

大豆耐密植品种评价方法的建立及耐密种质的筛选

金武¹, 万明月¹, 李俊¹, 吕锐¹, 朱尚尚¹, 龙群¹,
陈林英¹, 苗龙¹, 高慧慧¹, 李佳佳¹, 邱丽娟², 王晓波¹

(¹安徽农业大学农学院, 合肥 230036; ²中国农业科学院作物科学研究所 / 农作物基因资源与基因改良国家重大科学工程 / 农业农村部北京大豆生物学重点实验室, 北京 100081)

摘要: 通过增加种植密度提高产量已成为大豆增产的有效途径之一。然而, 关于大豆种质资源耐密特性的综合评价体系尚未系统化。本研究旨在运用多年数据构建一套大豆耐密植评价方法, 并利用该方法对不同品种耐密特性进行评价, 进而筛选耐密型资源。选择 77 份适宜于黄淮海生态区的大豆种质资源, 分为高密度 (株距 8.0 cm, 约 31.5 万株/hm²) 与常规密度 (株距 13.0 cm, 约 19.5 万株/hm²) 播种。通过获取 2019 年和 2020 年 9 个相关性状指标进行耐密特性综合评价。与常规种植密度相比, 高密度条件下大豆植株重心高度、底荚高度和小区产量呈极显著增加 ($P < 0.01$), 株高显著性增加 ($P < 0.05$); 有效分枝数和单株粒重呈极显著性下降 ($P < 0.01$)。根据显著相关系数, 进行主成分和隶属函数标准化分析, 估算大豆耐密性综合评价值, 并根据大豆耐密性综合评价值对供试品种进行聚类分析。再综合以上试验结果, 将参试品种耐密性划分为 5 个等级, 即: I 级 (不耐密植型), II 级 (较不耐密植型), III 级 (中间型), IV 级 (较耐密植型) 和 V 级 (耐密植型)。根据该方法初步筛选出 3 个耐密植大豆品种 (五星 1 号、Motte* 和高作选 1 号), 为进一步开展大豆耐密植生理机制研究及耐密植新品种选育奠定了方法和材料基础。

关键词: 大豆; 耐密植; 评价方法; 高密度种植; 常规密度种植

Establishing an Evaluation Method for Condensed Planting and Identification of Elite Germplasm Resources in Soybean

JIN Wu¹, WAN Ming-yue¹, LI Jun¹, LYU Kun¹, ZHU Shang-shang¹, LONG Qun¹, CHEN Lin-ying¹,
MIAO Long¹, GAO Hui-hui¹, LI Jia-jia¹, QIU Li-juan², WANG Xiao-bo¹

(¹School of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036; ²Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement / Key Laboratory of Soybean Biology in Beijing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081)

Abstract: Increasing planting density has become an effective way to improve soybean yield. However, the comprehensive evaluation system to identify density-tolerant soybean germplasm resources has not been

收稿日期: 2022-01-08 修回日期: 2022-02-10 网络出版日期: 2022-03-09

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220108001>

第一作者研究方向大豆耐逆遗传育种, E-mail: 2838678383@qq.com; 万明月, 李俊为共同第一作者

通信作者: 李佳佳, 研究方向为大豆耐逆遗传育种, E-mail: lijia6862@163.com

邱丽娟, 研究方向为大豆种质资源研究, E-mail: qiulijuan@caas.cn

王晓波, 研究方向为大豆分子遗传育种, E-mail: wxbphd@163.com

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1201605, 2021YFD1201603-4); 国家大学生创新创业计划项目 (202110364053); 安徽省大学生创新创业计划项目 (S202010364128); 安徽省自然科学基金 (1908085QC105); 安徽省高校自然科学基金项目 (KJ2021A0200); 安徽农业大学大学生创新创业计划项目 (XJDC2021427); 安徽省现代农业产业技术体系建设专项资金资助; 安徽农业大学引进与稳定人才项目 (yj2018-38); 安徽省学术和技术带头人及后备人选科研活动经费 (2020H236)

Foundation projects: The National Key Research and Development Program of China (2021YFD1201605, 2021YFD1201603-4); The Innovation and Entrepreneurship Program for College Students of China (202110364053); The Innovation and Entrepreneurship Program for College Students of Anhui Province, China (S202010364128); Natural Science Foundation of Anhui Province (1908085QC105); Anhui University Natural Science Foundation-funded Project (KJ2021A0200); The Innovation and Entrepreneurship Program for College Students of Anhui Agricultural University (XJDC2021427); Supported by the Special Fund for Anhui Agriculture Research System; Talent Introduction and Stabilization Project of Anhui Agricultural University (yj2018-38); The Funds for Scientific Research Activities of Academic and Technical Leaders and Reserve Candidates in Anhui Province (2020H236)

systematized. This study attempts to construct an evaluation method based on multi-year data, followed by evaluating the density-tolerant characteristics to identify the elite soybean germplasm. Seventy-seven soybean germplasm resources suitable for Huang-Huai-Hai ecological area were sown with two densities including high-density sowing (plant spacing 8.0 cm, about 315000 plants/hm²) and conventional density sowing (plant spacing 13.0 cm, about 195000 plants/hm²). The evaluation of dense planting tolerance was conducted by obtaining nine relevant character indexes in 2019 and 2020. Compared with the conventional planting density, the height of gravity center, bottom pod and area yield of the plant were very significantly increased ($P < 0.01$), plant height significantly increased ($P < 0.05$), respectively, and the number of effective branches and seed weight per plant decreased significantly ($P < 0.01$) under high planting density. According to the significant correlation coefficient, the principal component and membership function standardization analysis were carried out to estimate the comprehensive evaluation value which was deployed for the clustering analysis. The dense planting tolerance characteristics were divided into five types (I, less dense type; II, strong less dense type; III, intermediate type; IV, strong dense type; V, dense type). Three soybean varieties (Wuxing 1, Motte*, and Gaozuoxuan 1) qualified for condensed planting were preliminarily identified. Collectively, this study established a density-tolerant evaluation method useful for developing new dense-planting varieties and studying their physiological mechanism in soybean.

Key words: soybean; tolerance to density; evaluation standard; high density planting; conventional density planting

大豆是重要的经济作物,富含植物油脂、蛋白质、异黄酮及卵磷脂等营养物质^[1-2]。尽管国家在“十三五”以来进行了全国种植业结构宏观调控并出台了扶持大豆生产发展相关的优势政策,但当前我国的大豆产业发展仍面临着相当严峻的挑战。大豆单产及其种植效益偏低的问题仍是制约我国大豆产业发展的关键因素之一^[3]。2021 年我国大豆产需缺口高达 1 亿 t 以上,年进口量达到 9651 万 t,进口依存度高达 82.77%^[4],已严重威胁我国粮食安全。因此,产量提升潜力仍需深度挖掘。提高大豆产量以满足国内市场需求也成了育种家和广大科研工作者攻关的关键领域和重要方向。

密植栽培能够有效增加作物产量已被广泛证实^[5-13]。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^[14-16]。然而,密植在增加产量的同时可能会导致作物的农艺性状出现应激反应,致使不同作物出现不同的密植效果。密植条件下,玉米的株高、穗位高、产量等呈先增加后减少的趋势,倒伏率和空秆率随密度增加而增加^[7-8]。甘蔗分蘖盛期的总苗数、株高、有效茎以及产量均与种植密度呈正相关,而茎径和田间钎度则与种植密度为负相关^[9]。向日葵盘径会随着种植密度的增加而逐渐减小,株高和百粒重则先增加后减少^[10]。由此可知,合理密植对于作

物增产增收和可持续发展至关重要。合理密植即通过不同种植密度对比试验筛选作物最适密度^[10],再结合不同栽培方式进一步提质增效,增加作物产量。如通过合理施用有机肥与密植相结合,实现作物的高产高效优质^[17]。宽幅条播与密植结合条件下,可实现燕麦的抗倒性与产量同步提升^[12]。故而适宜高密度种植的优异种质资源对于合理密植具有重要意义,因此,耐密植材料的筛选对于合理密植以及农作物增产增收至关重要。

当前,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^[18]以 147 份大豆资源群体为试验材料,分析了不同资源材料的耐密植播种特征,筛选出 6 个核心的耐密植评价性状,建立了大豆耐密植评价模型,并对大豆耐密特性进行评价和材料筛选。韩德志等^[19]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进行分析,用其结果的交集来综合评判大豆耐密特性。以上研究均以单年数据指标为评价依据,为大豆耐密植综合评价体系奠定了理论基础。然而,已有的研究表明高密度种植条件下的大豆产量与其倒伏率、重心高度及有效分枝数等多种农艺性状及环境密切相关^[20]。大豆品种的株高、主茎节数等农艺性状随着密度增加而增加,但其有效分枝数、有效荚数、单荚粒数以及荚长等随着密度的增加逐渐减小^[21]。由此可见,作物的耐密特性是较为复杂的一类综合

性状,涉及到多个农艺性状的协同作用。此外,不同年份的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^[22]。因此,判定作物的耐密程度需要根据不同年份(环境)和不同性状的总体情况形成系统性综合评价指标,进而更加准确地对大豆不同种质开展整体性评价和材料筛选鉴定。

基于此,本研究对2019年和2020年种植在安徽农业大学皖北综合试验站的77份大豆种质资源耐密植特性进行综合评价,根据显著性差异($P<0.05$)性状计算得到耐密植系数,通过主成分分

析、隶属函数标准化、耐密植综合评价值估算和聚类分析等方法,建立了一种简便高效的大豆耐密植综合评价方法,并利用该方法对大豆耐密型资源进行鉴定筛选,为大豆耐密植优异资源挖掘提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选择77份适宜于黄淮海生态区的大豆种质资源(表1),于2019年和2020年夏季在安徽农业大学皖北综合试验站播种。

表1 供试大豆品种(系)信息

Table 1 Information of soybean varieties (line) used in this study

序号 No.	名称 Name	来源地 Source	序号 No.	名称 Name	来源地 Source	序号 No.	名称 Name	来源地 Source
1	中黄 301	中国北京	27	五星 1 号	中国河北	53	8588	中国山东
2	天隆一号	中国北京	28	西垒桥黄豆	中国河北	54	高作选 1 号	中国山东
3	白毛豆	中国北京	29	小粒青豆	中国河北	55	莒选 23	中国山东
4	Amcor89	中国北京	30	汝南平顶式	中国河南	56	牛角齐大黑豆	中国山东
5	中豆 27	中国北京	31	商丘大籽黑豆	中国河南	57	齐黄 36	中国山东
6	ZDD24629	中国北京	32	沈丘平顶式	中国河南	58	齐黄 39	中国山东
7	中黄 4	中国北京	33	豫豆 11	中国河南	59	齐黄 41	中国山东
8	中黄 56	中国北京	34	郑 492	中国河南	60	齐黄 42	中国山东
9	中黄 71	中国北京	35	郑 84240-B1	中国河南	61	四粒圆	中国山东
10	中品 661	中国北京	36	郑 92116	中国河南	62	汾豆 78	中国山西
11	ZDD05182	中国安徽	37	郑 98005	中国河南	63	Flyer	美国
12	阜豆 05-10	中国安徽	38	6221-15	中国黄淮	64	MN1900	美国
13	猴子毛	中国安徽	39	Z11-256	中国黄淮	65	NS93-4118	美国
14	蒙 8206	中国安徽	40	Z11-78-1	中国黄淮	66	OAC Talbot	美国
15	皖豆 33	中国安徽	41	Z13-631-2	中国黄淮	67	Probst	美国
16	皖黄 506	中国安徽	42	Z13-631-7	中国黄淮	68	Surge	美国
17	13516	中国河北	43	Z13-633-1	中国黄淮	69	Titan	美国
18	八月忙	中国河北	44	Z13-642-4	中国黄淮	70	TN4-94	美国
19	大黑豆	中国河北	45	Z13-653-1	中国黄淮	71	Williams82	美国
20	黑豆	中国河北	46	Z13-653-6	中国黄淮	72	Zane	美国
21	黑豆	中国河北	47	淮阴青大豆	中国江苏	73	Motte*	美国
22	冀豆 4 号	中国河北	48	邳县红毛油	中国江苏	74	Musen	美国
23	乐亭小黑豆	中国河北	49	邳县拉秧黄	中国江苏	75	Nathan	美国
24	平顶黄黑豆	中国河北	50	泗豆 288	中国江苏	76	Saline	美国
25	平顶黄黑豆	中国河北	51	徐豆 11	中国江苏	77	WDD02303	意大利
26	四角齐黑豆	中国河北	52	徐豆 23	中国江苏			

1.2 田间种植方法

每个试验材料分别进行高密度与常规密度播种。高密度播种要求为行长 3.0 m, 行距 0.40 m, 株距约 8.0 cm, 合计每 667 m² 保留苗数约为 2.10 万株 (约 31.5 万株/hm²); 常规播种要求为行长 3.0 m, 行距 0.40 m, 株距约 13.0 cm, 合计每 667 m² 保留苗数约为 1.30 万株 (约 19.5 万株/hm²)。双粒精准点播, 3 行区, 高密度与常规密度 (对照) 对应排列种植。于苗期, 利用标记有不同株距的竹竿或 PVC 白色管子辅助间苗、移苗和定苗^[23]。

1.3 大豆耐密特性相关性状及测定方法

通过分析可能影响大豆耐密特性的主要农艺性状, 测定了大豆植株的重心高度、株高、底荚高度、主茎节数、有效分枝数、分枝位置、分枝长度、单株粒重和小区产量等 9 个性状, 测定方法参考《大豆种质资源描述规范和数据标准》^[24]。

1.4 数据统计与分析

使用 WPS Office 和 Excel 对原始数据进行整理与分析; 运用 SPSS 19.0 数据处理软件进行相关性分析、主成分分析、隶属函数分析及聚类分析, 采用 T 检验分析性状指标显著性, 进行耐密植大豆种质资源筛选, 并对筛选品种进行分析。数据统计与分析方法参考汪明华等^[25]。

2 结果与分析

2.1 密植对大豆生长的影响效应

对 77 份大豆种质资源进行高密度 (株距约 8.0 cm) 与常规密度播种 (株距约 13.0 cm), 结果分析表明, 除有效分枝数与分枝位置变化不明显外, 相同种质资源的农艺性状在两年的均值有很大差异, 具体表现为: 2019 年农艺性状值高于 2020 年, 即 2019 年植株整体高于 2020 年, 同时 2019 年各农艺性状的变幅也与 2020 年存在较大差异。这直接反应了年份、环境变化对于作物的显著影响。因此综合两年数据可能有助于更准确地评判参试大豆耐密特性。与常规密度相比, 高密度下的大豆植株重心高度、株高、底荚高度和小区产量在 2019 年、2020 年以及两年的平均值上均表现出增加趋势。其中, 植株重心高度、底荚高度和小区产量均表现出极显著增加 ($P<0.01$), 株高显著增加 ($P<0.05$) (表 2)。而主茎节数、有效分枝数、分枝位置、分枝长度和单株粒重在 2019 年、2020 年以及两年的平均值上均表现出下降趋势, 并且有效分枝数和单株粒重均极显著下降 ($P<0.01$), 主茎节数显著下降

($P<0.05$) (表 2)。综上所述, 密植条件下大豆各农艺性状的变化趋势不同, 因此进行农艺性状的综合分析更有利于大豆耐密特性的评判。

2.2 大豆耐密指数及其相关性分析

为了探究大豆植株不同农艺性状受密度条件的影响程度, 利用高密处理与常规处理的各性状比值即耐密指数进行比较分析。结果表明, 大豆底荚高度、有效分枝数、分枝位置、分枝长度、单株粒重、小区产量等的两年平均变异系数在 23.73% ~ 48.05% 之间, 变异幅度较大; 而大豆的重心高度、株高、主茎节数等的变异系数在 7.57% ~ 13.74% 之间, 变异幅度较小 (表 3), 说明不同耐密植性状之间的耐密指数变异幅度不同。即使是差异极显著的重心高度、底荚高度、有效分枝数、单株粒重和小区产量, 以及差异显著的株高和主茎节数 (表 2), 其变异系数也表现出较大的浮动范围。因此, 直接用单个耐密植性状的耐密植系数来判断或鉴定大豆种质资源的耐密植等级标准过于简单和不可靠。

为了更准确地评价大豆耐密等级, 本研究对单个农艺性状两年均值的耐密指数进行了相关性分析 (表 4)。结果表明, 各农艺性状之间存在一定的相关性, 如重心高度与株高、主茎节数、分枝长度、单株粒重极显著相关; 株高与主茎节数、分枝位置、单株粒重极显著相关 ($P<0.01$) 等, 综上所述单个性状耐密指数存在信息上的重叠, 不能够有效评价大豆品种的耐密特性, 只有系统地整合各性状的耐密植系数, 运用多元综合分析方法才能更准确地评价大豆的耐密植能力。

2.3 大豆耐密指数主成分分析

基于相关性分析结果, 对重心高度、株高、底荚高度、主茎节数、有效分枝数、分枝位置、分枝长度、单株粒重和小区产量等 9 个目标性状进行主成分分析。按照特征值大于 1 的准则提取主成分, 获得 3 个主成分因子, 其累积贡献率达到 66.23%。各性状的成分矩阵分析结果显示, 重心高度 (0.85)、株高 (0.88)、主茎节数 (0.70)、分枝长度 (0.72)、单株粒重 (0.62) 与第 1 主成分相关性较高, 说明第 1 主成分基本上反映了这些性状的信息; 同理, 有效分枝数 (0.89)、分枝位置 (0.69) 与第 2 主成分相关性较高, 底荚高度 (0.80)、小区产量 (0.42) 与第 3 主成分相关性较高, 表明第 2 主成分和第 3 主成分基本上反映了其对应性状的特征信息 (表 5)。因此, 提取的 3 个主成分能够综合反映出 9 个性状的信息, 利用这 3 个主成分可以进一步对大豆耐密植特性进行评价。

表 2 供试大豆品种(系)各农艺性状方差分析结果

Table 2 Variance analysis results of agronomic characters of soybean varieties (lines) used in this study

性状 Trait	处理 Treat	趋势 Trend	2019 年 In 2019			2020 年 In 2020			两年均值 Two years Mean		
			变幅 (%)	均值 ± 标准差	F	变幅 (%)	均值 ± 标准差	F	变幅 (%)	均值 ± 标准差	F
			Range	Mean ± SD		Range	Mean ± SD		Range	Mean ± SD	
重心高度 (cm)	高密种植	上升	33.44	37.79 ± 7.73	13.67**	19.72	22.98 ± 4.57	3.16	22.48	30.39 ± 4.88	12.67**
HCG	常规种植		30.58	33.68 ± 5.97		17.90	21.78 ± 3.82		23.57	27.73 ± 4.38	
株高 (cm)	高密种植	上升	124.78	71.33 ± 19.77	5.57*	62.28	48.33 ± 11.09	4.37*	90.74	59.83 ± 13.19	6.67*
PH	常规种植		85.78	64.92 ± 13.34		72.68	44.74 ± 10.16		74.23	54.83 ± 10.71	
底荚高度 (cm)	高密种植	上升	14.30	12.50 ± 3.50	17.63**	14.18	8.91 ± 2.92	2.21	10.50	10.71 ± 2.71	11.69**
HBP	常规种植		14.64	10.30 ± 2.99		15.26	8.18 ± 3.17		13.39	9.24 ± 2.62	
主茎节数	高密种植	下降	14.00	15.87 ± 2.57	5.46*	12.00	14.11 ± 1.95	3.58	11.50	14.99 ± 2.03	5.63*
NNMS	常规种植		11.60	16.80 ± 2.34		12.00	14.72 ± 2.02		11.70	15.76 ± 1.98	
有效分枝数	高密种植	下降	4.80	1.71 ± 0.97	19.58**	7.00	2.74 ± 1.60	14.24**	5.50	2.22 ± 1.67	20.89**
ENB	常规种植		6.00	2.52 ± 1.30		9.80	3.74 ± 1.66		6.00	3.13 ± 1.29	
分枝位置 (cm)	高密种植	下降	5.30	4.37 ± 1.19	0.02	6.77	4.35 ± 1.43	2.49	5.32	4.36 ± 1.19	0.91
BP	常规种植		6.92	4.40 ± 1.35		6.66	4.69 ± 1.24		5.98	4.55 ± 1.20	
分枝长度 (cm)	高密种植	下降	51.75	29.80 ± 11.41	1.27	39.67	14.58 ± 7.20	8.14**	43.51	22.19 ± 8.14	4.14
BL	常规种植		50.46	31.80 ± 10.55		45.97	17.82 ± 6.89		47.03	24.81 ± 7.81	
单株粒重 (g)	高密种植	下降	86.58	14.64 ± 10.33	3.67*	18.92	9.24 ± 4.22	29.53**	44.17	11.95 ± 5.72	14.70**
SWPP	常规种植		41.00	17.48 ± 7.88		22.02	13.45 ± 5.32		23.45	15.47 ± 5.67	
小区产量 (g)	高密种植	上升	1555.40	689.33 ± 295.35	3.18	1085.20	634.45 ± 234.02	12.23**	1057.30	661.89 ± 226.72	8.64**
AY	常规种植		1305.20	606.47 ± 281.39		1002.50	502.14 ± 235.56		972.50	554.30 ± 227.37	

*: $P < 0.05$ 水平上显著水平; **: $P < 0.01$ 水平上极显著水平; 下同

*: Significant different at 0.05 probability level; **: Significant different at 0.01 probability level; HCG: High of center of gravity; PH: Plant height; HBP: High of bottom pod; NNMS: Number of nodes of main stem; ENB: Effective number of branches; BP: Branch position; BL: Branch length; SWPP: Seed weight of per plants; AY: Area yield; The same as below

表 3 不同大豆品种(系)各农艺性状的耐密指数

Table 3 Density tolerance index of agronomic characters in different soybean varieties (lines)

性状 Trait	2019 年 In 2019				2020 年 In 2020				两年均值 Two years Mean			
	极小 值	极大 值	均值 ± 标 准差	变异 系数	极小 值	极大 值	均值 ± 标 准差	变异 系数	极小 值	极大 值	均值 ± 标 准差	变异 系数
	Min.	Max..	Mean ± SD	(%) CV	Min.	Max.	Mean ± SD	(%) CV	Min.	Max.	Mean ± SD	(%) CV
重心高度 HCG	0.75	1.80	1.14 ± 0.23	19.95	0.48	1.44	1.06 ± 0.16	15.12	0.76	1.54	1.10 ± 0.14	12.34
株高 PH	0.77	1.77	1.11 ± 0.25	22.85	0.70	1.54	1.09 ± 0.15	13.79	0.82	1.50	1.10 ± 0.15	13.74
底荚高度 HBP	0.68	3.60	1.27 ± 0.42	33.28	0.31	2.16	1.18 ± 0.39	32.88	0.63	2.76	1.20 ± 0.29	24.11
主茎节数 NNMS	0.68	1.22	0.95 ± 0.11	12.06	0.77	1.20	0.96 ± 0.08	7.81	0.79	1.11	0.95 ± 0.07	7.57
有效分枝数 ENB	0.10	2.33	0.74 ± 0.35	47.71	0.14	1.54	0.73 ± 0.26	34.96	0.22	1.25	0.71 ± 0.20	28.06
分枝位置 BP	0.63	5.00	1.07 ± 0.51	47.81	0.29	1.64	0.93 ± 0.23	24.54	0.52	2.53	0.98 ± 0.23	23.73
分枝长度 BL	0.33	2.20	1.00 ± 0.42	42.16	0.14	1.77	0.83 ± 0.30	36.26	0.38	1.73	0.92 ± 0.28	30.87
单株粒重 SWPP	0.28	6.23	0.98 ± 0.81	82.87	0.21	2.15	0.72 ± 0.27	37.42	0.38	3.27	0.82 ± 0.39	48.05
小区产量 AY	0.44	4.47	1.27 ± 0.61	48.39	0.13	3.67	1.41 ± 0.61	42.87	0.75	2.58	1.27 ± 0.37	28.83

表 4 不同大豆品种(系)各农艺性状耐密指数的相关系数
Table 4 Correlation coefficient of density tolerance index of agronomic characters in different soybean varieties (lines)

性状 Trait	重心高度 HCG	株高 PH	底荚高度 HBP	主茎节数 NNMS	有效分枝数 ENB	分枝位置 BP	分枝长度 BL	单株粒重 SWPP
株高 PH	0.82**							
底荚高度 HBP	0.14	0.17						
主茎节数 NNMS	0.55**	0.53**	0.11					
有效分枝数 ENB	0.01	0.11	-0.29**	0.02				
分枝位置 BP	0.02	0.33**	0.06	0.06	0.56**			
分枝长度 BL	0.52**	0.49	-0.07	0.41**	0.26*	0.07		
单株粒重 SWPP	0.39**	0.40**	-0.10	0.32**	0.11	0.19*	0.39**	
小区产量 AY	0.21*	0.18	-0.02	0.06	-0.24*	-0.04	0.19*	0.16

表 5 9 个密植相关性状主成分总方差解释
Table 5 Principal component total variance interpretation of nine dense planting related traits

性状 Trait	特征值 Eigenvalue			成分矩阵 Component matrix		
	1	2	3	1	2	3
重心高度 HCG	0.48	-0.19	0.05	0.85	-0.25	0.05
株高 PH	0.50	-0.04	0.19	0.88	-0.05	0.21
底荚高度 HBP	0.05	-0.32	0.74	0.09	-0.41	0.80
主茎节数 NNMS	0.40	-0.12	0.10	0.70	-0.16	0.11
有效分枝数 ENB	0.12	0.68	-0.01	0.22	0.89	-0.01
分枝位置 BP	0.17	0.53	0.34	0.30	0.69	0.37
分枝长度 BL	0.41	0.05	-0.26	0.72	0.07	-0.28
单株粒重 SWPP	0.35	0.08	-0.26	0.62	0.10	-0.28
小区产量 AY	0.15	-0.30	-0.39	0.26	-0.39	-0.42
特征值 Eigenvectors	3.10	1.69	1.17			
贡献率(%) Contribution ratio	34.47	18.78	12.97			
累积贡献率(%) Cumulative contribution ratio	34.47	53.26	66.23			

2.4 大豆耐密植综合评价标准的建立

基于上述转化合成的 3 个综合性评价指标,对其进行标准化分析,计算获得隶属函数值及其相应权重。基于权重值,获得大豆品种耐密植综合评价值(M),并根据 M 值的大小划分不同大豆品种适应高密度种植条件的特点,M 值越大表明其耐密能力越强,反之越差。如表 6 所示,MN1900 的 M 值为 0.26,耐密能力弱,五星 1 号的 M 值为 0.72,耐密植能力最强。为更好地评价大豆耐密特性,基于 M 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,结果显示,当欧氏距离为 2.0 时可

以清楚地反映出各品种耐密植特性分级层次,初步将 77 个参试品种划分为 7 大类(图 1)。根据聚类分析结果并结合 M 值综合评价,可知,品种相似性聚类与根据 M 值大小的分类基本相符。因此,为了确保筛选出的大豆品种耐密特性的准确度以及足够进行下一步研究的品种数,可将参试品种划分为 5 个等级(表 6),即 I 级,不耐密植型 2 个($M \leq 0.27$); II 级,较不耐密植型 25 个($0.27 < M \leq 0.37$); III 级,中间型 33 个($0.37 < M \leq 0.47$); IV 级,较耐密植型 14 个($0.47 < M \leq 0.57$)和 V 级,耐密植型 3 个($M > 0.57$)。

表 6 供试大豆品种(系)耐密植综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation of density tolerance of soybean varieties (lines) in this study

筛选编号 Filter number	名称 Name	2019 年 In 2019	2020 年 In 2020	两年均值 Two years Mean	等级 Grade	筛选编号 Filter number	名称 Name	2019 年 In 2019	2020 年 In 2020	两年均值 Two years Mean	等级 Grade
MZ001	五星 1 号	0.78	0.66	0.72	V	MZ040	商丘大籽黑豆	0.35	0.46	0.41	
MZ002	Motte*	0.42	0.88	0.65		MZ041	邳县拉秧黄	0.33	0.48	0.41	
MZ003	高作选 1 号	0.61	0.6	0.61		MZ042	大黑豆	0.26	0.55	0.41	
MZ004	Z13-642-4	0.54	0.57	0.55	IV	MZ043	皖豆 33	0.24	0.57	0.4	
MZ005	阜豆 05-10	0.6	0.47	0.54		MZ044	皖黄 506	0.42	0.38	0.4	
MZ006	沈丘平顶式	0.34	0.74	0.54		MZ045	徐豆 11	0.36	0.44	0.4	
MZ007	中黄 301	0.48	0.57	0.53		MZ046	邳县红毛油	0.27	0.52	0.39	
MZ008	齐黄 39	0.46	0.55	0.5		MZ047	黑豆	0.43	0.35	0.39	
MZ009	猴子毛	0.29	0.72	0.5		MZ048	中黄 71	0.27	0.52	0.39	
MZ010	WDD02303	0.52	0.49	0.5		MZ049	中黄 56	0.37	0.42	0.39	
MZ011	中品 661	0.47	0.53	0.5		MZ050	Z13-633-1	0.42	0.35	0.39	
MZ012	白毛豆	0.4	0.6	0.5		MZ051	Z13-631-7	0.26	0.47	0.37	II
MZ013	莒选 23	0.42	0.57	0.49		MZ052	TN4-94	0.31	0.42	0.37	
MZ014	Z13-653-6	0.48	0.5	0.49		MZ053	乐亭小黑豆	0.11	0.62	0.36	
MZ015	Musen	0.23	0.75	0.49		MZ054	Z11-256	0.33	0.39	0.36	
MZ016	Jan-37	0.26	0.7	0.48		MZ055	郑 92116	0.3	0.41	0.35	
MZ017	Surge	0.51	0.44	0.48		MZ056	汾豆 78	0.27	0.43	0.35	
MZ018	Probst	0.43	0.51	0.47	III	MZ057	8588	0.15	0.54	0.35	
MZ019	淮阴青大豆	0.27	0.67	0.47		MZ058	郑 84240-B1	0.18	0.52	0.35	
MZ020	Zane	0.33	0.61	0.47		MZ059	6221-15	0.33	0.36	0.35	
MZ021	Flyer	0.48	0.45	0.46		MZ060	郑 492	0.14	0.55	0.35	
MZ022	西垒桥黄豆	0.52	0.41	0.46		MZ061	泗豆 288	0.22	0.47	0.34	
MZ023	蒙 8206	0.48	0.43	0.45		MZ062	Amcor89	0.33	0.35	0.34	
MZ024	Z13-631-2	0.3	0.61	0.45		MZ063	齐黄 36	0.24	0.44	0.34	
MZ025	汝南平顶式	0.32	0.58	0.45		MZ064	八月忙	0.2	0.47	0.34	
MZ026	ZDD24629	0.37	0.52	0.44		MZ065	天隆一号	0.3	0.36	0.33	
MZ027	NS93-4118	0.3	0.59	0.44		MZ066	豫豆 11	0.29	0.37	0.33	
MZ028	Nathan	0.2	0.68	0.44		MZ067	小粒青豆	0.22	0.43	0.33	
MZ029	Z13-653-1	0.32	0.55	0.44		MZ068	齐黄 41	0.27	0.36	0.32	
MZ030	牛角齐大黑豆	0.33	0.54	0.43		MZ069	中豆 27	0.23	0.4	0.31	
MZ031	Saline	0.41	0.44	0.43		MZ070	中黄 4	0.23	0.39	0.31	
MZ032	徐豆 23	0.37	0.49	0.43		MZ071	Z11-78-1	0.24	0.33	0.28	
MZ033	ZDD05182	0.3	0.55	0.43		MZ072	Williams82	0.32	0.24	0.28	
MZ034	冀豆 4 号	0.37	0.47	0.42		MZ073	Titan	0.27	0.29	0.28	
MZ035	四粒圆	0.4	0.44	0.42		MZ074	齐黄 42	0.16	0.4	0.28	
MZ036	郑 98005	0.26	0.58	0.42		MZ075	四角齐黑豆	0.15	0.42	0.28	
MZ037	平顶黄黑豆	0.23	0.6	0.42		MZ076	OAC Talbot	0.24	0.3	0.27	I
MZ038	平顶黄黑豆	0.2	0.63	0.42		MZ077	MN1900	0.14	0.37	0.26	
MZ039	黑豆	0.31	0.52	0.41							

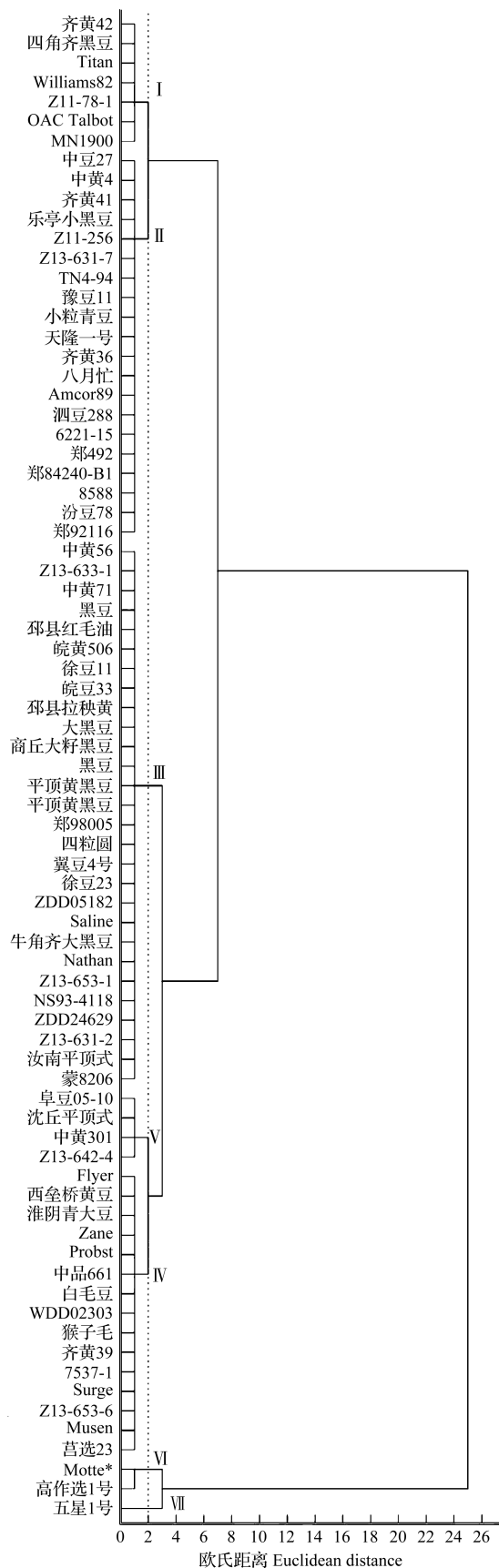


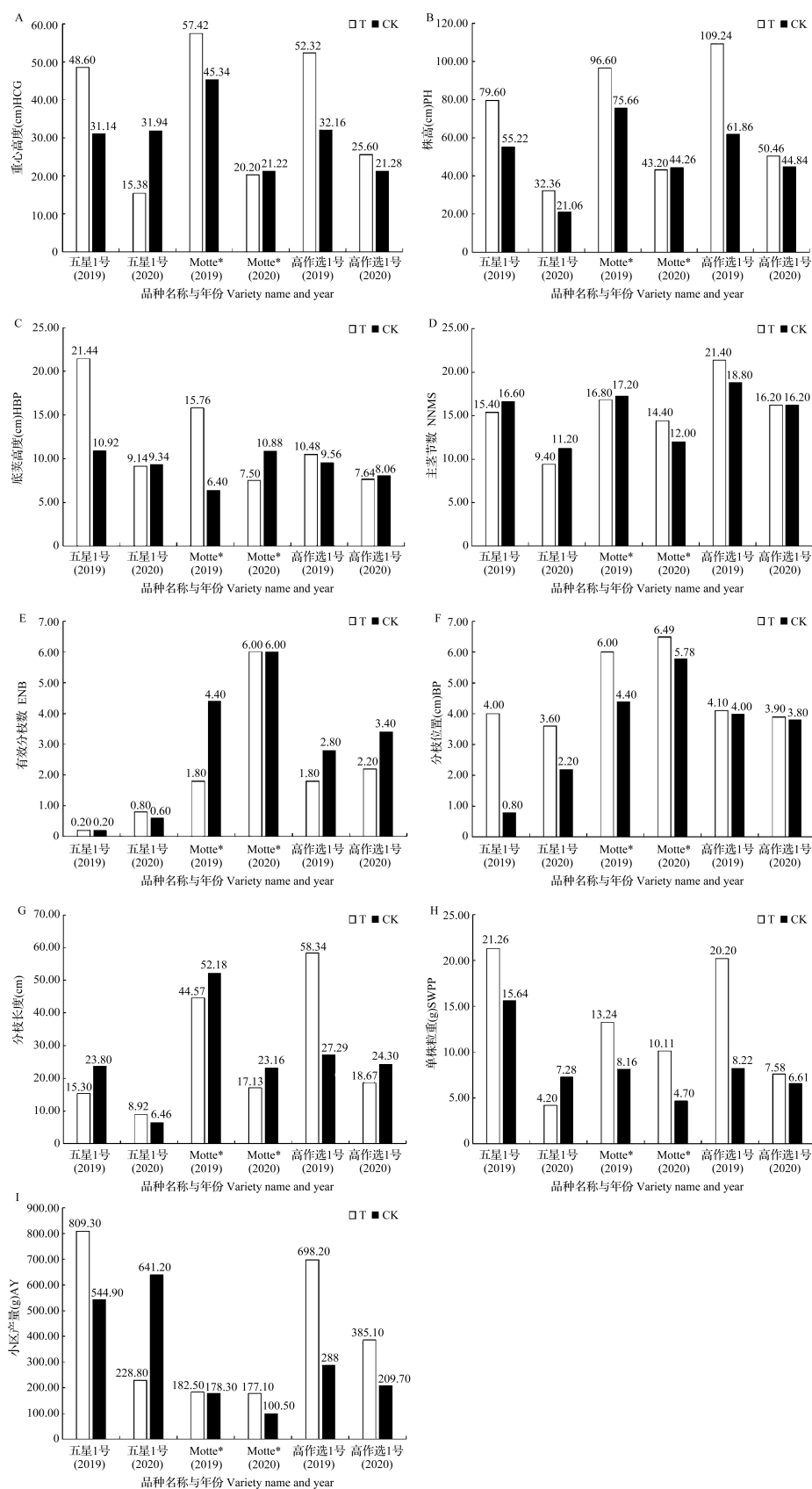
图1 77份大豆品种(系)系统聚类分析结果
Fig.1 The systematic cluster analysis results of 77 soybean varieties (lines)

2.5 耐密植大豆种质资源筛选及特点分析

根据上述构建的大豆耐密植评价标准,初步筛选出3个耐密植型种质,五星1号、Motte*、高作选1号(表6、图1)。由图2可知,从不同品种来看,虽然都是耐密品种,但在株距8 cm密植处理条件下,其各个性状的变化趋势不尽相同;从年份变化上可知,相较于2019年,2020年大豆植株的重心高度、株高、底荚高度、主茎节数、分枝长度、单株粒重和小区产量均呈现较低状态,这与研究结果的整体性是一致的。总体而言,常规密度下,所筛选的3个耐密型品种株高最高仅为75.66 cm,但主茎节数最少为11.20节,甚至达到18.80节,可见所选材料符合一般规律下的矮秆资源。在2019年环境条件下,高密度处理后大豆植株重心高度、株高、底荚高度等不同程度的增高,单株粒重和小区产量也有不同程度的增幅;尽管2020年密植条件下的五星1号受环境因子影响导致产量波动较大,但3个种质在2019年和2020年的平均产量仍为26.4%左右的增幅,由此可见,初步筛选出的3个耐密植大豆资源的耐密植特性是可预期的。

3 讨论

如何调节大豆个体与群体生长发育间的关系,充分利用地力、肥力和环境等条件,从而提高光能利用率、增加作物产量是农业科学家关注的重要科学问题之一。本研究综合两年数据总体分析发现,相较于常规种植密度,高密度种植显著或极显著增加了大豆植株重心高度、株高、底荚高度和小区产量;而主茎节数、有效分枝数、分枝位置、分枝长度和单株粒重呈下降趋势,且主茎节数、有效分枝数和单株粒重表现为极显著下降($P<0.01$)。以上结果表明,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,这与前人的研究结果是一致的^[26-29]。此外,2019年农艺性状的整体水平高于2020年的,且变幅也更大,说明2019年植株的农艺性状稳定程度波动较大,作为综合评价耐密特性的耐密性综合评价值也体现出这种规律,品种稳定性表现高的耐密性综合评价值也相对较大,显示出年份、环境对于大豆植株表型的影响。因此,合理密植可能是调节作物个体与群体之间发育关系,协调植株生长及其农艺性状高效平衡发展的重要技术保障^[30],对大豆产业提质增效和高质量发展具有重要作用。



T: 密植处理 (株距 8 cm); CK: 常规密度处理 (株距 13 cm)

T: Dense planting treatment (plant spacing 8 cm); CK: Conventional density treatment (plant spacing 13 cm)

图 2 耐密植大豆品种 (系) 植株各农艺性状比较分析

Fig.2 Comparative analysis of agronomic characters of soybean varieties (lines) with dense planting tolerance

由前人研究报道可知大豆的耐密特性评价是复杂的^[18-19],且本研究中两年试验数据显著性指标间也存在差异,说明不同年份间气候和环境因子的差异可能会导致研究结果出现偏差。因此为了降低年份、环境等因素对试验的影响,更精准地获得大豆耐密植特性的评价和鉴定结果,本研究综合了两年两点密植数据进行主成分分析和隶属函数标准化以及聚类分析,构建了一套大豆耐密植综合评价方法,并基于该方法将参试品种耐密特性初步划分为 5 个等级(表 6),结果显示该分级标准与田间考种数据结果基本一致,表明该评价方法可用于大豆耐密植种质资源的筛选和鉴定。根据该方法初步筛选出 3 个耐密植大豆品种(五星 1 号、Motte* 和高作选 1 号)。通过对 3 个耐密植品种两年数据分析可知,常规密度下,其株高适宜、主茎节数偏多;2019 年环境条件下,高密度种植的重心高度、底荚高度、株高和小区产量均有不同程度的增幅,2020 年数据总体符合此规律。表明这 3 个品种符合矮秆资源株高要求和增产潜力大等特点,能够为大豆合理密植提供材料资源。

综上所述,合理密植是提高大豆产量、挖掘其潜能的有效措施之一。但是不同年份间气候、环境因子等变化造成作物的耐密特性复杂多变,可能会降低密植效果。因此,建立科学的综合性评价方法并对耐密植优异种质资源进行筛选挖掘,对于大豆合理密植栽培技术推广和应用及其产业化发展都具有重要的实际生产意义。

4 结论

大豆是世界上重要的经济作物,目前单产低下仍是制约我国大豆产业发展的重要因素。通过增加种植密度,可以有效提高大豆产量。然而,关于大豆种质资源耐密特性的综合评价方法尚未系统化,限制了其高密度栽培技术的发展。本研究从适宜于黄淮海生态区的大豆种质资源中选择 77 份遗传材料,通过获取两年 9 个相关性状指标,最大程度上排除年份、环境的干扰,构建了一套大豆耐密植综合评价方法,并利用该方法初步筛选出 3 个耐密植大豆品种(五星 1 号、Motte* 和高作选 1 号),为进一步开展耐密植生理机制研究以及大豆耐密植新品种选育奠定了方法和材料基础。

参考文献

[1] Li B, Tian L, Zhang J Y, Huang L, Han F X, Yan S R, Wang L Z, Zheng H K, Sun J M. Construction of a high-density

genetic map based on large-scale markers developed by specific length amplified fragment sequencing (SLAF-seq) and its application to QTL analysis for isoflavone content in *Glycine max*. BMC Genomics, 2014, 15: 1086

- [2] Li Y H, Zhou G Y, Ma J X, Jiang W K, Jin L G, Zhang Z H, Guo Y, Zhang J B, Sui Y, Zheng L T, Zhang S S, Zuo Q Y, Shi X H, Li Y F, Zhang W K, Hu Y Y, Kong G Y, Hong H L, Tan B, Song J, Liu Z X, Wang Y S, Ruan H, Yeung C K, Liu J, Wang H, Zhang L J, Guan R X, Wang K J, Li W B, Chen S Y, Chang R Z, Jiang Z, Jackson S A, Li R Q, Qiu L J. De Novo assembly of soybean wild relatives for pan-genome analysis of diversity and agronomic traits. Nature Biotechnology, 2014, 32: 1045-1052
- [3] Li J J, Han S H, Ding X L, He T T, Dai J Y, Yang S P, Gai J Y. Comparative transcriptome analysis between the cytoplasmic male sterile line NJCMS1A and its maintainer NJCMS1B in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). PLoS ONE, 2015, 10: e0126771
- [4] 徐向梅. 加快推进大豆产业振兴. 经济日报, 2022-03-28 (011)
- Xu X M. Accelerate the revitalization of soybean industry. Economic Daily, 2022-03-28 (011)
- [5] 胡燕琳, 姚陆铭, 徐永平, 周强, 王彪, 武天龙. 扁豆密植栽培技术研究. 中国农学通报, 2012, 28 (1): 264-268
- Hu Y L, Yao L M, Xu Y P, Zhou Q, Wang B, Wu T L. Study on lablab purpureus high density cultivation technique. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28 (1): 264-268
- [6] 赵永国, 程勇, 陆光远, 徐劲松, 付桂萍, 邹锡玲, 乔醒, 刘清云, 张学昆. 密植条件下国审冬油菜品种主要性状特点与差异. 中国油料作物学报, 2015, 37 (3): 285-290
- Zhao Y G, Cheng Y, Lu G Y, Xu J S, Fu G P, Zou X L, Qiao X, Liu Q Y, Zhang X K. Characteristics and variation of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under high density. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2015, 37 (3): 285-290
- [7] 邢锦丰, 赵久然, 黄长玲, 段民孝, 王元东, 张雪原, 王继东. 密植育种法在选育玉米自交系中的应用. 玉米科学, 2008, 16 (2): 54-55
- Xing J F, Zhao J R, Huang C L, Duan M X, Wang Y D, Zhang X Y, Wang J D. The significance of selecting maize inbred lines under high density. Journal of Maize Science, 2008, 16 (2): 54-55
- [8] 郑迎霞, 陈杜, 魏鹏程, 卢平, 杨锦越, 罗上轲, 叶开梅, 宋碧. 种植密度对贵州春玉米茎秆抗倒伏性能及籽粒产量的影响. 作物学报, 2021, 47 (4): 738-751
- Zheng Y X, Chen D, Wei P C, Lu P, Yang J Y, Luo S K, Ye K M, Song B. Effects of planting density on lodging resistance and grain yield of spring maize stalks in Guizhou province. Acta Agronomica Sinica, 2021, 47 (4): 738-751
- [9] 丘立杭, 范业庚, 周慧文, 陈荣发, 黄杏, 罗含敏, 杨荣仲, 段维兴, 刘俊仙, 吴建明. 合理密植下强分蘖甘蔗品种性状及产量分析. 热带作物学报, 2019, 40 (6): 1075-1082
- Qiu L H, Fan Y G, Zhou H W, Chen R F, Huang X, Luo H M, Yang R Z, Duan W X, Liu J X, Wu J M. Analysis of rational close planting with agronomic traits and yield in intense tillering ability sugarcane variety. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40 (6): 1075-1082

- [10] 张红,郑洪元,王文浩,刘文俊,何丽芬,闫玉星.不同种植密度对向日葵农艺性状及产量的影响.现代农业科技,2017(22):17-19
Zhang H, Zheng H Y, Wang W H, Liu W J, He L F, Yan Y X. Influence of different planting densities on agronomic traits and yield of sunflower. Modern Agricultural Science and Technology, 2017(22): 17-19
- [11] 谢小兵,周雪峰,蒋鹏,陈佳娜,张瑞春,伍丹丹,曹放波,单双吕,黄敏,邹应斌.低氮密植栽培对超级稻产量和氮素利用率的影响.作物学报,2015,41(10):1591-1602
Xie X B, Zhou X F, Jiang P, Chen J N, Zhang R C, Wu D D, Cao F B, Shan S L, Huang M, Zou Y B. Effect of low nitrogen rate combined with high plant density on grain yield and nitrogen use efficiency in super rice. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(10): 1591-1602
- [12] 冯学颖,米俊珍,刘景辉,赵宝平,王英,田露,陈晓晶,王欣欣.宽幅条播和种植密度对燕麦抗倒伏性及产量的影响.麦类作物学报,2021,41(7):1-7
Feng X Y, Mi J Z, Liu J H, Zhao B P, Wang Y, Tian L, Chen X J, Wang X X. Effect of wide range drilling and planting density on lodging resistance and yield of oat. Journal of Triticaceae Crops, 2021, 41(7): 1-7
- [13] 娄洪祥,姬建利,蒯婕,汪波,徐亮,李真,刘芳,黄威,刘暑艳,尹羽丰,王晶,周广生.种植密度对油菜正反交组合产量与倒伏相关性状的影响.作物学报,2021,47(9):1724-1740
Lou H X, Ji J L, Kuai J, Wang B, Xu L, Li Z, Liu F, Huang W, Liu S Y, Yin Y F, Wang J, Zhou G S. Effects of planting density on yield and lodging related characters of reciprocal hybrids in *Brassica napus* L.. Acta Agronomica Sinica, 2021, 47(9): 1724-1740
- [14] 王连铮,罗庚彤,王岚,孙君明,战勇.北疆春大豆中黄35公顷产量超6吨的栽培技术创建.大豆科学,2012,31(2):217-223
Wang L Z, Luo G T, Wang L, Sun J M, Zhan Y. Development of soybean cultivation technology with the yield over 6 tonnes per hectare for soybean cultivar Zhonghuang 35 in northern Xinjiang province. Soybean Science, 2012, 31(2): 217-223
- [15] 郭泰,郭美玲,冯宪忠,李灿东,王志新,郑伟,赵海红,罗庚彤.矮秆耐密植大豆新品种合农91选育与高产创建.大豆科学,2019,38(4):664-667
Guo T, Guo M L, Feng X Z, Li C D, Wang Z X, Zheng W, Zhao H H, Luo G T. Breeding and high yield establishment of dwarf stalks resistant to dense planting new soybean variety Henong 91. Soybean Science, 2019, 38(4): 664-667
- [16] 郭文义,伏广山,杨兴勇,崔丽.丰收24大豆密植栽培技术.种子世界,2009(8):59-60
Guo W Y, Fu G S, Yang X Y, Cui L. Dense planting technology of Fengshou 24 soybean. Seed World, 2009(8): 59-60
- [17] 任廷虎,李宗尧,杜斌,张兴惠,徐铮,高大鹏,郑宾,赵伟,李耕,宁堂原.有机肥施用及合理密植提高黄淮海地区夏大豆光系统性能与籽粒产量.植物营养与肥料学报,2021,27(8):1361-1375
Ren T H, Li Z Y, Du B, Zhang X H, Xu Z, Gao D P, Zheng B, Zhao W, Li G, Ning T Y. Improving photosynthetic performance and yield of summer soybean by organic fertilizer application and increasing plant density. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2021, 27(8): 1361-1375
- [18] 李灿东.大豆种质资源耐密性评价及鉴定指标筛选.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. Soybean Science, 2020, 39(5): 688-695
- [19] 韩德志,王舒,贾鸿昌,张雷,鹿文成,李英慧,邱丽娟.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.大豆科学,2021,40(4):445-456
Han D Z, Wang S, Jia H C, Zhang L, Lu W C, Li Y H, Qiu L J. Comprehensive evaluation and screening of high density resistant soybean germplasm based on tightness tolerance index and principal component analysis. Soybean Science, 2021, 40(4): 445-456
- [20] 李灿东,郭泰,王志新,郑伟,张振宇,赵海红,郭美玲,李志民.大豆耐密性状的产量相关分析.大豆科学,2019,38(6):862-867
Li C D, Guo T, Wang Z X, Zheng W, Zhang Z Y, Zhao H H, Guo M L, Li Z M. Correlation analysis of density tolerance traits and yield on soybean. Soybean Science, 2019, 38(6): 862-867
- [21] 田艺心,高凤菊,徐冉.种植密度对高蛋白大豆经济性状和产量的影响.中国油料作物学报,2017,39(4):476-482
Tian Y X, Gao F J, Xu R. Effect of planting density on economic characteristics and yield of different high protein soybean. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2017, 39(4): 476-482
- [22] 慈敦伟,张礼凤,汪宝卿,王彩洁,李伟,徐冉.大豆种质资源农艺性状和产量的年份间差异及其关系.植物遗传资源学报,2011,12(6):872-880
Ci D W, Zhang L F, Wang B Q, Wang C J, Li W, Xu R. Variation of agronomic traits and production of germplasm resources of soybean in different years and the relationship between them. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(6): 872-880
- [23] 中华人民共和国农业农村部. NY/T 1293-2007. 黄淮海地区高蛋白夏大豆栽培技术规程.北京:中国质量标准出版传媒有限公司,2007
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. NY/T 1293-2007. Technical regulations for planting Summer-sowing high protein soybean in Huanghuaihai region. Beijing: China Quality and Standards Publishing & Media Co., Ltd., 2007
- [24] 邱丽娟,常汝镇.大豆种质资源描述规范和数据标准.北京:中国农业出版社,2006
Qiu L J, Chang R Z. Descriptors and data standard for soybean (*Glycine*-spp.). Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [25] 汪明华,李佳佳,陆少奇,邵文韬,程安东,张文明,王晓波,邱丽娟.大豆品种耐高温特性的评价方法及耐高温种质筛选与鉴定.植物遗传资源学报,2019,20(4):891-902
Wang M H, Li J J, Lu S Q, Shao W T, Cheng A D, Zhang W M, Wang X B, Qiu L J. Construction of evaluation standard for tolerance to high-temperature and screening of heat-tolerant germplasm resources in soybean. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(4): 891-902

- [26] 张瑞朋,付连舜,佟斌,吴晓秋,刘成元,朱海荣,孙国伟. 密度及行距对不同大豆品种农艺性状及产量的影响. 大豆科学, 2015, 34 (1): 52-55
Zhang R P, Fu L S, Tong B, Wu X Q, Liu C Y, Zhu H R, Sun G W. Effect of plant density and row spacing on agronomic characteristics and yield for different soybean. Soybean Science, 2015, 34 (1): 52-55
- [27] 陈维,金月龄,何大智,俞玮. 种植密度对安豆 9 号农艺性状及产量的影响. 中国种业, 2021 (8): 72-74
Chen W, Jin Y L, He D Z, Yu W. Effects of planting density on agronomic traits and yield of Andou 9. China Seed Industry, 2021 (8): 72-74
- [28] 田艺心,高凤菊,曹鹏鹏,高祺. 黄淮海高蛋白夏大豆新品种适宜种植密度研究. 大豆科学, 2021, 40 (3): 362-369
Tian Y X, Gao F J, Cao P P, Gao Q. Optimal planting density of new high protein summer soybean varieties in Huang-huai-hai region. Soybean Science, 2021, 40 (3): 362-369
- [29] 于晓波,梁建秋,何泽民,吴海英,张明荣. 株行距配置对大豆农艺性状和产量的影响. 大豆科学, 2021, 40 (4): 482-489
Yu X B, Liang J Q, He Z M, Wu H Y, Zhang M R. Effects of different spacing configurations on soybean agronomic traits and yield. Soybean Science, 2021, 40 (4): 482-489
- [30] 王凯欣,程子萌,杨艺涵,张德贵,李新海,史利玉. 我国不同年代玉米自交系茎秆性状演替规律. 植物遗传资源学报, 2021, 22 (1): 157-164
Wang K X, Cheng Z M, Yang Y H, Zhang D G, Li X H, Shi L Y. Evolution of Stem-related traits of maize inbred lines through different decades in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22 (1): 157-164