

# 黑龙江中上游地区早熟野生大豆种质资源的抗旱性鉴定

崔杰印<sup>1,2</sup>, 武婷婷<sup>1</sup>, 宋雯雯<sup>1</sup>, 贾鸿昌<sup>2</sup>, 吴纪安<sup>2</sup>, 韩天富<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院作物科学研究所/农业农村部北京大豆生物学重点实验室, 北京 100081; <sup>2</sup>黑龙江省农业科学院黑河分院, 黑河 164300)

**摘要:**一年生野生大豆是栽培大豆的祖先种, 具有遗传变异丰富、蛋白质含量高、抗逆性强等特点。我国东北北部地区野生大豆分布广泛, 但对该地区野生大豆种质资源的性状鉴定和育种利用相对滞后。本试验选用来自黑龙江中上游地区、生育期相近的 30 份野生大豆资源, 在人工控制水分的条件下进行全生育期多性状抗旱性鉴定。试验结果表明, 不同性状对干旱胁迫的反应存在一定差异, 其中产量和株高反应敏感, 生育期性状及百粒重反应钝感。对所得抗旱性度量值(D)进行聚类分析, 将供试材料划分为 5 个级别, 其中 I 级(高度抗旱型)2 份(锦 05017, C05038)、II 级(中度抗旱型)4 份、III 级(弱抗旱型)12 份、IV 级(水分敏感型)10 份、V 级(水分高度敏感型)2 份。抗旱性度量值(D)与营养生长期(V)、分枝数及单株产量呈极显著正相关, 与生殖生长期(R)及 R/V 比值呈负相关, 表明在干旱胁迫条件下, 营养生长期(V)相对较长、生殖生长期(R)相对较短、R/V 较小的材料抗旱性较高。综上所述, 根据多性状指标计算的抗旱性度量值(D)是评价野生大豆资源抗旱性的可靠指标。营养生长期、R/V、分枝数和单株产量等性状可作为野生大豆抗旱性评价的简便指标。

**关键词:**野生大豆; 干旱胁迫; 抗旱性鉴定; D 值

## Drought Tolerance Evaluation of the Early-Maturing Annual Wild Soybeans from the Upper and Middle Reaches of Heilongjiang River

CUI Jie-yin<sup>1,2</sup>, WU Ting-ting<sup>1</sup>, SONG Wen-wen<sup>1</sup>, JIA Hong-chang<sup>2</sup>, WU Ji-an<sup>2</sup>, HAN Tian-fu<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/ Key Laboratory of Soybean Biology(Beijing), Ministry of Agriculture, Beijing 100081; <sup>2</sup>Heihe Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heihe 164300)

**Abstract:** As the ancestor of cultivated soybean, wild soybean with annual habit (*Glycine soja* Sieb. et Zucc.) represents abundant genetic diversity, high protein content, strong tolerance to stresses, etc. The wild soybean was widely distributed in northeast part of China, but exploration and breeding application remained largely delayed. By using thirty wild soybean accessions that were collected from upper and middle reaches of the Heilongjiang River, we evaluated the drought tolerance both in normal irrigation and drought stress treatments using multiple indices. The results showed the differences in responses of various traits of wild soybeans to drought stress, i. e., that yield and plant height were sensitive to drought stress whereas 100-seed weight and maturity traits were insensitive. These accessions were classified into five groups according to the drought tolerance comprehensive value(D). Two accessions (Jin 05017 and C05038) were classified into grade I (highly-tolerant), four accessions in grade II (medium-tolerant), 12 in grade III (weakly-tolerant), 10 in grade IV (water-sensitive) and 2 in grade V (highly-sensitive to water). D value, as the comprehensive index of drought tolerance, positively correlated to vegetative growth period (V), branch number and seed yield per plant, and negatively correlated to reproductive period (R) and the ration of

收稿日期: 2018-04-02 修回日期: 2018-06-04 网络出版日期: 2018-08-24

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180822.1002.001.html>

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04); 中国农业科学院农业科技创新工程

第一作者研究方向为大豆遗传育种。E-mail: cuijieyin@163.com

通信作者: 韩天富, 研究方向为大豆遗传育种。E-mail: hantianfu@caas.cn

吴纪安, 研究方向为大豆生态育种。E-mail: dd2wja@163.com

R to V (R/V). That indicated that wild soybeans with longer vegetative growth period, shorter reproductive period and smaller R/V ratio became tolerant to drought stress. Taken together, this work suggested the D value as the comprehensive index based on multiple traits might be a reliable indicator for evaluating the drought tolerance of wild soybeans. Alternatively, vegetative period, R/V ration, branch number and seed yield per plant can be used as simple indices for drought tolerance evaluation.

**Key words:** wild soybean (*Glycine soja*); drought stress; evaluation of drought tolerance; D value

干旱是我国最主要的农业自然灾害之一,严重制约作物生产力的提升、农业可持续发展和社会经济稳定<sup>[1-2]</sup>。在大豆生产中,水分亏缺是影响籽粒产量的最重要逆境因素<sup>[3-4]</sup>。东北北部地区是我国大豆重要产区,该地区春旱频发,7、8月出现的伏旱及秋旱也很常见<sup>[5-6]</sup>,对大豆生长发育和产量产生较大影响<sup>[7]</sup>。随着全球气候变化趋势的加剧,干旱问题将更加突出,对大豆品种的抗旱性提出了新的要求<sup>[8]</sup>。野生大豆种质资源遗传变异较为丰富,可能蕴藏着栽培大豆缺少的抗旱基因资源,有助于拓宽大豆的抗性遗传基础<sup>[9-11]</sup>。因此,对野生大豆进行抗旱性鉴定可望为大豆抗旱育种提供新的基因资源。

近年来,国内外学者在大豆抗旱性鉴定方面做了大量研究工作,所鉴定的抗旱性相关性状有产量、株高、节间长度、百粒重和分枝数等<sup>[12-22]</sup>。目前采用的大豆抗旱性评价方法可分为3类:一是直接收

益即平均单产;二是抗旱系数,即干旱胁迫与正常水分条件下的产量之比<sup>[16]</sup>;三是以多性状指标来综合评价种质抗旱性<sup>[1,6-18]</sup>。以上研究多集中在栽培大豆的抗旱性评价方面<sup>[19-25]</sup>,而对野生大豆抗旱性的研究较少<sup>[25]</sup>,尤其是对高纬寒地野生大豆资源的抗旱性研究鲜有报道。本试验以黑龙江中上游流域代表性野生大豆资源为材料,采用多性状指标来综合评价种质抗旱性,对野生大豆全生育期各农艺性状指标进行抗旱性鉴定,筛选抗旱材料,分析抗旱野生大豆的特点,为大豆抗旱育种提供新的种质资源。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

选用采自黑龙江中上游地区生育期相近的野生大豆种质资源共30份,材料名称、地理来源及主要植物学性状等信息见表1。

表1 供试野生大豆资源的名称、地理来源及主要植物学性状

Table 1 Accession name, geographical origin and the main botanical traits of wild soybean germplasm

编号 No.	材料名称 Accession name	原产地地理位置 Geographical origin		花色 Bloom color	叶形 Leaflet shape	茸毛色 Pubescence color	种皮色 Seed coat color	脐色 Hilum color
		纬度(N) Latitude	经度(E) Longitude					
1	B04010	50°17'43"	127°05'17"	紫	披针形	棕	黑	褐
2	B04009	50°17'43"	127°05'17"	紫	披针形	棕	黑	褐
3	H04057-1	50°17'45"	127°05'29"	白	椭圆形	棕	黑	黑
4	E04054	50°17'43"	127°05'25"	紫	披针形	棕	褐黄	褐
5	C05038	50°17'42"	127°05'12"	紫	披针形	灰	黑	黑
6	J04064	50°17'46"	127°05'20"	白	披针形	棕	淡褐	褐
7	J04097	50°17'46"	127°05'20"	白	披针形	棕	黑	黑
8	J04006	50°17'46"	127°05'20"	白	披针形	棕	青	褐
9	J04101	50°17'46"	127°05'20"	白	披针形	棕	黑	黑
10	J04103	50°17'46"	127°05'20"	白	披针形	棕	黑	褐
11	C04083	50°17'42"	127°05'12"	紫	椭圆形	棕	棕	褐
12	J04115	50°17'46"	127°05'20"	紫	椭圆形	棕	黑	褐
13	建03BY	52°22'59"	125°29'55"	紫	椭圆形	棕	青	褐
14	锦05017	50°02'32"	127°09'46"	紫	披针形	棕	黑	褐
15	J04091	50°17'46"	127°05'20"	紫	披针形	灰	棕	白
16	C04088	50°17'42"	127°05'12"	紫	披针形	棕	棕	褐

表 1(续)

编号 No.	材料名称 Accession name	原产地地理位置 Geographical origin		花色 Bloom color	叶形 Leaflet shape	茸毛色 Pubescence color	种皮色 Seed coat color	脐色 Hilum color
		纬度(N) Latitude	经度(E) Longitude					
17	C04090	50°17'42"	127°05'12"	紫	椭圆形	棕	黑	黑
18	C04048	50°17'42"	127°05'12"	紫	披针形	棕	棕	白
19	锦 05017-1	52°22'59"	125°29'55"	紫	披针形	棕	黄	黑
20	H04062	50°17'45"	127°05'29"	白	披针形	灰	棕	褐
21	建 02	52°22'59"	125°29'55"	紫	披针形	棕	黑	褐
22	A04002	50°17'43"	127°05'22"	紫	披针形	灰	黑	黑
23	A05004	50°17'43"	127°05'22"	紫	披针形	灰	黑	黑
24	H04050	50°17'45"	127°05'29"	紫	椭圆形	棕	黑	褐
25	J04084	50°17'46"	127°05'20"	紫	披针形	棕	青	褐
26	大混 3	50°49'55"	127°10'26"	紫	披针形	棕	青	褐
27	大 27	50°49'55"	127°10'26"	紫	椭圆形	棕	黄	白
28	J04043	50°17'46"	127°05'20"	紫	椭圆形	棕	黑	黑
29	奋 04-1	52°22'03"	125°29'25"	白	椭圆形	棕	青	白
30	B04020	50°17'43"	127°05'17"	紫	披针形	棕	黑	褐

## 1.2 试验设计

试验于 2014 年在黑龙江省农业科学院黑河分院(50°15'N,127°27'E,海拔 168.5 m)抗旱鉴定池内进行,池内装 50 cm 厚黑土,四周用水泥墙分隔,底部为混凝土。鉴定池上安装透明有机玻璃,透光率约为 84%。试验设干旱胁迫与正常浇水(对照)两个处理,每处理 3 次重复。穴播,每份材料 3 穴,待第 1 个三出复叶展开后,每穴定苗 3 株,穴距 50 cm,直线排列,行长 1.5 m,行距(不同材料间隔)45 cm。5 月 13 日人工开沟点播,播前浇足底墒水,保证出苗。播种时选大小一致的饱满种子进行磨砂处理,打破种皮,以利吸水。干旱胁迫处理自出苗到成熟不浇水;对照全生育期正常灌水,满足野生大豆正常生长发育的水分需求,并保证各个品种浇水量一致。

## 1.3 田间调查与室内考种

按 Fehr 等<sup>[26]</sup>的大豆发育时期分期标准记载供试材料的出苗期(VE, vegetative stages emergence)、初花期(R1, beginning bloom)、生理成熟期(R7, beginning maturity)和完熟期(R8, full maturity)。收获时根据《大豆种质资源描述规范和数据标准》<sup>[18]</sup>对全部材料(每份 9 株)的株高、主茎节数、有效分枝数、单株产量、百粒重等性状进行室内考种。

## 1.4 数据处理与统计分析

用 DPS 数据处理系统<sup>[27]</sup>进行相关性分析、主成分分析<sup>[28-29]</sup>,常规的数据利用 Excel 办公软件处理。采用模糊数学中的隶属函数值法<sup>[30]</sup>及综合抗旱系

数相结合的方法计算单项抗旱系数(DC)、指标权数( $\omega_i$ )、隶属函数值 $\mu(X_i)$ 和抗旱度量值(D)等指标。具体公式如下:

$$\text{单项抗旱系数 } DC = \frac{X_j}{CK_j}, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

式中  $X_j$ 、 $CK_j$  分别为干旱及对照处理的性状测定值。

$$\text{指标权数 } \omega_i = P_i \div \sum_{i=1}^n P_i, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

式中,  $n$  为提取主成分个数,  $\omega_i$  表示第  $i$  个主成分在所有主成分中的重要程度;  $P_i$  为第  $i$  个主成分的特征值。

$$\text{隶属函数 } \mu(X_i) = \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

式中,  $X_i$  为指标测定值,  $X_{i\max}$  和  $X_{i\min}$  分别为所有参试材料某一指标的最大值和最小值。

$$\text{抗旱性度量值 } D = \sum_{i=1}^n [\mu(X_i) \times \omega_i], i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

式中,  $D$  值为在干旱胁迫下用综合指标评价所得的抗旱性综合度量值,  $D$  值越大,抗旱性越强。

## 2 结果与分析

### 2.1 供试野生大豆种质资源生育期性状的差异

供试野生大豆材料的全生育期(本研究中按出苗至生理成熟的天数计算)相近(灌水条件下最多相差 9 d,干旱胁迫下最多相差 12.7 d),基本属

于相同的生育期组<sup>[31]</sup>,但生殖生长期(R)与营养生长期(V)的比值即生育期比(R/V)存在较大变异。干旱胁迫对野生大豆的生育期性状有一定影响,但变幅不大,其中,营养生长期缩短2.80%,生

殖生长期缩短6.35%,全生育期缩短5.09%,R/V比值下降1.66%(表2),变幅均小于株高等农艺性状的变化,说明野生大豆的生育期性状是较为稳定的。

表2 供试野生大豆材料在不同水分条件下的生育期性状表现

Table 2 Phenotypic variations on maturity traits of wild soybean accessions under different irrigation treatments

材料名称 Accession name	干旱 Drought				灌水 Irrigated			
	营养生 长期(d)	生殖生 长期(d)	生育期比 R/V	全生育期(d)	营养生 长期(d)	生殖生 长期(d)	生育期比 R/V	全生育期(d)
	Vegetative period	Reproductive period		Maturity	Vegetative period	Reproductive period		Maturity
B04010	29.3 ± 0.3	43.0 ± 0.6	1.47 ± 0.04	72.3 ± 0.3	29.7 ± 0.3	47.0 ± 0.0	1.59 ± 0.02	76.7 ± 0.3
B04009	28.7 ± 0.3	44.7 ± 0.9	1.56 ± 0.05	73.3 ± 0.7	29.7 ± 0.3	48.0 ± 0.6	1.62 ± 0.04	77.7 ± 0.3
H04057-1	34.7 ± 0.7	42.0 ± 1.0	1.21 ± 0.05	76.7 ± 0.3	36.3 ± 0.3	46.0 ± 0.6	1.27 ± 0.03	82.3 ± 0.3
E04054	29.7 ± 0.9	46.7 ± 0.9	1.58 ± 0.08	76.3 ± 0.3	30.7 ± 0.3	50.0 ± 0.6	1.63 ± 0.04	80.7 ± 0.3
C05038	32.0 ± 0.0	44.7 ± 0.3	1.40 ± 0.01	76.7 ± 0.3	32.0 ± 0.0	50.7 ± 0.3	1.58 ± 0.01	82.7 ± 0.3
J04064	29.3 ± 0.3	46.0 ± 0.6	1.57 ± 0.04	75.3 ± 0.3	29.7 ± 0.7	48.7 ± 0.9	1.64 ± 0.06	78.3 ± 0.3
J04097	27.7 ± 0.3	49.0 ± 0.0	1.77 ± 0.02	76.7 ± 0.3	28.0 ± 0.0	50.0 ± 0.0	1.79 ± 0.00	78.0 ± 0.0
J04006	29.7 ± 0.3	47.0 ± 0.0	1.59 ± 0.02	76.7 ± 0.3	29.7 ± 0.3	48.7 ± 0.7	1.64 ± 0.04	78.3 ± 0.3
J04101	30.7 ± 0.3	46.7 ± 0.3	1.52 ± 0.03	77.3 ± 0.3	31.7 ± 0.3	46.0 ± 0.0	1.45 ± 0.01	77.7 ± 0.3
J04103	30.7 ± 0.9	44.7 ± 0.9	1.46 ± 0.06	75.3 ± 0.9	32.0 ± 0.0	48.0 ± 0.6	1.50 ± 0.02	80.0 ± 0.6
C04083	29.0 ± 0.0	48.7 ± 0.3	1.68 ± 0.01	77.7 ± 0.3	30.0 ± 0.0	53.0 ± 0.0	1.77 ± 0.00	83.0 ± 0.0
J04115	27.7 ± 0.3	42.3 ± 0.3	1.53 ± 0.02	70.0 ± 0.6	29.3 ± 0.9	47.7 ± 0.33	1.63 ± 0.06	77.0 ± 0.6
建03BY	26.7 ± 0.3	46.7 ± 0.3	1.75 ± 0.03	73.3 ± 0.3	28.7 ± 0.3	48.7 ± 0.3	1.70 ± 0.03	77.3 ± 0.3
锦05017	33.0 ± 1.2	44.7 ± 1.9	1.36 ± 0.10	77.7 ± 0.9	31.7 ± 0.3	49.3 ± 0.3	1.56 ± 0.03	81.0 ± 0.0
J04091	29.3 ± 0.3	48.0 ± 0.6	1.64 ± 0.04	77.3 ± 0.3	29.0 ± 0.0	50.3 ± 0.3	1.73 ± 0.01	79.3 ± 0.3
C04088	28.7 ± 0.3	46.0 ± 1.0	1.60 ± 0.05	74.7 ± 0.7	29.3 ± 0.3	48.3 ± 0.7	1.65 ± 0.04	77.7 ± 0.3
C04090	30.0 ± 0.6	48.0 ± 0.6	1.60 ± 0.04	78.0 ± 0.6	29.3 ± 0.3	50.7 ± 0.3	1.73 ± 0.03	80.0 ± 0.0
C04048	32.0 ± 0.6	45.7 ± 0.9	1.43 ± 0.06	77.7 ± 0.3	32.3 ± 0.3	52.0 ± 0.0	1.61 ± 0.02	84.3 ± 0.3
锦05017-1	31.7 ± 0.9	47.0 ± 1.0	1.49 ± 0.07	78.7 ± 0.3	32.7 ± 0.3	50.3 ± 0.3	1.54 ± 0.02	83.0 ± 0.0
H04062	28.7 ± 0.3	50.0 ± 0.6	1.75 ± 0.03	78.7 ± 0.7	29.7 ± 0.3	53.7 ± 0.7	1.81 ± 0.04	83.3 ± 0.3
建02	30.7 ± 0.3	46.7 ± 0.9	1.52 ± 0.04	77.3 ± 0.7	32.0 ± 0.6	49.3 ± 0.9	1.54 ± 0.05	81.3 ± 0.7
A04002	33.0 ± 1.0	49.7 ± 0.9	1.51 ± 0.07	82.7 ± 0.3	33.3 ± 0.3	51.3 ± 0.3	1.54 ± 0.02	84.7 ± 0.3
A05004	31.0 ± 1.0	47.0 ± 1.0	1.52 ± 0.08	78.0 ± 0.0	32.0 ± 0.0	47.7 ± 0.3	1.49 ± 0.01	79.7 ± 0.3
H04050	27.7 ± 0.3	47.0 ± 0.0	1.70 ± 0.02	74.7 ± 0.3	30.3 ± 0.3	50.3 ± 0.3	1.66 ± 0.03	80.7 ± 0.3
J04084	30.0 ± 0.6	46.0 ± 0.6	1.53 ± 0.04	76.0 ± 0.7	30.7 ± 0.3	48.3 ± 0.3	1.58 ± 0.03	79.0 ± 0.0
大混3	29.3 ± 0.7	45.7 ± 0.7	1.56 ± 0.06	75.0 ± 0.0	33.0 ± 0.0	48.3 ± 0.3	1.46 ± 0.01	81.3 ± 0.3
大27	29.7 ± 0.3	48.7 ± 0.3	1.64 ± 0.01	78.3 ± 0.7	29.7 ± 0.3	50.7 ± 0.7	1.71 ± 0.04	80.3 ± 0.3
J04043	31.7 ± 0.7	43.7 ± 0.7	1.38 ± 0.04	75.3 ± 0.7	32.7 ± 0.3	53.0 ± 0.0	1.63 ± 0.02	85.7 ± 0.3
奋04-1	29.3 ± 0.3	49.3 ± 0.3	1.68 ± 0.03	78.7 ± 0.3	31.3 ± 0.3	50.7 ± 0.7	1.62 ± 0.03	82.0 ± 0.6
B04020	31.0 ± 1.0	45.7 ± 1.9	1.48 ± 0.11	76.7 ± 0.9	32.0 ± 0.0	49.3 ± 0.3	1.54 ± 0.01	81.3 ± 0.3
平均数 Mean	30.1 ± 1.8	46.4 ± 2.1	1.55 ± 0.13	76.4 ± 2.3	30.9 ± 1.8	49.5 ± 1.9	1.61 ± 0.11	80.5 ± 2.5
变异系数 CV	5.95	4.48	8.07	3.06	5.70	3.89	6.70	3.04

营养生长期:出苗到初花期天数;生殖生长期:初花到成熟期天数;生育期比:生殖生长期与营养生长期天数之比;下同

Vegetative period; Days from emergence to beginning bloom, Reproductive period; Days from beginning bloom to physiological maturity, R/V; The ratio of the reproductive period to the vegetative period, the same as below

### 2.2 不同水分处理条件下野生大豆种质资源农艺性状的比较

干旱胁迫对 30 份野生大豆种质资源的农艺性状均有较大影响。其中,株高比灌水处理降低

39.9%,主茎节数减少 38.9%,分枝数减少 77.1%,百粒重降低 16.2%,单株产量下降 66.7%(图 1a~e)。干旱胁迫和正常灌水条件下各性状平均值的差异均达显著或极显著水平。

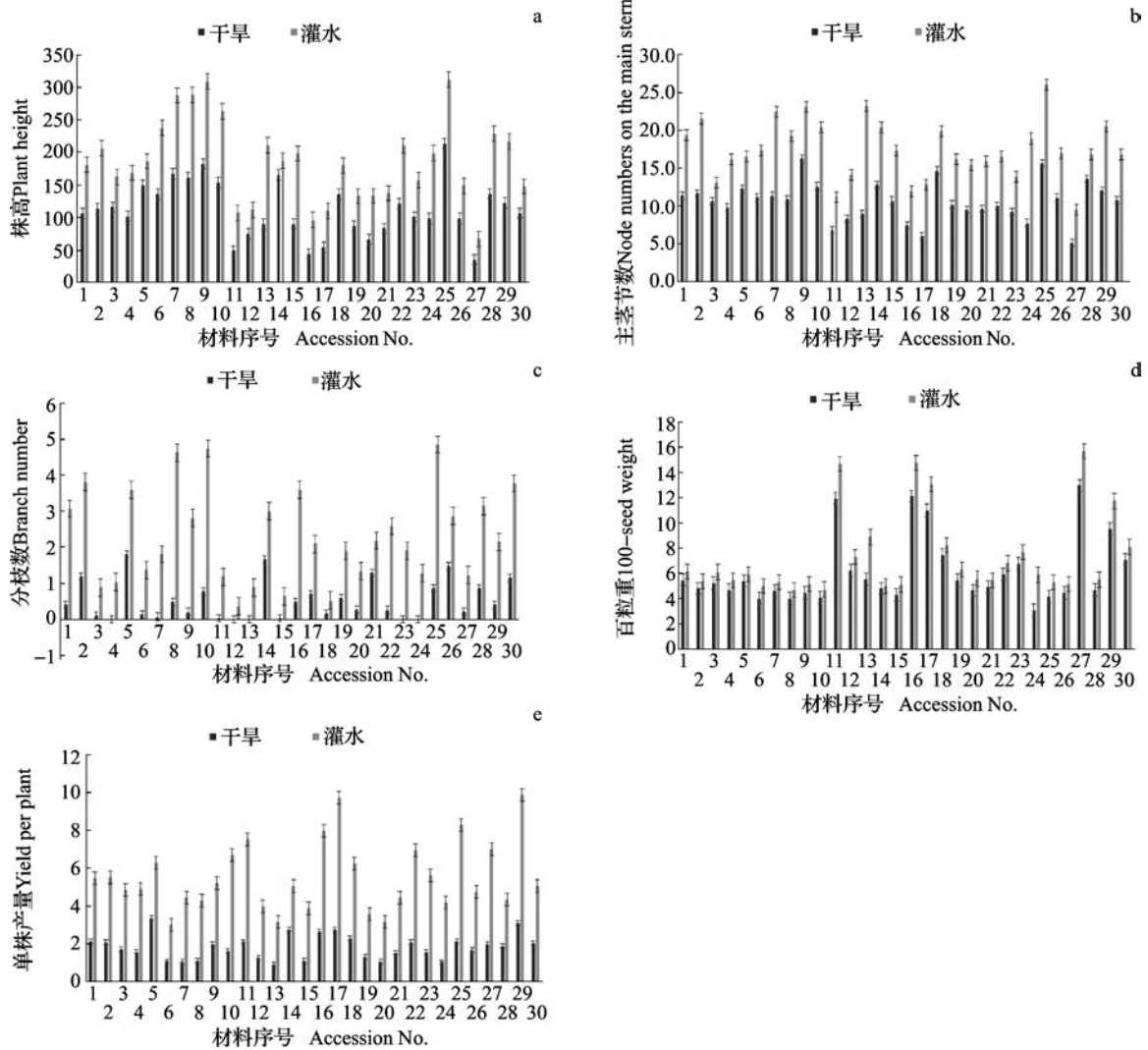


图 1 供试野生大豆种质资源在不同水分处理条件下农艺性状的比较

Fig. 1 Comparisons of agronomic traits of wild soybean germplasm in drought and irrigation treatments

### 2.3 供试野生大豆种质资源主要农艺性状的抗旱系数

图 2 是以性状为单位的抗旱系数(DC)频率分布图。可以看出,各性状的 DC 值分布次数和频率相差较大,其中,营养生长期(V)、生殖生长期(R)和生育期比(R/V)的 DC 值均大于 0.8,百粒重 DC 值≥0.8 的供试材料累计分布频率为 90%,主茎节数 DC 值在 0.6~0.8 之间的分布频率大于 60%,说明生育期比(R/V)、营养生长期(V)、生殖生长期(R)和百粒重对于干旱胁迫的反应较迟钝,主茎节数次之,株高、单株产量、分枝数则较为敏

感(DC 值 < 0.6)。相同野生大豆资源不同性状 DC 值有较大差异,且性状间关系复杂,用单一性状抗旱系数难以全面、准确地评价野生大豆资源的抗旱性。

### 2.4 主成分分析

对 8 个性状进行主成分分析,结果(表 3)表明,前 4 个主成分的贡献率分别为 50.68%、15.31%、14.02%和 9.07%,累积贡献率为 89.08%,其余主成分贡献率较小,可以忽略不计,由此把原来的 8 个性状指标转换为 4 个新的相互独立的综合指标。第 1 主成分在株高和单株产量上有较高载荷量,第 2

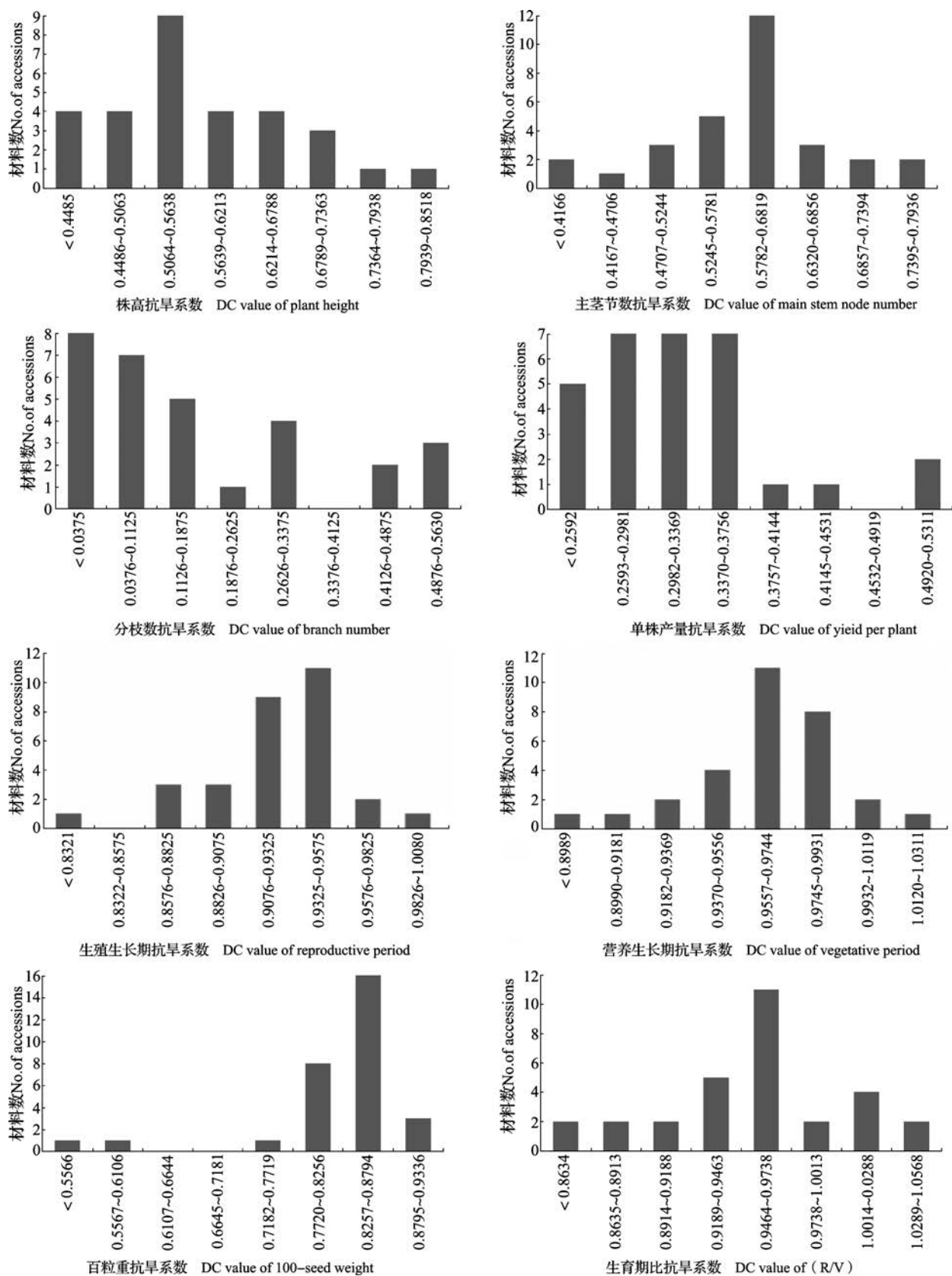


图2 供试野生大豆资源主要农艺性状指标抗旱系数(DC)的频数分布  
 Fig. 2 Frequency distribution of wild soybean germplasm according to the DC values of the major phenological and agronomic traits

主成分在营养生长期和生育期比上有较高载荷量,第3主成分在百粒重和生殖生长期上有较高载荷量,第4主成分在主茎节数和分枝数上有较高载荷

量。在获得各公因子特征向量和贡献率的基础上,据公式(2)计算各公因子权重系数(表3),用以计算加权隶属函数值。

表3 野生大豆种质资源主要农艺性状的主成分分析

Table 3 Principal component analysis of the main agronomic traits in tested wild soybean germplasm

性状 Trait	主成分 Principal components			
	1	2	3	4
营养生长期 Vegetative period	0.25	-0.67	0.38	0.13
生殖生长期 Reproductive period	-0.32	0.08	0.70	0.07
生育期比 R/V	-0.38	0.50	0.29	-0.03
株高 Plant height	0.38	0.31	0.13	0.01
主茎节数 Node numbers on the main stem	0.35	0.22	0.04	-0.70
分枝数 Branch number	0.33	0.34	0.08	0.63
单株产量 Yield per plant	0.41	0.18	-0.08	0.21
百粒 100-seed weight	0.37	0	0.50	-0.20
特征值 Eigenvalue	4.05	1.22	1.12	0.73
贡献率(%) Contributing rate	50.68	15.31	14.02	9.07
累计贡献率(%) Cumulative contribution	50.68	65.99	80.01	89.08
权重 Weight	0.57	0.17	0.16	0.10

## 2.5 供试野生大豆种质的综合抗旱性评价

为全面了解供试野生大豆资源的抗旱性,本研究综合考虑多性状指标,采用模糊隶属函数法计算抗旱性度量值 D,根据 D 值大小对 30 份野生大豆资源进行抗旱性排序(D 值越大、抗旱性越强)。结果(表4)表明,供试材料的 D 值介于 0.15 ~ 0.83 之间,平均值为 0.468,变异系数为 0.292。采用最长距离法对 D 值进行聚类分析,将供试材料分为 5 个抗旱级别类群(图3),其中,类群 I(D

值介于 0.75 ~ 0.83) 包括锦 05017 和 C05038 等 2 份材料,属高度抗旱型;类群 II(D 值介于 0.58 ~ 0.65) 包括 C04048 和建 02 等 4 份材料,属中度抗旱型;类群 III(D 值介于 0.43 ~ 0.55) 包括 A04002 和 J04064 等 12 份材料,属弱抗旱型;类群 IV(D 值介于 0.33 ~ 0.42) 包括 E04054 和 J04006 等 10 份材料,属水分敏感型;类群 V(D 值介于 0.15 ~ 0.20) 包括 H04050 和建 03BY 等 2 份材料,属高度水分敏感型。

表4 供试野生大豆种质资源的隶属函数值、D 值及抗旱性综合排序

Table 4 Membership function values, D values and the drought tolerance ranks of the wild soybean germplasm tested in the current study

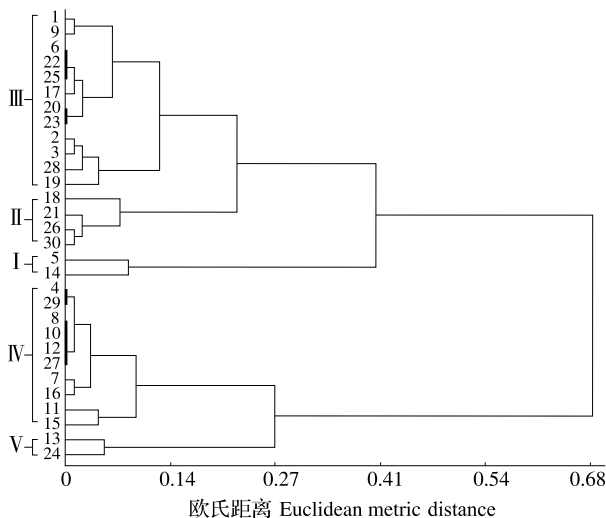
材料名称 Accession name	隶属函数值 Membership function value				D 值 Value of drought tolerance	排序 Rank in the drought tolerance
	$\mu(1)$	$\mu(2)$	$\mu(3)$	$\mu(4)$		
B04010	0.56	0.19	0.51	0.53	0.49	11
B04009	0.50	0.34	0.57	0.77	0.51	10
H04057-1	0.63	0.48	0.47	0.00	0.52	9
E04054	0.45	0.27	0.55	0.30	0.42	19
C05038	0.95	0.41	0.47	0.66	0.75	2
J04064	0.47	0.25	0.56	0.42	0.44	14
J04097	0.30	0.19	0.84	0.52	0.39	26
J04006	0.38	0.14	0.78	0.49	0.41	23
J04101	0.37	0.53	1.00	0.26	0.48	12

表 4(续)

材料名称 Accession name	隶属函数值 Membership function value				D 值 Value of drought tolerance	排序 Rank in the drought tolerance
	$\mu(1)$	$\mu(2)$	$\mu(3)$	$\mu(4)$		
J04103	0.40	0.33	0.57	0.35	0.41	24
C04083	0.36	0.18	0.40	0.33	0.33	28
J04115	0.49	0.32	0.33	0.27	0.41	21
建 03BY	0.01	0.36	0.27	0.84	0.20	29
锦 05017	1.00	0.25	0.73	1.00	0.83	1
J04091	0.40	0.03	0.65	0.39	0.37	27
C04088	0.38	0.24	0.58	0.44	0.40	25
C04090	0.43	0.00	0.67	0.95	0.45	13
C04048	0.82	0.35	0.46	0.52	0.65	3
锦 05017-1	0.56	0.42	0.58	0.61	0.55	7
H04062	0.43	0.29	0.51	0.49	0.43	18
建 02	0.54	0.56	0.72	0.87	0.60	4
A04002	0.40	0.25	0.79	0.40	0.44	16
A05004	0.36	0.41	0.90	0.14	0.43	17
H04050	0.00	0.44	0.01	0.78	0.15	30
J04084	0.41	0.32	0.62	0.51	0.44	15
大混 3	0.43	1.00	0.61	0.64	0.58	6
大 27	0.37	0.14	0.70	0.65	0.41	22
J04043	0.83	0.25	0.00	0.19	0.53	8
奋 04-1	0.29	0.56	0.65	0.52	0.42	20
B04020	0.62	0.46	0.59	0.60	0.59	5

$\mu(1) \sim \mu(4)$  表示 4 个主成分的隶属函数值

$\mu(1) \sim \mu(4)$  represent the membership function value of the four principal components



I: 高度抗旱; II: 中抗旱; III: 弱抗旱; IV: 水分敏感型; V: 水分高度敏感

I: Highly-tolerant, II: Medium-tolerant, III: Weakly-tolerant,

IV: Water-sensitive, V: Highly-sensitive to water

图 3 基于 D 值的野生大豆资源抗旱性系统聚类图

Fig. 3 Cluster analysis of drought tolerance of wild soybean based on D values

## 2.6 干旱胁迫下野生大豆各性状间的相关性

对野生大豆主要性状与抗旱性度量值 D 值进行相关分析的结果(表 5)表明,抗旱性度量值(D)与供试材料在干旱条件下的分枝数、单株产量及营养生长期呈极显著正相关,与主茎节数呈显著正相关,与生育期比(R/V)呈极显著负相关,与生殖生长期呈显著负相关,说明在干旱条件下,营养生长期长、R/V 比值小、主茎节数和分枝数多的野生大豆单株产量高、抗旱性强。各性状间也存在一定的相关性,其中,营养生长期与单株产量呈显著正相关,分枝数和百粒重与单株产量呈极显著正相关,上述性状可以作为评价大豆抗旱性的间接指标。

## 3 讨论

作物的抗旱性是相对复杂的数量性状,是基因型与环境共同作用的结果,不同性状对干旱的反应也各不相同。在作物抗旱性鉴定过程中,指标性状的选择尤为重要。大量研究表明,单一的农艺性状指标只能反映抗旱性的某个方面,难以全面准确地反映作物抗旱性的强弱,而多指标多方法相结合



表 5 供试野生大豆主要性状指标与抗旱性度量值 D 值的相关性分析

Table 5 Correlation analysis on the main characteristics and D values of tested wild soybean

指标 Index	营养生长期 Vegetative period	生殖生长期 Reproductive period	生育期比 R/V	株高 Plant height	主茎节数 Node number on the main stem	分枝数 Branch number	单株产量 Yield per plant	百粒重 100-seed weight
生殖生长期 Reproductive period	-0.27							
生育期比 R/V	-0.85 **	0.73 **						
株高 Plant height	0.30	-0.22	-0.33					
主茎节数 Node number on the main stem	0.35	-0.31	-0.43 *	0.87 **				
分枝数 Branch number	0.34	-0.29	-0.42 *	0.25	0.30			
单株产量 Yield per plant	0.39 *	-0.10	-0.35	0.08	0.16	0.52 **		
百粒重 100-seed weight	-0.07	0.29	0.20	-0.62 **	-0.57 **	-0.14	0.49 **	
D 值 D value	0.68 **	-0.37 *	-0.70 **	0.30	0.45 *	0.74 **	0.54 **	-0.09

\* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著

\* and \*\* represent statistically significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively

的抗旱性综合评价比较可靠。本研究选取与野生大豆全生育期抗旱性相关的 8 个性状指标,利用主成分分析法、隶属函数法和抗旱性度量值 D 值,结合聚类分析,将供试野生大豆材料抗旱性分为 5 个等级:高抗旱型(D 值介于 0.75 ~ 0.83)、中抗旱型(D 值介于 0.58 ~ 0.65)、弱抗旱型(D 值介于 0.43 ~ 0.55)、水分敏感型(D 值介于 0.33 ~ 0.42)和水分高度敏感型(D 值介于 0.15 ~ 0.20)。

本研究结果表明,干旱会导致野生大豆株高降低、主茎节数和分枝数减少、单株产量和百粒重下降。抗旱性与分枝数、单株产量、营养生长期呈极显著正相关,抗旱性与生育期比(R/V)呈极显著负相关,表明营养生长期较长、在干旱条件下干物质积累能力较强是耐旱野生大豆的重要特征。在干旱条件下,较长的营养生长期(开花较晚)有利于根系下扎和茎叶生长,可增加前期营养物质积累,为后期生长和种子发育提供更多营养物质。在栽培大豆中,植株较高、主茎节数较多、地上部干重较大、百粒重较低的品种抗旱性较强。从主成分分析的结果可以看出,株高和单株产量是构成第 1 主成分的主要因素,营养生长期和生育期比(R/V)是构成第 2 主成分的主要因素,百粒重和生殖生长期是构成第 3 主成分的主要因素,主茎节数和分枝数是构成第 4 主成分

的主要因素。这些性状可作为抗旱性选择的简便指标<sup>[32-33]</sup>。

在大豆生长季节,降雨的集中分布时段通常与大豆水分需求高峰并不一致。开花期的调节,可使大豆的水分敏感期(花荚期)与雨季同步,实现“花雨相遇”,更好地利用自然降水。与栽培大豆相比,野生大豆的抗旱性较强,可能与其营养生长期较长、生殖生长期较短<sup>[34]</sup>、花期与降雨期重合有关。在栽培大豆育种中,通过生育期结构的调整,可以使大豆品种充分利用自然光温水分资源,获得高产稳产<sup>[35-37]</sup>。

黑龙江中上游地区野生大豆生长在高纬地区,具有熟期早、节数多、结荚多、抗逆性强、蛋白质含量高性状特点,具有丰富的遗传多样性,可在栽培大豆育种中加以利用。

#### 参考文献

- [1] Lesk C, Rowhani P, Ramankutty N. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 2016, 529:84-87
- [2] Hu Y N, Liu Y J, Tang H J, Xu Y L, Pan J. Contribution of drought to potential crop yield reduction in a wheat-maize rotation region in the North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13:1509-1519
- [3] von Uexkull N, Croicu M, Fjelde H, Buhaug H. Civil conflict sensitivity to growing-season drought. *Proceedings of National Academy of Sciences, USA*, 2016, 113(44):12391-12396

- [4] 杨如萍,包振贤,陈光荣.大豆抗旱性研究进展.作物杂志,2012(5):8-12
- [5] He X Y,Zheng H F,Guo R C,Ren Z B,Zhang D,Lin J X. Spatial and temporal analysis of drought risk during the crop-growing season over northeast China. *Natural Hazards*,2014,71:275-289
- [6] 韩晓敏,延军平.东北农牧交错带旱涝特征对气候变化的响应.水土保持通报,2015,35(2):257-262
- [7] 何继红,刘天鹏,董孔军,刘敏轩,陆平,任瑞玉,张磊,杨天育.糜子育成品种成株期抗旱性鉴定与评价.植物遗传资源学报,2016,17(1):45-52
- [8] 李金玉,赵晋铭,韩天富,盖钧镒.气候变化对大豆的影响及其对策研究//《气候变化对作物生产的影响及对策》课题组.气候变化对作物生产的影响及对策.北京:中国农业出版社,2013:152-171
- [9] Wang K,Li X,Li F. Phenotypic diversity of the big seed type sub-collection of wild soybean(*Glycine soja* Sieb. et Zucc.) in China. *Genetic Resources and Crop Evolution*,2008,55(8):1335-1346
- [10] Guo J,Liu Y,Wang Y,Chen J,Li Y,Huang H,Qiu L,Wang Y. Population structure of the wild soybean(*Glycine soja*) in China: Implications from microsatellite analyses. *Annals of Botany*,2012,110(4):777-785
- [11] Ku Y S,Au-Yeung W K,Yung Y L,Li M W,Wen C Q,Liu X,Lam H M. Drought stress and tolerance in soybean// Board J E A. Comprehensive Survey of International Soybean Research-Genetics,Physiology,Agronomy and Nitrogen Relationships. Rijeka: InTech,2013:209-237
- [12] 祁旭升,刘章雄,关荣霞,王兴荣,苟作旺,常汝镇,邱丽娟.大豆成株期抗旱性鉴定评价方法研究.作物学报,2012,38(4):665-674
- [13] Korte L L,Specht J E,Williams J H,Sorensen R C. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny II. yield component responses. *Crop Sciences*,1983,23(3):521-527
- [14] Eck H V,Mathers A C,Musick J T. Plant water stress at various growth stages and growth and yield of soybeans. *Field Crops Research*,1987,17(1):1-16
- [15] Desclaux D,Huynh T T,Roumet P. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. *Crop Science*,2000,40(3):716-722
- [16] 林汉明,常汝镇,邵桂花,刘忠堂.中国大豆耐逆研究.北京:中国农业出版社,2009:1-25
- [17] 刘学义.大豆抗旱性评定方法的探讨.中国油料,1986(4):25-28
- [18] 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,2006:30-75
- [19] Oya T,Nepomuceno A L,Neumaier N,Farias J R B,Tobita S,Ito O. Drought tolerance characteristics of Brazilian soybean cultivars— Evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian soybean cultivars in the field. *Plant Production Science*,2004,7:129-137
- [20] 王燕平,任海祥,孙晓环.不同基因型大豆花荚期抗旱性综合评价.植物遗传资源学报,2015,16(1):37-44
- [21] 王兴荣,张彦军,苟作旺,祁旭升,刘章雄.大豆种质资源抗旱性综合评价.干旱地区农业研究,2015,33(5):17-23,40
- [22] 王兴荣,张彦军,李玥,刘天鹏,张金福,祁旭升.干旱胁迫对大豆生长的影响及抗旱性评价方法与指标筛选.植物遗传资源学报,2018,19(1):49-56
- [23] 乔亚科,杨晓倩,乔潇,王迪,刘晨光,王林红,李桂兰.大豆基于形态及生理指标的抗旱性评价及相关性分析.大豆科学,2014,33(5):667-673
- [24] Kunert K J,Vorster B J,Fenta B A,Kibido T,Dionisio G,Foyer C H. Drought stress responses in soybean roots and nodules. *Frontiers in Plant Science*,2016,7:1015
- [25] 史宏,刘学义.野生大豆抗旱性鉴定及研究.大豆科学,2003(4):264-268
- [26] Fehr W R,Caviness C E. Stages of soybean development. Special Report 80, Cooperative Extension Service, Agriculture and Home Economic Experiment Station. Ames, Iowa: Iowa State University, 1977:1-11
- [27] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统:实验设计、统计分析及模型优化.北京:科学出版社,2006:19-44
- [28] 刘光辉,陈全家,吴鹏昊,曲延英,高文伟,杨军善,杜荣光.棉花花铃期抗旱性综合评价及指标筛选.植物遗传资源学报,2016,17(1):53-62,69
- [29] 张文英,智慧,柳斌辉,谢俊雪,李积铭,李伟,贾冠清,王永芳,李海权,柴杨,栗雨勤,刁现民.谷子孕穗期抗旱指标筛选.植物遗传资源学报,2012,13(5):765-772
- [30] 谢季坚.农业科学中的模糊数学方法.武汉:华中理工大学出版社,1993:100-193
- [31] 吴存祥,李继存,沙爱华,曾海燕,孙石,杨光明,周新安,常汝镇,年海,韩天富.国家大豆品种区域试验对照品种的生育期组归属.作物学报,2012,38(11):1977-1987
- [32] 吕彩霞,郭建秋,王英,冷建田,杨光明,侯文胜,吴存祥,韩天富.对大豆耐萎蔫材料 PI471938 根系和地上部的性状鉴定、遗传分析及 QTL 定位.作物学报,2010,36(9):1476-1483
- [33] 王金陵.干旱情形下大豆萌发力与种粒大小关系之研究.哈农学报,1950,1(2):60-73
- [34] 王金陵.大豆性状之演化.农报,1947(12):6-11
- [35] 孙志强,田佩占,王继安.东北大豆生育期结构的初步研究.大豆科学,1990(9):198-205
- [36] 韩天富,盖钧镒,陈风云,邱家驹.生育期结构不同的大豆品种的光周期反应和农艺性状.作物学报,1998,24(5):550-557
- [37] Wang Y,Cheng L,Leng J,Leng J T,Wu C X,Shao G H,Hou W S,Han T F. Genetic analysis and quantitative trait locus identification of the reproductive to vegetative growth period ratio in soybean(*Glycine max*(L.) Merr.). *Euphytica*,2015,201:275-284