# 第十三章　美國堆肥系統的現況

Dan F. Caldwell

美國華盛頓州立大學

## 摘要

『堆肥』一詞，在美國事實上包含了許多複雜的層面，從後院庭園的小型堆肥處理系統到大都會地區的主要都市固態廢棄物 (MSW, municipal solid waste) 處理計畫，而在美國東部地區實施或使用堆肥的實例，要比擁有較寬廣土地面積的西部區域來得早。許多有關廢棄物後續的事情常和其處理的費用有密切的關聯。當棄置於掩埋場的費用低於建置昂貴的堆肥處理系統時，通常仍會採用使用掩埋處理廢棄物的方式。甚至於某些時候，即使需要付出相當高的費用來清運廢棄物至較遠的距離去處理，掩埋方式依然被採用。

但是這些情況正在快速地轉變中，因為許多垃圾掩埋場逐漸遭政令機構強制關閉，而另一更單純的事實就是掩埋場已趨飽和而且再難尋得新的地方可供建立掩埋場。 在美國所實施的堆肥方式有許多種類，而有四種主要堆肥方式是目前在美國最常被使用的。『靜態堆置』 (static pile) 需要一段長時間的養成。『通氣靜態堆置』 (aerated static pile) 則是運用微生物過濾系統及強迫通入空氣來解決若干可能會產生臭氣的問題。『容器系統』 (in-vessel system) 是將可分解物質置入容器中並強制通入空氣以導入適量的氧氣。『乾草堆

列系統』 (windrow system) 則有開放型及密封型兩種方式，端視可供使用的設施而定，更重要的是取決於沈積的量及環境因素。

『靜態堆置』被動或消極 (passive) 型相當於庭院堆肥或大型一點的堆疊，經由交錯堆疊覆置的方式來產生煙囪效應 (chimney effect) ，使得空氣能夠通過堆肥堆置。 這些小型的堆置並無法始終保持良好的碳-氮比例 (C:N) 或維持足夠的溫度來產生適當的堆肥，它們通常也需要一段較長的時間 (可長達一年) 來進行分解，而且也還可能無法分解地十分完全。 如果沒有時常翻動這些堆置並導入氧氣的話，惡臭及其他的問題就很容易產生。 厭氧狀態 (anaerobic condition) 一旦發生，令人生厭的惡臭隨即產生並釋放至整個大氣環境之中。

『通氣靜態堆置』常見於重視快速處理及氣味控制的大都會區域。大量適當混合且經篩選的物質被置入一網絡管路或多孔管道系統中，並經由
嚴密的監控確保適當的含氧量及濕度需求。 這些系統需要電控的馬達及風扇在管路中推送 (push) 或排放 (pull) 空氣來維持一固定的優氧空氣來源，以提供細菌不斷的餵食供給，進而分解有機物質。氣體是經由通過一種稱作『微生物過濾器』的過濾媒介排放，這種物質通常是已成型的最終堆肥。 在一段時間過後，當微生物過濾器不再具有過濾排氣的效能時，它可藉由退回堆肥程序再度回收。

『容器系統』係指在容器、貨櫃或建築物內包含了翻動程序，更精確地控制其環境，並用來達到類似與『通氣靜態

堆置』系統所要求的條件。這樣的設計提供了快速的翻轉時間進而加速完成堆肥程序。有些時候，它需投注很大的資本投資方得完成。

『乾草堆列系統』為目前在美國最廣泛被使用的一種堆肥方式，在某些地方，它可藉由既有的設備與人力來完成。許多畜牧場及加工廠裡平時已經在從事處理廢棄物工作的牽引機、卡車、載具還有人員，均可以和堆肥處理系統整合在一起。有些時候，廢棄物被運送至一堆肥區與其他獨立堆肥業者所處理的另一廢棄物流混合在一起，而特殊的枯葉堆列翻動設備被用來產生品質一致的產品。針對某些廢棄物質，由於市場或應用上的需求，其原料的準備、加工以及篩選可能都要再投資設備。

## 一、些華盛頓州立大學 (Washington State University) 的堆肥設施

華盛頓州立大學 (WSU) 的堆肥設施啟用於 1994 年 10 月。目前在四英畝的瀝青舖面上每年約有二萬五千碼的堆置堆肥產出。這個工作站擁有蓄水池及排流系統，設備則包括了一套 12 尺長的開叉式乾草翻動機、堆鏟機、兩部大卡車、一組可用來分離煤灰的振動式篩網及一套卡車上貨用的輸送帶。工作站裡僅雇有一位全日專職的操作人員及一位平均 3/4 日的卡車司機，其他的卡車司機只在堆肥完成而需要傾運時才來幫忙。用來製作堆肥的原料每日都會送達至堆肥場，糞肥及墊土是從動物飼養區經由人工清運而來，食物殘渣則由專門的

回收組織回收得來，這組織同時也收其他可供回收再利用的物質。這些廢棄物質均依照其濕度及其碳-氮比值分門別類。在堆列乾草堆肥時，加入部分的上述廢棄物質，同時使用下料機確保混合物的一致性。堆肥程序中的操作原理及指導原則均被嚴格地遵守以確保品質穩定的產品，程序中需要一次使用四斗（手）的濕料（氮元素）、四斗的乾料（碳元素），還有一斗的煤灰。利用翻動機將這些原料均勻混合並將一些較大的物體攪碎，然後靜置等待發熱而啟發微生物機制程序。整個過程約需要八到十週的時間來讓成品逐漸穩定，這樣的產品可能不太會完全達到『成熟，mature』(mesophillic state) －一種細菌嗜中溫的狀態）的階段，但卻在實際應用時非常的穩定。最終的堆肥成品被成堆地存放，直到它被應用於如：高爾夫球場、植物的墊土區域、農業用地或用作動物墊土，並且亦可售予小花店、庭園造景業者及水耕業者。

在這次的講演中，將對以下幾個重要的領域作一般性的討論：1. 計畫及堆肥場的描述。2. 管理層面。3. 流程管理方案。4. 病原體處理。5. 臭氣管制（理）。6. 員工保健及安全。7. 家居及公害管制方案。8. 緊急應變方案。9. 安全、社區關係及公共事務。10. 市場。

我也將報告我們整個運作過程的經過。事實上，在一開始我們就儘可能地去涵蓋我們能夠參與的部分，這對我們得以成功運作是非常重要的。

## 二、發展歷史

基於位處協助農業及天然資源之永續保固的中心地位，華盛頓州立大學回收及堆肥委員會於 1992 年 9 月召開第一次會議，討論並評估華盛頓州立大學在回收及堆肥方面的需求與利益。會議召開的部分起因是由於受到一份報告指出"南愛達華州的一位牧場農夫成功地將牧場中的糞料與草料製成堆肥並顯著地降低肥料的使用量"的鼓舞。同時該次會議也針對近年來華盛頓州強制回收及限制掩埋場等法令，以及對校園內廢棄物回收與堆肥要有更新、更前瞻作法的需求作出回應。我們的重點放在提供一個能長期解決 WSU 大量固態廢棄物的方案並把目標定在於 1995 年以前達到減量一半 (50 %)，這也符合美國政府的『廢棄物不能沒有計畫』( waste not want not plan) 及『政府掩埋棄置替代方案』(government options to landfill disposal, G.O.L.D.) 等指導原則。

這一次的會議所引發的熱烈程度竟有別於一般的校務會議，在隨後陸續召開的會議當中，與會者有惠門郡 (Whitman county)、普門市 (City of pullman) 以及愛達華大學 (Idaho university)，而華盛頓州立大學也有更多的人以專家身份加入，包括校園主要廢棄物流管制、教學研究、教職員團體及有從事回收與堆肥工作經驗的學校員工。一種"雙贏"及"可能"的意識態度隨即彰顯出來，大夥的目標是"我們共同的行動及成果將會大過所有單一成員所貢獻的總合"。

回收及堆肥委員會於 1992 年 12 月 10 ~ 11 日規

劃舉辦堆肥研討會，這在當時美國國內仍屬創舉。國際及區域的專家在會中介紹各種最先進堆肥技術，使得我們這個委員會能夠更積極地進行規劃來建立一個校園堆肥設施。委員會意識到校園裡需要一個完善週延的回收及堆肥計畫，委員們估計由校園內所產生的廢棄物量：煤灰、酪農產品、動物科學系與家畜醫藥系的牛隻糞便、經分離篩選的牛肉及固態乳酪品廢棄物、餐廳的食物殘渣、廢紙還有校園內的庭園枝葉，每年約有一萬六千公噸。根據這項估計，委員會評估如果將原本交由惠門郡掩埋場處理的上述廢棄物部分導向我們所規劃的堆肥設施來處理，則每年可為校方節省約二十萬美金的花費。此外，對於避免在未來必須提撥廢棄物儲存設施的經費亦可省下美金約二十萬元。

在 1993 年的四月，這項經費需求達 31.4 萬美金的堆肥設施建置計畫正式向校方商務部副總裁提出。計畫中提到這項堆肥計畫將能降低送往掩埋場處理的廢棄物量，同時也能提供對土地利用與園藝上有用的產品。無論是促進研究及教學或是符合政府 G.O.L.D. 的目標，甚至對提昇學校的形象等方面均有正面的助益。其中所提列的經費將用於堆肥基地的評估、整備以及相關設備的採購。

計畫獲得支持之後，委員會隨即向『土地利用委員會』爭取堆肥場地的使用許可。委員會裡的成員亦和校方『設施規劃部門』合作參與場區的設計工作，同時也向『環境衛生及安全單位』申請使用許可。在這當中，

委員們更緊密地與惠門郡的衛生部門和華盛頓州的環保單位保持接觸，這個工作相當地耗時耗力，需要成員通力合作方得完成。在 1993 年 12 月底前，大部分需要核可証明的都已獲准，於是在 1994 年的春、夏兩季，委員會著手進行工程招標與建設工作。委員們憑著個人經驗，同時四處訪視各地現有的設施與設備，在 1994 年夏天，花了 11 萬美金採購了一部自旋式的堆肥翻轉機。

為了得到經費支持，有一項必須達到的重點是：堆肥運作的經費必須由校方將原本交由惠門郡廢棄物轉運站處理改為堆肥處理所省下的錢來支付。此外，由學校發電廠所產生的煤灰亦是廢棄物處理重點。不過，這些煤灰被認定是為無害的固態廢棄物。為了進一步評估對作物生長與堆肥程序所可能造成的毒害，我們進行了一項煤灰與動物及食物廢棄物混合一起堆肥的小型初步研究。研究結果 (刊登於"堆肥科學與使用", Compost Science and Utilization, 2 : 18 - 22) 顯示煤灰可以被安全地混入堆肥中，而且並不有損於應用在土壤方面的效能。實驗室及田野測試的結果也顯現堆肥中含有煤灰，事實上有助於作物的生長，這樣的結果廣為科學性的社區及一般大眾所接受。

到了 1994 年 12 月，堆肥場開始運作並持續成功運轉至 1995 年，美國國內各地及校際間也對回收及堆肥運作愈發地產生濃厚興趣。為了提供教育傳承的機會，華盛頓州立大學在 1993 及 1994 的冬季，對環境科學、作物及土壤科學還有園藝系的 100 位大四學生

開了一門有關堆肥的課程。此外，我們也對普門市、華盛頓、愛達華及莫斯科小學，還有一家社區花園"卡沛爾農莊"舉辦許多相關回收及堆肥的研討會與延伸課程。我們的堆肥設施還有成果持續不斷地引起地方及全國媒體的報導或注意。於是在 1995 年，我們更安排了多次的設施參觀活動。

1995 年的春天，堆肥場的廢棄物處理能量很顯然地已不太足夠，因此擴建計畫再度向商務部副總裁提出。這項計畫立即獲准並於 1995 年秋季完成擴建。那時總計共有一萬噸的堆肥產出，用途包括華盛頓州立大學之實驗農場的肥料替代品、WSU 高爾夫球場、WSU 庭園景觀、動物的墊土及小型研究用的舖土。到了 1997 年，市面上已可以買到我們的產品，最低購量為 150 立方碼，量大的話，售價還可再低些。

WSU 堆肥成分組成，WSU 所產的堆肥主要有動物糞便、乾草及煤灰，同時也含有少量溫室培養土、餐廳食物殘渣，樹木枝葉等。

三、建議之用途

※ 被覆土 - 保護土壤表層，調整表土溫度，降低表土水分耗散。

※ 與有機肥合用 - 改善土壤結構，增進水份保濕能力。

※ 中和劑 - 改善酸性土壤的 pH 值。

※ 培養土。

※ 用於喜愛酸性土壤的作物 - 小藍莓、杜鵑花。

高 C:N 比值的堆肥是由於其中含有較多成分比例的含碳原料（乾草及庭院枝葉）。在頭一年裡，氮元素的釋放也許會偏低，但是如果與正常土壤一起使用，那麼在往後的幾年，氮元素的釋放值就可望增加。對園藝工作者而言，建議加入適量的含氮補充物，而堆肥本身則是很好的磷及鉀的來源。如果用於覆土，則無需再加入氮肥。若是用於表土被覆，最好不要在種植作物所挖的坑洞內填超過 15 % 的 WSU 堆肥物質，因為這種堆肥不是用來取代坑洞內的土壤的。

四、堆肥物性

酸鹼值 (pH) : 8.5 ~ 9.1 。

導電度 (EC) : 2 ~ 6 mhos/cm 。

有機碳 (organic carbon) : 25 ~ 31 % (有機物質， 45 ~ 56 %) 。

有機氮 (organic nitrogen) : 0.8 ~ 1.1 % 。

碳-氮比 (C:N ratio) : 30 ~ 35.1 。

$NH_4^+$-N : 5 ~ 25 ppm 。

$NO_3$-N : 25 ~ 50 ppm 。

磷 (P) : 30 ~ 100 ppm 。

鉀 (K) : 2500 ~ 6500 ppm 。