

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 17 期 Vol.33 No.17 **2013**

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 33 卷 第 17 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 植物角质层蜡质的化学组成研究综述 曾 琼, 刘德春, 刘 勇 (5133)
- 中国滨海盐沼湿地碳收支与碳循环过程研究进展 曹 磊, 宋金明, 李学刚, 等 (5141)

个体与基础生态

- 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响 赵永敢, 逢焕成, 李玉义, 等 (5153)
- 盐地碱蓬二型性种子及其幼苗对盐渍环境的适应性 刘 艳, 周家超, 张晓东, 等 (5162)
- 不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对干旱胁迫的响应 丁 红, 张智猛, 戴良香, 等 (5169)
- 夏季苹果新梢生理指标与抗苹果绵蚜的关系 王西存, 周洪旭, 于 毅, 等 (5177)
- 花期海蓬子对盐胁迫的生理响应 刘伟成, 郑春芳, 陈 琛, 等 (5184)
- 白蜡多年卧孔菌生物学特性及驯化栽培 鲁 铁, 图力古尔 (5194)
- 重度火烧迹地微地形对土壤微生物特性的影响——以坡度和坡向为例
..... 白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等 (5201)
- 秸秆还田与施肥对稻田土壤微生物生物量及固氮菌群落结构的影响 刘骁蓓, 涂仕华, 孙锡发, 等 (5210)
- 大穗型小麦叶片性状、养分含量及氮素分配特征 王丽芳, 王德轩, 上官周平 (5219)
- 复合不育剂 EP-1 对小鼠空间记忆与焦虑行为的影响 王晓佳, 秦婷婷, 胡 霞, 等 (5228)

种群、群落和生态系统

- 小兴安岭阔叶红松混交林林隙特征 刘少冲, 王敬华, 段文标, 等 (5234)
- 高寒矮嵩草群落退化演替系列氮、磷生态化学计量学特征 林 丽, 李以康, 张法伟, 等 (5245)
- 中亚热带人工针叶林生态系统碳通量拆分差异分析 黄 昆, 王绍强, 王辉民, 等 (5252)
- 高寒山区一年生混播牧草生态位对密度的响应 赵成章, 张 静, 盛亚萍 (5266)
- 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群 彭松耀, 李新正 (5274)

景观、区域和全球生态

- 采伐干扰对大兴安岭落叶松-苔草沼泽植被碳储量的影响 牟长城, 卢慧翠, 包 旭, 等 (5286)
- 西南喀斯特地区轮作旱地土壤 CO₂ 通量 房 彬, 李心清, 程建中, 等 (5299)
- 干湿季节下基于遥感和电磁感应技术的塔里木盆地北缘绿洲土壤盐分的空间变异性
..... 姚 远, 丁建丽, 雷 磊, 等 (5308)
- 东北温带次生林和落叶松人工林土壤 CH₄ 吸收和 N₂O 排放通量 孙海龙, 张彦东, 吴世义 (5320)
- 新疆东部天山蝶类多样性及其垂直分布 张 鑫, 胡红英, 吕昭智 (5329)
- 玉米农田空气动力学参数动态及其与影响因子的关系 蔡 福, 周广胜, 明惠青, 等 (5339)

天山北坡家庭牧场复合系统对极端气候的响应过程..... 李西良,侯向阳,丁 勇,等 (5353)

大城市边缘区景观破碎化空间异质性——以北京市顺义区为例..... 李 灿,张凤荣,朱泰峰,等 (5363)

资源与产业生态

基于 GLBM 模型的中国大陆阿根廷滑柔鱼鱿钓渔业 CPUE 标准化 陆化杰,陈新军,曹 杰 (5375)

三峡库区古夫河水质时空分异特征..... 冉桂花,葛继稳,苗文杰,等 (5385)

城乡与社会生态

汉、藏、回族地区农户的环境影响——以甘肃省张掖市、甘南藏族自治州、临夏回族自治州为例.....

..... 赵雪雁,毛笑文 (5397)

研究简报

中国近海浮游动物群落结构及季节变化..... 杜明敏,刘镇盛,王春生,等 (5407)

海洋污染物对菲律宾蛤仔的免疫毒性..... 丁鉴锋,闫喜武,赵力强,等 (5419)

衰亡期沉水植物对水和沉积物磷迁移的影响..... 王立志,王国祥 (5426)

伊洛河流域外来草本植物分布格局..... 郭屹立,丁圣彦,苏 思,等 (5438)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-09



封面图说: 帽儿山次生林林相——帽儿山属于长白山山脉的张广才岭西坡,松花江南岸支流阿什河的上游,最高海拔 805m,由侏罗纪中酸性火山岩构成,是哈尔滨市附近的最高峰,因其貌似冠状而得名。东北林业大学于 1958 年在此建立了实验林场。山上生长着松树、榆树、杨树及各种灌木等,栖息着山鸡、野兔等野生动物,在茂密的草地上还生长有各种蘑菇。其地带性植被为温带针阔混交林,目前状况为天然次生林。部分地方次生林转变为落叶松人工林后,落叶松林地的凋落物层影响了林地土壤水分的格局。

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/stxb201205250776

赵成章, 张静, 盛亚萍. 高寒山区一年生混播牧草生态位对密度的响应. 生态学报, 2013, 33(17): 5266-5273.

Zhao C Z, Zhang J, Sheng Y P. The niche of annual mixed-seeding meadow in response to density in alpine region of the Qilian Mountain, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5266-5273.

高寒山区一年生混播牧草生态位对密度的响应

赵成章*, 张 静, 盛亚萍

(西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃省湿地资源保护与产业发展工程研究中心, 兰州 730070)

摘要:生态位指一个种群占据的时空位置及其与相关种群之间的功能关系, 密度是混生种群生态位发生变化的主要制约因子。2010 年 6—9 月采用取代系列实验方法, 在石羊河上游建立 1 年生人工混播草地, 按燕麦 (*Avena sativa* L.) 与毛茛子 (*Vicia villosa* Roth) 的密度比例设置 KY(1:0)、A(8:2)、B(6:4)、C(5:5)、D(4:6)、E(2:8) 和 KM(0:1) 7 个密度组, 研究了时间序列和密度梯度下燕麦与毛茛子生态位宽度和生态位重叠。结果表明: 随着牧草的生长, 5 种混播草地中燕麦的生态位宽度逐渐减小, 毛茛子的生态位宽度逐渐增加, 燕麦与毛茛子的生态位重叠逐渐减小; 混播草地中随着燕麦相对密度的减小和毛茛子相对密度的增加, 燕麦的生态位宽度逐渐减小, 毛茛子的生态位宽度逐渐增加, 燕麦与毛茛子生态位重叠逐渐增加。牧草生长过程中密度制约使两种混播牧草应对种内、种间竞争的资源分配策略发生了调整, 使种间关系和群落结构趋于稳定, 形成一个相互稳定和相互影响的生态系统, 实现了资源利用的最大化。

关键词:生态位宽度; 生态位重叠; 密度制约; 高寒山区; 1 年生混播草地

The niche of annual mixed-seeding meadow in response to density in alpine region of the Qilian Mountain, China

ZHAO Chengzhang*, ZHANG Jing, SHENG Yaping

Research Center of Wetland resources protection and industrial development Engineering of Gansu Province, College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Niche refers to the space-time position of a population occupied and the functional relationship between it and related population. Niche including the requirements of the species on the environment and the influence of environment on species, it reflects the interaction between species and habitats quantitatively. Density-dependent is one of the important selecting pressure in nature, which makes the ground light competition between the neighborhood. by changing the number of populations within each plant availability of resources. Therefore, niche and density gradient are inseparable. To analyze the dynamic distribution rules of niche of mixed pasture from the density gradient is a significant approach to study the strategy of plant population ecological adaptation. Study sites are located in the HuangCheng town (37°58'26" N, 101°47'34" E) which belongs to an upper reaches ShiYang River, SuNan county of alpine region (2530 m) lying in the north of Qilian Mountains. In replacement series experiments, the two species of planting densities were varied but the total density was held constantly. It was used to build mixed-seeding meadow of *Avena sativa* L. and *Vicia villosa* Roth in June 15, 2010. This study set up seven grass-legume seeding ratios: KY(1:0), A(8:2), B(6:4), C(5:5), D(4:6), E(2:8), KM(0:1) which maintains about 300 plants total density constantly. There are total of 21 plots (2 m × 5 m) adopted randomized block arrangement with three replications. We recorded the phenological period, plant-height and branch

基金项目:国家自然科学基金项目(91125014, 40971039); 甘肃省科技支撑计划项目(1011FKCA157); 甘肃省高校基本科研业务费项目和西北师范大学知识与科技创新工程项目(nwnu-KJCXGC-03-66)资助

收稿日期:2012-05-25; **修订日期:**2012-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaocz@nwnu.edu.cn

(tiller) number of mixed grasses every 10 days started from July 17, 2010 to August 27, 2010. The sampling area is 50 cm × 50 cm in every plot, the mixed grasses were separately placed into an oven at 65 °C for 8 hours according to the block order until it reached the constant weight, thus the biomass were recorded respectively. Niche breadth is the metric of plants scale on environment and natural resource utilization, niche overlap occurs when two or more species to take possession of or make use of a certain kind of resources (space, nutrient content, food, etc) together. Under density dependant, the niche breadth of *Avena sativa* L and *Vicia villosa* Roth and the niche overlap of the two species transfer occurred to some extent during the growing period of grasses. The results showed that: (1) With the growth of forage, the density of *Avena sativa* L niche breadth decreases gradually and *Vicia villosa* Roth showed a gradually increasing tendency in all group of mixed grassland, niche overlap of *Vicia villosa* Roth and *Avena sativa* L. showed a reducing tendency. (2) In mixed grassland with *Avena sativa* L relative density decreases and the relative density increase of *Vicia villosa* Roth. *Avena sativa* L niche breadth decreases gradually and *Vicia villosa* Roth showed a gradually increasing tendency, the niche overlap of *Avena sativa* L and *Vicia villosa* Roth increases gradually. To sum up, in the course of grass growth, density dependence lead the resource allocation strategies of the two mixed pasture response to intraspecific, interspecific competition adjusted. Mixed pasture competition ability's change led to its niche in a certain degree of metastasis and differentiation, which made the relationship between species and community structure tend to be stable. To form a mutual stability and mutual influence ecological system, achieve maximum resource utilization.

Key Words: niche breadth; niche overlap; density-dependent; alpine region; annual mixed-seeding meadow

生态位是现代生态学研究的一个主要内容,指种群在时间、空间的位置以及在群落的地位和功能作用^[1]。Silvertown^[2]认为生态位同种间竞争密不可分,是评价种内种间关系及种群在群落中地位的重要手段^[3]。随着生态位理论在物种间关系、生物多样性和群落结构等方面的广泛应用,逐步成为生态学研究领域中非常活跃的领域之一^[4]。近年来关于各类植物群落物种生态位的研究日益普遍,尤其在土壤盐分^[5]、含水量^[6]、有机质^[7]和 pH 值^[8]对植物种群生态位分化影响等方面取得了重要进展,丰富和发展了生态位理论。混播组合试验中混生物种相对密度的变化将影响植物的资源利用效率,促使植物个体生长形态发生适应性改变,植物高度的增加速率和生物量的贡献值发生变化,形成不同的空间生态位,导致物种种内种间竞争强度和转化存在差异^[9]。因此,认识密度梯度上混生种群生态位宽度和重叠变化规律,是了解植物种群竞争协同机制的关键^[10]。

高寒山区气候寒冷,牧草生长季短、产量低,发展优质高产的人工草地是解决冷季草畜供求矛盾、保障草地畜牧业可持续性的重要途径,研究密度制约下混播草地牧草的生态位宽度和生态位重叠及其转化规律,探讨混播草地牧草密度的最佳搭配模式,对于提高草地干物质产量和资源利用效率具有重要意义。国内学者关于高寒山区牧草种间竞争关系^[11]、放牧干扰^[12]和土壤盐分^[13]对牧草生态位的影响等方面均进行了较深入研究。但密度变化对高寒山区人工草地混播牧草生态位宽度和生态位重叠格局,以及牧草生态位对种内种间竞争响应的适应性转化机理仍然不明晰。鉴于此,本文采用取代系列实验方法,在石羊河上游高寒山区建立 1 年生禾本科牧草燕麦和豆科牧草毛苕子混播草地,研究了密度制约下混播牧草生态位宽度和生态位重叠的动态规律,探讨了生态位与种间竞争之间的相互关系。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

实验地位于石羊河上游的甘肃省肃南县皇城镇绵羊育种场(37°58'26" N, 101°47'34" E),海拔 2530 m,具有大陆性气候和山地垂直气候特征。年均温 0 °C,最热和最冷月气温分别为 12—15 °C 和 -13—-11 °C, ≥0 °C 的年积温 2450—2600 °C。年均降水量 350 mm 左右,主要集中在 6—9 月,年 20 cm 口径水面蒸发量 1500—1800 mm,相对湿度 65%。年日照时数 2200—2800 h,无霜期 80 d 左右。土壤以山地栗钙土为主,有机

质 36.5 mg/g, 全氮 2.2 mg/g, 全磷 0.6 mg/g, 全钾 28.3 mg/g, 代换量 $15.1 \text{ m} \cdot \text{e} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ 土}^{[11]}$ 。试验区地处山地荒漠草原与干旱草原过渡带, 具备发展人工草地的气候和灌溉条件, 已经形成了以禾本科牧草为主的人工饲草料种植模式, 但是人工草地品种单一、生产能力低下, 具有进一步提升的空间和潜力。

1.2 试验设计

运用取代试验方法, 在单位面积植株总密度一定条件下, 按 1 年生燕麦 (*Avena sativa* L.) 和毛苕子 (*Vicia villosa* Roth) 的密度比例设 KY(1:0)、A(8:2)、B(6:4)、C(5:5)、D(4:6)、E(2:8) 和 KM(0:1) 7 种植方式。所有小区总密度为 300 株/ m^2 , 浓硫酸处理打破毛苕子种子硬实, 根据种子纯净度、千粒重以及室内发芽实验结果, 确定两种牧草单播和混播的播种量 (KY 和 KM 的用种量分别为 $9 \text{ g}/\text{m}^2$ 和 $19 \text{ g}/\text{m}^2$, 其余依次类推)。小区面积 $2 \text{ m} \times 5 \text{ m}$, 3 次重复, 小区纵横间距均为 0.50m, 共 21 个小区, 随机区组排列。2010 年 6 月 5—12 日整理实验小区, 去除地面植被, 深翻 30cm 内土层, 一次性施足底肥, 平整地面。2010 年 6 月 15 日播种, 播种采用行播, 行距 20cm, 每行均匀播种燕麦与毛苕子, 播种深度 2—4cm, 实验过程中不施肥, 分别于 7 月 10 日、8 月 5 日、8 月 20 日人工除草 3 次, 7 月 20 日、8 月 10 日分别采用喷灌方式对供试草地进行 2 次 $3000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的灌溉。

在 2010 年 7 月 17 日—8 月 27 日隔 10d 取样 1 次, 记录牧草物候期, 每个处理重复 3 次取样, 各小区取样面积 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$, 齐地面刈割, 收获样品分别记录每样方自然状态下 20 株燕麦和毛苕子从地面至植株最上部的植株高, 然后按区组顺序将材料分别置于 65°C 烘箱 8 h 至恒重后记录两个物种干重。

1.3 数据分析

本文以所调查的样方为资源状态, 使各指标综合反映物种对多种资源的利用, 同时也反映植物种的空间关系^[14]。以混播草地中燕麦与毛苕子的相对比例和牧草物候期为资源梯度, 以株高和生物量为资源维进行生态位宽度和生态位重叠的计测。重要值采用相对密度和相对盖度之和。

1) 用 Levins 的生态位宽度指数计测^[15]:

$$BL_i = 1 / (r \sum p_{ij}^2), j = 1, \dots, r$$

式中, BL_i 是物种 i 的生态位宽度, p_{ij} 为物种 i 对第 j 个资源状态下的重要值占该种在所有资源状态中重要值总数的比例, r 为资源水平数。

2) 用 Pianka 的生态位重叠指数计测^[16]:

$$O_{ik} = \sum n_{ij} n_{kj} / (\sum n_{ij}^2 \sum n_{kj}^2)^{1/2}, j = 1, \dots, r$$

式中, O_{ik} 为物种 i 和物种 j 的生态位重叠, n_{ij} 和 n_{kj} 为种 i 和种 k 在第 j 个资源状态下的重要值占该种在所有资源状态中重要值总数的比例, r 为资源水平数。

2 结果分析

2.1 混播草地燕麦与毛苕子的株高

在牧草生长的每个时间段, 各混播组燕麦和毛苕子株高存在显著性差异 ($P < 0.01$), 且在密度梯度上呈现明显的规律性。具体表现为: 从密度组 KY 到 KM 随着燕麦相对密度的减小和毛苕子相对密度的增加, 燕麦和毛苕子株高呈减小趋势 (表 1)。

2.2 混播草地燕麦与毛苕子的分蘖(枝)数

在牧草生长的每个时间段, 各混播组燕麦和毛苕子分蘖(株)数存在显著性差异 ($P < 0.01$), 且在密度梯度上呈现明显的规律性。具体表现为: 从混播组 A 到 E 随着燕麦相对密度的减小和毛苕子相对密度的增加, 燕麦分蘖数和毛苕子分枝数呈增加趋势 (表 2); 燕麦单播 (KY) 草地和毛苕子单播 (KM) 草地中牧草分蘖(枝)数均小于混播草地 (表 2)。

2.3 混播草地燕麦与毛苕子的生态位宽度

生态位宽度表示物种对资源的利用程度和环境适应情况。各混播组燕麦和毛苕子的生态位宽度存在显著性差异 ($P < 0.01$), 且在密度梯度上呈现明显的规律性。具体表现为: 从混播组 A 到 E 随着燕麦相对密度

的减小和毛苕子相对密度的增加,燕麦生态位宽度逐渐增加,毛苕子生态位逐渐减小,二者差值平均从 0.40 逐渐减小到 0.09(图 1)。随牧草生长时间延长,同一混播实验燕麦生态位宽度呈减小趋势(图 1),混播组 A 和 B 中燕麦生态位宽度减小的速率大于混播组 C、D 和 E;毛苕子生态位宽度在燕麦出苗期最低(平均为 0.57),燕麦分蘖期迅速增加达到最高(平均为 0.99),从燕麦分蘖期到燕麦成熟期以较小速率逐渐减小(图 1)。

表 1 混播草地燕麦与毛苕子株高

Table 1 The plant height of *Avena sativa* L. and *Vicia villosa* Roth in mixed-seeding meadow

物种 Species	时间 Time	密度设置 Density set up(Ny:Nm)						
		KY(1:0)	A(8:2)	B(6:4)	C(5:5)	D(4:6)	E(2:8)	KM(0:1)
As	07-17	36.5±1.8	34.2±2.0	26.8±2.7	20.8±1.8	16.5±1.9	15.7±2.1	—
	07-27	47.2±2.4	41.4±3.1	31.3±1.5	26.7±2.8	23.3±2.4	22.1±1.7	—
	08-07	63.7±3.2	59.7±3.8	49.7±3.6	40.4±3.6	42.1±4.3	48.0±2.5	—
	08-17	91.4±4.6	83.3±6.2	55.2±6.1	44.2±8.2	60.9±6.1	62.0±4.9	—
	08-27	130.5±6.5	97.8±3.7	68.3±8.3	60.8±1.2	89.7±3.9	90.8±5.4	—
Vv	07-17	—	15.6±0.5	13.8±1.1	11.9±2.5	9.78±0.1	9.4±0.3	9.1±0.5
	07-27	—	21.6±2.4	20.4±0.5	17.1±3.4	14.9±2.3	14.4±0.9	13.8±1.0
	08-07	—	39.4±4.5	33.2±1.8	27.4±2.1	29.3±2.7	31.2±2.6	23.6±1.2
	08-17	—	55.1±1.0	37.6±3.5	33.5±5.4	42.2±5.8	45.2±5.6	28.9±1.5
	08-27	—	86.3±1.2	42.4±5.7	36.5±8.6	60.3±4.6	65.9±6.3	35.3±1.8

As 和 Vv 分别代表燕麦和毛苕子, Ny:Nm 表示燕麦与毛苕子的混播比例,表格中的数值为平均值±标准误差

表 2 混播草地燕麦与毛苕子分蘖(枝)数

Table 2 The tiller (branch) number of *Avena sativa* L. and *Vicia villosa* Roth in mixed-seeding meadow

物种 Species	时间 Time	密度设置 Density set up(Ny:Nm)						
		KY(1:0)	A(8:2)	B(6:4)	C(5:5)	D(4:6)	E(2:8)	KM(0:1)
As	07-17	1.3±2.3	2.4±0.2	2.4±0.2	2.5±0.3	2.6±0.2	2.8±0.2	—
	07-27	1.5±0.1	2.6±0.1	2.6±0.5	2.7±0.3	2.8±0.5	3.7±0.3	—
	08-07	2.3±0.9	2.7±1.7	2.7±0.3	2.7±0.7	3.3±0.5	4.8±1.0	—
	08-17	2.6±0.3	3.1±0.4	3.1±0.5	3.3±0.3	3.6±0.7	5.1±0.4	—
	08-27	3.2±0.4	3.2±0.4	3.3±0.2	3.4±0.2	3.6±1.3	6.4±1.3	—
Vv	07-17	—	2.1±1.2	2.7±0.9	2.7±0.9	2.7±0.7	2.8±0.3	2.1±0.1
	07-27	—	2.3±0.9	2.7±0.3	2.7±0.3	3.0±0.6	3.7±0.3	2.3±0.2
	08-07	—	2.3±0.3	3.0±0.6	3.0±1.0	4.0±0.6	4.0±1.0	2.4±0.9
	08-17	—	2.8±0.6	3.0±0.6	4.7±0.3	4.7±0.6	4.7±1.7	2.7±1.1
	08-27	—	3.3±0.3	3.3±0.3	6.0±0.6	6.7±1.2	6.8±0.2	3.0±0.1

2.4 混播草地燕麦与毛苕子的生态位重叠

生态位重叠指两个或更多物种对一个资源或多个资源的共同利用。各混播组燕麦和毛苕子的生态位重叠存在显著性差异($P<0.01$),且在密度梯度上呈现明显的规律性。具体表现为:从混播组 A 到 E 随着燕麦相对密度的减小和毛苕子相对密度的增加,混播草地中燕麦和毛苕子的生态位重叠平均由 0.81 逐渐增大到 0.99(图 2)。在牧草生长的各个时间段,除混播组 A 外其余混播组燕麦和毛苕子的生态位重叠先减小后增大(图 2)。

3 讨论

3.1 密度对混播牧草生态位宽度的影响

Abrams^[17]认为可通过植物利用资源的状况反映种群间相互关系,生态位宽度是度量植物对资源环境利用状况的尺度,生态位宽度越大,该物种利用资源的能力越强,其分布幅度就越大;反之则说明该种特化程度

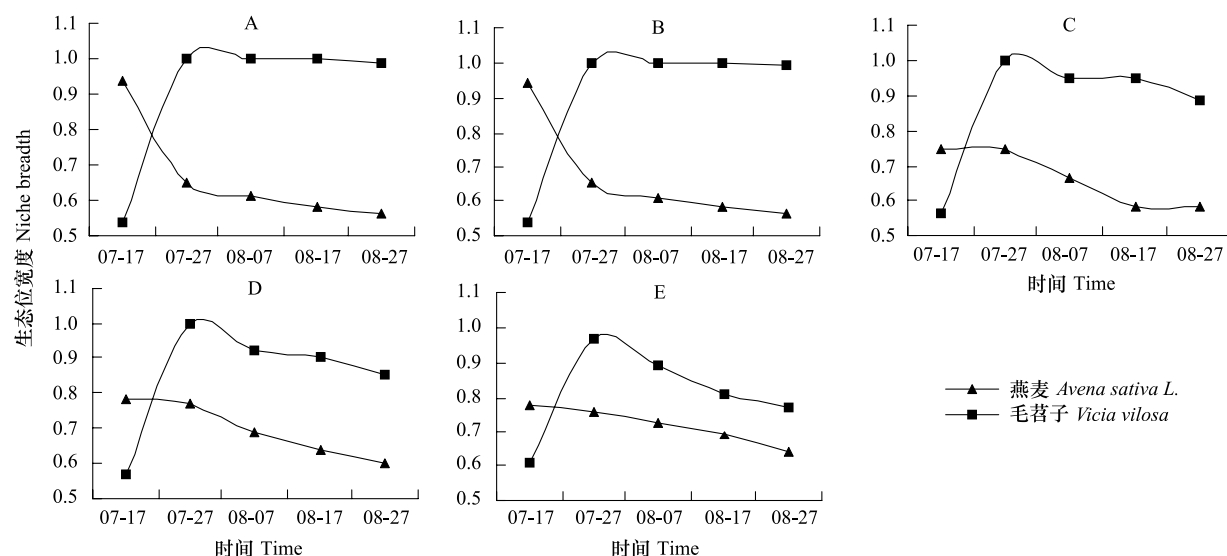


图1 混播草地中燕麦与毛苕子的生态位宽度

Fig. 1 The niche breadth of *Avena sativa* L. and *Vicia villosa* Roth in mixed-seeding meadow

A—E 表示一年生燕麦与毛苕子比例; A(8 : 2), B(6 : 4), C(5 : 5), D(4 : 6), E(2 : 8),

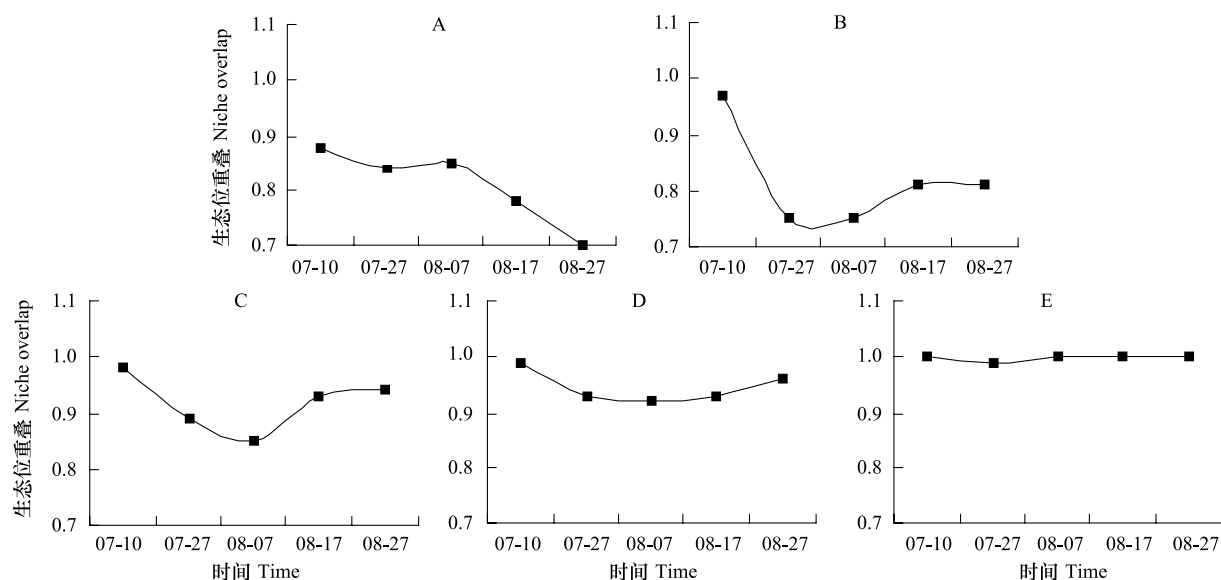


图2 混播草地中燕麦与毛苕子的生态位重叠

Fig. 2 The niche overlap of *Avena sativa* L. and *Vicia villosa* Roth in mixed-seeding meadow

较高,其分布只能局限在特定的区域^[18]。研究区降水多集中在6—9月,占全年降水的55%—70%,供试的人工草地在整地时一次性足够施用底肥,且牧草生长过程中根据土壤墒情合理进行了人工灌溉,因此1年生人工草地的水肥条件能够满足牧草生长需求,所以本试验中决定植物生长的主要因素是光、温和植物的生理、形态学特征^[19]。本研究中各混播组燕麦与毛苕子生态位宽度介于0.5—1之间,随牧草生长时间的延长2者的生态位宽度发生了复杂的转变。混播草地中早萌发或早定植的植物往往具有明显的竞争优势^[20],由于混播草地中禾本科牧草燕麦的出苗时间早于豆科牧草毛苕子,所以人工草地建植初期各混播组燕麦的生态位宽度大于毛苕子(图1)。燕麦从出苗期开始一直占据着明显的高度优势(表1),行内对毛苕子形成较强的荫蔽作用,由于匍匐生长型毛苕子具有非常发达的枝叶系统和明显的觅光行为,所以毛苕子逐步向行间扩展以便获得足够的光资源,毛苕子的生态位宽度逐步增加并在7月下旬且超过燕麦(图1)。燕麦在开花期随着上层叶

片向行间扩展,对行间毛苕子的枝叶形成荫蔽作用,进一步影响了毛苕子的生长,毛苕子一旦找到林窗就会产生带有大型叶片的缠绕枝条,迅速爬升到林冠层,并形成自己的藤本层,致使毛苕子个别小枝的高度超过了燕麦,毛苕子通过横向和纵向扩展继续保持了生态位宽度优势。总而言之,混播草地中毛苕子在燕麦直立茎秆的支持下,毛苕子生态位宽度在牧草生长过程中逐渐增加,在毛苕子的竞争限制下,燕麦的生态位宽度在牧草生长过程中逐渐减小。

植物地上部分形态的可塑性变化主要是由于植物冠层叶片互相遮荫而造成的光环境改变所致^[21],较强的荫蔽度导致植物所能接受到的光质即红光和远红光之比($R:FR$)有所减小,促使植物获取顶端优势,禾草类植物的分蘖数降低^[22],匍匐草本植物的匍匐枝在地上迅速延伸^[23]。密度制约是植物种群调节的重要机制之一^[9],从混播组 A 到混播组 E 随着燕麦相对密度的逐渐减小,燕麦种内植株间的荫蔽度逐渐减弱,所以燕麦不需要明显的增加株高来争夺光资源,而以增加分蘖数的模式横向扩展来获得更多光资源(表 1),生态位宽度逐渐增加。与此同时,在密度梯度上,虽然混播草地中燕麦对毛苕子的种间荫蔽度逐渐减弱,但是伴随着毛苕子的相对密度逐渐增大,毛苕子在较低层更加紧密的缠绕生长,其枝叶的横向扩展空间逐步缩小;混播草地毛苕子种内荫蔽度逐渐增强,使毛苕子借助叶柄伸长和增加分枝数来获得更多光资源(表 2),同时纵向扩展效果逐渐减弱(表 1),最终毛苕子的生态位宽度逐渐减小。总而言之,混播草地中随着牧草自身相对密度的增加生态位宽度减小,即牧草生态位宽度与密度呈负相关关系(SMA 斜率小于 1)。本研究关于密度制约下,燕麦与毛苕子生态位宽度的变化趋势支持密度影响和胁迫下牧草生态位会向偏离其他物种最大利用位置的方向移动^[24]的观点。

3.2 密度对混播牧草生态位重叠的影响

当两个物种共同利用或占有某一资源(空间、营养成分、食物等)时,就会发生生态位重叠^[18]。较高的生态位重叠说明植物间在资源利用上竞争强烈,对植物群落的结构和功能具有显著影响;而较低的生态位重叠说明各种植物种群可以充分的分享群落环境资源,主要种群之间的关系比较协调和平衡,能够相互适应,群落往往处于相对稳定的状态^[1,25]。物种间生态位重叠除与环境(生物)条件相关外,还与物种间生态学特性和种间竞争强弱密切相关^[26]。本研究中各混播组燕麦与毛苕子生态位重叠介于 0.7—1 之间,在牧草生长发育的不同时期,虽然各混播组燕麦和毛苕子的生态位重叠存在显著性差异($P<0.01$),但是在密度梯度上 2 者的生态位重叠仍然呈现明显的规律性。随着燕麦相对密度的减小和毛苕子相对密度的增加,混播草地两种牧草应对种内、种间竞争的资源分配策略发生了调整,从燕麦相对密度较高的 A 组到毛苕子相对密度较高的 E 组,燕麦的生态位宽度逐渐增大,毛苕子生态位宽度逐渐减小,二者的差值减小(图 1),使燕麦与毛苕子重叠度逐渐增强(图 2),毛苕子为了获得更多光资源,依赖自身匍匐蔓生以燕麦直立茎秆为攀援体向上生长的特性,提高了混播草地资源利用水平,加剧了竞争。

随牧草生长时间延长各混播组燕麦与毛苕子种间竞争逐渐激烈,加剧了群体效应,导致牧草生态位重叠发生变化。人工草地建植初期,虽然燕麦与毛苕子个体较小,在条播种植模式下,行内毛苕子并没有扩散,上繁草燕麦对下繁草毛苕子形成完全遮阴,导致燕麦与毛苕子生态位重叠较高。较高的生态位重叠说明混播草地中结构和性质的不稳定,会促使牧草的形态特征在生长过程中发生变化,向群落稳定的方向转移或者存在转移的潜力,因此燕麦株高从出苗期到拔节期迅速增加(表 1),行内燕麦对毛苕子荫蔽度增强,毛苕子为了获得更多光资源会向行间扩展,使混播草地空间生态位发生明显分离,燕麦与毛苕子重叠度有所减小。随着燕麦开花期和成熟期上层叶片对行间毛苕子枝叶遮阴程度的增强,毛苕子必须攀援燕麦向上生长,此时燕麦与毛苕子空间生态位再次重叠,并逐步增强。

综上所述,环境条件的改变降低了物种的生存适合度,导致物种对资源利用的转变和生态位的分化^[27]。植物通过株高和分蘖(枝)数的可塑性调节来适应物候条件和密度制约的变化,不仅为自身生长发育提供了保护机制,同时也提高了资源利用效率^[28],形成相互稳定相互影响的生态系统。本文探索了密度制约下高寒山区燕麦与毛苕子混播草地中牧草生态位的动态变化,及其对种间与种内竞争转化的响应,关于混播牧草的

稳定性和适合度的变化还有待于进一步研究。

References:

- [1] Li D W, Zhang W H, Ren Z Z. Niche characteristics of dominant populations of *Sophora davidii* community in loess gully region. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(12): 2231-235.
- [2] Silvertown J W. Plants in limestone pavements: tests of species interaction and niche separation. Journal of Ecology, 1983, 71(3): 819-828.
- [3] Wang Z L, Chen Y, Chen X M, Wang S Y, Zhao J J. Temporal-spatial niches of Chinese White Wax Scale insect (*Ericerus pela*) and its three dominant parasitoid wasps. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(4): 914-922.
- [4] Wang P, Zhou D W, Zhang B T. Coexistence and inter-specific competition in grass-legume mixture. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2560-2567.
- [5] Li F, Xie Y H, Chen X S, Deng Z M, Li X. Composition of aquatic plants and their niche characteristics in wetlands of the Yellow River Delta. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6257-6265.
- [6] Liu J Z, Chen Y N, Zhang Y M. Niche characteristics of plants on four environmental gradients in middle reaches of Tarim River. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(4): 549-555.
- [7] He Q, Cui B S, Zhao X S, Fu H L. Niches of plant species in wetlands of the Yellow River Delta under gradients of water table depth and soil salinity. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(5): 969-975.
- [8] Yang Z H, Fang E T, Liu H J, Li A D, Xu X Y. Effect of water table to niche of plant population at Minqin oasis fringe. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4900-4906.
- [9] Li L, Zhou D W, Sheng L X. Density dependence-determined plant biomass allocation pattern. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(8): 1579-1589.
- [10] Watkinson A R. Density-dependence in single-species populations of plants. Journal of Theoretical Biology, 1980, 83(2): 345-357.
- [11] Sheng Y P, Zhao C Z, Gao F Y, Zhang J X, Shi F X, Qu Y. Inter-specific competition between *Avena sativa* and *Vicia vilosa* in mixed sowing grassland in alpine mountainous region. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(11): 2437-2441.
- [12] Dong Q M, Zhao X Q, Ma Y T, Li Q Y, Shi J J, Wang Y L, Sheng L, Yan M Y. Niche of main plant populations on a warm-seasonal pastureland of alpine *Kobresia parva* meadow. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(11): 1323-1327.
- [13] Wang X, Hu Y K, Rehmodula A D L, Liu Y Y, Li K H, Wang J Y. Effects of soil salt on the niche of main plant species in alpine meadow. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(7): 1448-1454.
- [14] Pielou E C. An Introduction to Mathematical Ecology. New York: Wiley-Interscience Press, 1969.
- [15] Levins R. Evolution in Changing Environments: Some Theoretical Explorations. Princeton: Princeton University Press, 1968.
- [16] Pianka E R. The structure of lizard communities. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4: 53-74.
- [17] Abtams P A. Alternative models of character displacement and niche shift I. Adaptive shifts in resource use when there is competition for nutritionally nonsubstitutable resources. Evolution, 1987, 41(3): 651-661.
- [18] Xu Z G, He Y, Yan B X, Song C H. Niche characteristics of typical marsh wetland plant populations in Sanjiang Plain. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(4): 783-787.
- [19] Li B. Plant Competition-Experiment Research of Interactional between Crop and Weeds. Beijing: China Higher Education Press; Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2001.
- [20] Firbank L G, Watkinson A R. On the Effects of Competition: From Monocultures to Mixtures// Grace J B, Tilman D, eds. Perspective on Plant Competition. London: Academic Press, 1990: 165-192.
- [21] Schmitt J, Wulff R D. Light spectral quality, phytochrome and plant competition. Trends in Ecology and Evolution, 1993, 8(2): 47-50.
- [22] Casal J J, Sanchez, R A, Gibson D. The significance of changes in the red/far-red ratio, associated with either neighbor plants or twilight, for tillering in *Lolium multiflorum* Lam. New Phytologist, 1990, 116(4): 565-572.
- [23] Huber H. Architectural Plasticity of Stoloniferous and Erect Herds in Response to Light Climate [D]. Utrecht: University, 1997.
- [24] Zhang L J, Yue M, Zhang Y D, Gu F X, Pan X L, Zhao G F. Analysis on the niche of the main plant species of Oasis-desert ecotone in Fukang of Xinjiang. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(6): 969-972.
- [25] Liao B W, Li W, Zheng S F, Chen Y J, Zhong C R, Huang Z Q. Niche of several mangrove species in Dongzhai Hainan Island. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(3): 403-407.
- [26] Tilman G D. Plant dominance along an experimental nutrient gradient. Ecology, 1984, 65(5): 1445-1453.
- [27] Tilman D. Causes, consequences and ethics of biodiversity. Nature, 2000, 405(6783): 208-211.

- [28] Silvertown J. Plant coexistence and the niche. *Trends in Ecology and Evolution*, 2004, 19(11): 605-611.

参考文献:

- [1] 李登武, 张文辉, 任争争. 黄土沟壑区狼牙刺群落优势种群生态位研究. *应用生态学报*, 2005, 16(12): 2231-235.
- [3] 王自力, 陈勇, 陈晓鸣, 王绍云, 赵杰军. 白蜡虫及其3种优势寄生蜂的时空生态位. *生态学报*, 2011, 31(4): 914-922.
- [4] 王平, 周道玮, 张宝田. 禾-豆混播草地种间竞争与共存. *生态学报*, 2009, 29(5): 2560-2567.
- [5] 李峰, 谢永宏, 陈心胜, 邓正苗, 李旭. 黄河三角洲湿地水生植物组成及生态位. *生态学报*, 2009, 29(11): 6257-6265.
- [6] 刘加珍, 陈亚宁, 张元明. 塔里木河中游植物种群在四种环境梯度上的生态位特征. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 549-555.
- [7] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 付华龄. 水、盐梯度下黄河三角洲湿地植物种的生态位. *应用生态学报*, 2008, 19(5): 969-975.
- [8] 杨自辉, 方峨天, 刘虎俊, 李爱德, 徐先英. 民勤绿洲边缘地下水位变化对植物种群生态位的影响. *生态学报*, 2007, 27(11): 4900-4906.
- [9] 黎磊, 周道玮, 盛连喜. 密度制约决定的植物生物量分配格局. *生态学杂志*, 2011, 30(8): 1579-1589.
- [11] 盛亚萍, 赵成章, 高福元, 张军霞, 石福习, 屈勇. 高寒山区混播草地燕麦和毛茛子种间的竞争关系. *生态学杂志*, 2011, 30(11): 2437-2441.
- [12] 董全民, 赵新全, 马玉寿, 李青云, 施建军, 王彦龙, 盛丽, 闫明毅. 高寒小嵩草草甸暖季草场主要植物种群的生态位. *生态学杂志*, 2006, 25(11): 1323-1327.
- [13] 王鑫, 胡玉昆, 热合木都拉·阿迪拉, 柳妍妍, 李凯辉, 王吉云. 土壤盐分对高寒草甸主要植物生态位的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(7): 1448-1454.
- [14] 余世孝. 数学生态学引论. 北京: 科学技术文献出版社, 1995.
- [18] 徐治国, 何岩, 闫百兴, 宋长春. 三江平原典型沼泽湿地植物种群的生态位. *应用生态学报*, 2007, 18(4): 783-787.
- [19] 李博. 植物竞争—作物与杂草相互作用的实验研究. 北京: 高等教育出版社; 海德堡: 施普林格出版社, 2001.
- [24] 张林静, 岳明, 张远东, 顾峰雪, 潘晓玲, 赵桂仿. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带主要植物种的生态位分析. *生态学报*, 2002, 22(6): 969-972.
- [25] 廖宝文, 李玟, 郑松发, 陈玉军, 钟才荣, 黄仲琪. 海南岛东寨港几种红树植物种间生态为研究. *应用生态学报*, 2005, 16(3): 403-407.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 17 Sep. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The overview and prospect of chemical composition of plant cuticular wax ZENG Qiong, LIU Dechun, LIU Yong (5133)
- Research progresses in carbon budget and carbon cycle of the coastal salt marshes in China
..... CAO Lei, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (5141)

Autecology & Fundamentals

- Effects of straw interlayer on soil water and salt movement and sunflower photosynthetic characteristics in saline-alkali soils
..... ZHAO Yonggan, PANG Huancheng, LI Yuyi, et al (5153)
- Adaptations of dimorphic seeds and seedlings of *Suaeda salsa* to saline environments
..... LIU Yan, ZHOU Jiachao, ZHANG Xiaodong, et al (5162)
- Responses of root morphology of peanut varieties differing in drought tolerance to water-deficient stress
..... DING Hong, ZHANG Zhimeng, DAI Liangxiang, et al (5169)
- The relationship between physiological indexes of apple cultivars and resistance to *Eriosoma lanigerum* in summer
..... WANG Xicun, ZHOU Hongxu, YU Yi, et al (5177)
- Physiological responses of *Salicornia bigelovii* to salt stress during the flowering stage
..... LIU Weicheng, ZHENG Chunfang, CHEN Chen, et al (5184)
- Biological characteristics and cultivation of fruit body of wild medicinal mushroom *Perenniporia fraxinea*
..... LU Tie, BAU Tolgor (5194)
- The study of characteristics of soil microbial communities at high severity burned forest sites for the Great Xingan Mountains: an
example of slope and aspect BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (5201)
- Effect of different fertilizer combinations and straw return on microbial biomass and nitrogen-fixing bacteria community in a paddy
soil LIU Xiaoqian, TU Shihua, SUN Xifa, et al (5210)
- Structural characters and nutrient contents of leaves as well as nitrogen distribution among different organs of big-headed wheat
..... WANG Lifang, WANG Dexuan, SHANGGUAN Zhouping (5219)
- Effects of EP-1 on spatial memory and anxiety in *Mus musculus* WANG Xiaojia, QIN Tingting, HU Xia, et al (5228)

Population, Community and Ecosystem

- Gap characteristics in the mixed broad-leaved Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains
..... LIU Shaochong, WANG Jinghua, DUAN Wenbiao, et al (5234)
- Soil nitrogen and phosphorus stoichiometry in a degradation series of *Kobresia humilis* meadows in the Tibetan Plateau
..... LIN Li, LI Yikang, ZHANG Fawei, DU Yangong, et al (5245)
- An analysis of carbon flux partition differences of a mid-subtropical planted coniferous forest in southeastern China
..... HUANG Kun, WANG Shaoqiang, WANG Huimin, et al (5252)
- The niche of annual mixed-seeding meadow in response to density in alpine region of the Qilian Mountain, China
..... ZHAO Chengzhang, ZHANG Jing, SHENG Yaping (5266)
- Functional feeding groups of macrozoobenthos from coastal water off Rushan PENG Songyao, LI Xinzhen (5274)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of selective cutting on vegetation carbon storage of boreal *Larix gmelinii*-*Carex schmidtii* forested wetlands in Daxing'anling,
China MU Changcheng, LU Huicui, BAO Xu, et al (5286)
- CO₂ flux in the upland field with corn-rape seed rotation in the karst area of southwest China
..... FANG Bin, LI Xinqing, CHENG Jianzhong, et al (5299)
- Monitoring spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the North Tarim Basin using remote sensing and electromagn-
etic induction instruments YAO Yuan, DING Jianli, LEI Lei, et al (5308)
- Methane and nitrous oxide fluxes in temperate secondary forest and larch plantation in Northeastern China
..... SUN Hailong, ZHANG Yandong, WU Shiyi (5320)
- Butterfly diversity and vertical distribution in eastern Tianshan Mountain in Xinjiang
..... ZHANG Xin, HU Hongying, LÜ Zhaozhi (5329)

- Dynamics of aerodynamic parameters over a rainfed maize agroecosystem and their relationships with controlling factors CAI Fu, ZHOU Guangsheng, MING Huiqing, et al (5339)
- The response process to extreme climate events of the household compound system in the northern slope of Tianshan Mountain LI Xiliang, HOU Xiangyang, DING Yong, et al (5353)
- Analysis on spatial-temporal heterogeneities of landscape fragmentation in urban fringe area; a case study in Shunyi district of Beijing LI Can, ZHANG Fengrong, ZHU Taifeng, et al (5363)
- Resource and Industrial Ecology**
- CPUE Standardization of *Illex argentinus* for Chinese Mainland squid-jigging fishery based on generalized linear Bayesian models LU Huajie, CHEN Xinjun, CAO Jie (5375)
- Spatial-temporal differentiation of water quality in Gufu River of Three Gorges Reservoir RAN Guihua, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (5385)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Comparison environmental impact of the peasant household in han, zang and hui nationality region; case of zhangye, Gannan and Linxia in Gansu Province ZHAO Xueyan, MAO Xiaowen (5397)
- Research Notes**
- The seasonal variation and community structure of zooplankton in China sea DU Mingmin, LIU Zhensheng, WANG Chunsheng, et al (5407)
- Immunotoxicity of marine pollutants on the clam *Ruditapes philippinarum* DING Jianfeng, YAN Xiwu, ZHAO Liqiang, et al (5419)
- Influence of submerged macrophytes on phosphorus transference between sediment and overlying water in decomposition period WANG Lizhi, WANG Guoxiang (5426)
- Distribution patterns of alien herbs in the Yiluo River basin GUO Yili, DING Shengyan, SU Si, et al (5438)

《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,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 张利权

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 17 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 17 (September, 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