

3种园林灌木幼苗对干旱胁迫的生理响应

张文婷¹, 谢福春¹, 王华田¹, 于文胜², 迟炳庆², 杜军², 宋黎³, 姜成平³

(1. 山东农业大学 农业生态与环境重点实验室, 山东 泰安 271018; 2. 山东省烟台市园林管理处, 山东 烟台 264000;
3. 山东省烟台市林业种苗站, 山东 烟台 264000)

摘要: 针对中国北方城市干旱缺水、园林绿地植物难以保证及时灌溉的现象, 选择2年生灌木金叶女贞 *Ligustrum vicaryi*, 连翘 *Forsythia suspensa*, 紫薇 *Lagerstroemia indica*, 采用盆栽方法测定了土壤自然干旱胁迫过程中影响各树种抗旱性的主要生理生化指标, 利用隶属函数法对3种园林植物幼苗进行综合评定。结果表明: 随土壤水分胁迫的加重, 金叶女贞的叶绿素质量分数先升高后降低再升高, 连翘先降低后升高, 紫薇呈先升高后降低的趋势, 金叶女贞和连翘在不同胁迫时期的叶绿素质量分数达到显著差异水平; 金叶女贞在遭受干旱胁迫后叶肉组织相对电导率呈升高—降低—升高, 连翘先降低后升高, 紫薇则呈逐渐升高的趋势, 紫薇和连翘在不同胁迫时期, 相对电导率均达显著差异水平; 金叶女贞的超氧化物歧化酶活性先升高后降低, 紫薇则呈先降低后升高, 连翘呈升高—降低—升高趋势, 3个树种均达到显著差异; 可溶性蛋白质量分数均呈先下降后上升的趋势, 连翘达差异显著水平; 脯氨酸质量分数金叶女贞呈降低—升高—降低, 连翘和紫薇则是一直升高的趋势, 紫薇在不同时期达到显著差异水平。综合评价结果表明, 3种灌木的抗旱性强弱为: 金叶女贞>连翘>紫薇。图5表1参17

关键词: 植物学; 金叶女贞; 连翘; 紫薇; 抗旱性; 生理指标

中图分类号: S685 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2009)02-0182-06

Physiological response of three garden plants to drought stress

ZHANG Wen-ting¹, XIE Fu-chun¹, WANG Hua-tian¹, YU Wen-sheng², CHI Bing-qing²,
DU Jun², SONG Li³, JIANG Cheng-ping³

(1. Key Laboratory of Agricultural Ecology and Environment, Shandong Agricultural University, Taian 271018,
Shandong, China; 2. Garden Management Department of Yantai City, Yantai 264000, Shandong, China; 3. Forest
Seed and Seedling Station of Yantai City, Yantai 264000, Shandong, China)

Abstract: Because of difficulty with timely irrigation of garden plants, this research was conducted to determine the best water-stress tolerant shrub of three types to plant in the drought prone north of China. Two-year-old potted shrubs of *Ligustrum vicaryi*, *Forsythia suspense*, and *Lagerstroemia indica* were chosen and treated with natural drought stress with three replications in a 3×3 randomized block design. Physiological characteristics were measured during the course of drought stress, and the membership function was used to assess the plants' complex anti-drought stress capability. Results showed that as drought stress increased, the leaf chlorophyll curve for *Li. vicaryi* was increase-decrease-increase ($P < 0.05$), for *F. suspensa* was decrease-increase ($P < 0.05$), and for *La. indica* was increase-decrease. The curve of the relative electrolyte conductivity of the leaf tissue solution for *Li. vicaryi* was increase-decrease-increase, for *F. suspensa* was decrease-increase ($P < 0.05$), and for *La. indica* was a constant increase ($P < 0.05$). The curve of superoxide dismutase (SOD) activity for *Li. vicaryi* was increase-decrease, for *La. indica* was decrease-increase, and

收稿日期: 2008-06-16; 修回日期: 2008-09-16

基金项目: 山东省科学技术攻关项目(2007GG20006011); 山东省烟台市科学技术攻关项目(2006223)

作者简介: 张文婷, 从事城市林业与风景林经营等研究。E-mail: zwt_9882@163.com。通信作者: 王华田, 教授,
博士生导师, 从事森林生态生理学研究。E-mail: wanght@sdau.edu.cn

for *F. suspensa* was increase-decrease-increase, and SOD activity of different periods of the three species respectively had significant difference ($P<0.05$). Soluble protein contents of the three shrubs decreased at first and then increased, and soluble protein contents of different periods for *F. suspense* respectively had significant difference ($P<0.05$). The proline content of *Li. vicaryi* was decrease-increase-decrease ($P<0.05$) while *F. suspensa* and *La. indica* constantly increased. Complex appraisal of drought resistance by using membership functions for the three shrubs showed: *Li. vicaryi* > *F. suspensa* > *La. indica*. [Ch, 5 fig. 1 tab. 17 ref.]

Key words: botany; *Ligustrum vicaryi*; *Forsythia suspense*; *Lagerstroemia indica*; drought resistance; physiological index

随着城市建设步伐的加快、城市规模的扩充以及人们生活水平的提高，人们对城市环境的要求也越来越高。城市绿化是城市环境建设的主体，绿化树种选择的是否合理与适宜，决定其效益的发挥程度。因此，研究绿化树种的生理特性，为生产提供理论指导与参考，已经引起众多学者的重视^[1]。笔者以常见的绿化树种金叶女贞 *Ligustrum vicaryi*，连翘 *Forsythia suspense*，紫薇 *Lagerstroemia indica* 等 3 种灌木为试验材料，探讨它们在水分胁迫过程中主要生理指标的变化，以期为城市绿化树种的选择与管理提供依据。

1 试验地概况、试验材料与研究方法

1.1 试验地概况

试验地点位于山东农业大学实验站，地理位置为 $36^{\circ}11'N$, $117^{\circ}08'E$, 海拔 150 m, 属暖温带大陆性季风气候，年平均气温为 $12.8^{\circ}C$ ，极端最高气温为 $40^{\circ}C$ ，极端最低气温为 $-22.0^{\circ}C$ ，无霜期 186.6 d；年降水量为 600 ~ 800 mm，降水多集中于 7 ~ 8 月份，期间降水量占年降水量的 53%，6 ~ 9 月份占 74%，因此春秋季节严重干旱，年均相对湿度为 65%。

1.2 试验材料与试验设计

试验材料选取中国北方主要的 2 年生灌木金叶女贞、连翘和紫薇。盆栽，土壤为砂壤土，土壤密度 $1.29 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。泥质花盆，上口直径为 38 cm，下口直径 24 cm，高 30 cm，装土 25 kg，3 月底植株萌动前定植，开沟置于大田中，埋深 25 cm，正常田间管理。于 6 月上旬苗木生长稳定以后，选择生长健壮均一的盆栽材料放于遮雨棚中。

测定前 1 d 将盆栽材料灌水至土壤饱和状态，单盆小区，重复 6 次。利用苗木蒸腾耗水形成土壤水势梯度。以正常浇水管理的苗木作为对照，每盆植物混合取样，取发育正常的功能叶片，重复测定 3 次，取平均值。3 d 测定 1 次生理指标，直至叶片枯黄或植株死亡。设置没有栽植试验材料的相同土盆作为参比以扣除盆栽过程中的自然蒸发失水。

1.3 测定方法

叶片叶绿素用分光光度法测定^[2]；采用 DDS-307 型电导率仪测定相对电导率作为叶片细胞膜透性^[3]；超氧化物歧化酶活性采用硝基蓝四氮唑(NBT)，还原法测定^[4]；可溶性蛋白的测定采用考马斯亮兰染色法^[5]；游离脯氨酸质量分数采用改进的茚三酮比色法测定^[6]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2000 和 SPSS 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对 3 种灌木叶片生理指标的影响

2.1.1 对叶绿素质量分数的影响 叶片是植物进行光合作用的主要器官，叶绿体是光合作用中最重要的细胞器，叶绿素是光合作用中最重要和最有效的色素，其质量分数在一定程度上能反映植物同化物质的能力，从而影响植物的生长^[7]。同时，叶绿素是植物把无机碳和无机氮转变成有机碳和有机氮的

重要介质^[8]。由图1可知，随着干旱胁迫时间的延长，金叶女贞的叶绿素质量分数呈升—降—升的趋势，第4天和第22天的叶绿素较对照分别增加了61.5%和373.0%。叶绿素升高说明干旱胁迫促进了金叶女贞叶绿素的合成，使叶绿素始终维持在一个较高的水平上，水分亏缺没有使叶绿体和线粒体受到伤害^[14-15]。多重比较分析表明，已经达到了显著差异性水平。连翘的叶绿素质量分数表现为先下降后升高，第4天、第7天和第10天分别比对照降低了65.6%，59.4%和31.1%。多重比较分析表明，不同胁迫下连翘的叶绿素质量分数差异显著。紫薇叶绿素是先升后降，第4天的叶绿素质量分数较对照上升了8.9%，第8天的叶绿素质量分数较对照降低了3.3%。说明干旱胁迫影响了叶绿素的积累，植物光合作用相应受到了影响，叶片叶绿素下降，光合作用受到抑制，植株代谢紊乱，降低了植株的抗逆性。多重比较分析表明，紫薇在胁迫期间叶绿素质量分数未达到显著性差异水平。

2.1.2 对相对电导率的影响 在水分胁迫下，植物由于脱水伤害引起膜透性增大，导致细胞内电解质外渗，通过测定水分胁迫下植物叶片的电导率值可了解质膜伤害程度^[9]。由图2看出，随着胁迫程度的增加，金叶女贞相对电导率呈升—降—升的趋势，胁迫第10天其电导率比对照降低了57.3%，达到显著差异性水平；胁迫第22天比对照增加了27.3%，差异不显著。紫薇的相对电导率呈逐渐升高的趋势，连翘呈先降低后升高的趋势。多重比较分析表明，均达到显著差异性水平，表明干旱胁迫使细胞膜系统受到严重伤害。

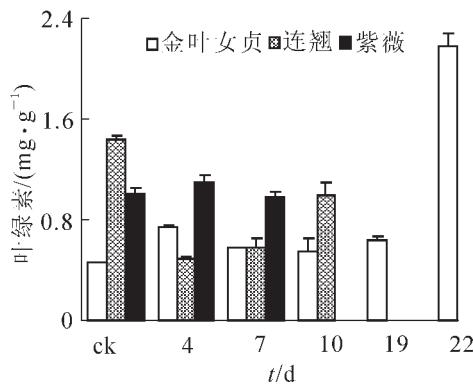


图1 干旱胁迫对3种灌木叶绿素质量分数的影响

Figure 1 Effect of drought stress on chlorophyll contents of three shrubs

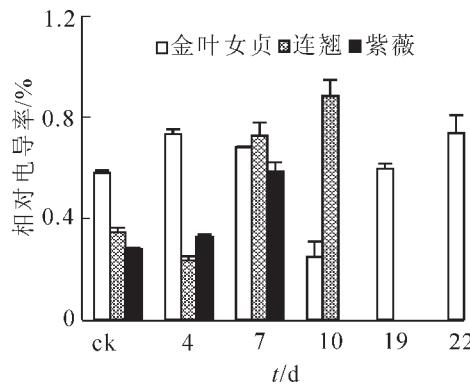


图2 干旱胁迫对3种灌木相对电导率的影响

Figure 2 Effect of drought stress on relative conductivity of three shrubs

2.1.3 对超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响 植物在逆境条件下的膜脂过氧化反应和保护酶系统活性的变化，已广泛用于对逆境的反应机制的研究^[16]。超氧化物歧化酶是细胞抵御活性氧伤害的膜保护系统，在清除超氧自由基、过氧化氢和过氧化物及阻止或减少羟基自由基形成方面起重要作用。它们是氧自由基的清除剂。在水分胁迫下，植物细胞自由基产生和清除的平衡遭到破坏，过剩的自由基会伤害细胞膜系统。因此，超氧化物歧化酶的活性与植物的耐旱能力密切相关，其高低可以反映植物对干旱逆境抵御能力的大小^[10-11]。由图3看出，在干旱胁迫条件下，金叶女贞的超氧化物歧化酶活性先升高后降低，其中第19天的活性比对照增加了85.5%，达到显著差异性水平。而连翘呈升—降—升的趋势，紫薇是先降低后升高的趋势。多重比较分析表明，两者均达到显著差异性水平。

2.1.4 对可溶性蛋白质量分数的影响 可溶性蛋白具有较强的亲水胶体性质，可影响细胞的保水力^[10]。Dhindsa^[12]研究指出，逆境胁迫下，膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)抑制蛋白质生物合成过程。长时间严重干旱胁迫使植物体内分解代谢大于合成代谢，可溶性蛋白大量分解。从图4可以看出，金叶女贞、连翘和紫薇的可溶性蛋白质量分数均表现为先降低后升高的趋势，但总体上呈下降趋势，其中第4天分别比对照降低了10.2%，83.4%和93.4%。多重比较结果得出，金叶女贞未达到显著差异性水平，而连翘和紫薇差异性显著，表明其初期反应较敏感，使其蛋白合成减小，随着胁迫时间的延长使水分胁迫蛋白开始增加。干旱胁迫第7天与第4天相比，金叶女贞降低了62.8%，连翘和紫薇分别升高了95.2%和57.9%。多重比较分析表明，金叶女贞和连翘的可溶性蛋白质量分数差异显著，而

紫薇未达到显著差异性水平。说明在干旱胁迫下, 蛋白质合成受阻或蛋白质分解加速导致其质量分数下降。其质量分数变化可能是土壤干旱造成的伤害反应, 可溶性蛋白质变化因不同植物而有差异。

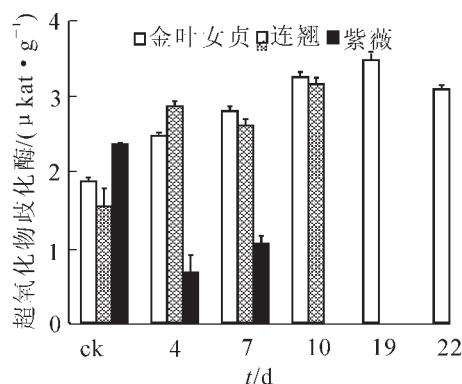


图 3 干旱胁迫对 3 种灌木超氧化物歧化酶总活性的影响

Figure 3 Effect of drought stress on SOD activity of three shrubs

2.1.5 对脯氨酸质量分数的影响 脯氨酸被认为是植物在逆境条件下的产生并积累的一种小分子渗透调节物质。植物遭受逆境胁迫后, 体内脯氨酸质量分数越高, 抗逆能力越强。这一结论适合于大多数植物^[13]。许多研究表明, 植物在水分胁迫条件下体内的游离脯氨酸质量分数增加是对水分胁迫的一种适应。由图 5 可以看出: 3 种灌木幼苗随水分胁迫程度加强, 叶片游离脯氨酸质量分数积累。在游离脯氨酸质量分数比较上, 金叶女贞从开始到第 22 天叶片全部干枯死亡的过程中, 随着水分胁迫的不断加强, 游离脯氨酸增加到一定程度达到了一个阀值不再增加, 最终随着植物本身干枯死亡呈下降趋势。连翘和紫薇则是一直升高的趋势, 说明它们未达到阀值之前植物已经开始干枯死亡。其中连翘在胁迫第 10 天叶片全部枯黄卷曲, 死亡; 而紫薇在胁迫第 7 天就已经干枯死亡了。多重比较分析表明, 紫薇的脯氨酸达到了显著差异性水平; 金叶女贞与对照相比第 4 天差异显著, 第 7 天、第 10 天、第 19 天和第 22 天差异不显著。连翘则是第 4 天、第 7 天差异不显著, 第 10 天差异显著。

2.2 树种抗旱性的综合评定

植物的抗旱性是一个受多种因素影响的较为复杂的综合性状, 这些因素的综合作用才促进了抗旱性的形成, 因此, 对于植物抗旱性的评价应该用尽可能多的指标来综合评价, 从而弥补与缓和单个指标对于评定植物抗旱性所造成的片面性, 使评定结果与实际结果更为接近。本试验选取了叶绿素、相对电导率、超氧化物歧化酶、可溶性蛋白和脯氨酸等 5 个指标, 采用模糊数学隶属函数法, 对各树种的各个抗旱指标的隶属值进行累加, 求取平均值, 平均数越大, 抗旱性就越强。由表 1 可知, 3 种灌木抗旱性大小顺序为金叶女贞>连翘>紫薇。

具体计算公式如下^[17]: 如果指标与抗旱性成正相关; $x(\mu) = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$; 如果指标与抗旱性成负相关; $x(\mu) = 1 - (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ 。 x 为各指标的平均值; x_{\max} 为各树种对应指标的最大值; x_{\min} 为各树种对应指标的最小值。

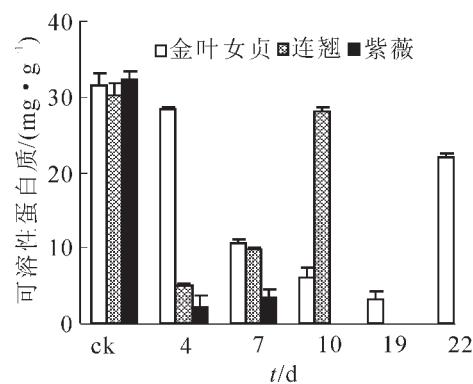


图 4 干旱胁迫对 3 种灌木可溶性蛋白质质量分数的影响

Figure 4 Effect of drought stress on soluble protein contents of three shrubs

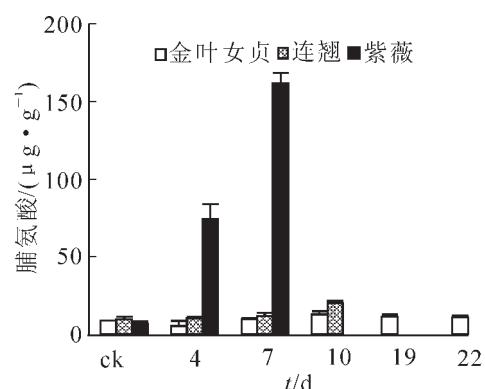


图 5 干旱胁迫对 3 种灌木脯氨酸质量分数的影响

Figure 5 Effect of drought stress on proline contents of three shrubs

表1 3种灌木抗旱能力综合评价

Table 1 Comprehensive appraisal of drought resistance of 3 shrubs

树种	抗旱能力指标						抗旱能力排序
	叶绿素总量	相对电导率	超氧化物酶活性	可溶性蛋白	脯氨酸	综合	
金叶女贞	0.103	0.670	0.806	0.675	0.803	0.611	1
连翘	0.506	0.556	0.473	0.501	0.478	0.503	2
紫薇	0.844	0.062	0.333	0.333	0.333	0.381	3

3 结论

在对金叶女贞、连翘和紫薇进行干旱胁迫的整个过程中，金叶女贞到第22天胁迫干枯死亡，连翘在胁迫第10天叶片全部枯黄卷曲，死亡；而紫薇只经过7 d就出现叶片萎焉，死亡。其中金叶女贞的叶绿素质量分数呈升—降—升的趋势，连翘的叶绿素质量分数则表现为降低—升高的趋势，但总体上是下降的趋势，紫薇的叶绿素质量分数呈升高—降低的趋势。干旱胁迫后相对电导率都有所增大，其中金叶女贞相对电导率呈升—降—升的趋势，紫薇的相对电导率呈逐渐升高的趋势，连翘则呈降低—升高的趋势。

本试验中，3种灌木的超氧化物酶活性变化趋势存在一定差异，金叶女贞的超氧化物酶活性先升高后降低，而连翘呈升—降—升的趋势，紫薇是先降低后升高的趋势。随干旱胁迫程度的逐渐加强，这3种灌木的可溶性蛋白质量分数均呈先下降后上升的趋势。脯氨酸质量分数金叶女贞呈降—升—降趋势，连翘和紫薇则是一直升高的趋势。

本试验分析了干旱胁迫下3种灌木所测定的各个生理生化指标的变化情况，利用隶属函数法对供试树种的抗旱性强弱进行了评定，结果是：金叶女贞>连翘>紫薇。这一结果与实物观测结果也是一致的，说明隶属函数综合评定法的可行性。

参考文献：

- [1] 宋丽华, 曹兵, 孟庆叶. 4树种生理指标之比较[J]. 中国城市林业, 2005, 3(1): 50–52.
SONG Lihua, CAO Bing, MENG Qingye. Comparison on some biological indices for four tree species of urban virescence [J]. Chin Urban For, 2005, 3(1): 50–52.
- [2] 赵世杰. 叶绿体色素的定量测定[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [3] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [4] 赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1998.
- [5] 王晶英, 敖红, 张杰, 等. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2003.
- [6] 张志良, 翟伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [7] 姜卫兵, 高光林, 俞开锦, 等. 水分胁迫对果树光合作用及同化代谢的影响研究进展[J]. 果树学报, 2002, 19(6): 416–420.
JIANG Weibing, GAO Guanglin, YU Kaijing, et al. A review of studies on effect of water stress on photosynthesis and as-similation metabolism in fruit crops[J]. J Fruit Sci, 2002, 19(6): 416–420.
- [8] 黎燕琼, 刘兴良, 郑绍伟. 岷江上游干旱河谷四种灌木的抗旱生理动态变化[J]. 生态学报, 2007, 27(3): 870–878.
LI Yanqiong, LIU Xingliang, ZHENG Shaowei. Drought resistant physiological characteristics of 4 shrub species in arid valley of Minjiang River[J]. Acta Ecol Sin, 2007, 27(3): 870–878.
- [9] 蒲光兰, 袁大刚, 胡学华, 等. 土壤干旱胁迫对3个杏树品种生理生化特性的影响[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(4): 375–379.
PU Guanglan, YUAN Dagang, HU Xuehua, et al. Effect of soil drought stress on physiological and biochemical characteristics in three *Armeniaca vulgaris* cultivars[J]. J Zhejiang For Coll, 2005, 22(4): 375–379.
- [10] 张卫华, 张方秋, 张守攻, 等. 3种相思幼苗抗旱性研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(6): 695–700.
ZHANG Weihua, ZHANG Fangqiu, ZHANG Shougong, et al. Study on the drought resistance of three seedlings of aca-

- cia[J]. *For Res*, 2005, **18** (6): 695 – 700.
- [11] 武勇, 陈存及, 刘宝, 等. 干旱胁迫下柚树叶片生理指标的变化[J]. 福建林学院学报, 2006, **26** (2): 103 – 106.
WU Yong, CHEN Cunji, LIU Bao, et al. Callus changes of leaves of *Tectona grandis* under drought stress[J]. *J Fujian Coll For*, 2006, **26** (2): 103 – 106.
- [12] DHINDSA R S. Inhibition of protein synthesis by products of lipid peroxidation[J]. *Phytochemistry*, 1982, **31**: 309 – 313.
- [13] 高亦珂, 赵勃, 丁国勋, 等. 菊花茎叶外植体再生体系的研究[J]. 北京林业大学学报, 2001, **23** (1): 32 – 33.
GAO Yike, ZHAO Bo, DING Guoxun, et al. Shoot regeneration from stem and leaf explant of *Dendranthema grandiflorum*[J]. *J Beijing For Univ*, 2001, **23** (1): 32 – 33.
- [14] 孔艳菊, 孙明高, 胡学俭, 等. 干旱胁迫对黄栌幼苗几个生理指标的影响[J]. 中南林学院学报, 2006, **26** (4): 43 – 46.
KONG Yanju, SUN Minggao, HU Xuejian, et al. Effects of drought stress on several physiological indexes of *Cotinus coggygria* seedlings[J]. *J Central South For Univ*, 2006, **26** (4): 43 – 46.
- [15] 林树燕, 丁雨龙. 平安竹抗旱生理指标的测定[J]. 林业科技开发, 2006 (20): 40 – 41.
LIN Shuyan, DING Yulong. The physiological responds to drought stress of *Pseudosasa japonica*[J]. *China For Sci Technol*, 2006 (20): 40 – 41.
- [16] BOWLER C V, MONTAGU M, INZE D. Superoxide dimutase and stress tolerance[J]. *Annu Rev Plant Mol Biol*, 1992, **43**: 83 – 116.
- [17] 陈娟, 陈其兵, 潘远志, 等. 6 种野生灌木的抗旱性研究[J]. 四川林业科技, 2007, **28** (5): 50 – 54.
CHEN Juan, CHEN Qibing, PAN Yuanzhi, et al. A study of the drought resistance of six wild bushes[J]. *J Sichuan For Sci Technol*, 2007, **28** (5): 50 – 54.

浙江林学院召开科技工作会议

2009 年 2 月 17 日, 浙江林学院召开全校科技工作会议, 传达全国、全省科技会议精神, 部署 2009 年科技工作, 校长周国模出席会议并讲话。会议由副校长方伟主持, 科技处、各学院分管科技工作负责人、校级以上重点学科负责人、重点实验室负责人等参加了会议。

周国模在讲话中充分肯定了 2008 年浙江林学院科技工作成效。他强调, 科技工作是高校综合竞争力的重要指标与内容, 对学校发展具有重要意义, 全校上下要高度重视, 共同努力, 推进科技工作再上新台阶。各学院、各学科要广开渠道, 拓宽领域, 争取更多科研项目和标志性科研成果; 要在人才与政策上给予保障, 营造环境, 支持能干事、会干事的人做好工作, 大力推出国家级科技成果和人才。

方伟在会上传达了全国科技工作会议、全省科技奖励大会、全省科技工作会议和全省重大创新服务平台工作会议等大会精神, 并强调指出, 要认真贯彻落实全国、全省科技会议精神, 加强自主创新, 加快科技成果转化和科技帮扶, 积极应对国际金融危机, 促进转型升级, 为推动浙江省经济社会又好又快发展作出积极贡献。

会议还进一步明确了 2009 年浙江林学院科技工作重点: 一是统一思想, 进一步完善科技政策与措施。制定激励政策与措施, 营造良好的科研氛围, 推动学校科技工作新一轮的跨越发展。二是深化帮扶, 加快科技成果推广与产业化。深化科技帮扶机制, 创新科技帮扶方式, 强化与企业和地方合作, 加快新型实用技术研发与成果推广和产业化。三是拓宽领域, 大力提升自主创新能力。组建与支持各级科技创新团队, 扩大科技重点发展领域, 提升自主创新能力, 为应对金融危机和经济转型升级提供科技支撑。四是整合资源, 加快创新条件平台建设。充分利用国家工程技术中心、重大科技创新服务平台、省重点实验室等平台资源, 集聚创新人才, 夯实建设基础, 提升科技服务农村和帮扶企业的水平。五是聚集优势, 培育高层次项目与成果。高度重视科研绩效与成果培育, 聚集校内外科技优势力量, 积极争取高层次项目和国家级科技成果。

罗锡平