

模拟昆虫取食对两种入侵植物生长繁殖的影响*

刘杰¹, 闫晓慧¹, 胡世俊²

(1. 西南林业大学 云南省森林灾害预警与控制重点实验室;

2. 西南林业大学 国家林草局西南地区生物多样性保育重点实验室, 昆明 650224)

摘要:【目的】研究入侵植物牛膝菊(*Galinsoga parviflora*)和椴叶鼠尾草(*Salvia tiliifolia*)对昆虫取食的耐受性并探讨它们的入侵机制。【方法】采用模拟昆虫取食试验在开花前将牛膝菊和椴叶鼠尾草的叶片分别去除1/3, 2/3和4/5, 测定株高, 花数, 叶片数, 根、茎、叶和花果的干质量, 比叶面积等指标, 使用单因素方差分析比较其中差异性。【结果】两种植物均具有超补偿生长能力, 在去除4/5的叶片后植株仍能正常生长, 除叶片干质量外其他各部分的生物量均高于不去除叶片的对照组, 与后者的差异具有统计学意义($p < 0.05$)。所有去叶处理的牛膝菊植株在去叶后14 d株高、花数和叶片数就可实现完全补偿。去除4/5叶片处理的椴叶鼠尾草植株在去叶后14 d也能实现株高、花数和叶片数的完全补偿, 但该植物在去除1/3和2/3叶片处理后14 d时未达到完全补偿生长。与其他处理相比, 在去除2/3叶片处理条件下两种植物的株高、叶片数和花数的增长速率均达最大值; 当去叶超过一定限度后, 两种植物的株高、花数和叶片数量的增长率下降。【结论】牛膝菊和椴叶鼠尾草对昆虫取食或机械损伤具有很强的耐受能力, 这有利于两者种群的生存和扩散, 有利于成功入侵。

关键词:模拟昆虫取食; 补偿生长; 繁殖; 牛膝菊; 椴叶鼠尾草; 入侵植物

中图分类号: Q945

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2019)06-0119-06

当前, 生物入侵已对生物多样性与生态系统的稳定性构成了巨大的威胁^[1-3], 并成为了全球性的生态难题^[4-5], 而中国是外来物种入侵非常严重的国家之一^[6]。人们对入侵植物成功入侵机制的认识仍十分缺乏^[7]。目前已有不少假说解释生物入侵现象, 但任何单一假说均很难解释入侵过程^[8], 常常需要多种相互关联的机制才能对之加以解释^[9], 而且外来物种入侵的机制往往是因种而异。防御不仅是决定植物生存的一个重要方面, 也是植物生活史特征中一个重要方面, 而不同植物具有不同的防御手段^[10-12]。植物已进化出一系列的防御机制来应对昆虫和微生物的侵袭^[13]。其中, 植物为应对昆虫取食已进化出两个主要的防御策略: 忍耐与抵抗。抵抗是指任何威慑制止作用的性状, 如通过叶被毛、次生代谢物等来减少受伤害程度。耐受性是指植物面临环境压力时的生存与生殖能力, 被取食后维持生长与适合度的能力; 耐受性还存在一些补偿机制, 如提高光合能力、改变资源分配等^[14]。

牛膝菊(*Galinsoga parviflora*)和椴叶鼠尾草(*Salvia tiliifolia*)分别为菊科(Asteraceae)和唇形科(Labiatae)植物。椴叶鼠尾草近些年来在中国云南形成入侵^[15], 并快速扩散; 牛膝菊进入中国后, 在云南、四川等地迅速扩散, 田边、路旁随处可见, 具有较强的入侵性^[16]。国内外关于这两个物种的特性及入侵机制的报道很少, 且不能解释它们的入侵机制。为此, 本研究通过对这两种植物采用人工去叶的方法研究了模拟昆虫取食对它们生长繁殖的影响, 并探讨它们在种群逐步扩散过程中如何抵御入侵地各种昆虫取食, 从而有助于人们加深对它们入侵机制的理解, 并为入侵植物的清除和防治提供基础资料。

1 材料与方法

牛膝菊、椴叶鼠尾草种子均采自西南林业大学校园周围, 先于培养皿内培养3 d, 待种子萌发出芽后移栽到

* 收稿日期: 2019-06-16 修回日期: 2019-08-08 网络出版时间: 2019-11-25 10:34

资助项目: 国家自然科学基金(No. 31200319); 云南省农业基础研究联合专项(No. 2017FG001(-065))

第一作者简介: 刘杰, 男, 研究方向为野生植物多样性保护与利用, E-mail: 1225138605@qq.com; 通信作者: 胡世俊, 男, 副教授, 博士, E-mail: shijunhu@126.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20191125.1034.020.html>

大小一致的花盆中。栽培用土取自昆明市境内存在有这两种植物的自然生境,先去除石块等杂质,然后混匀装填入盆,并保证每盆装土量一致。将幼苗放于 27 °C、相对湿度为 70% 的温室中培养,定期浇水。

在两种植物开花前(移栽 14 d 后)对它们的叶片进行去叶处理,每个处理含 10 株植株,参照 Lieurance^[17] 的方法去叶,即:对照不去叶;然后根据植株总叶片数分别进行去除 1/3、2/3 和 4/5 的总叶片数处理,去叶时考虑叶片大小的差异,尽量使去除叶片的总面积也保持上述比例。去叶处理后每 7 d 测定 1 次生长指标,测量指标包括株高、叶片数量、花朵数量和比叶面积,共持续 35 d。处理结束后将各植株的根、茎、叶和花果分开,放入烘箱中 75 °C 烘干至恒质量,记录各部分的干质量。在此基础上,分别计算株高、花数和叶片数的平均日增长率(R):

$$R = \frac{A_1 - A_0}{28A_0} \times 100\%$$

其中: A_0, A_1 分别表示株高、花数和叶片数在 7, 35 d 时的平均值,28 为首、末次指标测定时相差的日数。

所有指标数据均采用“平均值±标准误差”的形式来表示,使用 Excel 2007 软件进行常规数据处理,用 SPSS 20.0 软件中的单因素方差分析判别不同处理的同一指标数据差异是否在 $p < 0.05$ 水平上具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 不同去叶比例对牛膝菊生长和繁殖指标的影响

从表 1 可见,所有去叶处理后的牛膝菊的株高和叶片数均高于作为对照生长的牛膝菊,且差异均具有统计学意义($p < 0.05$)。从表 2 可见,当去除 2/3 叶片后,牛膝菊的株高增长率达最大值,而去除 4/5 叶片后的牛膝菊株高增长率反而有所下降。同样地,随着去叶比例的上升,牛膝菊花数也逐渐增加,其中去除 4/5 叶片的植株花数高于其他处理的植株,在 $p < 0.05$ 水平上具有统计学意义(表 1)。这表明去叶并未影响到牛膝菊植株的适合度,而由繁殖产量所反映的适合度却因去叶比例的上升而增加。另外表 1 显示在生物量的分配方面,当去除 4/5 叶片后,牛膝菊根、茎和花果的生物量分配均高于对照,在 $p < 0.05$ 水平上具有统计学意义;同时,在该去叶比例处理下,牛膝菊叶片的干质量虽高于对照,但两者差异不具有统计学意义。总体上看,去除 4/5 叶片后的牛膝菊总生物量仍超过对照,而去除 1/3 和 2/3 叶片的植株总生物量却比对照低(表 1)。上述结果提示,牛膝菊遭受昆虫取食时会进行补偿生长,并制造出更多的物质用于生长和繁殖。

表 1 人工去叶对牛膝菊生长和繁殖指标的影响

Tab. 1 Effects of artificial defoliation on growth and reproduction of *G. parviflora*

指标	对照	去除 1/3 叶片	去除 2/3 叶片	去除 4/5 叶片
株高/cm	27.470±2.338 ^a	36.500±2.536 ^b	37.480±1.802 ^b	43.060±2.908 ^b
花数/朵	44.800±9.773 ^a	71.110±11.234 ^a	79.300±13.489 ^a	136.600±17.892 ^b
叶片数/片	72.600±12.606 ^a	97.220±12.288 ^a	116.600±15.988 ^{ab}	156.700±15.796 ^b
比叶面积/(cm ² ·g ⁻¹)	654.839±41.314 ^{ab}	566.792±38.254 ^a	748.372±29.371 ^b	689.585±32.520 ^{ab}
根干质量/g	0.029±0.007 ^a	0.027±0.007 ^a	0.030±0.006 ^a	0.066±0.010 ^b
茎干质量/g	0.197±0.018 ^a	0.187±0.040 ^a	0.190±0.034 ^a	0.356±0.046 ^b
叶干质量/g	0.340±0.031 ^a	0.220±0.038 ^b	0.223±0.037 ^b	0.369±0.038 ^a
花果干质量/g	0.089±0.015 ^a	0.067±0.015 ^a	0.093±0.018 ^a	0.185±0.018 ^b

注:上标不同字母表示同一行数据的差异具有统计学意义 $p < 0.05$,下同。

此外,由图 1 可见,牛膝菊所有去叶处理的植株在去叶后 14 d 的株高、开花数和叶片数就可实现完全补偿,开始反超对照;到 28 d 时,牛膝菊株高、开花数和叶片数都随着去叶比例的上升而增加。

2.2 不同去叶比例对椴叶鼠尾草生长和繁殖指标的影响

从表 3 可以看出,随着去叶比例的上升,椴叶鼠尾草的花数、叶片数和植株各部分干质量均出现上升趋势,提示椴叶鼠尾草在受到昆虫取食时会进行补偿生长。而表 4 显示,当去叶比例最高时,椴叶鼠尾草株高的增长率最低,提示植株叶片遭受严重损伤时会降低株高生长速率,并将更多的能量用于叶片的补偿生长和植株的繁殖。另外从表 3 还可以看出,随着去叶比例的加深,椴叶鼠尾草的比叶面积呈现下降趋势,而比叶面积的下降有

利于植株防御能力的增强。

此外图 2 显示,椴叶鼠尾草株高、花数和叶片数在去除 4/5 叶片 14 d 后可实现完全补偿,去除 2/3 叶片处理下的植株在 21 d 后的叶片数便超过对照植株,但去除 1/3 叶片处理下的植株株高、花数和叶片数在实验期间均一直没能超过对照植株。

2.3 牛膝菊与椴叶鼠尾草的生长和繁殖指标对比

从上述结果可知,牛膝菊在不同比例去叶处理 14 d 后的所有生长和繁殖指标均超过对照,而椴叶鼠尾草在去除 1/3 叶片处理下这些指标始终低于对照。此外,两个物种的株高、花数和叶片数增长率均在去除 2/3 叶片处理下达到最大值,而在去除 4/5 叶片处理下有所下降。因此,一定程度的去叶处理能够激发这两种植物的补偿生长,且两种植物对去叶处理的反应有很大的相似性。

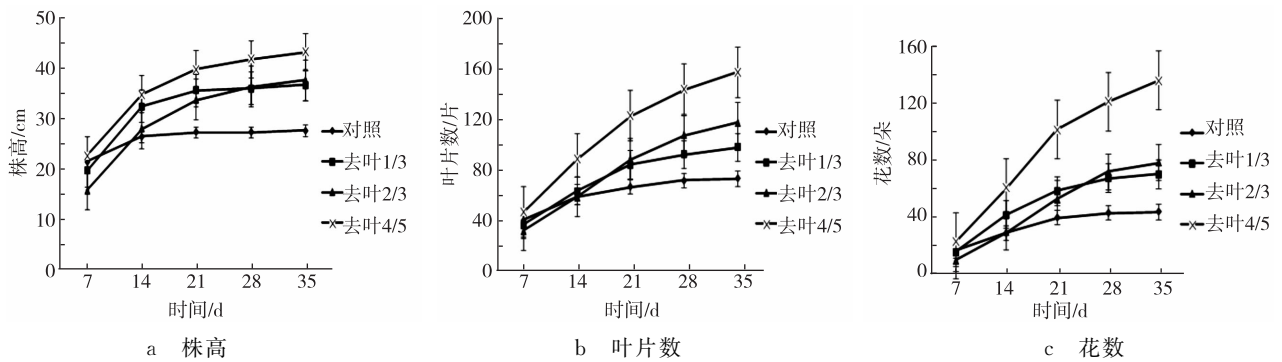


图 1 不同人工去叶处理下牛膝菊株高、叶片数和花数的动态变化

Fig. 1 The dynamics of height, leaf number, and flower number of *G. parviflora* with different artificial defoliation treatments

表 3 人工去叶对椴叶鼠尾草生长和繁殖指标的影响

Tab. 3 Effects of artificial defoliation on growth and reproduction of *S. tiliifolia*

指标	对照	去除 1/3 叶片	去除 2/3 叶片	去除 4/5 叶片
株高/cm	47.720±3.506 ^{ab}	37.670±1.336 ^c	41.500±2.084 ^{bc}	53.390±1.328 ^a
花数/朵	181.900±49.186 ^a	101.900±20.793 ^a	168.200±24.397 ^a	294.600±25.371 ^b
叶片数/片	134.600±16.752 ^{ab}	127.000±15.069 ^a	166.300±10.98 ^{ab}	189.100±17.937 ^b
比叶面积/(cm ² ·g ⁻¹)	1199.740±52.217 ^a	1071.672±24.558 ^b	1021.530±34.911 ^{bc}	916.096±30.266 ^c
根干质量/g	0.073±0.017 ^a	0.054±0.009 ^a	0.083±0.009 ^a	0.120±0.005 ^b
茎干质量/g	0.307±0.062 ^a	0.209±0.031 ^a	0.297±0.028 ^a	0.419±0.023 ^b
叶干质量/g	0.324±0.059 ^a	0.223±0.039 ^a	0.311±0.029 ^a	0.341±0.035 ^a
花果干质量/g	0.220±0.058 ^a	0.172±0.035 ^a	0.271±0.041 ^{ab}	0.383±0.033 ^b

3 讨论

植物与昆虫间的相互作用在入侵过程中扮演重要角色。在入侵地,入侵植物可以逃过特化取食昆虫的取食。但入侵地的泛化取食昆虫也很多,而入侵植物的耐受特性可减轻这些昆虫的消极影响。就入侵植物而言,它对虫食的耐受性与入侵成功息息相关。虫食一般从两个方面调节植物入侵:首先,虫食减少植株的生长和生存,从而阻止潜在入侵植物

表 4 人工去叶后椴叶鼠尾草株高、花数和叶片数的增长率

Tab. 4 The growth rates of height, flower number, and leaf number of *S. tiliifolia* after artificial defoliation %

处理	株高增长率	花数增长率	叶片数增长率
对照	0.764	26.786	2.064
去除 1/3 叶片	1.243	93.507	5.582
去除 2/3 叶片	1.343	107.671	6.600
去除 4/5 叶片	0.586	40.268	5.604

种群建立;其次,虫食能调节已建立的植物种群,限制它的增长扩散速度^[1]。一般情况下,植物的资源是有限的,昆虫取食能降低植物的光合作用,并影响它的营养生长和繁殖产出。昆虫取食的影响因植物种类、个体的不同而有所差异^[18]。某些植物能成功入侵而另一些植物却不能,其中一个可能的原因就是它们对昆虫取食忍耐力存在差异^[1]。在本研究中,两种入侵植物均表现出对模拟昆虫取食具有很强的耐受性,在去除大部分叶片后尚能很好的生长和繁殖。

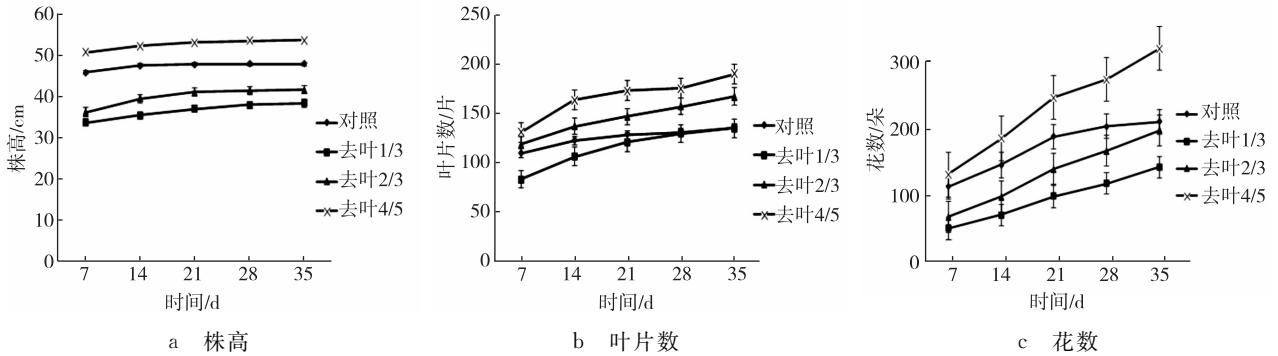


图 2 不同人工去叶处理下椴叶鼠尾草株高、叶片数和花数动态变化

Fig. 2 The dynamics of height, leaf number, and flower number of *S. tiliifolia* with different artificial defoliation treatments

大多数植物具有从昆虫取食伤害中恢复的能力,但这一能力在物种间是有差别的。有的入侵植物如长叶车前(*Plantago lanceolata*)^[19]对去叶具很低的耐受性,而有的入侵植物如豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)^[20]对去叶具很强耐受性。昆虫取食还能促使植物进行补偿生长乃至过补偿生长,如空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)^[1,21]。在本研究中去除 4/5 叶片的处理下,牛膝菊与椴叶鼠尾草均能过补偿生长。另外,对于女贞属(*Ligustrum*)植物 *Ligustrum vulgare* 来说,75% 的去叶处理对它的果实产量都没有影响,具有较强的耐受能力^[22];而 Buckley 等人^[23]研究发现,如果在植物开花前去叶,植物甚至在 100% 去叶情况下也能实现全部补偿生长,补偿生长能力与植株所处的生长阶段有关,一般繁殖前期补偿能力较强。此外,对于全能花属(*Pancreatium*)植物 *Pancreatium sickenbergeri* 而言,低程度的去叶可导致低程度的再生,而 100% 去叶可导致叶片数最强的补偿生长^[24],这一点与 *Osteospermum sinuatum* 的情况相似,即新叶产生主要是对叶损伤的反应,并可能涉及资源的重新分配、休眠芽的激活^[25]。而且,当去叶处理植株的生物量大于对照植株的生物量时,便实现了超补偿生长^[26]。例如在本研究中,牛膝菊在去除 1/3 和 2/3 叶片后,植株处于欠补偿状态;当去除 4/5 叶片后,植株的生物量开始超过对照植株的生理量,从而实现超补偿生长。同样地,本研究结果显示,椴叶鼠尾草在去除 2/3 叶片后,植株的生物量也超过了对照植株的生物量,从而实现超补偿生长;而且当去除 4/5 叶片后,植株的生物量仍然持续增加。

补偿生长是植物对损伤的一种积极反应,它的机制是植物被采食后通过改变剩余顶端分生组织的有效性及其生理调节以刺激植物的生长。补偿生长一般分为 3 种类型:一定水平取食有利于被采食植物的生长,表现为超补偿生长;植物对昆虫取食敏感,常常受害于被取食,表现为欠补偿性生长;植物被取食后生物量变化不大,表现为等补偿性生长^[27]。植物可以通过多种方式实现补偿作用,如:植物可以通过增加新生叶片的生物量分配和利用储存的碳水化合物来供给光合作用的能量需要;有些植物能在被取食干扰下激活休眠芽的生长。采食后植物个体的相对生长率、资源吸收利用能力、分株数、资源分配等方面的变化以及地下器官储藏物的调运都是引起补偿生长的具体表现。所以本研究中,牛膝菊与椴叶鼠尾草能够实现补偿生长,可能与它们具有这些生理调节机制有关,通过改变自己的生长、生理对策以应对叶片的损失。另外,比叶面积体现了植物进行光合固碳的能力^[11]。本研究中,牛膝菊在去除 1/3 叶片后比叶面积明显下降,这表明它的光合固碳能力的暂时下降。

植物已进化出很多方式防御天敌^[1],面对昆虫取食,植物在漫长的协同进化中也形成了相应的适应对策,包括形态上的规避和生理上的耐受性。有的植物为躲避采食,通过改变空间和机械结构特性及化学成分来降低被采食的概率和程度,如形成特殊的防御结构,包括坚硬的角质层、枝条或叶片上分布的针、钩、刺、毛等;有些植物则调节自身的生长高度和叶片倾角;有些植物产生更多的次生代谢物质以降低自身适口性;有的植物增加无性繁殖(匍匐茎、不定根等)形成高效的补偿生长,增强自身对取食的耐受性^[28-29]。本研究中,牛膝菊在去除 4/5 叶

片后,植株高度较去除 2/3 叶片后的植株高度更低,这说明当去叶比例超过一定程度后,植株会进行取舍选择,降低生长速度,将能量用于长出更多叶片和花朵。同时,牛膝菊在去叶 14 d 后所有指标均超过对照植株,而椴叶鼠尾草在去除 1/3 叶片处理下却始终低于对照植株,这表明牛膝菊对去叶的反应较为迅速,植株受伤可快速恢复,进而有助于入侵能力的增强。

总之,本研究结果显示,牛膝菊和椴叶鼠尾草虽非同科植物,但在本研究中均表现出超补偿生长能力。由此可见,入侵植物往往具有很强的补偿生长能力,这有利于它们应对昆虫取食、放牧等不利因素和种群的生存、扩散。

参考文献:

- [1] LURIE M H, BARTON K E, DAEHLER C C. Pre-damage biomass allocation and not invasiveness predicts tolerance to damage in seedlings of woody species in Hawaii[J]. *Ecology*, 2017, 98(12): 3011-3021.
- [2] BAKKER J D, WILSON S D. Using ecological restoration to constrain biological invasion[J]. *The Journal of Applied Ecology*, 2004, 41(6): 1058-1064.
- [3] VITOUSEK P M, D'ANTONIO C M, LOOPE L L, et al. Introduced species: a significant component of human-caused global change[J]. *New Zealand Journal of Ecology*, 1997, 21(1): 1-16.
- [4] 江贵波, 曾任森. 外来入侵植物的危害及防治[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(2): 273-274, 280.
- [5] 江贵波, ZENG R S. Damages and control measures of invasive plants[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2006, 34(2): 273-274.
- [6] 闫小玲, 寿海洋, 马金双. 中国外来入侵植物研究现状及存在的问题[J]. *植物分类与资源学报*, 2012, 34(3): 287-313.
- [7] YAN X L, SHOU H Y, MA J S. The problem and status of the alien invasive plants in China[J]. *Plant Diversity and Resources*, 2012, 34(3): 287-313.
- [8] 鞠瑞亭, 李慧, 石正人, 等. 近十年中国生物入侵研究进展[J]. *生物多样性*, 2012, 20(5): 581-611.
- [9] JU R T, LI H, SHI Z R, et al. Progress of biological invasions research in China over the last decade[J]. *Biodiversity Science*, 2012, 20(5): 581-611.
- [10] STRAYER D L, EVINER V T, JESCHKE J M, et al. Understanding the long-term effects of species invasions[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2006, 21(11): 645-651.
- [11] MOLES A T, GRUBER M A M, BONSER S P. A new framework for predicting invasive plant species[J]. *Journal of Ecology*, 2008, 96(1): 13-17.
- [12] BLUMENTHAL D. Interrelated causes of plant invasion[J]. *Science*, 2005, 310(5746): 243-244.
- [13] GONZÁLEZ-TEUBER M, QUIROZ C L, CONCHA-BLOOMFIELD I, et al. Enhanced fitness and greater herbivore resistance: implications for dandelion invasion in an alpine habitat[J]. *Biological Invasions*, 2017, 19(2): 647-653.
- [14] 倪广艳, 朱丽薇, 牛俊峰, 等. 三种菊科入侵植物的生长与化学防御的关系研究[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(1): 1-6.
- [15] NI G Y, ZHU L W, NIU J F, et al. Growth and chemical defense in three Asteraceae invasive weeds in lower subtropical China[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2014, 23(1): 1-6.
- [16] 赵元蛟, 苏文华, 周睿, 等. 壳斗科栲属种子结构性防御与化学防御的权衡[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2013, 35(5): 690-696.
- [17] ZHAO Y J, SU W H, ZHOU R, et al. Tradeoffs between chemical defense and structural defense in *Castanopsis Spach*[J]. *Journal of Yunnan University (Natural Science)*, 2013, 35(5): 690-696.
- [18] ZALAMEA P C, DALLING J W, SARMIENTO C, et al. Dormancy-defense syndromes and tradeoffs between physical and chemical defenses in seeds of pioneer species[J]. *Ecology*, 2018, 99(9): 1988-1998.
- [19] GARD B, BRETAGNOLLE F, DESSAINT F, et al. Invasive and native populations of common ragweed exhibit strong tolerance to foliar damage[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2013, 14(1): 28-35.
- [20] HU G X, XIANG C L, LIU E D. Invasion status and risk assessment for *Salvia tiliifolia*, a recently recognised introduction to China[J]. *Weed Research*, 2013, 53(5): 355-361.
- [21] 潘争红, 赵樵, 黄荣, 等. 牛膝菊中的萜类及甾醇类成分[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2007, 29(6): 613-616.
- [22] PAN Z H, ZHAO L, HUANG R, et al. Terpenes and sterols from *Galinsoga parviflora*[J]. *Journal of Yunnan University (Natural Science)*, 2007, 29(6): 613-616.
- [23] LIEURANCE D, CIPOLLINI D. Environmental influences on growth and defence responses of the invasive shrub, *Lonicera maackii*, to simulated and real herbivory in the juvenile stage[J]. *Annals of Botany*, 2013, 112(4): 741-749.
- [24] NARBONA E, DIRZO R. Experimental defoliation affects male but not female reproductive performance of the tropical monoecious plant *Croton suberosus* (Euphorbiaceae)[J]. *Annals of Botany*, 2010, 106(2): 359-369.
- [25] HANLEY M E. Seedling defoliation, plant growth and flowering potential in native and invasive-range *Plantago*

- lanceolata* populations[J]. Weed Research, 2012, 52(3): 252-259.
- [20] GARD B, BRETAGNOLLE F, DESSAINT F, et al. Invasive and native populations of common ragweed exhibit strong tolerance to foliar damage[J]. Basic and Applied Ecology, 2013, 14(1): 28-35.
- [21] LU X, DING J. History of exposure to herbivores increases the compensatory ability of an invasive plant[J]. Biological Invasions, 2012, 14(3): 649-658.
- [22] OBESO J R, GRUBB P J. Fruit maturation in the shrub *Ligustrum vulgare* (Oleaceae): lack of defoliation effects[J]. Oikos, 1993, 68(2): 309-316.
- [23] BUCKLEY N E, AVILA-SAKAR G. Reproduction, growth, and defense tradeoffs vary with gender and reproductive allocation in *Ilex glabra* (Aquifoliaceae) [J]. American Journal of Botany, 2013, 100(2): 357-364.
- [24] RUIZ-R N, WARD D, SALTZ D. Leaf compensatory growth as a tolerance strategy to resist herbivory in *Panicratium sickenbergeri*[J]. Plant Ecology, 2008, 198(1): 19-26.
- [25] BORZAK C L, POTTS B M, BARRY K M, et al. Genetic stability of physiological responses to defoliation in a euca-
- lypt and altered chemical defence in regrowth foliage[J]. Tree Physiology, 2016, 37(2): 220-235.
- [26] BELSKY A J. Does herbivory benefit plants? a review of the evidence[J]. The American Naturalist, 1986, 127(6): 870-892.
- [27] TRILICA M J, RITTENHOUSE L R. Grazing and plant performance[J]. Ecological Applications, 1993, 3(1): 21-23.
- [28] 周国娜, 陈晨. 植物防御与昆虫反防御的规律及其机制研究进展[J]. 河北林果研究, 2011, 26(2): 191-194.
ZHOU G N, CHEN C. The advances of the rule and the effect mechanisms on defense of plant and the counter-defense of insects[J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2011, 26(2): 191-194.
- [29] 杨欣, 徐艳红, 魏建和, 等. 几种重要植物次生代谢防御反应物质的生物合成途径及分子调控机制研究进展[J]. 生物技术通讯, 2013, 24(2): 285-289.
YANG X, XU Y H, WEI J H, et al. Advances on the biosynthesis pathways and molecular regulation mechanism of several important defensive substances in plant secondary metabolism [J]. Letters in Biotechnology, 2013, 24(2): 285-289.

Effects of Simulated Herbivory on the Growth and Reproduction of Two Invasive Plant

LIU Jie¹, YAN Xiaohui¹, HU Shijun²

- (1. Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control of Yunnan Province, Southwest Forestry University;
2. Key Laboratory of Biodiversity Conservation in Southwest China (State Forestry Administration),
Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: [Purposes] To study the endurance of invasive *Galinsoga parviflora* and *Salvia tiliifolia* to herbivores and discuss their invasion mechanism, simulated leaf herbivory experiments were done on them. [Methods] One-third, two-thirds and four-fifths of the leaves were artificially defoliated before flowering, and the individual height, flower number, leaf number, biomass allocation and specific leaf area were measured every week. One-way ANOVA was used to detect the differences. [Findings] The results showed that the two plants had overcompensatory growth ability. They could grow normally even when four-fifths of the leaves were removed, except for the dry mass of leaves, the biomass of all other parts was higher than that of the control group, and the difference was statistically significant ($p < 0.05$). The height, flower number and leaf number of *G. parviflora* could be completely compensated at the 14 days after artificial defoliation, and *S. tiliifolia* could realize complete compensation of height, flower number and leaf number at the 14 days after defoliating four-fifths of the leaves, but *S. tiliifolia* could not compensate at the 14 days when one-third, two-thirds of the leaves were artificially defoliated treatment. Compared to other treatments, the growth rate of individual height, flower number and leaf number arrived at maximum when the two-thirds of the leaves were defoliated. But the growth rate of individual height, flower number and leaf number of both plants decreased when defoliation exceeded a certain limit. [Conclusions] These two plants have great endurance ability to herbivores or mechanical damage, which will contribute to their survival, dispersal and invasion.

Keywords: simulated herbivory; compensatory growth; reproduction; *Galinsoga parviflora*; *Salvia tiliifolia*; invasive plant