

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 農業及生物科技科

091405

甲蟲聖戰士－廢棄太空包堆肥化小尖兵

學校名稱：國立曾文高級農業工業職業學校

作者： 職二 余竣堯 職二 盧雯柔 職二 買玟雁	指導老師： 蔡政廷 劉發勇
---	-----------------------------

關鍵詞：菇類太空包、甲蟲、重金屬

摘要

本研究利用幼齡甲蟲轉化廢棄太空包木屑（本研究稱為「蟲糞堆肥」），使其無害和資源化，並與市售有機肥或市售培養土進行優劣比較，結論如下：

- 一、每年近3萬噸的太空包廢棄物，可供給約77萬隻三齡烏干達花金龜幼蟲一年食用量，並得到21600公噸蟲糞堆肥。
- 二、蟲糞堆肥不產生發酵熱，並且具有較好的肥份效果。
- 三、經甲蟲幼蟲轉化後之蟲糞堆肥偏鹼，此作用能夠解決台灣一般土壤偏酸的問題，達到改善的效果。
- 四、經甲蟲幼蟲轉化後之蟲糞堆肥重量較一般田土輕，可降低搬運困難。
- 五、使用蟲糞堆肥種植葉菜或瓜果類在發芽率上優於其他介質，顯示值得進一步評估作為一般市售培養土的替代品。
- 六、由甲蟲幼蟲食用廢棄木屑可得到更乾淨的蟲糞堆肥。

壹、研究動機

據農業統計年報(2012)統計台灣每年有13,255萬個太空包進行菇類生產，每包以乾重300~400公克計，採收後約產生39,765~53,020公噸之木屑太空包廢棄物。

一般菇農對廢棄太空包木屑多直接傾倒於低地、河道、鄉間小徑或在空曠處燃燒，將造成河道阻塞與空氣汙染等環境問題；由於菇類栽培後之太空包廢棄物，含有機質達74.8%，且其他要素含量亦豐，因此，亦有人將整包廢棄太空包木屑直接放置於果園表面做為畦面覆蓋，經過發酵腐熟過程後變成肥料。但此一過程曠日廢時，且因廢棄太空包木屑之碳氮比仍大(40)，分解過程中仍可能造成種植果樹缺氮、缺氧和釋出熱、有機酸而影響果樹生長的疑慮。

太空包主要是由木屑、米糠、粉頭（或玉米芯等）和碳酸鈣混合醱酵製成，除了基本的碳水化合物之外，其中米糠或粉頭的主要成分是植物氮、磷、鉀、鈣等大量元素及鐵、氯、鎂、矽、鋅、錳等微量元素極佳的提供者，在菇類採收完畢後，這些內含的元素常未被使用完畢，仍可作更進一步的再利用。

傳統堆肥堆積發酵會產生高溫，微生物的繁殖受阻（缺氧）造成厭氣發酵，使氮素以 NH_3 （氨）的形式揮發或者溶於水中跟著重力水流失。因此，為了提昇堆肥的品質，必須時常翻動，加上傳統堆肥常需要數個月的時間，耗時費力。於是研擬以廢棄太空包養殖各類甲蟲，來加速降解廢棄的菇包木屑。

菇類真菌可分泌酵素到環境中，將許多有機汙染物分解成小分子，有些真菌同時還是超富集生物，可吸收環境中的重金屬離子並儲存在子實體中，有移除環境中汙染物與重金屬的功效。菌絲生長時常會佈滿整個容器，大大增加吸收的表面積，更能快速的聚集介質中的重金屬。

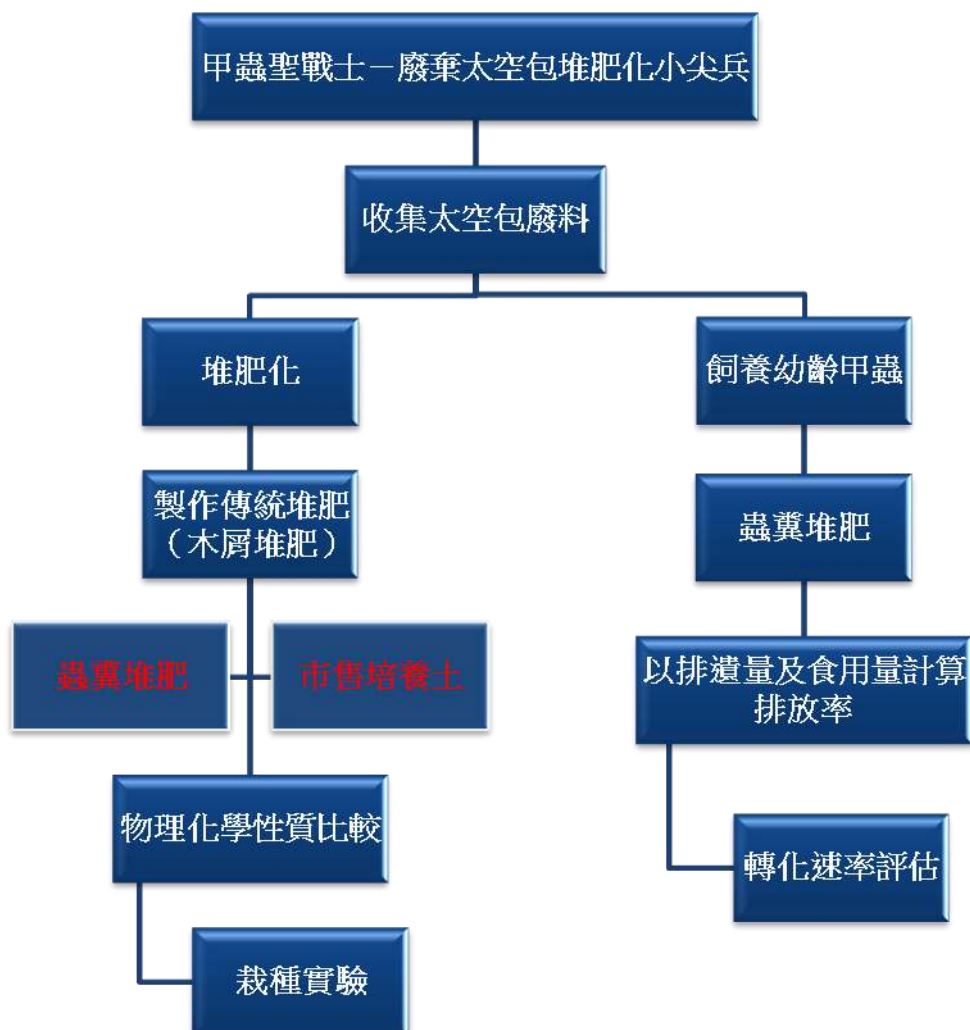
綜合以上各點與太空包木屑蓬鬆通氣的特質，研擬以蟲糞堆肥來作為改善土壤物理、化學和生物性質的土壤改良劑。

貳、研究目的與架構

一、 研究目的

- (一) 幼齡甲蟲食用太空包木屑的速度。
- (二) 探討一般田土添加不同比例的蟲糞堆肥與市售培養土的特性比較。
- (三) 一般田土添加有機肥或木屑堆肥，與蟲糞堆肥及市售培養土進行栽種試驗，觀察蔬菜發芽率與生長上的差異性。
- (四) 探討蟲糞堆肥、市售培養土及有機肥的重金屬含量比較分析。

二、 研究架構



參、研究設備及器材

一、設備及器材

塑膠飼養箱（30cm×20cm×15cm）、灑水器、酸鹼值測定儀（pH meter）、相機、電子天平（小數點第2位）、花盆（5吋盆）、穴盤（72格）、原子吸收光譜儀（AA）。

二、生物及其食物

獨角仙、烏干達花金龜、白條綠花金龜、土耳其長臂金龜及犀角金龜一、二、三齡幼蟲（圖一、二）。

秀珍菇太空包廢料（圖三）、一般市售的培養土（泥炭土）、市售有機肥、田土、自製傳統木屑堆肥。



圖一 一齡幼蟲 圖二 二、三齡幼蟲



圖三 秀珍菇太空包廢料

肆、實驗步驟及方法

一、幼齡甲蟲食用太空包廢料的速度

五種甲蟲(獨角仙、烏干達花金龜、白條綠花金龜、土耳其長臂金龜及犀角金龜)和三種年齡(一、二、三齡幼蟲)，以一隻甲蟲500克木屑的比例，令其食用一個禮拜後，用肉眼分離排遺，然後秤量排遺和木屑剩餘重量，共15組處理，且為表現各幼蟲動態生長的差異，依序進行四星期的重複試驗，記錄整理所有的秤量資料，計算出各種甲蟲一、二、三齡幼蟲每隻每週的食用均量及排遺均量。

食用均量 = (總重量 - 木屑剩餘重量) ÷ 幼蟲數量 (公式一)

排遺均量 = 排遺重量 ÷ 幼蟲數量 (公式二)

截至目前本研究尚未發現有關幼齡甲蟲進食量與排糞量之間的比例關係，僅於王懷禹先生所發表的「畜禽糞便的營養及飼料化應用」文中提及—「雞由於消化道很短，食物在消化道內停留的時間短，對飼料的消化吸收能力較差，其消化率僅為攝入量的20%左右，80%未被消化而隨糞便排出體外。」。因此，為得到幼齡甲蟲轉化太空包廢料的效益，需先計算幼齡甲蟲食用木屑未被消化吸收而隨糞便排出體外的百分比量，亦即排放率。

排放率 = (排遺均量 ÷ 食用均量) × 100% (公式三)

二、一般田土添加不同比例的蟲糞堆肥與市售培養土的特性比較

(一) 保水力

以一般田土為對照組，將蟲糞堆肥與市售培養土，分別以 5%、10%及 20%的比例與田土混合均勻裝於 5 吋盆中(八分滿)，並充分澆水至完全飽和(盆底有水滲出)，待重力水排出後每隔一段時間測量重量，進行四重複並記錄。

(二) pH 值測定

取太空包廢料、蟲糞堆肥、市售培養土和有機肥各100克，加入200克的水，充分

攪拌後，放置一日，其間斷續攪拌3-4次，以酸鹼測定儀測定酸鹼值。

（三）營養成分分析

委託中興大學土壤調查中心，測量太空包廢料、蟲糞堆肥、市售培養土及有機肥的營養成分分析，包括全氮、全磷酐、全氧化鉀及電導度（EC 值）。

三、 蟲糞堆肥、培養土及田土混合木屑堆肥與有機肥對蔬菜生長的影響

將田土分別與木屑堆肥及有機肥以1：1的比例混合均勻，與全蟲糞堆肥及全培養土為四種栽培介質，以72格的穴盤為栽培容器，進行四重複的發芽試驗處理，栽培對象有芥菜、玉米、南瓜、黃豆與莧菜等五種蔬菜種子，進行兩週的栽種試驗。觀察各種蔬菜在四種介質中的發芽率與後續成長狀況。

發芽率 = (發芽種子數 ÷ 栽植總數) × 100% (公式四)

四、 蟲糞堆肥、市售培養土、有機肥及自製傳統木屑堆肥的重金屬含量比較分析

委託中興大學土壤調查中心，以原子吸收光譜儀（AA）測量太空包廢料、蟲糞堆肥、市售培養土及有機肥的重金屬含量。

五、 以格拉布斯(Grubbs)法剔除極端值

極端值又稱為離群值（outlier 或 extreme value），一般是指某一個測量值與其他測量值呈現很大的差異，所以懷疑該測量值與其他測量值並不是經由同一機制所產生，因此該測量值的可信度有待驗證（譚克平，2008）。

本研究採用格拉布斯(Grubbs)檢定法判斷，將極端值從測量資料中剔除而不參與平均值的計算，此法適用於檢驗一組測量值一致性和剔除一組測量值中的極端值。方法如下：在一組測量值中，依從小到大順序排列為 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ，若對最小值 X_1 或最大值 X_n 可疑時，進行下列計算：

$$T = (X - X_1) \div S$$

$$T = (X_n - X) \div S$$

式中 X_1 為最小值， X_n 為最大值， \bar{X} 為平均值， S 為標準差。

根據測定次數(n)和給定的顯著性水準 α ，從下表查得 T_α 臨界值：

若 $T < T_{0.05}$ ，則可疑值為正常值；

若 $T_{0.05} < T < T_{0.01}$ ，則可疑值為偏離值；

若 $T > T_{0.01}$ ，則可疑值為極端值，應捨去。

顯著性水準 (α)	n								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$T_{0.05}$	1.153	1.463	1.672	1.822	1.938	2.032	2.11	2.176	2.234
$T_{0.01}$	1.155	1.492	1.749	1.944	2.097	2.221	2.323	2.41	2.485

伍、結果與討論

一、 甲蟲食用太空包廢料的速度

五種甲蟲一、二、三齡幼蟲共15組處理，依序進行四個星期的重複試驗，秤量排遺和木屑剩餘重量的結果如附件所示。

依公式一、公式二計算結果如下列表一所示，其中一齡的幼蟲因其食用量過少，加上蟲糞分離困難故忽略不計。

表一五種甲蟲二、三齡幼蟲每隻每週食用及排遺均量比較表單位：公克/週/隻

蟲齡	土耳其長臂金龜			白條綠花金龜			烏干達花金龜			獨角仙			犀角金龜		
	數量	食用均量	排遺均量	數量	食用均量	排遺均量	數量	食用均量	排遺均量	數量	食用均量	排遺均量	數量	食用均量	排遺均量
二齡	2	92.00	23.00	4	63.75	4.75	3	120.33	36.23	1	167.00	15.70	1	184.00	21.90
	5	147.40	20.40	8	147.50	7.88	5	52.80	4.52	3	136.83	10.00	5	64.00	22.50
	10	124.60	19.50	6	228.67	7.50	5	69.26	5.00	2	68.70	6.50	4	94.65	13.50
	8	93.75	9.31	6	58.83	3.75	8	133.69	16.31	3	33.83	17.00	4	86.75	16.13
平均值	114.44	19.95		61.29	5.97		94.02	4.76		101.59	12.30		90.70	18.51	
標準差	23.03	0.45		2.46	1.76		33.83	0.24		52.90	4.26		3.95	3.81	
三齡	5	94.40	27.58	5	89.80	27.00	5	82.00	60.10	5	74.50	76.32	5	53.50	53.80
	6	51.32	26.57	6	55.82	26.67	6	72.93	46.00	5	57.48	62.48	5	96.80	33.40
	6	60.22	26.67	7	69.64	25.00	7	69.64	67.50	5	73.90	48.00	5	80.40	37.40
	5	98.10	22.00	6	90.17	16.75	7	73.43	40.07	5	69.40	55.00	5	69.60	29.40
平均值	76.01	26.62		76.36	26.83		74.50	53.42		74.20	51.50		75.08	31.40	
標準差	20.53	0.05		14.48	0.17		4.57	10.91		0.30	3.50		15.78	2.00	

採用格拉布斯(Grubbs)檢定法判斷，將部分極端值從測量資料中剔除而不參與平均值的計算（表一中以反白顯示的數值）。另外，表一中獨甲仙二齡幼蟲，其食用均量雖經格拉布斯(Grubbs)檢定法判斷並無極端值，但觀察其測量值之間的差異性實在太大（平均值為 101.59；標準差為 52.9），故均捨棄不用。而烏干達花金龜二齡幼蟲，其食用均量經格拉布斯(Grubbs)檢定法判斷亦無極端值呈現（平均值為 94.02；標準差為 33.83），但若依排遺均量經檢定後捨棄第一及第四星期的測量值，食用均量的平均值為 61.03，標準差為

8.23，應該具有參考的價值。

整理上列表一後得到各類各齡甲蟲一星期每隻的平均食用量、排遺量及排放率分析比較表，如表二所示：

表二五種幼齡甲蟲一星期每隻的平均食用量、排遺量及排放率單位：公克/週/隻

		土耳其長臂金龜	白條綠花金龜	烏干達花金龜	獨角仙	犀角金龜	信賴區間 (95%)
二齡	食用均量	114.44	61.29	61.03	—	90.7	40.81—122.92
	排遺均量	19.95	5.97	4.76	12.3	18.51	3.65—20.95
	排放率	17%	10%	8%	—	20%	
三齡	食用均量	76.01	76.36	74.5	74.2	75.08	74.07—76.39
	排遺均量	26.62	26.83	53.42	51.5	31.4	21.32—54.59
	排放率	35%	35%	72%	69%	42%	

由表二可看出，五種二齡幼蟲的食用均量與排遺均量均落在樣本平均數 95% 信賴區間內，顯示出無明顯差異。其中土耳其長臂金龜的食用均量為所有幼蟲最高（114.44 公克/週/隻），其次為犀角金龜（90.7 公克/週/隻），但排放率卻分別只有 17% 及 20%，雖然因食用量大，轉化速率較快，但每公噸的廢棄木屑將只轉化出 170 公斤及 200 公斤的蟲糞堆肥，效益上似乎較為不足，而白條綠花金龜與烏干達花金龜更是只有 10% 及 8%，仍須進一步的評估。

同樣的，五種三齡的幼齡甲蟲的食用均量與排遺均量亦均落在樣本平均數 95% 信賴區間內，顯示出無明顯差異。但排放率最高的烏干達花金龜（72%），每公噸的廢棄木屑將轉化出 720 公斤的蟲糞堆肥，其次的獨角仙（69%）也能轉化出 690 公斤的蟲糞堆肥。

據統計，台灣每年有近約 3 萬公噸以上之木屑太空包廢棄物被淘汰遺棄，或任意傾倒路邊、溝邊或樹下或填補低窪地用，不但影響觀瞻，且容易造成環境污染，殊為可惜，若全由三齡烏干達花金龜幼蟲進行轉化，並依表二 72% 的排放率，則至少可得到以公式四計算得出的 21600 公噸蟲糞堆肥。

30000公噸 $\times 72\% = 21600$ 公噸———（公式四）

表三為 1 公噸太空包廢料以排放率最高的三齡烏干達花金龜進行轉化的速率比較表。由表可看出轉化速率將隨甲蟲數量的倍數增加而成倍數型的加快，因此，傳統堆肥製作耗時耗力，若以甲蟲幼蟲進行轉化，將可有效的改善。

表三 不同數量三齡烏干達花金龜幼蟲轉化速率比較表

數量（隻）	1	10	100	200	500	1000
一週食用量（克）	74.5	74.5	74.5	74.5	74.5	74.5
轉化天數	93960	9396	940	470	188	94

二、蟲糞堆肥與市售培養土及有機肥的特性比較

（一）保水力

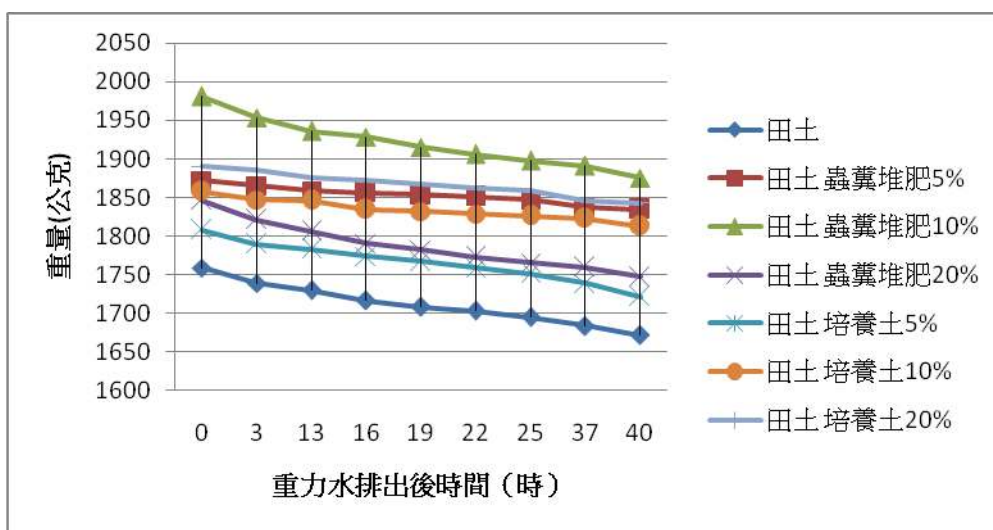
土壤充分澆水至完全飽和（孔隙充滿水），待重力水排出後的土壤含水量稱為田間容水量，此為植物根能開始吸收的水分，又稱為有效水或毛管水，一般是被土壤孔隙形成的毛細管吸力吸住而保留在土壤中。田間容水量的多寡與土壤質地有密切的關係，土壤質地越細（孔隙越細）越能吸水，田間容水量越高，但相對的越不通氣。相反的，土壤質地越粗（孔隙越粗）保水力越差，田間容水量越低，相對的越通氣。

表四為以一般田土為對照組，將蟲糞堆肥與市售培養土，分別以5%、10%及20%的比例與田土混合均勻裝於5吋盆中，進行水分含量變化的記錄結果。我們以 $(1 - 40H \text{流失量} \div \text{總水量}) \times 100\%$ 做為公式，得到其中保水量最佳的是混合20%培養土，40小時後的保水量仍有89%，其次分別為混合10%培養土及混合5%蟲糞堆肥的87%及85%，最差的是田土混合5%培養土的53%，尚不如全田土的59%。田土混合10%及20%蟲糞堆肥的40小時後的保水量分別只有54%及65%，遠不及混合5%蟲糞堆肥的85%，且一般市售培養土需添加至少達10%方能保水85%以上，顯示蟲糞堆肥對於改善土壤物理性值得進一步研究評估。

一般而言，保水力差的土壤在極短的時間內水分含量會急遽的下降，然後再呈緩降的表現。但從表四及圖四中看出，七種介質在重力水排出後整個含水量均是呈現一致自然緩降的趨勢，顯示七種介質的保水力均無甚差異，唯一差別在於含水量的多寡。影響土壤保水力的原因很多，除土粒密度外，有機質的多寡、分解程度及土粒構造等均是影響土壤含水量多寡的重要因素。本研究在保水力的試驗設計上確有不足，導致結果產生過多的不確定因素，影響最後的資料解讀分析。除此以外，本研究仍認為五種甲蟲轉化後的蟲糞堆肥，其保水力與市售培養土之間並無存在太大的差異，甚至部分還優於培養土，顯示仍有進一步探討的條件。

表四蟲糞堆肥與培養土混合田土水分含量變化比較表單位：公克

重力水排出後時間(時)	田土	混合田土					
		蟲糞堆肥 5%	蟲糞堆肥 10%	蟲糞堆肥 20%	培養土 5%	培養土 10%	培養土 20%
原始重量	1547	1616	1754	1562.2	1623.5	1516.6	1461.5
0H	1759	1872	1980.8	1846	1808	1858	1890.5
3H	1739	1865.5	1953.2	1821.1	1790	1847.5	1886.5
13H	1730	1859	1936.4	1806.5	1783	1846	1875.5
16H	1717	1856.5	1928.6	1790.7	1774	1835	1872.5
19H	1708	1854	1915.2	1782.2	1767	1832	1868
22H	1703	1851	1906	1772.9	1759	1829	1863
25H	1695	1847	1898	1766	1752	1826	1858.5
37H	1684	1837	1891	1759.7	1739	1823	1845.5
40H	1672	1834.5	1875.7	1747.1	1722	1813	1843
總水量	212	256	226.8	283.8	184.5	341.4	429
40H 流失量	87	37.5	105.1	98.9	86	45	47.5
40H 保水量	59%	85%	54%	65%	53%	87%	89%



圖四不同比例蟲糞堆肥與市售培養土混合田土水分含量變化比較圖

(二) pH 值測定

將市售有機肥、培養土、廢棄木屑及三種蟲糞堆肥加入10倍的水，攪拌均勻後靜置一日，再以酸鹼測定儀測定酸鹼值。結果整理成表五。

表五 酸鹼值測定比較表

有機肥	培養土	木屑	犀角金龜	烏干達花金龜	獨角仙
8.77	5.84	6.29	8.83	8.78	7.79

由表五可看出有機肥及三種蟲糞堆肥均較其他介質更偏向鹼性，原先認為可能是因為甲蟲幼蟲體內的消化液偏鹼所致，不過在百度百科「甲蟲的內部解剖與生理」文中卻提到，大多數甲蟲幼蟲的消化液偏酸(pH6~7)，推測可能是有其他的原因造成其排遺偏鹼，但是本實驗數據仍不足證明其原因。但不可否認的是，若用來改善一般土壤中因有機質分解造成偏酸的問題，確是一大助益。

(四) 營養成分分析

委託中興大學土壤調查中心，測量太空包廢料、蟲糞堆肥、市售培養土及有機肥的營養成分分析，包括全氮、全磷酐、全氧化鉀及導電度(EC 值)。結果如表六所示。

表六營養成分分析比較表

	全氮 (%)	全磷酐 (%)	全氧化鉀 (%)	導電度 (dS/m)
有機肥	2.10	1.59	0.974	1.68
培養土	*1.30	*0.186	*0.264	*0.805
木屑	*1.26	1.14	0.873	2.11
犀角金龜	1.98	1.96	#1.41	3.22
烏干達花金龜	2.17	1.78	1.36	2.86
獨角仙	2.29	1.72	0.910	2.92
信賴區間 (95%)	1.37—2.33	0.71—2.08	0.53—1.40	1.30—3.23

*：低於95%信賴區間

#：高於95%信賴區間

一般市售培養土主要都是由天然有機物發酵分解而成，並無添加有機肥料，故培

養土的營養成分及導電度偏低實屬正常，如表六所示，而木屑堆肥雖然也沒有添加有機肥，但因為在製作太空包時仍有添加米糠、粉頭及石灰等添加物，且有菌絲體的殘留，故木屑的營養成分仍比一般培養土高。至於三種蟲糞堆肥與有機肥的比較，在氮、磷、鉀肥量上，雖然都落在樣本平均數95%信賴區間內，顯示無明顯差異，但從數字上看，三種蟲糞堆肥應比有機肥含有較高的肥量。

在農業領域中，關於導電度(Electrical Conductivity, EC)的量測值是一種重要指標，可用以代表水質，泥土或其他介質的相關性質。EC值的意義代表在一定體積內溶液內離子的導電能力，主要的來源包括：NO₃，NH₄，PO₄，K，Ca，Mg，SO₄，Na，HCO₃與Cl。表六中所顯示的導電度值，除培養土外，均位於樣本平均數95%信賴區間內，顯示無明顯差異，但以測量的比重濃度（樣本：水 = 1：10）標準而言，一般肥料的導電度應該小於 2 dS/m，本研究的三種蟲糞堆肥明顯都偏高。

三、 蟲糞堆肥、培養土及田土混合木屑堆肥與有機肥對蔬菜生長的影響

將田土分別與木屑堆肥及有機肥以1：1的比例混合均勻，與全蟲糞堆肥及全培養土為四種栽培介質，以72格的穴盤為栽培容器，進行四重複的發芽試驗處理，栽培對象有芥菜、玉米、南瓜、黃豆與莧菜等五種蔬菜種子，進行兩週的栽種試驗。結果如表七。

表七 發芽率比較表

名稱	蟲糞堆肥	培養土	田土混木屑堆肥(1:1)	田土混有機肥(1:1)
玉米	67%	57%	50%	53%
南瓜	53%	63%	7%	17%
莧菜	80%	53%	27%	17%
芥菜	83%	60%	40%	33%
豆類	83%	60%	37%	20%

由實驗結果可見蟲糞堆肥的發芽率明顯都是優於市售培養土及其他介質，可見蟲糞堆肥用於種植上較其他介質更能提供更好的生長條件。推論之一為在食用的過程中甲蟲會不斷的翻動木屑，使空氣進入避免了高溫造成的厭氧發酵，使氮素不會

轉化成 NH₃ 揮發而保留在蟲糞堆肥中，其二，應是甲蟲幼蟲食用木屑後，經代謝作用後排出糞便，形同將木屑轉化為有機肥，降低了碳氮比，增加了有效肥份。

四、 甲蟲排遺、市售培養土及雞糞堆肥的重金屬含量比較分析

重金屬一般指密度大於 5，大部分在週期表中屬於過渡元素之金屬及其離子，硒(Se)與砷(As)雖屬非金屬，但其性質與重金屬類似而被歸於重金屬。鎘(Cd)、汞(Hg)、鉛(Pb)、砷(As)、銅(Cu)、鋅(Zn)、鉻(Cr)、鎳(Ni)等之化合物在工業上及農業上普遍被使用，其在環境中移動性小，殘留性高，易造成污染。過量的重金屬會引起植物發生黃化、枯萎、產量減少、生長受阻。人體亦可由空氣、水、土壤、食物等途徑之污染間接或直接的受到危害。

本研究委託中興大學土壤調查中心，以原子吸收光譜儀(AA)測量市售有機肥、市售培養土、太空包木屑廢料及三種蟲糞堆肥的重金屬含量，結果如表八所示。

表八 重金屬含量比較表 單位：ppm

	有機肥	培養土	木屑	犀角金龜	烏干達花金龜	獨角仙
鎘	<0.250	<0.250	ND	<0.250	<0.250	<0.250
鉻	13.4	6.28	5.50	8.35	11.5	15.6
銅	20.7	17.3	7.06	13.3	17.9	16.7
鎳	5.13	2.17	2.08	4.16	4.80	5.85
鉛	4.86	9.14	<1.88	3.10	5.34	8.86
鋅	128	19.3	33.5	70.3	75.1	95.1

從表七測量數據顯示，所有的鎘均測不準或未檢出。而數據也顯示蟲糞堆肥的重金屬含量比木屑高，推論應該是因為甲蟲幼蟲食用木屑後無法代謝重金屬，導致大部分的重金屬累積在體內，而且隨著排泄代謝而起濃縮作用，故測出的含量偏高。但基本上，與市售有機肥比較，蟲糞堆肥的重金屬含量並偏高的情形。

因此，甲蟲轉化後的蟲糞堆肥是否比市售的栽培介質更乾淨值得我們進一步深入探討。

陸、結論

通常國內生產菇類後所產生之廢棄太空包多用於填補低窪或者任意傾到河邊樹下或路邊，不但有礙觀瞻更造成環境汙染。雖然近年來有不少人將廢棄太空包堆置製作成堆肥，不過也因為發酵時產生的高溫造成為生物繁殖受阻，使得重要的氮素以 NH_3 （阿摩尼亞）的形式揮發或者溶於水中跟著重力水流失。除了氮素之外亦有磷(P)和鉀(K)等植物需要的重要因子，實在畏之可惜。

此外，由於菌類有將重金屬離子累積在子實體內的作用，稱為真菌過濾，比起傳統推積法能得到更乾淨的轉化堆肥。本研究預期利用飼養甲蟲幼蟲來轉化廢棄太空包木屑，進行較傳統堆肥方法更快速更乾淨的堆肥生產技術。綜合歸納結論如下：

- 一、 每年近3萬噸被淘汰廢棄的太空包廢棄物，若全由三齡烏干達花金龜幼蟲進行轉化，以每週進食74.5公克計算，則可供給約77萬隻三齡烏干達花金龜幼蟲一年食用量，並至少可得到21600公噸蟲糞堆肥。
- 二、 一般木屑直接堆積樹木底下容易因為發酵產生的熱能而傷害到樹木，相較於經過甲蟲食用後，能有比較少的傷害，並且經甲蟲幼蟲轉化後之蟲糞堆肥有較好的肥份效果。
- 三、 經甲蟲幼蟲轉化後之蟲糞堆肥偏鹼，此作用能夠解決台灣一般土壤偏酸的問題，達到改善的效果。
- 四、 經甲蟲幼蟲轉化後之蟲糞堆肥重量較一般田土輕，可降低搬運困難。
- 五、 使用蟲糞堆肥種植葉菜或瓜果類在發芽率與生長情形優於市售培養土，顯示甲蟲轉化後的蟲糞堆肥值得進一步評估作為一般市售培養土的替代品。
- 六、 根據生物累積作用，多數菇類本身可吸收環境中的重金屬離子並儲存在子實體中，在拔除子實體的過程就已降低部分重金屬的環境背景值，再由甲蟲幼蟲食用這些木屑讓剩餘的重金屬離子累積在蟲體來得到更乾淨的轉化介質。

柒、參考資料

1. 農業統計年報，行政院農業委員會，2012年。
2. 畜禽糞便的營養及飼料化應用，王懷禹，南充職業技術學院，中國。
3. 極端值判斷方法簡介，譚克平，台東大學教育學報，第十九卷第一期，131~150 頁，2008 年 6 月。
4. 土壤學，郭魁士，遠東圖書公司，1978。
5. 農作物重金屬污染監測與管制措施，農政與農情，第 169 期，行政院農業委員會，2006 年。
6. 台南農改場
http://tndais.coa.gov.tw/show_index.php
7. 維基百科 - 真菌過濾
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%8F%8C%E7%B5%B2%E9%AB%94>
8. 銅與銅中毒 - 中國醫藥大學附設醫院:
http://www.cmuh.cmu.edu.tw/temp_file/54CBAA2CF894BA9A1FCDCF9DFD9432D8/teaching/file/2014-01-03_09-13/%E9%8A%85%E8%88%87%E9%8A%85%E4%B8%AD%E6%AF%92.pdf
9. 鎳與鎳毒性 - 中國醫藥大學附設醫院:
http://www.cmuh.cmu.edu.tw/temp_file/54CBAA2CF894BA9A1FCDCF9DFD9432D8/teaching/file/2014-01-03_09-10/%E9%8E%B3%E8%88%87%E9%8E%B3%E6%AF%92%E6%80%A7.pdf

附件：

五種甲蟲一、二、三齡幼蟲，以一隻甲蟲500克木屑的比例，令其食用一個禮拜後，用肉眼分離排遺，然後秤量排遺和木屑剩餘重量，依序進行四星期的重複試驗，結果如下列表一～表四所示：

表一第一週結果

單位：公克

	土耳其 長臂金龜	白條綠 花金龜	烏干達 花金龜	獨角仙	犀角金龜
一齡數量	5 隻	2 隻	5 隻	2 隻	6 隻
原重\末重	2500\2026	1000\896	2500\2114	1000\865	3000\2524
排遺量	測量困難	測量困難	測量困難	測量困難	測量困難
二齡數量	2 隻	4 隻	3 隻	1 隻	1 隻
原重\末重	1000\816	2000\1745	1500\1139	500\333	500\316
排遺量	46	19	108.7	15.7	21.9
三齡數量	5 隻	5 隻	5 隻	5 隻	5 隻
原重\末重	2500\2028	2500\2051	2500\2090	2500\2127.5	2500\2232.5
排遺量	137.9	135	300.5	381.6	269

表二 第二週結果

單位：公克

	土耳其 長臂金龜	白條綠 花金龜	烏干達 花金龜	獨角仙	犀角金龜
一齡數量	4 隻	3 隻	3 隻	3 隻	6 隻
原重\末重	2000\1425.3	1500\1110.9	1500\1236.2	1500\1320	3000\2612.7
排遺量	測量困難	測量困難	測量困難	測量困難	測量困難
二齡數量	5 隻	8 隻	5 隻	3 隻	5 隻
原重\末重	2500\1763	4000\2820	2500\2236	1500\1089.5	2500\2180
排遺量	102	63	22.6	30	112.5
三齡數量	6 隻	6 隻	6 隻	5 隻	5 隻
原重\末重	3000\2692.1	3000\2665.1	3000\2562.4	2500\2212.6	2500\2016
排遺量	159.4	160	276	312.4	167

表三 第三週結果

單位：公克

	土耳其 長臂金龜	白條綠 花金龜	烏干達 花金龜	獨角仙	犀角金龜
一齡數量	4 隻	3 隻	3 隻	2 隻	6 隻
原重\末重	2000\1521.5	1500\1124.5	1500\1360	1000\875.3	3000\2400.5
排遺量	測量困難	測量困難	測量困難	測量困難	測量困難
二齡數量	10 隻	6 隻	5 隻	2 隻	4 隻
原重\末重	5000\3754	3000\1628	2500\2153.7	1000\862.6	2000\1621.4
排遺量	195	45	25	13	54
三齡數量	6 隻	7 隻	7 隻	5 隻	5 隻
原重\末重	3000\2638.7	3500\3012.5	3500\3012.5	2500\2130.5	2500\2098
排遺量	160	175	472.5	240	187

表四 第四週結果

單位：公克

	土耳其 長臂金龜	白條綠 花金龜	烏干達 花金龜	獨角仙	犀角金龜
一齡數量	4 隻	5 隻	5 隻	3 隻	5 隻
原重\末重	2000\1777	2500\2140.5	2500\2356	1500\1420	2500\2130
排遺量	測量困難	測量困難	測量困難	測量困難	測量困難
二齡數量	8 隻	6 隻	8 隻	3 隻	4 隻
原重\末重	4000\3250	3000\2647	4000\2930.5	1000\898.5	2000\1653
排遺量	74.5	22.5	130.5	51	64.5
三齡數量	5 隻	6 隻	7 隻	5 隻	5 隻
原重\末重	2500\2009.5	3000\2459	3500\2986	2500\2153	2500\2152
排遺量	110	100.5	280.5	275	147

【評語】 091405

1. 本研究利用幼齡甲蟲轉化廢棄太空包木屑為無害之蟲糞堆肥以開發產品，具環保概念。
2. 實驗設計及結果量化分析之科學性有待加強。
3. 建議實驗之蟲體大小、重量及數量需具一致性。
4. 口頭表達欠缺團隊分工，宜加強。