



张梦珊,刘海伦,项俊杰,等.大豆兼抗斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的资源筛选[J].南京农业大学学报,2026,49(4):752-758.

Zhang M S,Liu H L,Xiang J J,et al. Screening of cultivated soybean resources with dual resistance to common cutworm and fall armyworm[J]. Journal of Nanjing Agricultural University,2026,49(4):752-758.

## 大豆兼抗斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的资源筛选

张梦珊<sup>1</sup>,刘海伦<sup>1</sup>,项俊杰<sup>1</sup>,李霄<sup>1</sup>,喻德跃<sup>1</sup>,王慧<sup>1,2\*</sup>

(1.南京农业大学国家大豆改良中心/作物遗传与种质创新利用全国重点实验室/农业农村部大豆生物学与遗传育种重点实验室,江苏 南京 211800;2.生物育种钟山实验室,江苏 南京 211800)

**摘要:**[目的]本文旨在评价栽培大豆群体材料的抗虫稳定性,筛选兼抗斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的大豆资源。[方法]通过分析 2008、2009、2013 和 2014 年 4 年 180 份栽培大豆材料对斜纹夜蛾的抗性结果,筛选出对斜纹夜蛾表现为高抗和高感的极端材料,通过室内强迫喂养试验评价这些材料对草地贪夜蛾的抗性。[结果]各年份之间大豆对斜纹夜蛾的抗性均呈极显著正相关,综合 4 年抗性鉴定结果筛选出 12 和 18 份分别对斜纹夜蛾表现为高抗和高感的大豆材料。进一步评价了其中 8 份材料对草地贪夜蛾的抗性,其中‘龙岩秋乌豆’和‘椿黑豆’喂养的草地贪夜蛾幼虫较小,体重较轻,为兼抗 2 种害虫的材料;‘南农 89-29’喂养的草地贪夜蛾幼虫最大,体重最重,为 2 种害虫的感性材料。[结论]大豆对斜纹夜蛾的抗性水平保持相对稳定;获得 2 份兼抗斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的材料以及 1 份对 2 种害虫均表现为感性的材料。本研究为大豆抗虫遗传育种提供了新的种质资源。

**关键词:**大豆;抗虫;斜纹夜蛾;草地贪夜蛾;种质资源

中图分类号:S565.1

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2026)04-0752-07

## Screening of cultivated soybean resources with dual resistance to common cutworm and fall armyworm

ZHANG Mengshan<sup>1</sup>,LIU Hailun<sup>1</sup>,XIANG Junjie<sup>1</sup>,LI Xiao<sup>1</sup>,YU Deyue<sup>1</sup>,WANG Hui<sup>1,2\*</sup>

(1.National Center for Soybean Improvement/National Key Laboratory of Crop Genetics & Germplasm Enhancement and Utilization/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Soybean,Ministry of Agriculture and Rural Affairs,Nanjing Agricultural University,Nanjing 211800,China;2.Zhongshan Biological Breeding Laboratory(ZSBBL),Nanjing 211800,China)

**Abstract:**[Objectives] The purpose of this paper was to evaluate the insect resistance stability of cultivated soybean population materials, and to screen soybean resources that were resistant to common cutworm (CCW) and fall armyworm (FAW). [Methods] By analyzing the insect resistance results of 180 cultivated soybean materials to CCW in 2008, 2009, 2013 and 2014, materials with high resistance or susceptibility to CCW were screened out and then were used to further evaluate the resistance to FAW by forced feeding test. [Results] The soybean resistance to CCW showed a significant positive correlation among four years. Based on the results of four years, 12 and 18 soybean materials were uncovered with high resistance and high susceptibility to CCW, respectively. Eight of these materials were further used to evaluate the resistance to FAW. The FAW larvae fed on ‘Longyanqiuwudou’ and ‘Chunheidou’ were smaller and lighter, while those fed on ‘Nannong 89-29’ were the largest and the heaviest. It suggested that ‘Longyanqiuwudou’ and ‘Chunheidou’ were resistant to CCW and FAW, but ‘Nannong 89-29’ was susceptible to the two pests. [Conclusions] The resistance of soybean to CCW remained relatively stable. Two CCW and FAW-resistance materials and one CCW and FAW-susceptibility material were obtained. The study provided new germplasm resources for insect-resistant breeding of soybean.

**Keywords:** soybean; insect resistance; common cutworm; fall armyworm; germplasm resource

大豆在生长过程中经常遭到多种害虫的危害,严重影响其产量和品质,其中,食叶类害虫对大豆的生长发育影响最大,危害范围最广。在食叶性害虫中,斜纹夜蛾(*Spodoptera litura* Fabricius)是一种分布范围广泛的世界性害虫,在中国、日本、印度、美国、巴西、阿根廷等国家的大豆产区都有发生<sup>[1-3]</sup>。在中国,斜纹夜蛾在东北地区和华北地区一年发生 4~5 代,在长江流域一年发生 5~6 代,在华南地区一年发生 6~9 代,繁殖速度快,虫口密度大,其幼虫取食大豆叶片、花蕾、茎秆和荚,4 龄后进入暴食期,常年造成大豆减

收稿日期:2025-02-28

基金项目:生物育种钟山实验室基金项目(ZSBBL-KY2023-03);江苏省农业科技自主创新资金项目[ CX(22)3088 ]

作者简介:张梦珊,硕士。\* 通信作者:王慧,博士,教授,研究方向为大豆遗传育种, E-mail: wanghui0@njau.edu.cn.

产 15%~30%,猖獗时甚至颗粒无收<sup>[2-3]</sup>。

利用大豆抗虫品种是最经济有效的斜纹夜蛾防控策略。为培育抗虫品种,研究人员多年来致力于筛选抗虫大豆种质资源。van Duyn 等<sup>[4]</sup>通过室内强迫喂养试验鉴定出 3 个高抗墨西哥豆甲的大豆资源(PI 171451、PI 227687、PI 229358),Lambert 等<sup>[5]</sup>发现这 3 个资源对玉米穗螟、烟草夜蛾、黎豆夜蛾、大豆尺夜蛾和甜菜夜蛾等害虫也有显著抗性。在我国,崔章林等<sup>[6]</sup>在 1983—1994 年分批对 6 724 份国内外大豆资源的抗虫性进行鉴定,分别筛选出 20 和 12 份对南京地区食叶性害虫表现为抗性和感性的大豆资源。吴业春等<sup>[7]</sup>通过分析 51 份大豆材料在 1993—2001 年的田间综合抗性鉴定结果,评价了材料田间综合抗性的稳定性及抗虫等级,筛选出 10 份较为稳定的抗/感材料,可作为大豆对食叶性害虫田间综合虫种抗性鉴定的标准品种。王慧等<sup>[8]</sup>于 2009 年对全国 194 份栽培大豆进行斜纹夜蛾的室内养虫鉴定,综合抗生性、抗选性和耐害性指标,筛选到 25 份优异大豆抗性材料。杨莹等<sup>[9]</sup>在 2014 和 2015 年对全国 200 份野生大豆材料进行抗虫性评价,以斜纹夜蛾幼虫重隶属函数值为抗生性指标,筛选到高抗和高感材料各 10 份。赵勇等<sup>[10]</sup>于 2017 年对 38 份野生大豆的抗虫性进行评价,以幼虫重和蛹重为指标,鉴定到 6 份高抗斜纹夜蛾的材料和 4 份高感斜纹夜蛾的材料。总之,现有研究缺乏在多环境下对大豆大样本开展抗虫性评价,这也许是已发掘的抗性资源未见在大豆生产中应用的原因。

大豆玉米带状复合种植为提高大豆产量提供了新的途径<sup>[11]</sup>,同时也为大豆抗虫育种带来新的挑战。现有研究发现,玉米的主要害虫草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda* Smith & Abbot)寄主范围广,环境适应性强,存在转移至大豆上的风险,尽管草地贪夜蛾在大豆上的适合度比在玉米上差,但以大豆叶片饲养的草地贪夜蛾能完成个体发育,表现出较高的繁殖力<sup>[12]</sup>。随着草地贪夜蛾入侵时间的推移及暴发频率的增加,以及大豆玉米带状复合种植新模式的广泛应用,存在草地贪夜蛾危害大豆的潜在风险。因此,在新的栽培模式下,亟须鉴定和发掘新的大豆抗虫种质资源。

本研究基于 4 年栽培大豆自然群体对斜纹夜蛾的抗虫性数据,筛选出对斜纹夜蛾表现为高抗或高感的栽培大豆材料,再通过室内抗虫鉴定评价部分高抗/感材料对草地贪夜蛾的抗性,从而筛选出兼抗斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的大豆资源,为大豆抗虫遗传育种提供新的种质资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料和大豆对斜纹夜蛾抗性的等级划分

供试材料为 180 份栽培大豆组成的自然群体,该群体材料来自我国 6 个生态区以及部分国外材料<sup>[13]</sup>。前期以幼虫重为指标,已对该群体进行了 4 年的斜纹夜蛾抗虫性评价,其中,2008 年和 2009 年的抗虫性数据(幼虫重)来自 Wang 等<sup>[14]</sup>的报道,2013 年和 2014 年的抗虫性数据(幼虫重)来自 Liu 等<sup>[15]</sup>的报道。因不同年份存在缺失数据,最终 4 年共有 180 份材料用于数据分析。参考盖钧铭等<sup>[16]</sup>提出的抗性分级方法,以斜纹夜蛾幼虫重为指标,分别计算全部材料单年和 4 年综合的幼虫重平均数( $\bar{x}$ )和标准差( $SD$ ),对 180 份材料单年抗性和 4 年综合抗虫性进行抗性等级划分(表 1)。

表 1 抗性分级标准

Table 1 Grading criteria of resistance

| 抗性等级<br>Resistance grade | 分级标准<br>Grading criteria               | 抗性类型<br>Type of resistance | 抗性等级<br>Resistance grade | 分级标准<br>Grading criteria               | 抗性类型<br>Type of resistance |
|--------------------------|----------------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------------------|----------------------------|
| 1                        | $\leq \bar{x} - 1.5SD$                 | 高抗 HR                      | 4                        | $\bar{x} + 0.5SD \sim \bar{x} + 1.5SD$ | 感 S                        |
| 2                        | $\bar{x} - 1.5SD \sim \bar{x} - 0.5SD$ | 抗 R                        | 5                        | $> \bar{x} + 1.5SD$                    | 高感 HS                      |
| 3                        | $\bar{x} - 0.5SD \sim \bar{x} + 0.5SD$ | 中抗 M                       |                          |                                        |                            |

注: $\bar{x}$ :平均数; $SD$ :标准差。HR、R、M、S、HS 分别代表高抗、抗、中抗、感及高感。下同。  
Note: $\bar{x}$ :Mean; $SD$ :Standard deviation. HR, R, M, S, and HS represent highly resistant, resistant, mediate, susceptible, and highly susceptible, respectively. The same as follows.

1.2 方差分析和广义遗传力估算

大豆对斜纹夜蛾抗性数据 4 年的联合方差分析采用 SAS 9.0 软件。4 年综合和单年的广义遗传力估计公式<sup>[17]</sup>分别为  $\sigma_g^2/(\sigma_g^2+\sigma_{ge}^2/n+\sigma_e^2/nr)$  和  $\sigma_g^2/(\sigma_g^2+\sigma_e^2/r)$ 。式中: $\sigma_g^2$  为基因型方差; $\sigma_{ge}^2$  为基因型与环境交互方差; $\sigma_e^2$  为残差; $n$  为环境数; $r$  为重复数。

1.3 大豆种植及其对草地贪夜蛾的抗性鉴定

所有材料均种植在南京农业大学牌楼教学科研基地温室内,每个材料种植 3 盆,每盆 6 株,光周期为

16 h 光照/8 h 黑暗,温度为 25 ℃。营养土和蛭石购自南京寿德试验器材有限公司,按体积比 1:1 混合作为盆栽基质。播种前对环境进行消杀,对基质进行高压蒸汽灭菌处理,整个试验周期不施用任何农药。于大豆生长的 V5—V6 期摘取倒三叶喂养草地贪夜蛾幼虫。

从河南省济源实业有限公司购买草地贪夜蛾的卵,在培养箱中孵化,于 2 龄初期挑选大小一致的幼虫用于大豆的抗虫性鉴定。每个材料共 18 个单株用于室内抗虫鉴定,设置 6 个生物学重复,每重复 4 头幼虫,同一重复的幼虫放在同一个生物罐中。生物罐经过高压蒸汽灭菌并烘干后,在罐底放置湿滤纸,将等量叶片放入罐中,再将草地贪夜蛾幼虫放在叶片上,盖上罐盖,置于恒温培养箱中静置培养,光周期为 16 h 光照/8 h 黑暗,昼/夜温度为 25 ℃/23 ℃。每天更换新鲜叶片,在喂养前(0 d)和喂养 2、5 d 时分别称量每个生物罐中存活幼虫的总重,计算单头幼虫的平均重(记为幼虫重),以此评价大豆对草地贪夜蛾的抗性。幼虫重=存活幼虫的总重/存活幼虫数量。

#### 1.4 数据处理

相关性分析采用 IBM SPSS Statistics 20.0 软件的皮尔逊相关系数法,显著性检验采用双尾 *t* 检验。多重比较显著性差异分析使用 IBM SPSS Statistics 20.0 软件的单因素方差分析检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 大豆自然群体对斜纹夜蛾的抗性表现相对稳定

前期对 180 份栽培大豆在 2008、2009、2013 和 2014 年对斜纹夜蛾的抗虫性进行了鉴定,本研究进一步分析这些大豆材料对斜纹夜蛾的抗性稳定性。由表 2 可见,斜纹夜蛾幼虫重在 4 年间存在广泛的遗传变异,变化范围为 52.67~599.08 mg,幼虫重平均值在 2013 年最小,为 199.45 mg,2009 年最大,为 312.29 mg。4 年综合的幼虫重变异系数最小,为 26.03%,4 个单年幼虫重的变异系数接近,2009 年的变异系数最大,为 36.83%。不同年份幼虫重的广义遗传力也不同,变化范围为 68.45%~91.92%,4 年综合的广义遗传力为 85.60%。方差分析结果(表 3)显示,大豆材料间、不同年份间以及材料与环境互作间都呈现极显著差异。4 年抗性鉴定结果之间的相关性分析(表 4)发现,所有年份间幼虫重均呈极显著正相关( $P<0.01$ )。这些结果说明,尽管大豆对斜纹夜蛾的抗性受环境影响,但遗传因素是影响性状表现的主要因素,各年份间大豆材料对斜纹夜蛾的抗虫性保持相对稳定。

表 2 栽培大豆群体 4 年抗虫结果的描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of insect-resistant data of the cultivated soybeans in 4 years

| 年份<br>Year   | 幼虫重最小值/mg<br>Minimum larval weight | 幼虫重最大值/mg<br>Maximum larval weight | 幼虫重均值/mg<br>Mean larval weight | 标准差<br>Standard error | 变异系数/%<br>Coefficient of variation | 广义遗传力/%<br>Broad-sense heritability |
|--------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 2008         | 86.67                              | 568.33                             | 264.16                         | 6.98                  | 35.48                              | 69.37                               |
| 2009         | 81.75                              | 599.08                             | 312.29                         | 8.57                  | 36.83                              | 77.24                               |
| 2013         | 52.67                              | 467.50                             | 199.45                         | 5.15                  | 34.63                              | 68.45                               |
| 2014         | 67.00                              | 420.50                             | 218.02                         | 5.43                  | 33.40                              | 91.92                               |
| 综合 Synthesis | 99.11                              | 404.10                             | 248.48                         | 4.82                  | 26.03                              | 85.60                               |

表 3 栽培大豆群体 4 年抗虫结果的联合方差分析(ANOVA)

Table 3 Combined analysis of variance(ANOVA) of insect-resistant data of the cultivated soybeans in 4 years

| 变异来源 Source of variation | 自由度 Degree of freedom | 平方和 Sum of squares | 均方 Mean square | F 值 F-value | P 值 P-value |
|--------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|-------------|-------------|
| 环境 Environment(E)        | 3                     | 727 283.64         | 242 427.88     | 27.59       | <0.000 1    |
| 材料 Material(M)           | 177                   | 4 703 996.47       | 26 576.25      | 3.02        | <0.000 1    |
| 环境与材料互作 E×M              | 530                   | 7 151 511.18       | 13 493.42      | 1.54        | <0.000 1    |
| 误差 Error                 | 708                   | 6 220 961.09       | 8 786.67       |             |             |
| 总变异 Total                | 1 418                 | 18 803 752.38      |                |             |             |

表 4 栽培大豆群体 4 年抗虫鉴定结果的相关分析

Table 4 Correlation analysis of the insect-resistant data of the cultivated soybeans in 4 years

| 指标<br>Index                     | 2009 年幼虫重<br>Larval weight in 2009 | 2013 年幼虫重<br>Larval weight in 2013 | 2014 年幼虫重<br>Larval weight in 2014 |
|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 2008 年幼虫重 Larval weight in 2008 | 0.393 **                           | 0.302 **                           | 0.298 **                           |
| 2009 年幼虫重 Larval weight in 2009 |                                    | 0.405 **                           | 0.329 **                           |
| 2013 年幼虫重 Larval weight in 2013 |                                    |                                    | 0.571 **                           |

Note: \*\*  $P<0.01$ .

2.2 大豆对斜纹夜蛾的抗性等级划分和抗性资源筛选

基于多年自然群体对斜纹夜蛾的抗性鉴定结果,对大豆材料的抗虫性进行分级,单年和 4 年综合抗性分级结果相近,少量材料表现为高抗或高感,较多材料的抗性水平为抗、中抗或感。由图 1 可见,2008、2009、2013、2014 年以及 4 年综合表现为高抗的材料分别有 7、14、10、6 和 12 份,高感材料分别有 15、14、18、15 和 18 份。由表 5 可见,综合评价为高抗的 12 份材料中,有 10 份材料在所有年份对斜纹夜蛾都表现为高抗或抗,2 份材料在 3 个年份中表现为高抗或抗,在个别年份表现为中抗。综合评价为高感的 18 份材料中,5 份在所有年份对斜纹夜蛾都表现为高感或感,13 份材料在 3 个年份中表现为高感或感,仅在个别年份表现为中抗。该结果进一步说明大豆对斜纹夜蛾的抗性水平在年份间保持相对稳定。

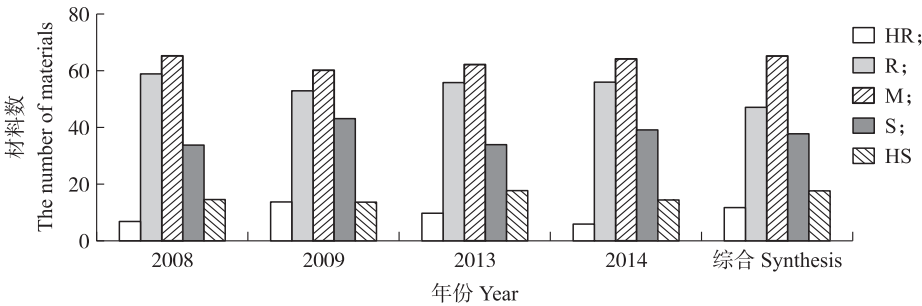


图 1 各年份 5 种抗性等级大豆材料数

Fig. 1 The number of materials of five resistance grades in each year

表 5 栽培大豆群体对斜纹夜蛾的抗性分级

Table 5 Resistance grade of the cultivated soybeans to common cutworm (CCW)

| 材料<br>Material                   | 各年份抗性鉴定分级<br>Resistance grade in each year |      |      |      | 4 年综合分级<br>Synthesis<br>grade of 4 years | 4 年抗性分级次数<br>Resistance grade count of 4 years |   |   |   |    |
|----------------------------------|--------------------------------------------|------|------|------|------------------------------------------|------------------------------------------------|---|---|---|----|
|                                  | 2008                                       | 2009 | 2013 | 2014 |                                          | HR                                             | R | M | S | HS |
| PI 227687                        | HR                                         | HR   | HR   | HR   | HR                                       | 4                                              | 0 | 0 | 0 | 0  |
| 大黑豆 Daheidou                     | R                                          | R    | HR   | R    | HR                                       | 1                                              | 3 | 0 | 0 | 0  |
| 蚂蚁蛋 Mayidan                      | R                                          | R    | HR   | HR   | HR                                       | 2                                              | 2 | 0 | 0 | 0  |
| 龙岩秋乌豆 Longyanqiudou              | R                                          | HR   | R    | R    | HR                                       | 1                                              | 3 | 0 | 0 | 0  |
| 东安黑豆 Donganheidou                | R                                          | R    | HR   | HR   | HR                                       | 2                                              | 2 | 0 | 0 | 0  |
| 琼山下望乌豆 Qiongsanxiawangwudou      | R                                          | R    | HR   | R    | HR                                       | 1                                              | 3 | 0 | 0 | 0  |
| 高要五月黄 Gaoyawuyuehuang            | M                                          | HR   | R    | R    | HR                                       | 1                                              | 3 | 0 | 0 | 0  |
| 都昌泥豆 Duchangnidou                | R                                          | R    | HR   | HR   | HR                                       | 2                                              | 2 | 0 | 0 | 0  |
| 建水小黑豆 Jianshuixiaohaidou         | HR                                         | R    | R    | R    | HR                                       | 1                                              | 3 | 0 | 0 | 0  |
| 进贤早茶豆 Jinxianzaochadou           | R                                          | R    | R    | R    | HR                                       | 0                                              | 4 | 0 | 0 | 0  |
| 椿黑豆 Chunheidou                   | R                                          | HR   | M    | R    | HR                                       | 1                                              | 2 | 1 | 0 | 0  |
| 临黑豆 Linheidou                    | R                                          | R    | R    | R    | HR                                       | 0                                              | 4 | 0 | 0 | 0  |
| 枞阳猴子毛 Zongyanghouzimao           | HS                                         | S    | S    | M    | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 2 | 1  |
| 沭阳大白皮 Shuyangdabaipi             | M                                          | HS   | S    | S    | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 2 | 1  |
| 沔阳白毛豆 Mianyangbaimaodou          | S                                          | M    | HS   | HS   | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 2 | 1  |
| 遂平小子药黑豆 Suipingxiaoziyaoheidou   | M                                          | HS   | S    | S    | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 2 | 1  |
| 弋阳青豆 Geyangqingdou               | HS                                         | S    | M    | S    | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 2 | 1  |
| 林江黑豆 Linjiangheidou              | M                                          | HS   | S    | S    | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 2 | 1  |
| 惠民铁竹杆 Huimintiezhugan            | M                                          | HS   | HS   | S    | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 1 | 2  |
| 南农 89-29 Nannong 89-29           | M                                          | HS   | HS   | HS   | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 0 | 3  |
| 春豆 Chundou                       | S                                          | S    | HS   | HS   | HS                                       | 0                                              | 0 | 0 | 2 | 2  |
| 上饶晚青 Shangraowanqing             | HS                                         | M    | HS   | HS   | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 0 | 3  |
| 监利牛毛黄 Jianliniumaohuang          | S                                          | HS   | S    | S    | HS                                       | 0                                              | 0 | 0 | 3 | 1  |
| 织金三甲小黄豆 Zhijinshajiaxiaohuangdou | HS                                         | S    | HS   | M    | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 1 | 2  |
| 六河小叶青 Liuhexiaoyeqing            | HS                                         | HS   | HS   | M    | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 0 | 3  |
| 旌德黄豆 Jingdehuangdou              | HS                                         | S    | S    | M    | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 2 | 1  |
| 金华大豆 Jinhua dadou                | S                                          | S    | HS   | HS   | HS                                       | 0                                              | 0 | 0 | 2 | 2  |
| 大金黄 Dajinhuang                   | HS                                         | S    | HS   | HS   | HS                                       | 0                                              | 0 | 0 | 1 | 3  |
| 鄂豆 7 号 Edou 7                    | M                                          | HS   | HS   | S    | HS                                       | 0                                              | 0 | 1 | 1 | 2  |
| 衡山红豆 Hengshan hongdou            | HS                                         | S    | HS   | S    | HS                                       | 0                                              | 0 | 0 | 2 | 2  |

### 2.3 2 份材料兼抗斜纹夜蛾和草地贪夜蛾

为获得兼抗斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的大豆资源,从 180 份材料中筛选出对斜纹夜蛾综合评价为高抗的材料 4 份,分别是‘PI 227687’‘龙岩秋乌豆’‘椿黑豆’和‘临黑豆’,高感的材料 4 份,分别是‘枞阳猴子毛’‘沔阳大白皮’‘沔阳白毛豆’和‘南农 89-29’,进一步评价其对草地贪夜蛾的抗性。由图 2 可见,斜纹夜蛾高抗材料‘龙岩秋乌豆’和‘椿黑豆’对草地贪夜蛾也表现出抗性,取食 2 个材料的草地贪夜蛾幼虫体重较轻、体型较小,其幼虫重仅为饲料喂养的 19% 和 30%,特别是‘椿黑豆’在喂养草地贪夜蛾 2 d 时就表现出较高的抗性。斜纹夜蛾高感材料‘南农 89-29’则对草地贪夜蛾表现为感虫,在所有材料中,该材料喂养的草地贪夜蛾幼虫在 2 和 5 d 时均体型最大、体重最重。在 5 d 时,其幼虫重达到饲料组的 97%,与饲料喂养的草地贪夜蛾幼虫重无显著差异,与其他大豆材料喂养的草地贪夜蛾幼虫重差异显著。斜纹夜蛾高抗材料‘PI 227687’和‘临黑豆’、高感材料‘沔阳白毛豆’‘枞阳猴子毛’和‘沔阳大白皮’对草地贪夜蛾的抗性无显著差异,抗性水平位于 8 份材料的中间。

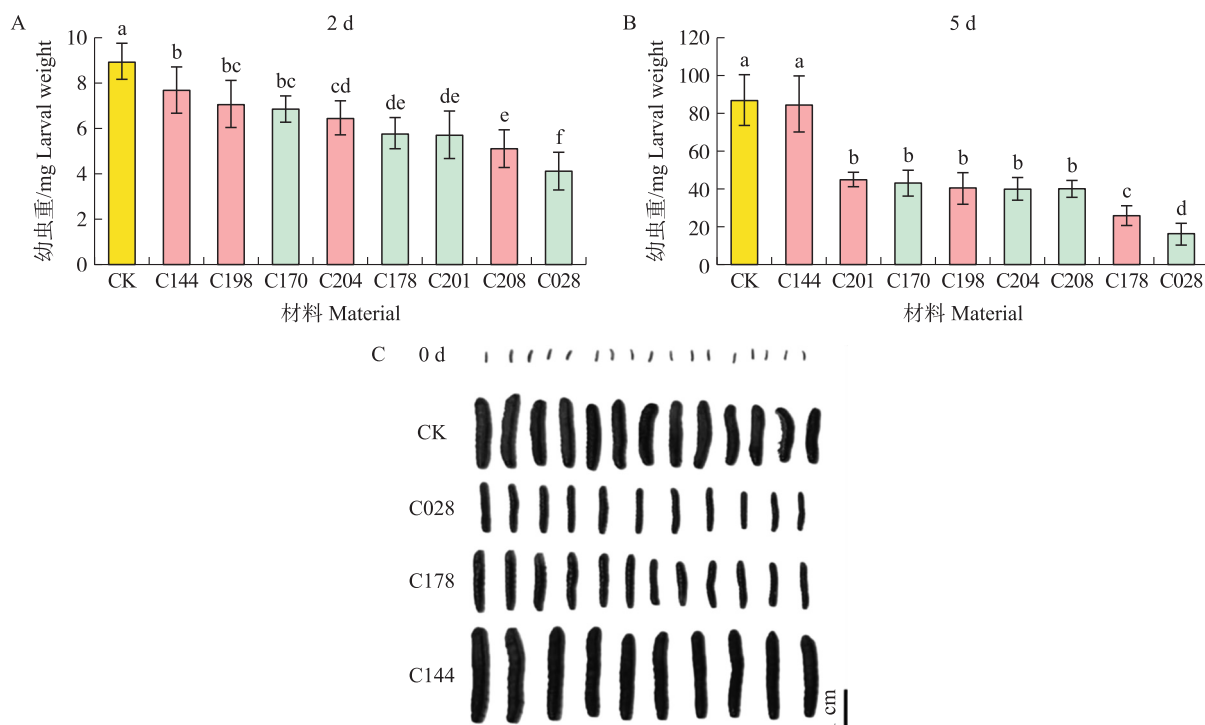


图 2 部分高抗和高感斜纹夜蛾大豆对草地贪夜蛾的抗性评价

Fig. 2 The evaluation of some CCW-high-resistance and -susceptibility soybeans resistance to fall armyworm (FAW)

A. 强迫喂养 2 d 的幼虫重分析 The larval weight of forced feeding for 2 days; B. 强迫喂养 5 d 的幼虫重分析 The larval weight of forced feeding for 5 days; C. 抗、感极端材料喂养 5 d 的草地贪夜蛾幼虫 The FAW larvae feeding on the extreme materials for 5 days. 绿色柱子代表高抗斜纹夜蛾的材料,红色柱子代表高感斜纹夜蛾的材料。The green columns represent the material with high resistance to CCW, the red columns represent the material with high susceptibility to CCW.

CK 为昆虫饲料, C144、C198、C204、C208 分别为‘南农 89-29’‘沔阳白毛豆’‘枞阳猴子毛’‘沔阳大白皮’; C201、C170、C178、C028 分别为‘PI 227687’‘临黑豆’‘椿黑豆’‘龙岩秋乌豆’。CK represents insect forage. C144, C198, C204 and C208 represent ‘Nannong 89-29’ ‘Mianyangbaimaodou’ ‘Zongyanghouzimao’ ‘Shuyangdabaipi’, respectively. C201, C170, C178 and C028 represent ‘PI 227687’ ‘Linheidou’ ‘Chunheidou’ ‘Longyanqiuwudou’, respectively.

不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level.

## 3 讨论

本研究综合 4 年大豆对斜纹夜蛾的抗性鉴定结果,鉴定出 12 份高抗斜纹夜蛾的大豆材料和 18 份高感斜纹夜蛾的大豆材料。在这 12 份抗斜纹夜蛾的材料中,‘PI 227687’已被报道对斜纹夜蛾、大豆造桥虫、墨西哥豆甲、玉米穗螟、烟草夜蛾、黎豆夜蛾、大豆尺夜蛾和甜菜夜蛾等多种害虫具有抗性<sup>[4-6,8]</sup>,9 年的田间综合抗性评价也证实该材料对田间大豆食叶性害虫的抗性表现稳定<sup>[7]</sup>。本研究,‘PI 227687’对草地贪夜蛾没有表现出更好的抗性,同时还发现另一个高抗斜纹夜蛾的材料‘临黑豆’对草地贪夜蛾也没

有表现出抗性。本研究发掘了18份高感斜纹夜蛾的材料,对其中4份材料进一步评价其对草地贪夜蛾的抗性,发现仅‘南农89-29’表现为高感,其他3份材料‘沔阳白毛豆’‘枞阳猴子毛’和‘沔阳大白皮’对草地贪夜蛾没有表现出感虫特性。而‘枞阳猴子毛’‘沔阳大白皮’‘沔阳白毛豆’‘监利牛毛黄’据报道对豆卷叶螟表现为抗性<sup>[7]</sup>。这些结果说明大豆资源对不同虫种的抗性反应并不完全一致,可能存在不同的抗性机制。在不同植物上的研究表明,多种因素影响植物的抗虫性,比如富含木质素和纤维素的坚韧叶片<sup>[18]</sup>、栅栏组织/海绵组织厚度<sup>[19]</sup>、叶片毛状体和蜡质结构<sup>[20-22]</sup>、激素<sup>[23]</sup>、营养成分以及次生代谢产物等<sup>[24-25]</sup>。未来可以利用本研究筛选的这些材料深入研究大豆对不同害虫抗性机制的差异。

本研究获得了2份兼抗斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的大豆新材料,其中,高抗斜纹夜蛾材料‘龙岩秋乌豆’在试验2 d时已表现出对草地贪夜蛾的抗性,5 d时抗性更强,说明‘龙岩秋乌豆’是一个优异的抗虫资源,未来可作为供体亲本用于培育适宜大豆-玉米间作的抗虫大豆新品种。此外,本研究还筛选到1个感斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的大豆材料‘南农89-29’,其喂养的草地贪夜蛾和饲料喂养的幼虫重相近,说明该材料深受植食性昆虫喜爱,未来可作为饲料,用于食用型昆虫的饲养,例如豆天蛾<sup>[26]</sup>,以促进农民增收。

常用的大豆抗虫性鉴定方法包括田间综合抗性鉴定和室内单一虫种的生物学鉴定。吴业春等<sup>[7]</sup>基于9年的田间抗性鉴定结果对51份大豆材料田间综合虫种抗性的稳定进行评价,发现每年的抗性鉴定结果尽管不同,但各品种的抗性水平保持相对稳定,该研究也说明田间大豆抗虫性鉴定方法是可靠的。本研究基于4年180份大豆材料对斜纹夜蛾的室内抗性鉴定结果,同样揭示了大豆材料对斜纹夜蛾的抗性水平也保持相对稳定,为室内单一虫种生物学鉴定方法的可靠性提供了新的证据。

综上所述,本研究基于前期4年的大豆对斜纹夜蛾的抗性鉴定结果,对180份大豆进行抗性等级划分和相关性分析,结果发现各年份间大豆对斜纹夜蛾的抗性水平均保持相对稳定;综合4年抗性评价结果,筛选出12和18份分别对斜纹夜蛾表现为高抗和高感的大豆材料,在此基础上进一步评价了其中8份材料对草地贪夜蛾的抗性,获得2份兼抗斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的材料以及1份对2种害虫均表现为感性的材料,这为大豆抗虫遗传育种提供了新的资源。

#### 参考文献 References:

- [1] 张倩倩,陈李森,曹东,等. 大豆抗咀嚼式害虫的遗传改良研究进展[J]. 中国油料作物学报,2023,45(6):1275-1283.  
Zhang Q Q, Chen L M, Cao D, et al. Research progress on genetic improvement of resistance to chewing pests in soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2023, 45(6): 1275-1283 (in Chinese with English abstract).
- [2] Gao Y, Shi S S, Xu M L, et al. Current research on soybean pest management in China[J]. Oil Crop Science, 2018, 3(4): 215-227.
- [3] 史树森. 大豆害虫综合防控理论与技术[M]. 长春:吉林出版集团有限责任公司,2013.  
Shi S. Theory and Technology of Integrated Pest Management in Soybean[M]. Changchun: Jilin Publishing Group Co., Ltd., 2013 (in Chinese).
- [4] van Duyn J W, Turnipseed S G, Maxwell J D. Resistance in soybeans to the Mexican bean beetle. II. Reactions of the beetle to resistant plants[J]. Crop Science, 1972, 12(5): 561-562.
- [5] Lambert L, Kilen T C. Influence of three soybean plant genotypes and their F<sub>1</sub> intercrosses on the development of five insect species[J]. Journal of Economic Entomology, 1984, 77(3): 622-625.
- [6] 崔章林,盖钧铭,吉东风,等. 大豆种质资源对食叶性害虫抗性的鉴定[J]. 大豆科学,1997,16(2):93-102.  
Cui Z L, Gai J Y, Ji D F, et al. Evaluation of soybean germplasm for resistance to leaf feeding insects[J]. Soybean Science, 1997, 16(2): 93-102 (in Chinese with English abstract).
- [7] 吴业春,王慧,吴巧娟,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 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王慧,高中杰,范蕊,等. 基于三种抗性机制评价大豆对抗斜纹夜蛾的抗性[J]. 大豆科学,2011,30(1):8-14.  
Wang H, Gao Z J, Fan R, et al. Evaluation of resistance of soybean germplasm to common cutworm based on three resistance mechanisms[J]. Soybean Science, 2011, 30(1): 8-14 (in Chinese with English abstract).
- [9] 杨莹,邢光南,盖钧铭. 中国野生大豆对斜纹夜蛾的抗性鉴定及资源遴选[J]. 大豆科学,2016,35(3):448-454.  
Yang Y, Xing G N, Gai J Y. Evaluation of antibiosis to common cutworm (*Spodoptera litura*) and screening for resistance sources among wild soybeans (*Glycine soja*) in China[J]. Soybean Science, 2016, 35(3): 448-454 (in Chinese with English abstract).
- [10] 赵勇,齐广勋,赵洪昆,等. 野生大豆抗斜纹夜蛾资源的筛选与鉴定[J]. 吉林农业大学学报,2017,39(6):670-674,682.  
Zhao Y, Qi G X, Zhao H K, et al. Screening and identification of *Glycine soja* germplasm resistant to *Spodoptera litura*[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2017, 39(6): 670-674, 682 (in Chinese with English abstract).
- [11] 徐延辉,王畅,郑殿峰,等. 带状复合种植对玉米和大豆光合特性及籽粒产量的影响[J]. 大豆科学,2017,36(4):540-546.

- Xu Y H, Wang C, Zheng D F, et al. Effects of the strip compound planting system on photosynthetic characteristics and grain yield of maize and soybean[J]. *Soybean Science*, 2017, 36(4): 540–546 (in Chinese with English abstract).
- [12] 夏杨, 韩光杰, 李传明, 等. 大豆-玉米带状复合种植模式下草地贪夜蛾的生存适应性和危害性[J]. *中国农业科学*, 2024, 57(20): 4035–4044.
- Xia Y, Han G J, Li C M, et al. Survival adaptability and damage potential of *Spodoptera frugiperda* in the soybean-maize strip intercropping[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2024, 57(20): 4035–4044 (in Chinese with English abstract).
- [13] Hu D Z, Kan G Z, Hu W, et al. Identification of loci and candidate genes responsible for pod dehiscence in soybean via genome-wide association analysis across multiple environments[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019, 10: 811.
- [14] Wang H, Gao Z J, Liu H L, et al. Variation in *GmAOS1* promoter is associated with soybean defense against insect attack[J]. *Euphytica*, 2014, 196(3): 365–374.
- [15] Liu H L, Che Z J, Zeng X R, et al. Identification of single nucleotide polymorphisms in soybean associated with resistance to common cutworm (*Spodoptera litura* Fabricius) [J]. *Euphytica*, 2016, 209(1): 49–62.
- [16] 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 (in Chinese with English abstract).
- [17] Bhat J A, Karikari B, Adeboye K A, et al. Identification of superior haplotypes in a diverse natural population for breeding desirable plant height in soybean[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2022, 135(7): 2407–2422.
- [18] Raupp M J. Effects of leaf toughness on mandibular wear of the leaf beetle, *Plagioderma versicolora* [J]. *Ecological Entomology*, 1985, 10(1): 73–79.
- [19] 孙娅, 陈素梅, 陈发棣, 等. 菊花近缘种属植物抗蚜性机制研究[J]. *南京农业大学学报*, 2012, 35(3): 25–30.
- Sun Y, Chen S M, Chen F D, et al. Studies on the mechanisms involved in resistance of closely related species of chrysanthemum to aphid[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2012, 35(3): 25–30 (in Chinese with English abstract).
- [20] 刘奕清, 徐泽, 周正科, 等. 茶树品种抗侧多食跗线螨的形态和生化特征[J]. *四川农业大学学报*, 1999, 17(2): 187–191.
- Liu Y Q, Xu Z, Zhou Z K, et al. Morphological and biochemical parameters of tea varieties resistant to *Polyphagotarsonemus latus* banks [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1999, 17(2): 187–191 (in Chinese with English abstract).
- [21] Matsumura M, Nomoto M, Itaya T, et al. Mechanosensory trichome cells evoke a mechanical stimuli-induced immune response in *Arabidopsis thaliana* [J]. *Nature Communication*, 2022, 13: 1216.
- [22] Stoner K A. Glossy leaf wax and plant resistance to insects in *Brassica oleracea* under natural infestation[J]. *Environmental Entomology*, 1990, 19(3): 730–739.
- [23] Erb M, Meldau S, Howe G A. Role of phytohormones in insect-specific plant reactions[J]. *Trends in Plant Science*, 2012, 17(5): 250–259.
- [24] Mahanta D K, Komal J, Samal I, et al. Plant defense responses to insect herbivores through molecular signaling, secondary metabolites, and associated epigenetic regulation[J]. *Plant-Environment Interactions*, 2025, 6(1): e70035.
- [25] Al-Khayri J M, Rashmi R, Toppo V, et al. Plant secondary metabolites: the weapons for biotic stress management[J]. *Metabolites*, 2023, 13(6): 716.
- [26] Su Y, Lu M X, Jing L Q, et al. Nutritional properties of larval epidermis and meat of the edible insect *Clanis bilineata tsingtauica* (Lepidoptera: Sphingidae) [J]. *Foods*, 2021, 23, 10(12): 2895.

责任编辑: 范雪梅