

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

武晓东, 付和平

(内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 2002~2004 年, 在阿拉善荒漠区的典型地区, 选择了 4 种不同干扰条件的样地, 分别为开垦区、轮牧区、过牧区和禁牧区, 在两种尺度上研究啮齿动物群落的变动趋势及其种群的敏感性反应, 在每种干扰条件的地段设计了标志流放区, 面积为 0.95 hm^2 , 采用标志重捕法, 每月连捕 4d, 同时在 4 种不同干扰条件的地区选择了 4 条线路取样, 每条线路面积约 10 km^2 , 采用铗日法调查, 分别在 4、7、10 月份取样。用不同干扰条件下每个群落组成种的捕获量构成变量矩阵, 应用 PCA(主成分分析)方法分析群落中种群对不同干扰条件的敏感性反应。结果表明, 3 个年度中在两个观察尺度上, 啮齿动物群落的格局在 4 种不同的干扰条件下表现出不同特征, 各个群落的组成种类和主要种类的数量均有较大差异, 特别是在开垦区和过牧区两种干扰条件下啮齿动物群落的组成种类及主要种类的数量均有较大的改变。同时 PCA 分析结果表明, 在 3 个年度的两种观察尺度上, 啮齿动物群落中的主要种群在 4 种不同干扰条件下的敏感性反应具有明显的差别。在开垦区黑线仓鼠的敏感性反应最强, 在禁牧区的反应也较明显; 在轮牧区各鼠种的敏感性反应差别不明显, 而在过牧区三趾跳鼠和小毛足鼠的反应最强。

关键词: 啮齿动物; 群落; 人为干扰; 种群; 敏感性; 荒漠

文章编号: 1000-0933(2006)03-0849-13 **中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A

Fluctuations and patterns of desert rodent communities under human disturbance: the fluctuating tendency and the sensitive response of their population

WU Xiao-Dong, FU He-Ping (College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, 010019, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 849 ~ 861.

Abstract: The four kinds of sites under different kinds of human disturbance were selected in the typical region of the Alashan Desert of Inner Mongolia from April to October 2002, from April 2003 to October 2003, and from April 2004 to October 2004, i.e. a farmland area, a rotational-grazing area, a over-grazing area and a prohibited-grazing area. The fluctuating tendency of rodent communities and the sensitive response of their populations were studied by using mark-recapture and trap-day methods. The four kinds of mark-recapture samples and of line samples were taken in different human disturbance areas. The area of the mark-recapturing sample was 0.96 hm^2 and that of the line sample was 10 km^2 . The samples were collected every month in the mark-recapturing sites for 4 consecutive days and in line sites in April, July, and October every year. The variable matrix was composed of the numbers of captured rodents of the rodent communities. The sensitive response of the populations of the communities was analyzed with Principal Component Analysis (PCA). The results showed that there were different types of rodent communities under different kinds of human disturbance on two scales in three years. In each scale, there were large differences in both the number of species and number of main population in the rodent communities under different kinds of human disturbance on the farmland area and over-grazing area especially. The results of PCA showed that the sensitive response of the populations of the communities was significantly different under different kinds of human disturbance on the two scales in the three years. *Cricetulus*

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30160019)

收稿日期: 2004-09-23; **修订日期:** 2005-06-30

作者简介: 武晓东 (1959~), 男, 内蒙古集宁人, 教授, 博士, 主要从事草原野生动物生态和草地保护研究. E-mail: wuxiaodong-hgb@hotmail.com

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30160019)

Received date: 2004-09-23; **Accepted date:** 2005-06-30

Biography: WU Xiao-Dong, Ph. D., mainly engaged in ecology of grassland wildlife and protecting grassland. E-mail: wuxiaodong-hgb@hotmail.com

barabensis was the most sensitive on the farmland area, there were no differences in sensitive response of the various rodents on the rotational-grazing area, and *Dipus sagitta* and *Phodopus roborovskii* were the most sensitive on the over-grazing area.

Key words: rodent; community; human disturbance; population; sensitive; desert

由于人类主导的景观变得更加普遍,人类的活动导致了栖息地的破碎化(habitat fragmentation),结果自然栖息地的斑块(patch)变成了景观的永久结构特征^[1]。对生物群落和种的栖息地破碎化效果的了解,对于生物区系的保护和管理变得日益重要^[2]。关于人类导致自然栖息地破碎化的效果讨论常常集中在自然群落的结构和功能的破碎化效果上以及对破碎化敏感的物种上,许多研究焦点已集中在栖息地(或岛屿)面积与生物数量的关系上^[3-8]。当今有关生态学中的格局-过程-尺度新理论与栖息地破碎化理论,集中了大量有关啮齿动物群落的研究^[9-14]。通过研究啮齿动物群落格局在人为不同干扰下的动态特征,对于深入了解生态系统的结构与功能具有重要的理论和实践意义,而研究荒漠区的脆弱生态系统中啮齿动物群落格局在人为不同干扰下的动态特征,对于恢复生态学的理论发展和西部大开发中的生态治理实践更具有重大的意义。有关荒漠区人为干扰下啮齿动物群落格局的动态变化研究国内外几乎是空白,2002年至2004年在内蒙古阿拉善典型荒漠区研究了人为不同干扰下啮齿动物群落格局的变动趋势,现将结果报道如下。

1 研究区自然概况

研究地位于内蒙古阿拉善左旗南部的天然荒漠景观中,地理坐标为东经 104°10' ~ 105°30',北纬 37°24' ~ 38°25',地处腾格里沙漠东缘。植被稀疏,结构单调,覆盖度低,一般仅 1% ~ 20%。植物种类贫乏,主要以旱生、超旱生和盐生的灌木、半灌木、小灌木和小半灌木为主,多年生优良禾本科牧草和豆科牧草较少。建群植物以藜科、菊科和蒺藜科为主,其次为蔷薇科、怪柳科。地形起伏不平,丘陵、沙丘与平滩相间。气候为典型的高原大陆性气候,冬季严寒、干燥,夏季酷热,昼夜温差大,极端最低气温 -36℃,最高气温 42℃。年平均气温 8.3℃,无霜期 156d。年降水量 45 ~ 215 mm,极不均匀,主要集中在 7 ~ 8 月。年蒸发量 3000 mm ~ 4700 mm。土壤为棕漠土淋溶作用微弱,土质松散、瘠薄,表土有机质含量 1% ~ 1.5%,含有较多的可溶性盐。

依据该地区对草地利用程度的不同,选择 4 种不同干扰条件的生境布设样地。分别为:Ⅰ、开垦区,已开垦 7a,植被主要以人工种植的梭梭(*Haloxyylon ammodendrom*)、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*)、雾滨藜(*Bassia dasyphylla*)等 1 年生杂类草,植被盖度可达 65%。土壤为沙壤,水分含量 2.77% ~ 10.58%。Ⅱ、轮牧区,面积 60 hm²,草地采取围栏轮牧,轮牧方式为划分为 4 小个区,放牧 60 只羊,各个小区每月放牧 1 次,对地上植被进行适度利用,植被以霸王(*Zygophyllum pterocarpum*)建群,其次为红砂(*Reaumures soongorica*)、刺叶柄棘豆(*Oxytropis aciphylla*)等多年生小灌木,伴生有骆驼蓬(*Peganum nigellastrum*)、雾滨藜等 1 年生植物,植被盖度 24.5%。土壤为沙壤,水分含量 2.46% ~ 9.32%。Ⅲ、过牧区,此区为常年不间断过度放牧利用,放牧植被以白刺(*Nitraria ssp.*)、霸王建群,伴生有红砂、刺叶柄棘豆、糙隐子草(*Cleistogenes squarosa*)等多年生植物和绵蓬(*Suaeda glauca*)、条叶车前(*Plantago lessingii*)等 1 年生植物,植被盖度较低为 8.5%。土壤表面严重沙化,水分含量 4.66% ~ 12.46%。Ⅳ、禁牧区,此区已禁牧 5a 以上,植被以红砂、珍珠(*Salsola passerina*)建群,其次为霸王、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 flaeidum*)为优势,其次为糙隐子草,伴生有雾滨藜等植物,植被盖度较高为 29.5%。土壤为沙壤,水分含量 4.40% ~ 8.22%。

2 研究方法

2002 ~ 2004 每年的 4 ~ 10 月份在阿拉善荒漠区的典型地区,选择了 4 种不同干扰条件的生境,分别为禁牧区、过牧区、轮牧区和开垦区,研究啮齿动物群落的变动趋势及其种群的敏感性反应,在每种干扰类型的地段设计了标志流放区,面积为 0.96 hm²,采用标志重捕法,笼距和行距为 15 m × 15 m,每月连捕 4d。同时为保证笼捕取样和铗捕取样互不影响,在 4 种不同干扰条件的生境中另外选择了 4 条线路(每条线路面积约

10km²)取样,采用铗日法调查,每条线路布设 4 个样地,每个样地面积 10 hm²,布放 500 铗日,每条线路共布放 2000 铗日,取样时间为每年的 4、7、10 月份。用不同干扰条件下每个群落组成种的捕获量比例组成变量矩阵,应用 PCA 方法通过对轮牧区、过牧区、开垦区与禁牧区(作为对照,保持原生生境条件)动物群落组成格局的鼠种比较分析,分别对不同干扰区的动物群落组成鼠种进行排序,确立贡献率最大者为在此种干扰方式下起作用最大者,即定为对该种干扰方式反应的最为敏感者,分析群落中的主要种群对不同干扰条件的敏感性反应。

3 研究结果

3.1 人为不同干扰条件下啮齿动物群落格局的变动趋势

2002~2004 年 4 种不同干扰条件线路样地啮齿动物群落组成种的变动趋势如表 1,表 2 和图 1~图 3。同时分析了标志样地群落的变化特征,结果如表 3 和图 4~图 6。

表 1 阿拉善荒漠人为不同干扰条件下线路样地啮齿动物群落组成种变动特征(2002~2004 年)*

群落组成 Communities composition	年度 Annual														
	2002					2003					2004				
	禁牧区	过牧区	轮牧区	开垦区	Σ	禁牧区	过牧区	轮牧区	开垦区	Σ	禁牧区	过牧区	轮牧区	开垦区	Σ
草原黄鼠 <i>Citellus dauricus</i>	0	0.014	0.023	0.003	0.010	0	0.014	0.026	0.008	0.012	0	0.016	0.032	0.003	0.012
五趾跳鼠 <i>Allactaga sibirica</i>	0.186	0.109	0.075	0.080	0.113	0.079	0.040	0.011	0.047	0.044	0.043	0.031	0.014	0.083	0.044
三趾跳鼠 <i>Dipus sagitta</i>	0.047	0.547	0.425	0	0.257	0.006	0.285	0.084	0	0.073	0.009	0.388	0.123	0	0.118
五趾心颅跳鼠 <i>Cardiocranius paradoxus</i>	0	0.003	0	0	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
三趾心颅跳鼠 <i>Salpingotus kozlovi</i>	0.007	0.012	0	0	0.005	0	0.003	0	0	0.001	0	0.023	0	0	0.005
肥尾心颅跳鼠 <i>Salpingotus crassicauda</i>	0	0.009	0	0	0.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
子午沙鼠 <i>Meriones meridianus</i>	0.320	0.057	0.168	0.478	0.255	0.430	0.254	0.260	0.451	0.361	0.455	0.229	0.330	0.678	0.432
长爪沙鼠 <i>Meriones unguiculatus</i>	0	0	0.009	0.035	0.011	0	0	0.004	0.054	0.018	0	0.004	0	0.023	0.007
黑线仓鼠 <i>Cricetulus barabensis</i>	0.346	0.034	0.047	0.369	0.200	0.367	0.029	0.026	0.388	0.224	0.483	0.016	0.004	0.179	0.185
短耳仓鼠 <i>Cricetulus eversmanni</i>	0	0.034	0.009	0.006	0.014	0.006	0.009	0	0.005	0.004	0.009	0.004	0.014	0.007	0.009
小毛足鼠 <i>Phodopus roborowskii</i>	0.095	0.163	0.238	0.022	0.123	0.112	0.368	0.591	0.037	0.261	0	0.291	0.484	0.027	0.189
小家鼠 <i>Mus musculus</i>	0	0.023	0.005	0.006	0.010	0	0	0	0.011	0.003	0	0	0	0	0
Σ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
种类数 Numbers of species	6	11	9	8	12	6	8	7	8	10	5	9	7	7	9

* 表中数据为捕获量比例 The data are ratios of numbers captured of rodent above table; 开垦区 Farmland area; 轮牧区 Rotational-grazing area; 过牧区 Over-grazing area; 禁牧区 Prohibited-grazing area

3.1.1 由表 1 可知,在人为不同干扰条件下在较大尺度范围上(线路样地)啮齿动物群落组成种的格局明显不同,从各个群落组成的鼠种数看,3 个年度表现出一致的特征是禁牧区组成种数为 5~6 种,最少。相应受到干扰后的斑块(其它 3 个群落)组成种数均有增加,过牧区的组成鼠种数最高为 8~11 种,轮牧区为 7~9 种,开垦区为 7~8 种;从组成鼠种的种类和数量上看,各个群落的差别很大:在开垦区最突出的特征是完全适应农田和半荒漠的鼠种-长爪沙鼠出现,子午沙鼠的数量最高,2002 年其捕获量比例占 47.8%,2003 年占

45.1%,2004 年为 67.8%,三趾跳鼠完全消失;在过牧区,严重沙化,三趾跳鼠和小毛足鼠的数量大量增加,2002 年 2 种的捕获量比例为 71.1%,2003 年占 65.2%,2004 年占 67.8%;轮牧区子午沙鼠和小毛足鼠的数量高,2002 年 2 种的捕获量比例占 40.7%,2003 年占 85.1%,2004 年为 81.4%,说明该种干扰类型的生境已出现严重的沙化;禁牧区突出的特征是子午沙鼠和黑线仓鼠的数量占优势,并且在 3 个年度中数量呈上升趋势,2002 年 2 种的捕获量比例占 66.5%,2003 年占 79.7%,2004 年为 93.8%。

表 2 阿拉善荒漠人为不同干扰条件下啮齿动物群落组成数量季节变动特征(线路样地)

Table 2 The features of component numbers seasonal changed of rodent communities under different disturbance in Alashan desert												
生境 Habitat	2002				2003				2004			
	4 月	7 月	10 月	Σ	4 月	7 月	10 月	Σ	4 月	7 月	10 月	Σ
	April	July	October		April	July	October		April	July	October	
开垦区	0.2151	0.2671	0.3288	0.2713	0.4625	0.2017	0.3950	0.3145	0.3717	0.2524	0.1845	0.2575
轮牧区	0.2762	0.1050	0.1984	0.1861	0.2060	0.3766	0.1008	0.2682	0.2168	0.3233	0.1003	0.2438
过牧区	0.2442	0.3904	0.2554	0.3035	0.1255	0.2065	0.1429	0.1706	0.1150	0.2634	0.2104	0.2207
禁牧区	0.2645	0.2374	0.2174	0.2391	0.2060	0.2152	0.3613	0.2467	0.2965	0.1609	0.5049	0.2780
Σ	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

表中数据为捕获量比例 The data in the table are ratios of numbers of rodent captured; 开垦区 Farmland area; 轮牧区 Rotational-grazing area; 过牧区 Over-grazing area; 禁牧区 Prohibited-grazing area

3.1.2 从不同干扰条件下各区群落组成的鼠类数量季节变化看(表 2),在 3a 4 种不同干扰区鼠类群落的季节变动表现为,开垦区在全年的不同月份,其组成群落鼠类数量的相对比例均较高:2002 年各月份分别占 4 个区捕获总数的 21.51%(4 月份)、26.71%(7 月份)和 32.88%(10 月份),2003 年分别为 46.25%(4 月份)、20.17%(7 月份)和 39.50%(10 月份),2004 年分别为 37.17%(4 月份)、25.24%(7 月份)和 18.45%(10 月份);轮牧区和过牧区鼠类数量的季节变化较突出,轮牧区 2002 年 4 月份的数量高(27.62%),7 月份下降很快(10.50%),10 月份虽有恢复(19.84%),但不到 4 月份的数量,2003 年 4 月份到 7 月份增加近 1 倍,到 10 月份又下降 0.5 倍,2004 年在 7 月份出现数量最高峰;过牧区 2002 年 4 月份(24.42%)到 7 月份的数量(39.04%)增加近 1 倍,10 月份又下降到近 4 月份的数量(25.54%);2003 年从 4 月份的较低数量(12.55%)到 7 月份的

表 3 阿拉善荒漠人为不同干扰条件下标志样地啮齿动物群落组成种变动特征(2002~2004 年)*

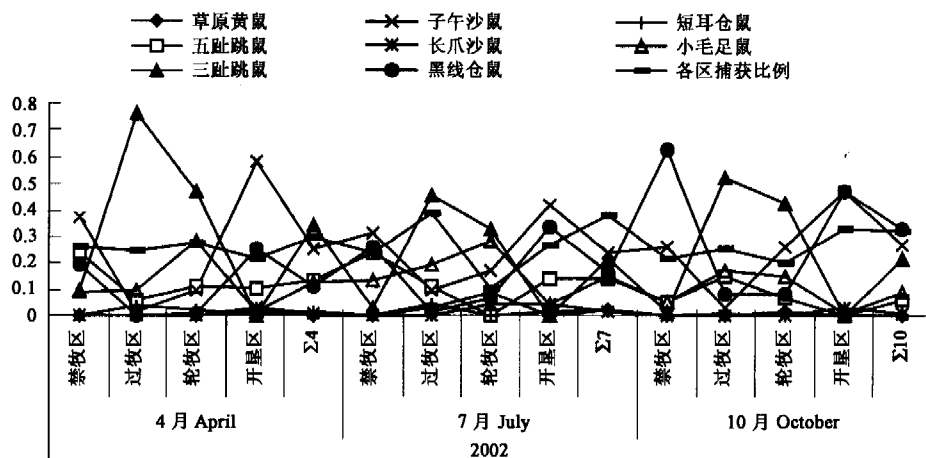
Table 3 The features of component species changed of rodent communities under different disturbance in marking sites in Alashan desert (2002~2004)

年份 Year	生境 Habitat	群落组成 Communities composition									种数 Species
		五趾跳鼠	三趾跳鼠	草原黄鼠	小毛足鼠	子午沙鼠	黑线仓鼠	短耳仓鼠	长爪沙鼠	Σ	
2002	禁牧区	0.094	0.132	0.038	0.415	0.264	0.057	0	0	1	6
	过牧区	0.216	0.353	0.020	0.196	0.157	0.059	0	0	1	6
	轮牧区	0.116	0.101	0.029	0.101	0.638	0	0.015	0	1	6
	开垦区	0.057	0	0.094	0.113	0.434	0.302	0	0	1	5
	Σ	0.121	0.144	0.045	0.202	0.399	0.099	0.005	0	1	7
2003	禁牧区	0.116	0.036	0.063	0.071	0.616	0.098	0	0	1	6
	过牧区	0.047	0.103	0.094	0.131	0.598	0.028	0	0	1	6
	轮牧区	0.087	0.039	0.039	0.231	0.567	0.019	0.019	0	1	7
	开垦区	0.010	0	0.010	0.031	0.265	0.561	0	0.122	1	6
	Σ	0.067	0.045	0.052	0.116	0.518	0.169	0.005	0.029	1	8
2004	禁牧区	0.113	0.024	0.036	0.191	0.566	0.071	0	0	1	6
	过牧区	0.110	0.238	0.043	0.055	0.524	0.031	0	0	1	6
	轮牧区	0.032	0.011	0.021	0.149	0.723	0.064	0	0	1	6
	开垦区	0.208	0	0.017	0.033	0.625	0.067	0	0.050	1	6
	Σ	0.119	0.081	0.031	0.108	0.593	0.057	0	0.011	1	7

表中数据为捕获量比例 The data are ratios of numbers captured of rodent above table; 开垦区 Farmland area; 轮牧区 Rotational-grazing area; 过牧区 Over-grazing area; 禁牧区 Prohibited-grazing area; 草原黄鼠 *Citellus dauricus*; 五趾跳鼠 *Allactaga sibirica*; 三趾跳鼠 *Dipus sagitta*; 子午沙鼠 *Meriones meridianus*; 长爪沙鼠 *Meriones unguiculatus*; 黑线仓鼠 *Cricetulus barabensis*; 短耳仓鼠 *Cricetulus eversmanni*; 小毛足鼠 *Phodopus roborovskii*; 种数 Numbers of species

数量(20.65%)增加了近1倍,10月份又下降到接近4月的数量(14.29%),其数量的季节变化较大,2004年7月份出现数量最高峰;禁牧区的特点是3a每个季节(4、7、10月份)其数量变化很弱,较为稳定,3a平均在23.91%~27.80%。

3.1.3 从不同干扰区鼠类群落组成鼠种的数量变化看(图1~图3),3年表现出一致的特征是,禁牧区与开垦区黑线仓鼠的数量从4月到10月份一直处于上升趋势,在过牧区和轮牧区则各月的数量极低且几无变化;轮牧区和过牧区的三趾跳鼠和小毛足鼠在3年中从4月份到10月份一直处于较高数量,2002年三趾跳鼠在轮牧区和过牧区分别占47.37%和76.19%(4月份)、32.6%和45.61%(7月份)、42.47%和52.13%(10月份),2003年分别占15.45%和70.15%(4月份)、6.63%和20.93%(7月份)、6.25%和11.76%(10月份),2004年分别占8.15%和42.25%(4月份)、11.73%和33.53%(7月份)、22.55%和50.76%(10月份);小毛足鼠在轮牧区和过牧区2002年分别占28.42%和9.52%(4月份)、6.52%和19.30%(7月份)、15.07%和17.02%(10月份),2003年分别占19.09%和16.42%(4月份)、73.12%和42.32%(7月份)、35.42%和39.71%(10月份),2004年分别占44.85%和15.41%(4月份)、52.73%和28.13%(7月份)、25.75%和1.76%(10月份)。



开垦区 Farmland area; 轮牧区 Rotational-grazing area; 过牧区 Over-grazing area; 禁牧区 Prohibited-grazing area; 草原黄鼠 *Citellus dauricus*, 五趾跳鼠 *Allactaga sibirica*, 三趾跳鼠 *Dipus sagitta*, 子午沙鼠 *Meriones meridianus*, 长爪沙鼠 *Meriones unguiculatus*, 黑线仓鼠 *Cricetulus barabensis*, 短耳仓鼠 *Cricetulus eversmanni*, 小毛足鼠 *Phodopus roborovskii*, 各区捕获比例 Ratio of rodent captured in each area; 下同 the same below

图1 阿拉善荒漠人为不同干扰条件下啮齿动物群落组成种季节变动特征(2002年)

Fig.1 The chart of component species seasonal changed of rodent communities under different disturbance in Alashan (2002)

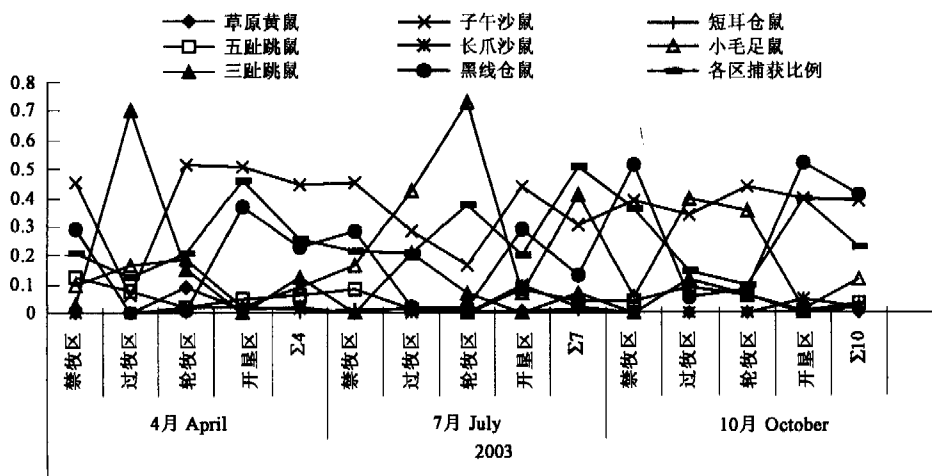


图2 阿拉善荒漠人为不同干扰条件下啮齿动物群落组成种季节变动特征(2003年)

Fig.2 The chart of component species seasonal changed of rodent communities under different disturbance in Alashan (2003)

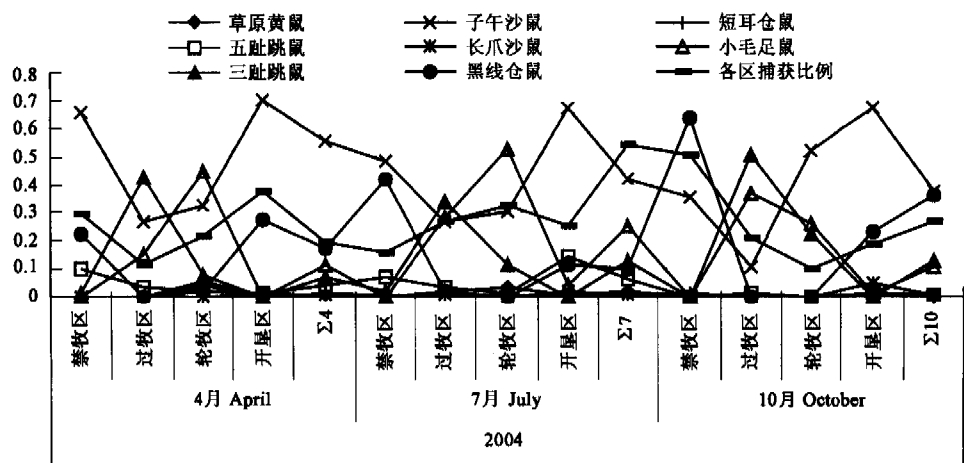


图3 阿拉善荒漠人为不同干扰条件下啮齿动物群落组成种季节变动特征(2004)
Fig.3 The chart of component species seasonal changed of rodent communities under different disturbance in Alashan (2004)

3.1.4 由表3可知,在较小的尺度上(标志样地 0.96hm²),3a不同干扰区群落组成的鼠种数几乎一致,禁牧区、过牧轮和轮牧区3a均为6种,开垦区为5~6种,但组成种的数量差别却很大,明显的特征是开垦区生境完全破碎,其群落的组成种的结构发生了实质性的变化即适应农田的鼠种黑线仓鼠的数量从2002年到2003年明显增加,而在2004年则大幅度下降,2002年占全部鼠种捕获量的30.19%,2003年更高,达56.19%,超过了一半,2004年为6.71%,而适应沙地和荒漠生活的种类三趾跳鼠完全消失;另一个特征是过牧区在超载过牧的情况下,原生植被已沙化极为严重,因此适应沙地的鼠种三趾跳鼠的数量大量增加,2002年占总捕获量的35.29%,2003年占10.32%,2004年占23.76%;轮牧区子午沙鼠的数量增加,2002年占总数的63.77%,2003年占56.72%,2004年为72.32%。

在较小的尺度上(标志样地 0.96hm²),所有种的捕获数量呈逐年上升趋势,在较大尺度范围上(线路样地,40 hm²),一个总的特点是每个种在2003年均为数量高峰,而2002和2004年均明显偏低。从以上动物群落格局的分析和动物的捕获情况可以初步看出不同研究尺度的差异。

3.2 群落中优势种群在不同干扰条件下的敏感性分析

为了深入研究在人为不同干扰条件下荒漠啮齿动物群落格局变动中,其组成物种种群中的优势种群对不同干扰类型的敏感反应特征,用群落的组成物种的捕获量比例及生物量比例组成变量矩阵,采用PCA(主成分分析)法分别在两个不同的尺度域上(标志样地,面积0.96 hm²和线路样地,面积40 hm²)对3个年度进行了分析,结果如表4~5(标志样地)和表6~7(线路样地)。

排序过程是将样方或物种排列在一定的空间,使得排序轴能够反映一定的生态梯度,从而能够解释群落或物种的分布与环境之间的关系。作者通过对不同干扰条件下每个鼠类群落的组成鼠种应用PCA法进行排序,就是将其在多维空间中的信息通过降维分析,找到在前三维(其累积贡献率已达到75%,即在前三维的排序中可代表整体排序的75%以上的信息量)主成分上负荷量最大的鼠种,这些鼠种在前三维空间的排序中起的作用最大,为群落中的优势种群,也说明这些鼠种与各自所在的群落环境(不同干扰条件)比其它种类更为密切,从而推理出这些鼠种是对不同干扰条件反应的最敏感种群。

表4 2002~2004年标志样地主成分累积贡献率					
Table 4 Principal component cumulative percentage in marking sites in 2002~2004					
年度 Annual	主成分 Principal component	开垦区 Farmland area	轮牧区 Rotational-grazing area	过牧区 Over-grazing area	禁牧区 Prohibited-grazing area
2002	1	0.4037	0.4675	0.5941	0.3887
	2	0.7219	0.7279	0.8005	0.7082
	3	0.8815	0.9065		0.9196
2003	1	0.4235	0.4708	0.4753	0.4436
	2	0.7688	0.6894	0.8526	0.7328
	3	0.9411	0.8606		0.9218
2004	1	0.5112	0.4301	0.5500	0.5050
	2	0.6904	0.6369	0.8229	0.7505
	3	0.8560	0.8205		0.9530

由表 4 可看出,在较小的尺度域(标志样地,0.96 hm²)上,2002 年 4 种不同干扰区的 PCA 分析结果在前三维主成分上的累积贡献率分别达到 0.8815(开垦区)、0.9065(轮牧区)、0.8005(过牧区,前二维)和 0.9196(禁牧区)。2003 年 4 种不同干扰区的 PCA 分析结果在前三维主成分上的累积贡献率分别达到 0.9411(开垦区)、0.8606(轮牧区)、0.8526(过牧区,前二维)和 0.9218(禁牧区)。2004 年 4 种不同干扰区的 PCA 分析结果在前三维主成分上的累积贡献率分别达到 0.8560(开垦区)、0.8205(轮牧区)、0.8229(过牧区,前二维)和 0.9530(禁牧区)。以上结果可看出在 4 种不同的干扰区中啮齿动物群落的组成物种种群构成的变量在其前三维主成分上能充分反映出 80% 以上的信息量。通过以上分析可以确定啮齿动物群落的组成物种种群在前 3~4 维成分上贡献率最大的鼠种种群。即反映了 4 种干扰区的鼠类群落中优势鼠种对于干扰条件反应的敏感性。

进一步分析各变量在前三维主成分上的因子负荷量(表 6~8)可看出,在较小的尺度域上(标志样地),开垦区内在前三维主成分上的因子负荷量:2002 年最大的为 x7、x8、x9、x10 和 x15、x16,2003 年在前三维主成分上的因子负荷量最大的为 x5、x7、x1、x2;2004 年开垦区前三维主成分上的因子负荷量最大的为 x1、x6、x9、x10 和 x7、x8,3 个年度因子负荷量最大的公共项为 x7,即黑线仓鼠对于开垦区这样的干扰环境反应较为敏感;在轮牧区内在前三维主成分上的因子负荷量:2002 年最大的为 x9、x10、x13、x14 和 x5、x6,2003 年为 x15、x16、x7、x8 和 x1、x2,2004 年为 x1、x2、x7、x8 和 x3、x4,有此可看出各个鼠种在前三维主成分上均有反应,说明在轮牧区这种干扰条件下啮齿动物群落中各组成种群的敏感性反应无明显的单一种群;在过牧区内前二维主成分上(已超过 80%)的因子负荷量:2002 年最大的为 x4、x7、x1、x6,2003 年为 x3、x7、x9、x16,2004 年为 x15、x16、x2、x6,由此看出在 3a 中 x3、x4 和 x6,在过牧区这种干扰条件下表现的较突出,即啮齿动物群落中各组成种群中三趾跳鼠和子午沙鼠的反应较为敏感;在禁牧区内在前三维主成分上的因子负荷量:2002 年为 x4、x6、x7、x8 和 x3、x4,2003 年为 x5、x16、x1、x2 和 x3、x4,2004 年为 x2、x7、x5、x6 和 x15、x16,由此看出在 3a 中 x7 表现的较突出,这说明在禁牧区条件下分布的啮齿动物种群在群落中所起的作用相当,黑线仓鼠种群反应较为敏感。

表 5 不同干扰条件下标志样地各变量在前三维主成分上的负荷量(2002~2004 年)

Table 5 The eigenvectors on the first three principal component of rodent communities under different disturbance in marking sites(2002~2004)												
开垦区			轮牧区			过牧区			禁牧区			
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin1	Prin2	Prin3	Prin1	Prin2	Prin1	Prin2	Prin3	
2002	X1	0.2683	0.3454	0.2610	0.3118	0.2883	0.2329	-0.2798	-0.3819	0.3522	0.2916	-0.0126
	X2	0.2587	0.3274	0.2582	0.3196	0.2696	0.2280	-0.3010	-0.3600	0.3534	0.2711	0.0924
	X3	0.0000	0.0000	0.0000	-0.3004	0.0857	0.3290	0.2841	0.3357	-0.0564	0.1518	0.5630
	X4	0.0000	0.0000	0.0000	-0.3175	0.0748	0.3456	0.3289	0.2555	-0.0398	0.0827	0.6036
	X5	0.4425	-0.1773	-0.2503	-0.1646	-0.2276	0.5335	-0.2785	0.3502	-0.3604	0.2887	-0.1543
	X6	0.4158	-0.1043	-0.3821	-0.1680	-0.2427	0.4967	-0.2437	0.4537	-0.3760	0.2660	-0.1093
	X7	-0.4887	0.0758	-0.0419	0.0000	0.0000	0.0000	0.3338	-0.0736	-0.0318	-0.4772	-0.1193
	X8	-0.4876	0.0760	-0.0736	0.0000	0.0000	0.0000	0.3099	-0.1058	-0.0237	-0.4744	-0.1349
	X9	0.1041	0.4419	0.2114	0.4005	-0.1087	0.1520	0.3030	-0.3137	0.3646	-0.1542	0.2080
	X10	0.0246	0.4352	0.2072	0.3994	-0.1230	0.1553	0.3234	-0.2726	0.2903	-0.3220	0.1836
	X11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X13	0.0000	0.0000	0.0000	0.1119	0.4808	0.1773	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X14	0.0000	0.0000	0.0000	0.1119	0.4808	0.1772	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X15	0.0466	-0.4093	0.5300	0.3317	-0.3315	0.1088	0.2251	0.1201	0.3505	0.1971	-0.2963
	X16	0.0466	-0.4093	0.5300	0.3151	-0.3484	0.1132	0.2251	0.1201	0.3653	0.1960	-0.2776
2003	X1	0.2752	0.3800		-0.1432	0.2570	-0.4930	0.3213	-0.1677	-0.0397	-0.4705	-0.1889
	X2	0.2752	0.3800		-0.1311	0.2777	-0.5083	0.3178	-0.1752	-0.0755	-0.5093	-0.1130
	X3	0.0000	0.0000		-0.2592	0.1916	0.2632	0.3916	-0.1330	-0.1573	0.2032	0.5239
	X4	0.0000	0.0000		-0.2321	0.1942	0.3002	0.3700	-0.1280	-0.1361	0.2331	0.5216
	X5	0.4193	-0.1105		-0.3558	-0.1255	0.1502	-0.3446	-0.2530	-0.4190	0.0302	-0.0156
	X6	0.1598	-0.2414		-0.2154	-0.2248	0.3179	-0.3632	-0.2164	-0.3625	0.2113	-0.1055
	X7	-0.4135	0.1671		0.0651	-0.5071	-0.0728	0.3713	0.0182	0.3620	-0.1622	0.2426
	X8	-0.4053	0.1634		0.0651	-0.5071	-0.0728	0.3331	0.0563	0.3682	-0.0168	0.2209

续表 1

	X9	0.1683	-0.3360	0.3488	0.1987	0.0320	-0.0273	0.4563	0.1095	0.4102	-0.3726
	X10	0.1686	-0.3360	0.3581	0.1731	0.0832	-0.0283	0.4249	0.1031	0.4079	-0.3837
	X11	0.2512	-0.1794	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X12	0.2014	-0.1980	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X13	0.0000	0.0000	0.2581	0.2167	0.3011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X14	0.0000	0.0000	0.2581	0.2167	0.3011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X15	0.2752	0.3800	0.3773	-0.1239	-0.0689	0.0518	0.4425	0.4169	0.1139	0.0027
	X16	0.2752	0.3800	0.3665	-0.1516	-0.1045	0.0425	0.4565	0.4236	0.0620	0.0063
2004	X1-	0.3869	0.1143	-0.0890	0.4106	0.0654	0.0071	-0.2113	0.4085	0.3846	0.1475
	X2-	0.3788	-0.0277	-0.1501	0.4106	0.0654	0.0071	-0.2316	0.4234	0.3889	0.0788
	X3	0.0000	0.0000	0.0000-0.1084	0.1505	0.6163	0.3111	0.2477	-0.1258	0.4166	-0.3771
	X4	0.0000	0.0000	0.0000-0.1084	0.1505	0.6163	0.3361	0.2211	-0.1269	0.4152	-0.3773
	X5	0.2649	0.0662	-0.4199-0.2568	0.0044	0.1314	-0.2922	-0.3613	-0.1607	-0.5199	0.0553
	X6	0.3890	-0.0222	-0.0598-0.3369	-0.0055	0.0139	-0.2582	-0.4125	-0.2639	-0.4349	-0.0728
	X7	0.2588	-0.0148	0.5375-0.0779	-0.5850	-0.0405	-0.2237	0.3082	0.3896	-0.1040	-0.1400
	X8	0.2362	-0.0214	0.5713-0.0779	-0.5850	-0.0405	-0.2237	0.3082	0.3782	-0.1384	-0.1424
	X9-	0.2096	-0.5074	0.0427-0.2559	0.3557	-0.3124	0.2824	-0.1537	-0.3772	0.1557	-0.0032
	X10-	0.2010	-0.5235	0.0377-0.2123	0.3559	-0.3488	0.2873	-0.1436	-0.3687	0.0628	0.0088
	X11	0.2993	0.0576	-0.2775	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X12	0.2959	0.0554	-0.2443	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X15-	0.2248	0.4705	0.1313	0.4106	0.0654	0.0071	0.3746	0.0885	-0.0053	0.2444
	X16-	0.2248	0.4705	0.1313	0.4106	0.0654	0.0071	0.3704	0.0279	-0.0205	0.2209

x1:五趾跳鼠的捕获量比例 Ratio of *Allactaga sibirica* captured;x2:五趾跳鼠的生物量比例 Ratio of *Allactaga sibirica* biomass;x3:三趾跳鼠的捕获量比例 Ratio of *Dipus sagitta* captured;x4:三趾跳鼠的生物量比例 Ratio of *Dipus sagitta* biomass;x5:子午沙鼠的捕获量比例 Ratio of *Meriones meridianus* captured;x6:子午沙鼠的生物量比例 Ratio of *Meriones meridianus* biomass;x7:黑线仓鼠的捕获量比例 Ratio of *Cricetulus barabensis* captured;x8:黑线仓鼠的生物量比例 Ratio of *Cricetulus barabensis* biomass;x9:小毛足鼠的捕获量比例 Ratio of *Phodopus roborovskii* captured;x10:小毛足鼠的生物量比例 Ratio of *Phodopus roborovskii* biomass;x11:长爪沙鼠的捕获量比例 Ratio of *Meriones unguiculatus* captured;x12:长爪沙鼠的生物量比例 Ratio of *Meriones unguiculatus* biomass;x13:短尾仓鼠的捕获量比例 Ratio of *Cricetulus eversmanni* captured;x14:短尾仓鼠的生物量比例 Ratio of *Cricetulus eversmanni* biomass;x15:草原黄鼠的捕获量比例 Ratio of *Citellus dauricus* captured;x16:草原黄鼠的生物量比例 Ratio of *Citellus dauricus* biomass. 开垦区 Farmland area; 轮牧区 Rotational-grazing area; 过牧区 Over-grazing area; 禁牧区 Prohibited-grazing area

同时分析了在较大尺度域(线路样地,40 hm²)上,在4种不同干扰条件下啮齿动物群落中各鼠类种群的敏感反应结果如表6~7。

由表6可看出,在较大的尺度域(线路样地,40 hm²)上,2002年4种不同干扰区的PCA分析结果在前三维主成分上的累积贡献率分别达到0.7411(开垦区前四维可达0.8973)、0.7691(轮牧区)、0.7870(过牧区,前二维)和0.8493(禁牧区)。2003年4种不同干扰区的PCA分析结果在前三维主成分上的累积贡献率分别达到0.8160(开垦区)、0.7581(轮牧区)、0.8442(过牧区)和0.8355(禁牧区)。2004年4种不同干扰区的PCA分析结果在前三维主成分上的累积贡献率分别达到0.8433(开垦区)、0.7566(轮牧区)、0.7931

表 6 2002~2004 年线路样地主成分累积贡献率

Table 6 Principal component cumulative percentage in line sites in 2002 ~ 2004

年度 Annual	主成分 Principal component	开垦区 Farmland area	轮牧区 Rotational- grazing area	过牧区 Over-grazing area	禁牧区 Prohibited- grazing area
2002	1	0.2916	0.3431	0.3803	0.4769
	2	0.5373	0.6100	0.6164	0.7355
	3	0.7411	0.7691	0.7870	0.8493
	4	0.8973			
2003	1	0.3944	0.3394	0.3939	0.3581
	2	0.6486	0.6061	0.7008	0.6608
	3	0.8160	0.7581	0.8442	0.8355
2004	1	0.3400	0.3402	0.2711	0.5527
	2	0.6334	0.5803	0.4873	0.7871
	3	0.8433	0.7566	0.6580	
	4		0.9034	0.7931	

(过牧区,前四维)和0.7871(禁牧区前二维)。以上结果可看出在4种不同的干扰区中啮齿动物群落的组成物种种群构成的变量在其前三和四维主成分上能充分反映出76%以上的信息量。通过以上分析可以确定啮齿动物群落的组成物种种群在前3~4维主成分上贡献率最大的鼠种种群。即反映了4种干扰区的鼠类群落中

优势鼠种对干扰条件反应的敏感性。

进一步分析各变量在主成分上的因子负荷量,结果见表 7。

表 7 不同干扰区各变量在主成分上的因子负荷量

Table 7 Procedure eigenvector of all of variables in different disturbance areas

2002	开垦区				轮牧区			过牧区				禁牧区		
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin1	Prin2	Prin3	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin1	Prin2	Prin3
X1	-0.1820	0.3501	-0.2557	0.3267	0.1008	0.2637	-0.4459	0.4135	-0.0335	-0.0730		0.3516	-0.0494	0.3603
X2	-0.1412	0.3697	-0.2833	0.3046	0.0294	0.2200	-0.4786	0.4132	-0.0063	-0.1086		0.3510	0.0397	0.2873
X3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.3611	-0.1249	0.2447	-0.3755	-0.1918	-0.1869		0.3160	-0.2303	0.2119
X4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.3554	-0.1586	0.2458	-0.4021	-0.1535	-0.1054		0.3035	-0.2335	0.1331
X5	-0.3773	0.0946	-0.0027	0.4091	0.2694	-0.3258	-0.1917	0.1900	-0.1085	0.5142		0.3514	-0.0373	-0.3742
X6	-0.2537	-0.2165	0.0795	0.4622	0.2777	-0.3279	-0.1226	0.1727	-0.1026	0.5310		0.2203	0.0832	-0.7001
X7	0.2892	-0.3296	0.1526	0.3079	0.2923	-0.2493	0.2023	0.3703	-0.0588	-0.2943		-0.4126	-0.0683	-0.0512
X8	0.2891	-0.3444	0.1337	0.2727	0.2834	-0.2480	0.1906	0.3653	-0.0510	-0.2429		-0.4021	-0.0993	0.0993
X9	0.3016	0.3389	0.1102	0.1783	-0.1895	0.3000	0.1932	-0.0746	0.4707	0.0611		0.2030	0.3674	-0.0006
X10	0.3424	0.2802	0.2229	0.1241	-0.1726	0.2772	0.1394	-0.0512	0.4728	0.0744		0.1052	0.4711	-0.1095
X11	0.2166	-0.1823	-0.2741	0.3017	0.3018	0.2455	0.1177	0.0000	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000
X12	0.2589	-0.1741	-0.2880	0.2418	0.2996	0.2319	0.1465	0.0000	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000
X13	0.3472	0.2135	-0.2677	0.1505	-0.1776	0.0182	-0.2624	-0.0921	0.1392	0.1566		-0.0488	0.4924	0.1964
X14	0.3491	0.2101	-0.2688	0.1484	-0.1768	0.0154	-0.2613	-0.0219	-0.2411	0.4527		-0.0512	0.5160	0.1784
X15	0.0648	0.2355	0.4707	0.0671	0.2367	0.3480	0.1474	0.0321	0.4402	0.0555		0.0000	0.0000	0.0000
X16	0.0648	0.2355	0.4707	0.0671	0.2267	0.3185	0.2682	0.0321	0.4402	0.0555		0.0000	0.0000	0.0000
2003	开垦区				轮牧区			过牧区				禁牧区		
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin1	Prin2	Prin3	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin1	Prin2	Prin3
X1	0.2311	0.3847	-0.0339	0.3058	-0.1529	-0.3814	-0.0198	-0.2436	0.5286			0.3309	-0.1613	0.3824
X2	0.2162	0.3806	-0.0400	0.2916	-0.1895	-0.3645	0.0917	-0.2793	0.5145			0.2772	-0.1087	0.4266
X3	0.0000	0.0000	0.0000	-0.1422	0.4177	-0.1096	-0.4180	-0.0175	-0.0269			0.2423	-0.3019	0.1838
X4	0.0000	0.0000	0.0000	-0.1885	0.2955	-0.0591	-0.4090	0.0376	-0.0730			0.2387	-0.3042	0.1942
X5	0.3390	-0.2043	-0.0731	0.4481	0.0046	0.0412	0.2889	0.0454	-0.3741			0.3988	-0.0031	-0.3804
X6	0.2729	-0.3356	0.0535	0.3755	-0.1031	0.1627	0.3414	0.0505	-0.3600			0.2578	0.0695	-0.5693
X7	-0.3520	-0.1326	0.1092	-0.1364	-0.2860	-0.0031	0.3101	-0.1868	0.0195			-0.4602	-0.1152	0.1016
X8	-0.3186	-0.1588	0.2122	-0.2168	-0.2509	0.0233	0.3129	-0.2200	-0.0532			-0.4740	-0.0378	0.0780
X9	0.0776	0.3027	0.5123	-0.4071	-0.1571	0.0670	0.3461	0.0443	0.1859			0.0954	0.4428	0.2491
X10	0.0603	0.2561	0.5498	-0.3596	-0.2277	0.1425	0.3411	-0.0266	0.1596			-0.0075	0.4137	0.1769
X11	-0.2008	0.2785	-0.4333	0.1687	0.1644	0.5356	0.0000	0.0000	0.0000			0.0000	0.0000	0.0000
X12	-0.2713	0.2617	-0.3636	0.1687	0.1644	0.5356	0.0000	0.0000	0.0000			0.0000	0.0000	0.0000
X13	-0.3176	0.2387	0.0604	0.0000	0.0000	0.0000	0.0784	0.4540	0.1591			0.1175	0.4397	0.0981
X14	-0.2867	0.2445	0.1342	0.0000	0.0000	0.0000	0.0818	0.4448	0.1485			0.1141	0.4454	0.1101
X15	0.3005	0.1927	-0.1202	-0.0140	0.4449	-0.1870	0.0469	0.4086	0.1866			0.0000	0.0000	0.0000
X16	0.2969	0.2302	-0.1076	-0.0787	0.4416	-0.2096	0.0624	0.4466	0.1868			0.0000	0.0000	0.0000
2004	开垦区				轮牧区			过牧区				禁牧区		
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin1	Prin2	Prin3	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin1	Prin2	Prin3
X1	0.4256	-0.1138	-0.0763	0.4122	0.1078	-0.1306	0.1030	-0.1420	-0.0699	0.1062	0.5661	0.1090	0.6253	-0.0744
X2	0.4314	-0.1073	-0.0069	0.4231	0.0931	-0.1597	0.1195	-0.1512	-0.0731	0.1054	0.5574	0.1416	0.6124	-0.0233
X3	0.0000	0.0000	0.0000	-0.2485	0.2271	-0.0692	0.4957	0.0323	-0.4280	-0.2672	0.1209	-0.2424	0.0639	0.6506
X4	0.0000	0.0000	0.0000	-0.2956	0.2999	-0.1005	0.3436	-0.0602	-0.3624	-0.2813	0.0705	-0.2447	0.0364	0.6524
X5	0.0200	0.2883	-0.4487	0.0786	-0.5306	0.0635	-0.0214	0.2821	0.2587	-0.3100	-0.0974	-0.4049	0.0522	-0.1347
X6	-0.2479	0.1992	-0.3656	0.0474	-0.5326	0.0476	-0.1054	0.2726	0.2897	-0.2815	-0.0935	-0.3848	-0.2151	-0.1678
X7	-0.2632	-0.2855	0.3171	0.3106	-0.0144	-0.2378	0.1524	0.1565	0.3504	0.1290	0.1837	0.3717	-0.2683	0.0838
X8	-0.2728	-0.2800	0.2778	0.3106	-0.0144	-0.2378	0.1524	0.1574	0.3414	0.1404	0.1712	0.3644	-0.3103	0.0740
X9	0.3556	-0.0617	0.2441	0.0172	0.3047	-0.1850	-0.5278	-0.2424	0.0864	0.4049	0.0247	0.0000	0.0000	0.0000
X10	0.3071	-0.0518	0.3018	-0.0700	0.2692	-0.2079	-0.5209	-0.1901	0.1457	0.4252	-0.2425	0.0000	0.0000	0.0000
X11	0.1236	0.3852	0.3011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0090	0.2585	-0.2268	0.3053	0.0000	0.0000	0.0000
X12	0.1094	0.3729	0.3187	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0090	0.2585	-0.2268	0.3053	0.0000	0.0000	0.0000
X13	0.0282	0.4205	0.1177	0.0422	0.1398	0.5755	-0.0321	0.3818	-0.2333	0.1598	0.0496	0.3704	0.0975	0.2116
X14	0.0054	0.4336	0.1042	0.0376	0.1458	0.5730	-0.0312	0.3818	-0.2333	0.1598	0.0496	0.3596	-0.0428	0.2036
X15	0.2986	-0.1305	-0.2385	0.3757	0.1836	0.2257	0.0340	0.4269	-0.1060	0.2328	0.0873	0.0000	0.0000	0.0000
X16	0.2986	-0.1305	-0.2385	0.3886	0.1809	0.1877	0.0158	0.4245	-0.0520	0.2502	0.0978	0.0000	0.0000	0.0000

x1-x16 同表 5 x1~x16 are the same with Fig.5; 开垦区 Farmland area; 轮牧区 Rotational-grazing area; 过牧区 Over-grazing area; 禁牧区 Prohibited-

由表 7 可看出,在较大的尺度域上(线路样地),开垦区内主成分上的因子负荷量:2002 年最大的为 x5、x14,x1,x2,x15,x16 和 x5、x6,2003 年最大的为 x5、x7,x1,x2 和 x9、x10,2004 年为 x1,x2,x13,x14 和 x5、x6,由此看出 x1,x2 和 x5、x6 在 3a 中表现的优为突出,说明在开垦区这种干扰类型中五趾跳鼠和子午沙鼠种群的反应较为敏感;在轮牧区内主成分上的因子负荷量:2002 年最大的为 x3、x4,x6,x15 和 x1,x2,2003 年最大的为 x5、x9,x15,x16,x11,x12 和 x7,x8,2004 年为 x1,x2,x5,x6,x13,x14 和 x9、x10,这一特点表明在轮牧区这种干扰条件下群落的各个鼠类种群的敏感性反应基本一致,无明显突出种群;在过牧区内主成分上的因子负荷量:2002 年最大的为 x1,x2,x9、x10 和 x5、x6,2003 年最大的为 x3,x4,x13,x16 和 x1,x2,2004 年为 x15,x16,x3,x4,x9,x10 和 x1,x2,由此看出在 3a 中 x1,x2 和 x3,x4 表现优为突出,这说明在过牧区这种干扰条件下突出的特点是五趾跳鼠和三趾跳鼠反应最为敏感;在禁牧区内主成分上的因子负荷量:2002 年为 x7,x8,x13,x14 和 x6,2003 年最大的为 x7,x8,x9,x14 和 x2,x6,2004 年为 x5,x6,x3,x1 和 x3,x4 由此看出在 3a 中 x7,x8 表现突出,说明在禁牧区这种干扰条件下 3 个年度一致的特点是黑线仓鼠种群反应敏感。

进一步对表 5 和表 7 进行综合分析,结果见表 8。

表 8 3 个年度 2 个尺度下啮齿动物群落组成种对不同干扰条件敏感性反应的综合分析

Table 8 The comprehensive analysis of sensitive response of populations of rodent communities under different disturbance on two scales in three years

		标志样地 Marking sites				线路样地 Line sites			
		开垦区	轮牧区	过牧区	禁牧区	开垦区	轮牧区	过牧区	禁牧区
2002	累积贡献率	0.8815	0.9065	0.8005	0.9196	0.8973	0.7691	0.7870	0.8493
	P1	X7 X8	X9 X10	X4 X7	X6 X16	X5 X14	X3 X4	X1 X2	X7 X8
	P2	X9 X10	X13 X14	X1 X6	X7 X8	X1 X2	X15 X16	X9 X10	X13 X14
	P3	X15 X16	X5 X6		X3 X4	X15 X16	X1 X2	X5 X6	X5 X6
	P4					X5 X6			
2003	累积贡献率	0.7688	0.8606	0.8526	0.9218	0.8160	0.8901	0.8442	0.8355
	P1	X5 X8	X15 X16	X3 X7	X5 X16	X5 X7	X5 X9	X3 X4	X7 X8
	P2	X1 X15	X7 X8	X9 X16	X1 X2	X1 X2	X15 X16	X13 X16	X9 X14
	P3		X1 X2		X3 X4	X9 X10	X11 X12	X1 X2	X2 X6
	P4					X7 X8			
2004	累积贡献率	0.8560	0.8205	0.8229	0.9530	0.8433	0.9034	0.7931	0.7871
	P1	X1 X6	X1 X15	X15 X16	X2 X7	X2 X1	X1 X2	X15 X16	X5 X6
	P2	X9 X10	X7 X8	X2 X6	X5 X6	X13 X14	X5 X6	X3 X4	X1 X2
	P3	X7 X8	X3 X4		X4 X3	X5 X6	X13 X14	X9 X10	
	P4						X9 X10	X1 X2	

x1 ~ x16 同表 5 x1 ~ x16 are the same with Fig.5; 开垦区 Farmland area; 轮牧区 Rotational-grazing area; 过牧区 Over-grazing area; 禁牧区 Prohibited-grazing area; 累积贡献率 Cumulative percentage

由表 8 可看出,在较小的尺度上(标志样地,0.96 hm²), 2002 ~ 2004 年 3 个年度反映出突出的特点是在 4 种不同干扰条件下,啮齿动物群落中优势种群对不同干扰条件的反应表现为:在开垦区突出地表现为黑线仓鼠种群在 3 个年度的小尺度上,其在第一、第二和第三主成分上的因子负荷量均很大,说明荒漠生态系统的原生植被被开垦后,黑线仓鼠种群对这种干扰类型反应最为敏感,也就是说黑线仓鼠种群的出现和数量上升是开垦这种干扰类型的指示种群;在禁牧区这种干扰类型中黑线仓鼠和草原黄鼠种群表现出较突出的敏感反应,在 3 个年度中其在第一主成分上的因子负荷量都大;在轮牧去区在前三维主成分上各个鼠种均有表现,说明在轮牧干扰方式下组成啮齿动物群落的各个鼠种中没有突出的种群。从过牧区这种严重干扰类型看,在小尺度域上的 3 个年度中群落中各种群的敏感性反应有一个突出的特点是三趾跳鼠和草原黄鼠种群的因子负荷量在第一和第二主成分上均有较大表现,即三趾跳鼠种群和草原黄鼠种群对这种干扰类型有较强的敏感性反应。

在较大的尺度上(线路样地,40 hm²),在开垦区突出地表现为五趾跳鼠种群和子午沙鼠种群的敏感性反应,在 3 个年度中其在第一、第二和第三主成分上的因子负荷量均很大。这与小尺度开垦区的敏感性反应种群明显不同;在禁牧区这种干扰类型中在 3 个年度中,黑线仓鼠种群表现出突出的敏感反应;在过牧区,3 个

年度中较大尺度下表现突出一致的特点是五趾跳鼠和三趾跳鼠种群的敏感性反应很强;在轮牧区中,在 2 个尺度域上的 3 个年度中没有较一致的一种优势种群表现出突出的敏感性反应,在前三维和四维主成分上的因子负荷量包括了多个种群的反应,Connell 提出了著名的“中度干扰假说(Intermediate Disturbance Hypothesis)”,即中度干扰导致最大的多样性,因为在适度干扰作用下,一些新的物种或外来物种尚未完成发育就又受到干扰,这样在群落中新的优势种始终不能形成,从而保持了较高的物种多样性。不同的物种对干扰的敏感性不同^[15]。从分析结果看,在 PCA 的排序中,该区中组成鼠类群落的各个鼠种在前三维主成分上均有表现,没有表现出 1~2 个突出的鼠种。也就是说没有形成较明显的优势种群,能保持群落较高的物种多样性。理论和实际研究表明生物多样性趋于与生态系统功能性(稳定性)呈正相关性^[16]。这说明了在典型的荒漠生态系统中这样的植被条件下,轮牧这样的适度的干扰(或使用方式)条件,能使啮齿动物群落形成较为稳定的群落格局。

4 讨论

人为干扰是区别于自然干扰的一种主要干扰方式,是指人类生产、生活和其它社会活动形成的干扰体对自然环境和生态系统施加的各种影响,人为干扰体及其对生态系统影响的研究,已经成为现代生态学研究的热点^[17]。干扰出现在从个体到景观的所有层次上,干扰是景观的一种主要的生态过程,它是景观异质性的主要来源之一,不同尺度、性质和来源的干扰是景观结构和功能变化的根据^[18]。当今国际上发展的趋势是深入研究和揭示栖息地破碎化和景观的斑块对动物群落不同尺度域上的影响特征和动物群落对生态学干扰的反应^[19~25]。Nupp T.E.等^[26]指出关于人类导致自然栖息地破碎化效果的讨论常常集中在自然群落的结构和功能的破碎化上以及破碎化敏感物种上,栖息地破碎化的效果可以认为是改变主要的物种。根据它们在对栖息地的面积、栖息地斑块的孤立性以及边缘斑块的比率变化的敏感性,作者假设对林地斑块的敏感性反应与六中小型哺乳动物个体大小的变化相反,进行检验。Hames R.S.等^[25]指出人类引起的栖息地破碎化是与许多敏感性物种种群的下降相关联的,集合种群动态理论(Metapopulation Dynamics)早已在寻求敏感物种对破碎化反应的驱动格局这样的过程。然而这样的理论的预测检验在脊椎动物中很少。

人为干扰后栖息地破碎化导致动物群落格局的变化及其物种的变化已有许多报道^[27],特别是在热带雨林或林地对啮齿类和鸟类的研究也有较多报道^[28]。我国的荒漠生态系统由于人口压力和不合理的使用,受人为干扰严重,我们研究的结果显示了在 4 种不同干扰条件下,荒漠啮齿动物群落格局和变动特点及其主要种群对不同干扰类型的敏感性反应特征。确定的 4 种干扰类型为开垦、轮牧、过牧和禁牧,这只是一种干扰强度的定性分类,而对这 4 种干扰类型的定量研究与啮齿动物群落格局,过程及尺度的关系则是今后进一步深入研究的内容。

生态环境敏感性是指生态系统对各种变异和人类干扰的敏感程度,即生态系统在遇到干扰时,生态环境问题出现的概率大小^[29]。在自然状况下,各种生态过程维持着一种相对稳定的耦合关系,保证着生态系统的相对稳定,而当外界干扰超过一定限度时,这种耦合关系将被打破,某些生态过程趋于膨胀,导致严重的生态环境问题^[29]。当人为干扰时,一种生物或一类生物在该区域内出现、消失或数量异常变化都与环境条件有关,是生物对环境变化适应与否的反应^[15]。对于生态环境的敏感性研究,目前主要是对酸雨和火烧敏感性的研究^[30,31],其他生态环境问题的敏感性研究很少^[32]。啮齿动物群落对干扰敏感性反应研究目前国际上报导亦很少,目前对生态敏感性的研究多集中在某一生态问题或国家尺度的综合上^[32,33],对省级尺度的生态敏感性研究报道较少^[29]。以群落结构特征参数,如种的多样性、种的丰盛度、均匀性以及优势度和群落的相似性等作为生态监测指标,正能恰好地反映生物适应的相对性使生物群落发生着各种变化^[17]。本研究中选择不同干扰条件下荒漠啮齿动物群落的组成种的丰盛度及其群落中的生物量比例,应用 PCA 方法分析各种群对于干扰类型的敏感性反应即是应用群落结构特征参数来反映生物适应的相对性。PCA 分析方法是广泛应用于数量分类和空间排序的成功方法^[34],其目的是对多维空间中大量的信息通过降维处理找到在低维空间中起主要作用的变量。通过 PCA 分析结果找到啮齿动物群落中各种群在前三维主成分上的因子负荷量大的变

量,从而确定在不同干扰条件下群落中主要种群的敏感性反应的特征,研究结果较好的表明应用该方法是正切实可行的。而深入分析在不同干扰强度定量后群落结构各参数的反应强度则需进一步研究。

尺度问题是自然科学的中心问题之一^[27],更是生态系统中的核心问题^[35]。所谓尺度是指观察研究对象(物体或过程)的空间分辨率或时间单位^[36],又标志着对所研究对象的了解水平。在生态学研究,空间尺度是指所研究生态系统的面积大小或者是单元的空间分辨水平^[37]。尺度在生态系统演替的空间分析中非常重要,但是如何正确的确定生态系统演替的空间和时间尺度,一直是深入讨论和研究的领域^[27]。但到目前为止,大多数科学研究结果均来源于小尺度(小区,小区域)研究,这些尺度研究结果在某种程度上反映了一定大尺度问题,但其准确度有多大还不不清楚^[18]。King 认为,不同等级上的生态系统之间存在信息交流,这种信息交流就构成了等级之间的相互关系,而这种联系使尺度上推和下推成为可能。尺度选择却经常按照人的感知能力或技术逻辑关系的限制来完成^[38]。长期以来,群落生态学家常常观察到来自群落外的、强大的自然力迅速破坏群落结构的现象,因为群落尺度接近于人类感官尺度,所以在这一尺度上干扰的影响显而易见^[39]。

在研究中,观察的组织尺度是在群落这个尺度上,空间尺度设计为两个观察尺度,一个是较小的标志区(面积 0.96 hm²),另一个是较大的线路调查区(面积 10 km²)。这两个不同观察尺度的选择主要是根据野外取样技术上能够完成和按照人的感知能力。在标志区采用笼捕的方法调查,在线路样地采用铁日法调查。两种方法的捕获率经方差分析差异不显著($p > 0.05$)。因此,在两种观察尺度上用啮齿动物群落中组成种的丰盛度(捕获量)来分析群落格局和变动趋势。从研究结果看,在同一种干扰条件下的生境中,在两种观察尺度上,虽然在两种尺度上群落的组成格局及其优势的敏感反应有差别,但从总体上分析却表现出较一致的特征,特别是在轮牧区、禁牧区和开垦区优势种群的敏感性反映表现的较为一致。这种结果一方面反映了阿拉善荒漠这样的生态系统在较大地域内较为一致,啮齿动物群落中的优势种群分布较为一致,因而在这两种尺度的改变中群落格局的变动趋势的尺度效应不十分明显;另一方面也意味着在这样的生境条件下,群落格局变动的空间尺度效应,则需在更大空间尺度或更多的空间尺度比较中进行深入研究,特别需应用 3S 技术研究点尺度(样地)、局部尺度(样带)和宏观尺度改变中群落格局的变动特征。

References:

- [1] Forman R T T, Godron M. Landscape Ecology. New York: John Wiley and Sons, 1986.
- [2] Holling C S. Cross-scale morphology, geometry and dynamics of ecosystems. Ecological Monograph, 1992, 62(4): 447 ~ 502.
- [3] MacArthur R H, Wilson E O. Theory of island biogeography. Princeton: Princeton University Press, 1967.
- [4] 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: 19 ~ 37.
- [5] David B L, Michael A M, Kirsten M P, et al. Habitat fragmentation, landscape context and mammalian assemblages in Southeastern Australia. Journal of Mammalogy, 2000, 81(3): 787 ~ 797.
- [6] Barbara J D, Lake D S, Scheiber E S G, et al. Habitat structure and regulation of local species diversity in a stony, stream. Ecological Monographs, 1998, 68(2): 237 ~ 257.
- [7] McCarthy M A, Lindenmayer D B. Incorporating meta-population dynamics of greater gliders into reserve design in disturbed landscapes. Ecology, 1999, 80: 651 ~ 667.
- [8] Rosenzweig M L. Species diversity in space and time. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1995.
- [9] Steen H, Ims R A, Sonerud G A. Spatial and temporal patterns of small-rodent population dynamics at a regional scale. Ecology, 1996, 77: 2365 ~ 2372.
- [10] Antonio U, Gloria D, Barbara A E, et al. Small mammals in agricultural areas of the western Uanos of Venezuela: community structure, habitat associations and relative densities. Journal of Mammalogy, 2000, 81(2): 536 ~ 548.
- [11] Mark V L, David R P. Assembly and disassembly of mammal communities in a fragmented temperate rain forest. Ecology, 2000, 81(6): 1517 ~ 1532.
- [12] James L M, Steve J P, David A E, et al. Scale invariant spatial-temporal patterns of field vole density. Journal of Animal Ecology, 2001, 70: 101 ~ 111.
- [13] Matthew J B, Norman A S. Diversity of a grassland rodent community at varying temporal scales: the role of ecologically dominant species. Journal of Mammalogy, 2001, 82(4): 974 ~ 983.
- [14] Stephen E W, Hellene M, John Winter. Spatial scale, species diversity and habitat structure small mammals in Australian tropical rain forest. Ecology,

2002, 85(5): 1317 ~ 1329.

- [15] Ma K M, Fu B J, Chen L D. Progress of landscape ecology studies. In: Li W H and Zhao J Z eds. Review and progress of ecology studies. Beijing: Meteorological Press, 2004. 534 ~ 553.
- [16] Li H R. Review on study of biodiversity and ecosystem functioning. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(3): 109 ~ 114.
- [17] Fu B J, Chen L D, Ma K M, *et al.* Principle and application of landscape ecology. Beijing: Science Press, 2001. 73 ~ 80.
- [18] Li M H, Peng S L, Shen W J, *et al.* Landscape ecology and restoration of degraded ecosystem. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(8): 1622 ~ 1628.
- [19] Lindenmayer D B, McCarthy M A, Parris K M, *et al.* Habitat fragmentation, landscape context, and mammalian assemblages in southeastern Australia. Journal of Mammalogy, 2000, 81(3): 787 ~ 797.
- [20] Lomolino M V and Perault D R. Assembly and disassembly of mammal communities in a fragmented temperate rain forest. Ecology, 2000, 81(16): 1517 ~ 1532.
- [21] Davies K F, Melbourne B A and Margules C R. Effects of within and between patch processes on community dynamics in a fragmentation experiment. Ecology, 2001, 82(7): 1830 ~ 1846.
- [22] Mackey R L and Currie D J. The diversity-disturbance relationship: Is it generally strong and peaked?. Ecology, 2001, 82(12): 3479 ~ 3492.
- [23] Donovan T M and Lamberson R H. Area-sensitive distributions counteract negative effects of habitat fragmentation on breeding birds. Ecology, 2001, 82(4): 1170 ~ 1179.
- [24] Boulanger T, Nichols J D, Hines J E, *et al.* Forest Fragmentation and bird community dynamics: inference at region scales. Ecology, 2001, 82(4): 1157 ~ 1169.
- [25] Hames R S, Rosenberg K V, Lowe J D, *et al.* Site reoccupation in fragmented landscapes: testing predictions of metapopulation theory. Journal of Animal Ecology, 2001, 70: 182 ~ 190.
- [26] Nupp T E and Swihart R K. Landscape-level correlates of small-mammal assemblages in forest fragments of farmland. J. of Mamm., 2000, 81(2): 512 ~ 526.
- [27] Jiang H, Zhang Y L, James R S. Spatial analysis of disturbance and ecosystem succession. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(9): 1861 ~ 1876.
- [28] Chen Y F, Dong M. Spatial heterogeneity in ecological system. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(2): 346 ~ 352.
- [29] Liu K, Ouyang Z Y, Wang X K, *et al.* Eco-environmental sensitivity and its spatial distribution in Gansu Province. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(12): 2711 ~ 2718.
- [30] Tao F. and Feng Z. Terrestrial ecosystem sensitivity to acid deposition in South China. Air, Water, and Soil Pollution, 1999.
- [31] Pulliam H R, Dunning J B, Jr, and Liu J. Population dynamics in complex landscape: a case study. Ecological Applications, 1992, 2: 165 ~ 177.
- [32] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. China's eco-environmental sensitivity and its spatial heterogeneity. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(1): 9 ~ 12.
- [33] Wang X K, Ouyang Z Y, Xiao H, *et al.* Distribution and division of sensitivity to water-caused soil loss in China. 2001, 21(1): 14 ~ 19.
- [34] Yang H X. Mathematics classification of plant ecology. Beijing: Science Press, 1981.
- [35] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology. Ecology, 1992, 73: 1943 ~ 1983.
- [36] Xiao D N, Bu R C, Li X Z. Spatial ecological theory and landscape heterogeneity. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(5): 453 ~ 461.
- [37] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. The characteristics and contents of landscape spatial analysis. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(7): 1135 ~ 1142.
- [38] Ding S Y. Ecology. Beijing: Science Press, 2004. 11 ~ 24.
- [39] Wu J G. Landscape Ecology—pattern, process, scale and hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2000.

参考文献:

- [15] 马克明,傅伯杰,陈利顶. 景观生态学研究进展. 见:李文华,赵景柱主编. 生态学研究回顾与展望. 北京:气象出版社,2004. 534 ~ 553.
- [16] 李慧蓉. 生物多样性和生态系统功能研究综述. 生态学报,2004,23(3):109 ~ 114.
- [17] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观生态学原理及应用. 北京:科学出版社,2001. 73 ~ 80.
- [18] 李明辉,彭少麟,申卫军,等. 景观生态学与退化生态系统恢复. 生态学报,2003,23(8):1622 ~ 1628.
- [27] 江洪,张艳丽,James R Stritholt. 干扰与生态系统演替的空间分析. 生态学报,2003,23(9):1861 ~ 1876.
- [28] 陈玉福,董鸣. 生态系统的空间异质性. 生态学报,2003,23(2):346 ~ 352.
- [29] 刘康,欧阳志云,王效科,等. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布. 生态学报,2003,23(12):2711 ~ 2718.
- [32] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究. 生态学报,2000,20(1):9 ~ 12.
- [33] 王效科,欧阳志云,肖寒,等. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究. 生态学报,2001,21(1):14 ~ 19.
- [34] 阳含熙. 植物生态学的数量分类方法. 北京:科学出版社,1981.
- [36] 肖笃宁,布仁仓,李秀珍. 生态空间理论与景观异质性. 生态学报,1997,17(5):453 ~ 461.
- [37] 陈文波,肖笃宁,李秀珍. 景观空间分析的特征和主要内容. 生态学报,2002,22(7):1135 ~ 1142.
- [38] 丁圣彦. 生态学. 北京:科学出版社,2004. 11 ~ 24.
- [39] 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,2000.