

基于三种抗性机制评价大豆对抗斜纹夜蛾的抗性

王 慧, 高中杰, 范 蕊, 章银珊, 吴 倩, 喻德跃

(南京农业大学 大豆研究所/国家大豆改良中心/作物遗传与种质创新国家重点实验室, 江苏 南京 210095)

摘 要:通过室内养虫鉴定, 农艺性状考查和收获后单株考种, 对 194 份栽培大豆进行了抗斜纹夜蛾的鉴定和评价。结果表明: 在抗生性和抗选性上对斜纹夜蛾表现为高抗或抗的材料分别有 77 份和 107 份。194 份品种在株高、主茎分枝数、单株粒数和单株粒重性状上表现出不同程度的耐害和补偿能力。大豆对斜纹夜蛾的抗生性与抗选性的相关性表现相对一致, 而抗生性或抗选性与耐害性的表现无显著相关。在抗性鉴定的基础上, 筛选出一批对斜纹夜蛾在 3 种抗性机制上均表现优异的大豆材料 25 份, 为大豆抗虫遗传和育种提供新的抗源。

关键词:大豆; 斜纹夜蛾; 抗生性; 抗选性; 耐害性

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2011)01-0008-07

Evaluation of Resistance of Soybean Germplasm to Common Cutworm Based on Three Resistance Mechanisms

WANG Hui, GAO Zhong-jie, FAN Rui, ZHANG Yin-shan, WU Qian, YU De-yue

(National Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement; National Center for Soybean Improvement, Ministry of Agriculture; Soybean Research Institute, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

Abstract: The common cutworm is a major pest of soybean in the southern China. In this study, the insect bioassay was applied to evaluate the resistance of 194 soybean cultivars. Agronomic traits were measured after the leaf-feeding test and sampled at V6 growth stage and after the harvest, respectively. In the insect bioassay, there were 77 resistant soybean cultivars based on the antibiosis and 107 resistant soybean cultivars based on the antixenosis. In the tolerance test, the 194 soybean cultivars performed different tolerance. The correlation analysis was used to analyze the relationship of the three resistance mechanisms. The result showed that the antibiosis had extremely significant positive correlation with the antixenosis. However, neither the antibiosis nor antixenosis had significant positive correlation with the tolerance. Based on the resistant test, twenty-five elite soybean resistance germplasms were selected, which could be used as new resistant sources in soybean genetics and breeding.

Key words: Soybean; Common cutworm; Antibiosis; Antixenosis; Tolerance

斜纹夜蛾 (*Spodoptera litura*, Fabricius) 属鳞翅目夜蛾科, 其幼虫食性很杂, 食料植物多达 99 科 290 多种农作物, 是南方大豆产区的主要食叶性害虫之一^[1-2]。农药的应用在杀虫的同时产生了很多的副作用, 如污染环境、残害天敌和因害虫产生抗药性而不得不增加用药量以致产生恶性循环等等, 都对周围生态环境和居民的健康构成了严重的威胁, 同时也增加了生产成本, 因此鉴定、筛选一批对斜纹夜蛾具优异抗性的基因资源显得十分重要。

国际上大豆抗食叶性害虫的研究始于 20 世纪 60 年代, 筛选到了 3 个高抗食叶害虫的种质 (PI171451, PI227687, PI229358), 也相继开展了育种工作, 育成品种因农艺性状差而没有被广泛接

受^[3]。国内也筛选了一批高抗的种质资源, 但也没有育成品种的报道。有几个原因可以解释, 首先大豆抗虫性状是一个复杂的数量性状, 遗传操作困难, 而且抗性种质大多农艺性状差, 如 3 个 PI 种质都是野生大豆, 不利基因的连锁使得育种家很难获得农艺性状优异的高抗品种^[3-4]。其次, 植物抗虫性有 3 种不同的机制: 抗生性、抗选择性和耐害性^[5], 而大多数的大豆抗虫鉴定工作仅仅考虑了 1 种抗性机制 (抗生性或抗选性)。虽然大豆抗虫性主要表现为抗生性^[3-4, 6-10], 但并非所有的品种都是抗生性品种, 抗性级别相同的材料, 其排驱性也存在较大的差异, 即排驱性、抗生性和抗性之间没有一致性, 有些材料是以 1 种抗性机制为主, 而另一

收稿日期: 2010-10-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2010CB125906); 南京农业大学青年科技创新基金资助项目 (KJ09004)。

第一作者简介: 王慧 (1977-), 女, 讲师, 硕士, 主要从事大豆抗虫遗传育种。E-mail: wanghui0@njau.edu.cn。

通讯作者: 喻德跃 (1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事作物遗传育种研究。E-mail: dyu@njau.edu.cn。

些材料则是 2 种或以上机制共同作用^[11]。另外,大豆抗虫性鉴定工作还没有耐害性评价的报道。对小麦^[12]、苜蓿^[13]等耐害性的研究发现,不同材料间的耐虫性存在差异,甚至有些材料在一定虫口密度下产量还有所增加。陈建明等^[14]指出由于耐害性品种能够忍受比感虫品种更多的虫量,产量损失较少,在保护环境、害虫的可持续治理和保持品种抗性的稳定方面有着重要的现实意义,因此作物抗虫育种工作在选育高抗生性、抗选性品种的同时,还要积极开发和利用耐虫性好的良种。

该文以幼虫重为大豆抗生性指标,以单虫食叶量为大豆抗选性指标,以株高、主茎分枝数、单株粒数和单株粒重损失率为大豆耐害性和补偿能力的指标,以期应用 3 种抗性机制全面评价大豆对斜纹夜蛾的抗性,筛选一批优异的抗性资源,为大豆抗虫育种提供有效的基因资源。

1 材料与方法

1.1 供试材料

所用大豆材料共 194 份,均为栽培种,来自全国 25 个省、市、自治区,由国家大豆改良中心种质资源研究室提供。

1.2 试验设计

供试材料于 2009 年种植于南京农业大学江浦试验站网室内,随机区组设计,2 次重复,穴播。每个材料种植 1 穴,每穴留苗 6 株,穴距 0.65×0.65 m。试验地四周种保护行,播前撒呋喃丹杀死地下害虫及上年虫蛹,播后在大豆整个生长期不内不使用任何杀虫剂。养虫前间苗,选择生长一致的单株挂牌,以区分对照和处理。

1.3 养虫鉴定

室内用大号塑料杯喂养 1~2 龄的斜纹夜蛾幼虫(购自江苏省农业科学院植物保护研究所),对应田间种植情况每家系 1 杯,每杯 4 头。在 V6 期采摘大豆植株上的倒 3 叶喂养斜纹夜蛾。每天更换新鲜叶片,喂养至第 7 天时称量、记录每杯活体幼虫的重量并记为幼虫总重,以幼虫重作为大豆抗生性的鉴定指标。同时记录每次加入和取出的叶片重量,以单虫食叶量作为大豆抗选性的鉴定指标。具体计算公式为:

幼虫重 = 幼虫总重/存活虫头数;

单虫食叶量 = (总进叶量 - 总剩叶量)/存活虫头数。

1.4 农艺性状考查

农艺性状调查分 2 次进行。第 1 次:在养虫前

后分别调查 1 次株高和主茎分枝数,以养虫后 2 个性状处理与对照的比值作为评价材料间补偿能力的依据。

第 2 次:在收获后,单株考种,调查每个材料单株粒数和单株粒重,以 2 个性状处理与对照的比值评价材料间补偿能力。

各指标的计算公式为:

I1 = 处理单株的株高/对照单株的株高;

I2 = 处理单株的主茎分枝数/对照单株的主茎分枝数;

I3 = 处理单株的种子粒数/对照单株的种子粒数;

I4 = 处理单株的种子粒重/对照单株的种子粒重。

1.5 统计分析

方差分析采用 SAS 统计软件。品种、处理效应和取叶日期看作固定模型,区组为随机模型。抗性分级,参考 Duncan 氏多重比较结果,采用盖钧镒等提出的标准品种分级法(表 1)^[15]。

表 1 标准品种分级法

Table 1 Standard-variety grade system

抗性等级 Resistance grade	组中值 Midpoint	组限 Class limit
高抗 HR	a	< a + d
抗 R	a + 2d	a + d ~ a + 3d
中等 M	a + 4d	a + 3d ~ a + 5d
感 S	a + 6d	a + 5d ~ a + 7d
高感 HS	b	> a + 7d

a、b 分别是高抗高感材料的平均值; $d = (b - a)/8$ 。

a and b stand for the weighted mean of resistance score of the standard variety, respectively; $d = (b - a)/8$.

2 结果与分析

2.1 大豆资源对斜纹夜蛾的抗性表现

从各性状指标的方差分析表中(表 2)可以看出,幼虫重和单虫食叶量在材料间的差异都达到了极显著水平,说明各材料在抗生性和抗选性上存在差异。单虫食叶量在品种间的差异达到极显著水平,说明在强迫喂食条件下斜纹夜蛾对于品种仍然具有选择性,因此该指标可以用于评价大豆对斜纹夜蛾的抗选性。摘叶处理对株高、主茎分枝数、单株粒数和单株粒重 4 个性状上的影响都达到了极显著水平,说明材料间在耐害性和补偿能力上也存在差异。

表 2 各性状指标的方差分析
Table 2 ANOVA of each trait

性状 Trait	变异来源 Source of variance	自由度 Df	平方和 SS	均方 MS	F 值 F value	P 值 P value
幼虫重 Larval weight	区组 Blocks	1	0.075	0.075	4.98	0.026 7
	材料 Materials	193	4.691	0.024	1.62	0.000 4
单虫食叶量 Leaf consumption of single larva	区组 Blocks	1	20.170	20.170	127.59	<0.000 1
	材料 Materials	193	62.175	0.322	2.04	<0.000 1
	日期 Dates	2	404.436	202.218	1 279.16	<0.000 1
株高 Plant height	区组 Blocks	1	8 673.483	8 673.483	79.95	<0.000 1
	材料 Materials	193	480 453.142	2 489.395	22.95	<0.000 1
	处理 Treat	1	6 730.851	6 730.851	62.04	<0.000 1
主茎分枝数 Branch number of main stem	区组 Blocks	1	124.491	124.491	37.43	<0.000 1
	材料 Materials	193	1 765.397	9.147	2.75	<0.000 1
	处理 Treat	1	149.743	149.743	45.02	<0.000 1
单株粒数 Seed-number of single plant	区组 Blocks	1	18 543.915	18 543.915	16.66	<0.000 1
	材料 Materials	193	1 567 102.264	8 119.701	7.29	<0.000 1
	处理 Treat	1	333 313.955	333 313.955	299.44	<0.000 1
单株粒重 Seed-weight of single plant	区组 Blocks	1	518.474	518.474	22.18	<0.000 1
	材料 Materials	193	33 991.141	176.120	7.53	<0.000 1
	处理 Treat	1	7 440.812	7 440.812	318.3	<0.000 1

2.2 大豆对斜纹夜蛾的抗生性和抗选性的鉴定

根据盖钧镒等提出的标准品种分级法(表 1)分别计算幼虫重和单虫食叶量的分级标准(表 3、4),然后分别对 2 个性状进行分级,分级情况见表 5。从表 5 可以看出,以幼虫重为抗性指标,有 77 份材料表现为高抗或抗;而以单虫食叶量为抗性指标时,则有 107 份材料表现为高抗或抗。

表 3 以幼虫重为指标的抗性分级标准

Table 3 Standard of resistance grade according to larval weight

抗性等级 Resistance grade	组中值 Midpoint	组限 Class limit
高抗 HR	0.109 9	<0.162 8
抗 R	0.215 7	0.162 8 - 0.268 6
中等 M	0.321 5	0.268 6 - 0.364 4
感 S	0.427 3	0.364 4 - 0.480 2
高感 HS	0.532 8	>0.480 2

a = 0.109 9, b = 0.532 8, d = 0.052 9

表 4 以单虫食叶量为指标的抗性分级标准

Table 4 Standard of resistance grade according to leaf consumption of single larva

抗性等级 Resistance grade	组中值 Midpoint	组限 Class limit
高抗 HR	0.956 9	<1.108 8
抗 R	1.260 7	1.108 8 - 1.412 6
中等 M	1.564 5	1.412 6 - 1.716 4
感 S	1.868 3	1.716 4 - 2.020 2
高感 HS	2.171 9	>2.020 2

a = 0.9569, b = 2.1719, d = 0.1519

表 5 各材料在幼虫重和单虫食叶量上的抗性分级

Table 5 Resistance levels of soybean varieties according to larval weight and leaf consumption of single larva

	高抗 HR	抗 R	中等 M	感 S	高感 HS
幼虫重 Larval weight	19	58	64	40	13
单虫食叶量 Leaf consumption of single larva	26	81	67	14	6

2.3 摘叶对株高和主茎分枝数的影响

养虫前,各材料在株高、主茎分枝数上对照单株与处理单株间差异不显著(结果未显示),因此可以认为对照单株与处理单株在摘叶处理前是相对一致的。对摘叶后株高与主茎分枝数的分析发现各材料在这 2 个性状上表现不同(表 6)。71% 的大豆材料株高呈不同幅度的降低(138/194),68% 的材料主茎分枝数减少(131/194),49% 的材料株高降低且主茎分枝数减少(96/194)。摘除叶片虽然大部分材料的株高降低和分枝数减少,但与对照相比,仍有 45 份材料株高增加,11 份材料株高没有变化,56 份材料主茎分枝数增加,11 份材料主茎分枝数没有受到影响,15 份材料的株高和主茎分枝数都增加。可见,在 V6 期摘除功能叶片对大多数材料有负面影响,具体表现为株高降低,主茎分枝数减少,但对有些材料的影响却是正向而有益的,具体表现为株高和主茎分枝数呈不同程度的增加。因此,各材料在株高和主茎分枝数性状上存在不同程度的耐受性和补偿能力。

表 6 摘叶对株高和主茎分枝数的影响
Table 6 Effects of leaf-removing on plant height and branch number

株高 Plant height	主茎分枝数 Branch number			合计 Total
	增加 Increase	降低 Decrease	不受影响 Unchanged	
不受影响 Unchanged	3	8	0	11
增加 Increase	15	27	3	45
降低 Decrease	38	96	4	138
合计 Total	56	131	7	

2.4 摘叶对单株粒数和单株粒重的影响

收获后单株考种,以单株粒数和单株粒重为指标考查摘叶对籽粒性状的影响。从表 7 中可以看出,单株粒数减少的材料有 171 份,其中 167 份单株粒重也降低,4 份品种单株粒重增加。单株粒数增加的材料有 23 份(变幅为 7% ~ 101%),同时单株粒重也增加(变幅为 2% ~ 124%)。可见,摘叶对籽粒性状的影响不同,对有些材料甚至是增加的。因此这些材料在籽粒性状上也存在不同程度的耐受性和补偿能力。

表 7 摘叶对单株粒数和单株粒重的影响
Table 7 Effects of leaf-removing on seed-number and seed-weight of single plant

单株粒数 Seed-number of single plant	单株粒重 Seed-weight of single plant		合计 Total
	减少 Decrease	增加 Increase	
减少 Decrease	167	4	171
增加 Increase	0	23	23
合计 Total	167	27	

以单株粒数为例,分析大豆生育前期补偿能力和生育后期补偿能力之间的关系。摘叶后主茎分枝数和株高同时降低的品种有 96 份,其中 90 份材料单株粒数降低,6 份材料单株粒数增加(表 8)。对单株粒数补偿能力较强的 23 份大豆材料分析,发现有 5 份材料株高和主茎分枝数的补偿能力也较强,有 6 份材料株高降低和主茎分枝数减少,其它 12 份材料仅是在株高或主茎分枝数的补偿能力上较强(表 8)。可见,摘除叶片对大部分材料前期补偿能力和后期都有很大的影响,但对某些材料不论前期补偿能力的强弱,随着大豆生育期进程,后期籽粒性状仍然有很好的补偿能力。

2.5 抗性性、抗选性和耐受性之间的关系

通过各指标的相关分析发现(表 9),6 个性状指标之间都呈正相关,但各指标间的相关程度不同。幼虫重与单虫食叶量相关水平达到极显著,说明幼虫的重量与其食叶量相关,即无论大豆材料的叶片是不是对斜纹夜蛾发育有利,所食叶片量的多

少仍然是影响幼虫体重的一个重要因素。对于 4 个农艺性状,摘叶对株高的影响与摘叶对主茎分枝数的影响间存在显著的相关关系,这表明摘除叶片影响大豆的株高和分枝数的同时,株高变化也影响了主茎分枝数的变化。

表 8 摘叶对株高、主茎分枝数和单株粒数的影响

Table 8 Effects of leaf-removing on seed-number of single plant, plant height and branch number of main stem

单株粒数		主茎分枝数	株高 Plant height		
Seed-number of single plant		Branch number of main stem	增加 Increase	不受影响 Unchanged	降低 Decrease
增加 Increase	增加/不受影响 Increase/un- changed	4	1	8	
	降低 Decrease	3	1	6	
减少 Decrease	增加/不受影响 Increase /unchanged	14	2	34	
	降低 Decrease	24	7	90	

从表 9 相关分析也可以看出,以幼虫重为指标的大豆对斜纹夜蛾的抗生性和以单虫食叶量为指标的大豆对斜纹夜蛾的抗选性与以 I1、I2、I3 和 I4 为指标的大豆对斜纹夜蛾的耐受性之间也呈正相关关系,但没有达到显著水平,说明大豆抗生性、抗选性的强弱不是影响大豆补偿能力强弱的关键因素,因此在大豆抗虫育种过程中除了选择抗生性强的种质外还要选择补偿能力强的种质,才容易获得对斜纹夜蛾具有高抗性的材料。

表 9 六个性状指标的相关性

Table 9 Correlation between six traits

		单虫食叶量				
	单虫重	Leaf				
	Larval weight	consumption of single larva	I1	I2	I3	I4
幼虫重	1.000					
Larval weight						
单虫食叶量						
Leaf						
consumption	0.515 **	1.000				
of single larva						
I1	0.094	0.056	1.000			
I2	0.183 **	0.134	0.156 *	1.000		
I3	0.124	0.055	0.166 *	0.456 **	1.000	
I4	0.107	0.020	0.136	0.428 **	0.977 **	1.000

“*” : $r_{0.05,192} = 0.140$, “**” : $r_{0.01,192} = 0.183$

2.6 优异抗性资源的筛选

由于单株粒数和单株粒重最终决定大豆的产量,所以在优异资源的筛选上,以 I3 和 I4 作为大豆

补偿能力的选择依据。同时如果材料前期抗性差,叶片损失的过多,也很难在后期有较强的补偿,因此筛选优异的抗性材料时,把抗生性和抗选性 2 个指标中的一个指标表现为高抗或抗,另一个指标表现为中等及以上抗性作为选择优异种质的依据。根据以上 2 个标准共筛选出优异抗性资源 25 份,列入表 10。

表 10 优异的抗性种质资源
Table 10 Elite soybean resistance germplasms

材料名称 Material	幼虫重 Larval weight	单虫食叶量 Leaf consumption of		
		single larva	I3	I4
金龙黑豆 Jinglongheidou	HR	HR	0.84	0.92
夏邑太平紫花 Xiayitapingzihua	R	HR	1.21	1.31
玉林大黄豆 Yulindahuangdou	R	HR	0.96	1.05
丰平黑豆 Fengpingheidou	R	HR	1.14	1.15
南华黑皮豆 Nanhuaheipidou	R	HR	0.92	0.91
岳阳六月爆 Yueyangliuyuebao	R	HR	1.20	1.16
白抹豆 Baimodou	R	HR	0.85	0.79
同安油仔豆 Tong' anyouzidou	M	R	1.11	1.24
进贤早茶豆 Jinxianzaochadou	R	R	0.98	1.11
大青瓢黑豆 Daqingyangheidou	R	R	0.95	0.91
临黑豆 Linheidou	R	R	1.13	1.15
海门红黄豆乙 Haimenhonghuangdoui	R	R	0.86	0.87
蒙自细青豆 Mengzixiqingdou	R	R	0.86	0.62
余杭六月豆 Yuhangliuyudou	R	R	0.92	0.87
雅安小粒早 Ya' anxiaolizao	M	R	0.92	1.02
Bethol	R	R	0.97	1.02
镇江黄豆 Zhengjianghuangdou	M	R	1.07	1.07
玉山大乌豆 Yushandawudou	M	R	1.15	1.19
马粒豆 Malidou	M	R	1.52	1.60
石柱猪腰子 Shizhuzhuaozi	M	R	1.15	1.13
沛县大白角 Peixiangdabaijiao	R	R	0.90	0.87
开封郭庄青豆 Kaifengguozhuangqingdou	M	R	0.85	0.85
易县黑豆 Yixianheidou	R	R	1.29	1.42
双江棕皮豆 Shuangjiangzongpidou	R	M	1.21	1.18
三明矮脚青 Sanming' aijiaoqing	R	M	0.94	0.89

3 讨论

大豆对食叶性害虫的抗性鉴定工作是抗虫育种过程中一个重要的环节,而充足的虫源、合适的鉴定时期、适宜的鉴定方法与有效的鉴定指标是抗性鉴定成败的关键。自 20 世纪 60 年代后期国际上展开大豆对食叶性害虫抗性研究以来,研究者相继提出了田间自然虫源鉴定、网室温室人工接虫鉴定和实验室生物学鉴定的鉴定方法^[16-18]。

田间自然虫源鉴定目测小区叶面积损失百分率,据此划分抗性等级。其优点是能够评价植株对自然虫源的综合反应;缺点是抗性等级标准和观察记载的日期、次数受到研究者的限制。网室温室人工接虫鉴定以人工继代或人工采卵孵化的幼虫为虫源,人工接虫,以大豆植株的反应(叶面积损失百分率,着卵量)评价各品种的抗性。优点是可设置重复,不受自然条件和虫源的限制,评价大豆对单一虫种的抗性;缺点是材料不能太多,试验结果受研究者的限制,只能评价植株对单一虫种的抗选性和综合反应^[19]。实验室生物学鉴定以人工继代或人工采卵孵化的幼虫为虫源,以虫体反应(幼虫的发育指标)评价各品种的抗性。优点是可设置重复,进行大规模试验,不受自然条件和虫源的限制。缺点是幼虫发育指标只能间接反应大豆的抗性,仅能评价植株对害虫的抗生性。但这一鉴定方法由于其自身的优点而受到众多大豆研究者的青睐^[7-9,20-25]。

我国的研究者对以上 3 种抗虫鉴定方法进行大量的尝试和改进,提出了完善的标准品种分级系统^[10,15,19-22,26]。但至今没有研究能够同时评价大豆对某单一虫种的 2 种以上机制的抗性表现。该研究采用了经典的室内生物学鉴定方法,以幼虫重为指标研究大豆对害虫的抗生性,在此基础上以单虫食叶量为指标评价了大豆对斜纹夜蛾的抗选性。在试验中,在强迫喂食条件下,品种间在单虫食叶量上仍然有极显著的差异,说明该指标用于评价大豆对斜纹夜蛾的抗选性是可行的。研究结果表明,有的材料在抗生性上表现为抗,如栾川城关小黑豆(文中没有列出),而有的材料在抗选性上表现为抗,如同安油仔豆。这些结果说明大豆抗虫性是多个抗性水平的综合表现,仅仅评价其一个方面不够全面。詹秋文等^[26]和吴巧娟等^[20]用同一批材料分别鉴定了大豆对斜纹夜蛾的综合抗性和抗生性,结果不能完全吻合,也进一步证明了上述结论。

大豆抗虫研究近 40 a,高抗食叶性害虫的品种

一直没有培育成功。Narvel 等^[4]认为抗虫性自身的数量遗传特性和连锁累赘也许是其主要原因。在该假设的基础上,国内外的研究者在 QTL 定位方面进行了大量的研究,期望通过分子标记辅助选择打破不利基因与抗性基因间的连锁^[7-9,22-25],但仍未有高抗品种培育成功的报道。从另一方面讲,在大豆材料中也应该存在抗性基因与有利基因的连锁,但在国内外的研究中还没有看到相关研究的报道。该研究在 V6 期摘除叶片模拟大豆叶面积损失,以株高、主茎分枝数、单株粒数和单株粒重的处理与对照比值评价大豆在株高、主茎分枝数、单株粒数和单株粒重上的补偿能力,发现各材料在这些性状上的补偿能力存在差异,有些材料耐害性和补偿能力较强(比值 ≥ 1)。胡桂馨等^[13]在不同苜蓿品种对牛角花齿蓟马的耐害性研究中也得到了相同的结论。通过对 3 种抗性机制的指标相关分析发现,大豆对斜纹夜蛾的抗生性、抗选性与大豆自身的补偿能力间相关不显著,因此大豆对斜纹夜蛾的抗生性、抗选性鉴定并不能完全代表大豆抗虫性水平。这也表明通过对同一批材料研究其抗生性、抗选性和耐害性及补偿能力是一种鉴定抗性基因与农艺性状有利基因存在于同一个资源的可行性尝试。

该研究通过对 194 份大豆材料的抗性评价,获得一批高抗生性、抗选性和高补偿能力的大豆地方品种,为大豆抗虫育种的有效开展奠定材料基础。

4 结论

通过 3 种抗性机制评价了 194 份大豆材料对斜纹夜蛾的抗性,发现分别有 77 份和 107 份材料在抗生性和抗选性上对斜纹夜蛾表现为高抗或抗。耐害和补偿能力的研究发现,株高、主茎分枝数、单株粒数和单株粒重性状上表现出不同程度的耐害和补偿能力,有些材料补偿能力较强。3 种抗性机制间存在正相关的关系,但只有大豆对斜纹夜蛾的抗生性与抗选性的相关程度达到了显著水平。在抗性鉴定的基础上,筛选出 25 份优异大豆抗性材料,为大豆抗虫遗传与育种提供新的抗性资源。

参考文献

- [1] 贝亚维,茹水江,陈笑芸,等. 温度对斜纹夜蛾生长发育和存活的影响[J]. 浙江农业学报,2001,13(4):197-200. (Bei Y W, Ru S J, Chen X Y, et al. The effect of temperature on the development and survival of *Spodoptera litura*, Fabricius[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2001, 13(4):197-200.)
- [2] 崔章林,盖钧镒,吉东风,等. 南京地区大豆食叶性害虫种类调查与分析[J]. 大豆科学,1997,16(1):12-20. (Cui Z L, Gai J Y, Ji D F, et al. A study on leaf-feeding insect species on soybean in Nanjing area[J]. Soybean Science, 1997, 16(1):12-20.)
- [3] Rector B G, All J N, Parrott W A, et al. Identification of molecular markers linked to quantitative trait loci for soybean resistance to corn earworm[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1998, 96:786-790.
- [4] Narvel J M, Walker D R, Rector B G, et al. A retrospective DNA marker assessment of the development of insect resistant soybean[J]. Crop Science, 2001, 41:1931-1939.
- [5] 周明群. 作物抗虫性原理及应用[M]. 北京:北京农业大学出版社,1992:10-12. (Zhou M Z. Crops insect-resistance principle and application [M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1992:10-12.)
- [6] Rector B G, All J N, Parrott W A, et al. Quantitative trait loci for antixenosis resistance to corn earworm in soybean[J]. Crop Science, 1999, 39:531-538.
- [7] Rector B G, All J N, Parrott W A, et al. Quantitative trait loci for antibiosis resistance to corn earworm in soybean[J]. Crop Science, 2000, 40:233-238.
- [8] Terry L I, Chase K, Jarvik T, et al. Soybean quantitative trait loci for resistance to insects[J]. Crop Science, 2000, 40:375-382.
- [9] Zhu S, Walker D R, Boerma H R, et al. Fine mapping of a major insect resistance QTL in soybean and its interaction with minor resistance QTLs[J]. Crop Science, 2006, 46:1094-1099.
- [10] 孙祖东,盖钧镒. 大豆对食叶性害虫抗性机制的研究[J]. 中国油料作物学报, 1999, 21(2):60-64. (Sun Z D, Gai J Y. The mechanism of resistance of soybeans to leaf-feeding insects[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1999, 21(2):60-64.)
- [11] 段灿星,张世贤,陈青,等. 水稻种质资源抗灰飞虱评价及抗性机制分析[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(4):425-430. (Duan C X, Zhang S X, Chen Q, et al. Evaluation of rice germplasm for resistance to the small brown plant hopper and analysis on resistance mechanism[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2007, 21(4):425-430.)
- [12] 赵利敏,杜晓莉,贾豪,等. 灰翅麦茎蜂对不同品种春小麦穗粒重的影响[J]. 植物保护, 1997, 23(6):15-16. (Zhao L M, Du X L, Jia H, et al. Effect of *Cephus fumipennis* eversmann on grain weight of different spring wheat varieties[J]. Plant Protection, 1997, 23(6):15-16.)
- [13] 胡桂馨,师尚礼,王森山,等. 不同苜蓿品种对牛角花齿蓟马的耐害性研究[J]. 草地学报,2009,17(4):505-509. (Hu G X, Shi S L, Wang S S, et al. Tolerance of alfalfa varieties to *Odonthrips loti* Haliday[J]. Acta Agrestia Sinica, 2009, 17(4):505-509.)
- [14] 陈建明,俞晓平,程家安,等. 植物耐虫性研究进展[J]. 昆虫学报,2005,48(2):262-272. (Chen J M, Yu X P, Chen J A, et al. Plant tolerance against insect pests and its mechanisms[J]. Acta Entomologica Sinica, 2005, 48(2):262-272.)
- [15] 盖钧镒,崔章林. 大豆抗食叶性害虫育种的鉴定方法与标准[J]. 作物学报,1997, 23(4):400-407. (Gai J Y, Cui Z L. A

- study on methods and criteria of identification of resistance to leaf-feeding insects in soybean breeding[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(4):400-407.)
- [16] Van Duyu J W, Turnipseed S G, Maxwell J D. Resistance in soybeans to the Mexican bean beetle. I. Sources of resistance[J]. *Crop Science*, 1971, 11:572-573.
- [17] Van Duyu J W, Turnipseed S G, Maxwell J D. Resistance in soybeans to the Mexican bean beetle. II. Reaction of the beetle to resistant plants[J]. *Crop Science*, 1972, 12:561-562.
- [18] Hatchett J H, Beland G L, Hartwig E E. Leaf-feeding resistance to bollworm and tobacco budworm in three soybean plant introductions[J]. *Crop Science*, 1976, 16:277-280.
- [19] 崔章林, 盖钧镒. 大豆抗食叶性害虫的研究进展[J]. *大豆科学*, 1996, 15(2):149-158. (Cui Zh L, Gai J Y. Advance of study on soybean leaf-feeding insects [J]. *Soybean Science*, 1996, 15(2):149-158.)
- [20] 吴娟娟, 吴娟娟, 吴业春, 等. 大豆资源对斜纹夜蛾的抗性鉴定[J]. *大豆科学*, 2006, 25(4):410-409. (Wu Q J, Wu J J, Wu Y C, et al. Evaluation of resistance of soybean germplasm to cotton worm (*Prodenia litura*, *Fabricius*)[J]. *Soybean Science*, 2006, 25(4):409-413.)
- [21] 吴业春, 王慧, 吴娟娟, 等. 大豆对食叶性害虫田间抗性的相对稳定性[J]. *中国油料作物学报*, 2004, 26(4):66-70. (Wu Y C, Wang H, Wu Q J, et al. Relative stability on resistance of soybeans to leaf-feeding insects in the field[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2004, 26(4):66-70.)
- [22] 王慧, 喻德跃, 吴娟娟, 等. 大豆对斜纹夜蛾抗性基因的卫星标记(SSR)的研究[J]. *大豆科学*, 2004, 23(2):91-95. (Wang H, Yu D Y, Wu Q J, et al. Characterization of resistance genes to cotton worm with SSR markers in soybean[J]. *Soybean Science*, 2004, 23(2):91-95.)
- [23] Komatsu K, Okuda S, Takahashi M, et al. QTL mapping of antibiosis resistance to common cutworm (*Spodoptera litura* *Fabricius*) in soybean[J]. *Crop Science*, 2005, 45:2044-2048.
- [24] 刘华, 王慧, 李群, 等. 大豆对斜纹夜蛾抗性的遗传分析及相关 QTL 的定位[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(7):1369-1372. (Liu H, Wang H, Li Q, et al. Inheritance analysis and mapping QTLs related to cotton worm resistance in soybean[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(7):1369-1372.)
- [25] 付三雄, 王慧, 吴娟娟, 等. 应用重组自交系群体定位大豆抗虫 QTL[J]. *遗传*, 2007, 29(9):1139-1143. (Fu S X, Wang H, Wu J J, et al. Mapping insect resistance QTLs of soybean with RIL population[J]. *Hereditas*, 2007, 29(9):1139-1143.)
- [26] 詹秋文, 盖钧镒. 大豆种质资源对斜纹夜蛾(*Prodenia litura*)抗性的鉴定[J]. *应用与环境生物学报*, 2000, 6(1):18-23. (Zhan Q W, Gai J Y. Evaluation of resistance of soybean germplasm to cotton worm (*Prodenia litura*, *Fabricius*)[J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2000, 6(1):18-23.)
- (上接第 7 页)
- [47] 吴晓雷, 王永军, 贺超英. 大豆重要农艺性状的 QTL 分析[J]. *遗传学报*, 2001, 28(10):947-955. (Wu X L, Wang Y J, He C Y. QTLs Mapping of some agronomic traits of soybean[J]. *Acta Genetica Sinica*, 2001, 28(10):947-955.)
- [48] 杨喆, 刘丽君, 高明杰, 等. 大豆高蛋白基因分子标记及其在大豆育种中的应用[J]. *大豆科学*, 2008, 27(2):186-189. (Yang Z, Liu L J, Gao M J, et al. QTL tagging for high protein gene and using molecular marker assistant selection in soybean breeding [J]. *Soybean Science*, 2008, 27(2):186-189.)
- [49] 张军, 赵团结, 盖钧镒. 大豆育成品种农艺性状 QTL 与 SSR 标记的关联分析[J]. *作物学报*, 2008, 34(12):2059-2069. (Zhang J, Zhao T J, Gai J Y. Association analysis of agronomic trait QTLs with SSR markers in released soybean cultivars [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(12):2059-2069.)
- [50] 张忠臣, 战秀玲, 陈庆山, 等. 大豆油分和蛋白性状的基因定位[J]. *大豆科学*, 2004, 23(2):81-85. (Zhang Z C, Zhan X L, Chen Q S, et al. The location of genes related to soybean oil and protein content[J]. *Soybean Science*, 2004, 23(2):81-85.)
- [51] 朱晓丽. 大豆遗传图谱构建及在两个群体重要农艺性状的 QTL 定位[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2006. (Zhu X L. Construction of genetic linkage map and QTL mapping of important agronomic traits in two soybean populations[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2006.)
- [52] Vollmann J, Schausberger H, Bistrich H, et al. The presence or absence of the soybean Kunitz trypsin inhibitor as a quantitative trait locus for seed protein content[J]. *Plant Breeding*, 2008, 121(3):272-274.
- [53] 杨喆, 关荣霞, 王跃强, 等. 大豆遗传图谱的构建和若干农艺性状的 QTL 定位分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2004, 5(4):309-314. (Yang Z, Guan R X, Wang Y Q, et al. Construction of genetic map and QTL analysis for some agronomic traits in soybean [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2004, 5(4):309-314.)
- [54] Mansur L M, Lark K G, Kross H, et al. An interval mapping of quantitative trait loci for reproductive, morphological and seed traits of soybean(*Glycine max* L.)[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1993, 86:907-913.
- [55] Specht J E, Chase K, Macrander M, et al. Soybean response to water: A QTL analysis of drought tolerance[J]. *Crop Science*, 2001, 41(2):493-509.
- [56] Goffinet B, Gerber S. Quantitative trait loci: a meta-analysis[J]. *Genetics*, 2000, 155:463-473.
- [57] Stuber C W. Mapping and manipulating quantitative traits in maize [J]. *Trend in Genetics*, 1995, 11:477-481.
- [58] Romagosa I, Han F, Ullrich S E. Verification of yield QTL through realized molecular marker-assisted selection responses in a barley cross[J]. *Molecular Breeding*, 1999, 5:143-152.
- [59] Wang D K, Pei K M, Fu Y P, et al. Genome-wide analysis of the auxin response factors (ARF) gene family in rice (*Oryza sativa*) [J]. *Gene*, 2007, 394:13-24.