

### 3 树种对季节变化反应的敏感度及其与抗逆能力的关系

蒋志荣<sup>1,2</sup>, 梁旭婷<sup>1</sup>, 朱 恭<sup>3</sup>, 宋宇鹏<sup>1</sup>, 丛日亮<sup>1</sup>, 王生鑫<sup>1</sup>, 杨奇奇<sup>1</sup>

(1. 甘肃农业大学 林学院,甘肃 兰州 730070;2. 甘肃省农村发展研究院,甘肃 兰州 730070;  
3. 兰州市南北两山环境绿化工程指挥部,甘肃 兰州 730046 )

**摘 要:**通过测定荒漠锦鸡儿(*Caragana roborovskyi*)、驼绒藜(*Ceratoides latens*)和白毛锦鸡儿(*Caragana licentiana*)在夏季和秋季的与抗逆性紧密相关的多项生理生化指标,分析 3 树种对季节变化反应的敏感度及其与抗逆能力的关系,为抗逆能力的评价提供新的思路与方法。运用模糊数学理论等级评分法,以各指标夏秋变化率为树种反应敏感度评判标准,对 3 树种季节变化反应的敏感度综合评分,并用模糊数学隶属函数值法综合评价 3 树种的抗逆能力,比较与分析敏感度与抗逆能力的关系。对季节变化反应的敏感度:荒漠锦鸡儿>驼绒藜>白毛锦鸡儿;综合抗逆能力:白毛锦鸡儿>驼绒藜>荒漠锦鸡儿。3 树种对季节变化反应的敏感度大小与抗逆能力大小相反。树种的敏感度可以解释树种对季节变化适应性的强弱,对抗逆能力有指示作用,可望应用于树种抗逆能力的评价。

**关键词:**季节变化;反应敏感度;抗逆能力

**中图分类号:**S718.43      **文献标识码:**A      **文章编号:**1001-7461(2008)06-0046-04

Sensitivity of Three Tree Species Reaction to Seasonal Variation  
and Its Relation to Antistress Ability

JIANG Zhi-rong<sup>1,2</sup>, LIANG Xu-ting<sup>1</sup>, ZHU Gong<sup>3</sup>, SONG Yu-peng<sup>1</sup>,  
CONG Ri-liang<sup>1</sup>, WANG Sheng-xin<sup>1</sup>, YANG Qi-qi<sup>1</sup>

(1. Forestry College of Gansu Agricultural University, Lanzhou,Gansu 730070,China; 2. Gansu Rural Development Research Inst, Lanzhou,Gansu 730070,China; 3. Lanzhou Direction Administration of Environmental offorestation of South-North Mountains , Lanzhou,Gansu 730046,China )

**Abstract:**By testing several physiological and biochemical indices which have close relation with stress resistance of*Caragana roborovskyi*, *Ceratoides*, *Caragana licentiana* in summer and autumn, reaction sensitivity of the three tree species to seasonal change and their relations to stress resistance wire analyzed. The reaction sensitivities of the three tree species was assessed by means of fuzzy gradation theory using change rate of indices in summer and autumn as assessment criteria. By means of subordinate function value method of fuzzy mathematical theory, stress resistance of the three tree species were evaluated and their relations with their reaction sensitivities were analyzed. Reaction sensitivities of three tree species to seasonal change follows such a trend: *Caragana roborovskyi* > *Ceratoides lateens* > *Caragana lilcenttiana*; Comprehensive stress resistance of the trees performed as: *Caragana licentiana* > *Ceratoides lateens* > *Caragana roborovskyi*. Their reaction sensitivities to seasonal change were just contrary to their stress resistance. Sensitivity of tree species explains the adaptability to seasonal change indicating the effect to stress resistance and can be used to evaluate the stress resistance of tree.

**Key words:**seasonal variation;sensitivity of reaction;antistress ability

收稿日期:2008-01-09 修回日期:2008-03-12  
基金项目:兰州市科研项目“兰州干旱地区生态植被恢复技术与示范”(03-2-27)  
作者简介:蒋志荣,男,博士,教授,主要从事林业科学与荒漠化防治方面的研究。

由于人类干扰及自然变迁,生态系统中的植被不同程度地遭到破坏,导致植被退化严重。恢复干旱、半干旱地区的植被,抵制荒漠化扩展,逆转已经荒漠化的土地,已成为全球共同关注的重要问题。植被恢复工作中树种的选择直接关系到恢复的效果,树种的抗逆能力越强,其快速恢复的可能性越大。比较树种的抗逆性生理差异、筛选抗逆能力强的树种以及抗逆能力的评价方法已成为研究热点。近年来,研究者正在通过各种手段,从不同角度开展这方面的研究。如植物组织解剖结构特点的比较<sup>[1-3]</sup>、抵御逆境时形态与生理特征的不同表现<sup>[4-7]</sup>等。通常,自然系统中胁迫环境是多种胁迫条件共同作用的结果。然而,由于技术与条件的限制,不少研究集中于简单胁迫条件下植物抗逆生理的响应,主要有水分胁迫<sup>[8-12]</sup>、强光和干旱双重胁迫<sup>[7,13-15]</sup>等。树种的生理机能是一个复杂的整体系统。植物抗性是一种从植物的形态解剖构造、水分生理、生态特性及生理生化反应到组织细胞、光合器官乃至原生质结构特点的综合反应<sup>[16-17]</sup>,是一个受多基因控制的复杂性状<sup>[18]</sup>。由于树种这种复杂的适应调节机理,加上主导环境因子的改变时有发生,单个生理指标的抗逆响应不能全面地反映植物整体免疫机制的强弱,而多指标的综合评价则在一定程度上可以避免这种片面性,所以,近年来人们尝试着将模糊数学理论中的隶属函数值法应运于树种的抗逆能力综合评价<sup>[19-20]</sup>。

目前抗逆能力评价方面的研究多集中于人为模拟逆境,而对自然胁迫条件下的抗逆性研究较少。对自然条件下的植物个别生理指标或生理特性的变化与环境的关系也有研究<sup>[21-23]</sup>,但很少有研究重视多项抗性生理指标季节变化的变化率所反映出的适应性差异与抗逆能力的关系。选择荒漠锦鸡儿(*Caragana roborovskyi*)、驼绒藜(*Ceratoides latens*)、白毛锦鸡儿(*Caragana licentiana*) 3 个树种,选取与抗性密切相关的 13 项生理生化指标,在自然条件下,运用模糊数学理论等级评分法,以 3 树种对夏秋季节变化反应中各指标的变化率做为敏感度评判标准,分析比较 3 树种对季节变化反应的适应性差异,并将其与用模糊隶属函数值综合评价得出的抗逆能力差异相比较,揭示了树种敏感度与抗逆能力的关系,为综合评价树种的抗逆能力提供新思路与方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地位于甘肃省兰州市北部的皋兰县水阜乡

老虎台。该区属温带大陆性气候,海拔 1 775 m,年平均气温 8.7℃,无霜期 178 d 左右。年平均降水量 263 mm,最大年降水量为 392.0 mm,最小年为 154.9 mm。年平均蒸发量 1 468 mm,是降水量的 5 倍多。试验区土壤为淡灰钙土,在剖面 0~200 cm 深度,粉沙粒占 60% 左右。表土层有机质含量 0.73%~1.13%,土壤容重 1.3 g·cm<sup>-3</sup> 左右,pH 值 8.5。

### 1.2 材料

试验所用植物材料为荒漠锦鸡儿、驼绒藜、白毛锦鸡儿,均为相同立地条件下 20 a 生左右的野生植株。

每个树种选择地径基本一致的 3 株标准木作为测定对象。采集标准木树冠中下部、向阳、外围发育正常的小枝组成混合样品,立即放入自封袋,装入冰盒迅速带回实验室,进行各指标的测定。

于 2007 年夏季、秋季分别进行 1~2 次测定。选择晴天 8:30—10:00 采样,每次测定设 3 个重复。

### 1.3 测定指标及方法

(1)叶片含水量。采用郝再彬方法<sup>[24]</sup>测定。

(2)自然饱和和亏。采用烘干称重法<sup>[25]</sup>测定。

(3)植物组织自由水和束缚水含量。采用郝再彬方法<sup>[24]</sup>测定。

(4)叶片保水力。采用自然干燥法测定<sup>[26]</sup>。剪取植物叶片,迅速浸入蒸馏水中,浸泡 24 h 称饱和重。将叶片悬于室内,在空气中缓慢脱水 12 h 后,将叶片烘干,称取干重。叶片保水力计算式为:叶片保水力=1-(叶饱和重-12 h 失水后叶片重)/(叶饱和重-干叶重)

(5)超氧化物歧化酶 SOD 活性。采用李合生方法<sup>[27]</sup>测定。

(6)丙二醛 MDA 含量。采用郝再彬方法<sup>[24]</sup>测定。

(7)可溶性糖含量。采用郝再彬方法<sup>[24]</sup>测定。

(8)比叶面积。采用刘金环方法<sup>[28-29]</sup>测定。

(9)叶片干物质含量。采用刘金环方法<sup>[28]</sup>测定。

用 *t* 检验分析季节变化对各树种各指标的影响差异程度。

### 1.4 树种对季节变化反应敏感度的综合评价

采用模糊数学等级评分法,对 3 树种各指标的夏秋两季的变化率分别评分。夏秋两季指标的变化率用夏季指标值与秋季指标值的差值占树种夏季指标值的百分比表示,取变化率的绝对值做敏感度评分。每个树种各指标的变化率评分值累加起来,求

其总分数值。总分数值越大,树种敏感度越强。

1.5 树种抗逆能力综合评价

采用模糊数学的隶属函数值法。隶属函数值的计算方法<sup>[30-31]</sup>如下:

若指标与抗逆性呈正相关:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{jmin}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \tag{1}$$

若指标与抗逆性呈负相关:

$$Z_{ij}(\text{反}) = 1 - \frac{X_{ij} - X_{jmin}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \tag{2}$$

$$\bar{Z}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{ij} \tag{3}$$

式中: $X_{ij}$ 表示*i*树种*j*指标的测定值, $X_{jmax}$ 和 $X_{jmin}$ 分别表示各树种*j*指标的最大和最小测定值。 $Z_{ij}$ 为树种的抗旱隶属函数值,*n*为指标数。将每个树种各指标的抗旱隶属函数值累加,求其各指标隶属值的平均值,平均值越大,树种抗逆能力越大。

表 1 3 树种的各项抗性指标<sup>①</sup>

Table 1 Stress resistance indexes of the three tree species

树种	季节	叶片含水量/%	自然饱和亏/%	相对含水量/%	自由水/%	束缚水/%	束/自	叶片保水力	叶片干物质含量/(g·g <sup>-1</sup> )	比叶面积/(cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	叶绿素含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	SOD 活性/(U·g <sup>-1</sup> )	MDA 含量/(μmol·g <sup>-1</sup> )	可溶性糖含量/(μmol·g <sup>-1</sup> )
白毛锦鸡儿	夏季	65.58	36.12	63.88	20.99	45.95	2.19	0.13	0.24	—	2.32	255.26	0.04	97.43
	秋季	63.64	28.93	71.07	31.27	32.37	1.04	0.05	0.29	20.45	2.63	344.94	0.06	91.03
驼绒藜	夏季	66.54	37.85	62.15	22.38	45.05	2.01	0.34	0.23	—	1.23	228.44	0.02	72.91
	秋季	66.91	36.31	63.69	47.88	19.03	0.40	0.32	0.24	15.52	1.56	337.10	0.02	41.78
荒漠锦鸡儿	夏季	60.66	29.66	70.34	14.57	47.51	3.26	0.19	0.30	—	1.92	255.76	0.06	77.61
	秋季	57.92	54.29	45.71	26.92	30.99	1.15	0.08	0.25	15.05	1.80	357.12	0.18	96.44

① 表中数值为平均值。

2.2 各树种对季节变化反应的敏感度比较

表 2 表明,各树种对季节变化反应的敏感度表现为:荒漠锦鸡儿>驼绒藜>白毛锦鸡儿。表明荒漠锦鸡儿在夏季到秋季的变化中,适应能力最差,各项生理指标均有较大幅度的变化,生理生化指标在季节变化中整体反应最敏感。白毛锦鸡儿的适应性最强,季节变化对其各指标的影响最小,表明其对生长条件的改变最不敏感。从 3 树种对季节变化反应的敏感度可看出,白毛锦鸡儿对于自然季节变化表现出较强的适应性,驼绒藜次之,荒漠锦鸡儿最差。

2.3 各树种的抗逆能力

表 3 表明,3 种树种抗逆能力的强弱差异不大。抗逆能力排序为:白毛锦鸡儿>驼绒藜>荒漠锦鸡儿。

2.4 敏感度与抗逆能力的关系

从表 2 和表 3 可以看出,敏感度排序与抗逆能力排序结果相反,敏感度高的树种其抗逆能力弱,敏感度低的树种其抗逆能力强。说明抗逆能力强的树

1.6 数据分析

用 Excel2003 和 SPSS11.5 统计分析软件进行数据计算与分析。

2 结果与分析

2.1 抗性指标的季节变化

由表 1 可知,随着季节由夏到秋的更替,3 树种各指标变化均有不同趋势及幅度的变化。表明 3 树种对夏秋季节变化带来的生长条件的改变都作出了适应性的调节,但调节幅度有差异,说明 3 树种的适应能力有差异。*t* 检验结果表明,季节变化对叶片干物质含量、叶片含水量、自然饱和亏的影响不显著( $P>0.05$ )。其他指标受季节影响,变化达到显著水平( $P<0.05$ )。但仅从各指标的季节变化值上无法看出明显的适应性变化规律。

表 2 3 树种对季节变化反应的敏感度

Table 2 Reaction sensitivity of the three tree species to seasonal change

指标	白毛锦鸡儿	驼绒藜	荒漠锦鸡儿
叶片含水量/%	2	1	3
相对含水量/%	2	1	3
束缚水含量/%	1	3	2
束/自	1	3	2
叶绿素含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	2	3	1
SOD 活性/(U·g <sup>-1</sup> )	1	3	2
可溶性糖含量/(μmol·g <sup>-1</sup> )	1	3	2
叶片干物质含量/(g·g <sup>-1</sup> )	3	1	2
叶片保水力	3	1	2
自然饱和亏/%	2	1	3
自由水含量/%	1	3	2
MDA 含量/(μmol·g <sup>-1</sup> )	3	1	2
评分总和	22	24	26
敏感度排序	3	2	1

种对季节变化的敏感度弱,表现出较强的适应性,表明由指标变化率反映出的树种对季节变化反应的敏

感度能够说明其抗逆能力的大小。3 树种对季节变化反应的敏感度对其抗逆能力有指示作用。

表 3 树种的隶属函数值<sup>①</sup>

项目	白毛锦鸡儿	驼绒藜	荒漠锦鸡儿
Z(1)	0.231	0.284	0.072
Z(2)	0.535	0.428	0.314
Z(3)	0.535	0.428	0.314
Z(4)	0.772	0.639	0.851
Z(5)	0.443	0.339	0.444
Z(6)	0.194	0.112	0.249
Z(7)	0.091	0.539	0.168
Z(8)	0.749	0.379	0.564
Z(9)	0.813	0.763	0.832
Z(10)	0.075	0.047	0.065
Z(11)	0.762	0.936	0.463
Z(12)	0.757	0.638	0.797
Z(13)	0.265	0.645	0.682
平均隶属值	0.479	0.475	0.447
抗旱力排序	1	2	3

① Z(1)、Z(2)……Z(13)分别代表各种树叶片含水量、自然饱和和亏、相对含水量、自由水、束缚水、束缚水/自由水、叶片保水力、叶绿素含量、SOD 活性、可溶性糖含量、MDA 含量、叶片干物质含量、比叶面积的隶属函数值。

### 3 结论与讨论

自然季节的更替,水分、温度、光照等环境因子改变的综合作用使气象条件呈现出不同的特点。其中,夏季主要是高温,而秋季则主要表现为干燥。植物在夏秋季节变化中受环境因子的影响,通过自身免疫机制的调节,形态与生理特征会做出适应性改变,改变幅度的大小反映适应能力的差异。通过生理生化指标的测定,可直观的看出生理特性发生的变化。不同树种也表现出不同的适应性差异。然而每个指标只能反应某一方面受到的影响及其调节能力的强弱。本研究中夏秋两季各指标的变化结果表明,3 树种的生理特性均发生改变但变化幅度不同,不同指标夏秋变化差异显著度存在区别,说明在不同方面其变化反应大小存在差别,调节能力各有优劣但无明显的统一规律,从各个指标的变化上无法直接对其反应强度、适应能力作出全面整体的判断。任何个别的变化,必然包含着整体机制的变化。多指标的综合评价有可能快速有效地判别其适应与抗逆能力。本实验结果表明,评价树种对季节变化的反应差异及其总体规律需要宏观的评价标准从整体上做出决策,对植物抗逆性指标的综合评价,可以减少单个指标对评定植物抗逆性所造成的片面性,模糊数学综合评价法在探讨树种适应能力与自然季节

变化关系以及抗逆能力评价上具有明显的优势,为宏观整体的作出客观全面的判断提供了可能。

通常,植物需要一种保护机制或对已经造成的破坏进行修复的机制或者是此二者的结合来度过胁迫环境<sup>[32-33]</sup>。用模糊等级评分法综合评价与抗逆性紧密相关的生理生化指标在季节变化中的变化率,反映出其对季节变化反应的敏感度,可以说明树种的适应性差异,对其抗逆能力具有指示作用,树种对季节变化适应性越差,其反应的敏感度越高,抗逆能力就越弱,与用隶属函数值法得出的抗逆能力评价结果一致。

在自然条件下,选择与抗逆性紧密相关的生理生化指标,运用模糊等级评分法,综合评价树种对季节变化反应的敏感度可望应用于抗逆能力的评价。由于环境因子相互作用复杂,本研究只在夏秋两季从综合影响角度模糊评价了 3 树种对季节变化反应的敏感度,没有考虑具体的气温、水分、光照等条件的变化情况,而且选取的树种较少,研究结果代表性有限,还需要有针对性地进行深入研究。考虑到年际间与年内环境因子胁迫程度的差异,要总结出普遍适用性规律,还需对其他树种的多项抗性指标,在不同年度及四季变化中的反应差异进行多区域的长期联合观测研究。

#### 参考文献:

[1] 燕玲,李红,刘艳. 13 种锦鸡儿属植物叶的解剖生态学研究[J]. 干旱区资源与环境, 2002,16(1):100-106.

[2] 崔宏安,刘莉丽,陈铁山,等. 葛藤不同类型叶耐旱结构的比较解剖学研究[J]. 西北植物学报, 2003,23(12):2211-2215.

[3] 张振师,薛智德,崔宏安,等. 延安地区 3 种灌木叶旱性结构的解剖研究[J]. 西北林学院学报, 2004,19(1):32-35.

[4] QIAN Y L, FRY J D, UPHAM W S. Rooting and drought avoidance of warm-season turfgrasses and tall fescue in Kansas [J]. Crop Sci, 1997,37:699-704.

[5] MAROCO J P, PEREIRA J S, CHAVES M M. Stomatal responses to leaf-to-air vapour pressure deficit in Sahelian species [J]. Aust J Plant Physiol, 1997,24:381-387.

[6] VOLAIRE F, THOMAS H, LELIEVER F. Survival and recovery of perennial forage grasses under prolonged Mediterranean drought. I. Growth, death, water relations and solute content in herbage and stubble [J]. New Phytol, 1998, 140: 439-449.

[7] BALAGUER L, PUGNAIRE F I, MARTINEZ-FERRI E, et al. Ecophysiological significance of chlorophyll loss and reduced photochemical efficiency under extreme aridity in *Stipa tenacissima* L. [J]. Plant & Soil, 2002,240:343-352.

[8] 樊卫国,刘国琴,何嵩涛,等. 刺梨对土壤干旱胁迫的生理响应[J]. 中国农业科学, 2002,35(10):1243-1248.

[9] 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.

表 6 树枝生物量与总生物量的比率分析结果( $\alpha=0.05$ )

Table 6 Analysis result of the rate of foliage biomass to biomass of total tree

间伐强度	树叶生物量百分比 /%	标准差 /%
对照	5.97	0.52
弱度	5.04	0.54
中度	5.95	1.32
强度	5.21	0.58
F 值	9.59	
p 值	0.000 2	

3 结论与讨论

与未间伐林分相比,间伐林分在间伐后总生物量明显低于未间伐林分的总生物量。经过一段时间的生长,间伐林分的生物量渐近于未间伐林分生物量。

间伐林分的树枝和树干材生物量比未间伐林分大,但并不是间伐强度越大,树枝和树干材生物量占总生物量的比率就大,间伐强度在弱度间伐时树枝和树干材生物量占总生物量比率较大。未间伐林分叶生物量占总生物量比率比间伐林分大。

间伐对生物量各部分的生长影响结果相同,在生产中,可根据实际情况选择适宜的间伐强度。

由于生物量数据是由模型计算而来并不是实际



(上接第 49 页)

[10] 张莉,续九如. 水分胁迫下刺槐不同无性系生理生化反应的研究[J]. 林业科学,2003,39(4):162-167.

[11] 米海莉,许兴,李树华,等. 干旱胁迫下牛心朴子幼苗的抗旱生理反应和适应性调节机理[J]. 干旱地区农业研究,2002,20(4):11-16.

[12] 陈少瑜,郎南军,李吉跃,等. 干旱胁迫下 3 树种苗木叶片含水量、质膜相对透性和脯氨酸含量的变化[J]. 西部林业科学,2004,33(3):30-33,41.

[13] NIYOGI K K. Photoprotection revisited:genetic and molecular approaches[J]. Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1999,50:333-359.

[14] DONALD R. When there is too much light[J]. Plant Physiol, 2001,125:29-32.

[15] 赵长明,王根轩. 干旱胁迫对沙东青叶片防御光破坏机制的影响[J]. 植物学报,2002,44(11):1309-1313.

[16] 李吉跃. 植物耐旱性及其机理[J]. 北京林业大学学报,1991,13(3):92-97.

[17] 邹琪. 植物生理实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000:159-164,173-174.

[18] 杨敏生,裴宝华,朱之悌. 白杨双交杂种无性系抗旱性鉴定指标分析[J]. 林业科学,2002,38(2):36-42.

[19] 庄利,陈亚宁,陈明,等. 模糊隶属函数法在塔里木河荒漠植物抗旱性评价中的应用[J]. 干旱区研究,2005,28(3):367-372.

[20] 贾万利,苗海霞,孙明高,等. 6 种苗木抗旱性评价指标分析[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2007,38(2):163-168.

[21] 李文瑞,冯金朝,江天然,等. 沙冬青几种光合特性的季节性变化的研究[J]. 植物学报,1999,41(2):190-193.

测量,所以对研究结果会有些影响,因此可进一步进行实验验证。

参考文献:

[1] 薛立,杨鹏. 森林生物量研究综述[J]. 福建林学院学报,2004,24(3):283-288.

[2] 项文化,田大伦,闫文德. 中低强度间伐对干材阶段马尾松林生物量的影响[J]. 中南林学院学报,2001,21(1):10-13.

[3] 曹云,杨吉力,宋炳煜,等. 人工抚育措施对油松林生长及结构特征的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(3):397-402.

[4] BALDWIN C V, PETERSON K D, CLARK III A C, et al. The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old Loblolly pine[J]. Forest Ecology and Management, 2000, 137:91-102.

[5] 方海波,田大伦,康文星. 间伐后杉木人工林生态系统生物产量的动态变化[J]. 中南林学院学报,1999,19(1):16-19.

[6] 马履一,李春义,王希群,等. 不同强度间伐对北京山区油松生长及其林下植物多样性的影响[J]. 林业科学,2007,43(5):1-9.

[7] 熊有强,盛炜彤,曾满生. 不同间伐强度杉木林下植被发育及生物量研究[J]. 林业科学研究,1995,8(4):408-412.

[8] 唐守正,张会儒,胥辉. 相容性生物量模型的建立及其估计方法研究[J]. 林业科学,2000,36(专1):19-27.

[9] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,1996.

[22] 崔素霞,王蔚,陈国仓,等. 两种沙生植物内源激素、叶绿体膜脂肪酸组成和膜脂抗氧化系统酶类的季节变化[J]. 植物生态学报,2000,24(1):96-101.

[23] 邓雄,李小明,张希明,等. 塔克拉玛干 4 种荒漠植物气体交换与环境因子的关系初探[J]. 应用于环境生物学报,2002,8(5):445-452.

[24] 郝再彬,苍晶,徐仲,等. 植物生理实验[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:22-25.

[25] 华东师范大学生物系植物生理教研组. 植物生理学实验指导[M]. 北京:人民教育出版社,1980:3-5.

[26] 王韶唐,荆家海,丁钟荣,等. 植物生理学实验指导[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1987:2-10.

[27] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:167-169.

[28] 刘金环,曾德慧, DON K L. 科尔沁沙地东南部地区主要植物叶片性状及其相互关系[J]. 生态学杂志,2006,25(8):921-925.

[29] 侯福林. 植物生理学实验教程[M]. 北京:科学出版社,2004:59-60.

[30] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津:天津科学技术出版社,1985:67-70.

[31] 陆德彪. 茶树种质资源抗旱性的综合评价[J]. 浙江农业大学学报,1995,21(5):447-450.

[32] OLIVER M J. Desiccation tolerance in vegetative plant cells[J]. Physiol Plant,1996,97:779-787.

[33] COOPER K, FARRANT J M. Recovery of the resurrection plant *Craterostigma wilmsii* from desiccation:protection versus repair[J]. J Exp Bot,2002,53:1805-1813.