

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第3期 Vol.34 No.3 **2014**

中国生态学会
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 34 卷 第 3 期

2014 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 灾后生态恢复评价研究进展 刘孝富,王文杰,李京,等 (527)
- 基于生态能量视角的我国小水电可持续性分析 庞明月,张力小,王长波 (537)

个体与基础生态

- 北部湾北部海域夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力 马璐,曹文清,张文静,等 (546)
- 鲢鱼和胡子鲶的两性异形与雌性个体生育力 樊晓丽,林植华,丁先龙,等 (555)
- 环境温度对白头鹇代谢产热和蒸发失水的影响 林琳,曹梦婷,胡益林,等 (564)
- 灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响 黄彩变,曾凡江,雷加强,等 (572)
- PAHs 污染土壤植物修复对酶活性的影响 朱凡,洪湘琦,闫文德,等 (581)
- 基于修正 RISKE 模型的重庆岩溶地区地下水脆弱性评价 魏兴萍,蒲俊兵,赵纯勇 (589)
- 排水沟蓄水条件下农田与排水沟水盐监测 潘延鑫,罗纨,贾忠华,等 (597)

种群、群落和生态系统

- 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性 高福元,赵成章,卓马兰草 (605)
- 捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫 刘雨芳,李菲,桂芳艳,等 (613)
- 夏、冬季南海北部浮游植物群落特征 马威,孙军 (621)
- 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态 范春楠,郭忠玲,郑金萍,等 (633)
- 持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响 刘方春,邢尚军,马海林,等 (642)
- 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例 张雷,王琳琳,张旭东,等 (650)
- 基于水文平衡的湿地退化驱动因子定量研究 侯鹏,申文明,王桥,等 (660)
- 华北低丘山地人工林蒸散的控制因子 黄辉,孟平,张劲松,等 (667)
- 新疆天山高寒草原不同放牧管理下的 CO_2 , CH_4 和 N_2O 通量特征 贺桂香,李凯辉,宋韦,等 (674)

景观、区域和全球生态

- 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析 马明德,马学娟,谢应忠,等 (682)
- 引黄灌区土壤有机碳密度剖面特征及固碳速率 董林林,杨浩,于东升,等 (690)
- 自养微生物同化 CO_2 的分子生态研究及同化碳在土壤中的转化 吴小红,简燕,陈晓娟,等 (701)

资源与产业生态

- 基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析 孙玉峰,郭全营 (710)

基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例 苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等 (718)

城乡与社会生态

基于增强回归树和 Logistic 回归的城市扩展驱动力分析 李春林,刘 淼,胡远满,等 (727)

研究简报

陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异 梁 婷,同延安,林 文,等 (738)

不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响 刘小勇,李红旭,李建明,等 (746)

长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性..... 王振海,殷秀琴,蒋云峰 (755)

最大可允许填海面积模拟——厦门西海域案例研究 林琛琛,饶欢欢,刘 岩,等 (766)

学术信息与动态

2013 年水文土壤学与自然资源可持续利用国际学术研讨会述评 张 骁,赵文武 (774)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 252 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 29 * 2014-02



封面图说: 云南松树冠——云南松为松科松属裸子植物,多生长在海拔 1000—3500m 的高山,喜光、耐干旱、耐瘠薄,适应酸性的红壤、黄壤,在其他树种不能生长的贫瘠石砾地或冲刷严重的荒山坡分布,易于天然更新。主要分布于四川西南部、云南、西藏东南部、贵州西部、广西西部,常形成大面积纯林,尤以云南分布最广,故有云南松之称。云南松树高可达 30m,胸径达 1m,树皮呈灰褐色,叶通常 3 针一束,鲜有两针,球果圆锥状卵圆形,种子近卵圆形或倒卵形。树干通直,木质轻软细密,是优质造纸、人造板原料,富含松脂是云南松的重要特点之一。

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/stxb201207291075

刘雨芳,李菲,桂芳艳,王秀秀,刘文海,万方浩.捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫.生态学报,2014,34(3):613-620.

Liu Y F, Li F, Gui F Y, Wang X X, Liu W H, Wan F H. Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae). Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 613-620.

捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫

刘雨芳¹, 李 菲¹, 桂芳艳¹, 王秀秀¹, 刘文海¹, 万方浩^{2,*}

(1. 湖南科技大学生命科学学院, 湘潭 411201;

2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100094)

摘要:广食性捕食者广泛捕食植食性昆虫,常被用于有害生物的生物防治,也因此影响植食性昆虫对杂草的生物效果。空心莲子草叶甲(*Agasicles hygrophila*) (鞘翅目:叶甲科 Chrysomelidae)作为入侵恶性杂草空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*) (苋科:莲子草属 *Alternanthera*)的专性天敌,从美国的佛罗里达州引入中国,在释放地防治空心莲子草取得了较好的防治效果。虽然空心莲子草叶甲在引入地均已建立田间种群并有一定程度的自然扩散,但丰富的食物资源,并未使空心莲子草叶甲的自然种群数量变得繁荣,因此其未能有效抑制空心莲子草的扩散蔓延。在野外调查时发现空心莲子草生境中存在大量广食性捕食者。这些广食性捕食者是抑制空心莲子草叶甲种群数量扩张的生物胁迫因子吗?为此,选择捕食性昆虫龟纹瓢虫(*Propylaea japonica*) (鞘翅目:瓢虫科 Coccinellidae)、蜘蛛类捕食者拟水狼蛛(*Pirata subpiraticus*) (蜘蛛目:狼蛛科 Lycosidae)与斜纹猫蛛(*Oxyopes sertatus*) (蜘蛛目:猫蛛科 Oxyopidae)为捕食者,分别以空心莲子草叶甲各虫态为猎物,构建简单的捕食者-猎物系统,在室内检测了上述3种捕食者对空心莲子草叶甲各虫态在不同密度下的日捕食量,以期了解捕食者对空心莲子草叶甲的捕食作用,客观评估空心莲子草叶甲的生物防治效能。研究结果表明:捕食者龟纹瓢虫、斜纹猫蛛与拟水狼蛛均捕食空心莲子草叶甲的卵粒及1龄、2龄幼虫,斜纹猫蛛与拟水狼蛛捕食3龄幼虫,捕食者的捕食量均随着猎物密度的升高而增加,寻找效应降低。三者均不捕食成虫。除拟水狼蛛对3龄幼虫的捕食用 Holling II 模型拟合不呈显著相关关系外,其余捕食反应均拟合 Holling II 模型并显著相关。通过拟合方程得出捕食者对空心莲子草叶甲卵粒的理论日最大捕食量为:斜纹猫蛛 10.9 粒,拟水狼蛛为 6.2 粒,龟纹瓢虫为 5.6 粒;对1龄幼虫的理论日最大捕食量为:斜纹猫蛛为 17.1 头;拟水狼蛛为 35.8 头,龟纹瓢虫为 10.4 头;对2龄幼虫的理论日最大捕食量为:斜纹猫蛛为 6.6 头,拟水狼蛛为 11.2 头,龟纹瓢虫为 2.9 头;对3龄幼虫的理论日最大捕食量为:斜纹猫蛛捕食 12.3 头,拟水狼蛛为 1.1 头。研究结果证实了捕食者可通过捕食作用降低空心莲子草叶甲种群密度,削弱空心莲子草叶甲对空心莲子草的控害效能,是空心莲子草叶甲种群存活的生物胁迫因子。建议在提高空心莲子草叶甲田间种群数量,达到对空心莲子草有效的持续控制效果方面开展进一步研究。

关键词:捕食者;空心莲子草叶甲;空心莲子草;生物胁迫;Holling II 模型

Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae)

LIU Yufang¹, LI Fei¹, GUI Fangyan¹, WANG Xiuxiu¹, LIU Wenhai¹, WAN Fanghao^{2,*}

¹ College of Life Sciences, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China

² State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China

Abstract: Generalist predators are often applied in biological control of pests. Since generalist predators often prey on herbivorous insects unselectively, they also influence biological control of weeds with herbivorous insects. The alligator weed

基金项目:国家农业部重大专项资助项目(2012ZX08011002);国家自然科学基金项目(30871638);湖南省教育厅重点项目(11A035);湖南省农业支撑计划项目(2011NK3082)

收稿日期:2012-07-29; 修订日期:2013-10-09

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

flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) is acted as a specific biological control of the alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae: *Alternanthera*), and it had been introduced to China from Florida, USA. It has performed a good control effect on *A. philoxeroides* since the beetle was released in the areas invaded by *A. philoxeroides*. Although the population of *A. hygrophila* had been established and spread to adjacent regions from the release sites, the population abundance of the beetle maintains only a lower level. Thus, it can not suppress effectively the population expansion and spread of *A. philoxeroides*. We found that many generalist predator species such as spiders and predatory insects live in the habitat of *A. philoxeroides*. Whether the generalist predators are a biotic stress factor for suppressing the population expansion of the beetle? To demonstrate this problem, a predator-prey system including predators, i.e. lady beetle *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae), spider *Oxyopes sertatus* (Araneae: Oxyopidae) and *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae), and host preys, i.e. egg, 1st—3rd instar larva and adult of *A. hygrophila* was built. Then the daily eating number of the above three predators on different immature stages and adults of *A. hygrophila* was observed in the laboratory. This aim to understand the biotic stress of predators on *A. hygrophila* in a natural ecosystem that may evaluate objectively the biological control efficiency of *A. hygrophila* on *A. philoxeroides* in the field. The results showed that *P. japonica*, *O. sertatus* and *P. subpiraticus* could feed on eggs as well as 1st—2nd instar larvae of *A. hygrophila*. Both *O. sertatus* and *P. subpiraticus* could feed on 3rd instar larvae of *A. hygrophila*. The predatory capacities of *P. japonica*, *O. sertatus* and *P. subpiraticus* to eggs and larvae of *A. hygrophila* increased, but searching efficiency of the predators decreased with the increasing densities of prey. However, the three predators did not prey on adult *A. hygrophila* in this experiment. The predatory function responses of *P. japonica* and *P. subpiraticus* on eggs, 1st—2nd instar larvae, and of *O. sertatus* on eggs, 1st—3rd instar larvae of *A. hygrophila* fitted to the disc equation of Holling II. With the exception of the predatory function response of *P. subpiraticus* on 3rd instar larvae of *A. hygrophila*, there were a significant correlation between predator and host prey that were fitted by the disc equation of Holling II. The maximum theoretical number of eggs, 1st instar and 2nd instar larvae of *A. hygrophila* captured by *O. sertatus*, *P. subpiraticus* and *P. japonica* per day was 10.9, 6.2 and 5.6 eggs, 17.1, 35.8 and 10.4 1st instar larvae, and 6.6, 11.2 and 2.9 2nd instar larvae, respectively. The maximum theoretical number of 3rd instar larvae of *A. hygrophila* captured by *O. sertatus* and *P. subpiraticus* was 12.3 and 1.1 larvae, respectively. The results of our present study suggest that the predation of predators can decrease the population density of *A. hygrophila*, which weakens the control efficiency of *A. hygrophila* on *A. philoxeroides* in the field. Therefore, the predators are an important biotic stress factor that affects survival and development of *A. hygrophila* in the field. Another further study should focus on how the biocontrol efficiency of *A. philoxeroides* are enhanced via increasing the population density of *A. hygrophila* in the field.

Key Words: predator; *Agasicles hygrophila*; *Alternanthera philoxeroides*; biotic stress; functional response; Holling II model

室内检测与室外高密度释放均证明空心莲子草叶甲(*Agasicles hygrophila*)对入侵恶性杂草空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)具有专一高效的控制作用^[1-3],是重要的生物防治因子^[4-6]。空心莲子草叶甲引入我国后,均在释放地建立起田间种群^[3],但空心莲子草在我国的蔓延扩散与入侵并没有得到有效的控制。是什么因子影响了空心莲子草叶甲种群的田间控草效果?

自然生态系统中广泛存在着捕食者-猎物相互

作用的系统,而捕食者常对植食者(猎物)种群数量起着重要的调节作用。捕食者是否影响空心莲子草叶甲种群数量,制约其控草效能,成为生物胁迫因子?为进一步探讨引起空心莲子草叶甲田间种群崩溃的胁迫因子,本研究用室内检测法,测试了捕食性昆虫龟纹瓢虫(*Propylaea japonica*)、蜘蛛类捕食者拟水狼蛛(*Pirata subpiraticus*)与斜纹猫蛛(*Oxyopes sertatus*)对空心莲子草叶甲各虫态在不同密度下的日捕食量。该结果将有助于了解捕食者对空心莲子

草叶甲种群的生物胁迫作用,可为客观评价与利用空心莲子草叶甲的生物防治效能,为其他天敌的引进提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试叶甲与捕食者

空心莲子草叶甲成虫采自湖南科技大学生物园实验基地,用盒养法饲养幼虫与成虫并供成虫产卵、叶片法孵化卵粒、湿土培植笼养法化蛹^[7],建立室内稳定实验种群。用吸虫器法^[8]在田间采集拟水狼蛛、斜纹猫蛛与龟纹瓢虫,并挑选无损健康正常个体在室内饲养作为捕食者。其中拟水狼蛛与斜纹猫蛛用褐飞虱饲养,龟纹瓢虫用蚜虫饲养。饲养条件通过人工气候控制设备调节达到:温度(26±1)℃,相对湿度(75±5)%,光周期 L:D=14:10。

1.2 实验方法

1.2.1 捕食者对空心莲子草叶甲不同虫态的捕食能力

本实验中检测的空心莲子草叶甲虫态包括卵、1龄幼虫、2龄幼虫、3龄幼虫与成虫。卵块(卵粒)设1(25)、2(50)、3(75)、4(100)4个密度梯度水平,1龄幼虫设5、10、15、20、25头,2龄幼虫设4、8、12、16、20头,3龄幼虫设3、6、9、12、15头,成虫设1、2、3、4、5头5个密度梯度水平。在150 mL玻璃试管中接入1茎具4—6片叶子的空心莲子草活苗(用湿润脱脂棉包裹苗的基部,脱脂棉外用保鲜膜包裹保湿),制成测试容器。将带有卵块的叶片沿卵块大小剪成小片,用双面胶固定在测试容器中活苗的叶片背面,卵面朝外(如多个卵块时,每叶片上放一个卵块);或用毛笔挑取适合数量的各龄期幼虫与成虫,接入测试容器的活苗上。每个测试容器中接入1头经饥饿处理24 h的捕食者,用纱布与皮筋扎口后,将玻璃试管置于人工气候箱中,环境参数同1.1。24 h后观察统计各密度、各虫态处理下捕食者的捕食量。各处理均重复5次。

1.2.2 捕食者对空心莲子草叶甲不同虫态的捕食功能反应

将1.2.1实验中所获各虫态各密度下的捕食量以倒数法拟合Holling II圆盘方程,用最小二乘法回归计算,因 n 小于50,用Fisher的 t 检验法对相关显著性进行检验。

Holling II型功能反应模型: $N_a = \frac{T_a N}{1 + a' T_h N}$, 式

中 N 为猎物的密度, N_a 为相应密度下的捕食量, a' 为瞬间攻击率, T 为捕食者可利用的总时间(本研究中为1d), T_h 为平均处理时间(即捕食者捕食1头猎物所消耗的时间)^[9]。

1.2.3 捕食者对空心莲子草叶甲不同虫态的寻找效应分析

通过拟合的Holling II型功能反应模型所得参数,计算捕食者对空心莲子草叶甲不同虫态的寻找效应 E 。 $E = \frac{a'}{1 + a' T_h N}$, 式中 N 、 a' 与 T_h 的意义同

Holling II型功能反应模型^[9]。

Holling II型功能反应模型^[9]。

1.3 数据分析

利用统计分析软件SPSS 17.0 for windows,对同一虫态不同密度下的捕食量进行one-Way ANOVA分析,若方差具齐性,则用LSD法进行多重比较,如方差不具齐性,则用Dunnnett T_3 法进行多重比较;用 t 检验法判定捕食者对空心莲子草叶甲不同虫态的捕食与Holling II圆盘方程拟合的相关显著性程度。对搜寻效应进行趋势线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 捕食者对空心莲子草叶甲不同虫态的捕食能力

在不同卵块(卵粒)密度下,捕食者龟纹瓢虫、斜纹猫蛛与拟水狼蛛均捕食空心莲子草叶甲的卵粒,其捕食量如图1所示。在低卵块(卵粒)密度下,龟纹瓢虫的捕食量略高于斜纹猫蛛与拟水狼蛛,但无显著差异($P < 0.05$),捕食量随着猎物密度的升高而升高,但影响均不明显。其中龟纹瓢虫: $F = 0.471$, df

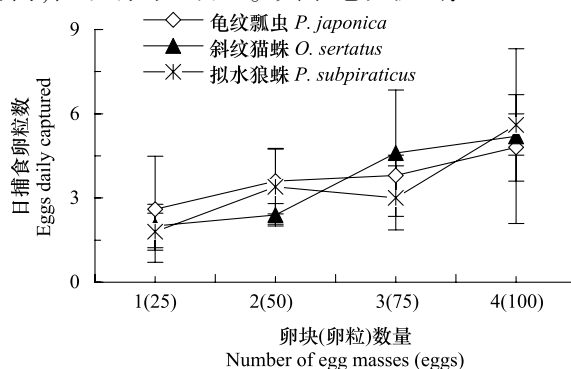


图1 捕食者在不同空心莲子草叶甲卵块(卵粒)密度下的捕食量
Fig.1 Daily consumption of predators to eggs in different densities of *A. hygrophila*

$=3, P=0.706$; 斜纹猫蛛: $F=1.387, df=3, P=0.283$; 拟水狼蛛: $F=2.116, df=3, P=0.139$ 。

捕食者龟纹瓢虫、斜纹猫蛛与拟水狼蛛均捕食空心莲子草叶甲 1 龄幼虫, 其捕食量如图 2 所示。捕食量均随着猎物密度的升高而升高, 1 龄幼虫密度对龟纹瓢虫的捕食量影响不明显 ($F=2.647, df=4, P=0.064$); 对斜纹猫蛛与拟水狼蛛的影响极显著 (斜纹猫蛛: $F=4.835, df=4, P=0.007$; 拟水狼蛛: $F=6.854, df=4, P=0.001$)。

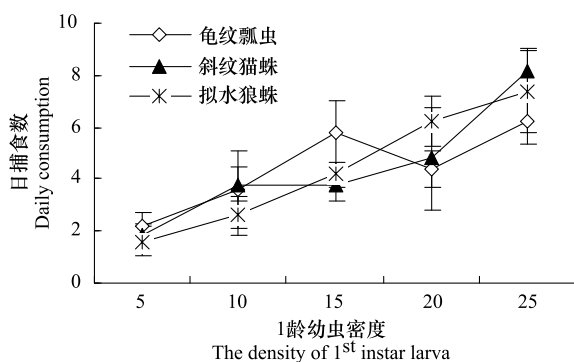


图 2 捕食者在不同空心莲子草叶甲 1 龄幼虫密度下的捕食量

Fig. 2 Daily consumption of predators to 1st instar larva in different densities of *A. hygrophila*

捕食者龟纹瓢虫、斜纹猫蛛与拟水狼蛛均捕食空心莲子草叶甲 2 龄幼虫, 其捕食量如图 3 所示。捕食量均随着猎物密度的升高而升高, 2 龄幼虫密度对龟纹瓢虫的捕食量影响不明显 ($F=1.355, df=4, P=0.285$); 对斜纹猫蛛与拟水狼蛛的影响极显著 (斜纹猫蛛: $F=12.057, df=4, P=0.000$; 拟水狼蛛: $F=9.562, df=4, P=0.000$)。

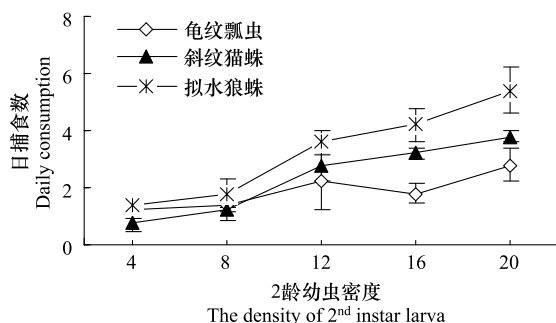


图 3 捕食者在不同空心莲子草叶甲 2 龄幼虫密度下的捕食量

Fig. 3 Daily consumption of predators to 2nd instar larva in different densities of *A. hygrophila*

龟纹瓢虫不捕食空心莲子草叶甲 3 龄幼虫, 斜纹猫蛛与拟水狼蛛均捕食空心莲子草叶甲 3 龄幼

虫, 其捕食量如图 4 所示。3 龄幼虫密度对斜纹猫蛛与拟水狼蛛的影响不明显 (斜纹猫蛛: $F=2.524, df=4, P=0.073$; 拟水狼蛛: $F=2.765, df=4, P=0.056$)。

在此次检测中, 未发现捕食者龟纹瓢虫、斜纹猫蛛与拟水狼蛛捕食空心莲子草叶甲成虫。

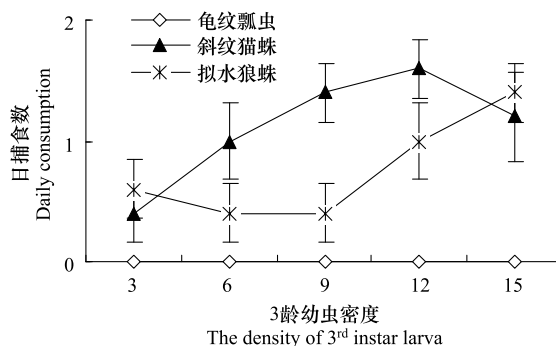


图 4 捕食者在不同空心莲子草叶甲 3 龄幼虫密度下的捕食量

Fig. 4 Daily consumption of predators to 3rd instar larva in different densities of *A. hygrophila*

2.2 捕食者对空心莲子草叶甲不同虫态的捕食功能反应

通过对 Holling II 方程两侧取倒数后将原方程转化为一元线性方程: $1/N_a = T_h + 1/a'N$, 再进行线性回归分析, 分别得到捕食者龟纹瓢虫、斜纹猫蛛与拟水狼蛛捕食空心莲子草叶甲卵、1 龄幼虫、2 龄幼虫、3 龄幼虫的拟合方程, 结果分别见表 1、表 2、表 3 与表 4。

龟纹瓢虫、斜纹猫蛛与拟水狼蛛捕食空心莲子草叶甲卵, 均拟合 Holling II 功能反应模型, 且均显著相关 ($P<0.05$)。比较各参数后可知, 龟纹瓢虫对卵的瞬间攻击率最高, 其次是拟水狼蛛, 但斜纹猫蛛捕食卵的处理时间最短, 分别仅为龟纹瓢虫、拟水狼蛛处理时间的 50.66% 与 56.74%。理论上的最大捕食量以斜纹猫蛛最高, 因此斜纹猫蛛对空心莲子草叶甲卵粒具有更大的捕食胁迫力 (表 1)。

龟纹瓢虫、斜纹猫蛛与拟水狼蛛捕食空心莲子草叶甲 1 龄幼虫, 均拟合 Holling II 功能反应模型, 且均达极显著相关 ($P<0.01$)。比较各参数后可知, 龟纹瓢虫对 1 龄幼虫的瞬间攻击率最高, 其次是斜纹猫蛛, 但拟水狼蛛捕食 1 龄幼虫的处理时间最短, 分别仅为龟纹瓢虫、斜纹猫蛛处理时间的 28.88% 与 47.77%。拟水狼蛛理论上的最大捕食量高达 35.77 头, 是威胁空心莲子草叶甲 1 龄幼虫存活巨大胁

迫力。结果也显示斜纹猫蛛与龟纹瓢虫的理论最大存活构成较大威胁(表 2)。捕食量也较高,同样对空心莲子草叶甲 1 龄幼虫的

表 1 捕食者捕食空心莲子草叶甲卵的功能反应模型拟合
Table 1 The function response model estimation of the predators on eggs of *Agasicles hygrophila*

天敌种类 Species of natural enemy	捕食功能模型 Holling equation of predator	相关系数(<i>R</i>) Correlation coefficient	瞬间攻击率 <i>a'</i> Momentary attacking rate	处理时间(<i>T_h</i>) Treatment time	日最大捕食量 Daily most prey consumed amount	<i>t</i> (Fisher's)	显著性水平 Level of significance
龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	$N_a = \frac{0.2048N}{1 + 0.0369N}$	0.9543	0.2048	0.1802	5.55	4.4677	0.05
斜纹猫蛛 <i>O. sertatus</i>	$N_a = \frac{0.0816N}{1 + 0.0075N}$	0.8988	0.0816	0.0913	10.95	2.8995	0.05
拟水狼蛛 <i>P. subpiraticus</i>	$N_a = \frac{0.1419N}{1 + 0.0228N}$	0.9256	0.1419	0.1609	6.22	3.4575	0.05

表 2 捕食者捕食空心莲子草叶甲 1 龄幼虫的功能反应模型拟合
Table 2 The function response model estimation of the predators on 1st instar larva of *A. hygrophila*

天敌种类 Species of natural enemy	捕食功能模型 Holling equation of predator	相关系数(<i>R</i>) Correlation coefficient	瞬间攻击率 <i>a'</i> Momentary attacking rate	处理时间(<i>T_h</i>) Treatment time	日最大捕食量 Daily most prey consumed amount	<i>t</i> (Fisher's)	显著性水平 Level of significance
龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	$N_a = \frac{0.5653N}{1 + 0.0544N}$	0.9674	0.5635	0.0966	10.35	6.6215	0.01
斜纹猫蛛 <i>O. sertatus</i>	$N_a = \frac{0.4078N}{1 + 0.0238N}$	0.9747	0.4078	0.0584	17.11	7.5526	0.01
拟水狼蛛 <i>P. subpiraticus</i>	$N_a = \frac{0.3252N}{1 + 0.0091N}$	0.9894	0.3252	0.0279	35.77	11.7962	0.01

龟纹瓢虫、斜纹猫蛛与拟水狼蛛捕食空心莲子草叶甲 2 龄幼虫,均拟合 Holling II 功能反应模型,且均达显著相关($P<0.05$)。比较各参数后可知,龟纹瓢虫对 2 龄幼虫的瞬间攻击率最高,其次是拟水狼蛛,斜纹猫蛛最低。但拟水狼蛛捕食 2 龄幼虫的处理时间最短,分别仅为龟纹瓢虫、斜纹猫蛛处理时间的 25.98%与 58.97%。拟水狼蛛在理论上对 2 龄幼

虫的最大捕食量高达 11.22 头,对空心莲子草叶甲 2 龄幼虫存活构成胁迫,斜纹猫蛛在理论上对 2 龄幼虫的最大捕食量为 6.62 头,也严重威胁空心莲子草叶甲 2 龄幼虫的存活。龟纹瓢虫的理论最大捕食量较低,对空心莲子草叶甲 2 龄幼虫的存活有一定的不利影响(表 3)。

表 3 捕食者捕食空心莲子草叶甲 2 龄幼虫的功能反应模型拟合
Table 3 The function response model estimation of the predators on 2nd instar larva of *A. hygrophila*

天敌种类 Species of natural enemy	捕食功能模型 Holling equation of predator	相关系数(<i>R</i>) Correlation coefficient	瞬间攻击率 <i>a'</i> Momentary attacking rate	处理时间(<i>T_h</i>) Treatment time	日最大捕食量 Daily most prey consumed amount	<i>t</i> (Fisher's)	显著性水平 Level of significance
龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	$N_a = \frac{0.4757N}{1 + 0.0238N}$	0.8857	0.4757	0.3429	2.92	3.3049	0.05
斜纹猫蛛 <i>O. sertatus</i>	$N_a = \frac{0.2973N}{1 + 0.0499N}$	0.8803	0.2973	0.1511	6.62	3.2132	0.05
拟水狼蛛 <i>P. subpiraticus</i>	$N_a = \frac{0.3742N}{1 + 0.0333N}$	0.9455	0.3742	0.0891	11.22	5.0309	0.02

龟纹瓢虫不捕食空心莲子草叶甲 3 龄幼虫,因此不对其构成生存威胁。斜纹猫蛛捕食空心莲子草叶甲 3 龄幼虫,拟合 Holling II 功能反应模型,呈极显著相关($P < 0.01$)。拟水狼蛛捕食空心莲子草叶甲 3 龄幼虫,拟合 Holling II 功能反应模型,相关性不显

著($P > 0.05$)。斜纹猫蛛捕食 3 龄幼虫的处理时间仅为拟水狼蛛的 9.24%。斜纹猫蛛在理论上对 3 龄幼虫的最大捕食量高达 12.27 头,成为空心莲子草叶甲 3 龄幼虫存活的生物胁迫因子(表 4)。

表 4 捕食者捕食空心莲子草叶甲 3 龄幼虫的功能反应模型拟合

Table 4 The function response model estimation of the predators on 3rd instar larva of *A. hygrophila*

天敌种类 Species of natural enemy	捕食功能模型 Holling equation of predator	相关系数(R) Correlation coefficient	瞬间攻击率 a' Momentary attacking rate	处理时间(T_h) Treatment time	日最大捕食量 Daily most prey consumed amount	t (Fisher's)	显著性水平 Level of significance
龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	不捕食 No predacious	—	—	—	—	—	—
斜纹猫蛛 <i>O. sertatus</i>	$N_a = \frac{0.1446N}{1 + 0.0118N}$	0.9637	0.1446	0.0815	12.27	6.2537	0.01
拟水狼蛛 <i>P. subpiraticus</i>	$N_a = \frac{0.1916N}{1 + 0.1618N}$	0.6818	0.1916	0.8817	1.13	1.6145	$P > 0.05$

2.3 捕食者对空心莲子草叶甲不同虫态的寻找效应

对捕食者龟纹瓢虫、斜纹猫蛛与拟水狼蛛捕食不同密度下的空心莲子草叶甲卵粒所得的搜寻效应与卵密度间进行趋势线性回归分析,结果表明捕食者捕食卵粒时,其搜寻效应均随卵密度的增加呈线性下降(图 5)。龟纹瓢虫: $Y_1 = -0.0206X + 0.1207$, $R^2 = 0.9353$; 斜纹猫蛛: $Y_2 = -0.0073X + 0.0751$, $R^2 = 0.9870$; 拟水狼蛛: $Y_3 = -0.0155X + 0.1019$, $R^2 = 0.9545$ 。比较回归方程的系数可知,龟纹瓢虫捕食卵时搜寻效应受卵的密度影响最大,随卵密度增加其搜寻效应下降趋势最大,拟水狼蛛次之,斜纹猫蛛捕食卵时,随卵的增加搜寻效应下降趋势不明显。

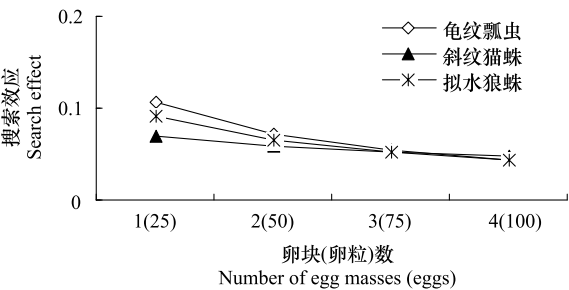


图 5 捕食者对不同密度空心莲子草叶甲卵粒的搜寻反应
Fig.5 The search effect of predators to eggs in different densities of *A. hygrophila*

捕食者捕食 1 龄、2 龄与 3 龄幼虫时,其搜寻效应与猎物密度间的趋势线性回归分析,显示了与

捕食卵粒时的相似结果。即捕食者的搜寻效应均随着猎物密度的增加呈线性下降(图 6—图 8)。对于 1 龄幼虫的搜寻效应,龟纹瓢虫: $Y_1 = -0.0504X + 0.4764$, $R^2 = 0.9674$; 斜纹猫蛛: $Y_2 = -0.0271X + 0.3864$, $R^2 = 0.9891$; 拟水狼蛛: $Y_3 = -0.0115X + 0.3216$, $R^2 = 0.9978$ 。龟纹瓢虫捕食 1 龄幼虫时搜寻效应受幼虫的密度影响最大,随幼虫密度增加其搜寻效应下降趋势最大,斜纹猫蛛次之,拟水狼蛛捕食 1 龄幼虫时猎物的增加搜寻效应下降趋势不明显(图 6)。对于 2 龄幼虫的搜寻效应,龟纹瓢虫: $Y_1 = -0.042X + 0.3078$, $R^2 = 0.9260$; 斜纹猫蛛: $Y_2 = -0.0237X + 0.2697$, $R^2 = 0.9805$; 拟水狼蛛: $Y_3 = -0.0263X + 0.3511$, $R^2 = 0.9871$ 。龟纹瓢虫捕食 2 龄

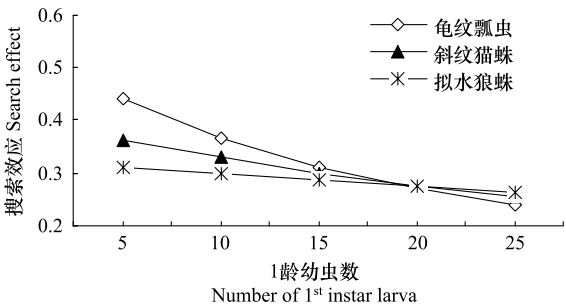


图 6 捕食者对不同密度空心莲子草叶甲 1 龄幼虫的搜寻反应
Fig.6 The search effect of predators to 1st instar larva in different densities of *A. hygrophila*

幼虫时搜寻效应受幼虫的密度影响最大,随幼虫密度增加其搜寻效应下降趋势最大,拟水狼蛛与斜纹猫蛛捕食 2 龄幼虫时,随着猎物的增加搜寻效应下降趋势较明显(图 7)。对于 3 龄幼虫的搜寻效应,斜纹猫蛛: $Y_2 = -0.0042X + 0.1435$, $R^2 = 0.9986$; 拟水狼蛛: $Y_3 = -0.0178X + 0.1365$, $R^2 = 0.9394$ 。拟水狼蛛捕食 3 龄幼虫时搜寻效应受幼虫的密度影响较大,随幼虫密度增加其搜寻效应下降趋势明显,斜纹猫蛛捕食 3 龄幼虫时随猎物的增加搜寻效应呈下降趋势,但其斜率的绝对值小于拟水狼蛛的反应线(图 8)。

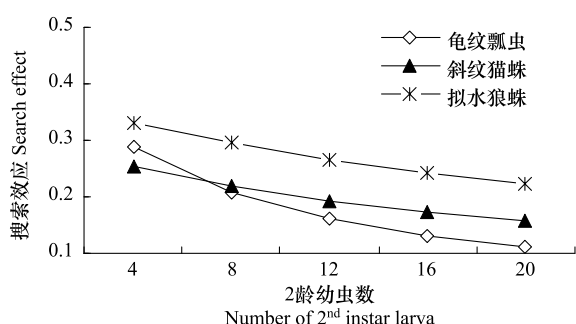


图 7 捕食者对不同密度空心莲子草叶甲 2 龄幼虫的搜寻反应

Fig.7 The search effect of predators to 2nd instar larva in different densities of *A. hygrophila*

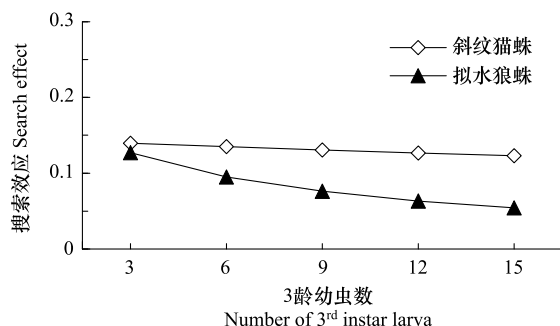


图 8 捕食者对不同密度空心莲子草叶甲 3 龄幼虫的搜寻反应

Fig.8 The search effect of predators to 3rd instar larva in different densities of *A. hygrophila*

3 讨论

捕食者-猎物系统的相关数量动态关系普遍存在于自然生态系统中,这种动态关系常被用于了解害虫的种群动态^[10]、评估捕食者的捕食效能与控害能力^[11],并应用于害虫生物防治。蜘蛛、昆虫等大多数无脊椎动物的功能反应拟合 Holling II 圆盘方程^[9,11]。如龟纹瓢虫成虫对亚洲玉米螟卵的捕

食^[12]、大草蛉 (*Chrysopa pallens*) 幼虫对烟粉虱 (*Bemisia tabaci*) 的捕食^[13]、红脚姬蛛 (*Nesticodes rufipes*) 对舍蝇 (*Musca domestica*) 的捕食^[11] 均拟合 Holling II 功能反应模型。该模型表达了单个捕食者捕食的时间速率,即单位时间内杀死猎物的平均数量,是逆密度制约的一上渐进线或负加速线^[9,11]。本研究表明捕食者龟纹瓢虫、斜纹猫蛛与拟水狼蛛均捕食空心莲子草叶甲卵粒、1 龄幼虫、2 龄幼虫,斜纹猫蛛与拟水狼蛛还捕食空心莲子草叶甲 3 龄幼虫。虽然拟水狼蛛对 3 龄幼虫的捕食用 Holling II 方程拟合,其相关性不显著,但拟水狼蛛捕食 3 龄幼虫时搜寻效应呈密度制约型,随幼虫密度增加其搜寻效应下降趋势明显。其他捕食反应用 Holling II 模型进行拟合,均呈显著或极显著相关关系。他们对猎物的搜寻效应均随着猎物密度的增加呈降低趋势。由此可知,捕食者通过捕食作用降低叶甲种群数量与密度,直接削弱叶甲对空心莲子草的控害效能,是空心莲子草叶甲种群存活生物胁迫因子。

在野外调查时发现,在空心莲子草群落中,捕食性天敌亚群落的物种组成很复杂,除了上述检测的 3 种常见捕食者外,还有如异色瓢虫 (*Leis axyridis*)、青翅蚁形隐翅虫 (*Paederus fuscipes*)、各种步甲、螳螂、猎蝽、膜翅目等捕食性昆虫,以及狼蛛科、皿蛛科、跳蛛科、肖蛸科、球蛛科、圆蛛科、蟹蛛科等各类蜘蛛。尽管在室内的测试,3 种捕食者均不取食叶甲成虫,但在田间空心莲子草植株上、蛛网上常可见残存的叶甲成虫外壳或尸体。由此推断,田间捕食者对空心莲子草叶甲各虫态、各龄期幼虫可能存在广泛的捕食,捕食胁迫关系可能比直接观察结果更复杂。

捕食者-猎物系统是个复杂的相互作用关系的系统,一方面捕食性天敌直接捕食猎物,影响猎物的种群密度,实现对猎物的种群调节,另一方面,引起猎物某些习性的改变,间接影响猎物的适合度,从而影响猎物的种群数量^[13-14]。同时捕食者种群的扩散聚集效应、寻找效应、选择效应、饥饿水平、干扰效应等,及猎物的逃避作用、饱和作用,捕食者与猎物种群各自对环境因素的适应、种内种间的竞争以及种群自身的调节作用均影响捕食效应^[9]。由于捕食功能反应的田间实验存在技术困难,大多数研究只能在室内进行^[15],本文研究也不例外,且只实现在控制条件下对少数几种常见捕食者对猎物当代的捕食

效应检测,证明了自然生态系统中存在的大量捕食者是空心莲子草叶甲种群存活生物胁迫因子,未进行连代胁迫后猎物适合性变化的实验。天敌的捕食胁迫是否能提高空心莲子草叶甲自身的生物学适合度,如提高其迁移能力、内禀增长率等,有待进一步研究。

References:

- [1] Wu Z Q, Cai Y C, Guo Z X, Wang T B. Host specificity tests for *Agasicles hygrophila* (Col: Chrysomelidae), a biological control agent of alligator weed. *Entomological Journal of East China*, 1994, 3(2): 98-100.
- [2] Stewart C A, Chapman R B, Emberson R M, Syrett P, Frampton C M A. The effect of temperature on the development and survival of *Agasicles hygrophila* Selman & Vogt (Coleoptera: Chrysomelidae), a biological control agent for alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*). *New Zealand Journal of Zoology*, 1999, 26(1): 11-20.
- [3] Liu Y F, Su W J, Zeng Q G, Li F, Peng M F, Peng J X, Liu W H, Wan F H. Quantitative evaluation of the controlling effects of *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) on alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*). *Acta Entomologica Sinica*, 2011, 54(11): 1305-1311.
- [4] Sainty G, McCorkelle G, Julien M. Control and spread of alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb., in Australia: Lessons for other regions. *Wetlands Ecology and Management*, 1998, 5: 195-201.
- [5] Julien M H, Skarratt B, Maywald G F. Potential geographical distribution of alligator weed and its biological control by *Agasicles hygrophila*. *Journal of Aquatic Plant Management*, 1995, 33: 55-60.
- [6] Li H K, Li M, Li D. Alligator weed *Alternanthera philoxeroides* and its biological control. *World Agriculture*, 2000, (2): 36-36.
- [7] Liu Y F, Liu W H, Wan F H. Massive rearing of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae), in the laboratory. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52(8): 867-874.
- [8] Liu Y F, Zhang G R, Gu D X. Improving insect suction sampling machine to study arthropods community in paddy fields. *Plant Protection*, 1999, 25(6): 39-40.
- [9] Ding Y Q. *Mathematical Ecology of Insects*. Beijing: Sciences Press, 1994: 235-399.
- [10] Tian Y L, Weng P X. Stability analysis of diffusive predator-prey model with modified leslie-gower and holling-type II Schemes. *Acta Applicandae Mathematicae*, 2011, 114(3): 173-192.
- [11] Rossi M N, Reigada C, Godoy W A C. The effect of hunger level on predation dynamics in the spider *Nesticodes rufipes*: a functional response study. *Ecological Research*, 2006, 21(5): 617-623.
- [12] Xin Z J, Zhuo D G, Li Z H. Predatory functional responses of *Propylaea japonica* adults on eggs of *Ostrinia furnacalis*. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science*, 2011, 42(2): 191-193.
- [13] Liu S, Wang S, Liu B M, Zhou C Q, Zhang F. The predation function response and predatory behavior observation of *Chrysopa pallens* larva to *Bemisia tabaci*. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(6): 1136-1145.
- [14] Kunert G, Weisser W W. The interplay between density- and trait-mediated effects in predator-prey interactions: a case study in aphid wing polymorphism. *Oecologia*, 2003, 135(2): 304-312.
- [15] Marc P, Canard A, Ysnel F. Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, 74(1/3): 229-273.

参考文献:

- [1] 吴珍泉, 蔡元呈, 郭振铎, 王天宝. 空心莲子草叶甲寄主专一性测验. *华东昆虫学报*, 1994, 3(2): 98-100.
- [3] 刘雨芳, 苏文杰, 曾强国, 李菲, 彭梅芳, 彭佳星, 刘文海, 万方浩. 空心莲子草叶甲对空心莲子草控制效果的定量评价. *昆虫学报*, 2011, 54(11): 1305-1311.
- [6] 李宏科, 李萌, 李丹. 空心莲子草及其生物防治. *世界农业*, 2000, (2): 36-36.
- [7] 刘雨芳, 刘文海, 万方浩. 空心莲子草叶甲室内大量繁殖研究. *昆虫学报*, 2009, 52(8): 867-874.
- [8] 刘雨芳, 张古忍, 古德祥. 利用改装的吸尘器研究稻田节肢动物群落. *植物保护*, 1999, 25(6): 39-40.
- [9] 丁岩钦. *昆虫数学生态学*. 北京: 科学出版社, 1994: 235-399.
- [12] 辛肇军, 卓德干, 李照会. 龟纹瓢虫成虫对亚洲玉米螟卵的捕食作用. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2011, 42(2): 191-193.
- [13] 刘爽, 王甦, 刘佰明, 周长青, 张帆. 大草蛉幼虫对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察. *中国农业科学*, 2011, 44(6): 1136-1145.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.3 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research advances and prospects of post-disaster ecological restoration assessment
..... LIU Xiaofu, WANG Wenjie, LI Jing, et al (527)
- The sustainability analysis of small hydropower plants in China based on ecological energetic accounting
..... PANG Mingyue, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (537)

Autecology & Fundamentals

- An ecological study on zooplankton in the northern Beibu Gulf V: the effects of microzooplankton grazing on phytoplankton in summer
..... MA Lu, CAO Wenqing, ZHANG Wenjing, et al (546)
- Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Silurus asotus* and *Clarias fuscus*
..... FAN Xiaoli, LIN Zhihua, DING Xianlong, et al (555)
- Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*)
..... LIN Lin, CAO Mengting, HU Yilin, et al (564)
- Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings
..... HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (572)
- Enzymatic activity during phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon impacted soil
..... ZHU Fan, HONG Xiangqi, YAN Wende, et al (581)
- Assessment of karst groundwater vulnerability in Chongqing based on revised RISKE model
..... WEI Xingping, PU Junbing, ZHAO Chunyong (589)
- Monitoring salt and water dynamics in farmland and drainage ditch in a saline environment under reduced drainage intensity
..... PAN Yanxin, LUO Wan, JIA Zhonghua, et al (597)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in degraded alpine grassland
..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang, ZHUO MA Lancuo (605)
- Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae)
..... LIU Yufang, LI Fei, GUI Fangyan, et al (613)
- Characteristics of phytoplankton community in the northern South China Sea in summer and winter
..... MA Wei, SUN Jun (621)
- The amount and dynamics of litterfall in the natural secondary forest in Mopan Mountain
..... FAN Chunnan, GUO Zhongling, ZHENG Jinping, et al (633)
- Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere
..... LIU Fangchun, XING Shangjun, MA Hailin, et al (642)
- The basic principle of random forest and its applications in ecology: a case study of *Pinus yunnanensis*
..... ZHANG Lei, Wang Linlin, ZHANG Xudong, et al (650)
- Quantitative analysis of driving factors for wetland degradation based on hydrology balance
..... HOU Peng, SHEN Wenming, WANG Qiao, et al (660)
- Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China
..... HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (667)
- The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang
..... HE Guixiang, LI Kaihui, SONG Wei, et al (674)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression (PLS) MA Mingde, MA Xuejuan, XIE Yingzhong, et al (682)
- Profile distribution patterns of soil organic carbon and the rate of carbon sequestration in Ningxia Irrigation Zone DONG Linlin, YANG Hao, YU Dongsheng, et al (690)
- Molecular mechanism on carbon dioxide assimilation of autotrophic microorganism and carbon translocation in agricultural soils WU Xiaohong, JIAN Yan, CHEN Xiaojuan, et al (701)

Resource and Industrial Ecology

- Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach SUN Yufeng, GUO Quanying (710)
- Assessing synthetic carrying capacity based on AD-AS model: a case study in Coastal Zone, Zhoushan SU Panpan, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (718)

Urban, Rural and Social Ecology

- Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (727)

Research Notes

- Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi LIANG Ting, TONG Yan'an, LIN Wen, et al (738)
- The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area LIU Xiaoyong, LI Hongxun, LI Jianming, et al (746)
- Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China WANG Zhenhai, YIN Xiuqin, JIANG Yunfeng (755)
- Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China LIN Chenchen, RAO Huanhuan, LIU Yan, et al (766)

《生态学报》2014 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,探索生态学奥秘,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,280 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

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 34 卷 第 3 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 3 (February, 2014)

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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元