

网络出版时间:2024-10-11 10:06 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2025.04.004
网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1390.S.20241010.1046.003

长喙韭果皮水浸提液对叶用莴苣种子萌发和 幼苗生长的化感作用

巴依牙·托列吾汗,迪丽热巴·莫合太江,林辰壹

(新疆农业大学 园艺学院,新疆 乌鲁木齐 830052)

【摘要】【目的】探究长喙韭(*Allium saxatile*)果皮水浸提液对叶用莴苣(*Lactuca sativa*)种子萌发和幼苗生长的化感作用,为揭示其化感作用机制奠定基础。【方法】用长喙韭果皮凋落物制备 20,40,60 mg/mL 的水浸提液,以无菌水处理为对照(CK),以叶用莴苣种子为受体材料,采用培养皿滤纸法,测定种子萌发指标(发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数),发芽 2,4,7 d 的根系活力、 α -淀粉酶活性,以及丙二醛(malondialdehyde,MDA)、独脚金内酯(strigolactones,SLs)、脱落酸(abscisic acid,ABA)、生长素(indoleacetic acid,IAA)含量等幼苗生理指标,计算上述指标的综合化感效应指数,分析根系生长和内源激素含量之间各指标的相关性及影响化感作用的主要因素。【结果】当长喙韭果皮水浸提液质量浓度为 60 mg/mL 时,叶用莴苣种子的发芽率和根长较对照分别降低 35.27%和 85.02%; α -淀粉酶活性降低 22.18%,发芽过程中胚根、胚轴的 SLs、ABA 和 IAA 含量存在显著差异。多因素方差分析显示,种子萌发所处阶段和长喙韭水浸提液质量浓度是影响叶用莴苣 SLs、ABA 和 IAA 含量的关键因素。叶用莴苣根系活力与胚根 ABA 含量呈显著正相关($P<0.05$),而与胚根 SLs 含量呈显著负相关($P<0.05$);根长与胚根 IAA 含量呈显著正相关($P<0.05$),根体积与胚轴 IAA 含量呈显著正相关($P<0.05$)。【结论】长喙韭果皮水浸提液处理影响了叶用莴苣胚根和胚轴的 SLs、ABA 和 IAA 内源激素含量,其化感作用发生在种子萌发和幼苗生长全过程,且对不同部位幼苗的化感效应表现不同。

【关键词】长喙韭;叶用莴苣;化感作用;种子萌发;幼苗生长;内源激素

【中图分类号】S633.9;S636.2

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2025)04-0034-10

Chemosensory effects of aqueous extract of *Allium saxatile* pericarp on seed germination and seedling growth of *Lactuca sativa*

TUOLIEWUHAN · Baiya, MOHETAIJIANG · Dilireba, LIN Chenyi

(College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to investigate the chemosensitizing effect of the water extract of the pericarp of *Allium saxatile* on the seed germination and seedling growth of *Lactuca sativa* so as to provide a foundation for revealing the mechanism of its chemosensitizing effect. 【Method】 Aqueous extracts at different mass concentration gradients of 20, 40 and 60 mg/mL were prepared from the pericarp of *A. saxatile* pericarp dieback and the treatment with sterile water was conducted as the control. The seed germination indices (germination rate, germination potential, germination index and vigor index), root vigor, α -amylase activity, MDA, SLs, ABA and IAA contents and other physiological indicators of seedling growth at day 2, 4 and 7 were determined by the Petri dish filter paper method, with the seeds of *Lactuca sativa* as

【收稿日期】 2024-01-11

【基金项目】 国家自然科学基金项目(31760573);新疆维吾尔自治区现代农业产业技术体系蔬菜项目(XJARS-07)

【作者简介】 巴依牙·托列吾汗(1997-),女(哈萨克族),新疆额敏人,在读硕士,主要从事野生蔬菜种质资源开发与利用研究。
E-mail:3134364094@qq.com

【通信作者】 林辰壹(1965-),女,新疆乌鲁木齐人,教授,博士,主要从事野生葱属资源的研究。E-mail:linchenyi65@sina.com

the receptor material. The correlation between embryonic roots and embryonic axes was analyzed, and the main factors affecting chemosensitivity were also determined. 【Result】 When the concentration of the extract was 60 mg/mL, the germination rate and root length were reduced by 35.27% and 85.02% compared to the control, respectively, and α -amylase activity was reduced by 22.18% compared to the control. There were significant differences in the content of strigolactones, abscisic acid, and indoleacetic acid in the embryonic roots and embryonic axes during the germination process. Multifactorial ANOVA showed that the stage of seed germination and the concentration of *A. saxatile* treatment solution were the key factors affecting the variation of SLs, ABA and IAA contents in *L. sativa*. Root vigor was positively correlated with embryonic root ABA content and negatively correlated with embryonic root SLs content, root length was positively correlated with embryonic root IAA content, and root volume was positively correlated with embryonic axis IAA content. 【Conclusion】 SLs, ABA and IAA endogenous hormones in the embryonic roots and embryonic axes of *L. sativa* were affected by the treatment of water extract from the pericarp of *A. saxatile*, and their chemosensory effects occurred throughout the whole process of seed germination and seedling growth. The chemosensory effects on seedlings in different parts of the plant were different.

Key words: *Allium saxatile*; *Lactuca sativa*; allelopathy; seed germination; seedling growth; endogenous hormone

化感作用在植物与其周围环境生物信息传递过程中起着至关重要的作用,例如,小蓬草(*Conyza canadensis*)对波斯菊(*Cosmos bipinnatus*)和观赏油菜(*Brassica juncea*)的种子萌发呈现“低促高抑”的化感效应^[1];南方红豆杉(*Taxus wallichiana*)在抑制紫花苜蓿(*Medicago sativa*)根长的同时会导致丙二醛含量升高^[2];菊花(*Chrysanthemum morifolium*)水浸提液抑制萝卜(*Raphanus sativus*)的总根长^[3];小麦(*Triticum aestivum*)通过影响看麦娘(*Alopecurus aequalis*)叶片中的生长素(indoleacetic acid, IAA)和脱落酸(abscisic acid, ABA)含量而抑制其生长^[4];大狼毒(*Euphorbia jolkinii*)可以导致紫花苜蓿 IAA 合成受阻,进而显著抑制其幼苗生长^[5]。可见化感作用不仅影响种子萌发和幼苗生长,还可能破坏受体植株体内激素合成和分配,干扰植物体内的信号转导,从而影响受体植物的生长发育。在农田生态系统中化感作用会影响伴生植物种子的萌发生长、形态建成、产品器官形成,对农业生产中轮作倒茬生产制度的调整有指导价值。

研究发现,利用葱属(*Allium*)植物与其他作物之间的化感作用,可以实现合理间套作和轮作,从而减轻连作障碍,改善土壤环境,丰富土壤微生物群落^[6-7],其对受体植物的化感作用主要表现为对种子萌发^[8]、根系生长^[9]、丙二醛含量的影响等^[10]。因此,野生葱属植物从分布地引种至农田后对伴生植物生长有潜在影响,如实荇葱(*A. galanthum*)和蒙古韭(*A. mongolicum*)因受体材料的不同表现出不

同的化感效应^[11-12]。长喙韭(*A. saxatile*)是多年生草本植物,国内仅分布于新疆天山和阿尔泰山地区的山地砾质石坡上^[13],在新疆干旱半干旱特殊生境中有极强的生存优势,如抗寒、抗旱、耐瘠薄,而且葱蒜气味浓厚,是宝贵的药用和野生葱蒜类蔬菜种质资源^[14]。本课题组多年研究证实,长喙韭在迁地条件下亦可完成有性和无性繁殖,且其根际土及不同部位均存在化感作用,其中果皮水浸提液的化感作用会导致叶用莴苣(*Lactuca sativa*)幼苗胚轴和子叶正常生长,而胚根生长受到抑制^[15],对这种化感作用差异的原因及具体机制目前尚不明确。为此,本研究用不同质量浓度长喙韭果皮水浸提液处理叶用莴苣,比较不同处理叶用莴苣的种子萌发、幼苗生长和内源激素含量的变化,评估各指标间的相关性和综合化感效应指数,以期为揭示长喙韭化感作用发生机制奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 样品采集 试验于2023年在新疆农业大学园艺学院进行。长喙韭果皮凋落物采自新疆农业大学陆港校区葱属种质资源圃(43°56'N, 87°20'E, 海拔651m)。选择颗粒饱满、完全成熟且大小基本一致的叶用莴苣‘翠绿’种子(新疆天地禾种业有限公司生产),用体积分数0.1%的NaClO溶液消毒20min,经蒸馏水、无菌水冲洗,滤纸吸干表面水分后待用。

1.1.2 浸提液制备 将长喙韭果皮凋落物粉碎后,取 20 g 长喙韭果皮凋落物添加 200 mL 无菌水,室温下浸提 48 h,过滤后 4 000 r/min 离心 10 min,获得质量浓度 100 mg/mL 的长喙韭果皮水浸提液;用无菌水将浸提液分别稀释成 20,40,60 mg/mL 作为工作液,设为 3 个处理,以无菌水为对照。采用培养皿滤纸法,每皿分别加入不同质量浓度工作液 7 mL,均匀摆放 25 粒叶用莴苣种子,每处理设置 4 个重复,用封口膜封口,置于 CXZ 型培养箱中(20±2)℃ 黑暗条件下培养发芽。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 发芽指标 当叶用莴苣种子胚根突破种皮 1~2 mm,视为发芽,培养 7 d 内每天统计发芽种子数,计算发芽率和发芽势;同时计算发芽指数和活力指数^[15]。各指标计算公式如下:

发芽率=(第 7 天发芽种子总数/供试种子总数)×100%;发芽势=(第 4 天发芽种子总数/供试种子总数)×100%;发芽指数= $\sum(G_t/D_t)$,其中 D_t 为发芽时间, G_t 为与 D_t 相对应时间的发芽种子数;活力指数=发芽指数× S ,其中 S 为芽生长势,用电子天平(0.1 mg)称幼苗鲜质量表示,重复 3 次,计算平均鲜质量。

1.2.2 生理指标和内源激素含量 发芽 2,4,7 d 时测定叶用莴苣种子的根系活力、 α -淀粉酶活性、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量^[11]。采用酶联免疫法测定幼苗胚轴、胚根的独脚金内酯(strigolactones, SLs)、脱落酸(abscisic acid, ABA)、生长素(indoleacetic acid, IAA)含量^[4],均重复 3 次。由于叶用莴苣生长 2 d 时肉眼只见胚根,因此激素含量

表 1 不同质量浓度长喙韭水浸提液对叶用莴苣种子萌发的影响

Table 1 Effects of different concentrations of aqueous extract of *Allium saxatile* on seed germination of *Lactuca sativa*

水浸提液质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Concentration of aqueous extract	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germinate potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vitality index
0	97.33±1.63 a	96.66±1.49 a	66.72±2.06 a	0.89±0.03 a
20	90.00±1.82 a	86.66±1.49 a	54.36±2.04 b	0.82±0.04 a
40	65.33±8.79 b	58.00±7.49 b	27.78±3.32 c	0.34±0.05 b
60	63.00±9.97 b	52.00±9.22 b	23.56±3.79 c	0.22±0.02 b

注:同列数据后标不同小写字母表示处理间差异性显著($P<0.05$)。表 2 同。

Note: Data in the same column with different lowercase suffixes indicate significant differences between treatments ($P<0.05$). Same as in Table 2.

由表 2 可知,当质量浓度为 20 mg/mL 时叶用莴苣芽苗鲜质量、根鲜质量、根体积均达最高值,分别为 15.26 mg,3.89 mg 和 4.40 mm³,较对照增加 13.79%,1.56%和 28.27%,表现出促进作用;而当质量浓度 60 mg/mL 时芽苗鲜质量、根鲜质量、根体

测定对象为整个种子。

发芽 7 d 时,每个培养皿随机挑选 10 株幼苗,用电子天平(0.1 mg)称芽苗鲜质量、根鲜质量;用根系扫描仪(WinRHI Z0-2 型)测定根长和根体积,重复 3 次。

1.2.3 化感效应指数 化感效应指数(RI)= $T/C-1$,其中 C 为对照值, T 为处理值。RI>0 为促进作用,RI<0 为抑制作用,其绝对值大小代表化感作用强弱。同一处理叶用莴苣种子萌发、幼苗生长指标和生理指标 RI 的平均值为综合化感效应指数^[16]。

1.3 数据处理与分析

采用 Excel 2019 整理数据、Origin 2022 制图,采用 SPSS 27.0 进行单因素方差分析和多因素方差分析(一般线性模型的多变量分析),数据用“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 长喙韭水浸提液对叶用莴苣种子萌发和幼苗生长的影响

由表 1 可知,当长喙韭果皮水浸提液质量浓度达到 40 mg/mL 时,叶用莴苣种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均显著低于对照,分别较对照降低了 32.87%,39.99%,58.36%和 61.79%,表现出抑制作用;水浸提液质量浓度 60 mg/mL 时分别较对照显著降低 35.27%,46.20%,64.68%和 75.28%,抑制作用加强。说明长喙韭果皮水浸提液影响叶用莴苣种子萌发,抑制种子生活力和胚根正常突破,从而抑制种子萌发,且有剂量依赖效应。

积较对照分别减少 25.57%,46.21%和 51.60%。说明随着果皮水浸提液质量浓度的升高呈现出“低促高抑”的变化。各处理根长均受到化感抑制作用,20,40,60 mg/mL 处理较对照分别减少 37.32%,74.19%和 85.02%。综上所述,长喙韭果皮水浸提

液对叶用莴苣不同生长指标的化感效应不同,但超过 40 mg/mL 时,均表现为抑制作用。

表 2 不同质量浓度长喙韭水浸提液对叶用莴苣幼苗生长的影响

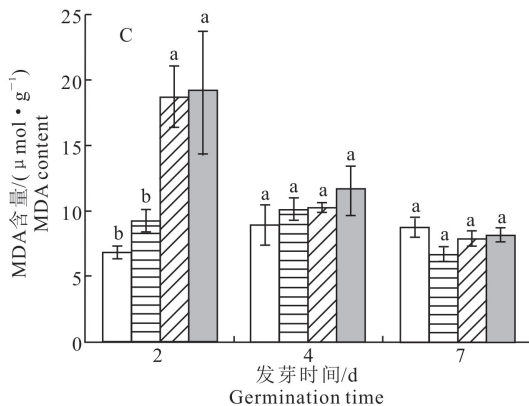
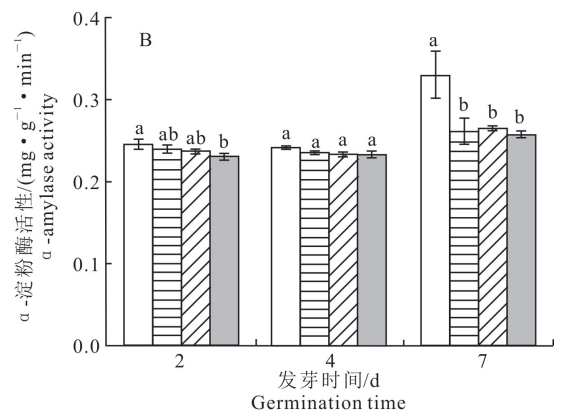
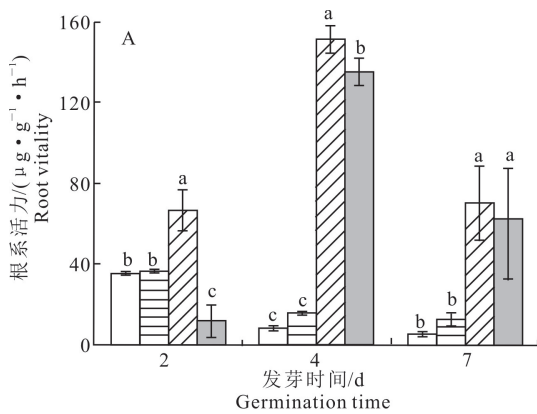
Table 2 Effect of different concentrations of aqueous extract of *Allium saxatile* on the growth of *Lactuca sativa* seedlings

水浸提液质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Concentration of aqueous extract	芽苗鲜质量/mg Buds fresh quality	根鲜质量/mg Root fresh quality	根体积/mm ³ Root volume	根长/mm Root length
0	13.41±0.44 b	3.83±0.28 a	3.43±0.21 b	58.70±2.62 a
20	15.26±0.66 a	3.89±0.35 a	4.40±0.17 a	36.79±3.49 b
40	12.09±0.69 b	3.70±0.18 a	2.73±0.21 b	15.15±1.68 c
60	9.98±0.45 c	2.06±0.28 b	1.66±0.36 c	8.79±0.44 c

2.2 长喙韭水浸提液对叶用莴苣幼苗生理和内源激素含量的影响

2.2.1 对幼苗生理的影响 如图 1-A 所示,发芽 2,4,7 d 时,随着长喙韭果皮水浸提液质量浓度升高,叶用莴苣幼苗根系活力均呈先升后降趋势,且均

以 40 mg/mL 处理最高,分别较对照升高 87.32%, 1 677.64% 和 1 155.35%,表现出化感促进效应。从发芽进程来看,20 mg/mL 和对照处理的根系活力呈不断下降趋势,而 40 和 60 mg/mL 处理呈先升后降趋势,发芽 4 d 时达到最高。



图柱上标不同小写字母表示同时间不同处理间差异性显著($P < 0.05$)。下同。

Different lowercase letters on the top of the graph bar simultaneously indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$). The same as below.

图 1 不同质量浓度长喙韭水浸提液对叶用莴苣幼苗生理的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of aqueous extract of *Allium saxatile* on the physiology of *Lactuca sativa* seedlings

如图 1-B 所示,随着发芽时间的延长,各处理叶用莴苣 α -淀粉酶活性均低于对照,发芽 7 d 时 60 mg/mL 处理 α -淀粉酶活性较对照降低 22.18%,说明长喙韭水浸提液对 α -淀粉酶活性产生了化感抑制效应。

如图 1-C 所示,随着发芽时间的延长,叶用莴苣 MDA 含量呈现逐渐下降趋势,发芽 2,4 d 时不同处理 MDA 含量均高于对照,且随着质量浓度的升高呈现逐渐升高趋势,发芽 2 d 时 60 mg/mL 处理 MDA 含量达到最大值,较对照增加了 181.67%;而

发芽 7 d 时不同处理 MDA 含量均低于对照,但差异未达到显著水平($P>0.05$)。

2.2.2 对幼苗内源激素含量的影响 由图 2 可见,随着发芽时间的延长,不同质量浓度长喙韭果皮水浸提液处理叶用莴苣幼苗的 SLs 含量均表现为先

降后升趋势;发芽 2 d 时对照处理最高,浸提液表现出化感抑制效应;发芽 4 d 时,随浸提液质量浓度升高,叶用莴苣幼苗 SLs 含量总体表现出逐渐下降的趋势,且 40,60 mg/mL 处理表现出抑制效应。

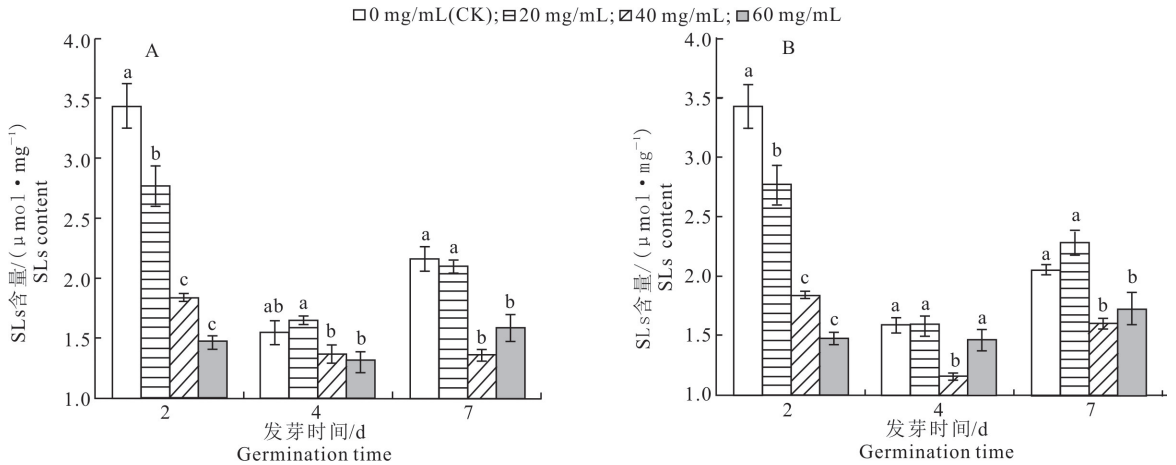


图 2 不同质量浓度长喙韭水浸提液对叶用莴苣幼苗胚根(A)和胚轴(B)中 SLs 含量的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of aqueous extract of *Allium saxatile* on the content of SLs in embryonic roots (A) and embryonic axes (B) of *Lactuca sativa* seedlings

由图 3 可见,随着发芽进程的进行,不同质量浓度长喙韭果皮水浸提液处理叶用莴苣幼苗胚根 ABA 含量均表现为逐渐升高趋势;不同发芽时期 60 mg/mL 处理均高于其他处理,表现出化感促进效应。低质量浓度(20 mg/mL)处理胚轴 ABA 含

量表现为逐渐升高趋势,而高质量浓度(40, 60 mg/mL)处理表现出逐渐下降趋势;发芽 7 d 时,随浸提液质量浓度升高,叶用莴苣幼苗 ABA 含量总体表现出先升后降的趋势,40,60 mg/mL 处理表现出抑制效应。

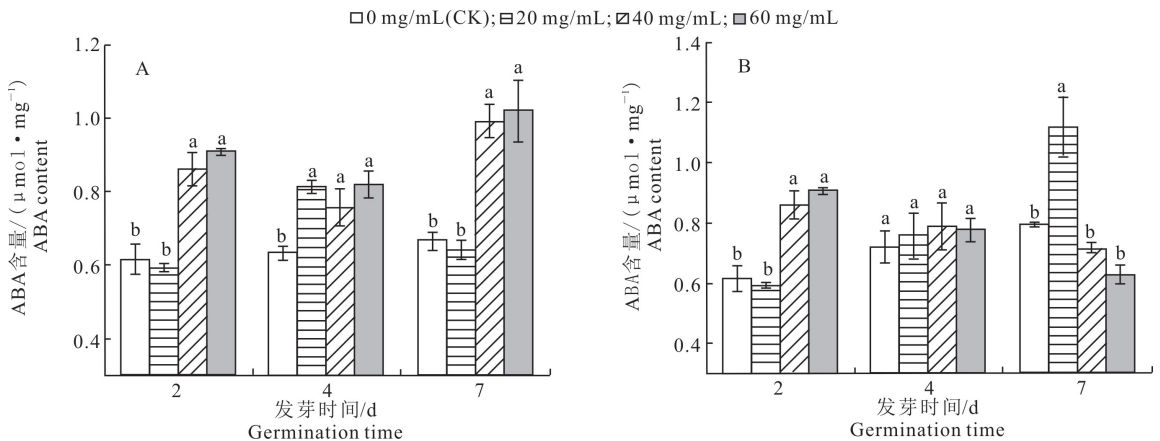


图 3 不同质量浓度长喙韭水浸提液对叶用莴苣幼苗胚根(A)和胚轴(B)中 ABA 含量的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of aqueous extract of *Allium saxatile* on the content of ABA in embryonic roots (A) and embryonic axes (B) of *Lactuca sativa* seedlings

由图 4 可见,随着发芽进程的进行,不同质量浓度长喙韭果皮水浸提液处理叶用莴苣幼苗的 IAA 含量均表现为先降后升趋势;发芽 2 d 时最高,且对照处理最高,浸提液表现出化感抑制效应;发芽 4,7

d 时在同一发芽时间,随浸提液质量浓度升高,叶用莴苣幼苗 IAA 含量总体表现出下降趋势,且 40,60 mg/mL 处理表现出抑制效应。

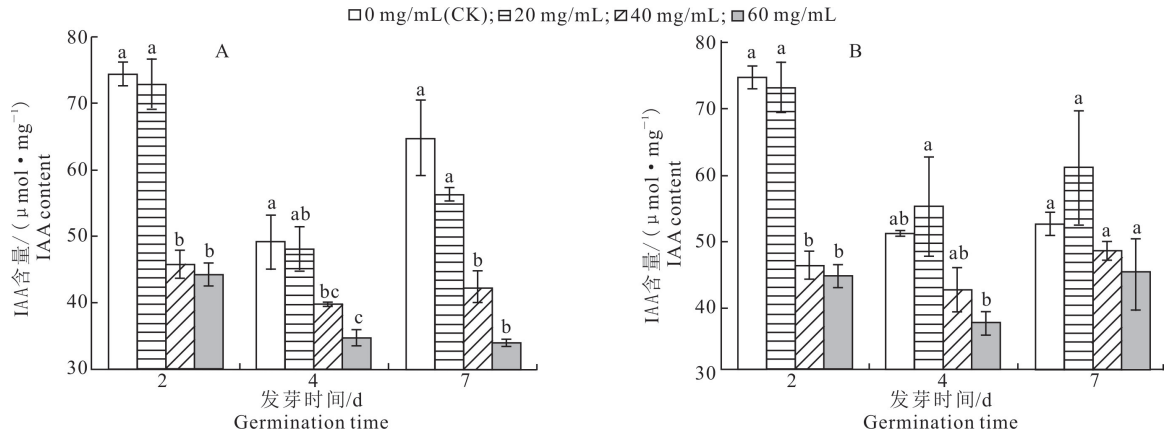


图 4 不同质量浓度长喙韭水浸提液对叶用莴苣幼苗胚根(A)和胚轴(B)中 IAA 含量的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of aqueous extract of *Allium saxatile* on the content of IAA in embryonic roots (A) and embryonic axes (B) of *Lactuca sativa* seedlings

3 种激素影响的多因素方差分析结果(表 3)显示,发芽时间、水浸提液质量浓度和发芽时间×水浸提液质量浓度对 SLs、ABA 和 IAA 含量均有显著影响,表明发芽时间和水浸提液质量浓度是影响叶用莴苣内源激素含量变化的关键因素;不同部位、不

同部位×发芽时间对 3 种激素含量均无显著影响;不同部位×水浸提液质量浓度、不同部位×发芽时间×水浸提液质量浓度复合因素对 ABA 含量有极显著影响,而对 SLs 和 IAA 含量无显著影响。

表 3 长喙韭果皮水浸提液对叶用莴苣 3 种内源激素含量影响的多因素方差分析

Table 3 Multifactorial analysis of variance for the effect of aqueous extract of *Allium saxatile* pericarp on the content of three endogenous hormones in *Lactuca sativa*

因素 Factors	SLs	ABA	IAA
发芽时间 Germination time	115.314 **	4.609 *	16.043 **
水浸提液质量浓度 Concentration of aqueous extract	91.24 **	14.476 **	40.593 **
不同部位 Different parts	0.947	0.051	2.027
不同部位×发芽时间 Different parts×Germination time	2.310	0.169	0.098
不同部位×水浸提液质量浓度 Different parts×Concentration of aqueous extract	0.637	17.133 **	2.330
发芽时间×水浸提液质量浓度 Germination time×Concentration of aqueous extract	22.744 **	9.168 **	2.908 *
不同部位×发芽时间×水浸提液质量浓度 Different parts×Germination time×Concentration of aqueous extract	2.122	18.032 **	1.724

注: * 表示显著性差异($P < 0.05$), ** 表示极显著性差异($P < 0.01$)。下同。

Note: * indicates significant difference ($P < 0.05$), ** indicates extremety significant difference ($P < 0.01$). The same as below.

2.3 长喙韭水浸提液处理叶用莴苣的综合化感效应指数

叶用莴苣发芽 7 d 时各生长指标的综合化感效应指数结果(表 4)显示,随着长喙韭果皮水浸提液质量浓度的增加,叶用莴苣种子的发芽率、发芽势、

发芽指数、活力指数、根鲜质量和根长的 RI 值均为负值,表现出抑制作用;芽苗鲜质量和根体积的 RI 值呈现出低促高抑效应。随着水浸提液质量浓度的升高,化感抑制作用增强,60 mg/mL 处理的综合化感效应指数是 20 mg/mL 处理的 8.8 倍。

表 4 不同质量浓度长喙韭水浸提液处理叶用莴苣生长指标的综合化感效应指数

Table 4 Comprehensive sensitization indices of growth indexes of *Lactuca sativa* treated with aqueous extracts of *Allium saxatile* at different concentrations

水浸提液质量浓度/ (mg·mL ⁻¹) Concentration of aqueous extract	发芽率 Germination rate	发芽势 Germinate potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vitality index	芽苗鲜质量 Buds fresh quality	根鲜质量 Root fresh quality	根长 Root length	根体积 Root volume	综合化感效 应指数 Composite sensitization effect index
20	-0.075	-0.103	-0.185	-0.079	0.121	-0.015	-0.373	0.220	-0.061
40	-0.329	-0.400	-0.584	-0.618	-0.098	-0.049	-0.742	-0.204	-0.378
60	-0.352	-0.462	-0.647	-0.753	-0.256	-0.470	-0.850	-0.516	-0.538

叶用莴苣发芽 2, 4, 7 d 生理指标的综合化感效应指数结果(表 5)显示,根系活力的 RI 值随着发芽进程和处理质量浓度增加表现出促进作用;而 α -淀粉酶活性、胚轴 SLs、胚根 SLs 和 IAA 含量的 RI 值为负值,表现出抑制作用;MDA 含量的 RI 值表现出先促后抑作用;胚轴 ABA 和 IAA 含量在 20 mg/mL 处理下随着发芽时间延长表现出先抑后促进作用,但高质量浓度(40 和 60 mg/mL)下胚轴 IAA 含量表现出抑制作用,而胚轴 ABA 含量表现出先促后抑作用;胚根 ABA 含量在 20 mg/mL 处理下随

着发芽时间延长表现出抑制-促进-抑制作用,而高质量浓度(40 和 60 mg/mL)下胚根 ABA 表现出促进作用。种子萌发初期(发芽 2 d)各处理综合化感效应指数均为负值,即表现为化感抑制作用,随着浸提液质量浓度增大,呈先降后升趋势;种子萌发中期(发芽 4 d)表现出化感促进作用,20 mg/mL 处理促进作用最强;种子萌发末期(发芽 7 d)表现出低促高抑的化感效应。说明种子萌发初期就产生了化感抑制作用。

表 5 不同质量浓度长喙韭水浸提液处理叶用莴苣生理指标的综合化感效应指数

Table 5 Comprehensive sensitization indices of physiological indexes of *Lactuca sativa* treated with aqueous extracts of *Allium saxatile* at different concentrations

水浸提液 质量浓度/ (mg · mL ⁻¹) Concentration of aqueous extract	发芽 时间/d Germination time	根系活力 Root vitality	α -淀粉酶 活性 α -amylase activity	MDA 含量 MDA content	SLs		ABA		IAA		综合化感 效应指数 Composite sensitization effect index
					胚轴 Embryonic axes	胚根 Embryonic root	胚轴 Embryonic axes	胚根 Embryonic root	胚轴 Embryonic axes	胚根 Embryonic root	
20	2	0.030	-0.024	0.260	-0.193	-0.193	-0.038	-0.038	-0.020	-0.020	-0.026
	4	0.459	-0.025	0.117	-0.001	0.060	0.052	0.220	0.074	-0.023	0.104
	7	0.545	-0.208	-0.239	0.099	-0.028	0.288	-0.039	0.141	-0.131	0.048
40	2	0.466	-0.036	0.635	-0.463	-0.463	0.284	0.284	-0.384	-0.384	-0.007
	4	0.944	-0.032	0.131	-0.272	-0.117	0.087	0.162	-0.168	-0.192	0.060
	7	0.920	-0.195	-0.099	-0.221	-0.371	-0.099	0.329	-0.078	-0.345	-0.018
60	2	-0.666	-0.062	0.645	-0.568	-0.568	0.324	0.324	-0.406	-0.406	-0.154
	4	0.937	-0.035	0.237	-0.079	-0.147	0.075	0.227	-0.265	-0.294	0.073
	7	0.910	-0.221	-0.074	-0.159	-0.262	-0.213	0.350	-0.137	-0.473	-0.031

2.4 叶用莴苣内源激素含量与其根系生长指标的相关性

对叶用莴苣 7 d 的根系生长指标与不同部位 3 种内源激素含量进行相关性分析,结果(表 6)显示,根长与胚根 IAA 含量呈显著正相关($P < 0.05$);根系活

力与胚根 ABA 含量呈显著正相关($P < 0.05$),而与胚根 SLs 含量呈显著负相关($P < 0.05$);根体积与胚轴 IAA 含量呈显著正相关($P < 0.05$)。总体而言,内源激素含量与根系生长指标的相关性不强。

表 6 叶用莴苣内源激素含量与其根系生长指标的相关性分析

Table 6 Correlation analysis between endogenous hormones and root growth of *Lactuca sativa*

指标 Index	根鲜质量 Root fresh quality	根长 Root length	根体积 Root volume	根系活力 Root vitality	胚轴 SLs Embryonic axes SLs	胚根 SLs Embryonic root SLs	胚轴 ABA Embryonic axes ABA	胚根 ABA Embryonic root ABA	胚轴 IAA Embryonic axes IAA	胚根 IAA Embryonic root IAA
根鲜质量 Root fresh quality	1.000									
根长 Root length	0.687	1.000								
根体积 Root volume	0.834	0.692	1.000							
根系活力 Root vitality	-0.567	-0.925	-0.787	1.000						
胚轴 SLs Embryonic axes SLs	0.468	0.719	0.846	-0.924	1.000					
胚根 SLs Embryonic root SLs	0.438	0.879	0.716	-0.989*	0.931	1.000				
胚轴 ABA Embryonic axes ABA	0.611	0.479	0.938	-0.696	0.877	0.662	1.000			
胚根 ABA Embryonic root ABA	-0.690	-0.896	-0.898	0.978*	-0.940	-0.945	-0.809	1.000		
胚轴 IAA Embryonic axes IAA	0.668	0.584	0.967*	-0.772	0.910	0.733	0.992**	-0.873	1.000	
胚根 IAA Embryonic root IAA	0.799	0.981*	0.812	-0.924	0.762	0.860	0.608	-0.936	0.702	1.000

3 讨论

植物可以通过自身代谢产生的化感物质影响受体植物的生长发育。许多葱属植物具有化感作用,主要影响受体植物的种子萌发和幼苗生长,例如洋葱(*A. cepiforme*)低浓度水浸提液促进草莓(*Fragaria × ananassa*)种子发芽^[17],而小根蒜(*A. macranthum*)浸提液抑制杂草马唐(*Digitaria sanguinalis*)、稗草(*Echinochloa crusgalli*)和反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)的种子萌发及幼苗生长^[18],实萼葱果皮在 25~100 mg/mL 水浸提液处理下抑制各伴生植物种子萌发和幼苗生长,并随实萼葱果皮水浸提液质量浓度提高而下降^[19]。本研究中,随着长喙韭果皮水浸提液质量浓度升高,其对叶用莴苣根系生长和根形态的化感作用呈现出低促高抑效应,60 mg/mL 处理下表现为抑制,这与前人研究结果^[3,19]一致。相关性分析结果表明,这种现象的发生与化感作用对激素含量的影响及根系细胞的伸长、细胞分裂有关。

根系活力可以综合反映植物根系的吸收、运输能力^[20],化感作用会影响根系的代谢活动,如随着云南松(*Pinus yunnanensis*)凋落叶施用量增加,滇重楼(*Paris polyphylla*)根系活力的受抑程度加大^[21];而随着红枣(*Ziziphus jujuba*)叶片浸提液质量浓度的增大紫花苜蓿根系活力升高^[22],说明不同种类植物的化感作用有差异。本研究中,高质量浓度(40,60 mg/mL)的长喙韭果皮水浸提液对叶用莴苣根系活力有化感促进作用。有研究表明,植物在胁迫处理过程中根系活力变化趋势同呼吸速率一致,提高呼吸代谢有助于缓解胁迫造成的伤害^[23]。说明叶用莴苣根系可能是通过提高呼吸代谢来缓解长喙韭果皮水浸提液的影响,但需要试验验证。

本研究发现,随着浸提液质量浓度的升高,叶用莴苣发芽初期和中期的 MDA 含量均高于对照,发芽末期略低于对照。MDA 为衡量氧化损伤的重要指标,其含量增加表示植株细胞内生理代谢失去平衡,细胞膜受损程度加重^[24],会随着生长周期的延长无法逆转^[25]。本研究中,长喙韭果皮水浸提液对叶用莴苣细胞膜受损作用于整个种子萌发过程,且表现出浸提液使受体材料损伤严重。本研究结果显示,不同质量浓度长喙韭果皮水浸提液处理叶用莴苣 α -淀粉酶活性均低于对照,说明浸提液中的化感物质降低了叶用莴苣的 α -淀粉酶活性,进而降低种子淀粉的转化利用,影响种子萌发和幼苗生长^[26]。

SLs 主要在根部合成,ABA 积累会大幅度降低根中的 SLs 水平^[27]。因此 SLs 和 ABA 共同调节植物非生物胁迫^[28]。本研究中,随着发芽时间延长和长喙韭果皮水浸提液质量浓度升高,叶用莴苣胚根 ABA 含量表现化感促进作用,而 SLs 产生化感抑制作用,根生长受到 ABA 和 SLs 的共同调节。SLs 能够通过抑制生长素输出载体(PIN)蛋白酶活性,进而阻碍 IAA 的运输,这一过程对主根的生长发育产生了影响^[29],而 ABA 可以调节蛋白和蛋白激酶。叶用莴苣胚根、胚轴的 ABA、SLs 和 IAA 是否可以通过调节 PIN 蛋白酶调控叶用莴苣根的生长,还有待进一步研究。ABA 和 IAA 之间的相互作用调节发育过程^[30],如小麦根系分泌物通过提高受体材料叶片的 ABA 含量,降低 IAA 含量以抑制植株生长^[4]。本研究相关性分析结果显示,叶用莴苣幼苗胚根 ABA 含量与胚根、胚轴 IAA 含量呈负相关,但未达到显著水平。本研究只测定了 3 个内源激素,是否有更多的激素或信号分子参与还需进一步研究证实。

4 结论

长喙韭果皮水浸提液可以改变叶用莴苣种子萌发特性,影响形态建成,导致膜脂过氧化,影响胚根和胚轴的 SLs、ABA 和 IAA 内源激素含量,最终干扰叶用莴苣种子萌发和幼苗生长,且对不同部位的化感效应不同,化感作用表现出多种类型。影响叶用莴苣 SLs、ABA 和 IAA 含量变化的关键因素是种子萌发所处阶段和长喙韭果皮水浸提液质量浓度;根系活力主要受胚根 SLs 和 ABA 含量的影响,根生长主要受胚根和胚轴 IAA 含量的共同影响。长喙韭果皮水浸提液引起的化感作用通过多种途径影响叶用莴苣正常生长。

[参考文献]

- [1] 胡缓,何松林,张晋瑞,等. 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 [J]. 西北植物学报,2023,43(9):1528-1536.
HU H, HE S L, ZHANG J R, et al. Allelopathic effects of aqueous extract from *Conyza canadensis* on seed germination and seedling growth of two herbaceous flower species [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2023, 43(9): 1528-1536.
- [2] 李文杨,魏歌,刘秀青,等. 南方红豆杉鲜叶浸提液对 3 种药用植物种子萌发与幼苗生长的化感作用 [J]. 山东农业科学, 2023, 55(8): 88-95.
LI W Y, WEI G, LIU X Q, et al. Allelopathic effects of fresh leaf extract of *Taxus wallichian* var. *mairi* on seed germina-

- tion and seedling growth of three medicinal plants [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2023, 55(8): 88-95.
- [3] 王智芳, 任胜寒, 周凯. 菊花水浸提液对萝卜种子萌发及幼苗根系形态特征的化感作用研究 [J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2023, 51(6): 7-13.
WANG Z F, REN S H, ZHOU K. Allelopathic effects of aqueous extract of chrysanthemum on seed germination and root morphological characteristics of radish seedlings [J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology (Natural Science Edition), 2023, 51(6): 7-13.
- [4] 邱秋金, 林瑞余. 不同化感小麦根系分泌物对看麦娘内源激素含量的影响 [J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2016, 32(3): 103-108.
QIU Q J, LIN R Y. Wheat (*Triticum aestivum* L.) on hormone contents in leaf and root tissues of *Alopecurus aequalis* [J]. Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition), 2016, 32(3): 103-108.
- [5] 单贵莲, 马祖艳, 李嘉懿, 等. 大狼毒对紫花苜蓿幼苗生理及内源激素含量的影响 [J]. 草业学报, 2023, 32(10): 153-161.
SHAN G L, MA Z Y, LI J Y, et al. Effects of *Euphorbia jolkini* on physiology and endogenous hormone content of alfalfa seedlings [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2023, 32(10): 153-161.
- [6] 钮颜宇, 郭志祥, 徐淑慧, 等. 地黄-大蒜轮作对大蒜生长及地黄化感自毒作用的影响 [J]. 江苏农业科学, 2023, 51(3): 139-146.
NIU Y Y, GUO Z X, XU S H, et al. Effects of dioscorea *Rehmannia glutinosa*-*Allium sativum* rotation on the growth of *Allium sativum* and dioscorea *Rehmannia glutinosa* effects of chemosensory and autotoxic effects [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(3): 139-146.
- [7] 吴瑕, 胡艺琛, 杨凤军, 等. 间作分蘖洋葱对番茄氮素吸收和根际土壤微生物多样性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(8): 1478-1493.
WU X, HU Y C, YANG F J, et al. Effects of intercropping tomato with potato onion on nitrogen absorption and rhizosphere microbial diversity of tomato [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2022, 28(8): 1478-1493.
- [8] 韩海霞, 姚岭柏, 任琴, 大葱根系浸提液对樱桃萝卜化感作用的影响研究 [J]. 安徽农业科学, 2014, 42(21): 6915-6917.
HAN H X, YAO L B, REN Q. Study on allelopathy of root's liquid extract of *Allium fistulosum* L. on *Raphanus sativus* L. var. radculus pers [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(21): 6915-6917.
- [9] 吴瑕, 周浩楠, 杜双江, 等. 分蘖洋葱伴生对番茄根系形态及根际土壤环境的影响 [J]. 北方园艺, 2022(23): 1-8.
WU X, ZHOU H N, DU S J, et al. Effects of potato onion companion on tomato root morphology and rhizospheric soil environment [J]. Northern Horticulture, 2022(23): 1-8.
- [10] 韩海霞, 潘叶, 其浩楠, 等. 楼葱浸提液对马铃薯幼苗的化感作用研究 [J]. 种子, 2020, 39(10): 78-81.
HAN H X, PAN Y, QI H N, et al. Study on allelopathic effect of extracts from *Allium cepa* on potato seedlings [J]. Seed, 2020, 39(10): 78-81.
- [11] 张伟, 林辰壹, 李文静, 等. 野生实蕪葱凋落叶片对 9 种作物种子萌发的影响 [J]. 分子植物育种, 2020, 18(15): 5127-5133.
ZHANG W, LIN C Y, LI W J, et al. Effects of the falling leaves of wild-type *Allium galanthum* on seed germination in nine crops [J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(15): 5127-5133.
- [12] 姚岭柏, 任琴, 郭美兰, 等. 蒙古韭浸提液对萝卜生长及生理指标的化感效应 [J]. 东北农业科学, 2023, 48(5): 102-106.
YAO L B, REN Q, GUO M L, et al. Allelopathic effect on growth and physiology characteristics of *Allium mongolicum* on *Raphanus sativus* [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2023, 48(5): 102-106.
- [13] XU J M, KAMELIN R V. *Allium* Linnaeus [C]//Wu Z Y, Raven P H. Flora of China. Beijing and St. Louis: Science Press and Missouri Botanical Garden Press, 2000, 24: 190.
- [14] 巴哈尔古丽·黄尔汗, 徐新. 哈萨克药志(第二卷) [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2012: 56-58.
HUANGERHAN B H E G L, XU X. Kazakh pharmacognosy (Volume 2) [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2012: 56-58.
- [15] 巴依牙·托列吾汗, 迪丽热巴·莫合太江, 林辰壹, 等. 长喙韭浸提液对叶用莴苣种子萌发化感作用的研究 [J]. 天津农业科学, 2023, 29(9): 1-6.
TUOLIEWUHAN B Y Y, MOHETAIJIANG D L R B, LIN C Y, et al. Study on the chemosensitizing effect of *Allium saxatile* extract on seed germination of *Lactuca sativa* L. [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2023, 29(9): 1-6.
- [16] WILLIAMSON G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 181-187.
- [17] 韩海霞, 马圆, 张梦楠, 等. 香葱浸提液对草莓种子萌发及生长的影响 [J]. 种子, 2021, 40(5): 45-51.
HAN H X, MA Y, ZHANG M N, et al. Effects of *Allium ascalonicum* extracts on seed germination and growth of strawberry [J]. Seed, 2021, 40(5): 45-51.
- [18] 张悦丽, 秦立琴, 高兴祥, 等. 小根蒜对花生田 3 种主要杂草马唐、稗草和反枝苋的化感作用 [J]. 草业学报, 2010, 19(5): 57-62.
ZHANG Y L, QIN L Q, GAO X X, et al. Research on allelopathic effects of *Allium macrostem* on three main weeds (*Digitaria sanguinalis*, *Echinochloa crusgalli* and *Amaranthus retro flexus*) in peanut fields [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(5): 57-62.
- [19] 杨柳青, 林辰壹, 赵雅兰, 等. 实蕪葱果皮水浸提液对其 9 种伴生植物种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(3): 61-70.
YANG L Q, LIN C Y, ZHAO Y L, et al. Effects of pericarp aqueous extracts of *Allium galanthum* on seed germination and seedling growth of its nine associated plants [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2021, 30(3): 61-70.
- [20] YANG Z Q, LI Y S, LI P, et al. Effect of difference between

- day and night temperature on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) root activity and low molecular weight organic acid secretion [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2016, 62(5/6):1-9.
- [21] 许凌峰,李卓蔚,郭冬琴,等. 云南松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*, 2022, 41(12):2361-2367.
- XU L F, LI Z W, GUO D Q, et al. Effects of leaf litter decomposition of *Pinus yunnanensis* on physiological characteristics and medicinal quality in *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*. [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2022, 41(12):2361-2367.
- [22] 何邦印,樊慧,野起瑞,等. 不同浓度红枣叶片浸提液对紫花苜蓿种子萌发及幼苗生长的化感效应研究 [J]. *中国草地学报*, 2023, 45(7):41-48.
- HE B Y, FAN H, YE Q R, et al. Allelopathic effects of different concentrations of jujube leaf extract on seed germination and seedling growth of alfalfa [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2023, 45(7):41-48.
- [23] 徐春梅,陈丽萍,王丹英,等. 低氧胁迫对水稻幼苗根系功能和氮代谢相关酶活性的影响 [J]. *中国农业科学*, 2016, 49(8):1625-1634.
- XU C M, CHEN L P, WANG D Y, et al. Effects of low oxygen stress on the root function and enzyme activities related to nitrogen metabolism in roots of rice seedlings [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(8):1625-1634.
- [24] 高玉莲,常静,王贻卉,等. 瑞香狼毒根提取物对3种作物种子萌发和幼苗生长的化感作用 [J]. *草业学报*, 2021, 30(10):83-91.
- GAO Y L, CHANG J, WANG Y H, et al. Allelopathic effects of *Stellera chamaejasme* on seed germination and growth of three crops [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(10):83-91.
- [25] 刘鹏,郭书亚,黄家妮,等. 枯萎化感作用及根际生理变化的动态研究 [J]. *浙江师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 44(4):429-435.
- LIU P, GUO S Y, HUANG J N, et al. A study on dynamics of physiological changes in rhizosphere and allelopathy of *Trichosanthes kirilowii* [J]. *Journal of Zhejiang Normal University(Natural Sciences)*, 2021, 44(4):429-435.
- [26] KATO-NOGUCHI H, MACÍAS F A. Inhibition of germination and alpha-amylase induction by 6-methoxy-2-benzoxazolinone in twelve plant species [J]. *Biologia Plantarum*, 2008, 52(2):351-354.
- [27] WANG H, CHEN W, EGGERT K, et al. Abscisic acid influences tillering by modulation of strigolactones in barley [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2018(21):69.
- [28] MORI N, SADO A, XIE X, et al. Chemical identification of 18-hydroxycaractonoic acid as an LjMAX1 product and in planta conversion of its methyl ester to canonical and non-canonical strigolactones in *Lotus japonicus* [J]. *Phytochemistry*, 2020, 174:1-16.
- [29] 黄晓宇,庞娟,陈贵林. 黄芪幼苗根系生长发育与 GR24 和 IAA 的关系 [J]. *广西植物*, 2022, 42(5):845-854.
- HUANG X Y, PANG J, CHEN G L. Relationship between root growth and development of *Astragalus* seedling and GR24 and IAA [J]. *Guihaia*, 2022, 42(5):845-854.
- [30] YAO C, FINLAYSON S A. Abscisic acid is a general negative regulator of *Arabidopsis* axillary bud growth [J]. *Plant Physiology*, 2015, 169(1):611-626.

(责任编辑:霍振响)