

水分胁迫对金叶榆含水量、细胞质膜 相对透性和抗氧化系统的影响

史宝胜¹, 刘冬云¹, 张晓磊¹, 黄印冉², 张均营²

(1. 河北农业大学 园林与旅游学院, 河北保定 071000; 2. 河北省林业科学研究院, 石家庄 050061)

摘 要: 为了明确金叶榆在水分胁迫下的生理变化, 以 2 a 生金叶榆嫁接盆栽苗为材料, 在连续干旱和水湿胁迫下, 测定植株形态、水分含量、保护酶活性及脯氨酸含量等生理指标。结果表明, 在相对含水量 10% 以下的基质中生长 20 d, 金叶榆植物未出现枝条干枯死亡的现象; 随干旱胁迫程度的加深和胁迫时间的延长, 叶片中丙二醛(MDA)含量升高, 分别在干旱胁迫 15 d 和 20 d 时达到最大值, 此时的 MDA 含量与相对电导率分别比对照高 72.74%; 叶片中的 SOD 活性、POD 活性、相对电导率、叶绿素含量也显著提高, 在干旱胁迫 20 d 时分别比对照增加了 17.12%、71.11%、20.35%、67.69%; 脯氨酸含量也比对照提高了 13.41 倍; 而叶片总含水量降低了 19.87%; 干旱胁迫下的形态指标分别与叶片含水量、游离脯氨酸含量、相对电导率、SOD 活性等生理指标间达到显著相关水平。而在水分胁迫下, 各项生理指标变化均平缓, 且与对照相比差异不明显。本研究表明在一定时间内金叶榆能较好地适应水湿环境。

关键词: 金叶榆; 水分胁迫; 相对电导率; SOD; 脯氨酸

中图分类号: S687.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-1389(2010)09-0088-05

Effects of Water Stress on Water Content, Relative Membrane Permeability and Activity of Antioxidant Enzymes of Chinese Golden Leaf Elm

SHI Baosheng¹, LIU Dongyun¹, ZHANG Xiaolei¹, HUANG Yinran² and ZHANG Junying²

(1. College of Landscape Architecture and Tourism, Agricultural University of Hebei, Baoding Hebei 071000, China;
2. Hebei Province Forestry Academy of Science, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: The material was potted-plant of two years old Chinese golden leaf elm (*Ulmus pumila* cv. Jinye). Some physiological indexes were determined under continuous drought and waterlogging conditions to study the water stress adaptability. The results showed that the shoots were not withered under 10% relative soil water contents in 20 d, it showed that the Chinese golden leaf elm has a strong capability of drought resistance. With the drought treatment, the change tendency of MDA(malonaldehyde) contents was 72.74% higher than the control on 15 d. The indexes of the activity of SOD(superoxide dismutase), POD(peroxidase), the relative conductivity and chlorophyll contents had an ascending tendency under drought stress. These indexes increased by 17.12%, 71.11%, 20.35%, and 67.69% respectively, compared with the control on treatment 20 d. The contents of proline had accumulated 13.41 times higher than the control and the total water content of leaves decreased by 19.87% under drought treatments for 20 d. But the physiological indicators under waterlogging stress varied gently and there were no differences compared with the control. These showed that the Chinese golden leaf elm was suitable for growing in the water-sufficient soil.

* 收稿日期: 2009-12-07 修回日期: 2010-03-25
基金项目: 河北省科技厅项目“节水抗旱型新优园林植物引种评价及应用研究”(07220121); 河北农业大学“金叶榆抗逆性研究”横向课题资助。
第一作者: 史宝胜, 副教授, 研究方向为园林植物栽培及应用。E-mail: Baoshengshi@163.com
通讯作者: 刘冬云, 副教授, 主要从事园林植物引种与繁育研究。

Key words: *Ulmus pumila* cv. Jinye; Water stress; Relative conductivity; Superoxide dismutase (SOD); Proline

金叶榆(*Ulmus pumila* cv. Jinye.)为榆科榆属植物,系白榆变种。金叶榆叶片金黄色,有自然光泽,色泽艳丽;叶脉清晰,质感好;枝条密集,耐强度修剪,造型丰富。既可做为园林风景树和行道树,又可培育成黄色灌木,广泛应用于绿篱、色带、拼图、造型。由于金叶榆是刚培育出的彩叶植物新品种,对其研究仅停留在观赏性和繁育方法等方面^[1]。前人对于金叶榆的原种——白榆的研究也仅集中在繁殖技术、遗传分析、杂交育种及抗盐性等方面^[2-5]。

在诸多影响植物生长的环境因子中水分是极为重要的因子之一。一般认为,植物在正常生理活动中不断产生的活性氧能被植物体内的抗氧化体系及时清除;但当处于水分胁迫时,植物体内活性氧产生和清除的平衡遭到破坏,从而加速活性氧的积累,当浓度超过一定阈值时,会使植物细胞内的大分子物质发生过氧化,从而影响到植物的正常生长^[6]。水分胁迫与植物细胞过氧化及抗氧化体系关系的研究已受到普遍重视^[7]。本研究采用盆栽控水法,模拟连续的土壤水分胁迫状况,研究水分胁迫对金叶榆幼苗脂类过氧化及抗氧化体系的影响,为金叶榆对水分胁迫的机制研究及合理开发和引种栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2007-05-10—06-10 进行。以 2 a 生金叶榆嫁接盆栽苗(根砧为白榆)为试验材料,盆栽时选用生长健壮、无病虫害、长势一致的植株,每盆一株。花盆为 34 cm×25 cm(直径×高度)底部无孔的白色聚乙烯塑料盆,盆土为草炭+园土(按 1:1 配制),遮雨栽培。供试植株在河北省保定市自然气候条件下栽培,日平均温度 30.5℃,最高气温 38.7℃。

1.2 方法

1.2.1 水分胁迫处理 试验共分 3 个处理:①干旱处理,以正常浇水管理后不再浇水,任其自然失水,作为连续干旱处理;②水湿处理,以每天上午、下午定时称质量、补水,使基质相对含水量保持在 100%左右;③对照,每天上午定时称质量,补水 1 次,使基质相对含水量保持在 60%。3 个处理随

机区组排列,共 9 个小区,每处理 18 盆,分 3 次重复(每重复 6 盆),每盆 1 株。以浇足水后 24 h 作为处理的第 1 天,以后每 5 d 观察记载植株形态,同时取叶片(从下自第 5 叶片起,同一测定指标取同一序号的叶片)测定生理生化指标,试验共取样 4 次。样品用冰壶带回实验室,液氮速冻后放在-80℃低温冰箱中保存备用。

1.2.2 形态指标测定 每隔 5 d 对植株叶片、新梢的受害情况进行调查,根据水分胁迫危害程度分为以下 5 个级别,级数越小,受害越轻。1 级:无受害症状;2 级:植株少于 1/4 叶片萎缩、叶尖、叶缘变色,并失去应有光泽;3 级:植株 1/4~1/2 叶片萎缩,叶缘焦枯;4 级:多于 1/2 叶片萎缩,大部分叶片有叶尖、叶缘焦枯现象;5 级:叶片明显萎缩,30%以上叶片脱落。

1.2.3 生理生化指标测定 土壤饱和含水量采用威尔科克斯法测定,在处理植株中随机抽取 5 盆,用环刀取自然状态土样,浸水 12 h 后取出,保持 12 h 后测定其含水量。土壤相对含水量的测定采用烘干法,取新鲜的基质样品,于 105℃条件下烘至恒质量,基质相对含水量=(基质鲜质量-基质干质量)/(基质水饱和质量-基质干质量)×100%。

叶片总含水量、叶绿素、超氧化物歧化酶(SOD)活性、脯氨酸含量采用邹琦等^[8]的方法,细胞质膜相对透性、过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量测定参照朱广廉^[9]的方法。

所有指标测定均重复 3 次,采用 Spss 13.0 统计软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对基质含水量与植株形态指标的影响

在不同水分胁迫试验中,盆栽基质间的相对含水量变化有较大差异。整个试验期间,对照和水湿处理的变化不明显,分别维持在 60%和 100%左右。而干旱胁迫的基质含水量呈明显下降趋势,由于受保定地区夏季高温的影响,土壤相对含水量下降幅度较大,至干旱胁迫 5、10、15、20 d 时,盆栽基质相对含水量分别降至 10.62%、9.43%、8.34%和 6.53%。

水湿环境下的金叶榆生长健壮,叶片金黄色,色泽艳丽,其形态和观赏性与对照没有差异;而干旱胁迫对植物形态具有显著影响,随着胁迫时间的延长,植株逐渐出现叶片萎缩、叶缘焦枯、落叶等症状。在处理后的 5、10、15、20 d 形态指标分别达到 1、2、3、5 级,说明随干旱胁迫时间的延长,植株受害逐渐加重。

2.2 水分胁迫对叶片总含水量的影响

在一定程度上叶片总含水量反映了植物的生长状态。由图 1 可知,在水湿状态下,叶片的总含水量与对照差异不明显;而随干旱胁迫时间的延长,叶片的总含水量逐渐下降。在干旱处理后 10、15、20 d 时,叶片总含水量分别比对照减少了 8.23%、12.47%、19.87%。植物吸收水分的主要部位是根系,在干旱胁迫下,土壤中的可利用水减少,根系吸水困难,输送到叶片组织的水分减少,导致叶片的总含水量降低。

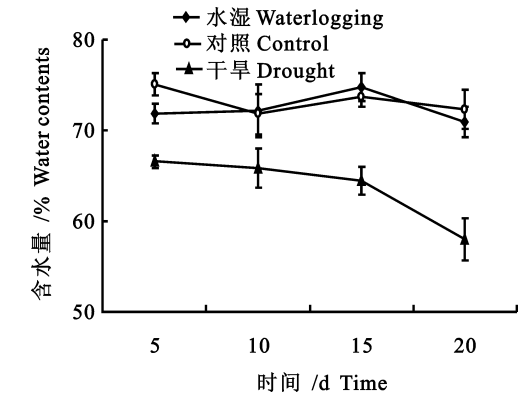


图 1 水分胁迫对叶片总含水量的影响

Fig. 1 The effects of water stress on total water content

2.3 水分胁迫对叶片叶绿素含量的影响

图 2 表明,在前 10 d 的水湿条件下,金叶榆叶片中叶绿素含量变化不明显,且与对照差异很小;在干旱处理 15 d 时,叶绿素含量急剧增加,其含量是对照的 3.10 倍;此后,叶绿素总含量一直维持较高水平,到 20 d 时,比对照高 67.69%。说明干旱胁迫下金叶榆叶片的叶绿素含量有增加的趋势,其原因可能与叶片含水量减小有关。

2.4 水分胁迫对 MDA 含量和细胞质膜相对透性的影响

图 3 表明,在水湿处理的前期(处理 15 d 内),金叶榆叶片中 MDA 含量与对照无显著差异;后期略高于对照。这表明金叶榆有一定的耐水湿能力,短时间的水分过多对其膜系统没有影响。干旱胁迫下金叶榆叶片 MDA 含量表现为先

升高后降低的趋势,并且其数值显著大于对照和水湿处理。如在 15 d 时,干旱处理的 MDA 含量分别比水湿处理和对照高 58.05% 和 72.74%。这表明干旱胁迫对金叶榆叶片膜系统的伤害程度较大。

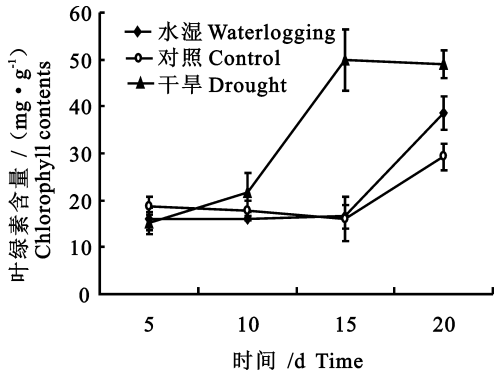


图 2 水分胁迫对叶绿素含量的影响

Fig. 2 The effects of water stress on chlorophyll content of leaf

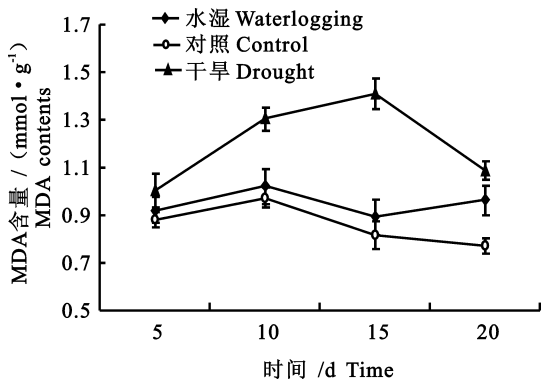


图 3 水分胁迫对 MDA 含量的影响

Fig. 3 The effects of water stress on MDA content

细胞质膜相对透性的增加,在一定程度上反映了胁迫条件下细胞膜的损伤。本试验表明水分胁迫会增大叶片膜相对透性,对细胞膜有一定的破坏(图 4)。在干旱胁迫下,相对电导率随处理时间的延长而增加,15 d 后急剧增大,到 20 d 时分别比对照、水湿处理的高 33.83%、20.35%。说明干旱胁迫对金叶榆叶片的细胞膜破坏程度较大,叶片细胞中的离子大量外渗,从而造成植物体较重的伤害。

2.5 水分胁迫对细胞保护酶活性的影响

2.5.1 水分胁迫对 SOD 活性的影响 图 5 表明,水湿处理的前 15 d 叶片 SOD 活性的变化不太明显,之后急剧增大;且在 10 d 后的 SOD 活性一直低于对照,表明水湿胁迫有降低 SOD 活性的趋势。在干旱胁迫下,随胁迫时间的延长,叶片

SOD 活性呈线性上升趋势;在胁迫前 10 d, SOD 活性与对照相差不大,在胁迫 15 d 后 SOD 活性的差异显著增大,到 20 d 时比对照高 17.12%。因此,干旱胁迫可提高金叶榆 SOD 活性。

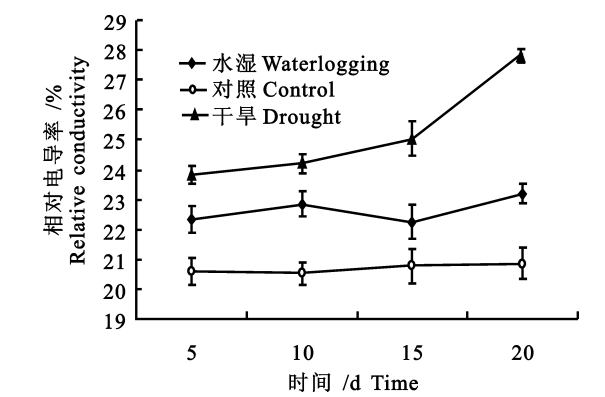


图 4 水分胁迫对细胞质膜相对透性的影响
Fig. 4 The effects of water stress on cell membrane penetrable

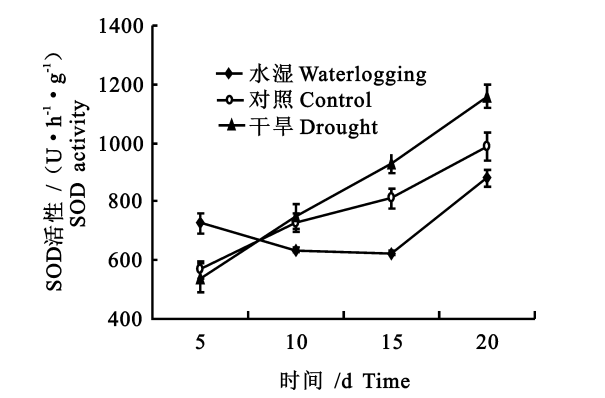


图 5 水分胁迫对 SOD 活性的影响
Fig. 5 The effects of water stress on SOD enzyme activity

2.5.2 水分胁迫对 POD 活性的影响 图 6 表明,在处理前 10 d,水湿和干旱胁迫的 POD 活性与对照差异不明显;在后期,水湿胁迫下的 POD 活性略低于对照;而干旱胁迫下 POD 活性上升较快,到处理后 20 d 时,其酶活性比对照高 71.11%;说明干旱胁迫对金叶榆 POD 活性的影响大于水湿胁迫。相关分析表明:干旱胁迫下的 POD 活性与叶片含水量呈极显著负相关,相关系数为 -0.993^{**} (*表示在 0.05 水平上显著相关, **表示在 0.01 水平上显著相关。以下相同)。

2.6 水分胁迫对脯氨酸含量的影响

从图 7 可以看出,在水湿胁迫下,脯氨酸含量与对照的变化趋势及大小相似;而在干旱胁迫下,脯氨酸含量呈上升趋势,随处理时间延长而逐渐增大,且 5 d 后明显高于对照;到 20 d 时,其脯氨酸含量比对照高出 13.41 倍。说明在干旱胁迫下金叶榆体内脯氨酸含量显著增加,这有利于植物

体稳定渗透平衡和保持叶片中水分。相关分析表明,干旱胁迫下的脯氨酸含量与 SOD 活性呈极显著正相关,相关系数为 0.995^{**} 。

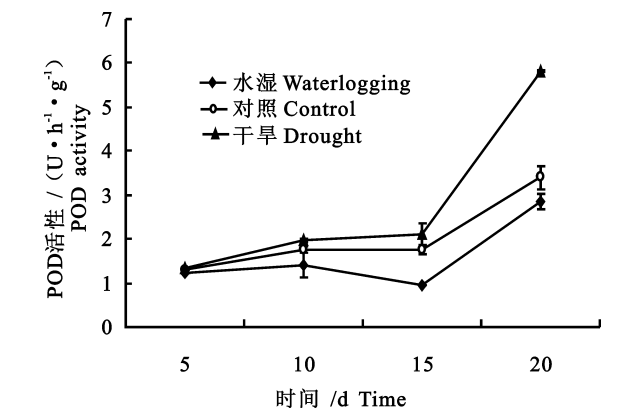


图 6 水分胁迫对 POD 活性的影响
Fig. 6 The effects of water stress on POD enzyme activity

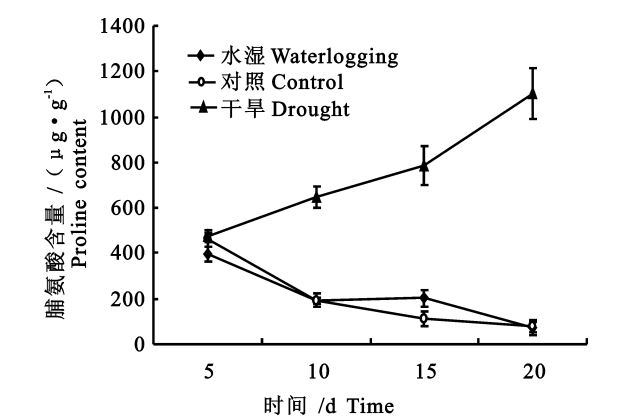


图 7 水分胁迫对脯氨酸含量的影响
Fig. 7 The effect of water stress on the proline content

2.7 干旱胁迫下形态指标与生理指标的相关性分析

将干旱胁迫下的形态指标变化与生理指标分析比较,发现形态指标与叶片含水量之间具有显著的负相关,相关系数为 -0.961^{*} ,表明叶片水分含量越高,植株受害越轻。而叶片形态指标与叶片中游离脯氨酸含量、相对电导率、SOD 活性之间均具有显著的正相关,相关系数分别为 0.973^{*} 、 0.979^{*} 、 0.988^{*} 。表明叶片内部的这些生理指标可显著影响外在的形态变化。此外,从试验结果可以看出,形态指标与生理指标出现剧烈变化的转折点均在干旱胁迫第 15 天左右,其表观症状的变化与生理指标存在较强的一致性。

3 小结与讨论

水分是构成树木的必要成分,也是树木赖以

生存的必不可少的成分之一。植物的生长发育受到环境的制约,其中水湿和干旱是对植物生长影响最重要的两大环境因素。目前,世界上有 1/2 以上的土地处于淹涝或干旱、半干旱地区,其他地区在植物生长季节也常发生不同程度的水湿和干旱。在水分胁迫环境下,一些植物因呼吸作用受阻、光合作用减弱等影响,在形态方面会出现叶片脱落、新梢焦枯、果实失水、根系坏死的受害症状。在生理方面,植物体内活性氧增多,膜脂过氧化作用启动,造成生理功能紊乱,严重时导致细胞死亡。为适应逆境条件,植物体内具有清除活性氧自由基的酶保护系统,包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)等^[10-11]。本研究结果表明:金叶榆在基质水分过多环境下,生长健壮,叶片金黄色,色泽艳丽,其观赏性与对照无差异;脯氨酸含量与对照差异也不明显,SOD 活性、POD 活性、MDA 含量变化平缓,且总趋势与对照大体一致,这些指标均表明 100% 含水量条件下的水湿胁迫对金叶榆没有明显伤害,而长时间或者常期的淹水胁迫是否会对金叶榆生长发育产生影响尚需要进一步研究。

在干旱胁迫环境下,植物细胞内大量富集活性氧,引发膜脂过氧化,破坏膜的正常功能,并且其过氧化产物丙二醛的产生和积累会加剧对细胞的毒害。本研究结果表明随着干旱时间的延长,叶片含水量随土壤水分含量的减少而降低;脂膜过氧化水平加重,MDA 含量急剧增加,细胞膜结构的破坏也随之加剧;相对电导率比对照增加了 20.35%,表明金叶榆叶片细胞受到了干旱伤害。为了清除这些活性氧,减轻对细胞的毒害作用,金叶榆叶片启动保护酶系统。在叶片中 SOD、POD 活性随着干旱胁迫的加重而逐渐上升,且在整个干旱胁迫下能够维持在一个较高的水平,因而防止了活性氧的大量积累,降低膜脂过氧化程度,减轻了膜的伤害。特别是在干旱胁迫 15 d 后,SOD、POD 活性显著上升。相关分析表明 SOD 活性变化与形态指标、脯氨酸含量间均达到显著正相关。随着植物组织含水量的减少,植物体内还会积累大量有机小分子物质,调节渗透平衡、降低细胞伤害。脯氨酸被认为是许多植物受到直接或间接的渗透胁迫时明显积累的渗透调节物质^[12]。胁迫条件下脯氨酸含量的增加可能对防止细胞内水分的过分丢失、维持细胞膜的完整性起重要作用^[13]。在本研究中,干旱胁迫下金叶榆

叶片中的脯氨酸含量变化最为激烈,在处理 20 d 时比对照增加了 13.41 倍,且脯氨酸含量与形态指标间呈显著正相关,说明脯氨酸在金叶榆的抗旱机制中具有重要作用^[14],可作为鉴别植物干旱胁迫的生理指标。由于本研究仅基于短期水分胁迫对金叶榆盆栽幼树的形态和生理生化特性的变化,而对露地栽培条件下金叶榆的水分适宜情况以及金叶榆对盐碱、耐寒性等方面的分析还有待于进一步探讨。

参考文献:

- [1] 张均营,黄印冉,任建新,等. 中华金叶榆的繁育及在园林绿化中的应用[J]. 河北林业科技,2006(2):48-49.
- [2] 陈树海,周景清,于树峰,等. 白榆的播种繁殖技术[J]. 安徽农学通报,2008,14(14):106-108.
- [3] 杨成超,王胜东,杨志岩,等. 利用 AFLP 标记研究银白杨×白榆的亲缘关系[J]. 北京林业大学学报,2007,29(2):7-12.
- [4] 杨志岩,阎中林,杨成超,等. 科间远缘杂交种—银白杨×白榆[J]. 辽宁林业科技,2006(4):18-20.
- [5] Song Fu-nan, Yang Chuan-ping, Liu Xue-mei, *et al.* Effect of salt stress on activity of superoxide dismutase (SOD) in *Ulmus pumila* L[J]. Journal of Forestry Research. 2006, 17(1):13-16.
- [6] Griffiths H, Parry M A J. Plant responses to water stress[J]. Ann. Bot., 2002, 89:801-802.
- [7] Reddy A R, Chaitanya K V, Jutur P P, *et al.* Differential antioxidant responses to water among five mulberry (*Morus alba* L.) cultivars[J]. Environmental and Experimental Botany, 2004, 52:33-42.
- [8] 邹琦. 植物生理生化试验指导[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
- [9] 朱广廉. 植物生理学试验指南[M]. 北京:北京大学出版社,1993.
- [10] Rosa Porcel, Juan Manuel Ruiz-Lozano. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress[J]. J Exp Bot, 2004, 55(403):1743-1750.
- [11] Sonja Veljovic-Jovanovic, Biljana Kukavica, Branka Stevanovic, *et al.* Senescence and drought-related changes in peroxidase and superoxide dismutase isoforms in leaves of *Ramonda serbica*[J]. J Exp Bot, 2006, 57:1759-1768.
- [12] Mika Yamada, Hiromasa Morishita, Kaoru Urano, *et al.* Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress[J]. J Exp Bot, 2005, 56:1975-1981.
- [13] 张慧,何玉杰,陈铁山,等. 长期水分胁迫对不同基因型烟草生长旺盛期生理特性的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(2):144-148.
- [14] 陈鹏,张德玖,李玉红,等. 水分胁迫对苦荞幼苗生理生化特性的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(5):204-207.