

文章编号:1001-4829(2020)12-2943-05

DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2020.12.037

4种菊科入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子萌发的化感作用

蒋智林^{1,2}, 杨丽萍¹, 申科¹, 刘万学^{3*}

(1. 普洱学院农林学院, 云南普洱 665000; 2. 复旦大学中西医结合研究院传统药物比较研究所, 上海 200040; 3. 植物病虫害生物学国家重点实验室/中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100094)

摘要:【目的】为应用狗牙根抵御入侵植物入侵及替代控制相关入侵植物的可行性及技术开发提供基础数据和理论参考。【方法】采用培养皿滤纸法, 比较研究紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊4种入侵植物叶水浸提液不同浓度处理(0.00、0.25、0.50、1.00和2.00 g·L⁻¹)对狗牙根种子萌发的发芽率、发芽势和化感效应指数的影响。【结果】4种入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子发芽均产生显著抑制效应, 且随着浓度的升高呈现递增趋势; 在中低浓度(0.25、0.50和1.00 g·L⁻¹)处理时, 随着浓度的增大, 紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊叶水浸提液对狗牙根种子发芽率、发芽势抑制作用和化感效应均依次增强, 在高浓度(2.00 g·L⁻¹)处理时, 飞机草表现最强, 而其它3种植物间无显著差异。【结论】4种菊科入侵植物对狗牙根会产生较强的抑制作用, 若要应用狗牙根抵御或替代控制这4种植物的入侵, 需采取适当措施应对这4种植物对狗牙根种子萌发的不利影响。

关键词: 菊科; 叶浸提液; 狗牙根; 种子; 化感作用

中图分类号: S682

文献标识码: A

Allopathic Effects of Aqueous Extracts from Leaves of Four Invasive Compositae Plants on Seed Germination of *Cynodon dactylon*

JIANG Zhi-lin^{1,2}, YANG Li-ping¹, SHEN Ke¹, LIU Wan-xue^{3*}

(1. Institute of Agricultural and Garden Technology, Pu'er University, Yunnan Pu'er 665000, China; 2. Institute of Comparative Study of Traditional Materia Medica, Institutes of Integrative Medicine, Fudan University, Shanghai 200040, China; 3. The State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection/Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract:【Objective】The present paper aimed to provide basic data and theoretical reference for the feasibility research and technological development of the replacement control of the relevant invasive plants by using *Cynodon dactylon*.【Method】Using assays with petri dishes and filter papers, the effects of the aqueous extracts from leaves of four invasive plants (*Argemone adenophora*, *Conyza Canadensis*, *Chromolaena odoratum* and *Tithonia diversifolia*) with different concentration (0.00, 0.25, 0.50, 1.00 and 2.00 g·L⁻¹) on the germination rate, germination potential and allopathic effect index of *Cynodon dactylon* seeds were investigated and compared.【Result】Aqueous extracts from leaves of four invasive plants had significant inhibitory effects on seed germination of *Cynodon dactylon*; and the inhibitory effects increased with the corresponding concentrations. Moreover, at the low or medium concentrations (0.25, 0.50 and 1.00 g·L⁻¹), the four invasive plants showed significantly different inhibitory and allopathic effects on the seed germination of *Cynodon dactylon*; while at the high concentration (2.00 g·L⁻¹), the most powerful inhibitory and allopathic effects arose from *Chromolaena odoratum*, but there was no significant differences among the other three plants.【Conclusion】The four invasive plants had a strong inhibitory allopathic effect on *Cynodon dactylon*, and appropriate measures should be taken to avoid or alleviate these negative effects for the application of *Cynodon dactylon* in the replacement control and ecological restoration.

Key words: Asteraceae; Leaf extracts; *Cynodon dactylon*; Seed; Allopathic effects

收稿日期: 2020-01-12

基金项目:国家自然科学基金项目(31360456; 31060252); 国家重点研发计划重点专项“受威胁区域生物多样性恢复及示范”(2017YFC0505206); 中国科学院“西部之光青年学者”项目(科发人函字[2016]84号); 云南省中青年学术与技术带头人后备人才项目(2014HB027); 普洱学院生物安全与生物产业创新团队项目(CXTD005); 普洱市科技局科技计划项目(2014kjxm01)
作者简介:蒋智林(1977-), 男, 湖南衡阳人, 教授, 主要研究方向为生物安全, E-mail: zhilin_jiang@126.com; *为通讯作者: 刘万学, E-mail: liuwanxue@caas.cn。

【研究意义】在替代控制和生态恢复中, 替代植物的选择与应用往往是能否成功建群和生态抵御的关键。研究替代植物的种子对入侵植物影响的反应方式和程度, 则是阐明替代植物抵御入侵植物或替代控制入侵植物机制的首要环节。因而, 研究入侵植物提取液对狗牙根种子萌发的影响, 可为应用狗

牙根抵御入侵植物入侵及替代控制相关入侵植物的可行性及技术开发提供基础数据和理论参考。【前人研究进展】植物的化感作用是植物通过淋溶、挥发、残体分解和根系分泌等方式向环境释放化学物质,从而对周围植物(包括微生物)产生直接或间接有害作用,及可能产生的有益作用和自毒效应^[1]。外来入侵植物能够通过与本地植物的直接生长竞争争夺资源,还可通过释放化感物质对入侵生境的土著生物进行抑制、排挤和毒杀,从而获得丰富的生存资源,在与新生境物种的生长竞争中取胜^[2]。化感作用被认为是外来植物入侵成功的重要因素之一^[3]。如:紫茎泽兰(*Ageratina adenophora* Spreng.)^[4]、飞机草[*Chromolaena odoratum* (L.) R. King et H. Rob.]^[5]、豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)^[6]、薇甘菊(*Mikania micrantha*)^[7]、肿柄菊(*Tithonia diversifolia*)^[8]、五爪金龙(*Ipomoea cairica*)^[9]、小飞蓬(*Conyza Canadensis*)^[10]、加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)^[11]和马缨丹(*Lantana camara*)^[12]均能够通过释放出各种化感物质而抑制土著植物种子萌发或生长从而获得自身的生长竞争优势。研究表明,不同入侵植物不同部位的浸提液能够抑制受体植物种子的萌发与生长;如肿柄菊的根、茎、叶水浸液对玉米(*Zea mays* L.)、水稻(*Oryza sativa* L.)、油菜(*Brassica campestris* L.)、豌豆(*Pisum sativum* L.)、绿豆[*Vigna radiata* (Linn.) Wilczek]5种植物种子发芽和生长均具有化感作用^[13];紫茎泽兰叶片水浸提取物对6种豆科植物的种子发芽率和幼苗有化感作用^[14];小飞蓬水提物不同萃取液对剪股颖(*Agrostis gigantea* Roth)和葛苣(*Lactuca scariola* L.)的发芽和幼苗生长具有不同强度的化感效应^[15];飞机草浸提液对豇豆(*Vigna sinensis* L.)、青瓜(*Cucumis sativus* L.)、萝卜(*Raphanus sativa* L.)、菜心(*Brassica parachinensis* L.)、小白菜(*Brassica chinensis* L.)、大白菜(*Brassica perkinensis*)、水稻(*Oryza sativa* L.)、稗草[*Echinochloa oryzicola* (Vasing) Ohwi.]、任豆(*Zenia insignis* Chun)和热研二号柱花草(*Stylosanthes guianensis* cv. Reyan II)种子发芽和幼苗生长均具有化感效应^[5,16-17]。狗牙根(*Cynodon dactylon*)为禾本科狗牙根属草本植物,是最具代表性的暖季型草坪草,广泛分布于欧洲、亚洲的热带及亚热带地区,在中国华北、西南及长江中下游等地有着广泛应用^[18]。由于其繁殖力和匍匐茎蔓延力很强,在地面平铺性能好,且具有抗旱、抗盐及耐重金属等优点^[19],因而被广泛用作固堤保土^[20]、铺建草坪等绿地的建植^[21]和生态恢复^[22]。但狗牙根能否抵御紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄

菊等入侵植物的入侵或可否通过狗牙根发挥替代控制作用恢复已被这些物种入侵生境的生态,目前尚少有研究。【本研究切入点】本研究采用室内生物监测法,应用不同浓度的紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊等4种菊科入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子的发芽率、发芽势和化感效应影响进行比较研究【拟解决的关键问题】评价4种入侵植物对狗牙根的化感效应及其作用规律。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验用紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊4种入侵植物植株的叶均于2018年4-11月采自云南省普洱市思茅区郊区;狗牙根种子购自于普洱当地农业种子公司。

1.2 试验方法

1.2.1 供试材料处理 将采集到的植物叶在60℃温度下烘干,用粉碎机粉碎过40目筛后,在干燥处保存。

1.2.2 浸提液制备 参照桂富荣等^[4]、林春蕊等^[5]、高兴祥等^[10]、及梁晓华等^[13]的方法,分别称取供试材料各10g,按W(样品):V(蒸馏水)=1:10加入蒸馏水,在常温条件下用摇床振荡提取48h,依次用4层纱布和定性滤纸过滤,滤液即为水浸提液母液(0.10g·mL⁻¹),置于4℃冰箱内保存备用。实验时,将母液配置成0.25、0.50、1.00和2.00g·L⁻¹4个浓度梯度溶液,以蒸馏水作为对照处理。

1.2.3 种子萌发实验 采用培养皿滤纸法进行种子萌发实验^[23]。随机选取成熟、籽粒饱满的狗牙根种子置于铺有2层滤纸的培养皿中,每个培养皿放50粒种子,然后分别加入适量的处理液(对照则加入适量蒸馏水),以滤纸充足吸水,滤纸周边无余水,种子周围不形成液膜为度;在25℃、80%湿度、光照度1600lx和光照时间12h·d⁻¹的条件下培养,每隔24h检查滤纸干燥情况,如发现滤纸有部分干燥,即补充处理液或蒸馏水(对照)至上述标准,以胚根突破种皮1mm,胚芽为种子长1/2为发芽标准,每日记录发芽数;共记录28d;实验重复3次。

1.3 数据统计与分析

种子发芽率(Seed germination rate, GR)、发芽势(Seed germination potential, GP)及化感效应指数(Response Index of allelopathic effect, RI)按下列公式计算:

$$GR\% = SN_1/SN_0 \times 100 \quad (1)$$

$$GP\% = SN_{\max}/SN_0 \times 100 \quad (2)$$

$$RI = 1 - C/T (T \geq C) \text{ 或 } RI = C/T - 1 (T < C) \quad (3)$$

式中: SN_1 为供试种子发芽粒数, SN_0 为供试种子总粒数, SN_{\max} 为种子发芽达到最高峰时种子发芽粒数, 以最初 7 d 内发芽种子数计; C 为对照种子发芽率, T 为处理种子发芽率。 RI 表示化感作用强度, 正值表示促进效应, 负值表示抑制效应, 其绝对值大小反映化感作用的强弱。

不同物种在不同浓度条件下各指标的差异采用单因变量多因素方差分析 (General Linear, Univariate); 不同物种参数间或同一物种间不同浓度间差异采用单因素方差分析 (One-way ANOVA), 统计分析软件为 SPSS (SPSS 19.0 Inc., Chicago, USA)。

2 结果与分析

2.1 4 种入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子发芽率的影响

由表 1 可知, 4 种入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子发芽率的化感抑制作用差异显著 ($F = 1558.18, P < 0.05$), 且随着浸提液浓度的升高, 其化感抑制效应均表现出递增效应 ($F = 2552.58, P < 0.05$)。狗牙根种子在 $0.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (CK) 下的发芽率为 39.3%, 随着处理浓度升高, 紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊水浸提液使狗牙根种子发芽率与对照相比分别降低 2.7% ~ 34.0%; 8.0% ~

34.7%; 13.3% ~ 36.0%; 及 24.0% ~ 34.7%。

在浸提液同一浓度下, 4 种入侵植物对狗牙根种子发芽率的抑制效应差异显著 ($P < 0.05$)。在 $0.25, 0.50$ 和 $1.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度条件下, 其抑制强度大小为紫茎泽兰 < 小飞蓬 < 飞机草 < 肿柄菊 ($P < 0.05$); 在 $2.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度条件时, 4 种入侵植物总体上对狗牙根种子表现出显著的抑制效应 ($F = 6.33, P = 0.02$), 飞机草在该浓度下对狗牙根种子发芽率抑制强度最大 ($P < 0.05$), 而其他 3 种入侵植物间对狗牙根种子发芽率抑制效应无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 4 种入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子发芽势的影响

由表 2 可知, 狗牙根种子的发芽势在 4 种入侵植物叶水浸提液处理下均表现出显著差异 ($F = 1222.86, P < 0.05$), 且随着浸提液浓度的升高, 狗牙根种子的发芽势均表现出明显递减效应 ($F = 2465.52, P < 0.05$)。狗牙根种子在 $0.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (CK) 下的发芽势为 33.3; 与对照条件相比, 在 $0.25, 0.50, 1.00$ 和 $2.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理浓度下, 紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊水浸提液使狗牙根种子发芽势分别降低 6.0%、11.3%、15.3% 和 31.3%; 11.3%、15.3%、20.0% 和 21.3%; 11.3%、26.0%、30.0% 和 32.7%; 及 22.7%、29.3%、30.0% 和 30.7%。

表 1 不同浓度入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子发芽率的影响

Table 1 Effects of aqueous extract from 4 invasive plants leaves on seed germination percentage of *Cynodon dactylon*

入侵植物 Invasive plants	种子发芽率 (%) Seed germination percentage				
	$2.00 (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$1.00 (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$0.50 (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$0.25 (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$0.00 (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$
紫茎泽兰	$5.3 \pm 0.6\text{aE}$	$27.3 \pm 0.6\text{aD}$	$30.0 \pm 1.0\text{aC}$	$36.7 \pm 0.6\text{aB}$	$39.3 \pm 0.6\text{A}$
小飞蓬	$4.7 \pm 0.6\text{aE}$	$23.3 \pm 0.6\text{bD}$	$25.3 \pm 0.6 \text{bC}$	$31.3 \pm 0.6\text{bB}$	$39.3 \pm 0.6\text{aA}$
飞机草	$3.3 \pm 0.6\text{bE}$	$12.7 \pm 0.6\text{cD}$	$15.3 \pm 0.6 \text{cC}$	$26.0 \pm 1.0\text{cB}$	$39.3 \pm 0.6\text{aA}$
肿柄菊	$4.7 \pm 0.6\text{aE}$	$5.3 \pm 0.6\text{dD}$	$8.7 \pm 0.6 \text{dC}$	$15.3 \pm 0.6\text{dB}$	$39.3 \pm 0.6\text{aA}$

注: 同列数据后不同大小写字母分别表示不同入侵植物在 0.01 和 0.05 水平上差异显著, 下同。

Note: Data followed by different capital and small letters in the same column were significantly different among the invasive plants at 0.01 and 0.05 level, respectively, the same as below.

表 2 不同浓度入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子发芽势的影响

Table 2 Effects of aqueous extract from 4 invasive plants leaves on seed germination potential of *Cynodon dactylon*

入侵植物 Invasive plants	种子发芽势 (n) Seed germination potential				
	$2.00 (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$1.00 (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$0.50 (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$0.25 (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$0.00 (\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$
紫茎泽兰	$2.0 \pm 0.0\text{aE}$	$18.0 \pm 1.0\text{aD}$	$22.0 \pm 1.0\text{aC}$	$27.3 \pm 0.6\text{B}$	$33.3 \pm 0.6\text{aA}$
小飞蓬	$2.0 \pm 0.00\text{aE}$	$13.3 \pm 0.6\text{bD}$	$18.0 \pm 0.0\text{bC}$	$22.0 \pm 0.0\text{bB}$	$33.3 \pm 0.6\text{aA}$
飞机草	$0.7 \pm 0.6\text{bE}$	$3.3 \pm 0.6\text{cD}$	$7.3 \pm 0.6\text{cC}$	$22.0 \pm 0.0\text{bB}$	$33.3 \pm 0.6\text{aA}$
肿柄菊	$2.7 \pm 0.6\text{cE}$	$3.3 \pm 0.6\text{cD}$	$4.0 \pm 0.0\text{dC}$	$10.7 \pm 0.6\text{cB}$	$33.3 \pm 0.6\text{aA}$

表3 不同浓度入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子发芽的化感效应

Table 3 Allelopathic effects of aqueous extract from 4 invasive plants leaves on seed germination percentage of *Cynodon dactylon*

入侵植物 Invasive plants	化感效应指数 Response index of allelopathic effect				
	2.00 (g · L ⁻¹)	1.00 (g · L ⁻¹)	0.50 (g · L ⁻¹)	0.25 (g · L ⁻¹)	0.00 (g · L ⁻¹)
紫茎泽兰	-6.38aE	-0.44aD	-0.31aC	-0.07aB	0.00aA
小飞蓬	-7.43bE	-0.69bD	-0.55bC	-0.26bB	0.00aA
飞机草	-10.80cE	-2.11cD	-1.57cC	-0.51cB	0.00aA
肿柄菊	-7.43bE	-6.38dD	-3.54dC	-1.74dB	0.00aA

在浸提液同一浓度下,狗牙根种子发芽势在4种入侵植物间的差异显著($F = 2465.52$, $P < 0.05$)。在0.25、0.50、1.00和2.00 g · L⁻¹浓度条件下,4种入侵植物浸提液所对应处理的狗牙根种子发芽势大小分别为紫茎泽兰 > 小飞蓬 = 飞机草 > 肿柄菊、紫茎泽兰 > 小飞蓬 = 飞机草 > 肿柄菊、紫茎泽兰 > 小飞蓬 = 飞机草 > 肿柄菊和紫茎泽兰 > 小飞蓬 = 飞机草 > 肿柄菊。

2.3 4种入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子萌发的化感效应

由表3可知,4种入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子发芽率的化感效应敏感指数值差异显著($F = 52.47$, $P < 0.05$),均随浸提液浓度的升高,其化感效应敏感指数值均呈显著升高趋势($F = 309.77$, $P < 0.05$)。在0.25 g · L⁻¹浓度下,狗牙根种子对紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊水浸提液的化感效应敏感指数值负值(-RI)分别为0.07、0.26、0.51和1.74;随着浓度的升高,在浓度为0.50、1.00和2.00 g · L⁻¹时,狗牙根种子对紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊水浸提液的-RI分别为0.25 g · L⁻¹时的4.28、6.04和87.66倍,2.16、2.69和29.10倍,3.05、4.11和21.06倍,2.03、3.66和4.26倍。

在浸提液同一浓度下,狗牙根种子化感效应指数值(-RI)在紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊4种入侵植物间的差异显著($F = 52.47$, $P < 0.05$)。在0.25、0.50、1.00和2.00 g · L⁻¹浓度条件下,4种入侵植物浸提液所对应处理的狗牙根种子-RI值大小分别为紫茎泽兰 < 小飞蓬 < 飞机草 < 肿柄菊、紫茎泽兰 < 小飞蓬 < 飞机草 < 肿柄菊、紫茎泽兰 < 小飞蓬 < 飞机草 < 肿柄菊和紫茎泽兰 < 小飞蓬 = 肿柄菊 < 飞机草。

3 讨论

外来入侵植物通过化感作用抑制入侵生境植物种子的萌发和生长是其成功入侵的重要原因,且这种化感作用对受体植物的影响效应强度与其浓度有密切关联^[13, 24-25]。外来入侵植物的化感作用可使其自身在与其他植物的生长竞争中居于有利地位,

从而提高其生态竞争力而不断扩散或形成单优群落^[2, 26]。不同入侵植物不同部位的浸提液能够抑制受体植物种子的萌发与生长。本研究中紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊4种入侵植物叶水浸提液在不同浓度下对狗牙根种子的萌发均具有化感抑制效应,且随着其浓度的增大其抑制效应越强(表1,表2)。已有研究亦表明,肿柄菊的根、茎、叶水浸液对玉米(*Zea mays* L.)等5种植物^[21]、紫茎泽兰对豆科与芦科植物^[14]、小飞蓬水提物不同萃取液对剪股颖(*Agrostis gigantea* Roth)和葛苣(*Lactuca saiva* L.)^[15]、飞机草浸提液对豇豆(*Vigna sinensis* L.)等9种植物^[5, 16-17]的种子发芽和幼苗生长均具有化感效应,总体表现出低促高抑现象^[31],且随着其浓度增大而其抑制效应越强。可见,外来入侵植物紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊在一定条件下对狗牙根种子萌发均会产生强烈的化感抑制作用。

本研究表明,不同入侵植物浸提液化感作用对狗牙根种子萌发的抑制作用强度也表现出了明显的差异,在低浓度下,肿柄菊浸提液的抑制作用最强,最弱的是紫茎泽兰;在高浓度下,小飞蓬浸提液的抑制作用最强,紫茎泽兰最弱。此外,紫茎泽兰对狗牙根种子萌发抑制作用的浓度依赖性最强,其次为小飞蓬和飞机草,而肿柄菊的浓度依赖性最弱;因而在狗牙根面临4种入侵植物入侵或考虑利用狗牙根进行替代控制时,我们需要充分考虑这一因素,及时采取措施,避免和降低4种入侵植物化感物质的积累对狗牙根种子萌发造成的不利影响。

入侵植物的化感作用主要形式是以掉落物进入自然生态系统当中而产生影响。一方面掉落物会分解成为有机质和各种养分,从而提供营养而促使植物的生长;另一方面,掉落物在分解的过程中会释放各种化学物质,或者结合土壤生态系统中的物质与有机生命体,从而改变物种间的竞争效应^[27-29]。本研究中紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊4种入侵植物叶水浸提物在0.25 g · L⁻¹这一低浓度时就对狗牙根种子表现出显著的化感抑制效应,而有相关研究表明,在比本研究高的浓度下,入侵植物浸提液对部分植物种子的萌发没有显著影响,甚至有轻微促进作用,如肿柄菊叶水提取物在20和10 g · L⁻¹浓度下对豌豆和绿豆种子萌发率无影响^[13],豚草的

茎叶提取物在 $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度下对小麦的萌发有轻微促进作用^[6];飞机草在 $2, 100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度下对稗草种子的萌发,在 $2, 10$ 和 $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 下对青瓜种子的萌发有轻微促进作用^[16],说明入侵植物浸提液对不同植物种子的作用规律可能存在差异。此外,与其他研究一般将处理浓度设在 $2 \sim 200 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 相比,本研究虽已将实验浓度设置在较低的水平($0.25 \sim 2.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$),但在现实生态系统中,入侵植物的化感物质通过掉落物缓慢释放,在初期时其浓度会比较低,其浓度会与凋落物的量和堆积程度密切相关^[30],这样产生的化感效应往往会呈现出时序效应,因而浸提液低浓度($0.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)仍可能高于现实生态系统中入侵植物入侵初期凋落物的溶解浓度,需在进一步研究中进行更低浓度的试验设置对其化感物质是否存在促进效应予以验证。因此,在研究紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊 4 种入侵植物以及其他入侵植物化感作用对受体植物种子萌发与幼苗生长的影响中,可以由低到高设置更宽幅度的浓度梯度,或者在自然界取入侵程度不等区域的土壤直接研究其对受体植物的化感影响,以便更好明确其化感效应的作用强度与规律,从而更好为入侵植物机理的阐述和生态恢复策略的运用提供更加科学的理论参考。

4 结 论

紫茎泽兰、小飞蓬、飞机草和肿柄菊叶片水浸提液($0.25 \sim 2.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)对狗牙根种子发芽均有显著抑制效应,随着浓度的升高,叶水浸提液对狗牙根种子发芽率、发芽势抑制作用和化感效应均依次增强,且在高浓度($2.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)处理时,飞机草的抑制作用最强,其它 3 种间无显著差异。4 种菊科入侵植物均对狗牙根的种子萌发产生较强的化感效应,在应用狗牙根进行替代控制和生态恢复时需充分考量这一因素,采取相应措施加以应对。

参考文献:

- [1] Rice E L. Allelopathy [M]. New York: Academic Press, 1984.
- [2] 万方浩, 郑小波, 郭建英. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [3] Zangerl A R, Berenbaum M R. Increase in toxicity of an invasive weed after reassociation with its coevolved herbivore [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of USA, 2005, 102: 15529 - 15532.
- [4] 桂富荣, 蒋智林, 金吉斌, 等. 紫茎泽兰化感作用对 9 种草本植物种子萌发的影响 [J]. 生物安全学报, 2011, 20 (4): 331 - 336.
- [5] 林春蕊, 陈秋霞, 潘玉梅, 等. 飞机草水浸液对任豆种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 林业科技, 2008, 33 (5): 13 - 15, 24.
- [6] 王大力, 祝心如. 豚草的化感作用研究 [J]. 生态学报, 1996, 16 (1): 11 - 19.
- [7] 邵 华, 彭少麟, 张 弛, 等. 薇甘菊的化感作用研究 [J]. 生态学杂志, 2003, 22 (5): 62 - 65.
- [8] 范丽娜, 孙东玲, 秦小萍, 等. 肿柄菊水浸提液对 3 种作物的化感作用研究 [J]. 杂草科学, 2013, 31 (2): 26 - 30.
- [9] 赵则海, 廖周瑜, 彭少麟. 五爪金龙不同部位化感作用可塑性变化 [J]. 生态环境, 2007, 16 (4): 1244 - 1248.
- [10] 高兴祥, 李 美, 房 锋, 等. 小飞蓬水浸提液对杂草萌发和生长的抑制效果 [J]. 草业科学, 2015, 32 (1): 48 - 53.
- [11] 梅玲笑, 陈 欣, 唐建军. 外来杂草加拿大一枝黄花对入侵地植物的化感效应 [J]. 应用生态学报, 2005, 16 (12): 2379 - 2382.
- [12] 全国明, 章家恩, 徐华勤, 等. 入侵植物马缨丹不同部位的化感作用研究 [J]. 中国农学通报, 2009, 25 (12): 102 - 106.
- [13] 梁晓华, 李 璐, 王 波, 等. 肿柄菊水浸液对 5 种植物的化感作用 [J]. 江苏农业科学, 2013, 41 (1): 99 - 103.
- [14] 李惠敏, 陈丽羽, 秦新民. 紫茎泽兰对 6 种豆科植物的化感作用 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49 (8): 1856 - 1858.
- [15] 张海燕, 张 敏, 祁珊珊, 等. 入侵植物小飞蓬化感作用及有效成分分析 [J]. 杂草科学, 2015, 33 (4): 5 - 9.
- [16] 何衍彪, 张茂新, 何庭玉, 等. 飞机草化感作用的初步研究 [J]. 华南农业大学学报 (自然科学版), 2002, 23 (3): 60 - 62.
- [17] 郁树乾. 飞机草对热研二号柱花草化感作用初步研究 [J]. 广东农业科学, 2014 (1): 86 - 89.
- [18] 马 进, 李宪友, 孟 瑾. 我国暖地型草坪草育种概况及前景展望 [J]. 草业科学, 2003, 20 (4): 73 - 76.
- [19] 陈静波, 刘建秀. 狗牙根抗盐性评价及抗盐机理研究进展 [J]. 草业学报, 2012, 21 (5): 302 - 310.
- [20] 杨 洁, 莫明浩, 宋月君, 等. 红壤坡地水土保持植物措施下柑橘林地水文生态效应 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21 (8): 994 - 999.
- [21] 李亚男, 刘国道, 罗丽娟. 不同生境条件下的狗牙根形态变异研究 [J]. 热带作物学报, 2010, 31 (9): 1502 - 1508.
- [22] 谭淑端, 朱明勇, 党海山, 等. 三峡库区狗牙根对深淹胁迫的生理响应 [J]. 生态学报, 2009, 29 (7): 3685 - 3691.
- [23] 曾任森. 化感作用研究中的生物测定方法综述 [J]. 应用生态学报, 1999, 10 (1): 123 - 126.
- [24] 万欢欢, 刘万学, 万方浩. 紫茎泽兰叶片凋落物对入侵地 4 种草本植物的化感作用 [J]. 中国生态农业学报, 2011, 19 (1): 130 - 134.
- [25] Kaproth M A, Eppinga M B, Molofsky J. Leaf litter variation influences invasion dynamics in the invasive wetland grass *Phalaris arundinacea* [J]. Biological Invasions, 2013, 15 (8): 1819 - 1832.
- [26] Callaway R M, Aschehoug E T. Invasive plants versus their new and old neighbors: A mechanism for exotic invasion [J]. Science, 2000, 290: 521 - 523.
- [27] Niu H B, Liu W X, Wan F H, et al. An invasive aster (*Ageratina adenophora*) invades and dominates forest understories in China: altered soil microbial communities facilitate the invader and inhibit natives [J]. Plant and Soil, 2007, 294: 73 - 85.
- [28] 廖周瑜, 赵则海, 侯玉平, 等. 五爪金龙凋落叶腐解物的化感潜力研究 [J]. 生态环境, 2007, 16 (4): 1249 - 1252.
- [29] Wang R L, Staehelin C, Dayan F E, et al. Simulated acid rain accelerates litter decomposition and enhances the allelopathic potential of the invasive plant *Wedelia trilobata* (creeping daisy) [J]. Weed Science, 2012, 60: 462 - 467.
- [30] Claesson S M, Leroy C J, Barry J R, et al. Impacts of invasive riparian knotweed on litter decomposition, aquatic fungi, and macroinvertebrates [J]. Biological Invasions, 2014, 14 (7): 1531 - 1544.
- [31] 李 茜, 何 俊, 吕 雯, 等. 核桃叶水浸提液对药材种子萌发及幼苗生长的化感效应 [J]. 西南农业学报, 2020, 33 (4): 745 - 749.