

新世代的 氮循環

■ 范賢娟

現代文明雖然打造出美適稱心的環境，也製造出許多高科技產品便利了人們的生活。但你知道多少的自然界循環將因此被打亂嗎？因為當某種物質大量產生，超過自然界所能轉化的量時，其餘毒就會危害到環境生態，比如一個迫在眉睫的危機就是氮的循環。

氮是構成生物體內胺基酸及蛋白質的主要元素。在生態系中，氮主要貯藏於大氣圈，以一般生物不能直接利用的氣態氮（ N_2 ）存在。大氣中的氮必須被轉變成無機氮化合物，如氨（ NH_3 ）或硝酸根（ NO_3^- ）才可被多數生物利用。

空氣中氮氣的價電數是零，會經由「固氮作用」變成-3價的氨（ NH_3 ），在有氧氣存在的情況下，氨又會經由「硝化作用」變成+3價的亞硝酸根（ NO_2^- ），更進一步轉變成+5價的硝酸根；硝酸根在加入有機物的過程中會產生「脫硝作用」變成亞硝酸根，若更進一步又會還原成氮。

自然界的氮就是以這種方式循環的，但在一些高科技廠的廢水中會產生許多的氨，如果直接排出，水中的氧氣會被耗損產生亞硝酸根或硝酸根，對環境與生物都



厭氧氨氧化菌的外觀與枸杞很像，顏色鮮紅且呈現顆粒化表示菌的活性高。

有不好的影響，而且過量的含氮物質也是造成水體優養化的元兇。

早先去除水中氮化物所用的技術會遵循上述過程，先硝化再脫硝，這種傳統方法已經使用了一個多世紀。它的基本理論架構就是在過程中要有電子的提供者、電子的接受者，還要有碳源。

然而在50年前，科學家開始有些不同的創新想法。他們認為氮的價數在這循環過程中有那麼多種型態，能否把這些不同型態都放在一起，讓它們有的當電子提供者、有的當接受者，然後在缺氧的狀態下，藉由特殊的微生物作用直接除氮。



工廠的廢水會產生許多氨，對環境與生物都有不好的影響。（圖片來源：種子發）

這個構想在經過 20 年的努力後，到了 1985 年，科學家終於找到理想的「厭氧氨氧化菌」（anammox bacteria），讓整個反應變得簡潔，同時整個系統所需要的氧氣量減少，因此降低了馬達曝氣的運轉又有節能之利。此外，這方法產生的污泥量很少，可以減少後續的污泥處理處置費用。

再者，傳統的除氮方法很容易產生 N_2O ，這是溫室氣體，其溫室效應的作用是等量 CO_2 的 300 倍，是環境的大殺手。然而透過厭氧氨氧化菌的作用可降低這方面的風險，同時這方法所需要的碳源可以從無機碳而來，也就是可以同時得兼消耗 CO_2 之便，有助於減少溫室氣體。值得再提的是，這個方法在空間、時間等方面的效率都會更好，因為反應槽從原本的兩個變成一個，大量減少了所需的空間，反應時間也可加快。

交通大學環境工程研究所林志高教授注意到這個微生物處理法的發展，因此專注於這領域的研究，成功地馴養出厭氧氨氧化菌並把它應用在廢水處理上，經過多年的耕耘後，終於得到很好的成績。

他首先確定這些污泥中的確有符合科學要求的菌種，還要探討相關菌種（包括好氧氨氧化菌、好氧亞硝酸鹽氧化菌、厭氧氨氧化菌以及其他）的最佳比例分布。確認之後再針對不同來源的廢水，例如養豬場、高科技廠（光電廠 / 半導體廠）、有無含鋅、有無含硫酸鹽等各產業的特殊條件做分析。

這種微生物處理法還有個特點，當污染物的濃度較高時會比較容易處理，污染物的濃度低反而比較困難，這是因為濃度太低微生物吃不飽，以致無法發揮功用。然而經過數年的努力，林教授已掌握到許多關鍵因素，並發展出不同的除氮方式，甚至連低濃度的污染廢水也可以處理了。

這一成果已在國內、美國、大陸、德國、日本等處申請了專利，受到國際諸多的肯定。

范賢娟
本刊特約文字編輯
