

# 水分胁迫对 5 个树种苗木根系部分生理指标的影响

徐彩霞, 赵 忠, 陈明涛

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100)

**【摘要】**【目的】明确不同树种苗木对水分胁迫适应的差异性,探讨不同树种的抗旱性机理。【方法】以 1 年生侧柏、刺槐、山杏、沙棘、柠条为试验树种,在盆栽条件下,比较不同水分胁迫处理(分别为田间持水量的 75%,50%和 35%)对 5 种苗木根系可溶性蛋白、可溶性糖和游离氨基酸代谢的影响。【结果】5 个树种根系可溶性蛋白含量的变化规律因树种不同而有很大差异,随水分胁迫的加剧,山杏、侧柏根系中可溶性蛋白含量呈持续增加趋势,且山杏可溶性蛋白含量最多;在重度干旱胁迫下,刺槐、柠条根系中可溶性蛋白含量急剧增加,且增幅为刺槐>柠条;而沙棘根系可溶性蛋白含量表现为,随着水分胁迫程度的增加呈先升后降的趋势,且在重度干旱处理下降至最低。随着水分胁迫强度的增加,5 种苗木根系可溶性糖和游离氨基酸含量的变化趋势基本一致,均随着水分胁迫强度的增加而持续增高,其中在重度干旱胁迫时,山杏根系可溶性糖含量、游离氨基酸含量分别为 20.54 mg/g,1.665  $\mu$ g/g,远高于其他 4 个树种;随着水分胁迫强度的加剧,其余 4 个树种侧柏、沙棘、刺槐和柠条的可溶性糖和游离氨基酸含量与对照相比,增幅分别为 171.43%,141.13%,131.42%,24.42%和 313%,280%,317%,289%。【结论】5 个树种在水分胁迫条件下,在诱导自身体内某些溶质的合成和累积,以及干旱胁迫诱导一些特定蛋白质的合成能力上都有较大差异。综合考虑各因素认为,5 个树种在合成、累积这 3 类溶质方面的能力由强到弱依次为山杏>侧柏>刺槐>柠条>沙棘。

**【关键词】** 水分胁迫;可溶性蛋白;可溶性糖;游离氨基酸;苗木根系

**【中图分类号】** S718.43

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2009)08-0109-06

## Effects of water stress on physiological indicators in tree roots of five varieties

XU Cai-xia, ZHAO Zhong, CHEN Ming-tao

(College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** 【Objective】 In order to ascertain the difference of the different seedlings' adaptation to water stress, studies on drought resistance of different trees were conducted. 【Method】 The annual *Platycladus orientalis*, *Robinia pseudoacacia*, *Armeniaca sibirica*, *Hippophae rhamnoides* and *Caragana korshinkii* were used as the test trees, through artificial control of water amount, different water stress (Field water holding capacity of 75%, 50% and 35%) to soluble protein, soluble sugar content and free amino acid changes in these five sapling roots and drought resistance mechanism in different saplings were discussed. 【Result】 The change of soluble protein content of the five tree species showed significant difference to different species. With the increased drought stress, the soluble protein content also increased in *P. orientalis* and *A. sibirica*, and the soluble protein content in *A. sibirica* was the most. In the severe drought stress, the soluble protein content in *C. korshinkii* and *R. pseudoacacia* roots increased rapidly, and the increase range of the soluble protein content was *R. pseudoacacia* > *C. korshinkii*; By mild water stress in *H. rhamnoides*, the

\* [收稿日期] 2008-11-12

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30671673)

[作者简介] 徐彩霞(1983—),女,新疆昌吉人,在读硕士,主要从事森林培育研究。E-mail: xucaixia19830910@126.com

[通信作者] 赵 忠(1958—),男,甘肃宁县人,教授,博士生导师,主要从事半干旱地区植被恢复与重建研究。E-mail: zhaozh@nsw-suaf.edu.cn

soluble protein content of its roots had a certain rate of increase, but with the increasing degree of drought, the soluble protein content rapidly dropped to the lowest. With the increase of water stress intensity, the changes in trends of soluble sugar and free amino acids in these five sapling roots sustained increasing with the increase of water stress strength, and the content of *A. sibirica* was far higher than that of the other four saplings, and with the increase of water stress intensity, the increase range of soluble sugar and free amino acids content of the rest four tree was *P. orientalis* > *R. pseudoacacia* > *C. korshinkii* > *H. rhamnoides*.

**【Conclusion】** Under the condition of water stress, big differences exist in the five tree species induction of the synthesis and accumulation of some solute and the capacity of synthesis of some induced soluble protein, leading to different drought resistance. Finally the capacity of synthesizing and accumulating these three solutes in the five tree species is *A. sibirica* > *P. orientalis* > *R. pseudoacacia* > *C. korshinkii* > *H. rhamnoides*.

**Key words:** water stress; soluble protein; soluble sugar; free amino acid; sapling root

水分胁迫是植物受到的危害中最普遍的形式之一<sup>[1]</sup>,水分作为树木生存及正常生长代谢的基础,是树木不可或缺的组成部分。干旱缺水不仅严重影响树木的成活,而且限制其分布。因此,在干旱、半干旱地区选择抗旱性强的树种造林,无疑是提高造林效率、有效改善区域生态环境最为经济、有效的方法。而对林木进行生理生化研究,又是选择抗旱性强的树种的基础<sup>[2]</sup>。目前,对于木本植物抗旱性的研究,主要集中于叶片结构和植株水势对于干旱环境的反应,以及地上部分的生理生化特性等方面<sup>[3]</sup>。由于试验条件和采集、保存根系鲜样方法等方面的限制,对于木本植物地下部分根系抗旱性的研究较少,且多集中于根系的生长特征方面<sup>[4]</sup>。根系作为植物吸收水分和养分的主要器官,也是最早感受土壤干旱的器官,在水分胁迫条件下,研究根系生理代谢对于林木抗旱性研究有重要意义。因此,本研究选取侧柏(*Platycladus orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、山杏(*Armeniaca sibirica*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana korshinkii*)等 5 个树种的 1 年生苗木,通过盆栽试验,测定水分胁迫下各树种苗木根系可溶性蛋白、游离氨基酸和可溶性糖含量的变化规律,以明确不同树种苗木对水分胁迫适应的差异性,探讨不同树种的抗旱性机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

选择 1 年生侧柏、刺槐、山杏、沙棘、柠条为试验树种,在西北农林科技大学林学院试验苗圃布设盆栽试验。2007 年 4 月上旬,将生长状况优良、植株大小基本一致的 5 个树种苗木移植至塑料桶中(塑

料桶上口直径 30 cm,高 50 cm),桶中装入生黄土与河沙的混合物[V(生黄土):V(河沙)=3:1,田间持水量 21.08%] 15 kg,每树种 20 桶,每桶 1 株。定植后放置于可移动式防雨棚内,防止天然降雨落入,晴天正常光照,苗木正常供水以保证成活和正常生长。

### 1.2 试验方法

1.2.1 干旱处理 7 月中旬,待苗木正常生长到一定高度时,采用称重法进行水分胁迫处理。试验布设 3 个处理:① 对照处理(CK),整个试验过程正常供水,保持盆栽基质含水量维持在田间持水量的 75%;② 中度干旱胁迫,保持盆栽基质含水量维持在田间持水量的 50%;③ 重度干旱胁迫,保持盆栽基质含水量维持在田间持水量的 35%。

1.2.2 采样方法 采用称重法控水达到处理的标准并维持 6 d 后采样,采样时间为清晨 7:00~8:00,每处理选取生长较一致的 3 桶树种苗木,3 次重复。分株翻桶采根样,并浸泡、冲洗干净根系后,用滤纸吸干多余水分,从苗木的主根系外围剪取根尖部位 2 cm 左右的侧根约 20 g,分别编号,封入密封袋并迅速放入液氮中,带回实验室于超低温冰箱中贮存(-70 ℃ 保存),用于生理指标的测定。

1.2.3 测定方法 可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法<sup>[5]</sup>测定,可溶性糖含量采用恩酮比色法<sup>[5]</sup>测定,游离氨基酸含量采用茚三酮显色法<sup>[5]</sup>测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分胁迫对不同树种根系可溶性蛋白含量的影响

植物体内的可溶性蛋白质大多是参与各种代谢

的酶类,在受到干旱胁迫时会发生一定变化,测定其含量变化是了解植物抗逆性的一种重要方法<sup>[6]</sup>。蛋白质作为生命活动的体现者,不同植物体内的蛋白质种类和数量也不同。有研究表明,植物失水会产生一些可溶性蛋白,其具有脱水保护功能<sup>[7]</sup>。由图 1 可知,树种不同,其根系可溶性蛋白含量的变化规律也有所不同。其中,山杏、侧柏根系可溶性蛋白含量均随水分胁迫程度加剧而增加,山杏可溶性蛋白含量在重度干旱胁迫时达 43.09 mg/g,侧柏为

14.10 mg/g;随着水分胁迫强度的增加,刺槐、柠条根系可溶性蛋白含量变化表现出先降低后升高的趋势,即中度干旱胁迫时,可溶性蛋白含量出现一定下降,而重度干旱胁迫时可溶性蛋白含量又表现为增加趋势,且含量最高,增幅分别是对照的 49%和 43%;而沙棘根系可溶性蛋白含量在中度干旱胁迫时最高,随着水分胁迫程度的不断加剧,其根系内可溶性蛋白含量降至最低,但降幅与对照水平相比不明显。

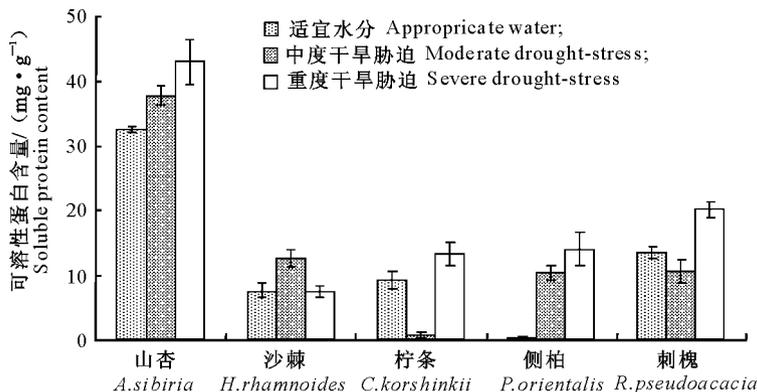


图 1 水分胁迫对不同树种根系可溶性蛋白含量的影响

Fig. 1 Effects of water stress on soluble protein content in roots of different species

2.2 水分胁迫对不同树种根系可溶性糖含量的影响

糖是参与调节渗透胁迫的小分子物质,在植物对水分胁迫的适应性调节中,是增加渗透性溶质的重要组成成分<sup>[8]</sup>。大量研究发现,植物的抗旱性与植物体内可溶性糖累积有关<sup>[9-11]</sup>。可溶性糖作为植物组织中众多糖类的代表,参与细胞的渗透调节,是植物适应环境的信号物质。如图 2 所示,5 个树种

根系可溶性糖含量的变化规律一致,均表现为随着干旱程度的加剧,可溶性糖含量逐渐增加。其中,山杏在重度干旱胁迫时,可溶性糖含量为 20.54 mg/g,远高于其他 4 种苗木;随着干旱程度的加剧,与对照相比,山杏、沙棘、柠条、侧柏和刺槐 5 种树木根系中可溶性糖含量增幅分别为 83.72%,141.13%,24.42%,171.43%和 131.42%。

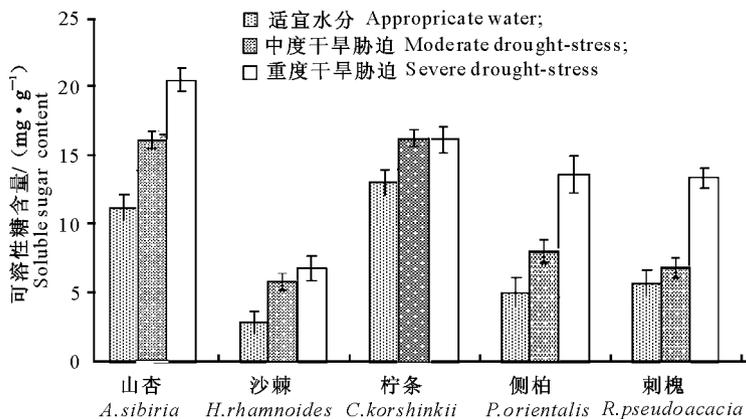


图 2 水分胁迫对不同树种根系可溶性糖含量的影响

Fig. 2 Effects of water stress on soluble sugar content in roots of different species

### 2.3 水分胁迫对不同树种根系游离氨基酸含量的影响

在渗透胁迫时,高等植物可通过积累一定的氨基酸以降低水势,维持体内水分平衡,保证植物正常生长<sup>[12-13]</sup>。有研究发现,水分胁迫可促使植物体内游离氨基酸含量增加,随胁迫强度的增强,游离氨基酸含量大量增加<sup>[14-15]</sup>。图 3 表明,5 个树种根系的游离氨基酸含量的变化规律与可溶性糖含量基本一致,均表现为随干旱胁迫加剧而持续增加的趋势。

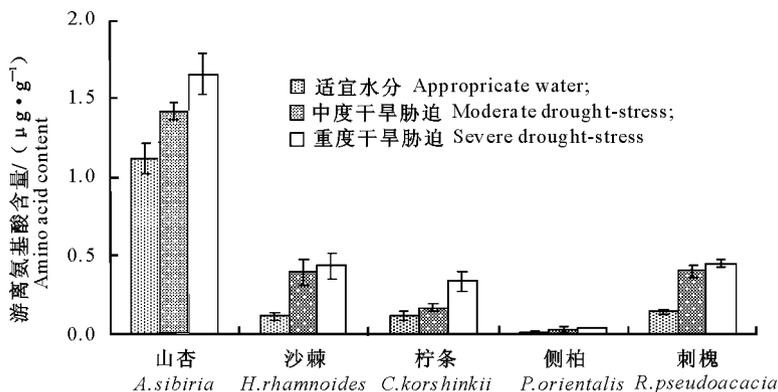


图 3 水分胁迫对不同树种根系游离氨基酸含量的影响

Fig. 3 Effects of water stress on free amino acid content in roots of different species

## 3 结论与讨论

在干旱胁迫下,植物体内可溶性蛋白含量会发生相应变化,这种变化目前已经被用于评价植物适应性的指标<sup>[16-17]</sup>。本研究发现,随水分胁迫的加剧,山杏、侧柏根系中可溶性蛋白含量呈持续增加趋势,山杏可溶性蛋白含量最多,侧柏次之;在重度干旱胁迫下,刺槐、柠条根系中可溶性蛋白含量急剧增加,且增幅为刺槐>柠条;而沙棘随着水分胁迫程度的增加,可溶性蛋白含量表现为先升后降的趋势,且在重度干旱下降至最低,说明此胁迫已超过了沙棘的耐受极限。有研究表明,水分胁迫环境会诱导树木体内某一类特定的可溶性蛋白质的合成,这些干旱胁迫诱导的蛋白可导致植物抗旱性的增强,并适应干旱环境<sup>[18-21]</sup>。

水分胁迫可诱导树木体内大量合成和积累某些溶质,如可溶性糖、脯氨酸及  $K^+$  等,此过程可降低树木体内的渗透势,保证树木较正常的生命活动,是树木对水分胁迫适应性反应的一个重要方面,并被认为是树木耐旱的主要生理机制<sup>[22]</sup>。本研究表明,随着干旱程度的加深,5 个树木根系可溶性糖含量持续增加,其中山杏可溶性糖含量最高,沙棘最少;

其中,在重度干旱胁迫下,山杏根系游离氨基酸含量达到  $1.665 \mu\text{g/g}$ ,远高于其他 4 个树种;而侧柏根系游离氨基酸含量最少,仅  $0.033 \mu\text{g/g}$ 。随着干旱胁迫程度的不断加剧,5 个树种根系游离氨基酸含量与对照相比均有不同程度增加,其中刺槐增幅最大,较对照增加 317%,其他 4 个树种增幅由大到小依次为侧柏、柠条、沙棘和山杏游离氨基酸含量,其值依次为 313%,289%,280%和 149%。

随水分胁迫的持续加剧,可溶性糖含量的增幅变化依次为侧柏>刺槐>柠条。

研究证实,在水分胁迫下,植物可通过游离氨基酸的累积参与渗透调节,通过渗透势的改变来维持膨压,进而抵御干旱的影响<sup>[23]</sup>。本研究中,在水分胁迫条件下,随胁迫程度加剧,5 个树种根系内游离氨基酸含量持续增加,说明此指标可作为水分胁迫的敏感征兆之一。但研究人员对其与品种抗旱性的关系仍看法不一<sup>[24]</sup>。本试验中,山杏的游离氨基酸含量远高于其他 4 个树木,而随水分胁迫程度的加剧,游离氨基酸含量的增幅变化依次为刺槐>侧柏>柠条>沙棘。

由以上分析可知,树木对水分胁迫的适应性反应是一个非常复杂的综合性过程,很难用一个单一的指标来衡量树木的抗旱性。本研究中,随着水分胁迫强度的加剧,5 种苗木根系可溶性糖和游离氨基酸含量积累明显,而可溶性蛋白含量的变化规律因树种不同而有很大差异。由 5 个树种在水分胁迫条件下,在诱导自身体内这 3 种溶质合成和累积的能力大小综合分析可知,山杏累积能力最强,侧柏次之;剩余 3 种苗木累积能力依次为刺槐>柠条>沙棘。

综上所述,水分胁迫环境可刺激植物体内可溶性糖和游离氨基酸含量的增加。在水分胁迫下,植物本身可产生一些具有脱水保护功能的可溶性蛋白。这有利于植物体在干旱逆境中维持体内正常的水分需求,提高植物的抗逆适应性<sup>[25]</sup>。本研究中,刺槐、柠条、沙棘根系中的可溶性蛋白含量在中度胁迫时表现出不同的变化趋势,说明在此胁迫下,这3种苗木根系内很可能出现了复杂的蛋白代谢过程,一部分蛋白合成受阻与某一类特定蛋白的合成在交织进行,表现在蛋白含量上则呈现出复杂的变化趋势。目前,对于干旱胁迫诱导蛋白的种类及其功能的研究,仍处于探索阶段;而与树木抗旱有密切关系的可溶性糖和游离氨基酸的种类、数量,以及可溶性蛋白、可溶性糖和游离氨基酸含量之间复杂的转化、协调作用,还需进一步深入研究。

## [参考文献]

- [1] Mckersie B D, Leshem Y Y. Stress and stress coping in cultivated plants [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994:148-180.
- [2] 唐承财,钟全林,王健. 林木抗旱生理研究进展 [J]. 世界林业研究, 2008, 21(2): 20-25.  
Tang C C, Zhong Q L, Wang J. Research progress on physiological response of drought-resistance of tree species [J]. World Forestry Research, 2008, 21(2): 20-25. (in Chinese)
- [3] 胡新生,王世绩. 树木水分胁迫生理与耐旱性研究进展及展望 [J]. 林业科学, 1998, 34(2): 77-89.  
Hu X S, Wang S J. A review of studies on water stress and drought tolerance in tree species [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1998, 34(2): 77-89. (in Chinese)
- [4] Rhodenbaugh E J, Pallardy S G. Water stress, photosynthesis and early growth patterns of cuttings of three *Populus clones* [J]. Tree Physiology, 1993, 13(3): 213-226.
- [5] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 北京:世界图书出版社, 2000.  
Gao J F. Plant physiological experimental technology [M]. Beijing: World Publishing Corporation, 2000. (in Chinese)
- [6] 史玉炜,王燕凌,李文兵. 水分胁迫对刚毛怪柳可溶性蛋白、可溶性糖和脯氨酸含量变化的影响 [J]. 新疆农业大学学报, 2007, 30(2): 5-8.  
Shi Y W, Wang Y L, Li W B. Effects of water stress on soluble protein, soluble sugar and proline content in *Tamarix hispida* [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2007, 30(2): 5-8. (in Chinese)
- [7] 颜华,贾良辉,王根轩. 植物水分胁迫诱导蛋白的研究进展 [J]. 生命的化学, 2002, 22(2): 165-168.  
Yan H, Jia L H, Wang G X. The progress on water-inducing proteins in plant [J]. Chemistry of Life, 2002, 22(2): 165-168. (in Chinese)
- [8] 张大鹏,罗国光. 不同时期水分胁迫对葡萄果实生长发育的影响 [J]. 园艺学报, 1992, 19(4): 296-300.  
Zhang D P, Luo G G. Effects of water stress on grape fruit development in different stages of growing season [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1992, 19(4): 296-300. (in Chinese)
- [9] 冯福生. 水分胁迫对不同冬小麦品种 PEP Case 活性的影响 [J]. 华北农学报, 1990, 5(增刊): 76-82.  
Feng F S. Effect of water stress on PEP Case activity in different drought resistant winter wheat cultivars [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1990, 5(Sup.): 76-82. (in Chinese)
- [10] 于同泉,秦岭,王有年. 渗透胁迫板栗苗可溶性糖累积组分变化的研究 [J]. 北京农学院学报, 1996, 11(6): 43-47.  
Yu T Q, Qin L, Wang Y N. The change of the soluble sugar in chestnut seedling under osmotic stress [J]. Journal of Beijing Agricultural College, 1996, 11(6): 43-47. (in Chinese)
- [11] 顾振瑜,胡景江,文建雷,等. 元宝枫对干旱适应性的研究 [J]. 西北林学院学报, 1999, 14(2): 1-6.  
Gu Z Y, Hu J J, Wen J L, et al. A study on adaptability of *Acer truncatum* to drought stress [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1999, 14(2): 1-6. (in Chinese)
- [12] 齐永青,肖凯,李雁鸣. 作物在渗透胁迫下脯氨酸积累的研究进展 [J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(5): 24-27.  
Qi Y Q, Xiao K, Li Y M. Research progress on accumulation of proline under osmotic stress in crops [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2003, 26(5): 24-27. (in Chinese)
- [13] 贺道耀,余叔文. 水稻高脯氨酸变异系高脯氨酸含量和耐盐性的遗传性 [J]. 植物生理学报, 1997, 23(4): 357-362.  
He D Y, Yu S W. Inheritance of the higher proline content characteristic and salt tolerance of high-proline-producing variant of rice [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 1997, 23(4): 357-362. (in Chinese)
- [14] 吴晓红,唐中华,祖元刚. 水分胁迫对迷迭香中游离氨基酸的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(3): 57-58.  
Wu X H, Tang Z H, Zu Y G. Effect of water stress on free amino acid content in *Rosemarinus officinalis* L. [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2006, 34(3): 57-58. (in Chinese)
- [15] Bewley J D, Black M. Physiolog and biochemisrcy of seeds in relation to germination [M]. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag Berlin L, 1978: 106.
- [16] 白景文,罗承德,李西,等. 两种野生岩生植物的抗旱适应性研究 [J]. 四川农业大学学报, 2005, 23(3): 290-294.  
Bai J W, Luo C D, Li X, et al. The research of drought resistance about two wild rock-plant [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2005, 23(3): 290-294. (in Chinese)
- [17] 康俊梅,杨青川,樊奋成. 干旱对苜蓿叶片可溶性蛋白的影响 [J]. 草地学报, 2005, 13(3): 199-202.  
Kang J M, Yang Q C, Fan F C. Effects of drought stress on induced protein in the different drought resistance alfalfa leaf [J]. Acta Agrectir Sinica, 2005, 13(3): 199-202. (in Chinese)
- [18] Schulte P J, Hinckley T M, Stettler R F. Stomatal responses of *Pupulus* to leaf water potential [J]. Canadian J of Botany,

- 1987,65(2):255-260.
- [19] Wu X M, Ma J. Provenance variation of photosynthesis and tolerance to water stress in *Platyclusus* (Thujia) rientals Franco [J]. *Scientia Silvac*, 1988, 24(4):448-453.
- [20] 蒋 齐,梅曙光.宁夏黄土高原地区主要灌木树种抗旱机制的初步研究 [J]. *宁夏农林科技*, 1992(5):25-27.  
Jiang Q, Mei S G. The research of drought-resistant mechanism on the main shrub species in loess plateau of Ningxia [J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 1992(5):25-27. (in Chinese)
- [21] Dickmann D I, Liu Z, Nguyen P V, et al. Photosynthesis, water relation and growth of two hybrid populus genotypes during a severe drought [J]. *Can J For Res*, 1992, 22(8):1092-1106.
- [22] Turner N C, Jones M M. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation [C]//Turner N C, Kramer P J. *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc 1980:87-103.
- [23] Bohnert H J, Nelson D E, Jensen R G. Adaptations to environmental stresses [J]. *The Plant Cell*, 1995(7):1099-1111.
- [24] 王 静,杨德光,马凤鸣,等.水分胁迫对玉米叶片可溶性糖和脯氨酸含量的影响 [J]. *玉米科学*, 2007, 15(6):57-59.  
Wang J, Yang D G, Ma F M, et al. Effects of water stress on soluble sugar and proline contents in maize leaves [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2007, 15(6):57-59. (in Chinese)
- [25] Blackman S A. Maturation proteins and augars in desiccation tolerance of developing soybean seeds [J]. *Plant Physiology*, 1992, 100:225-230.

(上接第 108 页)

- [13] Sassenrath-Cole G F, Lu G Y, Hondges H F, et al. Photos flux density versus leaf senescence in determining photosynthetic efficiency and capacity of *Gossypium hirsutum* L. leaves [J]. *Environ Exp Bot*, 1996, 36:439-446.
- [14] Pettigrew W T. Source-to-sink manipulation effects on fiber quality [J]. *Agron J*, 1995, 87:947-952.
- [15] 马富裕,曹卫星,李少昆,等.棉花纤维品质与气象因子的定量分析 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(11):2102-2107.  
Ma F Y, Cao W X, Li S K, et al. Quantitative analysis on the relationships between cotton fiber quality and meteorological factors [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11):2102-2107. (in Chinese)
- [16] 李伟明,刘素恩,王志忠,等.棉花纤维品质年际间变化及气象因素影响分析 [J]. *棉花学报*, 2005, 17(2):103-106.  
Li W M, Liu S E, Wang Z Z, et al. Annual variance of cotton fiber quality and influence by climatic-ecologic factors [J]. *Cotton Science*, 2005, 17(2):103-106. (in Chinese)