

文章编号: 1000-5692(2006)06-0641-06

7种箬竹抗寒特性比较

田海涛, 高培军, 温国胜

(浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为探明7种箬竹 *Indocalamus* spp. 的抗寒特性, 利用叶绿素荧光技术测定了夜间低温胁迫后7种箬竹叶绿素荧光参数的日变化。结果表明: 各种箬竹 PS II 实际光化学量子产量日变化规律呈近似“W”型; 广东箬竹 *Indocalamus guangdongensis* PS II 光化学效率(F_v/F_m), PS II 潜在活性(F_v/F_0)和 PS II 实际光化学量子产量等参数值均低于其他箬竹种; 小叶箬竹 *I. pumilus* 具有最高的初始荧光(F_0)和最大荧光(F_m)值; 鬃毛箬竹 *I. barbatus* 的 F_v/F_m , F_v/F_0 值均高于其他几种箬竹, 说明广东箬竹最容易遭受低温胁迫, 抗寒性差, 而小叶箬竹和鬃毛箬竹抵抗低温能力较强。可见, 利用叶绿素荧光分析技术来鉴别箬竹种间抗寒性是可行的。图4表3参15

关键词: 植物学; 箬竹; 叶绿素荧光; 低温胁迫

中图分类号: S718.43 **文献标识码:** A

箬竹 *Indocalamus* spp. 系多年生禾本科 Gramineae 竹亚科 Bambusoideae 箬竹属 *Indocalamus* 植物, 在观赏园艺、食品包装、水土保持等方面的作用越来越受到人们的重视, 但相对毛竹 *Phyllostachys pubescens*, 雷竹 *Phyllostachys praecox*^[1~3] 等竹种的研究而言, 关于箬竹的研究甚少, 制约了箬竹的进一步开发利用。箬竹分布于热带和亚热带地区, 当遇到稍低于其最适生长温度时就会遭受低温胁迫。多数研究表明, 低温胁迫首先损伤细胞膜半透性, 导致电解质渗漏率增加, 造成脂膜破坏, 丙二醛含量升高^[4], 过氧化作用加强, 同时低温胁迫使光合速率下降, 引起光能过剩, 甚至导致光抑制的发生及光合机构被破坏^[5]。Frachebound 等^[6]认为叶绿素荧光参数可作为抗冷性选择指标, 叶绿素荧光分析技术也越来越多地被用于研究植物抗寒特性^[7~9]。但迄今为止关于箬竹抗寒性的研究未见报道。为此, 笔者通过对低温胁迫下7种箬竹叶绿素荧光参数的分析, 初探箬竹的抗寒特性, 以期为今后箬竹的引种、培育及应用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

所采用的实验材料为7种箬竹, 即: 矮叶箬竹 *Indocalamus pedalis*, 广东箬竹 *I. guangdongensis*, 小叶箬竹 *I. pumilus*, 鬃毛箬竹 *I. barbatus*, 胜利箬竹 *I. victorialis*, 箬竹 *I. tessellatus* 以及阔叶箬竹 *I.*

收稿日期: 2006-03-16 修回日期: 2006-06-06

基金项目: 国家教育部留学回国基金资助项目(2004527); 浙江省科学技术攻关项目(2004C3205)

作者简介: 田海涛, 硕士研究生, 从事林木生理生态学研究。E-mail: tianhaitao1980@163.com 通信作者: 温国胜, 教授, 博士, 从事林木生理生态学研究。E-mail: wgs@zjfc.edu.cn

latifolius。它们于2004年3月引种在浙江林学院东湖校区的东侧苗圃。该实验区域有垂直的2条水渠，地表较湿润，光照适宜，地表有一定的草本植被覆盖。

1.2 实验方法

选择长势健壮的各种箬竹植株进行挂牌标记为标准株。每株选定3片受光一致的叶片，且均为新梢上的功能叶，挂牌标记，以后每次测定都用同样叶片，重复3次。荧光参数采用德国WALZ生产的便携式叶绿素荧光仪PAM-2100测定，选择夜间低温，次日晴朗无风的2006年1月7日进行活体测定，作为受低温胁迫后的数据进行处理。获取的主要荧光参数有： F_0 （初始荧光）、 F_m （最大荧光）、 F_v （ $F_v = F_m - F_0$ ）（可变荧光）， F_v/F_0 （常用于表示植物叶片PS II潜在活性）， F_v/F_m （PS II光化学效率）以及 Φ_{PSII} （非环式电子传递的量子效率）等。各参数日变化从07:00~17:00，每小时测定1次；21:00测定一次完全自然暗适应下的叶绿素荧光参数。另外，于测定当日观测了各种箬竹全株及局部受低温胁迫状况，并进行记录。其中受低温伤害程度，全株用变黄枯死叶片与全株叶片总数比值表示，叶片用变黄面积与全叶面积比值表示；未受胁迫的叶绿素荧光参数于2006年4月测定新生功能叶所得。

2 结果与分析

2.1 光照强度与温度的日变化

光合有效辐射的日变化(图1)呈单峰曲线，高峰时期在11:00~14:00。10:00~12:00和14:00~16:00是光合有效辐射迅速上升和迅速下降的阶段；气温的日间变化与光合有效辐射的日变化趋势基本一致。最高峰出现在11:00左右，上午11:00至下午14:00是气温较高的时段，一天中最低气温-3.5℃，最高气温10.5℃。

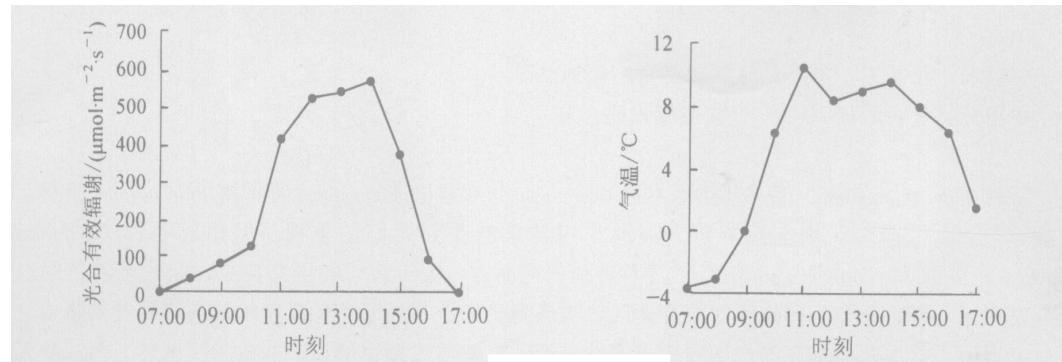


图1 光合有效辐射的日变化

Figure 1 The diurnal changes of PAR

图2 气温的日变化

Figure 2 The diurnal changes of air temperature

2.2 叶绿素荧光参数的日变化

从图3可以看出，PS II实际光化学量子产量的日变化近似呈“W”型，各竹种PS II实验光化学量子产量值最高值均出现在7:00和17:00左右，最低点出现在8:00~9:00。7:00~8:00迅速下降的原因是由于，7:00 PS II实际光合有效辐射极低，不足以引起PS II中心的激发，PS II原初电子受体(Q_A)处于氧化状态，PS II反应中心可接受电子处于开放状态，光化学反应几乎为0，叶片吸收的光能主要以热耗散和叶绿素荧光的形式散发，因此7:00 PS II实际光化学量子产量较高，而随着PS II实际光合有效辐射的升高，PS II反应中心受光激活， Q_A 逐渐被还原，光化学反应加强，PS II实际光化学量子产量迅速下降，并维持在一定水平，10:00迅速上升。这与PS II实际光合有效辐射的变化趋势是一致的。然而，矮叶箬竹、胜利箬竹、小叶箬竹、鬚毛箬竹和广东箬竹的PS II实际光化学量子产量在中午12:00左右又出现下降趋势，15:00又迅速升高，原因可能是因为经过一夜时间直到早晨9:00气温一直很低，竹种遭受不同程度的低温胁迫，叶绿体细胞处于冰晶状态，需要恢复的时间较长，10:00~12:00气温的持续升高，使叶绿体细胞逐渐从冷害中恢复，PS II功能也相应恢复。

光化学反应加强, 相应叶绿素荧光产量下降; 到了 15: 00 时光合有效辐射、气温都迅速下降, 此时光合能力迅速下降, 相应 PS II 实际光化学量子产量迅速升高以消耗多余的光能。几种竹种相比较, 广东箬竹 PS II 实际光化学量子产量 8: 00~16: 00 一直很低, 这说明广东箬竹 PS II 已经遭受严重破坏, 短时间内很难从低温胁迫中恢复过来, 相对广东箬竹, 矮叶箬竹、小叶箬竹和胜利箬竹能更快的从低温胁迫中恢复过来, 说明这 3 种竹种 PS II 受低温胁迫伤害较小。

Φ_{PSII} 是 PS II 非环式电子传递的量子效率, 也是 PS II 功能的指标之一^[10, 11]。叶片 Φ_{PSII} 反映了 PS II 反应中心在环境胁迫中有部分关闭情况下的实际原初光能捕获效率, 可反映实际的 PS II 反应中心进行光化学反应的效率^[12]。如图 4 所示, Φ_{PSII} 的日变化规律与 PS II 实际光化学量子产量日变化几乎完全一致, 这也进一步说明了广东箬竹 PS II 反应中心在低温胁迫中实际原初光能捕获效率低, 而矮叶箬竹、小叶箬竹和胜利箬竹 PS II 反应中心进行光化学反应的效率较高。

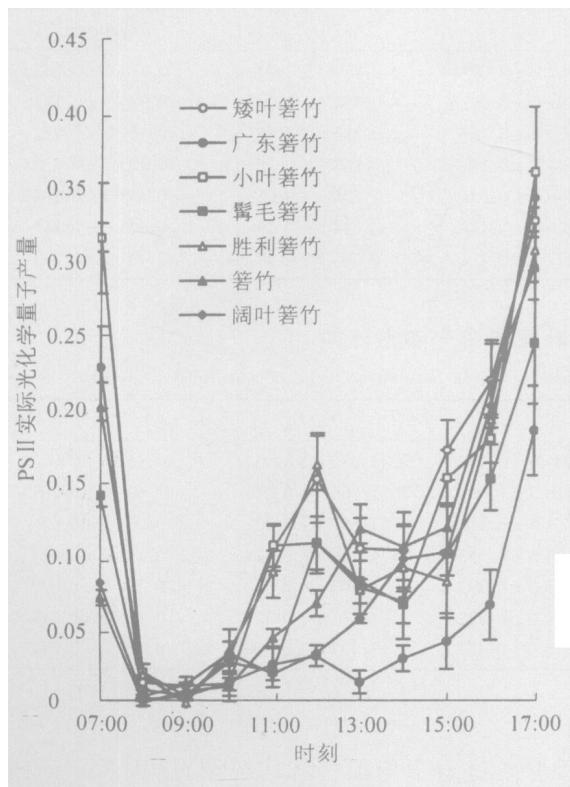


图 3 PS II 实际光化学量子产量的日变化

Figure 3 The diurnal changes of yield

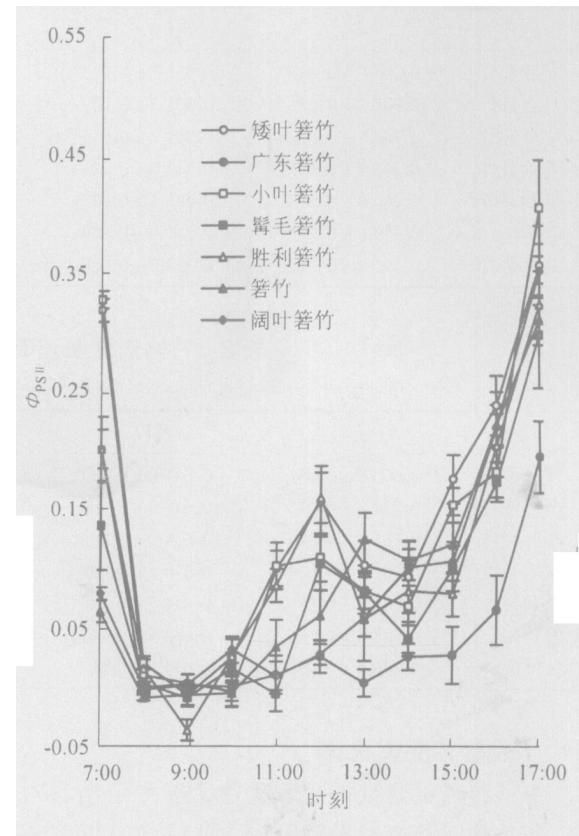


图 4 Φ_{PSII} 的日变化

Figure 4 The diurnal changes of Φ_{PSII}

2.3 7种箬竹主要叶绿素荧光参数的比较

测定了 7 种箬竹全自然暗适应下的叶绿素荧光参数(表 1)。可见, 小叶箬竹具有最大 F_o 和 F_m 值, 而箬竹具有较小的 F_o , F_m 值。 F_m 值可以反映通过 PS II 的电子传递情况, 说明小叶箬竹 PS II 的电子传递状况优于箬竹。

F_v/F_m 代表 PS II 光化学效率, 反映 PS II 最大光能转换效率, 非胁迫条件下基本在 0.84 左右, 对环境变化非常敏感, 在胁迫条件下该参数明显下降。7 种箬竹的 F_v/F_m 值均小于 0.5, 说明受到较强的低温胁迫, 而 F_v/F_o 通常用来度量 PS II 的潜在活性, 鬃毛箬竹的 F_v/F_m , F_v/F_o 值均高于其他几种箬竹。广东箬竹 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值相对较低, 说明鬃毛箬竹具有较高的 PS II 原初光能转化效率和 PS II 潜在活性, 而广东箬竹 PS II 原初光能转化效率以及潜在活性较低。

从表1中可以看出小叶箬竹具有较高PSⅡ实际光化学量子产量，广东箬竹较低。不难发现广东箬竹 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、PSⅡ实际光化学量子产量都较其他几种低，这说明广东箬竹PSⅡ可能已经受到破坏或失活，低温胁迫后，受害较严重；而小叶箬竹 F_o 、 F_m 、PSⅡ实际光化学量子产量值，鬚毛箬竹 F_v/F_m 、 F_v/F_o 值较高，说明小叶箬竹和鬚毛箬竹低温胁迫后，受害较轻。

相对受胁迫状况下7种箬竹叶绿素荧光参数，未受低温胁迫时各参数值趋于一致（表2），且各箬竹种PSⅡ光化学效率以及PSⅡ潜在活性等都明显优于受低温胁迫状态。不难看出，广东箬竹 F_v/F_m 前后变化最大，相差0.3477，而鬚毛箬竹变化最小，只有0.1745。从这一侧面可以看出，广东箬竹抵抗低温的能力较差，低温胁迫后，PSⅡ损伤严重，而鬚毛箬竹抵抗低温的能力较强，低温胁迫后，PSⅡ损伤较轻。

表1 7种受胁迫箬竹叶绿素荧光参数比较

Table 1 Comparison of chlorophyll fluorescence parameters in seven *Indocalamus* spp. under stress

竹种	F_o	F_v/F_m	F_m	F_v/F_o	光化学量子产量
矮叶箬竹	0.2040±0.007	0.4357±0.013	0.3620±0.004	0.7745±0.042	0.4183±0.242
广东箬竹	0.3473±0.055	0.3013±0.042	0.5050±0.097	0.4549±0.097	0.3253±0.188
小叶箬竹	0.7467±0.575	0.3410±0.046	1.0340±0.767	0.3848±0.767	0.4697±0.271
鬚毛箬竹	0.2613±0.082	0.4420±0.081	0.5143±0.189	0.9681±0.189	0.4057±0.234
胜利箬竹	0.2603±0.015	0.4353±0.032	0.4663±0.053	0.7913±0.053	0.3583±0.207
箬竹	0.1790±0.093	0.3670±0.019	0.2890±0.148	0.6145±0.148	0.3660±0.211
阔叶箬竹	0.1917±0.096	0.3133±0.089	0.3227±0.171	0.6835±0.171	0.4317±0.249

表2 7种未受胁迫箬竹叶绿素荧光参数比较

Table 2 Comparison of chlorophyll fluorescence parameters in seven *Indocalamus* spp. under no stress

竹种	F_o	F_v/F_m	F_m	F_v/F_o	光化学量子产量
矮叶箬竹	0.6600±0.084	0.6610±0.017	1.9270±0.152	1.9710±0.154	0.1526±0.018
广东箬竹	0.7340±0.032	0.6490±0.030	2.1105±0.090	1.9066±0.246	0.1050±0.007
小叶箬竹	0.6615±0.049	0.6380±0.054	1.8615±0.187	1.8898±0.421	0.2011±0.024
鬚毛箬竹	0.7070±0.029	0.6165±0.058	1.9905±0.351	1.7968±0.428	0.1283±0.014
胜利箬竹	0.7650±0.081	0.6145±0.084	1.9890±0.393	1.6007±0.350	0.1303±0.019
箬竹	0.7455±0.086	0.6325±0.018	2.0580±0.322	1.7312±0.129	0.1087±0.017
阔叶箬竹	0.7360±0.099	0.6350±0.092	2.0150±0.433	1.7378±0.399	0.1840±0.041

2.4 7种箬竹受害状况

为了验证试验数据的客观性，于测定当日对7种箬竹进行了低温伤害状况调查（表3）。调查发现，各竹种间受害差异较大，受低温伤害以广东箬竹为甚，全株60%~70%叶片受害死亡，受害叶片的90%~100%枯黄；而鬚毛箬竹相对受害较轻，全株只有3%~5%的叶片受到低温伤害，受害叶片也只有1%~2%的叶梢部位枯黄，其他竹种受低温伤害具体情况如表3所示。7种箬竹受低温伤害的实际状况与实验数据分析的结果是吻合的，说明利用叶绿素荧光分析技术来研究箬竹种间抗寒特性是可行的。

表3 7种箬竹受低温伤害状况

Table 3 Chilling stress situation of seven *Indocalamus* spp.

竹种	全株受损比例/%	叶片受损比例/%	竹种	全株受损比例/%	叶片受损比例/%
矮叶箬竹	10	3~50	胜利箬竹	20	40~60
广东箬竹	60~70	90~100	箬竹	20~30	40~60
小叶箬竹	20~30	50~60	阔叶箬竹	8~10	25~30
鬚毛箬竹	3~5	1~2			

3 结论与讨论

植物叶绿素荧光动力学是近年来发展的一种新型、快速、简便、准确、无损伤的检测植物光合作用生理状况的新兴技术。因为它包含了十分丰富的光合作用过程变化的信息，被视为植物光合作用与环境关系的内在探针，为植物抗性生理研究提供了方便^[13]。人们常常在低温胁迫下测定植物叶片的某种荧光参数的变化以确定它们的抗寒性及受伤害的程度。1984年Smille提出用荧光上升最大速率(FR)作为鉴别植物抗寒性的指标^[14]，此方法在比较不同种类冷敏感植物抗寒性上较为成功，但用于同种植物的品种间鉴别时则难以判断^[15]。从笔者的实验可以看出，利用叶绿素荧光分析技术鉴别种间抗寒性是可行的。

从笔者的实验还可以看出，箬竹种间抗寒特性存在很大差异。箬竹种PSⅡ实际光化学量子产量日变化规律呈近似“W”型；髯毛箬竹的 F_v/F_m 、 F_v/F_o 值均高于其他几箬竹种，具有较强的PSⅡ原初光能转换效率和PSⅡ潜在活性，表现出比较好的光合性能，抵抗低温胁迫的能力较强；广东箬竹PSⅡ光化学效率(F_v/F_m)、PSⅡ潜在活性(F_v/F_o)和PSⅡ实际光化学量子产量等参数值均低于其他箬竹种，容易遭受低温胁迫，抗寒性差。

参考文献：

- [1] 金爱武, 郑炳松, 陶金星, 等. 雷竹光合速率日变化及其影响因子[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(3): 271—275.
- [2] 金爱武, 傅秋华, 方伟, 等. 毛竹笋用林高效益经营技术及其传播效果分析[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(3): 254—258.
- [3] 黄必恒, 方伟, 许加意. 中国雷竹引种与适生区域[J]. 浙江林学院学报, 2001, 18(1): 10—14.
- [4] HALDIMANN P. Low growth temperature-induced changes to pigment composition and photosynthesis in maize genotypes differing in chilling sensitivity[J]. Plant Cell Environ, 1998, 21: 200—208.
- [5] 刘鹏, 孟庆伟, 赵世杰. 冷敏感植物的低温光抑制及其生长保护机制[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(1): 76—82.
- [6] FRACHEBOUND Y, HALDIMANN P, LEIPNER J, et al. Chlorophyll fluorescence as a selection tool for cold resistance of photosynthesis in maize (*Zea mays* L.)[J]. J Exp Bot, 1999, 50: 1 533—1 540.
- [7] BRUGGEMANN W, LINGER P. Long-term chilling of young tomato plants under low light and subsequent recovery (II) chlorophyll fluorescence, carbon metabolism and activity of Rubisco[J]. Planta, 1992, 186: 179—187.
- [8] 胡文海, 黄黎锋, 肖宜安, 等. 夜间低温对2种光强下榕树叶绿素荧光的影响[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(1): 20—23.
- [9] 高青海, 徐坤, 高辉远, 等. 不同茄子砧木幼苗抗冷性的筛选[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 1 005—1 010.
- [10] 许大全. 光合使用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 29—35.
- [11] 苏行, 胡迪琴, 林植芳, 等. 广州市大气污染对2种绿化植物叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物生态学报, 2002, 26(5): 599—604.
- [12] 张雷明, 上官周平, 毛明策, 等. 长期施氮对旱地小麦灌浆期叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 695—698.
- [13] 陈贻竹, 李晓萍, 夏丽, 等. 叶绿素荧光技术在环境胁迫研究中的应用[J]. 热带亚热带植物学, 1995, 3(4): 79—84.
- [14] SMRLIE R M, HETHERINTON S E. Stress resistance and stress-induced injury in crop plant measured by chlorophyll fluorescence in vivo, chilling, freezing, ice cover, heat and high light[J]. Plant Physiol, 1983, 72: 1 043—1 050.
- [15] 陈贻竹, 刘鸿先, 郭俊彦, 等. 用叶绿素荧光估价水稻的耐冷力[J]. 中国科学院华南植物研究所集刊, 1990, 6: 122—131.

Comparative study of cold resistance characteristics in seven *Indocalamus* spp.

TIAN Hai-tao, GAO Pei-jun, WEN Guo-sheng

(School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Diurnal changes of a chlorophyll fluorescence with low temperature stress at night were studied using the chlorophyll fluorescence technique to determine cold resistance in seven *Indocalamus* spp. Results indicated that diurnal changes of the actual photochemistry quantum yield for PS II was approximately "W-shaped". Also, parameters, such as the photochemistry efficiency of PS II (F_v/F_m), latent activeness of PS II (F_v/F_o), and Yield of *I. guangdongensis*, were lower than other *Indocalamus* spp. *I. pumilus* had the largest initial fluorescence (F_o) and fluorescence (F_m) with F_v/F_m and F_v/F_o of *I. barbatus* being higher than several other *Indocalamus* spp. This indicated that *I. guangdongensis* more readily suffered from low temperature stress and therefore had weak cold resistance. However, the cold resistance of *I. pumilus* and *I. barbatus* was comparatively stronger. Thus, it is feasible to test cold resistance of different *Indocalamus* spp. with the chlorophyll fluorescence analysis technique. [Ch, 4 fig. 3 tab. 15 ref.]

Key words: botany; *Indocalamus*; chlorophyll fluorescence; low temperature stress

“十一五”浙江园林绿化发展战略研讨会召开

2006年7月24日，“十一五”浙江园林绿化发展战略研讨会在浙江林学院召开。北京林业大学、浙江省科技厅、浙江省建设厅、上海园林研究所、浙江省风景园林学会、浙江省风景名胜区协会、浙江林学院、浙江大学、杭州市园林文物管理局等30多名专家和领导参加了研讨会。

研讨会上，浙江林学院党委书记陈敬佑教授代表学校党政及全校师生员工向专家们的到来表示热烈欢迎，并介绍了学校近年来在人才培养、学科建设、校园(植物园)建设等方面的情况和为新农村建设所做的工作。

专家们围绕浙江园林绿化现状、城市园林、风景名胜区、森林公园、人居环境与生态、社会主义新农村建设等方面，从不同角度、不同层面研讨了浙江风景园林事业今后发展和研究的方向与目标，在园林规划设计、园林工程施工管理、园林植物新品种的培育与应用，园林新材料、新工艺、新技术以及园林管理与效益评测、人才培养等领域发表了看法与意见。

会议达成以下共识：浙江省园林相关学校、研究院(所)及企事业单位应紧密合作，加强联系和交流，实行资源的整合与共享，调动和发挥各方面的积极性，共同推进浙江省园林绿化事业向更高水平发展。

(园林学院 黄陈跃)