

不同基因型大豆花荚期抗旱性综合评价

王燕平^{1,2}, 任海祥², 孙晓环², 白艳凤², 宗春美², 齐玉鑫²,
王晓梅², 侯国强², 徐德海², 郭数进¹, 李贵全¹

(¹山西农业大学农学院/山西省遗传育种重点实验室, 太谷 030801; ²黑龙江省农业科学院牡丹江分院, 牡丹江 157041)

摘要: 为了解不同基因型大豆花荚期抗旱表现, 挖掘抗旱种质资源, 在称重法人工控水条件下, 通过干旱盆栽试验, 在大豆植株的花荚期, 测定 22 个品种(系)的茎粗、株高、分枝数等与抗旱相关的 18 个表型性状和生理生化指标, 以各项指标的干旱胁迫系数作为衡量抗旱性的指标, 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, 结果表明, 在水分胁迫条件下, 大豆花荚期形态和生理生化指标抗旱系数都存在一定的变异, 且变异系数均大于 10%。主成分分析结果显示, 5 个主成分累计贡献率为 84.82%, 可代表大豆抗旱性 84.82% 的原始数据信息, 利用抗旱性度量值(D 值)进行聚类, 可将供试品种(系)划分为抗旱性强、中和弱 3 种类, 晋大 78、晋大 74、晋大 70 和晋大 73 具有较强的抗旱能力, 晋大 75、扁茎豆、黑珍珠抗旱能力弱; 其他 15 个品种(品系)具有中等抗旱能力。利用主成分分析与模糊聚类对大豆的抗旱性进行综合评价, 可避免单一性状的片面性和不稳定性, 为大豆抗旱性综合评价及抗旱品种选育提供一个较为有效的鉴定方法。

关键词: 大豆; 水分胁迫; 抗旱性; 主成分分析; 综合评价

Comprehensive Evaluation on Drought Resistance of Different Soybean Cultivars at Flowering-Podding Stage

WANG Yan-ping^{1,2}, REN Hai-xiang², SUN Xiao-huan², BAI Yan-feng², ZONG Chun-mei²,
QI Yu-xin², WANG Xiao-mei², HOU Guo-qiang², XU De-hai², GUO Shu-jin¹, LI Gui-quan¹

(¹Genetics and Breeding Key Laboratory of Shanxi, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801;

²Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang 157041)

Abstract: In order to know the different genotypes performance of soybean germplasm at flowering-podding stage and explore drought-resistant resource, we determined 18 morphological and biochemical indexes including stem thickness, branch number and plant height in the pot experiment at flowering-podding stage with 22 soybean varieties (lines) widely grown under artificial water stress condition. Drought resistances of varieties were scored with drought coefficient method and principle component analysis and cluster under water stress. The result showed that there were certain variations of drought coefficient of 18 morphological and biochemical indexes under water stress and variation coefficient was more than 10%. The accumulative contribution rate of 5 comprehensive principle components was 84.82%, which could stand for 84.82% of primitive information of soybean drought resistance. Using drought-resistant balancing D-value, 22 different ecotype soybeans were divided into 3 types including high tolerant, moderate tolerant and weaker tolerant. In 22 varieties (lines), we screened out the high drought tolerant varieties consisting of Jinda78, Jinda74, Jinda70, and Jinda73. The varieties (lines) Jinda75, Bianjing and Heizhenzhu had weaker drought resistance. The rest had medium drought resistance. We could

收稿日期: 2014-03-11 修回日期: 2014-05-16 网络出版日期: 2014-12-11

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20141211.2229.027.html>

基金项目: 山西省科技攻关项目(20120311005-3); 国家自然科学基金项目(31371651); 黑龙江省自然科学基金重点项目(ZD2010003)

第一作者研究方向为大豆遗传育种。E-mail: wyping1981@126.com

通信作者: 李贵全, 研究方向为大豆遗传育种。E-mail: li-gui-quan@126.com

avoidone-sidedness and instability by using principle component analysis and fuzzy cluster than single trait. The comprehensive D-value was a method for soybean drought resistance comprehensive evaluation and drought-resistant cultivars breeding, and could be used to identify soybean drought resistance.

Key words: soybean; water stress; drought resistance; principle component analysis; comprehensive evaluation

干旱是一个世界性的问题,也是世界农业面临的最严重问题,干旱是影响农作物生产的非生物胁迫因子之一^[1-2]。巴西在 2003-2005 年因干旱危害大约损失 45 亿美元,我国 3 个大豆生态区受干旱危害状况各异,北方常遇春旱、黄淮海地区常遇伏旱、南方常遇伏旱和秋旱^[3-4],大豆生产中干旱造成的减产大于其他不利因素的总和^[5-7]。抗旱育种是提高干旱条件下作物产量的经济有效的手段^[8]。因此,在全球气候异常、干旱频发的背景下,研究大豆的抗旱性鉴定评价技术,对于筛选抗旱种质,培育节水品种以获得高产稳产具有重要意义。近年来国内外学者从形态、生理生化和产量的角度,对大豆抗旱性鉴定指标、抗旱性评价方法做了较多研究^[9-16],筛选出一些与抗旱有关的生理生化指标、形态指标及抗旱种质。但有关花荚期大豆抗旱性鉴定与筛选的报道相对较少,李贵全等^[17]利用水旱处理条件下生理生化指标的变化,运用灰色关联多维综合评估法评价了 10 个山西不同生态型大豆新品种,筛选出 2 份抗旱性较强的品种,指出此法在大豆花荚期评价抗旱性具有较高的可靠性。王敏等^[18]利用不同处理条件下形态指标的变化,用主成分分析法评价了 15 份不同类型种质资源的抗旱性,并将材料划分为高抗、抗、敏感、高度敏感 4 类。本研究将干旱胁迫下大豆花荚期生理生化指标和形态指标相结合,以各指标的抗旱胁迫系数为依据,采用综合抗旱性评价的方法,从生理和形态抗旱角度对 22 份试验材料进行抗旱性评价鉴定,进一步探索山西不同生态型大豆的抗旱潜力,以期拓宽大豆抗旱育种的基因资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料

从山西农业大学农学院大豆育种室现有的种质资源中,选择代表山西省生态条件、在山西种植较为广泛的 22 份不同生态型大豆品种(系)作为本试验的研究材料(表 1)。

表 1 供试大豆编号及名称

Table 1 Number and name of soybean varieties tested in the study

编号 No.	品种名称 Varieties name	编号 No.	品种名称 Varieties name
1	晋豆 19	12	晋大 83
2	晋豆 24	13	晋大 84
3	晋豆 25	14	晋大 85
4	晋豆 26	15	绿宝石
5	晋豆 27	16	黑珍珠
6	晋大 73	17	扁茎豆
7	晋大 74	18	SN420
8	晋大 75	19	太谷回马
9	晋大 78	20	兴县大豆
10	晋大 80	21	石楼大豆
11	晋大 82	22	晋大 70

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验于 2009 年在山西农业大学遗传育种实验楼后进行,在实验室内对试验材料进行严格挑选、去杂,选取健康饱满、整齐一致的种子,用 0.1%高锰酸钾溶液消毒 5 min,蒸馏水冲洗 3 次,蒸馏水浸种 24 h,5 月 2 日将浸泡的种子播种于塑料桶内,桶高 27 cm,上口直径为 35 cm,底部直径为 22 cm,每桶装土 10 kg,每桶留苗 5 株,设正常供水和水分胁迫 2 种处理,3 次重复,共 132 盆。盆栽基质为沙土有机肥的混合物,每盆沙:土:有机肥 = 2:1:0.1,土壤肥力为有机质 65.3 g/kg,速效氮 70.3 mg/kg,速效磷 48.9 mg/kg,速效钾 266.6 mg/kg,可满足植株正常生长需求。桶底放 3 cm 高的蛭石,并插入长度 40 cm 的塑料管,使植株根部通气良好,同时便于从盆底部浇水,避免土壤板结。自制防雨棚,雨天使用防雨棚遮雨,晴天露天生长。采用称重法定量控制土壤水分,在整个生长期正常浇水,土壤基本保持湿润状态,相对含水量控制在 23% ~ 25%,水分胁迫处理土壤含水量为 13% ~ 15%。在大豆花荚期进行干旱处理,处理 7 d 后,取植株顶端向下第 4 节充分展开的叶片测定各项生理生化指标,3 次重复。成熟后取花盆中全部 5 株植株进行

室内考种,按照考种结果统计各形态指标。

1.2.2 测定方法 过氧化物酶(POD, peroxidase)活性采用愈创木酚法,超氧化物歧化酶(SOD, superoxide dismutase)活性采用 NBT 光化还原法。叶片相对含水量(RWC, relative water content)、丙二醛(MDA, malondialdehyde)、相对电导率(REC, relative electric conductivity)、可溶性糖(SS, soluble sugar)、脯氨酸(Pro, Proline)和叶绿素含量(Chl, chlorophyll content)均参考高俊凤^[19]的方法进行。净光合速率(Pn, net photosynthesis rate)用便携式 CI-340 型光合作用仪测定。

1.2.3 数据分析

1.2.3.1 抗旱系数的计算 抗旱系数的计算方法参考兰巨生等^[20]和李贵全等^[21]的方法进行。所有数据均为干旱胁迫下指标性状与非干旱胁迫下指标性状的比值。

$$\text{抗旱系数} = \frac{\text{干旱胁迫下指标性状值}}{\text{非干旱胁迫下指标性状值}} \times 100$$

1.2.3.2 不同品种综合指标隶属函数值计算 应用模糊数学中的隶属函数值法,对品种各综合指标采用隶属函数公式进行定量换算。

当指标性状与抗旱性呈正相关时,隶属函数值公式为:
$$\hat{x}_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$$

当指标性状与抗旱性呈负相关时,隶属函数值公式为:
$$\hat{x}_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$$

其中, \hat{x}_{ij} 为第 i 个品种第 j 个性状的隶属函数值, X_{ij} 为第 i 个品种第 j 个性状值, $X_{j\min}$ 为各品种 j 性状的最小值, $X_{j\max}$ 为各品种 j 性状的最大值。

1.2.3.3 各综合指标的权重计算 综合指标权重计算参考谢志坚^[22]的方法进行,计算公式:

$$W_j = \frac{P_i}{\sum_{j=1}^n P_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

式中: W_j 表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度即权重; p_j 为各基因型第 j 个综合指标的贡献率。

1.2.3.4 品种抗旱综合能力的计算 品种抗旱综合能力的计算参考赵红梅等^[23]、李贵全等^[21]的方法进行,计算公式:

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(X_j) \times w_j] \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

式中:D 值为各基因型在干旱胁迫条件下用综合指标评价所得的抗旱性综合评价值。

采用 Excel 2003 进行全部原始数据处理,统计分析采用 SPSS 13.0 程序进行。

2 结果与分析

2.1 花荚期干旱对大豆生理生态指标的影响

根据大豆花荚期干旱胁迫和正常供水条件下各生理生态指标值,计算各品种生理生态性状的胁迫系数(表 2 和表 3),由表 2 和表 3 可知,在干旱胁迫下,所有参试品种的农艺性状均有不同程度的下降,而部分生理生化指标值则呈现不同程度的升高,这一结果表明,干旱胁迫条件下,大豆可通过自身代谢调节来抵御这一不利环境。在本试验条件下,依据同一指标不同品种生理指标的胁迫系数变化幅度,将生理指标对干旱逆境的敏感程度进行排序:相对电导率 > 丙二醛 > 脯氨酸 > 可溶性糖 > 过氧化物酶 > 超氧化物歧化酶 > 相对含水量 > 叶绿素含量 > 净光合速率;同样根据形态指标的胁迫系数变化幅度,将形态指标对干旱逆境的敏感程度加以排序:单株粒数 > 单株粒重 > 主茎节数 > 分枝荚数 = 结荚高 > 主茎荚数 > 株高 > 分枝数 > 茎粗。其中,相对电导率($\Delta_{\max - \min} = 0.98$)对干旱最为敏感,其次为单株粒数($\Delta_{\max - \min} = 0.79$)、丙二醛($\Delta_{\max - \min} = 0.72$)和单株粒重($\Delta_{\max - \min} = 0.68$),其他生理和形态指标的敏感程度则相对较小。

从表 4 可以看出,干旱胁迫条件下,不同品种(系)形态指标和生理生化指标的抗旱系数均存在一定程度的变异,且变异系数都大于 10%,其中生理生化指标变异系数最大的为 Pro,变异系数最小的为 SS 含量;形态指标变异系数最大的为结荚高,变异系数最小的为茎粗。从同一指标不同品种生理形态指标的平均抗旱系数来看,单株粒重平均抗旱系数最小,为 0.47,对干旱胁迫最为敏感。

由表 2、表 3 和表 4 可得知,在干旱胁迫下,干物质合成和转运受阻,对其他生态性状造成不同程度的影响,同时水分亏缺降低了大豆叶片相对含水量,膜脂过氧化伤害加重,引起丙二醛的累积,相对电导率升高,游离脯氨酸及可溶性糖含量升高,而丙二醛含量的升高导致保护酶活性降低,水分亏缺导致叶绿素含量降低,净光合速率下降,最终导致生物产量下降。从各项生理和形态指标干旱胁迫系数看,同一品种不同指标或同一指标不同品种的干旱胁迫系数变化幅度和指标抗旱系数的变异都较大,难以直接用某一指标胁迫系数来判断品种的抗旱性。

表 2 生理指标胁迫系数

Table 2 Stress coefficient of physiological characters

编号 No.	相对含水量 RWC	丙二醛 MDA	相对电导率 REC	可溶性糖 SS	脯氨酸 Pro	过氧化物酶 POD	超氧化物歧化酶 SOD	叶绿素 a + b Chl a + b	净光合速率 Pn
1	0.81	1.46	1.40	1.62	6.51	0.60	0.51	0.54	0.52
2	0.64	1.43	1.90	1.55	3.43	0.58	0.41	0.50	0.54
3	0.70	1.14	1.26	1.36	6.81	0.60	0.67	0.64	0.60
4	0.61	1.65	1.76	1.73	3.25	0.52	0.40	0.49	0.49
5	0.88	1.12	1.10	1.35	7.24	0.76	0.69	0.69	0.59
6	0.86	1.21	1.20	1.35	6.54	0.71	0.65	0.65	0.59
7	0.95	1.16	1.02	1.28	7.50	0.82	0.65	0.71	0.69
8	0.69	1.78	2.00	1.77	2.14	0.48	0.32	0.41	0.40
9	0.87	1.35	1.14	1.32	3.69	0.73	0.71	0.65	0.65
10	0.76	1.35	1.31	1.46	3.55	0.59	0.54	0.60	0.59
11	0.82	1.30	1.40	1.51	4.87	0.64	0.52	0.60	0.55
12	0.84	1.60	1.31	1.41	6.67	0.66	0.61	0.64	0.61
13	0.60	1.44	1.86	1.68	3.15	0.50	0.40	0.43	0.46
14	0.80	1.41	1.42	1.58	6.13	0.62	0.49	0.57	0.50
15	0.70	1.65	1.57	1.81	2.99	0.53	0.43	0.49	0.52
16	0.80	1.71	1.95	1.74	2.46	0.51	0.36	0.48	0.46
17	0.68	1.69	1.46	1.76	2.10	0.46	0.32	0.42	0.43
18	0.65	1.72	1.50	1.65	3.54	0.58	0.36	0.50	0.55
19	0.71	1.68	1.50	1.60	3.54	0.61	0.48	0.51	0.56
20	0.72	1.75	1.64	1.72	2.79	0.54	0.36	0.50	0.51
21	0.70	1.20	1.45	1.60	5.14	0.58	0.48	0.53	0.59
22	0.95	1.06	1.09	1.29	8.50	0.80	0.64	0.68	0.65

表 3 形态指标胁迫系数

Table 3 Stress coefficient of morphological characters

编号 No.	茎粗 Spear thickness	株高 Plant height	结荚高 Height of pod set	分枝数 Branch number	主茎节数 Nodes of main stem	主茎荚数 Pots of main stem	分枝荚数 Pots of branches	单株粒数 Grains per plant	单株粒重 Grain yield per plant
1	0.56	0.42	0.50	0.64	0.55	0.49	0.59	0.61	0.46
2	0.78	0.46	0.70	0.59	0.62	0.48	0.45	0.59	0.15
3	0.77	0.62	0.69	0.68	0.61	0.67	0.67	0.71	0.68
4	0.58	0.72	0.20	0.50	0.41	0.59	0.68	0.51	0.58
5	0.64	0.46	0.23	0.78	0.69	0.25	0.77	0.81	0.61
6	0.80	0.90	0.13	0.97	0.61	0.59	0.82	0.71	0.69
7	0.76	0.76	0.77	0.84	0.67	0.88	0.80	0.93	0.42
8	0.67	0.29	0.76	0.54	0.44	0.49	0.41	0.46	0.59
9	0.67	0.69	0.65	0.80	0.84	0.78	0.32	0.97	0.63
10	0.78	0.76	0.60	0.92	0.68	0.59	0.51	0.56	0.37
11	0.70	0.77	0.59	0.66	0.54	0.57	0.59	0.63	0.66
12	0.48	0.62	0.57	0.61	0.80	0.66	0.16	0.39	0.23
13	0.57	0.41	0.62	0.49	0.28	0.40	0.33	0.39	0.21
14	0.56	0.70	0.13	0.74	0.49	0.69	0.76	0.76	0.80
15	0.45	0.28	0.53	0.58	0.74	0.52	0.44	0.18	0.21
16	0.66	0.59	0.11	0.67	0.53	0.51	0.67	0.51	0.37
17	0.71	0.66	0.30	0.52	0.49	0.41	0.57	0.48	0.12
18	0.62	0.50	0.63	0.61	0.90	0.74	0.65	0.50	0.44
19	0.70	0.49	0.44	0.66	0.95	0.65	0.78	0.73	0.43
20	0.68	0.60	0.37	0.57	0.48	0.50	0.66	0.65	0.61
21	0.71	0.65	0.77	0.77	0.78	0.55	0.58	0.43	0.64
22	0.57	0.81	0.42	0.86	0.69	0.86	0.79	0.83	0.38

表 4 生理生态性状抗旱系数的变异

Table 4 Variation drought-stress coefficient of physiological and ecological traits

性状 Traits	平均 Mean	标准差 SD	方差 Variance	最小值 Min.	最大值 Max.	变异系数 CV
相对含水量(%)RWC	0.76	0.10	0.01	0.60	0.95	0.14
丙二醛(mmol/g·FW)MDA	1.45	0.23	0.06	1.06	1.78	0.16
相对电导率(%)REC	1.47	0.29	0.08	1.02	2.00	0.20
可溶性糖(mg/g·FW)SS	1.55	0.17	0.03	1.28	1.81	0.11
脯氨酸(μg/g·FW)Pro	4.66	1.98	3.91	2.10	8.50	0.42
过氧化物酶(μg/g·FW/min)POD	0.61	0.10	0.01	0.46	0.82	0.16
超氧化物歧化酶(U/g·FW/h)SOD	0.50	0.13	0.02	0.32	0.71	0.26
叶绿素(mg/g·FW)Chl a + b	0.56	0.09	0.01	0.41	0.71	0.16
净光合速率(μmolCO ₂ /m ² ·s)Pn	0.55	0.07	0.01	0.40	0.69	0.13
茎粗(cm)Spear thickness	0.66	0.10	0.01	0.45	0.80	0.15
株高(cm)Plant height	0.60	0.17	0.03	0.28	0.90	0.28
结荚高(cm)Height of pod set	0.49	0.22	0.05	0.11	0.77	0.45
分枝数 Branch number	0.68	0.14	0.02	0.49	0.97	0.20
主茎节数 Nodes of main stem	0.63	0.17	0.03	0.28	0.95	0.27
主茎荚数 Pots of main stem	0.59	0.15	0.02	0.25	0.88	0.26
分枝荚数 Pots of branches	0.59	0.18	0.03	0.16	0.82	0.30
单株粒数 Grains per plant	0.61	0.19	0.04	0.18	0.97	0.32
单株粒重(g)Grain yield per plant	0.47	0.20	0.04	0.12	0.80	0.42

2.2 主成分分析

同一品种不同生理生态指标抗旱系数及不同品种的同一生理生态指标抗旱系数都存在一定程度的变幅。且不同抗旱指标之间均存在一定的相关性,因此使用某一生理生态指标的抗旱系数来评价大豆品种的抗旱性,存在片面性,需用多指标进行综合评价。主成分分析的目的在于对高维变量系统进行最佳综合与简化,同时也客观地确定各个指标的权重,避免主观随意性。以不同品种各生理生态指标的抗旱系数为基础,采用 SPSS 13.0 软件程序进行主成分分析(表 5),从表可以看出主成分特征值中前 10 个成分因子的累计贡献率已达到 97.53%,而前 5 个综合指标的累计贡献率为 84.82%,可解释 84.82% 的方差,基本上可以代表 18 个指标的绝大部分信息。把 18 个指标转换为 5 个相互独立的综合指标,分别定义为主成分 1~5。

其中决定第 1 主成分的主要是单株粒重(0.4049)、主茎荚数(0.3804)、单株粒数(0.3469)、可溶性糖(-0.3038),表明大豆品种干旱胁迫系数

越大,可溶性糖含量就越小,第 1 主成分就越大,因而把第 1 主成分称为单株因子。第 2 主成分主要由净光合速率(0.3888)、叶片相对含水量(0.3622)、叶绿素含量(0.2997)决定,因此称为光合作用因子。第 3 主成分主要由株高(0.6163)、结荚高(0.5385)和分枝数(0.2821)决定,称为株型因子。第 4 主成分主要由 POD(-0.4143)、丙二醛(0.3963)、相对电导率(0.3198)和 SOD(-0.3117)决定,称为膜稳定因子。第 5 主成分主要由可溶性糖(0.3054)、脯氨酸(0.2564)和分枝数(0.2403)决定,称为渗透调节因子。

在各主成分的特征向量及各指标的抗旱系数的基础上,分别求出每一个大豆品种的 5 个综合指标值。在干旱胁迫下,对于同一综合指标而言,指标数值较大,说明某一品种在这一综合指标上的抗旱性表现越好,反之则差。但各大豆品种的抗旱性由这 5 个综合指标值所共同决定,而且这 5 个综合指标在评价大豆的抗旱性中所起的作用不同,应在此基础上用隶属函数的方法进行评价。

表 5 规范化特征向量及因子累计贡献百分率

Table 5 Planning feature vector and the percentage of the factors cumulative contribution

项目 Items	特征向量 Eigenvector									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
相对含水量 RWC	-0.0078	0.3622	-0.2662	0.0141	-0.0029	0.0615	-0.1405	0.4648	0.4965	-0.3290
丙二醛 MDA	-0.2622	-0.0287	-0.0474	0.3963	0.1004	0.2452	-0.2089	0.2238	-0.0367	-0.2127
相对电导率 REC	-0.2875	0.0728	0.0917	0.3198	-0.0730	0.0341	0.1100	0.1696	0.2188	0.6838
可溶性糖 SS	-0.3038	0.0641	-0.0795	0.1627	0.3054	-0.0011	0.0619	-0.1042	0.2087	-0.1898
脯氨酸 Pro	0.2668	-0.0390	-0.2480	-0.2112	0.2564	0.0647	0.3214	-0.2973	0.1077	-0.0612
过氧化物酶 POD	0.3035	-0.0722	-0.0998	-0.4143	0.0819	0.0581	0.1091	0.2136	0.0095	0.0574
超氧化物歧化酶 SOD	0.0958	-0.1952	-0.0481	-0.3117	0.0568	0.0797	-0.1699	-0.0474	-0.1937	0.1789
叶绿素 Chl a + b	-0.0424	0.2997	-0.0793	-0.0916	0.0133	0.0518	-0.0877	-0.0247	-0.0572	-0.0063
净光合速率 Pn	-0.2145	0.3888	0.1104	0.0938	0.0257	-0.0450	0.0089	-0.1053	-0.1655	0.1376
茎粗 Spear thickness	0.0878	0.1153	0.0637	-0.0431	0.0379	-0.3708	-0.0403	0.1992	-0.0558	-0.1374
株高 Plant height	0.2713	0.1031	0.6163	0.0692	0.0361	-0.2971	-0.2622	-0.0196	0.5644	0.2983
结荚高 Height of pod set	0.0087	-0.2377	0.5385	-0.1980	-0.0901	0.0765	0.3188	0.0025	0.2548	-0.3068
分枝数 Branch number	0.0715	0.2024	0.2821	-0.1322	0.2403	0.6767	-0.1863	-0.3254	0.2120	-0.0112
主茎节数 Nodes of main stem	0.1402	-0.1409	0.1490	0.1557	0.1408	-0.0961	-0.2247	-0.1874	-0.0534	0.0425
主茎荚数 Pots of main stem	0.3804	-0.1599	0.1286	0.2469	-0.1428	0.2961	0.2722	-0.0448	0.1309	0.1795
分枝荚数 Pots of branches	0.1266	0.2038	-0.1149	0.2034	0.2058	-0.2246	0.5538	-0.1733	0.0493	-0.0980
单株粒数 Grains per plant	0.3469	0.2182	0.1097	0.0681	0.1103	0.2685	0.1955	0.5352	-0.3236	0.0906
单株粒重 Grain yield	0.4049	0.2558	0.0489	0.2199	-0.1817	-0.0856	-0.3045	-0.2161	-0.1488	-0.1757
特征值 Eigenvalue	9.7609	2.1829	1.4651	1.1065	0.7518	0.7238	0.5905	0.4753	0.2999	0.1982
方差百分率 Proportion	0.5423	0.1212	0.0814	0.0615	0.0417	0.0400	0.0320	0.0260	0.0170	0.0110
贡献率 Cumulative contribution	0.5423	0.6635	0.7449	0.8064	0.8482	0.8884	0.9212	0.9476	0.9643	0.9753

2.3 抗旱性综合评价

为了较全面地反映品种抗旱能力,又避免因使用性质相同或相互关联的指标而对结果造成偏差,本研究选用反映不同方面的 5 个相互独立的主成分作综合评价。在 μ 值的基础上计算各大豆品种干旱胁迫下用综合指标评价所得的抗旱性度量值,即 D 值,根据 D 值大小进行品种的抗旱性判定(表 6)。

根据隶属函数计算公式求出每个品种所有综合指标的隶属函数值,对某一综合指标而言,品种隶属函数值越大,表明该品种在这一综合指标中表现为强抗旱,否则相反,本研究中晋大 78 在主成分 2 这一综合指标上的 μ 值为 1.000,表明晋大 78 在这一综合指标上表现为强抗旱。根据 5 个主成分综合指标贡献率的大小求出其权重。

利用品种抗旱综合能力 D 值对不同大豆品种抗旱能力进行强弱排序(表 6)。其中晋大 78 综合抗旱 D 值最大,说明其抗旱能力最强;扁茎豆的 D

值最小,抗旱能力最弱。

采用最大距离法对品种综合能力 D 值进行聚类分析(图 1),当卡方距离为 0.74 时,将 22 份不同生态型大豆品种分为 3 类,晋大 78、晋大 74、晋大 70 和晋大 73 这 4 个品种为第Ⅰ类,属强抗旱类型;晋大 75、扁茎豆、黑珍珠为第Ⅲ类,属弱抗旱类型;其他为第Ⅱ类,属中度抗旱类型。

3 结论与讨论

植物体是一个统一的有机体,植物抗旱性是一个复杂的生理过程,是多基因控制的、复杂的数量性状。水分胁迫对大豆的影响不仅仅表现在不同的生长发育阶段,同时也表现在具体的生理生化过程中。大豆抗旱性不仅与品种、遗传特性、形态性状及生理生化反应有关,而且受干旱的类型、程度、发生时期等的影响,是作物体内水分生理功能与代谢相互作用,作物与环境相互作用的结果^[24-25]。以往研究表明,大豆品种类型、植株形态和生理生化指标对水分

表 6 各品种综合指标的 $\mu(x)$ 值、D 值及抗旱性综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation on soybean drought-resistant and $\mu(x)$ value,D value of varieties comprehensive index

编号 No.	综合指标的 $\mu(x)$ 值					D 值	位次
	$\mu(x)$ value of varieties comprehensive index					D value	Order
	$\mu(x_1)$	$\mu(x_2)$	$\mu(x_3)$	$\mu(x_4)$	$\mu(x_5)$		
1	0.698	0.814	0.299	0.458	0.351	0.571	6
2	0	0.401	0.812	0.536	0.745	0.520	15
3	0.352	0.908	0.751	0.735	0.461	0.565	7
4	0	0.554	0.412	0.535	0.889	0.507	19
5	0.761	0.605	0.501	0.523	0	0.574	5
6	0.611	0.844	0.941	0.799	0.597	0.702	4
7	0.901	0.412	1.000	0.605	0.571	0.776	2
8	0	0.402	0.832	0.521	0.753	0.358	21
9	0.645	1.000	0.634	0.889	0.636	0.779	1
10	0.588	0.952	0.222	0	0.589	0.567	8
11	0.091	0.547	0.752	0.698	0.377	0.509	18
12	0.666	0.884	0.598	0.044	0	0.543	9
13	0.213	0.387	0.455	0	0.448	0.514	17
14	0.301	0.545	0.608	0.771	0.462	0.537	11
15	0.467	0.512	0	0.536	0.601	0.531	13
16	0.088	0.138	0.754	0.554	0.769	0.387	20
17	0.442	0.216	0.168	0.208	0.098	0.309	22
18	0.635	0.567	0	0.495	0.568	0.540	10
19	0.546	0	0.098	0.631	0.551	0.535	12
20	0.221	0.718	0.479	0.338	0	0.517	16
21	0.514	0.411	0.231	0.600	0.574	0.528	14
22	1.000	0.237	0.944	0.601	0.551	0.712	3
权重系数 Weight coefficient	0.431	0.219	0.154	0.106	0.087		

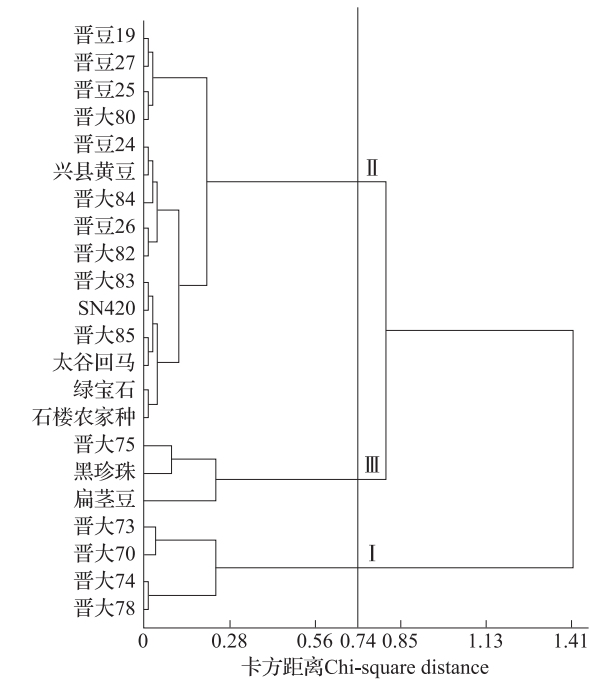


图 1 不同大豆品种的聚类图

Fig. 1 Clustering diagram of different soybean cultivars

胁迫都有明显的响应,而且品种间存在显著差异,可较好地反映品种抗旱性的机理,为大豆抗旱育种提供了一定理论基础。随着研究者对作物生理学、解剖学、生态学的抗旱性表现的深入研究,提出了作物抗旱性鉴定的生理生化指标,并强调大豆抗旱性综合评价。但由于作物抗旱性是受多基因控制的数量性状,如果直接利用单项形态或生理指标评价其抗旱性,则具有一定的片面性,必须用多个指标进行综合评价。因此本试验利用主成分分析方法将抗旱相关的 18 个表型性状和生理生化指标综合成 5 个综合因子。单株因子(单株粒重、主茎荚数、单株粒数),光合作用因子(P_n 、 RWC 、 $Chl\ a + b$),株型因子(株高、结荚高、分枝数),膜稳定因子(POD 、 MDA 、 REC 、 SOD),渗透调节、分枝因子(SS 、 Pro 、分枝数),均可作为大豆抗旱性的鉴定指标,这与王启明等^[15]、孔照胜等^[25]的观点基本一致。

本试验通过对 22 个不同生态型大豆品种在干旱胁迫下形态生理生化指标的测定,利用隶属函数

加权平均法,获得大豆抗旱性度量值(D 值),因为 D 值为[0,1]区间上的无量纲纯数,所以根据 D 值的大小可以较准确地评价各大豆品种的抗旱性,生态型抗旱性的差异也具有可比性,前期试验^[21]结果表明,D 值与大豆实际抗旱性呈极显著的正相关($r = 0.8596$),远高于任何单一指标与大豆抗旱性的相关性。抗旱性鉴定的主要目的是培育干旱条件下能高产、稳产的品种。采用本试验方法鉴定出的抗旱性强的大豆品种晋大 78、晋大 74、晋大 70 和晋大 73,其抗旱性与生产上的表现基本吻合。

参考文献

- [1] 张秀梅,黄丛林,沈元月,等. 植物抗旱基因工程研究进展[J]. 生物技术通报,2001(4):21-25
- [2] 张颜芹,贾伟珑,杨丽莉,等. 不同玉米品种苗期抗旱性研究[J]. 干旱地区农业研究,2001,19(1):83-86
- [3] 祁旭升,刘章雄,关荣霞. 等. 大豆成株期抗旱性鉴定评价方法研究[J]. 作物学报,2012,38(4):665-674
- [4] 梁建秋,张明荣,吴海英. 大豆抗旱性研究进展[J]. 大豆科学,2010,29(2):341-346
- [5] 史宏,刘学义. 野生大豆抗旱性鉴定及研究[J]. 大豆科学,2003,22(4):264-268
- [6] 褚丽丽,张忠学. 氮素营养与水分胁迫对大豆产量补偿效应的影响[J]. 生态学报,2010,30(10):2665-2670
- [7] 张海燕,李贵全. 大豆抗旱性与生理生态指标关系的研究[J]. 中国农学通报,2005,21(8):140-142
- [8] 孙祖东,陈怀珠. 大豆抗旱性研究进展[J]. 大豆科学,2001,20(3):224-225
- [9] Oya T, Nepomuceno A L, Neumaier N. Drought tolerance characteristics of Brazilian soybean cultivars evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian soybean cultivars in the field[J]. Plant Prod Sci, 2004, 7(2):129-137
- [10] Davies W J, Zhang J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil[J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1991, 42:55-76
- [11] Vadez V, Sinclair T R. Leaf ureide degradation and N₂ fixation tolerance to water deficit in soybean[J]. J Exp Bot, 2001, 52(354):153-159
- [12] Boyer J S, Wong S C, Farquhar G D. CO₂ and water vapor exchange across leaf cuticle (epidermis) at various water potential[J]. Plant Physiol, 1997, 114:185-191
- [13] 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,2008,22(6):91-97
- [14] 吴慎杰,李贵全,杜维俊. 大豆抗旱育种中选择指标和标记的研究现状[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(1):139-142
- [15] 王启明,徐心诚,马原松. 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
- [16] 王敏,张从宇,马同富. 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
- [17] 李贵全,李慧峰,张海燕,等. 大豆花荚期抗旱性的鉴定与综合评价[J]. 中国生态农业学报,2007,15(6):96-100
- [18] 王敏,杨万明,侯燕平,等. 不同类型大豆花荚期抗旱性形态指标与综合评价[J]. 核农学报,2010,24(1):154-159
- [19] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 西安:世界图书出版公司,2000:15-228
- [20] 兰巨生,胡福顺. 作物抗旱指数的概念和统计方法[J]. 华北农学报,1990,5(2):20-25
- [21] 李贵全,张海燕,季兰,等. 大豆不同品种抗旱性综合评价[J]. 应用生态学报,2006,17(12):2408-2412
- [22] 谢志坚. 农业科学中的模糊数学方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1983:99-193
- [23] 赵红梅,郭程瑾,段巍巍,等. 小麦品种抗旱性评价指标研究[J]. 植物遗传资源学报,2007,8(1):76-81
- [24] 山仑,陈培元. 旱地农业生理生态基础[M]. 北京:科学出版社,1998:98-105
- [25] 孔照胜,武云帅,岳爱琴,等. 不同大豆品种抗旱性生理指标综合分析[J]. 华北农学报,2000,16(3):402-405