

# 黑龙江省西部低山丘陵区抗旱树种选择研究

王犇<sup>1,2</sup>, 胡海清<sup>1\*</sup>, 王力刚<sup>2</sup>, 孙龙<sup>1</sup>

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040; 2. 黑龙江省森林与环境科学研究院, 黑龙江齐齐哈尔 161005)

**摘要** 通过盆栽试验测定分析了 18 个树种的主要光合生理与水分生理指标, 测定并比较了这些树种的叶片显微抗旱结构特征; 选用相关抗旱生理指标及叶片显微抗旱结构指标采用模糊数学隶属函数法对这些树种进行了抗旱性分析, 结合生产实际调查比较了这些树种的田间适应性表现, 筛选出 10 个树种作为黑龙江省西部低山丘陵区抗旱造林主栽树种, 依次为樟子松、红皮云杉、长白落叶松、小黑杨、山新杨、银中杨、青竹柳、紫丁香、山杏、小叶锦鸡儿。

**关键词** 低山丘陵; 抗旱; 树种选择; 造林配置

**中图分类号** S725.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)30-12062-05

## Selection of Drought-resistance Tree Species in Hilly Area of Western Heilongjiang Province

WANG Wei-ye et al (Academy of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

**Abstract** Through pot incubation test, photosynthetic and water physiological indexes of 18 tree species were analyzed, the leaf microstructure characteristics of these tree species were determined and compared. The drought-resistance of these species were analyzed by fuzzy subordinate function value method. Combined with the actual investigation, the adaptability of these tree species were compared, totally 10 species were selected as main afforestation tree species in hilly area of western Heilongjiang Province, namely *Pinus sylvestris*, *Picea koraiensis*, *Larix olgensis*, *Populus simonii* × *P. nigra* L., *Populus Davidiana* × *P. Bolleana*, *Populus alba* × *P. berolinensis*, *Salix matsudana* × *S. babylonica*, *Syringa oblata* Lindl., *Prunus mandshurica* (Maxim.) Skv. *Prunus armeniaca*, *Caragana microphylla*.

**Key words** Hilly; Drought-resistance; Tree species selection; Planting configuration

树种科学选择与合理配置是林业生产的重要基础性工作。对于具有半干旱气候特征的低山丘陵区而言, 抗旱造林树种选择及配置尤显重要<sup>[1-3]</sup>。黑龙江省西部低山丘陵区相对全省而言, 生态环境比较恶劣, 主要造林树种多为引进种或者人工选育的品种<sup>[2,4]</sup>, 当地乡土树种应用于生产造林并不占主体, 对这些树种抗逆适应性深入研究有助于指导生产科学选择造林树种, 减少盲目性。树木的生理生态特性及叶片显微结构特征, 体现了一定的抗旱性能, 通过对树木相关生理参数及叶片显微结构的测定、比较与分析, 同时结合树木田间适应性表现开展抗旱树种筛选, 有助于提高抗旱树种选择的可靠性, 从而为生产单位造林树种选择提供更为有力的技术参考。

## 1 材料与与方法

**1.1 研究区概况** 齐齐哈尔绿源林业科技示范基地地处黑龙江省齐齐哈尔市南郊, 富拉尔基区境内。年平均气温 3.5℃, ≥10℃ 年平均积温 2 726℃, 无霜期 136 d, 年平均降水量 418.1 mm, 年平均蒸发量 1 483 mm, 土壤为碳酸盐栗钙土。

## 1.2 试验材料

**1.2.1 供试树种。** 人工选育杨柳品种 8 个: 小黑杨 (*Populus simonii* × *P. nigra* L.)、银中杨 (*Populus alba* × *P. berolinensis*)、山新杨 (*Populus Davidiana* × *P. Bolleana*)、青山杨 (*Populus pseudo-cathayana* × *P. deltoides* Bartr. cv. "Shanhaigura-n")、中黑防 (*Populus deltoides* × *P. cathayana*)、DN113 杨 (*Populus* × *eurame-ricanacv.* "DN113")、青竹柳 (*Salix matsudana* × *S. babylonica*)、垂爆 109 柳 (*Salix* "Chuibao 109")。

针叶树种 4 个: 樟子松 (*Pinus sylvestris* L. var. *mongolica* Litv.)、长白松 (*Pinus sylvestris* var. *sylvestrifomis*)、长白落叶松 (*Larix olgensis* Henry.)、红皮云杉 (*Picea koraiensis* Nakai.)。

灌木种 6 个: 宁夏枸杞 (*Lycium barbarum* L.)、大果沙棘 (*Hippophae fhamnoides* L.)、紫丁香 (*Syringa oblata* Lindl.)、小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla* Lam.)、山杏 [*Prunus mandshurica* (Maxim.) Skv.]、家桑 (*Morus alba* L.)。

**1.2.2 主要试验仪器。** 美国产 Li-6400 便携式光合测定仪、SKPM-1400 便携式数显植物压力室、烘干箱、取土铝盒、OLYMPUS 光学显微镜。

## 1.3 指标测定

**1.3.1 测定的指标参数及计算。** 主要测定指标参数有叶片净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ )、叶片水分利用效率 ( $WUE$ )、土壤质量含水率 ( $P$ )、羧化效率 ( $CE$ )、叶水势 ( $\psi_{叶}$ )、凋萎系数 ( $W_c$ )、叶片的显微结构(角质层、表皮、栅栏组织、叶片厚度及叶片组织结构紧密度)。光合速率和蒸腾速率作为树木光合生理和水分生理的重要指标, 是表现植物对光合生理和水分生理条件的一个量度, 也是植物耐旱节水性能的反映, 较高的光合速率和蒸腾速率反映了植物较高的光强和生理耗水的需求, 可以区分树种喜光、耐阴和喜水、耗水等不同类型的树木。叶片水分利用效率是评价水分亏缺条件下树木生长适宜程度的一个综合生理生态指标, 在一定程度上反映了树木的耗水性和抗旱性。植物叶水势代表着植物水分运动的能量水平, 是判断和预测植物水分亏缺、衡量植物抗旱的重要生理指标, 准确度量植物的水分状况。凋萎系数是树木发生永久凋萎时的土壤含水率, 是衡量树木耐旱性能的最直接指标之一。凋萎系数越大, 表明树木在较高的土壤含水率情况下即发生永久凋萎, 是耐旱性能较差的表现, 反之, 则为耐旱性能较强的

**基金项目** 黑龙江省重大科技攻关项目 (GA06B306-6)。

**作者简介** 王犇 (1982-), 女, 黑龙江延寿人, 工程师, 博士, 从事森林生态学研究。\* 通讯作者, 教授, 博士生导师, 从事森林生态学, 林火生态与管理研究。

**收稿日期** 2013-09-20

反映<sup>[5-6]</sup>。

$P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  由 Li-6400 便携式光合测定仪测定<sup>[7-8]</sup>。

叶片水分利用效率 ( $WUE$ ) 计算采用公式  $WUE = \frac{P_n}{T_r}$  求得; 羧

化效率  $CE = \frac{P_n}{C_i}$ ; 叶水势 ( $\psi_{\text{叶}}$ ) 由 SKPM-1400 便携式数显植物压力室测定, 其计算方法为仪器测定数据前加上负号后再乘以 0.1, 单位为兆帕 (Mpa)。

凋萎系数 ( $W_c$ ) 的测定, 在各树种正常生长后置于温室内停止浇水, 每 3 d 测定 1 次各树种所在瓦盆的土壤质量含水率, 同时记录相应树种的形态变化, 直到树木萎蔫后浇水不能恢复生长为止, 这时的土壤含水率即为该树种的凋萎系数。

土壤质量含水率计算:  $P = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_0} \times 100\%$ , 式中:  $P$  为土壤质量含水率 (%);  $W_1$  为铝盒 + 鲜土重 (g);  $W_2$  为铝盒 + 烘干土重 (g);  $W_0$  为铝盒重 (g)。

其中  $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  及  $\psi_{\text{叶}}$  为各树种在正常生长情况下测定的平均值, 每一树种重复测定 3 次, 各树种凋萎系数为 6 盆测定值的平均值。

叶片显微结构由 OLYMPUS 生物光学显微镜测定, 首先选取测定样品, 然后做临时切片。

其中, 叶片组织结构紧密度 =  $\frac{\text{栅栏组织厚度}}{\text{叶片厚度}} \times 100\%$ 。

**1.3.2 数据处理。** 数据处理与分析采用 IBM SPSS Statistics 19 统计分析软件和 Excel2003 软件完成。

## 2 结果与分析

**2.1 光合及水分生理指标的比较** 综合光合生理及水分生理参数的测定结果 (表 1), 经归类统计比较与分析, 结果表明: 18 个供试树种中,  $T_r$  大小依次为 8 个人工选育品种、6 个灌木、4 个针叶树, 其中前者与后 2 者差异显著 ( $P < 0.05$ ), 说明人工选育品种总体上耗水量大于天然树种; 气孔导度的趋势与蒸腾速率相同; 叶水势在各树种中大小依次为针叶树、灌木 (以灌木为主)、人工选育品种, 其中人工选育品种与针叶树之间差异达到显著性程度  $P < 0.05$ ; 凋萎系数在各树种中大小依次为人工选育品种 (5.182%)、针叶树 (4.619%)、灌木 (4.613%), 前者与后 2 者差异达到显著性程度  $P < 0.05$ , 说明抗旱性大小依次为灌木、针叶树、人工选育品种; 而光合速率在各树种中大小依次为人工选育品种、针叶树、灌木, 其中前者与后 2 者差异显著 ( $P < 0.05$ ); 水分利用效率、羧化效率的趋势与光合速率相同, 但水分利用效率在 3 者之间差异没有达到显著程度; 胞间  $\text{CO}_2$  浓度大小依次为灌木、人工选育品种、针叶树, 3 者之间差别没有达到显著程度。可见人工选育的杨柳类品种具有耗水量大、亲水性较强、抗旱性相对较弱, 但光合速率、水分利用效率较高的普遍特点, 针叶树则与之相反。

表 1 各树种叶片光合参数测定及有关数值计算结果

树种	$P_n$	$T_r$	$G_s$	$C_i$	$WUE$	$CE$	$\psi_{\text{叶}}$	$W_c$
	$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	$\mu\text{mol}/\text{mol}$	$\mu\text{mol}/\text{mmol}$	$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	MPa	%
DN113 杨	11.35	4.22	0.561	303.0	2.69	0.037 5	-1.538	5.395
青山杨	10.93	4.87	0.740	313.2	2.24	0.034 9	-1.615	5.370
山新杨	8.68	4.10	0.385	298.5	2.12	0.029 1	-1.285	4.970
小黑杨	1.67	2.87	0.213	349.3	0.58	0.004 8	-0.964	4.780
银中杨	10.52	4.01	0.374	290.2	2.62	0.036 3	-1.490	4.920
中黑防	8.42	4.48	0.548	318.3	1.88	0.026 5	-1.495	5.405
109 柳	7.03	3.93	0.383	312.8	1.79	0.022 5	-1.199	5.455
青竹柳	9.80	3.86	0.365	292.7	2.54	0.033 5	-1.135	5.160
均值	8.55 a	4.04 ab	0.446 ab	309.8 a	2.06 a	0.028 1 a	-1.340 ab	5.182 a
长白松	5.34	2.47	0.164	289.7	2.16	0.018 4	-0.055	4.335
长白落叶松	1.79	1.50	0.099	328.7	1.19	0.005 5	-1.190	5.265
红皮云杉	6.06	2.20	0.131	264.0	2.75	0.023 0	-0.344	4.695
樟子松	4.42	2.50	0.169	300.0	1.77	0.014 7	-0.169	4.180
均值	4.40 b	2.17 c	0.141 c	295.6 a	1.97 a	0.015 4 b	-0.440 c	4.619 b
紫丁香	4.23	1.60	0.088	275.0	2.64	0.015 4	-0.977	4.375
宁夏枸杞	2.31	3.00	0.211	334.2	0.77	0.006 9	-1.513	5.050
小叶锦鸡儿	6.48	2.94	0.221	298.8	2.20	0.021 7	-0.550	4.405
大果沙棘	0.10	4.26	0.493	361.5	0.02	0.000 3	-0.368	4.950
山杏	7.20	3.45	0.259	296.3	2.09	0.024 3	-0.810	4.430
家桑	5.23	3.52	0.333	327.7	1.49	0.016 0	-1.223	4.470
均值	4.26 b	3.13 bc	0.267 bc	315.6 a	1.54 a	0.014 1 b	-0.907 bc	4.613 b

注: 表中同一列中相同字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

**2.2 叶片显微结构特征分析** 叶片作为植物的同化和蒸腾器官, 在长期的干旱胁迫下, 其形态结构会发生与抗旱性密切相关的改变: 叶片越厚, 储水能力越强, 是抗旱性能较强的表现。角质层、表皮层作为叶片的保护组织, 厚度增加, 可减

少水分蒸发, 增强机械支撑性能, 可以提高植物的能量反射与减低蒸腾, 从而增强植物的抗旱性。高度发达的栅栏组织可避免干旱地区强烈光照对叶肉细胞的灼伤, 又可有效地利用衍射光进行光合作用。

各树种叶片横切面显微结构测定结果见表 2,阔叶树种叶片的中生结构特点较明显。表皮角质层不发达,为 1.80 ~ 3.34  $\mu\text{m}$ ,叶片解剖类型为异面叶,即同时存在较为发达的栅栏组织与海绵组织。从角质层厚度的情况看,中黑防在控制水分损失上最强,其厚度为 3.81  $\mu\text{m}$ ,其次是山新杨和青竹

柳。从形态结构来说,针叶树种缩小了叶片的表面积以及体积,以最大限度减少植物暴露面积,从而减少对辐射的直接接触和水分的蒸腾,叶表皮细胞排列紧密,细胞壁增厚,角质层发达。其中樟子松的角质层厚度最大,为 7.10  $\mu\text{m}$ ,长白落叶松最小。

表 2 各树种叶片横切面显微结构测定结果

树种	角质层 $\mu\text{m}$	表皮// $\mu\text{m}$		栅栏组织(叶肉组织)	叶片厚度	叶片组织结构
		上表皮	下表皮	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	紧密度//%
DN113 杨	3.03	9.00	9.00	56.00	88.00	0.636
青山杨	2.78	37.00	7.00	70.00	121.00	0.579
山新杨	3.80	29.00	2.00	56.00	104.00	0.538
小黑杨	2.10	7.00	24.00	52.00	124.00	0.419
银中杨	1.80	27.00	8.00	39.00	91.00	0.429
中黑防	3.81	5.20	21.50	38.00	103.80	0.366
垂爆 109 柳	2.95	7.30	7.00	49.00	83.00	0.590
青竹柳	3.34	8.50	11.00	57.00	92.00	0.620
均值	2.95	16.25	11.19	52.13	100.85	0.522
长白松	6.17	9.60	9.60	66.00	156.70	0.421
长白落叶松	4.00	5.00	5.00	57.00	138.50	0.412
红皮云杉	7.00	8.00	8.00	90.00	196.00	0.459
樟子松	7.10	12.00	12.00	132.00	265.00	0.498
均值	6.07	8.65	8.65	86.25	189.10	0.448
紫丁香	3.57	7.81	7.81	76.00	124.00	0.613
宁夏枸杞	3.12	5.34	5.34	61.00	137.00	0.445
小叶锦鸡儿	2.13	4.34	4.34	37.00	62.00	0.597
大果沙棘	2.00	4.00	4.00	49.00	117.00	0.419
山杏	2.50	6.70	6.70	48.00	92.00	0.522
家桑	2.10	7.00	7.00	33.00	56.00	0.589
均值	2.57	5.87	5.87	50.70	98.00	0.531

**2.3 各树种抗旱性综合分析** 树木的抗旱性是一个受诸多因素影响的较为复杂的综合性状,这些因素的综合作用才能促进抗旱性的形成,因此对于树木抗旱性的评价应采用尽可能多的与抗旱性有关的指标来综合评价,从而使对树木的抗旱性的判定更为准确、实际,减少单个指标判定所造成的片面性<sup>[9-10]</sup>。而隶属函数提供了一种在多指标测定基础上对树木抗旱性进行综合评价的方法,因此,利用模糊数学的隶属函数将供试树种各个抗旱指标换算成隶属函数值,然后将每个树种的抗旱隶属函数值进行累加,求均值,值越大说明该树种抗旱性越强。

隶属函数值的计算方法:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}}, \text{式中}, X_{i\min} = \min\{X_{i1} \cdots X_{iN}\}, X_{i\max} = \max\{X_{i1} \cdots X_{iN}\}$$

如果所选指标与抗旱性呈负相关,则采用反隶属函数计算,方法如下:

$$Z_{ij(\text{反})} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}}$$

式中: $Z_{ij}$ 为*i*树种*j*指标的抗旱隶属函数值; $X_{ij}$ 为*i*树种*j*指标的测定值; $X_{i\min}$ 和 $X_{i\max}$ 分别为各树种相应指标值中的最小值和最大值。

该研究采用  $W_c$ 、 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 、 $WUE$ 、叶片角质层厚度、表皮

层(上)厚度、栅栏组织厚度、叶片厚度、叶片组织结构紧密度 10 个指标进行综合评价,以获得一个比较切实的结果。其中  $W_c$ 、 $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$  与抗旱性呈负相关, $WUE$ 、叶片角质层厚度、表皮层(上)厚度、栅栏组织厚度、叶片厚度、叶片组织结构紧密度与抗旱性呈正相关<sup>[11-13]</sup>。计算结果见表 3。

从表 3 可见,总体上看,供试的 18 个树种中,4 个针叶树抗旱能力最强,6 个灌木次之,8 个人工选育品种最弱。总的抗旱性顺序为樟子松 > 紫丁香 > 红皮云杉 > 长白松 > 长白落叶松 > 小叶锦鸡儿 > 山新杨 > 青竹柳 > 山杏 > 宁夏枸杞 > 小黑杨 > 家桑 > 银中杨 > 青山杨 > 垂爆 109 柳 > DN113 杨 > 大果沙棘 > 中黑防,其中 4 个针叶树抗旱性顺序为樟子松 > 红皮云杉 > 长白松 > 长白落叶松,6 个灌木抗旱性顺序为紫丁香 > 小叶锦鸡儿 > 山杏 > 宁夏枸杞 > 家桑 > 大果沙棘,8 个人工选育品种抗旱性顺序为山新杨 > 青竹柳 > 小黑杨 > 银中杨 > 青山杨 > 垂爆 109 柳 > DN113 杨 > 中黑防。

**2.4 田间适应性分析** 据在黑龙江省甘南县、龙江县、富裕县、泰来县、齐齐哈尔市富拉尔基区等地不同土壤、水分条件下野外调查结果表明:青山杨、中黑防、109 柳、大果沙棘、DN113 杨、长白松、宁夏枸杞在水肥优越的立地条件下表现良好,长势突出,而在水肥条件较差立地条件下则表现不佳。其中 109 柳、中黑防表现出日灼伤、干枯、呈灌丛状,每年从根部重发, DN113 杨与青山杨表现出生长受限、长势弱,大果

沙棘干缩病发病率高、长势弱,枸杞则干枯、结果率低,长白 现出更为广泛的适应性及良好的生长态势(表 4)。  
松在土壤瘠薄条件下长势明显减弱。其余各树种则相对表

表 3 18 个树种抗旱能力综合评价

树种	Z(1)	Z(2)	Z(3)	Z(4)	Z(5)	Z(6)	Z(7)	Z(8)	Z(9)	Z(10)	平均( $Z_{ij}$ )	排序
DN113 杨	0.047 1	0.005 9	0.151 5	0.232 3	0.153 1	1.000 0	0	0.192 9	0.274 5	0.978 0	0.303 5	16
青山杨	0.066 7	0.015 7	1.000 0	0.373 7	0.311 0	0.788 9	0.037 3	0	0	0.813 0	0.340 6	14
山新杨	0.380 4	0.313 7	0.757 6	0.232 3	0.229 7	0.637 0	0.237 3	0.228 5	0.544 3	0.769 0	0.433 0	7
小黑杨	0.419 6	0.274 5	0.090 9	0.191 9	0.325 4	0.196 3	0.860 4	0.593 5	0.808 0	0.204 3	0.396 5	11
银中杨	0.231 4	0.254 9	0.697 0	0.060 6	0.167 5	0.233 3	0.073 8	0.255 2	0.561 2	0.952 3	0.348 7	13
中黑防	0.039 2	0.117 6	0.036 4	0.050 5	0.228 7	0	0.260 4	0.115 7	0.294 4	0.681 0	0.182 4	18
垂爆 109 柳	0	0.107 8	0.100 0	0.161 6	0.129 2	0.829 6	0.384 0	0.278 9	0.547 4	0.648 0	0.318 7	15
青竹柳	0.529 4	0.262 7	0.136 4	0.242 4	0.172 2	0.940 7	0.137 8	0.299 7	0.575 0	0.923 0	0.421 9	8
均值											0.343 2	
长白松	0.878 4	0.817 6	0.169 7	0.333 3	0.481 8	0.203 7	0.534 2	0.712 2	0.883 2	0.783 6	0.579 8	4
长白落叶松	0.149 0	0.392 2	0.030 3	0.242 4	0.394 7	0.170 4	0.849 8	1.000 0	0.983 0	0.427 9	0.464 0	5
红皮云杉	0.596 1	0.980 4	0.121 2	0.575 8	0.669 9	0.344 4	0.470 2	0.792 3	0.933 8	1.000 0	0.648 4	3
樟子松	1.000 0	1.000 0	0.242 4	1.000 0	1.000 0	0.488 9	0.616 0	0.703 3	0.875 5	0.640 6	0.756 7	1
均值											0.612 2	
紫丁香	0.847 1	0.307 8	0.115 5	0.434 3	0.325 4	0.914 8	0.632 9	0.970 3	1.000 0	0.959 7	0.650 8	2
宁夏枸杞	0.317 6	0.219 6	0.040 6	0.282 8	0.387 6	0.292 6	0.803 6	0.554 9	0.811 1	0.273 9	0.398 4	10
小叶锦鸡儿	0.823 5	0.025 5	0.010 3	0.040 4	0.028 7	0.855 6	0.432 9	0.572 7	0.795 8	0.798 3	0.438 4	6
大果沙棘	0.396 1	0	0	0.161 6	0.291 9	0.196 3	1.000 0	0.181 0	0.378 7	0.000 0	0.260 6	17
山杏	0.803 9	0.098 0	0.081 8	0.151 5	0.172 2	0.577 8	0.368 9	0.421 4	0.737 5	0.758 0	0.417 1	9
家桑	0.772 5	0.019 6	0.090 9	0	0	0.825 9	0.544 0	0.400 6	0.624 0	0.538 0	0.381 6	12
均值											0.424 5	

注:Z(1) -  $W_c$ , Z(2) - 角质层厚度, Z(3) - 表皮层厚度(上), Z(4) - 栅栏组织厚度, Z(5) - 叶片厚度, Z(6) - 叶片组织结构紧密度, Z(7) -  $P_n$ , Z(8) -  $T_r$ , Z(9) -  $G_c$ , Z(10) - WUE。

表 4 各树种野外生育及长势调查统计

树种	造林年度	$D_{1.3}$ //cm	H//m	调查地点	水分	土壤	生长表现
长白松	2003	4.6	2.5	甘南山湾	稍差	正常	略有干枯,长势一般
长白落叶松	1998	10.6	8.5	甘南兴久,龙江错海	正常	正常	良好,生长较快
红皮云杉	1998	6.9	5.1	甘南兴久	稍差	正常	良好
				龙江错海,绿源基地	正常	正常	良好
樟子松	2003	5.3	2.9	甘南兴久	正常	正常	良好
				龙江,富裕,泰来	稍差	稍差	良好
DN113 杨	2006	4.2	5.7	甘南兴久	稍差	稍差	干枯死亡
				绿源基地	正常	稍差	一般
青山杨	2004	8.4	12.5	甘南山湾	稍差	正常	一般,保存率较低
				甘南中兴乡兴久村	充足	较好	良好,生长快
山新杨	2005	9.3	8.5	绿源基地	正常	正常	较好
小黑杨	2001	20.7	17.4	甘南山湾	较好	稍好	良好,保存率较高
				绿源基地,龙江错海	正常	正常	良好,抗逆性亦良好
银中杨	2005	9.7	9.7	甘南山湾	稍好	正常	良好
				龙江,绿源基地	正常	正常	较好
中黑防	1999	25.9	15.1	甘南山湾	较好	较好	良好,保存率低(40%)
				甘南兴七	稍差	正常	干梢,部分枯死
109 柳	2000	13.3	11.5	甘南山湾	较好	较好	良好
				甘南山湾	正常	正常	日灼严重,成丛状生长
青竹柳	2005	6.1	7.2	甘南山湾	稍好	正常	良好
				龙江错海	正常	正常	较好
紫丁香	2009	1.0	1.0	龙江,甘南,泰来,齐市	正常	正常	良好
宁夏枸杞	2008	2.8	1.6	绿源基地,甘南	稍好	稍好	干枯,结果较少
小叶锦鸡儿	2009	2.6	1.8	甘南,龙江,绿源基地	正常	正常	良好
大果沙棘	2006	4.2	2.4	甘南,龙江,泰来	正常	正常	干缩病较多,生长一般
山杏	2003	4.4	2.7	龙江、甘南	正常	正常	良好,适应性较强
家桑	2008	3.9	2.7	甘南山湾,绿源基地	正常	正常	可以

注:“稍差”指低于当地条件下平均水平,“正常”指当地条件下的平均水平,“稍好”指比平均水平略强,“较好”指比平均水平强较多。乔木径生长测定指标为胸径,灌木为地径,其中紫丁香、宁夏枸杞、小叶锦鸡儿、大果沙棘、山杏为灌木,其余为乔木。

### 3 结论

(1) 光合生理指标  $P_n$ 、 $WUE$ 、 $CE$  均值为 8 个人工选育品种 > 4 种针叶树 > 6 种灌木, 平均  $T_r$ 、 $C_s$  与  $C_i$  则是 8 种人工选育品种 > 6 种灌木 > 4 种针叶树。人工选育速生的杨柳品种表现出  $P_n$  较大、 $T_r$  亦较大。

(2) 水分生理指标 ( $W_c$ 、 $\psi_{\text{叶}}$ ) 测定结果表明: 在适宜水分条件下正常生长情况下,  $\psi_{\text{叶}}$  为 4 种针叶树 > 6 种灌木 > 8 种人工选育品种, 人工选育品种表现出亲水或喜水的特征;  $W_c$  则是 8 种人工选育品种 > 4 种针叶树 > 6 种灌木, 表明针叶树和灌木抗旱能力强于人工选育品种。

(3) 根据试验筛选的抗旱造林主栽树种的生物学特性, 提出了主栽树种在生产应用上的配置方案: 将樟子松配置在山的上部阳坡、沙包等土壤比较瘠薄的部位; 红皮云杉主要配置在山坡阴面的中下部; 长白落叶松主要配置在山坡的中下部; 小黑杨主要配置在山坡下部土壤相对较为肥沃的立地条件下; 青竹柳配置于河流沿岸进行护堤、护岸, 同时亦可作为城乡绿化树种; 银中杨和山新杨由于苗木数量少、价格较高, 目前主要用于城乡绿化及公路绿化, 经济条件允许的情况下, 亦可用于农田防护林、水土保持林和工业原料林等; 紫丁香主要配置在山坡的中下部, 与其他主要乔木树种伴生; 山杏主要配置在山的中下部及山脊; 小叶锦鸡儿主要配置在

山的中上部阳坡或沙丘地; 榆树主要配置于山坡的中上部土壤瘠薄的部位, 亦可用于城乡绿化。

### 参考文献

- [1] 沈积坤. 黑龙江省三北防护林建设[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1989: 1-4.
  - [2] 邹琦. 作物抗旱生理生态研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1994: 155-163.
  - [3] 王礼先, 朱金兆. 水土保持学[M]. 2版. 北京: 中国林业出版社, 2005.
  - [4] 贺康宁, 田阳, 史常青, 等. 黄土半干旱区集水造林条件下林木生长适宜的土壤水分环境[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 10-16.
  - [5] 张娟, 张正斌, 谢惠民, 等. 小麦叶片水分利用效率及相关生理性状的关系研究[J]. 作物学报, 2005(12): 1593-1599.
  - [6] 王力刚, 范竹珊, 曹明全, 等. 嫩江中下游流域 6 种灌木光合特性及水分利用效率比较分析[J]. 防护林科技, 2010(2): 7-10.
  - [7] 常宗强, 冯起, 苏定红, 等. 额济纳绿洲胡杨的光合特性及其对光强和  $CO_2$  浓度的响应[J]. 干旱区地理, 2006, 29(4): 496-502.
  - [8] 王力刚, 赵岭, 许成启, 等. 嫩江沙地 4 种针叶树光合特性及生态适应性特征[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(6): 17-19.
  - [9] 王力刚, 韩海成, 赵岭, 等. 黑龙江省西部半干旱区主要造林树种光合参数比较及相关性关系研究[J]. 防护林科技, 2010(5): 14-18.
  - [10] 王力刚, 赵岭, 许成启, 等. 黑龙江省西部半干旱区 8 种阔叶乔木主要生理参数的特征分析[J]. 防护林科技, 2011(5): 5-8.
  - [11] 王颖, 魏国印, 张志强, 等. 7 种园林树种光合参数及水分利用效率的研究[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(6): 44-48.
  - [12] 徐俊增, 彭世彰, 丁加丽, 等. 控制灌溉的水稻气孔限制值变化规律试验研究[J]. 水利学报, 2006, 37(4): 486-491.
  - [13] 苏培玺, 张立新, 杜明武, 等. 胡杨不同叶形光合特性、水分利用效率及其对加富  $CO_2$  的响应[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1): 34-40.
- 
- (上接第 12007 页)
- [7] 彭云良, 刘经芬, 叶钟音, 等. 稻瘟病菌对稻瘟灵耐药性研究[J]. 植物保护学报, 1993, 20(1): 77-81.
  - [8] MIURA H. Mode of occurrence of kasufamycin resistant rice blast fungus [J]. Ann Phytopathology Soc Jpn, 1976, 41: 117-123.
  - [9] 黄春燕. 国内稻瘟病菌抗药性研究概况[J]. 黑龙江农业科学, 1995(6): 33-34.
  - [10] 阎秀琴. 我国植物病原菌抗药性的研究进展[J]. 农药, 2001, 20(12): 4-6.
  - [11] 袁洁, 杨学辉, 黔黔江. 贵州省稻瘟病菌对三环唑和富士一号的敏感性研究[J]. 贵州农业科学, 2003, 31(4): 34-36.
  - [12] 黄春艳. 黑龙江稻瘟病菌对三环唑抗药性研究[J]. 中国水稻科学, 1999, 13(1): 49-50.
  - [13] 张传清, 周明国, 邵振润, 等. 稻瘟病菌对异稻瘟净、多菌灵和三环唑的敏感性检测及抗药性变异研究[J]. 中国水稻科学, 2004, 18(5): 455-461.
  - [14] 兰波, 李湘民. 江西省稻瘟病菌对富士一号的抗药性研究[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(3): 351-355.
  - [15] 袁杰, 杨学辉. 贵州省稻瘟病菌对三环唑敏感性研究[J]. 西南农业学报, 2006, 19(2): 219-221.
  - [16] 袁洁, 杨学辉, 何海永. 贵州省稻瘟病菌对稻瘟灵的抗药性研究[J]. 植物保护, 2006, 32(1): 66-68.
  - [17] 张传清, 周明国, 薛娜. 稻瘟病菌对三环唑的敏感性检测技术与抗药性风险评估[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(1): 79-84.
  - [18] 周明国, 王建新. 禾谷镰孢菌对多菌灵的敏感性基线及抗药性菌株生物学性质研究[J]. 植物病理学报, 2001, 31(4): 365-370.
  - [19] 祁之秋, 周明国. 小麦纹枯病菌对几种杀菌剂的敏感性基线研究[M]//中国植物病害化学防治研究. 3卷. 北京: 中国农业科技出版社, 2002: 203-208.
  - [20] 孙永军, 施保国. 淮安市“水稻三病”发生规律及综合防治措施[J]. 内蒙古农业科技, 2012(2): 80-81.
  - [21] 王金明, 林秀云, 刘晓梅, 等. 分子标记选择水稻抗稻瘟病基因 Pi40 和 Pib 聚合体[J]. 华北农学报, 2012(2): 218-221.
  - [22] 太一梅, 袁琼芬, 杨从党, 等. 水稻精确定量栽培技术对稻瘟病的控制作用[J]. 西南农业学报, 2012(1): 149-152.
  - [23] 李四军. 水稻稻瘟病的发生规律及综合防治[J]. 农业灾害研究, 2012, 2(6): 18-21.