

PEG 模拟干旱对大豆抗氧化酶活性及抗氧化能力的影响

高鑫宇, 刘丽君, 刘 博, 马玉玲, 王瑞奇, 董守坤

(东北农业大学 农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 以黑农 44 和黑农 65 大豆为试验材料, 采用 20% 浓度的 PEG-6000 模拟干旱胁迫, 研究干旱胁迫对大豆叶片开花期抗氧化酶活性及抗氧化能力的影响。结果表明: 随处理时间的延长, 大豆叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性、总抗氧化能力(T-AOC)、超氧阴离子清除能力(SASC)和羟自由基清除能力(HRS)均随着处理时间的延长而呈先升高后降低的趋势; 在处理时期内, 对照组与处理组中, 抗旱品种黑农 44 的各项指标均高于敏感型品种黑农 65。相关性分析可知: 黑农 44 和黑农 65 的 CAT 活性与 SOD 活性, SASC 与 CAT 活性, HRS 与 SOD 活性, HRS 与 SASC 均呈极显著正相关, HRS 与 T-AOC 显著正相关; 耐旱型品种黑农 44 的 T-AOC 与 POD 活性, SASC 与 POD 活性, HRS 与 CAT 活性均呈极显著正相关, 而敏感型品种黑农 65 T-AOC 与 POD 活性呈现显著正相关, SASC 与 POD 活性, HRS 与 CAT 活性正相关均不显著; 黑农 44 的 SASC 与 SOD 活性显著正相关, 黑农 65 则表现为极显著正相关, 耐旱型品种黑农 44 抗氧化酶和抗氧化能力之间的相关程度高于敏感型黑农 65。试验表明抗旱大豆品种具有较强的抗氧化酶活性和抗氧化能力。

关键词: 干旱; 大豆; 抗氧化酶; 抗氧化能力

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2016.04.0616

Effect of Drought Stress Simulated by PEG on Antioxidant Enzyme Activities and Antioxidant Capacity in Soybean

GAO Xin-yu, LIU Li-jun, LIU Bo, MA Yu-ling, WANG Rui-qi, DONG Shou-kun

(College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In this experiment, Heinnong 44 (HN44) and Heinnong 65 (HN65) soybean were used as tested materials, 20% concentrations of PEG-6000 was used to simulate drought stress, thus to study the effect of drought stress on soybean leaves antioxidant enzyme activities and antioxidant capacity during anthesis. The results showed that with the treatment time prolonging, soybean leaves superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) activity, total antioxidant capacity (T-AOC), superoxide anion scavenging capacity (SASC) and hydroxyl free radical scavenging capacity (HRS) firstly increased and then decreased with stress time prolong. In the processing period, the indexes of drought resistant varieties HN44 were higher than that of the sensitive varieties HN65 in control and treatment group. Correlation analysis showed that the CAT and SOD activity, SASC and CAT activity, HRS and SOD activity, HRS and SASC presented extremely remarkable positive correlation in HN44 and HN65. However, HRS was significantly positive correlated with T-AOC in HN44 and HN65, in addition, the T-AOC and POD activity, SASC and POD activity, HRS and CAT activity presented extremely remarkable positive correlation in drought resistant varieties HN44, while the sensitive varieties HN65 T-AOC and POD activity had significant positive correlation, but the SASC and POD activity, HRS and CAT activity were positively correlated, but there was not significant different. There was significant positive correlation between SASC and SOD activity in HN44, but there was extremely remarkable positive correlation in HN65. The degree of correlation between antioxidant enzymes and antioxidant capacity in HN44 is higher than that of sensitive HN65. Thus we concluded that drought resistant soybean varieties had strong antioxidant enzyme activities and antioxidant capacity.

Keywords: Drought; Soybean; Antioxidant enzyme; Antioxidant capacity

干旱是影响作物生长的主要环境因子之一, 近年来随着气候的变暖, 使得干旱对作物生长的胁迫加剧。在干旱环境下, 植物体内产生大量活性氧, 导致膜脂过氧化, 核酸等分子和蛋白质损伤^[1-2]。植物在应对不良的环境时产生了相对的适应机制, 形成了酶促和非酶促组成的抗氧化防御系统。酶促防御系统包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物

酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等, 它们协调作用能够有效地清除 OH^- 、 H_2O_2 、 O^{2-} 等自由基是酶促防御系统(即保护酶系统)的重要组成部分。

大豆是需水作物, 对水分缺失十分敏感, 近年来人们对干旱胁迫下大豆生理生化变化的相关研究较多^[3-6]。相关研究表明在干旱胁迫下, 大豆叶片叶绿素、可溶性糖、游离脯氨酸(Pro)、丙二醛

收稿日期: 2016-04-14

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2014BAD11B01); 黑龙江省科技攻关项目(GA14B101); 教育部博士学科点基金(20122325120013)。

第一作者简介: 高鑫宇(1991-), 男, 硕士, 主要从事大豆栽培生理研究。E-mail: gaoxinyu19910429@163.com。

通讯作者: 董守坤(1978-), 男, 博士, 副研究员, 硕导, 主要从事大豆栽培生理及保护性耕作研究。E-mail: shoukunding@163.com。

(MDA) 和抗氧化酶活性均发生不同程度的变化,其中关于抗氧化系统的相关研究成为当下研究的热点^[7-9]。目前,我们所熟知的植物体内的活性氧主要包括超氧阴离子(O_2^-)和活性很强的羟自由基($OH\cdot$),关于植物超氧阴离子清除能力和羟自由基清除能力的研究,能直观地反应植物在受到胁迫时对活性氧的清除能力,但是近年来有关于大豆超氧阴离子清除能力和羟自由基清除能力的研究较少。因此本研究在花期以 20% 浓度的 PEG-6000 模拟干旱胁迫处理,考察不同抗旱性品种的抗氧化酶活性及与抗氧化能力变化情况,以期为干旱响胁迫下大豆抗氧化机制的深入研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2015 年 5~7 月在东农农业大学实验基地进行。供试大豆品种为耐旱型黑农 44(HN44),敏感型黑农 65(HN65),由东北农业大学大豆栽培生理研究室提供。采用沙培方法,筒直径 32 cm,高 30 cm,桶底钻 1 cm 直径的孔,桶内铺上纱网后,每桶装入用蒸馏水冲洗干净的江沙 18 kg。在对生真叶完全展开时每天浇一次营养液(配方详见表 1,其中 Fe-EDTA 母液配制方法为:将 5.57 g $FeSO_4\cdot H_2O$ 和 7.45 g NaEDTA 分别溶解定容至 1 L,使用时每升营养液加 1 mL 储备液),每次 500 mL。采用 20% PEG-6000(济南弗兰德化工有限公司)模拟干旱处理^[6],在初花期时每天早晚各浇一次含 PEG 的营养液,处理时间为 9 d,每天早上 8:00~9:00 进行取样,取倒 2,倒 3 叶片,对照为不含 PEG 的营养液处理,每个处理重复 3 次,将所取的叶片样品保存于 $-80^\circ C$ 冰箱中,待测。

表 1 营养液组成

Table 1 Nutrient solution composition

无机盐	浓度	无机盐	浓度
Inorganic salts	Concentration	Inorganic salts	Concentration
	/mg·L ⁻¹		/mg·L ⁻¹
KH ₂ PO ₄	136.00	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.22
MgSO ₄	240.00	MnCl ₂ ·4H ₂ O	4.90
CaCl ₂	220.00	H ₃ BO ₃	2.86
NaMoO ₄ ·H ₂ O	0.03	Fe-EDTA	—
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.08	(NH ₄) ₂ SO ₄	235.8

1.2 测定项目与方法

保护酶活性测定指标为超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT);抗氧化能力测定指标为总抗氧化能力(T-AOC)、超氧阴离子清除能力(superoxide anion scavenging ca-

capacity 以 SASC 表示)和羟自由基清除能力(hydroxyl free radical scavenging capacity 以 HRS 表示),均采用苏州科铭生物技术有限公司生产的试剂盒测定。

1.3 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对抗氧化酶活性的影响

2.1.1 SOD 如图 1 所示,两品种叶片 SOD 活性均随干旱胁迫时间的延长,呈先升高后降低的趋势,说明短时间的干旱胁迫能够诱导 SOD 酶的表达,但随着胁迫时间的延长,叶片活性氧持续增多导致叶片组织受到破坏进而抑制 SOD 酶的活性,黑农 44 和黑农 65 均在胁迫第 4 天 SOD 酶的活性达到最大,从第 8 天开始 SOD 酶的活性开始低于对照;在整个处理时期对照组和处理组(处理组除胁迫第 7 天外)黑农 44 的酶性大于黑农 65,这说明抗旱性不同的品种 SOD 活性存在差异。

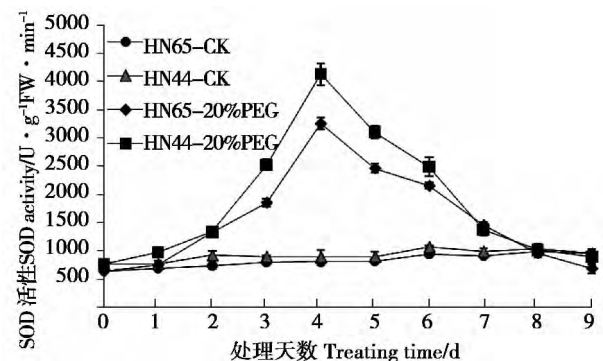


图 1 干旱胁迫下 SOD 活性的变化

Fig. 1 The change of SOD activities under drought stress

2.1.2 POD 如图 2 所示,两品种叶片 POD 活性均随干旱胁迫时间的延长,呈先升高后降低的趋势,在处理时期内黑农 44 和黑农 65 的 POD 酶的活性都高于对照水平,这说明在处理期间干旱胁迫对 POD 酶的活性有促进作用;干旱处理 0~7 d,黑农 44 POD 活性始终高于黑农 65。POD 酶活性的最大值黑农 44 和黑农 65 分别出现在干旱胁迫的第 7 天和第 8 天。

2.1.3 CAT 如图 3 所示,两个大豆品种叶片 CAT 活性均随干旱胁迫时间的延长,呈先升高后降低的趋势,并且在整个处理时期对照组中黑农 44 的酶活大于黑农 65 酶;黑农 44 和黑农 65 CAT 活性最大值分别出现在干旱处理的第 5 天和第 4 天,在干旱胁迫的第 8 天两大豆品种 CAT 酶的活性开始低于对照水平,并且在整个处理时期,黑农 44 酶的活性始终高于黑农 65。

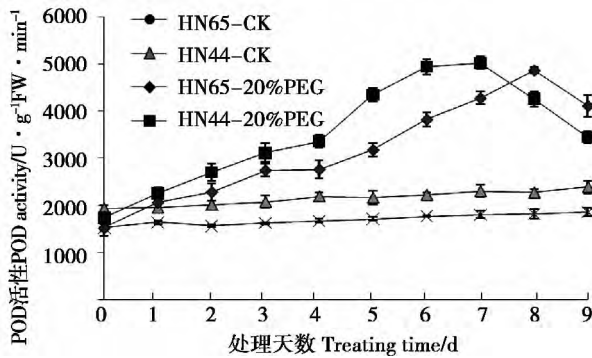


图2 干旱胁迫下 POD 活性的变化

Fig. 2 The change of POD activities under drought stress

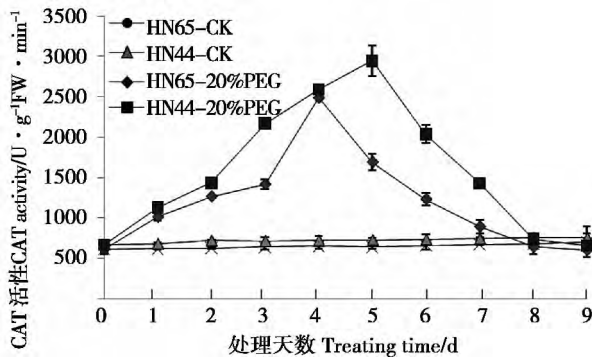


图3 干旱胁迫下 CAT 活性的变化

Fig. 3 The change of CAT activities under drought stress

2.2 干旱胁迫对大豆叶片抗氧化能力的影响

2.2.1 总抗氧化能力 如图4所示,随处理时间的延长,两大豆品种叶片 T-AOC 均呈现先升高后降低的趋势,处理组均高于对照,耐旱品种黑农44高于黑农65;黑农44和黑农65的 T-AOC 最大值分别出现在第8天和第7天。

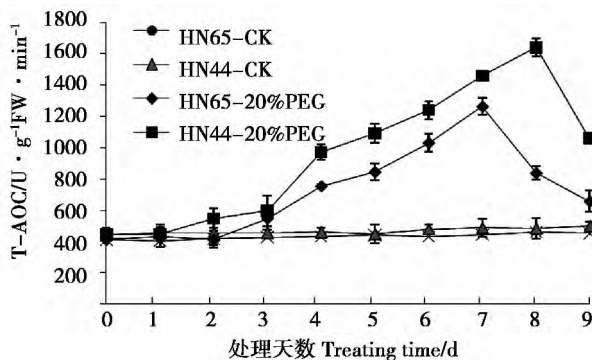


图4 干旱胁迫下 T-AOC 的变化

Fig. 4 The change of T-AOC under drought stress

2.2.2 超氧阴离子清除能力 植物体在受到外界胁迫时所产生的活性氧主要是超氧阴离子, SASC 是反应植物体清除超氧阴离子的直观指标。如图5所示,随处理时间的延长呈先升高后降低的趋势,处理组和对照组 SASC 均表现为黑农44大于HN65;黑农44和HN65CAT酶的活性最大值均出现在第4天。植物体内清除超氧阴离子的保护酶主要

是 SOD, 因此 SOD 活性的变化是植物体 SASC 强弱的另一种表现, 二者的变化趋势几乎一致。

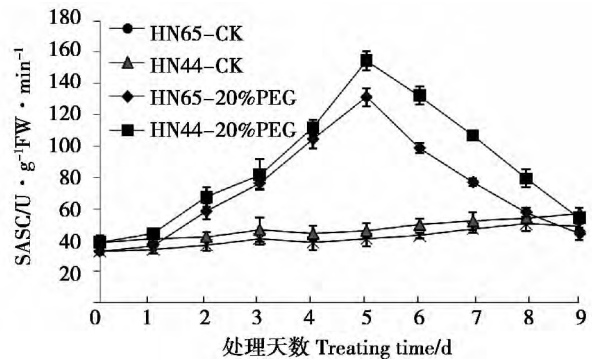


图5 干旱胁迫下 SASC 变化

Fig. 5 The change of SASC under drought stress

2.2.3 羟自由基清除能力 羟自由基是植物体内产生的主要自由基之一,羟自由基清除能力同样是反映植物体抗氧化能力的重要指标。如图6所示,随处理时间的延长,大豆叶片 HRS 呈先增加后降低的趋势。在处理时期对照组中黑农44的 HRS 大于黑农65;黑农44和黑农65的 HRS 最大值分别出现在第5天和第6天,并且在整个处理时期黑农44的 HRS 大于黑农65;黑农44的 HRS 于第7天开始低于对照水平,而黑农65则于第8天低于对照水平。

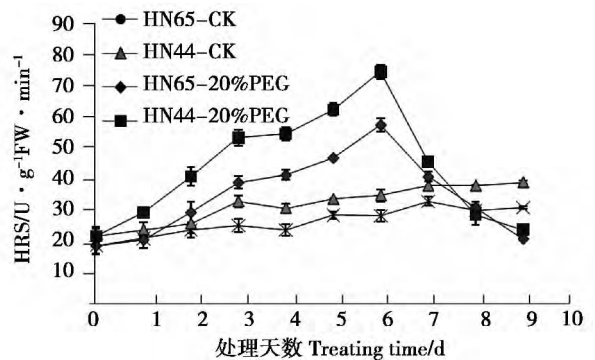


图6 干旱胁迫下 HRS 变化

Fig. 6 The change of HRS under drought stress

2.3 相关性分析

由表2和表3可知,黑农44和黑农65的 CAT 活性与 SOD 活性, SASC 与 CAT 活性, HRS 与 SOD 活性, HRS 与 SASC 均呈极显著正相关, HRS 与 T-AOC 显著正相关;耐旱型品种黑农44的 T-AOC 与 POD 活性, SASC 与 POD 活性, HRS 与 CAT 活性均呈极显著正相关,而敏感型品种黑农65T-AOC 与 POD 活性呈现显著正相关, SASC 与 POD 活性, HRS 与 CAT 活性正相关均不显著;黑农44 SASC 与 SOD 活性显著正相关,黑农65则表现为极显著正相关。耐旱型品种黑农44抗氧化酶和抗氧化能力之间的相关程度高于敏感型黑农65。

表 2 黑农 44 抗氧化酶和抗氧化能力相关性分析

Table 2 Antioxidant enzyme and antioxidant capacity correlation analysis of HN44

	SOD	POD	CAT	T-AOC	SASC	HRS
SOD	1	0.307	0.928**	0.101	0.647*	0.943**
POD		1	0.352	0.887**	0.808**	0.339
CAT			1	0.039	0.771**	0.988**
T-AOC				1	0.550	0.701*
SASC					1	0.749**
HRS						1

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。下同。

* and ** indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below.

表 3 黑农 65 抗氧化酶和抗氧化能力相关性分析

Table 3 Correlation analysis of HN65 on antioxidant enzyme and antioxidant capacity

	SOD	POD	CAT	T-AOC	SASC	HRS
SOD	1	0.028	0.931**	0.368	0.898**	0.785**
POD		1	0.232	0.762*	0.237	0.360
CAT			1	0.066	0.736**	0.544
T-AOC				1	0.551	0.690*
SASC					1	0.880**
HRS						1

3 结论与讨论

SOD、POD 和 CAT 是植物体内主要的抗氧化酶,可清除对植物有害的体内活性氧,从而保护植物的膜系统^[10]。芮海英等^[11]研究表明,植物的抗旱性与其保护酶活性相关。本研究结果进一步证实,耐旱性品种保护酶明显高于敏感型品种。在干旱条件下,随着胁迫时间的延长,两大豆品种叶片 SOD、POD、CAT 的活性变化一致,均随着处理时间的延长呈先升高后降低的趋势,并且耐旱型黑农 44 3 种酶活性峰值明显大于敏感型黑农 65,这同时也说明了 SOD、POD、CAT 是评价大豆耐旱能力的重要指标。在干旱条件下两品种 SOD、CAT 的酶活性峰值出现较早、下降较快,POD 的酶活性峰值出现较晚、下降慢。这说明两大豆品种 SOD、CAT 主要在干旱胁迫初期发挥着重要作用,而 POD 活性干旱胁迫后期起重要作用,但是由于 POD 具有两重性,POD 活性下降较慢,也可能是因为在干旱胁迫后期 POD 参与活性氧的生成所造成的,因此,POD 在干旱胁迫后期的具体作用有待进一步细致的研究。王启明^[12]研究干旱胁迫对大豆苗期叶片保护酶活性和膜脂过氧化作用的影响表明,在重度胁迫下,SOD、CAT 酶的活性下降速度较快,POD 较慢,与本研究结果基本一致。

本研究结果还表明,耐旱型黑农 44 的 T-AOC、SASC 和 HRS 均大于敏感型黑农 65,两大豆品种 T-AOC、SASC 和 HRS,均呈先升高后降低的趋势。这

说明耐旱性强的品种抗氧化能力大于敏感性品种,在受到干旱胁迫时,大豆叶片抗氧化能力与抗氧化酶一样有一个所能承受的限度,当干旱胁迫程度突破这个限度时,大豆叶片抗氧化能力逐渐下降。

相关性分析表明,大豆叶片的抗氧化酶与抗氧化能力之间存在着直接或间接的作用关系,两大豆品种 SOD 活性与 CAT 活性,SASC 与 CAT 之间呈极显著正相关。黑农 44 SASC 与 SOD 活性显著正相关,黑农 65 则表现为极显著正相关。这是因为 CAT 的主要作用是清除 SOD 参与的歧化反应所生产的 H₂O₂,二者之间存在协同作用,SOD 是大豆叶片清除超氧阴离子的关键酶;耐旱型品种黑农 44 抗氧化酶和抗氧化能力之间的相关程度高于敏感型品种黑农 65。

参考文献

- [1] Asada K. Production and action of active oxygen in photosynthetic tissue [M]. Boca Raton: CRC Press, 1994: 77-104.
- [2] Moller I M, Jensen P E, Hansson A. Oxidative modifications to cellular components in plants [J]. Annual Review of Plant Biology 2007, 58: 459-481.
- [3] 高蕾,刘丽君,董守坤,等. 干旱胁迫对大豆幼苗叶片生理生化特性的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(8): 1-4. (Gao L, Liu L J, Dong S K et al. Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics in leaves of soybean seedlings [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2009, 40(8): 1-4.)

(下转第 636 页)

- 豆科学, 1988, 7(3): 251-254. (Zhang L. Preliminary report on race of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) in Huaiabei area in Anhui province [J]. Soybean Science, 1988, 7(3): 251-254.)
- [13] 刘汉起, 商绍刚, 甄鸿杰, 等. 黑龙江省大豆胞囊线虫(*Heterodera glycines*)生理小种分布的研究[J]. 大豆科学, 1995, 14(4): 330-333. (Liu H Q, Shang S G, Zheng H J, et al. Study on distribution of physiological race of soybean cyst nematode(*Heterodera glycines*) in Heilongjiang province [J]. Soybean Science, 1995, 14(4): 330-333.)
- [14] 陈品三, 齐军山, 王寿华, 等. 我国大豆胞囊线虫生理分化动态的鉴定和监测研究[J]. 植物病理学报, 2001, 31(4): 336-341. (Chen P S, Qi J S, Wang S H, et al. Studies on identification and monitoring of physiologic variation of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) in China [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2001, 31(4): 336-341.)
- [15] Lu W, Gai J, Li W. Sampling survey and identification of races of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines* Ichinohe) in Huang-Huai Valleys [J]. Agricultural Sciences in China, 2006, 5(8): 615-621.
- [16] 董丽民, 许艳丽, 李春杰, 等. 黑龙江省大豆胞囊线虫胞囊密度和生理小种鉴定[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(1): 108-111. (Dong L M, Xu Y L, Li C J, et al. Cyst density and subspecies identification of soybean cyst nematode in Heilongjiang province [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008, 30(1): 108-111.)
- [17] 刘晔, 刘维志. 大豆胞囊线虫的生理小种鉴定结果(II) [J]. 沈阳农业大学学报, 1989, 20(1): 41-44. (Liu Y, Liu W Z. The result on identification of physiologic race of soybean cyst nematode(II) [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1989, 20(1): 41-44.)
- [18] Zheng J, Zhang Y, Li X, et al. First report of the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines*, on soybean in Zhejiang, Eastern China [J]. Plant Disease, 2009, 93(3): 319.
- [19] 李克梅, 日孜旺古丽, 董艳秋. 新疆大豆胞囊线虫病的初步研究[J]. 植物保护, 2014, 40(2): 132-134. (Li K M, Riz-iwanguli, Dong Y Q. A preliminary study on the soybean cyst nematode *Heterodera glycines* in Xinjiang Uygur Autonomous Region [J]. Plant Protection, 2014, 40(2): 132-134.)
- [20] Niblack T, Tylka G L, Arelli P, et al. A standard greenhouse method for assessing soybean cyst nematode resistance in soybean: SCE08 (standardized cyst evaluation 2008) [J]. Plant Health Progress, 2009, 10: 1094.
- [21] 马朝旺, 段玉玺, 陈立杰, 等. 辽宁省大豆胞囊线虫生理分化研究[J]. 大豆科学, 2009, 28(2): 285-287. (Ma C W, Duan Y X, Chen L J, et al. Identification of physiological race of *Heterodera Glycines* in Liaoning province [J]. Soybean Science, 2009, 28(2): 285-287.)
- [22] 练云, 卢为国. 大豆抗SCN机制及抗病相关基因研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(6): 727-732. (Lian Y, Lu W G. Advances on resistance mechanism and gene to SCN in soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(6): 727-732.)
- [23] Niblack T L, Arelli P R, Noel G R, et al. A revised classification scheme for genetically diverse populations of *Heterodera glycines* [J]. Journal of Nematology, 2002, 34(4): 279-288.
- [24] Wang D, Zhu X F, Wang Y Y, et al. A reassessment of virulence phenotypes of Soybean Cyst Nematode (*Heterodera glycines*) in China with HG typing method [J]. Plant Disease, 2014, 98(5): 702-703.

(上接第619页)

- [4] 董兴月, 林浩, 刘丽君, 等. 干旱胁迫对大豆生理指标的影响[J]. 大豆科学, 2011, 30(1): 83-88. (Dong X Y, Lin H, Liu L J, et al. Influence of drought stress on soybean physiological indexes [J]. Soybean Science, 2011, 30(1): 83-88.)
- [5] 纪展波, 蒲伟凤, 李桂兰, 等. 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[J]. 大豆科学, 2012, 31(4): 598-604. (Ji Z B, Pu W F, Li G L, et al. Physiological reaction of *Glycine soja*, *Glycine gracilis* and *Glycine max* to drought stress in seedling stage [J]. Soybean Science, 2012, 31(4): 598-604.)
- [6] 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): 615-622. (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): 615-622.)
- [7] 周磊, 李松, 郭传龙, 等. PEG模拟干旱处理条件下2种大豆的抗旱机制比较[J]. 扬州大学学报, 2013, 34(3): 54-60. (Zhou L, Li S, Guo C L, et al. The comparison of drought resistance mechanism of two kinds of soybean under polyethylene glycol simulation drought stress [J]. Journal of Yangzhou University, 2013, 34(3): 54-60.)
- [8] 陈庆华. 干旱胁迫对大豆苗期叶片保护酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(14): 6396-6398. (Chen Q H. Effects of the drought stress on the protective enzyme activity and membrane lipid peroxidation of leaf in soybean seedling [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(14): 6396-6398.)
- [9] 董守坤, 李雪凝, 赵坤, 等. 干旱胁迫对春大豆根系保护酶活性的影响[J]. 作物杂志, 2015, 32(2): 163-165. (Dong S K, Li X N, Zhao K, et al. Effect of drought stress on root protective enzyme activity of spring soybean [J]. Crops, 2015, 32(2): 163-165.)
- [10] Fridovich I. Free radical in biology [M]. New York: New York Academic Press, 1976: 239.
- [11] 芮海英, 王丽娜, 金铃, 等. 苗期干旱胁迫对不同大豆品种叶片保护酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 大豆科学, 2013, 32(5): 647-649, 654. (Rui H Y, Wang L N, Jin L, et al. Effect of drought stress at seedling on protective enzyme activity and MDA content of different soybeans [J]. Soybean Science, 2013, 32(5): 647-649, 654.)
- [12] 王启明. 干旱胁迫对大豆苗期叶片保护酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 918-921. (Wang Q M. Effects of drought stress on protective enzymes activities and membrane lipid peroxidation in leaves of soybean seedlings [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(4): 918-921.)