

工業廢水處理技術(九)

李公哲*

二十九、有機性工業廢水污泥之堆肥法⁽¹⁾

堆肥 (composting) 可用來處理已脫水之有機性工業廢水污泥或污泥與固體廢棄物 (solid waste) 混合物。堆肥使有機物轉化為腐植質 (humus) 可作為土壤改善劑或營養源。堆肥為一種好氧，高溫 (thermophilic) 的分解。混合物之含水量為50至60%，且碳／氮比不得超過35。因高溫消化其消化溫度約45至 70°C，而產生殺菌作用可殺滅污泥中的致病菌。為了重新繼續消化，需要取用部分已消化物質。依其處理程度及排入物質種類，消化時間約從一天至三個星期，接着有一段後消化或成熟期。臭味的副產品可因土壤濾層而去除。pH 需維持在 7 附近，且需曝氣以便維持好氧狀態。

以堆肥作為前及後處置廢棄物，是將其作成堆狀處理（須攪動以便曝氣），或在成層的消化倉內有垂直旋轉軸或是在旋轉的圓鼓中處理。在這些情況下的前處理及後消化 (post digestion) 只須一至兩天的停留時間。

三十、含金屬之有機性污泥的土地處置法

許多有機性工業廢水污泥能够與土壤混合而不需機械脫水處理。地表處置 (surface application) 可藉卡車或噴撒器 (spaying) 散佈完成。污泥可藉動力系統 (mobile unit) 貫入地表下 8 至10吋。貫注法 (injection) 的優點是減少地表逕流量 (surface runoff) 及臭味問題。一個重要的考慮是污泥重金屬含量。在 pH 大於 6 時重金屬將與 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 Na^+ 、 K^+ 交換，土壤此種自然的重金屬交換能力謂之陽離子交換能力 (cation exchange capacity 簡稱 CEC)，以 meq/100g 乾土重表示。混入的污泥中重金屬被土壤保留下直到 CEC 量為止，但可能因 pH，好氧或厭氧狀況等因子而受影響。砂土之 CEC 約 0 ~ 5，黏土之 CEC 約 5 ~ 20。污泥之營養分將維持植物的生長。土壤的有機物亦會攫取 (chelate) 重金屬。

在混入前，有機性污泥須作一最小程度的穩定作用 (stabilization)，通常以好氧消化15天，使揮發物含量低於55%。土壤能吸收的重金屬總量以鋅金屬當量 (Zinc equivalent) (ppm) 表示。

$$\text{鋅金屬當量 (ppm)} = [\text{Zn}] + 2[\text{Cu}] + 8[\text{Ni}]$$

上述中之 Zn、Cu 及 Ni 之濃度以 ppm 或 mg/kg 表示。上式之係數所代表為一般銅 (Cu) 對植物之毒害為鋅 (Zn) 之二倍，而鎳 (Ni) 對植物之毒害則為鋅之八倍。

許多研究指出，在土壤 $\text{pH} > 6.5$ 時，污泥之土壤處置，所施加之污泥量對土壤造成之鋅金屬

*臺灣大學環境工程研究所教授
本小組委員

當量不可超過 250ppm。

當土壤 pH ≥ 6.5 時，污泥土壤處置之最大允許污泥施加量可用下式計算：

總污泥施加量（乾污泥重）（英噸／英畝）

$$= \frac{16,300(\text{CEC})}{[\text{Zn}] + 2[\text{Cu}] + 8[\text{Ni}] - 300}$$

上式中之分母即為鋅金屬當量減去 300；而減 300 之意義為考慮施加污泥中有機物所增加之額外陽離子交換能力。分子中之 16,300 為換算因子，並反應鋅金屬當量不超過百分之五之土壤 CEC 值。上式之基本依據為任何毒性重金屬加入土壤中，其鋅金屬當量不可超過百分之五之土壤 CEC 值。現舉例如下：

〔問題〕：茲有一污泥樣，其重金屬含量為： $\text{Zn} = 500\text{mg/kg}$, $\text{Cu} = 600\text{mg/kg}$, $\text{Ni} = 50\text{mg/kg}$ 。假定該污泥將土壤處置在一具土壤 CEC 值為 20 之壤土上。現以重金屬為設計基準，該污泥在此壤土上之最大施加量為若干？

〔解〕：總污泥施加量（輕鋅泥量）（英噸／英畝）

$$= \frac{16,300(20)}{(500) + 2(600) + 8(50) - 300}$$
$$= 60 \text{ 英噸／英畝}$$

以有機性污泥中所含重金屬為設計基準之土地處置法，美國環境保護局則介紹下述之另一種污泥施加量計算法⁽²⁾。該法主要係經長期之研究，而得到含重金屬之有機性污泥，在進行土地處置時，每英畝土地上，如施加 100 英噸之污泥，其該污泥中所含之重金屬限量如表三十五所示：

表三十五之應用，現舉二例如下：

〔問題〕：某一有機性污泥之金屬含量為： $\text{Boron} = 300\text{mg/l}$, $\text{Cadmium} = 60\text{mg/l}$, $\text{Chromium} = 700\text{mg/l}$, $\text{Copper} = 600\text{mg/l}$, $\text{Nickel} = 300\text{mg/l}$ ，同時無其他金屬存在，試求其土地處置時污泥施加量？

〔解〕：首將該污泥之金屬含量與表三十五比較，可發覺 Cadmium 含量超過可容許限值，故顯然 Cadmium 控制污泥之施加量，而可計算如下：

$$\frac{45\text{mg/l}}{60\text{mg/l}} (\text{可容許限值}) \times 100 \text{ 英噸／英畝} = 75 \text{ 英噸}$$

故每英畝之土地上，僅可施加 75 英噸之該污泥。

〔問題〕：同上之污泥，如欲每英畝上施加 125 英噸之污泥，則其金屬限值為若干？

〔解〕：

$$\text{污泥中之可容許金屬限值} = \frac{100}{125} \times (\text{表三十五中之限值})$$

例如，Cadmium 應為 36mg/l ($= \frac{100}{125} \times 45$)，Chromium 應為 800mg/l ($= \frac{100}{125} \times 1,000$) 等。

因目前對含金屬之有機性污泥，在土壤處置時之施加量仍無公認之設計準則，故本文特擇出現階段常用之二種方法，以供工業界處理其污泥時之參考。

表三十五 含金屬有機污泥土地處置時之金屬含量限值

金屬名稱	每英畝土地可施加 100 英噸 有中機性污泥所含金屬限值 ($\mu\text{g/g}$)	備註
鋁 (Aluminum)	20,000	本表適用於土壤之 CEC 值在 5 至 15 meq/100g 乾土重。
銻 (Antimony)	25	
砷 (Arsenic)	25	
鉀 (Barium)	3,000	
鍍 (Beryllium)	25	
硼 (Boron)	350	
鎘 (Cadmium)	45	
鉻 (Chromium)	1,000	
鈷 (Cobalt)	100	
銅 (Copper)	1,000	
鉛 (Lead)	4,400	
鋰 (Lithium)	10	
鑑 (Manganese)	1,000	
汞 (Mercury)	10	
鉬 (Molybdenum)	25	
鎳 (Nickel)	450	
硒 (Selenium)	10	
銀 (Silver)	40	
鈉 (Sodium)	10% of Calcium	
鈦 (Strontium)	150	
鉈 (Thallium)	5	
錫 (Tin)	100	
鈦 (Titanium)	200	
鈮 (Tungster)	100	
钒 (Vanadium)	500	
鋅 (Zinc)	2,000	

參 考 資 料

- W. W. Eckenfelder, Jr., "Principles of Water Quality Management", CBI Publishing, 1980.
- U. S. EPA, "The Disposal of Combined Municipal/Industrial Wastewater Desidues".