

# 东北地区大豆种质资源耐密抗倒性综合评价及品种筛选

程彤<sup>1</sup>, 吕紫佳<sup>1,2</sup>, 于德彬<sup>1</sup>, 王弼琨<sup>1</sup>, 饶德民<sup>1</sup>, 孟凡钢<sup>1</sup>, 张伟<sup>1\*</sup>

(1. 吉林省农业科学院大豆研究所, 长春 130033; 2. 东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:**为综合评价东北地区大豆品种的耐密抗倒特性, 筛选耐密抗倒高产大豆品种, 本研究以75份大豆品种为试验材料, 设置常规密度20万株/hm<sup>2</sup>和高密度30万株/hm<sup>2</sup>处理, 测定关键生育期倒伏相关指标以及成熟期农艺性状及产量性状指标。以高密度与常规密度条件下各耐密抗倒相关性状比值为基础数据, 通过主成分分析和隶属函数分析对大豆耐密抗倒性进行综合评价。结果表明, 24个耐密抗倒性状相关的单项指标可转化为7个相对独立的综合指标, 累计贡献率72.041%, 同时结合各品种的产量及倒伏级别, 进一步筛选出黑农43等8份耐密抗倒高产材料, 为东北大豆密植高产栽培和耐密品种选育提供重要参考依据。

**关键词:**大豆; 耐密植; 抗倒伏; 综合评价; 品种筛选

中图分类号: S565.102

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)06-0011-07

## Comprehensive Evaluation and Variety Screening on Density and Lodging Resistance of Soybean Germplasm Resources in Northeast China

CHENG Tong<sup>1</sup>, LYU ZiJia<sup>1,2</sup>, YU Debin<sup>1</sup>, WANG Bikun<sup>1</sup>, RAO Demin<sup>1</sup>, MENG Fangang<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Soybean Research, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033; 2. Agricultural College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In order to comprehensively evaluate the density and lodging resistance of soybean varieties in Northeast China and screen the density and lodging resistance and high-yield soybean varieties, this study took 75 soybean varieties as experimental materials, and set two treatments of the conventional density 200,000 plants·ha<sup>-1</sup> and high-density 300,000 plants/ha to determine the lodging related indexes of key growth period and agronomic and yield traits of maturity period. Based on the ratio of the related traits of high density and conventional density, the density and lodging resistance of soybean was comprehensively evaluated by principal component analysis and membership function analysis. The results showed that 24 individual indexes related to the density and the lodging resistance traits could be transformed into 7 relatively independent comprehensive indicators, and the cumulative contribution rate of the traits was 72.041%, and combined with the yield and lodging level of each variety, 8 high-yield materials such as Heinnong 43 were further screened out, which provided an important reference for the dense planting and high-yield cultivation and the breeding of dense-tolerant soybean varieties in Northeast China.

**Key words:** Soybean; Resistance to dense planting; Lodging resistance; Comprehensive evaluation; Variety screening

大豆 [*Glycine max* (L.) Merr.] 是世界上重要的粮食作物和经济作物<sup>[1]</sup>, 在我国粮食安全中占有重要地位。我国是全球大豆第一消费国, 每年约

消耗大豆1亿t, 但我国大豆自给率却不足20%。面对我国大豆巨大的产需缺口, 提高大豆产量是亟待解决的问题。目前, 密植栽培已成为提高大豆产量的重要手段<sup>[2-3]</sup>。研究表明, 相较于常规栽培, 大豆密植栽培技术一般产量增幅为8%~10%, 甚至可达23%<sup>[4-6]</sup>。然而, 随着种植密度逐渐加大, 大豆群体内部结构发生变化, 冠层中下部通风透光性变差, 株高增加, 节间长度增大, 茎粗降低, 茎秆强度下降, 倒伏发生的机率也随之增大<sup>[7-8]</sup>。可见, 大豆耐密性与倒伏性密切相关, 最

收稿日期: 2024-09-23

基金项目: 吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2022RCG011、CXGC2022RCB003); 吉林省科技发展计划项目(20240602046RC)

作者简介: 程彤(1991-), 女, 助理研究员, 博士, 主要从事大豆耐密生理研究。

通信作者: 张伟, 男, 博士, 研究员, E-mail: zw.0431@163.com

终以产量形式体现。

耐密性是较为复杂的综合性状,涉及多个性状的共同作用<sup>[9-10]</sup>。对于大豆耐密性综合评价常采用主成分分析方法<sup>[11-13]</sup>。通过主成分分析可以将相关性较高的指标转换为少数几个独立的主成分,从而实现数据降维,简化分析过程。近年来,大豆耐密性评价在主成分分析的基础上利用隶属函数法对主成分得分进行标准化处理,能够提高综合评价的客观性和准确性。李灿东等<sup>[14]</sup>通过主成分分析将9个耐密单项指标转换为4个独立综合指标,并通过隶属函数法进行耐密性综合评价,筛选出强耐密型大豆材料20份。胡凯凤等<sup>[15]</sup>通过主成分分析和隶属函数法对43份大豆资源进行耐密性综合评价,筛选出耐密性优良的大豆资源14份。金武等<sup>[16]</sup>选取77份大豆种质资源进行主成分和隶属函数标准化分析,筛选出耐密植大豆品种3个。然而,这些耐密性评价普遍选取农艺及产量性状,涉及倒伏相关指标较少。因此,利用耐密及倒伏相关性状指标系统性综合评价大豆的耐密抗倒能力,对大豆密植高产栽培具有重要意义。

本研究利用75份东北地区大豆种质资源,研究不同密度下大豆农艺性状、茎秆指标及产量性状,并利用主成分分析和隶属函数分析方法对参试资源进行综合评价,筛选耐密、抗倒、高产、综合表型优异的大豆种质资源,以期为耐密抗倒性相关基础研究及耐密抗倒大豆新品种选育提供材料基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料来源

供试的75份大豆资源均来自吉林省农业科学院大豆研究所。

### 1.2 试验设计

试验于2023年在吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心)公主岭试验站开展,采用完全随机区组设计,共设3次重复,每个小区5行,行长5 m,垄距0.6 cm。每个品种设置常规密度(ND)20万株/hm<sup>2</sup>(穴距16.7 cm)和高密度(HD)30万株/hm<sup>2</sup>(穴距11.1 cm)两种密度,采用机械开沟,人工精量点播,其他田间管理同常规大田栽培。

### 1.3 测定项目及方法

#### 1.3.1 倒伏级别

于完熟期(R8期)调查主茎与地面的倾斜角

(倾斜角度小于30°),视觉评判每个小区的倒伏情况。根据倒伏植株所占比例,倒伏等级可划分为:1级为不倒伏(小区植株无倒伏);2级为轻倒伏(0<倒伏植株比率≤25%);3级为中倒伏(25%<倒伏植株比率≤50%);4级为重倒伏(50%<倒伏植株比率≤75%);5级为严重倒伏(倒伏植株比率>75%)<sup>[17]</sup>。

#### 1.3.2 单株主茎重

分别于大豆盛荚期(R4期)和鼓粒期(R6期)在每个处理小区内选择连续的3株,将大豆主茎装入牛皮纸袋,105℃杀青30 min,随后80℃烘干至恒重;完熟期(R8期)取样时,在每个小区内选定3个样本点,每样本点选连续的5株,晒干后称其主茎重。

#### 1.3.3 茎秆强度

分别于大豆R4期和R6期在每个处理小区内选择连续的3株,使用植物茎秆强度测定仪(YYD-1,浙江)测定其植株基部第三节间的弯折强度、穿刺强度和压碎强度;于R8期在每个小区内选定3个样本点,每个样本点选连续的5株,测定其植株基部第三节间的弯折强度。

#### 1.3.4 成熟期测产及考种

于R8期在每个小区内选取两行进行收获,脱粒、称重后折算公顷产量。在每个小区内选定3个样本点,每个样本点选连续的5株,测定其株高、茎粗、节数、底荚高、分枝长度、分枝数、平均分枝角、基部分枝角、单株荚数、单株荚重、单株粒数、单株粒重和百粒重等指标<sup>[17]</sup>。

## 1.4 大豆耐密抗倒综合评价方法

各性状的耐密抗倒系数为: $X_i = HD/ND$ ,式中, $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。HD和ND分别代表高密度性状值和常规密度性状值。

各综合指标的隶属函数值为: $U_j = (F_j - F_{\min}) / (F_{\max} - F_{\min})$ ,式中, $j=1, 2, 3, \dots, n$ ;  $F_{\min}$ 和 $F_{\max}$ 分别代表每个主成分指标得分的最小值和最大值。

各综合指标的权重为: $W_j = p_j / \sum_{j=1}^n p_j$ ,式中, $j=1, 2, 3, \dots, n$ 。 $p_j$ 代表主成分分析得到的第j个综合指标的贡献率。

各品种的耐密抗倒性综合评价得分为: $D = \sum_{j=1}^n (U_j \times W_j)$ ,式中, $j=1, 2, 3, \dots, n$ 。

### 1.5 数据分析

采用Excel 2021对数据进行整理和预处理,利用SPSS 26.0数据处理软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 种植密度对大豆农艺性状及产量性状的影响

随着密度的增加,R8期茎粗、节数、分枝长度、分枝数、平均分枝角、基部分枝角显著降低,底荚高显著升高;各时期单株主茎重均显著降低;各时期茎

秆强度亦显著降低;R8期单株荚数、单株荚重、单株粒数、单株粒重和百粒重显著降低;株高和小区产量在不同种植密度下无显著差异。此外,随着密度的增加,分枝长度、分枝数、平均分枝角、基部分枝角的变异系数大幅度提高,说明分枝性状在高密度影响下,性状值离散程度显著变大(表1)。

表1 常规密度和高密度条件下大豆主要性状指标统计分析

性状	常规密度处理(ND)			高密度处理(HD)			不同密度处理 平均值 <sub>t</sub> 测验
	均值	标准偏差	变异系数/%	均值	标准偏差	变异系数/%	
株高/cm	84.82	17.98	21.20	85.93	16.13	18.77	1.297
茎粗/cm	7.47	0.75	9.98	6.58	0.73	11.04	-13.157**
节数	15.20	2.08	13.68	14.09	1.93	13.67	-6.403**
底荚高/cm	12.06	4.85	40.23	13.57	4.58	33.77	4.551**
分枝长度/cm	42.80	38.13	89.11	21.96	26.87	122.36	-6.477**
分枝数	0.62	0.80	128.92	0.27	0.56	204.90	-5.873**
平均分枝角/°	34.56	19.09	55.25	24.09	22.43	93.12	-3.64**
基部分枝角/°	35.44	19.78	55.81	24.65	23.10	93.71	-3.65**
R4期单株主茎重/g	1.84	0.53	28.66	1.49	0.41	27.36	-8.237**
R4期弯折强度/N	108.89	29.05	26.68	78.82	23.81	30.21	-8.8**
R4期穿刺强度/N	73.26	22.65	30.92	62.45	10.23	16.39	-3.975**
R4期压碎强度/N	325.31	66.30	20.38	270.30	57.17	21.15	-6.349**
R6期单株主茎重/g	2.16	0.67	31.03	1.79	0.61	34.02	-5.909**
R6期弯折强度/N	117.08	37.50	32.03	97.53	38.30	39.27	-4.229**
R6期穿刺强度/N	67.89	11.23	16.54	61.02	10.88	17.82	-4.481**
R6期压碎强度/N	305.09	57.33	18.79	263.70	55.48	21.04	-5.416**
R8期单株主茎重/g	10.24	3.44	33.62	8.22	3.19	38.79	-8.258**
R8期弯折强度/N	149.25	46.17	30.94	109.63	43.76	39.92	-9.51**
单株荚数	42.92	10.23	23.83	33.54	8.61	25.68	-12.834**
单株荚重/g	25.56	4.74	18.57	19.95	4.36	21.86	-10.927**
单株粒数	97.71	24.45	25.02	74.54	19.99	26.82	-13.72**
单株粒重/g	19.22	3.29	17.12	14.46	2.99	20.69	-14.849**
百粒重/g	20.76	3.01	14.48	20.37	2.78	13.66	-2.631*
小区产量/kg·hm <sup>-2</sup>	3 236.36	446.60	13.80	3 204.97	554.55	17.30	-0.638

注:“\*”和“\*\*”分别表示在0.05水平和0.01水平上差异显著

### 2.2 种植密度对大豆主要性状指标耐密抗倒系数的影响

为探究大豆不同性状指标在高密度胁迫下的变化情况,采用耐密抗倒指数衡量各性状对密度的敏感程度,数值越接近1,表明越钝感,否则敏感。由表2可知,密度胁迫响应程度(各性状耐密抗倒系数减1的绝对值)由大到小的顺序是:分枝长度>分枝数>平均分枝角>基部分枝角>R8期弯折强度>R4期弯折强度>单株粒重>单株粒数>单株荚重>单株荚数>R8期单株主茎重>底荚高>R4

单株主茎重>R6期单株主茎重>R4期压碎强度>R6弯折强度>R6期压碎强度>茎粗>R4期穿刺强度>R6期穿刺强度>节数>株高>百粒重>小区产量。说明高密度对分枝性状、茎秆弯折强度、单株荚粒数及单株荚粒重影响较大,对株高、百粒重及小区产量影响较小。

### 2.3 大豆主要性状指标耐密抗倒系数主成分分析

对75份参试大豆材料各性状指标耐密抗倒系数进行主成分分析,经KMO和Bartlett球形检验,KMO值为0.629>0.6,Bartlett球形检验的P<

表2 不同密度条件下大豆主要性状指标耐密抗倒系数统计分析

各性状耐密系数	最小值	最大值	均值	标准偏差	变异系数/%	密度胁迫响应程度
X <sub>1</sub>	0.80	1.37	1.02	0.09	9.16	0.02
X <sub>2</sub>	0.72	1.07	0.88	0.08	8.53	0.12
X <sub>3</sub>	0.72	1.18	0.93	0.09	10.12	0.07
X <sub>4</sub>	0.77	2.13	1.18	0.27	23.09	0.18
X <sub>5</sub>	0.00	1.48	0.37	0.42	111.83	0.63
X <sub>6</sub>	0.00	2.00	0.55	0.54	97.59	0.45
X <sub>7</sub>	0.00	1.72	0.57	0.57	101.04	0.43
X <sub>8</sub>	0.00	2.20	0.57	0.59	103.13	0.43
X <sub>9</sub>	0.46	1.31	0.83	0.18	21.20	0.17
X <sub>10</sub>	0.27	1.43	0.75	0.22	29.94	0.25
X <sub>11</sub>	0.21	1.24	0.89	0.17	19.06	0.11
X <sub>12</sub>	0.49	1.86	0.86	0.23	27.28	0.14
X <sub>13</sub>	0.39	1.51	0.85	0.23	26.51	0.15
X <sub>14</sub>	0.32	2.33	0.87	0.36	40.70	0.13
X <sub>15</sub>	0.47	1.38	0.92	0.18	19.36	0.08
X <sub>16</sub>	0.43	1.37	0.88	0.20	22.84	0.12
X <sub>17</sub>	0.47	1.69	0.81	0.16	20.34	0.19
X <sub>18</sub>	0.39	1.31	0.75	0.22	29.08	0.25
X <sub>19</sub>	0.48	1.29	0.79	0.14	17.43	0.21
X <sub>20</sub>	0.32	1.23	0.79	0.16	20.75	0.21
X <sub>21</sub>	0.37	1.25	0.77	0.14	17.76	0.23
X <sub>22</sub>	0.40	1.31	0.76	0.14	18.47	0.24
X <sub>23</sub>	0.84	1.12	0.98	0.06	6.24	0.02
X <sub>24</sub>	0.60	1.35	0.99	0.14	13.97	0.01

注: X<sub>1</sub>, 株高; X<sub>2</sub>, 茎粗; X<sub>3</sub>, 节数; X<sub>4</sub>, 底荚高; X<sub>5</sub>, 分枝长度; X<sub>6</sub>, 分枝数; X<sub>7</sub>, 平均分枝角; X<sub>8</sub>, 基部分枝角; X<sub>9</sub>, R4期单株主茎重; X<sub>10</sub>, R4期弯折强度; X<sub>11</sub>, R4期穿刺强度; X<sub>12</sub>, R4期压碎强度; X<sub>13</sub>, R6期单株主茎重; X<sub>14</sub>, R6期弯折强度; X<sub>15</sub>, R6期穿刺强度; X<sub>16</sub>, R6期压碎强度; X<sub>17</sub>, R8期单株主茎重; X<sub>18</sub>, R8期弯折强度; X<sub>19</sub>, 单株荚数; X<sub>20</sub>, 单株荚重; X<sub>21</sub>, 单株粒数; X<sub>22</sub>, 单株粒重; X<sub>23</sub>, 百粒重; X<sub>24</sub>, 小区产量, 下同

0.01, 说明数据适合进行主成分分析。根据特征值大于1的准则提取主成分, 共提取7个主成分, 特征值分别为4.231、3.077、2.462、2.171、1.942、1.773、1.633, 累计贡献率达到72.041%, 即可解释

72.041%的总变异, 具有很强的性状信息代表性, 由此将24个性状转化为7个独立的综合指标。

由表3可知, 第1主成分的贡献率为17.629%, 主要反映单株粒数(0.898)、单株荚数

表3 大豆主要性状指标耐密系数主成分分析

各性状耐密系数	主成分						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
X <sub>1</sub>	0.062	-0.143	0.144	<b>0.774</b>	-0.081	-0.168	0.138
X <sub>2</sub>	<b>0.733</b>	-0.057	-0.078	0.149	0.236	-0.443	0.157
X <sub>3</sub>	0.334	0.064	0.059	<b>0.712</b>	-0.019	0.109	-0.111
X <sub>4</sub>	-0.403	-0.201	0.072	<b>0.579</b>	-0.166	0.09	-0.16
X <sub>5</sub>	-0.01	<b>0.907</b>	-0.053	0.073	0.09	-0.16	-0.083
X <sub>6</sub>	0.268	0.287	-0.337	<b>0.473</b>	0.124	0.033	-0.345
X <sub>7</sub>	-0.107	<b>0.961</b>	-0.032	-0.103	0.013	-0.021	0.038
X <sub>8</sub>	-0.13	<b>0.953</b>	-0.02	-0.075	0.043	-0.015	0.025
X <sub>9</sub>	0.083	0.087	0.021	0.025	<b>0.827</b>	0.207	0.15
X <sub>10</sub>	0.133	0.048	0.018	-0.167	<b>0.825</b>	0.272	0.055

续表 3

各性状 耐密系数	主成分						
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
X <sub>11</sub>	0.052	-0.035	0.098	0.094	0.249	<b>0.673</b>	0.043
X <sub>12</sub>	-0.112	-0.216	-0.095	0.078	0.291	<b>0.631</b>	-0.066
X <sub>13</sub>	0.077	-0.108	<b>0.869</b>	0.064	-0.015	-0.001	-0.082
X <sub>14</sub>	0.201	0.033	<b>0.767</b>	0.057	-0.116	-0.101	0.235
X <sub>15</sub>	0.031	0.02	<b>0.474</b>	0.22	0.395	-0.229	-0.293
X <sub>16</sub>	-0.091	-0.002	<b>0.788</b>	0.101	0.116	0.14	-0.047
X <sub>17</sub>	0.522	-0.053	0.098	0.147	0.044	<b>-0.568</b>	0.187
X <sub>18</sub>	<b>0.577</b>	0.002	0.035	-0.058	-0.047	0.105	0.512
X <sub>19</sub>	<b>0.885</b>	-0.058	-0.019	0.081	0.103	-0.134	-0.143
X <sub>20</sub>	<b>0.527</b>	0.407	0.107	0.112	-0.213	0.179	0.266
X <sub>21</sub>	<b>0.898</b>	-0.085	0.084	0.032	0.117	0.018	-0.156
X <sub>22</sub>	<b>0.859</b>	-0.137	0.086	0.068	-0.02	0.016	-0.008
X <sub>23</sub>	-0.089	0.005	-0.06	0.043	0.19	-0.162	<b>0.834</b>
X <sub>24</sub>	0.046	0.073	0.245	<b>0.549</b>	0.145	0.201	0.367
特征值	4.231	3.077	2.462	2.171	1.942	1.773	1.633
贡献率/%	17.629	12.822	10.258	9.044	8.093	7.389	6.805
累计贡献率/%	17.629	30.451	40.709	49.753	57.846	65.236	72.041

注:加粗数字表示某个指标在各主成分中为最大绝对值

(0.885)、单株粒重(0.859)、茎粗(0.733)、R8期弯折强度(0.577)、单株荚重(0.527);第2主成分的贡献率为12.822%,主要反映平均分枝角(0.961)、基部分枝角(0.953)、分枝长度(0.907);第3主成分的贡献率为10.258%,主要反映R6期单株主茎重(0.869)、R6期压碎强度(0.788)、R6期弯折强度(0.767)、R6期穿刺强度(0.474);第4主成分的贡献率为9.044%,主要反映株高(0.774)、节数(0.712)、底荚高(0.579)、小区产量(0.549)、分枝数(0.473);第5主成分的贡献率为8.093%,主要反映R4期单株主茎重(0.827)、R4期弯折强度(0.825);第6主成分的贡献率为7.389%,主要反映R4期穿刺强度(0.673)、R4期压碎强度

(0.631)、R8期单株主茎重(-0.568);第7主成分的贡献率为6.805%,主要反映百粒重(0.834)。

#### 2.4 大豆资源耐密抗倒性综合评价

利用主成分特征向量和标准化后的性状值得到主成分得分值F,并利用隶属函数法对主成分得分进行标准化,得到U值;再根据每个特征值的贡献率及累计贡献率计算主成分的权重值,最后构建出不同大豆品种耐密抗倒性综合评价公式 $D=0.245 \times U_1 + 0.178 \times U_2 + 0.142 \times U_3 + 0.126 \times U_4 + 0.112 \times U_5 + 0.103 \times U_6 + 0.094 \times U_7$ 。利用该模型计算出75份参试品种的耐密抗倒性综合评价得分,D值越大,表明该品种的耐密抗倒性综合表现越好。其中黑农43的D值最大,为0.609,综合表现最好(表4)。

表4 大豆主要性状指标耐密系数主成分综合评价及排序

品种	综合评价得分D	排名	品种	综合评价得分D	排名	品种	综合评价得分D	排名	品种	综合评价得分D	排名
黑农43	0.609	1	合丰47	0.545	9	长农33	0.523	17	绥中作40	0.492	25
九农29	0.586	2	合丰3号	0.540	10	垦丰17	0.521	18	吉农16	0.489	26
北良56-1	0.579	3	嫩丰11	0.540	11	绥农44	0.519	19	吉育79	0.488	27
绥农38	0.578	4	九农33	0.536	12	东农4号	0.504	20	绥农3号	0.488	28
延农12	0.575	5	黑农44	0.536	13	吉农36	0.502	21	黑农35	0.487	29
合农85	0.564	6	绥农53	0.533	14	九农40	0.497	22	东农57	0.480	30
黑系46	0.552	7	东农55	0.533	15	东农1号	0.496	23	黑农71	0.474	31
丰收17	0.547	8	合丰52	0.525	16	吉育203	0.493	24	白农9	0.473	32

续表 4

品种	综合评价 得分D	排名	品种	综合评价 得分D	排名	品种	综合评价 得分D	排名	品种	综合评价 得分D	排名
黑龙江41	0.472	33	沈农11	0.439	44	吉育97	0.396	55	垦豆40	0.352	66
长农13	0.470	34	黑农56	0.435	45	吉育202	0.394	56	长农26	0.347	67
绥农22	0.465	35	黑农16	0.434	46	垦农30	0.392	57	吉农89	0.346	68
黑农88	0.463	36	黑农61	0.433	47	吉农24	0.389	58	合农74	0.338	69
东农48	0.462	37	龙豆5号	0.431	48	吉农82	0.388	59	黑农98	0.332	70
绥农35	0.461	38	吉育299	0.431	49	绥农4号	0.386	60	绥农14	0.318	71
吉育402	0.455	39	吉农50	0.426	50	临杂5909	0.382	61	吉育93	0.316	72
哈6068-2	0.455	40	华疆4号	0.423	51	合丰25	0.376	62	哈6207	0.313	73
黑河3号	0.453	41	吉育94	0.420	52	小金黄2号	0.362	63	九农36	0.310	74
绥农50	0.449	42	九农11	0.415	53	吉育47	0.362	64	抗线虫6号	0.238	75
龙豆2号	0.447	43	绥农71	0.399	54	长农23	0.359	65			

### 2.5 耐密抗倒高产资源的筛选

根据耐密抗倒性综合评价得分D,并结合各品种在密度胁迫下的倒伏和产量表现,筛选得到8个

耐密抗倒高产的大豆品种。研究表明,耐密高产品在常规密度和高密度下均表现出较高的抗倒伏性,在高密度下其增产比率为11.7%~35.36%(表5)。

表5 耐密抗倒高产大豆品种的倒伏级别和产量情况

品种	综合 评价得分(D)	倒伏级别		小区产量/kg·hm <sup>-2</sup>		增长比率/%
		常规密度 处理(ND)	高密度 处理(HD)	常规密度 处理(ND)	高密度 处理(HD)	
黑农43	0.609	1	1	3 267.41	4 224.04	29.28
北良56-1	0.579	1	1	2 693.87	3 009.02	11.70
绥农38	0.578	1	1	2 916.76	3 604.91	23.59
合农85	0.564	1	1	2 972.07	4 023.11	35.36
合丰47	0.545	1	1	3 443.19	4 031.52	17.09
绥农53	0.533	1	1	3 292.57	3 719.02	12.95
东农57	0.480	1	1	3 431.37	3 945.19	14.97
黑农71	0.474	1	1	2 831.37	3 326.93	17.50

## 3 讨论与结论

单株发育失调是诱导植株群体发生倒伏的关键内因,单株质量的发展与群体抗倒性能密切相关<sup>[18]</sup>,而随着种植密度的增加,群体内部对光能资源的竞争逐渐加剧,严重制约着个体生长发育,进而引起倒伏的发生<sup>[1,19-20]</sup>。本研究发现,大豆茎粗、节数、分枝长度、分枝数、平均分枝角、基部分枝角均随着密度的增加而显著降低,这说明大豆株型结构受密度调控<sup>[21-24]</sup>,而株型的改变直接影响到大豆产量形成过程,造成单株荚数、单株荚重、单株粒数和单株粒重显著降低<sup>[25-26]</sup>。研究还发现,高密度下大豆关键生育期单株主茎重和茎秆强度均显著降低,这表明群体种植密度的增加会导致株间生长空间减小、冠层结构较为密集,环境资源竞争加剧,植株生物量减少,从而影响

了植株茎秆的正常发育<sup>[27-28]</sup>。

此外,本研究通过比较不同密度下各耐密抗倒相关性状的变化发现,密度对株高、百粒重及小区产量影响较小,受品种自身遗传因素的影响较大;而大豆的分枝性状、茎秆弯折强度、单株荚粒数及单株荚粒重则受密度调控效应较大<sup>[29-30]</sup>。

大豆耐密抗倒能力不仅与植株株型有关,还与茎秆发育显著相关<sup>[31-32]</sup>。随着密度的增加,茎秆的高度、粗细、重量等形态指标以及茎秆强度等力学指标均受到显著影响<sup>[7,31-33]</sup>。因此,在评价大豆品种耐密性时,需综合考虑与茎秆相关的性状。本研究系统测定了大豆品种不同密度下的株型、茎秆、产量等24个与耐密抗倒特性相关的指标,与前人研究相比<sup>[14-16]</sup>,增加了关键生育期茎秆干物质积累、茎秆强度等相关指标,能够更加全面地对大豆种质资源耐密抗倒能力进行综合评

价,通过主成分分析和隶属函数分析将24个单项指标转化为7个相对独立的综合指标,性状累计贡献率为72.041%。其中,第1主成分的贡献率最大,为17.629%,主要反映了单株粒数、单株荚数、单株粒重、单株荚重等产量构成因子以及成熟期的茎粗和茎秆弯折强度指标;第2主成分的贡献率为12.822%,主要反映了分枝角和分枝长度等分枝性状指标,这些指标在密度胁迫下均表现出较大幅度的变化,这说明上述指标在耐密品种改良中可作为重点考虑的指标。

本研究利用主成分分析和隶属函数法对东北地区大豆品种进行耐密抗倒性综合评价,并结合各品种在密度胁迫下的倒伏和产量表现,突出大豆生产的实际需求,筛选出黑农43、北良56-1、绥农38、合农85、合丰47、绥农53、东农57、黑农71等8份耐密抗倒高产材料,为东北大豆密植高产栽培和耐密品种选育提供重要参考依据。

#### 参考文献:

- [1] 李超,任海红,谢梦真,等.播期与密度对大豆影响的研究进展[J].中国种业,2022(3):30-34.
- [2] 尹阳阳,徐彩龙,宋雯雯,等.密植是挖掘大豆产量潜力的重要栽培途径[J].土壤与作物,2019,8(4):361-367.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 郭文义,伏广山,杨兴勇,等.丰收24大豆密植栽培技术[J].种子世界,2009(8):59-60.
- [6] 王连铮,罗庚彤,王岚,等.北疆春大豆中黄35公顷产量超6吨的栽培技术创建[J].大豆科学,2012,31(2):217-223.
- [7] 陈喜凤,孙宁,谷岩,等.不同群体结构下大豆植株抗倒性能的比较[J].华南农业大学学报,2015,36(1):33-41.
- [8] 钟开珍,梁江,韦清源,等.大豆种质倒伏性遗传及其与主要农艺性状的相关分析[J].大豆科学,2012,31(5):703-706.
- [9] 岳忠孝,张瑞栋,杨成元,等.播期和密度对谷子农艺性状及产量的影响[J].东北农业科学,2023,48(5):40-45,135.
- [10] 孙日丹,孙海波,赵鑫,等.种植密度对水稻湿润覆膜栽培群体结构及产量的影响[J].东北农业科学,2024,49(4):1-4.
- [11] 王彩洁,李连华,李伟,等.大豆品种产量与主要性状的主成分分析[J].山东农业科学,2008,40(1):5-6.
- [12] 李文霞,李柏云,薛红,等.黑龙江省不同生态区大豆品种育种性状的主成分分析[J].大豆科学,2013,32(6):731-734.
- [13] 刘迎春,赵玉山,周学超,等.20个大豆品种主要农艺性状的综合评价与利用[J].贵州农业科学,2022,50(11):6-12.
- [14] 李灿东.大豆种质资源耐密性评价及鉴定指标筛选[J].大豆科学,2020,39(5):688-695.
- [15] 胡凯凤,张勇,董全中,等.大豆早熟优异种质资源的耐密性评价[J].黑龙江农业科学,2020(12):7-13,18.
- [16] 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.
- [17] 邱丽娟,常汝镇,刘章雄,等.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,2006:1-96.
- [18] Hiltbrunner J, Streit B, Liedgens M. Are seeding densities an opportunity to increase grain yield of winter wheat in a living mulch of white clover?[J]. Field Crop Research, 2007, 102: 163-171.
- [19] 丁树启,程彤,饶德民,等.大豆品种改良过程中光合特性及产量性状对种植密度的响应[J].中国油料作物学报,2024,46(5):1058-1067.
- [20] 王冬昭,饶德民,李琪瑞,等.种植模式对高密度下不同耐密性大豆品种根形态的影响[J].东北农业科学,2023,48(6):20-26.
- [21] 张伟,张惠君,王海英,等.株行距和种植密度对高油大豆农艺性状及产量的影响[J].大豆科学,2006,25(3):283-287.
- [22] 武新艳,张振晓,张小虎.种植密度对大豆产量及农艺性状的影响[J].农业科技通讯,2014(4):103-104.
- [23] Souza R, Teixeira I, Reis E, et al. Soybean morphophysiology and yield response to seeding systems and plant populations[J]. Chilean Journal of Agricultural Research, 2016, 76(1): 3-8.
- [24] Xu C, Li R, Song W, et al. High density and uniform plant distribution improve soybean yield by regulating population uniformity and canopy light interception[J]. Agronomy, 2021, 11, 1880.
- [25] Epler M, Staggenborg S A. Soybean yield and yield component response to plant density in narrow row systems[J]. Crop management, 2008, 7(1): 1-13.
- [26] 刘卫国.黄淮地区夏大豆不同密度对品种产量性状的影响[J].农业科技通讯,2010(11):38-40.
- [27] 樊海潮,张继雨,王俊涛,等.种植密度对大豆新品种产量及农艺性状的影响[J].山东农业科学,2020,52(2):38-42.
- [28] 梁建秋,安建刚,王嘉,等.不同种植密度对四川大豆农艺性状及产量的影响[J].大豆科学,2021,40(5):653-661.
- [29] 韩秉进,潘相文,金剑,等.大豆农艺及产量性状的主成分分析[J].大豆科学,2008,27(1):67-73.
- [30] 孙影,叶录,王凤梧,等.基于主成分分析和聚类分析的大豆高产群体性状研究[J].江西农业学报,2023,35(6):24-29.
- [31] 元明浩.不同密度对吉密豆1号大豆株型、群体生态和产量性状的影响[D].北京:中国农业科学院,2007.
- [32] 张东来,徐瑶,王家睿,等.大豆生育期间抗倒伏性状变化规律的研究[J].作物杂志,2016(2):112-117.
- [33] 徐瑶,张锐,董守坤,等.不同大豆品种鼓粒期茎秆力学特性与抗倒伏性差异研究[J].大豆科学,2017,36(6):905-912.

(责任编辑:范杰英)