

Discussion on the Loss of Nitrogen and the Method of Improving Nitrogen Utilization Efficiency in Rice Field Ecological Breeding

Mingli Ni¹, Jinping Wang^{1*}, Can Chen^{2*}

¹School of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan Hubei

²Hunan Rice Field Ecological Breeding Engineering Technology Research Center, College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan

Email: 573683904@qq.com, *wangjp@mail.hazu.edu.cn, *CC973@126.com

Received: Dec. 18th, 2019; accepted: Jan. 1st, 2020; published: Jan. 8th, 2020

Abstract

This paper mainly analyzes the characteristics and differences of nitrogen loss between the rice field ecological breeding model and the conventional rice field, and puts forward some management measures to reduce nitrogen loss. It mainly involves the causes and approaches of nitrogen loss, the causes of nitrogen loss differences caused by environmental differences under the two systems, and the methods and measures to improve nitrogen utilization efficiency in the rice field ecological breeding system.

Keywords

Rice Field Ecological Breeding, The Loss of Nitrogen, The Utilization Efficiency of Nitrogen

浅谈稻田种养系统氮素损失及提高系统氮素利用效率的方法

倪明理¹, 汪金平^{1*}, 陈 灿^{2*}

¹华中农业大学植物科学技术学院, 湖北 武汉

²湖南农业大学农学院, 湖南省稻田生态种养工程技术研究中心, 湖南 长沙

Email: 573683904@qq.com, *wangjp@mail.hazu.edu.cn, *CC973@126.com

收稿日期: 2019年12月18日; 录用日期: 2020年1月1日; 发布日期: 2020年1月8日

*通讯作者。

摘要

本文主要对稻田种养模式和常规稻田的氮素损失的特点和区别进行了分析, 以及针对稻田种养模式提出了一些减少氮素损失的管理措施。主要涉及氮损失的原因和途径, 两种系统下环境差异所导致的氮素损失差异的原因, 以及稻田种养系统中提高氮素利用效率的方法及措施。

关键词

稻田种养, 氮素损失, 氮素利用效率

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水稻在中国具有悠久的栽种历史, 是我国最主要的粮食作物之一, 在我国农业生产上具有重要意义[1]。但是在常规水稻栽培的过程中由于农民盲目追求水稻产量, 而采用的不合理的施肥方式, 不仅导致了大量的氮素损失, 同时也造成了一系列的环境问题[2]。然而在稻田种养系统中, 由于水产品带来的收益远超水稻, 导致了农民重视水产而忽略了水稻的种植。从而投入大量的饲料, 所以不可避免的导致了稻田水体的富营养化, 藻类肆虐的问题[3]。因此采取合适的施肥管理措施, 对提高氮肥的利用效率, 以及防止农业面源污染具有重要的意义。

2. 氮损失途径

2.1. 氨挥发

氨挥发是施肥后氮素损失的最重要的一种形式[4], 通过研究发现: 尿素被施入土壤后, 迅速被转化为氨态氮, 进而以氨的形式挥发的损失。氨挥发在施肥后的 1 至 3 天达到最高值, 然后随时间推移缓缓下降。稻田中损失的数量表施尿素的氨挥发损失量可达到氮肥施用量的 9%~42% [5]。

影响因素: 施肥处理是影响氨挥发最重要的因素之一, 一般随施肥量的增加, 氨挥发随之增加, 施肥与不施肥处理相比氨挥发提升轻 1.4 倍。同时不同的施肥方式也会明显的影响到其挥发强度, 表施尿素造成的氮损失远大于深施或施肥后覆土两种施肥方式, 通过深施或者覆土可以将氨挥发损失降至 5% [6]。氨挥发的强度同样也与温度, 光照, 土壤类型, 风速, 降雨量有关。朱兆良等研究者通过实验发现: 水稻施用基肥的量大于分蘖肥, 但是水稻分蘖期的氨挥发造成的氮损失峰值反而超过了移栽期, 主要原因是移栽期的平均温度低于分蘖期, 温度低不利于氨挥发。降雨量的增大, 导致水稻田面水中氨态氮浓度降低, 从而减缓了氨挥发造成的氮损失[5]。薛文涛等科研工作者, 通过设计风速为 0 m/s、1 m/s、2 m/s 的三组实验, 得到初始沼液的氨挥发通量分别为 1.05、2.54、3.35 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (如图 1 所示), 证明氨挥发与风速呈明显的正相关关系[7]。不同的土壤类型同样会导致氨挥发的差异, 在相同施氮量的条件下, 氨挥发速率表现为黑钙土 > 黑土 > 白浆土[8], 产生这种现象的主要原因是不同质地的土壤 PH 差异较大, PH 越大氨挥发越强烈。因此由氨挥发所导致的氮素损失, 受到人为的农事操作影响的同时, 还与自然的环境条件密切相关。

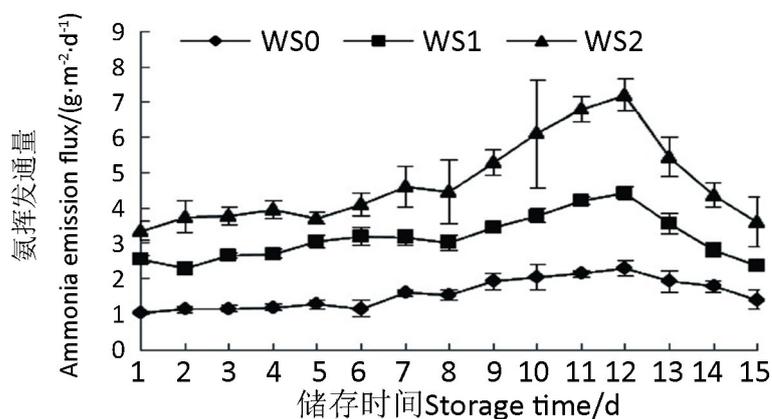


Figure 1. Daily ammonia emission flux of biogas slurry during storage under different wind speed

图 1. 不同风速下氨挥发通量

2.2. 硝化 - 反硝化作用

氮素在土壤微生物的作用下, 经硝化 - 反硝化过程从而将氨态氮转化成为硝态氮。部分氮素以氧化亚氮的形式从土壤排出进入大气, 大气中 70% 的 N_2O 来源于农业生态系统, 其中农田的硝化 - 反硝化作用是 N_2O 排放的主要来源[9]。欲减少 N_2O 的排放, 主要通过促进硝化作用, 而抑制反硝化作用来实现。而控制这两部分作用的微生物的活性的高低, 对控制硝化 - 反硝化具有重要作用。而土壤 PH, 通气状况等环境条件的改变能显著改变微生物的生存条件, 进而影响其活性, 从而达到控制硝化 - 反硝化作用强度的效果[10]。就目前而言, 稻田硝化 - 反硝化造成的氮损失缺乏精准的定量测定方法, 因此阻碍了在田间条件下, 对该部分氮素损失的精准研究[11]。

2.3. 淋洗和径流损失

淋洗损失是指在农田水的作用下, 耕作层中的氮素随水流向下移动, 超出了根系的活动范围, 无法被植株所吸收利用的土壤氮素[12]。上世纪 90 年代, 我国科研工作者对稻田中氮素淋洗的损失量进行了测定。在双季稻田中, 300 千克氮每公顷的施氮量下, 稻田中硝态氮淋失量达到 23 kg/ha, 而硝态氮和氨态氮淋失总和为 27 kg/ha。该实验结果证明淋洗所造成的氮素损失主要以硝态氮为主[13]。产生差异的主要原因是, 土壤胶体一般带负电, 容易吸附 NH_4^+ , 因而 NH_4^+ 不易随水流向下移动, 产生的淋失量较小。而 NO_3^- 带负电, 不易被土壤胶体吸附, 极其容易随水自由流动, 进入下层土壤的量更大。径流主要是指: 因降雨或者灌溉等水分管理措施的作用下, 土壤氮素进入水体并随水流进入沟渠、河流, 这是导致水体富营养化的主要原因[14]。氮素的淋失受到诸多因素的影响, 其中氮肥的施用量是最重要的原因之一。许多科研人员研究证实氮素的淋失量和氮肥的施用量呈显著的正相关关系[15][16]。

除氮肥用量外, 土壤类型, 降雨量及灌溉等因素都会影响到氮素淋失。当土壤含水量达到田间最大含水量时, 土壤中的氮素就会随水向下渗漏。田间含水量增大时, 尤其是硝态氮渗漏损失更严重。因此雨季与旱季相比, 雨季氮素的淋洗损失也会越多[17]。

灌溉造成氮素淋失的机理与降水相似, 灌溉的水量及灌溉的时间对氮素的下渗有明显的影响。一般而言旱地氮素淋失损失要小于水田, 多次的小水量灌溉方式相比大水漫灌造成的氮素淋失损失要小[18]。土壤的物理性质, 结构形态等特征都会影响水在土壤中的运动。粘土的土壤孔隙度小, 保水能力较强。因而在相同的水分管理条件下, 砂土的氮素淋洗损失要高于粘土[19]。

3. 稻田种养模式特点

稻田生态种养模式是指：在传统的稻田种植模式下，以稻田为基础，开展水产动物养殖，充分利用稻田的生物资源的模式。其中包括稻-鱼、稻-虾、稻-鳅、稻-鸭、稻-鳖等多种复合种养模式[20]。这些模式与传统的稻田存在以下区别：一、稻田种养模式中，除施用肥料之外，为保证水生生物的生长，获得相对高的经济效益，还存在着大量的饲料投入。这些饲料一部分被养殖生物食用，另外的大部分则进入环境中。饲料中的部分氮素能被水稻所吸收利用，陈欣等人通过对稻-鱼系统中饲料氮去向的研究表明：水稻植株和秸秆中 31.8%的 N 来自于饲料[23]。环境中未被水稻植株所吸收的饲料中的氮素，则进入水体和土壤中，随水流移动的过程中发生淋洗和径流损失。若不能合理的控制施用量，极易导致水体富营养化的问题[3]。二、由于稻田中水生生物的存在，会对水稻植株的生长产生促进作用。这些水生生物(如：鱼，鸭，鳅等)在田间活动时，扰动了气流，改善了田间的通风透光条件。鱼鸭在活动 and 取食的过程中，撞击水稻植株，食用落水害虫，有效的降低了病虫对水稻的危害。同时，这些共生生物在觅食过程中，产生的排泄物富含粗蛋白以及 N、P、K 等元素，从而提高了土壤有机质的含量，促进化学肥料肥力的释放，土壤肥力得到提升[21]。

4. 提高种养模式下氮素利用效率的方法

4.1. 氮素投入

氮素的投入包括饲料和肥料的合理施用。因为稻田种养模式下，共生动物的取食排泄活动会额外增加养料投入，提高土壤肥力。相比传统的稻田栽培，种养模式的化学肥料的投入应适当的降低。禹盛苗等人通过对稻鸭共作模式对土壤理化性质影响的研究得到：稻鸭共作模式相比常规稻田减少了 30%的化肥投入，但是土壤肥力依然高于常规栽培[22]。饲料的施用量需要把握合适的度，不能只注重饲养动物的产量，而忽视过量投入对稻田环境带来的负面影响。在稻田养鱼与普通的池塘养鱼的比较实验中，在相同的投食水平下，稻田中的鱼氮含量更高。实验证明稻田中投入肥料的 2.1%被鱼所吸收利用[23]。稻田环境中共生动物获取氮素的来源更多，适当的减少含氮物质的投入量有助于提高氮素利用效率。

4.2. 种养密度

不同的饲养动物的投喂密度同样会影响到氮素利用效率。科研工作者通过不同稻鸭密度对水稻产量和经济效益影响的研究得到：随着鸭投放密度的增大，相应病虫早害的防治效果增加，但是相应的饲料投入加大，投入产出比下降，水稻的产量和净利润与投放密度呈负相关关系。水稻的产量和经济效益结合起来考虑，鸭适合的投放密度为 216~250 只/hm [24]。适宜的共生动物的密度对维持水稻高产，提高氮素利用效率具有积极的作用。

稻田种养条件下，适当的降低水稻的栽培密度有利于提高氮素利用效率。许敏通过对稻-蟹共作模式与传统水稻栽培和不同水稻栽培密度的研究得到：在相同水稻栽培密度时，蟹稻田约增加了 0.17 个有效分蘖/穴，水稻生物量增加了 3.3%，结实率和穗粒数明显提高。相比常规栽培，水稻产量提升了 11.5% [25]。在不同栽培密度的处理中，单穴单株的产量性状优于高密度处理。并且水稻稀植赋予了单株更多的生长资源和空间，对稻米品质的提升具有积极作用[26]。在日益追求稻米品质的今天，适当的稀植与种养相结合在保证产量的同时，保证了稻米品质。这是追求优质高产目标的一条值得探索的路径。

5. 小结

稻田种养模式相较传统的栽培模式，额外的投入产品更多，发生氮素损失的可能性更高。但是由于共生动物的觅食活动和排泄过程，稻田环境中的空间和资源被更加充分的利用。因此为达到提高种养系

统氮素利用效率的目的, 应适当的减少饲料, 肥料等投入产品的用量, 同时, 合理的安排饲养动物以及栽培水稻的密度。

参考文献

- [1] 何丽冬. 水稻栽培技术对水稻高产的影响分析[J]. 农家参谋, 2019(19): 74.
- [2] 谭人伟. 探究农业面源污染防治的难点、问题及对策[J]. 低碳世界, 2019, 9(8): 60-61.
- [3] Thakur, D.P. and Lin, C.K. (2003) Water Quality and Nutrient Budget in Closed Shrimp (*Penaeus monodon*) Culture Systems. *Aquacultural Engineering*, **27**, 159-176. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(02\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00055-9)
- [4] 李鑫, 巨晓棠, 张丽娟, 万云静, 刘树庆. 不同施肥方式对土壤氮挥发和氧化亚氮排放的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 99-104.
- [5] 苏成国, 尹斌, 朱兆良, 沈其荣. 稻田氮肥的氮挥发损失与稻季大气氮的湿沉降[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1884-1888.
- [6] Li, X.-H. (1999) Mechanism of Nitrogen Losses and Ways to Increase Nitrogen Fertilizer Recovery Rate in Crop-Land in Beijing. *Newsletter of Beijing Soil Association*, **2**, 5-8. (In Chinese)
- [7] 薛文涛, 孙钦平, 林聪, 刘本生, 王悦, 李吉进, 邹国元. 风速对鸡粪沼液氨挥发特性的影响[J]. 农业工程报, 2018, 34(S1): 7-12.
- [8] 徐卓, 王寅, 冯国忠, 焉莉, 王少杰, 高强. 尿素硝酸铵溶液在不同类型土壤中的氨挥发特性[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(5): 610-616.
- [9] Meng, Q.F., Yue, S.C., Hou, P., Cui, Z.L. and Chen, X.P. (2016) Improving Yield and Nitrogen Use Efficiency Simultaneously for Maize and Wheat in China: A Review. *Pedosphere*, **26**, 137-147. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60030-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60030-3)
- [10] Papen, H. and Berg, R.V. (1998) A Most Probable Number Method (MPN) for the Estimation of Cell Numbers of Heterotrophic Nitrifying Bacteria in Soil. *Plant and Soil*, **199**, 123-130. <https://doi.org/10.1023/A:1004243810473>
- [11] 倪吾钟, 彭光浩, 沈仁芳, 尹斌, 朱兆良. ^{15}N 示踪-质谱计法直接定量稻田土壤反硝化作用氮素损失的可行性研究[J]. 核农学报, 2000, 14(6): 359-366.
- [12] 朱兆良. 农田氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
- [13] 王家玉, 王胜佳, 陈义, 郑纪慈, 李超英, 计小江. 稻田土壤中氮素淋失的研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(1): 28-36.
- [14] 王吉苹, 朱木兰, 李青松. 农田土壤氮素渗漏淋失研究进展[J]. 四川境, 2014, 33(6): 118-125.
- [15] Lee, C., Feyereisen, G.W., Hristov, A.N., et al. (2014) Effects of Dietary Protein Concentration on Ammonia Volatilization, Nitrate Leaching, and Plant Nitrogen Uptake from Dairy Manure Applied to Lysimeters. *Journal of Environmental Quality*, **43**, 398-408. <https://doi.org/10.2134/jeq2013.03.0083>
- [16] 金洁, 杨京平. 高肥力稻田分次施氮对氮素淋失的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 98-101.
- [17] Poch-Massegu, R., Jimenez-Martinez, J., Wallis, K.J., de Cartagena, F.R. and Candela, L. (2014) Irrigation Return Flow and Nitrate Leaching under Different Crops and Irrigation Methods in Western Mediterranean Weather Conditions. *Agricultural Water Management*, **134**, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.11.017>
- [18] Wang, Q., Li, F., Zhang, E., et al. (2012) The Effects of Irrigation and Nitrogen Application Rates on Yield of Spring Wheat (Longfu-920), and Water Use Efficiency and Nitrate Nitrogen Accumulation in Soil. *Australian Journal of Crop Science*, **6**, 662-672.
- [19] 曹巧红, 龚元石. 降水影响冬小麦灌溉农田水分渗漏和氮淋失模拟分析[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(1): 37-42.
- [20] 隆斌庆, 陈灿, 黄璜, 向继恩. 稻田生态种养的发展现状与前景分析[J]. 作物研究, 2017, 31(6): 607-612.
- [21] 陈璐, 陈灿, 黄璜, 李桂香. 稻田生态种养对农田生态效应的影响[J]. 作物研究, 2019, 33(5): 346-351.
- [22] 禹盛苗, 朱练峰, 欧阳由男, 许佳莹, 张均华, 许德海, 金千瑜. 稻鸭种养模式对稻田土壤理化性状、肥力因素及水稻产量的影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(1): 151-156.
- [23] Xie, J., Hu, L.L., Tang, J.J., et al. (2011) Ecological Mechanisms Underlying the Sustainability of the Agricultural Heritage Rice-Fish Coculture System. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **108**, E1381-E1387. <https://doi.org/10.1073/pnas.1111043108>
- [24] 禹盛苗, 金千瑜, 朱练峰, 欧阳由男, 许德海. 稻田养鸭密度对水稻产量和经济效益的影响[J]. 浙江农业科学,

2008(1): 68-71.

- [25] 徐敏. 水稻栽培密度对稻田土壤肥力和稻蟹生长影响的初步研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
- [26] 刘岩. 播种密度对水稻秧苗素质及对本田产量和品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.