



王紫媛,刘星月,周松林,等.高寒退化草甸优势种大狼毒对三种受体植物的化感作用[J].江西农业大学学报,2022,44(3):635-646.

WANG Z Y,LIU X Y,ZHOU S L,et al.Allelopathic effects of dominant species *Euphorbia jolkinii* on three receptor plants in alpine degraded meadow[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2022,44(3):635-646.

高寒退化草甸优势种大狼毒 对三种受体植物的化感作用

王紫媛,刘星月,周松林,李 伟*

(西南林业大学 地理与生态旅游学院,云南 昆明 650000)

摘要:【目的】大狼毒(*Euphorbia jolkinii*)是滇西北退化高寒草甸常见的一种毒害型草本植物,常取代本土优良牧草而成为优势物种,因而给高寒草甸生态系统的可持续发展及当地畜牧业发展带来威胁,通过探究大狼毒是否会对周围其他周边草甸植物产生化感影响,揭示大狼毒在滇西北高寒草甸退化中的作用,为滇西北高寒草甸的退化防治与生态环境保护提供科学依据。【方法】采取野外调查与室内试验相结合的方式,分析大狼毒对高寒草甸植被群落多样性的影响,以及大狼毒的不同浸取液(包括不同浓度和部位)对紫云英(*Astragalus sinicus*)、黑麦草(*Lolium perenne*)和早熟禾(*Poa annua*)3种本土牧草植物的种子萌发及其幼苗生长的影响,进而探究大狼毒化感作用在滇西北高寒草甸退化中可能扮演的角色。【结果】(1)较之非大狼毒聚集区,大狼毒聚集区内草甸植物的多样性明显下降,表明大狼毒的存在对草甸植物的多样性具有显著的负面影响;(2)大狼毒根浸取液对3种受体植物的种子发芽率均有显著的抑制作用,叶浸取液只对早熟禾种子的发芽率有着明显的抑制作用,而茎浸取液对3种受体植物的种子发芽率均不存在显著的抑制效果。其中0.2 g/mL浓度的根浸取液对3种植物种子发芽率的化感效应最突出;(3)大狼毒根、茎、叶浸取液对3种受体植物幼苗高度有着一定的抑制作用,但不存在统计学显著性。【结论】大狼毒对滇西北高寒退化草甸植物多样性及3种本土植物种子发芽具有明显的化感作用,而对3种植物幼苗生长不存在明显的化感效应。

关键词:大狼毒;浸取液;化感作用;高寒退化草甸

中图分类号:S812 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2022)03-0635-12

Allelopathic Effects of Dominant species *Euphorbia jolkinii* on Three Receptor Plants in Alpine Degraded Meadow

WANG Ziyuan, LIU Xingyue, ZHOU Songlin, LI Wei*

(School of Geography and Ecotourism, Southwest Forestry University, Kunming 650000, China)

Abstract: [Objective] As a common poisonous herb in degraded alpine meadow in Northwest Yunnan, *Euphorbia jolkinii* often replaces local excellent forages and becomes a dominant species, which poses a threat to the sustainable development of alpine meadow ecosystem and the development of local animal husbandry. By exploring whether *Euphorbia jolkinii* will have allelopathic effects on other surrounding meadow plants, this study

收稿日期:2021-11-02 修回日期:2021-01-24

基金项目:国家自然科学基金项目(31760175)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(31760175)

作者简介:王紫媛,orcid.org/0000-0002-1520-9574,1257072901@qq.com;*通信作者:李伟,研究员,博士,主要从事生物多样性保护、自然资源管理与利用研究,orcid.org/0000-0001-7753-9408,ww0592@gmail.com。

reveals the role of *Euphorbia jolkinii* in the degradation of alpine meadow in Northwest Yunnan, thus providing a scientific basis for the degradation control and ecological environment protection of alpine meadow in Northwest Yunnan. [Methods] This study analyzed the impact of *Euphorbia jolkinii* on vegetation community diversity of alpine meadow by combining field investigation and indoor experiment, and the effects of different extracts of *Euphorbia jolkinii* (including different concentrations and parts) on the seed germination and seedling growth of three native forage plants, *Astragalus sinicus*, *Lolium perenne*, and *Poa annua*, in order to explore the possible role of Allelopathy of *Euphorbia jolkinii* in the degradation of alpine meadow in Northwest Yunnan. [Results] (1) Compared with non *Euphorbia jolkinii* aggregation area, the diversity of meadow plants in *Euphorbia jolkinii* aggregation area decreased significantly, indicating that the existence of *Euphorbia jolkinii* had a significant negative impact on the diversity of meadow plants. (2) The root extract of *Euphorbia jolkinii* had a significant inhibitory effect on the seed germination rate of the three receptor plants, the leaf extract had a significant inhibitory effect only on the seed germination rate of *Poa annua*, while the stem extract had no significant inhibitory effect on the seed germination rate of the three receptor plants. The allelopathic effect of 0.2 g/mL root extract on the seed germination rate of the three plants was the most prominent. (3) The extracts from roots, stems and leaves of *Euphorbia jolkinii* had a certain inhibitory effect on the seedling height of the three receptor plants, but there was no statistical significance. [Conclusion] *Euphorbia jolkinii* has obvious allelopathic effect on plant diversity and seed germination of three native plants in Alpine degraded meadow in Northwest Yunnan, but it has no obvious allelopathic effect on seedling growth of three plants.

Keywords: *Euphorbia jolkinii*; water extract; allelopathic effects; alpine degraded meadow

【研究意义】滇西北位于青藏高原东南部、横断山区的核心地带,属于我国“两屏三带”绿色发展生态安全屏障中的“川滇生态屏障”区域,植物多样性非常丰富^[1]。以滇西北迪庆州为例,其境内广泛分布着高寒草甸生态系统,发挥着涵养水源、保持水土、维持生物多样性等关键生态系统功能^[2],对区域生态环境可持续发展而言具有十分重要的意义。然而,近年来由于过度放牧及无序观光旅游等问题,导致滇西北大面积的高山草甸生态系统发生退化,毒害草蔓延趋势日益严重^[3]。滇西北“毒害草”主要包括大狼毒(*Euphorbia jolkinii*)、大黄橐吾(*Ligularia duciformis*)和舟叶橐吾(*Ligularia cymbulifera*)等,其中大狼毒分布最广,因而也成为滇西北高寒草甸退化的一种重要指示性植物^[5-6]。【前人研究进展】大狼毒为大戟科大戟属多年生草本植物,由于其自身具有毒性,往往不被家畜食用。近年来,其种群在滇西北高寒草甸迅速扩张,尤其在过度放牧的退化草甸区域常取代本土优良牧草而成为优势物种^[6-8],从而改变了生态系统原有植物结构,减少了草甸原生植物的多样性,给高寒草甸生态系统的可持续发展及当地畜牧业发展带来严重威胁^[6,9]。【本研究切入点】大狼毒可能通过植物的化感作用来抑制本土植物的生长与发育,从而成为造成滇西北高寒草甸退化的一个主要重要原因。化感作用是指植物通过向环境中释放化学物质,从而对其周围生物所产生的直接或间接的抑制或促进作用^[10-11],该作用主要来源于植株根系分泌、凋落物的淋溶和腐解等^[12]。【拟解决的关键问题】在滇西北退化高寒草甸生态系统中,大狼毒是否对本土植物的生长与发育具有显著的化感作用?目前,针对此问题的研究较为缺乏。因此,本文采用野外考察与室内试验相结合的方法,探究大狼毒对区域植物多样性的影响,以及利用取自不同部位、具有不同浓度的大狼毒浸取液对3种本土牧草植物(紫云英、黑麦草和早熟禾)种子萌发和幼苗生长的影响,探究大狼毒在滇西北高寒草甸退化中的作用,为滇西北高寒草甸的退化防治与生态环境保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 野外调查

1.1.1 调查地概况 香格里拉市位于滇西北迪庆藏族自治州东部(图1),属青藏高原南缘横断山脉的腹

地,纬度位置为 26°52′~28°52′N,99°20′~100°29′E。地势西北高东南低,平均海拔 3 500 m,年平均气温 6.4 ℃,年降水量 649.4 mm,年日照数 2 141 h,无霜期共 164 d。香格里拉高寒退化草甸区域主要生活着以菊科、蓼科、玄参科、蔷薇科、毛茛科为代表的草本植物。在本研究中,草甸植被调查及试验材料取样工作均在香格里拉市蓝月山谷区域开展。蓝月山谷位于香格里拉市西南部,距市中心 7 km,占地约 60 km²,区域内有较大规模的大狼毒种群聚集。

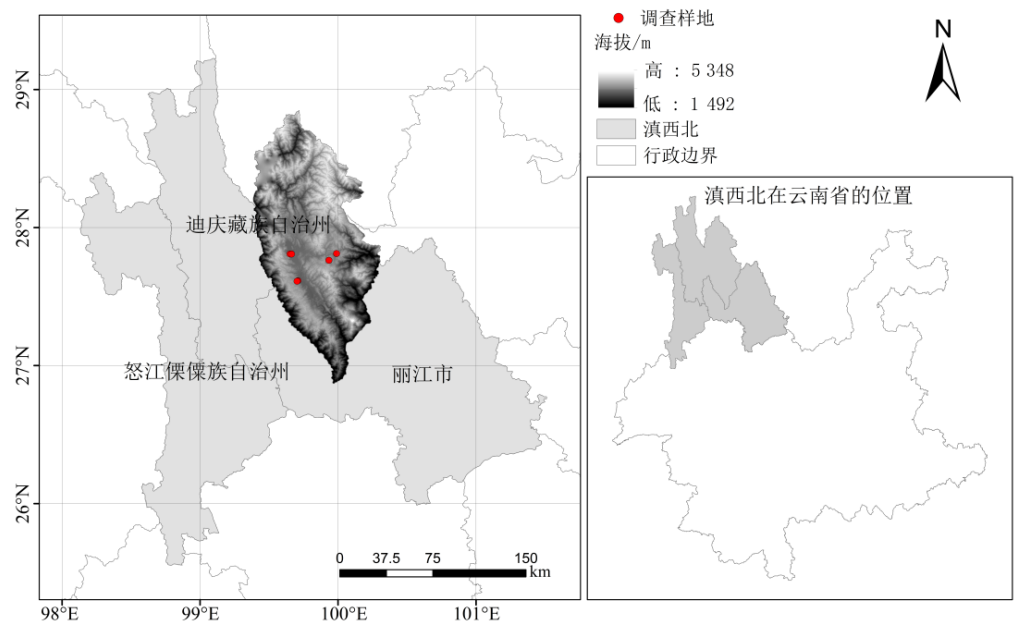


图 1 研究区位置及样点分布

Fig.1 Location and sample distribution of the study area

1.1.2 植物多样性调查 在蓝月山谷大狼毒生长范围(半径 30 m 范围内有大狼毒植株生长)和无大狼毒生长范围内(直径范围 30 m 内无大狼毒植株生长)各随机选取 10 块 10 m×10 m 的样地(图 1),设置大小为 1 m×1 m 的样方,调查并记录样方内各草甸植物的种类、高度、数量、盖度、冠幅等信息。通过计算各样地内的草甸植物多样性指数,分析比较有 无大狼毒生长的两个区域间草甸植物多样性的差异,从而探究大狼毒的化感作用对高寒草甸生态系统的影响。

1.2 研究材料

1.2.1 浸取液制备 在蓝月山谷大狼毒群落聚集区域采集供试植物大狼毒样品,采集时间为 2017 年 8 月和 2018 年 8 月。采集时选取中等大小、生长良好的大狼毒植株。采集当天对所收集的大狼毒植株进行清洗,按根、茎、叶的部位进行归类并剪为约 2 cm 长的小段。分别称取剪碎后的大狼毒根、茎、叶各 200 g 并置于洁净的塑料瓶中,然后各加入 800 mL 蒸馏水并浸泡 48 h,且每隔 6 h 摇晃 5 min。用纱布和滤纸过滤浸取液,得到大狼毒根、茎、叶水浸液并置于 4 ℃的冰箱中保存备用^[13-14]。

1.2.2 受试材料 受试材料为紫云英、黑麦草和早熟禾的种子,均采自蓝月山谷。3 种受试种子的植物学特征如表 1 所示。

表 1 3 种受试牧草种子

Tab.1 Three tested forage seeds

植物名称 Pant name	科名 Family name	属名 Genus name	生活型特征 Life style characteristics
紫云英 <i>Astragalus sinicus</i>	豆科 Fabaceae	黄耆属 <i>Astragalus</i>	二年生草本植物,一种重要的牧草和绿肥作物
黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	禾本科 Poaceae	黑麦草属 <i>Lolium</i>	多年生草本植物,各地普遍引种栽培的优良牧草
早熟禾 <i>Poa annua</i>	禾本科 Poaceae	早熟禾属 <i>Poa</i>	一年生或冬性禾草,是一种常见牧草

1.3 种子萌发及幼苗生长试验

挑选颗粒饱满且无虫害的黑麦草、早熟禾和紫云英种子各20粒,用0.1%浓度的高锰酸钾(KMnO_4)溶液浸泡10 min消毒,用蒸馏水清洗干净后,以蒸馏水浸泡3 h催芽。在培养皿中铺上2层定性滤纸,干热灭菌2 h。将3种植物种子铺到灭菌后的培养皿上,每皿20粒种子,共设2组重复。大狼毒根、茎、叶3个组织部位的浸取液稀释为1/2、1/4、1/6浓度后(即浓度梯度为:0.2,0.1,0.05,0.033 g/mL),以每皿5 mL滴加到培养皿中,并用塑封袋套封培养皿,以免溶液挥发。培养皿置于实验室培养待种子发芽,实验室日光照时长>12 h,室内温度25℃左右,培养7 d后每天记录种子发芽数,发芽试验以种子连续3周不再萌发的时间为末次计数时间,计算发芽率,并进行方差分析。

种子萌发7 d左右选取发芽水平相近的幼苗移栽进装填好土壤基质的穴盘,每穴一株幼苗,一个处理重复6株幼苗。移栽时测量株高和统计幼苗叶片数^[15]。以稀释过后的大狼毒根、茎、叶浸取液(浓度梯度为:0.1,0.05,0.033 g/mL)滴浇幼苗,每穴5 mL,每周补浇一次。一个月后用游标卡尺测量幼苗株高,统计幼苗叶片数。计算每组处理幼苗高度、叶片数平均值,对统计结果做方差分析。

1.4 数据处理

1.4.1 多样性指数

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数}(H'): H' = \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (1)$$

$$\text{Simpson 多样性指数}(D): D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (2)$$

$$\text{丰富度指数}(R): R = S \quad (3)$$

式(1)、(2)和(3)中, S 为物种数目; P_i 为第*i*个物种所占的比例。

1.4.2 化感作用

$$\text{发芽率}(R_c) = (M_i/M \times 100\%) \times 100\% \quad (4)$$

式(4)中, M_i 为最终正常发芽种子粒数; M 为种子总粒数。

参照Williamson等^[17]的方法计算化感作用效应指数(allelopathic response index, RI)来衡量大狼毒对3种受试植物种子发芽与幼苗生长的影响程度。公式如下:

$$\text{RI} = 1 - C/T (T \geq C) \text{ 或 } \text{RI} = T/C - 1 (T < C) \quad (5)$$

式(5)中: C 为对照值; T 为处理值。RI<0为抑制效应,RI>0为促进效应。RI的绝对值大小表示化感作用的强弱^[16]。

采用Excel 2019进行数据统计,利用SPSS 25.0对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),Duncan'法进行多重比较($\alpha=0.05$),并利用R软件作图。试验数据均用“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 大狼毒对群落植物多样性的影响

根据野外调查数据可知,在大狼毒群落区,大狼毒平均盖度为85%~90%,其余物种盖度均较低,例如小苦苣、椭圆花锚、西南委陵菜、蒿草等物种在大狼毒群落区并未有分布,而在非大狼毒群落区均有较广泛分布。此外,在非大狼毒群落区,小画眉草平均盖度为30%~50%,早熟禾平均盖度为15%~20%,云南高山豆平均盖度为10%~30%,然而这3种植物在大狼毒群落区平均盖度均小于10%。这与尹海燕等^[6]的研究结果契合。

通过计算多样性指数(表2),比较大狼毒群落区和非大狼毒群落区的多样性指数。由图2可得:大狼毒群落区物种丰富度、Simpson指数和Shannon-Wiener指数均显著低于非大狼毒群落区。具体来看,非大狼毒群落区平均丰富度、Simpson指数和Shannon-Wiener指数分别为14、0.832 5和2.075 5,大狼毒群落区3种指数分别为9.8、0.532 2和1.265 4。

在方差分析结果(图2)中,Shannon-Wiener指数: $F_{1,18}=242.7, P<0.001$;Simpson指数: $F_{1,18}=312.7, P<0.001$ 。这表明,大狼毒群落区与非大狼毒群落区的物种丰富度、Simpson指数和Shannon-Wiener指数均具有显著差异。因此,大狼毒对其周围的植物生存具有明显的抑制作用,从而降低群落的植物多样性。

表 2 大狼毒群落区和非大狼毒群落区物种多样性指数

Tab2 Species diversity index of *Euphorbia jolkinii* community and non *Euphorbia jolkinii* community

样点	物种丰富度	辛普森指数	香农-威纳指数 Shannon-
Sites	Species richness	Simpson index	Wiener index
Far1	14	0.823 8	2.086 1
Far2	14	0.842 6	2.138 3
Far3	14	0.866 6	2.223 4
Far4	14	0.864 3	2.228 4
Far5	14	0.843 3	2.121 1
Far6	14	0.833 7	2.059 1
Far7	14	0.796 7	1.905 1
Far8	14	0.803 2	1.919 4
Far9	14	0.867 8	2.169 6
Far10	14	0.783 4	1.904 1
Near11	9	0.556 7	1.319 1
Near12	8	0.519 9	1.1353
Near13	10	0.526 7	1.284 3
Near14	10	0.554 7	1.306 4
Near15	11	0.511 7	1.273 3
Near16	10	0.488 2	1.178 1
Near17	10	0.480 3	1.170 2
Near18	11	0.613 3	1.452 6
Near19	10	0.584 2	1.382 0
Near20	9	0.486 5	1.152 3

Far: 非大狼毒群落区;Near:大狼毒群落区。

Far: no *Euphorbia jolkinii* community;Near: *Euphorbia jolkinii* community.

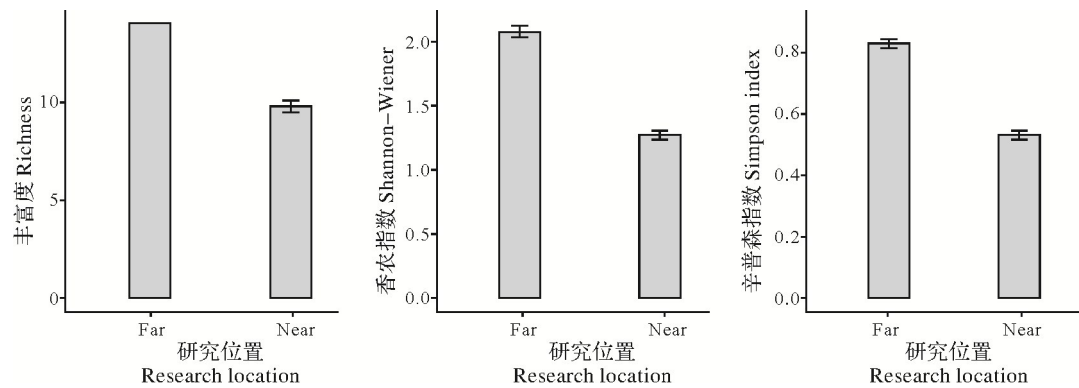


图2 大狼毒群落区和非大狼毒群落区物种多样性指数

Fig.2 Species diversity index of *Euphorbia jolkinii* community and non *Euphorbia jolkinii* community

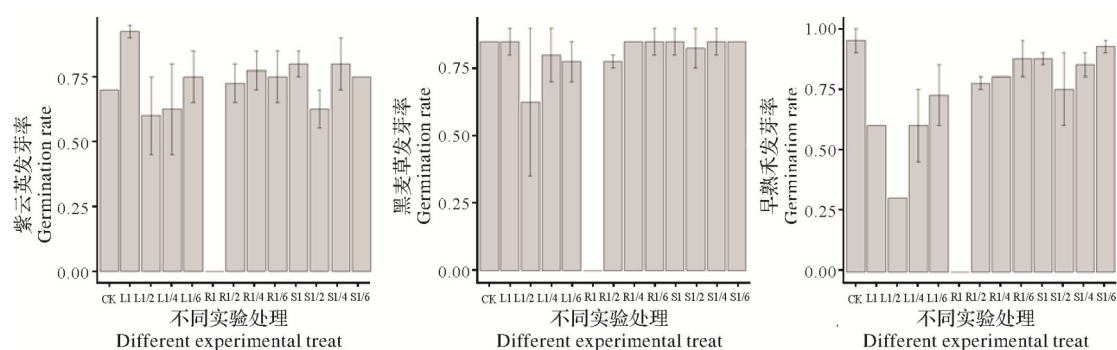
2.2 大狼毒浸取液对3种作物种子萌发的影响

从图3、表3可知,0.2 g/mL浓度的大狼毒根浸取液(R1)处理过的紫云英种子发芽率为0,明显低于对照组,且与茎、叶浸取液相比,其RI指数绝对值最高,为-1,表明该浓度的大狼毒根浸取液对紫云英种子发芽的抑制作用最强。而随着根浸取液浓度降低,这种抑制作用逐渐消失,RI值由负转正。大狼毒根浸取液的浓度与紫云英种子发芽率呈负相关,其对紫云英种子发芽具有显著的抑制作用($P=0.001\ 56<0.01$)。而大狼毒根、茎、叶浸取液处理的紫云英种子发芽率与对照组相比差异不大,其中仅S1/2(0.1 g/mL浓度的茎浸取液)和L1/2、L1/4(0.1 g/mL、0.05 g/mL浓度的叶浸取液)对紫云英发芽率存在一定抑制效果,相较于对照组,发芽率分别降低了10.71%、14.29%和10.71%。方差结果显示,大狼毒茎、叶浸取液对紫云英种子发芽无显著影响($P>0.05$)。

0.2 g/mL浓度的大狼毒根浸取液(R1)处理的黑麦草种子发芽率最低,为0,其RI指数为-1,这说明该浓度的根浸取液对黑麦草种子发芽率的抑制作用最强。其次,R1/2(0.1 g/mL浓度的根浸取液)对黑麦草种子发芽率影响的RI指数为-0.09,相较于对照组其发芽率降低了8.82%。这表明大狼毒根浸取液对黑麦草种子发芽具有显著抑制作用($P<0.001$)。大狼毒茎、叶浸取液处理的黑麦草种子发芽率相较于对照组,没有明显差异,其中茎浸取液除S1/2(0.1 g/mL浓度的茎浸取液)外,其处理的黑麦草种子发芽率均与对照组相同,RI指数为0。叶浸取液除L1(0.2 g/mL浓度的叶浸取液)处理的发芽率为0外,其他浓度的发芽率均有所减少,但其RI指数均较低,抑制作用不明显,这说明大狼毒茎、叶浸取液对黑麦草种子发芽无显著作用($P>0.05$)。

总体来说大狼毒3个部位不同浓度梯度的浸取液对早熟禾种子发芽率均存在不同程度的抑制作用,RI指数均为负,不同浓度梯度的大狼毒茎浸取液处理过的早熟禾种子发芽率与对照组的差异较小,而根、叶浸取液与对照组的差异较大。其中R1(0.2 g/mL浓度的根浸取液)的抑制效果仍最明显,RI值为-1,各浓度梯度的叶浸取液对发芽率的抑制效果均较明显。方差分析结果显示,大狼毒根、叶浸取液对早熟禾种子发芽存在显著的抑制作用($P_{\text{根}}<0.001, P_{\text{叶}}<0.05$),而茎浸取液对早熟禾种子发芽无显著影响($P>0.05$)。

综上所述,大狼毒浸取液对3种植物种子发芽均具有统计学意义上的显著抑制作用,这说明大狼毒对3种牧草植物存在化感效应,从而抑制植物种子的萌发。具体而言,在大狼毒各部位浸取液中,根浸取液对植物种子萌发的抑制性最为明显,尤其是浓度梯度为最高时,这种作用尤为突出。



CK: 对照组; L1: 0.2 g/mL的叶浸取液; L1/2: 0.1 g/mL的叶浸取液; L1/4: 0.05 g/mL的叶浸取液; L1/6: 0.033 g/mL的叶浸取液; R1: 0.2 g/mL的根浸取液; R1/2: 0.1 g/mL的根浸取液; R1/4: 0.05 g/mL的根浸取液; R1/6: 0.033 g/mL的根浸取液; S1: 0.2 g/mL的茎浸取液; S1/2: 0.1 g/mL的茎浸取液; S1/4: 0.05 g/mL的茎浸取液; S1/6: 0.033 g/mL的茎浸取液。

CK: control group; L1: leaf extract of 0.2 g/mL; L1/2: leaf extract of 0.1 g/mL; L1/4: leaf extract of 0.05 g/mL; L1/6: leaf extract of 0.033 g/mL; R1: root extract of 0.2 g/mL; R1/2: root extract of 0.1 g/mL; R1/4: root extract of 0.05 g/mL; R1/6: root extract of 0.033 g/mL; S1: stem extract of 0.2 g/mL; S1/2: stem extract of 0.1 g/mL; S1/4: stem extract of 0.05 g/mL; S1/6: stem extract of 0.033 g/mL.

图3 大狼毒浸取液对紫云英、黑麦草和早熟禾种子发芽率的影响

Fig.3 Effects of *Euphorbia jolkini* extract on seed germination rate of *Astragalus sinicus*, *Lolium perenne*, and *Poa annua*

2.3 大狼毒浸取液对3种作物幼苗生长的影响

由图4、表4可知,各浓度梯度的大狼毒根、茎、叶浸取液处理的幼苗高度均低于对照组,但差异较小,仅L1/2(0.1 g/mL浓度的叶浸取液)处理的紫云英幼苗高度明显比对照组低1.98 cm,其RI指数为-0.28。各处理RI指数绝对值均为负,表明浸取液对紫云英幼苗生长存在较小的抑制效果^[19-20]。方差分析显示,大狼毒根、茎、叶浸取液对紫云英幼苗生长均没有显著影响($P>0.05$)。

在试验中,各浓度下的大狼毒根、茎、叶浸取液处理的黑麦草幼苗高度均低于对照组,但差异不大。其RI指数均低于0,表明大狼毒浸取液对黑麦草幼苗高度存在一定的抑制性。但方差分析显示,大狼毒各部位浸取液对黑麦草幼苗生长均不存在显著作用($P>0.05$)。

除R1/2(0.2 g/mL浓度的根浸取液)和S1/6(0.033 g/mL浓度的茎浸取液)处理的早熟禾幼苗高度略高于对照组外,其他浸取液处理的幼苗高度均低于对照组,RI指数均为负。说明大狼毒浸取液对早熟禾幼苗生长具有轻微的抑制作用。然而方差分析表明,大狼毒浸取液对早熟禾幼苗生长无显著抑制作用($P>0.05$)。

表3 不同浸取液对紫云英、黑麦草和早熟禾种子发芽率的影响
Tab.3 Effects of different extracts on seed germination rate of
Astragalus sinicus, *Lolium perenne*, and *Poa annua*

受试植物 Treated plant	处理 Treatment		发芽率 Germination rate	
	浸取液 Water extraction	浓度等级 Concentration grade	平均值/% Mean	RI
紫云英 <i>Astragalus sinicus</i>	根浸取液	R1	0 ^c	-1
		R1/2	72.5±10.61 ^a	0.03
		R1/4	77.5±10.61 ^a	0.10
		R1/6	75±14.14 ^a	0.07
	茎浸取液	S1	80±7.07 ^a	0.13
		S1/2	62.5±10.61 ^b	-0.11
		S1/4	80±14.14 ^a	0.13
		S1/6	75 ^a	0.07
	叶提取液	L1	92.5±3.54 ^a	0.24
		L1/2	60±21.21 ^b	-0.14
		L1/4	62.5±24.75 ^b	-0.11
		L1/6	75±14.14 ^a	0.07
	对照组	CK	70 ^a	—
黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	根浸取液	R1	0 ^b	-1
		R1/2	77.5±3.54 ^a	-0.09
		R1/4	85 ^a	0
		R1/6	85±7.07 ^a	0
	茎浸取液	S1	85±7.07 ^a	0
		S1/2	82.5±10.61 ^a	-0.03
		S1/4	85±7.07 ^a	0
		S1/6	85 ^a	0
	叶提取液	L1	85±7.07 ^a	0
		L1/2	62.5±38.89 ^a	-0.26
		L1/4	80±14.14 ^a	-0.06
		L1/6	77.5±10.61 ^a	-0.09
	对照组	CK	85 ^a	—
早熟禾 <i>Poa annua</i>	根浸取液	R1	0 ^c	-1
		R1/2	77.5±3.54 ^a	-0.18
		R1/4	80 ^a	-0.16
		R1/6	87.5±10.61 ^a	-0.08
	茎浸取液	S1	87.5±3.54 ^a	-0.08
		S1/2	75±21.21 ^a	-0.21
		S1/4	85±7.07 ^a	-0.11
		S1/6	92.5±3.54 ^a	-0.03
	叶提取液	L1	60 ^b	-0.37
		L1/2	30 ^c	-0.68
		L1/4	60±21.21 ^b	-0.37
		L1/6	72.5±17.68 ^a	-0.24
	对照组	—	95±7.07 ^a	—

综上所述,大狼毒浸取液似乎对3种植物具有一定的抑制性,但均不存在统计学意义上的显著作用。因此,无法判断大狼毒对其他植物生长是否存在化感作用带来的抑制效果。

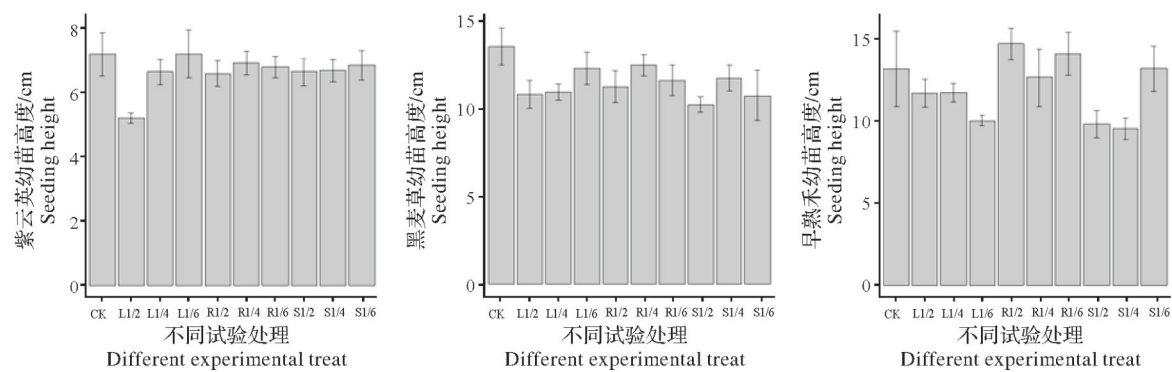


图 4 大狼毒浸取液对紫云英、黑麦芽和早熟禾幼苗芽高的影响

Fig.4 Effects of extract of *Euphorbia jolkinii* on bud height of young seedlings of *Astragalus sinicus*, *Lolium perenne*, and *Poa annua*

表 4 不同浸取液对紫云英、黑麦芽和早熟禾幼苗芽高的影响

Tab.4 Effects of different extracts on bud height of young seedlings of *Astragalus sinicus*, *Lolium perenne*, and *Poa annua*

受试植物 Treated plant	处理 Treatment		芽高 Bud height	
	浸取液	浓度等级	平均值/cm	RI
	Water extraction	Concentration grade	Mean	
紫云英 <i>Astragalus sinicus</i>	根浸取液	R1/2	6.566 7±0.958 5 ^a	-0.09
		R1/4	6.9±0.898 9 ^a	-0.04
		R1/6	6.766 7±0.838 3 ^a	-0.06
	茎浸取液	S1/2	6.616 7±1.047 7 ^a	-0.08
		S1/4	6.666 7±0.854 8 ^a	-0.07
		S1/6	6.833 3±1.120 1 ^a	-0.05
	叶浸取液	L1/2	5.183 3±0.392 0 ^b	-0.28
		L1/4	6.616 7±0.968 3 ^a	-0.08
		L1/6	7.183 3±1.813 7 ^a	0.002
	对照组	CK	7.166 7±1.166 3 ^a	—
黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	根浸取液	R1/2	11.25±2.193 4 ^a	-0.17
		R1/4	12.466 7±1.516 1 ^a	-0.08
		R1/6	11.6±2.118 5 ^a	-0.14
	茎浸取液	S1/2	10.216 7±1.072 2 ^b	-0.25
		S1/4	11.733 3±1.805 2 ^a	-0.13
		S1/6	10.733 3±3.525 7 ^b	-0.21
	叶浸取液	L1/2	10.8±1.974 8 ^b	-0.20
		L1/4	10.933 3±1.125 5 ^b	-0.19
		L1/6	12.283 3±2.318 1 ^a	-0.09
	对照组	CK	13.533 3±2.591 3 ^a	—
早熟禾 <i>Poa annua</i>	根浸取液	R1/2	14.816 7±12.75 ^a	0.10
		R1/4	12.75±4.280 5 ^a	-0.03
		R1/6	14.2±3.231 7 ^a	0.07
	茎浸取液	S1/2	9.866 7±2.001 7 ^b	-0.25
		S1/4	9.6±1.622 3 ^b	-0.27
		S1/6	13.3±3.385 9 ^a	0.002
	叶浸取液	L1/2	11.783 3±2.055 6 ^a	-0.11
		L1/4	11.816 7±1.373 2 ^a	-0.11
		L1/6	10.083 3±0.757 4 ^b	-0.24
	对照组	—	13.266 7±5.670 5 ^a	—

3 结论与讨论

3.1 结论

3.1.1 大狼毒对退化高寒草甸植物多样性的影响 在滇西北高寒退化草甸上,大狼毒群落区物种丰富度、Simpson指数和Shannon-Wiener指数明显低于非大狼毒群落区,其他植物在大狼毒群落区的分布明显比非大狼毒聚集区少,平均盖度明显更低。大狼毒对高寒退化草甸的植物多样性存在显著的负面影响,这可能与大狼毒的化感作用有关。

3.1.2 大狼毒浸取液对受试植物种子萌发的影响 试验结果及方差分析显示,大狼毒浸取液对紫云英、黑麦草和早熟禾3种牧草植物种子萌发具有化感作用。具体而言,大狼毒根浸取液对紫云英、黑麦草及早熟禾的种子发芽率均具有显著的抑制作用,叶浸取液对早熟禾种子发芽率具有显著抑制作用,而茎浸取液对3种植物的种子发芽率均不存在显著的抑制效果。其中,浓度为0.2 g/mL的根浸取液(R1)对种子萌发的化感效应最强烈。

3.1.3 大狼毒浸取液对受试植物幼苗生长的影响 在此次大狼毒浸取液对植物幼苗芽高影响的试验中,不同梯度下的大狼毒根、茎、叶浸取液对紫云英、黑麦草和早熟禾3种受试牧草植物幼苗生长均不存在统计学意义上的显著作用。而各类型浸取液处理下的3种植物幼苗芽高大多低于对照组,化感效应指数(RI)大多为负,这表明大狼毒浸取液对3种植物幼苗芽高具有一定的负面影响。因此,无法判断大狼毒浸取液对植物幼苗生长是否存在化感作用。

3.2 讨论

植物化感作用是自然界中的一种普遍存在的生态机制,主要对植物种子的萌发及幼苗生长产生影响^[21]。试验结果表明,大狼毒浸取液对退化高寒草甸3种典型牧草植物的种子萌发存在显著的化感抑制效应,且高浓度根浸取液的化感作用最强,这与程晓月等^[22]的研究结果基本一致。种子萌发对物种更新而言十分重要,因为种子发芽率的降低会使得发芽时间延长,出苗推迟,进而影响到植物对地上、地下资源的竞争力^[23-25,27]。因此,大狼毒的化感作用可能是造成滇西北高寒草甸原生植物的种类和数量发生减少,草甸质量不断退化的一个重要原因。同时,幼苗生长状况对于植物的发展而言也至关重要。刘桂霞等^[26]发现大狼毒浸提液会影响受试植物的幼苗生长状况。在本试验中,虽然大狼毒浸取液对3种受试植物的幼苗生长均产生一定的负面影响,但不具有统计学显著性。

植物主要通过淋溶、挥发、根分泌和残体分解等途径释放化感物质^[28]。在自然状态下,降水能将植物中的化感物质淋溶出来^[29],因此本试验采用植物水浸液来获取植物中的化感物质。事实上,单一的实验操作并不能完全反应出在自然环境中植物的化感作用强弱,受试植物的选择^[11]、实验培养方式及受试植物的生长期等,都会对实验效果产生影响。试验选择了紫云英、黑麦草、早熟禾3种滇西北高寒草甸的常见牧草,这3种植物广泛分布于野外,对生境要求不高,生长和繁殖能力较强,植物本身抵御能力也比较强,使得其对大狼毒浸取液的化感物质存在一定的抵御力。而在已有的化感研究中,选取的受试植物为黄瓜、番茄、玉米等经过数代人工培育后的常见物种,往往抵抗力较弱。因此,植物间的化感作用十分复杂,不同受体植物对化感作用的敏感性存在差异^[21,29]。其次,化感物质的作用机制也会影响实验效果,在自然环境中,化感物质释放后在土壤环境中往往要经过迁移、转化和吸附等过程再转移到邻近植物才产生作用。在此次幼苗生长实验中幼苗生长采用土培法,浸取液中的化感物质可能会被土壤的物理结构(如有机质含量、土壤孔径等)吸附,从而影响浸取液中的化感物质扩散。因此,植物化感作用产生效果需要达到一定浓度,土壤的吸附会降低浸取液浓度,削弱实验效果。另一方面,大量研究表明,实验室所用土壤与高寒草甸的天然土壤存在明显差异,这种差异体现在土壤pH值、微生物数量及其他元素含量^[30],这些均会对实验效果产生影响。最后,植物释放化感物质的量在不同发育时期也不尽相同,一般来说植物生长发育旺盛时期化感物质释放量最大。大狼毒花期6—8月,而实验所用的大狼毒植株采集时间在8月中旬,并未处于大狼毒化感物质释放最旺盛的时期,这可能会对后续实验产生一定影响。

探究大狼毒在滇西北高寒草甸退化中所起的作用,除了大狼毒对周围其他植物产生化感作用从而影响其种子萌发及幼苗生长外,大狼毒生长范围不断扩大并逐渐成为草甸优势种也是重要原因之一。大狼毒根茎粗大,吸水吸肥能力强,再生能力强,这决定了在高寒草甸中大狼毒生长能力、抗旱力等具有突出优势^[6],同时大狼毒的生物量相对较大,在冠幅覆盖范围内,其它植物的生长会受到抑制。另外,由于滇西北高寒草甸放牧区过度放牧,草甸承载力已不足,牧草植物再生受到抑制,而牛羊往往不食大狼毒,致使该物种生长空间逐渐扩大,日益成为高寒退化草甸上的优势种。

总之,滇西北退化高寒草甸大狼毒种群的扩散,对草甸造成了侵占性的物种干扰,如果不加以重视,这将会严重威胁到滇西北高寒草甸生态系统的未来可持续发展^[6]。然而有研究表明^[3],大狼毒种群的扩散有利于草地土壤养分的转化和肥力状况的改善。李嘉懿等^[31]对香格里拉大狼毒型亚高山草甸进行围封实验,发现由于家畜对优良牧草的采食和践踏得到了控制,草地早熟禾的地上生物量和盖度显著增加,大狼毒在群落中的优势度下降。这说明可以从本土牧草植物与大狼毒等毒害型植物之间的竞争关系中思考有效控制大狼毒蔓延的途径,比如针对滇西北高寒退化草甸区域的放牧现状,试行轮牧制,按周期划分休牧与放牧区,严格控制允许放牧的区域面积与牲畜量,利用休牧围封时间发挥大狼毒对土壤养分的促进作用,恢复休牧区的土壤肥力,同时在放牧区对大狼毒进行适当移除,在短期内控制其蔓延,从而保证优质牧草的生长,在一定程度上可以改善该区域过度放牧的问题。而针对牧民短期内可能存在的收入问题,当地政府可采取一定的生态补偿政策提供优惠。

针对大狼毒对滇西北高寒草甸退化的研究,还需要将土壤养分、肥力和水分与周围土壤中的化感物质及其作用机制^[11]等纳入分析中,站在多重角度探讨大狼毒对草甸生态系统的实际利弊。再者,滇西北高寒草甸退化指示性植物还包括舟叶橐吾(*Ligularia cymbulifera*)等,在今后的研究中可将该植物对周围植物的化感作用与大狼毒进行对比分析,受试植物除本文中用到的3种植物外还可选择其他本土牧草植物,探究其对化感作用的敏感度。同时,在研究大狼毒对本土植物的化感作用实验中,可增加发芽势、筒明活力指数等生长指标及叶面积、总干重等形态学指标。另外,有研究表明,化感物质的抑制效果会随着时间的推移而削弱^[32],这说明时间尺度的把握对于化感作用实验来说十分重要,在下一步的研究中,有必要将短期实验与长期的野外监测结合起来,从而使研究结果更加适用于自然环境。

致谢:西南林业大学2019届毕业生潘兴婷同学在野外工作及数据处理中给予了协助,云南农业联合基金(2018FG001-027)同时对本研究给予了资助,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] MYERS N, MITTERMEIER R A, MITTERMEIER C G, et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities [J]. Nature, 2000, 403(6772): 853-858.
- [2] 王文颖, 王启基. 高寒嵩草草甸退化生态系统植物群落结构特征及物种多样性分析[J]. 草业学报, 2001, 10(3): 8-14.
WANG W Y, WANG Q J. The structure and plant species diversity of the degraded ecosystems in alpine Kobresia meadow [J]. Acta prataculturae Sinica, 2001, 10(3): 8-14.
- [3] 单贵莲, 尹海燕, 刘洋, 等. 大狼毒种群扩散增殖对滇西北亚高山草甸土壤养分及微生物特性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2021, 36(3): 494-499.
SHAN G L, YIN H Y, LIU Y, et al. Effect of *Euphorbia jolkinii* boiss proliferation on the soil nutrients and microbial characteristics of subalpine meadow in northwest Yunnan [J]. Journal of Yunnan agricultural university (natural science), 2021, 36(3): 494-499.
- [4] 席赠濮, 杜凡, 汪健. 香格里拉市亚高山退化草甸植物群落学研究[J]. 西南林业大学学报, 2013, 33(2): 75-80.
XI Z P, DU F, WANG J. A phytosociological study on subalpine degraded meadow in Shangri-La County [J]. Journal of west China forestry science, 2013, 33(2): 75-80.
- [5] VERDOODT A, MUREITHI S M, YE L M, et al. Chrono sequence analysis of two enclosure management strategies in degraded range land of semi-arid Kenya [J]. Agriculture ecosystems and environment, 2009, 129(1/2/3): 332.

- [6] 尹海燕,初晓辉,单贵莲,等.不同大狼毒覆盖度退化亚高山草甸群落结构及物种多样性研究[J].云南农业大学学报(自然科学版),2019,34(3):473-478.
- YIN H Y, CHU X H, SHAN G L, et al. Study on the community structure and species diversity of degraded subalpine meadow with different coverages of *Euphorbia jolkinii* [J]. Journal of Yunnan agricultural university (natural science), 2019, 34(3):473-478.
- [7] GUO H R, CUI H Y, JIN H, et al. Potential allelochemicals in root zone soils of *Stellera chamaejasme* L. and variations at different geographical growing sites[J]. Plant growth regulation, 2015, 77(3):335.
- [8] LI J Z, LIU Y M, MO C H, et al. IKONOS image-based extraction of the distribution area of *Stellera chamaejasme* L. in Qilian County of Qinghai Province, China[J]. Remote sensing, 2016, 8(2):148.
- [9] 任健,李永进,欧阳青,等.短期封育和施用牛粪对亚高山草甸植物群落组成及生物量的影响[J].草地学报,2016,24(6):1197.
- REN J, LI Y J, OU Y Q, et al. Effects of short-term enclosure and cattle dung on plant community composition and biomass of sub-alpine meadow[J]. Acta agrestia Sinica, 2016, 24(6):1197.
- [10] 赵莉莉,杨途熙,魏安智,等.花椒叶浸提液对4种牧草种子的化感作用[J].西北林学院学报,2017,32(2):150-154.
- ZHAO L L, YANG T X, WEI A Z, et al. Allelopathy of aqueous extract of *Zanthoxylum Bungeanum* leaves on four grass seeds[J]. Journal of northwest forestry university, 2017, 32(2):150-154.
- [11] 何斐,崔鸣,孙娅,等.刺槐凋落叶腐解液对3种作物的化感效应[J].西北林学院学报,2021,36(2):116-122.
- HE F, CUI M, SUN Y, et al. Allelopathic effect of decomposed liquid of *Robinia pseudoacacia* leaf litter on three crop [J]. Journal of northwest forestry university, 2021, 36(2):116-122.
- [12] WARREN R J, LABATORE A, CANDEIAS M. Allelopathic invasive tree (*Rhamnus cathartica*) alters native plant communities[J]. Plant ecology, 2017, 218(10):1233-1241.
- [13] 郑丽,冯玉龙.紫茎泽兰叶片化感作用对10种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响[J].生态学报,2005,25(10):2782-2787.
- ZHENG L, FENG Y L. Allelopathic effects of *Eupatorium adenophorum* Spreng on seed germination and seedling growth in ten herbaceous species[J]. Acta ecologica Sinica, 2005, 25(10):2782-2787.
- [14] 刘雅婧,蒙仲举,党晓宏,等.狼毒浸提液对3种牧草种子萌发和幼苗生长的影响[J].草业学报,2019,18(8):130-138.
- LIU Y J, MENG Z J, DANG X H, et al. Allelopathic effects of *Stellera chamaejasme* on seed germination and seedling growth of alfalfa and two forage grass [J]. Acta prataculturae Sinica, 2019, 18(8):130-138.
- [15] 王彦荣.牧草种子检验规程[M].北京:中国标准出版社,2001.
- WANG Y R. Rules for the inspection of forage seeds [M]. Beijing: Standards Press of China, 2001.
- [16] 罗应,徐巧林,董丽梅,等.阔叶丰花草的三萜酸类化学成分研究[J].热带亚热带植物学报,2015,23(4):463-468.
- LUO Y, XU Q L, DONG L M, et al. Triterpenic acids from *Spermacoce latifolia* [J]. Journal of tropical and subtropical botany, 2015, 23(4):463-468.
- [17] WILLIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. Journal of chemical ecology, 1988, 14(1):181-187.
- [18] 刘姚姚,张瑞,沈晓飞,等.毛竹林不同浸提液对浙江楠幼苗生长的影响研究[J].西部林业科学,2020,49(3):99-108.
- LIU Y Y, ZHANG R, SHEN X F, et al. Study on the effects of different extracts from *Phyllostachys edulis* forest on the growth of *Phoebe chekiangensis* seedlings [J]. Journal of west China forestry science, 2020, 49(3):99-108.
- [19] 马永林,马跃峰,郭成林,等.阔叶丰花草水浸提液对5种作物的化感作用[J].种子,2016,35(10):32-35.
- MA Y L, MA Y F, GUO C L, et al. Allelopathy of extract from the *Spermacoce latifolia* Aubl on five plants [J]. Seed, 2016, 35(10):32-35.
- [20] 张泰劼,田兴山,张纯,等.阔叶丰花草与2种菊科植物之间的化感作用[J].应用生态学报,2020,31(7):2211-2218.
- ZHANG T J, TIAN X S, ZHANG C, et al. Allelopathic interactions between *Borreria latifolia* and two common Asteraceae species [J]. Chinese journal of applied ecology, 2020, 31(7):2211-2218.
- [21] 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.

- HUANG Y M, ZHANG Y X, LIU Q L, et al. Research on allelopathy of aqueous extract from *Tagetes patula* to four garden plants[J]. *Acta prataculturae Sinica*, 2015, 24(6): 150-158.
- [22] 程晓月, 后源, 任国华, 等. “黑土滩”退化高寒草地6种常见毒杂草水浸液对垂穗披碱草的化感作用[J]. *西北植物学报*, 2011, 31(10): 2057.
- CHENG X Y, HOU Y, REN G H, et al. Allelopathic effects of aqueous extracts from “black soil patch” poisonous weeds on *Elymus nutans* in degraded alpine meadow[J]. *Acta bot boreal occident sin*, 2011, 31(10): 2057.
- [23] ROSS M A, HARPER J L. Occupation of biological space during seedling establishment[J]. *Journal of ecology*, 1972, 60(1): 77-88.
- [24] FOWLER N. The role of competition in plant communities in arid and semi-arid regions[J]. *Annual review of ecological systematics*, 1986, 17: 89-110.
- [25] WEINER J, WRIGHT D B, CASTRO S. Symmetry of below-ground competition between *Kochia scoparia* individuals[J]. *Oikos*, 1997, 79(1): 85-91.
- [26] 刘桂霞, 王静, 王谦谦, 等. 艾蒿水浸提液对冰草和披碱草种子萌发及幼苗生长的化感作用[J]. *河北大学学报(自然科学版)*, 2012, 32(1): 81-86.
- LIU G X, WANG J, WANG Q Q, et al. Allelopathic effects of *Artemisia argyi* water extracts on the seed germination and seedling growth of *Agropyron cristatum* and *Elymusda hureicus*[J]. *Journal of Hebei university (natural science edition)*, 2012, 32(1): 81-86.
- [27] 陈锋, 孟永杰, 帅海威, 等. 植物化感物质对种子萌发的影响及其生态学意义[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(1): 36-46.
- CHEN F, MENG Y J, SHUAI H W, et al. Effects of plant allelochemicals on seed germination and its ecological significance[J]. *Chinese journal of eco-agriculture*, 2017, 25(1): 36-46.
- [28] 赵新梅, 王军, 莫静静, 等. 三种作物茎叶枯落物水浸液对烟草幼苗生长的化感效应[J]. *草业学报*, 2016, 25(9): 37-45.
- ZHAO X M, WANG J, MO J J, et al. Allelopathic effects of leaf-stem litter water aqueous extracts of three plants species on tobacco seedlings[J]. *Acta prataculturae Sinica*, 2016, 25(9): 37-45.
- [29] 李凤兰, 武佳文, 姚树宽, 等. 假苍耳不同部位水浸提液对5种土著植物化感作用的研究[J]. *草业学报*, 2020, 29(9): 169-170.
- LI F L, WU J W, YAO S K, et al. A study of the allelopathic effect of extracts from different parts of *Lua xanthiifolia* on five native specie[J]. *Acta prataculturae Sinica*, 2020, 29(9): 169-170.
- [30] LI W, HE S Q, CHENG X P, et al. Role of allelopathy in plant invasions in natural conditions[J]. *Allelopathy journal*, 2017, 41(2): 249-258.
- [31] 李嘉懿, 初晓辉, 尹海燕, 等. 大狼毒型亚高山草甸植被演替对围封的响应[J]. *中国草地学报*, 2021, 43(6): 10-16.
- LI J Y, CHU X H, YIN H Y, et al. Response of vegetation succession to enclosure in *Euphorbia jolkinii* subalpine meadow[J]. *Chinese journal of grassland*, 2021, 43(6): 10-16.
- [32] IACARELLA J C, MANKIEWICZ P C, RICCIARDI A. Negative competitive effects of invasive plants change with time since invasion[J]. *Ecosphere*, 2015, 6(7): 123.