西北林学院学报 2009，24(6)：15～19
Journal of Northwest Forestry University

# 午间花棒(*Hedysarum scoparium*)不同器官对水分胁迫的抗氧化保护

龚春梅[1]， 白 娟[1]， 王根轩[2]， 曹翠玲[1]

(1. 西北农林科技大学 生命科学学院，陕西 杨陵 712100；2. 浙江大学 生命科学学院 农业生态工程研究所，浙江 杭州 310058)

**摘 要**：通过测定不同地下水埋深(1.4、2.4、3.4 m)条件下花棒(*Hedysarum scoparium*)抗氧化酶类(SOD、POD和CAT)活性和抗氧化剂类黄酮含量，分析花棒叶和叶轴抗氧化系统在水分胁迫加剧情况下对午间高温干旱的保护作用。结果表明：随土壤水分胁迫加剧，午间花棒叶SOD活性、叶轴SOD活性和叶轴POD活性逐渐增加，叶POD活性、叶CAT活性和叶轴CAT活性先增后减，叶与叶轴的SOD和POD活性比值逐渐减小，花棒叶和叶轴类黄酮的积累增加；且在每一地下水位深度，花棒叶抗氧化酶活性高于叶轴，花棒叶类黄酮相对含量高于叶轴，叶与叶轴类黄酮的比值相近。由此表明，随水分胁迫加剧，花棒叶对午间高温干旱的防御能力均强于叶轴；抗氧化酶活性的增加是花棒应对水分胁迫加剧的策略之一，并且随土壤水分胁迫加剧，叶轴的抗氧化能力逐渐提高；花棒应对水分胁迫加剧的另一策略是叶与叶轴类黄酮相对含量增加，并且增加过程中二者比值保持稳定。

**关键词**：花棒；高温；干旱；抗氧化酶；类黄酮

**中图分类号**：S793.901　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001-7461(2009)06-0015-05

## The Antioxidative Protection Strategies of Different Organs in *Hedysarum scoparium* under Water Stress at Midday

**GONG Chun-mei[1], BAI Juan[1], WANG Gen-xuan[2], CAO Cui-ling[1]**

(1. *College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*; 2. *Institute of Agroecology and Ecoengineering, College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058, China*)

**Abstract**: The aim of this study was to test the protective role of superoxide dismutase (SOD), guaiacol peroxidase (POD), catalase (CAT) and flavonoids against oxidative damage in the different soil water stress conditions at midday with high temperature and drought in *Hedysarum scoparium*. The results showed that the SOD activities of leaves and rachis, the POD activities of rachis increased gradually, and the POD activities of leaves, the CAT activities of leaves and rachis increased firstly and decreased later, and the ratio of SOD, and POD in leaves/rachis declined, and the accumulation of flavonoids increased in leaves and rachis with increasing water stress in midday. In addition, activities of antioxidases were higher in leaves than thonse in rachis, and flavonoids were higher in leaves than those in rachis, and the ratio of flavonoids in leaves/rachis was in a stable level at each depths of ground water. Conclusions were as follows: (1) the capacity of defence to high temperature and drought was stronger in leaves than that in rachis; (2) increasing of antioxidases is a strategy to resist water stress, meanwhile anti oxidative capacity in rachis enhanced gradiently with increasing soil water stress; (3) to increase relative content of flavonoids is another strategy to resist increasing soil water stress, and ratio of flavonoids in leaves/rachis was stable.

**Key words**: *Hedysarum scoparium*; high temperature; drought; the antioxidases; flavonoids

**收稿日期**：2009-05-22　**修回日期**：2009-06-25
**基金项目**：西北农林科技大学人才基金(01140411)；国家自然科学基金(90102015)
**作者简介**：龚春梅，女，讲师，主要从事植物逆境保护及光合碳同化机制研究。

荒漠植物经受着高光强、极端温度、盐渍化、养分匮乏和干旱等多种环境因子的胁迫，其中干旱是影响荒漠植物生长发育，导致植被结构与功能时空变化的主要因子。因此，植物对干旱胁迫的适应机制一直是植物逆境适应策略研究的热点[1-3]。干旱胁迫引起植物各种代谢过程紊乱以及活性氧(ROS)产生与清除的失衡，引起氧化胁迫，细胞膜透性增大，导致植物的伤害与死亡[4-5]。在荒漠植物适应干旱环境过程中，抗氧化保护系统(包括抗氧化酶类和抗氧化剂类)具有清除活性氧的能力，减轻或避免了由干旱逆境导致的植物细胞膜的氧化伤害[5-7]，是荒漠植物抗旱机制的一个重要组成部分。

花棒(*Hedysarum scoparium*)系荒漠和半荒漠地区根系发达、抗逆性强、固沙性能良好的豆科喜光落叶灌木，广泛分布于我国内蒙古、宁夏、甘肃、新疆等省(区)的乌兰布和、腾格里、巴丹吉林、古尔班通古特等沙漠[8]。花棒有根瘤，喜沙埋，能在瘠薄的沙地上旺盛生长[7-8]，因而成为我国荒漠、半荒漠地区的治沙造林先锋树种。目前花棒的研究主要集中在旱生形态结构特征[9]、水分和光合生理适应性[10-11]、克隆生长构型[12]和种群分布特征[8]等方面，而关于花棒不同器官的抗氧化保护系统相关研究则鲜见报道。

以甘肃民勤沙生植物园蒸腾耗水量观测场的荒漠植物花棒为研究对象，通过比较花棒在不同地下水位深度其叶和叶轴抗氧化酶类(超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT))活性、抗氧化剂类黄酮含量的变化，探讨午间高温干旱条件下荒漠植物抗氧化系统在不同土壤水分胁迫和不同器官中的变化特征，研究花棒可能具有的防御途径，为认识荒漠植物在高温干旱逆境中抗氧化保护的特点及生理生态意义，进而为荒漠植物的合理利用及植被优化分布提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地生境条件

试验区位于腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠交汇处、甘肃省治沙研究所民勤沙生植物园内的蒸腾耗水量观测场，海拔 1 378.5 m。试验地内花棒与沙生植物园封护区内的天然白刺、红沙群落形成一体[13]。试验区年平均降水量为 115.0 mm，降水集中在 7—9 月；年均潜在蒸发量 2 643.9 mm，为降水量的 23 倍，年平均气温 7.8℃，极端最高气温 38.1℃，极端最低气温 −28.8℃；无霜期 165 d，风沙日数 139 d，沙尘暴日数 37 d；土壤为风沙土，地下水位 18 m[14]。

### 1.2 方法

1.2.1 *蒸腾耗水量观测场的水分处理* 蒸腾耗水量观测场建立在植物生长的自然环境中，由装满沙土的人工修建栽培池组成。栽培池长、宽均 1 m，深分别为 1.6、2.6、3.6 m。底部卵石和碎石层厚约 11 cm，作为贮水层，其上部为沙丘土，作为营养土层。植物所需水分从栽培池底部供给，由地下水恒位补偿蒸渗仪稳定供水系统保持贮水层水位在一个固定的水面上，人工控制地下水埋深分别维持在 1.4、2.4、3.4 m[14-15]，因而分别对 3 个地下水埋深花棒造成轻度、中度、重度干旱胁迫[10]。1995 年，将 2 a 生花棒移植到栽培池中。每一地下水位深度花棒栽植 4 株重复。

1.2.2 *样品采集* 样品采集时间为 2003 年 8 月。选择晴朗无风天气，在 3 种地下水位深度下，从6:00—21:00，每隔 2 h 采集正常生长的当年生花棒植株中上部生长旺盛的叶及叶轴。将叶位相同的叶和采集部位相似的叶轴平均分成 3 份，其中 2 份迅速投入液氮中冷冻，然后在−80℃下保存，一份用于相对含水量测定，一份用于抗氧化酶活性测定；另一份投入变色硅胶中干燥，干样用于类黄酮相对含量的测定。每一地下水位深度花棒取 4 株重复。

### 1.3 样品测定

1.3.1 *叶及叶轴相对含水量* 参照 Barrs 等[16]的方法。取 0.5 g 左右的叶及叶轴，精确称重(即鲜重)，放入盛有蒸馏水的小烧杯，饱和 24 h，用滤纸吸干叶表面的水分，称重(即饱和鲜重)，然后放入烘箱中于 105℃杀青 0.5 h，并在 80℃条件下烘至恒重后称重(即干重)，计算相对含水量(*RWC*)。

$$RWC(\%)=(\text{鲜重}-\text{干重})/(\text{饱和鲜重}-\text{干重})\times 100\%$$

1.3.2 *抗氧化酶的提取和活性* 分别取 0.4 g 叶及叶轴，加 2.0 mL 50 mmol·$L^{-1}$ 磷酸缓冲液(pH7.8，含 1%不溶性聚乙烯吡咯烷酮和 10 mmol·$L^{-1}$ 巯基乙醇)，冰浴上研磨成匀浆，15 000×g，4℃离心 20 min，上清液 4℃保存备用，用于 SOD、POD 和 CAT 的活性分析。SOD(EC1.15.1.1)活性按照 Dhindsa 等[17]方法测定；POD(EC1.11.1.7)活性参照 Koghba 等[18]方法测定；CAT(EC 1.11.1.6)活性参照 Dhindsa 等[17]和 Cakmak 等[19]方法测定；蛋白质含量按照 Bradford[20]方法测定，以小牛血清白蛋白(BSA Sigma)为标准蛋白。

1.3.3 *类黄酮含量* 类黄酮含量测定参照徐世健等[21]的方法。取叶和叶轴干样各 0.1 g，20 mL 酸

化甲醇(甲醇：水：盐酸 = 79：1：20)处理，3 000 ×g 离心，上清液于 305 nm 处测光吸收值。直接以光吸收值($OD305\ nm \cdot g^{-1}$)表示类黄酮的相对含量。

### 1.4 数据处理

数据分析采用 SPSS 11.0 统计软件进行单因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 花棒叶及叶轴相对含水量(*RWC*)的日变化

研究表明，1.4 m 和 2.4 m 地下水位的花棒叶 *RWC* 日变化较小，变化趋势比较平缓，3.4 m 叶午间 *RWC* 显著低于 1.4 m 和 2.4 m，日变化呈现早晚高、午间低的变化趋势。3 种地下水位深度叶 *RWC* 均在15:00最低(图 1 a)，且 1.4 m 大于 2.4 m，但均大于 3.4 m(差异显著)(表 1)。花棒叶轴 *RWC* 日变化明显，不同地下水位深度叶轴 *RWC* 变化趋势相似，均为早晚高、午间低，也在 15:00 最低(图 1 b)，*RWC* 是 1.4 m > 2.4 m > 3.4 m，差异显著(表 1)。可见，15:00 左右是花棒遭受大气干旱最严重的时段，此时也是当地气温最高的时段[10]，成为比较花棒不同器官、不同土壤水分条件下抗氧化能力的典型时段。

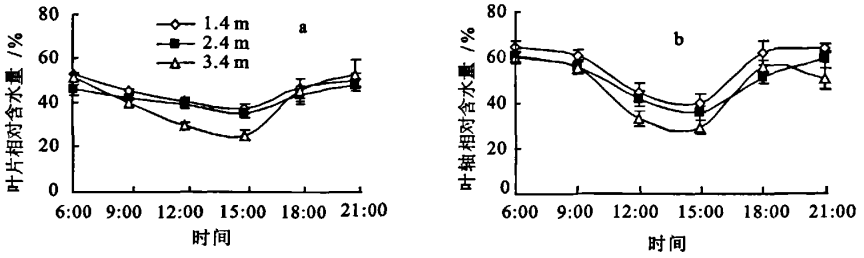



**图 1　不同地下水位花棒叶(a)及叶轴(b)相对含水量日变化**

Fig. 1　Relative water contents in leaves(a)and rachis(b)of *H. scoparium* at different depths of ground water

**表 1　午间 15:00 花棒叶和叶轴的相对含水量①**

Table 1　Relative water content in leaves and rachis of *H. scoparium*

| 地下水位深度 / m | 叶 RWC / % | 叶轴 RWC / % |
|---|---|---|
| 1.4 | 37.58±2.05a | 40.00±3.85a |
| 2.4 | 35.62±2.10a | 35.78±2.89b |
| 3.4 | 25.87±2.39b | 29.43±3.09c |

①同列不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。

### 2.2 不同地下水位深度花棒午间的抗氧化保护特征

研究表明，花棒叶和叶轴 SOD、POD 和 CAT 活性以及类黄酮相对含量在 15:00 达到最大。因此，选用 15:00 这一时段的花棒抗氧化保护研究结果来分析花棒抵御午间高温干旱胁迫的策略。

2.2.1　*不同地下水位深度花棒叶及叶轴抗氧化酶活性的变化*　图 2 a 为花棒叶及叶轴 15:00 的 SOD 活性。花棒叶 SOD 活性显著高于叶轴，叶与叶轴 SOD 活性均随地下水位的降低逐渐升高，表明在大气干旱程度最大和气温最高的午间，花棒叶和叶轴 SOD 活性随土壤干旱胁迫加剧而增加。但叶和叶轴升高幅度不同，在 1.4 m 地下水位，叶 SOD 活性是叶轴的 8 倍多；2.4 m 地下水位，叶是叶轴的 6 倍多，3.4 m 地下水位，叶是叶轴的 3 倍多。与叶相比，午间叶轴 SOD 清除活性氧的能力随土壤干旱胁迫加剧而提高。

图 2 b 显示花棒叶及叶轴 15:00 的 POD 活性变化。花棒叶 POD 活性随地下水位的降低呈现先升高后降低的趋势，从 1.4 m 到 2.4 m 地下水位，叶 POD 活性升高，到 3.4 m 地下水位，叶 POD 活性反而下降。花棒叶轴 POD 活性却随地下水位降低而逐步升高。在 1.4 m 地下水位，叶 POD 活性是叶轴的 2.4 倍；2.4 m 地下水位，叶是叶轴的 1.9 倍；3.4 m地下水位，叶是叶轴的 1.1 倍。与叶相比，午间叶轴 POD 清除活性氧的能力随土壤干旱胁迫加剧而提高。

图 2 c 显示花棒叶及叶轴 15:00 的 CAT 活性变化。叶和叶轴 CAT 活性均随地下水位的降低先升高后降低，且叶随土壤水分胁迫加剧 CAT 活性变化显著，而叶轴 CAT 活性变化不太显著。轻度土壤水分胁迫使叶 CAT 活性升高较快，重度土壤水分胁迫使叶 CAT 活性降低较快。在 1.4 m 地下水位，叶 CAT 活性是叶轴的 1.7 倍；2.4 m 地下水位，叶是叶轴的 2.5 倍；3.4 m 地下水位，叶是叶轴的 1.4 倍。与叶相比，叶轴清除活性氧的能力在中度胁迫下降低，在重度胁迫下又回升。

2.2.2　*不同地下水位深度类黄酮含量*　花棒叶与叶轴 15:00 类黄酮相对含量随地下水位的降低而增加(图 3)，每一地下水位深度叶的类黄酮相对含量高于叶轴，反映了叶比叶轴高的抵御午间高温干旱

的能力。在1.4 m地下水位，叶类黄酮相对含量是叶轴的1.3倍；2.4 m地下水位，叶是叶轴的1.4倍，3.4 m地下水位，叶是叶轴的1.2倍。3个地下水位深度花棒叶与叶轴类黄酮相对含量的比值接近，并未随土壤干旱胁迫加剧而产生较大改变。

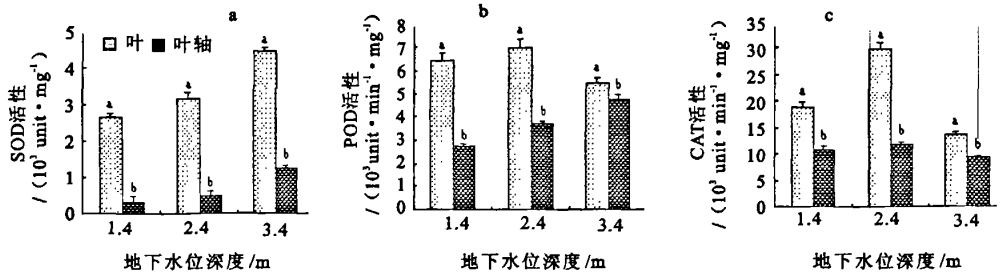



图2 花棒叶和叶轴SOD (a)、POD (b)和CAT (c)活性

(图中不同字母表示每一地下水位深度叶和叶轴间差异显著，$p<0.05$，下同)

Fig. 2 Changes of SOD activity(a), POD activity(b) and CAT activity(c) in leaves and rachis of *Hedysarum scoparium* at different DGW(Leaves and rachis in each depth of ground water indicated by the same letter do not differ statistically significantly from each other, $p<0.05$)

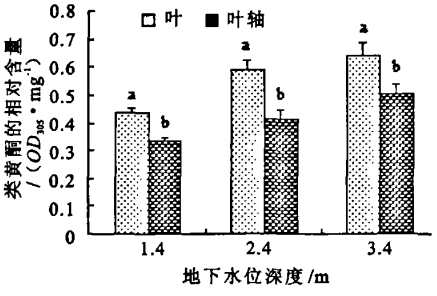



图3 花棒叶及叶轴类黄酮含量

Fig. 3 Changes of flavonoids in leaves and rachis of *H. scoparium* at different depths of ground water

## 3 结论与讨论

研究表明，午间高温时花棒叶的抗氧化保护作用强于叶轴，且叶和叶轴SOD活性、叶轴POD活性及叶和叶轴类黄酮含量随地下水位深度的增加而增加；与叶相比，午间叶轴抗氧化酶清除活性氧的能力随干旱胁迫加剧而增加；但叶较叶轴高的类黄酮抗氧化保护作用并未随土壤干旱胁迫加剧而发生变化。以上结果说明，午间花棒叶与叶轴抗氧化酶活性和类黄酮相对含量与干旱胁迫程度呈正相关，尤其是叶轴随土壤水分胁迫加剧其抗氧化酶清除活性氧的能力提高，具有极大的抗氧化保护潜力，体现了花棒叶轴对适应干旱环境的贡献。由此揭示了花棒面临土壤干旱与大气干旱双重胁迫的抗氧化保护策略，对解释荒漠植物的环境适应性具有重要意义。

SOD的主要功能是催化超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)发生歧化反应产生$H_2O_2$，消除$O_2^{\cdot-}$的毒害作用[22]；CAT清除组织中高浓度$H_2O_2$，由于$H_2O_2$会使SOD缓慢失活，因此CAT还间接对SOD起保护作用，低浓度$H_2O_2$清除通过POD在氧化相应基质(如酚类化合物)时完成[6]。在3.4 m地下水位，叶和叶轴SOD活性较1.4 m和2.4 m地下水位为高，而POD和CAT活性较1.4 m和2.4 m地下水位为低。推测重度水分胁迫下花棒叶片主要受到$O_2^{\cdot-}$的毒害，SOD活性增加是其抵御严重干旱胁迫的方式之一，POD和CAT活性增加可能是轻度和中度水分胁迫时叶片的防御手段。盆栽试验表明，花棒幼苗在中度干旱胁迫时通过抗氧化保护系统减轻活性氧伤害；重度干旱胁迫时前中期亦能增强自身的抗氧化能力，后期因部分活性氧清除机制受到破坏而使抗氧化能力降低[7]。与花棒有所不同，荒漠地区芦苇叶片SOD活性在土壤含水量较低时显著增加，POD活性在土壤含水量较高的盐渍化生境和含水量很低的沙丘生境中都比较高[22]；沙棘叶片在轻度和中度干旱胁迫时SOD、POD活性增加[23]。与花棒叶相比，午间叶轴SOD和POD活性随土壤水分胁迫加剧而逐渐升高；叶轴SOD活性显著低于叶片，轻度、中度土壤水分胁迫时叶轴POD和CAT活性可以达到叶片的一半。说明花棒叶发挥抗氧化作用之际，叶轴也起到了一定的保护作用。干旱胁迫条件下荒漠植物的保水能力加强，提高了抗旱性[24]，而抗旱能力的提高又与保护酶活性变化呈正相关[25-26]，也反映了植物保水力与抗氧化保护系统的协同作用。花棒叶与叶轴SOD、叶轴POD活性在午间均随干旱胁迫的加剧而升高，是水分胁迫加剧花棒的抗旱策略之一。

类黄酮的抗氧化作用包括抗羟自由基活性、抗脂质过氧化活性、抗氧及单线态氧活性、抗超氧阴离子自由基活性和金属螯合活性[27-28]。同时，它还具

有吸收紫外线、防止水分蒸发和调节新陈代谢的作用。目前,在豆科植物中已分离并鉴定了一些类黄酮的化学结构[29]。午间土壤水分胁迫使花棒叶和叶轴类黄酮含量均升高,随着水分胁迫的加剧,类黄酮的积累增加,是花棒对干旱加剧的又一适应策略。而且不同地下水位的花棒叶类黄酮含量高于叶轴,反映了叶片比叶轴具有较强的高温干旱防御能力。另外,3 种地下水位深度花棒叶和叶轴类黄酮相对含量的比值维持在同一水平,说明叶与叶轴类黄酮的抗氧化能力不随土壤干旱胁迫加剧而变化。这可能是植物抵御高温、干旱、紫外线和清除活性氧等多重作用的结果。

**参考文献:**


[1] 鲁萍,桑卫国,马克平. 外来入侵种飞机草在不同环境胁迫下抗氧化酶系统的变化 [J]. 生态学报, 2006, 26 (11): 3578-3585.

[2] 杨帆,苗灵凤,胥晓,等. 植物对干旱胁迫的响应研究进展 [J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13 (4): 586-590.

[3] 王红梅,包维楷,李芳兰. 不同干旱胁迫强度下白刺花幼苗叶片的生理生化反应[J]. 应用与环境生物学报, 2008, 14 (6): 757-762.

[4] POLLE A. Dissecting the superoxide dismutase-ascorbate peroxidase-glutathione pathway in chloroplasts by metabolic modeling: Computer stimulations as a step towards flux analysis [J]. Plant Physiology, 2001, 126, 445-462.

[5] 赵丽英,邓西平,山仑. 活性氧清除系统对干旱胁迫的响应机制[J]. 西北植物学报, 2005, 25(2): 413-418.

[6] MITTLER R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance [J]. Trends in Plant Science, 2002, 7 (9): 405-409.

[7] 韩刚,党青,赵忠. 干旱胁迫下沙生灌木花棒的抗氧化保护响应研究 [J]. 西北植物学报, 2008, 28(5): 1007-1013.

[8] 刘俊霞,袁登胜,袁秀英. 花棒群落物种多样性及其种群空间分布格局的研究 [J]. 西北林学院学报, 2008, 23 (5) : 55-59.

[9] 韩刚,李少雄,徐鹏,等. 6 种灌木叶片解剖结构的抗旱性分析[J]. 西北林学院学报, 2006, 21 (4) : 43-46.

[10] GONG C M, GAO X W, CHENG D L, *et al*. C4 photosynthetic characteristics and antioxidative protection of C3 desert shrub *Hedysarum scoparium* in northwest china [J]. Pakistan Journal of Botany, 2006, 38: 647-661.

[11] 柏新富,朱建军,赵爱芬,等. 几种荒漠植物对干旱过程的生理适应性比较 [J]. 应用与环境生物学报, 2008, 14(6): 763-768.

[12] 袁秀英,袁登胜,白玉明. 固定和半固定沙丘花棒克隆生长构型的比较研究 [J]. 西北林学院学报, 2006, 21 (6) : 32-34.

[13] 郭志中,赵明. 蒸腾耗水量观测场的建立 [J]. 中国沙漠, 1988, 8 (1): 48-56.

[14] 赵广东,刘世荣,马全林. 沙木蓼和沙枣对地下水位变化的生理生态响应 I. 叶片养分、叶绿素、可溶性糖和淀粉的变化 [J]. 植物生态学报, 2003, 27 (2): 228-234.

[15] 张志强,王盛萍,贾宝全,等. 甘肃民勤地区不同地下水埋深花棒蒸腾耗水研究 [J]. 生态学报, 2004, 24 (4): 736-742.

[16] BARRS H D, WEATHERLEY P E. A re-examination of the relative turgidity technique for the estimating of water deficits in leaves [J]. Australian Journal of Biological Sciences, 1962, 15: 413-428.

[17] DHINDSA R S, DHINDSA P P, THORPE T A. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeality and lipid peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase [J]. Journal of Experimental Botany, 1981, 32 (126): 93-101.

[18] KOGHBA J, LAVEE S, SPIEGEL-ROY P. Difference in peroxidase activity and isoenzymes in embryogenic are non-embrygenic shamouti orange ovular callus lines [J]. Plant and Cell Physiology, 1977, 18: 832-834.

[19] CAKMAK I, MARSCHNER H. Magnesium deficiency and high light intensity on enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glatation reductase in bean leaves [J]. Plant Physiology, 1992, 98: 1222-1227.

[20] BRANDFORD M M. A rapid and sensitive methods for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Analytical Biochemistry, 1976, 55: 1832-1833.

[21] 徐世健,安黎哲,冯虎元,等. 两种沙生植物抗旱生理指标的比较研究 [J]. 西北植物学报, 2000, 20 (2): 224-228.

[22] 龚春梅,宁蓬勃,王根轩,等. 沿绿洲-荒漠过渡带水分梯度分布的芦苇抗氧化保护机理 [J]. 草业学报, 2007, 16(4): 41-46.

[23] 李丽霞,赵吉强,韩蕊莲. 干旱胁迫对沙棘抗氧化酶的影响 [J]. 烟台大学学报:自然科学与工程版, 2006, 19(1): 30-34.

[24] 李彦瑾,赵忠,孙德祥,等. 干旱胁迫下柠条锦鸡儿的水分生理特征 [J]. 西北林学院学报, 2008 , 23 (3) : 1-4.

[25] 孙国荣,彭永臻,阎秀峰,等. 干旱胁迫对白桦实生苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响 [J]. 林业科学, 2003, 39 (1): 165-167.

[26] 陈吉虎,余新晓,孙明高,等. 北方旱区不同树种抗氧化酶活性变化及与抗旱性的关系 [J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 120-125.

[27] MOURE A, CRUZ J M, FRANCO D, *et al*. Natural antioxidants from residual sources [J]. Food Chemistry, 2001, 72: 145-171.

[28] AFANASEV I B, DOROZHKo A L, BRODOSKI A V, *et al*. Chelating and free radical scavenging mechanisms of inhibitory action of rutin and quercetin in lipid peroxidation [J]. Biochemical Pharmacology, 1989, 38: 1763-1769.

[29] 马彦梅,周文明,李炳奇. 宽苞棘豆黄酮类化学成分的研究 [J]. 西北林学院学报, 2009 , 24 (1) : 140-141.