



大豆抗炸荚性高效评价方法研究

王金生,蒲国锋,马力,何雯瑾,吴俊江

(黑龙江省农业科学院 大豆研究所/农业部大豆栽培重点实验室/黑龙江省大豆栽培重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为了创新高效的大豆抗炸荚鉴定方法,适应大豆机械化生产发展趋势,本研究以黑龙江省不同生态区主栽的大豆品种为材料,以大豆结荚初期、中期和后期的大豆豆荚直线长、豆荚曲线长、荚宽、豆荚厚度、荚皮厚度、豆荚鲜重、豆荚干重为指标,建立6种类型抗炸荚评价指数,通过相关性分析获得大豆抗炸荚最佳鉴定时期及鉴定模型,并利用通径系数分析各指标对鉴定模型的贡献大小,比较得出最高效的大豆抗炸荚性鉴定方法。结果表明:鼓粒中期的多因子抗炸荚指数 $D[\text{豆荚含水量} \times (\text{豆荚直线长}/\text{豆荚曲线长})]$ 与田间实际炸荚率的相关性最为密切($r = -0.911^{**}$),炸荚指数为0.822,以上材料均表现出很强的抗炸荚能力。通径系数分析表明对大豆抗炸荚性贡献最大的因子为豆荚含水量($r = 0.978^{**}$),其次为豆荚直线长($r = 0.878^{**}$),而对大豆易炸荚贡献最大因子为豆荚曲线长($r = -0.676^{**}$)。综合来看,含水量对抗炸荚指数的影响最为明显,正向直接效应最大($X1 \rightarrow y = 0.470$)。鼓粒中期的多因子抗炸荚指数D为高效抗炸荚大豆种质鉴定的最佳技术模型。

关键词:大豆;抗炸荚性;抗炸荚指数;高效评价方法

Research on High-efficiency Evaluation Method of Resistance to Pod Dehiscence in Soybean

WANG Jin-sheng, PU Guo-feng, MA Li, HE Wen-jin, WU Jun-jiang

(Soybean Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Soybean Cultivation of the Ministry of Agriculture/Key Laboratory of Soybean Cultivation of Heilongjiang Province, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to innovate an efficient identification method for soybean resistant to pod dehiscence and adapt to the development trend of soybean mechanized production, this study used soybean varieties mainly planted in different ecological zones in Heilongjiang Province as materials, the curve length, pod width, pod thickness, pod skin thickness, pod fresh weight, and pod dry weight as indicators, and six types of pod dehiscence resistance evaluation indices were established. The best identification period and identification model of soybean pod dehiscence resistance were obtained through correlation analysis. The contribution of each index to the identification model was analyzed by the path coefficient, and the most efficient identification method of soybean pod dehiscence resistance was obtained. The results showed that: The multi-factor pod dehiscence resistance index $D[\text{pod water content} \times (\text{pod straight line length}/\text{pod curve length})]$ in the middle stage of drumming had the closest correlation with the actual rate of fried pods in the field ($r = -0.911^{**}$). Materials with a pod index above 0.822 showed strong pod dehiscence resistance. The path coefficient analysis showed that the most important factor contributing to soybean pod dehiscence resistance was pod water content ($r = 0.978^{**}$), followed by pod straight line length ($r = 0.878^{**}$), and the factor contributing to soybean pod dehiscence resistance was pod curve length ($r = -0.676^{**}$). On the whole, the water content had the most obvious effect on the pod dehiscence resistance index, and the positive direct effect was the largest ($X1 \rightarrow y = 0.470$). The multi-factor pod dehiscence resistance index D in the middle stage of drumming is the best technical model for the identification of high-efficiency pod dehiscence resistant soybean germplasm.

Keywords: soybean; pod anti-burst character; pod anti-burst index; simple evaluation method

炸荚是栽培大豆(*Glycine max* L. Merr.)祖先种—野生大豆(*Glycine soja*)繁衍后代的一种自然属性,然而,炸荚现象的存在也是导致栽培大豆产量损失的主要因素之一^[1]。相关研究报道,在干燥的天气收割易炸荚的大豆品种时产量损失可达到50%~100%^[2],小粒大豆中,炸荚现象更为普遍存在^[3-5],而一些地方大粒品种由于不同的生态适应性使得在机械化收获和制种时也会出现炸荚现象,炸荚损失一般都在7%~13%以上,高者甚至达到

90%以上^[6]。根据张跃进等^[7]的报道,我国黄淮流域主栽大豆品种因炸荚造成的田间产量损失也在112.5 kg·hm⁻²左右,由此可见,大豆炸荚的发生给国内外大豆产业均带来了十分严重的损失。不仅增加了生产成本,同时也严重制约着大豆产业的发展。解决大豆炸荚的问题是我国大豆生产和研究中需要重视的主要问题之一。

炸荚表型的鉴定是抗炸荚理论基础研究与品种选育的根本前提。国内外学者在大豆抗炸荚表

收稿日期:2022-02-26

基金项目:国家重点研发计划(2020YFD1000901-01);黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX22-14)。

第一作者:王金生(1981—),男,硕士,助理研究员,主要从事大豆耕作与栽培研究。E-mail:jinshengwang1981@163.com。

通讯作者:吴俊江(1970—),男,博士,研究员,主要从事大豆耕作与栽培技术研究。E-mail:nkyuwjj@126.com。

型鉴定指标与鉴定方法方面开展了大量相关研究,并取得了一定进展。田间炸荚率是大豆炸荚表型鉴定的主要判断依据^[8],既可以对群体材料进行炸荚表型评价,也可以对单株材料进行炸荚表型鉴定。尽管田间调查法具有方便、快捷、直观等优点,但受环境因素影响较多,导致结果的精确性较差,仅能对炸荚表型差异较大的材料进行粗略分析^[9]。随着抗炸荚鉴定研究的深入开展,相继出现了实验室干燥法^[10-11]、随机碰撞测验法^[12]等评价鉴定方法,但无论采用哪种方法都需要进行重复鉴定。因此,创新精准鉴定方法,综合准确评价大豆炸荚性状,是大豆炸荚研究亟待解决的问题。

本研究以黑龙江省不同生态区主栽的大豆品种为材料,以大豆结荚初期、中期和后期的豆荚直线长、豆荚曲线长、荚宽、豆荚厚度、荚皮厚度、豆荚鲜重、豆荚干重为指标,建立6种抗炸荚指数,通过相关性分析获得大豆抗炸荚最佳鉴定时期及鉴定模型,并利用通径系数分析各指标对鉴定模型的贡献大小,为促进大豆抗炸荚性的高效鉴定提供理论基础和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为黑龙江省不同生态区主栽的20份春大豆品种。

1.2 试验设计

田间试验设在黑龙江省农业科学院民主试验园(哈尔滨)进行,全部资源5月初播种,随机区组排列,2次重复,3行区,行长4.0 m,行距0.4 m,株距0.1 m,栽培管理同一般大田。

9月下旬大豆开始成熟时,每个品种选中间行20株为代表植株,挂牌编号,调查每株总荚数。从10月2日开始,每间隔1 d调查1次,记录炸荚数,并将已炸开的荚摘除,直至10月30日调查结束。同时,记录10月2—30日的日照时数、日平均气温和空气相对湿度,然后对资料进行汇总并进行统计分析。

调查20份供试材料的关键农艺性状指标,包括荚长、荚宽、豆荚厚度、荚皮厚度、豆荚含水量、裂荚机械力、荚果的弯曲程度。对20份供试材料关键农艺性状指标进行方差分析。为了确定鉴定抗炸荚最佳农艺性状指数并分析其最应用时期,以大豆鼓粒期不同生长阶段豆荚相关性状测定值计算不同类型抗炸荚指数,将计算获得的各抗炸荚指数与田间实际炸荚率进行相关性分析。以与田间实际炸荚率的相关性最为密切的抗炸荚指数对材料的抗炸荚能力进行分析。为了进一步明确影响该抗炸荚指数的主要性状,将抗炸荚指数与其构成因子进行通径分析。

1.3 调查项目及方法

- 对成熟后10 d的豆荚性状进行调查。
- 荚长:豆荚背部包帽至尖端的直线距离。
- 荚宽:豆荚背部和腹部的缝合线处直线距离。
- 豆荚厚度:利用游标卡尺于豆荚厚度最大处测量获得。
- 荚皮厚度:游标卡尺测量。
- 豆荚含水量:取豆荚称重(鲜重)后,立即放入烘箱(105 ℃)杀青30 min,随后80 ℃烘干至恒重,冷却后称重(干重)。利用称重法测量荚果含水量,含水量=鲜重-干重。

裂荚机械力:利用艾德堡HP-50数显推拉力计测定荚果开裂时所受机械力大小。测定荚果垂直放置时的裂荚机械力时,将荚果垂直固定于推拉力计,校准仪器读数为0,缓慢转动推拉力计使荚果开始受力,当荚果开裂时推拉力计可瞬时自动记录受力的最大值,每个品种每个重复测量40个荚果,3次重复。测定荚果水平放置时的裂荚机械力时将荚果水平固定于推拉力测定仪,其余步骤与测定荚果垂直裂荚机械力相同,每个品种每个重复测量40个荚果,3次重复。

荚果的弯曲程度:豆荚背部包帽至尖端的曲线长度。

1.4 数据分析

利用SPSS 22.0软件对试验测定的各种性状数据进行方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 供试大豆的炸荚率表现

- 2.1.1 建立大豆炸荚率分级标准 为了便于生产应用,对成熟后10 d的炸荚率进行汇总比较,将炸荚率分为以下6级:0级(不炸荚);Ⅰ级(微炸荚,0% < 炸荚率 ≤ 1%);Ⅱ级(轻炸型,1% < 炸荚率 ≤ 5%);Ⅲ级(中炸荚,5% < 炸荚率 ≤ 10%);Ⅳ级(炸荚,10% < 炸荚率 ≤ 30%);Ⅴ级(重炸荚,炸荚率 > 30%上)。
- 2.1.2 供试大豆炸荚率分级 对20份供试材料的炸荚率调查结果如表1所示:供试品种中6份品种材料无炸荚现象,表现为0级,占比30%;3份品种材料炸荚率表现为1级,占比15.00%;2份品种材料炸荚率表现为2级,占比10.00%;2份品种材料炸荚率表现为3级,占比10.00%;4份品种材料炸荚率表现为4级,占比20.00%;3份品种材料炸荚率表现为5级,占比15.00%;对于不同生物学特性材料的炸荚表现统计发现,无论何种类型结荚习性的品种均存在包含不同炸荚级别的现象。

表 1 供试大豆材料的炸荚率分级表现

Table 1 Classification performance of burst pods rate of tested soybean materials

级别 Grade	数量 Number	占比 Percent/%
0 级	6	30
1 级	3	15
2 级	2	10
3 级	3	10
4 级	4	20
5 级	3	15

表 2 不同生长时期供试大豆材料的农艺性状比较

Table 2 Comparison of agronomic characters of tested soybean materials in different growth periods

指标 Index	品种间 Inter varieties			生长时期间 Growth period
	鼓粒初期 Early filling stage	鼓粒中期 Mid-filling stage	鼓粒后期 Late filling stage	
豆荚直线长 Pod straight length	19.15 **	2.82 *	2.84 *	49.39 **
豆荚曲线长 Pod curve length	24.18 **	11.06 **	12.77 **	15.45 **
荚宽 Pod width	16.28 **	7.81 **	8.47 **	13.25 **
荚皮厚度 Pod skin thickness	93.85 **	45.79 **	51.99 **	25.43 **
豆荚厚度 Pod thickness	32.42 **	16.48 **	18.76 **	22.52 **
豆荚鲜重 Pod fresh weight	65.83 **	16.71 **	10.97 **	24.31 **
豆荚干重 Pod dry weight	10.81 **	14.91 **	11.54 **	18.63 **

注：* 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 差异显著。

Note: * and ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively.

2.2.2 大豆种质抗炸荚指数的确立 以大豆鼓粒期不同生长阶段豆荚相关性状测定值计算不同类型抗炸荚指数,公式如下:

抗炸荚指数 A = 豆荚含水量 × (豆荚宽度/豆荚厚度);

抗炸荚指数 B = 豆荚含水量 × 荚皮厚度 × (豆荚宽度/豆荚厚度);

抗炸荚指数 C = 豆荚含水量 × (豆荚宽度/豆荚厚度) × (豆荚直线长/豆荚曲线长);

抗炸荚指数 D = 豆荚含水量 × (豆荚直线长/豆荚曲线长);

抗炸荚指数 E = 豆荚含水量 × 荚皮厚 × (豆荚直线长/豆荚曲线长);

表 3 不同抗炸荚指数与田间实际炸荚率的相关性

Table 3 Correlation coefficients between different pod dehiscence resistance indexes and actual pod dehiscence rate

抗炸荚指数 Anti-explosion index	炸荚率 Pod burst rate		
	鼓粒初期 Early filling stage	鼓粒中期 Mid-filling stage	鼓粒后期 Late filling stage
A	-0.637 **	-0.720 **	-0.704 **
B	-0.521 **	-0.612 **	-0.618 **
C	-0.659 **	-0.763 **	-0.765 **
D	-0.908 **	-0.911 **	-0.883 **
E	-0.748 **	-0.794 **	-0.798 **
F	-0.539 **	-0.486 **	-0.656 **

2.2 抗炸荚综合评价指标的建立

2.2.1 关键豆荚农艺性状指标的比较 对 20 份供试材料关键农艺性状指标进行方差分析的结果表明,7 个农艺性状指标(豆荚直线长、豆荚曲线长、荚宽、豆荚厚度、荚皮厚度、豆荚鲜重、豆荚干重)在大豆的鼓粒初期、中期、后期品种间均表现出显著或极显著差异,在大豆鼓粒不同时期之间也同样表现出显著或极显著差异(表 2),为大豆抗炸荚指数经验公式的合理化、科学化建立提供了基础保证。

抗炸荚指数 F = 豆荚含水量 × 荚皮厚 × (豆荚直线长/豆荚曲线长) × (豆荚宽度/豆荚厚度)。

对计算获得的各种类型抗炸荚指数与田间实际炸荚率进行相关性分析的结果表明,大豆鼓粒期不同生长阶段测定计算获得的各类型抗炸荚指数均与田间实际炸荚率呈极显著负相关关系(表 3),即抗炸荚指数越大,田间实际炸荚率就越小。以鼓粒中期的多因子抗炸荚指数 D[豆荚含水量 × (豆荚直线长/豆荚曲线长)]与田间实际炸荚率的相关性最为密切($r = -0.911^{**}$),表明本试验条件下以鼓粒中期测定多因子抗炸荚指数作为综合指标评价种质资源抗炸荚能力具有较高的准确性。

2.2.3 抗炸荚性评价 以鼓粒中期的多因子抗炸荚指数 D 分析 20 份供试材料的抗炸荚性结果表明,抗炸荚指数最小值为 0.411,最大值为 0.850

(表 4)。根据抗炸荚指数结合田间实际炸荚率来看,鼓粒中期抗炸荚指数为 0.822 以上材料均表现出很强的抗炸荚性。

表 4 供试材料的抗炸荚指数及其构成因子

Table 4 Pod dehiscence resistance index and its constituent factors of the tested materials

品种 Varieties	豆荚含水量 Pod moisture/g	豆荚直线长 Pod straight length/cm	豆荚曲线长 Pod curve length/cm	炸荚率 Pod dehiscence rate/%	抗炸荚指数 D Pod dehiscence resistance index D
黑河 33 Heihe 33	0.605	4.68	6.88	58	0.411
黑河 43 Heihe 43	0.646	4.90	6.82	46	0.464
绥农 47 Suinong 47	0.651	4.70	6.76	36	0.453
齐农 10 号 Qinong 10	0.678	5.34	7.42	27	0.488
黑河 49 Heihe 49	0.714	5.22	7.44	26	0.501
黑农 80 Heinong 80	0.685	5.12	7.28	25	0.482
绥农 38 Suinong 38	0.688	5.12	6.92	24	0.509
黑科 59 Heike 59	0.741	5.38	6.36	8	0.627
绥农 41 Suinong 41	0.776	5.20	5.98	8	0.675
齐农 2 号 Qinong 2	0.776	5.76	6.80	4	0.657
齐农 7 号 Qinong 7	0.787	6.02	6.48	3	0.731
齐农 1 号 Qinong 1	0.822	5.06	5.88	0.9	0.708
黑农 88 Heinong 88	0.843	5.54	6.16	0.8	0.758
绥农 42 Suinong 42	0.835	6.12	6.22	0.7	0.822
齐农 5 号 Qinong 5	0.832	6.50	6.66	0	0.812
黑科 60 Heike 60	0.837	6.44	6.46	0	0.834
黑农 63 Heinong 63	0.877	6.46	6.66	0	0.850
黑农 85 Heinong 85	0.874	6.02	6.38	0	0.824
黑农 84 Heinong 84	0.856	5.90	6.08	0	0.831
绥农 44 Suinong 44	0.886	5.98	6.34	0	0.836

2.2.4 构成因子对抗炸荚指数的影响 豆荚含水量、豆荚直线长、豆荚曲线长是组成大豆抗炸荚指数 D 的重要因子,为了进一步明确影响抗炸荚指数的主要性状,将抗炸荚指数与其构成因子进行通径分析,结果如表 5 所示,对大豆抗炸荚贡献最大的因子为豆荚含水量($r=0.978^{**}$),其次为豆荚直线长($r=0.878^{**}$),而对大豆易炸荚贡献因子为豆荚曲线长($r=-0.676^{**}$)。含水量对抗炸荚指数的影响无论从相关程度和相对效果来看,作用都极为明显,正向直接效应最大($X1\rightarrow y=0.470$),含水量每增加一个单位,可使抗炸荚指数平均提高 0.470 个标准单位,并通过豆荚直线长和曲线长对抗炸荚指数还有较大的间接正效应($X2\rightarrow y=0.345$ 、 $X3\rightarrow y=$

0.163),3 个效应共同作用使豆荚含水量与抗炸荚指数表现为极显著的相关性($r=0.978^{**}$),即豆荚含水量越大,品种抗炸荚指数越大,品种抗炸荚能力越强。豆荚直线长也对抗炸荚指数起到一定的正向效应,其中直接效应为 $X2\rightarrow y$ 为 0.419,含水量和豆荚曲线长提供正向间接效应分别为 $X1\rightarrow y=0.387$ 、 $X3\rightarrow y=0.072$,3 个效应共同作用使豆荚直线长与抗炸荚指数同样表现出极显著的相关($r=0.878^{**}$);豆荚曲线长与抗炸荚指数存在直接负效应($X3\rightarrow y=-0.252$),并通过其它构成因子还有一定的间接负效应($X1\rightarrow y=-0.305$ 、 $X2\rightarrow y=-0.120$),效应累加,从而导致其与抗炸荚指数均存在极显著的负相关。

表 5 抗炸荚指数与其构成因子的通径分析

Table 5 Path analysis of pod dehiscence resistance index and its constituent factors

项目 Item	$X1\rightarrow y$	$X2\rightarrow y$	$X3\rightarrow y$	r_{iy}
豆荚含水量($X1$) Pod moisture content	0.470	0.345	0.163	0.978^{**}
豆荚直线长($X2$) Pod straight length	0.387	0.419	0.072	0.878^{**}
豆荚曲线长($X3$) Pod curve length	-0.305	-0.120	-0.252	-0.676^{**}

3 讨论

大豆炸荚易受环境条件影响^[13-16],且不同基因型大豆品种与环境因子互作强弱差异较大,因此,该性状的研究难度很大。目前,大豆抗炸荚的表型鉴定方法比较单一,大多采用田间直观评价方法,仅仅依靠成熟期豆荚炸荚程度划分等级^[17],未有考虑与炸荚相关的大豆生长因素,因而尚未形成一套高效的评价标准。如何获得精准的表型鉴定数据,将环境因素对炸荚的影响降到最低是该领域今后研究的重点。而本研究从问题出发,建立出一套以生长发育性状为指标的评价技术,可以高效地对品种抗炸荚能力进行客观评价,有效降低了生产风险。

本研究中建立的鉴定模型区别于以往的相关研究之处在于涉及的因子数较少,造成这种现象的原因可能由于环境因素对其性状指标的影响出现干扰所致,需在今后的研究中加以验证补充。另外,对于其他相关研究中提及的豆荚背部包帽性状指标数据没有采集分析,也可能导致模型的不完整性和不准确性,这部分的指标性状数据的采集和拟合也需要在今后的研究中加以拟合验证。

4 结论

通过6种抗炸荚指数与炸荚率的相关分析获得鼓粒中期的多因子抗炸荚指数D[豆荚含水量×(豆荚直线长/豆荚曲线长)]为抗炸荚性状高效鉴定最佳技术模型,抗炸荚指数在0.822以上材料均表现出很强的抗炸荚能力。

参考文献

[1] HARPER J L. Population biology of plants [M]. London: Academic Press, 1977: 33-60.

[2] BHOR T J, CHIMOTE V P, DESHMUKH M P. Inheritance of pod shattering in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] [J]. Electronic Journal of Plant Breeding, 2014, 5: 671-676.

[3] 林红, 来永才, 齐宁, 等. 大豆种间杂交新品种龙小粒豆一号的选育 [J]. 中国油料作物学报, 2003, 25 (4): 44-46. (LIN H, LAI Y C, QI N, et al. Breeding of Longxiaolidou No. 1, a new soybean varley from inter-specific crossing [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2003, 25 (4): 44-46.)

[4] 王志新, 郭泰, 吴秀红, 等. 高产优质耐密植栽培特用小粒大豆品种合农 58 号的选育 [J]. 中国种业, 2010 (6): 55-56. (WANG Z X, GUO T, WU X H, et al. Characteristics and cultivation practices for new soybean cultivar Henong No. 58 [J]. China

Seed Industry, 2010 (6): 55-56.)

[5] 王荣昌, 张春文. 大豆野生资源在育种中的应用 [J]. 世界农业, 1986 (2): 16-17. (WANG C R, ZHANG C W. The application of the wild resources in soybean breeding [J]. World Agriculture, 1986 (2): 16-17.)

[6] 涂冰洁, 刘晓冰, 刘长锴, 等. 大豆炸荚特性及调控机制研究进展 [J]. 大豆科学, 2019, 38 (3): 477-484. (TU B J, LIU X B, LIU C K, et al. A review of pod dehiscence characteristics and regulation mechanism in soybean [J]. Soybean Science, 2019, 38 (3): 477-484.)

[7] 张跃进, 马赛斐, 高启云, 等. 黄淮流域主栽大豆品种炸荚性研究 [J]. 河南农业科学, 2006 (6): 56-59. (ZHANG Y J, MA S F, GAO Q Y, et al. Study on the pod-shattering of main soybean varieties of Huanghuai area [J]. Henan Agricultural Science, 2006 (6): 56-59.)

[8] 彭玉华, 袁建中, 杨国保. 黄淮流域大豆炸荚性初步分析 [J]. 大豆科学, 1991, 10 (4): 285-230. (PENG Y H, YUAN J Z, YANG G B. Preliminary analysis of soybean pod - frying in Huang Huai River Basin [J]. Soybean Science, 1991, 10 (4): 285-230.)

[9] ZHANG L X, BELLALLOUI N. Effects of planting and maturity dates on shattering patterns under early soybean production system [J]. American Journal of Plant Science, 2012, 3 (1): 119-124.

[10] TSUCHIYA T, SUNADA K. Shattering of pods in bean breeding. I. Relations between degree of shattering and moisture content in pods [J]. Bulletin of Hokkaido Prefectural Agricultural Experiment Stations, 1977, 37: 17-24.

[11] ROMKAEW J, UMEZAKI T. Pod dehiscence in soybean: Assessing methods and varietal difference [J]. Plant Production Science, 2006, 9 (4): 373-382.

[12] DAVIES G C, BRUCE D M. Fracture mechanics of oilseed rape pods [J]. Journal of Material Science, 1997, 32 (22): 5895-5899.

[13] ESAU K. Anatomy of seed plants [J]. Soil Science, 1977, 90 (2): 501-531.

[14] DEGAN F D, CHILDR, SVENDSEN I, et al. The cleavable N-terminal domain of plant endopolygalacturonases from clade B may be involved in a regulated secretion mechanism [J]. Journal of Biological Chemistry, 2001, 276 (38): 35297-35304.

[15] BAILEY M A, MIAN M AR, CARTER T E, et al. Pod dehiscence of soybean: Identification of quantitative trait loci [J]. Journal of Heredity, 1997, 88 (2): 152-154.

[16] VANCE C P. Legumes: Importance and constraints to greater use [J]. Plant Physiology, 2003, 131 (3): 872-877.

[17] 马赛斐, 南翠梅, 张凤彩, 等. 黄淮流域主栽大豆品种炸荚性研究初报 [J]. 大豆通报, 2006 (2): 21-23. (MA S F, NAN C M, ZHANG F C, et al. Preliminary investigation on podshattering of main soybean cultivars in Huanghuai area [J]. Soybean Bulletin, 2006 (2): 21-23.)