

实葶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

杨柳青, 林辰壹^①, 赵雅兰, 高攀, 阿依巴特·阿曼太, 热孜万古丽·吐尔逊
(新疆农业大学林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为探究实葶葱(*Allium galanthum* Kar. et Kir.) 对其伴生植物的化感作用, 对 25、50、75 和 100 mg · mL⁻¹ 实葶葱果皮水浸提液处理下蒲公英(*Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz.)、苦苣菜(*Sonchus oleraceus* Linn.)、马齿苋(*Portulaca oleracea* Linn.)、紫苜蓿(*Medicago sativa* Linn.)、苜蓿(*Thlaspi arvense* Linn.)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus* Linn.)、大翅蓟(*Onopordum acanthium* Linn.)、骆驼蓬(*Peganum harmala* Linn.) 和雀麦(*Bromus japonicus* Thunb. ex Murr.) 的种子萌发和幼苗生长指标进行比较, 并对不同质量浓度实葶葱果皮水浸提液对各伴生植物的综合化感效应指数进行分析。结果表明: 总体来看, 在 25~100 mg · mL⁻¹ 实葶葱果皮水浸提液处理下, 各伴生植物种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数低于对照(0 mg · mL⁻¹ 实葶葱果皮水浸提液), 并随实葶葱果皮水浸提液质量浓度提高而下降; 除雀麦外, 其他 8 种伴生植物幼苗的单株芽质量、单株根质量、芽长和根长也随实葶葱果皮水浸提液质量浓度提高而下降, 并且, 在 25 mg · mL⁻¹ 实葶葱果皮水浸提液处理下较对照升高, 在 100 mg · mL⁻¹ 实葶葱果皮水浸提液处理下较对照降低。从不同质量浓度实葶葱果皮水浸提液对各伴生植物的综合化感效应指数看, 实葶葱果皮水浸提液对多数伴生植物的种子萌发和幼苗生长有抑制作用, 抑制强度随实葶葱果皮水浸提液质量浓度提高而增强。总体来看, 在相同质量浓度处理下, 实葶葱果皮水浸提液对雀麦的综合化感效应指数的绝对值最大。综上所述, 实葶葱果皮具有一定的化感能力, 其水浸提液能够影响伴生植物的种子萌发和幼苗生长, 且对不同种类伴生植物的化感效应存在差异, 表现为对雀麦的化感效应最强。

关键词: 实葶葱; 果皮; 化感作用; 种子萌发; 幼苗生长

中图分类号: Q948.12⁺2.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2021)03-0061-10
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2021.03.08

Effects of pericarp aqueous extracts of *Allium galanthum* on seed germination and seedling growth of its nine associated plants YANG Liuqing, LIN Chenyi^①, ZHAO Yalan, GAO Pan, AYIBATE Amantai, REZIWANGULI Tuerxun (College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(3): 61-70

Abstract: To study the allelopathic effects of *Allium galanthum* Kar. et Kir. on its associated plants, seed germination and seedling growth indexes of *Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz., *Sonchus oleraceus* Linn., *Portulaca oleracea* Linn., *Medicago sativa* Linn., *Thlaspi arvense* Linn., *Amaranthus retroflexus* Linn., *Onopordum acanthium* Linn., *Peganum harmala* Linn., and *Bromus japonicus* Thunb. ex Murr. treated by 25, 50, 75, and 100 mg · mL⁻¹ pericarp aqueous extracts of *A. galanthum* were compared, and comprehensive allelopathic effect indexes of different mass concentrations of pericarp aqueous extracts of *A. galanthum* on each associated plant were analyzed. The results show that in general, under 25-100 mg · mL⁻¹ pericarp aqueous extracts of *A. galanthum*, germination rate, germination potential,

收稿日期: 2020-11-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31760573); 新疆维吾尔自治区园艺学重点学科基金项目(2016-10758-3)

作者简介: 杨柳青(1996—), 女, 新疆昌吉人, 硕士研究生, 主要从事葱属植物化感作用研究。

^①通信作者 E-mail: lincenyi65@sina.com

引用格式: 杨柳青, 林辰壹, 赵雅兰, 等. 实葶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.

germination index, and vital index of seeds of each associated plant are lower than those of the control ($0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ pericarp aqueous extracts of *A. galanthum*), and decrease with the increase of mass concentration of pericarp aqueous extracts of *A. galanthum*; except for *B. japonicus*, bud mass per plant, root mass per plant, bud length, and root length of seedlings of other eight associated plants also decrease with the increase of mass concentration of pericarp aqueous extracts of *A. galanthum*, in addition, those under $25 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ pericarp aqueous extracts of *A. galanthum* treatments increase compared with the control, while those under $100 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ pericarp aqueous extracts of *A. galanthum* treatments decrease compared with the control. Considering comprehensive allelopathic effect indexes of different mass concentrations of pericarp aqueous extracts of *A. galanthum* on each associated plant, pericarp aqueous extracts of *A. galanthum* have inhibition effects on seed germination and seedling growth of most associated plants, and the inhibition effects are enhanced with the increase of mass concentrations of pericarp aqueous extracts of *A. galanthum*. Overall, under the same mass concentration treatment, the absolute values of comprehensive allelopathic effect indexes of pericarp aqueous extracts of *A. galanthum* on *B. japonicus* is the largest. In conclusion, pericarp of *A. galanthum* has some allelopathic ability, and its aqueous extracts can affect the seed germination and seedling growth of the associated plants; there are differences in its allelopathic effects on different associated plants, in which, the allelopathic effect on *B. japonicus* is the strongest.

Key words: *Allium galanthum* Kar. et Kir.; pericarp; allelopathic effect; seed germination; seedling growth

植物在自然生态系统中通过化感作用相互影响^[1]。植物可通过不同途径向周围环境释放化感物质,抑制其他植物种子萌发和生长,从而在自然生态系统的资源竞争中占据优势^[2],增强其在植物群落中的生存竞争力^[3]。沙蒿(*Artemisia desertorum* Spreng.)通过抑制伴生杂草沙米[*Agriophyllum squarrosum* (Linn.) Moq.]、草木犀状黄耆(*Astragalus melilotoides* Pall.)和虫实(*Corispermum hyssopifolium* Linn.)的根长、发芽率、苗大小及生物量,增强自身在干旱和半干旱地区的竞争力,保证种群繁衍^[4]。在农田生态系统中,作物除了与伴生植物间存在对光、养分、水分等资源的竞争外,还通过淋溶和根系分泌等途径向周围环境释放化感物质,产生互作效应^[5]。例如:外来入侵植物小蓬草[*Conyza canadensis* (Linn.) Cronq.]地上部精油对小麦(*Triticum aestivum* Linn.)种子发芽率及幼苗的株高和根长具有抑制作用^[6];而谷子[*Setaria italica* (Linn.) P. Beauv.]秸秆水浸提液能够抑制入侵杂草反枝苋(*Amaranthus retroflexus* Linn.)的种子萌发和幼苗生长^[7]。因此,可研究利用植物之间的化感抑制作用清除田间的杂草^[5]。

实葶葱(*Allium galanthum* Kar. et Kir.)隶属于百合科(Liliaceae)葱属(*Allium* Linn.),为一种多年生野生草本植物,在国内仅分布于新疆北部。笔者在田间观察时发现,在无人为干预条件下,实葶葱种植地的

伴生植物多达12种,而农作物种植地的伴生植物多达50余种;并且,在完成种子散播后,实葶葱植株上残留的果皮脱落并分布在植株周围50 cm半径范围内。据统计,实葶葱单株果皮干质量约10 g,占植株地上部质量的20%~30%,满足植物可产生化感作用的条件^[8]。相关研究结果表明:实葶葱的凋落叶和新鲜叶的水浸提液对芜菁(*Brassica rapa* Linn.)、洋葱(*Allium cepa* Linn.)、鹰嘴豆(*Cicer arietinum* Linn.)、莴苣(*Lactuca sativa* Linn.)和紫苜蓿(*Medicago sativa* Linn.)等作物的生长具有促进、抑制或双重化感效应^[9-11]。

为此,本研究选取实葶葱荒漠农田生态环境下自然分布的9种伴生植物作为受体植物,包括蒲公英(*Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz.)、苦苣菜(*Sonchus oleraceus* Linn.)、马齿苋(*Portulaca oleracea* Linn.)、紫苜蓿、蒜薹(*Thlaspi arvense* Linn.)、反枝苋、大翅蓟(*Onopordum acanthium* Linn.)、骆驼蓬(*Peganum harmala* Linn.)和雀麦(*Bromus japonicus* Thunb. ex Murr.),对不同质量浓度实葶葱果皮水浸提液处理后各伴生植物的种子萌发和幼苗生长状况进行了比较,并分析了不同质量浓度实葶葱果皮水浸提液对各伴生植物的综合化感效应,以期初步了解实葶葱与供试9种伴生植物间的化感作用关系,为明确自然生态系统中实葶葱与这些伴生植物间的竞争关系提供一定的理论指导。

1 材料和方法

1.1 材料

在新疆农业大学三坪实验实习基地(东经87.20°、北纬43.54°)内采集实蒴葱果皮以及蒲公英、苦苣菜、马齿苋、紫苜蓿、蒜薹、反枝苋、大翅蓟、骆驼蓬和雀麦9种伴生植物的种子。该基地位于准噶尔盆地边缘,呈低山丘陵荒漠地貌,年均气温7.4℃,年均降水量334.5 mm,年均蒸发量2 731.0 mm,年日照时数2 792.7 h,春季和秋季相对湿润,夏季炎热而干旱,冬季漫长而寒冷,属典型的温带干旱气候^[12]。

收集实蒴葱种子完全散落仍残留在植株上且无病斑的完整果皮(含果梗),用硅胶干燥至恒质量,经粉碎后过100目筛,待用。

在各伴生植物种子中选择颗粒饱满、完全成熟且大小基本一致的种子,用质量体积分数1%的NaClO溶液消毒20 min,经蒸馏水冲洗3次后,用无菌水冲洗3~5次,待用。

1.2 方法

1.2.1 实蒴葱果皮水浸提液制备 按料液比1:10(m:V)的比例将实蒴葱果皮干燥粉末和蒸馏水混匀,于室温下浸提48 h,4 000 r·min⁻¹离心10 min;收集上清液,过滤后获得质量浓度100 mg·mL⁻¹的实蒴葱果皮水浸提液,并用蒸馏水将此浸提液分别稀释成质量浓度25、50和75 mg·mL⁻¹的溶液。

1.2.2 处理方法 以蒸馏水(即0 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液)为对照,采用培养皿滤纸法^[13],根据预实验结果,在培养皿中分别加入不同质量浓度的实蒴葱果皮水浸提液8 mL;每个培养皿均匀摆放25粒伴生植物种子,置于人工气候箱中避光培养,模拟新疆自然环境设置培养条件:昼温(25±2)℃、空气相对湿度60%;夜温(15±2)℃、空气相对湿度75%。各伴生植物每处理均设置4个重复。

1.2.3 指标测定 将胚根突破种皮1~2 mm作为判定种子发芽的标准,每天观察并记录发芽种子数,连续3 d无新种子发芽即结束培养。培养结束后,每个培养皿随机选5株幼苗,分成根和芽2个部分,使用电子天平(精度0.1 mg)称量单株芽质量和单株根质量;使用电子游标卡尺(精度0.01 mm)测量芽长(子叶着生点以上部分的长度)和根长(子叶着生点以下部分的长度)。

1.3 数据计算与统计分析

根据测量结果,计算各伴生植物种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数,计算公式分别为发芽率=(培养结束时发芽种子总数/供试种子数)×100%、发芽势=(截至发芽高峰日的发芽种子总数/供试种子数)×100%、发芽指数= \sum (发芽日数/对应发芽日的发芽种子数)和活力指数=单株总质量×发芽指数。参照Williamson等^[14]的方法计算各指标的化感效应指数(RI),据此计算不同质量浓度实蒴葱果皮水浸提液对各伴生植物的综合化感效应指数(即相同质量浓度实蒴葱果皮水浸提液处理下伴生植物各种种子萌发和幼苗生长指标RI值的算术平均值)。RI>0表示促进作用,RI<0表示抑制作用,其绝对值大小代表化感作用强弱^[13]。

采用EXCEL 2019和SPSS 19.0软件对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),采用Duncan's新复极差法进行多重比较。

2 结果和分析

2.1 实蒴葱果皮水浸提液对9种伴生植物种子萌发的影响

不同质量浓度实蒴葱果皮水浸提液对其伴生植物蒲公英、苦苣菜、马齿苋、紫苜蓿、蒜薹、反枝苋、大翅蓟、骆驼蓬和雀麦种子萌发的影响见表1。由表1可见:总体来看,在25~100 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,各伴生植物种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数低于对照(0 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液),并随实蒴葱果皮水浸提液质量浓度提高而下降。

2.1.1 对蒲公英种子萌发的影响 25 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,蒲公英种子发芽指数和活力指数较对照显著($P<0.05$)下降,降幅分别为30.3%和30.2%;50 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,蒲公英种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数较对照显著下降,降幅分别为11.8%、53.2%、44.4%和44.5%;75 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,蒲公英种子各萌发指标较对照的降幅增大,分别为38.7%、74.2%、66.9%和66.9%;100 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,蒲公英种子各萌发指标较对照的降幅最大,分别为53.8%、96.8%、76.2%和76.3%。

表1 不同质量浓度实蕮葱果皮水浸提液对其9种伴生植物种子萌发的影响($\bar{X}\pm SE$)¹⁾Table 1 Effects of different mass concentrations of pericarp aqueous extracts of *Allium galanthum* Kar. et Kir. on seed germination of its nine associated plants ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对蒲公英种子萌发的影响 Effect on seed germination of <i>Taraxacum mongolicum</i>			
	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vital index
0(CK)	93.0±3.0a	62.0±3.0a	6.80±0.27a	7.68±0.31a
25	91.0±1.9a	52.0±9.0a	4.74±0.11b	5.36±0.13b
50	82.0±2.0b	29.0±8.0b	3.78±0.21c	4.26±0.23c
75	57.0±7.6c	16.0±6.0b	2.25±0.27d	2.54±0.30d
100	43.0±6.0c	2.0±0.0c	1.62±0.21d	1.82±0.23d
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对苦苣菜种子萌发的影响 Effect on seed germination of <i>Sonchus oleraceus</i>			
	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vital index
0(CK)	93.0±2.5a	81.0±6.0a	10.96±0.49a	0.34±0.01a
25	94.0±1.3a	56.0±6.1b	5.74±0.45b	0.20±0.04b
50	84.0±4.9b	68.0±6.0b	4.25±0.25c	0.12±0.01c
75	74.0±5.0b	55.0±8.0b	3.49±0.28c	0.10±0.01c
100	76.0±7.3b	44.0±4.0b	3.12±0.34c	0.07±0.01c
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对马齿苋种子萌发的影响 Effect on seed germination of <i>Portulaca oleracea</i>			
	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vital index
0(CK)	75.0±3.8a	57.0±3.0bc	14.08±1.02a	0.41±0.04a
25	71.0±6.6a	91.0±1.0a	8.68±0.56b	0.10±0.01b
50	66.0±3.5a	86.0±3.0a	5.72±0.32c	0.13±0.01b
75	75.0±6.0a	44.0±4.0c	5.66±0.47c	0.15±0.01b
100	71.0±5.3a	61.0±9.0b	4.55±0.57c	0.12±0.02b
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对苜蓿种子萌发的影响 Effect on seed germination of <i>Medicago sativa</i>			
	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vital index
0(CK)	94.0±3.5a	69.0±3.0a	6.80±0.27a	0.87±0.07a
25	91.0±1.9a	60.0±6.0ab	4.76±0.10b	0.63±0.04b
50	82.0±2.0a	59.0±3.0ab	3.78±0.21c	0.46±0.03c
75	57.0±7.5b	49.0±1.0b	2.27±0.27d	0.23±0.02d
100	43.0±6.0b	39.0±6.0b	1.62±0.21d	0.53±0.08c
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对苜蓿种子萌发的影响 Effect on seed germination of <i>Thlaspi arvense</i>			
	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vital index
0(CK)	45.0±7.7b	26.0±5.0b	2.69±0.48c	0.26±0.12ab
25	90.0±4.2a	60.0±5.0a	5.21±0.26a	0.32±0.04a
50	77.0±5.8a	40.0±6.0b	3.65±0.28b	0.21±0.02ab
75	53.0±3.0b	28.0±6.0b	2.38±0.18cd	0.14±0.01ab
100	45.0±1.0b	23.0±8.0b	1.70±0.10d	0.08±0.01b
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对反枝苋种子萌发的影响 Effect on seed germination of <i>Amaranthus retroflexus</i>			
	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vital index
0(CK)	50.0±3.8a	23.0±8.0a	3.65±0.41a	0.08±0.01a
25	24.0±8.8b	15.0±6.0ab	1.30±0.46b	0.04±0.01b
50	28.0±4.9b	15.0±5.0ab	1.60±0.28b	0.05±0.01b
75	16.0±2.8bc	13.0±5.0ab	0.86±0.92bc	0.02±0.01c
100	5.0±1.0c	4.0±2.0b	0.24±0.05c	0.00±0.00d

续表1 Table 1 (Continued)

质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对大翅蓟种子萌发的影响 Effect on seed germination of <i>Onopordum acanthium</i>			
	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vital index
0(CK)	100.0±0.0a	96.0±2.0a	8.42±0.10a	2.98±0.13a
25	98.0±1.2a	79.0±3.0b	7.20±0.15b	2.84±0.08a
50	97.0±1.0ab	88.0±2.0ab	5.99±0.08c	2.02±0.22b
75	94.0±1.2b	86.0±3.0b	5.07±0.07d	1.51±0.09c
100	89.0±2.2c	55.0±5.0c	4.31±0.05e	0.70±0.03d
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对骆驼蓬种子萌发的影响 Effect on seed germination of <i>Peganum harmala</i>			
	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vital index
0(CK)	100.0±0.0a	67.0±5.0a	3.12±0.00a	0.47±0.02a
25	99.0±1.0a	54.0±4.0ab	3.09±0.03a	0.52±0.01a
50	100.0±0.0a	49.0±3.0b	3.12±0.00a	0.52±0.01a
75	98.0±1.6a	40.0±6.0b	3.06±0.03a	0.49±0.04a
100	97.0±1.0a	38.0±7.0b	3.03±0.01a	0.37±0.02b
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对雀麦种子萌发的影响 Effect on seed germination of <i>Bromus japonicus</i>			
	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index	活力指数 Vital index
0(CK)	90.0±2.0b	87.0±2.0a	11.71±0.28a	0.67±0.00a
25	98.0±1.2a	76.0±4.0ab	12.11±0.07a	0.00±0.00b
50	89.0±1.0b	62.0±6.0b	9.69±0.42b	0.00±0.00b
75	77.0±1.0c	22.0±5.0c	6.53±0.35c	0.00±0.00b
100	66.0±2.5d	23.0±8.0c	5.61±0.54c	0.00±0.00b

¹⁾ 同列中不同小写字母表示在不同处理间差异显著 ($P<0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P<0.05$) difference among different treatments.

2.1.2 对苦苣菜种子萌发的影响 25 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,苦苣菜种子发芽势、发芽指数和活力指数较对照显著下降,降幅分别为30.9%、47.6%和41.2%;50 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,苦苣菜种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数较对照显著下降,降幅分别为9.7%、16.0%、61.2%和64.7%;75 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,苦苣菜种子各萌发指标较对照的降幅增大,分别为20.4%、32.1%、68.2%和70.6%;100 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,苦苣菜种子发芽率较对照的降幅略减小,为18.3%,而发芽势、发芽指数和活力指数较对照的降幅最大,分别为45.7%、71.5%和79.4%。

2.1.3 对马齿苋种子萌发的影响 25 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,马齿苋种子发芽势最高,较对照显著升高,增幅为59.6%,而发芽指数和活力指数较对照显著下降,降幅分别为38.4%和75.6%;50 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,马齿苋种子发芽势仍较对照显著升高,但增幅下降,为50.9%,而发芽指数和活力指数较对照显著下降,降幅分别为

59.4%和68.3%;75 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,马齿苋种子发芽势最低,较对照降低了22.8%,而发芽指数和活力指数较对照显著下降,降幅分别为59.8%和63.4%;100 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,马齿苋种子发芽指数和活力指数较对照的降幅增大,分别为67.7%和70.7%。

2.1.4 对紫苜蓿种子萌发的影响 25和50 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,紫苜蓿种子发芽指数较对照显著下降,降幅分别为30.0%和44.4%,活力指数也较对照显著下降,降幅分别为27.6%和47.1%;75 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,紫苜蓿种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数较对照显著下降,降幅分别为39.4%、29.0%、66.6%和73.6%;100 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,紫苜蓿种子各萌发指标也较对照显著下降,降幅分别为54.2%、43.5%、76.2%和39.1%。

2.1.5 对芥苣种子萌发的影响 25 mg·mL⁻¹实蒴葱果皮水浸提液处理下,芥苣种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均最高,且总体上较对照显著升高,

增幅分别为 100.0%、130.8%、93.7% 和 23.1%；50 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，蒜薹种子发芽率和发芽指数较对照显著升高，增幅分别为 71.1% 和 35.7%；75 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，蒜薹种子各萌发指标与对照的差异均不显著；100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，蒜薹种子发芽指数较对照显著下降，降幅为 36.8%。

2.1.6 对反枝苋种子萌发的影响 25 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，反枝苋种子发芽率、发芽指数和活力指数较对照显著下降，降幅分别为 52.0%、64.4% 和 50.0%；50 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，反枝苋种子发芽率、发芽指数和活力指数较对照的降幅略减小，分别为 44.0%、56.2% 和 37.5%；75 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，反枝苋种子发芽率、发芽指数和活力指数较对照的降幅增大，分别为 68.0%、76.4% 和 75.0%；100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，反枝苋种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数最低，且显著低于对照，降幅分别为 90.0%、82.6%、93.4% 和 100.0%。

2.1.7 对大翅蓟种子萌发的影响 25 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，大翅蓟种子发芽势和发芽指数较对照显著下降，降幅分别为 17.7% 和 14.5%；50 和 75 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，大翅蓟种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数较对照的降幅总体增大；100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，大翅蓟种子各萌发指标最低，且显著低于对照，降幅分别为 11.0%、42.7%、48.8% 和 76.5%。

2.1.8 对骆驼蓬种子萌发的影响 25~75 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，骆驼蓬种子发芽率、发芽指数和活力指数与对照差异不显著；50~100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，骆驼蓬种子发芽势较对照显著下降，最大降幅为 43.3%；100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，骆驼蓬种子活力指数较对照显著下降，降幅为 21.3%。

2.1.9 对雀麦种子萌发的影响 25 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，雀麦种子发芽率较对照显著升高，增幅为 8.9%，而活力指数较对照显著降低，降幅为 100.0%；50~100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，雀麦种子发芽率、发芽势和发芽指数总体上逐渐下降，在 100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下降幅分别为 26.7%、73.6% 和 52.1%，而活力指数在 50~100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下一

直为 0.00。

2.2 实葶葱果皮水浸提液对伴生植物幼苗生长的影响

不同质量浓度实葶葱果皮水浸提液对其伴生植物蒲公英、苦苣菜、马齿苋、紫苜蓿、蒜薹、反枝苋、大翅蓟、骆驼蓬和雀麦幼苗生长的影响见表 2。由表 2 可见：总体来看，在 25~100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，除雀麦外，其他 8 种伴生植物幼苗生长指标随实葶葱果皮水浸提液质量浓度提高而下降，并且，在 25 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液下较对照 (0 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液) 升高，在 100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液下较对照降低。

2.2.1 对蒲公英幼苗生长的影响 25 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，蒲公英幼苗芽长较对照显著 ($P<0.05$) 升高，增幅为 85.7%；50、75 和 100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，蒲公英幼苗根长较对照显著下降，降幅分别为 39.4%、62.0% 和 65.0%。

2.2.2 对苦苣菜幼苗生长的影响 25 和 75 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，苦苣菜幼苗各生长指标与对照差异不显著；50 和 100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，苦苣菜幼苗根长较对照显著下降，降幅分别为 24.3% 和 50.4%。

2.2.3 对马齿苋幼苗生长的影响 25 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，马齿苋幼苗单株根质量和根长较对照显著升高，增幅分别为 183.3% 和 99.4%；50、75 和 100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，马齿苋幼苗根长持续下降，且显著低于对照，降幅分别为 54.8%、66.4% 和 73.3%，而单株芽质量、单株根质量和根长与对照差异不显著，但总体上逐渐下降。

2.2.4 对紫苜蓿幼苗生长的影响 25 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，紫苜蓿幼苗各生长指标与对照差异不显著；50 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，紫苜蓿幼苗单株根质量和根长较对照显著下降，降幅分别为 22.4% 和 19.3%，而芽长较对照显著升高，增幅为 104.3%；75 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，紫苜蓿幼苗单株根质量和根长较对照显著下降，降幅分别为 45.8% 和 59.5%；100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，紫苜蓿幼苗单株芽质量、单株根质量和根长较对照显著下降，降幅分别为 73.1%、65.2% 和 81.1%。

2.2.5 对蒜薹幼苗生长的影响 25 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下，蒜薹幼苗单株根质量较对照显

表2 不同质量浓度实萼葱果皮水浸提液对其9种伴生植物幼苗生长的影响($\bar{X}\pm SE$)¹⁾Table 2 Effects of different mass concentrations of pericarp aqueous extracts of *Allium galanthum* Kar. et Kir. on seedling growth of its nine associated plants ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对蒲公英幼苗生长的影响 Effect on seedling growth of <i>Taraxacum mongolicum</i>			
	单株芽质量/mg Bud mass per plant	单株根质量/mg Root mass per plant	芽长/mm Bud length	根长/mm Root length
0(CK)	570.8±1.1ab	558.3±2.0a	10.57±0.35b	15.73±0.59a
25	575.2±0.1a	555.0±5.1a	19.63±5.29a	17.07±0.93a
50	572.8±3.0ab	555.9±2.1a	10.87±0.27b	9.53±0.93b
75	567.2±1.1b	558.9±2.4a	9.87±0.18b	5.97±0.51c
100	577.6±3.0b	556.3±2.3a	8.49±0.53b	5.51±0.33c
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对苦苣菜幼苗生长的影响 Effect on seedling growth of <i>Sonchus oleraceus</i>			
	单株芽质量/mg Bud mass per plant	单株根质量/mg Root mass per plant	芽长/mm Bud length	根长/mm Root length
0(CK)	22.6±0.1ab	6.5±1.0ab	28.19±1.17ab	41.25±1.01a
25	27.1±3.1a	7.6±1.1a	32.01±0.47a	39.85±2.57a
50	21.4±1.1ab	7.2±1.3ab	31.21±0.52a	31.22±3.86b
75	22.0±1.1ab	5.2±1.1b	28.58±2.26ab	37.28±5.44a
100	17.8±1.1b	5.4±1.2b	26.79±1.28b	20.46±0.53c
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对马齿苋幼苗生长的影响 Effect on seedling growth of <i>Portulaca oleracea</i>			
	单株芽质量/mg Bud mass per plant	单株根质量/mg Root mass per plant	芽长/mm Bud length	根长/mm Root length
0(CK)	25.1±0.9ab	3.6±0.0b	24.23±0.49ab	11.03±0.99b
25	27.9±1.1a	10.2±7.1a	30.47±1.62a	22.00±0.86a
50	25.7±2.2ab	3.5±1.3b	31.62±7.04a	4.99±1.72c
75	23.6±1.1b	3.0±0.2b	20.93±0.64ab	3.70±0.29c
100	24.3±0.0b	3.0±1.1b	18.05±1.62b	2.94±0.22c
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对紫苜蓿幼苗生长的影响 Effect on seedling growth of <i>Medicago sativa</i>			
	单株芽质量/mg Bud mass per plant	单株根质量/mg Root mass per plant	芽长/mm Bud length	根长/mm Root length
0(CK)	94.3±6.1a	33.0±2.1a	28.31±1.60b	46.94±2.08a
25	99.7±5.2a	32.4±2.0a	30.15±1.39b	50.32±2.77a
50	95.8±3.1a	25.6±1.1b	57.85±1.43a	37.87±1.47b
75	83.2±3.3ab	17.9±1.3c	23.90±1.30b	19.02±1.71c
100	25.4±6.5c	11.5±2.0d	12.62±2.92b	8.88±0.46d
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对苜蓿幼苗生长的影响 Effect on seedling growth of <i>Thlaspi arvense</i>			
	单株芽质量/mg Bud mass per plant	单株根质量/mg Root mass per plant	芽长/mm Bud length	根长/mm Root length
0(CK)	43.0±2.2ab	44.1±3.0a	33.35±1.49a	52.16±1.02a
25	47.7±3.1a	14.0±1.1b	37.22±1.91a	53.36±2.65a
50	46.4±2.2ab	11.8±0.0b	35.30±1.42a	46.46±2.16b
75	48.5±2.0a	11.6±1.1b	36.86±1.42a	36.95±1.85c
100	37.0±1.0b	6.9±0.1c	25.07±0.17b	17.10±0.74d
质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对反枝苋幼苗生长的影响 Effect on seedling growth of <i>Amaranthus retroflexus</i>			
	单株芽质量/mg Bud mass per plant	单株根质量/mg Root mass per plant	芽长/mm Bud length	根长/mm Root length
0(CK)	16.6±1.0b	5.7±1.1ab	28.72±0.97a	33.83±1.83a
25	21.9±1.1ab	6.5±0.7a	28.37±0.56a	25.42±0.96b
50	22.5±1.0a	5.4±0.1b	24.17±1.28b	20.34±1.56c
75	14.9±1.0c	0.0±0.0c	0.00±0.00c	0.00±0.00d
100	0.0±0.0d	0.0±0.0c	0.00±0.00c	0.00±0.00d

续表2 Table 2 (Continued)

质量浓度/(mg · mL ⁻¹) Mass concentration	对大翅蓟幼苗生长的影响 Effect on seedling growth of <i>Onopordum acanthium</i>			
	单株芽质量/mg Bud mass per plant	单株根质量/mg Root mass per plant	芽长/mm Bud length	根长/mm Root length
0(CK)	255.7±12.5a	98.4±3.0a	23.43±0.92b	113.94±1.96a
25	294.9±7.1a	99.0±1.0a	27.96±1.06a	110.25±3.10a
50	257.3±27.4a	81.5±14.1ab	22.74±1.14bc	90.75±4.56b
75	204.1±14.0b	64.8±7.1b	19.84±1.44c	69.85±3.59c
100	136.2±7.1c	26.7±1.0c	10.52±0.26d	39.99±4.53d
质量浓度/(mg · mL ⁻¹) Mass concentration	对骆驼蓬幼苗生长的影响 Effect on seedling growth of <i>Peganum harmala</i>			
	单株芽质量/mg Bud mass per plant	单株根质量/mg Root mass per plant	芽长/mm Bud length	根长/mm Root length
0(CK)	110.9±6.1b	44.5±2.0a	20.50±1.07d	55.88±2.71b
25	123.4±29.1a	46.1±2.0a	33.91±0.93a	67.45±1.88a
50	131.4±30.0a	36.1±4.1b	34.20±0.71a	51.74±3.56b
75	133.8±25.3a	25.1±1.0c	28.11±1.37b	29.86±5.67c
100	100.7±11.1c	18.8±3.1c	23.77±1.31c	24.71±3.95c
质量浓度/(mg · mL ⁻¹) Mass concentration	对雀麦幼苗生长的影响 Effect on seedling growth of <i>Bromus japonicus</i>			
	单株芽质量/mg Bud mass per plant	单株根质量/mg Root mass per plant	芽长/mm Bud length	根长/mm Root length
0(CK)	35.1±0.7a	22.0±0.1a	79.58±0.31a	56.01±1.10a
25	0.0±0.0b	0.0±0.0b	0.00±0.00b	0.00±0.00b
50	0.0±0.0b	0.0±0.0b	0.00±0.00b	0.00±0.00b
75	0.0±0.0b	0.0±0.0b	0.00±0.00b	0.00±0.00b
100	0.0±0.0b	0.0±0.0b	0.00±0.00b	0.00±0.00b

¹⁾ 同列中不同小写字母表示在不同处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P < 0.05$) difference among different treatments.

著下降,降幅为 68.2%;50 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,蒜薹幼苗单株根质量和根长较对照显著下降,降幅分别为 73.2%和 10.9%;75 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,蒜薹幼苗单株根质量和根长较对照显著下降,降幅分别为 73.7%和 29.2%;100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,蒜薹幼苗单株芽质量、单株根质量、芽长和根长最低,分别较对照降低了 14.0%、84.4%、24.8%和 67.2%。

2.2.6 对反枝苋幼苗生长的影响 25 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,反枝苋幼苗根长较对照显著下降,降幅为 24.8%;50 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,反枝苋幼苗单株芽质量较对照显著升高,增幅为 35.5%,芽长和根长较对照显著下降,降幅分别为 15.8%和 39.9%;75 和 100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,反枝苋幼苗各生长指标显著低于对照,基本上被完全抑制。

2.2.7 对大翅蓟幼苗生长的影响 25 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,大翅蓟幼苗芽长较对照显著升高,增幅为 19.3%;50 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提

液处理下,大翅蓟幼苗根长较对照显著下降,降幅为 20.4%;75 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,大翅蓟幼苗单株芽质量、单株根质量、芽长和根长均较对照显著下降,降幅分别为 20.2%、34.1%、15.3%和 38.7%;100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,大翅蓟幼苗单株芽质量、单株根质量、芽长和根长较对照的降幅增大,分别为 46.7%、72.9%、55.1%和 64.9%。

2.2.8 对骆驼蓬幼苗生长的影响 25 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,骆驼蓬幼苗单株芽质量、芽长和根长较对照显著升高,增幅分别为 11.3%、65.4%和 20.7%;50 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,骆驼蓬幼苗单株芽质量和芽长较对照显著升高,增幅分别为 18.5%和 66.8%,而单株根质量较对照显著下降,降幅为 18.9%;75 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,骆驼蓬幼苗单株芽质量和芽长也较对照显著升高,增幅分别为 20.6%和 37.1%,而单株根质量和根长较对照显著下降,降幅分别为 43.6%和 46.6%;100 mg · mL⁻¹实葶葱果皮水浸提液处理下,骆驼蓬幼

苗单株芽质量、单株根质量和根长较对照显著下降,降幅分别为9.2%、57.8%和55.8%,而芽长较对照显著升高,增幅为16.0%。

2.2.9 对雀麦幼苗生长的影响 25~100 mg·mL⁻¹实蒔葱果皮水浸提液处理下,雀麦幼苗的单株芽质量、单株根质量、芽长和根长均被完全抑制,幼苗无法生长。

2.3 实蒔葱果皮水浸提液对9种伴生植物的综合化感效应分析

不同质量浓度实蒔葱果皮水浸提液对其伴生植物蒲公英、苦苣菜、马齿苋、紫苜蓿、苜蓿、反枝苋、大翅蓟、骆驼蓬和雀麦的综合化感效应分析结果见表3。由表3可见:不同质量浓度实蒔葱果皮水浸提液对各伴生植物的综合化感效应指数存在差异。25 mg·mL⁻¹实蒔葱果皮水浸提液对蒲公英、马齿苋、苜

蓿、大翅蓟和骆驼蓬的综合化感效应指数为正值,表现为促进作用。50 mg·mL⁻¹实蒔葱果皮水浸提液对骆驼蓬的综合化感效应指数也为正值,同样表现为促进作用。其他质量浓度实蒔葱果皮水浸提液对各伴生植物的综合化感效应指数均为负值,表现为抑制作用。实蒔葱果皮水浸提液对马齿苋、紫苜蓿和骆驼蓬的综合化感效应指数的绝对值随着实蒔葱果皮水浸提液质量浓度提高表现为先减小后增大,分别在50、50和100 mg·mL⁻¹时最小,而其对其余6种伴生植物的综合化感效应指数的绝对值却随着实蒔葱果皮水浸提液质量浓度提高而增大。总体来看,相同质量浓度下,实蒔葱果皮水浸提液对雀麦的综合化感效应指数的绝对值最大,对反枝苋的综合化感指数的绝对值也较大,说明实蒔葱果皮水浸提液对雀麦的化感效应最强,对反枝苋的化感效应较强。

表3 不同质量浓度实蒔葱果皮水浸提液对其9种伴生植物的综合化感效应分析

Table 3 Analysis on comprehensive allelopathic effect of pericarp aqueous extracts of *Allium galanthum* Kar. et Kir. on its nine associated plants

质量 浓度/(mg·mL ⁻¹) Mass concentration	对各伴生植物的综合化感效应指数 Comprehensive allelopathic effect index on each associated plant								
	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	紫苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	苜蓿 <i>Thlaspi arvense</i>	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	大翅蓟 <i>Onopordum acanthium</i>	骆驼蓬 <i>Peganum harmala</i>	雀麦 <i>Bromus japonicus</i>
25	0.046	-0.057	0.284	-0.061	0.106	-0.218	0.015	0.165	-0.697
50	-0.196	-0.204	-0.232	-0.057	-0.113	-0.239	-0.148	0.109	-0.741
75	-0.345	-0.273	-0.330	-0.446	-0.315	-0.758	-0.291	-0.039	-0.798
100	-0.414	-0.374	-0.373	-0.635	-0.426	-0.976	-0.537	-0.188	-0.827

3 讨论和结论

葱属植物是一类具有很强化感作用的植物类群^[15-16]。已有研究表明:实蒔葱的凋落叶和新生叶对多种作物的种子萌发具有一定的化感作用^[9,11]。本研究中,实蒔葱果皮水浸提液对供试9种伴生植物种子萌发和幼苗生长均具有一定的影响,说明实蒔葱的果皮具有一定的化感能力。笔者在前期研究中发现,25 mg·mL⁻¹实蒔葱自然凋落叶片水浸提液对紫苜蓿种子的发芽势、发芽指数和活力指数具有一定的促进作用^[9],而本研究中相同质量浓度实蒔葱果皮水浸提液对苜蓿种子的发芽势、发芽指数和活力指数却表现出一定的抑制作用,说明实蒔葱不同部位的化感作用存在差异。此外,实蒔葱果皮水浸提液对不同伴生植物的化感效应类型也存在差异。根据实蒔葱果皮水浸提液对供试9种伴生植物的综合化感效应

指数,其对苦苣菜、紫苜蓿、反枝苋和雀麦有抑制作用,而对蒲公英、马齿苋、苜蓿、大翅蓟和骆驼蓬则有双重化感效应^[17]。

比较而言,实蒔葱果皮水浸提液对雀麦的化感效应最强,随着其果皮水浸提液质量浓度的提高,雀麦种子发芽率、发芽势和发芽指数总体上越来越低,说明雀麦种子萌发受到的抑制作用越来越强;而雀麦种子的活力指数直接降为0.00,说明雀麦幼苗芽和根的生长完全被抑制,同时表明雀麦幼苗芽和根的生长对实蒔葱果皮水浸提液更为敏感,这可能是由于雀麦种子萌发后,负责吸收养分的胚根直接接触实蒔葱果皮水浸提液中的化感物质,其伸长生长受到明显抑制,从而导致芽和根的生长受阻。25 mg·mL⁻¹实蒔葱果皮水浸提液对蒲公英、马齿苋、苜蓿、大翅蓟和骆驼蓬的综合化感效应指数均为正值,而对苦苣菜、紫苜蓿、反枝苋和雀麦的综合化感效应指数均为负值,说明低浓度实蒔葱果皮水浸提液对蒲公英、马齿苋、苜蓿、大

翅蓟和骆驼蓬种子萌发和幼苗生长均有一定的促进作用,而对苦苣菜、紫苜蓿、反枝苋和雀麦种子萌发和幼苗生长则有一定的抑制作用。 $50 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 实葶葱果皮水浸提液对苦苣菜、反枝苋和雀麦的综合化感效应指数的绝对值增大,对骆驼蓬的综合化感效应指数的绝对值减小,说明实葶葱果皮水浸提液对苦苣菜、反枝苋和雀麦的抑制作用增强,而对骆驼蓬的促进作用减弱。值得注意的是, $50 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 实葶葱果皮水浸提液对蒲公英、马齿苋、苜蓿和大翅蓟的综合化感效应指数均为负值,说明此浓度实葶葱果皮水浸提液对蒲公英、马齿苋、苜蓿和大翅蓟的化感作用为抑制作用。 75 和 $100 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 实葶葱果皮水浸提液对9种伴生植物的综合化感效应指数均为负值且绝对值持续增大,说明实葶葱果皮水浸提液对供试9种伴生植物的抑制作用越来越强。

综合上述研究结果,化感作用是一个复杂的过程,受到不同部位、浓度、受体种类和作用部位等因子的共同影响。实葶葱果皮对其伴生植物具有一定的化感作用,其化感物质可通过淋溶方式进入农田生态系统,影响伴生植物种子萌发和幼苗生长。比较而言,实葶葱果皮水浸提液对雀麦的化感效应最强。然而,关于实葶葱果皮中化感物质的种类、含量和作用机制尚不清楚,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] HUBÁLEK Z. Coefficients of association and similarity based on binary (presence-absence) data: an evaluation [J]. *Biological Reviews*, 1982, 57(3): 669-689.
- [2] BATISH D R, SINGH H P, KAUR S. Crop allelopathy and its role in ecological agriculture [J]. *Journal of Crop Production*, 2001, 4 (2): 121-161.
- [3] LI X R, XIAO H L, ZHANG J G, et al. Long-term ecosystem effects of sand-binding vegetation in the Tengger Desert, northern China [J]. *Restoration Ecology*, 2004, 12(3): 376-390.
- [4] 邓文红, 赵欣蕊, 张俊琦, 等. 沙蒿 (*Artemisia ordosica*) 水浸提液对4种伴生草本植物的化感作用 [J]. *生态学报*, 2019, 39 (15): 5670-5678.
- [5] JABRAN K, MAHAJAN G, SARDANA V, et al. Allelopathy for weed control in agricultural systems [J]. *Crop Protection*, 2015, 72 (4): 57-65.
- [6] 刘姗姗, 王海英, 刘志明. 小蓬草精油化感作用的生物测定 [J]. *植物资源与环境学报*, 2010, 19(4): 56-62.
- [7] 董淑琦, 曹 鹏, 胡春艳, 等. 谷子秸秆不同部位水浸液对3种杂草的化感作用 [J]. *应用生态学报*, 2020, 31(7): 2243-2250.
- [8] RICE L E. Allelopathy [M]. New York: Academic Press, 1984: 309-316.
- [9] 张 伟, 林辰壹, 李文静, 等. 野生实葶葱凋落叶片对9种作物种子萌发的影响 [J]. *分子植物育种*, 2020, 18 (15): 5127-5133.
- [10] 杨柳青, 林辰壹, 王贝贝, 等. 野生实葶葱自然凋落叶片水浸提液对苜蓿种子萌发的他感作用 [J]. *园艺学报*, 2019, 46 (S1): 2598.
- [11] 张 伟, 李文静, 林辰壹, 等. 实葶葱新叶水浸液对10种作物种子萌发的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2021, 49(2): 112-119.
- [12] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴: 2019 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2019: 169-175.
- [13] 曾任森. 化感作用研究中的生物测定方法综述 [J]. *应用生态学报*, 1999, 10(1): 123-126.
- [14] WILLIAMSON G B, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14(1): 181-187.
- [15] BABAR B H, TANVEER A, TAHIR M, et al. Allelopathic potential of wild onion (*Asphodelus tenuifolius*) on the germination and seedling growth of chickpea (*Cicer arietinum*) [J]. *Weed Biology and Management*, 2009, 9(2): 146-151.
- [16] MALLEK S B, PRATHER S T, STAPLETON J J. Interaction effects of *Allium* spp. residues, concentrations and soil temperature on seed germination of four weedy plant species [J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 37(3): 233-239.
- [17] 董红云, 李 亚, 汪 庆, 等. 外来入侵植物牛膝菊和野苘蒿水浸提液化感作用的生物测定 [J]. *植物资源与环境学报*, 2010, 19(2): 48-53, 91.

(责任编辑: 佟金凤)