

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201802005

引文格式: 刘济明, 陈敬忠, 孙运刚, 等. 紫茎泽兰叶水提液对七种乡土植物幼苗生长和叶绿素的化感影响 [J]. 广西植物, 2019, 39(1): 79–86.

LIU JM, CHEN JZ, SUN YG, et al. Allelopathic effects of aqueous extract of *Ageratina adenophora* on seven native plant seedlings in growth and chlorophyll [J]. *Guihaia*, 2019, 39(1): 79–86.

紫茎泽兰叶水提液对七种乡土植物 幼苗生长和叶绿素的化感影响

刘济明^{1*}, 陈敬忠¹, 孙运刚², 童炳丽¹, 管睿婷¹, 武梦瑶¹

(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 黔东南州林业局, 贵州 黔东南 556000)

摘 要: 该文以紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 为供体, 以 7 种乡土植物即马尾松 (*Pinus massoniana*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、构树 (*Broussonetia papyifera*)、板栗 (*Castanea mollissima*)、花椒 (*Zanthoxylum bungeanum*)、油茶 (*Camellia oleifera*)、火棘 (*Pyracantha fortuneana*) 为受体, 研究了紫茎泽兰叶的水提液对受试植物幼苗叶绿素含量和生长的化感影响。结果表明: (1) 紫茎泽兰叶水提液在低浓度条件下对花椒、火棘的叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量具有一定的促进作用, 对其余 5 个物种的叶绿素影响不显著。在高浓度处理下杉木、板栗和构树叶叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量表现显著下降。火棘仅叶绿素 b 显著下降, 马尾松均表现为增加, 对油茶和花椒影响不显著。(2) 对受体植物生长参数测定后发现, 紫茎泽兰叶片水提液在高浓度条件下对除板栗外的 6 种受体植物的所有生长参数均表现出显著的抑制作用, 在低浓度下对火棘、花椒、杉木的地径和冠幅具有一定促进作用, 对其余 4 个物种生长参数影响不显著。

关键词: 生长参数, 化感作用, 水提液, 抑制机制, 叶绿素

中图分类号: Q944 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2019)01-0079-08

Allelopathic effects of aqueous extract of *Ageratina adenophora* on seven native plant seedlings in growth and chlorophyll

LIU Jiming^{1*}, CHEN Jingzhong¹, SUN Yungang², TONG Bingli¹,
GUAN Ruiting¹, WU Mengyao¹

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Qiandongnan
State Forestry Bureau, Qiandongnan 556000, Guizhou, China)

Abstract: *Ageratina adenophora* was used as the donor, and seven kinds of native plants were used as the receptor, they were *Pinus massoniana*, *Cunninghamia lanceolata*, *Broussonetia papyifera*, *Castanea mollissima*, *Zanthoxylum*

收稿日期: 2018-06-05

基金项目: 贵州省林业厅重大项目 (黔林科合 [2010] 重大 04 号); 贵州省科技计划项目 (黔科合 SY [2015] 3023); 黔东南州社会发展科技计划项目 [Supported by Guizhou Provincial Forestry Department Major Program ([2010] 04); Guizhou Province Science and Technology Plan ([2015] 3023); Qiannan State Social Development Science and Technology Program]。

作者简介: 刘济明 (1963-), 男, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为植物生态学、植物资源学, (E-mail) Karst0623@163.com。

* 通信作者

bungeanu, *Camellia oleifera*, *Pyracantha fortuneana*, respectively. We studied the allelopathic effects of *Ageratina adenophora* aqueous extract solution on chlorophyll content and growth of seedlings of tested plants. The results are as follows: (1) *A. adenophora* aqueous extract solution at low concentration can improve the chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents of *Zanthoxylum bungeanu* and *Pyracantha fortuneana*, but the effects on chlorophyll of the other five species was not significant. *Ageratina adenophora* aqueous extract solution at high concentration reduced the chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll contents of *Cunninghamia lanceolata*, *Castanea mollissima*, *Broussonetia papyifera* significantly. The chlorophyll b of *Pyracantha fortuneana* decreased significantly, while the chlorophyll b of *Pinus massoniana* increased on the contrary, there was no significant influence on *Castanea mollissima* and *Zanthoxylum bungeanu*. (2) We measured the receptor plant growth parameters and found that, *Ageratina adenophora* aqueous extract solution at high concentration had significant inhibitory effects on all growth parameters of the six receiver plants except for *Castanea mollissima*. *Ageratina adenophora* aqueous extract solution at low concentration could improve the ground diameters and crown widths of *Pyracantha fortuneana*, *Zanthoxylum bungeanu* and *Cunninghamia lanceolata*, but had no significant effects on growth parameters of the other four species.

Key words: growth parameters, allelopathy, aqueous extract, inhibition mechanism, chlorophyll

叶绿素是植物体内参与光合作用的重要色素,在高等植物中叶绿素主要为叶绿素 a 和叶绿素 b 两种(张怀斌,2008;李宝华和朱明远,1999),在光合作用中二者协同作用捕获光能并驱动电子至反应中心(Fromme et al., 2003;王平荣等,2009),对植物的生长发育极其重要。植物在缺乏叶绿素条件下植物叶片可能出现白化、黄化、斑马纹等病症,严重情况下甚至会导致植株死亡(Jung et al., 2003;Nakanishi et al., 2005;Zhang et al., 2006)。部分植物通过向周围环境中分泌化感物质来抑制周围植物叶片叶绿素合成等途径获得自身的竞争优势(Baziramakenga, 1994;Politycka, 1997;黄晓群等 2005)。化感物质可导致叶片叶绿素含量的降低,甚至严重阻碍植物叶片净光合速率和气孔传导,造成植物光合作用的下降,使植物生长发育受到抑制。由于部分化感物质的这一特性,本研究设计相关实验从化感物质对叶绿素含量和植物生长状况的影响角度来探讨紫茎泽兰这一外来入侵物种的叶片水提液对 7 种乡土受体植物产生化感作用影响的机制。

紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*),是我国最重要的 16 种外来入侵物种之一(李霞霞等 2017;肖正清等,2009)。在我国南方地区广泛分布且对农林牧生产和人体健康产生了巨大影响(高国伟,2007;强胜,1998)。紫茎泽兰之所以具有强烈的

扩张性,部分原因可能是紫茎泽兰强烈的化感作用抑制了本土物种生长发育,导致紫茎泽兰生长快速扩张(张学文等,2007)。部分学者已对其化学成分进行分离鉴别,得到高化感作用物质 9-羰基-10,11-去氢泽兰酮等化合物 49 个,但具体作用机理,尚缺乏深入研究(Liao et al., 2015;闫乾胜等,2006)。为探讨紫茎泽兰化感物质的作用机制,在野外实地走访调查的基础上,本研究于原国家林业局紫茎泽兰防除试点——贵州省罗甸县,选取当地较为常见的 7 个物种,采取室内育种法,设计紫茎泽兰叶片的水提物对 7 种乡土物种叶绿素含量的影响实验来探究其化感作用机制。同时通过对紫茎泽兰水提液对 7 种常见的乡土物种的影响评价,为本地区在紫茎泽兰采取生物防治上挑选对其化感作用具有较强耐受性的物种,为紫茎泽兰防治提供一定理论依据。

1 材料与方 法

1.1 植物材料

供体植物为紫茎泽兰。2017 年 4 月下旬,在贵州省紫茎泽兰危害最为严重的罗甸县,采集紫茎泽兰叶片,阴干,剪碎后混合备用。受试植物为马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、构树(*Broussonetia papyifera*)、板栗

(*Castanea mollissima*)、花椒(*Zanthoxylum bungeanu*)、油茶(*Camellia oleifera*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*) 幼苗。马尾松、杉木的种子由黔东南州林业局种苗站提供,油茶、构树、火棘种子采集于贵阳市花溪区,花椒、板栗种子由市场上购得。

1.2 紫茎泽兰浸提液的制备

取 30 g 紫茎泽兰叶片,用 1 000 mL 蒸馏水浸泡,搅拌均匀,浸泡 48 h 后,用两层纱布过滤,得干物质含量为 $30 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的母液。浇灌时将母液用蒸馏水稀释成干物质含量为 15、5、2.5 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的溶液。每 2 d 制备一次,随用随配。

1.3 受试植物的栽培

对每种受试植物进行育苗。5 月,每种受试植物选择株高、株型较一致的幼苗移植到底径 20 cm,深 25 cm 的花盆内,每盆 2 株。栽培土取自未生长过植物的剖面黄土,经晒干、碾碎、过筛。幼苗定植 1 个月正常生长后,用不同浓度紫茎泽兰水提液浇灌。水提液浓度为 30、15、5、2.5、0 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ (即对照 CK) 5 个。每种受试植物每个水提液处理种植 3 盆,7 种受试植物共种植 105 盆。每周每盆浇 50 mL 相应浓度的水提液,对照组 (CK) 浇 50 mL 蒸馏水。

1.4 实验设计

育苗采用盆栽法并置于温室内,栽培土取自未生长过植物的剖面黄土,经晒干、碾碎、过筛后分别装入底径 20 cm、深 25 cm 的花盆中。把育好的 7 种受体植物的幼苗选择株高、株型一致的移植到花盆内,每盆 2 株,每个物种各设水提液浓度为 30、15、5、2.5 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和对照 (CK) 的 5 个处理,每个处理 3 个重复,共 105 盆。定植 1 个月待幼苗正常生长后每周每盆浇 50 mL 各浓度的水浸提液,对照组 (CK) 浇 50 mL 蒸馏水。

1.5 测定方法

叶绿素含量测定采用研磨-分光光度计法:将实验材料各取三份剪碎的新鲜样品,每份 0.1 g 分别放入研钵中,加少量 CaCO_3 和石英砂及 2 mL 96% 乙醇研磨成均浆后,继续研磨至组织变为白色。然后,用少量 96% 乙醇全部洗入离心管中,经高速离心后在 25 mL 的容量瓶中用 96% 乙醇定容。摇匀后把叶绿体色素提取液分别倒入 1 cm 的

比色皿中,在 TU-1800 紫外-可见分光光度计分别在波长 665、649 nm 测定吸光度值,以 96% 乙醇为空白对照 (李得孝等,2005)。

待实验结束后,利用卷尺测定苗高、冠幅,游标卡尺测定地径,记录每株苗木的苗高、地径、冠幅数值。同时将植株收获,收获的植物材料置于 80 °C 烘箱中,经 48 h 烘干至恒重后,用电子天平 (0.000 1 g) 称重。最后每盆的两株苗木苗高、冠幅、地径、生物量的数据取平均值。

1.6 数据分析

叶绿素 a、b 在 96% 乙醇中最大吸收峰波长分别是 665、649 nm。叶绿素含量计算公式:

$$C_a = 13.95 \times A_{665} - 6.88 \times A_{649}; C_b = 24.96 \times A_{649} - 7.32 \times A_{665}; C_T = C_a + C_b; \text{叶绿素总含量} (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}) = C_T \times V \times n / \text{FW} \times 1000.$$

计算提取液中叶绿素浓度,换算为每克鲜叶 (FW) 叶绿素含量。

式中, C_a 为叶绿素 a 浓度, C_b 为叶绿素 b 浓度, C_T 为总叶绿素浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), FW 为鲜重 (g), V 为提取液体积 (mL), n 为稀释倍数。

化感潜力以化感作用抑制率 (inhibition rate, IR) (Lin et al., 2000) 作为化感作用的评价指标。

$$IR = (T_i - T_o) / T_o \times 100\%.$$

式中, T_i 为测试项目的处理值, T_o 为对照值。 $IR > 0$ 表示具有促进作用, $IR = 0$ 表示没有任何作用, $IR < 0$ 表示具有抑制作用。 IR 绝对值越大,其化感作用潜力越大。

实验数据用 Excel 软件进行整理和计算,在 SPSS19.0 软件中对数据进行统计分析,采用单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 和 LSD 法对紫茎泽兰不同浓度水提液对受试植物幼苗生长各参数和叶绿素含量分别进行差异显著性检验和分析。

2 结果与分析

2.1 紫茎泽兰叶水提液对植株幼苗生长的影响

由表 1 可知,紫茎泽兰叶水提液对贵州 7 种本地植物幼苗生长的影响表现为高浓度 (30 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) 显著降低马尾松幼苗的所有生长参数 (株

高、干重、地径和冠幅),且中等浓度($15 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)也能显著降低马尾松幼苗的株高和冠幅;对于杉木来说,低浓度($2.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)水提液能够提高杉木幼苗地径和冠幅生长,但高浓度($30 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)显著降低地茎的生长;对油茶的影响表现为水提液高浓度($30 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)显著降低油茶幼苗的株高、地茎、冠幅和干重,并且中等浓度($15 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)也能降低油茶幼苗的株高;高浓度($30 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)水提液使构树幼苗的地茎和干重受到显著抑制;花椒幼苗仅冠幅在高浓度($30 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)的水提液处理下显著降低,株高、地径、冠幅和干重在低浓度($2.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)下均显著增加;火棘幼苗的苗高、地径、干重在水提液高浓度($30 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)下显著降低,而其地径、冠幅在水提液低浓度($2.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)下显著增加。紫茎泽兰叶水提液在所有浓度下对板栗幼苗所有参数均无影响作用。总体上,紫茎泽兰叶水提液对7种本地植物幼苗生长的影响基本上表现为低浓度下无影响,有时甚至有促进作用,高浓度下有抑制作用(除板栗外)。

2.2 紫茎泽兰叶水提液对7种贵州本土植物叶绿素的影响

从表2可以看出,紫茎泽兰叶水提液不同浓度对马尾松幼苗的影响表现为高浓度($30 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)使叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总含量显著增加,并且中等浓度($15 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)也能使叶绿素a含量明显增加;对杉木幼苗的影响却表现为5、15、 $30 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度使叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总含量显著下降;对板栗幼苗的影响表现为高浓度使叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总含量显著下降,并且中等浓度也能使叶绿素b和叶绿素总含量明显降低;对构树的影响表现为中等浓度和高浓度均能使叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总含量显著下降;对火棘的影响却表现为低浓度(2.5 、 $5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)使叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总含量显著增加,但中等浓度和高浓度却使叶绿素b明显下降。紫茎泽兰叶水提液对油茶和花椒的叶绿素含量的影响相同,均表现为低浓度使这两种植物的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总含量含量明显增加。

总体上,紫茎泽兰叶水提液对7种本地植物幼苗叶绿素含量的影响表现为低浓度下无影响,甚至有促进作用;高浓度处理对不同植物影响不同,马尾松表现为增加,油茶和花椒为不受影响,而杉木、板栗和构树叶绿素a、叶绿素b和叶绿素总含量含量均显著下降,火棘仅叶绿素b明显下降。

3 讨论

紫茎泽兰叶片水提液对受体植物马尾松叶绿素a、叶绿素b均表现为促进作用,对杉木、板栗、构树3种受体植物叶绿素a、叶绿素b均表现为低促高抑现象,对油茶和花椒2种受体植物的叶绿素a、叶绿素b影响则不显著,火棘仅在高浓度下叶绿素b明显下降;通过对7种受体植物苗高、地径、冠幅、生物量4个生长参数测定后发现,紫茎泽兰叶片水提液在高浓度条件下对除板栗外6种受体植物的四个生长参数均呈现不同程度的抑制作用;结合叶绿素与生长参数的测定结果来看,紫茎泽兰对杉木、油茶抑制作用是可能通过抑制二者叶绿素的合成,造成二者光合能力下降,进而对二者产生抑制作用。而紫茎泽兰水提液对花椒、油茶、火棘、构树可能通过其他途径发挥抑制作用。课题组前期在对紫茎泽兰水提物对马尾松、杉木、构树、板栗、花椒、油茶、火棘等物种的种子、幼苗的化感作用研究中也发现在一定程度下均呈现低促高抑现象(孙运刚等,2010;汪贵庆等,2010),这与紫茎泽兰水提液对除板栗外的其他6种植物4种生长参数作用方式基本一致。其他学者在针对苣荬菜(*Sonchus arvensis*)、胜红蓟(*Ageratum conyzoides*)、白刺花(*Sophora davidii*)等物种研究也发现类似的现象(郑丽和冯玉龙,2005;李苇洁等,2017)。

紫茎泽兰具有较高的化感潜力,一定程度上揭示了紫茎泽兰为何在大多数生境中迅速占据优势生态位并成为群落中的优势物种。但是也有学者认为紫茎泽兰的化感作用并不是在其入侵的每个时期都扮演着重要角色(于兴军等,2004)。本研究选取7种亲缘关系较远的物种从叶绿素影响角度来探讨紫茎泽兰化感作用机制,在对叶绿素

表 1 紫荃泽兰叶浸提液对 7 种乡土植物幼苗生长的影响

Table 1 Effects of *Ageratina adenophora* leaf aqueous extracts on seedling growth of seven native plants

受体物种 Receptor	浓度 Concentration ($g \cdot L^{-1}$)	苗高 Seedling height (cm)	抑制率 Inhibitor rate (%)	地径 Ground diameter (mm)	抑制率 Inhibitor rate (%)	冠幅 Crown width (cm)	抑制率 Inhibitor rate (%)	生物量 Biomass (g)	抑制率 Inhibitor rate (%)
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	CK	3.1±0.17	—	1.7±0.06	—	12.7±0.85	—	3.2±0.05	—
	2.5	3.4±0.23	11	1.8±0.12	3.9	14.6±1.01	15.5	2.9±0.09	-7.9
	5	2.7±0.19	-12.6	1.7±0.07	1.2	12.9±0.65	2	2.6±0.12	-16.1
	15	2.1±0.14 **	-30.7	1.6±0.06	-5.1	11.5±0.67	-9.2	2.4±0.20 *	-23.8
	30	1.6±0.08 **	-48.6	1.3±0.05 *	-23.6	9.8±0.24 *	-22.5	2.1±0.23 **	-34
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	CK	12.6±0.67	—	2±0.14	—	17.5±2.01	—	19.6±0.09	—
	2.5	14.9±0.86	18.3	2.7±0.16 *	30.5	22±1.68 *	26.1	22.1±1.38	12.8
	5	13.2±1.06	4.5	2.2±0.10	6.7	20.9±2.03	19.7	18.9±2.04	-3.3
	15	12±1.14	-4.8	1.9±0.13	-8.6	16.8±1.14	-3.7	18.5±1.19	-5.4
	30	10.9±0.34	-13.9	1.7±0.07 *	-16.3	16.2±1.21	-7.4	17.2±1.01	-12.4
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	CK	2.9±0.17	—	1.6±0.09	—	2.6±0.18	—	1.5±0.67	—
	2.5	3.3±0.21	14.4	1.6±0.04	0.2	3.0±0.24	15.3	1.5±0.11	-0.2
	5	3.1±0.17	7.5	1.7±0.06	2.1	2.8±0.21	7.7	1.4±0.12	-4.6
	15	2.4±0.15 *	-15.7	1.5±0.09	-8	2.3±0.15	-10.1	1.3±0.07	-10.6
	30	2.0±22 **	-31.8	1.0±0.03 **	-38.5	1.9±0.12 **	-27.1	1.1±0.05 **	-24.5
板栗 <i>Castanea mollissima</i>	CK	4.4±0.31	—	2.9±0.11	—	2.7±0.22	—	10.4±0.68	—
	2.5	4.5±0.37	2.3	3.2±0.24	13.5	2.9±0.30	9.4	12.1±0.96	16.2
	5	4.8±0.29	10.6	2.9±0.16	3.3	2.7±0.21	0.5	9.7±0.62	-6.8
	15	4.2±0.24	-2.8	2.7±0.08	-5.2	2.5±0.14	-7.3	9.5±0.34	-8.8
	30	4.2±0.29	-3.1	2.6±0.17	-9.8	2.4±0.13	-11.9	9.1±0.55	-12.6
构树 <i>Broussonetia papyifera</i>	CK	35.3±2.10	—	7±0.29	—	52.9±2.36	—	5.1±0.36	—
	2.5	40.9±2.63	16	7.7±0.44	10.1	62.7±3.41	18.6	5.9±0.29	15.2
	5	38.7±3.15	9.8	7.6±0.56	9.5	59.3±4.36	12.2	5.5±0.34	7
	15	35.3±2.01	0	6.9±0.27	-0.6	49.1±4.51	-7.2	5±0.0.25	-3.2
	30	29.7±1.86	-15.8	5.5±0.32 *	-21.5	43.3±2.37	-18.2	3.8±0.21 **	-26.6
花椒 <i>Zanthoxylum bungeanu</i>	CK	15.8±1.21	—	1.5±0.07	—	19.8±1.14	—	2.7±0.17	—
	2.5	22.1±1.84 **	40.3	2.1±0.11 **	38.2	23.8±1.69 *	20.2	3.2±0.10 *	19.3
	5	20.3±2.03 **	28.7	1.7±0.12	13	21.2±1.97	7	3.2±0.25	16
	15	16±1.21	1.3	1.5±0.04	-0.9	19.6±1.22	-1	2.9±0.13	5
	30	14.8±0.97	-6.2	1.4±0.08	-6.8	16.6±1.35 *	-16.3	2.6±0.11	-3.8
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	CK	40.2±3.13	—	3.7±0.24	—	14±1.01	—	2.1±0.63	—
	2.5	45.2±2.65	12.4	4.5±0.31 *	21.3	18.2±1.33 **	30.5	2.3±0.79	11
	5	37.4±3.89	-7.2	3.6±0.24	-4.9	13.7±10.10	-2.2	2.2±0.52	6.6
	15	39.1±3.00	-2.8	3.3±0.17	-12.1	13.3±1.11	-4.4	1.9±0.14	-7.4
	30	30.0±2.32 **	-25.4	2.8±0.21 **	-25	12.5±2.32	-10.6	1.6±0.08 **	-24.5

注: * 表示差异显著($P<0.05$), ** 表示差异极显著($P<0.01$)。下同。Note: * means significant differences ($P<0.05$), and ** means extremely significant differences ($P<0.01$). The same below.

表 2 紫茎泽兰叶浸提液对 7 种乡土植物叶绿素的影响

Table 2 Effects of *Ageratina adenophora* leaf aqueous extracts on the chlorophyll of seven native plants

受体物种 Receptor	浓度 Concentration (g · L ⁻¹)	叶绿素 a Chlorophyll a (mg · mL ⁻¹)	抑制率 Inhibitor rate (%)	叶绿素 b Chlorophyll b (mg · mL ⁻¹)	抑制率 Inhibitor rate (%)	叶绿素总含量 Total chlorophyll (mg · g ⁻¹ FW)	抑制率 Inhibitor rate (%)
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	CK	4.81±0.21	—	2.37±0.13	—	1.80±0.25	—
	2.5	4.60±0.26	-4.38	2.26±0.18	-4.94	1.71±0.28	-4.56
	5	5.62±0.73	17.00	2.48±0.19	4.31	2.03±0.30	12.80
	15	5.81±0.46 *	20.82	2.57±0.20	8.16	2.09±0.19	16.63
	30	6.21±0.32 **	29.27	2.61±0.27	10.12	2.21±0.34 *	22.94
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	CK	6.25±0.26	—	2.99±0.16	—	2.31±0.39	—
	2.5	4.90±0.09	-21.47	2.88±0.25	-3.49	1.95±0.26	-15.65
	5	4.44±0.18 *	-28.86	2.36±0.19 *	-20.99	1.70±0.31 *	-26.31
	15	3.94±2.04 **	-36.95	1.92±0.14 **	-35.72	1.46±0.23 **	-36.55
	30	3.36±1.13 **	-46.22	1.65±0.11 **	-44.60	1.25±0.18 **	-45.70
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	CK	3.14±0.10	—	1.73±0.08	—	1.22±0.14	—
	2.5	4.11±0.17 **	30.85	2.61±0.10 **	50.20	1.68±0.15 **	37.73
	5	3.99±0.16 *	26.90	2.38±0.19 **	37.50	1.59±0.20 **	30.67
	15	3.50±0.14	11.45	1.88±0.04	8.11	1.34±0.14	10.26
	30	2.72±0.20	-13.47	1.83±0.17	5.75	1.14±0.16	-6.64
板栗 <i>Castanea mollissima</i>	CK	4.00±0.23	—	2.80±0.17	—	1.70±0.31	—
	2.5	4.64±0.31	15.95	2.36±0.20	-15.72	1.75±0.22	2.91
	5	3.93±0.34	-1.80	2.15±0.12	-23.38	1.52±0.19	-10.69
	15	3.65±0.29	-8.73	1.95±0.16 **	-30.31	1.40±0.20 *	-17.62
	30	2.97±0.18 **	-25.80	1.63±0.08 **	-41.91	1.15±0.16 **	-32.44
枸树 <i>Broussonetia papyifera</i>	CK	8.69±0.49	—	3.71±0.23	—	3.10±0.32	—
	2.5	9.16±0.56	5.45	4.20±0.28	13.25	3.34±0.38	7.78
	5	8.65±1.04	-0.38	3.53±0.20	-4.90	3.05±0.29	-1.74
	15	7.18±0.67 *	-17.32	2.93±0.17 *	-20.99	2.53±0.22 *	-18.42
	30	6.43±0.58 **	-26.01	2.92±0.30 *	-21.30	2.34±0.18 **	-24.60
花椒 <i>Zanthoxylum bungeanu</i>	CK	3.61±0.13	—	1.84±0.12	—	1.36±0.31	—
	2.5	4.79±0.09 **	32.87	2.47±0.09 **	34.31	1.81±0.45 **	33.36
	5	4.48±0.18 *	24.32	2.40±0.11 **	30.90	1.72±0.37 *	26.54
	15	4.21±0.27	16.68	2.10±0.22	14.44	1.58±0.50	15.92
	30	3.23±0.20	-10.37	1.59±0.17	-13.35	1.21±0.44	-11.38
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	CK	6.30±0.27	—	4.07±0.31	—	2.59±0.30	—
	2.5	7.90±0.46 *	25.38	4.83±0.36 *	18.61	3.18±0.46 *	22.72
	5	6.49±0.34	2.93	3.87±0.24	-4.91	2.59±0.21	-0.15
	15	6.20±0.50	-1.59	3.27±0.33 *	-19.62	2.37±0.37	-8.67
	30	5.80±0.33	-8.04	2.90±0.18 **	-28.77	2.17±0.30	-16.18

含量与相关生长参数的测定后尚未发现完全一致的规律。Niu et al. (2007) 认为紫茎泽兰通过向土壤中分泌物质改变土壤菌群结构, 将其改造为利于自身生存的生境, Fu et al. (2018) 研究发现紫茎泽兰通过影响云南松 (*Pinus yunnanensis*) 叶片氮浓度抑制冠层优势树种幼苗生长来达到入侵目的。结合目前对紫茎泽兰化感机制研究来看, 紫茎泽兰对相应受体植物的化感效应是受体植物对其化感物质的响应而表现出来的综合性状, 是由众多因素、多种机制共同作用的结果。紫茎泽兰对受体植物最终的化感效应评价不仅与选择的指标有关而且还与该指标所产生的影响程度有关, 而且不同的物种对某一具体指标化感效应的响应不一定相同, 用单一指标难以全面准确地反映其化感作用的强弱。因此, 对紫茎泽兰化感效应评价必须结合多种指标进行综合分析。

虽然紫茎泽兰的化感作用广泛存在, 但化感作用本身机制复杂, 现有文献表明化感物质对植物体作用机制包括改变细胞通透性、影响植物激素和酶的活性、影响营养元素和水分的吸收、影响细胞结构、影响植物光合作用等方式单独或协同作用共同抑制受体植物生长发育 (张学文等, 2007)。虽然在外来入侵物种中紫茎泽兰的研究相对较为深入, 也是目前入侵生物学和生态学领域研究的热点和难点, 相关学者试图从其环境适应性、对土壤微生物影响、化感作用等角度阐释紫茎泽兰在异质生境下快速扩张的原因 (Datta et al., 2017; 李霞霞等, 2017), 但是尚未完全揭示其入侵机制机理。这也是为何目前针对紫茎泽兰虽有大量研究资料, 尚无法对紫茎泽兰的快速扩张起到真正有效控制的原因。说明在未来研究中, 应加强其机制机理的研究, 揭示其快速扩张的原因, 为紫茎泽兰防治提供一定的理论依据。

参考文献:

BAZIRAMAKENGA R, SIRMARD RR, LEXOUX GD, 1994. Effects of benzoic and cinnamic acids on growth, mineral composition, and chlorophyll content of soybean [J]. *J Chem Ecol*, 20(11): 2821-2833.

DATTA A, KÜHN I, AHMADM, et al., 2017. Processes affect-

ing altitudinal distribution of invasive *Ageratina adenophora* in western Himalaya: The role of local adaptation and the importance of different life-cycle stages [J]. *PLoS ONE*, 12(11): 0187708.

- ELISANTE F, TARIMO MT, NDAKIDEMI PA, 2013. Allelopathic effect of seed and leaf aqueous extracts of *Datura stramonium* on leaf chlorophyll content, shoot and root elongation of *Cenchrus ciliaris* and *Neonotonia wightii* [J]. *Am J Plant Sci*, 4(12): 2332-2339.
- FROMME P, MELKOZERNOV A, JORDAN P, et al., 2003. Structure and function of photosystem I: Interaction with its soluble electron carriers and external antenna systems [J]. *Febs Lett*, 555(1): 40.
- FU D, WU X, HUANG N, et al., 2018. Effects of the invasive herb *Ageratina adenophora* on understory plant communities and tree seedling growth in *Pinus yunnanensis* forests in Yunnan, China [J]. *J For Res*, (8): 1-8.
- GAO GW, 2007. A study on the economic impact of foreign invasion on the affected areas: A case of *Eupatorium adenophorum* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [高国伟, 2007. 外来生物入侵对受害地区经济影响研究—以紫茎泽兰为例 [D]. 北京: 中国农业科学院.]
- HUANG XQ, ZHAO HX, DONG CL, 2005. Chlorophyll-deficient rice mutants and their research advances in biology [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 25(8): 1685-1691. [黄晓群, 赵海新, 董春林, 等, 2005. 水稻叶绿素合成缺陷突变体及其生物学研究进展 [J]. *西北植物学报*, 25(8): 1685-1691.]
- JUNG KH, HUR J, RYU CH, et al., 2003. Characterization of a rice chlorophyll-deficient mutant using the T-DNA gene-trap system [J]. *Plant Cell Physiol*, 44(5): 463-472.
- LIAO F, HU Y, WU L, et al., 2015. Induction and mechanism of HeLa cell apoptosis by 9-oxo-10, 11-dehydroageraphorone from *Eupatorium adenophorum* [J]. *Oncol Rep*, 33(4): 1823-1827.
- LINW X, KIM KU, SHIN DH, 2000. Rice allelopathic potential and its modes of action on barnyard grass (*Echinochloa crusgalli*) [J]. *Allelopathy J*, 7(2): 215-224.
- LI BH, ZHU MY, 1999. Analysis of variation of chlorophyll content in the intertidal Zone of Great Wall Bay, Antarctica During Dec [J]. *J Oceanogr Huanghai Bohai Seas*, (2): 38-42. [李宝华, 朱明远, 1999. 南极长城湾潮间带叶绿素 a 的分布及变化 [J]. *海洋科学进展*, (2): 38-42]
- LI DX, GUO YX, YUAN HY, et al., 2005. Determined methods of chlorophyll from maize [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 21(6): 153-155. [李得孝, 郭月霞, 员海燕, 等, 2005. 玉米叶绿素含量测定方法研究 [J]. *中国农学通报*, 21(6): 153-155.]
- LI XX, ZHANG QD, ZHU XZ, 2017. Progress of the research on invasive plant species *Eupatorium adenophorum* over the last decade [J]. *Pratac Sci*, 34(2): 283-292. [李霞霞, 张钦弟, 朱珣之, 2017. 近十年入侵植物紫茎泽兰研究进展 [J]. *草业科学*, 34(2): 283-292.]

- LI WJ, LUO KY, WU D, et al., 2017. Response of native plant species *Sophora davidii* to allelopathy of *Eupatorium adenophorum* [J]. *Acta Ecol Sin*, 37(16): 5361–5367. [李苇洁, 罗开源, 吴迪, 等, 2017. 乡土植物白刺花对紫茎泽兰化感作用的响应 [J]. *生态学报*, 37(16): 5361–5367.]
- NAKANISHI H, NOZUE H, SUZUKIK, et al., 2005. Characterization of the *Arabidopsis thaliana* mutant *pcb2* which accumulates divinyl chlorophylls [J]. *Plant Cell Physiol*, 46(3): 467–473.
- NIU H, LIU W, WAN F, et al., 2007. An invasive aster (*Ageratina adenophora*) invades and dominates forest understories in China: Altered soil microbial communities facilitate the invader and inhibit natives [J]. *Plant Soil*, 294(1–2): 73–85.
- POLITYCKA B. 1997. Free and glucosylated phenolics, phenol β -glucosyltransferase activity and membrane permeability in cucumber roots affected by derivatives of cinnamic and benzoic acids [J]. *Acta Physiol Plant*, 19(3): 311–317.
- QIANG S, 1998. The history and status of the study on crofton weed (*Eupatorium adenophorum*) a worst worldwide weed [J]. *J Wuhan Bot Res*, 6(4): 366–372. [强胜, 1998. 世界性恶性杂草—紫茎泽兰研究的历史及现状 [J]. *植物科学学报*, 6(4): 366–372.]
- SUN YG, LIU JM, MENG J, et al., 2010. Allelopathic effect of *Eupatorium adenophorum* on seed germination of six local plants in Guizhou [J]. *Guizhou Agric Sci*, 38(3): 162–165. [孙运刚, 刘济明, 蒙剑, 等, 2010. 紫茎泽兰化感作用对 6 种贵州本地植物种子萌发的影响 [J]. *贵州农业科学*, 38(3): 162–165.]
- WANG QG, SUN YG, LIU JM, et al., 2010. Evaluation on the allelopathic effects of *Camellia oleifera*, *Castanea mollissima* and *Broussonetia papyifera* on *Eupatorium adenophorum* [J]. *Guizhou For Sci Technol*, 38(4): 17–21. [汪贵庆, 孙运刚, 刘济明, 等, 2010. 油茶、板栗、构树的化感作用对紫茎泽兰种子萌发的影响和综合评价 [J]. *贵州林业科技*, 38(4): 17–21.]
- WANG RP, ZHANG FT, GAO JX, et al., 2009. An overview of chlorophyll biosynthesis in higher plants. [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 29(3): 629–636. [王平荣, 张帆涛, 高家旭, 等, 2009. 高等植物叶绿素生物合成的研究进展 [J]. *西北植物学报*, 29(3): 629–636.]
- XIAO ZQ, ZHOU GH, QUAN WT, 2009. Distributive pattern of malignant invasive species, *Eupatorium adenophorum* in Yunnan [J]. *J Nat Disasters*, 18(5): 82–87. [肖正清, 周冠华, 权文婷, 2009. 恶性外来入侵植物紫茎泽兰在云南的分布格局 [J]. *自然灾害学报*, 18(5): 82–87.]
- YAN QX, YANG J, LI HM, 2006. Advances in the studies on the chemical components and bioactivity of *Eupatorium adenophorum* Spreng as a intruding species [J]. *J Beijing Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 42(1): 70–73. [闫乾胜, 杨婕, 李华民, 等, 2006. 入侵物种紫茎泽兰化学成分及生物活性研究进展 [J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 42(1): 70–73.]
- YU XJ, YU D, MA KP, 2004. Relationships between allelopathy and invasiveness by *Eupatorium adenophorum* at different sites [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 28(6): 773–780. [于兴军, 于丹, 马克平, 2004. 不同生境条件下紫茎泽兰化感作用的变化与入侵力关系的研究 [J]. *植物生态学报*, 28(6): 773–780.]
- ZHANG H, LI J, YOO JH, et al., 2006. Rice Chlorina-1 and Chlorina-9 encode ChlD and ChlI subunits of Mg-chelatase, a key enzyme for chlorophyll synthesis and chloroplast development [J]. *Plant Mol Biol*, 62(3): 325.
- ZHANG HB, 2008. Optical property of chlorophyll and its application [D]. Ji'nan: Shangdong Normal University. [张怀斌, 2008. 叶绿素的光学性质及其应用 [D]. 济南: 山东师范大学.]
- ZHANG XW, LIU YX, LIU WX, et al., 2007. Allelochemicals and its releasing modes [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 23(7): 295–297. [张学文, 刘亦学, 刘万学, 等, 2007. 植物化感物质及其释放途径 [J]. *中国农学通报*, 23(7): 295–297.]
- ZHENG L, FENG YL, 2005. Allelopathic effects of *Eupatorium adenophorum* Spreng on seed germination and seedling growth in ten herbaceous species [J]. *Acta Ecol Sin*, 25(10): 2782–2787. [郑丽, 冯玉龙, 2005. 紫茎泽兰叶片化感作用对 10 种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. *生态学报*, 25(10): 2782–2787.]