

几种硝化抑制剂对土壤和小白菜硝酸盐含量及产量的影响*

余光辉^{1,2} 张杨珠^{1**} 王大娟²

(¹湖南农业大学资源环境学院,长沙 410128;²中山大学环境科学与工程学院,广州 510275)

【摘要】 通过田间试验,对湖南长沙地区的红菜园土和冲积菜园土两种土壤条件下氢醌(HQ)、双氰胺(DCD)和硫脲(TU)3种硝化抑制剂对土壤和小白菜硝酸盐含量及小白菜产量的影响进行研究.结果表明,3种硝化抑制剂在试验的各个时期均不同程度地降低了土壤和小白菜的硝酸盐含量,其中以双氰胺的效果最好.但不同供试土壤条件下的试验结果不完全一致.3种硝化抑制剂均可不同程度提高小白菜产量,其中双氰胺效果最好,且在红菜园土的增产效果比冲积菜园土显著.

关键词 硝化抑制剂 土壤 小白菜 硝酸盐 产量

文章编号 1001-9332(2006)02-0247-04 **中图分类号** S481 **文献标识码** A

Effects of nitrification inhibitors on nitrate content in soil and pakchoi and on pakchoi yield. YU Guanghui^{1,2}, ZHANG Yangzhu¹, WAN Dajuan² (¹College of Resource and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; ²School of Environment and Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(2): 247~250.

A field experiment was conducted on two soil types in the Changsha suburb of Hunan Province to study the effects of hydroquinone (HQ), dicyandiamide (DCD) and thiourea (TU) on the nitrate content in soil and pakchoi and on the yield of pakchoi. The results showed that all the test nitrification inhibitors could significantly decrease the nitrate content in soil and pakchoi during whole growth stage, among which, DCD had the best effect, but the effect was differed on different soil types. Nitrification inhibitors could increase pakchoi yield, DCD was also the best one, and the effect was significantly better on vegetable garden red soil than on vegetable garden alluvial soil. The nitrate content in soil and pakchoi was the highest about 40 days after pakchoi transplanting.

Key words Nitrification inhibitor, Soil, Pakchoi, Nitrate, Yield.

1 引言

早在1907年Richardson就发现蔬菜中含有大量的硝酸盐^[25].而人体摄入的硝酸盐有81.2%来自于蔬菜.当人体NO₃⁻含量过高时,能引起血液缺氧中毒反应,硝酸盐在人的肠胃中可诱发人体消化系统的癌变^[5,9,17,25].研究表明,食品和饮用水的硝酸盐含量与癌变有密切的关系,如哥伦比亚胃癌高发区与其井水中硝酸盐浓度过高关系密切^[10].可见,控制土壤硝酸盐含量、降低蔬菜硝酸盐的积累是提高蔬菜品质和保证人类健康必须解决的迫切问题.硝化抑制剂能抑制硝化作用,调整氮肥的供应量、供应形式和供应时间,减少氮肥的淋溶,提高氮肥的利用率,降低蔬菜硝酸盐含量及影响作物产量^[4,6,13,21].影响硝化抑制剂效果的因素很多,所以硝化抑制剂在不同土壤上的施用效果不同,如李荣华等^[14]的研究表明,在中国的东北、华北和华南施用氢醌对主要粮食作物的效果差异较大;傅涛等^[8]的研究表明双氰胺对四川3种主要土壤的硝化抑制

效果是紫色土>灰潮土>黄壤;同时有研究认为在质地粘重土壤中,硝化抑制剂的效果不明显,但作用持久,在粗质土壤中,硝化抑制剂的效果显著^[7,20].目前,对硝化抑制剂施用在不同质地土壤的田间试验报道相对较少.

本文通过田间试验,于2002和2003年在湖南长沙地区的红菜园土和冲积菜园土两种土壤条件下研究了氢醌(HQ)、双氰胺(DCD)和硫脲(TU)3种硝化抑制剂在不同季节对供试土壤和小白菜硝酸盐含量及产量的影响,从而为硝化抑制剂的有效施用提供科学依据.

2 材料与方法

2.1 试验设计

试验在湖南农业大学试验基地(农大)和湖南长沙东湖蔬菜生产基地(东湖)进行.试验设4个处理:不施硝化抑制

* 国家重点基础研究发展计划项目(2003CCB00300)、湖南省科技厅项目(02SSY3033)和湖南省农业厅资助项目(2.20).

** 通讯联系人.

2005-01-27收稿,2005-08-21接受.

表1 供试土壤基本理化性状

Table 1 Physico-chemical properties of soil(0~20 cm)

地点 Site	时间 Time	土壤类型 Soil types	pH	有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen (g·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus (g·kg ⁻¹)	全钾 Total potassium (mg·kg ⁻¹)	碱解氮 Available nitrogen (mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium (mg·kg ⁻¹)
农大 Nongda	2002冬 Winter, 2002	冲积菜园土 Vegetable garden alluvial soil	5.50	28.3	3.21	2.05	27.4	178.6	182.32	36.7
	2003夏 Summer, 2003	冲积菜园土 Vegetable garden alluvial soil	5.80	29.4	2.19	1.98	26.8	155.3	166.10	251.2
东湖 Donghu	2003夏 Summer, 2003	红菜园土 Vegetable garden red soil	5.53	15.2	2.03	2.01	28.3	163.2	175.30	256.3
	2003冬 Winter, 2003	红菜园土 Vegetable garden red soil	5.56	13.9	1.78	1.68	25.9	163.6	165.90	236.9

剂CK处理(NPK);HQ处理(NPK+HQ);DCD处理(NPK+DCD);TU处理(NPK+TU).HQ、DCD和TU用量分别为N用量的1%、10%和5%。供试肥料:尿素(N,46%),过磷酸钙(P₂O₅,12%),氯化钾(K₂O,60%)。田间试验分别在2002年冬季和2003年夏季及冬季进行。2002年和2003年冬季施肥量为:N 300 kg·hm⁻²、P₂O₅ 150 kg·hm⁻²、K₂O 300 kg·hm⁻²。2003年夏季施肥量为:N 180 kg·hm⁻²、P₂O₅ 90 kg·hm⁻²、K₂O 180 kg·hm⁻²。HQ、DCD和TU与NPK混匀后在蔬菜移栽前作基肥一次性施入。小区面积为12 m²,重复3次,随机区组排列。供试土壤为第四纪红土母质发育的红菜园土和河流冲积母质发育的冲积菜园土,其基本理化性状见表1。供试蔬菜在冬季为湘潭矮脚白(小白菜品种,下同),夏季为上海青。供试蔬菜在播种后25 d左右开始移栽,移栽时株距为30 cm、行距为33 cm,每小区移栽120棵。具体移栽时间:2002年冬季农大基地为10月21日;2003年夏季农大基地为4月29日、东湖基地为5月3日;2003年冬季东湖基地为10月13日。移栽后60 d左右收获。田间灌溉采用人工浇灌方式,各小区每次浇灌等量水量。

2.2 测定项目与方法

分别于小白菜移栽后第20(生长前期)、40(生长中期)和60 d(收获期)左右取土壤及植物样品分析其硝酸盐含量。于收获期测定产量,每个小区取长势良好,大小均一的小白菜40棵称重统计分析。

土壤NO₃⁻-N含量测定采用饱和硫酸钙振荡浸提(土液比为1:5),紫外分光光度法^[16];植物NO₃⁻-N含量测定采用饱和硼砂溶液浸提,紫外分光光度法^[15]。

3 结果与分析

3.1 不同硝化抑制剂对小白菜产量的影响

由表2可知,与对照相比,施用硝化抑制剂均能

不同程度地提高小白菜产量,在不同的试验基地效果不完全一致。其中以DCD的效果最好,与对照相比,4次试验均显著地提高了小白菜产量,提高幅度在10%左右,与其它处理差异显著。HQ在2002年冬季农大基地和2003年夏季东湖基地试验中均明显提高了小白菜产量,其它试验对产量没有明显影响。而TU除了2002年冬季农大基地试验外,在其它试验中均明显地提高了小白菜产量。

表2 不同处理下小白菜产量

Table 2 Yield of pakchoi under different treatments (×10³ kg·hm⁻²)

处理 Treatment	产量 Yield			
	2002冬(农大) Nongda site in winter of 2002	2003冬(东湖) Donghu site in winter of 2003	2003夏(农大) Nongda site in summer of 2003	2003夏(东湖) Donghu site in summer of 2003
CK	39.827c	44.621c	37.441c	36.835c
HQ	41.382b	44.750c	38.520c	39.879b
DCD	43.755a	49.375a	41.256a	40.325a
TU	40.985c	46.601b	39.621b	38.945b

不同字母表示处理间差异达0.05显著水平 Different letters in each line means significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

3.2 不同硝化抑制剂对土壤硝酸盐含量的影响

从表3可以看出,与对照相比,HQ、TU和DCD 3种硝化抑制剂均可显著降低土壤中硝酸盐积累量。2002年冬季试验中,DCD的降低效果最好,HQ的降低效果最差。而2003年冬季试验中,DCD和HQ效果最好,TU的效果最差。2003年夏季试验中,DCD再次体现了最好的降低效果。同时,从3个取样时期来看,各处理土壤硝酸盐含量呈现先升高后降低的趋势,在小白菜生长中期土壤硝酸盐积累量相对较高。由此可知,在不同供试土壤上,3种硝化抑制剂在不同时期降低土壤硝酸盐含量的效果

表3 不同硝化抑制剂处理的土壤NO₃⁻-N浓度Table 3 Concentration of NO₃⁻-N in soil treated with different nitrification inhibitors (mg·kg⁻¹)

处理 Treatment	2002冬(农大) Nongda site in winter of 2002			2003冬(东湖) Donghu site in winter of 2003			2003夏(东湖) Donghu site in summer of 2003			2003夏(农大) Nongda site in summer of 2003		
	20d	42d	62d	21d	40d	61d	20d	39d	60d	21d	43d	63d
CK	56.3a	82.4a	69.3a	80.7a	90.9a	72.8a	39.2a	45.1a	30.5a	48.7a	66.2a	40.8a
HQ	37.0b	59.2b	44.7b	56.8b	75.4c	50.1c	28.5c	28.7c	25.2c	35.5b	30.8c	28.2b
DCD	31.2c	41.9d	30.9d	50.8c	68.2b	50.5c	20.1d	29.5c	19.9d	30.1c	37.1b	22.3c
TU	29.3c	45.2c	37.1c	55.8b	69.3b	60.8b	31.8b	33.2b	28.4b	30.8c	38.8b	30.5b

表 4 不同硝化抑制剂处理的小白菜 NO_3^- -N 浓度Table 4 Concentration of NO_3^- -N in pakchoi treated with different nitrification inhibitors ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{FW}$)

处理 Treatment	2002 冬季农大 Nongda site in winter of 2002			2003 冬季东湖 Donghu site in winter of 2003			2003 夏季东湖 Donghu site in summer of 2003			2003 夏季农大 Nongda site in summer of 2003		
	20 d	42 d	62 d	21 d	40 d	61 d	20 d	39 d	60 d	21 d	43 d	63 d
	CK	1434.7a	4330.3a	4211.2a	1066.6a	4465.7a	1557.9a	1824.8a	3640.6a	3029.5a	1752.8a	3124.5a
HQ	1266.7b	3831.5b	4065.1b	1013.2a	4023.5b	1320.4c	1635.3b	3271.9b	2618.0c	1562.3b	2765.5c	2256.2bc
DCD	1102.7c	3373.1c	2355.2d	1004.8a	3998.3b	1263.5d	1300.5c	3243.8b	2669.2c	1468.7c	2936.4b	2157.2c
TU	1132.1c	3308.9c	2900.6c	1022.5a	4079.8b	1466.9b	1699.2b	3528.5a	2812.2b	1487.6c	2834.5bc	2342.6b

并不一致,而 DCD 在不同土壤类型和不同时期均表现出对土壤 NO_3^- -N 良好的抑制效果,这也表明 DCD 具有更为广泛与稳定地作用效果。

3.3 不同硝化抑制剂对小白菜硝酸盐含量的影响

由表 4 可知,2002 年冬季农大基地试验在小白菜的 3 个取样时期,每种硝化抑制剂均不同程度地降低了小白菜硝酸盐含量。在 20 d 时,效果最好的是 DCD 处理,降低了 11.7%,与其它各处理之间差异显著。在 42 d 时,DCD 和 TU 处理的小白菜硝酸盐含量分别降低了 23.6% 和 22.1%。在小白菜的收获时期,降低效果最好的是 DCD 处理,达 44.1%。整体来看,DCD 处理降低小白菜硝酸盐含量的效果最显著,效果最差的是 HQ 处理。

在 2003 年冬季东湖基地的试验中,3 种硝化抑制剂的效果没有 2002 年冬季农大基地的试验明显。在第 21 天时,3 种硝化抑制剂处理与对照之间小白菜硝酸盐含量没有显著的差异。但在第 40 天时,各处理明显地降低了小白菜硝酸盐含量,与对照之间差异显著。在收获时,3 种硝化抑制剂表现出不同的效果,效果最好的是 DCD 处理,这与 2002 年冬季农大基地试验一致。且此次试验在最后一次取样分析中,小白菜硝酸盐含量为 4 次试验中最低,这可能与此时小白菜产量最高有关,因为它在一定程度上“稀释了”小白菜硝酸盐含量。

2003 年夏季东湖基地的试验表明,除了在第 39 d 时 TU 处理没有显著降低小白菜硝酸盐含量外,3 种硝化抑制剂在小白菜的 3 个不同生长时期均降低了硝酸盐含量。在第 20 天时效果最好的是 DCD 处理,降低了 28.7%,与其它处理之间差异显著。在第 39 天和收获时 DCD 和 HQ 处理也显著降低了硝酸盐含量,效果最差的是 TU 处理。这与 2002 年冬季农大基地试验结果一致。

2003 年夏季农大基地试验表明,在小白菜的 3 个生长时期,3 种硝化抑制剂都不同程度地降低了硝酸盐含量,与对照相比差异显著。在第 20 天效果最佳的是 DCD 和 TU 处理,而在第 39 天时,效果最好的是 HQ 处理,降低了 11.5%。在小白菜的收获

期,DCD 处理降低硝酸盐含量的效果最好,降低了 19.5%。

4 讨 论

至今,已有许多关于硝化抑制剂增产作用的报道,但是没有得到一致的结果。其中有研究认为 Nitrapyrin 和 DCD 在质地较粗的土壤上应用效果最好,而在细质地土壤上作用不够明显。然而,很多试验均发现容易发生氮肥淋溶损失和硝化-反硝化损失的地方,施用硝化抑制剂提高作物产量的效果更明显^[1,2,11,12,18,24]。本研究结果表明,硝化抑制剂应用于红菜园土上提高小白菜产量比在冲积菜园土上更明显。原因可能是冲积菜园土过于粘细,不利于硝化抑制剂作用的发挥。

NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 是氮肥在土壤中存在的两种主要无机氮形态,作物对它们均能吸收利用。但是 NO_3^- -N 由于带负电荷不容易被土壤胶体所吸附,它在土壤中较 NH_4^+ -N 易于淋溶损失。供试的 3 种硝化抑制剂均可抑制土壤 NH_4^+ -N 向 NO_3^- -N 氧化,使氮肥较长时间地以 NH_4^+ -N 形态保留在土壤中,从而减少土壤 NO_3^- 累积和氮肥的淋溶损失,同时,还可减少蔬菜对土壤中 NO_3^- 的吸收,降低 NO_3^- 在蔬菜体内的积累。在小白菜生长中期,土壤硝酸盐含量最高,这可能是硝化抑制剂在小白菜的生长前期抑制尿素硝化的作用较强,而使得分解尿素的土壤脲酶活性较弱,随着时间的推移,抑制作用变弱,使得土壤中硝酸盐含量变高^[3,19,22,23]。试验结果表明,在第 60 天左右 3 种硝化抑制剂还在起作用,这与有些研究者认为 DCD 和 HQ 降低土壤硝酸盐的作用只能维持 20 d 左右有所不同^[1,19]。

与对照相比,施用 3 种硝化抑制剂在小白菜生长期均能降低其体内硝酸盐积累量,降低程度在各生长期有所不同。小白菜体内的硝酸盐积累量随着生长的进程呈现出先升高后降低的趋势,在生长中期硝酸盐积累相对较高。生长前期小白菜移栽时间不长,处于恢复生长期,吸氮能力相对较弱;生长

中期小白菜生长旺盛,对氮的吸收量增加,且此时土壤中有较高的硝酸盐供应,小白菜硝酸盐积累量相对较高;而在收获期,小白菜生物量增大,土壤供氮能力下降,植物吸氮能力下降,所以导致体内硝酸盐含量降低.在小白菜收获期,3种硝化抑制剂处理中以DCD处理的小白菜硝酸盐含量最低,而HQ、TU处理因不同试验地点和不同生长季节而异.冬季,DCD处理小白菜硝酸盐含量显著低于HQ、TU处理,而在夏季该作用效果没有那么明显,这是否能说明DCD在冬季的作用效果要好于夏季有待进一步研究.

3种硝化抑制剂对土壤和小白菜硝酸盐含量的影响在不同时期的试验中没有体现出完全一致的规律.这可能与影响硝化抑制剂施用效果的因素太多有关,如:土壤质地、有机质含量、温度、水分、pH值、氮肥种类和耕作制度等都可影响硝化抑制剂的施用效果^[11,12,20],所以硝化抑制剂应因时因地的有效施用.

参考文献

- Amberger A. 1989. Research on dicyandiamide as a nitrification and future outlook. *Commun Soil Sci Plant*, 20 (18 ~ 20): 1933 ~ 1956.
- Bremner JM, Blackmer AM. 1978. Nitrous oxide: Emission from soils during nitrification of fertilizer nitrogen. *Science*, 199: 295 ~ 296
- 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 N₂O emission. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 6(4): 368 ~ 372(in Chinese)
- Chen L-J(陈利军), Wu Z-J(武志杰), Jiang Y(姜勇), et al. 2002. Response of N transformation related soil enzyme activities to inhibitor applications. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 13(9): 1099 ~ 1103(in Chinese)
- Chen Z-D(陈振德), Cheng B-S(程炳嵩). 1998. The nitrate content in vegetables and its effect to body's health. *Chin Veg(中国蔬菜)*, 1: 40 ~ 42(in Chinese)
- Chen Z-H(陈振华), Chen L-J(陈利军), Wu Z-J(武志杰). 2005. Effects of urease and nitrification inhibitors on alleviating the oxidation and leaching of soil urea's hydrolyzed product ammonium. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 16(2): 238 ~ 242(in Chinese)
- Fan X-H(范晓晖), Jin X-X(金雪霞), Huang J-B(黄进宝), et al. 2005. Effect of nitrification inhibitor and added in urea on nitrification in three types of paddy soils with the upland condition. *Chin J Soil Sci(土壤通报)*, 36(3): 451 ~ 452(in Chinese)
- Fu T(傅涛), Ni J-P(倪九派), Wei C-F(魏朝富), et al. 2001. Effect of dicyandiamide on nitrogen transformation of ammonium bicarbonate in Sichuan soil. *Soil Environ Sci(土壤与环境)*, 10(3): 210 ~ 213(in Chinese)
- Fytianos K, Zarogiannis P. 1999. Nitrate and nitrite accumulation in fresh vegetables from Greece. *Bull Environ Contam Toxicol*, 62: 187 ~ 192
- Haenazel W. 1976. Stomach cancer in Japan. *Natl Cancer Inst*, 56: 265 ~ 274
- Huang Y-Z(黄益宗), Feng Z-W(冯宗炜), Wang X-K(王效科), et al. 2002. Research progress of nitrification inhibitors applied in agriculture. *Chin J Soil Sci(土壤通报)*, 33(4): 310 ~ 315(in Chinese)
- Huang Y-Z(黄益宗), Feng Z-W(冯宗炜), Zhang F-Z(张福珠). 2001. Application of nitrification in agriculture and environment protection. *Soil Environ Sci(土壤与环境)*, 10(4): 323 ~ 326(in Chinese)
- Jiao X-G(焦晓光), Liang W-J(梁文举), Chen L-H(陈利军), et al. 2004. Effects of urease/nitrification inhibitors on soil available N and microbial biomass N and N uptake of wheat. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 15(10): 1903 ~ 1906(in Chinese)
- Li R-H(李荣华), Zhou L-K(周礼恺). 1996. Study on the effect of application of the controlled release urea on the main crops in the different area. *Chin J Soil Sci(土壤通报)*, 27(1): 33 ~ 34(in Chinese)
- Lu Q-M(卢其明), Chen M(陈敏), Liao Z-W(廖宗文). 1997. Improvement of determination of nitrate nitrogen in vegetable with UV-spectrophotometry. *J South Chin Agric Univ(华南农业大学学报)*, 18(4): 104 ~ 106(in Chinese)
- Nanjing Agricultural University(南京农业大学). 1981. Agricultural Chemistry Analysis of Soil. Beijing: China Agricultural Press. 49 ~ 53(in Chinese)
- Shen M-Z(沈明珠), Qu B-S(瞿宝森), Dong H-R(东惠如), et al. 1998. The study of nitrate accumulated in vegetable. *Acta Hort Sci(园艺学报)*, 9(4): 41 ~ 48(in Chinese)
- Shi Y(史奕), Xu X-K(徐星凯), Zhou L-K(周礼恺), et al. 1998. Effect of inhibitors and their combination on the behavior and fate of urea ¹⁵N in wheat-soil. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 9(2): 168 ~ 170(in Chinese)
- Sun A-W(孙爱文), Shi Y-L(石元亮), Yin H-B(尹宏斌), et al. 2003. Effect of thiourea on urease activities and transformation of urea-N. *Chin J Soil Sci(土壤通报)*, 34(6): 554 ~ 557(in Chinese)
- Wang Y-P(王艳萍), Tan D-F(谭大风). 1996. The factors of affecting nitrification inhibitor. *J Qinghai Univ(青海大学学报)*, 14(2): 36 ~ 38(in Chinese)
- Xu F-H(徐凤花), Sui W-S(隋王志), Ying R-Z(英瑞竹), et al. 1994. Studies on protective nitrogen fertilization and application of soybean I. Effect of hydroquinone application. *Acta Pedol Sin(土壤学报)*, 31(5): 130 ~ 137(in Chinese)
- Xu X-K(徐星凯), Zhou L-K(周礼恺), Oswald V. 2000. Effect of urease/nitrification inhibitors on the distribution of transformed urea-N forms in soil. *Acta Pedol Sin(土壤学报)*, 37(8): 339 ~ 345(in Chinese)
- Zhang C-X(张春新), Wang G-R(王桂容), Kou Z-W(寇振武). 1996. Effect of application of urease mixing nitrification inhibitors on the yield of maize and rice. *China J Soil Sci(土壤通报)*, 27(2): 82 ~ 83(in Chinese)
- Zhang Z-M(张志明), Li J-Y(李继云), Feng Y-Q(冯元琦), et al. 1996. The study on physical and chemical properties and the principle of increasing yield of modified ammonium bicarbonate. *Sci China(series B)(中国科学·B辑)*, 26(5): 452 ~ 459(in Chinese)
- Zhou Z-Y(周泽义), Hu C-M(胡长敏), Wang M-J(王敏健), et al. 1998. The nitrate and nitrite contamination in vegetable and its control in China. *Adv Environ Sci(环境科学进展)*, 7(5): 1 ~ 13(in Chinese)

作者简介 余光辉,男,1976年生,博士研究生.主要从事水土环境研究与环境评价. E-mail: yuguanghui107@yahoo.com.cn
责任编辑 肖红