

苦楝和水芹菜对空心莲子草的化感防治作用

李朝会¹, 陈 斯¹, 岳春雷², 郭玮龙¹, 左照江¹, 金水虎¹

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 为了对空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 进行化感防治, 采用苦楝 *Melia azedarach* 和水芹菜 *Oenanthe javanica* 植株粉末直接处理空心莲子草。结果表明: 空心莲子草植株生长和根蘖萌生受到明显抑制, 并且随着施用量增加抑制作用逐渐增强, 其中 240 g 水芹菜粉末处理 9 d 后便可杀死空心莲子草。苦楝和水芹菜粉末可明显降低空心莲子草的叶绿素质量分数和光合性能, 240 g 苦楝粉末处理 12 d 后, 其叶绿素质量分数、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率分别降低了 47.1% ($P < 0.01$), 71.2% ($P < 0.01$), 73.5% ($P < 0.01$) 和 68.3% ($P < 0.01$), 胞间二氧化碳摩尔分数增加了 39.6% ($P < 0.01$); 120 g 水芹菜粉末处理 12 d 后, 其叶绿素质量分数、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率分别降低了 21.3% ($P < 0.01$), 22.2% ($P < 0.01$), 54.2% ($P < 0.01$) 和 46.4% ($P < 0.01$), 胞间二氧化碳摩尔分数增加了 38.4% ($P < 0.01$)。受苦楝和水芹菜粉末影响, 空心莲子草的超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性以及丙二醛质量摩尔浓度均随着处理时间延长先升高后降低, 而可溶蛋白质量分数则逐渐降低。可见, 苦楝和水芹菜对空心莲子草生长具有明显的抑制作用, 这 2 种植物在空心莲子草化感防治中具有潜在的应用价值。图 4 表 2 参 26

关键词: 植物学; 空心莲子草; 化感防治; 植株生长; 光合性能; 抗氧化酶

中图分类号: S765.1; Q946 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2014)03-0442-08

Allelopathic control of *Alternanthera philoxeroides* using *Melia azedarach* and *Oenanthe javanica*

LI Chaohui¹, CHEN Si¹, YUE Chunlei², GUO Weilong¹, ZUO Zhaojiang¹, JIN Shuihu¹

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: To control *Alternanthera philoxeroides* via allelopathy, the powder from *Melia azedarach* and *Oenanthe javanica* was applied directly to *A. philoxeroides*. A complete randomized design with *M. azedarach* treatments of 30 g, 60 g, 120 g and 240 g and *O. javanica* treatments of 30 g, 60 g, 120 g and 240 g with 3 replications were employed. Results showed that after 9 d, 240 g of *O. javanica* powder killed *A. philoxeroides*. After 12 d with the 240 g treatment of *M. azedarach* powder there were highly significant reductions ($P < 0.01$) in the chlorophyll content (47.1%), net photosynthetic rate (P_n) (71.2%), stomatal conductance (C_{ond}) (73.5%), and transpiration rate (T_r) (68.3%) in *A. philoxeroides*, and a highly significant increase ($P < 0.01$) for intercellular CO_2 concentration (C_i) (39.6%). Also, after 12 d with the 120 g treatment of *O. javanica* powder, there were highly significant reductions ($P < 0.01$) in the chlorophyll content (21.3%), P_n (22.2%), C_{ond} (54.2%), and T_r (46.4%) in *A. philoxeroides*, and a highly significant increase ($P < 0.01$) for C_i (38.4%). When *M. azedarach* and *O. javanica* powders were used to treat *A. philoxeroides*, the superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) activity as well as the malonaldehyde (MDA) content first increased and then decreased with

收稿日期: 2013-10-17; 修回日期: 2013-12-20

基金项目: 浙江省科技厅重点创新团队项目(2010R50039); 浙江省科技厅创新团队建设与人才培养计划项目(2011F20025)

作者简介: 李朝会, 从事植物资源保护与利用研究。E-mail: chaohuigentleking@126.com。通信作者: 金水虎, 副教授, 从事植物分类与资源利用等研究。E-mail: jsh501@163.com

prolonged treatment time. However, the soluble protein content gradually decreased. Overall, plant growth and root sucker production of *A. philoxeroides* were greatly inhibited with *M. azedarach* and *O. javanica* powder, and the inhibition gradually increased with an increase of powder indicating that they could be used for the allelopathic control. [Ch, 4 fig. 2 tab. 26 ref.]

Key words: botany; *Alternanthera philoxeroides*; allelopathic control; plant growth; photosynthetic ability; antioxidant enzyme activity

空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 隶属于苋科 *Amaranthaceae* 莲子草属 *Alternanthera*，是一种水陆两栖的多年生宿根草本植物，也是全球恶性杂草之一^[1]。该草于 20 世纪 30 年代传入中国，由于适应性强、生长繁殖迅速以及强烈的化感作用，从而使它成功入侵到陆地和水域生态系统^[2-5]。目前，在中国华东、华中、华南和西南等 20 多个省市和自治区均发现其不同程度的入侵^[6-7]。因此，开展空心莲子草防治研究对保护中国水域、湿地和陆地环境具有重要意义。目前，对空心莲子草的防治主要有人工、化学和生物防除等手段，然而人工防除无法在短时间内进行大面积清除，同时也会消耗大量的人力和物力；通过喷洒除草剂进行化学防除虽然能进行有效控制，然而除草剂会对其他生物产生危害并污染环境^[8]；利用曲纹叶甲 *Agasicles hygrophila* 进行生物防治，由于它不耐寒冷和高温，因此繁殖率较低，不能产生足够的数量来控制空心莲子草^[9]。植物的化感物质是一类可降解的天然产物，利用它防治杂草和入侵植物可降低对环境的危害，然而关于这方面的研究工作还较少。张红等^[10]利用 31 种植物地上部分的水浸提液处理高寒草场主要杂草箭叶橐吾 *Ligularia sagitata*，发现 23 种供体材料对其种子萌发均具有明显的抑制作用。黄荆条 *Vitex negundo* 茎、叶提取液均能抑制恶性杂草飞机草 *Eupatorium odoratum* 的生长，同时其光合作用明显降低^[11]。目前，有关化感物质防治空心莲子草的研究仅见于刘雨芳等^[12]的相关报道。为了进一步丰富具有潜在利用价值的植物资源，更充分地了解其作用机制，同时避免提取液不能充分提取化感物质的缺陷，本研究采用具有化感作用的苦楝 *Melia azedarach* 和水芹菜 *Oenanthe javanica* 粉末直接处理空心莲子草，从植株生长和生理生化指标等方面对其抑制机制予以揭示。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料与处理

2012 年 8 月初，选取扦插生根、长势一致的空心莲子草(高度约 20 cm)并移栽至塑料筐内(长×宽为 60 cm × 40 cm)，每加熟化红壤土 10 kg·筐⁻¹。土壤 pH 值为 6.15，有机质质量分数 1.57%，碱解氮 107.82 mg·kg⁻¹，速效磷 5.20 mg·kg⁻¹，速效钾 76.01 mg·kg⁻¹。共移栽 30 筐，移栽空心莲子草 15 株·筐⁻¹，加水至淹没土壤以模拟其沼生环境，并置于遮阳 30%的智能大棚内缓苗 15 d 备用。

6 月中旬分别于临安顺溪农田沟边和浙江农林大学校园坡地，采集处于营养生长期的供试材料水芹菜整个植株和苦楝当年生枝叶，去杂洗净后置于烘箱中烘至恒量，粉碎装入密封塑料袋备用。8 月中旬，分别将 30，60，120 和 240 g 苦楝和水芹菜粉末均匀撒入塑料框内并搅入水中以覆盖表层，用以处理恢复生长且长势一致的空心莲子草。以不施加粉末处理为对照。各处理采用随机抽样的方法确定，3 筐·处理⁻¹。分别在处理 3，6，9 和 12 d 时，测定植株的叶绿素和可溶性蛋白质质量分数、丙二醛(MDA)质量摩尔浓度以及超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性。在处理 12 d 时，测定植物的生长状况和光合性能。

1.2 研究方法

1.2.1 生长状况测定 空心莲子草的高度利用刻度尺测量，并直接计数根蘖数。采用 YMJ-C 叶面积仪测量植株叶面积后，将叶片在 105 ℃烘箱内杀青 30 min，80 ℃烘至恒量，并用天平称量其质量，利用质量/叶面积计算比叶重。将植株杀青后烘至恒量测量其生物量，并计算平均单株生物量。

1.2.2 生理生化指标测定 ①称取空心莲子草植株叶片 0.5 g，加入 5 mL 体积分数为 95%乙醇，在黑暗处静提至叶片完全变白，采用 Arnon 法^[13]测定叶绿素质量分数。②称取空心莲子草叶片 0.5 g，加入适量预冷的 0.05 mol·L⁻¹ 磷酸缓冲溶液(pH 7.8)，冰浴研磨后，定容至 25 mL。在 4 ℃条件下，1 万 r·min⁻¹ 离心 20 min，取上清液用于丙二醛和可溶性蛋白质质量分数以及酶活性的测定。③可溶性蛋白的测定采用

考马斯亮蓝法^[14]进行,测定 595 nm 处的吸光度,计算可溶性蛋白质量分数。丙二醛质量摩尔浓度测定参照 Zhang 等^[15]的方法,取上述酶提取液 1 mL,加入三氯乙酸和硫代巴比妥混合液 4 mL,沸水浴 15 min,冰浴速冷,离心后取上清液分别测定 450, 532 和 600 nm 处的吸光值,计算丙二醛质量摩尔浓度。

④参照 Giannopolitis 等^[16]的方法测定超氧化物歧化酶活性,测定 560 nm 处的吸光度,以抑制 NBT 光氧化还原 50%的酶量为 1 个酶活性单位(1 U=16.67 nkat)。参照 Chance 等^[17]的方法测定过氧化物酶活性,以时间扫描方式测定 4 min 内 470 nm 处吸光度的变化,取线性部分计算 1 min 吸光度变化值。

1.2.3 光合性能测定 在上午 9:00–11:00,利用美国 Li-COR 公司生产的 Li-6400 便携式光合分析仪测定空心莲子草的光饱和点约为 1 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在此光强下,测定各处理植株的净光合速率(P_n),蒸腾速率(T_r),气孔导度(C_{mol}),胞间二氧化碳摩尔分数(C_i)等指标。

1.2.4 实验数据处理 试验数据用 SPSS 17.0 软件进行方差分析,用 Origin 8.0 进行作图。

2 结果与分析

2.1 2 种植物处理对空心莲子草生长的影响

采用苦楝枝叶粉末处理后,在较低用量时(30 g)能微弱促进空心莲子草生长,但是差异不显著。当施用量增加后,植株高度显著降低,在施用量为 60, 120 和 240 g 时,植株高度分别比对照降低了 16.7%($P<0.05$), 25.4%($P<0.01$)和 33.2%($P<0.01$)。苦楝粉末对空心莲子草根蘖数、比叶质量和单株生物量亦有相似影响,并且随着施用量增加,抑制作用逐渐增强(表 1)。

表 1 2 种植物处理对空心莲子草生长的影响

Table 1 Effects of the two plant species on the growth of *Alternanthera philoxeroides*

植物	用量/g	株高/cm	根蘖数	比叶质量/($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$)	单株生物量/g
苦楝	对照	29.5±2.3	3.67±0.16	2.92±0.25	4.15±0.21
	30	29.9±1.8	4.13±0.21	3.30±0.29	4.22±0.25
	60	24.6±2.1*	3.00±0.13**	3.00±0.17	3.75±0.18
	120	22.0±1.7**	2.67±0.15**	2.43±0.15*	2.58±0.15**
	240	19.7±1.4	1.00±0.07**	2.01±0.13**	1.31±0.07**
水芹菜	对照	29.5±2.3	3.67±0.16	2.92±0.25	4.15±0.21
	30	25.4±1.9*	2.67±0.14**	3.17±0.21	4.16±0.24
	60	25.1±1.7*	2.67±0.15**	3.16±0.19	4.15±0.27
	120	18.3±1.4**	2.67±0.11**	2.81±0.16	2.54±0.16**
	240	—	—	—	—

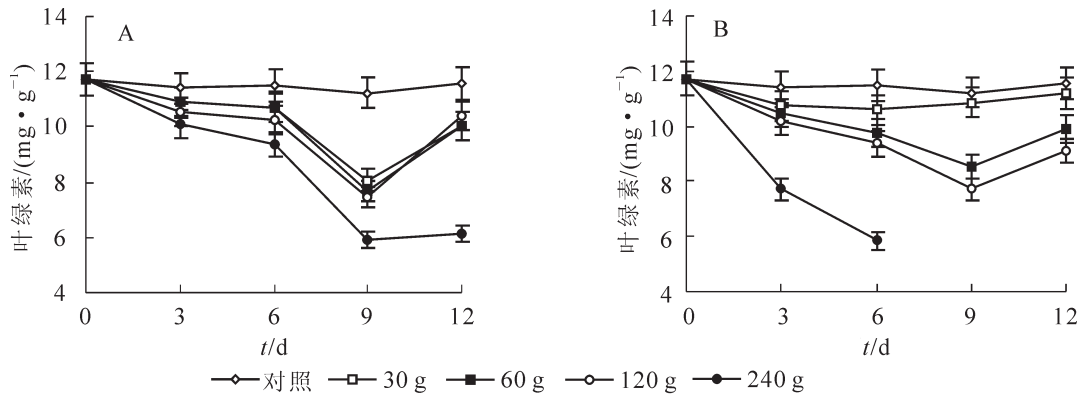
说明: * 表示 $P<0.05$, 差异显著; ** 表示 $P<0.01$, 差异极显著。—: 施加 240 g 水芹菜植株粉末后, 空心莲子草死亡, 因此未测量相应指标。

对空心莲子草分别施加 30, 60 和 120 g 水芹菜粉末后, 植株高度分别降低了 13.9%($P<0.05$), 14.9%($P<0.05$)和 28.0%($P<0.01$)。对于根蘖数而言, 3 种施用量均能显著降低植株根蘖萌生, 但 3 者间没有差异。120 g 水芹菜粉末能明显抑制空心莲子草生物量增加, 与对照相比降低了 38.8%($P<0.01$)。当施用量增加到 240 g 时, 植株死亡(表 1)。

2.2 2 种植物处理对空心莲子草光合性能的影响

采用 30, 60, 120 和 240 g 苦楝粉末处理空心莲子草后, 其叶绿素质量分数随处理时间延长而逐渐降低, 其中在第 9 天时叶绿素质量分数降至最低, 与对照相比分别降低了 28.1%($P<0.01$), 31.6%($P<0.01$), 33.4%($P<0.01$)和 47.1%($P<0.01$)(图 1A)。

施加 30 g 水芹菜粉末后, 空心莲子草叶绿素质量分数显著低于对照, 但随着处理时间延长, 叶绿素质量分数无明显变化。当施用量增加到 60 和 120 g, 处理 9 d 时空心莲子草叶绿素质量分数最低, 与对照相比分别降低了 24.1%($P<0.01$)和 31.2%($P<0.01$)。当施加量为 240 g 时, 叶绿素质量分数显著降低, 在处理 6 d 时降低了 49.3%($P<0.01$)(图 1B)。



A.苦楝；B.水芹菜。施加240 g水芹菜粉末处理空心莲子草9 d后，植株死亡，因此未测量。

图 1 2种植物处理对空心莲子叶绿素质量分数的影响

Figure 1 Effects of the two plant species on chlorophyll content in *Alternanthera philoxeroides*

苦楝植株粉末处理后，空心莲子草的光合性能受到明显影响，其中净光合速率、气孔导度和蒸腾速率极显著降低，而胞间二氧化碳摩尔分数则极显著升高。当施加量为 240 g 时，光合参数受到的影响最大，净光合速率、气孔导度和蒸腾速率分别比对照降低了 71.2%，73.5%和 68.3%，胞间二氧化碳摩尔分数比对照增加了 39.6%，方差分析表明差异均达到极显著水平($P < 0.01$ ，表 2)。

施加水芹菜粉末对空心莲子草的影响与施加苦楝相类似，当施加量为 120 g 时，空心莲子草净光合速率、气孔导度和蒸腾速率分别降低了 22.2%，54.2%和 46.4%，胞间二氧化碳摩尔分数增加了 38.4%，方差分析表明差异均达到极显著水平($P < 0.01$ ，表 2)。

表 2 2种植物处理对空心莲子草光合参数的影响

Table 2 Effects of the two plant species on photosynthetic parameters of *A. philoxeroides*

植物	处理/g	净光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气孔导度/ ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 摩尔分数/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
苦楝	对照	7.40±0.41	0.083±0.005	180.2±6.12	2.52±0.23
	30	7.68±0.38	0.062±0.003**	191.7±3.26	2.02±0.16*
	60	6.47±0.23*	0.045±0.002**	215.6±1.79**	1.52±0.02**
	120	4.02±0.31**	0.029±0.001**	237.3±0.13**	1.06±0.19**
	240	2.13±0.22**	0.022±0.001**	251.6±4.61**	0.80±0.06**
水芹菜	对照	7.40±0.41	0.083±0.005	180.2±6.12	2.52±0.23
	30	7.06±0.41	0.075±0.006	197.4±2.05**	2.35±0.18
	60	6.82±0.39	0.042±0.002**	221.3±3.78**	1.40±0.01**
	120	5.76±0.19**	0.038±0.002**	249.4±1.62**	1.35±0.11**
	240	—	—	—	—

说明：* 表示 $P < 0.05$ ，差异显著；** 表示 $P < 0.01$ ，差异极显著。—：施加 240 g 水芹菜植株粉末后，空心莲子草死亡，因此未测量相应指标。

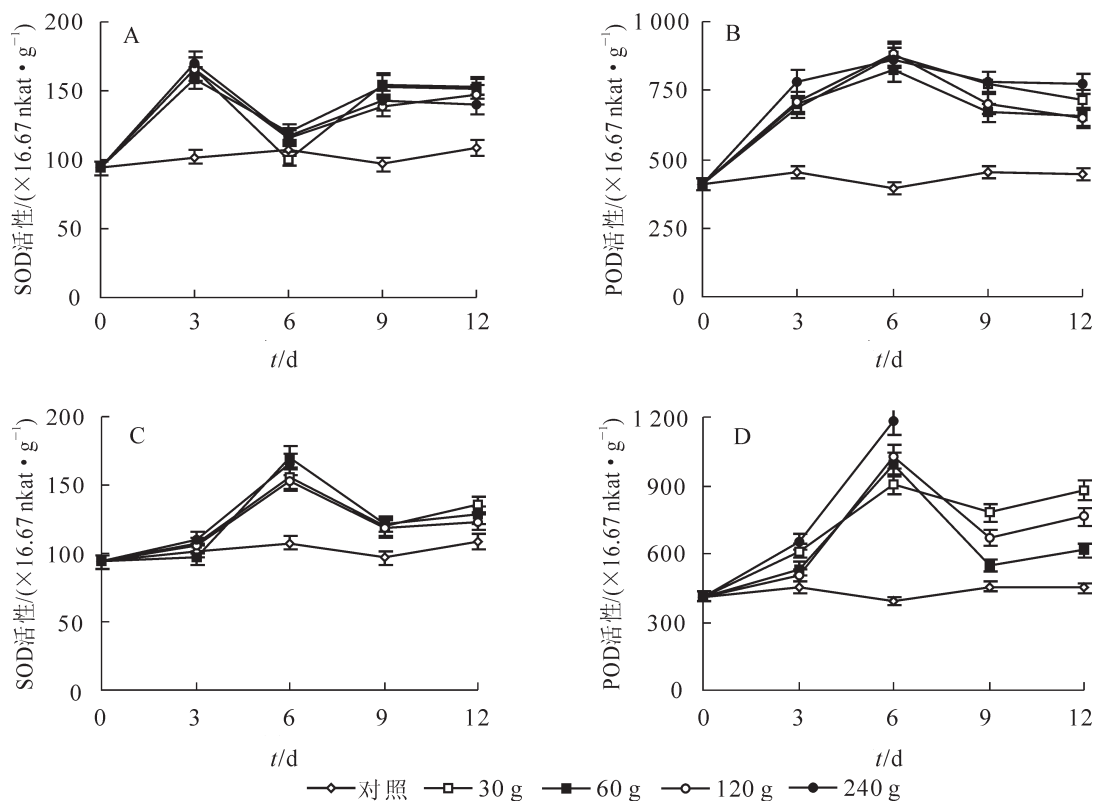
2.3 2种植物处理对空心莲子草抗氧化酶活性的影响

采用 30, 60, 120 和 240 g 苦楝粉末处理空心莲子草 3 d 时，超氧化物歧化酶活性达到最大值，与对照相比分别增加了 62.6% ($P < 0.01$)，56.0% ($P < 0.01$)，62.6% ($P < 0.01$) 和 67.6% ($P < 0.01$)，图 2A)；处理 6 d 时过氧化物酶活性达到最大值，与对照相比分别增加了 1.2 倍 ($P < 0.01$)，1.1 倍 ($P < 0.01$)，1.3 倍 ($P < 0.01$) 和 1.2 倍 ($P < 0.01$)，图 2B)。

水芹菜粉末处理与苦楝处理的结果相似，但空心莲子草超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性均在处理 6 d 时达到最大值，并且差异均达到极显著水平 ($P < 0.01$)，图 2C 和图 2D)。

2.4 2种植物处理对空心莲子草丙二醛质量摩尔浓度的影响

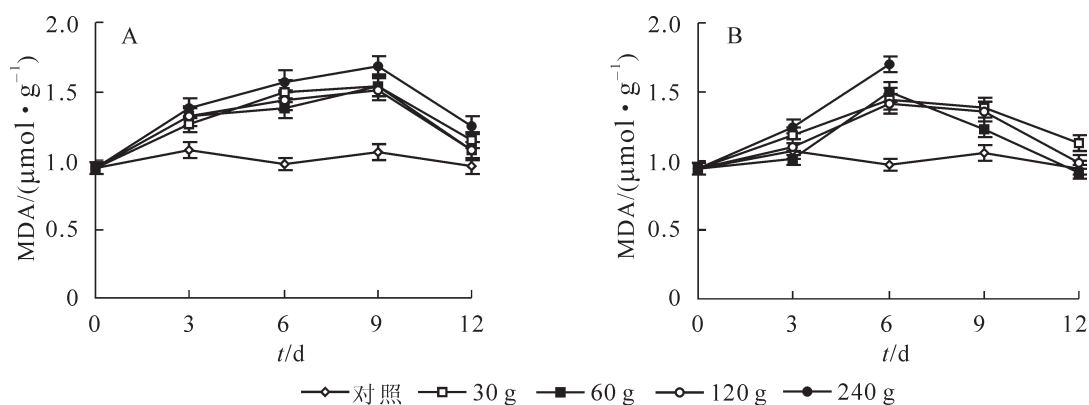
对空心莲子草分别施加苦楝和水芹菜粉末后，其丙二醛质量摩尔浓度显著增加，其中 240 g 粉末处理后，丙二醛质量摩尔浓度分别在处理 9 d 和 6 d 时达到最大值，与对照相比分别增加了 58.1% ($P < 0.01$) 和 75.3% ($P < 0.01$)，图 3)。



A. 苦楝; B. 水芹菜。施加240 g水芹菜粉末处理空心莲子草9 d后, 植株死亡, 因此未测量。

图2 2种植物处理对空心莲子抗氧化酶活性的影响

Figure 2 Effects of the two plant species on antioxidant enzyme activity in *Alternanthera philoxeroides*



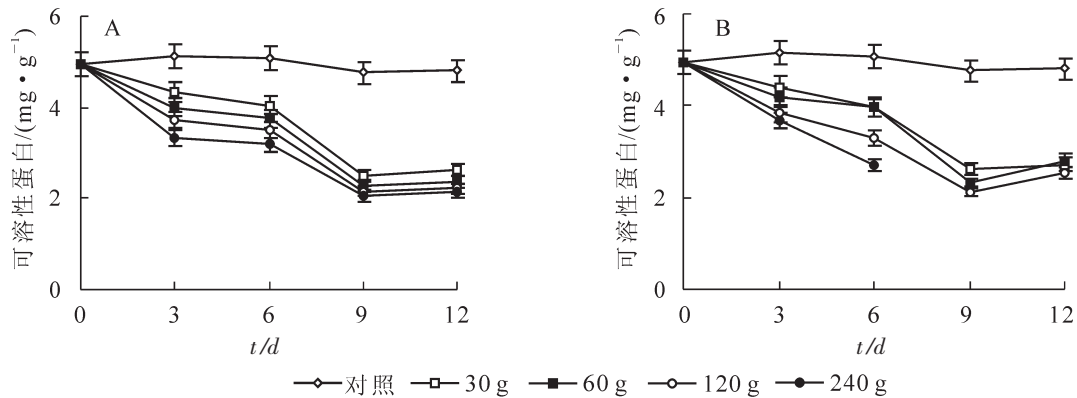
A. 苦楝; B. 水芹菜。施加240 g水芹菜粉末处理空心莲子草9 d后, 植株死亡, 因此未测量。

图3 2种植物处理对空心莲子丙二醛的影响

Figure 3 Effects of the two plant species on MDA content in *Alternanthera philoxeroides*

2.5 2种植物处理对空心莲子草可溶性蛋白的影响

采用苦楝和水芹菜粉末处理空心莲子草后, 随着粉末施用量增加可溶性蛋白质量分数显著降低, 其中当施用量为240 g时, 可溶性蛋白质量分数最低。随着处理时间延长, 可溶性蛋白逐渐降低, 在处理9 d时, 质量分数最低, 其中30, 60, 120和240 g苦楝粉末处理后分别降低了47.2% ($P < 0.01$), 51.9% ($P < 0.01$), 54.6% ($P < 0.01$)和57.2% ($P < 0.01$) (图4A); 30, 60和120 g水芹菜粉末处理后分别降低了44.8% ($P < 0.01$), 51.6% ($P < 0.01$)和55.6% ($P < 0.01$)。240 g水芹菜粉末处理9 d时空心莲子草死亡, 在处理6 d时可溶性蛋白质量分数降低了47.0% ($P < 0.01$, 图4B)。



A.苦楝；B.水芹菜。施加240 g水芹菜粉末处理空心莲子草9 d后，植株死亡，因此未测量。

图 4 2种植物处理对空心莲子可溶性蛋白的影响

Figure 4 Effects of the two plant species on soluble protein content in *Alternanthera philoxeroides*

3 讨论

利用水和甲醇浸提苦楝果实，其水浸提液可抑制小麦 *Triticum aestivum* 和玉米 *Zea mays* 种子萌发，而甲醇提取液在比例为 10% 时便可完全抑制种子萌发^[18]。采用乙醇进行提取，其提取液能明显抑制青萍 *Lemna minor* 生长，并且随着处理浓度增加抑制作用明显增强，当质量浓度达到 $200 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时可完全抑制青萍生长^[19]。水芹菜浸提液能明显抑制斜生栅藻 *Scenedesmus obliquus* 和小球藻 *Chlorella vulgaris* 生长，其细胞数和叶绿素质量分数明显降低，并且细胞的超微结构发生改变，叶绿体片层肿胀甚至解体，核膜破裂，核质外渗^[20-21]。采用苦楝和水芹菜粉末直接处理空心莲子草亦有相似结果，其生长被明显抑制，根蘖数、叶绿素质量分数和光合能力明显降低，同时 240 g 水芹菜粉末处理 9 d 便可杀死空心莲子草。

光合作用是植物体内最基本的物质和能量代谢过程，可为植物的化感物质所影响。再力花 *Thalia dealbata* 地下部水浸提液能抑制荇菜 *Nymphoides peltatum*，苦草 *Vallisneria spiralis*，水田芥 *Nasturtium officinale*，芦苇 *Phragmites australis* 和黄菖蒲 *Iris pseudacorus* 幼苗生长^[22]，同时植株体内的叶绿素和净光合速率明显降低^[23]。黄荆条茎、叶提取液均能抑制飞机草的光合作用，受其影响，飞机草的最大净光合速率、光饱和点和表观量子效率均明显降低，而光补偿点则明显增加^[11]。采用 2 种化感物质 2,6-二叔丁基苯酚和邻苯二甲酸二甲酯直接处理茄子 *Solanum melongena* 幼苗，其叶绿素、光合速率、气孔导度均明显降低，而胞间二氧化碳浓度则明显升高。此外，茄子叶片 PS II 的最大光化学效率与电子传递效率也明显降低，这表明化感物质对植物光合作用中电子的产生与传递具有明显的抑制作用^[24]。空心莲子草经苦楝和水芹菜粉末处理后，其叶绿素和光合性能也具有相似变化。叶绿素质量分数降低会影响空心莲子草对光能的捕获和转化能力，气孔导度降低限制了二氧化碳进入叶片，胞间二氧化碳升高则表明二氧化碳的同化能力受阻，因此这就导致了空心莲子草的净光合速率下降，从而减少了能量供应，进而影响植株的生长发育。苦楝和水芹菜粉末处理 12 d 时，空心莲子草叶绿素质量分数又有所升高，这可能与处理时间延长后粉末中化感物质降解有关。

再力花水浸提液处理荇菜、苦草、水田芥、芦苇和黄菖蒲后，其植株体内的超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶活性以及丙二醛均显著提高，同时丙二醛质量分数随浸提液浓度增大而逐渐增加^[23]。辣椒 *Capsicum annum* 根系分泌物的潜在化感物质 2,6-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二异丁酯和邻苯二甲酸二丁酯处理生菜 *Lactuca sativa* 幼苗后，其体内的超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶和抗坏血酸氧化酶活性均随处理浓度的增加而先增加后降低，当浓度为 $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，抗氧化酶活性均达到最大值^[25]。苦楝和水芹菜粉末处理空心莲子草后，其体内的超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性以及丙二醛质量分数均随处理时间延长而呈现出先增加后降低的趋势。超氧化物歧化酶和过氧化物酶是植物细胞内清除活性氧的主要抗氧化酶，可为活性氧所诱导产生，其活性增加表明植物体内产生了大量的活性氧，同时植物将本应用于生长的能量转变为清除活性氧的消耗上来^[26]，从而影响其正

常生长。植物体内过量的活性氧会破坏细胞内的生物大分子和质膜,同时质膜过氧化产生的丙二醛会进一步对细胞造成损伤。因此,活性氧损伤和清除活性氧消耗可能是苦楝和水芹菜影响空心莲子草生长的另一原因。

苦楝和水芹菜粉末通过降低光合性能和诱导氧化胁迫而抑制空心莲子草生长,因此,这2种植物对防治空心莲子草等入侵和有害生物具有潜在的应用价值。比较而言,水芹菜的防治效果较好。

参考文献:

- [1] JULIEN M H, SKARRATT B, MAYWALD G F. Potential geographical distribution of alligator weed and its biological control by *Agasicles hygrophila* [J]. *J Aquat Plant Manage*, 1995, **33**(1): 55 - 60.
- [2] 郭连金, 王涛. 空心莲子草入侵对乡土植物群落种间联结性及稳定性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, **17**(5): 851 - 856.
GUO Lianjin, WANG Tao. Impact of invasion of exotic plant *Alternanthera philoxeroides* on interspecies association and stability of native plant community [J]. *Chin J Eco-Agric*, **17**(5): 851 - 856.
- [3] 熊勇, 屈睿, 王红斌, 等. 空心莲子草不同部位水浸提液对蚕豆、玉米化感作用机制的研究[J]. 中国农学通报, 2011, **27**(18): 158 - 163.
XIONG Yong, QU Rui, WANG Hongbin, et al. The study on allelopathy mechanism of aqueous extracts from the different organizations of *Alternanthera philoxeroides* Griseb on *Vicia faba* and *Zea mays* [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2011, **27**(18): 158 - 163.
- [4] 王飞, 杜康兮, 张俊, 等. 空心莲子草浸提液对烟草种子萌发的化感作用研究[J]. 种子, 2012, **31**(4): 49 - 51.
WANG Fei, DU Kangxi, ZHANG Jun, et al. Research on allelopathic effects of *Alternanthera philoxeroides* aqueous extract on seed germination of tobacco [J]. *Seed*, 2012, **31**(4): 49 - 51.
- [5] 唐英杰, 王国夫. 空心莲子草提取液对蔬菜种子的化感作用研究[J]. 种子, 2013, **32**(3): 30 - 32.
TANG Yingjie, WANG Guofu. Allelopathic effect of water extracts from the *Alternanthera philoxeroides* Griseb on vegetable seeds [J]. *Seed*, 2013, **32**(3): 30 - 32.
- [6] 张格成, 李继祥, 陈秀华. 空心莲子草主要生物学特性研究[J]. 杂草科学, 1993(2): 10 - 12.
ZHANG Gecheng, LI Jixiang, CHEN Xiuhua. Study of main biology characters of *Alternanthera philoxeroides* [J]. *Weed Sci*, 1993(2): 10 - 12.
- [7] 李扬汉. 中国杂草志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 81 - 82.
- [8] 翁伯琦, 林嵩, 王义祥. 空心莲子草在我国的适应性及入侵机制[J]. 生态学报, 2006, **26**(7): 2373 - 2381.
WENG Boqi, LIN Song, WANG Yixiang. Discussion on adaptability and invasion mechanisms of *Alternanthera philoxeroides* in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**(7): 2373 - 2381.
- [9] 李宏科, 王韧. 空心莲子草叶甲的越冬保护和大量繁殖释放研究[J]. 生物防治通报, 1994, **10**(1): 11 - 14.
LI Hongke, WANG Ren. Biological control of alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides*, in central China by inoculative releases of *Agasicles hygrophila* [col: Chrysomelidae] with artificial overwintering protection [J]. *Chin J Biol Control*, 1994, **10**(1): 11 - 14.
- [10] 张红, 马瑞君, 王乃亮, 等. 不同植物对高寒草场主要杂草箭叶橐吾的化感作用[J]. 西北植物学报, 2006, **26**(11): 2307 - 2311.
ZHANG Hong, MA Ruijun, WANG Nailiang, et al. Allelopathic effects of different plants on the major weed *Ligularia sagitata* in alpine and cold grassland [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2006, **26**(11): 2307 - 2311.
- [11] 潘玉梅, 唐赛春, 韦春强, 等. 土著植物黄荆条水提取液对飞机草生长和光合特性的化感效应[J]. 生态学杂志, 2013, **32**(2): 351 - 357.
PAN Yumei, TANG Saichun, WEI Chunqiang, et al. Allelopathic effects of aqueous extracts from native *Vitex negundo* on the growth and photosynthesis traits of *Eupatorium odoratum* [J]. *Chin J Ecol*, 2013, **32**(2): 351 - 357.
- [12] 刘雨芳, 李菲, 刘文海, 等. 9种植物水浸提液对空心莲子草的化感作用[J]. 生物安全学报, 2012, **20**(4): 326 - 330.
LIU Yufang, LI Fei, LIU Wenhai, et al. Allelopathic effects of water-based extracts from nine plant species on the invasive weed *Alternanthera philoxeroides* [J]. *J Biosafety*, 2012, **20**(4): 326 - 330.

- [13] ARNON D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenol oxidase in *Beta vulgaris* [J]. *Plant Physiol*, 1949, **24**: 1 – 15.
- [14] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Anal Biochem*, 1976, **72**: 248 – 254.
- [15] ZHANG Jingxian, KIRKHAM M B. Drought stress induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase in wheat species [J]. *Plant Cell Physiol*, 1994, **35**(5), 785 – 791.
- [16] GIANNOPOLITIS C N, RIRS S K. Superoxide dismutase(I) occurrence in higher plants [J]. *Plant Physiol*, 1977, **59**: 309 – 314.
- [17] CHANCE B, MAEHLY A C. Assay of catalase and peroxidase [J]. *Method Enzymol*, 1955, **2**: 764 – 775.
- [18] 翟兴礼. 苦楝果实水提取物对小麦、玉米发芽率的影响[J]. 种子, 2007, **26**(1): 54 – 56.
ZHAI Xingli. Effect of water extract of *Melia azedarach* fruit on the germination rates of wheat and corn [J]. *Seed*, 2007, **26**(1): 54 – 56.
- [19] 胡安龙. 14 种植物乙醇提取物除草活性研究[J]. 现代农业科技, 2012(16): 119 – 120.
HU Anlong. Study on herbicidal activity of ethanol extracts from 14 kinds of plants [J]. *Modern Agric Sci Technol*, 2012(16): 119 – 120.
- [20] 宰学明, 朱士农, 钦佩, 等. 水芹水浸提液对斜生栅藻的化感效应研究[J]. 植物研究, 2011, **31**(6): 735 – 738.
ZAI Xueming, ZHU Shinong, QIN Pei, *et al.* Allelopathy effects of *Oenanthe javanica* extracts on *Scenedesmus obliquus* [J]. *Bull Bot Res*, 2011, **31**(6): 735 – 738.
- [21] 袁亚光, 李思宇, 宰学明, 等. 水芹(*Oenanthe javanica*) 浸出液对小球藻(*Chlorella vulgaris*)生长及超微结构的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2012, **28**(3): 266 – 270.
YUAN Yaguang, LI Siyu, ZAI Xueming, *et al.* Effects of *Oenanthe javanica* extracts on growth and ultrastructure of *Chlorella vulgaris* [J]. *J Ecol Rural Environ*, 2012, **28**(3): 266 – 270.
- [22] 王媛, 缪丽华, 高岩, 等. 再力花地下部水浸提液对几种常见水生植物的化感作用[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(5): 722 – 728.
WANG Yuan, MIAO Lihua, GAO Yan, *et al.* Allelopathic effects from aqueous extracts of exotic *Thalia dealbata* on six aquatic plant species [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2012, **29**(5): 722 – 728.
- [23] 缪丽华, 王媛, 高岩, 等. 再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用[J]. 生态学报, 2012, **32**(14): 4488 – 4495.
MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, *et al.* The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of *Thalia dealbata* to seedling of several aquatic plants [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(14): 4488 – 4495.
- [24] 郁继华, 张韵, 牛彩霞, 等. 2 种化感物质对茄子幼苗光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2006, **17**(9): 1629 – 1632.
YU Jihua, ZHANG Yun, NIU Caixia, *et al.* Effects of two kinds of allelochemicals on photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of *Solanum melongena* L. seedlings [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, **17**(9): 1629 – 1632.
- [25] 孙海燕, 王炎. 辣椒根系分泌的潜力化感物质对生菜幼苗抗氧化代谢的影响[J]. 植物生理学报, 2012, **48**(9): 887 – 894.
SUN Haiyan, WANG Yan. Effect of root exudated potential allelochemicals in hot pepper (*Capsicum annum* L.) on antioxidative metabolism for lettuce (*Lactuca sativa* L.) [J]. *Plant Physiol J*, 2012, **48**(9): 887 – 894.
- [26] ZUO Zhaojiang, ZHU Yerong, BAI Yaling, *et al.* Acetic acid induced programmed cell death and volatile organic compounds release in *Chlamydomonas reinhardtii* at acidic conditions [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2012, **51**: 175 – 184.