

添加硝化抑制剂双氰胺对油菜生长及品质的影响

串丽敏^{1,2}, 赵同科², 安志装², 杜连凤², 李顺江²

(1.河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2.北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097)

摘要:在盆栽条件下,研究了尿素中添加硝化抑制剂 DCD 为施入纯氮量的 1%、2%、3%、4%、5% 不同剂量时对油菜生长和品质的影响。结果表明,添加 DCD 能显著提高油菜产量并降低植株体内硝酸盐含量,其增产幅度为 22.77%~33.50%,硝酸盐含量降低 14.90%~30.51%,同时不同程度提高了油菜 Vc、全氮、全磷含量。植株可溶性糖含量在 DCD3% 用量范围内呈上升趋势,用量大于 4% 时呈一定下降趋势。油菜吸氮量和氮素利用率在 DCD3% 水平达到最高。

关键词:硝化抑制剂;双氰胺;硝酸盐;Vc;可溶性糖;油菜

中图分类号:X503.231 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)05-0870-05

Effects of Adding a Nitrification Inhibitor Dicyandiamide(DCD) on the Growth and Quality of Rape

CHUAN Li-min^{1,2}, ZHAO Tong-ke², AN Zhi-zhuang², DU Lian-feng², LI Shun-jiang²

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China; 2.Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract:Reducing nitrate concentration and improving the quality of vegetable crops have been two areas of major research efforts. The aim of this study is to determine the effects of adding a nitrification inhibitor dicyandiamide(DCD) to urea on the growth and quality of rape plants in a pot experiment. The amount of DCD added was equivalent to 1%, 2%, 3%, 4% and 5% of the total nitrogen(N) applied. Results showed that DCD significantly increased crop yield by 22.77%~33.5%, and decreased nitrate concentration in the crop by 14.9%~30.51%. Rape Vc, total N and total P concentrations were also increased by the DCD treatments. There was a trend of higher water soluble sugar in the plant when the amount of DCD was 3% of the total N applied, but when the DCD was greater than 4% of the total N applied, the water soluble sugar concentration decreased. The highest N uptake and N recovery by the plant was when the amount of DCD added was at 3% of the total urea-N applied. Therefore, suitable amount of DCD applied could not only reduce nitrate content and increase yield, but also improve rape quality.

Keywords: nitrification inhibitor; DCD; nitrate; Vc; water soluble sugar; rape

蔬菜为人们生活中必不可少的食品,但是蔬菜容易富集硝酸盐,尤其是叶菜类和根菜类^[1],过量硝酸盐的摄入会直接影响人类健康。随着经济的发展和人们环保意识的增强,食品优质及安全生产越来越受到社会的关注,消费者对蔬菜产品的需求也由单纯满足数量型转向质量型^[2]。农业生产中,不合理的氮肥施用和

管理措施,不仅导致氮素以氨挥发、硝酸盐淋溶及氮氧化物等途径损失,使得氮肥利用率降低,同时也会造成作物对硝酸盐的奢侈吸收和超量富集,进而由人体过量摄入,对健康造成危害。因此,探索农业生产中氮素高效利用、作物高产和优质双赢模式成为人们追求的目标。

研究发现,从氮素在土壤中的生物化学转化过程入手,通过抑制剂的施用来调控氮素的转化,减缓硝化过程的进行,是实现氮肥高效管理与利用的有效手段之一^[3-7]。硝化抑制剂(nitrification inhibitor)是具有抑制亚硝化细菌(nitrosomonas)等活动功能的一类物质,在土壤中能够减缓亚硝化、硝化、反硝化的作用,从而控制 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 转化,使土壤中的氮尽量以 NH_4^+-N 形式存在,减少氮肥以 NO_3^--N 形式损失,

收稿日期:2009-10-27

基金项目:国家科技支撑计划项目“沿湖地区农业面源污染阻控关键技术研究”(2007BAD87B01);沿密云官厅水库集约化种养殖农业面源污染防治技术研究与示范(2007BAD87B02);北京市农林科学院青年基金“设施蔬菜土壤累积硝酸盐的植物修复与施肥调控”;IPNI 中国-加拿大国际合作项目

作者简介:串丽敏(1984—),女,河北邢台人,在读硕士,主要从事农业非点源污染方面的研究。E-mail: xiaochuan200506@126.com

通讯作者:赵同科 E-mail: tkzhao@126.com

从而提高氮素利用率,增加作物产量和改善作物品质。Vilsmeier 的研究表明^[8],硝化抑制剂双氰胺(dicyandiamide, DCD)的施用可使施入的 N 被固持转化成非交换态 N 的比例提高 11%;秋施氮肥时,施用 DCD 的处理 ¹⁵N 固持量增加 7.4%,且由于作物生长前期固持的肥料 N 在生长后期大部分再度矿化,作物生长后期 20 cm 耕层的标记 N 和总无机 N 含量显著提高^[9]。菠菜、小白菜是极易累积硝酸盐的典型叶菜,DCD 施用可有效降低蔬菜硝酸盐含量。Irigoyen 等^[10]、余光辉等^[11]、Montemurro 等^[12]研究硝化抑制剂 DCD 施用对蔬菜硝酸盐含量影响的结果表明,菠菜硝酸盐含量降低 18%~61%,小白菜中含量降低 44.1%。但也有研究报告指出,施用 DCD 后,小麦产量降低了 9%^[13],牧草和茼蒿的产量变化不大。Weiske 等^[14]的 3 年田间试验则没有发现 DCD 的施用对燕麦、玉米和冬小麦产量有显著影响。可见对于不同土壤类型,不同质地,不同肥力,不同作物类型,尿素中添加硝化抑制剂 DCD 的效果不尽相同。就目前的研究和应用看,其研究深度和广度有待进一步加强。

蔬菜特别是设施蔬菜生产是北京市农业生产的重要方式,针对北京市蔬菜生产中存在的硝酸盐累积导致的环境和产品质量安全问题,本研究以叶菜类油菜为对象,开展北京地区特定土壤条件下添加 DCD 对其硝酸盐累积和环境效应影响研究,为蔬菜生产中氮素的高效利用和农产品安全提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点

试验于 2009 年 3—5 月在北京市农林科学院温室进行。

1.2 试验材料

供试土壤为大田土壤,土壤类型为中壤质潮土,基本理化性状见表 1,供试蔬菜为小油菜(*Brassica campestris* L.),品种为京绿 7 号。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

试验采用室内盆栽方法,盆钵大小为 25 cm×25 cm。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of soil tested

pH(水土比=2.5:1)	有机质/ g·kg ⁻¹	全氮/ g·kg ⁻¹	硝态氮/ mg·kg ⁻¹	铵态氮/ mg·kg ⁻¹	速效磷/ mg·kg ⁻¹	速效钾/ mg·kg ⁻¹
8.20	21.53	1.23	59.01	5.63	13.31	87.52

油菜于 3 月 17 日播种,每盆留苗 5 棵,5 月 4 日收获。试验设 7 个处理,3 次重复:(1)磷钾(CK,不施氮肥);(2)氮磷钾(NPK);(3)氮磷钾+D1(DCD 施入量为施入纯氮量的 1%);(4)氮磷钾+D2(DCD 施入量为施入纯氮量的 2%);(5)氮磷钾+D3(DCD 施入量为施入纯氮量的 3%);(6)氮磷钾+D4(DCD 施入量为施入纯氮量的 4%);(7)氮磷钾+D5(DCD 施入量为施入纯氮量的 5%)。施氮量为 0.27 g·kg⁻¹土(尿素,N46%),施磷量为 0.2 g·kg⁻¹土(过磷酸钙,P₂O₅12%),施钾量为 0.2 g·kg⁻¹土(硫酸钾,K₂O 50%),所有肥料与抑制剂均一次性基施。

1.3.2 测定方法

各处理分别在收获时单打单收、分盆计产。植株鲜样取回后分成 2 份,其中 1 份立即测定硝酸盐、维生素 C、可溶性糖含量,另 1 份置于烘箱 105 ℃杀青后于 65 ℃烘干测定全氮、全磷、全钾含量。硝酸盐含量采用紫外分光光度法测定;维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定;可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定;全氮、全磷、全钾含量分别采用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消化-凯氏定氮法(N)、钼锑抗比色法(P)和火焰光度法(K)测定^[15],同时计算氮肥利用率。

N 肥利用率=(施氮处理吸 N 量-不施氮肥处理吸 N 量)/施肥纯 N 量×100%。

1.3.3 统计分析

试验数据采用 Excel 和 SPSS10 统计分析软件进行处理分析。

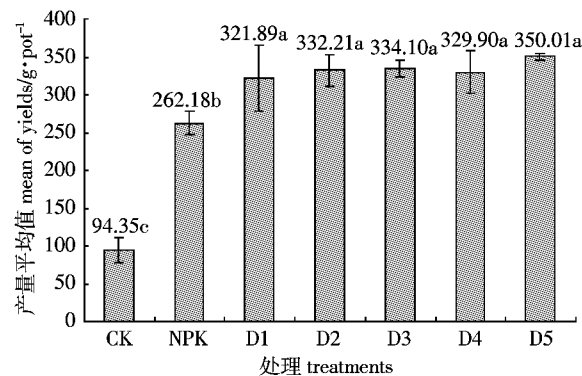
2 结果与分析

2.1 添加硝化抑制剂 DCD 对油菜产量的影响

各处理收获时的产量如图 1 所示。研究表明,即使在较高肥力土壤条件下,氮肥施用也促进了油菜的生长,极显著地增加了油菜产量,NPK 处理下产量是 CK 处理的 2.79 倍。施用 DCD 的不同处理 D1、D2、D3、D4、D5 的油菜产量显著提高($P<0.05$),与 NPK 处理相比分别增加了 22.77%、26.71%、27.43%、25.83%、33.50%,其中 D5 处理产量增加最多,说明 DCD 的施用可以较大幅度提高油菜的生物产量。

2.2 添加 DCD 对油菜体内硝酸盐含量的影响

氮肥的施用是决定植物体内硝酸盐含量的主要因素。研究发现施氮处理极显著地提高了油菜植株硝酸盐(以 N 计,下同)含量,NPK 不施 DCD 处理下硝酸盐是 CK 处理的 22 倍。从整体上来看(图 2),施用 DCD 的 D2、D3、D4、D5 水平与 NPK 处理相比,油菜



各处理数值为 3 次重复的平均值,图中不同的字母表示处理之间差异显著($P<0.05$),下同。
The values of different treatments are means of three repeats. Different letters in each column mean significant at 5% level, the same below.

图 1 不同 DCD 处理下油菜的产量
Figure 1 Effects of DCD application on yield of rape

植株体内硝酸盐含量分别降低 23.81%、25.76%、29.48%和 30.51%,达显著水平($P<0.05$),D1 处理虽有下降趋势,但未达显著水平。施用 DCD 的 5 个处理之间,油菜植株硝酸盐含量随着 DCD 施用量的增加,呈一定的下降趋势,说明硝化抑制剂 DCD 对油菜硝酸盐累积有一定的抑制作用。

研究表明,人体摄入的硝酸盐 80%以上来自蔬菜,因而多数学者倾向于把蔬菜产品中硝酸盐含量作为评价蔬菜卫生品质的重要指标之一。据沈明珠等^[6]提出的蔬菜可食部分硝酸盐的食用卫生标准,本试验涉及的各处理硝酸盐含量多处于国家三级标准,属于不宜生食、只能熟食的范围。虽然随着 DCD 施用量的增加,油菜硝酸盐含量降低,但也未达到二级标准,这可能与供试土壤本身肥力较高,试验又采取常规施肥量,且单纯施入化肥所致。在今后的研究以及生产实际中,可以考虑有机无机肥料配施,适量减少氮肥投入,进一步研究硝化抑制剂 DCD 的施用效果,以期更

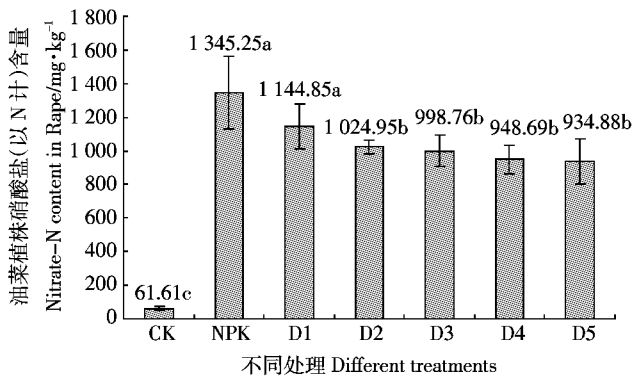


图 2 不同 DCD 处理下油菜植株中硝酸盐(以 N 计)含量
Figure 2 Effects of DCD application on NO₃-N content in rape

好降低蔬菜硝酸盐,提高蔬菜的品质。
2.3 添加 DCD 对油菜收获后 Vc 和可溶性糖的影响

Vc、可溶性糖为评价蔬菜品质的重要营养指标。可溶性糖是植物光合作用的产物,代表着光合作用强度的大小。分析显示,不施氮肥的 CK 处理,Vc 和可溶性糖含量都显著高于其他施氮处理(表 2),这可能是由于不施氮肥处理的油菜植株较小,导致浓缩效应,使 Vc 和可溶性糖浓度较高。NPK、D1、D2、D3、D4、D5 六个处理之间,Vc 和可溶性糖含量均没有显著性差异。当施用 DCD 时,与 NPK 处理相比,除 D3 水平略有降低外,其他处理 Vc 含量均有小幅度上升。在 DCD 施用量 5%范围内,D1 处理的 Vc 含量最高。D1、D2、D3 处理与 NPK 处理相比,可溶性糖含量可以提高 1.15%~29.86%,但是随着 DCD 施用量的持续增加,可溶性糖并不一直升高,而是表现出下降的趋势,D4、D5 处理分别比不施 DCD 处理降低 3.30%、5.45%。

2.4 添加 DCD 对油菜吸收氮、磷、钾养分的影响
从全氮来看(表 3),氮肥施用显著提高了油菜植株内氮素含量,NPK 与 CK 处理相比,提高了 40.6%。油菜体内氮素含量随 DCD 用量的增加而增加,与 NPK 处理相比,D1、D2、D3、D4 处理分别提高了 11.91%、18.51%、20.67%和 27.60%,D2、D3、D4 处理油菜植株全氮含量均达显著水平,D5 (较高用量)处理与 D4 相比呈显著性下降,但与 NPK 处理和 D1 处理相比没有显著性差异。

吸氮量也是表征作物吸收氮素能力大小的指标。不同处理下油菜吸氮量与全氮含量呈现出相似的规律(表 4),DCD 处理总体上可以增加油菜对氮素的吸收,提高氮素利用率。NPK 处理的吸氮量是 CK 处理的 3.8 倍,除 D1 处理下吸氮量与 NPK 处理相比没有显著差异外,D2、D3、D4、D5 处理下吸氮量分别比 NPK 处理增加了 19.29%、43.87%、16.66%、5.26%。从

表 2 不同 DCD 处理油菜收获后 Vc 和可溶性糖含量
Table 2 Vc and water soluble sugar content in rape treated with different dosage of DCD

处理	Vc 含量/mg·100g ⁻¹ 鲜样	比 NPK 提高(+) 或降低(-)/%	可溶性糖含 量/%	比 NPK 提高(+) 或降低(-)/%
CK	45.44±4.07a	37.70	1.71±0.14a	111.11
NPK	33.00±5.70b	—	0.81±0.15b	—
D1	33.51±5.96b	1.55	1.02±0.36b	26.61
D2	33.24±2.98b	0.74	1.05±0.11b	29.86
D3	32.84±3.61b	-0.48	0.82±0.10b	1.15
D4	33.41±8.56b	1.24	0.78±0.15b	-3.30
D5	33.31±5.62b	0.94	0.76±0.01b	-5.45

表 3 不同 DCD 处理油菜植株全氮、全磷、全钾的含量

Table 3 Effects of total N, total P and total K content in rape treated with different dosage of DCD

处理	全氮含量/%	比 NPK 升高(+)或降低(-)/%	全磷含量/%	比 NPK 升高(+)或降低(-)/%	全钾含量/%	比 NPK 升高(+)或降低(-)/%
CK	2.19±0.32c	-28.90	0.83±0.10a	38.33	1.56±0.15b	26.76
NPK	3.08±0.21b	—	0.60±0.07b	—	2.13±0.07a	—
D1	3.45±0.44b	11.91	0.71±0.10a	18.43	2.08±0.15a	-2.35
D2	3.65±0.23a	18.51	0.68±0.06b	13.96	2.07±0.09a	-2.97
D3	3.71±0.19a	20.67	0.66±0.06b	11.16	2.03±0.05a	-4.54
D4	3.93±0.46a	27.60	0.66±0.03b	10.06	2.04±0.02a	-4.23
D5	3.49±0.36b	13.31	0.63±0.06b	5.03	1.98±0.19a	-6.89

表 4 不同 DCD 处理油菜吸氮量和氮素利用率

Table 4 Effects of N up-taken and nitrogen use efficiency in rape treated with different dosage of DCD

处理	吸氮量/ g·pot ⁻¹	比 NPK 提高或降低/%	氮素利用率/ %	比 NPK 提高或降低/%
CK	0.10±0.04f	-73.68	—	—
NPK	0.38±0.03e	—	12.75±0.97c	—
D1	0.36±0.02e	-5.26	12.06±0.89c	-5.41
D2	0.45±0.02bc	19.29	15.78±0.69b	23.79
D3	0.55±0.04a	43.87	19.41±1.24a	52.24
D4	0.44±0.04cd	16.66	15.32±1.31b	20.16
D5	0.40±0.01de	5.26	13.56±0.26c	6.38

氮素利用率来看,D2、D3、D4 处理都显著的提高了氮素利用率,其中 D3 处理氮素利用率达到最高,D5 高施入水平下氮素利用率与 NPK 处理相比,也有一定提高。可见适宜的 DCD 用量可以增加作物对氮素的吸收,从而大幅度提高氮素利用效率,这对改善氮素使用和利用状况,减少氮素损失和环境风险具有实际意义。

从油菜的全磷含量上来看,氮肥施用显著降低了油菜体内磷素含量,NPK 处理与 CK 处理相比下降了 27.7%。D1、D2、D3、D4、D5 处理与 NPK 处理相比,全磷含量分别高出 18.43%、13.96%、11.16%、10.06%和 5.03%,其中 D1 处理达显著水平($P<0.05$),其他处理虽没有显著性差异,但随着 DCD 施用量的增加,植株全磷增加幅度逐渐降低。可见一定量 DCD 施用有促进油菜对磷素吸收的作用,较高 DCD 用量则不利于油菜对磷素的吸收。

氮肥的施用显著提高了油菜体内钾素含量,NPK 处理与 CK 相比提高了 36.5%。油菜植株的全钾含量并不随着 DCD 施入量的增加而增加,反而表现出一直下降的趋势,但各处理间差异不显著。这可能是由于土壤中硝化抑制剂的存在,使大量氮以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 形

式较高浓度存在, NH_4^+ 与 K^+ 形成竞争吸收,抑制了油菜对 K^+ 的吸收,使植株体内全钾含量降低^[17]。对此,有待于进一步进行 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 监测验证。

3 讨论

添加硝化抑制剂 DCD 可以提高蔬菜生物产量。其原因一方面可能是由于有硝化抑制剂 DCD 的存在,抑制了亚硝化细菌的活性,从而延缓了尿素水解后 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 向 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的转化,减少了 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的淋溶损失,保持了尿素肥效,使在油菜生长后期养分最大吸收期时仍然有充足的肥力,促进了油菜植株的生长;另一方面,在高铵态氮供应的情况下,与硝态氮相比,作物吸收铵态氮消耗的能量少^[18],特别是铵态氮能直接用于蛋白质代谢,铵态氮对多胺、赤霉素、细胞分裂素也起着积极的作用^[19],从而促进油菜植株生长。

硝化抑制剂 DCD 可以不同程度降低植株体内硝酸盐含量,这可能是由于硝化抑制剂 DCD 施用处理下,尿素水解后,氮素以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 形态在土壤中以较高浓度存在较长时间。因此,油菜吸收 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的比例高于不施用硝化抑制剂 DCD 处理,而不施用硝化抑制剂 DCD 处理则吸收更多的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 。Pasda G 等^[20]的研究也得出相同结果。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 被植物吸收后立即参加有机氮合成,而且油菜植株吸收的少量硝态氮能够在植株体内不断地同化,不致使油菜产生过量吸收累积,从而使植株体内硝态氮含量降低,全氮含量上升。

相当多的研究显示,硝化抑制剂 DCD 可以促进植株对磷素的吸收,但值得思考的是,DCD 的作用主要是抑制亚硝化细菌的活性,使 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 缓慢的转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,至于其为什么能促进油菜对磷素的吸收,尚需要进一步探讨。已有的研究认为,植物吸收更多 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 时,会伴随有较多 H^+ 的释放,会降低作物根际的 pH 值,低的 pH 值能改善土壤中磷元素的有效性,使土壤磷素活化,促进了油菜对磷素的吸收^[21]。

4 结论

(1)施用 DCD 各处理,均比不施 DCD 处理显著提高油菜的生物量,与 NPK 处理相比分别增产 22.77%、26.71%、27.43%、25.83%、33.50%。适当添加硝化抑制剂 DCD,可增加蔬菜生物产量,获得高产效益。

(2)硝化抑制剂 DCD 对油菜硝酸盐累积有一定的抑制作用,油菜硝酸盐含量随着 DCD 施用量的增加,呈现下降趋势。添加 DCD 处理的油菜全氮含量比不施 DCD 处理均有增加趋势,但是只有 D2、D3、D4 处理达到显著水平。D2、D3、D4 处理的吸氮量比不施 DCD 的 NPK 处理有显著增加,油菜的氮素利用率与吸氮量表现为相同的规律。施用 DCD 对油菜中 Vc 含量影响不大。可溶性糖含量 D1、D2、D3 处理比不施 DCD 可以提高 1.15%~29.86%,随着 DCD 施用量的增加,可溶性糖呈下降趋势。随着 DCD 的施用全磷含量也有不同程度增加,全钾含量变化差异不显著。

参考文献:

- [1] 刘 勤, 张 新, 赵言文, 等. 土壤植物营养与农产品品质及人畜健康关系[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 623-626.
LIU Qin, ZHANG Xin, ZHAO Yan-wen, et al. Relationships between soil-plant nutrition, quality of agricultural products and human and livestock health [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(4): 623-626.
- [2] 张庆忠, 陈 欣, 沈善敏. 农田土壤硝酸盐积累与淋失研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 233-238.
ZHANG Qing-zhong, CHEN Xin, SHEN Shan-min. Advances in studies on accumulation and leaching of nitrate in farming soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(2): 233-238.
- [3] 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: 202-212.
- [4] Menendez S, Merino P, Pinto M, et al. 3, 4-dimethylpyrazol phosphate effect on nitrous oxide, nitric oxide, ammonia, and carbon dioxide emissions from grass lands[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 35: 973-981.
- [5] Moir J L, Cameron K C, Di H J. Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on soil mineral N. Pasture yield, nutrient uptake and pasture quality in a grazed pasture system[J]. *Soil Use and Management*, 2007, 23: 111-120.
- [6] Molina-Roco M, Ortega-Blu R. Evaluation of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate in two Chilean soils[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2006, 29: 521-534.
- [7] 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.
CHEN Zhen-hua, CHEN Li-jun, WU Zhi-jie. Effects of urease and nitrification inhibitors on alleviating the oxidation and leaching of soil urea's hydrolyzed product ammonium [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 238-242.
- [8] Vilsmeier K. Turnover of ^{15}N ammonium sulfate with dicyandiamide under aerobic and anaerobic soil conditions[J]. *Fertilizer Research*, 1991, 29: 191-196.
- [9] Bronson K F, Touchton J T, Hauck R D, et al. Nitrogen-15 recovery in winter wheat as affected by application timing and dicyandiamide[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55: 130-135.
- [10] Irigoyen I, Lamsfus C, Aparicio-Tejo P, et al. The influence of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate and dicyandiamide on reducing nitrate accumulation in spinach under mediterranean conditions[J]. *The Journal of Agricultural Science*, 2006, 144: 555-562.
- [11] 余光辉, 张杨珠, 万大娟, 等. 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[J]. 应用生态学报, 2006, 17(2): 247-250.
YU Guang-hui, ZHANG Yang-zhu, WAN Da-juan, et al. Effects of nitrification inhibitors on nitrate content in soil and pakchoi and on pak-choi yield[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(2): 247-250.
- [12] Montemurro F, Capotorti G, Lacertosa G, et al. Effects of urease and nitrification inhibitors application on urea fate in soil and nitrate accumulation in lettuce[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1998, 21: 245-252.
- [13] Vilsmeier K. Turnover of ^{15}N ammonium sulfate with dicyandiamide under aerobic and anaerobic soil conditions[J]. *Fertilizer Research*, 1991, 29: 191-196.
- [14] Weiske A, Benckiser G, Ottow J C G. Effect of the new nitrification inhibitor DMPP in comparison to DCD on nitrous oxide (N_2O) emissions and methane (CH_4) oxidation during 3 years of repeated applications in field experiments[J]. *Nutrient Cycling in Agro-Ecosystems*, 2001, 60: 57-64.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 308-316, 468-473.
LU Ru-kun. Methods of agro-chemical in soil[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999: 308-316, 468-473.
- [16] 沈明珠, 翟宝杰, 东惠茹, 等. 蔬菜硝酸盐累积的研究 I. 不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量评价[J]. 园艺学报, 1982, 9(4): 41-48.
SHEN Ming-zhu, ZHAI Bao-jie, Dong Hui-ru, et al. Research on nitrate content in vegetables I. Evaluation on nitrate and nitrite content in different vegetables[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 1982, 9(4): 41-48.
- [17] 孙 羲. 植物营养原理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 25.
SUN Xi. Principle of plant nutrition[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1997: 25.
- [18] Ullrich W R. Transport of nitrate and ammonium through plant membranes[G]//Mengel K, Pilbeam D J. Nitrogen metabolism of plants. Oxford: Oxford Science Clarendon Press, 1992: 121-137.
- [19] Klein H, Priebe A, Jager H J. Porrescine and spermidine in pees; Effect of nitrogen source and potassium supply[J]. *Physiology Plant*, 1979, 45: 497-499.
- [20] Pasda G, Hahndel R, Zerulla W. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3, 4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agriculture and horticultural crops[J]. *Biological Fertilizer Soils*, 2001, 34: 85-97.
- [21] Azam F, Farooq S. Nitrification inhibition in soil and ecosystem functioning: An overview[J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2003, 6: 528-535.