

DOI: 10.5846/stxb201802270393

韦锦云, 曾治高, 张晓磊, 帅凌鹰, 滕丽微, 颜文博, 刘振生. 栖息地荒漠化对蜥蜴群落组成的影响. 生态学报, 2019, 39(5): 1680-1687.

Wei J Y, Zeng Z G, Zhang X L, Shuai L Y, Teng L W, Yan W B, Liu Z S. Effects of habitat desertification on the community composition of lizards. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(5): 1680-1687.

## 栖息地荒漠化对蜥蜴群落组成的影响

韦锦云<sup>1,2</sup>, 曾治高<sup>2</sup>, 张晓磊<sup>1,2</sup>, 帅凌鹰<sup>3</sup>, 滕丽微<sup>1,5</sup>, 颜文博<sup>4</sup>, 刘振生<sup>1,5,\*</sup>

1 东北林业大学野生动物资源学院, 哈尔滨 150040

2 中国科学院动物研究所动物生态与保护生物学重点实验室, 北京 100101

3 淮北师范大学生命科学学院, 淮北 235000

4 陕西理工大学陕西省资源生物重点实验室, 汉中 723001

5 国家林业局野生动物保护学重点实验室, 哈尔滨 150040

**摘要:** 栖息地改变往往对动物群落及其物种多样性有重要影响, 但是目前关于栖息地荒漠化如何影响蜥蜴的群落组成鲜有研究。在内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗和达拉特旗地区通过样线法调查了三类不同荒漠化程度样地上的蜥蜴群落组成差异, 用典范对应分析探究了关键的影响因素。结果表明, 栖息地荒漠化使蜥蜴的群落组成发生显著变化, 从固定沙丘、半固定沙丘到流动沙丘, 草原沙蜥均是蜥蜴群落的优势物种, 密点麻蜥逐渐减少, 丽斑麻蜥则消失于荒漠化严重的半固定沙丘和流动沙丘中。随栖息地荒漠化程度的增加, 蜥蜴的数量显著减少, 密度显著降低, 蜥蜴物种的丰富度、香农-威纳 (Shannon-Weaver) 多样性指数和皮洛 (Pielou) 均匀性指数均逐次显著下降, 而辛普森 (Simpson) 优势度指数则逐次显著升高。这说明荒漠化不仅使蜥蜴群落组成变得简单, 同时造成了蜥蜴物种多样性的下降甚至丧失。荒漠化也使蜥蜴的栖息条件发生显著变化。植被高度、油蒿比例、裸地比例、隐蔽度、表层土壤含水量和表层土壤孔隙度在三类栖息样地之间均存在极显著差异。典范对应分析结果表明, 这些环境因子与蜥蜴群落组成的变化密切相关。总体而言, 草原沙蜥偏好裸地, 密点麻蜥偏好隐蔽性好且土壤湿润又疏松的区域, 而丽斑麻蜥则偏好植被高的区域。

**关键词:** 栖息地; 荒漠化; 蜥蜴; 群落组成

## Effects of habitat desertification on the community composition of lizards

WEI Jinyun<sup>1,2</sup>, ZENG Zhigao<sup>2</sup>, ZHANG Xiaolei<sup>1,2</sup>, SHUAI Lingying<sup>3</sup>, TENG Liwei<sup>1,5</sup>, YAN Wenbo<sup>4</sup>, LIU Zhensheng<sup>1,5,\*</sup>

1 College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Key Laboratory of Animal Ecology and Conservation Biology, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 College of Life Sciences, Huaibei Normal University, Huaibei 235000, China

4 Shaanxi Key Laboratory of Bio-Resources, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, China

5 Key Laboratory of Conservation Biology, State Forestry Administration, Harbin 150040, China

**Abstract:** Habitat alteration often has important impacts on animal community and species diversity, but only a few studies have been conducted on how habitat desertification affects community composition of lizards at present. In this study, we investigated the differences in the community composition of lizards among three types of sampling fields with different stages of desertification using the line transect method in Jungar Banner and Dalad Banner in the Erdos region of Inner Mongolia, China. Subsequently, we explored their key influencing factors through canonical correspondence analysis (CCA). The results of our investigations showed that habitat desertification led to significant changes in the community composition of

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31570526); 中国生物多样性监测网络 (Sino BON)

收稿日期: 2018-02-27; 网络出版日期: 2018-12-21

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhenshengliu@163.net

lizards. From the fixed and semi-fixed dunes to mobile dunes, the toad-headed lizard (*Phrynocephalus frontalis*) was the dominant species of the lizard communities, the multiocellated racerunner (*Eremias multiocellata*) showed gradual reduction in its population density, and the Mongolian racerunner (*E. argus*) disappeared in the semi-fixed and mobile dunes of severe desertification. With increasing habitat desertification in the three types of dunes, the population sizes and densities of different lizard species decreased gradually; the richness, Shannon-Weaver diversity index, and Pielou's evenness index of lizard species declined gradually; and the Simpson's dominance index increased significantly. These results indicated that desertification not only simplified the community composition of lizards, but also led to a decrease in lizard species diversity. Furthermore, desertification led to significant changes in the inhabited conditions of lizards. Significant differences were observed in vegetation height, proportion of *Artemisia ordosica*, bare ground and shelter percentages, and surface soil porosity and water content among the three sampling fields. The CCA results showed that these environmental factors were closely related to the changes in lizard community composition. In general, *P. frontalis* preferred the areas dominated by bare ground, while *E. multiocellata* preferred the region with sufficient shelter and loose moist soil. As for *E. argus*, this lizard species was frequently found in habitats with high vegetation.

**Key Words:** habitat; desertification; lizard; community composition

荒漠化是指包括气候变异和人类活动在内的各种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化现象<sup>[1]</sup>。荒漠化会影响地面植被的生长,改变微环境气候和土壤结构,威胁群落内动植物种类的生存,严重的话会导致生态环境恶化,甚至大幅度降低区域的生物多样性<sup>[2]</sup>。近些年随着全球气候变化加剧以及人类活动的干扰,全球生态环境持续恶化,荒漠化便是其中一个突出的环境问题<sup>[3]</sup>。关于荒漠化问题的研究已进行多年<sup>[4]</sup>,目前世界各国政府和科学家都在密切关注荒漠化对环境、经济和生物造成的不良影响,而栖息地荒漠化也成为了当前生态学研究的重点领域之一<sup>[5]</sup>。

蜥蜴是爬行动物中能够适应荒漠环境的典型代表类群<sup>[6]</sup>,是荒漠生态系统的重要组成部分,也是研究荒漠生态系统的模式动物<sup>[7]</sup>,目前国内外已有很多有关蜥蜴的研究成果,但多数是关于食性、生理及生态等方面的<sup>[8-10]</sup>。栖息地退化会影响蜥蜴的组成及多样性<sup>[11]</sup>,许多对栖息地改变的研究聚焦在蜥蜴群落变化及受干扰栖息地的保护对策上<sup>[12-13]</sup>。但是关于栖息地荒漠化对蜥蜴群落组成的影响鲜有研究。

栖息地的荒漠化往往伴随着植被退化、食物减少、竞争压力增加等问题<sup>[14-15]</sup>,从而导致栖息地中动植物群落组成的变化,包括生物种类、数量、群落结构和稳定性等<sup>[16-18]</sup>,使动植物群落结构简化、稳定性下降、物种多样性减少<sup>[19-20]</sup>。对于物种保护和土地管理而言,了解动物物种和群落如何响应栖息地改变是非常必要的<sup>[21]</sup>。

内蒙古的荒漠草原是草原沙蜥(*Phrynocephalus frontalis*)、密点麻蜥(*Eremias multiocellata*)、丽斑麻蜥(*E. argus*)等蜥蜴类的主要分布区域。自然地理条件造就了荒漠草原生态系统的生态脆弱性。干旱的气候环境、风蚀和土地不合理利用等因素使该地区出现严重的荒漠化问题<sup>[22]</sup>。然而草原荒漠化对蜥蜴的物种丰富度及群落组成有着怎样的影响尚不清楚。本研究通过调查不同荒漠化程度的栖息地中蜥蜴群落组成及数量状况,分析探讨荒漠化对蜥蜴的群落组成与多样性的影响及其决定因素,为该地区蜥蜴动物生态学的深入研究奠定基础,也为蜥蜴类物种的保护提供理论依据。

## 1 研究地区概况

研究地区位于内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗和达拉特旗(40°07'—40°25'N, 109°20'—111°09'E),地处库布齐沙漠东部的边缘,海拔高度约为 1100 m。该地区位于鄂尔多斯高原东北部,年均气温约为 6.0—9.0℃左右,年降水量约为 400 mm,而年蒸发量则为 2000 mm 左右,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,属于典型的大陆性季风气候。受当地气候的影响,该区域的生境类型属于典型的荒漠-草原生态系统。受降水量和土壤

类型的影响,该地区的植被稀少,植物种类以耐盐碱耐干旱的沙生植物为主,主要有油蒿(*Artemisia ordosica*)、沙柳(*Salix cheilophila*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)等。植被稀少使该地区分布的野生动物资源比较贫乏,鸟类主要为乌鸦(*Corvus corone*)、喜鹊(*Pica pica*)、戴胜(*Upupa epops*)和环颈雉(*Phasianus colchicus*)等,爬行类主要有草原沙蜥、丽斑麻蜥和密点麻蜥,哺乳类主要有沙鼠(*Gerbillinae*)、刺猬(*Erinaceus europaeus*)、三趾跳鼠(*Dipus sagitta* Pallas)和蒙古兔(*Lepus tolai*)等<sup>[23]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 蜥蜴群落调查

蜥蜴群落组成的调查选定在相互间隔 20—150 km 的、植被盖度差异较大的 3 类栖息地(样地)进行。3 类调查样地包括位于准格尔旗的固定沙丘(40°11′—40°14′N, 111°05′—111°09′E; 植被盖度>50%)与半固定沙丘(40°07′—40°09′N, 111°00′—111°05′E; 植被盖度为 20—40%),及达拉特旗的流动沙丘(40°12′—40°18′N, 109°46′—109°52′E; 植被盖度<10%)。植被盖度的高低反映了蜥蜴栖息地的荒漠化程度。通过样线法调查每类样地中的蜥蜴种类与数量。在每类样地上布设 12 条大致平行的、东西走向的、700 m 长的固定样线,各样线相互间隔大于 500 m。布设每条样线时,首先选定并标记起点,然后用手持地理信息系统(GPS)记录其位置数据,再通过 GPS 记录的行走距离来确定 700 m 样线长的终点并做好标记。沿样线按 1.5 km/h 的速度行走调查,调查时记录样线两侧 2 m 宽范围内的蜥蜴的种类和数量。2016 年 6—7 月及 8—9 月分别进行了 1 次调查,每次对每条样线重复调查 5 次。根据蜥蜴的日常活动规律,样线调查时间定为 8:00—18:00。这段时间被划分为间隔 2 小时的 5 个时间段,每条样线的 5 次调查重复分别在这 5 个不同时间段内进行,即每条样线在每个时间段各调查一次,以使样线间的蜥蜴调查数据可比,为此对每类样地上 12 条线的调查至少需要 6 个晴天才能完成。

### 2.2 环境因子测定

植被高度、油蒿比例、裸地比例、隐蔽度、温度、土壤含水量和土壤孔隙度等是影响蜥蜴群落组成的重要环境因素<sup>[24]</sup>。蜥蜴调查期间,测定了每条样线的这些环境因子。在每条样线上随机选一个 50 m×50 m 的大样方,在样方的四角以及中心分别做一个 1 m×1 m 的小样方,测定和记录小样方中的植被特征如植被高度、油蒿比例、裸地比例和隐蔽度等(方法见 Zeng 等<sup>[24]</sup>)。其中隐蔽度的测量方法为:将一个与蜥蜴体型大小相近的模型放在小样方的中心,分别从 4 个角方向距中心点 5 m 处估测模型的可见长度比例  $a$ ,每个角方向的隐蔽度为  $(1-a) \times 100\%$ ,每个小样方的隐蔽度为 4 个值的平均。在每个大样方外围随机选 3 处地方用 100 cm<sup>3</sup> 规格的环刀取表层(0—5 cm 深)土壤样本,然后按标准的方法处理土样<sup>[25]</sup>。环刀取得的土样移入已知重量的铝盒并带回室内称湿重,然后土样被放入烘箱中在 105℃ 下烘干 24 h 以获得土样干重,从而测定土壤含水量和土壤容重<sup>[26]</sup>。土壤孔隙度( $P$ )的计算为: $P = (1 - \text{土壤容重} / \text{土壤密度}) \times 100\%$ ,土壤密度采用密度值 2.65 g/cm<sup>3</sup>。此外,在大样方内随机选择一处裸地用 1 个纽扣式温度记录器(iButton DS1921)自动测定记录了调查期间的地表温度。

### 2.3 数据处理与分析

首先按每条样线及每类样地(栖息地)分别汇总了记录到的蜥蜴种类及其数量,通过列联表卡方检验比较了三类栖息地之间的蜥蜴群落组成差异。再计算了每条样线上各蜥蜴物种的种群密度、蜥蜴的物种丰富度( $R$ ,即蜥蜴物种数  $S$ )、Shannon-Weaver 多样性指数( $H'$ )、辛普森优势度指数( $D$ )和 Pielou 均匀性指数( $E$ ),其中  $H' = - \sum P_i \ln P_i$ <sup>[27]</sup>,  $D = \sum (P_i)^2$ <sup>[28]</sup>,  $E = H' / \ln S$ <sup>[29]</sup>,式中  $P_i$  表示物种  $i$  的数量占有所有物种总数的百分比。然后用单因素方差分析(One-way ANOVA)分别确定了这些群落指数是否存在显著的栖息地间差异,也用  $t$  检验比较了某类栖息地上不同蜥蜴物种的数量差异及某种蜥蜴密度在两类栖息地之间的差异。此外,对每条样线上测定的 7 类环境因子分别计算出平均值作为分析用数据,同样用 ANOVA 和  $t$  检验比较分析了这些环境因子的栖息地间差异。这些统计分析工作均在 SPSS 20.0 上进行的。

用典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)探究了栖息地特征与蜥蜴群落组成的关联。CCA是关联物种组成变化(因变量)和栖息地特征变化(自变量)的一种直接排序方法。本研究的CCA中,自变量是栖息地变量(植被高度、油蒿比例、裸地比例、隐蔽度、地表平均温度、表层土壤含水量和表层土壤孔隙度)矩阵,因变量是3种蜥蜴的数量即多度 Abundance 数据矩阵。CCA统计分析是在R统计软件(3.1.3版本)中的Vegan包内完成的<sup>[30]</sup>。

### 3 结果

#### 3.1 蜥蜴的群落组成及多样性

栖息地荒漠化导致蜥蜴的群落组成发生了显著的变化,固定沙丘、半固定沙丘和流动沙丘之间的蜥蜴群落组成存在差异( $\chi^2 = 763.09$ ,  $df = 4$ ,  $P < 0.001$ ; 图1)。在固定沙丘中分布有3种蜥蜴,但它们的种群数量相互间存在明显差异( $F_{2,33} = 25.39$ ,  $P < 0.001$ ),其中以草原沙蜥为优势物种,密点麻蜥次之,丽斑麻蜥最少(表1)。在半固定沙丘中分布有草原沙蜥和密点麻蜥2个物种,前者的数量显著多于后者( $t = 17.04$ ,  $df = 22$ ,  $P < 0.001$ ; 表1)。在流动沙丘中主要分布有草原沙蜥,很少见到密点麻蜥,两者的数量差异非常显著( $t = 43.34$ ,  $df = 22$ ,  $P < 0.001$ ; 表1)。虽然草原沙蜥在3类栖息地中均占有很大的比例(>58.65%),且在流动沙丘的比例达到最大的99.00%(图1),但它的密度在固定沙丘和半固定沙丘中要显著大于在流动沙丘中( $F_{2,33} = 5.23$ ,  $P = 0.011$ ; 表2)。从固定沙丘到半固定沙丘再到流动沙丘,密点麻蜥的密度是显著递减的( $F_{2,33} = 31.70$ ,  $P < 0.001$ ),相互间也存在显著差异(表2)。丽斑麻蜥仅见于固定沙丘中,其密度显著低于同域分布的草原沙蜥和密点麻蜥的密度( $F_{2,33} = 25.20$ ,  $P < 0.001$ )。

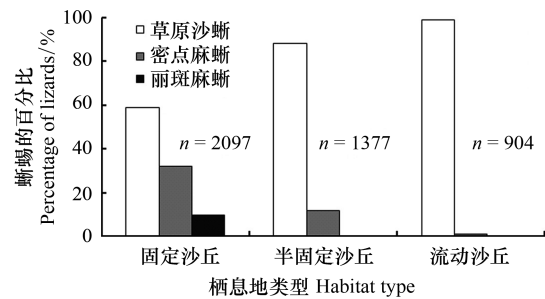


图1 三类栖息地的蜥蜴群落组成

Fig.1 Composition of the lizard community in three habitat types

n: 蜥蜴数量, Lizard numbers

表1 三类栖息地中不同蜥蜴物种的种群数量差异

Table 1 Differences in population size of different lizards in three habitat types

栖息地类型 Habitat type	蜥蜴物种 Lizard species		
	草原沙蜥 <i>Phrynocephalus frontalis</i>	密点麻蜥 <i>Eremias multiocellata</i>	丽斑麻蜥 <i>E. argus</i>
固定沙丘 Fixed dune	102.50±37.55a	55.67±29.34b	16.58±18.77c
半固定沙丘 Semi-fixed dune	101.42±16.13a	13.33±7.77b	0c
流动沙丘 Mobile dune	74.58±5.82a	0.75±0.97b	0b

蜥蜴数量展示为平均值±标准差,同一行中标有不同字母的数据表示有显著的统计差异( $P < 0.05$ )

表2 栖息地荒漠化对各蜥蜴物种种群密度的影响

Table 2 Effects of habitat desertification on the population density of different lizards

蜥蜴物种 Lizard species	栖息地类型 Habitat type		
	固定沙丘 Fixed dune	半固定沙丘 Semi-fixed dune	流动沙丘 Mobile dune
草原沙蜥 <i>Phrynocephalus frontalis</i>	14.63±5.36a	14.49±2.32a	10.67±0.84b
密点麻蜥 <i>Eremias multiocellata</i>	7.95±4.22a	1.92±1.11b	0.13±0.16c
丽斑麻蜥 <i>E. argus</i>	2.37±2.69a	0b	0b

种群密度(只/km)数据展示为平均值±标准差,同一行中标有不同字母的数据表示有显著的统计差异( $P < 0.05$ )

蜥蜴群落的物种多样性在3类栖息地之间也存在显著差异(表3)。从固定沙丘、半固定沙丘到流动沙丘,蜥蜴物种的丰富度( $F_{2,33} = 87.06$ ,  $P < 0.001$ )、Shannon-Weaver多样性指数( $F_{2,33} = 156.37$ ,  $P < 0.001$ )和Pielou均匀性指数( $F_{2,33} = 78.70$ ,  $P < 0.001$ )均逐次显著下降,而辛普森优势度指数( $F_{2,33} = 155.73$ ,  $P < 0.001$ )则逐次显



著升高。可见,蜥蜴栖息地的沙漠化使其物种多样性降低并出现物种丧失的现象,且在荒漠化栖息地上几乎只出现优势物种草原沙蜥。

表 3 三类栖息地间的蜥蜴物种多样性比较

Table 3 Comparison of lizard species diversity among three habitat types

多样性指数 Diversity index	栖息地类型 Habitat type		
	固定沙丘 Fixed dune	半固定沙丘 Semi-fixed dune	流动沙丘 Mobile dune
物种丰富度 Species richness ( $R$ )	3.00±0.00a	2.00±0.00b	1.42±0.52c
香农-威纳多样性指数 Shannon-eaver diversity index ( $H'$ )	0.80±0.12a	0.33±0.12b	0.05±0.06c
辛普森优势度指数 Simpson's dominance index ( $D$ )	0.50±0.07c	0.81±0.09b	0.98±0.03a
皮洛均匀性指数 Pielou's evenness index ( $E$ )	0.73±0.11a	0.48±0.18b	0.07±0.09c

指数值展示为平均值±标准差,同一行中标有不同字母的数据表示有显著的统计差异( $P<0.05$ )

### 3.2 影响蜥蜴群落组成的因素

植被高度、油蒿比例、裸地比例、隐蔽度、表层土壤含水量和表层土壤孔隙度在三类栖息地之间均存在极显著的差异,而地表平均温度仅是在流动沙丘较高(表 4)。基于 999 次蒙特卡洛置换 (Monte Carlo permutations) 的 CCA 结果显示,栖息地变量和蜥蜴多度之间存在显著的关系( $\chi^2=0.15, F_{7,28}=8.83; P=0.001$ ; 图 2)。CCA 1 轴( $\chi^2=0.14, F_{1,33}=67.05, P=0.001$ )和 CCA2 轴( $\chi^2=0.01, F_{1,33}=5.81, P=0.015$ )合计能解释蜥蜴多度数据中总变异的 68.83%。CCA 1 轴与裸地比例( $R=0.94$ )显著正相关,而与隐蔽度( $R=-0.81$ )和表层土壤含水量( $R=-0.91$ )显著负相关。CCA 2 轴与植被高度( $R=0.29$ )和地表平均温度( $R=0.20$ )正相关,与油蒿比例( $R=-0.38$ )和表层土壤孔隙度( $R=-0.36$ )呈负相关。进一步用 Vegan 包提供的 Envfit 函数进行环境因子效应显著性检验,发现裸地比例( $r^2=0.71, P=0.001$ )、隐蔽度( $r^2=0.53, P=0.001$ )、表层土壤含水量( $r^2=0.67, P=0.001$ )、油蒿比例( $r^2=0.27, P=0.01$ )和表层土壤孔隙度( $r^2=0.23, P=0.04$ )5 个变量对物种分布具有显著影响,植被高度( $r^2=0.16, P=0.1$ )所产生的效应为边缘显著,而地表平均温度( $r^2=0.01, P=0.86$ )则对物种分布所产生的效应不显著。总体而言,草原沙蜥偏好裸地,密点麻蜥偏好隐蔽性好且湿润又疏松的区域,而丽斑麻蜥则偏好植被高的区域(图 2)。

表 4 三类栖息地间主要环境因子的差异

Table 4 Differences of key environmental factors among three habitat types

环境因子 Environmental factors	栖息地类型 Habitat type			ANOVA
	固定沙丘 Fixed dune	半固定沙丘 Semi-fixed dune	流动沙丘 Mobile dune	
植被高度 VH/cm	46.84±11.10a	31.46±7.92b	39.33±14.28a	$F_{2,33}=5.47, P=0.009$
油蒿比例 AOP/%	61.62±14.32a	62.87±16.10a	18.42±11.19b	$F_{2,33}=39.14, P<0.001$
裸地比例 BP/%	23.83±6.74c	55.58±7.13b	85.00±5.15a	$F_{2,33}=274.38, P<0.001$
隐蔽度 Sp/%	57.10±3.68a	44.54±5.03b	23.98±5.49c	$F_{2,33}=145.79, P<0.001$
地表平均温度 GSMT/°C	28.80±1.59ab	28.00±0.98b	29.44±0.95a	$F_{2,30}=3.57, P=0.041$
表层土壤含水量 W/%	3.22±0.59a	1.30±0.30b	0.94±0.22c	$F_{2,33}=111.33, P<0.001$
表层土壤孔隙度 P/%	43.65±0.69a	42.80±0.49b	43.49±0.36a	$F_{2,33}=8.694, P=0.001$

环境因子的值展示为平均值±标准差,同一行中标有不同字母的数据表示有显著的统计差异( $P<0.05$ ); ANOVA: 方差分析, Analysis of variance; VH: 植被高度, Vegetation height; BP: 裸地比例, Bare ground percent; Sp: 隐蔽度, Shelter percent; GSMT: 地表平均温度, Ground surface mean temperature; W: 表层土壤含水量, Water content of surface soil; AOP: 油蒿比例, Proportion of *Artemisia ordosica*; P: 表层土壤孔隙度, Surface soil porosity

#### 4 讨论

栖息地改变往往对生物群落有重要影响<sup>[31-32]</sup>。栖息地荒漠化下地表植被显著减少致使裸地比例大增,显著改变了动物栖息的环境条件。蜥蜴类对栖息地的改变尤其敏感<sup>[13]</sup>。本研究表明,栖息地荒漠化导致了蜥蜴群落组成发生显著变化,蜥蜴的数量、密度及物种丰富度与多样性也随栖息地荒漠化程度的加剧而减小或降低。栖息地改变的这种负面影响比较普遍<sup>[13,33]</sup>。在马达加斯加北部,虽然果园耕作区的蜥蜴物种丰富度未受影响,但其多样性已仅有森林中的一半,而森林皆伐地区的蜥蜴种类、数量及多样性均显著降低<sup>[13]</sup>。植被条件的差异也使未受保护的退化栖息地有比受保护栖息地明显更低的蜥蜴物种丰富度和数量<sup>[34]</sup>。

草原沙蜥是唯一被发现在固定沙丘、半固定沙丘与流动沙丘 3 类栖息地均有分布的蜥蜴物种,而且是这 3 类栖息地的优势物种(图 1,表 1)。分析表明,草原沙蜥偏好裸地(图 2),所占蜥蜴数量的百分比也随裸地比例的增大而增大(图 1)。可见裸地是影响草原沙蜥分布的主要因素之一。此前的研究表明,草原沙蜥是裸地比例大的栖息地上的优势种,很少分布在植被盖度大、裸地少的区域<sup>[24]</sup>。草原沙蜥偏好裸地与其体型特征、运动和体温调节有关<sup>[24,35]</sup>。草原沙蜥属于鬣蜥科沙蜥属,头部扁平,吻部圆钝,体表粗糙,适合栖息在植被稀疏、地表裸露的地区。在裸露沙地上草原沙蜥有更好的运动表现及热调节环境<sup>[24]</sup>。流动沙丘的地表温度也是相对较高的,分布在其中的草原沙蜥有更好的热环境。但 CCA 结果表明,地表平均温度对蜥蜴分布影响不显著。这可能是被其他更重要的环境因子影响所掩盖的缘故。从固定沙丘、半固定沙丘到流动沙丘,栖息地荒漠化程度越来越严重,3 类栖息地中的裸地比例逐渐升高(表 4)。但是,草原沙蜥的数量并没有随之增加,反而逐渐减少(表 1)。植被丧失后在非洲荒漠沙丘栖息的棘趾蜥(*Acanthodactylus longipes*)数量也是大幅度下降的<sup>[36]</sup>。这种现象可能与隐蔽度下降和可利用食物资源减少有关<sup>[23,36-37]</sup>。荒漠裸地虽然有利于蜥蜴活动,但也降低了隐蔽度,使蜥蜴更容易被天敌发现;此外,裸地比例增加意味着植被减少,一些依赖植物底栖或以植物为食的昆虫随之减少,致使蜥蜴的可利用食物相应减少,种群数量随之下降<sup>[24]</sup>。

栖息地荒漠化使蜥蜴群落组成发生显著变化主要体现为丽斑麻蜥在半固定沙丘与流动沙丘中的消失及密点麻蜥在流动沙丘中的几近消失(图 1,表 1,表 2)。与沙蜥属物种相比,麻蜥属蜥蜴对生存环境的要求更高,因此也更容易受到环境因子变化的影响。植被条件的变化对丽斑麻蜥和密点麻蜥分布的影响是至关重要的<sup>[24]</sup>。丽斑麻蜥和密点麻蜥的个体大多体形细长、体表光滑、吻端较尖,生性机警,喜欢生活在植被茂密、土壤湿润的草本灌丛中<sup>[38]</sup>。丽斑麻蜥在植被高、植被盖度大和裸地比例低的栖息地上有大量的分布,而密点麻蜥则偏好在植被不太高但有一定隐蔽条件的区域栖息<sup>[24]</sup>。本研究也表明,丽斑麻蜥偏好植被高的区域(图 2),该物种也仅分布于植被高的固定沙丘中(表 1,表 4),而密点麻蜥偏好隐蔽性好且土壤湿润又疏松的区域(图 2)。在有丽斑麻蜥分布的固定沙丘中,自然植被的退化程度较小,植物种类相对较多,除了油蒿之外,柠条锦鸡儿、沙柳、猪毛蒿(*A. scoparia*)等比较高的植物也占了很大的比例;而在半固定沙丘和流动沙丘中,由于

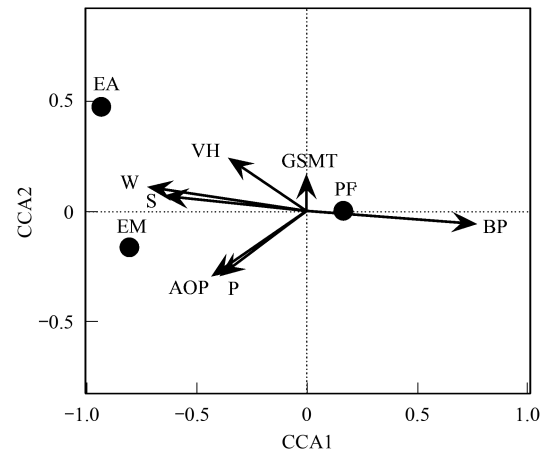


图 2 关联栖息地特征和蜥蜴多度的典范对应分析(CCA)双序图  
Fig. 2 Biplots of Canonical Correspondence Analysis (CCA) linking habitat characteristics with lizard abundance

黑圆点代表 3 个蜥蜴物种在第一和第二 CCA 轴上的最佳生态位,栖息地变量由不同向量(箭头)表示,黑圆点(物种)和向量(栖息地特征)之间的距离标示了栖息地和物种之间关系的强度。PF: 草原沙蜥, *Phrynocephalus frontalis*; EM: 密点麻蜥, *Eremias multiocellata*; EA: 丽斑麻蜥, *E. argus*; VH: 植被高度, Vegetation height; BP: 裸地比例, Bare ground percent; S: 隐蔽度, Shelter percent; GSMT: 地表平均温度, Ground surface mean temperature; W: 表层土壤含水量, Water content of surface soil; AOP: 油蒿比例, Proportion of *Artemisia ordosica*; P: 表层土壤孔隙度, Surface soil porosity

荒漠化的影响,植被退化严重,植被主要以油蒿、沙蓬、虫实(*Corispermum hyssopifolium*)等低矮植物为主,不利于丽斑麻蜥的生存。从固定沙丘、半固定沙丘到流动沙丘,密点麻蜥的种群密度逐渐显著降低(表2),这与植被退化、土壤表面的含水率、孔隙度的下降有关(图2)。调查样地的植被以多年生的油蒿为主,油蒿是从生植物,能形成隐蔽性好的茂密草丛,密点麻蜥喜欢在油蒿丛之间活动、觅食,也倾向于开阔的沙土地活动<sup>[24,39]</sup>。但是,荒漠化使植被减少,油蒿丛变得稀疏,而且丛与丛之间的距离不断变大,这使密点麻蜥活动时被捕食的风险增加,因而不利于该物种的生存。沙漠化导致土壤特性发生变化<sup>[40]</sup>,土壤表面的含水量减少而使土壤干燥,孔隙度下降又使土壤硬度增加,这些均不利于穴居的麻蜥属物种生存。因此,栖息地沙漠化使蜥蜴的物种丰富度逐渐下降,也进一步导致了蜥蜴物种多样性的降低甚至丧失。

然而,栖息地荒漠化并非简单的环境变化问题,因为它涉及到气候变暖、环境保护、生物多样性保护等生态方面的问题,而且它是一个动态变化的过程,需要保持长期的持续关注<sup>[41]</sup>。本研究以荒漠生物群落中的蜥蜴为研究对象,阐释了栖息地荒漠化对蜥蜴群落组成的影响,而关于蜥蜴如何响应栖息地荒漠化的问题还有待后续的深入研究,以期为维持荒漠生态系统的稳定性和多样性及保护荒漠蜥蜴物种提供依据。

总之,栖息地荒漠化导致了蜥蜴群落组成发生显著变化。从固定沙丘、半固定沙丘到流动沙丘,蜥蜴群落的结构变得简单化,草原沙蜥均是蜥蜴群落的优势物种,而密点麻蜥和丽斑麻蜥则逐渐减少或消失。这致使栖息地荒漠化下蜥蜴物种的丰富度、香农-威纳多样性指数和皮洛均匀性指数均逐次显著下降,而其辛普森优势度指数则逐次显著升高。这说明荒漠化不仅使蜥蜴群落组成变得简单,也造成了蜥蜴物种多样性的下降甚至丧失。典范对应分析表明,栖息地荒漠化对蜥蜴群落组成的这种影响与植被高度、油蒿比例、裸地比例、隐蔽度和表层土壤含水量和表层土壤孔隙度等环境因子的变化密切相关。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] 郭瑞霞,管晓丹,张艳婷.我国荒漠化主要研究进展.干旱气象,2015,33(3):505-513.
- [ 2 ] Yoshihiko H, Hiroshi K, Sudesiqin, Su GC, Bao YH. Desertification of the typical steppe landscape under field/stock-farming management: An assessment in Wufuhao Settlement, Central Inner Mongolia. *Journal of Landscape Ecology*, 2011, 4(1): 30-41.
- [ 3 ] Mor-Mussery A, Leu S, Budovsky A, Lensky I. Plant-soil interactions and desertification: a case study in the northern Negev, Israel. *Arid Land Research and Management*, 2015, 29(1): 85-97.
- [ 4 ] Zhang C, McBean E A. Estimation of desertification risk from soil erosion: a case study for Gansu Province, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2016, 30(8): 2215-2229.
- [ 5 ] Heshmati G A, Squires V R. *Combating Desertification in Asia, Africa and the Middle East: Proven Practices*. Berlin, Germany: Springer Netherlands, 2013: 3-20.
- [ 6 ] Pianka E R. *Ecology and Natural History of Desert Lizards: Analyses of the Ecological Niche and Community Structure*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1986.
- [ 7 ] Breedveld M C, San-Jose L M, Romero-Diaz C, Roldan E R S, Fitze P S. Mate availability affects the trade-off between producing one or multiple annual clutches. *Animal Behaviour*, 2017, 123: 43-51.
- [ 8 ] Huang X B, Wu H H, Tu X B, Zhang Z R, Su H T, Shi Y M, Wang G J, Cao G C, Nong X Q, Zhang Z H. Diets structure of a common lizard *Eremiasargus* and their effects on grasshoppers: implications for a potential biological agent. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2016, 19(1): 133-138.
- [ 9 ] Kubička L, Starostová Z, Kratochvíl L. Temperature-dependent rate of clutch production in a tropical lizard (*Paroedura picta*; Gekkonidae): Intraspecific test of the metabolic theory of ecology. *Journal of Thermal Biology*, 2012, 37(3): 179-184.
- [ 10 ] Shea T K, DuBois P M, Claunch N M, Murphey N E, Rucker K A, Brewster R A, Taylor E N. Oxygen concentration affects upper thermal tolerance in a terrestrial vertebrate. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2016, 199: 87-94.
- [ 11 ] Pelegrin N, Bucher E H. Effects of habitat degradation on the lizard assemblage in the Arid Chaco, central Argentina. *Journal of Arid Environments*, 2012, 79: 13-19.
- [ 12 ] Taylor J E, Fox B J. Disturbance effects from fire and mining produce different lizard communities in eastern Australian forests. *Austral Ecology*, 2001, 26(2): 193-204.
- [ 13 ] D'Cruze N, Kumar S. Effects of anthropogenic activities on lizard communities in northern Madagascar. *Animal Conservation*, 2011, 14(5):

- 542-552.
- [14] Maestre F T, Escudero A. Is the patch size distribution of vegetation a suitable indicator of desertification processes? *Ecology*, 2009, 90(7): 1729-1735.
- [15] 吕世海, 卢欣石, 高吉喜. 呼伦贝尔草地风蚀沙化土壤动物对环境退化的响应. *应用生态学报*, 2007, 18(9): 2055-2060.
- [16] 关文彬, 曾德慧, 姜凤岐. 中国东北西部地区沙质荒漠化过程与植被动态关系的生态学研究——群落多样性与沙质荒漠化过程. *生态学报*, 2000, 20(1): 93-98.
- [17] Zhao HL, Li J, Liu RT, Zhou RL, Qu H, Pan CC. Effects of desertification on temporal and spatial distribution of soil macro-arthropods in Horqin sandy grassland, Inner Mongolia. *Geoderma*, 2014, 223-225: 62-67.
- [18] 魏婷婷, 吴波. 共和盆地沙质荒漠化过程植被群落特征变化. *生态环境学报*, 2011, 20(12): 1788-1793.
- [19] 李昌龙, 徐先英, 金红喜, 王多泽, 李菁菁. 玛曲高寒草甸沙化过程中群落结构与植物多样性. *生态学报*, 2014, 34(14): 3953-3961.
- [20] Marinho F P, Mazzochini G G, Manhães A P, Weisser W W, Ganade G. Effects of past and present land use on vegetation cover and regeneration in a tropical dryland forest. *Journal of Arid Environments*, 2016, 132: 26-33.
- [21] Scott D M, Brown D, Mahood S, Denton B, Silburn A, Rakotondraparany F. The impacts of forest clearance on lizard, small mammal and bird communities in the arid spiny forest, southern Madagascar. *Biological Conservation*, 2006, 127(1): 72-87.
- [22] Yang X, Zhang K, Jia B, Ci L. Desertification assessment in China: an overview. *Journal of Arid Environments*, 2005, 63(2): 517-531.
- [23] 赵雪. 草原沙蜥 (*Phrynocephalus frontalis*) 的种群密度、食性及两性异形研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2014.
- [24] Zeng Z G, Bi J H, Li S R, Wang Y, Robbins T R, Chen S Y, Du W G. Habitat alteration influences a desert steppe lizard community: implications of species-specific preferences and performance. *Herpetological Monographs*, 2016, 30(1): 34-48.
- [25] 王艳丽. 环刀法测定土壤田间持水量实验结果分析. *地下水*, 2016, 38(2): 55-57.
- [26] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [27] Shannon C E, Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, USA: University of Illinois Press, 1949.
- [28] Magurran A E. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton, New Jersey, USA: Princeton University Press, 1988.
- [29] Pielou E C. *Ecological Diversity*. New York, USA: Wiley, 1975.
- [30] Oksanen J, Blanchet FG, Friendly M, Kindt R, Legendre P, McGlinn D, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, SzoecsE, Wagner H. *Vegan: community ecology package*. R package version 2.3-5. (2018-05-17). <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- [31] Crooks J A. Habitat alteration and community-level effects of an exotic mussel, *Musculista senhousia*. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, 162: 137-152.
- [32] Cosentino B J, Schooley R L, Bestelmeyer B T, Coffman J M. Response of lizard community structure to desert grassland restoration mediated by a keystone rodent. *Biodiversity and Conservation*, 2013, 22(4): 921-935.
- [33] Todd B D, Andrews K M. Response of a reptile guild to forest harvesting. *Conservation Biology*, 2008, 22(3): 753-761.
- [34] Attum O, Eason P, Cobbs G, Baha El Din S M. Response of a desert lizard community to habitat degradation: do ideas about habitat specialists/generalists hold? *Biological Conservation*, 2006, 133(1): 52-62.
- [35] 连雪. 草原沙蜥 (*Phrynocephalus frontalis*) 种群的时空分布、栖息地选择及其对控制虫害的作用[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2011.
- [36] Attum O, Eason P K. Effects of vegetation loss on a sand dune lizard. *Journal of Wildlife Management*, 2006, 70(1): 27-30.
- [37] 张晓磊, 曾治高, 韦锦云, 滕丽微, 颜文博, 刘振生. 栖息地荒漠化对草原沙蜥食性的影响. *生态学报*, 2018, 38(19), doi: 10.5846/stxb201709271750.
- [38] 曹敖日格勒. 密点麻蜥 (*Eremias multiocellata*) 繁殖生态学研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2012.
- [39] Bi J H, Wang Y, Li S R, Zeng Z G. Is habitat preference associated with locomotor performance in multiocellated racerunners (*Eremias multiocellata*) from a desert steppe? *Asian Herpetological Research*, 2015, 6(2): 143-149.
- [40] Wang XX, Liu T X, Li F L, Gao R Z, Yang X M, Duan L M, Luo Y Y, Li R. Simulated soil erosion from a semiarid typical steppe watershed using an integrated aeolian and fluvial prediction model. *Hydrological Processes*, 2014, 28(2): 325-340.
- [41] 银山. 内蒙古浑善达克沙地荒漠化动态研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.