

美洲商陆浸提液对3种作物种子萌发及幼苗生长的化感效应

温四民¹, 张桂玲^{2*}, 袁 蕾³

(1. 临沂大学资产管理处, 山东 临沂 276000; 2. 临沂大学农林科学学院, 山东 临沂 276000; 3. 临沂市城市管理综合服务中心, 山东 临沂 276000)

摘 要:为了探讨美洲商陆根部浸提液对不同作物种子萌发及幼苗生长的化感作用,以萝卜、小麦和棉花3种常见的作物为材料,采用培养皿发芽试验等方法,研究不同浓度美洲商陆根部浸提液对3种作物种子萌发、幼苗生长以及保护酶活性、渗透调节物质和丙二醛含量的影响。结果表明,美洲商陆根部浸提液对3种作物种子发芽率、发芽势、发芽指数,幼苗苗高、根长和鲜重均产生不同程度的抑制作用,浸提液浓度越高,抑制作用越强;随着浸提液浓度升高,萝卜和小麦的SOD、POD活性和棉花的SOD活性呈现先升高后下降趋势,而棉花的POD活性始终呈现升高趋势,小麦和棉花的可溶性糖、可溶性蛋白、Pro和MDA含量均呈现逐渐升高趋势,而萝卜的可溶性蛋白含量呈现先升高后下降趋势,综合比较,浸提液对萝卜种子萌发和幼苗生长抑制作用较强,对棉花种子抑制作用较弱。

关键词:美洲商陆;浸提液;化感效应;作物种子;种子萌发;幼苗生长

中图分类号:Q945.7

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2020)03-0076-05

Allelopathic Effects of *Phytolacca Americana* Extract on Seed Germination and Seedling Growth of Three Crops

WEN Simin¹, ZHANG Guiling^{2*}, YUAN Lei³

(1. Asset Management Office, Linyi University, Linyi 276000; 2. College of Agriculture and Forestry Science, Linyi University, Linyi 276000; 3. Linyi City Management Comprehensive Service Center, Linyi 276000, China)

Abstract: In order to explore the Allelopathic effects of *Phytolacca americana* root extract on seed germination and seedling growth of different crops, taking radish, wheat and cotton as materials, the effects of different concentrations of *Phytolacca americana* root extract on seed germination, seedling growth, protective enzyme activity, osmotic adjustment substance and malondialdehyde content of three crops were studied by means of culture dish germination test. The results showed that the extracts of *Phytolacca americana* root had different degrees of inhibition on seed germination rate, germination potential, germination index, seedling height, root length and fresh weight of three crops. The higher the concentration of extract, the stronger the inhibition. With the increase of extract concentration, the activities of SOD and POD in radish and wheat and SOD activity in cotton first increased and then decreased, while the activity of POD in cotton always showed an increasing trend. The contents of soluble sugar, soluble protein, Pro and MDA in wheat and cotton increased gradually, while that radish increased first and then decreased. The results showed that the extracts had stronger inhibition on radish seed germination and seedling growth than on cotton seed.

Key words: *Phytolacca americana*; Extract; Allelopathic effect; Crop seeds; Seed germination; Seedling growth

美洲商陆(*Phytolacca americana*)又称垂序商

陆或十蕊商陆,是一种多年生草本植物,其全株具有毒性,根和果实毒性最强。我国最早以药用植物被引入,其种子被鸟类和食果动物传播,随后在全国大部分地区迅速蔓延,对入侵地农林业生产及生物多样性带来严重威胁^[1],2009年国家林业局把美洲商陆列入入侵植物^[2]。

近年来,对美洲商陆的研究主要集中于锰^[3]、

收稿日期:2019-04-08

基金项目:国家自然科学基金(31500371);国家星火计划项目(2015GA740077);临沂市研究课题(2018LX225)

作者简介:温四民(1974-),男,实验师,硕士,从事植物生理研究。

通讯作者:张桂玲,女,硕士,副教授,E-mail: guilingzhang2003@

126.com

镉^[4]、铜^[5]等金属富集、化学成分及药理作用应用^[6-7]、入侵机制^[8-9]、组织培养^[10]、植株生长发育特征^[11-12]等方面,而有关美洲商陆的化感作用,尤其是美洲商陆对农作物生长发育过程中的化感作用至今缺乏深入研究。目前,美洲商陆已在山东省内陆及沿海区域内泛滥成灾,对山东地区农业生产造成了一定的危害^[13]。本文以美洲商陆为研究对象,研究其根部浸提液对3种常见农作物萝卜、小麦和棉花种子萌发及其幼苗生长的影响,以期探明美洲商陆对当地农作物的化感作用,为农田入侵植物防控提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试植物美洲商陆采自临沂市兰山区北屠苏村耕地,挖取植株根部洗净、阴干备用。受体植物为3种临沂地区主要栽培作物,萝卜品种为潍县萝卜,小麦品种为济麦22,棉花品种为鲁棉研24号,种子均购于临沂市种子公司。

1.2 试验方法

1.2.1 浸提液的配制

将美洲商陆根粉碎后称取30 g放入锥形瓶中,加入蒸馏水300 mL,置于(20±1)℃、80 r/min振荡培养箱中提取48 h。然后将溶液在20℃、5 000 r/min,10 min的条件下离心2次。所得上清液用0.2 μm孔径47 mm直径的微孔滤膜抽滤,即浓度为0.1 g/mL母液,4℃冰箱保存备用^[14],使用时用真空过滤器过滤,用灭菌后的蒸馏水将母液稀释成0.02、0.04、0.06、0.08 g/mL的浸提液备用。

1.2.2 试验设计

种子萌发试验:选取颗粒饱满度、大小一致的种子,用75%医用酒精浸泡消毒3 min,用无菌蒸馏水冲洗3~5次,均匀放入无菌的铺有双层滤纸的培养皿中,每个培养皿30粒种子,分别加入5 mL不同浓度的浸提液,对照(CK)为蒸馏水,每个处理重复3次,放于人工气候箱,昼温25℃、湿度60%、光照6 000 lx;夜温15℃、湿度80%、昼夜时间均设为12 h,萝卜在播种第4天统计发芽势,小麦和棉花在播种第3天统计发芽势,萝卜、小麦和棉花均在播种第7天统计发芽率和计算发芽指数,试验中适量补充相应浓度的浸提液以保持滤纸湿润,持续3天种子不发芽试验结束。

幼苗生长试验:将消毒后的种子置于培养箱中催芽至刚露白,培养皿加入不同浓度的浸提液10 mL,种子摆放、培养条件和重复次数与种子萌

发试验相同,7 d后测量幼苗茎长、根长和苗重,并测定相关生理指标。

1.3 指标测定

1.3.1 形态指标

发芽率(%)=(发芽种子数/供试种子数)×100%;发芽势(%)=(第n天发芽种子数/供试种子数)×100%;发芽指数(GI)=Σ(G/t),t为发芽时间(d),G为在t时间内发芽种子数;抑制率RI=1-T/C(T≤C),C为对照值,T为处理值,RI>0为抑制作用,RI<0为促进作用^[15]。

1.3.2 生理指标

SOD测定采用氮兰四唑显色法,POD测定采用愈创木酚法,可溶性糖测定采用蒽酮比色法,可溶性蛋白测定采用考马斯亮蓝G-250法,Pro测定采用酸性茚三酮法,MDA测定采用硫代巴比妥酸比色法^[16-17]。

1.4 数据处理

用Excel 2016进行数据处理、用IBM SPSS Statistics 19软件进行单因素方差分析(one way anova)和多重比较(Duncan)。

2 结果与分析

2.1 浸提液对3种作物种子萌发的影响

如表1所示,浸提液对3种作物种子萌发均产生抑制作用,随浸提液浓度的升高,发芽率、发芽势和发芽指数均呈下降趋势,浸提液浓度越高抑制作用越强。与对照相比,0.02 g/mL处理,小麦和棉花发芽率降低不显著,在0.02 g/mL与0.04 g/mL处理之间,萝卜、小麦和棉花发芽率降低不显著,其他处理之间发芽率均达到显著水平,0.08 g/mL处理,萝卜、小麦和棉花发芽率抑制率均达到最大值,分别为40.58%、37.89%和22.43%;3种作物种子发芽势,除了棉花在0.02 g/mL处理与对照之间,0.04 g/mL处理与0.02 g/mL处理之间差异不显著,其他浓度处理的发芽势均显著降低,0.08 g/mL处理萝卜、小麦和棉花发芽势抑制率均达到最大值,其中萝卜发芽势抑制率较大;不同浓度浸提液对3种作物发芽指数影响,除了棉花0.02 g/mL处理与对照差异不显著外,其他处理均差异显著。综合分析可知,浸提液对3种作物种子萌发的抑制强度表现为萝卜>小麦>棉花。

2.2 浸提液对3种作物幼苗生长的影响

由表2可见,不同浓度浸提液对3种作物的苗高、根长和鲜重均有不同程度的抑制作用,浸提液浓度越高其抑制作用越强,0.08 g/mL处理对3

表 1 美洲商陆根浸提液对 3 种作物种子萌发的影响

作物 名称	浸提液浓度 (g/mL)	发芽率 (%)	发芽率抑制率 (%)	发芽势 (%)	发芽势抑制率 (%)	发芽指数 (%)	发芽指数 抑制率(%)
萝卜	CK	92.00±3.29a	0	89.33±2.64a	0	48.43±1.83a	0
	0.02	86.33±2.57b	6.16	83.67±4.13b	6.34	41.72±2.32b	13.86
	0.04	82.67±4.31b	10.14	76.00±3.35c	14.92	35.59±1.55c	26.51
	0.06	71.00±3.35c	22.83	62.67±2.68d	29.84	26.11±2.41d	46.09
	0.08	54.67±2.90d	40.58	30.33±3.02e	66.05	15.90±2.19e	67.17
小麦	CK	95.00±5.47a	0	78.33±6.72a	0	70.25±3.47a	0
	0.02	89.33±3.12ab	5.97	70.00±3.37b	10.63	60.43±5.92b	13.98
	0.04	84.67±3.84b	10.87	60.67±2.82c	22.55	48.16±3.26c	31.44
	0.06	67.33±2.67c	29.13	54.33±3.76d	30.64	40.53±2.87d	42.31
	0.08	59.00±3.32d	37.89	34.33±2.17e	56.17	31.52±4.69e	55.13
棉花	CK	90.67±5.12a	0	73.67±3.15a	0	29.73±2.56a	0
	0.02	87.33±2.63ab	3.68	69.00±2.64ab	6.34	28.56±1.05a	3.94
	0.04	86.00±3.87b	5.15	63.67±4.33bc	13.57	25.82±3.79b	13.15
	0.06	79.67±4.25c	12.13	58.33±2.95c	20.82	21.21±1.42c	28.66
	0.08	70.33±2.64d	22.43	39.00±1.43d	47.06	13.43±2.13d	54.83

注：表中同列不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平差异显著，下同

表 2 美洲商陆根浸提液对 3 种作物幼苗生长的影响

作物 名称	浸提液浓度 (g/mL)	苗高 (cm)	苗高抑制率 (%)	根长 (cm)	根长抑制率 (%)	鲜重 (mg)	鲜重 抑制率(%)
萝卜	CK	2.33±0.09a	0.00	4.93±0.13a	0.00	63.71±5.37a	0.00
	0.02	2.24±0.15a	3.86	4.64±0.09ab	5.88	59.85±2.51b	6.06
	0.04	1.92±0.11b	17.60	4.33±0.21b	12.17	56.5±4.33bc	11.32
	0.06	1.51±0.08c	35.19	3.53±0.10c	28.40	48.29±1.04c	24.20
	0.08	1.12±0.07d	51.93	2.7±0.07d	45.03	38.62±4.35d	39.38
小麦	CK	11.94±0.91a	0.00	13.98±0.92a	0.00	236.27±19.64a	0.00
	0.02	10.48±1.10b	12.23	13.34±1.17a	4.58	227.14±13.85a	3.86
	0.04	9.84b±0.34c	17.59	11.92±0.79ab	14.74	194.69±20.37b	17.60
	0.06	9.74±0.61c	18.43	10.06±0.86c	28.04	173.12±13.31c	26.73
	0.08	7.54±0.09d	36.85	8.92±0.43d	36.19	153.57±6.12d	35.00
棉花	CK	5.61±0.34a	0.00	7.45±0.56a	0.00	428.97±23.46a	0.00
	0.02	5.49±0.16ab	2.14	7.26±0.11a	2.55	412.4a±16.92b	3.86
	0.04	4.92±0.30b	12.30	6.24±0.09b	16.24	401.49±36.59bc	6.41
	0.06	3.94±0.13c	29.77	5.63b±0.12c	24.43	358.63±10.81c	16.40
	0.08	3.7±0.22d	34.05	4.58±0.36d	38.52	296.2±6.44d	30.95

种作物的苗高、根长和鲜重的抑制作用最强。除了对照与 0.02 g/mL 处理之间萝卜和棉花的苗高差异不显著,0.02 g/mL 处理与 0.04 g/mL 处理之间棉花的苗高差异不显著,其他处理之间 3 种作物的苗高差异均达到显著水平;与对照相比,0.02 g/mL 处理对 3 种作物根长抑制不显著,与 0.02 g/mL 处理比较,0.04 g/mL 浓度处理对萝卜和小麦的根长抑制作用不显著;与对照相比较,0.02 g/mL 处理下小麦幼苗鲜重降低不显著,0.02 g/mL 处理与

0.04 g/mL 处理棉花幼苗鲜重差异不显著,0.04 g/mL 处理与 0.06 g/mL 处理之间萝卜和棉花幼苗鲜重差异不显著。综合分析可知,浸提液对 3 种作物幼苗生长的抑制强度表现为萝卜>小麦>棉花。

2.3 浸提液对 3 种作物幼苗保护酶活性、渗透调节物质和丙二醛含量的影响

由表 3 可见,不同浓度浸提液对 3 种作物幼苗的保护酶活性(SOD 和 POD)、渗透调节物质含量(可溶性糖、可溶性蛋白和 Pro)和丙二醛含量均

表3 美洲商陆根浸提液对保护酶活性、渗透调节物质和丙二醛含量的影响

作物名称	浸提液浓度 (g/mL)	SOD (U/g·FW)	POD (U/g·FW)	可溶性糖含量 (μg/g·FW)	可溶性蛋白 含量(mg/g·FW)	Pro 含量 (μg/g·FW)	MDA 含量 (μmol/g·FW)
萝卜	CK	10.37±1.27c	22.29±3.71d	3.51±0.24d	15.04±1.07d	7.26±0.37d	0.75±0.05d
	0.02	11.85±0.91bc	26.97±1.45c	4.29±0.31c	19.15±2.32c	9.78±1.24c	0.79±0.03d
	0.04	14.47±2.26a	32.77±2.81b	5.21±0.60bc	25.05±1.77b	10.67±0.81c	0.97±0.07c
	0.06	14.20±1.73b	41.24±5.44a	6.53±0.49b	26.75±2.65ab	12.43±1.17b	1.26±0.06b
	0.08	13.05±2.41b	38.49±8.59a	8.27±0.53a	18.65±4.13c	16.77±1.69a	1.53±0.11a
小麦	CK	151.22±6.98c	70.27±7.23e	0.31±0.02d	15.18±1.20d	5.25±0.23d	10.21±1.22d
	0.02	162.92±4.61bc	95.03±11.61d	0.32±0.01d	16.09±0.95c	7.05±0.44d	13.35±0.98cd
	0.04	179.47±9.22b	112.30±9.48c	0.49±0.02c	16.78±1.56bc	11.35±0.85c	14.70±2.20c
	0.06	197.65±5.65a	144.00±6.15b	0.66±0.06b	17.57±2.19b	17.25±1.06b	18.05±1.23b
	0.08	195.19±11.38a	142.32±12.30a	0.89±0.07a	18.85±1.54a	25.55±1.83a	23.16±2.18a
棉花	CK	101.31±4.85c	270.34±15.61e	2.06±0.12e	4.13±0.37d	212.26±16.59e	12.17±0.85c
	0.02	107.28±6.33c	285.73±20.15d	2.42±0.09d	4.83±0.53c	220.53±25.71d	12.84±1.21c
	0.04	118.54±3.94b	298.59±11.73c	3.21±0.26c	5.23b±0.40c	234.37±18.13c	13.65±0.96bc
	0.06	130.46±7.52a	315.82±21.29b	4.17±0.55b	5.87±0.29a	247.94±23.65b	15.18±1.09a
	0.08	125.70±8.26a	340.27±18.61a	5.62±0.37a	6.06±0.56a	264.38±19.30a	15.42±1.17a

产生明显影响,随着浸提液处理浓度的增加,3种作物除了棉花的POD活性一直升高外,其他SOD和POD活性均出现先升高后下降的趋势,0.02 g/mL处理3种作物SOD活性均高于对照,但差异不显著,萝卜0.04 g/mL处理时SOD活性达到最大值,小麦和棉花在0.06 g/mL处理时SOD活性达到最大值,之后3种作物SOD活性受到抑制开始呈下降趋势。3种作物可溶性糖含量、可溶性蛋白含量(萝卜可溶性蛋白含量先升高后下降)、脯氨酸(Pro)含量和MDA含量随浸提液浓度的增加均呈现上升趋势,与对照相比,除了小麦0.02 g/mL处理可溶性糖含量和Pro含量增加不显著外,其他各处理3种作物幼苗可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和脯氨酸均增加显著,0.02 g/mL处理3种作物的MDA含量差异不显著,0.04 g/mL处理棉花的MDA含量差异不显著,其他各处理MDA含量差异显著。

3 结论与讨论

化感作用广泛存在于自然界中,在农田杂草控制、作物病虫害的防治以及减少连作障碍危害等方面起着重要的作用^[18]。本研究表明,商陆根部浸提液对3种作物种子发芽率、发芽势、发芽指数,幼苗苗高、根长和鲜重均产生不同程度的抑制作用,浸提液浓度越高,抑制作用越强,抑制程度在3种作物之间存在一定差异。浸提液对萝卜的发芽率、发芽势、苗高和根长的最大抑制率分别为40.58%、66.05%、51.93%、45.03%,对小麦发

芽率、发芽势、苗高和根长的最大抑制率分别为37.89%、56.17%、36.85%和36.19%,对棉花发芽率、发芽势、苗高和根长的最大抑制率分别为22.43%、47.06%、34.05%和38.52%,随着浸提液浓度升高,3种作物中除了棉花的POD活性一直升高外,SOD和POD活性均出现先升高后下降的趋势,而可溶性糖、可溶性蛋白(萝卜除外)、Pro和MDA含量均呈现逐渐升高趋势,综合比较,浸提液对萝卜种子萌发和幼苗生长抑制作用较强,对棉花的抑制作用较弱。

大量研究发现,许多入侵植物的化感物质能抑制作物的种子萌发及其幼苗的生长发育。本试验与以上研究结果相同,可能是美洲商陆根的化感物质对细胞分裂产生抑制,从而阻碍种子的萌发,或阻碍萌发种子的胚根和下胚轴的伸长生长^[19]。另一方面,美洲商陆可以通过抑制其他作物的种子萌发和幼苗生长获得更多的生长空间和养分供应,从而加速了该种群在农田^[20]、林地^[13]、滩涂等环境入侵。

在化感作用下,植物细胞会通过积累渗透调节物质来调节细胞内渗透势、维持水分平衡及细胞膜的正常结构^[21],本试验中,随着处理浓度的增加,3种作物幼苗的可溶性糖和脯氨酸含量递增,与姚丹丹等^[22]研究结果相同;而萝卜的可溶性蛋白含量出现低促进高浓度抑制的现象,可能由于在植株受到化感物质胁迫程度超过其渗透调节机制的范围时,渗透调节能力下降甚至丧失,其水解作用增强,导致蛋白质合成减弱^[23]。

MDA 是膜脂过氧化程度的指标之一,能与细胞内各种成分发生反应,最终导致膜结构及生理完整性的破坏^[24-25],本研究中低浓度处理对3种作物幼苗的MDA含量无显著影响,而高浓度处理对MDA含量产生显著影响,说明高浓度处理引起3种作物体内自由基反应和脂质过氧化反应,植株细胞生理完整性受到破坏,这与Oracz K等^[26]结果相同。SOD和POD可清除植物在生长过程中产生的 O_2^- 、 H_2O_2 等氧自由基,对于维持植物细胞自由基处于较低水平,避免活性氧对细胞膜脂造成伤害具有重要作用^[27-28],本研究表明,除了棉花的POD活性,其他3种作物的SOD、POD活性均呈现先升高后下降的趋势,可能是低浓度处理可以诱使二者活性上升,清除自由基的能力增强,随着处理浓度进一步增加超过了其调节范围,酶活性被抑制,植物损伤加剧,这与Abenavoli M R等^[29]研究结果一致。

美洲商陆根部浸提液抑制萝卜、小麦和棉花种子萌发和幼苗生长,这种抑制作用表现出作物种类之间存在一定差异,鉴于此,在农业生产中清除美洲商陆时,要清理商陆根部,在入侵严重的农田可选择耕种对美洲商陆不敏感的作物。

参考文献:

- [1] 徐海根,强 胜. 中国外来入侵物种编目[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 80-81.
- [2] 董周焱,柏新富,张靖梓,等. 入侵植物美洲商陆对光环境的适应性[J]. 生态学杂志, 2014, 33(2): 316-320.
- [3] 廖 阳,闫荣玲,何永峰,等. 垂序商陆繁殖期各器官锰富集规律及其对种子萌发的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(10): 2062-2068.
- [4] 蔡春婷,汤克丽,许旭萍,等. 镉铅复合胁迫下根表铁锰氧化胶膜厚度对美洲商陆富集镉的影响[J]. 环境科学学报, 2017, 37(1): 298-307.
- [5] 徐小逊,张世熔,徐红娇,等. 铜胁迫下垂序商陆的生长响应和铜富集特性[J]. 四川农业大学学报, 2012, 30(1): 37-41.
- [6] 王鹏程,王秋红,赵 珊,等. 商陆化学成分及药理作用和临床应用研究进展[J]. 中草药, 2014, 45(18): 2722-2731.
- [7] 陈国菊,雷建军,曹必好. 商陆抗病毒蛋白在植物抗病上的应用[J]. 长江蔬菜, 2009(20): 5-8.
- [8] 刘 辉,谢晓华,何 平,等. 美洲商陆的入侵机制研究[J]. 绿色科技, 2017(7): 1-6.
- [9] 张靖梓. 美洲商陆入侵地与原产地种源种子萌发与生长特性的比较[D]. 烟台: 鲁东大学, 2016.
- [10] 施和平,朱远锋,曾宝强,等. 美洲商陆毛状根诱导及其离体培养的影响因素[J]. 生物工程学报, 2017, 33(2): 272-283.
- [11] 李祖任,晏升禄,廖海民,等. 入侵杂草美洲商陆大小孢子的形成和雌雄配子体的发育[J]. 华北农学报, 2015, 30(1): 81-86.
- [12] 徐宁伟,贾益豪,包志毅. 美洲商陆果实和种子组分测定及幼苗形态观察[J]. 经济林研究, 2014, 32(4): 175-179.
- [13] 付俊鹏,李传荣,许景伟,等. 沙质海岸防护林入侵植物垂序商陆的防治[J]. 应用生态学报, 2012, 23(4): 991-997.
- [14] 苗 朔,敖 苏,颜仕龙,等. 苦瓜对8种蔬菜的化感作用[J]. 中国蔬菜, 2017(2): 55-60.
- [15] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of chemical ecology (USA), 1988, 14(1): 181-187.
- [16] 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, 2007: 164-167.
- [17] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广东: 华南理工大学出版社, 2006: 64-66.
- [18] 杨晋燕,马小艳,姜伟丽,等. 鳢肠水提液对棉花和棉田常见杂草的化感作用[J]. 棉花学报, 2015, 27(1): 53-61.
- [19] Turk M A, Tawaha A M. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.)[J]. Crop Protection, 2003, 22(4): 673-677.
- [20] 李儒海,褚世海,万 鹏,等. 湖北省主要农作物田外来入侵杂草发生危害状况[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(19): 3963-3966.
- [21] 孙梦利,王世豪,徐子健,等. 外源海藻糖调节西瓜细胞渗透胁迫抗性的研究[J]. 热带作物学报, 2019, 40(2): 269-274.
- [22] 姚丹丹,王婧怡,周 倩,等. 香豆素对多花黑麦草种子萌发和幼苗生长化感作用的机理研究[J]. 草业学报, 2017, 26(2): 136-145.
- [23] 赵 雪,张秀珍,牟洪香,等. 干旱胁迫对不同种源文冠果幼苗水分生理特性及渗透调节物质的影响[J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(6): 18-21.
- [24] LIN C C, KAO C H. Effect of NaCl stress on H_2O_2 metabolism in rice leaves[J]. Plant Growth Regulation, 2000, 30(2): 151-155.
- [25] 耿艳秋,李大勇,吴 莹,等. 低温胁迫对玉米萌发出苗期生理生化指标的影响[J]. 东北农业科学, 2016, 41(6): 11-15.
- [26] Oracz K, Bailly C, Gniazdowska A, et al. Induction of oxidative stress by sunflower phytotoxins in germinating mustard seeds [J]. Journal of Chemical Ecology, 2007, 33(2): 251-264.
- [27] 王晓英,吴洪新. 紫花地丁水浸提液对草地早熟禾和高羊茅的化感作用研究[J]. 中国草地学报, 2015, 37(1): 97-103.
- [28] 孙晓东,贾 娜,何 鹏,等. 干旱胁迫对陕北沙棘幼苗生长发育的影响[J]. 东北农业科学, 2018, 43(2): 16-20.
- [29] Abenavoli M R, Cacco G, Sorgonà A, et al. The inhibitory effects of coumarin on the germination of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*, cv. *Simeto*) seeds[J]. Journal of Chemical Ecology, 2006, 32(2): 489-506.

(责任编辑:刘洪霞)