

文章编号: 1000-5692(2004)02-0144-06

固体水在植被恢复中的应用研究

招礼军¹, 李吉跃², 朱栗琼¹

(1. 广西大学 林学院, 广西 南宁 530001; 2. 北京林业大学 资源与环境学院, 北京 100083)

摘要: 为了寻找促进干旱缺水地区植被恢复的新途径, 在青海省大通县和四川省盐源县采用固体水处理、秸秆覆盖处理、对照组等方法进行对比研究。结果表明, 固体水能够提供3个月以上的水分给苗木, 使苗木在干早期生长, 使用固体水的造林成活率均在90%以上, 其中山杏 *Amygdalus sibirica*, 白榆 *Ulmus pumila*, 青杨 *Populus cathayana*, 沙棘 *Hippophae rhamnoides* 和火炬树 *Rhus typhina* 的成活率分别比对照提高了32.6%, 26.7%, 24.2%, 7.4%和61.1%; 固体水的释水速度约为4~5 g·d⁻¹, 后期快于前期, 正好为苗木进入旺盛生长提供必要的水分, 可以较明显地提高造林成功率。综合成本分析表明, 固体水造林技术更适合在干旱缺水、造林成活率很低的地区应用和推广, 其最终成本低于常规造林和覆盖造林的成本。图3表2参10

关键词: 森林培育学; 固体水; 造林成活率; 释水; 叶水势; 综合成本分析

中图分类号: S728.2 **文献标识码:** A

干旱是制约植被恢复, 改善生态环境的一个很重要的限制因子。水分亏缺是影响干旱半干旱地区和季节性干旱地区造林成活率的主要限制因素。在这些地区进行植被恢复主要是解决苗木的水分供应。因此, 应用各种抗旱节水造林技术是这些地区进行植被建设的重要措施。我国在抗旱造林技术上已开展了比较广泛的研究^[1-9]。近年来, 又出现了一些先进的抗旱造林新技术, 如固体水种植技术、基质激活剂造林技术和生根粉等等, 对促进造林苗木的成活具有较显著的作用。其中, 固体水种植技术是20世纪90年代末国际上研制成功的一项先进抗旱造林新技术。将普通水固化成凝胶状, 水分含量达98%, 通过土壤微生物分解成液态水后供给植物吸收, 主要用于严重缺水的干旱半干旱地区或季节性干旱地区的造林和荒漠化治理等生态环境的改造, 也可用于城市绿化、园林绿化及交通道路绿化等^[7,8]。

对固体水的一些基本性质和在园林绿化中的应用已进行一些研究^[9,10], 但这些研究大多在实验室中进行。对固体水在野外条件下, 特别是在干旱缺水地区野外造林应用还没有进行过深入研究和试验, 对固体水的实际推广应用还有一定的局限性。因此, 有必要通过在干旱半干旱地区和干热河谷地带的造林中使用固体水来检验它在缺水地区造林的作用与效果。

1 试验地概况

试验地1设在青海省大通县朔北乡李家堡村, 位于36°43'~37°23'N, 100°51'~101°56'E, 海拔

收稿日期: 2004-02-08; 修回日期: 2004-02-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30070637); 教育部高等学校博士点基金及骨干教师基金资助项目

作者简介: 招礼军(1970-), 男, 广东广州人, 讲师, 博士, 从事森林培育与生态学研究。E-mail: zhlj-70@163.com

2 500~2 600 m。年平均气温 3.9 °C, 年均降水量 450 mm, 约 2/3 的降水集中于 6~9 月, 无霜期 90 d, 年日照时数 2 600 h。土壤为山地栗钙土, pH 值 7.8, 土壤容重 1.15 g·cm⁻³, 0~20 cm 土层中有机质 32.0 g·kg⁻¹, 全氮 1.6 g·kg⁻¹, 速效磷 1.13 mg·kg⁻¹, 速效钾 87.9 mg·kg⁻¹。

试验地 2 设在四川盐源县博大乡四村。年平均气温为 12.5 °C, 年均降水量 400 mm, 年蒸发量 1 700~1 800 mm, 海拔 2 100~2 200m, 坡度 50°, 石砾含量 40%; 土壤类型为山地黄壤, 土层厚度 25~30 cm, 土壤 pH 值 6.5。

2 试验材料与方法

试验用固体水采用深圳艾德迈尔科技有限公司生产的“春之霖”固体水(专利号: 0010712 1), 横截面积 25 cm², 长度 40 cm。

青海省大通县试验点选用 4 个当地常用的造林种: 山杏 *Amygdalus sibirica* (2 年生, 高 130 cm), 白榆 *Ulmus pumila* (2 年生, 高 120 cm), 青杨 *Populus cathayana* (3 年根 2 年干, 高 210 cm) 和沙棘 *Hippophae rhamnoides* (2 年生, 高 50 cm)。采用水平条状整地的方法, 株行距分别为: 青杨 2.0 m×3.0 m, 山杏、白榆为 1.0 m×3.0 m, 沙棘为 0.8 m×3.0 m; 采取秸秆覆盖、固体水技术和对照 3 种措施。随机区组设计, 5 次重复。

秸秆覆盖使用荞麦秆 *Fagopyrum exculentum*, 每株用量 4 kg, 覆盖厚度 5~10 cm, 上面以土压实。固体用水量为青杨 2 kg·株⁻¹, 沙棘、山杏、白榆 1 kg·株⁻¹。造林时间 2001 年 4 月 24~26 日。试验面积 1 hm²。

四川盐源县试验点造林树种为火炬树 *Rhus typhina* (1 年生)。采用鱼鳞坑整地方法, 株行距为 2.0 m×3.0 m; 对苗木分别进行截干(高 50 cm)和不截干(高 130 cm) 2 种处理。采用 4 种措施: 浇水(10 kg·株⁻¹, 每周 1 次), 固体水 1 kg·株⁻¹, 固体水 0.5 kg·株⁻¹, 对照。随机区组设计, 5 次重复。2001 年 3 月 24 日造林, 试验面积 1 hm²。

树种叶水势采用露点水势仪 (HR-33T Dew Point Micro-Voltmeter, USA) 进行测定, 3 次重复。在当地进入雨季时开始对苗木成活情况、固体水分解率及苗木叶水势进行调查。

3 结果与分析

3.1 固体水对造林成活率的影响

由于干旱是 2 个试验点的共同特征, 水分是影响造林成活的主要限制因子, 而当雨季开始后, 苗木的存活和生长受水分影响较小, 因此, 对苗木存活的调查在雨季到来前进行。

3.1.1 青海大通县试验点 在 2001 年 7 月 8 日进行苗木成活情况调查。结果表明(图 1), 使用固体水造林, 苗木成活率最高, 平均达到 93.1%, 比对照高出 22.7%, 比覆盖处理高 11.6%。经方差分析, 达到极显著差异 [$F = 9.01 > F_{0.01} = 8.02, n = 50$]; 覆盖处理对提高苗木的成活也有一定的效果, 但不如固体水处理的效果明显, 只比对照高出 11.1%, 差异不显著。另外, 固体水处理对 4 种苗木存活均有明显的作用, 其中山杏、白榆和青杨等苗木的成活分别达到 90.0%, 94.0% 和 94.7%, 分别比对照高出 32.6%, 26.7% 和 24.2%; 沙棘为灌木树种, 对水分的要求相对要少些, 因此对照处理的成活较多, 但也比固体水处理的少了 7.4%。覆盖处理对于某些树种的造林成活有一定作用, 如白榆、山杏和青杨, 分别比对照高出了 15.1%, 17.1% 和 13.7%, 而对沙棘的作用较小。因此, 在造林中应根据不同的树种制定相应的技术措施, 这样才能得到良好的效果, 同时还可减少不必要的人力和财力的浪费。

3.1.2 四川盐源县试验点 2001 年 5 月 9 日进行苗木成活情况调查。结果表明(图 2), 使用 1.0 kg 固体水的处理, 苗木存活率达到 94.4%, 比对照高出 61.1%, 比浇水处理高 30.2%, 经方差分析达到显著的水平 ($F = 7.10 > F_{0.05} = 6.59, n = 30$)。而使用 0.5 kg 固体水的处理比对照高 26.3%。但不如 1.0 kg 处理的效果明显, 差异不显著; 与浇水处理的效果基本一致, 说明在当地气候和水分条件下, 使用 0.5 kg 的固体水不能完全满足火炬树的水分需求。

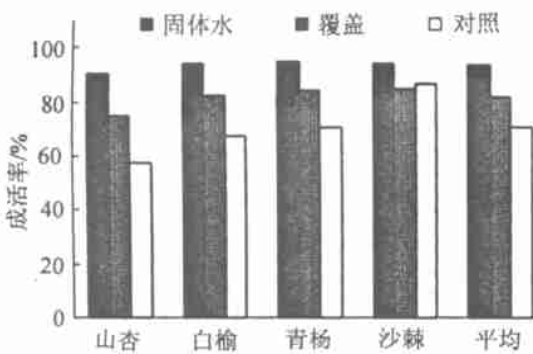


图1 青海省大通县造林成活率

Figure 1 The survival rates of seedlings in Datong County

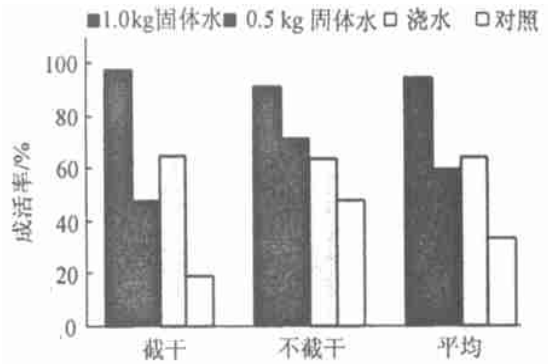


图2 四川省盐源县火炬树造林成活率

Figure 2 The survival rates of seedlings in Yanyuan County

另外,在当地造林时对苗木进行截干处理反而影响了苗木的存活,如在使用0.5 kg 固体水处理和对照处理中,截干苗的存活率比不截干的低23.6%和28.5%,原因可能是干旱河谷地区的蒸发强烈,水分从截口直接散失到大气中,影响苗木的成活。

3.2 固体水供水时间分析

固体水的降解释水速度除了与其截面积大小有关外,还与土壤中微生物种类和数量有很大的关系。不同地区和土壤,固体水的分解速度有所差异,这就直接影响到固体水所能供应的时间。使用固体水进行造林时将其平分成2段,即每段长度为20 cm。每次随机抽取30段进行调查。

3.2.1 青海大通县试验点 在2001年6月5日和7月8日进行了2次固体水降解情况调查(表1)。6月5日调查结果表明,固体水平均降解了7.6 cm,平均降解释水速度为 $4.64 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ (平均释水高度为 $0.19 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$);固体水完全降解的总时间是108 d,即可以供应苗木108 d的水分。7月8日调查结果表明,固体水平均降解了15.8 cm,平均降解释水速度为 $5.25 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ (平均释水高度为 $0.21 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$,固体水可以供应给苗木水分的时间是95 d。从2次调查的结果看,固体水至少可给苗木供水3个月,且分解速度后期快于前期,正好为苗木进入旺盛生长提供必要的水分。

3.2.2 四川盐源

县试验点 2001年5月9日,对固体水的分解情况进行调查(表1)。调查结果表明,固体水平均降解了7.2 cm,平均降解释水速度为 $4.0 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$

表1 野外条件下固体水的降解情况

Table 1 The decomposition status of solid-water

调查时间	青海大通试验点			四川盐源试验点		
	降解长度/ cm	释水速率/ ($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$)	释水高度/ ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)	降解长度/ cm	释水速率/ ($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$)	释水高度/ ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)
2001-05-09				7.2	4.00	0.16
2001-06-05	7.6	4.64	0.19			
2001-07-08	15.8	5.25	0.21			

(平均释水高度为 $0.16 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$);固体水在当地气候和土壤条件下可持续供应苗木水分的时间是125 d。

不同试验点的固体水释水情况调查结果表明,固体水可供苗木生长水分的时间在3个月以上。因此,在干旱半干旱地区造林时使用固体水,可以维持苗木的生长直至雨季的来临,对于保证造林成功,恢复植被有很大的帮助。另外,固体水有后期快于前期的释水规律,可能与固体水分解后增加土壤水分,以及植物根系生长后土壤中的微生物数量增加有关。而不同地区固体水的降解时间有差异,也与当地土壤微生物的种类和数量有很大关系。

3.3 固体水对苗木叶水势的影响

不同树种的蒸腾耗水能力是不一样的,其需水规律以及需水量的大小也是不同的。因此,为了解造林树种在干旱胁迫下的水分状况,在2001年6月3日(雨季来临前)凌晨对青海省大通县试验点的苗木进行叶水势测定。

测定结果表明(图 3), 使用固体水的苗木, 其水分状况良好, 水势高于其他处理的苗木水势。特别是青杨, 没有使用固体水的青杨处于较严重的水分胁迫, 其中, 覆盖处理的水势为 -3.02 MPa , 对照处理达到了 -3.38 MPa 。而使用了固体水的处理则没有受到水分胁迫, 其水势值只有 -0.22 MPa , 说明 2 kg 固体水能够充分满足青杨在当地环境条件下的生长。在同等水分条件下, 由于沙棘(灌木)的叶面积较少, 因此其耗水量小, 土壤水分供应的时间的数量可以满足其成活和生长的需求, 能够忍受干旱的环境条件; 山杏、白榆的叶面积也不大, 消耗的水分也相对较少, 而青杨的叶面积较多, 而且是一种耗水速率较高的树种, 在没有水分补充的情况下, 受到干旱胁迫较为严重, 直接影响到其生长和存活。

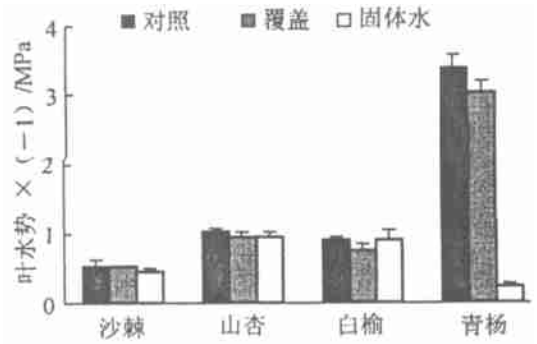


图 3 不同处理的苗木叶水势

Figure 3 Leaf water potential of seedlings

因此, 应根据不同树种的需水特性来选择适合的固体水用量和规格。青海大通县和四川盐源县的固体水野外造林试验说明, 对沙棘、山杏、白榆和火炬树使用 1 kg (横截面积 50 cm^2) 的固体水能够维持苗木的存活, 而对高蒸腾耗水的青杨使用 2 kg (横截面积 100 cm^2) 的固体水能够充分满足其在当地环境条件下的生长。

3.4 固体水的造林成本分析

不同造林方式的综合成本分析表明(表 2), 在青海省大通县进行的造林, 苗木的成活率相对较高, 因此, 用常规的造林方式比较经济, 其成本少于覆盖措施的造林成本, 比用固体水造林的成本少了一半以上。覆盖措施的造林成本不高, 造林效果也较为明显, 对于造林成活相对容易, 经济不发达的地区, 在进行植被建设时使用覆盖措施也可以达到较好的目的。但要达到较高的造林成活率(90%以上), 一般需要 2 a 的时间。

在干旱河谷地区的造林试验表明, 按常规造林的火炬树成活率很低, 仅有 33%, 即使经常进行人工补水, 其造林成活率也不高(64%), 因此, 需要通过 2~3 a 或更长时间的补植后才可能达到造林的目的。从最终的成本看, 火炬树常规造林达到造林成活率 90%以上时所需的成本为 $6417 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 高于固体水的造林成本 $5546 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 进行人工补水造林的成本更高, 达到 $8050 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在当地没有进行覆盖造林的试验, 但其造林成活率不会高于进行人工补水的造林, 如果按照第 1 年的成活率 50% 计, 其达到成活率 90%以上时的造林成本也将达到 $5300 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 与固体水的造林成本区别不大, 但达到造林效果需要 2~3 a 的时间。

因此, 在造林技术的使用上, 应根据不同地区的具体情况来确定。在造林成活相对容易的地区, 用常规方式和覆盖措施进行造林的经济成本较低, 也可以达到较好的植被建设目的, 但要达到较高的造林成活率(90%以上), 一般需要 2 a 的时间。而固体水造林技术更适合在干旱缺水, 按照常规造林方式造林成活率很低的地区应用, 其最终的成本低于常规造林和用覆盖措施进行造林的成本, 说明固体水造林技术在抗旱造林中应用的可行性和有效性。在需要尽快进行植被建设, 恢复生态环境的地区, 使用固体水造林技术能够较快地达到植被恢复的目的。

4 结论与讨论

应用固体水技术进行造林, 可以明显地提高苗木的存活率, 无论在西北干旱半干旱的缺水地区, 还是在南方干热干旱河谷地区, 使用合适固体水用量的造林, 苗木存活率均在 90%以上, 特别是对于乔木树种, 其效果明显高于对照。

1 kg 规格的固体水释放水分的时间在不同地区有所差别, 但都在 3 个月以上, 可以较好地解决在春季造林后到雨季来临前的干旱期内苗木根系的基本供水, 保证苗木生理需水, 从而达到提高造林成活率的目的。

表2 不同方式造林的综合成本比较

Table 2 Comparison on integrated cost in different types of afforestation

造林方式	树种	苗木数量/ (株·hm ⁻²)	一次性造林成本及成活率				造林成活率达到90%以上的成本				
			苗木费用/ (元·hm ⁻²)	用工费用/ (元·hm ⁻²)	措施费用/ (元·hm ⁻²)	一次成本/ (元·hm ⁻²)	成活率 /%	苗木费用/ (元·hm ⁻²)	用工费用/ (元·hm ⁻²)	措施费用/ (元·hm ⁻²)	总成本/ (元·hm ⁻²)
常规造林	青杨	1 665	1 166	1 050	0	2 216	70.5	439	1 050	0	3 705
	沙棘	4 167	2 917	1 050	0	3 967	86.4	413	1 050	0	5 430
	白榆	3 333	2 333	1 050	0	3 383	67.3	1 020	1 050	0	5 453
	山杏	3 333	2 333	1 050	0	3 383	57.4	1 558	1 050	0	5 991
	火炬树	1 665	1 166	1 050	0	2 216	33.3	2 101	2 100	0	6 417
覆盖造林	青杨	1 665	1 166	1 050	666	2 882	84.2	197	1 050	39	4 168
	沙棘	4 167	2 917	1 050	1 667	5 634	84.8	471	1 050	87	7 242
	白榆	3 333	2 333	1 050	1 333	4 716	82.4	448	1 050	101	6 315
	山杏	3 333	2 333	1 050	1 333	4 716	74.5	719	1 050	207	6 692
	火炬树	1 665	1 166	1 050	666	2 882	50.0	1 049	1 050	266	5 247
人工浇水	火炬树	1 665	1 166	1 050	2 100	4 316	64.2	585	1 050	2 100	8 050
固体水造林	青杨	1 665	1 166	1 050	6 660	8 876	94.7	0	0	0	8 876
	沙棘	4 167	2 917	1 050	8 334	12 301	93.8	0	0	0	12 301
	白榆	3 333	2 333	1 050	6 666	10 049	94.0	0	0	0	10 049
	山杏	3 333	2 333	1 050	6 666	10 049	90.0	0	0	0	10 049
	火炬树	1 665	1 166	1 050	3 330	5 546	94.4	0	0	0	5 546

说明: ①覆盖造林的覆盖物用量为 4 kg·株⁻¹; 人工浇水每次 5 kg·株⁻¹; 固体水用量: 青杨 2 kg·株⁻¹, 其他树种 1 kg·株⁻¹。②苗木的数量按照造林规格计算。③苗木价格按 0.7 元·株⁻¹; 用工费用指整地、运输、植苗等费用, 按 1 050 元·hm⁻²计; 措施费用: 覆盖所用秸秆费用按 0.1 元·kg⁻¹, 固体水 2.0 元·kg⁻¹计; 人工浇水措施按 2 倍的用工费用计; 自然水源未计成本。④补植费用(达到成活率 90% 以上所需费用); 苗木数量按需要补植的数量乘以成活率系数计; 常规造林的火炬树的用工费用按 2 a 计; 覆盖造林的火炬树成活率按 50% 估计

不同树种的需水规律及需水量的大小有较大的差异, 在固体水的使用量上, 应根据不同树种分别对待, 同时还要考虑当地的土壤以及气候特征。从树种叶片水势的测定结果看, 在当地环境条件下, 对于沙棘、白榆、山杏和火炬树而言, 使用 2 段固体水 (1 kg 的固体水), 青杨使用 4 段 (2 kg 的固体水), 能够维持一定的水分供应, 满足苗木的生长。

造林成本的综合分析表明, 在造林成活相对容易的地区, 用常规方式和覆盖措施进行造林的经济成本较低, 也可以达到较好的植被建设目的, 但要达到较高的造林成活率 (90% 以上), 一般需要 2 a 的时间。而固体水造林技术更适合在干旱缺水, 按照常规造林方式造林成活率很低的地区造林中应用和推广, 其最终的成本低于常规造林和用覆盖措施进行造林的成本。

参考文献:

- [1] 孙洪祥. 干旱区造林[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991. 118-146.
- [2] 肖龙山, 刘新华. 草原区造林学——干草原造林理论与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994. 174-223.
- [3] 程积民. 黄土高原半干旱区造林技术的研究[J]. 水土保持学报, 1995, 9(4): 99-105.
- [4] 王九龄, 孙健, 王志明. 吸水剂在北京低山阳坡造林中应用的系列研究 (I) 吸水剂不同品种的使用效果[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(增刊): 53-63.
- [5] 罗斌. 我国旱区节水林体系探讨[J]. 世界林业研究, 1995, 8(5): 58-63.
- [6] 王斌瑞, 罗彩霞, 王克勤. 国内外土壤蓄水保墒技术的研究[J]. 世界林业研究, 1997, 10(2): 37-43.
- [7] DRiWATER Inc. United Arab-emirates driwater field application[OL]. Available from <http://www.driwater.com>, 1998-09-15.
- [8] DRiWATER Inc. Driwater plants two-millionth trees in Sahara desert[OL]. <http://www.driwater.com>, 1999-02-09.
- [9] 周平, 李吉跃, 杨庆理. 固体水释水规律及其特性的研究[J]. 林业科学, 2002, 38(5): 18-23.
- [10] 杨庆理, 顾振瑜, 胡景江, 等. 固体水对树木幼苗水分生理及成活率的影响[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(4): 10-12.

A study of application of solid-water in vegetation restoration

ZHAO Li-jun¹, LI Ji-yue², ZHU Li-qiong¹

(1. Forestry College, Guangxi University, Nanning 530001, Guangxi, China; 2. School of Resources and Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To find a new way to promote the restoration of vegetation in arid areas, comparative studies of solid-water treatment, straw coverage and controlled groups were conducted in Qinghai Province and Sichuan Province of China. The results showed that solid water could provide water for seedlings for three months during the dry season. The survival rate of seedling with solid water was over 90% on the average. The survival rates of *Amygdalus sibirica*, *Ulmus pumila*, *Populus cathayana*, *Hippophae rhamnoides* and *Rhus typhina* were 32.6%, 26.7%, 24.2%, 7.4% and 61.1% higher respectively than the controlled groups. The decomposition rate of solid water was about 4—5 g·d⁻¹. The rate at the end was a bit higher than that at the beginning. This provided necessary water for the seedlings in the fast-growing period and increased the survival rate of seedlings. The analysis of integrated cost showed that the technology of applying solid water to afforestation was especially applicable to the arid areas where the survival rate of seedlings was low. [Ch, 3 fig. 2 tab. 10 ref.]

Key words: siviiculture; solid water; afforestation survival rate; decomposition; leaf moisture potential; analysis of integrated cost

浙江省科技期刊编辑学会五届四次理事会在浙江林学院召开

2004年4月21日,浙江省科技期刊编辑学会五届四次理事会在浙江林学院东湖校区召开。学校常务副院长、学报副主编周国模教授到会致欢迎词,并向与会代表介绍了浙江林学院近几年的快速发展情况。

省科技期刊编辑学会理事长王鹏举总结了2003年学会工作情况,并提出了2004年工作计划,重点是提高科技期刊质量,与国际接轨,扩大浙江期刊的知名度。科技期刊是科研工作的重要组成部分。目前浙江省有102种科技期刊,但浙江省科技期刊的总体实力在“长三角”乃至全国还比较薄弱。与会代表就如何进一步办好科技期刊,使浙江省的科技期刊与浙江经济的快速发展相一致进行了研讨。

会后与会代表兴致勃勃地参观了东湖校区图书馆,对我校期刊阅览室期刊数量、种类、陈列和管理表示赞赏。