

杨建欣,黄秋燕. 园林植物化感作用机理研究进展及展望[J]. 江苏农业科学,2022,50(13):90-97.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.13.015

园林植物化感作用机理研究进展及展望

杨建欣¹, 黄秋燕²

(1. 肇庆学院, 广东肇庆 526061; 2. 广东理工学院建设学院, 广东肇庆 526070)

摘要:园林植物的选择与搭配不仅需要考虑空间层次、观赏效果等视觉层面的问题,也需要妥善处理园林植物种间关系,基于生物学和生态学关系进行全面考量,让其稳定地获取环境资源,形成稳定的植物群落,充分发挥观赏价值和生态效益。化感物质的产生和释放能够影响园林植物及其群落的生长、发育和变化,是园林植物能否长期稳定和可持续发展的关键因素。以园林植物化感物质产生及作用机制为切入点,深入分析和总结国内外关于园林植物化感作用机理的相关研究成果,就化感作用对园林植物生理活动和生长环境 2 个方面的影响进行详细阐释和归纳总结,发现化感作用主要从园林植物可持续发展、杂草和病虫害防治、水体景观营造等方面影响园林植物综合效益的发挥。结合当前园林植物化感作用的研究进展,指出今后的研究建议和展望,应结合风景园林学科的特点和实际需求,拓展研究角度和尺度,以期园林植物的科学选择和应用提供新的思路。

关键词:风景园林;植物应用;化感作用;生态效益;可持续

中图分类号:S184

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2022)13-0090-08

园林植物是风景园林造景的主要元素之一,也是景观系统中具有生命的绿色基础设施。园林植物应用不仅需要考虑空间层次、观赏效果等视觉层面问题,也需要妥善处理园林植物种内、种间及其与环境之间的内在关系,基于植物生物学规律和植物生态关系进行全面考量,让处于同一生长环境中的园林植物能够和谐稳定地获取各种环境资源,以形成较稳定的人工植物群落。化感作用是植物在长期发展进化过程中形成的机制,通过代谢产物改变周围微生态环境而导致同一生境中植物与植物之间相互排斥或促进的一种自然现象^[1]。戈峰认为,植物的化感作用是作物栽培、物种空间联结、植物分布、群落演替进程等化学控制因素^[2]。化感作用在高等植物界、微生物界及园林生态系统均广泛存在,能够对群落的形成、发展和演化产生重要影响。各类植物间均存在化感作用,但不同植物所释放的化感物质种类差异明显,且受各种外界环境条件的影响^[3-4]。化感作用对森林生态系统群落的更新有重要影响,会导致植物品种单一和逆向演

替^[5-6]。以上机理也同样存在于园林植物之中。由于化感作用的存在,园林植物生长的微环境会发生改变,产生促进或抑制效应,影响其生理代谢活动和群落的发展演替。相比森林生态系统和农业生态系统而言,园林植物生态系统的组分相对简单,但对观赏特性要求较高,受到人工干扰较大。因此,为了实现园林植物群落和园林生态系统的稳定发展,有必要从深度和广度上拓展园林植物研究领域,探索其化感作用关系,揭示化感作用的内在机理,以便于更加科学合理地确定园林植物建植及栽培管理对策,使其最大程度地发挥观赏价值和生态效益。目前,关于植物化感作用的研究较多,主要集中在外来入侵物种与当地物种之间的关系^[7-8]、农作物的杂草防治^[9]、天然植被的群落发展演替^[10]等。关于园林植物化感作用的研究较少,且大多数研究都是在实验室中进行的^[11-13],从园林植物应用角度分析植物化感作用机理的成果较欠缺^[14-17],尚未见采用田间野外试验开展园林植物化感作用研究的报道。因此,有必要对相关研究进行梳理、归纳和总结,以期能抛砖引玉,引起学者对园林植物化感作用研究课题的重视,促进园林植物应用朝着更科学合理的发展方向发展。

1 园林植物化感作用的机理

园林植物化感物质产生的机制主要有以下 4 个

收稿日期:2021-08-23

基金项目:广东理工学院“质量工程”项目(编号:SHSJJD202103);广东理工学院园林花卉学在线开放课程应用项目(编号:ZXKCY2019005)。

作者简介:杨建欣(1986—),男,云南宜良人,主要从事风景园林植物应用及生态效益研究。E-mail:la8099@qq.com。

方面^[18-19]:第一,化感物质从植物的根分泌而出,进入植物生长的根际环境土壤中,进而对生长于周边的其他植物产生干扰,周边植物吸收此类化感物质之后对其自身的生长代谢造成抑制甚至损害。第二,植物叶子等部位经过雨水的冲刷,部分化学物质(主要是液态)会淋溶而进入土壤之中,对周边植物的生长造成影响。第三,植物的凋落物经腐蚀、分解而产生化感物质,影响周边植物的生理代谢过程。第四,植物也会通过挥发作用,将体内产生的化感物质释放到周围空气或土壤中,对周边植物的生理代谢活动造成不同程度的影响。植物处于逆境环境下会促进化感物质的产生和释放。大多数化感物质属于植物的次生代谢产物,主要包括醌类、黄酮类、香豆素类以及生物碱和氰醇等。这些物质释放到环境中,对其他植物的生长发育产生影响。王日明等曾对部分园林植物的化感作用机制、关系和化感物质种类进行归纳总结^[14],对园林植物应用深有启发。

2 化感作用对园林植物生理活动的影响

2.1 影响园林植物光合作用

光合作用是园林植物最重要和最基本的功能之一,是园林植物健康成长的关键因素,受到诸多因素影响,如光照强度、温度、CO₂ 浓度、矿质营养和水分供应状况等。冯剑等认为,植物产生的化感物质可以通过影响气孔导度、蒸腾速率、电子传递、净光合速率、叶绿素含量、胞间 CO₂ 浓度等直接或间接对光合作用的生理过程产生影响^[20-22]。冯剑等认为,用不同浓度水平的木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)凋落物浸提液处理榄仁树(*Terminalia catappa*)幼苗一定时间后,其净光合速率、气孔导度、蒸腾速率均显著减小,而叶片胞间 CO₂ 浓度则表现为先减后增的变化趋势^[20]。黄玉梅等采用孔雀草(*Tagetes patula*)水浸提液对 4 种园林植物的幼苗进行处理,发现不同植物表现不同,其中 2 种植物叶绿素含量随孔雀草水浸提液浓度升高而下降,另外 2 种植物的叶绿素含量则表现为“低促高抑”^[11]。郑洁等采用白三叶(*Trifolium repens*)水浸提液对 4 种园林植物进行处理,发现其幼苗体内叶绿素质量分数随着水浸提液质量浓度的增加表现出不同程度的下降,导致其光合效率改变^[23]。此外,相关研究已证实,部分植物产生的化感物质可对受体植物光和系统的电子传递产生影响,导致细胞内活性氧

增多,进而对光系统造成损伤^[24],但此方面内容多以农作物或藻类植物为研究对象^[25-26],暂未见园林植物的研究报道。

2.2 影响园林植物呼吸作用

园林植物的呼吸作用受到植物的内部因子以及温度、O₂、CO₂、水分、昼夜变化和季节变化等环境因子的影响^[27]。化感作用对植物呼吸作用的影响主要体现在 3 个方面:一是干扰线粒体的正常功能;二是影响氧化磷酸化进程;三是抑制 ATP 的形成及其活性^[24,28-29],化感物质对这 3 个方面的影响存在一定的交叉和因果关系。Podestá 等认为,植物种子萌发的抑制归因于线粒体呼吸的中断^[30];Muscolo 等认为,酚类化合物会抑制松树(*Pinus laricio*)种子的萌发,其原因是呼吸作用糖酵解(EMP)途径的 2 类关键酶在酚类化感物质的作用下存在不同程度的减少,参与糖酵解和氧化戊糖磷酸途径的代谢酶活性中断^[31];Abraham 等认为,一些化感化合物与线粒体膜相互作用并直接损害线粒体呼吸^[32]。但相关研究均以农作物或林木为对象,尚未见化感作用对园林植物呼吸作用影响的研究。

2.3 影响园林植物激素的活性

植物激素几乎在园林植物生长发育的所有过程中均有重要的调节作用,如花芽分化、叶片脱落、器官衰老、气孔开闭和抗逆性等。植物激素通过信号转导过程调控园林植物的代谢、生长和形态建成等生理活动。因邻近植物所产生的化感物质的存在或其他环境因素的影响,植物体内的激素平衡、信息传递等可能会遭到干扰和破坏而发生紊乱。目前关于植物激素与化感物质关系的研究较少,相关研究均以林木或农作物为研究对象,如杨梅等认为,邻羟基苯甲酸对杉木(*Cunninghamia lanceolata*)脱落酸(ABA)含量表现为促进效应,而对吲哚-3-乙酸(IAA)、赤霉素(GA₃)含量表现为抑制效应,但暂未见关于园林植物的研究报道^[33]。随着风景园林实践领域的不断拓展,为改善人居环境,许多不适合园林植物生长的地点及受到严重人工干扰的地点也逐渐成为园林植物的种植地,园林植物在逆境中生存与发展已成为常态^[34],从这一角度看,在化感作用机理视角下探讨园林植物激素与抗逆性之间的关系,对构建科学、持续、稳定的园林植物群落具有重要价值。

2.4 影响园林植物对水分和矿质营养的吸收

水和矿质营养都是园林植物生命活动的基础,

植物对水分和矿质营养的吸收既相互关联又相互独立。Booker 等认为,化感物质阿魏酸(FA)、咖啡酸(CA)等酚酸会破坏植物对离子和水分的吸收,并扰乱植物的水分利用,对植物与水的关系产生负面影响,进而导致植物缺水,影响正常的生理活动^[35-39]。Abenavoli 等认为,反式肉桂酸、阿魏酸和对香豆酸等物质会导致质膜 $H^+ - ATPase$ 的活性降低,影响植物根系对硝酸盐等氮素营养物质的吸收^[40-41]。但现有研究主要围绕农作物而开展,尚未见关于园林植物的研究报道。

此外,化感物质还影响园林植物生理代谢的其他方面,如影响根系的生长、影响细胞膜的透性、影响细胞的分裂和生长、影响酶的活性和基因表达等。由于植物产生的化感物质种类多样繁杂,作用机理不尽相同,因而化感效应也存在差异。相比农作物、森林苗木和入侵植物而言,在满足植株健康成长的前提下,需要突出园林植物的观赏价值和环境改善效益,应侧重于其花、叶、枝干等生物学特性和园林观赏性状的充分表达。

2.5 影响园林植物的种子萌发和幼苗生长

种子萌发是园林植物生长和繁殖的重要途径,不仅受到水分、温度、 O_2 、光照等常规环境条件的影响,也受到辐射、重金属、化学药剂等不良条件的干扰,化感物质也是重要的影响因素。虽然在风景园林中大部分园林植物都是以苗木移栽的方式营造植物景观,但化感作用对园林植物的繁殖、育种,尤其是对花卉的培育关系密切,如果种子发芽率降低和发芽速度减慢,或幼苗生长受到难以逆转的不利干扰,则会对园林植物的生产造成较大影响,也必然会影响园林植物栽植后其植物种群的生存竞争、扩大繁衍和观赏期的维持。

许多园林植物已被证实对受体植物的种子萌发和幼苗生长存在抑制作用,但植物之间存在差异,对种子萌发的影响较幼苗生长强烈。如红叶李(*Prunus cerasifera*)、琼花(*Viburnum macrocephalum*)、白玉兰(*Magnolia denudata*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等园林植物根际土壤、不同器官及凋落叶水浸提液对受试园林植物种子萌发相关指标具有明显的抑制作用,如种子的发芽率、发芽势、发芽指数等,而对幼苗生长的影响相对较弱;采用不同浓度的水浸提液处理受体植物,基本上表现为“低促高抑”的规律^[42-45]。综上,种子萌发相比幼苗生长而言更易受到化感物质的影响。利用种子

繁殖及移栽园林植物幼苗时,需关注化感作用的“距离效应”机理,科学地应用这一规律进行园林植物的配置。

园林植物是一个有机的整体,其生理代谢过程之间有着密切的联系,化感物质对上述生理过程所产生的影响并非孤立存在,彼此之间有着紧密的联系,会产生综合的化感效应。

3 化感作用对园林植物生长环境的影响

Forero 等认为,园林植物与其生长的土壤之间存在密切的关系,植物生长发育所需的矿质营养需溶解于土壤中才能被植物吸收和同化^[46];倪广艳等认为,植物根系分泌物是植物与土壤进行物质交换和信息传递的重要载体,也是植物对外界环境的变化进行响应的重要途径。植物根系分泌的以酚类物质为主的化感物质会对植物、土壤及土壤微生物带来显著影响,可影响土壤溶液酸碱度、土壤有机碳、土壤温度等^[47-48]。

倪广艳等还认为,化感物质与土壤微生物的相互关系对土壤中有有机碳的含量有极为重要的影响,若植物根系产生的某一类化感物质能够作为微生物碳源时,可增加微生物的活性,导致土壤有机碳减少;若化感物质作为微生物抑制剂,则土壤有机碳增加^[47-48]。关于化感物质对土壤温度影响的研究结果表明,如果某一外来植物成功入侵某一植物群落后,则可以通过其化感作用等方式与本地物种进行生存空间的竞争,进而影响、抑制其他物种旺盛的生长态势,造成群落物种多样性的降低,影响到群落林冠的郁闭度,进而导致透光率增加,林下土温升高^[7]。化感物质也会导致土壤的物理性状发生变化,从而影响植物的生长发育,但此方面的研究鲜见报道。Oleszek 等认为,土壤的紧密状况、土壤的含水量以及不同的土壤质地,均会对化感物质的扩散及发生作用造成极大影响,说明土壤的基本参数与化感物质之间有着相互拮抗或相互促进的复杂关系^[49-50]。

植物凋落物对园林植物的生长环境也有重要影响,李仲彬等通过对香樟(*Cinnamomum camphora*)凋落物的盆栽试验分析,发现其释放的化感物质会对凤仙花(*Impatiens balsamina*)的生理活动产生影响,导致其环境适应能力下降,生长受到抑制,最终影响其观赏质量^[51];蒋雪等分别测定香樟凋落物对牵牛花(*Pharbitis nil*)、白三叶、匍匐剪

股颖 (*Agrostis stolonifera*)、沿阶草 (*Ophiopogon bodinieri*) 等园林植物的化感作用,发现香樟凋落物进入土壤后对其林下栽植的植物产生化感效应,化感物质会影响植物的生理代谢过程^[52-53]。综上,可以为香樟与林下草本观赏植物进行合理搭配提供参考,对科学选择园林植物具有重要启发。

4 化感作用机理与园林植物应用的关系及启示

化感作用与园林植物的生理活动及生长环境均有紧密联系,对化感物质的深入研究有助于更加科学合理的选择和应用园林植物,但相关研究较零散、成果不多,诸多方面尚处于起步阶段。风景园林学科的研究者需充分学习和借鉴相关学科领域已经取得的成果,结合学科特点,积极探索化感作用与园林植物应用的内在联系。

4.1 化感作用与园林植物可持续发展

植物的生长变化能在时间和空间上建立起风景园林各要素间的联系。若要实现园林植物可持续发展的目标,不仅需要充分遵循“适地适树”的原则,让不同类型的园林植物有最佳的宏观生长环境,也需要充分考虑园林植物间的化感作用,从微观角度上确保各类植物处于良性竞争的环境中。植物化感作用不仅出现在不同植物之间,也常在植物种内发生^[54]。在林业生产中因植物自毒作用造成纯林的生长状况比混交林差,且稳定性较低的现象即是实证。化感物质会影响植物种子的萌发和种群更新,导致群落结构逐渐趋于简单化。因此,在保持森林群落持续稳定发展方面混交林明显比纯林更具有优势^[55-56]。在园林植物的培育及配置应用中,也应在化感效应的视角下,正确处理好植物间相生相克的关系,以营造出稳定的人工植物群落,进而实现园林景观的可持续性^[14]。对于高密度种植的园林植物而言,种内竞争、种间竞争与化感作用是交互存在的,据目前的研究情况,暂时还难以对两者进行明确的区分^[57]。

此外,园林植物的生长、园林植物景观的可持续与化感物质及其在土壤中的环境行为,如滞留、传递、转化等也有密切关系。国内外学者的研究已证实^[58-60],植物释放的化感物质,需要在土壤中进行一定距离的迁移、一定程度的转化、以足够的浓度到达邻近植物,且被其根系吸收后才可显示其化感效应。化感物质在土壤中的迁移运动除了受到其本身性质的影响外,也受到土壤的理化性质、土

壤中植物次生代谢物以及土壤微生物不同程度的影响。因此,应加强园林植物化感物质与土壤关系的研究,探索如何减少化感物质的不利影响。

综上,从化感作用的角度而言,要实现园林植物的可持续发展,应做到 2 个关键点。第一,若非确有景观上的特殊需要,尽量不要在风景园林中营造大面积的园林植物纯林,以免出现植物自毒和竞争,造成群落稳定性差、观赏价值无法长期维持的局面。如确有必要,则须采取精细化的栽培管理措施,特别加强土壤的管理,掌握土壤的理化性质、生物学性质等关键信息,及时采取有效措施(如改良土壤、换土等)为园林植物的生长提供理想的环境条件。第二,尽可能避免将能够产生抑制性化感作用的植物种植在一起,若确因植物景观营造的需要,具有互斥性的植物应间隔一定距离种植,提供给植物足够的生长和扩展空间,以降低干扰和过度竞争;具有相互促进化感效应的植物则宜种植在一起,以形成稳定的群落结构。

4.2 化感作用与园林绿地杂草防治

为了体现景观的多样性和层次性,须采用多种园林植物进行搭配组合。由于各种植物生态位不同,对资源、环境的利用存在差异,必定存在许多空白的生态位,给杂草生存创造了机会。杂草因其生长较快、对养分需求不多、对生存条件要求不高等特点,能够迅速取得生长优势;同时,部分杂草还可以产生化感物质直接或间接抑制园林植物的生长。杂草对园林植物存在多方面的危害^[61-62]:第一,杂草一般管理粗放,可在较短时间内占领园林植物的生长空间,导致立地环境条件恶化,植株无法获取足够的环境资源而表现出植株弱小、抗性较差甚至枯萎死亡等现象。第二,杂草群落扩展速度快,容易遮挡植物下部空间,覆盖园林植物生长的土壤,继而引发病虫害孳生,不利于园林植物的健壮生长,尤其在南方高温多湿的环境下,对园林植物更不利。第三,杂草与园林植物共生现象的出现,容易造成植物长势差、退化快,将会严重影响植物景观的美景度,干扰景观的空间层次性,破坏景观视觉效果和生态效益,也会造成养护管理难度加大、成本上升。

在园林植物养护管理中常用的杂草防治技术有物理耕作除草、化学除草、生物除草。在农林业生产中较常用生物除草方式有选育优良草坪品种、植物致病细菌除草和化感作用除草,其中最重要的是利用植物的化感作用机理除草。在园林植物杂

草防治中,利用植物的化感作用机理抑制杂草的生长是较科学有效的策略,具体方法主要有 3 种^[63-64]:第一,在园林植物种植设计中合理利用伴生植物,通过其化感物质抑制杂草,但不影响园林主体植物的正常生长,如红花酢浆草(*Oxalis corymbosa*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)等植物自身具备一定的观赏价值,作为伴生植物使用是较理想的。第二,利用具有化感作用的植株残体覆盖栽培基质,经过一定时间的微生物分解效应,化感物质会进入土壤而抑制杂草的生长,但此法可能会对园林植物的生长造成一定影响,因此应把握好产生不利影响的程度,及时做出调整。第三,利用轮作植物释放的化感物质防治杂草,这对于一二年生草本花卉的种植设计尤其适用,因为不同植物产生的化感物质有差异且作用方式不尽相同,各有其特定的抑制对象,利用此原理即可对苗圃或一二年生草花种植地及具体的植物品种做出科学选择。目前关于上述方法的研究主要是在农作物生产实践过程中进行的,暂未见有关伴生植物、植物残体及草花轮作种植等园林植物应用方面较详细的实证研究。

此外,除了利用化感作用机理防治杂草外,还须采取其他有效措施加以辅助,以提高杂草防治效能。第一,应该明确采取化感作用机理防治杂草的方式不能在短时间内实现杂草彻底清除的效果,须要配合化学防治和物理防治方法。第二,应该加强新型且对环境无害的除草剂的研发,倡导直接从植物中提取化感物质研制除草剂,弥补生物防治方式见效缓慢的不足。第三,应积极推广生态除草策略,利用园林植物配置的手法创造出杂草难以生长的环境,如可利用速生植物生长较快的特点,迅速形成园林空间,并通过园林植物合理的种植密度,尽快形成植物群体生长优势,尽可能控制杂草的生长^[61]。

4.3 化感作用与园林植物病虫害防治

随着城乡园林绿地质量的不断提高,园林植物种类愈加丰富多样,但随之出现了各种各样的植物病虫害,威胁着植物的生长发育,进而影响其观赏价值和生态效益的发挥。园林绿地病虫害严重孳生的原因有以下几点^[65-66]:第一,因园林植物品种丰富、生长周期差异大、立地条件复杂等,致使生态系统中生物种群的关系被复杂多变的人工环境所扰乱。第二,城乡环境中人类活动频繁多样,人为的干扰导致园林生态系统难以保持平衡稳定,环境污染导致园林植物的抗性降低,为病虫害的发生提

供了有利条件。第三,园林植物应用不合理,没有充分遵循“适地适树”原则,没有做到乔灌木多样化和复层化配置设计,导致生长不健壮,病虫害易发生。第四,栽培管理措施不到位,没有抓住影响病虫害消长的关键生态因子。

为更好推进园林绿地病虫害防治工作,应从源头上做好植物检疫工作,加强种植设计、栽培管理,并根据实际工作需要采取多种防治方法并举的措施,更有必要从生态学的角度进行有益的尝试^[16-17,67]:第一,利用植物招引有益生物“参与”到园林植物的病虫害防治工作中来。如部分植物可以吸引鸟类、蝴蝶等有益生物,通过食物链效应,可以减少害虫的数量并降低其繁殖能力。第二,利用部分植物挥发的化感物质,抑制、限制部分有害生物的活动和繁殖,控制植物性病菌的孳生,从而降低植物受害的可能。第三,充分利用园林植物、环境、害虫、天敌四者之间的相互依存及制约关系进行综合防治,种植相生植物,增加生物间的合作共存和互利互惠,为园林植物及虫害天敌创造适宜的生存环境,同时营造不利于病菌孳生的条件,以实现综合防治^[66]。上述内容有些或已超出植物化感作用的范畴,但其机理与化感作用是紧密联系的。

4.4 化感作用与园林水体景观营造

水是风景园林中重要的构景元素,水可以有效调节地表温度和空气温度,提高园林空间的舒适度。然而,随着工业化和城市化的不断推进,水体污染及富营养化已演变为全球性的环境问题。如何实现水体污染的有效治理、富营养化的有效控制和水体景观的生态修复,已成为改善城乡人居环境的焦点问题。贾一非等认为,狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、金边石菖蒲(*Acorus gramineus*)等水生植物不仅具有较高的观赏价值,且具有良好的水体净化功能,具有经济和生态的双重功效^[68-70]。

水生植物的化感作用包括水生植物同种或异种之间的化感作用、水生植物对藻类的化感作用以及水生植物对水生动物的化感作用等^[71]。王媛等探究再力花(*Thalia dealbata*)地下部水浸提液对 6 种水生植物的化感作用,发现受体植物种子萌发和生长均受到不同程度的抑制,其抑制作用随着浸提液质量浓度的提高而增强^[72]。Gross 认为,化感作用可以影响不同光合自养生物之间对资源的竞争,并改变物种的演替^[73]。同时,藻类对水生植物也存

在化感作用,尤其是当藻类骤然大量增殖时,水生植物的大小、干质量、叶绿素含量大大降低,其生长和繁殖均会受到影响^[74]。侯明深入研究美人蕉(*Canna indica*)、鸢尾(*Iris tectorum*)、香蒲(*Typha orientalis*)等 3 中常见水生植物对藻类的化感作用,分别对同种植物不同部位及不同植物组合种植所产生的化感抑制作用进行分析,其结论对水生植物的园林应用提供了重要参考^[75]。

综上,为了有效净化水质、改善水体景观效果,对于水生植物尤其是藻类植物的栽培应用不能仅按照其生长习性和景观营造的需要进行,更重要的是要掌握不同水生植物之间的化感作用机理,充分考虑各种园林水生植物之间的化感效应,将相互影响较小且生态习性相近的水生植物进行合理搭配^[72],利用水生植物的抑制作用限制藻类植物和入侵植物的恶性蔓延,尤其是对于具有较高观赏价值但存在恶性繁殖风险的入侵植物须谨慎使用,如凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)、粉绿狐尾藻(*Myriophyllum aquaticum*)等,避免应用不当影响水体景观效果。

5 问题与展望

5.1 存在问题

第一,现有研究大多以农作物、藻类植物或入侵植物等作为研究对象,关于园林植物系统、深入的研究较少,且研究成果较零散,尚未形成较明确的目标,难以指导园林植物应用科学化、合理化。虽然齐楠等专门针对园林植物的化感作用做出探讨^[15-17,57],但仅进行归纳总结和问题分析,并没有采取试验研究的方法对园林植物化感作用机理进行深入探索。朱强等采取不同的试验方法证实多种园林植物存在化感作用,虽然选择萝卜(*Raphanus sativus*)、生菜(*Lactuca sativa*)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)等对化感物质较敏感的农作物作为受体植物,但其试验结果很难证实不同园林植物之间的化感作用机理^[42-44,76]。第二,大多数研究均在实验室完成,缺乏对园林植物自然生境和自然群落的研究,研究成果对于园林植物应用的指导性不强。园林植物生长的自然环境是一个由多种因素构成的复杂体系,且不同地点的自然环境条件存在较大差别,是试验设备及试验条件无法精确模拟的。张岚等就曾做过测试,结果发现在实验室内得到的数据与在实地测试得到的数据存在差别^[57]。因此,仅开展实验室研究及分析是远远不够的,还须要结合田

间试验进行对比,才能得到更可靠的结果。第三,园林植物化感作用研究结果的说服力有待提高。化感作用是植物在自然生长地点产生的现象,受到多种外界自然因素的影响,也受到植物群落内部其他植物个体的影响。目前开展的研究大多是在可控的试验条件下,采用植株的一部分(根、茎、叶)获取水浸提液,研究单株或一定数量受体植物植株的化感效应。此类研究方法虽能证明植株不同部位的化感作用及其强度,但与现实生境存在差异,主要原因是自然环境条件更加复杂多变,对植物化感物质的形成、释放及传递产生影响的机制较复杂;植物离体浸提物与自然分泌物存在一定的差别,故试验结果只能对化感作用做出初步判断^[12];在植物生长的不同阶段及不同立地环境条件下,在单株植物个体、植物种群、植物群落等不同尺度下,其化感物质的分泌和释放也必定存在差异,应结合园林植物应用的实际情况进行分类研究和讨论。

5.2 研究展望

第一,关于园林植物化感作用机理的研究还应进一步深入。园林植物应用多以生产和实践经验为指导,缺乏科学合理的数据支撑和验证,而当前关于化感作用的诸多研究都是在农林业生产领域开展的,在风景园林学科内进行的研究还处于初级阶段。为了丰富园林植物培育及应用的科学理论,不应仅停留在化感作用的验证方面,应该选取实践应用较频繁的园林植物进行化感物质的提取、化感机理的探究,然后逐步拓展到相同科属、同种应用形式的园林植物,研究园林植物化感物质的最低作用浓度、有效作用浓度、临界浓度等指标,以便发现更多有利于指导园林植物合理应用的化感作用机理,从而推进园林植物应用的科学化。第二,在园林植物实际应用中,一般都是以植物种群或群落的形式出现,因此关于园林植物化感作用的研究应从多角度、多尺度开展。应以各类园林绿地的实地调查为基础,尽可能模拟园林植物生长的外界环境条件开展试验或直接进行野外试验。研究尺度不应局限于单一的植物个体或植物品种,应拓展到园林植物群落或整个园林生态系统^[77],以进一步研究化感作用机理对园林植物群落发展演替及景观格局发展变化的影响。此外,在酸沉降、氮沉降、热岛效应等不利环境条件的胁迫下,园林植物的生理生态也会随之发生变化,进而影响到化感物质的活性及化感作用的产生,今后可着重开展相关方向的研究

工作。第三,为使园林植物化感作用的研究更加全面和具体,应将园林植物化感作用的研究与园林植物栽培繁殖及育种等相关研究结合起来,培育、开发具有化感基因或具备抗化感能力的园林植物新品种,增强园林植物的可持续发展能力,为园林植物应用提供新的思路。

参考文献:

- [1]宋 君. 植物间的他感作用[J]. 生态学杂志,1990,9(6):43-47.
- [2]戈 峰. 现代生态学[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [3]师小平,陈银萍,闫志强,等. 植物化感作用研究进展[J]. 生物技术通报,2020,36(6):215-222.
- [4]拱健婷,张子龙. 植物化感作用影响因素研究进展[J]. 生物学杂志,2015,32(3):73-77.
- [5]李红军,周国英,吴 毅,等. 杉木人工林化感作用研究综述[J]. 中南林业科技大学学报,2013,33(1):31-34,89.
- [6]孙婧瑛,孙跃志. 林木根系分泌物的化感作用[J]. 世界林业研究,2013,26(3):21-26.
- [7]向言词,彭少麟,饶兴权. 植物外来种对土壤理化特性的影响[J]. 广西植物,2003,23(3):253-258.
- [8]彭少麟,向言词. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响[J]. 生态学报,1999,19(4):560-568.
- [9]Batish D R, Singh H P, Pandher J K, et al. Phytotoxic effect of Parthenium residues on the selected soil properties and growth of chickpea and radish[J]. Weed Biology and Management,2002,2(2):73-78.
- [10]邓文红. 黑沙蒿群落植物演替过程中的化感作用研究[D]. 北京:北京林业大学,2016.
- [11]黄玉梅,张杨雪,刘庆林,等. 孔雀草水浸提液对4种园林植物化感作用的研究[J]. 草业学报,2015,24(6):150-158.
- [12]朱 强,邹梦辉,安 黎,等. 常见园林植物化感作用的初步评价[J]. 草业科学,2014,31(10):1884-1890.
- [13]毛美琴,赵 燕,魏玉兰,等. 滇重楼根水浸液对四种园林植物的化感作用研究[J]. 浙江农业学报,2018,30(1):80-90.
- [14]王日明,赵梁军. 植物化感作用及其在园林建设中的利用[J]. 中南林学院学报,2004,24(5):138-142.
- [15]齐 楠,卢 娜. 植物化感作用机理及其在园林植物配置中的应用分析[J]. 现代园艺,2018(22):111-112.
- [16]吴晓华. 植物化感作用机理及其在园林植物配置中的应用[J]. 山东林业科技,2010,40(3):125-129.
- [17]杨 湘,赵兰枝,陈进洁,等. 植物化感作用及其在园林绿化上的应用[J]. 山东林业科技,2007,37(5):99-101.
- [18]姜汉侨,段昌群,杨树华,等. 植物生态学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2010.
- [19]孔垂华,胡 飞. 植物化感(相生相克)作用及其应用[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
- [20]冯 剑,刘 强,王 瑾,等. 干旱胁迫和化感作用对榄仁树幼苗生长、光合作用及生理生化的影响[J]. 广西植物,2016,36(8):969-979.
- [21]贾黎明,瞿明普,冯长红. 化感作用物对油松幼苗生长及光合作用的影响[J]. 北京林业大学学报,2003,25(4):6-10.
- [22]祁 茜,辛建攀,李文明,等. 化感效应及其对藻类光合作用影响的研究进展[J]. 环境科学与技术,2019,42(4):43-52.
- [23]郑 洁,刘 芳,吴兴波,等. 白三叶叶片水浸提液对几种园林植物的化感作用[J]. 浙江农林大学学报,2014,31(1):19-27.
- [24]Peñuelas J, Ribas - Carbo M, Giles L. Effects of allelochemicals on plant respiration and oxygen isotope fractionation by the alternative oxidase[J]. Journal of Chemical Ecology,1996,22(4):801-805.
- [25]Gonzalez V M, Kazimir J, Nimal C, et al. Inhibition of a photosystem II electron transfer reaction by the natural product sorgoleone[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,1997,45(4):1415-1421.
- [26]Leu E, Krieger - Liskay A, Goussias C, et al. Polyphenolic allelochemicals from the aquatic angiosperm *Myriophyllum spicatum* inhibit photosystem II [J]. Plant Physiology, 2002, 130 (4) : 2011-2018.
- [27]郑彩霞. 植物生理学[M]. 3版. 北京:中国林业出版社,2013.
- [28]Verma P, Blaise D, Annie Sheeba J, et al. Allelopathic potential and allelochemicals in different intercrops for weed management in rainfed cotton[J]. Current Science,2021,120(6):1035.
- [29]Abraham D, Francischini A C, Pergo E M, et al. Effects of α - pinene on the mitochondrial respiration of maize seedlings [J]. Plant Physiology and Biochemistry,2003,41(11/12):985-991.
- [30]Podestà F E, Plaxton W C. Regulation of cytosolic carbon metabolism in germinating *Ricinus communis* cotyledons [J]. Planta,1994,194(3):374-380.
- [31]Muscolo A, Panuccio M R, Sidari M. The effect of phenols on respiratory enzymes in seed germination [J]. Plant Growth Regulation,2001,35(1):31-35.
- [32]Abraham D, Takahashi L, Kelmer - Bracht A M, et al. Effects of phenolic acids and monoterpenes on the mitochondrial respiration of soybean hypocotyl axes [J]. Allelopathy Journal,2003,11(1):21-30.
- [33]杨 梅,曹光球,黄燕华,等. 邻羟基苯甲酸对不同化感型杉木无性系内源激素含量的化感效应[J]. 中国生态农业学报,2011,19(1):124-129.
- [34]师晨娟,刘 勇,荆 涛. 植物激素抗逆性研究进展[J]. 世界林业研究,2006,19(5):21-26.
- [35]Booker F L, Blum U, Fiscus E L. Short - term effects of ferulic acid on ion uptake and water relations in cucumber seedlings [J]. Journal of Experimental Botany,1992,43(5):649-655.
- [36]Hussain M I, Reigosa M J. Allelochemical stress inhibits growth, leaf water relations, PS II photochemistry, non - photochemical fluorescence quenching, and heat energy dissipation in three C_3 perennial species [J]. Journal of Experimental Botany,2011,62(13):4533-4545.
- [37]Singh H P, Kaur S, Batish D R, et al. Ferulic acid impairs rhizogenesis and root growth, and alters associated biochemical changes in mung bean (*Vigna radiata*) hypocotyls[J]. Journal of Plant Interactions,2014,9(1):267-274.

- [38] Holappa L D, Blum U. Effects of exogenously applied ferulic acid, a potential allelopathic compound, on leaf growth, water utilization, and endogenous abscisic acid levels of tomato, cucumber, and bean [J]. Journal of Chemical Ecology, 1991, 17(5): 865–886.
- [39] Barkosky R R, Einhellig F A, Butler J L. Caffeic acid – induced changes in plant – water relationships and photosynthesis in leafy spurge *Euphorbia esula* [J]. Journal of Chemical Ecology, 2000, 26(9): 2095–2109.
- [40] Abenavoli M R, Lupini A, Oliva S, et al. Allelochemical effects on net nitrate uptake and plasma membrane $H^+ - ATPase$ activity in maize seedlings [J]. Biologia Plantarum, 2010, 54(1): 149–153.
- [41] Bergmark C L, Jackson W A, Volk R J, et al. Differential inhibition by ferulic acid of nitrate and ammonium uptake in *Zea mays* L. [J]. Plant Physiology, 1992, 98(2): 639–645.
- [42] 朱 强, 安 黎, 邹梦辉, 等. 红叶李水浸液对 4 种草坪植物的化感作用 [J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(5): 710–715.
- [43] 朱 强, 邹梦辉, 安 黎, 等. 琼花对 4 种草坪植物的化感作用 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42(10): 172–174.
- [44] 朱 强, 邹梦辉, 安 黎, 等. 白玉兰水浸液对 4 种草坪植物的化感作用 [J]. 浙江农业科学, 2014, 55(6): 866–868, 871.
- [45] 李 轲, 杨 柳. 刺槐根际土壤水浸提液对 5 种常见园林植物种子萌发及幼苗生长的化感作用 [J]. 种子, 2019, 38(6): 115–120.
- [46] Forero L E, Kulmatiski A, Grenzer J, et al. Plant – soil feedbacks help explain biodiversity – productivity relationships [J]. Communications Biology, 2021, 4(1): 789.
- [47] 倪广艳, 彭少麟. 外来入侵植物化感作用与土壤相互关系研究进展 [J]. 生态环境, 2007, 16(2): 644–648.
- [48] Batish D R, Singh H P, Pandher J K, et al. Phytotoxic effect of *Parthenium* residues on the selected soil properties and growth of chickpea and radish [J]. Weed Biology and Management, 2002, 2(2): 73–78.
- [49] Oleszek W, Jurzysta M. The allelopathic potential of alfalfa root medicagenic acid glycosides and their fate in soil environments [J]. Plant and Soil, 1987, 98(1): 67–80.
- [50] 李玉占, 梁文举, 姜 勇. 苜蓿化感作用研究进展 [J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 186–191.
- [51] 李仲彬, 胡庭兴, 李 霜, 等. 香樟凋落叶在土壤中分解初期对凤仙花生长和生理特性的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2015, 21(3): 571–579.
- [52] 蒋 雪, 陈 洪, 胡庭兴, 等. 香樟凋落叶分解对牵牛花生长发育的影响及施氮的缓解效应 [J]. 应用与环境生物学报, 2015, 21(5): 926–932.
- [53] 张淑珍, 张 帆, 董姬妃, 等. 香樟凋落叶分解对 3 种草坪草的化感作用 [J]. 草业科学, 2018, 35(9): 2095–2104.
- [54] Fisher R F. Allelopathy: a potential cause of regeneration failure [J]. Journal of Forestry, 1980, 78(6): 346–350.
- [55] 刘芳黎, 张 越, 吴富勤, 等. 自毒和森林凋落物化感作用对极小种群野生植物大树杜鹃种子萌发的影响 [J]. 西北植物学报, 2017, 37(6): 1189–1195.
- [56] 祝振华, 刘增文, 袁 娜, 等. 黄土高原小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对养分释放的影响 [J]. 西北林学院学报, 2012, 27(2): 1–5.
- [57] 张 岚, 高素萍. 园林植物化感作用研究现状与问题探讨 [J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(4): 497–503.
- [58] Kobayashi K. Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil [J]. Weed Biology and Management, 2004, 4(1): 1–7.
- [59] Furubayashi A, Hiradate S, Fujii Y. Adsorption and transformation reactions of L – DOPA in soils [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2005, 51(6): 819–825.
- [60] 李秋玲, 肖辉林. 土壤性质及生物化学因素与植物化感作用的相互影响 [J]. 生态环境学报, 2012, 21(12): 2031–2036.
- [61] 何 莎, 曾 婷, 易 洪, 等. 园林绿化中的主要杂草及防除技术: 以湖南为例 [J]. 湖南农业科学, 2016(1): 53–55, 58.
- [62] 董 旭. 应用园林植物替代控制城市杂草的方案研究——以上海地区为例 [D]. 上海: 上海师范大学, 2014.
- [63] 石旭旭, 王红春, 高 婷, 等. 化感作用及其在杂草防除中的应用 [J]. 杂草科学, 2013, 31(2): 6–9.
- [64] Patterson D T. Effects of allelopathic chemicals on growth and physiological responses of soybean (*Glycine max*) [J]. Weed Science, 1981, 29(1): 53–59.
- [65] 马英玲, 韦春义. 园林绿化植物病虫害综合防治探讨 [J]. 贵州林业科技, 2005, 33(1): 58–61.
- [66] 刘晓东, 曲成新, 陈 莉. 城市园林植物病虫害综合防治 [J]. 防护林科技, 2002(3): 77–79.
- [67] 王丽辉, 刘艳武, 任宏伟, 等. 化感作用与园林绿化 [J]. 河北林业科技, 2013(3): 60–61.
- [68] 贾一非, 袁 涛, 马映东. 狐尾藻对园林水景污染水体的净化作用 [J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 250–254.
- [69] 方焰星, 何池全, 梁 霞, 等. 水生植物对污染水体氮磷的净化效果研究 [J]. 水生态学杂志, 2010, 31(6): 36–40.
- [70] Gaballah M S, Ismail K, Aboagye D, et al. Effect of design and operational parameters on nutrients and heavy metal removal in pilot floating treatment wetlands with *Eichhornia crassipes* treating polluted lake water [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2021, 28(20): 25664–25678.
- [71] 鲜啟鸣, 陈海东, 邹惠仙, 等. 淡水水生植物化感作用研究进展 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 664–669.
- [72] 王 媛, 缪丽华, 高 岩, 等. 再力花地下部水浸提液对几种常见水生植物的化感作用 [J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(5): 722–728.
- [73] Gross E M. Allelopathy of aquatic autotrophs [J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2003, 22(3/4): 313–339.
- [74] Sharma K P. Allelopathic influence of algae on the growth of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms [J]. Aquatic Botany, 1985, 22(1): 71–78.
- [75] 侯 明. 高等水生景观植物化感抑藻作用研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- [76] 罗小勇, 苗荣荣, 周世军. 16 种园林植物不同器官的化感活性 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(21): 266–271.
- [77] 钱沉鱼, 唐凤华, 李朝婵, 等. 林木化感物质研究进展 [J]. 西北林学院学报, 2019, 34(3): 79–85.