

水分胁迫对大豆苗期叶片内源激素含量与保护酶活性的影响

李建英, 周长军, 杨 柳, 吴耀坤, 杜志强, 杨 丽, 田中艳

(黑龙江省农业科学院 大庆分院, 黑龙江 大庆 163316)

摘 要:在盆栽条件下,以大豆(*Glycine max*)绥农 10 号为材料,通过人为控制水分(干旱和水渍处理),比较叶片中几种内源激素含量变化的差异,研究水分胁迫对大豆幼苗保护酶活性的影响。结果表明:干旱处理提高了大豆苗期叶片内赤霉素(GA)、脱落酸(ABA)的含量但也降低了玉米素核苷(ZR)和生长素(IAA)的含量,同时干旱处理提高了丙二醛(MDA)含量以及超氧化物歧化酶(SOD)活性;水渍处理降低了 ABA 含量和 SOD 活性,提高了 IAA、GA 以及 MDA 的含量。

关键词:水分胁迫;大豆幼苗;内源激素;保护酶活性

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2010)06-0959-05

Effect of Water Stress on Endogenous Hormone and Protective Enzymes in Soybean Seedling Leaves

LI Jian-ying, ZHOU Chang-jun, YANG Liu, WU Yao-kun, DU Zhi-qiang, YANG Li, TIAN Zhong-yan

(Daqing Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, Heilongjiang, China)

Abstract: "Suinong10", a soybean (*Glycine max*) cultivar, was used as materials in this study. Drought and water-logged treatments were employed to compare differences of several endogenous hormones and protective enzyme activities in soybean seedling leaves. The results showed that the content of GA and ABA were increased, the content of ZR and IAA were reduced with the drought treatment, the content of MDA and the activity of SOD was increased. Moreover, the content of IAA, GA and MDA were increased under the water stress, however, the content of ABA and the activity of SOD were decreased in soybean seedling leaves.

Key word: Water stress; Soybean seedling; Endogenous hormone; Protective enzyme activity

水分对大豆幼苗期生长影响较大,它不仅可以影响大豆植株的形态变化,还能影响其生理反应^[1]。作物在干旱条件下,通过膜脂过氧化物(MDA)的升高^[2],SOD 和 POD 保护酶的活性变化^[3],内源激素的 IAA^[4]和 CTK^[5]浓度的减少、ABA^[6]浓度的升高来调节某些生理过程,以达到适应干旱的效果。相对而言,涝渍对作物的影响则是国内外抗性领域研究中较薄弱环节,实际上在某些地区或季节,由于河水泛滥,暴雨、灌溉不当,排水不良等原因引起的涝害对作物的危害不可低估,有时甚至是毁灭性的。

大豆幼苗的发育状况决定着个体和群体发育的质量,只有掌握大豆苗期对水分逆境反应,才能恰当地进行控制以达到壮苗的目的,为优质高产奠定基础。因此通过控制土壤水分来比较大豆叶片内源激素变化,进而研究其体内保护性酶活性的变化规律来探讨大豆幼苗在水分逆境下的抗性生

理,可为大豆优质高产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试大豆品种为绥农 10 号。土壤类型为白浆土,肥力中等。将土过筛,充分混合后备用。采用盆栽,选用 15 cm × 30 cm 塑胶桶,每盆装风干土 7 kg,每处理 8 次重复。用水势表控制水势的变化,用聚乙烯管为浇水管,采用地下给水的方式进行控水。干旱胁迫处理(drought stress, DS),使土壤水势维持在 65 ~ 70 KPa,对照处理(CK)使土壤水势维持在 30 ~ 40 KPa,水渍胁迫处理(waterlogging, WL)水淹至子叶以下,保持土壤的表面有水层;出苗第 18 天开始处理,出苗第 22 天开始取样,以后隔 1 天进行取样,共取 5 次样。将鲜植株冲洗干净,液氮快速冷却后,置于 -40℃ 的冰柜中,保存待用。

收稿日期:2010-05-18

第一作者简介:李建英(1975-),女,硕士,助理研究员,主要从事大豆栽培育种研究。E-mail:lijianying617@126.com。

通讯作者:田中艳,副研究员。E-mail:tianzhongyan2005@163.com。

1.2 测定项目与方法

内源激素应用酶联免疫吸附法(ELISA)测定^[7],试剂盒由中国农业大学提供;丙二醛(MDA)含量采用张宪政的方法测定^[8];过氧化物酶(POD)活性采用张宪政的方法测定^[8];超氧化物歧化酶(SOD)活性采用邹琦的方法测定^[9]。

1.3 数据分析

用 Excel 进行数据处理及图表的绘制,用 DPS v3.01 进行统计。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对大豆幼苗内源激素的影响

2.1.1 IAA 含量 如图 1 所示,随着生育时间的推进,对照与处理的叶片内 IAA 含量发生波动。苗后第 24 到 26 天,各处理 IAA 含量的高低顺序都为 WL > CK > DS,在苗后第 28 和 30 天,各处理 IAA 含量的高低顺序都为 WL > DS > CK,其中在第 28 天时,WL 和 DS 分别较 CK 高出 19.47% 和 6.25%;在第 30 天时,WL 和 DS 分别较 CK 高出 106.20% 和 98.79%。从整体看,胁迫处理在苗后第 28 天有一个转点值,形成这种现象的原因可能是胁迫导致作物体内的激素平衡被破坏,接着形成新的激素水平来适应逆境以免自身受到更大伤害。从图中还可看出水渍处理在各取样阶段的数值均高于 CK,这可能与 IAA 氧化酶活性有关,由于水渍可能降低了作物体内 IAA 氧化酶活性,促进蛋白酶活性,使蛋白质水解,生长素的合成前体(色氨酸)增多,进而增加了游离型 IAA 而使内源生长素保持了较高水平^[10]。

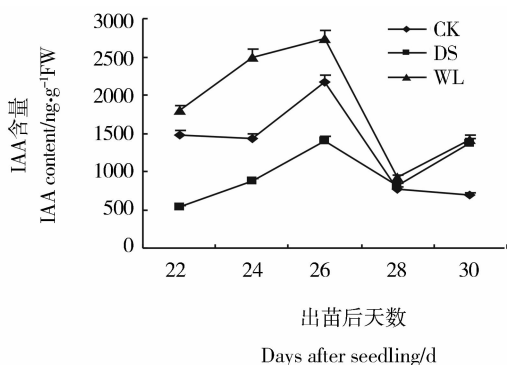


图 1 水分胁迫对大豆幼苗 IAA 含量的影响

Fig.1 Effects of water stress on content of IAA in soybean seedling leaves

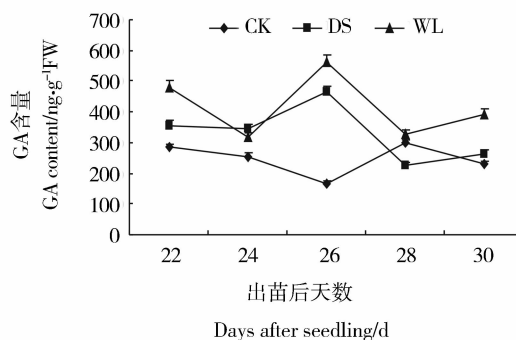


图 2 水分胁迫对大豆幼苗 GA 含量的影响

Fig.2 Effects of water stress on content of GA in soybean seedling leaves

2.1.2 GA 含量 赤霉素(GA)是一种生长促进型激素,具有促进植物伸长生长和延缓衰老的作用^[11]。由图 2 可知,水分胁迫对大豆幼苗叶片内 GA 合成的影响主要表现为:从苗后第 20 天开始,WL 和 DS 处理打乱了大豆幼苗叶片内 GA 合成的规律,其变化规律与 CK 恰好相反。WL 处理在各取样时期都高于 CK,另外在苗后第 22 到 24 天之间,DS 处理 GA 含量高于 CK,在经过一个短暂的降低过程,即苗后第 28 天其含量低于 CK,在苗后第 30 天时其含量又高于 CK。整理来看,除在苗后第 28 天时 DS 处理低于 CK,其它各时期水分胁迫处理 GA 含量都比 CK 高,其中苗后第 22 天时各处理 GA 含量的高低顺序为 WL > DS > CK,表明水分胁迫能够提高大豆幼苗叶片内 GA 含量,这与 GA 的延缓衰老抵抗逆境的生理功能有关。

2.1.3 ZR 含量 如图 3 所示,水分胁迫影响了大豆苗期叶片内 ZR 含量的变化。苗后第 22 天时,各处理 ZR 含量的高低顺序是 WL > CK > DS,而到了苗后第 24 天时此顺序则变为 CK > WL > DS,这种趋势一直持续到苗后第 28 天,到了苗后第 30 天时此顺序又变为 WL > CK > DS。整体来看 WL 处理在不同取样时期变化幅度较大,这与水渍伤害有关,水渍影响土壤透气性,使得根系的呼吸作用受到抑制,进而影响到整株植物的生理生化作用,使得植物体内 ZR 含量不稳定,这种现象与 DS 处理不同,DS 处理条件下,叶片内 ZR 含量变化平稳,而且各时期都低于 CK,ZR 含量下降,可降低植物体的生长速率,这既是干旱伤害的结果,又减轻了植物对水分的需求,减弱了干旱对植物的伤害,是一种有益的适应^[1]。

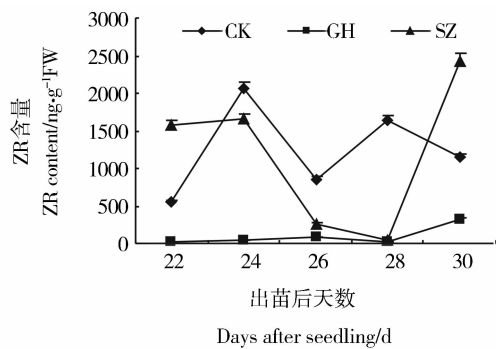


图3 水分胁迫对大豆幼苗 ZR 含量的影响

Fig.3 Effects of water stress on content of ZR in soybean seedling leaves

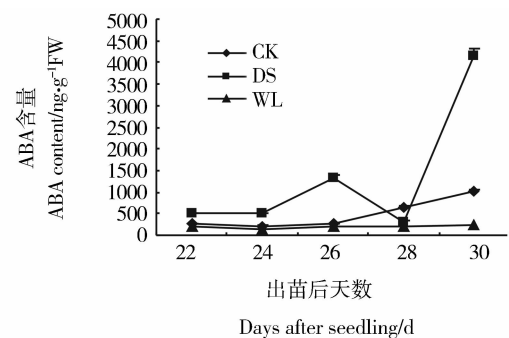


图4 水分胁迫对大豆幼苗 ABA 含量的影响

Fig.4 Effects of water stress on content of ABA in soybean seedling leaves

2.1.4 ABA 含量 当植物受到逆境胁迫时,体内 ABA 含量会急剧上升以提高植物的抗逆性^[12]。如

图 4 所示,各处理对 ABA 含量的影响比较稳定,除苗后第 28 天外,其它各时期处理后 ABA 含量均为 DS > CK > WL。苗后第 22 到 26 天以及从苗后第 28 到 30 天,DS 处理呈逐渐上升的变化规律,其中尤其在苗后第 30 天时,DS 处理的 ABA 含量达到 CK 的 4.11 倍。整体来看,WL 处理变化平稳且一直低于 CK,表明水渍可以诱导作物叶片内 ABA 含量提高。而 DS 处理对大豆幼苗叶片内 ABA 含量具有显著的提高作用,表明干旱逆境条件下,作物通过提高体内 ABA 的含量进而提高自身的抗逆性以抵抗不良环境对其自身生理代谢的破坏。

2.2 水分胁迫对大豆幼苗保护酶的影响

2.2.1 MDA 含量 丙二醛(MDA)是膜脂过氧化作用的主要产物之一,对膜和细胞中的许多生物功能分子如蛋白质、核酸和酶等均具有较强的破坏作用,同时还能破坏生物膜的结构与功能,MDA 含量高低是反映细胞膜脂过氧化作用强弱和质膜破坏程度的重要指标^[13]。由表 1 可知,DS 和 WL 处理的 MDA 含量变化规律与 CK 相同,都是在苗后第 22 到 28 天逐渐上升,而到苗后第 30 天表现为下降的趋势。整体来看苗后第 22 到 28 天之间,各时期不同处理 MDA 含量的高低顺序都是 DS > WL > CK,表明 DS 和 WL 处理除在取样末期都能使得叶片内 MDA 含量提高,其中尤以 DS 处理影响明显,在苗后第 28 天之前的各不同取样时期其含量都较 CK 高出四分之一以上,表明干旱对大豆苗期叶片 MDA 含量具有很强的影响作用。

表 1 水分胁迫对大豆幼苗叶片 MDA 含量的影响

Table 1 Effects of water stress on MDA content in soybean seedling leaves

处理 Treatment	苗后天数 Days after seedling/d				
	22	24	26	28	30
CK	37.24 ± 3.53	39.21 ± 4.01	50.26 ± 9.26	49.61 ± 4.88	15.91 ± 2.75
DS	49.45 ± 6.17	61.56 ± 7.13	63.08 ± 11.99	66.30 ± 6.29	10.14 ± 2.20
WL	42.53 ± 4.07	43.65 ± 9.63	59.98 ± 24.37	70.65 ± 7.99	16.65 ± 4.39

同一列大小写字母分别表示差异达 0.01 和 0.05 水平显著。

Values followed by a different lowercases or capitals within the same column are significantly different at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

2.2.2 SOD 活性 超氧化物歧化酶(SOD)的作用是在植物产生大量活性氧的情况下,能够及时有效地清除自由基,保护细胞免受活性氧的伤害^[14]。水分逆境对大豆幼苗叶片的 SOD 活性具有一定的影响,具体表现为:苗后第 22 天时,DS 和 WL 处理与 CK 之间的 SOD 活性值接近,而从苗后第 24 天直到苗后第 30 天,DS 处理的 SOD 活性值一直高于 CK,而 WL 处理则与 DS 处理的影响效果相反,其 SOD

活性值一直低于 CK。从苗后第 28 天开始,DS 处理与 CK 的 SOD 活性值变化规律相同,与 CK 相比,DS 处理的 SOD 活性值分别高出 6.02%、7.12%、8.25% 和 10.89%。可以看出随着生育期的推进,DS 处理的 SOD 活性值较 CK 高出的比率也逐步增加,表明 DS 处理能够及时而稳定的提高 SOD 的活性,起到保护细胞不受伤害的作用。

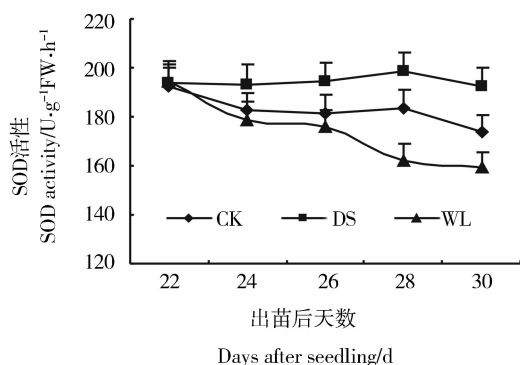


图5 水分胁迫对大豆幼苗 SOD 活性的影响

Fig.5 Effects of water stress on activity of SOD in soybean seedling leaves

2.2.3 POD 活性 过氧化物酶 (POD) 是植物细胞抵御活性氧伤害的重要保护酶,对清除超氧自由基和 H_2O_2 ,阻止或减少羟基自由基形成,保护膜系统免受损伤起重要作用^[15]。由图 6 可知,苗后第 22 和 24 天,DS 和 WL 处理的 POD 活性高于 CK。而苗后第 26 和 28 天,2 个处理的 POD 活性都低于 CK。到了苗后第 30 天时,则变成 WL 高于 CK,而 DS 低于 CK。自苗后第 26 天开始,DS 处理的 POD 活性一直低于 CK,降低的幅度分别为对照的 11.29%,28.36% 和 26.01%。WL 处理在取样前期提高 POD 活性,而取样中期抑制 POD 活性提高,其中苗后第 24 天,其较 CK 高出 16.71%,而到苗后第 26 天时较 CK 则低了 29.22%,苗后第 28 天时 POD 活性值相差不多,到苗后第 30 天时 WL 处理较对照高出 26.47%。整体来看 DS 处理的 POD 活性变化较为平稳,变化幅度不大,而 WL 处理的 POD 活性变化较为激烈,表明 WL 处理对大豆苗期叶片 POD 活性的影响较大。

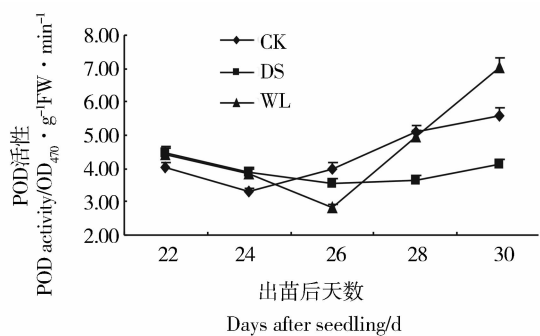


图6 水分胁迫对大豆幼苗 POD 活性的影响

Fig.6 Effects of water stress on activity of POD in soybean seedling leaves

3 讨论

相关研究指出各激素含量及其平衡是调控植物生长发育的重要因素,因为在植物的生长发育过

程中,任何一种生理过程往往不是某一种激素的单独作用,而是多种激素相互作用的结果^[16]。ABA 作为胁迫激素,在根系与地上部干旱信号的传递过程中起着重要的作用^[17]。目前一般认为 ABA 可以作为根系产生的一种信号物质向地上部运输参与调节作用,ABA 浓度的升高一方面能够抑制叶片的生长,另一方面导致气孔关闭,从而使叶片光合速率下降^[18],但对 ABA 合成的部位一直没有定论。有研究指出玉米叶片中 ABA 浓度在干旱最初 3 d 内急剧升高,直至最大值,之后有所下降,ABA 的浓度对干旱敏感,但 ABA 浓度并不随土壤相对含水量的减少而逐步升高^[19]。此结果与该试验中 DS 处理 ABA 含量的变化规律相似,在最初的取样时期都表现为先升高而后降低的变化趋势。Masia 等在向日葵上证明,干旱处理的根与对照之间的 IAA 浓度变化不大^[6],李岩等在玉米的叶片中也得到了同样的结论,并且认为 IAA 浓度对干旱的反应不敏感^[20]。而有些人认为 IAA 浓度在干旱过程中减小,干旱抑制生长是由 IAA 变化造成的^[21]。该文结果与后一种结论相符,DS 处理在取样前期使 IAA 含量降低。

植物细胞在正常代谢过程中,可以产生活性氧自由基,然而由于生物在进化过程中形成了防御活性氧毒害的保护酶系统,即 SOD、CAT 和 POD 等酶类,它们在清除超氧自由基、过氧化氢和过氧化物以及阻止或减少羟基自由基形成等方面起着重要作用^[22],因而此时活性氧一般不会对细胞膜造成损伤和破坏。在植物遭受干旱胁迫时,体内自由基增多,导致膜脂中的不饱和脂肪酸双键在自由基冲击下发生过氧化作用,过氧化过程又会产生新的自由基,进而又促进膜脂过氧化^[23],膜脂过氧化会引起膜中蛋白质的聚合和交联以及膜中类脂的变化而损伤生物膜^[24]。MDA 含量高低是反映细胞膜脂过氧化作用强弱和质膜破坏程度的重要指标,相关报道指出棉花苗期干旱处理使得幼嫩叶片 SOD 活性提高,同时也增加了 MDA 的含量^[25]。相同的结论在花生叶片上也得到印证,相关报道指出在花生苗期适当干旱处理可增加叶片中 SOD 的活性,而充分灌水则使 SOD 活性下降,另外还指出随着干旱程度的增加,叶片中 MDA 含量随之增加^[26]。以上结果均与该文结论相符,苗后第 24 到 28 天之间,MDA 含量随着时间的推进逐渐增加。另外,苗后第 24 到 30 天,DS 处理的 SOD 活性一直高于 CK,而 WL 处理则一直低于 CK。表明水分逆境能够影响作物体内 MDA 含量以及 SOD 活性值,至于造成这种现象的原因与细胞内生化的特性有关,关于其控制因子以及控制路径还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 李玉梅, 李建英, 王根林, 等. 水分胁迫对大豆幼苗叶片内源激素的影响[J]. 大豆科学, 2007, 26(4): 627-629, 636. (Li Y M, Li J Y, Wang G L, et al. Studies on mechanism of endogenous hormones in soybean seedling under water stress[J]. Soybean Science, 2007, 26(4): 627-629, 636.)
- [2] 陈少裕, 刘杰. 干旱胁迫对甘蔗叶片线粒体膜流动性的影响及其与膜脂过氧化的关系[J]. 植物生理学报, 1991, 17(3): 285-289. (Chen S Y, Liu J. The effect of water stress on membrane fluidity of leaf mitochondria of sugarcane and its relation to membrane lipid peroxidation[J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1991, 17(3): 285-289.)
- [3] 张敬贤, 李俊明, 崔四平, 等. 玉米细胞保护酶活性对苗期干旱的反应[J]. 华北农学报, 1990, 5(增刊): 19-23. (Zhang J X, Li J M, Cui S P, et al. Responses of protecting enzymes activity of maize cell to the drought of seedling[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1990, 5(supplementary issue): 19-23.)
- [4] Pavenport T L, Morgan P W, Jordan W R. Reduction of auxin transport capacity with age and internal water deficits in cotton petioles[J]. Plant Physiology, 1980, 65: 1023-1025.
- [5] Blackman P G, Davies W J. Cytokinins, Absciscic acid and the control of plant water balance[J]. Acta Horticulturae, 1985, 171: 255-261.
- [6] Masia A, Pitacco A, Braggil L, et al. Hormonal responses to partial drying of the root system of Helianthus annuus[J]. Journal of Experimental Botany, 1994, 45: 69-76.
- [7] 何钟佩. 农作物化学控制实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 60-68. (He Z P. Experimental directions of crop chemical control[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1993: 60-68.)
- [8] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1990. (Zhang X Z. Crop physiology research methods [M]. Beijing: Agriculture Press, 1990.)
- [9] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. (Zou Q. The guidance of plant physiological and biochemical[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995.)
- [10] 郑殿峰, 赵黎明, 冯乃杰. 植物生长调节剂对大豆叶片内源激素含量及保护酶活性的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(7): 1233-1239. (Zheng D F, Zhao L M, Feng N J. Effects of PGRs on endogenous hormone contents and activities of protective enzymes in soybean leaves [J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(7): 1233-1239.)
- [11] 潘瑞炽, 李玲. 植物生长发育的化学控制[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1999. (Pan R C, Li L. The chemical control of plant growth and development[M]. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1999.)
- [12] Daie J, Campbell W F. Response of tomato plants to stressful temperatures[J]. Plant Physiology, 1981, 67: 26-29.
- [13] 马原松, 王启明, 吴诗光, 等. 干旱胁迫下大豆苗期生理生化指标的研究[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(6): 974-976. (Ma Y S, Wang Q M, Wu S G, et al. Research on the physiological-biochemical indexes of different soybean varieties during seedling period under the drought stress [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2005, 33(6): 974-976.)
- [14] 施晓明, 李淑芹, 许景钢, 等. 干旱胁迫下 DA-6 浸种对大豆苗期叶片保护酶活性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(9): 48-51. (Shi X M, Li S Q, Xu J G, et al. Effect of soaking the seeds in DA-6 on protective enzyme activities in leaves of soybean seedling under drought stress [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2009, 40(9): 48-51.)
- [15] 汪耀富, 韩锦峰, 林学梧. 烤烟生长前期对干旱胁迫的生理生化响应研究[J]. 作物学报, 1996, 22(1): 117-121. (Wang Y F, Han J F, Lin X W. Study on physiological and biochemical responses of flue-cured tobacco to drought stress during early growth of the plants[J]. Acta Agronomica Sinica, 1996, 22(1): 117-121.)
- [16] 樊金娟, 李雪梅, 阮燕晔, 等. 杂交水稻及其灌浆过程中内源激素含量的变化[J]. 植物生理学通讯, 2004, 40(2): 146-148. (Fan J J, Li X M, Ruan Y Y, et al. Changes in endogenous hormone contents during grain filling in hybrid rice and its parents [J]. Plant Physiology Communications, 2004, 40(2): 146-148.)
- [17] Blatt M R, Grehov A. Signaling gates in abscisic acid-mediated control of guard cell ion channels[J]. Physiology Plant, 1997, 100: 481-490.
- [18] Liang J, Zhang J, Wong M H. Can stomatal closure caused by xylem ABA explain the inhibition of leaf photosynthesis under soil drying? [J]. Photosynthesis Research, 1997, 51: 149-159.
- [19] 邱全胜, 李琳, 梁厚果, 等. 水分胁迫对小麦根细胞质膜氧化还原系统的影响[J]. 植物生理学报, 1994, 20(2): 145-151. (Qiu Q S, Li L, Liang H G, et al. Effect of water stress on the redox reaction system of the plasma membrane of wheat roots[J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1994, 20(2): 145-151.)
- [20] 李岩, 潘海春, 李德全. 土壤干旱条件下玉米叶片内源激素含量及光合作用的变化[J]. 植物生理学报, 2000, 26(4): 301-305. (Li Y, Pan H C, Li D Q. Changes in contents of endogenous phytohormones and photosynthesis in leaves of maize in drying soil [J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 2000, 26(4): 301-305.)
- [21] Davies W J, Zhang J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil[J]. Annual Reviews on Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1991, 42: 55-76.
- [22] 莫红, 翟兴礼. 干旱胁迫对大豆苗期生理生化特性的影响[J]. 湖北农业科学, 2007, 46(1): 45-48. (Mo H, Zhai X L. Effects of drought stress on protective enzymes activities and membrane lipid peroxidation in leaves of soybean seedlings [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2007, 46(1): 45-48.)
- [23] 董钻, 谢甫绶. 土壤干旱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): 290-297. (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): 290-297.)
- [24] 于健, 陈全家, 李波, 等. 干旱处理对不同棉花材料 SOD、CAT、MDA 的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2008, 31(5): 31-35. (Yu J, Chen Q J, Li B, et al. Influence of drought stress on three physiological and biochemical indexes of different cotton varieties [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2008, 31(5): 31-35.)
- [25] 陈少裕. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(2): 84-90. (Chen S Y. Injury of membrane lipid peroxidation [J]. Plant Physiology Communications, 1991, 27(2): 84-90.)
- [26] 严美玲, 李向东, 王丽丽, 等. 花生苗期不同程度干旱胁迫对叶片某些酶活性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(4): 440-443. (Yan M L, Li X D, Wang L L, et al. Effects of different drought stress during seeding stage on some enzyme activities in peanut leaves [J]. China Journal of Oil Crop Sciences, 2006, 28(4): 440-443.)