

美国黄松的生长特性和抗寒性研究

周永学¹, 樊军锋^{*}, 龚月桦²

(1 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100 2 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用大量野外调查数据, 对美国黄松的生长特性进行了研究, 并通过实验手段测定了其抗寒性相关指标, 对抗寒机理进行了分析和评价。结果表明: 美国黄松苗木根系发达, 垂直根生长能力强, 植苗成活率高, 地径生长量明显大于油松。幼树生长进程与油松基本一致, 造林后第 7 年进入速生期, 树高年均生长量 45 cm, 而且仍处于上升阶段。美国黄松胸径年生长量和总生长量都大于油松, 而树高小于油松, 18 年生单株材积 0.017 7 m³, 比油松大 10%。不同引种地美国黄松胸径生长量存在显著差异, 年均生长量介于 0.30~0.94 cm。气象因素对生长有一定影响, 随着活动积温、日照时数的增加生长量明显增大。树高与胸径、新梢长、冠幅存在显著相关性, 与胸径的相关系数随着树龄的增加而逐渐提高, 胸径与冠幅的相关系数随树龄的增大而变小。抗寒性测定结果表明, 各个低温阶段美国黄松的电解质渗出率都大于油松, LT_{50} 为 -10.7℃, 油松为 -17.9℃。美国黄松针叶组织中束缚水、可溶性糖、K⁺、类胡萝卜素和 ABA 含量较低是其抗寒性弱的内在原因。

关键词: 美国黄松; 油松; 生长特性; 抗寒性

中图分类号: S723.1 文献标识码: A

Growth Characteristics and Cold Resistance of *Pinus ponderosa*

ZHOU Yong-xue¹, FAN Jun-feng^{*}, GONG Yue-hua²

(1 College of Forestry, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100 Shaanxi China

2 College of Life Science, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100 Shaanxi China)

Abstract This paper aims at studying the growth characteristics of *Pinus ponderosa* on the basis of the field investigation data and measuring through experiment the related index of its cold resistance whose mechanism was analyzed and evaluated. The research were as follows: *P. ponderosa* had a strong root system; its vertical roots had a strong growing ability, the seedlings had a higher survival rate, and the diameter growth of 1-year-old *P. ponderosa* seedlings was obviously faster than that of *P. tabulaeformis*. While the growing processes of the seedlings of the two species were similar to each other, seven years after its planting *P. ponderosa* began to enter its fast growing period with an average annual height growth of 45 cm, and kept increasing. The annual and total diameter growth of *P. ponderosa* was obviously faster than that of *P. tabulaeformis*, but the height of the former was lower than that of the latter. The volume of 18-year-old *Pinus ponderosa* was 0.017 7 m³, 10% larger than that of *P. tabulaeformis*. The diameter growth of young plants of *P. ponderosa* obviously varied in different areas, ranging from 0.30 to 0.94 cm yearly. The meteorological factors had certain effects on its growth, and the increment increased apparently with the increasing of active accumulated temperature and sunshine-hours. The height was obviously related to the diameter of

收稿日期: 2006-12-20

基金项目: 国家林业局“奥地利黑松、花旗松种质与栽培技术引进”项目(99-422), 陕西省林业厅“美国黄松引种及扩大栽培试验”项目

作者简介: 周永学(1964—), 男, 工程师, 主要从事林木良种选育及国外树种引种研究。E-mail: zhyx4166@yahoo.com

* 通讯作者: 樊军锋(1963—), 男, 副研究员。E-mail: fanj@public.xa.sn.cn

the trees, the length of newly-grown branches, and its crown, and the corresponding coefficient between the height and its diameter increased with the growing of its age. The measurement of cold resistance showed that the exudation rate of electrolyte of *P. ponderosa* was higher than that of *P. tabulaeformis* at every low-temperature phase. The LT_{50} was -10.7°C , while that of *P. tabulaeformis* was -17.9°C . The relative low content of bound water, soluble sugar, K^+ , Carotenoid and ABA in the leaf tissue of *P. ponderosa* was the internal cause of its weak cold resistance.

Key words *Pinus ponderosa*; *Pinus tabulaeformis*; growth characteristics; cold resistance

美国黄松 (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws) 原产北美洲, 是美国西部分布最广的松树, 其树干高大通直, 木材好, 是优良建筑用材树种。美国黄松抗旱、耐寒, 适应性强, 其自然分布区年降水量一般为 205~760 mm, 平均气温为 5~10 $^{\circ}\text{C}$, 极端气温 $\pm 40^{\circ}\text{C}$ 左右, 垂直分布 0~3 050 m。按照分布区不同, 美国黄松有 2 个变种: 太平洋黄松 (*P. ponderosa* var *ponderosa* Laws) 和落基山黄松 (*P. ponderosa* var *scopulorum* Engelm.), 其中落基山黄松为我国黄土高原引种的主要对象^[1-3]。

陕西引种美国黄松始于 20 世纪 70 年代^[4]。1974 年南五台试验站从中国林科院获得美国落基山黄松种子育苗成功, 于 1982 年定植在黄土高原延安树木园, 现保存 2 株, 生长旺盛。1984 年, 延安树木园培育了一批美国黄松苗木, 分别栽植到本园和榆林黑龙潭山地树木园。其中黑龙潭现有 45 株, 长势良好, 未出现冻害和病虫害。1995 年, 作者在

陕西省林业厅的资助下, 从美国引进落基山黄松种子 17 kg, 种子千粒质量 40 g, 采种地点海拔 2 286~2 734 m, 产地科罗拉多州 (Colorado)。该州年降水量 400~600 mm, 1 月平均气温 -1.4°C , 7 月平均气温 23.9°C , 极端最低气温 -25°C , 极端最高气温 42°C , 与陕西黄土区气候接近。经过 10 多年的育苗、造林试验, 结合前人的引种基础, 已获得了较丰富的调查资料。本文主要报道美国黄松在引种地的生长特性和抗寒性。

1 研究方法

1.1 育苗试验

多点育苗。每个点选择面积 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 样方, 调查物候, 出苗率, 纪录苗木生长进程, 对温、湿度的反应等。生长停止后, 随机抽取 30~50 株苗木测量苗高、地径和根系生长量, 重复 3 次。各育苗点基本情况见表 1。

表 1 黄松育苗点主要气象资料

气象因子	陇县苗圃	陇县八渡	陇县龙门洞	永寿县苗圃	永寿槐坪	千阳唐家山	扶风新店	志丹县苗圃
年均气温 / $^{\circ}\text{C}$	10.9	8.6	8.0	10.8	10.8	10.9	12.4	7.8
年均降水量 /mm	600	672	670	601	612	677	592	525
海拔 /m	980	1 200	1 600	900	980	850	550	1 200
最高气温 / $^{\circ}\text{C}$	40.3	38.5	37.0	38.9	38.0	40.5	42.7	37.4
最低气温 / $^{\circ}\text{C}$	-19.9	-20.2	-20.5	-17.4	-17.6	-19.9	-19.5	-25.4

1.2 造林试验

造林地设在麟游县崔木乡秦家沟、陇县八渡林场和周至县厚畛子林场。秦家沟地处黄土高原丘陵沟壑山区, 造林地海拔 1 410 m, 极端最低气温 -22.1°C , 极端最高气温 37.5°C , 无霜期平均为 178 d, 年平均降水量 640.4 mm, 土壤主要为黄土性土壤。本区营造美国黄松、油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.) 混交林 4.5 hm^2 。八渡林场地处六盘山东延关山脉千山支脉东端浅山区, 造林地海拔 1 170 m, 土壤为褐色森林土。本区营造美国黄松片林 1 块, 面积 0.8 hm^2 。厚畛子林场地处周至县南部的秦岭山地, 气候属暖温带, 年平均气温 6.4°C , 极端最

低气温 -19.0°C , 极端最高气温 29.7°C , 年降水量 1 002 mm。造林地位于辖区内板房子附近, 海拔 1 700 m, 坡向东偏北, 坡度 30° , 造林面积 3.5 hm^2 。

各造林点均选用 1 年生容器苗, 植苗造林, 栽植密度 $2.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$, 设置油松为对照。观察幼树物候动态、冻害和病虫害危害情况。停止生长后随机抽样 30~50 株, 重复 3 次, 调查树高、胸径 (地径)、冠幅、新梢长、针叶长等生长量指标。

1.3 抗寒性测定

2005 年 1 月在黄土高原延安树木园取样美国黄松和油松 1 年生针叶进行以下项目测定。

相对电导率: 将样品分别置于 -10 、 -20 、 -30

-40℃低温冰箱中处理 12 h 然后用电导仪法测定相对电导率^[5]。

可溶性糖含量测定: 硫酸-蒽酮法^[6]。

游离氨基酸总量的测定: 茚三酮法^[6]。

自由水和束缚水含量的测定: 马林契克法^[6]。

叶绿素和类胡萝卜素含量测定: 80%丙酮黑暗中浸提 24 h 在 663、646、470 nm 处比色测定吸光度, 用 Lichtenthaler 公式计算叶绿素和类胡萝卜素含量^[7]。

K⁺ 含量的测定: 原子吸收分光光度法。

ABA 含量测定: 称取鲜样 0.5 g 放入 3 mL 80% 甲醇中, 于 -40℃低温保存备用。用酶联免疫吸附检测法 (ELISA) 测定 ABA^[8], 试剂盒由中国农业大学激素研究室提供。

以上测定均重复 3 次。

1.4 数据处理

应用 Excel 2003 和 SPSS 12.0 统计分析软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 生长特性研究

2.1.1 苗木生长进程 多点育苗观测纪录得出美国黄松幼苗生长进程总的情况是: 关中、渭北地区 3 月中旬催芽, 下旬播种, 4 月上旬种子破土出苗, 中旬幼苗基本出齐, 子叶数达到 8~9 个。4 月下旬或 5 月上旬真叶出现, 进入自养阶段。6—7 月为幼苗速生期。9 月中旬顶芽出现, 当年苗高生长停止, 生长期大约 135~150 d。延安地区 4 月中旬催芽, 下旬播种, 5 月中旬幼苗基本出齐, 9 月初顶芽出现^[9], 生长期约为 100~120 d。1 年生苗高生长量 4.21~7.45 cm, 平均为 5.63 cm, 油松为 5.92 cm。地径生长量, 各地结果都是美国黄松大于油松。

据报道^[3], 在自然条件下, 美国黄松苗木可在土壤表土约 30 cm 范围内产生较长的侧根, 而在容器中生长的苗木, 其侧根被迫向下生长, 产生一个密集的、纤维状根团, 缠绕在表土层的主根周围。黄松实生苗垂直根系生长能力很强, 种子萌发后几个月内根系垂直生长可达 25~50 cm, 这也是黄松作为造林先锋树种的主要原因。

2.1.2 幼树生长进程 用麟游县崔木乡秦家沟连续 11 a 美国黄松和油松的树高生长量实测数据平均值绘制出图 1。从图 1 可以看出, 美国黄

松的高生长进程与油松基本一致。栽植后 3 a 生长很慢, 几乎处于缓苗阶段, 3 a 后生长速度加快。从第 3 年起到第 11 年, 生长速度又可划分为 2 个阶段: 前 4 a 的年生长量美国黄松为 0.18 m, 油松 0.20 m; 第 7 年起树高生长进入速生阶段, 年生长量美国黄松为 0.45 m, 油松为 0.49 m。由图中还可看出, 11 龄美国黄松高生长量不及油松。这一点, 从陕西其它引种地调查结果也可以得到佐证^[9~11]。

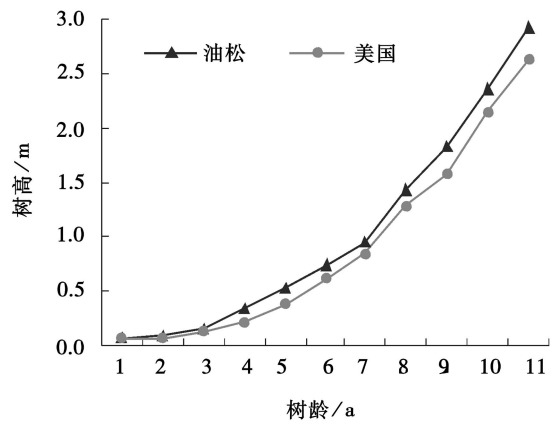


图 1 美国黄松、油松树高生长进程

据侯琳等^[12]对延安树木园 28 a 美国黄松个体高生长过程研究得出, 14 a 前生长缓慢, 14—18 a 高生长最快, 18 a 后生长速率逐渐变慢。另据张立功等^[13]研究, 辽宁熊岳树木园引种的美国黄松高生长在 13 a 之前较慢, 连年生长量在 0.20 m 以下, 以后生长加快, 至 45 a 期间平均生长量为 0.35 m, 年生长高峰出现在 19—21 a 之间, 48 a 以后连年生长量小于平均生长量, 50 a 后高生长缓慢。

2.1.3 不同引种地生长量比较 各地美国黄松生长正常, 无病虫害危害和冻害发生, 且表现出速生的特性。延安树木园只有 2 株美国黄松, 生长相当。用其它 4 个地方年平均生长量作单因素方差分析, 得出引种地之间树高、胸径的年均生长量差异显著 (胸径 $F = 28.71$, 树高 $F = 2.85$)。Tukey 检验表明, 引种地之间美国黄松树高无显著差异, 胸径差异显著。9 年生胸径年均生长量 0.3~0.36 cm, 18 年生时达到 0.53 cm, 生长量随着树龄的增加而增大。径高比值反映了树木胸径、树高生长的相对快慢程度。从表 2 可以看出, 树龄由 9 a 到 31 a 径高比从 1/(62~81) 上升到 1/38 也就是说随着树龄的增大, 胸径的年增长幅度远大于树高。

表 2 不同引种地主要气候条件及美国黄松生长量对比

引种地	地理位置	活动积温 / $^{\circ}\text{C}$	年日照 /h	年降水量 /mm	年均温度 / $^{\circ}\text{C}$	树龄 /a	树高 /m	胸径 /cm	径高比	年平均生长量	
										树高 /m	胸径 /cm
延安树木园	109 $^{\circ}$ 28' E, 36 $^{\circ}$ 36' N	3 268	2 445	550	9.4	31	11.1	29.1	1/38	0.36	0.94
榆林黑龙潭	110 $^{\circ}$ 07' E, 37 $^{\circ}$ 50' N	3 350	2 926	400	8.1	18	3.93	9.54	1/41	0.22a	0.53c
麟游秦家沟	107 $^{\circ}$ 52' E, 34 $^{\circ}$ 48' N	3 018	2 190	640	9.2	11	2.62	4.95	1/53	0.24a	0.45b
陇县八渡	106 $^{\circ}$ 46' E, 34 $^{\circ}$ 30' N	2 859	1 812	672	8.6	9	2.01	3.24	1/62	0.22a	0.36a
周至厚畛子	107 $^{\circ}$ 50' E, 34 $^{\circ}$ 05' N	1 987	1 783	1 002	6.4	9	2.16	2.68	1/81	0.24a	0.30a

* Tukey HSD 检验, 不同字母表示 0.05 水平上差异显著。

在原产地, 立地条件不同, 30 年生美国黄松胸径年生长量介于 0.4~2.2 cm, 相同地区, 20~60 a 美国黄松年均高生长量为 24~46 cm, 60 a 后生长速率逐渐降低^[3]。延安树木园 31 a 美国黄松胸径和树高年均生长量分别为 0.94 cm 和 0.36 m, 生长速率处于原产地的中等水平。

美国黄松是一个抗旱、耐寒, 适应性很强的树种, 对光比较敏感。从引种地气象因子分析, 随着年均温度、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温和日照时数的增加, 美国黄松胸径生长量明显增大, 而高生长维持一个相对稳定水平, 因此径高比明显增大。此外, 在陕西黄土

高原引种美国黄松, 降水量并非其限制因素。

2.1.4 与油松的生长量比较 对麟游秦家沟 10 年生和榆林黑龙潭 18 年生美国黄松各生长因子进行了分析比较, 结果见表 3。可以看出, 美国黄松胸径生长量始终大于油松, 但树高比油松小, 反映在材积上, 美国黄松略大于油松, 但均无显著差异。美国黄松的冠幅、新梢生长量小于油松, 针叶长大于油松, 而且二者的差异都达到了极显著水平。从形态上观察, 美国黄松侧枝分枝角度较小, 树冠紧凑, 枝叶浓密, 树形美观, 也是城市绿化的好树种。

表 3 不同树龄美国黄松、油松生长量统计分析结果

树龄 /a	树种	树高总生长	树高年生	胸径总生长	胸径年生	材积 / m^3	冠幅 /m	新梢长 /cm	针叶长 /cm
		量 /m	量 /m	量 /cm	量 /cm				
10	美国黄松	2.14a	0.21	3.59a	0.36		1.27a	41.6a	17.4a
	油松	2.34a	0.23	3.02a	0.30		1.56b	49.2b	9.42b
18	美国黄松	3.93a	0.22	9.54a	0.53	0.0177a	2.45a		15.1a
	油松	4.03a	0.22	9.02a	0.50	0.0161a	3.21b		6.99b

* 不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

2.1.5 生长因子的相关性 调查了陇县八渡 7 年生、麟游秦家沟 10 年生、榆林黑龙潭 18 年生美国黄松的树高、胸径(地径)、新梢长、冠幅等生长因子, 分析其相关性, 结果见表 4。

从表 4 可以看出, 生长因子间存在密切相关。树高与胸径(地径)、新梢长、冠幅、材积的相关性都达到极显著水平, 与胸径的相关性随着树龄的增加而逐渐提高, 18 a 时达到 0.903。胸径与冠幅之间

也存在极显著正相关, 但随着树龄的增大而变小。材积与树高和胸径的相关系数都达到 0.95 以上, 证明用树高和胸径这 2 个生长指标推算树干材积的合理性。把不同年龄阶段的美国黄松树高、胸径、冠幅看作一个整体, 分析它们之间的相关性, 得出树高与胸径、冠幅的相关系数分别为 0.967 和 0.893, 胸径与冠幅的相关系数为 0.913 都达到极显著水平。

表 4 美国黄松幼树生长因子的相关系数

生长因子	陇县八渡 (9 年生)			麟游秦家沟 (11 年生)			榆林黑龙潭 (18 年生)		
	地径	新梢长	冠幅	胸径	新梢长	冠幅	胸径	材积	冠幅
树高	0.572**	0.540**	0.666*	0.732*	0.670**	0.597**	0.903*	0.952*	0.526**
胸径(地径)		0.237	0.658*		-0.079	0.649**		0.961*	0.576**
新梢长			0.225			-0.130			
冠幅			1.000			1.000		0.550*	1.000

** 相关系数在 0.01 水平上差异显著

2.2 抗寒性研究

2.2.1 不同低温处理针叶电导率测定 为了了解 2 个树种的抗寒性,我们通过低温冰冻处理,测出不同温度下针叶的电导率,结果见表 5。

从表 5 可以看出,针叶的相对电导率随着处理

温度降低而明显上升。在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,美国黄松组织电导率为 47.35%,接近于 50%,油松为 37.44%;在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,2 个树种的电导率近乎达到最高值。但二者有差异,即美国黄松组织电导率在各个低温阶段明显大于油松,说明其抗低温能力弱于油松。

表 5 低温处理后针叶电导率的变化

树种	电导率 /%				半致死温度 / $^{\circ}\text{C}$
	$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-30\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-40\text{ }^{\circ}\text{C}$	
油松	37.44 \pm 1.93	58.95 \pm 2.08	63.39 \pm 3.15	65.66 \pm 2.73	-17.9
美国黄松	47.35 \pm 1.92	61.62 \pm 0.23	79.13 \pm 2.12	80.61 \pm 2.71	-10.7

电解质渗出率 50% 时温度作为组织的半致死温度,在植物抗寒性鉴定上已有应用^[5,14~16]。试验用 Logistic 方程拟合电导率变化,得出的 2 个回归模型均差异显著 ($P < 0.05$)。用拟合的 Logistic 方程求出组织的半致死温度 LT_{50} (表 5),结果表明,美国黄松的 LT_{50} 为 $-10.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,油松的 LT_{50} 为 $-17.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。说明油松的抗寒性比美国黄松强。

2.2.2 抗寒性机理研究 为了进一步分析树种的抗寒性,了解其抗寒机理,对针叶组织的无机水含量和有机物质含量做了测定,结果见表 6。由表 6 可以看出,2 个树种的含水量远低于一般新鲜组织 70%~80% 的含水量,而且束缚水含量较高,自由水含量较低,差异不明显。相对而言,美国黄松自由水含量较高,束缚水含量较低,因而束缚水/自由水比值低。

2 个树种针叶中累积的可溶性糖和 K^+ 含量都较高,但游离氨基酸总量都很低,说明可溶性糖和

K^+ 在抗寒性中有较大作用。其中油松的 K^+ 含量很高,达到 $4.538\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,几乎是美国黄松的 2 倍。这也可能是其抗寒性强的一个重要原因。

叶绿素是光合作用中吸收光能的主要色素,类胡萝卜素是植物体内的保护物质,可以清除逆境或衰老过程中累积的自由基、活性氧^[14]。测定结果表明,2 个树种针叶组织中叶绿素、类胡萝卜素含量差异不明显,但类胡萝卜素和叶绿素的比值有显著差异,油松明显高于美国黄松。

ABA 的含量与植物的抗逆性密切相关。越冬植物经过了自然界秋末冬初的低温锻炼,ABA 含量大大提高,抗寒性也增强^[17]。对 1 月份取样的 2 个树种针叶组织 ABA 含量测定结果表明,美国黄松的 ABA 含量最低,为 $63.3\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$;油松的 ABA 含量显著高于美国黄松,为 $95.8\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

表 6 2 个树种针叶中水和有机物质含量

树种	自由水 /%	束缚水 /%	总含水量 /%	束缚水 /自由水	可溶性糖 /%	游离氨基酸 / ($\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)	K 含量 / ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素 / ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	类胡萝卜素 / ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	类胡萝卜素 / 叶绿素	ABA / ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
美国黄松	16.64	36.29	52.93	2.18	18.05a	0.40 a	2.275 b	11.948 a	2.324 a	0.194 b	63.3
油松	14.61	37.72	52.32	2.58	18.68a	0.37 a	4.538 a	10.598 a	2.695 a	0.254 a	95.8

* 不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

3 结论与讨论

(1) 美国黄松是北美地区广泛分布的松属 (*Pinus* Linn.) 树种,适应性强,经济价值高,其自然分布区气候条件和生态环境与陕西黄土高原基本相似。延安树木园 30 多年少量引种、榆林黑龙潭山地树木园栽培试验以及近 10 a 的多点试验表明,美国黄松生长迅速,抗逆性强,自然条件下能够开花结实,主要性状指标优于乡土树种油松,而且树冠紧凑、枝叶浓密、树形美观,证明是一个很好的外来树种。

(2) 美国黄松幼苗于 9 月上中旬顶芽出现,在关中、渭北生长期 135~150 d 陕北延安为 100~120 d。苗木生长量,油松较高,美国黄松较壮,而且根系发达,垂直根生长能力强。美国黄松在栽植后第 7 年进入速生期,树高年均生长量达到 45 cm,而且仍处于强势上升阶段。美国黄松的胸径年生长量和总生长量都大于油松,而树高小于油松,但无显著差异。18 年生美国黄松材积为 0.0177 m^3 ,油松为 0.0161 m^3 。不同引种地美国黄松胸径生长量有显著差异,年均生长量介于 0.30~0.94 cm。气象因

素对美国黄松的生长有一定影响, 随着活动积温、日照时数的增加生长量明显增大。美国黄松树高与胸径、新梢长、冠幅、材积存在显著相关性, 与胸径的相关系数随着树龄的增加而逐渐提高, 18 a 时达到 0.903。胸径与冠幅之间也存在极显著正相关, 但随着树龄的增大而变小。材积与树高和胸径的相关系数都达到 0.95 以上。

(3) 美国黄松针叶的相对电导率随处理温度降低而明显上升, 在 -20°C - 30°C - 40°C 时, 其组织电导率都明显大于油松, 抗寒性较弱。用拟合的 Logistic 测算出电导率为 50% 时的温度来表示组织的半致死温度 (LT_{50}), 结果美国黄松的 LT_{50} 为 -10.7°C , 油松为 -17.9°C , 油松的抗寒性稍强一些。由于电导率的大小, 除了受处理温度的影响外, 还会由于浸泡时间的长短而发生变化, 并且在不同的植物材料上差异更大。对经过充分寒冷锻炼的越冬植物来说, 试验结果经常不一致^[18]。因此这种方法测算出的半致死温度与实际的 LT_{50} 值可能会有差异, 所以只能对其抗寒性作大致的比较, 在引种工作中还需要结合其它观测来鉴定植物的抗寒性^[19]。

对 2 个树种进行抗寒性机理的研究结果表明, 其总含水量都较低, 束缚水含量都较高, 自由水含量都较低。自由水含量越高, 抗寒性越弱。树种间差异表现在: 自由水含量美国黄松大于油松, 束缚水与自由水比值油松大于美国黄松。

植物在遭受水分亏缺、寒冷或盐渍等逆境时, 可以通过累积可溶性溶质进行渗透调节来增强对逆境的适应能力, 如可溶性糖、氨基酸、 K^+ 等^[14]。组织中 K^+ 含量和可溶性糖含量多少可反映植物抗寒性的强弱。美国黄松的可溶性糖和 K^+ 含量都不高, 因此其抗寒性较弱。越冬常绿植物在冬季气温很低时, 光合碳同化的能力很弱, 较多的叶绿素就会吸收较多光能, 容易发生光抑制, 产生活性氧, 对植物造成伤害^[20], 而类胡萝卜素可以清除活性氧, 对植物体有保护作用。美国黄松组织中较低的一类胡萝卜素含量可能也是其抗寒性弱的一个原因。

参考文献:

- [1] 吴中伦. 国外树种引种概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1983 50~52, 135~136
- [2] 潘志刚, 游应天. 中国主要外来树种引种栽培 [M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1994 6~10
- [3] 樊军锋, 周永学. 美国黄松介绍 (译文) [J]. 陕西林业科技, 1998 (4): 70~73
- [4] 陕西省林业科学研究所延安树木园. 黄土高原树木资源收集与引种的研究 [J]. 陕西林业科技, 1987(1): 1~8
- [5] 唐季林, 徐化成. 油松抗寒性与种源关系的研究 [J]. 北京林业大学学报, 1989 11(1): 53~60
- [6] 高俊风. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000
- [7] 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, 2000
- [8] 汤章成. 现代植物生理学实验指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [9] 周永学, 樊军锋, 杨培华, 等. 陕西陇县引种美国黄松生长调查 [J]. 西北林学院学报, 2005, 20(3): 74~77
- [10] 周永学, 樊军锋, 高建社, 等. 美国黄松在陕西黄土丘陵引种效果分析 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然版), 2005, 33(4): 83~86
- [11] 周永学, 樊军锋, 高建社, 等. 引种美国黄松与油松生长特性的比较研究 [J]. 林业科技, 2005(5): 41~43
- [12] 侯琳, 唐德瑞. 美国黄松个体高生长过程研究 [J]. 西南林学院学报, 2003, 23(1): 10~12
- [13] 张立功, 王喜武, 张仁慈, 等. 美国黄松引种研究 [J]. 东北林业大学学报, 1997 25(2): 9~12
- [14] 潘晓云, 王根轩, 曹琴东. 兰州地区引种的美国扁桃的越冬伤害与临界致死低温 [J]. 园艺学报, 2002, 29(1): 63~65
- [15] 杨敏生, 王春荣, 裴保华. 白杨杂种无性系的抗寒性 [J]. 东北林业大学学报, 1997 25(4): 21~24
- [16] 史清华, 高建社, 王军, 等. 5 个杨树无性系抗寒性的测定与评价 [J]. 西北植物学报, 2003 23(11): 1937~1941
- [17] 王荣富. 植物抗寒指标的种类及其应用 [J]. 植物生理学通讯, 1987(3): 49~55
- [18] Gusta L V, Fowler D B. Effects of temperature on dehardening and rehardening of winter cereals [J]. Canada Journal Plant Science, 1976, 56 673~678
- [19] 龚月桦, 周永学, 樊军锋, 等. 美国黄松、班克松和油松的抗寒性研究 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1389~1392
- [20] Gillies S L, Vidaver W. Resistance to photo damage in evergreen conifers [J]. Physiology Plant 1990, 80 148~153