

除草剂对飞机草化感作用的影响研究*

李光义^{1,2}, 邓 晓¹, 侯宪文¹, 张桂花^{1,2}, 李勤奋¹

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所//农业部热带农林有害生物入侵监测与控制重点开放实验室//海南省热带农业有害生物检测监控重点实验室, 海南 儋州 571737;
2. 海南大学环境与植物保护学院, 海南 儋州 571737)

摘 要: 运用野外实验和室内生物测定方法, 以触杀型除草剂百草枯、传导型除草剂草甘膦和选择型除草剂稳杀得的不同质量浓度 (1/4 倍、1/2 倍、1 倍推荐质量浓度) 的药液处理飞机草, 对处于胁迫下的飞机草进行动态取样, 以小白菜为受体检测飞机草在不同类型除草剂胁迫下的化感作用及变化规律。研究结果表明: ①草甘膦与百草枯会引起飞机草化感作用增强, 施药浓度越高化感作用越强, 稳杀得在中低施药浓度下会引起飞机草化感作用减弱, 在高施药浓度下会引起较小幅度的波动; ②3 种除草剂引起飞机草化感作用变化的模式不同, 百草枯作用最快, 在施药第 10 天飞机草化感作用达到最强, 施草甘膦在第 30 天化感作用最强, 施高浓度的稳杀得在第 20 天飞机草化感作用最强; ③3 种农药的作用强度不同, 同等剂量下草甘膦和百草枯接近, 稳杀得较弱, 只有在 1 倍推荐质量浓度下才会引起飞机草化感作用强度增强; ④施药飞机草的化感作用强度经过大的波动后, 到第 40 天抑制作用都有所减弱, 施药浓度越低越容易恢复到对照水平。

关键词: 除草剂; 飞机草; 化感作用

中图分类号: S482.4; Q948.12⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2009) 03-0093-09

Effect of Herbicide on Allelopathy of *Chromolaena odoratum*

LI Guangyi^{1,2}, DENG Xiao¹, HOU Xianwen¹, ZHANG Guihua^{1,2}, LI Qinfen^{1*}

(1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy Sciences of Tropical Agriculture//Key Laboratory of Monitoring and Control of Tropical Agricultural and Forest Invasive Alien Pests, Ministry of Agriculture//Key Laboratory of Pests Detection and Control for Tropical Agriculture of Hainan Province, Danzhou, 571737, China; 2. Environment and Plant Protection College, Hainan University, Danzhou 571737, China)

Abstract: The production, secretion of allelochemicals and the strength of allelopathic effect of plants largely depend on their habitat besides their inscape. *Chromolaena odoratum*, which was proved to have allelopathic effect, has spread throughout the agroecosystem and wildland in south China. Herbicide, as a kind of severe stress factor for most weeds, was widely used for the prevention of *C. odoratum*. Whether herbicide would affect secretion of allelochemicals and change the allelopathy eventually? The present research was projected to answer the question. In studies, three different types of herbicides, Paraquat, Glyphosate and Fluazifop-butyl, were selected and sprayed to the *C. odoratum* populations in field in three different concentrations (half of recommend concentration, recommend concentration and double recommend concentration). The *C. odoratum* was sampled every 10 days after spray. Cabbage seeds were used to test the allelopathy trend. The results demonstrated: ① Glyphosate and Paraquat enhanced the allelopathy of *C. odoratum*, and the allelopathical potential improved with the herbicide concentra-

* 收稿日期: 2008-04-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30860066); 海南省自然科学基金资助项目 (30612); 科技部科研院所社会公益研究专项资助项目 (2004DIA4J012); 中国热带农业科学院博士启动基金资助项目

作者简介: 李光义 (1983 年生), 男, 硕士研究生; 通讯作者: 李勤奋; E-mail: qinfenli@sina.com

tion increasing. Fluzifop-butyl, however, increased the allelopathy slightly only under high concentration, and recommend and lower concentration weakened the effect. ② Different type of herbicide resulted in different peak allelopathy time: the peak effect of Paraquat appeared on the 10th day, that of Glyphosate on the 30th day and Fluzifop-butyl on the 20th. ③ For the intensity of three herbicides on allelopathy, Paraquat and Glyphosate were stronger than Fluzifop-butyl, and no significant difference was found between Paraquat and Glyphosate. ④ The phenomenon following fluctuation of allelopathy was the inhibitive effect decreased after 40 days, especially, the samples under lower concentration were easier to recover to control level. This result suggested that herbicide could strengthen the allelopathy of *C. odoratum*. Whether long-term appliance of herbicide will induce the allelopathy varying in gene expression level need further research.

Key words: herbicide; *Chromolaena odoratum*; allelopathy

外来杂草的化感作用早已被广泛研究,大多数能够入侵的外来杂草都被证明有化感作用^[1-4]。近来,许多研究证实^[5-7],入侵杂草的化感作用在其入侵过程中扮演着重要角色。植物化感物质的产生、释放及其效应强弱除了与植物的内在特性有关外,在很大程度上取决于植物生存的环境^[8]。研究表明^[9-10],植物在环境胁迫条件下,其次生代谢物会增加,化感作用会增强。如光照^[11]、温度^[12]、湿度^[13]、病虫害^[14]、营养等^[15-16]。化学除草剂在目前的农田杂草及外来杂草管理中广泛应用,作为一种环境胁迫因子它是否也会对植物的化感作用产生影响,目前还未见研究报道。

飞机草 *Chromolaena odoratum*, 又名香泽兰,为菊科多年生草本植物,原产中、南美洲,现已广布于中国海南、云南南部和西南部地区及越南、柬埔寨、泰国、菲律宾、马来西亚、印度、澳大利亚、南非、墨西哥和巴拿马等地,已成为一种世界性的恶性杂草^[17]。在新的栖息地,飞机草不仅具有广泛的适应性和抗逆能力,其竞争力也很强,一旦侵入草地、林地和荒地很快形成单种优势群落,给农、林、牧业及生态环境造成极大威胁。已有的研究表明^[18-19],飞机草有较强的化感作用,而喷洒化学除草剂是目前主要的防治途径。防治飞机草而大量使用的除草剂是否会引起其化感作用的改变还未见研究。本研究拟通过模拟试验来探讨化学防治对飞机草化感作用的影响,进而探讨这种防治途径是否会对其实入侵潜力产生影响。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供体植物为飞机草,采自海南大学儋州校区农学院苗圃旁橡胶林;受体植物为小白菜种子,购于儋州市种子分公司;供试除草剂为触杀型除草剂百草

枯、传导型除草剂草甘膦和选择型除草剂稳杀得,购于儋州市农药专卖店。

1.2 实验仪器

电子天平(粤制00000348号)、富华恒温振荡器(THZ-82A)、津腾隔膜真空泵(GM-0.33H)、光照培养箱(PYX-300G-A)、01J2003-04型立式压力蒸汽灭菌锅、抽滤瓶、布氏漏斗、培养皿。

1.3 研究方法

1.3.1 野外实验 研究样地于2006年12月25日设于海南大学儋州校区农学院苗圃旁橡胶林,每种除草剂设3个施药梯度,每一梯度3个重复,样方大小为1 m×1 m,样方随机排列,另外设3个空白对照样方。每个处理样方喷洒1 000 mL药液,除草剂的稀释浓度分别是1/4倍推荐质量浓度、1/2倍推荐质量浓度、1倍推荐质量浓度,具体稀释方法为:①百草枯:分别取0.031 25 mL、0.062 5 mL(推荐质量浓度)、0.125 mL药剂加自来水分别配制成1 000 mL溶液;②草甘膦:分别取0.67 g、1.34 g(推荐质量浓度)、2.68 g药品分别配制成1 000 mL溶液;③稳杀得:分别取0.67 mL、1.34 mL(推荐质量浓度)、2.68 mL药剂配制成1 000 mL溶液;0为对照(自来水喷洒)。于施药后第1、10、20、30、40天对飞机草地上部分采样,供生测用。

1.3.2 浸提液的制备 样品用自来水洗净、自然风干,将其剪至长约2 cm小段,加入蒸馏水,使其质量浓度为0.5 g/mL,在常温、转速为120 r/s下振荡提取36 h,抽滤。将水提液配制成质量浓度为0.5、0.25、0.125、0.062 5 g/mL的溶液,存于4℃冰箱待用。

1.3.3 化感作用测定 于直径为12 cm的培养皿中铺两层滤纸作为培养床,湿热灭菌,每皿分别加

入不同浓度的水提液 10 mL, 然后每皿均匀地放入 30 粒经 $w = 0.5\%$ 次氯酸钠消毒过的成熟饱满小白菜种子, 装于塑料保鲜袋, 密封, 于培养箱中培养 [$(28 \pm 1) ^\circ\text{C}$)、日光灯照射 12 h/d], 每个处理的每个浓度 3 次重复。7 d 后计算种子萌发率。

1.3.4 数据分析方法 试验结果用 SAS 软件进行 Duncan 新复全距测验^[20-21]。

2 结果与分析

2.1 不同种类除草剂对飞机草化感作用的影响

2.1.1 百草枯对飞机草化感作用的影响 百草枯对飞机草化感作用强度的影响在中高质量浓度提取液下体现得很明显 (见表 1、图 1)。在质量浓度

为 0.25 g/mL 提取液下可以看出, 百草枯对飞机草化感抑制作用强度的影响随施药质量浓度的增加而增强, 在 1/4 倍推荐质量浓度下, 百草枯在施药初期和施药后期均使飞机草的化感作用减弱, 在 1/2 倍推荐质量浓度和 1 倍推荐质量浓度下均使飞机草化感作用显著增强, 尤其在 1 倍推荐质量浓度下小白菜最高发芽率不到 50%, 最低发芽率不到 15%。在质量浓度为 0.5 g/mL 提取液下, 在施百草枯后 10 d 内, 施药样品的化感抑制作用显著强于对照样品的化感抑制作用, 之后施药样品与对照样品均近乎完全抑制了小白菜的萌发, 这可能与飞机草的生长阶段有关。

表 1 百草枯对飞机草化感作用的影响¹⁾

Table 1 Paraquat effect on allelopathy of *Chromolaena odoratum*

采样时间/d	V(百枯草) ²⁾ /mL	各质量浓度提取液下小白菜发芽率/%			
		0.062 5 g · mL ⁻¹	0.125 g · mL ⁻¹	0.25 g · mL ⁻¹	0.5 g · mL ⁻¹
1	0	88.9a	87.8a	53.3ab	22.2a
	0.031 25	87.8a	82.2a	64.4a	7.8b
	0.062 5	86.7a	80.0a	41.1b	4.4b
	0.125	85.6a	83.3a	35.6b	0.0b
10	0	83.3a	80.0a	63.3a	12.2a
	0.031 25	87.8a	82.2a	38.9ab	6.7ab
	0.062 5	84.4a	81.1a	28.9b	1.1b
	0.125	88.9a	86.7a	14.4b	0.0b
20	0	80.0b	84.4a	67.8a	8.9a
	0.031 25	88.9a	81.1a	62.2a	5.6a
	0.062 5	94.4a	84.4a	43.3b	0.0a
	0.125	90.0a	81.1a	23.3c	0.0a
30	0	90.0a	86.7a	55.6a	2.2a
	0.031 25	85.6a	74.4a	66.7a	2.2a
	0.062 5	83.3a	74.4a	41.1b	0.0a
	0.125	81.1a	80.0a	22.2c	0.0a
40	0	83.3a	80.0a	58.9bc	0.0a
	0.031 25	86.7a	80.0a	75.6a	0.0a
	0.062 5	95.6a	83.3a	63.3ab	0.0a
	0.125	90.0a	86.7a	45.6c	0.0a

1) 表中同一采样时间同一质量浓度提取液数字后面字母相同者, 经 Duncan LSR 法检验 ($P=0.05$) 差异不显著; 2) 百枯草喷药的质量浓度为 1 g/L

另外, 从图 1 中也可以明显看出, 百草枯对飞机草化感作用的影响时间大概在 40 d 内, 最大作用时间大约在施药后的第 10 天。

2.1.2 草甘膦对飞机草化感作用的影响 草甘膦对飞机草的化感作用影响很大 (见表 2, 图 2), 同样是在质量浓度为 0.25 g/mL 提取液下体现得最明显, 在质量浓度为 0.125 g/mL 提取液下 1 倍推荐质量浓度的作用也明显体现出来。草甘膦对飞机

草化感作用的影响也随施药质量浓度的增加而增强, 较强作用的持续时间也在 40 d 之内, 但它的最大作用时间在第 30 天。

2.1.3 稳杀得对飞机草化感作用的影响 稳杀得对飞机草化感作用的影响不是很明显 (见表 3、图 3), 只有在 1/2 倍推荐施药质量浓度与 1 倍推荐施药质量浓度下, 在较高的质量浓度 (0.25 g/mL 和 0.5 g/mL) 提取液下才显示出增强的抑制作用, 而

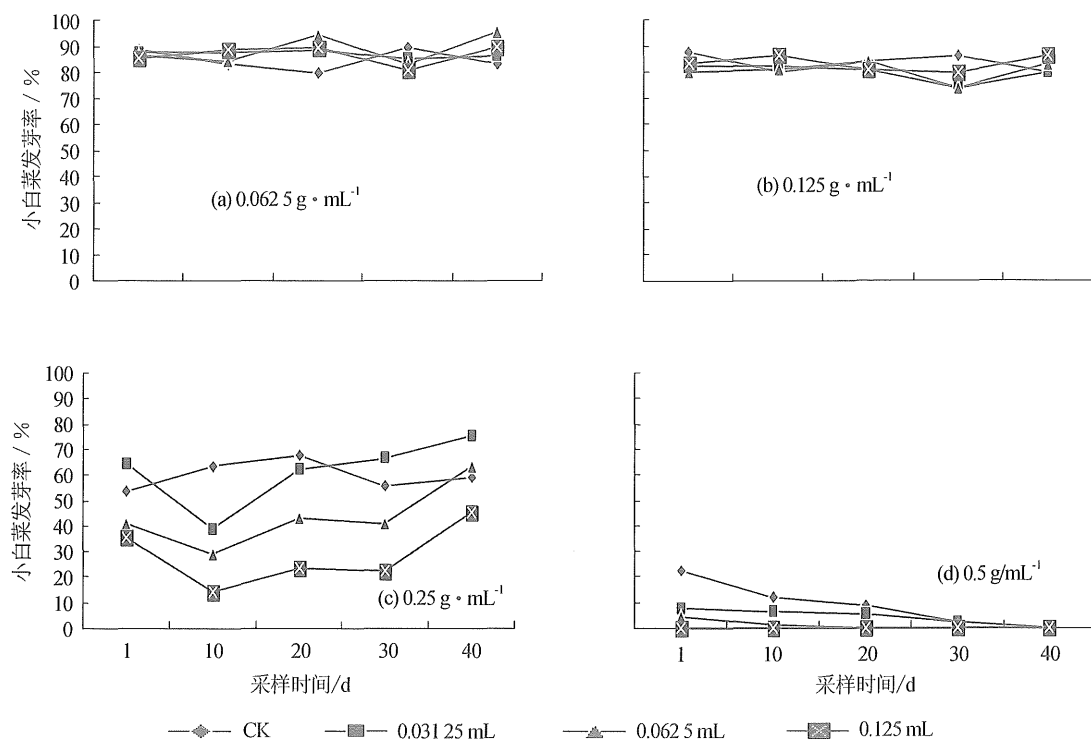


图 1 不同质量浓度提取液下百草枯对飞机草化感作用的动态影响

Fig. 1 Different concentration effect of Paraquat on dynamic allelopathy of *C. odoratum*

在低施药浓度下似乎有减弱飞机草化感作用的趋势。

2.2 不同作用类型除草剂对飞机草化感作用的影响

2.2.1 1/4 倍推荐质量浓度对飞机草化感作用的影响

由图 4 可见, 在质量浓度为 0.062 5 g/mL、0.125 g/mL 提取液下, 3 种除草剂的 1/4 倍推荐质量浓度对飞机草的化感作用强度动态变化的影响差别并不大, 各施药飞机草的化感作用强度变化与对照飞机草相似, 都没有随采样时间的推移而大幅度波动。在质量浓度为 0.25 g/mL 提取液下, 3 种除草剂对飞机草化感作用强度的影响明显地表现出来: 草甘膦对飞机草化感作用强度影响最大, 从施药后第 10 天开始, 一直持续到第 40 天; 百草枯在此处理浓度下只在施药后第 10 天有较大的影响, 之后 10 d 逐渐恢复到对照水平, 而在本试验采样结束时的第 40 天, 百草枯处理的飞机草化感作用比对照有所减弱; 稳杀得在该施药质量浓度下的全部采样过程中均减弱了飞机草的化感作用。在质量浓度为 0.5 g/mL 提取液下, 3 种除草剂对飞机草化感作用强度影响的趋势相似, 各处理的化感抑制作用随着采样时间的推移表现得越来越强, 最后生测受体的发芽率均趋近于 0。

2.2.2 1/2 倍推荐质量浓度对飞机草化感作用的影响 由图 5 可见, 草甘膦在 1/2 倍推荐质量浓度下对飞机草化感作用的影响在质量浓度为 0.125 g/mL 提取液下就开始体现出来, 说明施药浓度的增加对飞机草化感作用的影响也增大。在质量浓度为 0.25 g/mL 提取液下 3 种除草剂的作用规律体现得最明显: 在此施药浓度下草甘膦从第 20 天开始刺激飞机草, 化感作用显著增强, 持续到 30 d 后逐渐减弱, 但在采样结束时该处理下的飞机草化感作用仍强于对照; 百草枯与稳杀得在此浓度下体现了与 1/4 倍推荐质量浓度相似的作用规律, 但经百草枯处理的飞机草化感作用始终强于对照, 在采样结束时不能恢复到对照水平。

2.2.3 1 倍推荐质量浓度对飞机草化感作用的影响

3 种除草剂的 1 倍推荐质量浓度对飞机草化感作用的影响均强于 1/2 倍推荐质量浓度以下的施药浓度。从图 6 可以看出, 在此施药质量浓度下百草枯对飞机草化感作用影响的持续时间延长, 向对照回复的速度减慢; 草甘膦体现了与中低施药质量浓度一致的作用规律; 稳杀得在此质量浓度下对飞机草几乎没有作用。

表 2 草甘膦对飞机草化感作用的影响¹⁾
Table 2 Glyphosate effect on allelopathy of *Chromolaena odoratum*

采样时间/d	<i>m</i> (草甘膦) ²⁾ /g	各质量浓度提取液下小白菜发芽率/%			
		0.062 5 g · mL ⁻¹	0.125 g · mL ⁻¹	0.25 g · mL ⁻¹	0.5 g · mL ⁻¹
1	0	88.9a	87.8a	53.3a	22.2a
	0.67	91.1a	87.8a	50.0a	5.6b
	1.34	87.8a	87.8a	46.7a	4.4b
	2.68	81.1a	86.7a	40.0a	0.0b
10	0	83.3a	80.0ab	63.3a	12.2a
	0.67	87.8a	82.2ab	60.0a	3.3b
	1.34	87.8a	85.6a	55.6a	0.0b
	2.68	87.8a	65.6b	51.1a	1.1b
20	0	80.0a	84.4a	67.8a	8.9a
	0.67	84.4a	75.6a	42.2ab	0.0a
	1.34	81.1a	83.3a	22.2b	0.0a
	2.68	84.4a	74.4a	26.7b	0.0a
30	0	90.0a	86.7a	55.6a	2.2a
	0.67	90.0a	72.2a	32.2b	0.0a
	1.34	85.6a	61.1bc	24.4bc	5.6a
	2.68	83.3a	50.0c	14.4c	0.0a
40	0	83.3a	80.0b	58.9a	0.0a
	0.67	91.1a	93.3a	42.2b	2.2a
	1.34	78.9a	85.6ab	47.8b	3.3a
	2.68	80.0a	81.1ab	48.9ab	0.0a

1) 表中同一采样时间同一质量浓度提取液数字后面字母相同者，经 Duncan LSR 法检验 ($P=0.05$) 差异不显著；2) 草甘膦喷药的质量浓度为 1 g/L

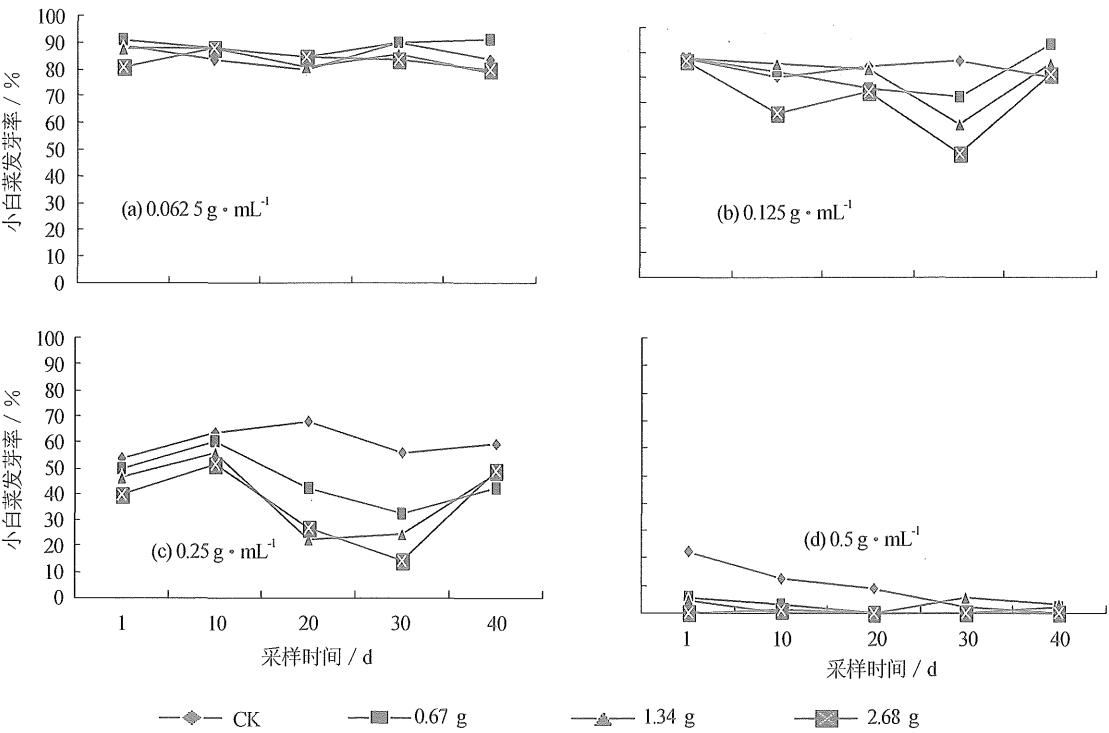


图 2 不同质量浓度提取液下草甘膦对飞机草化感作用的动态影响
Fig. 2 Different concentration effect of Glyphosate on dynamic allelopathy of *C. odoratum*

表 3 稳杀得对飞机草化感作用的影响¹⁾Table 3 Fluazifop-butyl effect on allelopathy of *Chromolaena odoratum*

采样时间/d	V(稳杀得) ²⁾ /mL	各质量浓度提取液下小白菜发芽率/%			
		0.0625 g · mL ⁻¹	0.125 g · mL ⁻¹	0.25 g · mL ⁻¹	0.5 g · mL ⁻¹
1	0	88.9a	87.8a	53.3c	22.2ab
	0.67	91.1a	86.7a	80.0a	33.3a
	1.34	90.0a	87.8a	87.8a	31.1a
	2.68	94.4a	87.8a	66.7b	10.0b
10	0	83.3ab	80.0a	63.3b	12.2bc
	0.67	94.4a	91.1a	85.6a	35.6a
	1.34	90.0ab	86.7a	75.6a	20.0b
	2.68	80.0b	88.9a	77.8a	3.3c
20	0	80.0c	84.4a	67.8b	8.9a
	0.67	98.9a	88.9a	84.4a	16.7a
	1.34	92.2ab	91.1a	83.3a	11.1a
	2.68	88.9b	83.3a	52.3c	3.3a
30	0	90.0a	86.7a	55.6b	2.2a
	0.67	84.4a	80.0a	76.7a	11.1a
	1.34	88.9a	88.9a	70.0a	11.1a
	2.68	87.8a	85.6a	55.6b	5.5a
30	0	83.3a	80.0a	58.9a	0.0a
	0.67	83.3a	80.0a	70.0a	2.2a
	1.34	80.0a	86.7a	66.7a	3.3a
	2.68	82.2a	83.3a	65.6a	4.4a

1) 表中同一采样时间同一质量浓度提取液数字后面字母相同者, 经 Duncan LSR 法检验 ($P=0.05$) 差异不显著; 2) 稳杀得喷药的质量浓度为 1 g/L

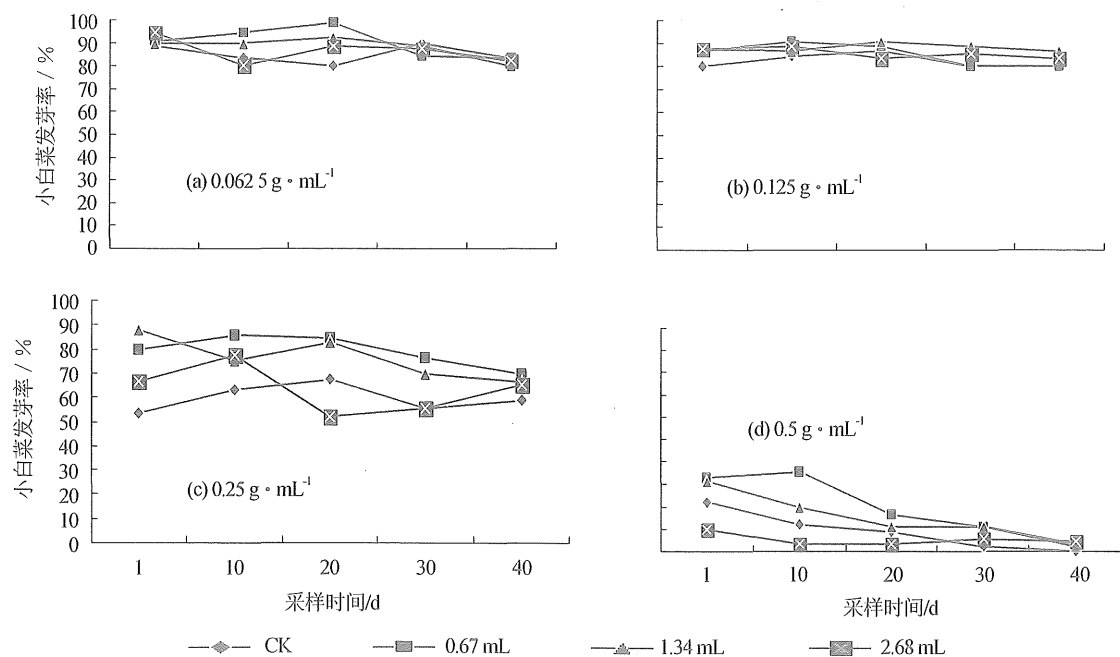


图 3 不同质量浓度提取液下稳杀得对飞机草化感作用的动态影响

Fig. 3 Different concentration effect of Fluazifop-butyl on dynamic allelopathy of *C. odoratum*

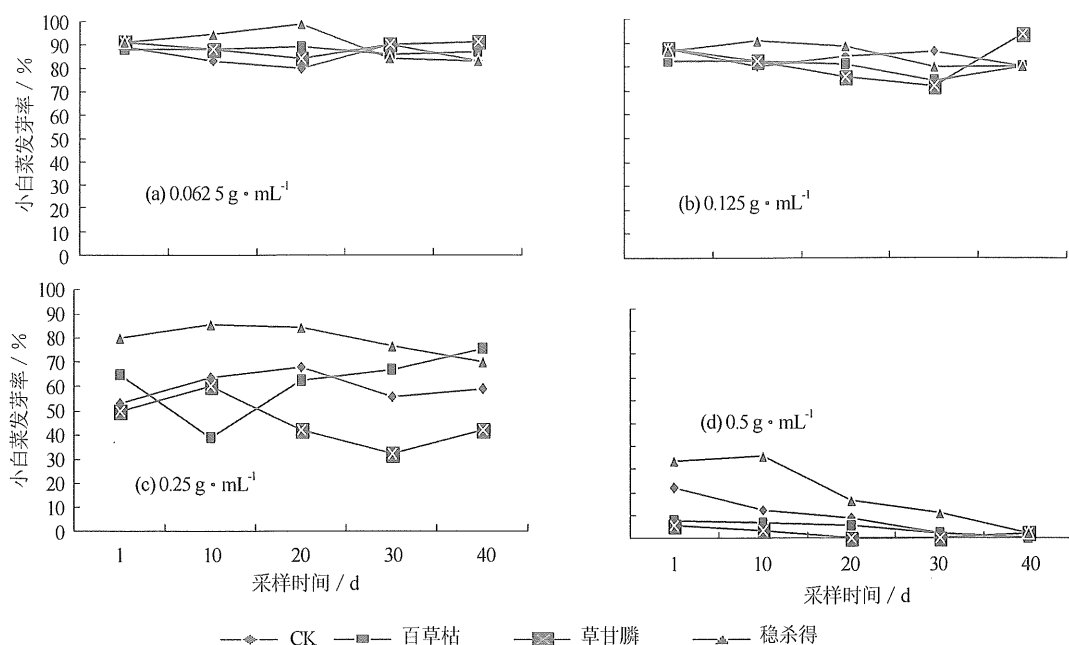


图4 不同种类除草剂 1/4 倍推荐质量浓度对飞机草化感作用的影响

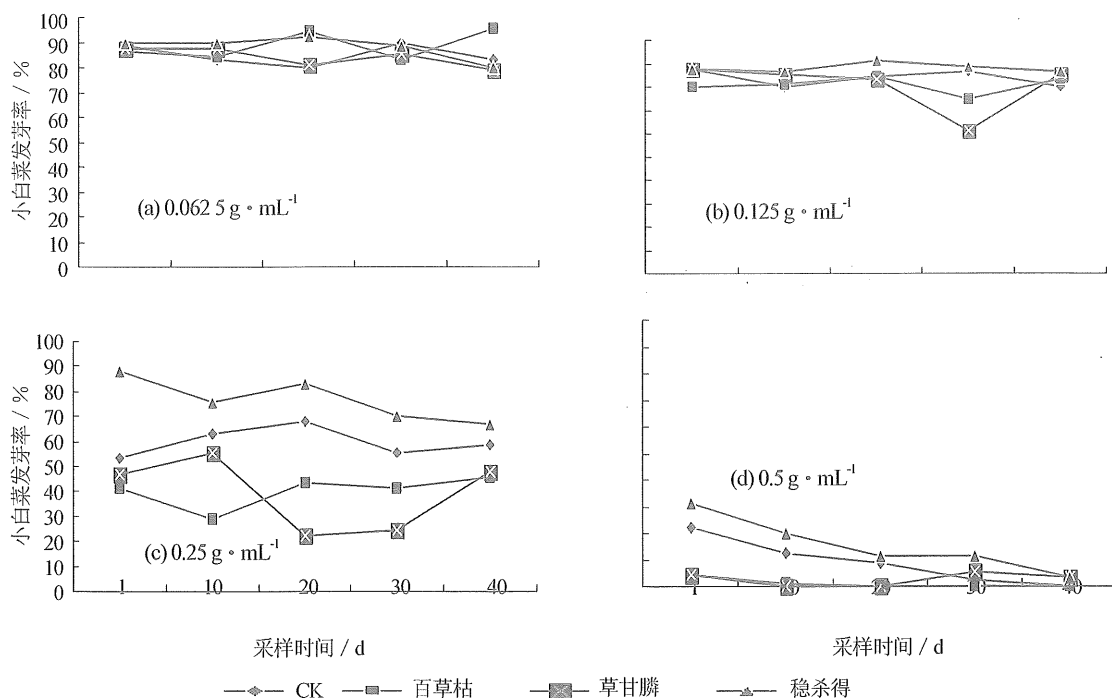
Fig. 4 Effect on allelopathy of *C. odoratum* from different types of herbicide (one fourths of recommend concentration)

图5 不同种类除草剂 1/2 倍推荐质量浓度对飞机草化感作用的影响

Fig. 5 Effect on allelopathy of *C. odoratum* from different types of herbicide (half of recommend concentration)

3 讨论与结论

从以上分析结果可知, 施用除草剂会引起飞机草的化感作用规律及强度发生很大变化, 尤其高浓度的除草剂会刺激飞机草在较短时间内产生大量的化感物质。这一结果验证了逆境胁迫会引起植物次

生代谢物增加^[9-10]的结论。但除草剂作为一种直接作用的强胁迫因子, 是否会产生与其它胁迫条件下一样的作用规律, 以及是否会产生新的化感物质还需进一步研究。

在本研究种, 草甘膦与百草枯对飞机草化感作用影响的规律均是先刺激其产生大量的化感物质,

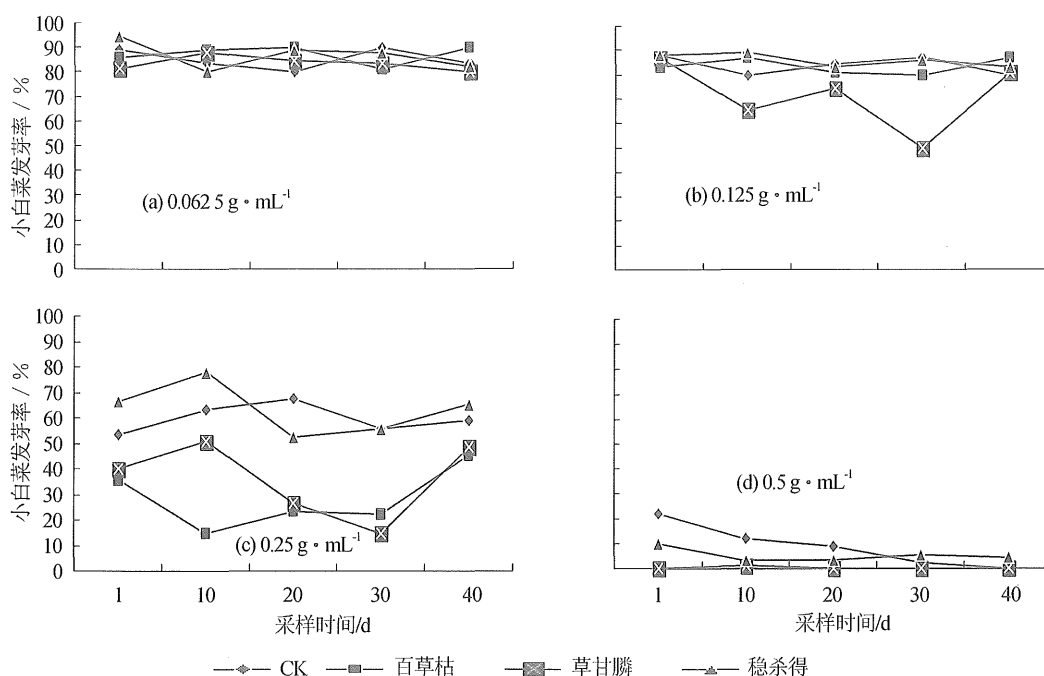


图 6 不同种类除草剂 1 倍推荐质量浓度对飞机草化感作用的影响

Fig. 6 Effect on allelopathy of *C. odoratum* from different types of herbicide (half of recommend concentration)

使其抑制作用在短期内急剧增强, 到最大作用点后开始恢复, 然后维持到一个相对恒定的水平。这可能主要是因为除草剂经过一定时间后被降解, 其在飞机草体内有效的残留量减少, 所起的作用也逐渐减弱, 植株逐渐恢复到原来的代谢水平。当然也不排除植株经过一定时间的抗性锻炼后, 植株本身的适应性增强的原因。不同农药种类引起化感强度及变化过程不同, 总的看来, 百草枯与草甘膦对飞机草化感作用的影响较大, 稳杀得的作用较弱, 这可能与除草剂的作用机制有很大的关系。百草枯为触杀型除草剂, 一旦触及植物就能很快起效, 因此在施药后的短时间之内飞机草就表现出强的化感作用; 草甘膦为传导型除草剂, 起效速度比较慢, 强抑制作用表现时间落后于百草枯; 稳杀得为选择型除草剂, 主要作用于禾本科杂草, 对飞机草这类阔叶型杂草作用较弱, 因而对其化感作用的影响也相对较小。

从飞机草的化感作用强度动态变化图可见, 对照飞机草的化感作用强度随采样时间的推移也有大幅度的波动, 在第 40 天的质量浓度为 0.5 g/mL 提取液下完全抑制了小白菜的萌发, 这可能与飞机草的生长阶段有关。有研究指出^[22-25], 植物的化感强弱与植物的生长阶段有很大的关系。植物组织的成熟、完善影响着化感物质的浓度和强度^[26]。大豆枝体中化感物质的量和浓度在不同的分解阶段和不同的生长阶段也是不同的^[27]。本实验进行时,

供体飞机草正处于营养生长阶段, 化感作用强度很可能正处于从弱到强的阶段, 因此高浓度提取液下小白菜完全不能萌发。

参考文献:

- [1] KONG C H, HU F, XU T, et al. Allelopathic potential and the chemical constituents of the volatile oil from *Ageratum conyzoides* [J]. *J Chem Ecol*, 1999, 25 (10): 2347 - 2356.
- [2] SONG Q S, FU Y, TANG J X, et al. Allelopathic potential of *Eupatorium adenophorum* [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24 (3): 362 - 365.
- [3] 张茂新, 凌冰, 孔垂华, 等. 薇甘菊挥发油的化感潜力 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13 (10): 1300 - 1302.
ZHANG Maoxin, LING Bing, KONG Chuihua, et al. Allelopathic potential of volatile oil from *Mikania micrantha* [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2002, 13 (10): 1300 - 1302.
- [4] 凌冰, 张茂新, 孔垂华, 等. 飞机草挥发油的化学组成及其对植物、真菌和昆虫生长的影响 [J]. *应用生态学报*, 2003, 14 (5): 744 - 746.
LING Bing, ZHANG Maoxin, KONG Chuihua, et al. Chemical composition of volatile oil from *Chromolaena odorata* and its effect on plant, fungi and insect growth [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2003, 14 (5): 744 - 746.
- [5] CALLAWAY P M, ASCHEHONG E T. Invasive plants versus their new and old neighbors: A mechanism for exotic invasion [J]. *Science*, 2000, 290: 521 - 523.
- [6] RIDENOW W M, CALLAWAY R M. The relative importance of allelopathy interference; the effects of an inva-

- sive weed on a native bunchgrass [J]. *Oecologia*, 2001, 126: 444 – 450.
- [7] GOSLEE S C, PETERS D P C, BECK K G. Modeling invasive weeds in grasslands; The role of allelopathy in *Acroptilon repens* invasion [J]. *Ecol Model*, 2001, 139: 31 – 45.
- [8] 黄高宝, 柴强, 黄鹏. 植物化感作用影响因素的再认识 [J]. *草业学报*, 2005, 14(2): 16 – 22.
HUANG Gaobao, CAI Qiang, HUANG Peng. Review on influence factors of plant allelopathy [J]. *Acta Paratacul-tural Science*, 2005, 14(2): 16 – 22.
- [9] 王进闯, 潘开文, 李富华. 分子水平和土壤系统化感作用研究现状与展望 [J]. *生态学杂志*, 2004, 23(6): 125 – 130.
WANG Jinchuang, PAN Kaiwen, LI Fuhua. Status and prospects of allelopathy in molecular level and soil ecosystem [J]. *Chin J Ecol*, 2004, 23(6): 125 – 130.
- [10] 胡飞, 孔垂华. 胜红蓼化感作用的研究 I. 水溶物的化感作用及其化感物质的分离鉴定 [J]. *应用生态学报*, 1997, 8(3): 304 – 308.
HU Fei, KONG Chuihua. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* I. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* aqueous extract and isolation and identification of its allelochemicals [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1997, 8(3): 304 – 308.
- [11] 魏杰, 田永辉, 梁远发, 等. 环境因子对茶树产生化感物质的影响 [J]. *中国农学通报*, 2003, 19(2): 53 – 56.
WEI Jie, TIAN Yonghui, LIAN Yuanfa, et al. Effect of produce autotoxic-chemical of tea tree on environment factor [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2003, 19(2): 53 – 56.
- [12] PRAMANIK M H R, NAGAI M, ASAO T, et al. Effects of temperature and photoperiod on phytotoxic root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) in hydroponic culture [J]. *J Chem Ecol*, 2000, 26: 1953 – 1967.
- [13] 胡飞, 孔垂华. 胜红蓼化感作用研究 VI. 气象条件对胜红蓼化感作用的影响 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(1): 76 – 80.
HU Fei, KONG Chuihua. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* VI. Effects of meteorological conditions on allelopathy of *Ageratum conyzoides* [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2002, 13(1): 76 – 80.
- [14] 孔垂华, 徐涛, 胡飞, 等. 环境胁迫下植物的化感作用及其诱导机制 [J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 849 – 854.
KONG Chuihua, XU Tao, HU Fei, et al. Allelopathy under environmental stress and its induced mechanism [J]. *Acta Ecol Sci.*, 2000, 20(5): 849 – 854.
- [15] 李明, 马永清. 大量元素胁迫下南瓜化感作用研究 [J]. *西北植物学报*, 2005, 259(4): 745 – 751.
LI Ming, MA Yongqing. Cucurbita moschata allelopathy under macroelement stress [J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2005, 259(4): 745 – 751.
- [16] 熊君, 林文雄, 周军建, 等. 不同供氮条件下水稻的化感抑草作用与资源竞争分析 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(5): 885 – 889.
XING Jun, LIN Wenxiong, ZHOU Junjian, et al. Allelopathy and resources competition of rice under different nitrogen supplies [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, 16(5): 885 – 889.
- [17] 丁智慧, 张学镭, 刘吉开, 等. 飞机草中的化学成分 [J]. *天然产物研究与开发*, 2001, 13(5): 22 – 24.
DING Zhihui, ZHANG Xuemei, LIU Jikai, et al. Chemical composition of *Chromolaena odorata* [J]. *Natural product research and development*, 2001, 13(5): 22 – 24.
- [18] SAHID I B, SUGAU J B. Allelopathic effects of lantana (*Lantana camara*) and Siamweed (*Chromolaena odorata*) on selected crops [J]. *Weed Sci.*, 1993, 41: 303 – 308.
- [19] 何衍彪, 张茂新, 何庭玉, 等. 飞机草化感作用的初步研究 [J]. *华南农业大学学报: 自然科学版*, 2002, 23(3): 60 – 62.
HE Yanbiao, ZHANG Maoxin, HE Tingyu, et al. Studies on the allelopathic effect of *Chromolaena odorata* [J]. *Journal of Shout China Agricultural University*, 2002, 23(3): 60 – 62.
- [20] 谷文祥, 何庭玉, 施月红. 苦槛蓝化感作用的初步研究 [J]. *热带作物学报*, 1998, 19(增刊): 79 – 82.
GU Wenxiang, HE Tingyu, SHI Yuehong. Preliminary research on allelopathy of *Myoporum* [J]. *Journal of tropical crops*, 1998, 19: 79 – 82.
- [21] 刘伟, 侯任昭, 叶蕙, 等. 五爪金龙的化感作用 [J]. *华南农业大学学报*, 1997, 18(2): 119 – 120, 122.
LIU Wei, HOU Renzhao, YE Hui, et al. Study on the allilapothy of *Ipomoea cairia* [J]. *Journal of Shout China Agricultural University*, 1997, 18(2): 119 – 120, 122.
- [22] KOEPPE D E, ROHRBAUGH L M, RICE E L, et al. Tissue age and caffeoylquinic acid concentration in sunflower [J]. *Phytochemistry*, 1970b, 9: 297 – 301.
- [23] HUANG Z Q, LIAO L P, WANG S L. Allelopathy of phenolics from decomposing stump-roots in replant *Chinese fir* woodland [J]. *J Chem Ecol*, 2000, 26: 2211 – 2219.
- [24] 胡飞, 孔垂华. 花生对作物的化感作用 [J]. *华南农业大学学报*, 2002, 23(1): 9 – 12.
HU Fei, KONG Chuihua. Allelopathic potentials of arachis hypogaea on crops [J]. *Journal of Shout China Agricultural University*, 2002, 23(1): 9 – 12.
- [25] SHARMA N K, SAMRA J S, SINGH H P. Effect of leaf litter of poplar on *Phalaris minor* weed [J]. *Allelopathy J*, 2000, 7: 243 – 253.
- [26] PENG S L, WEN J, GUO Q F. Mechanism and active variety of allelochemicals [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(7): 757 – 766.
- [27] 王璞, 赵秀琴. 浸提条件对小麦秸秆中化感物质检测结果的影响 [J]. *植物学通报*, 2001, 18(6): 735 – 738.
WANG Pu, ZHANG Xiuqin. The effect of extracting condition on the analysis result of allelochemicals in wheat straw [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2001, 18(6): 735 – 738.