

45 个春大豆品种豆荚结构特征及其对食心虫抗性评价

吕德东,徐 伟,史树森

(吉林农业大学 农学院,吉林 长春 130118)

**摘 要:**为解析豆荚结构特征及其与大豆品种对食心虫抗性的关系,对 45 份东北春大豆品种的荚毛密度、长度、颜色、形状及荚皮各层组织厚度等结构特征进行观测分析,提出相对抗性系数法对大豆品种抗虫性进行评价,结果表明:45 个品种荚毛密度的频次分布符合韦布尔方程  $Y_{\text{荚毛密度}} = 9.21(1 - \text{EXP}(-((X - 2.77)/2.90)^{-6.37}))$ ,荚毛长度的频次分布符合双曲线方程  $Y_{\text{荚毛长度}} = -151.28 + 138.39X - 29.46X^2$ ;荚皮表皮角质层、皮下厚壁细胞层、中果皮细胞层、内壁细胞组织层厚度的频次分布均符合二次曲线方程,分别为  $Y_{\text{角质层}} = -42.23 + 2.30X - 0.02X^2$ 、 $Y_{\text{厚壁}} = -103.14 + 3.12X - 0.021X^2$ 、 $Y_{\text{中果皮}} = -72.32 + 0.23X - 0.0001X^2$ 、 $Y_{\text{内壁}} = -109.17 + 1.44X - 0.004X^2$ 。品种抗选择系数  $k_1$ 、抗钻入系数  $k_2$ 、综合抗性系数  $k_{\text{综合}}$  与虫食率的相关系数分别为  $R_1 = -0.649(P=0.0040)$ 、 $R_2 = -0.723(P=0.0258)$ 、 $R_{\text{综合}} = -0.717(P=0.0001)$ ,均呈极显著负相关,表明可以将相对抗性系数作为评价当地品种抗性的指标。

**关键词:**大豆品种;豆荚结构;大豆食心虫;抗性系数;相关分析

中图分类号:S565.1;S433.1 文献标识码:A DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2018.02.0275

The Structure of Soybean Pod of 45 Spring Soybean Varieties and Evaluation of Resistance to *Leguminivora glycinivorella*

LYU De-dong, XU Wei, SHI Shu-sen

(Agronomy College of Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** To analysis the relation between characteristics of pods structure and resistance to *Leguminivora glycinivorella*, pod hair density, length, color and thickness of different layers of 45 northeast spring soybean were observed analysis. The soybean varieties resistance was evaluated by resistance coefficient method. The results showed that the frequency distribution of pod hair density in 45 varieties accorded with Weibull equation  $y_{\text{density}} = 9.21(1 - \exp(-((x - 2.77)/2.90)^{-6.37}))$ , the frequency distribution of pod hair length conformed to the Hyperbolic equation,  $y_{\text{length}} = -151.28 + 138.39x - 29.46x^2$ . The frequency distribution of thickness of epidermal cuticle, subcutaneous thick-walled cell layer, mesocarp cell layer and endothecium cell layer of the pod shell were in accordance with the Hyperbolic equation  $y_{\text{Cuticle}} = -42.23 + 2.30x - 0.02x^2$ 、 $y_{\text{Thick-walled cells}} = -103.14 + 3.12x - 0.021x^2$ 、 $y_{\text{Medium peel}} = -72.32 + 0.23x - 0.0001x^2$ 、 $y_{\text{Inner wall}} = -109.17 + 1.44x - 0.004x^2$ . The correlation coefficients of varieties resistant to selectivity coefficient, anti-penetration coefficient and total resistance coefficient were  $R_1 = -0.649(P=0.0040)$ ,  $R_2 = -0.723(P=0.0258)$  and  $R_{\text{synthesis}} = -0.717(P=0.0001)$  all showed a very significant negative correlation. It showed that the relative resistance coefficient could be used as a standard to evaluate the resistance of varieties.

**Keywords:** Soybean variety; Pod structure; *Leguminivora glycinivorella*; Resistance coefficient; Correlation analysis

大豆既是粮食作物,又是经济作物,作为一种重要的植物蛋白质和食用油资源,在我国国民经济中占有重要地位。提高大豆产量,充分、有效地利用大豆资源是研究者们追求的目标。在以往对大豆结构的研究中,往往将重点放在根瘤、叶片、幼芽及成熟籽粒深加工等方面的研究上<sup>[1-4]</sup>,对于豆荚的荚毛表观及荚皮生理指标变化的研究却较少<sup>[5-6]</sup>;豆荚是大豆的重要器官,它直接影响大豆的产量,并与光合作用效率、是否抗病虫害等紧密相关。刘洪梅等<sup>[7]</sup>、张桂茹等<sup>[8]</sup>研究表明豆荚的光合速率与其叶绿素含量呈正相关;林敬州等<sup>[9]</sup>、赵燕

丽等<sup>[10]</sup>阐述了大豆豆荚是评价是否抗炭疽病的最主要因素;元明浩等<sup>[11]</sup>、张智勇等<sup>[12]</sup>等提出荚皮厚度大小与抗食心虫关系密切;日本学者 Ohnishi<sup>[13]</sup>、王继安等<sup>[14]</sup>研究结果表明成虫喜产卵于荚毛密度大,荚毛长度小的豆荚上;周艳丽等<sup>[15]</sup>研究表明大豆荚皮的厚度及密度影响农药残留的多少。可见,大豆豆荚是重要的大豆器官,研究豆荚结构及生理特征对大豆是否抗病虫害、提高大豆品质、产量有重要的理论和实践意义<sup>[16-17]</sup>。尽管关于大豆品种对食心虫抗性相关研究已有较多文献报道,但多集中在对抗性品种的选育及其遗传<sup>[18]</sup>等方面。单纯

收稿日期:2018-01-05  
基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-04)。  
第一作者简介:吕德东(1991-),男,硕士,主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail:1224469333@qq.com。  
通讯作者:史树森(1963- )男,教授,主要从事农业害虫综合治理与昆虫资源利用研究。E-mail: sss - 63@263. net。

研究豆荚结构及生理特征等与抗食心虫的相关性,且通过这些特征量化指标与抗虫性之间的关系研究进而对品种抗性进行评价未见报道。本研究通过对东北45个春大豆品种进行豆荚表观性状分析、荚皮生理解剖超显微观察以及田间虫食率调查,试图明确品种荚毛密度、长度,荚皮中表皮角质层、皮下厚壁细胞层、中果皮细胞层、内壁细胞组织层厚度等量化指标与其对食心虫抗性的关系,并进一步提出品种抗性评价方法,为方便育种科研工作者进行抗虫品种的筛选,以及大豆植物保护科研工作者开展抗虫机制研究等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 品种材料

供试45个东北春大豆品种材料由吉林省农科院大豆研究所提供。2016年4月30日播种于吉林省农科院大豆试验基地,水肥、除草等田间管理正常。2016年8月1日,采集各品种鼓粒期豆荚装入自封袋,取回室内存放于-20℃冰箱保存。

1.2 试验药品及器材

LEICA CM 1950 冷冻切片机、OLYMPUS SZ61 电子显微镜、oct 包埋剂、阳离子载玻片、游标卡尺、测微尺、锡箔纸、剪刀等。

1.3 试验方法

1.3.1 不同品种豆荚形态指标观测 将保存的豆荚从冰箱取出,每个品种豆荚取大小一致的3粒荚,用直径7 mm 打孔器取豆荚表皮,置于显微镜下操作台观察统计豆荚毛数、形态。并用测微尺测量荚毛长度,测量荚毛长度时,用镊子将整根荚毛取下,置于显微镜下操作台上,用目镜刻度尺测量其长度,4次重复。

1.3.2 不同品种荚皮结构显微观察 根据宁代锋等<sup>[19]</sup>方法将不同品种的大小一致3粒荚荚皮做成冰冻切片,切片流程为固定-包埋-冰冻-切片-制片-显微摄影,切片厚度为12 μm,每个品种4次重复,所有样片均在显微镜下观察并显微拍照。

1.3.3 品种对食心虫相对抗性水平评价 本试验提出抗性系数方法来评定品种理论抗性大小。王继安等<sup>[14]</sup>、王克勤等<sup>[20]</sup>、吕德东等<sup>[21]</sup>研究表明:荚毛密度越小、荚毛长度越大、荚皮越厚抗性越强。本试验设定 $k_1$ (抗选择性系数)、 $k_2$ (抗钻蛀性系数)、 $k_{综合}$ (综合抗性系数):

$$k_1 = x \times y; k_2 = z \times c \times v \times b; k_{综合} = k_1 \times k_2$$

$x、y、z、c、v、b$  分别代表荚毛密度、荚毛长度、表皮角质层、皮下厚壁细胞层、中果皮细胞层、内壁细胞组织层的抗性系数,抗性系数越大,抗性水平越

强, $0 < k \leq 1$ 。

计算方法:

荚毛密度抗性系数  $x = 1/(\text{品种荚毛密度}/\text{供试品种中最小荚毛密度})$

荚毛长度抗性系数  $y = \text{品种荚毛长度}/\text{供试品种中最大荚毛长度}$

表皮角质层抗性系数  $z = \text{品种表皮角质层厚度}/\text{供试品种中最大表皮角质层厚度}$

皮下厚壁细胞层抗性系数  $c = \text{品种皮下厚壁细胞层厚度}/\text{供试品种中最大皮下厚壁细胞层厚度}$

中果皮细胞层抗性系数  $v = \text{品种中果皮细胞层厚度}/\text{供试品种中最大中果皮细胞层厚度}$

内壁细胞组织层抗性系数  $b = \text{品种内壁细胞组织层厚度}/\text{供试品种中最大内壁细胞组织层厚度}$

1.3.4 虫食率调查 2017年5月1日,将上述45个大豆品种种入吉林农业大学大豆区域中心试验田,品种小区随机区组排列,每个品种小区播种4行,行长1.5 m,4次重复。9月15-30日陆续采集成熟的品种,每个品种小区采集10株大豆,室内调查虫食率。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 进行数据的初步运算,利用 DPS 13.5 软件进行相关性分析<sup>[22]</sup>。

2 结果与分析

2.1 45个品种豆荚表观结构特征分析

大豆荚皮表观性状即为荚毛密度、荚毛长度、荚毛颜色、着生状态,45个品种表观性状观测结果见表1,其频次分布情况见图1。荚毛密度跨度范围较大,为1.83~9.56根·mm<sup>-2</sup>,品种间存在差异显著性,荚毛密度为2.50~3.50根·mm<sup>-2</sup>区间数量频次最大,有13个品种(占28.89%),其次是4.50~5.50根·mm<sup>-2</sup>,有12个品种(占26.67%),5.50~10.50根·mm<sup>-2</sup>区间数量频次则依次减少。其密度梯度与频次之间符合韦布尔方程,模型为  $Y_{\text{荚毛密度}} = 9.21(1 - \text{EXP}(-(X - 2.77)/2.90)^{-6.37}))(F = 3.8704, P = 0.0896, R = -0.8361)$ ;荚毛长度为1.78~2.96 mm,品种间亦存在差异显著性,数量频次随荚毛长度的变大,总体呈现先上升后下降的趋势,2.30~2.50 mm 达到峰值,为15个品种(占33.33%),两端值则极少,仅为5个品种(占11.11%)。其毛长梯度与频次之间符合双曲线方程,模型为  $Y_{\text{荚毛密度}} = -151.28 + 138.39X - 29.46X^2 (F = 6.9183, P = 0.0503, R = 0.8808)$ ;荚毛颜色由浅入深分别为白、灰、浅黄、黄、棕,白色和棕色的频次一样,都为3个品种(各占6.67%),从灰色到

黄色,随着荚毛颜色由浅入深,品种频次越多,灰色、浅黄、黄色分别为 10 个(占 22.22%)、13 个(占 28.89%)、16 个(35.55%) 品种;着生状态分为直立、稍弯和弯曲,多数的着生状态为直立,为 35 个(占 77.78%) 品种,稍弯和弯曲分别为 5 个(各占 11.11%) 品种。

表 1 45 个品种表观性状数据分析  
Table 1 Analysis of apparent character data of 45 varieties

序号 No.	品种 Variety	荚毛密度 Pod hair density /( root·mm <sup>-2</sup> )	荚毛长度 Pod hair length /mm	荚毛颜色 Pod hair colour	着生状态 Living state
1	垦丰 19	4.69 jk	2.43 defghijk	黄色	直立
2	东农 53	1.83 u	2.05 rst	黄色	直立
3	龙黄 1 号	4.88 ijk	2.21 mnopqr	浅黄	直立
4	绥农 28	4.06 lm	2.29 jklmno	浅黄	直立
5	绥农 29	4.55 k	2.31 hijklm	灰色	直立
6	合丰 49	7.03 d	2.57 bcde	灰色	直立
7	合丰 53	4.82 ijk	2.29 jklmno	浅黄	直立
8	抗线虫 6 号	4.06 lm	2.13 nopqrst	浅黄	直立
9	抗线虫 12	4.81 ijk	2.03 st	黄色	直立
10	垦丰 13	4.81 ijk	1.78 u	黄色	直立
11	垦丰 14	2.54 rs	2.51 defg	浅黄	直立
12	垦丰 15	6.94 d	2.96 a	灰色	直立
13	垦豆 25	7.95 c	2.05 rst	棕色	直立
14	垦豆 26	3.60 nop	2.70 bc	黄色	直立
15	垦豆 32	5.38 fgh	2.42 efghijk	浅黄	弯曲
16	垦豆 33	4.46 kl	2.27 klmnop	浅黄	直立
17	垦农 31	3.22 pq	2.54 def	浅黄	直立
18	北豆 3 号	5.03 hij	2.42 defghijk	黄色	直立
19	北豆 35	2.28 st	2.26 klmnop	灰色	直立
20	吉育 47	2.81 qr	1.79 u	灰色	弯曲
21	吉育 80	4.06 lm	2.54 def	灰色	直立
22	吉育 82	2.65 rs	2.49 defg	浅黄	直立
23	吉育 88	5.86 e	2.30 ijklmn	灰色	直立
24	吉育 90	3.38 nop	2.47 defghi	黄色	稍弯
25	吉育 95	9.56 a	2.24 lmnopq	黄色	直立
26	吉育 91	5.33 fgh	2.72 b	浅黄	直立
27	吉育 93	2.40 rst	2.03 st	灰色	直立
28	吉育 201	3.78 mn	2.45 defghij	浅黄	直立
29	吉育 202	8.50 b	2.32 hijklm	灰色	直立
30	吉育 203	3.25 op	2.00 t	黄色	直立
31	吉育 404	3.21 pq	2.59 bcd	白色	直立
32	杂交豆 3 号	3.68 mno	2.10 qrst	白色	稍弯
33	原育 20	3.38 nop	2.08 qrst	白色	直立
34	九农 34	4.44 kl	2.10 qrst	浅黄	弯曲
35	吉农 28	2.05 tu	2.19 mnopqrs	黄色	稍弯
36	吉农 20	5.71 ef	2.30 ijklmn	棕色	直立
37	吉密豆 1 号	5.53 efg	2.11 pqrst	浅黄	弯曲

续表 1

序号 No.	品种 Variety	荚毛密度 Pod hair density /( root · mm <sup>-2</sup> )	荚毛长度 Pod hair length /mm	荚毛颜色 Pod hair colour	着生状态 Living state
38	长农 25	3.39 nop	2.55 cdef	黄色	弯曲
39	长农 27	2.73 r	2.04 st	黄色	稍弯
40	绥农 14	5.40 fgh	2.40 efghijkl	黄色	直立
41	吉农 11	3.15 pq	2.39 fghijkl	黄色	稍弯
42	吉农 19	4.74 jk	2.48 defgh	黄色	直立
43	吉青 2 号	5.06 hij	2.34 ghijklm	灰色	直立
44	吉农 29	5.25 ghi	2.53 def	棕色	直立
45	通农 943	3.38 nop	2.47 defgh	黄色	直立

同列不同小写字母表示差异达 5% 显著水平,下同。  
The different lowercase in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same as below.

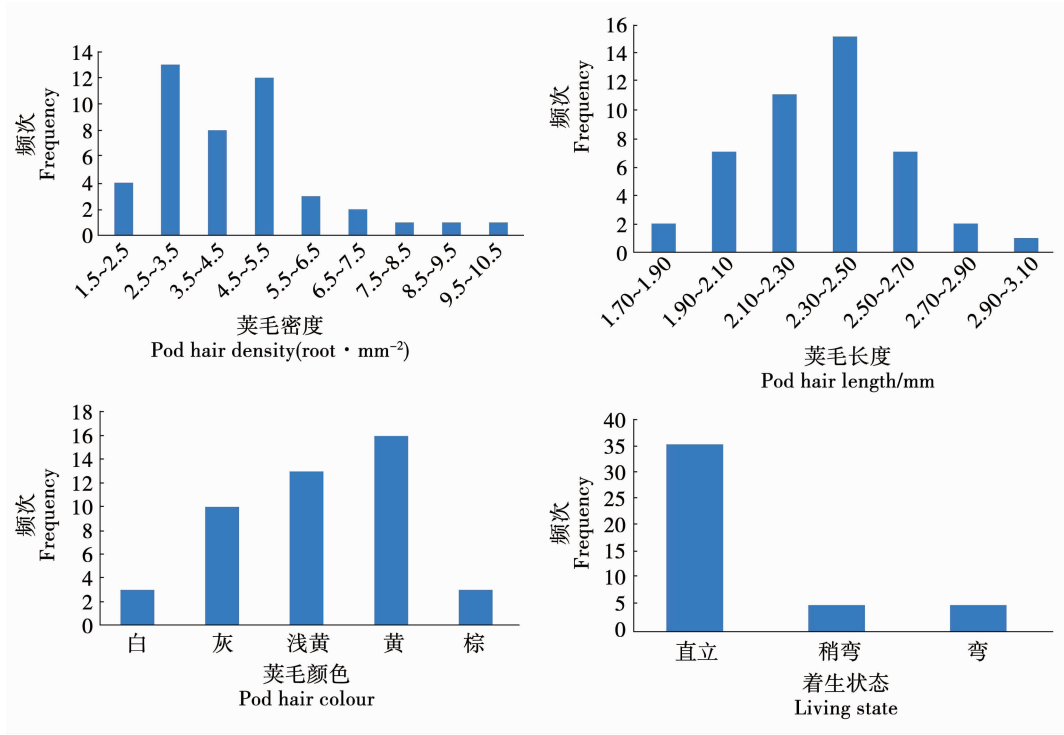


图 1 45 个大豆品种荚皮表现性状量化频次分布  
Fig. 1 The quantized frequency distribution of the superficial characteristics of the pod of 45 soybean varieties

2.2 45 个大豆品种荚皮组织结构特征分析

大豆荚皮横切面结构分为 4 个层次,依次分别为表皮角质层、皮下厚壁细胞、中果皮细胞、内壁细胞组织层。其中,表皮角质层厚度是荚皮结构中最薄的结构,其厚度为 32.00 ~ 60.67 μm,各个品种之间呈差异显著性;皮下厚壁细胞层厚度范围为 52.33 ~ 90.33 μm,各个品种之间呈差异显著性;中果皮细胞层厚是整个荚皮中最厚的结构,其厚度变化范围也较大,其区间为 495.33 ~ 854.00 μm,各个品种呈差异显著性;内壁细胞组织层厚度范围最小,为 116.00 ~ 219.00 μm,各个品种呈差异显著

性;荚皮厚度分布在 735.54 ~ 1 109.92 μm(表 2)。  
45 个品种荚皮各层次结构厚度频次分布如图 2 所示,表皮角质层厚度为 40 ~ 45 μm 的品种数量最多,为 13 个品种(占 28.89%),其次是 35 ~ 40 μm 和 50 ~ 55 μm 区间的厚度,都达到了 7 个品种(占 15.56%),60 ~ 65 μm 的区间的厚度数量频次最少,仅为 1 个(占 2.22%)。表皮角质层厚度的频次分布符合二次曲线方程,模型为  $Y_{\text{角质层}} = -42.23 + 2.30X - 0.02X^2$  ( $F = 3.6684, P = 0.1245, R = -0.8045$ );皮下厚壁细胞厚度为 70 ~ 75 μm 所占数量最多,达到 15 个品种(占 33.33%),其次为 65 ~

70 μm 区间,为 10 个品种(占 22.22%),50~55 μm,90~95 μm 区间各 1 个品种(占 2.22%)。皮下厚壁细胞厚度频次分布符合二次曲线方程,模型为  $Y_{\text{厚壁}} = -103.14 + 3.12X - 0.021X^2$  ( $F = 3.7137$ ,  $P = 0.0892$ ,  $R = -0.7437$ );中果皮细胞层厚度中 700~750 μm 的厚度数量频次最多,达到 13 个品种(占 28.89%),其次是 550~600 μm、650~700 μm 区间的厚度,频次都达到了 7 个(占 15.56%),450~500 和 800~850 μm 数量频次最少,仅为 2 个品种(占 4.44%)。中果皮细胞层厚度的频次分布符合二次曲线方程,模型为  $Y_{\text{中果皮}} = -72.32 + 0.23X -$

$0.0001X^2$  ( $F = 3.4963$ ,  $P = 0.0985$ ,  $R = -0.7336$ );内壁细胞组织层频次随内壁细胞组织层厚度的增加,总体呈现先上升后下降的趋势,150~170 μm 厚度区间达到顶峰,峰值为 14 个品种(占 31.11%),其次是 170~190 μm 区间,为 11 个品种(占 24.44%),110~130、210~230 μm 数量频次最少,都仅为 2 个品种(占 4.44%)。内壁细胞组织层厚度的频次分布符合二次曲线方程,模型为  $Y_{\text{内壁}} = -109.17 + 1.44X - 0.004X^2$  ( $F = 25.0894$ ,  $P = 0.0134$ ,  $R = -0.9714$ )。

表 2 45 个品种荚皮结构解剖测量结果

Table 2 Anatomic results of pod skin structure of 45 varieties							( μm)
序号 No.	品种 Variety	表皮角质层 Cuticular layer	皮下厚壁细胞层 Subcutaneous thick cell layer	中果皮细胞层 Middle epidermis cell layer	内壁细胞组织层 Inner wall cell layer thickness	总厚度 Total thickness	
1	垦丰 19	45.33 ijklm	71.67 fghijkl	674.33 jk	155.67 ijkl	947.00	
2	东农 53	43.67 klm	79.00 cdefg	563.33 nop	131.67 o	817.67	
3	龙黄 1 号	37.67 opqrs	72.67 defghijkl	760.33 cd	183.74 def	1054.41	
4	绥农 28	35.33 qrst	82.00 bc	717.33 fgh	183.78 def	1018.45	
5	绥农 29	37.67 opqrs	56.00 op	700.00 hij	183.85 def	977.52	
6	合丰 49	60.67 a	58.67 nop	555.33 op	140.33 mno	815.00	
7	合丰 53	44.33 jklm	70.00 hijkl	674.67 jk	192.67 cd	981.67	
8	抗线虫 6 号	35.00 rst	64.33 lmn	683.00 ijk	153.20 ijklm	935.53	
9	抗线虫 12	49.33 ghij	60.67 mno	563.67 nop	201.33 bc	875.00	
10	垦丰 13	55.33 bcde	80.00 cde	555.00 op	162.50 hij	852.83	
11	垦丰 14	55.67 bcd	65.00 klmn	708.67 ghi	192.72 cd	1022.05	
12	垦丰 15	48.67 ghijk	56.67 op	538.33 p	151.44 jklm	795.11	
13	垦豆 25	50.33 efghi	52.33 p	503.67 q	129.21 o	735.54	
14	垦豆 26	50.00 fghi	68.33 hijklm	717.67 fgh	173.00 fgh	1009.00	
15	垦豆 32	34.00 rst	89.67 a	538.00 p	157.67 ijkl	819.33	
16	垦豆 33	32.00 t	64.67 lmn	589.00 n	208.33 ab	894.00	
17	垦农 31	38.33 nopqr	76.33 cdefgh	572.67 no	219.00 a	906.33	
18	北豆 3 号	43.00 lmn	70.00 hijkl	631.67 lm	179.67 def	924.33	
19	北豆 35	52.00 cdefg	68.33 hijklm	725.67 efgh	186.00 def	1032.00	
20	吉育 47	44.33 jklm	74.67 cdefghi	760.00 cd	148.67 jklm	1027.67	
21	吉育 80	50.67 defgh	56.33 op	854.00 a	148.92 jklm	1109.92	
22	吉育 82	37.00 pqrst	88.67 ab	538.67 p	159.60 ijk	823.93	
23	吉育 88	57.33 ab	68.67 hijklm	725.67 efgh	175.93 efg	1027.60	
24	吉育 90	55.33 bcde	72.67 defghijkl	742.67 def	135.83 no	1006.50	
25	吉育 95	49.00 ghij	80.67 cd	572.00 no	159.97 ij	861.63	
26	吉育 91	32.67 st	72.33 efghijkl	819.67 b	155.00 ijkl	1079.67	
27	吉育 93	57.33 ab	69.33 hijkl	734.33 defg	208.00 ab	1069.00	
28	吉育 201	43.33 klmn	71.33 ghijkl	726.00 efgh	208.33 ab	1049.00	
29	吉育 202	33.00 st	80.33 cde	495.33 q	131.33 o	740.00	
30	吉育 203	40.33 mnopq	64.33 lmn	657.33 kl	210.33 ab	972.33	
31	吉育 404	57.00 abc	90.33 a	495.33 q	155.43 ijkl	798.10	

续表 2

序号 No.	品种 Variety	表皮角质层 Cuticular layer	皮下厚壁细胞层 Subcutaneous thick cell layer	中果皮细胞层 Middle epidermis cell layer	内壁细胞组织层 Inner wall cell layer thickness	总厚度 Total thickness
32	杂交豆 3 号	37.33 pqrs	71.67 fghijkl	734.33 defg	135.67 no	979.00
33	原育 20	42.00 lmnop	79.67 cdef	666.67 k	188.67 cde	977.00
34	九农 34	53.67 bedefg	65.67 jklmn	614.67 m	153.67 ijklm	887.67
35	吉农 28	53.67 bedefg	74.00 cdefghij	717.33 fgh	190.67 cd	1035.67
36	吉农 20	42.67 lmno	65.00 klmn	657.33 kl	116.00 p	881.00
37	吉密豆 1 号	44.67 jklm	74.33 cdefghi	614.67 m	144.67 lmn	878.33
38	长农 25	32.67 st	74.67 cdefghi	777.33 c	188.33 de	1073.00
39	长农 27	43.33 klmn	74.00 cdefghij	725.67 efgh	157.67 ijkl	1000.67
40	绥农 14	48.67 ghijk	79.67 cdef	640.00 lm	162.00 hij	930.33
41	吉农 11	54.67 bedef	66.33 ijklmn	708.67 ghi	181.67 def	1011.33
42	吉农 19	46.67 hijkl	73.33 defghijk	666.67 k	151.00 jklm	937.67
43	吉青 2 号	43.67 klm	68.33 hijklm	751.67 cde	166.67 ghi	1030.33
44	吉农 29	43.33 klmn	68.33 hijklm	751.33 cde	146.00 klmn	1009.00
45	通农 943	43.67 klm	71.67 fghijkl	751.67 cde	184.00 def	1051.00

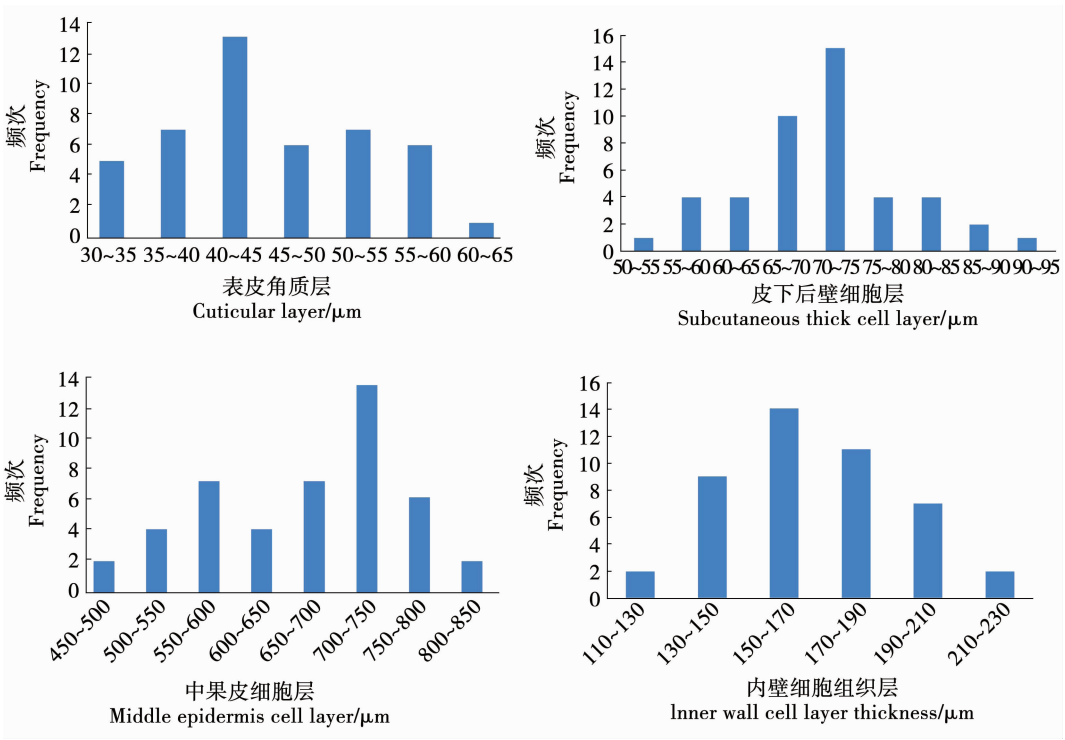


图 2 45 个大豆品种荚皮各层次结构厚度量化频次分布  
Fig. 2 The quantized frequency distribution of the thickness of different layer of the pod shell of 45 soybean varieties

2.3 45 个品种对大豆食心虫抗性分析

2.3.1 相对抗性系数及田间虫食率 按照本研究抗性标准划分方法,由表 3 可知,45 个品种的荚毛密度相对抗性系数(x)为 0.19 ~ 1.00,由于荚毛密度跨度范围大,故其相对抗性系数较小,荚毛长度相对抗性系数(y)为 0.60 ~ 1.00,两者乘积值  $k_1$  代表荚毛抗产卵选择相对抗性系数,其变化区间为 0.14 ~ 0.69;表皮角质层相对抗性系数(z)为 0.53 ~

1.00,皮下厚壁细胞层相对抗性系数(c)在 0.58 ~ 1.00,中果皮细胞层相对抗性系数(v)为 0.58 ~ 1.00,内壁细胞组织层相对抗性系数(b)为 0.53 ~ 1.00,将四者的乘积  $k_2$  值作为荚皮抗幼虫钻入相对抗性系数,其变化范围为 0.17 ~ 0.60; $k_1$  和  $k_2$  乘积  $k_{\text{综合}}$  为品种豆荚结构综合相对抗性系数,其变化范围为 0.03 ~ 0.34;45 个品种田间虫食率为 2.11% ~ 17.19%。

表 3 45 个品种抗性系数及虫食率调查结果

Table 3 45 varieties of resistance coefficient and worm eat rate survey results

序号 No.	品种 Variety	$x$	$y$	$k_1$	$z$	$c$	$v$	$b$	$k_2$	$k_{\text{综合}}$ $k_{\text{Total}}$	虫食率 Insect feed rate/%
1	垦丰 19	0.39	0.82	0.32	0.75	0.79	0.79	0.71	0.33	0.11	8.17
2	东农 53	1.00	0.69	0.69	0.72	0.87	0.66	0.60	0.25	0.17	12.26
3	龙黄 1 号	0.38	0.74	0.28	0.62	0.80	0.89	0.84	0.37	0.10	10.22
4	绥农 28	0.45	0.77	0.35	0.58	0.91	0.84	0.84	0.37	0.13	7.29
5	绥农 29	0.40	0.78	0.31	0.62	0.62	0.82	0.84	0.26	0.08	14.89
6	合丰 49	0.26	0.86	0.22	1.00	0.65	0.65	0.64	0.27	0.06	10.36
7	合丰 53	0.39	0.77	0.30	0.73	0.77	0.79	0.88	0.39	0.12	9.21
8	抗线虫 6 号	0.45	0.72	0.32	0.58	0.72	0.80	0.70	0.23	0.07	14.74
9	抗线虫 12	0.38	0.68	0.26	0.82	0.67	0.66	0.92	0.33	0.09	9.66
10	垦丰 13	0.38	0.60	0.23	0.92	0.89	0.65	0.74	0.39	0.09	14.66
11	垦丰 14	0.72	0.85	0.61	0.93	0.72	0.83	0.88	0.49	0.30	3.32
12	垦丰 15	0.26	1.00	0.26	0.80	0.63	0.63	0.69	0.22	0.06	11.92
13	垦豆 25	0.23	0.69	0.16	0.84	0.58	0.59	0.59	0.17	0.03	15.97
14	垦豆 26	0.50	0.91	0.46	0.83	0.76	0.84	0.79	0.42	0.19	5.55
15	垦豆 32	0.34	0.81	0.28	0.57	0.99	0.63	0.72	0.26	0.07	9.16
16	垦豆 33	0.41	0.76	0.31	0.54	0.71	0.69	0.95	0.25	0.08	8.77
17	垦农 31	0.57	0.85	0.48	0.64	0.85	0.67	1.00	0.36	0.17	5.54
18	北豆 3 号	0.36	0.81	0.29	0.72	0.78	0.74	0.82	0.34	0.10	8.72
19	北豆 35	0.80	0.76	0.61	0.87	0.76	0.85	0.85	0.48	0.29	4.50
20	吉育 47	0.65	0.60	0.39	0.74	0.82	0.89	0.68	0.37	0.14	7.14
21	吉育 80	0.45	0.85	0.38	0.84	0.63	1.00	0.68	0.36	0.14	7.90
22	吉育 82	0.69	0.84	0.58	0.62	0.98	0.63	0.73	0.28	0.16	3.52
23	吉育 88	0.30	0.77	0.23	0.95	0.76	0.85	0.80	0.49	0.11	8.09
24	吉育 90	0.54	0.83	0.45	0.92	0.80	0.87	0.62	0.40	0.18	5.61
25	吉育 95	0.19	0.76	0.14	0.82	0.89	0.67	0.73	0.36	0.05	8.13
26	吉育 91	0.34	0.91	0.31	0.53	0.80	0.96	0.71	0.29	0.09	5.99
27	吉育 93	0.76	0.68	0.52	0.95	0.77	0.86	0.95	0.60	0.31	2.11
28	吉育 201	0.49	0.82	0.40	0.71	0.79	0.85	0.95	0.45	0.18	6.68
29	吉育 202	0.21	0.78	0.16	0.55	0.89	0.58	0.60	0.17	0.03	17.19
30	吉育 203	0.56	0.67	0.38	0.66	0.71	0.77	0.96	0.35	0.13	7.00
31	吉育 404	0.57	0.87	0.50	0.95	1.00	0.58	0.71	0.39	0.20	6.35
32	杂交豆 3 号	0.50	0.71	0.36	0.62	0.79	0.86	0.62	0.26	0.09	11.74
33	原育 20	0.54	0.70	0.38	0.70	0.88	0.78	0.86	0.41	0.16	7.26
34	九农 34	0.41	0.70	0.29	0.88	0.73	0.72	0.70	0.32	0.09	13.56
35	吉农 28	0.89	0.73	0.65	0.88	0.82	0.84	0.87	0.53	0.34	3.11
36	吉农 20	0.32	0.77	0.25	0.70	0.72	0.77	0.53	0.21	0.05	9.69
37	吉密豆 1 号	0.33	0.71	0.23	0.73	0.82	0.72	0.66	0.28	0.06	10.32
38	长农 25	0.54	0.86	0.46	0.53	0.83	0.91	0.86	0.34	0.16	6.93
39	长农 27	0.67	0.68	0.46	0.72	0.82	0.85	0.72	0.36	0.17	5.05
40	绥农 14	0.34	0.81	0.28	0.80	0.88	0.75	0.74	0.39	0.11	9.35
41	吉农 11	0.58	0.80	0.46	0.89	0.74	0.83	0.83	0.45	0.21	4.66
42	吉农 19	0.39	0.83	0.32	0.77	0.81	0.78	0.69	0.34	0.11	8.52
43	吉青 2 号	0.36	0.79	0.28	0.72	0.76	0.88	0.76	0.37	0.10	9.09
44	吉农 29	0.35	0.85	0.30	0.72	0.76	0.88	0.67	0.32	0.10	7.43
45	通农 943	0.54	0.83	0.45	0.72	0.79	0.88	0.84	0.42	0.19	5.29

2.3.2 不同品种对食心虫相对抗性评价 虫食率是评价大豆品种对食心虫抗性的重要指标,它直观地反映出大豆食心虫对一个品种的危害程度,而相对抗性系数是大豆自身属性,现将品种相对抗性系数 $k$ 值与品种田间虫食率进行相关性分析(表3),可以进一步明确利用品种相对抗性系数评价其抗虫性的可行性。结果表明:品种抗选择性系数 $k_1$ 、抗钻入性系数 $k_2$ 、综合抗性系数 $k_{综合}$ 与田间虫食率相关系数分别为 $R_1 = -0.649 (P = 0.004\ 0)$ ,  $R_2 = -0.723 (P = 0.025\ 8)$ ,  $R_{综合} = -0.717 (P = 0.000\ 1)$ ,均呈极显著负相关,说明品种相对抗性系数 $k$ 值越大,虫食率越低,品种抗虫性越强。这一结论可以从45个品种的抗性表现中得到验证:吉农28综合抗性系数最大为0.34,其虫食率为3.11%,表现为抗食心虫;吉育202综合抗性系数最小为0.03,其虫食率为17.19%,表现为感食心虫。因此,利用品种相对抗性系数评价其抗虫性是可行的。从研究结果中还可发现,在相关性分析中 $|R_1| < |R_2|$ ,可见,抗钻入性 $k_2$ 系数值对品种综合抗性的影响更大。

3 讨 论

豆荚表观性状及荚皮解剖结构特征是反应大豆品种豆荚结构对食心虫抗性的两个最重要的因子。Ohnishi S<sup>[13]</sup>、李红鹏等<sup>[23]</sup>研究认为,大豆食心虫成虫更倾向产卵于密度大、长度短、颜色深的荚毛上;元明浩等<sup>[11]</sup>、张智勇等<sup>[12]</sup>提出豆荚表皮小细胞及皮下细胞层数与抗食心虫关系密切,荚皮内壁细胞层紧密排列会降低大豆食心虫的危害。Sharma<sup>[24]</sup>认为这些现象也可能与昆虫本身的蛀荚习性 > 及大豆的种植密度、种植时间等因素均密切相关。本研究从区域品种总体出发,分析了东北春大豆45个品种豆荚表观性状和荚皮层结构特征差异性及其频次分布的规律,并结合品种田间虫食率指标,进行了品种豆荚结构性状特征与对食心虫抗性的相关性分析。结果表明,豆荚表观性状中各因子间存在显著差异性,其中荚毛密度比长度变化幅度大,荚毛颜色和着生状态差异,但主要以黄荚毛色和直立生长为主,这些性状与大豆品种对食心虫的抗性密切相关。荚皮各结构层次中,中果皮细胞层厚度最大,变化范围也最大,其次为内壁细胞组织层,表皮角质层和皮下厚壁细胞层的厚度及变化较小。这些因子的变化皆与品种是否抗食心虫有关。

当然,大豆品种对食心虫抗性除了抗产卵选择性(抗选择性)和荚皮层结构抗性(抗钻蛀性)外,还与品种籽粒内含物(抗生性物质)及品种生育期、环

境等因素有关<sup>[25]</sup>,相关问题有待进一步探讨。

4 结 论

本研究提出了品种相对抗性的概念。即在当地可选择品种中,通过计算豆荚结构抗性因子相对抗性系数,可评价不同品种对食心虫的抗性水平。豆荚结构对食心虫主要抗性因子为荚毛密度、长度和荚皮层厚度,各因子相对抗性系数值 $k$ 与田间大豆籽粒虫食率呈极显著负相关,相对抗性系数 $k$ 值可以很好地反映品种对食心虫的相对抗性水平, $k$ 值越大,田间品种虫食率越低,品种抗性越强。利用相对抗性系数可以更简便有效地评价某栽培区域现有大豆品种对食心虫的相对抗性水平。

致谢:本研究承蒙吉林省农科院大豆研究所王曙明研究员团队,长春市农科院程延喜研究员团队提供品种材料,笔者在此表示衷心感谢!

参考文献

[1] 沈建国,高芳鑫,蔡伟,等. 进境大豆种子上菜豆荚斑驳病毒和大豆花叶病毒的多重 RT-PCR 检测[J]. 中国农业科学, 2016,49(4): 667-676. (Shen J G, Gao F L, Cai W, et al. Multiplex RT-PCR for simultaneous detection of bean pod mottle virus and soybean mosaic virus in imported soybean seeds [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016,49(4): 667-676. )

[2] 王国荣,陈昊健,林钗,等. 大豆豆荚炭疽病中期预测模型的研制[J]. 中国植保导刊,2016,36(8): 50-53. (Wang G R, Chen W J, Lin C, et al. Establishment of mid-term forecast model for soybean pod anthracnose [J]. China Plant Protection, 2016, 36 (8): 50-53. )

[3] 章建新,朱倩倩,王维俊. 不同滴水量对大豆根系生长和花荚形成的影响[J]. 大豆科学,2013,32(5): 609-613. (Zhang J X, Zhu Q Q, Wang W J. Effect of drip irrigation quantities on roots growth and formation of flowers and pods in soybean[J]. Soybean Science, 2013,32(5): 609-613. )

[4] 孙福东,冯乃杰,郑殿峰,等. 植物生长调节剂 S3307 和 DTA-6 对大豆荚的生理代谢及 GmAC 的影响[J]. 中国农业科学, 2016,49(7): 1267-1276. (Sun F D, Feng N J, Zheng D F, et al. Effects of plant growth regulators S3307 and DTA-6 on physiological metabolism and GmAC gene expression in soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016,49(7): 1267-1276. )

[5] 李金霞,章建新,吕淑萍. 高产春大豆豆荚与叶片的光合性能研究[J]. 大豆科学,2009,28(6): 1026-1030. (Li J X, Zhang J X, Lyu S P. Photosynthetic characteristics in pod and leaves of high-yield spring soybean [J]. Soybean Science, 2009, 28 (6): 1026-1030. )

[6] 李立华. 大豆叶片和非叶器官光合特性探讨[D]. 北京:中国科学院植物研究所,2000. (Li L H. Study on photosynthetic characteristics of soybean leaves and non leaf organs[D]. Beijing: Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, 2000. )

[7] 刘洪梅,李英,卜贵军,等. 大豆豆荚光合物质转运与分配对籽粒发育的影响[J]. 核农学报,2008,22(4): 519-523. (Liu H



- M, Li Y, Bu G J, et al. Effects of photosynthate transportation and distribution in soybean pods on the development of soybean seeds [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2008, 22(4): 519-523. )
- [8] 张桂茹, 杜维广, 满为群, 等. 高光效大豆品种豆荚解剖学特性[J]. 大豆科学, 2002, 21(1): 14-17. (Zhang G R, Du W G, Man W Q, et al. Anatomy properties of pod walls of soybean varieties with high photosynthetic rate [J]. Soybean Science, 2002, 21(1): 14-17. )
- [9] 林敬州, 姜聪, 汪自强, 等. 大豆种质资源对大豆豆荚炭疽病的抗性评价[J]. 浙江农业科学, 2013, 33(2): 166-168. (Lin J Z, Jiang C, Wang Z Q, et al. Resistance evaluation of soybean germplasm resources to soybean pods anthracnose [J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2013, 33(2): 166-168. )
- [10] 赵燕丽, 于龙凤, 李茫雪, 等. 大豆叶片和豆荚与衰老相关的某些生理特性比较[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(1): 6-9. (Zhao Y L, Yu L F, Li M X, et al. Physiological characters comparison of decrepitude leaf blade and pod in soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 39(1): 6-9. )
- [11] 元明浩, 孟广萍, 于晶. 高蛋白大豆品种食心虫抗性与相关性状分析简报[J]. 大豆科技, 2009(6): 42-43. (Yuan M H, Meng G P, Yu J. Analysis on the resistance and related traits of high protein soybean genomes [J]. Soybean Science and Technology, 2009(6): 42-43. )
- [12] 张智勇, 齐冰洁, 张玉金. 大豆不同品种豆荚细胞组织结构与抗食心虫关系的研究[J]. 内蒙古农业科技, 2007, 39(1): 119-121. (Zhang Z Y, Qi B J, Zhang Y J. Study on the relationship between the structure of soybean pod cells and the relationship between the antiesophagus and the different species [J]. Inner Mongolia Agricultural Science And Technology, 2007, 39(1): 119-121. )
- [13] Ohnishi S. Effect of glabrousness and himesirazu-derived common cutworm resistance QTLs to soybean seed damage caused by soybean pod borer *Leguminivora glycinivorella* [C]. Japanese Society of Breeding 99 Japanese Crop Institute Hokkaido Conversation Report, 2010: 81-82.
- [14] 王继安, 罗秋香. 大豆食心虫抗性品种鉴定及抗性性状分析[J]. 中国油料作物学报, 2001, 23(2): 57-59. (Wang J A, Luo Q X. Evaluation of soybean pod borer resistance and analysis of resistance characteristics in soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2001, 23(2): 57-59. )
- [15] 周艳利, 李建科, 温艳霞. 用于农药残留检测的大豆酯酶的纯化分离[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 935-938. (Zhou Y L, Li J K, Wen Y X. Purification and separation of soybean esterase for pesticide residue detection [J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 935-938. )
- [16] 祝天天, 王保君, 徐浪, 等. 大豆食心虫与大豆产量的关系研究[J]. 山西农业科学, 2013, 41(5): 485-487. (Zhu T T, Wang B J, Xu L, et al. The influence of soybean pod borer on soybean yield [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2013, 41(5): 485-487. )
- [17] 张雁明, 任彦鑫, 祝天天, 等. 大豆食心虫侵食大豆荚位对 69 个品种(系)产量的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2013, 33(1): 37-41. (Zhang Y M, Ren Y X, Zhu T T, et al. The positional effect of infested pods by soybean pod borers on single-plant yield of 69 soybean cultivars [J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science), 2013, 33(1): 37-41. )
- [18] 刘洋, 王继安, 赵奎军. 大豆抗食心虫性遗传研究[J]. 东北农业大学学报, 2005, 36(2): 138-141. (Liu Y, Wang J A, Zhao K J. Study on the genetic inheritance of soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2005, 36(2): 138-141. )
- [19] 宁代锋, 尹增芳, 张菁, 等. 一种简单快速植物组织冰冻切片方法[J]. 热带亚热带植物学报, 2008, 16(4): 386-389. (Ning D F, Yin Z F, Zhang J, et al. A simple and rapid Cyro-Sectioning method in plant tissue [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2008, 16(4): 386-389. )
- [20] 王克勤, 李新民, 刘春来, 等. 黑龙江省大豆品种对大豆食心虫抗性评价[J]. 大豆科学, 2006, 25(2): 153-157. (Wang K Q, Li X M, Liu C L, et al. Pod borer [*Leguminivora glycinivorella* (Mats)] resistance to soybean cultivars in Heilongjiang [J]. Soybean Science, 2006, 25(2): 153-157. )
- [21] 吕德东, 秦昊东, 高宇, 等. 大豆食心虫成虫产卵对寄主豆荚特征的选择性[J]. 中国农学通报, 2017, 33(28): 137-141. (Lyu D D, Qin H D, Gao Y, et al. Oviposition selectivity of *Leguminivora glycinivorella* on host pod [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(28): 137-141. )
- [22] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 51-53, 202-204. (Tang Q Y, Feng M G. Practical statistical analysis and DPS data processing system [M]. Beijing: Science Press, 2002: 51-53, 202-204. )
- [23] 李红鹏, 李艳杰, 张武, 等. 中外早熟大豆对大豆食心虫的抗性研究[J]. 大豆科学, 2015, 34(2): 281-288. (Li H P, Li Y J, Zhang W, et al. The research of soybean pod borer resistance about foreign and domestic pre cocious soybean [J]. Soybean Science, 2015, 34(2): 281-288. )
- [24] Sharma H C. Bionomics, host plant resistance, and management of the legume pod borer, *Maruca vitrata*-A review [J]. Crop Protection, 1998, 17(5): 373-386.
- [25] 付晓霞, 徐伟, 卢爱军, 等. 大豆植株挥发物组分变化与大豆食心虫为害的关系[J]. 吉林农业大学学报, 2014, 36(4): 389-394. (Fu X X, Xu W, Lu A J, et al. Relationship between components change of soybean volatile and *Leguminivora glycinivorella* infestation [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2014, 36(4): 389-394. )