

王辉, 谢永生, 杨亚利, 揣峻峰. 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应. 生态学报 2011, 31(20): 6013-6021.

Wang H, Xie Y S, Yang Y L, Chuai J F. Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain. Acta Ecologica Sinica 2011, 31(20): 6013-6021.

云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应

王 辉¹, 谢永生^{1,2,*}, 杨亚利¹, 揣峻峰¹

(1. 西北农林科技大学 资环学院, 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 杨凌 712100)

摘要: 为了揭示铁杆蒿群落在植被演替中的作用, 通过研究铁杆蒿茎叶浸提液对铁杆蒿草地 4 种优势植物(百里香、大针茅、本氏针茅和赖草)的种子萌发及幼苗生长的干扰, 结果表明: 高浓度的铁杆蒿浸提液(甲醇浸提液和水浸提液)使得百里香、大针茅、本氏针茅和赖草的种子发芽指数降低, 发芽率、芽长和根长低于对照, 种子平均发芽时间延长达 1.13—2.16 d。而低浓度浸提液(0.005 g/mL)使得百里香的发芽要高于对照 11.63% (水浸提液)、15.12% (甲醇浸提液)。在幼苗生长期, 铁杆蒿浸提液对 4 种受试植物幼苗芽和根的生长受到不同程度的抑制, 不同浓度的浸提液对植物的化感作用强度不同, 随浓度的增加, 抑制作用越强, 0.1 g/mL 相对其他浓度有显著性差异; 其中 0.005 g/mL 浸提液对本氏针茅和赖草的幼苗生长有促进作用, 幼根生长高出对照 19.00%、16.06%, 水浸提液对幼芽促进了 2.33%、9.06%, 在 0.1 g/mL 浓度下, 本氏针茅或大针茅的生长完全受到抑制, 芽长和根长抑制率为 100%; 同一浓度下的不同浸提液对植物的抑制作用也不同, 其中百里香对铁杆蒿浸提液的敏感度是最低的; 甲醇浸提液的化感作用要强于水浸提液。在封育过程中, 百里香群落向铁杆蒿群落的过渡, 铁杆蒿的化感作用是该草地演替的一个重要影响因子。

关键词: 铁杆蒿; 植被演替; 化感作用; 云雾山自然保护区

Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain

WANG Hui¹, XIE Yongsheng^{1,2,*}, YANG Yali¹, CHUAI Junfeng¹

1 College of Resources and Environment of the Northwest A & F University, Yangling 712100, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling 712100, China

Abstract: We studied the allelopathic effects of *Artemisia sacrorum* on vegetation succession in an *A. sacrorum* grassland, a typical grassland on Yunwu Mountain. We tested three different concentrations (0.005 g/mL, 0.01 g/mL and 0.1 g/mL) plus controls of both water and methanol extracts from leaves and stems of *A. sacrorum* on seed germination and seedling growth of four dominant or accompanying species (*Thymus mongolicus*, *Stipa grandis*, *S. bungeana*, and *Leymus secalinus*). Higher concentrations of both methanol and water extracts reduced seed germination rates as well as seedling root and shoot growth in all four species relative to controls. Seed germination times were prolonged by 1.13—2.16 d. At low extract concentrations (0.005 g/mL), however, the germination rate of *T. mongolicus* was 11.63% higher with water-extract treatment and 15.12% higher with methanol-extract treatment. The allelopathic effects of *A. sacrorum* extracts were concentration-dependent, with a larger inhibitory effect at greater concentrations. The inhibitory effect at 0.1 g/mL was significantly different compared with other concentrations. Extracts of 0.005 g/mL accelerated seedling growth of *S.*

基金项目: 中国科学院重要方向 (KZCX2-YW-441); 国家科技支撑计划项目 (2011BAD31B01); 水利部公益性行业科研专项经费项目 (200901051; 201001036)

收稿日期: 2011-06-01; 修订日期: 2011-08-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ysxie@ms.iswc.ac.cn

bungeana and *L. secalinus*; their radicles were 19.00% and 16.06% longer than control groups, respectively. The 0.005 g/mL water extract enhanced *S. bungeana* and *L. secalinus* by 2.33% and 9.06% in the shoot length respectively. The growth of both *Stipa* species was restrained by 0.1 g/mL extracts, with 100% inhibition of some growth parameters (the root length and the shoot length). The methanol extracts had greater effects than the water extracts. Of the four species tested, *T. mongolicus* was the least sensitive to *A. sacrorum* extracts, suggesting that the *A. sacrorum* influences the community structure after replacing *T. mongolicus* community. The allelopathy of *A. sacrorum* is a very important factor in vegetation succession on Yunwu Mountain.

Key Words: *Artemisia sacrorum*; vegetation succession; allelopathy; Yunwu Mountain Natural Reserve

植物间的化感作用是指一种植物通过向环境释放化学物质而对另一种植物(包括微生物)所产生的抑制或促进作用^[1-2]。植物化感物质通过淋溶、挥发、根系分泌和残株降解等方式进入环境而影响自身或其他植物(包括微生物)的生长,进而影响植物群落组成和演替^[1,3-6]。

植物生态学理论传统地认为植物演替是由于植物生境中的物理因素、光、温度、水、营养和植物竞争造成的,很少考虑到植物演替中的化学因素^[1]。薊能够抑制其它牧草的生长,特别是苜蓿,同时刺激自身的生长,所以薊的化感作用使其抑制其它草类的生长,而自身得以迅速蔓延^[7]。Nell等^[8]研究了毛果破布草(*A. psilostachya* DC, 豚草的1种)在弃耕地演替和分布格局中的作用,生长在它周围的一种三芒草会受到抑制。Rice^[9]发现毛果破布草成熟的根、茎、叶对几种固氮菌、硝化细菌和根瘤菌具有抑制作用。因此可以认为是豚草在次生演替中成为优势种的一个重要原因^[10]。

铁杆蒿(*Artemisi asacrorum*)是菊科蒿属(别名白莲蒿、万年蒿)半灌木状草本,主根木质,主要生长于中国西部海拔1500—4900 m的山地、半荒漠草原、滩地等干旱半干旱地区,而且在局部地区为植物群落优势种的主要伴生种。铁杆蒿群落是黄土丘陵区植被自然恢复过程中的重要阶段,是该区域天然草地的主要建群种之一,一般在该区域退耕5—6a后即会出现铁杆蒿种群^[11]。铁杆蒿生命力较强,是一种优良的水土保持植物,对于维持该地区生态系统的稳定具有重要意义;目前,国内外对该植物的研究多集中在生物学特性上^[12-18],但对于该植物在植被演替过程中所承担的角色,以及其所释放的化学物质对种间调节和干扰的化感作用尚不明确。

本试验通过对宁夏云雾山自然保护区铁杆蒿草地土壤养分进行测定,分析该建群种植物铁杆蒿对其优势种的种子萌发和幼苗的干扰,估测铁杆蒿的化感潜力,探讨在植被演替过程中,建群种和优势种之间的化学生态关系,明确演替过程中植被和化感作用的动态响应机制,揭示草原植被演替的内在动力,为干旱区草原恢复与重建提供科学指导。

1 研究地区和研究方法

1.1 试验地自然概括

研究区位于宁夏回族自治区固原市东北部,地理坐标为东经106°24′—106°28′,北纬36°13′—36°19′,海拔1800—2100 m,处于中温带半干旱气候区,具有典型的半干旱气候特征。该区年均气温6—7℃,最热月7月气温22—25℃,最冷月1月平均气温-14℃。保护区年均降水量411.5 mm,季节分布不均匀,冬季(12—2月)降水量仅占全年降水量的2.6%;夏秋季节(6—11月)降水量占全年降水量的79.6%。年蒸发量1330—1640 mm。云雾山自然保护区建立于1982年,对于保护的草地群落用细铁丝围封起来,而未保护的群落在保护区范围外,任其自由放牧不加干涉。保护区的种子植物有51科131属182种,主要是以草本植物为主,且多为旱生和中旱生,保护区的建群种植物主要有本氏针茅(*Stipa bungeana*)、百里香(*Thymus mongolicus*)和铁杆蒿(*Artemisi asacrorum*)等^[19]。

1.2 材料和方法

1.2.1 试验材料

供体植物铁杆蒿于2010年5月初采集于宁夏云雾山自然保护区铁杆蒿草原。

受体植物为本氏针茅、大针茅 (*Stipa grandis* P. Smirn.)、赖草 (*Leymus secalinus*) 和百里香。这 4 种受试植物的种子均采集于云雾山自然保护区铁杆蒿群落封育区。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤样品的采集及化学特性分析^[20]

采集土壤剖面样品, 首先按发生学原理划分土壤层次, 土样由下到上, 分层采集。样品经拣根、风干后, 分别过 1 mm 和 0.25 mm 筛备用。土壤样品化学特性的分析方法见表 1。

表 1 土壤养分的测定方法

Table 1 The measurement method of the soil nutrient

| 测定项目 Measuring items | 测定方法 Measuring method |
|--------------------------|---|
| 有机质 Organic matter | 重铬酸钾外加热法 |
| 全氮 Total nitrogen | 半微量开氏法 |
| 碱解氮 Available nitrogen | 碱解扩散法 |
| 全磷 Total phosphorus | HClO ₄ -H ₂ SO ₄ 消煮-钼锑抗比色法 |
| 速效磷 Available phosphorus | 0.5 mol/L NaHCO ₃ 浸提-钼锑抗比色法 |
| 速效钾 Available potassium | 1 mol/L NH ₄ OAc 浸提-火焰光度法 |

(1) 铁杆蒿土壤化学特性

在剖面中, 有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷和速效钾含量都随着土壤深度增加呈下降趋势, 且每层之间的含量有存在显著差异 ($P < 0.05$) (表 2)。

表 2 铁杆蒿土壤养分

Table 2 Soil nutrients in *Artemisi asacrorum* grassland

| 土层 Soil horizon/cm | 有机质 Organic matter /(g/kg) | 全 N Total nitrogen /(g/kg) | 全 P Total phosphorus /(g/kg) | 碱解氮 Available nitrogen /(mg/kg) | 速效 P Available phosphorus /(mg/kg) | 速效 K Available potassium /(mg/kg) |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|---|--|
| 0—34 | 48.88±0.62a | 3.02±0.06a | 0.70±0.01a | 219.29±2.53a | 5.63±0.32a | 272.50±4.80a |
| 34—68 | 34.14±0.16b | 2.34±0.02b | 0.67±0.01b | 158.60±1.81b | 3.30b | 116.00±2.20b |
| 768 | 22.67±0.50c | 1.42±0.06c | 0.59c | 95.74±1.08c | 2.68±0.18b | 74.60±2.00c |

同列数字后小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

1.3.2 浸提液的制备

(1) 铁杆蒿茎叶水浸提液的制备 将植物茎叶洗干净阴干粉碎后, 以 5 g 干粉: 50 mL 无菌蒸馏水的比例在 20℃ 室温下超声波震荡浸泡 30 min, 然后过滤得到的浓度是 0.1 g/mL 的浸提母液; 将母液用蒸馏水稀释成 0.01 和 0.005 g/mL 浓度后保存于 4℃ 冰箱中。在铺有两层滤纸的培养皿 ($\Phi = 15$ cm) 中培养种子, 分别加入 5 mL 各浓度的水浸提液, 无菌蒸馏水为对照。

(2) 铁杆蒿茎叶甲醇浸提液的制备 方法同水浸提液。

1.3.3 生物检测

(1) 种子发芽 选择颗粒饱满, 形态相近的种子用 0.1% 的高锰酸钾溶液消毒 15 min 后, 取出用蒸馏水冲洗至高锰酸钾完全洗净。然后将种子分别培养在底部垫两层滤纸的培养皿中 ($\Phi = 15$ cm), 每个培养皿中播种 50 粒均匀一致的种子, 每种受试植物种子分别加入不同浓度植物的水浸提液 5 mL; 当为甲醇浸提液时, 待加入的 5 mL 甲醇浸提液挥发完毕, 再加 5 mL 蒸馏水, 然后培养种子, 对照加入蒸馏水 5 mL, 盖上盖。置于 24℃ 恒温培养箱中培养, 每天补充适量浸提液或无菌蒸馏水 1 次, 并检测发芽数, 胚根突破种皮 2 mm 即视为萌发, 每个处理 3 次重复, 10 d 结束。第 5 天开始记录发芽情况。

(2) 幼苗生长 种子萌发第 10 天统计发芽率后, 用刻度尺测量萌发后幼芽与幼根长度。

1.4 数据处理

$$\text{发芽率} = (\text{发芽种子数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽指数} = \sum (G_i / T_i)$$

$$\text{相对发芽率} = (\text{处理发芽率} / \text{对照发芽率}) \times 100\%$$

$$\text{相对发芽指数} = (\text{处理发芽指数} / \text{对照发芽指数}) \times 100\%$$

$$\text{平均发芽天数} = (\sum G_i \cdot T_i) / \sum G_i$$

式中, G_i 指第 i 天的发芽数; T_i 指相应的发芽天数。

$$\text{抑制率 } IR = (C - T) / C \times 100\%$$

式中, C 指对照值; T 指处理值; $IR > 0$ 表示抑制作用, $IR < 0$ 表示促进作用, IR 绝对值的大小与化感作用强度一致。

采用 SAS 软件对铁杆蒿草地土壤养分及受试植物种子萌发和幼苗生长参数进行方差分析。采用 Sigmaplot11.0 进行作图。

2 结果与分析

2.1 铁杆蒿浸提液对种子萌发的影响

随着浸提液浓度的增加,百里香、大针茅、本氏针茅和赖草的种子相对发芽率呈降低的趋势(表 3)。百里香对铁杆蒿浸提液的敏感度要明显低于其他 3 种受体植物;0.005 g/mL 的甲醇浸提液和水浸提液对百里香发芽有促进作用,分别高出对照 15.12% 和 11.63%;在 0.1 g/mL 浓度下,甲醇浸提液和水浸提液对百里香的抑制率却很高,分别为 93.02% 和 49.84%。0.1 g/mL 的浸提液对受体植物的抑制作用很明显,在甲醇浸提液的作用下,本氏针茅和大针茅的相对发芽率为 0,不能正常发芽,赖草的相对发芽率也只有 8.33%;在水浸提液的作用下,大针茅的发芽率为 0,生长完全被抑制,而本氏针茅的相对发芽率也只有 5.00%,百里香和赖草的相对发芽率为 51.16% 和 16.67%。

不同的浸提液对 4 种受试植物的反应不同,在 0.01 g/mL 和 0.1 g/mL 浓度下,甲醇浸提液比水浸提液的抑制作用更显著,如本氏针茅在 0.01 g/mL 水浸提液的作用下,相对发芽率为 85%,而同浓度的甲醇浸提液下只有 48.33%。铁杆蒿浸提液不同浓度之间对受体植物种子萌发的影响明显,均达到了显著水平(除水浸提液 0.005 g/mL 和 0.01 g/mL 对大针茅的抑制作用) ($P < 0.05$)。

表 3 铁杆蒿茎叶浸提液对受试种子相对发芽率的影响

Table 3 Effect of the extracts of *Artemisi asacrorum* stems and leaves on the germination rate of the test species

| 浸提液 Extracts from <i>Artemisi asacrorum</i> | 浓度 Concentration /(g/mL) | 种子相对发芽率 Relative germination rate of seeds/% | | | |
|---|--------------------------------|--|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| | | 百里香 <i>Thymus mongolicus</i> | 本氏针茅 <i>Stipa bungeana</i> | 大针茅 <i>Stipa grandis</i> P. Smirn. | 赖草 <i>Leymus secalinus</i> |
| 甲醇浸提液 Methanol extracts | CK | 100Ab | 100Aa | 100Aa | 100Aa |
| | 0.005 | 115.12±3.45Aa | 61.67±1.67Bb | 78.13±8.27Ba | 91.67±16.67ABa |
| | 0.01 | 90.70±6.98Ab | 48.33±4.41Bc | 46.88±10.83Bb | 54.17±4.17Bb |
| | 0.1 | 6.98Bc | 0Cd | 0Cc | 8.33Ac |
| 水浸提液 Aqueous extracts | CK | 100Aab | 100Aa | 100Aa | 100Aa |
| | 0.005 | 111.63±8.06Aa | 95.00±5.00Aa | 87.50±19.10Aa | 79.17±4.17Ab |
| | 0.01 | 90.70Ab | 85.00Ab | 75.00Ba | 69.44±2.78Bd |
| | 0.1 | 51.16±4.65Ac | 5.00BCc | 0Cb | 16.67Bc |

大写字母表示不同受体植物在同一浓度处理时的差异显著性;小写字母表示在不同浓度下处理同一受体植物的差异显著性;字母不同表示差异显著性($P < 0.05$)

随着铁杆蒿茎叶浸提液浓度的增大,受试植物种子相对发芽指数随之降低(图 1)。与对照相比,当浸提液浓度为 0.1 g/mL 时,在甲醇浸提液的作用下,本氏针茅和大针茅的相对发芽指数均为 0;在水浸提液的作用

用下,大针茅的相对发芽指数为0。这说明,无论是水溶性还是甲醇溶性的物质,在0.1 g/mL时,铁杆蒿浸提液对大针茅的种子萌发的抑制都达到了100%。当浓度稀释到0.005 g/mL时,甲醇浸提液对本氏针茅和大针茅的抑制作用最显著($P<0.05$),分别为47.82%和37.23%,百里香的发芽指数只降低了1.69%,几近对照,而对赖草的生长有一定的促进作用,其相对发芽指数增大了5.08%;而当是水浸提液时,百里香的相对发芽指数提高了5.40%,而大针茅、本氏针茅和赖草的相对发芽指数分别降低了24.90%、9.54%和15.82%。大针茅和本氏针茅的相对发芽指数差异并不显著($P<0.05$),这可能是由于二者是同属不同种的缘故。

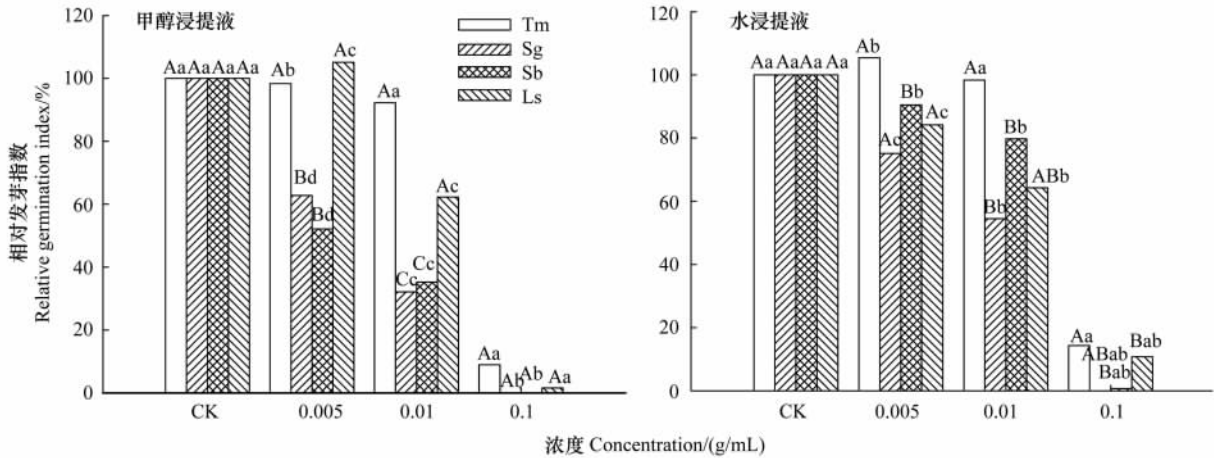


图1 铁杆蒿茎叶浸提液对受试植物种子发芽指数的影响

Fig. 1 Effects of the extracts of stems and leaves of *Artemisi asacrurum* on the germination index of acceptor species

Tm: 百里香 *Thymus mongolicus*; Sg: 大针茅 *Stipa grandis* P. Smirn.; Sb: 本氏针茅 *Stipa bungeana*; Ls: 赖草 *Leymus secalinus*; 大写字母表示不同受体植物在同一浓度处理时的差异显著性; 小写字母表示在不同浓度下同一受体植物处理时的差异显著性; 字母不同表示差异显著性($P<0.05$)

随着浸提液浓度的增加,种子发芽时间在不同程度上延长(图2)。与对照相比,当浸提液浓度为0.1 g/mL时,在甲醇浸提液的作用下,百里香和赖草的平均发芽时间延长了1.13 d和2.16 d;在水浸提液的作用下,百里香、本氏针茅和赖草的平均发芽时间分别延长了1.76 d、1.41 d和1.71 d,该浓度下4种受试植物的平均发芽时间明显增加,而且0.1 g/mL、0.01 g/mL和0.005 g/mL浓度下各受试植物种子的发芽指数、平均发芽时间之间差异显著($P<0.05$)。

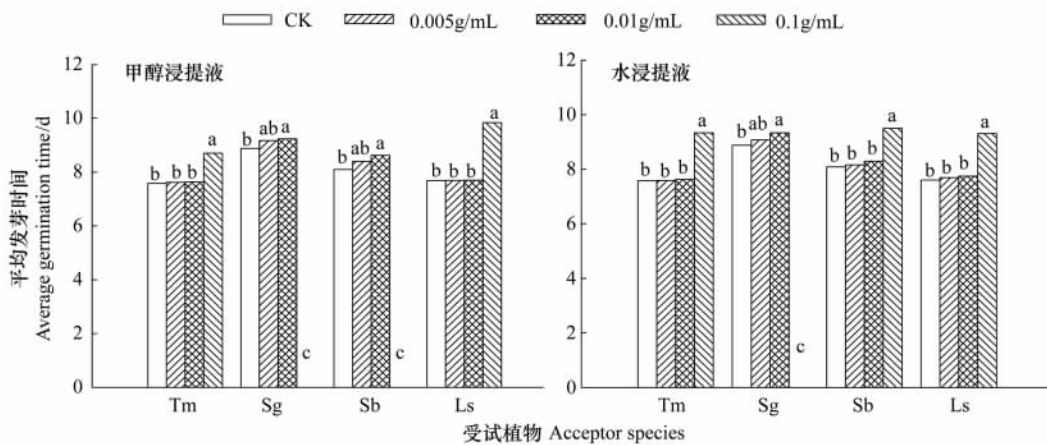


图2 铁杆蒿茎叶浸提液对受试植物平均发芽时间的影响

Fig. 2 Effects of the extracts of stems and leaves of *Artemisi asacrurum* on the average germination time of acceptor species

2.2 铁杆蒿浸提液对幼苗生长的影响

相对于种子萌发,幼苗的生长更能体现铁杆蒿茎叶浸提液对受体植物的化感作用。随着浸提液浓度的增大,浸提液对受体植物幼苗的芽长和根长的抑制作用显著增强(图3)。与对照相比,0.005 g/mL和0.01 g/mL的浸提液对本氏针茅和赖草的幼根生长都有促进作用,抑制率分别为13.21%—21.05%、5.16%—16.06%(甲醇浸提液)和18.32%—19.00%、14.03%—22.35%(水浸提液)。浓度为0.005 g/mL和0.01 g/mL的水浸提液,对赖草幼根的促进作用分别比同浓度下的甲醇浸提液的作用要强;0.005 g/mL浓度下,抑制率为-22.35%(水浸提液) < -16.26%(甲醇浸提液),0.01 g/mL浓度下,抑制率为-14.03%(水浸提液) < -5.16%(甲醇浸提液)。当浓度为0.1 g/mL时,甲醇浸提液和水浸提液相对于0.01 g/mL和0.005 g/mL都存在显著差异($P < 0.05$)。

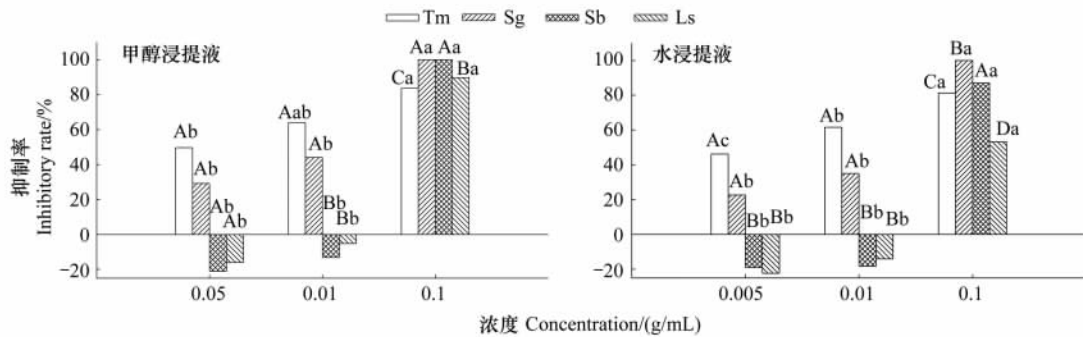


图3 铁杆蒿茎叶浸提液对受试植物幼苗根长的影响

Fig. 3 Effects of the aqueous extracts from *Artemisi asacrorum* stems and leaves on the root length of acceptor seedlings

芽的生长情况同根有相似的趋势:浸提液浓度越高,芽的生长受到的抑制作用越大(图4)。0.005 g/mL的水浸提液对大针茅的生长抑制率为22.3%,而对百里香、本氏针茅和赖草芽的生长具有一定的促进作用,抑制率分别为-13.82%、-2.33%和-9.06%;而这个浓度下的甲醇浸提液对4种受试植物芽的生长都有抑制作用,其中对百里香芽的抑制率达到27.75%。0.01 g/mL的水浸提液促进赖草芽的生长,抑制率为-6.31%,对其他3种受试植物均有抑制作用,其中对大针茅芽的抑制率达40.32%;在0.01 g/mL浓度下,甲醇浸提液对赖草芽的生长有抑制,抑制率为4.90%,而相比同浓度的水浸提液,其对百里香、本氏针茅的抑制作用要大,抑制率分别为30.07%(甲醇浸提液) > 9.73%(水浸提液)、40.14%(甲醇浸提液) > 4.07%(水浸提液)。由于在0.1 g/mL浓度下,甲醇浸提液的作用下,大针茅、本氏针茅的发芽率为0,因此其根长和芽长均为0,完全抑制其生长;在0.1 g/mL的水浸提液的作用下,大针茅的发芽率为0,无发芽现象,抑制率为100%。4种受试植物在不同浓度条件下芽的生长情况差异显著($P < 0.05$)。

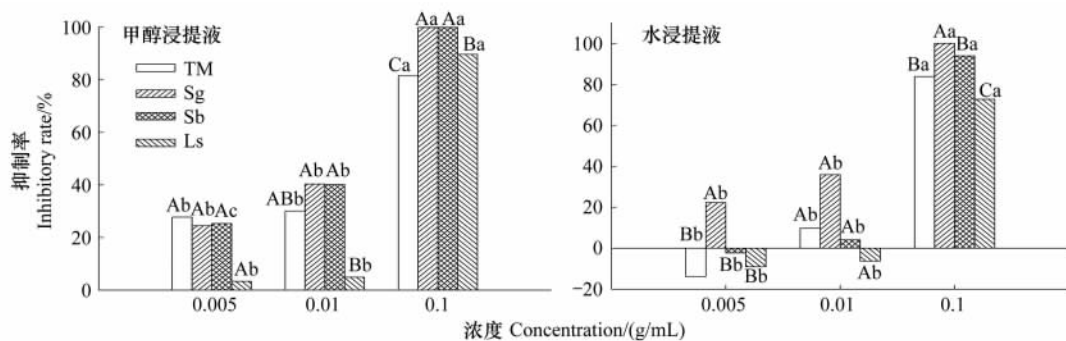


图4 铁杆蒿茎叶浸提液对受试植物幼苗芽长的影响

Fig. 4 Effects of the aqueous extracts from *Artemisi asacrorum* stems and leaves on the shoot length of acceptor seedlings

3 讨论

在云雾山立地条件下,由于群落内各物种间的生存竞争,使群落建群种、优势种发生更替,从而推动了植物群落的内因生态演替^[21]。化感作用在生态系统中是群落相互竞争的重要方式之一,在植物群落的演替过程中起着重要作用^[22-23]。程积民^[12]对云雾山自然保护区的多年观察发现,草地封育时间不同,各区域的建群种是不同的;草地封育不到 10a 的建群种为百里香,而封育近 20 年的建群种为铁杆蒿。本研究结果显示,铁杆蒿浸提液对 4 种优势种受试植物的种子萌发和幼苗的生长化感作用是不同的。在种子萌发时,不同受试植物对铁杆蒿浸提液的敏感程度是不同的,其中百里香的敏感度是最低的,说明在封育过程中,百里香群落向铁杆蒿群落的过渡,铁杆蒿对百里香的发芽有一定的抑制作用,而种子萌发对物种更新是至关重要的。种子发芽率的降低,直接影响着该植物在群落中的多样性。

Oussama Oueslati^[24]在研究两种小麦的化感作用时显示,在不同的提取溶液下,小麦的化感作用是不同的。翟梅枝等^[25]用乙醇和水溶剂提取不同季节的草地早熟禾,研究表明,水浸提液对种子萌发的抑制作用要强于乙醇浸提液。在本研究中,铁杆蒿甲醇浸提液对受体种子相对发芽率的抑制作用要强于同浓度条件下的水浸提液(除 0.005 g/mL 下的赖草处理),其他的各项指标(平均发芽时间、根和芽的抑制率)大多也同样的现象,这说明在浓度条件下,铁杆蒿甲醇浸提液对植物的抑制作用要强于水浸提液,这可能与甲醇浸提液含有更多的化感物质、且这些化感物质都能抑制植物的生长发育有关。

随着浸提液浓度的增加,受试植物所受到的抑制加强,百里香、大针茅、本氏针茅和赖草的种子相对发芽率、相对发芽指数随着降低,而且种子发芽时间也随之延长。0.1 g/mL 浓度与 0.01 g/mL、0.005 g/mL 对 4 种受试植物的化感作用差异显著。在自然界中,水溶性的化感物质主要通过雨水和雾滴等的淋溶而进入土壤发生化感作用^[26]。当化感物质在土壤中积累一定量后,就会抑制植物种子萌发^[27]和幼苗生长^[28],从而影响植物的竞争力^[29]。就化感效应与化感物质数量(或浓度)间的相关性而言,产生化感效应必须使化感物质达到某一界限数量(或浓度),低于则植物不受损害,且部分化感物质会产生促进植物生长的效应^[30-33]。在本研究中,浸提液浓度在 0.005 g/mL 时,对百里香的发芽及对本氏针茅和赖草的幼根生长具有一定的促进作用,而当浓度增大到 0.1 g/mL 时,4 种受试植物的根芽生长都受到抑制作用,本氏针茅或大针茅甚至无法正常发芽。当幼苗的根生长受到抑制时,植物根系对土壤中养分、水分等其他因素的吸收会受到影响,结果导致植物的生长缓慢,从而处于劣势竞争地位。幼苗芽的生长受到抑制,地上部分无法进行正常的光合作用,植株矮小,对根系的供养也是有限的;这样的恶性循环必然会导致该群落在整个草地中逐渐衰落。

在铁杆蒿侵入百里香群落的初期,由于铁杆蒿分泌的化感物质浓度还比较低,无法对百里香、本氏针茅等牧草产生不利影响,反而在一定程度上促进了它们的生长发育。但在 10a 的演替过程中,随着铁杆蒿的生长,并在空间占有一定的有利位置,而且分泌的化感物质在土壤中有所积累,浓度不断增大,此时对百里香、本氏针茅、大针茅和赖草的生长产生了抑制作用,使得铁杆蒿代替百里香而成为了该草地的建群种,因此铁杆蒿的化感作用是该草地的演替的重要影响因子。

References:

- [1] Kong C H, Hu F. Plant Allelopathy and Its Application. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 2-2.
- [2] Rice E L. Allelopathy. Orlando: Academic Press, 1984.
- [3] Ridenour W M, Callaway R M. The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecologia*, 2001, 126(3): 444-450.
- [4] Hierro J L, Callaway R M. Allelopathy and exotic plant invasion. *Plant and Soil*, 2003, 256(1): 29-39.
- [5] Hewitt R E, Menges E S. Allelopathic effects of *Ceratiola ericoides* (Empetraceae) on germination and survival of six Florida scrub species. *Plant Ecology*, 2008, 198(1): 47-59.
- [6] Ens E J, French K, Bremner J B. Evidence for allelopathy as a mechanism of community composition change by an invasive exotic shrub, *Chrysanthemoides monilifera* spp. *rotundata*. *Plant and Soil*, 2009, 316(1/2): 125-137.
- [7] Wardle D A, Nicholson K S, Rahman A. Influence of plant age on the allelopathic potential of nodding thistle (*Carduus nutans* L.) against pasture

- grasses and legumes. *Weed Research*, 1993, 33(1): 69-78.
- [8] Nell R L, Rice E L. Possible role of *Ambrosia psilostachya* on pattern and succession in old-fields. *The American Midland Naturalist Journal*, 1971, 86(2): 344-358.
- [9] Rice E L. Inhibition of nitrogen-fixing and nitrifying bacteria by seed plants II. Characterization and identification of inhibitors. *Physiologia Plantarum*, 1965, 18(1): 255-268.
- [10] Wang D L. Review of allelopathy research of *ambrosia* genus. *Chinese Journal of Ecology*, 1995, 14(4): 48-53.
- [11] Zhou P, Liu G B, Hou X L. Study on vegetation and soil nutrient characters of *Artemisia sacrorum* communities in hilly-gully region of the loess plateau. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008, 17(2): 9-18.
- [12] Cheng J M, Wan H E. *Vegetation Planning and Soil and Water Conservation in the Loess Plateau*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002.
- [13] Zhang N, Liang Y M. Comparative studies on above-ground numerical characteristics and their relationships with soil moisture of two kinds of natural grassland in loess hilly region. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1999, 19(3): 494-501.
- [14] Wang L G, Liu G B. Study on the interspecific association of the *Artemisia sacrorum* community in loess hilly region. *Grassland of China*, 2002, 24(3): 1-6.
- [15] Zhang N, Liang Y M. Comparative studies on below ground growth and its relationship with soil moisture of two kinds of natural grassland in loess hilly region. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1999, 19(4): 699-706.
- [16] Cheng J M, Wan H E, Wang J, Yong S P. Soil water regulation of the natural grassland of semi-arid loess hilly region. *Acta Agrestia Sinica*, 2003, 11(4): 296-300.
- [17] Cheng J M, Du F, Wan H E. Solid collocation of water collected shrub-grass and water regulation in semi-arid region of Loess Plateau. *Acta Agrestia Sinica*, 2000, 8(3): 210-219.
- [18] Cheng J M, Wan H E, Du F. Recovery and reconstruction of degraded shrub-grass vegetation in semi-arid region of Loess Plateau. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(4): 50-57.
- [19] Management office of Yunwu Mountain natural conservation area in Ningxia. *Collected works of scientific investigation and management in Yunwu Mountain natural conservation area in Ningxia*. Yinchuan: Ningxia People's Publishing House, 2001.
- [20] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 25-107.
- [21] Zou H Y, Cheng J M, Zhou L. Natural recovearge succession and regulation of the prairie vegetation on the Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 1998, 5(1): 126-138.
- [22] Suikkanen S, Fistarol G O, Granéli E. Allelopathic effects of the *Baltic cyanobacteria Nodularia spumidigena*, *Aphanizomenon flosaquae* and *Anabaena lemmermannii* on algal monocultures. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, 308(1): 85-101.
- [23] Zhang K M, Shi L, Li Z Y. Fern allelopathy and its impact on biodiversity. *Biodiversity Science*, 2004, 12(4): 466-471.
- [24] Oueslati O. Allelopathy in two durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 96(1/3): 161-163.
- [25] Zhai M Z, Zhang F Y, Tian Z G, Guo Q. A study on the allelopathy of *Poa pratensis* from different season. *Journal of Northwest Forestry University*, 2006, 21(6): 154-157.
- [26] Tukey H B Jr. Leaching of metabolites from above-ground plant parts and its implications. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 1966, 93(6): 385-401.
- [27] Ross M A, Harper J L. Occupation of biological space during seedling establishment. *Journal of Ecology*, 1972, 60(1): 77-88.
- [28] Witkowski E T F. Growth and competition between seedlings of *Protea repens* (L.) L. and the alien invasive, *Acacia saligna* (Labill.) Wendl. in relation to nutrient availability. *Functional Ecology*, 1991, 5(1): 101-110.
- [29] Grice A C, Westoby M. Aspects of the dynamics of the seed-banks and seedling populations of *Acacia victoriae* and *Cassia* spp. in arid western New South Wales. *Australian Journal of Ecology*, 1987, 12(3): 209-215.
- [30] Wang H, Zhou S Q, Huan Z J. A study on allelopathic effect of *Stellera chamaejasme* L. on *Melilotus suaveolens* Ledeb and *Lolium perenne* L. *Acta Agrestia Sinica*, 2009, 17(6): 826-829.
- [31] Alam S M, Ala S A, Azmi A R. Influence of aqueous leaf extract of purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.) and NaCl on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of scientific and Industrial Research*, 1999, 42(6): 372-373.
- [32] Padhy B, Patnaik P K, Tripathy A K. Allelopathic potential of *Eucalyptus* leaf litter leachates on germination and seedling growth of finger millet. *Allelopathy Journal*, 2000, 7(1): 69-78.
- [33] Brunner L, Luster J, Ochs M, Blaser P. Phytotoxic effects of the high molecular weight fraction of an aqueous leaf litter extract on barley root development. *Plant and Soil*, 1996, 178(1): 83-93.

参考文献:

- [1] 孔垂华,胡飞. 植物化感(相生相克)作用及其应用. 北京: 中国农业出版社,2001: 2-2.
- [10] 王大力. 豚草属植物的化感作用研究综述. 生态学杂志,1995,14(4): 48-53.
- [11] 周萍,刘国彬,侯喜禄. 黄土丘陵区铁杆蒿群落植被特性及土壤养分特征研究. 草业学报,2008,17(2): 9-18.
- [12] 程积民,万惠娥. 中国黄土高原植被建设与水土保持. 北京: 中国林业出版社,2002.
- [13] 张娜,梁一民. 黄土丘陵区两类天然草地群落地上部数量特征及其与土壤水分关系的比较研究. 西北植物学报,1999,19(3): 494-501.
- [14] 王国梁,刘国彬. 黄土丘陵沟壑区铁杆蒿群落种间联结性研究. 中国草地,2002,24(3): 1-6.
- [15] 张娜,梁一民. 黄土丘陵区两类天然草地群落地下部生长及其与土壤水分关系的比较研究. 西北植物学报,1999,19(4): 699-706.
- [16] 程积民,万惠娥,王静,雍绍萍. 黄土丘陵半干旱区天然草地土壤水分调控研究. 草地学报,2003,11(4): 296-300.
- [17] 程积民,杜峰,万惠娥. 黄土高原半干旱区集流灌草立体配置与水分调控. 草地学报,2000,8(3): 210-219.
- [18] 程积民,万惠娥,杜峰. 黄土高原半干旱区退化灌草植被的恢复与重建. 林业科学,2001,37(4): 50-57.
- [19] 宁夏云雾山草原自然保护区管理处. 宁夏云雾山自然保护区科学考察与管理文集. 银川: 宁夏人民出版社,2001.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社,2000: 25-107.
- [21] 邹厚远,程积民,周麟. 黄土高原草原植被的自然恢复演替及调节. 水土保持研究,1998,5(1): 126-138.
- [23] 张开梅,石雷,李振宇. 蕨类植物的化感作用及其对生物多样性的影响. 生物多样性,2004,12(4): 466-471.
- [25] 翟梅枝,张凤云,田治国,郭琪. 不同季节草地早熟禾的化感作用研究. 西北林学院学报,2006,21(6): 154-157.
- [30] 王慧,周淑清,黄祖杰. 狼毒对草木樨、多年生黑麦草的化感作用. 草地学报,2009,17(6): 826-829.