

水分胁迫对 4 种菊科蒿属植物抗氧化特性的影响

王 勇¹, 韩蕊莲², 梁宗锁^{1,2}

(1 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100;
2 中国科学院 水利部 水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 **【目的】**研究菊科蒿属植物适应土壤干旱条件的抗氧化特性,为揭示生态恢复过程中植被演替的规律提供理论依据。**【方法】**以黄土高原演替初期阶段的猪毛蒿(*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit.)、芨蒿(*Artemisia giraldii* Pamp.)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm.) 3 种优势种和 1 种常见种黄花蒿(*Artemisia annua* Linn.) 为供试材料,采用盆栽试验,利用称质量控水法,将土壤含水量分别控制在田间最大持水量的 75%(适宜水分对照)、55%(中度水分胁迫)和 35%(重度水分胁迫),测定不同水分胁迫条件下 4 种菊科蒿属植物超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)的活性,以及丙二醛(MDA)、抗坏血酸(Vc)、类胡萝卜素(Car)含量的变化,并采用隶属(反隶属)函数法对 4 种菊科蒿属植物的抗氧化特性进行了综合评价。**【结果】**在水分胁迫条件下,铁杆蒿具有相对最高的 SOD 活性和最低的 POD 活性;猪毛蒿的 CAT、POD 活性相对偏低,其余各项指标的活性和含量相对均衡,膜脂过氧化程度较低;芨蒿有相对最高的 CAT 活性、Vc 含量、膜脂过氧化程度和最低的 Car 含量;黄花蒿有相对最高的 POD 活性、Car 含量和相对最低的 Vc 含量、SOD 活性、膜脂过氧化程度。4 种蒿属植物铁杆蒿、猪毛蒿、芨蒿、黄花蒿在水分胁迫下的抗氧化特性隶属值分别为 0.369, 0.418, 0.428, 0.514。**【结论】**在水分胁迫条件下,4 种菊科蒿属植物的抗氧化特性差异较大,综合评价认为,黄花蒿整体抗氧化能力最强,芨蒿、猪毛蒿次之,铁杆蒿最弱。

【关键词】 菊科蒿属植物;抗氧化酶;抗氧化剂;抗旱性
【中图分类号】 Q945.79 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-9387(2010)10-0178-09

Anti-oxidative responses to soil water stress
for four *Artemisia* species

WANG Yong¹, HAN Rui-lian², LIANG Zong-suo^{1,2}

(1 College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Research Center of Soil and Water Conservation and Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** Anti-oxidative responses of *Artemisia* species under drought environment were studied to reveal the drought resistance mechanism of vegetation in the succession process of ecological restoration. **【Method】** *Artemisia scoparia* Waldst. et Kit., *Artemisia giraldii* Pamp., and *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm. as three dominant species during early succession in the Loess Plateau, while *Artemisia annua* Linn. as conventional species, were selected to investigate physiological adaptation to soil water stress in the aspect of anti-oxidative responses. Pot experiment was adopted to control the soil water content to the level as 75% of field moisture capacity (controlling water), 55% (medial water stress), and 35% (severe water stress) respectively. During the period of water stress, the activity of SOD (superoxide dis-

* **【收稿日期】** 2010-03-03
【基金项目】 中国科学院知识创新项目(KZCX2-XB2-05-01);中国科学院重要方向项目(KZCX2-YW-443)
【作者简介】 王 勇(1984—),男,陕西旬阳人,在读硕士,主要从事植物逆境生理生态研究。E-mail: dhwang@nwsuaf.edu.cn
【通信作者】 梁宗锁(1965—),男,陕西扶风人,教授,博士生导师,主要从事植物抗逆生理生态研究。
E-mail: liangzs@ms.iswc.ac.cn

mutase), CAT(catalase), POD(peroxidase), MDA(malondialdehyde) content, Vc(vitamin C) content, and Car(carotenoid) content were measured periodically. And membership function was used to evaluate the anti-oxidative capacity of four *Artemisia* species. 【Result】 Under water stress condition, the antioxidative indexes of 4 *Atermisia* species were analysed. The result showed that, *A. gmelinii* had maximum in SOD activity and minimum in POD activity; *A. scoparia* had relatively low activity in CAT, POD and MDA content; *A. giraldii* had maximum in CAT activity, Vc content, MDA content and minimum in Car content; *A. annua* had maximum in POD activity, Car content and minimum in SOD activity, Vc content, MDA content. The membership function values of anti-oxidative capacity of four *Artemisia* species were 0.369 (*A. gmelinii*), 0.418 (*A. scoparia*), 0.428 (*A. giraldii*) and 0.514 (*A. annua*). 【Conclusion】 Comprehensive analysis of the subordinate function showed that the anti-oxidative capacity of four *Artemisia* species listed as *A. annua* > *A. giraldii* > *A. scoparia* > *A. gmelinii*.

Key words: *Artemisia*; enzymatic antioxidant; non-enzymatic antioxidant; drought resistance

黄土高原地区是典型的干旱、半干旱地区,也是我国水土流失最为严重的地区。陕北黄土丘陵区,隶属于温带大陆性季风气候,年均气温为 6~14℃,年均降水量为 200~700 mm,形成了该地区特有的干燥、温差大的生态环境^[1]。由于人类活动造成黄土高原生态系统退化和水土流失,在黄土高原地区出现了以旱化为主要特征的土壤退化现象,制约了植被恢复进程。然而在这种干旱的环境下,菊科蒿属植物以其自身独特的生理生态特征作为先锋物种,出现在黄土高原撂荒地次生演替的各个阶段^[2-4]。作为该区域自然演替序列早期的优势建群物种,猪毛蒿(*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit.)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm.)、芨蒿(*Artemisia giraldii* Pamp.)等菊科蒿属植物在自然植被演替序列发展前期适应了干旱环境,对土壤养分及微环境的改造产生了重要的影响^[4-8]。大量研究表明^[9-12],干旱等逆境对植物的伤害首先体现在活性氧代谢失衡,如过氧化氢(H₂O₂)、超氧阴离子(O₂⁻)、单线态氧(¹O₂)、羟基自由基(·OH)的含量增加,而这些活性氧通过氧化脂肪酸、蛋白质和核酸来破坏质膜的结构。在植物体中,细胞组织存在抗氧化酶系统(超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、谷胱甘肽转移酶(GR))和非酶抗氧化剂(抗坏血酸(Vc)、类胡萝卜素(Car)、生育酚(V_E)、谷胱甘肽),两者协同作用来减轻活性氧造成的伤害,维持活性氧代谢平衡。许多文献报道^[13-18],增强抗氧化酶活性可以增加植物抵抗不利环境的能力。

目前,关于陕北撂荒地菊科蒿属植物的研究已有许多报道,但多集中在群落演替、种间竞争、水分平衡、形态解剖等方面^[19-22],而对于该地区演替优势

种抗氧化特性的研究还较少。因此,本研究选取黄土高原演替初期阶段的 3 种优势种(猪毛蒿(*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit.)、芨蒿(*Artemisia giraldii* Pamp.)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm.))和 1 种黄土高原常见种黄花蒿(*Artemisia annua* Linn.),测定不同水分胁迫条件下,以上 4 种植物叶片中脂质过氧化产物(丙二醛(MDA))、抗氧化酶(SOD、CAT、POD)活性和非酶抗氧化剂(Vc、Car)含量的变化,旨在从抗氧化特性方面阐明其适应土壤干旱的生理机制,为黄土高原干旱半干旱条件下的生态恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

猪毛蒿、铁杆蒿、芨蒿和黄花蒿的种子,于 2008-11 采自陕北黄土丘陵沟壑区安塞县高桥乡的自然植物群落中,室内自然风干后,选取籽粒饱满的种子密封置于室外自然过冬,于 2009 年 4 月初播种于中国科学院水土保持研究所干旱防雨棚内。

1.2 试验设计

采用盆栽试验,所用盆栽塑料桶规格为 22 cm(高)×24 cm(内径),盆栽土壤为关中塬土,田间最大持水量为 28%。试验设适宜水分(对照)、中度、重度水分胁迫 3 个水分处理,其土壤含水量分别占田间最大持水量的 75%,55%和 35%,每处理 4 桶重复。桶内土壤水分充分饱和,播种发芽后,全部浇水至适宜水分,待所有幼苗长到三叶期时,每桶留取生长健壮一致的幼苗 8 株。从 5 月下旬开始选择性浇水,使各个处理的土壤含水量达到设定水平,之后每隔 2 d 用电子秤(精度 0.005 kg)称量 1 次各桶质量,按试验设计土壤含水量补充水分,以保证各个处

理水平的土壤水分含量。

1.3 样品采集

于 06—08 每隔 15 d 采集健康无病害的功能叶,测定各项指标。

1.4 测定项目及方法

MDA 含量采用硫代巴比妥酸法测定^[23],SOD 活性采用氮蓝四唑(NBT)法测定,CAT 活性采用紫外吸收法测定,POD 活性采用愈创木酚显色法测定,Vc 含量采用钼蓝比色法测定^[24],Car 含量采用体积分数 80%丙酮提取法测定^[25]。

1.5 抗氧化特性综合评价

采用模糊数学的隶属(反隶属)函数法,通过计算每种指标隶属值的平均值,对 4 种蒿属植物的抗氧化特性进行综合分析。具体计算公式如下。

(1) 如果指标与抗氧化特性成正相关,则 $X(u)=(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$;

(2) 如果指标与抗氧化特性成负相关,则 $X(u)=1-(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$ 。

式中: X 为某一指标测定值, $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 分别为所有品种中该指标的最大值和最小值。最后每个种各项指标隶属值($X(u)$)累加,取平均值,根据各个种的平均值大小确定抗氧化性强弱,如果平均值越大,则抗氧化性越强。

1.6 数据处理

用 Excel 2003 整理试验数据,DPS 7. 55 软件进行统计分析,新复极差进行多重比较,字母法标记显著水平。

2 结果与分析

2.1 3 种水分胁迫条件下 4 种蒿属植物 MDA 含量的变化

MDA 含量可以反映植物在逆境条件下的脂质过氧化程度。由图 1 可见,随着水分胁迫时间的延长,猪毛蒿和黄花蒿 MDA 含量的变化趋势相似,即 0~45 d 时 MDA 含量变化幅度较小,45 d 后变化幅度逐渐增大。铁杆蒿在中度、重度水分胁迫下,MDA 含量的第 1 个峰值分别出现在第 30,15 天,而对照在前 45 d MDA 含量基本无变化,之后逐渐增加。在适宜水分(对照)条件下,茭蒿的 MDA 含量随着植株生长逐渐升高,45 d 时达到峰值;在中度水分胁迫条件下,MDA 含量呈波动变化,波谷出现在 30 和 60 d;而严重水分胁迫条件下,MDA 含量 15 d 时出现第 1 个峰值,30 d 时降到最低,之后持续上升,并超过适宜水分(对照)和中度水分胁迫。在胁迫中后期,重度水分胁迫下每种蒿属植物的 MDA 含量均高于中度水分胁迫和适宜水分(对照)。

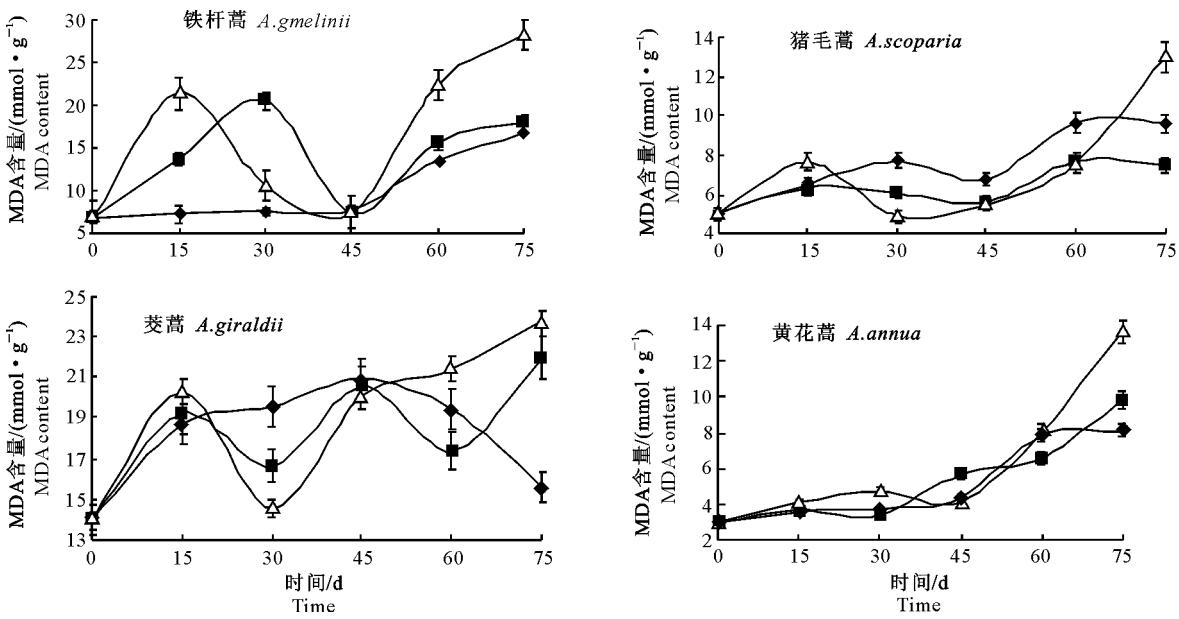


图 1 水分胁迫对 4 种蒿属植物 MDA 含量的影响
—◆—, 对照; —■—, 中度水分胁迫; —△—, 重度水分胁迫

Fig. 1 Effect of water stress on the MDA content of four *Artemisia* species

—◆—, CK; —■—, Medial water stress; —△—, Severe water stress

2.2 3 种水分胁迫条件下 4 种蒿属植物抗氧化酶活性的变化

2.2.1 SOD 活性 由图 2 可见,0~30 d,铁杆蒿在适宜水分和轻度水分胁迫下 SOD 活性变化基本稳定,重度水分胁迫下 SOD 活性先升高后降低;猪毛蒿 SOD 活性在 3 种水分胁迫条件下变化差异不大;茺蒿 SOD 活性在 3 种水分胁迫条件下均先升高后降低,在第 15 天时差异显著;黄花蒿 SOD 活性变化与铁杆蒿相似,仅重度水分胁迫下第 15 天时小幅升高。30~45 d,4 种蒿属植物 SOD 活性变化一致,均

急剧升高,且 3 种水分胁迫条件下无差异。45~75 d,铁杆蒿和茺蒿 SOD 活性变化相似,达到峰值后迅速下降,且 3 种水分胁迫条件下无差异;猪毛蒿和黄花蒿 SOD 活性在适宜水分(对照)条件下,基本呈直线下降,在轻度和重度水分胁迫下变化趋势一致,下降的趋势先慢后快。在整个生长阶段,4 种蒿属植物 SOD 活性呈“S”型变化,除茺蒿适宜水分(对照)条件外,其余各条件下的 SOD 活性峰值出现在 45~60 d。

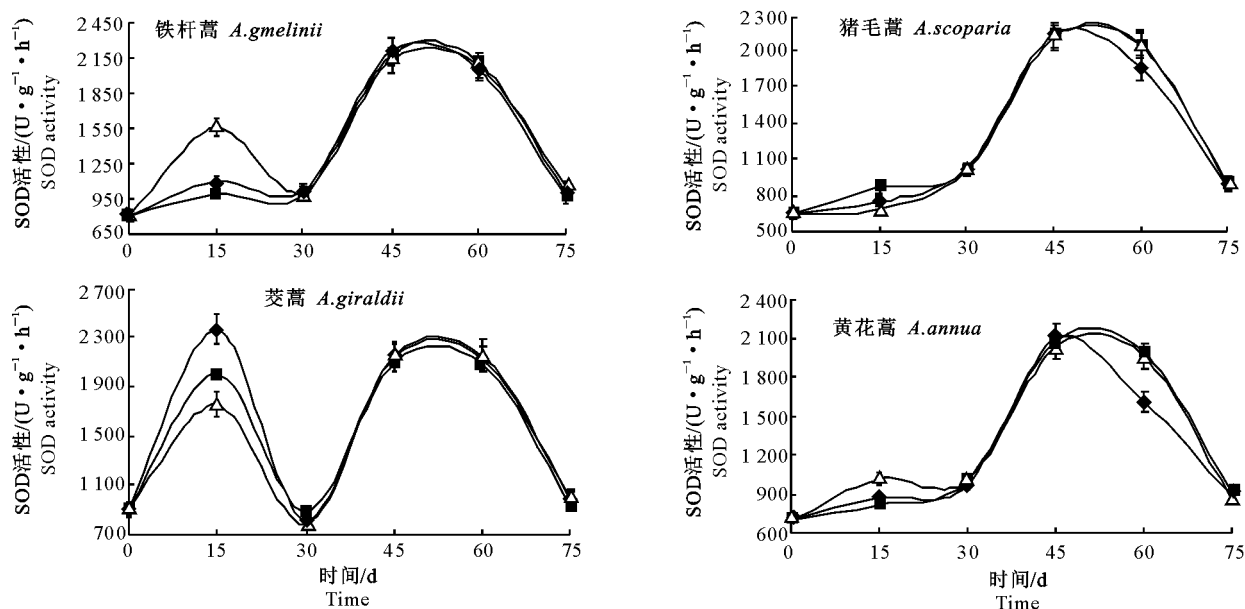


图 2 水分胁迫对 4 种蒿属植物 SOD 活性的影响

—◆—, 对照; —■—, 中度水分胁迫; —△—, 重度水分胁迫

Fig. 2 Effect of water stress on the SOD activity of four *Artemisia* species

—◆—, CK; —■—, Medial water stress; —△—, Severe water stress

在整个生长阶段,4 种蒿属植物 SOD 活性表现为铁杆蒿>茺蒿>猪毛蒿和黄花蒿($P<0.01$);水分胁迫处理对其影响不显著,说明与对照相比,轻度和重度水分胁迫处理下,4 种蒿属植物叶片中 SOD 活性无显著差异。在 30~45 d,4 种蒿属植物叶片中的 SOD 活性均急剧升高,但不同水分胁迫处理间差异不显著,主要原因可能是这一时期受到了较高气温的影响。

2.2.2 CAT 活性 由图 3 可见,除茺蒿外,其他蒿属植物叶片 CAT 活性均呈双峰型,最大峰值出现在 60 d。在重度水分胁迫的初期,铁杆蒿 CAT 活性减弱,胁迫中期 CAT 活性逐渐升高。在猪毛蒿整个生长阶段,重度水分胁迫处理 CAT 活性小于对照和轻度胁迫。在 0~45 d,茺蒿的 3 个水分胁迫处理 CAT 活性差异不明显;在 45~75 d,各个水分

胁迫处理 CAT 活性上升,其中对照在 60 d 达到最大值后迅速降低,而轻度、重度水分胁迫处理的 CAT 活性均逐渐增加。在重度水分胁迫初期,黄花蒿 CAT 活性升高很快,之后逐渐下降并小于对照和轻度水分胁迫。在整个生长阶段,4 个蒿属植物 CAT 活性表现为茺蒿>铁杆蒿>黄花蒿>猪毛蒿($P<0.05$)。

2.2.3 POD 活性 由图 4 可见,4 种蒿属植物 POD 活性的变化规律不同。3 种水分胁迫条件下,铁杆蒿和猪毛蒿 POD 活性基本表现为对照>重度、轻度水分胁迫;茺蒿 POD 活性表现为重度水分胁迫>对照、轻度水分胁迫;在重度水分胁迫下黄花蒿 POD 活性一直较低。从整体趋势来看,铁杆蒿的 POD 活性呈上升趋势,直至第 60 天之后呈下降趋势;适宜水分(对照)条件下,猪毛蒿的 POD 活性先

升高后降低,峰值出现在第 60 天,而中度、重度水分胁迫下,POD 活性在前 60 d 呈波动性变化,之后急剧上升;芫蒿的 POD 活性在适宜水分(对照)条件下呈现稳定升高趋势,而在中度、重度水分胁迫下呈现

波动性升高;黄花蒿在适宜水分(对照)和重度水分胁迫条件下,POD 活性呈现交替波动变化,而中度水分胁迫在第 60 天出现 1 个峰值。

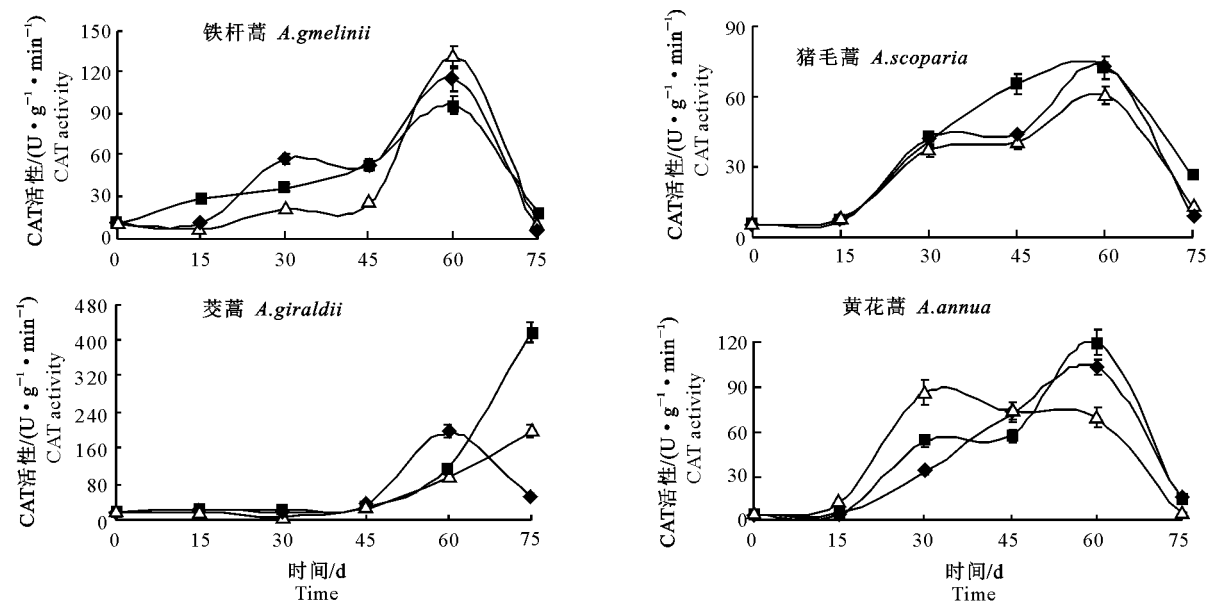


图 3 水分胁迫对 4 种蒿属植物 CAT 活性的影响

—◆—, 对照; —■—, 中度水分胁迫; —△—, 重度水分胁迫
Fig. 3 Effect of water stress on the CAT activity of four *Artemisia* species
—◆—, CK; —■—, Medial water stress; —△—, Severe water stress

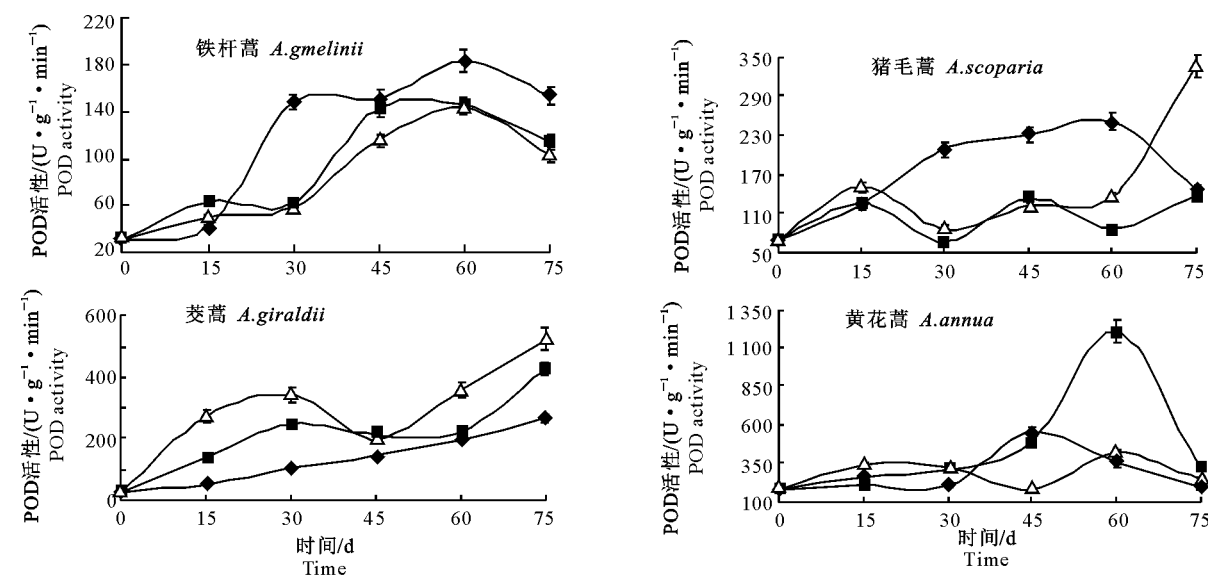


图 4 水分胁迫对 4 种蒿属植物 POD 活性的影响

—◆—, 对照; —■—, 中度水分胁迫; —△—, 重度水分胁迫
Fig. 4 Effect of water stress on the POD activity of four *Artemisia* species
—◆—, CK; —■—, Medial water stress; —△—, Severe water stress

2.3 3 种水分胁迫条件下 4 种蒿属植物非酶抗氧化剂含量的变化

2.3.1 V_C 含量 由图 5 可见, 4 种蒿属植物 V_C 含

量均在初期呈上升趋势, 在 30 d 时达最大值, 之后则逐渐下降且趋于同一值。3 种水分胁迫条件下, 4 种蒿属植物 V_C 含量均基本表现为重度水分胁迫 >

中度水分胁迫>对照($P<0.05$)。与对照相比,第 30 天时,中度和重度水分胁迫条件下,茭蒿、铁杆蒿、猪毛蒿 Vc 含量的增幅分别达到 16.6% 和 40.7%,0.8% 和 29.5%,16.6% 和 28.9%;黄花蒿

在第 15 天时其相应增幅为 10.5% 和 12.8%。在整个生长阶段,4 种蒿属植物 Vc 含量表现为茭蒿>猪毛蒿>铁杆蒿、黄花蒿($P<0.01$),不同生长阶段其 Vc 含量差异极显著($P<0.01$)。

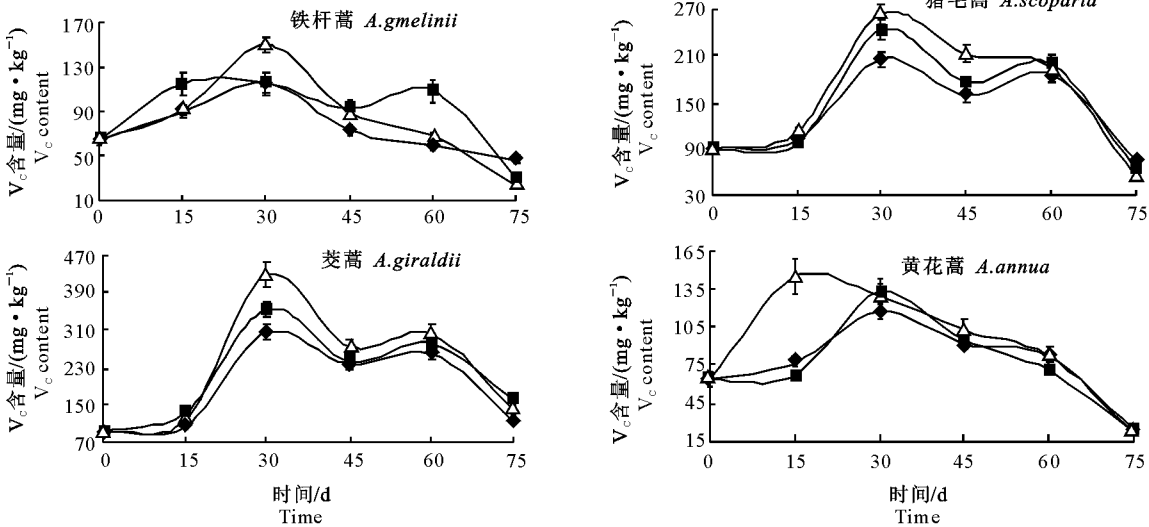


图 5 水分胁迫对 4 种蒿属植物 Vc 含量的影响
—◆—, 对照; —■—, 中度水分胁迫; —△—, 重度水分胁迫
Fig. 5 Effect of water stress on the Vc content of four *Artemisia* species
—◆—, CK; —■—, Medial water stress; —△—, Severe water stress

2.3.2 Car 含量 由图 6 可见,在整个生长阶段,4 种蒿属植物 Car 含量的变化趋势与 Vc 相似,均基

本上呈先升高后下降、再上升又下降的变化趋势。

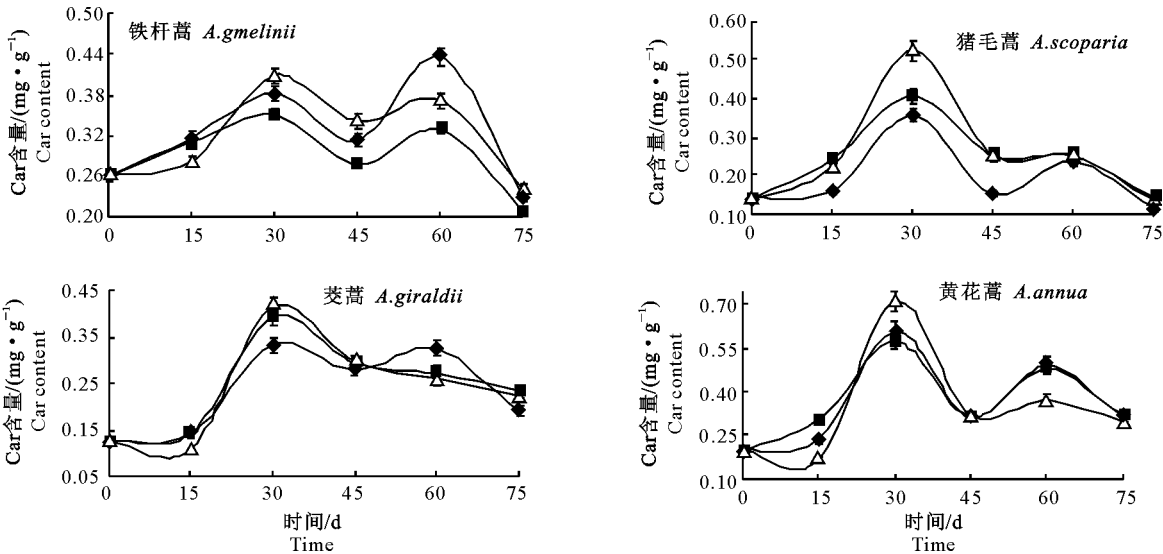


图 6 水分胁迫对 4 种蒿属植物 Car 含量的影响
—◆—, 对照; —■—, 中度水分胁迫; —△—, 重度水分胁迫
Fig. 6 Effect of water stress on the Car content of four *Artemisia* species
—◆—, CK; —■—, Medial water stress; —△—, Severe water stress

由图 6 可以看出,30 d 时,除铁杆蒿对照处理外,其他水分胁迫处理的 Car 含量均达到峰值。与各自对照相比,30 d 时,在中度和重度水分胁迫条件

下,猪毛蒿、茭蒿 Car 含量的增幅分别达到 14.3% 和 46.7%,17% 和 24.5%;在黄花蒿和铁杆蒿中,中度水分胁迫处理 Car 含量低于对照,重度水分胁迫

处理 Car 含量高于对照,较对照分别增加了 17%和 6%。方差分析显示,在整个生长阶段,4 种蒿属植物 Car 含量表现为黄花蒿>铁杆蒿>猪毛蒿和茺蒿 ($P<0.01$),与种间 Vc 含量表现正好相反。不同生长阶段 4 种蒿属植物的 Car 含量差异极显著 ($P<0.01$)。

2.4 4 种蒿属植物抗氧化特性的综合评价

表 1 表明,黄花蒿的抗氧化能力最强,茺蒿、猪毛蒿次之,铁杆蒿最弱。各个抗氧化指标的隶属值

表 1 水分胁迫条件下 4 种蒿属植物抗氧化指标的综合评价
Table 1 Comprehensive appraise of antioxidant indexes of four *Artemisia* under water stress

物种 Variety	抗氧化酶指标 Antioxidant enzyme index			非酶抗氧化指标 Antioxidant index		膜脂过氧化指标 Lipid peroxidation Indexes MDA	平均值 Average	排序 Sortorder
	SOD	CAT	POD	Vc	Car			
黄花蒿 <i>A. annua</i>	0.416	0.352	0.558	0.129	0.723	0.906	0.514	1
茺蒿 <i>A. giraldii</i>	0.615	0.382	0.380	0.761	0.255	0.176	0.428	2
猪毛蒿 <i>A. scoparia</i>	0.504	0.231	0.183	0.430	0.309	0.852	0.418	3
铁杆蒿 <i>A. gmelinii</i>	0.718	0.314	0.065	0.142	0.537	0.438	0.369	4

3 讨 论

众多研究表明^[2,4,8,20,22,26],黄土高原植被恢复演替早期环境恶劣,水分缺乏,而猪毛蒿、铁杆蒿和茺蒿作为旱生型植物依次出现在黄土高原植被恢复的不同时期,表明其具有较强的抗旱性和适应性。杨超等^[22]对陕北撂荒地优势蒿类叶片解剖学的研究表明,猪毛蒿具有较强的抗旱性,铁杆蒿次之,茺蒿相对较弱;而黄花蒿(中生型)^[2]作为常见种出现在黄土高原水分相对较好的区域,抗旱性应是 4 种蒿属植物中相对最弱的。许多文献报道^[13-18],增强抗氧化酶活性可以增加植物抵抗不利环境的能力。本研究结果表明,黄花蒿的抗氧化能力最强,茺蒿、猪毛蒿次之,铁杆蒿最弱,与其抗旱性强弱关系不一致,这表明 4 种蒿属植物之间存在抗氧化特征的多样性,也间接地反映了植物干旱适应性是植物个体综合适应的结果,抗氧化能力的强弱只是从侧面反映了它们与黄土高原生境的关系。

在活性氧代谢过程中,SOD、CAT、POD 三者相互协调,共同维持活性氧代谢平衡。除抗氧化酶系统外,Vc 是植物体内重要的抗氧化剂之一,它可还原 O₂⁻,清除·OH,猝灭¹O₂及歧化 H₂O₂,V_E 是迄今检测出的最好的¹O₂的猝灭剂之一,而 Vc 可再生 V_E^[27]。高等植物中的 Car 包括胡萝卜素和叶黄素,Car 除吸收传递光能作用外,还可在强光下逸散能量,作为单线态分子氧的猝灭剂^[28]。另外,叶黄素循环可有效地防止叶片中的活性氧爆发^[29]。抗氧

化差异表明,4 种蒿属植物的抗氧化特性不同,而膜脂过氧化的隶属值反映了植株受氧化伤害的程度不同。在 5 个抗氧化指标中,铁杆蒿具有最大的 SOD 隶属值,最小的 POD 隶属值;猪毛蒿的 CAT、POD 隶属值相对偏低,其余各项指标的隶属值相对均衡;茺蒿有最大的 CAT 和 Vc 隶属值,但具有相对最低的 Car 隶属值;黄花蒿虽然有最高的 POD、Car 隶属值,但 Vc 和 SOD 隶属值最低。

化指标的综合评价表明,黄花蒿和茺蒿的抗氧化酶指标隶属值相对均衡,暗示其协调效率高。黄花蒿具有最高的 Car 隶属值,表明在防止叶绿体活性氧伤害方面具有较高的贡献率;茺蒿的 Vc 隶属值最高,但 Car 最低,表明其不能有效地防止叶片中活性氧的爆发;猪毛蒿的非酶抗氧化指标隶属值均衡,但 CAT、POD 相对较小,表明抗氧化酶系协调效率低下,这使其抗氧化能力变得相对较弱;铁杆蒿的这种协调性在 4 种蒿属植物中表现最差,非酶抗氧化指标隶属值不均衡,从而导致其抗氧化能力最差。以上分析表明,黄花蒿能从源头上防止活性氧的爆发,加上抗氧化酶的协调效率高,从而使质膜过氧化程度最低,表现出综合抗氧化能力最强;铁杆蒿的 SOD、CAT、POD 三者相互协调性差,直接导致其抗氧化能力最弱。

有研究发现,干旱胁迫加剧,会使 Vc 含量下降^[26,30-31]。本研究发现,4 种蒿属植物的 Vc 积累差异极显著,表现为茺蒿>猪毛蒿>铁杆蒿、黄花蒿 ($P<0.01$);种内表现为随着水分胁迫的加剧,Vc 含量增加 ($P<0.05$),且生长阶段性差异也极显著 ($P<0.01$),在植物营养生长阶段积累得到加强,衰老阶段总体下降。说明 Vc 含量受到遗传因素和环境的双重影响。本研究还发现,Car 的积累表现为黄花蒿>铁杆蒿>茺蒿和猪毛蒿,其种间的含量变化与 Vc 正好相反。Vc 在等面叶中含量较异面叶中多,而类胡萝卜素在异面叶中含量多,这说明 4 个种清除自由基的方式不同,这可能与各个种自身的

遗传特性有关。

综上所述,单从 4 种蒿属植物的抗氧化特性并不能说明它们适应干旱的机制,只能从侧面反映它们与黄土高原生境的关系。要从根本上阐明蒿属植物适应干旱的机制,需结合遗传、形态结构、生理特点和抗氧化特性等进行综合分析,这还有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] 王义凤,姜 恕,孙世州,等. 黄土高原地区植被资源及其合理利用 [M]. 北京:中国科学技术出版社,1991.
Wang Y F, Jiang S, Sun S Z, et al. Vegetation resources in the Loess Plateau and their reasonable use [M]. Beijing: China Press of Science and Technology, 1991. (in Chinese)
- [2] 陈彦生,张春林,丁士友,等. 陕北黄土高原蒿属植物的分类与分析 [J]. 西北植物学报, 1993, 13(3): 238-245.
Chen Y S, Zhang C L, Ding S Y, et al. The taxonomy and analysis of *Artemisia* Linn. in the Loess Plateau of Northern Shaanxi [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1993, 13(3): 238-245. (in Chinese)
- [3] 刘江华,李登武,刘国彬,等. 刺槐林下植被的水分生态型和生活型谱特征 [J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(2): 95-99.
Liu J H, Li D W, Liu G B, et al. Traits of water ecotypes and life-form spectrum of vegetation under canopy of *Robinia pseudoacacia* forests [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008, 6(2): 95-99. (in Chinese)
- [4] 温仲明,焦 峰,卜耀军,等. 黄土沟壑区植被自我修复与物种多样性变化 [J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 1-3.
Wen Z M, Jiao F, Bu Y J, et al. Natural restoration of vegetation and dynamic changes of species diversity in gully regions on Loess Plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(1): 1-3. (in Chinese)
- [5] 陈云明,梁一民,程积民. 黄土高原林草植被建设的地带性特征 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(3): 339-345.
Chen Y M, Liang Y M, Cheng J M. The zonal character of vegetation construction on Loess Plateau [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2002, 26(3): 339-345. (in Chinese)
- [6] 程积民,万惠娥,杜 峰. 黄土高原半干旱区退化灌草植被的恢复与重建 [J]. 林业科学, 2001, 37(4): 50-57.
Cheng J M, Wan H E, Du F. Recovery and reconstruction of degraded shrub-grass vegetation in semi-arid region of Loess Plateau [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001, 37(4): 50-57. (in Chinese)
- [7] 侯扶江,肖金玉,南志标. 黄土高原退耕地的生态恢复 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 923-929.
Hou F J, Xiao J Y, Nan Z B. Eco-restoration of abandoned farmland in the Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(8): 923-929. (in Chinese)
- [8] 朱志诚,黄 可,李继缜. 陕北黄土高原森林地带草本植物群落类型及其动态特征 [J]. 中国草地, 1989(3): 18-24.
Zhu Z C, Huang K, Li J Z. Herbosa type anf characteristics of succession on woodland of Loess Plateau in North Shaanxi Province [J]. Grassland of China, 1989(3): 18-24. (in Chinese)
- [9] Turkan I, Ozdemir M B F, Koca H. Diferential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress [J]. Plant Science, 2005(168): 223-231.
- [10] 吴志华,曾富华,马生健,等. 水分胁迫下植物活性氧代谢研究进展:综述 I [J]. 亚热带植物科学, 2004(2): 77-80.
Wu Z H, Zeng F H, Ma S J, et al. A review of advances in active oxygen metabolism in plants under water stress [J]. Subtropical Plant Science, 2004(2): 77-80. (in Chinese)
- [11] Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance [J]. Trends Plant Sci, 2002(7): 405-410.
- [12] Sofo A, Tuzio A C. Influence of water deficit and rewatering on the components of the ascorbate-glutathione cycle in four interspecific *Prunus* hybrids [J]. Plant Science, 2005, 169: 403-412.
- [13] Bai L P, Sui F G. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize [J]. Pedosphere, 2006, 16(3): 326-332.
- [14] Selote D S, Khanna-Chopra R. Drought-induced spikelet sterility is associated with an inefficient antioxidant defense in rice panicles [J]. Physiol Plant, 2004, 121: 462-471.
- [15] Renu Khanna-Chopra, Devarshi S S. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than-susceptible wheat cultivar under field conditions [J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 60: 276-283.
- [16] 薛 设,王进鑫,吉增宝,等. 旱后复水对刺槐苗木叶片保护酶活性和膜质过氧化的影响 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2009, 37(7): 81-85.
Xue S, Wang J X, Ji Z B, et al. Effect of rewatering on activity of protect enzymes and membrane peroxidation in *Robinia pseudoacacia* seedling [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2009, 37(7): 81-85. (in Chinese)
- [17] 陆燕元,邓西平. 转入 Cu/Zn SOD 和 APX 基因对甘薯旱后复水的恢复作用 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2010, 38(1): 67-74.
Lu Y Y, Deng X P. Recovery effects of transferring both Cu/Zn SOD and APX genes in sweet potato under water stress [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2010, 38(1): 67-74. (in Chinese)
- [18] 王文斌,金润熙,邓西平,等. 苜蓿幼苗芽根器官对盐胁迫的生理生化响应 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2009, 37(5): 217-223.
Wang W B, Kim Y H, Deng X P, et al. Physiological and biological responses of alfalfa shoots and roots to salt stress [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2009, 37(5): 217-223. (in Chinese)
- [19] 徐红梅,高 琼,黄永梅,等. 黄土高原森林草原 6 种植物光合特性研究 [J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 157-163.
Xu H M, Gao Q, Huang Y M, et al. Photosynthetic character-

istics of six plant species in a forest steppe of the Loess Plateau [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2004, 28(2): 157-163. (in Chinese)

[20] 马祥华, 焦菊英. 黄土丘陵沟壑区退耕地自然恢复植被特征以及土壤环境的关系 [J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(2): 15-22.

Ma X H, Jiao J Y. Characteristics of vegetation with natural restoration in removal lands in Loess Hilly-gully region and the relationship between the characteristics and soil environment [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2005, 3(2): 15-22. (in Chinese)

[21] 王 静, 杨 持, 尹 俊, 等. 冷蒿种群在放牧干扰下遗传多样性的变化 [J]. 生态学报, 2004, 24(11): 2465-2471.

Wang J, Yang C, Yi J, et al. Changes of the genetic diversity of *Aremisia frigida* population under the disturbance of grazing [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(11): 2465-2471. (in Chinese)

[22] 杨 超, 梁宗锁. 陕北撂荒地上优势蒿类叶片解剖结构及其生态适应性 [J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4732-4738.

Yang C, Liang Z S. Foliar anatomical structures and ecological adaptabilities of dominant *Artemisia* species of early sere of succession on arable old land after being abandoned in Loess Hilly Region [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4732-4738. (in Chinese)

[23] 赵世杰, 刘华山, 董新纯. 植物生理实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 152-154, 161-163.

Zhao S J, Liu H S, Dong X C. Experimental direction of plant physiology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 152-154, 161-163. (in Chinese)

[24] 孙 群, 胡景江. 植物生理学研究技术 [M]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2006: 166-169.

Sun Q, Hu J J. Reserch technology of plant physiology [M]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University Press, 2006: 166-169. (in Chinese)

[25] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000: 101-103, 201-202.

Gao J F. Experimental technique of plant physiology [M]. Xi'an: World Publishing Corporation, 2000: 101-103, 201-202. (in Chinese)

[26] 杜 峰, 山 仑, 陈小燕, 等. 陕北黄土丘陵区撂荒演替研究: 撂荒演替序列 [J]. 草地学报, 2005, 13(4): 328-333.

Du F, Shan L, Chen X Y, et al. Studies on vegetation succession of abandoned farm land in the Loess Hilly Region of Northern Shaanxi-Succession series after being abandoned [J]. Acta Agrestia Sinica, 2005, 13(4): 328-333. (in Chinese)

[27] 蒋明义, 郭绍川. 水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用 [J]. 植物生理学通讯, 1996, 32(2): 144-150.

Jiang M Y, Guo S C. Oxidative stress and antioxidation induced by water deficiency in plants [J]. Plant Physiology Communications, 1996, 32(2): 144-150. (in Chinese)

[28] 陈晓亚, 汤章城. 植物生理与分子生物学 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 139.

Chen X Y, Tang Z C. Plant physiology and molecular biology [M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007: 139. (in Chinese)

[29] Reddy A R, Chatanya K V, Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants [J]. Journal of Plant Physiology, 2004(161): 1189-1202.

[30] 王 霞, 侯 平, 尹林克. 植物干旱胁迫的适应机理 [J]. 干旱区研究, 2001, 13(2): 42-46 .

Wang X, Hou P, Yin L K. Plant adapation on physiology under drought stress [J]. Arid Zone Research, 2001, 13(2): 42-46. (in Chinese)

[31] 孙存华, 李 扬, 贺鸿雁, 等. 藜对干旱胁迫的生理生化反应 [J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2556-2560.

Sun C H, Li Y, He H Y, et al. Physiological and biochemical responses of *Chenopodium album* to drought stresses [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(10): 2556-2560. (in Chinese)

不同产地黄芪药材质量的差异性分析

段琦梅^{1,2}, 梁宗锁^{1,2}, 杨东风^{1,2}, 聂小妮^{1,2}, 刘 婷¹, 兰晓继¹

(1 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100; 2 陕西省中药指纹图谱与天然产物库研究中心, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 **【目的】**结合《中国药典》(2005 年版)规定指标及 HPLC 指纹图谱, 对不同来源黄芪药材质量进行综合评价。**【方法】**测定来源于甘肃渭源、吉林舒兰、陕西凤县、甘肃陇西、山西浑源、陕西旬邑和陕西杨凌 7 个产区黄芪的总灰分、酸不溶性灰分、水溶性浸出物、醇溶性浸出物及黄芪甲苷的含量; 建立黄芪药材样品的 HPLC 指纹图谱; 对不同产地黄芪药材的质量指标和指纹图谱进行比较分析。**【结果】**不同产地黄芪样品的总灰分和水溶性浸出物均符合《中国药典》标准; 醇溶性浸出物存在一定差异性; 黄芪甲苷含量差异较大; 不同样品 HPLC 指纹图谱共有 15 个共有峰, 图谱间相似性较高。**【结论】**不同产地黄芪药材质量存在差异, 多个指标综合评价能够更准确地反映黄芪药材的质量。

【关键词】 黄芪; 药材质量; HPLC 指纹图谱

【中图分类号】 R282.710.5

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)10-0187-05

Quality diversity analysis of Radix Astragali from different habitats

DUAN Qi-mei^{1,2}, LIANG Zong-suo^{1,2}, YANG Dong-feng^{1,2},
NIE Xiao-ni^{1,2}, LIU Ting¹, LAN Xiao-ji¹

(1 College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Shaanxi Research Center in Traditional Chinese Medicine Fingerprint & Natural Product Library, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The study evaluated the quality of Radix Astragali collected from different habitats with a combination of Chinese Pharmacopoeia (Edition 2005) indexes and HPLC fingerprint method. **【Method】** The contents of total ash, acid insoluble ash, watery extract, ethanolic extract and contents of astragaloside IV of Radix Astragali from Weiyuan Gansu, Shulan Jilin, Fengxian Shaanxi, Longxi Gansu, Hanyuan Shanxi, Xunyi Shaanxi, Yangling Shaanxi were determined; the fingerprint of Radix Astragali from different habitats was established by HPLC methods; and the quality indexes and fingerprint were compared and analyzed. **【Result】** All contents of total ash and watery extract reached the pharmacopoeia standards; some differences existed among ethanolic extracts of different samples; the contents of astragaloside IV had obvious difference among the different Radix Astragali; there were 15 common peaks in the HPLC fingerprints and the fingerprints had high similarity. **【Conclusion】** The quality of Radix Astragali from different habitats was different. Multi-indices to assess the quality of Radix Astragali could make assessment result more accurate.

Key words: Radix Astragali; quality; HPLC fingerprint

黄芪为豆科植物蒙古黄芪 (*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.)

Hisao) 或膜荚黄芪 (*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge.) 的干燥根, 为常用大宗药材, 主要功

* [收稿日期] 2010-06-04

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(2008BAD98B08); 农业部 DUS 测试品种信息(200903008-11)

[作者简介] 段琦梅(1969—), 女, 陕西蓝田人, 讲师, 在读博士, 主要从事药用植物学研究。E-mail: duanqimei1969@163.com

[通信作者] 梁宗锁(1965—), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士生导师, 主要从事药用植物学研究。E-mail: Liangzs@ms.iswc.ac.cn