

转 Bt 基因棉在山东棉区的抗虫特性及棉田害虫发生与防治  
王留明, 张学坤, 刘任重, 王家宝, 许立瑞, 周 玉, 王胜利  
(山东棉花研究中心, 济南 250100)

近年来对转 Bt 基因棉的抗虫特性, 棉铃虫在不同主要寄主作物上的种群分布, 棉田主要害虫及其天敌的动态变化等进行了研究, 并在此基础上初步提出基于山东棉区农业生态条件下的转 Bt 基因抗虫棉害虫综合防治策略与技术。

## 1 转 Bt 基因棉抗虫特性

### 1.1 抗虫性比较单一

由 Bt 基因控制合成的 Bt 蛋白主要对鳞翅目害虫具有高效毒杀作用, 据张宝红等[5,6]综合报道, 转 Bt 基因棉除高抗鳞翅目的棉铃虫、红铃虫 (*Pectinophora gossypiella*)、烟草夜蛾 (*Heliothis assulta* Quence) 等害虫外, 对一些非鳞翅目害虫也会产生影响, 山东省为害棉花最重的是棉铃虫 (*Helicoverpa armigera* Hübner)。研究表明, 转 Bt 基因棉田与常规棉田的棉铃虫落卵量无显著差异, 但存活幼虫量差异极显著, 抗虫棉田减少 90% 以上, 三龄以上的幼虫更少, 棉花中后期的大龄残虫生长发育严重受抑制, 化蛹困难, 越冬蛹极少; 转 Bt 基因棉对棉蚜 (*Aphis gossypii* Glover) 和棉叶螨 (*Tetranychus*) 均无抗性, 对次要害虫如棉盲蝽、棉蓟马 (*Thrips tabaci* Lindeman) 等也无抗性, 最近发现, 对甜菜夜蛾 [*Laphygma erigua* (Hübner)] 也几乎没有抗性。

### 1.2 抗棉铃虫活力表现出一定的时空分布差异

生物测定和 Bt 蛋白含量测定结果表明, 转 Bt 基因棉不同器官对棉铃虫的抗虫活力不同, 一般表现为旺盛生长器官的抗性 > 幼嫩器官 > 衰老器官。1999 年对 3 个不同转 Bt 基因棉品种同时取样所进行的测定表明, 各器官对棉铃虫幼虫的致死率与 Bt 蛋白含量具有明显的正相关关系, 幼蕾中的 Bt 蛋白含量最高, 平均每克鲜重 21.02  $\mu\text{g}$ , 饲喂 3 天时幼虫死亡率也最高, 平均为 98.1%。幼蕾是最易受棉铃虫危害的器官, 因此, 转 Bt 基因的这一表达特性与人们的希望要求是一致的。综合比较, 转 Bt 基因棉不同器官对棉铃虫的抗性大致表现为幼蕾 > 苞叶 > 幼铃 > 主茎功能叶 > 花或花冠。进一步研究发现, 不同时期与不同部位棉叶的抗虫性也表现出较大的差异。一般趋势是, 主茎叶的抗性活力大于果枝叶, 靠近主茎果节叶的抗性活力大于外端的果节叶。生产观察表明, 转 Bt 基因棉生长发育过程中, 全株整体抗虫性前期高于中期, 中期高于后期, 具体来讲, 二代棉铃虫发生期间, 棉株整体抗性能力最强, 三、四代棉铃虫发生期间, 棉株整体抗性能力有所减弱。对新棉 33B 不同生长发育时期同部位主茎功能叶 Bt 蛋白含量的测定表明, Bt 蛋白表达量有 2 个高峰期, 6 月中旬 (蕾期) 为第一个高峰, 8 月上旬为第二个高峰。6 月 15 日叶片中 Bt 蛋白含量最高, 为每克鲜重 24.63  $\mu\text{g}$ , 之后逐渐下降, 至 7 月 25 日含量降为 16.74  $\mu\text{g}$ ; 8 月初含量又迅速上升, 至 8 月 14 日上升到 22.69  $\mu\text{g}$ , 之后又逐渐下降, 至 9 月 23 日含量降为 14.78  $\mu\text{g}$ 。

### 1.3 环境因素影响棉株的抗性水平

1999 年在临清试验站进行的多因素试验结果表明, 花铃期转 Bt 基因棉田严重渍涝或土壤缺水干旱, 可显著减少棉株各器官的 Bt 蛋白含量, 从而降低棉株的抗虫活力, 比较起来, 干旱对 Bt 蛋白合成的抑制作用更强; 正常浇水与追施氮肥有利于保持和提高棉株各器官的 Bt 蛋白含量。阶段性渍涝与干旱是我国北方棉区经常发生的自然灾害, 致使棉花产量低而不稳, 大面积推广种植转 Bt 基因抗虫棉, 更应该加强田间管理, 合理施肥, 及时防旱排涝, 充分发挥抗虫棉的增产潜力和自身抗虫水平。

### 1.4 抗虫性随棉铃虫龄期变大而降低

连续三年室内用转 Bt 基因棉叶饲喂不同龄期棉铃虫幼虫试验结果平均, 喂养 3 天, 初孵幼虫死亡率为 93.3%, 二龄幼虫死亡率为 97.5%, 三龄幼虫死亡率为 85.0%, 四龄幼虫

死亡率下降为 59.5%，表现为对三龄前幼虫的杀虫活力显著高于大龄幼虫。田间观察发现，取食转 Bt 基因棉组织而中毒的棉铃虫幼虫，表现身体皱缩、懒动、厌食，静息和爬行时间增加，增加了天敌的捕食机会。

## 2 种植转 Bt 基因棉对棉铃虫区域性种群的影响

### 2.1 棉铃虫在不同寄主作物上的分布

1997~1999 年，选择山东省南北两个重点植棉县作为区域代表，对棉铃虫种群在不同寄主作物上的分布进行了多点调查估算。夏津县代表鲁西北一熟制春棉为主栽培棉区，全县耕地面积为 5.57 万公顷，全年平均气温 12.7℃，年降雨量 559.4mm，复种指数为 1.53。巨野县代表鲁西南麦棉两熟为主栽培棉区，全县耕地面积为 7.66 万公顷，全年平均气温为 16.07℃，年降雨量为 645mm，复种指数为 1.93。从二地调查结果看出，棉铃虫卵主要分布在小麦、棉花、玉米、大豆、花生等几种寄主作物上，由于二地的自然生态与作物结构不同，分布率也有差异。相对于寄主作物所占的种植面积，三年两地调查结果平均，一代棉铃虫的优势寄主作物是小麦，卵分布率为 93.48%，二代优势寄主作物是棉花和花生，卵分布率分别为 74.13%和 17.0%，三代优势寄主作物是棉花和大豆，卵分布率分别为 72.67%和 10.38%，四代优势寄主作物是棉花和夏玉米，卵分布率分别为 61.59%和 32.02%。在山东省自然条件下，一般年份四代棉铃虫幼虫化蛹越冬。除晚发棉田外，夏玉米成为翌年的主要棉铃虫越冬虫源。

### 2.2 棉铃虫区域性种群数量变化

虽然转 Bt 基因抗虫棉与常规非抗虫棉田的棉铃虫落卵量没有差别，由于转 Bt 基因棉的高效杀虫效果，使抗虫棉田的棉铃虫幼虫量极大地减少，从而显著地降低了棉花上的幼虫分布率。1997 年夏津与巨野二县种植的几乎全部是非抗虫棉花品种，二、三、四代棉铃虫幼虫主要分布在棉花上，两县平均分别占 78.77%、73.94%和 55.52%；1999 年二县基本普及了转 Bt 基因抗虫棉，与 1997 年相比，夏津县二、三、四代棉铃虫幼虫在棉花上的分布率分别下降了 30.37%、51.35%和 70.85%，巨野县分别下降了 80.41%、46.6%和 21.16%。值得注意的是，四代棉铃虫幼虫在夏玉米上的分布数倍地上升，成为越冬棉铃虫的最主要虫源。抗虫棉田的棉铃虫幼虫不仅数量少，而且很少大龄幼虫，冬季调查，很难发现越冬蛹。人们普遍比较担心，大面积推广转 Bt 基因抗虫棉以后，棉铃虫能很快对 Bt 基因产生抗性，从而引发一系列的问题。为了延缓棉铃虫对 Bt 基因产生抗性，提出了多种解决途径，主要有导入双价或多价抗虫基因，利用选择性或诱导性特异启动子，以及农业综合防治措施等。但目前比较现实并且在美国与澳大利亚被提倡使用的是为棉铃虫提供必要的避难所，以延缓棉铃虫抗性种群的产生。根据夏津与巨野二个重点植棉县棉铃虫在不同寄主作物上的分布调查结果，可以这样认为，在目前山东棉区的农业生态条件下，作物种类多，种植结构复杂，棉花就象是大的插花种植作物，在棉铃虫发生的各个世代，其他寄主作物等均为棉铃虫提供了较充足的避难所，因此，换种抗虫棉后，棉铃虫不会对 Bt 基因很快产生抗性。巨野县推广种植转基因抗虫棉最早，到目前为止，生产上对棉铃虫的抗性效果仍然很好，没有观察到明显的变化。

## 3 转 Bt 基因棉田主要害虫发生特点

在山东棉区，棉田害虫主要有棉铃虫、棉蚜、棉叶螨、棉蓟马、棉盲蝽、甜菜夜蛾等，其中，以棉铃虫、棉蚜和棉叶螨为三大主要害虫。种植转 Bt 基因抗虫棉以后，棉铃虫对棉花的危害已得到有效控制。1999 年在临清、夏津、巨野和聊城设点调查，结果显示，转 Bt 基因棉田的棉蚜与棉叶螨平均发生量比常规棉田明显增加，以巨野点的差异最大。其中，棉蚜分别于 5 月上旬至 6 月上旬和 7 月上旬至 8 月中旬出现二个高峰期，以“伏蚜”发生量大，盛期较长；棉叶螨自 6 月上旬发生为害，中旬为害最为严重，一般年份，必须及时地严格防治，偏早年份，8 月中旬至 9 月上旬发生第二次高峰；棉盲蝽被害株率一般在 7%~30%，查治

不力的棉田可高达 80%以上，造成棉叶破碎，幼铃发育不良，蕾铃脱落多，导致减产；棉蓟马发生量比常规棉田高 70%左右，个别年份甜菜夜蛾发生严重。

#### 4 转 Bt 基因棉田害虫天敌种群变化

##### 4.1 对捕食性天敌的影响

调查表明，转 Bt 基因抗虫棉田的捕食性天敌种类与非抗虫棉田基本相同，主要有七星瓢虫(*Coccinella septempunctata* Linnaeus)、龟纹瓢虫[*Propylaea japonica*(Thunberg)]、多异瓢虫[*Adonia variegata*(Goeze)]、异色瓢虫[*Leis axyridis*(Pallas)]、中华草蛉(*Chrysopa sinica* Tieder)、丽草蛉(*Chrysopa formosa* Brauer)、叶色草蛉(*Chrysopa phyllochroma* Wesmael)、草间小黑蛛[*Erigonidium graminicolum*(Sundevall)]、华姬猎蝽(*Nabis sinoferus* Hsiap)、小花蝽(*Orius minutus* Linnaeus)等。其中，以瓢虫、草蛉和蜘蛛为抗虫棉田的三大优势天敌。据 1999 年 6 月上旬至 9 月中旬在巨野县 30 次调查平均，转 Bt 基因抗虫棉田的瓢虫类、草蛉类和蜘蛛类天敌百株累加量分别为常规棉田的 4.9 倍、2.3 倍和 2.0 倍。转 Bt 基因棉田害虫天敌发生量显著增大的原因，主要是由于用药少，并且首次用药时间尽量推后。5 月下旬至 7 月上旬以瓢虫类为最优势天敌种，对控制苗蚜、“伏蚜”、棉铃虫卵和初孵幼虫作用强，应加强保护利用。6 月至 9 月底，棉田草蛉和蜘蛛逐渐成为天敌优势种，其中，草蛉中以中华草蛉为主，蜘蛛类中以草间小黑蛛发生数量较大，捕食活动时间长。天敌发生量还与棉花长势密切相关，棉花发育早、长势好的棉田，天敌数量多，如地膜覆盖的棉田，棉苗前期发育快，棉花长势强，天敌数量也明显增加。

##### 4.2 对寄生性天敌的影响

由于棉铃虫幼虫取食转基因抗虫棉组织中毒后虫体发育受到影响，进而对棉铃虫寄生性天敌的繁衍也带来不利影响。据中国农科院棉花研究所夏敬源[9-10]等研究，齿唇姬蜂(*Campoletis chloridae* Uchida)对用转基因棉饲养的棉铃虫的寄生率和出蜂率分别较常规棉减少 91.4%和 37.5%，茧重和蜂重分别减轻 54.0%和 11.1%；侧沟绿茧蜂(*Microplitis* SP.)的寄生率较对照减少 57.1%，蜂茧重减轻 44.2%，且其茧不能出蜂；田间调查结果亦表明，齿唇姬蜂和侧沟绿茧蜂的百株虫量分别较常规非抗虫棉对照减少 79.2%和 88.9%，差异极为显著。

#### 5 转 Bt 基因抗虫棉田主要害虫防治策略与技术

##### 5.1 转 Bt 基因抗虫棉田主要害虫防治策略

山东为宜棉地区，除胶东半岛外，各地均种植棉花。棉区内农业种植结构复杂，作物种类多，种植方式多样，季节茬口重叠，仅棉花作物就有纯春播、春套和夏套三种种植方式，其中，套种面积约占棉花种植面积的 60%。因此，共生性害虫较多，就棉铃虫而言，寄主作物种类多，食源丰富。大量研究和生产实践表明，转 Bt 基因抗虫棉田的棉铃虫为害已降为次要地位；大面积推广种植抗虫棉，使棉铃虫幼虫在不同寄主作物上的分布比例发生较大变化，其中，抗虫棉田的分布量极大地降低，在棉铃虫发生的各个世代，多种其他敏感寄主作物均可为棉铃虫提供较充足的避难所。尽管如此，为合理利用转 Bt 基因抗虫棉这一现代生物技术成果，延长 Bt 基因在农业生产上的使用时间，在转基因抗虫棉的生产布局上，应尽量避免大面积的单一集中连片种植，并将抗虫棉的种植面积控制在一定的比例之内(澳大利亚因棉区作物单一集中，规定转 Bt 基因抗虫种植面积不超过棉花总面积的 30%，并要求 10%的非抗虫棉不治虫)。针对山东省转基因抗虫棉田的生物生态变化特点，我们提出如下对转 Bt 基因抗虫棉的害虫防治策略：以苗蚜、棉叶螨和“伏蚜”为防治重点，兼治棉铃虫和其他害虫；一般年份，二代棉铃虫不施药防治，三、四代棉铃虫应结合防治“伏蚜”和棉叶螨进行兼治；棉铃虫大暴发年份，对二代棉铃虫要适当施药防治，重点保护生长点，对三、四代棉铃虫应注重施药防治，重点保护蕾铃。在防治害虫的全过程中，要注意保护利用天敌控制害虫，实行综合防治，获得最佳的经济和社会效益。在棉菜间作套种田坚持“对二代棉铃

虫不喷药防治，作物共生期间尽量少用药，必须选用高效低毒药”的用药原则。

## 5.2 转 Bt 基因抗虫棉田主要害虫防治技术要点

根据转基因抗虫棉田主要害虫发生种类、发生特点以及害虫天敌的发生规律，为便于明确害虫防治策略和防治技术重点，提高综合防治水平，可大体将转基因抗虫棉的主要害虫防治分为中前期和中后期两个阶段进行。

### 5.2.1 中前期主要害虫防治。

中前期阶段自棉花播种至 7 月中旬，此期棉田主要害虫有地老虎、棉蚜、棉叶螨和二代棉铃虫，以瓢虫为主的天敌不仅种类多，而且数量大，对害虫的控制作用强，应采取保护利用自然天敌为主、化学防治为辅，尽量推迟首次用药时间，减少用药次数和用药量，避免直接杀伤天敌。为此，应注意采用以下措施：

第一，农业措施。(1)合理施肥，及时防旱排涝，以充分发挥转基因抗虫棉的自身抗虫水平。

(2)冬耕冬灌，减少棉铃虫越冬蛹数。(3)及时灭茬除草，压低害虫虫口密度。(4)大力推广地膜覆盖栽培，不仅易于实现棉花高产，而且棉蚜发生轻，积聚天敌量大。

第二，选用高纯度抗虫棉种。Bt 基因在棉花上表现为单显性基因遗传，纯度差的棉种不仅因棉铃虫的危害而直接减产，还极易造成抗虫棉田棉铃虫幼虫突破指标的假象，误导首次用药时间提前，破坏中前期害虫防治整体策略。

第三，药剂拌种。药剂拌种不仅可以有效地防治棉蚜、红蜘蛛，还可有效兼治地老虎(*Agrotis* sp.)和蝼蛄(*Gryllotalpasp.*)等地下害虫，保护自然天敌。可选用的农药有 5%甲拌磷颗粒剂(又名 3911)和 15%铁灭克颗粒剂。在墒情好的棉田，提倡直接选用可以兼控苗病与苗蚜的商业化脱绒包衣棉种。

第四，保护利用害虫天敌。转 Bt 基因抗虫棉田中前期以瓢虫为主的天敌量大，应充分保护和利用。为此，当前期刺吸性害虫发生重时，可选用内吸性强的化学农药，加入具有缓释作用的材料配成药剂缓释油涂茎防治，尽量推迟首次喷药防治时间，以充分利用自然天敌控制蚜、螨为害。

第五，喷药防治指标。棉蚜：棉苗 3 片真叶前，当受害卷叶株率达 5%~10%，或百株蚜量达 1000~1500 头时，4~8 片真叶期，卷叶株率达 10%~20%，或百株蚜量达 5000~7000 头时，应喷药防治。棉叶螨：棉苗有螨危害株率达 20%~25%。二代棉铃虫要严密监测，一般发生年份，可不予防治，严重发生年份，百株累计卵量超过 300 粒时，应适当喷药或滴心防治保顶。坚持使用对天敌为害较小的选择性农药，使用广谱性兼治效果好的农药品种。

### 5.2.2 中后期主要害虫防治。

中后期阶段指 7 月中旬以后的花铃期害虫发生阶段，此期的棉花主要害虫有“伏蚜”、棉叶螨和三、四代棉铃虫，由于气温高，棉田害虫天敌的种类和数量较中前期明显减少，应采取以化学防治为主的措施，尽量协调化防与保护利用天敌的矛盾，最大限度地保护利用自然天敌。(《中国棉花》2001.04)