

校園廚餘堆肥製作面面觀

王宇傑¹ 黃富昌² 王錦堂³ 許哲豪³ 李湘雲³ 陳君達³ 林秀玉³
林建南³ 劉正旺³ 陳美惠³ 邱芷瑩³ 鐘銘賢³ 謝文凱³ 劉文祺³ 劉彥慶³ 吳嘉偉³

1 南亞技術學院土木系環工組副教授 2 南亞技術學院土木系環工組講師 3 南亞技術學院土木系環工組學生

摘要

廚餘乃泛指果皮葉菜殘渣，甚至茶葉、蛋殼等可被微生物分解之有機物都可算是廚餘。當廚餘與其他的垃圾混在一起時，因其具有發臭、滲水的特性，常會造成他種資源垃圾的無法回收。若能將廚餘與其他的垃圾分開，並回收製作成有機肥加以運用，則不僅廚餘，其他種類的垃圾，如紙類、塑膠、金屬、玻璃等，均可成為有用的資源加以回收再利用。有鑑於此，學校單位應發揮知能傳播之功能，將校園中廚餘堆肥化之經驗傳授至各家庭、社區，大家一起為垃圾減量盡份心力。校園中的花園，極適合做為廚餘堆肥化及落葉堆肥化之最終施肥處；配合校園整體的綠化美化，規劃一處自然生態有機園區，做為戶外教學之活教室。本文，透過有系統的理論介紹，實務製作教學，將製作成之有機肥，提供校園花草樹木施肥之用，獲得初步之成效，期望能落實到各個班級，進而推廣至每個家庭，全面性的將廚餘化身為孕育大地的「黑金」，以達到垃圾減量與資源回收再利用之資源永續利用的最終目標。

一、前言

自 1992 年於巴西里約召開地球高峰會議起，世界各國政府在推動各項環保議題時均以永續發展為前提，其中廢棄物減量與資源垃圾回收再利用更是解決當今環保問題首要工作之一。先進國家之廢棄物管理政策亦由以往之管末處理，轉為減量與資源回收再利用之管理策略，朝「減量化」、「資源化」、「無害化」、「安全化」及「具經濟效益」等多元化策略加以開發。

行政院環保署陸續推動之「資源回收四合一」、「垃圾不落地」、「垃圾費隨袋徵收」、「環保標章」、「少用塑膠袋」、「自備購物袋」、「管制免洗餐具」、「廚餘回收」等政策，均期待能減少垃圾量，改善環境品質，減輕興建焚

化爐及尋覓掩埋場之壓力。同時依據廢棄物清理法第十條之一，制定「四合一資源回收體制」、「資源回收再利用法草案」等法令，藉由強制執行之手段，逐漸改變國人之消費習慣。此外，佔家庭垃圾 30%以上的廚餘，如能有效的與一般垃圾分開處理，不僅可方便其他資源垃圾的回收，亦可製作成有機肥料減少化學肥料之使用及污染，以收源頭減量之成效。

況且，堆肥含有豐富的養分及有機質，是孕育大地的「黑金」，可以供給作物生長所需之養分及改良土壤之理化及生物性質，同時堆肥具有緩效性，能保存養分中較易缺乏的氮、磷及鉀，是一個保存養分極為重要的留存方式，即堆肥的製造等於是把養分循環再加以利用。目前世界上很多國家均體會到廢棄物資源化利用的重要性與迫切性，對堆肥的製造利用投以莫大之重視。

諸如歐洲、日本等先進國家莫不積極嘗試推行廚餘堆肥化工作。此外，依據德國之經驗，以焚化方式處理 1 噸垃圾需花費 600 馬克，掩埋方式需花費 400 馬克，而以堆肥化處理之花費僅需 230 馬克。廚餘採堆肥化製成之有機肥，可用於植栽上，讓資源回歸大地，改良土壤性質，因此兼具廢棄物處理、資源回收、生態保育、土地永續利用等多重功能及意義；在政府有關單位相關配套措施下，值得全面性推廣。

二、廚餘之來源與種類成份

廚餘乃泛指果皮葉菜殘渣，甚至茶葉、蛋殼等可被微生物分解之有機物都可算是廚餘。即包括 (1)葉菜蔬果：菜葉、果皮、泡過之茶葉、落葉、雜草等；(2)肉類骨頭：魚骨頭、肉骨頭等；(3)魚蛋蝦貝：蛤蜊殼、蝦殼、蛋殼等；(4)其他：花生殼、瓜子殼、中藥渣及其他可被微生物分解的有機物。當廚餘與其他的垃圾混在一起時，因其具有發臭、滲水的特性，常會造成他種資源垃圾的無法回收。所以若能將廚餘與其他的垃圾分開，並回收處理製作成有機肥加以運用，更可成為推動資源回收工作之一大助力。

學校廚餘較為單純，主要來自於校內餐廳及學校附近自助餐之剩餘物。其組成不外乎醣類、脂質、蛋白質、纖維素、半纖維素、木質素等，前三者屬易分解物質，後三者亦可分解，但時間較長。一般廚餘之性質分析如表 1 所示。

表 1 不同堆肥原料之營養源

Material	Nitrogen as N (% dw)	Phosphorus as P ₂ O ₅ (% dw)	Potash as K (% dw)	C/N
Blood meal	10-14	1-5		3.0
Animal tankage				4.1
Nonlegume vegetable wastes	2.5-4			11-12
Bone meal	2.0	23		
Coffee grpunds	2.1	0.3	0.3	
Eggshells	1.2	0.4	0.1	
Fish scraps	2.0-7.5	1.5-6.0		
Garbage	2.0-2.9	1.1-1.3	0.8-2.2	
Meat scraps	5-7			
Straw, oats	1.1			48
Leaves,fresh	0.5-1.0	0.1-0.2	0.4-0.7	41
Food wastes	3.2			15.6
Yard wastes	1.95			22.8

資料來源：洪明龍，"家庭廚餘與下水污泥共同堆肥之資源化研究"，國立台灣大學環境工程研究所碩士論文，台北(2000)。

三、堆肥化之原理與條件

堆肥化過程是在堆肥材料上微生物族群繁殖的過程(如圖 1 所示)。堆肥化發酵處理的條件相當的複雜，一般必要條件為空氣、含水率、pH 值、溫度、營養源。堆肥材料具有(1)微生物所需的能源；(2)微生物生長所需的 N、P、S 及 K 等養分；(3)能使堆肥材料被微生物利用的水分；(4)供微生物生長呼吸和維持呼吸所需的氧氣；(5)供代謝產物氧化聚合的氧氣、高 pH 值和較高溫度。

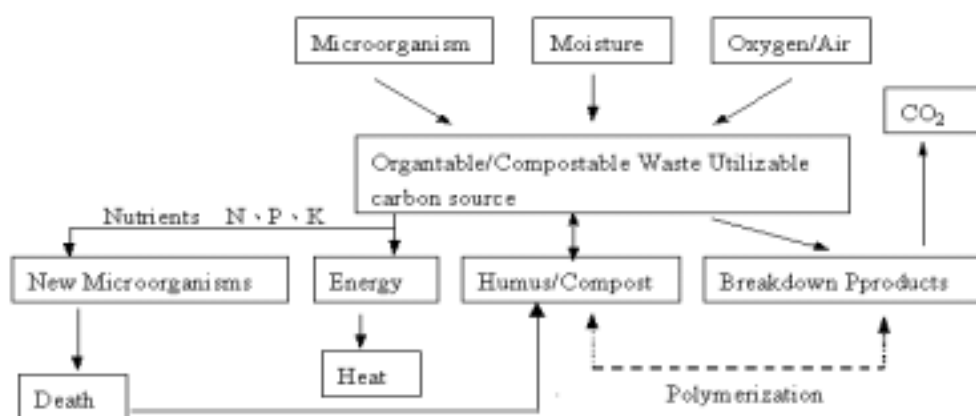
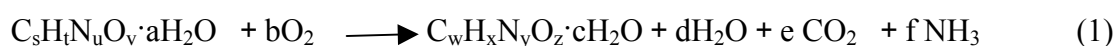


圖 1 堆肥化過程(Narayan,1993)

3.1 堆肥化原理

所謂堆肥化係藉微生物的生化作用，在控制條件下，將廢棄物中的有機物分解、腐熱，轉換成安定似腐植質土的方法。堆肥化處理之原理大致可分為厭氧性和耗氧性方式兩大類，厭氧性方式是將垃圾堆積以減少與空氣之接觸，促使有機物安定化之處理方式，傳統式的自然堆積法即屬之，此法之反應緩慢需要數個月才能完成堆肥化為其缺點。好氧性方式是用翻堆或強制送風、抽風，促使有機物安定化的方式，因反應快可減少堆肥化之處理時間，又稱為高速堆肥法。堆肥化發酵處理之化學反應式如式 (1) 所示：其中生成堆肥 $C_wH_xN_yO_z \cdot cH_2O$ 與堆肥原料 $C_sH_tN_uO_v \cdot aH_2O$ 之比約 $0.3 \sim 0.5$ ， $w = 5 \sim 10$ ， $x = 7 \sim 17$ ， $y = 1$ ， $z = 2 \sim 8$ 。



3.2 堆肥材料之分解

堆肥化(composting)作用是微生物把堆肥材料轉化成堆肥的生物化學過程；堆肥則是堆肥材料(廚餘)在堆肥化過程中的產物。堆肥材料中有一部份容易被微生物分解利用來做生長和新陳代謝，一部分比較難分解利用。堆肥中主要有機物之微生物分解如表 2 所示，其說明如下：

表 2 堆肥中主要有機物之微生物分解

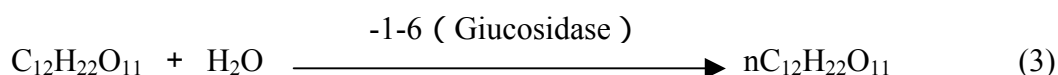
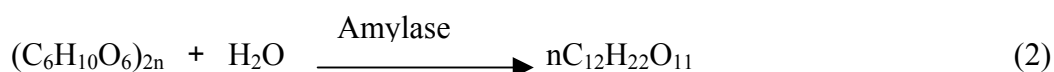
可分解成分	微生物	分解率 %	最終產物
醣類、胺基酸蛋白質、脂肪、碳水化合物	多種微生物	高	H ₂ O、CO ₂ 、NH ₃ 、N ₂ (中間產物：胺基酸、有機酸、酒精)
纖維素	好氧性細菌、放射線菌、真菌、高溫厭氧細菌	中	H ₂ O、CO ₂ 、CH ₄ (中間產物：葡萄糖、酒精)
半纖維素	放射線菌為主	高	H ₂ O、CO ₂
木質素	擔子菌為主	低	H ₂ O、CO ₂ (中間產物：酚類化合物)

資料來源：袁紹英，"廢棄物堆肥化過程的微生物作用"，堆肥技術及其利用研討會論文集(1994)。

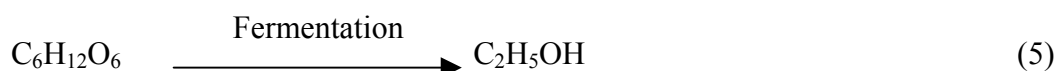
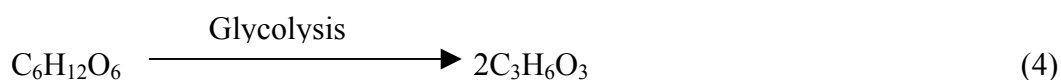
3.2.1 易分解性有機物之分解

1. 碳水化合物之分解

碳水化合物主要為多醣類，堆肥中微生物對其之利用相當迅速，微生物可將其轉化為 Glucose-Phosphate 而產生 ATP，但由於多醣類分子太大而無法通過細胞膜，必須先進行胞外水解。胞外水解之進行需胞外酵素參加，以澱粉為例，其水解需澱粉酵素 (Amylase) 參與，由於其為 -1-6 鍵結，若需完全分解，需 -1-6 (Glucohydrolase) 之參與，反應式如式 (2)、(3) 所示。



若堆肥之反應為在厭氧狀態下進行，則反應變成：



2. 蛋白質

堆肥中由於含有多量之能源，氨基酸僅為微生物作為碳源，但在厭氧之條件下，厭氧菌可將其利用為能源，如假單胞菌類(Pseudomonas)可將其利用為 C、N 及能量來源。

氨基酸隨後會經由 Transamination 與 Deamination 等氧化作用形成微生物之纖維素並釋出氨。



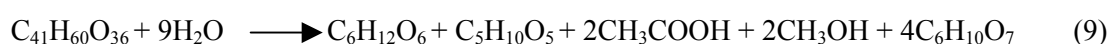
3.2.2 難分解性有機物之分解

1. 纖維素之分解

纖維素在堆肥中，細菌對其分解較少，纖維素之分解需以 β -1-4Glucanase 分解。故在好氧條件下，真菌類為主要分解菌種，其分解產物為 CO_2 、黏質與色素。在厭氧狀態時，纖維素可被分解成葡萄糖，其可繼續參與糖解作用與乳酸發酵作用生成乳酸與乙醇。

2. 半纖維素之分解

半纖維素之分解與纖維素類似，主要形成葡萄糖，其分解亦相當複雜，代表之反應為：



3.3 製作堆肥之醱酵條件

堆肥製作過程是把有機廢棄物予以適當堆積，在控制條件下，利用微生物作用，將有機材料醱酵分解，轉變為有機質肥料。有機材料在適當的條件下堆積醱酵，可以縮短有機物分解的時間，而生產出物理性均一，化學成分穩定的高品質有機堆肥。茲將堆肥化之條件因子分別說明如下：

1. 碳氮化(C/N)

微生物以碳當作能源，以氮進行代謝，起始碳氮比(C/N)約在 30 以上，醱酵後，碳氮比(C/N)逐漸減少至 20 以下。

2. 水分及空氣

此二項佔有相同空間所以互為消長，水多則氣少。水分為生物所必須，在堆肥中約低於 10 % 時即無法反應；又因為好氧性反應較厭氧性反應快速且完全，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。

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 60 °C，甚至到 70 °C 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。根據溫度之變化，堆肥之反

應可分為醱類分解期、纖維素分解期與木質素分解期。

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。一般有機材料分解醱酵的 pH 值容許範圍相當廣，由 pH 3~11 之間均可進行。但以 pH 5.5~8.0 較適宜。當堆肥完全腐熟時其 pH 值會呈近中性或微鹼性。

5. 菌種

微生物擔任有機物分解與堆肥穩定化之重要角色。自然環境中本身就有許多微生物族群，只需維持微生物最適宜之生長條件，使其充分的活動繁殖。一般堆肥化前將材料混合時，微生物菌種應均勻撒佈，以利微生物迅速繁殖。此外，在腐熟堆肥中即含有許多堆肥分解微生物，可做為下一批堆肥製作時之微生物菌種。其微生物相之變化為醱類分解期(細菌、放射線菌)、纖維素分解期(細菌、放射線菌)、與木質素分解期(真菌)。

6. 腐熟度

堆肥腐熟程度的高低將影響施用堆肥的安全性，但有關堆肥腐熟度仍需若干化學成分分析法作為依據標準，一般較常用者有(1)碳氮比必須低於 20；(2)還原醱比率必須低於 35%；(3)陽離子交換能力漸趨近於 100 毫克當量/100 克土；(4)固定態氮含量趨近於 1.6%。另外如種子發芽率指數達到 50~60%以上，或外觀判別，堆肥腐熟後其結構疏鬆，呈深褐色或黑色，沒有刺鼻臭味而呈泥土香味均可以作為堆肥腐熟的依據。

3.4 將廚餘變成有機肥料的原理

1. 特殊菌種原理

將特殊菌種（如：乳酸菌、酵母菌、光合作用菌、放射線菌等）與黃豆粉、米糠或土壤等介質拌合而成，有除臭、幫助廚餘分解及抗氧化的功能。醱酵過程中有中溫菌（包括細菌、絲狀菌）、高溫菌（包括細菌、絲狀菌及放射線菌）參與有機物的分解，但是一般有機物堆肥原料中含充分的微生物，不須特別添加微

生物，對醱酵不會產生問題。若有微生物不足之虞，則可在堆肥原料中混入腐熟堆肥。

2. 蚯蚓原理

蚯蚓屬於環節動物，通常只在離地表 25 公分處活動，當蚯蚓吃下土壤及其中的有機物質後，經過消化形成糞便排出體外，蚯蚓的糞便中，含有可利用的氮、鈣、鎂、磷、鉀，及一些可促進植物生長的激素，使土壤肥沃，有利於植物的成長。

3. 自然法則原理

將廚餘與大自然的土壤或稻殼、木頭屑堆在一起，一層泥土一層廚餘，加以定期攪拌，自然醱酵一段時間後，即成有機肥。

四、微生物肥料(菌肥)之介紹

有益微生物種類雖然僅有 80 種，但利用其中幾種已經可以發揮很大的功能，我們用來處理廚餘垃圾的菌群就是厭氧性的乳酸菌及好氧性的酵母菌和光合成菌、放射線菌。其中以光合成菌為主菌，在厭氧環境中生存會排放氧氣，因此好氧性的酵母菌及放射線菌可以和它在同一密封環境中生存，酵母菌及放線菌排放的碳酸氣又可以使光合成菌生活，建立一共生共存的生活體，所以在密封桶內可以互相生存而分解有機物，不發生惡臭而發出酸香味，並將有機物分解使其營養化，分泌出有機酸、醣類、維他命 C、維他命 E 及植物的成長賀爾蒙等。一般菌肥又有生肥、半熟肥及全熟肥之分，其說明如下：

1. 生肥與熟肥的不同

有機質都是由多元體的大分子所構成，諸如骨粉、魚粉、肉粉、大豆、米糠等這一些有機質稱之為「生肥」，它們都不能被植物所吸收利用，而必須經過微生物醱酵的過程，才能分解成植物可吸收的有機營養分(熟肥)，也就是說生肥經過完全的醱酵分解才能分解成熟肥，這種醱酵的過程稱之為堆肥化。

2. 生肥、半熟肥與全熟肥

只有全熟肥才能毫無顧忌地施放耕地使用，因為全熟肥不再產生醱酵熱、有害氣體、病原菌及病蟲害。不過全熟肥在醱酵期中所產生的有機營養分，包括氨基酸、維他命、植物生長激素、抗生物質等都已大部消失，肥效損失甚大。相反地，生肥有機質受土壤中微生物(有益菌或病原菌)的分解之後，產生各種新鮮有效的有機營養分在未受破壞之前即時提供植物生長所需。因此有效肥分是使用生肥的好處，不過醱酵時所產生的醱酵熱、各種有毒的氣態產物(如氨氣及硫化氫)危害植物。同時又因微生物的大量繁殖而消耗大量氮源及氧氣，造成作物缺氮現象及缺氧現象。生肥中病原菌又會大量繁殖，它又有病蟲卵子及雜草種子，因此生肥的害處遠超過於其肥效的好處，終究醱酵完熟的堆肥還是比生肥安全。

3.微生物半熟堆肥(菌肥)

有機材料混勻後，不令其自然醱酵而利用有益土壤微生物、水分及打氣翻堆的方式來控制其醱酵過程，在初期大量分解並發出高熱(50 ~75)以殺除病害菌、昆蟲卵子及雜草種子，然後即以適溫(40 ~50)來緩慢分解為半熟肥，並同時利用其能量來培養大量有益微生物群，並可避免微生物大量繁殖耗費氧氣及氮素，所造成的缺氧及缺氮現象。微生物生肥、半熟肥與全熟肥的比較如表 3 所示。

表 3 微生物生肥、半熟肥與全熟堆肥的比較

	生肥	半熟肥	全熟肥
堆肥時間	三週內	四週至七週	八週以上
熱能	過熱 - 爛根	適溫	不生熱
氮氣	造成氮缺乏	消耗，產生平衡	吸收、流失而平衡
硫化氫	大量產生 - 爛根	少量產生	不產生
氨氣	大量產生 - 發臭	少量產生	不產生
氧氣	大量消耗 - 缺氧	適量消耗	不消耗
二氧化碳	大量產生	少量產生	不產生
病原菌	大量產生 - 病害	少量產生	極少產生
土壤改良	效果佳	效果佳	效果有限
有機肥料	肥份新鮮有效	肥份新鮮有效	肥份較差，穩定

五、廚餘堆肥化製作方式

5.1 材料

- 1.廚餘；
- 2.菌種（有益微生物群）；
- 3.濾網；
- 4.廚餘桶（如圖 2 所示）。



圖 2(a) 廚餘桶



圖 2 (b)營養液收集口

5.2 過程

製作過程如圖 3 所示，其各步驟之說明如下：

- 1.細切：廚餘愈細，發酵效果愈迅速完全，因此儘可能的把大塊者切成小塊。
- 2.滴水：細切的廚餘置於滴水盤（濾網）上至少一個小時。因為含水量過多的話，會影響發酵的過程。
- 3.裝填：有益微生物群是屬於厭氧性菌，所以廚餘桶的蓋子要盡量少打開，而且打開的時間也愈短愈好。建議一天只裝填一次較佳，但廚餘量較多時，可裝填 2~3 次。裝填的要領是，迅速打開蓋子，把廚餘倒入，用手（請戴手套）或大湯匙將廚餘撫平，然後撒上除臭粉，以覆蓋住廚餘為原則，隨即將蓋子蓋緊。
- 4.靜置：經過幾天的裝填後，廚餘桶達九分滿時，要停止裝填，仔細檢查蓋子是否蓋緊，讓桶子靜置一旁，約 10(夏)~14(冬)天後可進行廚餘掩埋。
- 5.掩埋：廚餘桶內容物掩埋於土內，覆土約 10 公分，40 天左右之後，即可見廚餘轉變成有機肥料。
- 6.取廚餘營養液：當首次裝填的 3 天左右之後即陸續有營養液汁的產生，此時可打開底部水龍頭開關(如圖 2(b)所示)，收集營養液，作為除臭劑使用或稀釋後澆於植物花草。
- 7.營養液汁的利用
 - (1)保存供製作菌種使用。

- (2)除臭劑：清洗廁所馬桶除去惡臭(稀釋 40~50 倍)。
- (3)除污劑：倒入水槽可清除排水管內的污垢。
- (4)驅蟲劑：驅除花草上的昆蟲。
- (5)活化劑：倒入馬桶可增強化糞池的功能。
- (6)製作液體肥料：若稀釋 100 倍，澆於灌木或瓜類植物周圍(勿直接澆於根部，以免過肥造成根部損傷)，可增強抗病蟲害能力及產能；若稀釋 200 倍，澆於葉菜類(嬌嫩花卉、蔬菜)枝葉面，可增強抗病害能力及產能。



圖 3 廚餘堆肥製作流程

5.3 堆肥腐熟度判定

一般堆肥腐熟度之判定方法,可分為利用生物反應判定及化學分析判定法如表 4 所示。生物反應判定法是利用蚯蚓及作物種子判定有害物質之有無。而化學方法之指標是利用堆肥之 C/N 比、 BOD 、 COD 及還原醣比率等方法,來進行判斷,但一般腐熟度之判定是利用泛用性判定法,其方法簡介如下:

表 4 堆肥腐熟度測定方法

判定依據	判定方法及指標	文獻作者
1.判定微生物之活動性 1-1 溫度變化 1-2 氧化消耗量 1-3 CO ₂ 產生量 1-4 BOD 曲線 1-5 氧化還原電位 1-6 氮之有機化、無機化量	溫度下降已近外界溫度,經翻堆後溫度仍未上升。 曲線 100 mg/100g 以下	原田(1983) 松崎(1976)
2.生物學上之判定 2-1 蚯蚓生存實驗 2-2 幼植物試驗 2-3 發芽試驗	蚯蚓可能生存於堆肥 發芽情形及根生育狀況 7 mm (六天) 種子發芽指數 50%以上	瑞穗等(1985) 松崎(1992) 生龜等(1993)
3.由所含成份變化判定 3-1 C/N 比 3-2 總氮含量 3-3 還原醣百分比 3-4 pH 值變化 3-5 含硝酸銀圓形濾紙 Chromatography 變化	35%以下 邊緣不規則凹凸版型	松崎(1992) 藤原(1985)
4.由物理化學之特性判定 4-1 形狀 4-2 光學的特色 4-3 CEC 4-4 硝酸態氮之檢出	形狀輪廓均勻,較細 亮度 Y 值 12~13 以下 100me/100g 以上	生龜等(1993) 井子等(1980) 生龜等(1993) 松崎(1993)

資料來源:林財旺,"禽畜糞堆肥化處理",堆肥技術及其利用研討會(1994)。

1. 蚯蚓法

在杯中裝 1/2 ~ 1/3 量之堆肥,把蚯蚓置於堆肥上面,因蚯蚓有棲息於暗處之習性,若蚯蚓有往下鑽入堆肥之現象則表示堆肥已腐熟,若蚯蚓有逃避離開的反應,甚至死亡,則表示此堆肥尚未腐熟。

2. 由堆肥外觀與氣味判定

腐熟的堆肥，外觀顏色為深黑色或黑褐色，膨鬆感覺，吸水能力強，味道為泥土味至芳香味，不能有酸壞臭味、惡臭或濃厚的氨氣味。醱酵不良，品質不好的堆肥，通常顏色為黃色或黃褐色。或將堆肥置於鋁箔紙上，用打火機燒烤一下，如果有刺激臭味產生表示為腐熟。

3.種子發芽試驗

取 5 公克堆肥加 100 c.c.溫水(60)，置於 200 毫升燒杯內，在 60 水浴中經 3 小時後，以細紗布過濾，2 張濾紙置於培養皿中，加入 10 毫升濾液，25 粒白菜種子放在濾紙上面，培養皿置於 25 恆溫箱內，3 天後，觀察種子發芽率以及根生長情形，另外以蒸餾水代替濾液進行試驗，做為對照用，若試驗組的發芽率為對照組發芽率的 90 % 以上，且根的伸長不受抑制，則該堆肥可視為腐熟。或用堆肥成分少的紅土與等量堆肥攪拌後，埋下容易發芽的種子，保持土壤濕潤，放一星期以上，如果能順利長出健康的芽就沒問題。

4.浸水試驗

取一大茶匙堆肥置於裝水八分滿之玻璃杯中，沉入杯底的物質越多表示腐熟；浮在水面上的多，表示未熟。

5.其他方法

利用化學分析判定腐熟度，如碳氮比低於 20、總氮量高於 2 % (乾重基準)、陽離子交換能力接近 100 me / 100 g 土、還原醣比率低於 35 % 等。

(1)還原醣含量

一般而言，堆肥的還原醣含量與總碳含量的百分比 $< 35\%$ ，則堆肥可視為腐熟，若高於此百分比，則為尚未穩定腐熟的堆肥。

(2)濾紙擴散顯圖測定法

濾紙先以 0.5 % 硝酸銀溶液浸泡，烘乾待用。5 公克堆肥，加入 50 毫升的 1 % 氫氧化鈉，振盪 5 小時後，以 3000 rpm 轉速離心，用棉花蕊心浸沾上

澄液，點於濾紙中央，依在濾紙擴散顯圖的形狀及顏色，比照表 5 資料，可判斷堆肥是否為腐熟。

表 5 堆肥樣品擴散顯圖之形狀與顏色

位 置	新鮮堆肥	腐熟堆肥
擴散圖中央	顏色為白色至粉紅色	顏色為紅色至紫色
擴散圖中間帶	形狀為環狀	形狀為不規則狀
擴散圖邊緣	邊緣非鋸齒狀	邊緣為鋸齒狀

註：樣品抽出液（以 1 % 氫氧化鈉抽出）點於濾紙上。

資料來源：簡宣裕、鄭智馨、張明暉，"堆肥品質鑑定方法"，堆肥技術及其利用研討會，行政院農業委員會農業試驗所(1994)。

(3)近紅外線光譜測定法

測定方法：樣品以 105 ℃ 烘乾後磨粉過 0.25mm 網目篩，然後儲存於真空乾燥瓶備用。取 100 mg 溴化鉀和 2.4 mg 粉狀樣品混合均勻，壓成餅，置於近紅外線光吸光測定儀，用波數 4000 cm^{-1} 至 1000 cm^{-1} 光波掃描測定樣品的吸光光譜。

一般而言，堆肥化過程中碳水化合物逐漸減少，但化合物的芳香基碳及羧基則增加。在波數 1720 cm^{-1} 至 1000 cm^{-1} 近紅外線光的範圍，新鮮堆肥材料其吸收峰形狀呈現小且尖銳；當堆肥材料愈接近腐熟，則在此波數範圍內的吸收峰形狀趨於平緩且較少。在 2900 cm^{-1} 至 2800 cm^{-1} 近紅外線光的波數範圍，新鮮堆肥材料吸收峰的高度比腐熟堆肥者高。

六、廚餘製成有機肥之利用

廚餘堆肥可作為校園、庭院、行道樹、公園、農場、果園、綠地掩埋，以綠化環境、提高作物品質與數量、改良土壤、生產有機蔬果。為一種良好的有機肥料。不過，都市中取土不易，廚餘製成有機肥之去處，尚需有關單位提出相關的配套措施加以配合處理。例如：開放社區公園、河濱公園或行道樹讓社區民眾掩埋未完全腐熟之廚餘；或獎勵民眾提供私人土地以供掩埋；所製造之堆肥亦可提供農人作為肥料，減少化學肥料之使用。

有鑑於此，學校擁有花圃、空地，可直接掩埋半腐熟之廚餘，是個極理想的

試驗場所。

6.1 大樹施肥

校園樹木高 2 公尺以上之大樹，可在四個不同方向，距樹幹約 1.5 公尺處各挖掘直徑約 50 公分，深 60 公分之坑洞，每一坑洞將約 25 公斤半腐熟的廚餘直接倒入，覆土 10 公分以上，約兩個月後，這些廚餘即可被土壤中之微生物分解，並轉變成有機肥料。平均每顆樹一年至少可消化二百公斤廚餘。

6.2 規劃校園有機花園

利用現有花園或擇一處空地，整理成廚餘堆肥示範區，並規劃出蔬果植栽區及花卉植栽區。園區之培養土乃利用廚餘製成之有機肥與一般土壤混合，同時以稀釋之廚餘汁作為營養液，平時觀察、紀錄作物生長的情形；同時判斷腐熟度之好壞，以判斷堆肥化之成效；並檢測分析有機肥(堆肥)之營養素(N、P、K)，以判斷堆肥之好壞。最後採摘新鮮的有機蔬菜分送各老師品嚐；同時將各花卉移植至各花園中美化校園。藉由植栽之成果，全力倡導廚餘回收，教導廚餘堆肥製作，有效減少垃圾量，提昇焚化爐燃燒效率，消除掩埋場之惡臭，而留下具泥土香的廚餘有機肥，及香甜的蔬果、美麗的花卉。除賞心悅目外，更讓大家用的放心、吃的安心。執行流程如圖 4 所示。



圖 4 校園廚餘堆肥試驗執行流程

七、堆肥處理成本分析

現行堆肥模式之建立與成本分析，可做為日後執行模式之重要參考依據⁽¹⁰⁾。

7.1 不同堆肥模式之建立

1. 廚餘桶處理(模式一)

準備廚餘桶及菌種粉，將每日產生之廚餘放入廚餘桶中，並灑上一層菌種粉，約 1~2 星期會裝滿，此時需等其發酵法法酵分解(約 2~4 星期)，再將其混入土中當作有機肥使用，操作流程如圖 5 所示。

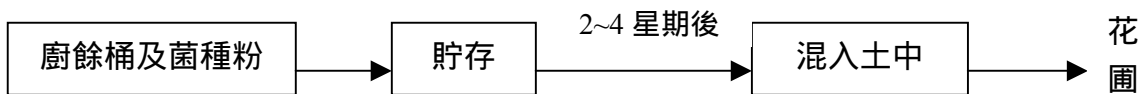


圖 5 模式一操作流程

2. 機械式處理(模式二)

準備廚餘處理機，將每日產生之廚餘放入廚餘處理機中，操作流程如圖 6 所示。

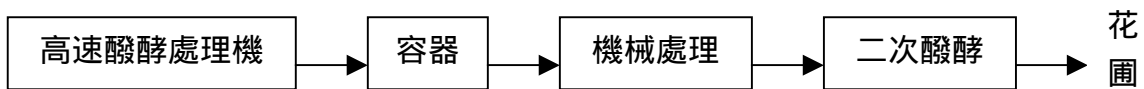


圖 6 模式二操作流程

3. 堆肥箱式(模式三)

準備堆肥箱及菌種粉，將每日產生之廚餘放入堆肥箱中，並灑上一層菌種粉，每星期約攪拌 2 次，約 2 個月會醱酵分解完成，完熟之堆肥可作為施肥植栽用，操作流程如圖 7 所示。

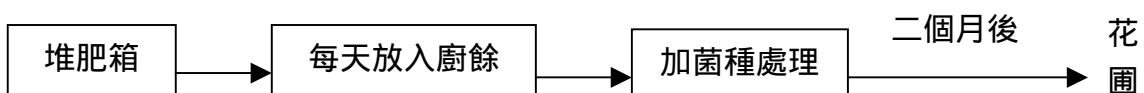


圖 7 模式三操作流程

7.2 各模式之經濟分析

1.家戶廚餘桶處理(模式一)

(1)收集成本

$$\begin{aligned}\text{廚餘量} &= 4 (\text{人/戶}) \times 1.2 (\text{Kg/人 - 日}) \times 30\% \times 365 (\text{日/年}) \\ &= 525.6(\text{Kg/年}) = 0.5(\text{噸/年})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{機械購置成本} &= 2(\text{桶/戶 - 年}) \times 300(\text{元/桶}) = 600 (\text{元/戶 - 年}) = 163(\text{元/噸}) \\ &\text{, 以 7 年折舊}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{菌種費用} &= 1(\text{桶/戶 - 40 日}) \times 365(\text{日/年}) \times 150 (\text{元/桶}) \\ &= 1,369(\text{元/戶 - 年}) = 2,605 (\text{元/噸})\end{aligned}$$

$$\text{單位家戶收集成本} = (\text{廚餘桶成本} + \text{菌種成本})/(\text{廚餘產量}) = 2,768(\text{元/噸})$$

$$\text{總收集成本} = 2,768 (\text{元/噸})$$

(2)處理成本

由於 2~4 星期後將堆肥當肥料用，因此無處理成本。

$$(3)\text{總清除成本} = \text{收集成本} + \text{處理成本} = 2,768 \text{ 元/噸}$$

2.機械式(模式二)

(1)收集成本

$$\begin{aligned}\text{廚餘量} &= 4,000 (\text{人}) \times 150/4000 (\text{Kg/人 - 日}) \times 240 (\text{日/年}) \\ &= 36,000(\text{Kg/年}) = 36(\text{噸/年})\end{aligned}$$

$$\text{機械購置成本} = 600,000 \text{ 元} = 2,381 (\text{元/噸}) \text{, 以 7 年折舊}$$

$$\text{總收集成本} = 2,381 (\text{元/噸})$$

(2)處理成本

$$\text{菌種費用} = 500 \text{ 元/噸}$$

$$\text{電費} = 1,500 (\text{元/月}) \times 12(\text{月/年}) = 18,000(\text{元/年}) = 34(\text{元/噸})$$

人事費：由專題生幫忙，不列入成本。

$$\text{總處理成本} = 534 (\text{元/噸})$$

$$(3)\text{總清除成本} = \text{收集成本} + \text{處理成本} = 2,915 \text{ 元/噸}$$

3.堆肥箱式(模式三)

(1)收集成本

$$\begin{aligned} \text{廚餘量} &= 4,000 \text{ (人)} \times 150/4000 \text{ (Kg/人 - 日)} \times 240 \text{ (日/年)} \\ &= 36,000 \text{ (Kg/年)} = 36 \text{ (噸/年)} \end{aligned}$$

$$\text{機械購置成本} = 8 \text{ 桶} \times 10,000 \text{ 元/桶} = 318 \text{ (元/噸)}, \text{ 以 7 年折舊}$$

$$\text{單位收集成本} = (\text{廚餘桶成本} + \text{菌種成本}) / (\text{廚餘產量}) = 318 \text{ (元/噸)}$$

(2)處理成本

$$\text{菌種費用} = 8,000 \text{ (元/月)} \times 8 \text{ (月/年)} = 1,778 \text{ (元/噸)}$$

人事費：由專題生幫忙，不列入成本。

$$(3)\text{總清除成本} = \text{收集成本} + \text{處理成本} = 2,096 \text{ 元/噸}$$

茲將以上計算結果列於表 6。

表 6 各模式之收集處理成本

處理模式	收集成本	處理成本	總成本	備註
模式一	2,768 元	0 元	2,768 元	家戶
模式二	2,381 元	534 元	2,915 元	學校機械
模式三	318 元	1,778 元	2,096 元	學校堆肥箱

八、結語

廚餘妥善分類處理，肩負源頭垃圾減量、減低環境污染、改善環境衛生及振興有機農業的重責大任。教育單位秉持傳播知能之天職，理應身體力行，大力提倡。除潛心專研廚餘堆肥化之技術，簡化製作步驟，縮短堆肥化時間，培養優良菌種外。更將學校成功之經驗與家庭、社區分享，共創「營養、乾淨」之新環境。此外，政府相關單位應建立規範，使得廢棄物在資源化過程依法有據，並建立堆肥成品分級制度，確保堆肥成品之品質與管理。深信，在好制度之管理與監督下，以好技術製作出好品質之有機肥，對整個環境之綠化美化提供極大之助益；對垃圾減量而言，更是成效顯著。

參考文獻

1. Hang-Sik Shin, Eung-Ju Hwang and Chai-Sung Gee , "Food Residuals Management In Korea. Biocycle" , Vol.38 , pp. 69(1997)。
2. Jim Glenn and Nora Goldstein , "Food Residuals Composting In The U.S. Biocycle" , pp.30-36 (1999)。
3. 王銀波、林滄澤, "有機物與堆肥之分解", 堆肥技術及其利用研討會論文集, 行政院農委會農業試驗所, pp.149-160(1994)。
4. 王銀波, "利用堆肥法處理農牧廢棄物之優點", 堆肥製造技術, 行政院農委會農業試驗所, pp.39-48(1999)。
5. 林殿琪, "台灣家庭廚餘現況與未來發展探討—以宜蘭縣廚餘堆肥經驗為例", 國立台灣大學環境工程研究所碩士論文, 台北(2000)。
6. 林鴻淇, "堆肥製造原理", 堆肥製造技術, 行政院農委會農業試驗所, pp.49-58(1999)。
7. 謝欽城, "各種堆肥設備之簡介", 堆肥製造技術, 行政院農委會農業試驗所, pp.27-38(1999)。
8. 謝欽城, "如何控制堆肥品質", 堆肥製造技術, 行政院農委會農業試驗所, pp.65-72(1999)。
9. 張文英, "臺灣家戶有機廢棄物堆肥化處理之政策研究", 國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文, 花蓮(2001)。
10. 洪明龍, "家庭廚餘與下水污泥共同堆肥之資源化研究", 國立台灣大學環境工程研究所碩士論文, 台北(2000)。
11. 簡宣裕、鄭智馨、張明暉, "堆肥品質鑑定方法", 堆肥技術及其利用研討會, 行政院農業委員會農業試驗所 (1994)。
12. 林財旺, "禽畜糞堆肥化處理", 堆肥技術及其利用研討會, 行政院農業委員會農業試驗所(1994)。
13. 袁紹英, "廢棄物堆肥化過程的微生物作用", 堆肥技術及其利用研討會論文集, 行政院農業委員會農業試驗所(1994)。