西北农业学报 2023,32(11):1736-1744
Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica

doi:10.7606/j.issn.1004-1389.2023.11.007
https://doi.org/10.7606/j.issn.1004-1389.2023.11.007

入侵植物三叶鬼针草对4种果树叶片浸提液的化感及其自感响应

单春燕[1],陈志远[1],王柳洁[1],张 曼[1],于海静[1],
江路雨[1],李玉英[2],李百炼[3,4],张龙冲[1,2]

(1.河南农业大学 林学院,郑州 450000;2.河南省软籽石榴工程研究中心,河南南阳 473000;3.河南省南水北调中线水源区流域生态安全国际联合实验室,河南南阳 473061;4.加州大学 河滨分校环境科学系,美国河滨 CA92521)

摘 要 为探究4种常见果树核桃(*Juglans regia*)、桃(*Amygdalus persica*)、石榴(*Punica granatum*)、柿(*Diospyros kaki*)叶片及入侵植物三叶鬼针草(*Bidens pilosa*)植株(地上部分)对三叶鬼针草的化感作用,采用生物测定法,研究4种果树叶片及三叶鬼针草植株浸提液在4个质量浓度(0、0.005、0.025、0.05 g·mL^{-1})梯度下对三叶鬼针草种子萌发与幼苗生长的影响。结果表明,石榴叶浸提液各质量浓度对受体植物三叶鬼针草种子萌发具有不同程度的抑制作用,且抑制作用具有浓度效应,而对其幼苗生长的化感效应则表现为"低促高抑";三叶鬼针草种子的发芽指数、发芽势、幼苗根长受到高质量浓度(0.05 g·mL^{-1})柿叶、核桃叶、三叶鬼针草、桃叶浸提液的抑制;除0.05 g·mL^{-1}高质量浓度的石榴叶浸提液外,其他质量浓度的各树种叶浸提液均对三叶鬼针草幼苗鲜质量和干质量产生促进作用或不显著抑制作用。通过综合化感效应值分析可知,三叶鬼针草种子萌发与幼苗生长对5种供体植物浸提液化感作用的敏感度依次为:桃叶>石榴叶>柿叶>三叶鬼针草>核桃叶。总体来看,5种供体植物浸提液中含有干扰三叶鬼针草种子萌发与幼苗生长的化感物质,但效应因浸提液浓度、化感物质种类、受体植物的不同生长阶段和不同部位而异。相比较而言,桃叶和石榴叶浸提液对受体植物的综合抑制作用较强,在三叶鬼针草防治上具有较大的开发利用潜力。

关键词 三叶鬼针草;果树叶片;水浸提液;化感作用;种子萌发;幼苗生长

植物在长期的进化过程中会通过化感作用保持自身对生存资源的竞争优势[1],化感作用是指植物(包括微生物)在其生长过程中会产生化学物质,这些化学物质通过自然挥发、根系分泌、雨雾淋溶以及植株腐解4种方式进入环境,从而对其他植物或自身产生有利或者不利影响的现象[1-3],植物释放的化感物质广泛存在于植物的茎叶、根系等器官之中[4-5]。

外来入侵植物危害日益严重,其会与本土植物竞争生存资源,抢占本土植物生态位,进而破坏当地生态系统的结构和功能,威胁生物多样性[6-7]。三叶鬼针草是一种入侵性极强的入侵植物[8],属于菊科鬼针草属1 a生草本植物,以种子繁殖为主,具有生命周期短、生态适应性强、结实率高且易于传播、萌发率高、繁殖速度快、能在恶劣环境中繁殖和存活等特点。三叶鬼针草植株中含有黄酮类、酚类等有效成分,其中黄酮类是其主要活性成分[9]。目前关于三叶鬼针草的研究主要包括,将其作为超富集植物修复遭受重金属镉污染的土壤[10-12],作为药材在临床应用中与其他中药配合应用[13],作为动物的饲草资源[14]等,另外三叶鬼针草作为一种入侵植物也受到了广泛关注[15-16]。核桃、桃、石榴、柿树是中国重要的经济树种,已有研究发现核桃树的根、叶片等器官中存在可以影响多种植物生长的胡桃醌、酚类等化感物质,高剂量的核桃凋落叶对滇重楼生长产生了强烈的化感作用[17-18];桃叶中含有黄酮等化学物质[19];石榴叶中含有总酚、鞣质、总黄酮、鞣花酸等有效成分[20];柿叶中含有单宁,是一种存在于植物中的水溶性多酚类物质[21]。原慧芳等[22]研

收稿日期:2022-05-01 **修回日期**:2022-07-09
基金项目:国家自然科学基金(31400367);国家高等学校学科创新引智基地项目(D23015);河南省重点研发专项(221111520600);国家级大学生创新创业训练计划项目(202110466019)。
第一作者:单春燕,女,硕士研究生,从事林草复合经营研究。E-mail:scy_chunyan@163.com
通信作者:张龙冲,男,博士,硕士生导师,主要从事湿地生态及恢复生态学研究。E-mail:zhanglch11@163.com

究表明柿树叶片具有化感潜力，柿树叶片浸提液显著抑制萝卜、小麦、绿豆种子发芽和幼苗生长。

有研究表明，可以利用植物之间的化感作用实现田间杂草、外来入侵植物的生物防治[21-23]。目前关于探究果树对入侵植物三叶鬼针草种子萌发与幼苗生长的化感作用以及三叶鬼针草自身自毒效应的研究较少，本试验从化感作用的角度出发，以 4 种本地常见果树（核桃、桃、石榴、柿）即将凋落的叶片及三叶鬼针草地上部分植株为研究对象，探究核桃、桃、石榴、柿的叶及三叶鬼针草地上部分植株浸提液对三叶鬼针草种子萌发和幼苗生长的化感效应，为防治三叶鬼针草入侵，利用果树叶片资源开发新的生物除草剂提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

核桃、桃、柿、石榴树即将凋落的叶片和三叶鬼针草植株（地上部分）以及三叶鬼针草种子均于 2020 年 9 月－11 月采自于河南农业大学林木种苗繁育中心园内，该基地地处东经 112°42′～114°13′，北纬 34°16′～34°58′。

1.2　浸提液配制

用蒸馏水洗去采集的供体材料叶片表面灰尘，放在室温下阴干备用，将阴干的植物叶片放在打粉机中打磨成粉末，每种植物叶片粉末分别称取 50 g 置于锥形瓶中，分别往锥形瓶中加入 1 000 mL 的蒸馏水，常温下浸泡 24 h，在常温条件下用摇床 120 r·min^{-1} 水浴振荡浸提 48 h，分别取各上清液用双层滤纸过滤两次得到质量浓度为 0.05 g·mL^{-1} 的母液，取各植物叶片浸提液部分母液加蒸馏水分别稀释至质量浓度为 0.005、0.025 g·mL^{-1}，放置于 4 ℃冰箱中冷藏备用[24]。

1.3　发芽试验

采用培养皿滤纸法进行种子萌发试验，选取 50 粒健康、籽粒饱满的三叶鬼针草种子置于铺有两层滤纸的培养皿中，分别加入 0.005、0.025 和 0.05 g·mL^{-1} 的浸提液 10 mL，对照组加等量蒸馏水，每种处理 3 个重复。所有培养皿放于 15 ℃、80%湿度、光周期 12 h 的光照培养箱中培养，萌发过程中若出现缺水，适时加入相应质量浓度的浸提液或蒸馏水补充，以滤纸始终保持湿润为度，种子发芽的标准是胚根突破种皮 1～2 mm[25]。

1.4　指标测定

每天同一时间记录每个培养皿中发芽的种子数，连续 5 d 无萌发即视为发芽结束，最后分别计算种子的发芽率（germination rate，GR）、发芽指数（germination index，GI）、发芽势（germination potential，GP）、化感作用效应指数（response index，RI），从每个培养皿中随机挑选 20 株幼苗测量其芽长和根长，并计算根长与芽长的根冠比[25]，使用万分之一天平测量胚芽与胚根的鲜、干质量。

发芽率＝发芽种子数/供试种子数×100%

发芽指数＝$\sum(G_t/D_t)$（G_t：在 t 天内的发芽数，D_t：第 t 天）

发芽势＝第 4 天发芽种子数/供试种子 数×100%

参照史生晶等[15]的计算公式，C 为对照值，T 为处理值，各测试指标中 T≥C 时，RI＝1－C/T；T＜C 时，RI＝T/C－1 式中。RI 表示化感作用强度，RI＞0 时表示促进作用，RI＜0 时表示抑制作用，其绝对值的大小反映化感作用的强弱。综合化感效应（SE）用供体同一处理下对同一受体各测试指标化感效应指数（RI）的算术平均值进行评价，即综合化感效应指数用发芽率、发芽指数、发芽势、胚芽长度、胚根长度、胚芽和胚根的长度根冠比、胚芽鲜质量、胚根鲜质量、胚芽干质量、胚根干质量 10 个指标化感效应指数的平均值表示。

1.5　数据处理

利用 SPSS 25.0 和 Excel 2010 对数据进行分析与处理，采用单因素方差分析法分析不同植物的不同质量浓度浸提液对三叶鬼针草种子萌发和幼苗生长各指标的影响差异，试验数据以“平均值±标准误差”表示，P＜0.05 为差异性评判标准，对满足正态分布的数据使用 LSD 法进行多重比较，对少数不满足正态分布的数据使用非参数 Kruskal-Wallis 法进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　5 种浸提液对三叶鬼针草种子发芽率的影响

如表 1 所示，在 0～0.05 g·mL^{-1} 质量浓度浸提液处理下，柿叶、核桃叶、三叶鬼针草植株浸提液对受体植物种子发芽率均无显著影响（P＞0.05），其种子萌发率均在 97%以上。石榴叶、桃叶浸提液在 0～0.025 g·mL^{-1} 质量浓度范围内

对受体植物种子的发芽率亦无显著影响($P>0.05$),而在 0.05 g·mL^{-1} 石榴叶和桃叶浸提液处理下,三叶鬼针草种子的发芽率显著低于对照组($P<0.05$),其种子发芽率分别为 70.00% 和 21.34%,化感效应指数分别为 −0.291 和 −0.79。综合分析表明,5 种浸提液对三叶鬼针草种子发芽率影响不大,仅高质量浓度(0.05 g·mL^{-1})下桃叶、石榴叶浸提液对三叶鬼针草种子发芽率具有显著抑制作用,其他均无显著影响。

表 1 5 种浸提液处理下三叶鬼针草种子的发芽率

Table 1 Germination rate of *Bidens pilosa* seeds under five kinds of extracts

质量浓度/(g·mL^{-1}) Mass concentration	柿叶 *Diospyros kaki* leaf		核桃叶 *Juglans regia* leaf		桃叶 *Amygdalus persica* leaf		三叶鬼针草 *Bidens pilosa*		石榴叶 *Punica granatum* leaf	
	GR/%	RI	GR/%	RI	GR/%	RI	GR/%	RI	GR/%	RI
0	98.67±2.31 a		98.67±2.31 a		98.67±2.31 a		98.67±2.31 a		98.67±2.31 a	
0.005	100.00±0.00 a	0.013	100.00±0.00 a	0.013	100.00±0.00 a	0.01	100.00±0.00 a	0.014	96.67±1.16 a	−0.020
0.025	99.34±1.16 a	0.007	100.00±0.00 a	0.013	100.00±0.00 a	0.00	97.34±2.31 a	−0.014	96.00±5.30 a	−0.027
0.05	100.00±0.00 a	0.013	98.00±3.47 a	−0.010	21.34±1.16 b	−0.79	97.34±2.31 a	−0.014	70.00±2.00 b	−0.291

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters within the same columns indicate significant differences at the 0.05 level, the same below.

2.2 5 种浸提液对三叶鬼针草种子发芽指数的影响

由表 2 可见,0.025、0.05 g·mL^{-1} 质量浓度下的 5 种浸提液对三叶鬼针草种子发芽指数均有显著的抑制作用,其发芽指数均显著低于对照组($P<0.05$),尤其在不同质量浓度石榴叶浸提液处理下,三叶鬼针草种子发芽指数均受到抑制作用,且具有显著的浓度效应。在柿叶、核桃叶、桃叶、三叶鬼针草、石榴叶浸提液处理下的三叶鬼针草种子发芽指数分别在 10.41~28.47、12.89~28.86、1.25~24.28、13.28~28.25、6.66~21.16,对照组发芽指数为 25.720。综合分析认为,5 种浸提液对三叶鬼针草种子发芽指数的影响较大,其抑制作用强弱顺序依次为:桃叶>石榴叶>柿叶>核桃叶>三叶鬼针草。

表 2 5 种浸提液处理下三叶鬼针草种子的发芽指数

Table 2 Germination index of *Bidens pilosa* seeds under five kinds of extracts

质量浓度/(g·mL^{-1}) Mass concentration	柿叶 *Diospyros kaki* leaf		核桃叶 *Juglans regia* leaf		桃叶 *Amygdalus persica* leaf		三叶鬼针草 *Bidens pilosa*		石榴叶 *Punica granatum* leaf	
	GI	RI	GI	RI	GI	RI	GI	RI	GI	RI
0	25.72±2.12 a		25.72±2.12 a		25.72±2.12 a		25.72±2.12 a		25.72±2.12 a	
0.005	28.47±2.63 a	0.096	28.86±2.02 a	0.109	24.28±0.13 a	−0.060	28.25±2.01 a	0.089	21.16±1.26 b	−0.177
0.025	14.14±0.56 b	−0.451	14.55±0.29 b	−0.435	12.97±0.34 b	−0.500	16.66±0.28 b	−0.353	13.00±0.91 c	−0.494
0.05	10.41±0.93 c	−0.596	12.89±1.13 b	−0.499	1.25±0.13 c	−0.950	13.28±0.33 c	−0.484	6.66±0.29 d	−0.741

2.3 5 种浸提液对三叶鬼针草种子发芽势的影响

表 3 显示,在柿叶、核桃叶、桃叶、石榴叶浸提液 0.05 g·mL^{-1} 质量浓度处理下,三叶鬼针草种子的发芽势显著低于对照组($P<0.05$),尤其在桃叶浸提液下被完全抑制,这表明三叶鬼针草种子萌发的时间进程与集中程度在该质量浓度处理下受到显著抑制;在柿叶、核桃叶、桃叶、三叶鬼针草、石榴叶浸提液不同质量浓度处理下的三叶鬼针草种子发芽势分别为 54.67%~99.34%、87.34%~97.34%、0.02%~100.00%、95.34%~100.00%、37.34%~96.00%,对照组发芽势为 98.67%。综合分析认为,三叶鬼针草种子发芽势对桃叶水提物最敏感,其次是石榴叶水提物。

2.4 5 种浸提液对三叶鬼针草幼苗芽长、根长、根冠比的影响

表 4 表明,三叶鬼针草幼苗芽长在柿叶、核桃叶、桃叶、石榴叶浸提液下受到的化感作用均呈现出“低促高抑”双重浓度效应,而其根长与根冠比在柿叶、核桃叶、三叶鬼针草、桃叶浸提液下则受到不同程度的抑制作用,且抑制作用具有浓度效应。三叶鬼针草浸提液对自身幼苗芽长具有促进作用,尤其在较低质量浓度下促进效应明显

($P<0.05$)。在高质量浓度(0.05 g · mL^{-1})柿叶、核桃叶、桃叶、石榴叶浸提液处理下，三叶鬼针草幼苗芽长和根长显著低于对照组($P<0.05$)，尤其石榴叶浸提液对三叶鬼针草幼苗芽长和根长的抑制作用最强，其化感作用效应指数分别为−0.565、−0.665，但同一质量浓度下对三叶鬼针草幼苗根冠比抑制效应最显著的是桃叶浸提液。

表 3　5 种浸提液处理下三叶鬼针草种子的发芽势

Table 3　Germination potential of *Bidens pilosa* seeds under five kinds of extracts

质量浓度/(g · mL^{-1}) Mass concentration	柿叶 *Diospyros kaki* leaf		核桃叶 *Juglans regia* leaf		桃叶 *Amygdalus persica* leaf		三叶鬼针草 *Bidens pilosa*		石榴叶 *Punica granatum* leaf	
	GP/%	RI	GP/%	RI	GP/%	RI	GP/%	RI	GP/%	RI
0	98.67±2.31 a		98.67±2.31 a		98.67±2.31 a		98.67±2.31 a		98.67±2.31 a	
0.005	99.34±1.16 a	0.007	97.34±1.16 a	−0.014	100.00±0.00 a	0.010	100.00±0.00 a	0.013	96.00±0.00 a	−0.020
0.025	96.67±4.17 a	−0.020	94.67±4.62 ab	−0.041	91.34±2.31 b	−0.070	97.34±2.31 a	−0.014	93.34±6.12 a	−0.027
0.05	54.67±19.43 b	−0.446	87.34±8.09 b	−0.115	0.02±0.02 c	−1.000	95.34±1.16 a	−0.034	37.34±6.43 b	−0.291

表 4　5 种浸提液处理下三叶鬼针草幼苗的芽长、根长、长度根冠比

Table 4　Bud length, root length and length root-shoot ratio of *Bidens pilosa* seedlings under five kinds of extracts

果树 Fruit tree	质量浓度/(g · mL^{-1}) Mass concentration	芽长/mm Bud length	RI	根长/mm Root length	RI	长度根冠比 Length root-shoot ratio	RI
柿叶 *Diospyros kaki* leaf	0	29.43±4.10 ab		20.62±3.05 a		0.72±0.18 a	
	0.005	34.97±2.56 a	0.158	19.04±0.54 ab	−0.077	0.55±0.05 ab	−0.219
	0.025	36.44±2.50 a	0.192	15.84±0.81 b	−0.232	0.44±0.01 b	−0.379
	0.05	22.76±9.35 b	−0.227	10.34±3.47 c	−0.499	0.47±0.01 b	−0.333
核桃叶 *Juglans regia* leaf	0	29.43±4.10 b		20.62±3.05 a		0.72±0.18 a	
	0.005	35.75±1.94 a	0.177	17.96±1.09 ab	−0.129	0.51±0.06 a	−0.280
	0.025	34.74±1.98 ab	0.153	16.33±1.24 b	−0.208	0.47±0.06 b	−0.326
	0.05	21.69±4.02 c	−0.263	13.01±2.15 b	−0.369	0.61±0.12 a	−0.130
桃叶 *Amygdalus persica* leaf	0	29.43±4.10 b		20.62±3.05 a		0.72±0.18 a	
	0.005	36.68±0.80 a	0.200	18.63±0.32 a	−0.10	0.51±0.01 b	−0.270
	0.025	28.87±4.89 b	−0.020	12.00±3.10 b	−0.42	0.41±0.04 b	−0.410
	0.05	18.08±2.75 c	−0.390	5.50±0.69 c	−0.73	0.31±0.04 c	−0.560
三叶鬼针草 *Bidens pilosa*	0	29.43±4.10 b		20.62±3.05 a		0.72±0.18 a	
	0.005	38.10±1.99 a	0.228	16.28±2.52 ab	−0.211	0.43±0.071 b	−0.389
	0.025	36.28±4.72 ab	0.189	14.41±2.19 b	−0.301	0.41±0.086 b	−0.425
	0.05	29.63±2.87 b	0.007	9.88±1.27 c	−0.521	0.34±0.045 b	−0.522
石榴叶 *Punica granatum* leaf	0	29.43±4.10 ab		20.62±3.05 a		0.72±0.18 ab	
	0.005	33.38±5.33 a	0.118	24.65±1.97 a	0.164	0.75±0.08 ab	0.052
	0.025	24.24±2.32 b	−0.176	20.94±2.41 a	0.015	0.88±0.17 a	0.189
	0.05	12.79±0.73 c	−0.565	6.91±0.68 b	−0.665	0.54±0.05 b	−0.229

2.5　5 种浸提液对三叶鬼针草幼苗质量的影响

从表 5 可看出，三叶鬼针草幼苗胚芽和胚根鲜质量在高质量浓度(0.05 g · mL^{-1})的石榴叶浸提液处理下受到显著抑制作用($P<0.05$)，其余不同质量浓度的不同供体植物浸提液对三叶鬼针草幼苗鲜质量、干质量均表现为促进作用或不显著抑制作用，尤其在质量浓度为 0.005 g · mL^{-1} 的 5 种浸提液下，三叶鬼针草幼苗胚芽

鲜质量均高于对照组，且差异显著($P<0.05$)。

2.6 5 种浸提液对三叶鬼针草种子萌发和幼苗生长的综合化感效应

如表 6 所示，三叶鬼针草种子萌发与幼苗生长受 5 种浸提液的综合化感影响均呈现出“低促高抑”的变化趋势，其中桃叶、三叶鬼针草植株浸提液浓度在 0.025 g·mL^{-1} 时就表现出抑制作用。在柿叶、核桃叶、桃叶、三叶鬼针草、石榴叶浸提液 0.05 g·mL^{-1} 质量浓度处理下，三叶鬼针草种子萌发与幼苗生长均受到较强的化感抑制作用，综合化感效应指数分别为－0.225、－0.099、－0.406、－0.110、－0.395，其在该质量浓度下综合化感效应指数的强弱表现为：桃叶＞石榴叶＞柿叶＞三叶鬼针草＞核桃叶。

表 5 5 种浸提液处理下三叶鬼针草幼苗的胚芽鲜质量、胚根鲜质量、胚芽干质量、胚根干质量

Table 5 Fresh mass of germ and radicle, dry mass of germ and radicle of *Bidens pilosa* seedlings under five kinds of extracts

果树 Fruit tree	质量浓度/(g·mL^{-1}) Mass concentration	胚芽鲜质量/mg Fresh mas of germ	RI	胚根鲜质量/mg Fresh mass of radicle	RI	胚芽干质量/mg Dry mass of germ	RI	胚根干质量/mg Dry mass of radicle	RI
柿叶 *Diospyros kaki* leaf	0	60.34±14.47 b		11.34±1.16 b		5.00±1.00 a		1.34±0.58 b	
	0.005	114.67±11.94 a	0.474	22.67±7.64 b	0.500	7.00±1.00 a	0.286	2.34±0.58 ab	0.429
	0.025	109.00±10.15 a	0.446	19.67±9.08 ab	0.424	5.67±1.16 a	0.118	2.67±0.58 a	0.500
	0.05	65.34±22.04 b	0.077	6.67±1.53 a	－0.412	6.00±2.00 a	0.167	1.34±0.58 b	0.000
核桃叶 *Juglans regia* leaf	0	60.34±14.47 b		11.34±1.16 b		5.00±1.00 a		1.34±0.58 b	
	0.005	118.00±9.17 a	0.489	22.00±8.19 ab	0.485	4.34±0.58 a	－0.133	2.00±0.00 ab	0.333
	0.025	106.00±10.82 a	0.431	25.34±7.58 a	0.553	5.67±1.16 a	0.118	2.67±0.58 ab	0.500
	0.05	65.34±9.87 b	0.077	9.67±2.09 b	－0.147	4.34±0.58 a	－0.133	3.34±1.53 a	0.600
桃叶 *Amygdalus persica* leaf	0	60.34±14.47 b		11.34±1.16 bc		5.00±1.00 ab		1.34±0.58 a	
	0.005	109.34±5.04 a	0.448	14.34±0.58 b	0.209	4.00±1.00 b	－0.200	1.34±0.58 a	0.000
	0.025	97.34±14.37 a	0.380	18.34±2.52 a	0.382	6.00±1.00 a	0.167	2.00±1.00 a	0.333
	0.05	59.67±13.58 b	－0.001	8.67±2.09 c	－0.235	6.00±1.00 a	0.167	2.34±1.53 a	0.429
三叶鬼针草 *Bidens pilosa*	0	60.34±14.47 c		11.34±1.16 b		5.00±1.00 a		1.34±0.58 b	
	0.005	114.34±7.51 a	0.472	13.34±1.53 ab	0.150	6.00±1.00 a	0.167	1.67±0.58 ab	0.200
	0.025	104.34±7.51 a	0.422	15.67±1.16 a	0.277	6.00±1.00 a	0.167	1.00±0.00b	－0.250
	0.05	81.34±8.09 b	0.258	10.34±3.52 b	－0.088	4.34±0.58 a	－0.133	2.34±0.58 a	0.429
石榴叶 *Punica granatum* leaf	0	60.34±14.47 b		11.34±1.16 b		5.00±1.00 ab		1.34±0.58 a	
	0.005	98.67±10.02 a	0.389	15.34±3.06 a	0.261	6.34±2.09 a	0.211	3.67±2.09 a	0.636
	0.025	72.34±8.09 b	0.166	15.00±1.00 ab	0.244	5.67±1.16 ab	0.118	2.34±1.53 a	0.429
	0.05	37.00±6.25 c	－0.387	7.00±2.00 c	－0.382	3.00±1.74 b	－0.400	1.34±0.58 a	0.000

表 6 5 种浸提液处理下三叶鬼针草种子萌发和幼苗生长的综合化感效应

Table 6 Allelopathic comprehensive effects of *Bidens pilosa* seed germination and seedling growth under five kinds of extracts

质量浓度/(g·mL^{-1}) Mass concentration	综合化感效应指数 Synthetical allelopathic index				
	柿叶 *Diospyros kaki* leaf	核桃叶 *Juglans regia* leaf	桃叶 *Amygdalus persica* leaf	三叶鬼针草 *Bidens pilosa*	石榴叶 *Punica granatum* leaf
0.005	0.167	0.105	0.025	0.073	0.161
0.025	0.061	0.076	－0.016	－0.030	0.044
0.05	－0.225	－0.099	－0.406	－0.110	－0.395

3　讨 论

种子萌发对入侵种群个体的定居、繁衍、扩散等起着非常重要的作用[15]，它是单向且不可逆转的，而幼苗生长直接影响着植株对资源的竞争力，植物间化感作用通过影响植物种子萌发及幼苗生长进而影响种群建成[9]。本研究表明，5 种供体植物浸提液中均含有干扰三叶鬼针草种子萌发与幼苗生长的化感物质，但效应因浸提液浓度、化感物质种类、受体植物的不同生长阶段及不同部位而异。

3.1　5 种浸提液对三叶鬼针草种子萌发的影响

总的来说，本研究中当 5 种浸提液质量浓度低于 0.025 g · mL^{-1} 时，三叶鬼针草种子萌发对浸提液的化感作用有一定耐受性，在萌发过程中能够抵御一定的化感干扰，这也可能是三叶鬼针草入侵性较强的一个因素[26]。4 种果树叶浸提液在高质量浓度（0.05 g · mL^{-1}）时对三叶鬼针草发芽指数和发芽势均表现出抑制效应，且对发芽指数和发芽势的影响大于对发芽率的影响，说明其发芽指数与发芽势作为衡量化感作用的指标比发芽率更敏感，这与已有研究结果相似[27-29]。三叶鬼针草是典型的机会主义者，萌发条件适宜时种子就大量快速萌发从而侵占生境资源，这是其成为入侵植物的一个重要原因[26]，而高质量浓度（0.05 g · mL^{-1}）4 种果树叶浸提液导致其种子发芽集中程度降低，发芽时间延长，将可能会严重影响三叶鬼针草植物对资源的竞争能力。

对于具体供体植物而言，三叶鬼针草种子发芽指数在石榴叶浸提液处理下始终受到显著抑制作用，而其发芽率、发芽势仅在高质量浓度（0.05 g · mL^{-1}）时受到显著抑制作用，这与范丽花等[30]的研究结果相似。在浸提液 0.05 g · mL^{-1} 质量浓度下，桃叶浸提液对三叶鬼针草种子萌发的抑制作用最强，说明该质量浓度下受体植物种子对桃叶中的化感物质最敏感。

3.2　5 种浸提液对三叶鬼针草幼苗生长的影响

本研究发现，高质量浓度（0.05 g · mL^{-1}）的柿叶、核桃叶、桃叶、石榴叶浸提液均对三叶鬼针草幼苗芽长、根长、根冠比具有不同程度抑制作用，且同一浸提液对幼苗根长的抑制作用要强于芽长，说明同一受体植物的不同部位对同一化感物质敏感性不同[31]，可能与根系最先直接接触到浸提液环境中的化感物质，更容易也更快受到化感作用影响所致。Rice[32]研究发现化感物质会通过影响植物内源激素的合成与利用从而影响种子萌发与幼苗生长，进而对植株芽长和根长产生影响，本研究结果也可能与此有关。

在 5 种浸提液中，三叶鬼针草浸提液对其自身芽长、胚芽的鲜质量、干质量表现为促进作用，其对自身幼苗根长和根冠比则表现出不同程度的抑制作用，这与郑欣颖等[16]和王桔红等[33]研究结果相似，植物在遭受逆境胁迫时具有一定的耐受性和适应性，在应对不同生境时会采取不同的生物量分配策略[34]。从本研究结果可推测当三叶鬼针草种群密度高时，可能会通过自感作用抑制种内其他个体根系生长，将更多生物量分配到地上部分，甚至有可能会提高其在成熟阶段的有性繁殖投入，增强自身入侵性[3,35]。高质量浓度（0.05 g · mL^{-1}）下仅石榴叶和桃叶浸提液抑制三叶鬼针草幼苗胚芽和胚根鲜质量，且石榴叶浸提液抑制显著，说明三叶鬼针草幼苗生长对桃叶和石榴叶浸提液较敏感，同时也表明不同浸提液中的化感物质成分存在差异，同一受体植物在不同化感物质胁迫下的抗干扰能力不同[36]。

4　结 论

5 种供体植物浸提液对三叶鬼针草种子萌发与幼苗生长存在不同程度的化感效应，其中桃叶和石榴叶浸提液对三叶鬼针草种子萌发与幼苗生长的综合化感抑制作用较为明显，在开发成生物制剂治理三叶鬼针草具有较好的发展与应用前景。4 种果树叶片及三叶鬼针草地上部分植株对三叶鬼针草种子萌发与幼苗生长的化感作用还需要对浸提液进行成分分析以及结合大田试验进行进一步研究。

参考文献　Reference：

[1]　杨艳婷，杜宝红，石凤翎. 不同温度处理对扁蓿豆种子萌发的影响[J]. 种子，2020，39(12)：85-88.
YANG Y T，DU B H，SHI F L. Effects of different temperature treatments on seed germination of *Medicago ruthenica* [J]. *Seeds*，2020，39(12)：85-88.

[2]　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.

[3] 孔垂华.植物种间和种内的化学作用[J].应用生态学报,2020,31(7):2141-2150.
KONG CH H. Inter-specific and intra-specific chemical interactions among plants [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2020,31(7):2141-2150.

[4] 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):215-222.
SHI X P,CHEN Y P,YAN ZH Q,*et al*. Research progress on plant allelopathy [J]. *Biotechnology Bulletin*, 2020, 36(6):215-222.

[5] BERTIN C,YANG X,WESTON L . The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere [J]. *Plant and Soil*,2003,256:67-83.

[6] MACK R N,SIMBERLOFF D,LONSDALE W,*et al*. Biotic invasions:causes,epidemiology,global consequences,and control[J]. *Ecological Appliccations*, 2000, 10(3): 689-710.

[7] WILCOVE D S,ROTHSTEIN D,DUBOW J,*et al*. Quantifying threats to imperiled species in the United Ststes [J]. *Bioscience*,1998,48(8):607-615.

[8] 马金双.《中国入侵植物名录》[J].生物多样性,2013,21(5):635.
MA J SH. The checklist of the Chinese invasive plant [J]. *Biodiversity Science*,2013,21(5):635.

[9] 郝建华,刘倩倩,强 胜.菊科入侵植物三叶鬼针草的繁殖特征及其与入侵性的关系[J].植物学报,2009,44(6):656-665.
HAO J H,LIU Q Q,QIANG SH. Reproductive characteristics of the invasive plant *Bidens pilosa* and its relationship with invasiveness[J]. *Acta Botanica*,2009,44(6):656-665.

[10] 黄科文,廖明安,林立金.2种生态型三叶鬼针草的不同株数混种比例对其镉累积的影响[J].生态与农村环境学报,2015,31(5):753-759.
HUANG K W,LIAO M A,LIN L J. Effects of different plant-number mixed species ratios on cadmium accumulation of two ecological types of *Bidens pilosa* [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2015, 31(5): 753-759.

[11] 张云霞,周 浪,肖乃川,等.鬼针草(*Bidens pilosa* L.)对镉污染农田的修复潜力[J].生态学报,2020,40(16):5805-5813.
ZHANG Y X,ZHOU L,XIAO N CH,*et al*. Remediation potential of *B. pilosa* L. in cadmium-contaminated farmland[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2020,40(16):5805-5813.

[12] 黄佳璟,林立金,陈发波,等.混种鬼针草属植物对葡萄幼苗生长及镉积累的影响[J].四川农业大学学报,2018,36(4):481- 487.
HUANG J J,LIN L J,CHEN F B,*et al*. Effects of intercropping *Bidens* L. species on growth and cadmium accumulation of grape seedlings [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*,2018,36(4):481-487.

[13] 何 靖,任群利,林 冰,等.鬼针草水提物对大鼠肾结石改善作用[J].中成药,2021,43(5):1332-1335.
HE J,REN Q L,LIN B,*et al*. Ameliorating effect of *Bidens pilosa* water extract on rat kidney stones[J]. *Proprietary Chinese Medicine*,2021,43(5):1332-1335.

[14] 任群利,李小兰,冉应会,等.鬼针草的生物学功能及在畜禽养殖中的应用[J].中国饲料,2021(23):14-19.
REN Q L,LI X L,RAN Y H,*et al*. Pharmacolgical function of *Bidens pilosa* Linn and its application in livestock and poultry[J]. *China Feed*,2021(23):14-19.

[15] 史生晶,王桔红,陈 文,等.入侵植物鬼针草和鳢肠的化感作用及其入侵性研究[J].生态环境学报,2019,28(12):2373-2380.
SHI SH J,WANG J H,CHEN W,*et al*. Allelopathy and invasiveness of invasive plants *Bidens pilosa* and *Eclipta prostrata*[J]. *Ecology and Environmental Sciences*,2019,28(12):2373-2380.

[16] 郑欣颖,薛 立.入侵植物三叶鬼针草与近缘本地种金盏银盘的可塑性研究进展[J].生态学杂志,2018,37(2):580-587.
ZHENG X Y,XUE L. Research progress about phenotypic plasticity of exotic invasive *Bidens pilosa* and a congeneic native species *B. biternate* [J]. *Chinese Journal of Ecology*,2018,37(2):580-587.

[17] 黄建贝.核桃凋落叶分解对小麦生长的影响[D].成都:四川农业大学,2013.
HUANG J B,Effects of decomposing leaf litter of *Juglans regia* L. on growth of *Triticum aestivum* L. [D]. Chengdu:Sichuan Agricultural University,2013.

[18] 赵晶晶,李卓蔚,许凌峰,等.核桃凋落叶分解对滇重楼生理特性及药用品质的影响[J].生态学杂志,2021,40(12):3982-3989.
ZHAO J J,LI ZH W,XU L F,*et al*. Effects of walnut leaf litter decomposition o on physiological characteristics and medicinal quality of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40(12): 3982-3989.

[19] 杨慧珍,王安柱,慕小倩.不同品种桃叶不同生长期总黄酮含量的差异比较[J].西北林学院学报,2014,29(5):133-136.
YANG H ZH,WANG A ZH,MU X Q. Comparison of the differences in flavonoid contents in the leaves of different peach cultivars in different growing periods [J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2014,29(5):133-136.

[20] 王彩云.石榴叶多酚的提取富集工艺及其药理作用研究[D].北京:北京林业大学,2013.
WANG C Y. Extraction,enrichment and pharmacological activities of phenolics from pomegranate(*Punica granatum* L.) leaves [D]. Beijing:Beijing Forestry University,2013.

[21] 李 鹏,张海生,牛国霞.柿叶单宁提取技术研究[J].食品工业科技,2009,30(9):220-222.
LI P,ZHANG H SH,NIU G X. Research on the extrac-

tion methods of tannin from persimmon leaf[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2009, 30(9): 220-222.

[22] 原慧芳，武绍波. 柿树化感作用的初步研究[J]. 西南园艺，2006(6): 1-3, 8.
YUAN H F, WU SH B. Preliminary study on the allelopathic of persimmon(*Diospyros kaki*)[J]. *Southwes Horticulture*, 2006(6): 1-3, 8.

[23] 邬彩霞，刘苏娇，赵国琦，等. 黄花草木樨对杂草的化感作用研究[J]. 草地学报，2015, 23(1): 82-88.
WU C X, LIU S J, ZHAO G Q, *et al*. The allelopathy of yellow sweet clover on weeds [J]. *Acta Grassland Sinica*, 2015, 23(1): 82-88.

[24] 叶小齐，吴　明，邵学新，等. 芦苇(*Phragmites australis*)抑制四种植物扩散的化感潜力研究[J]. 生态科学，2015, 34(6): 48- 55.
YE X Q, WU M, SHAO X X, *et al*. Study on the allelopathic potential of reeds *Phragmites australis* to inhibit the diffusion of four plants[J]. *Ecological Sciences*, 2015, 34(6): 48-55.

[25] PUMAM A R. Use of allelopathic cover crops to inhibit weeds[J]. *Science*, 1979, 36: 580- 582.

[26] 尚春琼，朱珣之. 外来植物三叶鬼针草的入侵机制及其防治与利用[J]. 草业科学，2019, 36(1): 47-60.
SHANG CH Q, ZHU X ZH. Invasion mechanisms, control and utilization of alien plant species *Bidens pilosa* [J]. *Pratacultural Sciences*, 2019, 36(1): 47-60.

[27] 黄良伟，傅蝶子，白　婧，等. 细叶旱芹地上部化感物质粗分离物对 4 种草坪草及 5 种牧草的化感作用[J]. 西北农业学报，2020, 29(7): 1078-1086.
HUANG L W, FU D Z, BAI J, *et al*. Allelopathic effect of crude extracts of allelopathic susbstance from aboveground part of *Cyclos permum* leptophyllum on four turgrassess and five herbages[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2020, 29(7): 1078-1086.

[28] 王　蓓，蔡　靖，姜在民，等. 核桃叶水浸液对四种作物的化感作用[J]. 干旱地区农业研究，2011, 29(4): 47-52.
WANG B, CAI J, JIANG Z M, *et al*. Allelopathic effects of *Juglans regia* leaf infiltration on four crops[J]. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2011, 29(4): 47-52.

[29] 张　琴，刘占文，李艳宾，等. 核桃叶水浸提液对棉花生长及棉花枯萎病菌的化感效应[J]. 生态科学，2017, 36(1): 165-169.
ZHANG Q, LIU ZH W, LI Y B, *et al*. Allelopathic effect of walnut leaf extract on cotton growth and *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*[J]. *Ecological Sciences*, 2017, 36(1): 165-169.

[30] 范丽花，汪鹏斌，王玉霞，等. 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[J]. 中国草地学报，2021, 43(1): 96-103.
FAN L H, WANG P B, WANG Y X, *et al*. Allelopathic effects of water immersion solution on seed germination of five species of grassland plants[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2021, 43(1): 96-103.

[31] 杭　伟，戈玉莹，刘浩宇，等. 羽枝青藓和瘤柄匐灯藓对入侵植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 应用生态学报，2020, 31(7): 2271-2278.
HANG W, GE Y Y, LIU H Y, *et al*. Effects of *Brachythecium plumosum* and *Plagiomnium venustum* on seed germination and seedling growth of invasive plants[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(7): 2271-2278.

[32] RICE E L. Allelopathy[M]. 2nd ed. New York: Aeadetaic press, 1984: 1-50.

[33] 王桔红，史生晶，陈　文，等. 鬼针草与含羞草化感作用及其入侵性的研究[J]. 草业学报，2020, 29(4): 81-91.
WANG J H, SHI SH J, CHEN W, *et al*. Allelopathy s and invasiveness of *Bidens pilosa* and *Mimosa pudica* [J]. *Pratacultural Sinica*, 2020, 29(4): 81-91.

[34] 张家亮. 繁殖模式和环境胁迫对入侵植物繁殖投入的影响[D]. 武汉：中国科学院大学(中国科学院武汉植物园)，2019.
ZHANG J L. Effects of reproductive strategies and environmental stresses on reproductive allocation of invasive plants[D]. Wuhan: University of Chinese Academy of Sciences(Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences), 2019.

[35] 刘　颖，沈　羽，张开梅，等. 三叶鬼针草根系分泌物对井栏边草配子体生长和发育的影响[J]. 西北农业学报，2015, 24(7): 149-155.
LIU Y, SHEN Y, ZHANG K M, *et al*. Effect of root exudates of *Bidens pilosa* on growth and development of gametophyte of *Pteris multifidi* [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2015, 24(7): 149-155.

[36] 史生晶. 基于化感与化学计量的 2 种典型外来植物入侵机制的研究[D]. 兰州：西北师范大学，2021.
SHI SH J. Study on the invasion mechanism of two typical exotic plants based on allelopathy and stoichiometry[D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2021.

Allelopathy and Self-sensing Response of Invasive Plant *Bidens pilosa* to Leaf Extracts of Four Kinds of Fruit Tree

SHAN Chunyan[1], CHEN Zhiyuan[1], WANG Liujie[1], ZHANG Man[1], YU Haijing[1], JIANG Luyu[1], LI Yuying[2], LI Bailian[3,4] and ZHANG Longchong[1,2]

(1. College of Forestry of Henan Agriculture University, Zhengzhou 450000, China; 2. Henan Soft Seed Pomegranate Engineering Research Center, Nanyang Henan 473000, China; 3. International Joint Laboratory of Watershed Ecological Security for Water Sorce Region of Middle Route Project of South-North Wate Diversion in Henan Province, Nanyang Henan 473061, China; 4. Department of Botany and Plant Sciences, University of California, Riversider, CA92521, USA)

Abstract In order to explore the allemotic effects of four kinds of common fruit tree *Juglans regia*, *Amygdalus persica*, *Punica granatum*, *Diospyros kaki* leaf and invasive plant *Bidens pilosa* (above ground part) on *Bidens pilosa*, bioassays were used to study the effect of extracts of this four kinds of fruit tree leaves and *Bidens pilosa* plants under four mass concentration gradients (0, 0.005, 0.025, 0.05 g · mL^{-1}) on seed germination and seedling growth of *Bidens pilosa*. The results showed that *Punica granatum* leaf extract had different degrees of inhibition effect on seed germination of recipient plants at various mass concentrations, and the inhibition effect had a concentration effect, and the allelopathic effect on the growth of recipient plant seedlings showed as "it was promoted when the concentration quality was low and it was inhibited when the concentration quality was high". The germination index, germination potential and root growth of the seeds of *Bidens pilosa* L. were inhibited by high-quality concentration (0.05 g · mL^{-1}) *Diospyros kaki* leaf, *Juglans regia* leaf, *Bidens pilosa* and *Amygdalus persica* leaf extract; Except for the 0.05 g · mL^{-1} high-quality concentration of *Punica granatum* leaf extract, other different concentrations of different types of leaves of each tree species had a promoting effect or no significant inhibitory effect on the fresh and dry mass of *Bidens pilosa* seedlings. Through the comprehensive allelopathy effect value analysis, it could be seen that the sensitivity of seed germination, seedling growth of *Bidens pilosa* to the leaching liquefaction of five donor plants at high-quality concentrations was as follows: *Amygdalus persica* leaf > *Punica granatum* leaf > *Diospyros kaki* leaf > *Bidens pilosa* > *Juglans regia* leaf. Overall, the five donor plant extracts contained allelopathic substances that interfered with seed germination and seedling growth of *Bidens pilosa*, but the effects varied depending on the concentration of the extract, the type of allelopathic substance, the different growth stages and different parts of the recipient plant. In contrast, the comprehensive inhibition effect of *Amygdalus persica* leaf and *Punica granatum* leaf extract on the recipient plant was the strongest, and it had great potential for development and utilization in the prevention and control of *Bidens pilosa*.

Key words *Bidens pilosa*; Fruit tree leaf; Water extraction solution; Allelopathy; Seed germination; Seedling growth

Received 2022-05-01 **Returned** 2022-07-09

Foundation item The National Natural Science Foundation of China (No. 31400367); National Higher School Subject Innovation Engineering Base (No. D23015); Key R&D Projects in Henan Province (No. 2211111520600); National Innovation and Entrepreneurship Training Program for College Students (No. 202110466019).

First author SHAN Chunyan, female, master student. Research area: forest and grass composite management. E-mail: scy_chunyan@163.com

Corresponding author ZHANG Longchong, male, Ph. D, master supervisor. Research area: wetland ecology and restoration ecology. E-mail: zhanglch11@163.com

(责任编辑:史亚歌 **Responsible editor: SHI Yage**)