



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

韩德志¹,王 舒¹,贾鸿昌¹,张 雷¹,鹿文成¹,李英慧²,邱丽娟²

(1. 黑龙江省农业科学院 黑河分院,黑龙江 黑河 164300; 2. 中国农业科学院 作物科学研究所/国家农作物基因资源与遗传改良重大科学工程/农业部种质资源利用重点实验室,北京 100081)

摘要:为综合评价大豆种质资源的耐密性并筛选出高耐密性优良种质,本研究以前期初筛获得的 90 份耐密性大豆种质资源为试验材料,以高密度与常规密度条件下各耐密性状比值为基础数据,通过耐密指数与主成分分析两种方法共同对大豆耐密性进行综合评价。结果表明:高密度胁迫处理下,大豆单株粒重受影响最大,其次是分枝相关性状,最后是子叶痕直径;两种评价方法鉴定结果的重合度为 42.8%;综合两种评价结果共鉴定出高耐密性大豆资源 8 份,分别是采种圃、黑河 49、合交 N13-333、坂本早生、黑河 44、中科毛豆 2 号、N07 和黑河 43 号。研究结果为今后大豆耐密性理论研究及耐密植新品种选育提供材料基础。

关键词:大豆;耐密性;耐密指数;主成分分析;综合评价;筛选

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Comprehensive Evaluation and Screening of High Density Resistant Soybean Germplasm Based on Tightness Tolerance Index and Principal Component Analysis

HAN De-zhi¹, WANG Shu¹, JIA Hong-chang¹, ZHANG Lei¹, LU Wen-cheng¹, LI Ying-hui², QIU Li-juan²

(1. Heihe Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heihe 164300, China; 2. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Key Facility for Gene Resources and Genetic Improvement/Key Laboratory of Crop Germplasm Utilization, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

Abstract: To screen and select soybean germplasms resistant to high densities, this study used 90 soybean germplasm resources obtained from early screening as the experimental materials, and used the ratio of each density tolerance trait at the condition of high density and conventional density as the basic data, evaluated the density tolerance of soybean comprehensively through two kinds of methods of resistance index together with the principal component analysis. The results showed that under high density stress, seed weight per plant was the greatest affected, followed by branch-related traits, and cotyledon scar diameter. The coincidence degree of the two evaluation methods was 42.8%. The two methods comprehensively identified 8 species that were resistant to high density planting, which were Seed nursery, Heihe 49, Hejiao N13-333, Sakamoto precocity soybean, Heihe 44, Zhongke Madou 2, N07 and Heihe 43. The results provided the material basis for the theoretical research of soybean tightness tolerance and the breeding of new cultivars with tightness tolerance.

Keywords: Soybean; Density tolerance traits; Density resistance index; Principal component analysis; Comprehensive evaluation; Screening

大豆起源中国,是重要的粮、油、饲兼用作物^[1]。我国大豆种质资源直接间接引种到世界各地,对世界大豆生产迅速发展起到了巨大的推动作用。然而 1954 年美国 1974 年巴西大豆产量跃居全球第二,阿根廷位居第三,而原产国的中国大豆产量退居全球第四。美国北方大豆品种含有中国的 Man-darin 等祖先亲本 50% 以上的遗传物质,而美国南方品种含有中国南方的 CNS 的血缘。中国大豆对日本、欧洲品种遗传改良也发挥了重要作用。

可见,引种对全球大豆发展做出了重要贡献^[2]。20 世纪 80 年代初,美国从引进的中国、朝鲜、日本和前苏联种质资源中筛选出特异性种质,包括抗病、抗逆性等性状,并深入研究其遗传规律将其在育种中进行利用^[3]。因此,大豆种质资源研究对于定向育种具有重要作用。我国人均耕地面积有限,大豆种植受土地面积限制,提高大豆单产是提高总产量的关键。依靠群体实现大豆增产是重要的手段之一,种植密度对产量具有重要影响。近年来,耐密植大豆品种结合配套栽培技术得到广泛应用,国内也创

收稿日期:2021-02-04

基金项目:国家重点研发计划(2019YFE0105900);国家大豆产业技术体系(CARS-04-05B);黑龙江省“百千万”工程科技重大专项(2019ZX16B01);黑龙江省农业科学院院级科研项目(2020FJZX024,2019KYJL015);黑龙江省自然科学基金联合引导项目(LH2021C090)。

第一作者:韩德志(1984—),男,硕士,副研究员,主要从事早熟大豆育种及种质创新研究。E-mail:handezhi2008@163.com。

通讯作者:邱丽娟(1963—),女,研究员,博导,主要从事大豆基因资源挖掘与利用研究。E-mail:quliujuan@caas.cn;

鹿文成(1970—),男,研究员,硕导,主要从事早熟大豆育种及高产栽培。E-mail:13845674288@163.com。

造了大豆高产典型。2018 年耐密植大豆品种合农 91 号在新疆利用窄行密植配套技术实现 423.77 kg·667 m⁻² 的全国高产纪录^[4]。大豆密植栽培在生产上具有很大的高产潜力,培育耐密植大豆新种质具有重要意义。

目前黑龙江省北部大豆生产种植密度较高,密植综合配套技术是这一地区的主流栽培模式^[5]。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,影响产量性状表现,致使大豆产量显著降低^[6-7]。耐密性好的品种抗倒伏能力强,在相对较高的密植条件下仍可获得较高的产量,而受遗传影响品种间耐密性存在显著差异^[8-9]。国内学者逐渐重视耐密植研究,不断揭示密度对重要农艺性状的影响。高密度对大豆茎粗、节数、分枝数、单位面积产量、单株荚数和倒伏率变化均有显著影响^[10-14]。不同密度条件下,大豆光合生理指标存在差异,耐密品种叶形指数较高,叶色值偏高,密度增加使叶柄增加幅度变小^[15]。密度对大豆产量影响较大,是调节大豆群体结构、产量及产量构成的有效手段^[16-17]。大豆高产是各性状构成的综合因子,耐密性与大豆各性状密切相关,大豆密植可依靠群体产量增加获得高产,在不倒伏的基础上播种密度越高产量越高,但密度增加必然会改变植物营养运输及光合利用空间结构,因而大豆种植密度和单株产量共同决定了产量水平^[18]。因此,耐密是大豆高产攻关的热点也是难点之一,急需筛选一批高耐密性大豆种质资源。

本研究在前期对大量大豆种质进行初级鉴定的基础上,针对这些种质设置不同密度,对耐密相关性状进行精准调查。借鉴玉米耐密植评价方法,同时利用主成分分析方法对参试资源进行综合评价,筛选可以在黑龙江北部地区达到大豆生理成熟的优异耐密植大豆种质资源,以期耐密性相关基础研究及耐密植大豆新品种选育提供材料基础。

1 材料与方法

1.1 材料

参试材料为 2017 年对 1 000 余份资源进行耐密初级鉴定筛选得到的 90 份大豆种质资源。

1.2 试验设计

田间试验采取随机区组设计,设置常规密度 25 万株·hm⁻²,株距约 6~7 cm;高密度 45 万株·hm⁻²,株距约 3.5 cm。小区行长 2 m,3 行区,按照成熟期为主因素排列,按照株高为次因素排列,每份材料 2 次重复。试验于 2018 年 5 月 13 日播种,机械开沟,人工精量双粒点播,V1 期定苗。其他田间管理同一般生产田。

1.3 方法

1.3.1 农艺性状调查 参照《大豆种质资源描述

规范和数据标准》^[19]调查田间基本农艺性状,包括生育期、重心高度、株高、底荚高度、主茎节数、有效分枝数、分枝长度、分枝节位、单株粒重和子叶痕直径。

重心高度:去掉子叶痕以下的根部,将植株放在手指上达到平衡即为重心位置,测量子叶痕到重心的距离。

分枝节位:分枝着生的节位。

分枝长度:分枝顶端到分枝着生处的长度。

子叶痕直径:利用电子游标卡尺测量子叶痕处。

1.3.2 综合耐密指数 Mi 计算 计算各性状相对 D 值, $D = \frac{\text{处理性状值}}{\text{正常性状值}}$,为消除误差,将正向性状比值小于 1 的修正为 1,负向性状大于 1 的修正为 1。

计算性状耐密指数 M 值, $M = |1 - D|$,以株高、重心高度、底荚高、主茎节数、分枝长、分枝位置和子叶痕茎直径等间接影响产量的农艺性状 M 值($M_{\text{性状平均}}$)代表不同材料高密胁迫抗倒伏的综合抵御能力,以单株粒重的 M 值($M_{\text{产量}}$)代表不同材料高密胁迫下保持产量的生产能力,因此,材料的综合耐密指数 $Mi = M_{\text{性状平均}} + M_{\text{产量}}$,Mi 代表单位面积加种植密度保持相对不倒伏进而增产的能力,越接近 0 越耐密植^[20-23]。

1.3.3 D 值计算及主成分分析 性状特征值 = 高密处理性状值/常规处理性状值。根据特征值大于 1 的准则提取主成分。利用隶属函数将各个指标性状在所提取的主成分上的得分值进行标准化: $F(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$; $i = 1, 2, 3, \dots, n$;其中 X_{\min} 和 X_{\max} 分别表示每个主成分上各性状指标得分值的最小值和最大值。 $w_p = \lambda_p / \sum_{p=1}^p \lambda_p$; λ_p 表示提取的第 p 个主成分的权重; w_p 表示提取的主成分所对应的特征值。 $D = \sum_{p=1}^p (w_p \times Fx_i)$; D 表示密植处理响应因子的综合值。以 D 值进行聚类统计,划分耐密等级^[24-28]。

1.4 数据分析

采用 WPS Excel 2010 和 SPSS 23.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同密度处理对大豆主要农艺性状的影响

对不同处理大豆耐密性主要农艺性状进行 t 测验的结果如表 1 所示,不同密度处理对生育期和主茎节数的影响无显著差异,高密度处理均使其变异系数变小,表明性状值离散度变小;不同密度处理下重心高度、株高及分枝位置(第 1,3,5 分枝)差异显著,高密度处理使其变异系数均变大,表明性状值离散度大;不同密度处理对底荚高度、单株粒重、有效分枝数、分枝长度及子叶痕茎直径的影响差异

极显著,高密度处理使单株粒重、有效分枝数及分枝长度变异系数变大,表明性状值离散度大,高密

度处理使底荚高度变异系数变小,表明性状值离散度小,而子叶痕变化相对稳定。

表 1 各处理主要农艺性状描述统计及 *t* 检测

Table 1 The description statistics and *t*-test of main agronomic traits in different treatments

农艺性状 Trait	密度 Density /(10 ⁴ plants·hm ⁻²)	平均值 Average	变异范围 Range of variation	<i>SD</i>	<i>CV</i>	<i>t</i>	<i>P</i>	显著性 Significance
生育期	45	115.74	85.00 ~ 131.00	10.98	0.09	0.09	0.93	
Maturity/d	25	115.64	85.00 ~ 131.00	10.99	0.10			
重心高度	45	28.51	12.00 ~ 48.40	7.50	0.26	2.14	0.03	*
Gravity center height/cm	25	26.95	7.60 ~ 43.80	6.69	0.25			
株高	45	50.62	19.00 ~ 91.00	14.30	0.28	0.54	0.03	*
Plant height/cm	25	49.84	14.80 ~ 84.80	14.04	0.28			
底荚高度	45	15.04	7.00 ~ 31.60	5.00	0.33	4.11	0	**
The lowest pod height/cm	25	12.92	4.20 ~ 32.40	5.03	0.39			
主茎节数	45	14.02	8.25 ~ 19.75	2.29	0.16	13.75	13.25	
Nodes number of main stem	25	13.49	4.14 ~ 28.74	4.52	0.34			
有效分枝数	45	0.62	0.00 ~ 6.40	0.95	1.53	5.58	0	**
Effective branching number	25	1.26	0.00 ~ 5.00	1.24	0.99			
第 1 分枝长度	45	5.82	0.00 ~ 42.60	8.36	1.44	4.52	0	**
The first branch length/cm	25	12.01	0.00 ~ 51.20	11.47	0.96			
第 1 分枝位置	45	3.82	1.00 ~ 16.75	1.89	0.50	2.50	0.01	*
The first branch location/节	25	3.30	1.00 ~ 8.67	1.16	0.35			
第 2 分枝长度	45	3.37	0.00 ~ 38.60	6.22	1.85	4.76	0	**
The second branch length/cm	25	7.39	0.00 ~ 44.40	9.76	1.32			
第 2 分枝位置	45	4.88	1.00 ~ 19.75	2.16	0.44	1.16	0.25	
The second branch location/节	25	4.52	2.00 ~ 8.00	1.38	0.30			
第 3 分枝长度	45	1.09	0.00 ~ 19.80	2.89	2.65	4.70	0	**
The third branch length/cm	25	3.84	0.00 ~ 42.60	7.49	1.95			
第 3 分枝位置	45	5.88	3.00 ~ 8.50	1.60	0.27	2.37	0.02	*
The third branch location/节	25	5.18	3.00 ~ 8.00	1.20	0.23			
第 4 分枝长度	45	0.49	0.00 ~ 10.20	1.61	3.30	3.86	0	**
The fourth branch length/cm	25	2.06	0.00 ~ 35.40	5.33	2.59			
第 4 分枝位置	45	6.77	4.00 ~ 9.00	1.57	0.23	2.70	0.01	**
The fourth branch location/节	25	5.83	3.00 ~ 9.00	1.20	0.21			
第 5 分枝长度	45	0.15	0.00 ~ 8.00	0.79	5.24	2.87	0.01	**
The fifth branch length/节	25	0.88	0.00 ~ 29.00	3.41	3.86			
第 5 分枝位置	45	8.23	6.00 ~ 10.00	1.57	0.19	1.83	0.04	*
The fifth branch location/节	25	7.33	5.00 ~ 10.00	1.17	0.16			
单株粒重	45	7.52	2.68 ~ 19.30	2.83	0.38	15.34	0	**
Seeds weight per plant/g	25	15.25	7.20 ~ 21.20	2.55	0.17			
子叶痕茎直径	45	5.78	3.74 ~ 10.76	1.07	0.19	12.27	0	**
Cotyledon trace stem diameter/mm	25	7.35	3.53 ~ 13.76	1.39	0.19			

* 为 *P* < 0.05 差异显著; ** 为 *P* < 0.01 差异极显著。下同。
* indicate significant difference at *P* < 0.05 level; ** indicate extremely significant difference at *P* < 0.01 level. The same below.

进一步分析可知,在密度条件下,单株粒重的差异是最大的,因此,单株粒重是大豆密植研究重要指标之一;其次密度对大豆分枝的影响较大,高密度处理使大豆分枝数及分枝长度减少;再次是子叶痕直径,高密度胁迫下使大豆茎秆变细。因此,通过不同密度处理得出,密度对大豆质量性状影响较小,而对受环境影响较大的重要数量性状影响较大。

2.2 利用耐密指数 Mi 评价大豆种质资源耐密性

2.2.1 品种间 Mi 方差分析 各品种 Mi 值详见附表 1。对不同品种的两两重复的 Mi 进行方差分析,由表 2 可知,重复间差异不显著,品种间差异达到显著水平。

表 2 方差分析表

Table 2 The variance analysis table

变异来源	SS	df	MS	F	P
Source of variation					
重复间	0.2431	1	0.2431	3.532	0.0633
Repeats					
品种间	9.8106	93	0.1055	1.533	0.0204
Varieties					
误差	6.4003	93	0.0688		
Error					
总变异	16.4540	187			
Total variation					

2.2.2 聚类分析及极端种质筛选 进一步进行多重比较,在 $P < 0.05$ 显著水平下,对 Mi 均值进行聚类分析,将参试材料分成 4 类:高耐密(HR)、耐密(R)、不耐密(M)和极不耐密(HM)(图 1 和附表 2)。筛选出采种圃、漠河秣食豆、北疆 1 号、黑河 49 和黑河 3 号 5 份高耐密材料、合交 N13-333 等 11 份耐密材料及克 4430-20 等 6 份极不耐密材料(表 3)。

2.3 主成分分析法评价大豆种质资源耐密性

2.3.1 各性状主成分贡献率分析 通过特征值贡献率分析,5 个主成分对耐密性状的累计贡献率达到 72.47%,具有相对较强的性状信息代表性(表 4)。因此,将统计的 16 个耐密相关性状指标转化为 5 个主因子,并计算其权重,综合评价大豆耐密性。

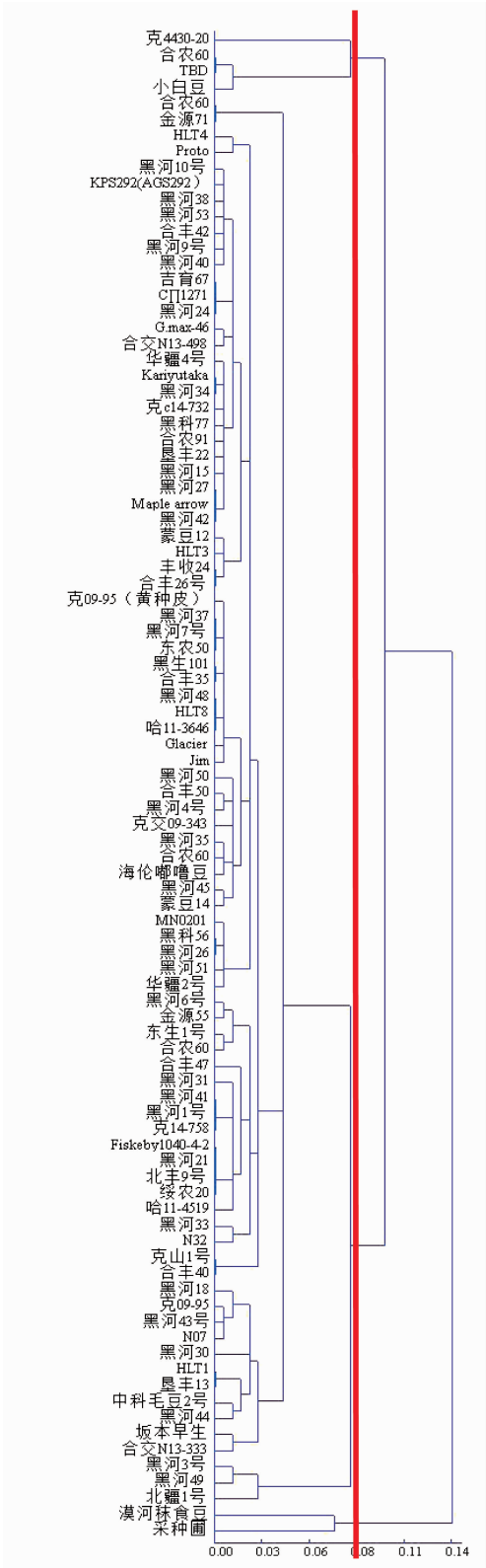


图 1 耐密指数 Mi 聚类分析

Fig. 1 The cluster analysis of density tolerance index Mi

表 3 基于耐密指数 Mi 筛选出的耐密植极端大豆种质资源

Table 3 The extreme soybean resources with different density tolerances screened out by Mi

品种名称 Variety name	Mi	耐密评价 Evaluation of density tolerance	耐密排名 Ranking of density tolerance	品种名称 Variety name	Mi	耐密评价 Evaluation of density tolerance	耐密排名 Ranking of density tolerance
采种圃 Seed nursery	0. 05	HR	1	N07	0. 48	R	13
漠河秣食豆 Mohemoshidou	0. 12	HR	2	黑河 43 号 Heihe 43	0. 48	R	14
北疆 1 号 Beijiang 1	0. 26	HR	3	克 09-95 Ke 09-95	0. 49	R	15
黑河 49 Heihe 49	0. 29	HR	4	黑河 18 Heihe 18	0. 50	R	16
黑河 3 号 Heihe 3	0. 30	HR	5	克 4430-20 Ke 4430-20	1. 24	HM	1
合交 N13-333 Hejiao N13-333	0. 38	R	6	合农 60 – 1 Henong 60 – 1	1. 16	HM	2
坂本早生 Sakamoto precocity soybean	0. 39	R	7	TBD	1. 16	HM	4
黑河 44 Heihe 44	0. 41	R	8	小白豆 Xiaobaidou	1. 15	HM	5
中科毛豆 2 号 Zhongkemaodou 2	0. 42	R	9	合农 60 – 2 Henong 60 – 2	1. 05	HM	6
HLT1	0. 44	R	10	金源 71 Jinyuan 71	1. 05	HM	7
垦丰 13 Kenfeng 13	0. 44	R	11	HLT4	1. 05	HM	8
黑河 30 Heihe 30	0. 46	R	12				

HR – 高耐密; R – 耐密; M – 不耐密; HM – 极不耐密。
HR – Highly density resistant; R – Density resistant; M – Median density resistant; HM – Highly density sensitive.

表 4 各性状主成分的特征向量及贡献率

Table 4 The eigenvectors and contribution rates of the principal components of each trait

成分 Ingredient	初始特征值 Initial eigenvalue			提取载荷平方和 Extraction sum of load squares		
	总计 Aggregate	方差百分比 Percentage of variance/%	累积 Accumulative total/%	总计 Aggregate	方差百分比 Percentage of variance/%	累积 Accumulative total/%
1	3.86	24.13	24.13	3.86	24.13	24.13
2	3.02	18.89	43.01	3.02	18.89	43.01
3	1.96	12.23	55.24	1.96	12.23	55.24
4	1.59	9.91	65.15	1.59	9.91	65.15
5	1.17	7.33	72.47	1.17	7.33	72.47
6	0.99	6.20	78.68			
7	0.82	5.14	83.82			
8	0.67	4.17	87.98			
9	0.44	2.75	90.74			
10	0.36	2.24	92.98			
11	0.33	2.04	95.02			
12	0.28	1.76	96.78			
13	0.16	0.99	97.77			
14	0.15	0.91	98.68			
15	0.12	0.74	99.41			
16	0.09	0.59	100.00			

根据各耐密性状指标特征向量的绝对值大小,将各指标性状按绝对值最大原则划分到各主成分中,决定第 1 主成分的耐密相关性状包括分枝长度及子叶痕直径数据信息量的 24.13%;决定第 2 主成分的耐密相关性状有株高、重心高度、单株粒重、部分分枝位置,可反映据信息量的 18.89%;决定第 3 主成分的耐密相关性状只有有效分枝数,可反映原始数据信息量的 9.65%;决定第 4 主成分的相关性状为分枝位置,可反映 9.9% 的原始数据信息量;决定第 5 主成分的相关性状为底荚高度,可反映 7.33% 的原始数据信息量(附表 3)。5 个主成分不能将耐密植相关性状归类划分。

进一步根据主因子特征值及原始成分矩阵,计算因子得分系数(附表 3)。将数据进行标准化,获得 Z1~Z16,利用因子得分系数计算 5 个因子(Y1~Y5)得分,计算公式: $Y1 = 0.14 \times Z1 + 0.18 \times Z2 + 0.21 \times Z3 + 0.34 \times Z4 + 0.34 \times Z5 + 0.30 \times Z6 + \dots + 0.34 \times Z16$; $Y2 = 0.37 \times Z1 + 0.34 \times Z2 + 0.02 \times Z3 + 0.11 \times Z4 + 0.11 \times Z5 + 0.14 \times Z6 + \dots + 0.17 \times Z16$; $Y3 = 0.38 \times Z1 + 0.41 \times Z2 + 0.35 \times Z3 - 0.33 \times Z4 - 0.30 \times Z5 + 0.36 \times Z6 + \dots - 0.17 \times Z16$ ……。根据因子方差百分比计算密植综合值 D(附表 4)。

对 D 值进行聚类分析。将参试材料分成 4 类,8 份材料为 HR、79 份为 R、4 份为 M、3 份为 HM(图 2)。

2.3.2 利用主成分分析筛选极端种质 根据综合得分 D 值进行聚类,筛选出高耐密 8 份、耐密种植 8 份,极不耐密种质 7 份(表 5)。

2.4 大豆种质耐密性综合评价

对比两种方法鉴定出的排名前 16 的耐密植资源,同时鉴定出的耐密植资源有 8 份,分别为采种圃、黑河 49、合交 N13-333、坂本早生、黑河 44、中科毛豆 2 号、N07 和黑河 43 号,重合度 50%(表 6)。

对比两种方法鉴定出排名前 7 的不耐密植资源,同时鉴定出的不耐密植资源 3 份,分别为克 4430-20、TBD 和小白豆,重合度为 42.8%(表 7)。

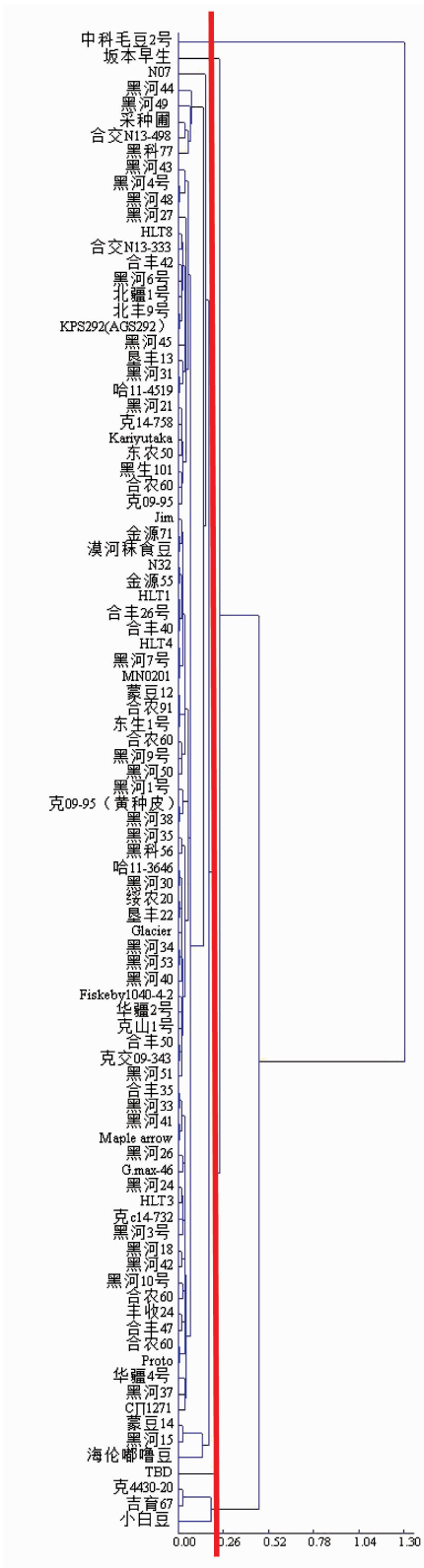


图 2 主成分综合 D 值聚类分析

Fig. 2 The principal component synthesis D value cluster analysis

表 5 基于主成分分析法筛选出的密植极端资源

Table 5 The extreme resources with different density tolerances screened out by principal component analysis

名称 Variety	D 值 D-value	耐密排名 Ranking of density tolerance	耐密性评价 Evaluation of density tolerance	名称 Variety	D 值 D-value	耐密排名 Ranking of density tolerance	耐密性评价 Evaluation of density tolerance
中科毛豆 2 号 Zhongkemaodou 2	2. 65	1	HR	HLT8	0. 50	13	R
坂本早生 Sakamoto precocity soybean	1. 35	2	HR	合交 N13-333 Hejiao N13-333	0. 49	14	R
N07	1. 12	3	HR	合丰 42 Hefeng 42	0. 47	15	R
黑河 44 Heihe 44	0. 97	4	HR	黑河 6 Heihe 6	0. 46	16	R
黑河 49 Heihe 49	0. 90	5	HR	小白豆 Xiaobaidou	- 1. 85	1	HM
采种圃 Seed nursery	0. 84	6	HR	吉育 67 Jiyu 67	- 1. 67	2	HM
合交 N13-498 Hejiao N13-498	0. 81	7	HR	克 4430-20 Ke 4430-20	- 1. 65	3	HM
黑科 77 Heike 77	0. 76	8	HR	TBD	- 1. 19	4	M
黑河 43 号 Heihe 43	0. 62	9	R	海伦嘟噜豆 Hailunduludou	- 0. 99	5	M
黑河 4 号 Heihe 4	0. 59	10	R	黑河 15 Heihe 15	- 0. 86	6	M
黑河 48 Heihe 48	0. 59	11	R	蒙豆 14 Mengdou 14	- 0. 84	7	M
黑河 27 Heihe 27	0. 54	12	R				

表 6 两种方法鉴定的耐密资源比较

Table 6 The comparison of densification resistance resources identified by the two methods

耐密指数 Mi 法				主成分分析综合 D 值法			
Mi of resistance to dense index				Comprehensive D value method for PCA			
品种 Variety	Mi	耐密评价 Evaluation of density tolerance	耐密排名 Ranking of density tolerance	品种 Variety	D 值 D-value	耐密性评价 Evaluation of density tolerance	耐密排名 Ranking of density tolerance
采种圃 Seed nursery	0. 05	HR	1	中科毛豆 2 号 Zhongkemaodou 2	2. 65	HR	1
漠河秣食豆 Mohe county fodder soybean	0. 12	HR	2	坂本早生 Sakamoto precocity soybean	1. 35	HR	2
北疆 1 Beijiang 1	0. 26	HR	3	N07	1. 12	HR	3
黑河 49 Heihe 49	0. 29	HR	4	黑河 44 Heihe 44	0. 97	HR	4
黑河 3 Heihe 3	0. 30	HR	5	黑河 49 Heihe 49	0. 90	HR	5
合交 N13-333 Hejiao N13-333	0. 38	R	6	采种圃 Seed nursery	0. 84	HR	6
坂本早生 Sakamoto precocity soybean	0. 39	R	7	合交 N13-498 Hejiao N13-498	0. 81	HR	7
黑河 44 Heihe 44	0. 41	R	8	黑科 77 Heike 77	0. 76	HR	8
中科毛豆 2 号 Zhongkemaodou 2	0. 42	R	9	黑河 43 Heihe 43	0. 62	R	9
HLT1	0. 44	R	10	黑河 4 Heihe 4	0. 59	R	10
垦丰 13 Kenfeng 13	0. 44	R	11	黑河 48 Heihe 48	0. 59	R	11
黑河 30 Heihe 30	0. 46	R	12	黑河 27 Heihe 27	0. 54	R	12
N07	0. 48	R	13	HLT8	0. 50	R	13
黑河 43 Heihe 43	0. 48	R	14	合交 N13-333 Hejiao N13-333	0. 49	R	14
克 09-95 Ke 09-95	0. 49	R	15	合丰 42 Hefeng 42	0. 47	R	15
黑河 18 Heihe 18	0. 50	R	16	黑河 6 Heihe 6	0. 46	R	16

表 7 两种方法鉴定不耐密资源比较

Table 7 The comparison of the two methods to identify the impermeable density resources

耐密指数 Mi 方法 Mi of resistance to dense index				主成分分析综合 D 值方法 Comprehensive D value method for PCA			
品种名称 Variety	Mi	耐密评价 Evaluation of density tolerance	耐密排名 Ranking of density tolerance	名称 Variety	D 值 D-value	耐密性评价 Evaluation of density tolerance	耐密排名 Ranking of density tolerance
克 4430-20 Ke 4430-20	1. 24	HM	1	小白豆 Xiaobaidou	- 1. 85	HM	1
合农 60-1 Henong 60-1	1. 16	HM	2	吉育 67 Jiyu 67	- 1. 67	HM	2
TBD	1. 16	HM	2	克 4430-20 Ke 4430-20	- 1. 65	HM	3
小白豆 Xiaobaidou	1. 15	HM	4	TBD	- 1. 19	M	4
合农 60-2 Henong 60-2	1. 05	HM	5	海伦嘟噜豆 Hailunduludou	- 0. 99	M	5
金源 71 Jinyuan 71	1. 05	HM	5	黑河 15 Heihe 15	- 0. 86	M	6
HLT4	1. 05	HM	5	蒙豆 14 Mengdou 14	- 0. 84	M	7

3 讨 论

大豆耐密性影响因子较为复杂,涉及与耐密性相关性状之间的互作。首先,在高密度胁迫处理下,产量性状与单株粒重关系最大,高密度虽然增加群体数量,但个体减产严重。因此,耐密性研究的关键是个体产量与群体产量的协调关系^[29-30]。其次,农艺性状对有效分枝数影响较大,密度胁迫促使大豆调整个体株型,减少分枝,调节群体通风透光性。密度胁迫使大豆分枝减少、分枝长度降低,间接使重心高度降低,从而降低倒伏风险。重心高度与耐密性密切相关,是决定倒伏级别的重要因素之一,理论上重心高度越高则越容易倒伏^[31]。同时,密度胁迫下使大豆茎秆变细,子叶痕直径变小,植株茎秆柔性增加以对抗倒伏,然而茎秆过细,易出现茎折,减少生物产量,最终影响经济产量。因此,合理的密度水平,是大豆获得群体产量优势的关键。当大豆倒伏性与产量变化均达到显著或极显著水平时,在高密度胁迫下倒伏性与产量相关性较强^[16]。所以在评价大豆耐密性时,需综合考虑与倒伏相关的农艺性状,并重点鉴定产量性状。生产上大豆依靠群体增产,不同生态类型适宜不同的种植密度。黑龙江省北部大豆生产及高产攻关逐渐向大垄密植方向发展,耐密品种及相关配套技术的突破将成为大豆高产的重要突破口^[18]。因此,科

学评价筛选适合黑龙江省北部的耐密植大豆种质十分迫切。

关于大豆耐密植鉴定及筛选指标的研究已有报道。李灿东^[18]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,性状累计贡献率为 85. 24%,通过隶属函数法计算用于综合耐密评价的 D 值,筛选强耐密型大豆材料 20 份、弱耐密材料 20 份。本研究参考玉米耐密植评价方法^[22-23],创新性引入耐密指数 Mi,通过综合使用两种评价方法有效地消除了环境对评价结果的影响,两种评价方法结果的交集能够更加准确地筛选出极端耐密植种质资源。本研究两种评价方法的鉴定结果重合度为 42. 8%,说明两种方法在大豆耐密植种质鉴定中均是科学可行的。耐密指数 Mi 的计算过程相对简单,计算过程便于操作;而主成分分析计算过程相对复杂,容易出错。因此,在今后耐密植评价时,如果将田间试验误差控制在合理范围内,使用单一评价方法也是科学可行的。

4 结 论

大豆耐密性状复杂程度极高,是多个数量性状的综合作用结果。本研究通过两种评价方法对大豆耐密植性状进行综合评价,创新性提出大豆耐密指数 Mi 概念,且耐密指数评价方法与主流的主成分分析在评价极端资源时结果重合度为 42. 8%,证

明耐密指数 M_i 的评价方法是科学可行的。该方法可有效降低主成分分析的复杂运算过程,为今后大豆耐密植科学评价提供理论依据。

通过两种评价方法共同筛选极耐密植种质资源 8 份:采种圃、黑河 49、合交 N13-333、坂本早生、黑河 44、中科毛豆 2 号、N07 和黑河 43 号;极不耐密种植资源 3 份:克 4430-20、TBD 和小白豆。筛选的极端耐密植种质资源能够为今后大豆耐密植相关研究及密植新品种选育提供材料基础。

参考文献

[1] 常汝镇. 关于栽培大豆起源的研究[J]. 中国油料, 1989(1): 3-9. (Chang R Z. Studies on the origin of cultivated soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1989(1): 3-9.)

[2] 邱丽娟, 常汝镇, 袁翠平, 等. 国外大豆种质资源的基因挖掘利用现状与展望[J]. 植物遗传资源学报, 2006(1): 1-6. (Qiu L J, Chang R Z, Yuan C P, et al. Prospect and present statue of gene discovery and utilization for introduced soybean germplasm[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2006(1): 1-6.)

[3] 盖钧镒. 美国大豆育种的进展和动向[J]. 大豆科学, 1984, 3(1): 70-80. (Gai J Y. Advances and trends in soybean breeding in the United States[J]. Soybean Science, 1984, 3(1): 70-80.)

[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, 39(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, 39(4): 664-667.)

[5] 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.)

[6] 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.)

[7] 谢甫绶, 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. Effects of lodging on plant characters and yield of soybean[J]. Soybean Science, 1993, 12(1): 81-85.)

[8] 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.)

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

[10] 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.)

[11] 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.)

[12] 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.)

[13] 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.)

[14] 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.)

[15] 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.)

[16] 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.)

[17] 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, Lyu 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.)

[18] 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. (Li C D. Evaluation of density-tolerance in soybean germplasm resources and screening of its identification indexes [J]. Soybean Science, 2020, 39(5): 688-695.)

[19] 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. Soybean germplasm specifications description and data standards [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2006.)

[20] 宋英博, 张敬涛, 王囡囡, 等. 大豆窄行密植与垄三栽培主要性状的关联度分析[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(7): 135-139. (Song Y B, Zhang J T, Wang N N, et al. Grey correlation degree analysis on major traits of narrow row and dense growth and three lines of ridge cultivation in soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(7): 135-139.)

[21] 王富贵, 于晓芳, 高聚林, 等. 高种植密度条件下玉米杂交种耐密性鉴定指标及评价方法[J]. 玉米科学, 2017, 25(6): 119-126. (Wang F G, Yu X F, Gao J L, et al. Indexes screening and comprehensive evaluation of density tolerance of maize hybrid

under higher planting density [J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(6): 119-126.)

[22] 杨锦越, 罗英舰, 宋碧, 等. 不同玉米品种耐密性分析及其鉴定指标的筛选[J]. 种子, 2019, 38(5): 80-85. (Yang J Y, Luo Y J, Song B, et al. Analysis of density tolerance and screening of identification indexes of different maize varieties[J]. Seed, 2019, 38(5): 80-85.)

[23] 李春红, 姚兴东, 鞠宝韬, 等. 不同基因型大豆耐荫性分析及其鉴定指标的筛选[J]. 中国农业科学, 2014, 47(15): 2927-2939. (Li C H, Yao X D, Ju B T, et al. Analysis of shade-tolerance and determination of shade-tolerance evaluation indicators in different soybean genotypes[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(15): 2927-2939.)

[24] 孙艳, 高海顺, 管志勇, 等. 菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定[J]. 生态学报, 2012, 32(6): 1908-1916. (Sun Y, Gao H S, Guan Z Y, et al. Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade tolerance in seedling of *Chrysanthemum grandiflorum* and its closely related genera [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1908-1916.)

[25] 郑云霄, 刘文斯, 赵永锋, 等. 玉米种质资源的抗倒伏性评价及鉴定指标筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(6): 1588-1596. (Zheng Y X, Liu W S, Zhao Y F, et al. Evaluation of lodging resistance and selection of identification indexes of maize germplasm resources [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(6): 1588-1596.)

[26] 王秋兰, 靳鲲鹏, 刘永忠, 等. 玉米苗期抗旱性鉴定指标及综合评价[J]. 山西农业科学, 2019, 47(3): 319-322, 365. (Wang Q L, Jin K P, Liu Y Z, et al. Identification index and comprehensive evaluation of drought resistance in maize seedling stage[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2019(3): 319-322, 365.)

[27] 王玉斌, 平俊爱, 牛皓, 等. 粒用高粱种质中后期抗旱性鉴定筛选与分类指标评价[J]. 中国农业科学, 2019, 52(22): 4039-4052. (Wang Y B, Ping J A, Niu H, et al. Evaluation of identification and classification index for drought resistance at middle and late growth stage in grain sorghum germplasms [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(22): 4039-4052.)

[28] 杨锦越, 宋碧, 罗英舰, 等. 基于主成分分析及聚类分析对不同春玉米品种耐密性评价[J]. 中国种业, 2018(8): 51-55. (Yang J Y, Song B, Luo Y J, et al. Principal component analysis and cluster analysis were used to evaluate the tightness tolerance of different spring maize varieties [J]. China Seed Industry, 2018(8): 51-55.)

[29] 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. (Yin Y Y, Xu C L, Song W W, et al. Increasing planting density is an important approach to achieve the potential of soybean yield [J]. Soils and Crops, 2019, 8(4): 361-367.)

[30] 张敬涛, 宋英博, 申晓慧, 等. 半矮秆大豆窄行密植超高产栽培产量性状及产量结构研究[J]. 大豆科学, 2009, 28(4): 636-640. (Zhang J T, Song Y B, Shen X H, et al. Soybean yield structure under the super-high yield cultivation mode with narrow row and dense seeded semi-dwarf cultivar [J]. Soybean Science, 2009, 28(4): 636-640.)

[31] 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.)

立足黑龙江 辐射全中国 聚焦大农业 促进快发展

2022 年《黑龙江农业科学》征订启事

《黑龙江农业科学》是黑龙江省农业科学院主办的综合性科技期刊,是全国优秀期刊、黑龙江省优秀期刊。现已被中国核心期刊(遴选)数据库、中国学术期刊综合评价数据库等多家权威数据库收录。

月刊,每月 10 日出版,国内外公开发行。国内邮发代号 14 - 61,每期定价 25.00 元;国外发行代号 M8321,每期定价 25.00 美元。

热忱欢迎广大农业科研工作者、农业院校师生、国营农场及农业技术推广人员、管理干部和广大农民群众踊跃订阅。全国各地邮局均可订阅,漏订者可汇款至本刊编辑部补订。汇款写明订购份数、收件人姓名、详细邮寄地址及邮编。

另有合订本珍藏版欢迎订购。2007 年合订本每册定价 80.00 元,2008 ~ 2009 年合订本每册定价 90.00 元,2010 ~ 2018 年合订本每册定价 180.00 元,邮费各 10.00 元,售完为止。

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告

地址:哈尔滨市南岗区学府路 368 号《黑龙江农业科学》编辑部
邮编:150086
电话:0451 - 86668373
唯一投稿网址:hljnykx. haasep. cn

