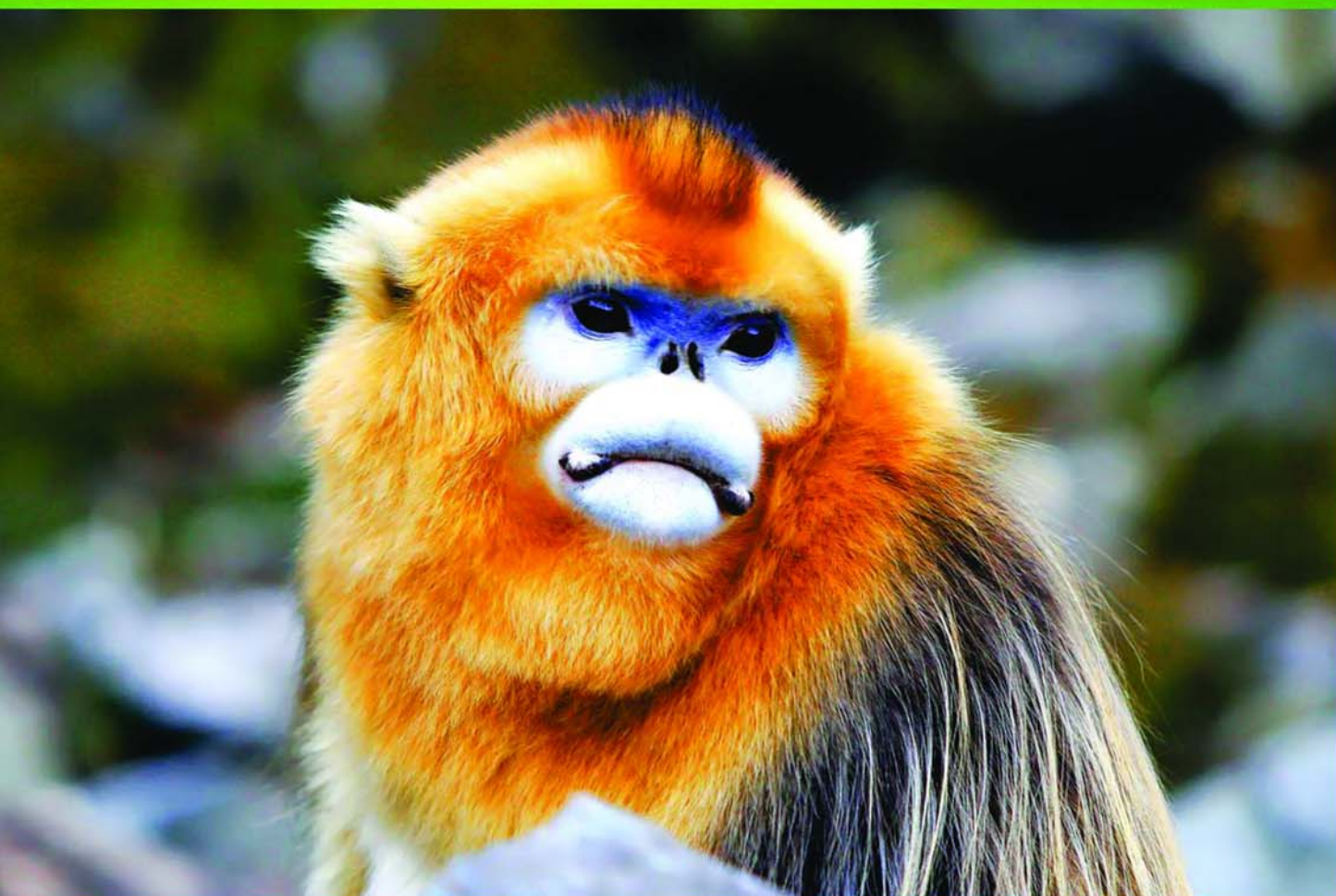


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

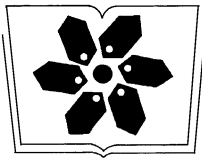
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第2期 Vol.32 No.2 **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 2 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势	王雪辉,邱永松,杜飞雁,等 (333)
中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异	丁晶晶,刘定震,李春旺,等 (343)
粉蝶盘绒茧蜂中国和荷兰种群学习行为及 EAG 反应的比较	王国红,刘 勇,戈 峰,等 (351)
君主绢蝶的生物学及生境需求	方健惠,骆有庆,牛 犇,等 (361)
西南大西洋阿根廷滑柔鱼生物学年间比较	方 舟,陆化杰,陈新军,等 (371)
城市溪流中径流式低坝对底栖动物群落结构的影响	韩鸣花,海燕,周 斌,等 (380)
沉积再悬浮颗粒物对马氏珠母贝摄食生理影响的室内模拟	栗志民,申玉春,余南涛,等 (386)
太平洋中西部海域浮游植物营养盐的潜在限制	徐燕青,陈建芳,高生泉,等 (394)
几株赤潮甲藻的摄食能力	张清春,于仁成,宋静静,等 (402)
高摄食压力下球形棕囊藻凝聚体的形成	王小冬,王 艳 (414)
大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征	张必新,王建柱,王乙富,等 (421)
链状亚历山大藻生长衰亡相关基因的筛选	仲 洁,隋正红,王春燕,等 (431)
太湖春季水体固有光学特性及其对遥感反射率变化的影响	刘忠华,李云梅,吕 恒,等 (438)
程海富营养化机理的神经网络模拟及响应情景分析	邹 锐,董云仙,张祯祯,等 (448)
沙质海岸灌化黑松对蛀食胁迫的补偿性响应	周 振,李传荣,许景伟,等 (457)
泽陆蛙和饰纹蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性	施林强,赵丽华,马小浩,等 (465)
麦蚜和寄生蜂对农业景观格局的响应及其关键景观因子分析	赵紫华,王 颖,贺达汉,等 (472)
镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响	郑爱珍 (483)
生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响	韩春梅,李春龙,叶少平,等 (489)
九州虫草菌丝体对 Mn 的耐性及富集	罗 毅,程显好,张聪聪,等 (499)
土霉素暴露对小麦根际抗生素抗性细菌及土壤酶活性的影响	张 昊,张利兰,王 佳,等 (508)
氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响	沈芳芳,袁颖红,樊后保,等 (517)
火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化	张明如,温国胜,张 瑾,等 (528)
湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能	潘春翔,李裕元,彭 亿,等 (538)
祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响	赵锦梅,张德罡,刘长仲,等 (548)
沙质草地生境中大型土壤动物对土地沙漠化的响应	刘任涛,赵哈林 (557)
腾格里沙漠东南缘可培养微生物群落数量与结构特征	张 威,章高森,刘光琇,等 (567)
塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应	李 磊,李向义,林丽莎,等 (578)
内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征	高 凯,谢中兵,徐苏铁,等 (588)
不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应	张明娟,刘茂松,徐 驰,等 (595)
环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响	任学敏,杨改河,王得祥,等 (605)
海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	栾 霞,陈振德,汪东风,等 (614)
城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例	黄聚聪,赵小锋,唐立娜,等 (622)
基于遥感和 GIS 的川西绿被时空变化研究	杨存建,赵梓健,任小兰,等 (632)
亚热带城乡复合系统 BVOC 排放清单——以台州地区为例	常 杰,任 远,史 琰,等 (641)
研究简报	
不同水分条件下毛茛苔草枯落物分解及营养动态	侯翠翠,宋长春,李英臣,等 (650)
大山雀对巢箱颜色的识别和繁殖功效	张克勤,邓秋香,Justin Liu,等 (659)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-01	



封面图说: 雄视——中国的金丝猴有川、黔、滇金丝猴三种,此外还有越南和缅甸金丝猴两种。金丝猴是典型的森林树栖动物,常年栖居于海拔 1500—3300m 的亚热带山地、亚高山针叶林、针阔叶混交林,常绿落叶阔叶混交林中,随着季节的变化,只在栖息的生境中作垂直移动。川金丝猴身上长有柔软金色长毛,十分漂亮。个体大,嘴角处有瘤状突起的是雄性金丝猴的特征。川金丝猴只分布在中国的四川、甘肃、陕西和湖北省。属国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201012171806

张明娟, 刘茂松, 徐驰, 池婷, 洪超. 不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应. 生态学报, 2012, 32(2): 0595-0604.

Zhang M J, Liu M S, Xu C, Chi T, Hong C. Spatial pattern responses of *Achnatherum splendens* to environmental stress in different density levels. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 0595-0604.

不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应

张明娟^{1,2}, 刘茂松^{1,*}, 徐 驰¹, 池 婷¹, 洪 超¹

(1. 南京大学 生命科学院, 南京 210093; 2. 南京农业大学 园艺学院, 南京 210095)

摘要:基于小尺度上植物间相互作用与空间格局的高度相关性,选用可避免环境异质性影响的 K2 点格局函数,研究了沙枣-芨芨草群落中 63 个芨芨草样方(3 密度条件×3 生境条件×7 重复)中芨芨草种群在小尺度下(0—0.5 m)的空间格局,探讨了在 3 种密度条件(高、中、低)及 3 种生境条件下(冠盖区、过渡区、空旷区),芨芨草种群空间格局对土壤理化性质胁迫(盐分、有机质及容重)程度的响应。研究表明,就土壤盐分,养分含量及土壤容重而言,土壤理化性质胁迫程度沿冠盖区、过渡区和空旷区增加的趋势。相应地,芨芨草种群呈聚集分布的样方比例在沿冠盖区(6/21)较低,而在过渡区(11/21)和空旷区(11/21)较高。然而,在不同密度条件下,芨芨草种群空间格局对土壤性质胁迫的响应不同。在低密度条件下,芨芨草种群在冠盖区多数为聚集分布(4/7),在过渡区和空旷区全部为聚集分布;中密度条件下,芨芨草聚集分布样方比例沿冠盖区-过渡区-空旷区梯度增加(分别为 2/7, 3/7, 4/7),但低于同等胁迫条件下低密度样方中聚集分布数量;高密度条件下,在各胁迫条件下,除了一个过渡区高密度样方,其余芨芨草种群均为随机分布。总体上,随着环境胁迫增强,在中低密度下,芨芨草种群趋向于聚集分布;但在高密度下,芨芨草种群均以随机分布为主。此外,芨芨草种群空间格局随密度变化趋势比随土壤理化性质胁迫梯度变化趋势更加明显,可能表明相对于土壤理化性质胁迫程度,芨芨草种群密度对其空间格局影响更大。因此,在考虑芨芨草种群空间格局对环境胁迫的响应时,应当考虑种群密度因素。

关键词: K2 点格局分析, 生境胁迫, 种群密度, 胁迫梯度假说

Spatial pattern responses of *Achnatherum splendens* to environmental stress in different density levels

ZHANG Mingjuan^{1,2}, LIU Maosong^{1,*}, XU Chi¹, CHI Ting¹, HONG Chao¹

1 School of Life Sciences Nanjing University 210093, China

2 College of Horticulture Nanjing Agricultural University 210095, China

Abstract: A strong correlation exists between small-scale spatial patterns and intraspecific plant interactions for *Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski. K2 point pattern function, a spatial analysis method designed to avoid the effects of environmental heterogeneity, was applied to analyze the spatial patterns and intraspecific interactions of *Achnatherum splendens* on a small scale (within 0.5 m). Sixty-three *A. splendens* quadrats were established and studied in an arid community dominated by *Elaeagnus angustifolia* L. and *A. splendens* in the northwest China. The quadrats were established at three density levels in three microenvironmental types and with seven replicates of each. The different responses of *A. splendens* were compared based on the three spatial density patterns, low, medium, and high, and three microenvironmental types, subcanopy, transitional, and open areas. The soil physicochemical properties of electricity conductance, soil organic matter, and soil bulk density, were measured in the three microenvironments to quantify the environmental stresses. The results show soil physicochemical stress increased along the subcanopy to transitional area to open area gradient. The

基金项目:国家自然科学基金项目(30870433, 40801068)

收稿日期:2010-12-17; 修订日期:2011-08-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mslu@nju.edu.cn

subcanopy area had relatively low environmental stress as evidenced by low soil electrical conductivity, high soil organic matter, and low soil bulk density. *A. splendens* was clumped in only six of the 21 subcanopy quadrats, while in the transitional and open areas where environmental stress was high *A. splendens* was clumped in a small majority of the quadrats (11/21). The high environmental stress areas were defined as areas having high soil electrical conductivity, low soil organic matter, and high soil bulk density. *A. splendens* tended to be clumped in areas with increasing environmental stress along the subcanopy to transitional area to open area gradient. However, the spatial responses of *A. splendens* to environmental stress differed at the three density levels. At the low-density level, *A. splendens* had a clumped distribution in most quadrats at all three environmental stress levels. The clumped distribution proportions of *A. splendens* quadrats were 4/7, 7/7, and 7/7 in subcanopy area, transitional area, and open area, respectively. In the medium density level, the frequency of *A. splendens* quadrats with clumped distribution increased with the environmental stress. In these medium density level areas the proportion of clumped distribution of *A. splendens* populations were 2/7, 3/7, and 4/7 in subcanopy area, transitional area, and open area, respectively. In the high-density level, *A. splendens* was distributed randomly in most quadrats (except one in a transitional area) in all three environmental stress levels. Since the spatial pattern of *A. splendens* showed a clear tendency to be clumped along the density gradient rather than along the soil physicochemical stress gradient, this might suggest the spatial pattern of *A. splendens* was more influenced by density than by the stresses caused by severe soil conditions. We concluded the spatial pattern of *A. splendens* on a small scale responded to the environmental stresses differently based on population density. As the result, population density should be considered when analyzing the variations of spatial patterns and the occurrence of positive interactions along the stress gradient.

Key Words: K2 point pattern analysis; environmental stress; population density; stress gradient hypothesis

植物种群空间分布格局是环境异质性^[1-2]、种群繁殖方式^[3]及植物间相互作用^[4-5]等生态学过程共同作用下的结果。虽然通过格局分析推导生态学过程可能存在一定偏差,如相同的结构可能源于不同的过程^[6]。然而由于空间格局和生态过程的高度相关性,大量生态学研究均以可通过格局分析了解主导生态学过程为前提假设,取得了丰富的研究成果^[7-9]。诸多研究表明,尤其在小尺度上,生物学过程是空间格局形成的主导因素;空间正关联(聚集)暗示植物间存在正相互作用,空间上的排斥则意味着植物间负相互作用^[10-12]。因此,在小尺度上,可以用空间格局揭示植物间的相互作用性质^[6,13]。近年来发展的一系列空间格局分析方法也为研究植物间的相互作用提供了有力工具,如在 Repley's K 函数基础上发展出来的 K2 点格局分析函数可以排除环境异质性的对种群空间格局的影响,对于揭示种群空间格局所隐含的植物间的相互作用性质与强度具有重要意义^[9,14]。

芨芨草(*Achnatherum splendens*)作为我国西北地区常见多年生密丛性植物,具有耐寒、耐旱、耐盐、适应性广等特征^[15],并且是优良的饲用植物、纤维植物及水土保持植物^[16]。前人研究表明在环境异质性及种群繁殖方式影响下,芨芨草种群空间格局以聚集分布为主^[17-20]。然而,环境胁迫程度如何影响芨芨草空间格局还有待进一步研究。研究证明,在一定范围内,随着环境胁迫程度增加,植物间正相互作用增加^[21-24],而空间格局又是种内相互作用的重要体现^[6,13]。通过分析芨芨草种群空间格局对环境胁迫的响应,进而揭示环境胁迫程度对芨芨草种内相互作用的影响,有助于理解芨芨草对环境胁迫的适应策略。

本文选取我国西北干旱区的沙枣-芨芨草群落为对象,利用可以排除环境异质性影响的 K2 点格局函数,研究了小尺度下,芨芨草种群空间格局及相应种内关系对环境胁迫强度的响应。由于种群密度也与种内相互作用密切相关^[25-28]。因此,研究比较了不同种群密度条件下环境胁迫对芨芨草种群空间格局的影响;进而推测芨芨草种群在不同密度条件下,芨芨草种内关系对环境胁迫程度的响应。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

研究地位于宁夏回族自治区平罗县西大滩镇(106°20'E,38°45'N),平均海拔 1 100 m。为典型的温带大

陆性气候。年均温约为 6 ℃,年平均蒸发量和降水量约为 1 755 mm 和 188 mm,属干旱区;土壤为龟碱裂土,遇水高度分散,透气、通水性差^[19-20]。

本研究以沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)-芨芨草(*Achnatherum splendens*)群落为研究对象。在研究地,沙枣为 1960 年代人工种植,经过约 50 a 的演替,群落组成结构较为稳定。群落中草本层以芨芨草为主(相对多度大于 99%),并有少量灌木和其它草本植物,如苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)等。

1.2 样方调查

样方调查于 2008 年 8 月份完成。在干旱区的乔-草群落中,由于树冠的遮蔽作用可以减少由强烈太阳辐射导致的蒸腾失水,对于下层草本植物而言,树冠下常形成较好的微生境(相对空旷区)^[29-30],并从树冠下到空旷区形成胁迫梯度。在本研究中,按沙枣树冠遮蔽状况及离立木距离,群落中可区分 3 种微生境,即冠盖区、过渡区及空旷区,其中冠盖区为沙枣立木冠幅垂直投影区,过渡区为冠盖区外缘至距立木树干 1.5 倍冠幅范围内的区域,空旷区则为过渡区以外相对空旷的区域。在同一微生境条件下(如冠盖区),由于太阳辐射方向、风向、树荫分布等差异,芨芨草密度和丛径有一定差异。研究以“丛”为取样单位,按芨芨草丛(即由种子产生,由无性繁殖而生成的无性系)的密度状况,将群落中的芨芨草丛的密度水平分为 3 级,分别为:低密度(<4 丛/m²)、中密度(4—12 丛/m²)、高密度(>12 丛/m²)。在群落中,按每一生境-密度组合各选取 7 个 5 m × 5 m 芨芨草样方,总计 63 个芨芨草样方(3 生境×3 密度×7 重复),分别记录各样方中芨芨草丛的数量,丛径(直径)及空间位置(表 1)。其中空间位置测量方法如下:先将 5 m × 5 m 样方划分为 25 个 1 m × 1 m 小样格,记录芨芨草丛中心点在每个小样格内的准确位置,即 x, y 坐标(位置记录精度为 ±5 cm),再换算成 5 m × 5 m 样方内的坐标。本研究目标在于探讨不同密度条件下,芨芨草空间格局对环境胁迫程度的响应,而不在乎芨芨草密度的影响因素,因此没有就芨芨草丛径、密度、环境胁迫程度三者之间关系作探讨。关于芨芨草丛径等形态特征、密度与沙枣树冠覆盖梯度的研究参见张琴妹等人研究^[19]。

表 1 不同微生境及密度条件下芨芨草的平均密度及丛径

Table 1 The average density and clump diameter of *Achnatherum splendens* in three micro-environments at three density levels (Mean±SE)

组别 Group	密度及丛径 Density and Clump diameter	冠盖区 Subcanopy area	过渡区 Transitional area	空旷区 Open area
低密度	密度 density/(丛/m ²)	2.49±0.33	2.42±0.41	1.93±0.26
	丛径 Clump diameter/cm	49.77±4.40	60.4±4.82	49.26±4.56
中密度	密度 density/(丛/m ²)	8.45±1.01	6.90±0.65	6.54±0.80
	丛径 Clump diameter/cm	31.91±2.21	33.61±3.69	35.73±3.44
高密度	密度 density/(丛/m ²)	15.88±1.29	16.71±1.31	13.85±0.76
	丛径 Clump diameter/cm	27.75±1.22	23.8±0.69	25.43±2.15

1.3 土壤取样与理化性质测量

土壤取样于 2008 年 9 月下旬完成,时值植物生长期末,取样时间内基本无明显降水,土壤水盐状况相对稳定。在每个小样方中挖掘 1 m × 1 m × 0.6 m 土壤剖面一个,在表土层、0—10 cm、10—30 cm 及 30—60 cm 层次分别用环刀取原状土样。土壤容重采用环刀法测定^[31],测定后将土样在室内自然风干,剔除杂质、研磨、过 100 目筛,供测定土壤盐分及有机质用。

土壤盐分采用电导率法测量^[31]:取制备土样 5 g,按照 1:5 土水比得到浸提液,震荡 5 min,静置得上清液;用标准 DDS-11AT 型电导率仪测定土壤溶液的电导率,每个样本重复 3 次,取平均值以表征土壤的含盐量。

土壤有机质采用 K₂Cr₂O₇ 滴定法测量^[31]:取制备土样在 85 ℃ 烘干至恒重,采用 K₂Cr₂O₇ 滴定法测量,其中加热法选用沸水浴 30 min;每个样本重复 3 次,取平均值为土壤有机质含量(%)。

1.4 K2 点格局分析函数

Ripley's K 函数是点格局分析的经典方法^[32],但在环境异质性较大的情况下 Ripley's K 函数检测结果易出现“伪聚集”的偏差^[33]。K2 函数是在 K 函数基础上发展而来的点格局分析方法,能够有效避免“伪聚集”

偏差,是研究异质环境下种群空间分布格局的有力工具^[9,14],可适用于本研究中微生境差异明显的沙枣—芨芨草群落。

Ripley's K 函数计算公式为:

$$K(r) = \frac{A}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}^{-1} I_t(d_{ij}) \quad (1)$$

如果个体 i 和 j 之间距离 $d_{ij} \leq r, I_t(d_{ij}) = 1$; 如果 $d_{ij} > r, I_t(d_{ij}) = 0$ 。 w_{ij} 为边缘效应的校正系数,其值为以个体 i 为圆心, r 为半径的圆落在研究区域内的比例^[34-35]。

将 $\frac{dK(r)}{dr}$ 记为 $g(r)$, 则 $K2$ 函数可以看成是对 $g(r)$ 的一阶导数^[14]:

$$K2(r) = \frac{dg(g)}{dr} \quad (2)$$

与 K 函数类似,可用蒙特卡罗方法生成各检测尺度上随机分布格局的置信区间(包迹线)。值得注意的是,当 $K2$ 函数的值在上包迹线上方,检测结果为均匀分布;在下包迹线下方为聚集分布。本研究采用 100 次模拟(99% 置信区间)。 $K2$ 函数计算在 R 软件包中完成。

2 结果

2.1 不同微生境区域的土壤理化性质

对同层次土壤,冠盖区土壤电导率最低,空旷区土壤电导率最高,过渡区居中(除 30—60 cm 层次外),总体上形成了由冠盖区至空旷区盐分胁迫持续增加的盐胁迫梯度(图 1)。在垂直方向上,土壤电导率在表层最高,随深度增加,土壤电导率降低,显示出土壤盐分存在向表浅层聚集的趋势。在土壤容重方面,冠盖区 3 个层次的土壤容重均低于过渡区和空旷区同层次的土壤容重(图 1),而在垂直方向上,土壤容重随土层深度增加而增加。就土壤有机质而言在水平方向上,在表土层和 0—10 cm 层次土壤有机质在冠盖区含量最高,而过

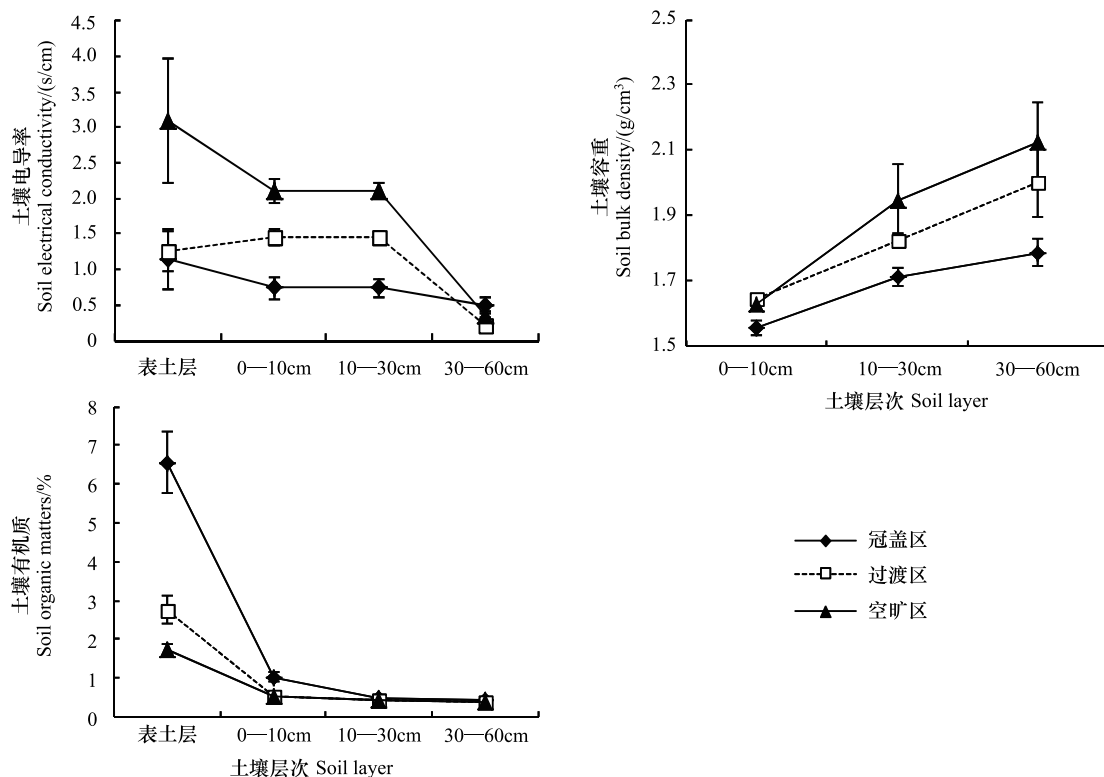


图 1 3 种微生境条件下不同层次土壤理化性质 (Mean ± SE)

Fig. 1 The soil physicochemical properties of different soil layers in three micro-environments

渡区和空旷区土壤有机质含量相对较低(图1);在10 cm以下层次(10—30 cm及30—60 cm),3个区位土壤有机质含量无显著差异。在垂直方向上,随土壤深度增加,土壤有机质含量迅速下降。简言之,冠盖区的土壤盐碱化程度最低,有机质含量最高,土壤容重最低;而在空旷区,土壤盐分含量高,有机质缺乏,土壤容重高;过渡区的土壤盐分、有机质、土壤容重等均居中,环境胁迫强度居中。

2.2 不同密度条件下芨芨草种群的空间格局

为避免样地内环境异质性的影响,本研究着重分析小尺度下种群空间格局在不同密度条件下对环境胁迫响应的差异(表2),并探讨其所反映的种内相互作用性质特点。在3种生境及3种密度条件下,芨芨草的空间格局特征存在一定差异,但其最大聚集分布尺度均小于0.5 m;0.5 m以上尺度芨芨草种群空间分布格局在各密度条件及微生境区域均为随机分布。说明在研究区域范围内,排斥环境异质性影响后,在0.5 m以上尺度,密度条件和环境胁迫条件的变化均不足以引起芨芨草种群空间分布格局的变化;在0.5 m以上尺度主导芨芨草种群随机分布格局的因素可能超过了本研究范畴。因此,本文重点研究0—0.5 m尺度下,芨芨草种群空间格局特征。

比较3种密度条件下呈聚集分布的芨芨草样方数量发现(表3),在0—0.5 m尺度上,低密度条件下呈聚集分布的样方有18个,其中冠盖区,过渡区和空旷区分别为4、7、7个;而在中密度条件下,呈聚集分布的样方有9个,其中冠盖区,过渡区和空旷区分别为2、3、4个;在高密度条件下,除了过渡区一个高密样方呈聚集分布外,其余均为随机分布。表明随着密度升高,芨芨草空间分布格局逐渐由以聚集分布为主转为以随机分布为主。

2.3 3种生境条件下,芨芨草种群空间格局

冠盖区呈聚集分布的芨芨草样方仅有6个,其中低密度样方4个,中密度样方2个,芨芨草种群在空间格局上以随机分布为主(21个);过渡区和空旷区土壤有机质含量小,盐碱化程度高,土壤紧实,呈聚集分布的芨芨草样方在两区均为11个,且呈聚集分布的样方均以低密度样方为主。随着生境条件沿冠盖区,过渡区和空旷区梯度变化,芨芨草空间格局趋向于聚集分布,但趋势性不如随密度条件变化明显。

3 讨论

3.1 各微生境的环境胁迫程度

本研究中,就土壤盐分、容重、有机质含量等生态因子而言,冠盖区生境胁迫相对较小。土壤层次相同时,土壤电导率沿冠盖区、过渡区、空旷区梯度增加。虽然芨芨草具有较高的耐盐性,但与典型盐生植物相比,芨芨草并非喜盐植物^[36],盐胁迫可降低芨芨草种子萌发率^[37],并使芨芨草叶绿素合成受阻,叶绿素含量下降^[38],从而对芨芨草的生长、发育与繁殖产生危害。在土壤容重方面,作为土壤紧实度的重要指标,当土壤容重偏高时,土壤孔隙度小,土壤有效水分减少,植物根系生长受阻,甚至使植物受到损伤^[39-40]。本研究中,在冠盖区,土壤相对较为疏松,较有利于芨芨草的生长,而空旷区和过渡区土壤较为坚硬,对芨芨草生长不利。在有机质含量的分布方面,沙枣树冠下养分相对较为丰富,而过渡区和空旷区,土壤较为贫瘠。

大量研究表明,虽然干旱区树木与林下草本之间存在一定资源竞争关系,但上层树冠的覆盖,可以有效改善冠下微生境条件,如遮荫^[41]、降低温度变幅^[42]、促进有机质积累^[43]等。此外,前期调查表明研究地内沙枣与芨芨草根系存在垂直分离现象,芨芨草根系主要分布在表浅层,而沙枣根系主要分布在深层,二者直接对地下资源的竞争相对较弱^[44];沙枣可能主要通过改变地上地下微生境条件,对芨芨草生长、形态、空间格局等产生影响^[19]。以上分析表明,由于沙枣树冠覆盖程度的差异,环境胁迫程度随着冠盖区、过渡区、空旷区梯度增加;同时,芨芨草对环境胁迫产生相应响应。

3.2 芨芨草种群空间格局对环境胁迫的响应

本研究中环境胁迫梯度沿冠盖区、过渡区和空旷区递增;相应地,呈聚集分布的芨芨草种群在冠盖区较少,而在过渡区和空旷区较多。前期研究认为芨芨草的繁殖特性是其种群呈聚集分布的重要因素^[17-20];本研究结果表明,在小尺度上,环境胁迫对于芨芨草空间格局形成也具有重要影响。在环境胁迫下,植物在空间上

表 2 63 个茭草种群在 0—0.5 m 尺度的空间格局 (K2 函数)

Table 2 The spatial patterns of 63 *Achnatherum splendens* populations within a scale ranging from 0 to 0.5 m (based on K2 function)

密度 Density	区域 Area														
	冠盖区 Subcanopy area					过渡区 Transitional area					空旷区 Open area				
	尺度 Scale/m					尺度 Scale/m					尺度 Scale/m				
	0—0.1	0.1—0.2	0.2—0.3	0.3—0.4	0.4—0.5	0—0.1	0.1—0.2	0.2—0.3	0.3—0.4	0.4—0.5	0—0.1	0.1—0.2	0.2—0.3	0.3—0.4	0.4—0.5
低密度 Low density	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	+	+	+	0	0
	+	0	0	0	0	+	+	+	0	0	+	+	+	+	0
	+	0	0	0	0	+	+	+	0	0	+	+	+	+	0
	+	0	0	0	0	+	+	+	+	0	+	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	+	+	+	0	0
	+	0	0	0	0	+	+	0	0	0	+	+	+	+	0
中密度 Medium density	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0	0	0
	+	+	+	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0
高密度 High density	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

+: 聚集分布; 0: 随机分布

表 3 在 0—0.5 m 尺度范围内,呈聚集分布的芨芨草样方数量

Table 3 The numbers of quadrats in which the *Achnatherum splendens* were aggregately distributed within a scale ranging from 0 to 0.5 m

密度 Density	区域 Area			合计 Sum
	冠盖区 Subcanopy area	过渡区 Transitional area	空旷区 Open area	
低密度 Low density	4	7	7	18
中密度 Medium density	2	3	4	9
高密度 High density	0	1	0	1
合计 Sum	6	11	11	28

相邻,彼此可通过互相荫蔽、降低风速、促进营养物质积累等,以缓解胁迫对植物的危害^[22]。如张程等认为荒漠植物可以通过成丛或聚集分布形成局部微生境,以减少地上部分的水分胁迫^[18]。因而,在胁迫程度增加时,芨芨草种群空间格局采取聚集分布策略有利于缓解环境胁迫危害。

胁迫梯度假说(stress gradient hypothesis, SGH)认为随胁迫强度增加,植物间正相互作用增加^[22-24]。例如, Kikvidze 等发现在湿润凉爽的条件下,相邻植物间表现出负相互作用,而在干燥炎热条件下相邻植物间表现为正相互作用^[45]; Holzapfel 研究发现,随着水分可获得性提高,沙漠灌丛对 1 年生植物的影响从正作用逐渐转为负作用^[46]。但对 SGH 也存在争议,如 Maestre 认为在资源极度丰富或缺乏的极端情况下,植物间均趋于负相互作用^[47]。本研究基于小尺度下植物之间的相互作用与空间格局的高度相关性^[6,10-13],利用 K2 函数排除了环境异质性对小尺度空间格局影响,揭示出芨芨草种群空间格局表现出随环境胁迫增加而趋于聚集分布,该结果可能表明芨芨草种内正相互作用发生频率随着环境胁迫增强而增加,基本符合 SGH 预测;但仍需要进一步的受控实验(如去除或添加实验),以确定芨芨草种内相互作用性质及其随环境胁迫变化的生态机制。

3.3 不同密度条件下芨芨草种群空间格局对环境胁迫的响应

在低密度条件下,冠盖区、过渡区和空旷区芨芨草呈聚集分布的样方数量分别为 4、7、7 个。有研究指出,低密度种群植株间对资源的竞争通常相对较弱^[25],对个体(或丛)有利;而在相对恶劣的生境中,种内在空间上聚集分布,采取协作策略,有利于抵御恶劣环境的影响^[48]。由此推测,在低密度条件下的芨芨草多呈聚集分布,既可以在一定程度上协作以缓解环境胁迫的不良影响,同时种内对水分、养分的资源竞争相对也较为缓和。表现为在胁迫相对较小冠盖区,芨芨草在多数样方(4/7 个)中呈聚集分布,而在环境胁迫强烈的过渡区和空旷区,芨芨草则进一步采取了全部聚集分布的策略,以缓解抵御更为恶劣的环境胁迫。

在中密度条件下,冠盖区、过渡区和空旷区芨芨草呈聚集分布的样方数量依次上升,分别为 2、3、4 个。这一结果较为符合 SGH 的预测。但从聚集分布样方的数量上看,中密度条件下芨芨草种聚集分布样方数量低于在同等胁迫程度下低密度芨芨草种群聚集分布样方数量。这表明,虽然芨芨草可以通过聚集分布缓解环境胁迫威胁,但在中密度条件下,种群密度提高带来的负面效应,使聚集分布样方数量相对低密度条件下有所下降。

在高密度条件下,冠盖区、过渡区和空旷区芨芨草呈聚集分布的样方数量分别为 0、1、0 个。在高密度条件下,植物种内可能为争夺有限资源而发生激烈竞争^[25]。本研究中,虽然环境胁迫程度随着冠盖区、过渡区和空旷区梯度增加,但空间上聚集分布所带来的缓解环境胁迫的正效应可能被剧烈资源竞争的负效应所抵消。相应地,在高密度条件下,聚集样方数量并没有随着胁迫增强而明显增加;相反,除了一个过渡区样方外,其余样方中芨芨草种群均采取随机分布策略。

研究表明,当考虑种群密度因素时,各个微生境区域,不同密度条件下芨芨草种群空间格局对环境胁迫的响应有所不同。考虑到植物种群密度常常随环境条件的改变而变化^[19, 49],在研究种群空间格局随环境改善而发生转变的机制时,有必要区分胁迫效应和密度效应。

此外,比较芨芨草空间格局随自身密度变化与随胁迫程度变化的趋势,发现芨芨草空间分布格局随自身密度下降,在高、中、低密度下,聚集分布样方数量分别为 18、9、1,而随着土壤理化性质胁迫程度加强,聚集分

布样方数量在冠下区、过渡区和空旷区分别为 6、11、11。可见,芨芨草空间分布格局随自身密度上升而变化趋势相对于随胁迫梯度上升而变化趋势更为明显;由此推测,在本研究中芨芨草自身密度状况对空间格局的影响比环境胁迫的影响相对更强。

4 结论

研究通过比较不同区位的土壤条件及不同密度水平下芨芨草的空间格局特征,对不同密度条件下芨芨草种群空间格局特征对环境胁迫程度的响应进行了研究,主要结论有:

(1) 沙枣对缓解土壤盐碱化,提高土壤有机质含量及疏松土壤有重要作用。在冠盖区,土壤盐分和容重相对较低,土壤有机质含量较高,芨芨草生长所受胁迫相对较小;而在空旷区,土壤盐分和容重相对较高,土壤有机质含量较低,芨芨草生长所受胁迫相对较强;过渡区各项参数居中。

(2) 随着密度上升,芨芨草种群空间格局从以聚集分布为主转为随机分布为主;而随着土壤性质胁迫程度沿冠盖区-过渡区-空旷区梯度增强,芨芨草空间格局从以随机分布为主逐渐转为以聚集分布为主。

(3) 在不同密度条件下,芨芨草空间格局对环境胁迫响应有所不同。在低密度条件下,芨芨草种群在各胁迫梯度上,均以聚集分布为主;在中密度条件下,随着胁迫增强,芨芨草聚集分布样方数量逐渐增加;而在高密度条件下,在各胁迫梯度上,芨芨草种群空间上均以随机分布为主。

致谢:感谢南京大学生命科学院陆俊宇、石云峰、杨名等同学在野外调查及实验分析中的支持与帮助;感谢 Florida A&M University 的 Jiang Lu 教授及 Monica Lu 女士对写作的帮助。

References:

- [1] Schenk H J, Holzapfel C, Hamilton J G, Mahall B E. Spatial ecology of a small desert shrub on adjacent geological substrates. *Journal of Ecology*, 2003, 91(3): 383-395.
- [2] Perry G L W, Enright N J, Miller B P, Lamont B B. Nearest-neighbour interactions in species-rich shrublands: the roles of abundance, spatial patterns and resources. *Oikos*, 2009, 118(2): 161-174.
- [3] Schurr F M, Bossdorf O, Milton S J, Schumacher J. Spatial pattern formation in semi-arid shrubland: a priori predicted versus observed pattern characteristics. *Plant Ecology*, 2004, 173(2): 271-282.
- [4] Miriti M N. Twenty years of changes in spatial association and community structure among desert perennials. *Ecology*, 2007, 88(5): 1177-1190.
- [5] Tirado R, Pugnaire F I. Community structure and positive interactions in constraining environments. *Oikos*, 2005, 111(3): 437-444.
- [6] McIntire E J B, Fajardo A. Beyond description: the active and effective way to infer processes from spatial patterns. *Ecology*, 2009, 90(1): 46-56.
- [7] Anthelme F, Michalet R, Saadou M. Positive associations involving the tussock grass *Panicum turgidum* Forssk. in the Aïr-Ténéré Reserve, Niger. *Journal of Arid Environments*, 2007, 68(3): 348-362.
- [8] Gutiérrez-Girón A, Gavilán R G. Spatial patterns and interspecific relations analysis help to better understand species distribution patterns in a Mediterranean high mountain grassland. *Plant Ecology*, 2010, 210(1): 137-151.
- [9] Rayburn A P, Schiffers K, Schupp E W. Use of precise spatial data for describing spatial patterns and plant interactions in a diverse Great Basin shrub community. *Plant Ecology*, 2010, 212(4): 585-594.
- [10] Arroyo M T K, Cavieres L A, Peñaloza A, Arroyo-Kalin M A. Positive associations between the cushion plant *Azorella monantha* (Apiaceae) and alpine plant species in the Chilean Patagonian Andes. *Plant Ecology*, 2003, 169(1): 121-129.
- [11] Fajardo A, Quiroz C L, Caviere L A. Spatial patterns in cushion-dominated plant communities of the high Andes of central Chile: how frequent are positive associations? *Journal of Vegetation Science*, 2008, 19(1): 87-96.
- [12] Larrea-Alcázar D M, Soriano P J. Spatial associations, size-distance relationships and population structure of two dominant life forms in a semiarid enclave of the Venezuelan Andes. *Plant Ecology*, 2006, 186(1): 137-149.
- [13] Malkinson D, Kadmon R, Cohen D. Pattern analysis in successional communities-an approach for studying shifts in ecological interactions. *Journal of Vegetation Science*, 2003, 14(2): 213-222.
- [14] Schiffers K, Schurr F M, Tielbörger K, Urbach C, Moloney K, Jeltsch F. Dealing with virtual aggregation — a new index for analysing heterogeneous point patterns. *Ecography*, 2008, 31(5): 545-555.
- [15] Zhang Y J. The suggestions on the exploitation for the utilization of the *Achnatherum splendens* resources in the pasture of Erduos. Inner Mongolia

- Pratacuhure, 2002, 14(2): 28-29.
- [16] Wei D, Wang Y R. Germination testing methods on *Achnatherum splendens* seeds. Pratacultural Science, 1998, 15(4): 29-32.
- [17] Zhou G Y, Chen G C, Wei G L, Han Y J, Zhu C G. Distribution patterns of major populations in *Achnatherum splendens* communities of Qinghai Lake Area. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(3): 579-584.
- [18] Zhang C, Zhang M J, Xu C, Liu M S, Wang H J, Hu H B. Analysis of aggregation in desert plant species in sand lake, Ningxia Autonomous Region, China. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(1): 32-39.
- [19] Zhang Q M, Zhang C, Liu M S, Yu W, Xu C, Wang H J. The influences of arboraceous layer on spatial patterns and morphological characteristics of herbaceous layer in an arid plant community. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(5): 1265-1271.
- [20] Liu X K, Liu M S, Huang Z, Xu C, Zhang M J, Wang H J. Pattern analysis of inter-specific relationships in four arid communities in Sand Lake, Ningxia Hui Autonomous Region, China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(2): 320-330.
- [21] Goldenheim W M, Irving A D, Bertness M D. Switching from negative to positive density-dependence among populations of a cobble beach plant. Oecologia, 2008, 158(3): 473-483.
- [22] Callaway R M. Positive Interactions and Interdependence in Plant Communities. Dordrecht: Springer, 2007.
- [23] Callaway R M, Walker L R. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. Ecology, 1997, 78(7): 1958-1965.
- [24] Brooker R W, Maestre F T, Callaway R M, Lortie C L, Cavieres L A, Kunstler G, Liancourt P, Tielbörger K, Travis J M J, Anthelme F, Armas C, Coll L, Corcket E, Delzon S, Forey E, Kikvidze Z, Olofsson J, Pugnaire F, Quiroz C L, Saccone P, Schiffrers K, Seifan M, Touzard B, Michalet R. Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. Journal of Ecology, 2008, 96(1): 18-34.
- [25] Weiner J, Berntson G M, Thomas S C. Competition and growth from in a woodland annual. Journal of Ecology, 1990, 78(2): 459-469.
- [26] Li Z F, Wang G. The effects of intraspecific competition on the relationship between height growth and biomass of annual plants. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 2002, 38(2): 141-146.
- [27] Bruno J F, Stachowicz J J, Bertness M D. Inclusion of facilitation into ecological theory. Trends in Ecology and Evolution, 2003, 18(3): 119-125.
- [28] Chu C J, Maestre F T, Xiao S, Weiner J, Wang Y S, Duan Z H, Wang G. Balance between facilitation and resource competition determines biomass-density relationships in plant populations. Ecology Letters, 2008, 11(11): 1189-1197.
- [29] Tewksbury J J, Lloyd J D. Positive interactions under nurse-plants: spatial scale, stress gradients and benefactor size. Oecologia, 2001, 127(3): 425-434.
- [30] Milios E, Pipinis E, Petrou P, Akritidou S, Smiris P, Aslanidou M. Structure and regeneration patterns of the *Juniperus excelsa* Bieb. stands in the central part of the Nestos valley in the northeast of Greece, in the context of anthropogenic disturbances and nurse plant facilitation. Ecological Research, 2007, 22(5): 713-723.
- [31] Lin D Y. A Guide for Pedologic Test. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 2004.
- [32] Haase P. Spatial pattern analysis in ecology based on Ripley's K-function: introduction and methods for edge correction. Journal of Vegetation Science, 1995, 6(4): 575-582.
- [33] Wiegand T, Moloney K A. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. Oikos, 2004, 104(2): 209-229.
- [34] Xie J B, Liu T, Cui Y H, Zhang Y H. Multispecies, multi-patterns at multiple scales: a case study of four shrubs at Mosuowan Desert, China. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2176-2190.
- [35] Yang H X, Zhang J T, Wu B, Li X S, Zhang Y Y. Point pattern analysis of *Artemisia ordosica* population in the Mu US sand land. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(4): 563-570.
- [36] Zhang Y Q, Liang C Z, Wang W, Wang L X, Peng J T, Yan J C, Jia C L. Soil salinity and *Achnatherum splendens* distribution. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(12): 2438-2443.
- [37] Wang G P, Kang X L, Tao J, Chen H F, Yan P. Effects of salt concentration on physiological characteristics of *Achantherum splendens* seeds during germination process. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(2): 139-142.
- [38] Ni X L, Yue Y F, Tian Y, Peng L, Shen X D. Comprehensive evaluation of salt-resistance traits in four Halophytes. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(6): 138-141.
- [39] Maganti M, Weaver S, Downs M. Responses of spreading orach (*Atriplex patula*) and common lambsquarters (*Chenopodium album*) to soil compaction, drought, and waterlogging. Weed Science, 2005, 53(1): 90-96.
- [40] Zhou Y J, Ma F W, Han M Y, Wu Y W. Advance in research of effect and mechanism of higher soil compaction on plant growth. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(6): 212-215.
- [41] Scholes R J, Archer S R. Tree-grass interactions in Savannas. Annual Review of Ecology and Systematics, 1997, 28(1): 517-544.

- [42] Drezner T D. An analysis of winter temperature and dew point under the canopy of a common Sonoran Desert nurse and the implications for positive plant interactions. *Journal of Arid Environments*, 2007, 69(4): 554-568.
- [43] Simmons M T, Archer S R, Teague W R, Ansley R J. Tree (*Prosopis glandulosa*) effects on grass growth: an experimental assessment of above- and belowground interactions in a temperate savanna. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72(4): 314-325.
- [44] Wang J, Liu M S, Sheng S, Xu C, Liu X K, Wang H J. Spatial distributions of soil water, salts and roots in an arid arbor-herb community. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4120-4127.
- [45] Kikvidze Z, Khetsuriani L, Kikodze D, Callaway R M. Seasonal shifts in competition and facilitation in subalpine plant communities of the central Caucasus. *Journal of Vegetation Science*, 2006, 17(1): 77-82.
- [46] Holzapfel C, Tielbörger K, Parag H A, Kigel J, Sternberg M. Annual plant-shrub interactions along an aridity gradient. *Basic and Applied Ecology*, 2006, 7(3): 268-279.
- [47] Maestre F T, Cortina J. Do positive interactions increase with abiotic stress? A test from a semi-arid steppe. *Biological Sciences*, 2004, 271(S5): S331-S333.
- [48] le Roux P C, McGeoch M A. Spatial variation in plant interactions across a severity gradient in the sub-Antarctic. *Oecologia*, 2008, 155(4): 831-844.
- [49] Wei Q S, Wang J H, Li C L, Zhuang G H, Chen S K. A preliminary study on the distribution patterns and characteristics of *Ammopiptanthus mongolicus* populations in different desert environments. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2005, 29(4): 591-598.

参考文献:

- [15] 张雨军. 对芨芨草场资源在鄂尔多斯市开发利用的建议. *内蒙古草业*, 2002, 14(2): 28-29.
- [16] 卫东, 王彦荣. 芨芨草种子发芽检验方法的研究. *草业科学*, 1998, 15(4): 29-32.
- [17] 周国英, 陈桂琛, 魏国良, 韩友吉, 祝存冠. 青海湖地区芨芨草群落主要种群分布格局研究. *西北植物学报*, 2006, 26(3): 579-584.
- [18] 张程, 张明娟, 徐驰, 刘茂松, 王汉杰, 胡海波. 宁夏沙湖几种主要荒漠植物成丛性分析. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 32-39.
- [20] 刘小恺, 刘茂松, 黄峥, 徐驰, 张明娟, 王汉杰. 宁夏沙湖 4 种干旱区群落中主要植物种间关系的格局分析. *植物生态学报*, 2009, 33(2): 320-330.
- [26] 李仲芳, 王刚. 种内竞争对一年生植物高生长与生物量关系的影响. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2002, 38(2): 141-146.
- [31] 林大仪. *土壤学实验指导*. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [34] 谢江波, 刘彤, 崔运河, 张元杭. 多尺度上的多物种多格局——以莫索湾沙漠四种灌木及其生境为例. *生态学报*, 2008, 28(5): 2176-2190.
- [35] 杨洪晓, 张金屯, 吴波, 李晓松, 张友炎. 毛乌素沙地油蒿种群点格局分析. *植物生态学报*, 2006, 30(4): 563-570.
- [36] 张雅琼, 梁存柱, 王伟, 王立新, 彭江涛, 闫建成, 贾成朕. 芨芨草群落土壤盐分特征. *生态学杂志*, 2010, 29(12): 2438-2443.
- [37] 王果平, 康喜亮, 陶锦, 陈韩飞, 阎平. 不同盐浓度对芨芨草种子萌发过程中几种生理指标的影响. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(2): 139-142.
- [38] 倪细炉, 岳延峰, 田英, 彭励, 沈效东. 4 种盐生植物抗盐能力的综合评价. *中国农学通报*, 2010, 26(6): 138-141.
- [40] 邹养军, 马锋旺, 韩明玉, 吴亚维. 土壤紧实胁迫与植物抗胁迫响应机理研究进展. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(6): 212-215.
- [44] 王珺, 刘茂松, 盛晟, 徐驰, 刘小恺, 王汉杰. 干旱区植物群落土壤水盐及根系生物量的空间分布格局. *生态学报*, 2008, 28(9): 4120-4127.
- [49] 蔚秋实, 王继和, 李昌龙, 庄光辉, 陈善科. 不同生境条件下沙冬青种群分布格局与特征的初步研究. *植物生态学报*, 2005, 29(4): 591-598.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.2 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea	WANG Xuehui, QIU Yongsong, DU Feiyan, et al (333)
Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China	DING Jingjing, LIU Dingzhen, LI Chunwang, et al (343)
Comparative study on learning behavior and electroantennogram responses in two geographic races of <i>Cotesia glomerata</i>	WANG Guohong, LIU Yong, GE Feng, et al (351)
Biological characteristics and habitat requirements of <i>Parnassius imperator</i> (Lepidoptera: Parnassidae)	FANG Jianhui, LUO Youqing, NIU Ben, et al (361)
Annual variability in biological characteristics of <i>Illex argentinus</i> in the southwest Atlantic Ocean	FANG Zhou, LU Huajie, CHEN Xinjun, et al (371)
The impact of run-of stream dams on benthic macroinvertebrate assemblages in urban streams	HAN Minghua, YU Haiyan, ZHOU Bin, et al (380)
Effect of suspended sediment on the feeding physiology of <i>Pinctada martensii</i> in laboratory	LI Zhimin, SHEN Yuchun, YU Nantao, et al (386)
Potential nutrient limitation of phytoplankton growth in the Western and Central Pacific Ocean	XU Yanqing, CHEN Jianfang, GAO Shengquan, et al (394)
Ingestion of selected HAB-forming dinoflagellates	ZHANG Qingchun, YU Rencheng, SONG Jingjing, et al (402)
Formation of aggregation by <i>Phaeocystis globosa</i> (Prymnesiophyceae) in response to high grazing pressure	WANG Xiaodong, WANG Yan (414)
Growth and reproduction of the green macroalga <i>Ulva prolifera</i>	ZHANG Bixin, WANG Jianzhu, WANG Yifu, et al (421)
Screening of growth decline related genes from <i>Alexandrium catenella</i>	ZHONG Jie, SUI Zhenghong, WANG Chunyan, et al (431)
Analysis of inherent optical properties of Lake Taihu in spring and its influence on the change of remote sensing reflectance	LIU Zhonghua, LI Yunmei, LU Heng, et al (438)
Neural network modeling of the eutrophication mechanism in Lake Chenghai and corresponding scenario analysis	ZOU Rui, DONG Yunxian, ZHANG Zhenzhen, et al (448)
The compensatory growth of shrubby <i>Pinus thunbergii</i> response to the boring stress in sandy coast	ZHOU Zhen, LI Chuanrong, XU Jingwei, et al (457)
Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species (<i>Fejervarya limnocharis</i> and <i>Microhyla ornata</i>) acclimated under different thermal conditions	SHI Linqiang, ZHAO Lihua, MA Xiaohao, et al (465)
Effects of landscape structure and key landscape factors on aphids-parasitoids-hyper parasitoids populations in wheat fields	ZHAO Zihua, WANG Ying, HE Dahan, et al (472)
Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (<i>Brassica alboglabra</i> Bailey) roots	ZHENG Aizhen (483)
Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings	HAN Chunmei, LI Chunlong, YE Shaoping, et al (489)
Manganese tolerance and accumulation in mycelia of <i>Cordyceps kyuusyuensis</i>	LUO Yi, CHENG Xianhao, ZHANG Congcong, et al (499)
Influence of oxytetracycline exposure on antibiotic resistant bacteria and enzyme activities in wheat rhizosphere soil	ZHANG Hao, ZHANG Lilan, WANG Jia, et al (508)
Effects of elevated nitrogen deposition on soil organic carbon mineralization and soil enzyme activities in a Chinese fir plantation	SHEN Fangfang, YUAN Yinghong, FAN Houbao, et al (517)
Differences in clonal growth between female and male plants of <i>Rhus typhina</i> Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence	ZHANG Mingru, WEN Guosheng, ZHANG Jin, et al (528)
Soil water holding capacity under four typical ecosystems in Wuyunjie Nature Reserve of Hunan Province	PAN Chunxiang, LI Yuyuan, PENG Yi, et al (538)
The effect of different land use patterns on soil properties in alpine areas of eastern Qilian Mountains	ZHAO Jinmei, ZHANG Degang, LIU Changzhong, et al (548)
Responses of soil macro-fauna to land desertification in sandy grassland	LIU Rentao, ZHAO Halin (557)
Characteristics of cultivable microbial community number and structure at the southeast edge of Tengger Desert	ZHANG Wei, ZHANG Gaosen, LIU Guangxiu, et al (567)
Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Taramakan desert	LI Lei, LI Xiangyi, LIN Lisha, WANG Yingju, et al (578)
Characterization of caloric value in fifteen plant species in <i>Leymus chinensis</i> steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia	GAO Kai, XIE Zhongbing, XU Sutie, et al (588)
Spatial pattern responses of <i>Achnatherum splendens</i> to environmental stress in different density levels	ZHANG Mingjuan, LIU Maosong, XU Chi, et al (595)
Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an <i>Abies fargesii</i> - <i>Betula utilis</i> mixed forest	REN Xuemin, YANG Gaihe, WANG Dexiang, et al (605)
Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress	LUAN Xia, CHEN Zhende, WANG Dongfeng, et al (614)
Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City	HUANG Jucong, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (622)
The analysis of the green vegetation cover change in western Sichuan based on GIS and Remote sensing	YANG Cunjian, ZHAO Zijian, REN Xiaolan, et al (632)
An inventory of BVOC emissions for a subtropical urban-rural complex: Greater Taizhou Area	CHANG Jie, REN Yuan, SHI Yan, et al (641)
Scientific Note	
Litter decomposition and nutrient dynamics of <i>Carex lasiocapa</i> under different water conditions	HOU Cuicui, SONG Changchun, LI Yingchen, et al (650)
Nest-box color preference and reproductive success of great tit	ZHANG Keqin, DENG Qiuxiang, Justin Liu, et al (659)

《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 2 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 2 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: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 70.00 元