

观赏草的研究综述与展望

马苏力娅, 赵晓伟, 刘 玮, 王铭泽 (内蒙古工业大学建筑学院, 内蒙古呼和浩特 010051)

摘要 观赏草资源丰富、种类繁多, 观赏价值和生态价值突出, 园林应用日益广泛。对观赏草文献快速增长长期即 2017 年后的观赏草研究进展进行了综合评述, 包括观赏草的兴起、中国知网文献计量研究、研究历史、现状及未来展望等方面, 以期对观赏草的科学研究和园林应用提供更多理论基础和实践依据。

关键词 观赏草; 文献计量; 园林应用

中图分类号 S688 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2024)20-0005-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2024.20.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Review of Research Progress and Prospects of Ornamental Grasses

MA Suliya, ZHAO Xiao-wei, LIU Wei et al (College of Architecture, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot, Inner Mongolia 010051)

Abstract Ornamental grasses are rich in resources and species, with outstanding ornamental and ecological values, and are increasingly widely used in gardens. This paper provides a comprehensive review of the progress of ornamental grass research during the period of rapid growth of Chinese literature, i.e., after 2017. It includes the rise of ornamental grasses, bibliometrics analysis, research history, current status and future outlook; with a view to providing more theoretical foundation and practical basis for the scientific study of ornamental grasses and their application in gardens.

Key words Ornamental grasses; Bibliometrics analysis; Landscape application

从生态文明到美丽中国, 从“两山”理论到“山水林田湖草沙”生命共同体战略, 从碳达峰到碳中和, 生态文明思想引领下的园林景观设计对园林植物的应用提出了更高的要求, 急需探索新的方向和形式。观赏草因其特有的美学特征、文化内涵与生态特性在园林造景与生态修复中有很好的应用前景。观赏草资源丰富、种类繁多, 观赏价值和生态价值突出, 园林应用日益广泛。该研究综述了观赏草文献快速增长长期即 2017 年后的研究进展, 以期对观赏草的科学研究和园林应用提供更多理论基础和实践依据。

1 观赏草的兴起

观赏草是形态优美、色彩丰富, 以茎秆、叶丛和花序为主要观赏部位的草本观赏植物统称, 泛指用于观赏的禾草(真观赏草)和类似于禾草(类观赏草)的具有狭长带状叶片的观赏植物^[1-2]。早在 20 世纪 50 年代, 德国园艺学家卡尔·福斯特率先提出了拟自然群落的草本植物组合, 正式将禾草归结为园林观赏植物类群, 并把那些不常见但美观的草本植物和观赏草带回到园林中栽培、应用并推广, 如现在常用的观赏草品种“卡尔福斯特”拂子茅(*Calamagrostis × acutiflora* ‘Karl Foerster’)。20 世纪 80 年代, 澳大利亚的园艺学家们也开始尝试将观赏草的概念引入园林建设中。直到 20 世纪 90 年代, 荷兰著名景观设计大师皮特·奥多夫引领了“新多年生运动”(New Perennial Movement), 开始大量应用禾本科植物和观赏草等多年生草本植物, 使其作为结构性元素出现在种植设计中, 因而被誉为“野草之神”。观赏草因其特殊的

结构形态和枯萎状态成为延长观赏季的重要材料。进入 21 世纪, 英国谢菲尔德大学的詹姆斯·希契莫夫教授和奈杰尔·邓内特教授作为代表人物开创了新自然主义草本植物生态景观种植设计, 本土植物和非本土植物结合使用的草花混播(撒播)技术更容易形成低成本、可持续、生态结构合理的景观; 不仅在形式上趋于自然化, 其生态服务功能也逐步体现。立足我国生态国情的城市化方向, 俞孔坚^[3]提出了“白话景观”理念, 倡导城市景观回到大众性、地域性和生态性, 推崇“足下文化”和“野草之美”^[4-6]。杨锐等^[7-8]提出了“城市野境”的概念, “再野化”是修复城市野境的重要途径。除了保护城市环境中现有的野性自然外, 还包括再野化部分城市区域、在城市公园中营造类荒野景观以及在城市空间中系统性融入野性自然。典型的案例就是在适当的情况下允许野草自然生长, 并利用草营造出荒野景观。随着上述自然野态园林风格的日益流行, 这些具有特殊观赏效果的“野草”“杂草”等草本植物经过驯化和选育, 成为观赏草, 开始活跃在城市园林景观中, 甚至出现了“无草不成园”的说法。

2 观赏草的文献计量研究

观赏草作为独具特色的一类观赏植物, 其研究日益受到国内外学者的重视。陈莹等^[9-11]对中国知网(<https://www.cnki.net>)数据库中观赏草相关文献进行了计量分析。从发文数量上看, 2000 年之前的有效文献不足百篇, 2000 年以后文献数量显著增长, 文献总量超过 850 篇。

从文献量的年度变化上看, 2003—2009 年是观赏草研究的探索阶段, 2010 年起虽然文献数量出现波动但整体上仍然是增长的趋势, 2017—2019 年是观赏草研究文献快速增长期, 最高峰是 2019 年, 说明该阶段我国观赏草研究领域处于活跃态势。观赏草在我国发展的前期, 相应地也是第一个文献快速增长时期(2003—2009), 主要是南京、北京和上海的

基金项目 内蒙古自治区直属高校科研业务费项目(JY20220248); 内蒙古工业大学科学研究项目博士基金项目(BS2021037); 内蒙古工业大学科学研究项目自然重点基金项目(ZZ202112)。

作者简介 马苏力娅(1993—), 女, 内蒙古呼和浩特人, 讲师, 博士, 从事风景园林植物应用研究。

收稿日期 2024-01-23; **修回日期** 2024-07-02

一些科研机构,从国外引种进行栽培、适应性筛选,并相继发表了研究成果。中国科学院江苏省植物研究所草业研究中心刘建秀团队开启了当代观赏草研究应用的序幕,围绕观赏草开展了一系列研究,发表了相关的研究论文,并于 2001 年出版了专著《草坪·地被植物·观赏草》,2004 年出版译著《观赏草及其景观配置》^[12]。同时,2000 年左右,北京植物园、上海植物园等单位大量引种筛选观赏草。北京市农林科学院也是国内最早的研究单位之一,于 2002 年成立了草业与环境研究发展中心,主持建立了国内第一个观赏草种质资源圃,收集、保存观赏草种质资源 300 余种(种及品种),涵盖我国北方 80% 具有开发潜力的草种,是国内外重要的观赏草种质资源研究中心。依托丰富的种质资源,武菊英团队筛选出大量适应北方地区的观赏草种类,投入了产业化生产;经过多年选育,育成观赏草新品种 20 余个,如:业内熟知的、观赏价值较高的“花叶”芒(*Miscanthus sinensis* ‘Variegatus’)、“蓝姬”柳枝稷(*Panicum virgatum* ‘Lanji’)和“映霜红”帚状须芒草(*Schizachyrium scoparium* ‘Yingshuanghong’)等。2017—2019 年,文献量快速增长,观赏草行业迅猛发展。2018 年由中国园艺学会球宿根花卉分会、中国草学会草坪专业委员会主办,河南省社旗县观赏草花木发展有限公司承办的“第一届中国观赏草论坛”在河南社旗成功举办;2019 年“多姿多彩观赏草”为主题的“第二届中国观赏草学术研讨会”在上海上房园艺有限公司成功召开。通过论坛,业界专家和研究人员分享了我国观赏草最新的研究进展和产业现状,探讨了观赏草推广的经验、存在的问题和未来发展的方向,对加强行业间的交流合作,提升我国观赏草产业的核心竞争力,推进我国观赏草产业的蓬勃发展具有重要意义^[13]。

从研究机构和核心作者方面看,观赏草相关研究主要集中在科研院所和高校;发表文献量 10 篇以上的核心作者群由武菊英、滕文军和袁小环等组成,他们均来自北京市农林科学院草业与环境研究发展中心,同时该单位也是发表文献数量较多的机构之一;此外,福建农林大学、北京林业大学、南京农业大学等发文量较多的机构研究侧重有所差异。企业方面,四川绿达时代园林景观工程公司^[14-15]、大千生态环境集团股份有限公司^[16-17]和深圳市铁汉生态环境股份有限公司^[18-19]等有关于观赏草的持续报道和实践。

从来源期刊方面看,文献计量研究缺少对于来源期刊的具体分析和讨论。前人在统计中发现,相关文献所载期刊的学术影响力一般,不能及时、有效反映学科、行业发展,反映出我国在观赏草领域还有很大的研究潜力和发展空间,其影响力有待进一步提高^[9]。科技期刊作为传播交流林草科技创新成果的重要载体,引领着林草科技发展前沿和方向。2022 年国家林业和草原局委托中国林学会对 84 种林草科技期刊开展评估,其中《林业科学》《草业学报》和《草地学报》等 10 种期刊被列为林草科技领军期刊;还有 21 种期刊被列为林草科技重点期刊。这也是观赏草领域研究发表的目标与方向。

从文献关键词的共现结果来看,可将观赏草的发展脉络

梳理为:野生种质资源调查收集—引种选育—栽培繁殖—生物学特性—观赏价值评价—园林应用—生态安全—生态功能等,研究热点也相应集中在这些方面。

研究人员围绕上述领域对观赏草的研究进展进行了系统全面的综述^[12,14,16-17,20-22],总结分析了国内外观赏草在种质资源、繁殖方式、抗逆性、观赏性评价及园林应用方面的情况。然而,一方面这些研究引用了大量早期文献,虽然对研究历史的梳理较为清晰,但对近几年的研究前沿分析较少,尤其体现在抗逆性研究、园林应用以及生物安全等方面;另一方面,基于软件的文献计量研究也停留在关键词表面,没有深入研究内容,学术贡献没有被真正提取展现,对后续研究启示有限。综上,该研究重点综述第 2 个文献发表高峰期即 2017 年以后的观赏草相关研究进展。

3 观赏草研究历史与现状

3.1 观赏草的种质资源研究 种质资源作为承载生物遗传信息的载体,不仅是重要的生物资源,也是农林业科学原始创新、种业振兴和产业发展的重要源泉。国内目前对观赏草的资源研究主要集中在资源调查、引种适应性评价、观赏性评价和野生资源开发等方面,研究结果表明观赏草种质资源丰富,但园林应用种类较少,多数为外来资源。而基因型鉴定、分子标记开发、遗传多样性分析和核心种质筛选等方面的研究鲜有中文文献报道。

随着“观赏草热”的兴起,国内大量城市园林中引种了观赏草,如北京^[23-24]、成都^[25]、临沂^[26]、昆明^[27]、兰州^[19,28]、上海^[29-30]等地,研究人员对其应用现状进行了调查分析以及引种适应性和观赏性等综合评价。评价方法多选用层次分析法(AHP),通过将决策有关的元素分解成目标层、准则层、方案层等层次,并在此基础上进行定性和定量分析决策。该方法较为成熟,在园林植物中应用广泛。观赏草中常用的评价指标包括有成活率、生长势、分蘖能力、株型、叶色、叶质、绿期、花色、花序、花期、越冬性、耐旱性、抗病虫害、抗倒伏和抗病性等。

同时,国内研究人员越来越重视对当地野生观赏草种质资源的开发,如广东^[31-32]、兰州^[33]、香港^[34]、福建^[35-36]等地区,研究人员对野生观赏草种质资源进行了较为详细的调查和评价。评价方法多选用灰色关联度分析法,通过找出与理想种关联度最大的对象,可以筛选出景观效果理想、具有应用潜力的种类,研究方法较为成熟。

3.2 观赏草的繁殖和栽培研究 观赏草的繁殖方式主要包括有性繁殖和无性繁殖 2 种形式。有性繁殖即种子繁殖,适用于实生种子苗后代不产生性状分离的种类,如羊茅(*Festuca ovina*)、小盼草(*Chasmanthium latifolium*)和青绿苔草(*Carex breviculmis*)等。种子繁殖受多种环境因子的影响,研究人员常关注储藏时间、温度、水分、基质、覆土深度、营养元素以及逆境胁迫等对种子萌发的影响。鲁燕琴等^[37]研究了储藏时间、温度和激素对狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)种子萌发的影响,结果表明:储藏时间延长会加速种子的老化,降低萌发率;狼尾草种子萌发的最适温度为 30~40℃;赤

霉素(GA)和萘乙酸(NAA)处理均在一定程度上加速种子萌发。李晓芹等^[38]研究了温度对7种观赏草种子萌发的影响,发现在20~35℃范围内,大部分观赏草最适发芽温度集中在25℃;而“重金属”柳枝稷(*Panicum virgatum* ‘Heavy Metal’)的最适发芽温度较高,在30℃条件下获得最佳发芽率。

分株是观赏草扩繁最常用的无性繁殖方式,适用性广,如狼尾草、柳枝稷和须芒草等。通常暖季型观赏草在3—4月进行分株,冷季型观赏草在10—11月进行分株。张燕莎^[39]对“矮”蒲苇(*Cortaderia selloana* ‘Pumila’)和“花叶”蒲苇(*Cortaderia selloana* ‘Silver Comet’)的分株繁殖研究发现:2种观赏草均适合在春季进行分株,成活率较高。一些茎秆发达、有明显腋芽的观赏草,如“细叶”芒(*Miscanthus sinensis* ‘Gracilliums’)、芦竹(*Arundo donax*)和“紫光”狼尾草(*Pennisetum alopecuroides* ‘Ziguang’)等^[16],还可采用扦插的方式进行繁殖,繁殖系数较高。胡耀芳等^[40]研究了扦插部位、扦插时间和激素浓度对“紫光”狼尾草茎秆扦插幼苗生长状况的影响,结果表明:越下部的茎段扦插产生的幼苗生长状况越好,8月下旬扦插的幼苗生长状况最佳,且0.3%吲哚丁酸(IBA)处理的扦插幼苗效果最佳,为狼尾草的茎秆扦插在实际生产中的应用提供了理论依据。

无性繁殖中,组织培养具有繁殖周期短、繁殖系数高和全年生产等优点,适用于不能通过传统方法扩繁大量种苗的种类,特别是数量较少的新品种的繁殖,有利于新品种大量生产和快速推广^[16]。然而受操作复杂、成本较高等影响,研究报道仅限于少数观赏草品种。冯淑敏^[41]以成熟种子和无菌小苗下胚轴为外植体成功诱导出获(*Miscanthus sacchariflorus*)的愈伤组织,而对于双药芒(*Miscanthus nudipes*)其未显色的幼穗为再生体系建立的最适外植体,二者尚未获得再生植株。张燕莎^[39]初步建立了“矮”蒲苇和“花叶”蒲苇的组织快繁体系,分别以成熟种子和幼嫩茎段为外植体进行研究试验,筛选出了灭菌消毒、愈伤诱导、生根培养和炼苗移栽等各阶段的最佳培养方案,最终移栽成活率均在95%以上。覃玉凤^[42]、魏秋兰等^[43]成功建立了柠檬草(*Cymbopogon citratus*)的组培快繁体系,以地下根状茎段为外植体,筛选出了适于初始芽诱导、芽增殖、生根培养的最佳培养基组合,经炼苗后移栽至椰糠基质中,成活率可达97%以上。田明君等^[44]以须芒草的幼穗为外植体,通过添加不同浓度的植物激素,筛选出了适宜的诱导、分化和生根培养基。相关研究为后续观赏草的再生体系建立和工厂化育苗提供了技术参考,同时为其遗传转化及育种奠定了基础。

观赏草的栽培种植方式可分为盆栽、地栽和水生等^[45],其中地栽为最普遍的形式。养护管理方面,观赏草抗逆性强,耐粗放管理,是建设低维护、低成本、节约型园林的理想植物材料。相关研究多为一线人员,在多年栽植养护的基础上,总结提炼而成。孙悦勇^[46]从种植、病虫害防治、管护技术、防止蔓延以及避火栽培措施5个方面对暖季型观赏草的科学栽植进行了阐述,重点说明了光照和遮阴、修剪和整形、分株和移栽等养护管理措施。田娅玲等^[47]从种植前的

整地、品种选择、种植深度和间距以及种植后的浇水、施肥、除草、修剪、分株和病虫害防治等方面,对观赏草的栽培养护过程和技术要点进行了全面阐述。郭壹锋等^[48]通过田间小区对比试验,研究了施肥和遮阳强度2种栽培措施对5种观赏草生长发育的影响,探讨其在承德地区的适宜生长条件,结果表明:5种观赏草均喜光,遮阳条件不利于其生长,影响程度随遮阳强度而增强;适当施复合肥有利于其生长,平均分蘖数和花序数有明显增加。

3.3 观赏草的抗逆性研究 观赏草具有优良的环境适应能力,抗逆性较强,相关研究多集中在抗旱性、抗涝性、耐盐性和重金属胁迫等方面,为挖掘优良抗逆种质资源、加强土壤生物治理、丰富城市园林植物提供了大量实践指导。研究人员通过观测株高、株高增长率、枯叶率等形态指标,可溶性糖、可溶性蛋白和游离脯氨酸等渗透调节物质的含量,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)和谷胱甘肽还原酶(GR)等的活性以及质膜透性、丙二醛含量(MDA)、叶片含水量和叶绿素含量等各项生理生化指标,综合评价观赏草的抗逆能力。

观赏草应对各类胁迫时的相关生理研究已经取得一定的进展(表1)。在抗旱性方面,多个研究发现狼尾草的抗旱能力较差,而芒类观赏草的抗旱性较强;与之对应的,芒类观赏草的耐涝能力要高于狼尾草。相关研究筛选出了优良的观赏草植物材料,为其水分管理和园林应用提供了数据支撑,为海绵城市、节水型园林和韧性景观建设提供了科学参考。在耐盐性方面,研究人员一般采用不同浓度的外源NaCl模拟盐胁迫环境处理观赏草材料,测定相关生理生化指标评价其耐盐性。在重金属胁迫方面,铜、锌、镉和铅已成为主要的重金属污染元素,研究人员关注观赏草在生态修复尤其是土壤重金属污染治理方面的重要作用。关于观赏草耐寒性、耐热性和耐阴性的研究报道多集中于2005—2016年,前人已做了较为详尽的梳理和综述^[14],近年来相关报道较少。

在研究方法方面,随梦飞等^[69-70]首次将投影寻踪模型应用于观赏草种质的抗旱性、抗寒性和耐盐性评价中,结果表明蓝滨麦(*Leymus condensatus*)、紫叶狼尾草(*Pennisetum setaceum* ‘Rubrum’)和紫穗狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)抗旱性表现较好,“斑叶”芒(*Miscanthus sinensis* ‘Zebrinus’)和“虎尾”芒(*Miscanthus sinensis* ‘Strictus’)表现较差;蓝滨麦、“白穗”狼尾草(*Pennisetum orientale* ‘White’)和“小兔子”狼尾草(*Pennisetum alopecuroides* ‘Little Bunny’)抗寒性表现较好,而“虎尾”芒的抗寒性整体表现一般;柳枝稷、“白穗”狼尾草与蓝滨麦耐盐性表现较好,可优先作为盐渍土壤植物材料。

近年来,在不同胁迫类型生理响应研究的基础上,研究人员整合转录和代谢组学,深入开展抗逆性的机理研究。马盈盈^[71]对青绿苔草抗旱性的代谢机制研究发现,干旱胁迫增加了大多数差异初级代谢产物和次级代谢产物的含量;代谢通路的分析表明,干旱胁迫显著影响了氨酰-tRNA生物合成、三羧酸循环、淀粉和蔗糖代谢。狄小琳^[72]对芒颖大麦草

(*Hordeum jubatum*)在相同水势条件下盐、碱、干旱胁迫的生理代谢响应进行了系统研究,根系中共检测到了 36 种差异代谢物,将差异代谢产物富集到 KEGG 数据库中,结果显示盐碱胁迫中柠檬酸循环最显著,而干旱胁迫中有关氨基酸合成的代谢途径最显著;且根系可通过积累脂质抵御干旱胁迫。

观赏草会通过自身调节来响应逆境胁迫,然而对于逆境胁迫下的代谢组学研究还很有限;对于多种胁迫组成的联合胁迫响应和适应的生理及分子机制知之更少,这将是未来研究的热点。

表 1 近年观赏草抗逆性研究文献
Table 1 Recent literature on resistance studies of ornamental grasses

类别 Category	胁迫方法 Coercive method	主要结论 Main conclusion	参考文献 Reference
耐旱性 Drought tolerance	自然失水胁迫	苗期抗旱能力:马尾细茎针茅>蓝羊茅>狼尾草	[49]
	盆栽控水	抗旱能力:细叶芒>披针叶苔草>拂子茅>狼尾草	[50]
	PEG 模拟干旱	种子萌发期耐旱能力:蓝羊茅最强	[51]
	盆栽控水	抗旱能力:芒>拂子茅>狼尾草	[52]
	盆栽控水	抗旱能力:矮丛藁草>兔尾草>金叶石菖蒲>奶油玉带草>蓝羊茅	[53]
	盆栽控水	抗旱能力:丽色画眉草>花叶芒>卡尔拂子茅	[54]
耐涝性 Flood resistance	盆栽浸水和模拟雨水水培试验	耐水淹胁迫及雨水净化综合能力:花叶芦竹>矮蒲苇>斑叶芒>小盼草>沙生蔗茅>阿齐臺草>拂子茅>扁秆臺草>异鳞臺草>矮丛藁草	[55]
	大盆套小盆设置水淹处理	耐涝能力:金红羽狼尾草>紫叶狼尾草>细叶画眉草>花叶芒	[56]
耐热性 Heat resistance	光照培养箱中不同温度处理	40 ℃ 高温下耐热能力:金红羽狼尾草>紫叶狼尾草>细叶画眉草>花叶芒	[56]
耐阴性 Shade tolerance	人工搭棚模拟遮阴	耐阴性:披针叶苔草>崂峪苔草>拂子茅>蓝羊茅	[57]
	人工搭棚模拟遮阴	粉黛毛芒乱子草和映霜红帚状须芒草在全光照中长势较好,而五彩狼尾草、蓝姬柳枝稷和溪水苔草可以在 50% 的荫蔽环境下正常生长	[58]
耐盐性 Salt tolerance	外施不同浓度 NaCl 溶液	种子萌发和幼苗生长耐盐性综合评价:细叶芒>蓝羊茅>紫穗狼尾草>蒲苇>墨西哥羽毛草	[59]
	外施不同浓度 NaCl 溶液	种子萌发期的耐盐性:芨芨草>丽色画眉草>小兔子狼尾草>花叶芒>野古草>拂子茅	[60]
	NaCl 模拟盐胁迫,SNP 作为外源 NO 供体	浓度为 0.25 mmol/L 的外源 NO 对盐胁迫的缓解作用最显著	[61]
耐重金属胁迫 Resistant to heavy metal stress	盆栽控制法,外施不同浓度 CdCl ₂ · 2.5H ₂ O 溶液	对镉胁迫的耐受程度:狼尾草>花叶芒>大油芒 镉胁迫会抑制观赏草对锌的吸收,促进对铜的吸收	[62]
	培养皿发芽法,添加 CuSO ₄ · 5H ₂ O 和 CdCl ₂ · 2.5H ₂ O 配制的不同浓度水溶液	种子萌发期耐铜镉性:金红羽狼尾草>小兔子狼尾草>紫叶狼尾草>东方狼尾草>紫穗狼尾草 金红羽狼尾草在铜镉复合胁迫下表现较好	[63]
	培养皿发芽法,添加 CuSO ₄ · 5H ₂ O 和 ZnSO ₄ · 7H ₂ O 配制的不同浓度水溶液	种子萌发期耐铜锌性:狼尾草属观赏草>芒属观赏草 种子萌发期耐铜锌性:小兔子狼尾草>紫叶狼尾草>大布尼狼尾草>金红羽狼尾草>细叶芒>花叶芒>晨光芒>斑叶芒	[64]
	培养皿发芽法,添加 CuSO ₄ · 5H ₂ O 和 ZnSO ₄ · 7H ₂ O 配制的不同浓度水溶液	粉黛毛芒乱子草种子萌发期耐受性:锌胁迫>铜锌复合>铜胁迫	[65]
	盆栽控制法,采用 CuSO ₄ · 5H ₂ O 和 ZnSO ₄ · 7H ₂ O 配制不同浓度水溶液施入土壤中	耐铜锌性:细叶画眉草>金红羽狼尾草>香茅>粉黛毛芒乱子草>丽色画眉草>细叶芒>小兔子狼尾草>紫叶狼尾草	[66]
	培养皿发芽法,添加 CdCl ₂ 和 Pb(CH ₃ COO) ₂ 不同浓度水溶液	狼尾草对镉和铅都有一定的耐受性,且对镉的耐受程度高于铅	[67]
	开顶箱模拟法	耐臭氧能力:拂子茅>白穗狼尾草	[68]
耐臭氧 Ozone resistant			

3.4 观赏草的园林应用研究 观赏草种类繁多,株型、叶色与花序变化丰富,富有动态美、质感美和季相美。观赏草作为契合自然、野趣和地域等特征的景观元素,其园林应用形式和造景方法有了更多的变化;不再只是路缘、花境、水景、石景、园林小品的配景,在城市秋冬季节风貌、郊野公园、滨水景观、边坡植被、立体绿化及容器栽植中体现出愈加多样性的应用趋势^[73];在韧性景观、海绵城市和生态廊道等改善人居环境的措施中,也发挥着重要作用。

配置方法方面,向小丽^[74]基于新自然主义种植设计理念设计出 7 套观赏草配置模式并对其进行美景度评价,筛选出适于北京地区应用的观赏草组合;进一步发现,观赏特性

多样性、景观层次感、色彩与季相、物种丰富度和覆盖度为影响美景度的主要因素。刘啸^[75]基于分层种植设计方法,以植物组团的形式,总结了西安地区以“结构层—季相主题层—地被层—动态填充层”为主的观赏草景观营建模式。

应用形式方面,田娅玲^[76]探索了观赏草在大尺度花境中应用的形式,尝试在上海辰山植物园的花境中加入不同比重的观赏草,营建了纯观赏草花境、琴键花环、旱溪花境和自然花甸等多处大尺度花境景观。观赏草在冬奥廊道沿线和冬奥场馆周边也得到了广泛应用,建成了滑雪场道沿线的抗寒、抗旱适生观赏草景观,且由我国自主选育的观赏草新品种形成列植、片植、林—草—覆盖物相结合等多种配置模式,

显著提升了冬奥景观质量。此外,观赏草在动物园营造近自然的展区环境上也有巨大的应用前景^[77]。动物展区种植适宜的观赏草既可以模仿各类动物不同自然栖息地景观,为动物提供躲避空间,也可以为动物展现自然行为提供机会;有效传递了提高圈养野生动物福利和保护教育的理念。在游览时,相对高大的观赏草适当遮挡游客视线,为动物展示提供了前景和框景。

公众景观偏好方面,韩玮等^[78]通过问卷调查等方式,对低成本景观中观赏草的民众意愿进行了调查研究,发现公众普遍认为被选择的观赏草具有景观价值,但对于具体观赏草的偏好程度各不相同,其中,晨光芒、狼尾草和花叶芒最受欢迎,且在夏季表现出了更高的种植意愿。研究结果对有关部门、规划设计单位及销售企业有一定启示和价值。

3.5 观赏草的生态安全性研究 随着研究领域的拓展和研究水平的提高,探讨观赏草与环境之间相互关系等生态学领域的研究将日益受到重视,如生态安全等方面的研究被相继报道。早期通常从观赏草的种子传播入侵、不定根入侵和检疫性病虫害入侵 3 个方面进行生物入侵风险分析研究^[79-81]。之后,陈超等^[82-83]引入了澳大利亚(或新西兰)杂草风险评估体系(WRA)和中欧风险评估体系(WG-WRA)2种常用的风险评估体系,分别对狼尾草属观赏草和细茎针茅(*Stipa tenuissima*)的入侵风险进行了评估,结果表明:狼尾草的入侵风险非常高,对农业生产和生态环境可能引起入侵危害;而细茎针茅入侵风险较小,主要原因是在我国北方地区无法安全露地越冬,但在南方地区其入侵风险略高。此外,我国目前应用的狼尾草属观赏草主要引自国外,在对其引种和推广应用时,必须加强管理和监测,明确其潜在的入侵风险,并做好相应的防控工作。上述研究为观赏草在城市园林景观中的安全应用提供了科学依据。

4 观赏草的研究前景与展望

总体来看,目前我国观赏草资源的开发、研究、生产及应用现状还滞后于园林景观和生态建设的迫切需求,尤其表现在种质创新、生态入侵、商品化生产及设计模式方面。由于观赏草研究涉及林学、草学、植物学、园艺学、生态学、风景园林学等多学科领域,如何实现交叉共融、多元化发展,是今后研究的重点与难点。

4.1 整合多组学的观赏草种质资源创新与研究 第二代高通量测序、第三代单分子测序技术和代谢组、蛋白组等多组学整合分析的变革发展,使得基因编辑、分子标记辅助育种, DNA 水平的种质资源鉴定、分类和评价,以及逆境胁迫分子机制等以前难以进行的分子生物学研究成为可能。高质量参考基因组为种质资源研究提供了重要理论基础,观赏草的特异资源评价、种质创新及抗逆机制等方面成为研究前沿。

4.2 新自然主义视角下观赏草境的应用与推广 新自然主义种植理念下,观赏草以其独特株型、线条质地、叶质叶色、花型花色,加之强健易栽、成活率高、抗逆性强、养护成本低等特点,受到越来越多的喜爱和推崇。不仅满足了人们追求自然和野趣的审美需求,也符合韧性景观、节约型园林的设

计理念,而且在生态智慧城市建设和城市拟自然景观营造中发挥着积极作用。“观赏草境”由“花境”演化而来,是一种以观赏草为主体植物材料的园林植物应用形式,可被视为一种观赏草专类花境。观赏草境这种园林植物应用形式是更本土化、生态化和可持续化的花境,同时契合了多年生低维护生态植物群落设计的要求,可成为新自然主义种植设计的重要尝试与探索。

4.3 “双碳”目标下观赏草碳贮量及碳汇功能的研究与探索

目前,对植物碳贮量与碳汇功能的研究多集中在森林和草原生态系统领域,而涉及城市生态系统中园林植物特别是观赏草的相关研究却鲜见报道。陈莹等^[84]对麦冬(*Ophiopogon japonicus*)、银边沿阶草(*Ophiopogon intermedius* ‘Argenteo-marginatus’)、金娃娃萱草(*Heimerocallis fulva* ‘Stella de Oro’)以及鸢尾(*Iris tectorum*) 4 种观赏草的含碳特征及碳汇功能进行比较分析,结果发现观赏草全株含碳率在 39.20%~42.71%,其中麦冬全株含碳率较高;相同器官的含碳率存在显著差异,同种观赏草不同器官含碳率存在极显著差异,且地上部分高于地下部分;4 种观赏草的碳贮量在 0.26~0.43 t/hm²,小于草原生态系统中的植被,而导致该差异的主要原因是观赏草单位面积的生物量较小。随着“双碳”目标的提出,聚焦园林植物群落减源增汇功能,探讨观赏草乃至园林植物的碳汇、固碳潜力以及低碳植物景观营造模式具有重要的科学与现实意义,值得更多关注和深入研究。

参考文献

- [1] 武菊英.观赏草及其在园林景观中的应用[M].北京:中国林业出版社,2007.
- [2] 刘建秀,周久亚.草坪·地被植物·观赏草[M].南京:东南大学出版社,2001.
- [3] 俞孔坚.田的艺术:白话景观与新乡土[J].城市环境设计,2007(6):10-14.
- [4] 庞伟.野草之美的城市化[J].建筑学报,2006(5):74-75.
- [5] 严晶.基于“野草之美”的城市化乡土景观新系统探析[J].安徽农业科学,2013,41(26):10689-10690,10787.
- [6] 王璐艳.当代城市景观中“闲花野草”景致之美的五个层次[J].建筑与文化,2016(7):139-141.
- [7] 杨锐.曹越“再野化”:山水林田湖草生态保护修复的新思路[J].生态学报,2019,39(23):8763-8770.
- [8] 曹越,万斯·马丁,杨锐.城市野境:城市区域中性自然的保护与营造[J].风景园林,2019,26(8):20-24.
- [9] 陈莹.观赏草研究文献分析[J].草业科学,2011,28(8):1435-1438.
- [10] 程夕,左冰菁,林华贞,等.基于 CiteSpace 的中国观赏草研究知识图谱分析[J].山东林业科技,2019,49(6):38-44.
- [11] 吕祉龙,曾普菁,仇明月,等.基于 CNKI 数据库的观赏草研究文献计量分析[J].辽宁林业科技,2023(2):53-57.
- [12] 唐颖.观赏草研究进展及应用前景[J].中国园艺文摘,2012,28(7):2.
- [13] 柏斌.第二届中国观赏草学术研讨会在上海召开[J].中国花卉园艺,2019(9):70.
- [14] 徐泽荣,刘汉琼,徐薇.观赏草的历史、现状与展望[J].草学,2019(5):8-23.
- [15] 徐泽荣,廖飞,岳沛坤,等.观赏草在绵阳城市景观建设中的应用现状调查分析[J].草学,2019(4):65-71.
- [16] 李晓芹,杨金财,银征,等.观赏草的繁殖方式研究综述[J].农业与技术,2020,40(21):32-34.
- [17] 李晓芹,杨金财,银征,等.观赏草研究进展[J].绿色科技,2020(19):102-103,105.
- [18] 何新杰,任国香,彭昭良,等.华南地区耐旱耐旱观赏草的筛选和评价[J].江西农业学报,2018,30(3):64-69.
- [19] 蒋凯,宋凤鸣,何新杰,等.兰州地区观赏草适应性和应用价值评价[J].天津农业科学,2018,24(6):77-85.
- [20] 高海娟.国内观赏草研究进展初探[J].青海草业,2014,23(2):43-45.

- [21] 陈超,袁小环,杨学军,等.观赏草的研究概况和园林应用[J].中国农学通报,2015,31(19):135-143.
- [22] 刘旭.观赏草的应用及展望[J].现代园艺,2022,45(14):98-99,107.
- [23] 杨安琪.观赏草在北京朝阳区公园景观中的应用研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2022.
- [24] 李信宁.观赏草在北京地区的景观配置模式构建[D].北京:中国林业科学研究院,2018.
- [25] 李达旭,吴婧,鄢家俊,等.19 种多年生观赏草在成都地区的引种适应性研究[J].草学,2019(1):23-32.
- [26] 雷琼.临沂城市绿地观赏草资源应用与观赏价值评价[J].林业科技通讯,2021(1):58-62.
- [27] 刘人君,赵雁.昆明地区观赏草应用现状及建议[J].林业调查规划,2020,45(6):108-112.
- [28] 秦冬梅,马广妍,张馨玉,等.观赏草在兰州地区美丽乡村景观绿化中的推广应用建议[J].甘肃农业,2020(5):33-35.
- [29] 杨云峰,孙中腾,王良桂.观赏草在上海城市绿地中的应用调查研究[J].中国园林,2019,35(9):115-119.
- [30] 徐佩贤,钟军珺,陈嫣嫣,等.30 种观赏草在上海地区的观赏适应性评价[J].安徽农业科学,2020,48(22):120-124.
- [31] 杨钰华,杨桂梅,周友秀,等.鼎湖山自然保护区野生观赏草资源评价及应用[J].南方园艺,2023,34(2):38-49.
- [32] 李祖娣,庄长伟,张锦,等.广东省自然保护区野生观赏草开发应用评价[J].草业科学,2023,40(1):258-270.
- [33] 秦冬梅,雍东鹤,于坚,等.兰州地区野生观赏草资源调查及园林应用初探[J].农业科技与信息,2022,19(1):56-59.
- [34] 李贤仕.香港原生观赏草的研究及应用[J].广东园林,2020,42(5):109-111.
- [35] 张耀升.福建省乡土观赏草调查与三种观赏草生态功能评价研究[D].福州:福建农林大学,2018.
- [36] 张增可,王齐,林丽丽,等.平潭岛野生观赏草资源的评价及开发应用[J].草业科学,2017,34(8):1576-1590.
- [37] 鲁燕琴,肖涛,袁龙义,等.储藏时间、温度和激素老化对狼尾草种子萌发的影响研究[J].江西师范大学学报(自然科学版),2019,43(1):108-111.
- [38] 李晓芹,银征,刘芳伊,等.温度对 7 种观赏草草种萌发特性的影响[J].江西农业学报,2022,34(7):14-18.
- [39] 张燕莎.“矮蒲苇”和“花叶蒲苇”的组培和分株繁殖研究[D].贵阳:贵州大学,2021.
- [40] 胡耀芳,范希峰,滕珂,等.扦插部位、时间和 IBA 浓度对“紫光”狼尾草(*Pennisetum alopecuroides* ‘Ziguang’)茎秆扦插成活的影响[J].草地学报,2018,26(4):928-934.
- [41] 冯淑敏.2 种芒属观赏草再生体系的建立和优化研究[D].天津:天津农学院,2021.
- [42] 覃玉凤.香茅草组织培养技术研究[D].南宁:广西大学,2018.
- [43] 魏秋兰,肖玉菲,张晓宁,等.香茅草离体快繁体系的建立[J].农业研究与应,2022,35(1):30-36.
- [44] 位明君,许悦,肖卓琳,等.须芒草(*Schizachyrium scoparium*)组织培养与再生体系的建立[J/OL].分子植物育种,2022-06-21[2023-07-22].<https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220620.1825.010.html>.
- [45] 杨春华,张建,张璐.观赏草资源学[M].北京:中国林业出版社,2015.
- [46] 孙悦男.暖季型观赏草的栽培养护管理技术探析[J].花卉,2020(2):6-7.
- [47] 田娅玲,周丹燕,尤黎明.观赏草种植栽培养护管理技术[J].安徽农学通报,2021,27(11):77-79,95.
- [48] 郭壹锋,张文杰,赵海茹,等.栽培措施对 5 种观赏草生长发育的影响[J].农业科技通讯,2021(9):185-188.
- [49] 王竞红,陈鹏,陈艾,等.3 种观赏草苗期对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J].草业科学,2019,36(5):1266-1274.
- [50] 蒋倩,张瑞,李翔,等.水分胁迫下 4 种观赏草的生理特性[J].草业科学,2019,36(12):3024-3032.
- [51] 潘淼,魏静宇,魏进华.PEG 模拟干旱对 5 种观赏草种子萌发的影响[J].农业科技通讯,2021(8):97-100.
- [52] 吕晨光.三种乡土观赏草对干旱胁迫响应的研究[D].太谷:山西农业大学,2022.
- [53] 许红娟,王维泽,杨澜,等.干旱及复水对 5 种观赏草生理特性的影响[J].贵州农业科学,2023,51(1):80-90.
- [54] 王彩凤,李秋玲,张先平,干旱胁迫下 3 种观赏草的生理响应研究[J].安徽农学通报,2023,29(7):74-81.
- [55] 夏丝雨.观赏草水淹胁迫应答生理机制及雨水净化能力研究[D].武汉:中国科学院大学(中国科学院武汉植物园),2017.
- [56] 孟晓蕊,高凡,朱婷,等.4 种引进观赏草在高温及水涝胁迫下的适应性[J].江苏农业科学,2018,46(10):138-144.
- [57] 张朝铖,蒋倩,吴志,等.4 种观赏草的耐阴特性研究及评价[J].草业学报,2019,28(7):60-72.
- [58] 朱晔,高康,滕文军,等.遮荫对 5 种观赏草表型的影响及耐阴性评价[J].草地学报,2023,31(7):2096-2106.
- [59] 郭丝.NaCl 胁迫下五种禾本科观赏草的耐盐性研究[D].雅安:四川农业大学,2019.
- [60] 王建刚,王仕勇,赵玉欣.6 种观赏草种子萌发期耐盐性评价[J].山东林业科技,2020,50(3):29-32.
- [61] 牛东伟.外源 NO 对 NaCl 胁迫下 3 种观赏草生理特性的影响[D].保定:河北农业大学,2018.
- [62] 赵利清,彭向永,冀瑞卿.镉胁迫下三种观赏草的生理响应及对铜、锌离子的吸收特性[J].北方园艺,2017(15):72-78.
- [63] 许志敏,何侃,林海,等.铜镉复合胁迫对 5 种观赏草种子萌发特性的影响[J].山东农业科学,2019,51(8):59-64.
- [64] 许志敏,刘燕珍,陈琳,等.铜锌复合胁迫对 8 种观赏草种子萌发特性及幼苗生长的影响[J].河南农业科学,2020,49(3):129-137.
- [65] 许志敏,陈琳,刘燕珍,等.Cu²⁺、Zn²⁺胁迫对粉黛乱子草种子萌发及抗氧化特征影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2020,49(3):326-333.
- [66] 许志敏,周英,杨鹏辉,等.8 种观赏草对铜锌复合胁迫的生理响应及耐受性评价[J].河南农业科学,2022,51(9):114-123.
- [67] 国伟强,杜雪,彭玉兰,等.Cd、Pb 复合胁迫对狼尾草种子萌发及幼苗生长的影响[J].种子,2021,40(11):91-96.
- [68] 杨吉兰,徐胜,马长乐,等.高浓度臭氧胁迫两种园林观赏草的逆境生理特征比较[J].生态学报,2021,41(19):7763-7773.
- [69] 随梦飞,吴建芳,刘恋,等.基于投影寻踪算法的抗寒、抗旱观赏草种质资源的筛选[J].福建农林大学学报(自然科学版),2020,49(5):608-613.
- [70] 随梦飞,刘恋,吴建芳,等.基于投影寻踪算法的 13 种观赏草耐盐性比较[J].甘肃农业大学学报,2020,55(4):152-158,162.
- [71] 马盈盈.7 种观赏草耐旱特性与机制研究[D].新乡:河南科技学院,2022.
- [72] 狄小琳.水势介导的土壤胁迫对芒颖大麦草根系构型与生理代谢的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2022.
- [73] 马海天才,舒晓霞,王占锋,等.观赏草在我国园林绿化工程中的应用现状初探[J].草学,2018(3):1-3.
- [74] 向小丽.观赏草在公园中的应用及其配置模式研究与示范[D].荆州:长江大学,2022.
- [75] 刘啸.基于西安地区生态适应性的观赏草选择及景观应用研究[D].西安:西安建筑科技大学,2023.
- [76] 田娅玲.观赏草在大尺度花境中应用的理论与实践:以上海辰山植物园为例[J].安徽农学通报,2020,26(Z1):65-67,69.
- [77] 崔雅芳,李艳辉,张雨辰,等.观赏草在动物园中的应用[J].现代园艺,2020(2):123-124.
- [78] 韩玮,王勇,李超,等.低成本景观中观赏草的民众意愿调查研究[J].安徽农业科学,2021,49(3):119-121,128.
- [79] 赵天荣,蔡建岗,施永泰,等.13 种观赏草引种的生物安全性初探[J].草业科学,2012,29(4):521-527.
- [80] 秦衍雷.观赏草丽色画眉(*Eragrostis spectabilis*)的生物学特性与生态适应性研究[D].南京:南京农业大学,2013.
- [81] 孟晓蕊.引进观赏草在东南沿海地区的生态适应性研究及评价[D].福州:福建农林大学,2018.
- [82] 陈超,袁小环,滕文军,等.狼尾草属植物生物学特性、生态适应性、观赏性和入侵风险关系的探讨[J].生态学杂志,2017,36(2):374-381.
- [83] 陈超,滕文军,武菊英.细茎茅的园林应用、生物学和生态学特性及风险评估[J].杂草学报,2022,40(1):1-7.
- [84] 陈莹,闫淑君,宋宛蓉,等.4 种城市绿化观赏草的碳贮量及其碳汇功能研究[J].福建林学院学报,2013,33(4):322-325.