文章编号:1000-7601(2025)04-0063-07 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2025.04.07

匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵种子萌发的影响

李冬至[1,2],赵杏花[1,2],刘瑞敏[1,2],张靖媛[3],邵亚洲[1,2],黄 颖[1,2]

(1. 内蒙古农业大学沙漠治理学院,内蒙古 呼和浩特 010019;2. 内蒙古自治区风沙物理与防沙治沙工程重点实验室,内蒙古 呼和浩特 010019;3. 赤峰市森林草原保护发展中心,内蒙古 赤峰 024000)

摘 要:利用植物的化感作用原理,采用匍根骆驼蓬为供体,探究不同浓度匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵种子萌发的抑制作用,以期为刺萼龙葵生物防治提供新的思路和理论参考。采用室内培养皿方法,制备不同浓度(5、10、20、30、40、50 g·L^{-1})的匍根骆驼蓬水浸提液,以刺萼龙葵为受体,开展种子萌发试验,分析不同浓度匍根骆驼蓬水浸提液对刺萼龙葵种子萌发的影响。结果表明:(1)浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,刺萼龙葵种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均为 0。(2)浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,刺萼龙葵种子萌发指标的综合化感效应指数为-1.00。(3)浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,其对刺萼龙葵胚根胚芽抑制率为 100%,胚根和胚芽综合化感效应指数为-1.00。综上,在匍根骆驼蓬浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,其对刺萼龙葵种子的萌发及萌发期胚根和胚芽的生长抑制效果最佳。

关键词:刺萼龙葵;匍根骆驼蓬;化感作用;生物防治;入侵植物

中图分类号:S451 **文献标志码**:A

Effects of the extract of *Peganum nigellastrum* on seed germination of *Solanum rostratum*

LI Dongzhi[1,2], ZHAO Xinghua[1,2], LIU Ruimin[1,2], ZHANG Jingyuan[3], SHAO Yazhou[1,2], HUANG Ying[1,2]

(1. *College of Desert Management*, *Inner Mongolia Agricultural University*, *Hohhot*, *Inner Mongolia* 010019, *China*;
2. *Key Laboratory of Aeolian Sand Physics and Sand Prevention and Control Engineering of Inner Mongolia Autonomous Region*, *Hohhot*, *Inner Mongolia* 010019, *China*;
3. *Chifeng Forest and Grassland Conservation and Development Center*, *Chifeng*, *Inner Mongolia* 024000, *China*)

Abstract: Based on the principle of plant allelopathy, *Peganum nigellastrum* was used as the donor to explore the inhibitory effects of different concentrations of *P. nigellastrum* extract on the seed germination of *Solanum rostratum*, aiming to provide new ideas and theoretical references for the biological control of *S. rostratum*. Different concentrations (5, 10, 20, 30, 40 g·L^{-1}, and 50 g·L^{-1}) of aqueous extracts of *P. nigellastrum* were prepared using an indoor petri dish method, and seed germination assays were carried out with *S. rostratum* as the receptor. The results showed that: (1) When the extract concentration was 30 g·L^{-1}, the germination rate, germination potential, germination index, and vitality index of *S. rostratum* seeds were zero. (2) When the extract concentration was 30 g·L^{-1}, the comprehensive allelopathic effect index of seed germination of *S. rostratum* was -1.00. (3) When the extract concentration was 30 g·L^{-1}, the inhibition rate of radicle and germ of *S. rostratum* was 100%. The comprehensive allelopathic effect index of radicle and germ was -1.00. In summary, when the *P. nigellastrum* extract concentration was 30 g·L^{-1}, it had the best inhibitory effect on the germination of *S. rostratum* seed and the growth of radicle and germs during germination.

收稿日期:2024-08-28 **修回日期**:2024-10-15

基金项目:内蒙古农业大学博士人才引进科研启动项目(NDYB2022-55);内蒙古农业大学荒漠化防治与沙区资源保护利用创新团队项目(BR241301);内蒙古自治区教育厅沙漠沙地生态保护与治理技术创新团队项目(NMGIRT2408)

作者简介:李冬至(2000-),男,安徽安庆人,硕士,研究方向为植物资源保护与利用、荒漠化防治。E-mail: 2220215915@qq.com

通信作者:赵杏花(1981-),女,内蒙古呼和浩特人,博士,教授,主要从事植物资源保护与利用、荒漠化防治等研究。E-mail: zhaoxinghua2007@126.com

Keywords: *Solanum rostratum*; *Peganum nigellastrum*; allelopathy; biological control; invasive plants

刺萼龙葵(*Solanum rostratum*)又名黄花刺茄,为茄科(Solanaceae)茄属(*Solaum*),原产于北美洲,是一种危害性很大的有毒杂草,2016 年被中国列入第四批外来入侵物种名单[1]。刺萼龙葵植株花期长、开花数量多,果实成熟后产生大量的种子。果期宿存的花萼膨大并包被在果实之外,花萼有很多长刺,对果实和种子具有很好的保护作用。被花萼包被的浆果呈球形,脱落后极易传播扩散;花萼上的长刺可刺入人的衣服及动物的皮毛,通过人的活动及动物的迁徙,进行远距离传播[2]。刺萼龙葵种子数量多、活性高及传播方式多样造成该物种的入侵能力强、扩散速度快,占据了乡土植物的生存空间,形成单一的优势种群,破坏生态环境,导致周边环境生物多样性的丧失[3-4]。

刺萼龙葵作为一种恶性入侵杂草,其适应性强、扩散速度快,对生态系统造成很大危害,常用的物理和化学防治措施不仅会耗费人力,而且对环境有一定的污染[5]。对于受刺萼龙葵大面积侵袭的地区,目前采用的物理防治措施主要是利用大型机械多次犁地、铲平、埋土,能够杀灭植株,减少当季危害;对于小面积入侵地区,则采用在果实成熟前用锄头或铁锹将其连根拔除等措施。这种防治措施不仅费时费力,且无法去除在土壤中留存的种子。化学措施主要指使用各种化学除草剂进行杂草防除,在草地生态系统中,使用苯磺隆等长效选择性除草剂;在农田生态系统中,使用烟嘧秀、氯氟吡氧乙酸等选择性除草剂。化学防除较物理防除效果更为明显,但会造成环境污染、土壤退化,为粮食安全埋下隐患[6]。因此,安全有效的防控措施对于抑制入侵植物扩散非常重要。课题组前期调查发现,刺萼龙葵并非均匀分布在不同植物群落中,在同一生境中,有的群落会聚集大量的刺萼龙葵,但也有一些群落中几乎没有刺萼龙葵的入侵。没有刺萼龙葵的群落往往存在一些具有特殊气味的植物,产生化感作用。本研究旨在利用化感作用原理,寻找对刺萼龙葵具有化感作用的乡土植物,制备植物浸提液,抑制土壤种子库中刺萼龙葵种子萌发,达到生物防控的目标[7]。化感作用是指植物(包括微生物)释放出特殊的生物化学物质,通过大气、土壤孔隙、物理淋溶等传播到周围环境,对其他植物和自身产生促进或抑制的作用[8]。这种特殊的化学物质一方面影响邻近植物生长,另一方面改变周边土壤环境,使环境朝着对自己生长发育有利的方向发展。植物群落的形成、演替和恢复受到化感作用的重要影响[9],其在引导农业生产中不同植物的合理种植方面具有重要意义,在控制杂草侵入和防治病虫害,以及研究连作障碍方面起关键作用[10]。

匍根骆驼蓬(*Peganum nigellastrum*)为蒺藜科(Zygophyllaceae)骆驼蓬属(*Peganum*)多年生草本植物,对极端环境的适应性非常强,其分布广泛,在干旱、半干旱和盐碱地区尤为常见,如沙漠边缘、戈壁滩、盐碱地等[11]。匍根骆驼蓬由于具有独特的气味,被称为“臭蒿”,常被昆虫拒食[12]。其枝叶和种子含有多种生物碱,民间采其地上部分用于治疗咳嗽气喘、风湿痹痛、无名肿毒等症。基于匍根骆驼蓬分布广、易获取、富含生物碱的特性,本研究以其作为供体材料,刺萼龙葵为受体材料,以北方主要经济作物玉米(*Zea mays*)为平行对照,研究匍根骆驼蓬植物水浸提液对刺萼龙葵种子萌发的抑制作用,在不影响主要经济作物正常发芽的前提下,探究匍根骆驼蓬浸提液在抑制入侵植物刺萼龙葵种子萌发的最适浓度,以期为刺萼龙葵入侵防治提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

研究供体材料为匍根骆驼蓬,受体材料为刺萼龙葵种子,并以玉米为对照。匍根骆驼蓬于 2023 年 10 月采集于库布齐沙漠边缘,刺萼龙葵种子同期采集于内蒙古呼和浩特市土默特左旗,采种后进行净种、4℃冷藏保存。刺萼龙葵种子颜色呈黑褐色或黄褐色,外形为不规则肾形,长约 2.3 mm,宽约 1.4 mm,厚约 0.8 mm,种子千粒重为 4.3 g。

1.2 研究方法

1.2.1 浸提液制备 将匍根骆驼蓬茎叶冲洗干净,剪成 3~5 cm 小段,在 60℃烘箱中烘干,随后粉碎至粉末状备用。准确称取匍根骆驼蓬干样 150 g,置于干净桶中,添加蒸馏水 3 L,用玻璃棒充分搅拌,随后在室温下浸泡 24 h,期间每隔 6 h 充分摇晃 1 次。用纱布过滤残渣,再用滤纸进一步过滤,获得 50 g·L^{-1}的浸提液母液,收集至广口瓶中。将母液分别加入蒸馏水,配制成 5、10、20、30、40 g·L^{-1}浓度的水浸提液,保存在 4℃冰箱备用。

1.2.2 种子萌发试验 选择颗粒饱满且未受虫害的刺萼龙葵种子和玉米种子,将其浸泡在浓度为

0.2%的高锰酸钾溶液中进行消毒处理,浸泡 20 min 后,使用蒸馏水对其反复冲洗,重复 4~5 次,洗净残留的高锰酸钾溶液后,玉米种子常温下浸泡 24 h,刺萼龙葵种子使用 500 mg · L^{-1} GA_3水溶液浸泡 24 h。

在培养皿底部平铺 3 层滤纸,将经过处理的玉米种子 30 粒、刺萼龙葵种子 40 粒整齐播入 2 个培养皿中。各培养皿中分别加入 6 个浓度的水浸提液 8 mL 进行发芽试验,对照组(CK)则使用 8 mL 蒸馏水作为对照,每个处理在相同条件下重复 3 次。

将培养皿放置于 30℃恒温箱中,无光照。从次日起,每天记录种子发芽数,之后每天向培养皿中适量添加对应浓度的浸提液或蒸馏水,当连续 3 d 不再有新的种子萌发时,计数停止。

1.2.3　*测试指标与方法*　自培养皿放入培养箱起,每隔 24 h 记录种子的发芽数(以肉眼可见其长出白色胚根为萌发标准),当种子发芽数连续 3 d 不再增加的时候,结束培养,萌发指标计算公式分别为:

$$G_R = n_1/N \times 100\% \quad (1)$$

式中,G_R为发芽率(%);n_1为供试种子发芽数;N 为供试种子总数。

$$G_P = n_2/N \times 100\% \quad (2)$$

式中,G_P为发芽势(%);n_2为供试种子一天中发芽粒数增量最多时候的发芽总数;N 为供试种子的总数。

$$G_I = \sum G_t/D_t \quad (3)$$

式中,G_I为发芽指数;G_t为时间 t 内种子的发芽数;D_t为第 t 天。

$$V_I = S \times G_I \quad (4)$$

式中,V_I为活力指数;S 为平均根长(cm)。

$$R_I = 1 - C/T, \quad T \geqslant C \quad (5)$$

$$R_I = T/C - 1, \quad T < C \quad (6)$$

式中,R_I为化感效应指数;C 为对照值;T 为处理值。$R_I>0$ 表示促进,$R_I<0$ 表示抑制,R_I的绝对值越大,其化感效应强度也就越强;综合化感效应指数(SE)是各项指标 R_I的算术平均值。

2　结果与分析

2.1　匍根骆驼蓬浸提液下刺萼龙葵种子萌发动态

通过每日观察计数刺萼龙葵及玉米的发芽数,得到萌发动态变化(图 1)。刺萼龙葵种子萌发天数为 15 d,玉米的萌发天数为 6 d。随着浸提液浓度的增加,刺萼龙葵种子发芽数与玉米种子发芽数均逐渐降低,当浸提液浓度为 30 g · L^{-1}时,刺萼龙葵种子的发芽数为 0。通过线条斜率可知,CK 处理下,刺萼龙葵种子在 4~7 d 发芽速率较快;5 g · L^{-1}处理下,其在 5~10 d 发芽速率较快;10 g · L^{-1}与 20 g · L^{-1}处理下,其发芽速率较为缓慢。玉米种子各处理组发芽趋势相似,其在 1~3 d 发芽速率较快,后续发芽速率基本为 0。

2.2　匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵种子萌发活力指标的影响

种子活力是种子发芽和出苗率、幼苗生长的潜势,为植株抗逆能力和生产潜力的总和,是种子品质的重要指标。通过发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数可以检验种子的质量。发芽率越高,说明种子萌发能力越强;发芽势高的种子,萌发能力强,生长势强;发芽指数越高,表示种子活力和生长越好;活力指数越高,代表种子生理活性越高。通过观察计数求得各项指标,如图 2 所示。

2.2.1　*发芽率*　种子的萌发活力通过发芽率来体现,经过不同浓度的匍根骆驼蓬浸提液处理后,刺萼龙葵种子和玉米种子的发芽率均呈现不同程度下降(图 2A)。不同浓度浸提液处理下,刺萼龙葵种子发芽率均与 CK 达到显著差异水平($P<0.05$),在

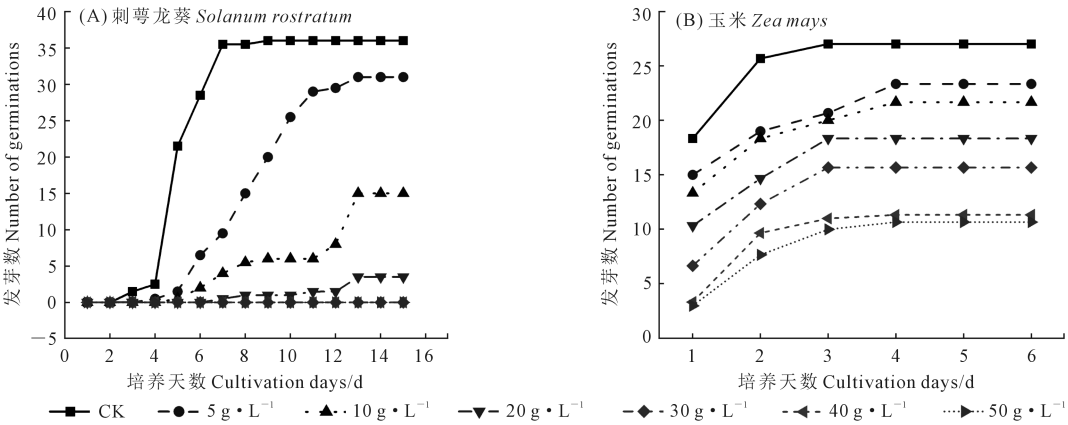
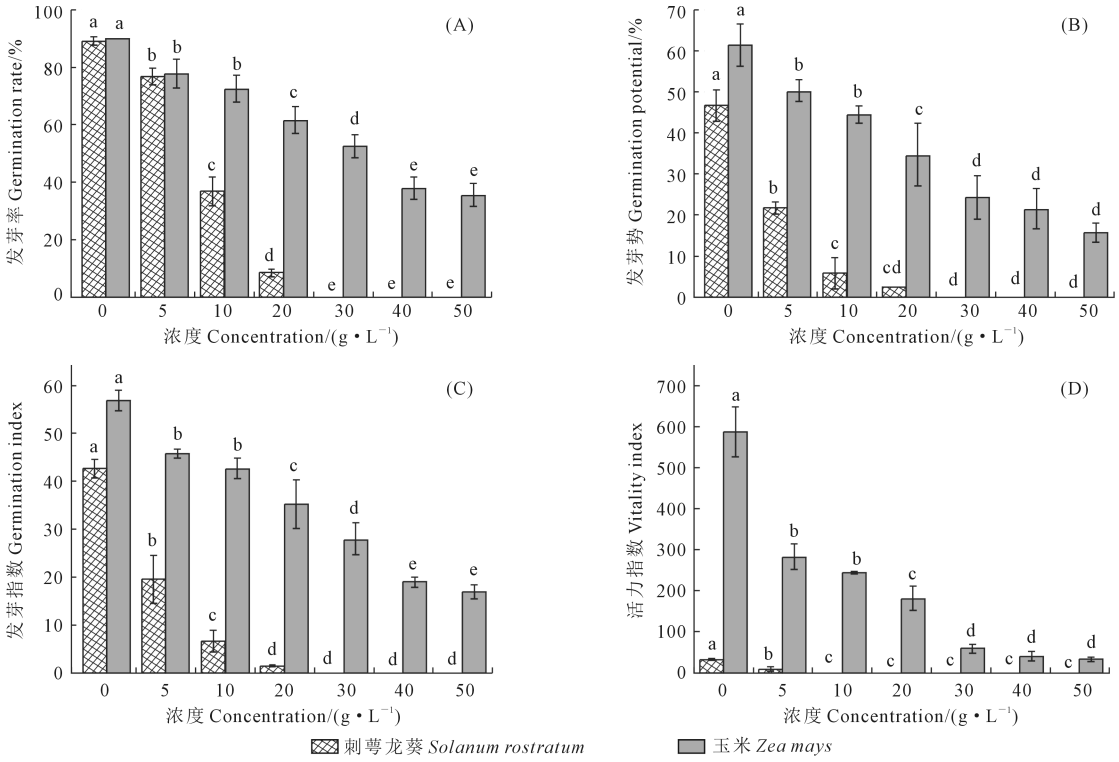


图 1　刺萼龙葵与玉米种子萌发动态

Fig.1　Seed germination dynamics of *S. rostratum* and *Z. mays*



注:柱上不同小写字母表示同一种受试植物在不同浓度处理间 $P<0.05$ 水平有显著差异。下同。

Note: Different lowercase letters on the bar indicate significant differences between different concentrations of the same test plant at the level of $P<0.05$. The same below.

图 2 刺萼龙葵和玉米种子活力指标

Fig.2 Seed vigor indicators of *S. rostratum* and *Z. mays*

5、10、20 g·L^{-1}浓度下,刺萼龙葵种子的发芽率分别较 CK 降低 12.50%、52.50%、80.84%;随浸提液浓度增加,刺萼龙葵种子的发芽率显著下降,在浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,刺萼龙葵的发芽率为 0。随浸提液浓度增加,玉米的发芽率亦呈逐渐下降趋势,不同浓度浸提液浓度处理的玉米种子发芽率显著大于 CK($P<0.05$),分别较 CK 下降 12.33%、17.67%、28.67%、37.67%、52.33%、54.67%。

2.2.2 发芽势 发芽势可用来反映种子的萌发速度和整齐度,经过不同浓度匍根骆驼蓬浸提液处理后,刺萼龙葵种子及玉米种子的发芽势均受到抑制(图 2B)。刺萼龙葵各处理组发芽势均与 CK 有显著差异,随浸提液浓度增加,刺萼龙葵的发芽势显著减小,在浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,刺萼龙葵种子的发芽势为 0。20、30、40、50 g·L^{-1}浓度处理组之间,刺萼龙葵种子发芽势无显著差异;在 5、10、20 g·L^{-1}浓度下,其发芽势分别较 CK 降低 25.00%、40.84%、44.17%。玉米各处理组发芽势均与 CK 差异显著,分别较 CK 降低 11.33%、17.00%、27.00%、37.00%、40.00%、45.66%;5 g·L^{-1}与 10 g·L^{-1}处理组间发芽势无显著差异,30、40、50 g·L^{-1}各处理组间发芽势亦无显著差异。

2.2.3 发芽指数 由图 2C 可知,在 0~50 g·L^{-1}浓度范围内,随着浸提液浓度的增加,刺萼龙葵种子和玉米种子的发芽指数均呈逐渐降低趋势,其中刺萼龙葵种子发芽指数的降幅较玉米种子的降幅更加显著。刺萼龙葵种子和玉米种子各处理组发芽指数均与 CK 达到显著差异水平($P<0.05$)。在 30 g·L^{-1}浓度处理下,刺萼龙葵种子发芽指数受到抑制最强,发芽指数为 0;在 5、10、20 g·L^{-1}浓度处理下,其发芽指数分别较 CK 降低 23.13、36.12、41.28。玉米各浓度处理组发芽指数分别较 CK 降低 11.04、14.29、21.74、29.10、38.00、40.08,5 g·L^{-1}与 10 g·L^{-1}处理组之间、40 g·L^{-1}与 50 g·L^{-1}处理组之间,发芽指数均无显著差异。

2.2.4 活力指数 由图 2D 可知,随浸提液浓度增加,刺萼龙葵种子的活力指数逐渐降低。刺萼龙葵种子活力指数在 10、20、30、40、50 g·L^{-1}浓度浸提液处理间无显著差异,在浸提液浓度为 20 g·L^{-1}时,其活力指数为 0;5、10、20 g·L^{-1}浓度处理下,刺萼龙葵的活力指数较 CK 分别下降 22.31、30.69、31.36。玉米种子的活力指数也随浸提液浓度增加呈下降趋势,5 g·L^{-1}与 10 g·L^{-1}处理组之间,30、40、50 g·L^{-1}各处理组之间,玉米种子活力指数均

无显著差异。玉米各处理组活力指数分别较 CK 下降 306.11、344.44、407.84、527.94、547.96、555.48。即匍根骆驼蓬浸提液能降低种子的萌发活力,浓度越高,效果越强。

2.2.5　化感效应　化感效应指数(R_I)是衡量植物化感作用强度的重要指标,当 R_I 为正值时表示化感促进作用,R_I 为负值时表示化感抑制作用。不同浓度的匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵的化感效应评价结果(表 1)表明,在 5~50 g·L^{-1}浓度范围内,各处理组刺萼龙葵和玉米的发芽率、发芽势、发芽指数所对应的化感效应指数均为负值,表明经不同浓度匍根骆驼蓬浸提液处理后,刺萼龙葵和玉米种子的萌发受到了抑制,但两者之间抑制强度有差别。在相同匍根骆驼蓬浸提液处理下,刺萼龙葵种子的生长综合化感效应指数绝对值均大于玉米种子的生长综合化感效应指数。匍根骆驼蓬浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,其对刺萼龙葵的化感效应指数已达到了最强值-1.00,但此浓度下,玉米化感效应指数为-0.51。由此可知,匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵的综合化感效应强于玉米,即其对刺萼龙葵种子萌发的影响大于对玉米种子萌发的影响。

表 1　匍根骆驼蓬对刺萼龙葵萌发的化感效应

Table 1　Allelopathic effect of *P. nigellastrum* on the seed germination of *S. rostratum*

受体材料 Acceptor material	浓度 Concentration /(g·L^{-1})	化感效应指数 R_I Allelopathy index			综合化感效应指数 *SE* Comprehensive allelopathy index
		发芽率 Germination rate	发芽势 Germination potential	发芽指数 Germination index	
刺萼龙葵 *S. rostratum*	5	-0.14	-0.54	-0.54	-0.41
	10	-0.59	-0.88	-0.85	-0.77
	20	-0.91	-0.95	-0.97	-0.94
	30	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
	40	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
	50	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
玉米 *Z. mays*	5	-0.14	-0.18	-0.19	-0.17
	10	-0.20	-0.28	-0.25	-0.24
	20	-0.32	-0.44	-0.38	-0.38
	30	-0.42	-0.60	-0.51	-0.51
	40	-0.58	-0.65	-0.67	-0.63
	50	-0.61	-0.74	-0.71	-0.69

2.3　匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵种子萌发期胚根和胚芽的影响

由图 3 可见,不同浓度匍根骆驼蓬浸提液处理下,刺萼龙葵及玉米的胚根长度(图 3A)和胚芽长度(图 3B)均与 CK 有显著差异($P<0.05$)。10~50 g·L^{-1}浓度处理间刺萼龙葵种子胚根长度及胚芽长度无显著差异。刺萼龙葵胚根长度在 20 g·L^{-1}浸提液浓度处理下为 0,在 5~20 g·L^{-1}浓度处理下分别较 CK 降低 0.30、0.63、0.74 cm;胚芽长度在 30 g·L^{-1}浓度处理下为 0,在 5~30 g·L^{-1}浸提液处理下分别较 CK 降低 0.56、1.81、1.91、2.06 cm。在 5~20 g·L^{-1}和 30~50 g·L^{-1}浓度处理条件下,玉米种子胚根长度和胚芽长度无显著差异。与 CK 相比,各处理组玉米胚根长度分别减少 4.22、4.65、5.28、9.40、8.06、8.62 cm,胚芽长度分别减少 1.26、1.52、1.96、3.90、3.83、2.71 cm。

随着浸提液浓度的增加,刺萼龙葵胚根和胚芽生长受到的化感抑制作用增强(表 2)。在 30 g·L^{-1}浓度匍根骆驼蓬浸提液的化感作用下,刺萼龙葵种子胚生长综合化感效应指数为-1.00,即在此浓度下,刺萼龙葵种子胚根和胚芽的生长已经停止,种子失去活性。刺萼龙葵种子胚根和胚芽化感效应指数在 5~10 g·L^{-1}浓度处理下降幅较大,玉米种子胚根和胚芽的化感效应指数在 20~30 g·L^{-1}浓度处理下降幅较大。在 30 g·L^{-1}浸提液处理下,玉米种子胚生长的综合化感效应指数为-0.76。胚根和胚芽生长综合化感效应指数表明,在 30 g·L^{-1}浓度处理下,匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵胚根和胚芽的化感抑制效果明显。

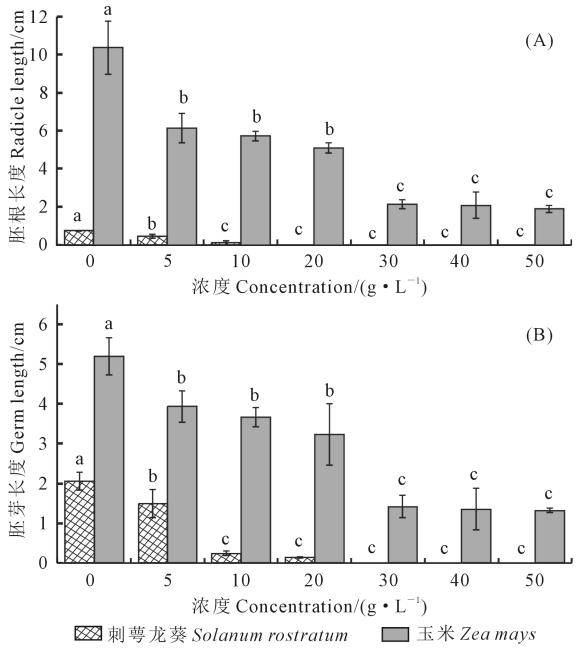


图 3　不同浓度匍根骆驼蓬浸提液对胚根和胚芽长度的影响

Fig.3　Effects of different concentrations of *P. nigellastrum* extract on radicle length and germ length

3　讨　论

在特定环境中,植物的持续繁衍和生存取决于其自身的功能特性。在众多植物特性中,种子承载

表 2 不同浓度匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵种子幼苗的化感效应

Table 2 Allelopathic effect of different concentrations of *P. nigellastrum* extract on the seedling growth of *S. rostratum*

受体材料 Acceptor material	浓度 Concentration /(g·L^{-1})	化感效应指数 R_I Allelopathy index		综合化感效应指数 *SE* Comprehensive allelopathy index
		胚根长度 Radicle length	胚芽长度 Germ length	
刺萼龙葵 *S. rostratum*	5	−0.39	−0.30	−0.34
	10	−0.82	−0.89	−0.86
	20	−0.89	−0.93	−0.91
	30	−1.00	−1.00	−1.00
	40	−1.00	−1.00	−1.00
	50	−1.00	−1.00	−1.00
玉米 *Z. mays*	5	−0.41	−0.24	−0.33
	10	−0.45	−0.29	−0.37
	20	−0.51	−0.38	−0.45
	30	−0.79	−0.72	−0.76
	40	−0.80	−0.74	−0.77
	50	−0.82	−0.74	−0.78

着生命,可实现物种的延续和种群生态位空间的扩大[13]。种子萌发是植物生长过程中非常关键的阶段,通常会影响植物个体在群落中的数量和竞争能力[14]。种子萌发数量在很大意义上影响着作物产量[15],种子萌发率的减少会导致成活植株的数量减少,因此产量降低[16]。本研究发现,匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵的种子萌发产生了抑制效果,随浸提液浓度增加,种子萌发受到的化感抑制效果增强;在匍根骆驼蓬浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,刺萼龙葵种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均为 0,分别较 CK 减少 52.33%、24.33%、27.72%、59.23%。这与前人针对化感作用的研究结果相似,于美婷[17]研究表明,无花果根和叶的水浸提液对菘蓝种子萌发具有化感抑制作用,且抑制作用强度会随浓度的增加而增强,从而减缓菘蓝种子萌发进程,降低种子的发芽率;闫程铭[18]研究发现,水稗草(*Echinochloa phyllopogon*)、紫花地丁(*Viola phillipina*)、香薷(*Elsholtzia ciliata*)和反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)这 4 种草本种子的萌发、苗长和根长受到蓝蓟(*Echium vulgare*)水浸提液的化感抑制作用。以上研究均表明可通过化感作用来抑制杂草的生长,降低其种子的萌发指标,达到生物防治效果。

植物入侵的手段可以通过化感作用形成优势群落,但一些乡土植物对入侵植物同时也具有化感抑制作用[19]。化感效应指数可以度量植物的化感强度,综合化感效应指数是整体衡量植物化感作用的重要指标[20]。不同植物间的化感效应表现有所不同。古龙[21]研究发现,黄菊的茎叶浸提液对杂草综合化感效应指数表现为抑制作用;赛米拉克孜·台外库力[22]研究表明,不同浓度醉马草(*Achnatherum inebrians*)水浸提液对受体植物种子萌发的影响在不同物种间和不同指标间存在一定差异,综合化感效应指数整体上呈现为抑制作用;Gindri 等[23]发现,马缨丹(*Lantana camara*)的叶片浸提液可以降低燕麦(*Avena sativa*)种子的发芽速率指数和种子活力,其综合化感效应指数也表现为化感抑制作用;Li 等[24]通过田间试验表明,艾草(*Artemisia indica Willd*)对菊花田杂草生长有显著的化感抑制作用,对菊花生长则无不良影响。本研究结果与前人相似,不同浓度的匍根骆驼蓬水浸提液对刺萼龙葵种子萌发的化感作用表现为抑制性,且其化感作用强度显著;在浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,刺萼龙葵种子发芽率、发芽势和发芽指数的化感效应均为−1.00,即萌发综合化感效应指数为−1.00,表明匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵种子的萌发具有化感效应。

根据植物萌发阶段的胚根和胚芽长度,可以评判幼苗的生长发育能力。本研究中,匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵和玉米的胚根、胚芽的长度有明显抑制作用,随着浸提液浓度增加,其胚根和胚芽的长度降低;在浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,刺萼龙葵胚根和胚芽的生长为 0,胚根和胚芽生长的综合化感效应指数达到−1.00,玉米种子萌发期生长的综合化感效应指数为−0.76,表明匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵种子的胚根、胚芽生长具有更强的化感作用。钟雯瑾[25]研究发现,柳枝稷(*Panicum virgatum*)种子的胚根和胚芽长度随 PEG 处理浓度的增大而下降,且胚根下降程度高于胚芽;彭军等[26]研究表明,黄顶菊(*Flaveria bidentis*)对杂草种子发芽及胚根和胚芽长度均有较强的抑制作用;陈幻真等[27]研究发现,溪黄草(*Isodon serra*)鲜样浸提液浓度为 80 mg·mL^{-1}时,其对马唐(*Digitaria sanguinalis*)与稗草(*Echinochloa crusgalli*)种子的萌发和根长具有显著的抑制作用($P<0.05$),与本研究结果一致。

玉米是我国北方主要的经济作物,在刺萼龙葵入侵的大部分省(区)的农业种植区内,玉米的种植非常普遍。刺萼龙葵在入侵农田生态系统时,主要生于田埂及水渠边,当种子落到田间,一经萌发,便可在苗期铲除,以防其长成大苗造成危害。因此,在农田生态系统中,田埂和水渠附近的种群是主要防控对象。鉴于田埂及水渠边的农田具有边际效应,作物生长本身会受到一定影响。本研究发现,使用匍根骆驼蓬浸提液处理会对玉米种子萌发产

生一定抑制作用,但随着浸提液浓度降低,影响会越来越小,故在实际应用中,匍根骆驼蓬浸提液处理对农田玉米的出苗并不会造成显著影响。

4 结　论

1)匍根骆驼蓬浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,刺萼龙葵种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均为 0,其抑制程度达到 100%;在此浓度下,浸提液对玉米的各项萌发指标影响较弱,玉米发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数分别为 52.33%、24.33%、27.72%、59.23%。在确保玉米种子萌发所受影响在可接受范围内,对刺萼龙葵种子萌发产生最大抑制效果的匍根骆驼蓬浸提液的浓度为 30 g·L^{-1}。

2)在浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,刺萼龙葵种子发芽率、发芽势和发芽指数的化感效应指数均为 -1.00,即萌发综合化感效应指数为-1.00;玉米种子的发芽率、发芽势和发芽指数的化感效应指数分别为-0.42、-0.60 和-0.51,即综合化感效应指数为 -0.51。综合化感效应指数结果可知,在浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,其对刺萼龙葵种子萌发的化感效应最强。

3)匍根骆驼蓬浸提液对刺萼龙葵胚根和胚芽的长度有明显抑制作用,其胚根和胚芽长度随浸提液浓度的增加而降低。在浸提液浓度为 30 g·L^{-1}时,刺萼龙葵胚根和胚芽的长度为 0,胚生长受到最大抑制;刺萼龙葵种子萌发期胚生长的综合化感效应指数达到-1.00,玉米种子萌发期胚生长的综合化感效应指数为-0.76,该浓度为抑制刺萼龙葵萌发期胚根和胚芽生长的有效浓度。

参 考 文 献:

[1] 张航, 闫超杰, 郑壹鸣. 有毒入侵杂草刺萼龙葵的有效防控[J]. 中国海关, 2023, (10): 63.
ZHANG H, YAN C J, ZHENG Y M. Effective control of toxic invasive weed *Solanum rostratum*[J]. China Customs, 2023, (10): 63.

[2] 包菡, 傅建伟, 王跃飞, 等. 外来入侵植物刺萼龙葵在内蒙古的分布格局和传播扩散影响因子分析[J]. 环境与发展, 2022, 34(6): 104-108.
BAO H, FU J W, WANG Y F, et al. Distribution pattern and spread impact factors of invasive plant buffalobur in Inner Mongolia[J]. Inner Mongolia Environmental Sciences, 2022, 34(6): 104-108.

[3] 梁景, 黄瑞鹏, 韩其昌. 外来植物入侵及防控探析[J]. 现代农业科技, 2021, (8): 92-94.
LIANG J, HUANG R P, HAN Q C. Analysis on invasion of alien plant and its control[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2021, (8): 92-94.

[4] 王相云. 外来植物入侵的生物多样性响应及其生态防护研究[J]. 南方农机, 2020, 51(12): 60.
WANG X Y. Study on biodiversity response and ecological protection of alien plant invasion[J]. South Agricultural Machinery, 2020, 51(12): 60.

[5] 李霄峰, 王俊仙, 肖占国, 等. 两种不同生境条件下刺萼龙葵的化防策略研究[J]. 生物灾害科学, 2024, 47(2): 284-290.
LI X F, WANG J X, XIAO Z G, et al. A study on chemical control strategies of *Solanum rostratum* under two different habitat conditions[J]. Biological Disaster Science, 2024, 47(2): 284-290.

[6] 周全来, 曹伟, 张悦, 等. 外来入侵植物刺萼龙葵的入侵特征与防治策略[J]. 生物安全学报, 2023, 32(4): 314-322.
ZHOU Q L, CAO W, ZHANG Y, et al. Invasion characteristics of the alien invasive plant *Solanum rostratum* and its control strategies[J]. Journal of Biosafety, 2023, 32(4): 314-322.

[7] 杨浩娜, 王立峰, 邬腊梅. 植物源除草剂的研发现状[J]. 湖南农业科学, 2022, (6): 100-104.
YANG H N, WANG L F, WU L M. The research and development status of botanical herbicides[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2022, (6): 100-104.

[8] CHENG H Y, WU B D, YU Y L, et al. The allelopathy of horseweed with different invasion degrees in three provinces along the Yangtze River in China[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2021, 27(3): 483-495.

[9] NING L, YU F H, VAN KLEUNEN M. Allelopathy of a native grassland community as a potential mechanism of resistance against invasion by introduced plants[J]. Biological Invasions, 2016, 18(12): 3481-3493.

[10] 陈玲, 董坤, 杨智仙, 等. 连作障碍中化感自毒效应及间作缓解机理[J]. 中国农学通报, 2017, 33(8): 91-98.
CHEN L, DONG K, YANG Z X, et al. Allelopathy autotoxcity effect of successive cropping obstacle and its alleviate mechanism by intercropping[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(8): 91-98.

[11] 赵金花, 李青丰, 高尤汗, 等. 内蒙古荒漠草原匍根骆驼蓬营养器官的旱生结构[J]. 内蒙古草业, 2009, 21(2): 38-40, 48.
ZHAO J H, LI Q F, GAO Y H, et al. Xerophytic structure of vegetative organs of *Peganum stolonifera* in desert grassland of Inner Mongolia[J]. Inner Mongolia Prataculture, 2009, 21(2): 38-40, 48.

[12] 蔡振利, 刘志斌, 段金廒, 等. 中国骆驼蓬属植物中挥发性成分的分析[J]. 中国药科大学学报, 1994, 25(5): 311-312.
CAI Z L, LIU Z B, DUAN J A, et al. Studies on the volatile constituents of *Peganum* three plants in China[J]. Journal of China Pharmaceutical University, 1994, 25(5): 311-312.

[13] WEI Y, DONG M, HUANG Z Y. Seed polymorphism, dormancy and germination of *Salsola affinis* (Chenopodiaceae), a dominant desert annual inhabiting the Junggar Basin of Xinjiang, China[J]. Australian Journal of Botany, 2007, 55(4): 464.

[14] 陈金慧, 马慧燕, 陈煜, 等. 五爪金龙两种化感作用途径释放的化学成分分析及其效应研究[J]. 草业学报, 2022, 31(2): 88-100.
CHEN J H, MA H Y, CHEN Y, et al. A study of chemicals released as volatiles or by rain leaching from *Ipomoea cairica* and their allelopathic effects[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(2): 88-100.

(下转第 78 页)