



高低两种密度条件下耐密植优异大豆种质鉴定

张 勇¹, 胡凯凤², 王 磊¹, 孙旭红¹, 李明雪¹, 杨兴勇¹, 吴丽丽³, 宋继玲¹, 丁凯鑫¹

(1. 黑龙江省农业科学院 克山分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161000; 2. 黑龙江省农业科学院 作物资源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 黑龙江省黑河市爱辉区种畜场有限责任公司, 黑龙江 黑河 164300)

摘 要: 为筛选耐密植大豆种质, 本研究选用 160 份大豆种质资源为研究对象, 设置高密度 45 万株·hm⁻² 和低密度 25 万株·hm⁻² 两个处理, 调查 R6 和 R8 期的倒伏级别等相关耐密植性状。经过 2018—2020 年鉴定, 筛选出茎秆强度、株高、主茎节数、节间长度和底荚高度作为大豆倒伏性的鉴定指标, 鉴定出 14 份耐密植的种质资源, 分别是 Fiskeby1040-4-2、N07、N32、黑河 21、黑河 41、坂本早生、合交 N13-333、合交 N13-498、金源 71、合丰 42、丰收 24、克 09-95 (棕种皮)、克 09-95 (黄种皮) 和克 14-758。

关键词: 大豆; 耐密植; 种质资源; 方差分析; 倒伏性

Identification of Excellent Soybean Germplasm Tolerant to Dense Planting under High and Low Density Conditions

ZHANG Yong¹, HU Kaifeng², WANG Lei¹, SUN Xuhong¹, LI Mingxue¹, YANG Xingyong¹, WU Lili³, SONG Jiling¹, DING Kaixin¹

(1. Keshan Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161000, China; 2. Institute of Crop Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 3. Aihui District Breeding Farm Co., Ltd., Heihe City, Heilongjiang Province, Heihe 164300, China)

Abstract: In order to screen soybean germplasm tolerant to dense planting, this study selected 160 soybean germplasm resources as research objects, and set two treatments of high-density 450 000 plants·ha⁻¹ and low-density 250 000 plants·ha⁻¹ to investigate the lodging level and other related traits of dense planting tolerance in R6 and R8 stages. After identification from 2018 to 2020, stem strength, plant height, number of main stem nodes, internode length, and bottom pod height were screened out as identification indicators for soybean lodging. Fourteen germplasm resources tolerant to dense planting were identified, including Fiskeby1040-4-2, N07, N32, Heihe 21, Heihe 41, Sakamoto Early Growth, Hejiao N13-333, Hejiao N13-498, Jinyuan 71, Hefeng 42, Fengshou 24, Ke09-95 (brown seed coat), Ke09-95 (yellow seed coat) and Ke14-758.

Keywords: soybeans; tolerant to dense planting; germplasm resources; analysis of variance; lodging

大豆是我国重要的粮、油、饲兼用作物, 近年来我国大豆进口量持续增大, 伴随着中美贸易摩擦, 大豆进口不确定因素增多, 更加重了供需矛盾, 而我国土地面积有限, 挖掘品种产量潜力、提高单产是目前亟需解决的问题。依靠群体实现产量的增加是重要的手段之一, 密植增产也成为目前的主流栽培模式^[1]。

目前黑龙江省大豆生产种植密度一般为 26 万~40 万株·hm⁻², 积温越低密度越大, 国内创造的高产典型, 密植技术是重要手段^[2-3]。大豆耐密性与倒伏性密切相关, 密度增大到一定范围容易造成倒伏, 大豆鼓粒期倒伏将导致光合产物在营养器官和生殖器官的分配比例失调^[4], 致使产量显著降低^[5]。一般来说耐密性好的品种抗倒伏能力强, 高

密度下能获得高产、稳产, 而不同品种对密度的适应能力存在显著差异^[6-7], 当不抗倒伏品种种植密度增大, 品种倒伏情况加重, 会致使产量降低^[8]。

伴随着大豆生产现代化水平的提高, 大豆密植栽培技术快速推广, 对耐密植大豆品种的需求日益迫切。有关大豆密植研究报道逐渐增加, 例如在不同种植密度下对一些农艺性状变化规律进行探索, 发现随着密度增加, 大豆茎粗、节数、分枝数、单位面积产量、单株荚数和倒伏率均显著变化^[1, 9-11]。对不同密度下大豆光合指标研究表明, 耐密品种在高密度下叶形指数往往较高, 叶色值偏高, 随着密度的增加叶柄增加幅度较小^[12-13]。可见, 密植是影响大豆产量的重要栽培措施, 是调节群体结构、产量及产量构成因素的有效手段^[11, 14]。

收稿日期: 2024-03-20

基金项目: 中晚熟高产优质广适大豆新品种选育推广与产业化开发 (CX23ZD04); 科技部农业生物育种重大项目 (2022ZD0400702-2); 国家重点研发计划 (2018YFE0116900-4、2022YFE0203300); 国家基金面上项目 (32072018); 中国-乌拉圭大豆研究与创新“一带一路”联合实验室建设与联合研究 (2022YFE0203300); 黑龙江省揭榜挂帅课题 (2021ZXJ05B02-07); 黑龙江省农业科学院院级课题 (2021YYF035); 黑龙江省农业科学院克山分院院级先导课题 (XDYBB2023-02)。

第一作者: 张勇 (1978—), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事大豆遗传育种及种质创新工作。E-mail: zhangyong6751@163.com。

通讯作者: 宋继玲 (1983—), 女, 硕士, 副研究员, 主要从事马铃薯种质资源研究。E-mail: jl_song929@126.com。

大豆高产的形成是不同产量相关性状最佳配置的结果,耐密植品种依靠群体获得高产,其抗倒伏性十分重要,在不倒伏的前提下,理论上播种密度越高产量会越高^[15-17]。为了提高单产,培育耐密植大豆品种是当前研究热点,因此,对耐密植种质资源的需求日益迫切^[18-20],本研究在高低两种密度下筛选耐密植优异大豆种质,为耐密植大豆新品种选育和栽培技术的推广奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

2017 年在黑河、佳木斯、哈尔滨和绥化等试验地点采用随机区组设计,小区株距为 5 cm,行长为 1 m,垄距为 0.65 cm,3 次重复,根据 894 份种质资源的成熟期、倒伏级别和茎秆强度进行初筛,选择 160 份耐密性较好的大豆种质资源进行精准鉴定(表 1)。

表 1 供试材料
Table 1 Test materials

编号 Number	种质名称 Germplasm name	编号 Number	种质名称 Germplasm name	编号 Number	种质名称 Germplasm name	编号 Number	种质名称 Germplasm name
1	1371	41	东农 4 号	81	晋豆 25	121	合丰 51
2	1428	42	黑河 1 号	82	黑河 34	122	合交 N13-333
3	1474	43	黑河 3 号	83	黑河 35	123	合交 N13-498
4	克山 1 号	44	绥农 1 号	84	黑河 37	124	合农 60
5	16YJ051-2	45	采种圃	85	黑河 38	125	合农 76
6	HLT1	46	海伦嘟噜豆	86	黑河 40	126	合农 91
7	HLT3	47	小白豆	87	黑河 41	127	黑河 33
8	HLT4	48	漠河秣食豆	88	黑河 42	128	黑河 44
9	HLT8	49	白铁荚青	89	黑河 43	129	黑河 45
10	Kariyutaka	50	黑河 4 号	90	黑河 50	130	黑河 48
11	Is15	51	合丰 25 号	91	黑河 51	131	黑河 49
12	Maple arrow	52	合丰 26 号	92	北丰 9 号	132	黑河 53
13	Dunn	53	黑河 6 号	93	华疆 4 号	133	黑科 56
14	Hobbit	54	黑河 7 号	94	垦丰 13	134	黑科 77
15	AsgrowA1939	55	黑河 9 号	95	垦丰 16	135	黑农 48
16	十胜长叶	56	黑农 37	96	垦丰 17	136	黑农 51
17	Sprite87	57	黑农 39	97	垦丰 22	137	黑农 61
18	A2396	58	黑生 101	98	合丰 50	138	华疆 2
19	Proto	59	合丰 35	99	合丰 52	139	吉密豆 2 号
20	Conrad	60	黑河 10 号	100	合丰 55	140	吉密豆 3 号
21	Holt	61	黑河 15	101	绥农 26	141	吉育 109
22	T309	62	克 4430-20	102	绥农 28	142	吉育 204
23	Hobbit87	63	合丰 40	103	黑农 47	143	佳密豆 6 号
24	Flint	64	合丰 41	104	东农 50	144	金源 55
25	Glacier	65	合丰 42	105	蒙豆 14	145	金源 71
26	TBD	66	合丰 47	106	坂本早生	146	克 09-95(棕种皮)
27	L84-2157	67	黑河 18	107	东农 56	147	克 09-95(黄种皮)
28	L88-8153	68	黑河 21	108	丰收 24	148	克 14-758
29	Jim	69	黑河 24	109	哈 11-3646	149	克 c14-732
30	Fiskeby1040-4-2	70	黑河 26	110	哈 11-4142	150	克交 09-343
31	Titan	71	黑河 27	111	哈 11-4519	151	垦豆 40
32	KPS292(AGS292)	72	黑河 30	112	哈 12-4547	152	垦丰 20
33	N07	73	黑河 31	113	哈 12-4891	153	垦丰 5
34	N32	74	北疆 1 号	114	哈 13-1613	154	辽小粒豆 2 号
35	CΠ1271	75	垦农 18	115	哈 13-2089	155	绥农 14
36	G. max-46	76	绥农 20	116	哈 13-2185	156	绥农 52
37	Suzuhime	77	东生 1 号	117	哈 13-2413	157	绥无腥味 2 号
38	MN0201	78	吉育 47	118	哈 13-2958	158	绥中作 40
39	黑农 2 号	79	吉育 67	119	哈 14-2146	159	中科毛豆 2 号
40	黑农 26	80	蒙豆 12	120	合丰 25	160	中龙 606

1.2 试验设计

试验于2018—2020年在黑龙江省齐齐哈尔市克山县黑龙江省农业科学院克山分院试验田完成。低密度处理为25万株·hm⁻²,株距约6cm;高密度处理45万株·hm⁻²,株距约3.5cm。小区为3行区,行长2m,2次重复。试验区采用“双蛇形”排列,即同一品种低密度和高密度处理上下紧邻对应种植,每种密度处理仍遵循“蛇形”布区。采取人工开沟,人工精量双粒点播,出苗后间苗保全苗。田间管理同常规大豆种植方法。

1.3 调查项目及方法

参照邱丽娟等^[21]编写的《大豆种质资源描述规范和数据标准》,调查田间基本农艺性状:包括播种期、出苗期、成熟期、花色、叶形、茸毛色和结荚习性。耐密植相关性状:主要包括倒伏级别(R6及R8期)、重心高度、株高、底荚高度、主茎节数、有效分枝数、分枝着生节位、分枝长度、单株荚数、单株粒数、单株产量和单株生物产量等,小区全区收获测产。

重心高度:考种时,去掉子叶痕以下的根部,将植株放在一个手指上,找平衡点,测量子叶痕到平衡点的长度(cm)。

分枝着生节位:以子叶节为零节,向上依次为1、2、3……节,调查分枝着生的节位。

分枝长度:分枝着生节位到分枝顶端的距离(cm)。

1.4 数据分析

采用Excel 2010软件进行原始数据整理,使用SPSS 19.0数据处理软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同性状耐密植反应

2017—2020年各性状的方差分析结果如表2所示:区组间、品种间、年份间及密度之间均存在极显著差异;品种与年份之间和品种与密度之间存在极显著差异;品种与年份及与密度之间存在显著性差异。表明参试材料具有较为广泛的多样性,适用于后续研究。

表2 组间方差分析
Table 2 Analysis of variance between groups

项目 Item	平方和 Sum of squares	df	均方 Mean square	F	显著性 Significance
区组间 Inter block	68413831.322	787	86929.900	16.120	0.000
品种 Variety	48945670.925	218	224521.426	41.635	0.000
年份 Year	279304.101	1	279304.101	51.794	0.000
密度 Density	2694237.198	2	1347118.599	249.809	0.000
品种×年份 Variety×Year	2193810.728	51	43015.897	7.977	0.000
品种×密度 Variety×Density	6186697.335	340	18196.169	3.374	0.000
年份×密度 Year×Density	0.008	1	0.008	0.000	0.999
品种×年份×密度 Variety×Year×Density	420290.862	51	8240.997	1.528	0.012
误差 Error	4249365.087	788	5392.595		
总计 Total	1948318694.899	1576			

2.2 不同种植密度对大豆农艺性状的影响

在高密度下:茎秆强度、单株产量、单株生物产量、主茎节数、有效分枝数、单株荚数和分枝长度等指标均变小,R6和R8期倒伏级别、株高、底荚高度和节间长度均变大,与低密度比较,达到极显著差异;小区产量和分枝着生节位变大,收获指数变小,与低密度差异达到显著或极显著水平;生育日数和百粒重没有明显变化;另外重心高度变高,2020年低密度和高密度处理间差异极显著,2018及2019年低密度和高密度处理间差异不显著(表3)。

2.3 不同种植密度下大豆农艺性状的变异系数

不同种植密度对性状值离散程度的影响用各指标的变异系数来衡量。在高密度条件下,茎秆强

度、有效分枝数、单株荚数和分枝长度4个指标大于低密度变异系数,说明这4个性状,受到高密度处理的影响,性状值离散程度变大。R6和R8期倒伏级别、底荚高度和主茎节数在高密度下的变异系数比低密度条件下小,说明高密度条件下这几个性状值离散程度小(表3)。

2.4 不同种植密度对大豆耐密指数的影响

为度量不同农艺性状承受高密度胁迫的能力,采用耐密指数(耐密系数=高密度性状值/低密度性状值)衡量品种对密度的敏感程度,指数越接近1表明越钝感,否则敏感。各性状3年的平均值减1的绝对值(≥0.1)由大到小的顺序是,R8倒伏级别>R6倒伏级别>有效分枝数>分枝长度>单株产

量>单株生物产量>单株荚数>底荚高度>株高>茎秆强度>节间长度>主茎节数,因此高密度对倒伏级别、有效分枝数、分枝长度、单株产量和单株生物产量等性状影响较大。生育日数、小区产量、百粒重、收获指数和重心高度等性状的耐密指数接近1,说明受此种植密度的影响不大(表3)。

表3 高低密度条件下大豆主要性状指标统计分析

Table 3 Statistical analysis of main character indicators of soybeans under high and low density conditions									
性状 Character	年份 Year	高密度处理 High density		低密度处理 Low density		高低密度处理 平均值 <i>t</i> 测验	耐密指数 High-density planting resistance index		高低密度平均 值比较 Comparison of high and low density average/ %
		平均值 Mean	变异系数 CV/%	平均值 Mean	变异系数 CV/%	<i>t</i> -test of average of high and low density planting	平均值 Mean	变异系数 CV/%	
生育日数 Number of growing days	2018	114.4 ±14.3	12.5	114.3 ±14.7	12.8	0.22	1.00	0.00	100.00
	2019	112.4 ±9.3	8.3	113.0 ±9.3	8.2	0.53	0.99	0.50	99.50
	2020	110.3 ±10.4	9.4	110.2 ±10.7	9.7	0.10	1.00	9.40	100.10
	平均	112.4 ±11.3	10.1	112.5 ±11.6	10.2	0.78	1.00	3.30	99.87
茎秆强度 Stem strength	2018	1.7 ±0.8	46.9	2.1 ±0.8	37.8	6.49 **	0.81	26.70	79.60
	2019	1.8 ±0.8	42.0	2.3 ±0.7	32.2	6.32 **	0.78	24.90	78.40
	2020	2.2 ±0.7	32.4	2.5 ±0.7	27.0	3.21 **	0.90	32.40	88.80
	平均	1.9 ±0.8	40.4	2.3 ±0.7	32.3	19.31 **	0.83	28.00	82.27
R6 期倒伏级别 R6 lodging level	2018	5.7 ±3.2	56.0	4.2 ±3.0	71.7	4.41 **	1.67	59.60	137.10
	2019	5.3 ±2.4	45.8	3.2 ±2.0	62.8	8.73 **	1.90	38.80	167.00
	2020	4.1 ±2.3	55.1	3.3 ±2.1	64.6	3.06 **	1.41	55.10	125.70
	平均	5.0 ±2.8	52.3	3.6 ±2.4	66.4	26.24 **	1.66	51.17	143.27
R8 期倒伏级别 R8 lodging level	2018	4.2 ±2.7	65.1	2.5 ±1.8	73.7	6.29 **	1.79	48.10	165.90
	2019	3.8 ±2.0	53.9	2.3 ±1.5	63.8	7.78 **	1.86	44.20	165.40
	2020	3.8 ±2.0	51.9	2.9 ±1.7	59.0	4.14 **	1.47	51.90	133.40
	平均	3.9 ±2.2	57.0	2.6 ±1.7	65.5	24.31 **	1.71	48.07	154.90
小区产量 Community output/g	2018	1082.7 ±233.7	22.5	1053.5 ±226.7	21.5	1.07	0.99	23.90	102.80
	2019	1071.1 ±264.7	24.7	999.8 ±224.3	22.4	2.07 *	1.07	11.60	107.10
	2020	1112.5 ±198.7	17.9	1027.3 ±175.7	17.1	3.62 **	1.09	17.90	108.30
	平均	1088.8 ±232.4	21.7	1026.9 ±208.9	20.3	10.14 **	1.05	17.80	106.07
百粒重 100-seed weight/g	2018	—	—	—	—	—	—	—	—
	2019	18.0 ±3.0	16.6	17.8 ±2.9	16.4	0.32	1.01	5.40	101.20
	2020	16.6 ±2.4	14.4	16.5 ±2.5	14.8	0.35	1.01	14.40	100.60
	平均	17.3 ±2.7	15.5	17.2 ±2.7	15.6	0.35	1.01	9.90	100.90
单株产量 Yield per plant/g	2018	7.4 ±1.6	25.0	12.2 ±2.6	21.4	18.95 **	0.60	17.80	60.30
	2019	7.5 ±1.5	20.4	11.5 ±2.3	19.5	15.16 **	0.67	22.10	64.70
	2020	8.3 ±1.4	16.7	12.4 ±2.0	16.3	18.96 **	0.68	16.70	66.70
	平均	7.7 ±1.5	20.7	12.0 ±2.3	19.1	49.95 **	0.65	18.87	63.90
单株生物产量 Single plant biomass/g	2018	16.9 ±2.8	16.4	28.2 ±4.9	17.4	24.10 **	0.61	16.70	59.90
	2019	17.9 ±2.8	15.6	26.2 ±3.9	15.1	20.56 **	0.70	17.40	68.50
	2020	20.1 ±3.1	15.7	29.0 ±4.7	16.2	17.81 **	0.70	15.70	69.20
	平均	18.3 ±2.9	15.9	27.8 ±4.5	16.2	49.29 **	0.67	16.60	65.87
收获指数 Harvest index/g	2018	44.0 ±11.7	26.5	43.7 ±8.7	19.8	0.16	1.00	18.10	100.70
	2019	41.9 ±7.4	17.7	44.4 ±8.0	18.0	2.29 *	0.95	15.60	94.20
	2020	41.3 ±5.1	12.3	42.9 ±5.4	12.5	2.50 *	0.97	12.30	96.20
	平均	42.4 ±8.1	18.8	43.7 ±7.4	16.8	4.74 **	0.97	15.33	97.03
株高 Plant height/cm	2018	114.2 ±19.4	19.6	88.3 ±22.7	23.1	12.35 **	1.30	10.00	129.30
	2019	102.3 ±16.0	18.3	84.8 ±16.7	19.7	11.37 **	1.21	7.20	120.60
	2020	93.7 ±15.9	19.5	76.6 ±17.1	22.4	12.46 **	1.23	19.50	122.30
	平均	103.4 ±17.1	19.1	83.2 ±18.8	21.7	8.50 **	1.25	12.23	124.07

表 3(续)

性状 Character	年份 Year	高密度处理 High density		低密度处理 Low density		高低密度处理 平均值 <i>t</i> 测验 <i>t</i> -test of average of high and low density planting	耐密指数 High-density planting resistance index		高低密度平均 值比较 Comparison of high and low density average/ %
		平均值	变异系数	平均值	变异系数		平均值	变异系数	
		Mean	CV/%	Mean	CV/%		Mean	CV/%	
重心高度	2018	51.1 ± 9.4	18.5	50.1 ± 10.9	21.7	0.88	1.04	10.60	102.00
Center of gravity	2019	43.2 ± 6.5	15.2	42.7 ± 8.3	19.5	0.76	1.03	9.30	101.20
height/cm	2020	39.5 ± 6.3	16.1	37.0 ± 7.2	19.5	2.99 **	1.08	16.10	106.90
	平均	44.6 ± 7.4	16.6	43.3 ± 8.8	20.2	7.46 **	1.05	12.00	103.37
底荚高度	2018	22.8 ± 7.8	34.1	18.1 ± 7.5	41.4	5.42 **	1.35	26.40	126.00
Bottom pod	2019	15.4 ± 5.8	37.5	12.8 ± 5.8	45.3	3.70 **	1.27	23.90	120.00
height/cm	2020	21.4 ± 7.1	33.1	17.7 ± 6.7	37.5	4.25 **	1.26	33.10	120.70
	平均	19.9 ± 6.9	34.9	16.2 ± 6.7	41.4	21.34 **	1.29	27.80	122.23
节间长度	2018	6.7 ± 0.8	11.9	5.9 ± 0.8	13.8	9.02 **	1.14	7.90	113.30
Internode	2019	6.7 ± 0.8	12.0	5.8 ± 0.7	11.9	10.04 **	1.15	7.20	115.20
length/cm	2020	6.4 ± 0.8	12.8	5.3 ± 0.7	12.9	10.93 **	1.20	12.80	119.40
	平均	6.6 ± 0.8	12.2	5.7 ± 0.7	12.9	29.56 **	1.16	9.30	115.97
主茎节数	2018	14.9 ± 2.7	17.9	16.7 ± 3.2	19.4	5.22 **	0.90	7.30	89.50
Number of main	2019	13.0 ± 2.0	15.3	14.5 ± 2.4	16.3	5.79 **	0.90	8.00	89.50
stem nodes	2020	12.8 ± 1.8	14.0	14.4 ± 2.5	17.2	5.64 **	0.90	14.00	89.30
	平均	13.6 ± 2.2	15.7	15.2 ± 2.7	17.6	25.42 **	0.90	9.77	89.43
有效分枝数	2018	0.7 ± 0.8	214.7	1.0 ± 1.0	118.7	5.80 **	0.28	305.00	34.90
Effective branches	2019	0.4 ± 0.7	184.1	0.8 ± 0.9	112.0	4.73 **	0.30	103.80	45.70
number	2020	0.7 ± 0.7	103.2	1.5 ± 0.8	52.4	8.87 **	0.65	103.20	44.90
	平均	0.6 ± 0.7	167.3	1.1 ± 0.9	94.4	22.35 **	0.41	170.67	41.83
单株荚数	2018	—	—	—	—	—	—	—	—
Number of pods	2019	21.0 ± 4.2	20.2	31.8 ± 6.2	19.4	17.53 **	0.68	20.60	65.90
per plant	2020	26.6 ± 4.8	18.1	38.1 ± 5.8	15.2	17.17 **	0.70	18.10	69.80
	平均	23.8 ± 4.5	19.2	35.0 ± 6.0	17.3	35.08 **	0.69	19.35	67.85
分枝长度	2018	28.6 ± 14.7	51.1	48.8 ± 20.3	41.6	7.82 **	0.36	114.90	58.50
Branch	2019	5.1 ± 8.3	162.5	16.6 ± 15.1	90.8	8.17 **	0.28	142.40	30.70
length/cm	2020	24.8 ± 11.1	44.8	35.6 ± 12.7	35.6	6.46 **	0.77	44.80	69.70
	平均	19.5 ± 11.4	86.1	33.7 ± 16.0	56.0	15.73 **	0.47	100.70	52.97
分枝着生节位(节)	2018	4.6 ± 2.2	48.0	3.5 ± 1.7	49.4	3.40 **	1.21	108.50	130.70
Branching node	2019	3.9 ± 1.6	40.5	2.9 ± 1.4	46.3	3.92 **	1.11	57.70	131.50
position	2020	4.4 ± 1.6	36.1	3.8 ± 1.2	32.1	3.71 **	1.23	36.10	117.50
	平均	4.3 ± 1.8	41.5	3.4 ± 1.4	42.6	11.78 **	1.18	67.43	126.57

注: * 和 ** 分别表示在 $P \leq 0.05$ 和 $P \leq 0.01$ 水平上差异显著。
Note: * and ** indicated significant different at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ levels respectively.

2.5 倒伏级别划分

根据 R6 和 R8 期田间倒伏级别观测值(每年有 8 次观测值,取其平均值)划分为 4 种倒伏级别类型,分别为 $1.0 \leq$ 不倒伏 < 1.5 、 $1.5 \leq$ 轻度倒伏 ≤ 3.0 、 $3.0 <$ 中度倒伏 < 5.0 和 $5.0 \leq$ 重度倒伏 ≤ 9.0 。每个类型中不同年份的品种数量分别为 17 ~ 33 个、

30 ~ 51 个、26 ~ 52 个和 35 ~ 66 个。随着倒伏的加重,品种的生育日数、单株生物产量、株高、重心高度、底荚高度、节间长度、主茎节数和分枝长度逐渐增加;品种的茎秆强度和收获指数逐渐降低;品种的小区产量和单株产量先升高后降低;小区的有效分枝数先降低后升高(表 4)。

表 4 不同倒伏类型的表型特征
Table 4 Phenotypic characteristics of different lodging types

性状 Character	年份 Year	不倒伏 Not lodging		轻度倒伏 Mild lodging		中度倒伏 Moderate lodging		重度倒伏 Severe lodging	
		平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数
		Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%	Mean	CV/%
生育日数 Number of growing days/d	2018	108.5 ±18.9	17.4	110.5 ±13.6	12.3	124.7 ±13.9	11.1	124.5 ±10.9	8.7
	2019	102.6 ±9.7	9.5	112.0 ±9.5	8.4	117.9 ±8.1	6.9	118.3 ±6.4	5.4
	2020	101.6 ±11.4	11.3	109.5 ±10.2	9.3	110.6 ±8.5	7.7	116.3 ±7.6	6.6
茎秆强度 Stem strength	2018	2.9 ±0.2	6.3	2.5 ±0.5	20.3	1.8 ±0.6	35.4	1.2 ±0.3	26.8
	2019	3.0 ±0.1	2.9	2.6 ±0.4	17.2	1.8 ±0.6	33.6	1.2 ±0.3	24.9
	2020	3.0 ±0.1	2.5	2.7 ±0.4	14.3	2.3 ±0.5	21.7	1.5 ±0.4	26.6
小区产量 Plot yield/g	2018	1073.4 ±214.3	20.0	1179.5 ±212.8	18.0	1052.4 ±236.4	22.5	1027.1 ±229.9	22.4
	2019	957.5 ±327.5	38.9	1081.5 ±302.4	28.0	976.4 ±277.2	28.4	911.1 ±199.2	21.9
	2020	1048.9 ±200.9	19.2	1089.8 ±193.7	17.8	1160.8 ±171.6	14.8	980.5 ±160.7	16.4
单株产量 Yield per plant/g	2018	9.5 ±3.2	33.1	10.1 ±3.3	32.6	9.3 ±3.4	36.8	9.9 ±3.3	33.9
	2019	9.7 ±2.8	29.2	9.8 ±3.0	30.4	9.0 ±3.0	33.5	8.5 ±2.6	30.1
	2020	10.0 ±2.4	24.4	10.5 ±2.7	25.4	10.6 ±2.7	26.0	10.0 ±2.8	28.0
单株生物产量 Biomass per plant/g	2018	20.4 ±5.5	27.1	21.9 ±6.7	30.6	23.4 ±7.0	30.0	23.7 ±7.4	31.3
	2019	20.6 ±5.5	26.7	21.6 ±5.2	23.8	22.8 ±5.1	22.5	22.6 ±5.4	23.9
	2020	21.8 ±5.3	24.3	24.8 ±6.0	24.1	25.3 ±6.0	23.7	25.5 ±6.1	23.9
收获指数 Harvest index	2018	47.3 ±12.1	25.5	46.9 ±9.4	20.0	40.2 ±9.8	24.5	42.2 ±9.0	21.3
	2019	47.3 ±4.8	10.1	45.0 ±8.9	19.7	39.7 ±9.8	24.6	37.8 ±7.0	18.5
	2020	46.2 ±5.0	10.8	42.7 ±5.0	11.6	41.8 ±5.1	12.1	39.1 ±4.0	10.1
株高 Plant height/cm	2018	75.3 ±21.4	28.4	88.7 ±12.1	13.7	106.3 ±13.6	12.8	112.3 ±12.2	10.9
	2019	61.6 ±15.8	25.6	81.1 ±11.2	13.8	93.6 ±10.7	11.4	99.5 ±10.1	10.2
	2020	58.2 ±10.6	18.2	74.3 ±10.9	14.7	82.6 ±12.1	14.6	94.6 ±11.4	12.1
重心高度 Height of center of gravity/cm	2018	39.2 ±10.1	25.8	48.8 ±7.2	14.8	54.3 ±6.2	11.4	55.8 ±7.4	13.2
	2019	33.0 ±9.4	28.6	42.3 ±6.0	14.2	45.6 ±5.3	11.7	45.3 ±4.8	10.6
	2020	29.5 ±6.0	20.5	37.0 ±5.4	14.5	40.2 ±5.1	12.8	43.4 ±3.9	9.0
底荚高度 Bottom pod height/cm	2018	14.5 ±7.1	48.9	17.8 ±6.8	38.2	22.8 ±7.6	33.6	23.7 ±6.9	29.1
	2019	8.3 ±3.6	43.2	13.5 ±5.5	40.5	17.4 ±6.3	36.3	15.2 ±5.5	36.1
	2020	12.4 ±5.9	47.3	19.2 ±5.9	30.7	20.1 ±6.8	33.7	24.2 ±5.5	22.6
节间长度 Internode length/cm	2018	5.7 ±1.1	18.6	6.3 ±0.7	10.6	6.2 ±0.7	11.8	6.6 ±0.8	11.9
	2019	5.5 ±0.7	13.0	6.1 ±0.7	12.3	6.5 ±0.7	11.3	6.9 ±0.9	12.5
	2020	5.2 ±0.7	14.0	5.6 ±0.8	14.1	6.1 ±0.9	14.1	6.4 ±0.8	13.2
主茎节数 Number of main stem nodes	2018	13.2 ±2.9	21.8	14.3 ±2.2	15.4	17.5 ±3.0	17.2	17.1 ±2.3	13.3
	2019	11.3 ±2.9	25.5	13.5 ±2.2	16.4	14.6 ±2.0	13.6	14.7 ±1.7	11.5
	2020	11.3 ±1.7	14.8	13.5 ±2.3	16.9	13.7 ±1.9	14.1	15.0 ±1.7	11.5
有效分枝数 Effective branches number	2018	0.9 ±1.0	116.3	0.5 ±0.9	177.8	0.3 ±0.5	144.7	0.5 ±0.8	165.3
	2019	0.6 ±0.7	114.9	0.6 ±0.9	142.4	0.8 ±1.0	124.3	0.7 ±0.9	121.2
	2020	1.2 ±0.9	80.4	1.0 ±0.9	86.5	0.9 ±0.6	72.8	1.3 ±0.9	67.1
分枝长度 Branch length/cm	2018	30.5 ±14.7	48.0	43.3 ±18.9	43.6	47.6 ±23.9	50.2	46.9 ±21.7	46.3
	2019	17.6 ±11.4	105.2	17.3 ±12.5	116.8	19.0 ±15.4	114.5	22.4 ±15.3	111.2
	2020	23.5 ±9.1	38.6	30.9 ±13.4	43.3	29.1 ±12.7	43.7	37.7 ±12.5	33.2
分枝着生节位 Branching node position/节	2018	3.6 ±2.2	60.6	2.9 ±1.6	55.8	4.3 ±2.0	45.7	4.4 ±1.8	41.1
	2019	1.5 ±0.4	30.0	3.2 ±1.4	44.1	4.0 ±1.6	39.4	3.7 ±1.3	34.2
	2020	3.4 ±1.6	47.4	3.8 ±1.4	36.0	4.4 ±3.6	81.2	4.9 ±1.6	32.7
品种数量 Number of varieties	2018	33		30		26		66	
	2019	17		51		52		36	
	2020	22		39		31		35	

不倒伏群体品种的主要特点是:生育日数短(101.6~108.5 d),茎秆强度强(2.9~3.0),株高普遍偏矮(58.2~75.3 cm),主茎节数少(11.3~13.2节),节间长度短(5.2~5.7 cm),收获指数高,单株产量和小区产量中等。

轻度倒伏品种的主要特点是:生育日数适宜(109.5~112.0 d),茎秆强度偏强(2.5~2.7),株高适宜(74.3~88.7 cm),主茎节数适中(13.5~14.3节),单株产量和小区产量高。

中度倒伏品种的主要特点是:生育日数略晚(110.6~124.7 d),茎秆强度中等(1.8~2.3),株高偏高(82.6~106.3 cm),主茎节数略多(13.7~17.5节),小区产量较高。

重度倒伏品种的主要特点是:生育日数晚(116.3~124.5 d),茎秆强度弱(1.2~1.5),株高过高(94.6~112.3 cm),主茎节数(14.7~17.1)多,小区产量低。

2.6 倒伏性与其它性状的相关分析

如表5所示:在高密度条件下倒伏级别与生育日数呈极显著正相关,相关系数为0.42~0.67;与茎秆强度呈极显著负相关,相关系数为-0.81~-0.94;与单株产量负相关,相关系数为-0.30~-0.01;与单株生物产量正相关,相关系数为0.18~0.30;与收获指数负相关,相关系数为-0.43~-0.15;与百粒重负相关,相关系数为-0.18~0.09;与小区产量负相关,相关系数为-0.34~-0.11;与株高呈极显著正相关,相关系数为0.66~0.78;与底荚高度呈显著正相关,相关系数为0.26~0.51;与重心高度呈极显著正相关,相关系数为0.43~0.66;与主茎节数呈极显著正相关,相关系数为0.37~0.62;与节间长度呈极显著正相关,相关系数为0.41~0.61;与分枝着生节位呈正相关,相关系数为0.22~0.47。

在低密度条件下倒伏级别与生育日数呈显著正相关,相关系数为0.28~0.60;与茎秆强度呈极显著正相关,相关系数为0.84~0.94;与单株产量呈负相关,相关系数为-0.04~-0.30;与单株生物产量正相关,相关系数为0.08~0.30;与收获指数呈显著负相关,相关系数为-0.20~-0.44;与百粒重呈负相关,相关系数为-0.04~-0.16;与小区产量负相关,相关系数为-0.03~-0.25;与株高呈极显著正相关,相关系数为0.52~0.72;与底荚高度呈极显著正相关,相关系数为0.29~0.58;与重心高度呈极显著正相关,相关系数为0.30~0.64;与

主茎节数呈显著正相关,相关系数为0.27~0.56;与节间长度呈极显著正相关,相关系数为0.43~0.62;与分枝长度正相关,相关系数为0.01~0.39;与分枝着生节位正相关,相关系数为0.16~0.38。

2.7 不同倒伏程度对大豆农艺性状的影响

对倒伏性类群之间进行方差和LSD方法多重比较分析,探究不倒伏、轻度倒伏、中度倒伏和重度倒伏4个类群之间性状值的差异,采用高密度性状观测平均值与低密度同一性状观测平均值合并作为因变量,以倒伏类群为因子变量进行分析的结果如附表1所示,生育日数、茎秆强度、小区产量、收获指数、株高、重心高度、底荚高度、节间长度和主茎节数性状上不同倒伏程度之间均值差异达到了极显著水平。

进一步进行多重比较的分析结果如附表2所示:生育日数性状中不倒伏、轻度倒伏、中度倒伏和重度倒伏群体两两之间差异,除中度倒伏和重度倒伏两者间差异没有达到显著水平之外,其它均达到了极显著水平;茎秆强度、株高和节间长度3个性状中4种群体两两之间差异均达到了极显著水平,进一步说明这3个性状在不同倒伏群体中差异性稳定,进而推荐为耐密植材料的鉴定指标;小区产量方面轻度倒伏与中度倒伏,轻度倒伏与重度倒伏群体间差异均达到极显著水平,轻度倒伏与不倒伏群体间产量差异达到显著水平,其它性状群体间差异不显著,说明轻度倒伏产量最高,由此我们推断对主栽品种采用不同栽培手段,使其达到轻度倒伏的表型特征,将发挥出品种产量的潜力;收获指数上不倒伏和轻度倒伏,中度倒伏和重度倒伏群体两两之间差异不显著,其它群体两两之间差异达到极显著水平;重心高度方面中度和重度倒伏群体之间差异不显著,其它群体两两之间差异达到了极显著差异;底荚高度方面重度倒伏与轻度倒伏,重度倒伏与中度倒伏群体差异达到显著水平外,其它群体两两之间差异达到极显著水平;主茎节数方面在中度倒伏和重度倒伏群体之间差异不显著外,其它群体两两之间差异均达到极显著水平。其它性状与倒伏性相关性不强。

2.8 耐密植材料的筛选鉴定

通过3年的精准鉴定,每年选取倒伏级别为1级,茎秆强度高的种质资源为耐密植材料,取3年交集,鉴定出14份优异种质资源。适宜黑龙江省第六积温带种植材料9份,适宜第四积温带种植材料2份,适宜第三积温带种植材料3份(表6)。

表 5 高低种植密度下 R6、R8 期倒伏级别与其它农艺性状相关性分析

Table 5 Correlation analysis between lodging levels of R6 and R8 stage and other agronomic traits under high and low planting densities

处理 Treatment	性状 Character	年份 Year	生育日数 Number of growing days		单株荚数 Number of pods per plant		单株 Yield per plant		单株生物 Single plant biomass		收获指数 Harvest index		百粒重 100-seed weight		小区产量 Plot yield		株高 Plant height		底荚高度 Bottom pod height		重心高度 Height of center of gravity		主茎节数 Number of main stem nodes		节间长度 Internode length		有效 分枝数 Effective number of branches		分枝长度 Branch length		分枝着 生节位 Branching node position	
高密度 High density	R6 倒伏级别 R6 lodging level	2018	0.60**	-0.94**	-	-0.05	0.30*	-0.24	-	-0.27*	0.78**	0.51**	0.60**	0.62**	0.41**	-0.04	0.17	0.28*														
		2019	0.44**	-0.87**	0	-0.14	0.18	-0.26*	0	-0.11	0.70**	0.26*	0.43**	0.37**	0.61**	0.03	0.08	0.28*														
		2020	0.42**	-0.86**	-0.02	-0.07	0.20	-0.40**	-0.18	-0.25*	0.67**	0.51**	0.64**	0.49**	0.52**	0.01	0.30**	0.31**														
	R8 倒伏级别 R8 lodging level	2018	0.49**	-0.81**	-	-0.01	0.22	-0.15	-	-0.27*	0.66**	0.34**	0.45**	0.43**	0.46**	0.01	0.20	0.22														
		2019	0.67**	-0.85**	-0.03	-0.30**	0.27*	-0.51**	-0.12	-0.34**	0.76**	0.51**	0.45**	0.54**	0.44**	0.20	0.17	0.47**														
		2020	0.48**	-0.88**	-0.05	-0.05	0.27*	-0.43**	-0.09	-0.32**	0.71**	0.53**	0.66**	0.55**	0.51**	-0.02	0.37**	0.32**														
低密度 Low density	R6 倒伏级别 R6 lodging level	2018	0.60**	-0.94**	-	-0.07	0.30**	-0.35**	-	-0.19*	0.70**	0.58**	0.60**	0.56**	0.45**	-0.02	0.32**	0.36**														
		2019	0.28*	-0.89**	0.01	-0.19	0.08	-0.27*	-0.04	-0.08	0.58**	0.29**	0.30*	0.27*	0.61**	0.14	0.12	0.16														
		2020	0.39**	-0.90**	-0.01	-0.06	0.22*	-0.42**	-0.16	-0.03	0.72**	0.55**	0.64**	0.46**	0.62**	0.17	0.39**	0.35**														
	R8 倒伏级别 R8 lodging level	2018	0.39**	-0.84**	-	-0.06	0.14	-0.20*	-	-0.25**	0.52**	0.33**	0.37**	0.36**	0.43**	0.02	0.34**	0.20**														
		2019	0.46**	-0.89**	-0.06	-0.30*	0.17	-0.44**	-0.09	-0.21	0.63**	0.34**	0.39**	0.40**	0.48**	0.05	0.01	0.38**														
		2020	0.42**	-0.85**	-0.07	-0.04	0.22*	-0.39**	-0.08	-0.04	0.70**	0.54**	0.62**	0.46**	0.58**	0.09	0.33**	0.31**														

注：* 和 ** 分别表示在 $P \leq 0.05$ 和 $P \leq 0.01$ 水平上差异显著。
Note: * and ** indicated significant differences at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ levels respectively.

表 6 耐密植种质资源明细
Table 6 Details of dense planting tolerance germplasm resources

种质名称 Germplasm name	熟期组 Maturity group	积温带划分 Division of accumulated temperature zone	倒伏级别平均值 Average value of lodging level				倒伏级别描述 Description of lodging level				茎秆强度 Stem strength				小区产量 Plot yield		平均产量 Average yield/g	与对照 产量比 Yield ratio compared with CK/%	
			Average value of lodging level				Description of lodging level				Stem strength				Plot yield				
			2018 年	2019 年	2020 年		2018 年	2019 年	2020 年		2018 年	2019 年	2020 年		2018 年	2019 年			2020 年
Fiskeby1040-4-2	黑河 49	六/下限	1.0	1.0	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	3.0	3.0	3.0	3.0	942.5	560.4	1043.5	848.8	83.6
N07	黑河 49	六/下限	1.0	1.0	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	3.0	3.0	3.0	3.0	1016.0	481.6	852.2	783.3	77.1
N32	黑河 49	六/下限	1.0	1.0	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	3.0	3.0	3.0	3.0	1022.5	638.8	753.0	804.8	79.2
黑河 21 Heihe 21	黑河 49	六/下限	1.0	1.0	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	2.8	3.0	3.0	3.0	1115.0	894.6	952.8	987.5	97.2
黑河 41 Heihe 41	黑河 49	六/下限	1.0	1.3	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	3.0	2.8	3.0	3.0	928.8	311.4	829.9	690.0	68.0
坂本早生 Sakamoto Hayashi	黑河 49	六/下限	1.0	1.0	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	3.0	3.0	3.0	3.0	697.5	526.9	644.4	622.9	61.3
黑河 49(CK) Heihe 49(CK)	黑河 49	六/下限	1.5	1.8	1.3	1.3	轻度倒伏	轻度倒伏	轻度倒伏	轻度倒伏	2.8	2.3	2.8	2.8	972.5	995.5	1078.6	1015.5	100.0
合交 N13-333 Hejiao N13-333	华疆 2	六/上限	1.0	1.0	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	3.0	3.0	3.0	3.0	1268.8	1124.4	1228.1	1207.1	94.5
合交 N13-498 Hejiao N13-498	华疆 2	六/上限	1.0	1.0	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	3.0	3.0	3.0	3.0	1155.0	1313.0	1234.1	1234.0	96.7
金源 71 Jinyuan 71	华疆 2	六/上限	1.0	1.0	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	3.0	3.0	3.0	3.0	1150.0	1110.8	1239.2	1166.7	91.4
华疆 2(CK) Huajiang 2(CK)	华疆 2	六/上限	1.3	1.8	1.8	1.8	不倒伏	轻度倒伏	轻度倒伏	轻度倒伏	2.8	2.8	3.0	3.0	1272.5	1300.6	1257.4	1276.8	100.0
合丰 42 Hefeng 42	黑河 43	四	1.0	1.0	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	3.0	3.0	3.0	3.0	1170.0	1065.0	1211.7	1148.9	80.9
丰收 24 Fengshou 24	黑河 43	四	1.0	1.3	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	2.8	3.0	3.0	3.0	1295.0	1225.1	1426.8	1315.6	92.6
黑河 43(CK) Heihe 43(CK)	黑河 43	四	2.5	3.0	3.0	3.0	轻度倒伏	轻度倒伏	轻度倒伏	轻度倒伏	2.3	2.8	3.0	3.0	1222.5	1328.1	1411.6	1320.7	100.0
克 09-95 Ke 09-95	克山 1	三	1.3	1.3	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	2.8	3.0	3.0	3.0	1240.0	1466.2	1330.3	1345.5	94.7
克 09-95(黄种皮) Ke 09-95 (Yellow seed skin)	克山 1	三	1.3	1.0	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	2.8	3.0	3.0	3.0	1205.0	1489.5	1431.1	1375.2	96.8
克 14-758 Ke 14-758	克山 1	三	1.0	1.0	1.0	1.0	不倒伏	不倒伏	不倒伏	不倒伏	3.0	3.0	3.0	3.0	1148.8	1270.7	1329.9	1249.8	88.0
克山 1(CK) Keshan 1(CK)	克山 1	三	3.0	2.5	3.5	3.5	中度倒伏	轻度倒伏	中度倒伏	中度倒伏	2.3	2.8	3.0	3.0	1456.3	1325.5	1479.0	1420.3	100.0

3 讨论

本研究利用的 160 份材料包含地方品种、审定品种、苗头品系、特用品种、国外品种等,品种熟期覆盖黑龙江省不同区域,材料耐密植特性差异广泛,倒伏 1 级到倒伏 9 级,每个倒伏级别都涵盖几十份材料,耐密植性遗传多样性丰富,同时采用国家或者省试验对照品种作为参照,由此,通过 3 年的表型精准鉴定,其结果具有重要的借鉴意义。

本研究根据茎秆的倒伏程度将材料分成 4 类群,分为不倒伏、轻度倒伏、中度倒伏和重度倒伏群,研究各个类群的性状表型,借鉴不倒伏群体的表型性状,茎秆强度高,株高偏矮,重心高度低,底荚高度低,生育日数略早,节间长度短,在今后创新培育耐密植材料中应加以借鉴,另外从相关分析中也得到了相似结论,大豆倒伏程度(倒伏级别)与茎秆强度、株高相关系数最高,其次是重心高度、生育日数、主茎节数、节间长度和底荚高度,达到极显著水平。

研究表明产量在轻度倒伏或者中度倒伏群体中最高,而非不倒伏品种群体产量最高(表 4 和表 5),由此判断创造高产应该将品种群体规模设计到轻度倒伏状态,来挖掘品种的产量潜力。同时高密度条件下倒伏级别与其它性状相关大小顺序与低密度条件下相比有所不同,但是茎秆强度和株高与倒伏级别相关性稳定,并且相关系数较高,推荐采用这两个性状作为预判大豆品种倒伏性的主要鉴定指标,重心高度、生育日数、主茎节数、节间长度和底荚高度作为辅助鉴定指标。结果说明增加种植密度对大豆群体产量和生长发育等能够造成一定影响,这与前人^[22-24]的研究结果一致。为了田间操作简单有效,建议预判大豆品种抗倒伏性的鉴定指标为茎秆强度(强)、株高(<85 cm)、主茎节数(<14 节)、节间长度(<6 cm)和底荚高度(<15 cm)。

4 结论

通过 3 年的精准鉴定,评价出耐密植种质资源 14 份,分别为 Fiskeby1040-4-2、N07、N32、黑河 21、黑河 41、坂本早生、合交 N13-333、合交 N13-498、金源 71、合丰 42、丰收 24、克 09-95(棕种皮)、克 09-95(黄种皮)和克 14-758,这些种质资源耐密植性远高于对照,为今后耐密植种质资源创新提供了较好的

基础材料。同时,筛选出茎秆强度、株高、主茎节数、节间长度和底荚高度作为大豆倒伏性风险的田间鉴定指标。

致谢: 特别感谢中国农业科学院作物科学研究所邱丽娟研究员对本试验的指导。

参考文献

[1] 刘念析,董志敏,厉志,等.不同矮秆大豆品种的耐密性研究[J].农学学报,2020,10(1):1-6. (LIU N X, DONG Z M, LI Z, et al. The density tolerance of dwarf soybean varieties[J]. Journal of Agriculture, 2020, 10(1): 1-6.)

[2] 赵团结,盖钧镒,李海旺,等.超高产大豆育种研究的进展与讨论[J].中国农业科学,2006,39(1):29-37. (ZHAO T J, GAI J Y, LI H W, et al. Advances in breeding for super high-yielding soybean cultivars[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(1): 29-37.)

[3] 郭泰,郭美玲,冯宪忠,等.矮秆耐密植大豆新品种合农 91 选育与高产创建[J].大豆科学,2019,38(4):664-667. (GUO T, GUO M L, FENG X Z, et al. Breeding and high yield establishment of dwarf stalks resistant to dense planting new soybean variety Henong 91[J]. Soybean Science, 2019, 38(4): 664-667.)

[4] 刘玉兰,陈殿元,元明浩,等.种植密度对小粒大豆光合生产能力的影响[J].大豆科学,2018,37(4):551-557. (LIU Y L, CHEN D Y, YUAN M H, et al. Effects of planting density on photosynthetic capacity of *Glycine gracilis*[J]. Soybean Science, 2018, 37(4): 551-557.)

[5] 谢甫绋,董钻,王晓光,等.大豆倒伏对植株性状和产量的影响[J].大豆科学,1993,12(1):81-85. (XIE F T, DONG Z, WANG X G, et al. Effect of lodging on soybean yield formation[J]. China Industrial Economics, 1993,12(1): 81-85.)

[6] 杨梦平,潘丽丽,张勇,等.株距对不同株型大豆农艺性状及产量的影响[J].大豆科学,2017,36(3):377-384. (YANG M P, PAN L L, ZHANG Y, et al. Effect of plant spacing on agronomic trait and yield of different plant type soybean[J]. Soybean Science, 2017, 36(3): 377-384.)

[7] 韩德志,王舒,贾鸿昌,等.耐密指数与主成分分析法综合评价并筛选高耐密性大豆种质[J].大豆科学,2021,40(4):445-456. (HAN D Z, WANG S, JIA H C, et al. Comprehensive evaluation and screening of high density soybean germplasm using density tolerance index and principal component analysis[J]. Soybean Science,2021,40(4):445-456.)

[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. (LÜ S C. Effects of density on photosynthetic effective radiation and lodging resistance of soybean canopy[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017.)

[9] 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.)

[10] 张瑞朋, 付连舜, 佟斌, 等. 密度及行距对不同大豆品种农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(1): 52-55. (ZHANG R P, FU L S, TONG B, et al. Effect of plant density and row spacing on agronomic characteristics and yield for different soybeans[J]. Soybean Science, 2015, 34(1): 52-55.)

[11] 李灿东, 郭泰, 郑伟, 等. 播种密度及施肥水平对耐密植大豆合农76产量性状的影响[J]. 大豆科学, 2017, 36(5): 727-732, 736. (LI C D, GUO T, ZHENG W, et al. Effect of sowing density and fertilizer levels on the yield traits of high dense planting soybean cultivar Henong 76[J]. Soybean Science, 2017, 36(5): 727-732, 736.)

[12] 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 F 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.)

[13] 任小俊, 吕新云, 马俊奎. 种植密度与施肥水平对山西早熟夏大豆产量与主要农艺性状的影响[J]. 大豆科学, 2019, 38(6): 921-927. (REN X J, LÜ X Y, MA J K. Effects of different planting densities and fertilization levels on yield and main agronomic characters of early-maturing summer soybean in Shanxi Province[J]. Soybean Science, 2019, 38(6): 921-927.)

[14] 李灿东, 郭泰, 王志新, 等. 大豆耐密性状与产量的相关分析[J]. 大豆科学, 2019, 38(6): 862-867. (LI C D, GUO T, WANG Z X, et al. Correlation analysis of density tolerance traits and yield on soybean[J]. Soybean Science, 2019, 38(6): 862-867.)

[15] 史宏, 张娟, 毛婷婷, 等. 基于不同叶形大豆遗传群体产量性状综合评价[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2021, 41(2): 34-42. (SHI H, ZHANG J, MAO T T, et al. Comprehensive evaluation of yield-related traits based on soybean genetic population with different leaf shapes[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2021, 41(2): 34-42.)

[16] 符小发, 高强, 任海龙, 等. 南繁大豆农艺性状与产量的主成分和聚类分析[J]. 广东农业科学, 2018, 45(4): 6-13. (FU X F, GAO Q, REN H L, et al. Principal component analysis and cluster analysis of soybean yield and agronomic traits during winter nursing in Hainan Island[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2018, 45(4): 6-13.)

[17] 赵艳. 株行距配置对大豆农艺性状和产量的影响[J]. 新农业, 2022(2): 17. (ZHAO Y. The Effect of plant row spacing configuration on agronomic characters and yield of soybean[J]. New Agriculture, 2022(2): 17.)

[18] 金武, 万明月, 李俊, 等. 大豆耐密植品种评价方法的建立及耐密种质的筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(4): 1004-1015. (JIN W, WAN M Y, LI J, et al. Establishing an evaluation method for condensed planting and identification of elite germplasm resources in soybean[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(4): 1004-1015.)

[19] 张琪, 孙如建, 郭荣起, 等. 矮秆耐密植大豆种质资源研究进展及利用现状[J]. 北方农业学报, 2022, 50(6): 25-30. (ZHANG Q, SUN R J, GUO R Q, et al. Research progress and utilization status of dwarf and density tolerant soybean germplasm resources[J]. Journal of Northern Agriculture, 2022, 50(6): 25-30.)

[20] 冯元霞. 大豆窄行密植栽培关键技术措施[J]. 中国种业, 2022(2): 2. (FENG Y X. Key technical measures for narrow row and dense planting cultivation of soybean[J]. China Seed Industry, 2022(2): 2.)

[21] 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. Specification and data standard for describing soybean germplasm resources [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2006.)

[22] 张瑞朋, 付连舜, 佟斌, 等. 密度及行距对不同大豆品种农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(1): 52-55. (ZHANG R P, FU L S, TONG B, et al. Effect of plant density and row spacing on agronomic characteristics and yield for different soybeans[J]. Soybean Science, 2015, 34(1): 52-55.)

[23] 陈维, 金月龄, 何大智, 等. 种植密度对安豆9号农艺性状及产量的影响[J]. 中国种业, 2021(8): 72-74. (CHEN W, JIN Y L, HE D Z, et al. Effects of planting density on agronomic traits and yield of Andou 9[J]. China Seed Industry, 2021(8): 72-74.)

[24] 田艺心, 高凤菊, 曹鹏鹏, 等. 黄淮海高蛋白夏大豆新品种适宜种植密度研究[J]. 大豆科学, 2021, 40(3): 362-369. (TIAN Y X, GAO F J, CAO P P, et al. Optimal planting density of new high protein summer soybean varieties in Huang-Huai-Hai region[J]. Soybean Science, 2021, 40(3): 362-369.)