

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第7期 Vol.31 No.7 **2011**

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 31 卷 第 7 期

2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤氮库与微生物的季节变化·····	龚 伟,胡庭兴,王景燕,等 (1763)
IBIS 模拟东北东部森林 <i>NPP</i> 主要影响因子的敏感性·····	刘 曦,国庆喜,刘经纬 (1772)
不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子·····	靳甜甜,傅伯杰,刘国华,等 (1783)
氮、硫互作对克隆植物互花米草繁殖和生物量累积与分配的影响·····	甘 琳,赵 晖,清 华,等 (1794)
海岛棉和陆地棉叶片光合能力的差异及限制因素·····	张亚黎,姚贺盛,罗 毅,等 (1803)
遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响·····	王建华,任士福,史宝胜,等 (1811)
3 种木本植物在铅锌和铜矿砂中的生长及对重金属的吸收·····	施 翔,陈益泰,王树凤,等 (1818)
施氮水平对小麦籽粒谷蛋白大聚合体粒径分布的调控效应·····	王广昌,王振林,崔志青,等 (1827)
强光下高温与干旱胁迫对花生光系统的伤害机制·····	秦立琴,张悦丽,郭 峰,等 (1835)
环境因子和干扰强度对高寒草甸植物多样性空间分异的影响·····	温 璐,董世魁,朱 磊,等 (1844)
利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力·····	董 丹,倪 健 (1855)
北京市绿化树种紫玉兰的蒸腾特征及其影响因素·····	王 华,欧阳志云,任玉芬,等 (1867)
平衡施肥对缺磷红壤性水稻土的生态效应·····	陈建国,张杨珠,曾希柏,等 (1877)
冬小麦种植模式对水分利用效率的影响·····	齐 林,陈雨海,周勋波,等 (1888)
黄土高原冬小麦地 N_2O 排放·····	庞军柱,王效科,牟玉静,等 (1896)
花前渍水预处理对花后渍水逆境下扬麦 9 号籽粒产量和品质的影响·····	李诚永,蔡 剑,姜 东,等 (1904)
低硫氮比酸雨对亚热带典型树种气体交换和质膜的影响·····	冯丽丽,姚芳芳,王希华,等 (1911)
夹竹桃皂甙对福寿螺的毒杀效果及其对水稻幼苗的影响·····	戴灵鹏,罗蔚华,王万贤 (1918)
海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系·····	赵志轩,张 彪,金 鑫,等 (1925)
中国灌木林-经济林-竹林的生态系统服务功能评估·····	王 兵,魏江生,胡 文 (1936)
城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估——以武汉市严东湖为例·····	王凤珍,周志翔,郑忠明 (1946)
黄河三角洲植物生态位和生态幅对物种分布-多度关系的解释·····	袁 秀,马克明,王 德 (1955)
基于景观可达性的广州市林地边界动态分析·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (1962)
红脂大小蠹传入中国危害特性的变化·····	潘 杰,王 涛,温俊宝,等 (1970)
基于线粒体 <i>Cyt b</i> 基因的西藏马鹿种群遗传多样性研究·····	刘艳华,张明海 (1976)
不同干扰下荒漠啮齿动物群落多样性的多尺度分析·····	袁 帅,武晓东,付和平,等 (1982)
秦岭鼯鼠的洞穴选择与危害防控·····	鲁庆彬,张 阳,周材权 (1993)
京杭运河堤坝区域狗獾的栖息地特征·····	殷宝法,刘宇庆,刘国兴,等 (2002)
专论与综述	
微生物胞外呼吸电子传递机制研究进展·····	马 晨,周顺桂,庄 莉,等 (2008)
厌氧氨氧化菌脱氮机理及其在污水处理中的应用·····	王 惠,刘研萍,陶 莹,等 (2019)
问题讨论	
海河流域森林生态系统服务功能评估·····	白 杨,欧阳志云,郑 华,等 (2029)
研究简报	
体重和盐度对中国蛤蚧耗氧率和排氨率的影响·····	赵 文,王雅倩,魏 杰,等 (2040)
虾塘养殖中后期微型浮游动物的摄食压力·····	张立通,孙 耀,赵从明,等 (2046)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 290 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04



封面图说:日斜茅荆坝·河北茅荆坝——地处蒙古高原向华北平原过渡地带的暖温带落叶阔叶林,色彩斑斓,正沐浴着晚秋温暖的阳光。

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

不同干扰下荒漠啮齿动物群落多样性的多尺度分析

袁 帅^{1,2}, 武晓东^{1,2,*}, 付和平^{1,2}, 杨泽龙³, 张福顺^{1,2}, 张晓东^{1,2}

(1. 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019, 2. 草业与草地资源教育部重点实验室, 呼和浩特 010019,
3. 内蒙古气象科学研究所, 呼和浩特 010051)

摘要: 尺度问题是生态学的核心问题。将荒漠啮齿动物群落主要特征参数 Shannon-Wiener 多样性指数作为信息, 来探究其在人为干扰下对尺度变化的响应, 目的是为了揭示不同干扰条件下荒漠区啮齿动物群落多样性随尺度变化的趋势, 为动物群落格局-过程研究的尺度推绎提供生态学基础。2003—2008 年每年 7 月, 在内蒙古阿拉善荒漠禁牧、轮牧、过牧和开垦 4 种不同干扰生境中, 选择了 1.25、2.5、5、10hm² 等 4 个空间尺度, 应用钵日法统计样地中的啮齿动物群落种数及各物种的捕获数据, 计算 Shannon-Wiener 多样性指数, 将其作为原始信号进行小波分解。研究表明: 在荒漠区 $\leq 10\text{hm}^2$ 内, 除过牧区外, 在其他干扰类型中啮齿动物群落多样性随空间尺度增加均呈上升趋势。啮齿动物群落多样性的原始信号中存在规则的周期性干扰, 这种干扰可能是由群落的年际波动造成的。在 4 种尺度下, 各干扰区啮齿动物群落多样性除在开垦区未表现出明显周期外, 其余干扰区各自均具有相同的周期: 轮牧区 4a, 禁牧区 3a, 过牧区 2a。荒漠区 4 种干扰类型中随着空间尺度的增加啮齿动物群落多样性变动幅度减小, 抗干扰能力逐渐增强。但不同干扰中啮齿动物多样性的变动幅度和抗干扰能力是不同的。禁牧区与开垦区的啮齿动物多样性在 $\leq 2.5\text{hm}^2$ 范围内较易受到扰动; 过牧区在 $\leq 5\text{hm}^2$ 的范围内较不稳定; 轮牧区在整个 10hm^2 范围内都易受到扰动。

关键词: 干扰; 尺度; 多样性; 小波分解

Multi-scales analysis on diversity of desert rodent communities under different disturbances

YUAN Shuai^{1,2}, WU Xiaodong^{1,2,*}, FU Heping^{1,2}, YANG Zelong³, ZHANG Fushun^{1,2}, ZHANG Xiaodong^{1,2}

1 College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China

2 Key Laboratory of Prataculture and Grassland Resource, Ministry of Education, Hohhot 010019, China

3 The Weather Science Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010051, China

Abstract: The description of any system depends on spatial and temporal scale. Most researchers agree that processes that occur at different spatial and temporal scales affect ecological communities, and the scale has been one of key problems in ecological approach. Therefore, anthropogenic disturbances affecting ecological communities have to be considered in dependency of scaling — and here, empirical support is still scarce. In this study, Shannon-Wiener indices, the main characteristic parameters of desert rodent communities, were analyzed as basic information to explore their response on multi-scales under anthropogenic disturbances. The experimental objectives were to reveal change tendency of diversity with spatial scale, and to provide the bio-foundation of scaling for the research on pattern and process of animal ecology. Our research area is located on the desert landscape at the south of Alashan Desert in Inner Mongolia. This kind of landscape is fragmented due to long-term anthropogenic disturbances such as grazing, restructuring of grazing area into farmland, and building water conservancy. Data were collected in this area between 2003 and 2008. Moreover, July was chosen as focus month showing characteristic features for Alashan Desert which is caused by the species diversity variance, vegetation flourishes and the highest level in animal numbers during this time. In this term, four spatial scales with 1.25hm²,

基金项目: 国家自然科学基金项目(30160019, 30560028, 30760044); 内蒙古自治区自然科学基金项目(200508010511); 内蒙古高等学校科学研究项目(NJZY07047, ZJ03086); 内蒙古农业大学博士基金(BJ05-30, BJ06-33)

收稿日期: 2010-03-10; **修订日期:** 2010-08-17

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

2.5hm², 5hm² and 10hm² were selected at four disturbed habitats (forbidden grazing area, rotational grazing area, over-grazing area, and farmland) in our research area. The species number and the ratio between species in the rodent communities in different habitats were determined using trap-day method at four spatial scales. Shannon-Wiener indices as original signal were decomposed at four levels by using the method of db wavelet analysis. The results indicated that 1st species composition and annual average species richness of rodent depended on the spatial scales in each site (≤ 10 hm²). Annual average species richness of rodent showed a rising trend with increasing spatial scales. This can be seen as function of species appearance and abundance in different habitat at same scale. 2nd a rise of rodent community diversity in sites (≤ 10 hm²) of each habitat in desert was mainly affected by spatial scales with exception of the over-grazing areas. Here, fluctuation of communities among years occurred, but a regular cycle in original signal at four scales was determined. Therefore, time cue seems to be more affective as spatial ones for this special habitat. However, cycles were different in four disturbed habitats (rotational grazing areas: 4 years, forbidden grazing areas: 3 years, over grazing areas: 2 years, and no cycle in farmland). Even though the cycle length itself appears constant within each habitat, the amplitude per scale differs. 3rd the fluctuation amplitude of diversity of rodent communities decreased and anti-jamming ability grew up with an increase of spatial scales in the four disturbed habitats. The diversity of rodent communities in forbidden grazing areas and farmland, over-grazing areas, and rotational grazing areas were easily disturbed at the range of 0—2.5 hm², 0—5 hm² and 0—10 hm², respectively. To conclude, wavelet analysis is an efficient method to distilling the tendency of rodent communities' diversity and signal of disturbance with spatial scale.

Key Words: disturbance; diversity; scale; wavelet decomposition

在全球环境变化背景下,人为因素的影响几乎遍及全球,由此导致的群落变化与特定群落中自然发生的变化远不相同,这是由于变化的发展速度和尺度极其复杂造成的。因此,研究生态群落对人为干扰的响应具有一定的科学和实践意义^[1]。而任何系统的描述都依赖于时空尺度,这一假说已经促使研究者将尺度作为描述物种多样性和分布机制的另一因素^[2]。在时空尺度和组织尺度的一定范围内,每个生态系统都将展现出斑块性和易变性,并伴随着与其它系统实质的相互作用以及随机事件的影响。因此,没有一个“合适的”尺度来描述种群和生态系统^[3-8]。为了从叶片到生态系统再到景观甚至更大的尺度推绎^[9],我们必须理解信息是如何从微尺度向大尺度传递的,反之亦然^[3]。而在这一过程中,干扰是经常存在的。所以考虑干扰影响的尺度推绎更具现实意义。物种多样性作为生态学研究的一个前沿问题,其核心是物种的数量变化和物种的生物学多样性程度,主要内容应该是物种多样性时空变化在各种尺度范围的格局、成因及其规律。因此,探索多样性测度与取样尺度之间的内在联系显得非常重要^[10-11]。本文将荒漠啮齿动物群落 Shannon-Wiener 多样性指数作为信息,来探究其在人为干扰下对空间尺度变化的响应,从而揭示不同干扰条件下荒漠区啮齿动物群落随尺度的变化趋势,为动物群落格局—过程的尺度推绎提供生态学基础。

1 研究地概况

研究区(104°10'—105°30'E, 37°24'—38°25'N)位于内蒙古阿拉善左旗南部的荒漠景观中,地处腾格里沙漠东缘。气候为典型的高原大陆性气候。年降水量 75—215mm,主要集中在 7—9 月。年蒸发量 3000—4000mm。土壤为灰漠土和灰棕土。植被稀疏,结构单调,覆盖度一般仅 1%—25%。植被以旱生、超旱生和盐生的灌木、半灌木、小灌木和小半灌木为主。建群种以藜科、菊科和蒺藜科植物为主。草场类型属于温性荒漠类的沙质荒漠亚类。在此本底植被条件下,依据该地区对草地利用方式的不同,选择禁牧区、轮牧区、过牧区和开垦区 4 种不同干扰条件的生境作为取样样区。

(1)禁牧区 面积 206.6hm²,1997 年开始围封禁牧,到本研究开始时已禁牧 5a 以上。植物群落以红砂(*Reaumuria soongorica*)、珍珠猪毛菜(*Salsola passerina*)建群,其次为霸王(*Zygophyllum pterocarpum*)、驼绒藜(*Ceratoides latens*)、狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)等小灌木,草本以白草

(*Pennisetum flacidum*) 为优势, 其次为糙隐子草 (*Cleistogenes squarosa*), 伴生有雾冰藜 (*Bassia dasyphylla*) 等植物, 植被盖度为 29.5%。土壤为灰漠土, 水分含量 4.40%—8.22%。

(2) 轮牧区 面积 173.3hm², 1995 年开始采取围栏轮牧, 划分为 3 个区, 轮牧 50—60 只成年羊, 每区放牧的时间为 1.5 个月, 3 个区轮替放牧。植物群落以霸王建群, 其次为红砂、刺叶柄棘豆 (*Oxytropis aciphylla*) 等多年生小灌木, 伴生有骆驼蓬 (*Peganum nigellastrum*)、雾冰藜等 1 年生植物, 植被盖度 24.5%。土壤为灰漠土, 水分含量 2.46%—9.32%。

(3) 过牧区 面积 146.6hm², 自由放牧, 夏季放牧 550—620 只羊 (羔羊占 1/3), 而合理载畜量为 92—157 只羊单位/hm² (荒漠草原理论载畜量 0.625—1.07 只羊单位/hm²)。植物群落以白刺 (*Nitraria* sp.)、霸王建群, 伴生有红砂、刺叶柄棘豆、糙隐子草等多年生植物和碱蓬 (*Suaeda glauca*)、条叶车前 (*Plantago lessingii*) 等 1 年生植物, 植被盖度为 8.5%。土壤为灰漠土, 水分含量 4.66%—12.46%。

(4) 开垦区 面积 180hm², 1994 年开垦, 植被主要以人工种植的梭梭 (*Haloxylon ammodendron*)、沙拐枣 (*Calligonum mongolicum*) 等半灌木、小灌木和多年生牧草花棒 (*Hedysarum scoparium*)、紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 等为主, 伴生有小蓬 (*Nanophyton erinaceum*)、雾冰藜等 1 年生草本, 植被盖度 65%。土壤为灰漠土, 水分含量 2.77%—10.58%^[12]。

2 调查及分析方法

2.1 铗日法

2003—2008 年每年的 7 月在禁牧区、轮牧区、过牧区和开垦区 4 种不同干扰条件的生境中选择 4 条线路进行取样, 每种干扰条件 1 条线路。每条线路 4 个样方 (重复), 间隔 300m, 样方面积 10hm², 布铗数 500 个, 铗距 5m, 行距 50m, 设置 5 行, 持续 24h。鼠铗为铁制标准中型板铗, 新鲜花生米为饵。记录捕获个体种名、性别和繁殖状况, 全部进行体尺测量, 并解剖胃容物。

2.2 巢式样方

依据巢式样方法将上述的每个样方划分为 1.25、2.5、5hm² 和 10hm² 等 4 个尺度。这样每一空间尺度同样具有 4 个重复, 统计不同干扰生境中每个空间尺度下啮齿类的物种数及各鼠种的捕获数据, 并计算 Shannon-Wiener 指数, 所涉及到的指标有:

(1) 物种数 S

(2) 捕获率

$$P_c = \frac{n}{n \times h} \times 100\%$$

(3) Shannon-Wiener 指数

$$H = - \sum_{i=1}^s (P_i) (\ln P_i)$$

式中, n 为捕获鼠数; N 为布铗数; h 为捕鼠昼夜数; P_i 为第 i 种个体在总个体中所占比例。

2.3 小波分解

小波分析是目前国际上公认的最新时频分析工具, 由于其具有自适应性和数学显微镜性质而成为众多学科关注的焦点^[13]。Daubechies 小波是从两水平系数 $\{h_k\}$ 出发设计出来的离散正交小波, 一般简称为 db N , N 是小波的阶数 (N 的取值为 1—10 之间的整数), db 是小波名字的前缀, 小波 ψ 和尺度函数 φ 中的支撑区为 $2N-1$, ψ 的消失矩为 N , 除 $N=1$ (Haar 小波) 外, db N 不具有对称性 (即非线性相位), 其余的 db 系列小波函数都没有解析表达式。但是 $\{h_k\}$ 的传递函数的模的平方有显式表达式:

$$P(y) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k^{N-1+k} y^k$$

式中, 其中 C_k^{N-1+k} 表示二项式系数, 则:

$$|m_0(\omega)|^2 = \left(\cos^2 \frac{\omega}{2} \right) P \left(\sin^2 \frac{\omega}{2} \right)$$

式中,

$$m_0(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{2N-1} h_k e^{-jk\omega}$$

本文采用 db6 对原始信号进行 4 水平一维离散小波分解。分解过程在 MATLAB R2008a 计算软件上实现。

3 结果与分析

3.1 不同空间尺度下啮齿动物群落组成

本文分析了 2003—2008 年每年 7 月的捕获数据,4 种干扰生境共布放 47000 铗日,捕获鼠种 4 科 9 属 11 种共计 4503 只(表 1),分别为:跳鼠科(*Dipodidae*)4 种,包括:三趾跳鼠(*Dipus sagitta*),五趾跳鼠(*Allactaga*

表 1 不同干扰和空间尺度下啮齿动物群落组成比例(捕获量比例)

Table 1 The component proportion of rodent communities under different disturbance and spatial scales(Ratios of captured rodent)					
生境 Habitat	物种 Species	取样尺度 Scales of sites/hm ²			
		1.25	2.5	5	10
禁牧区 Forbidden grazing areas	三趾跳鼠 <i>Dipus sagitta</i>	0.0000	0.0083	0.0093	0.0153
	五趾跳鼠 <i>Allactaga sibirica</i>	0.2131	0.1730	0.1496	0.1683
	子午沙鼠 <i>Meriones meridianus</i>	0.4482	0.4976	0.5184	0.4953
	长爪沙鼠 <i>Meriones unguiculatus</i>	0.0541	0.0607	0.0712	0.0637
	小毛足鼠 <i>Phodopus roborovskii</i>	0.0104	0.0118	0.0296	0.0304
	黑线仓鼠 <i>Cricetulus barabensis</i>	0.2654	0.2401	0.2140	0.2196
	短耳仓鼠 <i>Cricetulus eversmanni</i>	0.0087	0.0047	0.0053	0.0045
	小家鼠 <i>Mus musculus</i>	0.0000	0.0038	0.0026	0.0016
	阿拉善黄鼠 <i>Spermophilus alaschanicus</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014
	Σ	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
轮牧区 Rotational grazing areas	三趾跳鼠 <i>Dipus sagitta</i>	0.1636	0.1521	0.1429	0.1473
	五趾跳鼠 <i>Allactaga sibirica</i>	0.0309	0.0413	0.1214	0.1012
	蒙古羽尾跳鼠 <i>Stylodipus andrewsi</i>	0.0000	0.0000	0.0046	0.0028
	子午沙鼠 <i>Meriones meridianus</i>	0.1539	0.1686	0.1799	0.1791
	长爪沙鼠 <i>Meriones unguiculatus</i>	0.0249	0.0211	0.0229	0.0257
	小毛足鼠 <i>Phodopus roborovskii</i>	0.5922	0.5653	0.4823	0.5037
	黑线仓鼠 <i>Cricetulus barabensis</i>	0.0000	0.0040	0.0048	0.0074
	短耳仓鼠 <i>Cricetulus eversmanni</i>	0.0000	0.0035	0.0021	0.0012
	小家鼠 <i>Mus musculus</i>	0.0000	0.0013	0.0009	0.0004
	阿拉善黄鼠 <i>Spermophilus alaschanicus</i>	0.0345	0.0428	0.0383	0.0310
	Σ	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
过牧区 Over-grazing areas	三趾跳鼠 <i>Dipus sagitta</i>	0.2646	0.2541	0.3157	0.3003
	五趾跳鼠 <i>Allactaga sibirica</i>	0.0422	0.0285	0.0216	0.0234
	三趾心颅跳鼠 <i>Salpingotus kozlovi</i>	0.0101	0.0076	0.0060	0.0267
	子午沙鼠 <i>Meriones meridianus</i>	0.1827	0.1796	0.1805	0.2094
	长爪沙鼠 <i>Meriones unguiculatus</i>	0.0000	0.0000	0.0017	0.0016
	小毛足鼠 <i>Phodopus roborovskii</i>	0.4910	0.5070	0.4547	0.4021
	黑线仓鼠 <i>Cricetulus barabensis</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0084
	短耳仓鼠 <i>Cricetulus eversmanni</i>	0.0000	0.0000	0.0014	0.0032
	阿拉善黄鼠 <i>Spermophilus alaschanicus</i>	0.0094	0.0232	0.0183	0.0249
	Σ	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
开垦区 Farmland	三趾跳鼠 <i>Dipus sagitta</i>	0.0405	0.0346	0.0259	0.0294
	五趾跳鼠 <i>Allactaga sibirica</i>	0.1976	0.1976	0.2020	0.2196
	子午沙鼠 <i>Meriones meridianus</i>	0.5028	0.5034	0.5341	0.5088
	长爪沙鼠 <i>Meriones unguiculatus</i>	0.0490	0.0674	0.0748	0.0769
	小毛足鼠 <i>Phodopus roborovskii</i>	0.1496	0.1324	0.0938	0.0878
	黑线仓鼠 <i>Cricetulus barabensis</i>	0.0512	0.0606	0.0619	0.0619
	短耳仓鼠 <i>Cricetulus eversmanni</i>	0.0046	0.0018	0.0010	0.0019
	阿拉善黄鼠 <i>Spermophilus alaschanicus</i>	0.0046	0.0022	0.0065	0.0138
	Σ	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

sibirica), 蒙古羽尾跳鼠 (*Stylodipus andrewsi*), 三趾心颅跳鼠 (*Salpingotus kozlovi*); 仓鼠科 (*Cricetidae*) 5 种, 包括: 子午沙鼠 (*Meriones meridianus*), 长爪沙鼠 (*Meriones unguiculatus*), 小毛足鼠 (*Phodopus roborovskii*), 黑线仓鼠 (*Cricetulus barabensis*), 短耳仓鼠 (*Cricetulus eversmanni*); 松鼠科 (*Sciuridae*) 1 种为: 阿拉善黄鼠 (*Spermophilus alaschanicus*); 鼠科 (*Muridae*) 1 种为: 小家鼠 (*Mus musculus*)。6 年累计捕获鼠种以轮牧区最多 (10 种), 禁牧区与过牧区均为 9 种, 开垦区最少 (8 种)。除小家鼠、蒙古羽尾跳鼠和三趾心颅跳鼠以外, 其它鼠种在 4 种生境中均有捕获, 但群落组成比例并不相同 (表 1)。4 种生境的优势鼠种均为仓鼠科鼠种, 其中禁牧区和开垦区优势鼠种均为子午沙鼠, 且子午沙鼠在禁牧和开垦区中随尺度变化的趋势相同, 均在 5hm^2 时最大, 分别为 0.5184 和 0.5341, 但开垦区子午沙鼠捕获量比例在各尺度上均大于禁牧区; 轮牧区和过牧区优势鼠种均为小毛足鼠, 捕获量比例最大值分别出现在 1.25hm^2 和 2.5hm^2 , 分别为 0.5922 和 0.5070。小家鼠仅在禁牧区和轮牧区中有捕获, 出现在 $\geq 2.5\text{hm}^2$ 的尺度上, 且捕获量比例随空间尺度的增加而呈下降趋势。蒙古羽尾跳鼠仅在轮牧区 $\geq 5\text{hm}^2$ 有捕获。三趾心颅跳鼠仅出现在过牧区, 且在各尺度上均有捕获。

各干扰区内啮齿动物年均物种数随空间尺度增加均呈快速上升趋势 (图 1)。年均物种数在 1.25hm^2 内的排序为: 过牧区 > 禁牧区 > 轮牧区 > 开垦区; 在 $\geq 2.5\text{hm}^2$ 范围内的排序为过牧区 > 轮牧区 > 开垦区 > 禁牧区。在较大空间尺度上, 干扰区内的年均物种数多于未受干扰地区。而在各尺度上, 过牧区之所以具有较高的物种数, 这是由于过度放牧造成植被盖度降低, 沙质地表裸露, 从而使喜栖于开阔生境及沙质环境鼠种增多的结果^[14-16]。

各干扰区的啮齿动物捕获率随空间尺度增加而总体呈下降趋势 (图 2)。在 1.25hm^2 和 2.5hm^2 尺度上捕获量排序均为: 轮牧区 > 过牧区 > 禁牧区 > 开垦区; 在 5hm^2 和 10hm^2 时捕获率排序均为: 轮牧区 > 过牧区 > 开垦区 > 禁牧区。在空间尺度 $\geq 5\text{hm}^2$ 时, 放牧干扰区的捕获率大于未受干扰地区。从上述结果可知啮齿动物的种类和相对数量受到空间尺度的制约, 物种数随尺度增加呈上升趋势, 而相对数量随尺度增加呈减少趋势。干扰的类型也影响其变动, 且这种变动对空间尺度变化的响应是不同的, 主要表现在: 同一尺度下, 不同干扰区具有不同的物种数和相对数量。

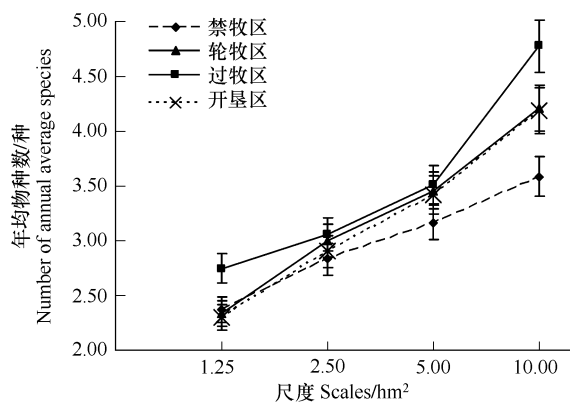


图 1 不同干扰区内啮齿动物物种数随空间尺度的变化

Fig. 1 The variation of number of rodent species with the increase of spatial scales in different disturbed areas

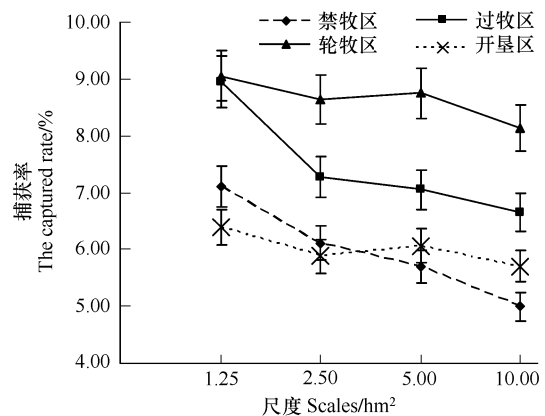


图 2 不同干扰区内啮齿动物捕获率随空间尺度的变化

Fig. 2 The variation of the captured rate with the increase of spatial scales in different disturbed areas

3.2 原始信号的构建及小波分解

2003—2008 年荒漠啮齿动物群落各空间尺度内 Shannon-Wiener 多样性指数列于表 2。由于每一空间尺度在 6a 内具有 24 个样方 (含重复), 4 个尺度 (1.25 、 2.5 、 5hm^2 和 10hm^2) 共有 96 个样方。在空间尺度梯度上按年份对其进行编号, 用数字 1—96 表示。将样地编号和 6a 中每年 7 月不同干扰区在 4 个空间尺度下的 Shannon-Wiener 多样性指数分别作为横纵坐标构建原始信号 (图 3)。其中 1—24 号样地表示 1.25hm^2 , 25—

48 号样方表示 2.5hm²,49—72 号样方表示 5hm²,73—96 表示 10hm²。由于开垦区 2006 年和 2008 年 7 月分别只布放 2 个和 3 个样方,因此开垦区样方编号为 1—84。其中 1—21 号样方表示 1.25hm²,22—42 号样方表示 2.5hm²,43—63 号样方表示 5hm²,64—84 表示 10hm²。

表 2 2003—2008 年各空间尺度内 Shannon-Wiener 指数
Table 2 The Shannon-Wiener indices at spatial scales from 2003 to 2008

生境 Habitat	年 -月 Year-month	取样尺度 Scales of sites/hm ²			
		1.25	2.5	5	10
禁牧区 Forbidden grazing areas	2003-07	1.1695	1.1314	1.3710	1.3163
	2004-07	0.8108	0.8683	0.9866	1.0186
	2005-07	0.9838	0.9342	0.9039	0.8709
	2006-07	0.6932	0.9958	1.1095	1.1666
	2007-07	0.9408	0.8383	0.7840	0.9054
	2008-07	1.3977	1.3663	1.2944	1.3614
轮牧区 Rotational grazing areas	2003-07	0.9277	0.9623	0.8402	0.8804
	2004-07	1.0700	1.1171	1.0701	1.2191
	2005-07	1.1896	0.9796	1.1784	1.1828
	2006-07	0.4872	0.8337	1.2267	1.1836
	2007-07	0.8170	0.9768	1.1079	1.0659
	2008-07	1.1960	1.3449	1.3632	1.3142
过牧区 Over-grazing areas	2003-07	1.2320	1.2519	1.2574	1.3589
	2004-07	1.3439	1.3994	1.3403	1.4949
	2005-07	1.2933	1.1167	1.1440	1.3701
	2006-07	0.9077	0.9018	0.8646	1.3497
	2007-07	0.7601	0.9316	0.9909	1.1256
	2008-07	1.0161	1.0526	1.0702	1.0569
开垦区 Farmland	2003-07	1.4265	1.3727	1.2758	1.3663
	2004-07	1.2422	1.0482	0.9717	1.0005
	2005-07	0.9213	0.8532	0.8552	0.9828
	2006-07	0.6365	0.5623	0.6932	0.8969
	2007-07	0.8339	1.1948	1.3058	1.3899
	2008-07	1.3077	1.4129	1.3808	1.4245

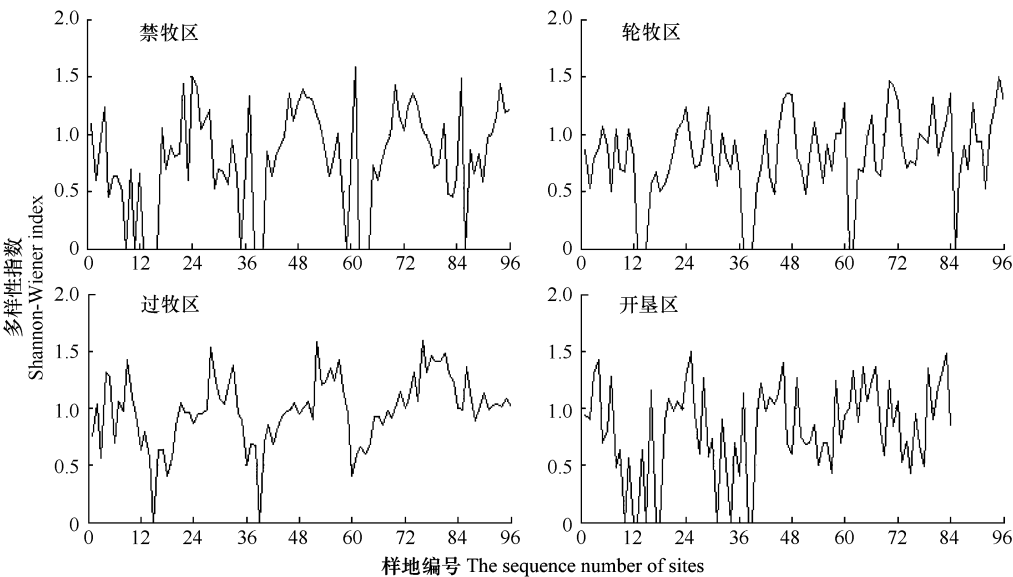


图 3 不同干扰区内多样性指数随空间尺度的变化
Fig. 3 The variation of the Shannon-Wiener indices with the increase of spatial scales in different disturbed areas

将各干扰区的原始信号进行逐层分解(图 5—图 8)。对于原始信号的分解应该选取合适的水平,如果分

解水平过小,掺杂较多的噪音,很难体现变化趋势;而分解水平过大会造成近似信号部分被移入细节信号之中,不利于对原始信号的总体变化规律进行分析^[13]。但是,许多文献对于分解层数的选择并不加以说明就简单地假设和应用,这被称为小波罪恶^[17-18]。由于长度为 N 的信号最多能分解成 $\log_2 N$ 层^[19],所以本研究中的原始信号可以在 6 个水平下进行分解。但是通过对各信号的 6 水平分解后发现,多样性指数随空间尺度的变化趋势在第 4 水平上就可以较好体现,所以本文采用 4 水平分解。4 水平分解的结构形式如图 4 所示。原始信号(S)被分解为近似部分(A)和细节部分(D),近似部分往往是最重要的,常可以体现信号的原始特征。而细节部分则与噪音和扰动联系在一起^[19],所以近似部分可以体现啮齿动物群落多样性随空间尺度变化的趋势;而细节部分可以体现群落多样性抗干扰能力及敏感性。

3.2.1 不同空间尺度下禁牧区多样性指数小波分解

通过图 3 和图 5 可以看出复杂的禁牧区原始信号被逐步分解成较为简单的波形。在近似信号 A4 中多样性指数随空间尺度的增加总体呈上升趋势。从细节信号 D1 可以看出在 0—48 范围内信号的频率要高于 48—88 处,说明随空间尺度的增加多样性趋于稳定,在小于 2.5hm^2 的尺度之内多样性较易受到扰动。在细节信号 D2 中的 11—17、33—41、51—65 及 81—87 处振幅较大表明 2005—2006 年群落多样性受到了较大的干扰。细节信号 D4 与 A3 相似,信号在各空间尺度范围内波形相似,均在 2006 年波谷(16、40、64、88),在 2008 年出现波峰(24、48、72),振荡周期 3a,说明细节信号 D4 可能是由群落的年际波动造成的。由于 A4 可以看作是 A3 去除 D4 的结果,所以掩盖群落多样性随空间尺度变化趋势的主要因素可能源于群落的年际波动。

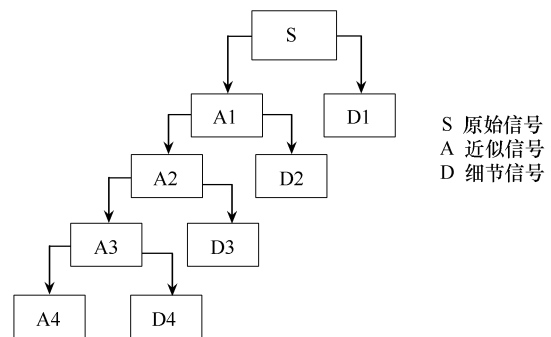


图 4 四水平小波分解的结构形式

Fig. 4 The structure of wavelet decomposition at four levels

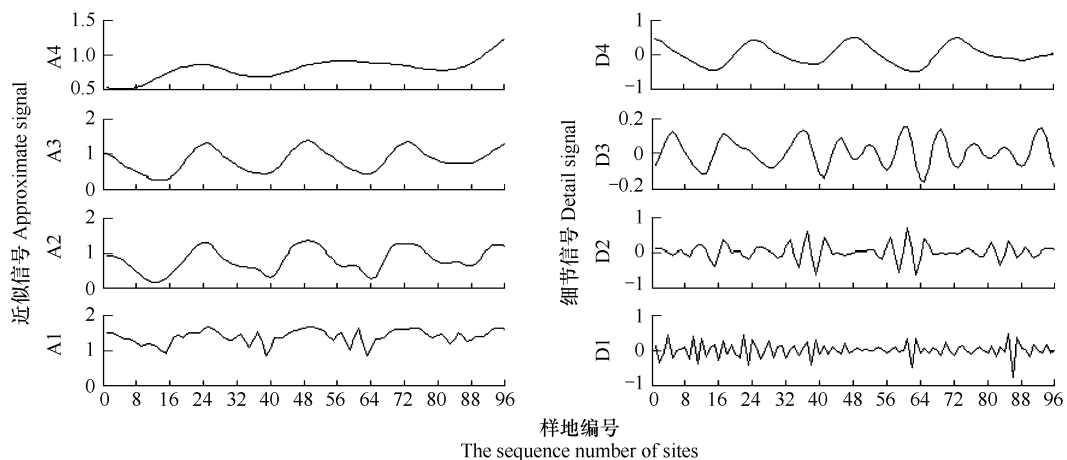


图 5 禁牧区内多样性指数的多水平分解

Fig. 5 The wavelet decomposition of Shannon-Wiener indices in forbidden grazing areas

3.2.2 不同空间尺度下轮牧区多样性指数小波分解

图 6 中的 A4 表明轮牧区的多样性指数随空间尺度的增加而呈现上升趋势。D1 在 8、12、16、32、56、60、80、84 振幅较大,说明轮牧区 2005 年和 2006 年的多样性受到较大干扰;D2 信号频率较小,振幅变化大致相似,表明轮牧区群落多样性在各尺度下抗干扰能力基本一致,在 10hm^2 处略有增强。D3 在样方 33、57、82 处出现较明显的峰,说明在 2.5hm^2 、 5hm^2 和 10hm^2 内的群落多样性 2005 年受到较大扰动,这与 A2 中出现的小高峰位置基本相同。到 D4 中各空间尺度中波形相似,并具有共同的振荡周期(2003—2007 年),这可能是由于这一细节信号主要是由群落多样性的年际变动构成的。A4 为去除年际变动干扰后的多样性空间尺度变化

趋势。

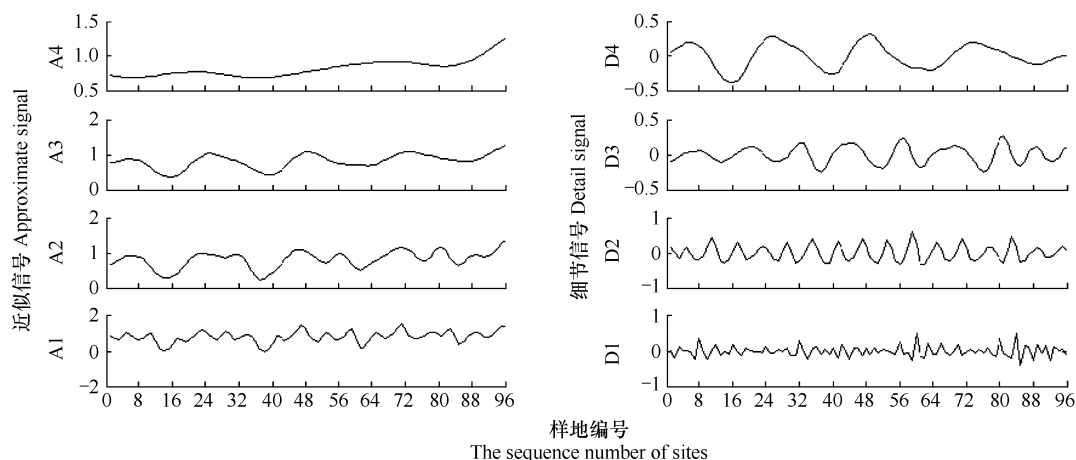


图6 轮牧区内多样性指数的多水平分解

Fig. 6 The wavelet decomposition of Shannon-Wiener indices in rotational grazing areas

3.2.3 不同空间尺度下过牧区多样性指数小波分解

图7中A4在样方80—88处为一段平直线,并且为波峰。在88处以后开始下降。细节信号D1和D2中0—44的波形频率较高,振幅波动较大(D2中更加明显),表明随空间尺度增加,过牧区群落多样性受干扰程度逐渐降低,抗干扰能力逐渐增强,群落多样性在小于5hm²范围内较不稳定。D4中各空间尺度中波形相似,波峰与波谷分别出现在2004年(6、32、56、80)和2007年(17、41、65、89),干扰周期为4a。

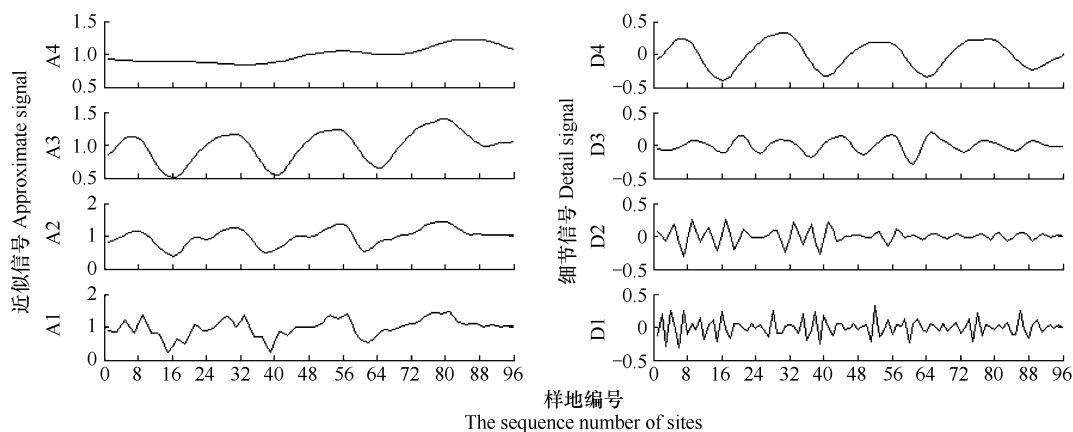


图7 过牧区内多样性指数的多水平分解

Fig. 7 The wavelet decomposition of Shannon-Wiener indices in over-grazing areas

3.2.4 开垦区啮齿动物多样性小波分析

图8中A4表明群落多样性随空间尺度的增加而呈上升趋势;D2中样方0—48处波形频率高于之后的样方,表明在<2.5hm²范围内群落多样性对干扰较为敏感,随尺度增加群落多样性抗干扰能力逐渐增强。D3中在样方5、4、81处出现峰值,表明这3块样方受干扰较大;D4在各尺度下的波形虽然体现出一定的相似性,但未出现明显周期。

由图5—图8可知,荒漠区啮齿动物群落多样性随空间尺度的变化存在规则的周期性干扰(D4),这种干扰可能主要是由群落的年际波动造成的。将年变成份提取出来就相当于找到了该原始信号中的最大干扰源。有关动物群落年际波动是否存在周期性,国内学者进行了一些研究^[20-22],郭海燕,曾宗永等对川西平原农田

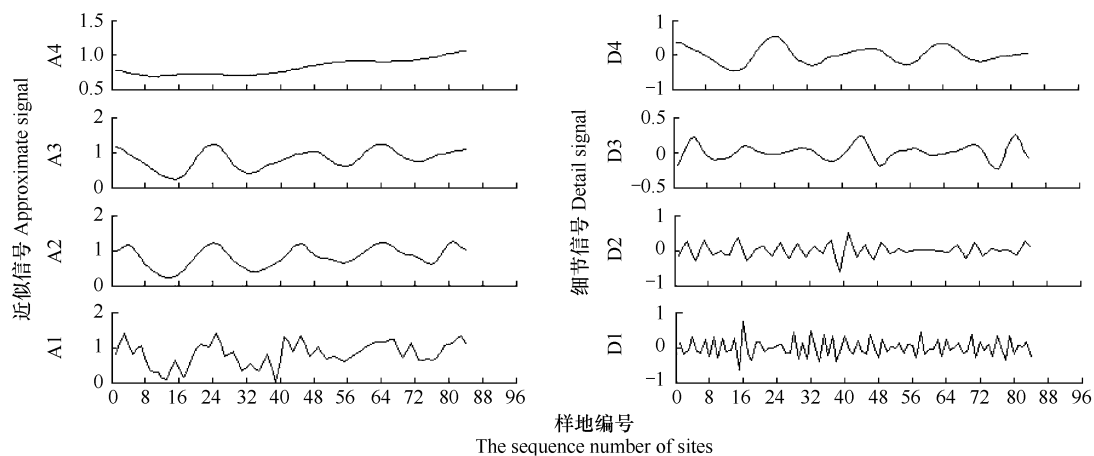


图8 开垦区内多样性指数的多水平分解

Fig. 8 The wavelet decomposition of Shannon-Wiener indices in farmland

啮齿动物群落研究发现群落中的部分生态学指标存在周期性变动^[23]。

4 结论

在荒漠区 $\leq 10\text{hm}^2$ 内,啮齿动物的种类和相对数量受到空间尺度的制约,物种数随尺度增加呈上升趋势,而相对数量随尺度增加呈减少趋势。干扰类型也影响其变动,主要表现在:同一尺度下,不同干扰区具有不同的物种数和相对数量。

荒漠区 ($\leq 10\text{hm}^2$) 除过牧区外,在其他干扰类型中啮齿动物群落多样性随空间尺度增加均呈上升趋势。

荒漠区 ($\leq 10\text{hm}^2$) 啮齿动物群落多样性随空间尺度变化的原始信号存在规则的周期性干扰,这种干扰可能主要是由群落的年际波动造成的。在 4 种尺度下,各干扰区啮齿动物群落多样性除在开垦区未表现出明显周期外,其余干扰区各自均具有相同的周期:轮牧区 4a,禁牧区 3a,过牧区 2a。

不同尺度下荒漠啮齿动物群落多样性波动幅度不同,群落多样性波动幅度对空间尺度具有一定依赖性。荒漠区 4 种干扰类型中随着空间尺度的增加啮齿动物群落多样性变动幅度减小,抗干扰能力逐渐增强。但不同干扰中啮齿动物多样性的变动幅度和抗干扰能力是不同的。禁牧区与开垦区的啮齿动物多样性在 $\leq 2.5\text{hm}^2$ 范围内较易受到扰动;过牧区在 $\leq 5\text{hm}^2$ 的范围内较不稳定;轮牧区在整个 10hm^2 范围内都易受到扰动。

5 讨论

关于动物群落多样性格局受空间尺度制约可能的解释是:在每个空间尺度上控制物种多样性格局的过程是特殊的,但在一个完全不同的尺度上分析系统时,某一尺度上随机发生的事件也会引发格局变化^[3,7,24-25]。所以,动物集聚构成更可能是发生在不同空间尺度上不同过程的结果^[26]。Stephen 认为在局部尺度上,地栖哺乳动物的物种多样性大多是动物集聚构成中空间可变性的产物,它与植被构造中的空间可变性有关。植被的复杂性和异质性都会影响动物集聚构成^[27],一些植物群落可以决定动物群落的物种组成特性,但动物群落对其的响应是不同的^[28],它们之间的关系随空间尺度而发生变化。Fox 等论证了小型哺乳动物多样性和栖息地构造之间的一种紧密关系,并在这种关系的分析中认为尺度是至关重要的^[29]。不同的生态学交互作用在不同的空间尺度上变得明显,甚至是那些与多样性一直相关的因素,如:栖息地异质性在不同尺度上的解释能力也发生了变化^[27]。Southwood 认为多样性是由栖息地的容纳量决定的,那是生产力、结构复杂性和异质性的综合结果^[30]。此外,一些学者认为,对物种格局起决定性作用的因素在一些尺度上是无法决定的,这就强化了使用多空间尺度来解释物种分布机制的观点^[2,31]。对于荒漠区啮齿动物群落多样性尺度制约的解释,更倾向于栖息地异质论的观点,因为没有一个是完全同质的^[3],较大的空间尺度意味着更高程度的空间异质性以及更大的环境容量,即在大尺度上的现象要比较小尺度上的稳定^[32],所以在荒漠区 4 种干扰类型中

随着空间尺度的增加啮齿动物群落多样性变动幅度减小,抗干扰能力逐渐增强。如何确定不同的资源适合哪些物种?这一群落生态学的中心问题必然联系到了尺度的核心问题^[3]。

在本研究中,不同干扰类型中啮齿动物群落多样性对尺度变化的响应存在一定差异。这说明干扰在这一过程中发挥了很大作用。邬建国认为干扰具有多尺度性,一个尺度上的干扰并非是所有尺度上的干扰,小尺度上的干扰往往是大尺度上正常现象的结构部分,自然或人为干扰是一系列尺度上空间格局的主要成因^[33]。干扰是大多数生态系统中时空异质性的一个关键驱动力^[34],而物种多样性格局受空间异质性影响最大,并且这些关系受到尺度的强烈制约^[27]。

致谢:内蒙古农业大学的王成杰教授和德国斯图加特大学的 Dr. Elke Scheibler 博士对写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Keitt T H, Fischer J. Detection of scale-specific community dynamics using wavelets. *Ecology*, 2006, 87(11):2895-2904.
- [2] Adela G M, José M G, Francisco S P. Diversity-habitat heterogeneity relationship at different spatial and temporal scales. *Ecography*, 2007, 30(1):31-41.
- [3] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology*, 1992, 73(6):1943-1967.
- [4] Steele J H. Discussion: scale and coupling in ecology systems//Roughgarden J, May R M, Levin S, eds. *Perspectives in Theoretical Ecology*. Princeton: Princeton University Press, 1989: 177-180.
- [5] Allen T F H, Starr T B. *Hierarchy Perspectives for Ecological Diversity*. Chicago: University of Chicago Press, 1982: 17-42.
- [6] Meentemeyer V, Box E O. Scale effects in landscape studies//Turner M G, ed. *Landscape Heterogeneity and Disturbance*. New York: Springer-Verlag, 1987: 15-34.
- [7] Wiens J A. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology*, 1989, 3: 385-397.
- [8] Lu Y H, Fu B J. Ecological scale and scaling. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12):2096-2105.
- [9] Jarvis P G, McNaughton K G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. *Advances in Ecological Research*, 1986, 15: 1-49.
- [10] Wang Y F, Yu S X, Liu W Q. A new species diversity index and its fractal analysis. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(4):391-395.
- [11] Zhou H Z, Yu X D, Luo T H, He J J. How does species diversity change? Spatio-temporal patterns and scales. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8(3):325-336.
- [12] Wu X D, Fu H P. Fluctuations and patterns of desert rodent communities under human disturbance: the fluctuating tendency and the sensitive response of their population. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3):849-861.
- [13] Zhao Z H, Zu Y G, Cong P T. Haar wavelet decomposition of main soil factors in *Liaotungensis* forest in Dongling Mountain area. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10):1660-1665.
- [14] Liu W, Zhou L, Wang X. Responses of plant and rodents to different grazing intensity. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(3):376-382.
- [15] Li J S, Song Y L, Wang X Z, Zeng Z G. Spatial pattern of small mammals community diversity in different grazing pressure in montane desert-steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1):51-58.
- [16] Johnson S J. Impacts of domestic livestock grazing on small mammals of forest grazing allotments in southeastern Idaho//Proceeding of the Wildlife-livestock Relationships Symposium. Moscow: Wildlife and Range Experiment Station University of Idaho, 1982: 242-250.
- [17] Boggess A, Narcowich F J. *Elements of Wavelets and Fourier Analysis*. Rui G S translated. Beijing: Electronics Industry Press, 2004: 144-166.
- [18] Chen S Y, Liu P X, Liu L Q, Ma J, Chen G Q. Wavelet analysis of thermal infrared radiation of land surface and its implication in the study of current tectonic activities. *Chinese Journal of Geophysics*, 2006, 49(3):824-830.
- [19] Corporate Centers of Feisi Technology Products. *Analysis and Application of MATLAB Assistant Wavelets*. Beijing: Electronics Industry Press, 2003: 12-14.
- [20] Zeng Z Y. Dynamic of the rodent community in the CHIHUAHUAN desert of north America I. Interannual fluctuations and trends. *Acta Theriologica Sinica*, 1994, 14(1):24-34.
- [21] Zeng Z Y, Yang Y M, Song Z M. Dynamic of the rodent community in the CHIHUAHUAN desert of north America. *Acta Theriologica Sinica*, 1994, 14(2):100-107.
- [22] Song J, Bi Z L, Zhang Z W, Pan C, Guo D S, Zhang Y Y. Community structure and its yearly changes of the small rodent at XiaoLongMen forest farm in Beijing. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2001, 37(2):255-259.
- [23] Guo H Y, Zeng Z Y, Wu P F, Zeng T, Cai H X. Dynamics of the rodent community in cropland of the Western Sichuan Plain: Trends and

- periodicity. *Acta Theriologica Sinica*, 2003, 23(2):133-138.
- [24] Wright D H, Currie D J, Maurer B A. Energy supply and patterns of species richness on local and regional scales//Ricklefs R, Schluter D, eds. *Species Diversity in Ecological Communities. Historical and Geographical Perspectives*. Chicago: University of Chicago Press, 1993:66-74.
- [25] Holland J D, Fahrig L, Cappuccino N. Body size affects the spatial scale of habitat-beetle interactions. *Oikos*, 2005, 110(1):101-108.
- [26] Hughes T P, Baird A H, Dinsdale E A, Moltschaniwskyj N A, Pratchett M S, Tanner J E, Willis B L. Patterns of recruitment and abundance of corals along the Great Barrier Reef. *Nature*, 1999, 397(6714):59-63.
- [27] Williams S E, Marsh H, Winter J. Spatial scale, species diversity, and habitat structure: small mammals in Australian tropical rain forest. *Ecology*, 2002, 83(5):1317-1329.
- [28] Brandt T B, John A W. Local and regional-scale responses of ant diversity to a semiarid biome transition. *Ecography*, 2001, 24:381-392.
- [29] Fox B J, Fox M D. Factors determining mammal species richness on habitat islands and isolates: habitat diversity, disturbance, species interactions and guild assembly rules. *Global Ecology and Biogeography*, 2000, 9(1):19-37.
- [30] Southwood T R E. The Croonian lecture, 1995: Natural communities: structure and dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1996, 351(1344):1113-1129.
- [31] Rahbek C, Graves G R. Multiscale assessment of patterns of avian species richness. *Proceedings of Natural Academy of Science*, 2001, 98(8):4534-4539.
- [32] Kenichiro S. On the measurement of species diversity incorporating species differences. *OIKOS*, 2001, 93(1):135-147.
- [33] Wu J G. *Landscape Ecology Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. 2nd edition. Beijing: Higher Education Press, 2007:20-28.
- [34] White P S, Jensch A. The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics. *Progress in Botany*, 2001, 62:399-499.

参考文献:

- [8] 吕一河, 傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转换方法. *生态学报*, 2001, 21(12):2096-2105.
- [10] 王永繁, 余世孝, 刘蔚秋. 物种多样性指数及其分形分析. *植物生态学报*, 2002, 26(4):391-395.
- [11] 周红章, 于晓东, 罗天宏, 何君舰. 物种多样性变化格局与时空尺度. *生物多样性*, 2000, 8(3):325-336.
- [12] 武晓东, 付和平. 人为干扰下荒漠啮齿动物群落格局——变动趋势与敏感性反应. *生态学报*, 2006, 26(3):849-861.
- [13] 赵则海, 祖元刚, 丛沛桐. 东灵山地区辽东栎林主要土壤因子的 Haar 小波分解. *生态学报*, 2002, 22(10):1660-1665.
- [14] 刘伟, 周立, 王溪. 不同放牧强度对植物及啮齿动物作用的研究. *生态学报*, 1999, 19(3):376-382.
- [15] 李俊生, 宋延龄, 王学志, 曾治高. 放牧压力条件下荒漠草原小型哺乳动物群落多样性的空间格局. *生态学报*, 2005, 25(1):51-58.
- [17] Boggess A, Narcowich F J 著, 芮国胜等译. *小波与傅里叶分析基础*. 北京: 电子工业出版社, 2004:144-166.
- [18] 陈顺云, 刘培洵, 刘力强, 马瑾, 陈国强. 地表热红外辐射的小波分析及其在现今构造活动研究中的意义. *地球物理学报*, 2006, 49(3):824-830.
- [19] 飞思科技产品研发中心. *MATLAB 辅助小波分析与应用*. 北京: 电子工业出版社, 2003:12-14.
- [20] 曾宗永. 北美 Chihuahuan 荒漠啮齿动物群落动态 I. 年间变动和趋势. *兽类学报*, 1994, 14(1):24-34.
- [21] 曾宗永, 杨跃敏, 宋志明. 北美 Chihuahuan 荒漠啮齿动物群落动态 II. 季节性和周期性. *兽类学报*, 1994, 14(2):100-107.
- [22] 宋杰, 毕中霖, 张正旺, 潘超, 郭冬生, 张雁云. 北京小龙门林场夏季啮齿类的群落结构及其年变化. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2001, 37(2):255-259.
- [23] 郭海燕, 曾宗永, 吴鹏飞, 曾涛, 蔡红霞. 川西平原农田啮齿动物群落动态: 趋势和周期性. *兽类学报*, 2003, 23(2):133-138.
- [33] 邬建国. *景观生态学——格局、过程、尺度与等级*. 北京: 高等教育出版社. 2007:20-28.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 7 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Seasonal variation of soil nitrogen pools and microbes under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in Southern Sichuan Province, China	GONG Wei, HU Tingxing, WANG Jingyan, et al (1763)
Sensitivity analysis for main factors influencing <i>NPP</i> of forests simulated by IBIS in the eastern area of Northeast China	LIU Xi, GUO Qingxi, LIU Jingwei (1772)
Diurnal changes of photosynthetic characteristics of <i>Hippophae rhamnoides</i> and the relevant environment factors at different slope locations	JIN Tiantian, FU Bojie, LIU Guohua, et al (1783)
Interactive effects of nitrogen and sulfur on the reproduction, biomass accumulation and allocation of the clonal plant <i>Spartina alterniflora</i>	GAN Lin, ZHAO Hui, QING Hua, et al (1794)
Difference in leaf photosynthetic capacity between pima cotton (<i>Gossypium barbadense</i>) and upland cotton (<i>G. hirsutum</i>) and analysis of potential constraints	ZHANG Yali, YAO Hesheng, LUO Yi, et al (1803)
Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Forsythia suspensa</i>	WANG Jianhua, REN Shifu, SHI Baosheng, et al (1811)
Growth and metal uptake of three woody species in lead/zinc and copper mine tailing	SHI Xiang, CHEN Yitai, WANG Shufeng, et al (1818)
GMP particles size distribution in grains of wheat in relation to application of nitrogen fertilizer	WANG Guangchang, WANG Zhenlin, CUI Zhiqing, et al (1827)
Damaging mechanisms of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.) photosystems caused by high-temperature and drought under high irradiance	QIN Liqin, ZHANG Yueli, GUO Feng, et al (1835)
The effect of natural factors and disturbance intensity on spacial heterogeneity of plant diversity in alpine meadow	WEN Lu, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (1844)
Modeling changes of net primary productivity of karst vegetation in southwestern China using the CASA model	DONG Dan, NI Jian (1855)
The characteristics of <i>Magnolia liliflora</i> transpiration and its impacting factors in Beijing City	WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (1867)
Ecological effects of balanced fertilization on red earth paddy soil with P-deficiency	CHEN Jianguo, ZHANG Yangzhu, ZENG Xibai, et al (1877)
Effects of planting patterns on water use efficiency in winter wheat	QI Lin, CHEN Yuhai, ZHOU Xunbo, et al (1888)
Nitrous oxide emissions from winter wheat field in the Loess Plateau	PANG Junzhu, WANG Xiaoke, MU Yujing, et al (1896)
Effects of hardening by pre-anthesis waterlogging on grain yield and quality of post-anthesis waterlogged wheat (<i>Triticum aestivum</i> L. cv Yangmai 9)	LI Chengyong, CAI Jian, JIANG Dong, et al (1904)
Effects of simulated acid rain with lower S/N ratio on gas exchange and membrane of three dominant species in subtropical forests	FENG Lili, YAO Fangfang, WANG Xihua, et al (1911)
Molluscicidal efficacy of <i>Nerium indicum</i> cardiac glycosides on <i>Pomacea canaliculata</i> and its effects on rice seedling	DAI Lingpeng, LUO Weihua, WANG Wanxian (1918)
Spatial gradients pattern of landscapes and their relations with environmental factors in Haihe River basin	ZHAO Zhixuan, ZHANG Biao, JIN Xin, et al (1925)
The assessment of forest ecosystem services evaluation for shrubbery-economic forest-bamboo forest in China	WANG Bing, WEI Jiangsheng, HU Wen (1936)
Evaluation on service value of ecosystem of Peri-urban transition zone lake: a case study of Yandong Lake in Wuhan City	WANG Fengzhen, ZHOU Zhixiang, ZHENG Zhongming (1946)
Explaining the abundance-distribution relationship of plant species with niche breadth and position in the Yellow River Delta	YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (1955)
Forestland boundary dynamics based on an landscape accessibility analysis in Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (1962)
Changes in invasion characteristics of <i>Dendroctonus valens</i> after introduction into China	PAN Jie, WANG Tao, WEN Junbao, et al (1970)
Population genetic diversity in Tibet red deer (<i>Cervus elaphus wallichi</i>) revealed by mitochondrial <i>Cyt b</i> gene analysis	LIU Yanhua, ZHANG Minghai (1976)
Multi-scales analysis on diversity of desert rodent communities under different disturbances	YUAN Shuai, WU Xiaodong, FU Heping, et al (1982)
Cave-site selection of Qinling zokors with their prevention and control	LU Qingbin, ZHANG Yang, ZHOU Caiquan (1993)
The habitat characteristics of Eurasian badger in Beijing-Hangzhou Grand Canal embankment	YIN Baofa, LIU Yuqing, LIU Guoxing, et al (2002)
Review and Monograph	
Electron transfer mechanism of extracellular respiration: a review	MA Chen, ZHOU Shungui, ZHUANG Li, et al (2008)
The biochemical mechanism and application of anammox in the wastewater treatment process	WANG Hui, LIU Yanping, TAO Ying, et al (2019)
Discussion	
Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China	BAI Yang, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (2029)
Scientific Note	
Effects of body size and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of <i>Macra chinensis</i> Philippi	ZHAO Wen, WANG Yaqian, WEI Jie, et al (2040)
Study on microzooplankton grazing in shrimp pond among middle and late shrimp culture period	ZHANG Litong, SUN Yao, ZHAO Congming, et al (2046)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 7 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 7 2011

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