

4 个地理种群唐古特白刺的抗旱性系统评价

种培芳, 苏世平, 高暝, 李毅

(甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 在自然条件下以分布于兰州市九州台开发区(LZJ)、张掖市临泽县(ZYL)、武威市民勤县(WWM)和酒泉市金塔县(JQJ) 4 个地理种群的荒漠植物白刺(*Nitraria tangutorum*)为研究对象, 对其抗旱性相关的光合生理、水分生理、渗透调节以及酶活性等 17 项指标进行测定, 采用隶属函数法、灰色关联度法以及主成分分析法对不同地理种群白刺的抗旱性进行了系统地评价。结果表明, 不同地理种群白刺的抗旱性强弱顺序为: JQJ> WWM> ZYL> LZJ, 表现出随生境条件趋于恶劣而逐渐增强趋势, 这是植物通过自身生理调节对外部环境条件产生适应的结果。17 项指标在白刺的抗旱性中相互制约, 相互依赖, 综合调节着白刺的抗旱机制, 但依赖于叶黄素循环的热能耗散机制和光抑制的光保护机制在白刺的抗旱机制中占有主导地位。

关键词: 地理种群; 白刺; 抗旱指标; 综合评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)03-0213-06

中图分类号: S727.22, Q945.17

Systematic Evaluation on Drought Resistance of *Nitraria Tangutorum* from Four Geographical Populations

CHONG Pei-fang, SU Shi-ping, GAO Min, LI Yi

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

Abstract: The drought resistance of *Nitraria tangutorum* from four geographical populations, i. e., Jiu-zhoutai District of Lanzhou City(LZJ), Minqin County of Wuwei City(WWM), Linze County of Zhangye City(ZYL) and Jinta County of Jiuquan City(JQJ), are investigated regarding physiological and biochemical indices, including net photosynthetic rate, chlorophyll, soluble sugar, proline, malondialdehyde, superoxide dismutase and peroxidase. Using the methods of subordination function, grey correlation analysis and principal component analysis, the relationship of drought resistance with the indexes were evaluated systematically. The results show that the drought resistance of *Nitraria tangutorum* from four geographical populations was in order as JQJ> WWM> ZYL> LZJ, indicating a increasing trend of drought resistance with increasingly adverse circumstances. This implies that the plant adapted to environmental conditions through adjusting its physiological features. The seventeen drought resistant indices were restricted by and relied on each other in comprehensively conditioning drought resistance of *Nitraria tangutorum*. However, the main two mechanisms, i. e., the xanthophyll cycle-dependent thermal energy dissipation and the photoprotective mechanism of photoinhibition, played the leading roles in the drought resistant mechanisms of *Nitraria tangutorum*.

Keywords: geographical population; *Nitraria tangutorum*; drought resistant index; comprehensive evaluation

唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)为蒺藜科白刺属的灌木,是荒漠草原和荒漠地带沙地上的重要建群种之一^[1]。因其根系发达分枝强,不仅能抗风,还能起到“截流”的作用,所以在防风固沙,水土保持以及涵养水源中起着重要作用^[2]。近年来对于唐古特白刺的研究已经扩展到了很多领域,除传统的分类

学^[3]外,还涉及其分子学^[4]、土壤水分^[5]、防风固沙^[6-7]等方面的研究。在抗旱性方面主要是与其它树种在形态解剖上进行比较^[8],或用较少的几个指标与其它树种进行比较^[9]。而就不同地理种群唐古特白刺的抗旱性以及采用多项指标对其进行抗旱性综合评价还未见报道。

收稿日期: 2010-11-04

修回日期: 2010-11-29

资助项目: 国家林业局重点科研项目“甘肃抗旱乡土树种种质利用技术开发”(2006-35)

作者简介: 种培芳(1977—),女(汉族),甘肃省永登县人,博士,讲师,研究方向为荒漠植物的生理生态。E-mail: zhongpf@gsau.edu.cn.

通信作者: 李毅(1962—),男(汉族),湖北省宜昌市人,教授,博士生导师,主要从事林木遗传育种和抗旱树种研究。E-mail: liyi@gsau.edu.cn.

本研究通过测定与 4 个地理种群唐古特白刺抗旱适应性紧密相关的生理指标,利用隶属函数法、灰色关联度法和主成分分析法,对 4 个地理种群唐古特白刺的抗旱性进行系统的评价,旨在为唐古特白刺的抗旱种质筛选和荒漠地区的抗旱育种提供理论依据。

1 研究区概况

在甘肃省境内选择兰州市、张掖市、武威市和酒泉市 4 个以白刺为主要建群种的典型分布区作为样地。其中兰州市九州台开发区(简称 LZJ)地处选择点最东端,试验区位于该区的一个山顶(103°42′ E, 36°57′ N)。该区属典型的黄土阶地,区地带性植被为白刺、红砂(*Reaumuria Songarica*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、怪柳(*Tamarix chinensis* Lbd)等灌木及少量杨树(*populus*),侧柏(*Platycladus orientalis*)等乔木为主的植被。武威市民勤县(简称 WWM)地处甘肃省河西走廊东北部,试验区位于民勤县沙生植物园(103°51′ E, 38°38′ N),属典型的温带大陆性荒漠气候,地带性土壤为灰棕荒漠土。该区地带性植被为天然白刺、红砂、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、柠条、花棒(*Hedysarum scoparium*)等沙旱生灌木为主的植被。张掖市临泽县(简称 ZYL)地处选择点最西端,试验区位于临泽县蓼泉镇白刺分布区(100°15′ E, 39°22′ N,)该区属大陆性荒漠草原气候,土壤为荒漠土。该区地带性植被为白刺、红砂和珍珠(*Salsola passerina*)等旱生灌木为主的植被。酒泉市金塔县(简称 JQJ)地处选择点最西端,试验区位于鸳鸯池水库边 3 种植物分布的戈壁滩(98°51′ E, 39°55′ N)。该区属典型的干旱荒漠气候,地带性土壤均为灰棕荒漠土。该地区的典型植被有白刺、红砂、沙拐枣、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、怪柳和锁阳(*Cynomorium songaricum*)等。

采样点的经度、纬度和海拔用 GPS 定位记录。年降雨量、年蒸发量和年均气温为 2006, 2007, 2008 年 3 a 的平均气象数据(由相关气象单位提供)。表 1 列出了本实验 4 个地点主要的生态环境因子。

2 材料与方法

2.1 测定指标及测定方法

在白刺营养生长旺盛期每实验区选择生长基本一致的成年植株 3 株(九州台区因地处山区,所以在山坡阴面、阳面及其中间地带各选取 2 株),每株选 3

个大小相似的白刺枝条并做标记。(在 2008 年 7 月 26, 27 日; 8 月 6, 7 日); 8 月 12, 13 日和 8 月 15, 16 日从 LZJ, ZYJ, WWM, JQJ 每个地点选晴朗无云的天气 2 d, 用手提式光合测定系统(Lcpro + Ultra Compact Photosynthesis System, UK)当地时间 7:00—18:00 分别对标记的枝条进行净光合速率(net photosynthetic rate, P_n)测定,同时获得蒸腾速率(transpiration rate, T_r),每次测定 6 个重复。计算 P_n , T_r 所需的叶面积参数采用非破坏性测定叶面积^[10]方法获得,并作一定的改进。水分利用效率又称瞬时水分利用效率(water use efficiency, 简称 WUE),根据 $WUE = P_n / T_r$ ^[11]计算。文中光合和荧光指标采用日均值。测定光合和荧光指标后采集以上单株植物个体的叶片,立即放入液氮中保鲜,带回实验室后进行以下生理生化指标的测定。

表 1 白刺 4 个研究地点监测的环境参数差异

环境参数	采样点			
	LZJ	WWM	ZYL	JQJ
光合有效辐射/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	1 294.57	1 399.80	1 329.80	1 464.62
光合有效辐射最大值/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	1 800.85	1 823.76	1 802.14	1 881.33
气温/°C	29.23	31.41	30.38	32.23
气温最大值/°C	36.70	39.04	38.48	39.28
空气相对湿度/%	13.37	11.65	12.53	14.07
空气相对湿度最大值/%	19.27	19.09	17.53	19.73
平均土壤含水量/%	1.34	0.90	1.10	0.83
年降水量/mm	349.90	113.20	118.40	61.20
年均蒸发量/mm	1 664.00	2 626.10	1 830.40	2 660.00
年均温/°C	8.90	7.60	7.70	7.90
海拔/m	2 067.00	1 378.00	1 685.00	1 295.00

相对含水量(relative water content, 简称 RWC)用烘干称重法^[12],植物叶片水势(water potential, 简称 WP)用 WP4 露点水势仪(Deegano Dvecies, Inc., Pulmlna, Washington)按说明方法进行测定,超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, 简称 SOD)活性采用抑制 NBT 光还原比色法测定^[13],过氧化物酶(peroxide enzyme, 简称 POD)活性采用愈创木酚法^[13],过氧化氢酶(catalase, 简称 CAT)活性采用紫外吸收法测定^[13],游离脯氨酸(proline, 简称 Pro)含量采用磺基水杨酸提取法^[13],可溶性糖含量(soluble sugar, 简称 SS)采用蒽酮比色法^[14],丙二醛含量(malondialdehyde, 简称 MDA)采用硫代巴比妥酸比色法^[13],超氧

阴离子自由基 (superoxide anion radical, 简称 O_2^-) 产生速率采用羟胺氧化法^[15], 叶绿素(chlorophyll, 简称Chl) 相关指标采用丙酮提取法测定^[16]。土壤含水量的测定采用土样烘干称重法^[17]。用土钻分层钻取深度为0—60 cm 土样, 从表层开始, 每层为20 cm, 直到60 cm 深。每个样本3次重复。土样取回后置于105 °C烘箱中烘干至恒重计算含水量。各项试验重复3次, 取 $p < 0.05$ 为差异显著, $p < 0.01$ 为差异极显著。

2.2 抗旱性综合评价方法

2.2.1 隶属函数值法 用模糊隶属函数法对不同地理种群白刺的抗旱性进行综合评价。隶属函数法是根据模糊数学的原理, 利用隶属函数进行综合评估。先求出各抗旱指标在各地理种群中的具体隶属函数值^[18], 然后对各地地理种群隶属函数值进行累加, 求其平均值, 得出综合评估的指标值。隶属函数值法的计算公式如下:

$$u(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (1)$$

$$\text{或 } u(X_{ij}) = 1 - \frac{X_{ij} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (2)$$

式中: $u(X_{ij})$ —— i 地理种群 j 指标的隶属函数值; X_{ij} —— i 地理种群 j 指标的测定值; X_{imax}, X_{imin} ——指标的最大值和最小值。与抗旱性成正相关用(1)式; 与抗旱性成负相关用(2)式。将每个地理种群各指标的抗旱隶属函数值累加起来, 求其平均数, 隶属函数均值越大, 抗旱性就越强。

2.2.2 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。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。

$$\varepsilon(k) = \frac{\min \min \Delta_i(k) + \rho \max \max \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \rho \max \max \Delta_i(k)} \quad (3)$$

$$r_i = 1/n \ln \sum \varepsilon(k) \quad (i, k = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中: $\varepsilon(k)$ ——关联系数; r_i ——灰色关联度; $\Delta_i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$ —— X_0 数列与 X_i 数列在第 k 点的绝对值; $\min \min \Delta_i(k)$ ——二级最小差, $\max \max \Delta_i(k)$ ——二级最大差; ρ ——分辨系数, 取值范围为 0~1, 文中试验取值 0.5^[19]。

权重计算公式:

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

2.2.3 主成分分析法 利用主成分分析法对影响不同地理种群白刺抗旱性的指标进行分析评价。主成分分析是一种多元分析方法, 基本原理主要是把原有 1 组 m 维随机变量, 通过数学方法按其特性组合成 m 个互不相关的新变量, 而新变量不但不会损失原有数据的主要信息, 反而能更集中更典型的显示出研究对象特征。

2.3 数据分析

采用 SPSS 13.0 软件包(SPSS Inc., USA) 对数据进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 不同地理种群白刺抗旱性定量评价

由表 2 可知, 不同地理种群唐古特白刺的抗旱指标差异较大, 用单项指标对植物的抗旱性进行评定显然比较片面而不具有说服力。所以对其抗旱性的评价应该用尽可能多的指标来综合评价, 从而弥补单个指标造成的片面性, 使评定结果与实际结果更为接近^[20]。由于各指标之间关系复杂, 而且不同的指标其重要性也不尽相同, 因此必须采用综合方法来定量评价白刺的抗旱性。

以光合速率、蒸腾速率、瞬时水分利用效率、相对含水量、叶绿素含量等 17 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 3)。

从表 3 可以看出, 4 个地理种群白刺的综合抗旱适应性强弱顺序为: JQJ > WWM > ZYL > LZJ。其中, JQJ 的平均隶属函数值最大为 0.520, LZJ 的平均隶属函数值最小为 0.450。而且 JQJ 和 WWM 白刺的平均隶属函数值在 0.5 以上, 明显大于 LZJ 和 ZYL 白刺的平均隶属函数值(均小于 0.5), 说明依隶属函数的分析结果 JQJ 和 WWM 这 2 个地种群白刺的抗旱能力大于 LZJ 和 ZYL, 可能因为 JQJ 和 WWM 极度恶劣的环境使得其抗旱性增强, 而在其它 2 个地理种群尤其是 ZYL, 尽管其在其它生境条件上与 WWM 相似, 但在水分年蒸发量上存在显著差异, 水分的这种变化导致其抗旱能力也有所不同。

3.2 抗旱性与抗旱指标的相关关系评价: 灰色关联度分析

采用公式(3), (4) 和(5) 计算出各抗旱指标与抗旱性的关联系数、关联度与权重, 并按关联度大小进行排序。计算的灰色关联度 $R(k)$ 和权重系数 $W(k)$ 结果如表 4 所示。

表 2 4 个地理种群白刺抗旱指标

抗旱指标	采样点			
	LZJ	WWM	ZYL	JQJ
光合速率 $P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	7.50±1.86	5.65±1.34	6.90±1.31	4.90±1.85
蒸腾速率 $T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	6.78±1.46	5.19±1.51	5.91±1.72	4.95±1.43
水分利用效率 $WUE/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	1.12±0.44	1.26±0.73	1.29±0.51	1.10±0.59
PSII 最大光化学量子产量 F_v/F_m	0.76±0.06	0.69±0.06	0.73±0.05	0.69±0.10
实际光化学反应量子效率 Φ_{PSII}	0.57±0.13	0.45±0.13	0.52±0.14	0.45±0.17
非光化学猝灭系数 q_N	0.48±0.14	0.66±0.12	0.57±0.12	0.72±0.12
相对含水量 $RWC/\%$	91.34±2.74	64.52±6.42	79.07±4.61	62.50±2.03
水势 WP/MPa	-12.77±0.77	-17.72±0.54	-15.38±0.89	-20.26±0.56
超氧化物歧化酶 $SOD/(U\cdot g^{-1})$	186.55±20.89	287.45±16.39	263.86±27.57	309.37±25.94
过氧化氢酶 $POD/(U\cdot g^{-1})$	995.20±136.78	760.60±70.43	782.80±90.37	720.60±85.21
过氧化物酶 $CAT/(U\cdot g^{-1})$	97.00±18.26	139.00±20.21	143.60±16.13	161.4±25.61
脯氨酸 $Pro/(\mu\text{g}\cdot g^{-1})$	174.65±7.33	215.49±6.84	198.48±12.11	235.29±4.31
可溶性糖 $SS/(\text{mg}\cdot g^{-1})$	68.78±6.15	108.60±6.89	104.98±9.24	121.05±8.33
丙二醛 $MDA/(\mu\text{g}\cdot g^{-1})$	11.24±0.70	20.75±1.58	17.13±0.50	22.39±0.67
超氧阴离子自由基 $O_2^{\cdot-}/(\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1})$	100.83±12.13	120.50±11.21	118.50±10.34	139.33±11.82
叶绿素(a+b)/(mg·g ⁻¹)	4.84±0.14	4.85±0.21	4.17±0.54	3.22±0.56
叶绿素 a/b	2.19±0.16	2.31±0.17	1.51±0.18	2.00±0.59

表 3 4 个地区白刺的生理指标平均抗旱隶属值及抗旱性排序

抗旱指标	采样点			
	LZJ	WWM	ZYL	JQJ
光合速率 P_n	0.597	0.496	0.484	0.577
蒸腾速率 T_r	0.429	0.454	0.476	0.559
水分利用效率 WUE	0.390	0.419	0.496	0.358
PSII 最大光化学量子产量 F_v/F_m	0.457	0.481	0.483	0.544
实际光化学反应量子效率 Φ_{PSII}	0.366	0.426	0.480	0.621
非光化学猝灭系数 q_N	0.432	0.588	0.417	0.586
相对含水量 RWC	0.407	0.412	0.278	0.429
水势 WP	0.412	0.528	0.403	0.498
超氧化物歧化酶 SOD	0.687	0.343	0.529	0.626
过氧化氢酶 POD	0.619	0.476	0.464	0.454
过氧化物酶 CAT	0.327	0.528	0.396	0.524
脯氨酸 Pro	0.716	0.482	0.723	0.257
可溶性糖 SS	0.455	0.648	0.366	0.552
丙二醛 MDA	0.430	0.383	0.485	0.515
超氧阴离子自由基 $O_2^{\cdot-}$	0.374	0.461	0.442	0.648
叶绿素(a+b)	0.188	0.625	0.525	0.503
叶绿素 a/b	0.367	0.372	0.576	0.592
平均隶属函数值	0.450	0.509	0.477	0.520
抗旱性顺序	4	2	3	1

表 4 的结果表明, 各项抗旱指标与平均隶属值(抗旱性)的关联顺序为: $q_N > F_v/F_m > WUE > WP > SS > T_r > CAT > RWC > Pro > SOD > O_2^{\cdot-} > Chl(a/b) > POD > Chl(a+b) > \Phi_{PSII} > MDA > P_n$ 。其中, q_N 和 F_v/F_m 两者的关联度都在 0.7 以上且较为近; WUE 和 WP 的关联度在 0.68 以上, 也较为接近; SS, T_r, CAT 和 RWC 的关联度在 0.64 以上; $Pro,$

$SOD, O_2^{\cdot-}, Chl(a/b), POD$ 和 $Chl(a+b)$ 的关联度在 0.6 以上, 而 Φ_{PSII}, MDA 和 P_n 的关联度在 0.53~0.57 之间, 远低于其它抗旱指标的关联度。这说明 q_N 和 F_v/F_m 这 2 个指标对所选 4 个地理种群白刺的抗旱能力影响最大, 它们可作为首要的抗旱性鉴定指标; WUE, WP, SS, T_r, CAT 和 RWC 多个指标对所选 4 个地理种群白刺的抗旱能力次之, 可作为重要的抗旱适应性鉴定指标; $Pro, SOD, O_2^{\cdot-}, Chl(a/b), POD$ 和 $Chl(a+b)$ 几个指标则可以作为次要的抗旱适应性指标, 而 Φ_{PSII}, MDA 和 P_n 则可以作为最后的选择。

表 4 白刺各项抗旱指标的关联度及权重

抗旱指标	关联度	权重	排序
光合速率 P_n	0.534 3	0.049 4	17
蒸腾速率 T_r	0.661 2	0.061 1	6
水分利用效率 WUE	0.690 0	0.063 8	3
PSII 最大光化学量子产量 F_v/F_m	0.700 0	0.064 5	2
实际光化学反应量子效率 Φ_{PSII}	0.574 3	0.053 1	15
非光化学猝灭系数 q_N	0.714 3	0.066 1	1
相对含水量 RWC	0.652 4	0.060 3	8
水势 WP	0.685 3	0.063 3	4
超氧化物歧化酶 SOD	0.630 6	0.058 3	10
过氧化氢酶 POD	0.618 9	0.057 2	13
过氧化物酶 CAT	0.653 8	0.060 4	7
脯氨酸 Pro	0.636 5	0.058 9	9
可溶性糖 SS	0.667 4	0.061 7	5
丙二醛 MDA	0.537 5	0.049 7	16
超氧阴离子自由基 $O_2^{\cdot-}$	0.625 2	0.057 8	11
叶绿素(a+b)	0.607 5	0.056 2	14
叶绿素 a/b	0.623 9	0.057 6	12

3.3 主成分分析

将原始数据标准化后,计算相关系数矩阵 R ,利用主成分分析方法对相关系数矩阵 R 进行主成分分析,得出特征向量和特征值(表5)。

表5 主成分的特征向量及累积贡献率

抗旱指标	主成分		
	1	2	3
光合速率 P_n	-0.959	0.278	0.058
蒸腾速率 T_r	-0.993	0.065	-0.103
水分利用效率 WUE	0.065	0.675	0.736
PSII最大光化学量子产量 F_v/F_m	-0.964	0.172	-0.202
实际光化学反应量子效率 Φ_{PSII}	-0.961	0.130	-0.244
非光化学猝灭系数 q_N	0.990	-0.140	-0.005
相对含水量 RWC	-0.978	0.136	-0.156
水势 WP	-0.984	0.139	0.112
超氧化物歧化酶 SOD	0.990	0.126	0.060
过氧化氢酶 POD	-0.958	-0.271	-0.093
过氧化物酶 CAT	0.946	0.303	-0.117
脯氨酸 Pro	0.991	-0.093	-0.099
可溶性糖 SS	0.975	0.223	-0.001
丙二醛 MDA	0.996	-0.001	0.089
超氧阴离子自由基 O_2^-	0.959	0.047	-0.28
叶绿素(a+b)	-0.663	-0.165	0.730
叶绿素 a/b	-0.031	-0.945	0.326
特征根	13.815	1.810	1.465
贡献率	81.216	10.000	8.786
累计贡献率	81.216	91.214	100.000

表5为3个主成分的特征向量机累积贡献率。影响4个地理种群唐古特白刺抗旱性的前2个主成分的累积贡献率已达91.214%。如果主成分分析中所提取主成分的特征值能达到80%以上的贡献率,就可以用这几个主成分对事物的属性进行概括性分析,基本可以得出影响事物性质的主要因素。因此取前2个主成分为4个地理种群唐古特白刺抗旱性分析的重要主成分。以 Y_1, Y_2 分别代表第1~2主成分, $x_1 \sim x_{17}$ 分别表示17个生理指标,即因子,以各特征向量为系数,建立2个主成分的方程如下:

$$Y_1 = -0.959x_1 - 0.993x_2 + 0.065x_3 - 0.964x_4 - 0.961x_5 + 0.990x_6 - 0.978x_7 - 0.984x_8 + 0.990x_9 - 0.958x_{10} + 0.946x_{11} + 0.991x_{12} + 0.975x_{13} + 0.996x_{14} + 0.959x_{15} - 0.663x_{16} - 0.031x_{17} \quad (6)$$

$$Y_2 = 0.278x_1 + 0.065x_2 + 0.675x_3 + 0.172x_4 + 0.130x_5 - 0.140x_6 + 0.136x_7 + 0.139x_8 + 0.126x_9 - 0.271x_{10} + 0.303x_{11} - 0.093x_{12} + 0.223x_{13} - 0.001x_{14} + 0.047x_{15} - 0.165x_{16} - 0.945x_{17} \quad (7)$$

方程(6)表明,第1主成分相当于13.82个原始指标的作用,它可反映原始数据信息量的81.22,其与 $P_n, T_r, PSII$ 最大光化学量子产量、实际光化学反应量子效率、RWC, WP, POD 以及叶绿素指标成负相关,与其余指标成正相关。

在17个指标中除了 WUE, Chl(a+b) 和 Chl(a/b) 外,其它指标均是决定唐古特白刺第1主成分(Z_1)性状分量,特征向量绝对值都在0.9以上,各指标间无明显差异,因此 Z_1 可看成这17项指标的综合反映。这说明唐古特白刺的抗旱性是一个复杂的综合性状,受多种因素的影响。每一种生理指标都不同程度地反映了这类指标的信息,变量之间存在重叠、相关的关系。

通过方程(7)可知,第2主成分相当于1.81个原始指标的作用,方差贡献率为10.00%。Chl(a/b) (-0.945) 和 WUE(0.675) 2个性状分量决定了第2主成分。它揭示了4个地理种群唐古特白刺抗旱适应性建立的另一个方面,是光合捕光色素的内容,说明 Chl(a/b) 在唐古特白刺抗旱性的影响不容忽视, Chl(a/b) 越高,抗旱性越强。同时唐古特白刺又不失时机地利用有利条件,通过提高瞬时水分利用效率来增强抗旱性。

通过以上分析可知,这2个主成分基本综合了4个地理种群唐古特白刺的抗旱信息,应能综合评价其抗旱性,在此基础上则可以比较可靠地鉴定出各地理种群唐古特白刺的抗旱性的强弱。计算得出4个地理种群唐古特白刺的主成分得分及综合得分,给予各地理种群唐古特白刺抗旱性的定量化描述,由此便可对各地理种群唐古特白刺的抗旱性进行排序和分级,具体结果见表6。

通过表6可知,不同地理种群白刺的得分由高到低的顺序为 JQJ 第1, WWM 第2, ZYL 第2, LZJ 第4,即白刺4个地理中的抗旱性顺序为 JQJ > WWM > ZYL > LZJ,这个结论与我们在前面用隶属函数法得出的结果一致。

表6 4个地理种群唐古特白刺抗旱性综合评价结果

采样点	第1主成分得分	排名	第2主成分得分	排名	综合得分	排名
LZJ	-5.074	4	-1.097	4	-6.171	4
WWM	-0.579	3	2.588	1	2.004	2
ZYL	-0.075	2	-0.518	3	-0.593	3
JQJ	1.779	1	0.427	2	2.206	1

4 结论

本研究采用隶属函数法、灰色关联度法和主成分分析法,利用 17 个抗旱指标来系统评价白刺的抗旱能力和各指标与抗旱性相关程度,结果表明,不管是利用隶属函数法还是主成分分析法所得出的不同地理种群白刺的抗旱性强弱顺序是一致的,即 JQJ>WWM>ZYL>LZJ。可以看出,生境条件尤其是水分条件越差其抗旱性越强。这是因为植物的生理特性虽然是由其遗传基因决定的,但外部环境条件对其生理生化性质可以产生重要的影响,这在许多研究中已经被证明^[21-22]。植物体内部由于长期的进化发展,产生一种自动调节机制,调整它内部的生理机构,以与外界的环境条件相适应,使其受外界的压力最小,与环境压力取得平衡。植物为适应环境的变化,从形态、生理、生化等方面作出有利于生存的变化即生态适应。这个结果对于干旱、半干旱地区的抗旱育种具有科学的指导意义。

利用主成分方法分析结果显示,白刺的抗旱性是一个复杂的综合性状,受多种因素的影响。每一种生理指标都不同程度地反映了这类指标的信息,变量之间存在重叠、相关的关系。这一结果与用灰色关联度法分析结果相似。但通过分析我们也发现,尽管白刺的耐旱机制比较复杂,光合荧光生理、水分调节机制、渗透调节机制以及活性氧清除保护机制在其耐旱机制中共同起作用,但其 q_N 和 F_v/F_m 的特征向量值都很高,这说明依赖于叶黄素循环的热能耗散机制和光抑制的光保护机制在白刺的抗旱机制中占有主导地位,与用灰色关联度法得出的结论一致(表 4)。这个结果在白刺抗旱性指标选择中具有现实的指导意义。所不同的是与灰色关联度法相比较而言,通过主成分分析得出的 WUE 只作为第 2 特征向量指标,但其特征向量值在第 2 主成分中较为突出,表现了其以较高的水分利用效率来适应干旱的特点。可见依据不同的方法得出白刺抗旱性与抗旱指标的关系不完全相同,但最终得出的抗旱机制和机理却是相通的。当然,此结论还需进一步考证,因为本研究是在 4 个不同地点进行,可能是因环境条件的差异而导致的结果不同。在进一步的工作中我们将研究相同条件下唐古特白刺的抗旱性,得出的结论会更有意义。

[参 考 文 献]

- [1] 孙祥. 籽蒿与白刺的特性及其利用的研究[J]. 内蒙古林学院学报: 自然科学版, 1998, 20(3): 43-49.
- [2] 贾宝全, 黄培佑. 刺木琴和大果白刺在准噶尔盆地南缘沙区侵移定居的初步研究[J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 1992, 9(4): 89-95.
- [3] 李红, 章英才, 张鹏. 白刺属植物研究综述[J]. 农业科学研究, 2006, 27(4): 62-64.
- [4] 张勇, 李鸣, 杨同文, 等. 荒漠植物白刺总 DNA 提取及鉴定[J]. 中国沙漠, 2006, 26(3): 489-492.
- [5] 杜建会, 严平, 俄有浩, 等. 强降雨事件对于不同演化阶段白刺灌丛沙堆土壤水分的影响[J]. 水土保持通报, 2007, 27(6): 20-24.
- [6] 刘金伟, 李志忠, 武胜利, 等. 新疆艾比湖周边白刺沙堆形态特征空间异质性研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(4): 628-635.
- [7] 杜建会, 严平, 丁连刚, 等. 民勤绿洲不同演化阶段白刺灌丛沙堆表面土壤理化性质研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(2): 248-253.
- [8] 李林芝, 邵麟惠, 于应文, 等. 柴达木荒漠草原 4 种灌木叶片解剖结构与其抗旱性的研究[J]. 草原与草坪, 2009(3): 20-23.
- [9] 郭明玲, 李楠, 郭劲玲. 兰州市南北两山 4 个造林树种抗旱性的初步研究[J]. 甘肃科技, 2005, 21(7): 175-176.
- [10] 肖强, 叶文景, 朱珠, 等. 利用数码相机和 Photoshop 软件非破坏性测定叶面积的简便方法[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 711-714.
- [11] Wang R Z, Gao Q. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency in two divergent *Leymus chinensis* populations from Northeast China[J]. Photosynthetica, 2001, 39: 123-126.
- [12] 张孝仁, 徐先英. 沙拐枣属种间抗干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] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理实验[M]. 黑龙江哈尔滨: 哈尔滨大学出版社, 2004: 101-108.
- [14] 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, 2003: 110-111.
- [15] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990, 26(6): 55-57.
- [16] 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.
- [17] Mao Z, Jiang H, Wang Y, et al. Water balance of birch and larch leaves and their resistance to short and progressive soil drought[J]. Russ. J. Plant Physiol., 2004, 51: 697-701.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 韦小丽, 徐锡增, 朱守谦. 水分胁迫下榆科 3 种幼苗生理生化指标的变化[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2005, 29(2): 47-50.
- [22] 周海燕, 李新荣, 樊恒文, 等. 极端条件下几种锦鸡儿属灌木的生理特性[J]. 中国沙漠, 2005, 25(2): 182-190.