



基于抗倒伏性的大豆耐密性资源评价与筛选

王金生¹, 张瑞萍¹, 马力¹, 蒲国锋¹, 王家军¹, 王君², 吴俊江¹, 王冠¹, 孙明明¹

(1. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所/农业农村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; 2. 黑龙江省德强生物股份有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150060)

摘要:为筛选在黑龙江省不同地区稳定耐密植的大豆资源,为大豆的区域栽培生产提供指导和理论依据,以黑龙江省不同生态区 20 份春大豆资源为材料,以哈尔滨、海伦和五大连池为环境背景,设置常规栽培区和高密度处理区两个处理,以高密区未倒伏占比与常规区未倒伏占比的比值作为耐密指数,基于耐密指数值,利用欧氏距离组间平均联接法对不同大豆品种进行聚类分析,对供试材料进行等级划分。同时,利用双标图数据分析方法进行耐密性种质资源的综合评价。结果显示:哈尔滨区域背景条件下,当欧氏距离为 3.0 时,初步将 20 个参试品种(系)划分为 5 大类,获得耐密植品种(系)7 个;海伦区域背景下,欧氏距离为 4.0 时,初步将 20 个参试品种(系)划分为 4 大类,获得耐密植品种(系)3 个;欧氏距离为 4.0 时,初步将 20 个参试品种(系)划分为 4 大类,获得耐密植品种(系)5 个。双标图显示,耐密品种的耐密能力顺序为克豆 87 > 牡豆 56 > 黑农 94 > 黑农 531 > 克小粒 1 号 > 黑农 311 > 龙海 1 号,多环境稳定性顺序为黑农 94 > 龙海 1 号 > 克豆 87 > 黑农 531 > 黑农 311 > 牡豆 56 > 克小粒 1 号。综合比较而言,耐密性强且多环境稳定性较好的品种为黑农 94、克豆 87 和黑农 531。研究结果为提升区域大豆增产能力提供了理论依据和技术支持。

关键词:大豆;耐密植;GGE 双标图;环境稳定性;资源评价

Evaluation and Screening of Soybean Density Tolerance Resources Based on Lodging Resistance

WANG Jinsheng¹, ZHANG Ruiping¹, MA Li¹, PU Guofeng¹, WANG Jiajun¹, WANG Jun², WU Junjiang¹, WANG Guan¹, SUN Mingming¹

(1. Soybean Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Soybean Cultivation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Heilongjiang Province Key Laboratory of Soybean Cultivation, Harbin 150086, China; 2. Deqiang Biology Company Limited in Heilongjiang Province, Harbin 150060, China)

Abstract: In order to select and obtain soybean materials with stable and dense planting characters in different regions of Heilongjiang Province, and provide guidance and theoretical basis for regional cultivation and production of soybeans, twenty spring soybean resources in different ecological regions of Heilongjiang province were used as materials, and conventional cultivation area and high-density treatment area of Harbin, Hailun and Wudalianchi were selected as environmental background to set up two treatment areas. Based on the density tolerance index, the ratio of the proportion of unlodging in the high-density area to the proportion of unlodging in the conventional area was used as the density tolerance index, and the cluster analysis of different soybean varieties was carried out by using the average connection method between Euclidean distance groups, and the grades of the tested materials were classified. At the same time, biplot data analysis method was used to comprehensively evaluate the density-tolerant germplasm resources. The results showed that under the background condition of Harbin area, when the Euclidean distance was 3.0, twenty varieties (line) were divided into five categories, and seven varieties (line) were obtained. When the Euclidean distance was 4.0, twenty tested varieties (line) were initially divided into four categories, and three varieties (line) were obtained. When the Euclidean distance was 4.0, twenty test varieties (line) were initially divided into four categories, and five varieties (line) were obtained. The biplot showed that the order of the density-tolerant varieties was Kedou 87 > Mudou 56 > Heinong 94 > Heinong 531 > Kexiaoli 1 > Heinong 311 > Longhai 1, and the order of multi-environmental stability was Heinong 94 > Longhai 1 > Kedou 87 > Heinong 531 > Heinong 311 > Mudou 56 > Kexiaoli 1. Heinong 94, Kedou 87 and Heinong 531 were the varieties with high density resistance and good multi-environmental stability. The results provided theoretical basis and technical support for improving regional soybean yield.

Keywords: soybean; tolerance to dense planting; GGE-Biplot; environmental stability; resources evaluation

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,相关研究表明通过密植可以依靠增加群体产量来获得大豆高产。相较于常规

垄作栽培,大豆密植栽培技术一般可增产 8% ~ 10%,甚至达到 23%,是目前使用面积较大,发展速度较快的一项先进栽培技术^[1-3]。但栽培密度增加

收稿日期:2024-07-11

基金项目:黑龙江省农业科技创新跨越工程(CX23ZD04)。

第一作者:王金生(1981—),男,硕士,副研究员,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:nkywuji@126.com。

必然会改变植物营养运输及光合利用空间结构^[4],致使出现不同的密植效果。由于大豆种植密度和单株产量共同决定了产量水平,因而耐密是大豆高产攻关的热也是难点之一。近年来,耐密植大豆品种结合配套栽培技术得到广泛应用,国内也创造了大豆高产典型^[5]。但是作为技术基础的品种选择略显捉襟见肘,有关大豆耐密特性评价及耐密植材料筛选已有不少研究报道。李灿东^[4]以147份大豆资源群体为试验材料,利用6个核心的耐密植评价性状分析了不同资源材料的耐密植播种特征,筛选出筛选强耐密型大豆材料20份和弱耐密材料20份。韩德志等^[6]基于7个农艺性状,引用耐密指数和主成分分析两种评价方法筛选获得高耐密性大豆资源8份。胡凯凤等^[7]以43份大豆资源为试验材料,利用10个相关农艺性状进行鉴定和分析,筛选出两份耐密品种。

大豆品种抗倒伏性是耐密植性的先决条件。研究表明影响大豆品种耐密植性的主要因素包括株型与抗倒伏性^[8],一般来说耐密性好的品种抗倒

伏能力强^[9]。因此以倒伏程度作为评价指标进行大豆种质资源的耐密植性评价,更能贴近于生产实际。同时,相关研究表明不同生态因子对于大豆农艺性状及产量性状也会产生较大影响^[10]。因此,判定作物的耐密程度还需要结合不同生态环境进行系统性综合评价。

本研究以黑龙江省不同生态区20份春大豆资源为材料,以哈尔滨、海伦和五大连池为环境背景,设置常规栽培区和高密度处理区两个处理,以高密度区未倒伏占比与常规区未倒伏占比的比值作为耐密指数,对供试材料进行等级划分。同时,利用双标图数据分析方法进行耐密性种质资源的综合评价,以期筛选出耐密性强且多环境下稳定的大豆品种,为大豆的区域栽培生产提供指导和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为黑龙江省不同生态区春大豆资源20份,材料适应区域和来源详见表1。

表1 材料适应区域和来源
Table 1 Suitable area and source unit of the test materials

序号 Serial number	品种(系) Variety(Line)	适应区域 Suitable area	来源单位 Source unit
1	黑农 531 Heinong 531	黑龙江省第一积温带	黑龙江省农科院大豆研究所
2	黑农 94 Heinong 94	黑龙江省第三积温带	黑龙江省农科院大豆研究所
3	黑农 311 Heinong 311	黑龙江省第二积温带	黑龙江省农科院大豆研究所
4	牡豆 56 Mudou 56	黑龙江省第一积温带	黑龙江省农科院牡丹江分院
5	龙海 1 号 Longhai 1	黑龙江省第二积温带	黑龙江省农科院大豆研究所
6	克豆 87 Kedou 87	黑龙江省第六积温带	黑龙江省农科院克山分院
7	克小粒 1 号 Kexiaoli 1	黑龙江省第六积温带	黑龙江省农科院克山分院
8	佳豆 29 Jiadou 29	黑龙江省第二积温带	黑龙江省农科院佳木斯分院
9	合农 232 Henong 232	黑龙江省第二积温带	黑龙江省农科院佳木斯分院
10	佳豆 16 Jiadou 16	黑龙江省第二积温带	黑龙江省农科院佳木斯分院
11	佳豆 71 Jiadou 71	黑龙江省第一积温带	黑龙江省农科院佳木斯分院
12	合农 102 Henong 102	黑龙江省第一积温带	黑龙江省农科院佳木斯分院
13	佳豆 63 Jiadou 63	黑龙江省第三积温带	黑龙江省农科院佳木斯分院
14	22N4-17	黑龙江省第二积温带	黑龙江省农科院大豆研究所
15	22N4-19	黑龙江省第一积温带	黑龙江省农科院大豆研究所
16	22N4-21	黑龙江省第二积温带	黑龙江省农科院大豆研究所
17	龙生豆 DB207 Longshengdou DB207	黑龙江省第三积温带	黑龙江省农科院生物技术所
18	18-3278	黑龙江省第二积温带	黑龙江省农科院生物技术所
19	20-1277	黑龙江省第二积温带	黑龙江省农科院生物技术所
20	6973-6976	黑龙江省第二积温带	黑龙江省农科院生物技术所

1.2 试验设计

田间试验设置 3 个试验地点,黑龙江省农业科学院哈尔滨民主试验园区、海伦市乐业园区和五大连池试验园区。采取随机区组设计,设置两个处理: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 4 m,4 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 3 次重复。试验于 2022 年 5 月播种,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 倒伏程度调查 基于倒伏性的耐密资源评价方法,秋季调查获取倒伏程度,主茎与地面倾斜角度小于 30°为倒伏植株,以小区垄长为单位,采用网格化分区,以分区倒伏数占比计算小区整体倒伏率(图 1)。

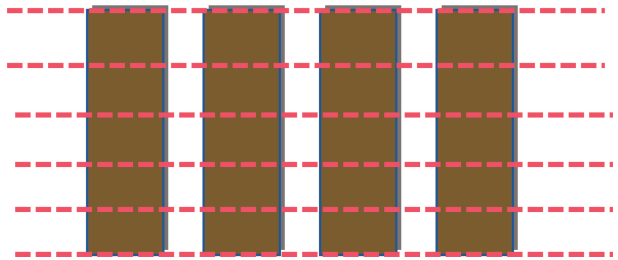


图 1 小区网格化分区图

Fig.1 Cell grid zoning diagram

1.3.2 耐密性评价 分别在不同生长环境下,以高密度处理区未倒伏植株占比与常规密度处理区未倒伏植株占比的比值作为各品种的耐密指数,评价各材料耐密性。

采用 GGE Biplot 5.2 软件分析大豆耐密指数在不同环境下的综合表现,通过图示化的结果予以表现,挖掘耐密性较强且多环境稳定的优良材料。

2 结果与分析

2.1 哈尔滨试验区耐密性评价

分别计算两个密度处理下全部品种整体耐密指数的变异系数,表明常规密度处理区品种的整体耐密指数变异系数为 0.107,而高密度处理区为 0.197,说明供试品种中确实存在加密后耐密指数明显变化的材料(表 2)。

从各品种耐密指数可以看出:克小粒 1 号的耐密指数最大,为 1,说明加密并没有造成该品种的倒伏;佳豆 16 的耐密指数最小,为 0.625,对比其常规区未倒率不难发现,该品种正常密度种植也容易出现倒伏现象(表 2)。

为更好地评价大豆耐密特性,基于耐密指数

值,利用欧氏距离组间平均联接法对不同大豆品进行聚类分析的结果显示,当欧氏距离为 3.0 时可以清楚地反映出各品种耐密植特性分级层次,初步将 20 个参试品种划分为 5 大类。根据聚类分析结果并结合耐密指数值综合评价可知,品种相似性聚类与根据耐密指数值大小的分类基本相符。可将参试品种划分为 5 个等级:I 级,不耐密植型,耐密指数≤0.70,1 个品种;II 级,较不耐密植型,0.70<耐密指数≤0.77,1 个品种;III 级,中间型,0.77<耐密指数≤0.82,5 个品种;IV 级,较耐密植型,0.82<耐密指数≤0.90,6 个品种;V 级,耐密植型,耐密指数>0.90,7 个品种(图 2)。

表 2 各试验区供试材料耐密指数
Table 2 Density-tolerant index of test materials
in each test area

序号 Serial number	品种(系) Variety(Line)	耐密指数 Density-tolerant index		
		哈尔滨 试验区 Harbin test area	海伦 试验区 Hailun test area	五大连池 试验区 Wudalianchi test area
1	黑农 531	0.928	0.959	0.969
2	黑农 94	0.969	0.935	0.936
3	黑农 311	0.980	0.840	0.805
4	龙海 1 号	0.934	0.849	0.855
5	牡豆 56	0.936	0.990	0.979
6	克豆 87	0.979	0.968	0.979
7	克小粒 1 号	1.000	0.843	0.818
8	佳豆 29	0.905	0.866	0.877
9	合农 232	0.882	0.894	0.863
10	佳豆 16	0.625	0.875	0.844
11	佳豆 71	0.724	0.860	0.828
12	合农 102	0.771	0.854	0.818
13	佳豆 63	0.818	0.866	0.870
14	22N4-17	0.842	0.826	0.830
15	22N4-19	0.865	0.931	0.918
16	22N4-21	0.804	0.924	0.926
17	龙生豆 DB207	0.885	0.931	0.955
18	18-3278	0.860	0.920	0.907
19	20-1277	0.806	0.892	0.904
20	6973-6976	0.826	0.935	0.946

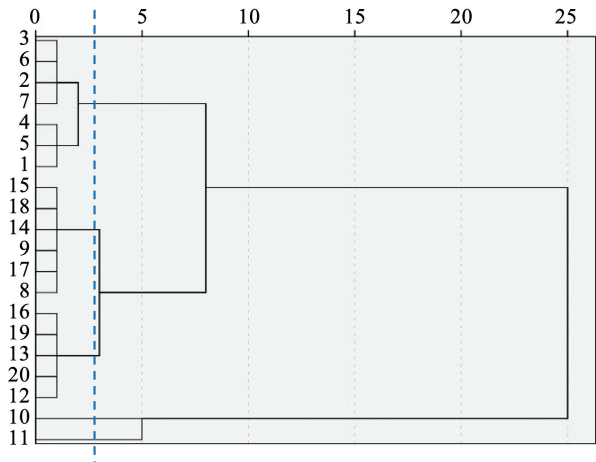


图2 哈尔滨试验区 20 份大豆品种(系)
系统聚类分析结果

Fig.2 Results of systematic cluster analysis of twenty
soybean varieties (lines) in Harbin test area

2.2 海伦试验区供试材料耐密性评价

基于倒伏状况的耐密指数可以看出:克小粒 1 号的耐密指数最大,为 0.990,说明加密并没有造成

该品种的倒伏;22N4-17 的耐密指数最小,为 0.826。根据供试材料未倒伏率计算整体变异系数发现,常规种植区品种整体变异系数为 0.107,而材料加密后整体的变异系数为 0.101,说明供试品种中确实存在加密后倒伏率明显变化的材料,但整体来看供试材料中严重倒伏的材料不多,品种之间的倒伏率差异不大(表 2)。

基于耐密指数值利用欧氏距离组间平均联接法对不同大豆品种进行了聚类分析的结果显示,当欧氏距离为 4.0 时可以清楚地反映出各品种耐密植特性分级层次,初步将 20 个参试品种(系)划分为 4 大类。根据聚类分析结果并结合耐密指数值综合评价可知,品种(系)相似性聚类与根据耐密指数值大小的分类基本相符。可将参试品种划分为 4 个等级:I 级,不耐密植型,耐密指数 ≤ 0.875 ,9 个品种(系);II 级,较不耐密植型, $0.875 < \text{耐密指数} \leq 0.894$,2 个品种(系);III 级,较耐密植型, $0.894 < \text{耐密指数} \leq 0.935$,6 个品种(系);IV 级,耐密植型,耐密指数 > 0.935 ,3 个品种(系)(图 3)。

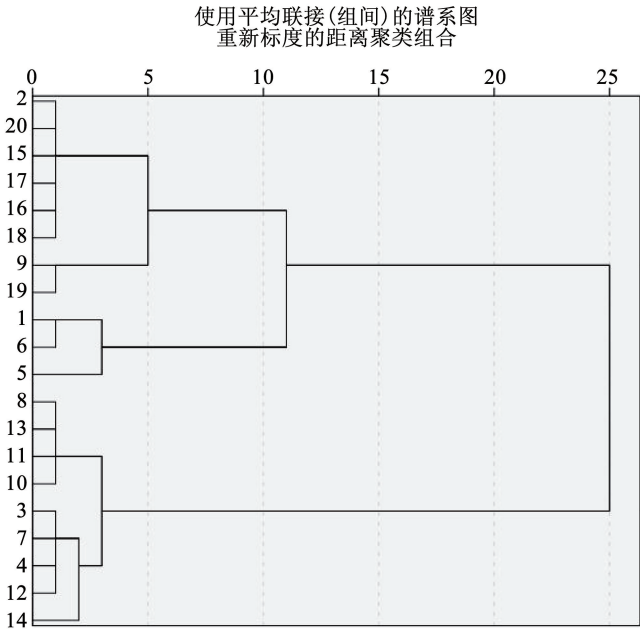


图3 海伦试验区 20 份大豆品种(系)系统聚类分析结果

Fig.3 Results of systematic cluster analysis of twenty soybean varieties (lines) in Hailun experimental area

2.3 五大连池试验区供试材料耐密性评价

根据基于倒伏状况的耐密指数可以看出:牡豆 56 和克豆 87 的耐密指数最大,为 0.979;黑农 311 的耐密指数最小,为 0.805。根据供试材料未倒伏率计算整体变异系数表明:常规种植区品种(系)整体变异系数为 0.063,而材料加密后整体的变异系数为 0.112,说明供试品种中确实存在加密后倒伏率明显变化的材料(表 2)。

基于耐密指数值利用欧氏距离组间平均联接法对不同大豆品种进行聚类分析,当欧氏距离为

4.0 时可以清楚地反映出各品种耐密植特性分级层次,初步将 20 个参试品种(系)划分为 4 大类。根据聚类分析结果并结合耐密指数值综合评价可知,品种相似性聚类与根据耐密指数值大小的分类基本相符。可将参试品种划分为 4 个等级:I 级,不耐密植型,耐密指数 ≤ 0.830 ,5 个品种(系);II 级,较不耐密植型, $0.830 < \text{耐密指数} \leq 0.877$,5 个品种(系);III 级,较耐密植型, $0.877 < \text{耐密指数} \leq 0.936$,5 个品种(系);IV 级,耐密植型,耐密指数 > 0.936 ,5 个品种(系)(图 4)。

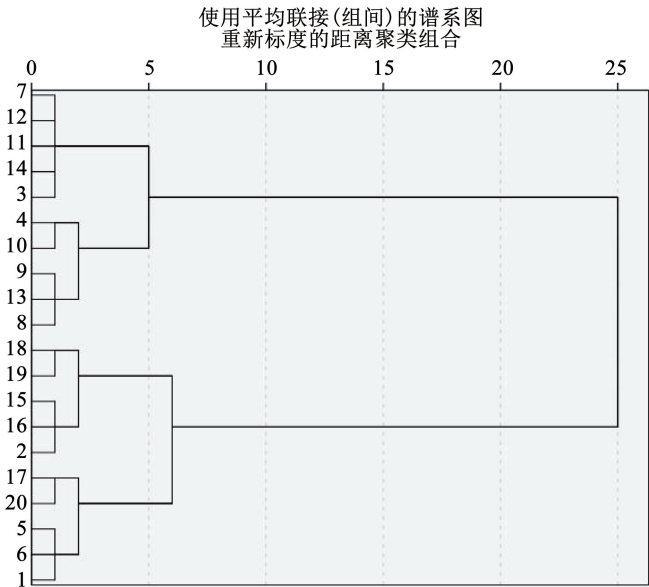


图 4 五大连池 20 份大豆品种 (系) 系统聚类分析结果

Fig.4 Results of systematic cluster analysis of twenty soybean varieties (lines) from Wudalianchi

2.4 基于 GGE-biplot 的耐密性综合评价

根据 3 个试验地点的结果进行综合评价, 获得耐密性大豆品种 7 个, 分别为黑农 531、黑农 94、黑农 311、龙海 1 号、牡豆 56、克豆 87 和克小粒 1 号。

以耐密指数模拟产量, 采用 GGE Biplot 5.2 软件分析大豆耐密指数在不同环境下的综合表现, 通过图示化的结果对耐密性品种进行综合评价的结果如图 5 所示, 在双标图中, 第一主成分 PC1 解释了 76.6% 的效应, 第二主成分 PC2 解释了 22.8% 的效应, PC1 和 PC2 共解释 G 与 GE 互作效应的 99.4%, 据此分析推断的可靠性较大。通过品种远端连线, 并从中心分别作 6 条边的垂线, 将双标图分为 6 个扇区, 位于六边形顶角的品种是扇区内各环境下耐密性最高的品种。由此可知, 牡豆 56 在海伦试验区和五大连池试验区的环境下耐密指数最高, 即耐密性最强, 克小粒 1 号在哈尔滨地区耐密性表现最好。

由双标图 6 可以得出供试品种耐密性顺序为克豆 87 > 牡豆 56 > 黑农 94 > 黑农 531 > 克小粒 1 号 > 黑农 311 > 龙海 1 号, 其中克豆 87、牡豆 56、黑农 94、黑农 531 耐密指数大于平均耐密指数。品种的多环境稳定性顺序为黑农 94 > 龙海 1 号 > 克豆 87 > 黑农 531 > 黑农 311 > 牡豆 56 > 克小粒 1 号。综合比较而言, 耐密性强且多环境稳定性较好的品种为黑农 94、克豆 87 和黑农 531。

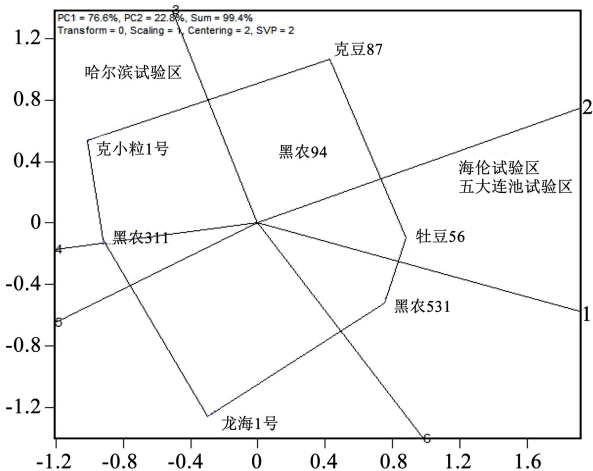


图 5 根据耐密指数将耐密大豆品种在 3 个环境中分组
Fig.5 The soybean varieties were grouped in three environments according to the density tolerance index

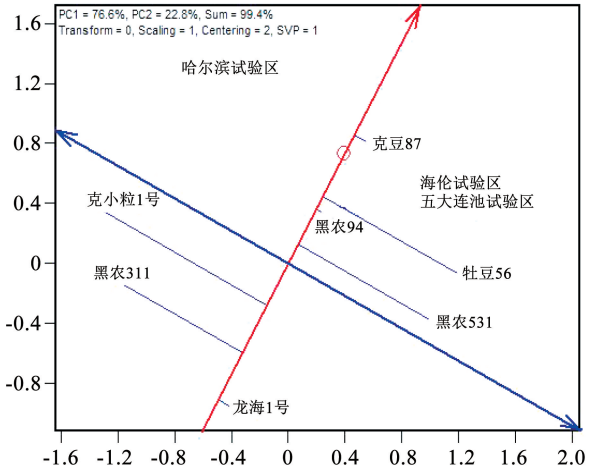


图 6 基于 GGE-biplot 分析供试品种耐密性表现及其稳定性
Fig.6 The performance and stability of test varieties based on GGE-biplot

3 讨论

大豆耐密性是复杂的综合性状,涉及多个耐密相关性状,主要包括倒伏级别、植株重心高度、株高、底荚高、主茎节数、有效分枝数、单株粒数、单株粒重及小区产量等性状。在这些耐密性状中,产量是重要的评价性状,因为一份材料或品种耐密性强弱最终还是要看在高密度条件下对产量的影响。一般来说,随着密度的增加,倒伏趋势会明显加重^[11]。由于倒伏级别与产量存在较强的负相关性,因此倒伏级别间接可以视为大豆耐密性评价的重要指标。本研究区别以往相关研究的不同是并没有采用植株耐密的表型相关性状作为评价指标,而是以关联特性(倒伏性)表现作为评价指标,更贴近实际生产,结果更真实有效。

倒伏除了与品种本身的特性有关外,环境条件是影响倒伏的关键因素。选择以倒伏率作为品种耐密性评价指标,就需要认真考虑环境的影响。同时,判定作物的耐密程度,不考虑环境的影响,显然是不科学的。本研究根据环境特点,选取了3个生态环境差异明显的试验区,可以有效保证试验结果的真实性和有效性。另外,本研究采用了GGE双标图数学模型分析方法对品种耐密性进行评价,该方法考虑品种效应的同时结合了品种和环境互作效应,由于其具有直观性和便利性的优点,现如今已广泛适用于所有二向数据资料的分析方面^[12],本研究也是对其应用的一个新的拓展。

4 结论

根据20份大豆种质在黑龙江省农业科学院哈尔滨民主试验园区、海伦市乐业园区和五大连池试验园区3个试验地的综合评价,共获得耐密性大豆品种7个,分别为黑农531、黑农94、黑农311、龙海1号、牡豆56、克豆87和克小粒1号,双标图结果显示耐密性强且多环境稳定性较好的品种为黑农94、克豆87和黑农531。

参考文献

[1] 王连铮, 罗赓彤, 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. (WANG L Z, LUO G T, WANG L, et al. Development of soybean cultivation technology with the yield over 6 tonnes per hectare for soybean cultivar Zhonghuang 35 in northern Xinjiang Province[J]. Soybean Science, 2012, 31(2): 217-223.)

[2] 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.)

[3] 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): 53-54. (GUO W Y, FU G S, YANG X Y, et al. Close planting cultivation techniques of Fengshou 24 soybean[J]. Seed World, 2009(8): 53-54.)

[4] 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.)

[5] 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.)

[6] 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 resistant soybean germplasm based on tightness tolerance index and principal component analysis [J]. Soybean Science, 2021, 40(4): 445-456.)

[7] 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. (HU K F, ZHANG Y, DONG Q Z, et al. Evaluation on density tolerance of early-maturing superior germplasm resources of soybean [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2020(12): 7-13, 18.)

[8] 朱金龙, 刘锦宇, 朱晓斌, 等. 大豆耐密植相关性状遗传调控机制研究进展[J]. 大豆科学, 2023, 42(1): 109-117. (ZHU J L, LIU J Y, ZHU X B, et al. Research progress on genetic regulatory mechanism of soybean traits related to the tolerance to high planting density [J]. Soybean Science, 2023, 42(1): 109-117.)

[9] 吕书才. 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.)

[10] 慈敦伟, 张礼凤, 汪宝卿, 等. 大豆种质资源农艺性状和产量的年份间差异及其关系[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(6): 872-880. (CI D W, ZHANG L F, WANG B Q, et al. Variation of agronomic traits and production of germplasm resources of soybean in different years and the relationship between them [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(6): 872-880.)

[11] 周蓉, 陈海峰, 王贤智, 等. 大豆产量和产量构成因子及倒伏性的QTL分析[J]. 作物学报, 2009, 35(5): 821-830. (ZHONG R, CHEN H F, WANG X Z, et al. QTL analysis of yield, yield components, and lodging in soybean [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(5): 821-830.)

[12] VINCENT J M. A manual for the practical study of root-nodule [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publishers, 1970: 164.