

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第23期 Vol.33 No.23 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 23 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 基于树干液流技术的北京市刺槐冠层吸收臭氧特征研究…………… 王 华, 欧阳志云, 任玉芬, 等 (7323)
- 三疣梭子蟹增殖过程对野生种群的遗传影响——以海州湾为例…………… 董志国, 李晓英, 张庆起, 等 (7332)
- 土壤盐分对三角叶滨藜抗旱性能的影响…………… 谭永芹, 柏新富, 侯玉平, 等 (7340)
- 南美斑潜蝇为害对黄瓜体内 4 种防御酶活性的影响…………… 孙兴华, 周晓榕, 庞保平, 等 (7348)

个体与基础生态

- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物养分输入量的早期影响…………… 肖银龙, 涂利华, 胡庭兴, 等 (7355)
- 茎瘤芥不同生长期植株营养特性及其与产量的关系…………… 赵 欢, 李会合, 吕慧峰, 等 (7364)
- 雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化…………… 黄张婷, 张 艳, 宋照亮, 等 (7373)
- 渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响…………… 张树杰, 廖 星, 胡小加, 等 (7382)
- 广西扶绥黑叶猴的主要食源植物及其粗蛋白含量…………… 李友邦, 丁 平, 黄乘明, 等 (7390)
- 氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响…………… 谷 岩, 胡文河, 徐百军, 等 (7399)
- PFOS 对斑马鱼胚胎及仔鱼的生态毒理效应 …………… 夏继刚, 牛翠娟, 孙麓垠 (7408)
- 浒苔干粉提取对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用…………… 韩秀荣, 高 嵩, 侯俊妮, 等 (7417)
- 基于柑橘木虱 CO I 基因的捕食性天敌捕食作用评估 …………… 孟 翔, 欧阳革成, Xia Yulu, 等 (7430)
- 健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响……………
…………… 王 琪, 严善春, 严俊鑫, 等 (7437)

种群、群落和生态系统

- 小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系……………
…………… 董 艳, 董 坤, 汤 利, 等 (7445)
- 喀斯特峰丛洼地不同生态系统的土壤肥力变化特征…………… 于 扬, 杜 虎, 宋同清, 等 (7455)
- 黄土高原人工苜蓿草地固碳效应评估…………… 李文静, 王 振, 韩清芳, 等 (7467)

景观、区域和全球生态

- 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响…………… 李轶冰, 逢焕成, 杨 雪, 等 (7478)
- 三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响…………… 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等 (7487)
- 基于 BP 神经网络与 ETM+ 遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类…………… 肖锦成, 欧维新, 符海月 (7496)
- 寒温带针叶林土壤 CH₄ 吸收对模拟大气氮沉降增加的初期响应…………… 高文龙, 程淑兰, 方华军, 等 (7505)
- 寒温带针叶林土壤呼吸作用的时空特征…………… 贾丙瑞, 周广胜, 蒋延玲, 等 (7516)

- 黄土高原小麦田土壤呼吸季节和年际变化..... 周小平,王效科,张红星,等 (7525)
不同排放源周边大气环境中 NH₃浓度动态..... 刘杰云,况福虹,唐傲寒,等 (7537)
施加秸秆和蚯蚓活动对麦田 N₂O 排放的影响 罗天相,胡 锋,李辉信 (7545)

资源与产业生态

- 基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测..... 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等 (7553)
应用支持向量机评价太湖富营养化状态..... 张成成,沈爱春,张晓晴,等 (7563)

研究简报

- 亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征 徐旺明,闫文德,李洁冰,等 (7570)
青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应 白 祯,黄 玥,黄建国 (7576)
NO 参与 AM 真菌与烟草共生过程 王 玮,赵方贵,侯丽霞,等 (7583)
基于核密度估计的动物生境适宜度制图方法..... 张桂铭,朱阿兴,杨胜天,等 (7590)
施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响 马宗斌,刘桂珍,严根土,等 (7601)

学术信息与动态

- 未来地球——全球可持续性研究计划..... 刘源鑫,赵文武 (7610)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 292 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说: 兴安落叶松林景观——中国的寒温带针叶林属于东西伯利亚森林向南的延伸部分,它是大兴安岭北部一带的地带性植被类型,一般可分为落叶针叶林和常绿针叶林两类。兴安落叶松林景观地下部分为棕色森林土,中上部为灰化棕色针叶林土,均呈酸性反应。随着全球气候持续变暖,寒温带针叶林生态系统潜在的巨大碳库将可能成为大气 CO₂ 的重要来源,研究表明,温度是寒温带针叶林生态系统土壤呼吸作用的主要调控因子,对温度的敏感性随纬度升高而增加,根系和凋落物与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201208211177

马宗斌, 刘桂珍, 严根土, 邓士政, 黄群, 李伶俐, 朱伟. 施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响. 生态学报, 2013, 33(23): 7601-7609.

Ma Z B, Liu G Z, Yan G T, Deng S Z, Huang Q, Li L L, Zhu W. Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7601-7609.

施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响

马宗斌¹, 刘桂珍², 严根土^{3,*}, 邓士政², 黄群³, 李伶俐¹, 朱伟¹

(1. 河南农业大学农学院, 郑州 450002; 2. 河南省种子管理站, 郑州 450046;

3. 中国农业科学院棉花研究所/棉花生物学国家重点实验室, 安阳 455000)

摘要:为研究氮肥运筹对棉花叶片、棉蕾和棉铃不同器官中 Bt 蛋白含量的影响, 2009—2010 年, 以抗虫杂交棉中棉所 72 为试验材料, 在大田条件下进行了不同基肥: 花铃肥: 盖顶肥施氮比例(分别为 0:0.4:0.6、0.2:0.4:0.4、0.4:0.4:0.2、0.6:0.4:0.0)的试验。结果表明, 施氮方式对棉花不同器官中 Bt 蛋白含量有明显影响。总体表现为随着氮肥前移, 棉花幼嫩器官中 Bt 蛋白含量呈明显增加的趋势, 而老熟器官中 Bt 蛋白含量呈明显降低的趋势。施氮方式对棉花幼嫩器官中 Bt 蛋白含量的影响比老熟器官明显, 尤其是对幼嫩叶片 Bt 蛋白含量的影响大于幼小的棉蕾和棉铃器官。抗虫棉采用基肥: 花铃肥: 盖顶肥为 0.4:0.4:0.2 的施氮方式, 总体能提高前中期棉花器官 Bt 蛋白的含量, 有利于提高其抗虫性能; 减少后期棉花器官 Bt 蛋白的含量, 减轻对环境的压力; 而且比其余 3 种施氮方式的籽棉产量和皮棉产量分别增加 4.15%—11.24%、3.73%—12.01%。

关键词:施氮方式; 抗虫棉; Bt 蛋白含量; 产量

Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton

MA Zongbin¹, LIU Guizhen², YAN Gentu^{3,*}, DENG Shizheng², HUANG Qun³, LI Lingli¹, ZHU Wei¹

1 College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2 Seed Administration Station of Henan Province, Zhengzhou 450046, China

3 State Key Laboratory of Cotton Biology, Institute of Cotton Research, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Anyang 455000, China

Abstract: Nitrogen application strategies may be one of the main methods to regulate *Bacillus thuringiensis* (Bt) insecticidal protein metabolism of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). To investigate the effects of nitrogen fertilizer methods (NFM) on the content of Bt insecticidal protein (CBIP) in leaf, bud, hull of boll, fiber and seed, we conducted field experiments for transgenic cotton, on a sandy loam at the Experimental Farm of Henan Agricultural University during 2009—2010. The soil contained about 9.26 g/kg organic matter, 1.03 g/kg total nitrogen, 18.36 mg/kg available phosphorous and 96.56 mg/kg available potassium, respectively. The ratios of the application of nitrogen fertilizer before sowing, in flowering stage and peaking bolls setting stage were 0.0:0.4:0.6, 0.2:0.4:0.4, 0.4:0.4:0.2 and 0.6:0.4:0.0, respectively. The amount of nitrogen fertilizer was 300 kg/hm² of pure N. The experiment was carried out with a completely randomized design with three replications. The CBIP in transgenic hybrid cotton CCRI (China Cotton Research Institute) 72 was quantified using Enzyme-linked Immunosorbent Assay (ELISA).

The results showed that the CBIP in young cotton organs tended to be the order of fiber > leaf > hull of boll, bud > seed, but in overripe cotton organs tended to be the order of seed > leaf > hull of boll > fiber, especially CBIP in seed were 48.5—

基金项目:国家农业科技成果转化资金资助项目(2011GB23260002); 转基因生物新品种培育重大专项资助项目(2011ZX08005-003); 河南省科技成果转化计划资助项目(122201110025)

收稿日期: 2012-08-21; 修订日期: 2012-12-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangentu@163.com

68.4 times higher than that in fiber of cotton. NFM had strong effects on CBIP in transgenic cotton. With the advanced nitrogen fertilization, the CBIP in young cotton organs were obviously enhanced, while overripe cotton organs tended to be decreased in general. The results also indicated that NFM has stronger effect on CBIP in young cotton organs than that in overripe organs, especially the CBIP in young leaf was more susceptible than that in young bud and boll. Under the experimental condition of this study, we concluded that the ratio (0.4:0.4:0.2) of nitrogen fertilizer application before sowing, in flowering stage and peaking bolls setting stage of cotton is proper. It may not only increased CBIP in cotton organs in the early-middle period and improved the resistance of Bt insecticidal protein in transgenic cotton to *Helicoverpa armigera*, but also decreased CBIP in cotton organs in later period and alleviated the pressure of Bt insecticidal protein to environment. Moreover, the ratio (0.4:0.4:0.2) of nitrogen fertilizer application could increase seed cotton yield and lint yield by 4.15%—11.24%, 3.73%—12.01% than three rest treatments, respectively.

Key Words: nitrogen fertilizer methods; transgenic cotton; the content of Bt insecticidal protein; yield

根据国际农业生物技术应用服务组织 (ISAAA) 发布的最新报道, 2011 年, 全球转基因抗虫棉花总面积 $2500 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占全球棉花播种面积的 69.4%; 中国转 Bt 基因棉花面积达到 $390 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占中国棉花种植面积的 71.5%^[1]。转 Bt 基因棉花已在世界范围内商业化种植, 通过有效控制棉铃虫种群数量, 而显著减少了化学农药的用量^[2-3]。棉田捕食性天敌种群数量上升, 有效抑制了蚜虫的发生和危害, 天敌进入大豆、花生、玉米等相邻作物大田, 显著提升了整个农业生态系统的生物防治功能^[4]。

施氮可以有效地调节棉花氮素生理代谢及生长发育^[5-6]。对转 Bt 基因抗虫棉而言, 氮素既是核酸和蛋白质等生命物质的组成部分, 也是杀虫晶体蛋白的主要构成物质。因此, 氮素运筹可能是调节抗虫棉 Bt 蛋白代谢的有效途径。同时, 棉花品种中导入 Bt 基因对其氮代谢也有重要影响^[7-8]。在种植转基因棉花过程中, 如何通过氮素运筹在生育前中期提高器官中 Bt 蛋白的含量, 改善其抗虫性能, 在生育后期降低器官的 Bt 蛋白的含量, 减少对生态环境和人畜健康的潜在风险值得进一步研究。目前, 已有研究表明, 施氮量对棉花器官 Bt 蛋白的表达有显著调控作用^[9-10], 但施氮方式对抗虫棉 Bt 蛋白含量的影响鲜见报道。为此, 研究了施氮方式对抗虫棉 Bt 蛋白含量的影响, 以期对抗虫棉合理施氮提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验主要环境条件及农艺管理措施

试验于 2009—2010 年在河南农业大学科教园区 (郑州) 进行, 试验地为春白地, 土壤为沙壤土, 肥力中等。土壤有机质 9.26 g/kg, 全氮 1.03 g/kg, 碱解氮 83.50 mg/kg, 速效磷 18.36 mg/kg, 速效钾 96.56 mg/kg。2009 年, 从棉花播种至 7 月下旬, 光、温条件较好, 雨量适中, 棉花出苗较好, 生长发育较快; 进入 8 月后直至 9 月中上旬, 雨量偏多, 光、温条件较差; 9 月下旬后, 天气正常, 雨水较少, 阳光充足, 有利于棉花正常成熟。2010 年, 在棉花苗期, 雨量较多, 地温回升较慢, 棉苗发育略晚; 6 月中旬至 8 月中旬, 气温正常, 但阴天较多; 8 月中旬至 9 月下旬, 雨量偏多, 气温较常年略低, 吐絮期推迟; 9 月下旬后, 降雨较少, 日照充足, 积温较常年偏高, 对棉铃吐絮较为有利。

棉田磷肥和钾肥全部基施, 每年整地时, 施入过磷酸钙 600 kg/hm^2 和氯化钾 225 kg/hm^2 。全生育期分别在初花期和盛花期喷施缩节安化控两次, 用量分别是 37.5 g/hm^2 和 60.0 g/hm^2 。2009 年, 全生育期未浇水; 2010 年在 6 月、7 月各浇水 1 次。除处理措施外, 各小区田间管理完全一致。

1.2 试验设计

设置 4 个施氮方式 (基肥: 花铃肥: 盖顶肥) 处理, 分别是: T1 (0:0.4:0.6), T2 (0.2:0.4:0.4), T3 (0.4:0.4:0.2), T4 (0.6:0.4:0)。氮肥采用尿素, 施氮总量为 300 kg/hm^2 。随机区组设计, 重复 3 次。每小区为 7 行, 行宽 1.2 m, 行长 9.0 m, 小区面积为 75.6 m^2 。供试品种为中棉所 72, 为转 Bt+CpTI 基因的抗虫杂交棉, 由中国农业科学院棉花研究所提供。两年均在 4 月 20 日地膜覆盖直播, 密度 37500 株/hm^2 。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 Bt 蛋白含量

于 2010 年 7 月 15 日选定棉花当天新生的同一节位主茎叶片挂牌标记,在叶龄 10、35、60、85 d(脱落为止)时取样,分别代表展开期、功能期、衰老期和脱落期的棉花叶片;8 月 1 日选定同一果枝和节位 3 mm 的蕾挂牌标记,在现蕾后 5、15、25 d 取样,分别代表幼蕾、中蕾和大蕾;8 月 1 日选定同一果枝和节位当天开放的花朵挂牌标记,在花后 20、40、65 d 取样,分别代表膨大期、充实期和吐絮期的棉铃。样品从田间取样后,在低温条件下快速带回实验室,立即称量 1.0 g 鲜样,放入自封袋。先用液氮快速冷冻 30 min,后转入-40 ℃的超低温冰箱冻存,待测 Bt 蛋白含量。在叶片取样时避开叶脉,蕾用整个测定,铃分成铃壳、棉纤维和种子 3 部分。

Bt 蛋白的测定采用酶联免疫分析法(ELISA)^[11],药盒由中国农业大学提供。

1.3.2 棉花测产

每小区选定中间 2 行,调查成铃数。收获 10 株絮铃,测定铃重和衣分,测算产量。

1.4 数据分析

2009—2010 年试验结果趋势一致,本文采用了 2010 年数据。数据采用 DPS 6.55 进行平均值和标准差运算,所有数据均为 3 次重复平均值,并采用最小显著差异法(LSD)进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 施氮方式对抗虫棉叶片中 Bt 蛋白含量的影响

幼叶是棉铃虫主要取食对象之一,其中的 Bt 蛋白含量与抗虫性能关系密切;而脱落老叶是 Bt 蛋白主要残留器官之一。由图 1 可见,随着棉花叶片的生长发育,Bt 蛋白的含量呈现先上升后下降的趋势,在功能期时达到高峰,在衰老期和脱落期均呈现下降趋势。施氮方式对叶片中 Bt 蛋白含量有明显的影响。随着氮肥前移,展开期的叶片 Bt 蛋白含量有升高趋势,而衰老期和脱落期叶片 Bt 蛋白含量有降低的趋势。在展开期,T2、T3 和 T4 比 T1 处理的叶片 Bt 蛋白含量分别增加 339.18%、375.71%和 651.42%。在脱落期,T2、T3 和 T4 比 T1 处理的叶片 Bt 蛋白含量分别减少 32.25%、56.14%和 58.22%。方差分析表明,在叶片展开期,T4 处理的 Bt 蛋白含量与其余 3 个处理的差异达到极显著水平;在叶片脱落期,T1 处理的 Bt 蛋白残留量与其余 3 个处理的差异达到极显著水平。因此说,氮肥前移可以达到增加幼叶中 Bt 蛋白含量,减少老叶中 Bt 蛋白含量的目的。

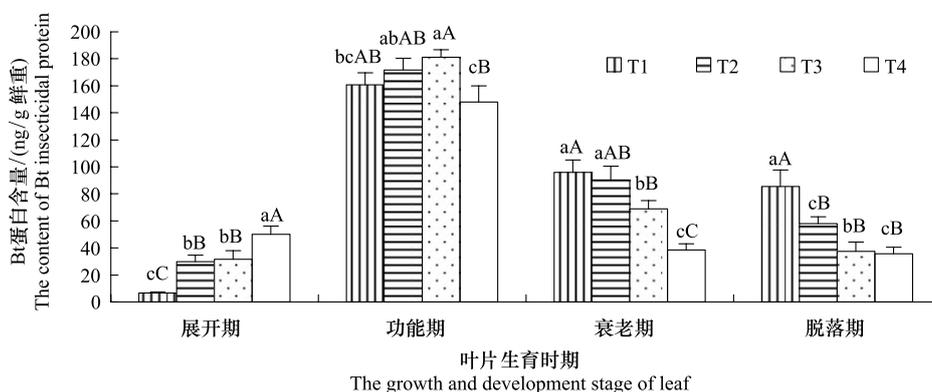


图 1 施氮方式对抗虫棉叶片 Bt 蛋白含量的影响

Fig.1 Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of Bt insecticidal protein in leaves of transgenic cotton

同一生育期不同处理的图示标出的大写字母不同表示差异极显著($P < 0.01$);小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

2.2 施氮方式对棉蕾中 Bt 蛋白含量的影响

幼蕾是棉铃虫的主要为害对象之一,且棉蕾有较高的脱落率,其中的 Bt 蛋白也随之进入土壤环境。图 2 表明,随着棉蕾的生长发育,其 Bt 蛋白的含量呈快速上升的趋势。施氮方式对棉蕾中 Bt 蛋白含量有明显的

影响。随着氮肥前移,棉蕾 Bt 蛋白含量有升高趋势(大蕾期 T2 除外)。方差分析表明,在幼蕾期和大蕾期, T4 处理的 Bt 蛋白含量与其余 3 个处理的差异达到极显著水平;在中蕾期, T4 处理极显著高于 T2 和 T1 处理。

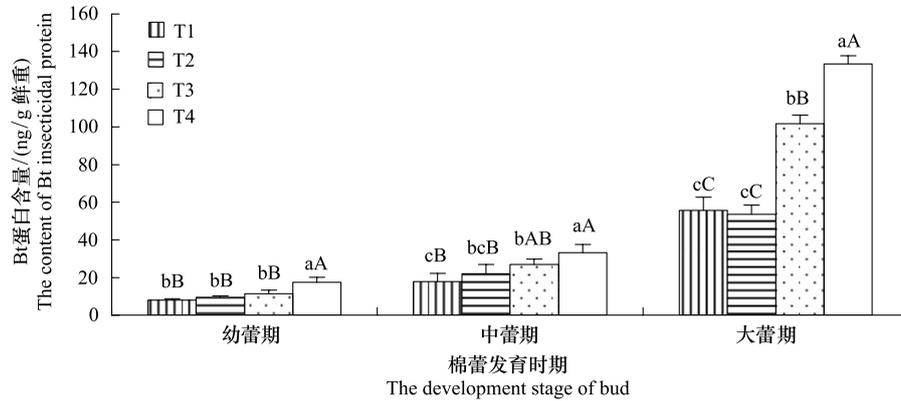


图2 施氮方式对转基因抗虫棉棉蕾 Bt 蛋白含量的影响

Fig.2 Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of Bt insecticidal protein in bud of transgenic cotton

同一生育期不同处理的图示标出的大写字母不同表示差异极显著 ($P < 0.01$); 小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.3 施氮方式对抗虫棉棉铃不同器官中 Bt 蛋白含量的影响

2.3.1 施氮方式对棉铃铃壳中 Bt 蛋白含量的影响

棉铃虫主要取食膨大期棉铃的铃壳, 此期 Bt 蛋白的含量对抗虫较为关键; 而棉铃成熟期, 铃壳也是 Bt 蛋白残留的主要器官之一。从图 3 可以看出, 随着棉铃的生长发育, 铃壳中 Bt 蛋白的含量呈先上升后下降的趋势。施氮方式对铃壳中 Bt 蛋白含量的影响在不同生育阶段有所不同。随着氮肥前移, 膨大期和充实期铃壳中 Bt 蛋白含量呈上升趋势 (T4 处理除外); 而到吐絮期, 铃壳中 Bt 蛋白含量呈下降趋势。在膨大期, T2、T3 和 T4 比 T1 处理的铃壳 Bt 蛋白含量分别增加 79.73%、156.53% 和 37.16%。在吐絮期, T1、T2 和 T3 比 T4 处理的铃壳 Bt 蛋白含量分别增加 89.50%、77.01% 和 76.37%。方差分析表明, 在膨大期, T3 处理铃壳中 Bt 蛋白含量极显著高于 T1 和 T4 处理; 在充实期, T2 和 T3 处理铃壳中 Bt 蛋白含量极显著高于 T4 和 T1 处理; 至吐絮期, T4 处理的 Bt 蛋白含量极显著低于其余 3 个处理。

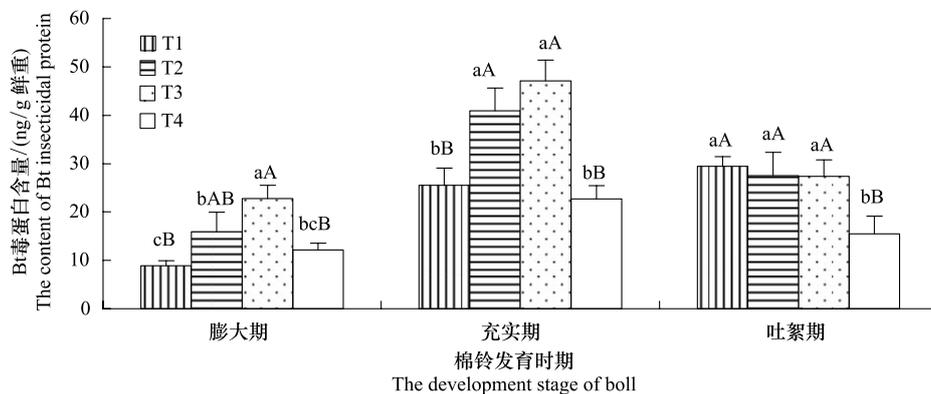


图3 施氮方式对棉铃铃壳 Bt 蛋白含量的影响

Fig.3 Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of Bt insecticidal protein in boll hull of transgenic cotton

同一生育期不同处理的图示标出的大写字母不同表示差异极显著 ($P < 0.01$); 小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.3.2 施氮方式对棉纤维中 Bt 蛋白含量的影响

伸长期的棉纤维是棉铃虫主要取食对象, 此期 Bt 蛋白的含量对抗虫性有一定影响; 而成熟期的棉纤维中 Bt 蛋白成为残留物。从图 4 可以看出, 随着棉纤维的生长发育, 其中的 Bt 蛋白含量总体呈下降的趋势, 至成熟期, Bt 蛋白的含量极低。施氮方式对棉纤维中 Bt 蛋白含量的影响在不同生育阶段有所不同。随着氮肥前

移,棉纤维伸长期的 Bt 蛋白含量呈上升趋势,至成熟期时,Bt 蛋白含量呈下降的趋势。在伸长期,T2、T3 和 T4 比 T1 处理的棉纤维 Bt 蛋白含量分别增加 87.53%、96.96%和 109.84%;至吐絮期,T2、T3 和 T4 比 T1 处理的棉纤维 Bt 蛋白含量分别下降 23.94%、26.85%和 52.51%。方差分析表明,在伸长期,T1 处理纤维中 Bt 蛋白表达量极显著低于其余 3 个处理;在加厚期,T3 处理纤维中 Bt 蛋白含量极显著高于 T4 和 T1 处理;在成熟期,T1 处理 Bt 蛋白的含量极显著高于 T4 处理。

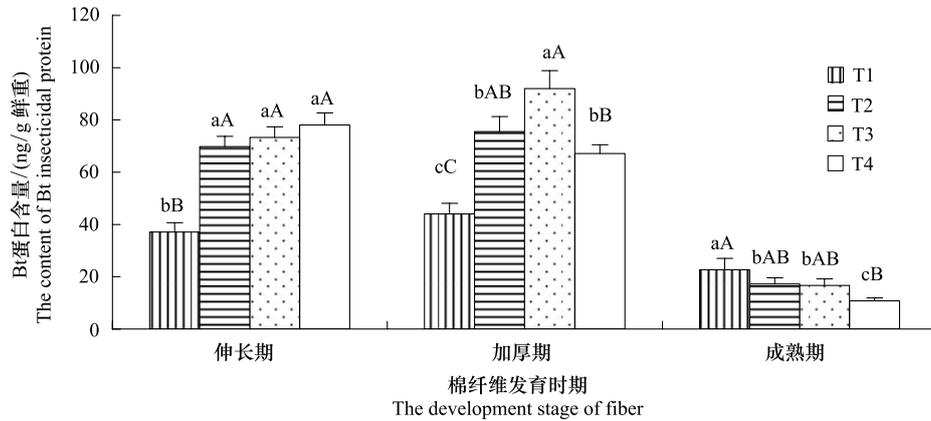


图 4 施氮方式对转基因抗虫棉棉纤维 Bt 蛋白含量的影响

Fig.4 Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of Bt insecticidal protein in fiber of transgenic cotton

同一生育期不同处理的图示标出的大写字母不同表示差异极显著 ($P < 0.01$);小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.3.3 施氮方式对抗虫棉棉子 Bt 蛋白含量的影响

形成期的棉子是棉铃虫取食的器官之一,其中的 Bt 蛋白含量代表其抗虫性能;而棉子成熟期的 Bt 蛋白则成为残留物。由图 5 可以看出,在棉子的形成期,Bt 蛋白含量极低,充实期迅速增加,至成熟期 Bt 蛋白含量增加更快。例如,T3 处理的棉子 Bt 蛋白含量在充实期比形成期增加 13.08 倍,成熟期比形成期提高 43.17 倍。施氮方式对棉子中 Bt 蛋白含量的影响在不同生育阶段有所不同,总体表现为在前中期,氮肥施用相对均衡的 T2 和 T3 处理,棉子中 Bt 蛋白含量较高,氮肥前移或后移的 T4 和 T1 处理棉子中 Bt 蛋白含量则较低;至棉子成熟期,随着氮肥前移,棉子中 Bt 蛋白含量呈明显下降的趋势。例如,在成熟期,T2、T3 和 T4 处理比 T1 处理的棉子 Bt 蛋白含量分别降低 18.14%、27.69%和 36.33%。方差分析表明,在棉子形成期和充实期,T2、T3 处理的棉子 Bt 蛋白含量极显著高于 T4 和 T1 处理;在成熟期,不同处理 Bt 蛋白含量差异均达极显著水平。

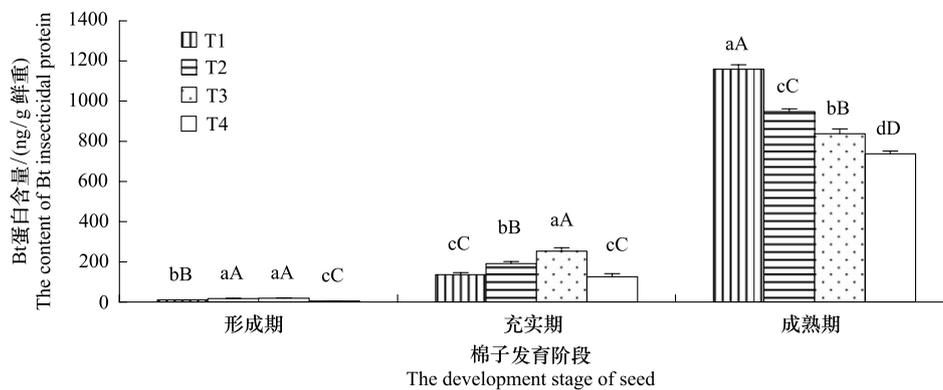


图 5 施氮方式对转基因抗虫棉棉子 Bt 蛋白含量的影响

Fig.5 Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of Bt insecticidal protein in seed of transgenic cotton

同一生育期不同处理的图示标出的大写字母不同表示差异极显著 ($P < 0.01$);小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.4 不同施氮方式下棉花 Bt 蛋白含量的比较

2.4.1 不同施氮方式下棉花幼嫩器官 Bt 蛋白含量的比较

棉铃虫主要取食棉花幼嫩器官,这些器官中 Bt 蛋白含量与抗虫性能关系密切。从表 1 可以看出,不同施氮方式对棉花幼嫩器官中 Bt 蛋白含量有明显影响。随着氮肥前移,幼嫩器官中 Bt 蛋白含量呈明显增加的趋势(T4 处理的铃壳和棉子除外)。例如,T2 比 T1 处理的叶片、棉蕾和铃壳、棉纤维、棉子中 Bt 蛋白含量分别增加 4.49、1.19、1.80、1.88、1.70 倍。不同施氮方式对叶片 Bt 蛋白含量的影响更为明显,T2、T3、T4 分别比 T1 处理增加 4.49、4.76 和 7.51 倍。说明氮素适度的前移有利于提高抗虫棉各器官的抗虫性能,尤其是叶片。

表 1 不同施氮方式下棉花幼嫩器官中 Bt 蛋白含量的比值

Table 1 Ratio of the content of Bt insecticidal protein in young cotton organs under different nitrogen fertilizer methods

施氮方式 Nitrogen fertilizer methods	叶片 Leaf	棉蕾 Bud	铃壳 Boll hull	棉纤维 Cotton fiber	棉子 Seed
T1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
T2	4.49	1.19	1.80	1.88	1.70
T3	4.76	1.44	2.57	1.97	1.87
T4	7.51	2.20	1.37	2.10	0.48

表中数值通过图 1—图 5 数据计算而得,以 T1 处理器官中 Bt 蛋白含量为 1,其余处理为 T1 的倍数;叶片为展开期幼叶,蕾为幼蕾,棉铃器官铃壳、纤维和棉子均为膨大期

2.4.2 不同施氮方式下棉花老熟器官 Bt 蛋白含量的比较

Bt 蛋白主要残留在棉花的老熟器官中。从表 2 可以看出,施氮方式对棉花老熟器官中 Bt 蛋白含量有明显影响。随着氮肥前移,老熟器官中 Bt 蛋白含量呈明显降低的趋势。例如,T3 比 T1 处理的叶片、铃壳、棉纤维和棉子中 Bt 蛋白含量分别减少 56%、7%、27% 和 28%。说明氮素适度的前移有利于减少棉花老熟器官的 Bt 蛋白含量。

表 2 不同施氮方式下棉花老熟器官中 Bt 蛋白含量的比值

Table 2 Ratio of the content of Bt insecticidal protein in overripe cotton organs under different nitrogen fertilizer methods

施氮方式 Nitrogen fertilizer methods	叶片 Leaf	铃壳 Boll hull	棉纤维 Cotton fiber	棉子 Seed
T1	1.00	1.00	1.00	1.00
T2	0.68	0.93	0.76	0.82
T3	0.44	0.93	0.73	0.72
T4	0.42	0.53	0.47	0.64

表中数值通过图 1—图 5 数据计算而得,以 T1 处理器官中 Bt 蛋白含量为 1,其余处理为 T1 的倍数;叶片为落叶,棉铃器官铃壳、纤维和棉子为吐絮期

2.5 施氮方式对棉花产量的影响

从表 3 可以看出,施氮方式对棉花产量有明显影响。随着施氮前移,棉花总成铃数和铃重以及籽棉和皮棉产量有先增加趋势,T3 处理达到最高,至 T4 处理又有所下降。其中,T2 处理比 T1 处理的总成铃数、铃重和籽棉、皮棉产量分别增加 4.72%、1.90% 和 6.80%、7.99%。T3 处理比 T1 处理的总成铃数、铃重和籽棉、皮棉产量分别增加 7.97%、2.94% 和 11.24%、12.01%。T4 处理比 T1 处理的总成铃数、铃重和籽棉、皮棉产量分别增加 2.90%、2.42% 和 5.47%、6.02%。方差分析表明,T3 处理的总成铃数和籽棉产量显著的高于其它 3 个处理,其铃重显著高于 T1 处理,皮棉产量显著高于 T1 和 T4 处理。说明从产量上看,氮肥前移或后移均不利于提高产量,底肥:花铃肥:盖顶肥为 0.4:0.4:0.2 有利于棉花高产。

表 3 施氮方式对对抗虫棉产量及产量构成的影响

Table 3 Effects of nitrogen fertilizer methods on yield and its components of transgenic cotton

施氮方式 Nitrogen fertilizer methods	总成铃数 No. of bolls /($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	铃重 Boll weight /g	衣分 Lint percentage /%	籽棉产量 Seed cotton yield /(kg/hm^2)	皮棉产量 Lint yield /(kg/hm^2)
T1	69.27 \pm 3.07cB	5.78 \pm 0.22bA	37.59 \pm 1.47aA	3999.37 \pm 26.46cC	1503.12 \pm 49.91cB
T2	72.54 \pm 2.21bAB	5.89 \pm 0.10abA	38.02 \pm 1.75aA	4271.51 \pm 92.04bB	1623.18 \pm 50.71abAB
T3	74.79 \pm 2.18aA	5.95 \pm 0.08aA	37.86 \pm 1.38aA	4448.91 \pm 73.52aA	1683.71 \pm 35.56aA
T4	71.28 \pm 2.03bcB	5.92 \pm 0.13abA	37.79 \pm 1.72aA	4218.03 \pm 32.53bB	1593.63 \pm 60.80bAB

同一列数据后大写字母不同表示差异极显著 ($P < 0.01$); 小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

3 结论与讨论

3.1 棉花不同器官 Bt 蛋白含量的比较

众多研究表明,抗虫棉不同器官中的 Bt 毒蛋白含量存在着明显的差异。王保民等^[12]和沈平等^[13]报道,叶片中的 Bt 毒蛋白含量远远高于蕾、花、铃。张永军等^[14]报道,不同器官杀虫蛋白表达量顺序为叶>铃、花心、花萼、蕾>花瓣>苞叶。本研究着重比较了抗虫棉幼嫩器官中 Bt 毒蛋白含量,结果表明,幼嫩器官的 Bt 蛋白含量总体表现为棉纤维>叶片>棉壳、蕾>棉子(表 4),与前人研究结果基本一致。在棉铃膨大期,纤维的 Bt 蛋白含量最高,这对毒杀蛀食棉铃的棉铃虫较为有利;幼叶中 Bt 蛋白含量较高,也有利于棉铃虫的防治。

表 4 棉花不同幼嫩器官中 Bt 蛋白含量的比值

Table 4 Ratio of the content of Bt insecticidal protein in different young cotton organs

施氮方式 Nitrogen fertilizer methods	叶片 Leaf	棉蕾 Bud	铃壳 Boll hull	棉纤维 Cotton fiber	棉子 Seed
T1	0.18	0.21	0.24	1.00	0.28
T2	0.43	0.14	0.23	1.00	0.25
T3	0.43	0.16	0.31	1.00	0.26
T4	0.64	0.22	0.16	1.00	0.06

表中数值通过图 1—5 数据计算而得,以棉纤维中 Bt 蛋白含量为 1,其余器官为棉纤维表达量的倍数;叶片为展开期,蕾为幼蕾,棉铃器官铃壳、纤维和棉子为膨大期

抗虫棉叶片、脱落的蕾铃以及收获的絮铃是 Bt 蛋白的主要残留器官,它们一部分在生育期间直接掉落土壤,其中残留的 Bt 蛋白对环境可能形成污染,一部分作为收获产品,其中残留的 Bt 蛋白对人畜健康可能存在潜在风险。目前,对抗虫棉老熟器官的 Bt 蛋白含量研究较少。张顺等^[7]研究了施氮量对棉花老熟器官 Bt 蛋白含量的影响,结果表明,棉子中 Bt 蛋白含量最大。本研究表明,棉花老熟器官中 Bt 蛋白的含量表现为棉子>叶片>铃壳>棉纤维。不同施氮方式处理下棉花成熟棉子中 Bt 蛋白含量达 737.67—1158.66 ng/g(图 5),是老熟叶片的 15.90—22.35 倍,是成熟铃壳的 30.50—47.48 倍,是成熟棉纤维的 48.49—68.37 倍(表 5)。尽管目前研究表明,棉子中 Bt 蛋白对食品生产无明显影响^[15-17],但仍缺少长期研究结果。因此,应进一步加强对抗虫棉棉子用于食品生产的安全性研究,以消除消费者的疑虑。本研究还表明,棉纤维中 Bt 蛋白残留量仅有 10.79—22.72 ng/g(图 4),对人类衣着较为安全。

表 5 棉花不同老熟器官中 Bt 蛋白含量的比值

Table 5 Ratio of the content of Bt insecticidal protein in different overripe cotton organs

施氮方式 Nitrogen fertilizer methods	叶片 Leaf	铃壳 Boll hull	棉纤维 Cotton fiber	棉子 Seed
T1	3.76	1.30	1.00	59.80
T2	2.17	1.59	1.00	48.49
T3	3.48	1.65	1.00	57.07
T4	3.31	1.44	1.00	68.37

表中数值通过图 1—图 5 数据计算而得,以棉纤维中 Bt 蛋白含量为 1,其余器官数值为棉纤维的倍数;叶片为脱落期,棉铃器官铃壳、纤维和棉子为吐絮期

3.2 施氮方式与棉花器官 Bt 蛋白含量

目前,施氮方式对抗虫棉器官 Bt 蛋白表达和残留的影响鲜有报道。本研究表明,施氮方式对棉花幼嫩和老熟器官中 Bt 蛋白含量均有明显影响。总体表现为随着氮肥前移,幼嫩器官中 Bt 蛋白含量呈明显增加的趋势,尤其是对叶片 Bt 蛋白含量影响更为明显。随着氮肥前移,棉花老熟器官中 Bt 蛋白含量则呈明显降低的趋势。说明氮肥适度前移有利于减少棉花老熟器官的 Bt 蛋白含量。本研究还表明,施氮方式对幼嫩器官中 Bt 蛋白含量的影响大于对老熟器官中 Bt 蛋白含量的影响。因此说,种植抗虫棉时,可通过氮肥适度前移,一方面,增加幼嫩器官中 Bt 蛋白含量,提高棉花的抗虫性能;另一方面,降低老熟器官中的 Bt 蛋白含量,减少对生态环境和人畜健康的潜在风险,缓解消费者对转基因产品安全性的担忧。

3.3 施氮方式与棉花产量

氮素运筹是调控作物生长发育的重要途径^[18]。马宗斌等^[19]在黄河流域进行棉花盆栽试验,设 3 个氮肥基施和追施比例(分别是 2:1、1:1 和 1:2)。结果表明,基追比为 1:2 处理的皮棉产量分别比 1:1 和 2:1 处理增加 3.66%和 7.33%。Yang 等^[20]在长江流域试验将常规的施氮方法(氮肥 300 kg/hm²,基肥:开花期:盛花期为 30%:40%:30%)改变为施氮量 225 kg/hm²,基肥:开花期:盛花期为 0%:40%:60%。结果表明,后者可提高棉花生物量、收获指数和产量。本研究表明,棉花施氮量为 300 kg/hm²,采用基肥:花铃肥:盖顶肥为 0.4:0.4:0.2 的施氮方式可获得最高产量,比其余 3 种施氮方式的籽棉产量和皮棉产量分别增加 4.15%—11.24%和 3.73%—12.01%。这一结果与马宗斌等^[19]在黄河流域的试验结果接近,但与 Yang 等^[20]在长江流域的试验结果不同,可能原因是长江流域较黄河流域生育期长,棉花生长期温度高、雨量大,氮肥适当后移有利于提高产量,而在黄河流域棉区,氮肥后移可能会造成棉花减产,同时,还有可能减少幼嫩器官中 Bt 蛋白含量,降低棉花的抗虫性能,另一方面,提高老熟器官中 Bt 蛋白含量,增加对生态环境和人畜健康的风险。

References:

- [1] James C. Global status of commercialized biotech/GM crops; 2011. ISAAA Brief No. 43. ISAAA:Ithaca, NY, USA,2011.
- [2] Wu K M, Lu Y H, Feng H Q, Jiang Y Y, Zhao J Z. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. *Science*, 2008, 321(5896): 1676-1678.
- [3] Liu C X, Li Y H, Gao Y L, Ning C M, Wu K M. Cotton bollworm resistance to Bt transgenic cotton: a case analysis. *Science China: Life Science*, 2010, 53(8): 934-941.
- [4] Lu Y H, Wu K M, Jiang Y Y, Guo Y Y, Nicolas D. Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature*, 2012, 487(7407): 362-365.
- [5] Xue X P, Wang J G, Guo W Q, Chen B L, You J, Zhou Z G. Effect of nitrogen applied levels on the dynamics of biomass, nitrogen accumulation and nitrogen fertilization recovery rate of cotton after initial flowering. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3631-3640.
- [6] Dong H Z, Li W J, Eneji A E, Zhang D M. Nitrogen rate and plant density effects on yield and late-season leaf senescence of cotton raised on a saline field. *Field Crops Research*, 2012, 126: 137-144.
- [7] Zhang X, Zhang L, Ye G Y, Wang Y H, Chen Y, Chen D H. The impact of introducing the *Bacillus thuringiensis* gene into cotton on boll nitrogen metabolism. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 61(2): 175-180.
- [8] Chen D H, Ye G Y, Yang C Q, Chen Y, Wu Y K. Effect of introducing *Bacillus thuringiensis* gene on nitrogen metabolism in cotton. *Field Crops Research*, 2005, 92(1): 1-9.
- [9] Zhang S, Chen G, Fang W P, Ma Z B, Xie D Y, Li L L, Zhu W. Effects of nitrogen fertilizer rates on expression and degradation of Bt-protein in transgenic cotton. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(6): 148-153.
- [10] Dai J L, Dong H Z, Duan L S, Li Z H, Lu H Q. Effects of nitrogen fertilizer on Bt cotton growth and Bt protein concentration in leaves under salinity stress. *Cotton Science*, 2012, 24(4): 303-311.
- [11] He Z P. *Experimental Guide on Chemical Control in Crops*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993: 60-68.
- [12] Wang B M, Li Z H, Li B, Tian X L, Duan L S, Zhai Z X, He Z P. Content and expression of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein in transgenic cotton. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2002, 10(3): 215-219.
- [13] Shen P, Lin K J, Zhang Y J, Wu K M, Guo Y Y. Seasonal expression of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and the control to cotton bollworm in different varieties of transgenic cotton. *Cotton Science*, 2010, 22(5): 393-397.

- [14] Zhang Y J, Wu K M, Guo Y Y. On the spatio-temporal expression of the contents of Bt insecticidal protein and the resistance of Bt transgenic cotton to cotton bollworm. *Acta Phytologica Sinica*, 2001, 28(1): 1-6.
- [15] Shen F F, Han X L, Fan S L. Changes in microbial flora and bacterial physiological group diversity in rhizosphere soil of transgenic Bt cotton. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 432-437.
- [16] Li X G, Liu B, Cui J J, Liu D D, Ding S, Gilna B, Luo J Y, Fang Z X, Cao W, Han Z M. No evidence of persistent effects of continuously planted transgenic insect-resistant cotton on soil microorganisms. *Plant and Soil*, 2011, 339(1/2): 247-257.
- [17] Jiang L J, Tian X L, Duan L S, Li Z H. The fate of Cry1Ac Bt toxin during oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation on transgenic Bt cottonseed hulls. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2008, 88(2): 214-217.
- [18] Ma Z B, Xiong S P, He J G, Ma X M. Effects of nitrogen forms on rhizosphere microorganisms and soil enzyme activity under cultivation of contrasting wheat cultivars during booting and grain filling period. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4): 1544-1551.
- [19] Ma Z B, Fang W P, Xie D Y, Li L L, Zhu W. Effects of different ratios of base and topdressing nitrogen fertilizer on the leaf senescence and yield of insect-resistant hybrid cotton. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(10): 2062-2066.
- [20] Yang G Z, Tang H Y, Nie Y C, Zhang X L. Responses of cotton growth, yield, and biomass to nitrogen split application ratio. *European Journal of Agronomy*, 2011, 35(3): 164-170.

参考文献:

- [3] 刘晨曦, 李云河, 高玉林, 宁长明, 吴孔明. 棉铃虫对转 Bt 基因抗虫棉花的抗性机制及治理. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40(10): 920-928.
- [5] 薛晓萍, 王建国, 郭文琦, 陈兵林, 尤军, 周治国. 氮素水平对初花后棉株生物量、氮素累积特征及氮素利用率动态变化的影响. *生态学报*, 2006, 26(11): 3631-3640.
- [9] 张顺, 陈刚, 房卫平, 马宗斌, 谢德意, 李伶俐, 朱伟. 施氮量对抗虫棉 Bt 蛋白表达和降解的影响. *华北农学报*, 2011, 26(6): 148-153.
- [10] 代建龙, 董合忠, 段留生, 李振怀, 卢合全. 施氮肥对盐胁迫下 Bt 棉生长和叶片 Bt 蛋白含量的影响. *棉花学报*, 2012, 24(4): 303-311.
- [11] 何钟佩. 农作物化学控制实验指导. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 60-68.
- [12] 王保民, 李召虎, 李斌, 田晓莉, 段留生, 翟志席, 何钟佩. 转 Bt 抗虫棉各器官毒蛋白的含量及表达. *农业生物技术学报*, 2002, 10(3): 215-219.
- [13] 沈平, 林克剑, 张永军, 吴孔明, 郭予元. 转 Bt 基因棉不同品种杀虫蛋白季节性表达及其对棉铃虫的控制作用. *棉花学报*, 2010, 22(5): 393-397.
- [14] 张永军, 吴孔明, 郭予元. 转 Bt 基因棉花杀虫蛋白含量的时空表达及对棉铃虫的毒杀效果. *植物保护学报*, 2001, 28(1): 1-6.
- [15] 沈法富, 韩秀兰, 范术丽. 转 Bt 基因抗虫棉根际微生物区系和细菌生理群多样性的变化. *生态学报*, 2004, 24(3): 432-437.
- [18] 马宗斌, 熊淑萍, 何建国, 马新明. 氮素形态对专用小麦中后期根际土壤微生物和酶活性的影响. *生态学报*, 2008, 28(4): 1544-1551.
- [19] 马宗斌, 房卫平, 谢德意, 李伶俐, 朱伟. 氮肥基追比对抗虫杂交棉叶片衰老和产量的影响. *西北植物学报*, 2008, 28(10): 2062-2066.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.23 Dec., 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Ozone uptake at the canopy level in *Robinia pseudoacacia* in Beijing based on sap flow measurements WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (7323)
- Genetic impact of swimming crab *Portunus trituberculatus* farming on wild genetic resources in Haizhou Bay DONG Zhiguo, LI Xiaoying, ZHANG Qingqi, et al (7332)
- The effect of soil salinity to improve the drought tolerance of arrowleaf saltbush TAN Yongqin, BAI Xinfu, HOU Yuping, et al (7340)
- Effects of *Liriomyza huidobrensis* infestation on the activities of four defensive enzymes in the leaves of cucumber plants SUN Xinghua, ZHOU Xiaorong, PANG Baoping, et al (7348)

Autecology & Fundamentals

- Early effects of simulated nitrogen deposition on annual nutrient input from litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (7355)
- Relationship between nutrient characteristics and yields of tumorous stem mustard at different growth stage ZHAO Huan, LI Huihe, LÜ Huifeng, et al (7364)
- Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands HUANG Zhangting, ZHANG Yan, SONG Zhaoliang, et al (7373)
- Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape ZHANG Shujie, LIAO Xing, HU Xiaojia, et al (7382)
- The crude protein content of main food plants of François' langur (*Trachypithecus francoisi*) in Fusui, Guangxi, China LI Youbang, DING Ping, HUANG Chengming, et al (7390)
- Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation GU Yan, HU Wenhe, XU Baijun, et al (7399)
- Ecotoxicological effects of exposure to PFOS on embryo and larva of zabrafish *Danio rerio* XIA Jigang, NIU Cuijuan, SUN Luyin (7408)
- Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* HAN Xiurong, GAO Song, HOU Junni, et al (7417)
- Predation evaluation of *Diaphorina citri*'s (Homoptera: Chermidae) natural enemies using the CO I marker gene MENG Xiang, OUYANG Gecheng, XIA Yulu, et al (7430)
- Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp. WANG Qi, YAN Shanchun, YAN Junxin, et al (7437)

Population, Community and Ecosystem

- Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system DONG Yan, DONG Kun, TANG Li, et al (7445)
- Characteristics of soil fertility in different ecosystems in depressions between karst hills YU Yang, DU Hu, SONG Tongqing, et al (7455)
- Evaluation on carbon sequestration effects of artificial alfalfa pastures in the Loess Plateau area LI Wenjing, WANG Zhen, HAN Qingfang, et al (7467)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of deep vertically rotary tillage on soil water and water use efficiency in northern China's Huang-huai-hai Region LI Yibing, PANG Huancheng, YANG Xue, et al (7478)

- Effects of landscape patterns on runoff and sediment export from typical agroforestry watersheds in the Three Gorges Reservoir area, China HUANG Zhilin, TIAN Yaowu, XIAO Wenfa, et al (7487)
- Land cover classification of Yancheng Coastal Natural Wetlands based on BP neural network and ETM+ remote sensing data XIAO Jincheng, OU Weixin, FU Haiyue (7496)
- Early responses of soil CH₄ uptake to increased atmospheric nitrogen deposition in a cold-temperate coniferous forest GAO Wenlong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (7505)
- Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem JIA Bingrui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (7516)
- Seasonal and interannual variability in soil respiration in wheat field of the Loess Plateau, China ZHOU Xiaoping, WANG Xiaoke, ZHANG Hongxing, et al (7525)
- Dynamics of atmospheric ammonia concentrations near different emission sources LIU Jieyun, KUANG Fuhong, TANG Aohan, et al (7537)
- Influence of residues and earthworms application on N₂O emissions of winter wheat ... LUO Tianxiang, HU Feng, LI Huixin (7545)
- Resource and Industrial Ecology**
- Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method SUN Mingbo, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (7553)
- Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake ZHANG Chengcheng, SHEN Aichun, ZHANG Xiaoqing, et al (7563)
- Research Notes**
- Amount and dynamic characteristics of litterfall in four forest types in subtropical China XU Wangming, YAN Wende, LI Jiebing, et al (7570)
- Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables BAI Zhen, HUANG Yue, HUANG Jianguo (7576)
- Nitric oxide participates symbiosis between am fungi and tobacco plants WANG Wei, ZHAO Fanggui, HOU Lixia, et al (7583)
- Mapping wildlife habitat suitability using kernel density estimation ZHANG Guiming, ZHU A'xing, YANG Shengtian, et al (7590)
- Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton MA Zongbin, LIU Guizhen, YAN Gentu, et al (7601)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 王德利 编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 23 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 23 (December, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许可证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元