

科技部補助

大專學生研究計畫研究成果報告

* *****
* 計 畫
* : 以蔬果廢棄物及菇包廢料製作堆肥
* 名 稱
* *****

執行計畫學生： 徐淑華
學生計畫編號： MOST 105-2815-C-041-004-E
研究期間： 105年07月01日至106年02月28日止，計8個月
指導教授： 盧明俊

處理方式： 本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

執行單位： 嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學環境資源管理系(含碩士班)

中華民國

106年03月30日

以蔬果廢棄物及菇包廢料製作堆肥

(一) 摘要

現今科技進步，人們對生活品質要求也逐漸提高，對環境所帶來的污染也隨著增加。人們飲食走向精緻化的同時，也造成食材的過度浪費，使大量的廚餘以垃圾的方式棄置，台灣地區每日廚餘產生量約為4,000公噸，平均每人每天製造1.1公斤以上垃圾，然而將大量廚餘運往焚化爐或掩埋場處理，則處理時所滲出之污水，需經過污水處理廠處理才能排放，亦造成焚化爐使用年限減少，若我們可以有效的將回收廚餘轉成有用的能源和其他可以重複使用的產品，不僅可以減少垃圾量以及避免耗費不必要的能源，對於減少溫室氣體的排放更是大有幫助。因此本研究以果菜市場之蔬果廢棄物作為堆肥之材料以及回收菇農廢棄之太空包(菇包廢料)作為堆肥之副資材，藉由蔬果廢棄物與廢資材配比的改變進行堆肥化操作，經產品驗證可以得知不同比例生廚餘堆肥的效果。

本研究藉由菇包廢料作為蔬果廢棄物堆肥的副資材，其步驟分別為(1)以混合及三明治堆疊等不同方式來做堆肥，由於混合方式是將堆肥基質與大量的氧作為結合，至於三明治堆疊就是一層一層的加上堆肥基質就直接加蓋，放置五到七天即可取出液體肥料，再放置三個月後即可開蓋，固肥部分之完成；(2)反應過程相關物理化學特性變化之監測來探討產品之肥效與不同進料配比之差異；(3)探討不同堆肥操作方式所產出的有機液肥與有機固肥之差別；(4)堆肥後一個禮拜檢測的項目為環境因子(液肥 pH、導電度、溫度、液肥 ORP)，堆肥成熟後再進行檢測火焰式吸收法(AAs)測定土壤營養源含量、元素分析(EA) 測定樣品之碳、氫、氮、硫之百分組成；(5)將蔬菜與水果混合進料的產品品質與單獨蔬果或單獨蔬菜進料的產品比較產品結果。研究結果得知，單獨蔬菜進料攪拌混合方式之高麗菜及鳳梨兩種堆肥方式具有優良堆肥土壤之酸鹼值、成熟堆肥之外觀及較佳碳氮比。將蔬果廢棄物與菇包廢料以靜脈產業發展之觀念使之再利用，且達到降低環境污染及減少焚化廠和掩埋場的處理量，更不用擔心丟棄之後對環境造成影響，亦相當具有環保概念。

關鍵詞：蔬果廢棄物、菇包廢料、堆肥

(二) 研究動機與研究問題

隨著人口的增加，農產業在生產足夠的糧食供給時，卻也產生大量的農業廢棄物。台灣地區現有 61 處果菜批發市場，每年廢棄物總產生量為 18 公噸，其中蔬菜、果皮等有機廢棄物比例約為 72~90%⁽¹⁾，由於蔬果廢棄物的水分含量高，用掩埋的方式會造成水分滲出，會造成二次污染的問題，需要經過污水處理廠處理過後排放，則焚化燃燒的方式，也因水分含量較高，熱值無法達到，則會增加處理費用，消耗更多能源⁽²⁾。如果我們可以有效的將回收廚餘轉成有用的能源和其他可以重複使用的產品，不僅可以減少垃圾量以及避免耗費不必要的能源，對於減少溫室氣體的排放更是大有幫助。

根據環保署的資料顯示，2012年北北基地區的廚餘回收量為265,019公噸。第二名的中彰投地區，其廚餘回收量僅為155,423公噸，最少的東部及離島地區只有53,363公噸回收廚餘⁽³⁾。台灣在96年3月1日由行政院核定96年至101年推動「一般廢棄物資源循環推動計畫」，列為工作項目，持續協助地方建立廚餘再利用體系、清運與處理再利用系統⁽⁴⁾。由於國民富裕以及人們的飲食習慣，日常生活產生的垃圾中，往往含有極高比例的「廚餘」，包括剩飯菜、菜葉、果皮、食物殘渣等物質，廚餘有機廢棄物的部分，不像一般廢棄物一樣，經過分類後可以直接送進焚化爐燃燒，需經過處理才能運往焚化爐，面對這麼龐大的廢棄物現在環保署處理方式有兩種，一種是拿來堆肥用，而另一種是則是豬飼料，比例分別為30%及60%，如果好好利用堆肥這部分處理，不僅減輕垃圾處理的量，降低了垃圾場的臭味以及蔬果廢棄物之水分流出來所造成的污染，也成了栽培植物養分的來源。

目前國內每年香菇太空包栽培數量超過一億包，太空包主要的材料是木屑，約佔太空包重量的75%，其於輔料有米糠、麥麩、粉頭、黃豆粉、玉米粉、碳酸鈣等約佔25%。根據養菇業對太空包之需求量，以及碎木業營運經驗之了解，推估每年養菇所需砍伐的森林面積約為2,300公頃，相當兩座高雄的柴山，或88個台北市的大安森林公園⁽⁵⁾。然而栽培香菇，需耗掉大量森林資源，盡而產生大量的廢棄物，不當的丟棄廢料會造成環境汙染的危害⁽⁶⁾。一般菇農對廢棄太空包木屑的處理方式為直接傾倒於低地、河道、鄉間小徑或在空曠處燃燒、亦有菇農透過政府或民間單位所設置的回收工廠另進行處理，但處理量往往不及廢棄太空包的生產量，只能堆置在原地，造成環境汙染，亦民間回收單位與政府回收單位的價格不一致，菇農的經營成本也大幅提升，成為負擔。一個廢棄栽培後之菇類栽培介質(以下簡稱菇包廢料)直接放置於果園表面做為畦面敷蓋，經過醱酵腐熟過程製成堆肥，其介質含有機質達74.8%，且其他要素含量亦豐⁽¹⁾，提供農作物足夠的營養成分。天然有機物質是地球上最重要的可再生資源，如果將這些材料充分而有效的利用，將成為緩解現今人類面臨的糧食、能源、環保三大危機以及實現農業可持續發展戰略的重要途徑之一⁽⁷⁾。將菇包廢料拿來當堆肥的資材，不僅加快堆肥的腐熟天數，也減少廢棄物的處理量，進而改善環境汙染之問題。

大量產生的農業及畜產廢棄物，如不能適當處理，不但佔用空間，又影響環境衛生，降低生活品質；若任其棄置或焚燒處理，則又有可能造成水質、土壤與空氣等的二次污染。將這些廢棄物中尚有利用價值的有機資材經堆肥化後回歸農田土壤，不但可以解決廢棄物問題，而且可以增進地力⁽⁸⁾。國內大多數菇類均採太空包栽培，栽培後便直接丟棄，因此，如能將其作為一定土壤改良劑加以利用，使得太空包達到再次利用之目的。

因此本研究探討將菇包廢料為副資材加入果菜市場所的蔬果廢棄物(果皮、葉菜類等)堆肥化之過程，採用混合及三明治堆疊等不同方式進行堆肥，堆肥反應過程相關物理化學特性變化之監測來探討產品之肥效與不同進料配比之差異，並探討不同堆肥操作方式所產出的有機液肥與有機固肥之差別，另，將蔬菜與水果混合進料的產品品質與單獨蔬果或單獨蔬菜進料的產品比較產品結果。探討堆肥過程中溫度等相關之參數變化及變動情形，建立相關參數以及堆肥化之相關資料，不僅可減少農業廢棄物之產生，可避免木材過度砍伐使用，且無須擔心丟棄太空包後對環境所造成之污染，減少碳排放，亦可增加菇農之收益，同時兼顧菇類產業之永續發

展。

(三)文獻回顧與探討

永續發展是現在各國追求的目標，而廢棄物再利用使資源可以再次重複使用，也減少對環境的負擔。土壤為作物生產的基礎，其永續經營管理無疑是最重要的一環，然而農田土壤如果長期不當施用化肥，將可能面臨土壤理化性質惡化，生物相及土壤生態失衡等問題。此外，農業副產物包括禽畜排泄物、蔗渣、稻草及稻殼等大宗生物質量都未能妥善利用，常以燃燒或掩埋等方式處理，不僅浪費資源，也造成環境污染，如能將其資源化作為有機肥料循環利用，不僅有助於改善土壤生態，也有助於建立永續農業經營模式⁽⁹⁾。

各地區果菜市場產生之廢棄物量大，佔空間、含水率高、熱值低、易腐臭、成分不均，可利用價值的誘因低。導致大多以掩埋或焚化方式處理造成處理上的問題，致掩埋場使用壽命縮短，也引起二次公害，如孳生蚊、繩、鼠、蟑、惡臭、汗水、病菌等問題，影響到環境的衛生。焚化處理時因含水量高、消耗更多的能源。上述處理兩者方式，並非上策。若能學習祖先處理垃圾的方法，將垃圾堆肥再尋求更有效的處理方式⁽¹⁰⁾。有效的回收生廚餘轉成有用的能源和其他可以重複使用的產品，這種方式就是屬於生質能中的其中一種。地球只有 1 個，如何愛護地球留給後代子孫 1 個乾淨、永續的生存環境，是目前各國政府積極努力的目標。以往農村社會，收集餵水餵豬是一極為普遍的行為，但是在越發達的都市，餵水的收集行為容易形成髒亂，而遭致民眾抗議同時也破壞市容。所以 90 年以前，台灣大部分地區的廚餘都是當作垃圾拿去焚化爐或掩埋⁽¹¹⁾。目前廚餘的再利用方式分為四種：廚餘堆肥化再利用、廚餘養豬再利用、廚餘能源回收技術、其他廚餘回收再利用（飼料化），目前廚餘再利用方式以前兩項為主，堆肥佔 30 幾%，養豬佔 60 幾%⁽¹²⁾。運用咖啡渣能讓肥料堆溫度更高，從而分解肥料。將廢渣中的咖啡渣提取出來的另外一個好處就是可以幫助減少溫室氣體的排放。咖啡渣的循環利用同時還能促進社區居民同當地商業的相互作用。將咖啡渣留在社區中就以為著可以節約一些燃料，因為這就不需要將這些咖啡渣運往廢渣填埋區⁽¹³⁾。自 90 年度起行政院環境保護署，即補助各鄉、鎮、市建立廚餘清運回收再利用系統，以促使各鄉鎮市全面推動廚餘回收。此項工作自 92 年度起奉行政院核定列入「挑戰 2008 國家發展重點計畫—綠色產業—資源再生利用計畫」，由環保署編列經費積極全面推動。迄 95 年 3 月底全國 319 鄉鎮已全面進行廚餘回收，初步已獲具體成效；為妥善處理廚餘並配合「垃圾零廢棄」的政策，自 96 年起納入環保署「96 至 101 年公共建設計畫：一般廢棄物資源循環推動計畫」中推動⁽¹⁴⁾。堆肥化是利用微生物繁殖、代謝而消耗有機質的作用，將廚餘中不安定的有機成份分解，最終製成肥料或土壤改良劑。堆肥在好氧狀態下，微生物快速繁殖，將大量的碳水化合物氧化成二氧化碳及水分；微生物活動所產生的熱量，使堆肥溫度上升，同時將水分蒸發，達到減量及乾燥之目的。微生物在繁殖過程中需要自基質中獲取養分，其中主要為碳源與氮源，微生物是將碳源轉換成二氧化碳，故使基質中之碳源含量逐漸減少，致基質中碳/氮比將逐漸降低，至某一程度則不易再下降。堆肥化過程中水分逐漸蒸發，材料之理化性質亦將改變，外觀呈蓬鬆狀且臭味消除，達到腐熟及適於施作之條件⁽¹⁵⁾。堆肥時所產出的液肥又稱

堆肥茶 (compost tea) 為有機液肥的一種，是美國農部新近推薦給該國有機栽培農民使用之新產品，具有促進作物生長且具降低作物葉部病害之效果，是為本世紀有機農業萌發之新技術 (emerging technology)，已在美國植病學會會員間，掀起研究熱潮。堆肥液不同於堆肥抽出液，它可能在抽出過程中加入微生物的食物源釀造，是一些微生物生長的「起始劑」，更不同於淋洗液，雖然最後的產物可能同樣具提供養份與抑制病原菌的能力，但它可能在抽出過程中去除一些對作物有害的病原菌，在使用上增加其安全性⁽¹⁶⁾。液體肥料稀釋三十倍可以倒入馬桶或是洗臉台，可減少臭味以及增加水管暢通；稀釋五百倍可以作為蔬菜果樹有機液⁽¹³⁾。堆肥化的過程是一連串微生物的反應，堆肥資材如同培養基，堆積後如同醱酵槽，因此任何影響微生物活性的因子都與堆肥化有關。以下就碳氮比、水分及空氣、溫度、酸鹼度、菌種及腐熟度分別說明堆製時控制或判斷的方法。

1. 碳氮比：

微生物需要碳當作能源，需要氮來進行代謝，堆製起始碳氮比約在 30 以上，經堆積醱酵後，碳氮比逐漸減少至 20 以下。正確的碳氮比需要化學分析及計算，粗略的估計則可參考下頁所列的常用堆肥資材成分。若以重量為基準時，在實際操作上仍不方便，更簡單的方法，可將資材分為三類：甲類包括木屑、穀殼、稻草及花生殼等，為提供碳源、構成堆肥主體及決定物理性狀的資材；乙類為雞糞、豬糞、米糠、豆粕及肉骨等，主要作用為提供氮源以利微生物作用；丙類為牛糞，不經堆肥化也可直接大量施用。若以容積比例來估計，可約略以乙類資材佔甲類之十分之一至三分之一為適當。另外，若對磷肥或鉀肥需求較高，可選用氮磷比或氮鉀比較低的資材，則可製作出磷或鉀肥效較高的堆肥。

2. 水分及空氣：

水分及空氣二項佔有相同空間所以互為消長，水多則氣少。水分為生物所必需，在堆肥中約低於 10 % 時即無法反應；又因為好氣性反應較厭氣性反應快速且完全，且有害物質之產生較少，因此水分含量超過 90 % 時將不利於反應。試驗結果水分含量約為 60 % 左右時最有利於堆肥化反應之進行。實務上可以手掌握住堆肥，水滴似要滴下的狀態即可。空氣的供應主要有強制通氣及翻堆二種方法，若有通氣設備可有效縮短堆肥化之時間，通氣量則以每小時體積比 1/50 為適當；翻堆在最初時為避免水分、氮素及臭氣揮散，可隔一至二週翻堆一次，後期則可稍增加翻堆頻率。為使堆肥保持良好通氣度，因此在資材中需要有樹皮、鋸木屑及稻殼等添加物，使其適於通氣。

3. 溫度：

微生物新陳代謝所產生的熱不斷累積，在正常情形下皆可在數日內升高達攝氏 60 度，甚至到攝氏 70 度以上。這種高溫可維持一段時間，不但促進微生物反應，縮短腐熟時間，而且可殺滅病菌、蟲卵、雜草種子等。除非堆製失敗，否則高溫是堆肥過程中之正常現象。因溫度不易控制，故建議只要對溫度進行監測觀察而不必特別加以管理。

4. 酸鹼度：

在不同的酸鹼度範圍中有不同的微生物族群，可對不同種類的有機物進行分解，雖然其對 pH 值之適應範圍相當廣，但仍以中性為佳。因此除了資材中有極酸或極鹼

的物質，一般不須對酸鹼度加以控制。堆肥腐熟後常呈中性或微鹼性。

5. 菌種：

自然環境中就有許多微生物族群，只需維持微生物可生長的條件，因此可不必刻意加入微生物之菌劑。但資材中若有大量不易分解物質時，可加入專門分解此物質的菌種，以縮短腐熟時間。

6. 腐熟度：

將腐熟度不足的堆肥施入土壤中，可能有前述不利的問題發生。有許多方法可以測定堆肥腐熟度，但大部分需化學分析結果作為依據。一般較可能自行判斷的方法就是利用種子發芽法及堆肥外觀變化。選用白菜、萵苣或蘿蔔等較敏感的蔬菜種子，以堆肥熱水抽出液使其濕潤，若發芽率達到 60% 以上時，則可判定此堆肥未嚴重抑制作物生長。另外，堆肥腐熟後結構疏鬆，呈深褐色或黑色，沒有刺鼻臭味而呈泥土香味⁽⁸⁾。

堆肥技術可以用來處理污泥、生活垃圾、農業廢棄物、動物糞便及屍體、廚餘、枯樹落葉等含有大量有機物質的廢棄物。有機質含量較低的物質在醱酵過程中所產生的熱量將不足以維持堆肥所需的溫度，而且產出的堆肥會因為有效性過低而影響施用後的效果。但另一方面，若堆肥物料中的有機質含量過高且未予以供氧時，將會造成通氣不良的負面效果，如產生惡臭。一般而言，在高溫好氧堆肥化中，有機物含量變化的最適範圍約為 20~80%，因此調整和增加堆肥原料的有機組成是相當重要的，作法如下：

1. 對於堆肥原料進行前處理，藉由破碎、篩分等方式去除掉部分的無機組成，使得堆肥基材之有機物含量提高到 50% 以上。
2. 醱酵前於堆肥原料中添加一定比例的禽畜糞尿、無害的都市廢水或污泥等，主要的目的方面增加堆肥材料中的有機物含量，另一方面可以調節原料的含水率，同時還可以處理掉禽畜糞尿的問題。
3. 由於都市生活垃圾中無機含量較高無法直接進行堆肥化，因此和無害污泥混合作為堆積材進行堆肥過程，一方面增加堆肥材料中的有機物含量，同時還可以處理掉生活垃圾與污泥的問題。堆肥經第一次醱酵後，應將之移至腐熟區靜堆處理。廚餘堆肥經第一次醱酵，已去除大部份有機質，靜置約 10 天經後熟階段的堆肥，含水率可下降到 35~40%。成品篩選：廚餘堆肥成品內若含有無法腐爛塑膠或大型顆粒狀物質，將影響堆肥之使用，須以篩網將雜物去除，以獲得品質均勻之成品⁽¹⁷⁾。太空包製做是將柯樹、栗樹、櫟樹磨成木屑後，木屑經過堆置、加入米糠、玉米粉、碳酸鈣（調整木屑 pH 值用）及水攪拌後，經製包機仿段木壓製成圓柱狀，高約 25 分，加上瓶口套及棉花後，移入蒸爐內以高溫蒸氣殺菌後（需 7-9 小時），移出蒸爐經自然冷卻（需 20 小時）再移入接菌室，植入香菇菌種於太空包內，最後將香菇包移入香菇寮經過 120 至 140 天菌種成熟後割下袋口，即長出香菇，是現今普遍的栽培香菇方式⁽¹⁷⁾。故每年太空包菇類收穫後即有 10,000 萬包以上之廢棄太空包，設每包以乾重 300 g 計，則每年至少產生 30,000 mt 以上廢渣，以其低總體密度(bulk density)換算更可見其體積相當龐大。故此實為一種大宗農產有機廢棄物，若不適當處理會污染環境⁽¹⁸⁾。

為了響應政府推行回收廚餘再利用等活動，來增高一般家庭、市場及餐廳的生廚餘回收率，同時也減輕焚化爐焚燒垃圾的燃料量，本研究利用菜市場之蔬果廢棄物以及廢棄香菇栽培介質，在洗菜、剝除葉子，或去除外皮時，利用我們將要丟掉的蔬果廢棄物，經過切碎之後，來製成堆肥的材料，以各種季節性蔬菜、水果與廢棄香菇栽培介質進行堆肥之結合，探討蔬果廢棄物再利用之成效。

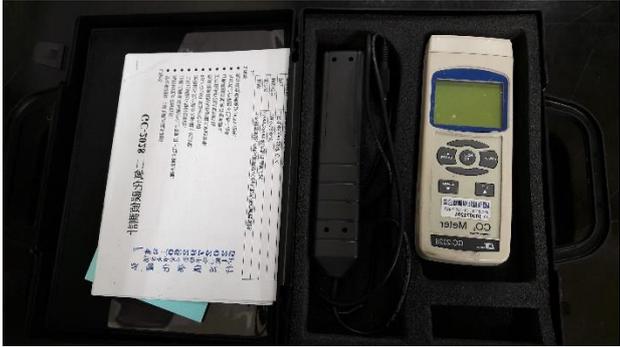
(四) 研究方法與步驟

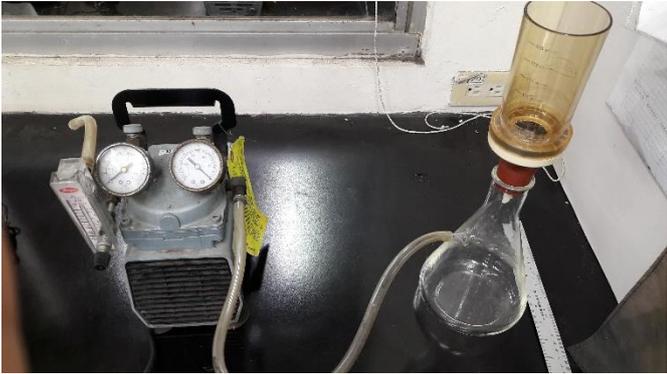
1. 研究方法概述

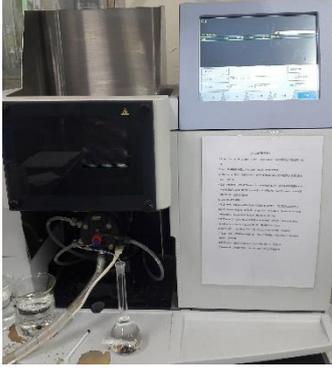
本研究使用蔬果廢棄物與菇包廢料來作為這次實驗堆肥的材料，將蔬果廢棄物經過切碎之後，再加入菇包廢料混合，堆肥主要分為混合及三明治堆疊的方式，檢測不同堆肥方式所產生的有機液肥及有機固肥之成分差別。堆肥之材料為蔬果及水果混合以及單一水果或蔬果，添加菇包廢料過程中亦可再加入咖啡渣加快堆肥腐熟時程，比例配置分別為 2:1 及 5:1，探討在不同比例下之差異並研究出最適堆肥之比例。腐熟後的固體肥料檢測 pH、全氮、全磷酐、全氧化鉀之含量等多項產品物理化學特性是否符農糧署雜項液肥規範的標準。並使用火焰式原子吸收光譜法測定土壤營養源含量，及分光光度計測量土壤腐熟度，和元素分析儀—CHNS 模式直接測定樣品之碳、氫、氮、硫之百分組成。

2. 研究設備與器材

儀器設備名稱	儀器設備照片
SC-110 手提式微電腦導電度率測定儀	
分析項目	導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)
TS-1 手提式酸鹼度氧化還原溫度測定儀	
分析項目	pH 值

<p>ORP 氧化還原測定儀</p>	
<p>分析項目</p>	<p>氧化還原電位(mv)</p>
<p>二氧化碳監測器</p>	
<p>分析項目</p>	<p>室內二氧化碳檢測</p>
<p>離心機</p>	
<p>用途</p>	<p>分離固肥之上層液體</p>

<p>天枰</p>	
<p>用途</p>	<p>測量土壤重量</p>
<p>幫浦及過濾</p>	
<p>用途</p>	<p>過濾液肥雜質</p>
<p>分光光度計</p>	
<p>分析項目</p>	<p>檢測總磷(mg/L)</p>

<p>火焰式原子吸收光譜法(AAs)</p>	
<p>分析項目</p>	<p>鐵、鎂、銅元素含量檢測</p>
<p>元素分析儀</p>	
<p>分析項目</p>	<p>碳、氫、硫、氧、氮元素含量檢測</p>
<p>烘箱</p>	
<p>分析項目</p>	<p>水分測定</p>

1. 溫度計	
分析項目	固肥發酵溫度分析

3. 實驗步驟

基於前述之研究方法，本研究之實驗步驟其細節分別說明之：

(1) 前置作業：將生廚餘從果菜市場經人工撿拾採樣後，帶回實驗室將蔬菜及水果切碎至 2.5~7.5 公分，不適合的剔除。材料分別為蔬菜及水果混合及單一蔬菜或單一水果，再添加咖啡渣及菇包廢料混合，混合比為 2:1 及 5:1 來做比較，混合後並做背景分析，分別為含水率、有機質、pH 值及 C/N。常見堆肥材料之碳氮比如表一所示。

表 1 常見堆肥材料碳氮比

堆肥的物料	碳氮比	堆肥的物料	碳氮比
木糠	400-500 : 1	果皮及果心	30 : 1
紙碎	150 : 1	紅蘿蔔	27 : 1
報紙	150 : 1	野草	25 : 1
紙張	150 : 1	草木灰	23 : 1
樹皮	125 : 1	咖啡渣	20 : 1
稻草	100 : 1	草碎	20 : 1
枯草	80 : 1	海藻	19 : 1
松針	66 : 1	白飯	15 : 1
粟米穗軸	60 : 1	洋蔥和辣椒	15 : 1
乾樹葉	60 : 1	菜莢	12 : 1
新鮮樹葉	45 : 1	番茄	12 : 1
豆莢	30 : 1	豆渣	5 : 1

(2) 堆肥方法：切好後的生廚餘將其水分瀝乾，此盡量不可接觸油、清潔劑，接著將生廚餘與副資材分別以三明治夾層堆疊及混合兩種方法來做比較，三明治夾層堆疊方式每層高度約為 5~10 公分並且不可擠壓，以此動作堆放至八分滿，方可封桶，廚餘回收桶需放置通風陰涼處，在堆肥後每三天收集液肥進行液肥化過程之液肥之物理化學監測。在液肥化反應過程中，追蹤三個月內各項物理及化學參

數隨時間之變化趨勢。而堆肥後約 3 個月方可開蓋，固態肥料經曝曬 3~5 天即為有機固態肥料。

(3) 醱酵過程監測項目

- a. 醱酵過程中針對樣品之固相、液相部分，分別進行溫度、pH、EC 之監測，氣相部分則透過加裝於瓶蓋之逆止閥連接排水集氣槽，以排水集氣法量測產氣體積，再連接採氣袋蒐集氣體，並以 China chromatography GC-9800 分析其氣體中 $H_2(\%)$ 、 $CO_2(\%)$ 、 $CH_4(\%)$ 之含量。
- b. 堆肥後每三天收集液肥，追蹤三個月內各項物理及化學參數隨時間之變化趨勢。其成分透過電子天平、pH 計、導電度計與溫度計測量。
- c. 堆肥後之腐熟有機固肥取出秤重。

(4) 產品特性分析本研究分析不同進料組成反應批次產品特性分析，探討在不同的配比條件下，固相、液相產品之特性與差異。

a. 固體產品元素分析與碳氮比

依環檢所 NIEA R409.21C，以元素分析儀，利用可燃性元素燃燒產生氧化性氣體之特性，經吸附、脫附分離後，再以檢測器定量換算後求出廢棄物乾基中之碳、氫、硫、氧、氮等元素之組成百分比。原理簡述如下：廢棄物中之 C、H、N、S 等元素在高溫純氧環境下燃燒後，產生 CO_2 、 H_2O 、 NO_x 及 SO_2 混合氣體，以 He 氣將燃燒後的混氣體帶送經過銅還原管處理後，將 NO_x 還原成 N_2 ，其他氣體進入各吸附管，依氣體吸附的特性，分別被不同的吸附管之填充物吸附。 N_2 直接由 He 氣帶入熱傳導偵檢 (Thermalconductivity detector, TCD) 檢測含量。吸附管依序以氣體不同脫附溫度加溫脫附 CO_2 、 H_2O 及 SO_2 ，再分別依序引入 TCD 以檢測個別成分含量。信號經處理後定量運算，即可自動分別列計氮、碳、氫、硫之重量百分比。

碳氮比是堆肥化過程中非常重要的控制參數，且可作為腐熟度之標準，雖然碳氮比會受到不同有機物材質特性影響，但是腐熟產品之碳氮比應小於 20⁽²⁰⁾。若產品之固相產物之碳氮比遠高於 20，可延長堆置之時間，使其繼續腐熟至符合標準。

- b. 液體產品特性不同進料組成批次液體產品特性，需分析導電度、酸鹼度值等，若酸鹼度過度偏酸時，在液體產品使用時需要將稀釋倍數提高，以免對植物造成影響。另外，在雜項有機液肥規範中規定應檢驗全氮(N)、全磷酐(P_2O_5)及全氧化鉀 (K_2O)含量，以便得知產品之全氮、全磷酐、全氧化鉀之合計量是否達到農糧署雜項液肥規範標準(合計量應在 5.0%以上)，及是否達應登記之標準(含量 0.2%以上)。
- c. 氣體產品質量變化 不同進料配比批次之氣體產生量會隨時間而變化，分別分析初期產氣量至最終累積產氣量。不同批次之產氣組成皆以二氧化碳為主、氫氣為輔，厭氧主要產物甲烷，甲烷若小於偵測極限，則不同進料組成批次之反應僅達水解、酸化階段，而未達甲烷化程度。

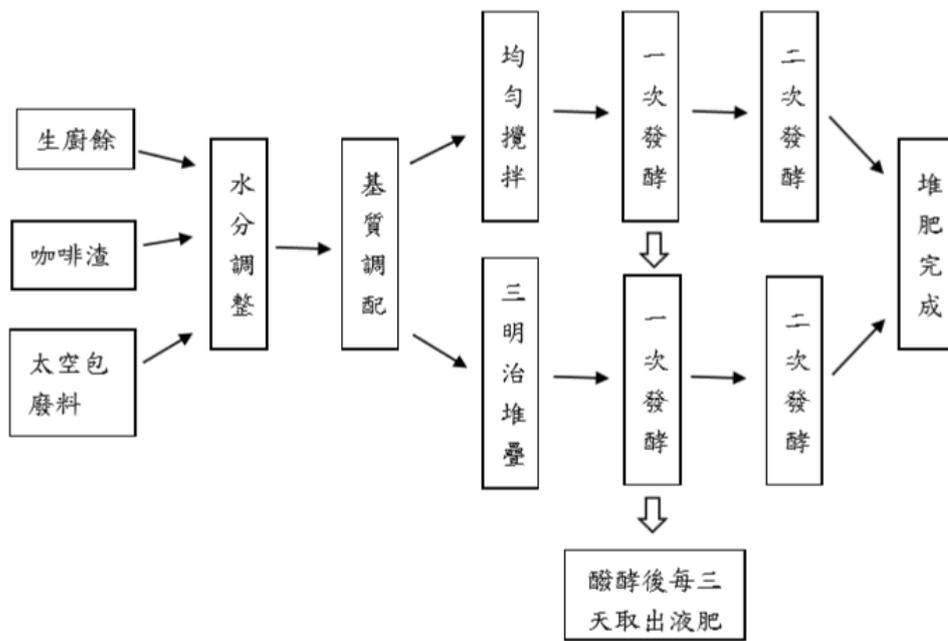


圖 1 蔬果廢棄物堆肥流程方

(五) 結果與討論

本研究是利用廢棄太空包、蔬果廢棄物(高麗菜、鳳梨)及咖啡渣之栽培介質進行堆肥試驗。將堆肥方法分為三明治堆疊及混合攪拌，檢測不同堆肥方式所產生的有機液肥及有機固肥之成分差別如表 2 所示，堆肥後一個禮拜先檢測的項目為環境因子(液肥 pH、導電度、溫度、液肥 ORP)，三個月後堆肥成熟後再進行檢測火焰式吸收法(AAs)測定土壤營養源含量、元素分析(EA) 測定樣品之碳、氫、氮、硫之百分組成。

表 2 堆肥配比

三明治堆疊方式		
廢棄太空包(濕) 500g 廢棄太空包(乾) 200g 高麗菜 300g	廢棄太空包(濕) 500g 廢棄太空包(乾) 200g 鳳梨 300g	廢棄太空包(濕) 500g 廢棄太空包(乾) 200g 高麗菜 150g 鳳梨 150g
三明治堆疊方式		
廢棄太空包(濕) 300g 廢棄太空包(乾) 200g 高麗菜 300g 咖啡渣 200g	廢棄太空包(濕) 300g 廢棄太空包(乾) 200g 鳳梨 300g 咖啡渣 200g	廢棄太空包(濕) 300g 廢棄太空包(乾) 200g 高麗菜 150g 鳳梨 150g 咖啡渣 200g
攪拌混合方式		
廢棄太空包(濕) 500g 廢棄太空包(乾) 200g 高麗菜 300g	廢棄太空包(濕) 500g 廢棄太空包(乾) 200g 鳳梨 300g	廢棄太空包(濕) 500g 廢棄太空包(乾) 200g 高麗菜 150g 鳳梨 150g

本實驗於堆肥一周後每天採集液肥一次，分析項目包含液肥酸鹼值、導電度、室內溫度、液肥溫度、土壤溫度、液肥 ORP 等，如表 3 所示。液肥之酸鹼值隨著天數的增加有下降的趨勢，酸鹼值的變化是因含碳有機物會被分解轉化成二氧化碳，其會伴隨著中間產物有機酸揮發，所以酸鹼值會下降，待酸化期結束甲烷化反應進行後，酸鹼值應該會上升，估計堆肥形成厭氧狀態導致酸鹼值下降⁽²⁴⁾，且達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0。導電度在我國雜項有機液肥規範當中，並無規範標準，但根據文獻指出導電度大於 4dS/cm，將會不利於植物生長，而實驗液肥導電度皆在 0.70-2.13ms/cm 之間，皆無大於 4dS/cm。液肥氧化還原在第十三天為最高跟酸鹼值呈現相反的趨勢，數值介於 244~468mv，氧化還原電位在+120mv 以上代表此堆肥土壤通氣性良好，而 200-700mv 之間，代表養分供應正常⁽²⁵⁾。溫度變化無太大差異，數值在 31-33°C，初期土壤溫度會急速升高達 60°C 以上，在 7~14 日後將溫度調整至 60°C 以下，以加速堆肥分解速度⁽²⁶⁾。

表 3 三明治堆疊方式之高麗菜環境因子

天數	液肥 pH	液肥導電度 (ms/cm)	溫度(°C)			液肥 ORP(mv)
			室內	液肥	土壤	
7	7.48	2.13	31.7	30.2	33	244
8	7.08	1.33	29.9	27.6	31	290
9	6.93	1.22	29.8	28.9	31	303
10	6.75	0.92	30.4	28	32	338
11	6.32	0.81	30.8	28.2	31.1	398
12	5.93	0.70	31	29.1	31.2	465
13	5.51	0.71	31.4	29.8	31.1	468

鳳梨之營養源含有磷、鎂、鈣、鈉、鉀⁽²⁷⁾，且鳳梨皮含有酵素使堆肥品質較佳，如表 4 所示。液肥酸鹼值有逐漸上升在第十二天達到 7.08 而在隔天降到 6.77，估計為有機酸的生成及堆肥形成厭氧狀態導致酸鹼值下降，而酸鹼值都有達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0，數值約在 6.24-7.08 之間，液肥導電度較不穩定在第 11 天為最高為 0.58 ms/cm 之後開始降下來且皆無超過 4dS/cm，土壤溫度以適應室內溫度無太大差異，液肥氧化還原有上升的趨勢在第十三天到達 426mv，數值約在 244-426，電位皆在+120mv 以上，代表此堆肥土壤通氣性良好且養分供給正常⁽²⁵⁾。

表 4 三明治堆疊方式之鳳梨環境因子

天數	液肥 pH	液肥導電度 (ms /cm)	溫度(°C)			液肥 ORP(mv)
			室內	液肥	土壤	
7	6.24	0.22	31.7	30.2	33	244
8	6.62	0.50	29.9	27.5	30	326
9	6.78	0.36	29.8	27.8	31	357
10	6.83	0.50	30.4	27.3	31	348
11	6.82	0.58	30.8	30.2	31.4	381
12	7.08	0.54	31	29.4	31.4	421
13	6.77	0.54	31.4	29.7	31.3	426

將高麗菜混合鳳梨進行堆肥之環境因子如表 5 所示，液肥酸鹼值在第十二天為最高 7.44，酸鹼值皆達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0，數值約在 6.36-7.44 之間，液肥導電度在第七天為最高 0.91ms/cm，皆無超過 4dS/cm。土壤溫度以適應室內溫度無太大差異，液肥氧化還原有上升的趨勢在第十三天到達 426mv，數值約在 291-425mv，電位皆在+120mv 以上，代表此堆肥土壤通氣性良好且養分供給正常⁽²⁵⁾。

表 5 三明治堆疊方式之高麗菜混合鳳梨環境因子

天數	液肥 pH	液肥導電度 (ms/cm)	溫度(°C)			液肥 ORP(mv)
			室內	液肥	土壤	
7	7.19	0.91	31.7	29.9	31	291
8	6.98	0.79	29.9	27.5	29	311
9	7.00	0.09	29.8	28.7	31	328
10	6.75	0.003	30.4	29	31	338
11	6.48	0.35	30.8	30.5	31.2	358
12	7.44	0.44	31	29.6	31.1	367
13	6.36	0.57	31.4	29.5	31.3	425

如表 6 所示，高麗菜混合鳳梨之液肥酸鹼值比其他兩種之液肥要來得高，三種堆肥產出之液肥酸鹼值皆達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0。鳳梨堆肥液肥導電度要比其他兩種高，三種堆肥之液肥導電度皆無超過 4dS/cm，溫度變化無太大差異因適應室內溫度降到 60°C 以下，以加速堆肥分解速度，高麗菜堆肥之液肥氧化還原電位與鳳梨堆肥較相近，兩者皆高於高麗菜混合鳳梨。

表 6 三明治堆肥方式之環境因子比較

項目	高麗菜	鳳梨	高麗菜+鳳梨
液肥 pH	6.57±0.69	6.73±0.26	6.89±0.38
液肥導電度(ms/cm)	1.12±0.51	0.46±0.13	0.45±0.34
室內溫度 (°C)	30.71±0.72	30.71±0.72	30.71±0.97
液肥溫度 (°C)	28.83±0.96	28.87±1.29	29.24±0.97
土壤溫度 (°C)	31.49±0.75	31.30±0.89	30.80±0.80
液肥 ORP (mv)	358±87.74	357.57±62.24	345.43±43.71

將三明治堆疊方法中加上咖啡渣進行實驗如表 7、8、9 所示，液肥酸鹼值在第八天為最高 6.6，數值約在 6.15-6.6 之間，酸鹼值下降原因估計堆肥形成厭氧狀

態導致酸鹼值下降，酸鹼值皆達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0~9.0，土壤溫度以適應室內溫度無太大差異，初期土壤溫度會急速升高達 60°C 以上，在 7-14 日後將溫度調整至 60°C 以下，以加速堆肥分解速度⁽²⁶⁾。液肥氧化還原在第七天為 175mv，在一般土壤環境下，氧化還原值低於 300mv 屬於還原狀態，之後有上升的趨勢在第十三天到達 339mv，數值約在 175-339mv，電位皆在 +120mv 以上，代表此堆肥土壤通氣性良好，而 200-700mv 之間，代表養分供應正常⁽²⁵⁾。

表 7 三明治堆疊方式之高麗菜混合咖啡渣之環境因子

天數	液肥 pH	溫度(°C)		液肥 ORP(mv)
		室內	土壤	
7	6.56	29.4	32	175
8	6.60	30.2	32.3	270
9	6.28	30.5	32.1	290
10	6.26	31.2	32	307
11	6.20	32.7	34	323
12	6.26	32	34	333
13	6.15	32.9	34	339

液肥酸鹼值在第十二天為最高 7.04，數值約在 4.94-7.04 之間，數值是呈現上升的趨勢，待酸化期結束甲烷化反應進行後酸鹼值上升，酸鹼值皆達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0，土壤溫度以適應室內溫度無太大差異，液肥氧化還原數值介於 216~307mv，電位皆在 +120mv 以上，代表此堆肥土壤通氣性良好，而 200-700mv 之間，代表養分供應正常⁽²⁵⁾。

表 8 三明治堆疊方式之鳳梨混合咖啡渣之環境因子

天數	液肥 pH	溫度(°C)		液肥 ORP(mv)
		室內	土壤	
7	4.94	29.4	31.8	307
8	5.49	30.2	31.9	263
9	6.20	30.5	32	216
10	6.94	31.2	32	220
11	6.94	32.7	33.9	229
12	7.04	32	33	269
13	6.90	32.9	33	290

液肥酸鹼值在第十一天為最高 7.55，數值約在 6.12-7.55 之間，酸鹼值皆達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0，土壤溫度以適應室內溫度無太大差異，液肥氧化還原數值介於 303-387mv，電位皆在 +120mv 以上，代表此堆肥土壤通氣性良好，而 200-700mv 之間，代表養分供應正常⁽²⁵⁾。

表 9 三明治堆疊方式之高麗菜混合鳳梨及咖啡渣之環境因子

天數	液肥 pH	溫度(°C)		液肥 ORP(mv)
		室內	土壤	
7	6.16	29.4	32	312
8	6.22	30.2	32	322
9	6.12	30.5	32	332
10	6.32	31.2	33	357
11	7.55	32.7	33	303
12	6.37	32	34	387
13	6.31	32.9	34.1	378

三明治堆疊混合咖啡渣之比較表如表 10 所示，高麗菜混合鳳梨及咖啡渣之液肥酸鹼值比其他兩種之液肥要來得高，三種堆肥產出之液肥酸鹼值皆達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0。溫度變化無太大差異因適應室內溫度降到 60°C 以下，以加速堆肥分解速度⁽²⁶⁾，高麗菜混合鳳梨及咖啡渣之氧化還原值比其他兩種堆肥要來得高。

表 10 三明治堆疊方式蔬果廢棄物混合咖啡渣之環境因子比較

項目	高麗菜+咖啡渣	鳳梨+咖啡渣	高麗菜+鳳梨+咖啡渣
pH	6.33±0.18	6.35±0.84	6.44±0.50
室內溫度 (°C)	31.27±1.32	31.27±1.32	31.27±1.32
土壤溫度 (°C)	32.91±1.02	32.51±0.80	32.87±0.87
液肥 ORP (mv)	291.00±56.64	256.29±35.59	341.57±32.83

將攪拌堆肥實驗之環境因子如表 11、12、13 所示，由於在取攪拌堆肥之液肥時第一次取完後隔天再無產出液肥而把天數往後延以七天為一輪，液肥酸鹼值在第 14 天為最高 6.8，數值約在 6.34-6.8 之間，酸鹼值下降原因估計堆肥形成厭氧狀態導致酸鹼值下降⁽²⁴⁾，酸鹼值皆達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0，土壤溫度以適應室內溫度無太大差異，初期土壤溫度會急速升高達 60°C 以上，在 7-14 日後將溫度調整至 60°C 以下，以加速堆肥分解速度⁽²⁶⁾。液肥氧化還原數值約在 227-324mv，電位皆在 +120mv 以上，代表此堆肥土壤通氣性良好，而 200~700mv 之間，代表養分供應正常⁽²⁵⁾。

表 11 攪拌混合方式之高麗菜環境因子

天數	mL	液肥 pH	溫度(°C)		ORP(mv)
			室內	土壤	
7	17	6.69	32.2	32	324
14	0.8	6.80	31.7	32	246
21	0.15	6.34	30.9	32	227

液肥酸鹼值在第二十天為最高 7.37，酸鹼值皆達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0，土壤溫度以適應室內溫度無太大差異，液肥氧化還原數值介於 384-300mv，電位皆在+120mv 以上，代表此堆肥土壤通氣性良好，而 200-700mv 之間，代表養分供應正常⁽²⁵⁾。

表 12 攪拌混合方式之鳳梨環境因子

天數	mL	液肥 pH	溫度(°C)		ORP(mv)
			室內	土壤	
7	8	6.39	32.2	32	384
14	4	6.05	31.7	33	385
21	6	7.37	30.9	32	300

液肥酸鹼值在第二十天為最高 6.84，酸鹼值皆達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0，土壤溫度以適應室內溫度無太大差異，液肥氧化還原數值介於 351-421mv，電位皆在+120mv 以上，代表此堆肥土壤通氣性良好，而 200~700mv 之間，代表養分供應正常⁽²⁵⁾。

表 13 攪拌混合方式之高麗菜與鳳梨環境因子

天數	mL	液肥 pH	溫度(°C)		ORP(mv)
			室內	土壤	
7	16	6	32.2	32	421
14	2	6.29	31.7	33	372
21	5	6.84	30.9	32	351

攪拌堆肥比較如表 14 所示，高麗菜及鳳梨液肥酸鹼值相近，反之高麗菜混合鳳梨後比其他兩種之液肥要來得低，三種堆肥產出之液肥酸鹼值皆達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0。溫度變化無太大差異因適應室內溫度降到 60°C 以下，以加速堆肥分解速度⁽²⁶⁾，高麗菜混合鳳梨及咖啡渣之氧化還原值比其他兩種堆肥要來得高。

表 14 攪拌混合方式堆肥之環境因子比較

項目	高麗菜	鳳梨	高麗菜+鳳梨
pH	6.61±0.24	6.60±0.69	6.38±0.43
室內溫度 (°C)	31.60±0.66	31.60±0.66	31.60±0.66
土壤溫度 (°C)	32±0	32.33±0.58	32.33±0.58
ORP (mv)	265.67±51.40	356.33±48.79	381.33±35.92

此試驗九種樣品堆肥中，液肥酸鹼值最高為三明治堆疊之高麗菜混合鳳梨平均為 6.89±0.38，最低為三明治堆疊方式之高麗菜混合咖啡渣平均為 6.33±0.18，咖啡渣混合堆肥取出之液肥要比其他低，而三明治堆疊高麗菜混合鳳梨及咖啡渣液肥酸鹼值要比攪拌高麗菜混合鳳梨高一些，皆達到農委會農糧署雜項堆肥規範的 pH4.0-9.0，則優良堆肥呈微鹼或中性 6.6-7.8⁽²⁸⁾，對比後符合範圍的有 5 桶，分別為三明治堆疊之高麗菜、三明治堆疊之鳳梨、三明治堆疊之高麗菜混合鳳梨、攪拌高麗菜、攪拌鳳梨。氧化還原比較後，其數值在 256-381mv 之間，電位皆在 +120mv 以上，代表此堆肥土壤通氣性良好，而 200~700mv 之間，代表養分供應正常⁽²⁵⁾。

堆肥後之液肥由圖 2a、2b、2c 所示，初期液肥呈現黃色，檢測酸鹼值都為微酸性及中性，液肥產出最高為單種鳳梨堆肥 80mL 由於鳳梨本身就含有豐富水份比其他堆肥出之液肥要來得高，加入咖啡渣所堆肥出液肥之顏色明顯比其他要來得深，反之攪拌堆肥出來之液肥無顏色，液肥量也少了三分之一約在 20mL 上下，估計為攪拌方式使土壤熟成緩慢。

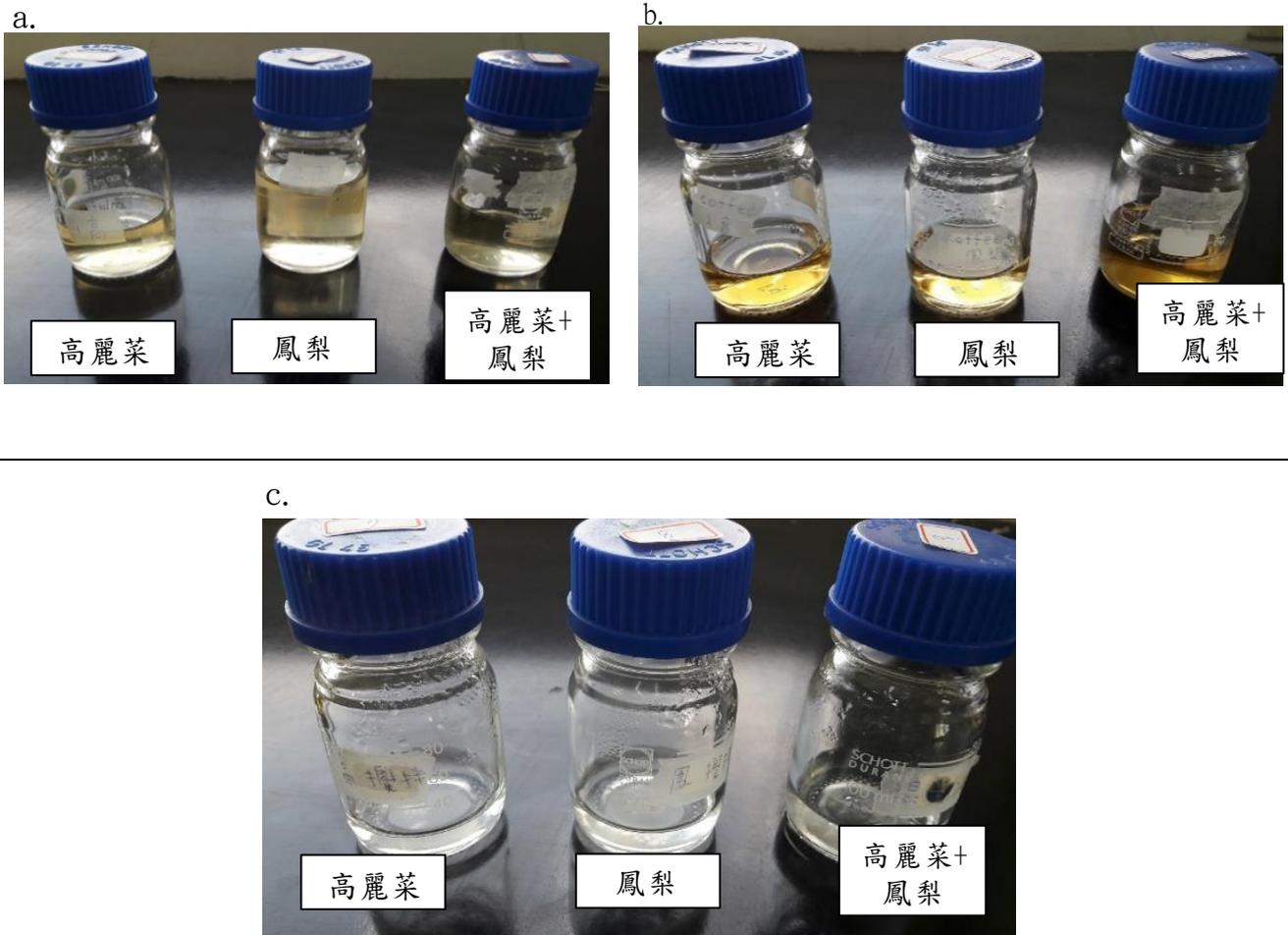


圖 2 堆肥後之液肥(a 三明治堆疊之液肥；b 三明治堆疊混合咖啡渣之液肥；c 攪拌之液肥)

由於廢棄太空包木材佔 75%，此堆肥實驗只單純放廢棄太空包及蔬果廢棄物之栽培介質，在腐熟堆肥之外觀與一般土壤腐熟堆肥有些許差異，腐熟堆肥外觀呈現為深黑或黑褐色，a、c、g、h較符合其外觀，品質堆肥較不良呈現黃色或黃褐色⁽²⁹⁾，加入咖啡渣之堆肥成品偏向黃褐色為不良堆肥。

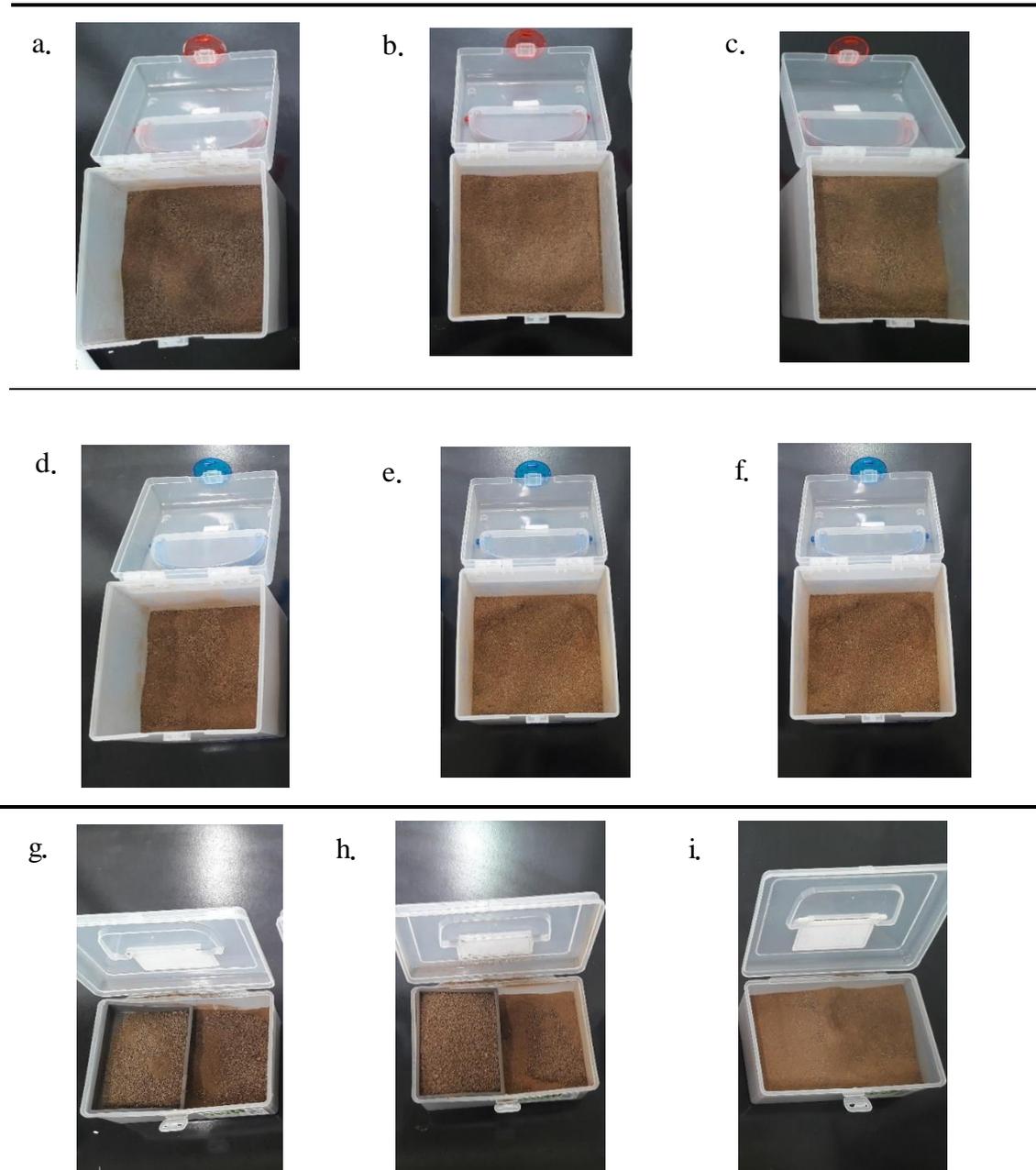


圖 3 a-c 三明治堆疊成熟堆肥破碎後之成品；d-f 三明治堆疊成熟堆肥破碎後之成品；g-i 攪拌成熟堆肥破碎後之成品(a.高麗菜；b.鳳梨；c.高麗菜+鳳梨；d.高麗菜+咖啡渣；e.鳳梨+咖啡渣；f.高麗菜+鳳梨+咖啡渣；g.高麗菜；h.鳳梨；f.高麗菜+鳳梨)

堆肥熟成之土壤進行酸鹼值之檢測如表 15 所示，將其結果對照表 16。優良堆肥酸鹼值呈微鹼及中性 pH6.6-7.8⁽²⁸⁾，在符合範圍內有三明治堆疊高麗菜、三明治堆疊高麗菜混合鳳梨、三明治堆疊高麗菜混合咖啡渣、攪拌高麗菜、攪拌鳳梨、攪拌高麗菜混合鳳梨，未完全腐熟之堆肥為三明治堆疊鳳梨、三明治堆疊鳳梨混合咖啡渣、三明治堆疊高麗菜混鳳梨及咖啡渣，攪拌堆肥要比三明治堆肥來的優良，反之加入咖啡渣之三明治堆肥腐熟時間要來得緩慢，可加入石灰、草木灰等鹼性物質調整酸鹼值，此實驗優良堆肥與不良堆肥比例為 6：3，攪拌式堆肥要比三明治堆肥來得優。

表 15 堆肥土壤之 pH 檢測

項目	三明治堆疊 方式 pH	項目	三明治堆疊 方式 pH	項目	攪拌混合 方式 pH
高麗菜	6.78	高麗菜 + 咖啡渣	7.84	高麗菜	6.89
鳳梨	6.05	鳳梨 + 咖啡渣	5.99	鳳梨	6.80
高麗菜 + 鳳梨	6.81	高麗菜 + 鳳梨 + 咖啡渣	5.56	高麗菜 + 鳳梨	6.93

表 16 土壤 pH 值與酸鹼性等級區分表⁽³⁰⁾

pH 範圍	土壤反應
<4.5	極酸性
4.5-5.0	極強酸性
5.1-5.5	強酸性
5.6-6.0	中酸性
6.1-6.5	微酸性
6.6-7.3	中性
7.4-7.8	微鹼性
7.9-8.4	中鹼性
8.5-9.0	強鹼性
>9.0	強酸鹼性

表 17 為堆肥成品之元素分析，堆肥中含磷量九種堆肥大致上無太大變化，介於 0.005-0.010%，其中三明治堆肥之高麗菜混合鳳梨及咖啡渣為最高，其次為三明治堆疊之鳳梨。因木屑屬於含碳高的堆肥材料，碳皆在 44.62-45.87%之間，合宜的碳氮比約 17-25⁽³¹⁾，符合的為三明治堆疊高麗菜混合咖啡渣、三明治堆疊鳳梨混合咖啡渣、三明治堆疊高麗菜混合鳳梨及咖啡渣、攪拌之高麗菜及攪拌鳳梨。三明治堆疊無加咖啡渣的情況下碳氮比為 28-32，加入咖啡渣後之堆肥碳氮比改變為 21-24 明顯降低，咖啡渣堆肥成品之氮源含量 1.9-2.23%比其他堆肥之氮源高出

一些，因加入咖啡渣可提升氮之營養源，由此從中看出堆肥中加入咖啡渣的碳氮比要其他堆肥來得好。

表 17 堆肥之化學元素分析

項目	C	H	N	S	P	C/N	田間風乾 之水分
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
三明治堆疊方式							
高麗菜	44.62	4.9	1.61	0.27	0.004	28 : 1	11%
鳳梨	44.67	4.89	1.39	0.08	0.005	32 : 1	10.7%
高麗菜+鳳梨	45.79	4.98	1.42	0.11	0.005	32 : 1	10.3%
高麗菜+咖啡渣	45.87	5.03	1.9	0.19	0.004	24 : 1	11.1%
鳳梨+咖啡渣	44.68	4.95	2.15	0.12	0.007	21 : 1	10.9%
高麗菜+鳳梨 + 咖啡渣	45.73	4.94	2.23	0.16	0.010	21 : 1	9.6%
攪拌混合方式							
高麗菜	45.65	5	1.81	0.17	0.005	25 : 1	10.4%
鳳梨	45.3	5.02	1.84	0.13	0.005	25 : 1	9%
高麗菜+鳳梨	45.81	5.13	1.14	0.06	0.005	32 : 1	9%

圖 4 為堆肥成品以溶出試驗所溶出之液體，進而進行火焰式原子吸收收光譜法(AAs)來檢測該土壤之微量元素如圖 5 所示，標準品濃度範圍依照行政院農委會水中金屬檢測方法標準之進行試驗⁽³²⁾，檢測項目分別有鎂、銅、鐵。

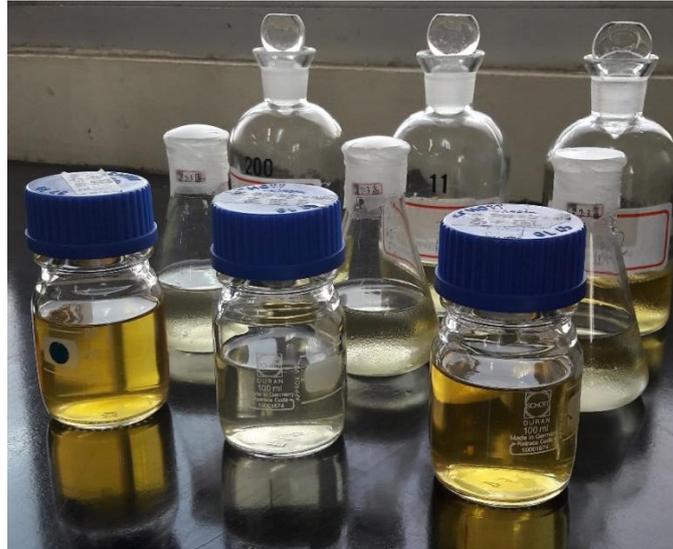


圖 4 固肥之溶出試驗之液體

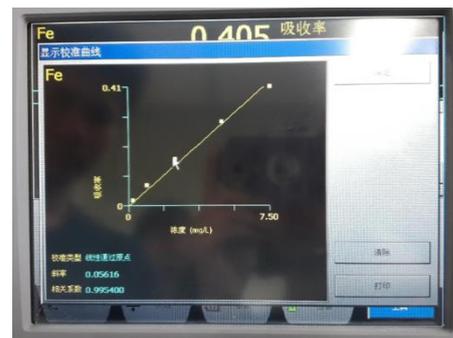
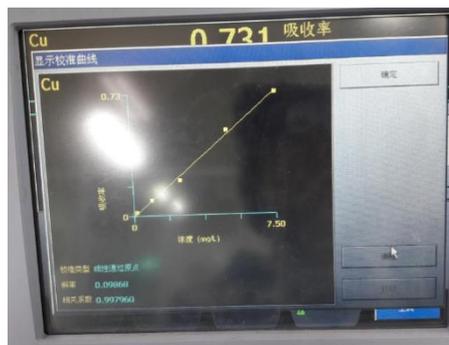
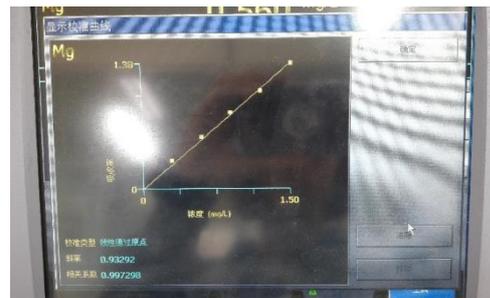


圖 5 火焰式原子吸收收光譜法之打樣標準液曲線圖

鎂在植物生長裡為主要元素，鐵及銅為次要元素進而檢測實驗之固肥及液肥含量之比較如表 18，由此表可看出固肥測出 Mg 的含量要比 Cu 及 Fe 多出百倍之多，三明治堆疊固肥 Mg 含量 129.6-159.2 mg/L、三明治堆疊加咖啡渣固肥 Mg 含量 129-141 mg/L、攪拌固肥 Mg 含量 111.6-114.6 mg/L，則攪拌堆肥之固肥 Mg 變化較不明顯。此實驗堆肥營養源素含量較少為液肥 Cu 含量，堆肥產出之液肥大部分呈現負數，而在三明治堆疊鳳梨混合咖啡渣之液肥 Cu 含量比三明治堆疊鳳梨混合咖啡渣之固肥 Cu 含量要來得高，則固肥 Cu 之檢測裡攪拌鳳梨項目測出為負數，

其餘堆肥之固肥都有檢測出含量，一般堆肥 Cu 含量為 100 mg/kg⁽²⁸⁾，此次實驗堆肥都未超過範圍。固肥測出 Fe 含量為三明治堆疊高麗菜混合咖啡渣數值為 12.6 mg/L 略顯比其他堆肥要來的少量，最高為三明治堆疊鳳梨數值為 24.6 mg/L，液肥測出 Fe 含量較少為三明治堆疊鳳梨混合咖啡渣數值為 4.6(mg/L)，最高為三明治堆疊高麗菜混合咖啡渣數值為 14.6 mg/L。固肥之營養源含量比液肥要來得高，則堆肥之固肥及液肥 Fe 含量變化較小。

表 18 固肥及液肥營養源含量比較表

項目	濃度 (mg/L)						
	固肥 Mg	液肥 Mg	固肥 Cu	液肥 Cu	固肥 Fe	液肥 Fe	
三明治堆疊	高麗菜	159.2	8.4	0.202	-0.014	17.4	7
	鳳梨	146.4	5.2	0.234	-0.004	24.6	14.4
	高麗菜 + 鳳梨	129.6	4.8	0.202	-0.004	20	11.4
三明治堆疊	高麗菜 + 咖啡渣	129	14.6	0.186	0.012	12.6	14.6
	鳳梨 + 咖啡渣	133.8	46	0.227	0.312	20.8	4.6
	高麗菜 + 鳳梨	141	9.6	0.198	0.07	22.4	8.8
	高麗菜 + 鳳梨 + 咖啡渣						
攪拌	高麗菜	111.6	3.4	0.057	-0.012	18	12.6
	鳳梨	114.6	7	-0.009	-0.045	20.4	11
	高麗菜 + 鳳梨	112	4.6	0.015	-0.031	19.8	13.8

利用 SPSS 雙變數 (Person) 分析關聯性

由表分析具有極佳顯著性的參數敘述如下

(1) 液肥 pH 與液肥導電度之關聯性

液肥 pH 對於液肥導電度顯著差異($p < 0.005$)，可得知液肥酸鹼度會影響液肥導電度情形，由於酸鹼值為溶水的解離程度而得知，則導電度為水中的中離子濃度有關，同樣是以水中解離程度而得到數值，相關為各一半。

(2) 液肥導電度與液肥溫度之關聯性

液肥導電度對於液肥溫度有極佳顯著差異($p < 0.01$)，在液肥導電度最高時而液肥溫度同時最高，表示在溫度最高時同時導電度也為最高。

(3) 土壤溫度與液肥溫度、室內溫度、土壤溫度之關聯性

土壤溫度對於液肥導電及液肥溫度關係成反比，因於測量時由於液肥量較少則影響到液肥溫度以及無法測得液肥導電度，應把取液肥時間往後延使液肥量增加進而檢測，土壤溫度對於室內溫度為極佳顯著差異($p < 0.01$)，此試驗過程中，室內溫度變化使得土壤溫度改變。

表 18 環境因子之相關性

項目	液肥 pH	液肥導電度	室內溫度	液肥溫度	土壤溫度
液肥導電度	0.305*				
室內溫度	0.099	-0.09			
液肥溫度	0.215	0.620**	-0.063		
土壤溫度	-0.147	-0.295*	0.680**	-0.474**	
液肥 ORP	-0.228	0.173	0.151	0.510**	-0.172

* 相關性在 0.05 層級上顯著 (雙尾)。

** 相關性在 0.01 層級上顯著 (雙尾)。

(1) 液肥 Mg 與液肥 Cu、液肥 Fe 之關聯性

液肥 Mg 對於液肥 Cu 及液肥 Fe 具有極佳顯著差異($p < 0.01$)，液肥裡 Mg、Cu、Fe 互相影響，變化為成正比。

(2) 固肥 Mg 與固肥 Cu 之關聯性

固肥 Mg 對於固肥 Cu 具有極佳顯著差異($p < 0.01$)，成正比。

表 19 營養源含量之相關比較

項目	液肥 Mg	固肥 Mg	液肥 Cu	固肥 Cu	液肥 Fe
固肥 Mg	0.276				
液肥 Cu	0.798**	0.188			
固肥 Cu	0.435	0.815**	0.475		
液肥 Fe	0.974**	0.164	0.794*	0.376	
固肥 Fe	0.216	0.166	0.163	0.113	0.353

** 相關性在 0.01 層級上顯著 (雙尾)。

* 相關性在 0.05 層級上顯著 (雙尾)。

- (1) 碳與氫之關聯性
碳對於氫顯著差異($p < 0.05$)，呈正比。
- (2) 氮與磷之關聯性
氮對於磷顯著差異($p < 0.05$)，呈正比。

表 元素分析之相關比較

項目	C(%)	H(%)	N(%)	S(%)
H(%)	0.695*			
N(%)	-0.047	-0.309		
S(%)	-0.044	-0.391	0.266	
P(%)	0.081	-0.176	0.712*	-0.191

* 相關性在 0.05 層級上顯著（雙尾）。

(六) 結論

1. 經實驗發現九種堆肥相較起來，攪拌之高麗菜及攪拌之鳳梨堆肥比其餘要來得好，優良堆肥土壤之酸鹼值、成熟堆肥之外觀及較佳碳氮比以上都有符合。
2. 在科技日漸發達以及人民生活品質越來越好越富裕的同時，大量的生活垃圾、廢棄物及廚餘也帶來了環境問題，因此廢棄物再利用成為研究的重點。
3. 菇包廢料作為蔬果廢棄物堆肥的副資材，藉由混合及三明治堆疊等不同方式來做堆肥，探討不同堆肥操作方式所產出的有機液肥與有機固肥之差別，及反應過程相關物理化學特性變化之監測來探討產品之肥效與不同進料配比之差異。
4. 將菇包廢料之木屑以及蔬果廢棄物部分分別以不同比例方式堆肥，探討堆肥過程中溫度、酸鹼度、pH 值、碳氮比等相關參數之變化。
5. 堆肥產品可經由檢測 pH、全氮、全磷酐、全氧化鉀之含量等多項產品物理化學特性是否符農糧署雜項液肥規範的標準。
6. 透過栽培菇類介質及蔬果廢棄物在利用，係能解決菇類栽培介質廢棄以及果菜市場產出蔬果廢棄物之問題，進而降低環境之危害。
7. 將蔬果廢棄物再利用，不僅可降低廢棄物生成量，又可減少焚化廠處理之各項支出，延長掩埋場使用壽命，提高焚化爐之效率。藉由本研究蔬果廢棄物與菇包廢料以靜脈產業發展之觀念使之再利用，且達到降低環境污染及減少焚化廠和掩埋場的處理量，更不用擔心丟棄之後對環境造成影響，亦相當具有環保概念。

(七) 參考文獻

1. 潘靖淳、藍浩繁、陳和賢，農林廢棄物碳化處理-以鳳梨及高麗菜為例，農機與生機論文發表會，2007。

2. 楊紹榮，農業廢棄物處理與利用，搜尋日期：2016年1月21日
<http://www.tndais.gov.tw/view.php?catid=230>。
3. 沈寶莉，我們把食物送進焚化爐，主婦聯盟環境保護基金會，搜尋日期：2016年1月21日。<http://www.huf.org.tw/essay/content/2169>
4. 廚餘回收再利用，政策目標，行政院環境保護署，搜尋日期：2016年1月21日。<http://www.epa.gov.tw/ct.asp?xItem=25302&ctNode=33183&mp=epa>
5. 游璇如，500年後台灣森林消失？太空包養菇年砍118座森林公園，：2016年1月22日。<http://travel.ettoday.net/article/191589.htm>
6. 張吉豐，利用農產業肥料研製高級製品，行政院農業委會農糧署，搜尋日期：2016年1月22日。
http://www.afa.gov.tw/search.aspx?search_textfield=%E5%A4%AA%E7%A9%BA%E5%8C%85%E5%BB%A2%E6%96%99&searchBtn.x=8&searchBtn.y=1
7. 彭強，黑木耳培養料及營養生理特性研究，東北農業碩士論文，2007。
8. 倪禮豐，農場堆肥製作方法，花蓮區農業專訊，26，21-22，1998年12月。
9. 蔡宜峰、陳俊位，果菜渣堆肥製作技術之研究，臺中區農業改良場研究彙報，122，1-9，2014。
10. 楊盛行、魏嘉碧、鍾仁賜，果菜市場廢棄物之產出及其堆肥化，堆肥技術及其利用研討會，中華生質能源學會，104~121頁，1994。
11. 陳曦，林柏宏，熊敬峰，許菁珊，盧明俊，蔬果廢棄物之天然染料敏化太陽能電池，廢棄物處理技術研討會，2013。
12. 台南市政府環境保護局，台南市97年度「機不可失—社區廚餘堆肥再利用」計畫，2008年4月23日。
13. 俄勒岡州立大學，將咖啡渣轉換為高氮肥，科學日報，2008年7月10日，www.sciencedaily.com/releases/2008/07/080707171641.htm，搜尋日期：2016年1月29日。
14. 行政院環境保護署，<http://www.epa.gov.tw/>，搜尋日期：2016年1月29日。
15. 行政院環境保護署，廚餘回收再利用操作管理參考手冊，2008年9月。
16. 簡宣裕、江志峰、張明暉，有機液肥之製作及利用，農業委員會農業試驗所，2005。
17. 堆肥技術與設備手冊及案例彙編，2005年7月。
18. 香菇的栽培方式，上安香菇教育農場，<http://leemushroom.com.tw/visite.htm>，搜尋日期：2016年2月1日。
19. 林景和，利用廢棄菇類栽培介質製作堆肥之研究，39，17-27，1993。
20. 張富貴，利用負壓廂式醱酵槽製作廚餘堆肥之研究，國立高雄海洋科技大學海洋環境工程研究所碩士論文，2007。
21. 蔡宜峰、陳俊位、陳榮五，落葉廢棄物製作堆肥技術之研究，臺中區農業改良場研究彙報，103: 53-62，2009。
22. 李文智，家庭堆肥化處理，環境教育季刊，36，4-7，1998。
23. 邱梅玲，三種不同製程的廚餘堆肥之成分及養分釋出特性研究，長榮大學職業安全與衛生學系碩士論文，2008。

24. 有機栽培的堆肥撇步，<http://lungho5511.pixnet.net/blog/post/44601888-%E6%9C%89%E6%A9%9F%E5%A0%BD%E5%9F%B9%E7%9A%84%E5%A0%86%E8%82%A5%E6%92%87%E6%AD%A5>，搜尋日期：2017年3月25日。
25. 土壤氧化還原電位 Soil Redox Potential, ORP, Eh，<http://terms.naer.edu.tw/detail/1316129/>，搜尋日期：2017年3月25日。
26. 有機堆肥製作之原理及要領，<http://blog.xuite.net/abaama/wretch1/102462183-%E6%9C%89%E6%A9%9F%E5%A0%86%E8%82%A5%E8%A3%BD%E4%BD%9C%E4%B9%8B%E5%8E%9F%E7%90%86%E5%8F%8A%E8%A6%81%E9%A0%98>，搜尋日期：2017年3月25日。
27. 行政院農業委員會，鳳梨主題館，<https://kmweb.coa.gov.tw/subject/ct.asp?xItem=82483&ctNode=1528&mp=1&kpi=0&hashid=>，搜尋日期：2017年3月26日。
28. 有機質肥料的種類與合理施用，搜尋日期2017年3月26日。
29. 林晉卿、黃瑞彰、林經偉，堆肥品質及其應用介質之調製，台南區農業專訊，40，6-11，2002。
30. 羅秋雄，強酸性土壤改良，http://www.tydares.gov.tw/htmlarea_file/web_articles/tydais/1472/soi3.pdf，尋日期：2017年3月26日。
31. 堆肥的原理，<http://www.kskk.org.tw/food/node/16>，搜尋日期：2017年3月26日。
32. 水中銅、鎘、鉛、鋅、鎳、鐵、錳、鈣、鈉檢測標準作業程序，行政院農業委員會，1.1，9-1/27，2005。