

小蓬草水浸液对 2 种花卉种子萌发及 幼苗生长的化感作用

胡 缓, 何松林, 张晋瑞, 贾文庆*, 张翔宇, 邱永杰

(河南科技学院, 河南新乡 453000)

摘 要: 为揭示入侵杂草与草本花卉之间的竞争关系, 以入侵植物小蓬草为供体材料, 常用的花卉波斯菊、观赏油菜为受体材料, 研究了小蓬草根、叶水浸提液对受体植物种子萌发、幼苗生长、抗氧化酶活性(SOD、POD 和 CAT)以及丙二醛(MDA)含量的化感效应差异。结果表明, (1)小蓬草浸提液对受体植物的种子萌发均具有显著化感效应, 基本表现为“低促高抑”的趋势, 且波斯菊、观赏油菜的种子萌发率在根、叶浸提液浓度为 25 g/L 时最高, 在浸提液浓度为 100 g/L 时最低。(2)小蓬草浸提液对受体植物幼苗上下胚轴生长具有“低促高抑”的浓度效应, 且浓度越大抑制作用越显著。(3)在小蓬草根、叶浸提液处理下, 观赏油菜的 SOD 和 POD 活性大多显著高于对照, 波斯菊 SOD 和 POD 活性则大多显著低于对照; 波斯菊、观赏油菜 CAT 活性整体呈先缓慢升高后降低的趋势。(4)波斯菊幼苗 MDA 含量随小蓬草根、叶浸提液浓度的增加均呈现逐渐升高的趋势, 并大多高于对照水平, 而观赏油菜幼苗 MDA 含量随着根浸提液浓度增加而逐渐升高, 却随着叶浸提液浓度的增加而降低, 但大多显著低于对照水平。研究发现, 小蓬草浸提液对 2 种花卉种子萌发和幼苗生长均表现出“低促高抑”化感作用, 且综合效应强弱表现为观赏油菜大于波斯菊, 根浸提液处理大于叶浸提液。

关键词: 小蓬草; 水浸提液; 种子萌发; 抗氧化酶活性; 化感作用

中图分类号: Q945.7

文献标志码: A

Allelopathic Effects of Aqueous Extract from *Conyza canadensis* on Seed Germination and Seedling Growth of Two Herbaceous Flower Species

HU Huan, HE Songlin, ZHANG Jinrui, JIA Wenqing*, ZHANG Xiangyu, QIU Yongjie

(He'nan Institute of Science and Technology, Xinxiang, He'nan 453000, China)

Abstract: In order to reveal the competitive relationship between invasive weeds and herbaceous flowers, we used the invasive plant *Conyza canadensis* as the donor material, and the commonly used flowers *Cosmos bipinnatus* and *Brassica juncea* L. as the receptor materials. The allelopathic effects of the extracts of the roots and leaves of *C. canadensis* on the seed germination, seedling growth, antioxidant enzyme activities (SOD, POD and CAT) and malondialdehyde (MDA) content of the receptor plants were studied. The results showed that, (1) the extracts of *C. canadensis* had significant allelopathic effects on the seed germination and seedling growth of the receptor plants, which basically showed the trend of 'low promotion and high inhibition'. The seed germination rate of *C. bipinnatus* and *B. juncea* was the highest when

收稿日期: 2022-08-17; 修改稿收到日期: 2023-06-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(31870698); 国家重点研发计划支持课题项目(2018YFD1000401)

作者简介: 胡 缓(1998—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事观赏园艺研究。E-mail: 1449153780@qq.com

* 通信作者: 贾文庆, 教授, 硕士生导师, 主要从事观赏植物栽培生理及生物技术研究。E-mail: jiawq2012@126.com

the concentration of root and leaf of *C. canadensis* was 25 g/L, and the lowest when the concentration of extract was 100 g/L. (2) The extract of *C. canadensis* had a concentration effect of ‘low promotion and high inhibition’ on the growth of upper and lower hypocotyls of seedlings, and the greater the concentration, the more significant the inhibition. (3) The activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) in rapeseed were significantly higher than those in the control, while the activities of SOD and POD in *C. bipinnatus* were significantly lower than those in the control. The catalase (CAT) activity of *C. bipinnatus* and *B. juncea* showed a trend of slowly increasing first and then decreasing. (4) The MDA content of *C. bipinnatus* seedlings increased gradually with the increase of the concentration of root and leaf extract, and most of them were higher than the control level. The MDA content of *B. juncea* seedlings increased gradually with the increase of the concentration of root extract, and decreased with the increase of the concentration of leaf extract, but most of them were significantly lower than the control level. The study found that the extract of *C. canadensis* showed the allelopathic effect of ‘low promotion and high inhibition’ on the seed germination and seedling growth of the two kinds of flowers. The comprehensive effect was that the *B. juncea* was greater than the *C. bipinnatus*, and the root extract was greater than the leaf extract.

Key words: *Conyza canadensis*; aqueous extract; seed germination; antioxidant enzyme activity; allelopathy

化感作用(allelopathy)是植物向环境中释放化学物质进而影响自身或其他有机体(包括植物、微生物及动物)生长发育的现象,是植物保持生存竞争优势的一种适应机制^[1]。植物通过化感作用来增强自身的竞争能力,在一定程度上影响植物群落组成、演替、更新以及群落内物种的分布格局,成为近年来学者的关注热点^[2]。曾凯等^[3]研究认为,2 种灌木根系水浸提液对受试经济牧草植物生长具有显著的化感效应,且基本表现出低促高抑的规律。蒋智林等^[4]发现,4 种菊科入侵植物对狗牙根会产生较强的抑制作用。李金鑫等^[5]报道,巴茅草叶水浸液化感作用强于茎秆水浸液,且叶水浸液处理后的受体植物发芽指数和生物量均显著低于茎秆水浸液处理。

小蓬草(*Conyza canadensis*)为菊科(Compositae)白酒草属(*Conyza*)^[6-7]一年生草本植物^[8],是中国分布最广的入侵物种之一。小蓬草种子量大,适应能力强,繁殖快,容易对其他植物生长产生影响,具有细胞毒性、抑菌和除草活性^[9]。波斯菊(*Cosmos bipinnatus*)为菊科(Compositae)秋英属(*Cosmos*)的一年生或多年生草本,其叶形雅致,花朵轻盈艳丽,是城市绿化、花化的重要园林材料之一。观赏油菜(*Brassica juncea* L.)为十字花科、芸薹属植物,原产于中国,并在南北方广泛种植,主要作观赏及绿肥应用。2 种草本花卉的生长过程中避免不了杂草的入侵,生产上一般利用刈割、增加植株密度等农艺措施防治杂草,虽在短期有效,但不能长期抑制杂草生长,且需耗费大量人力物力^[10-11]。因此,研究小蓬草对草本花卉的化感作用,对揭示入侵

杂草与草本花卉之间的竞争关系具有重要意义。

目前对于小蓬草的化感作用研究仅有少量报道,如许桂芳等^[12]研究发现小蓬草水浸提液对小麦种子具有显著抑制作用,对油菜和白菜种子具有低促高抑的化感作用,浓度为 0.05 g/mL 时具有促进作用,浓度达到 0.40 g/mL 时具有抑制作用。杨莉等^[13]研究发现经加拿大蓬水浸提液处理的玉米植株有矮化、弱化的趋势,生物量积累受阻,单株减产可达 27.46%。而关于小蓬草不同部位浸提液对草本花卉化感作用的系统研究鲜见报道。

本试验拟以菊科植物小蓬草为研究对象,以北方常见的 2 种草本花卉波斯菊、观赏油菜为受体植物,研究小蓬草不同部位不同浓度水浸提液对受体植物种子萌发、幼苗生长和相关酶活性及丙二醛含量的影响,以期为花卉植物大规模应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试植物小蓬草采于河南科技学院周边农田,受体植物波斯菊、观赏油菜种子由市场购买所得。

1.2 小蓬草浸提液制备

参考李文红等^[14]的试验方法,选择生长良好的小蓬草,挖取完整的植株。采集的小蓬草先用流水将整株冲洗干净并摘除枯叶,将根与叶分开后,用蒸馏水清洗 3 遍,室内自然晾干后粉碎,然后按照 100 g/L 的浓度分别加入蒸馏水浸提,4 ℃ 下冷藏静置 48 h,之后用 2 层细纱布与滤纸进行过滤,所得溶液

即为浸提液母液,之后按比例将母液稀释至 25,50,75,100 g/L 等浓度的根、叶浸提液,4℃冰箱中保存备用。

1.3 种子萌发及幼苗生长试验

选取籽粒饱满、大小均一的波斯菊、观赏油菜种子,置于铺有 2 层滤纸的灭菌培养皿中,每个培养皿放 50 粒,5 个重复。

分别向培养皿中加入 25,50,75,100 g/L 的小蓬草叶、根浸提液 4 mL,对照组加入等量蒸馏水,置于恒温培养箱(25±1)℃中培养,每 24 h 观察记录 2 种花卉种子萌发情况(以胚芽突破种皮 1~2 mm 为基准^[15]),至种子不再萌发。萌发期定时添加适量浸提液或蒸馏水,保持滤纸湿润。其间取样进行相关指标测定。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 种子萌发和幼苗生长指标

萌发 5 d 后调查计算种子发芽势(G_p),10 d 后调查计算发芽率(G_r),并测量幼苗的根长和茎长,重复测量 3 次,以此计算萌发相关指数以及其化感效应指数:

$$G_r = (n_{10d} / N) \times 100\% \tag{1}$$

$$G_p = (n_{5d} / N) \times 100\% \tag{2}$$

$$G_f = (G_{f,CK} - G_{r,T}) / G_{r,T} \times 100\% \tag{3}$$

式中: n_{10d} 为 10 d 后长成正常幼苗种子数量; n_{5d} 为 5 d 后发芽种子总数; N 为供试种子数量; G_f 为发芽抑制率; $G_{r,CK}$ 为对照种子发芽率; $G_{r,T}$ 为处理种子发芽率。

化感效应指数(response index, RI)参照 Williamson 和 Richardson^[16]的方法计算:

$$G_{RT} = 1 - G_C / G_T \quad (G_T \geq G_C) \text{ 或} \\ G_{RI} = G_T / G_C - 1 \quad (G_T < G_C) \tag{4}$$

式中: G_C 为对照值; G_T 为处理值; G_{RI} 为化感效应指数, $G_{RI} > 0$ 为促进, $G_{RI} < 0$ 为抑制,绝对值的大小表示作用强度大小, G_{RI} 值处理参照马瑞君等^[17]的方法。

1.4.2 幼苗抗氧化酶活性和丙二醛含量

在种子发芽 5 d、10 d、14 d 测定其超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性及丙二醛(MDA)含量,比较整个发芽期各指标的差异。SOD 活性测定采用氮蓝四唑(NBT)法^[18],POD 活性测定采用愈创木酚比色法^[19],CAT 活性采用紫外吸收法测定^[20],MDA 含量采用硫代巴比妥酸法测定^[21]。

1.5 数据处理

将测得的数据用 Excel 2016 进行统计整理,用 DPS 2006 进行数据显著性与规律性分析。

2 结果与分析

2.1 小蓬草水浸提液对 2 种花卉种子发芽率和发芽势的影响

表 1 显示, L_{25} 和 R_{25} 处理的波斯菊和观赏油菜种子发芽率均高于相应 CK,相应化感效应指数(RI)均为正,表现出促进效应,但仅波斯菊增幅达到显著水平; L_{50} 处理波斯菊和 R_{50} 、 R_{75} 处理观赏油菜的种子发芽率与相应 CK 相近,其余浓度根、叶浸提液处理波斯菊和观赏油菜种子发芽率均显著低于相应 CK,它们的 RI 均为负值,表现出抑制效应。随着根、叶浸提液浓度的增加,波斯菊和观赏油菜种子发芽率均逐渐降低,波斯菊在各浓度处理间均差异显著,观赏油菜仅在叶浸提液处理间差异显著。 R_{25} 和 R_{50} 处理波斯菊的发芽率均显著低于相应的 L_{25} 和 L_{50} 处理, R_{25} 处理观赏油菜的发芽率也稍低于相应的 L_{25} 处理,而其余浓度根浸提液处理的波斯菊和观赏油菜发芽率均显著高于相同浓度的叶浸提液处理($P < 0.05$)。可见,小蓬草根、叶浸提液对波斯菊和观赏油菜的发芽率具有低促高抑的浓度效应,且浓度越高抑制作用越强。

同时,从表 1 可知,波斯菊和观赏油菜种子发芽势在 L_{25} 处理下与相应 CK 无显著差异,在其余浓度小蓬草根、叶浸提液处理下均比相应 CK 显著降低($P < 0.05$)。随着根、叶浸提液浓度的增大,波斯菊、观赏油菜的发芽势均呈逐渐降低的趋势,且各浓度之间多差异显著;在相同浸提液浓度下,波斯菊和观赏油菜种子发芽势大多表现为叶浸提液处理显著高于根浸提液处理;波斯菊和观赏油菜种子发芽势的化感效应指数均为负值,并随着根、叶浸提液浓度的增加而逐渐下降,且根浸提液处理的降幅大于叶浸提液处理。

另外,总体从发芽抑制率来看,小蓬草根、茎浸提液对波斯菊和观赏油菜种子萌发的抑制作用均随着浸提液浓度的增加而逐渐增加,均表现为在低浓度(25 g/L)有促进效应,在中高浓度(50~100 g/L)有抑制效应,叶浸提液的抑制作用高于同浓度的根浸提液,对波斯菊的化感作用大于对观赏油菜的化感作用。

表 1 小蓬草浸提液处理下波斯菊、观赏油菜幼苗种子萌发的变化

Table 1 The seed germination of <i>C. bipinnatus</i> and <i>B. juncea</i> treated with aqueous extract of <i>C. canadensis</i>		发芽率 Germination rate		发芽势 Germination potential		发芽抑制率 Rate of germination inhibition/%
受体植物 Test plant	处理 Treatment	数值 Value/%	化感效应指数 RI	数值 Value/%	化感效应指数 RI	
波斯菊 <i>C. bipinnatus</i>	CK	66.80±1.02c		63.20±0.49a		
	R ₂₅	71.02±0.80b	0.06	48.00±1.41b	-0.24	-6
	R ₅₀	60.00±3.16d	-0.10	34.80±3.35d	-0.45	10
	R ₇₅	50.40±1.67e	-0.25	30.00±0.63e	-0.53	25
	R ₁₀₀	39.60±3.58g	-0.41	25.60±1.72f	-0.59	41
	L ₂₅	75.20±1.10a	0.11	65.60±1.33a	0.04	-11
	L ₅₀	66.10±2.61c	-0.01	51.20±3.38b	-0.19	-1
	L ₇₅	46.40±1.67f	-0.31	40.00±1.90c	-0.37	31
	L ₁₀₀	30.80±2.28h	-0.54	25.20±1.02f	-0.60	54
观赏油菜 <i>B. juncea</i>	CK	61.20±2.80ab		53.20±1.02a		
	R ₂₅	63.60±0.75ab	0.04	46.40±0.75b	-0.13	-4
	R ₅₀	60.80±1.50ab	-0.01	42.80±0.80c	-0.20	1
	R ₇₅	58.80±1.85bc	-0.04	39.60±0.75d	-0.26	4
	R ₁₀₀	42.00±1.41e	-0.31	37.60±1.33d	-0.29	31
	L ₂₅	65.60±0.98a	0.07	50.80±1.36a	-0.05	-7
	L ₅₀	54.00±3.85cd	-0.12	46.80±0.49b	-0.12	12
	L ₇₅	49.20±0.80d	-0.20	45.20±1.02bc	-0.15	20
	L ₁₀₀	33.20±1.02f	-0.46	44.00±1.41bc	-0.17	46

注:CK 为对照(蒸馏水),R 代表根浸提液,L 代表叶浸提液。25、50、75、100 分别表示水浸提液浓度(g/L)。同列数据后不同小写字母表示处理之间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: CK is control (water), R represents root extract, and L represents leaf extract. 25, 50, 75, 100 stand for aqueous extract concentration (g/L). Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$). The same as below.

2.2 小蓬草浸提液对 2 种花卉幼苗下胚轴和上胚轴长的影响

波斯菊和观赏油菜幼苗的上、下胚轴长在小蓬草根、茎浸提液处理下存在明显差异(图 1)。

其中,L₂₅、L₅₀、R₂₅、R₅₀ 处理的波斯菊和 L₂₅ 处理的观赏油菜下胚轴长均高于相应 CK,它们的

RI 也为正值,表现促进效应,但仅观赏油菜增幅达到显著水平;R₇₅ 和 L₇₅、L₁₀₀ 处理波斯菊和 L₅₀ 处理观赏油菜的下胚轴长均稍低于相应 CK,其余浓度根、叶浸提液处理波斯菊和观赏油菜下胚轴长均显著低于相应 CK,它们的 RI 也均为负值,表现出抑制效应。

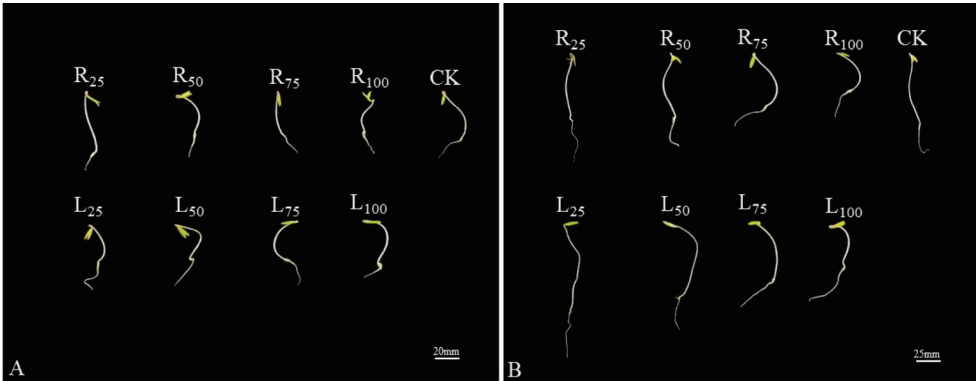


图 1 小蓬草根、叶浸提液处理下波斯菊(A)和观赏油菜(B)幼苗胚轴生长的变化
Fig. 1 The hypocotyl growth of *C. bipinnatus* (A) and *B. juncea* (B) seedlings under different concentration of extracts from leaves and roots of *C. canadensis*

随着根或者叶浸提液浓度的增加,波斯菊和观赏油菜下胚轴长均逐渐降低,且在各浓度处理间多差异显著($P<0.05$);在相同浓度下,观赏油菜下胚轴长 RI 均表现为根浸提液小于相应叶浸提液,即根浸提液的化感抑制效应比叶浸提液更大(表 2)。

同时,从表 2 可知,仅 R_{25} 和 L_{25} 处理观赏油菜的上胚轴长高于相应 CK,其余浓度处理波斯菊和观赏油菜上胚轴长均显著低于相应 CK,它们 RI 均

为负值;随着小蓬草根、叶浸提液浓度的增大,波斯菊和观赏油菜的上胚轴长呈逐渐降低的变化趋势,且各浓度处理之间大多差异显著;在相同浓度处理下,波斯菊和观赏油菜上胚轴长大多表现为叶浸提液处理显著高于相应的根浸提液处理,其 RI 也高于相应的根浸提液处理。可见,小蓬草根、叶浸提液对波斯菊和观赏油菜的上下胚轴长也具有低促高抑的浓度效应,且浓度越高抑制作用越显著。

表 2 小蓬草根、叶浸提液处理下 2 种花卉幼苗下胚轴和上胚轴长的变化
Table 2 The hypocotyl length and epicotyl length of two flower plants under
extracts from leaves and roots of *C. canadensis*

受体植物 Test plant	处理 Treatment	下胚轴长 Hypocotyl length		上胚轴长 Epicotyl length	
		数值 Value/mm	化感效应指数 RI	数值 Value/mm	化感效应指数 RI
波斯菊 <i>C. bipinnatus</i>	CK	33.79±1.18ef		49.25±0.96a	
	R_{25}	41.77±0.65ab	0.19	34.95±0.26d	-0.29
	R_{50}	37.97±0.68cd	0.11	29.11±0.76f	-0.41
	R_{75}	32.60±0.62f	-0.04	26.25±1.90g	-0.47
	R_{100}	24.88±0.83g	-0.26	24.66±1.14g	-0.50
	L_{25}	44.58±0.64a	0.24	41.42±0.67b	-0.16
	L_{50}	35.92±1.73de	0.06	37.85±0.75c	-0.23
	L_{75}	29.02±0.64f	-0.14	35.99±0.43cd	-0.27
	L_{100}	26.16±1.04fg	-0.23	32.57±0.48e	-0.34
观赏油菜 <i>B. juncea</i>	CK	46.70±0.81b		85.71±1.31b	
	R_{25}	42.61±0.30c	-0.09	87.66±0.77b	0.02
	R_{50}	36.24±1.16d	-0.22	74.95±0.29c	-0.13
	R_{75}	34.87±0.47d	-0.25	60.27±0.58e	-0.30
	R_{100}	29.42±1.04e	-0.37	47.85±0.87f	-0.44
	L_{25}	57.82±1.06a	0.19	99.55±0.86a	0.14
	L_{50}	46.57±0.28b	0.00	76.65±1.43c	-0.11
	L_{75}	40.20±1.80c	-0.14	71.33±0.76cd	-0.17
	L_{100}	35.91±1.03d	-0.23	64.23±6.74de	-0.25

2.3 小蓬草浸提液对 2 种花卉幼苗抗氧化酶活性的影响

首先,图 2,A 显示,波斯菊幼苗的 SOD 活性仅在 R_{50} 处理下显著高于 CK,在其余处理下均显著低于 CK,而观赏油菜幼苗的 SOD 活性在各处理下均不同程度高于 CK,且除 L_{75} 和 L_{100} 处理外增幅均达到显著水平;随着根或者叶浸提液浓度的增加,波斯菊幼苗 SOD 活性表现出降低趋势,且在各浓度处理间大多差异显著,而观赏油菜幼苗 SOD 活性有先升后降趋势,均以 R_{50} 或 L_{50} 处理最高, R_{100} 或 L_{50} 处理最低,且与最高处理间差异显著;在相同浓度处理下,根浸提液处理波斯菊和观赏油菜幼苗的 SOD 活

性均高于相应的叶浸提液处理,且差异多达到显著水平($P<0.05$)。可见,小蓬草根、叶浸提液对波斯菊 SOD 活性多有显著抑制作用,而对观赏油菜具有显著促进作用,且浓度越高抑制作用越强,促进作用随之降低。

其次,从图 2,B 可知,波斯菊幼苗的 POD 活性仅在 R_{25} 处理下显著高于 CK,在其余处理下均显著低于对照,且随着浸提液浓度的增加而逐渐降低;观赏油菜 POD 活性在 R_{50} 处理下显著高于 CK,在 L_{25} 和 R_{25} 处理下与 CK 无显著差异,在其余浓度小蓬草根、叶浸提液处理下均显著低于 CK($P<0.05$);观赏油菜的 POD 活性随着根浸提液浓度的

增大而先升后降,随着叶浸提液浓度的增大而逐渐降低,且各浓度之间大多差异显著;在相同浸提液处理浓度下,波斯菊和观赏油菜 POD 活性大多表现为根浸提液处理显著高于叶浸提液处理。

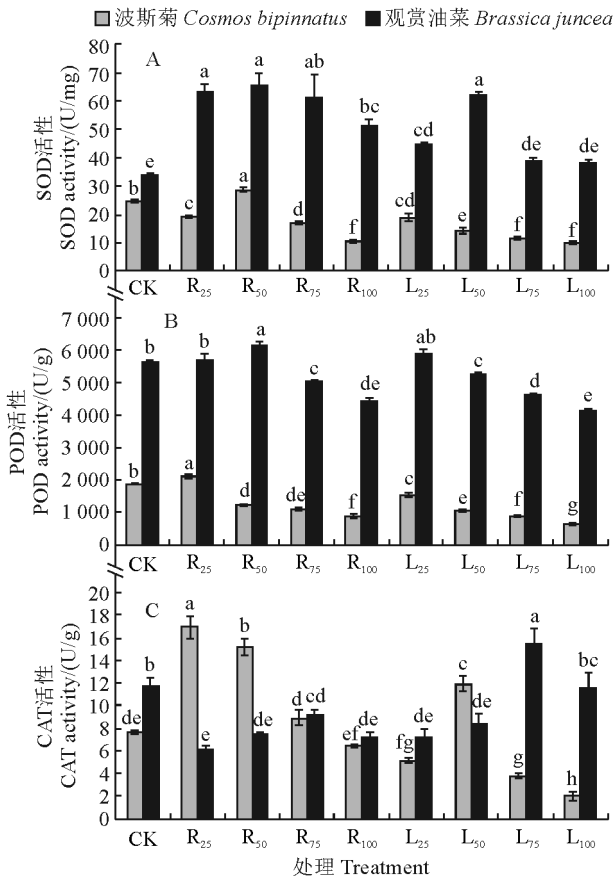


图2 小蓬草根、叶浸提液处理下 2 种花卉
抗氧酶活性的变化
Fig. 2 The antioxidant enzyme activities of two
flowers plants under extracts from leaves and
roots of *C. canadensis*

另外,从图 2,C 来看,波斯菊幼苗的 CAT 活性在 R₂₅、R₅₀ 和 L₅₀ 处理下显著高于 CK,在 R₇₅ 和 R₅₀ 处理下与对照无显著差异,在其余浓度叶浸提液处理下显著降低;在相同处理浓度下,波斯菊幼苗的 CAT 活性始终表现为根浸提液显著高于相应叶浸提液处理。观赏油菜幼苗的 CAT 活性仅在 L₇₅ 处理下显著高于 CK,在 L₁₀₀ 处理下稍低于 CK,在其余浓度根、叶浸提液处理下均显著低于相应 CK ($P<0.05$);在相同处理浓度下,根浸提液处理观赏油菜幼苗的 CAT 活性始终低于相应叶浸提液处理,并在 L₇₅ 和 L₁₀₀ 处理下差异显著。可见,小蓬草根、叶浸提液处理下波斯菊和观赏油菜幼苗 CAT 活性的变化规律明显不一致,在波斯菊中仍为低促

高抑,根浸提液处理高于叶浸提液,而在观赏油菜中则低抑高促,根浸提液处理低于叶浸提液处理。

2.4 小蓬草浸提液对 2 种花卉幼苗丙二醛含量的影响

图 3 显示,波斯菊幼苗 MDA 含量随小蓬草根、叶浸提液浓度的增加均呈现逐渐升高的趋势,R₂₅ 处理显著低于 R₅₀~R₁₀₀ 处理,L₂₅ 处理仅显著低于 R₁₀₀ 处理;观赏油菜幼苗 MDA 含量随着根浸提液浓度增加而逐渐升高,而随着叶浸提液浓度的增加而降低,且前 2 个浓度处理均与后 2 个浓度处理间差异显著。与 CK 相比,波斯菊幼苗 MDA 含量仅在 R₇₅、R₁₀₀ 和 L₁₀₀ 处理时显著增加,在其余处理下均无显著变化,而观赏油菜幼苗 MDA 含量仅在 R₁₀₀ 处理下显著增加,在其余处理下均显著降低;在相同浓度处理下,波斯菊幼苗 MDA 含量在 R₂₅ 与 L₂₅、R₅₀ 与 L₅₀ 处理间无显著差异,在 R₇₅ 和 R₁₀₀ 处理下显著高于相应的 L₇₅ 和 L₁₀₀ 处理,而观赏油菜幼苗 MDA 含量基本表现为根浸提液处理显著高于叶浸提液处理。可见,小蓬草根浸提液对观赏油菜、波斯菊幼苗 MDA 含量影响比叶浸提液更明显,对细胞膜损伤更为严重;小蓬草根、叶浸提液对观赏油菜 MDA 含量的影响比波斯菊更明显,但观赏油菜幼苗对细胞膜脂过氧化具有更强的耐受性,较波斯菊具有更强的适应性。

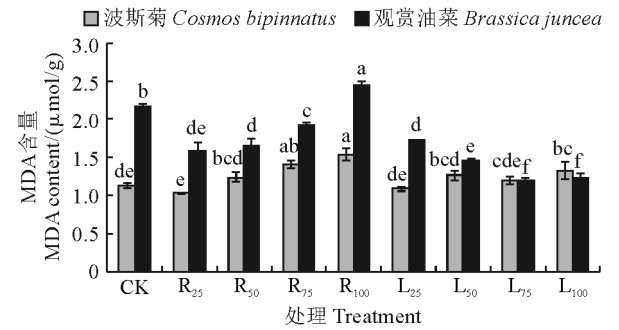


图3 小蓬草根、叶浸提液处理下 2 种花卉
丙二醛含量的变化
Fig. 3 The MDA content of two flowers plants under
extracts from roots and leaves of *C. canadensis*

3 讨论

3.1 2 种花卉种子萌发和幼苗胚轴伸长对小蓬草浸提液的响应特征

化感作用是植物间相互作用的一种常见现象。化感作用的产生必须使化感物质达到某一浓度,低于这一浓度时植物的生长不会受到影响,甚至低浓度的化感物质会促进植物生长^[22]。杨晓^[23]发现不

同浓度的加拿大蓬浸提液对白菜、茼蒿、玉米等 14 种植物种子的萌发具有明显的抑制作用,致使其发芽率降低。在本研究中,随着小蓬草浸提液浓度的增大,波斯菊和观赏油菜的发芽率、发芽势和化感效应指数均表现出不同程度的降低,表明小蓬草浸提液对 2 种花卉种子萌发有明显抑制效果。肖春萍等^[24]发现加拿大蓬浸提液对小白菜、苦苣和胡萝卜种子的化感抑制作用随着浸提液浓度的增加而增强,且影响较为显著,这与本研究结果基本一致。小蓬草根、叶浸提液浓度为 25 g/L 时对波斯菊和观赏油菜发芽率的化感效应指数大于 0,对它们发芽初期表现出一定的‘低浓度促进高浓度抑制’现象。其原因一方面可能是低浓度下的化感物质有限,未能有效抑制这 2 种花卉种子的生长;另一方面,在低浓度处理下,浸提液中的一些营养物质可能对花卉种子的生长有利,这与马银山等^[25]的研究结果一致。在小蓬草各部位浸提液浓度升高至 100 g/L 时,2 种花卉种子萌发均受到明显抑制;处理组所测指标的化感效应指数均小于 0。同时,高浓度处理下小蓬草根部位浸提液的化感作用要显著低于叶部,这可能是小蓬草所含的生物碱在叶部的含量要远高于根部的含量,所以根部化感作用要小于叶部。化感综合效应表明,小蓬草的浸提液对波斯菊的化感抑制效果强于观赏油菜,原因可能是观赏油菜中含有某种特殊的物质对小蓬草有较好的耐受力,具体原因还需深入研究。2 种花卉植物对小蓬草不同部位、不同浓度浸提液的化感耐受力表现出一定的差异性,小蓬草同一部位、相同浓度浸提液对 2 种花卉种子及幼苗化感作用也不同,可能是小蓬草的化感作用具有品种间差异性、物种选择性及浓度效应。

植物的化感作用也会影响受体植物幼苗的生长,鲍红春等^[26]研究发现,沙芥水浸提液抑制了白菜幼苗上、下胚轴的生长,且对下胚轴的抑制大于上胚轴。加拿大蓬浸提液对甜白菜和观赏油菜幼苗的生长表现出低浓度促进、高浓度抑制的化感作用^[27]。本研究中小蓬草浸提液对波斯菊的上胚轴和观赏油菜的下胚轴均表现为抑制作用,而在低浓度下对波斯菊的下胚轴和观赏油菜的上胚轴有促进作用。王杰等^[28]研究表明,铁杆蒿浸提液对伴生种以及自身种子萌发的影响差异显著,总体表现为低促高抑的效应,且对根的抑制作用强于芽。这与本研究中小蓬草浸提液对波斯菊、观赏油菜的下胚轴生长抑制大于上胚轴的结果相一致。推推测在幼苗时期由于幼苗的根部直接与小蓬草浸提液接触,所以受到的影响更大。

3.2 2 种花卉幼苗抗氧化酶活性和丙二醛含量对小蓬草浸提液的响应特征

植物在遭受逆境胁迫时,由于受到活性氧(ROS)的毒害会发生细胞膜脂过氧化作用,其产物 MDA 会严重损伤细胞膜系统^[29-30],MDA 含量可作为植物细胞膜上膜脂受氧化伤害程度的重要指标,最直观反映植物所受胁迫程度^[31]。SOD、POD 和 CAT 等 3 种抗氧化酶是植物 ROS 清除系统的重要组成部分,三者相互协调、共同作用可以有效防止活性氧引起的膜脂过氧化对细胞造成伤害,其活性的高低可反映植物受伤害程度^[32-33]。本研究中 2 种花卉幼苗的 MDA 含量均随小蓬草浸提液浓度的升高而增加,表明其膜系统受损情况逐渐加重,细胞膜透性增强,主要原因可能是植物在逆境环境下,体内产生过多的氧化产物而激活自身的一种应激机制,促使机体提高抗氧化能力;同时,随着 2 种浸提液浓度的升高,2 种花卉幼苗的抗氧化酶活性逐渐增加,从而清除过量的活性氧,使自身代谢水平保持平衡,进而提高植物的抗逆性。然而,当小蓬草的浸提液浓度达到 100 g/L 时,2 种花卉幼苗自身的抗氧化活性达到极限,随着化感胁迫程度的增加,化感抑制作用高于 2 种花卉幼苗的耐受阈值,各种抗氧化酶活性降低,从而抑制 2 种花卉的生长^[34]。

本研究结果表明,观赏油菜的 SOD 活性在根、叶 2 种浸提液浓度为 50 g/L 时达到最大,波斯菊的 SOD 活性在根浸提液浓度为 50 g/L 或者叶浸提液浓度为 25 g/L 时达到最大,在浸提液浓度为 75 g/L 时显著下降;2 种花卉幼苗的 POD、CAT 活性在浸提液处理下均增加,但浓度达到一定值时开始下降。与对照相比,观赏油菜幼苗的 SOD 活性在 2 种浸提液处理下显著升高,其 POD 活性在叶浸提液处理下也显著升高,其 CAT 活性在根、叶浸提液浓度为 75 g/L 时显著升高。观赏油菜的抗氧化活性整体高于波斯菊,这可能是由于观赏油菜含有某类挥发性次级代谢物质^[35],如单萜类^[36-37]等,能够抵御外界的化感胁迫,及时有效地清除细胞内的活性氧,降低化感物质对细胞的损坏,从而保证观赏油菜的正常生长。化感作用机理复杂多样,后续研究应分析观赏油菜种皮及幼苗中可能含有的次级代谢产物,验证各功能成分在抑制化感效应中的作用。

4 结 论

本研究证实了小蓬草浸提液对波斯菊和观赏油菜 2 种花卉种子萌发存在化感作用,不同部位不同

浓度的浸提液对2种花卉种子萌发和幼苗生长化感作用强度不同,整体呈“低促高抑”的化感效应。在不同浓度小蓬草浸提液处理下,观赏油菜幼苗清除活性氧的能力高于波斯菊,显示观赏油菜较波斯菊具有更强的环境适应性。为了进一步明确小蓬草的

化感作用机制,今后需对其化感物质种类及相关的化感物质进行分离与鉴定。在大规模种植波斯菊、观赏油菜2种花卉时,应尽量避免小蓬草危害严重的地块或者采用耕作措施彻底清除杂草,并在花卉生长过程中加强除草等管理措施,保证其正常生长。

参考文献:

[1] 陈 锋,孟永杰,帅海威,等. 植物化感物质对种子萌发的影响及其生态学意义[J]. 中国生态农业学报, 2017, **25**(1): 36-46.
CHEN F, MENG Y J, SHUAI H W, *et al.* Effect of plant allelochemicals on seed germination and its ecological significance[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, **25**(1): 36-46.

[2] 梁 军,全小龙,张杰雪,等. 3种禾草水提取液对其种子发芽和幼苗生长的潜在化感作用[J]. 草业学报, 2020, **29**(7): 81-89.
LIANG J, QUAN X L, ZHANG J X, *et al.* Potential allelopathic effects of water extracts of three grasses on germination of their own seeds and seedling growth[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, **29**(7): 81-89.

[3] 曾 凯,刘 琳,蔡义民,等. 高寒沙化草地中先锋灌木根系水浸提液对4种高原牧草的化感效应分析[J]. 西北植物学报, 2017, **37**(7): 1 312-1 322.
ZENG K, LIU L, CAI Y M, *et al.* Allelopathy of the root aqueous extracts of pioneer shrub species on alpine forage species in the restoration course of the alpine desertification meadow[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2017, **37**(7): 1 312-1 322.

[4] 蒋智林,杨丽萍,申 科,等. 4种菊科入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子萌发的化感作用[J]. 西南农业学报, 2020, **33**(12): 2 943-2 947.
JIANG Z L, YANG L P, SHEN K, *et al.* Allopathic effects of aqueous extracts from leaves of four invasive compositae plants on seed germination of *Cynodon dactylon*[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2020, **33**(12): 2 943-2 947.

[5] 李金鑫,叶俊伟,刘大会. 巴茅草水浸提液对3种作物种子萌发及幼苗生长的化感作用[J]. 应用生态学报, 2020, **31**(7): 2 219-2 226.
LI J X, YE J W, LIU D H. Allelopathic effects of *Miscanthus floridulus* on seed germination and seedling growth of three crops[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, **31**(7): 2 219-2 226.

[6] 田发军,赵欢欢,赵俊俊,等. 小飞蓬化学成分及生物活性研究进展[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2013, **41**(6): 12-17.
TIAN F J, ZHAO H H, ZHAO J J, *et al.* Advances in chemical composition and biological activity of *Conyza canadensis*[J]. *Journal of Henan Institute of Science and Technology* (Natural Science Edition), 2013, **41**(6): 12-17.

[7] 刘姗姗. 小蓬草(*Conyza canadensis*)精油的除草活性组分研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011: 1-5.

[8] 诸葛晓龙,朱 敏,季 璐,等. 入侵杂草小飞蓬和钻形紫菀种子风传扩散生物学特性研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, **30**(10): 1 978-1 984.
ZHUGE X L, ZHU M, JI L, *et al.* The influence of plant traits on seed wind dispersal of two invasive weeds, *Conyza canadensis* and *Aster subulatus* [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, **30**(10): 1 978-1 984.

[9] HAYET E, MAHA M, SAMIA A, *et al.* Antibacterial, antioxidant and cytotoxic activities of extracts of *Conyza canadensis* (L.) Cronquist growing in Tunisia [J]. *Medicinal Chemistry Research*, 2009, **18**(6): 447-454.

[10] 邵百惠,凌利宏,夏得月. 有机农业生产中的杂草防治措施[J]. 现代农业科技, 2019(17): 133-134.
SHAO B H, LING L H, XIA D Y. Weed control measures in organic agriculture production[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019(17): 133-134.

[11] 张 俊,刘 娟,臧秀旺,等. 花生田常见杂草防治措施及展望[J]. 江苏农业科学, 2016, **44**(1): 141-145.
ZHANG J, LIU J, ZANG X W, *et al.* Control measures and prospect of common weeds in peanut field[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, **44**(1): 141-145.

[12] 许桂芳,刘明久,晁慧娟. 入侵植物小蓬草化感作用研究[J]. 西北农业学报, 2007(3): 215-218.
XU G F, LIU M J, CHAO H J. Study on allelopathy of the invasive plant *Conyza canadensis*[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2007(3): 215-218.

[13] 杨 莉,韩 梅,肖春萍,等. 入侵种加拿大蓬对玉米的化感潜力及机制研究[J]. 华南农业大学学报, 2011, **32**(4): 1-5.
YANG L, HAN M, XIAO C P, *et al.* Allelopathic potential and mechanism of *Erigeron canadensis* on maize[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2011, **32**(4): 1-5.

[14] 李文红,张朝显,曹 丹. 6种杂草水浸提液对水稻种子发芽和幼苗生长的影响[J]. 杂草学报, 2018, **36**(1): 25-30.
LI W H, ZHANG C X, CAO D. Effects of water extracts from six weeds associated with wheat on seed germination and seedling growth of rice[J]. *Journal of Weed Science*, 2018, **36**(1): 25-30.

[15] 曾任森. 化感作用研究中的生物测定方法综述[J]. 应用生态学报, 1999, **10**(1): 123-126.
ZENG R S. Review of bioassay methods in allelopathy research[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(1): 123-126.

[16] RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1998, **14**(1): 181-187.

[17] 马瑞君,王明理,赵 坤,等. 高寒草场优势杂草黄帚橐吾水浸液对牧草的化感作用[J]. 应用生态学报, 2006, **17**(5): 845-850.
MA R J, WANG M L, ZHAO K, *et al.* Allelopathy of aqueous extract from *Ligularia virgaurea*, a dominant weed in psychro-grassland, on pasture plants[J]. *Chinese Journal*

of *Applied Ecology*, 2006, **17**(5): 845-850.

[18] 赵世杰, 苍 晶. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.

[19] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[20] 高宗宣, 胡晓倩. 不同因素对黄山贡菊叶中过氧化氢酶活性的影响[J]. 资源开发与市场, 2012, **28**(3): 199-202.

GAO Z X, HU X Q. Effect of different factor treatments on catalase activity of leaves from *Dendranthema morifolium* cv. Gongju [J]. *Resource Development & Market*, 2012, **28**(3): 199-202.

[21] 李 璇, 王 升, 岳 红, 等. 不同 pH 值和酶提取体系对丹参抗氧化酶活性的影响[J]. 中国现代中药, 2011, **13**(12): 46-49.

LI X, WANG S, YUE H, *et al.* Effect of different pH and enzyme extraction system on the activity of the antioxidant enzymes system in *Salvia miltiorrhiza* [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2011, **13**(12): 46-49.

[22] 师小平, 陈银萍, 闫志强, 等. 植物化感作用研究进展[J]. 生物技术通报, 2020, **36**(6): 35-42.

SHI X P, CHEN Y P, YAN Z Q, *et al.* Research progress on plant allelopathy [J]. *Biotechnology Bulletin*, 2020, **36**(6): 35-42.

[23] 杨 骁. 加拿大蓬水浸提液对植物种子萌发的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, **40**(4): 1 983-1 986.

YANG X. Effects of water extract of *Erigeron canadensis* L. on seed germination [J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2012, **40**(4): 1 983-1 986.

[24] 肖春萍, 刘 博, 杨 莉, 等. 加拿大蓬种子生态适应性及其化感作用[J]. 吉林农业大学学报, 2011, **33**(5): 527-531.

XIAO C P, LIU B, YANG L, *et al.* Study on ecological adaptability and allelopathy of *Erigeron canadensis* seeds [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2011, **33**(5): 527-531.

[25] 马银山, 常 妍, 王含睿, 等. 天仙子种子浸提液对黑麦草种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 草地学报, 2021, **29**(8): 1 697-1 703.

MA Y S, CHANG Y, WANG H R, *et al.* The allelopathy of *Hyoscyamus niger* seed extract on seed germination and seedling growth of *Lolium perenne* [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, **29**(8): 1 697-1 703.

[26] 鲍红春, 郝丽珍, 张凤兰, 等. 沙芥水浸提液对白菜种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 植物生理学报, 2015, **51**(7): 1 109-1 116.

BAO H C, HAO L Z, ZHANG F L, *et al.* Allelopathic effects of aqueous extracts of *Pugionium cornutum* on seed germination and seedling growth of cabbage [J]. *Plant Physiology Journal*, 2015, **51**(7): 1 109-1 116.

[27] 江贵波, 李素卿, 魏旭红. 加拿大蓬水浸提液对甜白菜和油菜幼苗化感作用[J]. 长江蔬菜, 2011(6): 35-37.

JIANG G B, LI S Q, WEI X H. Effect of allelopathy of *Conyza canadensis* L. water extract on seedling growth of sweet cabbage and *Brassica chinensis* L. [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2011(6): 35-37.

[28] 王 杰, 张 超, 刘国彬, 等. 黄土丘陵区退耕还草植被恢复阶段优势种铁杆蒿的化感效应[J]. 生态学报, 2018, **38**(19): 6 857-6 869.

WANG J, ZHANG C, LIU G B, *et al.* The allelopathic effect of dominant population ‘*Artemisia sacrorum*’ during the stage of “Grain for Green” vegetation restoration in the hilly-gully region of the Loess Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(19): 6 857-6 869.

[29] 李寿田, 周健民, 王火焰, 等. 植物化感作用研究概况[J]. 中国生态农业学报, 2002, **10**(4): 68-70.

LI S T, ZHOU J M, WANG H Y, *et al.* Research surveys of allelopathy in plants [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2002, **10**(4): 68-70.

[30] 刘凯洋, 邱智军, 张巧明, 等. 丛枝菌根真菌对种胁迫下棉花根系形态和生理特征的影响[J]. 西北植物学报, 2021, **41**(7): 1 188-1 198.

LIU K Y, QIU Z J, ZHANG Q M, *et al.* Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on root morphological and physiological characteristics of cotton under arsenic stress [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, **41**(7): 1 188-1 198.

[31] 吴绍军, 孟佳丽, 沈 虹, 等. 连作西瓜抗逆系统及土壤微生态对大蒜伴生的响应[J]. 西北植物学报, 2021, **41**(4): 635-642.

WU S J, MENG J L, SHEN H, *et al.* Responses of continuous cropping watermelon resistance system and soil micro-ecology to associative garlic [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, **41**(4): 635-642.

[32] 张如义, 熊朝勇, 王仕林, 等. 油菜生长过程对核桃凋落叶化感作用的响应[J]. 西北林学院学报, 2020, **35**(5): 126-133.

ZHANG R Y, XIONG Z Y, WANG S L, *et al.* Responses of physiological process of rape to the allelopathy of walnut leaf litters [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2020, **35**(5): 126-133.

[33] WEIWEI, HUANG. Allelopathic effects of *Cinnamomum septentrionale* leaf litter on *Eucalyptus grandis* saplings [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020, **21**: e00872.

[34] 侯林林, 张文娥, 李 菲, 等. 铁核桃根与叶水浸提液对果园间作绿肥植物的化感作用及其生理机制[J]. 西北植物学报, 2018, **38**(4): 713-722.

HOU L L, ZHANG W E, LI F, *et al.* Allelopathic comparison and physiological mechanism of aqueous extract from *Juglans sigillata* Dode. root and leaf on orchard intercropping green manure plants [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, **38**(4): 713-722.

[35] XIE Y Q, TIAN L B, HAN X, *et al.* Research advances in allelopathy of volatile organic compounds (VOCs) of plants [J]. *Horticulturae*, 2021, **7**(9): 278.

[36] MACÍAS F A, MOLINILLO J M, VARELA R M, *et al.* Allelopathy: A natural alternative for weed control [J]. *Pest Management Science*, 2007, **63**(4): 327-348.

[37] ISHII-IWAMOTO E L, COELHO E M P, REIS B, *et al.* Effects of monoterpenes on physiological processes during seed germination and seedling growth [J]. *Current Bioactive Compounds*, 2012, **8**(1): 50-64.