

大豆基于形态及生理指标的抗旱性评价及相关性分析

乔亚科¹, 杨晓倩¹, 乔 潇², 王 迪¹, 刘晨光¹, 王林红¹, 李桂兰¹

(1. 河北科技师范学院 生命科技学院, 河北 昌黎 066600; 2. 河北科技师范学院 物理系, 河北 秦皇岛 066004)

摘要:以野生、半野生和栽培大豆为供试材料, 盆栽条件下于苗期和花期进行干旱胁迫处理, 测定农艺性状及生理指标, 利用隶属函数法对鉴定的指标进行综合分析, 并对不同时期的形态和生理指标与抗旱性的相关性进行比较。结果表明: 在苗期和花期干旱胁迫, 不同类型大豆抗旱性鉴定结果表现基本相同。干旱胁迫下, 形态指标与生理指标的综合隶属函数值呈极显著正相关, 以二者评价大豆的抗旱性结果高度一致; 形态指标中单株荚数、单株粒数和单株粒重与抗旱性的关系更为密切($r \geq 0.90$); 苗期和花期干旱胁迫大豆的生理反应不同, 苗期与抗旱性关系密切的生理指标为可溶性糖含量和过氧化氢酶(CAT)活性($r = 0.95$), 开花期与抗旱性关系密切的生理指标为可溶性糖含量和叶绿素含量($r \geq 0.92$)。

关键词:大豆; 苗期; 花期; 抗旱性; 形态指标; 生理指标; 相关

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2014.05.0667

The Correlation of Drought-Resistance Evaluation between Agronomic Traits and Physiological Indexes of Wild and Cultivated Soybean

QIAO Ya-ke¹, YANG Xiao-qian¹, QIAO Xiao², WANG Di¹, LIU Chen-guang¹, WANG Lin-hong¹, LI Gui-lan¹

(1. Life Science and Technology College, Hebei Normal University of Science & Technology, Changli 066600, China; 2. Department of Physics, Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: Wild, semi-wild and cultivated soybeans were used as materials to study the evaluation system of drought resistance identification of soybean. The drought stress treatment was conducted at seedling and flowering stage under pot experiment condition. The method of subordinate function was used to comprehensive analyze the correlation of drought resistance and agronomic traits and physiological indexes. The result showed that the reaction of different types of soybeans were the same no matter in seedling or flowering stage. The comprehensive membership function values of morphological indexes and physiological indexes had significant positive correlation under the drought stress condition. The drought resistance results of soybeans were highly consistent assessed by the two indicator systems. Morphological indexes for pods per plant, plant grains and plant grain weight associated with drought resistance more closely among the agronomic traits. The physiological response of soybean to drought stress was different in seedling stage and flowering phase. The physiological indexes closely associated with drought resistance were the soluble sugar content and CAT activity in seedling stage, but it were the soluble sugar content and chlorophyll content in flowering phase. Soluble sugar content is the reliable physiological index of drought resistance of soybean.

Key words: Soybean; Seedling stage; Flowering phase; Drought resistance; Agronomic traits; Physiological indexes; Correlation

近年来,随着全球性气候变化,干旱发生频繁并且程度逐渐加重,严重影响农作物的生产。大豆是一种需水量较高的作物,生产中由于干旱造成的减产大于其他不利因素的总和^[1]。选育大豆抗旱品种,提高大豆自身的抗旱能力是应对自然干旱的有效途径。在20世纪70年代末国内外开始了对大豆抗旱种质资源的筛选及抗旱鉴定方法的研究^[2]。刘学义等^[3]对黄淮海地区的5 071份大豆资源在田间进行抗旱性鉴定,以分枝数、单株荚数、单株粒数、产量和株高为指标,用抗旱系数法分级,鉴定出了1级高抗类型资源393份。野生大豆(*Glycine soja*)是栽培大豆(*Glycine max*)的近缘野生种,是大豆育种极为重要的种质资源。史宏等^[1]对410份野生大豆采用综合抗旱性评价为主的方法,鉴定出了16

份不同抗旱类型的野生大豆,为大豆抗旱育种拓宽了基因资源。王敏等^[5]利用相关、主成分、聚类和判别分析,对野生、半野生大豆和栽培品种抗旱相关的形态指标与抗旱性的关系进行比较研究,确立了相对株高、叶片黄化脱落节位、背面茸毛密度、相对百粒重和抗旱系数5个对品种抗旱性分类有显著影响的指标,根据这些指标将供试大豆材料划分在不同的抗旱类型中。

在干旱胁迫的条件下,大豆的多种形态、生态、农艺与生理生化性状都会受到影响,诸多学者对于大豆抗旱性相关的指标研究表明,生理指标^[6,9]和形态指标^[1,4,6,9]均表现出与大豆抗旱的相关性,不同研究者的结论存在差异,因此在评价大豆的抗旱性时,选用指标的种类及多少直接影响到鉴定的结

收稿日期:2014-01-03

基金项目:转基因生物新品种培育科技重大专项(2014ZX08004-004B);河北省科技支撑计划(11220107D);河北省自然科学基金(C2009000868)。

第一作者简介:乔亚科(1964-),男,硕士,教授,主要从事大豆遗传资源研究。E-mail:qiaoyake@126.com。

果。由于发生地区、干旱发生的程度及持续时间导致大豆一生中受到的干旱胁迫程度不同,因此不同地区的大豆抗旱能力和耐旱方式出现很大差异。因此大豆抗旱鉴定的时期选择也很重要。目前多选择在苗期^[10-12]或者花期^[5,13,15]单一时期进行鉴定,而对苗期和花期抗旱表现的相关性研究较少。

本研究对野生、半野生和栽培大豆分别在苗期和花期进行干旱胁迫,利用隶属函数法对测定的相关形态指标和生理指标进行综合分析评价供试材料的抗旱性,同时对形态指标和生理指标与抗旱的相关性进行比较,为大豆抗旱育种指标和标记的选择提供理论依据;并对不同时期的各项指标与抗旱的相关性进行分析,以确定合适的抗旱鉴定时期,为建立大豆抗旱性指标综合评价体系提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

5份野生大豆:永5、永26、永46、永52和05编1;2份半野生大豆:05半野7和05半野35;9份栽培大豆:中黄13、冀豆12、品8、秦皇10、秦皇12、秦皇27、秦皇29、秦皇37和秦皇43。其中野生大豆和半野生大豆采自河北省东部沿海地区,栽培大豆中秦皇10~43为本研究室利用野生大豆与栽培大豆杂交选育而成。

1.2 试验设计

试验分别于2008~2010年的4~8月在河北科技师范学院细胞工程实验室旱棚内进行。选用35 cm×35 cm花盆,每盆装土10.5 kg。采取二因素随机区组设计,每处理3次重复。选取籽粒饱满、大小一致、无病虫的种子播种,播种前浇足底墒水,每盆播10粒,于子叶期间苗,每盆留健壮苗6株。水分胁迫土壤含水量为9%~11%,正常供水含水量为17%~19%。分别在苗期和始花期进行干旱处理,各时期分别干旱处理7 d后,取相同部位的叶片测定各项生理指标,生长期观察记载生物学特性。成熟后,每个处理取5株进行形态指标考察。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 形态指标 生长发育指标:株高、分枝数、主茎节数、叶片数、叶面积;产量性状指标:单株荚数、单株粒数、百粒重。

1.3.2 生理指标 叶片相对含水量采用称重法测定;叶绿素含量用80%丙酮比色法测定;脯氨酸含量采用磺基水杨酸提取,茚三酮显色法测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TAB)比色法测定;相对电导率采用DDS-11A电导仪法测定,相对电导率(%)=(浸泡液电导率值/煮沸后电导率值)×100;可溶性糖(WSS)含量采用蒽酮比色法测定;净光合速率(P_n)采用(I-30)便携CGAS ANALYZER(Made in America)测定。超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用抑制氮蓝四唑(NBT)光化还原比色法,

过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法,过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外吸收法,具体方法参考《植物生理生化实验原理和技术》^[14]。

1.4 数据分析

采用抗旱隶属函数法进行分析,将干旱胁迫下的数据转换成隶属函数值,先计算各重复的隶属函数值(\bar{X}_{ij}),再求材料平均抗旱隶属函数值,用平均隶属函数值进行抗旱性综合评价^[8]。

按照平均隶属函数值的方法将各参试材料按照下列标准进行抗旱性分级:

- 1级:平均 \bar{X}_{ij} 在0.8以上为抗旱型;
- 2级:平均 \bar{X}_{ij} 在0.6~0.8为较抗旱型;
- 3级:平均 \bar{X}_{ij} 在0.4~0.6为中间型;
- 4级:平均 \bar{X}_{ij} 在0.2~0.4为干旱较敏感型;
- 5级:平均 \bar{X}_{ij} 在0.2以下为干旱敏感型。

2 结果与分析

2.1 不同生育时期干旱胁迫下基于大豆形态指标的抗旱性评价

干旱胁迫对不同大豆材料的营养生长和生殖生长都有所抑制。在苗期和花期干旱处理与对照的差异均达到极显著水平。苗期干旱对叶面积、株高、茎粗和节数影响比较严重,这说明在苗期干旱主要影响营养生长;单株荚数和单株粒数则以花期干旱胁迫处理降幅最大,说明花期干旱主要影响生殖生长。

把不同大豆材料的苗期和花期干旱胁迫下的形态指标转化成隶属函数值,结果显示苗期和花期干旱胁迫下同一个形态指标的隶属函数值在不同材料之间存在着明显的差异(表1),表现出材料之间对干旱的敏感性的差异,说明可以作为抗旱性评判的有效指标。但是同一个材料不同抗旱指标的隶属函数值之间差异很大,说明单一指标的高低无法代表其抗旱性。本研究显示每一个材料中所测定的形态指标的平均隶属函数值与每一个形态指标的隶属函数值之间表现为显著正相关(表1),因此以形态指标的平均隶属函数值来评价大豆的抗旱性更为可靠。所测定形态指标中单株荚数、单株粒数和单株粒重与抗旱性的关系在苗期和花期表现更为密切($r \geq 0.90$)。

将苗期和花期两个不同生育时期的抗旱反应综合考虑,以苗期和花期的形态指标平均隶属函数来评价不同大豆材料的抗旱性,分为5个等级(表2):1级抗旱型:永26和永46;2级较抗旱型:永5、永52、05编1、05半野7和秦皇12;3级中间型:05半野35、秦皇10、秦皇27、秦皇29和秦皇37;4级干旱较敏感型:秦皇43、中黄13和冀豆12;5级干旱敏感型:品8。

表 1 苗期/花期干旱胁迫下不同大豆材料形态指标隶属函数值及抗旱性综合评价
Table 1 Membership function value of morphological indexes and comprehensive drought resistance evaluation of different soybean materials at seedling/flowering stage

材料 Materials	株高 Plant height	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Grains per plant	单株粒重 Grain weight per plant	分枝数 Branches	株干重 Plant dry weight	叶面积 Leaf area	茎粗 Stem width	节数 Sessions	平均隶属函数值	抗旱级别 Grades of drought resistance
										Average membership function	
永 5 Yong 5	0.79/1.00	0.90/0.95	0.97/1.00	0.87/0.95	0.74/0.31	0.57/0.66	0.67/0.64	0.066/0.48	0.62/0.86	0.75/0.76	2/2
永 26 Yong 26	1.00/0.98	1.00/1.00	1.00/0.85	1.00/1.00	0.90/0.76	0.95/0.89	0.49/0.39	0.52/0.80	0.73/0.75	0.84/0.82	1/1
永 46 Yong 46	0.61/0.79	0.95/0.95	0.73/0.86	0.69/0.82	1.00/1.00	0.64/0.55	1.00/1.00	1.00/0.93	0.97/0.78	0.84/0.85	1/1
永 52 Yong 52	0.88/0.94	0.85/0.85	0.84/0.72	0.71/0.61	0.070.39	0.62/0.98	0.60/0.86	0.66/0.70	0.98/1.00	0.69/0.78	2/2
05 编 1 05bian 1	0.59/0.73	0.85/0.92	0.81/0.69	0.69/0.63	0.82/0.78	0.83/1.00	0.23/0.67	0.64/0.64	1.00/0.95	0.72/0.78	2/2
05 半野 7 05banye 7	0.36/0.82	0.78/0.86	0.78/0.62	0.61/0.53	0.58/0.54	0.61/0.95	0.53/0.76	0.58/0.77	0.76/0.73	0.62/0.73	2/2
05 半野 35 05banye 35	0.14/0.32	0.70/0.70	0.82/0.70	0.57/0.49	0.61/0.58	0.48/0.66	0.34/0.59	0.45/0.79	0.57/0.66	0.52/0.61	3/2
品 8 Pin 8	0.19/0.09	0.00/0.00	0.00/0.00	0.00/0.00	0.00/0.00	0.14/0.39	0.00/0.45	0.00/0.13	0.00/0.00	0.04/0.12	5/5
冀豆 12 Jidou 12	0.00/0.00	0.30/0.29	0.47/0.41	0.14/0.12	0.71/0.40	0.28/0.19	0.21/0.65	0.42/0.49	0.17/0.43	0.30/0.33	4/4
中黄 13 Zhonghuang 13	0.54/0.57	0.03/0.03	0.23/0.20	0.01/0.01	0.09/0.37	0.30/0.42	0.17/0.78	0.41/0.56	0.40/0.11	0.24/0.34	4/4
秦皇 10 Qinhuang 10	0.29/0.17	0.59/0.59	0.55/0.47	0.32/0.28	0.64/0.72	0.06/0.53	0.39/0.84	0.71/0.81	0.55/0.46	0.46/0.54	3/3
秦皇 12 Qinhuang 12	0.55/0.35	0.86/0.95	0.85/0.73	0.73/0.69	0.56/0.67	0.60/0.61	0.21/0.73	0.52/0.70	0.49/0.37	0.60/0.64	3/2
秦皇 27 Qinhuang 27	0.05/0.43	0.58/0.71	0.58/0.50	0.34/0.36	0.32/0.76	0.00/0.61	0.41/0.32	0.20/0.83	0.58/0.49	0.34/0.56	4/3
秦皇 29 Qinhuang 29	0.38/0.69	0.67/0.67	0.60/0.75	0.40/0.50	0.82/0.52	1.00/0.51	0.16/0.93	0.29/0.77	0.12/0.52	0.49/0.65	3/2
秦皇 37 Qinhuang 37	0.13/0.25	0.66/0.66	0.69/0.59	0.46/0.39	0.32/0.22	0.15/0.71	0.93/0.89	0.76/0.61	0.56/0.42	0.52/0.53	3/3
秦皇 43 Qinhuang 43	0.17/0.18	0.62/0.64	0.60/0.51	0.37/0.33	0.14/0.63	0.01/0.00	0.69/0.45	0.37/0.00	0.67/0.33	0.40/0.34	4/4
相关系数 r	0.71 **/ 0.81 **	0.94 **/ 0.91 **	0.91 **/ 0.90 **	0.94 **/ 0.90 **	0.66 **/ 0.59 *	0.68 **/ 0.75 **	0.57 */ 0.32	0.77 **/ 0.72 **	0.77 **/ 0.89 **		

r₁: 苗期/花期各形态指标平均隶属函数与每个形态指标隶属函数值之间的相关系数。

r₁: Correlation coefficients between membership function value of morphological indexes and their average membership function at seedling/flowering stage.

苗期与花期两个时期的鉴定结果表现基本一致,一些材料两个时期的结果有很小的差异,并且显示出苗期对于干旱比花期更为敏感(表 2)。综合评价结果与花期干旱胁迫鉴定一致(05 半野 35 除外),与苗期干旱胁迫鉴定基本一致,仅与秦皇 27

和秦皇 43 存在很小的差异(表 2)。因此本试验结果表明对大豆的抗旱性鉴定在苗期和花期干旱胁迫鉴定均有代表性,以苗期鉴定结果更为严格。几种类型大豆的抗旱性表现为:野生大豆 > 半野生大豆 > 栽培大豆。

表 2 基于苗期和花期形态指标平均隶属函数值评定抗旱级别的比较
Table 2 Comparison of grades of drought-resistance between seedling stage and flowering stage according to the membership function value of morphological indexes

材料 Materials	隶属函数值 Membership function value			抗旱级别 Grades of drought-resistance		
	苗期 Seedling stage	花期 Flowering stage	平均值 Average	苗期 Seedling stage	花期 Flowering stage	平均值 Average
	永 5 Yong 5	0.74	0.74	0.74	2	2
永 26 Yong 26	0.82	0.80	0.81	1	1	1
永 46 Yong 46	0.86	0.86	0.86	1	1	1
永 52 Yong 52	0.69	0.80	0.75	2	2	2
05 编 1 05bian 1	0.72	0.80	0.76	2	2	2
05 半野 7 05banye 7	0.62	0.76	0.69	2	2	2
05 半野 35 05banye 35	0.51	0.63	0.57	3	2	3
品 8 Pin 8	0.04	0.13	0.09	5	5	5
冀豆 12 Jidou 12	0.32	0.36	0.34	4	4	4
中黄 13 Zhonghuang 13	0.27	0.38	0.33	4	4	4
秦皇 10 Qinhuang 10	0.47	0.57	0.52	3	3	3
秦皇 12 Qinhuang 12	0.58	0.64	0.61	3	2	2
秦皇 27 Qinhuang 27	0.34	0.58	0.46	4	3	3
秦皇 29 Qinhuang 29	0.50	0.67	0.59	3	2	3
秦皇 37 Qinhuang 37	0.53	0.54	0.54	3	3	3
秦皇 43 Qinhuang 43	0.40	0.34	0.37	4	4	4

2.2 不同生育时期干旱胁迫下基于大豆叶片生理指标的抗旱性评价

对不同大豆材料的苗期和花期干旱胁迫下的生理指标采用隶属函数法进行抗旱性综合评定。结果表明:苗期和花期干旱胁迫下,不同材料的每个生理指标隶属函数值与各生理指标的平均隶属函数值之间均达到了极显著正相关。苗期干旱胁迫下,除丙二醛含量($r=0.69$)和叶绿素含量($r=0.65$)外,其他几个生理指标相关系数均大于0.8;花期干旱胁迫下,除丙二醛含量($r=0.51$)和SOD活性($r=0.67$)外,其他几个生理指标相关系数均大于0.8,而叶绿素含量相关系数上升到0.95。在苗期和花期抗旱性与丙二醛含量、脯氨酸含量和SOD含量的相关系数均表现相对较低,说明这3个指标与大豆的抗旱性关系密切程度较低。两个时期

干旱与可溶性糖含量的相关系数均表现较高(表3)。

形态指标综合隶属函数值与每个生理指标隶属函数值均达到了显著的正相关(表3),苗期和花期生理指标的综合评价与形态指标分析结果基本一致,呈极显著正相关,相关系数分别为 $r_1 = 0.90^{**}$, $r_2 = 0.93^{**}$ 。说明干旱胁迫首先影响了大豆的代谢,形态上的变化是生理生化变化的最终表现。

结合不同材料各个生理指标隶属函数值与综合的生理指标隶属函数值之间相关性以及与形态指标综合隶属函数值的相关性,认为苗期与抗旱性关系密切的生理指标为可溶性糖含量、CAT活性、相对电导率和POD活性;花期与抗旱性关系密切的生理指标为叶绿素含量、可溶性糖含量、POD活性和CAT活性。

表3 苗期/花期不同大豆材料生理指标隶属函数值及抗旱性综合评价

Table 3 Comprehensive evaluation of drought resistance of different soybeans according to membership function value of physiological indexes at seedling state/flowering stage

材料 Materials	丙二醛 含量 MDA content	相对 电导率 Relative conductance	脯氨酸 含量 Pro content	可溶性 糖含量 Soluble suger content	叶绿素 含量 Chlorophyll content	POD 活性 POD activity	SOD 活性 SOD activity	CAT 活性 CAT activity	平均隶属 函数值 Average membership function	抗旱级别 Grades of drought resistance
永5 Yong 5	0.73/0.90	0.80/0.43	0.99/1.00	0.85/0.93	0.84/0.91	0.81/1.00	0.83/0.87	0.90/0.73	0.84/0.85	1/1
永26 Yong 26	1.00/1.00	1.00/0.83	1.00/0.78	0.97/1.00	1.00/1.00	0.76/0.92	0.84/0.96	1.00/1.00	0.95/0.94	1/1
永46 Yong 46	0.98/0.96	0.91/0.88	0.75/0.51	1.00/0.96	0.78/0.84	0.82/0.84	1.00/1.00	0.93/0.94	0.89/0.87	1/1
永52 Yong 52	0.77/0.88	0.71/0.79	0.29/0.42	0.77/1.00	0.89/0.79	0.75/0.79	0.98/0.85	0.92/0.77	0.76/0.79	2/2
05编1 05bian 1	0.83/0.95	0.60/0.72	0.34/0.29	0.82/0.80	0.66/0.71	1.00/0.71	0.65/0.79	0.71/0.84	0.70/0.73	2/2
05半野7 05banye 7	0.93/0.93	0.62/0.51	0.28/0.43	0.51/0.71	0.51/0.54	0.75/0.94	0.31/0.00	0.44/0.67	0.54/0.59	3/3
05半野35 05banye 35	0.73/0.85	0.66/0.66	0.15/0.05	0.52/0.67	0.47/0.53	0.72/0.94	0.45/0.01	0.62/0.13	0.54/0.48	3/3
品8 Pin 8	0.36/0.67	0.00/0.03	0.00/0.03	0.00/0.00	0.22/0.00	0.00/0.00	0.00/0.01	0.00/0.00	0.07/0.09	5/5
冀豆12 Jidou 12	0.79/0.37	0.61/0.08	0.28/0.00	0.49/0.49	0.00/0.13	0.34/0.31	0.39/0.25	0.24/0.68	0.39/0.29	4/4
中黄13 Zhonghuang 13	0.00/0.22	0.03/0.00	0.13/0.23	0.13/0.18	0.72/0.01	0.07/0.19	0.34/0.65	0.07/0.07	0.19/0.19	5/5
秦皇10 Qinhuang 10	0.33/0.00	0.69/1.00	0.35/0.10	0.62/0.68	0.38/0.53	0.69/0.65	0.17/0.67	0.43/0.92	0.46/0.57	3/3
秦皇12 Qinhuang 12	0.38/0.39	0.72/0.81	0.53/0.21	0.72/0.79	0.39/0.46	0.69/0.61	0.82/0.75	0.54/0.51	0.60/0.57	2/3
秦皇27 Qinhuang 27	0.46/0.08	0.76/0.74	0.53/0.33	0.61/0.77	0.32/0.28	0.78/0.79	0.41/0.77	0.80/0.46	0.58/0.53	3/3
秦皇29 Qinhuang 29	0.76/0.72	0.77/0.65	0.39/0.30	0.82/0.96	0.40/0.43	0.75/0.84	0.30/0.69	0.45/0.54	0.58/0.64	3/2
秦皇37 Qinhuang 37	0.67/0.11	0.69/0.71	0.49/0.33	0.55/0.85	0.61/0.40	0.80/0.88	0.19/0.71	0.65/0.37	0.58/0.55	3/3
秦皇43 Qinhuang 43	0.38/0.38	0.75/0.75	0.46/0.33	0.71/0.91	0.36/0.31	0.81/0.96	0.80/0.45	0.67/0.62	0.62/0.59	2/3
r_1	0.69 ^{**} / 0.51 [*]	0.89 ^{**} / 0.74 ^{**}	0.82 ^{**} / 0.76 ^{**}	0.95 ^{**} / 0.92 ^{**}	0.65 ^{**} / 0.95 ^{**}	0.84 ^{**} / 0.81 ^{**}	0.80 ^{**} / 0.67 ^{**}	0.95 ^{**} / 0.80 ^{**}	-	
r_2	0.71 ^{**} / 0.59 [*]	0.75 ^{**} / 0.66 ^{**}	0.64 ^{**} / 0.66 ^{**}	0.86 ^{**} / 0.81 ^{**}	0.72 ^{**} / 0.93 ^{**}	0.78 ^{**} / 0.73 ^{**}	0.68 ^{**} / 0.58 [*]	0.81 ^{**} / 0.72 ^{**}	0.90 ^{**} / 0.93 ^{**}	

r_1 : 苗期/花期各生理生化指标平均隶属函数与每个生理生化指标隶属函数值之间的相关系数; r_2 : 苗期/花期形态指标综合隶属函数值与生理生化指标之间的相关系数。

r_1 : Correlation coefficients between membership function value of physiological indexes and their average membership function at seedling state/flowering stage.

r_2 : Correlation coefficients between comprehensive membership function value of morphology indexes and membership function value of physiological indexes at seedling state/flowering stage.

利用苗期和花期的生理指标的平均隶属函数值进一步综合评定3种不同类型大豆的抗旱性(表4)分级如下:1级,抗旱型:永5、永26、永46;2级,较抗旱型:永52、05编1、秦皇29、秦皇43;3级,中间型:05半野7、05半野35、秦皇10、秦皇12、秦皇27、秦皇37;4级,较敏感型:冀豆12;5级,敏感型:

品8、中黄13。

两个时期的生理指标综合抗旱评定结果分别与苗期、花期各自的干旱胁迫评定结果基本一致(表4),秦皇29和秦皇43在两个时期的结果仅有很小的差异。表明利用生理指标进行抗旱性鉴定在苗期和花期均有代表性,与形态指标的表现一致。

表 4 苗期与花期生理指标平均隶属函数值及综合评定结果
Table 4 Comprehensive evaluation results of drought-resistance on the average membership function value of physiological indexes at seedling and flowering stages

材料 Materials	平均隶属函数值 Average membership function			抗旱级别 Grades of drought-resistance		
	苗期 Seedling stage	花期 Flowering stage	平均值 Average	苗期 Seedling stage	花期 Flowering stage	平均值 Average
	永 5 Yong 5	0.84	0.85	0.85	1	1
永 26 Yong 26	0.95	0.94	0.95	1	1	1
永 46 Yong 46	0.89	0.87	0.88	1	1	1
永 52 Yong 52	0.76	0.79	0.78	2	2	2
05 编 1 05bian 1	0.70	0.73	0.72	2	2	2
05 半野 7 05banye 7	0.54	0.59	0.57	3	3	3
05 半野 35 05banye 35	0.54	0.48	0.51	3	3	3
品 8 Pin 8	0.07	0.09	0.08	5	5	5
冀豆 12 Jidou 12	0.39	0.29	0.34	4	4	4
中黄 13 Zhonghuang 13	0.19	0.19	0.19	5	5	5
秦皇 10 Qinhuang 10	0.46	0.57	0.52	3	3	3
秦皇 12 Qinhuang 12	0.60	0.57	0.59	2	3	3
秦皇 27 Qinhuang 27	0.58	0.53	0.56	3	3	3
秦皇 29 Qinhuang 29	0.58	0.64	0.61	3	2	2
秦皇 37 Qinhuang 37	0.58	0.55	0.57	3	3	3
秦皇 43 Qinhuang 43	0.62	0.59	0.61	2	3	2

2.3 大豆基于苗期与花期干旱胁迫下抗旱性评价的相关性

就抗旱鉴定时期而言,基于形态指标在苗期与花期鉴定的抗旱级别高度一致,显著正相关($r = 0.87^{**}$)。同样基于生理指标在苗期与花期鉴定的抗旱级别高度正相关(0.95^{**}),说明大豆抗旱鉴定在苗期进行与在花期进行效果是一致的(表 5)。

就抗旱指标选择而言,应用干旱胁迫下的形态指标和生理指标的平均隶属函数值对各类型大豆

抗旱评价结果是一致的。基于苗期形态指标与苗期生理指标鉴定的抗旱级别相关系数达到 0.89^{**} ;基于花期形态指标与花期生理生化指标鉴定抗旱级别相关系数为 0.87^{**} ,均达到极显著正相关。说明大豆抗旱鉴定在采用形态指标与生理生化指标效果是一致的(表 5)。对苗期和花期综合分析,两个时期的生理指标平均隶属函数值与两个时期的形态指标平均隶属函数值呈极显著正相关,相关系数分别为 $r_1 = 0.90^{**}$, $r_2 = 0.93^{**}$ (表 3)。

表 5 不同大豆材料不同时期形态指标抗旱级别与生理生化指标抗旱级别对比
Table 5 Comparison of drought-resistance grades between the results on morphological indexes and physiological indexes at seedling and flowering stages

材料名称 Materials	基于生理指标抗旱级别 Grades of drought resistance on physiological indexes		基于形态指标抗旱级别 Grades of drought-resistance on morphological indexes	
	苗期 Seedling stages	花期 Flowering stages	苗期 Seedling stages	花期 Flowering stages
	永 5 Yong 5	1	1	2
永 26 Yong 26	1	1	1	2
永 46 Yong 46	1	1	1	1
永 52 Yong 52	2	2	2	2
05 编 1 05bian 1	2	2	2	2
05 半野 7 05banye 7	3	3	2	2
05 半野 35 05banye 35	3	3	3	2
品 8 Pin 8	5	5	5	5

续表 5

材料名称 Materials	基于生理指标抗旱级别 Grades of drought resistance on physiological indexes		基于形态指标抗旱级别 Grades of drought-resistance on morphological indexes	
	苗期 Seedling stages	花期 Flowering stages	苗期 Seedling stages	花期 Flowering stages
	冀豆 12 Jidou 12	4	4	4
中黄 13 Zhonghuang 13	5	5	4	4
秦皇 10 Qinhuang 10	3	3	3	3
秦皇 12 Qinhuang 12	2	3	3	2
秦皇 27 Qinhuang 27	3	3	4	3
秦皇 29 Qinhuang 29	3	2	3	2
秦皇 37 Qinhuang 37	3	3	3	3
秦皇 43 Qinhuang 43	2	3	3	4

3 讨论

3.1 野生大豆与栽培大豆的抗旱性差异

苗期和花期抗旱鉴定几种类型大豆的抗旱性均表现为野生大豆 > 半野生大豆 > 栽培大豆。野生大豆和半野生大豆材料抗旱级别达到 1~2 级,这与王敏^[5]的研究结果一致。已有研究表明不同地区栽培大豆的不同基因型之间存在着抗旱差异^[10-12,15-16],野生大豆和半野生大豆中蕴藏着抗旱的基因资源^[1,5]。本研究在苗期和花期干旱胁迫下野生大豆均表现出很强的抗旱性,且抗旱性明显高于栽培大豆。秦皇系列为本研究室以野生大豆和栽培大豆杂交选育而成,在干旱胁迫下根系变化均介于野生大豆与栽培大豆之间^[17]。苗期和花期干旱胁迫下生理与形态指标表现亦接近于野生大豆,其抗旱性表现明显高于其他栽培大豆,说明野生大豆可作为提高大豆抗旱性的优良种质资源。

3.2 干旱胁迫下大豆的生理反应与抗旱的相关性

近年来报道了诸多与大豆抗旱性有关的生理生化指标的研究^[9]。从本研究测定的生理指标看,苗期和花期不同材料的每个生理指标隶属函数值与各生理生化指标综合隶属函数值之间均达到了极显著正相关,两个时期生理指标表现不尽相同。郭数进^[24]在营养期干旱胁迫鉴定,认为叶绿素含量是抗旱的最佳指标,而本研究结果则表明,在花期干旱胁迫鉴定叶绿素含量是抗旱的适宜指标,苗期叶绿素含量与抗旱性相关程度低($r = 0.65$),说明不同生育时期的生理反应不同。可溶性糖则在两个时期与抗旱性的相关系数达到 0.92~0.95,因此,认为是可靠的抗旱性生理指标。谢晨和许忠仁提出干旱条件下大豆积累脯氨酸是一种普遍的现象,游离的脯氨酸的含量能反映出品种抗旱遗传上的差异,因此可作为抗旱生理指标,认为干旱胁迫下游离脯氨酸的相对增长率可作为鉴定大豆抗旱的标准^[9,25]。本研究结果则表明在苗期和花期干旱胁迫下游离脯氨酸的隶属函数值与各生理指标综合隶属函数值之间相关程度在 0.7~0.8,不适宜作为大豆抗旱鉴定指标。丙二醛(MDA)是膜质过氧化作用的主要产物之一,人们常作为耐逆指标,本研究结果显示在苗期和花期抗旱性与丙二醛含量

的相关系数均表现相对较低,不适宜作为大豆的抗旱生理指标。

结合不同材料各个生理指标隶属函数值与综合的生理指标隶属函数值之间相关性以及与形态指标综合隶属函数值的相关性,本研究认为苗期与抗旱性关系密切的生理指标为可溶性糖含量和 CAT 活性;花期与抗旱性关系密切的生理指标为可溶性糖含量和叶绿素含量。可溶性糖含量在两个时期均是可靠的抗旱性生理指标。

3.3 以形态指标与生理指标的综合隶属函数评价大豆抗旱的相关性

指标性状的选择是抗旱性鉴定的关键。应用于抗旱鉴定的主要有生理生化指标和农艺性指标,但各类指标对抗旱性的影响在不同的研究中得出结论不同^[2,18,22]。本研究依据前人研究结果选用与抗旱相关性较高的形态指标及生理指标应用隶属函数法对不同大豆进行了抗旱性评价,从各个单一指标的隶属函数值来看,评价抗旱性可靠性较低,而以形态指标综合隶属函数评价大豆的抗旱性与以生理指标综合隶属函数评价的结果表现出高度一致性。充分说明,应用多个指标的隶属函数综合评价抗旱性可靠性高。也证明了形态指标作为抗旱鉴定的可靠性。形态指标与生理指标相比,直观而且稳定,测定方法简单。

3.4 苗期和花期进行大豆抗旱性鉴定的相关性

大豆抗旱鉴定一般在苗期^[10-12,18-19]或者在花期^[5,8,13,15]进行,或全生育期自然干旱处理进行^[20-21,26],本研究分别在苗期和花期干旱胁迫,对不同类型大豆抗旱性鉴定结果表现基本一致,两个时期达到极显著正相关,且苗期的抗旱性具有代表性。苗期鉴定应用时间短,并便于对大量大豆材料同时、快速进行抗旱鉴定,因此苗期鉴定更适合对大批大豆材料的抗旱性鉴定。

4 结论

三种类型大豆之间存在着明显的抗旱差异,在本研究范围内抗旱性表现为野生大豆 > 半野生大豆 > 栽培大豆。在苗期和花期对不同类型大豆抗旱性鉴定结果表现相同。干旱胁迫下,形态指标与生理指标的综合隶属函数值呈极显著正相关,以二

者评价大豆的抗旱性结果高度一致。形态指标中单株荚数、单株粒数和单株粒重与抗旱性的关系更为密切。苗期和花期干旱胁迫下大豆的生理反应不同,本研究认为苗期与抗旱性关系密切的生理指标为可溶性糖含量和过氧化氢酶(CAT)活性;花期与抗旱性关系密切的生理指标为可溶性糖含量和叶绿素含量。

参考文献

- [1] 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. (Shi H, Liu X Y. Studies on the drought resistance of wild soybean germplasm[J]. Soybean Science, 2003, 22(4):264-268.)
- [2] 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):341-345. (Liang J Q, Zhang M R, Wu H Y. Advances in drought tolerance of soybean[J]. Soybean Science, 2010, 29(2):341-345.)
- [3] 刘学义,张小虎.黄淮海地区大豆种质资源抗旱性鉴定及其研究[J].山西农业科学,1993,21(1):19-24. (Liu X Y, Zhang X H. Studies and evaluation on drought-tolerance of soybean germplasm from Huang-Huai-Hai valleys[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 1993, 21(1):19-24.)
- [4] Thomas R S, Maciej A Z, Noel M H. Low leaf hydraulic conductance associated with drought tolerance in soybean[J]. Physiologia Plantarum, 2008, 132:446-451.
- [5] 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及其综合评价[J].核农学报,2010,24(1):154-159. (Wang M, Yang W M, Hou Y P, et al. Morphological indexes of drought resistance of soybean accessions and its comprehensive valuation on flowering and podding stage[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010, 24(1):154-159.)
- [6] Serdar M, Neslihan S G, Nuran D, et al. Changes in anatomical and physiological parameters of soybean under drought stress[J]. Turkish Journal of Botany, 2011, 35:369-377.
- [7] Iftekhar A, Shamima A S, Kyung-Hee Kim, et al. Proteome analysis of soybean roots subjected to short-term drought stress[J]. Plant Soil, 2010, 333:491-505.
- [8] 龚明.作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价[J].云南农业大学学报,1989,15(1):37-81. (Gong M. Screening methods and indexes of drought resistance in crops and comprehensive evaluation[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 1989, 15(1):37-81.)
- [9] 谢晨,谢皓,陈学珍.大豆抗旱形态和生理生化指标研究进展[J].北京农学院学报,2008,23(4):74-76. (Xie C, Xie H, Chen X Z. Advance on the morphologic characteristic and physiological index in the drought-resistance soybean[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2008, 23(4):74-76.)
- [10] 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.)
- [11] 邱鹏程,张闻博,李灿东,等.利用选择导入系分析大豆芽期和苗期耐旱性的遗传重叠[J].作物学报,2011,37(3):477-483. (Qiu P C, Zhang W B, Li C D, et al. Drought-tolerance loci between germination stage and seedling stage analyzed using introgression lines in soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(3):477-483.)
- [12] 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.)
- [13] 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. (Li G Q, Li H F, Zhang H Y, et al. Comprehensive evaluation of flowering-podding period drought resistance of soybean[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(6):96-100.)
- [14] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].2版.北京:高等教育出版社,2006. (Wang X K. Plant physiology and biochemistry experiment principle and technology[M]. 2nd ed. Beijing: High Education Press, 2006.)
- [15] 李贵全,杜维俊,孔照胜,等.不同大豆品种抗旱生理生态的研究[J].山西农业大学学报,2000,20(3):197-200. (Li G Q, Du W J, Kong Z S, et al. Studies on physiological drought resistance of different soybean varieties[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2000, 20(3):197-200.)
- [16] 任海祥,童淑媛,杜维广,等.结荚鼓粒期土壤水分胁迫对不同大豆品种形态和生理特性的影响[J].中国油料作物学报,2011,33(4):362-367. (Ren H X, Tong S Y, Du W G, et al. Effects of soil water stress during seed formation stage on morphological and physiological characteristics in various soybean varieties[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences 2011, 33(4):362-367.)
- [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]. The Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12):2408-2412.)
- [18] 蒲伟凤,李桂兰,张敏,等.干旱胁迫对野生和栽培大豆根系特征及生理指标的影响[J].大豆科学,2010,29(4):616-621. (Pu W F, Li G L, Zhang M, et al. Effects of drought stress on root characteristics and physiological indexes of *Glycine soja* and *Glycine max* [J]. Soybean Science, 2010, 29(4):616-621.)
- [19] Garcia A, Gonzalez M C. Morphological markers for the early selection of drought-tolerant rice varieties[J]. Cultivate Tropicales, 1997, 18(2):47-50.
- [20] Grzesiak S, Filek W, Skrudlik G, et al. Screening for drought tolerance: Evaluation of seed germination and seedling growth for drought resistance in legume plants[J]. Journal of Agronomy & Crop Science, 1996, 177(4):245-252.
- [21] 王兴荣,祁旭升.野生大豆种质资源抗旱性评价[J].中国种业,2010(7):61-63. (Wang X R, Qi X S. Wild soybean germplasm resources evaluation of drought[J]. Journal of China Seed Industry, 2010(7):61-63.)
- [22] 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.)
- [23] Bousslama M, Schapaus W T. Stress tolerance in soybean. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance[J]. Crop Science, 1984, 24:933-937.
- [24] 刘学义.大豆抗旱性评定方法探讨[J].中国油料作物学报,1986(4):23-26. (Liu X Y. Discussing on soybean drought resistance evaluation method[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1986(4):23-26.)
- [25] 郭数进,李贵全.大豆生理指标与抗旱性关系的研究[J].河南农业科学,2009(6):38-41. (Guo S J, Li G Q. Research on relationship between physiological indexes and drought resistance of soybeans[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2009(6):38-41.)
- [26] 许忠仁,张贤泽.大豆生理与生理育种[M].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1989. (Xu Z R, Zhang X Z. Physical and physiological soybean breeding[M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1989.)
- [27] 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. (Qi X S, Liu Z X, Guan R X, et al. Comparison of evaluation methods for drought-resistance at soybean adult stage[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(4):665-674.)