

DMPP 减少稻田土壤氮素损失的研究进展^①

周 卉¹, 田光明¹, 李 华^{2*}, 刘 琛², 李凝玉², 傅庆林²

(1 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058; 2 浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所, 杭州 310021)

摘 要: 以追求高产为目标的过量施肥不仅造成养分资源的浪费, 而且由于养分流失导致对周边水体的污染。利用硝化抑制剂与氮肥配施被认为是减少农田氮素损失, 提高氮肥利用率的有效途径。本文以新型硝化抑制剂 3,4-二甲基吡唑磷酸盐(简称 DMPP)为研究对象, 就其特性与优势, 结合稻田氮素循环的自身特点, 重点介绍了 DMPP 对稻田氮素损失各主要环节的影响。从 DMPP 对稻田硝化与反硝化的作用机理、微生物影响及作用效果等方面, 综述了其在减少稻田氮素损失、提高氮素利用率, 降低农业面源污染风险, 促进环境保护方面的作用。同时对目前研究中存在的问题和争议进行了分析讨论, 对今后关于 DMPP 应该深入的研究方向进行了展望。

关键词: DMPP; 稻田; 氮素损失; 环境保护

中图分类号: S19

氮素作为植物生长的必需营养元素, 也是作物产量的重要养分限制因子。植物对氮的大量需求, 使得施用氮肥成为必不可少的增产途径。然而, 因过量施入氮肥、大量氮素的流失不仅造成资源浪费和经济损失, 而且导致环境污染问题日趋严重。据统计, 我国氮肥在农田去向比例中, 作物吸收只占 35%、氨挥发损失 11%、硝化-反硝化损失 34%、淋洗损失 2%、地表径流损失 5%、未知部分 13%^[1], 损失率极高。稻田生态系统土壤中氮素的转化特点与旱地有很大的不同, 水稻土在淹水状态下, 耕层土壤有明显的氧化层和还原层。稻田氮肥损失率可高达 30%~70%, 远比旱地氮肥损失率 20%~50% 高^[2], 因此, 对稻田氮素损失的研究成为举世关注的热点。如何合理施用氮肥, 提高氮肥利用率, 减少氮素损失, 解决由此造成的环境问题, 已成为农业面源污染控制研究的重大课题。

目前针对减少氮素损失、提高氮肥利用率的措施主要基于两个途径, 一是通过改善施肥技术及肥水管理模式实现, 另一途径则是从肥料改良入手, 施用缓释肥及一些生化控制调控剂, 如硝化抑制剂等。DMPP(3,4-二甲基吡唑磷酸盐)是由德国巴斯夫公司(BASF)于 1998 年研发并率先使用的一种新型硝化抑制剂, 1999 年获得德国政府批准在德国及欧洲进

行了大量的田间试验, 这些试验表明, DMPP 是一种高效、安全、无毒、较价廉的硝化抑制剂, 在减少农田氮素损失、提高氮肥利用上作用十分显著, 因此得到商业化和农业生产中的规模化应用。本文主要就 DMPP 的特性与优势, 对其在稻田土壤中的应用, 减少稻田氮素损失, 防控农业面源污染方面的作用研究进行综述。

相比于其他硝化抑制剂, DMPP 的环境效益更加突出, 主要体现在: 用量小, 每公顷用 0.5~1.5 kg DMPP 就可取得良好的抑制效果^[3], 当在土壤中均匀分布时, 0.39 $\mu\text{g/g}$ 就可以起到显著的硝化抑制效果^[4]; 成本较低、无毒, 不会产生植物的激素效应, 在植物体中残留极小。¹⁴C(DMPP)标记的大田试验表明, 马铃薯收获时向马铃薯中的迁移 DMPP 量只有 0.39%^[5]; 抑制时间长, 与肥料结合, 迁移性小^[6], 不易出现与 NH_4^+ 在土壤剖面中的分离现象以及淋溶损失问题^[4-5]。将其施入到旱作土壤培养 10 天后, 大约 80% 的 DMPP 分布在 0~5 mm 土层^[7]。因此, 国内外近年来对 DMPP 的研究与应用较多。

1 DMPP 减少稻田氮素损失研究

一般认为硝化抑制剂主要是抑制土壤的硝化作用, 通过抑制土壤氨氧化菌的活性来实现对 NH_4^+ 氧

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901111), 浙江省公益技术研究项目(2011C23054)和浙江省农科院创新提升项目(2011R20Y01E01)资助。

* 通讯作者(lisar-123@163.com)

作者简介: 周卉(1989—), 女, 浙江衢州人, 硕士研究生, 主要研究方向为氮素面源污染研究。E-mail: zhouhuieva@163.com

化到 NO_2^- 过程的抑制,减少农田以 NO_3^- -N 淋失及径流的硝化损失。DMPP 对氨氧化过程的研究发现,DMPP 可显著减少氨氧化细菌(AOB)的数量,而对氨氧化古菌(AOA)并无抑制效果^[8]。DMPP 使稻田土壤表层 AOB 的数量减少了24.5%~27.6%,亚硝酸盐氧化菌(NOB)的数量在一定程度上得到抑制^[9]。Chaves 等^[10]曾提出 DMPP 可能是由于其能够破坏氨单加氧酶蛋白质细胞膜而抑制硝化反应。从结构上分析,DMPP 是一种杂环的氮化合物,明显区别于其他抑制剂,其抑制效果很可能和氮环的存在有关,是否对反硝化过程也存在影响还值得研究。

1.1 DMPP 对稻田硝化途径氮素损失的影响

稻田土壤中施加尿素后,导致硝化作用增强^[11]。外源氮添加对土壤氮素矿化具有激发效应^[12-14],导致土壤中 NH_4^+ -N 浓度增加,进而增加氨挥发浓度,并间接促进了土壤硝化作用^[15],增加了氮素流失的风险。据报道,DMPP 对硝化作用的抑制率可达56%^[10],与氮肥配施可显著抑制硝化反应,可降低土壤 NO_3^- -N 损失^[16]。DMPP 对硝化途径氮素损失的影响主要体现在减少 NO_3^- -N 淋失及径流损失等方面,而对于稻田氨挥发没有显著增加的影响。

1.1.1 DMPP 可显著减少稻田中 NO_3^- -N 的淋失,缓解氮素向地下迁移造成的地下水污染 在土柱模拟和大田定位试验中发现,与尿素单施相比,1% DMPP 的添加可使稻田 NO_3^- -N 淋失通量减少45%以上^[17]。嘉兴和余杭的轮作定位试验中,稻季的相关研究数据显示,添加1% DMPP 与尿素的配施可显著地降低 NO_3^- -N 的淋失,分别减少了44.9%和58.3%,并提高作物产量^[18]。DMPP 减少 NO_3^- -N 淋失的作用效果与施用方式及作用环境显著相关,在嘉兴和余杭的轮作定位试验中,采用了基肥深施及两次追肥的3次施肥方式,一方面可提高氮肥利用率,另一方面也有利于进一步加强与氮肥配施的 DMPP 的作用效果。3次施肥延长了 DMPP 的作用时间,使其能更长久地作用于水稻的生长期,同时,DMPP 在旱地的作用效果更明显,在非淹水期的追肥,也有利于 DMPP 的硝化抑制效果,从而更明显地减少 NO_3^- -N 淋失损失。

DMPP 具有较好的固铵作用,添加 DMPP 可显著提高土壤表层的 NH_4^+ -N 含量^[3,9,19-21]。与尿素单施相比,添加 DMPP 施肥10天后土壤中的 NH_4^+ -N 含量可提高12.4%~24.1%^[9]。小粉土和青紫泥的盆栽试验中, NH_4^+ -N 浓度分别增加94.6%~97.9%和55.4%~65.1%^[21]。通过土壤剖面的研究发现,DMPP 能明显

提高土壤0~15 cm 层的氨氮含量,而在15~45 cm 层的氨氮含量则与常规尿素处理相近^[22]。从整个阶段来看, NH_4^+ -N 在土壤中不易发生纵向迁移,主要集中在耕作层土壤。因此,使用 DMPP 并不会增加地下水 NH_4^+ -N 的潜在污染,而对作为喜铵植物的水稻十分有利。

DMPP 可显著减少稻田土中 NO_2^- -N 和 NO_3^- -N 含量,降低淋失风险^[9,18,21-22]。与尿素单施相比,添加 DMPP 使稻田土壤中的 NO_3^- -N 含量减少了26.2%~39.4%^[9]。施用含 DMPP 硝化抑制剂的尿素,可使小粉土和青紫泥土壤中 NO_3^- -N 浓度分别下降49.0%~81.3%和33.9%~83.7%, NO_2^- -N 浓度下降46.9%~90.9%和53.7%~90.2%^[21]。施肥对土壤剖面硝酸盐的分布有很大的影响,DMPP 对 NO_3^- -N 的固定作用相比 NH_4^+ -N 具有延后性^[18]。通过对不同处理相同土层 NO_3^- -N 含量差异显著性分析可知,常规尿素在土壤中经硝化作用形成大量的 NO_3^- -N,35~45 cm 层含量较高, NO_3^- -N 纵向迁移明显,淋洗损失十分严重^[22],而经 DMPP 处理的该土层 NO_3^- -N 含量则相对较低,明显降低了 NO_3^- -N 的淋溶损失风险,有利于对氮素的保持固定,从而减轻对地下水的氮素污染。

综上,DMPP 作用稻田可有效保持土壤高 NH_4^+ -N 浓度、低 NO_3^- -N 与 NO_2^- -N 浓度,促进水稻对氮素的吸收利用,提高氮素利用率。

1.1.2 DMPP 可减少氮素的径流损失、减轻氮素向地表水体迁移的风险 相比于带正电荷的 NH_4^+ -N,带负电荷的 NO_3^- -N 不易被同样带负电荷土壤胶体吸附固定,稻季地表径流液中, NO_3^- -N 占总氮含量的30%~80%^[23],径流中以 NO_3^- -N 为主。尿素+DMPP 处理的3次模拟降雨地表径流液中, NO_3^- -N 含量分别减少了70.2%、59.7%和52.1%, NO_2^- -N 含量分别减少了98.7%、90.6%和85.6%,从总量上来看,在3次模拟试验中进入地表水体的无机氮分别减少了39.0%、44.8%和43.0%^[24],地表径流仍以 NO_3^- -N 为主,DMPP 可显著地减少稻田氮素的径流损失。

研究发现,添加 DMPP 处理使小粉土和青紫泥土壤田面水 NH_4^+ -N 含量分别提高24.8%和16.7%^[25],而土壤对 NH_4^+ -N 的吸附作用可在一定程度上减弱该趋势,一定程度上缓解 NH_4^+ -N 的径流损失趋势;DMPP 处理使小粉土和青紫泥土壤田面水 NO_3^- -N 含量减少47.7%和70.9%, NO_2^- -N 含量减少90.6%和88.9%,总无机氮含量减少13.5%与23.1%^[25],可见,应用 DMPP 能显著降低田面水 NO_3^- -N 和总无机氮含量,从而降低稻田氮素因径流损失而造成的地表水环境

潜在污染风险。

DMPP 在减少氮素径流损失方面效果显著,可有效地实现农业面源污染的源头控制。通过不同土壤应用效果比较发现,相对于小粉土,青紫泥具有更好的吸附性及较高的 CEC 值,因此对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的吸附能力更强,就减少氮素径流损失方面 DMPP 应用于青紫泥的效果更加显著。

1.1.3 DMPP 对氨挥发损失的影响 我国水稻田的氨挥发量要高于旱地^[26],对于水稻田来讲,肥料施入后土壤及稻田田面水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度是决定稻田氨挥发的最主要因素之一,氨挥发损失通量与施肥后田面水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度呈显著正相关。DMPP 配施增加了土壤及田面水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度^[9,19-20,25,27],但与对照相比,并没有显著增加氨挥发损失^[18,28-30]。

与氮肥单施相比,添加 DMPP 对氨挥发有一定的促进作用,尤其在水稻的早期淹水条件下易发生高浓度的氨挥发。从 DMPP 对稻田土壤及田面水氮素转化的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量动态变化中发现,与氮肥单施相比,DMPP 配施处理稻田土壤及田面水中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量稍高,但因植物的吸收和土壤的吸附等的交互作用,使得 DMPP 的施用并未显著增加氨挥发。有研究表明 DMPP 可促进水稻对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的吸收从而进一步地利用土壤及田面水中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ^[31],且土壤对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 具有较强的吸附作用,不同的土壤类型间存在着较大差异。另一方面,随着时间的推移,DMPP 的抑制活性缓慢发生下降, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 逐渐发生迁移转化而下降,同时氨挥发趋势降低土表界面吸附的氨往下移动,导致土-气界面氨的浓度梯度减小,氨扩散能力减弱。因此,对于生长季较长的水稻而言,从整个生长季氨挥发速率及损失通量看,DMPP 对氨挥发的促进效果并不显著,不会增加高浓度的氨挥发趋势^[18,28-31]。苏芳等^[32]研究表明,尿素的氨挥发损失为 25.7%,添加 DMPP 后氨挥发损失为 27.6%;硫硝酸铵的氨挥发损失为 18.6%,添加 DMPP 后为 20.6%。Wissemeier 等^[28]研究表明,DMPP 处理的氨挥发损失为对照硝酸铵钙的 92%,而双氰胺(DCD)处理为对照的 117%。可见,DMPP 对氨释放的作用效果比其他硝化抑制剂更高,但这些结果依赖于土壤特征,特别是土壤 pH^[33]。

施肥水平、施肥方式、土壤特性、温度、含水量等对 DMPP 作用的氨挥发损失有较大影响。含 DMPP 处理的尿素配施低 C/N 有机肥比高 C/N 比有机肥氨挥发损失高;在肥力高的碱性土壤中氨挥发损失严重,而在酸性的红壤和 CEC 值高的土壤中的

挥发损失量则较低;随着土壤温度升高,氨挥发损失量呈明显递增趋势;当土壤含水量为田间饱和持水量 100% 时,氨挥发损失增加的趋势较快^[34]。因此,在农业生产上,因地制宜,综合考虑当地的环境温度及土壤特性,采用合理的施肥配合恰当的水分管理,对提高 DMPP 的应用效果,对减少稻田氨挥发损失、减轻对大气及水环境间接污染有重要意义。

1.2 DMPP 对稻田反硝化途径氮素损失的影响

反硝化损失是稻田氮素流失的主要途径之一,施肥可增加土壤反硝化酶活性,特别在水稻淹水时期^[35]。稻田的反硝化作用释放氮量占其输出氮总量的 29.9%^[36],其反硝化损失主要是以 N_2 、 N_2O 损失为主,但土壤中只有少数反硝化微生物能将 N_2O 还原成 N_2 ,在这两种基本产物 N_2O 和 N_2 中, N_2O 约占 2/3, N_2 约占 1/3^[37],因此反硝化所产生的气体主要是 N_2O 。 N_2O 是一种温室气体,同时也是一种能破坏同温层和臭氧层的气体,对大气造成的污染不可忽视。研究表明释放的 N_2O 有 10% ~ 40% 来源于肥料氮,而 60% ~ 90% 产生于土壤氮^[38]。

在实验室培养条件下 DMPP 能减少 18.6% ~ 95% 的 N_2O 排放,大田应用中能减少 20% ~ 71.63% 的 N_2O 排放^[39]。在培养试验的有机肥中添加 DMPP 后, N_2O 的排放量可由 64% 降低到 9%^[7]。定位试验发现,DMPP 可使农田和草地 N_2O 的排放量减少 20% ~ 61%^[19,29,36,39-41]。3 年褐土大田试验表明,DMPP 平均减少了 49% N_2O 释放量,而 DCD 平均减少了 26%。此外,DMPP 还使残留在土壤中 N_2O 的量减少了 61%^[39]。可见,DMPP 与其他硝化抑制剂相比,其减少 N_2O 释放的作用效率更高。

在过去的研究中往往认为反硝化作用是农田土壤 N_2O 产生的主要途径,但现研究中亦有许多结果表明硝化作用也是 N_2O 产生的主要途径。由于土壤的不均衡性,硝化作用和反硝化作用可同时发生,土壤的含水量在 45% ~ 75% 之间时,硝化细菌和反硝化细菌都可能成为 N_2O 的主要制造者,两者对 N_2O 的排放贡献主要取决于土壤的含水量。Sergio 等^[42]探讨了温度和湿度对 DMPP 减少 N_2O 的影响,其结果表明 DMPP 在减少 N_2O 作用方面,最佳应用效果是湿冷及干热条件下,在含水量为 60% 时不同温度间的效果差异不明显,硝化作用起主导作用,同时,反硝化作用会略微增加 N_2O 的累积。因此推测 DMPP 应用效果的差异主要是由硝化细菌和反硝化细菌所适应的温度条件不同所引起的,在 60% 含水量时,硝化细菌与反硝化细菌的共同作用掩蔽了温度的差异

作用。因此,在 DMPP 的大田应用中,应充分考虑气候条件,合理灌溉,以取得 DMPP 的最佳应用效果。

大量的研究表明,DMPP 在 N_2O 减排方面有显著效果,但关于 DMPP 减少反硝化损失的机制还存在分歧。一方面,DMPP 使施肥次数减少,可减少 N_2O 的释放^[6]。DMPP 使氮的总矿化速率减少^[29,43],这也被认为是其减少 N_2O 排放的主要原因。另一方面,Müller 等人^[44]在试验中发现,DMPP 对土壤硝酸还原酶和 N_2O 还原酶活性没有明显影响,由此判断 DMPP 减少 N_2O 释放的原因是通过抑制硝化过程,致使土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度较高, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度较低,从而减少了 N_2O 产生的源;但另有研究指出,DMPP 可使硝酸还原酶活性减弱 14.9% ~ 43.5%^[9],即 DMPP 能直接抑制反硝化过程而减少 N_2O 释放,因而表现出更好的 N_2O 减排效果。上述观点均未得到进一步证实,而在稻田土壤生态系统中,其突出的特点便是干湿交替,硝化与反硝化作用频繁发生,这使得 DMPP 减少稻田 N_2O 气态损失的影响机理更不明确。

2 研究展望

越来越多的研究表明 DMPP 在农业生产及环境保护领域有显著优势,受到了国内外的众多学者的广泛关注,但作为一种新型的硝化抑制剂,对其研究时间不长,现仍有许多的问题需要通过进一步深入研究得以解决。

(1) 目前对 DMPP 的研究尚未能从微生物学机制阐明 DMPP 抑制硝化过程的作用机理。DMPP 对稻田土硝化细菌的抑制作用研究局限于采用常规的微生物培养方法研究,难以对其作用的微生物学机制进行深入的说明。从分子生物学水平上对 DMPP 进行的研究还主要限于国外的报道。在目前的研究中,DMPP 对硝化反硝化作用的影响还存在许多争议,将传统方法与分子生物学结合,从微生物的数量与分布特征上来阐明其抑制硝化、减少反硝化损失的机制,探明 DMPP 对土壤微生物的影响,为其在土壤环境中的活性及其减少氮损失作用的贡献提供直接证据。

(2) DMPP 在稻田土壤中的迁移转化和降解机制还有待深入。关于 DMPP 降解与迁移的研究仅集中在旱作土壤中,未关注干湿交替与氧化还原过程频繁交替的稻田土壤,稻田土氮损失量更大,更需关注。

(3) 需要对其有效性与安全性做出全面评价。现有对 DMPP 评价内容较为单一,主要局限于其抑制效果而未能从在稻田施用的增产效果等经济效益、社会效益以及长期施用的安全性等多方面进行综合全

面的评价。完善这一评价对于实现农业可持续发展,转变我国的农业发展模式具有深远的意义。

参考文献:

- [1] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-783
- [2] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6
- [3] Zerulla W, Barth T, Dressel J, Erhardt K, von Locqueinghien KH, Pasda G, Rädle M, Wissemeier AH. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP)—A new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture[J]. Biol. Fertil. Soils, 2001, 34: 79-84
- [4] Azam F, Benckiser G, Müller C, Ottow JGG. Release, movement and recovery of 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), ammonium, and nitrate from stabilized nitrogen fertilizer granules in a silty clay soil under laboratory conditions[J]. Biol. Fertil. Soil, 2001, 34: 118-125
- [5] Fettweis U, Mittelstaedt W, Schimansky C, Führ F. Lysimeter experiments on the translocation of the carbon-14-labelled nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in a gleyic cambisol[J]. Biol. Fertil. Soil, 2001, 34: 126-130
- [6] 许超, 吴良欢, 张福锁. DMPP 农业应用研究进展[J]. 土壤通报, 2003, 34(5): 478-482
- [7] Hatch D, Trindade H, Cardenas L, Carneiro J, Hawkins J, Scholefield D, Chadwick D. Laboratory study of the effects of two nitrification inhibitors on greenhouse gas emissions from a slurry-treated arable soil: impact of diurnal temperature cycle[J]. Biol. Fert. Soils, 2005, 41(4): 225-232
- [8] Kristina K, Kristina K, Susanne K, Iris P, Helena P, Reiner R, Sabine F, Michael S. Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on ammonia-oxidizing bacteria and archaea in rhizosphere and bulk soil[J]. Chemosphere, 2011, 84: 182-186
- [9] Li H, Liang XQ, Chen Yingxu, Lian YF, Tian GM, Ni WZ. Effect of nitrification inhibitor DMPP on nitrogen leaching, nitrifying organisms, and enzyme activities in a rice-oilseed rape cropping system[J]. J. Environ. Sci., 2008, 20(2): 149-155
- [10] Chaves B, Opoku A, De Neve S, Boeckx P, Van Cleemput O, Hofman G. Influence of DCD and DMPP on soil N dynamics after incorporation of vegetable crop residues[J]. Biol. Fertil. Soil, 2006, 43(1): 62-68
- [11] Zhao W, Cai ZC, Xu ZH. Does Ammonium-Based N Addition Influence Nitrification and Acidification in Humid Subtropical Soils of China[J]. Plant Soil, 2007, 297(1/2): 213-221
- [12] 吕殿青, 张树兰, 杨学云. 外加碳、氮对土壤氮矿化、固定与激发效应的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 223-229
- [13] 刘德燕, 宋长春. 外源氮输入对土壤有机碳矿化和凋落物分解的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 675-680
- [14] 余冬立, 王凯荣, 谢小立, 尹春梅. 施 N 模式与稻草还田对土壤供 N 量和水稻产量的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(2): 16-20, 44

- [15] 贾俊仙, 李忠佩, 刘明, 车玉萍. 施用氮肥对不同肥力红壤性水稻土硝化作用的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(4): 329–333
- [16] Xu C, Wu LH, Ju XT, Zhang FS. Role of nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) in NO_3^- -N accumulation in greengrocery (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*) and vegetable soil[J]. J. Environ. Sci., 2005, 17(1): 81–83
- [17] 俞巧钢, 陈英旭, 张秋玲, 梁新强, 李华, 张志剑. DMPP 对氮素垂直迁移转化及淋溶损失的影响[J]. 环境科学, 2007, 28(4): 813–818
- [18] Li H, Chen YX, Liang XQ, Lian YF, Li WH. Mineral-nitrogen leaching and ammonia volatilization from a rice-rapeseed system as affected by 3,4-Dimethylpyrazole phosphate[J]. J. Environ. Qual., 2009, 38: 2 131–2 137
- [19] Linzmeier W, Gutser R, Schmidhalter U. Nitrous oxide emission from soils and from a ^{15}N -labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP)[J]. Biol. Fertil. Soils, 2001, 34: 103–108
- [20] Serna MD, Bañuls J, Quifioñes A, Primo-Millo E, Legaz F. Evaluation of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in a Citrus cultivated soil[J]. Biol. Fertil. Soils, 2000, 32: 41–46
- [21] 俞巧钢, 陈英旭. 尿素添加硝化抑制剂 DMPP 对稻田土壤不同形态矿质态氮的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7): 1 357–1 363
- [22] 俞巧钢, 陈英旭, 张秋玲, 李华, 梁新强, 田平. DMPP 对菜地土壤氮素淋失的影响研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 40–43
- [23] 朱新开, 盛海君, 夏小燕, 王亚飞. 稻麦轮作田氮素径流流失特征初步研究[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(1): 38–41, 66
- [24] 沈真实, 许超, 汤海涛, 黄凤球, 廖育林, 孙玉桃, 高飞进. DMPP 施用的环境效应、影响因素及其机理研究[J]. 湖南农业科学, 2011(15): 71–76
- [25] 俞巧钢, 陈英旭. DMPP 对稻田田面水氮素转化及流失潜能的影响[J]. 中国环境科学, 2010, 30(9): 1 274–1 280
- [26] Xing GX, Zhu ZL. An assessment of N loss from agricultural fields to environment in China[J]. Nutr. Cycl. Agroecosys., 2000, 57: 67–73
- [27] 许超, 吴良欢, 郑旭颖, 巨晓棠, 张福锁, 夏北成. 硝化抑制剂 DMPP 对菜园土供肥特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 269–272
- [28] Wissemeier AH, Linzmeier W, Gutser R, Weigelt W, Schmidhalter U. The new nitrification inhibitor DMPP (ENTEC®)—Comparisons with DCD in model studies and field applications[J]. Dev. Plant Soil Sci., 2002, 92: 702–703
- [29] Azam F, Müller C. Effect of 3,4-dimethylpyrazole Phosphate on Some Microbial Processes in Soil[J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2010, 8(4): 606–613
- [30] Menéndez S, Merino P, Pinto M, González-Murua C, Estavillo JM. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate effect on nitrous oxide, nitric oxide, ammonia, and carbon dioxide emissions from grasslands[J]. J. Environ. Qual., 2006, 35: 973–981
- [31] 李华. 主要生物因子与稻田氮、磷转化及流失的关系(博士学位论文)[D]. 杭州: 浙江大学, 2007
- [32] 苏芳, 黄彬香, 丁新泉, 高志岭, 陈新平, 张福锁, Kogge M. 不同氮肥形态的氮挥发损失比较[J]. 土壤, 2006, 38(6): 682–686
- [33] 许超. DMPP 氮肥蔬菜硝酸盐污染控制及硝酸盐速测技术研究(硕士学位论文)[D]. 杭州: 浙江大学, 2004
- [34] 俞巧钢, 符建荣. 含 DMPP 抑制剂尿素的氮挥发特性及阻控对策研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(4): 744–748
- [35] Buresh RJ, De Datta SK. Denitrification losses from puddled rice soils in the tropics[J]. Biol. Fertil. Soils., 1990, 9: 1–13
- [36] 杜伟, 遆超普, 姜小三, 陈国岩. 长三角地区典型稻作农业小流域氮素平衡及其污染潜势[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(1): 9–14
- [37] 张道勇. 氮肥的利用率及其损失问题[J]. 土壤通报, 1981(4): 47
- [38] Linzmeier W, Schmidhalter U, Gutser R. Effect of DMPP on nitrification and N losses (nitrate, NH_3 , N_2O) from fertilizer nitrogen in comparison to DCD[J]. VDLUFA Schriftenr., 1999, 52: 485–488
- [39] Weiske A, Benckiser G, Herbert T, Ottow JCG. Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments[J]. Biol. Fertil. Soils., 2001, 34 (2): 109–117
- [40] Macadam XMB, del Prado A, Merino P, Estavillo JM, Pinto M, González-Murua C. Dicyandiamide and 3,4-dimethylpyrazole phosphate decrease N_2O emissions from grassland but dicyandiamide produces deleterious effects in clover[J]. J. Plant Physiol., 2003, 160: 1 517–1 523
- [41] Merino P, Menéndez S, Pinto M, González-Murua C, Estavillo JM. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate reduces nitrous oxide emissions from grassland after slurry application[J]. Soil Use Manage, 2005, 21(1): 53–57
- [42] Sergio M, Iskander B, Igor S, Carmen GM, José ME. Efficiency of nitrification inhibitor DMPP to reduce nitrous oxide emissions under different temperature and moisture conditions[J]. Soil Biol. & Biochem., 2012, 53: 82–89
- [43] 章燕, 徐慧, 夏宗伟, 郭彦玲. 硝化抑制剂 DCD、DMPP 对褐土氮总矿化速率和硝化速率的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(1): 167–172
- [44] Müller C, Stevens RJ, Laughlin RJ, Azama F, Ottow JC. The nitrification inhibitor DMPP had no effect on denitrifying enzyme activity[J]. Soil Biol. Biochem., 2002, 34(11): 1 825–1 827

Research Progress of DMPP in Reducing Nitrogen Losses from Paddy Fields

ZHOU Hui¹, TIAN Guang-ming¹, LI Hua^{2*}, LIU Chen², LI Ning-yu², FU Qing-lin²

(1 College of Environmental & Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2 Institute of Environment, Resources, Soil and Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract: The pursuit of high yield had led to the use of very high inputs of nitrogen fertilizers into cultivated land. As a consequence, it caused vast economic loss and various ecological problems such as nitrate leaching and water pollution. Nowadays, the challenge is to mitigate these trends in order to protect the environment. Nitrification inhibitors (NI) which specifically retard the oxidation of NH_4^+ to NO_2^- during the nitrification process can solve these problems in a certain extent. The addition of nitrification inhibitor (NI) with fertilizers can reduce the nitrogen loss and improve the nitrogen efficiency. DMPP (3,4-dimethylpyrazole-phosphate), a newly developed NI, had been used to enhance the nitrogen supply for cultivated crops and to reduce nitrogen losses from the production system. Based on its own characters and advantages, this paper focused on the paddy system, summed up the research advances on DMPP, and systematically overviewed it from mechanism of nitrification and denitrification, microbial impact, application effects and some other aspects. Besides, it explored the issues and controversies in the existing limitations of the researches, and carried out the prospects for the future researches. According to the summaries, the study affirmed the special effect of DMPP in reducing nitrogen loss, improving nitrogen use efficiency, reducing the agricultural non-point source pollution risk and promoting environmental protection in the paddy fields. For more profound influence, this study provided a scientific basis for the reasonable application of DMPP, reducing environmental pollution and improving the utilization rate of nitrogen fertilizer, promoting the coordinated development of agriculture and environmental protection.

Key words: DMPP, Paddy fields, Nitrogen loss, Environmental protection