



# 大豆秕荚率的遗传分析及低秕荚率种质的筛选

杨梦园<sup>1</sup>, 高洁<sup>1</sup>, 张湘<sup>1</sup>, 张文晓<sup>1</sup>, 杨国新<sup>1</sup>, 樊颖伦<sup>2</sup>, 刘立科<sup>1</sup>

(1. 聊城大学 生命科学学院, 山东 聊城 252059; 2. 聊城大学 农学院, 山东 聊城 252059)

**摘要:**为研究大豆秕荚率的遗传特性, 筛选出秕荚率较低的大豆种质, 本文以 17 份主要来源于黄淮和东北的种质为研究对象, 在 2015 和 2017 年进行完全随机区组播种, 统计不同基因型大豆的秕荚率、重要农艺性状以及秕荚率的遗传分析并筛选秕荚率低的种质。结果表明: 基因型、环境、基因型和环境互作均对大豆秕荚率有极显著 ( $P < 0.001$ ) 影响。秕荚率平均为 17.21%, 变化范围为 6.26% ~ 46.40%。秕荚率较低的有黑农 37 (6.26%) 和科丰 53 (6.27%), 秕荚率较高的有毛豆 (46.40%) 和豫豆 25 (33.19%)。2017 年春播材料的秕荚率显著高于 2015 年夏播秕荚率, 极显著高于 2015 年春播和 2017 年夏播的秕荚率。秕荚率的广义遗传力为 54.55%, 位于中等水平。相关分析表明, 秕荚率与单株秕荚数极显著正相关 ( $r = 0.66, P < 0.001$ ), 与株高 ( $r = 0.15, P = 0.04$ ) 正相关, 与分枝数、主茎节数和单株荚数的相关性不显著。间接选择效率指数均  $< 1$ , 表明对于大豆秕荚率的改良应以直接选择为主。本研究不仅揭示了大豆秕荚率的遗传特性, 同时也筛选出了可用于大豆秕荚率遗传改良的优良种质, 为进一步大豆育种奠定了理论基础。

**关键词:** 大豆; 秕荚率; 广义遗传力; 种质筛选

## Genetic Analysis of Flat Pod Rate in Soybean and Germplasm Screening for Identification Elite Cultivars with Low Flat Pod Rate

YANG Meng-yuan<sup>1</sup>, GAO Jie<sup>1</sup>, ZHANG Xiang<sup>1</sup>, ZHANG Wen-xiao<sup>1</sup>, YANG Guo-xin<sup>1</sup>, FAN Ying-lun<sup>2</sup>, LIU Li-ke<sup>1</sup>

(1. School of Life Science, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China; 2. School of Agricultural Science, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China)

**Abstract:** In order to dissect the genetic characteristics of flat pod rate (FPR) in soybean and identify elite cultivars for further breeding, 17 germplasms which mainly originated from Huanghuaihai district and northeast of China were planted in a randomized block design with three replication in spring and summer of 2015 and 2017 respectively. In this research, FPR and some other important agricultural traits were tested. Furtherly, genetic analysis of FPR and elite germplasms with low FPR were also determined. The results of ANOVA showed that genotype, environment, genotype  $\times$  environment all had great effects on FPR ( $P < 0.001$ ). The FPR varied from 6.26% to 46.40% with an average of 17.21% across the all environments. The elite germplasms with low FPR ( $< 7\%$ ) were Heinong 37 and Kefeng 53; while those with high FPR ( $> 30\%$ ) were Maodou (46.40%) and Yudou 25 (33.19%). The FRP in 2017 spring was significantly higher than that in 2015 summer at  $P = 0.05$  and than those in 2015 spring and 2017 summer at  $P = 0.01$  level. The broad sense heritability of FPR was 54.55% based on the results of the average of lines. The results of correlation analysis showed that FPR was significantly positively related to flat pod number ( $r = 0.66, P < 0.001$ ) and height ( $r = 0.15, P = 0.04$ ), not related to branch number ( $r = 0.10, P = 0.18$ ), stem number ( $r = 0.08, P = 0.27$ ), and pod number ( $r = 0.10, P = 0.17$ ). All of the relative efficiencies of indirect selection were  $< 1$ , which meant that the direct selection for FPR was superior to the indirect selection by other traits in the breeding progress. This research not only revealed the genetic figure of FPR and screened out the elite germplasms for cultivar development but also set a foundation for further QTL mapping and gene cloning.

**Keywords:** Soybean; Broad sense heritability; Flat pod rate; Germplasm screening

大豆秕荚, 又称荚而不实, 是大豆症青现象的主要表现形式之一, 是影响籽粒产量的重要性状, 严重时可导致绝产。近年来, 大豆秕荚现象在我国黄淮地区愈发普遍<sup>[1,4]</sup>。造成大豆秕荚的原因是多方面的, 既包括栽培措施、自然环境、病虫害等外在的环境因素, 又包括基因型等内在的遗传因素。在

栽培措施方面, 张慎举等<sup>[5]</sup>研究表面土壤中硼元素的缺乏是造成大豆秕荚的重要原因之一。李培庆等<sup>[6]</sup>研究表明喷施多效唑等生长调节剂有利于降低大豆秕荚率, 但过量使用反而会增加大豆秕荚率<sup>[7]</sup>。张玉红<sup>[8]</sup>的研究也表明在大豆结荚期, 喷施磷酸二氢钾亦可降低大豆的秕荚率。也有研究表

收稿日期: 2017-09-30

基金项目: 国家十三五重点研发计划 (2016YFD0100201-09); 农业部国家作物种质资源保护专项 (2015NWB030-05)。

第一作者简介: 杨梦园 (1992 -), 女, 硕士, 主要从事生化与分子生物学研究。E-mail: 18736707783@qq.com。

通讯作者: 刘立科 (1974 -), 男, 博士, 副教授, 主要从事作物遗传育种学研究。E-mail: liulike@lcu.edu.cn。

明重茬也是另一个导致秕荚的重要因素<sup>[2]</sup>。自然环境方面,赵爱莉等<sup>[9]</sup>通过相关分析表明,大豆秕荚率与大豆开花、结荚和鼓粒3个时期的降水、积温和光照紧密相关。张慎举等<sup>[10]</sup>设置6个处理旱境,发现干旱胁迫使大豆各生育时期空秕荚率增加,产量显著降低。张德荣等<sup>[11]</sup>进行低温处理,结果表明低温使大豆花荚败育。病虫害方面,研究表明椿象、烟粉虱等刺吸食昆虫的取食也是造成大豆秕荚的重要原因之一<sup>[4,12-14]</sup>。在品种特性方面,盛德贤等<sup>[15]</sup>研究9个不同品种秕荚率存在着显著差异;郭建秋等<sup>[3]</sup>利用5个栽培品种及其不同世代的群体,研究秕荚率的遗传特性,结果表明秕荚率主要由遗传控制,有主效基因的存在。表明通过育种过程聚合优良等位基因是降低大豆秕荚率的有效途径。

因此,若能进一步对秕荚率的遗传特性进行研

究并筛选出低秕荚率的种质资源,将对于培育低秕荚率、广适应性的新品种至关重要。为此,本试验选取了主要来自于我国黄淮海和东北大豆主产区的17份大豆种质,分两年春夏两季播种于聊城大学试验田,对其秕荚率及其它重要农艺性状进行考察,研究大豆秕荚率的遗传特性及优良种质的筛选。本研究不仅为优选亲本材料提供指导同时也为进一步挖掘其分子机理研究奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验材料包括来自于我国大豆主产区东北和黄淮海的17份种质资源,这些种质均由国家种质资源库提供。各大豆种质名称及原产地见表1。

表1 供试大豆种质名称及原产地  
Table 1 Name and source of the germplasms

编号 No.	国家种质库统一编号 Stock No.	品种名称 Germplasm name	源产地 Source	生态类型 Ecological type
1	ZDD22638	黑农 37	黑龙江	北方春大豆
2	ZDD00127	毛豆	黑龙江	北方春大豆
3	ZDD23704	吉林 30	吉林	北方春大豆
4	/	吉育 30	吉林	北方春大豆
5	/	吉育 41	吉林	北方春大豆
6	ZDD00854	锦州 4-1	辽宁	北方春大豆
7	/	科丰 53	北京	北方春大豆
8	ZDD23873	中黄 10 号	北京	黄淮海夏大豆
9	ZDD23867	科丰 14	北京	黄淮海夏大豆
10	ZDD01683	第六黄豆-2	河北	黄淮海夏大豆
11	ZDD23040	冀豆 12	河北	黄淮海夏大豆
12	/	冀豆 16	河北	黄淮海夏大豆
13	/	冀豆 17	河北	黄淮海夏大豆
14	ZDD19384	鲁豆 12	山东	黄淮海夏大豆
15	/	山宁 12	山东	黄淮海夏大豆
16	ZDD02990	二粒黑豆	山东	黄淮海夏大豆
17	ZDD23242	豫豆 25	河南	黄淮海夏大豆

/表示没有国家种质库保存编号。  
/Represents that there is no National Germplasm Bank preservation number.

### 1.2 试验设计

本试验于2015和2017年在聊城大学校内试验田进行。试验分别设置春季(2015年4月22日和2017年5月6日)和夏季(2015和2017年的6月1日)两个播期,2年的4个播期为4个生态环境。田间种植采用完全随机区组设计,3次重复,3行区,行长3 m,行距50 cm,株距10 cm,人工开沟点播种植。

田间管理同一般大田生产。

### 1.3 测定项目与方法

大豆成熟后,每小区取中间1行,选取10株,参考《大豆种质资源描述规范和数据标准》<sup>[16]</sup>,进行常规室内考种。考察性状包括株高、分枝数、主茎节数、单株荚数、单株秕荚数、单株秕荚率等性状。

整个生育期的气象数据从天气后报网站(ht-

tp://www. tianqihoubao. com) 查询获得。

1.4 数据处理

使用 Excel 2010 进行数据的初步整理,利用 SAS 9.4 软件进行统计分析<sup>[17]</sup>。各个性状的方差分析选用一般线性模型 (GLM)。

按照国际水稻所 (International Rice Research Institute,IRRI) 的方法<sup>[18]</sup>,计算各个性状的广义遗传力、性状间的遗传相关系数和间接选择效率指数。

广义遗传力的计算公式如下:

$$H^2 = \sigma_G^2 / (\sigma_G^2 + \sigma_{GE}^2 / e + \sigma_e^2 / re)$$
 (1)

其中, $H^2$  指广义遗传力, $\sigma_G^2$  指遗传方差的估计值, $\sigma_{GE}^2$  指基因型和环境互作方差估计值, $\sigma_e^2$  指误差估计值, $r$  指重复数, $e$  指环境数。

遗传相关系数的计算公式如下:

$$r_{G(AB)} = \sigma_{G(AB)} / (\sigma_{G(A)}^2 + \sigma_{G(B)}^2)^{0.5}$$
 (2)

其中, $r_{G(AB)}$  指遗传相关系数, $\sigma_{G(AB)}$  指两个性状间的遗传协方差, $\sigma_{G(A)}^2$  指性状 A 的遗传方差估计值, $\sigma_{G(B)}^2$  指性状 B 的遗传方差估计值。

间接选择效率指数的计算公式:

$$CR_A / R_A = r_{G(AB)} \times (H_B^2) / (H_A^2)$$
 (3)

其中, $CR_A / R_A$  指间接选择效率指数, $r_{G(AB)}$  指性

状 A 和性状 B 间的遗传相关系数, $H_B^2$  指选择性状 B 的广义遗传力, $H_A^2$  指目标性状 A 的广义遗传力。

2 结果与分析

2.1 大豆秕荚率和其它性状的遗传分析

2.1.1 基因型对大豆秕荚率的影响 利用 SAS 9.4 GLM 模型进行方差分析,结果显示基因型对秕荚率有极显著的影响 ( $P < 0.001$ ) (表 2)。由表 3 可知,在 4 个环境下,大豆秕荚率为 6.26% ~ 46.40%,平均为 17.21%,并且均具有较大的方差。在  $P = 0.01$  水平,17 个材料中秕荚率最高的毛豆 (46.40%) 与其它种质均表现为显著差异;豫豆 25 (33.19%) 和二粒黑豆 (28.96%) 显著高于除山宁 12 (25.73%) 以外的种质;山宁 12 显著高于除中黄 10、吉林 30、鲁豆 12 和第六黄豆 -2 以外的种质;中黄 10 (18.31%) 与科丰 53 和黑农 37 差异显著,和其它种质差异不显著;其它种质间差异不显著。在  $P = 0.05$  水平,吉林 30 (17.37%) 和鲁豆 12 (17.2%) 与黑农 37、科丰 53 和吉育 30 差异显著,与其它种质差异不显著;其它种质间差异不显著。

表 2 4 个环境下秕荚率的联合方差分析

Table 2 Joint ANOVA for flat pod rate under 4 environments

变异来源 Source of variation	自由度 DF	平方和 SS	均方 MS	F	Pr > F
环境 Environment	3	6790.36	2263.45	27.12	<0.0001
基因型 Genotype	16	21724.03	1357.75	16.27	<0.0001
基因型 × 环境 Genotype × Environment	44	27150.50	617.06	7.39	<0.0001
误差 Error	128	10681.20	83.45		

大豆单株秕荚数的变化范围为 1.55 ~ 38.5 个,平均为 11.21 个。同上述秕荚率类似,基因型对大豆单株秕荚数有极显著影响 ( $P < 0.001$ )。单株秕荚数最高是豫豆 25 (38.5 个),显著高于其它种质 ( $P = 0.01$ );其次是毛豆 (22.42 个),显著高于冀豆

17、吉育 41、科丰 53、吉育 30 和黑农 37,与其它种质的差异不显著 ( $P = 0.01$ );其它种质间的单株秕荚数在  $P = 0.01$  水平差异不明显。但在  $P = 0.05$  水平,山宁 12 (18.67 个) 与其它种质的单株秕荚数差异显著;其它种质间差异不显著 (表 3)。

表 3 4 个环境下不同基因型的单株秕荚数和秕荚率均值及标准差

Talbe 3 The average and standard error of flat pod number and flat pod rate of different genotypes under 4 environments

基因型 Genotype	单株秕荚数 Flat pod number per plant	秕荚率 Flat pod rate /%
第六黄豆 -2 Diliuhuangdou-2	11.14 ± 13.06 cbdCB	14.46 ± 13.8 edCDE
二粒黑豆 Erliheidou	14.83 ± 14.01 cbdCB	28.96 ± 24.86 bB
黑农 37 Heinong 37	1.55 ± 1.21 dC	6.26 ± 6.37 fE
吉林 30 Jilin 30	11.00 ± 14.85 cbdCB	17.37 ± 17.99 dCDE
吉育 30 Jiyu 30	1.89 ± 1.96 dC	7.26 ± 7.51 efDE
吉育 41 Jiyu 41	3.33 ± 4.92 dC	9.78 ± 11.94 edfDE
冀豆 12 Jidou 12	6.33 ± 2.5 cdCB	12.45 ± 4.94 edfDE

续表 3

基因型 Genotype	单株秕荚数 Flat pod number per plant	秕荚率 Flat pod rate per plant / %
冀豆 16 Jidou 16	7.25 ± 3.98 cdCB	13.33 ± 6.47 edfDE
冀豆 17 Jidou 17	5.00 ± 2.80 dC	9.39 ± 5.64 edfDE
锦州 4-1 Jinzhou 4-1	7.17 ± 11.08 cdCB	12.32 ± 17.67 edfDE
科丰 14 Kefeng 14	8.45 ± 9.72 cdCB	12.01 ± 8.43 edfDE
科丰 53 Kefeng 53	2.83 ± 3.79 dC	6.27 ± 6.71 fE
鲁豆 12 Ludou 12	13.67 ± 11.39 cbdCB	17.20 ± 11.81 dCDE
毛豆 Maodou	22.42 ± 18.24 bB	46.40 ± 25.86 aA
山宁 12 Shanning 12	18.67 ± 18.36 cbCB	25.73 ± 25.62 cbCB
豫豆 25 Yudou 25	38.5 ± 57.98 aA	33.19 ± 26.48 bB
中黄 10 号 Zhonghuang 10	14.08 ± 14.54 cbdCB	18.31 ± 15.56 cdCD
平均 Mean	11.21 ± 19.37	17.21 ± 18.57

不同大小写字母分别表示  $P < 0.01$  和  $P < 0.05$  水平存在显著差异。下同。  
Different capital and lowercase indicate significant difference at  $P < 0.01$  and  $P < 0.05$  respectively. The same below.

2.1.2 环境对大豆秕荚率的影响 方差分析结果表明环境对于大豆秕荚率具有显著影响 ( $P < 0.001$ ) (表 2), 2017 年春播的秕荚率最高, 平均为 26.6%, 2017 年夏播的秕荚率最低, 平均为 12.39%。进一步的 Duncan 多重比较结果表明, 在  $P < 0.05$  水平上, 2017 年春播材料的秕荚率显著高于其它 3 个环境, 其它 3 个环境下的秕荚率无显著差异; 而在  $P < 0.01$  水平上, 2017 年春播材料的秕荚率和 2015 年春播材料、2017 年夏播材料的差异显著, 和 2015 年夏播差异不显著 (表 4)。同为春播材料, 2017 年的秕荚率显著高于 2015 年的秕荚率,

这很可能与 2017 年 6 - 7 月的温度偏高有关 (表 5)。

表 4 不同环境下秕荚率均值差异的 Duncan 多重比较  
Table 4 Duncan's Multiple Range Test for flat pod rate under 4 environments

环境 Environment	秕荚率 Flat pod rate / %
2017 年春播	26.60 aA
2015 年夏播	17.28 bAB
2015 年春播	12.69 bB
2017 年夏播	12.39 bB

表 5 2015 年和 2017 年 6 - 7 月份日间平均气温  
Table 5 The day temperatures in June and July in 2015 and 2017 (℃)

年份 Year	6 月上旬 Early-June	6 月中旬 Mid-June	6 月下旬 Late-June	7 月上旬 Early- July	7 月中旬 Mid-July	7 月下旬 Late-July
2015	30.20	32.40	29.10	32.40	32.00	33.00
2017	29.40	32.70	31.30	34.00	33.50	30.64

2.1.3 基因型和环境互作对秕荚率的影响 除基因型和环境对秕荚率有显著影响外, 基因型 and 环境的互作对秕荚率也有显著影响 ( $P < 0.001$ ) (表 2), 表明不同基因型对不同环境有不同的响应。由表 6 可知, 2015 年春播材料中, 秕荚率最高的为豫豆 25 (58.97%), 最低为锦州 4-1 (1.37%); 2015 年夏播材料中, 秕荚率最高则为毛豆 (60.95%), 最低为黑农 37 (1.92%); 2017 年春播材料中, 秕荚率最高为毛豆 (66.69%), 最低为吉育 30 (3.03%); 2017 年夏播材料中, 秕荚率最高为二粒黑豆 (44.29%), 最低为锦州 4-1 (4.65%)。一部分种质表现为在不同

环境下变化幅度较大, 如第六黄豆 - 2 在 2015 年春播时秕荚率近 40%, 而在其它 3 个环境下则不到 10%; 二粒黑豆则在年际间表现出较大差异, 在 2017 年无论春播还是夏播, 秕荚率都超过 40%, 而在 2015 年春播时秕荚率只有 5.56%, 夏播也只有 11.34%; 豫豆 25 则表现为播期间的较大差异, 无论在 2015 还是 2017 年, 春播的秕荚率均超过 50%, 而夏播均不足 15%。而另一部分种质材料则表现出了较好的稳定性, 如科丰 53 在 4 个环境下的秕荚率均  $< 10\%$ ; 冀豆 12 和冀豆 16 在多个环境下, 其秕荚率均在 10% 左右。

表 6 不同基因型在 4 个环境下的秕荚率

Table 6 The flat pod rate of different genotypes under four environments

基因型 Genotype	环境 Environment			
	2015 春播 Spring planting in 2015	2015 夏播 Summer planting in 2015	2017 春播 Spring planting in 2017	2017 夏播 Summer planting in 2017
第六黄豆-2 Dilihuangdou-2	39.27 ± 2.17	8.13 ± 4.95	6.80 ± 3.79	8.36 ± 2.04
二粒黑豆 Erliheidou	5.56 ± 9.62	11.34 ± 4.03	54.67 ± 13.67	44.29 ± 21.75
黑农 37 Heinong 37	3.08 ± 2.78	1.92 ± 2.72	10.82 ± 7.24	7.78 ± 8.39
冀豆 12 Jidou 12	8.42 ± 3.04	/	15.29 ± 6.84	13.64 ± 1.77
冀豆 16 Jidou 16	10.66 ± 2.53	16.01 ± 9.37	17.87 ± 7.24	8.77 ± 0.39
冀豆 17 Jidou 17	5.69 ± 4.35	17.04 ± 0.33	9.11 ± 5.35	5.81 ± 1.02
吉林 30 Jilin 30	/	5.17 ± 2.96	40.61 ± 7.20	6.33 ± 4.18
吉育 30 Jiyu 30	3.56 ± 0.88	/	3.03 ± 5.25	15.18 ± 7.48
吉育 41 Jiyu 41	/	9.46 ± 3.85	6.07 ± 2.80	23.6 ± 17.63
锦州 4-1 Jinzhou 4-1	1.37 ± 2.37	5.65 ± 4.76	37.62 ± 19.81	4.65 ± 1.33
科丰 14 Kefeng 14	3.71 ± 3.05	21.71 ± 6.89	16.47 ± 0.96	7.66 ± 2.39
科丰 53 Kefeng 53	6.88 ± 0.58	2.84 ± 3.34	8.33 ± 14.43	7.03 ± 1.59
鲁豆 12 Ludou 12	7.37 ± 2.95	17.76 ± 6.60	34.26 ± 4.34	9.40 ± 4.79
毛豆 Maodou	31.46 ± 19.21	60.95 ± 34.08	66.69 ± 12.22	26.52 ± 11.66
山宁 12 Shanning 12	4.96 ± 0.64	/	58.84 ± 8.48	13.40 ± 5.74
豫豆 25 Yudou 25	58.97 ± 3.86	14.71 ± 1.72	53.78 ± 22.81	5.29 ± 2.30
中黄 10 号 Zhonghuang 10	7.26 ± 7.32	37.35 ± 12.48	14.35 ± 8.46	7.95 ± 0.23
总计 Total	12.39 ± 16.80	17.28 ± 17.98	26.60 ± 22.73	12.69 ± 12.09

/表示数据缺失。  
/Mean data not available.

2.1.4 不同生态类型对秕荚率的影响 本试验材料主要来自于我国北方春大豆区和黄淮海夏大豆区的材料,特别是北方春大豆材料被引种到属于黄淮区的聊城地区,其自然生态环境发生了较大的变化,需要判断其秕荚率是否与生态环境的改变有关。为此,在本研究中,利用 t 检验对这两个生态类

型的秕荚率进行差异显著性检验,检验结果表明,无论是整体还是在不同的环境下,北方春大豆和黄淮海夏大豆这两个生态类型间的秕荚率差异均不显著,表明在本研究中北方春大豆并没有因为生态环境的改变而导致其秕荚率性状同黄淮海夏大豆材料有显著差异(表 7)。

表 7 各个环境下不同生态类型间的大豆秕荚率差异显著性 t 检验

Table 7 The t-test for flat pod rate between ecotypes under different environment

环境 Environment	生态类型 Ecotype	各环境下的秕荚率均值和标准差 Average and standard error of flat pod rate under different environment	P
总体 Total	北方春大豆 Northern spring planting soybean	15.42 ± 201.16	0.25
	黄淮海夏大豆 Huanghuaihai summer planting soybean	18.57 ± 17.51	
2015 年春播 Spring planting in 2015	北方春大豆 Northern spring planting soybean	7.72 ± 13.00	0.14
	黄淮海夏大豆 Huanghuaihai summer planting soybean	15.17 ± 18.34	

续表 7

环境 Environment	生态类型 Ecotype	各环境下的秕荚率均值和标准差 Average and standard error of flat pod rate under different environment	P
2015 年夏播 Summer planting in 2015	北方春大豆 Northern spring planting soybean	15.96 ± 25.26	0.52
	黄淮海夏大豆 Huanghuaihai summer planting soybean	18.78 ± 11.00	
2017 年春播 Spring planting in 2017	北方春大豆 Northern spring planting soybean	24.74 ± 24.66	0.63
	黄淮海夏大豆 Huanghuaihai summer planting soybean	27.90 ± 21.61	
2017 年夏播 Summer planting in 2017	北方春大豆 Northern spring planting soybean	13.01 ± 11.44	0.87
	黄淮海夏大豆 Huanghuaihai summer planting soybean	12.46 ± 12.70	

2.2 大豆秕荚率与其它性状间的表型相关和遗传相关

2.2.1 不同基因型大豆的主要农艺性状 除单株秕荚数和秕荚率之外,对株高、分枝数、主茎节数和单株荚数等一些重要的农艺性状也进行了考查,结果表明株高的变化范围为 35.45 ~ 115.07 cm,平均为 76.22 cm;分枝数的变化范围为 0.39 ~ 6.62 个,

平均为 3.74 个;主茎节数的变化范围为 10.52 ~ 19.31 节,平均为 15.16 节;单株荚数的变化范围为 26.78 ~ 107.58 个,平均为 59.64 个(表 8)。4 个环境下的联合方差分析结果表明,基因型、基因型和环境互作对所有性状均有显著影响,环境对除主茎节数之外的其它性状均有显著影响(表 9)。

表 8 4 个环境下不同基因型的主要农艺性状均值及标准差

Talbe 8 The average and standard error of important agricultural traits of different genotypes under 4 environments				
基因型 Genotype	株高 Plant height/cm	分枝数 Branch number	主茎节数 Stem number	单株荚数 Pod number
第六黄豆 -2 Dilihuangdou-2	83.88 ± 21.83 edCD	3.21 ± 3.31 bdcEBDFC	14.96 ± 4.88 ebdfcEBDFC	79.93 ± 69.77 baBAC
二粒黑豆 Erliheidou	79.66 ± 29.03 edfED	4.93 ± 3.98 baBAC	12.52 ± 5.26 gfhEGF	53.33 ± 27.36 bdecEBDC
黑农 37 Heinong 37	35.45 ± 14.23 jH	0.39 ± 0.66 eF	10.52 ± 1.67 hG	28.91 ± 12.43 eED
吉林 30 Jilin 30	74.95 ± 23.07 iEDF	1.44 ± 1.88 edEDF	17.36 ± 7.82 bacBDAC	43.67 ± 21.71 decEDC
吉育 30 Jiyu 30	55.11 ± 15.47 egfG	0.78 ± 1.30 eEF	12.11 ± 1.9 gfhGF	26.78 ± 15.11 eE
吉育 41 Jiyu 41	55.43 ± 15.1 iG	0.58 ± 0.79 eF	13.65 ± 1.42 egfhEGDF	34.75 ± 10.05 deED
冀豆 12 Jidou 12	68.67 ± 7.41 hgEF	3.78 ± 2.64 bcEBDAC	14.44 ± 1.94 edfcEGDF	58.11 ± 35.31 bdecEBDC
冀豆 16 Jidou 16	93.58 ± 18.42 cbCB	5.50 ± 4.42 baBAC	17.92 ± 4.21 baBDAC	62.25 ± 45.16 bdecEBDAC
冀豆 17 Jidou 17	115.07 ± 13.8 aA	6.62 ± 4.57 aA	19.31 ± 2.36 aA	56.77 ± 20.59 bdecEBDC
锦州 4-1 Jinzhou 4-1	64.00 ± 32.00 hGF	2.50 ± 2.07 edcEDFC	13.83 ± 5.18 egdfEGDF	53.67 ± 23.1 bdecEBDC
科丰 14 Kefeng 14	71.00 ± 12.90 hgfEF	6.32 ± 4.17 aBA	14.73 ± 2.69 ebdfcEGDFC	60.55 ± 24.71 bdecEBDAC
科丰 53 Kefeng 53	101.28 ± 17.46 bB	2.47 ± 3.70 edcEDFC	17.07 ± 4.52 bdacBDAC	39.83 ± 14.55 decEDC
鲁豆 12 Ludou 12	80.05 ± 14.72 edfED	5.47 ± 3.46 baBAC	16.72 ± 3.14 ebdacEBDAC	78.92 ± 36.92 bacBDAC
毛豆 Maodou	53.41 ± 18.39 iG	4.58 ± 4.19 bacBAC	10.67 ± 2.31 hGF	48.25 ± 24.73 bdecEDC
山宁 12 Shanning 12	75.41 ± 38.76 egfEDF	5.29 ± 4.39 baBAC	18.78 ± 3.03 aBAC	99.67 ± 66.43 aBA
豫豆 25 Yudou 25	86.89 ± 24.29 cdCD	4.67 ± 2.74 bac BAC	19.11 ± 8.48 aBA	107.58 ± 139.78 aA
中黄 10 号 Zhonghuang 10	85.05 ± 34.23 cdCD	3.91 ± 3.56 bcBDAC	13.85 ± 2.91 egdfEGDF	71.69 ± 19.03 bdacEBDAC
平均 Mean	76.22 ± 28.63	3.74 ± 3.74	15.15 ± 4.91	59.64 ± 50.86

表 9 4 个环境下重要农艺性状的联合方差分析  
Table 9 Joint ANOVA for important agricultural traits under 4 environments

性状 Trait	基因型均方 MS of genotype	环境均方 MS of environment	基因型 × 环境均方 MS of Genotype × Environment	误差 Error
株高 Plant height	4248. 71 * * *	676. 84 * * *	1642. 26 * * *	100. 75
分枝数 No. of branch	42. 61 * * *	114. 32 * * *	19. 40 * * *	6. 02
主茎节数 Stem node number	90. 77 * * *	13. 42	38. 72 * * *	11. 32
单株荚数 Pod number per plant	5742. 54 * * *	10773. 43 * * *	3960. 12 * * *	1540. 54
单株秕荚数 Flat pod number per plant	984. 67 * * *	1908. 20 * * *	639. 44 * * *	175. 73

\*\*\*:  $P < 0.001$  水平差异显著。下同。  
\*\*\*: There is significant difference at  $P < 0.001$  level. The same below.

2.2.2 大豆秕荚率与其它性状间的表型相关和遗传相关 属于中等水平, 低于株高和主茎节数的广义遗传力, 与分枝数的相当, 但高于单株荚数和单株秕荚数的广义遗传力(表 10)。

利用基于株系均值的广义遗传力计算方法, 本研究得到秕荚率的广义遗传力为 54.55%,

表 10 17 个种质不同性状的广义遗传力  
Table 10 Broad sense heritabilities of different traits of 17 genotypes

性状 Trait	秕荚率 Flat pod rate	株高 Plant height	分枝数 Branch number	主茎节数 Stem node numer	单株荚数 Pod number per plant	单株秕荚数 Flat pod number per plant
广义遗传力 Broad sense heritability/%	54. 55	61. 35	54. 48	57. 34	31. 04	35. 06

在表型上, 大豆秕荚率与单株秕荚数呈极显著正相关( $r = 0.62$ ), 与株高显著相关, 但相关系数只有 0.15, 与分枝数( $r = 0.10$ )、主茎节数( $r = 0.08$ ), 和单株荚数( $r = 0.10$ )的相关性不显著。秕荚率与单株秕荚数的遗传相关系数均高达 0.99, 显示出这两个性状间的密切关系。利用遗传相关系数和方差分析的结果, 可以计算出通过对其它性状进行选择时, 对秕荚率进行间接选择的效率, 结果如表 11 所示, 间接选择效率均低于 1, 表明在育种过程中对秕荚率的改良应该仍然以直接选择为主。

表 11 大豆秕荚率与其它性状间的表型相关、遗传相关及间接选择效率指数  
Table 11 Genotypic and phenotypic correlations between flat pod rate and other traits

相关类型 Types of correlation	株高 Plant height	分枝数 Branch number	主茎节数 Stem node number	单株荚数 Pod number per plant	单株秕荚数 Flat pod number per plant
表型相关 Phenotypic correlation	0. 15 *	0. 1	0. 08	0. 1	0. 62 * * *
遗传相关 Genotypic correlation	-0. 47	0. 61	-0. 42	0. 85	0. 99
间接选择效率指数 Relative efficiency of indirected selection	-0. 5	0. 61	-0. 43	0. 64	0. 80

\*:  $P < 0.05$  水平差异显著。  
\*: There is significant difference at  $P < 0.05$  level.

3 讨 论

大豆秕荚是影响大豆产量的重要因素之一, 了解大豆秕荚率的遗传机理是进行大豆遗传改良的基础。本文进行 2 年共 4 个播期环境的试验, 结果表明大豆秕荚率的广义遗传力为 54.55%, 属于中等水平, 其它性状, 如株高、分枝数、主茎节数和单株荚数等性状的遗传力与传统<sup>[19]</sup>的结果一致, 这也从另一个侧面证明了本研究结果的可靠性。但另

一方面, 遗传力的估计容易受试验材料、试验设计等因素影响<sup>[20-21]</sup>, 如郭建秋等<sup>[3]</sup>采用主基因 + 多基因混合遗传模型对 3 个群体进行多世代联合分析, 得出大豆秕荚率的广义遗传力为 70.82% ~ 95.31%, 高于本研所得结果。

大豆秕荚率受多种因素影响, 其中生殖生长期间温度的影响至关重要<sup>[22]</sup>, 且白天的温度对籽粒灌浆影响更大<sup>[23]</sup>。Tacarindua 等<sup>[24]</sup>的研究表明高温显著降低了大豆子叶中的细胞数量, Zhang 等<sup>[25]</sup>也

证明温度升高能显著降低大豆叶片的光合速率、降低大豆叶片中的可溶性糖和淀粉含量进而减少同化物向籽粒的运输,最终导致大豆百粒重的显著降低。张慎举等<sup>[5]</sup>根据多年的统计结果也表明高温干旱是造成大豆秕荚的重要原因。在本研究中,春播大豆的生殖生长集中在6月中旬至8月上旬,而在2017年度6、7月份的气温比2015年度同期气温偏高可能是2017年春播大豆秕荚显著增高的原因。但是由于本研究中,受所用材料数量和试验条件所限,其具体原因尚待进一步的研究证实。

本研究显示基因型和环境互作能够显著影响大豆秕荚率。在郭建秋等<sup>[3]</sup>的研究中豫豆25的秕荚率是90.96%,而在本研究中其秕荚率只有33.19%,很可能是试验地点的自然地理环境存在较大差异,以及较大的基因型和环境互作造成的。但另一方面,在本文中豫豆25的秕荚率高居第二位,表明该种质无论在河南洛阳还是山东聊城,都表现出了较高的秕荚率,又显示出较高的遗传稳定性。

t检验结果表明,在本研究中北方春大豆和黄淮夏大豆两个生态类型间的秕荚率差异并不显著,说明在本研究中北方春大豆引种到聊城地区后,其秕荚率并未因生态环境的改变而同当地材料有显著差异。当然,本文所用试验材料中只包含6个北方春大豆种质,数量较少,试验环境也只有4个。因此,要想确定不同来源的试验材料间的秕荚率是否差异显著,尚需应用更多的试验材料在更多的试验环境下进行验证。

大豆秕荚率同其它性状间的表型相关表明,除了与单株秕荚数的相关系数为0.62以外,与其它性状的相关系数普遍较低。遗传相关方面,秕荚率与单株秕荚数的相关系数达到0.99,表明这两个性状间的密切关系。除此之外,虽然秕荚率同单株荚数在表型上相关不显著,但其遗传相关系数却达到0.85,这可能是与环境相关性较大造成的。

4 结 论

在本研究中基因型、环境、基因型和环境之间的互作均对大豆秕荚率有极显著影响;秕荚率的广义遗传力为54.55%,居于中等水平。秕荚率与单株秕荚数极显著正相关,与株高显著正相关,但相关系数较小,与其它性状的相关不显著。通过其它性状对秕荚率进行选择的间接选择效率指数均<1,表明对秕荚率的改良仍应以直接选择为主。低秕荚率种质黑农37、科丰53等可以直接应用于黄淮区大豆秕荚率的遗传改良。本研究不仅对大豆秕荚率的遗传特性进行了初步解析,同时也筛选出了低秕

荚率的优良种质资源,为下一步进行的遗传育种和秕荚率的QTL定位以及基因克隆奠定了基础。

**致谢:**本研究得到了聊城大学农学院、聊城大学生命科学学院的大力支持。生命科学学院的赵浩东、穆济铭、刘衍光等多名同学参与了本研究的田间种植、室内考种等相关工作,在此一并致谢。

参考文献

[1] 李艳琴,王艳晓. 2010年舞阳县大豆症青荚少的原因及对策[J]. 现代农业科技, 2012(1): 117-118. (Li Y Q, Wang Y X. Causes and countermeasures for reluctant ripen and few pods of soybean in Wuyang county in 2010[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2012(1): 117-118. )

[2] 郭建秋,马雯,李月霞,等. 重茬和品种差异对豫西夏大豆“症青”现象的影响[J]. 河南农业科学, 2012(12): 59-62. (Guo J Q, Ma W, Li Y X, et al. Effect of continuous cropping and varieties on ‘Zhengqing’ phenomenon of summer soybean in west Henan province[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2012(12): 59-62. )

[3] 郭建秋,张向召,马雯,等. 夏大豆瘪荚率的遗传分析[J]. 河南农业科学, 2012(2): 50-53. (Guo J Q, Zhang X Z, Ma W, et al. Genetic analysis on useless pod rate of summer soybean[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2012(2): 50-53. )

[4] 张苏红. 夏大豆秕荚症形成原因及防治对策[J]. 河南农业, 2009(3): 20. (Zhang S H. Causes and control strategies of flat pod for summer soybean [J]. Agriculture of Henan, 2009(3): 20. )

[5] 张慎举,侯乐新. 大豆荚而不实发生机理及预防措施研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 123-127. (Zhang S J, Hou L X. Study on the cause mechnism of pods without peas in soybean [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(10): 123-127. )

[6] 李培庆,张美凤. 大豆喷施多效唑的生理效应[J]. 中国油料, 1993(2): 29-31. (Li P Q, Zhang M F. The physiological effects of spraying paclobutrazol on soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crops Sciences, 1993(2): 29-31. )

[7] 刘健,张凤彩,马赛飞,等. 多效唑施用过量对大豆产量及生长发育的影响[J]. 农业科技通讯, 2005(6): 48. (Liu J, Zhang F C, Ma S F, et al. Effect of application of over-dosage paclobutrazol on the yield and growth development of soybeans[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2005(6): 48. )

[8] 张玉红. 大豆结荚期喷施磷酸二氢钾研究初报[J]. 陕西农业科学, 2010, 56(4): 29. (Zhang Y H. The primary study on the effects of spraying potassium dihydrogen phosphate on soybean at pod development stage[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Science, 2010, 56(4): 29. )

[9] 赵爱莉,梁振富. 大豆秕荚率与品种遗传差异及其气象因素关系的研究[J]. 作物杂志, 1994(4): 17-19. (Zhao A L, Liang Z F. The relationships between flat pod rate and genotype and weather conditions in soybean[J]. Crops, 1994(4): 17-19. )

[10] 张慎举,侯乐新. 干旱胁迫条件下夏大豆荚而不实发生机理研究[J]. 华北农学报, 2005(5): 61-63. (Zhang S J, Hou L X. Study on the cause mechanism for pods without peas in soybean



under drought stress [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2005 (5): 61-63).

[11] 张德荣, 张学君. 大豆低温冷害试验研究报告[J]. 大豆科学, 1988, 7(2): 125-132. (Zhang D R, Zhang X J. Study on cool injury of soybean [J]. Soybean Science, 1988, 7 (2): 125-132. )

[12] Vyavhare S S, Way M O, Medina R F. Determination of growth stage-specific response of soybean to redbanded stink bug ( Hemiptera: Pentatomidae) and its relationship to the development of flat pods [J]. Journal of Economic Entomology, 2015, 108 (4): 1770-1778.

[13] Owens D R, Herbert J D, Dively G P, et al. Does feeding by *Halyomorpha halys* ( Hemiptera: Pentatomidae) reduce soybean seed quality and yield [J]. Journal of Economic Entomology, 2013, 106(3): 1317-1323.

[14] Mccauley A M, Jones C A, Miller P R, et al. Nitrogen fixation by pea and lentil green manures in a semi-arid agroecoregion: Effect of planting and termination timing[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2012, 92(3): 305-314.

[15] 盛德贤, 滕建勋, 牟方贵, 等. 春大豆主要农艺性状方差分析及相关分析的研究[J]. 种子世界, 2006(1): 24-27. (Sheng D X, Teng J X, Mou F G, et al. Equation difference analysis in major agricultural characteristics of spring soybean and related research[J]. Seed World, 2006(1): 24-27. )

[16] 邱丽娟, 常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006. ( Qiu L J, Chang R Z. Discriptor and data standard for soybean [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006. )

[17] SAS Institute Inc. Base SAS 9.4 procedures guide: Statistical procedures[M]. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2013.

[18] International Rice Research Institute. Correlations among traits: Implications for screening. [http://www.knowledgebank.irri.org/ricebreedingcourse/Lesson\\_8\\_Correlations\\_among\\_traits\\_\\_implications\\_for\\_screening.htm](http://www.knowledgebank.irri.org/ricebreedingcourse/Lesson_8_Correlations_among_traits__implications_for_screening.htm) [Z]. 2006.

[19] 盖钧镒. 作物育种学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 233. ( Gai J Y. Crop breeding[M]. Beijing: China Agriculture Press ,2010: 233)

[20] Visscher P M, Hill W G, Wray N R. Heritability in the genomics era-concepts and misconceptions[J]. Nature Reviews Genetics, 2008, 9: 255.

[21] Johnson H W, Robinson H F, Comstock R. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans[J]. Agronomy journal, 1955, 47(7): 314-318.

[22] Egli D B, Wardlaw I F. Temperature response of seed growth characteristics of soybeans[J]. Agronomy Journal, 1980, 72(3): 560-564.

[23] Gibson L R, Mullen R E. Influence of day and night temperature on soybean seed yield[J]. Crop Science, 1996, 36(1): 98-104.

[24] Tacarindua C R P, Shiraiwa T, Homma K, et al. The response of soybean seed growth characteristics to increased temperature under near-field conditions in a temperature gradient chamber[J]. Field Crops Research, 2012, 131: 26-31.

[25] Zhang L, Zhu L, Yu M, et al. Warming decreases photosynthates and yield of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] in the north China plain[J]. The Crop Journal, 2016, 4(2): 139-146.