

氧化亞氮(N₂O)之產生和量測

郭雅紋

摘要

氧化亞氮是溫室氣體之一，可於大氣中存在114年，每年以0.2-0.3%之速率增加，雖僅占全球溫室氣體排放量0.03%，但其全球暖化潛勢為二氧化碳的298倍，因而目前其量雖低，仍不容忽視。

氧化亞氮主要來自農業活動，但廢水處理、化石燃料燃燒和化工流程也是重要的來源。農業產生氧化亞氮主要受到土壤中硝化作用及脫氮作用控制，無機氮量、氮礦化速率、充水孔隙、土壤氧氣含量、土壤酸鹼值……等皆影響氧化亞氮釋放；因此，舉凡能夠增進氮肥利用效率之土壤管理措施或延緩硝化、脫氮作用者，將具有減少氧化亞氮釋出的效果。其中，透過減少氮肥的投入及增加氮肥利用效率(在土壤中添加有機物，調整礦化速率、視需要配合添加適量硝化抑制劑)之土壤管理方式，最為人重視。

內容

氧化亞氮(nitrous oxide, N₂O)是京都議定書(Kyoto protocol)規定列為減排的溫室氣體之一，可於大氣中存在114年，目前大氣中濃度約320ppb，每年以0.2-0.3%之速率增加，雖僅占全球溫室氣體排放量0.03%，但其全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)為二氧化碳的298倍(以100年計)，且參與許多光化學反應，具破壞大氣臭氧層潛力，因而目前其量雖低，仍不容忽視。

為了解自然中溫室氣體之消長，量化觀念於是產生。最精確、直接的方法為直接量測。氣體釋放量可由不同尺度評估，尺度大小涉及評估方法和精確度。過去是採用密閉罩法(chamber method)進行人工採樣，所採樣品可利用氣相層析儀(Gas Chromatograph, GC)之電子捕獲偵測器(electron capture detector, ECD)或以傅立葉紅外線光譜儀(FTIR)測定氧化亞氮濃度；現出現連續自動採樣儀器。上述方法優點為成本低、取樣方便，惟無法及時量測並反應大區域之實測值。目前以開放性及長期性監測所得數據較能得到正確之氣體濃度，如運用微量氣體偵測儀(trace gas analyzer)，但儀器購置成本偏高，且操作及維護較不易。另可運用科學方法，計算各種物質反應後的溫室氣體釋放量，並且從中找出規律，以係數值表示規律，稱為釋放係數(emission factor, EF)。因此只要活動強度數據，乘上釋放係數，就可以推估出溫室氣體排放量。

研究指出，氧化亞氮主要來源是農業，但廢水處理、化石燃料燃燒和化工流程也是重要的來源。在自然狀況下，土壤透過微生物的硝化作用(nitrification)及脫

氮作用(denitrification)過程釋出氧化亞氮，此過程會受無機氮量、氮礦化速率、充水孔隙(water-filled pore space, WFPS)、土壤氧氣含量、土壤酸鹼值與溫度變化等影響，具有時空變異。

肥料種類和氮素量是影響氧化亞氮釋放量的重要因素。銨態氮的硝化過程或肥料中是否有硝酸態氮及其含量是農田土壤氮素損失的前提；土壤無機氮量增加，氧化亞氮生成亦隨之增加。在適宜土壤條件下，施用無機氮肥、動物廢肥及生物性固氮等方式大量輸入氮源，均會導致土壤氧化亞氮釋放量大幅增加，所增之量因土壤條件和氮肥種類而異。以有機質肥料為作物生長的氮素來源，因同時提供了大量有效性碳源，將有利微生物增殖，進而促進土壤與堆肥中的有機氮礦化；又微生物增殖易產生微區域之氧氣消耗，而致厭氧產生脫氮作用，造成氧化亞氮釋放量較高。植物殘體回田措施亦會增加土壤氧化亞氮釋出，植物體的化學性質和掩埋量為影響因子，目前以植物體的氮含量、木質素和多酚可被用以預測氮礦化速率，繼而推估氧化亞氮生成量。

土壤在飽和水分處理下，氧化亞氮生成量一般大於浸水狀態和田間容水量。當浸水時，土壤處於還原態，氧化亞氮主要來自脫氮作用，而當土壤在田間容水量時，通氣較佳，故氧化亞氮主要伴隨硝化作用生成。比較浸水狀態和田間容水量之氧化亞氮發生，兩者並無固定趨勢，通常當充水孔隙高於50%時，氧化亞氮釋放量將增加。

農業產生氧化亞氮主要受到土壤中硝化作用及脫氮作用控制，土壤微生物活性、硝化及脫氮速率都隨土壤溫度的升高而增加，溫度除影響產生氧化亞氮的過程外，亦影響調節土壤中氣體傳輸速率的物理化學參數，所以，溫度是影響氧化亞氮產生與釋出的一个重要因素。

因此，舉凡能夠增進氮肥利用效率之土壤管理措施或延緩硝化、脫氮作用者都將減少氧化亞氮的產生，諸如(1)調節灌溉頻率、(2)採用多次分施方式或緩效性型供應氮肥、(3)適時提供作物所需氮肥、(4)施用硝化抑制劑(nitrification inhibitors)減緩硝酸態氮的生成、及(5)改變耕作制度等，將具有減少氧化亞氮排放的效果。然而，以調整耕作制度為管理策略時，可發現由傳統耕犁轉換為不耕犁作業初期，會出現釋放量高於傳統耕犁區的現象，乾燥田區表現尤較明顯；反之，若將農作物栽培田區改換為牧草地、林地時，則可減少釋放量。

結語

藉土壤管理策略，調整養分供給方式、耕作制度、灌溉頻率…等可作為農田土壤氧化亞氮減量之方法。其中，透過減少氮肥的投入及增加氮肥利用效率(在土壤中添加有機物，調整礦化速率、視需要配合添加適量硝化抑制劑等)為最符合農業生產目的和環境保護的管理方式。

參考文獻

1. 柯光瑞、賴朝明。2006。台灣北部現行耕作制度對農田土壤溫室氣體(CO₂、CH₄、N₂O)釋出之影響。台灣農業化學與食品科學 44(1): 63-73。
2. 馮志峰，賴朝明。1999。氮肥種類、土壤水分與溫度對土壤氧化亞氮釋放之影響。中國農業化學會誌 37(2):190-198。
3. Baggs, E.M., Rees, R.M., Smith, K.A. and A.J.A. Vinten. 2000. Nitrous oxide emission from soils after incorporation of crop residues. *Soil Use Management* 16:82-87.
4. Garcia-Ruiz R. and E. M. Baggs. 2007. N₂O emission from soil following combined application of fertiliser-N and ground weed residues. *Plant Soil* 299:263-274.
5. IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
6. Liu, X., Mosier, A., Halvorson, A. and F. Zhang. 2006. The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from a clay loam soil. *Plant Soil* 280(1):177-188.
7. Muhammad, W., Vaughan, S.M., Dalal, R.C. and N.W. Menzies. 2011. Crop residues and fertilizer nitrogen influence residue decomposition and nitrous oxide emission from a Vertisol. *Biology and Fertility of Soils* 47:15-23.
8. Sistani., K. R., Warren, J. G., Lovanh, N., Higgins, S. and S. Shearer. 2010. Greenhouse Gas Emissions from Swine Effluent Applied to Soil by Different Methods. *Soil Science Society of America Journal* 74:429-435.
9. Smith, K.A., McTaggart, I.P. and H. Tsuruta. 1997. Emissions of N₂O and NO associated with nitrogen fertilization in intensive agriculture, and the potential for mitigation. *Soil Use Management* 13:296-304.
10. Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L. and P.E. Fixen. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133:247-266.
11. Weier, K. L., Doran, J. W., Power, J. F. and D. T. Walters. 1993. Denitrification and the dinitrogen to nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon and nitrate. *Soil Science Society of America Journal* 57:66-72.