



紫花苜蓿 / 饲用玉米 / 高丹草彼此间的化感效应

刘 师尚礼 何龙 王文娟 武蓓

Study on allelopathic effects of alfalfa / forage maize / sorghum-sudangrass hybrid

LIU Chanchan, SHI Shangli, HE Long, WANG Wenjuan, WU Bei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0768>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

紫花苜蓿根浸提液对3种牧草种子萌发过程的化感作用

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

草业科学. 2023, 40(3): 761 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0304>

苧麻浸提液对4种田间杂草的化感作用

Allelopathic effect of ramie extracts on seeds of four field weeds

草业科学. 2023, 40(8): 2038 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0448>

燕麦根浸提液对5种植物的潜在化感作用

Potential allelopathic effects of oat root extract on five plants

草业科学. 2023, 40(8): 2048 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0750>

不同种皮颜色紫花苜蓿种子萌发特性及幼苗生长对碱胁迫的响应

The responses of seed germination and seedling growth to alkali stress in alfalfa with different seed coat colors

草业科学. 2023, 40(3): 724 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0153>

水杨酸浸种对盐胁迫下醉马草种子萌发和幼苗生长的影响

Effects of soaking seeds in salicylic acid on seed germination and seedling growth of *Achnatherum inebrians* under salt stress

草业科学. 2022, 39(8): 1540 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0545>

长江中下游地区紫花苜蓿与玉米周年轮作栽培模式

An annual rotation model of alfalfa and corn in Yangtze River area

草业科学. 2022, 39(5): 996 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0645>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0768

刘昆昆, 师尚礼, 何龙, 王文娟, 武蓓. 紫花苜蓿 / 饲用玉米 / 高丹草彼此间的化感效应. 草业科学, 2024, 41(2): 394-403.
LIU C C, SHI S L, HE L, WANG W J, WU B. Study on allelopathic effects of alfalfa / forage maize / sorghum-sudangrass hybrid. Pratacultural Science, 2024, 41(2): 394-403.

紫花苜蓿 / 饲用玉米 / 高丹草彼此间的化感效应

刘昆昆, 师尚礼, 何 龙, 王文娟, 武 蓓

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

摘要: 以紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)、饲用玉米 (*Zea mays*)、高丹草 (*Sorghum bicolor* × *S. sudanense*) 互为受体材料, 在不同浓度 (0、12.5、25、50、100、150、200 mg·mL⁻¹) 植株水浸提液处理下, 测定种子发芽及幼苗生长的相关指标, 旨在探究三者间的化感效应关系, 为轮作、混播或间、套作生产提供参考依据。结果表明, 3 种作物相互间均具有化感效应, 其效应因受体植物种类、受体器官、组织浸提液浓度的不同而存在差异。在供试浓度范围内, 饲用玉米水浸提液浓度 25、50 mg·mL⁻¹ 分别是促进紫花苜蓿、高丹草生长的最佳浓度, 且均对种子活力的促进效果最佳, 综合化感效应指数 (SE) 分别为 0.074、0.092; 紫花苜蓿水浸提液浓度 50 mg·mL⁻¹ 是促进饲用玉米生长的最佳浓度 (SE = 0.027), 且对胚根生长的促进效果最佳, 紫花苜蓿水浸提液对高丹草均为抑制效应 (SE < 0); 高丹草水浸提液各浓度对紫花苜蓿、饲用玉米均为抑制效应 (SE < 0)。综上, 紫花苜蓿宜与饲用玉米, 不宜与高丹草轮、套作或混播; 饲用玉米可作为高丹草的前茬作物, 不宜作为后茬; 以饲用玉米作为主要收获对象时, 也不宜进行套作或混播。

关键词: 水浸提液; 种子萌发; 幼苗生长; 轮作; 间作; 化感效应; 饲草

文献标识码: A 文章编号: 1001-0629(2024)02-0394-10

Study on allelopathic effects of alfalfa / forage maize / sorghum-sudangrass hybrid

LIU Chanchan, SHI Shangli, HE Long, WANG Wenjuan, WU Bei

(College of Prataculture, Gansu Agricultural University / Key Laboratory of Pratacultural Ecosystems, Ministry of Education / Center for Sustainable Development of Grassland Animal Husbandry, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: In this experiment, alfalfa (*Medicago sativa*), forage maize (*Zea mays*), and sorghum-sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* × *S. sudanense*) were used as receptor plants, and plant germination and seedling growth were measured at different concentrations (0, 12.5, 25, 50, 100, 150, 200 mg·mL⁻¹). The aim was to investigate the relationship between the three crops and their allelopathic effects, and to provide a reference for crop rotation, mixed cropping or intercropping production. The results showed that all three crops had allelopathic effects on each other, and the effects differed significantly depending on the receptor plant species, receptor organ and tissue extract concentration. In the range of concentrations tested, 25 and 50 mg·mL⁻¹ of forage maize aqueous extracts were the best concentrations to promote the growth of alfalfa and sorghum-sudangrass hybrid, respectively, and both had the best effect on seed vigor, with a synthetical effect (SE) of 0.074 and 0.092, respectively. A concentration of 50 mg·mL⁻¹ of alfalfa aqueous extract was the best concentration to promote the growth of forage maize (SE = 0.027), and the best effect to promote radicle growth; all concentrations of alfalfa aqueous extracts were inhibitory to sorghum-sudangrass hybrid (SE < 0), All concentrations of sorghum-sudangrass hybrid aqueous extracts were inhibitory to alfalfa and forage maize (SE < 0). In conclusion, alfalfa should be rotated, set or mixed with forage maize and

收稿日期: 2022-09-24 接受日期: 2023-04-11

基金项目: 国家牧草产业体系 (CARS-34)

第一作者: 刘昆昆 (1997-), 男, 陕西宝鸡人, 在读硕士生, 研究方向为植物生理学。E-mail: liuchan2lc@163.com

通信作者: 师尚礼 (1962-), 男, 甘肃会宁人, 教授, 博导, 博士, 研究方向为草种资源与育种。E-mail: shishl@gasu.edu.cn

not with sorghum-sudangrass hybrid, and forage maize can be used as the front crop of sorghum-sudangrass hybrid, but not as the back crop. In addition, when forage maize is the main harvesting object, set or mixed sowing is not suitable.

Keywords: water extract; seed germination; seedling growth; rotation; intercropping; allelopathic effect; forage grass

Corresponding author: SHI Shangli E-mail: shishl@gasu.edu.cn

植物化感作用,也称异株克生或相生,即一种植物通过自然挥发、茎叶淋溶、根系分泌和植株残体分解的方式向环境释放化学物质,对其他植物所产生的直接或间接的有利或不利的影[1],这在高频次、长时间种植的农田系统中表现尤为明显[2]。

紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 是豆科多年生草本植物,以“牧草之王”著称,在畜牧业中起着不可替代的作用[3-4]。饲用玉米 (*Zea mays*) 是禾本科一年生草本植物,因其营养价值高、产量大等优点成为优良的粮食作物,同时也是畜牧业、养殖业等重要饲料来源[4-5]。高丹草 (*Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense*) 是禾本科高粱和苏丹草的杂交品种,抗旱、耐瘠性强,用于青饲或青贮,也可以调制干草[6]。三者均为饲草生产中常见且重要的高产优质饲草作物,对促进畜牧业发展,保障饲料安全具有重要意义[7-8]。目前,关于紫花苜蓿、饲用玉米化感作用研究报道较多,主要集中在紫花苜蓿、饲用玉米连作以及其化感物质的鉴定等方面,苏一诺等[9]研究发现紫花苜蓿多年生长会释放多种化感物质,极大地降低次代苜蓿种子萌发和幼苗生长。郑瑞[10]研究发现在肉桂酸、羟基苯甲酸、香豆素、苜蓿素等化感物质影响下,苜蓿发芽、生长受到了显著抑制,而通过小麦 (*Triticum aestivum*) 浸提液处理苜蓿种子,在适宜浓度下对苜蓿种子发芽具有一定的促进效果。刘贤文和郭华春[11]研究发现玉米连作会导致化感物质的积累,但经过马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 与玉米复合种植后,可以降低化感物质在土壤中的积累,提高产量。但有关紫花苜蓿、饲用玉米与高丹草相互间可能存在的化感作用鲜见报道。本试验以紫花苜蓿、饲用玉米、高丹草为试验材料,通过模拟自然界中植物茎叶淋溶的化感作用方式,在不同浓度、不同种类植株水浸提液处理下,测定种子发芽及幼苗生长的相关指标,进行紫花苜蓿/饲用玉米/高丹草的化感效应研究,以期了解植物间的化感作用,为合理利用化感作用的促进与抑制效果,正确选择轮作、混播或间、套作植物以提高饲草产量及品质提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料及获取方法

饲用玉米选用‘利单 295’品种(审定编号:甘审玉 2016006),购买于恒基利马格兰种业有限公司;高丹草选用‘陇草 1 号’品种,由甘肃省农业科学院作物研究所提供;紫花苜蓿选用‘甘农 9 号’品种,由甘肃农业大学草业生态系统教育部重点实验室提供。以上 3 种作物抗病性强、产量高、抗逆性好,适宜在甘肃等活动积温 2 300 °C·d 以上地区种植。

2020 年 4 月中旬将试验材料按条播、行距 60 cm、株距 10 cm,播种于甘肃农业大学草业生态系统教育部重点实验室兰州牧草试验基地,于饲用玉米、高丹草抽穗期前、紫花苜蓿初花期各采取以上 3 种植物完整植株,将植株上的附土刷净后自然风干、粉碎、过筛(孔径 0.5 mm)备用。

1.2 试验方法与测定指标

饲用玉米、高丹草、紫花苜蓿浸提液的制备参考周立业等[12]的试验方法,分别称取 200 g 饲用玉米、高丹草、紫花苜蓿的全株粉碎风干样放入洁净锥形瓶中,均加入 1 L 超纯水,封口,于摇床 150 r·min⁻¹、20 °C 震荡浸提 24 h,定性滤纸过滤,0.45 μm 的滤膜二重过滤,获得 200 mg·mL⁻¹ 的浸提液母液。将母液定容获得 200、150、100、50、25、12.5 mg·mL⁻¹ 浓度梯度浸提液,放入 4 °C 冰箱中保存。

指标测定参考李彦飞等[13]的试验方法,选取外观无破损、大小一致、饱满的种子,4% 次氯酸钠浸泡 10 min 后蒸馏水冲洗 7 次,再用 10% 双氧水浸泡 15 min 后蒸馏水冲洗 7 次,滤干备用。采用滤纸培养皿法,直径 9 和 13 cm 的洁净培养皿铺入双层滤纸,分别均匀放入 30 粒苜蓿种子、20 粒高丹草种子和 16 粒饲用玉米种子,用量筒测量出需要的浸提液后将其加入培养皿中,处理方式如表 1 所列。处理重复 3 次,置于智能生长室内,培养条件:温度 22 °C、相对湿度 80%、光周期 14 h、光强 20 000 lx、暗周期 10 h[14]。

表 1 浸提液对受体植物的试验处理
Table 1 Experimental treatment of extract on receptor plants

植株水浸提液 Aqueous plant extract	受体植物 Receptor plant	组合代号 Combination code	处理浓度 Treatment concentrations/ (mg·mL ⁻¹)	浸提液用量 Extraction liquid dosage/mL
饲用玉米水浸提液 Forage maize extract	紫花苜蓿 Alfalfa	M-A	0 (CK)、12.5、 25、50、100、 150、200	5
高丹草水浸提液 Sorghum-sudangrass hybrid extract		S-A		
高丹草水浸提液 Sorghum-sudangrass hybrid extract	饲用玉米 Forage maize	S-M		
紫花苜蓿水浸提液 Alfalfa extract		A-M		
饲用玉米水浸提液 Forage maize extract	高丹草 Sorghum-sudangrass hybrid	M-S		
紫花苜蓿水浸提液 Alfalfa extract		A-S		

组合代号“-”前字母M代表饲用玉米浸提液，A代表紫花苜蓿浸提液，S代表高丹草浸提液；“-”后字母M代表饲用玉米种子，A代表紫花苜蓿种子，S代表高丹草种子。下同。

Combinatorial code “-” first letter M represents forage maize extract, A represents alfalfa extract, S represents sorghum-sudangrass hybrid extract. “-” second letter M represents forage maize seeds, A represents alfalfa seeds, S represents sorghum-audangrass hybrid seeds. This is applicable for the following figures and tables as well.

测定指标: 参照国际种子检验协会的方法^[15-16], 以胚根突破种皮、伸出 1 mm 为发芽标准, 每日进行计数, 第 7 天测定种子发芽率, 每皿随机取 10 株幼苗, 称取鲜重、干重, 在坐标纸上测定胚芽长和胚根长。

计算不同处理后的发芽率指标: 发芽率为发芽终止时全部正常发芽的种子占全部供试种子数的百分比。

参照 Williamson 和 Richardson^[17] 的方法, 计算化感作用效应指数 (response index, RI):

$$RI = 1 - \frac{C}{T} \quad (T \geq C);$$
$$RI = \frac{T}{C} - 1 \quad (T < C)。$$

(1)

式中: T 为测试项目的处理值; C 为对照值; 当 $RI > 0$ 时, 表示存在促进效应; 当 $RI < 0$ 时, 表示存在抑制效应。绝对值大小代表化感效应强度。

活力指数 (vital index, VI):

$$VI = GI \times S;$$

(2)

发芽指数 (germination index, GI):

$$GI = \sum \frac{Gt}{Dt}。$$

(3)

式中: S 为 7 d 内幼苗长度 (cm); Gt 为不同时间 (7 d)

的发芽数; Dt 为发芽日数^[18]。

综合化感效应指数 (synthetical effect, SE): 是指同一处理浓度对同一个受体多个测试项目 (发芽率、活力指数、鲜重、苗长等) 的化感作用效应指数 (RI) 的均值。

计算后 CK 即为 0 刻度基准, SE 在 -1 至 1 之间, $SE < 0$ 表示抑制效应, $SE > 0$ 表现促进效应, 且 SE 绝对值大小表示化感效应作用强度, n 是化感效应指数的个数^[19]。

1.3 数据处理

采用 SPSS 17.0 对受体植物发芽指标、幼苗生长指标、综合化感效应指数进行单因素方差分析、差异性检验及多重比较 (Waller-Duncan 法), 数据用平均值 ± 标准误表示, 采用 Prism 8 进行制图。

2 结果与分析

2.1 浸提液对种子萌发的化感效应

2.1.1 紫花苜蓿浸提液对高丹草、饲用玉米种子萌发的化感效应

除 CK 外, 随着浸提液处理浓度的升高, A-M 和 A-S 发芽率均呈先升高后降低趋势, A-S 活力指

数、萌发综合化感效应指数总体呈降低趋势, A-M 活力指数、萌发综合化感效应指数呈先升高后降低趋势(表 2、图 1)。

除 CK 外, A-S 发芽率于 50 mg·mL⁻¹ 处理达到最高, A-S 各浓度活力指数均显著低于 CK ($P < 0.05$)。A-M 发芽率、活力指数均于 50 mg·mL⁻¹ 达最高, 处理浓度 25 和 50 mg·mL⁻¹ 时的发芽率、50 mg·mL⁻¹ 时的活力指数与 CK 差异不显著, 其余均显著低于 CK ($P < 0.05$)。50 mg·mL⁻¹ 时 A-M 活力指数明显高于 S-M。

A-S、A-M 的萌发综合化感效应指数于 12.5、25 mg·mL⁻¹ 处理时达到最高, 与 CK 相比降低了 27.7%、12.12%, 均呈现抑制效应。

2.1.2 饲用玉米浸提液对高丹草、紫花苜蓿种子萌发的化感效应

除 CK 外, 随着浸提液处理浓度的升高, M-S、M-A 发芽率、活力指数、萌发综合化感效应指数均

呈先升高后降低趋势(表 2、图 1)。

除 CK 外, M-S 发芽率于 25 mg·mL⁻¹ 处理达到最高, 浓度为 12.5、150、200 mg·mL⁻¹ 时发芽率显著低于 CK ($P < 0.05$)。M-S 活力指数于 25~100 mg·mL⁻¹ 时显著高于 CK, 50 mg·mL⁻¹ 处理达到最高, 提升了 67.75% ($P < 0.05$)。M-A 发芽率于 25 mg·mL⁻¹ 时达最高, 100 mg·mL⁻¹ 时发芽率均显著低于 CK ($P < 0.05$), ≥ 150 mg·mL⁻¹ 时不发芽。M-A 活力指数于 25 mg·mL⁻¹ 达最高且显著高于 CK 20.20%, ≥ 50 mg·mL⁻¹ 时显著低于 CK, 25 mg·mL⁻¹ 时 M-A 的活力指数明显高于 S-A。

M-S、M-A 萌发综合化感效应指数于 25~100、25 mg·mL⁻¹ 时为正值, 呈现促进效应, 最高与 CK 相比提升了 19.1%、7.8%。

2.1.3 高丹草浸提液对紫花苜蓿、饲用玉米种子萌发的化感效应

除 CK 外, 随着浸提液处理浓度的升高, S-A、S-M

表 2 浸提液对受体植物萌发的影响
Table 2 Effect of extract on germination of receptor plants

项目 Item	处理浓度 Treatment concentration/ (mg·mL ⁻¹)	组合代号 Combination code					
		A-M	A-S	M-A	M-S	S-A	S-M
发芽率 Germination rate/%	0 (CK)	58.33 ± 5.51a	63.33 ± 4.41a	88.89 ± 2.94ab	63.33 ± 4.41a	88.89 ± 2.94ab	58.33 ± 5.51a
	12.5	31.25 ± 3.61cde	50.00 ± 7.64ab	77.78 ± 2.22bc	38.33 ± 3.33bc	81.11 ± 6.19abc	41.67 ± 4.17abcd
	25	43.75 ± 7.22abc	51.00 ± 8.72ab	87.78 ± 5.56ab	65.00 ± 5.77a	90.00 ± 3.33ab	43.75 ± 6.88abc
	50	52.08 ± 5.51a	61.67 ± 7.26a	86.67 ± 5.09ab	63.33 ± 6.01a	91.11 ± 2.94a	35.42 ± 4.17bcde
	100	24.33 ± 3.48cde	48.33 ± 1.67abc	60.00 ± 1.92d	48.33 ± 4.41abc	70.00 ± 5.77cd	35.42 ± 5.51bcde
	150	22.50 ± 6.26de	40.00 ± 5.77bc	/	40.00 ± 2.89bc	24.44 ± 2.94c	20.83 ± 6.71e
	200	20.58 ± 8.72e	28.33 ± 9.28c	/	40.00 ± 2.53bc	/	16.67 ± 5.51e
活力指数 Vigor index	0 (CK)	65.29 ± 6.91a	71.75 ± 3.64bc	98.25 ± 8.52b	71.75 ± 3.64bc	98.25 ± 8.52b	65.29 ± 6.91a
	12.5	35.98 ± 4.30bc	46.26 ± 8.72de	103.74 ± 9.96ab	48.85 ± 6.73cde	92.76 ± 6.94bc	52.85 ± 9.00ab
	25	36.35 ± 6.29bc	33.50 ± 7.18ef	118.10 ± 3.67a	111.37 ± 11.60a	96.03 ± 8.20b	57.18 ± 7.38a
	50	62.32 ± 5.24a	33.18 ± 4.88ef	76.71 ± 4.91c	120.36 ± 12.75a	75.21 ± 2.56c	32.41 ± 1.91cd
	100	14.15 ± 3.62ef	9.52 ± 0.89fg	31.27 ± 1.09d	104.91 ± 9.59a	36.98 ± 2.92d	30.98 ± 6.17cde
	150	5.33 ± 2.68f	4.55 ± 0.87g	/	78.49 ± 3.72b	5.59 ± 3.48e	16.53 ± 1.90def
	200	3.01 ± 1.65f	2.37 ± 0.77g	/	66.19 ± 5.76bcd	/	6.62 ± 1.68f

“/”表示此处理下种子未萌发; 各指标显著性单独计算, 不同小写字母表示不同种类和浓度植物水浸提液的组合对同一植物进行处理时差异显著($P < 0.05$); 下表同。

“/” indicates that the seed has not germinated under this treatment. The significance of each index was calculated separately, and different lower case letters indicated that combinations of different species and concentrations of plant aqueous extracts differed significantly in the treatment of the same plant at the 0.05 level. This is applicable for the following tables as well.

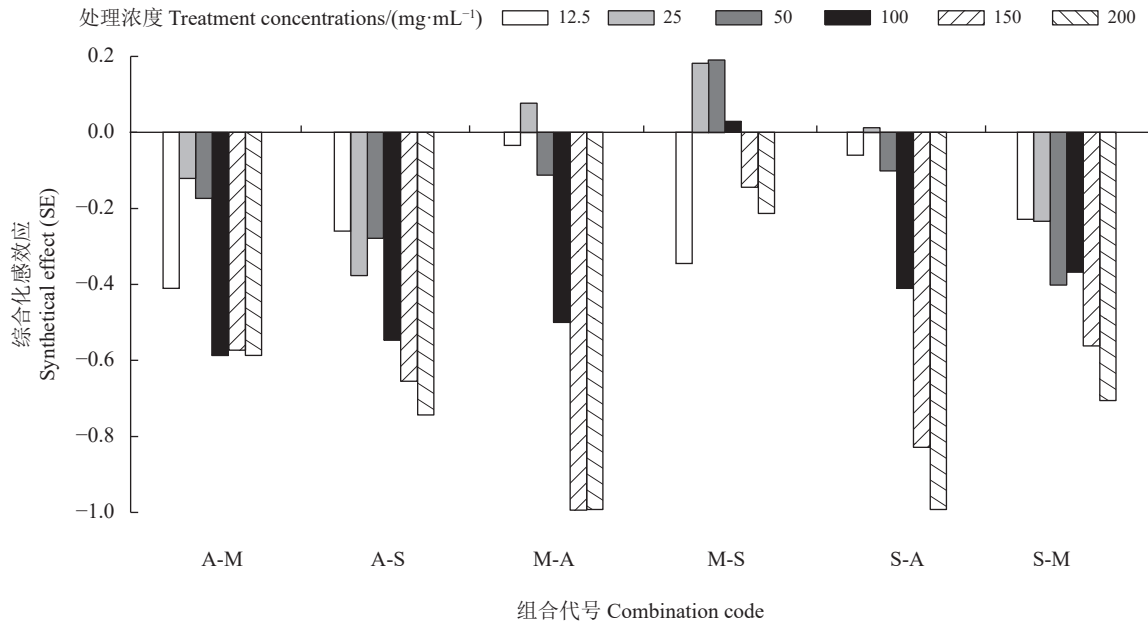


图 1 浸提液影响种子萌发的综合化感效应指数

Figure 1 Synthetic effect index of extract on seed germination

发芽率、活力指数和 S-A 萌发综合化感效应指数呈先升高后降低趋势, S-M 萌发综合化感效应指数总体呈降低趋势 (表 2、图 1)。

除 CK 外, S-A 发芽率于 $50\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 下达最高, $\geq 100\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时发芽率显著低于 CK, $200\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时不发芽。S-A 活力指数于 $25\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 处理达最高, $\geq 50\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时活力指数显著低于 CK ($P < 0.05$)。S-M 发芽率、活力指数均于 $25\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 下达最高, $\geq 50\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时发芽率、活力指数显著低于 CK, $25\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时 S-M 活力指数明显高于 A-M。

S-A、S-M 萌发综合化感效应指数分别于 25 、 $12.5\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 下达最高。

2.2 浸提液对幼苗生长的化感效应

2.2.1 紫花苜蓿浸提液对饲用玉米、高丹草幼苗生长的化感效应

除 CK 外, 随着浸提液浓度升高, A-M 幼苗鲜干比呈降低趋势, A-S 幼苗鲜干比呈先升高后降低趋势 (表 3)。A-M 胚芽长、胚根长总体呈先升高后降低趋势。A-S 胚芽长、胚根长呈降低趋势 (表 4)。

除 CK 外, A-M 幼苗鲜干比于 $12.5\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 处理达最高, $\geq 100\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时鲜干比显著低于 CK ($P < 0.05$)。A-M 胚芽长、胚根长均于 $50\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 处理达最高, $\geq 100\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时均显著低于 CK, $50\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时 A-M 的胚根长明显高于 S-M。A-S 幼苗鲜干比于

$25\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 达最高, $\geq 100\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时幼苗鲜干比显著低于 CK。A-S 胚芽长、胚根长均于 $12.5\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 达最高, 胚芽长 $\geq 100\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、胚根长大于等于 $50\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时均显著低于 CK。

2.2.2 饲用玉米浸提液对高丹草、紫花苜蓿幼苗生长的化感效应

除 CK 外, 随着浸提液浓度升高, M-S 下, 幼苗鲜干比、胚芽长、胚根长呈先升高后降低趋势。M-A 下, 幼苗鲜干比、胚芽长呈先升高后降低趋势, 胚根长呈降低趋势 (表 3、表 4)。

M-S 幼苗鲜干比均与 CK 差异不显著 ($P < 0.05$)。除 CK 外, M-S 胚芽长于 $25\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时达最高, $200\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时显著低于 CK, 胚根长于 $100\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时达最高并显著高于 CK 35.04% , $100\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时 M-S 胚芽长、胚根长明显高于 A-S。M-A 幼苗鲜干比与 CK 差异不显著, 胚根长于 $50\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时显著低于 CK。胚芽长于 $25\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 达最高且显著高于 CK 23.93% , 明显高于 S-A。

2.2.3 高丹草浸提液对紫花苜蓿、饲用玉米幼苗生长的化感效应

除 CK 外, 随着浸提液处理浓度的升高, S-A、S-M 幼苗鲜干比整体呈降低趋势, S-A 胚芽长、胚根长呈波动趋势, S-M 胚芽长、幼苗胚根长整体呈先升高后降低趋势 (表 3、表 4)。

除 CK 外, S-A 幼苗鲜干比于 $12.5\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 达最

表 3 浸提液对受体植物鲜干比的影响
Table 3 Effect of extract on fresh-dry ratio of receptor plants

处理浓度 Treatment concentration/ (mg·mL ⁻¹)	组合代号 Combination code					
	A-M	A-S	M-A	M-S	S-A	S-M
0 (CK)	3.68 ± 0.31a	4.44 ± 0.22a	12.69 ± 0.25a	4.44 ± 0.22ab	12.69 ± 0.25a	3.68 ± 0.31a
12.5	3.77 ± 0.39a	4.32 ± 0.58ab	12.13 ± 0.51a	4.52 ± 0.98ab	12.42 ± 0.41a	3.11 ± 0.13abc
25	3.44 ± 0.08ab	4.70 ± 0.13a	12.63 ± 0.26a	4.87 ± 0.20a	11.97 ± 0.32a	3.01 ± 0.12abcd
50	3.13 ± 0.18abc	3.93 ± 0.16ab	11.64 ± 0.26a	4.23 ± 0.24abc	11.93 ± 0.19a	2.85 ± 0.08bcde
100	2.27 ± 0.14def	3.11 ± 0.21bc	10.57 ± 1.81ab	4.31 ± 0.33abc	8.74 ± 2.91b	2.16 ± 0.11ef
150	1.11 ± 0.56g	3.06 ± 0.20bc	/	3.52 ± 0.21abc	10.01 ± 0.52ab	2.43 ± 0.21cdef
200	1.93 ± 0.06f	3.12 ± 0.41bc	/	3.35 ± 0.15bc	/	2.31 ± 0.05cdef

表 4 浸提液对受体植物生长的影响
Table 4 Effect of extract on growth of receptor plants

指标 Parameter	处理浓度 Treatment concentration/ (mg·mL ⁻¹)	组合代号 Combination code					
		A-M	A-S	M-A	M-S	S-A	S-M
胚芽长 Plant germ length/cm	0 (CK)	5.19 ± 0.22a	3.89 ± 0.44ab	1.17 ± 0.02b	3.89 ± 0.44ab	1.17 ± 0.02b	5.19 ± 0.22a
	12.5	5.17 ± 0.60a	3.82 ± 0.57abc	1.44 ± 0.12a	3.65 ± 0.23abc	1.29 ± 0.07ab	5.45 ± 0.33a
	25	4.68 ± 0.42a	3.61 ± 0.14abc	1.45 ± 0.04a	4.15 ± 0.19a	1.16 ± 0.04b	5.49 ± 0.45a
	50	5.55 ± 0.34a	3.55 ± 0.16abcd	1.23 ± 0.02b	3.91 ± 0.18ab	1.30 ± 0.03ab	4.50 ± 0.28a
	100	2.79 ± 0.38bc	2.65 ± 0.32d	1.14 ± 0.06b	3.87 ± 0.22abc	1.18 ± 0.08b	4.12 ± 0.25ab
	150	0.73 ± 0.45d	2.67 ± 0.19d	/	3.07 ± 0.13bcd	0.94 ± 0.10c	2.87 ± 0.76bc
	200	2.28 ± 0.43c	2.63 ± 0.08d	/	2.95 ± 0.23cd	/	2.43 ± 0.22c
胚根长 Plant radicle length/cm	0 (CK)	8.93 ± 0.91ab	5.28 ± 0.90bcd	3.13 ± 0.15a	5.28 ± 0.90bcd	3.13 ± 0.15a	8.93 ± 0.91ab
	12.5	8.26 ± 1.42abc	5.12 ± 0.34cd	2.83 ± 0.28ab	5.45 ± 0.46bcd	2.21 ± 0.21bcd	5.97 ± 0.28cde
	25	8.14 ± 0.7abc	4.45 ± 0.32de	2.52 ± 0.05abc	5.49 ± 0.19bcd	1.75 ± 0.05d	6.25 ± 0.28bcde
	50	10.76 ± 0.65a	3.72 ± 0.24e	2.27 ± 0.07bcd	5.39 ± 0.07bcd	2.18 ± 0.25bcd	6.63 ± 0.21bcde
	100	4.31 ± 0.47e	1.64 ± 0.30f	2.55 ± 0.25abc	7.13 ± 0.09a	2.65 ± 0.24abc	8.27 ± 0.56abc
	150	0.87 ± 0.45f	0.48 ± 0.03fg	/	6.41 ± 0.19ab	2.03 ± 0.43cd	7.11 ± 1.52bcd
	200	1.13 ± 0.47f	0.36 ± 0.09g	/	5.68 ± 0.27bc	/	5.18 ± 0.61de

高, 100 mg·mL⁻¹ 时显著低于 CK。S-A 幼苗胚芽长仅 150 mg·mL⁻¹ 时显著低于 CK, 幼苗胚根长除 100 mg·mL⁻¹ 外均显著低于 CK ($P < 0.05$)。S-M 幼苗鲜干比于 12.5 mg·mL⁻¹ 达最高, ≥ 50 mg·mL⁻¹ 时鲜干比显著低于 CK, 150 mg·mL⁻¹ 时 S-M 鲜干比明显高于 A-M。S-M 胚芽长于 25 mg·mL⁻¹ 达最高, ≥ 150 mg·mL⁻¹ 时胚芽长显著低于 CK, 胚根长在 100 mg·mL⁻¹ 达最高, 12.5、200 mg·mL⁻¹ 时胚根长显著

低于 CK, 150 mg·mL⁻¹ 时 S-M 胚芽长、胚根长显著高于 A-M。

2.3 植物生长发育的综合化感效应评价

随着浸提液浓度升高, 总体上 M-A、M-S、S-M 植株生长综合化感效应指数呈先上升后下降趋势, A-M 植株生长综合化感效应指数呈先升高后降低再升高的趋势, 而 A-S、S-A 植株生长综合化感效应指数整体呈逐渐降低的趋势 (图 2)。

与 CK 相比，A-M 植株生长综合化感效应指数，仅 $50\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时升高了 2.74%。M-A、M-S 植株生长综合化感效应指数分别于 $12.5\sim 25$ 、 $25\sim 100\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时为正值，最高与 CK 相比升高了 7.45%、9.94%。S-M、A-S、S-A 植株生长综合化感效应指数，分别于 25 、 12.5 、 $12.5\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 达最高，与 CK 相比降低了 13.14%、14.40%、3.21%，呈生长抑制效果。

3 讨论

植物的发芽到出苗是整个植物生命中至关重要的一个阶段，同时也是植物化感作用主要起作用的阶段，易受外界影响^[20-22]，因此选择该阶段设置梯度浓度进行试验。本研究表明，紫花苜蓿、饲用玉米、高丹草相互间均具有化感效应，化感效应对种子发芽、出苗的改变，因受体植物种类、受体器官、浸提液浓度的不同而存在显著差异，当浸提液浓度保持在适宜区间内，对受体植物生长有一定的促进效果，而当浸提液浓度超出适宜范围时，对受体有明显抑制效果，会导致种子发芽率降低，出苗迟缓，改变了植物的生长基础，可能将严重影响到植物在环境中对生长资源的竞争能力。

首先，与饲用玉米和高丹草相比，紫花苜蓿作为受体植物时种子发芽和幼苗生长对浸提液浓度变化的响应更加敏感，同样的浸提液浓度范围，紫

花苜蓿的综合化感效应指数的变化范围介于 $-1\sim 0.075$ ，大于饲用玉米 ($-0.071\sim 0.028$) 和高丹草 ($-0.58\sim 0.1$)，这说明不同的植物间对化感效应的敏感程度不一致。该结果与前人对紫花苜蓿、高粱、小麦、黄瓜 (*Cucumis sativus*) 等多种植物的研究结果趋向一致^[23-24]。

其次，相关研究表明，胚根比胚芽更易受浸提液影响^[25-26]，适宜浓度的浸提液可以在促进紫花苜蓿、饲用玉米等植物的胚芽生长的同时抑制其胚根长度^[27-29]。在本研究中也得到类似结果， $12.5\sim 50\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的饲用玉米水浸提液可以促进紫花苜蓿幼苗胚芽生长，抑制其胚根生长； $25\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的高丹草水浸提液可促进饲用玉米幼苗胚芽生长，抑制胚根生长，而浓度大于 $50\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时 S-M 处理下幼苗胚芽、胚根生长将均受到抑制，这表明浸提液对受体植株的不同器官的化感作用不一致。

此外，在种子萌发以及出苗阶段初期，有机物主要靠种子内部提供，受外界影响较小，而促使种子萌发、维持细胞生理活动、保障幼苗各器官形态建成所需的水分，主要依赖于从外界吸收，此过程更易受到影响^[30-31]。本研究发现，各受体植物的幼苗鲜干比在各组合、各浓度处理下存在一定差异，推测植株水浸提液有可能通过影响受体幼苗的水分吸收而表现化感效应。

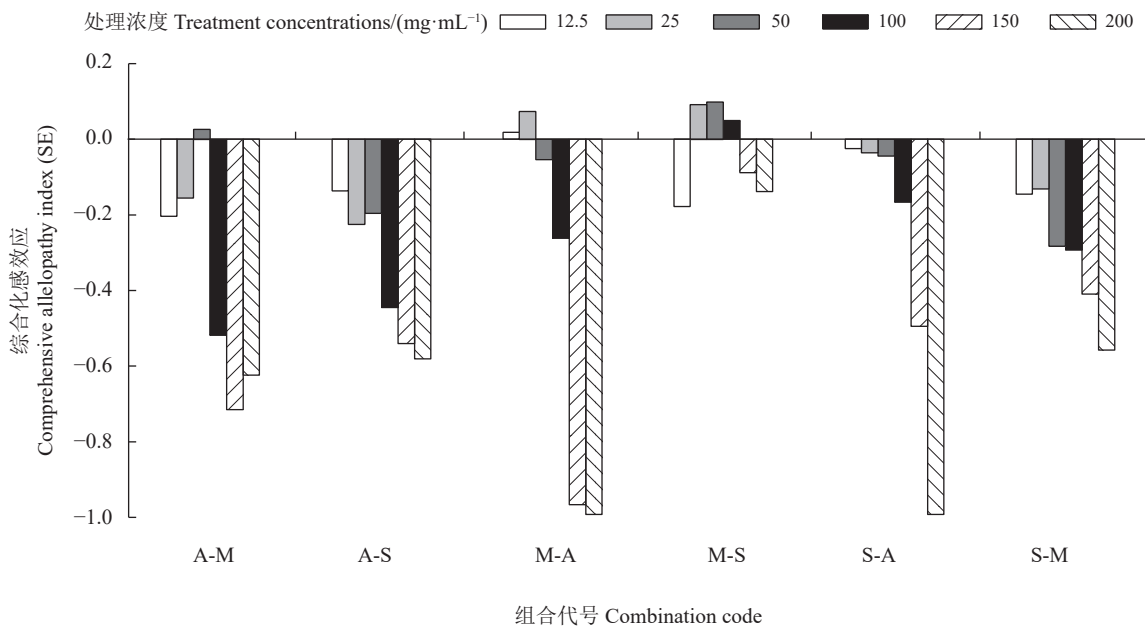


图 2 浸提液对植株生长发育的综合化感效应指数
Figure 2 Comprehensive allelopathy index of extract on growth and development

最后,通常认为浸提液对受体植物呈低浓度促进而高浓度抑制的效果^[32-34],但本研究发现,认定浸提液浓度的高与低并不能简单的以一个阈值浓度来划分,其效应随着浸提液浓度的变化而不断变化,这将会导致对一种植物的“低促”浓度却可能对另外的植物起到“高抑”的效果。例如,玉米水浸提液 $50\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时对高丹草幼苗长度呈促进效果,而对紫花苜蓿幼苗长度呈抑制效果,这与陈锋等^[35]、张金花等^[36]的研究结果保持一致。该结论充分说明采用合适植物搭配实现对目标作物增产、抑制其他植物抢夺营养的可行性。

研究紫花苜蓿、饲用玉米、高丹草的化感效应对3种作物的科学耕种具有现实意义,研究表明,利用不同植物所产生的化感效应差异,合理安排前后茬轮作以促进目标植物生长。但本研究是在实验室条件下完成,因为化感物质作用的复杂性与浸提液渗透势定容时的误差干扰以及室内试验与大田

试验的环境差异,因此本研究对3种植物化感作用的特点,以及其相互促进或抑制生长的结论,还需要进一步细化浓度梯度、延长试验时间和增设试验地点,多方面测定指标开展深入研究。

4 结论

紫花苜蓿、饲用玉米、高丹草相互间均具有化感效应,其效应因受体植物种类、受体器官、浸提液浓度的不同而存在显著差异,影响植物生长。饲用玉米浸提液浓度 25 、 $50\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时分别对紫花苜蓿、高丹草达最佳促进效应。紫花苜蓿浸提液仅 $50\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时对饲用玉米植株生长有化感促进效应,对高丹草均为化感抑制效应。高丹草浸提液各处理浓度对紫花苜蓿、饲用玉米均为化感抑制效应。紫花苜蓿宜与饲用玉米、不宜与高丹草轮、套作或混播,以饲用玉米作为主要收获对象时不宜与高丹草轮作或混播。

参考文献 References:

- [1] 孔垂华,胡飞,王朋.植物化感(相生相克)作用.北京:高等教育出版社,2016.
KONG C H, HU F, WANG P. Allelopathy of Plants. Beijing: Higher Education Press, 2016.
- [2] 王康君,陈凤,樊继伟,李强,孙中伟,郭明明,张广旭.小麦化感作用的研究进展与展望.农业科技通讯,2018(2): 7-11.
WANG K J, CHEN F, FAN J W, LI Q, SUN Z W, GUO M M, ZHANG G X. Research progress and prospect of wheat allelopathy. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2018(2): 7-11.
- [3] 王鑫,马永祥,李娟.紫花苜蓿营养成分及主要生物学特性.草业科学,2003,20(10): 39-41.
WANG X, MA Y X, LI J. Nutritional components and main biological characteristics of alfalfa. Pratacultural Science, 2003, 20(10): 39-41.
- [4] 吴征镒,洪德元.中国植物志图集.北京:科学出版社,2001.
WU Z Y, HONG D Y. Flora of China Illustrations. Beijing: Science Press, 2001.
- [5] 杨小倩,鄧慧,张辉,孙佳明.饲用玉米不同部位化学成分、药理作用、利用现状研究进展.吉林中医药,2019,39(6): 837-840.
YANG X Q, ZHI H, ZHANG H, SUN J M. Research progress on chemical components, pharmacological effects and utilization status of different parts of forage corn. Journal of Traditional Chinese Medicine and Chinese Materia Medica of Jilin, 2019, 39(6): 837-840.
- [6] 刘建宁,石永红,王运琦,郭锐,吴欣明,郭璞,张燕,高新中.高丹草生长动态及收割期的研究.草业学报,2011,20(1): 31-37.
LIU J N, SHI Y H, WANG Y Q, GUO R, WU X M, GUO P, ZHANG Y, GAO X Z. Study on growth dynamics and harvest period of Sorghum bicolor. Acta Prataculturae Sinica, 2011, 20(1): 31-37.
- [7] 周彤.紫花苜蓿与3种禾本科牧草轮作效应研究.兰州:甘肃农业大学硕士学位论文,2020.
ZHOU T. Study on the rotation effect of alfalfa and three gramineous forage grasses. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2020.
- [8] 郭婷,白娟,王建国.刍议我国苜蓿草产业发展现状与对策.中国草地学报,2018,40(4): 111-115.
GUO T, BAI J, WANG J G. Development status and countermeasures of alfalfa industry in China. Chinese Journal of Grassland,

- 2018, 40(4): 111-115.
- [9] 苏一诺, 杨智明, 蔡金婷, 李国良, 曲善民. 连作对紫花苜蓿萌发及成苗效应的影响. 黑龙江畜牧兽医, 2018(21): 167-171.
SU Y N, YANG Z M, CAI J T, LI G L, QU S M. Effects of continuous cropping on germination and seedling growth of alfalfa. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2018(21): 167-171.
- [10] 郑瑞. 苜蓿、小麦自毒与他感生理作用研究. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2018.
ZHENG R. Physiological effect of autotoxicity and allelopathy on alfalfa and wheat. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.
- [11] 刘贤文, 郭华春. 马铃薯与玉米复合种植对土壤化感物质及土壤细菌群落结构的影响. 中国生态农业学报, 2020, 28(6): 794-802.
LIU X W, GUO H C. Effects of potato and maize compound planting on soil allelochemicals and soil bacterial community structure. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(6): 794-802.
- [12] 周立业, 王亚东, 任秀珍, 田讯. 紫花苜蓿水浸提液对少花蒺藜草种子萌发的影响. 草地学报, 2016, 24(6): 1272-1277.
ZHOU L Y, WANG Y D, REN X Z, TIAN X. Effects of the aqueous extracts from alfalfa on seeds germination and seedling growth of *Cenchrus pauciflorus*. Acta Agrestia Sinica, 2016, 24(6): 1272-1277.
- [13] 李彦飞, 初晓辉, 李嘉懿, 马祖艳, 牛琼梅, 单贵莲. 大狼毒对紫花苜蓿种子萌发及幼苗生长的化感效应研究. 草地学报, 2022, 30(2): 394-402.
LI Y F, CHU X H, LI J Y, MA Z Y, NIU Q M, SHAN G L. Allelopathic effect of *Euphorbia jolkinii* on seed germination and seedling growth of alfalfa. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(2): 394-402.
- [14] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术 (第 2 版). 北京: 高等教育出版社, 2006.
WANG X K. Principles and Techniques of Plant Physiological and Biochemical Experiments (The 2nd Edition). Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [15] 国际种子检验协会. 1996 国际种子检验规程. 北京: 中国农业出版社, 1999.
International Seed Testing Association. 1996 International Seed Testing Regulations. Beijing: China Agriculture Press, 1999.
- [16] 曾兵, 黄琳凯, 陈超. 饲草生产学实验. 重庆: 西南师范大学出版社, 2013.
ZENG B, HUANG L K, CHEN C. Forage Production Experiment. Chongqing: Southwest Normal University Press, 2013.
- [17] WILLIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14(1): 181-187.
- [18] 张本华, 郝晓莉, 李永奎, 李成华. 种子活力及其测定方法研究. 农机化研究, 2006(6): 86-87.
ZHANG B H, HAO X L, LI Y K, LI C H. Study on seed vigor and its determination method. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(6): 86-87.
- [19] MUHAMMAD S U, SUN J F, RUTHERFORD S, IKRAM U, QAISER J, GHULAM R, MUHAMMAD A, DU L D. Evaluation of the allelopathic effects of leachate from an invasive species (*Wedelia triobata*) on its own growth and performance and those of a native congener (*W. chinensis*). *Biological Invasions*, 2021, 23(10): 3135-3149.
- [20] WELBAUM G, BRADFORD K, YIM K. Biophysical, physiological and biochemical processes regulating seed germination. *Seed Science Research*, 1998, 8(2): 161-172.
- [21] 杨浩娜, 周成言, 邬腊梅, 王立峰, 李祖任. 植物化感物质的作用机理研究进展. 湖南农业科学, 2022(3): 108-112.
YANG H N, ZHOU C Y, WU L M, WANG L F, LI Z R. Research progress on mechanism of plant allelochemicals. Hunan Agricultural Sciences, 2022(3): 108-112.
- [22] 姜涛, 张建春. 植物化感作用在农业生产中的应用. 园艺与种苗, 2017(5): 74-76.
JIANG T, ZHANG J C. Application of plant allelopathy in agricultural production. Horticulture & Seed, 2017(5): 74-76.
- [23] 袁莉, 鲁为华, 于磊. 紫花苜蓿生长前期各部位提取液对种子萌发的自毒作用. *中国草地学报*, 2007(5): 111-114.
YUAN L, LU W H, YU L. Autotoxicity of extracts from different parts of alfalfa at early growth stage on seed germination. *Chinese Journal of Grassland*, 2007(5): 111-114.
- [24] 范晓慧, 马勇, 钱嘉鑫, 刘增文. 10 种典型城市绿化树木凋落叶对 4 种作物种子萌发及幼苗生长的化感效应. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2022, 50(2): 25-33, 44.

- FAN X H, MA Y, QIAN J X, LIU Z W. Allelopathic effects of leaf litter of 10 typical urban greening trees on seed germination and seedling growth of 4 crops. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2022, 50(2): 25-33, 44.
- [25] 陶茸, 尹国丽, 师尚礼. 酚酸类物质对苜蓿种子萌发的化感作用研究. *草原与草坪*, 2018, 38(3): 96-101.
- TAO R, YIN G L, SHI S L. Allelopathic effect of phenolic acids on seed germination of alfalfa. *Grassland and Turf*, 2018, 38(3): 96-101.
- [26] 皇甫超河, 陈冬青, 王楠楠, 杨殿林. 外来入侵植物黄顶菊与四种牧草间化感互作. *草业学报*, 2010, 19(4): 22-32.
- HUANGPU C H, CHEN D Q, WANG N N, YANG D L. Allelopathic interaction between invasive plant *Flaveria bidentis* and four forages. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(4): 22-32.
- [27] 万子玉, 李巧, 赖月月, 刘佳灵, 敬勇, 李敏. 半夏酚酸类化感物质积累规律研究. *生态毒理学报*, 2021, 16(6): 335-344.
- WAN Z Y, LI Q, LAI Y Y, LIU J L, JING Y, LI M. Study on accumulation rule of phenolic acid allelochemicals in *Pinelliae rhizoma*. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2021, 16(6): 335-344.
- [28] 姚澜, 萨如拉, 范富, 冯瑞, 王丽娟, 朱建, 韩香禹. 化感物质对饲用玉米种子及苗期生长特性的影响. *中国农学通报*, 2020, 36(6): 1-4.
- YAO L, SA R L, FAN F, FENG R, WANG L J, ZHU J, HAN X Y. Allelochemicals: Effects on growth characteristics of maize seeds and seedlings. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(6): 1-4.
- [29] 陶茸. 香豆素、咖啡酸对紫花苜蓿及轮作作物幼根形态和结构的影响及其生理变化. 兰州: 甘肃农业大学博士学位论文, 2019.
- TAO R. Effects of coumarin and caffeic acid on root morphology and structure of alfalfa and crop rotation and their physiological changes. PhD Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2019.
- [30] 陈士超, 王猛, 汪季, 高永, 刘宗奇, 王香. 紫花苜蓿种子萌发及幼苗生理特性对 PEG₆₀₀₀ 模拟渗透势的响应. *应用生态学报*, 2017, 28(9): 2923-2931.
- CHEN S C, WANG M, WANG J, GAO Y, LIU Z Q, WANG X. Response of seed germination and seedling physiological characteristics of alfalfa to PEG₆₀₀₀ simulated osmotic potential. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(9): 2923-2931.
- [31] 李振华, 王建华. 种子活力与萌发的生理与分子机制研究进展. *中国农业科学*, 2015, 48(4): 646-660.
- LI Z H, WANG J H. Research progress on physiological and molecular mechanism of seed vigor and germination. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(4): 646-660.
- [32] QIANG C, GAO B H. Review on action mechanism affecting factors and applied potential of allelopathy. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2003, 23(3): 509-515.
- [33] 刘晓丽, 赵娜, 贾钰莹, 肖万欣. 酚酸类物质在植物—土壤—环境中的作用. *园艺与种苗*, 2020, 40(8): 56-58, 63.
- LIU X L, ZHAO N, JIA Y Y, XIAO W X. The role of phenolic acids in plant—soil—environment system. *Horticulture & Seed*, 2020, 40(8): 56-58, 63.
- [34] 康青涛, 姬天龙, 林栋, 马晖玲, 张德罡. 燕麦种子浸提液对3种草坪草种子萌发的化感作用. *草原与草坪*, 2014, 34(5): 11-15, 20.
- KANG Q T, JI T L, LIN D, MA H L, ZHANG D G. Allelopathic effect of oat seed extract on seed germination of three turfgrass species. *Grassland and Turf*, 2014, 34(5): 11-15, 20.
- [35] 陈锋, 孟永杰, 帅海威, 罗晓峰, 周文冠, 刘建伟, 杨文钰, 舒凯. 植物化感物质对种子萌发的影响及其生态学意义. *中国生态农业学报*, 2017, 25(1): 36-46.
- CHEN F, MENG Y J, SHUAI H W, LUO X F, ZHOU W G, LIU J W, YANG W Y, SHU K. Effects of plant allelochemicals on seed germination and its ecological significance. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(1): 36-46.
- [36] 张金花, 何静, 张小彦, 张树衡, 张恒, 李彦湘. 除草剂胁迫下3种牧草浸提液对受体植物种子萌发和幼苗生长的影响. *草地学报*, 2021, 29(8): 1719-1728.
- ZANG J H, HE J, ZHANG X Y, ZHANG S H, ZHANG H, LI Y X. Effects of three herbage extracts on seed germination and seedling growth of recipient plants under herbicide stress. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(8): 1719-1728.

(责任编辑 魏晓燕)