

野生大豆、半野生大豆和栽培大豆对苗期干旱胁迫的生理反应

纪展波, 蒲伟凤, 李桂兰, 乔亚科, 张 敏

(河北科技师范学院 植物细胞工程实验室, 河北 昌黎 066600)

摘要:以野生、半野生和栽培大豆为材料,在早棚盆栽条件下进行苗期干旱胁迫试验。对叶绿素含量、光合速率、脯氨酸含量、丙二醛(MDA)含量、相对电导率、可溶性糖(WSS)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性进行测定。结果表明,在干旱胁迫下,叶绿素含量、光合速率、可溶性糖含量、脯氨酸含量及SOD活性表现为野生大豆>半野生大豆>栽培大豆;而丙二醛含量、相对电导率、POD活性则表现为野生大豆<半野生大豆<栽培大豆。干旱胁迫下不同类型材料各生理指标与正常供水条件相比都发生不同程度的变化,叶绿素含量、光合速率降幅为野生大豆<半野生大豆<栽培大豆;脯氨酸含量增幅为野生大豆>半野生大豆>栽培大豆;而丙二醛(MDA)含量、相对电导率、SOD活性、POD活性、CAT活性增幅变化顺序为野生大豆<半野生大豆<栽培大豆。在干旱胁迫下,野生大豆、半野生大豆和栽培大豆的生理指标发生显著变化,3种类型大豆的变化幅度差异显著。野生大豆在干旱胁迫下生理指标的表现优于半野生大豆和栽培大豆。

关键词:野生大豆;半野生大豆;栽培大豆;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(2012)04-0598-07

Physiological Reaction of *Glycine soja*, *Glycine gracilis* and *Glycine max* to Drought Stress in Seedling Stage

Ji Zhan-bo, Pu Wei-feng, Li Gui-lan, Qiao Ya-ke, Zhang Min

(Plant Cell Engineering Laboratory, Hebei Normal University of Science & Technology, Changli 066600, Hebei, China)

Abstract: Wild, semi-wild and cultivated soybeans were pot planted in greenhouse and treated with drought stress at seedling stage. Chlorophyll content (CC), photosynthetic rate (Pn), proline content (PC), malondialdehyde (MDA) content, relative electric conductivity (REC), soluble sugar content (WSS), superoxide dismutase (SOD) activity, peroxidase (POD) activity, hydrogenperoxidase (CAT) activity were examined. Under drought stress, CC, Pn, WSS, PC and SOD activity were shown as wild soybean > semi-wild soybean > cultivated soybean, while MDA, REC and POD activity had opposite trend. Compared with CK, the variation degree of physiological indexes under drought stress varied greatly. The decreasing amplitude of CC and Pn behaved for wild soybean < semi-wild soybean < cultivated soybean; the increment of MDA, REC, SOD, CAT and POD were wild soybean < semi-wild soybean < cultivated soybean, while the increment of PC behaved negatively. Under drought stress, the physiological indexes of wild, semi-wild and cultivated soybeans changed obviously and the change amplitude of three types of soybean had a great difference, the performance of physiological indexes of wild soybean was better than semi-wild and cultivated soybeans.

Key words: Wild soybean (*Glycine soja*); Semi-wild soybean (*Glycine gracilis*); Soybean (*Glycine max*); Drought resistance; Physiological indexes

干旱影响作物的分布、生长发育、产量及品质的形成,是影响我国农业生产最严重的气象灾害。因此深入研究野生大豆、半野生大豆和栽培大豆苗期在干旱胁迫下生理指标的变化,对大豆抗旱材料的筛选及育种尤为重要。刘丽君等^[1]以12个大豆品种为材料,研究干旱胁迫对不同生育阶段大豆光合生理指标、农艺性状和产量的影响,结果显示,干旱胁迫导致大豆净光合速率的降低以及产量的下降。张美云等^[2]以来自陕西干旱地区的11份不同抗旱性的野生大豆为材料,用浓度不同的聚乙二醇

(PEG)模拟干旱条件进行胁迫,发现在不同胁迫条件下,游离脯氨酸含量和可溶性糖含量的变化均与野生大豆的抗旱性成正比,为野生大豆抗旱潜力的研究提供科学依据。李贵全等^[3]对10个不同生态类型的大豆进行抗旱性研究,测定了多个与大豆抗旱性有关的生理指标,结果显示,用单一的生理指标来评价大豆的抗旱性存在片面性,而用多个指标进行综合评价才较为可靠。董钻等^[4]利用抗旱性不同的3个大豆品种,比较研究了干旱胁迫对其体内酶活性以及膜透性的影响,发现干旱胁迫导致大

收稿日期:2012-03-19

基金项目:河北省自然科学基金(C2009000868);河北省科技支撑计划(11220107D)。

第一作者简介:纪展波(1983-),男,在读硕士,研究方向为植物遗传资源。E-mail:jizhanbo@126.com。

通讯作者:乔亚科(1964-),男,教授,从事植物遗传资源研究。E-mail:qiaoyake@126.com。

豆体内各种酶活性的升高和膜透性的增加。王敏等^[5]利用相关、主成分、聚类 and 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,结果将野生、半野生大豆材料均划分在高抗旱类型中。

育种学家们已经进行了许多关于大豆抗旱生理的研究。但对于野生、半野生、栽培 3 种类型大豆苗期对干旱胁迫下生理反应的研究还很少。本试验采用温室盆栽的方式,对 3 种类型大豆在苗期

进行干旱胁迫,测定生理生化指标,讨论不同进化类型大豆之间对干旱的反应差异,为大豆的抗旱育种工作提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选取 5 份野生大豆、2 份半野生大豆和 9 份栽培大豆。各材料有关生物学特性见表 1。

表 1 供试材料
Table 1 Selected materials

代号 Code	材料 Materials	粒形 Seed shape	粒色 Seed coat color	种脐色 Hilun color	叶片形状 Leaf shape	叶片大小 Leaf size	结荚习性 Stem termination	类型 Type
W1	永 5 Yong5	肾形	黑色	褐色	椭圆形	小	无限	野生
W2	永 26 Yong26	肾形	黑色	褐色	椭圆形	小	无限	野生
W3	永 46 Yong46	肾形	黑色	深褐色	椭圆形	小	无限	野生
W4	永 52 Yong52	肾形	黑色	褐色	椭圆形	小	无限	野生
W5	05 编 1 05bian1	肾形	黑色	深褐色	椭圆形	小	无限	野生
SW1	05 半野 7 05banye7	椭圆形	双色	黄色	卵圆形	中	无限	半野生
SW2	05 半野 35 05banye35	椭圆形	双色	黄色	卵圆形	中	无限	半野生
BV1	品 8 Pin8	椭圆形	黄色	黑色	椭圆形	大	有限	栽培
BV2	冀豆 12 Jidou12	扁圆形	黄色	黄色	椭圆形	大	有限	栽培
BV3	中黄 13 Zhonghuang13	肾形	黄色	深褐色	椭圆形	大	亚有限	栽培
BV4	秦皇 10 Qinhuang10	椭圆形	黄色	黄色	椭圆形	大	有限	栽培
BV5	秦皇 12 Qinhuang12	长椭圆形	黄色	黄色	椭圆形	大	有限	栽培
BV6	秦皇 27 Qinhuang27	椭圆形	双色	褐色	椭圆形	大	有限	栽培
BV7	秦皇 29 Qinhuang29	椭圆形	双色	褐色	椭圆形	大	有限	栽培
BV8	秦皇 37 Qinhuang37	椭圆形	双色	褐色	椭圆形	大	有限	栽培
BV9	秦皇 43 Qinhuang43	椭圆形	绿色	褐色	椭圆形	大	有限	栽培

1.2 试验方法

试验于 2011 年 9 月中旬开始,在河北科技师范学院(昌黎校区)温室旱棚内进行,采用二因素随机区组设计,每份材料设正常供水和干旱处理(苗期干旱),每处理 3 次重复。用 35 × 35 cm 花盆,每盆装土 10.5 kg。选取饱满、无病虫、大小一致的种子,经 0.5% NaClO 消毒 15 min,并用自来水冲洗干净后播种。播种前先浇足底墒水,每盆播种 10 粒,播种 7 d 出苗后进行间苗,每盆留健壮幼苗 6 株。控制土壤的水分,使正常供水土壤的含水量保持在 17% ~ 19%,水分胁迫土壤的含水量保持在 9% ~ 11%,通过随机抽样的方法测量土壤含水量。

苗期进行干旱处理 7 d 后,选用第三、四复叶为材料测定各项生理生化指标。

1.3 生理生化指标测定

采用 80% 丙酮比色法^[6]测定叶绿素的含量。用(I-30)便携 CGAS ANALYZER 测定净光合速率(P_n)。用磺基水杨酸提取,茚三酮显色法^[7]测定脯氨酸含量。采用硫代巴比妥酸(TAB)比色法^[7]测定丙二醛(MDA)含量,DDS-11A 电导仪法^[8]测定相对电导率,蒽酮比色法^[9]测定可溶性糖(WSS)含量。分别用抑制氮蓝四唑(NBT)光化还原比色法^[6]、愈创木酚法^[9]测定超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性。各指标测定 3 次重复后取平均值。

1.4 数据分析

用 Excel 2003 对数据进行处理和绘图分析,并用 DPS v7.05 软件的 Duncan 新复极差测验对数据进行显著水平的多重比较及相关分析^[10]。

2 结果与分析

2.1 叶绿素含量和净光合速率

不同类型的大豆材料苗期叶绿素的含量差异显著($P < 0.05$),野生大豆的叶绿素含量明显高于栽培大豆和半野生大豆(表2)。在干旱胁迫下各材料的叶绿素含量均低于对照,说明干旱胁迫使大豆叶片的叶绿素受到破坏^[11],从而使光合作用也受到阻碍^[12];干旱胁迫后叶绿素含量下降的幅度差异也比较显著,野生大豆的叶绿素含量降幅较小,因此可以在干旱胁迫时保持较好的光合作用,从而可以

把胁迫带来的不利影响降低,说明野生大豆对干旱的反应敏感程度低于栽培大豆和半野生大豆。

经统计分析得出,不同类型大豆材料净光合速率的差异显著($P < 0.05$),野生大豆比半野生大豆和栽培大豆的净光合速率高(表2)。经干旱胁迫后,不同材料的净光合速率下降迅速,不同材料间降幅差异明显,栽培大豆中品8和冀豆12的降幅最大,野生材料的降幅相对较小,说明野生大豆的抗旱性较强,能够维持较高的光合速率,这与叶绿素含量的变化结果一致。

表2 苗期干旱胁迫对不同大豆材料叶绿素含量和净光合速率的影响

Table 2 Effect of drought at seedling stage on chlorophyll content and photosynthetic rate in soybean

代号 Code	叶绿素含量 Chlorophyll content/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$			净光合速率 Photosynthetic rate/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$		
	对照 CK	干旱 Drought	降幅 Decline/%	对照 CK	干旱 Drought	降幅 Decline/%
W1	2.18	1.73	20.64	9.76	7.06	27.63
W2	2.44	1.86	23.61	10.40	8.32	19.97
W3	2.43	1.89	24.03	10.35	7.23	30.15
W4	2.08	1.43	31.15	9.27	6.92	25.34
W5	2.26	1.34	40.85	8.33	5.31	36.23
SW1	1.65	1.22	25.92	5.43	3.08	43.30
SW2	1.95	1.27	34.56	5.73	3.15	45.12
BV1	1.66	0.68	58.97	3.05	1.31	57.05
BV2	1.91	1.18	37.88	4.45	1.46	67.17
BV3	1.62	0.82	49.24	3.06	2.05	33.11
BV4	1.99	1.52	23.47	5.09	2.57	49.44
BV5	1.46	0.91	37.67	6.57	3.36	48.83
BV6	1.53	1.07	29.86	4.34	2.08	52.00
BV7	1.44	0.92	35.73	4.10	2.12	48.33
BV8	1.98	1.22	38.62	4.23	2.60	38.53
BV9	1.93	1.28	33.43	5.72	2.86	50.03

2.2 相对电导率

不同大豆材料的相对电导率差异显著($P < 0.05$),在遭受干旱胁迫后相对电导率均增加,且不同材料间电导率增幅的差异也比较显著(图1)。野生大豆的增幅明显小于半野生大豆和栽培大豆,说明野生大豆的细胞膜在受到干旱胁迫后的破坏程度较轻,细胞膜的透性较小,所以能够较好的维持体内的水分,减轻干旱胁迫的危害,而栽培大豆的细胞膜破坏程度较重,膜的透性较大。由此可知栽培大豆相对于野生大豆对干旱胁迫的敏感度较高。

2.3 可溶性糖(WSS)含量

干旱胁迫处理下大豆材料之间可溶性糖含量差异显著($P < 0.05$)。从图2整体水平看,野生大豆比半野生大豆、栽培大豆可溶性糖含量要高,且

干旱胁迫使大豆叶片内可溶性糖含量均有不同程度的增加。其中栽培大豆品8可溶性糖含量最低并且增幅较大,对干旱胁迫的反应较为敏感,中黄13的增幅最小。

2.4 脯氨酸(Pro)和丙二醛(MDA)含量

不同类型大豆材料间的脯氨酸含量差异显著($P < 0.05$),野生大豆脯氨酸的含量要高于半野生大豆和栽培大豆;大豆材料在经过干旱胁迫后叶片中脯氨酸的含量均明显高于对照(表3),且野生大豆的增幅大于半野生大豆和栽培大豆。不同类型大豆材料间丙二醛含量的差异也非常大,野生大豆的丙二醛含量比半野生大豆和栽培大豆低,并且经过干旱胁迫后的增幅也小于半野生大豆和栽培大豆。

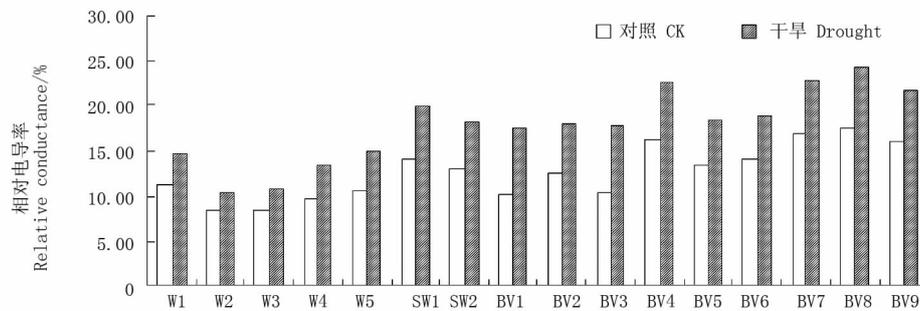


图1 干旱胁迫对不同大豆品种相对电导率的影响

Fig. 1 Effect of water stress on relative conductance of different soybeans

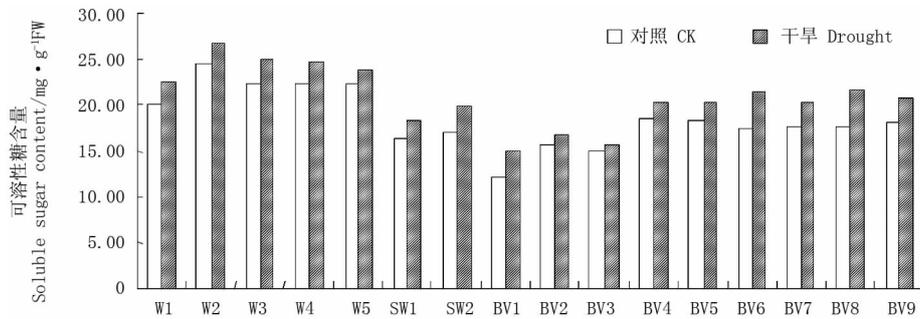


图2 干旱胁迫对苗期大豆叶片可溶性糖积累的影响

Fig. 2 Effect of drought stress at seedling on soluble sugar content of different soybeans

表3 苗期干旱胁迫对不同大豆材料脯氨酸含量和丙二醛含量的影响

Table 3 Effects of drought stress at seedling on Pro and MDA content

代号 Code	脯氨酸含量 Proline content/mg · g ⁻¹			丙二醛含量 Malondialdehyde content/μmol · g ⁻¹ FW		
	对照 CK	干旱 Drought	增幅 Increase/%	对照 CK	干旱 Drought	增幅 Increase/%
	W1	87.22	315.32	261.52	11.09	15.66
W2	97.79	359.34	267.46	8.29	10.01	22.99
W3	90.70	282.77	211.76	8.41	10.56	27.76
W4	93.84	194.51	107.28	9.77	13.53	37.64
W5	83.23	180.50	116.87	10.44	15.67	43.04
SW1	63.20	129.22	104.46	14.02	21.62	42.06
SW2	54.82	99.17	80.91	12.92	17.74	39.97
BV1	51.79	76.34	47.41	10.16	18.04	73.40
BV2	58.23	120.16	106.35	12.56	17.71	42.55
BV3	53.61	94.10	75.53	10.28	17.81	71.99
BV4	65.64	150.45	129.20	16.25	22.55	38.77
BV5	60.93	159.16	161.21	13.42	20.39	37.02
BV6	67.14	175.39	161.23	13.97	18.72	35.11
BV7	73.98	173.51	134.53	16.85	22.41	34.65
BV8	69.71	181.64	160.56	17.60	24.37	38.36
BV9	72.35	177.42	145.23	16.00	21.76	35.51

2.5 抗氧化酶活性

由表4可知,不同类型大豆超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性差异显著($P < 0.05$)。在正常情况下,野生大豆

SOD活性要比其它材料高,其中野生大豆永5最高,栽培大豆品8最低;当受到干旱胁迫后,SOD活性均比对照组增加,这是由于在受到干旱胁迫时SOD保护酶活性升高可降低膜脂过氧化作用,减少

胁迫对膜结构的伤害,提高植物在逆境时的自身保护调节能力;不同大豆材料的增幅不同,野生大豆永46的增幅最小,而栽培大豆品8的增幅最大。

对照组的CAT活性,品8最低,永26最高;在受到干旱胁迫后,CAT活性的增加非常明显,但增幅差异较大,永26的增幅最小,品8的增幅最大。

作为重要抗氧化酶的POD,能够有效地清除植物体内的 H_2O_2 。从表4可知,野生大豆的POD活性略高于半野生大豆和栽培大豆;干旱胁迫下的POD活性较对照明显增加,其中野生大豆增幅最小,栽培大豆增幅最大。

表4 干旱胁迫对不同大豆材料苗期抗氧化酶系统的影响

Table 4 Effects of drought stress on activities of SOD,POD,CAT in leaves of soybean materials

代号 Code	SOD 活性			CAT 活性			POD 活性		
	SOD activity/ $U \cdot g^{-1}$			CAT activity/ $mmol \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$			POD activity/ $\Delta 470mmol \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$		
	对照 CK	干旱 Drought	变幅 Increase/%	对照 CK	干旱 Drought	变幅 Increase/%	对照 CK	干旱 Drought	变幅 Increase/%
W1	124.44	167.82	34.26	18.33	23.90	30.36	5.15	8.20	59.20
W2	91.14	123.72	33.96	22.67	24.87	9.71	5.35	8.95	67.41
W3	99.38	117.99	16.66	19.00	23.77	25.09	5.32	8.43	58.48
W4	103.27	127.35	19.18	17.67	22.20	25.66	4.84	8.23	70.18
W5	80.23	133.31	53.21	17.15	29.43	71.62	4.85	6.23	28.44
SW1	51.85	99.45	89.47	9.33	21.33	128.57	3.47	5.88	69.42
SW2	36.88	67.10	74.62	10.67	20.33	90.62	3.49	6.06	73.72
BV1	32.25	74.04	122.33	8.33	26.87	222.40	3.16	9.24	192.65
BV2	38.65	69.52	81.20	11.19	30.43	171.93	3.98	9.40	136.20
BV3	35.80	67.098	86.06	9.00	27.70	207.78	3.31	9.27	180.51
BV4	58.39	117.76	103.84	14.33	33.13	131.16	4.45	8.00	79.93
BV5	66.89	91.67	36.07	16.67	34.67	108.00	4.43	7.92	79.01
BV6	58.86	106.35	79.42	15.33	23.30	51.96	4.18	6.91	65.26
BV7	46.12	91.09	90.08	16.23	36.87	127.11	4.31	7.34	70.26
BV8	39.37	82.33	102.45	15.33	28.33	84.78	4.06	6.54	61.12
BV9	51.30	70.88	37.59	15.67	28.20	80.00	4.12	6.58	59.50

3 讨论

作物的抗旱性是复杂的数量性状,是众多因素、多种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,近年来报道了诸多与大豆抗旱性有关生理生化指标的研究结果^[13]。本研究显示,干旱胁迫下叶绿素含量和光合速率都有所下降,但是不同品种的下跌幅度不同,变幅越小的品种其抗旱性越强;相对电导率、可溶性糖含量、脯氨酸含量、丙二醛含量以及3种抗氧化酶(SOD、CAT、POD)活性均有明显的提高。

杨剑平等^[14]的研究显示,大豆材料在受到干旱胁迫后叶绿素含量下降,并且不同材料间的下降幅度与材料的抗旱性之间有一定的相关。本研究结果表明,野生大豆叶绿素含量高于栽培大豆和半野生大豆,在干旱胁迫下叶绿素含量下降的幅度差异明显,野生大豆的降幅较其它材料小,因此可以在逆境条件下保持较高的光合速率,降低干旱胁迫的

不利影响。在正常供水条件下,野生大豆的净光合速率高于其他材料。经过干旱胁迫后,所有材料的净光合速率均下降,其中栽培大豆的降幅较大,野生大豆降幅较小,这与叶绿素含量的结果相一致,说明叶绿素含量的降低也是导致净光合速率下降的原因之一。

植物的细胞膜对维持细胞内的生理代谢有着至关重要的作用。受到逆境影响后,细胞膜透性增加,内含物外渗,致使细胞浸提液的电导率值增大。本研究中苗期干旱胁迫栽培大豆的相对电导率增幅较大,野生大豆相对电导率增幅较小,说明野生大豆相对于栽培品种对于干旱胁迫具有更好的耐受性。

有研究表明,环境胁迫会导致植物体内可溶性糖、脯氨酸和丙二醛含量的积累。本研究显示在正常供水条件下,野生大豆的可溶性糖含量高于半野生和栽培大豆。在干旱胁迫下,所有材料的可溶性糖含量均有不同程度的增加。但从总体的增幅中

无法看出不同类型材料间的差异,这也说明了单纯以可溶性糖含量变化的幅度来作为抗旱性的指标并不可靠。

脯氨酸作为植物体内重要的渗透调节物质,对植物在遭受逆境时有一定的保护作用^[15]。脯氨酸的积累与植物的抗旱性有一定程度的相关,抗旱性较强的品种可以积累更多的脯氨酸。本研究结果显示,在正常供水条件下,野生大豆的脯氨酸含量高于半野生大豆和栽培大豆。干旱胁迫促使大豆的脯氨酸积累,野生大豆增幅高于半野生大豆和栽培大豆。大豆叶片中游离脯氨酸含量与其抗旱性存在一定的正相关性,这与不同学者在胡麻^[16]、高粱^[17]和大麦^[18]上的研究结果相似。

膜脂过氧化的最终分解产物丙二醛,严重损伤植物的细胞膜和酶,常破坏细胞膜的结构以及生理完整性。丙二醛含量可以反映植物受到逆境伤害的程度^[19],并且与植物的抗旱能力密切相关^[20-21]。本研究结果显示,受到干旱胁迫的影响,3 种类型大豆材料丙二醛含量和变幅差异较大,干旱胁迫下野生大豆丙二醛的含量和增幅都较小,说明干旱胁迫对其影响比较小。

干旱胁迫使植物的抗氧化酶活性降低导致膜脂过氧化加剧,从而对植物产生伤害;与抗旱性弱的植物相比,抗旱性强的植物的 SOD 和 CAT 活性高并且维持的时间较长,从而降低干旱胁迫带来的伤害^[22-23]。本研究中,野生大豆叶片内 SOD 和 CAT 活性均高于栽培大豆,在干旱胁迫下增幅较小,说明野生大豆本身就具有较强的抵御活性氧伤害的能力。孔照胜等^[11]对大豆抗氧化酶系与大豆抗旱性间关系的研究结果显示,抗旱性强的品种 POD 酶活性较高,并且 POD 酶活性在受到胁迫后显著增高,而抗旱性弱的品种 POD 活性较低。本研究显示,野生大豆材料的 POD 活性高于半野生大豆和栽培大豆,并且在受到干旱胁迫后的增幅较小,说明其受干旱胁迫的影响小,抗旱性较强。

综上所述,野生大豆在干旱胁迫下生理指标的表现优于半野生大豆和栽培大豆。在进行大豆的抗旱性评价时,以可溶性糖含量等单一指标变化来衡量并不可靠,而是要综合考虑叶绿素含量、净光合速率、相对电导率、脯氨酸含量、丙二醛含量和抗氧化酶活性等指标的变化。

参考文献

- [1] 刘丽君,林浩,唐晓飞,等. 干旱胁迫对不同生育阶段大豆产量形态建成的影响[J]. 大豆科学,2011,30(3):405-412. (Liu L J, Lin H, Tang X F, et al. Drought stress influence soybean yield morphogenesis in different growth stages [J]. Soybean Science, 2011, 30(3):405-412.)
- [2] 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. Studies on free proline and soluble sugar of wild soybeans (*Glycine soja*) under osmotic stress [J]. Journal of Fudan University, 2001, 40(5):558-561.)
- [3] 李贵全,张海燕,季兰. 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. Comprehensive evaluation on drought-resistance of different soybean varieties [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12):2408-2412.)
- [4] 董钻,谢甫绶. 土壤水分胁迫对大豆体内酶活性和膜透性的影响[J]. 大豆科学,1995,14(4):290-298. (Dong Z, Xie F T. Effects of drought treatments at different stages on the enzyme activities and membrane permeabilities in soybeans [J]. Soybean Science, 1995, 14(4):290-298.)
- [5] 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. (Wang M, Zhang C Y, Ma T F. Studies on the drought resistance of seedling in soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2004, 26(3):29-32.)
- [6] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2001. (Li H S. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments [M]. Beijing: Higher Education Press, 2001.)
- [7] 张志良. 植物生理学实验指导(第二版)[M]. 北京:高等教育出版社,1993. (Zhang Z L. Plant physiology experiments guidance (second edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 1993.)
- [8] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006. (Gao J F. Plant physiology experiments guidance [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.)
- [9] 张宪政,陈凤玉,王荣富. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1994. (Zhang X Z, Chen F Y, Wang R F. Plant physiology experiments [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1994.)
- [10] 蒲伟凤. 不同类型大豆种质资源抗旱性比较及野生大豆抗旱性筛选[D]. 昌黎:河北科技师范学院,2010. (Pu W F. Comparison of drought resistance in different soybean types and screening of drought resistance in *Glycine Soja* [D]. Changli: Hebei Normal University of Science & Technology, 2010.)
- [11] 孔照胜,武云帅,岳爱琴. 不同大豆品种抗旱性生理生态指标综合分析[J]. 华北农学报,2001,16(3):40-45. (Kong Z S, Wu Y S, Yue A Q. Comprehensive analysis of physiological indexes for drought resistance in different soybean varieties [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2001, 16(3):40-45.)
- [12] 张海燕,焦碧婵,李贵全. 大豆抗旱性鉴定指标评价的研究[J]. 大豆科学,2005,24(3):183-188. (Zhang H Y, Jiao B C, Li G Q. Study on selecting targets in drought-resistant breeding of soybean [J]. Soybean Science, 2005, 24(3):183-188.)
- [13] 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.)
- [14] 杨剑平,陈学珍,王文平,等. 大豆实验室 PEG₆₀₀₀ 模拟干旱体

- 系的建立[J]. 中国农学通报, 2003, 19(3): 65-68. (Yang J P, Chen X Z, Wang W P, et al. The establishment of the simulated system of drought for soybean in laboratory[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2003, 19(3): 65-68.)
- [15] 孙彩霞, 沈秀英, 刘志刚. 作物抗旱性生理生化机制的研究现状和进展[J]. 杂粮作物, 2002, 22(5): 285-288. (Sun C X, Shen X Y, Liu Z G. Status and advances in studies on the physiology and biochemistry mechanism of crop drought resistance[J]. Rain Fed Crops, 2002, 22(5): 285-288.)
- [16] 斯钦巴特儿, 额尔登桑. 不同抗旱品种胡麻苗中脯氨酸累积的差异[J]. 内蒙古师范大学学报, 1999, 28(1): 55-57. (Si Q B T E, Er E D S. The different in proline accumulation between the seedling of two varieties of *Linum usitatissimum* L. with different drought resistance[J]. Journal of Inner Mongolian Normal University (Natural Science Edition), 1999, 28(1): 55-57.)
- [17] 汤章成, 王育启, 吴亚华, 等. 不同抗旱品种高粱苗中脯氨酸累积的差异[J]. 植物生理学报, 1986, 12(2): 154-162. (Tang Z C, Wang Y Q, Wu Y H, et al. The difference in proline accumulation between the seedlings of two varieties of sorghum with different drought resistance[J]. Acta Phytophysiological Sinica, 1986, 12(2): 154-162.)
- [18] Singh T N, Aspinall D, Paleg L G. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley: a potential metabolic marker of drought resistance[J]. Nature New Biology, 1972, 236: 188-190.)
- [19] 段光明, 黄福贞. 玉米蚕豆根际水分胁迫与膜脂过氧化度的关系[J]. 山西大学学报(自然科学版), 1992, 15(2): 176-181. (Duan G M, Huang F Z. Relationship between water stress and peroxidation of membrane lipids about maize or broad bean root system[J]. Journal of Shanxi University (Natural Science Edition), 1992, 15(2): 176-181.)
- [20] 赵世杰. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207-210. (Zhao S J. Improvements of method for measurement of malondialdehyde in plant tissues[J]. Plant Physiology Communications, 1994, 30(3): 207-210.)
- [21] 陈少裕. 膜脂过氧化与植物逆境胁迫[J]. 植物学通报, 1989, 6(4): 211-217. (Chen S Y. Membrane-lipid peroxidation and plant stress[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1989, 6(4): 211-217.)
- [22] 张玉秀, 柴团耀, Gerard Burkard. 植物耐重金属机理研究进展[J]. 植物学报, 1999, 41(5): 453-457. (Zhang Y X, Chai T Y, Gerard Burkard. Research advances on the mechanisms of heavy metal tolerance in plants[J]. Acta Botanica Sinica, 1999, 41(5): 453-457.)
- [23] 龚吉蕊, 赵爱芬, 张立新. 干旱胁迫下几种荒漠植物抗氧化能力的比较研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(9): 1570-1577. (Gong J R, Zhao A F, Zhang L X. A comparative study on anti-oxidative ability of several desert plants under drought stress[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2004, 24(9): 1570-1577.)

欢迎订阅 2013 年《中国种业》

《中国种业》是由农业部主管, 中国农业科学院作物科学研究所和中国种子协会共同主办的全国性、专业性、技术性种业科技期刊。刊物目标定位: 以行业导刊的面目出现, 并做到权威性、真实性和及时性。覆盖行业范围: 大田作物、蔬菜、花卉、林木、果树、草坪、牧草、特种种植、种子机械等, 信息量大, 导向性强, 技术实用。

读者对象: 各级种子管理、经营企业的领导和技术人员, 各级农业科研、推广部门人员, 大中专农业院校师生, 农村专业户和广大农业生产经营者。

月刊, 大 16 开, 每期 8 元, 全年 96 元。国内统一刊号: CN 11 - 4413/S, 国际标准刊号: ISSN 1671 - 895X, 全国各地邮局均可订阅, 亦可直接汇款至编辑部订阅, 挂号需每期另加 3 元。邮发代号: 82 - 132。

地址: (100081) 北京市中关村南大街 12 号 中国种业编辑部

电话: 010 - 82105796 (编辑部) 010 - 82105795 (广告发行部)

传真: 010 - 82105796 网址: www.chinaseedqks.cn

E-mail: chinaseedqks@sina.com chinaseedqks@163.com