



李玮. 下寨65和青薯2号化感抑草作用研究[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(5): 1101-1111.

LI W. Study on allelopathic and weed-inhibiting effects of Xiazhai 65 and Qingshu 2[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2022, 44(5): 1101-1111.

下寨65和青薯2号化感抑草作用研究

李 玮

(青海大学 农林科学院/青海省农业有害生物综合治理重点实验室, 青海 西宁 810016)

摘要:【目的】探究高原马铃薯品种对小油菜和野燕麦的化感作用效应。【方法】采用室内生测法, 分别测定2个不同的马铃薯品种(下寨65和青薯2号)的地上部分和地下部分粗提物及秸秆腐解液对小油菜和野燕麦种子萌发的影响。【结果】2个品种的粗提物和腐解液对小油菜以及野燕麦的化感作用均具有明显的浓度效应, 即随着粗提物和腐解液质量浓度的增加, 其对小油菜和野燕麦的化感作用均增强; 下寨65和青薯2号地下部分的化感作用明显高于地上部分, 粗提物处理组的发芽率明显高于腐解液。【结论】马铃薯化感物质多存在于下寨65和青薯2号的地下部分, 且下寨65和青薯2号的粗提物对小油菜和野燕麦的化感作用强于腐解液。

关键词: 化感作用; 种子萌发; 粗提物; 腐解液

中图分类号: S451 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2286(2022)05-1101-11

Study on Allelopathic and Weed-inhibiting Effects of Xiazhai 65 and Qingshu 2

LI Wei

(Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Key Laboratory of Agricultural Integrated Pest Management of Qinghai Province, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016 China)

Abstract: [Objective] This study aims to explore the allelopathic effect of plateau potato on rape and *Avena fatua* L. [Method] Indoor bioassays were used to determine the effects of the aboveground and underground crude extracts and straw decomposing liquid of two different potato varieties (Xiazhai 65 and Qingshu 2) on the germination of rape and *Avena fatua* L. [Result] The results showed that the crude extracts and decomposing liquids of the two varieties had obvious concentration effects on the allelopathic effects of rape and *Avena fatua* L., that is, with the increase of the mass concentrations of crude extracts and decomposing liquids, their effects on allelopathy of rape and *Avena fatua* L. were significantly increased. The allelopathic effect of the underground part of Xiazhai 65 and Qingshu 2 was significantly higher than that of the aerial part, and the germination rate of the crude extract was significantly higher than that of the decomposing liquid. [Conclusion] The results indicated that the allelopathic substances mostly existed in the underground part of Xiazhai 65 and Qingshu 2, and the crude extracts of Xiazhai 65 and Qingshu 2 had better allelopathic effects of rape and *Avena fatua* L. than the decomposing liquid.

Keywords: allelopathy effect; seed germination; crude extract; decomposition solution

收稿日期: 2022-05-10 修回日期: 2022-07-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(31860512)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(31860512)

作者简介: 李玮, 副研究员, 主要从事杂草综合防控研究, orcid.org/0000-0001-5925-0977, lwbaby1w@163.com。

【研究意义】杂草是作物管理中成本最高的类别,全球每年因草害的损失估计约为400亿美元^[1]。目前,合成除草剂是解决农田杂草问题的最主要的策略之一,然而,过度及不合理使用会给人类、动物和环境健康造成潜在的威胁。如常用除草剂草甘膦使用后,土壤、水和食物中的草甘膦残留会影响土壤微生物群,污染水面,并对动物和人类造成严重的毒理学影响,如遗传毒性、细胞毒性和激素破坏,从而降低土壤肥力^[2]。此外,合成除草剂的长期使用使得部分杂草的抵抗力不断增强,这也为杂草防治工作增加了成本和难度。为应对滥用合成除草剂而引发的各类问题,研究安全、可持续的替代解决方案是非常必要的。【前人研究进展】化感作用作为一种在环境和经济上可持续的替代方法,在世界范围内被广泛用于控制杂草。化感作用是一种植物对另一种植物产生的直接或间接影响,是代谢产物产生并释放到环境中的结果^[3]。在植物呼吸、光合作用、酶活性、水分保持、气孔开度、激素水平、细胞分裂和伸长以及细胞壁和细胞膜的形状等生命过程中,都可能受到化感化学作用的影响。化感物质是植物主要代谢途径的次生代谢产物或废物,是主要阻碍植物生长的有机化学物质,可引起细胞膜的变化而激活次级反应^[4-5]。在植物的不同组织和器官(根、茎、树皮、叶、花、果实或种子)中可发现化感物质的存在,而其种类和含量因植物种类及部位的不同而异。化感物质的合成取决于植物自身所处的环境条件^[6]。光照的数量、强度、持续时间以及所处的生长期对各种化感物质均有不同程度的影响^[7-8]。在杂草和作物的生长竞争中,作物向环境中释放的化感物质可抑制农田杂草的生长,具有开发为生物除草剂的潜力^[9-10]。生物除草剂对田间杂草具有选择性高、无抗药性、副作用低、残留低等优势,是化学除草剂的理想替代品^[11]。生物防治是综合作物保护战略的一个组成部分,有助于发展可持续有机农业,其原则在于管理有害生物种群的平衡,而不是消灭有害生物^[12-13]。生物防治产品侧重于利用自然机制和相互作用调节自然物种在其环境中的关系。目前,寻找替代解决方案已经转向分子和天然产物,并且国内外学者已发表了许多关于生物活性天然产物作为潜在除草剂来源的报道^[14]。甘薯已被证明能显著抑制入侵杂草薇甘菊植物的生长、土壤养分吸收和繁殖能力^[15-17]。此外,研究^[18-20]还表明,甘薯对其他植物具有显著的化感作用,不同的甘薯品种表现出不同的抑制效果。【本研究切入点】有关马铃薯化感抑草的国内外研究较少,沈硕^[21]研究发现,青藏高原马铃薯主栽品种青薯9号和175号具有生物防除田间野燕麦和自生油菜的潜力。本试验制备青海高原主栽马铃薯品种下寨65和青薯2号的化感水浸提液,通过研究其对受体野燕麦和自生油菜种子萌发及幼苗生长的生物活性,评价青海高原主栽马铃薯品种的化感效应。【拟解决的关键问题】为明确青海马铃薯品种的化感抑草作用,开发马铃薯生物除草剂、选育马铃薯抑草品种研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验材料 供试材料为马铃薯下寨65、青薯2号、野燕麦(*Avena fatua* L.)和小油菜(*Brassica campestris* L.)均由青海省农林科学院植物保护研究所课题组提供。

1.1.2 实验试剂 甲醇、体积分数75%乙醇、1%次氯酸钠、二甲基亚砜。

1.1.3 实验仪器 星海旋转蒸发仪(R2002K)(无锡市星海五生化设备有限公司)、离心机(TDZ4-WS)(长沙湘仪离心机仪器有限公司)、电子天平(PL203)(梅特勒-托利多仪器有限公司)、电热恒温干燥箱(DHG-9240A)(上海齐欣科学仪器有限公司)、循环水式多用真空泵(SHB-B型)(郑州长城科工贸有限公司)、各型微量移液器(德国艾本德公司)、高压蒸汽灭菌锅。

其它:1 000 mL的锥形瓶、100 mL锥形瓶、培养皿、10 mL注射器、0.22 μm水系膜、50 mL离心管、量筒、烧杯、滤纸。

1.2 试验方法

1.2.1 种子的预培养 将野燕麦和小油菜种子先用1%的次氯酸钠溶液或是3%的过氧化氢溶液消毒15 min,然后用无菌水冲洗3~5次,无菌水冲洗至无色为止,超净工作台内晾干备用。

为了打破野燕麦和小油菜种子的休眠,需要对种子进行温湿环境的预培养,在直径9 cm的培养皿内铺一层滤纸或纱布,加入5 mL的无菌水,将消过毒的种子均匀地撒在滤纸上,每个培养皿约30~50粒种子,放置在25℃的恒温培养箱中培养3~4 d,最后选择露白一致的野燕麦和小油菜种子进行试验。

1.2.2 粗提物和腐解液的制备 (1)将马铃薯下寨65和青薯2号的秸秆部分用剪刀剪碎至2~3 cm,然后

将根际土和切成块状的马铃薯混匀后,分成地上和地下部分分别置于 1 000 mL 锥形瓶中经甲醇浸泡 3 d 后,浸提液抽滤过滤,反复抽滤几次,置于离心机中 4 000 r/min 离心 15 min 后,然后用 0.22 μm 水系膜过滤后将滤液移至圆底烧瓶中用旋转蒸发仪浓缩至浸膏,常温保存。(2)将马铃薯下寨 65 和青薯 2 号秸秆部分经过粉碎处理后,置于 100 mL 锥形瓶中用蒸馏水浸泡 7 d 后,先用抽滤机抽滤,置于离心机中 4 000 r/min 离心 15 min 后,然后用 0.22 μm 水系膜进一步过滤后在 4 ℃冰箱中保存备用。

1.2.3 粗提物对种子萌发的影响实验 将已经处理好的下寨 65 和青薯 2 号的地上和地下部分粗提物质量浓度处理为:2.5,5,10,20,50 mg/mL,为了充分溶解可以加入少量的 2%的二甲基亚砜。取直径 9 cm 的培养皿,将 20 粒经催芽处理的种子分别按照 5×4 的方式整齐摆放在培养皿中,然后用移液枪将各个梯度的溶液加入 5 mL 于培养皿中,对照用蒸馏水处理。每个处理重复 3 次。将培养皿放置在 25 ℃的恒温培养箱中培养,每天向培养皿中加入适量的蒸馏水,培养 3 d 后记录种子的发芽率,7 d 后测定种子的芽长、根长、鲜重和干重。

1.2.4 腐解液对种子萌发的影响实验 将马铃薯下寨 65 和青薯 2 号的秸秆部分称取 2.5,5,10 g、浸泡在 100 mL 蒸馏水中 7 d 后用 0.22 μm 水系膜过滤,然后取直径 9 cm 的培养皿,将 20 粒经催芽处理的种子整齐摆放在培养皿中,然后用移液枪将各个浓度处理的腐解液滤液加入 5 mL 于培养皿中,对照用蒸馏水处理。每个处理重复 3 次。将培养皿放置在 25 ℃的恒温培养箱中培养,每天向培养皿中加入适量的蒸馏水,培养 3 d 后记录种子的发芽率,7 d 后测定种子的芽长、根长、鲜重和干重。

1.3 计算方法

发芽率=(种子的发芽数/供试的种子数)×100%

化感效应指数(RI)是用来衡量化感效应强度的指标:RI=1-C/T(T>C)或 RI=T/C-1(T<C)。其中:C 为对照值,T 为处理值,当 RI>0 表示为促进作用,RI<0 表示为抑制作用,绝对值大小与作用强度一致。

2 结果和分析

2.1 粗提物对种子萌发和幼苗生长的影响

2.1.1 粗提物对小油菜种子萌发和幼苗生长的影响 由下寨 65 粗提物对小油菜种子萌发和幼苗生长的影响结果(表 1)得出,随着下寨 65 粗提物质量浓度的升高,发芽率、芽长、根长、鲜重以及干重都表现出不同程度的抑制作用。当质量浓度为 50 mg/mL 时,发现发芽率、芽长、根长、鲜重以及干重等与对照组相比较都有显著的降低,说明抑制作用随着质量浓度的升高会越来越明显。质量浓度为 2 mg/mL 时地下部分抑制作用明显比地上部分更加有效。

表 1 下寨 65 粗提物对小油菜种子萌发和幼苗生长的影响

Tab.1 The influence of the crude extract of potato xiazhai 65 on seed germination and seeding growth of rape

供体部位	质量浓度/(mg·mL ⁻¹)	发芽率/%	芽长/cm	根长/cm	鲜重/g	干重/g
Test part	Mass concentration	Germination rate	Bud length	Root length	Fresh quality	Dry quality
B ₃ 65 上 Upper B ₃ 65	0(CK)	92.5	1.13±0.01	2.14±0.83	0.546 1±0.187 7	0.070 7±0.005 2
	2	40.0	0.41±0.10	0.04±0.01	0.255 7±0.049 4	0.062 4±0.003 0
	5	40.0	0.38±0.06	0.15±0.01	0.224 1±0.026 2	0.055 9±0.000 1
	10	40.0	0.42±0.25	0.18±0.11	0.203 1±0.038 8	0.066 8±0.005 4
	20	35.0	0.26±0.09	0.10±0.06	0.198 3±0.026 6	0.068 1±0.004 4
	50	17.5	0.05±0.02	0.01±0	0.156 0±0.002 1	0.069 9±0.000 1
B ₃ 65 下 Lower B ₃ 65	0(CK)	92.5	1.13±0.01	2.14±0.83	0.546 1±0.187 7	0.070 7±0.005 2
	2	5.0	0.01±0	0	0.135 5±0.002 1	0.049 2±0.002 8
	5	42.5	0.48±0.06	0.09±0.01	0.286 8±0.108 8	0.052 5±0.005 0
	10	7.5	0.04±0.01	0.01±0	0.165 3±0.002 4	0.033 3±0.033 2
	20	15.0	0.03±0.01	0	0.165 3±0.005 2	0.056 1±0.006 4
	50	12.5	0.05±0.01	0.01±0	0.163 6±0.020 9	0.047 2±0.011 1

B₃65 上表示为成熟期的下寨 65 地上部分;B₃65 下表示为成熟期的下寨 65 地下部分。
B₃65 represents the aboveground part of Xiazhai 65 at mature stage;B₃65 Underground part of Xiazhai 65 representing maturity.

由青薯 2 号粗提物对小油菜种子萌发和幼苗生长的影响结果(表 2)得出,随着青薯 2 号粗提物质量浓度的升高,发芽率、芽长、根长、鲜重以及干重都表现出不同程度的抑制作用。当质量浓度为 50 mg/mL 时,发现各指标与对照组相比较都有显著的降低,说明抑制作用随着质量浓度的升高会越来越明显。质量浓度为 2 mg/mL 时,除根长以外,地下部分的发芽率、芽长、鲜重以及干重抑制作用明显比地上部分有效,说明地下部分对种子萌发以及幼苗生长产生的影响更大。

表 2 青薯 2 号粗提物对小油菜种子萌发和幼苗生长的影响

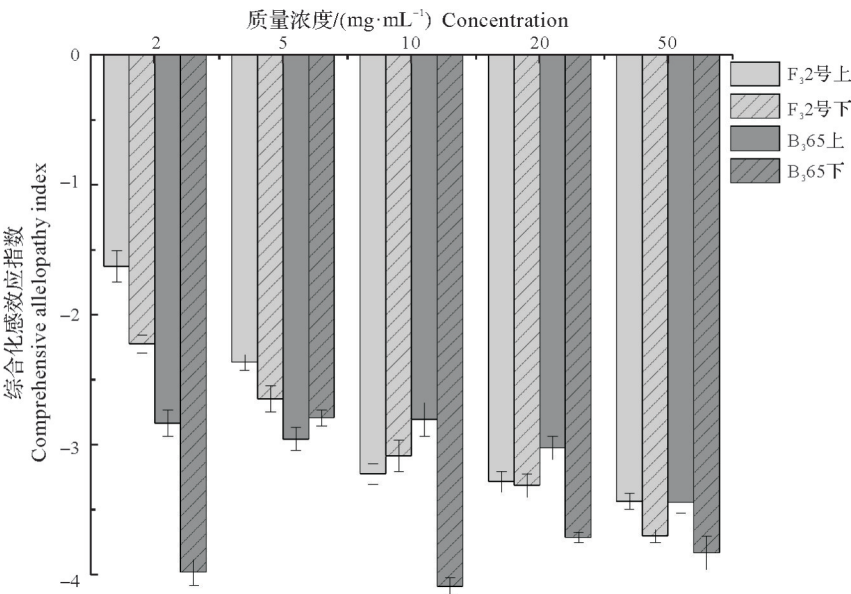
Tab.2 The influence of the crude extract of potato qingshu 2 on seed germination and seedling growth of rape

供体部位	质量浓度/(mg·mL ⁻¹)	发芽率/%	芽长/cm	根长/cm	鲜重/g	干重/g
Test part	Mass concentration	Germination rate	Bud length	Root length	Fresh quality	Dry quality
F ₃ 2 号上 Upper F ₃ 2	0(CK)	92.5	1.13±0.01	2.14±0.83	0.546 1±0.187 7	0.070 7±0.005 2
	2	77.5	0.93±0.22	0.42±0.08	0.326 9±0.003 7	0.076 6±0.004 9
	5	60.0	0.49±0.09	0.18±0.03	0.268 3±0.023 3	0.069 0±0.003 2
	10	20.0	0.28±0.03	0.09±0.02	0.184 9±0.092 1	0.065 0±0.004 7
	20	25.0	0.21±0.11	0.11±0.02	0.149 9±0.003 8	0.075 3±0.009 8
	50	7.5	0.11±0.05	0.25±0.31	0.143 7±0.018 2	0.071 8±0.002 6
F ₃ 2 号下 Lower F ₃ 2	0(CK)	92.5	1.13±0.01	2.14±0.83	0.546 1±0.187 7	0.070 7±0.005 2
	2	55.0	0.67±0.08	0.50±0.14	0.249 3±0.023 0	0.063 4±0.006 4
	5	40.0	0.45±0.07	0.16±0.09	0.259 5±0.073 5	0.067 7±0.001 9
	10	32.5	0.39±0.02	0.10±0.02	0.182 2±0.045 7	0.059 5±0.010 2
	20	35.0	0.07±0.01	0.03±0.01	0.174 3±0.046 3	0.063 4±0.000 5
	50	7.5	0.02±0.01	0.02±0.00	0.146 3±0.001 8	0.064 2±0.003 8

F₃2 号上表示为成熟期的青薯 2 号地上部分;F₃2 号下表示为成熟期的青薯 2 号地下部分。

The above-ground part of Qingshu 2 expressed as mature period on F₃2;underground part of Qingshu 2 at maturity stage under F₃2.

2.1.2 粗提物对小油菜化感效应的综合评价 由下寨 65 号和青薯 2 号粗提物对小油菜化感效应的综合效应(图 1)得出,化感作用由强到弱的顺序依次是 B₃65 下、F₃2 号下、F₃2 号上、B₃65 上,其中,B₃65 下和 F₃2 号下受到的化感作用显著,RI 绝对值不低于 3,然后 F₃2 号上和 B₃65 上的化感作用依次减弱。



B₃65 上:成熟期的下寨 65 地上部分粗提物;B₃65 下:成熟期的下寨 65 地下部分粗提物;F₃2 号上:成熟期的青薯 2 号地上部分粗提物;F₃2 号下:成熟期的青薯 2 号地下部分粗提物。

Upper B₃65: Crude extract of the aerial part of Xiazhai 65 at maturity; Lower B₃65: Crude extract of underground part of Xiazhai 65 at maturity; Upper F₃2: Crude extract of aerial part of Qingshu 2 at maturity; Lower F₃2 : The crude extract of the underground part of Qingshu 2 in the mature stage.

图 1 下寨 65 和青薯 2 号粗提物对小油菜的化感效应

Fig.1 Allelopathic effects of crude extracts from Xiazhai 65 and Qingshu 2 on rape

2.1.3 粗提物对野燕麦种子萌发和幼苗生长的影响 由下寨 65 号粗提物对野燕麦种子萌发和幼苗生长的影响结果(表 3)得出,随着下寨 65 粗提物质量浓度的升高,发芽率、芽长、根长、鲜重以及干重都表现出不同程度的抑制作用。质量浓度为 2 mg/mL 时,地上部分和地下部分的抑制作用不太明显,当质量浓度为 50 mg/mL 时,发现各指标与对照组相比较都有显著的降低,说明抑制作用随着质量浓度的升高会越来越明显。

表 3 下寨 65 号粗提物对野燕麦种子萌发和幼苗生长的影响
Tab.3 The influence of the crude extract of potato xiazhai 65 on seed germination and seedling growth of *Avena fatua* L.

供体部位 Test part	质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	发芽率/% Germination rate	芽长/cm Bud length	根长/cm Root length	鲜重/g Fresh quality	干重/g Dry quality
B ₃ 65 上 Upper B ₃ 65	0(CK)	95.0	2.95±0.15	1.78±0.17	1.224 3±0.072 5	0.347 9±0.009 5
	2	97.5	1.83±0.01	1.53±0.04	0.917 4±0.046 5	0.312 1±0.008 3
	5	90.0	1.02±0.14	0.24±0.06	0.904 3±0.010 0	0.358 2±0.004 0
	10	82.5	2.16±0.90	0.44±0.19	1.026 4±0.276 9	0.328 0±0.033 9
	20	72.5	1.59±0.48	0.36±0.10	0.610 6±0.086 3	0.360 7±0.034 1
	50	40.0	0.48±0.27	0.10±0.02	0.701 9±0.024 9	0.362 2±0.014 7
B ₃ 65 下 Lower B ₃ 65	0(CK)	95.0	2.95±0.15	1.78±0.17	1.224 3±0.072 5	0.347 9±0.009 5
	2	92.5	1.89±0.42	1.03±0.04	1.012 1±0.003 2	0.342 9±0.099 6
	5	90.0	2.75±0.66	0.93±0.32	0.992 3±0.207 8	0.312 5±0.068 6
	10	77.5	2.58±0.56	0.76±0.20	0.932 9±0.086 2	0.278 0±0.009 7
	20	82.5	0.95±0.11	0.10±0.02	0.789 5±0.047 5	0.286 9±0.021 6
	50	65.0	0.49±0.27	0.06±0.02	0.658 0±0.056 0	0.319 9±0.002 5

B₃65 上表示为成熟期的下寨 65 地上部分;B₃65 下表示为成熟期的下寨 65 地下部分。
B₃65 represents the aboveground part of Xiazhai 65 at mature stage; B₃65 Underground part of Xiazhai 65 representing maturity.

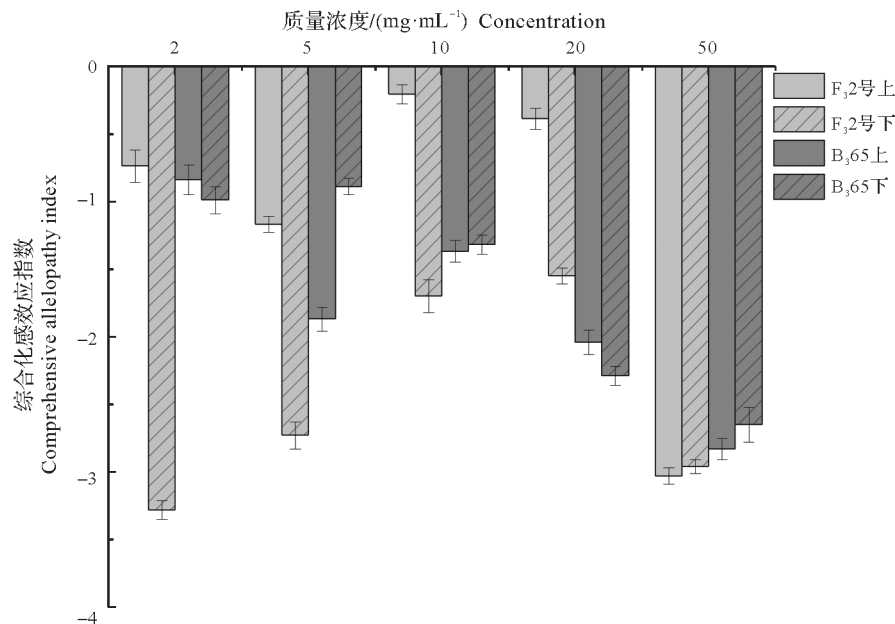
由青薯 2 号粗提物对野燕麦种子萌发和幼苗生长的影响结果(表 4)得出,随着青薯 2 号粗提物质量浓度的升高,发芽率、芽长、根长、鲜重以及干重都表现出不同程度的抑制作用。当质量浓度为 50 mg/mL 时,发现各指标与对照组相比较都有显著的降低,说明抑制作用随着质量浓度的升高会越来越明显。质量浓度为 2 mg/mL 时,地下部分的发芽率、芽长、鲜重以及干重抑制作用明显比地上部分有效,说明地下部分对种子萌发以及幼苗生长产生的影响更大。

表 4 青薯 2 号粗提物对野燕麦种子萌发和幼苗生长的影响
Tab.4 The influence of the crude extract of potato qingshu 2 on seed germination and seedling growth of *Avena fatua* L.

供体部位 Test part	质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	发芽率/% Germination rate	芽长/cm Bud length	根长/cm Root length	鲜重/g Fresh quality	干重/g Dry quality
F ₃ 2 号上 Upper F ₃ 2	0(CK)	95.0	2.95±0.15	1.78±0.17	1.224 3±0.072 5	0.347 9±0.009 5
	2	95.0	3.79±1.13	0.71±0.12	1.425 8±0.449 8	0.661 8±0.428 6
	5	92.5	2.41±0.84	0.47±0.16	1.033 4±0.061 2	0.369 9±0.008 0
	10	82.5	3.38±0.37	0.58±0.21	1.258 1±0.123 4	0.498 0±0.203 9
	20	85.0	2.79±0.34	0.51±0.16	1.351 0±0.064 7	0.483 4±0.063 0
	50	20.0	0.22±0.12	0.27±0.32	0.676 2±0.008 3	0.337 7±0.047 4
F ₃ 2 号下 Lower F ₃ 2	0(CK)	95.0	2.95±0.15	1.78±0.17	1.224 3±0.072 5	0.347 9±0.009 5
	2	15.0	0.12±0.02	0.06±0.01	0.593 0±0.049 4	0.351 6±0.001 3
	5	35.0	0.49±0.11	0.09±0.01	0.861 6±0.200 4	0.342 0±0.004 8
	10	82.5	1.46±0.39	0.29±0.06	1.102 0±0.011 1	0.393 1±0.090 4
	20	77.5	2.09±0.04	0.20±0.08	1.081 6±0.093 8	0.378 8±0.009 1
	50	32.5	0.35±0.06	0.11±0.02	0.855 4±0.050 3	0.410 6±0.000 2

F₃2 号上表示为成熟期的青薯 2 号地上部分;F₃2 号下表示为成熟期的青薯 2 号地下部分。
The above-ground part of Qingshu 2 expressed as mature period on F₃2; underground part of Qingshu 2 at maturity stage under F₃2.

2.1.4 粗提物对野燕麦化感效应的综合评价 由下寨65和青薯2号粗提物对野燕麦化感效应的综合评价(图2)得出,化感作用由强到弱的顺序依次是F₃2号下、B₃65下、B₃65上、F₃2号上,其中,B₃65下和F₃2号下受到的化感作用显著,RI绝对值不低于2,然后B₃65上和F₃2号上的化感作用依次减弱。



B₃65上:成熟期的下寨65地上部分粗提物;B₃65下:成熟期的下寨65地下部分粗提物;F₃2号上:成熟期的青薯2号地上部分粗提物;F₃2号下:成熟期的青薯2号地下部分粗提物。
Upper B₃65: Crude extract of the aerial part of Xiazhai 65 at maturity; Lower B₃65: Crude extract of underground part of Xiazhai 65 at maturity; Upper F₃2: Crude extract of aerial part of Qingshu 2 at maturity; Lower F₃2: The crude extract of the underground part of Qingshu 2 in the mature stage.

图2 下寨65和青薯2号粗提物对野燕麦的化感效应

Fig.2 Allelopathic effects of crude extracts from Xiazhai 65 and Qingshu 2 on *Avena fatua* L.

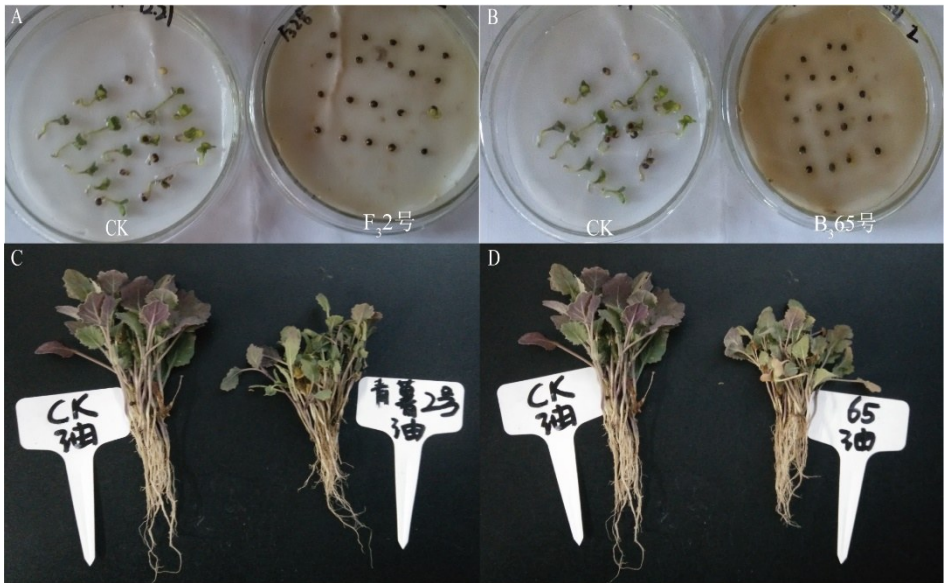
2.2 腐解液对种子萌发和幼苗生长的影响

2.2.1 腐解液对小油菜种子萌发和幼苗生长的影响 由腐解液对小油菜种子萌发和幼苗生长的影响结果(表5、图3)得出,随着腐解液质量浓度的升高,发芽率、芽长、根长、鲜重以及干重都表现出抑制的作用。当质量浓度为75 mg/mL时,发现发芽率、芽长、根长、鲜重以及干重等与对照组相比较都有显著的降低,说明抑制作用随着质量浓度的升高会越来越明显。质量浓度为25 mg/mL时,除了芽长,青薯2号的发芽率、芽长、鲜重以及干重抑制作用明显比下寨65有效,说明青薯2号对种子萌发以及幼苗生长产生的影响更大。

表5 腐解液对小油菜种子萌发和幼苗生长的影响

Tab.5 The influence of the decomposed liquids of potato on seed germination and seeding growth of rape						
供试品种	质量浓度/(mg·mL ⁻¹)	发芽率/%	芽长/cm	根长/cm	鲜重/g	干重/g
Varieties for testing	Mass concentration	Germination rate	Bud length	Root length	Fresh quality	Dry quality
F ₃ 2号	0(CK)	98.5	0.99±0.13	0.56±0.10	0.411 4±0.051 9	0.080 9±0.014 9
	25	5.0	0.12±0.01	0.05±0	0.162 2±0.018 4	0.059 0±0.002 3
	50	15.0	0.09±0.00	0.04±0	0.209 8±0.005 0	0.060 8±0.001 6
	75	11.5	0.11±0.01	0.05±0	0.184 0±0.016 1	0.058 1±0.005 5
B ₃ 65号	0(CK)	98.5	0.99±0.13	0.56±0.10	0.411 4±0.051 9	0.080 9±0.014 9
	25	13.5	0.09±0.01	0.05±0.01	0.167 1±0.001 3	0.052 6±0.005 3
	50	10.0	0.11±0.02	0.05±0.01	0.205 0±0.009 3	0.073 2±0.001 3
	75	8.5	0.12±0.01	0.05±0.01	0.220 7±0.017 1	0.063 8±0.003 0

B₃65表示为马铃薯下寨65;F₃2号下表示为马铃薯青薯2号。
B₃65 is represented as Potato Xiazhai 65;F₃2 represented as potato Qingshu 2.



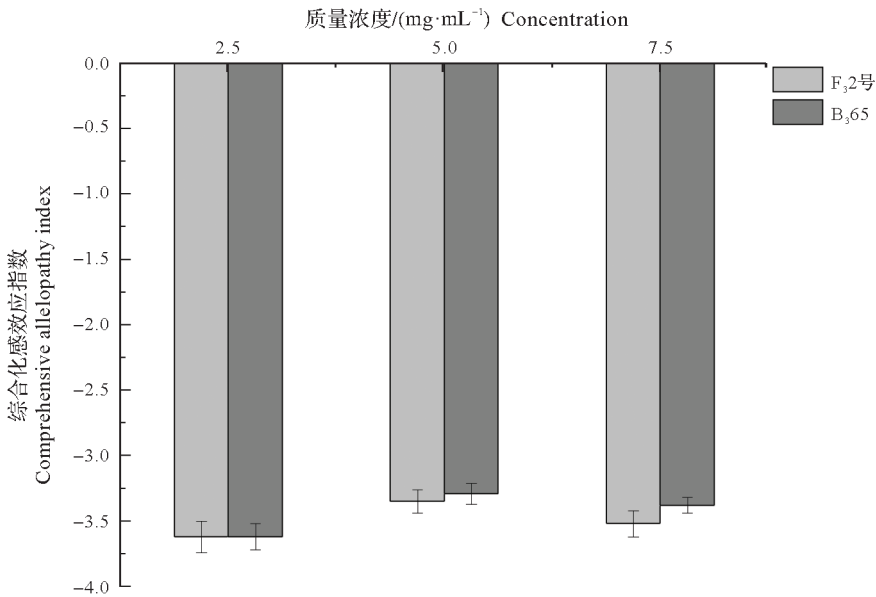
A、B 分别表示为青薯 2 号、下寨 65 腐解液在质量浓度为 75 mg/mL 时对小油菜种子萌发的影响;C、D 分别表示为青薯 2 号、下寨 65 腐解液在质量浓度为 75 mg/mL 时对小油菜幼苗生长的影响。

A and B are the effects of Qingshu 2 and Xiazhai 65 decomposed liquid at 75 mg/mL on the seed germination of rape respectively;c and D are the effects of Qingshu 2 and Xiazhai 65 decomposed liquid at 75 mg/mL on the growth of rape seedlings.

图 3 腐解液对小油菜种子萌发和幼苗生长的影响

Fig.3 The influence of the decomposed liquids of potato on seed germination and seeding growth of rape

2.2.2 腐解液对小油菜化感效应的综合评价 由下寨 65 和青薯 2 号腐解液对小油菜化感效应的综合评价(图 4)得出,化感作用 F_{3,2}号>B_{3,65},其中,随着质量浓度的增加,F_{3,2}号和 B_{3,65}化感作用的差异越显著,RI 绝对值不低于 3,说明 F_{3,2}号和 B_{3,65}对小油菜的化感作用相当有效。



B_{3,65}:下寨 65 腐解液; F_{3,2}号:青薯 2 号腐解液。
B_{3,65}:Xiazhai 65 decomposing liquid;F_{3,2}:Qingshu 2 decomposing liquid.

图 4 下寨 65 和青薯 2 号腐解液对小油菜的化感效应

Fig.4 Allelopathic effects of Xiazhai 65 and Qingshu 2 decomposing liquids on rape

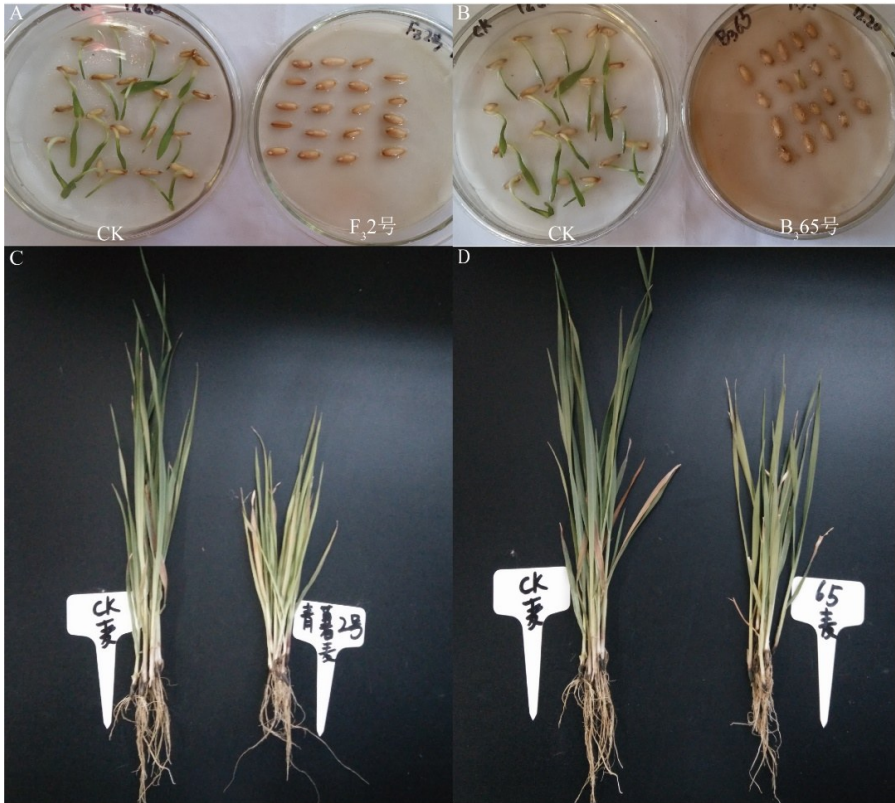
2.2.3 腐解液对野燕麦种子萌发和幼苗生长的影响 由腐解液对野燕麦种子萌发和幼苗生长的影响结果(表 6、图 5)得出,随着腐解液质量浓度的升高,发芽率、芽长、根长、鲜重以及干重都表现出抑制的作用。当质量浓度为 75 mg/mL 时,发现发芽率、芽长、根长、鲜重以及干重等与对照组相比较都有显著的降低,说明抑制作用随着质量浓度的升高会越来越明显。质量浓度为 25 mg/mL 时,下寨 65 和青薯 2 号之间的抑制

作用没有显著的差异,当质量浓度增加为 50 mg/mL 时,下寨 65 的发芽率、芽长、根长、鲜重以及干重抑制作用都明显比青薯 2 号有效,说明下寨 65 对野燕麦种子萌发以及幼苗生长产生的影响更加有效。

表 6 腐解液对野燕麦种子萌发和幼苗生长的影响
Tab.6 The influence of the decomposed liquids of potato on seed germination and seedling growth of *Avena fatua* L.

供试品种	质量浓度/(mg·mL ⁻¹)	发芽率/%	芽长/cm	根长/cm	鲜重/g	干重/g
Varieties for testing	Mass concentration	Germination rate	Bud length	Root length	Fresh quality	Dry quality
F ₃ 2 号	0(CK)	98.5	2.16±0.31	0.17±0.06	1.126 9±0.126 7	0.255 6±0.017 0
	F ₃ 2	46.5	0.58±0.50	0.04±0.04	0.995 8±0.158 2	0.313 3±0.011 6
	50	36.5	0.83±0.11	0.05±0.01	1.110 9±0.047 2	0.345 6±0.025 5
	75	1.5	0.02±0.02	0.02±0.00	0.887 7±0.090 6	0.352 8±0.029 8
B ₃ 65 号	0(CK)	98.5	2.16±0.31	0.17±0.06	1.126 9±0.126 7	0.255 6±0.017 0
	B ₃ 65	36.3	0.98±0.73	0.12±0.09	0.922 2±0.250 5	0.301 7±0.053 1
	50	21.5	0.34±0.45	0.03±0.03	1.042 1±0.126 0	0.318 1±0.066 9
	75	8.5	0.14±0.21	0.01±0.01	0.931 3±0.136 4	0.368 7±0.020 9

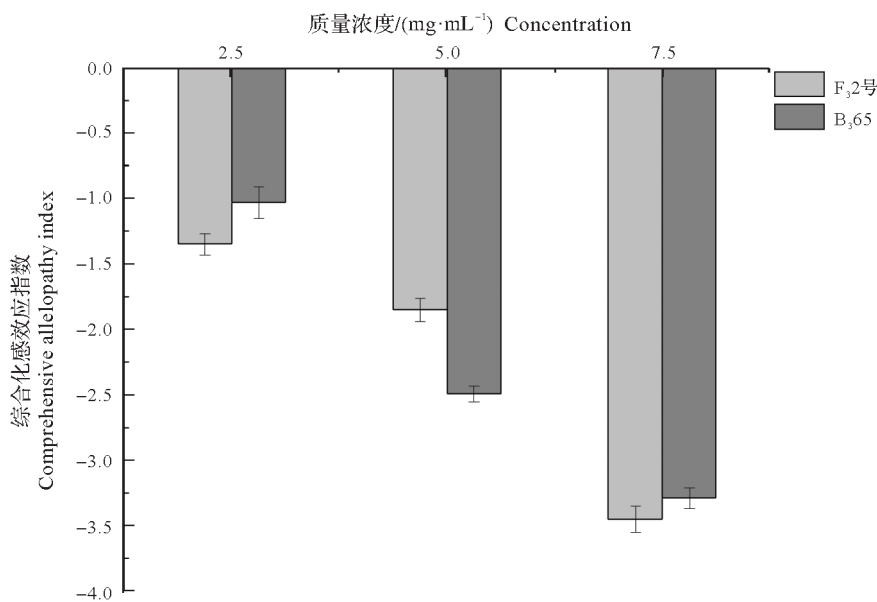
B₃65 表示为马铃薯下寨 65;F₃2 号下表示为马铃薯青薯 2 号。
B₃65 is represented as Potato Xiazhai 65 ;F₃2 represented as potato Qingshu 2.



A、B 分别表示为青薯 2 号、下寨 65 腐解液在质量浓度为 75 mg/mL 时对野燕麦种子萌发的影响;C、D 分别表示为青薯 2 号、下寨 65 腐解液在质量浓度为 75 mg/mL 时对野燕麦幼苗生长的影响。
A and B are the effects of the decomposition solution of Qingshu 2 and Xiazhai 65 on the germination of *Avena fatua* L. seeds at a mass concentration of 75 mg/mL ;c and D are the effects of Qingshu 2 and Xiazhai 65 decomposed liquid at 75 mg/mL on the growth of *Avena fatua* L. seedlings.

图 5 腐解液对野燕麦种子萌发和幼苗生长的影响
Fig.5 The influence of the decomposed liquids of potato on seed germination and seedling growth of *Avena fatua* L.

2.2.4 腐解液对野燕麦化感效应的综合评价 由下寨 65 和青薯 2 号腐解液对野燕麦化感效应的综合评价(图 6)得出,化感作用 B₃65>F₃2 号,其中,随着质量浓度的增加,F₃2 号和 B₃65 化感作用的差异越来越小,RI 绝对值不低于 2,说明 F₃2 号和 B₃65 对野燕麦的化感作用相当有效。



B₃65: 下寨 65 腐解液; F₃2 号: 青薯 2 号腐解液。

B₃65: Xiazhai 65 decomposing liquid; F₃2: Qingshu 2 decomposing liquid.

图 6 下寨 65 和青薯 2 号腐解液对野燕麦的化感效应

Fig.6 Allelopathic effects of Xiazhai 65 and Qingshu 2 decomposing liquids on *Avena fatua* L.

3 讨论与结论

以除草剂为主的传统杂草管理方法可能会引起严重的环境污染和健康问题^[22]。因此,制定有效管理杂草的替代策略对于可持续农业来说是不可或缺的。生物化感除草方法作为有机系统以及常规化学除草方法的一种很好的替代方法,其基础是化感物质的使用。大多数化感物质被归类为植物中的次生代谢物,可以直接或间接地控制杂草,有作为生物除草剂的潜力,且对环境安全,符合生态友好的标准^[23]。此外,化感物质可为作物提供额外的竞争优势,通过抑制受体植物生长,提高自身争夺资源的能力^[24]。

特定作物表现出的化感作用程度往往因作物品种而异^[25]。本研究在实验室条件下评估了 2 种不同的马铃薯品种青薯 2 号和下寨 65 对常见马铃薯田杂草野燕麦和小油菜的种子萌发和幼苗生长的化感作用。研究发现,成熟期的下寨 65 地下部分粗提物对小油菜的化感效应高于成熟期的青薯 2 号地下部分粗提物,而成熟期的青薯 2 号地下部分粗提物对野燕麦的化感效应高于成熟期的下寨 65 地下部分粗提物,不同作物品种化感潜力的差异可能是由于其产生和释放的化感物质类型和浓度不同造成的^[26]。由于 2 个不同马铃薯品种的腐解液的添加,2 种杂草的发芽率降低,表明它们具有化感物质,且对试验杂草表现出植物抑制作用。其中青薯 2 号腐解液处理的小油菜的发芽率、芽长、鲜重以及干重抑制作用明显高于下寨 65,说明小油菜对马铃薯品种青薯 2 号的化感胁迫较为敏感,这可能是由于 2 种杂草的基因组特征不同^[27-28]。此外,2 个不同品种在较高浓度下对马铃薯田杂草野燕麦和小油菜萌发的抑制作用均最大。野燕麦和小油菜发芽率降低可能是由于遭受代谢活动、种子吸胀潜力、部分分裂细胞死亡和胚胎等不同异常的化感胁迫所致。化感胁迫还可能引起 pH 值的变化、幼苗渗透能力的变化、细胞损伤、膜通透性的变化、矿质吸收和胚根吸水能力的降低,从而导致茎生长的降低^[29]。由于根系对周围环境中的化学变化感知较为敏感,因而反应可能更快。根和芽的长度减少可能是由于细胞分裂减少和生长激素异常^[30]。研究发现海棠属植物不同部位的水提取物对 4 个小麦品种的发芽、根和茎长有强烈的抑制作用。另外,小麦品种(Sim)的幼苗对银胶菊根、茎和叶的部分提取物的抗性也优于其他品种,小麦品种(Lasani)的种子萌发和幼苗生长受银胶菊根、茎和叶提取物的抑制作用最大^[31]。在本研究中,2 个马铃薯品种的不同部位粗提物对杂草根和芽的抑制作用存在差异。综上所述,马铃薯品种青薯 2 号和下寨

65的地下部分具有开发生物除草剂的潜力,其化感活性可通过降低杂草的萌发和生长而对其造成严重损害的作用机制,需进一步研究。

致谢:青海省科学技术厅自然科学基金面上项目(2022-ZJ-907)同时对本研究给予了资助,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] HASAN M, HAMDANI M, ROSLI A M, et al. Bioherbicides: an eco-friendly tool for sustainable weed management [J]. *Plants*, 2021, 10(6): 1212-1230.
- [2] 王天廓, 温玉娟, 杨悦锁, 等. 一株草甘膦高效降解菌的筛选和表征研究[J]. *农业环境科学学报*, 2021, 40(3): 591-599.
WANG T K, WEN Y J, YANG Y S, et al. Screening and characterization of a glyphosate-efficient degrading bacterium [J]. *Journal of agricultural environmental sciences*, 2021, 40(3): 591-599.
- [3] 孔庆博, 杨帅, 王小菊, 等. 巨尾桉精油对黑麦草、小麦种子的化感作用研究[J]. *四川农业大学学报*, 2021, 39(6): 713-720.
KONG Q B, YANG S, WANG X J, et al. Allelopathic effect of *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* essential oil on *Lolium perenne* and *Triticum aestivum* seeds [J]. *Journal of Sichuan agricultural university*, 2021, 39(6): 713-720.
- [4] 王燕燕, 赵梦醒, 刘廷志. 塔尔油对蛋白核小球藻抑藻效应及机理研究[J]. *中国造纸学报*, 2022, 37(1): 65-72.
WANG Y Y, ZHAO M X, LIU T Z, et al. Study on the allelopathic inhibition of *Chlorella pyrenoidosa* Tal oil mechanism [J]. *Transactions of China pulp and paper*, 2022, 37(1): 65-72.
- [5] 王彩霞, 贾阳, 秦文莉, 等. 东海原甲藻对羊栖菜合子生长及光合活性的化感作用研究[J]. *水生生物学报*, 2022, 46(2): 216-225.
WANG C X, JIA Y, QING W L, et al. Allelopathic effect of *prorocentrum dognhaiense* on growth and photosynthesis of *sargassum fusiformis* zygotes [J]. *Acta hydrobiologica Sinica*, 2022, 46(2): 216-225.
- [6] 陈金慧, 马慧燕, 陈煜, 等. 五爪金龙两种化感作用途径释放的化学成分分析及其效应研究[J]. *草业学报*, 2022, 31(2): 88-100.
CHEN J H, MA H Y, CHEN Y, et al. A study of chemicals released as volatiles or by rain leaching from *Ipomoea cairica* and their allelopathic effects [J]. *Acta prataculturae Sinica*, 2022, 31(2): 88-100.
- [7] 王敏, 刘浩, 王江南, 等. 生物法治理蓝藻水华研究进展[J]. *环境工程技术学报*, 2022, 12(1): 92-99.
WANG M, LIU H, WANG J N, et al. Research progress on the biological control of cyanobacterial blooms [J]. *Journal of environmental engineering technology*, 2022, 12(1): 92-99.
- [8] BEGUM H A, ALI S M, KHAN W, et al. Effects of stem extract of *Euphorbia royleana* boiss on seed germination of *Brassica campestris* L., *Trifolium repens* L. and *Trigonella foenum-graecum* L. [J]. *Proceedings of the national academy of sciences, India section B: biological sciences*, 2022, 92: 589-594.
- [9] 李雪枫, 王坚, 叶晓园, 等. 苦瓜植株水浸提液对水稻种子萌发和秧苗生长的影响[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(6): 1-7.
LI X F, WANG J, YE X Y, et al. Plant aqueous extract of *Momordica charantia*; effects on rice seed germination and seedling growth [J]. *Chinese agricultural science bulletin*, 2022, 38(6): 1-7.
- [10] SARIĆ-KRSMANOVIĆ M M, RADIVOJEVIĆ L M, ŠANTRIĆ L R, et al. Effects of mixtures of allelopathic plant water extracts and a herbicide on weed suppression [J]. *Journal of environmental science and health part B*, 2021, 56(1): 16-22.
- [11] BOUAFIANE M, KHELIL A, CIMMINO A, et al. Prediction and evaluation of allelopathic plants species in Algerian Saharan ecosystem [J]. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, 2021, 53: 125647.
- [12] MORIN L. Progress in biological control of weeds with plant pathogens [J]. *Annual review of phytopathology*, 2020, 58(1): 201-223.
- [13] 张爱华, 马文丽, 雷锋杰, 等. 人参黑斑病菌对人参根分泌物中氨基酸的化学趋向性响应研究[J]. *中国中药杂志*, 2017, 42(11): 2052-2057.
ZHANG A H, MA W L, LEI F J, et al. Research on chemotaxis response of *Alternaria panax* to amino acid of ginseng root exudates [J]. *China journal of Chinese materia medica*, 2017, 42(11): 2052-2057.
- [14] CHAB S, PISTEVOS J, BERTRAND C, et al. Allelopathy and allelochemicals from microalgae: an innovative source for bioherbicidal compounds and biocontrol research [J]. *Algal research*, 2021, 54: 102213.
- [15] 郑亚萍, 余涵霞, 张昕宇, 等. 薇甘菊化感物质对土壤氮素矿化的影响及其化感利己作用[J]. *生物安全学报*, 2021, 30(2): 110-119.

- ZHENG Y P, YU H X, ZHANG X Y, et al. The effect of *M. micrantha* allelochemicals on soil nitrogen mineralization and its allelopathy [J]. Journal of biosafety, 2021, 30(2): 110-119.
- [16] SHEN S C, XU G F, CLEMENTS D R, et al. Suppression of the invasive plant mile-a-minute (*Mikania micrantha*) by local crop sweet potato (*Ipomoea batatas*) by means of higher growth rate and competition for soil nutrients [J]. BMC ecology, 2015, 15(1): 1-10.
- [17] SHEN S C, XU G F, CLEMENTS D R, et al. Suppression of reproductive characteristics of the invasive plant *Mikania micrantha* by sweet potato competition [J]. BMC ecology, 2016, 16(1): 1-9.
- [18] WANG Q, ZHANG H, YANG Q, et al. The impact of grazing intensity on the allelopathic effect of *Artemisia frigida* in a temperate grassland in northern China [J]. Flora, 2022, 288: 152005.
- [19] 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等. 红薯叶片浸提液对5种主要农田杂草种子萌发及幼苗生长的化感作用 [J]. 生态学报, 2017, 37(6): 1931-1938.
- SHEN S C, XU G F, ZHANG F D, et al. Allelopathic effects of water extracts from sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves on five major farming weeds [J]. Acta ecologica Sinica, 2017, 37(6): 1931-1938.
- [20] CHON S U, BOO H O, Difference in allelopathic potential as influenced by root periderm colour of sweet potato (*Ipomoea batatas*) [J]. Journal of agronomy and crop science, 2005, 191(1): 75-80.
- [21] 沈硕. 青藏高原地区马铃薯主栽品种水浸提液的化感抑草作用 [J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(3): 511-521.
- SHEN S. Allelopathic effect of aqueous extracts from main potato (*Solanum tuberosum*) Varieties in Qinghai-Tibet Plateau on Weeds [J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2021, 43(3): 511-521.
- [22] 庄家文. 苏皖麦田杂草群落调查研究、抗性杂草发生规律及其绿色防控技术 [D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- ZHUANG J W. Weed community survey and distribution of resistance beckmannia syzigachne and ecological control of weeds in Jiangsu and Anhui Province [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019.
- [23] KAPOOR D, RINZIM, TIWARI A, et al. Exploiting the allelopathic potential of aqueous leaf extracts of *Artemisia absinthium* and *Psidium guajava* against *Parthenium hysterophorus*, a widespread weed in India [J]. Plants (Basel), 2019, 8(12): 552.
- [24] 张盟, 郑俊鸣, 万佳艺, 等. 福建省东门外优势木本植物的生态位与种间联结 [J]. 森林与环境学报, 2022, 42(1): 11-19.
- ZHANG M, ZHENG J M, WAN J Y, et al. Niche and interspecific associations of dominant woody plants in Dongmen Island, Fujian Province [J]. Journal of forest and environment, 2022, 42(1): 11-19.
- [25] 刘姚姚, 张瑞, 沈晓飞, 等. 毛竹林不同浸提液对浙江楠幼苗生长的影响研究 [J]. 西部林业科学, 2020, 49(3): 99-108.
- LIU Y Y, ZHANG R, SHEN X F, et al. Study on the effects of different extracts from *Phyllostachys edulis* forest on the growth of *Phoebe chekiangensis* seedlings [J]. Journal of west China forestry science, 2020, 49(3): 99-108.
- [26] 肖忠湘. 水稻化感物质在土壤中的迁移及其与微生物的互作 [D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
- XIAO Z X. The leaching of rice (*Oryza sativa* L.) allelochemicals in soil and their interactions with microorganisms [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.
- [27] SIYAR S, MAJEED A, MUHAMMAD Z, et al. Allelopathic effect of aqueous extracts of three weed species on the growth and leaf chlorophyll content of bread wheat [J]. Acta ecologica Sinica, 2019, 39(1): 63-68.
- [28] 彭亮. 利用水稻化感作用减量除草剂应用技术构建 [D]. 广州: 华南农业大学, 2017.
- PENG L. Cultivation technology construction of reducing herbicide with allelopathic rice in rice production [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2017.
- [29] 马丹炜, 王亚男, 王煜, 等. 化感胁迫诱导植物细胞损伤研究进展 [J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1640-1645.
- MA D W, WANG Y N, WANG Y, et al. Advance in allelochemical stress induced damage to plant cell [J]. Acta ecologica Sinica, 2015, 35(5): 1640-1645.
- [30] JAVAID A, ANJUM T. Control of *Parthenium hysterophorus* L. by aqueous extracts of allelopathic grasses [J]. Pakistan journal of botany, 2006, 38(1): 139-145.
- [31] KHAN N, HAAHMATULLAH NAVEED K, HUSSAIN Z, et al. Assessment of allelopathic effects of *Parthenium hysterophorus* L. plant parts on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars [J]. Pakistan journal of weed science research, 2012, 18(1): 39-50.