



三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊的化感效应

郭英姿^{1,2,#}, 王政^{1,#}, 贾文庆^{2,*}, 何松林^{1,2,*}, 尚文倩¹, 申玉晓¹

¹河南农业大学风景园林与艺术学院, 郑州450002

²河南科技学院园艺园林学院, 河南新乡453003

#并列第一作者

*共同通信作者: 贾文庆(Jiawq2012@126.com)、何松林(hsl213@163.com)

摘要: 本文以花海植物万寿菊(*Tagetes erecta*)、波斯菊(*Cosmos bipinnata*)为试材, 采用车前草(*Plantago asiatica*)、泥胡菜(*Hemistepta lyrata*)、藜(*Chenopodium album*) 3种常见杂草不同部位(地上部、地下部)浸提液处理万寿菊、波斯菊种子, 通过测定种子萌发和幼苗生长的生理指标及相关酶活性、丙二醛(MDA)、可溶性蛋白(SP)含量, 研究不同杂草浸提液对花海植物万寿菊、波斯菊的化感效应及其机理。结果表明: 车前草地下部、藜地下部和泥胡菜地上部对万寿菊种子发芽率无影响, 而车前草和泥胡菜浸提液对波斯菊种子萌发有显著促进作用, 藜浸提液表现显著的抑制作用。3种杂草浸提液对万寿菊、波斯菊幼苗根长和株高主要表现抑制作用, 仅车前草地上部浸提液对波斯菊幼苗的根长有促进作用, 且与对照差异显著。3种杂草浸提液处理降低了万寿菊幼苗的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性, 其中车前草浸提液显著增加波斯菊幼苗的SOD和过氧化物酶(POD)活性。3种杂草浸提液处理下, 万寿菊、波斯菊幼苗的MDA含量显著高于对照, SP含量显著低于对照, 表现出抑制作用。化感综合效应分析表明, 3种杂草浸提液对万寿菊的化感效应强于波斯菊。

关键词: 杂草; 波斯菊; 万寿菊; 种子萌发; 生理指标; 化感作用

Allelopathic effects of three kinds of weed extracts on *Tagetes erecta* and *Cosmos bipinnata*

GUO Yingzi^{1,2,#}, WANG Zheng^{1,#}, JIA Wenqing^{2,*}, HE Songlin^{1,2,*}, SHANG Wenqian¹, SHEN Yuxiao¹

¹College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

²School of Horticulture Landscape Architecture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003, China

#Co-first authors

*Co-corresponding authors: Jia WQ (Jiawq2012@126.com), He SL (hsl213@163.com)

Abstract: In this study, *Tagetes erecta* and *Cosmos bipinnata* were used as experimental materials, the extracts of three common weeds (*Plantago asiatica*, *Hemistepta lyrata*, *Chenopodium album*) with different parts (aboveground and underground) were applied treat the seeds of *T. erecta* and *C. bipinnata*. The physiological indicators and related enzyme activities of seed germination and seedling growth, as well as the

收稿 2022-07-22 修定 2023-05-16

资助 国家重点研发计划支持课题(2018YFD1000401)、河南省科技发展计划项目(232102111107)和中原领军人才项目(ZYYCYU2020-12129)。

content of malondialdehyde (MDA) and soluble protein (SP), were measured, in order to investigate the allelopathic effects and mechanism of three weeds extracts on *T. erecta* and *C. bipinnata*. The results showed that the underground extracts of *P. asiatica*, and *C. album*, the aboveground extracts of *H. lyrata* had no influence on the germination rate of *T. erecta*, while the extracts of *P. asiatica* and *H. lyrata* had a significant promoting effect on the germination of *C. bipinnata*, but the extracts of *C. album* showed a significant inhibitory effect. The extracts of three weeds mainly inhibited the root length and plant height of *T. erecta* and *C. bipinnata*, only the extracts of aboveground of *P. asiatica* promoted the root length of *C. bipinnata* seedlings, and the difference was significant compared to the control. The activities of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) in *T. erecta* seedlings were decreased by the three weed extracts. Among them, the extract of *P. asiatica* significantly increased the activities of SOD and peroxidase (POD) in *C. bipinnata* seedlings. Under the treatment of three weed extracts, the MDA contents of *T. erecta* and *C. bipinnata* seedlings were significantly higher than those of the control, and the soluble protein content was significantly lower than that of the control, demonstrating an inhibitory effect. The analysis of allelopathic comprehensive effect showed that the allelopathic effect of three weed extracts on *T. erecta* was stronger than those on *C. bipinnata*.

Key words: weed; *Tagetes erecta*; *Cosmos bipinnata*; germination; physiological indexes; allelopathy effect

化感作用(allelopathy)是植物或微生物在其生长发育过程中产生和释放代谢物对其他植物及自身的直接或间接(不利或有益)的影响(Baziar等2014)。植物化感物质主要通过植物茎叶淋溶、残体分解、根系分泌物及植物挥发等形式向环境中释放,抑制周围植物生长(王宇轩等2020; Peng 2019),在自然界中普遍存在。其在合理种植、杂草控制、病虫害防治等方面发挥着重要作用(鲍红春2015)。有作物的地方就会有杂草混生的现象,通常认为,杂草迅速生长与作物争夺水分、养分,同时释放化感物质抑制周围作物的生长(尹亚丽等2019)。张瑜等(2018)研究表明杂草对不同作物存在不同程度的化感作用。赵晶华等(2020)研究表明藜水浸提液对黑心菊种子发芽率、发芽指数、根长、株高、根重、苗重有一定的抑制作用。殷庭超等(2018)研究显示,小飞蓬茎叶浸提液对波斯菊的作用为低浓度促进,高浓度抑制。杨彤等(2020)研究显示,紫花苜蓿对蜀葵有明显的化感作用,对一年生早熟禾抑制作用不明显。曲同宝等(2017)对波斯菊的研究表明,在火炬树各部分浸提液影响下,波斯菊种子萌发、幼苗生长受到显著抑制,细胞膜透性增加,酶活性出现剧烈变化。这揭示植物间化感相互作用机制,对于作物的合理栽

培及应用具有重要意义。

波斯菊、万寿菊为一二年生的花卉植物,通常作为花海植物大面积种植,能在较短时间内形成景观效果(张莹和陈慧敏2018),具有紧密整齐、耐旱耐寒、繁殖容易、花期较长、花色绚丽的特性,具有较高的观赏价值和经济价值,在园林绿化应用中占有重要地位(董丽2015)。车前草、泥胡菜、藜全国各地都有分布,常生长在路旁、农田等开阔的地块,其繁殖速度快,适应性强。杂草的过盛生长会破坏植物正常生长发育,人们通常施用化学除草剂来抑制杂草,但除草剂中含有大量不利于环境的化学成分,甚至产生抗药性(王婧怡2017)。目前,有关杂草对波斯菊、万寿菊种子萌发、幼苗生长和生理生化的研究甚少。因此,解析常见杂草对波斯菊、万寿菊生长的化感作用机理,对于其在园林中合理应用具有重要意义。

本研究以万寿菊、波斯菊为受体植物,研究车前草、泥胡菜、藜不同部位浸提液处理对其种子萌发、幼苗生长及生理生化的影响,并从氧化胁迫的角度探讨了3种杂草对万寿菊、波斯菊的影响差异,以期阐明3种杂草对万寿菊、波斯菊的化感作用机制,为园林绿化工程建设中波斯菊、万寿菊大规模应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2020年5月份,在河南省新乡市郊区挖取生长健壮、无病虫害的车前草(*Plantago asiatica* L.)、泥胡菜(*Hemistepta lyrata* Bunge)、藜(*Chenopodium album* L.) 3种杂草植株,将植物根部附着的土壤抖落干净后,按种类分别装入自封袋内,然后带回河南省园艺植物资源利用与种质创新工程研究中心进一步的处理。受体材料万寿菊、波斯菊种子,购自郑州市陈砦花卉市场,种子4℃保存直至使用。

1.2 试验方法

1.2.1 浸提液制备

在实验室,选取生长旺盛、无病虫害的车前草、泥胡菜和藜植株,用流水冲洗干净,蒸馏水冲洗3次,在室温的条件下自然阴干,阴干后将供试材料的地上部、地下部分开,用剪刀充分剪碎,用电子天平称取3种杂草地上部200 g、地下部200 g,各取1 000 mL清水浸泡48 h,每隔12 h振荡5 min,浸泡之后,用3层纱布过滤后获得车前草、泥胡菜和藜的地上部浸提液浓度为0.20 g·mL⁻¹,装入锥形瓶中,并放入4℃冰箱保存。使用前,取出放置一段时间,使其与室温相同,以免骤冷对幼苗造成伤害。

1.2.2 种子萌发试验

试验前将供试种子和培养皿用0.6%次氯酸钠消毒5 min, 75%酒精消毒2 min,然后用无菌水冲洗3次,用滤纸吸干表面水分。然后挑选籽粒饱满、大小均匀、无病虫害的供试种子置于直径为12 cm,铺有2层滤纸的培养皿中,每个培养皿中放置受体植物种子50粒,每个处理(含对照)设置3次重复。培养皿中分别加入3种杂草地上部、地下部浸提液20 mL,对照组添加等体积蒸馏水,根据干旱程度及时补充浸提液、蒸馏水。将培养皿置于(25±1)℃恒温培养箱,12 h交替光照下进行种子萌发试验,相对湿度保持70%~80%,每天记录发芽种子的萌发数量、生长情况等。

1.2.3 测定指标及方法

每隔24 h记录发芽种子的萌发数量、生长情况,种子萌发标准为胚芽突破种皮1~2 mm(曾任森1999),第14天结束发芽试验。萌发的第5天从各个

容器随机选出10株幼苗,用直尺测量每株幼苗的根长和株高。第3天后计算发芽势,第7天后统计种子发芽率。种子的发芽率(germination rate, GR)、发芽势(germination potential, GP)和发芽指数(germination index, GI)的测定参照颜启博和毕辛华(1980)《国际种子检验规程》的方法:发芽率=7 d内正常发芽的种子数/供试种子总数×100 (Willamson 1988);发芽势=前3 d内正常发芽的种子数/供试种子总数×100;发芽指数=∑(G_i/D_i)。其中, G_i为不同时间发芽数,单位:粒; D_i为相应发芽时间,单位:d。

化感效应指数(RI)参照Willamson (1988)的方法计算:RI=1-C/T (T≥C), RI=T/C-1 (T<C)。式中, C为对照值, T为处理值。RI表示化感作用强度大小,正值表示促进效应,负值表示抑制效应,其绝对值大小反映化感作用的强弱。

在种子发芽第3、7和14天,分3次测定植物体的超氧化物歧化酶活性(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶活性(peroxidase, POD)、过氧化氢酶活性(catalase, CAT)、丙二醛含量(malondialdehyde, MDA)和可溶性蛋白含量(soluble protein, SP),取平均值,比较整个发芽期保护酶活性等含量的区别。测定方法参照张志良等(2009)方法。

1.2.4 数据分析

试验数据先用Excel进行初步处理后,用DPS (v 7.05版)软件对数据进行单因素方差分析,试验数据以平均值±标准误表示, P<0.05为差异显著性判断标准。

2 实验结果

2.1 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊种子萌发的影响

2.1.1 三种杂草浸提液对万寿菊种子的发芽率、发芽势和发芽指数的影响

单因素方差分析结果(表1)表明,不同植物品种和部位浸提液处理下2种植物的发芽率、发芽势、发芽指数及化感作用均存在显著差异。与对照相比,不同种类浸提液处理的万寿菊种子发芽率存在差异。车前草地上部、藜地上部和泥胡菜地下

表1 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊种子萌发的影响
Table 1 Effects of three kinds of weed extracts on seed germination of *T. erecta* and *C. bipinnata*

植物	杂草浸提液处理	发芽率/%	RI	发芽势/%	RI	发芽指数	RI
万寿菊	0 (对照)	88.67±0.67 ^a		44.33±3.97 ^d		2.74±0.09 ^{cd}	
	车前草地上部	68.00±2.00 ^b	-0.23	54.17±3.50 ^e	0.19	2.77±0.10 ^{cd}	0.01
	车前草地下部	84.00±2.00 ^a	-0.05	72.67±4.44 ^a	0.39	3.34±0.31 ^a	0.18
	藜地上部	62.33±2.52 ^c	-0.30	44.83±2.18 ^d	0.01	2.17±0.13 ^c	-0.21
	藜地下部	80.00±2.00 ^a	-0.10	68.50±6.45 ^a	0.35	2.97±0.15 ^{bc}	0.08
	泥胡菜地上部	82.33±2.08 ^a	-0.07	64.37±4.50 ^{ab}	0.31	3.21±0.15 ^{ab}	0.15
	泥胡菜地下部	71.33±3.06 ^b	-0.20	56.23±6.51 ^{bc}	0.21	2.47±0.25 ^{dc}	-0.10
波斯菊	0 (对照)	68.00±2.31 ^b		43.00±1.61 ^c		1.99±0.32 ^b	
	车前草地上部	72.00±4.00 ^a	0.06	48.26±2.57 ^{bc}	0.10	2.60±0.18 ^a	0.23
	车前草地下部	70.67±3.06 ^a	0.04	38.30±1.50 ^d	-0.12	2.03±0.21 ^b	0.02
	藜地上部	62.50±3.79 ^c	-0.08	12.54±4.00 ^f	-0.72	0.32±0.05 ^d	-0.84
	藜地下部	61.00±4.58 ^c	-0.10	32.67±2.30 ^e	-0.26	1.48±0.11 ^c	-0.26
	泥胡菜地上部	74.50±3.78 ^a	0.09	50.23±4.00 ^{ab}	0.14	2.25±0.15 ^b	0.12
	泥胡菜地下部	72.37±3.06 ^a	0.06	54.82±2.30 ^a	0.20	2.68±0.22 ^a	0.26

部浸提液对万寿菊种子发芽率均有显著的抑制作用($P<0.05$, $RI<0$), 其中藜地上部浸提液对万寿菊表现最强的抑制效应($RI=-0.3$)。经车前草地下部、藜地下部和泥胡菜地上部浸提液处理对万寿菊种子萌发有轻微的抑制效应, RI 分别为-0.05、-0.10和-0.07, 但与对照相比差异不显著。车前草和藜2种杂草地上部浸提液抑制作用高于其地下部, 泥胡菜地上部浸提液抑制作用低于其地下部, 这说明, 同种植物不同部位的浸提液对万寿菊种子萌发化感抑制强度不同。不同杂草浸提液对万寿菊种子萌发抑制作用排序为: 藜地上部>车前草地上部>泥胡菜地下部>藜地下部>泥胡菜地上部>车前草地下部。

发芽势是指种子发芽的整齐程度, 是种子发芽快慢和能力强弱的标志(张瑜等2018)。由表1可知, 不同植物供体部位浸提液对万寿菊种子发芽势化感作用不同。万寿菊种子在车前草地下部浸提液处理下, 种子出芽较为迅速且整齐, 在第3天基本完成发芽。整体趋势上, 除藜地上部外, 3种杂草(地上部、地下部)浸提液对万寿菊种子发芽势均高于空白对照组, 差异显著($P<0.05$), 化感效应指数均为正, 表明3种杂草(地上部、地下部)浸提液对万寿菊种子萌发表现先促进后抑制作用。根

据表1可知, 藜地上部浸提液对万寿菊种子发芽率和发芽指数抑制作用均最强。发芽指数是种子的活力指标, 发芽指数高, 活力就高。不同种类杂草地上部、地下部浸提液对万寿菊种子发芽指数的化感作用不同, 从发芽指数看, 除藜地上部浸提液、泥胡菜地下部浸提液对万寿菊种子抑制作用明显($RI<0$), 其余均具有轻微的促进作用($RI>0$), 而车前草地下部和泥胡菜地上部对万寿菊种子活力表现较强的促进效应。综合化感效应显示, 藜地上部的化感作用最强。

2.1.2 三种杂草浸提液对波斯菊种子的发芽率、发芽势和发芽指数的影响

如表1显示, 与对照组相比, 车前草(地上部、地下部)和泥胡菜(地上部、地下部)对波斯菊种子萌发促进作用显著($P<0.05$), 推测地上部或地下部里可能含有某种化感物质促进波斯菊种子萌发, 说明波斯菊作为花海植物大面积种植时无需清除车前草和泥胡菜2种杂草。与对照相比, 藜地上部、地下部浸提液处理对波斯菊种子萌发均有不同程度的抑制作用, 与对照相比差异显著($P<0.05$)。车前草地上部和泥胡菜地上部浸提液促进作用均高于地下部, 藜地上部浸提液抑制作用低于地下部。这些结果表明, 不同植物间不同部位浸提液对波

斯菊种子萌发影响存在差异。3种杂草浸提液对波斯菊种子萌发的抑制作用强弱为: 藜>泥胡菜>车前草。

分析表1可知, 不同植物水浸提液对波斯菊种子的发芽率、发芽势、种子活力化感作用强度不同。从波斯菊种子的发芽率、发芽势和发芽指数来看, 车前草地上部浸提液和泥胡菜(地上部、地下部)浸提液对波斯菊种子萌发化感效应指数均为正值, 有促进作用, 且萌发率与对照差异显著($P<0.05$)。推测车前草、泥胡菜存在时波斯菊生长得更好, 同时又能抑制杂草生长, 具体原因还需进一步研究。藜地上部和地下部浸提液处理后的发芽率、发芽势和发芽指数与对照相比有显著抑制作用($P<0.05$), RI值均为负值, 说明波斯菊种子萌发对藜地上部和地下部浸提液化感作用较强。仅藜(地上部、地下部)浸提液处理波斯菊萌发率低于对照组(RI<0), 车前草和泥胡菜处理的发芽率均高于对照组, 差异显著($P<0.05$)。综合分析比较发芽率、发芽势和发芽指数, 车前草(地上部、地下部)浸提液和泥胡菜(地上部、地下部)浸提液对波斯菊种子萌发有促进作用, 藜浸提液对波斯菊种子萌发表现为抑制作用。

2.2 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊种子幼苗根长和株高的影响

植物的根长、株高是反应生长势强弱的标志之一。由表2可看出, 3种杂草浸提液对万寿菊、波斯菊幼苗根长的影响存在不同差异的化感作用。经

车前草地上部和藜地下部浸提液处理对万寿菊幼苗根长有轻微的抑制作用, RI分别为-0.12和-0.05, 根长与对照相比无显著影响, 而经车前草地下部、藜地上部、泥胡菜(地上部和地下部)浸提液处理的万寿菊幼苗根长RI分别为-0.39、-0.33、-0.22和-0.29, 抑制作用达到显著水平($P<0.05$)。仅有车前草地上部浸提液对波斯菊幼苗的根长表现促进作用, 根长达2.9 cm, 化感效应指数为0.09, 其余处理下幼苗的根长均低于对照组, 化感效应指数均为负(RI<0)。藜(地上部和地下部)、车前草地下部对波斯菊幼苗根长无显著影响。其中泥胡菜(地上部和地下部)处理对根长抑制作用最强(RI分别为-0.42和-0.38), 表明浸提液中某种物质抑制了波斯菊种子生长。

由表2可知, 3种杂草浸提液处理下, 万寿菊、波斯菊幼苗的株高均有不同程度降低。只有车前草地下部和泥胡菜地下部浸提液对万寿菊幼苗株高产生显著抑制作用(RI分别为-0.39和-0.34, $P<0.05$)。而经车前草地上部、藜(地上部和地下部)、泥胡菜地上部处理的万寿菊幼苗株高无显著影响。经车前草(地上部和地下部)处理的波斯菊幼苗株高与对照差异不显著, 藜(地下部、地上部)和泥胡菜(地下部、地上部)对波斯菊幼苗株高抑制作用显著($P<0.05$), 而经藜地下部和泥胡菜地下部处理的波斯菊幼苗株高抑制作用最强(RI分别为-0.45和-0.43)。整体趋势看, 3种杂草水浸提液对万寿菊和波斯菊幼苗的综合效应主要表现为抑制作用。

表2 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊幼苗根长和株高的影响
Table 2 Effects of extracts of three kinds of weeds on root length and seedling length of *T. erecta* and *C. bipinnata*

杂草浸提液	万寿菊				波斯菊			
	根长/cm	RI	株高/cm	RI	根长cm	RI	株高/cm	RI
0 (对照)	2.79±0.68 ^a		2.71±0.53 ^a		2.64±0.82 ^b		6.19±1.38 ^a	
车前草地上部	2.45±0.62 ^a	-0.12	1.95±0.27 ^a	-0.28	2.90±0.60 ^a	0.09	5.62±0.48 ^a	-0.09
车前草地下部	1.70±0.70 ^c	-0.39	1.65±0.15 ^b	-0.39	1.95±0.36 ^b	-0.26	4.22±1.37 ^a	-0.32
藜地上部	1.88±0.45 ^c	-0.33	2.16±0.32 ^a	-0.20	1.93±0.66 ^b	-0.26	3.94±0.92 ^b	-0.36
藜地下部	2.65±0.25 ^a	-0.05	2.65±0.35 ^a	-0.02	2.15±0.66 ^b	-0.18	3.41±1.06 ^c	-0.45
泥胡菜地上部	2.18±0.59 ^b	-0.22	2.02±0.31 ^a	-0.25	1.53±0.25 ^c	-0.42	3.97±0.05 ^b	-0.36
泥胡菜地下部	1.98±0.74 ^b	-0.29	1.78±0.53 ^b	-0.34	1.62±0.52 ^c	-0.38	3.55±0.83 ^c	-0.43

2.3 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊抗氧化指标的影响

2.3.1 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊幼苗SOD活性的影响

三种杂草浸提液处理下, 与对照相比, 万寿菊幼苗叶片中SOD活性均呈现下降的趋势, 除泥胡菜地上部浸提液处理对万寿菊幼苗SOD活性差异不显著(图1), 其余各部位水浸提液处理对SOD活性表现出显著抑制作用($P<0.05$, 图1), 且藜地上部浸提液处理下的SOD活性达最低水平, 比对照显著降低了42.75%, ($P<0.05$, 图1)。表明仅泥胡菜地上部浸提液对万寿菊SOD活性化感效应相对弱一些。相反, 与对照相比, 车前草(地上部和地下部)和泥胡菜地下部对波斯菊幼苗SOD活性有促进作用, 差异显著($P<0.05$), 而藜(地上部和地下部)和泥胡菜地上部浸提液处理下SOD活性显著低于对照和

其他处理($P<0.05$), 藜地上部化感效应更为强烈。

2.3.2 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊幼苗POD活性的影响

过氧化物酶能使植物组织中所含的某些碳水化合物转化成木质素, 增加木质化程度, 可以作为植物组织抗逆境的一种生理指标, 是重要的活性氧清除酶(牛欢欢2019)。由图1可知, 不同浸提液对万寿菊、波斯菊幼苗的POD活性均有影响。与对照相比, 车前草地下部对万寿菊幼苗的POD活性有显著的促进作用($P<0.05$, 图1), 藜地下部和泥胡菜地上部对万寿菊幼苗POD活性差异不显著。车前草(地上部和地下部)对波斯菊幼苗的POD活性有显著促进作用($P<0.05$, 图1), 泥胡菜地下部对波斯菊幼苗的POD活性差异不显著, 其余均有显著的抑制作用($P<0.05$, 图1), 藜地上部浸提液处理下波斯菊幼苗的POD活性达最低水平, 比对照降

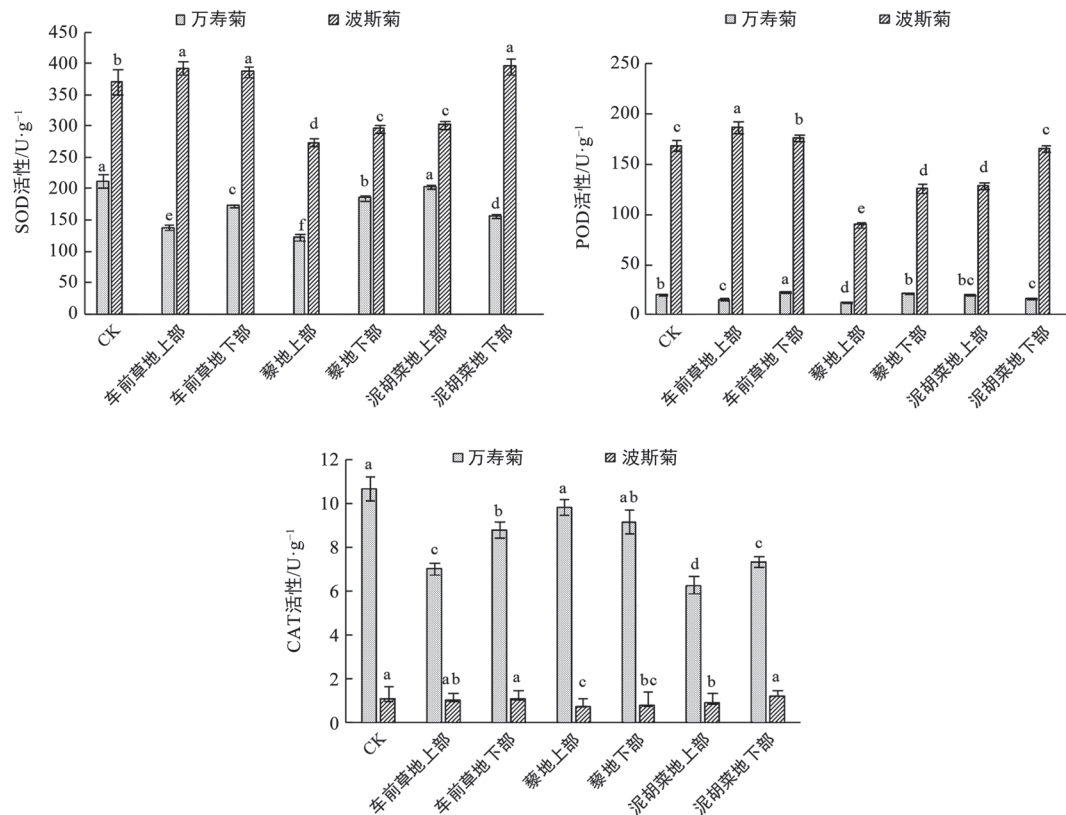


图1 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊抗氧化酶活性的影响

Fig. 1 Effects of extracts of three kinds of weeds on antioxidant enzyme activities of *T. erecta* and *C. bipinnata*

不同小写字母表示在0.05水平上差异显著($P<0.05$), 下同。

低了46.89%。2种花海植物幼苗叶片POD活性对3种杂草不同部位浸提液的响应不一致。

2.3.3 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊幼苗CAT活性的影响

过氧化氢是代谢过程中产生的废物,其积累可导致破坏性的氧化作用,对植物机体造成损害,而过氧化氢酶能催化分解过氧化氢,为机体提供了抗氧化防御机理(牛欢欢2019)。3种杂草不同部位浸提液对万寿菊、波斯菊幼苗CAT活性均有显著影响(图1)。与对照相比,藜(地上部和地下部)对万寿菊幼苗CAT活性差异不显著,其他浸提液均有显著的抑制作用($P<0.05$);车前草(地上部和地下部)和泥胡菜地下部对波斯菊幼苗CAT活性与对照比差异不显著,其他部位均有显著的抑制作用($P<0.05$),藜地上部抑制作用最强,说明不同部位浸提液降低叶片的CAT活性,使植株体内自由基累积,加大对细胞的损害,导致幼苗生长受阻。不同植物对浸提液CAT活性的抑制作用强弱为万寿菊>波斯菊。

2.3.4 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊幼苗MDA含量的影响

丙二醛是植物在逆境或衰老条件下,发生膜的过氧化作用的产物之一,能够对植物细胞产生毒害作用,其含量可以表示脂质过氧化程度。由

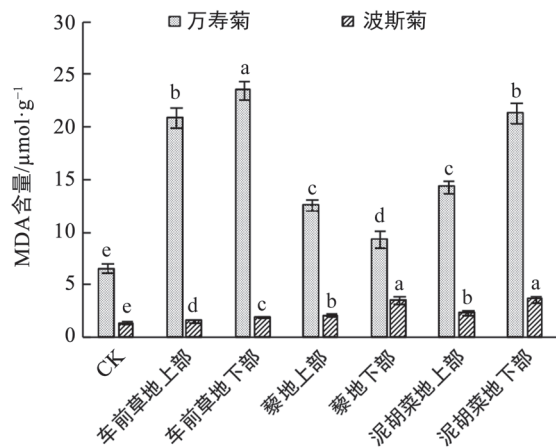


图2 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊MDA含量的影响

Fig. 2 Effects of extracts of three kinds of weeds on MDA content of *T. erecta* and *C. bipinnata*

图2可以看出,3种杂草浸提液处理下2种大地花海植物幼苗MDA含量均高于对照,呈显著差异($P<0.05$)。其中,在车前草地下部浸提液处理万寿菊时,MDA含量最高,达 $23.5 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$;藜地下部和泥胡菜地下部浸提液处理的波斯菊MDA含量最高,由此表明,3种杂草浸提液处理对万寿菊、波斯菊MDA含量有显著增加,可能是幼苗叶片膜脂过氧化增加,细胞膜损伤严重,进而导致MDA含量增加,或抗氧化酶活性受到抑制造成的。MDA含量对3种杂草不同浸提液处理的表现较为一致,表明不同浸提液化感潜力较高。

2.3.5 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊幼苗可溶性蛋白含量的影响

不同杂草浸提液处理对万寿菊、波斯菊可溶性蛋白含量有不同程度的抑制作用,其中与对照相比藜地下部处理对万寿菊可溶性蛋白含量差异不显著,而其余处理对2种花海植物可溶性蛋白含量均显著降低($P<0.05$,图3),各部位水浸提液对波斯菊可溶性蛋白含量抑制效果最显著,地下部抑制作用强于地上部。以上结果表明3种杂草浸提液对2种花海植物可溶性蛋白的形成有一定的抑制作用,显示不同浸提液化感作用强度不同导致种子处于不同的发芽态势,导致其蛋白质分解程度不同,进而全株幼苗可溶性蛋白质含量产生差异。

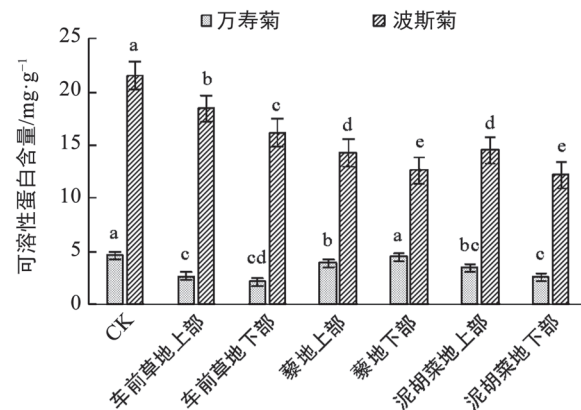


图3 三种杂草浸提液对万寿菊和波斯菊可溶性蛋白含量的影响

Fig. 3 Effects of extracts of three kinds of weeds on soluble protein content of *T. erecta* and *C. bipinnata*

3 讨论

3.1 三种杂草不同部位浸提液对万寿菊和波斯菊种子萌发的化感作用

植物在相互生长时表现出多种相互作用, 这种相互作用包括争夺土壤资源, 如水、养分、太阳辐射和空间。通过植物向土壤排放的化学渗出物进行干扰, 从而影响邻近植物的生长和发育(曹子林等2011)。本研究模拟植物在自然环境条件下释放出化学物质到土壤中的情形, 揭示了3种田间常见杂草对万寿菊、波斯菊之间的化感效应, 对花海植物的大面积应用及杂草管理具有一定的参考价值。本试验结果表明, 3种杂草浸提液处理对万寿菊、波斯菊呈现不同程度的化感作用, 且抑制效应的强弱因供体材料而异。3种杂草浸提液对万寿菊化感作用呈现抑制效应, 而车前草(地上部、地下部)和泥胡菜(地上部、地下部)浸提液对波斯菊种子萌发表现促进作用。曹子林等(2011)研究表明, 植物化感作用的强弱不仅与浸提液浓度、化感物质种类及释放途径差异有关, 还与受体植物的种类有关, 这在本试验中也得到了证实。杜明利等(2011)研究大花金鸡菊中叶水浸液发芽率和发芽指数化感作用均比根水浸液的作用大, 本试验结果表明, 车前草地上部和藜地上部对万寿菊的发芽率、发芽势和发芽指数化感作用均比地下部浸提液的作用大。相反, 车前草(地上部、地下部)和泥胡菜(地上部、地下部)均对波斯菊种子萌发有显著促进作用。因此推断化感效应的强弱与不同受体植物对同种供体植物的敏感性和耐受性有关(朱宇林等2011)。

3.2 三种杂草不同部位浸提液对万寿菊和波斯菊幼苗生长的化感作用

三种杂草浸提液对万寿菊、波斯菊幼苗生长主要表现为抑制作用, 本研究结果显示, 仅有车前草地上部浸提液对波斯菊幼苗的根长有促进作用(RI=0.09), 其余处理化感效应均为负。车前草地下部浸提液对万寿菊、波斯菊根长、株高的抑制作用高于地上部, 泥胡菜地下部浸提液对波斯菊、万寿菊株高的抑制作用显著高于地上部, 这与李雅馨等(2020)研究的根系对化感物质的敏感性高于

地上部结论相似。经车前草地下部浸提液处理显著降低了万寿菊根长、株高, 而对波斯菊无显著影响。藜地下部浸提液处理对万寿菊无显著影响, 但显著降低了波斯菊株高, 这说明不同受试植物对供体植物的化感作用具有物种选择性, 归因于不同种类的浸提液释放的化感物质种类和含量不同, 该结果与Turk和Tawaha (2003)的研究结论一致。综合分析表明, 3种杂草浸提液对万寿菊、波斯菊幼苗生长的化感效应要强于种子萌发, 这与Smith (1990)研究杂草浸提液对苜蓿幼苗生长的影响高于其对苜蓿种子萌发的结论一致。本研究结果表明, 虽然车前草和泥胡菜的地上部和地下部浸提液对波斯菊种子萌发有促进作用, 但整体对波斯菊幼苗的根长和株高仍有影响, 尤其是泥胡菜的影响显著, 表明波斯菊虽具有较强的适应能力, 但在杂草的干扰下, 其生长仍然受到影响。余婷等(2013)研究表明, 植物分泌物中若含有水溶性酚类化感物质, 能影响细胞的生长与分化, 进而影响植物的生长和发育。研究表明, 酚类物质在种子整个萌发过程中起着干扰作用, 同时还干扰器官的吸收和发育过程(Bubna等2011; Pereira等2018)。Taiz和Zeiger (2010)以及Murphy和Stutte (1978)研究表明, 化感效应与高等植物所含的酚类、萜类和含氮化合物有密切的关系, 是延缓种子萌发的主要化感物质。然而, 化感物质复杂多样, 因此, 本试验3种杂草中存在化感物质种类、含量、释放途径及作用机制等还需进一步研究。

3.3 三种杂草不同部位浸提液对万寿菊和波斯菊相关酶活性的影响

一般情况下, 植物体内的活性氧的产生与清除, 处于动态平衡, 然而, 在逆境胁迫下会打破这种平衡(马海燕2012), 植物通过增强保护酶活性来清除活性氧自由基, 从而维持细胞膜的稳定性和完整性, 因此具有较强的抗逆性(刘翰升等2019)。化感作用也能通过改变植物体内保护酶活性, 增加膜脂过氧化, 进而破坏膜系统稳定性, 造成代谢紊乱, 抑制植物生长和发育(鲍红春等2015; 张瑜等2018)。MDA是膜脂过氧化的终产物, 其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度。鲍红春等(2018)研究表明不同浓度沙芥水浸提液降低了白菜幼苗

SOD和POD活性,提高了MDA含量。本研究中当万寿菊幼苗体内氧化产物累积到一定水平时,导致酶活性下降。万寿菊幼苗体内SOD和POD活性的分析结果与种子萌发率的分析结果相吻合。本研究表明3种杂草浸提液处理下万寿菊SOD、CAT活性均低于对照处理,当SOD、POD和CAT活性高时,膜脂过氧化程度加重,MDA含量快速积累,万寿菊体内质膜透性增大,膜的结构与功能受到破坏,最终导致幼苗生长缓慢或死亡。藜和泥胡菜处理显著抑制了波斯菊的抗氧化酶活性,MDA含量快速积累,仅车前草浸提液促进了波斯菊SOD、POD活性,且地上部浸提液促进作用大于地下部,CAT无显著影响,与波斯菊幼苗生长(表2)的结论相吻合。由此表明,逆境下波斯菊细胞内活性氧自由基代谢失衡,引起自由基的积累和膜脂过氧化,从而导致质膜结构和功能受损,是产生化感抑制作用的重要原因之一(沙俊涛等2019)。本研究中,3种杂草浸提液处理下MDA含量均高于对照处理,其中车前草地下部处理下万寿菊的MDA含量快速积累,而藜和泥胡菜处理MDA积累量较低,说明车前草地下部处理使万寿菊抗氧化能力下降,产生活性氧伤害,来抑制万寿菊生长,这与车前草地下部浸提液对万寿菊幼苗生长的结论一致。相反,藜和泥胡菜浸提液处理波斯菊的MDA含量显著高于车前草($P<0.05$),这与幼苗生长中车前草处理对波斯菊生长发育的抑制作用低于藜和泥胡菜的结论一致,这可能与不同浸提液中含有的化感物质种类有关,化感物质越多,对植物的伤害越严重(刘娜等2016)。可溶性蛋白作为渗透调节作用的重要物质,其含量在一定程度上可以自身调节可溶性糖含量来抵御逆境(张小艾等2013;刘翰升等2019)。图3表明与对照相比,除藜地下部处理的万寿菊可溶性蛋白含量差异不显著,其余均在万寿菊、波斯菊叶中显著下降,可能由于在植物受逆境胁迫程度超过正常范围时,渗透调节能力下降甚至丧失,其水解作用增强,使蛋白质合成受到了抑制,最终导致万寿菊和波斯菊体内的可溶性蛋白质含量大幅度下降(沙俊涛等2019;刘娜等2016)。对于可溶性蛋白中具体组分的变化和作用机制有待于进一步研究。

本研究表明,3种杂草浸提液对2种花卉的化感效应强弱表现为万寿菊>波斯菊。车前草地上部、藜地上部浸提液对万寿菊发芽率抑制作用大于地下部,而泥胡菜的地下部浸提液对万寿菊发芽率抑制作用则大于地上部;藜地上部和地下部浸提液对波斯菊发芽率化感作用最强。藜、泥胡菜、车前草3种杂草对波斯菊、万寿菊株高、根长主要表现为抑制作用。3种杂草浸提液抑制了万寿菊抗氧化酶活性,藜和泥胡菜整体趋势抑制了波斯菊抗氧化酶活性,仅车前草浸提液促进了波斯菊SOD、POD活性,CAT无显著影响,3种杂草浸提液提高了万寿菊、波斯菊幼苗MDA含量,降低了可溶性蛋白含量。因此,建议万寿菊、波斯菊大规模种植时,应尽量避免在藜、泥胡菜危害严重的地块种植或者采用耕作措施彻底清除杂草。

参考文献(References)

- Bao HC, Hao LZ, Zhang FL, et al (2015). Allelopathic effects of aqueous extracts of *Pugionium cornutum* on seed germination and seedling growth of cabbage. *Plant Physiol J*, 51 (7): 1109–1116 (in Chinese with English abstract) [鲍红春, 郝丽珍, 张凤兰等(2015). 沙芥水浸提液对白菜种子萌发和幼苗生长的化感作用. *植物生理学报*, 51 (7): 1109–1116]
- Baziar MR, Farahvash F, Mirshekari B, et al (2014). Allelopathic effect of ryegrass (*Lolium persicum*) and wild mustard (*Sinapis arvensis*) on barley. *Pak J Bot*, 46 (6): 2069–2075
- Bubna GA, Lima RB, Zanardo DY, et al (2011). Exogenous caffeic acid inhibits the growth and enhances the lignification of the roots of soybean (*Glycine max*). *J Plant Physiol*, 168: 1627–1633
- Cao ZL, Wang XL, Tu J (2011). Allelopathic effect of aqueous extracts of *Eupatorium adenophorum* Spreng. by different treatment methods on seed germination of *Pinus yunnanensis* Franch. *Seed*, 30 (8): 46–49 (in Chinese with English abstract) [曹子林, 王晓丽, 涂璟(2011). 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*, 30 (8): 46–49]
- Chou S-U, Hong GJ, Dong KK, et al (2005). Allelopathic potential in lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *Sci Hortic*, 106: 309–317
- Dong L (2015). *Andscape Flower Application Design*. 3rd ed. Beijing: China Forestry Publishing House, 291–294 (in Chinese) [董丽(2015). *园林花卉应用设计*. 第3版. 北京: 中国林业出版社, 291–294]

- Du ML, Gao Y, Zhang RM, et al (2011). Allelopathic effects from aqueous extracts of exotic *Coreopsis grandiflora* on seed germination of six native ornamental plant species. *J Zhejiang A&F Univ*, 28 (1): 109–114 (in Chinese with English abstract) [杜明利, 高岩, 张汝民等(2011). 大花金鸡菊水浸液对6种常见园林植物种子萌发的化感作用. *浙江农林大学学报*, 28 (1): 109–114]
- Li YX, Zhang TB, Du HL, et al (2020). The allelopathy of five pine needle extracts on *Trifolium repens* L.. *J Nucl Agric Sci*, 34 (7): 1606–1612 (in Chinese with English abstract) [李雅馨, 张天宝, 杜慧玲等(2020). 5种松针浸提液对白三叶草的化感作用. *核农学报*, 34 (7): 1606–1612]
- Liu HS, Zhao CL, Liu Y, et al (2019). Effects of cadmium stress on physiology and enrichment of *Tagetes* seedlings. *Fujian J Agric Sci*, 34 (10): 1221–1227 (in Chinese with English abstract) [刘翰升, 赵春莉, 刘玥等(2019). 镉胁迫对万寿菊属植物幼苗生理及富集的影响. *福建农业学报*, 34 (10): 1221–1227]
- Liu N, Bai WM, Su LL, et al (2016). Effects of olive mill wastewater on the germinability and related enzyme activities of wheat and maize seeds. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 36 (3): 565–572 (in Chinese with English abstract) [刘娜, 白万明, 苏玲玲等(2016). 油橄榄加工废液对小麦和玉米种子萌发及相关酶活性的影响. *西北植物学报*, 36 (3): 565–572]
- Ma HY (2012). Studies on changes of soil environments of continuous cropping and allelopathy effects of *Gerbera Jamesonip* (dissertation). Taian, Shandong: Shandong Agricultural University (in Chinese with English abstract) [马海燕(2012). 非洲菊连作的土壤环境变化及其化感效应研究(学位论文). 山东泰安: 山东农业大学]
- Murphy JB, Stutte CA (1978). Analysis for substituted benzoic and cinnamic acids using high pressure liquid chromatography. *Analyt Biochem*, 86: 220–228
- Niu HH (2019). Studies of *Vicia villosa* allelopathy on four common forage in the seedling stage (dissertation). Changsha: Hunan Agricultural University (in Chinese with English abstract) [牛欢欢(2019). 光叶紫花苕子对4种牧草的化感作用研究(学位论文). 长沙: 湖南农业大学]
- Peng X (2019). Allelopathic Effects of water extracts of maize leaf on three chinese herbal medicinal plants. *Not Bot Horti Agrobot*, 47 (1): 194–200
- Pereira JC, Paulino CL, Granja B, et al (2018). Allelopathic potential and identification of secondary metabolites in extracts of *Canavalia ensiformis* L. *Rev Ceres*, 65: 243–252
- Qu TB, Li YY, Ma WY (2017). Influence of aqueous extract of *Rhus typhina* on seed germination and seedling growth in *Cosmos bipinnata*. *J Northeast For Univ*, 45 (11): 26–31 (in Chinese with English abstract) [曲同宝, 李怡莹, 马文育(2017). 火炬树水浸提液对波斯菊种子萌发和幼苗生长的影响. *东北林业大学学报*, 45 (11): 26–31]
- Sha JT, Yao HZ, Zhou ZY, et al (2019). Allelopathy of leaf litter extracts of *Camellia sinensis* on seed germination of *Isatis indigotica*. *J Chin Tradit Med Mater*, 42 (7): 1471–1477 (in Chinese with English abstract) [沙俊涛, 姚浩铮, 周庄煜等(2019). 茶树凋落叶浸提液对菘蓝种子发芽的化感作用. *中药材*, 42 (7): 1471–1477]
- Smith AE (1990). Potential allelopathic influence of certain pasture weeds. *Crop Prot*, 9 (6): 410–414
- Taiz L, Zeiger E (2010). *Plant Physiology*. 5th ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc.
- Turk MA, Tawaha AM (2003). Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.). *Crop Prot*, 22: 673–677
- Wang JY, Yao DD, Zhao GQ, et al (2017). Allelopathic effects of an aqueous extracts of *Melilotus officinalis* on *Lolium multiflorum* and *Sorghum sudanense*. *Acta Pratac Sin*, 26 (8): 85–92 (in Chinese with English abstract) [王婧怡, 姚丹丹, 赵国琦等(2017). 黄花草木樨水浸提液对苏丹草和黑麦草的化感作用. *草业学报*, 26 (8): 85–92]
- Wang YX, Tang ZS, Cao ML, et al (2020). Allelopathic effects of *Hylotelephium erythrostictum* flowers on three weed species and identification of potential allelochemicals. *Acta Pratac Sin*, 29 (1): 175–182 (in Chinese with English abstract) [王宇轩, 唐宗寿, 曹梦琳等(2020). 八宝景天花对三种杂草的化感作用及潜在化感物质鉴定. *草业学报*, 29 (1): 175–182]
- Williamson GB, Richardson D (1988). Bioassays for allelopathy: measuring treatment response with independent controls. *J Chem Ecol*, 14 (1): 181–187.
- Yan QB, Bi XH (1980). *International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing*. Beijing: Techni Standards Press, 168 (in Chinese) [颜启博, 毕辛华(1980). 国际种子检验协会(ISTA). 国际种子检验规程. 北京: 技术标准出版社, 168]
- Yang T, Zhang M, Chen DY, et al (2020). Allelopathy of *Medicago sativa* L. soil extracts on *Althaea rosea* Cavan. *J Agric Resour Environ*, 37 (1): 92–97 (in Chinese with English abstract) [杨彤, 张梅, 陈丹阳等(2020). 紫花苜蓿土壤浸提液对蜀葵的化感作用. *农业资源与环境学报*, 37 (1): 92–97]
- Yin TC, Hou KX, Li Y, et al (2018). Study on allelopathic effects of *Conyza Canadenis* on four kinds of herbaceous flowers. *Contemp Hortic*, (4): 11–12 (in Chinese) [殷庭超, 侯凯翔, 李晔等(2018). 小飞蓬对4种草本花卉的化感效应研究. *现代园艺*, (4): 11–12]
- Yin YL, Li HX, Wang J, et al (2009). Allelopathy between *Medicago sativa* and weeds. *Pratac Sci*, 26 (12): 131–135 (in Chinese with English abstract) [尹亚丽, 李红旭, 王

- 俊等(2009). 杂草对紫花苜蓿的化感作用. 草业科学, 26 (12): 131–135]
- Yu T, Meng HW, Wen YB, et al (2013). Biochemical effects of *Trifolium repense* L. exudates on five tested turf grasses. *Acta Agrect Sin*, 21 (4): 729–736 (in Chinese with English abstract) [余婷, 孟焕文, 温艳斌等(2013). 白三叶根系分泌对5种草坪草的化感作用. 草地学报, 21 (4): 729–736]
- Zeng RS (1999). Review on bioassay methods for allelopathy research. *Chin J Appl Ecol*, 10 (1): 123–126 (in Chinese with English abstract) [曾任森(1999). 化感作用研究中的生物测定方法综述. 应用生态学报, 10 (1): 123–126]
- Zhang TJ Tian XS, Zhang C, et al (2020). Allelopathic interactions between *Borreria latifolia* and two common asteraceae species. *Chin J Appl Ecol*, 31 (7): 2211–2218 (in Chinese with English abstract) [张泰劼, 田兴山, 张纯等(2020). 阔叶丰花草与2种菊科植物之间的化感作用. 应用生态学报, 31 (7): 2211–2218]
- Zhang XA, Li MY, Wang ZH, et al (2013). Effects of heavy metal sands aline-alkalions on seedlings growth physiological-biochemical of *Oryehophragmus violaeus*. *Acta Pratac Sin*, 22 (2): 187–194 (in Chinese with English abstract) [张小艾, 李名扬, 汪志辉等(2013). 重金属及盐碱对二月兰幼苗生长和生理生化的影响. 草业学报, 22 (2): 187–194]
- Zhang Y, Chang SH, Song YN, et al (2018). Application of plant allelopathy in agro-ecosystems. *Chin Agric Sci Bull*, 34 (5): 61–68 (in Chinese with English abstract) [张瑜, 常生华, 宋娅妮等(2018). 植物化感作用在农业生态系统中的应用. 中国农学通报, 34 (5): 61–68]
- Zhang Y, Chen HM (2018). Herbaceous flowers create flower sea landscape. *Flowers*, (2): 19–20 (in Chinese) [张莹, 陈慧敏(2018). 草本花卉营造花海景观. 花卉, (2): 19–20]
- Zhang ZL, QU WJ, Li XF (2009). Experimental guidance on Plant Physiology. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 59–64 (in Chinese) [张志良, 瞿伟菁, 李小方(2009). 植物生理学实验指导. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 59–64]
- Zhao JH, Wang T, Zhang S, et al (2020). Effects of the extracts of associated seeds on the germination and allelopathic effects of Rudbeckiaceae. *Agric Techn Equip*, 367 (7): 5–7 (in Chinese) [赵晶华, 王婷, 张硕等(2020). 伴生种浸提液对黑心菊种子萌发及幼苗生长化感效应的影响. 农业技术与装备, 367 (7): 5–7]
- Zhu YL, Tan P, Lu SF, et al (2011). Effects of water extract of *Eucalyptus* leaves on vetiver root growth and some physiological indices. *Chin J Trop Crops*, 32 (11): 2109–2112 (in Chinese with English abstract) [朱宇林, 谭萍, 陆绍锋等(2011). 桉树叶水浸提液对香根草根系生长及部分生理指标的影响. 热带作物学报, 32 (11): 2109–2112]