

# 5 种荒漠植物抗旱性及其与抗旱指标相关性的定量评价<sup>\*</sup>

杨 俊<sup>1, 2</sup>, 马 健<sup>1</sup>, 王婷婷<sup>1, 2</sup>, 尹湘江<sup>3</sup>

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所阜康荒漠生态试验站 乌鲁木齐 830011; 2 中国科学院研究生院 北京 100039;

3 新疆天池管理委员会 昌吉 831500)

**提 要:** 通过测定苦豆子、苦马豆、骆驼蓬、钠猪毛菜和盐爪爪 5 种典型荒漠植物的相对含水量、叶绿素含量、电导率、比叶面积、根冠比和蒸腾速率 6 项抗旱指标, 运用隶属函数值法对 5 种植物的综合抗旱适应性进行定量评价。评价结果表明, 5 种荒漠植物的综合抗旱性强弱顺序为: 盐爪爪 > 钠猪毛菜 > 苦马豆 > 苦豆子 > 骆驼蓬。在此基础上运用灰色关联度分析方法, 对 5 种植物的抗旱性和 6 项抗旱指标的相关性进行分析。关联度分析结果表明, 各项抗旱指标与平均隶属函数值的关联顺序为: 蒸腾速率 > 相对含水量 > 电导率 > 比叶面积 > 根冠比 > 叶绿素含量, 即蒸腾速率、相对含水量和电导率是 5 种植物抗旱性评价的重要指标。

**关键词:** 抗旱性; 抗旱指标; 隶属函数值; 灰色关联度

**中图分类号:** Q948. 112<sup>+</sup>. 3

**文献标识码:** A

我国的荒漠化进程正逐年加剧<sup>[1, 2]</sup>。在干旱的荒漠地区, 高温和干旱交织在一起对植物的生长发育产生不利影响, 致使植物产量十分低下<sup>[3]</sup>。鉴定荒漠地区植物的抗旱适应性, 选择抗旱适应性强的物种, 对以水分为主要胁迫因子的荒漠地区植被重建与恢复极其重要, 它可以为荒漠地区的抗旱育种提供优良种质资源。植物的抗旱性是其干旱环境下生长和繁殖的必需, 是多种因素综合作用的结果<sup>[4]</sup>, 不仅表现在外部形态上, 也表现在内部结构及生理代谢上。植物对干旱的适应方式不同, 形态上可以增大根冠比、减小叶面积、形成被毛等; 生理上可以使气孔下陷、关闭气孔、形成代谢水等。不同品种的植物抗旱机制与性能不同, 利用单个指标评价荒漠植物的抗旱性存在很大局限。因此, 为全面客观准确地评价不同植物的抗旱能力, 必须利用与抗旱性有关的多项指标来进行综合定量评价<sup>[5-7]</sup>。隶属函数法提供了一个多指标综合评价的途径, 更具科学性和可靠性。抗旱性是植物自身形态、生理生化特性及环境因素相互作用而构成的一个复杂性状, 其中每一个因子都与抗旱性存在着一定的相关性<sup>[8]</sup>。因此, 研究植物对干旱逆境反应并寻找其中最具代表性的重要指标十分必要, 而灰色系统理论能够客观地对不同植物的不同抗旱指标进行综合评价, 避免人为评价的主观性, 在实践中具有很强的可行性<sup>[9]</sup>。

通过测定 5 种荒漠植物与抗旱适应性紧密相关的生理指标和形态指标, 运用隶属函数值法对 5 种荒漠植物的抗旱性进行定量分析和评价; 并在抗旱性研究的基础上, 采用灰色关联度分析方法深入探讨 5 种荒漠植物的抗旱性与所选抗旱指标的相关关系, 以期荒漠地区的抗旱育种及植被保育提供科学的参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源及处理

试验采集生长期长势良好的 5 种荒漠植物作为研究对象, 每次采集两株, 共采集 3 次。其中, 苦豆子 (*Sophora alopecurioides* L.)、苦马豆 (*Sphaerophysa salsola*) 和骆驼蓬 (*Peganum harmala* L.) 3 种荒漠植物采集于中国科学院新疆生态与地理研究所阜康荒漠生态系统观测研究站的棉田附近, 钠猪毛菜 (*Salsola nitaria* Pal.) 和盐爪爪 (*Kalidium foliatum*) 2 种荒漠植物采集于古尔班通古特沙漠南缘。在野外测定每种植

\* 收稿日期: 2008-6-25。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40471048) 资助。

作者简介: 杨俊 (1984-), 男, 汉, 硕士研究生, 主要从事植物生理生态学研究。E-mail: jun17174@hotmail.com

物的蒸腾速率及叶片的原始鲜重,然后挖掘出整株植物,带回实验室测定其它抗旱指标。

1.2 实验内容与方法

1.2.1 各项抗旱指标的测定

叶绿素含量用丙酮提取法测定<sup>[10]</sup>;蒸腾速率用 LI-6400 型便携式植物光合作用仪测定;电导率用电解质外渗量法测定<sup>[11]</sup>;相对含水量  $RWC = (原始鲜重 - 干重) / (饱和鲜重 - 干重) \times 100\%$ <sup>[12]</sup>;比叶面积  $SLA = 叶面积 / 叶干重$ ;根冠比  $= 根干重 / 地上部分干重$ 。

1.2.2 抗旱性综合评价—隶属函数值法

在模糊数学中,一个评价因素指标实测值属于某一级别的程度称为隶属度,它是 0—1 之间的数,越接近 1,隶属于这一级别的程度就越大,这样,每给一个评价因素指标实测值,就对应一个隶属度,我们把这种对应关系称为隶属函数<sup>[13]</sup>。文中运用模糊数学中的隶属函数值法<sup>[14,15]</sup>对各抗旱指标进行综合定量评价。隶属函数值法的计算公式如下:

$$\mu(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \tag{1}$$

式中:  $\mu(X_{ij})$  为 i 物种 j 指标的隶属函数值,  $X_{ij}$  为 i 物种 j 指标的测定值,  $X_{max}$  和  $X_{min}$  分别为指标的最大值和最小值。

如果某一指标与抗旱性成负相关,则用反隶属函数计算,公式为:

$$\mu(X_{ij}) = 1 - \frac{X_{ij} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \tag{2}$$

运用公式 (1) 或 (2) 求出 5 种荒漠植物 6 项抗旱指标的平均隶属函数值,平均隶属函数值越大,表示该种荒漠植物的抗旱性越强。

1.2.3 灰色关联度分析

灰色关联度分析方法,是灰色系统理论中的一种分析方法,此方法被广泛应用于农业和林业研究中。灰色关联分析是根据因素之间发展态势的相似或相异程度,来衡量因素之间关联程度的一种系统分析方法。它基于行为因子序列的微观或宏观几何接近,分析确定因子间的影响程度或因子对主行为的贡献程度。关联度的大小只是因子间相互作用、相互影响的外在表现,关联度的排序才能体现众多因子对参考因子的相对影响程度<sup>[9]</sup>。

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

$$\epsilon_i(k) = \frac{\min \min \Delta_i(k) + \rho \cdot \max \max \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \rho \cdot \max \max \Delta_i(k)} \tag{3}$$

$$\eta_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \epsilon_i(k) \quad (i, k=1, 2, \dots, n) \tag{4}$$

式中:  $\epsilon_i(k)$  为关联系数;  $\eta_i$  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>[9]</sup>。

2 结果与分析

2.1 不同物种的各项抗旱指标值

对 5 种荒漠植物的 6 项抗旱指标进行测定和统计分析,得到各项指标的平均值(表 1)。

相对含水量(RWC)是反映植物水分状况的参数,植物叶片相对含水量的大小可部分反映植物抗逆性的能力。表 1 的结果表明,钠猪毛菜的 RWC 最高,达到 90.88%;其次是

表 1 5 种植物的 6 项抗旱指标

Tab 1 Six drought resistance indexes of five desert plants

	苦豆子	苦马豆	骆驼蓬	钠猪毛菜	盐爪爪
相对含水量(%)	73.25	83.00	86.70	90.88	77.01
叶绿素含量(μg/g)	89.53	72.05	30.87	12.40	13.08
电导率(%)	60.31	33.50	23.58	48.80	21.35
根冠比	0.7473	0.5036	0.1801	0.3514	0.1523
比叶面积(m <sup>2</sup> /kg)	0.0148	0.0279	0.0105	0.0189	0.0079
蒸腾速率(μmol·m <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> )	4.432	4.073	5.216	2.005	7.536

骆驼蓬和苦马豆,盐爪爪和苦豆子最低。根冠比和比叶面积在一定程度上能反映荒漠植物应对干旱的形态适应方式。前人的研究认为,荒漠植物在干旱胁迫下有通过增大根冠比和减小叶面积来适应环境的趋势<sup>[ 17, 18 ]</sup>;比叶面积与叶片厚度或密度具有负相关关系,叶片厚度或密度的增加(比叶面积减少)有利于增加叶片内部水分向叶片表面扩散的距离或阻力,降低植物内部水分散失<sup>[ 19 ]</sup>。从表 1 可以看出,盐爪爪的根冠比最小,比叶面积也最小,表明盐爪爪通过改变形态方式适应干旱环境的能力比其它 4 种荒漠植物强。此外,电导率、叶绿素含量和蒸腾速率也与植物的抗旱性密切相关<sup>[ 20-22 ]</sup>。

2.2 5 种荒漠植物抗旱适应性定量评价

以相对含水量、叶绿素含量、电导率、根冠比、比叶面积和蒸腾速率 6 个抗旱指标为依据,计算各个指标的平均隶属函数值,并进行抗旱能力综合评价(表 2)。

从表 2 可以看出,5 种荒漠植物的综合抗旱适应性强弱顺序为:盐爪爪>钠猪毛菜>苦马豆>苦豆子>骆驼蓬。其中,盐爪爪的平均隶属函数值最大为 0.5645,骆驼蓬的平均隶属函数值最小为 0.4631,5 种植物的平均隶属函数值并不存在显著差异,这可能与 5 种植物都是适应于极端干旱环境的荒漠植物有关,它们都具有较强的抗旱能力。此外,盐爪爪和钠猪毛菜的平均隶属函数值都在 0.5 以上,而苦马豆、苦豆子和骆驼蓬的平均隶属函数值都在 0.4—0.5 之间,明显小于盐爪爪和钠猪毛菜的抗旱能力,这可能与采集地点不同的水分条件有关。阜康荒漠生态系统观测研究站年均降雨量为 164mm,明显大于古尔班通古特沙漠的年均降雨量(70—150mm),采集于阜康荒漠生态系统观测研究站棉田周围的苦马豆、苦豆子和骆驼蓬 3 种荒漠植物,比采集于古尔班通古特沙漠南缘的盐爪爪和钠猪毛菜 2 种荒漠植物具有更为优越的水分条件,因而前 3 种荒漠植物的抗旱性不如盐爪爪和钠猪毛菜。

2.3 抗旱性与抗旱指标的相关关系评价 — 灰色关联度分析

将 5 种植物各抗旱指标的平均隶属函数值与 6 个抗旱指标看作一个灰色系统,前者作为参考数列  $X_0$ ,  $X_0 = (0.4872, 0.4984, 0.4631, 0.5279, 0.5645)$ , 相对含水量、叶绿素含量、电导率等 6 个抗旱指标作为比较数列  $X_i$ , 即  $X_{\text{相对含水量}} = (73.25, 83.00, 86.70, 90.88, 77.01)$ ,  $X_{\text{叶绿素含量}} = (89.53, 72.05, 30.87, 12.40, 13.08) \dots\dots X_{\text{蒸腾速率}} = (4.432, 4.073, 5.216, 2.005, 7.536)$ 。对数据进行标准化无量纲处理后,在 DPS 软件中,用公式(3)和(4)计算出各抗旱指标与平均隶属函数值的关联度,并按关联度大小进行排序。关联度大小可表明某一项抗旱性指标对干旱的敏感程度,关联度越大则相似程度越高,反之则越低。

表 3 的结果表明,各项抗旱指标与平均隶属值的关联顺序为:蒸腾速率>相对含水量>电导率>比叶面积>根冠比>叶绿素含量。其中,蒸腾速率、相对含水量和电导率三者的关联度都在 0.6 以上且较为接近,比叶面积和根冠比的关联度位于 0.5—0.6 之间且相差较大,叶绿素含量的关联度则远低于其他 5 项抗旱指标的关联度。这说明,蒸腾速率、相对含水量和电导率三个指标对所选 5 种荒漠植物的抗旱能力影响最大,它们可作为重要的抗旱适应性鉴定指标。

表 3 各项抗旱指标的关联度

Tab 3 The correlation degrees of six drought resistance indexes						
	相对含水量	叶绿素含量	电导率	根冠比	比叶面积	蒸腾速率
关联度	0.6187	0.4454	0.6052	0.5193	0.5511	0.6328
关联顺序	2	6	3	5	4	1

3 结论与讨论

不同植物在形态结构特征、生理生化特性及生长发育等方面对干旱逆境的反应不同,所形成的抗旱机理也不一样<sup>[ 7 ]</sup>。因而,对植物抗旱适应性的综合定量化评价就显得尤为复杂和困难。文中采用模糊数学中的隶属函数法来定量评价不同植物的抗旱能力,该方法充分考虑到各指标与抗旱性相关程度以及各指标隶属函数值与抗旱能力的相关度,评价方法科学可行,评价结果具有较强的可信性。实验结果表明,5 种荒漠植物的抗旱性强弱顺序为:盐爪爪>钠猪毛菜>苦马豆>苦豆子>骆驼蓬,与这 5 种荒漠植物的野

外生长抗旱实际基本相符合。

灰色关联度分析方法可通过分析确定多个抗旱指标中哪些指标更能代表植物的抗旱能力。研究的 6 个抗旱指标中蒸腾速率、相对含水量和电导率与平均隶属函数值关联最大,说明这几个指标对所选植物抗旱性的影响程度和贡献程度最大,可作为 5 种荒漠植物重要的抗旱鉴定指标。李禄军<sup>[3]</sup>等对 3 树种抗旱性综合评价与指标选取发现,叶绿素含量、相对含水量、电导率等对树种的抗旱性影响程度最大,与文中实验研究结果不完全符合,可能与所选植物种类及其适应干旱环境的机制不同有关。

## 参考文献

- [ 1 ] 丁一汇,王守荣.中国西北地区气候与生态环境概论[ M ].北京:气象出版社,2001.
- [ 2 ] 赛胜宝.内蒙古北部荒漠草原带的严重荒漠化及其治理[ J ].干旱区资源与环境,2001,15( 4 ): 34—37.
- [ 3 ] 安守芹,于卓.四种固沙灌木苗期抗热抗寒性的研究[ J ].干旱区资源与环境,1995,9( 1 ): 72—77.
- [ 4 ] 邹琪.植物生理实验指导[ M ].北京:中国农业出版社,2000,159—164.
- [ 5 ] 魏永胜,梁宗锁,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.
- [ 6 ] 杨顺强,任广鑫,等.水分胁迫对引进牧草渗透调节物质及叶绿素荧光参数的影响[ J ].西北植物学报,2007,27( 9 ): 1826—1832.
- [ 7 ] 李禄军,蒋志荣,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.
- [ 8 ] 庄丽,陈亚宁,等.模糊隶属法在塔里木河荒漠植物抗旱性评价中的应用[ J ].干旱区地理,2005,28( 3 ): 368—371.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] 华东师范大学生物系.植物生理学实验指导[ M ].北京:高等教育出版社,1984,88—90,143—144.
- [ 11 ] 邹琦.植物生理学实验指导[ M ].北京:中国农业出版社,2000,173—174.
- [ 12 ] 张孝仁,徐先英.沙拐枣属种间抗旱抗风蚀性比较试验研究[ J ].干旱区资源与环境,1992,6( 4 ): 55—62.
- [ 13 ] 吴克宁,杨扬,吕巧灵.模糊综合评判在烟草生态适宜性评价中的应用[ J ].2007,38( 4 ): 631—634.
- [ 14 ] 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.
- [ 15 ] 周桂莲,杨惠霞.小麦抗旱鉴定的生理指标及分析评价[ J ].干旱地区农业研究,1996,14( 2 ): 65—71.
- [ 16 ] 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.
- [ 17 ] 肖春旺,周广胜,马风云.施水量变化对毛乌素沙地优势植物形态与生长的影响[ J ].植物生态学报,2002,26( 1 ): 69—67.
- [ 18 ] 李丽霞,梁宗锁,韩蕊莲.土壤干旱对沙棘苗木生长及水分利用的影响[ J ].西北植物学报,2002,22( 2 ): 296—302.
- [ 19 ] 李永华,罗天祥,等.青海省沙珠玉治沙站 17 种主要植物叶性因子的比较[ J ].生态学报,2005,25( 5 ): 994—999.
- [ 20 ] 宋凤斌,徐世昌.玉米抗旱性鉴定指标的研究[ J ].中国生态农业学报,2004,12( 1 ): 127—129.
- [ 21 ] 万小荣,李玲.脱水胁迫下抗旱性不同花生品种中某些生理生化指标变化比较[ J ].植物生理学通讯,2006,42( 6 ): 1117—1118.
- [ 22 ] 蒋志荣,杨占彪,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,2006,26( 4 ): 553—558.

# The quantitative evaluation on drought—resistance and its relationship with drought resistance indexes of five desert plants

YANG Jun<sup>1, 2</sup>, MA Jian<sup>1</sup>, WANG Tingting<sup>1, 2</sup>, YIN Xiangjiang<sup>3</sup>

( 1. Fukang Station of Desert Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, P. R. China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P. R. China; 3. Tianchi Lake in Xinjiang Management Committee, Changji 831500, P. R. China)

**Abstract** Applying the method of subordinate function, six physiological drought resistance indexes of five typical desert plants were measured and a quantitative evaluation on comprehensive drought resistance of them was given. The results showed that the drought resistant capability of five desert plants decreased in order of *Kalidium foliatum*, *Salsola nitaria* Pall, *Sphaerophysa salsula*, *Sophora alopecuroides* L. and *Peganum hamala* L. Using the method of grey correlative analysis the drought—resistance and its relationship with drought—resistance indexes of five desert plants were researched on this basis. The results of grey correlative degree analysis showed that the related order about appraise indexes of drought resistance and average subordinate function values was: transpiration rate > relative water content > electric conductivity > specific leaf area > root shoot ratio > chlorophyll content. Transpiration rate, relative water content and electric conductivity can be regarded as the important indexes of drought resistance evaluation of five desert plants.

**Key words** drought resistance; drought resistance indexes; subordinate function values; grey relational degree