



## 大豆耐密性状与产量的相关分析

李灿东, 郭泰, 王志新, 郑伟, 张振宇, 赵海红, 郭美玲, 李志民

(黑龙江省农业科学院 佳木斯分院/国家大豆区域技术创新中心/国家大豆产业技术体系佳木斯综合试验站, 黑龙江 佳木斯 154007)

**摘要:**为研究大豆耐密性状及与产量间的相关性,以150份大豆种质资源为材料,利用高密度与常规密度下各耐密性状的比值研究大豆耐密性状与产量的作用关系。结果表明:大豆株高、主茎节数、重心高度及倒伏率间呈显著或极显著正相关,有效分枝数与重心高度及倒伏率呈极显著负相关。其中倒伏率与产量呈极显著负相关,间接相关因子主要来源于重心高度及株高,有效分枝数与产量呈极显著正相关,间接相关因子主要来源于重心高度及倒伏率。因此,在高密度条件下与大豆产量密切相关的性状为倒伏率、重心高度及有效分枝数。该研究结果能够为耐密植大豆品种创新提供理论依据及优异材料。

**关键词:**大豆;耐密性状;产量;相关性

## Correlation Analysis of Density Tolerance Traits and Yield on Soybean

LI Can-dong, GUO Tai, WANG Zhi-xin, ZHENG Wei, ZHANG Zhen-yu, ZHAO Hai-hong, GUO Mei-ling, LI Zhi-min

(Jiamusi Branch Academy of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/National Soybean Regional Technology Innovation Center/Jiamusi Experiment Station of National Soybean Industrial Technology System, Jiamusi 154007, China)

**Abstract:** In order to know the correlation of density tolerance traits and yield under different densities on soybean, 150 soybean germplasm resources were used to analyze the interactive relationship between different traits and yield under high density and conventional density. The results showed that there were significant or extremely significant positive correlation between plant height, main stem node number, center of gravity height and lodging rate. The correlation of available primary branches was extremely significant negative with center of gravity height and lodging rate. The correlation of yield and lodging rate was extremely significant negative and the indirect correlation factors come from the center of gravity height and plant height. The correlation of available primary branches and yield was extremely significant positive and the indirect correlation factors come from the center of gravity height and lodging rate. So the most relevant traits of yield were the lodging rate, the center of gravity height and the available primary branches. The results provide theoretical basis and excellent materials for the innovation of densi-tolerant soybean varieties.

**Keywords:** Soybean; Density tolerance traits; Yield; Correlation

大豆是群体产量作物,单位面积产量决定了大豆的单产水平。一般情况,在不受外部环境影响的前提下,大豆产量直接由保苗密度、单株粒数及百粒重决定<sup>[1-3]</sup>。在不同密度条件下,品种间耐密性的差异导致了耐密相关性状的表现不同,不同密度条件影响了品种个体耐密性状的表现,进而影响产量。因此密度是影响大豆产量的重要因素<sup>[4-6]</sup>。

长期以来,随着玉米、水稻、高粱等作物生产种植密度的不断增加及产量水平的大幅度提高,大豆耐密栽培技术也逐渐发展起来<sup>[7]</sup>。大豆耐密性主要与抗倒伏能力最为相关,且品种间差异很大,

秆强抗倒伏品种耐密性较好,在较高密度下能够获得高产;不抗倒伏的品种在高密度下反而会影响个体产量性状表现,造成严重减产<sup>[8]</sup>。与大豆耐密性相关的性状主要包括倒伏性、株高、茎秆强度、分枝数、分枝节位及长度、重心高度等,这些性状虽然不与产量直接相关,但更能体现品种的耐密特性<sup>[9]</sup>。在一定范围内,耐密性强的品种产量随着密度增加而提高,但个体产量性状表现差异不大,耐密性差的品种产量随着密度增加而降低,个体产量性状严重下降。近年来,关于大豆耐密性相关研究的报道逐渐增加,郑伟等<sup>[7]</sup>对黑龙江省不同年代育成大豆

收稿日期:2019-06-26

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0100201-08)

第一作者简介:李灿东(1984-),男,博士,副研究员,主要从事大豆遗传育种与栽培技术研究。E-mail:licandong@126.com。

通讯作者:郭泰(1963-),男,硕士,研究员,主要从事大豆遗传育种与栽培技术研究。E-mail:guotaidadou@163.com。

品种耐密性进行分析,对品种倒伏性及叶面积指数等生理指标进行测定,得出不同年代大豆品种耐密性呈强-弱-强的单峰曲线变化规律;同年郑伟等<sup>[9]</sup>利用耐密性不同的两个大豆品种进行不同密度下叶柄长度、叶形指数、叶色值及产量等测定,探索不同密度下不同耐密品种间的差异;李灿东等<sup>[5]</sup>对不同密度下亚有限型大豆品种株型及产量进行分析,探索主茎亚有限大豆品种在不同密度条件的性状变化规律;元明浩等<sup>[4]</sup>对有限分枝类型大豆品种进行了不同密度条件下主要农艺性状变化情况分析,同时对另一类型大豆品种耐密性状变化进行了探索分析。关于大豆耐密品种选育及栽培技术相关的研究还有一些报道,其中种植密度与结荚习性<sup>[10]</sup>、产量<sup>[11]</sup>、株高<sup>[12]</sup>、叶部性状<sup>[13]</sup>、熟期<sup>[14]</sup>、形态性状<sup>[15]</sup>、品质<sup>[16]</sup>、种植地区<sup>[17]</sup>等的关系被大量研究。

以上研究主要是针对某一品种或某一类型品种开展,主要研究不同密度下产量相关性状及生理生化指标的变化规律。这些是大豆品种在不同密度条件下的结果,而对于产生这些结果的原因,如抗倒伏相关性状及耐密性状的相关性及变化规律研究较少。本研究利用具有不同耐密性特点的资源群体,研究不同密度条件下抗倒伏相关性状与产量及耐密性的相关性,探索耐密性大豆资源的性状特点及对产量的贡献,为大豆耐密植品种选育提供理论依据及优异材料。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为中国农业科学院作物科学研究所提供的 150 份大豆资源群体材料。

1.2 试验地概况

试验地位于黑龙江省佳木斯市东风区安庆街 531 号,黑龙江省农业科学院佳木斯分院第 14 号试验田,地理坐标为 46°47'48"N,30°24'24"E。试验地土壤理化指标为有机质含量 85 g·kg<sup>-1</sup>,全氮 350 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮 0.25 g·kg<sup>-1</sup>,速效磷 0.13 g·kg<sup>-1</sup>,速效钾 0.53 g·kg<sup>-1</sup>,全磷 224 g·kg<sup>-1</sup>,全钾 165 g·kg<sup>-1</sup>,pH6.5。

1.3 试验设计

田间试验设 2 个密度处理,分别为高密度处理和常规密度处理,其中高密度处理株距 0.035 m (42 万株·hm<sup>-2</sup>),常规密度处理株距 0.05 m (30 万株·hm<sup>-2</sup>)。试验区采用 2 种密度双列并行排列,随机区组设计,3 次重复。每份材料小区 3 行,行长

3 m,垄距 0.68 m。试验分别于 2017 年 5 月 1 日和于 2018 年 5 月 3 日播种,采取机械开沟,人工精量双粒点播,V<sub>1</sub> 期通过间苗保证试验区密度要求,其它田间管理同一般大田管理范围。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 田间调查 在大豆生育期间进行基本农艺性状及物候性状调查,调查项目包括花色、叶形、茸毛颜色、结荚习性、倒伏级别、初花期(R<sub>1</sub>)、初荚期(R<sub>3</sub>)、初粒期(R<sub>5</sub>)及成熟期(R<sub>8</sub>)。

1.4.2 取样及考种 R<sub>8</sub> 期进行取样,每份材料的每次重复中,随机取中间行中间位置的 5 株,用于室内考种。考种项目包括株高、主茎节数、有效分枝数、茎粗、植株重心高度及倒伏率。具体调查方法如下<sup>[18]</sup>:

株高:测量植株子叶节至主茎生长点的长度,单位为 cm。

主茎节数:调查植株从子叶节到植株顶端的节数。

有效分枝数:调查具有两个以上茎节并有 1 个以上成荚的主茎上的第一级分枝数。

茎粗:用游标卡尺测量主茎第五节间的直径,单位为 cm。

植株重心高度:取植株子叶节以上部分,找到平衡点,测量平衡点至子叶节之间的距离,单位为 cm。

倒伏率:计算主茎与地面倾斜角度小于 30°植株占全小区植株的比例,单位为百分比(%)。

1.4.3 测产 秋季大豆成熟后,全小区人工收获及脱粒,烘箱烘干至恒重,称量籽粒重量计产,单位为 kg。

1.5 数据分析

利用 Excel 2010 进行数据整理及计算,利用 SPSS 21.0 进行相关分析及通径分析,将每个性状在高密度处理与常规密度处理的比值作为性状表型值,公式如下:

$$T(\%) = Hd/Md \times 100$$

式中:T 为各性状表型值;Hd 为高密度条件下性状表型值;Md 为常规密度条件下性状表型值。

2 结果与分析

2.1 大豆耐密性状基本统计分析

对 2 年 150 份大豆种质资源高密度处理群体材料性状表型值进行基本统计分析。结果表明,各种植株高两年平均值范围为 58.67 ~ 115.22 cm,平均 79.43 cm,可见群体株高普遍偏矮;主茎节数两年平

均值范围为 15.85 ~ 20.73 个,平均 18.75 个,群体间差异较大,平均节数偏少;有效分枝数两年平均值范围为 0 ~ 7.45 个,平均 1.63 个,群体间差异较大,说明多分枝材料较少;茎粗两年平均值范围为 0.64 ~ 1.47 cm,平均 0.92 cm,群体间差距不大;重心高度两年平均值范围为 13.50 ~ 31.51 cm,平均 19.34 cm,群体间差异显著,说明重心高度低的个体较多;倒伏率两年平均值范围为 0 ~ 96.53% ,平均 38.15% ,

群体间差异很大,说明多数材料抗倒伏性较强;产量两年平均值范围为 1.08 ~ 2.76 kg,平均值 1.86 kg,折合公顷产量 3 039.22 kg,符合生产实际产量水平。群体中除了有效分枝数、重心高度及倒伏率呈偏态分布规律以外,其它性状统计量分析结果表明,峰度和偏度绝对值都小于 1.0,说明这些性状表型基本呈连续性正态分布规律(表 1)。

表 1 高密度下大豆 150 份资源耐密性状表型基本统计分析

性状 Trait	年份 Year	范围 Range	均值 ± 标准差 Mean ± SD	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness
株高 Plant height/cm	2017	61.53 ~ 114.65	78.65 ± 5.24	0.26	0.87
	2018	56.34 ~ 116.42	81.43 ± 6.51	0.41	0.68
	平均	58.67 ~ 115.22	79.43 ± 8.56	0.37	0.75
主茎节数 Nodes number of main stem	2017	15.37 ~ 21.48	18.65 ± 1.35	0.74	0.82
	2018	16.74 ~ 20.85	18.34 ± 2.14	0.60	0.79
	平均	15.85 ~ 20.73	18.75 ± 1.15	0.58	0.76
有效分枝数 Effective branching number	2013	0 ~ 7.55	1.55 ± 0.11	-2.27	-2.31
	2014	0 ~ 7.73	1.83 ± 0.06	1.81	3.27
	平均	0 ~ 7.45	1.63 ± 0.07	1.22	-1.87
茎粗 Stem diameter/cm	2017	0.56 ~ 1.32	0.88 ± 0.21	1.77	1.24
	2018	0.74 ~ 1.65	1.15 ± 0.19	-0.97	-0.87
	平均	0.64 ~ 1.47	0.92 ± 0.93	1.43	1.62
重心高度 Barycenter height/cm	2017	12.15 ~ 32.68	18.47 ± 4.51	2.27	2.85
	2018	15.40 ~ 30.37	21.41 ± 1.72	1.25	3.68
	平均	13.50 ~ 31.51	19.34 ± 3.13	1.17	2.75
倒伏率 Lodging rate/%	2017	0 ~ 100.00	35.28 ± 11.74	2.34	1.68
	2018	0 ~ 95.41	38.14 ± 17.55	1.25	2.37
	平均	0 ~ 96.53	38.15 ± 11.14	1.31	2.48
产量 Yield/kg	2017	1.05 ~ 2.52	1.89 ± 0.16	0.17	0.15
	2018	1.16 ~ 2.84	1.72 ± 0.16	0.02	0.34
	平均	1.08 ~ 2.76	1.86 ± 0.13	0.11	0.23

2.2 大豆耐密性状相关分析

利用高密度与常规密度性状比值对 6 个大豆耐密相关性状及产量进行相关分析(表 2),表明与株高相关性较大的性状有为主茎节数、有效分枝数、重心高度及倒伏率,其中株高与重心高度和倒伏率正相关性达到极显著水平,相关系数分别为 0.662 2 和 0.524 7,说明重心高度和倒伏率很大程度上取决

于株高,株高与主茎节数呈显著正相关( $r = 0.492\ 7$ ),节数多的材料株高较高,株高与有效分枝数呈显著负相关( $r = -0.423\ 3$ ),株高较高的材料分枝数较少,株高与产量呈显著负相关( $r = -0.437\ 5$ ),说明一般情况下株高较高的材料产量较低;与主茎节数相关性较大的性状有重心高度和倒伏率,其中主茎节数与重心高度呈显著正相关,

相关系数为0.352 8,主茎节数与倒伏率的相关系数为0.347 1,说明重心高度和倒伏率与主茎节数具有正相关性,这种相关性可能是通过株高实现的;与有效分枝数呈极显著负相关的性状为重心高度和倒伏率,相关系数分别为-0.584 4和-0.571 0,表明分枝多有利于降低植株重心高度进而降低倒伏率,有效分枝数与产量呈极显著正相关,相关系数0.565 4,表明多分枝品种在密植条件下有利于提高产量;茎粗与倒伏率呈显著负相关( $r = -0.428\ 8$ ),与其它性状相关性未达到显著水平;重心高度与倒

伏率呈极显著正相关,相关系数较大0.745 4,表明植株重心高度与倒伏率具有很强的相关性,另外重心高度与产量也具有较强的正相关性,同时倒伏率与产量具有极显著正相关( $r = 0.654\ 3$ ),因此重心高度与产量的相关性可能是通过倒伏率实现的。本研究表明不同耐密性状之间具有不同程度的相关性,对产量的相关作用方式不同,有些性状直接与产量相关,有些性状是通过其它性状对产量产生影响,因此对耐密相关性状与产量进行间接相关分析能够更加明确性状对产量的作用方式。

表 2 大豆耐密性状及产量性状直接相关分析

Table 2 Pearson correlation for phenotypic of density tolerance related traits and yield in soybean

性状 Trait	株高 Plant height	主茎节数 Nodes number of main stem	有效分枝数 Effective branching number	茎粗 Stem diameter	重心高度 Barycenter height	倒伏率 Lodging rate	产量 Yield
株高 Plant height	1.0000						
主茎节数 Nodes number of main stem	0.4927 *	1.0000					
有效分枝数 Effective branching number	-0.4233 *	-0.2233	1.0000				
茎粗 Stem diameter	0.0128	0.1024	0.1352	1.0000			
重心高度 Barycenter height	0.6522 **	0.3528 *	-0.5844 **	0.2142	1.0000		
倒伏率 Lodging rate	0.5247 **	0.3471 *	-0.5710 **	-0.4288 *	0.7454 **	1.0000	
产量 Yield	-0.4375 *	-0.2377	0.5654 **	0.2101	-0.4255 *	-0.6543 **	1.0000

\* 代表显著水平为  $P < 0.05$ ; \*\* 代表显著水平为  $P < 0.01$ 。  
\* mean significant difference at level of  $P < 0.05$ ; \*\* mean extremely significant difference at level of  $P < 0.01$ .

2.3 耐密性状与产量的通径分析

由表 3 可知,与产量呈正相关的耐密性状包括有效分枝数和茎粗,与产量呈负相关的性状包括株高、主茎节数、重心高度和倒伏率。其中株高、有效分枝数、重心高度和倒伏率相关性达到显著或极显著水平。株高与产量总相关系数为-0.437 5,其直接相关系数为-0.311 1,直接相关起主要作用,间接相关因子中,主茎节数、重心高度和倒伏率有利于总相关的形成,有效分枝数和茎粗为相反作用,其中倒伏率间接相关系数为-0.332 7,表明株高与产量的负相关主要通过倒伏率实现,有效分枝数的间接相关系数为0.394 4,表明在分枝数较多的情况下株高对产量的负相关作用被降低;主茎节数与产量总体呈负相关( $r = -0.237\ 7$ ),间接相关分析表明,株高间接相关系数最大,为-0.385 8,表明主茎节数与产量的负相关性主要是通过株高实现的;有效分枝数与产量总体呈极显著正相关( $r = 0.565\ 4$ ),直接相关系数为主要因子( $r = 0.404\ 1$ ),

间接相关因子中茎粗、重心高度和倒伏率为正向因子,株高和主茎节数为负向因子,其中倒伏率间接相关系数为0.356 5,表明有效分枝数与产量的正相关性主要通过倒伏率实现,而株高的间接相关对总相关性具有负向作用( $r = -0.324\ 3$ );重心高度与产量总体相关为负相关,相关系数为-0.425 5,直接相关系数为-0.325 5,间接相关分析表明,株高和倒伏率对重心高度与产量的负相关起主要作用,间接相关系数分别为-0.314 9和-0.449 3,有效分枝数是最主要的负向因子( $r = 0.362\ 3$ ),减少了重心高度与产量的负相关作用;倒伏率与产量总体呈极显著负相关( $r = -0.654\ 3$ ),直接相关系数为-0.562 3,是主要因子,间接相关因子中重心高度的相关系数最大,为-0.506 2,表明倒伏率与产量的负相关性主要是通过重心高度实现的,有效分枝数和茎粗的间接相关系数为0.384 7和0.314 6,对倒伏率与产量的负相关性均具有负向作用。

表3 大豆耐密相关性状对产量的间接效应分析

Table 3 Path analysis of phenotypic of the density tolerance related traits for yield in soybean

耐密性状 Indirect traits	总相关 Toall effect	直接相关 Direct effect	间接相关 Indirect effect					
			株高 Plant height	主茎节数 Nodes number of main stem	有效分枝数 Effective branching number	茎粗 Stem diameter	重心高度 Barycenter height	倒伏率 Lodging rate
株高 Plant height	-0.4375	-0.3111	-	-0.2187	0.3944	0.1768	-0.2163	-0.3327
主茎节数 Nodes number of main stem	-0.2377	-0.1964	-0.3858	-	0.2101	0.1321	-0.2298	0.2321
有效分枝数 Effective branching number	0.5654	0.4041	-0.3243	-0.2307	-	0.1245	0.2353	0.3565
茎粗 Stem diameter	0.2101	0.1295	0.1297	-0.0914	0.2765	-	-0.1123	-0.1219
重心高度 Barycenter height	-0.4255	-0.3255	-0.3149	0.0142	0.3623	0.2877	-	-0.4493
倒伏率 Lodging rate	-0.6543	-0.5623	-0.2168	-0.0683	0.3847	0.3146	-0.5062	-

综上所述,与产量呈极显著正相关的耐密性状为有效分枝数,间接因子中倒伏率为主要正向因子、株高为主要负向因子;与产量呈显著负相关的耐密性状为株高、重心高度和倒伏率,其中株高间接因子中倒伏率为主要正向因子、有效分枝数为主要负向因子;重心高度间接因子中株高和倒伏率为主要正向因子、有效分枝数和茎粗为主要负向因子;倒伏率间接因子中重心高度为主要正向因子、有效分枝数和茎粗为主要负向因子。

3 讨论

在相同环境条件下,大豆的产量主要由种植密度和个体产量性状共同决定,其中个体产量性状主要包括单株荚数、单株粒数、每荚粒数及百粒重等产量直接构成因子,还包括对产量造成间接影响的性状如株高、主茎节数、有效分枝数、茎粗、植株重心高度和倒伏性等因素<sup>[5]</sup>。大豆的产量随着种植密度的变化发生改变,一般情况下随着种植密度的增加,产量呈先增加后降低的总体趋势<sup>[4]</sup>。针对不同材料或品种,产量达到最高时的最适种植密度有所不同,主要原因在于不同材料或品种的耐密性存在差异<sup>[7]</sup>。因此在不同种植密度条件下,某些性状会发生显著改变,进而直接或间接影响大豆的产量,这些性状被称为耐密相关性状<sup>[5]</sup>。大豆的耐密性主要与群体倒伏性密切相关,在生产上抗倒伏能力强的品种耐密性较好,在高密度条件下能够获得较高产量,耐密相关性状主要包括茎秆强度、倒伏性、株高、植株重心高度、茎粗及分枝数等性状,这些性状在高密度条件下能够保持个体产量因子的优势,从而提高大豆群体产量<sup>[5,7,9]</sup>。

本研究在高密度与常规密度种植条件下,对大

豆耐密性状与产量进行相关分析。通过高密度与常规密度的比值确定性状表型值,能够更加客观的评价不同密度,尤其是在密度增加情况下大豆耐密性状的变化及表现,同时采取直接相关分析及通径分析方法揭示耐密性状之间的相关性及其对产量的间接作用,对大豆耐密性及耐密性状选择具有理论指导意义<sup>[5]</sup>。本研究表明,耐密性状间存在密切相关性,如株高、主茎节数、重心高度和倒伏率具有较强的正相关性株高往往与主茎节数密切相关,在节间长度一致的前提下,节数多的材料株高较高,株高的增高必然会提高重心高度,植株重心高度的增加将会促进倒伏,从而造成倒伏率增加,最终影响大豆产量。通径分析表明,倒伏率对产量的负相关性间接因子主要来源于重心高度,并且重心高度的间接相关系数( $r = -0.5062$ )与直接相关系数( $r = -0.5623$ )接近,可见倒伏率与产量的负相关主要是通过重心高度实现的,同样重心高度与产量的负相关主要通过倒伏率实现,同时株高和主茎节数也起到一定的间接效应。直接相关分析表明,有效分枝数与植株重心高度呈极显著负相关,原因在于大豆分枝多生长于植株下部,提高了植株下部重量进而造成重心高度降低,多分枝材料或品种一般为有限结荚习性,植株矮小秆强耐密性好,因此本研究有效分枝数与产量呈极显著正相关性,通径分析表明有效分枝数对产量的正相关主要因素来源于倒伏率和重心高度的贡献,即有效分枝数增加导致重心高度和倒伏率降低,从而提高了产量。因此本研究通过对耐密性状与产量的直接与间接相关分析表明,在较高密度条件下,倒伏率、重心高度及有效分枝数与大豆产量密切相关,是评价大豆材料与品种耐密性的重要的性状。

4 结 论

本研究利用高密度与常规密度的比值分析大豆耐密性状之间的相关性以及与产量间的直接与间接相关性,揭示了高密度下大豆耐密性状与产量的作用关系。研究结果表明,大豆株高、主茎节数、重心高度及倒伏率呈显著或极显著正相关,有效分枝数与重心高度及倒伏率呈极显著负相关,其中倒伏率与产量呈极显著负相关,间接相关因子主要来源于重心高度及株高,有效分枝数与产量呈极显著正相关,间接相关因子主要来源于重心高度及倒伏率。综上所述,在高密度条件下与大豆产量密切相关的性状为倒伏率、重心高度及有效分枝数。

参考文献

[1] Kabelka E A, Diers B W, Fehr W R, et al. Putative alleles for increased yield from soybean plant introductions[J]. Crop Science, 2004,44: 784-791.

[2] Sun D,Li W,Zhang Z, et al. Quantitative trait loci analysis for the developmental behavior of soybean (*Glycine max* L. Merr.)[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2006, 112: 665-673.

[3] Teng W, Han Y, Du Y, et al. QTL analyses of seed weight during the development of soybean (*Glycine max* L. Merr.)[J]. Heredity, 2009, 102: 372-380.

[4] 元明浩,杨翠莲. 不同密度下有限分枝型矮秆耐密大豆产量因素变化规律[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(18): 8408-8410. (Yuan M H, Yang C L. Changing low of limited branching type dwarf and dense-resistant soybean under different densities [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(18): 8408-8410.)

[5] 李灿东,赵建有,郭泰,等. 不同密度下主茎亚有限型大豆株型及产量的变化规律[J]. 中国农学通报, 2014, 30(30): 164-167. (Li C D, Zhao J Y, Guo T, et al. Effects of planting density on plant type and yield of main emi-determinate soybean [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(30): 164-167.)

[6] 王竹,杨文钰. 不同种植密度对套作大豆茎叶形态及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 1957-1960. (Wang Z, Yang W Y. Effect of the planting density on stem and leaf morphological characteristics and yield of relay-cropping soybean[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2009, 37(5): 1957-1960.)

[7] 郑伟,韩旭东,郭泰,等. 种植密度对黑龙江省不同年代育成大豆品种产量和品质的影响[J]. 种子, 2015, 34(2): 77-80. (Zheng W, Han X D, Guo T, et al. Effect of plant density on grain yield and quality of soybean cultivars released in different years in Heilongjiang[J]. Seed, 2015, 34(2): 77-80.)

[8] 吕书财. 密度对大豆冠层光合有效辐射和抗倒伏特性的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2017. (Lyu S C. Study on the

changes of photosynthetically active radiation and lodging resistance of soybean canopy[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017.)

[9] 郑伟,谢甫绶,郭泰,等. 种植密度对不同耐密性大豆品种特性的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(2): 255-259. (Zheng W, Xie P T, Guo T, et al. Effect of planting density on characteristics of soybean cultivars with different density tolerance[J]. Soybean Science, 2015, 34(2): 255-259.)

[10] 元明浩,刘玉兰,杨翠莲. 不同密度下有限结荚习性分枝型矮秆耐密大豆的株型变化规律[J]. 大豆科学, 2009, 28(3): 552-556. (Yuan M H, Liu Y L, Yang C L. Effect of planting density on plant type of determinate soybean with short stature and dense-resistant traits [J]. Soybean Science, 2009, 28(3): 552-556.)

[11] 吴俊江,刘丽君,刘德生,等. 高产耐密大豆新品种黑农 50 及其栽培技术[J]. 作物杂志, 2008(2): 98. (Wu J J, Liu L J. The high yield and density resistant new variety of Heinong 50 and cultivation techniques[J]. Crop Science, 2008(2): 98.)

[12] 郑伟. 矮秆半矮秆耐密植超高产大豆种质资源创新研究[J]. 中国种业, 2012(12): 15-16. (Zheng W. Innovative research on super high yield soybean germplasm resources of dwarf and semi-dwarf planting [J]. China Seed Industry, 2012(12): 15-16.)

[13] 郑伟,谢甫绶,郭泰,等. 密度对不同类型大豆叶部性状的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(1): 66-70. (Zheng W, Xie P T, Guo T. Effect of density for different types of leaf traits on soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2014, 36(1): 66-70.)

[14] 邢宝龙,冯高,郭新文,等. 早熟耐密型大豆新品种晋豆 45 号的选育[J]. 作物杂志, 2014(3): 148-149. (Xing B L, Feng G, Guo X W, et al. The breeding of new early-ripening and density resistant new variety of Jindou 45[J]. Crop Science, 2014(3): 148-149.)

[15] 林海波. 种植密度对耐密植大豆形态性状的影响[J]. 种子科技, 2018(3): 100-101. (Lin H B. Effects of planting density on morphological traits of density-tolerant soybean[J]. Seed Science and Technology, 2018(3): 100-101.)

[16] 许多,屈淑兰,李灿东,等. 高产优质耐密大豆新品种合农 76 的选育及栽培技术要点[J]. 农业科技通讯, 2017(5): 221-222. (Xu D, Que S L, Li C D, et al. The high yield and quality and density resistant new variety of Henong 76 and cultivation techniques[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2017(5): 221-222.)

[17] 周洪利. 黄淮海南部地区耐密高产大豆品种筛选试验简报[J]. 大豆科技, 2018(3): 29-33. (Zhou H L. Screening test of soybean varieties with high yield and density tolerance in southern Huang-huai-hai region [J]. Soybean Science and Technology, 2018(3): 29-33.)

[18] 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. Descriptors and data standard for soybean (*Glycine*-spp.)[M]. Beijing: Agricultural Press, 2006.)