

农田土壤氮素循环及其对土壤氮流失的影响

李琴 (重庆工商大学旅游学院, 重庆 400067)

摘要 分析了土壤氮素循环及其对土壤氮流失的影响, 提出了加强氮肥管理、重视平衡施肥、提高作物氮素吸收能力、优化耕作制度及灌溉方式等降低我国农田土壤氮素流失的主要对策。

关键词 氮素形态; 土壤氮素转化; 氮流失; 非点源污染; 控制措施

中图分类号 S153.6⁺1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)11-03310-03

Soil Nitrogen Cycle in Agro-ecosystem and its Influence on Soil Nitrogen Loss

LI Qin (College of Tourism, Chongqing Technology Business University, Chongqing 400067)

Abstract After analyzing the relationships between soil nitrogen cycle and soil nitrogen loss approach, some control measures including balancing fertilization, enhancing plant capability of nitrogen absorption, optimizing nitrogen management, cultivation system and irrigation mode were put forward.

Key words Nitrogen form; Soil nitrogen transfer; Nitrogen loss; Non-point source pollution; Control measures

农田生态系统中由土壤氮素流失所引发的水环境污染问题正受到广泛重视^[1-2]。造成土壤氮素流失的关键因素在于:土壤-植物系统内未被作物吸收利用的氮素增加了土壤向水圈的氮素耗散强度。因此,在充分研究土壤氮素循环中不同形态氮的转化与植物吸收利用的基础上,分析土壤氮流失的因素可为进一步控制土壤氮流失提供理论依据。笔者分析了土壤氮素转化、植物吸氮能力对土壤氮流失的重要作用,以期为进一步降低土壤氮流失、减轻环境污染提供理论依据。

1 农田土壤氮素循环

1.1 农田土壤中氮素的转化

1.1.1 有机氮的矿化。有机态氮的矿化是作物所需氮素的重要来源,各种有机肥料的N总资源量的农业利用部分仅为32.7%,大量未利用的N直接进入环境造成污染^[3]。有机氮的矿化受诸多环境因素的影响,如土壤温度、水分、理化性质、C/N比、植物生长状况以及有机、无机肥的施用等^[4-5]。土壤氮素矿化率与土壤pH值的乘幂呈显著正相关($Y = 0.003x^{4.67}, R^2 = 0.71$),矿化率随pH值的提高迅速增加,红壤加入石灰后土壤pH值上升了约1.5个单位,矿化率为不加石灰处理的2.6~3.3倍。土壤氮素矿化率还与土壤有机质含量呈极显著线性正相关($Y = 1.61x - 0.15, R^2 = 0.91$)。

1.1.2 硝化过程。硝化作用是指氨或铵盐在土壤硝化细菌作用下氧化成硝态氮的过程。未被作物吸收利用的硝态氮易通过淋洗或径流损失,既减少了可供作物的氮量,又导致水体污染。因此,适当控制施入土壤的氮肥有利于降低土壤氮素向水环境中的迁移数量。影响土壤硝化作用的因素包括土壤空气的氧浓度、土壤pH值、含水率、温度、氧化还原电位以及根分泌物等。目前国内外普遍采用硝化抑制剂来抑制土壤硝化细菌活性,降低硝化率,减少土壤中硝酸盐的积累,研究较多的有双氰胺(DCD)、氯吡啶(CP)、2-氯-6-吡啶等,其中双氰胺以其无残留、易分解等特点成为一种理想的氮抑制剂^[6]。

1.1.3 反硝化过程。反硝化作用是指硝酸离子被还原成亚硝酸,进一步还原成氮氧化物(NOx)和氮气而挥发损失的

过程。反硝化作用发生的基本条件是存在具有代谢能力的细菌、合适的电子供体、嫌气的土壤环境和作为末端电子受体的氮氧化物等。因此,影响土壤中反硝化作用的主要因素是土壤中有有机氮的供应、氧的含量、硝态氮的浓度和温度等。土壤有机质含量越高,反硝化潜势越高。但是土壤实际反硝化能力一般远远低于反硝化潜势,限制因子是硝态氮的供给速度、扩散速度以及土壤通气状况。

1.1.4 铵离子的固定。铵态氮以阳离子形式存在,易被带负电荷的土壤胶粒吸附,进入硅层晶穴形成固定态铵。这部分氮素不能被植物吸收利用,但仍然是一种重要的土壤氮素资源,占土壤全氮的10%以上。影响土壤对铵固定的因素较多,如粘土矿物组成与粘粒含量、铵态氮浓度、温度、湿度及有机质含量。粘粒含量与固铵量呈正相关,但相反的观点认为,尽管固定态铵的含量随粘粒含量增加而增加,但是单位粘粒的固铵量却下降^[7]。土壤溶液中NH₄⁺浓度与固定态铵含量呈正相关关系,两者处于动态平衡。

1.2 植物对氮的吸收利用

1.2.1 植物对不同形态氮的吸收。旱地土壤中的氮主要是以NO₃⁻-N的形态进入植物。高等植物有4个NO₃⁻-N吸收系统,分别为cLATS、iLATS、cHATS和iHATS,这些基因的表达具有很强的组织特异性,受氮源、土壤pH值、碳、氮和其他营养元素供应状况的调控^[8]。对植株吸收NH₄⁺-N的机理研究较少,通常认为与K的吸收机理相似,可能有共同的载体。稻田中,水稻对NH₄⁺-N、NO₃⁻-N的吸收与其体内谷氨酰胺合成酶系和硝酸还原酶系有关。

1.2.2 植物吸氮机理与氮素利用效率。不同作物或品种利用氮素能力的差异及如何提高土壤氮素利用效率,已引起国内外学者的广泛关注。研究表明,作物氮素利用效率(NUE)受硝酸还原酶活力(NRA)、硝酸盐贮藏库的大小以及氮向收获器官运输能力等因素的影响^[9]。硝酸还原酶(NR)是整个氮代谢过程中最重要的限速酶,其活性随硝酸盐含量的增加而增强,与氮素供应关系密切。NRA与作物的耐肥性呈负相关,在一定范围内,提高氮肥的施入量可以增强植物组织中的NRA,进而加快植物对硝态氮的吸收^[10]。提高作物对氮素的吸收能力,对于提高肥料的利用效率,降低氮素在环境中的损失有重要意义。尽管目前对种植不同吸氮

作者简介 李琴(1979-),女,四川南充人,硕士,助教,从事土壤环境研究。

收稿日期 2006-01-06

能力的作物对土壤中氮流失的影响研究不多,但是值得肯定的是,吸氮能力强的作物,对减轻氮素向环境中的运移是大有帮助的。

2 农田土壤氮素的流失

2.1 农田土壤氮素流失的形态 在降雨和农业灌溉作用下,土壤中所存在的有机态氮和无机态氮均有随溶液流失的趋势。目前对有机氮流失的研究很少,而土壤中无机氮的流失过程以 NO_3^- -N 为主, NO_2^- 次之, NH_4^+ -N 只占很小比例。研究表明,尽管我国南、北方气候、降水等条件有差异,但对无机氮流失的形态的影响基本一致。南方丘陵区紫色土与红壤坡地氮素流失严重,5°的坡耕地氮素流失量约 20 kg/hm^2 ,地表径流流失的氮素以硝态氮为主。紫色土中 NH_4^+ -N 易被土壤吸收,氮素在紫色土中的淋洗主要是 NO_3^- -N 的移动。在红壤旱坡地的试验中,地表径流流失的 NO_3^- -N 平均为 NH_4^+ -N 的 414 倍^[11]。当水分达到一定条件后,氮肥的淋溶作用相当迅速,淋失氮素的形态与施入氮肥的形态一致。硝态氮肥以 NO_3^- -N 为主,占淋失氮总量的 94.9%;铵态氮肥以 NH_4^+ -N 为主,占淋失氮总量的 79.1%;酰胺态氮肥以尿素态氮为主,占淋失氮总量的 84.8%^[12]。

2.2 农田土壤氮素形态的分布 旱地土壤无机氮形态以硝态氮为主,其含量随旱地土壤剖面深度增加而降低,0~90 cm 根区土壤硝态氮含量为 11~13 mg/kg;90~200 cm 土层为 7~8 mg/kg;400~500 cm 土壤硝态氮含量仅为 2 mg/kg。铵态氮在旱地土壤剖面中的分布较均匀,各土层均在 3~5 mg/kg^[13]。

稻田淹水层、外排水和渗漏水中 NH_4^+ -N 含量明显高于 NO_3^- -N。铵态氮含量在 4~8 mg/kg;硝态氮除表层达到 3 mg/kg 外,其余各层不超过 1.2 mg/kg。稻田土壤剖面中 NH_4^+ -N 向下迁移更为明显,渗漏水中以 NH_4^+ -N 为主。除 0~30 cm 表层土壤硝态氮与铵态氮含量基本相当外,以下各层硝态氮所占比例均不超过 20%^[14]。但相反的研究结果却表明,稻田渗漏水中主要氮素形态为 NO_3^- -N^[15],且硝态氮渗流量可达到铵态氮的 3~6 倍,占全氮含量 31%~34%。

2.3 影响农田土壤氮素流失的因素

2.3.1 氮肥种类。不同氮肥品种对氮的流失量影响程度不同。硝酸铵最易增加径流中氮的含量,施用尿素较碳铵显著降低径流中氮的流失量。在普通氮肥中配施脲酶抑制剂、硝化抑制剂可明显延缓氮在土壤中的转化,降低土壤中硝态氮含量,减轻硝态氮的流失。温室盆栽淋洗试验表明,与对照比较,氮肥配施元素硫和双氰胺(DCD)可降低土壤 NO_3^- -N 淋失量 83%~86%^[16]。近年来,缓/控释氮肥的研制得到进一步重视,包膜控释肥料能明显降低氮肥的淋失量,缓释性的脲甲酯、IBDU(异丁叉二脲)、聚烯烃树脂包膜尿素、热固性树脂包膜肥料等均能较普通氮肥明显降低土壤中的氮素淋失量。

2.3.2 氮肥用量。氮肥的施用量影响氮素在土壤中的移动能力和淋洗潜力,是决定氮素淋失的最主要因素。北京郊区及太湖地区的研究表明,在施低氮量时, NO_3^- -N 残留量很低;在施高氮量时,残留氮除有机态、微生物态氮形式存在外,以 NO_3^- -N 形式存在的比例相当高。在紫色土壤上的试验也证明了增加施氮量将加大硝态氮流失的风险。无论是尿素还是氯化铵,施入氮肥都增加了 NO_3^- -N 淋失量,并随施氮量增加而增加^[13]。

2.3.3 灌溉。随灌溉量的增加土壤硝态氮的淋洗损失量也随之增加。在粉砂粘壤土上,降水对休闲地和旱地土壤 NO_3^- -N 累积的影响主要在 2 m 的深度范围;以当地生产中习惯使用的灌水量进行灌溉,在小麦-玉米轮作 8 年之后,土壤中累积的 NO_3^- -N 会逐渐被淋溶至 4 m 以下;一次性过量灌水则可将土壤上层施入的 NO_3^- -N 淋至 5~6 m 的深度范围,不合理的灌溉会引起 NO_3^- -N 的大量淋失^[17]。减少田面水的排出是降低农田氮流失的关键。

2.3.4 耕作制度。不同的耕作制度对土壤氮素的流失也有明显影响。秸秆覆盖可显著减少肥料氮的流失,且覆盖量愈大,保肥效果愈显著。这是因为秸秆覆盖对土壤侵蚀过程中随径流和泥沙流失的矿质氮有双重影响。其一,可使侵蚀量显著减少,尤其减沙效应十分明显,相应也减少了氮养分流失量;其二,可使坡面径流流速减弱,明显减少了总的矿质氮径流流失量^[18]。

3 控制农田土壤氮素流失的对策

3.1 肥料管理 选择适宜的氮肥对降低土壤氮流失有积极意义。硝酸铵最易增加径流中氮的含量,而施用尿素较碳铵显著降低径流中氮的流失量。在水土流失严重的坡耕地上种植作物时,应尽量选择尿素一类的氮肥,在有条件的地区,可适当施用缓/控释肥料。在一些高产地区,确定氮肥的适宜施用量,将氮肥用量控制在能获得最高经济效益的范围内。研究发现,在垄沟耕作条件下,将肥料施于垄部较高的部位(土面下 5 cm 处,高于灌溉水面)可减少氮素淋失,并提出了氮肥施用的 LCD(Localized compaction and dooming)法^[19]。施肥后土壤地表径流中氮浓度和污染输出负荷比未施肥前成倍增加,说明不在下雨前追施肥料或者施肥后不立即进行灌水可大大降低氮的污染负荷。

3.2 平衡施肥 多种肥料共同施用,其养分在一定条件下表现为显著的交互作用,这种交互作用不仅影响肥料养分的生物有效性,还会影响肥料养分向环境的迁移。随着 N、P 肥的增加,谷子地土壤侵蚀量和径流量逐步减少。适量氮肥与磷肥或有机肥配合施用可以使土壤硝态氮的积累限制在 160 cm 以上的土层,并且不出现深层淋失的现象^[20]。黄土旱塬区的长武站田间定位试验表明,氮与磷肥和有机肥配合施用使硝态氮累积减少。

3.3 植物高效利用 作物利用是限制农田硝态氮向土壤深层迁移的主要因素。养分利用高的基因型品种包括吸收效率高、回收效率高和利用效率高。只有当作物高效利用了养分,才能降低未被作物吸收利用的氮含量,降低土壤中残留氮,从而间接减低土壤中氮的流失。

3.4 耕作制度 垄作和免耕覆盖能显著减少水土流失及养分损失量,采取聚土免耕的保全耕作制度,是防治紫色土区土壤侵蚀和氮素流失的重要手段。在施肥带部位通过压实形成水分运动的障碍层,对防止硝态氮淋失效果显著,可减少施肥部位的 NO_3^- -N 随入渗水分向深层土壤的迁移和累积。Hartemink 等发现,大豆与禾本科作物轮作能够消除硝态氮在深层土壤的积累^[21]。Ritter 等报道,在冬季使用野豌豆和燕麦作为覆盖作物,硝态氮很少淋失到 122 cm 土层以下,而休闲土壤 122 cm 以下的土层明显能检测到硝态氮的存在。因此覆盖作物能有效吸收土壤中残存的氮素和新近矿化的氮素,从而减少硝态氮在土层中的累积和淋洗。

3.5 改进灌溉方式 氮素的淋失总是伴随着水分的向下移动,以产量经济效益和环境综合效益为目标、优化水肥管理,使肥料与灌溉的分配与作物生理需求同步,是防止和减轻土壤氮素流失的有效手段之一。Sexton 等采用可变亏缺触发器用以及时调整灌溉方案,使硝酸盐的淋失量降低 50%~55%^[24]。

参考文献

- [1] HE Y Q, LI Z M. Nutrient cycling and balance in red soil agro-ecosystem and their management[J]. *Pedosphere*, 2000, 10(2): 107-116.
- [2] DECAU, SIMON J C, JACQUET A. Nitrate leaching under grassland as affected by mineral nitrogen fertilization and cattle urine [J]. *J Environ Qual*, 2004, 33: 637-644.
- [3] ZHU Z L, CHEN D L. Nitrogen fertilizer use in china - contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies [C]// *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Beijing: Science Press, 2002: 118-121.
- [4] SHAFFER M J, HALVORSON A D, PIERECE F J. Nitrate leaching and economic analysis package (NLEAP): model description and application [M]// FOLLETT R, KEENEY R M, R M CRUSE. *Managing nitrogen for ground quality and farm profitability*. Madison: Wisconsin Soil Science Society of America, 1991: 285-322.
- [5] KIRSCHBAUM M U F. The temperature dependence of soil organic matter decomposition and the effect of global warming on soil organic C storage [J]. *Soil Biol Biochem*, 1995, 27: 753-760.
- [6] DONG YAN, WANG ZHENGYIN. Effects of new nitrogenous fertilizer synergist on N use efficiency of wheat in acidic purple soils [C]// ZHAOLIANG ZHU, KATSU MINAMI, GUANGXI XING 3rd international nitrogen conference. Beijing: Science Press, 2005: 314-318.
- [7] PARAMASIVAM E, BREITENBECK G A. Distribution of nitrogen in soil of the southern mississippi river alluvial plain [J]. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 1994, 25(3/4): 247-267.
- [8] 童依平, 蔡超, 刘全友, 等. 植物吸收硝态氮的分子生物学进展 [J]. *植物营养与肥科学报*, 2004, 10(4): 433-440.
- [9] VOSE B P. The need to integrate association N₂-fixation and soil organic matter studies [C]// *Regional colloquium on soil organic matter studies Sao Paulo, Brazil*: Promoct Press, 1982: 81-86.
- [10] 董海荣, 李金才, 李存东. 不同 NH₄⁺/NO₃⁻ 比例的氮素营养对棉花氮素代谢的影响 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 728-730.
- [11] 吴金水, 郭胜利, 党廷辉. 半干旱区农田土壤无机氮积累与迁移机理 [J]. *生态学报*, 2003, 23(10): 2040-2049.
- [12] 习金根, 周建斌, 赵满兴, 等. 滴灌施肥条件下不同种类氮肥在土壤中迁移转化特性的研究 [J]. *植物营养与肥科学报*, 2004, 10(4): 337-342.
- [13] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 等. 北京市农田土壤硝态氮的分布与累积特征 [J]. *中国农业科学*, 2004, 37(5): 692-698.
- [14] 吴建富, 张美良, 刘经荣, 等. 不同肥料结构对红壤稻田氮素迁移的影响 [J]. *植物营养与肥科学报*, 2001, 7(4): 368-373.
- [15] JEMISON J M. Nitrate leading from nitrogen-fertilized and manured corn measured with zero tension panly simeters [J]. *Environ Qual*, 1994, 23(1): 337-343.
- [16] 赵言文, 刘常珍, 胡正义, 等. 元素硫和双氧胺对蔬菜地土壤硝态氮淋失的影响 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(3): 496-500.
- [17] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 灌溉与降水对土壤 NO₃⁻-N 累积的影响 [J]. *水土保持学报*, 2000, 14(3): 71-74.
- [18] 张亚丽, 张兴昌, 邵明安. 秸秆覆盖对黄土坡面矿质氮素径流流失的影响 [J]. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 85-88.
- [19] RESSLER D K, HORTON R, KASPAR T C. Localized soil management in fertilizer injection zone to reduce nitrate leaching [J]. *Agron J*, 1998, 90: 747-752.
- [20] FAN J, HAO M D, DANG T H. Effects of fertilization on NO₃⁻-N distribution in soil profiles [J]. *Soil and Environmental Science*, 2000, 9(1): 23-26.
- [21] HARTEMINK A E, BURESH R J, BASHIR JAMA, et al. Soil nitrate and water dynamics in sesbania fallows weed fallows, and maize [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1996, 60: 568-574.
- [22] SEXTON B T, MONCRIEF J F, ROSEN C J, et al. Optimizing nitrogen and irrigation input of corn based on nitrate leaching and yield on a coarse-textured soil [J]. *J Environ Qual*, 1996, 25: 982-992.