

施氮量对抗虫棉 Bt 蛋白表达和降解的影响

张 顺¹ 陈 刚² 房卫平³ 马宗斌¹ 谢德意³ 李伶俐¹ 朱 伟¹

(1. 河南农业大学 农学院 河南 郑州 450002; 2. 河南农业职业学院 河南 中牟 451450;

3. 河南省农业科学院 经济作物研究所 河南 郑州 450002)

摘要:在大田条件下,研究了施氮量(高氮 450 kg/hm²、中氮 225 kg/hm² 和 CK 0 kg/hm²) 对抗虫杂交棉 Bt 蛋白表达和降解的影响。结果表明,施氮量对叶片和棉铃中 Bt 蛋白的表达与降解以及产量有一定的影响。在叶片展开期、功能期和衰老期,Bt 蛋白表达量表现为中氮处理 > 高氮处理 > CK,至脱落期,其残留量也表现为相同的趋势。其中,在展开期、功能期、衰老期和脱落期,CK 叶片中的 Bt 蛋白含量分别比中氮处理下降了 71.22%、79.26%、72.49%、59.08%。在棉铃膨大期和充实期,铃壳、棉纤维和棉籽中 Bt 蛋白表达量均呈现高氮处理 > 中氮处理 > CK 的趋势,至开裂期,棉铃各器官中残留的 Bt 蛋白也与前、中期表现一致。随着施氮量的增加,叶片中的游离氨基酸、可溶性蛋白和全氮总体呈上升趋势。中氮和高氮处理皮棉产量分别比 CK 增加 20.50% 和 19.82%。综合考虑不同施氮量棉花的产量以及器官中的 Bt 蛋白的表达和残留状况,在生产上建议抗虫杂交棉采用 225 kg/hm² 施氮量为宜。

关键词:施氮量; 抗虫棉; Bt 蛋白; 氮代谢; 产量

中图分类号:S143.1 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2011)06-0148-06

Effects of Nitrogen Fertilizer Rates on Expression and Degradation of Bt-protein in Transgenic Cotton

ZHANG Shun¹ CHEN Gang² FANG Wei-ping² MA Zong-bin¹ XIE De-yi² LI Ling-li¹ ZHU Wei¹

(1. College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Henan Agricultural Vocation College, Zhongmu 451450, China; 3. Economical Crop Research Institute, Henan Academy of Agriculture Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Effects of nitrogen fertilizer rates on expression and degradation of Bt-protein in leaves and bolls was studied using transgenic cotton under field condition. The nitrogen fertilizer rates were 450 kg/ha (high nitrogen), 225 kg/ha (medium nitrogen) and 0 kg/ha (CK), respectively. The results showed that nitrogen fertilizer rates had a significant regulation role on expression and degradation of Bt-protein and its yield in transgenic cotton. The content of Bt-protein in leaves of expanding stage, functioning stage and senescing stage indicated that medium nitrogen treatments > high nitrogen treatments > CK, and the residue of Bt-protein in leaves of shedding stage showed the same trend. Among which the content of Bt-protein in leaves of expanding stage, functioning stage, senescing stage and shedding stage, CK was 71.22%, 79.26%, 72.49%, 59.08% lower than medium nitrogen. The content of Bt-protein in shell, fiber and seed of bolls showed high nitrogen treatments > medium nitrogen treatments > CK when the boll was expanding stage and filling stage, and the residue of Bt-protein in boll opening stage revealed the same trend as before. The content of free amino acids, soluble protein and total nitrogen in leaves increased with the nitrogen fertilizer rates. The lint yield applied medium nitrogen and high nitrogen were increased by 20.50% and 19.82% than CK, respectively. It was concluded that applying nitrogen 225 kg/ha was benefit to transgenic cotton when cotton yields and the expression and degradation of Bt-protein was concerned.

Key words: Nitrogen fertilizer rates; Transgenic cotton; Bt-protein; Nitrogen metabolism; Yield

收稿日期:2011-07-16

基金项目:河南省重点科技攻关项目(092102110130); 河南省教育厅自然科学研究项目(2009A10013)

作者简介:张 顺(1985-),男,河南信阳人,在读硕士,主要从事棉花生理生态研究工作。

通讯作者:马宗斌(1965-),男,河南光山人,教授,博士,主要从事棉花生理生态教学与研究工作。

施氮可以有效调节作物氮素生理代谢及生长发育^[1-3]。对抗虫棉而言,氮素还是 Bt 蛋白的主要组成成分。目前,有关施氮对抗虫棉 Bt 蛋白含量的影响已有报道^[4-5],Bruns H A^[6]研究了氮肥对转基因玉米生长前期的 Bt 蛋白表达的影响,但这些研究的主要目标是通过合理施氮,提高转基因作物 Bt 蛋白的表达量,进而提高作物的抗虫性。已有研究表明,转基因作物叶片等地上部残留物进入土壤后,其中残留的 Bt 蛋白将会对土壤理化性质、土壤生物造成一定影响,进而威胁到生态系统的安全^[7-10]。同时,棉花的主副产品如棉纤维用于纺织、棉籽壳用于食用菌栽培,而棉仁用于生产油脂和动物饲料,其中残留的 Bt 蛋白对人畜可能存在潜在危害^[11-12]。因此,在提高转基因作物 Bt 蛋白的表达量的同时是否会增加后期 Bt 蛋白的残留量同样值得关注。但目前施氮对抗虫棉后期叶片和棉铃中 Bt 蛋白的降解的影响鲜有报道。为此,研究了施氮量对棉花 Bt 蛋白表达和降解的影响,以期对抗虫杂交棉合理施氮提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2009-2010 年在郑州市郊区进行,试验地为春白地,土壤为砂壤土,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。供试品种为抗虫杂交棉豫杂 37,由河南省农业科学院经济作物研究所提供。设置 3 个施氮量处理,分别为高氮(450 kg/hm²)、中氮(225 kg/hm²)及 CK(0 kg/hm²)。氮肥使用尿素,按基肥 2/5、初花期 2/5、盛花期 1/5 的比例施入。另外,在整地时,施入过磷酸钙 600 kg/hm² 和氯化钾 225 kg/hm²。3 次重复,随机区组排列。4 月 20 日地膜覆盖直播,密度 37 500 株/hm²,管理按高产棉田进行。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 Bt 蛋白

表 1 施氮量对抗虫棉叶片 Bt 蛋白含量的影响

Tab. 1 Effects of nitrogen fertilizer rates on content of Bt-protein in leaves of transgenic cotton					ng/g
处理 Treatments	展开期 Expanding stage	功能期 Functioning stage	衰老期 Senescing stage	脱落期 Shedding stage	
高氮 High N	170.03 ± 1.91bB	346.32 ± 3.71bB	339.41 ± 6.76bB	211.17 ± 6.70bB	
中氮 Medium N	282.95 ± 5.19aA	691.08 ± 12.03aA	775.47 ± 8.93aA	409.68 ± 7.23aA	
对照 CK	81.44 ± 3.70cC	143.30 ± 6.00cC	213.30 ± 3.95cC	167.63 ± 6.90cC	

注:表中数据由平均数和标准误差组成;同列数值后不同小、大写字母分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。表 2~6 同。

Note: Data in the table are composed by the means and standard error; values followed by a different small or capital letter are significantly different in a column at the 0.05 or 0.01 probability levels. The same as Tab. 2-6.

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。棉铃样品在室内进一步分成铃壳、棉纤维和棉籽三部分。棉叶和棉铃样品速冻后放入 -40℃ 低温保存待测 Bt 蛋白含量,一部分棉叶样品待测可溶性蛋白、游离氨基酸。另一部分棉叶样品烘干待测全氮含量。Bt 蛋白的测定采用酶联免疫法^[13]。

1.2.2 氮代谢产物 游离氨基酸的测定用茚三酮比色法^[13],可溶性蛋白质的测定用考马斯亮蓝法^[14],全氮含量的测定用凯氏定氮法^[15]。

1.2.3 棉花产量 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。

1.3 数据分析

所得数据采用 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 施氮量对抗虫棉叶片 Bt 蛋白含量的影响

从表 1 可以看出,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,至衰老期时达到高峰(高氮处理在功能期达到高峰),脱落期明显下降,但仍高于展开期的叶片。施氮量对叶片中 Bt 蛋白表达和降解有明显的调节作用。在展开期、功能期、衰老期,叶片中表达的 Bt 蛋白量表现为中氮处理 > 高氮处理 > CK。至脱落期,叶片中残留的 Bt 蛋白量呈相同的趋势。方差分析表明,在棉花叶片生长的 4 个时期,不同施氮量处理相比,Bt 蛋白含量的差异均达到极显著水平。其中,在展开期、功能期、衰老期和脱落期,CK 的叶片中的 Bt 蛋白含量比中氮处理下降了 71.22%、79.26%、72.49%、59.08%,说明缺氮会严重影响棉花叶片中 Bt 蛋白的表达。

2.2 施氮量对抗虫棉棉铃 Bt 蛋白含量的影响

由表 2 可见,随着棉铃的发育,铃壳和棉纤维中 Bt 蛋白含量逐渐减少(CK 的铃壳除外),而棉籽中 Bt 蛋白含量逐渐增加。在棉铃的膨大期和充实期,铃壳中 Bt 蛋白含量高于棉纤维和棉籽(CK 除外)。至吐絮期,铃壳和棉纤维中的 Bt 蛋白含量均迅速降至极低,而棉籽中 Bt 蛋白含量迅速增加。其中,在吐絮期,高氮、中氮和 CK 处理的棉籽中 Bt 蛋白含量分别是铃壳的 80.85、118.28、68.43 倍。不同施氮量对棉铃各器官中 Bt 蛋白的表达和降解也具有明显的调节作用。铃壳、棉纤维和棉籽中的 Bt 蛋白

含量随着施氮量的增加总体呈增大趋势。方差分析表明,在膨大期和充实期,不同施氮量处理的铃壳中 Bt 蛋白含量差异均达到极显著水平,这说明施氮增加了膨大期和充实期铃壳中的 Bt 蛋白的表达量,有利于提高棉铃的抗虫性能。在膨大期,高氮和中氮处理的棉纤维中 Bt 蛋白的含量极显著高于 CK,至充实期,不同施氮量处理的棉纤维中 Bt 蛋白的含量达到极显著差异。在膨大期和吐絮期,高氮和中氮处理的棉籽中 Bt 蛋白的含量显著高于 CK 处理;在充实期,不同施氮量处理的棉籽中 Bt 蛋白的含量差异均达到极显著水平。

表 2 施氮量对抗虫棉棉铃 Bt 蛋白含量的影响

Tab. 2 Effects of nitrogen fertilizer rates on the content of Bt-protein in different organs of bolls of transgenic cotton ng/g

处理 Treatments	膨大期 Expanding stage			充实期 Filling stage			吐絮期 Opening stage		
	铃壳 Boll shell	棉纤维 Cotton fiber	棉籽 Seed	铃壳 Boll shell	棉纤维 Cotton fiber	棉籽 Seed	铃壳 Boll shell	棉纤维 Cotton fiber	棉籽 Seed
高氮 High N	268.53±4.49aA	212.67±6.79aA	43.39±2.68aA	217.45±5.19aA	91.05±3.57aA	194.39±3.08aA	5.68±0.36aA	5.12±0.32aA	459.25±7.57aA
中氮 Medium N	219.28±7.37bB	206.67±5.63aA	46.03±1.63aA	202.31±4.50bB	73.03±4.57bB	85.31±2.75bB	3.76±0.37bB	3.74±0.06bB	442.37±10.06aA
对照 CK	101.86±2.91cC	109.56±2.90bB	26.69±0.38bB	154.41±4.41cC	54.17±2.20cC	63.78±2.05cC	4.44±0.34bAB	4.81±0.09aA	303.85±4.59bB

2.3 施氮量对抗虫棉叶片氮代谢的影响

2.3.1 施氮量对棉花叶片游离氨基酸含量的影响

游离氨基酸是各种蛋白质包括酶合成的原料,也是蛋白质分解的产物,是氮代谢的重要指标^[16]。表 3 表明,棉花叶片在展开期时游离氨基酸含量最高,在功能期和衰老期呈下降趋势,至脱落期略有上升。施氮量对棉花叶片中的游离氨基酸含量有一定影响。在叶片的整个生长发育过程中,游离氨基酸含量均表现高氮处理>中氮处理>CK。如在叶片衰

老期,CK 的游离氨基酸含量仅相当于高氮处理的 59.50%。经方差分析,在叶片展开期、衰老期和脱落期,不同施氮量处理间叶片游离氨基酸含量差异均达极显著水平;在功能期,高氮处理与中氮和 CK 处理的叶片游离氨基酸含量差异达极显著水平,中氮和 CK 处理间差异不显著。表明增施氮肥有利于棉花叶片中游离氨基酸的合成,进而促进酶等各种蛋白质的合成。

表 3 施氮量对抗虫棉叶片游离氨基酸含量的影响

Tab. 3 Effects of nitrogen fertilizer rates on content of free amino acids in leaves of transgenic cotton μg/g

处理 Treatments	展开期 Expanding stage	功能期 Functioning stage	衰老期 Senescing stage	脱落期 Shedding stage
高氮 High N	373.22±6.84aA	245.50±6.99aA	224.38±5.17aA	243.21±9.31aA
中氮 Medium N	272.11±5.71bB	212.91±4.31bB	190.45±0.46bB	197.08±7.82bB
对照 CK	260.92±4.19bB	201.64±4.48bB	133.51±4.45cC	148.39±8.69cC

表 4 施氮量对抗虫棉叶片可溶性蛋白质含量的影响

Tab. 4 Effects of nitrogen fertilizer rates on content of soluble protein in leaves of transgenic cotton mg/g

处理 Treatments	展开期 Expanding stage	功能期 Functioning stage	衰老期 Senescing stage	脱落期 Shedding stage
高氮 High N	4.67±0.09aA	8.31±0.21aA	5.05±0.11aA	3.26±0.02aA
中氮 Medium N	4.48±0.18aAB	8.20±0.11aA	4.69±0.11bA	2.73±0.10bB
对照 CK	4.02±0.12bB	6.80±0.10bB	4.09±0.09cB	1.45±0.08cC

2.3.2 施氮量对棉花叶片可溶性蛋白质含量的影响

从表 4 可以看出,叶片中可溶性蛋白质含量在展开期逐渐上升,至功能期达到最大,随着叶片的衰老逐渐下降,脱落期降至最低。施氮量对棉花叶片中的可溶性蛋白质含量有一定影响。在叶片的整个

生长发育过程中,叶片中可溶性蛋白质的含量均表现高氮处理>中氮处理>CK。方差分析表明,在展开期,高氮和中氮处理与 CK 处理的叶片中可溶性蛋白质含量差异达显著水平;在功能期和衰老期,高氮和中氮处理与 CK 处理的叶片中可溶性蛋白质含

量差异达极显著水平;至脱落期时,不同施氮量处理间叶片中可溶性蛋白质含量差异达极显著水平。这表明,增加施氮量有利于叶片中可溶性蛋白质的合成和积累。

2.3.3 施氮量对棉花叶片全氮含量的影响 图1表明,在叶片展开期,全氮含量就处在较高水平,功能期缓慢上升至最大值,随着叶片的衰老逐渐下降,脱落期降至最低。施氮量对棉花叶片全氮含量有一定影响。高氮和中氮处理的叶片全氮含量高于CK处理。如在衰老期,高氮和中氮处理全氮含量分别比CK增加了31.21%、20.06%。方差分析表明,在展开期、功能期,高氮和中氮处理的叶片全氮含量均显著高于CK;在衰老期,高氮处理的全氮含量显著高于中氮处理,高氮和中氮处理的叶片全氮含量极显著高于CK。在脱落期,中氮处理的全氮含量显著高于CK。

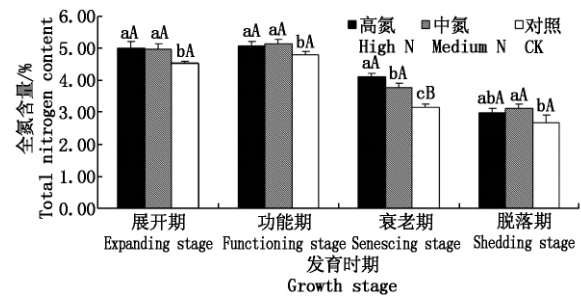


图1 施氮量对抗虫棉叶片全氮含量的影响
Fig.1 Effects of nitrogen fertilizer rates on content of total nitrogen in leaves of transgenic cotton

2.4 抗虫棉叶片中 Bt 蛋白含量与氮代谢的相关分析
由表5可见,在叶片的整个生长发育过程中,Bt蛋白的含量与其游离氨基酸、可溶性蛋白和全氮含量均呈正相关。其中,在展开期、功能期和脱落期,叶片Bt蛋白含量与其全氮含量均呈显著正相关;在功能期,Bt蛋白含量与可溶性蛋白含量的相关也达显著水平。

表5 抗虫棉叶片 Bt 蛋白含量与氮代谢生理活性的相关分析

Tab.5 Correlation analysis of the content of Bt-protein in leaves of transgenic cotton and its activity of nitrogen metabolism

氮代谢生理指标 Physiological indexes of nitrogen metabolism	展开期 Expanding stage	功能期 Functioning stage	衰老期 Senescing stage	脱落期 Shedding stage
游离氨基酸 Amino acids	0.023 9	0.103 8	0.352 8	0.190 4
可溶性蛋白 Soluble protein	0.597 3	0.733 8*	0.347 9	0.395 0
全氮 Total nitrogen	0.716 8*	0.752 0*	0.365 3	0.698 1*

注: * 表示显著水平 0.05。
Note: *. Indicates significance at 0.05 probability level.

2.5 施氮量对抗虫棉产量的影响

从表6可以看出,施氮量对抗虫棉产量有明显影响。中氮处理,棉花单位面积的总铃数和籽棉产量、皮棉产量最高,皮棉产量较对照增加20.50%;高氮处理,棉花单位面积的总铃数和籽棉产量、皮棉

产量居中,皮棉产量较对照增加19.82%;对照则表现最低。方差分析表明,中氮处理和高氮处理的单位面积的总铃数、铃重和籽棉产量、皮棉产量与CK差异均达极显著水平,中氮处理和高氮处理间差异均不显著。

表6 施氮量对抗虫棉产量构成及产量的影响

Tab.6 Effects of nitrogen fertilizer rates on yield and its components

处理 Treatments	总成铃数/(×10 ⁴ /hm ²) Total bolls per hectare	铃重/g Boll weight	衣分/% Lint percentage	籽棉产量/(kg/hm ²) Seed cotton yield	皮棉产量/(kg/hm ²) Lint yield
高氮 High N	60.07±0.72aA	5.47±0.05aA	40.05±1.60aA	3 285.67±27.87aA	1 315.90±8.32aA
中氮 Medium N	61.11±0.49aA	5.39±0.07aA	40.18±1.65aA	3 293.80±46.91aA	1 323.45±18.78aA
对照 CK	56.05±0.12bB	4.89±0.03bB	40.07±1.65aA	2 740.87±20.69bB	1 098.26±7.82bB

3 结论与讨论

3.1 施氮量对抗虫棉叶片中 Bt 蛋白表达与降解的影响

抗虫棉的叶片是其抗虫的最重要器官。王保民等^[17]研究了抗虫棉叶片Bt蛋白含量的时空变化。结果表明,主茎叶片(07-19标记)中Bt蛋白含量在叶片展开后0~28 d随叶龄增大而升高,28~48 d含量比较稳定。杨长琴等^[3]研究了高氮(375

kg/hm²)、适氮(225 kg/hm²)和CK(0 kg/hm²)处理对棉花现蕾期至盛铃期的功能期叶片Bt蛋白的表达量的影响。结果表明,施氮能明显促进功能期叶片Bt蛋白的表达,其表达量表现为高氮处理>适氮处理>CK。本研究设置了3个施氮量,测定了抗虫棉叶片从展开期、功能期、衰老期直至脱落期的Bt蛋白含量。结果表明,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,至衰老期达到高峰,脱落期明显下降,这与王保民等^[17]的研究

结果基本一致。本研究还表明,施氮量对棉花叶片生长前期的 Bt 蛋白表达量和脱落期的 Bt 蛋白残留量均有明显影响。其中,中氮(225 kg/hm^2)处理的棉花叶片 Bt 蛋白的表达量和残留量均最多,说明中氮处理有利于提高叶片生长期间的抗虫性能,但脱落后对环境可能造成的危害也较重。CK(0 kg/hm^2)处理叶片 Bt 蛋白的表达量和残留量均为最低,表明棉花缺氮时,会造成叶片生长期间抗虫性能下降,但脱落后对环境形成的威胁也较小。高氮(450 kg/hm^2)处理叶片 Bt 蛋白的表达量和残留量均居中,表明当施氮量过高时,并不能提高其抗虫性能,但却造成环境的氮素污染,并增加生产成本。究其原因,可能是由于氮肥用量过大时,棉株营养生长旺盛,叶面积增大,氮肥对 Bt 蛋白的促进效应弱于对叶片生长的促进效应。

3.2 施氮量对抗虫棉棉铃 Bt 蛋白表达与降解的影响

棉铃是抗虫棉抗虫的又一重要器官。王保民等^[17]研究了抗虫棉棉铃发育后 45 d 内的铃壳和种子中 Bt 蛋白的时间变化动态,结果表明,在花后 20 d 时,铃壳和种子 Bt 蛋白含量最低,前期和后期差别较小。本研究设置了 3 个氮素水平,研究从膨大期、充实期至吐絮期棉铃的铃壳、种子和棉纤维中 Bt 蛋白的变化。结果表明,随着棉铃的发育,铃壳和棉纤维中 Bt 蛋白含量逐渐减少,至吐絮期,Bt 蛋白迅速降解,含量达到极低;而随着棉铃的发育,棉籽中 Bt 蛋白含量逐渐增加,至吐絮期达到最大值。且此时的 Bt 蛋白的残留量远大于叶片脱落期的 Bt 蛋白含量,更应值得关注。本研究还表明,施氮量对棉铃不同器官中 Bt 蛋白的表达和降解有明显的调节作用,铃壳、棉纤维和棉籽中的 Bt 蛋白含量随着施氮量的增加总体呈增大趋势。因此说,种植抗虫棉时,如果施氮过量,一方面直接造成环境中氮素污染,同时也会通过棉籽中残留的大量 Bt 蛋白对人畜安全构成潜在威胁。

3.3 施氮量对抗虫棉叶片 Bt 蛋白表达与降解调节的初步机制

关于施氮对抗虫棉器官中 Bt 蛋白含量的影响机制研究较少。杨长琴等^[4]研究认为,氮肥施用促进了抗虫棉叶片在整个大田生育期游离氨基酸的合成和全氮含量的增加、盛花前可溶性蛋白质的合成,抗虫棉 Bt 蛋白含量与氮代谢的生理活性密切相关。本试验取得了基本一致的结果,即增施氮肥总体上促进了抗虫棉叶片在展开期、功能期、衰老期和脱落期的游离氨基酸、可溶性蛋白质合成,全氮含量增

加。同时也促进棉花叶片的 Bt 蛋白合成,导致叶片生育前期 Bt 蛋白表达量增加,在生育后期残留量也较大。

3.4 有关抗虫杂交棉施氮的建议

目前,棉花生产上施氮量的控制随意性较强。一方面是由于近年来肥料价格的上涨,部分棉农惜本心理严重,在肥料投入上有减少的趋势^[18];另一方面也有棉农在种植抗虫杂交棉时,为了追求高产,而盲目加大施氮量^[19]。另外,施氮量对棉花器官中 Bt 蛋白表达与降解的效应也是合理施氮需要考虑的问题^[20]。本研究表明,棉花的抗虫性能主要体现在叶片前中期的 Bt 蛋白表达量上,而后期棉籽 Bt 蛋白残留量也是需要重点关注的问题。高氮处理的叶片前中期 Bt 蛋白表达量居中,但棉籽中 Bt 蛋白的残留量却是最高。对照处理尽管棉籽中 Bt 蛋白的残留量较低,但叶片前中期 Bt 蛋白表达量也最少。而中氮处理叶片前中期 Bt 蛋白表达量最多,棉籽中 Bt 蛋白的残留量居中。从产量来看,中氮处理比高氮处理棉花产量还略有增加。因此,在生产上,抗虫杂交棉采取中等施氮量(225 kg/hm^2)既可获得高产,同时也有利于叶片提高抗虫性,又减少棉籽中 Bt 蛋白的残留。

参考文献:

- [1] 唐中杰,聂利红,谢德意. 棉花新品种银山 7 号适密度及施氮量研究[J]. 河南农业科学, 2010(4): 28-29.
- [2] 谢德意,房卫平,李伶俐,等. 不同施氮量和鸡粪对棉花氮、磷、钾吸收利用和产量的影响[J]. 河南农业科学, 2010(11): 63-65.
- [3] 董玥,陈雪平,罗双霞,等. 不同氮效率茄子氮代谢相关酶活性的差异[J]. 华北农学报, 2009, 24(6): 158-160.
- [4] 杨长琴,徐立华,杨德银. 氮肥对转 Bt 基因棉 Bt 蛋白表达的影响及其氮代谢机理的研究[J]. 棉花学报, 2005, 17(4): 227-231.
- [5] 徐立华,杨长琴,张培通,等. 栽培措施对转基因抗虫棉 Bt 毒蛋白表达的影响及氮代谢特征[C]. 中国棉花学会 2006 年年会暨第七次代表大会论文汇编. 安阳: 中国棉花杂志社, 2006.
- [6] Bruns H A, Craig A A. Nitrogen fertility effects on Bt δ -Endotoxin and nitrogen concentrations of maize during early growth[J]. Agronomy Journal, 2003, 95(1): 207-211.
- [7] 孙彩霞,陈利军,武志杰. Bt 杀虫晶体蛋白的土壤残留及其对土壤磷酸酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2004, 41(5): 761-766.
- [8] 李永山,范巧兰,陈耕,等. 转 Bt 基因棉花对土壤微

- 生物的影响[J]. 农业环境科学学报 2007 26(增刊): 533 - 536.
- [9] 吴 迪,王秋玉. 转基因植物对根际土壤生态系统的影响[J]. 中国生物工程杂志 2007 27(2): 113 - 118.
- [10] Motavalli P P, Kremer R J, Fang M, *et al.* Impact of genetically modified crops and their management on soil microbially mediated plant nutrient transformations [J]. Journal Environmental Quality 2004 33(3): 816 - 824.
- [11] 陆小毛,朱路青,曹越平. 转 Bt 基因作物及其安全性研究[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版 2006 24(2): 214 - 220.
- [12] Singhal K K, Kumar S, Tyagi A K *et al.* Evaluation of Bt cotton seed as a protein supplement in the ration of lactating dairy ows [J]. The Indian Journal of Animal Sciences 2006 76(7): 532 - 537.
- [13] 王保民,何钟佩,赵继勋. 抗虫棉 Bt 杀虫晶体蛋白免疫检测方法的研究 [J]. 棉花学报 1998 10(4): 220 - 221.
- [14] 张宪政. 作物生理研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1992: 144 - 162.
- [15] 南京农业大学. 土壤农化分析 [M]. 北京: 农业出版社, 1994: 214 - 236.
- [16] 刘胜群,宋凤斌. 玉米生殖生长期根系主要游离氨基酸含量分析 [J]. 华北农学报 2007 22(1): 35 - 39.
- [17] 王保民,李召虎,李 斌,等. 转 Bt 抗虫棉各器官 Bt 蛋白的含量及表达 [J]. 农业生物技术学报 2002 10(3): 215 - 219.
- [18] 张枫叶. 商丘市麦棉两熟发展历程及振兴战略研究 [D]. 郑州: 河南农业大学 2010.
- [19] 王 平,田长彦,陈新平,等. 南疆棉花施氮量及氮素平衡分析 [J]. 干旱地区农业研究 2006 24(1): 77 - 83.
- [20] 赵海祯,梁哲军,齐宏立,等. 转 Bt 基因抗虫棉源库关系及调控效应研究 [J]. 华北农学报 2003 18(2): 4 - 7.

《华北农学报》征订启事

《华北农学报》1986 年创刊,由河北、北京、天津、河南、山西、内蒙古自治区六省市农科院及农学会联合主办,为全国首家跨省、市、区多单位联办的农业学术刊物。本刊立足华北,面向全国和全世界。主要刊载农业各学科的学术论文、研究报告以及科研简报,报道农业学术动态。主要服务于农业高等院校师生和农业科研机构的研究人员。

《华北农学报》为中国科学引文数据库核心期刊(CSCD 核心库)、中国科技核心期刊、中文核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊和中国农业核心期刊。2010 年《华北农学报》影响因子达到 2.253,被引频次 3950 次,基金论文比 98%,学科排名全国第 1 位,成为全国有代表性的农业学术刊物。同时,《华北农学报》多次荣获国家级及省级奖励:全国优秀科技期刊评比三等奖、全国优秀农业期刊学术类一等奖、首届“北方十佳期刊奖”、河北省“十佳期刊奖”及河北省优秀期刊奖等奖项;2011 年被评选为“中国精品科技期刊”。

《华北农学报》国内外公开发行,国内统一刊号:CN13-1101/S,国际刊号 ISSN1000-7091。双月刊,双月 28 日出版,国际标准大 16 开本,240 页,每期定价 12 元,全年 72.00 元。邮发代号:18-10,国外发行代号:5918。全国各地邮局均可订阅。可随时汇款到编辑部订阅,请写清刊名、份数、收刊人姓名、地址、邮编,以免误投或无法投递。

欢迎订阅,欢迎投稿!

通信地址:石家庄市和平西路 598 号《华北农学报》编辑部

邮 编:050051

电 话:0311-87652166

E-mail: hbnxb@163.com

网 址: <http://www.hbnxb.net/>