

## 硝化抑制剂对不同氮肥运筹下棉田土壤及棉株功能 叶片氮素积累的影响

董海荣, 李金才, 李存东

(河北农业大学, 河北 保定 071001)

**摘要:**通过在棉田中施用硝化抑制剂双氰胺(DCD)实现棉花增铵营养的途径,来改变传统棉田氮肥运筹途径和营养状况,同时考察了由此导致的棉田土壤和棉株功能叶片中氮素变化动态。结果表明:2%DCD的施用促进了棉株对氨基态氮的吸收而抑制棉株对硝态氮的吸收;同时也减少了棉田土壤中残留全氮含量、维持了土壤较高的氨基态氮含量,提高了氮肥吸收利用效率、节约了氮肥资源。进一步表明棉田中施用增铵营养在生理和生态上具有重要的意义。

**关键词:**棉花;氮肥运筹;棉田土壤;功能叶片;氮素积累

中图分类号:S562.01 文献标识码:A

文章编号:1002-7807(2009)01-0051-06

## Effects of Nitrogenous Fertilizer Strategies on the Nitrogen Accumulation in Cotton Field Soil and Cotton Functional leaves

DONG Hai-rong, LI Jin-cai, LI Cun-dong

(Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China)

**Abstract:** Recent years, researchers have tried their best to control nitrogenous fertilizer loss and its pollution to environment. The mixed nitrogen nutrition becomes one of the new methods to enhance the effectiveness of nitrogen utilization and reduce the nitrogen loss. In the field conditions, enhanced ammonium nutrition (EAN) by using the nitrification inhibitor in soil becomes a very good ways to achieve the mixed nitrogen nutrition. Cotton is sensitive to nitrogen utilization. Meanwhile, due to growing in the hot season, the irrational nitrogenous fertilization utilization will lead to not only the poor cotton growth but also the larger nitrogen loss and environment pollution. With Bt-transgenic cotton 33B as experimental plant and Dicyanodiamide(DCD) as nitrification inhibitor, the effects of nitrogenous fertilizer strategies(including DCD and non-DCD treatment in different nitrogen levels) on the nitrogen accumulation in cotton field soil and cotton functional leaves were discussed. The results showed: 2% DCD treatment enhanced ammonium absorption (increased  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  from 0.70% to 112% in the main stem leaves and from 8.84% to 46.47% in the bearing stem leaves) and restrained nitrate absorption of cotton (decreased  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  from 0.20%~22.68% in the main stem leaves and from 0.10% to 28.03% in the bearing stem leaves), the extent of influence is different from one growth stage or nitrogen level from another; at the same time, it reduced the content of rudimental total nitrogen(decreased extent from 0 to 14.39%) and maintained the higher content of ammonium nitrogen(increased extent from 1.11% to 17.83%) in cotton and enhanced the efficiency of nitrogen fertilizer as well as saved nitrogen resource. These above mentioned further showed that it was important to treat cotton with EAN from the physiological and ecological perspectives.

收稿日期: 2008-09-03

作者简介:董海荣(1971-),女,博士,副教授, donghairong321@126.com.

基金项目:国家自然科学基金(c2006000436),河北省自然科学基金(399119),河北省科技厅科学研究项目(06220221),河北省教育厅科学研究项目(2007463),河北省教育厅科学研究项目(2008458)

**Key words:** cotton; nitrogenous fertilizer strategies; cotton field soil; functional leaves; nitrogen accumulation

作为农业面源污染的源头之一,近些年来氮素的过量施用得到了社会各界的密切关注,尤其是在控制硝态氮肥流失和环境污染方面,学术界做出了各种各样的尝试和努力。混合态氮素营养是近年来国内外学者提出的一个既有利于提高土壤氮素化肥利用率,又有利于减少土壤硝酸盐流失及污染的一种新方法<sup>[1-6]</sup>。其中,通过增铵营养(水培条件下通过控制  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  比例,大田条件下使用硝化抑制剂实现)抑制土壤铵态氮肥向硝态氮肥的转化来实现混合态氮素营养<sup>[3-4]</sup>,由于其以源头控制为出发点具有更加实际的意义和可操作性而得到人们的青睐,成为旱地作物氮素营养运筹的新途径。

棉花是一种陆续开花结铃的双子叶植物,其生长对氮素非常敏感,由于生长在高温多雨的季节,氮肥施用不当更容易因硝态氮肥流失而导致肥料和环境污染。本研究则通过硝化抑制剂处理和氮肥水平的改变来实现多重的棉田氮肥运筹和营养途径,同时探讨不同处理条件下棉田土壤和棉花功能叶片中氮素的变化动态,为确定适宜的棉花生长发育和氮肥营养比例,以及改善棉田施肥技术提供理论和实践的支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料和设计

试验于2001—2002年在河北保定一试验农场进行。试验地前茬休闲,土壤肥力中等,为砂质壤土。试验地基础肥力状况:有机质 1.371%,全氮 0.122%,速效磷 43.74  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾 157.19  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,氨基态氮 70.00  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供

试棉花品种为抗虫棉 33B,播种前硫酸脱绒并用种衣剂拌种。由于两年间试验地基础条件和棉花生长季节气候条件的极其相似,以下文中数据均为两年的平均值。

试验采取裂区设计,主区为土壤施用硝化抑制剂双氰胺(DCD)和不施用硝化抑制剂 2 个处理,副区为高、中、低 3 个肥力水平,3 次重复。小区面积 47.56  $\text{m}^2$ ,密度 4.95 万株  $\cdot \text{hm}^{-2}$ ,行距 0.70 m,株距 0.29 m。播种方式为开沟穴播,播后地膜覆盖以保持土壤养分不会因为相互渗透而相互干扰。棉花生长期间分别于苗期、盛蕾期和花铃期进行 3 次氮肥处理,其余管理同常规棉田(棉田施肥情况如表 1 所示)。棉花生育期表现为:4 月 18 日播种期,4 月 28 日为出苗期,6 月 12 日为现蕾期,6 月 21 日为盛蕾期,7 月 3 日为初花期,7 月 22 日为盛花期,8 月 12 日为吐絮期。

### 1.2 测定指标和方法

**1.2.1 土壤养分的测定。**棉花播种前在试验田以梅花取样的方式取 20 cm 耕层深度的土样 5 份进行土壤基础肥力的测定(表 1)。其中,包括土壤有机质含量、全氮、速效磷、速效钾的含量和土壤中氨基态氮的含量。棉田第一次施肥后每隔 15 d 取一次土样(3 次重复、各取 20 cm 耕层深度土样一份)自然风干待测全氮含量和氨基态氮的含量。其中,土壤有机质含量用重铬酸钾容量法—外加热法测定<sup>[5]</sup>;土壤全氮含量用半微量开氏法(混合加速剂消煮法)测定<sup>[6-7]</sup>;氨基态氮含量用碱解扩散法测定<sup>[6-7]</sup>;速效磷用 0.5  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{NaHCO}_3$  法测定<sup>[6-7]</sup>,速效钾用  $\text{NH}_4\text{OAC}$  浸提,火焰光度法测定<sup>[6-7]</sup>。

表 1 棉田施肥(尿素)状况

施肥日期	高氮+抑制剂	高氮	中氮+抑制剂	中氮	低氮+抑制剂	低氮
05-09	208.08	204.00	124.44	122.00	41.82	41.00
06-25	83.23	81.60	49.78	48.80	16.73	16.40
07-12	124.85	122.40	74.66	73.20	25.09	24.60

注:高氮+抑制剂、中氮+抑制剂、低氮+抑制剂处理的施肥(尿素)量分别等于高氮、中氮、低氮水平的施肥量加上相当于它们重量 2% 的硝化抑制剂(DCD)。

**1.2.2 植物样本提取和生理指标测定。**主茎功能叶片取棉株主茎的倒 4 叶,果枝功能叶片取倒数第三个果枝上相当于其同位主茎叶叶面积 3/4

大小的叶片。棉花第一次施肥后每隔 15 d 取一次,鲜样在冰箱中保存用以测定相关生理生化指标(主要包括可溶蛋白含量、全氮含量、硝态氮

含量和氨基态氮含量)。具体测定方法如下:植株总氮含量参照南京农业大学主编的土壤农化分析(第二版),采用混合加速剂法测定<sup>[5]</sup>。硝态氮含量参照邹琦主编的植物生理学实验指导,比色法测定<sup>[6]</sup>。可溶蛋白含量参照 Read 等考马斯亮蓝法<sup>[7]</sup>测定。氨基酸含量参照中国科学院上海植物生理研究所和上海市植物生理学会联合主编的现代植物生理学实验指南的方法测定<sup>[8]</sup>。

## 2 结果分析

### 2.1 氮肥运筹对棉田土壤全氮及氨基态氮含量变化动态的影响

在作物生长季内,作物吸肥的一般规律表现为,随着肥力水平的提高,作物对肥料的吸收在一定范围内也会递增,其促进生长的作用效应递减(边际效应递减律),但是总生长量仍然为一定范围内的递增趋势;同一肥力水平下土壤肥料残留量越高,说明作物对肥料吸收相对较少。图1结果显示,随着氮肥水平的提高,棉田土壤中残留全氮含量呈明显增加的趋势。而且,随着氮肥水平的提高,施加硝化抑制剂的处理和不施加硝化抑制剂的处理间差异趋于明显。同一氮肥水平下,施加硝化抑制剂的处理残留全氮低于不施加硝化抑制剂的处理(降幅0~14.39%)。据此可以推断,棉田中适度使用硝化抑制剂可能会对提高氮素化肥的利用效率有一定的作用。

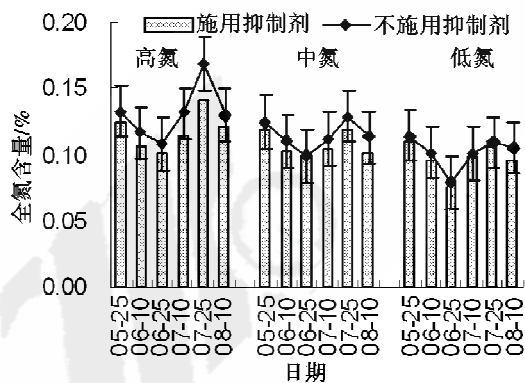


图1 氮肥运筹对棉田土壤全氮含量变化动态的影响  
Fig.1 Effects of the nitrogenous fertilizer strategies on the total nitrogen content in the cotton field soil

图2表明,与全氮含量相同,氨基态氮含量在土壤中的残留随着氮肥水平的提高也表现出明显的增加趋势(增幅1.11%~17.83%)。不同肥力水平下,抑制剂的效应强度随着氮肥水平的提高变得更加明显,这可能与土壤本身的基础肥力状况和棉株的需肥量有关。同一肥力水平下,施加

硝化抑制剂的处理要比不施加硝化抑制剂的处理土壤中残留的氨基态氮含量高,说明硝化抑制剂的施用有助于土壤中维持较高的氨基态氮含量。

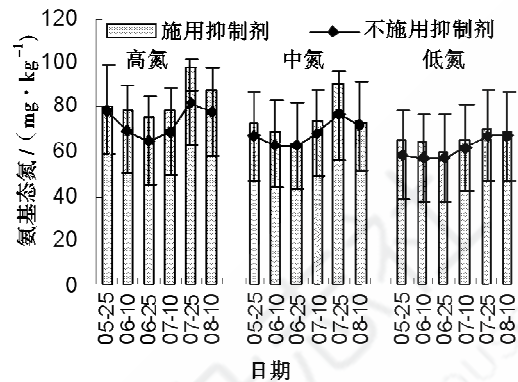


图2 氮肥运筹对棉田土壤氨基态氮含量变化动态的影响  
Fig.2 Effects of the nitrogenous fertilizer strategies on the ammonium nitrogen content in the cotton field soil

### 2.2 氮肥运筹对棉花主茎功能叶片中硝态氮和氨基态氮含量的影响

棉花主茎功能叶片硝态氮和氨基态氮含量及二者的比例关系是棉株吸收不同形态氮素营养的表征。不同氮肥水平下,棉田中施用硝化抑制剂基本没有改变棉花主茎功能叶片硝态氮和氨基态氮变化的趋势。图3所示,硝化抑制剂处理对盛蕾期(6月21日)以前高、中氮水平下棉花主茎叶片中硝态氮吸收有明显的抑制作用(最大抑制效应达22.68%),而对低氮水平下主茎叶片的硝态氮吸收抑制作用并不明显。与此相反,硝化抑制剂的使用对棉花主茎叶片中氨基态氮含量在现蕾(6月12日)至盛花(7月22日)期间表现出明显的促进作用(最大促进效应达112%),苗期(6月12日以前)和盛花期(7月22日)之后硝化抑制剂处理的影响不明显(图4)。这说明,硝化抑制剂对于棉株不同形态氮素的吸收效应在盛蕾至盛花左右表现最为显著,而且效应强度有随着氮肥水平提高增加的趋势。

### 2.3 氮肥运筹对棉花果枝功能叶片中硝态氮和氨基态氮含量的影响

与主茎叶相似,棉田中硝化抑制剂的使用降低了棉花果枝叶片中硝态氮的含量。进入盛花期(6月21日)以前这种效应最明显(最大抑制效应为46.47%),盛花期以后,该效应有所减弱,低氮水平下在进入初花期(7月3日)以后施用硝化抑制剂的效应不明显。同时,硝化抑制剂的施用提高了棉花果枝叶片中氨基态氮的含量(效应强度范畴在0.10%~28.03%),而这种效应却在盛花期以后表现得越加明显(图5-6)。和前述主茎功能叶片中氮

素营养变化动态相比可以看出,盛花期以后,棉花氮素营养主要供给生殖生长的需求,而硝化抑制剂

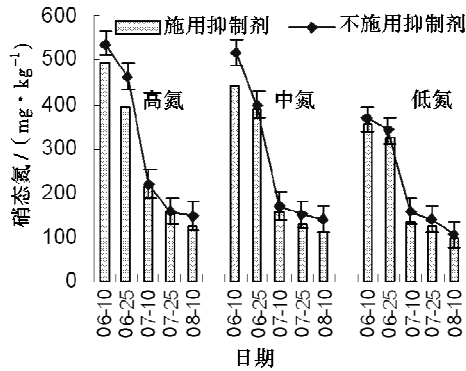


图3 氮肥运筹对棉花主茎功能叶片中硝态氮含量的影响  
Fig.3 Effects of the nitrogenous fertilizer strategies on nitrate nitrogen content of main stem leaves of cotton

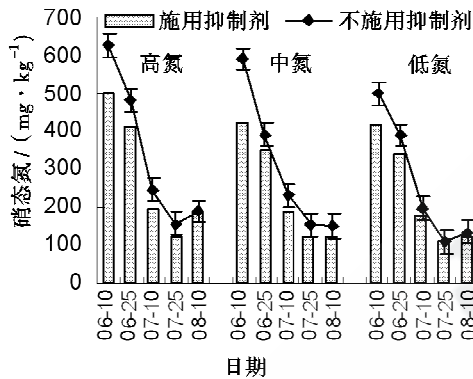


图5 氮肥运筹对棉花果枝功能叶片中硝态氮含量的影响  
Fig.5 Effects of the nitrogenous fertilizer strategies on ammonium nitrogen content of bearing stem leaves of cotton

### 3 结论和讨论

本研究表明:棉田施用硝化抑制剂(2% DCD)调节了棉株对氨基态氮和硝态氮的吸收。虽然不同的生育时期影响的强度不同,但总体而言,硝化抑制剂的施用促进了棉株对氨基态氮的吸收而抑制棉株对硝态氮的吸收,而且在不同肥力水平间表现趋势基本一致。从而说明,通过硝化抑制剂的施用实现棉田增铵营养,对调节棉花氮素营养吸收起到了一定的作用。

同时,由于增铵营养对氨基态氮和硝态氮吸收的作用强度不同以及理论上氨基态氮吸收的节能性,使得棉株对氮肥的吸收效率增强。这一点通过土壤氮素变化动态的实验研究也得到了进一步的证实。随着施肥水平的提高,棉田中残留全氮及氨基态氮含量都表现增加的趋势;而增铵营

的施用为氮素营养,尤其是氨基态氮素营养向果枝叶的转移起到了一定的促进作用。

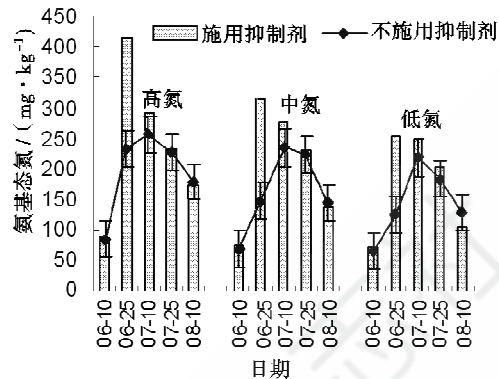


图4 氮肥运筹对棉花主茎功能叶片中氨基态氮含量的影响  
Fig.4 Effects of the nitrogenous fertilizer strategies on ammonium nitrogen content of main stem leaves of cotton

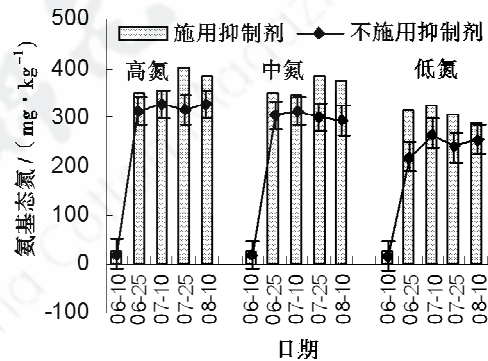


图6 氮肥运筹对棉花果枝功能叶片中氨基态氮含量的影响  
Fig.6 Effects of the nitrogenous fertilizer strategies on ammonium nitrogen content of bearing stem leaves of cotton

养的施用使同一肥力水平的棉田中残留全氮含量减少,残留氨基态氮含量增加。进一步表明增铵营养有利于减少土壤硝态氮残留、维持土壤较高的氨基态氮含量和提高氮肥吸收利用效率、节约氮肥资源。

硝态氮的淋失是导致氮素化肥大量浪费,造成地下水污染的一个非常重要的原因。一方面由于硝态氮施入土壤以后,除了被根系吸收外,还可以随灌溉水或降水向下移动,从而造成养分的淋失<sup>[9-11]</sup>。另一方面,土壤中硝态氮发生反硝化作用生成NO、NO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O等气体而损失,不仅使肥料的利用率下降,而且极易污染水域,影响动物和人类的健康。而NH<sub>4</sub><sup>+</sup>一个重要的特性则是在土壤中移动性小,可以被土壤胶体颗粒所吸附,起着暂时保存养分的作用,其挥发损失又可以通过施肥措施的改善得到较好的控制<sup>[12]</sup>。

我国所生产的肥料品种大部分为铵态氮肥和酰胺态氮肥(酰胺态氮肥在土壤中大量脲酶的作用下很快转化为铵态氮肥),但它们在土壤微生物的作用下会很快转化为硝态氮,且随着温度的升高转化速度加快<sup>[9]</sup>。有研究表明,当温度超过 30℃时只需要 2~3 d 的时间,施入的铵态氮肥即可全部转化为硝态氮。硝化抑制剂是一种选择抑制亚硝酸菌的化学物质。主要作用是抑制土壤中亚硝化毛杆菌的生命活动,阻止氮的氧化,使土壤中的铵态氮肥可以较长时间地以  $\text{NH}_4^+$  的形态存在,而且其理化性质稳定,对人畜及环境没有危害<sup>[9-10,13]</sup>。

棉花对氮肥非常敏感,并且其营养生长和生殖生长的旺期正值北方高温多雨的季节,土壤中施入的铵态氮肥和酰胺态氮肥在自然条件下会在很短的时间内转化为硝态氮。本研究的上述结果表明,棉田土壤中施用尿素化肥时添加 2% 的 DCD 既可以提高棉田土壤中氨基态氮的含量,使棉田土壤较长时间维持相对高的氮态氮水平,同时又调节了棉株在不同生育时期对不同形态氮素的吸收,节约了能量,提高了氮素化肥的利用效率。因此,无论从生理还是生态的角度来看,在棉田中施用硝化抑制剂以控制氮素形态实现增铵营养较其它作物具有更加重要的理论和实践意义。

#### 参考文献:

- [1] 陈利军,史奕,李荣华,等.脲酶抑制剂和硝化抑制剂的协同作用对尿素氮转化和排放的影响[J].应用生态学报,1995,6(4):368-372.  
CHEN Li-jun, Shi Yi, Li Rong-hua, et al. Synergistic effect of urease inhibitor and nitrification inhibitor on urea N transformation and  $\text{N}_2\text{O}$  emission [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1995, 6(4): 368-372.
- [2] 戴廷波,曹卫星,荆奇.氮形态对不同小麦基因型氮素吸收和光合作用的影响[J].应用生态学报,2001,12(6):849-852.  
DAI Ting-bo, Cao Wei-xing, Jing Qi. Effects of nitrogen form on nitrogen absorption and photosynthesis of different wheat genotypes[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(6): 849-852.
- [3] 董海荣,张月辰,李金才,等.增铵营养条件下棉花的形态反应及物质积累与分配[J].棉花学报,2001,13(4):293-296.  
DONG Hai-rong, Zhang Yue-chen, Li Jin-cai, et al. Morphological responses and material accumulation and distribution with enhanced ammonium nutrition in cotton[J]. Cotton Science, 2001, 13(4): 293-296.
- [4] 戴廷波,曹卫星,孙传范.增铵营养对小麦氮及矿质营养含量和积累的影响[J].应用生态学报,2002,13(3):382-384.  
DAI Ting-bo, Cao Wei-xing, Sun Chuan-fan. Effects of enhanced ammonium nutrition on content and accumulation of nitrogen and mineral nutrients in wheat plant[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(3): 382-384.
- [5] 董海荣,李金才,李存东.不同  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  比例的氮素营养对棉花氮素代谢的影响[J].应用生态学报,2004,15(4):728-730.  
DONG Hai-rong, Li Jin-cai, Li Cun-dong. Effects of different  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  ratios on nitrogen metabolism of cotton[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(4): 728-730.
- [6] 李存东,董海荣,李金才.不同形态氮比例对棉花苗期光合作用及碳水化合物代谢的影响[J].棉花学报,2003,15(2):87-90.  
LI Cun-dong, Dong Hai-rong, Li Jin-cai. Influence of various ratios of nitrogen nutrition on photosynthetic and sugar metabolism of cotton[J]. Cotton Science, 2003, 15(2): 87-90.
- [7] 南京农业大学.土壤农化分析[M].2版.北京:农业出版社,1986:47-90.  
Nanjing Agricultural University. Agricultural soil analysis[M]. 2nd ed. Beijing: Agricultural Press, 1986:47-90.
- [8] 邹琦.植物生理学[M].北京:中国农业出版社,2000:54-55,58-59.  
ZOU Qi. Physiology of the plant[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000:54-55,58-59.
- [9] READ S M, Northcote D H. Minimization of variation in the response to different protein of the coomassie Blue G dyedinding; assay for protein[J]. Anal Biochem, 1981, 116:53-64.
- [10] 中国科学院上海植物生理研究所和上海市植物生理学会.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999:138-139.  
Shanghai Institution of Plant Physiology of Chinese Academy, Shanghai Society of Plant Physiology. Modern experimental guide of plant physiology[M]. Beijing: Science Press, 1999: 138-139.

- [11] 鲍碧娟. 如何提高氮肥利用率[J]. 磷肥与复肥, 1994(4): 83-86.  
BAO Bi-juan. How to improve the utilization rate of nitrogen fertilizer[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 1994(4): 83-86.
- [12] PILBEAM J A, Below F E. Some aspects of the utilization of nitrate and ammonium by plant [C]// Zmongel L, Ilbeamad P J. Nitrogen metabolisms of plants. Oxford: Clarendon Press, 1992: 55-70.
- [13] SALSAC L E, Domska D E, Tung D E. Uptake and assimilation of ammonium-N and nitrate-N and their influence on the growth of corn[J]. Agron J, 1972, 64: 690-695.
- [14] 孙 羲. 植物营养原理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 62-69.  
SUN Xi. Principle of plant nutrition[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1995: 62-69.
- [15] 陶运平. 硫代硫酸铵对土壤硝化作用的影响[J]. 土壤学报, 1997, 34(4): 467-474.  
TAO Yun-ping. Effects of  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$  on the soil nitrification[J]. Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(4): 467-474. ●

中国棉花杂志社  
China Cotton Magazine House

