

## 干旱胁迫对大豆生理指标的影响

董兴月<sup>1,2</sup>, 林浩<sup>2</sup>, 刘丽君<sup>1</sup>, 唐晓飞<sup>1</sup>, 魏 峡<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 东北农业大学 研究生学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘 要:**研究了不同生育时期干旱胁迫对大豆各生育时期生理指标的影响, 采用胁迫系数与灰色关联度分析相结合的方法, 对12个大豆品种抗旱性进行综合评价。结果表明:12个大豆品种在干旱胁迫下, 叶片相对含水量(RWC)均下降, 可溶性糖含量(WSS)升高, 游离脯氨酸(Pro)含量逐渐增加, 丙二醛(MDA)含量多数逐渐增加, 过氧化物酶(POD)活性大部分表现为增强的趋势。将供试品种划分为3类:抗旱能力较强品种是:黑农56、哈5489、黑农59, 灰色关联度为 $r_i > 0.7737$ ;抗旱性中等的品种是:绥农28、合丰55、M3、黑农46、黑农50、黑农44,  $r_i$ 为 $0.7720 \sim 0.7488$ ;抗旱性较差的品种是:丰收24、M2和M1,  $r_i$ 为 $0.7453 \sim 0.7359$ 。

**关键词:**大豆; 干旱胁迫; 生理指标

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2011)01-0083-06

## Influence of Drought Stress on Soybean Physiological Indexes

DONG Xing-yue<sup>1,2</sup>, LIN Hao<sup>2</sup>, LIU Li-jun<sup>1</sup>, TANG Xiao-fei<sup>1</sup>, WEI Lai<sup>2</sup>

(1. Soybean Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang; 2. Graduate School of Northeast Agricultural University, Harbin 150086, Heilongjiang, China)

**Abstract:** To investigate the drought resistance of soybean varieties, stress coefficient analysis and grey related correlation analysis were introduced into this experiment, which can identify the drought resistance of all the test varieties and provide the basis for the drought screening. Results showed that under drought stress, with the time of drought stress extending the relative water content of leaves(RWC) decreased in 12 varieties, while the content of soluble sugar(WSS), free proline(Pro) and malondialdehyde(MDA) content increased gradually, especially the peroxidase(POD) activity in most soybean cultivars exhibited up trends. Divided all tested varieties into 3 groups, Heinong56, Ha5489, Heinong59 exhibited high drought resistance and the grey correlation grade ( $r_i$ )  $> 0.7737$ ; Suinong28, Hefeng55, M3, Heinong46, Heinong50, Heinong44 were moderately resistant ( $0.7720 < r_i < 0.7488$ ); Fengshou24, M2, M1 were lowly resistant ( $0.7453 < r_i < 0.7359$ ).

**Key words:** Soybean (*Glycine max*); Drought stress; Physiological indexes

大豆是我国重要的油料作物,近年来受“温室效应”的影响大豆主产区已经演变成干旱或半干旱地区,由于干旱逆境的影响,造成大豆减产<sup>[1]</sup>。因此抗耐旱大豆品种的鉴定至关重要。利用单一性状来鉴定大豆抗旱性局限很多,而且在不同生长时期对大豆的影响及抗性反应又存在差异。深入探寻不同生育时期干旱胁迫对大豆生理生化变化规律,加以鉴定和分析,结合植物在干旱下的反应规律,选择合理的抗旱筛选指标已被我国育种工作者列上重要的研究工作日程。该研究采用盆栽试验通过分期人工控水来模拟干旱条件,研究干旱胁迫对各时期大豆生理指标的影响,旨在为抗旱大豆品种的筛选提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

选用黑龙江、吉林、内蒙古等多个不同生态类型区广泛种植的12个大豆品种(表1),在活动式防雨篷内进行盆栽试验。分别在苗期(V1-V5)、开花-结荚期(R1-R4)、鼓粒-成熟期(R5-R8)干旱胁迫处理14 d,分别以各对应时期正常水分处理为对照(干旱胁迫处理分别用T1、T2和T3表示,各自对照分别用T1CK、T2CK和T3CK表示)。采用称重法控制土壤水分(正式实验前做精确预备实验,根据蒸腾量及时补水,并定期抽取土样来烘干测定土壤

收稿日期:2010-11-13

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD21B01);黑龙江省科技攻关资助项目(GA06B101-2)。

第一作者简介:董兴月(1982-),男,在读硕士,研究方向为大豆遗传育种。E-mail: dongxingyue@163.com。林浩为共同第一作者。

通讯作者:刘丽君(1958-),女,研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail: nkyssbd@126.com。

含水量),干旱胁迫土壤体积含水量为 8%~9%,对照组为 17%~18%,干旱胁迫后各处理复水至土壤含水量 18%,与对照组水平一致。采取用随机区组排列,10 次重复,定期调整盆栽位置,以消除“边际效应”对的影响。于 2008 年 5 月 10 播种,每盆装土 15kg,每品种种 10 盆,共 240 盆,待子叶出土后,每盆留壮苗 4 株。

## 1.2 测定项目与方法

分别在干旱胁迫第 15 天取每个品种的功能叶片进行生理指标测定。

**1.2.1 生理指标测定方法** 相对含水量测定:叶片相对含水量  $RWC = (\text{鲜重} - \text{干重}) / (\text{吸胀后鲜重} - \text{干重}) \times 100\%$

脯氨酸测定:采用酸性茚三酮显色法<sup>[2]</sup>。

丙二醛和可溶性糖的测定:采用 TBA 显色法<sup>[2]</sup>。

表 1 供试大豆品种的选育单位及适应区域

Table 1 Breeding units and regional adaptation of tested varieties

品种 Cultivar	选育单位 Breeding units	适应生态区域 Adaptive ecoregion
黑农 44 Heinong44	黑龙江省农业科学院大豆研究所	适于我省第二积温带、第三积温带上限地区种植
黑农 46 Heinong 46	黑龙江省农科院大豆研究所	适宜在黑龙江省第一、二积温带、吉林省东部中早熟区及新疆新源和昌吉地区中早熟区春播种植
黑农 50 Heinong 50	黑龙江省农业科学院大豆研究所	在黑龙江省第二积温带及第三积温带大面积种植
黑农 56 Heinong 56	黑龙江省农业科学院大豆研究所	黑龙江省第二积温带
黑农 59 Heinong 59	黑龙江省农业科学院大豆研究所	内蒙古自治区兴安盟 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温 $2\ 400^\circ\text{C}$ 以上地区种植
哈 5489 Ha5489	黑龙江省农业科学院大豆研究所	黑龙江省第一、二积温带
丰收 24 Fengshou24	黑龙江省农科院克山农业科学研究所	适宜在内蒙古兴安盟和呼伦贝尔市、吉林东部早熟区、黑龙江省第四积温带及新疆阿尔泰地区早熟区春播种植
绥农 28 Suinong28	黑龙江省农业科学院绥化分院	适宜我省第二积温带中等以上肥力土壤种植
合丰 55 Hefeng55	黑龙江省农业科学院合江农业科学研究所	黑龙江省第二积温带
M1	美国孟山都公司	
M2	美国孟山都公司	
M3	美国孟山都公司	

过氧化物酶的测定:采用比色法<sup>[2]</sup>。

**1.2.2 品种间抗旱性鉴定方法** 采用胁迫系数与灰色关联度分析综合评价各大豆品种的抗旱能力。为了消除品种间基础性状的差异,对参与分析的指标作了处理,对各生理指标的胁迫系数进行灰色关联分析。抗旱系数计算公式为:

根据抗旱系数 = 干旱胁迫下的指标值/正常水分下的指标值

取所有供试品种在胁迫下的每个指标的最优值构造 1 个较为理想的参考数列  $X_0$ ,以各供试品种的性状指标构成比较数列,分辨系数为 0.5。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对大豆生理指标的影响

**2.1.1 叶片相对含水量(RWC)** 叶片相对含水量(RWC)低的品种比较抗(耐)旱,是抗旱性鉴定的较为可靠指标<sup>[3]</sup>。由图 1 可见,干旱胁迫下大豆叶片 RWC 在各时期均下降,但品种间降幅不同,苗期降幅最小的是丰收 24(4%),其次为 M1、M2 和哈 5489(均为 6%),黑农 50、绥农 28、M3 降幅最大(均为 12%)。花期-结荚期 M1 的 RWC 降幅最小(2%),丰收 24 次之(4%)。黑农 50 的降幅最大(13%),绥农 28 次之(12%),这一结果与苗期干旱胁迫对各品种的影响大致相同,可见该指标在苗期、花期-结荚期时可作为一个稳定的抗旱指标来衡量植物耐旱性。鼓粒-成熟期黑农 59 的 RWC 降幅最小(4.86%),M1 次之(6.25%)。黑农 44 的降幅最大(18.89%),黑农 46 次之(13.28%),由于该时期已经进入生育后期,养分已经向籽粒转运,下部叶片逐渐脱落,与苗期和花期-结荚期干旱相比 RWC 呈现整体下降的趋势,并且与之前各时期品种相比出现了较为明显的差异。因此,鼓粒-成熟期的叶片 RWC 不能作为主要的抗旱性鉴定指标。

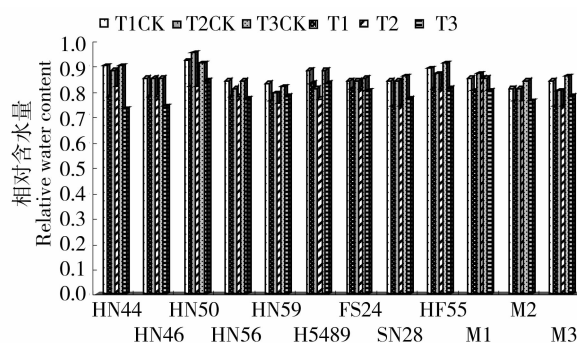


图 1 干旱胁迫对供试大豆品种 RWC 的影响

Fig.1 The influence of drought stress on RWC of leaves

2.1.2 脯氨酸(Pro)积累 脯氨酸是一种渗透调节物质,当叶片水分含量下降时 Pro 常常增加,抗旱品种比不抗旱品种积累更多的脯氨酸<sup>[4]</sup>。由图 2 可以看出,干旱胁迫下各时期所有品种 Pro 含量均显著高于对照。苗期 M3 的 Pro 增幅最大(18.04 倍),合丰 55 次之(14.59 倍),增幅最小的是 M1(4.41%)。花期-结荚期与苗期干旱胁迫相比更是增幅显著。其中绥农 28 增幅最大(57.30 倍),M3 次之(32.73 倍),增幅最小的是 M1(23%)。鼓粒-成熟期与之前各时期相比 Pro 增幅不显著。其中绥农 28 仍增幅最大(1.56 倍)。M1 次之(1.24 倍),增幅最小的是黑农 46(9.34%)。由此可见,品种间 Pro 积累的程度差异很大,这可能是由于品种间的抗旱机制差异所致。

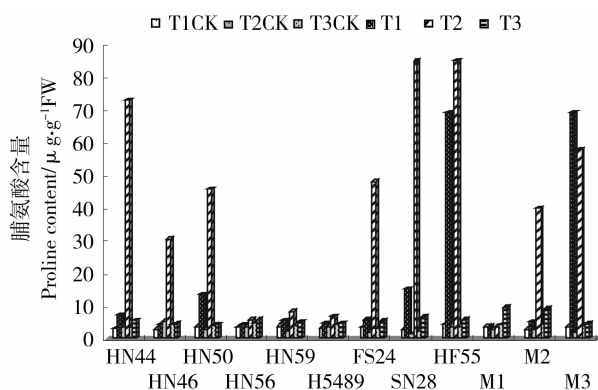


图 2 干旱胁迫对供试大豆品种 Pro 的影响

Fig. 2 The influence of drought stress on Pro content

2.1.3 可溶性糖(WSS)和丙二醛(MDA) 不同生育时期干旱胁迫,致使大部分大豆叶片 WSS 含量都有不同程度的增加。但在鼓粒-成熟期也有部分下降,这主要是由于该时期营养生长已经结束,叶片衰老加剧。

由图 3 可以看出,与对照相比,苗期 M3 和哈 5489 的 WSS 增加幅度最大,增幅分别是 91% 和 90%,黑农 46 和黑农 59 增幅最小,分别是 2.45% 和 3.37%。花期-结荚期合丰 55 和黑农 59 的 WSS 增幅较大,分别是 31.27% 和 30.71%,哈 5489 和黑农 50 增幅较小,分别是 2.6% 和 4.67%。鼓粒-成熟期黑农 56 和黑农 59 的 WSS 增幅较大,分别是 102.81% 和 63.95%,M2 和绥农 28 降幅较大,分别是 20.1% 和 3.34%,由此可见该时期干旱胁迫下各品种 WSS 积累差异较为明显。

丙二醛是植物膜脂过氧化作用的最终分解产物,其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度。经

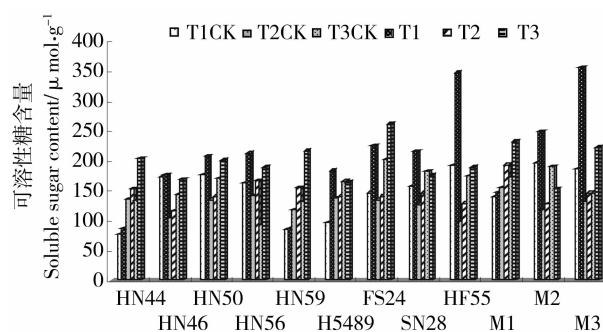


图 3 干旱胁迫对供试大豆品种 WSS 含量的影响

Fig. 3 The influence of drought stress on WSS content

干旱胁迫处理后,多数品种 MDA 积累量增加,但品种间增加程度不同。由图 4 可以看出,与对照相比较,苗期合丰 55 和黑农 56 的 MDA 值较大,黑农 59 和哈 5489 的 MDA 值较小。其中黑农 56 的增幅最小(2.24%),黑农 44 次之(7.18%);M3 的增幅最大(104.6%),哈 5489 次之(98.94%)。花期-结荚期绥农 28 和 M3 的 MDA 值较大,哈 5489 和 M1 的 MDA 值较小。其中黑农 56 增幅最小(5.15%),M2 和合丰 55 次之(为 5.56% 和 6.45%);黑农 44 和哈 5489 增幅最大(均为 60%),绥农 28 次之(50%)。若由单一 MDA 指标来看,黑农 56 在苗期和花期-结荚期都表现出较好的抗旱性。另外,鼓粒-成熟期绥农 28 和 M1 的 MDA 值较大,黑农 44 和黑农 46 的 MDA 值较小。其中绥农 28 降幅最大(30.84%),合丰 55 次之(27.26%);黑农 44 增幅最大(65.5%),黑农 46 次之(53.9%)。

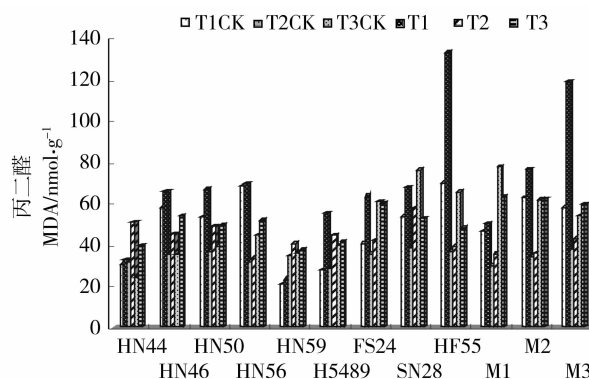


图 4 干旱胁迫对供试大豆品种 MDA 含量的影响

Fig. 4 The influence of drought stress on MDA content

2.1.4 过氧化物酶(POD)活性 从图 5 可以看出,对照品种之间相比较,苗期绥农 28 和 M2 的 POD 活性较高,黑农 44 和丰收 24 的活性较低。苗期干旱胁迫使各品种 POD 活性升高,其中丰收 24 增幅最大(162.3%),黑农 44 次之(119.3%)。M2 的增幅最小(4.53%),黑农 56 次之(5.56%)。花

期-结荚期合丰 55 和 M3 的 POD 活性较高,黑农 44 和哈 5489 的活性较低。干旱胁迫下黑农 44 和丰收 24 的 POD 活性较高,黑农 50 和绥农 28 的活性较低。该时期干旱胁迫使各品种 POD 活性均升高,其中增加最大的是黑农 44 (642.5%),丰收 24 次之 (360.3%)。增幅最小的是 M3 (124.3%),合丰 55 次之 (143.9%)。鼓粒-成熟期合丰 55 和 M3 的 POD 活性最高,哈 5489 和黑农 44 的活性最低,这一趋势与开花-结荚期结果吻合。干旱胁迫下丰收 24 和黑农 59 的 POD 活性最高,M2 和黑农 50 的最低。合丰 55 经干旱胁迫处理 POD 活性降低,其余各品种 POD 活性均升高,其中黑农 59 增幅最大 (2.74 倍),哈 5489 次之 (2.25 倍)。M2 增幅最小 (17.7%),合丰 55 降幅为 (22.3%)。

## 2.2 干旱胁迫下供试品种胁迫系数、灰色关联度和聚类分析结果

根据灰色系统理论,关联度反应的是构成该系

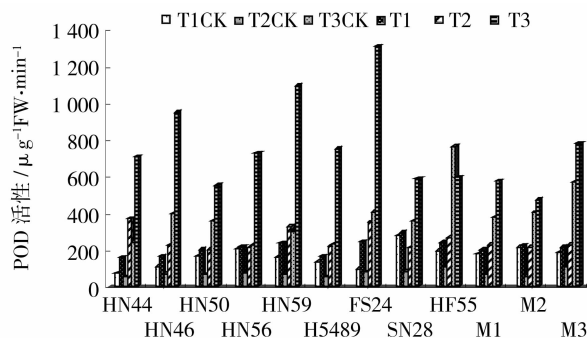


图 5 干旱胁迫对供试大豆品种 POD 含量的影响

Fig. 5 The influence of drought stress on POD content

统的各性状组成的比较数列和参考数列间的密切程度,关联度越大,表明该数列和参考数列间变化的势态越接近,相互关系越密切。该文以各个供试品种的性状指标为比较数列,以所有供试品种的最优值 X0(表 2)为参考数列,进行灰色关联度分析(表 3)。

表 2 干旱胁迫对供试大豆品种抗旱相关性状的胁迫系数

Table 2 The stress coefficient between drought stress and drought-resistant traits of soybean varieties

品种 Cultivar	相对含水量 RWC			脯氨酸含量 Pro			可溶性糖含量 WSS			丙二醛含量 MDA			过氧化物酶活性 POD		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
黑农 44 Heinong44	0.87	0.93	0.81	2.28	19.52	1.41	1.13	0.89	1.53	1.07	0.62	1.66	2.19	7.15	2.96
黑农 46 Heinong 46	0.92	0.92	0.87	1.57	5.66	1.09	1.02	1.11	1.18	1.13	1.28	1.54	1.51	3.06	2.39
黑农 50 Heinong 50	0.88	0.87	0.93	3.63	14.96	1.27	1.18	0.96	1.18	1.26	1.32	1.26	1.20	2.93	1.55
黑农 56 Heinong 56	0.92	0.95	0.91	1.23	1.57	1.31	1.31	0.85	2.03	1.02	1.05	1.15	1.06	3.06	3.24
黑农 59 Heinong 59	0.92	0.95	0.95	1.39	3.60	1.27	1.03	1.31	1.64	1.13	1.18	1.04	1.49	4.81	3.74
哈 5489 Ha5489	0.94	0.95	0.94	1.35	1.80	1.20	1.90	1.03	0.98	1.99	1.60	1.04	1.25	3.95	3.25
丰收 24 Fengshou24	0.96	0.96	0.94	1.60	22.49	1.64	1.54	1.04	1.29	1.56	0.85	0.99	2.62	4.88	3.24
绥农 28 Suinong28	0.88	0.88	0.89	5.28	58.43	2.57	1.39	1.15	0.97	1.26	0.67	0.69	1.05	2.68	1.64
丰收 55 Hefeng55	0.90	0.93	0.89	15.61	21.59	1.57	1.81	1.31	1.09	1.91	1.06	0.73	1.24	2.61	0.78
M1	0.94	0.98	0.94	1.04	1.23	2.24	1.05	0.80	1.35	1.08	1.19	0.81	1.13	3.41	1.53
M2	0.94	0.94	0.91	1.83	15.06	2.03	1.27	1.08	0.80	1.22	1.06	1.00	1.05	3.67	1.18
M3	0.88	0.92	0.90	19.04	33.69	1.13	1.91	1.10	1.51	2.05	1.13	0.73	1.18	2.40	1.38
X0	0.96	0.98	0.95	19.04	58.43	2.57	1.02	0.80	0.80	1.02	0.62	0.69	2.62	7.15	3.74

A、B、C 分别表示:苗期;花期-结荚期;鼓粒-成熟期。

A, B and C indicated seedling stage, florescence to fruiting period and seed filling to maturation period, respectively.

品种的关联度越大,表明其抗旱性就越强,由表 3 中排序得出如下结果:苗期黑农 50、绥农 28 和合丰 55 抗干旱能力较强,灰色关联度  $r_i > 0.7319$ ;黑农 46、黑农 59、黑农 44、黑农 56、哈 5489、M2 和 M3 抗旱性中等,灰色关联度  $r_i$  为 0.7179 ~ 0.6928;丰收 24 和 M1 抗旱性较差,  $r_i$  为 0.6457 ~ 0.6402。花期-结荚期黑农 59、丰收 24 抗干旱能力较强,灰色关联度  $r_i > 0.8357$ ;哈 5489、黑农 44、绥农 28、黑

农 56 和 M1 抗旱性中等,灰色关联度  $r_i$  为 0.7983 ~ 0.8205;M2、合丰 55、M3、黑农 46、黑农 50 抗旱性较差,  $r_i$  为 0.7789 ~ 0.7623。鼓粒-成熟期黑农 56、M3 和哈 5489 抗干旱能力较强,灰色关联度  $r_i > 0.7991$ ;M1、绥农 28 和黑农 59 抗旱性中等,灰色关联度  $r_i$  为 0.7641 ~ 0.7741;丰收 24、M2 和黑农 44 抗旱性较差,  $r_i$  为 0.7278 ~ 0.7538。

表 3 灰色关联度对供试大豆品种的抗旱性分析  
Table 3 The grey correlation analysis on drought resistance of soybean varieties

品种/时期 Cultivar /per <sub>i</sub> od	苗期 Seedling stage		花期-结荚期 Florescence- fruiting per <sub>i</sub> od		鼓粒-成熟期 Seed filling per <sub>i</sub> od-maturation	
	关联度 Relational grade	排序 Order	关联度 Relational grade	排序 Order	关联度 Relational grade	排序 Order
黑农 44 Heinong44	0.7105	6	0.8179	4	0.7181	12
黑农 46 Heinong46	0.7179	4	0.7668	11	0.7647	6
黑农 50 Heinong50	0.7336	1	0.7623	12	0.7507	10
黑农 56 Heinong56	0.7066	7	0.8046	6	0.8581	1
黑农 59 Heinong59	0.7169	5	0.8440	1	0.7602	7
哈 5489 Ha5489	0.7010	8	0.8205	3	0.8027	2
丰收 24 Fengshou24	0.6457	11	0.8357	2	0.7544	8
绥农 28 Suinong28	0.7326	2	0.8077	5	0.7758	4
合丰 55 Hefeng55	0.7319	3	0.7767	9	0.7467	11
M1	0.6402	12	0.7983	7	0.7693	5
M2	0.6952	9	0.7789	8	0.7521	9
M3	0.6928	10	0.7745	10	0.7840	3

把苗期、花期-结荚期、鼓粒-成熟期干旱得出的供试品种关联度系数加以统计分析,得出总体关联度(表 4)。

表 4 供试大豆品种抗旱性的总体关联度分析  
Table 4 Overall grey correlation analysis on drought resistance of soybean varieties

品种 Cultivar	关联度 Relational grade	排序 Order
黑农 44 Heinong44	0.7488	9
黑农 46 Heinong46	0.7498	7
黑农 50 Heinong50	0.7489	8
黑农 56 Heinong56	0.7898	1
黑农 59 Heinong59	0.7737	3
哈 5489 Ha5489	0.7747	2
丰收 24Fengshou24	0.7453	10
绥农 28Suinong28	0.7720	4
合丰 55Hefeng55	0.7518	5
M1	0.7359	12
M2	0.7421	11
M3	0.7504	6

用 WPGMA 法,欧氏距离来作为聚类距离,对表 4 中的数据进行聚类分析,结果见图 6。

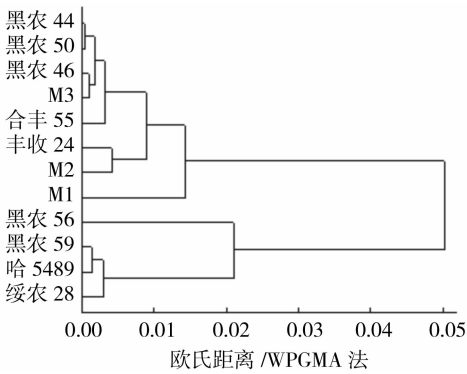


图 6 供试大豆品种抗旱性聚类分析  
Fig.6 Cluster analysis on drought resistance of soybean varieties

结果表明,抗旱性强的品种表现为 RWC 降幅较小,Pro 积累增多,WSS 和 MDA 积累量较少,POD 活性增强的特点。运用灰色关联度分析法鉴定品种抗旱性是合理的,综合以上各指标能较客观公正地评价品种抗旱性。另外,得出各品种抗旱性排序为黑农 56 > 哈 5489 > 黑农 59 > 绥农 28 > 合丰 55 > M3 > 黑农 46 > 黑农 50 > 黑农 44 > 丰收 24 > M2 > M1。通过关联系数进行聚类分析,可将各供试品种划为 3 类:抗旱能力较强的品种是:黑农 56、哈 5489 和黑农 59,灰色关联度为  $r_i > 0.7737$ ;抗旱性中等的品种是:绥农 28、合丰 55、M3、黑农 46、黑农 50 和黑农 44,  $r_i$  为 0.7720 ~ 0.7488;抗旱性较差的品种是:丰收 24、M2 和 M1,  $r_i$  为 0.7453 ~ 0.7359。

3 讨论

作物的抗旱性是复杂的数量性状,是众多因素、机制共同作用的结果,最终通过各种性状在不同发育时期的一系列变化体现出来,因而指标性状的合理选择是抗旱性鉴定的关键。关于作物抗旱性评价指标的选择问题,国内外学者从多方面进行了大量研究,概括起来主要有生理指标、生化指标和农艺性状指标,但各类指标对抗旱性的影响,不同的研究得出不同的结论。

一般认为当植物受到环境胁迫时会使植物体内 RWC 含量下降,游离 Pro、WSS 和 MDA 及 POD 积累均增加<sup>[5-8]</sup>。王士强等<sup>[9]</sup>对小麦抗旱性研究显示,生理生化性状的影响大于农艺性状。该试验表明,营养生长期(苗期)抗旱性强的品种表现为 RWC 降幅较小,Pro 积累增多,WSS 和 MDA 积累量较少,POD 活性增强,关联度分析结果与总体关联度结果存在较大的差别,生殖生长期(花期-结荚期,

鼓粒-成熟期)各生理指标与苗期大体相同,但有一些区别,表现为 Pro 积累量增多;WSS 和 MDA 含量较苗期有较大的增加,其中,花期-结荚期关联度结果与总体关联度结果相似性较大,表明该时期生理指标可作为抗旱性的可信指标,这与岳爱琴等<sup>[10]</sup>研究的结果相一致。

此外,该研究还得出,某一大豆品种其抗旱能力因干旱胁迫时期不同而差异明显。例如,总体抗旱性表现最好的品种黑农 56,在苗期抗旱性排在第 7 位,在花期-结荚期排在第 6 位,在鼓粒-成熟期排在第 1 位。这表明,同一品种在不同时期抗旱表现不同。由于大豆抗旱性是较为复杂的性状,它受品种特异性和环境特异性影响,因此,只有把二者有机结合,运用多指标综合分析,才能“因种而异”,科学评价其抗性。

## 参考文献

- [1] Bray E A. Responses to abiotic stresses in biochemistry and molecular biology of plants[J]. American Society of Plant Physiologists, 2000, 1158-1249.
  - [2] 王晶英,敖红,张杰,等. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003:133-136. (Wang J Y, Ao H, Zhang J, et al. Plant physiological and biochemical technology and principle[M]. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2003:133-136.)
  - [3] 陈少裕. 膜脂过氧化与植物逆境胁迫[J]. 植物学通报, 1990 (6):211-217. (Chen S Y. Lipid peroxidation and plant stress [J]. Bulletin of Botany, 1990(6):211-217.)
  - [4] Pantuwan G, Fukai S, Cooper M, et al. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to drought under rainfed lowlands:4 Vegetative stage screening in the dry season[J]. Field Crops Research, 2004, 89:281-297.
  - [5] Mitchell I H, Siamhan D, Wamala M H. The use of seedling leaf death score for evaluation of drought resistance of rice[J]. Field Crops Research, 1998, 55:129-139.
  - [6] 张美云,钱吉,郑师章. 渗透胁迫下野生大豆游离脯氨酸和可溶性糖的变化[J]. 复旦学报, 2001, 40(5):558-561. (Zhang M Y, Qian J, Zheng S Z. Osmotic stress under wild soybean free proline and soluble sugar changes[J]. Journal of Fudan University, 2001, 40(5):558-561.)
  - [7] Singh T N, Aspinall D, Palag L G. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley: A potential metabolic measure of drought resistance[J]. Nature New Biology, 1972, 236:188-190.
  - [8] 王瑞云,王玉国,杨晓霞. 大豆抗旱的生理生态基础[J]. 山西农业大学学报, 2001, 21(3):305-307. (Wang R Y, Wang Y G, Yang X X. Physio-ecological foundation of drought-resistance of Soybean[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2001, 21(3):305-307.)
  - [9] 王士强,胡银岗,余奎军,等. 小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(11):2452-2459. (Wang S Q, Hu Y G, She K J, et al. Gray relational grade analysis of agronomical and physi-biochemical traits related to drought tolerance in wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(11):2452-2459.)
  - [10] 岳爱琴,杜维俊,赵晋忠,等. 不同大豆品种抗旱性的研究[J]. 山西农业大学学报, 2005, 25(2):157-160. (Yue A Q, Du W J, Zhao J Z, et al. Study on analysis of drought resistance in soybean [J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2005, 25(2):157-160.)
- 
- (上接第 82 页)
- [14] 汤树德,徐凤花,隋文志,等. 保护性施氮对大豆生育和产量的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 1995, 8(2):15-24. (Tang S D, Xu F H, Sui W Z, et al. Effect of protectively applied nitrogen on growth and yield of soybean[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 1995, 8(2):15-24.)
  - [15] 章建新,翟云龙,薛丽华. 密度对高产春大豆生长动态及干物质积累分配的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(1):1-5. (Zhang J X, Zhai Y L, Xue L H. Effects of plant density on growth tendency, dry matter accumulation and distribution in high yield spring soybean[J]. Soybean Science, 2006, 25(1):1-5.)
  - [16] 姜忠君,郭荣利,赵清艳. 不同氮肥用量对菜用大豆品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2006(5):66-68. (Jiang Z J, Guo L R, Zhao Q Y. The effect of different nitrogen consumption on the vegetable soybean quality[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2006(5):66-68.)
  - [17] 张洪刚,周琴,何小红,等. 播期、密度和肥料对菜用大豆南农 9610 产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(5):662-667. (Zhang H G, Zhou Q, He X H, et al. Effects of sowing date, planting density and N, P and K fertilizer on yield and quality of vegetable soybean[J]. 2008, 24(5):662-667.)
  - [18] 章建新,李宁,薛丽华,等. 氮肥对菜用大豆产量和品质的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2007, 30(1):6-10. (Zhang J X, Li N, Xue L H, et al. Effect of nitrogen fertilizer on yield and quality of vegetable soybean[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2007, 30(1):6-10.)
  - [19] Ham G E, Nelson W W, Evans S D, et al. Influence of fertilizer placement on yield response of soybeans[J]. Agronomy Journal, 1973, 65:81-84.