

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

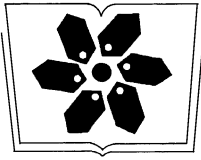
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第9期 Vol.32 No.9 **2012**

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 32 卷 第 9 期 2012 年 5 月 (半月刊)

目 次

不同土地覆被格局情景下多种生态系统服务的响应与权衡——以雅砻江二滩水利枢纽为例.....	葛 菁, 吴 楠, 高吉喜, 等 (2629)
放牧对小嵩草甸生物量及不同植物类群生长率和补偿效应的影响.....	董全民, 赵新全, 马玉寿, 等 (2640)
象山港日本对虾增殖放流的效果评价.....	姜亚洲, 凌建忠, 林 楠, 等 (2651)
城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例.....	仇江啸, 王效科, 逯 非, 等 (2659)
江河源区高寒草甸退化序列上“秃斑”连通效应的元胞自动机模拟.....	李学玲, 林慧龙 (2670)
铁西区城市改造过程中建筑景观的演变规律.....	张培峰, 胡远满, 熊在平, 等 (2681)
商洛低山丘陵区农林复合生态系统光能竞争与生产力.....	彭晓邦, 张硕新 (2692)
基于生物量因子的山西省森林生态系统服务功能评估.....	刘 勇, 李晋昌, 杨永刚 (2699)
不同沙源供给条件下柽柳灌丛与沙堆形态的互馈关系——以策勒绿洲沙漠过渡带为例.....	杨 帆, 王雪芹, 杨东亮, 等 (2707)
桂西北喀斯特区原生林与次生林凋落叶降解和养分释放.....	曾昭霞, 王克林, 曾馥平, 等 (2720)
江西九连山亚热带常绿阔叶林优势种空间分布格局.....	范 娟, 赵秀海, 汪金松, 等 (2729)
秦岭山地锐齿栎次生林幼苗更新特征.....	康 冰, 王得祥, 李 刚, 等 (2738)
极端干旱环境下的胡杨木质部水力特征.....	木巴热克·阿尤普, 陈亚宁, 等 (2748)
红池坝草地常见物种叶片性状沿海拔梯度的响应特征.....	宋璐璐, 樊江文, 吴绍洪, 等 (2759)
改变 C 源输入对油松人工林土壤呼吸的影响.....	汪金松, 赵秀海, 张春雨, 等 (2768)
啮齿动物捕食压力下生境类型和覆盖处理对辽东栎种子命运的影响.....	闫兴富, 周立彪, 刘建利 (2778)
上海闵行区园林鸟类群落嵌套结构.....	王本耀, 王小明, 王天厚, 等 (2788)
胜利河连续系统中蜉蝣优势种的生产量动态和营养基础.....	邓 山, 叶才伟, 王利肖, 等 (2796)
虾池清塘排出物沉积厚度对老鼠筋幼苗的影响.....	李 婷, 叶 勇 (2810)
澳大利亚亚热带不同森林土壤微生物群落对碳源的利用.....	鲁顺保, 郭晓敏, 芮亦超, 等 (2819)
镜泊湖岩溶台地不同植被类型土壤微生物群落特征.....	黄元元, 曲来叶, 曲秀春, 等 (2827)
浮床空心菜对氮循环细菌数量与分布和氮素净化效果的影响.....	唐莹莹, 李秀珍, 周元清, 等 (2837)
促分解菌剂对还田玉米秸秆的分解效果及土壤微生物的影响.....	李培培, 张冬冬, 王小娟, 等 (2847)
秸秆还田与全膜双垄集雨沟播耦合对半干旱黄土高原玉米产量和土壤有机碳库的影响.....	吴荣美, 王永鹏, 李凤民, 等 (2855)
赣江流域底泥中有机氯农药残留特征及空间分布.....	刘小真, 赵 慈, 梁 越, 等 (2863)
2009 年徽州稻区白背飞虱种群消长及虫源性质.....	刁永刚, 杨海博, 瞿钰锋, 等 (2872)
木鳖子提取物对朱砂叶螨的触杀活性.....	郭辉力, 师光禄, 贾良曦, 等 (2883)
冬小麦气孔臭氧通量拟合及通量产量关系的比较.....	佟 磊, 冯宗炜, 苏德·毕力格, 等 (2890)
专论与综述	
基于全球净初级生产力的能源足迹计算方法.....	方 恺, 董德明, 林 卓, 等 (2900)
灵长类社会玩耍的行为模式、影响因素及其功能风险.....	王晓卫, 赵海涛, 齐晓光, 等 (2910)
问题讨论	
中国伐木制品碳储量时空差异分析.....	伦 飞, 李文华, 王 震, 等 (2918)
研究简报	
森林自然更新过程中地上氮贮量与生物量异速生长的关系.....	程栋梁, 钟全林, 林茂兹, 等 (2929)
连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响.....	华菊玲, 刘光荣, 黄劲松 (2936)
刈割对外来入侵植物黄顶菊的生长、气体交换和荧光的影响.....	王楠楠, 皇甫超河, 陈冬青, 等 (2943)
不同蔬菜种植方式对土壤固碳速率的影响.....	刘 杨, 于东升, 史学正, 等 (2953)
巢湖崩岸湖滨基质-水文-生物一体化修复.....	陈云峰, 张彦辉, 郑西强 (2960)



封面图说: 在交配的雨蛙——雨蛙为两栖动物, 世界上种类达 250 种之多, 分布极广。中国的雨蛙仅有 9 种, 除西部一些省份外, 其他各省(区)均有分布。雨蛙体形较小背面皮肤光滑, 往往雄性绿色, 雌性褐色, 其指、趾末端多膨大成吸盘, 便于吸附攀爬。多生活在灌丛、芦苇、高秆作物上, 或塘边、稻田及其附近的杂草上。白天匍匐在叶片上, 黄昏或黎明频繁活动, 捕食能力极强, 主要以昆虫为食。特别是在下雨以后, 常常 1 只雨蛙先叫几声, 然后众蛙齐鸣, 声音响亮, 每年在四、五月份夜间发情交配。

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

DOI: 10.5846/stxb201103160328

王楠楠,皇甫超河,陈冬青,张天瑞,姜娜,屠臣阳,李玉浸,杨殿林. 刈割对外来入侵植物黄顶菊的生长、气体交换和荧光的影响. 生态学报, 2012, 32(9):2943-2952.

Wang N N, Huangfu C H, Chen D Q, Zhang T R, Jiang N, Tu C Y, Li Y J, Yang D L. Effects of clipping on the growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of invasive plant, *Flaveria bidentis*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(9):2943-2952.

刈割对外来入侵植物黄顶菊的生长、 气体交换和荧光的影响

王楠楠,皇甫超河,陈冬青,张天瑞,姜娜,屠臣阳,李玉浸,杨殿林*

(农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘要:为明确不同刈割处理对黄顶菊生长和生理特性的影响,本研究在田间条件下,对黄顶菊在生长季内不同时间进行刈割处理。结果表明,刈割降低了黄顶菊植株各部分的生物量积累,其中以刈割 3 次效果最为显著,使黄顶菊总生物量、根生物量、茎生物量、叶生物量分别较对照下降 82.57%、44.53%、80.04%、91.76%;植株的高度和花序数随刈割次数的增加显著降低,其中刈割 3 次的花序数为 0;刈割 1 次植株分枝数最大,出现超补偿现象,刈割 3 次分枝数显著低于其他处理;叶绿素含量除了刈割 2 次出现增高趋势外,随刈割次数的增加,叶绿素含量逐渐降低;刈割处理使黄顶菊净光合速率(P_n)、气孔导度(Cond)和蒸腾速率(T_r)均显著升高;刈割 3 次的 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)显著低于其它各处理,而初始荧光(F_0)则显著增加;生长指标的可塑性指数大于生理指标可塑性指数,表明前者在黄顶菊对刈割处理等物理措施适应方面起到了更为重要的作用。总之,刈割 3 次处理黄顶菊的各项生长和生理指标所受影响最大,对黄顶菊植株的再生和开花结实抑制效果最为理想。

关键词:黄顶菊;入侵植物;刈割;生长;气体交换;叶绿素荧光

Effects of clipping on the growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of invasive plant, *Flaveria bidentis*

WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, CHEN Dongqing, ZHANG Tianrui, JIANG Na, TU Chenyang, LI Yujin, YANG Dianlin*

Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China

Abstract: *Flaveria bidentis*, an exotic plant with the strong invasiveness, spreads at the most regions of Tianjin, Hebei, Province and Shandong Province, China, and there is an evidence that it has high potential to expand to other provinces. This article aims to find out an effective, economic and environmentally friendly measure to manage *F. bidentis*. Clipping is a common management measure to forage species, and proper clipping can promote their tillering and regeneration, thus enhancing their production yield and quality. However, excessive clipping may restrict the growth of aboveground part of forage species. High frequency clipping above the ground not only restrain plant growth, but also prevent the seed set. After 3 to 4 years' consecutive clipping treatment, the plant would be killed eventually. There are many successful examples using the clipping measure to prevent and control invasive plants.

A field experiment was carried out to clarify the effects of clipping measure on the growth and physiological characteristics of invasive plant *F. bidentis*, Sixty 3 m by 3 m plots were established. Four treatments (control, one-time

基金项目: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(201103027)

收稿日期:2011-03-16; 修订日期:2011-07-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dlyang@caas.net.cn

clipping, two-time clipping and three-time clipping) were applied to the plots in completely randomized design.

The results showed that clipping reduced the biomass accumulation of *F. bidentis*. Compared with the control, three-time clipping treatment was most efficient, and a reduction of 82.57%, 44.53%, 80.04% and 91.76% in total biomass, root biomass, stem biomass and leaf biomass was found respectively. The plant height and the inflorescence numbers decreased significantly with clipping times, especially under three-time clipping treatment, the inflorescence numbers declined to 0. The maximum branch numbers was recorded under one-time clipping treatment (so-called super-compensation phenomenon), while three-time clipping yielded the lowest branch numbers. Compared with control, chlorophyll content tended to decrease with increasing clipping times. In addition, clipping treatments significantly enhanced net photosynthetic (P_n), stomatal conductance (Cond) and transpiration rate (Tr). The maximum photochemical efficiency of photosystem II (F_v/F_m) and potential activity of photosystem II (F_v/F_0) under three-time clipping were significantly lower than other treatments, whereas initial fluorescence yield (F_0) increased obviously. At same time, there was a trend of rise in parameters, such as net photosynthetic (P_n), stomatal conductance (Cond) and transpiration rate (Tr) upon clipping. In short, the impact of every growth and physiological index of *F. bidentis* was greatest by three clipping, three-time clipping affected growth and physiological indices of *F. bidentis* greatly, restricting its regeneration, flowering and eventually fructifying. The index of growth plasticity was higher than that of physiological plasticity, suggesting that growth plasticity was an important acclimation characteristic for clipping regimes for this invasive species.

In practice, we suggest that the clipping measure should be adapted, combine with field replacement with clipping-resistance forage species such as *Sorghum bicolor* × *S. sudanense*, *Dactylis glomerata*, *Medicago sativa*, for wise management on *F. bidentis*.

Key Words: *Flaveria bidentis*; invasive plant; clipping measure; growth; gas exchange; chlorophyll fluorescence

黄顶菊 *Flaveria bidentis* 是菊科堆心菊族黄顶菊属一年生杂草,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^[1]。2001年,我国首次报道在天津和河北的衡水市发现黄顶菊,但有调查推断,黄顶菊早在1996年便已传入我国^[2]。截至2009年,河北省全省黄顶菊发生面积2.4万 hm^2 ,分布在我国河北省的大部分地区,河南、山东两省也均有发现,并仍有继续扩张蔓延的趋势^[3-4]。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^[5],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,防除入侵植物的方法包括物理防除、化学防除、生物防治等^[6-7]。一些方法在防除外来植物的同时,对本地生物多样性的影响也是很大的^[8-9]。化学防除通常作为控制入侵植物的首选方法,但从环境安全、经济成本等方面考虑,不适宜在诸多生态系统中使用^[10]。例如,除草剂的非靶标效应或药物残留可能影响本地植物及土居动物(包括某些濒危种)生存,同时大规模使用除草剂可能带来的人力物力投入也会成为其限制因素。因此,推荐采取生态学的方法防除外来植物^[11]。采用物理方法实现生态恢复在国内外已经有成功的范例,成功减缓或阻止了外来植物的入侵^[12]。刈割是植物利用和管理的一种方式^[13]。国内外均有研究用刈割的方法防治外来入侵植物的报道。Hammond研究了包括刈割和化学防除在内的6种方法治理大米草(*Spartina anglica*)和其与唐氏米草的杂交种(*Spartina* × *Townsendii*),认为刈割是有效且环境友好的方法^[14]。同样,Hedge等也认为用刈割的方法防治互花米草是一种高效且环境友好的方法^[15]。Tang等研究认为通过2次刈割(分别在开花期和9周后)即能够实现对外花米草的理想防控效果^[12]。李贺鹏在综合两个生长季末期互花米草刈割结果表明8月份单次刈割效果优于其他时间刈割以及2次刈割和3次刈割^[16]。林貽卿通过动态测量不同时期互花米草齐地刈割的株高、株数、生物量、根系活力、根系可溶性总糖含量、根系游离氨基酸含量、根系可溶性蛋白质含量以及根系活性氧清除系统中保护酶活性等指标,都证明了在孕穗期到抽穗期刈割

防除互花米草效果最佳^[17]。本研究在田间条件下,通过对黄顶菊进行不同时期多次刈割的方法,以期寻求对其有效的物理控制技术,并在此基础上探讨该技术控制黄顶菊的内在机理,为该入侵种的生态治理和发生区生物多样性保护提供技术支撑和理论依据,也为在我国华北地区黄顶菊防治提供新的途径。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区域位于河北省献县陌南村(38°15'30"N,115°57'50"E),为黄顶菊重发生区之一。该地区气候类型属于温带大陆性季风气候。四季分明,年降水量约 560 mm,日照全年平均 2800 h,日照率 31.96%,无霜期 189 d,年均气温 12.3 °C。土壤类型属于潮土,土质较紧实,质地较黏,轻度盐渍化,土壤 pH 值偏弱碱性。

1.2 试验材料

黄顶菊种子采自河北省献县陌南村。

1.3 试验设计

黄顶菊于 2010 年 5 月 20 日播种。整地后浇透水,之后做畦,然后播种黄顶菊,播种密度为 300 株/m²。为使种子分布均匀,按 1:10 比例掺入细河砂,均匀撒于表土层。之后镇压一遍,使种子与土壤颗粒密切接触,在播种 3 周后进行间苗,必要时移栽补种相同生长阶段的幼苗,使各试验处理达到设计密度比例要求且分布均匀。试验过程中不施肥,每 15 d 左右人工拔除一次滋生的其他植物。试验处理每小区面积为 3 m×3 m,设 4 个处理:未刈割(对照)、刈割 1 次、刈割 2 次和刈割 3 次。首次刈割在 2010 年 6 月 20 日进行,在之后的 30 d(7 月 20 日)和 60 d(8 月 19 日)分别进行第 2 次和第 3 次刈割。每个处理设 15 次重复,随机区组排列,共 60 个小区。刈割采取人工方法,留茬高度为 10 cm。

1.4 测定指标与方法

3 次刈割处理结束后 20 d,进行取样和各项指标测定。

1.4.1 生物量和植物生长指标测定

随机取完整植株 15 株,将其根、支持结构和叶分开,在 80 °C 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(Leaf mass ratio, LMR, 叶重/植株总重)、根生物量比(Root mass ratio, RMR, 根重/植株总重)、支持结构生物量比(Supporting organs biomass ratio, SBR, 支持结构生物量/植株总重)、根冠比(Root mass/ crown mass, R/C, 根生物量/地上部分生物量)。株高采用直尺进行测量。统计花序数和分枝数(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)。

1.4.2 叶绿素含量测定

在每个处理小区中随机选取黄顶菊植株 5 株,每株选择中上部正常生长且叶位相同的 2 片功能叶。用 85% 的丙酮暗处理 12 h 后于 665 nm、649 nm 处测定消光值,按下面公式计算单位面积的叶绿素含量^[18]:

$$\text{Chla} = 12.7\text{OD}_{663} - 2.69\text{OD}_{645}$$

$$\text{Chlb} = 22.9\text{OD}_{645} - 4.86\text{OD}_{663}$$

$$\text{Cv} = \text{Chla} + \text{Chlb}$$

单位面积表示的叶绿素含量(mg/dm²) $C_A = \text{Cv} \times 1/1000 \times 5 \times 100/S$

1.4.3 光合作用参数测定

利用 LI-6400 便携式光合仪(LI-COR, USA)测定。分析刈割对净光合速率(P_n)、气孔导度(Cond)、蒸腾速率(T_r)和水分利用效率($\text{WUE} = P_n/T_r$)的影响。

1.4.4 叶绿素荧光参数测定

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

1.4.5 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]。

1.4.6 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 SPSS17.0 统计分析程序中完成。

2 结果与分析

2.1 不同刈割处理对黄顶菊生长的影响

刈割处理明显的降低了黄顶菊植株各部分的生物量。从表 1 中可以看出,对照处理的黄顶菊植株根生物量、茎生物量、叶生物量和总生物量指标都是最大的,且与刈割 1 次、刈割 2 次和刈割 3 次后黄顶菊各部分生物量相比都具有显著差异($P < 0.05$)。其中,刈割 3 次的茎生物量、叶生物量和总生物量与刈割 1 次的也有显著差异。刈割 1 次、刈割 2 次、刈割 3 次的总生物量较对照分别降低了 39.47%、69.58%、82.57%;根生物量分别降低了 46%、68.55%、44.53%;茎生物量分别降低了 39.75%、70.75%、80.04%;叶生物量分别降低了 41.65%、67.23%、91.76%。同样,处理后黄顶菊的生物量分配有了明显差异。如表 2,刈割 3 次的叶生物量比显著低于其它 3 种处理;刈割 3 次的根生物量比和根冠比显著的高于其它 3 种处理;而支持结构生物量比 4 种处理间无显著差异。总之,刈割 3 次处理使黄顶菊植株生物量下降的效果最为明显。

表 1 刈割对黄顶菊生物量的影响

Table 1 Effects of different clipping treatments on biomass of *Flaveria bidentis*

处理 Treatment	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)
对照处理 CK	13.308±2.231a	92.292±12.095a	40.280±6.038a	145.880±19.833a
刈割 1 次 One clipping	7.186±0.952b	55.610±5.737b	23.502±2.391b	88.298±8.751b
刈割 2 次 Two clipping	4.186±0.643b	27.000±5.611bc	13.198±2.697bc	44.382±8.925bc
刈割 3 次 Three clipping	7.382±0.863b	14.732±1.636c	3.318±0.913c	25.432±3.027c

表中值为平均数±标准误,同列不同字母表示差异达显著水平($P < 0.05$)

表 2 刈割对黄顶菊生物量分配的影响

Table 2 Effects of different clipping treatments on biomass allocation of *Flaveria bidentis*

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
对照处理 CK	0.274±0.009a	0.0902±0.006b	0.636±0.005a	0.0994±0.008b
刈割 1 次 One clipping	0.273±0.008a	0.0832±0.005b	0.644±0.012a	0.0909±0.006b
刈割 2 次 Two clipping	0.296±0.007a	0.0976±0.006b	0.607±0.006a	0.1083±0.007b
刈割 3 次 Three clipping	0.123±0.023b	0.2938±0.019a	0.584±0.028a	0.4197±0.036a

刈割处理改变了黄顶菊的营养生长和生殖生长特征。刈割 1 次和刈割 2 次处理分别在 6 月 20 日和 7 月 20 日进行,分别经过 80 d 和 50 d 的恢复生长后,株高与对照比较仍分别下降了 7.78% 和 37.04%,均差异显著($P < 0.05$)。而刈割 3 次对黄顶菊株高抑制作用最为明显,与对照相比下降了 76.38% ($P < 0.05$,图 1)。不同处理也显著的影响了黄顶菊分枝数。图 1 可见,刈割 1 次处理黄顶菊分枝数显著高于对照($P < 0.05$),增加了 46.51%;刈割 2 次处理略高于对照但无显著差异;而经过 3 次刈割黄顶菊分枝数下降了 83.82%,达到显著水平。所以适度刈割(1 次和 2 次)有利于黄顶菊的分枝数不同程度的增加,进一步增加刈割次数(3 次)能够有效的遏制黄顶菊的营养生长。

同时,刈割处理也显著的影响了黄顶菊的生殖生长。图 1 中,随着刈割次数的增加,各处理植株的花序数呈显著降低趋势($P < 0.05$)。刈割 1 次的处理,虽然有一定数量的植株开花,但与对照处理相比下降了 49.90%;刈割 2 次处理的花序数又显著的低于刈割 1 次处理,花序数仅为 29.8;而刈割 3 次的植株没有开花的植株。说明刈割明显的推迟了黄顶菊的生殖生长,减少了其结实量。

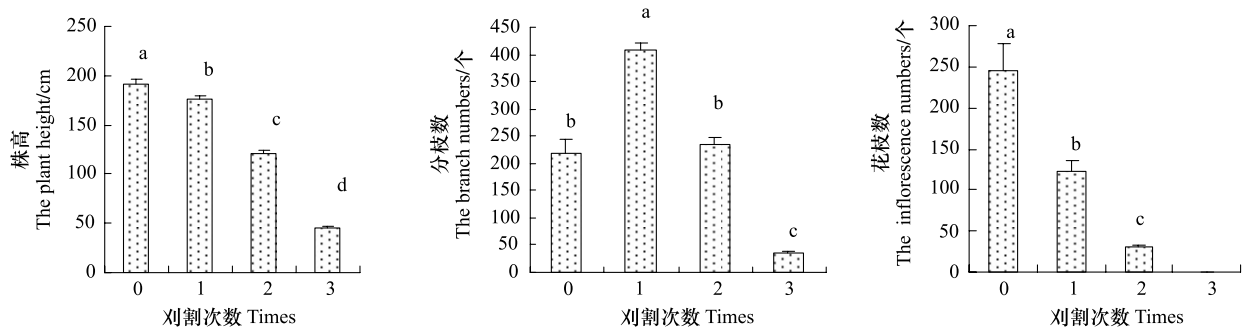


图1 刈割对黄顶菊生长特征的影响

Fig. 1 Effects of different clipping treatments on growth characteristics *Flaveria bidentis*

2.2 不同刈割处理对黄顶菊生理特性的影响

2.2.1 不同刈割处理下黄顶菊的光合特性

如表3所示,黄顶菊不同刈割处理叶绿素含量总体变化趋势是随着刈割次数的增加,表现含量逐渐降低的趋势。刈割3次的叶绿素含量低于对照,表现显著差异($P < 0.05$)。与之有所不同,净光合速率 P_n 、气孔导度 $Cond$ 和蒸腾速率 Tr 指标在不同的刈割处理后变化趋势相似,除刈割3次处理外,随刈割次数的增加而逐渐增大:刈割2次>刈割1次>对照,且差异显著($P < 0.05$,如表3),刈割2次的 P_n 值、 $Cond$ 值和 Tr 值都为最大。说明刈割处理能够在一定程度上增强黄顶菊植株的光合性能。同时,从表3中可以看出,刈割2次处理的水分利用率显著小于其他处理,对照、刈割1次和刈割3次之间并无显著差异。水分利用效率 WUE 在刈割处理后虽然有下降趋势,但3次刈割间无显著变化。

表3 刈割对黄顶菊叶绿素含量和光合性状的影响

Table 3 Effects of different clipping treatments on chlorophyll content and photosynthesis characteristics of *Flaveria bidentis*

处理 Treatment	叶绿素含量 Chlorophyll content /(mg/dm^2)	净光合速率 P_n /($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	气孔导度 $Cond$ /($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	蒸腾速率 Tr ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	水分利用效率 WUE /($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)
对照 CK	5.444±0.214 ab	23.09±0.676 c	0.197±0.011 c	3.493±0.164 c	6.813±0.196 a
刈割1次 One clipping	4.784±0.262 bc	27.49±1.086 b	0.273±0.015 b	4.314±0.164 b	6.425±0.278 ab
刈割2次 Two clipping	5.679±0.139 a	31.35±1.084 a	0.404±0.025 a	5.479±0.206 a	5.770±0.231 b
刈割3次 Three clipping	4.493±0.125 c	27.78±0.941 a	0.352±0.018 a	4.592±0.199 b	6.139±0.273 ab

2.2.2 不同刈割处理下黄顶菊的叶绿素荧光特性

从表4看出,刈割3次处理的初始荧光显著高于对照、刈割1次和刈割2次。而刈割1次和刈割2次与对照处理无显著差异。 F_v/F_m 是PS II的最大光化学量子产量,大小反应PS II反应中心内原始光能的转化效率,刈割3次的 F_v/F_m 显著低于对照、刈割1次、刈割2次的值,说明刈割3次处理使黄顶菊能够显著降低黄顶菊光化学效率。而刈割1次和2次均与对照处理没有显著差异。 F_v/F_0 是PS II的潜在活性,它的变化趋势与 F_v/F_m 相似。刈割3次的 F_v/F_0 显著低于其他处理,而刈割1次和2次均与对照处理没有显著差异($P > 0.05$,表4)。

表4 刈割对黄顶菊叶绿素荧光各项参数的影响

Table 4 Effects of different clipping treatments on chlorophyll fluorescence parameters of *Flaveria bidentis*

处理 Treatment	初始荧光 F_0	最大荧光 F_m	可变荧光 F_v	PS II最大光化学效率 F_v/F_m	PS II潜在活性 F_v/F_0
对照 CK	139.5±5.106b	541.5±17.606b	402.1±20.314bc	0.736±0.017a	2.982±0.22a
刈割1次 One clipping	131.8±2.952b	577.0±15.289ab	445.3±14.524b	0.770±0.007a	3.397±0.122a
刈割2次 Two clipping	141.7±3.067b	606.7±14.206a	464.9±13.768a	0.765±0.007a	3.302±0.117a
刈割3次 Three clipping	169.5±10.28a	522.1±13.921b	352.4±16.304c	0.672±0.021b	2.219±0.187b

2.3 刈割对黄顶菊表型可塑性指数的影响

本研究中,在不同的刈割强度处理下,黄顶菊的生长指标如株高、分枝数、花枝数、生物量及其分配都具有很高的表型可塑性指数,多在 0.7 以上(表 5),这就意味着黄顶菊的生长指标对刈割具有较强的适应能力。而叶绿素含量、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。

表 5 黄顶菊各指标在刈割处理下的表型可塑性指数

Table 5 Index of phenotypic plasticity for traits related to the growth in *Flaveria bidentis* at different levels of clipping treatment

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	0.7638	叶绿素含量 chlorophyll content	0.1737
分枝数 The branch numbers	0.9135	初始荧光 F_0	0.2224
花序数 The dressedsquid numbers	1	最大荧光 F_m	0.1394
根生物量 Root biomass	0.6855	可变荧光 F_v	0.2420
茎生物量 Stem biomass	0.8404	PSII 最大光化学效率 F_v/F_m	0.1273
叶生物量 Leaf biomass	0.9176	PSII 潜在活性 F_v/F_0	0.3468
总生物量 Total biomass	0.8256	净光合速率 P_n	0.2633
叶生物量比 LMR	0.5844	气孔导度 Cond	0.5113
根生物量比 RMR	0.7168	蒸腾速率 T_r	0.3625
根冠比 R/C	0.7834	水分利用效率 WUE	0.1531

3 讨论

植物在其生活史中常会遇到各种类型环境胁迫。Chapin 认为植物具有一个对所有胁迫发生反应的中心系统,由激素传递并起到平衡植物体内养分、水分、碳营养和激素的功能^[20],在胁迫解除之后,植物将逐渐恢复其生长,减少或消除胁迫因素所带来的不利影响^[21]。刈割防除是通过物理切割去除植物地上部分,阻止其地上部分生长以及生物量的积累,减少光合作用面积和光合产物向地下传输来影响根系的生长、越冬或地下芽的萌发,最终达到防控的目的。刈割方法是否能有效的抑制入侵植物的生长蔓延,从而实现有效防控入侵植物,很大程度上取决于对其早期营养生长指标(如株高、生物量等)以及后期生殖生长(如结实数)的控制效果。植株高和分枝数是反映黄顶菊生长特征的重要参数,能够反映不同刈割处理后黄顶菊再生生长的状况^[17]。本研究中,不同刈割处理都降低了黄顶菊的植株高度,而刈割 3 次对黄顶菊株高抑制作用最为明显,说明刈割能够明显的抑制黄顶菊地上部分的恢复生长,且随着刈割次数的增加,抑制效果更加明显。不同植物种类在不同的胁迫条件下,如刈割处理、放牧干扰、动物啃食、施肥或干旱等,不同的水平(个体、群体)、不同生长阶段会表现出不同的补偿性反应^[22-23]:不足补偿,等量补偿和超补偿。就分枝数指标而言,与对照相比,刈割 1 次小区的分枝数显著的升高,表现出显著的超补偿反应。这可能由于黄顶菊主茎被刈割后,打破了顶端优势,促进侧芽萌发,使分枝数显著增加。刈割 2 次分枝数表现为等量补偿,处理后的分枝数与对照无显著差异;刈割 3 次分枝数大大降低,表现出显著的不足补偿反应。李贺鹏^[16]及林贻卿^[17]在采用刈割控制互花米草的研究中均发现,株高指标即使在第一个生长季的 3 月和 5 月进行刈割处理后仍高于对照,表现出较强的补偿生长能力。因此,轻度伤害的情况下植物超补偿效应相对较大^[24],重度伤害时为不足补偿反应^[25]。

花序数是反映黄顶菊生殖生长的指标,直接影响植株的最终结实量。刈割 1 次、2 次和 3 次均显著降低了花序数,是因为刈割直接损伤和去除了黄顶菊的繁殖器官或繁殖器官的生长部位,同时刈割去除了植株的营养器官,减少了植物的光合作用面积,因而导致植物有性繁殖能力减弱^[16]。表明适当的刈割措施能够推迟黄顶菊的开花,影响黄顶菊的生殖生长。为防止田间试验黄顶菊种子发生扩散,本研究在采样结束后种子成熟前将植株进行了处理,所以本试验未对结实率进行统计。但由刈割对花序数的显著影响可推断不同处理间种子的结实数仍会有显著差异。

地上部分生物量实际上是黄顶菊株高与分枝数的综合体现,因此与这两指标变化规律类似,随着刈割次数的增加,黄顶菊地上生物量逐渐降低,其中刈割 3 次地上部分生物量降低程度最大,严重抑制了黄顶菊刈割后植株再生。这与 Gray, Benham, Veitch 和 Clout 等研究证明重复或高频率刈割能降低大米草的萌芽能力和生物量积累的结果一致^[26-27]。由黄顶菊在不同刈割处理下生长指标分析结果可见,除了轻度刈割(刈割 1 次)能够使分枝数出现超补偿现象,随刈割次数增加,株高、分枝数、花枝数和生物量指标均呈下降趋势。

叶绿素对光能的吸收和利用的起着重要作用,所以叶绿素含量可以作为衡量光合性能的指标,叶绿素总含量越大,越有利于吸收更多的太阳辐射^[28-29]。刈割 2 次处理的叶绿素含量最大,可能是因为重复刈割促进了营养器官的再生和更新,叶片叶绿素含量最高,而对照和刈割 1 次的黄顶菊都进入生殖生长时期,故叶片功能呈下降趋势,叶绿素含量较 2 次刈割低。刈割 3 次处理的叶绿素含量最低,且与对照和刈割 2 次处理相比具有显著差异,这说明多次刈割处理影响黄顶菊叶绿素含量。植物的不同生育期的净光合速率也不同,一般都以营养生长期最高,到了生长末期就下降^[30]。与叶绿素含量变化规律相对应,刈割 2 次处理的净光和速率、气孔导度和蒸腾速率都是最大的。刈割 2 次后的黄顶菊正处于营养生长旺盛期,刈割 1 次后的黄顶菊处于生殖生长初期,刈割 3 次处理的黄顶菊刚刚恢复正常生长,而对照处理的黄顶菊已经进入了生殖生长期,因此,净光合速率大小顺序为刈割 2 次>刈割 3 次>刈割 1 次>对照。此外,光照条件、二氧化碳供给等因素影响净光合速率的大小^[31]。刈割改善了黄顶菊群落的风光照条件,有利于净光合速率升高。

叶绿素荧光参数对胁迫因子十分敏感,通常被作为判断植物抗逆性强弱的理想指标,用于评价光和机构的功能和环境胁迫对植物的影响^[32-33]。根据初始荧光的变化推断反应中心的状况:PS II 天线的热耗散增加导致 F_0 降低;PS II 反应中心的破坏或可逆失活引起 F_0 的增加^[34]。在非逆境条件下, F_v/F_m 的值一般处于一个较稳定的水平上,多数植物的 F_v/F_m 在 0.832 ± 0.004 左右,而且不受物种和生长条件的影响^[35]。但是在逆境或受损伤的条件下 F_v/F_m 值会明显下降。在本研究中,刈割 3 次处理的 F_0 最大,显著高于对照、刈割 1 次和刈割 2 次处理,说明刈割造成了 PS II 反应中心的破坏或可逆失活。同时,刈割 3 次 F_v/F_m 则最小,也说明黄顶菊植株受到了严重胁迫^[36-38]。由黄顶菊在不同刈割处理下光合及荧光参数变化分析结果可见,适当刈割(如刈割 2 次)能够增强植株同化器官的生长势和光合能力,但再增加刈割次数(刈割 3 次及以上)这些参数指标则呈下降趋势。

表型可塑性就是相同的基因型在不同的环境条件下表现出不同的表型^[39],能够反映物种对环境的适应能力。表型可塑性较高的物种,被认为能适应更为多变的环境^[40],而可塑性水平有限的物种可能会被限制在某些特定的环境中^[41]。入侵种往往具有较高的表型可塑性,具有更为宽泛的生态位和更强竞争能力^[42]。在本试验中,黄顶菊在受到不同强度的刈割处理后,各生长指标的表型可塑性指数较高,说明在这些胁迫因素作用下,具有较强再生和补偿生长的能力,黄顶菊具有适应环境的能力,与之前研究结果一致^[4],这也是其较强入侵性的原因。而叶绿素含量、荧光和光合生理指标的可塑性指数相对较低,说明在研究期内黄顶菊主要通过调节形态和生物量分配来适应刈割胁迫,这也是其重要适应性策略。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,达到更高的生长速率,在竞争中获得优势。另一方面,也有研究认为在逆境条件下植物生长指标较高的可塑性水平可能对生理指标可塑性起补偿作用^[43]。尽管如此,在频繁刈割处理的情形下,新叶和嫩枝的不断生出消耗了植物碳水化合物库存^[44],最终影响到植株的生存和进入生殖生长。

综上所述,植物株高、生物量(地上生物量^[12])、花序数、叶绿素荧光等参数都能很好的表征刈割对黄顶菊的防除效果。Delabays 等^[45]和 Bohren 等^[46]研究表明,即使在植株的生殖生长期(8 月中下旬),单次刈割通常不能充分的阻止豚草植株的生长和种子的形成。在本试验中,多次刈割处理对黄顶菊的生理特性和生长发育具有很大的影响,使黄顶菊地上部分的再生、发育受到抑制,并导致黄顶菊开花时期推迟,最终降低其结实量,减少当年土壤种子库的输入;刈割 3 次对黄顶菊的控制效果最为明显,黄顶菊株高、分枝数、花序数、生物量、叶绿素含量以及 PS II 最大光化学效率都显著的降低,具有较好的防控效果。而在李贺鹏^[16]的试验中,

单次刈割中 8 月的处理对互花米草生长的影响最大,然后分别是 7 月和 9 月,两次刈割和 3 次刈割的处理对互花米草生长的抑制效果不如单次刈割中 8 月的处理。Patracchini 从管理的角度上也指出,选择适宜的刈割处理时期比刈割次数重要的多^[47]。因此,今后还需要对黄顶菊刈割的最佳方式(如最佳刈割时期和刈割间隔)进行进一步的探索和研究,在降低防控成本的同时,实现最佳的控制效果。此外 Patracchini 建议:刈割处理要在种子成熟和散落之前进行^[47]。

此外,由于物理、生物、化学等防治方法均有各自的优缺点,单独采用任何一种方法都难于获得高效、快速、持久的效果。实现各种防治措施的结合有助于实现对入侵植物有效控制,也是外来生物防控实践的发展方向^[47-48]。皇甫超河、马杰等研究了多种牧草与黄顶菊替代竞争的效果,结果表明高丹草、欧洲菊苣和紫花苜蓿等经济价值很高的耐刈割牧草具有很好的替代控制效果^[3,49-50],适宜的刈割能促进牧草的分蘖和再生,从而提高地上部分的生物量和质量^[51],因此将替代控制方法与牧草管理措施刈割相结合,在适时收获牧草的同时防除黄顶菊,从而实现经济价值和生态效益的双赢,也为其他外来植物综合防控实践提供理论依据和指导。

References:

- [1] Gao X M, Tang T G, Liang Y, Zeng T X, Sang W G, Chen Y L. An alert regarding biological invasion by a new exotic plant, *Flaveria bidentis*, and strategies for its control. *Biodiversity Science*, 2004, 12(2): 274-279.
- [2] Li S Q, Ni H W, Fang Y, Lu Y. The study on seed dormancy and seed longevity of *Flaveria bidentis*. *Weed Science*, 2010, (2): 18-21.
- [3] 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.
- [4] Huangfu C H, Wang N N, Chen D Q, Yang D L, Ma J. Effects of increased soil nitrogen on the competitive performance of *Flaveria bidentis* and *Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense* at seedling stage. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(3): 672-678.
- [5] Huangfu C H, Chen D Q, Wang N N, Yang D L. The mutual allelopathic effect between invasive plant *Flaveria bidentis* and four forage species. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(4): 22-32.
- [6] DiTomaso J M. Invasive weeds in rangelands: species, impacts, and management. *Weed Science*, 2000, 48(2): 255-265.
- [7] Hobbs R J, Humphries S E. An integrated approach to the ecology and management of plant invasions. *Conservation Biology*, 1995, 9(4): 761-770.
- [8] Flory S L, Clay K. Invasive plant removal method determines native plant community responses. *Journal of Applied Ecology*, 2009, 46(2): 434-442.
- [9] Miller K V, Miller J H. Forestry herbicide influences on biodiversity and wildlife habitat in southern forests. *Wildlife Society Bulletin*, 2004, 32(4): 1049-1060.
- [10] Guynn D C, Guynn S T, Wigley T B, Miller D A. Herbicides and forest biodiversity-what do we know and where do we go from here? *Wildlife Society Bulletin*, 2004, 32(4): 1085-1092.
- [11] Simberloff D, Parker I M, Windle P N. Introduced species policy, management, and future research needs. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2005, 3: 12-20.
- [12] Tang L, Gao Y, Wang J P, Wang C H, Li B, Chen J K, Zhao B. Designing an effective clipping regime for controlling the invasive plant *Spartina alterniflora* in an estuarine salt marsh. *Ecological Engineering*, 2009, 35(5): 874-881.
- [13] Zhang J E, Liu W G, Chen J C, Shi Y C, Cai Y F. Effects of different cutting intensities on above-and underground growth of *Stylosanthes guianensis*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(9): 1740-1744.
- [14] Hammond M E R. The Experimental Control of *Spartina anglica* and *Spartina* × *townsendii* in Estuarine Salt Marsh [D]. Ulster; University of Ulster, 2001.
- [15] Hedge P, Kriwoken L K, Patten K. A review of *Spartina* management in Washington State, US. *Journal of Aquatic Plant Management*, 2003, 41: 82-90.
- [16] Li H P. Ecological Studies on the Controlling of an Invasion Alien Plant *Spartina alterniflora* [D]. Shanghai; East China Normal University, 2007.
- [17] Lin Y Q. Control Effect and Mechanism Research of Mowing *Spartina alterniflora* [D]. Fujian; Fujian Normal University, 2008.
- [18] Shu Z, Zhang X S, Chen J, Chen G Y, Xu D Q. The simplification of chlorophyll content measurement. *Plant Physiology Communications*, 2010, 46(4): 399-402.

- [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] Chapin F S III. Integrated responses of plants to stress. *Bioscience*, 1991, 41(1): 29-36.
- [21] Yuan B Z, Wang J, Zhao S L, Sun J. An approach to the mechanism of plant compensation. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(5): 45-49.
- [22] Doak D F. The consequences of herbivory for dwarf fireweed: different time scales different morphological scales. *Ecology*, 1991, 72(4): 1397-1407.
- [23] Belsky A J. Does herbivory benefit plants? A review of the evidence. *American Naturalist*, 1986, 127(6): 870-892.
- [24] Gray A J, Benham P E M. *Spartina anglica* — A Research Review. London: Institute of Terrestrial Ecology, 1990: 48-51.
- [25] Obeso J R. Effect of the defoliation and girdling on fruit production in *Ilex aquifolium*. *Functional Ecology*, 1998, 12: 486-491.
- [26] Zhou B R, Ma Z T, Li H M, He X L. Recovering effect of cradle and grazing on growth of forage. *Journal of Qinghai University: Nature Science*, 2006, 24(4): 18-20.
- [27] Veitch C R, Clout M N. Turning the tide: the eradication of invasive species. Gland, Cambridge: IUCN SSC Invasive Species Specialist Group, 2002: 124-131.
- [28] Pan R C, Dong Y D. *Plant Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 1995: 74-76.
- [29] Wang Z. *Plant Physiology*. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 125-128.
- [30] Li X. Study on the Photosynthetic Characteristics of Grafted Cucumber on Different Stocks [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2006.
- [31] Pan R C, Dong Y D. *Plant Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 1995: 106-113.
- [32] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence — a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51(345): 659-668.
- [33] Zhang S R. A discussion on Chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(4): 444-448.
- [34] 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.
- [35] Xu D Q, Zhang Y Z, Zhang R X. Photoinhibition of photosynthesis in plants. *Plant Physiology Communications*, 1992, 28(4): 237-243.
- [36] Lavinsky A O, Sant'Ana C D S, Mielke M S, de Almeida A A F, 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.
- [37] 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*, 1994, 22(2): 311-319.
- [38] Björkman O, Demming B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 1987, 170(4): 489-504.
- [39] Bradshaw A D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances in Genetics*, 1965, 13: 115-155.
- [40] Scheiner S M. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1993, 24: 35-68.
- [41] Sultan S E. Phenotypic plasticity and plant adaptation. *Acta Botanica Neerlandica*, 1995, 44: 363-383.
- [42] Nicotra A B, Chazdon R L, Schlichting C D. Patterns of genotypic variation and phenotypic plasticity of light response in two tropical *Piper* (Piperaceae) species. *American Journal of Botany*, 1997, 84(11): 1542-1552.
- [43] Delagrangé S, Messier C, Lechowicz M J, Dizengremel P. Physiological, morphological and allocational plasticity in understory deciduous trees: importance of plant size and light availability. *Tree Physiology*, 2004, 24: 775-784.
- [44] Canham C D, Kobe R K, Latty E F, Chazdon R L. Interspecific and intraspecific variation in tree seedling survival: effects of allocation to roots versus carbohydrate reserves. *Oecologia*, 1999, 121(1): 1-11.
- [45] Delabays N, Bohren C, Mermillod G, Baker A, Vertenten J. Breaking life cycle of Common Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) to exhaust seed bank. I. Efficiency and optimisation of various mowing schemes. *Revue Suisse d'agriculture*, 2008, 40: 143-149.
- [46] Bohren C, Mermillod G, Delabays N. *Ambrosia artemisiifolia* L.-control measures and their effects on its capacity of reproduction. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2008, 2: 307-312.
- [47] Patracchini C, Vidotto F, Ferrero A. Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) growth as affected by plant density and clipping. *Weed Technology*, 2010, 25(2): 268-276.
- [48] Tang L. Control of *Spartina alteriflora* by An Integrated Approach of Clipping, Water Logging and Ecological Replacement with Reed: An Experimental Study of Ecological Mechanisms [D]. Shanghai: Fudan University, 2008.
- [49] 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.
- [50] Ma J. Research on Ecological Control of Invasive Plant *Flaveria bidentis* [D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010.

- [51] Guo Z G, Liu H X, Wang Y R. Effect of cutting on root growth in Lucerne. *Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004, 24(2): 215-220.

参考文献:

- [1] 高贤明, 唐廷贵, 梁宇, 郑天翔, 桑卫国, 陈艺林. 外来植物黄顶菊的入侵警报及防控对策. *生物多样性*, 2004, 12(2): 274-279.
- [2] 李少青, 倪汉文, 方宇, 吕远. 黄顶菊种子休眠与种子寿命研究. *杂草科学*, 2010, (2): 18-21.
- [3] 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.
- [4] 皇甫超河, 王楠楠, 陈冬青, 杨殿林, 马杰. 增施氮肥对黄顶菊与高丹草苗期竞争的影响. *生态环境学报*, 2010, 19(3): 672-678.
- [5] 皇甫超河, 陈冬青, 王楠楠, 杨殿林. 外来入侵植物黄顶菊与四种牧草间化感互作. *草业学报*, 2010, 19(4): 22-32.
- [13] 章家恩, 刘文高, 陈景青, 施耀才, 蔡燕飞. 不同刈割强度对牧草地上部和地下部生长性状的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(9): 1740-1744.
- [16] 李贺鹏. 外来入侵植物互花米草控制的生态学研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [17] 林贻卿. 刈割对互花米草的防治效果及机理研究 [D]. 福建: 福建师范大学, 2008.
- [18] 舒展, 张晓素, 陈娟, 陈根云, 许大全. 叶绿素含量测定的简化. *植物生理学通讯*, 2010, 46(4): 399-402.
- [21] 原保忠, 王静, 赵松岭. 植物补偿作用机制探讨. *生态学杂志*, 1988, 17(5): 45-49.
- [26] 周秉荣, 马宗泰, 李红梅, 贺晓龙. 刈割及放牧对牧草生长的补偿效应. *青海大学学报: 自然科学版*, 2006, 24(4): 18-20.
- [28] 潘瑞炽, 董愚得. *植物生理学*. 北京: 高等教育出版社, 1995: 74-76.
- [29] 王忠. *植物生理学*. 北京: 中国农业出版社, 2000: 125-128.
- [30] 李欣. 不同砧木嫁接黄瓜光合特性的比较 [D]. 保定: 河北农业大学, 2006.
- [31] 潘瑞炽, 董愚得. *植物生理学*. 北京: 高等教育出版社, 1995: 106-113.
- [34] 赵会杰, 邹琦, 于振文. 叶绿素荧光分析技术及其在植物光和机理研究中的应用. *河南农业大学学报*, 2000, 34(3): 248-251.
- [48] 唐龙. 刈割、淹水及芦苇替代综合控制互花米草的生态学机理研究 [D]. 上海: 复旦大学, 2008.
- [49] 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.
- [50] 马杰. 入侵植物黄顶菊 (*Flaveria bidentis*) 生态调控研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [51] 郭正刚, 刘慧霞, 王彦荣. 刈割对紫花苜蓿根系生长影响的初步分析. *西北植物学报*, 2004, 24(2): 215-220.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 9 May, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

- Responses and weigh of multi-ecosystem services and its economic value under different land cover scenarios: a case study from Ertan water control pivot in Yalong River GE Jing, WU Nan, GAO Jixi, et al (2629)
- Influence of grazing on biomass, growth ratio and compensatory effect of different plant groups in *Kobresia parva* meadow DONG Quanmin, ZHAO Xinquan, MA Yushou, et al (2640)
- Stocking effectiveness of hatchery-released kuruma prawn *Penaeus japonicus* in the Xiangshan Bay, China JIANG Yazhou, LING Jianzhong, LIN Nan, et al (2651)
- The spatial pattern of landscape fragmentation and its relations with urbanization and socio-economic developments: a case study of Beijing QIU Jiangxiao, WANG Xiaoke, LU Fei, et al (2659)
- Cellular automata simulation of barren patch connectivity effect in degradation sequence on alpine meadow in the source region of the Yangtze and Yellow rivers, Qinghai-Tibetan Plateau, China LI Xueling, LIN Huilong (2670)
- Evolution law of architectural landscape during the urban renewal process in Tiexi District ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (2681)
- Competition for light and crop productivity in an agro-forestry system in the Hilly Region, Shangluo, China PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (2692)
- Evaluation of forest ecosystem services based on biomass in Shanxi Province LIU Yong, LI Jinchang, YANG Yonggang (2699)
- Research on the morphological interactions between *Tamarix ramosissima* thickets and Nebkhas under different sand supply conditions; a case study in Cele oasis-desert ecotone YANG Fan, WANG Xueqin, YANG Dongliang, et al (2707)
- Litter decomposition and nutrient release in typical secondary and primary forests in karst region, Northwest of Guangxi ZENG Zhaoxia, WANG Kelin, ZENG Fuping, et al (2720)
- Spatial patterns of dominant species in a subtropical evergreen broad-leaved forest in Julian Mountain Jiangxi Province, China FAN Juan, ZHAO Xiuhai, WANG Jinsong, et al (2729)
- Characteristics of seedlings regeneration in *Quercus aliena* var. *acuteserrata* secondary forests in Qinling Mountains KANG Bing, WANG Dexiang, LI Gang, et al (2738)
- Xylem hydraulic traits of *Populus euphratica* Oliv. in extremely drought environment AYOUPU Mubareke, CHEN Yaning, HAO Xingming, et al (2748)
- Response characteristics of leaf traits of common species along an altitudinal gradient in Hongchiba Grassland, Chongqing SONG Lulu, FAN Jiangwen, WU Shaohong, et al (2759)
- Changes of carbon input influence soil respiration in a *Pinus tabulaeformis* plantation WANG Jinsong, ZHAO Xiuhai, ZHANG Chunyu, et al (2768)
- Effects of different habitats and coverage treatments on the fates of *Quercus wutaishanica* seeds under the predation pressure of rodents YAN Xingfu, ZHOU Libiao, LIU Jianli (2778)
- Nested analysis of urban woodlot bird communities in Minhang District of Shanghai WANG Benyao, WANG Xiaoming, WANG Tianhou, et al (2788)
- Production dynamics and trophic basis of three dominant mayflies in the continuum of Shenglihe Stream in the Bahe River Basin DENG Shan, YE Caiwei, WANG Lixiao, et al (2796)
- Effects of sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on *Acanthus ilicifolius* seedlings LI Ting, YE Yong (2810)
- Utilization of carbon sources by the soil microbial communities of different forest types in subtropical Australia LU Shunbao, GUO Xiaomin, RUI Yichao, et al (2819)
- Soil microbial community characteristics under different vegetation types at the Holocene-basalt Platform, Jingpo Lake area, Northeast China HUANG Yuanyuan, QU Laiye, QU Xiuchun, et al (2827)
- Effect of *Ipomoea aquatica* Floating-bed on the quantity and distribution of nitrogen cycling bacteria and nitrogen removal TANG Yingying, LI Xiuzhen, ZHOU Yuanqing, et al (2837)
- Effects of microbial inoculants on soil microbial diversity and degrading process of corn straw returned to field LI Peipei, ZHANG Dongdong, WANG Xiaojuan, et al (2847)

Effects of coupling film-mulched furrow-ridge cropping with maize straw soil-incorporation on maize yields and soil organic carbon pool at a semiarid loess site of China	WU Rongmei, WANG Yongpeng, LI Fengmin, et al (2855)
Residues and spatial distribution of OCPs in the sediments of Gan River Basin ...	LIU Xiaozhen, ZHAO Ci, LIANG Yu, et al (2863)
Analysis on population fluctuation and properties of the white-backed planthopper in Huizhou in 2009 .....	..... DIAO Yonggang, YANG Haibo, QU Yufeng, et al (2872)
Evaluation acaricidal activities of <i>Momordica cochinchinensis</i> extracts against <i>Tetranychus cinnabarinus</i> .....	..... GUO Huili, SHI Guanglu, JIA Liangxi, et al (2883)
Stomatal ozone uptake modeling and comparative analysis of flux-response relationships of winter wheat .....	..... TONG Lei, FENG Zongwei, Sudebilige, et al (2890)

Review and Monograph

Calculation method of energy ecological footprint based on global net primary productivity .....	..... FANG Kai, DONG Deming, LIN Zhuo, et al (2900)
Behavioral patterns, influencing factors, functions and risks of social play in primates .....	..... WANG Xiaowei, ZHAO Haitao, QI Xiaoguang, et al (2910)

Discussion

Spatio-Temporal changing analysis on carbon storage of harvested wood products in China LUN Fei, LI Wenhua, WANG Zhen, et al (2918)
---	---

Scientific Note

Variations in allometrical relationship between stand nitrogen storage and biomass as stand development .....	..... CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2929)
Effect of continuous cropping of sesame on rhizospheric microbial communities .....	..... HUA Juling, LIU Guangrong, HUANG Jinsong (2936)
Effects of clipping on the growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of invasive plant, <i>Flaveria bidentis</i> .....	..... WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, CHEN Dongqing, et al (2943)
Influence of vegetable cultivation methods on soil organic carbon sequestration rate .....	..... LIU Yang, YU Dongsheng, SHI Xuezheng, et al (2953)
Integrated matrix-hydrology-biological remediation technology for bank collapse lakeside zone of Chaohu Lake .....	..... CHEN Yunfeng, ZHANG Yanhui, ZHENG Xiqiang (2960)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 9 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 9 (May, 2012)

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100071, 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:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100071, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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 70.00 元