厭氧微生物生長的环境條件。

產氣實驗

- 1~5公克羽毛粉末裝入批次瓶中，依序裝入稀釋水100毫升、菌種150毫升，封瓶放入恆溫箱35度培養，30分鐘時排氣瓶內壓力高氣平衡，實驗初期沒有明顯抑制性，培養達第4天產氣大量生成，5公克組別累積產氣量最多，連續操作達14天時，皆證實已達產氣平衡。
- 添加越多羽毛的組別，在單位產氣量上，並非最佳條件，添加2公克的條件下，有最佳產氣量值，達180毫升氣體/公克羽毛，反而過多的羽毛，對於厭氧發酵是負有抑制特性。

連續放大培養

- 將羽毛分解菌放進5公升的容路進行放大培養，2週後，羽毛會懸浮的狀態，變為底泥，且瓶中持續有氣體產生，當添加新的小半瓶，產氣量有明顯的波動，產氣持續增加。
- 放入批次培養要注意的，每次添加羽毛，需排放定量的混合物，以維持瓶內的污泥量及其抑制物的濃度。

羽毛水解實驗

- 第3天將有菌的羽毛已呈絮下型，第5天時，羽毛已無法分開，且液體中有羽毛碎屑懸浮，第7天時，有菌的羽毛且浸潤在液體中的部分已經消失，完全看不出羽毛的形狀，重複試驗3批次皆有相同的反應表現。

批次試驗				
羽毛分解菌的培養				
菌源培養				
產氣實驗				
連續放大培養				
羽毛水解實驗				

液肥澆灌蕃茄的結果

1/18長出花苞	澆灌自來水的葉片	澆灌肥水的葉片

葉菜類種植收成紀錄

實驗設計	白菜		油菜	
	實驗組	對照組	實驗組	對照組
是否添加羽毛水解液	澆灌稀釋1000倍羽毛水解液	澆灌水	澆灌稀釋1000倍羽毛水解液	澆灌水
植株外觀描述	植株相對高大	植株相對矮小	植株相對高大	植株相對矮小
葉片狀態描述	葉片大	葉片小	葉片大	葉片小
根部狀態描述	根比較長	根較短	鬚根比較多	鬚根較少
四株植物總重 (2023/5/1-5/25) · 公克	48.8(46.1%↑)	26.3	41.8(24.1%↑)	31.7
四株植物總重 (2023/5/1-5/29) · 公克	113.9(35.4%↑)	73.6	172.8(17.7%↑)	142.2
植物外觀觀察				
油菜根系觀察				

葉菜植物栽種觀察



小結

我們從實驗室外的生態缸中進行了一項實驗，使用金魚糞和槐葉蘋作為研究對象。結果顯示，添加羽毛水解液的組別生長速度比較快。然而，三天後，我們觀察到水體顏色迅速變為綠色，這表明水中營養過多導致了大量藻類生長。在顯微鏡下觀察，我們發現這些綠色水體是由許多小綠球藻組成的。添加水解液的組別的水體中的生物豐富度更高。根據文獻資料，羽毛水解液可以促進水中藻類的生長，並且有研究報告指出，通過利用水解液培養的藻類作為魚蝦的食物，可以減少對人工飼料的需求，從而降低養殖成本。

此外，我們還使用羽毛水解液來培養生態缸中的植物，結果顯示添加水解液的生態缸植物生長狀況良好。儘管一開始水解液的添加帶來一些特殊味道，但許多蜜蜂、蝴蝶和鴿子都會聚集在附近，這說明添加水解液的生態缸吸引了更多的昆蟲和鳥類，為生態環境增添了活力。

總結而言，我們的研究結果顯示，羽毛水解液對水中藻類生長具有促進作用。同時，將水解液應用於植物栽培也取得了良好的效果。此外，添加水解液的生態缸吸引了更多的昆蟲和鳥類，為生態環境帶來了豐富多樣的生物相。

我們也打掃地瓜苗，利用水解液澆灌的地瓜苗，葉子較未澆灌的大，也偏綠，無明顯皺褶；有澆灌植株22公分高、未澆灌植株16公分高。顯示羽毛水解液可以提供地瓜苗較佳的成長。

羽毛水解液應用在水生生物栽培



左側：澆灌羽毛水解液的金魚，明顯比未澆灌的羽毛水解液的金魚，其體色更鮮艷，且體型較大。右側：澆灌羽毛水解液的槐葉蘋，其體色更鮮艷，且體型較大。

利用羽毛水解液培養的生態缸



利用羽毛水解液培養的地瓜菜苗(扦插生長)



左側：添加羽毛水解液的組別，底部的水杯呈褐色，葉片大，鮮綠，植株較高，有22cm高。右側：添加自來水的組別，底部的水杯較為透明，葉片小，偏黃有皺褶，植株相對較矮，有16cm高。

結果與討論

- 本研究的結果顯示，我們選用的不同原料經過發酵和分解後的堆肥含有不同的營養成分。牛糞堆肥含有豐富的氮、磷、鉀等養分，椰子殼堆肥則富含高鉀含量，而羽毛堆肥則富含蛋白質和氮。我們通過混合不同堆肥，浸泡並培養懸浮的污泥，以增加種植層的多樣性，並成功篩選出羽毛的水解菌。
- 在進行羽毛水解液的研究中，我們根據不同倍率的稀釋，進行液肥的製備。進行了一系列白菜種子的發芽實驗，結果顯示未稀釋的液肥具有抑制作用，但當稀釋倍率達到10倍時，發芽率可達到90%。然而，在較低的稀釋倍率下，發芽種子的根系生長仍然存在差異，直到稀釋倍率達到800倍以上，根系才與對照組相似。這表明羽毛水解液對種子發芽後的根系生長具有影響。因此，在使用液肥澆灌番茄苗時，建議按照1000倍稀釋倍率進行實驗。
- 從不同堆肥中收集到的微生物中，我們成功從污泥中分離出所需的細菌。通過在恆溫環境中培養細菌並監測氣體產生情況，我們確定了厭氧環境中35°C的最適培養條件。在羽毛厭氧水解的研究中，我們嘗試用羽毛粉並未與細菌溶液一同培養，結果顯示，在培養4天後氣體產生顯著增加，且使用2克羽毛粉時產生的氣體量最佳。此外，羽毛分解細菌在5升容積中培養兩週，其氣體產生量持續增加，整個氣體產生量平衡階段需要約30天，與厭氧消化系統處理時間相近。
- 進行了羽毛在菌液中的消化觀察實驗，結果顯示菌液能夠有效地分解羽毛。從種植番茄、葉菜類和水生植物的實驗中得出結論，使用羽毛水解液可以為植物提供豐富的營養物質，並刺激植物的生長和發育過程。此外，羽毛水解液中的植物生長激素和有機物質對植物的根系生長、葉片展開和莖桿增粗具有促進作用。我們的研究還顯示，使用羽毛水解液澆灌白菜可以增加產量35.4%~46.1%。
- 綜上所述，羽毛厭氧水解技術可以有效地處理禽畜廢棄物，同時提高農作物的產量。使用羽毛分解菌製成的液肥具有縮短發酵時間和減少臭味的優勢，更易于農民接受和應用。此外，羽毛分解菌還能轉化羽毛為有用的肥料，並釋放出對植物生長和發育有益的氨基酸。這項技術在澆灌番茄、白菜、油菜等實驗中取得了良好的效果，有望在其他作物中得到應用。羽毛水解液中含有豐富的植物營養物質，對植物生長和發育起到重要作用。這項技術有望成為解決農業廢棄物處理問題，同時提高農作物產量和品質的有效方法。

建議

- 優化水解液的製備方法：研究如何進一步優化羽毛的水解過程，以提高水解液中營養物質的含量和有效性。可以嘗試不同的水解條件，例如溫度、pH、負荷、蛋白質消化酶的使用、水解時間等因素，以獲得更好的羽毛水解液。
- 營養物質的分析與優化配方：進行詳細的分析和研究，確定羽毛水解液中各種營養物質的含量和比例。瞭解不同作物對於氮、磷、鉀等養分的需求，並根據作物的特性和生長階段，優化水解液的配比，使其能夠滿足植物生長各個階段的需求。
- 植物生長激素的研究：探索羽毛水解液中的植物生長激素成分及其對植物生長發育的影響。瞭解植物生長激素的作用機制，最佳化水解液的製備過程，以提高植物生長激素的穩定性和活性。
- 土壤改良效果的研究：研究羽毛水解液對土壤質地和結構及微生物活動的影響。通過對土壤pH、養分含量、微生物群落結構等方面的分析，來評估羽毛水解液對土壤改良的效果，為農業生產提供更有利的土壤環境。
- 不同作物的效果研究：擴大研究範圍，考察羽毛水解液在不同作物上的效果。探索其在果樹、蔬菜、糧食作物等不同類型的農作物中的應用潛力，瞭解作物對羽毛水解液的適應性差異。
- 羽毛水解液的應用技術研究：研究羽毛水解液的施用方法和時間，探索最佳的澆灌濃度、施肥頻率等參數。同時，研究如何結合其他農業管理措施，如有機肥料、微生物肥料等，以進一步提高羽毛水解液的效果。
- 對於環境的影響評估：對羽毛水解液的應用進行對環境的影響評估，包括對土壤、水源和生態系統的影響。瞭解澆灌羽毛水解液對環境的長期影響，提出相關的管理建議，可確保可持續性的農業生產。這些可能的研究方向在未來都有助於深入瞭解羽毛水解液的特性、優化其製備方法，探索其在不同作物上的應用效果，並對其在農業生產中的可持續性進行評估。通過這些研究，我們可以進一步推動羽毛水解液技術的發展與應用。

參考文獻資料

王中興, 蔡明倫. (2021). 以廢棄物為原料之堆肥與有機肥之應用. 中國區區第 61 屆中小學科學展覽會. 昆蟲網網.
孫智輝, 劉慶心, 李學富. (2014). 「羽」眾不同-羽毛堆肥與功能探討. 中國區區第 54 屆中小學科學展覽會. 昆蟲網網.
孫智輝, 劉慶心, 李學富. (2017). 羽眾不同-羽毛堆肥與功能探討. 中國區區第 57 屆中小學科學展覽會. 昆蟲網網.
曹書純. (2022). 羽毛水解液對植物生長之影響. 中國區區第 61 屆中小學科學展覽會. 昆蟲網網.
Chen, Y., Yu, H., Zheng, Q., Zhou, F., & Chen, H. (2014). Evaluation of feather hydrolyzate as an alternative nitrogen source for the cultivation of microalgae *Chlorella vulgaris*. *Bioresour. Technol.*, 153, 369-373.
Chen, C., Li, X., Lu, W., & Zhou, H. (2016). Effect of feather hydrolyzate on promoting plant growth and suppressing plant diseases. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(7), 1260-1276.
Han, Y., Zhang, Y., & Zhao, L. (2017). Effects of feather hydrolyzate on soil fertility and crop growth. *Journal of Plant Nutrition*, 40(10), 1462-1470.
Lin, X., S. S. Casale, C. G. Lee, and J. C. H. Shih. 1992. Purification and characterization of a keratinase from a feather-degrading *Bacillus licheniformis*. *Appl. Environ. Microbiol.* 58:3271-3275.
Shih, J. C. H., and J. Wang. 2005. Keratinase technology: From feather degradation and feed additive to protein destruction. *CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour.* 1, No. 42, 1-4. <http://www.cabdirectplus.org/cabrev/42>. Accessed October 2005.
Singh, P., Kumari, P., & Goshai, A. (2020). Valorization of feather hydrolyzate for enhancing biomass and lipid production in marine microalgae *Nannochloris gaditana*. *Journal of Environmental Management*, 270, 110946.
Wang, J. J., and J. C. H. Shih. 1999. Fermentation production of keratinase from *Bacillus licheniformis* PWD1 and recombinant *B. subtilis* FDB 29. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 22:608-616.
Williams, C. M., and J. C. H. Shih. 1988. Purification of a keratinolytic enzyme from a thermophilic poultry waste digester and enrichment of a feather-degrading culture. *J. Appl. Bacteriol.* 67:75-85.
Williams, C. M., C. S. Rickler, J. M. MacKenzie, J., and J. C. H. Shih. 1990. Isolation, identification, and characterization of a feather-degrading bacterium. *Appl. Environ. Microbiol.* 56:1509-1515.
Xue, S., Zhang, Q., Kong, F., & Hu, Z. (2016). Feather hydrolyzate as a natural nutrient supplement in microalgal cultivation for lipid production. *Bioresour. Technol.*, 207, 224-229.
Yi, H., Tam, T. M., Ahn, I. W., & Oh, H. I. (2013). Effects of feather hydrolyzate on the growth and quality of leafy vegetables. *Horiculture, Environment, and Biotechnology*, 4(4), 47-54.