

DOI:10.16742/j.zgxcdxb.20190063

黄土高原常见蒿属植物对 4 种豆科牧草 种子萌发和幼苗生长的化感作用

雷威肖^{1,2}, 陈巧玲³, 陈康丽¹, 刘 晶¹, 郭 梁⁴, 金晶炜⁴, 程积民¹, 李 伟^{4,*}

(1.西北农林科技大学草业与草原学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 兰州大学生态学创新研究院, 甘肃 兰州 730000;
3.海南大学热带农林学院, 海南 海口 570100; 4. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:黄土高原常见蒿属植物铁杆蒿、大籽蒿和狭裂白蒿叶枯落物对豆科牧草红豆草、紫花苜蓿、沙打旺和百脉根种子萌发及幼苗生长的影响研究表明:3 种常见蒿属植物对 4 种豆科牧草种子发芽率、发芽势及幼苗地上、地下生物量(鲜重和干重)和叶丙二醛(MDA)含量影响不同,但其综合化感效应总体上均呈现低质量浓度促进、高质量浓度抑制。在 1g/L 和 10g/L 浓度三种蒿浸提液中促进效应最大的牧草是沙打旺;除了 100g/L 铁杆蒿对红豆草的综合化感效应表现出促进外,其余 100g/L 三种蒿浸提液对 4 种豆科牧草均呈现不同程度的抑制作用。

关键词:铁杆蒿;大籽蒿;狭裂白蒿;化感作用;豆科牧草

中图分类号:Q945.79 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-5021(2020)01-0021-10

化感作用(Allelopathy)为植物或微生物向周边环境分泌代谢产物从而影响相近植物或微生物生长发育的化学生态防御机制^[1]。植物间的化感效应分为自毒、偏害和互惠作用,具体表现取决于物种以及物种所处的环境^[2~3]。化感作用是群落中物种分布的主导因素之一^[4],在物种及群落的演替过程中发挥着重要作用^[5]。植物的化感物质通过其自身器官分泌和枯落物分解及其他方式影响同种或不同种植物及微生物的繁殖和生长,进而影响植物群落组成、结构、功能及演替^[6~8]。自然界中化感作用广泛存在,在病虫害防治、作物间作套种、突破连作障碍和新品种培育等方面化感作用都有极高的利用价值^[9~10],研究化感效应的规律可以有效地指导农业发展。

蒿属(*Artemisia* Linn)植物在黄土高原牧草区系和植被组成中占有重要位置,在陕北黄土高原蒿属植物有 30 个种 1 个变种^[11]。铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)分布广,在黄土高原分布相对集中,在退化草地中铁杆蒿为优势物种^[12]。大籽蒿(*Artemisia sieversiana*)广泛分布于温带或亚热带高山地区,在全国各地均有分布^[13]。狭裂白蒿(*Artemisia kanashiroi*)主要分布于我国西北地区海拔 2300m 以下地区的田边、路旁、山坡等处^[14]。许多研究表明,蒿属植物具有化感作用。如张超等^[15]研究发现,铁杆蒿不同部位水浸提液对茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)和铁杆蒿 4 种植物种子萌发有不同程度的抑制作用,对根和芽的影响呈

高抑低促趋势;朴顺姬等^[16]发现,大籽蒿对羊草(*Leymus chinensis*)种子活力指数的影响有低促高抑的趋势,对无芒雀麦(*Bromus inermis*)种子发芽的抑制作用随着处理浓度增加而增强;袁航等^[17]发现,茵陈蒿浸提液对苜蓿(*Medicago sativa*)幼苗生长指标产生的影响不尽相同。

黄土高原草地退化严重,补播是改良退化草地的有效途径^[18]。豆科牧草蛋白质含量高,适口性好^[19],在天然草地补播不仅可以提高优质牧草比例,还能减少毒草比例,改良土壤,因此在天然草地补播中具有重要意义^[20~22]。但天然草地广泛存在的蒿属植物对补播的优良豆科牧草的化感作用研究较少。本研究选取黄土高原天然草地演替时序中常见蒿属植物大籽蒿、铁杆蒿和狭裂白蒿为施体材料,选取沙打旺(*Astragalus adsurgens*)、百脉根(*Lotus corniculatus*)、红豆草(*Onobrychis viciaefolia*)和紫花苜蓿 4 种优良豆科牧草种子为受体,研究 4 种豆科牧草种子萌发和幼苗生长对铁杆蒿、狭裂白蒿和大籽蒿的化感响应,以期为黄土高原天然草地补播

* 通讯作者, E-mail: liwei2013@nwsuaf.edu.cn

收稿日期: 2019-03-28; 修回日期: 2019-10-22

基金项目: 国家重点研发计划“北方农牧交错带草地退化机理及生态修复技术集成示范”(2016YFC0500700); 国家自然科学基金(41601586, 41701606); 中国典型自然保护区保护成效评估—云雾山草原(KFJ-SW-YW028-07); 中国博士后科学基金特别资助(2018T111100)

作者简介: 雷威肖(1993-), 男, 陕西汉中, 硕士研究生, 主要从事草地生态学研究, E-mail: 1273809119@qq.com.

优良豆科牧草和建植人工草地提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

铁杆蒿、大籽蒿和狭裂白蒿的枯落叶于2016年9月在宁夏云雾山国家级自然保护区采集。红豆草、紫花苜蓿、沙打旺和百脉根4种优良豆科牧草种子2016年11月购于杨凌区种子交易市场。

1.2 浸提液制备

浸提液浓度设置4个梯度,分别为0(对照)、1g/L、10g/L、100g/L^[23]。准确称取采集的枯落物100g,分别加800~900ml蒸馏水浸泡24h后抽滤并定容至1000ml,制备为100g/L浸提液。取100g/L浸提液分别稀释制备10g/L和1g/L的浸提液,备用。

1.3 发芽试验

将培养皿高温灭菌后铺滤纸,均匀放置50粒豆科牧草种子,在每个培养皿中依次加入5ml不同浓度浸提液,对照加5ml蒸馏水。培养皿先放在相对湿度80%、25℃无光照人工气候室内培养,第4d后光照设置为12h,每天记录萌发种子数。各处理设3个重复试验。

发芽率=(处理中萌发种子数/各皿试验种子总数)×100%

发芽势=(处理中第7d萌发种子数/各皿试验种子总数)×100%

1.4 幼苗测定

于萌发第12d采幼苗叶片,参照Zhou等^[24]方法测定MDA含量。然后分别测定幼苗单株地上和地

下鲜重,并将样品置于85℃电热恒温鼓风干燥箱烘干至恒重后测定单株地上和地下干重。

1.5 数据处理

测定发芽率、发芽势、丙二醛、单株地上鲜重和干重、单株地下鲜重和干重,在SPSS 21.0统计软件中使用最小显著差数检验法(LSD)进行方差分析。

化感效应指数 $RI = T/C - 1 (T < C)$ 或 $RI = 1 - C/T (T \geq C)$ ^[25],式中,T为处理值;C为对照值。综合化感效应(CE)为发芽率、发芽势、丙二醛、单株地上鲜重、单株地下鲜重、单株地上干重和单株地下干重的算术平均值。

2 结果与分析

2.1 铁杆蒿浸提液对4种豆科牧草的影响

2.1.1 对种子萌发的影响

由图1-A和图1-B看出,铁杆蒿枯落物浸提液对4种豆科牧草发芽率和发芽势影响基本一致,均呈先促后抑趋势。100g/L铁杆蒿浸提液显著抑制紫花苜蓿发芽率($P < 0.05$),其他浓度处理影响未达到显著水平;1g/L铁杆蒿浸提液显著促进了紫花苜蓿的发芽势($P < 0.05$),其他处理影响不显著。各浓度的铁杆蒿浸提液对红豆草的发芽率和发芽势均有显著促进($P < 0.05$),10g/L处理下其发芽率和发芽势达到最大值。百脉根和沙打旺种子发芽率和发芽势受铁杆蒿浸提液的影响基本类似,1g/L处理对百脉根和沙打旺种子发芽率和发芽势的促进作用达到了显著水平($P < 0.05$),10g/L和100g/L处理抑制作用显著($P < 0.05$)。

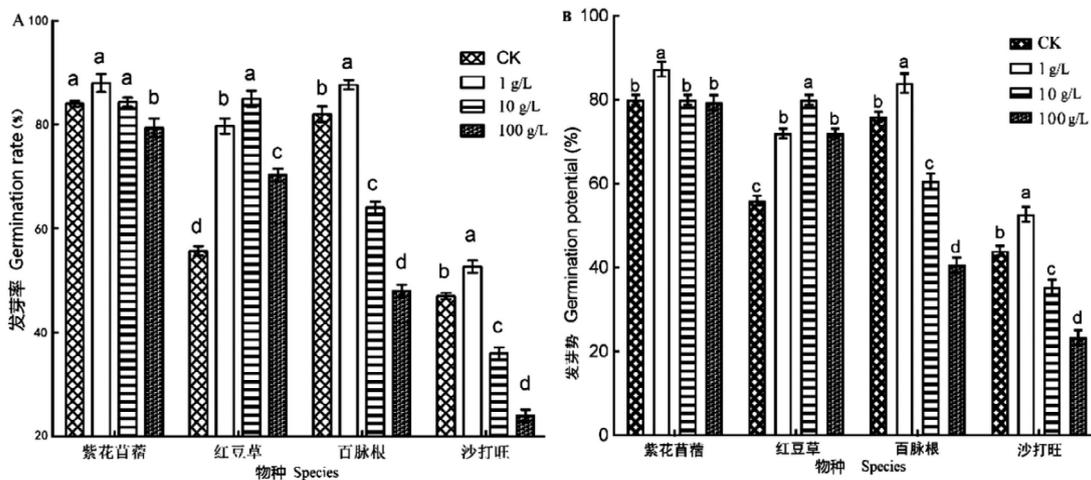


图1 铁杆蒿浸提液对豆科牧草发芽率和发芽势的影响

Fig. 1 Influence of extracts from *Artemisia gmelinii* on germination rate and germination potential of legume forages
(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.1.2 对丙二醛含量的影响

由图2可知,紫花苜蓿的MDA含量随着铁杆蒿浸提液浓度增加而降低且均与对照差异显著($P < 0.05$)。铁杆蒿浸提液对红豆草MDA含量影响不显著。10g/L铁杆蒿浸提液显著提高了百脉根的MDA含量($P < 0.05$),其他浓度的铁杆蒿浸提液处理影响不显著。不同浓度铁杆蒿浸提液对沙打旺MDA含量的促进作用显著($P < 0.05$),且10g/L处理最大。

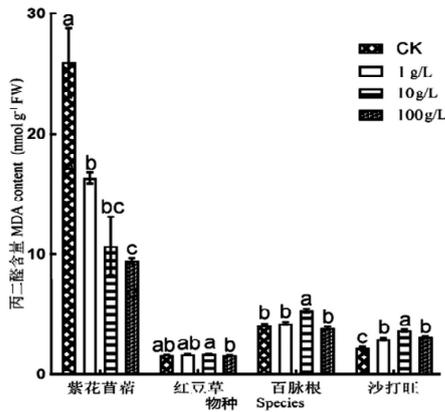


图2 铁杆蒿浸提液对豆科牧草MDA的影响
Fig. 2 Influence of extracts from *Artemisia gmelinii* on MDA of legume forages

2.1.3 对生物量的影响

从表1可以看出,和对照相比,紫花苜蓿单株地上鲜重受铁杆蒿浸提液的影响总体上呈现低促高抑,1g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),10g/L处

理影响不显著,100g/L处理抑制显著($P < 0.05$);各浓度铁杆蒿浸提液对紫花苜蓿单株地下鲜重都有显著促进($P < 0.05$),10g/L处理最大;铁杆蒿浸提液对紫花苜蓿单株地上干重的影响总体上呈低促高抑,1g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),10g/L和100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$);紫花苜蓿单株地下干重随铁杆蒿浸提液浓度增大而降低。

与对照相比,随着铁杆蒿浸提液浓度增大红豆草单株地上鲜重逐渐增大,除了1g/L处理外其余处理均达到显著水平($P < 0.05$);各浓度铁杆蒿浸提液对红豆草单株地下鲜重有显著促进($P < 0.05$);随铁杆蒿浸提液浓度增大红豆草单株地上干重逐渐增大,除1g/L处理外其余处理均达到显著水平($P < 0.05$);各浓度铁杆蒿浸提液对红豆草单株地下干重均有显著促进作用($P < 0.05$)。

与对照相比,各浓度铁杆蒿浸提液对百脉根单株地上鲜重均有显著促进作用($P < 0.05$),1g/L处理单株地上鲜重最大;铁杆蒿浸提液对百脉根单株地下鲜重的影响表现出低促高抑趋势,1g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),10g/L处理促进作用不显著,100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$);铁杆蒿浸提液对百脉根单株地上干重的影响表现出低促高抑的趋势,但1g/L处理影响不显著,10g/L和100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$);随着铁杆蒿浸提液浓度增大百脉根单株地下干重逐渐降低,1g/L处理差异不显著,10g/L和100g/L处理抑制作

表1 铁杆蒿枯落物浸提液对4种豆科牧草生物量指标的化感作用

Table 1 Allelopathy influence of *Artemisia gmelinii* on biomass of four legume forages

牧草种类 Forage species	浸提液浓度 Litter content(g/L)	单株地上鲜重 Fresh weight of aboveground biomass (mg)	单株地下鲜重 Fresh weight of underground biomass(mg)	单株地上干重 Dry weight of aboveground biomass (mg)	单株地下干重 Dry weight of underground biomass(mg)
紫花苜蓿	0	18.26±0.66b	8.71±0.60b	1.16±0.04b	0.65±0.02a
	1	21.10±0.78a	11.43±1.08a	1.35±0.02a	0.64±0.02a
	10	16.60±0.64b	13.70±0.26a	1.06±0.03c	0.55±0.03b
	100	13.26±0.72c	11.87±0.54a	0.89±0.01d	0.45±0.02c
红豆草	0	96.93±2.74a	30.73±1.57b	10.46±0.07c	1.39±0.07b
	1	115.37±5.26a	47.73±2.92a	10.77±0.18bc	1.77±0.03a
	10	134.90±3.34b	49.77±2.35a	11.60±0.38b	1.82±0.02a
	100	150.90±9.42b	51.73±2.58a	12.72±0.40a	1.84±0.02a
百脉根	0	11.47±0.26c	5.80±0.23b	0.93±0.02a	0.38±0.01a
	1	13.13±0.29b	6.90±0.36a	0.97±0.04a	0.40±0.01a
	10	21.67±0.88a	6.20±0.23ab	0.34±0.03b	0.30±0.02b
	100	14.67±0.33b	2.81±0.28c	0.24±0.01c	0.20±0.01c
沙打旺	0	15.87±0.61c	2.43±0.19c	0.83±0.02d	0.20±0.01b
	1	21.90±0.64a	5.83±0.52a	1.24±0.03a	0.35±0.02a
	10	18.90±0.44b	4.23±0.29b	1.14±0.03b	0.26±0.10b
	100	13.57±0.38d	3.36±0.33bc	0.96±0.02c	0.22±0.01b

用达到显著水平($P < 0.05$)。

铁杆蒿浸提液对沙打旺单株地上鲜重的影响总体上呈低促高抑趋势,1g/L和10g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$);1g/L和10g/L铁杆蒿浸提液处理对沙打旺单株地下鲜重有显著促进($P < 0.05$),100g/L处理影响不显著;不同浓度铁杆蒿浸提液对沙打旺单株地上干重均有显著促进作用($P < 0.05$),1g/L处理最大;10g/L铁杆蒿浸提液对沙打旺单株地下干重有显著促进作用($P < 0.05$),其余处理影响均不显著。

2.2 狭裂白蒿对4种豆科牧草的影响

2.2.1 对种子萌发的影响

由图3-A可以看出,与对照相比较,1g/L狭裂白蒿浸提液显著增加了紫花苜蓿发芽率($P < 0.05$)

0.05),10g/L和100g/L处理影响不显著;狭裂白蒿浸提液对红豆草和沙打旺的影响均呈低促高抑,1g/L和10g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$);随着狭裂白蒿浸提液浓度增加百脉根发芽率逐渐降低,各处理均达到显著水平($P < 0.05$)。

由图3-B可以看出,与对照相比较,各浓度狭裂白蒿浸提液对紫花苜蓿发芽势均存在显著促进作用($P < 0.05$);100g/L狭裂白蒿浸提液对红豆草发芽势有显著抑制作用($P < 0.05$),1g/L和10g/L处理影响不显著;各浓度狭裂白蒿浸提液对百脉根发芽势都有显著抑制作用($P < 0.05$);1g/L狭裂白蒿浸提液对沙打旺发芽势影响不显著,10g/L处理对沙打旺有显著促进作用($P < 0.05$),100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$)。

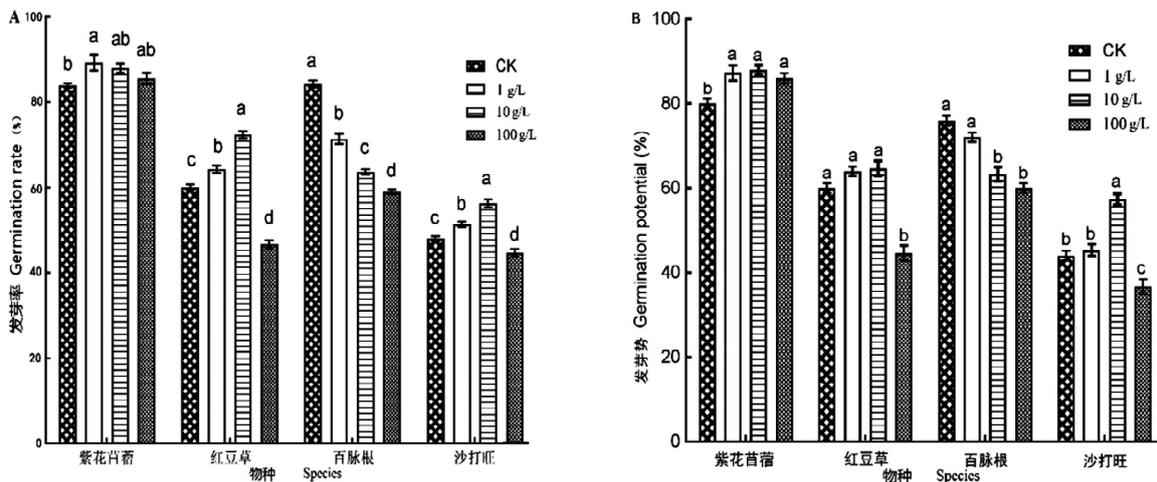


图3 狭裂白蒿浸提液对豆科牧草发芽率和发芽势的影响

Fig. 3 Influence of extracts from *Artemisia kanashiroi* on germination rate and germination potential of legume forages

2.2.2 对丙二醛的影响

由图4可以看出,与对照相比,狭裂白蒿浸提液对紫花苜蓿、红豆草MDA含量的影响表现一致,1g/L处理显著提高了紫花苜蓿、红豆草MDA含量($P < 0.05$),10g/L和100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$);百脉根和沙打旺MDA含量随着铁杆蒿浸提液浓度的增加而降低,各浓度处理与对照差异均达到显著水平($P < 0.05$)。

2.2.3 对生物量的影响

从表2可以看出,狭裂白蒿浸提液对紫花苜蓿单株地上鲜重的影响呈低促高抑,1g/L处理促进作用不显著,10g/L处理抑制作用不显著,100g/L处理有显著的抑制作用($P < 0.05$);各浓度狭裂白蒿

浸提液对紫花苜蓿单株地下鲜重的影响均不显著;

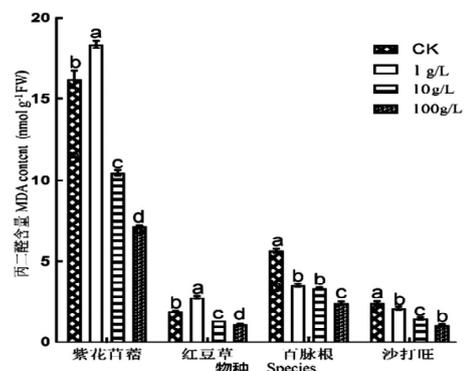


图4 狭裂白蒿浸提液对豆科牧草MDA的影响

Fig. 4 Influence of extracts from *Artemisia kanashiroi*

on MDA of legume forages

狭裂白蒿浸提液对紫花苜蓿单株地上鲜重均有显著促进作用($P < 0.05$), 1g/L 处理最大; 狭裂白蒿浸提液对紫花苜蓿单株地下干重的影响呈低促高抑, 1g/L 和 10g/L 处理有显著促进作用($P < 0.05$), 100g/L 处理有显著抑制作用($P < 0.05$)。

狭裂白蒿浸提液对红豆草单株地上鲜重的影响呈低促高抑, 1g/L 处理有显著促进作用($P < 0.05$), 10g/L 和 100g/L 处理有显著抑制作用($P < 0.05$); 狭裂白蒿浸提液对红豆草单株地下鲜重的影响呈低促高抑, 1g/L 处理有显著促进作用($P < 0.05$), 10g/L 处理抑制作用不显著, 100g/L 处理有显著抑制作用($P < 0.05$); 狭裂白蒿浸提液对红豆草单株地上干重的影响呈低促高抑, 1g/L 处理促进作用不显著, 10g/L 和 100g/L 处理有显著抑制作用($P < 0.05$); 狭裂白蒿浸提液对红豆草单株地下干重的影响呈低促高抑, 1g/L 处理表现显著促进($P < 0.05$), 10g/L 抑制作用不显著, 100g/L 处理有显著抑制作用($P < 0.05$)。

狭裂白蒿浸提液对百脉根单株地上鲜重的影响呈低促高抑, 1g/L 处理有显著促进作用($P < 0.05$), 10g/L 处理促进作用不显著, 100g/L 处理抑制作用不显著; 百脉根单株地下鲜重随着狭裂白蒿浸提液浓度增加而降低, 1g/L 处理抑制作用不显著, 10g/L 和 100g/L 处理有显著抑制作用($P < 0.05$); 狭裂白蒿浸提液对百脉根单株地上干重的影响呈低促高抑, 1g/L 处理促进作用不显著, 10g/L 和 100g/L 处理有显著抑制作用($P < 0.05$); 狭裂白蒿浸提液对百脉根单株地下干重的影响呈低促高抑, 1g/L 处理有显著促进作用($P < 0.05$), 10g/L 和 100g/L 处理有显著抑制作用($P < 0.05$)。

狭裂白蒿浸提液对沙打旺单株地上鲜重的影响呈低促高抑, 1g/L 处理有显著促进作用($P < 0.05$), 100g/L 处理有显著抑制作用($P < 0.05$); 1g/L 狭裂白蒿浸提液对沙打旺单株地上干重和地下干重有显著促进作用($P < 0.05$), 其余各浓度对其影响不显著。

表 2 狭裂白蒿浸提液对 4 种豆科牧草生物量的影响

Table 2 Influence of extracts from *Artemisia kanashiroi* on biomass of legume forages

牧草种类 Forage species	浸提液浓度 Litter content (g/L)	单株地上鲜重 Fresh weight of aboveground biomass (mg)	单株地下鲜重 Fresh weight of underground biomass (mg)	单株地上干重 Dry weight of aboveground biomass (mg)	单株地下干重 Dry weight of underground biomass (mg)
紫花苜蓿	0	18.27±0.66a	8.71±0.60a	1.16±0.04d	0.65±0.02c
	1	19.33±0.50a	17.23±0.58a	1.80±0.01a	1.17±0.10a
	10	17.37±0.47ab	14.00±0.35a	1.56±0.01b	0.82±0.02b
	100	15.23±0.98b	6.73±0.29a	1.31±0.01c	0.18±0.01d
红豆草	0	96.93±2.74b	30.73±1.57b	10.46±0.07a	1.44±0.12b
	1	124.00±2.31a	48.60±1.55a	10.71±0.10a	2.04±0.04a
	10	72.93±0.93c	27.23±0.29b	9.27±0.38b	1.27±0.04bc
	100	53.47±0.93d	21.88±0.93c	6.85±0.15c	1.08±0.03c
百脉根	0	11.47±0.26bc	5.80±0.23a	0.93±0.02a	0.38±0.01b
	1	17.13±1.12a	5.56±0.18a	0.95±0.02a	0.44±0.01a
	10	13.47±0.59b	4.57±0.41b	0.87±0.02b	0.26±0.02c
	100	10.40±0.12c	3.27±0.24c	0.80±0.01c	0.15±0.01d
沙打旺	0	15.87±0.61b	2.43±0.19c	0.83±0.02b	0.20±0.01b
	1	18.33±0.44a	5.27±0.08a	1.41±0.20a	0.50±0.03a
	10	17.30±0.26ab	3.37±0.32b	1.10±0.02ab	0.19±0.01b
	100	13.53±0.61c	2.10±0.12c	0.78±0.01b	0.15±0.01b

2.3 大籽蒿对 4 种豆科牧草的影响

2.3.1 对种子萌发的影响

由图 5-A 可以看出, 与对照相比, 大籽蒿浸提液对紫花苜蓿和百脉根发芽率的影响表现一致, 均随着大籽蒿浸提液浓度增加而降低, 且各处理与对照差异均达到显著水平($P < 0.05$); 各浓度大籽蒿浸提液对红豆草发芽均有显著促进作用($P < 0.05$), 1g/L 处理最大; 各浓度大籽蒿浸提液对沙打旺发芽率都有促进作用, 1g/L 和 10g/L 处理达到

显著水平($P < 0.05$), 100g/L 处理差异不显著。

由图 5-B 可以看出, 与对照相比, 紫花苜蓿发芽势除了 100g/L 处理受到显著抑制外($P < 0.05$), 其他处理影响均不显著; 1g/L 和 10g/L 大籽蒿浸提液对红豆草发芽势有显著促进($P < 0.05$), 100g/L 处理影响不显著; 各浓度大籽蒿浸提液处理对百脉根发芽势有显著抑制($P < 0.05$); 各浓度的大籽蒿浸提液对沙打旺发芽势均有显著促进作用($P < 0.05$), 1g/L 处理发芽势最大。

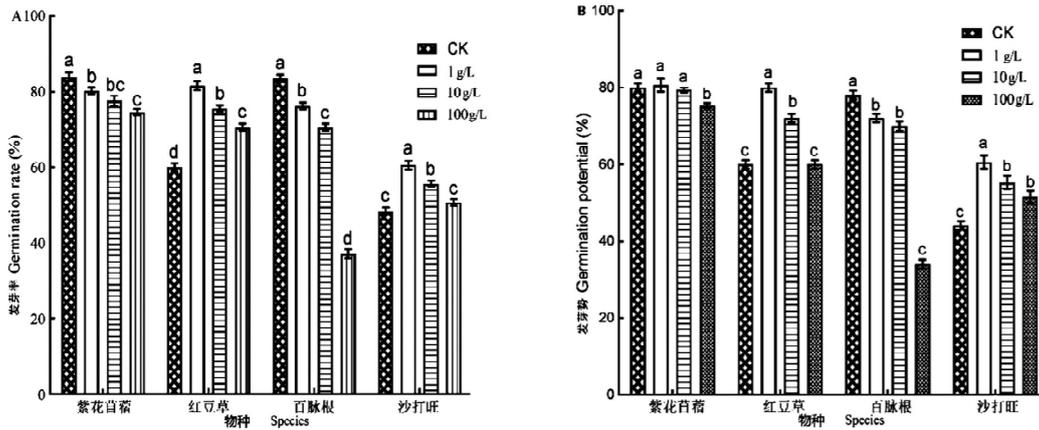


图5 大籽蒿浸提液对豆科牧草发芽率和发芽势的影响

Fig. 5 Effects of extracts from *Artemisia sieversiana* on germination rate and germination potential of legume forages

2.3.2 对丙二醛的影响

由图6可以看出,大籽蒿浸提液对紫花苜蓿MDA含量的影响呈低促高抑,1g/L处理促进作用不显著,10g/L和100g/L处理抑制作用达到显著水平($P < 0.05$);大籽蒿浸提液对红豆草MDA含量的影响呈低促高抑,1g/L和10g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),100g/L处理抑制作用达到显著水平($P < 0.05$);大籽蒿浸提液对百脉根和沙打旺MDA含量的影响均呈低促高抑,1g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),10g/L和100g/L处理表现为显著抑制($P < 0.05$)。

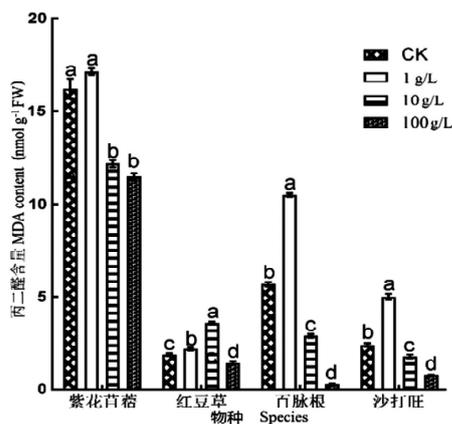


图6 大籽蒿浸提液对豆科牧草丙二醛的影响

Fig. 6 Effects of extracts from *Artemisia sieversiana* on MDA of legume forages

2.3.3 对生物量的影响

由表3可以看出,与对照相比,各浓度大籽蒿浸提液对紫花苜蓿单株地上鲜重的抑制作用均不显著;1g/L和10g/L大籽蒿浸提液对紫花苜蓿单株

地下鲜重有显著促进作用($P < 0.05$),100g/L处理对其影响不显著;1g/L大籽蒿浸提液对紫花苜蓿单株地上干重有显著促进作用($P < 0.05$),10g/L和100g/L处理对其影响不显著;大籽蒿浸提液对紫花苜蓿单株地下干重的影响呈低促高抑,1g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),10g/L处理影响不显著,100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$)。

红豆草单株地上鲜重随着大籽蒿浸提液浓度的增加而增大,1g/L处理促进作用不显著,10g/L和100g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$);100g/L大籽蒿浸提液对红豆草单株地下鲜重有显著抑制效应($P < 0.05$),其余各处理影响不显著;红豆草单株地上干重随着大籽蒿浸提液浓度增加而减少,1g/L处理影响不显著,10g/L和100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$);红豆草单株地下干重随着大籽蒿浸提液浓度的增加而减少,并且各处理影响与对照相比均达到显著水平($P < 0.05$)。

大籽蒿浸提液对百脉根单株地上鲜重的影响呈低促高抑,1g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),10g/L和100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$);大籽蒿浸提液对百脉根单株地下鲜重的影响呈低促高抑,1g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),10g/L促进作用不显著,100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$);1g/L大籽蒿浸提液对百脉根单株地上干重有显著促进作用($P < 0.05$),其余处理影响不显著;大籽蒿浸提液对百脉根单株地下干重的影响呈低促高抑,1g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),10g/L处理影响不显著,100g/L处理有显著抑制作用($P < 0.05$)。

10g/L大籽蒿浸提液对沙打旺单株地上鲜重有

显著促进作用($P < 0.05$),其余处理影响不显著;大籽蒿浸提液对沙打旺单株地下鲜重的影响呈低促高抑,1g/L和10g/L处理有显著促进作用($P < 0.05$),

100g/L处理影响不显著;不同浓度大籽蒿浸提液对沙打旺单株地上干重和单株地下干重都有显著促进($P < 0.05$)。

表3 大籽蒿浸提液对4种豆科牧草生物量的影响

Table 3 Effects of extracts from *Artemisia sieversiana* on biomass of legume forages

牧草种类 Forage species	浸提液浓度 Litter content (g/L)	单株地上鲜重 Fresh weight of aboveground biomass (mg)	单株地下鲜重 Fresh weight of underground biomass (mg)	单株地上干重 Dry weight of aboveground biomass (mg)	单株地下干重 Dry weight of underground biomass (mg)
紫花苜蓿	0	18.26±0.66a	8.71±0.60c	1.16±0.04bc	0.65±0.02b
	1	18.53±0.65a	13.40±0.38a	1.62±0.19a	0.97±0.06a
	10	16.70±0.31a	11.93±0.29b	1.46±0.05ab	0.76±0.02b
	100	15.53±0.66a	8.60±0.40c	1.09±0.05c	0.44±0.02c
红豆草	0	96.93±2.74b	30.73±1.57a	10.46±0.07a	1.44±0.12b
	1	108.16±3.27b	37.53±3.03ab	10.49±0.17a	2.18±0.03a
	10	130.33±4.48a	31.73±0.61ab	10.04±0.07b	1.51±0.04b
	100	142.50±11.41a	25.17±2.75b	8.86±0.10c	1.19±0.05c
百脉根	0	11.47±0.26b	5.80±0.23b	0.93±0.02b	0.38±0.01b
	1	15.77±0.41a	7.00±0.53a	1.27±0.02a	0.64±0.02a
	10	10.26±0.18c	6.20±0.23ab	0.94±0.02b	0.43±0.01b
	100	9.50±0.31c	4.33±0.15c	0.90±0.01b	0.27±0.01c
沙打旺	0	15.87±0.61b	2.43±0.19c	0.83±0.02c	0.20±0.01c
	1	17.86±0.29b	6.93±0.35a	1.34±0.02a	0.54±0.02a
	10	24.90±2.20a	5.13±0.48b	1.30±0.01a	0.33±0.01b
	100	13.91±0.84b	2.62±0.21c	1.20±0.04b	0.30±0.01b

2.4 黄土高原蒿属植物枯落物对4种豆科牧草萌发的综合化感效应

2.4.1 铁杆蒿枯落物对4种豆科牧草萌发的综合化感效应

因单一指标反映化感效应比较片面,故采取综合化感效应评价化感作用强度。由图7可知,1g/L铁杆蒿浸提液中综合化感效应顺序为:沙打旺>红豆草>紫花苜蓿>百脉根;10g/L处理为沙打旺>红豆草>百脉根>紫花苜蓿;100g/L处理为百脉根>红豆草>紫花苜蓿>沙打旺。1g/L铁杆蒿浸提液对4种豆科牧草具有促进作用,其中对沙打旺的促进作用最强;10g/L铁杆蒿浸提液对紫花苜蓿和百脉根抑制作用基本一致,对红豆草和沙打旺的促进作用基本一致;100g/L铁杆蒿浸提液对紫花苜蓿、沙打旺和百脉根有抑制作用,对百脉根抑制作用最强,对红豆草则有促进作用。

2.4.2 狭裂白蒿枯落物对4种豆科牧草萌发的综合化感效应

由图8可知,1g/L狭裂白蒿处理综合化感效应顺序为:沙打旺>紫花苜蓿>红豆草>百脉根;10g/L处理为沙打旺>百脉根>红豆草>紫花苜蓿;100g/L处理为红豆草>百脉根>沙打旺>紫花苜蓿。1g/L狭裂白蒿浸提液对百脉根有抑制作用,对

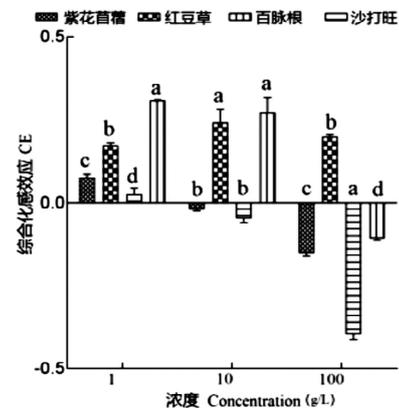


图7 铁杆蒿浸提液对豆科牧草潜在的综合化感效应

Fig. 7 Comprehensive allelopathy effects of *Artemisia gmelinii* on legume forages

其余豆科牧草具有促进作用,对紫花苜蓿和沙打旺的促进作用最强;10g/L狭裂白蒿浸提液对红豆草和百脉根的抑制效应类似,对紫花苜蓿和沙打旺的促进效应类似;100g/L狭裂白蒿浸提液对4种豆科牧草均有抑制作用,其中抑制作用最强的为红豆草。

2.4.3 大籽蒿枯落物对4种豆科牧草萌发的综合化感效应

由图9可知,1g/L大籽蒿处理综合化感效应

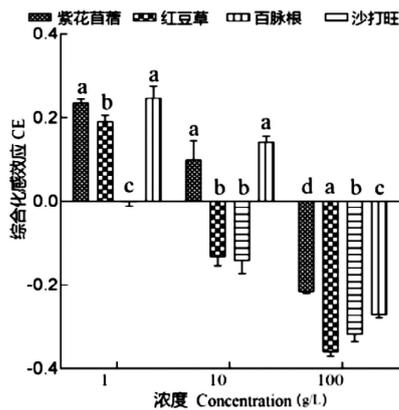


图8 狭裂白蒿浸提液对豆科牧草的综合化感效应
Fig. 8 Comprehensive allelopathy effects of *Artemisia kanashiroi* on legume forages

顺序为：沙打旺>百脉根>红豆草>紫花苜蓿；10g/L处理为沙打旺>红豆草>百脉根>紫花苜蓿；100g/L处理为百脉根>紫花苜蓿>红豆草>沙打旺。1g/L大籽蒿浸提液对4种豆科牧草均具有促进作用，对沙打旺的促进作用最强；10g/L大籽蒿浸提液对红豆草和沙打旺的促进效应类似，对紫花苜蓿和百脉根的影响表现为抑制且百脉根受到的抑制最强；100g/L大籽蒿浸提液对4种豆科牧草均有抑制作用，其中对百脉根的抑制作用最强。

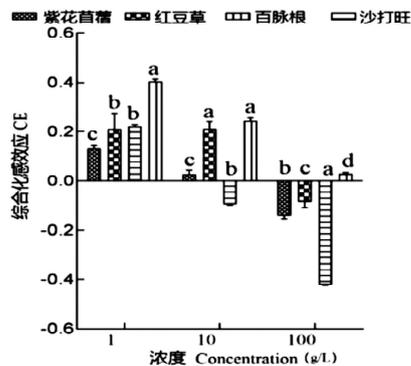


图9 大籽蒿浸提液对豆科牧草的综合化感效应
Fig. 9 Comprehensive allelopathy effects of *Artemisia sieversiana* on legume forages

3 讨论与结论

种子萌发是牧草生活史中的一个重要阶段，这个阶段易受周围环境的影响^[26]。本研究中铁杆蒿枯落物浸提液对4种豆科牧草种子发芽率和发芽势的影响呈现低促高抑，本结果与Zhang等^[27]、吴榕^[28]相关研究结果基本一致。

本试验中蒿属浸提液对4种豆科牧草生物量的

影响研究结果，符合张瑜等^[29]的论述。蒿属植物对4种豆科牧草单株鲜重和单株干重的影响多数达显著水平，这是因为豆科牧草根系物质的吸收被妨碍，会降低牧草的竞争力和生长速度^[26,30]；当豆科牧草幼苗和幼芽生长受到抑制，影响光合作用，减少了根系的营养供给，进而影响幼芽、幼根的生长和生物量，抑制牧草的正常生长发育，形成恶性循环使该群落在草地中逐渐衰落^[31]。表明草地退化和恢复难的原因之一就是蒿属化感效应提升了其繁衍和竞争力^[26]。

黄土高原3种蒿属植物对4种豆科牧草的综合化感效应总体上均呈现“低浓度促进，高浓度抑制”的效应。在1g/L和10g/L浓度3种蒿浸提液中促进效应最大的牧草是沙打旺；除了100g/L铁杆蒿对红豆草的综合化感效应表现出促进外，其余3种蒿100g/L浸提液对4种豆科牧草均呈现不同程度的抑制作用。根据综合化感效应做出如下预测：分布有铁杆蒿的草地会抑制百脉根和紫花苜蓿的生长，而铁杆蒿适度分布有助于沙打旺和红豆草生长；分布有狭裂白蒿的草地会抑制百脉根生长，而狭裂白蒿适度分布有助于沙打旺和紫花苜蓿生长；分布有大籽蒿的草地会抑制百脉根生长，而大籽蒿适度分布有助于沙打旺、红豆草和紫花苜蓿生长。因自然条件相对更加复杂多变，故本研究结果还需结合土培试验和野外试验进一步验证；同时目前蒿属植物对于豆科牧草化感作用机制尚不明确，需做进一步的深入研究，才能为黄土高原天然草地保护、优良豆科牧草补播、植被恢复中伴生草种类的选择和人工草地的建植提供技术支撑。

参考文献 (References):

- [1] Rice Elroyl. Allelopathy[J]. *Encyclopedia of Entomology*, 1984(1): 292-293.
- [2] Chon S, Nelson C. Alleloathy in comositae plants[J]. *Sustainable Agriculture*, 2010, 30(2): 349-358.
- [3] Lesle A, Stephon O. Weed and crop alleloathy[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2003, 22(3-4): 367-389.
- [4] Gillian A, Tony S, Eric E. Chemically mediated interactions between plants and other organisms[M]. New York: *Plenum Press*, 1985: 1-300.
- [5] Sanna Suikkanen, Giovana Fistarol, Edna Granéli. Allelopathic effects of the Baltic cyanobacteria, *Nodularia spumidigena*, *Aphanizomenon flos-aquae* and *Anabaena lemmermannii* on algal monocultures[J]. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 2004, 308(1): 85-101.
- [6] Wendy Ridenour, Ragan Callaway. The relative importance of

- allelopathy in interference; the effects of an invasive weed on a native bunchgrass[J]. *Oecologia*, 2001, 126(3): 444-450.
- [7] José Hierro, Ragan Callaway. Alleloathy and exotic plant invasion[J]. *Plant and Soil*, 2003, 256(1): 29-39.
- [8] 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[J]. *Plant & Soil*, 2009, 316(1-2): 125-137.
- [9] 黄高宝, 柴强. 牧草化感作用表现形式及其开发应用研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 172-174.
Huang Gaobao, Chai Qiang. Study on the expression of forage allelopathy and the development and application[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(3): 172-174.
- [10] 杨田甜, 杜海荣, 陈刚, 等. 牧草化感作用的研究现状及其在农业生产中的应用[J]. 浙江农业学报, 2012, 24(2): 343-348.
Yang Tiantian, Du Hairong, Chen Gang, et al. Current research on plant allelopathy and its application in agricultural roduction[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2012, 24(2): 343-348.
- [11] 陈彦生, 张春林, 丁士友, 等. 陕北黄土高原蒿属植物的分类与分析[J]. 西北牧草学报, 1993(3): 238-245.
Chen Yansheng, Zhang Chunlin, Ding Shiyu, et al. the taxonomy and analysis of *Artemisia* Linn. in the Loess plateau of northern Shaanxi [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1993(3): 238-245.
- [12] 胡相明, 赵艳云, 程积民, 等. 云雾山天然草地物种分布与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3102-3107.
Hu Xiangming, Zhao Yanyun, Cheng Jimin, et al. The relationship between species distribution and environment factors in grassland of the Yunwu mountain[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3102-3107.
- [13] 李洪玲, 张爱东, 青格乐, 等. 大籽蒿研究利用现状及展望[J]. 畜牧与饲料科学, 2014(1): 46-48.
Li Hongling, Zhang Aidong, Qinggele, et al. Current status and progress of research and utilization of *Artemisia sieversiana*[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2014(1): 46-48.
- [14] 中国科学院中国牧草志编辑委员会. 中国牧草志[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 76.
Editorial Committee of Chinese Journal of Plant of Chinese Academy of Sciences. Flora of China[M]. Beijing: Science Press, 1990: 76.
- [15] 张超, 董淑琦, 刘国彬, 等. 黄土丘陵区植被演替中不同草本牧草间的化感效应[J]. 草地学报, 2012, 20(5): 848-854.
Zhang Chao, Dong Shuqi, Liu Guobin, et al. Allelopathic effect of different herbaceous forages during vegetation succession in the hilly-gully region of Loess plateau[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(5): 848-854.
- [16] 朴顺姬, 杨持. 大籽蒿水浸提液对羊草种子萌发的影响[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 1993, 24(5): 523-527.
Piao Shunji, Yang Chi. Effect of extract of *Artemisia sieversiana* on the germination of *Leymus chinensis* seeds[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMen*, 1993, 24(5): 523-527.
- [17] 袁航, 侯扶江. 黄土高原3种建群种牧草枯落物对苜蓿幼苗生长的化感作用[J]. 草业科学, 2010, 27(6): 20-24.
Yuan Hang, Hou Fujiang. Alleloathic effects of three plant species litter on the growth of *Medicago sativa* seedlings in the Loess plateau[J]. *Pratacultural Science*, 2010, 27(6): 20-24.
- [18] 贾慎修, 贾志海, 史德宽. 补播是改良退化草地的有效途径[J]. 草业科学, 1989, 6(6): 8-10.
Jia Shenxiu, Jia Zhihai, Shi Dekuan. Reseeding is an effective way to improve degraded grassland[J]. *Pratacultural Science*, 1989, 6(6): 8-10.
- [19] 张亚格, 李茂, 周汉林, 等. 豆科牧草在肉羊生产中的应用[J]. 家畜生态学报, 2016, 37(5): 73-77.
Zhang Yage, Li Mao, Zhou Hanlin, et al. Application of legumes in the production of mutton sheet[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2016, 37(5): 73-77.
- [20] 赵青山, 侯向阳, 段俊杰, 等. 混播人工草地不同方式放牧苏尼特羊生产效益趋势[J]. 中国草地学报, 2019, 41(3): 130-135.
Zhao Qingshan, Hou Xiangyang, Duan Junjie, et al. Production benefit trend analysis of grazing regime by Sunite wether on mixed artificial pasture[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2019, 41(3): 130-135.
- [21] 芦奕晓, 牟乐, 杨惠敏. 豆科与禾本科牧草混播改良土壤的研究进展[J]. 中国草地学报, 2019, 41(1): 96-102.
Lu Yixiao, Mou Le, Yang Huimin. Advances in improved soil fertility with legume-grass mixtures[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2019, 41(1): 96-102.
- [22] 阎子盟, 张玉娟, 潘利, 等. 天然草地补播豆科牧草的研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(29): 1-7.
Yan Zimeng, Zhang Yujuan, Pan Li, et al. Research progress of reseeding forage legumes into natural grassland[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(29): 1-7.
- [23] 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.
Yu Luning. Allelopathic effects of Compositae plant litters on *Stipa* seeds in Loess region[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2012.
- [24] Zhou Y, Huang J, Nogue S. The relationship between CO₂ assimilation, photosynthetic electron transport and water-water cycle in chill-exposed cucumber leaves under low light and subsequent recovery[J]. *Plant Cell & Environment*, 2004, 27(12): 1503-1514.
- [25] Bruce W, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14(1): 181-187.
- [26] 王玉芝, 张汝民, 高岩. 冷蒿浸提液对几种饲用牧草的化感作用[J]. 中国草地学报, 2008, 30(2): 47-53.
Wang Yuzhi, Zhang Rumin, Gao Yan. Alleloathic effects of *Artemisia frigida* extract on several forage plants[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2008, 30(2): 47-53.

- nese Journal of Grassland*, 2008, 30(2): 47-53.
- [27] Zhang Y, Tang S, Liu K, et al. The alleloathic effect of *Potentilla acaulis* on the changes of plant community in grassland, northern China[J]. *Ecological Research*, 2015, 30(1): 41-47.
- [28] 吴榕,陈雅君,闫永庆,等.白三叶浸提液对四种杂草种子萌发和幼苗生理指标的影响[J]. *中国草地学报*, 2014, 36(2): 104-107.
Wu Rong, Chen Yajun, Yan Yongqing, et al. Study of allelopathy effects of white clover on the germination and seedling's physiology of 4 kinds of weeds[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2014, 36(2): 104-107.
- [29] 张瑜,常生华,宋娅妮,等.植物化感作用在农业生态系统中的应用[J].*中国农学通报*, 2018, 34(5): 61-68.
- Zhang Yu, Chang Shenghua, Sun Yani, et al. Application of plant alleloathy in agro-ecosystems[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(5): 61-68.
- [30] Jin K, Shen J, Rhys W, et al. How do roots elongate in a structured soil[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2013, 64(15): 4761.
- [31] 王辉,谢永生,杨亚利,等.云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势牧草的化感效应[J].*生态学报*, 2011, 31(20): 6013-6021.
Wang Hui, Xie Yongsheng, Yang Yali, et al. Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant forages of enclosed grassland on Yunwu mountain[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(20): 6013-6021.

Allelopathy of Common *Artemisia* Plants on Seed Germination and Seedling Growth of Four Excellent Legumes in the Loess Plateau

LEI Wei-xiao^{1,2}, CHEN Qiao-ling³, CHEN Kang-li¹, LIU Jing¹, GUO Liang⁴,
JIN Jing-wei⁴, CHENG Ji-min¹, LI Wei⁴

(1. College of Grassland Agriculture, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Innovation Ecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570100, China; 4. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: In order to study the allelopathy of *Artemisia* on the seed germination and seedling growth of legumes in the Loess plateau, we measured the effects of the leaf litter of *Artemisia* species (*Artemisia gmelinii*, *Artemisia sieversiana* and *Artemisia kanashiroi*) on seed germination and seedling growth of four legume forage (*Onobrychis viciaefolia*, *Astragalus adsurgens*, *Lotus corniculatus* and *Medicago sativa*) in the Loess plateau. The results demonstrated that three common *Artemisia* plants had different effects on seed germination rate, germination potential, aboveground and underground biomass (fresh and dry weight) and MDA content of four legumes, but allelic effect showed the trend of “promotion of lower concentration, but inhibition of higher concentration”. In the extracts of three species of *Artemisia* plants with concentration of 1g/L and 10g/L, the forage with the strongest promotion effect was *A. adsurgens*; in the extracts with 100g/L, except for the promotion of the *Artemisia gmelinii* effect of *Artemisia* on *O. viciaefolia*, the extracts of the other two species of *Artemisia* showed different degrees of inhibition on the four legumes.

Key words: *Artemisia gmelinii*; *Artemisia sieversiana*; *Artemisia kanashiroi*; Allelopathy; Legume forage

【责任编辑 胡卉芳】