

王长军,李凤霞,谭松伟,等. 硝化/脲酶抑制剂对宁夏灌淤土土壤氮含量及其转化的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(21):285-289.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.21.069

硝化/脲酶抑制剂对宁夏灌淤土土壤氮含量及其转化的影响

王长军¹, 李凤霞¹, 谭松伟², 倪翠襄², 刘丽丹², 周丽娜¹

(1. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所,宁夏银川 750002; 2. 宁夏大学农学院,宁夏银川 750021)

摘要:为了阐明低、中、高不同剂量的 3 种硝化/脲酶抑制剂及其组合处理对宁夏灌淤土土壤氮含量及其转化的影响,探讨筛选出适宜当地的硝化/脲酶抑制剂组合及其浓度,为其进一步在生产实践中合理施用提供参考,采用盆栽试验的方法进行试验。结果表明:在培养 16 d 后,与对照单施尿素相比,不同剂量的 3 种硝化/脲酶抑制剂及其组合使得土壤硝态氮含量降低了 18.38%~34.80%,其中中剂量和高剂量的 DCD(双氢胺)和 DMPP(3,4-二甲基吡唑磷酸盐)组合处理土壤硝态氮含量相比对照下降 30% 以上;中剂量和高剂量的 DCD 和 DMPP 组合处理其硝化抑制率分别为 31.73% 和 34.82%;DMPP 与 HQ(氢醌)组合处理降低土壤铵态氮消耗速率效果最佳。综合考虑,2 个硝化抑制剂组合处理 DCD 和 DMPP 采用中剂量为宜,而脲酶抑制剂和硝化抑制剂组合可选用 HQ 与 DMPP 组合处理,且以高剂量为宜。

关键词:硝化抑制剂;脲酶抑制剂;宁夏灌淤土;土壤氮含量

中图分类号: S143.1⁺4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)21-0285-05

尿素因含氮量高且物理性状好等优点在农业生产中施用得最为广泛,占全部氮肥用量的 50% 以上^[1]。但是,尿素在

施入土壤之后,仅少量以分子态的形式被土壤胶体吸附,而大部分被土壤中的脲酶催化迅速水解为碳酸铵,通过氨挥发、硝化反硝化等途径流失^[2]。因此,过量施用尿素不仅难以增产,还会降低氮素利用效率,导致氮素通过氨挥发、硝化反硝化、淋溶及地表径流等途径损失,危及大气、地下水及地表水体环境等^[3-5]。着眼于尿素在土壤中的生物化学转化过程,通过硝化抑制剂和脲酶抑制剂的施用调控氮素转化,是实现氮素高效利用并减缓氮肥污染的有效措施^[6]。脲酶抑制剂是能够抑制土壤脲酶活性的一类物质的总称。它主要抑制土壤中脲酶活性,减缓尿素水解,专门与尿素配合施用。硝化抑制剂是一类抑制硝化过程的化学合成的或天然的制剂,利用

收稿日期:2018-08-03

基金项目:国家自然科学基金(编号:41661066,40961020);宁夏农林科学院科技先导资金基础研究项目(编号:NKYJ-16-03、NKYJ-16-20、NKYJ-18-18)。

作者简介:王长军(1982—),男,宁夏西吉人,硕士,副研究员,主要从事植物营养与土壤肥料研究工作。E-mail:18909509782@189.cn。

通信作者:李凤霞,博士,研究员,主要从事植物营养与土壤微生物方面的研究工作。E-mail:410184105@qq.com。

[13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.

[14] Zhou W M, Chen H, Zhou L, et al. Effect of freezing-thawing on nitrogen mineralization in vegetation soils of four landscape zones of Changbai Mountain[J]. *Annals of Forest Science*, 2011, 68(5): 943-951.

[15] Schimel J P, Clein J S. Microbial response to freeze-thaw cycles in tundra and taiga soils[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1996, 28(8): 1061-1066.

[16] Walker V K, Palmer G R, Voordouw G. Freeze-thaw tolerance and clues to the winter survival of a soil community[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2006, 72(3): 1784-1792.

[17] 范志平,李胜男,李法云,等. 冻融交替对河岸缓冲带土壤无机氮和土壤微生物量氮的影响[J]. *气象与环境学报*, 2013, 29(4): 106-111.

[18] Haei M, Rousk J, Istedt U, et al. Effects of soil frost on growth, composition and respiration of the soil microbial decomposer community[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(10): 2069-2077.

[19] Judd K E, Likens G E, Buso D C, et al. Minimal response in watershed nitrate export to severe soil frost raises questions about nutrient dynamics in the Hubbard Brook experimental forest[J]. *Biogeochemistry*, 2011, 106(3): 443-459.

[20] 田路路,隗英华,刘艳,等. 冻融作用对农田土壤可溶性氮组分的影响[J]. *土壤*, 2017, 49(3): 512-518.

[21] 郑秀清,樊贵盛,邢述彦. 水分在季节性非饱和冻融土壤中的运动[M]. 北京:地质出版社,2002.

[22] 李忠佩,张桃林,陈碧云. 可溶性有机碳的含量动态及其与土壤有机碳矿化的关系[J]. *土壤学报*, 2004, 41(4): 544-552.

[23] Amador J A, Görres J H, Savin M C. Role of soil water content in the carbon and nitrogen dynamics of *Lumbricus terrestris* L. burrow soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 2005, 28(1): 15-22.

[24] Hentschel K, Borken W, Matzner E. Repeated freeze thaw events affect leaching losses of nitrogen and dissolved organic matter in a forest soil[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2008, 171(5): 699-706.

[25] Yano Y, Shaver G R, Giblin A E, et al. Nitrogen dynamics in a small arctic watershed: retention and downhill movement of ¹⁵N[J]. *Ecological Monographs*, 2010, 80(2): 331-351.

其延缓铵态氮向硝态氮的转化^[7],可与各种铵态氮肥或尿素配合施用。有关研究表明,在农业生产中运用尿素辅以脲酶抑制剂、硝化抑制剂可以减少氮素损失^[8-9]。目前对硝化抑制剂双氰胺(DCD)和脲酶抑制剂氢醌(HQ)组合的研究较多,研究发现,两者同时施用,可以在减缓尿素水解的同时,保证铵态氮在土壤中存留较长时间,增加土壤氮素肥力和作物对氮素的吸收,并减少硝态氮累积,从而在一定程度上降低作物体内的硝酸盐含量^[10-14]。但在宁夏灌淤土上,关于硝化/脲酶抑制剂对氮素利用效率及氮素形态方面影响的研究尚未见报道。基于此,本研究运用3种硝化抑制剂和脲酶抑制剂配施尿素试验,重点在于测定硝化抑制剂和脲酶抑制剂不同剂量及其两两组合对玉米种植土壤中尿素氮转化及各氮素形态分布的影响。旨在精确地了解并筛选出有效延缓灌淤土土壤尿素水解的脲酶抑制剂和硝化抑制剂剂量,以便水解后形成的铵态氮在土壤中一定时间内保持较高的水平,同时降低土壤硝态氮的富集,从而提高尿素氮利用效率且减少环境污染,为宁夏灌淤土土壤硝化/脲酶抑制剂的合理应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2017年4—9月进行,试验区位于宁夏引黄灌区永宁县王太村,地理坐标为106°16'E,38°19'N,海拔1120 m,多年平均降水量为201 mm,大部分降水集中在7—9月,多年平均蒸发量达1470 mm。年均气温8.7℃,年平均日照时数达2866.7 h,无霜期平均为167 d。试验地前茬作物为玉米,土壤为典型的灌淤土,试验地土壤pH值为8.0,有机质含量为13.5 g/kg,全氮含量为0.93 g/kg,碱解氮含量为102 mg/kg,有效磷含量为23.1 mg/kg,速效钾含量为85 mg/kg。

1.2 试验设计及材料

试验采用盆栽,塑料盆高60 cm,内径50 cm,取试验区耕层土壤经充分混合均匀、风干过筛后加入一定的尿素和硝化/脲酶抑制剂再混匀装盆内。最后将盆埋入试验区,盆上沿和试验区地面对齐。供试硝化/脲酶抑制剂为双氰胺(DCD)硝化抑制剂、3,4-二甲基吡唑磷酸盐(DMPP)和氢醌(HQ)。试验设单施尿素(U,即对照)及尿素配施双氰胺(U+DCD)、尿素配施3,4-二甲基吡唑磷酸盐(U+DMPP)、尿素配施氢醌(U+HQ)、尿素配施双氰胺和3,4-二甲基吡唑磷酸盐(U+DCD+DMPP)、尿素配施双氰胺和氢醌(U+DCD+HQ)、尿素配施3,4-二甲基吡唑磷酸盐和氢醌(U+DMPP+HQ)共6个尿素配施硝化/脲酶抑制剂组合,每个处理中硝化/脲酶抑制剂共设3个水平,其中DCD和DMPP用量均设定为纯氮量的1.0%、3.0%、5.0%;HQ用量分别为纯氮量的0.1%、0.3%、0.5%。各硝化/脲酶抑制水平由低到高分别简称为DCD1、DCD3、DCD5;DMPP1、DMPP3、DMPP5;HQ1、HQ3、HQ5,分别简称为低剂量、中剂量、高剂量,下同。盆栽试验风干土中的纯氮用量为0.50 g/kg。氮肥用普通颗粒尿素,供试玉米品种为先玉335。

1.3 测定项目及方法

土壤硝态氮采用2 mol/L KCl浸提,使用连续流动分析法测定土壤硝态氮的含量^[15]。

硝化抑制率 = $(A - B) / A \times 100\%$,式中:A为不加抑制剂处理的土壤培养前后硝态氮含量之差(mg/kg),B为添加硝化抑制剂处理的土壤培养前后硝态氮含量之差(mg/kg)。

1.4 数据统计与分析

试验数据均采用Excel 2007及DPS 9.5进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 硝化/脲酶抑制剂对土壤硝态氮含量的影响

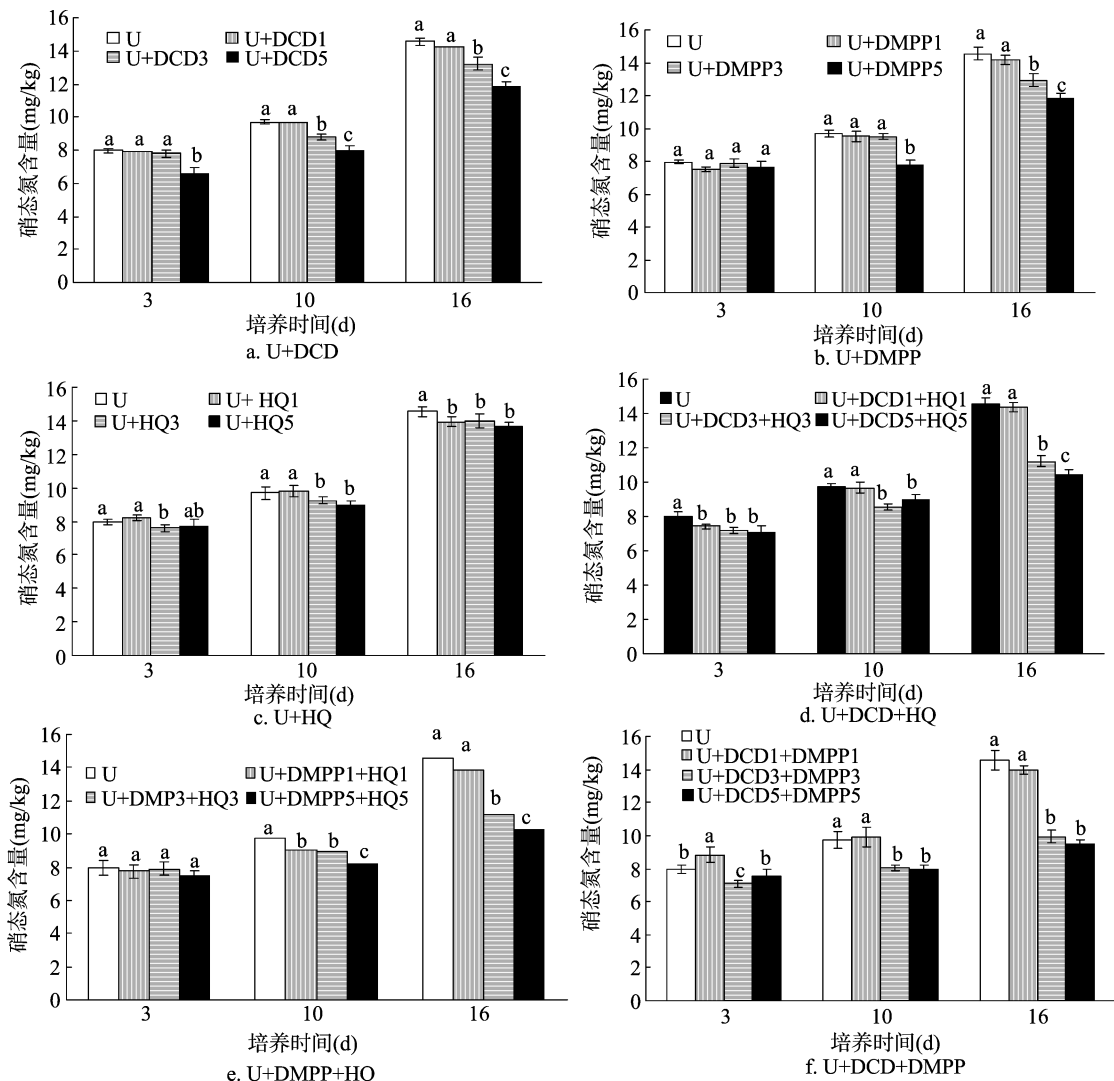
随着玉米根际土壤培养时间的增加,不同施肥处理土壤硝态氮含量呈现逐渐增加的趋势。由图1可知,与对照单施尿素相比,大部分脲酶抑制剂和硝化抑制剂处理均不同程度地降低了土壤硝态氮含量,而且随着培养时间的延长,这种作用越明显,且随着抑制剂用量的增加,土壤硝态氮含量越低。与对照单施尿素相比,在尿素配施抑制剂培养3 d后,各处理土壤硝态氮含量降低了0.88%~16.83%,其中尿素配施高剂量的DCD处理降低硝态氮含量的幅度最大,其次是尿素配施高剂量的DCD和HQ组合,两者均使土壤硝态氮含量降低10%以上。在培养16 d后,与对照单施尿素相比,DCD5、DMPP5、DCD3+DMPP3、DCD5+DMPP5、DMPP3+HQ3、DMPP5+HQ5处理对土壤硝态氮含量的影响很大,使得土壤硝态氮含量降低了18.38%~34.80%。其中中剂量和高剂量的DCD和DMPP组合处理对土壤硝态氮含量的影响效果最明显,土壤硝态氮含量降幅在30%以上。

2.2 硝化/脲酶抑制剂对土壤硝化抑制率的影响

硝化抑制率可以表征硝化抑制剂对土壤硝化作用的抑制程度。由图2可知,在培养16 d后,DCD剂量从1%增加到5%时,其硝化抑制率由0.60%提高到16.01%。说明土壤的硝化抑制率随着DCD剂量的增加显著提高。高剂量的DMP处理硝化抑制率在培养10~16 d后显著高于中低剂量的处理。不同浓度HQ处理的土壤硝化抑制率在不同时期的变化不同,低剂量的HQ处理随着培养时间的增加其硝化抑制率逐渐提高,并最终基本趋于稳定,而高剂量的HQ处理其硝化抑制率呈先提高后降低的趋势。不同剂量的DCD和HQ组合处理其硝化抑制率为6.79%~28.30%,且剂量越高硝化抑制率越高,培养后期的中剂量和高剂量DCD和HQ组合处理硝化抑制率明显高于低剂量处理。DMPP和HQ、DCD和DMPP 2个组合处理在低剂量下硝化抑制率变化不明显,其值为0.62%~7.63%;在中剂量和高剂量下的硝化抑制率随着培养时间的延长呈现明显提高的趋势,中剂量和高剂量的DMPP和HQ组合处理、DCD和DMPP组合处理硝化抑制率在培养16 d后明显高于低剂量处理。在培养16 d后高剂量DCD和HQ组合处理、DMPP和HQ组合处理硝化抑制率明显高于中剂量处理。高剂量和中剂量的DCD和DMPP组合处理在培养10 d后其硝化抑制率分别为16.91%和17.74%;高剂量和中剂量的DCD和DMPP组合处理在培养16 d后其硝化抑制率分别为31.73%和34.82%。说明中剂量的DCD和DMP组合处理可达到与高剂量同等的抑制效果。

2.3 硝化/脲酶抑制剂对铵态氮消耗速率的影响

对不同抑制剂配施尿素条件处理16 d时土壤铵态氮消耗速率的影响研究结果见图3,结果表明,不同剂量的抑制剂



同一时间不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。图 3 同

图1 硝化/脲酶抑制剂对土壤硝态氮含量的影响

对土壤铵态氮含量有不同的作用,各处理均不同程度地降低了土壤铵态氮消耗速率,其中单个抑制剂的处理中,与对照相比,3种抑制剂均明显降低了土壤铵态氮的消耗速率,其作用大小依次为 DMPP > HQ > DCD;在两组组合抑制剂配施尿素处理中,降低土壤铵态氮消耗速率以 DMPP 与 HQ 组合效果最佳,其次是 HQ 与 DCD 组合,DMPP 与 DCD 组合降低幅度最小。说明 DMPP 与 HQ 组合能够显著抑制土壤铵态氮向硝态氮的转化,降低土壤硝化速率,减小硝态氮的损失,有效地延缓了土壤尿素的水解,利于水解后形成的铵氮在土壤中较长时间内保持较高水平,同时降低土壤硝态氮的富集,从而利于提高尿素氮利用率且减少环境氮污染。

3 结论与讨论

不同脲酶抑制剂和硝化抑制剂处理均不同程度地降低了土壤的硝态氮含量,随着培养时间的延长,这种抑制作用越明显,且随着抑制剂用量的增加,其对土壤硝态氮含量的抑制作用越大。这是因为施用硝化抑制剂可抑制亚硝化单胞菌属的活性,从而抑制 NH_4^+ 至 NO_2^- 的转化、减少硝态氮产生^[16]。

在尿素配施抑制剂培养 3 d 后,尿素配施高剂量的 DCD 处理和尿素配施高剂量的 DCD 和 HQ 组合处理硝态氮含量降幅最大,达 10% 以上。该结果与陈振华等的研究结果^[17]是相似的,这是因为脲酶抑制剂能有效抑制尿素水解为铵态氮,同时硝化抑制剂可延缓铵态氮的硝化作用,二者配施可有效降低土壤硝态氮含量。在培养 16 d 后,与对照单施尿素相比,中剂量和高剂量的 DCD 和 DMPP 组合处理土壤硝态氮含量降低了 30% 以上,说明 DCD 和 DMPP 2 种硝化抑制剂具有一定的协同作用,其组合能有效降低土壤硝态氮含量,在生产中采用 DCD 和 DMPP 组合处理时,以中剂量为宜。

硝化抑制率是表征硝化抑制剂对土壤硝化过程抑制强度的一个重要指标,其值越高表明抑制剂对土壤硝化过程的抑制强度越强。不同剂量的 DCD,其硝化抑制率随着剂量的增加显著提高,提高了 15 个百分点以上,剂量效应明显。在培养 16 d 时,高剂量的 DCD 和 HQ、DMPP 和 HQ 组合处理硝化抑制率明显高于中剂量处理,说明高剂量的硝化抑制剂和脲酶抑制剂组合处理抑制作用明显强于中剂量的组合。在生产中应选用高浓度的硝化抑制剂和脲酶抑制剂组合。而高剂量的

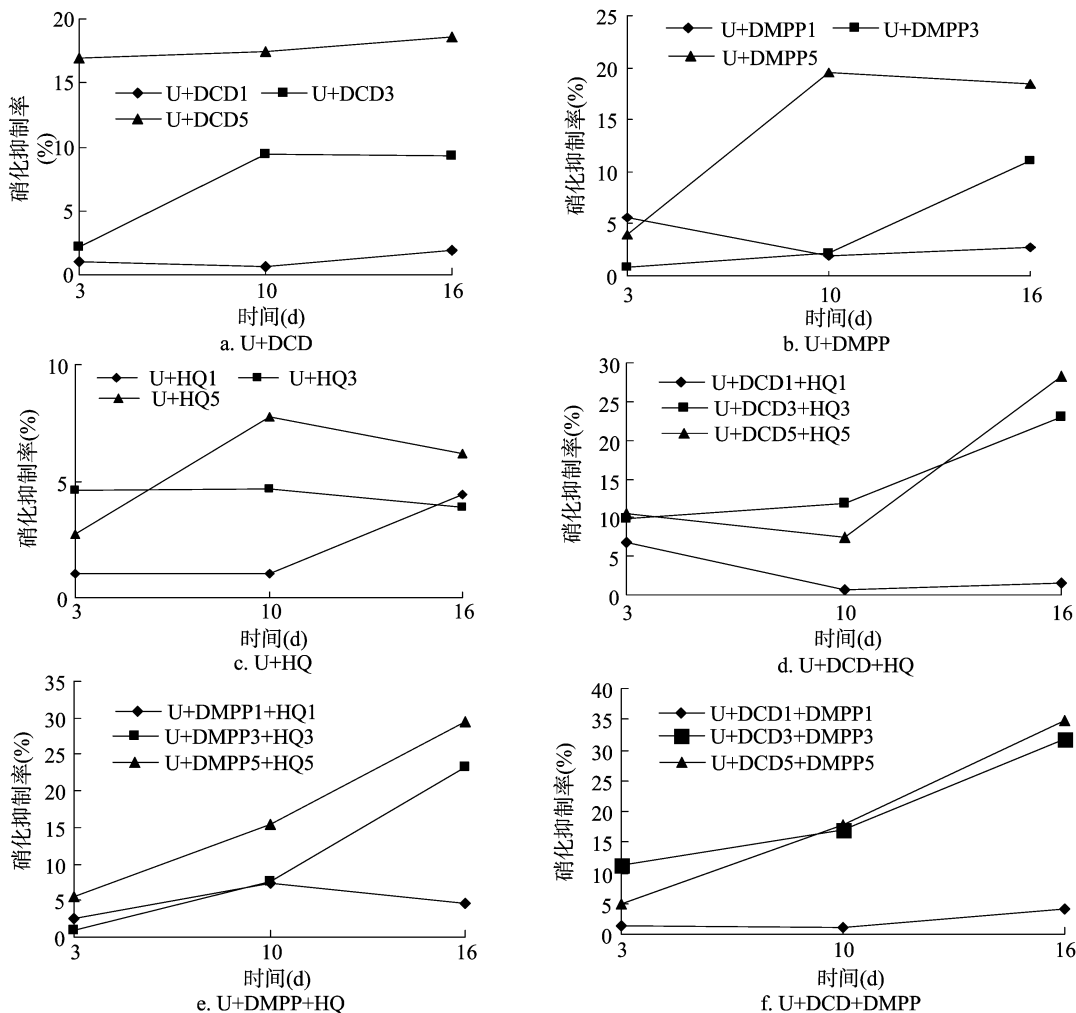


图2 硝化/脲酶抑制剂对土壤硝化抑制率的影响

DCD 和 DMPP 组合处理与中剂量的组合处理相比,硝化抑制率差异不明显,说明中剂量的 2 个硝化抑制剂 DCD 和 DMPP 组合可达到与高剂量同等的抑制效果,在生产中宜采用中剂量的 2 个硝化抑制剂组合。

不同剂量的抑制剂对土壤铵态氮消耗速率有不同的作用,与对照相比,3 种抑制剂均显著降低了土壤铵态氮的消耗速率,其作用大小依次为 DMPP > HQ > DCD;该研究结果与 Weiske 等的研究结果^[18]相似,硝化抑制剂降低了氨氧化细菌在土壤中的活性,从而延缓了土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 向 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 转化的过程,由此降低了土壤铵态氮的消耗速率。在两两组合抑制剂配施尿素处理中,其降低土壤铵态氮消耗速率以 DMPP 与 HQ 组合效果最佳,其次是 HQ 与 DCD 组合,DMPP 与 DCD 组合降低幅度最小。说明硝化抑制剂和脲酶抑制剂组合能够显著抑制土壤铵态氮向硝态氮的转化,但 2 个硝化抑制剂组合处理对土壤铵态氮向硝态氮的转化抑制作用则相对较差。

参考文献:

- [1] 李光锐,郭毓德,陈培森. 尿素在石灰性土壤中移动、分解和转化的初步探讨[J]. 中国农业科学,1985(1):73-76.
- [2] 张文学,孙刚,何萍,等. 脲酶抑制剂与硝化抑制剂对稻田氨

- 挥发的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(6):1411-1419.
- [3] Hofmeier M, Roelcke M, Han Y, et al. Nitrogen management in a rice-wheat system in the Taihu Region: recommendations based on field experiments and surveys [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2015, 209: 60-73.
- [4] Bodirsky B L, Popp A, Lotze-Campen H, et al. Reactive nitrogen requirements to feed the world in 2050 and potential to mitigate nitrogen pollution[J]. Nature Communications, 2014, 5: 3858.
- [5] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-783.
- [6] 孙志梅,武志杰,陈利军,等. 土壤硝化作用的抑制剂调控及其机理[J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1389-1395.
- [7] 曾后清,朱毅勇,王火焰,等. 生物硝化抑制剂——一种控制农田氮素流失的新策略[J]. 土壤学报, 2012, 49(2): 382-388.
- [8] 徐星凯,周礼恺, Oswald, 等. 脲酶抑制剂/硝化抑制剂对植稻土壤中尿素 N 行为的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(10): 1682-1686.
- [9] 卢婉芳,陈苇. 稻田脲酶抑制剂的应用效果及其与环境条件的关系[J]. 中国水稻科学, 1992, 6(3): 135-138.
- [10] 徐星凯,周礼恺, Oswald, 等. 脲酶抑制剂/硝化抑制剂对土壤中尿素氮转化及形态分布的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(3): 339-345.

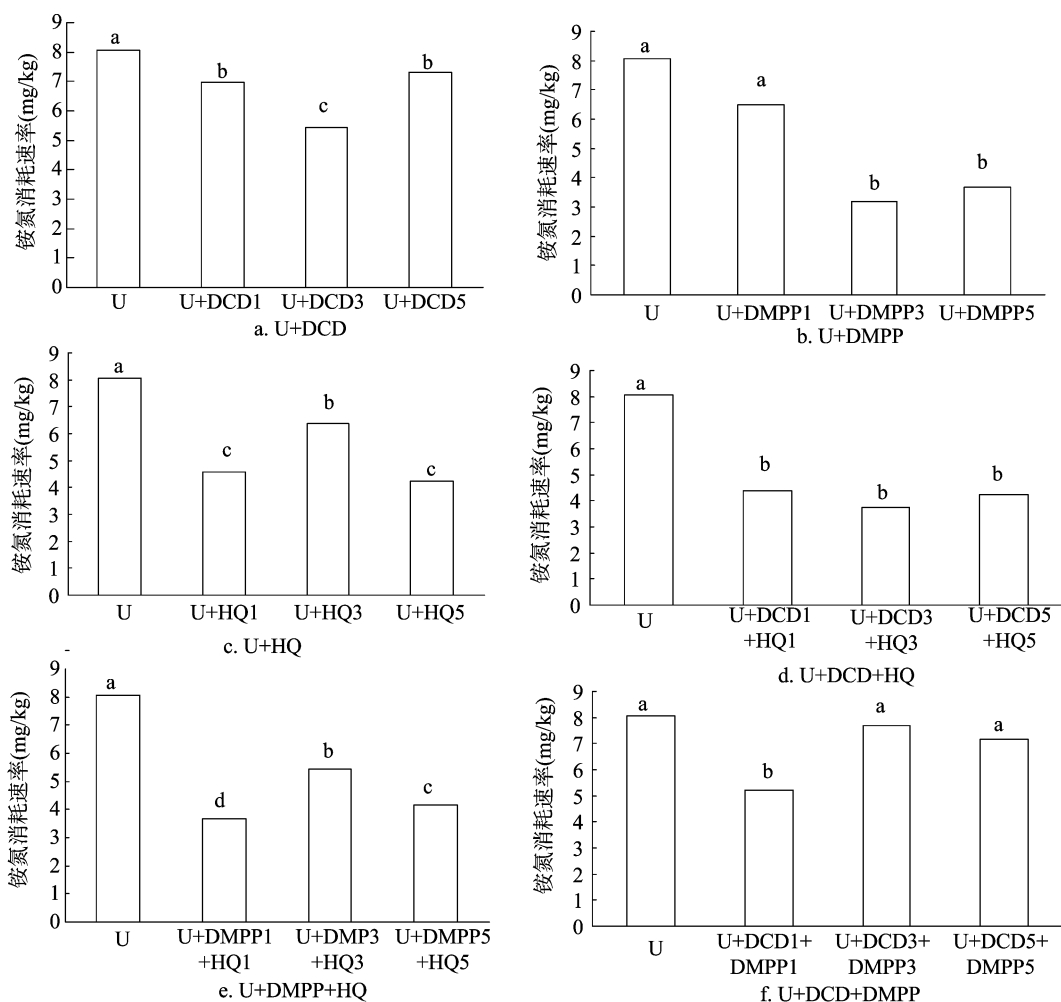


图3 硝化/脲酶抑制剂对土壤铵态氮消耗速率的影响

- [11] 邱永祥, 谢小珍, 蔡南通, 等. 不同氮素及硝化抑制剂对叶菜用甘薯光合特性、茎叶产量及硝酸盐含量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(12): 58-64.
- [12] 隗英华, 陈利军, 武志杰, 等. 脲酶/硝化抑制剂在土壤 N 转化过程中的作用[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 773-780.
- [13] 焦晓光, 梁文举, 陈利军, 等. 脲酶/硝化抑制剂对土壤有效态氮、微生物量氮和小麦氮吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1903-1906.
- [14] 黄益宗, 冯宗炜, 王效科, 等. 硝化抑制剂在农业上应用的研究进展[J]. 土壤通报, 2002, 33(4): 310-315.
- [15] 张锡洲, 余海英, 王永东, 等. 不同形态氮肥对设施土壤速效养分的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(4): 1182-1187.

- [16] 石美, 张妹婷, 沈锋, 等. 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.
- [17] 陈振华, 陈利军, 武志杰. 脲酶-硝化抑制剂对减缓尿素转化产物氧化及淋溶的作用[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 238-242.
- [18] Weiske A, Benckiser G, Herbert T, et al. 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]. Biology and Fertility of Soils, 2001, 34(2): 109-117.