

克服空氣污染的生物技術
----介紹生物物質成分元素在自然界循環的理論及
清華科技檢驗與拜爾特生技兩家公司

蘇仲卿

人類的活動對生物圈的衝擊

在地表上，生物生活的區域叫做生物圈(biosphere)，存在於大氣圈(atmosphere)、水圈(hydrosphere)及土圈(pedosphere)的介面。地球上發生生物之後，在其生死之間與生物圈不斷進行物質交換。雖然氧是生物圈中最豐富的元素，光合成生物出現之前，大氣中沒有氧氣的存在。光合成生物將水分解，釋放氧氣於大氣中，逐漸造成了「好氧」(aerobic)環境，進而誘發能量代謝旺盛的好氧型生物。地表環境隨著生物的進化而產生相當可觀的變遷，但是，就人類在地球上出現以後到現在的短暫時段(比地球的年齡四十億年，大約只有二十五萬年)而言，生物與環境間之物質交換，大致上構成一種近似「零和循環」(zero sum cycle)，對於地球環境未曾產生可見的衝擊。

但是，近一百多年來，人類科技進步之後，或大量使用化石燃料，增加大氣中溫室氣體，導致全球性氣候變化；或使用汞為化學工業催化劑，以有機汞化合物污染海洋，令年齡較大海洋動物含不符合衛生條件的汞含量；或以工業用重金屬污染農田土壤，令其不得生產符合衛生條件的糧食等，產生全球性或區域性公害。

臭氣是台灣農業環保重要問題之一

除了有坡地濫墾發生土石流，為養蝦過度抽用地下水發生地盤下沈等公害之外，過去台灣的農業經營本身產成空氣污染而被社會詬病的情況可以說沒有。近年來，因鼓勵有機農業，有機肥料的生產被重視，以及家畜禽養殖業的密度提升，常有禽畜飼養場或有機肥料製造場與居家比鄰而設，發生的臭氣成為嚴重公害問題。因此，農業生物技術國家型科技計畫成立之初，生物性臭氣的控制被認為農業環保的一個重點。

生物物質的自然界循環及分解作用產生臭氣的原因

生物圈之內，自非生物物質生成生物物質，皆以植物的光合成作用為開端。植物以外形式的生物都依賴光合成生物為其維生的物質來源，而所有生物死亡之後，都受微生物的分解，一部份被轉換為微生物體構成材料，一部份被「礦化」(mineralization)提供微生物生長所需能量。大量被礦化的生物物質有醣類、油脂、蛋白質等，而前二類物質構成元素大都只有碳(C)、氫(H)、氧(O)故，其分解產物幾全是二氧化碳與水；但是，蛋白質含有 C、H、O 之外，還有氮(N)及硫(S)，假如其存在為微生物生長所需同化量範圍，則不會被釋放於環境之中。

我們都知道，植物性生物體腐朽時不會產生臭味，但是動物體的腐敗卻會放出難聞臭氣，其理由可以用簡單的生物化學原理說明，如下。

生物體主要構成元素 C、H、O、N、S 與磷(P)之中，P 一直以磷酸型態存在而與臭氣無關。其他五種元素中以原子的存在數量來說，C、H、O 三種最多，其次是 N，再次是 S。植物以 C、H、O 三種元素構成的細胞壁醣類為最大成分物質，含有 N 與 S 的蛋白質量相對不高。相反，動物細胞缺少細胞壁而富有蛋白質。因此，動物與植物兩類體成分的差異，可用 C 與 N 含量的重量比數 (C/N ratio) 表達其特徵。以人體的元素組成為例，C/N 重量比大約 6；植物的 C/N 重量比依其細胞壁所佔份量多少而有 10 到 50 的不同。植物死亡後在土中腐朽分解，可以看做是其物質轉變為微生物構成物質以及不易被分解較穩定殘渣物質（稱為腐植質，humus）的生化過程。微生物細胞也有細胞壁的存在，但是其醣類成分沒有高等植物的多，大致上整體細胞的 C/N 比在 10 附近。C/N 比高到 40 或 50 的植物體如木質物，雖然能量來源的醣類含量高，合成細胞質主成分蛋白質與核酸所需 N 的含量低，因此 N 含量成為其腐朽速度的限制因素。長期觀察有機物在土壤中分解過程，可發現 C/N 比數慢慢降低到 10 附近，暫時呈現穩定狀態。

微生物分解富有蛋白質之類生物物質如動物屍體時，因 C/N 比低於 10，C 與 H 的供應成為限制因素，而 N 與 S 的供應超出微生物的需求，在缺少氧氣（就是厭氧）情況下，N 產生氨與胺類化合物及 S 產生硫化氫與硫氫有機化合物 (mercaptan)，以及一些蛋白質成分的胺酸去氨之後產生的短鏈脂肪酸亦因氧化不順而釋放於大氣中，皆成為臭氣污染物。

這一現象是有經驗的堆肥製造者都知道。堆肥是配合許多農場廢棄物製造的有機肥料，而要獲得品質優良的產品，堆肥堆的起始 C/N 量比以 20~30 為適宜。問題是堆肥原料的調配，要有原料的碳與氮含量的資料，但是以堆肥方式處理的農產副產物及廢棄物種類相當複雜，並且，畜牧專業農場規模放大之後，富有養分的動物排泄物不應用堆肥製造技術而改以污水厭氧消化方式處理，於是多出了臭氣來源。

臭氣成分是微生物的營養物質，可以微生物反應器去除

是的，這等含氮與硫的臭味化合物以及短鏈脂肪酸都是微生物可利用的營養物質，當然可用微生物去除它，但是要有下列條件才辦得到：第一，堆肥堆要在一個密封屋內，才能將臭氣導入微生物反應器內；第二，微生物反應器必要具有透氣性，並且其內必要維持適宜微生物生活條件，令其長期（幾個月至一年）維持活力，並且整個除臭生物反應系統的運作必要自動化，才能符合堆肥場運作的經濟性要求。

對微生物學有知識的人都知道，將微生物長時間連續培養於自動化反應器內而不被雜菌干擾或死亡，是相當進步的高科技。另一方面，雖然富有高度礦化肥料成分的堆肥是一種高價位的有機肥料，但是高級肥料也不過是一種農用資材，

其價位有一定限制。所以，為製造堆肥而設的除臭生物反應器系統，其價位也會受到一定的限制。

台灣農業的污染空氣淨化技術延伸到工業問題的解決

1998年**農業生物技術國家型科技計畫**成立之初，在農業環保的大主題之下，就有**交通大學生物科技系曾慶平教授**主持，以生物反應器去除堆肥場臭氣的研發計畫開始執行。不久，曾教授以篩選所得菌株及養菌基質組合的小型反應器，實場驗證可幾乎完全去除由堆肥產生的各種臭氣物質。農業生物技術國家型科技計畫的研發成果，由**經濟部工業局**以「**農業生技產業化技術推廣計畫**」的專案計畫方式，開始推動產業化之後，曾教授的成果進入此一機制，技術轉移於「**清華科技檢驗股份有限公司**」及「**拜爾特生物科技股份有限公司**」。

交通大學生物科技系是鄧啓福先生擔任校長時創設。交通大學是以理工為骨幹的學校，當時有關生物科學系所一個都沒有。但是生物技術有一大部分以化學工程為產業化工具，所以，交大堅強的工程基礎，是建立以化工技術處理微生物相關生物技術問題的利器，可見鄧校長有深遠先見。

曾慶平教授在交大立即建立需要工程技術配合的生物反應器，可以說是環境得宜的當然結果。另外必要一提的是，清華科技檢驗公司是台灣有關環境分析的先進楊末雄教授在清華大學退休之後創辦的公司，其環境檢驗技術及環境感應器方面的專長，對於微生物反應器的設計與自動化運作的完成，都應該有其不可忽略的貢獻。

苗栗縣頭份鎮的豐收推肥場使用的主原料是屠宰場的下腳。動物性物料的蛋白質含量當然高，所以，其堆肥化（也就是腐朽化）以後的產品肥效高，但是製造過程中發生多量臭氣是難免的事。2006年，交大與清華、拜爾特的團體替此一公司裝設了大型微生物反應器，完全解除該堆肥場鄰居的煩惱與抗議。在撰寫本文的2008年初，應用此一類技術之反應器，大大小小，已經有建立十五台的實績。

在堆肥場等獲得優異成果之後，這一研發團體將其技術延伸到工業所用揮發性有機溶劑的去除之上，也獲得相當優異成果。此等溶劑都是石化工業的產品，並不是一般生物代謝物，雖然可以找得到分解它們的微生物，其分解速率大都不高。又不同廠使用的溶劑有所不同，處理對象不同，當然所用微生物不同，在反應器中的營養供應條件調整亦有所不同故，反應器的細部設計必要專用化。換言之，這一技術產業，是依顧客的需求不同而以量身打造方式提供的服務，其難度之高可想像而知。但是，這一技術已經在相當大規模的光電、半導體及噴塗廠各一處，實廠運作成功，我國的農業生技研發有此輝煌成就，值得我們驕傲。我們希望本土開發的優秀技術獲得本土的認同而培育發展，進而進軍國際市場，對台灣的經濟發展與科技名聲的提升都有貢獻。（本文構成發表於經濟部工業局發刊之「**創新深耕-生技研發成果產業化季刊**」2008年9月號之「」一文的主體。）

