

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 8 期 2013 年 4 月 (半月刊)

目 次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的定量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201201090042

王楠楠,皇甫超河,李玉浸,姜娜,屠臣阳,王慧,杨殿林. 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应. 生态学报, 2013, 33(8): 2496-2504.
Wang N N, Huangfu C H, Li Y J, Jiang N, Tu C Y, Wang H, Yang D L. Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2496-2504.

入侵植物黄顶菊生长、再生能力对 模拟天敌危害的响应

王楠楠,皇甫超河*,李玉浸,姜娜,屠臣阳,王慧,杨殿林

(农业部环境保护科研监测所,天津市农业环境与农产品安全重点实验室,天津 300191)

摘要:缺乏专性天敌可能是外来植物扩散蔓延的原因之一。生物防治是环境友好且高效的防除方法,而人工模拟天敌危害对植物的生长、再生指标影响的效果与自然天敌的效果相似。在田间条件下,对入侵植物黄顶菊进行不同程度模拟天敌危害处理,探讨对黄顶菊生长、再生能力影响的效果,为生物防治提供理论基础。结果表明,轻度处理和摘顶处理下黄顶菊生物量、株高、分枝数、花蕾数、净光合速率(P_n)、水分利用效率(WUE)指标表现出超补偿效应,只有重度处理下受到显著抑制;轻度至重度处理初始荧光(F_0)则显著高于对照和摘顶处理,而PS II的最大光化学效率(F_v/F_m)和PS II的潜在活性(F_v/F_0)则显著降低。分析发现,分枝数、花蕾数、生物量等具很高的表型可塑性指数,显示黄顶菊的生长指标对模拟天敌危害具有更强的适应能力。综上,轻度天敌危害对黄顶菊无明显抑制作用,重度危害对黄顶菊的生长、开花结实抑制效果最为理想。生产实践中建议结合其他方法以实现对黄顶菊的有效控制。

关键词:黄顶菊;模拟天敌;生长;补偿效应;生物入侵

Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction

WANG Nannan, HUANGFU Chaohe*, LI Yujin, JIANG Na, TU Chenyang, WANG Hui, YANG Dianlin

Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin Key Laboratory of Agro-environment & Agro-product Safety, Tianjin 300191, China

Abstract: Biological invasion is becoming one of most serious environmental problems in the 21st century. *Flaveria bidentis*, an exotic plant with the strong invasiveness from South America, has spread over more than 92 counties of Hebei Province and expanded to Tianjin, Shandong, Henan Province in China as well. The wise management on the exotic species is pivotal for the balance of ecosystem and the maintenance of biodiversity. There are many challenges for classical biological control, such as host specificity, biosafety risk, and appropriate applications as well as efficiency assessment. This study aims to mimic the effects of herbivory damage on plant growth and reproduction in invaded habitats and thus to investigate whether herbivory treatment could be used as an effective measure to manage *F. bidentis*.

A field experiment was carried out to clarify the effects of simulated herbivory damage on the growth, reproduction and related physiological characteristics of *F. bidentis*. We clipped leaves with scissor to simulate different level damage by folivores and removed apical meristems to simulate apical mortality caused by stem borers. Five treatments were designed, three levels of leaf removal (1/4, 1/2, and 3/4), apical meristem removal and the undamaged control. Each treatment included 45 replications (individual plant), and each plant is marked by a nameplate.

基金项目:天津市自然科学基金(12JCQNJC09800);天津市科技支撑计划重点项目(11ZCGYNC00300);公益性行业(农业)科研专项(200803022, 201103027)

收稿日期:2012-01-09; 修订日期:2012-09-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangfu24@163.com

Compared with the control, the overcompensation effect was observed under low level damage and apical removal treatments with increased total biomass, root biomass, stem biomass, plant height, branch numbers, flower bud numbers, net photosynthetic (P_n) and water use efficiency (WUE), while, these parameters were only reduced by severe damage level (3/4) in our study. Initial fluorescence yield (F_0) under three leaf damage treatments was significantly higher than that in other treatments, whereas the maximum photochemical efficiency of photosystem II (F_v/F_m) and potential activity of photosystem II (F_v/F_0) were significantly suppressed. Higher phenotypic plasticity were observed in biomass related parameters, indicating these parameters of *F. bidentis* have high herbivore tolerance, which might make an important acclimation under herbivores regimes for this invasive species.

These results suggested that natural enemies may have little impact on fecundity of *F. bidentis*. In practice, more swift management strategy such as clipping, plant replacement and integrated control measure is required to prevent the reproduction of this weed.

Key Words: *Flaveria bidentis*; simulated herbivory; growth; compensation effect; biological invasions

物种全球化是全球经济一体化、对外贸易迅速发展的共同产物。外来物种跨越地域屏障,被有意或无意的带入新的区域或生境,部分物种则变成入侵生物。根据不完全统计,我国外来入侵有害物种达 520 余种,其中入侵植物有 268 种,占 51.54%^[1],严重危害生态安全、经济安全和人民生命健康。

生物防治是防除入侵生物的重要方法之一^[2],是利用有益生物或其他生物来抑制或消灭有害生物的防治方法^[3]。国内外均有成功先例^[4-5]。生物防治入侵植物可行性重在进行科学的分析,在避免引进的天敌成为新的入侵种的同时,有必要考虑生物防治的效果。如用泽兰实蝇防治紫茎泽兰^[6-7],20a 来效果并不理想^[8-9]。研究表明,人工模拟天敌对入侵植物的生长、再生指标影响的效果与自然天敌的效果是相似的^[10]。因此,研究引入天敌防治效果的最好办法就是在实验室内或田间设计模拟天敌实验。如 Macdonald^[11]等模拟天敌危害防治豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)的试验结果显示,不同程度摘叶处理(最大程度为 75%)和去除顶端分生组织处理对豚草的生长及结实率影响不大。Mukherjee^[12]等的模拟不同程度(0%、50%、100%)和不同频率(1、2、8 次)摘除小狮子草(*Hygrophila polysperma*)叶片的研究发现,各摘叶处理的生长和生物量积累均受到显著影响。

黄顶菊(*Flaveria bidentis*)是菊科堆心菊族黄顶菊属 1 年生杂草,原产于南美洲,后来传播到非洲、欧洲、澳大利亚和亚洲的一些国家。早在 1996 年便已传入我国,目前仍有继续扩张蔓延的趋势。黄顶菊入侵性强,且根部能分泌化感物质影响其它植物生长,侵入农田造成巨大的经济损失,研究有效控制黄顶菊发生和蔓延高效、经济且环境友好的方法是当前国内外学者关注的热点。目前用于防除黄顶菊的方法包括物理防除、化学防除、植物替代等^[13-15],均已取得初步的结果。尽管目前尚未发现专性天敌危害,但在入侵地仍普遍发现黄顶菊被多种昆虫取食及病害现象^[16-17]。因此,本研究在田间条件下,通过对黄顶菊进行不同程度模拟天敌危害的方法,以期探求天敌危害对黄顶菊防治的效果及可行性,拟验证以下假说:(1)天敌危害会影响黄顶菊生物量积累和再生能力,但一定危害程度下可能表现出耐受性;(2)天敌危害会改变黄顶菊生物量分配格局;(3)天敌危害会降低黄顶菊相关光合生理指标。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于天津市静海县枣园,黄顶菊重发生区(E116°56'39.8", N38°57'14.1";海拔 3 m)。属暖温带大陆性季风气候,四季分明,年均降雨量 582 mm,年平均气温为 11.8℃。土壤属潮土类型,偏碱性,轻度盐渍化。

1.2 试验设计

试验于 2011 年 8 月 4 日进行。在黄顶菊自然生长种群中,选择生育状况一致地块设置试验区,每个试验

区组用挂塑料标牌法随机标记 5 个试验处理:对照(CK);轻度摘叶处理(摘除每片完整叶片的 1/4);中度摘叶处理(摘除每片完整叶片的 1/2);重度摘叶处理(摘除每片完整叶片的 3/4);摘除顶端分生组织处理(摘除主茎未伸展叶芽,以下简称摘顶处理)。每个处理 15 个重复(单株),每区组重复 3 次。摘叶处理用剪刀沿叶片横轴剪去相应比例叶片以模拟叶片不同程度被天敌取食。处理期间每 5d 对新生叶片进行 1 次处理,取样前 10d 停止处理(除摘顶处理外)。

1.3 测定指标与方法

2011 年 8 月 4 日进行处理前,测量株高、生物量指标。分别于 2011 年 9 月 2 日和 2011 年 9 月 20 日测定不同程度模拟天敌危害下黄顶菊生长和生理指标。第 1 次取样:统计株高、分枝数、花蕾数、生物量及其分配。第 2 次取样:增加荧光指标和光合指标。由于两次取样各指标变化趋势一致,故本文仅给出第 2 次数据分析结果。在试验过程中,保持每个处理的新生叶片达到各处理要求。

1.3.1 生物量和植物生长指标测定

随机取完整植株 15 株,株高采用直尺进行测量。统计花蕾数和分枝数(此处分枝指长度在 3 cm 以上,具有 1 对以上叶片的基部分枝和分株上的分枝)。将其根、支持结构、叶和花蕾分开进行生物量测定,在 80 ℃ 烘 48 h,电子天平(精确度 0.01 g)称量。计算如下参数:叶生物量比(LMR,叶重/植株总重)、根生物量比(RMR,根重/植株总重)、支持结构生物量比(SBR,支持结构生物量/植株总重)、根冠比(R/C,根生物量/地上部分生物量)。

1.3.2 光合作用参数测定

利用 LI-6400 便携式光合仪(LI-COR, USA)测定各处理中的黄顶菊的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r),水分利用效率(WUE)。每个处理选取 10 株长势一致的植株的成熟叶片(自上而下第 5—7 片叶子)。测定时间为 2011 年 9 月 20 日,9:00—11:00,天气晴朗。测量时,大气 CO_2 浓度和温度分别为 380 $\mu\text{mol/mol}$ 和 31 ℃。

1.3.3 叶绿素荧光参数测定

利用 FMS-2 便携式叶绿素荧光仪(Hansatatech, UK)测定。选择完全展开的叶片,暗处理 20 min 后进行测定。荧光参数包括初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、PS II 的最大光化学效率($F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$)、PS II 潜在活性($F_v/F_0 = (F_m - F_0)/F_0$)。

1.3.4 相对生长速率

$$\text{相对生长率} \quad RGR = (\ln w_2 - \ln w_1) / (t_2 - t_1)$$

式中, w_1 和 w_2 分别为试验开始时(t_1 :2011 年 8 月 4 日)和结束时(t_2 :2011 年 9 月 20 日)的总生物量^[18]。

1.3.5 表型可塑性指数

表型可塑性指数计算方法:每一个参数的表型可塑性指数即不同处理下某一变量的最大值减去其最小值再除以其最大值^[19]。

1.3.6 数据分析

试验结果利用 Excel 整理,不同处理的各项指标采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)。试验中所有分析过程在 SPSS16.0 统计分析程序中完成。

2 结果与分析

2.1 不同程度模拟天敌处理对黄顶菊生长的影响

模拟天敌危害改变了黄顶菊营养生长和生殖生长的特征。如表 1,黄顶菊的株高和分枝数指标变化趋势一致。轻度危害和摘顶处理对黄顶菊的株高和分枝数无影响,与对照处理无显著差异。中度和重度处理显著低于其它处理($P < 0.05$),重度处理显著低于中度处理($P < 0.05$)。中度和重度处理的株高较对照分别降低了 11.67%、20%,分枝数较对照分别降低了 16.67%、69.44%。

同时,模拟天敌危害对黄顶菊的生殖生长有显著影响。如表 1 所示,轻度处理和摘顶处理黄顶菊的花蕾

数和花生物量都出现超补偿现象,显著高于对照和其它处理,花蕾数较对照分别升高了 21.85%、26.71%,花生物量较对照分别升高了 35.24%、46.08%。中度处理的花蕾数和花生物量较对照均无显著差异。重度处理的花蕾数显著降低($P<0.05$),较对照下降了 57.63%,而花生物量下降了 64.10%,且差异显著,但与中度处理差异不显著。综上,轻度处理和摘顶处理与对照处理相比,株高和分枝数无显著差异,花蕾数和分枝数都出现超补偿现象。中度和重度处理对黄顶菊生长影响最大,其营养生长和生殖生长指标有显著的低于对照处理。

模拟天敌危害显著影响了黄顶菊各部分生物量及其分配。黄顶菊各器官生物量和总生物量的变化趋势一致。如表 1 所示,轻度处理和摘顶处理各部分生物量均显著高于其它各处理($P<0.05$),呈现超补偿现象。除根生物量外,中度和重度处理各部分生物量都显著低于对照处理,中度和重度处理的总生物量较对照分别降低了 28.57%、63.69%;根生物量分别降低了 23.08%、62.35%;茎生物量分别降低了 28.61%、63.31%;叶生物量分别降低了 32.83%、64.84%。重度处理各器官生物量也均显著低于中度处理。

表 1 模拟天敌危害对黄顶菊生长和生物量的影响

Table 1 Effects of different simulated herbivory damage on growth characteristics and biomass accumulation of <i>Flaveria bidentis</i>								
处理 Treatment	株高 The plant high /cm	分枝数 The branch numbers/个	花蕾数 The flower bud numbers/个	花生物量 The flower biomass/(g/株)	根生物量 Root biomass /(g/株)	茎生物量 Stem biomass /(g/株)	叶生物量 Leaf biomass /(g/株)	总生物量 Total biomass /(g/株)
对照 CK	120±2.16a	36±2.51ab	118±8.90b	3.51±0.24bc	2.47±0.23b	17.58±1.25b	7.31±0.39b	30.87±1.85b
去除 1/4 叶片 1/4 leaf removal	122±2.71a	45±1.52a	151±7.48a	5.42±0.27a	3.89±0.25a	24.67±1.15a	9.43±0.54a	43.41±1.66a
去除 1/2 叶片 1/2 leaf removal	106±2.16b	30±2.62b	104±6.06b	2.68±0.28bc	1.90±0.11b	12.55±0.84c	4.91±0.27c	22.05±1.39c
去除 3/4 叶片 3/4 leaf removal	96±2.10c	11±0.90c	50±2.88c	1.26±0.13c	0.93±0.07c	6.45±0.53d	2.57±0.23d	11.21±0.90d
摘顶 Apical removal	118±2.36a	43±3.81a	161±7.79a	6.51±0.64a	3.48±0.09a	22.18±0.92a	9.87±0.72a	42.04±1.83a

5 个处理:对照;去除 1/4 叶片;去除 1/2 叶片;去除 3/4 叶片;摘除顶端分生组织,即摘顶处理;不同字母表示差异达显著水平($P<0.05$);表中值为平均数±标准误差

模拟天敌危害对黄顶菊生物量分配的影响较小。如表 2 所示,各处理的叶生物量比、根生物量比和根冠比均无显著差异。重度处理的支持结构生物量比显著高于摘顶处理,与对照、轻度和中度处理无差异。对照、轻度和中度处理与摘顶处理也均无差异。

表 2 模拟天敌危害对黄顶菊生物量分配的影响

Table 2 Effects of different simulated herbivory damage on biomass allocation of <i>Flaveria bidentis</i>				
处理 Treatment	叶生物量比 LMR	根生物量比 RMR	支持结构生物量比 SBR	根冠比 R/C
对照 CK	0.24±0.01a	0.08±0.01a	0.57±0.01ab	0.09±0.01a
去除 1/4 叶片 1/4 leaf removal	0.22±0.01a	0.09±0.00a	0.57±0.01ab	0.10±0.00a
去除 1/2 叶片 1/2 leaf removal	0.22±0.01a	0.09±0.00a	0.57±0.01ab	0.09±0.00a
去除 3/4 叶片 3/4 leaf removal	0.23±0.01a	0.08±0.00a	0.57±0.01a	0.09±0.00a
摘顶 Apical removal	0.23±0.01a	0.08±0.00a	0.53±0.01b	0.09±0.00a

2.1.2 相对生长速率

不同模拟天敌危害程度下,黄顶菊株高和生物量的相对生长速率(RGR)具有显著差异。如图 1 所示,中度和重度处理的黄顶菊株高 RGR 低于其它处理,其中重度处理差异显著($P<0.05$),而轻度和摘顶处理黄顶菊生物量的 RGR 高于对照处理,但差异并不显著。重度处理的相对生长速率显著的低于其它处理。

2.2 不同程度模拟天敌处理对黄顶菊生理特性的影响

2.2.1 不同程度模拟天敌处理下黄顶菊的光合特性

模拟天敌危害对黄顶菊的光合特性产生了显著的影响(图 2),中度和重度处理黄顶菊的净光合速率(P_n)显著的低于其它各处理($P<0.05$),而轻度处理和摘顶处理与对照无差异。4 种不同程度天敌危害的蒸

腾速率(T_r)与对照相比,均显著降低($P<0.05$)。但不同危害之间差异不显著。轻度和摘顶处理的水分利用效率(WUE)最大,显著的高于对照、中度和重度处理。而中度和重度处理下, WUE 则与对照无显著差异(图2)。

2.2.2 不同程度模拟天敌处理下黄顶菊的叶绿素荧光特性

当植株受到外界胁迫时,PS II 反应中心被破坏或可逆失活引起 F_0 增加, F_v/F_m 和 F_v/F_0 明显下降(图3)。中度和重度处理的 F_0 显著高于对照和摘顶处理。轻、中和重度处理的 F_v/F_m 和 F_v/F_0 显著的低于对照和摘顶处理($P<0.05$)(图3)。

2.3 模拟天敌危害对黄顶菊表型可塑性指数的影响

如表3所示,在不同模拟天敌危害程度下,黄顶菊的生长指标如分枝数、花蕾数、各器官生物量都具有很高的表型可塑性指数,多在0.65以上,这表明黄顶菊的生长指

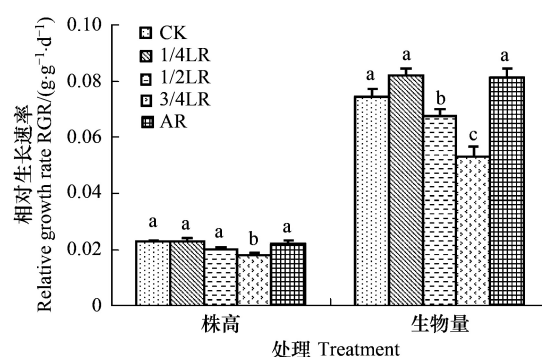


图1 模拟天敌危害对黄顶菊相对生长速率(RGR)的影响
Fig.1 Effects of different simulated herbivory damage on relative growth rate of *Flaveria bidentis*

CK: 对照; 1/4LR: 去除1/4叶片 1/4 leaf removal; 1/2LR: 去除1/2叶片 1/2 leaf removal; 3/4LR: 去除3/4叶片 3/4 leaf removal; AR: 摘顶处理 Apical removal

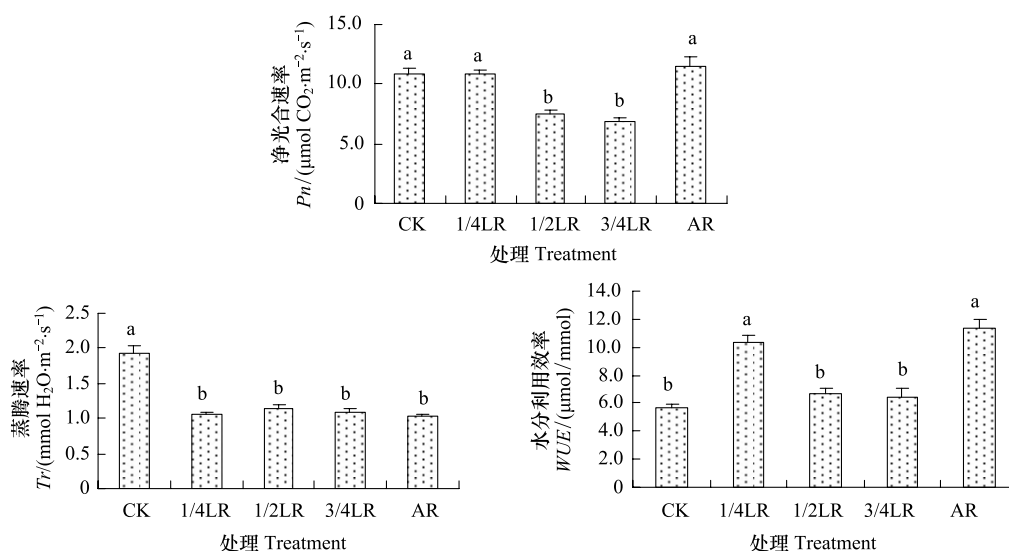


图2 模拟天敌危害对黄顶菊光合特性的影响

Fig.2 Effects of different simulated herbivory damage on photosynthesis characteristics of *Flaveria bidentis*

标对模拟天敌危害具有较强的适应能力。而株高、荧光参数和光合生理参数的表型可塑性指数相对较低,说明黄顶菊在受到胁迫时,这些指标所受到的影响较大。

3 讨论

天敌逃逸假说(ERH)^[20-21]等认为,天敌环境(如昆虫、病原体微生物等)是影响入侵生物进化的重要因子,限制植物个体的适合度和竞争能力,影响植物分布和多度。如人为排除天敌,可以使植株生物量升高^[22],增强植株竞争能力^[20],甚至会改变生态演替的速度和方向^[23-24]。植物的耐受性是指在受到昆虫取食等外界胁迫后植物的生长和再生能力,即植物的防御能力^[25]。不同植物受天敌取食后存活和再生能力各不相同。如艾式胡椒(*Piper arieianum*)叶面积减少10%,其适应能力就会显著下降^[26];而野萝卜(*Raphanus raphanistrum*)叶面积受损25%仍不会影响其结实^[27]。作为重要的生物防治方法,弄清黄顶菊对昆虫取食的耐性,能够为黄顶菊生物防治提供重要理论依据。

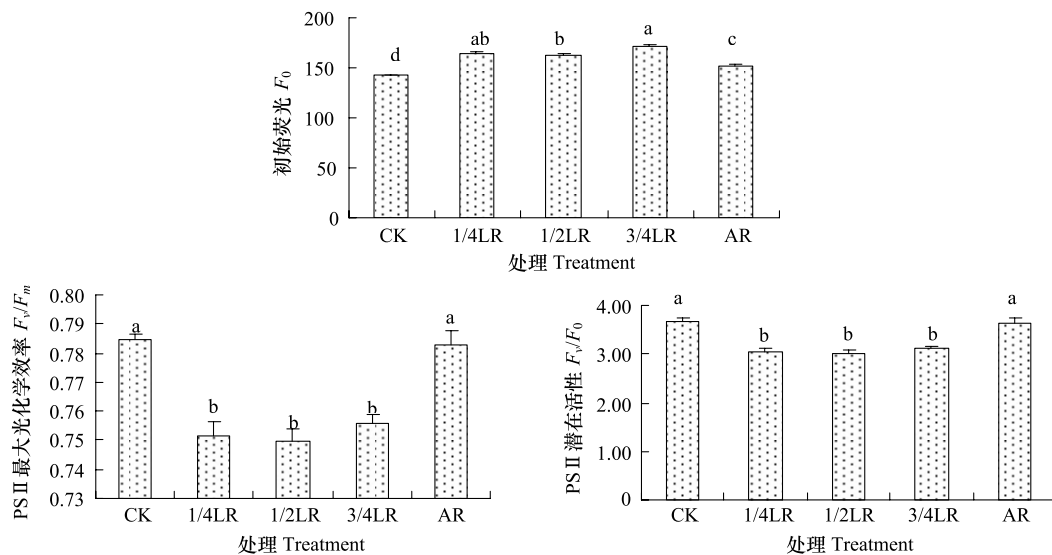


图3 模拟天敌危害对黄顶菊荧光性状的影响

Fig. 3 Effects of different simulated herbivory damage on chlorophyll fluorescence parameters of *Flaveria bidentis*

表3 模拟天敌危害水平下黄顶菊各指标的表型可塑性指数

Table 3 Index of phenotypic plasticity for traits related to the growth in *Flaveria bidentis* at different levels of simulated herbivory damage

指标 Index	可塑性指数 Index of phenotypic plasticity	指标 Index	可塑性指数 Index of phenotypic plasticity
株高 The plant height	0.213	总生物量 Total biomass	0.742
分枝数 The branch numbers	0.756	初始荧光 F_0	0.170
花蕾数 The flower bud numbers	0.689	PS II 最大光化学效率 F_v/F_m	0.046
根生物量 Root biomass	0.761	PS II 潜在活性 F_v/F_0	0.185
茎生物量 Stem biomass	0.739	净光合速率 P_n	0.409
叶生物量 Leaf biomass	0.740	蒸腾速率 T_r	0.468
花重 Flower biomass	0.806	水分利用效率 WUE	0.498

植物受到天敌取食、寄生或侵染后的生长及再生能力是反映植物耐受能力重要指标^[28]。植株高和分枝数是反映黄顶菊营养生长能力的主要参数,能够直观的反映模拟天敌危害处理对其再生能力的影响。本研究中,黄顶菊的株高和分枝数在轻度处理和摘顶处理下无显著差异,但分枝数较对照有上升趋势。Milbrath 的研究显示,摘除茎尖增加了植物的分枝数^[29]。Stowe 等研究也证明植物受到天敌危害后会产生更多的分枝,这种具有更强分生(分枝)的植物抵抗天敌危害的能力更强^[30]。说明轻度和摘顶处理可能会增加黄顶菊抵抗胁迫的能力。同样,在轻度危害和摘顶处理下黄顶菊花蕾数和花生物量指标也较对照显著升高,出现超补偿效应。这与 McNaughton^[31], Paige 和 Whitham^[32] 及 Owen^[33] 的研究结果一致;在一定条件和取食强度下,天敌取食不仅不会降低而是能够增加植物的生产力^[34-35],显示出较强的耐受能力。同样,其他指标也表现出类似的结果。在低水平的天敌危害处理(轻度处理和摘顶)下,黄顶菊各器官生物量显著高于对照处理,对天敌危害显示补偿反应。而继续增加危害程度后,植物体则表现为不足补偿,生长受到抑制。Nault 在马铃薯产量对不同程度天敌危害的响应研究中得到了类似的结果^[36]。有研究证明,植物应对天敌危害的较高耐受能力是由于生物量可塑性的分配对天敌危害起到缓冲作用^[11]。Mabry 等研究认为,植物受到胁迫后会使资源由根向茎重新分配,增大支持结构生物量比^[37]。在本研究中,模拟天敌危害对黄顶菊生物量分配影响较小,重度处理的支持结构生物量比显著高于摘顶处理。

相对生长速率(RGR)是表示植物生长能力的指标。研究表明,当植物受到天敌危害时,会通过增加其相对生长速率提高植物的耐受能力^[25]。本研究中轻度危害和摘顶处理下黄顶菊 RGR 表现出的超补偿现象。

表型可塑性能够反映物种对环境的适应能力,黄顶菊在受到不同程度模拟天敌危害后,其生长指标的表型可塑性指数较高,显示出在胁迫条件下黄顶菊营养生长更强再生和补偿生长的能力。很明显,较高的生长指标可塑性指数意味着其能够更有效地利用有限资源,维持较高的生长速率,这也是黄顶菊具有较强入侵能力的原因。

天敌危害能够减少光合面积,降低其光合能力^[20]。在本研究中,用剪刀剪去植物部分叶片模拟黄顶菊被天敌取食,不同程度的降低了黄顶菊的叶面积。轻度处理和摘顶处理并未对黄顶菊的光合速率产生影响,且由于蒸腾速率下降,使其具有了较高的水分利用效率,说明一定危害程度下,由于植物自身的耐性,生理指标同样表现出超补偿效应。Strauss 和 Agrawal 认为一定程度下天敌取食植物部分叶片后减少了叶片间互相遮阴的情况,因而使余下的叶片的光合能力升高。这与本研究的结果一致^[26]。叶绿素荧光对环境敏感,常用于评价植物光合机构的功能对环境胁迫的响应,作为判断植物抗逆性强弱的理想指标^[38]。在胁迫条件下,PS II 反应中心的破坏或可逆失活将引起 F_0 的增加^[39]。在非胁迫条件下, F_v/F_m 的值一般处于一个较稳定的水平上,而且不受物种和生长条件的影响^[40],但是在胁迫或受损伤的条件下 F_v/F_m 值会明显下降。在本研究中,各处理的初始荧光较对照都显著增加,说明模拟植食性天敌危害可能造成了 PS II 反应中心的破坏或可逆失活。而 3 种不同程度去除叶片处理的 F_v/F_m 和 F_v/F_0 显著的低于对照和摘顶处理,显示黄顶菊植株受到了严重胁迫^[41-42]。

综上所述,轻度天敌危害水平下,黄顶菊表现出较强的耐受能力,对其生长、结实和生物量指标出现超补偿现象,而只有在重度危害水平下对黄顶菊的生长结实和生理特性产生显著的影响,这种耐受性表明一定程度的植食性天敌危害可能会促进(而非抑制)植物的再生生长和繁殖。生物控制黄顶菊要求天敌具有较高危害水平,这也恰是生物防控的局限性所在。对某一入侵种而言,只有证实天敌逃逸是其成功入侵的机制或者证明天敌危害能有效抑制其生长繁殖,采取相应的生物防治措施,才能发挥有效作用^[43]。前期研究表明,通过生物替代实现物种间竞争能够实现对黄顶菊的防控^[14-15],有必要深入研究模拟天敌危害和诸如种间竞争相结合等方法综合应用对黄顶菊再生生长的影响规律,指导黄顶菊防控的生产实践。

References:

- [1] Wan F H, Guo J Y, Zhang F. Research on Biological Invasions in China. Beijing: Science Press, 2009: 10-24.
- [2] DiTomaso J M. Invasive weeds in rangelands: species, impacts, and management. Weed Science, 2000, 48(2): 255-265.
- [3] Barreto R W, Evans H C. The mycobiota of the weed *Mikania micrantha* in southern Brazil with particular reference to fungal pathogens for biological control. Mycological Research, 1995, 99(3): 343-352.
- [4] Lu Q G. The importance of classical biological control to biodiversity protection. Chinese Biodiversity, 1997, 5(3): 224-230.
- [5] Ding J Q, Chen Z Q, Fu W D, Wang R, Zhang G L, Lu X J, Fang Y J, Xia W Q. Control *Eichhornia crassipes*, an invasive aquatic weed in South China with *Neochetina eichhorniae*. Chinese Journal of Biological Control, 2001, 17(3): 97-100.
- [6] Chen S B, Guan D S. Biological character observation and biological control of *Procecidochares utilis* stonee. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 1994, 7(4): 98-102.
- [7] Tang C J, Zhou S. Introduction to the controlling and utilizing of *Eupatorium Adenophorum* Spreng. Sichuan Caoyuan, 2003, (6): 7-10.
- [8] Qiang S. The history and status of the study on crofton weed (*Eupatorium adenophorum* Spreng.) a worst worldwide weed. Journal of Wuhan Botanical Research, 1998, 16(4): 366-372.
- [9] Duan H, Qiang S, Wu H R, Lin J C. *Eupatorium adenophorum* Spreng. Weed Science, 2003, (2): 36-38.
- [10] Raghu S, Dhileepan K. The value of simulating herbivory in selecting effective weed biological control agents. Biological Control, 2005, 34(3): 265-273.
- [11] MacDonald A A M, Kotanen P M. Leaf damage has weak effects on growth and fecundity of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). Botany, 2010, 88(2): 158-164.
- [12] Mukherjee A, Jones J W, Cuda J P, Kiker G, Overholt W A. Effect of simulated herbivory on growth of the invasive weed *Hygrophila polysperma*: experimental and predictive approaches. Biological Control, 2012, 60(3): 271-279.
- [13] Wang Q X, Zhang H J, Guo M X, Meng X Q, Peng L, Jin S K, Yang J S, Cao A C. Chemistry control of invasive weed *Flaveria bidentis* (L.)

- Kuntze. *Ecology and Environment*, 2008, 17(3): 1184-1189.
- [14] Huangfu C H, Zhang T R, Liu H M, Li G, Lai X, Yang D L. Field replacement control of *Flaveria bidentis* with three forage species. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(8): 1511-1518.
- [15] Ma J, Yi J, Huangfu C H, Yang D L. Competitive effects between invasive plant *Flaveria bidentis* and three pasture species. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2010, 30(5): 1020-1028.
- [16] Du X C, Tan W Z, Sun X C. Biodiversity of insects on the alien invasive plant *Flaveria bidentis*. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2011, 33(6): 1-6.
- [17] Sun X C, Fu W D, Zhang G L, Tang X L, Bi C W. Three new diseases recorded on the invasive weed yellow-top (*Flanueria bidentis*) in North China: diagnosis and pathogen identification. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2011, 33(4): 24-30.
- [18] Ye Y, Lu C Y, Tan F Y. Studies on differences in growth and physiological responses to waterlogging between *Bruguiera gymnorrhiza* and *Kandelia candel*. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1654-1661.
- [19] Valladares F, Wright S J, Lasso E, Kitajima K, Pearcy R W. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. *Ecology*, 2000, 81(7): 1925-1936.
- [20] Crawley M J. Insect herbivores and plant population dynamics. *Annual Review of Entomology*, 1989, 34(1): 531-562.
- [21] McEvoy P B. Insect-plant interactions on a planet of weeds. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2002, 104(1): 165-179.
- [22] Bigger D S, Marvier M A. How different would a world without herbivory be? A search for generality in Ecology. *Integrative Biology: Issues, News, and Reviews*, 1998, 1(2): 60-67.
- [23] Carson W P, Root R B. Top-down effects of insect herbivores during early succession; influence on biomass and plant dominance. *Oecologia*, 1999, 121(2): 260-272.
- [24] Fagan W F, Bishop J G. Trophic interactions during primary succession; herbivores slow a plant reinvasion at Mount St. Helens. *The American Naturalist*, 2000, 155(2): 238-251.
- [25] Strauss S Y, Agrawal A A. The ecology and evolution of plant tolerance to herbivory. *Trend in Ecology and Evolution*, 1999, 14(5): 179-185.
- [26] Marquis R J. Leaf herbivores decrease fitness of a tropical plant. *Science*, 1984, 226(4674): 537-539.
- [27] Lehtilä K, Strauss S Y. Effects of foliar herbivory on male and female reproductive traits of wild radish, *Raphanus raphanistrum*. *Ecology*, 1999, 80(1): 116-124.
- [28] Rebek K A, O'Neil R J. Impact of simulated herbivory on *Alliaria petiolata* survival, growth, and reproduction. *Biological Control*, 2005, 34(3): 283-289.
- [29] Milbrath L R. Growth and reproduction of invasive *Vincetoxicum rossicum* and *V. nigrum* under artificial defoliation and different light environments. *Botany*, 2008, 86(11): 1279-1290.
- [30] Stowe K A, Marquis R J, Hochwender C G, Simms E L. The evolutionary ecology of tolerance to consumer damage. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2000, 31(1): 565-595.
- [31] McNaughton S J. Compensatory plant growth as a response to herbivory. *Oikos*, 1983, 40(3): 329-336.
- [32] Paige K N, Whitham T G. Overcompensation in response to mammalian herbivory; the advantage of being eaten. *The American Naturalist*, 1987, 129(3): 407-416.
- [33] Owen D F. How plants may benefit from the animals that eat them. *Oikos*, 1980, 35(2): 230-235.
- [34] Doak D F. The consequences of herbivory for dwarf fireweed; different time scales different morphological scales. *Ecology*, 1991, 72(4): 1397-1407.
- [35] Belsky A J. Does herbivory benefit plants? A review of the evidence. *The American Naturalist*, 1986, 127(6): 870-892.
- [36] Nault B A, Kennedy G G. Limitations of Using regression and mean separation analyses for describing the response of crop yield to defoliation; a case study of the Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) on potato. *Journal of Economic Entomology*, 1998, 91(1): 7-20.
- [37] Mabry C M, Wayne P W. Defoliation of the annual herb *Abutilon theophrasti*; mechanisms underlying reproductive compensation. *Oecologia*, 1997, 111(2): 225-232.
- [38] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51(345): 659-668.
- [39] Zhao H J, Zou Q, Yu Z W. Chlorophyll fluorescence analysis technique and its application to photosynthesis of plant. *Journal of Henan Agricultural University*, 2000, 34(3): 248-251.
- [40] Xu D Q, Zhang Y Z, Zhang R X. Photoinhibition of photosynthesis in plants. *Plant Physiology Communications*, 1992, 28(4): 237-243.
- [41] Lavinsky A O, Sant'Ana C D S, Mielke M S, Almeida A A F D, Gomes F P, França S, Silva D D C. Effects of light availability and soil flooding on growth and photosynthetic characteristics of *Genipa americana* L. seedlings. *New Forests*, 2007, 34(1): 41-50.
- [42] Ball M C, Butterworth J A, Roden J S, Christian R, Egerton J J G, Wydrzynski T J, Chow W S, Badger M R. Applications of chlorophyll

fluorescence to forest ecology. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1995, 22(2): 311-319.

[43] Pearson D E, Callaway R M. Indirect effects of host-specific biological control agents. *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18(9): 456-461.

参考文献:

- [1] 万方浩, 郭建英, 张峰. 中国生物入侵研究. 北京: 科学出版社, 2009: 10-24.
- [4] 陆庆光. 论生物防治在生物多样性保护中的重要意义. *生物多样性*, 1997, 5(3): 224-230.
- [5] 丁建清, 陈志群, 付卫东, 王韧, 张国良, 吕旭健, 方勇军, 夏万青. 水葫芦象甲对外来杂草水葫芦的控制效果. *中国生物防治*, 2001, 17(3): 97-100.
- [6] 陈升碧, 关德盛. 泽兰实蝇生物学特性观察及生物防治. *西南农业学报*, 1994, 7(4): 98-102.
- [7] 唐川江, 周俗. 紫茎泽兰防治与利用研究概况. *四川草原*, 2003, (6): 7-10.
- [8] 强胜. 世界性恶性杂草——紫茎泽兰研究的历史及现状. *武汉植物学研究*, 1998, 16(4): 366-372.
- [9] 段惠, 强胜, 吴海荣, 林金诚. 紫茎泽兰. *杂草科学*, 2003, (2): 36-38.
- [13] 王秋霞, 张宏军, 郭美霞, 孟宪清, 彭雷, 靳书坤, 杨江升, 曹勘程. 外来入侵杂草黄顶菊的化学防除. *生态环境*, 2008, 17(3): 1184-1189.
- [14] 皇甫超河, 张天瑞, 刘红梅, 李刚, 赖欣, 杨殿林. 三种牧草植物对黄顶菊田间替代控制. *生态学杂志*, 2010, 29(8): 1511-1518.
- [15] 马杰, 易津, 皇甫超河, 杨殿林. 入侵植物黄顶菊与3种牧草竞争效应研究. *西北植物学报*, 2010, 30(5): 1020-1028.
- [16] 杜喜翠, 谭万忠, 孙现超. 外来入侵植物黄顶菊上昆虫种类多样性研究. *西南大学学报: 自然科学版*, 2011, 33(6): 1-6.
- [17] 孙现超, 付卫东, 张国良, 唐秀丽, 毕朝位. 中国华北地区黄顶菊杂草上的3种新病害及病原菌鉴定. *西南大学学报: 自然科学版*, 2011, 33(4): 24-30.
- [18] 叶勇, 卢昌义, 谭凤仪. 木榄和秋茄对水渍的生长与生理反应的比较研究. *生态学报*, 2001, 21(10): 1654-1661.
- [39] 赵会杰, 邹琦, 于振文. 叶绿素荧光分析技术及其在植物光合机理研究中的应用. *河南农业大学学报*, 2000, 34(3): 248-251.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso- and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 吕永龙

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元