

# 甘肃旱区 5 个经济林树种的苗期抗旱性综合评价

种培芳, 单立山, 苏世平, 李毅

(甘肃农业大学林学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 以核桃、枣、枸杞、沙棘和花椒 5 个树种的 2 年生苗木为试材, 通过盆栽试验, 测定了干旱胁迫处理下 5 个树种叶片的质膜透性、根系活力、丙二醛、叶绿素及渗透调节物质含量、抗氧化酶活性等 10 个相关指标, 并采用隶属函数法和灰色关联度法评价了 5 个树种的综合抗旱能力及各指标与树种抗旱性间的关系。结果表明: 不同干旱处理下 5 个树种的抗旱性大小排列顺序不同, 在对照处理下, 核桃的隶属函数值最大, 为 0.5385, 在重度胁迫下, 则是花椒的最大, 为 0.5312。通过综合分析发现, 5 个树种的隶属函数值分别为花椒 0.5610, 核桃 0.4992, 枣 0.4796, 枸杞 0.5028, 沙棘 0.5221, 由此判断的 5 个树种抗旱性大小为: 花椒 > 枸杞 > 沙棘 > 核桃 > 枣。在 10 个指标中, 脯氨酸、膜透性、可溶性糖、可溶性蛋白、丙二醛和 CAT 6 项指标的关联度平均值可高达 0.8562, 可作为抗旱性鉴定的依据, 而这 6 个指标代表的是渗透调节物质、酶活性系统和质膜过氧化 3 个体系, 这些体系能充分反映 5 个经济林树种对干旱胁迫的适应性机制。

**关键词:** 经济林; 抗旱性; 甘肃旱区; 综合评价

**中图分类号:** S718.43 **文献标志码:** A

## Comprehensive evaluation on drought resistance of five economic forest species at seedling stage in arid areas of Gansu province

CHONG Pei-fang, SHAN Li-shan, SU Shi-ping, LI Yi

(College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** A pot experiment was conducted to investigate the effect of drought stress on the drought resistance of five economic forest species, i. e., *Juglans regia*, *Ziziphus jujuba* Mill, *Lycium barbarum* L., *Hippophae rhamnoides* Linn and *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. Using the methods of subordination function and grey correlation analysis, the relationship between drought resistance with the physiological and biochemical indexes including relative permeability of plasma (RPP), root vigor (RV), malondialdehyde (MDA), chlorophyll (a + b), osmotic adjustment substances and activities of antioxidant enzymes (SOD, POD, CAT) were evaluated. The results showed that the order of drought resistance in five economic forest species were different under four drought stress treatments, subordination function value of *J. regia* is 0.5385 which is the highest under CK treatment, and subordination function value of *Z. bungeanum* Maxim is 0.5312 which is the highest under HD treatment. Comprehensive evaluation indicated that the subordination function value of five economic forest species respectively were 0.5610 (*Z. bungeanum* Maxim.), 0.4992 (*J. regia*), 0.4796 (*Z. jujuba* Mill), 0.5028 (*L. barbarum* L.), 0.5221 (*H. rhamnoides* Linn), with the order of *Z. bungeanum* Maxim. > *L. barbarum* L. > *H. rhamnoides* Linn > *J. regia* > *Z. jujuba* Mill. This result had some relevance to selecting appropriate species for drought conditions. The correlation degrees average value of proline (Pro), RPP, soluble sugar (SS), soluble protein (SP), MDA and CAT is 0.8562. The adaptation mechanism of five forest species to drought stress were attributed to osmotic adjustment substances, activities of antioxidant enzymes and lipid peroxidation.

**Keywords:** economic forest; drought resistance; arid areas of Gansu; comprehensive evaluation

甘肃地处我国西北部地区, 因地域辽阔, 气候差异大而造就了当地诸如苹果、枸杞等品质优良的丰

富林果树种。但甘肃大部分为旱区, 具有水资源短缺、降水稀少、日照时数长, 蒸发强度大等特点。尤

收稿日期: 2016-01-10

基金项目: 甘肃省财政厅高等学校基本科研业务费项目“甘肃旱区优良抗旱节水经济林树种的筛选与评价研究”(038-041013); 国家星火计划项目“秦巴山区核桃产业发展关键技术集成与示范”(2015GA860002)

作者简介: 种培芳 (1977—), 女, 甘肃永登人, 教授, 博士, 主要从事植物抗逆生理生态研究。E-mail: zhongpf@gsau.edu.cn.

其纬度的高低变化使得甘肃省各地降水量差异性大,呈现出明显的北少南多的现象。甘南地区的康县年降水量最高可达1 162 mm,而位于甘肃省西北部的安西年降水量最低仅为11.91 mm<sup>[1]</sup>。

在这种大尺度水分变化条件下,同一物种如何在不同地域适应生存是物种进化的关键所在。加之近年来地下水资源开采量剧增,地下水位迅速下降,生态环境不断恶化,水分已成为影响甘肃旱区经济林发展的主要因素。因此,选择和发展何种树种,如何控制灌溉,做到节约用水,提高水分利用效率,对防止水土流失、保护生态环境安全以及调整旱区农业结构、增加农民收入具有非常重要的意义。

核桃(*Juglans regia*)、枣(*Ziziphus jujuba* Mill)、枸杞(*Lycium barbarum* L.)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn)和花椒(*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.)是甘肃旱区重要的经济林树种,它们在甘肃经济发展及生态恢复方面起着重要的作用。目前,对于不同品种或单个品种的抗旱性已有部分研究<sup>[2-7]</sup>,但对于这5个经济林树种间抗旱性的比较研究鲜有报道。本研究以这5个经济林树种实生苗为试验材料,测定了人工模拟干旱条件下盆栽苗木的一些生理指标,分析评价其抗旱性并筛选出抗旱性强、生态效果明显的优良经济林树种,提出甘肃旱区今后经济林发展的重点和方向,以期指导甘肃经济林的健康发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究材料

试验于2014—2015年在武威市林业高新技术示范园区进行,试材选用本示范园提供的生长状况相近的2 a生核桃(*Juglans regia*)、枣(*Ziziphus jujuba* Mill)、枸杞(*Lycium barbarum* L.)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn)和花椒(*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.)苗木。

### 1.2 试验设计

上述5个树种每个选择生长健康、大小基本一致的苗木,在4月上旬(部分在前一年秋冬季)移植到高35 cm,盆口直径为37 cm的花盆中,盆土为90%苗圃土配10%蛭石。每盆1株,每个树种各48桶,充分浇水,确保苗木生长良好。待缓苗2个月后(约6月初)进行控水干旱处理,干旱的程度以植物的水势为依据。设4个干旱处理,分别为对照(水势 $> -0.9$  MPa)、轻度胁迫(水势 $-1 \sim -2$  MPa)、中度胁迫( $-2.5 \sim -3.5$  MPa)和重度胁迫(水势 $< -4$  MPa),每个处理12桶,每4桶为1个重复,重复3

次。利用ZLZ-6型植物水势仪测定黎明前的小枝水势,每2天测定一次,3次重复。当控水干旱处理达到设定要求并维持一段时间(7 d)时开始取样(期间每个处理的水势控制采用称重法,即当测定的水势达到设定要求的当天称取整个花盆的总重,在后面维持的7 d中每天称重并及时补充当天损失水分,同时每2天测定一次水势)。每次随机取4株苗木,将植株整株取出后,摘下大部分功能叶置于液氮罐中,根系去除表面的大块土后,置于冰盒中。然后将样品带回室内进行生理指标测定。采用遮雨棚防止自然降雨对干旱处理的影响。

### 1.3 指标测定

叶绿素含量Chl(a+b)采用乙醇法测定<sup>[8]</sup>。脯氨酸(Pro)含量采用茚三酮比色法测定<sup>[9]</sup>。可溶性糖(SS)含量采用蒽酮乙酸乙酯比色法测定<sup>[10]</sup>。可溶性蛋白(SP)采用考马斯亮蓝比色法测定<sup>[11]</sup>。细胞质膜透性(RPP)采用电导法测定<sup>[11]</sup>。超氧化物歧化酶(SOD)活性采用核黄素-NBT法测定<sup>[10]</sup>,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚比色法测定<sup>[9]</sup>,过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定<sup>[9]</sup>。丙二醛(MAD)含量采用硫代巴比妥酸法测定<sup>[9]</sup>。根系活力(RV)采用TTC染色法测定<sup>[12]</sup>。所有生理指标均3次重复测定。

### 1.4 抗旱性综合评价方法

1.4.1 隶属函数值法 用模糊隶属函数法对5个经济林树种的抗旱能力进行综合评价<sup>[13]</sup>。隶属函数值法的计算公式如下:

$$u(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}} \quad (1)$$

$$u(X_{ij}) = 1 - \frac{X_{ij} - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}} \quad (2)$$

式中, $u(X_{ij})$ 为*i*树种*j*指标的隶属函数值; $X_{ij}$ 为*i*树种*j*指标的测定值; $X_{i\max}$ 和 $X_{i\min}$ 分别为指标的最大值和最小值。与抗旱能力成正相关用(1)式;与抗旱能力成负相关用(2)式。将每个树种各指标的抗旱能力隶属函数值累加起来,求其平均数,隶属函数均值越大,抗旱能力就越强。

1.4.2 灰色关联度分析 设参考数列为 $X_0$ ,比较数列为 $X_i(i = 1, 2, \dots, n)$ ,则参考数列 $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n)\}$ ,比较数列 $X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\}$ 。利用下列公式对各指标进行处理:

用 $X'_i(k) = X_i(k) - X_i S_i$ 对原始数据进行无量纲化处理,其中 $X_i(k)$ 是原始数据, $X_i$ 和 $S_i$ 是同一指标的平均值和标准差。

$$\epsilon_i(k) = \frac{\min \min \Delta i(k) + \rho \times \max \max \Delta i(k)}{\Delta i(k) + \rho \times \max \max \Delta i(k)} \quad (3)$$

$$r_i = 1/n \ln \sum_{k=1}^n \epsilon_i(k) \quad k = 1 \cdots n, (i k = 1, 2, \cdots, n) \quad (4)$$

式中,  $\epsilon_i(k)$  为关联系数;  $r_i$  为灰色关联度;  $\Delta i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$ , 表示  $X_0$  数列与  $X_i$  数列在第  $k$  点的绝对值;  $\min \min \Delta i(k)$  为二级最小差,  $\max \max \Delta i(k)$  为二级最大差;  $\rho$  为分辨系数, 取值范围为 0 到 1, 文中试验取值 0.5<sup>[14]</sup>。

权重计算公式:

$$W(k) = R(k) / \sum_{k=1}^n R(k) \quad (5)$$

### 1.5 数据处理

采用 Excel 2003 软件处理数据并进行绘图, 用 SPSS11.0 统计分析软件对数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对 5 种经济林树种叶绿素含量的影响

由图 1 可见, 5 个树种的叶绿素含量随干旱胁迫的加剧, 呈不同的变化趋势。其中花椒和枸杞均呈先增加后减少的趋势, 而枣和沙棘呈逐渐下降趋势, 核桃则为下降 - 升高 - 下降趋势。花椒和枸杞分别在中度干旱和轻度干旱时达到最大值, 分别比 CK 增加了 43.40% 和 41.35%, 且各处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。枣和沙棘在重度胁迫时叶绿素含量

最少, 分别比 CK 减少了 36.28% 和 30.28%, 各处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。核桃在轻度胁迫时叶绿素含量最低, 比 CK 减少了 10.91%。

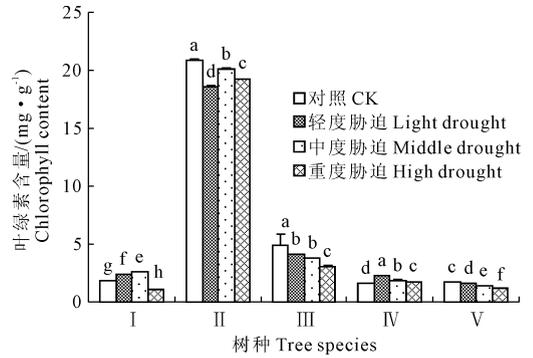


图 1 干旱胁迫对 5 种经济林树种叶绿素含量的影响

Fig.1 Effect of drought stress on chlorophyll (a + b) content of five economic forest species

注: I—花椒; II—核桃; III—枣; IV—枸杞; V—沙棘。下同。

Note: I—*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.; II—*Juglans regia*; III—*Ziziphusjijuba* Mill; IV—*Lycium barbarum* L.; V—*Hippophae rhamnoides* Linn. The same below.

### 2.2 干旱胁迫对 5 种经济林树种渗透调节的影响

由图 2A 可见, 5 种经济林中花椒的脯氨酸含量随着干旱胁迫程度的增加而呈先升后降的趋势, 到中度干旱时达最大值, 比 CK 增加了 88.39%。其他 4 个树种均随干旱胁迫程度的增加呈上升趋势,

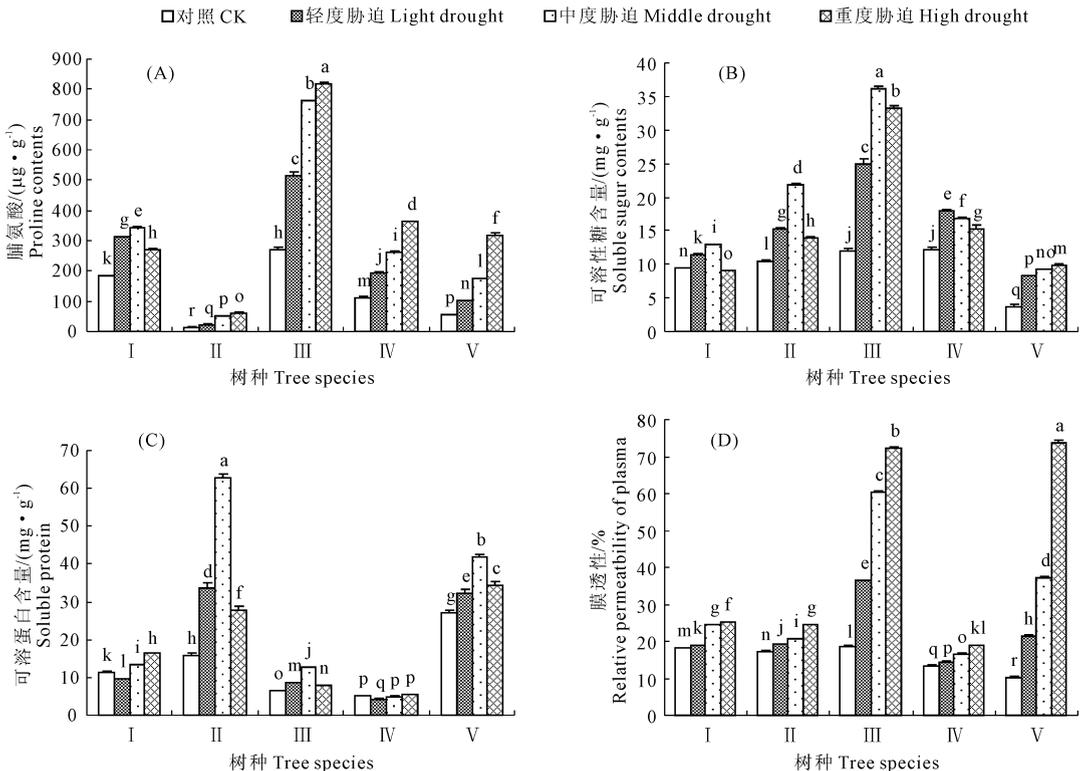


图 2 干旱胁迫对 5 种经济林树种渗透调节的影响

Fig.2 Effect of drought stress on osmotic adjustment substances of five economic forest species

在重度干旱胁迫时达到最大值,核桃、枣、枸杞和沙棘分别比 CK 增加了 336.51%、203.67%、221.91% 和 494.82%,且各处理间差异显著。

随着干旱胁迫程度的增加,除沙棘的可溶性糖含量呈逐渐升高趋势外,其它 4 种经济林树种均呈先升高后下降的趋势(图 2B)。其中花椒、核桃和枣均在中度干旱胁迫时达到最大值,分别比 CK 增加了 36.99%、109.12% 和 200.35%;枸杞则在轻度干旱胁迫时达到最大值,比 CK 增加了 48.63%;沙棘则在重度干旱胁迫时比 CK 增加了 164.61%。

5 种经济林树种中核桃、枣和沙棘的可溶性蛋白含量随着干旱胁迫程度的增加均呈先升高后下降的趋势(图 2C),在中度干旱胁迫时分别比 CK 增加了 297.18%、94.65% 和 53.78%。花椒和枸杞的可溶性蛋白含量则呈先下降后升高的趋势,在重度干旱胁迫时分别比 CK 增加了 43.35% 和 6.61%。

如图 2D 所示,5 种经济林树种的膜透性随着干旱胁迫程度的增加均呈上升趋势,但每个树种的上升幅度不同。其中,枣和沙棘在重度胁迫时比 CK 增加了 285.57% 和 617.43%。花椒、核桃及枸杞则在重度干旱胁迫时比 CK 仅增加了 37.13%、42.75% 和 40.37%,上升幅度相对较小。5 个树种各处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.3 干旱胁迫对 5 种经济林树种抗氧化酶活性的影响

由图 3 可见,5 个树种的抗氧化酶(SOD、POD、CAT)活性随着干旱胁迫程度的增加而产生不同的变化趋势。其中花椒、核桃、枣和沙棘 SOD 活性均呈先增加后减少的趋势,在峰值处分别比 CK 增加了 38.29%、179.15%、138.29% 和 53.69%。枸杞的 SOD 活性则随干旱程度的加剧呈逐渐升高趋势,在重度胁迫时比 CK 增加了 121.41%(图 3A)。花椒、核桃和枸杞的 POD 活性随干旱胁迫程度的增加呈逐渐升高的趋势,在重度干旱时分别比 CK 增加了 53.51%、52.59% 和 41.91%。枣和沙棘的 POD 则呈先升高后下降的趋势,在峰值处分别比 CK 增加了 80.18% 和 30.51%(图 3B)。5 个树种中除了沙棘外,其他 4 个树种的 CAT 活性均随干旱胁迫程度的增加而呈逐渐上升趋势,在最大峰值时分别较 CK 增加了 72.39%(花椒)、86.51%(核桃)、54.19%(枣)和 37.12%(枸杞)。沙棘的 CAT 则随着干旱胁迫程度加剧呈先升高后降低趋势,在轻度干旱胁迫时达最大值,比 CK 增加了 18.13%(图 3C)。5 个树种中除枣的 CAT 活性在各处理间差异不显著外,其它各树种的 SOD、POD 和 CAT 活性及枣树的 SOD、POD 在各处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

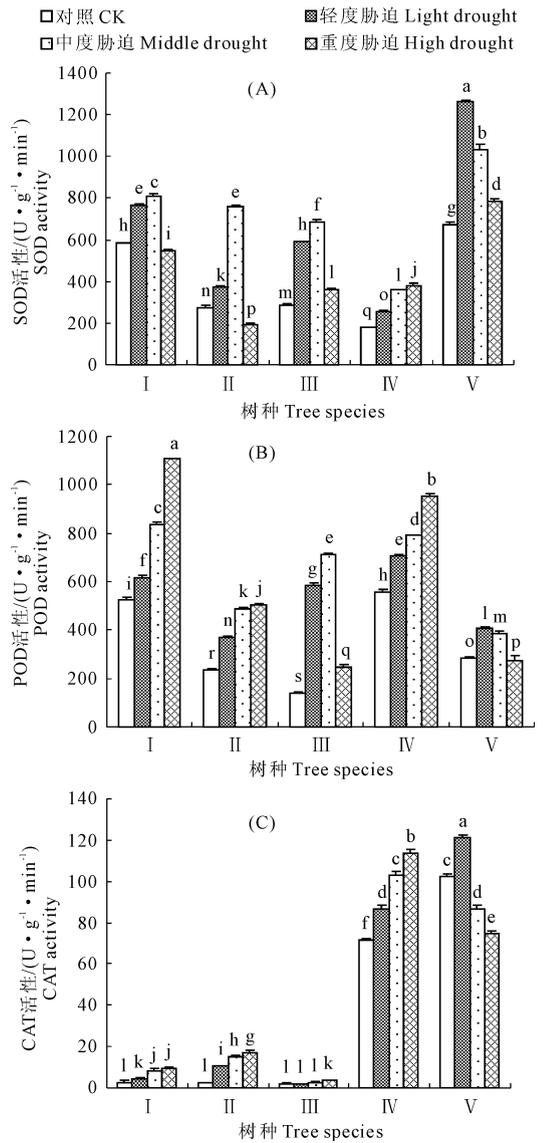


图 3 干旱胁迫对 5 种经济林树种 SOD、POT、CAT 活性的影响

Fig.3 Effect of drought stress on activities of antioxidant enzymes of SOD, POT, and CAT of five economic forest species

### 2.4 干旱胁迫对 5 种经济林树种丙二醛含量和根系活力的影响

5 种经济林树种的 MDA 含量在干旱胁迫下的变化趋势相似,均随干旱胁迫程度的增加而呈上升趋势(图 4A)。但每个树种的增加幅度不同,与 CK 相比分别增加了 226.98%(枣)、146.89%(核桃)、145.41%(沙棘)、130.81%(花椒)和 62.79%(枸杞)。

5 种经济林树种的根系活力在干旱胁迫下表现出两种变化趋势(图 4B),其中花椒和核桃的根系活力随干旱胁迫程度的增加呈逐渐下降趋势,在重度胁迫时分别比 CK 下降了 59.89% 和 28.62%。枣、枸杞和沙棘 3 个树种的根系活力则随干旱胁迫程度的

加剧而表现出先升高后下降的趋势,枣和沙棘在中度胁迫的峰值处分别比 CK 增加了 67.72% 和 31.91%,

枸杞在轻度胁迫的峰值处比 CK 增加了 20.61%。

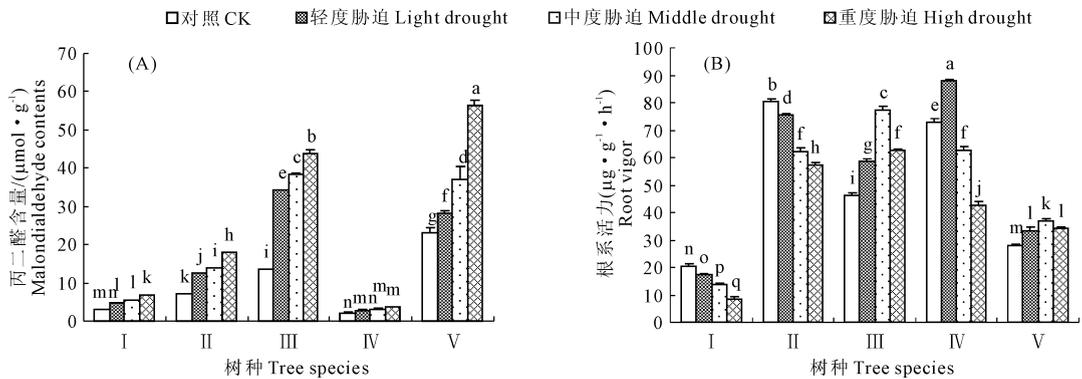


图 4 干旱胁迫对 5 种经济林树种丙二醛和根系活力的影响

Fig.4 Effect of drought stress on malondialdehyde and root vigor of five economic forest species

## 2.5 5 种经济林树种抗旱能力的综合评定

为了综合评价各树种的抗旱能力,对叶绿素、膜透性、脯氨酸、可溶性糖含量等 10 个指标采用隶属函数法进行分析(表 1)。结果表明,不同干旱胁迫下,5 个树种的抗旱性排序不同,在没有胁迫时,核桃隶属函数值最大,枣最小。随着干旱胁迫程度的加剧,5 个树种隶属函数值发生明显变化,在重度干旱胁迫时,花椒隶属函数值最大,核桃最小。说明不同干旱胁迫下各树种抗旱性大小不同。为了统一其衡量尺度,将 5 个树种在不同干旱胁迫下的 10 项指标的平均隶属值作为树种抗旱能力综合评价标准(表 2)。结果显示,各树种抗旱能力为:花椒 > 枸杞 > 沙棘 > 核桃 > 枣。其中,花椒、枸杞和沙棘的平均隶属函数均在 0.5 以上,明显大于枣和核桃的平均隶属函数值(均小于 0.5)。这可能与其本身的遗传性状有关,也可能与其长期环境适应能力有关。

## 2.6 抗旱性与抗旱指标的灰色关联度分析

由表 3 可见,5 个经济林树种的抗旱指标与其抗旱性之间的关联性各不同,其中 Pro、RPP、SS、SP、CAT 和 MDA 与花椒的抗旱性关系紧密,关联度均在 0.9 以上,而 POD 和 Chl(a+b)与花椒抗旱性的关联性最低,关联度仅在 0.3~0.4 之间。Pro、RPP、SS、SP、CAT 和 MDA 与枸杞的抗旱性关系紧密,关联度均在 0.9 以上,Chl(a+b)与枸杞的关联度最差,仅为 0.3。RPP、SS 和 SP 与沙棘抗旱性间的关联度均高达 0.9 以上,其次为 RV、Pro、MDA 和 SOD,关联度在 0.7~0.8 之间,POD 最低,为 0.514。10 个指标中,SS 和 MDA 与核桃的抗旱关联性最强,数值在 0.9 以上,其次为 Pro、CAT、RV、RPP 和 SP,关联度在 0.8~0.9 之间,POD 的最弱,仅为 0.3。对于枣来说,SS 和 Pro 与其关联度最大,关联系数超过 0.9,

表 1 5 个经济林树种在干旱胁迫处理下的平均隶属函数值及抗旱性排序

Table 1 Average subordination values of drought resistant capability and the drought resistant order of five economic forest species under drought stress

处理 Treatments	树种 Species	平均值 Average value	排序 Order
CK	花椒 <i>Z. bungeanum</i> Maxim.	0.4475	4
	核桃 <i>J. regia</i>	0.5385	1
	枣 <i>Z. jujuba</i> Mill	0.4219	5
	枸杞 <i>L. barbarum</i> L.	0.4734	3
	沙棘 <i>H. rhamnoides</i> Linn	0.4993	2
LD	花椒 <i>Z. bungeanum</i> Maxim.	0.5541	1
	核桃 <i>J. regia</i>	0.5402	2
	枣 <i>Z. jujuba</i> Mill	0.5233	4
	枸杞 <i>L. barbarum</i> L.	0.4556	5
	沙棘 <i>H. rhamnoides</i> Linn	0.5247	3
MD	花椒 <i>Z. bungeanum</i> Maxim.	0.5312	1
	核桃 <i>J. regia</i>	0.4956	3
	枣 <i>Z. jujuba</i> Mill	0.4832	4
	枸杞 <i>L. barbarum</i> L.	0.5094	2
	沙棘 <i>H. rhamnoides</i> Linn	0.4801	5
HD	花椒 <i>Z. bungeanum</i> Maxim.	0.5312	1
	核桃 <i>J. regia</i>	0.4865	5
	枣 <i>Z. jujuba</i> Mill	0.4901	4
	枸杞 <i>L. barbarum</i> L.	0.5006	3
	沙棘 <i>H. rhamnoides</i> Linn	0.5044	2

其次为 SP、SS、RV、RPP、CAT、MDA 均在 0.7~0.8 之间,Chl(a+b)最差,仅为 0.4。

可以看出,在 5 个树种中,Pro、RPP、SS、SP、CAT (或 SOD)和 MDA 对 5 个树种的抗旱能力均产生影

响,且影响较大,它们可作为 5 个经济林树种抗旱性鉴定的重要指标;尤其是在抗旱性较强的花椒和枸杞中,几个指标与树种的抗旱性关联度更为紧密,而

与光合有关的 Chl(a + b),在几个经济林树种的抗旱性中所起的作用均较小。

表 2 5 个经济林树种抗旱性综合性评价

Table 2 Comprehensive evaluation of drought resistance of five economic forest species

指标 Indexes	花椒 <i>Z. bungeanum</i> Maxim.	核桃 <i>J. regia</i>	枣 <i>Z. jujuba</i> Mill	枸杞 <i>L. barbarum</i> L.	沙棘 <i>H. rhamnoides</i> Linn
Chl(a + b)	0.5119	0.5184	0.4841	0.4583	0.4629
RPP	0.6572	0.5184	0.5095	0.4942	0.4439
Pro	0.4731	0.5278	0.4718	0.4998	0.4167
SS	0.5189	0.5096	0.4541	0.5406	0.6038
SP	0.5292	0.4445	0.4684	0.4692	0.5469
MDA	0.4917	0.5140	0.3376	0.5238	0.6187
RV	0.5034	0.4826	0.4871	0.4921	0.4305
SOD	0.4742	0.4799	0.5932	0.5137	0.5084
POD	0.5283	0.4803	0.5422	0.5223	0.5326
CAT	0.4721	0.5165	0.4484	0.5139	0.4569
平均值 Average value	0.5160	0.4992	0.4796	0.5028	0.5021
排序 Order	1	4	5	2	3

表 3 5 种经济林树种各项抗旱指标的关联度和权重

Table 3 The grey correlative degree and weight of ten drought resistance indexes on five economic forest species

指标 Index	花椒 <i>Z. bungeanum</i> Maxim.			核桃 <i>J. regia</i>			枣 <i>Z. jujuba</i> Mill			枸杞 <i>L. barbarum</i> L.			沙棘 <i>H. rhamnoides</i> Linn		
	关联度 Correlation degrees <i>R(k)</i>	权重 Weight <i>W(k)</i>	排序 Order												
Chl(a + b)	0.4960	0.0623	9	0.5876	0.0770	9	0.4388	0.0538	10	0.3107	0.0385	10	0.5301	0.0688	9
RPP	0.9988	0.1254	1	0.7952	0.1042	7	0.9000	0.1202	2	0.9917	0.1230	2	0.9803	0.1273	1
pro	0.9483	0.1191	6	0.8481	0.1111	5	0.7894	0.1091	6	0.9653	0.1197	5	0.7682	0.0998	6
SS	0.9987	0.1254	2	0.9511	0.1246	1	0.9039	0.1219	1	0.9678	0.1200	4	0.9231	0.1199	3
SP	0.9452	0.1187	5	0.8027	0.1051	6	0.8655	0.1184	3	0.9688	0.1202	3	0.9778	0.1270	2
MDA	0.9816	0.1232	3	0.9241	0.1210	2	0.7876	0.1088	7	0.9989	0.1239	1	0.8526	0.1107	5
RV	0.6193	0.0778	8	0.8920	0.1168	3	0.8079	0.1113	5	0.6298	0.0781	8	0.8906	0.1157	4
SOD	0.6674	0.0838	7	0.6239	0.0817	8	0.6189	0.0759	8	0.6083	0.0754	9	0.7143	0.0928	7
POD	0.3333	0.0418	10	0.3353	0.0439	10	0.5103	0.0626	9	0.6901	0.0856	7	0.5140	0.0668	10
CAT	0.9764	0.1226	4	0.8742	0.1145	4	0.8631	0.1181	4	0.9316	0.1155	6	0.5493	0.0713	8

### 3 讨 论

随着全球气候变化所引起的干旱现象日益加重,人们对植物抗旱机制以及对干旱环境适应性机制的研究已在不同物种、不同品种及不同水平上开展了研究,在抗旱性研究方法上也在不断地进行探索<sup>[15-19]</sup>。目前,关于经济林树种的抗旱性方面已有一些研究<sup>[20-22]</sup>。陈志成等曾经研究了华北干旱瘠薄山地 3 个经济树种之间的抗旱性,发现用两种数学方法得出的 5 个经济林树种抗旱性大小排序存

在差异,但总体上评价结果很接近<sup>[22]</sup>。大量的研究结果发现,花椒、沙棘、枸杞、核桃和枣 5 个经济林树种均比较耐干旱瘠薄,适应性强,在西北干旱、半干旱地区经济发展和植被恢复重建中起着重要的作用<sup>[23-28]</sup>。但这 5 个树种中那个更为抗旱呢?本研究研究结果发现,对 5 个树种采用隶属函数法得出的抗旱性大小为:花椒 > 枸杞 > 沙棘 > 核桃 > 枣,即花椒的抗旱性最强,枸杞和沙棘次之,核桃和枣的抗旱性则较差。这说明,虽然这 5 个树种均为甘肃旱区主要的抗旱经济林栽培树种,但它们在抗旱性上

还是有一定差别。因此,在不同立地条件下进行经济林栽培时要有针对性地进行树种选择,尤其是未来随着全球气候的变化,在甘肃这个气候变化的敏感区、生态环境脆弱带<sup>[29]</sup>,适宜树种的选择就显得尤为重要。根据本研究的结果,建议花椒可以在水分条件相对较差的地方种植,核桃和枣则要在水分条件相对较好的地方种植,枸杞和沙棘则介于中间。

植物的抗旱性是受许多内外因素所控制的综合遗传性状,形态、解剖和生理生化等特性均会对其产生影响,但这些特性并不是独立地对植物的抗旱性产生影响,而是互相联系,相互制约的<sup>[30-32]</sup>。为了更好地反映植物的抗旱能力,许多学者在研究时采用多项指标进行植物抗旱水平的分析<sup>[19,33-34]</sup>。本研究发现,在 Chl(a+b)、RPP、Pro、SS、SP、RV、SOD、POD、CAT 等 10 个抗旱指标中,具有抗旱性鉴定代表性的指标包括 Pro、RPP、SS、SP、MDA 和 CAT,它们与 5 个树种的抗旱性关联度均在 0.7 以上(沙棘的 CAT 除外)。这几项指标代表了 3 个方面的意义:渗透调节机制(Pro、SS、SP)、抗氧化酶活性系统(CAT)和质膜过氧化程度(RPP、MDA)。渗透调节和抗氧化酶系统可以保护植物免受环境胁迫<sup>[35]</sup>,反映了苗木在低水势下忍耐干旱的能力,质膜过氧化程度则反映了苗木延迟脱水能力即避旱能力。这一结论与张慎鹏在其它经济林树种上得出结论有部分相似<sup>[20]</sup>。就本研究而言,Pro、RPP、SS、SP、MDA 和 CAT 等 6 项指标所代表的渗透调节机制、抗氧化酶活性系统和质膜过氧化程度这一指标体系基本能反映这 5 种经济林树种对干旱的适应性机制,可作为评判 5 个树种苗木抗旱能力的指标。

综上所述,在实践工作中对于不同水分立地条件下树种的选择,既要考虑干旱的程度,同时也要考虑树种对干旱的抗性和适应性,这样才能做到因地制宜,适地适树。当然,本研究结果是在较短时间(1 年)的研究基础上得出的。为了更好地了解这几种经济林树种对干旱环境的响应机制,还需要进一步地研究。

#### 参 考 文 献:

- [1] 闫业庆,胡雅杰.甘肃省降水量时空分布特征浅析[J].甘肃科技,2011,27(1):63-66.
- [2] 刘杜玲,刘淑明.不同花椒品种抗旱性比较研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):183-189.
- [3] 刘杜玲,彭少兵,孙红梅,等.早实核桃不同品种抗旱性综合评价[J].园艺学报,2014,41(5):967-974.
- [4] 刘世鹏,刘济明,陈宗礼,等.模拟干旱胁迫对枣树幼苗的抗氧

- 化系统和渗透调节的影响[J].西北植物学报,2006,26(9):1781-1787.
- [5] 韩蕊莲,李丽霞,梁宗锁.干旱胁迫下沙棘叶片细胞膜透性与渗透调节物质研究[J].西北植物学报,2003,23(1):23-27.
- [6] 李永洁,李进,徐萍,等.黑果枸杞幼苗对干旱胁迫的生理响应[J].干旱区研究,2014,31(4):756-762.
- [7] 席万鹏,王有科,孙飞达.利用隶属函数值法综合评价花椒的抗旱性[J].甘肃林业科技,2004,29(1):5-7.
- [8] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2001:134-170.
- [9] 李合生.植物生理生物实验理论与技术[M].北京:高等教育出版社,2001:51-54.
- [10] 郝再彬,苍晶,徐仲.植物生理实验[M].哈尔滨:哈尔滨大学出版社,2004:101-108.
- [11] 赵世杰,史国安,董新纯.植物生理实验指导[M].北京:中国农业科学技术出版社,2002:45-48.
- [12] 王学奎,章文华,郝再彬.植物生理生化原理与技术[M].北京:高等教育出版社,2006:20.
- [13] 薛慧勤,孙兰珍,甘信民.花生品种抗旱性综合评价及其抗旱机理的数量分析[J].干旱地区农业研究,1999,17(1):83-87.
- [14] 白振兰.灰色关联分析研究综述[J].灰色系统理论与实践,1993,3(2):119-122.
- [15] 孟林,毛培春,张国芳.不同居群马蔺抗旱性评价及生理指标变化分析[J].草业学报,2009,18(5):18-24.
- [16] 张云,林凡.基于主成分分析的木麻黄抗旱性评价[J].江苏农业科学,2008,(5):159-162.
- [17] 杨俊,马健,王婷婷,等.5种荒漠植物抗旱性及其与抗旱指标相关性的定量评价[J].干旱区资源与环境,2009,26(3):143-146.
- [18] 韩瑞宏,卢欣石,高桂娟,等.紫花苜蓿抗旱性主成分及隶属函数分析[J].草地学报,2006,14(2):142-146.
- [19] 种培芳,苏世平,李毅.4个地理种群红砂的抗旱性综合评价[J].草业学报,2011,20(5):26-33.
- [20] 张慎鹏.山东省主要耐旱树种资源和部分经济林树种抗旱性评价的研究[D].泰安:山东农业大学,2009.
- [21] 韩博.贵州省5种主要造林树种苗期抗旱性研究[D].洛阳:河南科技大学,2013.
- [22] 陈志成.8个树种对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价[D].泰安:山东农业大学,2013.
- [23] 刘淑明,孙长忠,孙丙寅.花椒林地不同地面覆盖的水热效应研究[J].林业科学,2005,41(6):174-178.
- [24] 孙丙寅,刘淑明,苏少林.陕西凤县无公害花椒园环境质量评价[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(3):111-115.
- [25] 刘瑞香,杨劼,高丽.中国沙棘和俄罗斯沙棘叶片在不同土壤水分条件下脯氨酸、可溶性糖及内源激素含量的变化[J].水土保持学报,2005,19(3):148-151,169.
- [26] 赵琴,潘静,曹兵,等.气温升高与干旱胁迫对宁夏枸杞光合作用的影响[J].生态学报,2015,35(18):6016-6022.
- [27] 侯栋,马风云,王笛.干旱胁迫对4核桃品种生化指标的影响[J].西南林学院学报,2010,30(3):24-27.

测定如始花期叶片数、始花期株高、始花期倒四叶面积、花铃期株高、花铃期叶片数、单铃重、单株籽棉产量等7个指标,就可以有效地预测、鉴定棉花品种(系)的抗旱性,从而使鉴定工作简单化。

#### 参考文献:

[1] 俞希根,孙景生,肖俊夫,等.棉花适宜土壤水分下限和干旱指标研究[J].棉花学报,1999,11(1):35-38.

[2] 南建福,刘恩科,王计平,等.苗期干旱和施肥对棉花生长发育的影响[J].棉花学报,2005,17(6):339-342.

[3] Sepakhah A R, Kanooi A, Ghasemi M M. Estimating water table contribution to corn and sorghum water use[J]. Agricultural Water Management, 2003,58(1):67-79.

[4] 杜传莉,黄国勤.棉花主要抗旱鉴定指标研究进展[J].中国农学通报,2011,27(9):17-20.

[5] 赵都利,许玉璋,许莹.花铃期缺水对棉花干物质积累和用水效率的影响[J].干旱地区农业研究,1992,10(3):7-10.

[6] 李少昆,肖璐,黄文华.不同时期干旱胁迫对棉花生长和产量的影响Ⅱ棉花生长发育及生理特性的变化[J].石河子大学学报(自然科学版),1999,3(4):259-264.

[7] 蔡红涛,汤一卒,刁品春,等.棉花花铃期土壤持续干旱胁迫对产量形成的调节效应[J].棉花学报,2008,20(4):300-305.

[8] 陈玉梁,石有太,罗俊杰,等.甘肃彩色棉花抗旱性农艺性状指标的筛选鉴定[J].作物学报,2012,38(9):1680-1687.

[9] 罗俊杰,石有太,陈玉梁,等.甘肃不同色彩陆地棉抗旱指标筛选及评价研究[J].核农学报,2012,26(6):952-959.

[10] 陈玉梁,石有太,罗俊杰,等.干旱胁迫对彩色棉花农艺、品质性状及水分利用效率的影响[J].作物学报,2013,39(11):2074-2082.

[11] 王士强,胡银岗,余奎军,等.小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析[J].中国农业科学,2007,40(11):2452-2459.

[12] 白志英,李存东,孙红春,等.小麦代换系抗旱生理指标的主成分分析及综合评价[J].中国农业科学,2008,41(12):4264-4272.

[13] 李贵全,张海燕,季兰,等.不同大豆品种抗旱性综合评价[J].应用生态学报,2006,17(12):2408-2412.

[14] 谢小玉,张霞,张兵.油菜苗期抗旱性评价及抗旱相关指标变化分析[J].中国农业科学,2013,46(3):476-485.

[15] 柯贞进,尹美强,温银元,等.干旱胁迫下聚丙烯酰胺浸种对谷子种子萌发及幼苗期抗旱性的影响[J].核农学报,2015,29(3):563-570.

[16] 徐蕊,王启柏,张春庆,等.玉米自交系抗旱性评价指标体系的建立[J].中国农业科学,2009,42(1):72-84.

[17] 田山君,杨世民,孔凡磊,等.西南地区玉米苗期抗旱品种筛选[J].草业学报,2014,23(1):50-57.

[18] 祁旭升,王兴荣,张彦军,等.胡麻成株期抗旱指标筛选与种质抗性鉴定[J].中国农业科学,2010,43(15):3076-3087.

[19] 罗俊杰,欧巧明,叶春雷,等.重要胡麻栽培品种的抗旱性综合评价及指标筛选[J].作物学报,2014,40(7):1259-1273.

[20] 罗俊杰,欧巧明,叶春雷,等.主要胡麻品种抗旱相关指标分析及综合评价[J].核农学报,2014,28(11):2115-2125.

[21] 石有太,陈玉梁,罗俊杰,等.不同色彩棉花抗旱性鉴定指标及评价[J].作物杂志,2013,(1):62-67.

[22] 翟荣荣,叶胜海,余鹏,等.浙江省晚粳稻品种对PEG胁迫的反应和耐旱性鉴定[J].核农学报,2015,29(10):1991-1997.

[23] 段九菊,张超,郑梅梅,等.万寿菊不同品种的耐盐性综合评价[J].核农学报,2015,29(7):1406-1418.

[24] 黎裕,王天宇,石云素,等.应用生理学方法和分子手段进行玉米抗旱育种[J].玉米科学,2004,12(2):16-20.

[25] 杜雄明,周忠丽.棉花种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2005.

[26] 兰巨生,胡福顺,张景瑞.作物抗旱指数的概念和统计方法[J].华北农学报,1990,5(2):20-25.

[27] 王兴荣,张彦军,苟作旺,等.大豆种质资源抗旱性综合评价[J].干旱地区农业研究,2015,33(5):17-23.

[28] Abraham Bluma & Wayne R. Jordan. Breeding crop varieties for stress environments[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 1985,2(3):199-238.

[29] 黎裕,王天宇,刘成,等.玉米抗旱品种的筛选指标研究[J].植物遗传资源学报,2004,5(3):210-215.

[30] 姚玉波.不同品种亚麻种子萌发期抗旱性鉴定[J].核农学报,2015,29(10):2033-2039.

[31] 石运庆,苗华荣,胡晓辉,等.花生耐盐碱性鉴定指标的研究及应用[J].核农学报,2015,29(3):442-447.

(上接第204页)

[28] 刘世鹏,刘济明,陈宗礼,等.模拟干旱胁迫对枣树幼苗的抗氧化系统和渗透调节的影响[J].西北植物学报,2006,26(9):1781-1787.

[29] 杨封科,何宝林,高世铭.气候变化对甘肃省粮食生产的影响研究进展[J].应用生态学报,2015,26(3):930-938.

[30] Serrano L, Penuelas J. Contribution of physiological and morphological adjustments to drought resistance in two Mediterranean tree species[J]. Biologia Plantarum. 2005,49:551-559.

[31] 魏永胜,梁宗锁,山仑,等.利用隶属函数值法评价苜蓿抗旱性[J].草业科学,2005,22(6):33-36.

[32] 谢贤健,兰代萍,白景文.三种野生岩生草本植物的抗旱性综合评价[J].草业学报,2009,18(4):75-80.

[33] 李禄军,蒋志荣,李正平,等.3树种抗旱性的综合评价及其抗旱指标的选取[J].水土保持研究,2006,13(6):252-254.

[34] 张鹤山,张德罡,刘晓静,等.灰色关联度分析法对不同处理下草坪质量的综合评判[J].草业科学,2007,24(11):73-76.

[35] Cavalcanti FR, Olivera J T A, Martins-Miranda A S, et al. Superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt-stressed cowpea leaves[J]. New Phytologist, 2004, 163(3):563-571.