



## 紫花苜蓿根浸提液对3种牧草种子萌发过程的化感作用

朱亦朴 李玉萌 王占彬 赵凌平 赵芙蓉

### Allelopathic effects of root extracts from *Medicago sativa* on germination of three forage species

ZHU Yipu, LI Yumeng, WANG Zhanbin, ZHAO Lingping, ZHAO Furong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0304>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 空心莲子草浸提液对苜蓿、菊苣和燕麦的潜在化感效应

Allelopathic effects of *Alternanthera philoxeroides* extract on *Medicago sativa*, *Cichorium intybus*, and *Avena sativa*

草业科学. 2018, 12(1): 146 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0212>

#### 陇东苹果园土壤浸提液对黑麦草和紫花苜蓿种子萌发及幼苗生长的影响

Effect of soil extract from an apple orchard on ryegrass and alfalfa seed germination and seedling growth in eastern Gansu

草业科学. 2018, 12(3): 551 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0187>

#### 苜蓿、小麦自毒及他感作用机理

Effect of autotoxicity and allelopathy on alfalfa and wheat

草业科学. 2019, 36(3): 849 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0223>

#### 两种诱变处理对紫花苜蓿种子萌发及植株生理生化特性的影响

Effect of two types of mutagens on seed germination and physiological characteristics of alfalfa

草业科学. 2018, 12(6): 1435 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0404>

#### 干旱和盐胁迫对14个紫花苜蓿品种种子萌发特性的影响

Effects of drought and salt stress on seed germination characteristics of 14 *Medicago sativa* varieties

草业科学. 2019, 36(9): 2292 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0236>

#### 外源甜菜碱对NaCl胁迫下紫花苜蓿种子萌发及幼苗抗性的影响

Effects of exogenous betaine on alfalfa seed germination and seedling resistance under NaCl stress

草业科学. 2019, 36(12): 3100 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0361>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0304

朱亦朴, 李玉萌, 王占彬, 赵凌平, 赵芙蓉. 紫花苜蓿根浸提液对 3 种牧草种子萌发过程的化感作用. 草业科学, 2023, 40(3): 761-768.

ZHU Y P, LI Y M, WANG Z B, ZHAO L P, ZHAO F R. Allelopathic effects of root extracts from *Medicago sativa* on germination of three forage species. Pratacultural Science, 2023, 40(3): 761-768.

## 紫花苜蓿根浸提液对 3 种牧草种子 萌发过程的化感作用

朱亦朴, 李玉萌, 王占彬, 赵凌平, 赵芙蓉

(河南科技大学动物科技学院, 河南 洛阳 471000)

**摘要:** 以紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 为供体植物, 采用室内生物学测定法, 研究不同浓度 (0、2.5、5.0、10.0 和 20.0 g·L<sup>-1</sup>) 紫花苜蓿根浸提液对多年生黑麦草 (*Lolium perenne*)、一年生黑麦草 (*L. multiflorum*) 和梯牧草 (*Phleum pratense*) 3 种禾本科牧草种子萌发过程的化感作用, 为探索合理的牧草混播方式提供理论依据。结果表明: 在供试浓度范围内, 不同浓度的紫花苜蓿根浸提液对 3 种禾本科牧草种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均有明显的抑制作用 [化感效应指数 (RI) < 0], 对根长和苗高有低浓度促进、高浓度抑制的作用。3 种禾本科牧草对紫花苜蓿化感作用的相应有一定差异, 在根浸提液的作用下, 多年生黑麦草和一年生黑麦草的化感综合效应指数均为负值, 表现为明显的抑制作用 [化感综合效应指数 (SE) < 0]; 而梯牧草种子萌发生长呈低浓度促进、高浓度抑制趋势。研究结果表明, 相较于多年生黑麦草和一年生黑麦草, 梯牧草对紫花苜蓿化感抑制作用的适应性和抵抗能力更强, 更适合与紫花苜蓿混播。

**关键词:** 紫花苜蓿; 浸提液; 化感作用; 多年生黑麦草; 一年生黑麦草; 梯牧草

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2023)03-0761-08

### Allelopathic effects of root extracts from *Medicago sativa* on germination of three forage species

ZHU Yipu, LI Yumeng, WANG Zhanbin, ZHAO Lingping, ZHAO Furong

(College of Animal Science and Technology, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, Henan, China)

**Abstract:** To provide a theoretical basis for exploring reasonable planting models, we used a bioassay to evaluate the allelopathic effects of a range of concentrations (0, 2.5, 5.0, 10.0, and 20.0 g·L<sup>-1</sup>) of root extracts from alfalfa (*Medicago sativa*) on seed germination of three important forage species: *Lolium perenne*, *L. multiflorum*, and *Phleum pratense*. The results showed that within the tested concentration range, root extracts from alfalfa had a significant inhibitory effect on the germination rate, germination vigor, germination index, and vigor index (response index, RI < 0). Furthermore, root extracts from alfalfa had a concentration effect on seedling height and root length of seedlings, that is, "low promotion and high inhibition." Some differences were observed in the responses to alfalfa allelopathy among the three grasses. The synthetical allelopathic index of *L. perenne* and *L. multiflorum* was negative under the action of root extract, which showed clear inhibitory effects (synthetical allelopathic index, SE < 0). In conclusion, *P. pratense* has a stronger adaptability and

收稿日期: 2022-04-11 接受日期: 2022-05-31

基金项目: 青海省重点研发与转化计划 (2019-NK-173); 河南科技大学大学生研究训练计划 SRTP (2021384)

第一作者: 朱亦朴 (1997-), 女, 河南南阳人, 在读硕士生, 研究方向为草业科学与动物营养。E-mail: zhuypu5739@163.com

通信作者: 赵凌平 (1983-), 女, 河南漯河人, 副教授, 博士, 研究方向为草业科学与动物营养。E-mail: zlp19830629@163.com

共同通信作者: 赵芙蓉 (1964-), 女, 河南开封人, 教授, 博士, 研究方向为畜禽环境工程。E-mail: zhaofur@haust.edu.cn

resistance to the allelopathic inhibitory effect of alfalfa root extracts compared with *L. perenne* and *L. multiflorum*. Thus, *P. pratense* is more suitable for mixed sowing with alfalfa than *L. perenne* and *L. multiflorum*.

**Keywords:** alfalfa; water extract; allelopathy; *Lolium perenne*; *Lolium multiflorum*; *Phleum pratense*

**Corresponding author:** ZHAO Lingping E-mail: [zlp19830629@163.com](mailto:zlp19830629@163.com)

ZHAO Furong E-mail: [zhaofur@haust.edu.cn](mailto:zhaofur@haust.edu.cn)

植物化感作用是植物通过化学媒介在生态系统中的一种自然调控作用,即植物通过向周围环境中释放化学物质而影响生态群落内其他植物的生长发育,是植物与植物、植物与微生物之间的生物化学关系<sup>[1]</sup>。在生态系统中,农业生产中的间、混作搭配及群落植被的形成和演替过程等方面普遍存在化感作用。研究并应用植物化感作用,在探索牧草栽培种模式、提高饲草产量和品质、生态环境恢复和促进农业可持续发展等方面有着现实意义和广阔前景<sup>[2-3]</sup>。

紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 是被广泛种植的优质豆科牧草,也是一种生态价值潜力巨大的生态牧草,在畜禽养殖和生态防治中占据重要地位。紫花苜蓿与红豆草 (*Onobrychis viciaefolia*) 不同混播比例增产效应的研究发现,紫花苜蓿与红豆草各混播比例地上生物量均高于单播处理,紫花苜蓿与红豆草在 7:3 和 5:5 混播比例下,可获得相对较高的地上生物量和营养物质产量<sup>[4]</sup>。紫花苜蓿和垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 混播与紫花苜蓿单播相比,可使苜蓿褐斑病 (*Pseudopeziza medicaginis*) 的发病率明显降低 7.07%<sup>[5]</sup>。可见,豆禾牧草混播不仅可以有效控制群落内病虫害,还可以达到增产增质的效果<sup>[6]</sup>。

紫花苜蓿具有较强的化感作用潜势<sup>[7-8]</sup>。其含有的化感物质能产生自毒性,还会对其他植物产生促进或抑制作用。在生产实践中苜蓿和其他牧草实行不同播种方式能克服苜蓿的自毒效应,而且还可以提高土壤肥力<sup>[9]</sup>。植物化感作用主要通过影响植物种子的萌发和幼苗生长,从而影响植物种群演替进程<sup>[10]</sup>。化感作用的强弱与化感物质品种、质量浓度及受体植物品种有关<sup>[11]</sup>。郭彩霞等<sup>[12]</sup>研究指出随着紫花苜蓿和黄花草木樨 (*Melilotus officinalis*) 浸提液浓度的升高,对一年生黑麦草 (*Lolium multiflorum*) 的化感抑制作用均增强。因此研究紫花苜蓿对生产中常混播禾本科牧草种子的发芽和幼苗生长的化感作用,对其在牧草栽培模式中的应用具有重要作用。

鉴于此,通过研究紫花苜蓿根浸提液对多年生黑麦草 (*Lolium perenne*)、一年生黑麦草和梯牧草 (*Phleum pratense*) 3 个禾本科草种子萌发生长的影响,从紫花苜蓿的化感作用着手探索合理的种植模式,了解不同牧草品种间的促进和抑制作用,为紫花苜蓿与其他牧草的轮作及实现饲草的优质高产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供体材料为紫花苜蓿根样品,品种为‘WL-963-HQ’。受体植物为多年生黑麦草、一年生黑麦草和梯牧草,种子均购于郑州华丰草业科技有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 紫花苜蓿种植

种植试验在河南科技大学牧场进行。牧场地理位置为 34°35′ N, 112°24′ E, 海拔 140 m。年均气温 12.2~24.6 °C, 年降水量 528~800 mm, 无霜期 210 d 以上, 年日照时数为 2 200~2 300 h, 年均湿度为 60%~70%, 属暖温带大陆性季风气候, 四季分明。试验小区面积为 2 m × 1 m, 3 次重复, 播种量 22.5 kg·hm<sup>-2</sup>。田间管理按大田常规管理办法进行。

#### 1.2.2 紫花苜蓿浸提液的制备

在紫花苜蓿开花期取其根部, 3 次重复, 分别剪成 2 cm 小段, 室内自然晾干后分别用粉碎机粉碎。称取其根部 40 g, 加蒸馏水 1 000 mL, 浸提 48 h, 期间用玻璃棒搅拌数次, 然后用滤纸过滤收集浸提液, 获得质量浓度为 40 g·L<sup>-1</sup> 的母液, 用蒸馏水稀释获得质量浓度为 0、2.5、5.0、10.0、20.0 g·L<sup>-1</sup> 的浸提液, 4 °C 保存备用。

#### 1.2.3 紫花苜蓿化感作用的测定

以多年生黑麦草、一年生黑麦草和梯牧草种子为受体, 选取种皮完整、粒圆饱满的牧草种子, 用次氯酸钠消毒 10 min, 自来水冲洗数次, 然后用蒸馏

水冲洗5次,用滤纸吸干种子表面水分。选用直径为9 cm的培养皿,内铺两层滤纸,放入3种牧草种子,每皿中均匀放入50粒种子,分别加入10 mL不同浓度的紫花苜蓿根浸提液,对照组加入10 mL蒸馏水,每处理重复4次,置20℃光照培养箱进行光/暗(12 h/12 h)交替培养,及时补充蒸馏水,使滤纸始终保持湿润,每24 h记录种子发芽情况,参照国家标准结束种子萌发试验<sup>[13]</sup>。

#### 1.2.4 测定指标和方法

根据《国际种子检验规程》,将供试牧草种子培养14 d。培养期间,每24 h记录萌发种子数(以胚根或胚芽突破种皮并达种子长度的1/2即视为萌发),培养第7天时计算发芽势(germination vigor,  $G_V$ ),第14天统计发芽率(germination rate,  $G_R$ ),计算发芽指数(germination index,  $G_i$ ),活力指数(vigor index,  $V_i$ ),同时从每个培养皿中随机选取10个幼苗植株,用卡尺测量其根长、苗高,用电子天平称重并计算其苗鲜重( $\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$ ),计算各指标的平均值。

各指标计算公式具体如下:

$$G_R = \frac{\text{发芽终期全部正常萌发种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%; \quad (1)$$

$$G_V = \frac{7 \text{ d内发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%; \quad (2)$$

$$G_i = \sum (G_t / D_t). \quad (3)$$

式中:  $G_t$  为第  $t$  天种子发芽的数量;  $D_t$  为相对应的种子发芽天数。

$$V_i = S \times G_i. \quad (4)$$

式中:  $S$  表示幼苗的生长量(长度或重量);  $G_i$  表示种子发芽指数。

$$\text{幼苗高度} = \frac{\text{发芽终期全部正常发芽幼苗的高度总和}}{\text{供试幼苗总数}}; \quad (5)$$

$$\text{幼苗根长} = \frac{\text{发芽终期全部正常发芽幼苗根长总和}}{\text{供试幼苗总数}}. \quad (6)$$

参照 Williamson 和 Richardson<sup>[14]</sup> 提出的方法计算化感效应指数(response index,  $RI$ )。

$$RI = (T - T_0) / T_0. \quad (7)$$

式中:  $T$  为测试项目的处理值,  $T_0$  为对照值; 当  $RI > 0$  时, 表示促进作用; 当  $RI < 0$  时, 表示抑制作用,  $RI$  的绝对值代表作用强度的大小。

化感综合效应指数(synthetical allelopathic index,

$SE$ ) 为紫花苜蓿浸提液的同处理对同一受体植物各个测试指标抑制百分率的算术平均值<sup>[15]</sup>。

$$SE = \frac{\sum_{j=1}^m a_j}{n}. \quad (8)$$

式中:  $SE$  为化感综合效应指数;  $a$  为数据项  $RI$ ;  $j$  为数据项  $RI$  的序数;  $n$  为该级别数据项  $RI$  的总个数。当  $SE > 0$  时, 为促进作用; 反之, 则为抑制作用。

用化感综合效应指数的平均值(平均敏感指数)来进一步评价不同受体植物的平均敏感性。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 2019 作图, 采用 SPSS 22.0 对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 采用 Duncans 进行多重比较检验, 结果以“平均值 ± 标准误”表示,  $P < 0.05$  表示统计学差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度紫花苜蓿根浸提液对3种牧草种子萌发的影响

紫花苜蓿根浸提液对多年生黑麦草、一年生黑麦草和梯牧草种子具有明显的抑制作用(表1)。2.5  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  浸提液对种子发芽率的化感作用表现为多年生麦草 > 一年生黑麦草 > 梯牧草; 而 5.0、10.0 和 20.0  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  浸提液对不同种子发芽率的化感作用表现为一年生黑麦草 > 多年生黑麦草 > 梯牧草, 其中, 化感作用最高的为一年生黑麦草, 在 5.0、10.0 和 20.0  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  浓度时抑制率分别为 79.33%、89.33% 和 90.00%(表1)。

紫花苜蓿根浸提液对各个牧草种子发芽势均具有抑制作用, 浸提液组发芽势均显著低于对照组( $P < 0.05$ )(表1)。2.5  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  浸提液对种子发芽势的化感作用表现为多年生麦草 > 一年生黑麦草 > 梯牧草; 和对照组相比, 高浓度根浸提液对3种植物的萌发均具有显著的抑制效果。多年生黑麦草、一年生黑麦草和梯牧草在根浸提液 20.0  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  浓度处理下, 发芽势均为 0。从化感效应指数看, 紫花苜蓿根浸提液对多年生黑麦草均有显著抑制作用(化感效应指数 < 0)(表1)。

在发芽指数方面, 2.5  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  浸提液对牧草种子

表 1 不同紫花苜蓿根浸提液浓度对 3 种牧草种子萌发的影响  
Table 1 Effects of different water extract concentrations of alfalfa roots on seed germination of three forage species

| 指标<br>Parameter               | 浓度<br>Concentration/<br>(g·L <sup>-1</sup> ) | 多年生黑麦草 <i>Lolium perenne</i> |                          | 一年生黑麦草 <i>Lolium multiflorum</i> |                          | 梯牧草 <i>Phleum pratense</i> |                          |
|-------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
|                               |                                              | 指标数值<br>Indicator value      | 化感效应指数<br>Response index | 指标数值<br>Indicator value          | 化感效应指数<br>Response index | 指标数值<br>Indicator value    | 化感效应指数<br>Response index |
| 发芽率<br>Germination<br>rate/%  | 0                                            | 92.00 ± 0.58a                | —                        | 90.00 ± 2.31a                    | —                        | 76.00 ± 2.31a              | —                        |
|                               | 2.5                                          | 54.00 ± 6.43b                | -0.41 ± 0.07a            | 55.33 ± 8.67b                    | -0.39 ± 0.10a            | 70.67 ± 14.35a             | -0.07 ± 0.19a            |
|                               | 5.0                                          | 48.67 ± 1.33b                | -0.47 ± 0.01a            | 10.67 ± 2.91c                    | -0.88 ± 0.32b            | 68.00 ± 3.47a              | -0.11 ± 0.05a            |
|                               | 10.0                                         | 27.33 ± 5.33c                | -0.70 ± 0.06b            | 0.67 ± 0.67c                     | -0.99 ± 0.01b            | 52.67 ± 0.67a              | -0.31 ± 0.01a            |
|                               | 20.0                                         | 7.33 ± 1.76d                 | -0.92 ± 0.02c            | 0.00 ± 0.00c                     | -1.00 ± 0.00b            | 18.00 ± 4.00b              | -0.76 ± 0.05b            |
| 发芽势<br>Germination<br>vigor/% | 0                                            | 86.00 ± 1.16a                | —                        | 76.00 ± 0.58a                    | —                        | 54.00 ± 0.58a              | —                        |
|                               | 2.5                                          | 32.67 ± 3.71b                | -0.62 ± 0.04a            | 42.67 ± 5.46b                    | -0.44 ± 0.07a            | 34.00 ± 6.43b              | -0.37 ± 0.12a            |
|                               | 5.0                                          | 11.33 ± 0.67c                | -0.87 ± 0.01b            | 4.00 ± 1.16c                     | -0.95 ± 0.02b            | 17.33 ± 2.40c              | -0.68 ± 0.04b            |
|                               | 10.0                                         | 3.33 ± 0.67d                 | -0.96 ± 0.01c            | 0.00 ± 0.00c                     | -1.00 ± 0.00b            | 1.33 ± 1.33d               | -0.98 ± 0.02c            |
|                               | 20.0                                         | 0.00 ± 0.00d                 | -1.00 ± 0.00c            | 0.00 ± 0.00c                     | -1.00 ± 0.00b            | 0.00 ± 0.00d               | -1.00 ± 0.00c            |
| 发芽指数<br>Germination<br>index  | 0                                            | 22.35 ± 0.01a                | —                        | 12.29 ± 0.63a                    | —                        | 11.95 ± 0.68a              | —                        |
|                               | 2.5                                          | 5.98 ± 0.03b                 | -0.73 ± 0.00a            | 10.55 ± 0.80b                    | -0.15 ± 0.06a            | 6.49 ± 0.67b               | -0.46 ± 0.06a            |
|                               | 5.0                                          | 3.58 ± 0.06c                 | -0.84 ± 0.00b            | 1.64 ± 0.25c                     | -0.87 ± 0.02b            | 5.18 ± 0.18b               | -0.57 ± 0.01b            |
|                               | 10.0                                         | 1.80 ± 0.23d                 | -0.92 ± 0.01c            | 0.04 ± 0.03d                     | -1.00 ± 0.00c            | 3.38 ± 0.07c               | -0.72 ± 0.01c            |
|                               | 20.0                                         | 0.39 ± 0.08e                 | -0.98 ± 0.00d            | 0.00 ± 0.00d                     | -1.00 ± 0.00c            | 0.81 ± 0.19d               | -0.93 ± 0.02d            |
| 活力指数<br>Vigor<br>index        | 0                                            | 222.49 ± 2.27a               | —                        | 162.06 ± 11.61a                  | —                        | 71.71 ± 1.09a              | —                        |
|                               | 2.5                                          | 89.46 ± 6.06b                | -0.60 ± 0.03a            | 101.15 ± 7.32b                   | -0.38 ± 0.04a            | 61.27 ± 5.87b              | -0.15 ± 0.08a            |
|                               | 5.0                                          | 49.83 ± 0.16c                | -0.78 ± 0.00b            | 26.65 ± 4.45c                    | -0.84 ± 0.03b            | 48.22 ± 0.79c              | -0.33 ± 0.01b            |
|                               | 10.0                                         | 19.01 ± 2.98d                | -0.92 ± 0.01c            | 0.33 ± 0.30d                     | -1.00 ± 0.00c            | 19.91 ± 1.12d              | -0.72 ± 0.02c            |
|                               | 20.0                                         | 3.07 ± 0.86e                 | -0.99 ± 0.00d            | 0.00 ± 0.00d                     | -1.00 ± 0.00c            | 2.91 ± 0.47e               | -0.96 ± 0.01d            |

同列同一指标不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。  
Different lowercase letters within the same column for the same parameter indicate significant differences between different treatments at the 0.05 level. This is applicable for the following tables as well.

发芽指数的化感作用表现为多年生黑麦草 > 梯牧草 > 一年生黑麦草; 20.0 g·L<sup>-1</sup> 浸提液对不同禾本科种子发芽指数的化感作用表现为一年生黑麦草 > 多年生黑麦草 > 梯牧草 (表 1)。紫花苜蓿根浸提液对 3 种禾本科牧草种子的作用具有浓度效应, 对多年生黑麦草、一年生黑麦草和梯牧草的化感作用随着浸提液浓度的升高而逐渐增强 (表 1)。

在活力指数方面, 在根浸提液不同浓度处理时, 紫花苜蓿根浸提液对活力指数存在一定的影响, 不同禾本科牧草对于浸提液的响应不同 (表 1)。多年生黑麦草、一年生黑麦草和梯牧草的幼苗活力

指数明显降低, 与对照差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同浓度浸提液对于 3 种受体植物的幼苗活力指数均具有抑制作用 (表 1)。

从化感效应指数看, 紫花苜蓿根浸提液对多年生黑麦草、一年生黑麦草和梯牧草种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均有抑制作用 ( $RI < 0$ ) (表 1)。

### 2.2 不同浓度紫花苜蓿根浸提液对 3 种牧草幼苗生长的影响

从紫花苜蓿根浸提液对 3 种受体植物根长的结果 (表 2) 来看, 多年生黑麦草和梯牧草根长在根浸

表 2 不同紫花苜蓿根浸提液浓度对 3 种牧草幼苗生长的影响  
Table 2 Effects of different water extract concentrations of alfalfa roots on the growth of three forage species

| 指标<br>Parameter                      | 浓度<br>Concentration/<br>(g·L <sup>-1</sup> ) | 多年生黑麦草 <i>Lolium perenne</i> |                          | 一年生黑麦草 <i>Lolium multiflorum</i> |                          | 梯牧草 <i>Phleum pratense</i> |                          |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
|                                      |                                              | 指标数值<br>Indicator value      | 化感效应指数<br>Response index | 指标数值<br>Indicator value          | 化感效应指数<br>Response index | 指标数值<br>Indicator value    | 化感效应指数<br>Response index |
| 根长<br>Root<br>length/<br>cm          | 0                                            | 4.71 ± 0.03bc                | —                        | 6.20 ± 0.14b                     | —                        | 3.51 ± 0.16b               | —                        |
|                                      | 2.5                                          | 9.60 ± 0.93a                 | 1.05 ± 0.20a             | 8.08 ± 0.68ab                    | 0.29 ± 0.11a             | 6.16 ± 0.20a               | 0.78 ± 0.06a             |
|                                      | 5.0                                          | 8.12 ± 0.15a                 | 0.74 ± 0.03a             | 9.05 ± 0.46a                     | 0.45 ± 0.07a             | 5.84 ± 0.20a               | 0.69 ± 0.06a             |
|                                      | 10.0                                         | 6.06 ± 0.39b                 | 0.30 ± 0.08b             | 2.72 ± 1.38c                     | -0.56 ± 0.22b            | 3.04 ± 0.32b               | -0.12 ± 0.09b            |
|                                      | 20.0                                         | 3.75 ± 0.53c                 | -0.20 ± 0.11c            | 0.00 ± 0.00d                     | -1.00 ± 0.00c            | 1.21 ± 0.36c               | -0.65 ± 0.10c            |
| 苗高<br>Seedling<br>height/cm          | 0                                            | 5.40 ± 0.03a                 | —                        | 6.95 ± 0.13a                     | —                        | 2.52 ± 0.09c               | —                        |
|                                      | 2.5                                          | 5.35 ± 0.10a                 | -0.01 ± 0.02a            | 6.40 ± 0.19a                     | -0.08 ± 0.03a            | 3.30 ± 0.02a               | 0.31 ± 0.01a             |
|                                      | 5.0                                          | 5.78 ± 0.12a                 | 0.07 ± 0.02a             | 7.08 ± 0.22a                     | 0.02 ± 0.03a             | 3.47 ± 0.05a               | 0.38 ± 0.02a             |
|                                      | 10.0                                         | 4.40 ± 0.14b                 | -0.19 ± 0.03b            | 3.04 ± 1.53b                     | -0.56 ± 0.22b            | 2.87 ± 0.14b               | 0.14 ± 0.05b             |
|                                      | 20.0                                         | 4.02 ± 0.34b                 | -0.26 ± 0.06b            | 0.00 ± 0.00c                     | -1.00 ± 0.00c            | 2.53 ± 0.14c               | 0.00 ± 0.06c             |
| 苗鲜重<br>Seedling<br>fresh<br>weight/g | 0                                            | 0.36 ± 0.01c                 | —                        | 0.24 ± 0.00c                     | —                        | 0.06 ± 0.01c               | —                        |
|                                      | 2.5                                          | 0.24 ± 0.01e                 | 0.24 ± 0.01d             | 0.32 ± 0.00b                     | 0.32 ± 0.00b             | 0.06 ± 0.00c               | 0.06 ± 0.00c             |
|                                      | 5.0                                          | 0.31 ± 0.00d                 | 0.31 ± 0.00c             | 0.45 ± 0.01a                     | 0.45 ± 0.01a             | 0.11 ± 0.00b               | 0.11 ± 0.00b             |
|                                      | 10.0                                         | 0.43 ± 0.03b                 | 0.43 ± 0.03b             | 0.33 ± 0.00b                     | 0.33 ± 0.00b             | 0.14 ± 0.00a               | 0.14 ± 0.00a             |
|                                      | 20.0                                         | 0.51 ± 0.01a                 | 0.51 ± 0.01a             | 0.45 ± 0.00a                     | 0.45 ± 0.00a             | 0.04 ± 0.00d               | 0.04 ± 0.00d             |

提液 2.5、5.0 g·L<sup>-1</sup> 浓度处理时与对照相比增长显著 ( $P < 0.05$ )。一年生黑麦草根长在根浸提液 5.0、10.0 和 20.0 g·L<sup>-1</sup> 浓度下与对照差异显著 ( $P < 0.05$ )。

在苗高方面，多年生黑麦草和一年生黑麦草在根浸提液低浓度处理 2.5、5.0 g·L<sup>-1</sup> 时与对照无显著差异 ( $P > 0.05$ )，梯牧草苗高在根浸提液 2.5、5.0 和 10.0 g·L<sup>-1</sup> 浓度处理时均显著高于对照 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。

不同浓度根浸提液处理对 3 种受体植物苗鲜重的影响明显，多年生黑麦草苗鲜重在 2.5 和 5.0 g·L<sup>-1</sup> 浓度处理时，苗鲜重低于对照，而在 10.0 和 20.0 g·L<sup>-1</sup> 浓度时高于对照，呈现低浓度抑制、高浓度促进的效应 (表 2)。

从化感效应指数看，紫花苜蓿根浸提液在 10.0 和 20.0 g·L<sup>-1</sup> 浓度时，对多年生黑麦草苗高，一年生黑麦草根长、苗高均有显著抑制作用 (化感效应指数  $< 0$ )，并随着浓度升高抑制作用愈强 (表 2)。

2.3 不同浓度紫花苜蓿根浸提液对 3 种牧草化感综合效应及平均敏感指数评价

在根浸提液的作用下，多年生黑麦草和一年生

黑麦草的化感综合效应指数均为负值，表现为明显的抑制作用；对梯牧草种子萌发生长呈低促高抑趋势 (表 3)。一年生黑麦草的抑制潜力最大，浓度由低到高综合效应指数分别为 -0.01、-0.07、-1.98 和 -2.16，其次为多年生黑麦草，最后为梯牧草。

用植物平均敏感指数分析紫花苜蓿根浸提液对 3 种禾本科种子萌发生长的化感作用发现，根浸提液对多年生黑麦草和一年生黑麦草种子的萌发生长均表现出明显的抑制作用，而对梯牧草种子萌发生长具有明显的促进作用 (图 1)。

表 3 紫花苜蓿根浸提液对 3 种牧草的化感综合效应指数  
Table 3 Allelopathic comprehensive effect index of alfalfa root extract on three forage species

| 浓度<br>Concentration/<br>(g·L <sup>-1</sup> ) | 多年生黑麦草<br><i>Lolium perenne</i> | 一年生黑麦草<br><i>Lolium multiflorum</i> | 梯牧草<br><i>Phleum pratense</i> |
|----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 2.5                                          | -0.50 ± 0.16a                   | -0.01 ± 0.10a                       | 0.56 ± 0.11b                  |
| 5.0                                          | -0.70 ± 0.05ab                  | -0.07 ± 0.08a                       | 1.33 ± 0.06a                  |
| 10.0                                         | -1.06 ± 0.10bc                  | -1.98 ± 0.35b                       | 0.60 ± 0.08b                  |
| 20.0                                         | -1.37 ± 0.13d                   | -2.16 ± 0.01b                       | -2.01 ± 0.11c                 |

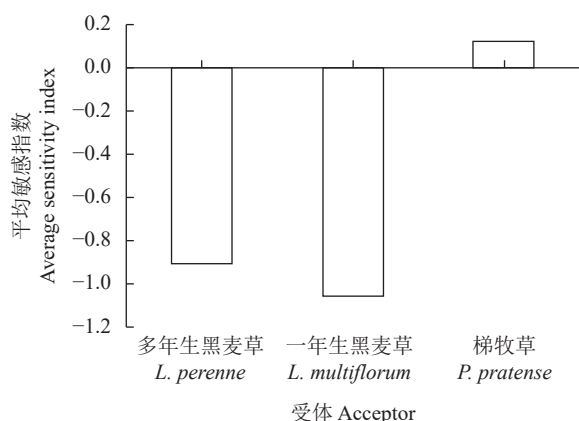


图 1 3 种禾本科牧草对紫花苜蓿根浸提液的平均敏感指数  
Figure 1 Average sensitivity index of three gramineous forage species to root extracts of alfalfa

### 3 讨论

#### 3.1 不同浓度紫花苜蓿根浸提液对 3 种牧草种子萌发的影响

植物的化感作用通过影响群落内其他物种的种子萌发生长过程,来改变群落的物种分布格局<sup>[16]</sup>,其影响程度随化感物质品种、质量浓度及受体植物品种的变化而不同<sup>[17]</sup>。苜蓿的化感物质主要是香豆素、绿原酸<sup>[18-21]</sup>等酚类物质和皂甙<sup>[22-23]</sup>,这些物质均能对大多数植物的萌发和生长产生抑制作用。本研究结果表明,紫花苜蓿根浸提液对多年生黑麦草、一年生黑麦草和梯牧草的化感效应在供试品种间差异明显。

牧草种子萌发是影响牧草产量的重要因素,植物萌芽率或幼苗存活率低,会导致该植物在群落里的种植密度低,使其在种内或种间竞争中处于劣势,进而影响群落结构<sup>[24]</sup>。紫花苜蓿根浸提液对 3 种禾本科种子萌发生长的化感作用具有浓度效应。本研究中,随着紫花苜蓿根浸提液质量浓度的升高,对多年生黑麦草、一年生黑麦草和梯牧草种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数的抑制作用愈强。当牧草混播时,受体种子发芽率的下降则直接导致受体植物在群落中的多度和早期竞争力降低。本研究中 3 种禾本科牧草种子均不同程度受到浸提液浓度的抑制影响,3 种受体植物对紫花苜蓿根浸提液化感作用的敏感程度受植物品种不同而存在差异。一年生黑麦草种子的萌发在根浸提液浓度为  $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时受到了显著抑制,而多年生黑

麦草种子的萌发在浓度为  $20.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时才被显著抑制,这可能与牧草的进化史不同有关。

#### 3.2 不同浓度紫花苜蓿根浸提液对 3 种牧草幼苗生长的影响

在对受体植物的综合化感评价中,根浸提液在低浓度时对梯牧草幼苗生长起到了一定的促进作用;高浓度处理下,根浸提液对梯牧草种子萌发和幼苗生长产生抑制作用,其化感效应指数表现为负值,整体趋势表现为“低浓度促进、高浓度抑制”,这与范丽花等<sup>[25]</sup>在猪毛蒿枯落物 (*Artemisia scoparia*) 水浸提液对紫花苜蓿种子和多花黑麦草化感研究结果基本一致。紫花苜蓿根浸提液对 3 种牧草种子萌发有明显的抑制作用,但当浓度低时对幼苗生长具有促进作用。一方面植物根系生长能避开有害物质,免遭毒害,因此在紫花苜蓿根浸提液浓度较低时,牧草幼苗受到的抑制作用较小。另一方面在紫花苜蓿根浸提液浓度较低时,可能提高了 3 种禾本科牧草幼苗细胞内吲哚乙酸 (IAA) 和赤霉素 ( $\text{GA}_3$ ) 的含量,从而表现出幼苗生长有一定促进作用<sup>[26]</sup>。本研究还发现在研究过程中高浓度的紫花苜蓿根浸提液浓度会造成部分受体植物幼根、幼苗腐烂变质,甚至会导致牧草种子的死亡。表明植物产生的化感效应具有多样性,具体影响机制还需进一步研究验证。

就本研究中紫花苜蓿根浸提液的化感作用而言,相较于多年生黑麦草和一年生黑麦草,梯牧草的适应性和抵抗能力更强,更适合与紫花苜蓿混播。因此建议在生产上可选用紫花苜蓿与梯牧草轮作或混播种植。除此之外,在生产实践中在选择与紫花苜蓿混播的其他牧草品种时,也应重视紫花苜蓿的化感作用,以有效降低其对群落内其他植物的抑制作用,实现草地优质高产发展。

### 4 结论

本研究中,在供试浓度范围内,不同浓度的紫花苜蓿根浸提液对 3 种禾本科牧草种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数有明显的抑制作用(化感效应指数  $< 0$ ),对根长和苗高有低浓度促进、高浓度抑制的作用。3 种禾本科牧草对紫花苜蓿化感作用的反应有一定差异,多年生黑麦草和一年生黑麦草的化感综合效应指数在根浸提液的作用下表现

为明显的抑制作用;紫花苜蓿根浸提液对梯牧草种子萌发生长呈低促高抑趋势。综上所述,梯牧草对紫花苜蓿化感抑制作用的适应性和抵抗能力比多年生黑麦草和一年生黑麦草强。

## 参考文献 References:

- [1] 孔垂华, 胡飞, 王朋. 植物化感(相生相克)作用及其应用. 北京: 高等教育出版社, 2016.  
KONG C H, HU F, WANG P. Allelopathy. Beijing: Higher Education Press, 2016.
- [2] 阎飞, 杨振明, 韩丽梅. 植物化感作用(Allelopathy)及其作用物的研究方法. *生态学报*, 2000, 20(4): 692-696.  
YAN F, YANG Z M, HAN L M. Review on research methods for allelopathy and allelochemicals in plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4): 692-696.
- [3] 贾鲜艳, 张晓峰, 海棠, 齐天圣. 紫花苜蓿浸提液对受体牧草种子发芽的影响. *中国草地学报*, 2011, 33(6): 107-112.  
JIA X Y, ZHANG X F, HAI T, QI T S. Effects of alfalfa extract on recipient forage seed germination rate. *Chinese Journal of Grassland*, 2011, 33(6): 107-112.
- [4] 周栋昌, 沈禹颖, 武慧娟, 耿小丽, 李智燕, 张洁, 付萍, 朱倩. 陇中黄土高原混播草地生产性能. *草业科学*, 2021, 38(1): 147-159.  
ZHOU D C, SHEN Y Y, WU H J, GENG X L, LI Z Y, ZHANG J, FU P, ZHU Q. Production performance of mixed grassland in the Loess Plateau of Longzhong. *Pratacultural Science*, 2021, 38(1): 147-159.
- [5] 李治强. 紫花苜蓿与垂穗披碱草混播防治褐斑病试验. *草业科学*, 2009, 26(10): 177-180.  
LI Z Q. Control of brown spot by mixed cultivation of *Medicago sativa* and *Elymus nutans*. *Pratacultural Science*, 2009, 26(10): 177-180.
- [6] 张永亮, 范富, 高凯, 冯静, 苏娜. 苜蓿、无芒雀麦单播与混播对土壤有机质和速效养分的影响. *草地学报*, 2009, 17(1): 22-26.  
ZHANG Y L, FAN F, GAO K, FENG J, SU N. Effects of *Medicago varia* Martin., *Bromus inermis* Leyss., and mixture of the both on soil organic matter and available nutrients. *Acta Agrestia Sinica*, 2009, 17(1): 22-26.
- [7] 王希, 沈禹颖, 高崇岳, 韩方虎, 周少平. 异龄苜蓿水浸液对其种子萌发的自毒效应. *草地学报*, 2008, 16(6): 609-612.  
WANG X, SHEN Y Y, GAO C Y, HAN F H, ZHOU S P. Autotoxicity effects of aqueous extracts of different aged alfalfa on seeds germination. *Acta Agrestia Sinica*, 2008, 16(6): 609-612.
- [8] 李志华, 沈益新, 倪建华, 赵玲玲. 豆科牧草化感作用初探. *草业科学*, 2002, 19(8): 28-31.  
LI Z H, SHEN Y X, NI J H, ZHAO L L. A preliminary study on the allelopathy of legumes. *Pratacultural Science*, 2002, 19(8): 28-31.
- [9] 朱晓红, 王朋, 梁文举, 姜勇, 臧树良. 苜蓿化感作用的初步研究. *生态学杂志*, 2004, 23(3): 128-130.  
ZHU X H, WANG P, LIANG W J, JIANG Y, ZANG S L. Preliminary study on allelopathic potential of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(3): 128-130.
- [10] 黄玉梅, 张杨雪, 刘庆林, 黄胜岚, 刘盼. 孔雀草水浸提液对4种园林植物化感作用的研究. *草业学报*, 2015, 24(6): 150-158.  
HUANG Y M, ZHANG Y X, LIU Q L, HUANG S L, LIU P. Research on allelopathy of aqueous extract from *Tagetes patula* to four garden plants. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(6): 150-158.
- [11] 孔垂华, 胡飞, 陈雄辉, 陈益培, 黄寿山. 作物化感品种资源的评价利用. *中国农业科学*, 2002, 35(9): 1159-1164.  
KONG C H, HU F, CHEN X H, CHEN Y P, HUANG S S. Assessment and utilization of allelopathic crop varietal resources. *Scientia Agriculture Sinica*, 2002, 35(9): 1159-1164.
- [12] 邬彩霞, 沈益新, 李志华. 豆科牧草对多花黑麦草化感作用的种间差异. *中国草地*, 2005, 27(6): 39-43.  
WU C X, SHEN Y X, LI Z H. Differences of allelopathic effect of different forage legumes on Italian ryegrass. *Grassland of China*, 2005, 27(6): 39-43.
- [13] 国家质量技术监督局. 牧草种子检验规程. 北京: 中国标准出版社, 2001.  
State Bureau of Quality and Technical Supervision. Rules for Forage Seed Testing. Beijing: Standards Press of China, 2001.
- [14] WILLIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14(1): 181-187.

- [15] 王宁, 王磊, 冯梦迪, 袁美丽, 朱晓琳. 泽漆茎叶水浸提液对3种草坪植物种子和幼苗的化感效应. *贵州农业科学*, 2015(5): 54-57.
- WANG N, WANG L, FENG M D, YUAN M L, ZHU X L. Allelopathic effects of water extracts from stem and leaf of *Euphorbia helioscopia* on seed germination and seedling growth of three turfgrass Species. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2015(5): 54-57.
- [16] 邓文红. 黑沙蒿群落植物演替过程中的化感作用研究. 北京: 北京林业大学博士学位论文, 2016.
- DENG W H. Allelopathy of *Artemisia ordosica* community in the process of plant succession. PhD Thesis. Beijing: Beijing Forestry University, 2016.
- [17] 曹子林, 王晓丽, 涂璟. 紫茎泽兰不同处理方法水提液对云南松种子萌发的化感作用. *种子*, 2011, 30(8): 46-49, 54.
- CAO Z L, WANG X L, TU J. Allelopathic effect of aqueous extracts of *Eupatorium adenophorum* Spreng. by different treatment methods on seed germination of *Pinus yunnanensis* Franch. *Seed*, 2011, 30(8): 46-49, 54.
- [18] CHON S U, CHOI S K, JUNG S, JANG H G, PYO B S, KIM S M. Effects of alfalfa leaf extracts and phenolic allelochemicals on early seedling growth and root morphology of alfalfa and barnyard grass. *Crop protection*, 2002, 21(10): 1077-1082.
- [19] CHON S U, KIM J D. Biological activity and quantification of suspected allelochemicals from alfalfa plant parts. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2002, 188(4): 281-285.
- [20] CHUNG I M, SEIGLER D, MILLER D A, KYUNG S H. Autotoxic compounds from fresh alfalfa leaf extracts: identification and biological activity. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26(1): 315-327.
- [21] HALL M H, HENDERLONG P R. Alfalfa autotoxic fraction characterization and initial separation. *Crop Science*, 1989, 29(2): 425-428.
- [22] NOWACKA J, OLESZEK W. Determination of alfalfa (*Medicago sativa*) saponins by high performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1994, 42(3): 727-730.
- [23] WYMAN SIMPSON C L, WALLER G R, JURZYSTA M, MCPHERSON J K, YOUNG C C. Biological activity and chemical isolation of root saponins of six cultivars of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant and Soil*, 1991, 135(1): 83-94.
- [24] HAGER H A. Differential effects of Typha litter and plants on invasive *Lythrum salicaria* seedling survival and growth. *Biological Invasions*, 2004, 6(4): 433-444.
- [25] 范丽花, 汪鹏斌, 王玉霞, 鱼小军, 童永尚, 李颖, 刘耀峰. 猪毛蒿枯落物水浸提液对5种草地植物种子萌发的化感作用. *中国草地学报*, 2021, 43(1): 96-103.
- FAN L H, WANG P B, WANG Y X, YU X J, TONG Y S, LI Y, LIU Y F. The allelopathy effect of *Artemisia scoparia* water extracts on grassland plants seed germination. *Chinese Journal of Grassland*, 2021, 43(1): 96-103.
- [26] 岳建华. 毛竹水浸提液对杉木种子发芽和幼苗化感作用研究. 福建: 福建农林大学硕士学位论文, 2010.
- YUE J H. Study on allelopathic effects of the bamboo water extract on Chinese fir seed germination and seedling. Master Thesis. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010.

(责任编辑 王芳)

如有印装质量问题, 请将原杂志寄回本刊编辑部, 由本部负责调换。