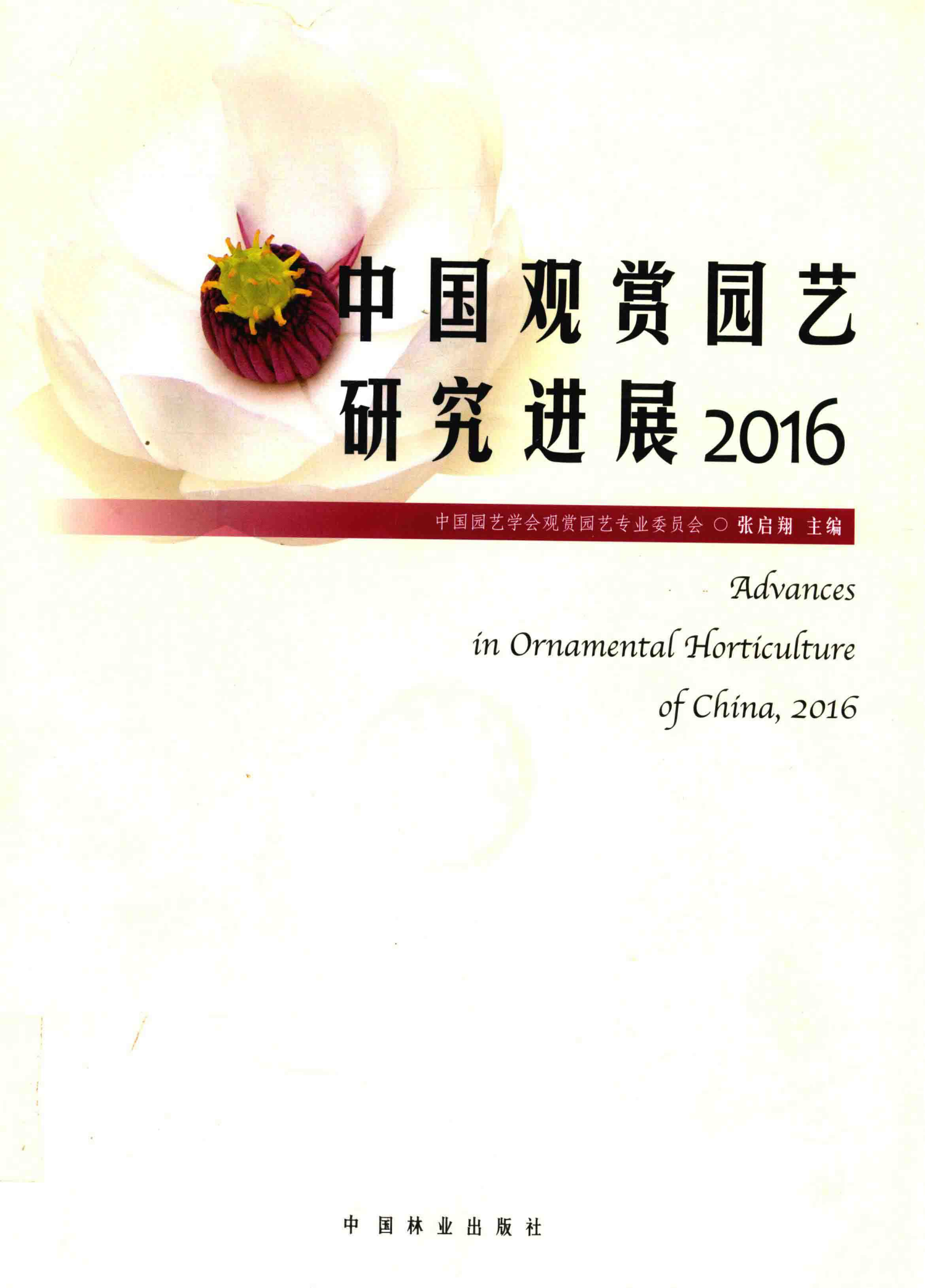




中国观赏园艺 研究进展 2016

中国园艺学会观赏园艺专业委员会 ○ 张启翔 主编

*Advances
in Ornamental Horticulture
of China, 2016*

中国林业出版社

中国观赏园艺研究进展 (2016)

Advances in Ornamental Horticulture of China, 2016

中国园艺学会观赏园艺专业委员会◎张启翔 主编

中国林业出版社

主 编：张启翔

副主编：沈守云 包满珠 葛 红 吕英民

编 委(以汉语拼音排序)：

包满珠	包志毅	车代弟	陈发棣	陈其兵	成仿云	程堂仁
戴思兰	董建文	董 丽	范燕萍	高俊平	高亦珂	葛 红
何松林	胡永红	黄敏玲	贾桂霞	金晓玲	靳晓白	兰思仁
刘红梅	刘青林	刘庆华	刘 燕	龙 熹	吕英民	穆 鼎
潘会堂	沈守云	石 雷	宿友民	孙红梅	孙振元	王彩云
王 佳	王亮生	王四清	王小菁	王 雁	王云山	文亚峰
吴桂昌	夏宜平	肖建忠	杨秋生	义鸣放	尹俊梅	于晓南
张福军	张金政	张启翔	张延龙	张佐双	赵梁军	赵世伟
周耘峰	朱根发					

图书在版编目 (CIP) 数据

中国观赏园艺研究进展. 2016 / 张启翔主编. —北京：中国林业出版社，2016. 6

ISBN 978 - 7 - 5038 - 8596 - 9

I. ①中… II. ①张… III. ①观赏园艺 - 研究进展 - 中国 - 2016 IV. ①S68

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 145734 号

出版 中国林业出版社 (100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

网址 lych. forestry. gov. cn 电话 83143562

发行 中国林业出版社

印刷 北京卡乐富印刷有限公司

版次 2016 年 7 月第 1 版

印次 2016 年 7 月第 1 次

开本 889mm × 1194mm 1/16

印张 52

字数 1718 千字

定价 150.00 元

前 言

我国花卉产业已进入转型升级的关键期，面临着难得的发展机遇。从政策层面看，建设生态文明、建设美丽中国为花卉产业发展拓展了空间；从行业层面看，国家林业局把花卉产业列入林业十大绿色富民产业，农业部惠农政策积极扶持花卉产业发展，为花卉产业持续发展注入了动力；从区域层面看，在我国的主要花卉产区，地方政府把花卉列入当地农业或林业支柱产业，花卉在农民增收、农业增效、农村发展中的地位越来越突出，作用越来越显著；从需求层面看，全国 13.7 亿人口（不含香港、澳门和台湾地区），是一个巨大的花卉消费市场。

面对中国花卉产业面临的战略机遇和存在的诸多问题，如何响应构建生态文明、建设美丽中国的时代要求，需从战略层面做好顶层设计，明确发展定位、方向目标和任务，着力破解发展中面临的难题，科学谋划中国花卉产业创新发展的新思路。

如何创新发展，则是需要我们在产业中增加投入，建立长效机制，建立政产学研用多方互动协同创新的研发体系。从全产业链着手，加强各个环节的创新，引导生产方式由劳动密集型向技术密集型转变，只有推动整个行业的技术进步和产业升级，才能提升产业的整体竞争力。为此，我们需要从以下几个方面入手，实现花卉产业创新：

1. 品种创新。充分利用和发掘中国丰富的花卉基因资源，实施花卉种业创新工程，开展中国重要名花的基因组学等组学水平研究，挖掘重要性状的功能基因，为分子育种和聚合育种奠定基础，提高定向育种效率。

2. 技术创新。实施花卉生产技术创新工程，结合中国的自然地理条件、气候条件等实际情况，研发与品种相配套的种苗工厂化生产、水肥精准管理、环境精准调控、花期调控、容器苗标准化生产、病虫害防治等标准化生产关键技术，提升花卉产业的现代化水平。

3. 人才创新。实施花卉人才创新工程，有计划地培育有国际影响的大师级人才、对国内行业有重要影响的高级研发人才、高级技术企业管理人才和专业化技术骨干，提高行业从业人员整体素质。

4. 组织创新。实施花卉产业协同创新计划，以国家花卉工程技术研究中心、国家花卉产业技术创新战略联盟为依托，坚持共创共赢共享的发展理念，构建以政府为主导，企业为主体，研发为支撑的联合体。

5. 制度创新。建立健全完善的知识产权保护制度和成果转化体系；规范种质资源出口，良种评价认定和准入，规范国外引种程序和建立引种生态风险评价机制；制订向企业倾斜的研发政策，建立研发后补助制度，实施高新技术企业的土地税收优惠政策，鼓励企业开展自主创新；完善市场经营和交易规则建设，营建公开公平公正的发展环境，倡导有序竞争、合法竞争；建立健全企业信用制度等。

6. 服务创新。完善花卉信息网络建设，搭建花卉产业电子商务平台，推出花卉交易指数，为花卉生产和销售提供准确及时的市场供求信息，实现订单式生产。建立专业营销公司，创新销售模式，完善拍卖市场，鼓励网上交易连锁经营，建立花园中心，注重培育以文化为导向的消费市场，鼓励出口创汇。完善研发生产流通销售等各环节需求的配套产业和现代服务业。

2016 年中国观赏园艺学术研讨会将于 7 月 19~21 日在湖南省有着岳麓神韵、湘水灵秀的省会城市长沙市隆重召开，本次大会的主题是“花卉创新与转型升级”。

湖南省自然资源得天独厚，花卉苗木产业历史悠久，誉满国内外的红花檵木就是 20 世纪在浏阳发现并繁育成功的。目前，全省花卉苗木种植面积超过 100 万亩，居全国前列，浏阳河花木产业带是中南地区绿化苗木

最大的集散中心之一，浏阳市、长沙县跳马乡、株洲市石峰区云田乡是第一批“中国花木之乡”。全省主要花卉苗木品种约400种，年直接销售额过50亿元，并极大地带动了旅游休闲等第三产业快速发展。

为配合此次学术会议，组委会编撰并出版《中国观赏园艺研究进展2016》论文集，共收到论文稿件175篇，经评审录用142篇，其中种质资源14篇，引种与育种25篇，生理学研究37篇，繁殖技术27篇，分子生物学12篇，应用研究27篇。

本届年会由中国园艺学会观赏园艺专业委员会和国家花卉工程技术研究中心主办，中南林业科技大学风景园林学院承办，长沙市园林管理局、湖南森鑫环境景观园林工程有限公司、湖南省金凯园林景观建设有限公司、湖南汇智园林景观建设有限公司、湖南景然园林发展有限公司、湖南省城市园林实业有限公司、湖南金驰园林绿化有限公司、长沙跳马园林绿化有限公司、湖南省绿林市政景观工程有限公司协办，国家花卉产业技术创新战略联盟（北京国佳花卉产业技术创新战略联盟）为办会支持单位，期间得到中国园艺学会、中国花卉协会、北京林业大学、中国林业出版社、中国农业出版社、《中国花卉园艺》、《中国园林》、《现代园林》、《园艺学报》、《温室园艺》杂志社和《中国花卉报》报社等单位的大力支持，特此谢忱，同时本次会议得到了国内外同行专家的大力支持以及全国从事花卉教学、科研和生产的专家学者积极响应，在此深表感谢！

由于时间仓促，错误在所难免，敬请读者批评指正！

谨以此书献给为中国园艺学会观赏园艺专业委员会建设以及中国观赏园艺事业发展做出卓越贡献的人们！

中国园艺学会副理事长、观赏园艺专业委员会主任



2016年6月18日·北京

目 录

种质资源

泰山四种苔草属植物的耐寒性研究	叶艳然 付德静 郑成淑 等(1)
10 个樱属种和品种抗寒性研究	马祥宾 徐大鹏 周春玲(9)
山楂属植物新品种 DUS 测试指南研制	马苏力娅 吕英民(14)
女贞属植物新品种 DUS 测试指南研制	李晓鹏 吕英民 董丽(24)
5 种柏科植物叶表面形态观察	刘鹏 吕志宁 刘庆华(33)
蓝花丹染色体制片优化及核型分析	雷霆 赵晨宇 李帆 等(37)
耐冬山茶染色体核型分析	王翔 孙太元 王奎玲 等(42)
不同姜黄种质生物学特性及品质成分比较	李丹丹 田奥磊 陈钦 等(46)
广州木棉种质资源遗传多样性 SSR 分析	王伟 倪建中 贺漫媚 等(52)
滇东风仙花属植物资源调查与分析	赵芮 王奇 汪琼 等(59)
贵州贵安新区野生观花植物资源调查研究	陈荣建 欧静 张仁媛 等(67)
贵州贵安新区野生木本观赏植物资源调查与应用研究	龙海燕 欧静 陈荣建 等(76)
三角梅种质资源形态学多样性和聚类分析研究	杨珺 符瑞侃 张珂 等(82)
百子莲品种资源收集与栽培	陈香波 陆亮 钱又宇 等(86)

引种与育种

野牛草表型变异与地理气候因子相关性研究	陈科 万佳玲 潘远智 等(91)
紫薇匍匐平展性状相关表型遗传分析	石俊 陈之琳 秦波 等(100)
不同花色菊花品种舌状花解剖结构观察	伏静 刘琳子 戴思兰(110)
基于 AHP 法的大菊杂种 F_1 代新品种筛选	高康 宋雪彬 戴思兰 等(118)
毛菊形态性状变异的数学分析	樊光迅 亓帅 王文奎 等(125)
月季杂交幼胚培养技术研究	徐庭亮 廖雪芹 张逸璇 等(133)
二倍体萱草杂种 F_1 代性状分析	朱琳 任毅 袁琳 等(139)
卵叶牡丹杂交育种初步研究	刘欣 钟原 成仿云(144)
松萝凤梨转录组基因内部微卫星序列信息分析	金亮 田丹青 俞信英 等(148)
温度对朱顶红花粉萌发的影响	于波 黄丽丽 孙映波 等(155)
庭院百合新品种引种试验	吴杰 王晓静 王文和 等(159)
我国观赏植物新品种保护现状	褚云霞 陈海荣 邓姗 等(163)
有髯鸢尾杂交育种与后代性状分析	郭彦超 汤佳 高亦珂(170)
蝴蝶兰观赏目标性状在正反交后代中的表现	李佐 肖文芳 陈和明 等(174)
切花向日葵的资源评价和自交系的表型分析	周熠玮 玉云祎 王红 等(178)

牡丹、芍药花粉活力与柱头可授性研究	贺丹 解梦琚 吕博雅等(184)
三倍体芍药品种花粉育性研究	王玉蛟 刘建鑫 于晓南(189)
仙客来花粉生活力的测定及其贮藏性的研究	曲健 刘庆华 王奎玲等(194)
岩生报春花部变异初探	王谕 周大风 潘会堂等(199)
疏花蔷薇与现代月季杂交育种研究	吉乃喆 赵惠恩 李智等(203)
紫薇 EST-SSR 标记的开发和利用	张恩亮 王鹏 李亚等(211)
铁皮石斛与大苞鞘石斛杂种 F_1 代观赏性状遗传分离的初步研究	李杰 马博馨 王再花(217)
大丽花引进品种综合评价 AHP 模型的构建及应用	李坚 赵川乐 管华等(221)
不同倍性萱草杂交及胚培养研究	杨捷 陈益 岳涵等(228)
15 个秋石斛兰品种间杂交及种子萌发特性研究	陈和明 李佐 肖文芳等(234)

生理学研究

黑果枸杞耐肥测试	汪洋 丁龙 王四清(240)
中原牡丹的生物学特性和物候期研究	黄弄璋 成仿云 刘玉英等(245)
四种蝇子草属植物对 Zn、Cu、Pb、Cd 的耐性与积累特性研究	吴彬艳 吴露露 邵冰洁等(252)
土壤因素对蜡梅生长的影响研究	邵金彩 李庆卫(260)
叶面施肥对 6 种海棠复壮效果的研究	孙绍颖 杨秀珍 郭翎等(264)
自然降温过程中金叶大花六道木叶片解剖结构差异	李璐璐 姜新强 刘庆超等(270)
北京地区植被屋面基质厚度对植物生长的影响	卢珊珊 张辉 吴佳悦等(274)
长三角地区大花萱草主要病虫害的发生与防治	赵天荣 徐志豪(279)
赤霉素处理对观果植物水栒子挂果期的影响	陈燕 温韦华 郭翎等(283)
蜡梅花芽分化的初步研究	江英杰 李婷 张弈等(288)
6 个矮型景天的抗寒能力比较	荆瑞 张洁 尹德洁等(292)
6 种玉簪叶绿素荧光特性的比较研究	刘翠菊 郭霄 王奎玲等(300)
氮磷钾配比施肥对圆齿野鸦椿光合特性的影响	钟诚 曹蕾 贺婷等(304)
盐胁迫对杜梨生长及细胞保护酶活性的影响	路斌 贺妍 朱玉菲等(309)
四种不同颜色树兰色素成分分析	肖文芳 李佐 陈和明等(314)
不同肥料对铁皮石斛生长的影响	钱仁卷 郑坚 张庆良等(319)
高温胁迫及外源水杨酸对大丽花抗氧化酶活性的影响	赵川乐 张萍萍 孔周阳等(326)
不同光照处理对 8 种植物生理特性的影响	徐江宇 吴沙沙 漆子钰等(330)
光质对菊花花青素苷合成与呈色的影响	李梦灵 洪艳 戴思兰等(337)
凤丹种子发育进程中脂肪酸含量的动态变化	宋淑香 陈煜 朱林等(344)
利用隶属函数法对铁线莲属苗期耐热性的综合评价	马育珠 李林芳 高露璐等(348)
干旱胁迫下一氧化氮和过氧化氢诱导万寿菊不定根形成中蛋白激酶活性的变化	牛丽涓 李凤娇 廖伟彪(355)
培养条件对蒿柳花粉萌发及花粉管生长的影响	彭向永 刘俊祥 李振坚等(360)
微生物菌肥对百合“叶烧病”的防治效果	杨爽 崔琪 王中轩等(365)
三个勋章菊品种的抗寒性比较	周思聪 高婷婷 郑思唯等(371)
基质对江南地区油用牡丹生长的影响	王宁杭 邱帅 潘兵青等(376)
夏蜡梅叶片结构对不同光强生境的响应	张超 付建新 周莉花等(380)
5 种宿根花卉在水分胁迫下的生理变化与抗旱性关系	刘雪 蒋亚蓉 仇云云等(384)

淹水胁迫下 9 个牡丹品种生长及生理特性响应	蒋海凌 张 慧 陆丹雯 等(392)
有机施肥和化学施肥对三种石斛生长及品质的影响	王再花 李 杰 何 梅 等(398)
植物生长延缓剂对勋章菊生长发育的影响	曾佳诗 郑思唯 高婷婷 等(403)
小花木荷的生长规律研究	胡曼筠 王利宝 金晓玲(408)
铁冬青雌雄株的抗寒性比较研究	柴弋霞 曾 雯 蔡梦颖 等(413)
醉香含笑(<i>Michelia macclurei</i>)开花特征与花粉活力研究	刘晓玲 金晓玲 沈守云(419)
弱光胁迫对紫背冷水花叶绿素荧光特性的影响	杨柳青 谭 笑 胡 欢 等(423)
高温胁迫下两个山月桂(<i>Kalmia latifolia</i>)品种的生理响应	胡海峰 邢 文(427)
烟台翠雀开花特性研究	李 媛 刘庆华 王奎玲 等(434)

繁殖技术

野生百合花器官愈伤组织诱导及生根研究	孙道阳 牛立新 张延龙 等(439)
长寿花花器官离体培养研究	吕侃俐 李 青(445)
野茉莉(<i>Styrax japonicus</i>)组培快繁技术研究	王文君 刘庆华 王奎玲 等(453)
铁线莲‘乌托邦’组织培养及褐化抑制	盛璐 杨迎杰 朱开元 等(457)
铁皮石斛原球茎增殖、分化及壮苗生根研究	姜琳 李 青(463)
金钻蔓绿绒不同取材部位的离体培养研究	申雯靖 李 娜 张黎(468)
白花 II 水仙组织培养研究	赵潇俐 李梦思 杨菲颖 等(472)
空间诱变野鸭椿组培快繁技术研究	陈 熙 马丽娟 张秀英 等(477)
非洲菊组织培养和植株再生	杨丽玲 卢璇 曹秋香 等(481)
应用正交设计优选文心兰原球茎增殖培养基研究	叶秀仙 黄敏玲 林榕燕 等(487)
三种铁线莲种子萌发研究	王 娜 王奎玲 刘庆华 等(492)
四季秋海棠无土栽培基质的筛选	赵 斌 田代科 向言词(496)
玫红木槿扦插繁育技术研究	赵 勳 邢小明 沈燕 等(502)
‘美人’梅不同扦插时间嫩枝扦插叶片内相关生理生化变化	董然然 陈瑞丹(508)
特玉莲 <i>Echeveria runyonii</i> ‘Topsy Turvy’ 花序再生体系的建立	赵 欢 丁一凡 刘 春 等(514)
浓硫酸处理对鞑靼忍冬种子萌发的影响	胡爱双 王文成 刘善资 等(521)
内蒙古 11 种野生宿根花卉种子催芽初步研究	张 艳 袁 涛 蒋亚蓉(525)
不同 LED 光质处理对莲瓣兰组培苗生长的影响	杨凤玺 许庆全 朱根发(532)
西双紫薇无菌播种研究	郑绍宇 汪国敢 陈知文 等(536)
南川百合种子萌发及试管鳞茎的培育初探	丁瑞华 李红梅 赵玉倩 等(542)
芍药与牡丹组间杂种‘Bartzella’的微繁殖技术研究	李刘泽木 成仿云 钟 原 等(548)
姬玉露不定芽诱导及高频离体再生体系的建立	任改婷 张盛圣 张桂芳 等(555)
盐胁迫对木香蓍种子萌发的影响	王玉杰 李保印 员梦梦 等(561)
IBA 和 NAA 对太行菊扦插成活效果的影响	杨永娟 孙 明(566)
洋桔梗叶片高频再生体系建立的研究	黄 泽 董 婕 张晓莹 等(573)
蔷薇属 2014-XY-3 品系扦插繁殖研究	董 婕 黄 泽 张晓莹 等(577)
山月桂组培苗生根实验	周穆杰 邢 文 刘彩贤(581)

分子生物学

梅花花香 <i>PmEGS1</i> 基因的克隆与序列分析	安 阳 张启翔(586)
-------------------------------------	--------------

百合花中 β -葡萄糖和木糖糖苷酶基因的克隆及序列分析	张 昕 余让才 范燕萍(591)
白姜花 miRNA167 的克隆及靶基因的预测	何 磊 范燕萍(598)
<i>CmWRKY15</i> 增加菊花对黑斑病的敏感性	范青青 宋爱萍 辛静静等(603)
姜花脱落酸生物合成关键酶基因 <i>HcNCED</i> 的克隆及表达分析	曾燕燕 岳跃冲 范燕萍(612)
菊花开花抑制因子 <i>CmFLC-like1</i> 基因克隆及表达特性分析	展妍丽 王萃铂 亓钰莹等(619)
TRV 介导的观赏花烟草(<i>Nicotiana sanderae</i>) VIGS 体系的构建	丁海琴 张 茜 曾祥玲等(625)
重瓣百合 ‘Double surprise’ <i>AGAMOUS</i> 基因的克隆与序列分析	王 奇 赵 芮 张 勤等(630)
桂花遗传转化条件初探	邹晶晶 曾祥玲 蔡 璇等(636)
高温胁迫及外源水杨酸对大丽花花瓣 <i>XTHs</i> 基因表达的影响	管 华 张萍萍 李 坚等(644)
姜花中转录抑制因子 <i>HcJAZ1</i> 和 <i>HcJAZ2</i> 的克隆与功能信息学分析	付余霞 李昕悦 范燕萍(649)
朵丽蝶兰花青素合成酶(<i>ANS</i>)基因的克隆与生物信息学分析	钟淮钦 樊荣辉 黄敏玲等(658)

应用研究

基于 Web of Science 的观赏芍药研究态势分析	魏冬霞 杨柳慧 张建军等(663)
郊野公园近自然植物景观与群落生态设计研究	李晓鹏 齐石茗月 范舒欣等(671)
园林植物群落与心理舒适感初探	谢阳娇 董 璐 于晓南(677)
北京城市公园植物群落绿量的影响因子研究	郭 芮 李湛东 秦 仲(684)
基于 AHP 的北京地区雨水花园植物选择研究	蔡 妤 董 丽(689)
花境在北京园博园中的应用	齐石茗月 李晓鹏 范舒欣等(698)
乔草型绿地的占地比例与降温增湿效应的研究	段淑卉 李湛东 秦 仲(706)
城市的中小型绿地斑块几何特征与降温增湿效益的相关性研究	林 婧 李湛东(711)
芳香疗法的起源与发展及其在园林中的应用	陈 雨 刘博琪 王彩云(717)
广州市绿地中的朱槿及其景观应用调研	李小玲 何蔓祺 崔大方等(723)
桂花在广州市城区绿地中的应用分析	何蔓祺 李小玲 徐正春等(728)
花卉混播快速建植研究初探	雍玉冰 符 木 刘晶晶等(733)
木层孔褐根腐病菌侵染的古榕树的复壮救治	刘海桑 池敏杰(739)
科学建设宿根花卉资源圃	原雅玲 寻路路 丁芳兵等(742)
圆明园西洋楼景区植物景观现状与历史对比	王一兰 陈瑞丹(746)
文化景观遗产生态系统服务功能评估方法探讨	章银柯 俞青青 章晶晶等(755)
自然草甸对花卉混播群落建植的启示	符 木 刘晶晶 高亦珂(760)
北京市居住区园林植物景观特色研究	韩 晶 王超琼 张皖清等(765)
风景区地域性植物文化与植物资源初探	张文彦 王晓红(774)
长沙市公园中践踏行为的调查与分析	罗 娟 吴 菲 张雨朦等(779)
长沙洋湖湿地公园植物应用调查分析	肖 蒙 黄琛斐(786)
广州云台花园植物种类和应用调查分析	于慧乐 金晓玲 胡希军(797)
长沙市月湖公园植物配置及群落调查分析	朱 婷 廖飞勇(801)
长沙市综合公园芳香植物的应用调查	潘磊磊 廖飞勇(805)
移动性植物景观的应用与创意设计	胡 丹 朱永莉(809)
26 种园林植物对臭氧响应的研究	刘东煊 赵世伟 施文彬(814)
中国花卉产业 SWOT 分析与对策研究	王 佳 程堂仁 于超等(820)

泰山四种苔草属植物的耐寒性研究*

叶艳然¹ 付德静¹ 郑成淑¹ 朱翠英¹ 张艳敏² 王文莉^{1①}(¹山东农业大学园艺科学与工程学院, 泰安 271018; ²山东农业大学生命科学院, 泰安 271018)

摘要 以白颖苔草、披针叶苔草、青绿苔草和低矮苔草等 4 种泰山野生苔草属植物为材料, 通过自然降温条件下田间观察和测定人工低温胁迫下叶片的相对电导率, 利用 Logistic 方程计算半致死温度 (LT_{50}), 结合低温下根系活力的大小, 并在不同人工低温处理下测定叶片中丙二醛 (MDA)、游离脯氨酸、可溶性蛋白含量和可溶性糖含量以及 SOD 活性, 对几种苔草属植物的耐寒性及低温胁迫下的生理响应进行研究。结果表明, 人工低温处理下, 几种苔草的丙二醛、游离脯氨酸和可溶性蛋白含量整体呈先上升后下降的趋势, 可溶性糖含量整体呈上升趋势, 而 SOD 活性变化因苔草耐寒性不同而呈现差异; 4 种苔草的半致死温度 LT_{50} 范围为 $-11.74 \sim -18.65^{\circ}\text{C}$, 耐寒性强弱依次为: 披针叶苔草 > 青绿苔草 > 低矮苔草 > 白颖苔草, 这与田间自然低温下田间观察几种苔草属植物的耐寒性强弱相一致; 根系活力下降幅度因苔草种类而异, 与半致死温度大小排序有所不同, 依次为披针叶苔草 > 白颖苔草 > 青绿苔草 > 低矮苔草。

关键词 苔草属; 相对电导率; 半致死温度 LT_{50} ; 根系活力; 耐寒性; 生理响应

Research on Cold Tolerance of Four Species of Wild *Carex* Plants from Mount TaiYE Yan-ran¹ FU De-jing¹ ZHENG Cheng-shu¹ ZHU Cui-ying¹ ZHANG Yan-min² WANG Wen-li¹(¹College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018;²College of Life Sciences, Shandong Agricultural University, Taian 271018)

Abstract In order to evaluate the cold tolerance of *Carex rigescens*, *Carex lanceolata*, *Carex leucochlora* and *Carex humilis*, 4 species of wild *Carex* from Mount tai, this experiment was conducted. On the basis of field observation, the relative electric conductivity (REC) and root vigor were determined in the leaves of *Carex* under the condition of artificial low temperature treatment. The logistic equation was constructed based on the relationship between REC and temperature, then the semi-lethal temperature was determined. Malondialdehyde (MDA) contents, free proline, soluble protein contents and SOD activity were analyzed. The results showed that: the leaf and root of *Carex* showed different tolerance to cold, which was no significant correlation between them. The contents of MDA, free proline and soluble protein increased firstly, then decreased. The activity of SOD enzyme showed differences due to various cultivars. The lethal temperature LT_{50} of four species of *Carex* was ranging from -11.74°C to -18.65°C , the order of cold resistance from strong to weakness is: *Carex lanceolata* > *Carex leucochlora* > *Carex humilis* > *Carex rigescens*. According to the decline degree of root vigor, however, the order of cold resistance is: *Carex lanceolata* > *Carex rigescens* > *Carex leucochlora* > *Carex humilis*.

Key words *Carex*; Relative electric conductivity; Semi-lethal temperature; Root vigor; Cold tolerance; Physiological response

苔草属 (*Carex*) 植物为莎草科 (Cyperaceae) 多年生草本植物, 分布范围广, 种类繁多。全世界约有 2000 种, 我国约有 500 种, 其中山东有 27 种, 3 变种, 是我国植物区系组成的主要大属之一 (李法增, 2004)。

其中不少种类以其突出的抗逆性以及秋冬绿期长、春季萌发早、耐粗放管理等特点, 在园林绿化中有着较高的开发利用价值 (马万里 等, 2001; 王俊强 等, 2006)。近年来有关苔草属植物的研究逐渐增多, 主

* 基金项目: 山东省自然科学基金 (ZR2011CM048)。

① 通讯作者。Author for correspondence (E-mail: wangwenli169@163.com)。

要集中在种质资源的调查分布、收集与初步评价、基础生物学与生态学研究、适应性及驯化栽培、园林应用等方面 (Reznicek, 1990; 薛红 等, 2005; Marlena & Pawel, 2011; Ning *et al.*, 2014), 关于该属植物耐寒性的深入研究未见报道。

近年来城市园林绿化对耐寒草本植物的需求不断增加, 植物的耐寒能力成为绿化设计中植物选择的重要参考因素, 耐寒植物的研究与资源开发对园林植物的合理应用和丰富城市园林景观有着重要的理论与实践指导意义。

本研究以源自泰山的白颖苔草 (*Carex rigescens*)、披针叶苔草 (*Carex lanceolata*)、青绿苔草 (*Carex leucochlora*) 和低矮苔草 (*Carex humilis*) 等 4 种野生苔草属植物为试验材料, 通过田间耐寒性观测鉴定和人工低温处理下细胞膜透性测定、根系活力以及相关生理生化指标的测定, 对其耐寒性进行综合评价, 以期为系统研究苔草属植物抗寒性生理指标及机理提供科学基础, 为苔草耐寒优秀种质的选育、园林推广应用以及向低温地区的引种提供试验依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与试验设计

试验于 2014 年 4 月~2015 年 3 月在山东农业大学园艺试验站及中心实验室进行。供试材料为源自泰山的 4 种野生苔草属植物: 白颖苔草 (*Carex rigescens*)、披针叶苔草 (*Carex lanceolata*)、青绿苔草 (*Carex leucochlora*) 和低矮苔草 (*Carex humilis*), 4 月栽植于试验地, 进行常规栽培管理。

试验地处于温带大陆性季风气候区, 四季分明: 冬季寒冷干燥, 夏季炎热多雨。年最低温度在 1 月份, 平均气温为 -2.6°C , 试验观测期间田间的旬平均温度变化见图 1 所示。

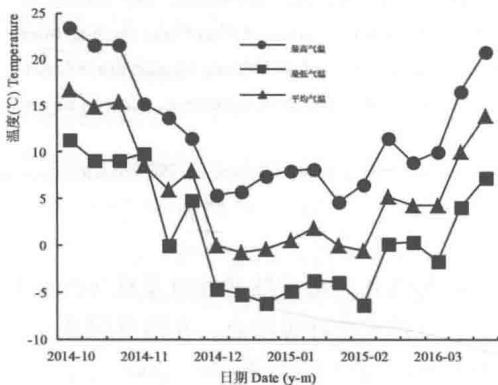


图 1 试验期间田间旬气温变化

Fig. 1 Changes in air temperature during the experiment period

1.2 越冬期田间观测

参照李秋丽 (2010) 及李秀玲 (2012) 的方法, 枯黄叶片的覆盖度达到 50% 即为枯黄期, 返青时绿叶覆盖度达到 50% 即为返青期, 绿期即为返青期至枯黄期的时间; 根据越冬期间 50% 以上出现干枯症状的叶片数与总叶片数的百分比计算枯叶率。

1.3 相对电导率和半致死温度 (LT_{50})

参照许瑛 (2008) 的人工低温处理方法, 设置 6 个低温处理梯度, 分别为 0°C 、 -5°C 、 -10°C 、 -15°C 、 -20°C 、 -25°C 。试验于 2014 年 11 月上旬进行, 随机选取长势一致的成熟叶片, 自来水冲洗干净, 去离子水漂洗 2 次, 用吸水纸吸干表面水分。每个草种取样重复 3 次, 每一个重复用 3 株混合。每个草种按照 6 个处理分装于取样袋中, 在 YT-10C 型低温循环仪中进行低温处理 3h。先将试验材料置于 8°C 预冷 12h, 然后降温 10min 至 0°C , 于 0°C 停留 3h 取出第 1 组样品, 再从 0°C 开始降温 10min 至 -5°C , 在 -5°C 停留 3h 后取出第 2 组样品, 依此类推, 直至降温到 -25°C 。低温处理后, 放入 4°C 冰箱缓慢化冻 12h 待测。

选择功能叶的中间部分, 用剪刀剪成约 3cm 长的叶段待测, 每处理设 3 个重复, 每个重复取 0.5g 放入离心管中, 加入去离子水 20ml。浸提 4h 后用 DDS-12A 型数显电导率仪测定各样品的初电导率 S_1 ; 然后沸水浴 10min 后冷却至室温, 平衡 10min 后测定终电导率 S_2 , 同时测定蒸馏水 S_0 。计算相对电导率 $\text{REC}(\%) = 100 \times (S_1 - S_0) / (S_2 - S_0)$ 。

计算方法: 利用 SPSS 软件将相对电导率根据 Logistic 曲线方程进行拟合, 曲线的拐点温度即为半致死温度。

1.4 根系耐寒力的测定

参照齐曼等 (2011) 的方法, 用 TTC 染色法测定低温胁迫下植株的根系活力。

1.5 低温胁迫下相关生理指标的测定方法

参照高俊凤 (2006) 的试验方法, 硫代巴比妥酸比色法测定丙二醛 (MDA) 含量; 氮蓝四唑 (NBT) 法测定超氧化物歧化酶 (SOD) 活性; 考马斯亮蓝 G-250 法测定可溶性蛋白含量以及酸性茚三酮法比色测定游离脯氨酸含量。

1.6 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 对数据进行处理并作图, 利用 SPSS 17.0 软件进行相关性分析和方差分

析，并运用 Duncan 检验法对显著性差异进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 4 种苔草的田间观察

经田间观察发现，4 种苔草属植物在自然低温条件下(当年冬季最低气温 -15.4℃)均能安全越冬，且第二年春季恢复生长良好。披针叶苔草和青绿苔草的地上部分耐寒性较强，仅部分植株的叶尖干枯焦黄，枯叶率分别为 16% 和 22%；低矮苔草的耐寒性

中等，植株叶片的叶尖部分呈现红褐色干枯状；白颖苔草地上部分耐寒性较弱，植株叶片除基部 1/4 几乎全部呈焦枯状，枯叶率达到 95%，见表 1。

此外，4 种苔草的枯黄期和返青期也有所差异(表 1)：披针叶苔草枯黄期为 1 月上旬，返青期为 3 月上旬，其绿期最长为 310 天；低矮苔草的枯黄期为 12 月中旬，返青期为 3 月上旬，其绿期为 285 天；青绿苔草的枯黄期为 12 月中旬，返青期为 3 月初，其绿期为 280 天；白颖苔草的枯黄期为 12 月初，返青期为 3 月中旬，其绿期为 260 天。

表 1 4 种苔草的绿期和枯叶率

Table 1 The Percentage of withered leaves and green period result of *Carex* spp.

种类 Species	枯黄期 Wither stage	返青期 Green-up stage	绿期(d) Green period	枯叶率(%) Percentage of withered leaves
低矮苔草	2014/12/20	2015/03/05	285	58
青绿苔草	2014/12/12	2015/03/02	280	22
披针叶苔草	2015/01/15	2015/03/10	310	16
白颖苔草	2014/12/02	2015/03/12	260	95

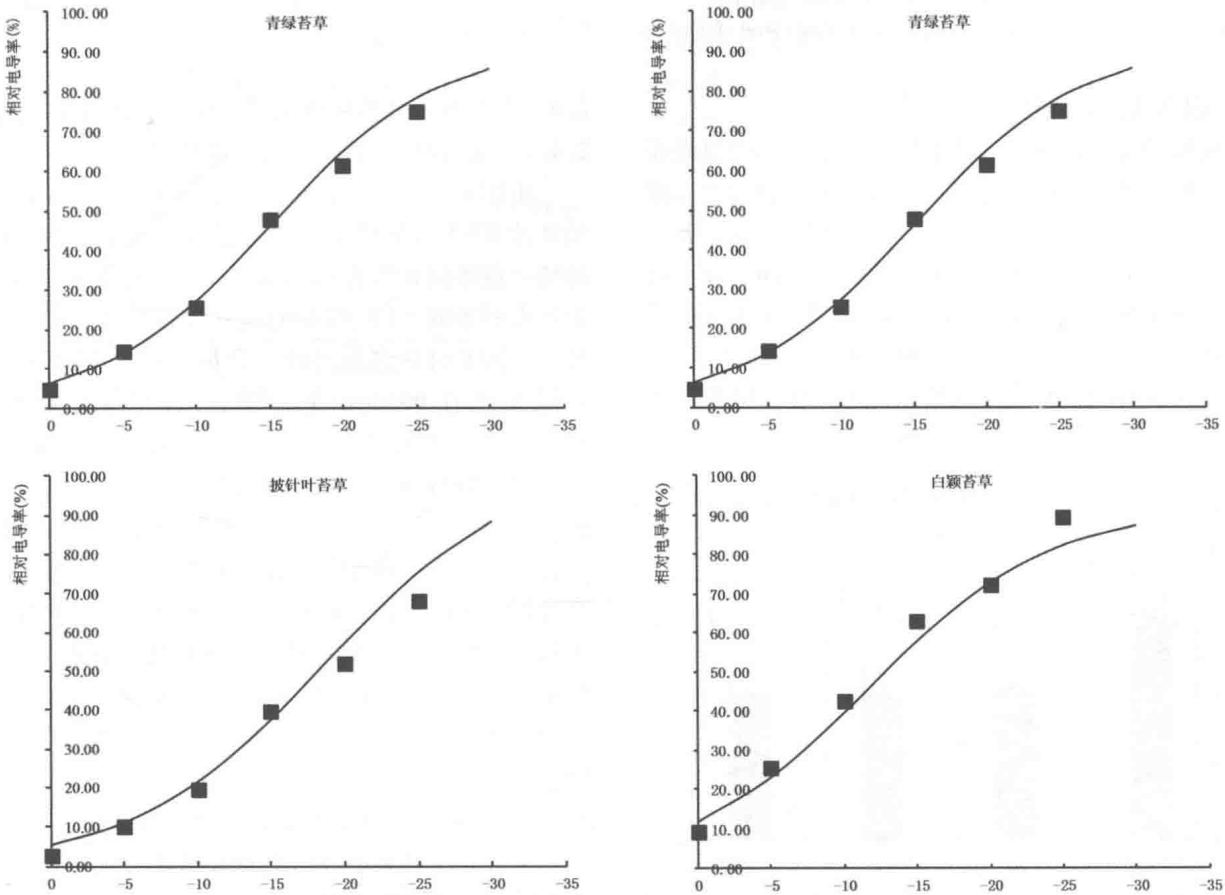


图 2 不同苔草相对电导率随温度变化的 Logistic 曲线

Fig. 2 Logistic curve of relative electric conductivity to low temperature of *Carex* spp.

2.2 叶片相对电导率及其半致死温度 LT₅₀

由图2可见,4种苔草属植物测得的相对电导率均随着处理温度的降低而上升,且呈明显的S型曲线,拟合度不同,“S”型曲线略有不同。根据Logistic曲线拟合的相关系数均达到0.95以上,说明低温胁迫后,4种苔草的相对电导率遵循Logistic曲线的变化规律,且拟合结果准确可靠(图2)。

植物在致死性伤害出现之前往往是一个从可逆性到不可逆性伤害的逐渐发展过程,在低温胁迫下相对

电导率是呈“S”形曲线。通过测定电解质外渗率结合Logistic方程求出植物的半致死温度(LT₅₀),可以较为准确地比较植物地上部分的耐寒性(刘友良等,1985)。以低温半致死温度高低反映植物耐低温能力的强弱,半致死温度越低,耐低温能力越强,反之,半致死温度越高,耐低温的能力就越弱。根据测定的半致死温度LT₅₀来确定几种苔草的耐寒性大小,耐寒性由强到弱的排列顺序依次为:披针叶苔草(-18.65℃)>青绿苔草(-14.99℃)>低矮苔草(-14.93℃)>白颖苔草(-11.74℃)(表2)。

表2 4种苔草在人工低温下相对电导率回归方程和半致死温度 LT₅₀

种类 Species	回归方程 Logistic equation	拟合度 R ²	半致死温度(℃) LT ₅₀
披针叶苔草	$y = 103.569 / (1 + 18.002 e^{0.155x})$	0.988 *	-18.65
青绿苔草	$y = 91.893 / (1 + 13.586 e^{0.174x})$	0.993 **	-14.99
低矮苔草	$y = 95.002 / (1 + 12.094 e^{0.167x})$	0.995 **	-14.93
白颖苔草	$y = 91.752 / (1 + 6.780 e^{0.163x})$	0.992 **	-11.74

注: * 和 ** 分别表示拟合度 R² 达到显著或极显著水平。
Note: * and ** indicate the significance of rata level of 0.05 and 0.01, respectively.

2.3 根系活力与耐寒性

植株经冷冻处理后,根系活力减弱,则四氮唑还原强度较未处理的田间株减小,减小的倍数越大,耐寒性越弱。图3表明,经-10℃的低温处理后,各个苔草的根系活力均减小,但减小的倍数不同。减小倍数从小到大依次为:披针叶苔草(14.5%)<白颖苔草(31.5%)<青绿苔草(34.3%)<低矮苔草(38.5%),即根系耐寒性强弱依次为:披针叶苔草>白颖苔草>青绿苔草>低矮苔草。

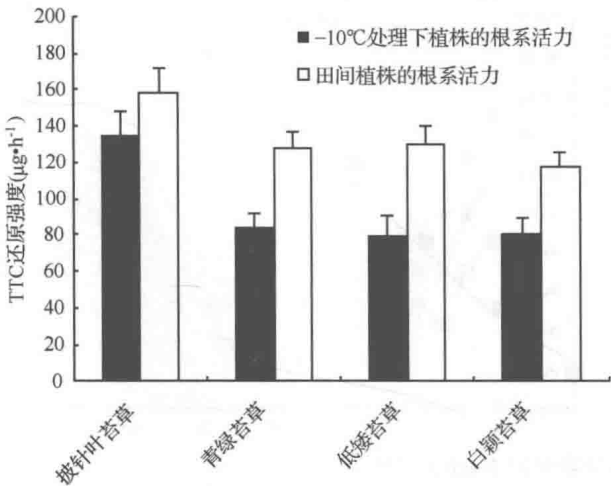


图3 低温处理下TTC法测定根系活力的变化

Fig.3 The change of root activity under low temperature treatment using TTC method

2.4 人工低温处理后地上部分相关生理指标的变化

2.4.1 低温胁迫对丙二醛含量的影响

由图4可以看出,在低温胁迫范围内,4种苔草的叶片MDA含量随温度的降低均呈先上升后下降的趋势,但不同种类苔草其MDA含量达到峰值的胁迫温度有所不同。LT₅₀较低的披针叶苔草和青绿苔草品种在-20℃时达到最高峰,含量分别为24.87nmol·g⁻¹FW和31.66nmol·g⁻¹FW,LT₅₀中等的低矮苔草在-15℃时达到最高,为38.82nmol·g⁻¹FW,LT₅₀较高的白颖苔草在-5℃时达到最高,为44.04nmol·g⁻¹FW(图4)。在0~-15℃低温胁迫范围内,披针叶苔草、青绿苔草和低矮苔草叶片中的丙二醛含量水平接近,而白颖苔草叶片中丙二醛含量要始终显著高于其他3种苔草;在-20~-25℃低温胁迫下,4种苔草叶片中丙二醛含量无显著性差异。由此可知,LT₅₀低的苔草受低温胁迫后膜脂过氧化水平较低,而LT₅₀高的苔草膜脂过氧化水平较高。

2.4.2 低温胁迫对游离脯氨酸含量的影响

由表3可以看出,在不同低温处理条件下,各个苔草的游离脯氨酸含量均高于对照处理下的含量,不同苔草的含量消长动态亦有差异。披针叶苔草的游离脯氨酸含量呈缓慢增加的趋势;而青绿苔草、白颖苔草和低矮苔草的游离脯氨酸含量整体上呈单峰变化,且分别在-20℃、-5℃和-15℃时达到峰值,游离

脯氨酸含量分别为 $19.10\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 、 $22.39\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 和 $17.44\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 。同一低温处理下,不同苔草的游离脯氨酸含量均呈显著性差异。

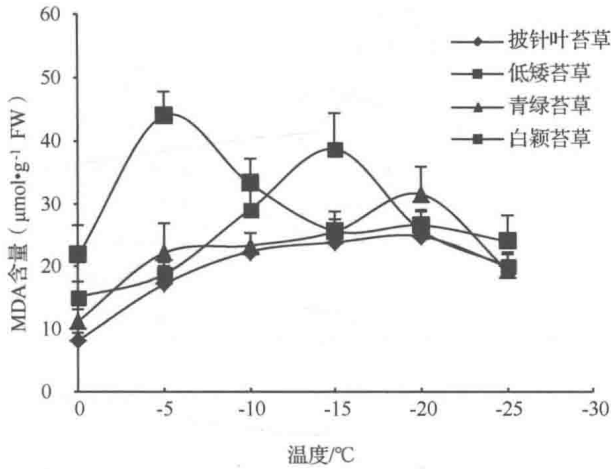


图4 不同低温处理下叶片中丙二醛(MDA)含量的变化

Fig. 4 The change of malondialdehyde (MDA) content under low temperature treatments

2.4.3 低温胁迫对可溶性蛋白含量的影响

随着低温胁迫的不断加剧,4种苔草的可溶性蛋白含量整体上呈双峰变化。披针叶苔草、低矮苔草和白颖苔草在 -20°C 时可溶性蛋白含量均达到最大值,分别为 $10.66\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 、 $12.44\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 和 $18.92\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$,分别是对照的2.08倍、1.79倍和1.06倍;青绿苔草在 -15°C 时达到峰值,为 13.98mg

$\cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$,随后又急剧下降。对4种苔草的可溶性蛋白含量进行多重比较,结果显示:在不同低温下披针叶苔草的可溶性蛋白含量均显著低于其他3种苔草,而白颖苔草的可溶性蛋白含量则显著高于其他苔草的可溶性蛋白含量(表3)。

2.4.4 低温胁迫对可溶性糖含量的影响

苔草叶片中的可溶性糖含量整体上均呈缓慢上升的趋势,但是4种苔草在不同低温下的可溶性糖含量不同,且增长幅度也不同。在相同低温下,青绿苔草的可溶性糖含量均显著高于其他3种苔草。在 -10°C 时,披针叶苔草和低矮苔草的可溶性糖含量增幅最大,分别为1.34%和0.76%;青绿苔草和白颖苔草分别在 -15°C 和 -5°C 时增幅最大,分别达到1.22%和0.90%(表3)。

2.4.5 低温胁迫叶片SOD活性的变化

在降温过程中,4种苔草的SOD活性整体上呈先上升后下降的趋势,但达到峰值时的温度不同。从图5可以看出,披针叶苔草在 0°C 时SOD活性最高为 $322.52\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$,此后SOD活性迅速下降,当温度低于 -10°C 时,SOD活性呈缓慢下降的趋势。青绿苔草和低矮苔草在 -5°C 时SOD活性最高,分别达到 306.15 和 $296.14\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$,青绿苔草在 -25°C 时叶片中SOD活性呈急剧下降的趋势,而低矮苔草在低于 -20°C 时SOD活性急剧下降。白颖苔草在 -15°C 时SOD活性最高,达到 $267.42\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

表3 不同低温处理下4种苔草叶片游离脯氨酸、可溶性蛋白和可溶性糖含量的变化

Table 3 Changes of proline, soluble protein and soluble sugar in the leaves of *Carex* under low temperature treatments

温度($^{\circ}\text{C}$) Temperature	种类 Species	游离脯氨酸 ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) Proline	可溶性蛋白 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) Soluble protein	可溶性糖 (%) soluble sugar
0 $^{\circ}\text{C}$	披针叶苔草	11.35 ± 0.92 b	4.87 ± 0.18 d	0.81 ± 0.03 c
	青绿苔草	8.44 ± 0.82 c	10.59 ± 0.27 b	1.31 ± 0.06 a
	低矮苔草	11.62 ± 0.74 b	7.07 ± 0.14 c	0.78 ± 0.04 d
	白颖苔草	16.69 ± 1.02 a	17.48 ± 0.57 a	1.00 ± 0.08 b
-5 $^{\circ}\text{C}$	披针叶苔草	17.72 ± 0.39 b	6.71 ± 0.18 d	1.46 ± 0.06 c
	青绿苔草	11.70 ± 0.79 c	9.58 ± 0.67 c	1.99 ± 0.02 a
	低矮苔草	10.20 ± 0.39 d	12.54 ± 0.79 b	1.35 ± 0.05 d
	白颖苔草	22.39 ± 0.60 a	18.32 ± 0.32 a	1.90 ± 0.02 ab
-10 $^{\circ}\text{C}$	披针叶苔草	18.49 ± 0.94 b	7.93 ± 0.90 d	2.80 ± 0.06 a
	青绿苔草	14.73 ± 1.17 c	10.16 ± 0.29 c	2.32 ± 0.07 b
	低矮苔草	14.68 ± 0.70 c	13.24 ± 1.06 b	2.11 ± 0.08 c
	白颖苔草	21.79 ± 0.61 a	16.56 ± 0.98 a	2.08 ± 0.03 c
-15 $^{\circ}\text{C}$	披针叶苔草	18.43 ± 0.70 a	6.16 ± 0.24 c	2.89 ± 0.01 b
	青绿苔草	14.34 ± 0.32 c	13.98 ± 0.32 a	3.54 ± 0.04 a
	低矮苔草	17.44 ± 0.69 b	8.37 ± 0.37 b	2.46 ± 0.02 c
	白颖苔草	19.76 ± 1.12 a	13.42 ± 0.51 a	2.31 ± 0.03 c

(续)

温度(℃) Temperature	种类 Species	游离脯氨酸 (μg · g ⁻¹ FW) Proline	可溶性蛋白 (mg · g ⁻¹ FW) Soluble protein	可溶性糖 (%) Soluble sugar
-20℃	披针叶苔草	18.05 ± 0.24 b	10.66 ± 0.68 c	3.12 ± 0.04 b
	青绿苔草	19.10 ± 0.66 a	11.52 ± 0.76 bc	3.88 ± 0.00 a
	低矮苔草	14.98 ± 0.67 c	12.44 ± 0.70 b	3.01 ± 0.06 bc
	白颖苔草	18.41 ± 0.54 ab	18.92 ± 0.17 a	2.76 ± 0.08 c
-25℃	披针叶苔草	20.88 ± 0.48 a	7.19 ± 0.41 d	3.35 ± 0.02 c
	青绿苔草	17.61 ± 1.00 b	9.87 ± 0.36 c	3.97 ± 0.08 a
	低矮苔草	12.23 ± 0.88 c	6.89 ± 0.54 b	3.39 ± 0.06 b
	白颖苔草	18.20 ± 0.84 b	11.78 ± 0.33 a	3.09 ± 0.04 d

注：表中同列数据后标注不同的小写字母表示不同品种在同一低温处理下在5%水平上差异显著。
Note: The data in the same column with different small letters represent different varieties under the same low temperature processing significant difference at 5% level.

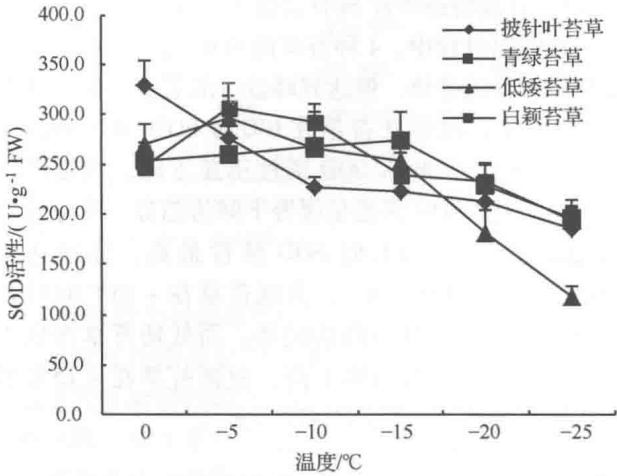


图5 不同低温处理下叶片中SOD活性的变化
Fig. 5 The change of SOD activity under low temperature treatments

3 讨论

本试验研究表明：4种苔草叶片的相对电导率均随着温度的降低呈“S”型曲线变化，且地上部分的半致死温度LT₅₀与几种苔草田间枯叶率呈显著性相关，说明半致死温度LT₅₀可以判断植物地上部分的耐寒性强弱。萧运峰等(1995)研究发现，青绿苔草地下芽在东北地区冬季极端低温-26℃条件下能顺利越冬，而气温在-8℃左右时叶片的顶部便会出现冻干，这与本试验中由相对电导率得出的半致死温度LT₅₀值相对一致。田间观察亦发现，披针叶苔草、青绿苔草、白颖苔草和低矮苔草均能安全越冬，且第二年春季恢复生长良好，绿期较长，达到260~310d，表现出较强的耐寒性。因此对这4种苔草的耐寒性研究，可以筛选出观赏价值高，几乎可以常绿过冬的品种，有利于苔草的园林应用与推广。

经低温处理后，各个苔草的根系活力均减弱，且根系活力减小的倍数越小其耐寒性越强(朱云华等，2007)。由低温下测得的叶片细胞膜透性和根系活力数据综合分析可以看出：部分苔草的地上部分和地下部分的耐寒性存在一定性差异。这反映出在冷胁迫下植物的不同器官对低温的敏感度不同(龚明和刘良友，1988)。一般说来，根系的活力水平和生长状况会直接影响地上部分的生长量和营养状况等(宋广树等，2012)。本研究中，由半致死温度LT₅₀和TTC法测定根系活力的数据综合分析可以看出，披针叶苔草、低矮苔草和青绿苔草的地上部分与地下部分耐寒性相对一致，白颖苔草的地上部分与地下部分的耐寒性有所差异。叶片的相对电导率与根系活力变化的相关性不显著(r=0.193)。因此，评价植物的耐寒性强弱应结合地上部分和地下部分进行综合分析评价。

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的产物，MDA含量的变化不仅反映了植物细胞质膜损伤的程度，在一定程度上也反映了植物耐寒能力的差异(王瑞雪，2014)。在本研究中4种苔草的叶片MDA含量均呈先上升后下降的趋势，这与王玲(2012)、王冠群等(2014)的研究结果较为一致。说明植物在低温胁迫下，叶片受到一定程度的伤害，膜脂发生过氧化，MDA含量升高，并且苔草的耐寒性越强出现峰值时的温度越低。随着温度的继续降低，MDA含量上升达到峰值后又缓慢下降，这可能与脯氨酸含量和SOD活性等有关，脯氨酸和SOD等降低了膜脂的过氧化程度，从而影响了MDA的合成。

植物体内的游离脯氨酸在逆境环境下会异常积累，在正常情况下含量较少，脯氨酸含量的变化与耐寒性的关系较为密切(高灿红等，2006)。脯氨酸是植物体重要的渗透调节物质，同时也具有稳定生物大

分子、专一清除活性氧的作用(蒋明义等, 1997)。本试验研究结果表明, 耐寒性相对较弱的苔草会过早积累大量的脯氨酸, 从而保护植物组织免受低温伤害。苔草的耐寒性越强, 脯氨酸含量高峰出现的越晚。

可溶性蛋白是一种亲水性很强的细胞保护物质, 低温下植物可通过增加可溶性蛋白的含量降低渗透势来增强自身的抗寒能力(相昆等, 2011)。本试验结果表明, 可溶性蛋白含量在低温初期表现出增加的趋势, 从而提高抵御不良环境的能力; 随着低温的加剧, 可溶性蛋白的含量降低, 说明酶系统受到损害, 植物合成蛋白质的能力下降。随着低温胁迫程度的加剧, 从不同苔草叶片可溶性蛋白含量变化趋势中可以看出, 耐寒性较强的苔草在峰值处可溶性蛋白含量较高, 但峰值出现的早晚与苔草的耐寒性强弱无显著相关。

可溶性糖可以提高植物细胞的渗透势, 降低冰点保护原生质体, 因此, 可溶性糖的积累与植物的抗寒

性密切相关(孟庆伟等, 2011)。植物体内的可溶性糖含量的多少不仅与低温有关, 还与植物本身的特性有关。在本试验中, 植株的可溶性糖含量变化趋势与越冬期的形态观察结果表明, 在相同低温处理下, 可溶性糖含量的增幅越大, 植物的耐寒性越强。因此, 可溶性糖的含量变化可以部分反映苔草对低温的抗性, 可以作为耐寒性强弱的参考指标。

超氧化物歧化酶(SOD)在低温胁迫下的研究较为广泛, SOD对保护植物正常生理功能、增强植物抵御逆境等具有重要作用。在逆境条件下, SOD是植物细胞中最重要清除氧自由基的活性酶之一(周艳虹等, 2003)。本试验研究表明, 随着温度的降低, 大部分苔草的SOD活性呈先升高而后又缓慢降低的趋势, 而披针叶苔草叶片中SOD活性则呈下降的趋势。这是因为SOD活性的变化不仅与植物的抗寒性有关, 还与低温胁迫的时间以及温度有关(杨静等, 2007; 李远发等, 2011; 刘伟, 2003)。

参考文献

- 高灿红, 胡晋, 郑昀晔, 等. 2006. 玉米幼苗抗氧化酶活性、脯氨酸含量变化及与其耐寒性的关系[J]. 应用生态学报, 17(6): 1045-1050.
- 高俊凤. 2006. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 龚明, 刘良友. 1988. 稻苗低温下叶片、幼根的细胞学反应[J]. 上海农业学报, 4(1): 47-54.
- 蒋明义, 郭绍川, 张学明. 1997. 氧化胁迫下稻苗体内积累的脯氨酸的抗氧化作用[J]. 植物生理学报, 23(4): 347-352.
- 李法增. 2004. 山东植物精要[M]. 北京: 科学出版社.
- 李秋丽. 2010. 4个狗牙根品种(系)的耐寒性评价[D]. 武汉: 华中农业大学.
- 李秀玲, 刘开强, 杨志民, 等. 2012. 干旱胁迫对4种观赏草枯叶率及生理指标的影响[J]. 草地学报, 20(1): 76-82.
- 李远发, 王凌晖, 唐春红. 2011. 不同种源麻风树幼苗对低温胁迫的生理响应[J]. 西北林学院学报, 26(5): 35-40.
- 刘伟, 艾希珍, 梁文娟, 等. 低温弱光下水杨酸对黄瓜幼苗光合作用及抗氧化酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 921-924.
- 刘友良, 朱根海, 刘祖祺. 1985. 植物抗冻性测定技术的原理和比较[J]. 植物生理学通讯, 1(40): 40-43.
- 马万里, 韩烈保, 罗菊春. 2001. 草坪植物的新资源——苔草属植物[J]. 草业科学, 18(2): 43-45.
- Marlena L, Pawel O. 2011. Effect of mother plant age on germination and size of seeds and seedlings in the perennial sedge *Carex secalina* (Cyperaceae) [J]. Flora, 206(2): 158-163.
- 孟庆伟, 高辉远. 2011. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社.
- Ning Hua, Wang Wen-li, Zheng Cheng-shu, Li Zhao-hui, Zhu Cui-ying, Zhang Qing-liang. 2014. Genetic diversity analysis of sedges (*Carex* spp.) in Shandong, China based on inter-simple sequence repeat [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 56: 158-164.
- 齐曼, 尤努斯, 塔衣尔. 2011. 干旱胁迫下尖果沙枣幼苗的根系活力和光合特性[J]. 应用生态学报, 22(7): 1789-1795.
- Reznicek AA. 1990. Evolution in sedges (*Carex*, Cyperaceae) [J]. Can. J. Bot., 68(7): 1409-1432.
- 宋广树, 孙蕾, 杨春刚, 等. 2012. 吉林省水稻幼苗期低温处理对根系活力的影响[J]. 中国农学通报, 28(3): 33-37.
- 王冠群, 李丹青, 张佳平, 等. 2014. 德国鸢尾6个品种的耐寒性比较[J]. 园艺学报, 41(4): 773-780.
- 王俊强, 吕会刚, 方唯, 等. 2006. 苔草属种质资源的研究与应用[J]. 北京园林, 22(2): 36-38.
- 王玲, 王春雷, 马喜娟, 等. 2012. 锦带花新品种抗寒性[J]. 东北林业大学学报, 40(12): 43-46.

21. 王瑞雪. 2014. 低温对卷荚相思无性系耐寒生理特征的影响及综合评价[D]. 福州: 福建农林大学.
22. 相昆, 张美勇, 徐颖, 等. 2011. 不同核桃品种耐寒特性综合评价[J]. 应用生态学报, 22 (9): 2325 - 2330.
23. 萧运峰, 孙发政, 高洁. 1995. 野生草坪植物——青绿苔草的研究[J]. 四川草原, 2: 29 - 32.
24. 许瑛, 陈发棣. 2008. 菊花 8 个品种的低温半致死温度及其抗寒适应性[J]. 园艺学报, 35 (4): 559 - 564.
25. 薛红, 沙伟, 倪红伟. 2005. 苔草属植物研究概况[J]. 齐齐哈尔大学学报, 21 (4): 81 - 86.
26. 杨静, 王华田, 宋承东. 2007. 持续低温胁迫对红叶石楠抗寒性生理生化特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 29(6): 998 - 992.
27. 周艳虹, 喻景权, 钱琼秋, 等. 2003. 低温弱光对黄瓜幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 14 (6): 921 - 924.
28. 朱云华, 芦建国, 徐友新. 2007. 南京地区冬绿地被植物耐寒性试验[J]. 中国园林, 23 (8): 20 - 23.