

脲酶-硝化抑制剂对减缓尿素转化产物 氧化及淋溶的作用*

陈振华^{1,2} 陈利军^{1*} 武志杰¹

(¹中国科学院沈阳应用生态研究所,沈阳 110016;²中国科学院研究生院,北京 100039)

【摘要】 利用原状土柱模拟试验,研究了脲酶抑制剂氢醌(HQ),硝化抑制剂包被碳化钙(ECC)和双氰胺(DCD)以及它们的不同组合对尿素转化产物土壤持留、氧化以及淋溶的影响.结果表明,与其它抑制剂处理相比,HQ+DCD组合能有效抑制尿素水解产物的氧化,使其以交换态 NH_4^+ 的形式在土壤中长时间持留;氧化作用的抑制不仅减少了氧化产物 NO_3^- 的累积,也降低了 NO_3^- 淋溶潜势,使其淋入下层土壤的深度仅限在5~10 cm范围内,且淋溶量显著降低.

关键词 脲酶抑制剂 硝化抑制剂 铵态氮 硝态氮 NO_3^- 淋溶

文章编号 1001-9332(2005)02-0238-05 **中图分类号** S143.12 **文献标识码** A

Effects of urease and nitrification inhibitors on alleviating the oxidation and leaching of soil urea's hydrolyzed product ammonium. CHEN Zhenhua^{1,2}, CHEN Lijun¹, WU Zhijie¹ (¹Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ²Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(2):238~242.

With simulation test of in-situ soil column, this paper studied the effects of urease inhibitor hydroquinone (HQ), nitrification inhibitors coated calcium carbide (ECC) and dicyandiamide (DCD), and their different combinations on the persistence, oxidation, and leaching of soil urea's hydrolyzed product ammonium. The results showed that compared with other treatments, the combination of HQ and DCD could effectively inhibit the oxidation of the ammonium, and make it as exchangeable form reserve in soil in a larger amount and a longer period. The inhibition of this oxidation not only decreased the accumulation of oxidized product NO_3^- in soil, but also decreased the potential of NO_3^- leaching, making the NO_3^- only leach to 5~10 cm in depth, and the leached amount significantly decreased.

Key words Urease inhibitor, Nitrification inhibitor, NH_4^+ -N, NO_3^- -N, NO_3^- leaching.

1 引言

脲酶抑制剂和硝化抑制剂是分别用来减缓土壤中尿素酰胺态氮至氨态氮的水解以及 NH_4^+ -N至 NO_3^- -N的氧化,以减少 NH_3 挥发、 NO_3^- 淋溶及 N_2 与 N_2O 等气态损失的元素或化合物^[5,12,13].二者分别对尿素N转化的某一特定过程产生作用,但脲酶抑制剂的作用时间一般较短,对尿素N转化成氨以后的行为影响较少,甚至还有可能促进其它途径如硝化和反硝化作用的N损失^[25];而硝化抑制剂的作用效果取决于土壤条件和抑制剂自身特性,它在减少硝化、反硝化的同时也加剧了氨挥发的潜在几率,单独使用不能对尿素氮转化的全过程进行有效调控.我们曾对脲酶抑制剂和硝化抑制剂配合使用对尿素N转化、温室气体 CH_4 及 N_2O 排放、作物N吸收和籽粒产量等的影响进行过系统研究^[6-8,22,23,25],但未涉及其对 NO_3^- 淋溶影响的探讨.国内外关于抑制剂对 NO_3^- 淋溶影响的报道,也

主要是依据硝化抑制剂对硝化作用的抑制^[10,14,18,20]或作物产量和含氮量的提高^[9],做出能降低淋溶的推测,对淋溶量影响的研究相对缺乏,两种抑制剂配合使用的研究多集中于对气体释放、产量、硝化抑制程度的影响几个方面.本研究以田间原状土柱为供试对象,研究脲酶抑制剂、硝化抑制剂及其不同组合对尿素水解产物土壤持留、氧化及氧化产物 NO_3^- 淋溶的影响,以期为合理使用这两类抑制剂提高尿素利用率、减少 NO_3^- 面源污染提供理论依据.

2 材料与方法

2.1 供试材料

供试土壤为砂壤土,采自比利时根特大学农业试验站,理化性质见表1.供试肥料为常规农用尿素.脲酶抑制剂选

* 中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZCX2-413).

** 通讯联系人.

2004-07-26收稿,2004-10-19接受.

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic soil properties of test soil

粘粒 Clay (%)	粉粒 Silt (%)	砂粒 Sand (%)	CaCO ₃ (%)	有机碳 Organic C (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	速效 P Available P (mg·kg ⁻¹)	pH(水浸) pH(H ₂ O)
9.3	14.5	76.2	6.95	17.9	1.00	16.0	7.2

用经广泛研究并证明经济有效的氢醌(HQ)^[24,26];硝化抑制剂为国内外普遍施用的双氰胺(DCD)^[11]和包被碳化钙(ECC)^[3]。

2.2 研究方法

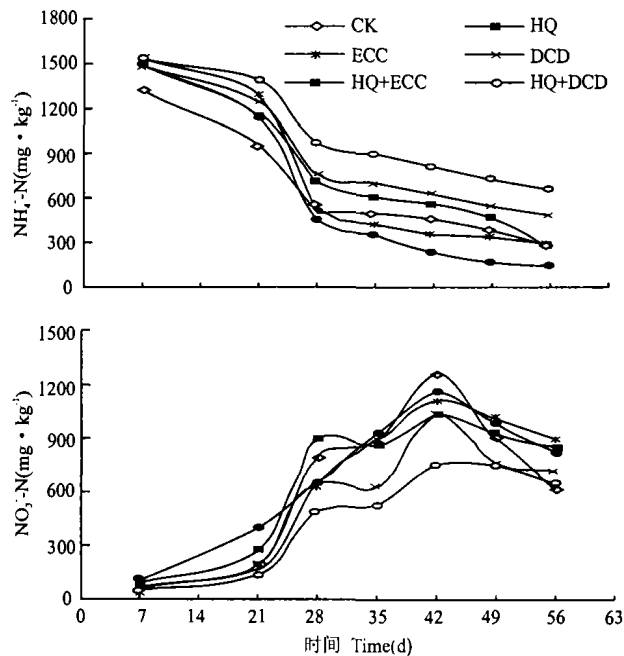
本试验设置 CK(尿素)、HQ(尿素 + HQ)、ECC(尿素 + ECC)、DCD(尿素 + DCD)、HQ + ECC(尿素 + HQ + ECC)和 HQ + DCD(尿素 + HQ + DCD)6 个处理。用直径 7 cm、长度为 25 cm 的聚四氟乙烯管采集田间原状土柱,取出 0~5 cm 土层鲜土,除去草根、砂石等杂质,与 0.48% 干土重的尿素及一定量抑制剂混匀,还回土柱,在实验室条件下培养。抑制剂氢醌、包被碳化钙、双氰胺用量分别为尿素用量的 0.3%、20%、1%;每次室外自然降雨后,培养试验按自然降雨量的比例淋入去离子水模拟淋溶状况,培养后每周以 3 次重复破坏土柱分 5 个层次(每层 5 cm)取样,用 2 M KCl 浸提、MgO-德氏合金还原蒸馏法测定不同土层中 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 含量。培养期间土体没有开裂现象,土柱也没有渗漏出液体。采用 SPSS 10.0 进行数据处理和相关分析。

3 结果与讨论

3.1 抑制剂对 0~5 cm 土壤交换性 NH₄⁺-N 含量的影响

尿素施入土壤后,在土壤脲酶的作用下,经由氨基甲酸水解成 NH₃,再经质子化转变为 NH₄⁺^[4,26~28],部分吸附于土壤粘粒上,多以交换性 NH₄⁺ 存在^[29],随后发生氧化,其贮量变化主要取决于施入尿素的量、土壤阳离子交换量、pH 和硝化作用强弱。本试验中,土柱培养初期,各处理土壤交换性 N 含量均较高,随时间推移逐渐减少,第 4 周出现明显下降(图 1),可能是由 NH₄⁺ 的硝化作用所引起的。在添加抑制剂处理中,前 4 周土壤交换性 NH₄⁺ 含量都高于对照,其中 HQ + DCD 处理又显著高于其它几个抑制剂处理($P < 0.01$),其余抑制剂处理间差异不显著;HQ + ECC 未表现出与 HQ + DCD 一样明显的效果(图 1),这与先前试验证明的其抑制效果不稳定的结论一致^[6~8]。第 5~8 周, HQ + DCD 处理依然保持了较多的土壤交换性 NH₄⁺ ($P < 0.01$);其它处理中 DCD 效果较好, HQ 次之,均比对照高,但 ECC 和 HQ + ECC 处理的 NH₄⁺-N 含量低于对照。Macadam 等^[17]研究表明,在高 DCD 用量(25 kg·hm⁻²)情况下,30 天可使 NH₄⁺-N 含量

降到与对照相近的水平;ECC 和 HQ + ECC 处理的 NH₄⁺-N 含量比对照低,其原因可能是 CaC₂ 与土壤水反应,其本身失去抑制作用,同时使土壤 pH 升高,引起氨挥发增多^[4,27,28]引起的。

图 1 0~5 cm 土层交换性 NH₄⁺-N 和土柱总 NO₃⁻-N 含量变化Fig. 1 Variation of soil exchangeable NH₄⁺-N at 0~5 cm depth and total NO₃⁻-N content of soil column.

3.2 抑制剂对土壤 NH₄⁺ 氧化的影响

土壤 NH₄⁺ 氧化产物 NO₃⁻ 含量呈现出先升高后降低的趋势(图 1),其中 HQ + DCD 与 DCD 比其它处理更能在整个培养期间减少 NO₃⁻ 的累积($P < 0.05$),HQ + DCD 处理效果最好,这可能是 HQ 减少了可被氧化的 NH₄⁺ 量,而 DCD 又影响了硝化微生物活动的结果。NO₃⁻-N 含量在第 4 周、第 6 周有两个跃升,分别在第 28 天和 42 天出现峰值。与同是使用硝化抑制剂 DCD 的另一试验比较,本试验 NO₃⁻-N 含量的峰值的出现提早 20 多天^[20],这种差异可能是土壤本身性质和不同抑制剂用量造成的。本试验中一些处理出现两个 NO₃⁻-N 含量峰值,可能由于供试土壤为沙壤土,被土壤固持和吸附的 NH₄⁺ 较易解吸、释放,不断提供能被氧化的 NH₄⁺ 的缘故;添加 ECC 的两个处理土壤 NO₃⁻-N 含量变化趋势和其它处理不同,可能是初期从氨挥发途径损失掉的 NH₄⁺-N 过多,没有出现第一次的硝化峰值。硝化率的计算结果及其显著性检验表明, HQ + DCD 与 DCD 处理 0~5 cm 的表观硝化率显著低于其它处理($P < 0.01$),说明这两个处理降低的 NO₃⁻-N 累积是由于抑制剂有效抑制土壤 NH₄⁺ 氧化的结果(表 2)。

表2 各处理0~5 cm土壤NH₄⁺的表现硝化率Table 2 Apparent nitrification rate of 0~5 cm soil NH₄⁺ (%)

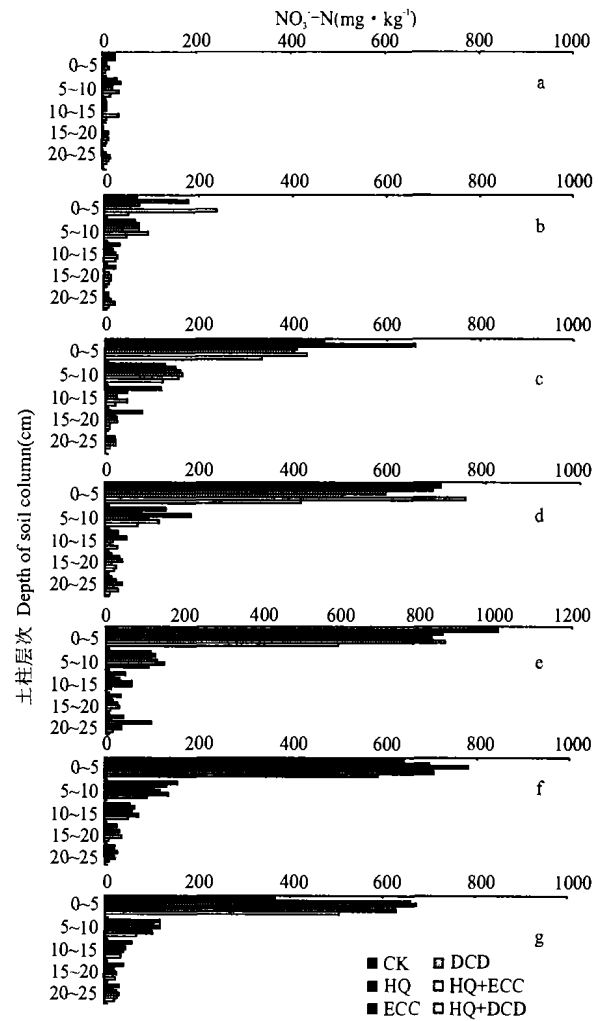
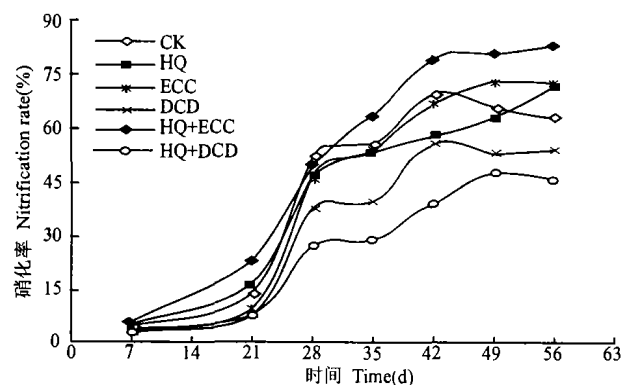
处理 Treatment	培养天数 Incubation time (d)						
	7	21	28	35	42	49	56
CK	1.97a	6.81b	45.98a	57.89b	68.26b	62.47bc	57.16c
HQ	1.84a	13.23a	47.76a	52.71b	60.40bc	59.77c	70.51b
ECC	0.59b	5.24b	43.21a	58.03b	70.07ab	69.75b	69.75b
DCD	0.60b	4.37b	34.49b	41.23c	55.59c	52.53c	51.24c
HQ+ECC	0.82b	17.15a	48.28a	67.76a	78.67a	80.23a	81.34a
HQ+DCD	0.38c	3.42c	25.52c	31.38d	42.13d	44.42d	43.27d

注:硝化率(%) = $\frac{\text{NO}_3^- \text{-N}}{(\text{NH}_4^+ \text{-N} + \text{NO}_3^- \text{-N})} \times 100$, 同一列中不同字母表示多重比较差异显著 ($P < 0.01$). Note: Nitrification rate (%) = $\frac{\text{NO}_3^- \text{-N}}{(\text{NH}_4^+ \text{-N} + \text{NO}_3^- \text{-N})} \times 100$, data with different letters within a column are significantly different ($P < 0.01$) using Duncan's multiple range test.

3.3 抑制剂对土壤NO₃⁻淋溶的影响

NO₃⁻不存在专性吸附, pH较低时, 其扩散系数较大、可能随水移动而从土壤-植物系统中损失掉和污染地下水^[29]. 图2是不同培养时间各处理原状土柱不同土层NO₃⁻-N含量的变化情况, 培养1周内(图2a), 主要发生NH₃挥发、NH₄⁺的土壤吸附、固定^[20]和微生物固持^[16], 各土层中NO₃⁻-N含量变化不大. 从第3周起, 表层NO₃⁻-N含量明显增加, 但HQ+DCD和DCD处理表层NO₃⁻-N含量显著低于其它处理(图2b), 故淋至5~10 cm土层的NO₃⁻-N也较少. 培养第4周, 各处理表层NO₃⁻-N含量急剧增加, 使NO₃⁻-N在10~15 cm开始有所累积, 以HQ+DCD处理NO₃⁻-N含量最少, 不到350 mg·kg⁻¹; 此时, HQ+DCD处理虽使5~10 cm的NO₃⁻-N积累有所减少, 但与其它处理间差异不显著(图2c). 5周以后, 表层NO₃⁻-N含量持续增长到高峰并开始减少, 向下淋溶的NO₃⁻仍以5~10 cm土层居多, 该土层的NO₃⁻-N含量和前期大致相当, 没有达到200 mg·kg⁻¹, 但各处理间已稍有差别, HQ+DCD处理始终低于其他处理, 第6周开始各处理10~15 cm土层中NO₃⁻-N含量比前期略有增加(图2d~g).

从各处理土柱中NO₃⁻-N总量占总有效态氮(NH₄⁺-N+NO₃⁻-N)的比例即总硝化率可以得出NO₃⁻-N的淋溶损失潜势. 各处理的总硝化率随培养时间而增加(图3), 除HQ+DCD处理外, 其它各处理在培养后期总硝化率保持在50~80%, 甚至更多. HQ+DCD处理只是在后期总硝化率接近50%, 与其它处理相比差异极显著($P < 0.01$). 由此可知, 在相同环境条件下, HQ+DCD处理具有较小的淋溶潜势. 与对照相比, 各处理均减少了NO₃⁻向下层土壤淋失, HQ+DCD处理效果最显著, 主要减少了

图2 各处理土柱不同土层NO₃⁻-N含量的变化(a, b, c, d, e, f, g: 培养1, 3, 4, 5, 6, 7, 8周)Fig. 2 Variation of NO₃⁻-N content at different depth of soil column (a, b, c, d, e, f, g: 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 week(s) after incubation).图3 各处理土壤NH₄⁺-N表现硝化率变化Fig. 3 Variation of apparent nitrification rate of soil total NH₄⁺-N.

表层淋溶至5~10 cm土层的量, 高达49.36 mg·kg⁻¹(表3). Ball-Coelho和Roy^[2]证明将尿素-硝酸铵与5% DCD共同施用9周后可减少7.5~15 cm土层土壤NO₃⁻ 4.6 mg·kg⁻¹. 本试验HQ+DCD处理显著减少NO₃⁻由表层淋至5~10 cm土层的效果可能与添加有脲酶抑制剂HQ、供试土壤质地不同以及土壤水分条件等的差异有关. Francis等^[11]

表3 培养结束与对照相比各处理减少淋溶至下层土壤 NO_3^- 的量
Table 3 Reduction of NO_3^- leaching to subsoil compared with control ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

处理 Treatment	层次 Depth(cm)			
	5~10	10~15	15~20	20~25
HQ	12.29	19.56	21.62	12.87
ECC	-	11.31	18.35	6.28
DCD	19.85	16.11	14.77	-
HQ+ECC	15.35	21.07	23.04	4.66
HQ+DCD	49.36	22.19	20.68	11.69

曾在流体起动装置里添加 DCD, 研究表明种植作物 4 周后绝大多数标记 NH_4^+ -N 还保留在 0~30 cm 土层中, 并且这部分 N 的四分之三仍保留在 13 cm 以上土层中; 而不加 DCD 时有一半以上的标记 NH_4^+ -N 从 30 cm 土层中淋失. 这些说明硝化抑制剂 DCD 在减少土壤 NO_3^- 淋失中起了重要作用. 本试验中单独使用 DCD 未明显减少 NO_3^- 的淋失量, Davies 和 Williams 也曾报道 DCD 只是在某些时期可以显著减少 NO_3^- 淋溶, 并没有减少总的 NO_3^- 淋溶损失^[9]. 另外, 研究尿素同时配施脲酶抑制剂 NBPT 和硝化抑制剂 DCD 对土壤 NO_3^- 淋溶的影响时发现, 该种使用模式并不能减少肥料来源氮的淋失, 反而显著增加了来源于土壤部分的氮淋溶^[15]. 这些不同结论的得出可能是受不同具体试验条件的影响, 因为功效多变是许多抑制剂固有的性质^[19,21], 而它们发挥作用的过程也会受诸如温度、降雨量、土壤质地等诸多环境和土壤因子的影响^[21], 而这些因子均具有时间和地域差别, 使得不同地点和不同年份抑制剂减缓 NO_3^- 淋溶的情况存在很大差别.

4 结 论

脲酶抑制剂 HQ 和硝化抑制剂 DCD 组合使用与其它抑制剂单独或配合使用相比, 能使尿素水解来源的 NH_4^+ -N 在土壤中得到更多的持留, 并能显著抑制其氧化作用, 这和我们在扰动土壤情况下进行培养试验得到的结论一致. HQ 和 DCD 配合使用有效降低了尿素水解产物 NH_4^+ 的硝化率, 使得 NO_3^- 向下层土壤淋溶的量明显减少, 淋出耕层土壤的机会降低, 这一作用在降水多、质地较轻的农业土壤上尤其意义重大. 这次模拟试验的结果还需要在田间原位条件下做进一步验证.

参考文献

1 Ambergaer A. 1989. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. *Comm Soil Sci Plant Anal*, 20:1933~1955

2 Ball-Coelho BR, Roy RC. 1999. Enhanced ammonium source to reduce leaching. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 54:73~80

3 Banerjee NK, Moister AR. 1989. Coated calcium carbide as a nitrification inhibitor in upland and flood soils. *J Indian Soc Soil Sci*, 37(2):306~316

4 Bremner JM, Mulvaney RL. 1978. Urease activity in soils. In: Burns RG, ed. *Soil Enzymes*. London: Academic Press. 149~197

5 Byrnes PH, Freney JR. 1995. Recent development on the use of urease inhibitors in the tropics. *Fertil Res*, 42(1/3):251~259

6 Chen L, Boeckx P, Zhou L, et al. 1998. Effect of hydroquinone, dicyandiamide and encapsulated calcium carbide on urea-N uptake by spring wheat, soil mineral N content and N_2O emission. *Soil Use Man*, 14:230~233

7 Chen L-J(陈利军), Shi Y(史奕), Li R-H(李荣华), et al. 1995. Synergistic effect of urease inhibitor and nitrification inhibitor on urea-N transformation and N_2O emission. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 6(4):368~372(in Chinese)

8 Chen LJ, Zhou LK, Van Cleemput O, et al. 2000. Comparison of urea-derived N_2O emission from soil and soil-plant system. *Pedosphere*, 10(3):207~212

9 Davies DM, Williams PJ. 1995. The effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide on nitrate leaching and ammonia volatilization: A U. K. nitrate sensitive areas perspective. *J Environ Man*, 45:263~272

10 Di HJ, Cameron KC. 2004. Effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide on potassium, magnesium and calcium leaching in grazed grassland. *Soil Use Man*, 20(1):2~7

11 Francis DD, Doran JW, Lohry RD. 1994. Nitrification inhibitor in Fluid starters improves corn N uptake. *Fluid J*, 2(4):22~23

12 Freney JR, Chen DL, Mosier AR, et al. 1993. Use of nitrification inhibitors to increase fertilizer nitrogen recovery and yield in irrigated cotton. *Fert Res*, 34:37~44

13 Freney JR, Keerthisinghe DG, Chaiwanakupt P, et al. 1993. Use of urease inhibitors to reduce ammonia loss following application of urea to flooded fields. Proceedings of the Plant Nutrition Colloquium Perth Australia. 491~493

14 Frye WW, Graetz DA, Reeves DW, et al. 1989. Dicyandiamide as a nitrification inhibitor in crop production in the Southeastern USA. *Comm Soil Sci Plant Anal*, 20:1969~1999

15 Gioacchini P, Claudio AN, Giovannini CMC. 2002. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. *Biol Fert Soils*, 36:129~135

16 Ju X-T(巨晓棠), Liu X-J(刘学军), Zhang F-S(张福锁). 2002. Nitrogen transformation and fate in soil under the conditions of mixed application of urea with DCD or different organic materials. *Sci Agric Sin(中国农业科学)*, 35(2):181~186(in Chinese)

17 Macadam XMB, Del Prado A, Merino P, et al. 2003. Dicyandiamide and 3,4-dimethyl pyrazole phosphate decrease N_2O emissions from grassland but dicyandiamide produces deleterious effects in clover. *J Plant Physiol*, 160(12):1517~1523

18 Rao SC, Popham TW. 1999. Urea placement and nitrification inhibitor effects on growth and nitrogen accumulation by no-tilled winter wheat. *Crop Sci*, 39:1115~1119

19 Sahrawat KL. 1989. Effects of nitrification inhibitors on nitrogen transformations other than nitrification in soils. *Adv Agron*, 42:279~309

20 Shang Z-C(商照聪), Gao Z-Q(高子勤). 1999. Effect of dicyandiamide on nitrogen transformation of ammonium bicarbonate in soil. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 10(2):183~185(in Chinese)

21 Slangen JHG, Kerckhoff P. 1984. Nitrification inhibitors in agriculture and horticulture: A literature review. *Fertil Res*, 5:1~76

22 Xu X-K(徐星凯), Zhou L-K(周礼恺), Van Cleemput O. 2000. Effect of urease/nitrification inhibitors on the distribution of transformed urea-N form in soil. *Acta Pedol Sin(土壤学报)*, 37(3):339~345(in Chinese)

23 Xu XK, Zhou LK, Van Cleemput O, et al. 2000. Fate of urea- ^{15}N in a soil-wheat system as influenced by urease inhibitor hydroquinone and nitrification inhibitor dicyandiamide. *Plant and Soil*, 220:261~270

- 24 Zhao XY, Zhou LK. 1991. Effect of the urease inhibitor, hydroquinone on soil enzyme activity. *Soil Biol Biochem*, 23(11):1089~1091
- 25 Zhou L-K(周礼恺), Xu X-K(徐星凯), Chen L-J(陈利军), *et al.*. 1999. Effect of hydroquinone and dicyandiamide on N₂O and CH₄ emissions from lowland rice soil. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 10(2):189~192(in Chinese)
- 26 Zhou L-K(周礼恺), Zhao X-Y(赵晓燕), Li R-H(李荣华), *et al.*. 1992. Effect of urease inhibitor hydroquinone and on urea-N transformation in soil. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 3(1):36~41(in Chinese)
- 27 Zhou L-K(周礼恺). 1984. Soil urease activity and urea-N transformation in soil. *Prog Soil Sci* (土壤学进展), (1):1~9(in Chinese)
- 28 Zhou L-K(周礼恺). 1987. *Soil Enzymology*. Beijing: Science Press. 248(in Chinese)
- 29 Zhu Z-L(朱兆良), Wen Q-X(文启孝). 1992. *Nitrogen in Soils of China*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press. 11, 84(in Chinese)

作者简介 陈振华,女,在读硕士,主要从事植物营养和土壤学研究. E-mail: zhenhua-ch@sohu.com

·新书通报·

欢迎订购《应用生态学》

应用生态学是研究协调人类与生物圈之间关系和协调此种复杂关系以达到和谐发展目的的科学,应用生态学是一个极其宽广的研究领域,是生态学的一大研究门类,所有与研究人类活动有关的生态学分支如农业生态学、渔业生态学、林业生态学、草地牧业生态学、污染生态学、城市生态学、资源生态学以及野生动植物管理保护、生态预测乃至景观生态学、区域生态学及全球生态学中的部分或大部分领域都可归属在应用生态学这一门类之下,应用生态学的根本任务在于认识和改造环境,保护和改善人类的生存环境和促进经济、社会发展同资源、环境相协调。

为纪念中国科学院沈阳应用生态研究所建所 50 周年,系统总结过去 50 年的研究成果,组织有关科技人员,在多年研究积累的基础上,参阅了国内外近年来在应用生态学方面的创新性研究成果,开拓性地撰写了这本学术性专著《应用生态学》,全书共 12 章,主要内容包括:应用生态学概论,农业生态与农业生态工程,森林生态与林业生态工程,草地生态与草地生态系统管理,水域生态与流域管理,湿地生态与湿地恢复,旅游生态与生态旅游规划和管理,污染生态与环境生态工程,城市生态与城市生态建设,景观生态与区域生态建设,保护生物学与生物多样性,全球重大生态问题与对策。

本书可供生态学、农学、林学、地学和环境科学等领域的科技人员参考,也可供有关研究部门管理者和高等院校师生参考。

本书由科学出版社出版,计 146 万字,定价为 163 元,另加邮费 10 元,有需要者请与《应用生态学报》编辑部联系 电话:024-83970393。