

不同基因型大豆田间抗旱性综合评价及抗旱品种筛选

周学超^{1,2}, 胡海波^{1,2}, 李峰¹, 刘迎春^{1,2}, 魏云山^{1,2},
赵玉山¹, 王晓磊¹, 康泽然¹, 丁素荣^{1,2}

(1. 赤峰市农牧科学研究所/国家大豆产业技术体系赤峰综合试验站, 内蒙古赤峰 024031;
2. 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)

摘要:为筛选适宜内蒙古中东部雨养农业区种植的抗旱大豆品种, 综合评价不同大豆品种在内蒙古地区的抗旱表现, 为内蒙古中东部雨养农业地区大豆抗旱品种选择和选育提供科学依据, 选取东北区域不同地区育成的不同生育期组的代表性品种(系)34份, 在大田生产条件下, 设置正常浇水、自然干旱2个处理, 分别调查不同处理下植株农艺性状、产量及相关指标等, 计算得到各指标的抗旱系数, 作为衡量品种抗旱能力的指标; 利用主成分分析方法将各单项抗旱系数统计成相互独立的指标, 最后利用隶属函数法求出综合指标的隶属值, 进而评价参试大豆品种(系)的抗旱性。结果表明, 不同农艺性状抗旱系数的变异系数均在15%以上, 其中, 分枝数变异系数最高, 为61%。主成分分析表明, 4个主成分累计贡献率为81.28%, 可解释81.28%的方差, 其代表了13个性状81%的遗传信息。通过隶属函数法, 筛选出5个适合内蒙古中东部雨养农业区的大豆品种, 即吉育406、登科1号、丰豆2号、2001-336-7和赤豆1号。

关键词:大豆; 抗旱性; 主成分分析; 隶属函数法; 品种筛选

中图分类号: S565.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-2481(2024)04-0016-09

Comprehensive Evaluation of Field Drought Resistance and Selection of Drought-Resistant Varieties of Different Genotypes of Soybean

ZHOU Xuechao^{1,2}, HU Haibo^{1,2}, LI Feng¹, LIU Yingchun^{1,2}, WEI Yunshan^{1,2},
ZHAO Yushan¹, WANG Xiaolei¹, KANG Zeran¹, DING Surong^{1,2}

(1. Chifeng Agricultural and Animal Husbandry Scientific Research Institute/Chifeng Comprehensive Experimental Station, Nation Soybean Industrial Technology System, Chifeng 024031, China; 2. Key Laboratory of Soybean Cultivation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Soybean Cultivation, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to screen drought-resistant soybean varieties suitable for planting in rain-fed agricultural areas of central and eastern Inner Mongolia and comprehensively evaluate the drought resistance performance of different soybean varieties in Inner Mongolia, and provide scientific basis for the selection and breeding for drought resistant soybean varieties in the rain fed agricultural areas of central and eastern Inner Mongolia, in this experiment, 34 representative varieties(lines) from various growth period groups in different regions of Northeast China were selected. Under field production conditions, two treatments of normal watering and natural drought were set. The agronomic traits, yield, and related indexes of soybean plants were investigated under different treatments, and the drought resistance coefficient of each index was calculated as an indicator to assess the drought resistance ability of the varieties. The principal component analysis method was employed to combine individual drought resistance coefficients into independent comprehensive indexes. Subsequently, the membership value of the comprehensive index was determined using the membership function to evaluate the drought resistance of the tested soybean varieties(lines). The results indicated that the coefficient of variation for the drought resistance coefficient of different agronomic traits exceeded 15%, with branch number exhibiting the highest coefficient of variation at 61%. The principal component analysis revealed that the cumulative contribution rate of the four principal components was 81.281%, explaining 81.281% of the variance and essentially representing 81% of the genetic information of the 13 traits. Through the application of the membership function method, five soybean varieties—Jiyu 406, Dengke 1, Fengdou 2, 2001-336-7, and Chidou 1—suitable for rain-fed agricultural areas in central and eastern Inner Mongolia were selected.

收稿日期: 2023-05-23

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系(CARS-04-CES09); 内蒙古自治区科技计划项目(2021GG0374, 2021GG0144)

作者简介: 周学超(1985-), 女, 内蒙古赤峰人, 副研究员, 主要从事作物栽培育种研究工作。

通信作者: 丁素荣(1963-), 女, 内蒙古赤峰人, 研究员, 主要从事作物栽培育种研究工作。

Key words: soybean; drought resistance; principal component analysis; membership function method; variety selection

干旱作为世界性的问题,是影响植物生长发育的重要因素,也是制约农业生产的因素。全世界干旱和半干旱地区的总面积占陆地面积的34.9%,分布于世界上60多个国家和地区。我国情况更为严峻,干旱和半干旱地区占全国总土地面积的52.5%。内蒙古地区的旱灾发生频率、分布范围和影响程度均很大,根据气象部门的统计,新中国成立以来的60多年时间里,内蒙古轻旱发生的频率超过80%,大旱发生的频率超过30%^[1-2]。大豆(*Glycine max*)是世界重要的粮、油、饲兼用经济作物之一,是人类优质蛋白质和食用油脂的重要来源,在粮食生产中至关重要。但大豆生长期较其他作物需水量大,每形成1g籽粒的耗水量远高于其他作物,是对干旱胁迫非常敏感的一种豆类作物^[3-4]。充分满足作物的需水需求是高产优质的重要保障之一,在大豆生育进程中,干旱缺水不仅会引起大豆植株形态发生变化,还会影响其他生理反应,最终会影响产量和大豆品质^[5]。

近年来,关于大豆抗旱性的研究较多,学者们通过模拟不同程度的水分胁迫,如利用盆栽^[6-7]、聚乙烯醇(PEG)6000模拟干旱^[8-11]等方法,调查不同品种干旱胁迫下的形态指标、生理生化指标和产量指标等,然后利用多元统计分析方法^[12]对不同种质资源^[13-15]抗旱性进行抗旱指标筛选和综合评价。王燕平等^[16]利用干旱棚盆栽试验,在大豆花荚期,测定22个品种(系)的表型性状和生理生化指标,利用隶属函数法、主成分分析和聚类分析对其抗旱性进行综合评价,筛选出4个抗旱性较强的大豆品种。李贵全等^[17]选用10个不同生态类型的大豆品种通过测定盆栽和大田条件下多项生理生态指标,结合

主成分分析和隶属函数法筛选出2份高抗旱大豆品种;王启明^[18]研究发现,耐旱性品种比不耐旱性品种具有较低的质膜透性和丙二醛(MDA)含量,同时具有较高的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性。谭春燕^[19]研究发现,干旱胁迫下大豆种子叶片光合速率降低、水分相对含量下降、保护酶活性升高。赵晶云^[20]研究确定以产量、生物产量、单株荚数和株高4个性状作为抗旱鉴定的评价指标。近年来,耐旱基因和蛋白的相关研究更能准确地分析鉴定大豆品种的抗旱性^[21-23]。

我国大豆产区气候条件各异,生态条件复杂,大豆是光温敏感型作物,具有很强的生态适应性差异,在长期的人工选择和自然选择条件下,使得大豆种质资源的抗旱性有明显的地域差异性,很多引进品种在内蒙古中东部干旱区的生态适应性较差,且当前对内蒙古中东部地区大豆种质资源的抗旱性研究较少,有必要进一步开展抗旱相关研究,鉴定大豆种质资源抗旱性。

本研究以生产上应用的大豆品种为材料,在自然干旱胁迫与正常灌水条件下,根据相关农艺性状和产量等指标分析大豆田间抗旱性,计算抗旱系数,并通过主成分分析和隶属函数法对参试品种抗旱性进行评价,旨在为内蒙古中东部雨养农业地区大豆抗旱品种选择和选育提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验品种

选取内蒙古自治区、吉林省、黑龙江省等不同生态类型区、不同生育期组的代表性品种、品系合计34份(表1)。

表1 参试品种
Tab.1 Tested varieties

品种(系) Variety(Line)	引种地区 Introduction area
黑河38、黑河43、黑河48、黑河52 Heihe 38, Heihe 43, Heihe 48, Heihe 52	黑河市
黑农35、黑农65、东农44、东农47、东农52、东农53 Heinong 35, Heinong 65, Dongnong 44, Dongnong 47, Dongnong 52, Dongnong 53	哈尔滨市
合丰37、合丰40、合丰54、合农60 Hefeng 37, Hefeng 40, Hefeng 54, Henong 60	佳木斯市
抗线8号、抗线9号 Kangxian 8, Kangxian 9	大庆市
吉育202、吉育406 Jiyu 202, Jiyu 406	公主岭市
登科1号、登科4号、登科5号、蒙豆14、蒙豆30、蒙豆33、蒙豆36、蒙豆34 Dengke 1, Dengke 4, Dengke 5, Mengdou 14, Mengdou 30, Mengdou 33, Mengdou 36, Mengdou 34	呼伦贝尔市
丰豆2号 Fengdou 2	兴安盟
2001-311-16、2001-336-7、赤豆1号 2001-311-16, 2001-336-7, Chidou 1	赤峰市
85 d、90 d、95 d、元宝金 85 d, 90 d, 95 d, Yuanbaojin	赤峰市

1.2 试验地概况

试验地点位于赤峰市农牧科学研究所梁上试验地,经度为 118°52'14.53", 纬度为 42°18'3.05"。该基地位于赤峰市西郊农研地区,年均降水量 300~540 mm,年平均气温 7.2 °C,年日照时数 2 800~3 100 h,无霜期 120~145 d,≥10 °C 活动积温 2 300~2 800(°C·d)。土壤类型为壤土,地势平坦、肥力均匀,前茬作物为谷子。试验期间大豆生长季平均降雨量 2015 年为 309.3 mm,2016 年为 323.5 mm,其中 7—8 月大豆花荚期 2015、2016 年降水量分别是 138.2 mm 和 63.6 mm。2015 年 7 月中旬试验所在地 0~20 cm 土层土壤相对湿度为 48%,属于中旱等级;2016 年 7 月土壤相对湿度为 32%,属于重旱等级(监测数据来自赤峰市气象局)。

1.3 试验设计

试验于 2015—2016 年在赤峰市农牧科学研究所梁上试验基地进行,分别于 5 月 21、23 日播种,二因素裂区设计,主区因素为水分,设正常浇水、自然干旱 2 个处理;副区因素为品种,每小区 4 行,行距 0.5 m,行长 3 m,小区面积 6 m²,3 次重复。每穴播 3~4 粒,间苗、定苗后,每穴留苗 2 株,保苗 16.5 万株/hm²。播种前施用磷酸二铵 150 kg/hm²、尿素 300 kg/hm² 作底肥,播前浇足底墒水,正常供水处理分别于结荚期与鼓粒期各浇一次水,自然干旱胁迫处理出苗至成熟期不进行浇水。

1.4 测定项目及方法

参照邱丽娟等^[24]对大豆的描述规范和数据标准,成熟后,每个处理每个品种取 5 株进行室内考种,

考种项目包括株高、有效分枝、主茎节数、单株荚数、一粒荚数、二粒荚数、三粒荚数、四粒荚数、单株粒数、单株粒质量等性状。成熟后收获,计算小区产量。

1.5 数据统计分析

利用 Microsoft Excel 2007 及 SPSS 21.0 软件对试验结果进行数据统计、主成分分析和隶属函数值计算。

抗旱系数=干旱胁迫下指标性状值/非胁迫下指标性状值 (1)

各品种(系)指标的隶属函数值计算,当指标性状值与抗旱性成正相关时,计算公式如下。

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{jmin}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \quad (2)$$

当指标性状值与抗旱性成负相关时,计算公式如下。

$$x_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - x_{jmin}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \quad (3)$$

其中, x_{ij} 为*i*品种*j*性状的隶属函数值, x_{jmax} 为*i*品种的*j*性状的最大值, x_{jmin} 为*i*品种的*j*性状的最小值。

2 结果与分析

2.1 参试品种(系)主要农艺性状指标抗旱系数分析

本研究对主栽的 34 份大豆种质,在自然干旱胁迫和正常浇水条件下,分别测定其成熟期有关农艺性状表现值,并计算灌水和干旱处理下各性状的平均值和各个性状指标的抗旱指数,结果如表 2 所示。

表 2 不同参试大豆品种不同性状指标的抗旱系数
Tab.2 Drought resistance coefficients of various trait indexes of different tested soybean varieties

品种(系) Variety(Line)	株高 Plant height	主茎节数 Stem node number	分枝数 Number of branches per plant	百粒质量 100 seed weight	单株荚数 Number of pods per plant	2~4 粒荚数 Number of 2-4 seed pods	单株粒数 Number of seeds per plant	单株粒质 量 Yield per plant	公顷产量 Yield per hectare
85 d	0.84	0.82	0.67	0.76	0.93	0.94	0.93	0.97	0.97
90 d	0.65	0.70	0.16	0.66	0.42	0.38	0.39	0.54	0.32
95 d	0.87	0.88	0.65	1.01	0.42	0.41	0.43	0.44	0.30
2001-311-16	0.96	0.95	0.59	0.99	0.49	0.47	0.47	0.57	0.36
2001-336-7	1.18	0.82	1.78	0.78	0.96	0.94	0.94	1.02	0.95
赤豆 1 号 Chidou 1	0.98	1.08	1.41	0.86	1.09	1.11	1.07	1.06	0.90
登科 1 号 Dengke 1	0.94	0.99	1.00	1.01	0.78	0.71	0.72	0.94	0.63
登科 4 号 Dengke 4	0.81	0.93	0.58	0.68	0.41	0.28	0.27	0.83	0.46
登科 5 号 Dengke 5	0.61	0.71	0.40	1.09	0.30	0.27	0.28	0.52	0.46
东农 44 Dongnong 44	0.84	0.94	0.88	0.84	0.63	0.61	0.59	0.78	0.50
东农 47 Dongnong 47	1.00	1.03	0.72	0.83	0.68	0.65	0.67	0.65	0.77
东农 52 Dongnong 52	1.03	1.18	1.46	0.83	0.64	0.63	0.64	0.60	0.58

续表2 不同参试大豆品种不同性状指标的抗旱系数
 Tab.2(Continued) Drought resistance coefficients of various trait indexes of different tested soybean varieties

品种(系) Variety(Line)	株高 Plant height	主茎节数 Stem node number	分枝数 Number of branches per plant	百粒质量 100 seed weight	单株荚数 Number of pods per plant	2~4粒荚数 Number of 2-4 seed pods	单株粒数 Number of seeds per plant	单株粒质 量 Yield per plant	公顷产量 Yield per hectare
东农 53 Dongnong 53	0.93	1.12	0.25	0.63	0.49	0.41	0.40	0.69	0.73
丰豆 2号 Fengdou 2	1.08	1.03	2.50	0.64	1.07	1.10	1.06	0.96	0.93
合丰 37 Hefeng 37	0.96	0.69	2.00	1.07	0.62	0.69	0.61	0.45	0.50
合丰 40 Hefeng 40	0.95	0.67	1.00	1.05	0.69	0.68	0.67	0.75	0.77
合丰 54 Hefeng 54	0.93	0.78	2.13	0.64	1.12	0.94	0.89	0.86	0.54
合农 60 Henong 60	0.55	0.52	0.79	1.01	0.51	0.53	0.54	0.82	0.89
黑河 38 Heihe 38	0.90	0.96	1.22	1.11	0.85	0.80	0.80	0.72	0.93
黑河 43 Heihe 43	0.86	0.83	0.93	0.95	0.68	0.64	0.61	0.84	0.41
黑河 48 Heihe 48	0.89	0.98	0.43	0.96	0.54	0.56	0.57	0.87	0.56
黑河 52 Heihe 52	0.91	0.92	0.53	0.93	0.69	0.65	0.64	0.93	0.69
黑农 35 Heinong 35	0.80	0.79	0.47	0.74	0.78	0.73	0.70	0.67	0.96
黑农 65 Heinong 65	0.56	0.68	1.46	0.84	0.54	0.57	0.56	0.74	0.37
吉育 202 Jiyu 202	1.02	0.90	0.85	0.81	0.68	0.68	0.67	0.88	0.65
吉育 406 Jiyu 406	1.14	1.20	1.08	0.71	1.16	1.21	1.16	0.99	0.99
抗线 8号 Kangxian 8	0.62	0.58	0.56	0.73	0.87	0.92	0.85	0.92	0.99
抗线 9号 Kangxian 9	0.92	1.10	0.50	0.78	0.85	0.83	0.77	0.99	1.01
蒙豆 14 Mengdou 14	0.72	0.98	0.45	0.96	0.58	0.54	0.55	0.60	0.49
蒙豆 30 Mengdou 30	0.87	0.92	0.71	0.94	0.48	0.46	0.44	0.65	0.44
蒙豆 33 Mengdou 33	0.90	1.01	1.71	0.79	0.50	0.50	0.46	0.44	0.67
蒙豆 34 Mengdou 34	0.91	0.94	0.32	0.85	0.66	0.64	0.59	0.96	0.51
蒙豆 36 Mengdou 36	0.67	0.87	0.60	1.01	0.60	0.61	0.57	0.98	0.52
元宝金 Yuanbaojin	0.90	0.98	1.00	0.88	0.89	0.87	0.83	0.89	0.98
平均值 Average	0.87	0.90	0.94	0.86	0.69	0.68	0.66	0.78	0.67
标准差 Standard deviation	0.15	0.16	0.57	0.14	0.22	0.23	0.22	0.18	0.23
变异系数/% Coefficient of variation	18	18	61	16	32	34	33	24	35

从表2可以看出,同一品种(系)的不同农艺指标性状的抗旱系数不同,不同农艺性状抗旱系数的变异系数均在15%以上,其中分枝数变异系数最高为61%。大豆的抗旱性是一个复杂的受多因素影响的数量性状,且不同大豆品种的抗旱机制也不尽相同。不同品种(系)不同具体指标的抗旱性反应也不相同,所有用单一指标的抗旱指数评价各品种的抗旱性有一定的片面性和不准确性,所以采用多个指标进行综合评价才更可靠。

2.2 主成分分析评价抗旱性

以参试的不同品种农艺性状和产量指标抗旱系数为基础,采用SPSS 21.0软件进行主成分分析,得到各个性状的特征值及贡献率。从表3可以看出,主成分特征值中前8个因子的累计贡献率为96.37%,而前4个综合指标的累计贡献率为81.28%,可解释81.28%的方差,代表了考察性状

81%的遗传信息。根据徐克学^[25]的方法,提取的4个主成分代表了13个原始指标的绝大部分信息。把13个性状指标转换为4个相互独立的综合指标,分别定义为主成分1~4。

根据贡献率的大小可以得出各综合指标的相对重要性,主成分1的贡献率为50.16%,二粒荚数、三粒荚数、四粒荚数、单株荚数、单株粒质量和产量的载荷值较大,主成分1相当于6.965个原始指标的作用,几个指标均为决定产量的关键指标,可称主成分1为产量构成因子;主成分2的贡献率为13.68%,决定第2主成分大小的主要是主茎节数、一粒荚数、三粒荚和四粒荚比例,主茎节数、一粒荚数的抗旱系数越大,多粒荚比例的抗旱系数越小,则第2主成分越大,主成分2可称为籽粒因子;主成分3的贡献率为9.72%,载荷较大的是株高、分枝数、主茎节数、单株粒质量,称主成分3为农艺性状

因子;主成分4贡献率为8.71%,载荷较大的是百粒质量、公顷产量,其可称为产量因子。

表3 不同参试大豆品种(系)性状抗旱系数的主成分分析
Tab.3 Principal component analysis of drought resistance coefficients of different tested soybean varieties (lines)

项目 Item	主成分 Principal component			
	1	2	3	4
特征值 Characteristic value	7.023	1.915	1.361	1.219
贡献率/% Variance	50.163	13.682	9.718	8.708
累计贡献率/% Cumulative	50.163	63.845	73.564	82.271
株高 Plant height	0.605	-0.312	0.606	-0.188
主茎节数 Stem node number	0.446	-0.544	0.534	-0.071
分枝数 Number of branches per plant	0.563	0.267	0.462	-0.296
一粒荚数 One-seed pod number	0.579	-0.596	-0.172	0.219
二粒荚数 Two-seed pod number	0.909	-0.042	-0.180	-0.003
三粒荚数 Three-seed pod number	0.890	0.317	-0.009	-0.109
四粒荚数 Four-seed pod number	0.167	-0.005	0.358	0.814
单株荚数 Number of pods per plant	-0.369	0.476	0.326	0.518
多粒荚数 Number of multiple pods	0.979	0.011	-0.070	0.043
单株粒数 Number of seeds per plant	0.318	0.832	0.096	-0.092
单株粒质量 Yield per plant	0.977	0.159	-0.017	0.056
百粒质量 100 seed weight	0.702	-0.128	-0.352	0.278
公顷产量 Yield per hectare	0.749	0.067	-0.239	0.101

统计分析各农艺性状和产量因子的主成分指标(表3)及各指标的抗旱系数(表2)统计后,再分别求出参试大豆品种(系)的综合指标值。计算4个主成分与标准化数据的线性组合,得到34个品种的主成分因子,得分F1~F4(表4)。以每个主成分

所对应的特征值占的总特征值之和比例作为权重,计算主成分综合模型为: $F=(0.501\ 63F1+0.136\ 82F2+0.097\ 18F3+0.087\ 08F4)/0.822\ 71$,通过计算得到综合得分。

表4 不同参试大豆品种(系)主成分因子得分和综合得分
Tab.4 Principal component factor scores and comprehensive scores of different tested soybean varieties (lines)

品种(系) Variety(Line)	主成分因子得分 Principal component factor score				综合得分 Comprehensive score
	F1	F2	F3	F4	
85 d	0.374	0.380	-0.998	0.524	0.229
90 d	-0.539	-0.430	-0.952	-0.607	-0.577
95 d	-0.493	0.343	1.118	-0.084	-0.121
2001-311-16	-0.347	-0.247	0.881	-0.071	-0.156
2001-336-7	0.625	-0.775	1.197	-0.225	0.370
赤豆1号 Chidou 1	0.666	0.143	0.015	-0.585	0.370
登科1号 Dengke 1	0.132	-0.532	0.944	2.973	0.418
登科4号 Dengke 4	-0.514	-1.783	-0.543	-0.519	-0.729
登科5号 Dengke 5	-0.725	0.302	-0.165	0.380	-0.371
东农44 Dongnong 44	-0.104	-0.127	0.282	0.573	0.009
东农47 Dongnong 47	0.024	-0.441	0.612	0.319	0.047
东农52 Dongnong 52	-0.046	0.037	1.973	-0.045	0.206
东农53 Dongnong 53	-0.243	-1.644	-0.462	-1.161	-0.599
丰豆2号 Fengdou 2	0.710	0.017	0.564	-0.986	0.398
合丰37 Hefeng 37	-0.117	1.641	1.077	-1.565	0.163
合丰40 Hefeng 40	-0.025	0.664	0.103	0.460	0.156
合丰54 Hefeng 54	0.436	-0.654	-0.416	-0.559	0.049

续表4 不同参试大豆品种(系)主成分因子得分和综合得分
 Tab.4(Continued) Principal component factor scores and comprehensive scores of different tested soybean varieties(lines)

品种(系) Variety(Line)	主成分因子得分 Principal component factor score				综合得分 Comprehensive score
	F1	F2	F3	F4	
合农 60 Henong 60	-0.304	1.354	-0.984	1.174	0.048
黑河 38 Heihe 38	0.170	0.319	0.652	1.249	0.366
黑河 43 Heihe 43	-0.029	-0.404	-0.321	0.319	-0.089
黑河 48 Heihe 48	-0.176	0.468	0.433	0.310	0.055
黑河 52 Heihe 52	0.011	-0.278	-0.127	1.040	0.056
黑农 35 Heinong 35	0.079	-0.338	-1.105	0.130	-0.125
黑农 65 Heinong 65	-0.273	1.152	-0.438	-0.572	-0.087
吉育 202 Jiyu 202	0.026	0.231	0.009	-1.029	-0.053
吉育 406 Jiyu 406	0.838	0.076	0.181	-1.135	0.425
抗线 8号 Kangxian 8	0.242	1.012	0.334	-0.456	0.307
抗线 9号 Kangxian 9	0.338	-0.719	0.988	-0.091	0.194
蒙豆 14 Mengdou 14	-0.277	-0.266	0.039	0.466	-0.159
蒙豆 30 Mengdou 30	-0.327	-0.233	0.237	-0.468	-0.259
蒙豆 33 Mengdou 33	-0.235	0.209	1.009	-1.684	-0.167
蒙豆 34 Mengdou 34	-0.040	-0.337	-0.595	-0.294	-0.182
蒙豆 36 Mengdou 36	-0.174	0.510	-0.607	0.601	-0.029
元宝金 Yuanbaojin	0.316	0.049	-0.292	0.450	0.214

在干旱条件下,对于相同的综合指标而言,综合得分较大,说明该品种在这个综合指标上的抗旱性表现越好,反之则越差。参试的34份大豆品种(系)中,吉育406的产量构成因子得分最高,合丰37的籽粒因子得分最高,东农52号农艺性状因子得分最高,登科1号的产量因子得分最高。综合得分最高的品种是吉育406,综合得分排名前5位的品种(系)是吉育406、登科1号、丰豆2号、2001-336-7和赤豆1号。

2.3 隶属函数综合评价抗旱性

在对抗旱、耐盐碱、耐阴等抗逆性状进行综合评价时,加权隶属函数法是常用也是较为认可的综

合评价方法。主成分分析得出的4个综合指标在评价大豆的抗旱性中所起的作用不同,为了更好地反映品种(系)的抗旱能力,需避免因使用性质相同或相互关联的指标分析使评价结果出现偏差,因此,在主成分综合分析基础上进一步用隶属函数的方法进行评价。根据表3的数据计算抗旱隶属函数值,所得结果记为X1~X4,在隶属函数值基础上计算出各大豆品种(系)在干旱胁迫下的抗旱性度量值(D值),再根据D值大小进行品种的抗旱性排序,隶属值越大,耐旱性越强。对参试的大豆品种(系)抗旱性进行排序,结果如表5所示,排名前5位的分别是吉育406、丰豆2号、赤豆1号、2001-336-7和抗线8号。

表5 不同参试大豆品种(系)隶属函数值和D值排序
 Tab.5 Ranking of membership function values and D values of different tested soybean varieties (lines)

品种(系) Variety(Line)	隶属函数值 Membership function value				D值 D value	排序 Ranking
	X1	X2	X3	X4		
85 d	0.703	0.632	0.035	0.474	0.588	6
90 d	0.119	0.395	0.050	0.231	0.169	33
95 d	0.148	0.621	0.722	0.344	0.315	29
2001-311-16	0.242	0.449	0.645	0.346	0.335	28
2001-336-7	0.864	0.294	0.748	0.313	0.697	4
赤豆1号 Chidou 1	0.890	0.563	0.364	0.236	0.704	3
登科1号 Dengke 1	0.548	0.365	0.666	1.000	0.580	9
登科4号 Dengke 4	0.135	0.000	0.183	0.250	0.130	34
登科5号 Dengke 5	0.000	0.609	0.305	0.443	0.184	32

续表 5 不同参试大豆品种(系)隶属函数值和 D 值排序
 Tab.5(Continued) Ranking of membership function values and D values of different tested soybean varieties (lines)

品种(系) Variety(Line)	隶属函数值 Membership function value				D 值 D value	排序 Ranking
	X1	X2	X3	X4		
东农 44 Dongnong 44	0.397	0.484	0.451	0.485	0.427	19
东农 47 Dongnong 47	0.479	0.392	0.558	0.430	0.469	15
东农 52 Dongnong 52	0.434	0.532	1.000	0.352	0.509	12
东农 53 Dongnong 53	0.308	0.041	0.209	0.112	0.231	31
丰豆 2 号 Fengdou 2	0.918	0.526	0.542	0.150	0.727	2
合丰 37 Hefeng 37	0.389	1.000	0.709	0.026	0.490	13
合丰 40 Hefeng 40	0.448	0.715	0.392	0.460	0.487	14
合丰 54 Hefeng 54	0.743	0.330	0.224	0.242	0.560	11
合农 60 Henong 60	0.269	0.916	0.039	0.614	0.386	24
黑河 38 Heihe 38	0.573	0.614	0.571	0.630	0.585	7
黑河 43 Heihe 43	0.445	0.403	0.255	0.430	0.414	21
黑河 48 Heihe 48	0.351	0.657	0.500	0.428	0.428	18
黑河 52 Heihe 52	0.471	0.440	0.318	0.585	0.460	16
黑农 35 Heinong 35	0.514	0.422	0.000	0.390	0.425	20
黑农 65 Heinong 65	0.289	0.857	0.217	0.239	0.370	25
吉育 202 Jiyu 202	0.480	0.588	0.362	0.141	0.448	17
吉育 406 Jiyu 406	1.000	0.543	0.418	0.118	0.762	1
抗线 8 号 Kangxian 8	0.619	0.816	0.468	0.264	0.596	5
抗线 9 号 Kangxian 9	0.680	0.311	0.680	0.342	0.583	8
蒙豆 14 Mengdou 14	0.287	0.443	0.372	0.462	0.341	27
蒙豆 30 Mengdou 30	0.255	0.453	0.436	0.261	0.310	30
蒙豆 33 Mengdou 33	0.313	0.582	0.687	0.000	0.369	26
蒙豆 34 Mengdou 34	0.438	0.422	0.166	0.298	0.389	23
蒙豆 36 Mengdou 36	0.353	0.670	0.162	0.491	0.397	22
元宝金 Yuanbaojin	0.666	0.535	0.264	0.458	0.575	10

3 结论与讨论

干旱是作物生长发育过程中常见的非生物胁迫因素,因干旱造成的作物产量损失较其他胁迫造成的产量损失之和要多^[26]。在各种抗旱评价方法中,利用作物本身的抗(耐)旱能力,利用自然降水,在雨养条件下进行抗旱评价,是众多评价方法中最经济简单的。本试验利用田间自然条件下大豆花荚期降水不足形成的干旱胁迫条件进行大豆田间抗旱性研究,筛选抗旱性强的大豆品种,与邵玉彬等^[27]的研究方法类似,但品种的抗性表现不完全一样,如来自呼伦贝尔市的蒙豆系列、登科系列品种在赤峰市和呼伦贝尔市 2 个地区抗旱性表现均一般。而来自黑龙江大庆、兴安盟等干旱区的品种类型如抗线 8 号、抗线 9 号、丰豆 2 号,在试验中表现出良好的抗旱性,与生产上表现也相吻合。

品种类型、遗传特性、株型形态性状及生理生

化反应与大豆品种资源的抗旱性密切相关,且品种抗旱性受干旱的类型、程度、发生时期等的影响很大,是品种与环境相互作用的结果。参试品种来源不一,不同生态区品种生育期差异较大,对抗旱性表现也有一定的影响,黑河、呼伦贝尔地区多为早熟品种,在此试验条件下过早成熟,产量一般,因此,实际利用本试验结果时可在同等生育期组内进行比较。地方种质和本地区审定品种如赤豆 1 号、2001-336-7 和 85 d 表现出较好的抗旱性,可能是这些品种或地方种质经过长期的选择留存下来与本地区的环境长期互作,很有可能蕴含着丰富的抗旱基因,有必要对这些品种开展进一步研究。

抗旱性是大豆高产稳产的重要抗线性状,水分供应不足会导致豆荚脱落、植株瘪荚或少粒,严重影响产量^[19,28]。大豆不同生长时期对于干旱胁迫的反应不同,东北地区相关研究认为,鼓粒期是大豆水分最敏感时期^[29],而华北、西北干旱区相关学者研

究认为,大豆花荚期是对水分需求最敏感的时期^[30-31],此时受到干旱胁迫对大豆产量的影响最明显。本研究结果符合华北干旱区的表现,花荚期对水分需求较为敏感。

抗旱性由于其数量遗传特征,需要通过产量这一核心性状及多个相关性状的综合分析,但性状较多分析不便,需选用多个有效因素分组进行主成分综合评判^[17,32],本研究中,4个主成分累计贡献率为81.28%,代表了13个性状81%的遗传信息,再运用隶属函数法筛选高抗旱型大豆品种是高效且可行的。

由于作物抗旱机理非常复杂,同一时期不同品种抗旱性表现不同^[33],应用的各个评价方法都是对作物抗旱性实际结果的估计,并不一定能代表品种真正的抗旱能力;而且本试验开展了2 a,年际间气候条件存在一定差异,对品种的抗旱性表现也有一定的影响。因此,要明确评价不同大豆品种的抗旱性,还需要加大胁迫程度,下一步将结合盆栽、抗旱棚及田间设置集水槽的方法^[34]对大豆全生育时期进行抗旱性鉴定评价。

参考文献:

- [1] 郝山,李芳. 内蒙古农业干旱化分析研究[J]. 吉林农业, 2012(3):122.
HAO S, LI F. Analysis of agricultural drought in Inner Mongolia[J]. Jilin Agriculture, 2012(3):122.
- [2] 张美杰. 近60 a内蒙古干旱动态分析[D]. 呼和浩特:内蒙古师范大学, 2012.
ZHANG M J. Drought changes in Inner Mongolia in last 60 years[D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2012.
- [3] 肖佳雷. 北方寒地春大豆抗旱高产产量性能特征及关键技术调控效应的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2013.
XIAO J L. Study on yield performance of drought resistance and high yield and regulation effects of key technology of spring soybean in northern cold area[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2013.
- [4] 林汉明. 中国大豆耐逆研究[M]. 北京:中国农业出版社, 2009.
LIN H M. Research on tolerance to stresses in Chinese soybean[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009.
- [5] 杨鹏辉,李贵全,郭丽,等. 干旱胁迫对不同抗旱大豆品种花荚期质膜透性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 127-130.
YANG P H, LI G Q, GUO L, et al. Effect of drought stress on plasma membrane permeability of soybean varieties during flowering-podding stage[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(3): 127-130.
- [6] 宋伟丰. 黑龙江省春大豆推广品种苗期抗旱性鉴定与筛选研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(32): 12572-12574.
SONG W F. Seedling drought resistance identification and selection of spring soybean germplasm resources in Heilongjiang province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(32): 12572-12574.
- [7] 王启明,徐心诚,马原松,等. 干旱胁迫下大豆开花期的生理生化变化与抗旱性的关系[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 98-102.
WANG Q M, XU X C, MA Y S, et al. Influences of drought stress on physiological and biochemical characters of different soybean varieties in flowering period[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(4): 98-102.
- [8] 李文滨,宋春晓,裴兴超,等. 干旱胁迫下20个大豆品种抗旱性评价[J]. 东北农业大学学报, 2019, 50(4): 1-10.
LI W B, SONG C X, CHANG X C, et al. Drought resistance evaluation of 20 soybean varieties under drought stress[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2019, 50(4): 1-10.
- [9] 赵振宇,赵宝懿. 不同大豆品种在萌发期对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(2): 131-136.
ZHAO Z N, ZHAO B X. Physiological response and drought resistance evaluation of different soybean varieties to drought stress at germination stage[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(2): 131-136.
- [10] 朱鹏,韩阳,阮亚男. 不同大豆品种苗期抗旱性比较[J]. 大豆科学, 2008, 27(4): 711-714.
ZHU P, HAN Y, RUAN Y N. Comparison on drought resistance of different soybean varieties at seedling stage[J]. Soybean Science, 2008, 27(4): 711-714.
- [11] 王敏,张从宇,马同富,等. 大豆品种苗期抗旱性研究[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(3): 29-32.
WANG M, ZHANG C Y, MA T F, et al. Studies on the drought resistance of seedling in soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2004, 26(3): 29-32.
- [12] 谭春燕,陈佳琴,朱星陶,等. 基于灰色关联度分析的春大豆抗旱生理指标鉴定[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(4): 18-20.
TAN C Y, CHEN J Q, ZHU X T, et al. Identification of physiological indexes of drought resistance in spring soybean based on grey relational analysis[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2018, 46(4): 18-20.
- [13] 张小虎,刘学义. 大豆品种资源抗旱性鉴定指标及方法[J]. 山西农业科学, 2011, 39(2): 106-108.
ZHANG X H, LIU X Y. Drought resistance identifying indicators and methods in soybean germplasm[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2011, 39(2): 106-108.
- [14] 邢雪莹,霍建玲,喻金秋,等. 高温干旱混合胁迫对大豆主要农艺性状的影响[J]. 大豆科学, 2017, 36(4): 554-560.
XING X Y, HUO J L, YU J Q, et al. Effects of high temperature and drought stress on main agronomic traits of soybean[J]. Soybean Science, 2017, 36(4): 554-560.
- [15] 张彦军,王兴荣,张金福,等. 大豆抗旱种质资源筛选及利用[J]. 甘肃农业科技, 2018(8): 54-60.
ZHANG Y J, WANG X R, ZHANG J F, et al. Screening and utilization of drought resistant germplasm resources of soybean[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2018(8): 54-60.
- [16] 王燕平,任海祥,孙晓环,等. 不同基因型大豆花荚期抗旱性综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(1): 37-44.
WANG Y P, REN H X, SUN X H, et al. Comprehensive evaluation on drought resistance of different soybean cultivars

- at flowering-podding stage[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(1): 37-44.
- [17] 李贵全, 张海燕, 季兰, 等. 不同大豆品种抗旱性综合评价[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2408-2412.
LI G Q, ZHANG H Y, JI L, et al. Comprehensive evaluation on drought-resistance of different soybean varieties[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12): 2408-2412.
- [18] 王启明. 干旱胁迫对大豆苗期叶片保护酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 918-921.
WANG Q M. Effects of drought stress on protective enzymes activities and membrane lipid peroxidation in leaves of soybean seedlings[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(4): 918-921.
- [19] 谭春燕, 杨文钰, 陈佳琴, 等. 干旱胁迫下大豆种质资源的生理响应及抗旱性评价[J]. 分子植物育种, 2020, 18(4): 1349-1356.
TAN C Y, YANG W Y, CHEN J Q, et al. The physiological response and drought resistance assessment of soybean germplasm resources under drought stress[J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(4): 1349-1356.
- [20] 赵晶云, 马俊奎, 任小俊, 等. 大豆资源抗旱表型指标筛选及抗旱性评价[J]. 大豆科学, 2022, 41(4): 420-426.
ZHAO J Y, MA J K, REN X J, et al. Screening of soybean drought resistance phenotypic index and evaluation of drought resistant resources[J]. Soybean Science, 2022, 41(4): 420-426.
- [21] 张彬彬, 张伟娜, 邓晶, 等. 转 TaDREB3a 基因大豆抗旱筛选鉴定[J]. 东北农业大学学报, 2019, 50(3): 1-11.
ZHANG B B, ZHANG W N, DENG J, et al. Screening and identification of drought resistance of transgenic TaDREB3a soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2019, 50(3): 1-11.
- [22] KIM H J, CHO H S, PAK J H, et al. Confirmation of drought tolerance of ectopically expressed *AtABF3* gene in soybean[J]. Molecules and Cells, 2018, 41(5): 413-422.
- [23] 吕新云, 赵晶云, 任小俊, 等. 干旱胁迫下不同品种大豆籽粒发育期蛋白质含量积累的研究[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(5): 50-52.
LÜ X Y, ZHAO J Y, REN X J, et al. Study on the accumulation of protein content of different soybean varieties during grain development period under drought stress[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(5): 50-52.
- [24] 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. Descriptors and data standard for melon (*Glycine* spp.)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [25] 徐克学. 生物数学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
XU K X. Biomathematics[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [26] 信龙飞, 娄闯, 冀保毅, 等. 干旱胁迫对桔梗光合作用和生理特性的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52(8): 69-77.
XIN L F, LOU C, JI B Y, et al. Effects of drought stress on photosynthesis and physiological characteristics of *Platycodon grandiflorum*[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(8): 69-77.
- [27] 邵玉彬, 孙宾成, 胡兴国. 大豆品种鼓粒期间抗旱鉴定[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(6): 835-844.
SHAO Y B, SUN B C, HU X G. Drought resistance identification of soybean varieties during seed-filling stage[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(6): 835-844.
- [28] 谢梦真, 马俊奎. 大豆抗旱生理研究进展[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(5): 12-14.
XIE M Z, MA J K. Research advances in drought resistance physiology of soybean[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(5): 12-14.
- [29] 孙恒伟, 宁海龙, 李海旭, 等. 干旱胁迫对大豆产量的影响[J]. 大豆科技, 2010(5): 7-10.
SUN H W, NING H L, LI H X, et al. Effect of drought stress on soybean[J]. Soybean Science & Technology, 2010(5): 7-10.
- [30] 赵晶云, 任小俊, 刘小荣, 等. 灌水时期及灌水量对大豆产量及产量因子的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(33): 9-15.
ZHAO J Y, REN X J, LIU X R, et al. Effects on yield and yield factors of soybean: irrigation stage and irrigation amount [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(33): 9-15.
- [31] 孙继颖, 高聚林, 薛春雷, 等. 不同品种大豆抗旱性能比较研究[J]. 华北农学报, 2007, 22(6): 91-97.
SUN J Y, GAO J L, XUE C L, et al. Comparative experiment on drought resistant characters of different soybean varieties[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2007, 22(6): 91-97.
- [32] 潘相文, 李文滨, 李艳华, 等. 主成分分析在大豆抗旱性评价上的应用[J]. 大豆科学, 2006, 25(4): 379-384.
PAN X W, LI W B, LI Y H, et al. Application of principal component analysis on evaluation the drought-resistance of soybean genotypes[J]. Soybean Science, 2006, 25(4): 379-384.
- [33] 路贵和, 刘学义, 任小俊, 等. 黄淮海地区大豆抗旱种质资源的多样性研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 251-255.
LU G H, LIU X Y, REN X J, et al. Diversity in soybean germplasm with drought resistance in Huang-Huai-Hai valleys[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(3): 251-255.
- [34] 马俊奎, 刘小荣, 周伟, 等. 集水槽法在大豆抗旱性鉴定中的应用研究[J]. 大豆科学, 2016, 35(5): 766-771.
MA J K, LIU X R, ZHOU W, et al. Application of collecting trough method on identification of soybean drought resistance [J]. Soybean Science, 2016, 35(5): 766-771.