

# 脲酶/硝化抑制剂对尿素氮在白浆土中转化的影响

李莉<sup>1,2</sup>, 李东坡<sup>1\*</sup>, 武志杰<sup>1</sup>, 张丽莉<sup>1</sup>, 张玉兰<sup>1</sup>, 聂彦霞<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁沈阳 110016; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 采用室内恒温培养方法, 研究了脲酶抑制剂(NBPT)、硝化抑制剂(DMPP)及其两者组合对尿素氮在三江平原白浆土中转化作用效果。研究表明, 在白浆土中 NBPT 有效作用时间小于 13 d, 作用时间较在棕壤和黑土中短; 对土壤中铵态氮、硝态氮及表观硝化率影响与普通尿素基本一致。NBPT 与 DMPP 组合缓释尿素施入 4~7 d, 能够有效抑制脲酶活性, 减缓尿素水解; 只添加 DMPP 与添加 NBPT 与 DMPP 协同作用对抑制铵态氮硝化作用效果相同, 二者能保持土壤中  $\text{NH}_4^+$ -N 高含量时间超过 80 d。DMPP 作用时间可达 80 d 以上, 能有效抑制  $\text{NH}_4^+$ -N 向  $\text{NO}_3^-$ -N 的转化; 在第 80 d, 土壤中仍有 54.58%~56.85% 的氮以铵态氮形式存在, 表观硝化率只有 50% 左右。DMPP 抑制硝化作用效果十分显著, 因此, 在白浆土中施用添加 NBPT 缓释尿素、DMPP 缓释尿素、NBPT 与 DMPP 缓释尿素时, 应首选添加 1% DMPP 的缓释尿素肥料。

**关键词:** 脲酶抑制剂; 硝化抑制剂; 尿素态氮; 铵态氮; 硝态氮

中图分类号: S143.1 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2011)03-0646-05

## Effect of urease/nitrification inhibitors on transformation of urea -N in albic soil

LI Li<sup>1,2</sup>, LI Dong-po<sup>1\*</sup>, WU Zhi-jie<sup>1</sup>, ZHANG Li-li<sup>1</sup>, ZHANG Yu-lan<sup>1</sup>, NIE Yan-xia<sup>1,2</sup>

(1 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2 Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Using an incubation test under a constant temperature, the effects of an urease inhibitor (NBPT), a nitrification inhibitor (DMPP), and their combined application on urea nitrogen transformation in albic soil on the Sanjiang Plain was investigated. In albic soil, the effective reaction time of NBPT is less than 13 d, which was shorter than that in brown and blank soil, and the effects of NBPT on soil ammonium, nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^-$ -N) and nitrification rate were consistent with the application of urea. During the 4-7 d after the application of slow-release urea with the combination of NBPT and DMPP to the soil, which effectively inhibited the activity of urea-hydrolyzing enzymes, and thus delayed the hydrolysis of urea. The inhibitory effect of DMPP on ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4^+$ -N) was identical to the effect of combined application of NBPT and DMPP, which maintained a high level of soil  $\text{NH}_4^+$ -N for more than 80 d. DMPP can effectively inhibit the transformation from  $\text{NH}_4^+$ -N to  $\text{NO}_3^-$ -N at 80 d, 54.58%-56.85% of the nitrogen remaining in the soil was in the form of  $\text{NH}_4^+$ -N, thus the nitrification rate was only about 50% and the inhibitory effect of DMPP on nitrification was significant in albic soil. Therefore, in albic soil, when using the slow-release urea with NBPT, DMPP, or a combination of NBPT and DMPP, we recommend that adding 1% DMPP to urea is the best option.

**Key words:** urease inhibitor; nitrification inhibitor; urea nitrogen; ammonium nitrogen; nitrate nitrogen

收稿日期: 2010-07-29 接受日期: 2011-01-24

基金项目: 国家“十一”五科技支撑计划项目(2009BADB3B07, 2006BAD10B06, 2006BAD10B01); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YW-N-078)资助。

作者简介: 李莉(1985-), 女, 山东德州人, 硕士研究生, 主要从事土壤植物营养与肥料高效利用研究。E-mail: blueocean0301@126.com

\* 通讯作者 E-mail: lidp@iae.ac.cn

施入土壤中的尿素只有 30%~60% 氮被作物吸收利用,我国平均只有 35%。施入土壤中的尿素主要通过氨挥发、硝化淋失与径流、反硝化作用等途径损失,不仅造成了氮素肥料的大量浪费,还成为环境氮污染的主要途径。因此,有效提高氮肥肥效、氮素利用率是重要研究课题之一。

采用脲酶抑制剂/硝化抑制剂调控土壤中尿素氮转化过程是提高尿素氮肥利用率的廉价而有效措施。脲酶抑制剂(Urease inhibitor)可以抑制土壤中脲酶活性,减缓或延迟酰胺态氮水解为铵态氮;硝化抑制剂(Nitrification inhibitor)可以很好的抑制土壤中铵态氮氧化为硝态氮,进而减少硝酸盐的淋溶及以氮氧化物等气态形式损失。两者分别对尿素 N 转化某一特定过程产生作用,其单独作用不能对尿素氮转化的全过程进行有效控制,而配合施用可有效延缓尿素水解和水解产物  $\text{NH}_4^+$  的进一步氧化,并使水解产物  $\text{NH}_4^+$  在土壤中存在相对较大的量和较长的时间<sup>[1-3]</sup>。

目前,N-丁基硫代磷酰三胺(NBPT)被公认为最有效而且经济的脲酶抑制剂。尿素表施时,NBPT 用量为 0.25% 有利于减少  $\text{NH}_3$  的挥发,提高尿素氮的有效性;尿素旁施时,NBPT 用量为 0.15% 时就能促进作物对氮的吸收<sup>[4]</sup>。在棕壤中,NBPT 浓度在 1% 时,可显著抑制脲酶活性;低浓度(0.1 mg/mL) NBPT 对细菌、放线菌生长有一定的促进作用<sup>[5]</sup>。3,4-二甲基吡唑磷酸盐(DMPP)作为一种近几年研制成功的硝化抑制剂,具有高效、安全、无毒和较廉价的优势<sup>[6-7]</sup>。DMPP 的加入使氨氧化细菌的数量减少,硝化细菌和反硝化细菌的活性降低,但对亚硝酸氧化细菌和羟氨还原酶活性没有影响<sup>[8]</sup>。此外,DMPP 能够调节氮素供应形态,增加土壤无机氮含量,减弱土壤因施氮造成的 pH 下降幅度;可降低土壤速效钾的含量,但对速效磷含量影响不大<sup>[9]</sup>。有关 NBPT 和 DMPP 配合的研究较少,邢卫等<sup>[10]</sup>在棕壤上对 NBPT 和 DMPP 不同剂量组合对氮素转化的研究表明,NBPT 和 DMPP 分别为 0.1% 和 0.5% 施氮量时为适宜组合。

以上研究主要集中在棕壤、黑土、红壤、黄壤等土壤类型,对白浆土的研究未见报道。三江平原现有白浆土面积  $223.05 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,都是中低产田。该地区粮食生产中氮肥的利用率很低,并且绝大部分使用的都是常规肥料品种,没有针对该地区土壤类型而研制的缓释氮素肥料产品。为此,开展了脲酶抑制剂(NBPT)、硝化抑制剂(DMPP)及其两者组合

对尿素氮在白浆土中转化特点与过程的影响研究,旨在探索一种适合白浆土的用量和组合,为研制适宜三江平原白浆土添加 NBPT 和 DMPP 两种生化抑制剂的缓释尿素肥料提供科学理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

供试土壤为三江平原白浆土,采自黑龙江省八五三农场。其基本性状为:有机质含量 40.39 g/kg,全氮 1.25 g/kg,全磷 0.84 g/kg,Oslen-P 33.4 g/kg,速效钾 119 g/kg,pH( $\text{H}_2\text{O}$ )5.79。试验设 5 个处理:1)尿素加 NBPT(NBPT+U);2)尿素加 DMPP(DMPP+U);3)尿素加 NBPT 和 DMPP(NBPT+DMPP+U);4)普通尿素(U);5)不施尿素(CK),重复 3 次。供试尿素(N 46.3%,国药集团化学试剂有限公司生产),NBPT、DMPP(分析纯,J&K 化学技术有限公司生产)。

试验采用塑料瓶盛土,每瓶装干土 700 g,共装土 75 瓶,分为 5 组,每组 15 瓶。尿素用量为 N 1 g/kg 干土;抑制剂按目前最经济有效的用量,NBPT 添加比例为尿素氮的 0.5%<sup>[4]</sup>,DMPP 添加比例为尿素氮的 1%<sup>[6-7]</sup>。试验时将尿素和生化抑制剂按上述比例加入培养瓶中与土壤混匀,并加蒸馏水使土壤含水量达到 20%,于 25℃ 培养箱中恒温培养,定期补充水分。在培养第 4、7、10、13、16、19、22、25、28、35、42、49、56、63、70、80 d 取样。采用非破坏性取样,即取样时先在第一组塑料瓶中取,第一组塑料瓶中土取完后,再从第二组中取,以此类推。

### 1.2 测定项目与方法

采用常规分析方法测定土壤基本理化性质;尿素态氮采用 KCl-乙酸汞浸提,铵态氮、硝态氮采用 2 mol/L KCl 浸提,用 3-AA3 型(Bran Lubbe,德国)连续流动分析仪测定<sup>[11]</sup>。

表观硝化率(%) =  $\text{NO}_3^- - \text{N} / (\text{NH}_4^+ - \text{N} + \text{NO}_3^- - \text{N}) \times 100$ 。

试验数据采用 SPSS13.0 统计分析软件进行统计分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤尿素态氮变化

土壤中尿素态氮含量呈逐渐下降的趋势。培养第 4~7 d 含有 NBPT 的处理尿素态氮含量急剧下降;第 4 d, NBPT+U 处理显著高于 DMPP+U 和 U 处理,说明在白浆土中,NBPT 能够有效地抑制尿素

水解,使土壤中不会因尿素水解产生较多的氨而缩短尿素有效时间,减少氨挥发损失。

在 25℃ 恒温条件下,一般尿素在黑土和棕壤中存在时间为 3 ~ 5 d<sup>[12]</sup>,而本研究尿素态氮在土壤中存留时间较长,这主要与白浆土中土壤微生物活性相对较弱<sup>[13]</sup>,微生物产生的脲酶数量较少、活性较低有关(图 1)。

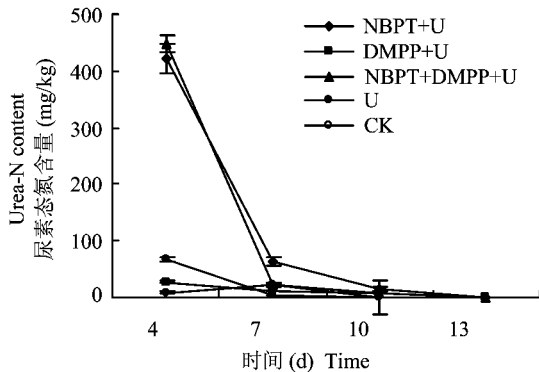


图 1 土壤尿素态氮含量变化

Fig. 1 Dynamics of soil urea-N content

## 2.2 土壤铵态氮变化

各处理土壤  $\text{NH}_4^+$ -N 含量均呈现先增加后减少的趋势,第 4 ~ 7 d,所有施入尿素处理土壤  $\text{NH}_4^+$ -N 含量急剧增加,第 7 d 达到最高峰,以 DMPP + U 含量最高,达到 610.71 mg/kg。NBPT + U、DMPP + U 及两者组合处理分别比第 4 d 提高了 61.78%、24.28%、57.00%;而 U 处理仅增加 2.45% (图 2)。尿素添加 NBPT 处理由于 NBPT 延缓了尿素水解,第 7 d 尿素水解大量增加,使得土壤中铵态氮含量急剧上升;尿素添加 DMPP 处理由于 DMPP 的抑制硝化作用使得土壤中铵态氮大量聚集;组合处理铵态氮含量较高是由于尿素水解量增加和铵态氮硝化

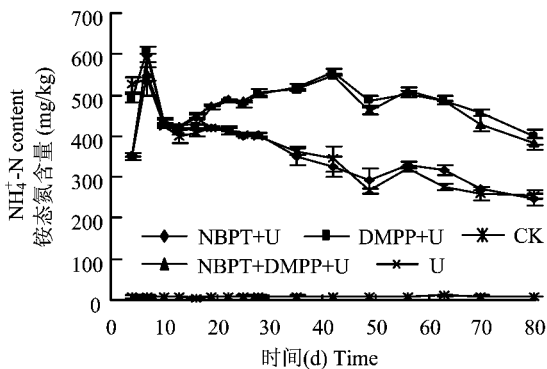


图 2 土壤铵态氮含量变化

Fig. 2 Dynamics of soil  $\text{NH}_4^+$ -N contents

受到抑制双重作用的结果。第 10 d,所有施肥处理土壤铵态氮含量急剧下降,这是由于在第 7 d  $\text{NH}_4^+$ -N 含量较高,硝化作用底物较多,硝化活性相应提高<sup>[14]</sup>,促进  $\text{NH}_4^+$  的硝化作用加快,即在微生物作用下将  $\text{NH}_4^+$  氧化成  $\text{NO}_3^-$  的进程加快所导致的<sup>[15]</sup>。在第 13 ~ 42 d DMPP + U 和 NBPT + DMPP + U 处理土壤铵态氮增加幅度较大,主要是 DMPP 抑制了  $\text{NH}_4^+$ -N 向  $\text{NO}_3^-$ -N 转化,使得土壤中保持较高的  $\text{NH}_4^+$ -N 含量。第 42 ~ 80 d,含有 DMPP 处理土壤铵态氮含量明显下降,但仍高于 NBPT + U 和 U 处理,说明 DMPP 在白浆土中的有效作用时间可以持续到 80 d 以上。

## 2.3 土壤硝态氮变化

图 3 看出,整个培养期间,脲酶抑制剂处理与尿素处理土壤硝态氮含量高于含有硝化抑制剂处理,第 3 ~ 28 d,含有 DMPP 处理土壤中硝态氮一直保持较低水平,说明 DMPP 有很强的抑制硝化作用能力;而 NBPT + U 和 U 处理土壤硝态氮含量迅速增加,之后开始下降,说明尿素添加 NBPT 土壤中铵态氮硝化作用相对较弱,表现出了一定的控制铵氧化作用。第 35 ~ 49 d,含有 DMPP 处理土壤中硝态氮含量显著增加,说明 DMPP 作用开始减弱;而添加 NBPT 和普通尿素处理土壤硝态氮含量则有所下降,这是由于土壤反硝化作用强烈,造成了硝态氮损失,也由于土壤微生物的同化作用,使硝态氮含量明显下降。第 63 ~ 80 d 含有 DMPP 两种处理土壤硝态氮含量大幅度增加,说明此阶段土壤中的铵态氮的硝化作用强度增加,同时土壤中固定的铵态氮开始释放。

由不同处理土壤铵态氮和硝态氮含量变化特点可知,NBPT 在白浆土中的有效作用时间为 16 d,作用时间一般很短<sup>[16]</sup>;DMPP 在白浆土中的有效作用时间超过 80 d。DMPP 处理与 NBPT + DMPP 处理

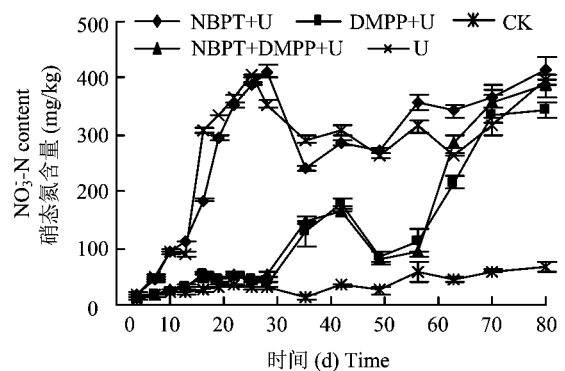


图 3 土壤硝态氮含量变化

Fig. 3 Dynamics of soil  $\text{NO}_3^-$ -N contents

在 80 d 培养时间内,土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量都显著低于添加 NBPT 和尿素处理,说明添加 DMPP 的肥料,能明显抑制土壤中铵态氮向硝态氮的转化,提高土壤中铵/硝比值,有利作物对铵态氮的吸收利用<sup>[17]</sup>。因此可以认为,在白浆土中只用硝化抑制剂 DMPP 就可以达到较少尿素态氮损失,提高尿素肥料利用率的效果,以降低缓释肥料成本。

#### 2.4 对土壤 $\text{NH}_4^+$ 氧化的影响

表观硝化率常用于表示土壤中的硝化作用强度。试验表明,培养期内,含有 DMPP 处理表观硝化率显著低于 NBPT 处理和尿素处理,这与 NBPT 处理  $\text{NO}_3^-$ -N 含量较高,DMPP 处理和 DMPP + NBPT 处理  $\text{NO}_3^-$ -N 含量较低相一致(图 2 和图 3)。除第 63 和 80 d 外,其它培养时间尿素添加 NBPT + DMPP 处理表观硝化率与尿素添加 DMPP 无显著差异,说明 DMPP 和 NBPT + DMPP 对表观硝化率具有相同的效果;而尿素添加 NBPT 和尿素处理表观硝化率相同,说明两者具有相同的硝化作用强度。在第 80 d,尿素添加 DMPP 和 NBPT + DMPP 处理表观硝化率分别为 46.34% 和 50.33%,接近或达到 50%,显著低于尿素添加 NBPT 和普通尿素处理(分别为 62.93% 和 58.81%)。可见,DMPP 硝化抑制作用时间较长,NBPT 对硝化作用无影响。

### 3 结论

白浆土施用添加脲酶抑制剂 NBPT 的缓释尿素,其有效作用时间小于 13 d,较在黑土或棕壤中缩短 3~6 d,可以使尿素水解推迟 5 天以上<sup>[18]</sup>。但是,尿素添加 NBPT 与普通尿素处理铵态氮与硝态氮的含量变化基本一致,说明添加纯氮量的 0.5% NBPT 的尿素在白浆土中的缓释作用效果并不理想。

添加 DMPP 和 NBPT 与 DMPP 组合的缓释尿素能显著抑制土壤中  $\text{NH}_4^+$ -N 的氧化作用,使其保持较高水平;培养 80 d 土壤中仍有 54.58%~56.85% 的氮以铵态氮形式存在。在整个培养期,添加 DMPP 和 NBPT 与 DMPP 组合的缓释尿素与尿素处理的表观硝化率特征一致,对氮损失的控制效果相同。说明在白浆土中只用硝化抑制剂 DMPP 就可以达到较少尿素态氮损失,提高尿素肥料利用率的效果。这与脲酶抑制剂、硝化抑制剂组合要比单独使用一种抑制剂效果好的结论不一致<sup>[4-5]</sup>,这可能与抑制剂种类和土壤类型有关。

本试验只是室内恒温培养条件下、没有作物吸

收氮素养分的前提下所得出的初步结论,其实际施用效果需进行田间试验进一步验证。

#### 参 考 文 献:

- [1] 华建峰,蒋倩,施春健,等. 脲酶/硝化抑制剂对土壤脲酶活性、有效态氮及春小麦产量的影响[J]. 土壤通报,2008,39(1): 94-99.  
Hua J F, Jiang Q, Shi C J. Effect of urease/nitrification inhibitors on soil urease activity, soil available N and yield of spring wheat [J]. Chin. J. Soil Sci., 2008, 39(1): 94-99.
- [2] Gioacchini P, Nistri A, Marzadori C *et al.* Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea [J]. Biol. Fert. Soils, 2002(36):129-135.
- [3] Xu X K, Zhou L K, Van Cleemput O *et al.* Fate of urea-<sup>15</sup>N in a soil-wheat systems influenced by urease inhibitor hydroquinone and nitrification dicyandiamide [J]. Plant Soil, 2000, 220: 261-270.
- [4] 王小彬,辛景峰,Grant C A, Bailey L D. 尿素与脲酶抑制剂配用对春小麦植株氮吸收的影响[J]. 干旱地区农业研究,1998, 3(1):36-41.  
Wang X B, Xin J F, Grant C A, Bailey L D. Effects of urease with nBPT on N uptake of spring wheat [J]. Agric. Res. Arid Areas, 1998, 3(1): 36-41.
- [5] 赵略,孙庆元,于英梅. 脲酶抑制剂 NBPT 对土壤脲酶活性和脲酶产生菌的影响[J]. 大连轻工业学院学报,2007,26(1): 24-27.  
Zhao L, Sun Q Y, Yu Y M. Effect of urease inhibitor NBPT on soil urease activity and urease producing microorganisms [J]. J. Dalian Inst. Light Ind., 2007, 26(1): 24-27.
- [6] Zerulla W, Barth T, Dressel J *et al.* 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP)—A new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture [J]. Biol. Fert. Soils, 2001, 34: 79-84.
- [7] Serna M D, Bañuls J, Quiñones A *et al.* Evaluation of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in a citrus-cultivated soil [J]. Biol. Fert. Soils, 2000, 32: 41-46.
- [8] Li H, Liang X Q, Chen Y X *et al.* 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): 149-155.
- [9] 许超,吴良欢,郑旭颖,等. 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.  
Xu C, Wu L H, Zheng X Y *et al.* Effect of nitrification inhibitor DMPP (3, 4-dimethylpyrazole phosphate) on nutrient-supplying of vegetable soil [J]. J. Agro-Environ. Sci., 2007, 26(1): 269-272.
- [10] 邢卫,陈利军,陈振华,等. NBPT 与 DMPP 不同剂量组合对尿素氮转化的影响[J]. 土壤通报,2008,39(4):896-899.  
Xing W, Chen L J, Chen Z H *et al.* Synergistic effect of different doses of NBPT and DMPP on urea-N transformation [J]. Chin. J. Soil Sci., 2008, 39(4): 896-899.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版

- 社,1999.
- Lu R K. Chemical analysis of soil agricultural [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999.
- [12] 倪秀菊,李玉中,徐春英,等. 土壤脲酶抑制剂和硝化抑制剂的研究进展[J]. 中国农学通报,2009,25(12):145-149.
- Ni X J, Li Y Z, Xu C Y *et al.* Advance of research on urease inhibitor and nitrification inhibitor in soil[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2009, 25(12): 145-149.
- [13] 徐文平,任学坤,孟滕,等. 生物硅肥对白浆土型水稻土土壤微生物和酶活性的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(2): 265-268.
- Xu W P, Ren X K, Meng T *et al.* The effect of soil microorganism and enzyme activities with bio-silicon fertilizer in albic soil [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2008, 24(2): 265-268.
- [14] Avrahami S, Conrad R, Braker G.. Effect of soil ammonium concentration on  $N_2O$  release and on the community structure of ammonia oxidizers and denitrifiers[J]. Appl. Environ. Microbiol., 2002, 68(11): 5685-5692.
- [15] 李良谟. 硝化作用[A]. 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素[M]. 北京:科学出版社,1992. 94-144.
- Li L M. Nitrification[A]. Zhu Z L, Wen Q X. Chinese soil nitrogen[M]. Beijing: Science Press, 1992. 94-144.
- [16] 隽英华,陈利军. 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.
- Juan Y H, Chen L J. Effect of urease and nitrification inhibitor on soil-N transformation [J]. Chin. J. Soil Sci., 2007, 38(4): 773-780.
- [17] 茶正早,林钊沐,罗微. 德国新型硝化抑制剂 DMPP[J]. 安徽农学通报,2007,13(12):46-48.
- Cha Z Z, Lin Z M, Luo W. Germany's new nitrification inhibitor DMPP[J]. Anhui Agri. Sci. Bull. 2007, 13(12): 46-48.
- [18] 郑福丽,李彬,李晓云,石元亮. 脲酶抑制剂的作用机理与效应[J]. 吉林农业科学,2006,31(6):25-28.
- Zheng F L, Li B, Li X Y, Shi Y L. Mechanism and effect of urease nitrification[J]. J. Jilin Agric. Sci., 2006, 31(6): 25-28.