

乌兰布和沙区不同品种沙棘的抗旱性综合评价

徐军, 陈海玲, 刘芳, 罗红梅, 段娜, 马迎宾, 张格

(中国林业科学研究院 沙漠林业试验中心, 内蒙古 磴口 015200)

摘要: [目的] 了解乌兰布和沙区 17 个沙棘品种的抗旱能力, 为选择耐旱沙棘树种提供理论依据。[方法] 在不同的水分条件下, 采用隶属函数值法对其抗旱性进行综合评价。[结果] (1) 随干旱胁迫的增加, 各品种的自然水分饱和亏、束缚水及束缚水/自由水比值、细胞膜透性呈增加趋势。自然水分饱和亏在 22.88%~64.85% 之间, 在胁迫后期, 丘依斯克、欧 11 号、白丘的水分饱和亏接近, 处于高水平状态; 深秋红、欧 11 号在束缚水及束缚水/自由水比值处于较高水平; 橙色与白丘的相对电导率显著高于其他品种。(2) 随干旱胁迫的增加, 各品种的叶绿素含量、保水力、光合速率、蒸腾速率及气孔导度呈降低趋势。亚历山大 12 号的叶绿素含量最高; 橙色和向阳的失水速率显著高于其他品种; 辽阜 1 号和深秋红的光合蒸腾速率下降幅度较大、气孔导度下降程度维持在中等水平。[结论] 各沙棘品种的抗旱性由强到弱顺序依次为: 辽阜 1 号>欧 11 号>深秋红>状元黄>棕丘>植物园>白丘>西伯利亚红晕>丘依斯克>亚历山大 12 号>橙色>高加索>向阳>巨人>无核>卡图尼>海滨沙棘。

关键词: 沙棘; 抗旱性; 综合评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0088-07

中图分类号: S718.43

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.082

Comprehensive Evaluation on Drought Resistance of Different *Hippophae Rhamnoides* in Ulan Buh Desert

XU Jun, CHENG Hailing, LIU Fang, LUO Hongmei, DUAN Na, MA Yingbin, ZHANG Ge

(The Desert Forest Experimental Centre of the Chinese Academy of Forestry, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: [Objective] To evaluate drought resistance of seventeen *Hippophae rhamnoides* in Ulan Buh Desert in order to provide theoretical basis for the selection of drought resistant species. [Methods] Under different soil moisture conditions, subordinate function values analysis was used to evaluate drought resistance. [Results] (1) With the increasing of drought stress, water saturation deficit, bound water and bound/free water ratio, and cell membrane permeability increased. Water saturation deficit ranged from 22.88% to 64.85%, and maintained at the same high level in Qiuyisike, Ou 11 and Baiqiu. Bound water and bound/free water ratio showed a high level in ShenqiuHong and Ou11. The relative electric conductivity in Chengse and Baiqiu was significantly higher than that in the other varieties. (2) As the acceleration in drought stress, the content of chlorophyll, water-retaining capacity, photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance showed a decreasing trend. Yalishanda 12 had the highest content of chlorophyll. The rate of water loss in Chengse and Xiangyang was significantly higher than that in the other varieties. Photosynthetic and transpiration rate in Liaofu 1 and ShenqiuHong declined by a large margin, while the decline of stomatal conductance in Liaofu 1 and ShenqiuHong maintained at a moderate level. [Conclusion] The drought resistance of seventeen *Hippophae rhamnoides* showed as follows: Liaofu 1>Ou 11>ShenqiuHong>Zhuangyuanhuang>Zongqiu>Zhiwuyuan>Baiqiu>Xiboliyahongyun>Qiuyisike>Yalishanda 12>Chengse>Gaijiasuo>Xiangyang>Juren>Wuhe>Katuni>Haibin.

Keywords: *Hippophae rhamnoides*; drought resistance; comprehensive evaluation

在干旱半干旱地区, 水分是制约植物生长的主要因素, 植物对环境的适应性表现不仅取决于环境供水

状况, 也决定于植物自身的适应性能力。加强植物对干旱区适应性的研究, 可为干旱区植被建设树种的正

收稿日期: 2014-06-30

修回日期: 2014-08-07

资助项目: 中央级院所基本科研业务专项“优良沙旱生树种种质资源整理、保存与共享”(CAFYBB2012003)

第一作者: 徐军(1982—), 男(汉族), 内蒙古自治区磴口县人, 硕士, 工程师, 主要从事荒漠化防治及植物生理方面的研究。E-mail: xujunslzx@163.com。

通信作者: 陈海玲(1982—), 女(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事荒漠化防治及植物遗传育种研究。E-mail: chenbling@163.com。

确选择提供理论依据。目前,一些学者对干旱区植物的抗旱性进行深入研究^[1],但主要集中在植物生长特性、形态结构和生理生化特性,特别是形态解剖、渗透调节物质、光合生理及分子遗传学等方面^[2-4]。有关沙棘的其他研究涉及到很多方面,贺强等^[5]对沙棘苗期的耐盐机理进行了的探讨;还包括经济利用价值、生态价值以及作为燃料、肥料的价值的研究等诸多方面^[6]。植物的抗旱性是一个受多种因素影响、较复杂的综合性状,这些因素的综合作用才促进抗旱性的形成,因此对植物抗旱性的评价用尽可能多的指标来综合评价^[7]。目前应用较广的方法有:隶属函数法、聚类分析法、层次分析法、主成分分析法等^[8]。其中隶属函数法是在多个指标测定的基础上,对植物的抗旱性进行较为综合评价,避免了使用单一指标进行评价的不准确性。

沙棘是干旱区植被建设的一个优良树种,其果实、种子和叶片生物活性成分十分丰富,多达 200 余种。尤其是沙棘果实营养成分十分丰富,是珍贵营养保健物质的“总汇”,一些沙棘产品具有重要的医疗保健价值,在国内国外市场价格非常昂贵,经济效益极其显著。目前,对沙棘的研究多数集中在生态经济效益、营养成分和医疗保健等方面^[9],但在乌兰布和沙区,收集多个沙棘品种开展抗旱性研究相对较少。鉴于此,本文在不同水分胁迫下对乌兰布和沙区的 17 个品种的沙棘抗旱性进行了研究。通过对不同沙棘品种的生理生化指标的测定与分析,探讨各沙棘品种适应干旱半干旱地区能力,为本地区因地制宜选择优良沙棘树种提供理论参考依据。

1 试验材料与方法

1.1 研究地概况

试验区位于内蒙古磴口县境内,乌兰布和沙漠东北边缘,中国林业科学研究院沙漠林业试验中心(简称沙林中心)第一试验场,地理坐标为:40°28'N,106°46'E,海拔 1 040~1 060 m。其气候为亚洲中部温带荒漠气候,特征是冬季寒冷漫长,春秋短暂,夏季炎热,降雨量少,日照充足,热量丰富,昼夜温差大,积温高,无霜期短。日照时数 3 300 h 以上,无霜期在 136~205 d,年平均气温为 7.8 °C,最冷月和最热月的平均气温为-10.4 和 25.8 °C。植物生长期的 5—9 月份光合有效辐射 40.19 W/m²,植物生长期的积温约为 3 100 °C,生长期昼夜温差 14.5 °C。降雨集中在 6—8 月,年平均降雨量 102.9 mm,年均蒸发量 2 285.8~3 840.01 mm。

1.2 试验材料与方法

试验材料选自沙林中心第一试验场人工林:白丘、棕丘、巨人等 17 个沙棘品种,土壤类型为沙壤土,最大田间持水量为 21.89%。不同沙棘品种的生长条件均一致,采取的种植方式为 4 m×2 m。不同品种沙棘的生长状况见表 1。试验于 2013 年 8 月 10 日充分浇水至土壤水分饱和后开始干旱处理,第 15 d 开始测定土壤含水量和叶片生理指标,以后每 10 d 取样测定 1 次,共取样 3 次。在林地内土壤分 0—10,10—20 和 20—40 cm 这 3 层进行土壤含水量的测定。试验样品上午 9:00—10:00 采集,并立即放入保温箱,带回中心实验室测定相关生理指标。土壤含水量及叶片自然水分饱和亏、自由水与束缚水、保水力的测定方法:烘干称重法^[10];叶绿素含量采用 80%丙酮浸提比色,Arnon 公式法计算^[11],采用 UV-9200 型分光光度计测定。质膜透性采用相对电导率法^[12]。

光合速率、蒸腾速率及气孔导度利用 LI-6400 光合仪进行测定,在取样当天选择健康无病虫害的植株叶片进行测定,时间为 7:00—19:00,每隔 2 h 测定 1 次,重复 6 次。数据取平均值。

表 1 不同沙棘品种的生长状况

品种	生长年限/a	株高/cm	地径/cm	冠幅/cm
白丘	3	101.6	2.8	69.5
棕丘	3	127.8	3.1	70.8
巨人	3	95.2	2.2	74.6
西伯利亚红晕	3	104.9	3.1	80.6
亚历山大 12 号	3	114.6	2.4	94.3
高加索	3	97.8	2.3	87.2
无核	3	87.5	1.9	94.2
欧 11 号	3	120.4	2.3	65.1
状元黄	3	124.7	2.5	71.3
海滨沙棘	3	142.6	3.7	78.1
辽阜 1 号	3	112.9	2.1	63.2
卡图尼	3	86.2	2.2	84.3
向阳	3	118.6	2.9	70.4
植物园	3	102.1	2.4	84.2
丘依斯克	3	109.3	3.1	72.3
深秋红	3	150.7	3.6	86.4
橙色	3	105.3	2.5	87.3

1.3 数据处理及分析方法

数据处理在 Excel 和 SAS 9.0 软件中完成。采用隶属函数法对抗旱性进行综合评价^[13],若指标与抗旱性呈正相关(所测指标与综合评判结果为正相关),则计算公式为:

$$X_g = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

若指标与抗旱性呈负相关(所测指标与综合评判结果为正相关),则计算公式为:

$$X_g = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

式中： X_g ——隶属值； X ——抗旱指标实测值； X_{\min} ——对应指标的最小值； X_{\max} ——对应指标的最大值。将抗旱指标隶属值进行累加排序，平均数越大，抗旱性就越强。

2 结果与分析

2.1 不同土壤水分状况下各沙棘品种水分饱和和亏变化

叶片水分饱和和亏(WSD)是研究植物水分关系的重要指标。WSD表示植物组织实际相对含水量距饱和和相对含水量的差值大小，研究表明，抗旱性越强的植物WSD增加的幅度越小^[14]。不同品种沙棘的WSD及方差分析结果如表2所示。随土壤含水量的降低，17个沙棘品种的WSD呈增加趋势。

从整体上分析，相比较17个沙棘品种，西伯利亚红晕、亚历山大12号的WSD值相对较低，说明其抗旱能力相对强于其他品种。

2.2 不同土壤水分状况下各沙棘品种自由水和束缚水变化

植物体内自由水含量(V_s)和束缚水含量(V_a)的高低与植物的生长及抗性有密切关系。 V_a/V_s 比值高，植物组织或器官的代谢活动及生长缓慢，但抗性较强。如表3所示，随土壤含水量的降低，各沙棘品种的束缚水及束缚水/自由水比值(V_a/V_s)基本上呈增加趋势。相比较17个沙棘品种，高加索、辽阜1号、深秋红、向

阳、欧11号具有较高的束缚水含量及 V_a/V_s ，说明其具有较强的抗旱能力。

表2 不同土壤水分下沙棘品种水分饱和和亏变化 %

品种	不同土壤含水量下沙棘水分饱和和亏		
	17.05%	12.18%	6.55%
白丘	40.20 ^{b(bc)}	42.86 ^{b(de)}	63.79 ^{a(a)}
棕丘	37.62 ^{b(c)}	51.11 ^{a(bc)}	56.64 ^{a(b)}
巨人	46.03 ^{a(b)}	42.52 ^{Ab(de)}	51.07 ^{a(c)}
西伯利亚红晕	6.88 ^{c(e)}	37.07 ^{b(e)}	47.16 ^{a(c)}
亚历山大12号	49.60 ^{a(ab)}	50.49 ^{a(c)}	50.07 ^{a(c)}
高加索	18.55 ^{b(d)}	56.12 ^{a(b)}	57.58 ^{a(b)}
无核	38.72 ^{b(c)}	56.22 ^{ab(b)}	63.58 ^{a(a)}
欧11号	34.06 ^{b(c)}	37.54 ^{b(e)}	64.63 ^{a(a)}
状元黄	44.36 ^{b(b)}	46.17 ^{b(d)}	62.67 ^{a(a)}
海滨沙棘	53.97 ^{b(ab)}	62.57 ^{a(a)}	64.22 ^{a(a)}
辽阜1号	56.01 ^{a(a)}	55.82 ^{ab(b)}	57.42 ^{a(b)}
卡图尼	22.88 ^{b(d)}	47.10 ^{b(d)}	54.85 ^{a(bc)}
向阳	44.78 ^{b(b)}	50.04 ^{ab(c)}	53.75 ^{a(bc)}
植物园	50.75 ^{b(ab)}	55.25 ^{ab(b)}	57.00 ^{a(b)}
丘依斯克	40.52 ^{c(c)}	47.06 ^{b(d)}	64.85 ^{a(a)}
深秋红	53.63 ^{b(ab)}	55.54 ^{ab(b)}	57.95 ^{a(b)}
橙色	39.20 ^{b(c)}	50.40 ^{ab(c)}	52.92 ^{a(bc)}

注：同行小写不同字母表示不同处理差异显著($p < 0.05$)；同列括号内不同小写字母表示同一处理下的差异显著($p < 0.05$)。下同。

在相同的土壤含水量条件下，深秋红及欧11号的束缚水及束缚水/自由水含量相对高于其他品种。白丘、海滨沙棘和无核的束缚水及束缚水/自由水含量相对较低。因此深秋红的抗旱能力相对强于其他品种。

表3 不同土壤水分下沙棘品种自由水、束缚水及束缚水/自由水的变化

品种	土壤含水量 17.05%			土壤含水量 12.18%			土壤含水量 6.55%		
	$V_s/\%$	$V_a/\%$	V_a/V_s	$V_s/\%$	$V_a/\%$	V_a/V_s	$V_s/\%$	$V_a/\%$	V_a/V_s
白丘	24.00 ^{a(e)}	40.67 ^{b(d)}	1.69 ^{c(d)}	16.20 ^{b(cd)}	41.80 ^{a(d)}	2.58 ^{b(d)}	9.47 ^{c(de)}	46.53 ^{c(d)}	4.92 ^{a(c)}
棕丘	16.20 ^{a(g)}	47.80 ^{b(c)}	2.95 ^{b(b)}	17.80 ^{a(c)}	49.20 ^{a(b)}	2.76 ^{B(d)}	11.47 ^{b(c)}	45.87 ^{c(e)}	4.00 ^{b(d)}
巨人	14.27 ^{a(g)}	47.73 ^{a(c)}	3.35 ^{b(ab)}	12.90 ^{ab(e)}	46.10 ^{a(c)}	3.57 ^{B(cd)}	11.00 ^{b(c)}	45.00 ^{b(e)}	4.09 ^{a(d)}
西伯利亚红晕	29.07 ^{a(cd)}	23.60 ^{b(ij)}	0.81 ^{c(e)}	25.00 ^{b(b)}	35.00 ^{b(e)}	1.40 ^{B(f)}	15.30 ^{b(b)}	44.70 ^{a(ef)}	2.92 ^{a(f)}
亚历山大12号	41.13 ^{a(a)}	51.87 ^{b(b)}	1.26 ^{b(d)}	17.70 ^{b(c)}	42.30 ^{c(d)}	2.39 ^{B(e)}	17.07 ^{b(b)}	44.27 ^{b(ef)}	2.59 ^{a(f)}
高加索	15.60 ^{b(g)}	39.73 ^{c(e)}	2.55 ^{b(c)}	21.60 ^{a(b)}	52.40 ^{a(a)}	2.43 ^{C(e)}	7.60 ^{c(f)}	47.40 ^{b(cd)}	6.24 ^{a(ab)}
无核	26.73 ^{a(e)}	27.27 ^{c(h)}	1.02 ^{b(e)}	11.80 ^{b(e)}	46.87 ^{a(c)}	3.97 ^{A(c)}	14.40 ^{b(b)}	45.60 ^{b(e)}	3.17 ^{b(ef)}
欧11号	12.53 ^{a(g)}	46.80 ^{a(cd)}	3.73 ^{c(a)}	11.00 ^{b(e)}	43.00 ^{b(d)}	3.91 ^{B(c)}	8.50 ^{c(e)}	46.50 ^{b(d)}	5.47 ^{a(b)}
状元黄	31.07 ^{a(c)}	22.93 ^{b(i)}	0.74 ^{c(e)}	32.60 ^{a(a)}	49.40 ^{a(b)}	1.52 ^{b(f)}	8.10 ^{b(e)}	47.90 ^{b(cd)}	5.91 ^{a(ab)}
海滨沙棘	28.73 ^{a(cde)}	24.60 ^{c(hij)}	0.86 ^{c(e)}	17.87 ^{b(c)}	31.47 ^{b(f)}	1.76 ^{b(f)}	15.60 ^{c(b)}	40.40 ^{a(f)}	2.59 ^{a(f)}
辽阜1号	23.33 ^{a(f)}	32.00 ^{c(g)}	1.37 ^{c(e)}	10.60 ^{b(f)}	46.40 ^{b(c)}	4.38 ^{b(b)}	7.53 ^{c(f)}	49.80 ^{a(bc)}	6.61 ^{a(a)}
卡图尼	25.53 ^{b(e)}	35.80 ^{b(f)}	1.40 ^{b(d)}	9.20 ^{b(g)}	44.13 ^{a(d)}	4.80 ^{a(ab)}	28.20 ^{a(a)}	29.80 ^{c(g)}	1.06 ^{c(g)}
向阳	35.80 ^{a(b)}	19.53 ^{c(j)}	0.55 ^{b(e)}	8.27 ^{b(g)}	46.40 ^{b(c)}	5.61 ^{a(a)}	9.10 ^{b(de)}	49.90 ^{a(bc)}	5.48 ^{a(b)}
植物园	15.13 ^{a(g)}	46.87 ^{b(cd)}	3.10 ^{c(b)}	10.80 ^{b(f)}	47.20 ^{b(bc)}	4.37 ^{b(b)}	10.00 ^{b(cd)}	51.00 ^{a(b)}	5.10 ^{b(b)}
丘依斯克	29.47 ^{a(cd)}	30.53 ^{c(g)}	1.04 ^{c(e)}	23.40 ^{b(b)}	38.60 ^{b(e)}	1.65 ^{b(f)}	12.80 ^{c(c)}	46.20 ^{a(d)}	3.61 ^{a(e)}
深秋红	15.13 ^{a(g)}	55.53 ^{b(a)}	3.67 ^{b(a)}	14.13 ^{a(d)}	49.20 ^{c(b)}	3.48 ^{b(cd)}	10.30 ^{b(cd)}	63.70 ^{a(a)}	6.18 ^{a(ab)}
橙色	35.93 ^{a(b)}	26.73 ^{b(h)}	0.74 ^{b(e)}	10.93 ^{b(f)}	46.40 ^{b(c)}	4.24 ^{a(b)}	11.00 ^{b(cde)}	48.00 ^{a(bcd)}	4.36 ^{a(c)}

注： V_s 为自由水含量； V_a 为束缚水含量。

2.3 不同土壤水分状况下各沙棘品种相对电导率变化

植物在干旱胁迫下, 细胞膜遭到破坏后电解质外渗, 导致电导率增加。因此, 外渗物越多, 电导率增加愈大, 该植物抗旱性愈弱。如表 4 所示, 随土壤含水量的降低, 17 个沙棘品种的细胞膜透性呈显著增加趋势 ($p < 0.05$), 17 个品种沙棘的细胞膜透性大小顺序分别为: 深秋红 > 辽阜 1 号 > 橙色 > 亚历山大 12 号 > 欧 11 号 > 白丘 > 棕丘 > 状元黄 > 无核沙棘 > 西伯利亚红晕 > 植物园 > 卡图尼 > 巨人 > 高加索 > 向阳 > 丘依斯克 > 海滨沙棘。说明在受到水分胁迫时, 海滨沙棘和丘依斯克的抗旱性相对强于其他沙棘品种。

表 4 不同土壤水分下沙棘品种相对电导率变化 %

品 种	不同土壤含水量沙棘相对电导率		
	17.05%	12.18%	6.55%
白丘	4.70 ^{c(e)}	35.45 ^{b(a)}	36.76 ^{a(c)}
棕丘	1.55 ^{c(g)}	33.98 ^{b(ab)}	35.84 ^{a(d)}
巨人	6.87 ^{c(e)}	19.76 ^{b(d)}	30.79 ^{a(ef)}
西伯利亚红晕	5.61 ^{c(d)}	9.73 ^{b(f)}	33.49 ^{a(d)}
亚历山大 12 号	3.74 ^{c(f)}	15.29 ^{b(de)}	37.61 ^{a(bc)}
高加索	5.35 ^{c(d)}	24.84 ^{b(c)}	30.08 ^{a(ef)}
无核	4.32 ^{c(ef)}	16.95 ^{b(d)}	33.90 ^{a(d)}
欧 11 号	7.53 ^{c(b)}	15.67 ^{b(de)}	37.38 ^{a(bc)}
状元黄	8.60 ^{b(b)}	34.84 ^{a(a)}	35.66 ^{a(d)}
海滨沙棘	4.28 ^{b(ef)}	26.76 ^{a(c)}	17.77 ^{a(h)}
辽阜 1 号	11.27 ^{b(a)}	28.74 ^{b(b)}	39.83 ^{a(b)}
卡图尼	6.49 ^{c(e)}	29.16 ^{b(b)}	32.59 ^{b(e)}
向阳	6.83 ^{c(e)}	12.84 ^{b(e)}	23.70 ^{a(f)}
植物园	2.49 ^{c(g)}	10.14 ^{b(f)}	33.02 ^{a(d)}
丘依斯克	8.95 ^{c(b)}	16.81 ^{b(d)}	23.35 ^{a(g)}
深秋红	5.64 ^{c(d)}	18.03 ^{b(d)}	48.05 ^{a(a)}
橙 色	8.79 ^{c(b)}	27.52 ^{b(b)}	38.96 ^{a(b)}

2.4 不同土壤水分状况下各沙棘品种叶绿素变化

随土壤含水量的降低, 各沙棘品种叶绿素含量呈降低趋势 (见表 5)。有研究表明, 在受到干旱胁迫时植物体内叶绿素含量易降解^[15]。叶绿素是反映植物光合作用能力的强弱, 在抗旱研究分析中, 通常把叶绿素总量作评价指标之一^[16]。因此可以通过叶绿素含量的变化幅度来确定各灌木抗旱能力的大小。随土壤含水量的降低, 各沙棘品种的叶绿素含量呈显著降低趋势 ($p < 0.05$)。在相同的土壤水分条件下, 17 个沙棘品种叶绿素含量的大小顺序为: 亚历山大 12 号 > 棕丘 > 白丘 > 植物园 > 无核 > 高加索 > 辽阜 1 号 > 丘依斯克 > 巨人 > 状元黄 > 欧 11 号 > 深秋红 > 西伯利亚红晕 > 卡图尼 > 向阳 > 海滨沙棘 > 橙色。说明在受到水分胁迫时, 亚历山大 12 号与棕丘的叶

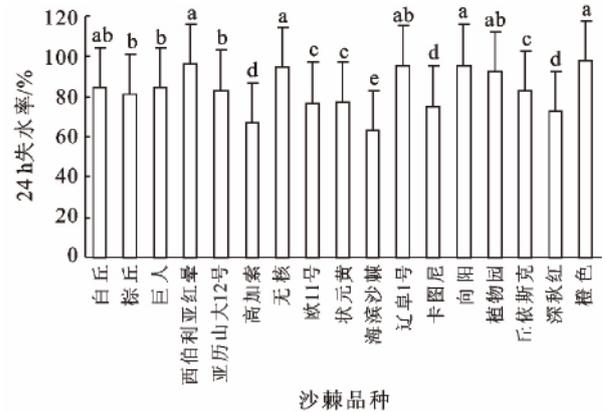
绿素含量高于其他沙棘品种, 其光合能力强于其他沙棘品种。

表 5 不同土壤水分下沙棘品种叶绿素含量变化 mg/g

品 种	不同土壤含水量沙棘叶绿素含量		
	17.05%	12.18%	6.55%
白丘	2.36 ^{a(b)}	2.05 ^{a(b)}	1.92 ^{b(ab)}
棕丘	3.55 ^{a(a)}	1.82 ^{b(bc)}	1.94 ^{b(ab)}
巨人	2.08 ^{a(bc)}	1.59 ^{b(c)}	1.58 ^{b(c)}
西伯利亚红晕	2.36 ^{a(b)}	2.15 ^{b(b)}	1.46 ^{c(ed)}
亚历山大 12 号	2.43 ^{a(b)}	2.37 ^{a(ab)}	2.08 ^{b(a)}
高加索	2.35 ^{a(b)}	1.86 ^{b(bc)}	1.80 ^{b(b)}
无核	2.25 ^{b(b)}	2.72 ^{a(a)}	1.81 ^{b(b)}
欧 11 号	1.73 ^{a(d)}	1.68 ^{a(e)}	1.50 ^{b(e)}
状元黄	1.65 ^{a(d)}	1.69 ^{a(e)}	1.57 ^{b(e)}
海滨沙棘	3.24 ^{a(a)}	2.11 ^{b(b)}	1.17 ^{c(e)}
辽阜 1 号	1.91 ^{a(d)}	1.94 ^{a(b)}	1.63 ^{b(e)}
卡图尼	2.51 ^{a(b)}	2.03 ^{b(b)}	1.26 ^{c(d)}
向阳	2.34 ^{a(b)}	1.78 ^{b(c)}	1.21 ^{b(e)}
植物园	2.18 ^{a(bc)}	2.10 ^{a(b)}	1.88 ^{b(b)}
丘依斯克	2.88 ^{a(ab)}	2.11 ^{b(b)}	1.62 ^{c(e)}
深秋红	2.34 ^{a(b)}	2.03 ^{b(b)}	1.49 ^{c(ed)}
橙 色	2.10 ^{a(c)}	1.67 ^{b(c)}	1.12 ^{b(e)}

2.5 不同土壤水分状况下各沙棘品种保水力变化

叶片保水力是反映林木耐旱能力的最基本的指标之一。植物单位时间内失水量失水率越大, 保水能力越弱, 其抗旱性也越弱^[17]。从图 1 可以看出, 各沙棘失水速率有所不同, 其中橙色与向阳的失水速率分别为 98.01%, 95.82%, 抗性相对较低。



注: 不同小写字母表示不同品种间差异显著 ($p < 0.05$)。

图 1 不同品种沙棘的失水率变化

2.6 不同土壤水分状况下各沙棘品种光合速率、蒸腾速率与气孔导度变化

在受到水分胁迫时, 植物的蒸腾速率及气孔导度会降低 (表 6—8)。随土壤含水量的降低, 供试材料的光合速率、蒸腾速率及气孔导度降低, 但下降的幅度不同。17 个沙棘品种光合速率下降的幅度依次为: 巨人 (91.23%) > 棕丘 (73.70%) > 白丘 (67.64%) > 向阳

(67.04%)>无核(64.07%)>亚历山大 12 号(63.21%)>海滨沙棘(62.44%)>西伯利亚红晕(62.10%)>橙色(62.04%)>植物园(61.78%)>高加索(61.28%)>卡图尼(61.01%)>辽阜 1 号(60.19%)>深秋红(57.39%)>欧 11 号(54.09%)>状元黄(53.11%)>丘依斯克(47.90%)。

17 个沙棘品种蒸腾速率下降的幅度依次为:深秋红(64.51%)>辽阜 1 号(62.48%)>丘依斯克(58.92%)>亚历山大 12 号(57.14%)>巨人(56.13%)>橙色(55.25%)>欧 11 号(52.04%)>植物园(50.66%)>卡图尼(50.00%)>高加索(48.28%)>状元黄(44.57%)>棕丘(44.35%)>向阳(43.03%)>海滨沙棘(39.89%)>无核(39.70%)>西伯利亚红晕(38.12%)>白丘(37.05%)。说明在水分胁迫下,深秋红和辽阜 1 号的蒸腾速率下降的幅度较大,抗旱性相对较强。

表 8 表明,随土壤水分的降低,各沙棘品种的气孔导度呈下降趋势,其变化趋势与蒸腾速率相似。17 个沙棘品种气孔导度下降的幅度依次为:巨人(87.80%)>白丘(81.85%)>亚历山大 12 号(81.82%)>向阳(73.37%)>欧 11 号(72.73%)>卡图尼(70.90%)>深秋红(70.51%)>植物园(69.23%)>棕丘(68.88%)>丘依斯克(62.61%)>西伯利亚红晕(60.19%)>辽阜 1 号(58.70%)>状元黄(53.99%)>橙色(46.63%)>海滨沙棘(41.50%)>高加索(39.90%)>无核(34.88%)。说明巨人和白丘气孔导度下降的幅度较大,抗旱性相对较强。

表 6 不同土壤水分下沙棘品种光合速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2/\text{s}$)

品 种	不同土壤含水量下沙棘光合速率		
	17.05%	12.18%	6.55%
白丘	6.501 ^{a(b)}	4.014 ^{b(c,d)}	2.104 ^{c(b)}
棕丘	4.142 ^{a(c)}	3.156 ^{a(e)}	1.089 ^{b(c,d)}
巨人	5.236 ^{a(c)}	4.123 ^{a(c,d)}	0.459 ^{b(e)}
西伯利亚红晕	3.267 ^{a(d)}	2.145 ^{b(f)}	1.238 ^{c(e)}
亚历山大 12 号	6.254 ^{a(b,c)}	4.587 ^{b(e)}	2.238 ^{c(b)}
高加索	3.789 ^{a(d)}	2.147 ^{b(f)}	1.429 ^{c(e)}
无核	7.156 ^{a(b,c)}	5.483 ^{b(b)}	2.571 ^{c(b)}
欧 11 号	9.235 ^{a(a)}	7.145 ^{b(a)}	4.239 ^{c(a)}
状元黄	5.247 ^{a(c)}	3.156 ^{b(e)}	2.460 ^{c(b)}
海滨沙棘	3.214 ^{a(d)}	2.146 ^{a(f)}	1.207 ^{b(c)}
辽阜 1 号	8.236 ^{a(b)}	5.550 ^{b(a)}	3.278 ^{c(e)}
卡图尼	5.230 ^{a(c)}	4.157 ^{b(c)}	2.039 ^{c(b,c)}
向 阳	3.258 ^{a(d)}	2.145 ^{b(f)}	1.051 ^{c(d)}
植物园	4.532 ^{a(c)}	3.020 ^{a(e)}	1.732 ^{b(c)}
丘依斯克	6.250 ^{a(b,c)}	4.017 ^{b(c,d,e)}	3.256 ^{c(a,b)}
深秋红	7.156 ^{a(b,c)}	5.120 ^{b(b)}	3.049 ^{b(a,b)}
橙 色	2.590 ^{a(e)}	1.074 ^{a(g)}	0.983 ^{b(e)}

表 7 不同土壤水分下沙棘品种蒸腾速率 ($\text{mmol} \cdot \text{m}^2/\text{s}$)

品 种	不同土壤含水量下沙棘蒸腾速率		
	17.05%	12.18%	6.55%
白丘	3.511 ^{a(b)}	3.092 ^{a(ab)}	2.210 ^{b(ab)}
棕丘	1.914 ^{a(e)}	1.232 ^{b(h)}	1.067 ^{c(e)}
巨人	2.031 ^{a(c,d)}	1.680 ^{b(f)}	0.891 ^{c(f)}
西伯利亚红晕	2.652 ^{a(c)}	2.162 ^{b(d)}	1.641 ^{c(b,c)}
亚历山大 12 号	3.187 ^{a(b)}	2.053 ^{b(d)}	1.366 ^{c(d)}
高加索	3.991 ^{a(ab)}	2.592 ^{b(b,c)}	2.064 ^{b(a,b,c)}
无核	4.232 ^{a(a)}	3.461 ^{b(a)}	2.552 ^{c(a)}
欧 11 号	2.033 ^{a(c,d,e)}	1.471 ^{b(f,g)}	0.975 ^{c(f)}
状元黄	1.483 ^{a(f)}	0.862 ^{b(h)}	0.822 ^{b(f)}
海滨沙棘	2.785 ^{a(c)}	1.982 ^{b(e)}	1.674 ^{c(e)}
辽阜 1 号	2.023 ^{a(c,d)}	1.552 ^{b(f)}	0.759 ^{c(f)}
卡图尼	1.662 ^{a(f)}	1.277 ^{b(g)}	0.831 ^{b(f)}
向 阳	1.943 ^{a(e)}	1.486 ^{b(f,g)}	1.107 ^{b(d,e)}
植物园	2.513 ^{a(c)}	1.682 ^{b(f)}	1.240 ^{c(d)}
丘依斯克	2.551 ^{a(c)}	2.145 ^{a(c,d)}	1.048 ^{b(d,e)}
深秋红	3.373 ^{a(b)}	2.486 ^{b(b,c)}	1.197 ^{c(d)}
橙 色	1.953 ^{a(e)}	1.433 ^{b(g)}	0.874 ^{b(f)}

表 8 不同土壤水分下沙棘品种气孔导度 ($\text{mmol} \cdot \text{m}^2/\text{s}$)

品 种	不同土壤含水量下沙棘气孔导度		
	17.05%	12.18%	6.55%
白丘	0.325 ^{a(b,c)}	0.175 ^{b(d)}	0.059 ^{c(f)}
棕丘	0.286 ^{a(c)}	0.147 ^{b(e)}	0.089 ^{b(c,d)}
巨人	0.369 ^{a(a)}	0.243 ^{b(b,c)}	0.045 ^{c(f)}
西伯利亚红晕	0.211 ^{a(d,e,f)}	0.146 ^{b(e)}	0.084 ^{b(d)}
亚历山大 12 号	0.176 ^{a(e)}	0.085 ^{b(h)}	0.032 ^{c(g)}
高加索	0.193 ^{a(e,f)}	0.176 ^{a(d)}	0.116 ^{b(b)}
无核	0.344 ^{a(a,b,c)}	0.289 ^{b(a)}	0.224 ^{b(a)}
欧 11 号	0.154 ^{a(f)}	0.124 ^{a(e,f)}	0.042 ^{b(f)}
状元黄	0.163 ^{a(e)}	0.089 ^{b(g)}	0.075 ^{c(e)}
海滨沙棘	0.253 ^{a(d)}	0.221 ^{b(b,c)}	0.148 ^{b(b)}
辽阜 1 号	0.247 ^{a(d)}	0.210 ^{a(b,c)}	0.102 ^{b(b)}
卡图尼	0.268 ^{a(d)}	0.195 ^{b(d)}	0.078 ^{c(e)}
向 阳	0.323 ^{a(b,c)}	0.156 ^{b(e)}	0.086 ^{b(d)}
植物园	0.351 ^{a(a,b)}	0.267 ^{b(a)}	0.108 ^{c(b)}
丘依斯克	0.115 ^{a(g)}	0.096 ^{b(h)}	0.043 ^{c(f)}
深秋红	0.295 ^{a(c)}	0.103 ^{b(f,g)}	0.087 ^{b(d)}
橙 色	0.178 ^{a(e,f)}	0.118 ^{a(e,f,g)}	0.095 ^{b(c,d)}

2.7 沙棘的抗旱性综合评价

以土壤含水量 6.55% 为准,通过隶属函数值法计算并取平均值,值越大抗旱性就越强,供试品种隶属函数值均值进行排序结果见表 9。根据隶属函数值的计算公式,当某一沙棘品种某一指标的实测值与最小值相等时,所计算隶属函数值为 0;当某一沙棘品种某一指标的实测值与最大值相等时,所计算隶属函数值为 1。根据隶属函数值的平均值 17 个沙棘品种的

抗旱性由强到弱的顺序为: 辽阜 1 号 > 欧 11 号 > 深 晕 > 丘依斯克 > 亚历山大 12 号 > 橙色 > 高加索 > 向秋红 > 状元黄 > 棕丘 > 植物园 > 白丘 > 西伯利亚红 阳 > 巨人 > 无核 > 卡图尼 > 海滨沙棘。

表 9 各沙棘品种的隶属函数值及抗旱性排序

品 种	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	隶属值 平均	排序
白 丘	0.580 6	0.493 6	0.694 8	0.627 2	0.833 3	0.615 9	0.435 2	0.190 7	0.859 4	0.592 3	7
棕 丘	0.466 0	0.473 9	0.529 9	0.596 8	0.854 2	0.518 4	0.166 7	0.828 2	0.703 1	0.570 8	5
巨 人	0.114 8	0.448 4	0.546 3	0.429 9	0.479 2	0.605 5	0.000 0	0.926 4	0.932 3	0.498 1	14
西伯利亚红晕	1.000 0	0.439 5	0.335 8	0.519 1	0.354 2	0.945 1	0.206 1	0.508 1	0.729 2	0.559 7	8
亚历山大 12 号	0.000 0	0.426 7	0.276 7	0.655 4	1.000 0	0.573 3	0.470 6	0.661 5	1.000 0	0.562 7	10
高加索	0.968 7	0.519 2	0.932 7	0.406 6	0.708 3	0.112 7	0.256 6	0.272 2	0.562 5	0.526 6	12
无 核	0.612 7	0.466 1	0.379 9	0.532 6	0.718 8	0.908 4	0.558 7	0.000 0	0.000 0	0.464 1	15
欧 11 号	0.756 3	0.492 6	0.794 7	0.647 6	0.395 8	0.392 5	1.000 0	0.879 5	0.947 9	0.700 8	2
状元黄	0.448 1	0.533 9	0.874 5	0.590 8	0.468 8	0.409 7	0.529 4	0.964 9	0.776 0	0.621 8	4
海滨沙棘	0.245 7	0.312 7	0.276 0	0.000 0	0.052 1	0.000 0	0.197 9	0.489 7	0.395 8	0.218 9	17
辽阜 1 号	0.023 5	0.590 0	1.000 0	0.728 4	0.531 3	0.925 5	0.216 7	1.000 0	0.635 4	0.627 9	1
卡图尼	0.791 2	0.000 0	0.000 0	0.489 5	0.145 8	0.351 9	0.418 0	0.959 8	0.760 4	0.435 2	16
向 阳	0.213 5	0.592 9	0.797 1	0.195 7	0.093 7	0.937 4	0.156 6	0.805 9	0.718 8	0.501 3	13
植物园	0.145 2	0.625 4	0.728 0	0.503 7	0.791 7	0.831 6	0.336 8	0.731 7	0.604 2	0.588 7	6
丘依斯克	0.599 2	0.483 8	0.459 6	0.184 4	0.520 8	0.567 5	0.739 9	0.838 8	0.942 7	0.593 0	9
深秋红	0.096 7	1.000 0	0.923 3	1.000 0	0.385 4	0.275 3	0.685 2	0.755 7	0.713 5	0.648 4	3
橙 色	0.332 9	0.536 9	0.595 4	0.699 8	0.000 0	1.000 0	0.138 6	0.935 9	0.671 9	0.545 7	11

注: $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9$ 分别代表 WSD, $V_a, V_a/V_s$, 相对电导率, 叶绿素, 保水力, 光合速率, 蒸腾速率, 气孔导度的隶属函数值。

3 讨 论

3.1 不同品种沙棘的抗旱性研究

从生态效益角度考虑, 坚持“适地适树”的原则, 在降水充足或有灌溉条件的地区, 选择品质优良、经济价值高的品种, 而在水分条件较差的地区, 则应首先考虑沙棘对不良环境因子的适应性, 选择抗旱性强、光合速率高、蒸腾速率低的沙棘品种。研究表明, 可将水分代谢各指标作为衡量植物抗旱性的标准, 包括水分饱和亏、束缚水含量、保水力等指标。阮成江等^[18]研究表明, 在旱季, 沙棘体内束缚水含量随干旱加剧而上升, 束缚水与自由水比值随干旱加剧而增大、蒸腾减弱, 饱和亏增大, 表现出较强的抗旱性; 吴林等^[19]研究发现, 随水分胁迫程度的增加, 沙棘叶片的光合强度、呼吸强度、色素含量及过氧化氢酶活性均逐渐降低, 而脯氨酸含量、过氧化物酶活性升高; 王洪江等研究发现抗旱性强的沙棘品种具备较小的蒸腾速率、气孔导度及失水速率。本研究表明, 亚历山大 12 号、辽阜 1 号、巨人和深秋红的自然水分饱和亏增加的幅度小于其他品种, 在充分供水条件下, 各品种沙棘的自然水分饱和亏维持在 6.88%~53.97%, 可能是当地气候或沙棘自身特性、土壤类型等诸多因

素造成的。抗旱性强的沙棘品种如辽阜 1 号、欧 11 号的光合蒸腾速率降低的幅度较小, 叶绿素含量高于其它品种, 这与阮成江等^[18]研究结果一致。不同沙棘品种适应干旱的机制不同, 亚历山大 12 号、辽阜 1 号、深秋红的相对电导率高于其他品种; 海滨沙棘尽管相对电导率较低, 但在其他生理表现上不理想。为尽可能减少误差, 对植物进行抗旱性评价是应尽量选取多的指标进行综合评价。在今后的试验设计中, 可结合不同沙棘品种来源以及测定形态学指标进一步完善其评价体系。

3.2 抗旱性综合评价指标及方法的选择

在干旱胁迫下, 测定抗旱性的指标包括生长指标、水分生理、解剖结构、光合生理等众多指标。如何选取与抗旱性关系较大的指标是一项复杂的工作。刘瑞香等研究表明, 在水分胁迫下, 植物的产量或生物量越高, 其抗旱性越强^[20]。对植物进行抗旱性综合评价时, 尽可能选取多的指标体系十分必要。

植物对水分胁迫下的生理生化反应是动态的过程, 同一植物在不同的生育期下表现出不同的变化趋势。在干旱胁迫下除了考虑抗旱生理指标外, 还应考虑植物在不同生育期的生理响应。因此, 植物的抗旱性是十分复杂, 难以用单一指标进行评价。隶属函数

法是在多个指标测定的基础上,对植物的抗旱性进行较为综合评价,避免了使用单一指标进行评价的不准确性。本研究选取水分饱和亏、叶绿素含量、蒸腾速率等 8 个指标对 17 个沙棘品种的抗旱性进行综合评价,还有众多指标如各种酶的活性、叶片形态解剖结构等指标没测定,在今后的工作中,可以结合盆栽试验来进一步完善植物抗旱性综合评价体系,为其在该地区的利用提供准确理论依据。

4 结论

(1) 在干旱胁迫下,测得各品种沙棘的多数指标胁迫前期变幅较小,并随胁迫的加剧而增加。说明各品种沙棘具有一定的适应性。当胁迫的程度超出自身调节后,干旱胁迫对各品种沙棘的伤害程度加大。

(2) 随干旱胁迫的增加,各品种沙棘的自然水分饱和亏、束缚水及束缚水/自由水比值(V_a/V_s)、细胞膜透性呈增加趋势。在整个胁迫过程中,各品种的自然水分饱和亏在 22.88%~64.85%,在胁迫后期,丘依斯克、欧 11 号、白丘的水分饱和亏接近,其 WSD 值分别为 64.85%,64.63,63.79%,处于较高水平;深秋红、欧 11 号在整个胁迫过程中束缚水(V_a)及束缚水/自由水比值(V_a/V_s)处于较高水平,说明其抗旱能力相对较强;橙色与白丘的相对电导率显著高于其他品种,海滨沙棘与丘依斯克的相对电导率处于较低水平。

(3) 随干旱胁迫的增加,各品种沙棘的绿素含量、保水力、光合速率、蒸腾速率及气孔导度呈降低趋势。亚历山大 12 号的叶绿素含量最高,橙色的叶绿素含量处于最低水平;橙色和向阳的失水速率显著高于其他品种,失水速率分别为 98.01%,95.82%,抗性相对较低;其中辽阜 1 号和深秋红的下降幅度较大、气孔导度维持下降程度维持在中等水平。

(4) 根据隶属函数值,17 个品种沙棘的抗旱性由强到弱顺序依次为:辽阜 1 号>欧 11 号>深秋红>状元黄>棕丘>植物园>白丘>西伯利亚红晕>丘依斯克>亚历山大 12 号>橙色>高加索>向阳>巨人>无核>卡图尼>海滨沙棘。

[参 考 文 献]

- [1] 王艳芳,韩冰,张占雄. 锡林郭勒草原克氏针茅抗旱生理变化的研究[J]. 草业科学,2006,23(2):22-26.
- [2] 蒋志荣,杨占彪,汪君,等. 兰州九州台四种绿化树种抗旱性机理比较研究[J]. 中国沙漠,2006,24(4):553-558.
- [3] 宋松泉,王彦荣. 植物对干旱胁迫的分子反应[J]. 应用生态学报,2002,13(8):1037-1044.
- [4] Ouïam Lahlou, Jean-Francois Ledent. Root mass and depth, stolons and roots formed on stolons in four cultivars of potato under water stress[J]. European Journal of Agronomy, 2005,22(2):159-173.
- [5] 贺强,代志国. 沙棘苗期耐盐性鉴定[J]. 黑龙江农业科学,2011(11):99-102.
- [6] 侯丽丽. 干旱胁迫下沙棘抗旱生理生化指标变化规律研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2007.
- [7] 于海兵,胡海波,裘涛,等. 废弃宕口 6 种水土保持植物抗旱性研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(16):9761-9764.
- [8] 李维向,刘朝霞,闫伟,等. 沙柳优良品系选育的研究[J]. 中国沙漠,2008,28(4):679-684.
- [9] 温秀凤,卢顺光,金争平,等. 杂交子代与亲本群体沙棘叶有机酸、脂肪及其它常规成分含量及变化研究[J]. 国际沙棘研究与开发,2005,3(2):21-25.
- [10] 李合生. 植物生理生化试验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2003:9-16.
- [11] 张政宪. 作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社,1990:27-36.
- [12] 刘金祥,谭杏婵,刘家琼. 高温胁迫对香根草含水量、膜透性、脯氨酸和叶绿素含量的影响[J]. 草原与草坪,2005(6):58-59.
- [13] 王彩华. 模糊论方法学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1988:138-203.
- [14] 沈艳,谢应忠. 干旱对紫花苜蓿叶绿素含量与水分饱和亏缺的影响[J]. 宁夏农学院学报,2004,25(4):25-28.
- [15] 王忠. 植物生理学[M]. 中国农业出版社,2000:130-131.
- [16] 曹兵,苏润海,王标,等. 水分胁迫下臭椿幼苗几个生理指标的变化[J]. 林业科技,2003,28(3):1-3.
- [17] 王晶英,敖红,张杰,等. 植物生理生化试验技术与原理[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003:10-15.
- [18] 阮成江,李代琼. 黄土丘陵区沙棘林几个水分生理生态特征研究[J]. 林业科学研究,2002,15(1):47-53.
- [19] Aasamma K, Sher A, Hartung W, et al. Rate of stomatal opening, shoot hydraulic conductance and photosynthetic characteristics in relation to leaf abscisic acid concentration in six temperate deciduous trees[J]. Tree Physiology, 2002,4(22):267-276.
- [20] 刘瑞香. 沙棘土著种和外来种对干旱胁迫的生态适应性分析[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2005.