

# 紫穗槐幼苗叶片对不同干旱梯度胁迫的生理生态响应<sup>\*</sup>

崔大练, 马玉心, 石 戈, 范美华, 杜 巍, 张 明

(浙江海洋学院 海洋科学学院, 浙江 舟山 316000)

**摘 要:**研究了长期不同干旱梯度胁迫条件下紫穗槐幼苗叶片各种生理生化指标变化。结果表明:轻度、中度、重度胁迫条件下 SOD、POD 活性明显高于对照,而且随着胁迫时间的延长而逐渐增高。重度胁迫下 SOD、POD 活性与轻度、中度差异显著。胁迫前期(1~60 d)SOD、POD 活性变化具有波动现象,胁迫后期(60~120 d)SOD 活性下降,POD 活性上升。轻度、中度、重度胁迫条件下可溶性蛋白质、脯氨酸含量高于对照,而且随着胁迫时间的延长而增高。重度胁迫下可溶性蛋白质、脯氨酸含量与轻度、中度差异显著,轻度、中度胁迫条件下可溶性蛋白质、脯氨酸含量差异不显著;从第 80 天始脯氨酸含量下降,而可溶性蛋白质含量增高。轻度、中度、重度胁迫条件下,可溶性糖含量差异较小。轻度、中度、重度胁迫条件下 MDA 含量、细胞膜相对透性高于对照,且逐渐增高,重度与轻度、中度差异显著,细胞膜透性变化与 MDA 含量变化成明显的正相关,MDA 含量变化与 SOD 活性变化成正相关。

**关键词:**紫穗槐;干旱梯度;叶片;生理生态

中图分类号:S718.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)02-0178-04

## Ecophysiological Responses of *Amorpha Fruticosa* L. Seeding Leaves to Long term Drought Gradient Treatment

CUI Da-lian, MA Yu-xin, SHI Ge, FAN Mei-hua, DU Wei, ZHANG Ming

(Marine Science College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang 316000, China)

**Abstract:** Changes in some physiological and biochemical indexes of *A. fruticosa* L. seeding leaves under long-term different drought gradient treatment was studied by using pot culture 2-year-old *A. fruticosa* seeding as experiment materials and adopting the method of weighing the soil to control the water content, four different levels of different drought gradient treatment. The water stresses were the control(CK), light stress(LS), medium stress(MS) and severe stress(SS). The results showed that superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) activity of *A. fruticosa* seedlings in LS, MS, SS were obviously higher than that of group CK, and that with the increase of drought gradient treatment, SOD and POD activity increased. SOD, POD activity in SS were obviously different with LS, MS. SOD and POD activity fluctuated at the beginning of drought treatment and SOD activity decreased and POD activity increased. In the whole water treatment period, LS, MS and SS had higher content of proline and soluble protein than that of CK, and increased with the extension of stress time. The content of proline and soluble protein in SS had obviously differences with LS, MS and that those had no differences in LS and MS. The content of proline decreased and soluble protein increased after treatment 80 days. The soluble sugar had no differences in group of LS, MS, SS. The content of membrane permeability and MDA content was higher than that of CK. The results had obviously differences in group of SS than LS, MS, that there was obvious positive correlation between membrane permeability and MDA content and there was obvious positive correlation MDA content and SOD activity.

**Key words:** *Amorpha Fruticosa* L.; drought gradient; leaf; ecophysiology

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-10-23

基金项目: 浙江海洋学院校级科研项目(21105006208)

作者简介: 崔大练(1970-), 女, 辽宁 丹东人, 主要从事水土保持研究工作。E-mail: hycl@163.com

通信作者: 马玉心(1965-), 男, 教授, 硕士, 从事植物生理生态学研究。E-mail: donghai8883@163.com

水分是植物生长的重要环境因子之一,我国约有 1/2 的土地面积属于干旱或半干旱地区。植物的生长发育经常会遭受干旱胁迫的影响<sup>[4]</sup>。干旱是各种胁迫环境中最常见、最普遍的逆境因子之一。植物与环境之间是相互联系、又相互制约的一种动态关系<sup>[6]</sup>。不同程度的干旱对植物造成一定胁迫,植物会从形态结构、生理生化等多层次上表现出相关的系统适应性<sup>[5]</sup>。植物幼苗期往往更易受到水分的胁迫;近几年来,揭示这些问题已成为植物科学研究的热点之一,已积累了大量的资料<sup>[7,13-14]</sup>。

紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.) 为豆科紫穗槐属的丛生灌木,耐干旱、瘠薄,是防洪坝土坡、治理沙漠、公路铁路高速路高填方边坡用苗等工程采用的重要植物,被称为固坝护坡的“活钢筋”。用紫穗槐作水土保持植物关键是提高在干旱地方栽种的成活率,马玉心等研究了紫穗槐种子萌发对干旱胁迫响应<sup>[10]</sup>,但对幼苗期抗旱适应能力及在极端环境胁迫下产生抗性胁迫机理研究较少。本文研究长期干旱胁迫对 2 a 生紫穗槐幼苗叶片保护酶活性、渗透性调节物质及水分等生理生化指标含量变化,探讨不同干旱梯度下紫穗槐生理生态对干旱胁迫的响应和调节作用,为在我国干旱、半干旱地区推广种植紫穗槐提供科学理论依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 实验材料培养与处理

1.1.1 材料 本实验选择紫穗槐 2 a 生实生苗作为研究对象。2007 年 4 月中旬将生长基本一致的幼苗移栽到容积为 10 L 的花盆中,每盆 1 株,栽培基质为等体积的园土。将所有盆栽幼苗置于封闭实验大棚内,棚内温度控制在 25℃,苗木在充足供水条件下生长。培养期间要进行适当的管护,防病虫害,保证土壤水充足,使之不会成为苗木生长的限制因子,培养时间为 15 d,5 月初进行胁迫实验。

1.1.2 干旱胁迫实验设计 控水方法采用 Hsiao, T C 的水分梯度法<sup>[2]</sup>,共设 4 个梯度,分别为对照

(CK)、轻度干旱胁迫(LS)、中度干旱胁迫(MS)和重度干旱胁迫(SS),即土壤含水量分别控制在田间持水量(31.4%)的 75%~80%、55%~60%、40%~45%、30%~35%<sup>[11]</sup>。用称重法控制浇水量,每个处理重复 8 盆;胁迫时间为 120 d。

## 1.2 各种生理生化指标的测定

参照 Giannopolitis 等<sup>[1]</sup>的方法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,酶活性以 U/gFW 表示;采用愈创木酚法测定过氧化物酶活性(POD)活性,酶活性以 U/gFW 表示;参照现代植物生理学实验指南(1999)的方法<sup>[6]</sup>,测定脯氨酸含量、蛋白质含量和丙二醛含量;采用苯酚法<sup>[3]</sup>测定可溶性糖的含量;参照汤章城等<sup>[15]</sup>的方法,测定质膜相对透性。

## 1.3 数据处理

数据处理应用 Excel 软件。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同干旱梯度胁迫条件下紫穗槐幼苗叶片保护酶活性变化

SOD 作为抵御活性氧伤害的“第一道防线”能使 O<sub>2</sub> 发生歧化作用而转化为 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub><sup>[8]</sup>,从 SOD 的变化趋势来看,紫穗槐的 SOD 活性高峰出现在 60 d 左右,重度、中度、轻度胁迫条件下的 SOD 活性值分别比初始 SOD 值增加了 185.00%、171.2%、172.76%;从胁迫开始到第 60 天 SOD 活性的波动变化说明紫穗槐幼苗对于干旱胁迫有一个适应过程。紫穗槐 SOD 活性高峰出现得早,在干旱胁迫早期增加 SOD 活性对于提高植物幼苗期抗旱力具有重要作用。随着胁迫时间的延长,酶活性受到破坏,从 80 d 开始活性下降。

POD 的作用是分解由 SOD 产生的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,进一步形成 H<sub>2</sub>O 和 O<sub>2</sub>。因此其作用往往滞后于 SOD,从图 1B 中 40 d 以前 POD 活性变化不大正说明这一点。在紫穗槐幼苗胁迫后期 POD 活性持续上升说明在清除自由基活性氧方面起到重要作用,维持紫穗槐幼苗的正常代谢。

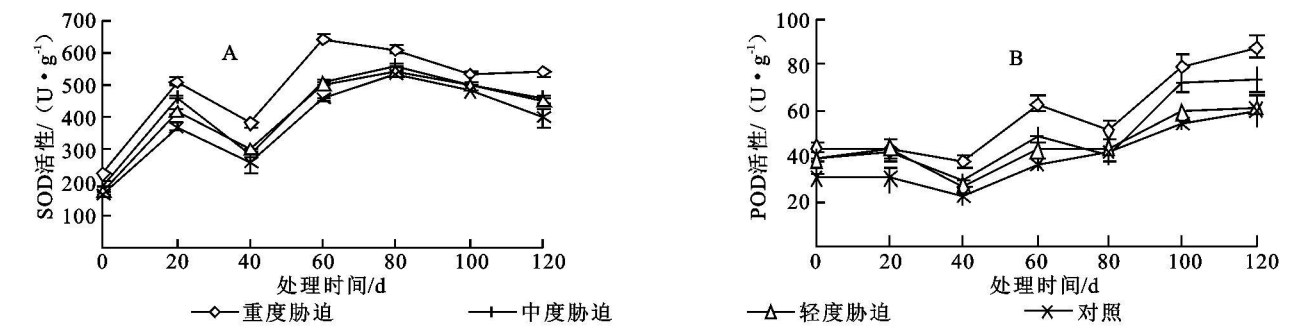


图 1 不同干旱胁迫对紫穗槐叶片 SOD 和 POD 活性的影响

由图 1A 可以看出, 重度干旱处理的紫穗槐幼苗叶片 SOD 活性始终显著高于其他处理 ( $P < 0.01$ ), 中度、轻度干旱处理始终高于对照 ( $P < 0.01$ ), 但是中度和轻度处理差异不显著 ( $F = 0.02725$ ,  $P\text{-value} = 0.87162$ ,  $F_{\text{crit}} = 9.33027$ )。SOD 活性变化从开始到第 60 天表现为先升高后降低再升高的趋势。SOD 活性从 80 d 以后开始下降。

由图 1B 可以看出, 紫穗槐 40 d 以前 3 种胁迫下 POD 活性差异不显著 ( $F = 0.2142$ ,  $P\text{-value} = 0.8184$ ,  $F_{\text{crit}} = 9.5520$ ), 但显著大于对照 ( $p < 0.05$ )。40 d 以后, 重度胁迫下 POD 活性显著大于中度、轻度及对照。轻度与对照差异较小 ( $F = 0.1700$ ,  $P\text{-value} = 0.6909$ ,  $F_{\text{crit}} = 5.3176$ ), 而中度与轻度和对照差异显著。而且 40 d 后 POD 活性始终上升。在紫穗槐在 120 d 时重度、中度、轻度胁迫下的 POD 值比初始值增加了 95.55%、63.55%、36%。

正常情况下, SOD、POD 协调作用使活性氧维持在较低的水平<sup>[4]</sup>。一般来说 SOD、POD 等保护酶是一个平衡体系, 二者协同作用对植物细胞起到保护作用, 在持续干旱过程中 SOD、POD 活性变化并不是一条平滑曲线, 而是一条折线, 体现了植物细胞减轻细胞伤害的适应性反应是逐步完成的, 研究表明, SOD、POD 和 CAT 活性能够较好地反应植物对逆境的适应能力。一般胁迫初期 SOD、POD 活性都要显著提高, 这对植物初始抗旱能力的形成具有重要作用。从本实验结果中可以看出随着胁迫进程的深入, SOD、POD 活性逐渐增加, 体现了植物细胞减轻细胞伤害的适应性反应。

脯氨酸是水溶性最大的氨基酸, 被认为是有效的渗透调节物质<sup>[11-12]</sup>, 脯氨酸不仅可以与细胞中的水分子相结合, 增加组织束缚水, 还能与膜蛋白亲水基相结合保护蛋白质和膜结构<sup>[12]</sup>。从图 2A 可以看出, 在重度、中度、轻度干旱胁迫下, 紫穗槐叶片中的脯氨酸含量明显高于对照。重度胁迫下脯氨酸含量高于中度与轻度, 而且差异显著 ( $p < 0.01$ )。中度与轻度胁迫下紫穗槐叶片的脯氨酸含量接近, 差异不显著 ( $F = 0.0526$ ,  $P\text{-value} = 0.8260$ ,  $F_{\text{crit}} = 5.9873$ )。从 80 d 开始, 各种胁迫下的脯氨酸含量都明显降低。从实验中发现, 中度及轻度胁迫条件下, 脯氨酸含量差异不大, 说明在中度或轻度胁迫条件下, 脯氨酸对土壤水分变化不敏感, 也说明其在抗旱方面可能不是主导作用, 重度胁迫时, 脯氨酸含量明显高于中度和轻度, 说明在极端干旱条件下, 脯氨酸对于植物保水, 提高植物的抗旱能力起到重要作用。

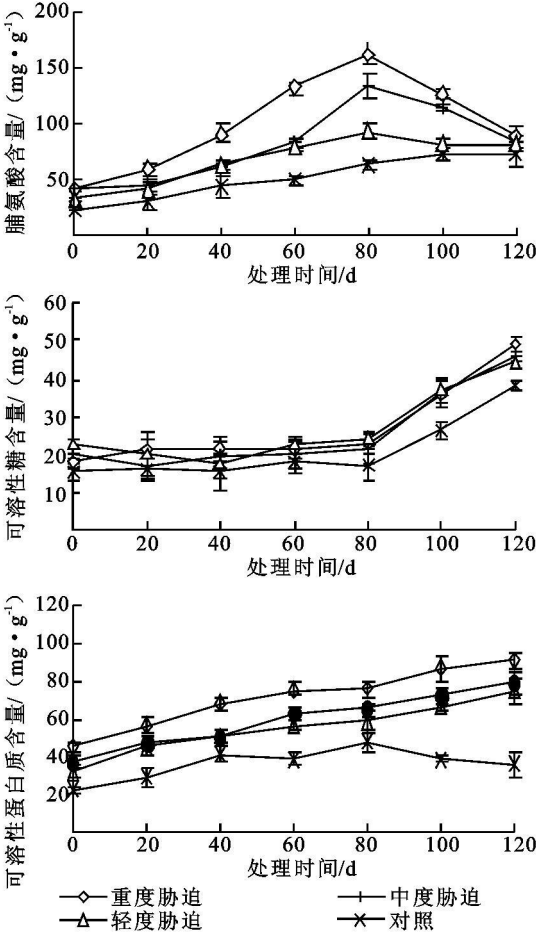


图 2 不同干旱胁迫对紫穗槐叶片渗透调节物质变化影响

2.2 不同干旱梯度胁迫条件下紫穗槐幼苗叶片渗透调节物质含量变化

可溶性蛋白质是重要的渗透调节物质, 植物在干旱胁迫过程中可溶性蛋白质可束缚更多的水分, 减少原生质内因结冰而伤害致死的机会, 从而大大增强了抗旱性<sup>[9]</sup>。从图 2 可以看出, 3 种干旱胁迫条件下植物叶片的可溶性蛋白质含量明显大于对照, 而且随着胁迫进程的深入, 可溶性蛋白质含量逐渐增加, 120 d 时 3 种胁迫条件下可溶性蛋白质比初始值分别增加了 100.4%、110.9%、133.9%。重度胁迫、中度胁迫和轻度胁迫下紫穗槐叶片可溶性蛋白质含量差异不显著。 ( $F = 0.2932$ ,  $P\text{-value} = 0.5980$ ,  $F_{\text{crit}} = 4.7472$ )。从可溶性蛋白质含量变化趋势来看, 从胁迫开始到 80 d 以前, 变化不大, 从 80 d 以后开始明显增高。说明在干旱胁迫后期, 有蛋白质的合成, 可溶性蛋白质能增加植物的抗旱力, 束缚更多的水分。从图 2 可以看出, 胁迫 80 d 以后脯氨酸含量开始降低, 而可溶性蛋白质却明显升高, 二者成明显的负相关, 说明在干旱胁迫的后期脯氨酸参与了蛋白质的合成, 重度胁迫下紫穗槐脯氨酸下降了 45.26%, 可溶性蛋白质增加了 19.39%, 说明有更多的脯氨酸用于蛋白质的合成。

可溶性糖是植物在胁迫条件下细胞内的保护物质,它可有效地提高细胞的渗透浓度,降低水势,增加保水能力,对原生质体起到保护作用。从图 2 可以看出不同干旱胁迫条件下紫穗槐叶片的可溶性糖含量高于对照,但差异不大。重度、中度、轻度胁迫条件下,叶片可溶性糖含量差异不显著 ( $F = 0.0363, P\text{-value} = 0.9644, F_{\text{crit}} = 3.5545$ )。120 d 时可溶性糖含量在 3 种胁迫下比初始值分别增加了 173.6%、128.13%、150.38%。说明糖虽然能调节细胞的渗透压和水势,但在紫穗槐的抗旱锻炼过程中不起主导作用。

2.3 不同干旱梯度胁迫条件下紫穗槐幼苗叶片丙二醛(MDA)及细胞膜透性变化规律

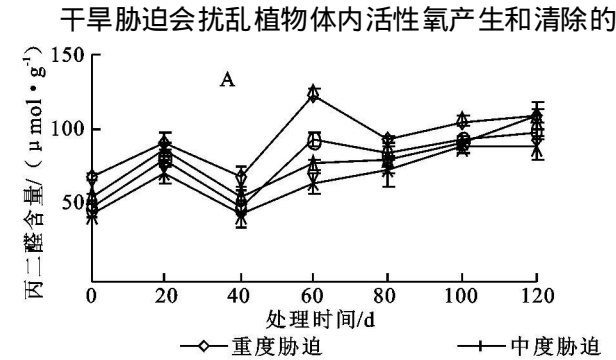


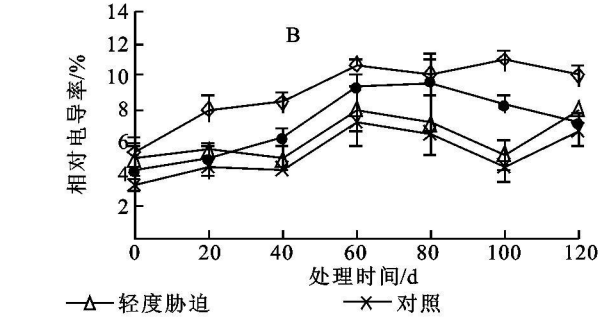
图 3 不同干旱胁迫条件下紫穗槐丙二醛(MDA)及细胞膜透性变化影响

如图 3B 所示,紫穗槐在轻度胁迫条件下叶片细胞膜透性与对照差异不显著 ( $F = 1.39255, P\text{-value} = 0.26083, F_{\text{crit}} = 4.747$ )。中度与重度胁迫条件下,细胞膜透性明显大于轻度与对照,重度与中度差异显著。120 d 时紫穗槐在 3 种胁迫条件下细胞膜透性比初始值分别增加了 86.32%、67.77%、61.39%。细胞膜相对透性的变化与 MDA 含量变化成明显的正相关,表明在重度胁迫下,膜质过氧化产物 MDA 含量增多,植物细胞膜受到更大的伤害。

3 结论

本论文研究了不同干旱梯度胁迫条件下紫穗槐幼苗叶片的保护酶活性变化,渗透调节物质含量变化,膜质过氧化产物、细胞膜相对透性的变化,表明轻度、中度、重度胁迫条件下 SOD、POD 活性明显高于对照,而且随着胁迫时间的延长而逐渐增高。重度胁迫下 SOD、POD 活性与轻度、中度差异显著,对植物生长产生重要胁迫影响。轻度、中度、重度胁迫条件下可溶性蛋白质、脯氨酸含量高于对照,而且随着胁迫时间的延长而增高。重度胁迫下可溶性蛋白质、脯氨酸含量与轻度、中度差异显著,轻度、中度胁迫

平衡,引起活性氧的积累,而作为膜脂过氧化产物的 MDA 能使膜中的酶蛋白发生交联并失活,进一步损伤细胞膜的结构和功能,因此 MDA 含量的变化是质膜损伤程度的重要标志之一<sup>[8]</sup>。如图 3A 所示,紫穗槐在 3 种干旱胁迫下,MDA 含量均高于对照。而且随着胁迫进程的深入,MDA 含量逐渐增加,在重度胁迫条件下 MDA 含量明显高于中度和轻度胁迫条件下 MDA 含量。但中度与轻度胁迫条件下 MDA 含量变化差异不显著 ( $F = 0.01109, P\text{-value} = 0.9178, F_{\text{crit}} = 4.747$ )。120 d 时 3 种胁迫条件下 MDA 含量比初始值分别增加了 56.69%、98.27%、96.52%。从胁迫开始到 60 d,MDA 含量呈现波动变化,其变化趋势与 SOD 变化趋势成正相关。



条件下可溶性蛋白质、脯氨酸含量差异不显著。轻度、中度、重度胁迫条件下,可溶性糖含量差异较小,紫穗槐在 120 d 的增高幅度明显。轻度、中度、重度胁迫条件下 MDA 含量、细胞膜相对透性高于对照,且逐渐增高。重度与轻度、中度差异显著,细胞膜透性变化与 MDA 含量变化成明显的正相关。MDA 含量变化与 SOD 活性变化成正相关。

参考文献:

[1] Giannopolitis C N, Ries S K. Upersoxide dismutase I Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiol, 1977, 59: 309-314.

[2] Hsiao T C. Physiological effects of plant in response to water stress[J]. Ann Rev Plant Physiol, 1973, 24: 519-570.

[3] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-200.

[4] 刘友良. 植物水分逆境生理[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 3-10.

[5] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 93-94.

[6] Larcher W. Physiological plant ecology[M]. Tokyo: Springer-Verlag, 1999: 234-258.

兴< 八五二< 双鸭山。该模型评价结果与集对分析方法评价方法基本一致<sup>[13]</sup>, 见表 2。

表 2 评价结果对比

农 场	评价结果	
	集对分析	基于熵权的模糊物元模型物元模型
友 谊	I ~ II	II
五九七	I ~ II	II
八五二	I	I
八五三	II	II
饶 河	II ~ III	II
二九一	III	II
双鸭山	I	I
江 川	III	II
曙 光	I	I
北 兴	I	I
红旗岭	I	I
宝 山	II	I

3 结 论

由于地下水资源承载力概念的模糊性和评价指标的多样性, 地下水资源承载力评价中权重系数的确定是重点也是难点, 以往的方法如专家评分法等, 在评价指标较多时实现起来困难且具有较强的主观性。文章引入熵权理论, 由评价指标本身所反映的信息无序化效用值来计算权重系数, 避免了计算指标权重的人为干扰, 有效的减少了多指标模糊性评价中权重系数确定的主观性, 从而得出了更加准确、客观、可信评价结果。基于熵权的模糊物元模型计算简便、科学合理, 为三江平原以及其它地区地下水资源承载力评价提供了一种新的评价方法。

参考文献:

[1] 黄妮, 刘殿伟, 王宗明. 1986—2005 年三江平原水田与旱地的转化特征[J]. 资源科学, 2009, 31( 2) : 324-329.

[2] 傅湘, 纪昌明. 区域水资源承载力综合评价: 主成分分析法的应用[ J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8( 2) : 168-173.

[3] 雷能忠, 许峰, 阮丽缘, 等. 多级模糊综合评判在自然资源承载力评价中的应用: 以阜阳地区地下水资源为例[ J]. 安徽技术师范学院学报, 2004, 18( 1) : 53-57.

[4] 王顺久, 杨志峰, 丁晶. 关中原地下水资源承载力综合评价的投影寻踪方法[ J]. 资源科学, 2004, 26( 6) : 104-110.

[5] 蔡文. 物元模型及其应用[ M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994: 22-23.

[6] 付强. 数据处理方法及其农业应用[ M]. 北京: 科学出版社, 2006: 339-341.

[7] 闫文周, 顾连胜. 熵权决策法在工程评标中的应用[ J]. 西安建筑科技大学学报, 2004, 36( 1) : 98-100.

[8] 肖芳淳. 模糊物元贴近度聚类分析的研究[ J]. 新疆石油地质, 1999, 19( 4) : 281-283.

[9] 张鑫, 王纪科, 蔡焕杰, 等. 区域地下水资源承载力综合评价研究[ J]. 水土保持通报, 2001, 21( 3) : 24-27.

[10] 施嘉场. 水资源综合利用[ M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1995.

[11] 惠泱河, 蒋晓辉. 水资源承载力评价指标体系研究[ J]. 水土保持通报, 2000, 21( 1) : 30-34.

[12] 金光炎. 平原地下水资源评价[ M]. 北京: 水利出版社, 1992.

[13] 刘东, 付强, 孟军. 集对分析法在三江平原井灌区地下水资源承载力评价中的应用[ J]. 中国农村水利水电, 2009( 2) : 1-4.

( 上接第 181 页)

[ 7] 李晶, 阎秀峰, 祖元刚. 低温胁迫下红松 幼苗活性氧的产生及保护酶的变化[ J]. 植物学报, 2000, 42( 2) : 148-152.

[ 8] 李霞, 阎秀峰, 于涛. 水分胁迫对黄檗幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[ J]. 应用生态学报, 2005, 16( 12) : 2353-2356.

[ 9] 李雪华, 蒋德明, 阿拉木萨, 等. 科尔沁沙地 4 种植物抗旱性的比较研究[ J]. 应用生态学报, 2002, 13( 11) : 1185-1188.

[ 10] 马玉心, 满秀玲, 崔大练. 紫穗槐种子萌发对水分胁迫的响应[ J]. 种子, 2009, 28( 2) : 46-50

[ 11] 马玉心, 蔡体久, 宋丽萍, 等. 兴安鹿蹄草在雪盖前后丙二醛及渗透调节物质的变化规律[ J]. 生态学报, 2007, 27( 11) : 4596-4602

[ 12] Hare P D, Cress W A, Van staden J. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress [ J]. Plant Cell and Environment, 1998, 21: 535-553

[ 13] 庞晓斌, 毛新国, 景俊凤, 等. 小麦幼苗水分胁迫应答基因表达谱分析[ J]. 作物学报, 2007, 33( 2) : 333-336.

[ 14] Souch C A, Stephens W. Growth productivity and water use in three hybrid poplar clones[ J]. Tree Physiol, 1998, 18: 829-833.

[ 15] 汤章城. 现代植物生理学实验指南[ M]. 北京: 科学出版社, 1999: 302-306.

[ 16] 张志良. 植物生理学实验指导[ M]. ( 3 版). 北京: 高等教育出版社, 2001: 190-191.