

# 重庆夏季展览温室植物 对高温高湿的生态响应研究<sup>①</sup>

刘代军<sup>1,2</sup>, 刘娟娟<sup>1,2</sup>, 张 蕾<sup>1,2</sup>,  
杨晓红<sup>1,2</sup>, 何 炜<sup>3</sup>, 彭光富<sup>3</sup>

1. 南方山地园艺学 教育部重点实验室, 重庆 400716; 2. 西南大学 园艺园林学院, 重庆 400716;  
3. 重庆市南山植物园管理处, 重庆 400065

**摘要:** 对重庆南山植物园展览温室 4 个展区的主要生态因子和引种的 1 000 余种植物在夏季的生态响应与适应进行了系统的调查研究, 结果表明: 由于人为控制的原因, 展览温室生态条件得到很好改良, 绝大多数植物生长正常. 其中热带雨林景观区植物长势良好; 四季花卉园区和多肉多浆展示区植物生存受影响不大; 但亚高山展示区温度仍然过高, 受伤害植物约 49 种, 占该区植物种数的 26.8%, 极不适应者死亡.

**关键词:** 重庆夏季; 展览温室; 高温高湿; 植物; 生态响应

**中图分类号:** S322.5

**文献标志码:** A

重庆市 2009 年建成的南山植物园展览温室已成为重庆市主要的植物科普中心, 分为 4 个植物景观区, 即热带雨林景观区、四季花卉园区、多肉多浆展示区(沙生植物区)和亚高山展示区, 所收集的植物主要强调奇特性、趣味性、观赏性和科普性, 具有很高的观赏性和科普价值. 重庆夏季酷热, 温度 $\geq 35$  °C 的日数达 36~50 d<sup>[1]</sup>. 2010 年 8 月持续高温, 极端最高气温达到了 43 °C, 高居全国榜首<sup>[2]</sup>. 加上“温室效应”的存在, 温室温度可达 50 °C 以上<sup>[3]</sup>, 即使夏季采用降温措施, 温室内温度仍将超过植物忍受温度, 出现高温热害(如叶面灼伤、叶缘干卷、甚至落叶、花芽干枯等), 威胁植物的生长<sup>[4]</sup>.

尽管对展览温室的植物选择与引种<sup>[5]</sup>、植物景观配置<sup>[6-7]</sup>、管理与养护技术<sup>[8-9]</sup>等已有一些报道, 但有关重庆夏季展览温室内引种植物生态响应的研究报道罕见. 为了进一步做好植物多样性的收集和保护工作, 弄清楚展览温室中的迁地保护植物在湿热夏季的生长表现, 实现展览温室在高温多湿地区的持续发展, 各展区植物的生态响应及适应性评价显得尤为重要.

## 1 材料和方法

### 1.1 供试场地、分区及其植物

供试材料为重庆市南山植物园展览温室的 4 个展览区(即热带雨林景观区、四季花卉园区、多肉多浆展

① 收稿日期: 2011-06-01

基金项目: 重庆市园林局南山展览温室植物管护技术研究项目(ykz2010-03)基金资助.

作者简介: 刘代军(1986-), 男, 重庆永川人, 硕士研究生, 主要从事植物生物学与生物技术研究.

通信作者: 杨晓红, 教授, 博士生导师.

示区和亚高山展示区)1 000 余种植物. 各展区适当遮荫, 多肉多浆展示区不特别采取措施降温, 热带雨林景观区、四季花卉园区和亚高山展示区 3 个展区采取湿帘、冰砖、喷雾、通风等措施降温至要求的温度, 其它常规管理.

## 1.2 展览温室内主要生态因子

### 1.2.1 土壤基质

展览温室 4 个展区的土壤基质参照各展区植物自然生境土壤的特征进行配制, 主要基质原料有南山菜园土、泥碳、沼渣、糠壳、蛭石、珍珠岩、河砂、小鹅卵石等, 根据不同展区植物对土壤的不同要求将这些原料以不同的比例混合. 各区混合土壤主要基质的理化性质见表 1.

表 1 南山植物园展览温室 4 个展区土壤基质主要理化性质

展区名称	pH	水解氮 (mg/kg)	有效磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 计) (mg/kg)	有效钾(K <sub>2</sub> O 计) (mg/kg)	有机质 (mg/kg)
热带雨林景观区	7.42	76.42	61.52	127.90	32.63
四季花卉园区	7.07	72.53	52.20	101.34	28.88
亚高山展示区	7.34	54.99	51.49	95.72	28.51
多肉多浆展示区	7.60	47.35	46.68	92.19	16.29

### 1.2.2 温度

重庆 8 月份晴热高温, 温度  $\geq 35$  °C 达 15 日以上, 上半月持续 8 日酷热, 室外平均温度达 38.4 °C, 下半月因降雨温度有所降低, 平均约 35.2 °C. 高温天气加剧“温室效应”, 导致展区内热量积累, 引起植物热害可能增大. 为此, 除多肉多浆展示区之外, 其余各展区都采取降温措施, 温度控制到 35 °C 左右, 但仍超过部分展区植物的最高忍受温度, 也是夏季植物受热害的最主要的生态因子.

### 1.2.3 光照强度

2010 年重庆 8 月室外平均光强为 35 000 Lx, 上半月平均光强约 45 000 Lx, 极端最强光照达 54 200 Lx. 采取遮阳措施后, 四季花卉园区、热带雨林景观区平均光照强度能控制在 12 800~13 700 Lx 左右, 约为室外平均光强的 28%~30% 左右, 而亚高山展示区的月平均光照强度能控制在 10 000 Lx 左右, 一定程度上缓解了强光对植物的伤害. 但是多肉多浆展示区没有特殊遮光, 上半月平均光强达 37 000 Lx, 月平均光强达 26 000 Lx, 主要是为了满足多肉植物对强光照的要求.

### 1.2.4 湿度

8 月上半月室外平均湿度为 65%, 下半月为 77%, 月平均相对湿度在 71% 左右. 而温室内在人工干预下, 多肉多浆展示区上半月平均湿度为 62.5%, 下半月为 68.3%, 月平均相对湿度约 65%, 与多肉多浆植物要求的适宜湿度 ( $\leq 60\%$ ) 相差不大. 四季花卉园区和热带雨林景观区平均相对湿度分别为 75% 和 86%, 为适宜的湿度; 而亚高山展示区平均相对湿度约为 75%, 高于所要求的 40%~70% 的湿度范围, 在通风不良的情况下, 该区的高湿环境引起植物病害及其他生理疾病的可能性大.

## 1.3 研究方法

展览温室中不同展区内的土壤、光照、空气温度和湿度等是展览温室内影响植物存活或生长的主要生态因子. 2010 年 8 月, 每天高温时间段基本为 10:00~18:00, 在每天下午 15:00~16:00 用干湿温度计(河北省武强县第一仪表厂)和光照仪(TES-1332A, 苏州智丞电子有限公司)记录不同展区的温度、湿度和光照强度等主要气象数据, 因土壤基质是参照各区植物自然生境的质地进行配制的, 因此, 8 月份各展区来自土壤基质的胁迫忽略不计. 同时观察记录各展区内植物的叶片、花芽、花蕾、嫩梢或肉质茎的生长适应性情况, 按照好、中等、较差、差 4 级将植物对各区特殊的生态条件的综合适应性作出评价(表 2). 各展区的迁地保护植物在原生地的正常健康生态表现为对照.

表 2 植物适应性评价体系指标

适应性评价	植物适应性表现
好	叶轻微皱缩, 叶受热害面积约 5% 以下
中等	叶面灼伤出现褐斑, 叶缘皱卷, 叶受热害面积约 30%
较差	叶面灼伤出现褐斑, 叶缘皱卷, 嫩梢(尖)枯萎, 花芽(蕾)干枯或肉质茎出现灼斑, 叶受热害面积约 50%
差	植株落叶, 嫩梢(尖)枯萎, 花芽(蕾)干枯或肉质茎灼伤严重, 叶受热害面积约 70%, 植株濒临死亡或已有死亡植株

## 2 结果与分析

### 2.1 热带雨林景观区植物长势良好

本展区主要仿我国西双版纳热带雨林植物群落结构进行配置, 收集保存了我国热带雨林中特有植物和典型植物以及东南亚地区具有代表性的植物约 112 科 500 余种, 近 6 000 株, 它们与区内瀑布、溪流、室内高热一道共同营造高温高湿浓荫的热带密林景观. 展区的上层植物配置菩提树、望天树、见血封喉、董棕等, 只有部分棕榈科植物叶干枯, 其他上层植物长势良好, 茂盛葱绿; 中层植物配置吊灯扶桑、三药槟榔、大叶紫薇、神秘果等, 只有新栽培的苏铁叶尖出现干枯; 下层植物配置滇缅越橘、观音莲座蕨、老虎芋、巢蕨等, 没有明显的不适应症, 迁地引种成功. 这与本区的土壤、高温、高湿接近热带雨林有关. 该区土壤条件最好(表 1), 平均温度(34.2 °C)、平均光强(13 700 Lx 左右)、平均湿度(86%, 用喷雾的生态条件和人工小瀑布调节)都接近热带雨林的生态环境, 为植物生长奠定了较好的生长条件, 与热带雨林自然生态系统中生长的植物相比较, 该区植物同样生长良好, 两者之间差异不显著.

### 2.2 四季花卉园区植物受热害影响较小

展区共收集有约 50 科 150 余种植物, 景观基本格局是上层以棕榈科植物和常绿阔叶乔木植物组成绿色骨架, 中下层展示各类小乔木、灌木和草本植物. 部分植物出现叶边缘干枯、嫩梢萎焉等症状, 但不影响植物的生存, 该区土壤条件(表 1)、8 月高温时间段平均温度(32.7 °C)、平均光强(12 800 Lx 左右)、平均相对湿度(75%)都接近四季花卉生长要求的生态环境, 因此该区植物生长正常, 受热害影响较小.

### 2.3 多肉多浆展示区植物长势基本正常

该展示区收集有仙人掌科、景天科、夹竹桃科、大戟科、菊科等约 16 科 300 余种, 主要收集保存的是根、茎、叶肉质肥厚、储存大量水分以适应干旱环境的一类植物, 多原生长在干旱的热带沙漠中, 如南美洲、南非、澳大利亚西南部等, 对极端环境(贫瘠土壤、高热少水、强辐射等)有极强的适应性. 多肉植物形态奇特, 具有较高的观赏价值. 测得多肉多浆植物展示区 8 月平均温度为 37.8 °C, 略高于室外, 月平均光照强度也达 26 000 Lx, 但这样的条件对其生存不造成威胁, 与多肉多浆植物在其原生地的健壮生长比较, 只有极少数植物出现灼斑, 绝大多数植物生长正常, 由于平均相对湿度控制在 65% 左右, 高于植物原生产地的湿度, 因此, 与其原生地植物生长状况比较, 有些植物出现了疯长的态势.

### 2.4 亚高山展示区植物热影响较严重

亚高山植物最适宜的生长温度和湿度分别为 15~25 °C 和 40%~70%. 而亚高山展示区 8 月平均温度达 34.5 °C, 平均相对湿度约为 75%, 月平均光照强度约为 10 000 Lx, 达不到亚高山植物所要求的低温低湿强光照的环境, 因此本区植物受影响最大, 与亚高山植物在其原生地的良好生长状况比较, 栽种的 183 种植物有 49 种表现出不同程度的热害, 占该区植物的 26.8%, 其中松科有 10 种, 杜鹃花科有 7 种(表 3). 植物叶灼伤严重, 叶面皱缩瘪凸, 叶缘不规则残缺, 有些灌木整枝落叶, 叶柄干枯, 甚至死亡. 因此, 亚高山展示区运行成本高.

表3 亚高山展示区植物适应性调查

植物群落	植 物			受热害部位	适应性评价	
垂直分层	序号	中文名	拉丁名			科名
上层植物	1	化香树	<i>Platycarya strobilacea</i>	胡桃科	叶	中等
	2	华千金榆	<i>Carpinus cordata</i> var. <i>chinensis</i>	桦木科	叶	中等
	3	领春木	<i>Euptelea pleiospermum</i>	领春木科	叶、嫩梢	较差
	4	金钱槭	<i>Dipteronia sinensis</i>	槭树科	叶	较差
	5	秦岭冷杉	<i>Abies chensiensis</i>	松科	叶、嫩梢	较差, 1株死亡
	6	麦吊云杉	<i>Picea brachytyla</i>	松科	叶	中等
	7	青扦	<i>Picea wilsonii</i>	松科	叶、嫩梢	差
	8	铁杉	<i>Tsuga chinensis</i>	松科	叶	差, 2株死亡
	9	日本冷杉	<i>Abies firma</i>	松科	叶	较差, 1株死亡
	10	花旗松	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	松科	叶	差, 1株死亡
	11	金钱松	<i>Pseudolarix amabilis</i>	松科	叶	较差
	12	巴山松	<i>Pinus henryi</i>	松科	叶	差
	13	紫茎	<i>Stewartia sinensis</i>	山茶科	叶	较差
	14	胡枝子	<i>Lespedeza bicolor</i>	豆科	叶、嫩梢	较差
	15	四川杜鹃	<i>Rhododendron sutchuenense</i>	杜鹃花科	叶	差, 2株死亡
	16	云南红豆杉	<i>Taxus yunnanensis</i>	红豆杉科	叶	较差
	17	光叶珙桐	<i>Davidia involucrata</i> var. <i>vilmoriniana</i>	珙桐科	叶	较差
	18	山白树	<i>Sinowilsonia henryi</i>	金缕梅科	叶	较差, 1株死亡
	19	蝟实	<i>Kolkwitzia amabilis</i>	忍冬科	叶	较差
	20	水青冈	<i>Fagus longi-petiolata</i>	壳斗科	叶	差, 1株死亡
	21	白辛树	<i>Pterostyrax psilophyllus</i>	安息香科	叶	差, 1株死亡
中层植物	22	山梅花	<i>Philadelphus incanus</i>	虎耳草科	叶	较差
	23	红茴香	<i>Illicium henryi</i>	八角科	叶、嫩梢	差, 1株死亡
	24	猫儿屎	<i>Decaisnea insignis</i>	木通科	叶	中等
	25	柔毛绣球	<i>Hydrangea villosa</i>	虎耳草科	叶、嫩梢	差
	26	白檀	<i>Symplocos paniculata</i>	山矾科	叶	较差
	27	华北绣线菊	<i>Spiraea fritschiana</i>	蔷薇科	叶、花芽、嫩梢	差
	28	美丽马醉木	<i>Pieris formosa</i>	杜鹃花科	叶、花芽	较差
	29	毛肋杜鹃	<i>Rhododendron augustinii</i>	杜鹃花科	叶、嫩梢	较差, 4株死亡
	30	峨眉杜鹃	<i>Rhododendron ochraceum</i>	杜鹃花科	叶	中等
	31	阔柄杜鹃	<i>Rhododendron platypodum</i>	杜鹃花科	叶	中等
	32	长蕊杜鹃	<i>Rhododendron stamineum</i>	杜鹃花科	叶、花芽	较差
	33	粉白杜鹃	<i>Rhododendron hypoglaucum</i>	杜鹃花科	叶	较差, 3株死亡
	34	胡颓子	<i>Elaeagnus pungens</i>	胡颓子科	叶	差
	35	桦叶荚蒾	<i>Viburnum betulifolium</i>	忍冬科	叶、嫩梢	较差
	36	半边月	<i>Weigela japonica</i> var. <i>sinica</i>	忍冬科	叶、嫩梢	差, 濒临死亡
	37	桦叶荚蒾	<i>Viburnum betulifolium</i>	忍冬科	叶、嫩梢	差
	38	日本落叶松	<i>Larix kaempferi</i>	松科	叶	中等
	39	银杉	<i>Cathaya argyrophylla</i>	松科	叶	差, 濒临死亡
	40	青荚叶	<i>Helwingia japonica</i>	山茱萸科	叶、花芽	较差
	下层植物	41	糯米团	<i>Gonostegia hirta</i>	荨麻科	叶
42		淫羊藿	<i>Epimedium brevicornu</i>	小檗科	叶	中等
43		紫萼	<i>Hosta ventricosa</i>	百合科	叶	中等
44		石松	<i>Lycopodium japonicum</i>	石松科	叶	中等
45		马蹄香	<i>Saruma henryi</i>	马兜铃科	叶	中等
46		鬼灯檠	<i>Rodgersia podophylla</i>	虎耳草科	叶	较差
47		铁线蕨	<i>Adiantum capillus-veneris</i>	铁线蕨科	叶	较差
48		七叶一枝花	<i>Paris polyphylla</i>	百合科	叶	差
49		短毛金钱草	<i>Antenoron filiforme</i> var. <i>neofiliforme</i>	蓼科	叶	较差



## 3 讨 论

### 3.1 植物叶片、嫩梢和肉质茎是易于观察的生态响应部位

植物对适度逆境具有一定的适应能力,根据这个特点,国内外不少大城市基于资源保存、科学研究和科普教育的目的,建设了植物展览温室,并将生态条件要求基本一致的各大类植物进行了分类建馆.植物对适度逆境的适应能力最终都会在其形态结构上有相应的表型响应,尽管在形态响应之前生理生化响应早已发生,但明显的易于观察的响应特征还是植物叶片和嫩梢的形态特征变化.笔者观察到,温室中多数植物在夏季受害时首先表现在植株的地上部分,即叶片和嫩梢率先表现出生态响应特征,叶片退化的植株则为肉质茎首先受害.这种趋势在本调查研究中十分突出.因此,植物营养器官对环境生态条件响应最早最敏感的部位应该是植物地上部的叶片、嫩梢或肉质茎,观察这些部位的形态异常变化,及时采取相应的补救措施,有利于展览温室植物的迁地保护成功.

### 3.2 展览温室不同展区植物在重庆度夏的生态适应策略有差异

展览温室不同展区植物在高温高湿环境中的生态适应策略可能源于植物本身形态、结构以及与环境互动后引起的生理生态特征的相应改变.

形态结构适应策略:多肉多浆区最突出的生态胁迫因子是水分短缺,植物丢掉蒸腾失水的叶子用绿色的茎代替叶片光合作用,并用肉质肥大的茎储存足够多的水分来保持体内适宜的温度,从而满足新陈代谢的需求,如仙人柱等;热带雨林景观区的高温高湿环境几乎与原生地一样,宽大叶片蒸腾丢失的水分可以通过环境的高湿环境得到平衡,因此植物生长良好;四季花卉园区的控制环境适合于绝大多数植物的生长,因此引入此区的植物生长形态结构正常;亚高山植物叶片小、窄和厚,是为了适应亚高山区的强辐射和低温低湿环境,引入展览温室后,尽管环境控制力度较大,但是仍然达不到需求的低温和低湿的要求,部分植物不适应,叶面皱缩瘪凸、叶缘不规则残缺、叶片上出现灼斑、部分叶柄干枯或落叶等现象,最大限度地减少叶片蒸腾失水,维持低水平的生命代谢,防止植株真正死亡或出现叶片高温伤害或脱落.

生理生态适应策略:植物不仅从形态学上去适应环境的改变,还通过改变体内细胞膜的结构、提高抗氧化防御系统的活性、积累渗透调节物质、刺激植物激素产生等来适应新环境中的生态胁迫,维持植株生长正常或趋于正常<sup>[10]</sup>;对于亚高山植物来说,低温、低湿、强光照才是正常生长所需要的<sup>[11]</sup>,重庆夏季高温高湿的气候条件对植物的正常生长影响较大,损伤了植物细胞膜系统和蛋白质的热稳定性<sup>[12]</sup>,破坏了光合作用来和呼吸作用的平衡,正常的生理代谢出现紊乱,有害物质大量积累,造成植物生长不良或引起伤害<sup>[13]</sup>.

## 4 结 论

重庆南山植物园展览温室保存的 1 000 余种植物中,在各展区土壤因子基本适宜的情况下,因温度能够保证在 20℃ 以上,湿度保持在 70%~80%,光照平均 10 000 Lx 左右,所以与原生地比较,热带雨林景观区和四季花卉园区植物都能适应该区的生态条件,它们表现出良好的长势作为生态响应;多肉多浆展示区植物对极端环境适应性强,引种后生存受影响不大,只是对高湿环境表现出生长过快的响应——出现疯长的态势,但总的来讲,展览温室中人为控制的生态因子基本上能够满足这 3 个展区中引种植物迁地保护的需求.亚高山展示区因湿度、温度高于该区植物的正常需要,有 26.8% 的引入植物受到热伤害.植物叶片、嫩梢或肉质茎形态异常变化易于观察,根据这些生态响应表征及时采取相应的补救措施,将有利于展览温室植物的迁地保护成功.调查研究结果将为在高温多湿地区利用展览温室进行植物的迁地保护、科学研究、科普教育提供科学依据.

### 参考文献:

- [1] 胡 建. 重庆市玻璃温室夏季降温效果研究 [D]. 重庆:西南大学, 2008.
- [2] 重庆晚报. 43℃ 江津昨日最热 后天有望人工增雨 [N/OL]. (2010-08-12) <http://forum.home.news.cn/detail/>

77917980/1. html.

- [3] 胡建,余俊洁. 玻璃温室夏季单项降温措施的试验研究 [J]. 农机化研究, 2010, 32(8): 138—141.
- [4] 王三根. 植物抗性生理与分子生物学 [M]. 北京: 现代教育出版社, 2009.
- [5] 苏金乐,谢洋,杨芳绒. 棕榈科植物温室引种栽培研究 [J]. 中国园林, 2003, 19(12): 71—73.
- [6] 王代容,崔建锋,曾奕东. 中国(中山)南方苗博会室内植物展示工程 [J]. 中国园林, 2009, 25(8): 100—102.
- [7] 魏勇军,秦华,周倩. 论展览温室室内空间的优化利用设计—以重庆市植物园展览温室景观设计为例 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2008, 33(1): 126—130.
- [8] 马跃,王红娟. 重庆市园林植物养护管理月历(1—2月) [J]. 南方农业, 2009, 3(12): 47.
- [9] 史磊,何培祥,郎同永,等. 智能温室环境参数计算机测控系统的研究 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2008, 33(4): 109—112.
- [10] 张杰,洪峰凯. 北京植物园展览温室人工环境设计 [G]//中国制冷协会. 全国暖通空调制冷 2000 年学术年会论文集, 北京, 2000.
- [11] 刘旻霞,马建祖. 甘南亚高山草甸植物对逆境胁迫的生理生态响应 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 26(3): 288—292.
- [12] 姜汉侨,段昌群,杨树华,等. 植物生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [13] 韩建会,郗丽娟,齐铁权,等. 日光温室长季节黄瓜的水分生产效率分析 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, 31(6): 31—34.

## On Chongqing Exhibition Greenhouse Plants: Their Ecological Response to High Temperature and High Humidity in Summer

LIU Dai-jun<sup>1,2</sup>, LIU Juan-juan<sup>1,2</sup>, ZHANG Lei<sup>1,2</sup>,  
YANG Xiao-hong<sup>1,2</sup>, HE Wei<sup>3</sup>, PENG Guang-fu<sup>3</sup>

1. Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Region, Ministry of Education, Chongqing 400716, China;

2. School of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China;

3. Nanshan Botanical Garden, Chongqing 400065, China

**Abstract:** A systematic investigation has been conducted of the main ecological factors and more than 1000 species of the introduced plants in the four sections of the exhibition greenhouses of Chongqing Nanshan Botanical Garden on their ecological response and adaptability. As is illustrated in the outcome of the research, most plants grow normally due to the improved ecological conditions of exhibition greenhouse under the human control. The plants in tropical rain forest exhibition section grew well; Plants in ever-flower plant exhibition section and succulent plant exhibition section are affected very little. However, the temperature of subalpine exhibition section was still too high. About 49 species of plants are affected by the high heat, which accounts for 26.8% of the total species there. Some even die.

**Key words:** summer of Chongqing; exhibition greenhouse; high temperature and high humidity; plants; ecological response