

双氰胺对设施菜地土壤硝酸盐淋溶和苦苣硝酸盐累积的影响

项琳琳^{1,2}, 赵牧秋^{1,2}, 王 俊^{1,2}, 史 奕¹, 陈 欣¹

(1.中国科学院沈阳应用生态研究所 陆地生态过程重点实验室, 辽宁 沈阳 110016; 2.中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:在设施菜地条件下,研究了添加不同浓度双氰胺(DCD)对土壤和苦苣硝酸盐含量及苦苣产量的影响。结果表明,添加 2% 和 5%双氰胺可有效降低苦苣生长初期表层土壤硝酸盐含量,推迟硝酸盐含量高峰出现 15 d 左右,减少硝酸盐的深层淋溶,显著降低苦苣体内硝酸盐和亚硝酸盐含量,提高苦苣产量。添加 10%双氰胺使土壤硝酸盐含量始终保持较低水平,对防止硝酸盐深层淋溶和降低苦苣硝酸盐和亚硝酸盐含量效果显著,对苦苣产量影响较小。

关键词:设施菜地;双氰胺;硝酸盐

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)09-1965-05

Effects of Dicyandiamide on Soil Nitrate Leaching and Nitrate Accumulation in Chicory Under Protected Cultivation

XIANG Lin-lin^{1,2}, ZHAO Mu-qiu^{1,2}, WANG Jun^{1,2}, SHI Yi¹, CHEN Xin¹

(1.Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2.Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: A field experiment was conducted on a protected vegetable field in Shenyang suburb of Liaoning to study the effects of applying dicyandiamide (DCD) on the nitrate leaching in the profile of aquic brown soil and the nitrate accumulation in chicory under protected cultivation. Applying DCD with a rate of 2% and 5% of fertilizer N could effectively decrease the nitrate accumulation in topsoil at the early growth stage of chicory, postpone the peak period of this nitrate accumulation by about 15 days, reduce the nitrate leaching into deeper soil layers, and also, decrease the nitrate and nitrite contents in chicory plants and increase chicory yield. When the application rate of DCD was 10% of fertilizer N, soil nitrate content maintained at a lower level, which was of significance in preventing nitrate leaching into deeper soil layers and decreasing the nitrate and nitrite contents in chicory plants, and chicory yield was less affected.

Keywords: protected vegetable field; dicyandiamide; nitrate

近年来,随着蔬菜产业的迅速发展,为提高蔬菜产量,设施菜地超量施肥已成为普遍现象。氮素作为植物生长所必需的营养元素,投入量最多,通常远远高于蔬菜生长需求量。据统计,我国农业生产中氮肥利用率只有 30%~35%^[1]。超量施用氮肥,导致土壤硝酸盐累积和淋溶^[2-3],对地表水和地下水造成污染,引

起水体富营养化^[4],同时导致蔬菜体内大量累积硝酸盐。据报道,人体摄入的硝酸盐中 80%来自蔬菜,过量摄取硝酸盐易引起高铁血红蛋白症甚至诱发消化系统癌变,危害人体健康^[5-7]。可见,为保护环境和保证人类健康,控制土壤硝酸盐累积、降低蔬菜硝酸盐含量已成为急需解决的问题。硝化抑制剂双氰胺(DCD)因其可通过调整氮肥氮供应速率、供应形式和供应时间,提高作物对氮肥的利用率,减少土壤硝酸盐累积,降低蔬菜硝酸盐含量,近年来受到广泛关注。有研究表明,双氰胺可明显减少土壤硝酸盐积累,与普通施肥相比,配施双氰胺可减少氮肥向 45 cm 深的土壤底层中淋溶最高达 70%^[8-9]。目前,对硝化抑制剂应用在

收稿日期:2009-01-23

基金项目:国家科技支撑计划(2008BADA7B08);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCXZ-YW-N-037)

作者简介:项琳琳(1982—),女,辽宁抚顺人,硕士研究生,主要从事农业生态方面的研究。

通讯作者:陈 欣 E-mail:chenxin@iae.ac.cn

设施菜地施肥管理上的田间试验报道相对较少。

本试验在设施菜地条件下研究配施不同浓度双氰胺对土壤硝酸盐累积和淋溶以及蔬菜硝酸盐含量和产量的影响,为合理施肥、提高氮肥利用率、避免水体和蔬菜硝酸盐污染提供重要的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在辽宁省新民市大民屯镇方巾牛村设施蔬菜种植基地(41°59'N,122°50'E)进行,土壤类型为耕型壤质黄土状潮棕壤。其基本理化性质见表 1。

试验于 2007 年 10 月 6 日开始实施,至次年 1 月 10 日结束,试验设 4 个处理:处理 1(0%DCD);处理 2 (2%DCD);处理 3(5%DCD);处理 4(10%DCD)。选用腐熟牛粪($O.M.145.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $T-N\ 7.91\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $T-P\ 4.30\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $T-K\ 5.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)作为有机肥,各处理施用量折合全氮均为 $104\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,化肥为成品复合肥撒可富($N15\%$, $P_2O_5 15\%$, $K_2O 15\%$),施用量折合全氮均为 $95\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。以上肥料施用量均为当地叶菜种植期普遍采用的施肥量。DCD 用量分别为化肥全氮的 2%、5% 和 10%。DCD 和各种肥料均在蔬菜定植前作底肥一次性施入,后期不再追肥,小区面积为 12 m^2 ,重复 3 次,随机区组排列,小区间设保护行。供试蔬菜为苦苣(*Cichorium endivia* L.),采用垄作栽培,定植株行距为 $25\text{ cm}\times 30\text{ cm}$ 。定植后 90 d 左右收获。采用传统人工浇灌方式灌溉,各小区灌溉水量相等。

1.2 测定项目与方法

分别于施肥前和施肥后第 15、30、60、90 d 取土壤样品测定其硝酸盐含量,其中施肥前和第 90 d 采 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 和 100~120 cm 土层土壤样品,其余 3 次采 0~10、10~20 和 20~40 cm 土层土壤样品,5 点混合,重复 3 次。于收获期分别在每个小区随机采收长势良好、大小均一的苦苣 6 株,分析其硝酸盐和亚硝酸盐含量,并记录苦苣产量。

土壤硝酸盐含量测定采用 $2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{KCl}$ 溶液振荡浸提(土液比为 1:5), MgO -代氏合金蒸发法;植物硝酸盐和亚硝酸盐含量测定采用饱和硼砂溶液浸提,

紫外分光光度法。

2 结果与分析

2.1 双氰胺对土壤硝态氮动态变化的影响

0~10 cm 土壤硝态氮动态变化(图 1)表明,添加双氰胺可有效降低苦苣生长初期土壤硝态氮含量,推迟硝态氮出现高峰的时间。未添加双氰胺的处理施肥后土壤硝态氮迅速增加,第 15 d 已达到高峰,随后快速下降,第 60 d 已低于施肥前水平。添加双氰胺推迟硝态氮高峰出现时间 15 d 左右,其中添加 2%和 5%双氰胺的处理 15 d 之前硝态氮始终保持较微弱增长趋势,并显著低于未添加双氰胺的处理,直到第 30 d 出现高峰,随后缓慢下降,并在施肥中后期保持较高硝态氮供应量。添加 10%双氰胺的处理,施肥初期土壤硝态氮含量保持施肥前水平约 15 d 左右,随后有所升高,但比较缓慢,在作物生长前期和中期,始终保持较低水平,这可能由于该处理双氰胺施入浓度最高,对亚硝酸菌和硝酸菌活性产生强烈抑制作用^[9],进而抑制硝化作用,降低硝酸盐累积;该处理施肥 60 d 后硝态氮呈现明显增加趋势,可能由于双氰胺在施入 60 d 左右已完全降解^[10],失去硝化抑制作用,前期受硝化抑制的铵态氮开始硝化,同时有机肥逐渐进入硝态氮矿化高峰。

10~20 cm 土壤硝态氮动态变化(图 2)表明,添加双氰胺可有效降低该层土壤硝态氮。其中,添加 2%双氰胺的处理,土壤硝态氮 15 d 后开始缓慢升

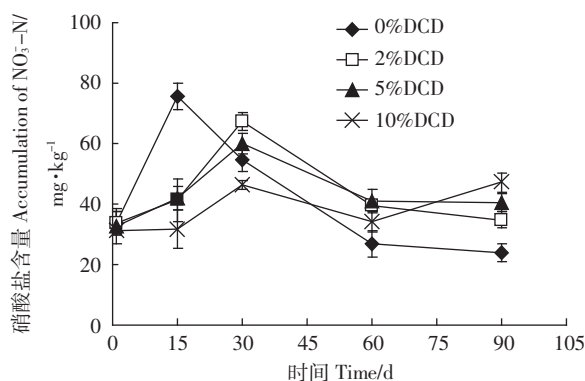


图 1 0~10 cm 土层中硝态氮含量的动态变化

Figure 1 Dynamic change of $\text{NO}_3\text{-N}$ content in 0~10 cm soil layer

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Basic properties of test soil

土壤类型 Soil type	有机碳/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Total organic carbon	全氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Total nitrogen	全磷/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Total potassium	有效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Available phosphorus	速效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Available potassium	pH
潮棕壤	11.66	1.08	0.83	24.80	219.1	7.57

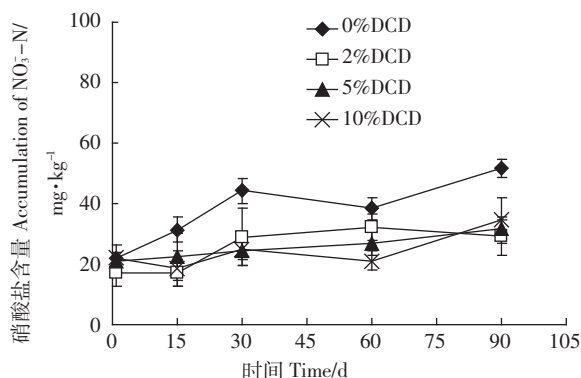


图 2 10~20 cm 土层中硝态氮含量的动态变化

Figure 2 Dynamic change of $\text{NO}_3\text{-N}$ content in 10~20 cm soil layer

高, 添加 5% 和 10% 双氰胺的处理 60 d 后开始缓慢升高, 升高幅度都很低。未添加双氰胺的处理施肥后土壤硝态氮迅速升高, 在第 15、30、60 和 90 d 分别比添加双氰胺的处理平均升高 62.6%、70.3%、44.0% 和 61.9%。

20~40 cm 土层中(图 3), 添加双氰胺使土壤硝态氮始终保持较低水平。其中添加 2% 双氰胺的处理土壤硝态氮 30 d 后开始缓慢升高, 添加 5% 和 10% 双氰胺的处理 60 d 以后开始缓慢升高。未添加双氰胺的处理施肥 15 d 后土壤硝态氮迅速升高, 在第 30、60 和 90 d 分别比添加双氰胺的处理平均升高 84.9%、70.7% 和 62.0%。可见, 未添加双氰胺的施肥处理, 作物生长初期 0~10 cm 土层产生过量硝酸盐, 不能被作物充分吸收利用, 随灌溉水向下层土壤淋溶, 造成下层土壤硝酸盐累积, 而添加双氰胺的施肥处理则能有效抑制氮肥硝化速率, 调整硝态氮供应量, 减少硝酸盐淋溶, 有效控制硝酸盐在 10~40 cm 土层中的累积。

2.2 双氰胺对土壤硝酸盐淋溶的影响

由土壤垂直剖面硝态氮含量变化(图 4)可以看

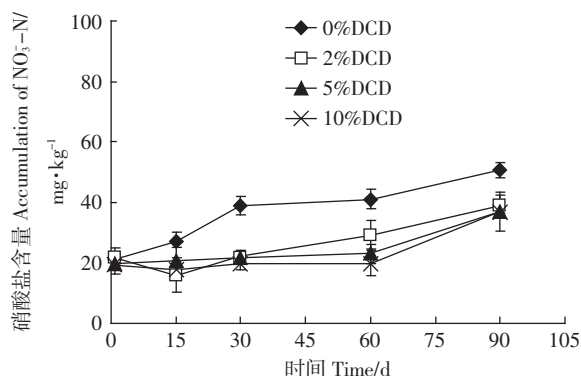


图 3 20~40 cm 土层中硝态氮含量的动态变化

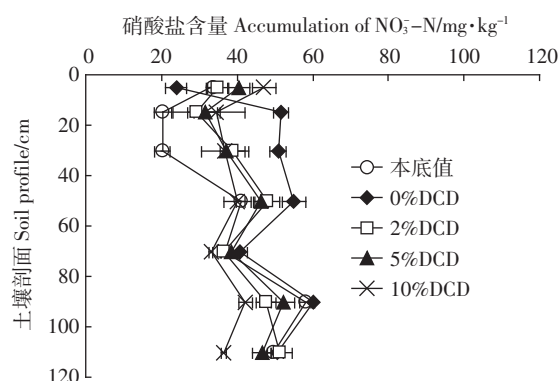
Figure 3 Dynamic change of $\text{NO}_3\text{-N}$ content in 20~40 cm soil layer

图 4 施用 DCD 90 d 后硝态氮在土壤剖面中的垂直分布

Figure 4 Vertical distribution of $\text{NO}_3\text{-N}$ in soil profile (90 days after DCD application)

出, 施肥 90 d 以后, 各处理均造成硝酸盐在土壤剖面不同程度的累积和淋溶。未添加双氰胺的处理, 除 0~10 cm 土层硝态氮含量显著低于本底和其他处理, 其他各土层均高于本底和其他处理, 其中, 10~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 土层, 分别较同土层本底值升高 151.9%、147.6% 和 34.4%, 其他土层基本与本底持平。添加 2% 和 5% 双氰胺的处理硝态氮平均含量在 10~20 cm 和 20~40 cm 土层分别较同土层本底值升高 49.0% 和 84.5%, 较未添加双氰胺的处理降低 40.8% 和 25.5%, 40 cm 以下土层与未添加双氰胺的处理相比均有所降低, 但不显著。与未添加双氰胺的处理相比, 添加 10% 双氰胺 10 cm 以下各土层硝态氮含量平均降低 27.3%, 均达极显著水平; 与本底值相比, 该处理土壤硝态氮含量在 0~40 cm 土层均有显著升高, 在 40~80 cm 土层变化不明显, 80~120 cm 土层则极显著降低。综上可见, 双氰胺可明显降低 120 cm 以上土壤硝酸盐的淋溶和累积, 这与以往很多研究的结果是一致的^[11-12]。

2.3 双氰胺对苦苣硝酸盐和亚硝酸盐含量的影响

试验结果表明(表 2), 与未添加双氰胺的处理相比, 添加不同浓度双氰胺, 苦苣硝酸盐含量分别减少 21.2%、24.3% 和 20.9%, 均达到极显著水平, 这与在其

表 2 苦苣植株中的硝酸盐和亚硝酸盐含量及苦苣产量

Table 2 Nitrate and nitrite contents in chicory plants and chicory yield

处理 Treatment	硝酸盐含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Nitrate content	亚硝酸盐含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Nitrite content	产量/ $\text{kg}\cdot 667\text{m}^{-2}$ Yield
0%DCD	1 248±13aA	3.84±0.39aA	929±22bB
2%DCD	983±35bB	1.00±0.41bB	1 033±44aA
5%DCD	945±11bB	1.65±0.23bB	1 063±43aA
10%DCD	987±23bB	1.64±0.44bB	923±23bB

他蔬菜品种上的研究结果相似^[13-15]。研究表明,土壤中大量硝酸盐的累积会导致蔬菜对其过度吸收,当吸收量大于还原同化量时,造成蔬菜累积大量硝酸盐。蔬菜硝酸盐含量随土壤提供的铵态氮和硝态氮比值的降低而升高^[16],因此合理调整土壤中铵态氮和硝态氮比例,对控制蔬菜硝酸盐累积很重要。本试验中添加双氰胺调整硝态氮的供应量和供应时间,减少苦苣对硝酸盐的累积,可食部分硝酸盐含量均低于 $3\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,达到国家叶菜安全食品标准(GB 19338—2003)。同时,与未添加双氰胺的处理相比,添加不同浓度双氰胺,苦苣亚硝酸盐含量分别减少74.0%、57.3%和57.0%,均达到极显著水平。这与黄东风等在四九菜心、日本全能菠菜和清江白菜上的研究结果相似^[17]。本试验中施用双氰胺的处理,苦苣亚硝酸盐含量均低于 $2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,达到国家绿色食品绿叶类蔬菜卫生指标(NYT743—2003)。

2.4 双氰胺对苦苣产量的影响

试验结果表明(表2),不同浓度双氰胺对苦苣产量影响不同。添加2%和5%双氰胺与未添加双氰胺相比苦苣产量分别提高11.1%和14.4%,达极显著水平。这与张杨珠等通过研究硝化抑制剂对土壤和小白菜硝酸盐含量的调控效应得到的结论相似^[18]。添加10%双氰胺没有提高苦苣产量,可能由于高浓度双氰胺强烈抑制硝化作用,导致土壤硝态氮供应不足所致。迄今为止,国内外关于双氰胺增产效果的研究结果不尽一致^[15,19-20],其原因是双氰胺的效果受土壤有机质含量、土壤质地、温度、湿度、pH值、肥料种类和耕作制度等多种因素的影响^[21-24],因此,利用双氰胺提高蔬菜作物产量的具体方案有待今后进一步深入研究。

3 结论

(1)添加双氰胺可有效降低苦苣生长初期0~10 cm土壤硝态氮含量,推迟硝态氮高峰出现时间15 d左右,调整土壤氮素形态及含量,有效控制硝酸盐在表层土壤中的累积,并防止硝酸盐在10~40 cm土层中的淋溶和累积。同时,双氰胺浓度越高,其硝化抑制效果越显著^[8-9]。添加2%和5%双氰胺能保持施肥中后期土壤中较高硝态氮含量,满足作物整个生长过程对氮素的需求。添加10%双氰胺的处理在作物生长前期和中期始终保持较低土壤硝态氮含量,60 d以后出现硝态氮增加趋势。

(2)叶菜类蔬菜根系分布较浅,主要集中在40 cm

以上土壤中,因此,淋溶到40 cm以下的硝酸盐很难再被作物吸收,同时硝酸盐不易被土壤吸附,极易随灌溉水淋溶到土壤深层,造成地下水污染。双氰胺的施入不同程度降低了40~120 cm土层土壤硝酸盐的累积,其中添加10%双氰胺处理已明显降低深层土壤硝酸盐含量,控制硝酸盐进一步淋溶,对减少地下水硝酸盐污染的环境治理有较高的参考价值。

(3)通过添加双氰胺调整硝态氮供应量和供应时间,极显著地降低了苦苣硝酸盐和亚硝酸盐含量,使之分别达到国家叶菜安全食品标准和绿色食品卫生指标。双氰胺可在一定程度上提高蔬菜产量,但升高幅度与双氰胺投入量不成正比。可见,施用双氰胺应考虑作物生长特点及耕作管理方式等诸多因素,以便更加有效地提高作物产量和氮肥利用率,改善作物品质,减少环境污染。

参考文献:

- [1] 李庆逵, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998: 1-5.
LI Qing-kui, ZHU Zhao-liang, YU Tian-ren. Fertilizer matter in sustainable development of agriculture in China[M]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press, 1998: 1-5.
- [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] 尤彩霞, 陈清, 王真, 等. 不同有机肥对日光温室黄瓜土壤氮运移影响的研究[J]. 土壤肥料, 2006(2): 52-55.
YOU Cai-xia, CHEN Qing, WANG Zhen, et al. Effect of different organic manure fertilizers on soil nitrogen dynamic characteristics of cucumber in solar-greenhouse[J]. *Soil and Fertilizer*, 2006(2): 52-55.
- [4] 沈善敏. 氮肥在中国农业发展中的贡献和农业中氮的损失[J]. 土壤学报, 2002, 39(增刊): 12-25.
SHEN Shan-min. Contribution of nitrogen fertilizer to the development of agriculture and its loss in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(Sup): 12-25.
- [5] 熊国华, 林咸永, 章永松, 等. 施肥对蔬菜累积硝酸盐影响的研究进展[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 217-221.
XIONG Guo-hua, LIN Xiang-yong, ZHANG Yong-song, et al. Effects of fertilization on nitrate accumulation in vegetable crops[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2): 217-221.
- [6] Limbrick K J. Baseline nitrate concentration in groundwater of the Chalk in south Dorset. UK[J]. *Science of the Total Environment*, 2003, 314-316: 89-98.
- [7] Fytianos K, Zarogiannis P. Nitrate and nitrite accumulation in fresh vegetables from Greece[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1999, 62(2): 187-192.

- [8] 傅涛, 倪九派, 魏朝富, 等. 双氰胺在四川3种主要土壤上的硝化抑制作用[J]. 土壤与环境, 2001, 10(3): 210-213.
FU Tao, NI Jiu-pai, WEI Chao-fu, et al. Effect of dicyandiamide on nitrogen transformation of ammonium bicarbonate in Sichuan soils[J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2001, 10(3): 210-213.
- [9] 商照聪, 高子勤. 双氰胺对碳酸氢铵在土壤中氮素转化的影响[J]. 应用生态学报, 1999, 10(2): 183-185.
SHANG Zhao-cong, GAO Zi-qin. Effect of dicyandiamide on nitrogen transformation of ammonium bicarbonate in soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(2): 183-185.
- [10] 赵明, 蔡葵, 赵征宇, 等. 不同有机肥料中氮素的矿化特性研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 146-149.
ZHAO Ming, CAI Kui, ZHAO Zheng-yu, et al. Characteristics of NO_3^- -N and NH_4^+ -N mineralization from different organic fertilizers[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(Sup.): 146-149.
- [11] Di H J, Cameron K C. Treating grazed pasture soil with a nitrification inhibitor, eco-nTM, to decrease nitrate leaching in a deep sandy soil under spray irrigation—a lysimeter study[J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2004, 47: 351-361.
- [12] Ball-Coelho B R, Roy R C. Enhanced ammonium sources to reduce nitrate leaching[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1999, 54(1): 73-80.
- [13] 徐光辉, 张杨珠, 王大娟. 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.
XU Guang-hui, ZHANG Yang-zhu, WAN Da-juan. Effects of nitrification inhibitors on nitrate content in soil and pakchoi and on pakchoi yield[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(2): 247-250.
- [14] 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(6): 555-562.
- [15] 孙治强, 赵卫星, 张文波, 等. 无机氮肥添加双氰胺对肥效的影响及在生菜上的施用效果[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 799-801.
SUN Zhi-Qiang, ZHAO Wei-Xing, ZHANG Wen-Bo, et al. Fertilizers efficiency of inorganic nitrogen fertilizers together with dicyandiamide and their effects on lettuce[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(3): 799-801.
- [16] 庄舜尧, 孙秀廷. 氮肥对蔬菜硝酸盐积累的影响[J]. 土壤学进展, 1995, 23(3): 29-35.
ZHUANG Shun-yao, SUN Xiu-ting. Effect of nitrogen fertilizers on nitrate accumulation in vegetables[J]. *Progress in Soil Science*, 1995, 23(3): 29-35.
- [17] 黄东风, 罗涛, 邱孝煊. 氮抑制剂对蔬菜产量和硝态氮含量的影响[J]. 中国蔬菜, 2005(12): 14-16.
HUANG Dong-feng, LUO Tao, QIU Xiao-xuan. Effect of nitrogen-inhibitors on the nitrate content and yield of vegetables[J]. *China Vegetables*, 2005(12): 14-16.
- [18] 张杨珠, 余光辉, 王翠红, 等. 菜园土肥力特征及蔬菜硝酸盐污染的控制技术——VI. 硝化抑制剂对土壤和小白菜硝酸盐含量的调控效应[J]. 湖南农业大学学报, 2005, 31(2): 138-142.
ZHANG Yang-zhu, YU Guang-hui, WANG Cui-hong, et al. On the fertility of vegetable soil and controlling techniques for pollution of nitrate in vegetable crops VI. nitrate contents in soils and in pakchoi, pakchoi yield and other qualities affected by applying nitrification inhibitors[J]. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2005, 31(2): 138-142.
- [19] Chaves B, Opoku A, De Neve S, et al. Influence of DCD and DMPP on soil N dynamics after incorporation of vegetable crop residues[J]. *Biological and Fertility of Soils*, 2006, 43(1): 62-68.
- [20] Asing J, Saggarr S, Singh J, et al. Assessment of nitrogen losses from urea and an organic manure with and without nitrification inhibitor, dicyandiamide, applied to lettuce under glasshouse conditions[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2008, 46(6-7): 535-541.
- [21] Ignacio Iirgoyen, Julio Muro, Miren Azpilikueta. Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMPP at various temperatures[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2003, 41(6): 1177-1183.
- [22] Puttannal K, Nanje Gowda N M, Prakasa Rao E V S. Effect of concentration, temperature, moisture, liming and organic matter on the efficacy of the nitrification inhibitors benzotriazole, o-nitrophenol, m-nitroaniline and dicyandiamide[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1999, 54: 251-257.
- [23] Tiessen K H D, Flaten D N, Bullock P R, et al. Transformation of fall-banded urea: Application date, landscape position, and fertilizer additive effects[J]. *Agronomy Journal*, 2006, 98(6): 1460-1470.
- [24] Kumar D, Singh S, Sharma S N, et al. Relative efficiency of urea and dicyandiamide-blended urea on mustard (*Brassica juncea*) varieties[J]. *Indian Journal of Agronomy*, 2000, 45(1): 179-183.