

头花蓼好氧、厌氧腐解液的化感自毒作用

刘勇^{1,2,3}, 刘燕¹, 王星星¹, 赵许朋¹, 杨丹¹, 胡茂飞¹

(1. 贵阳学院 生物与环境工程学院, 贵州 贵阳 550005; 2. 中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为探讨头花蓼好氧、厌氧腐解液的化感自毒作用, 制备不同质量浓度的 2 种腐解液, 测定其对头花蓼种子发芽和幼苗生长的影响。结果表明, 头花蓼好氧、厌氧 2 种腐解液处理下其种子发芽和幼苗生长齐整度较差, 出现种子(胚)根芽倾倒、腐烂等症状, 高质量浓度(500 mg/mL)时种子发芽率分别仅为 18.3%、20.8%, 发芽速率分别仅为对照组(蒸馏水处理)的 1/3、1/4, 发芽势分别仅为 12.5%、4.2%, 发芽指数分别仅为 4.1、2.5, 活力指数分别仅为 9.1、3.1, 幼苗根/芽长分别仅为 1.0 cm/1.6 cm、0.4 cm/1.8 cm, 均远低于对照组, 而种子发芽抑制率均为正值且分别高达 67.2%、62.4%。种子发芽率、发芽势、发芽指数的化感指数(RI)及综合化感指数(M)大多为负值, 且绝对值随着腐解液质量浓度升高增加趋势明显。头花蓼种子发芽和幼苗生长中发芽率、发芽势、(胚)根长等指标均与 2 种腐解液质量浓度呈极显著负相关, 种子发芽抑制率与 2 种腐解液质量浓度呈极显著正相关。综上, 头花蓼腐解液的化感自毒作用十分明显, 很可能是其连作障碍的重要原因。

关键词: 头花蓼; 连作障碍; 化感自毒; 腐解液; 种子发芽; 幼苗生长

中图分类号: S567.2 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2018)10-0080-07

Allelopathic Autotoxicity of Aerobic and Anaerobic Decomposing Solutions from *Polygonum capitatum*

LIU Yong^{1,2,3}, LIU Yan¹, WANG Xingxing¹, ZHAO Xupeng¹, YANG Dan¹, HU Maofei¹

(1. School of Biological and Environmental Engineering, Guiyang University, Guiyang 550005, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 3. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: To study the allelopathic autotoxicity of aerobic and anaerobic decomposing solutions from *P. capitatum* on its seed germination and seedling growth, the two decomposing solutions were prepared artificially and their bioactivity was tested. The results indicated that its seed germination or seedling growth uniformity was poor and the (embryo) roots or buds dumping and other symptoms appeared after treated by the two decomposing solutions. At high concentration (500 mg/mL) of the two decomposing solutions, the seed germination rates were only 18.3% and 20.8% respectively, the germinating speeds were only 1/3 and 1/4 of the control group treated by distilled water, the germination potentials were only 12.5% and 4.2% respectively, the germination indexes were only 4.1 and 2.5 respectively, the vigor indexes were only 9.1 and 3.1 respectively, and the root/shoot lengths of seedlings were only 1.0 cm/1.6 cm and 0.4 cm/1.8 cm respectively. These indexes were all much lower than the control group. The inhibition rates of germination were all positive and up to 67.2% and 62.4% respectively. The allelopathic indexes (RI values) of seed germination rate, germination potential, germination index and compre-

收稿日期: 2018-07-10

基金项目: 贵州省教育厅基金项目(黔教合 KY 字[2015]452 号); 贵州省应用基础研究计划重大项目(黔科合 J 重大字[2015]2001 号); 贵州省生物学教学团队项目(2017158322); 贵阳市科技局贵阳学院专项资金项目(GYU-KYZ[2018]02-18); 贵州省教育厅大学生创新创业项目(20170275207)

作者简介: 刘勇(1987-), 男, 甘肃平凉人, 讲师, 博士, 主要从事环境生态与污染修复研究。

E-mail: Lyong821mmm@163.com

hensive allelopathic indexes (M values) were mostly negative, and the absolute values increased significantly with the increase of the concentration of decomposing solutions. Most of the indicators such as the germination rate, germination potential (λ embryo), root length were significantly negatively correlated with the concentration of decomposing solutions. By contrast, the inhibition rate of seed germination was significantly positively correlated with the concentration of decomposing solutions. In conclusion, the two decomposing solutions from *P. capitatum* had serious allelopathic autotoxicity, which could be an important factor for continuous cropping obstacle of *P. capitatum*.

Key words: *Polygonum capitatum*; Continuous cropping obstacle; Allelopathic autotoxicity; Decomposing solutions; Seed germination; Seedling growth

头花蓼 (*Polygonum capitatum* Buch.-Ham. ex D. Don) 又名石莽草、四季红等, 为蓼科蓼属多年生草本植物, 主要分布于贵州、四川、云南等地, 是中国西南地区的特色苗药之一, 其主要药用成分没食子酸具有酸化尿液等作用, 对泌尿系统疾病颇具疗效^[1-3]。头花蓼为贵州省著名的道地药材, 近年来贵州威门药业股份有限公司生产的热淋清颗粒是以此药材开发的用于治疗尿路感染的特效药^[4-5]。然而, 在头花蓼栽培过程中发现其连作障碍问题一直比较突出, 对其种植产量和药用成分品质影响较大, 成为制约当地该产业可持续发展的主要因素^[6-8]。

化感自毒作用指植物根系分泌、茎叶等淋溶以及残体腐解等过程释放出的次生代谢产物(化感物质)对自身或种内其他植物产生危害的现象^[9-10]。近年来研究发现, 地黄、当归、人参等许多中药材连作障碍与化感自毒作用有关^[11-14]。中药材的化感物质除了根系分泌、茎叶等淋溶产生外, 也通过自然凋落的残体或收获后遗留的残茬经微生物腐解产生^[15-16]。目前头花蓼连作障碍成因还不清楚, 其腐解液引起的化感自毒作用尚未见报道。为此, 制备头花蓼整株好氧、厌氧腐解液, 采用生物学试验分析 2 种腐解液对其种子萌发和幼苗生长的影响, 为头花蓼连作障碍的成因分析及防治措施制定提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 样品采集

2016 年 4 月于贵州省威门药业股份有限公司头花蓼种植基地分别采集生长旺盛的新鲜头花蓼整株、根际土壤及头花蓼种子若干。

1.2 头花蓼整株腐解液制备

将新鲜头花蓼整株(含根、茎、叶)用无菌蒸馏水清洗干净, 沥干水分, 剪碎混匀, 准确称量 100.0 g 置于烧杯中, 并加入根际土壤 10.0 g(土壤样品在室温条件下风干, 研细后, 过孔径为 450 μm 的筛子, 用于提供微生物), 定期加入蒸馏水维持至 110 mL

体积, 室温下敞口好氧培养。采用同样的方法对头花蓼和根际土壤进行前处理并置于玻璃瓶中, 加入 110 mL 蒸馏水后排出瓶内空气, 室温下封口厌氧培养。60 d 后抽滤得到头花蓼好氧、厌氧腐解原液(1 000 mg/mL), 并进一步稀释得到 5、10、50、100、250、500 mg/mL 的 2 种腐解培养液, 冷藏备用。

1.3 种子萌发试验

取 3 000 粒头花蓼种子置于烧杯中, 35 $^{\circ}\text{C}$ 温水浸泡 24 h, 挑选籽粒饱满的种子, 置于垫有 2 层滤纸的培养皿中(培养皿、滤纸均灭菌)。每个培养皿摆放 40 粒, 加入不同质量浓度的 2 种腐解液 5 mL 至滤纸湿润饱和, 3 次重复, 用蒸馏水作对照(CK)。置于人工培养箱(22 $^{\circ}\text{C}$ 、12 h 光照和 12 h 黑暗)中培养, 每 2 d 加蒸馏水和 1 d 加对应腐解液确保皿内滤纸湿润饱和, 连续培养 27 d, 每天观察、统计种子萌发数, 直到持续 3 d 不再有新种子发芽为止, 用直尺测量种子胚根(芽)长。

1.4 幼苗生长试验

种子萌发试验结束后, 每皿选取发芽良好的种子, 去掉皿盖继续培养 10 d 使幼苗生长, 用直尺测量幼苗根(芽)长。

1.5 数据统计分析

发芽率 = (发芽种子数 / 供试种子数) $\times 100\%$ ^[17]。

发芽抑制率 = (1 - 发芽种子数 / 对照组发芽种子数) $\times 100\%$, 负值为促进, 正值为抑制^[18]。

发芽速率 = $N_1 + (N_2 - N_1) / 2 + \dots + (N_t - N_{t-1}) / t$, 其中 N_t 为 t 日内种子发芽率^[19]。

发芽势 = (发芽高峰期种子数 / 供试种子数) $\times 100\%$, 表征种子发芽快慢与活力强弱^[18]。

发芽指数 $GI = \sum (G_t / D_t)$, G_t 为第 t 天种子发芽数, D_t 为相应种子发芽天数^[20]。

活力指数 $VI = \sum (G_t / D_t) \times S_x$, 其中 S_x 为种苗平均总长度^[21]。

化感指数 $RI = 1 - C / T$, 其中 C 为对照组各指标平均值, T 为腐解液培养时各指标平均值。 $RI > 0$ 为促进, $RI < 0$ 为抑制^[22]。

综合化感指数 M : 各处理的化感指数 RI 值相加求和为 M 值, $M > 0$ 为促进, $M < 0$ 为抑制, 绝对值大小表征作用强弱^[23]。

采用 Excel 2010、SPSS 22.0 处理数据, 采用 Sigmaplot 10.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 腐解液处理下头花蓼种子发芽表现特征

由表 1 可知, 头花蓼好氧、厌氧 2 种腐解液对其种子最终发芽数、日均发芽数、胚根长等均有一定抑

制作用, 出现种子胚根(芽) 倾倒、腐烂症状。随着好氧腐解液质量浓度升高(5~500 mg/mL) 种子最终发芽数由 18 粒降至 7 粒, 日均发芽数由 1.1 粒降至 0.5 粒, 胚根长由 1.4 cm 降至 0.6 cm, (胚) 根芽比由 1.2 降至 0.4, 胚芽长与对照组差异不显著。随着厌氧腐解液质量浓度升高(5~500 mg/mL) 种子最终发芽数由 22 粒降至 8 粒, 日均发芽数由 1.4 粒降至 0.5 粒, 胚根长由 1.6 cm 降至 0.5 cm, 胚芽长由 2.4 cm 降至 0.7 cm, (胚) 根芽比与对照组差异不显著。

表 1 2 种腐解液处理下头花蓼种子发芽表现特征

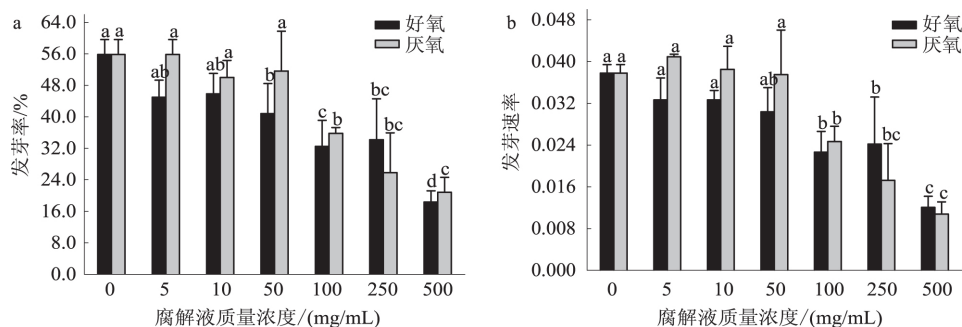
腐解液 质量浓度/ (mg/mL)	好氧腐解液						厌氧腐解液						备注
	最终 发芽 数/粒	日均 发芽 数/粒	叶片 数/片	胚根长/ cm	胚芽长/ cm	(胚) 根 芽比	最终 发芽 数/粒	日均 发芽 数/粒	叶片 数/片	胚根长/ cm	胚芽长/ cm	(胚) 根 芽比	
0(CK)	22	1.4	2	1.6 ± 0.2a	2.3 ± 0.1ab	0.7 ± 0.1b	22	1.4	2	1.5 ± 0.1a	2.3 ± 0.1a	0.7 ± 0.0ab	除对照 组外, 种 子发芽 普遍倾 倒, 高质 量浓度 时腐烂
5	18	1.1	2	1.4 ± 0.2a	1.7 ± 0.6ab	1.1 ± 0.4a	22	1.4	2	1.6 ± 0.4a	1.9 ± 0.3ab	0.8 ± 0.1ab	
10	18	1.1	2	1.4 ± 0.3a	1.8 ± 0.7ab	1.2 ± 0.4a	20	1.3	2	1.4 ± 0.1a	2.4 ± 0.3a	0.6 ± 0.1b	
50	16	1.0	2	1.4 ± 0.2a	2.5 ± 0.3ab	0.6 ± 0.1bc	21	1.3	2	1.2 ± 0.2a	1.7 ± 0.6ab	0.7 ± 0.2ab	
100	13	0.8	2	0.9 ± 0.4b	1.5 ± 1.2b	0.8 ± 0.8bc	14	0.9	2	1.3 ± 0.1a	1.4 ± 1.0bc	1.3 ± 0.8a	
250	14	0.9	2	1.0 ± 0.1b	2.7 ± 0.8a	0.4 ± 0.1c	11	0.6	2	0.6 ± 0.3b	0.9 ± 0.4c	0.8 ± 0.4ab	
500	7	0.5	2	0.6 ± 0.2b	1.5 ± 0.4b	0.5 ± 0.1bc	8	0.5	2	0.5 ± 0.0b	0.7 ± 0.3c	0.8 ± 0.3ab	

注: 同一种腐解液处理下不同字母代表差异性显著($P < 0.05$), 下同。

2.2 腐解液处理下头花蓼种子发芽率、发芽速率

随着头花蓼好氧、厌氧腐解液质量浓度升高(5~500 mg/mL) 种子发芽率分别由 45.0% 降至 18.3%、55.8% 降至 20.8%, 其中好氧、厌氧腐解液质量浓度分别 ≤ 10 mg/mL、≤ 50 mg/mL 时, 种子发芽率与对照组差异不显著, 质量浓度进一步升高时种子发芽率均显著低于对照组($P < 0.05$)。2 种腐解液质量浓度相同时好氧腐解液处理下种子发芽率

均值总体偏低(图 1a)。好氧、厌氧腐解液质量浓度均 ≤ 50 mg/mL 时, 种子发芽速率与对照组差异不显著, 但高质量浓度时种子发芽速率分别降至对照组的 1/3、1/4。2 种腐解液质量浓度均 ≤ 100 mg/mL 时, 厌氧腐解液处理下发芽速率普遍略高于好氧腐解液处理, 而质量浓度 > 100 mg/mL 时相反(图 1b)。



不同小写字母代表不同腐解液处理之间差异显著($P < 0.05$), 下同

图 1 2 种腐解液处理下头花蓼种子发芽率和发芽速率

2.3 腐解液处理下头花蓼种子发芽势、发芽抑制率

好氧腐解液质量浓度 ≤ 250 mg/mL 时, 种子发芽势与对照组差异不显著, 但质量浓度为 500 mg/mL

时发芽势降至 12.5%; 厌氧腐解液质量浓度 ≤ 50 mg/mL 时, 种子发芽势与对照组差异不显著, 随着质量浓度升高, 种子发芽势降至 4.2% (图 2a)。2

种腐解液处理下种子发芽抑制率均为正值,且随着质量浓度升高种子发芽抑制率呈现递增趋势,其中

好氧腐解液处理下由 17.8% 增至 67.2% ,厌氧腐解液处理下由 0 增至 62.4%(图 2b) 。

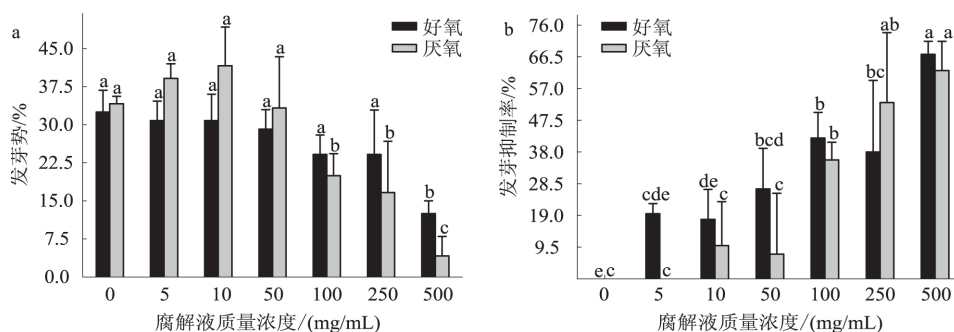


图 2 2 种腐解液处理下头花蓼种子发芽势和发芽抑制率

2.4 腐解液处理下头花蓼种子发芽指数、活力指数

好氧、厌氧腐解液质量浓度均 ≤ 50 mg/mL 时,种子发芽指数与对照组差异不显著,分别介于 11.2 ~ 12.3、12.8 ~ 14.9 ,随着质量浓度进一步升高,种子发芽指数分别逐渐下降至 4.1、2.5(图 3a) 。好氧腐解液处理下除在 100、500 mg/mL 时种子活力指数

较小(分别为 19.2、9.1) ,其余质量浓度下与对照组差异不显著,介于 32.3 ~ 47.0 。厌氧腐解液质量浓度 ≤ 10 mg/mL 时,种子活力指数与对照组差异不显著,介于 49.3 ~ 55.3 ,随着质量浓度进一步升高种子活力指数下降趋势明显,最低仅为 3.1(图 3b) 。

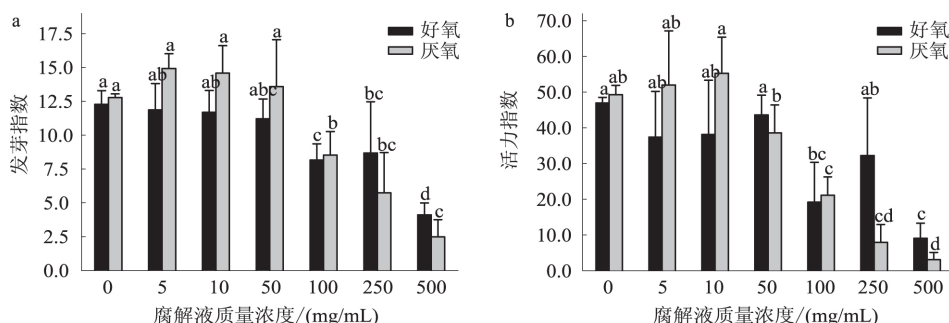


图 3 2 种腐解液处理下头花蓼种子发芽指数和活力指数

2.5 腐解液处理下头花蓼种子发芽率、发芽势、发芽指数 RI 和综合化感指数 M

由表 2 可知,好氧腐解液处理下种子发芽率、发芽势和发芽指数的 RI 值以及综合化感指数 M 值均为负值,随着质量浓度升高 RI 和 M 的绝对值呈增加趋势。厌氧腐解液处理下,质量浓度为 5 mg/mL

时种子发芽率 RI 值为 0 ,质量浓度 ≤ 10 mg/mL 时种子发芽势 RI 值为正值,质量浓度 ≤ 50 mg/mL 时发芽指数 RI 值为正值,质量浓度进一步升高时,各指标 RI 值以及综合化感指数 M 值均为负值且其绝对值不断增加。

表 2 2 种腐解液处理下头花蓼种子发芽化感指数

腐解液质量浓度 / (mg/mL)	好氧腐解液				厌氧腐解液			
	发芽率 RI	发芽势 RI	发芽指数 RI	综合化感指数 M	发芽率 RI	发芽势 RI	发芽指数 RI	综合化感指数 M
5	-0.2	-0.1	0	-0.3	0	0.1	0.1	0.2
10	-0.2	-0.1	-0.1	-0.4	-0.1	0.2	0.1	0.2
50	-0.4	-0.1	-0.1	-0.6	-0.1	0	0.1	0
100	-0.7	-0.3	-0.5	-1.5	-0.6	-0.7	-0.5	-1.8
250	-0.6	-0.3	-0.4	-1.3	-1.2	-1.1	-1.2	-3.5
500	-2.1	-1.6	-2.0	-5.7	-1.7	-7.2	-4.2	-13.1

2.6 腐解液处理下头花蓼幼苗生长表观特征

头花蓼 2 种腐解液对幼苗根长、芽长产生不同程度的影响,且高质量浓度时幼苗根(芽)倾倒、腐烂加剧(表 3)。好氧腐解液质量浓度 ≤ 10 mg/mL 时,幼苗根长与对照组差异不显著,随着质量浓度升高幼苗根长降至 1.0 cm;质量浓度 ≤ 250 mg/mL 时幼苗芽长与对照组差异不显著,但质量浓度为 500 mg/mL 时幼苗芽长降至 1.6 cm;幼苗根芽比无

明显变化规律,介于 0.4~0.7。厌氧腐解液处理下幼苗根长、芽长总体略小于对照组,且具有先增加后减小的趋势,当质量浓度为 10 mg/mL 时分别达最大值 1.7 cm、2.9 cm,当质量浓度为 500 mg/mL 时分别仅为 0.4 cm、1.8 cm;质量浓度 ≤ 250 mg/mL 时幼苗根芽比与对照组无显著差异,当质量浓度为 500 mg/mL 时幼苗根芽比骤降至 0.2。

表 3 2 种腐解液处理下头花蓼幼苗生长表观特征

腐解液质量浓度/ (mg/mL)	好氧腐解液				厌氧腐解液				备注
	叶片数/ 片	根长/cm	芽长/cm	根芽比	叶片数/ 片	根长/cm	芽长/cm	根芽比	
0(CK)	2	1.6 ± 0.1a	2.9 ± 0.2ab	0.6 ± 0.1ab	2	1.6 ± 0.1ab	2.9 ± 0.2a	0.6 ± 0.1a	腐解液质量浓度升高时,幼苗腐烂加剧
5	2	1.7 ± 0.2a	2.5 ± 0.5ab	0.7 ± 0.2a	2	1.2 ± 0.2c	2.0 ± 0.2bc	0.6 ± 0.1a	
10	2	1.7 ± 0.0a	2.3 ± 0.3bc	0.7 ± 0.1a	2	1.7 ± 0.2a	2.9 ± 0.2a	0.6 ± 0.1a	
50	2	1.2 ± 0.4b	2.5 ± 0.9ab	0.5 ± 0.2abc	2	1.3 ± 0.0c	2.3 ± 0.4b	0.6 ± 0.1a	
100	2	1.2 ± 0.1b	3.0 ± 0.1ab	0.4 ± 0.0c	2	1.3 ± 0.1c	2.1 ± 0.4bc	0.6 ± 0.1a	
250	2	1.1 ± 0.1b	3.2 ± 0.6a	0.4 ± 0.1c	2	0.8 ± 0.4d	1.9 ± 0.1bc	0.4 ± 0.2a	
500	2	1.0 ± 0.1b	1.6 ± 0.3c	0.7 ± 0.1a	2	0.4 ± 0.0e	1.8 ± 0.3c	0.2 ± 0.0b	

2.7 腐解液处理下头花蓼种子发芽与幼苗生长各指标相关性分析

头花蓼好氧、厌氧腐解液处理下种子发芽率、发芽速率、发芽势、发芽指数、活力指数等均与腐解液质量浓度呈极显著负相关,发芽抑制率与腐解液质量浓度呈极显著正相关;种子发芽率、发芽速率、发芽势、发芽指数及活力指数等指标之间均呈极显著正相关,而各指标与发芽抑制率均呈极显著负相关(表 4、表 5)。好氧腐解液处理下种子胚根长、幼苗根长与腐解液质量浓度,种子(胚)根芽比与幼苗根长,幼苗芽长与根芽比,均呈极显著负相关;种子胚

根长与幼苗根长,种子(胚)根芽比与幼苗根芽比,均呈极显著正相关;种子(胚)根芽比与腐解液质量浓度呈显著负相关;幼苗根长与根芽比呈显著正相关(表 6)。厌氧腐解液处理下种子胚根长、胚芽长及幼苗根长、芽长、根芽比均与腐解液质量浓度呈极显著负相关,种子胚根长与胚芽长及幼苗根长、根芽比,种子胚芽长与幼苗根长、芽长,幼苗根长与芽长、根芽比均呈极显著正相关;种子胚根长与幼苗芽长,种子胚芽长与幼苗根芽比呈显著正相关,而种子胚芽长与(胚)根芽比呈显著负相关($P < 0.05$)(表 7)。

表 4 好氧腐解液处理下头花蓼种子发芽指标相关性

项目	腐解液质量浓度	发芽率	发芽速率	发芽势	发芽指数	活力指数	发芽抑制率
腐解液质量浓度	1						
发芽率	-0.813 **	1					
发芽速率	-0.836 **	0.980 **	1				
发芽势	-0.818 **	0.871 **	0.932 **	1			
发芽指数	-0.822 **	0.915 **	0.973 **	0.972 **	1		
活力指数	-0.667 **	0.785 **	0.853 **	0.852 **	0.876 **	1	
发芽抑制率	0.820 **	-0.982 **	-0.980 **	-0.884 **	-0.924 **	-0.820 **	1

注: ** 代表在 0.01 水平上极显著相关, * 代表在 0.05 水平上显著相关,下表同。

表 5 厌氧腐解液处理下头花蓼种子发芽指标相关性

项目	腐解液质量浓度	发芽率	发芽速率	发芽势	发芽指数	活力指数	发芽抑制率
腐解液质量浓度	1						
发芽率	-0.855 **	1					
发芽速率	-0.882 **	0.981 **	1				
发芽势	-0.857 **	0.924 **	0.971 **	1			
发芽指数	-0.877 **	0.948 **	0.991 **	0.985 **	1		
活力指数	-0.843 **	0.882 **	0.916 **	0.907 **	0.913 **	1	
发芽抑制率	0.845 **	-0.986 **	-0.982 **	-0.937 **	-0.961 **	-0.887 **	1

表 6 好氧腐解液处理下头花蓼种子及幼苗(胚)根芽相关性

项目	腐解液质量浓度	胚根长	胚芽长	(胚)根芽比	根长	芽长	根芽比
腐解液质量浓度	1						
胚根长	-0.765**	1					
胚芽长	-0.121	0.410	1				
(胚)根芽比	-0.505*	0.403	-0.199	1			
根长	-0.715**	0.687**	-0.052	-0.634**	1		
芽长	-0.381	0.202	0.307	-0.185	0.214	1	
根芽比	-0.111	0.276	-0.252	0.572**	0.484*	-0.721**	1

表 7 厌氧腐解液处理下头花蓼种子及幼苗(胚)根芽相关性

项目	腐解液质量浓度	胚根长	胚芽长	(胚)根芽比	根长	芽长	根芽比
腐解液质量浓度	1						
胚根长	-0.844**	1					
胚芽长	-0.742**	0.781**	1				
(胚)根芽比	0.056	0.023	-0.537*	1			
根长	-0.878**	0.863**	0.723**	0.048	1		
芽长	-0.596**	0.504*	0.688**	-0.249	0.703**	1	
根芽比	-0.782**	0.803**	0.465*	0.258	0.840**	0.218	1

3 结论与讨论

中药材连作障碍与其化感物质的关系一直是目前的研究热点。化感物质除根系分泌和茎、叶淋溶等作用产生外,自然凋落的残体或收获后遗留的残茬经土壤微生物分解产生的腐解液也是化感物质的重要来源^[9-10, 24]。中药材腐解液中的化学成分包含酚酸类、有机酸类、醛类、烃类等物质,并且随着残体时段及腐解方式等不同,其化学成分种类与数量往往差异较大,会改变土壤 pH 值、电导率、有机质、养分状况、酶类活性、微生物群落结构等,进而影响种子发芽及幼苗生长发育等^[25-29]。刘伟等^[30]研究表明,丹参须根腐解产生辛酸、乙醛等一系列化感物质,显著改变丹参根际土壤环境,促使其连作障碍的形成。吴艳艳等^[31]研究表明,广藿香重茬土和枯叶腐解液使广藿香幼苗叶片过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)活性及丙二醛(MDA)含量发生明显变化,这种变化反映了其对外界胁迫的响应。张秋菊等^[32]研究表明,细辛根系腐解液可能受土壤微生物影响,加重其毒性作用。

本研究中,头花蓼整株通过好氧、厌氧 2 种方式产生的腐解液引起头花蓼种子和幼苗(胚)根芽倾倒、腐烂等现象,2 种腐解液质量浓度较低时未产生明显的抑制作用,但种子和幼苗(胚)根长、(胚)芽长值的标准偏差较大,表明 2 种腐解液使得种子发芽和幼苗生长齐整度明显变差。随着腐解液质量浓度升高至 500 mg/mL,好氧、厌氧腐解液处理种子发芽率分别仅为 18.3%、20.8%,发芽速率分别仅为对照组的 1/3、1/4,发芽势分别仅为 12.5%、4.2%,

发芽指数分别仅为 4.1、2.5,活力指数分别仅为 9.1、3.1,均远低于对照组,而发芽抑制率均为正值且分别高达 67.2%、62.4%,种子发芽率、发芽势、发芽指数的 RI 值及综合化感指数 M 值大多为负值,且绝对值随着腐解液质量浓度升高增加趋势明显。另外,头花蓼种子发芽或幼苗生长中大多数指标均与 2 种腐解液质量浓度呈(极)显著负相关,种子发芽抑制率与 2 种腐解液质量浓度呈极显著正相关,而其他大多数指标之间呈(极)显著正相关,说明头花蓼受到腐解液抑制作用后种子活力下降,进而发芽率、发芽速率、(胚)根芽长等显著下降。

综上,头花蓼好氧、厌氧腐解液均具有明显的化感自毒作用,很可能是引起其连作障碍的重要原因。2 种腐解液中化感物质鉴定及其关键物质的致“毒”机制等尚有待进一步研究。在头花蓼栽培中,建议加强良好农业规范(GAP)种植基地的科学规范化管理并积极做好连作障碍的预防,即头花蓼收获后及时清理土壤中的植株残茬,连作前可通过深耕翻土与烈日暴晒达到土壤消毒目的,筛选培育抗逆性强的新型品种,采用多物种轮(间、套)作等农艺手段避免连作障碍的发生。

致谢:感谢贵州威门药业股份有限公司为本研究开展提供便利。

参考文献:

- [1] 张丽娟,王永林,王珍,等. 头花蓼活性组分化学成分研究[J]. 中药材, 2012, 35(9): 1425-1428.
- [2] 朱晓雨,张犁,姜莹,等. 头花蓼水提液对感染性结石

- 模型大鼠尿液酸化作用的实验观察[J]. 新中医, 2014, 46(4): 200-202.
- [3] 吕炎晞, 王隶书, 程东岩, 等. 中药头花蓼的化学成分和药理作用研究概况[J]. 中国药师, 2017, 20(10): 1849-1853.
- [4] 王爽, 张丽艳, 谢宇, 等. HPLC 测定头花蓼及制剂热淋清颗粒中没食子酸的含量[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(9): 112-115.
- [5] 王重洋, 潘舒, 吴亚利, 等. 热淋清颗粒药理作用实验研究[J]. 实用中医内科杂志, 2012, 26(3): 12-14.
- [6] 周涛, 金艳蕾, 吴钰, 等. 贵州头花蓼遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(12): 1511-1517.
- [7] 党伯岳, 赵德刚, 靳保龙, 等. 贵州不同产地头花蓼的主要农艺性状及光合特性[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(6): 66-68.
- [8] 何佳芳, 唐兵, 赵欢, 等. 几种肥料对头花蓼连作障碍的调控[J]. 西南农业学报, 2016, 29(12): 2902-2906.
- [9] 雷锋杰, 张爱华, 张秋菊, 等. 人参、西洋参化感作用研究进展[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(17): 2221-2226.
- [10] Yi J H, Jia Z H, Lin Q *et al.* Allelopathic effects of decaying tobacco leaves on tobacco seedlings[J]. *Allelopathy Journal*, 2012, 29(1): 51-61.
- [11] 李振方, 齐晓辉, 李奇松, 等. 地黄自毒物质提取及其生物指标测定[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2576-2584.
- [12] 张新慧, 郎多勇, 张恩和. 当归根际土壤水浸液的自毒作用研究及化感物质的鉴定[J]. 中草药, 2010, 41(12): 2063-2066.
- [13] 邵财, 王英平, 许世泉, 等. 人参根系分泌物对其根愈合伤组织化感效应研究[J]. 中药材, 2009, 32(12): 1798-1801.
- [14] 张琳, 王晓, 史国玉, 等. 中药连作障碍形成及其时空效应理论探讨[J]. 现代中药研究与实践, 2014, 28(5): 78-83.
- [15] 檀国印, 杨志玲, 袁志林, 等. 药用植物连作障碍及其防治途径研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(4): 197-204.
- [16] 谢敬宇, 谭世强, 郭帅, 等. 人参根系腐解物对十字花科植物的化感作用[J]. 中国植保导刊, 2013, 33(2): 18-21.
- [17] 张子龙, 拱健婷, 程新宇, 等. 三七须根粉碎物土壤添加的自毒效应研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(7): 143-148.
- [18] 杨骁. 加拿大蓬水浸液对植物种子萌发的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(4): 1983-1986.
- [19] Chiapusio G, Sánchez A M, Reigosa M J *et al.* Do germination indices adequately reflect allelochemical effects on the germination process? [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1997, 23(11): 2445-2453.
- [20] 杜玮, 何池全, 陈玉丽, 等. 入侵植物互花米草水浸液对莴苣的化感作用[J]. 环境科学学报, 2009, 29(4): 869-875.
- [21] 赵欣欣, 宋丽荣, 权薇竹, 等. 高温高湿老化处理对不同豆类种子活力及生长能力的影响[J]. 作物杂志, 2017(5): 168-172.
- [22] 朱慧, 冯瑞君, 吴双桃, 等. 当归根际土对其种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(5): 833-838.
- [23] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14(1): 181-187.
- [24] 张爱华, 郝玉钢, 许永华, 等. 我国药用植物化感作用研究进展[J]. 中草药, 2011, 42(10): 1885-1890.
- [25] 刘德辉, 郭巧生, 孙玉华, 等. 苏北中药材种植地土壤肥力衰退原因及其恢复对策[J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 76-78.
- [26] 张重义, 陈慧, 杨艳会, 等. 连作对地黄根际土壤细菌群落多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2843-2848.
- [27] 张金燕, 孙雪婷, 陈军文, 等. 连作三七根际土壤化感物质检测及其提取液对三种作物种子萌发的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(7): 1178-1184.
- [28] 唐成林, 王觉, 罗夫来, 等. 半夏茬后土壤微生物数量变化及其化感作用初探[J]. 河南农业科学, 2016, 45(12): 135-137.
- [29] 张敏, 谈献和, 张瑜, 等. 中药材连作障碍[J]. 现代中药研究与实践, 2012, 26(1): 83-85.
- [30] 刘伟, 魏莹莹, 吕海花, 等. 须根腐解对丹参根际土壤化感物质的影响[J]. 中药材, 2016, 39(10): 2203-2206.
- [31] 吴燕燕, 李明, 黄结雯, 等. 重茬土壤、枯叶腐解液对广藿香扦插苗生理生化指标的影响[J]. 北方园艺, 2017(10): 149-153.
- [32] 张秋菊, 朱诗禹, 张连学. 细辛根系浸提液和腐解液对小麦和黄瓜的化感效应[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(3): 267-272.