

两种硝化抑制剂在不同土壤中的效果比较^①

杨剑波^{1,2}, 李学超^{1,3}, 徐晶晶¹, 陈欢¹, 刘满强¹,
胡锋¹, 李忠佩⁴, 李辉信^{1*}

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 苏州市农产品质量安全监测中心, 江苏苏州 215128; 3 苏州市吴江区环境保护局, 江苏苏州 215200; 4 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

摘要: 采用室内培养试验, 比较了两种硝化抑制剂 3,4-二甲基吡唑磷酸盐(DMPP)和双氰胺(DCD)在 4 种典型农田土壤(水稻土、潮土、黑土、红壤)中的抑制效果。结果表明, 在培养期内土壤 pH 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 呈先上升后下降的趋势, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和表观硝化率呈逐渐上升的趋势。与单施尿素处理(U)相比, 添加硝化抑制剂显著增加了土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量, 降低了 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量, 表观硝化率表现为 $U > U+\text{DMPP} > U+\text{DCD}$ 。在水稻土和潮土中, 单施尿素处理的硝化过程到第 14 天时基本完成, 添加硝化抑制剂使硝化过程延长了至少 28 天。在黑土和红壤中, 尤其是在红壤中, 硝化过程相对缓慢, 施用抑制剂虽然降低了土壤的表观硝化率, 但降低的程度低于水稻土和潮土。总之, 在推荐用量下 10%DCD 的硝化抑制效果优于 1%DMPP, 且这两种抑制剂在不同土壤中的抑制效果不同。

关键词: 3,4-二甲基吡唑磷酸盐; 双氰胺; 硝化抑制剂; 碱性土; 酸性土

中图分类号: S143.1⁺⁶

在我国的农业生产中, 尿素是一种广泛使用的氮肥。但在一般情况下, 尿素的利用率较低, 常以淋溶和反硝化作用的方式损失, 从而导致水体污染、温室气体排放增加等环境问题^[1-2]。研究表明, 硝化抑制剂能通过抑制亚硝化细菌的活性有效延缓 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 向移动性强的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的转化, 减少肥料氮的淋溶损失, 提高肥料的利用率^[3-4]。

双氰胺(DCD)作为一种广泛应用于农业生产中的硝化抑制剂已被证明具有很好的硝化抑制效果^[5]。近年来, 一种新型的硝化抑制剂 3,4-二甲基吡唑磷酸盐(DMPP)逐渐引起研究人员的关注。大量的田间试验表明, DMPP 是一种高效、安全、无毒的较为理想的硝化抑制剂^[6-7]。硝化抑制剂的施用效果除取决于抑制剂本身的性质外, 还受土壤类型、有机质含量、温度、土壤管理措施等因素的影响^[8]。以往的研究主要关注不同抑制剂在同一土壤上的作用比较, 而不同抑制剂在不同类型土壤上的作用比较鲜见报道。本文采用室内培养的方法, 比较了 DCD 和 DMPP 这两种硝化抑制剂在 4 种不同类型土壤中的施用效果, 以期对硝化抑制剂的合理施用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤共 4 种, 分别为水稻土(湖北潜江)、潮土(河北衡水)、黑土(黑龙江海伦)、红壤(江西鹰潭), 基本理化性质见表 1。土壤自然风干后过 2 mm 筛, 剔除有机残茬, 贮存备用。试验开始前需将土壤含水量调节至田间持水量的 40% 在 28℃ 培养箱内预培养 14 天。

1.2 试验处理

试验处理如下: 施用尿素(U); 尿素 + 3,4-二甲基吡唑磷酸盐(U+DMPP); 尿素+双氰胺(U+DCD)。其中尿素施入量为 N 0.6 g/kg 土, 两种硝化抑制剂的用量通过参考文献推荐量及商品肥料用量确定^[7,9-11], DMPP 用量为尿素纯氮量的 1%, DCD 用量为尿素纯氮量的 10%。试验设置 4 个重复, 试验前将过筛的尿素(<0.147 mm)与抑制剂均匀混合, 然后将不同处理的尿素分别与供试土壤(相当于烘干土重为 150 g)混合均匀并转移到 PVC 容器内, 调节水分至各土壤田间持水量的 65%, 容器以透气

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB109301)资助。

* 通讯作者(huixinli@njau.edu.cn)

作者简介: 杨剑波(1984—), 女, 云南大理人, 博士, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: jianbo.young@gmail.com

表 1 4 种土壤的基本理化性质
Table 1 Chemical and physical properties of tested soil

土壤类型	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	黏粒 (g/kg)	粉粒 (g/kg)	砂粒 (g/kg)
水稻土	7.96	21.85	1.44	3.98	6.68	141.13	357.42	501.45
潮土	8.30	17.68	1.15	3.85	17.74	146.59	349.75	503.66
黑土	5.79	25.80	1.47	9.74	14.57	291.72	405.51	302.77
红壤	4.84	10.85	0.77	3.14	1.80	413.09	321.74	265.17

PE 膜覆盖以防止水分损失。容器置于 28℃ 培养箱内,每隔两天对样品进行随机排列以减少温度的干扰,分别于第 1、3、7、14、28、42 天进行破坏性采样。

1.3 测定方法

pH 测定:在 10 g 土壤中加入 25 ml 无二氧化碳水,室温 200 r/min 振荡 20 min,使用 PHS-3C 型精密 pH 计测定土壤 pH。

NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 测定:称取 10 g 左右土壤,加入 50 ml 的 2 mol/L KCl 溶液,室温下 180 r/min 振荡 1 h,过滤制备滤液,利用 MgO-代氏合金蒸馏法测定滤液中的 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 含量。

土壤表观硝化率为土壤 NO₃⁻-N 含量与无机氮总量之比,即土壤表观硝化率 = [NO₃⁻-N/(NH₄⁺-N + NO₃⁻-N)]×100%。

1.4 数据分析

本实验数据采用 SPSS16.0 和 Origin8.0 进行统计分析和作图,处理间差异用单因素方差分析进行检验

(Duncan, $P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 两种硝化抑制剂对不同类型土壤 pH 的影响

不论是否施用硝化抑制剂,各土壤的 pH 均在施入肥料的第 1 天后达到峰值,随后呈现下降的趋势(图 1)。硝化抑制剂对 pH 的影响在不同土壤中表现不同。水稻土与潮土的土壤 pH 变化类似,单施尿素处理的 pH 在培养 1 天之后已显著低于添加抑制剂处理,在第 3~28 天内表现为 U+DCD>U+DMPP>U,且各处理之间差异显著($P < 0.05$)。培养结束时(第 42 天)单施尿素与添加 DMPP 处理的 pH 已无显著差异,但均显著低于添加 DCD 的处理。在第 3~28 天内添加抑制剂显著提高了红壤的 pH($P < 0.05$),且两种硝化抑制剂的效果在第 3~14 天内无显著差异,至第 42 天时添加 DMPP 处理的 pH 与单施尿素处理无显著差异,而 DCD 仍在发挥作用。黑土中的 pH 变化与红壤中类似。

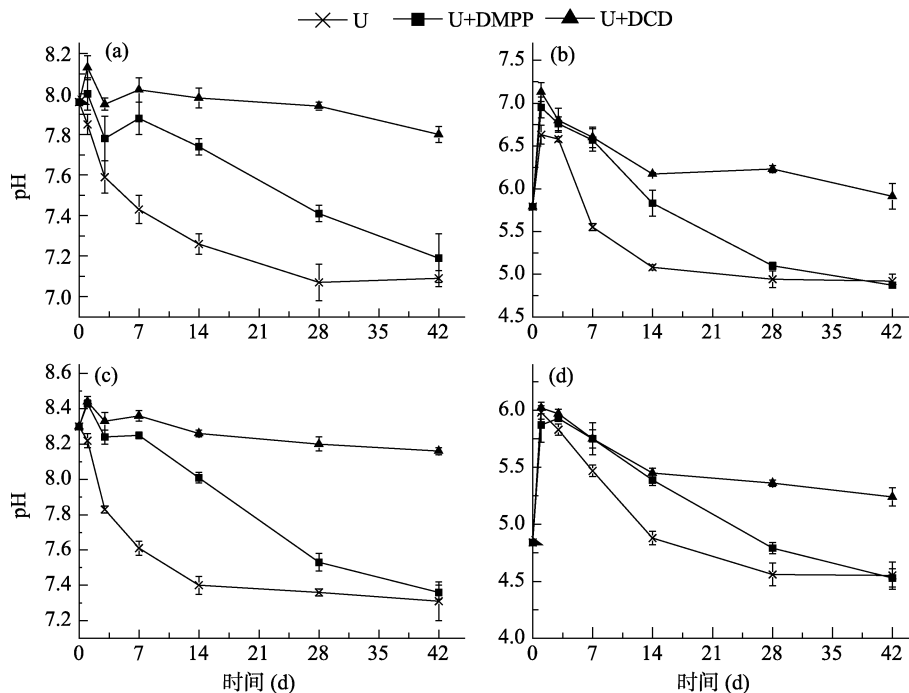


图 1 两种硝化抑制剂对水稻土(a)、黑土(b)、潮土(c)、红壤(d)pH 的影响

Fig. 1 Effects of nitrification inhibitors on soil pH during incubation period in paddy soil (a), black soil (b), alluvial soil (c) and red soil (d)

2.2 两种硝化抑制剂对不同类型土壤 NH₄⁺-N 含量的影响

4 种土壤中的 NH₄⁺-N 变化在整个培养过程中均表现为先上升后下降的趋势(图 2), 与 pH 变化趋势类似(图 1)。单施尿素处理的 NH₄⁺-N 在第 3 天到达峰值, 随后快速下降, 第 14 天时水稻土与潮土的 NH₄⁺-N 含量降到最低并趋于稳定, 黑土和红壤的 NH₄⁺-N 含量在第 14~42 天内仍缓慢下降。添加 DMPP 处理的 NH₄⁺-N 含量在到达峰值后先缓慢下降, 第 14 天起下降速度加快, 而添加 DCD 处理的 NH₄⁺-N 含量在整个

培养期内均保持较高水平。与单施尿素处理相比, 施用硝化抑制剂显著提高了各土壤中的 NH₄⁺-N 含量 ($P < 0.05$), 但 DCD 与 DMPP 的抑制效果不同。从第 14 天开始添加 DCD 处理的 NH₄⁺-N 含量显著高于添加 DMPP 处理 ($P < 0.05$); 至培养结束时, 添加 DCD 处理的 NH₄⁺-N 含量仍显著高于单施尿素及添加 DMPP 处理 ($P < 0.05$), 而后两者无显著差异(图 2)。值得注意的是, 红壤中各处理的 NH₄⁺-N 含量在整个培养期内均保持较高水平, 到第 42 天时仍高于 400 mg/kg。

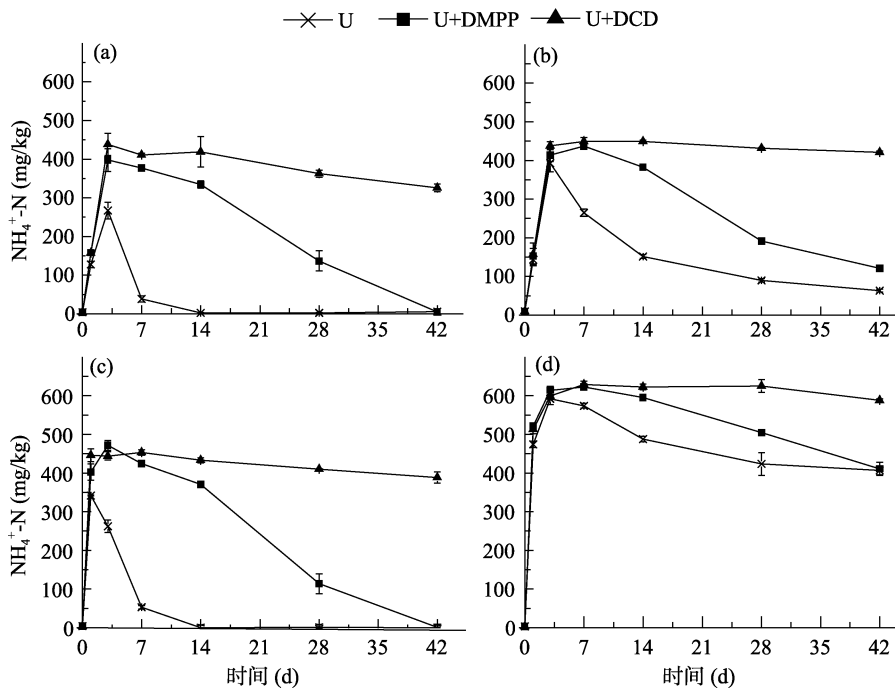


图 2 两种硝化抑制剂对水稻土(a)、黑土(b)、潮土(c)、红壤(d)中 NH₄⁺-N 含量的影响

Fig. 2 Effects of nitrification inhibitors on soil NH₄⁺-N concentration during incubation period in paddy soil (a), black soil (b), alluvial soil (c) and red soil (d)

2.3 两种硝化抑制剂对不同类型土壤 NO₃⁻-N 含量的影响

从图 3 中可以看出, 各处理的 NO₃⁻-N 含量在 4 种土壤中变化趋势相似。单施尿素处理的 NO₃⁻-N 含量在前 7 天内急剧上升, 之后逐渐趋于稳定。添加 DMPP 处理的 NO₃⁻-N 含量在前 14 天内缓慢增加, 之后上升幅度增大, 逐渐接近单施尿素处理的 NO₃⁻-N 含量。而添加 DCD 处理的 NO₃⁻-N 含量在整个培养期内上升缓慢, 一直处于较低水平。总体来说, 3 个处理的 NO₃⁻-N 含量表现为 U+DCD < U+DMPP < U, 第 42 天时单施尿素处理的 NO₃⁻-N 含量与添加 DMPP 处理无显著差异, 但显著高于添加 DCD 处理 ($P < 0.05$)。

2.4 两种硝化抑制剂对不同类型土壤表观硝化率的影响

表观硝化率常用于表征土壤中硝化作用的强度。

总体来看, 随着培养时间的延长, 不同处理在 4 种土壤中的表观硝化率均呈逐渐增长的趋势(图 4)。在水稻土和潮土中, 42 天以前添加 DMPP 处理和 DCD 处理的表观硝化率均显著低于单施尿素处理 ($P < 0.05$), 至第 42 天时, 添加 DMPP 处理和单施尿素处理无显著差异。比较两种抑制剂处理, 在培养前期添加 DMPP 与 DCD 处理无显著差异, 在第 7~42 天内添加 DCD 处理的表观硝化率显著低于添加 DMPP 处理 ($P < 0.05$)。例如, 在培养的第 14 天, 与单施尿素处理相比, 添加 DMPP 处理和添加 DCD 处理的表观硝化率分别下降了 70.18% 和 84.84%(水稻土)、68.86% 和 82.11%(潮土)。在黑土和红壤中, 各处理的表观硝化率从第 3 天开始出现显著差异 ($P < 0.05$), 第 14 天时添加 DMPP 处理和添加 DCD 处理的表观硝化率分别比单施尿素处理下降了 43.81% 和 57.42%(黑土)、

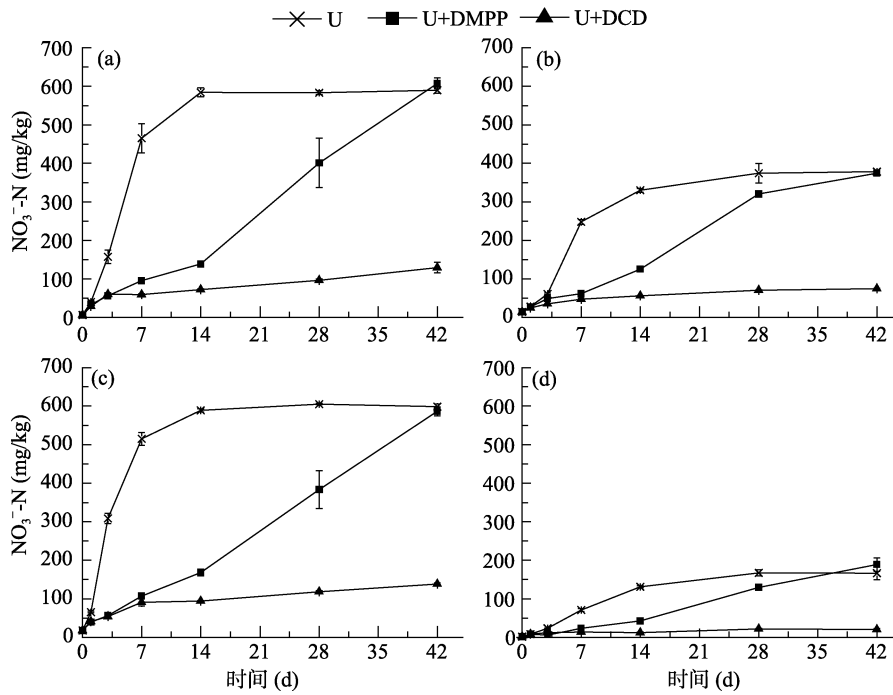


图 3 两种硝化抑制剂对水稻土(a)、黑土(b)、潮土(c)、红壤(d)中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量的影响

Fig. 3 Effects of nitrification inhibitors on soil $\text{NO}_3^- \text{-N}$ concentration during incubation period in paddy soil (a), black soil (b), alluvial soil (c) and red soil (d)

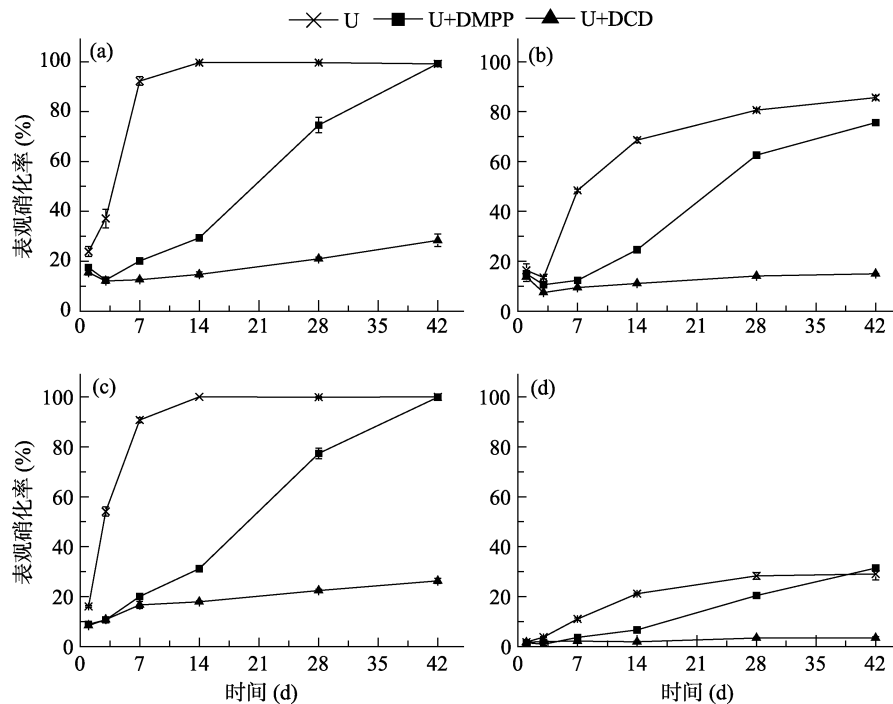


图 4 两种硝化抑制剂对水稻土(a)、黑土(b)、潮土(c)、红壤(d)表观硝化率的影响

Fig. 4 Effects of nitrification inhibitors on apparent nitrification rate during incubation period in paddy soil (a), black soil (b), alluvial soil (c) and red soil (d)

14.55%和 19.30%(红壤)。在 4 种土壤中,红壤的硝化强度最弱,在整个培养期内,红壤各处理的表观硝化率均低于 32%,而水稻土和潮土的单施尿素处理在第 14 天时已接近 100%。

3 讨论

在整个培养期内,各土壤中的 pH 和 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的变化趋势相同,这主要与土壤中的氮素转化有关。尿素施入土壤后,在适宜条件下会迅速水解转化成 NH_4^+

使土壤 pH 上升,随后发生的硝化作用使 NH_4^+ 氧化为 NO_3^- ,此过程释放 H^+ 导致土壤 pH 下降^[12]。在本实验中,不同土壤中的 NH_4^+ -N 浓度表现为先上升后下降的趋势,但下降的幅度和速率因土壤而异。在单施尿素的情况下,水稻土和潮土中的 NH_4^+ -N 下降幅度最大、速率最快,黑土次之,红壤中的 NH_4^+ -N 下降幅度最小、速率最慢(图 2); NO_3^- -N 的变化与之相反, NO_3^- -N 在红壤中上升幅度最小,在水稻土中上升幅度最大(图 3),这说明不同类型土壤中的硝化强度是不同的。影响硝化作用的关键因素之一是土壤本身的 pH,硝化速率与土壤 pH 呈显著正相关,即土壤的硝化率随 pH 的升高而增大^[13-14]。在 4 种土壤中,红壤的酸性最强,黑土次之,水稻土和潮土是偏碱性土壤,所以红壤的硝化强度最弱,这可以从不同土壤的表观硝化率中表现出来(图 4)。土壤质地也是影响土壤硝化作用的重要因素,颗粒粗、透水性好的土壤有利于硝化作用的进行^[15]。本试验中,红壤的砂粒含量最低,表观硝化率在培养期内均保持较低水平;而水稻土和潮土的砂粒含量较高,有利于促进硝化作用。

硝化抑制剂能够延缓硝化过程的进行,表现为 NH_4^+ -N 含量的缓慢下降或 NO_3^- -N 含量的缓慢增加^[16]。从本研究不同硝化抑制剂对 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量的影响中可以看出,添加硝化抑制剂明显抑制了 NH_4^+ -N 向 NO_3^- -N 的氧化过程。DMPP 在 4 种土壤上的最大作用时间均为 40 天左右,其中最佳作用时间为前 14 天,这与 Barth 等人^[9]的研究结果基本相同,DMPP 在前 14 天降解迅速,至 25 天时基本完全降解。添加 DCD 的处理在整个培养期内均表现出较低的表观硝化率,抑制效果优于 DMPP 处理,石美等^[17]的培养试验也表明 10%DCD 的硝化抑制效果高于 1%DMPP。相反,Zerulla 等^[7]的研究表明 DMPP 用量仅为 DCD 的 1/10 时,其硝化抑制效果仍然高于 DCD,这可能是因为 DCD 极易溶于水,降雨易导致其在土壤中发生淋溶损失^[18],从而降低抑制作用,而 DMPP 的移动性相对较小不易发生淋洗^[19]能较好地发挥抑制作用。在本实验中,室内培养没有受到降雨的影响,所以用量大的 DCD 效果更好。实际生产中,施用 DCD 对某些作物有毒害作用,而 DMPP 与植物相容性好,不会对植物产生毒害作用^[2]。综合环境因素等考虑,DMPP 应该是更为理想的硝化抑制剂。

硝化抑制剂在不同类型土壤中的作用效果不同。在水稻土和潮土中,单施尿素处理的硝化过程到第 14 天时基本完成,施用硝化抑制剂使硝化过程滞后了 28 天(添加 DMPP 处理)甚至是更长的时间(添加 DCD 处理)才完成,说明 DMPP 和 DCD 在这两种土

壤中作用效果明显。已有的一些研究也表明,DMPP 和 DCD 在碱性土壤中有显著的硝化抑制作用^[16,20]。黑土和红壤中的硝化过程相对缓慢,施用硝化抑制剂对硝化率的降低程度也相对较小,突出表现在红壤上。例如,第 14 天时,与单施尿素处理相比,红壤中添加 DMPP 处理和添加 DCD 处理的表观硝化率仅分别下降了 14.55% 和 19.30%。因此,研究认为在硝化过程原本就很缓慢的酸性土壤中施用硝化抑制剂不是必需的措施。另外,土壤质地也是影响 DMPP 施用效果的原因^[21]。水稻土与潮土中的砂粒含量较高,黑土和红壤中的砂粒含量偏低,尤其是红壤,砂粒含量仅有 265.17 g/kg。现有研究表明,DMPP 的施用效果在砂粒含量高的土壤中更好^[9],本试验的结果进一步验证了这个结论。在实际生产中,使用硝化抑制剂应遵循“因地制宜”的原则,根据土壤本身的性质确定是否需要施用硝化抑制剂,并根据情况选择合适的硝化抑制剂。

4 结论

(1) 在本试验条件下,硝化抑制剂 DMPP 和 DCD 对水稻土和潮土中的氨氧化过程有较强的抑制作用,能显著提高 NH_4^+ -N 浓度降低 NO_3^- -N 浓度,使硝化作用滞后至少 28 天完成。

(2) DMPP 和 DCD 对黑土和红壤(尤其是红壤)的硝化抑制作用弱于水稻土和潮土。

(3) 土培条件下比较两种抑制剂的效果,在推荐施用量时,10%DCD 的硝化抑制效果优于 1%DMPP。

参考文献:

- [1] Di HJ, Cameron KC. Reducing environmental impacts of agriculture by using a fine particle suspension nitrification inhibitor to decrease nitrate leaching from grazed pastures[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 109(3/4): 202-212
- [2] Macadam XMB, Prado Ad, Merino P, Estavillo JM, Pinto M, González-Murua C. Dicyandiamide and 3,4-dimethyl pyrazole phosphate decrease N_2O emissions from grassland but dicyandiamide produces deleterious effects in clover[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2003, 160(12): 1 517-1 523
- [3] Li H, Liang X, Chen Y, Lian Y, Tian G, Ni W. Effect of nitrification inhibitor DMPP on nitrogen leaching, nitrifying organisms, and enzyme activities in a rice-oilseed rape cropping system[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(2): 149-155
- [4] Wu SF, Wu LH, Shi QW, Wang ZQ, Chen XY, Li YS. Effects of a new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on nitrate and potassium leaching in two soils[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(7): 841-847

- [5] Xu X, Boeckx P, Van Cleemput O, Kazuyuki I. Mineral nitrogen in a rhizosphere soil and in standing water during rice (*Oryza sativa* L.) growth: effect of hydroquinone and dicyandiamide[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 109(1/2): 107–117
- [6] Pasda G, Hähndel R, Zerulla W. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2001, 34(2): 85–97
- [7] Zerulla W, Barth T, Dressel J, Erhardt K, Horchler von Locquenghien K, Pasda G, Rädle M, Wissemeyer A. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) - A new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2001, 34(2): 79–84
- [8] 孙志梅, 武志杰, 陈利军, 马星竹. 硝化抑制剂的施用效果、影响因素及其评价[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(7): 1 611–1 678
- [9] Barth G, Von Tucher S, Schmidhalter U. Effectiveness of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as nitrification inhibitor in soil as influenced by inhibitor concentration, application form, and soil matric potential[J]. *Pedosphere*, 2008, 18(3): 378–385
- [10] Xu X, Wang Y, Zheng X, Wang M, Wang Z, Zhou L, Cleemput OV. Methane emission from a simulated rice field ecosystem as influenced by hydroquinone and dicyandiamide[J]. *The Science of The Total Environment*, 2000, 263(1/3): 243–253
- [11] Yu Q, Chen Y, Ye X, Zhang Q, Zhang Z, Tian P. Evaluation of nitrification inhibitor 3,4-dimethyl pyrazole phosphate on nitrogen leaching in undisturbed soil columns[J]. *Chemosphere*, 2007, 67(5): 872–878
- [12] Cabrera ML, Kissel DE, Bock BR. Urea hydrolysis in soil: Effects of urea concentration and soil pH[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, 23(12): 1 121–1 124
- [13] 李辉信, 胡锋, 刘满强, 蔡贵信, 范晓晖. 红壤氮素的矿化和硝化作用特征[J]. *土壤*, 2000, 32(4): 194–197
- [14] 余砾, 高明, 慈恩, 王子芳, 魏朝富, 徐畅. 不同耕作方式下土壤氮素矿化和硝化特征研究[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(3): 733–738
- [15] 刘秋丽, 马娟娟, 孙西欢, 李京玲. 土壤的硝化-反硝化作用因素研究进展[J]. *农业工程学报*, 2011, 1(4): 79–83
- [16] 张妹婷, 石美, 梁东丽, 沈锋, 党虎玲. 不同硝化抑制剂对尿素转化的影响[J]. *西北农林科技大学学报*, 2011, 39(2): 178–184
- [17] 石美, 张妹婷, 沈锋, 梁东丽, 党虎玲. 石灰性土壤中不同硝化抑制剂的抑制效果及其对亚硝态氮累积的影响[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(3): 500–506
- [18] Teske W, Matzel W. The influence of decomposition and translocation of dicyandiamide in the soil on its nitrification inhibiting effect[J]. *Archiv fuer Acker-und Pflanzenbau Und Bodenkunde-Archives of Agronomy and Soil Science*, 1988, 32(4): 241–246
- [19] 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]. *Biology and Fertility of Soils*, 2001, 34(2): 126–130
- [20] 皮荷杰, 曾清如, 蒋朝晖, 奉小忱, 孙毓临. 两种硝化抑制剂对不同土壤中氮素转化的影响[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(1): 68–72
- [21] 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

Effects of Nitrification Inhibitors on Nitrogen Transformation in Different Soils

YANG Jian-bo^{1,2}, LI Xue-chao^{1,3}, XU Jing-jing¹, CHEN Huan¹, LIU Man-qiang¹,
HU Feng¹, LI Zhong-pei⁴, LI Hui-xin^{1*}

(1 College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Suzhou Agricultural Products Safety and Quality Inspection Center, Suzhou, Jiangsu 215128, China; 3 Wujiang Environmental Protection Bureau, Suzhou, Jiangsu 215200, China; 4 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China)

Abstract: The effects of nitrification inhibitors 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) and dicyandiamide (DCD) on soil nitrogen transformation in different soils was investigated in a lab incubation experiment. The results indicated soil pH and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentrations were increased to maximum quickly and then decreased gradually, but $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentrations and apparent nitrification rates were increased with the time of incubation in all treatments. The apparent nitrification rates were urea alone > 1%DMPP > 10%DCD in four types of soil. The application of DMPP and DCD induced nitrification process lag behind at least 28 d in alkaline soils, and resulted in the decreased amounts of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in acid soils, especially in red soil, which were relatively less than that in alkaline soils. In conclusion, 10% DCD was more effective than 1% DMPP, and the effectiveness of the two nitrification inhibitors was different in alkaline soils and acid soils.

Key words: 3,4-dimethylpyrazole phosphate, Dicyandiamide, Nitrification, Alkaline soil, Acid soil