

# 铁棒锤地上部分水浸提液对7种草种子化感作用研究

汪玲玲, 鱼小军, 杨航

(甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**以青藏高原极度退化高寒草地次生毒杂草铁棒锤为供试材料,研究了其地上部分浸提液对7种草种子萌发和幼苗生长的化感作用。结果表明:随着铁棒锤地上部分水浸提液浓度的增大,箭筈豌豆、一年生黑麦草、草地早熟禾种子的发芽率、发芽势、发芽指数、芽长和根长呈现不同程度的降低;豌豆种子的发芽率、发芽势、发芽指数、芽长、根长以及燕麦的芽长呈现不同程度的升高;垂穗披碱草种子的发芽势、发芽指数以及小黑麦的根长和芽长呈现“低促高抑”的变化趋势。在0.1 g/mL浓度的水浸提液处理下,一年生黑麦草和草地早熟禾种子的发芽率较对照分别降低了28.9%和75.8%,燕麦种子和一年生黑麦草种子发芽势分别较对照降低了49.3%和41.9%,箭筈豌豆、垂穗披碱草、一年生黑麦草和草地早熟禾芽长分别较各自对照降低了23.0%、36.1%、45.1%和66.4%。采用线性回归方程拟合7种草种子萌发的化感综合效应指数与铁棒锤地上部分浸提液浓度的关系,得出7种草种子对浸提液的敏感程度为:草地早熟禾>一年生黑麦草>燕麦>垂穗披碱草>箭筈豌豆>豌豆>小黑麦。

**关键词:**铁棒锤;化感作用;种子发芽;幼苗生长

**中图分类号:**S451.23 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2021)06-0067-07

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyycp.2021.06.010



化感作用是植物通过淋溶、挥发、枯落物分解和根系分泌等方式向周围环境释放化学物质,从而影响邻近植物种子萌发和幼苗生长<sup>[1-2]</sup>,以及植物群落的组成和演替<sup>[3]</sup>过程。当前,受气候变化及日趋频繁的人类经济活动的共同影响,三江源地区生态环境恶化,高寒草地大面积退化<sup>[4]</sup>。有研究表明,毒杂草由于其强大的种子繁殖能力和集群分布方式,扩张了其种群面积,会产生化感物质抑制牧草生长,从而导致天然草地严重退化<sup>[5]</sup>。同时张宝琛等<sup>[6]</sup>研究认为,高寒草甸人工草地退化过程中,化感作用可能是导致草地自然

退化的重要原因。

铁棒锤(*Aconitum pendulum*)是毛茛科(Ranunculaceae)多年生草本植物,由于具有耐旱、耐寒和不被家畜喜食等特性,近年来已成为退化草地中主要的毒杂草之一,因较强的竞争力成为有些退化草地的主要群落<sup>[7]</sup>。研究表明,铁棒锤具有较强的化感作用,其植株水浸提液会显著抑制中华羊茅(*Festuca sinensis*)种子发芽,降低青海草地早熟禾种子发芽率<sup>[8]</sup>,同时周毛措<sup>[7]</sup>研究发现,铁棒锤地上部分水浸提液在不同浓度下对4种受体植物的抑制效应不同,说明其化感作用存在浓度效应。

近年来,关于铁棒锤化感作用的研究多重复于几种牧草,受试植物种类较少,因此对铁棒锤化感作用的专一性研究较为欠缺。鉴于此,本试验选取箭筈豌豆(*Vicia sativa*)、豌豆(*Pisum sativum*)、燕麦(*Avena sativa*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、一年生黑麦草(*Lolium multiflorum*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)和小黑麦(*Triticum Secale*)7种受试植物,研究铁棒

收稿日期:2021-07-02; 修回日期:2021-11-25

基金项目:甘肃农业大学“大学生科研训练计划(SRTP)”项目(202002030)

作者简介:汪玲玲(1998-),女,甘肃天水人,本科。

E-mail:1358837724@qq.com

鱼小军为通信作者。

E-mail:yuxj@gsau.edu.cn

锤地上部分水浸提液对受试植物种子萌发及幼苗生长的影响,旨在明确 7 种受试植物对铁棒锤化感作用的响应差异,为进一步解释三江源地区铁棒锤化感作用机制和退化草地生态修复提供一定的理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

供体材料为铁棒锤地上部分,采集于青海省果洛州玛沁县的高寒草甸。

受体材料分别是箭筈豌豆、豌豆、燕麦、垂穗披碱草、一年生黑麦草、草地早熟禾和小黑麦,种子来源于甘肃农业大学草业学院。

### 1.2 铁棒锤地上部分水浸提液制备

将采集到的铁棒锤地上部分晾干,剪成 1 cm 左右的小段,称取 100 g 置于烧杯中,加 1 000 mL 蒸馏水在室温下浸泡 48 h,隔 24 h 搅拌 1 次,经双层纱布过滤 3 次,最后将滤液转移到容量瓶,蒸馏水定容至 1 000 mL,制成 0.1 g/mL 的铁棒锤地上部分水浸提液,利用稀释法分别配制浓度为 0.01、0.025、0.05、0.1 g/mL 的浸提液<sup>[9]</sup>,置于 4 ℃ 冰箱中保存备用。

### 1.3 发芽实验

选取大小一致,饱满健康的 7 种受体植物种子,75%酒精浸泡 1 min,蒸馏水冲洗至无酒精味,吸水纸吸干表面水分。采用一次性培养皿纸上发芽法,在直径 12 cm 的培养皿中铺双层滤纸,每个培养皿各均匀摆放 50 粒受体植物种子,分别加入上一步制备的 0.01、0.025、0.05 和 0.1 g/mL 铁棒锤地上部分水浸提液 6 mL,加入等量蒸馏水为对照(CK),每个处理设 4 个重复。培养皿盖上盖子,置于温度为 20 ℃,湿度 70%,光周期 12 h,光照强度 2 000 lx 光照培养箱中。为保证浓度一致,每天定时更换滤纸并分别注入 6 mL 铁棒锤地上部分水浸提液,对照组加入等量蒸馏水。

### 1.4 指标测定

每天记录种子的发芽数,以胚根突破种皮并达种子长度一半为发芽标准,在发芽第 3 d 测定受体植物种子发芽势,在第 7 天测定种子发芽率,并从每个培养皿中随机选取 10 株用游标卡尺测量芽长和根长,取平均值<sup>[10-11]</sup>。

发芽率(GR)=(第 7 天发芽种子数/供试种子数)×100%

发芽势(GP)=(第 3 天发芽种子数/供试种子数)

×100%

发芽指数(GI)= $\sum(Gt/Dt)$ (Gt:在 t 天内的发芽数,Dt:第 t 天)

### 1.5 化感效应综合评价

为综合分析铁棒锤地上部分水浸提液对 7 种受体植物种子萌发和幼苗生长的化感作用,参照 Williamson<sup>[12]</sup>的方法,利用发芽率、发芽势、发芽指数、芽长和根长 5 个指标的化感作用效应指数(RI)计算出化感综合效应指数,并计算化感综合效应(SE)。

$$RI=1-C/T(T \geq C)$$

$$RI=T/C-1(T < C)$$

式中:C 表示对照值,T 为处理值。RI<0 表示抑制作用,RI>0 表示促进作用。

化感综合效应(SE)=(RI<sub>发芽率</sub>+RI<sub>发芽势</sub>+RI<sub>发芽指数</sub>+RI<sub>芽长</sub>+RI<sub>根长</sub>)/5

### 1.6 数据处理

利用 Excel 2016 和 SPSS 24.0 进行数据分析与处理,采用单因素方差分析和 Duncan 法检验不同浓度的铁棒锤地上部分水浸提液对 7 种植物种子萌发和幼苗生长的相关指标测定值的差异性,显著性水平为 0.05,试验数据以平均值±标准误差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 铁棒锤地上部分水浸提液对受体植物种子发芽率的影响

随着铁棒锤地上部分水浸提液浓度的增大,箭筈豌豆、燕麦、垂穗披碱草、一年生黑麦草和草地早熟禾种子的发芽率均呈现下降的趋势。0.1 g/mL 浓度处理下,箭筈豌豆、燕麦、一年生黑麦草和垂穗披碱草种子的发芽率显著低于对照(P<0.05);4 组浓度处理下,草地早熟禾种子的发芽率均显著低于对照(P<0.05);随着铁棒锤地上部分水浸提液浓度增大,小黑麦发芽率呈逐渐上升趋势,0.1 g/mL 较对照增加了 6.9%。在 0.1 g/mL 浓度的浸提液处理下,草地早熟禾种子发芽率较对照降幅最大,为 75.8%,其次是燕麦和一年生黑麦草,分别降低了 23.4%、28.9%(表 1)。

### 2.2 铁棒锤地上部分水浸提液对受体植物种子发芽势的影响

随着铁棒锤地上部分水浸提液浓度的增大,箭筈豌豆、燕麦、一年生黑麦草、草地早熟禾和小黑麦种子

的发芽势均呈现下降的趋势,豌豆种子的发芽势呈现上升的趋势(表 2)。0.01 g/mL 浓度处理下,箭筈豌豆和小黑麦的发芽势与对照相比无显著差异( $P > 0.05$ )。0.1 g/mL 浓度的铁棒锤地上部分浸提液处理下,与各种子对照处理发芽势相比,燕麦种子发芽势降

低 49.3%,垂穗披碱草种子发芽势降低了 24.4% ( $P < 0.05$ ),一年生黑麦草种子发芽势显著降低了 41.9%,草地早熟禾种子发芽势显著降低了 83.3%;0.1 g/mL 浓度的铁棒锤地上部分浸提液处理下,豌豆的发芽势较对照显著降低了 34.8% ( $P < 0.05$ )(表 2)。

表 1 铁棒锤地上部分浸提液处理下 7 种草种子发芽率

Table 1 Seed germination rate of seven forage species treated with water extract of ground litter from *Aconitum pendulum*

浓度/ (g · mL <sup>-1</sup> )	发芽率/%						
	箭筈豌豆	燕麦	垂穗披碱草	豌豆	一年生黑麦草	草地早熟禾	小黑麦
0(CK)	99.0±0.8 <sup>a</sup>	94.0±2.2 <sup>a</sup>	95.5±1.0 <sup>a</sup>	95.5±1.5 <sup>a</sup>	97.5±0.5 <sup>a</sup>	91.0±1.3 <sup>a</sup>	86.0±3.7 <sup>a</sup>
0.01	97.5±0.5 <sup>ab</sup>	90.0±2.5 <sup>a</sup>	94.0±1.8 <sup>ab</sup>	96.0±1.6 <sup>a</sup>	97.0±0.6 <sup>a</sup>	66.5±2.2 <sup>b</sup>	88.5±4.9 <sup>a</sup>
0.025	97.0±0.6 <sup>ab</sup>	86.5±1.7 <sup>a</sup>	93.0±1.7 <sup>ab</sup>	96.5±1.0 <sup>a</sup>	96.0±2.0 <sup>a</sup>	64.5±5.7 <sup>b</sup>	90.5±1.0 <sup>a</sup>
0.05	96.0±1.4 <sup>ab</sup>	84.5±3.1 <sup>ab</sup>	92.5±2.2 <sup>ab</sup>	96.5±3.0 <sup>a</sup>	95.5±0.5 <sup>a</sup>	31.0±12.6 <sup>c</sup>	91.0±2.4 <sup>a</sup>
0.1	94.0±2.3 <sup>b</sup>	72.7±9.4 <sup>b</sup>	88.7±2.9 <sup>b</sup>	96.7±0.7 <sup>a</sup>	69.3±23.7 <sup>b</sup>	22.0±8.3 <sup>c</sup>	92.0±2.3 <sup>a</sup>

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下表同

表 2 铁棒锤地上部分浸提液处理下 7 种草种子的发芽势

Table 2 Seed germination potential of seven forage species treated with water extract of ground litter from *Aconitum pendulum*

浓度/ (g · mL <sup>-1</sup> )	发芽势/%						
	箭筈豌豆	燕麦	垂穗披碱草	豌豆	一年生黑麦草	草地早熟禾	小黑麦
0(CK)	89.5±3.5 <sup>a</sup>	69.0±7.1 <sup>a</sup>	82.0±3.5 <sup>a</sup>	92.0±1.4 <sup>a</sup>	92.0±1.8 <sup>a</sup>	54.0±3.7 <sup>a</sup>	83.5±2.2 <sup>a</sup>
0.01	89.0±3.3 <sup>a</sup>	66.5±6.7 <sup>a</sup>	83.0±1.3 <sup>a</sup>	60.0±15.9 <sup>b</sup>	85.5±1.7 <sup>a</sup>	43.5±7.2 <sup>ab</sup>	82.0±2.6 <sup>a</sup>
0.025	86.0±2.5 <sup>a</sup>	65.5±2.1 <sup>a</sup>	83.5±3.9 <sup>a</sup>	73.5±11.6 <sup>ab</sup>	80.0±6.5 <sup>a</sup>	42.5±3.1 <sup>ab</sup>	81.0±1.3 <sup>a</sup>
0.05	85.0±2.4 <sup>a</sup>	65.0±1.3 <sup>a</sup>	88.0±1.8 <sup>a</sup>	84.5±4.9 <sup>ab</sup>	71.0±8.2 <sup>ab</sup>	24.5±12.2 <sup>bc</sup>	80.0±2.5 <sup>a</sup>
0.1	84.5±4.8 <sup>a</sup>	35.0±7.9 <sup>b</sup>	62.0±6.5 <sup>b</sup>	91.5±3.8 <sup>a</sup>	53.5±12.8 <sup>b</sup>	9.0±4.7 <sup>c</sup>	78.5±2.8 <sup>a</sup>

### 2.3 铁棒锤地上部分水浸提液对受体植物发芽指数的影响

随着铁棒锤地上部分水浸提液浓度增大,箭筈豌豆、燕麦、一年生黑麦草、草地早熟禾和小黑麦种子的发芽指数均呈现下降的趋势;豌豆种子的发芽指数呈现上升的趋势。垂穗披碱草种子的发芽指数随着铁棒锤地上部分水浸提液浓度的增大呈现出先升高后下降趋势(表 3)。0.1 g/mL 浓度的铁棒锤地上部分水浸

提液处理,燕麦和垂穗披碱草种子发芽指数分别较对照降低了 40.6%和 36.3% ( $P < 0.05$ );0.01 g/mL 浓度处理下,豌豆的发芽指数较对照显著降低了 34.4% ( $P < 0.05$ );0.05、0.1 g/mL 浓度处理下,一年生黑麦草的发芽指数显著低于对照 ( $P < 0.05$ )。0.01, 0.025, 0.05, 0.1 g/mL 浓度处理下,草地早熟禾种子发芽指数均显著低于对照,较对照分别降低了 34.2%、37.4%、69.0%和 83.4% ( $P < 0.05$ )。

表 3 铁棒锤地上部分浸提液处理下 7 种草种子的发芽指数

Table 3 Seed germination index of seven forage species treated with water extract of ground litter from *Aconitum pendulum*

浓度/ (g · mL <sup>-1</sup> )	发芽指数						
	箭筈豌豆	燕麦	垂穗披碱草	豌豆	一年生黑麦草	草地早熟禾	小黑麦
0(CK)	32.3±1.1 <sup>a</sup>	17.6±1.0 <sup>a</sup>	30.2±1.2 <sup>a</sup>	27.6±0.8 <sup>a</sup>	28.1±0.7 <sup>a</sup>	18.7±0.8 <sup>a</sup>	36.1±0.6 <sup>a</sup>
0.01	28.0±2.9 <sup>a</sup>	20.0±1.9 <sup>a</sup>	29.5±1.3 <sup>a</sup>	18.1±2.5 <sup>b</sup>	26.4±0.6 <sup>a</sup>	12.3±1.3 <sup>b</sup>	35.2±0.9 <sup>a</sup>
0.025	28.0±2.1 <sup>a</sup>	19.0±1.2 <sup>a</sup>	30.2±0.9 <sup>a</sup>	22.6±3.4 <sup>ab</sup>	24.0±1.6 <sup>ab</sup>	11.7±0.5 <sup>b</sup>	34.9±1.4 <sup>a</sup>
0.05	27.0±1.4 <sup>a</sup>	18.3±1.6 <sup>a</sup>	31.3±2.0 <sup>a</sup>	25.5±4.3 <sup>ab</sup>	19.8±2.1 <sup>bc</sup>	5.8±2.4 <sup>c</sup>	33.3±0.7 <sup>a</sup>
0.1	24.3±4.9 <sup>a</sup>	10.46±2.3 <sup>b</sup>	19.3±1.6 <sup>b</sup>	27.3±1.2 <sup>a</sup>	14.3±3.3 <sup>c</sup>	3.1±1.4 <sup>c</sup>	32.6±1.5 <sup>a</sup>

## 2.4 铁棒锤地上部分水浸提液对受体植物芽长的影响

随着铁棒锤地上部分水浸提液浓度增大,箭筈豌豆、垂穗披碱草、豌豆、一年生黑麦草和草地早熟禾芽长与铁棒锤地上部分水浸提液浓度呈负相关,燕麦芽长与浸提液浓度呈正相关,小黑麦芽长随着铁棒锤地上部分水浸提液浓度的增大呈先升高后下降趋势(表

表 4 铁棒锤地上部分浸提液处理下 7 种草种子的芽长

Table 4 The germ length of seven forage species treated with water extract of ground litter from *Aconitum pendulum*

浓度/ (g · mL <sup>-1</sup> )	芽长/mm						
	箭筈豌豆	燕麦	垂穗披碱草	豌豆	一年生黑麦草	草地早熟禾	小黑麦
0(CK)	10.9±0.4 <sup>a</sup>	31.5±6.3 <sup>a</sup>	23.7±2.4 <sup>a</sup>	9.0±0.2 <sup>a</sup>	53.5±2.3 <sup>a</sup>	16.0±1.0 <sup>a</sup>	33.5±3.5 <sup>b</sup>
0.01	10.8±0.4 <sup>a</sup>	39.4±2.7 <sup>a</sup>	23.0±2.5 <sup>a</sup>	8.7±0.2 <sup>ab</sup>	57.4±2.4 <sup>a</sup>	12.8±1.9 <sup>a</sup>	34.2±1.2 <sup>b</sup>
0.025	10.7±0.4 <sup>a</sup>	40.3±6.0 <sup>a</sup>	22.8±0.6 <sup>a</sup>	8.0±0.4 <sup>bc</sup>	52.6±5.5 <sup>a</sup>	12.4±0.6 <sup>a</sup>	35.6±1.4 <sup>ab</sup>
0.05	10.1±0.8 <sup>a</sup>	40.8±7.3 <sup>a</sup>	22.0±2.1 <sup>a</sup>	7.9±0.2 <sup>bc</sup>	43.5±4.5 <sup>ab</sup>	6.7±1.7 <sup>b</sup>	43.0±1.0 <sup>a</sup>
0.1	8.4±0.8 <sup>b</sup>	41.4±6.2 <sup>a</sup>	15.2±0.9 <sup>b</sup>	7.7±0.3 <sup>c</sup>	29.4±10.1 <sup>b</sup>	5.3±1.6 <sup>b</sup>	33.2±3.1 <sup>b</sup>

## 2.5 铁棒锤地上部分水浸提液对受体植物根长的影响

随着铁棒锤地上部分水浸提液浓度的增大,箭筈豌豆、燕麦、垂穗披碱草、豌豆、一年生黑麦草和草地早熟禾根长均呈现负增长趋势,小黑麦根长随铁棒锤地上部分水浸提液浓度的增大呈先升高后下降趋势。0.1 g/mL 浓度处理下,箭筈豌豆根长较对照降低了 62.4%( $P<0.05$ );0.05、0.1 g/mL 浸提液浓度处理

表 5 铁棒锤地上部分浸提液处理下 7 种草种子的根长

Table 5 The radical length of seven forage species treated with water extract of ground litter from *Aconitum pendulum*

浓度/ (g · mL <sup>-1</sup> )	根长/mm						
	箭筈豌豆	燕麦	垂穗披碱草	豌豆	一年生黑麦草	草地早熟禾	小黑麦
0(CK)	47.3±9.9 <sup>a</sup>	255.8±12.3 <sup>a</sup>	75.4±7.1 <sup>a</sup>	63.0±3.2 <sup>a</sup>	111.8±4.5 <sup>a</sup>	15.2±1.5 <sup>a</sup>	210.7±32.0 <sup>a</sup>
0.01	46.2±9.0 <sup>a</sup>	254.3±18.6 <sup>a</sup>	68.3±6.3 <sup>a</sup>	50.6±2.5 <sup>b</sup>	101.5±4.4 <sup>ab</sup>	13.7±1.4 <sup>a</sup>	212.3±13.9 <sup>a</sup>
0.025	41.8±5.6 <sup>a</sup>	246.7±23.9 <sup>a</sup>	63.4±3.2 <sup>a</sup>	48.8±4.9 <sup>b</sup>	86.2±5.5 <sup>b</sup>	11.8±0.6 <sup>a</sup>	214.5±12.9 <sup>a</sup>
0.05	27.9±5.8 <sup>ab</sup>	128.0±48.5 <sup>b</sup>	48.6±5.8 <sup>b</sup>	48.6±2.1 <sup>b</sup>	51.5±5.4 <sup>c</sup>	5.1±1.4 <sup>b</sup>	253.2±19.8 <sup>a</sup>
0.1	17.8±2.8 <sup>b</sup>	124.0±26.1 <sup>b</sup>	28.7±2.3 <sup>c</sup>	35.1±3.6 <sup>c</sup>	35.4±7.0 <sup>c</sup>	4.6±1.5 <sup>b</sup>	202.9±25.5 <sup>a</sup>

## 2.6 铁棒锤地上部分浸提液对受体植物化感综合效应指数及两者相关性的影响

随着铁棒锤地上部分浸提液浓度的升高,箭筈豌豆、燕麦、垂穗披碱草、一年生黑麦草和草地早熟禾受到的抑制作用逐渐增强;小黑麦种子受浸提液化感作用影响呈现出“低促高抑”的变化趋势。浸提液浓度为 0.01、0.025 g/mL 时,对燕麦种子萌发具有促进作用,浓度为 0.05、0.1 g/mL 时则为抑制作用。铁棒锤地上部分浸提液浓度为 0.01、0.025 和 0.05 g/mL 时,对小黑麦的萌发表现为促进作用,而浓度为 0.1 g/mL 时则为抑制作用(表 6)。

4)。0.025、0.05 和 0.1 g/mL 浓度浸提液处理下,豌豆的芽长较对照分别降低了 11.1%、12.2% 和 14.4%( $P<0.05$ );0.1 g/mL 浓度铁棒锤地上部分水浸提液处理下,箭筈豌豆、垂穗披碱草、一年生黑麦草和草地早熟禾芽长分别较各自对照降低了 23.0%、36.1%、45.1% 和 66.4%( $P<0.05$ )。0.05 g/mL 浓度处理下,小黑麦芽长较对照显著增加了 28.5%( $P<0.05$ )。

下,燕麦根长分别较对照降低了 50.0% 和 51.2%,垂穗披碱草较对照分别降低了 35.5% 和 61.9%( $P<0.05$ ),草地早熟禾根长分别较对照降低了 66.4% 和 69.7%( $P<0.05$ );在铁棒锤地上部分水浸提液处理下,豌豆根长在 0.01、0.025、0.5、0.1 g/mL 浓度处理下分别较对照显著降低了 19.7%、22.5%、22.9% 和 55.7%( $P<0.05$ )(表 5)。

在铁棒锤地上部分浸提液处理下,7 种草种的化感综合效应指数均与浸提液浓度之间存在显著的相关性。因此,用线性回归方程拟合化感综合效应指数与铁棒锤地上部分浸提液浓度之间的关系,利用各草种的回归方程斜率大小来判断种子萌发和幼苗生长对浸提液浓度的敏感程度(图 1)。不同草种对铁棒锤地上部分浸提液浓度变化的化感响应不同,箭筈豌豆、燕麦、垂穗披碱草、一年生黑麦草、草地早熟禾和小黑麦 6 种受体植物的化感综合效应指数与铁棒锤地上部分浸提液浓度成负相关,豌豆化感综合效应指数与铁棒锤地上部分浸提液浓度成正相

关。最终得出 7 种草种萌发和幼苗生长过程中对浸提液浓度变化的敏感度顺序为:草地早熟禾>一年

生黑麦草>燕麦>垂穗披碱草>箭筈豌豆>豌豆>小黑麦。

表 6 铁棒锤地上部分浸提液处理下 7 种草种子的化感综合效应指数

Table 6 The synthetical allelopathic index of seven forage seeds treated with water extract of ground litter from *Aconitum pendulum*

浓度/ (g · mL <sup>-1</sup> )	综合化感效应指数						
	箭筈豌豆	燕麦	垂穗披碱草	豌豆	一年生黑麦草	草地早熟禾	小黑麦
0.01	-0.036	0.046	-0.031	-0.183	-0.061	-0.220	0.002
0.025	-0.063	0.025	-0.041	-0.462	-0.105	-0.264	0.013
0.05	-0.144	-0.079	-0.071	-0.101	-0.253	-0.628	0.065
0.1	-0.273	-0.275	-0.330	-0.118	-0.453	-0.755	-0.028

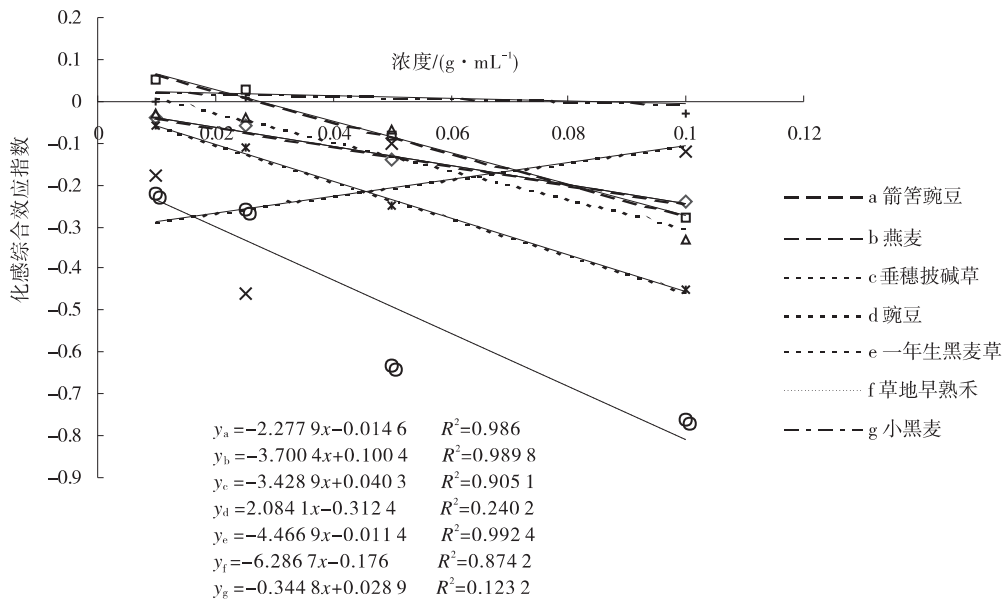


图 1 7 种受体植物种子化感综合效应指数(SE)与铁棒锤地上部分浸提液浓度的关系

Fig. 1 The relationship between the allelopathic composite effect(SE) index of seven recipient plants and the concentration of extracts from the aboveground part of *Aconitum pendulum*

### 3 讨论

化感作用是植物体通过释放化感物质进而影响受体植物整个发育过程的现象。大量研究显示,由于供体植物浸提液浓度和受体植物种类的不同,化感作用存在差异<sup>[13-14]</sup>。本研究结果表明,随着铁棒锤地上部分水浸提液浓度的增大,垂穗披碱草的发芽势、发芽指数以及小黑麦的根长和芽长呈现“低促高抑”双重效应,这与白千层枯落物浸提液对黑麦草的影响一致<sup>[15]</sup>。在铁棒锤地上部分浸提液影响下,箭筈豌豆、一年生黑麦草、草地早熟禾种子的发芽率、发芽势、发芽指数、芽长和根长呈现不同程度的降低,而豌豆的发芽率、发芽势、发芽指数以及小黑麦种子的发芽率并未降低,在 0.1 g/mL 浓度的水浸提液处理下,7 种受试

草种的芽长和根长均较对照有所降低,充分表明了化感物质具有选择性、专一性和浓度效应,卢艳敏等<sup>[16]</sup>研究发现,随着白三叶水浸提液浓度升高,黑麦草种子发芽受到的抑制作用越强,这与本实验结果一致。姚丹丹等<sup>[17]</sup>研究发现香豆素对多花黑麦草种子发芽及幼苗生长有明显的抑制效应,香豆素不但能降低种子胚乳中淀粉的转化利用效率,而且还能破坏胚乳细胞的细胞膜和细胞壁,并且会因为细胞失水导致细胞质壁分离,从而导致种子萌发和幼苗生长受到阻碍;何华勤等<sup>[18]</sup>研究发现肉桂酸对稗草(*Echinochloa crusgali*)根的生长表现出明显的抑制效应;陶茸等<sup>[19]</sup>发现 5 mg/L 的咖啡酸对苜蓿根的生长表现出抑制效应。在本实验中,铁棒锤地上部分水浸提液对受体植物种子产生抑制作用的原因可能是铁棒锤地上部分经过水的

浸泡,释放出多种化感物质,导致种子活力下降。同时也有学者研究发现化感物质会显著影响种子内 $\alpha$ 淀粉酶活性,致使种子萌发及幼苗生长受到影响<sup>[11,20]</sup>。

通过对7种受体植物种子的化感综合评价发现,低浓度处理下燕麦、小黑麦的化感效应指数为正,说明低浓度铁棒锤地上部分浸提液对2种受体植物的种子萌发和幼苗生长过程存在促进作用,而较高浓度处理下,化感效应指数为负,说明化感物质需要积累到一定的浓度水平才会引起化感作用,这与李鸿林<sup>[22]</sup>在伏毛铁棒锤对几种禾草的化感研究结果相似。同时,本研究结果发现,铁棒锤地上部分水浸提液浓度处理下,草地早熟禾、一年生黑麦草和燕麦种子对浸提液产生的化感作用较敏感,低浓度促进萌发和幼苗生长,高浓度抑制萌发和幼苗生长,说明不同草种响应化感作用的能力不同,导致同一供体植物对不同受体植物种子产生的化感作用存在差异,这可能是受体植物之间响应敏感环境的生理机制有所不同,从而产生了化感物质的专一性。

综上所述,铁棒锤地上部分对7种受体草种子萌发和幼苗生长呈现出不同程度的化感作用,说明铁棒锤在青藏高原退化高寒草地能够形成优势种,除了自身的超强抗性外,与它对其他草种存在的化感作用也密切相关。这表明在后期采取恢复草地退化的措施时,不但要考虑人为因素破坏草地过度放牧,同时要考虑高寒退化草地优势毒杂草铁棒锤产生的化感作用对周围生境中其他植物产生的影响<sup>[4,23-24]</sup>。在以铁棒锤为优势种的青藏高原退化草地类型上优先选择小黑麦进行草地生态修复,种植草地早熟禾、一年生黑麦草、燕麦时,应将铁棒锤株体彻底清理干净;种植垂穗披碱草、豌豆、箭筈豌豆时可保留少许。同时在对退化草地人工建植和管理时,应对铁棒锤积极防治,避免对栽培牧草产生消极影响。

## 4 结论

铁棒锤地上部分水浸提液对箭筈豌豆、燕麦、垂穗披碱草、豌豆、一年生黑麦草和草地早熟禾种子萌发均存在抑制作用,对小黑麦种子发芽存在促进作用;在铁棒锤地上部分水浸提液处理下,燕麦和一年生黑麦草芽长存在“低促高抑”的现象;箭筈豌豆、燕麦、垂穗披碱草、豌豆、一年生黑麦草和草地早熟禾根长均随着水浸提液浓度增大呈现负增长。7种草种子对浸提液的

敏感程度为:草地早熟禾>一年生黑麦草>燕麦>垂穗披碱草>箭筈豌豆>豌豆>小黑麦。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 朱峰,何永福,叶照春.植物化感作用研究进展[J].耕作与栽培,2014,34(1):52-54,36.
- [3] Cheema, Zahid A. Allelopathy current trends and future applications[M]. New York: Springer, 2013.
- [4] 唐燕.退化高寒草甸白苞筋骨草和铁棒锤对几种牧草的化感作用[D].西宁:青海大学,2008.
- [5] 邓建梅,杨顺义,沈慧敏.12种有毒植物的化感效应比较研究[J].西北植物学报,2009,29(5):989-995.
- [6] 张宝琛,白雪芳,顾立华,等.生化化感作用与高寒草甸上人工草场自然退化现象的研究[J].生态学报,1989(2):115-120.
- [7] 周毛措.高寒地区伏毛铁棒锤对几种禾草的化感作用[J].中国草食动物科学,2013,33(5):31-36.
- [8] 梁军,全小龙,张杰雪,等.铁棒锤和土壤水浸提液对5种禾草的潜在化感效应[J].中国草地学报,2020,42(4):25-34.
- [9] 于鲁宁.黄土区菊科植物枯落物对针茅种子的化感作用[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [10] 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):125-128.
- [11] 范丽花,汪鹏斌,王玉霞,等.猪毛蒿枯落物水浸提液对5种草植物种子萌发的化感作用[J].中国草地学报,2021,43(1):96-103.
- [12] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 181.
- [13] 姚树宽,李凤兰,彭丽娜,等.假苍耳不同部位水浸提液对五种十字花科植物化感作用的研究[J].草业学报,2018,27(9):56-66.
- [14] 曹子林,王晓丽,涂璟,等.紫茎泽兰不同处理方法水浸提液对云南松种子萌发的化感作用[J].种子,2011,30(8):46-49,54.
- [15] 向亚林,余细红,林信钊,等.白千层对2种草本植物的化感作用[J].安徽农业科学,2018,46(18):113-115.
- [16] 卢艳敏,李会芬.白三叶草水浸液对黑麦草种子的化感作用[J].江苏农业科学 2012,40(5):367-369.
- [17] 姚丹丹,王婧怡,郭彩霞.香豆素对多花黑麦草种子萌发和幼苗生长化感作用的机理研究[J].草业学报,2017,26

(2):136-145.

- [18] 何华勤,梁义元,贾小丽,等. 酚酸类物质的抑草效应分析[J]. 应用生态学报,2004,15(12):2342-2346.
- [19] 陶茸,师尚礼,张翠梅,等. 外源香豆素和咖啡酸对紫花苜蓿根系形态建成与解剖结构的影响[J]. 草地学报,2019,27(2):404-412.
- [20] 黄玉茜,杨劲峰,梁春浩,等. 香草酸对花生种子萌发、幼苗生长及根际微生物区系的影响[J]. 中国农业科学,2018,51(9):1735-1745.
- [21] 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.
- [22] 李鸿林. 高寒地区伏毛铁棒锤对几种禾草的化感作用[J]. 草业与畜牧,2012(3):20-26.
- [23] 梁军. 高寒草甸主要毒杂草和禾草的化感潜力研究[D]. 西宁:青海大学,2020.
- [24] 黎蓉,赵桂琴,刘欢,等. 燕麦地上部分提取物对油菜的化感作用[J]. 草原与草坪,2019,39(5):113-119.

## Potential allelopathy effects of aqueous extracts from the aboveground part of *Aconitum pendulum* on the seeds of seven grass species

WANG Ling-ling, YU Xiao-jun, YANG Hang

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Sino-U. S. Center for Grassland Ecosystem Sustainability, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In this experiment, the secondary poisonous weed *Aconitum pendulum* was used as the test material in the extremely degraded alpine grassland of Qinghai-Tibet Plateau, the allelopathic effects of extracts from aboveground parts on seed germination and seedling growth of 7 species of grasses were studied. The results showed that with the increase of the concentration of aqueous extract from the aboveground part of *A. pendulum*, the germination percentage, germination potential, germination index, bud length and root length of seeds of *Vicia sativa*, *Lolium multiflorum* and *Poa pratensis* decreased to varying degrees, the germination rate, germination potential, germination index, bud length, root length of *Pisum sativum* seeds and bud length of *Avena sativa* seeds increased to varying degrees, the germination potential, germination index of *Elymus nutans* seeds and root length, bud length of Triticum Secale seeds showed a trend of "low promotion and high inhibition". At the concentrations of 0.01 g/m aqueous extract, compared with the control, the germination percentage of *L. multiflorum* and *P. pratensis* seeds decreased by 28.9% and 75.8%, respectively. The germination potential of *A. sativa* seeds and *L. multiflorum* seeds decreased by 49.3% and 41.9% compared with the control, respectively. Compared with the control, the bud length of *V. sativa*, *E. nutans*, *L. multiflorum* and *P. pratensis* decreased by 23.0%, 36.1%, 45.1% and 66.4%, respectively. Linear regression equation was used to fit the relationship between the allelopathic effect index(SE) of recommended seed germination and the concentration of above ground extract of *A. pendulum*, the results showed that the sensitivity of recommended seeds to extract was as follows: *P. pratensis* > *L. multiflorum* > *A. sativa* > *E. nutans* > *V. sativa* > *P. sativum* > *T. Secale*.

**Key words:** *Aconitum pendulum*; allelopathy; germination of seeds; seedling growth