

青藏高原东缘高原鼢鼠分布区的环境因子特征研究

楚彬,包达尔罕,张飞宇,周睿,叶国辉,华铄泽,花立民

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:物种分布是物种对环境长期适应和选择的结果,研究物种分布对于了解种群特征以及种群与环境的关系有特殊意义。为客观反映高原鼢鼠(*Myospalax baileyi*)地理分布范围,并探讨高原鼢鼠分布与环境因子的关系,在青藏高原东缘实地调查 238 处高原鼢鼠分布点,并从 WorldClim 和 SoilGrid 数据库分别选取 19 个气候变量和 4 个土壤变量,分析高原鼢鼠分布区的环境因子特征。结果表明:高原鼢鼠主要分布在 E 100°~102°、N 34°~36°N 以及海拔 3 000~4 000 m 的高寒草甸区;青藏高原温度日较差、最暖月最高温、最湿季平均温、最暖季平均温、年均降水量、最湿月降水量以及最湿季降水量是影响高原鼢鼠分布的主要气候因子,高原鼢鼠分布与这些气候因子均表现出单峰响应关系。此外,高原鼢鼠分布与土壤因子(土壤水分含量、土壤容重、土壤粘粒含量和土壤砂粒含量)也表现出单峰响应关系。

关键词:分布区;种群动态;高原鼢鼠;高寒草甸

中图分类号:Q958 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)05-0052-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.05.008

生物的地理分布是生物与环境长期适应的结果,也是生物重要的空间特征^[1]。非生物因素、生物间的相互作用、生物的迁移能力和生物对新环境的适应能力等是决定生物分布的主要因素^[2-3]。大尺度下,气候是决定生物分布范围和格局的主要因素,其他因素主要在较小的空间尺度作用于生物分布^[4]。因此,探讨生物分布与环境因子的关系不仅对了解生物与环境的协同进化具有重要的意义,也是明晰生物多样性保护的前提。

高原鼢鼠(*Myospalax baileyi*)是青藏高原独有

的地下啮齿动物,主要以植物根系为食^[5]。由于其挖掘洞道和推土造丘行为影响到草地土壤更新以及植物物种多样性,因此在高寒草甸生态系统中有重要的生态功能,号称青藏高原高寒草甸的“生态系统工程师”^[6-7]。但是,当高原鼢鼠种群密度超出环境容纳量时,其推出土丘、采食牧草的行为将造成草地裸地增加和生产力下降,导致草地退化^[8]。高原鼢鼠危害的发生与其栖息地选择有着密切的关系。目前,已有大量关于高原鼢鼠栖息地特征及选择的研究报道,这些研究发现高原鼢鼠偏好栖息在土壤疏松和土壤水分较高的区域^[9-11]。然而,这些研究都是基于小尺度探讨高原鼢鼠的生境特征,大尺度下的研究还较为缺乏。因此,本研究通过实地调查高原鼢鼠分布点,结合气候和土壤数据,分析大尺度下高原鼢鼠分布区的环境因子特征,以期为今后高原鼢鼠种群生态学的研究提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 高原鼢鼠分布点数据获取

2016~2019年,在青藏高原的四川省、青海省和

收稿日期:2019-12-18; **修回日期:**2020-04-16

基金项目:川西北和甘南退化高寒生态系统综合整治项目(2017YFC0504803);甘肃省重点研发计划项目(17YF1NA059);甘肃省高校协同创新科技团队支持计划项目

作者简介:楚彬(1991-),男,甘肃兰州人,博士研究生。

E-mail:ryan_713@163.com

花立民为通讯作者。

E-mail:hualm@gsau.edu.cn

甘肃省高寒牧区,采用手持 GPS 记录高原鼯鼠分布的经纬度信息和海拔信息,为了消除分布点间的空间自相关性,分布点间的距离至少为 2 km(图 1)。野外调查期间,共获得 238 个高原鼯鼠分布点数据信息。青藏高原行政边界图层来源于国家青藏高原科学数据中心^[12]。

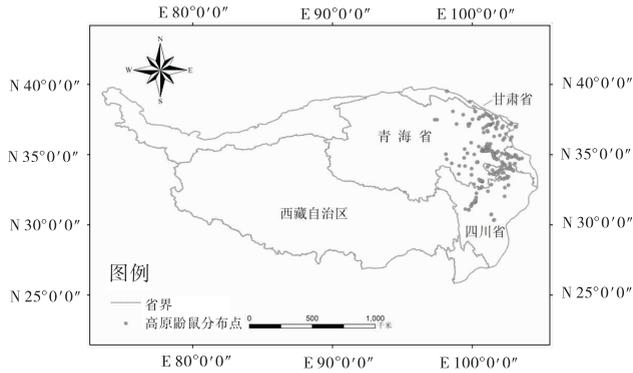


图 1 青藏高原东缘高原鼯鼠分布点示意图

Fig. 1 Distribution sites of plateau zokor in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau

1.2 环境因子数据获取

1.2.1 气候数据 气候数据来源于世界气候数据网站 (<http://www.worldclim.org/>),空间分辨率 1 km。包含 19 个变量,分别是年平均气温(Bio1)、平均日较差(Bio2)、等温性(Bio3)、温度季节性变化(Bio4)、最暖月最高温(Bio5)、最冷月最低温(Bio6)、气温年较差(Bio7)、最湿季节平均温(Bio8)、最干季节平均温(Bio9)、最暖季节平均温(Bio10)、最冷季节平均温(Bio11)、年均降水量(Bio12)、最湿月降水量(Bio13)、最干月降水量(Bio14)、降水季节变异系数(Bio15)、最湿季节降水量(Bio16)、最干季节降水量(Bio17)、最暖季节降水量(Bio18)和最冷季节降水量(Bio19)。

1.2.2 土壤数据 土壤数据来自 SoilGrid 系统 (<http://www.soilgrids.org/>),空间分辨率 1 km。此系统根据世界土壤信息生产的全球土壤数据产品,使用基于模型的统计方法获得^[13]。由于高原鼯鼠栖息地选择与土壤物理性状有很强的关联性,并且其采食洞道深度为 5~15 cm^[11],因此选用 5~10、10~15 cm 土层的土壤容重、水分、粘粒含量和砂粒含量,求取 5~10 cm 和 10~15 cm 土壤变量的平均值,共获得 4 个土壤变量。

1.3 数据分析

1.3.1 高原鼯鼠分布点对应的各环境因子数值提取 将获取的 238 个高原鼯鼠分布点和 23 个环境因子变量导入地理信息系统软件(ArcGIS 10.2),采用空间分析里的多值提取至点获得每个分布点的环境因子数值。

1.3.2 主要环境因子的筛选 由于气候变量较多,利用 SPSS20.0 软件中的主成分分析,对气候变量进行处理。根据特征根和原变量个数,计算每个主成分的贡献率和方差贡献率,以累积方差贡献率达到 85% 以上确定主成分个数^[14]。由此确定可以代表气候的主要变量。

采用 Origin 8.5 软件进行数据统计和图表制作。

2 结果与分析

2.1 高原鼯鼠空间分布格局

高原鼯鼠分布在 E 97°~104°和 N 30°~40°,主要分布在 E 100°~102°和 N 34°~36°(图 2A 和图 2B);高原鼯鼠分布的最低海拔为 2 007 m,最高海拔为 4 587 m,但主要分布在海拔 3 000~4 000 m (图 2C)。

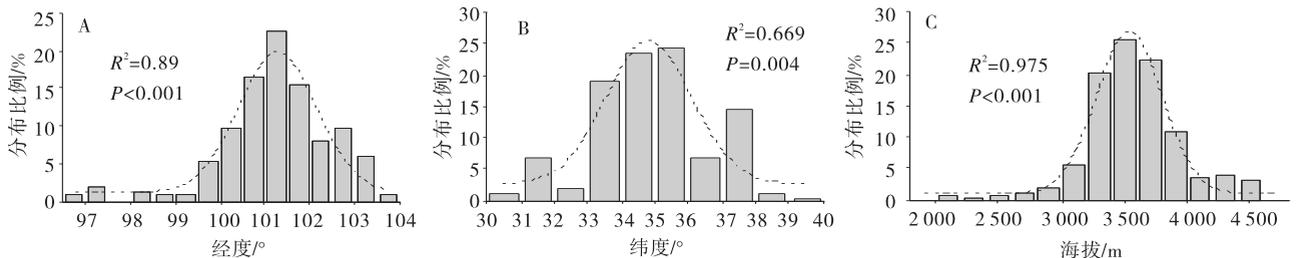


图 2 高原鼯鼠在经度、纬度和海拔高度的分布

Fig. 2 Distribution of plateau zokor on longitude, altitude and elevation

实地调查的 238 个高原鼯鼠分布点主要分布在高寒草甸和高寒草原区,其中分布在高寒草甸区和高寒

草原区的比例分别为 91.17% 和 8.83%(图 3),说明高寒草甸区是高原鼯鼠分布的主要草地类型。

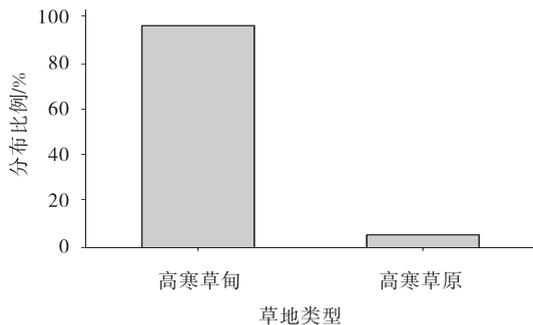


图3 不同草地类型下高原鼢鼠分布比例

Fig. 3 Distribution proportion of plateau zokor in different rangeland types

2.2 高原鼢鼠空间分布与环境因子的关系

2.2.1 高原鼢鼠分布区的气候因子特征 利用主成分分析法筛选出可以反映气候因子大部分信息的指标。结果表明:前3个主成分的累积贡献率达到90.26%,说明这3个主成分可以代表19个气候变量的大部分信息(表1)。第1主成分中,载荷较大的依次为Bio12(0.92)、Bio16(0.87)和Bio13(0.86),这些变量主要代表与降水有关的气候因子;第2主成分中,载荷较大的依次为Bio8(0.92)、Bio10(0.91)和Bio5(0.86),主要代表了与温度有关的气候因子;第3主成

分中,Bio2(0.93)的载荷较大,代表了与温度变化幅度有关的气候因子(表2)。综上,Bio2、Bio5、Bio8、Bio10、Bio12、Bio13和Bio16是反映气候因子的主要指标。

高原鼢鼠分布与温度日较差(Bio2)、最暖月最高温(Bio5)、最湿季平均温(Bio8)、最暖季平均温(Bio10)、年均降水量(Bio12)、最湿月降水量(Bio3)以及最湿季降水量(Bio16)均表现为明显的单峰响应关系(图4)。具体而言,高原鼢鼠偏好分布在最暖月最高温为18~20℃,最湿季和最暖季平均温度为7~10℃,年降水量为450~600mm,最湿月降水量为100~140mm以及最湿季降水量为270~400mm的区域内(图4)。

2.2.2 高原鼢鼠分布区的土壤因子特征 高原鼢鼠分布与土壤水分、容重、粘粒含量和砂粒含量均表现为单峰的响应关系(图5)。具体而言,高原鼢鼠分布区的土壤水分、土壤容重、土壤粘粒和砂粒含量范围分别在15.5~17.5%、0.6~0.7g/cm³、15.0~19.0%和40.0~45.0%。

表1 特征值、主成分贡献率和累积贡献率

Table1 Eigenvalue, rate of principal component, contribution and cumulative contribution

成份	初始特征值			主成分提取		
	合计	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	合计	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	9.403	49.488	49.488	9.403	49.488	49.488
2	5.785	30.447	79.936	5.785	30.447	79.936
3	1.962	10.326	90.262	1.962	10.326	90.262
4	0.923	4.859	95.121			
5	0.526	2.767	97.888			
6	0.270	1.420	99.308			
7	0.052	0.275	99.583			
8	0.034	0.178	99.762			
9	0.014	0.073	99.835			
10	0.012	0.063	99.898			
11	0.007	0.035	99.934			
12	0.005	0.026	99.960			
13	0.003	0.015	99.975			
14	0.002	0.011	99.986			
15	0.001	0.006	99.992			
16	0.001	0.004	99.996			
17	0.001	0.003	99.999			
18	0.000	0.001	100.000			
19	8.092E-14	4.259E-13	100.000			

表 2 主成分矩阵

Table 2 Matrix of principal component

气候变量	成份			气候变量	成份		
	1	2	3		1	2	3
Bio1	0.609	0.788	-0.020	Bio11	0.793	0.593	-0.097
Bio2	0.092	0.148	0.933	Bio12	0.920	-0.313	0.002
Bio3	0.795	-0.007	0.255	Bio13	0.863	-0.383	0.112
Bio4	-0.697	0.082	0.228	Bio14	0.509	-0.657	0.271
Bio5	0.332	0.860	0.356	Bio15	-0.846	0.050	0.071
Bio6	0.769	0.548	-0.315	Bio16	0.871	-0.403	0.031
Bio7	-0.627	0.161	0.735	Bio17	0.730	-0.555	0.197
Bio8	0.290	0.922	0.126	Bio18	0.857	-0.424	0.067
Bio9	0.782	0.598	-0.018	Bio19	0.689	-0.582	0.209
Bio10	0.317	0.917	0.057				

注: Bio1—年平均气温、Bio2—平均日较差、Bio3—等温性、Bio4—温度季节性变化、Bio5—最暖月最高温、Bio6—最冷月最低温、Bio7—气温年较差、Bio8—最湿季节平均温、Bio9—最干季节平均温、Bio10—最暖季节平均温、Bio11—最冷季节平均温、Bio12—一年均降水量、Bio13—最湿月降水量、Bio14—最干月降水量、Bio15—降水季节变异系数、Bio16—最湿季节降水量、Bio17—最干季节降水量、Bio18—最暖季节降水量、Bio19—最冷季节降水量,下同

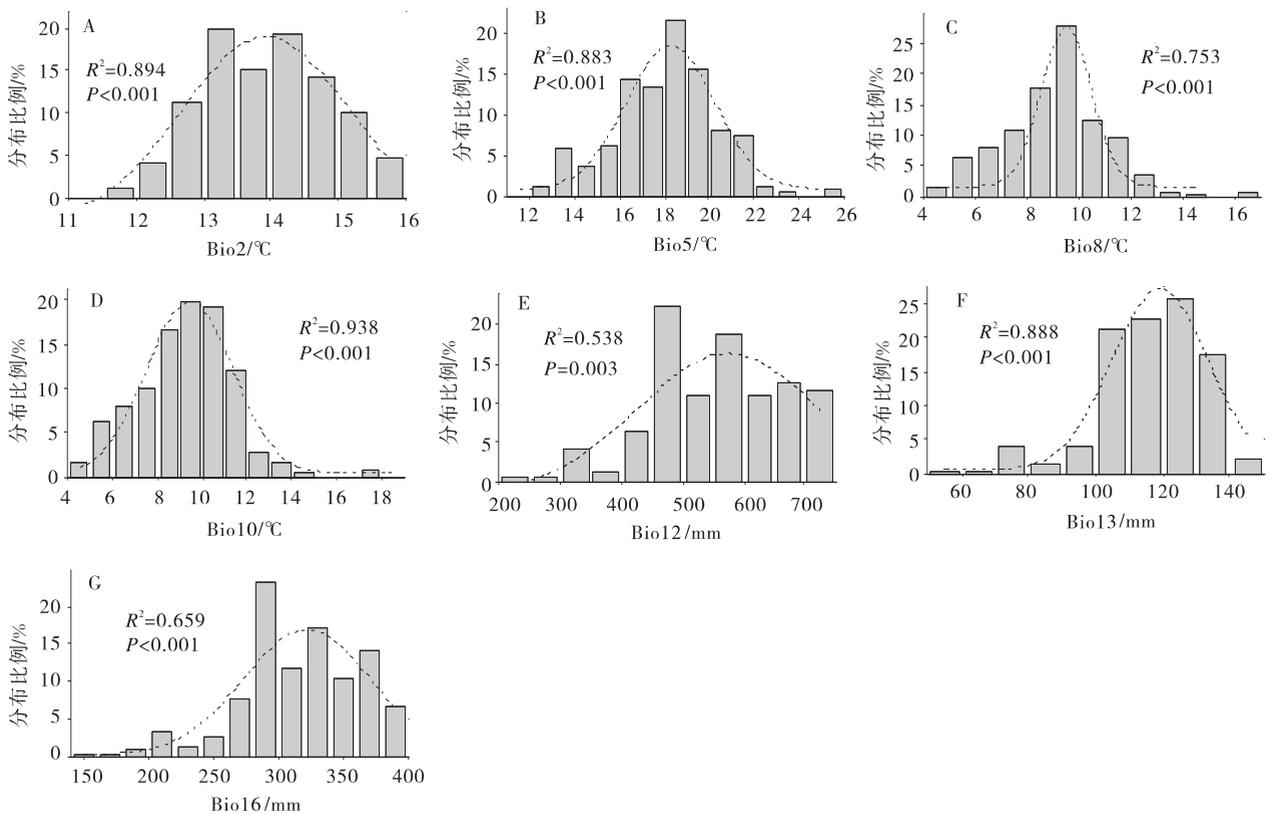


图 4 高原鼯鼠分布与气候因子的关系

Fig. 4 Relationship between distribution of plateau zokor and climate factors

3 讨论

国内对小尺度下高原鼯鼠栖息地特征的研究开展较早并已取得多项成果^[10,15],但对于大尺度调查高原

鼯鼠分布区的环境因子特征研究较少。本研究发现大尺度下高原鼯鼠主要分布在海拔 3 000~4 000 m 的高寒草甸区,青藏高原暖季温度和降水量是反映高原鼯鼠分布的主要气候特征,并且高原鼯鼠分布与温度日

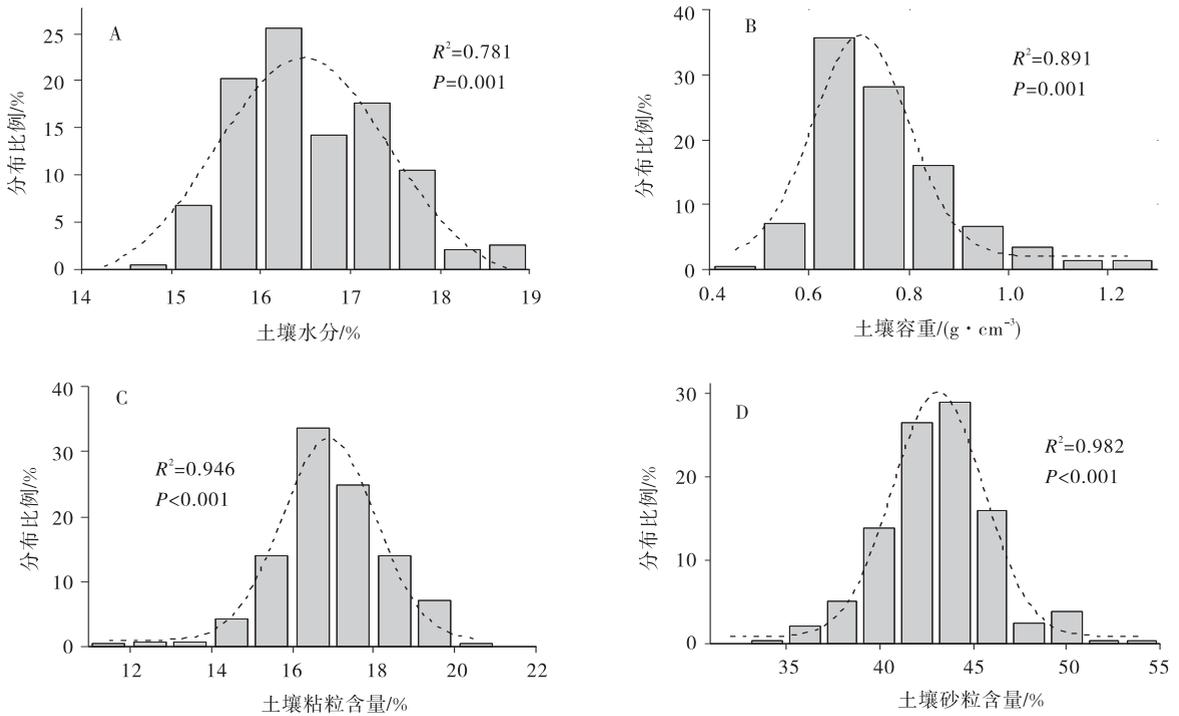


图5 高原鼯鼠分布与土壤因子的关系

Fig. 5 Relationship between distribution of plateau zokor and soil factors

较差 (Bio2)、最暖月最高温 (Bio5)、最湿季平均温 (Bio8)、最暖季平均温 (Bio10)、年均降水量 (Bio12)、最湿月降水量 (Bio3) 以及最湿季降水量 (Bio16) 呈单峰响应关系。此外, 高原鼯鼠与 4 个土壤变量也呈现出单峰响应的关系。

本研究发现高原鼯鼠分布在高寒草甸区的比例达到 91% 左右, 此研究结果与周雪荣^[16] 的研究结果一致。高寒草甸是在高寒湿润的气候条件下发育形成的^[17], 土壤水分含量相对于其他类型高寒草地较高, 而高原鼯鼠喜居在土壤较为疏松湿润的地方^[9], 所以高寒草甸是高原鼯鼠分布的主要草地类型。由于 19 个气候变量有较强的相关性, 采用主成分分析发现青藏高原暖季温度和降水是影响高原鼯鼠分布的主要气候因子。温度和降水是决定物种分布的主要因子^[18], 而对于地下啮齿动物栖息的地下隧道环境而言, 土壤的温度和水分与地上环境的温度和降水密切相关。生物体内的生物化学过程必须在一定的温度范围内才能正常进行, 过高或过低的环境温度都不利于个体的生长和发育^[19]。本研究也发现高原鼯鼠的分布与温度因子均呈现出单峰响应的关系, 表明高原鼯鼠对温度具有生理耐受极限。此外, 高原鼯鼠与土壤水分和土壤容重存在单峰响应的关系。虽然高原鼯鼠偏好栖息

于较为疏松和湿润的地方, 但是当土壤水分过高或土壤容重过低时, 一方面会影响高原鼯鼠体内的水分代谢, 另一方面也不利于高原鼯鼠隧道结构稳定性的维持^[20-21]。

本研究通过实地调查 238 个高原鼯鼠分布点来探讨高原鼯鼠分布的环境因子特征。以往的研究中对于物种分布点数据的获取主要来源于文献的查询^[22-23], 由于一些文献发表时间久远, 导致物种分布点数据没有实时性和代表性, 因此本研究通过实地调查获取高原鼯鼠分布点。此外, 若今后能获取更大范围的高原鼯鼠分布点数据, 对于高原鼯鼠分布的环境因子特征描述会更加完善。近年来, 物种分布模型在种群分布动态预测等方面的应用越来越广泛^[24-26]。物种分布模型不仅可以基于所调查物种分布点的数据模拟当前环境下物种的潜在分布区^[27], 而且可以结合在未来气候变化背景下预测物种分布区的变化趋势^[28]。因此, 利用物种分布模型模拟高原鼯鼠种群分布的变化趋势也是未来研究的重点。

4 结论

本研究通过对青藏高原东缘高原鼯鼠分布区的环境因子进行调查和分析, 得出以下主要结论: 高原鼯鼠

主要分布在 E 100°~102°、N 34°~36°以及海拔 3 000~4 000 m 的高寒草甸区。高原鼯鼠的分布与气候因子(温度日较差、最暖月最高温、最湿季平均温、最暖季平均温、年均降水量、最湿月降水量以及最湿季降水量)和土壤因子(土壤水分含量、土壤容重、土壤粘粒含量和土壤砂粒含量)均表现出单峰响应关系。

参考文献:

- [1] Soberón J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species [J]. *Ecology Letters*, 2007, 10 (12):1115-1123.
- [2] Gaston K J. The structure and dynamics of geographic ranges[M]. Oxford:Oxford University Press,2003:25-49.
- [3] Soberón J, Peterson A T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas [J]. *Biodiversity Informatics*, 2005, 2:1-10.
- [4] 朱耿平, 刘国卿, 卜文俊, 等. 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用[J]. *生物多样性*, 2013, 21 (1):90-98.
- [5] 樊乃昌, 王权业, 周文扬, 等. 高原鼯鼠种群数量与植被破坏程度的关系[C]//高寒草甸生态系统国际学术讨论会文集. 北京:科学出版社,1988:109-115.
- [6] 张堰铭, 刘季科. 地下鼠生物学特征及其在生态系统中的作用[J]. *兽类学报*, 2002, 22(5):144-153.
- [7] 张堰铭. 高原鼯鼠对高寒草甸群落特征及演替的影响[J]. *动物学研究*, 1999, 20(6):435-440.
- [8] 叶国辉, 楚彬, 周蓉, 等. 高原鼯鼠干扰下高寒草甸无脊椎动物分布与环境因子的关系[J]. *草原与草坪*, 2019, 39 (3):56-62.
- [9] 刘锦上, 张卫国, 江小雷, 等. 高原鼯鼠洞道空间对高寒草甸植被性状的影响[J]. *草地学报*, 2011, 19(6):927-931.
- [10] 楚彬, 花立民, 周延山, 等. 祁连山东段不同放牧强度下高原鼯鼠栖息地选择分析[J]. *草业学报*, 2016, 25(1):179-186.
- [11] 刘丽, 花立民, 杨思维, 等. 放牧干扰下高原鼯鼠栖息地选择因素[J]. *动物学杂志*, 2015, 50(5):725-734.
- [12] 国家基础地理信息中心. 青藏高原 1:100 万行政边界数据(2017). 国家青藏高原科学数据中心, 2019.
- [13] Hengl T, de Jesus J M, MacMillan R A, et al. SoilGrids1 km-global soil information based on automated mapping [J]. *PLOS ONE*, 2014, 9(8):e105992.
- [14] 肖炳光, 张燕春, 卢秀萍, 等. 烤烟品种主成分分析和聚类分析[J]. *种子*, 2000(2):27-29.
- [15] 楚彬, 马素洁, 周延山, 等. 高原鼯鼠土丘空间分布格局及其与环境因子的空间关联性[J]. *生态学报*, 2018, 38 (3):964-974.
- [16] 周雪荣, 郭正刚, 郭兴华. 高原鼠兔和高原鼯鼠在高寒草甸中的作用[J]. *草业科学*, 2010, 27(5):38-44.
- [17] 许鹏. 草地资源调查规划学[M]. 北京:中国农业出版社, 1999:26-56.
- [18] 吴建国, 周巧富. 中国嵩草属植物地理分布模式和适应的气候特征[J]. *植物生态学报*, 2012, 36(3):199-221.
- [19] 王志恒, 唐志尧, 方精云. 生态学代谢理论:基于个体新陈代谢过程解释物种多样性的地理格局[J]. *生物多样性*, 2009, 17(6):625-634.
- [20] Moore J A H, Roper T J. Temperature and humidity in badger *Meles meles* setts[J]. *Mammal Review*, 2003, 33 (3):308-313.
- [21] 李晓晨, 李娜, 王冬. 鼯鼠洞道结构的建筑工程学分析[J]. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2001, 29(3):86-90.
- [22] Liu C, White M, Newell G. Detecting outliers in species distribution data[J]. *Journal of Biogeography*, 2018, 45 (1):164-176.
- [23] 陈新美, 雷渊才, 张雄清, 等. 样本量对 Maxent 模型预测物种分布精度和稳定性的影响[J]. *林业科学*, 2012, 48 (1):53-59.
- [24] 朱耿平, 刘晨, 李敏, 等. 基于 Maxent 和 GARP 模型的本双棘长蠹在中国的潜在地理分布分析[J]. *昆虫学报*, 2014, 57(5):581-586.
- [25] 高蓓, 卫海燕, 郭彦龙, 等. 应用 GIS 和最大熵模型分析秦岭冷杉地理分布[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(3):843-852.
- [26] 李国庆, 刘长成, 刘玉国, 等. 物种分布模型理论研究进展[J]. *生态学报*, 2013, 33(16):4827-4835.
- [27] 张颖, 李君, 林蔚, 等. 基于最大熵生态位元模型的入侵杂草春飞蓬在中国潜在分布区的预测[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(11):2970-2976.
- [28] 翟天庆, 李欣海. 用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响[J]. *生态学报*, 2012, 32(8):2361-2370.

Study on characteristics of environmental factor affecting distribution of plateau zokor in the eastern Qinghai-Tibet Plateau

CHU Bin, BAO Darhan, ZHANG Fei-yu, ZHOU Rui, YE Guo-hui,
HUA Xian-ze, HUA Li-min

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Species distribution pattern is the result of long-term adaption and selection between the species and environmental factors. The study on species distribution is very important to understand the population characteristics and relationship between species and environment. In order to explore the geographical distribution of plateau zokor and the relationship with ecological factors, we investigated 238 distribution sites of plateau zokor in Tibet Plateau, and selected data of 19 climate variables and 4 soil variables from WorldClim and Soil-Gridto database to analyze the effect of environmental factors on the distribution of plateau zokor. The results showed that plateau zokors distributed in the alpine meadow ranging from 100~102°E and 34~36°N, and the area with elevation of 3 000~4 000 m. The mean temperature diurnal range, max temperature of warmest month, mean temperature of wettest quarter and warmest quarter, annual precipitation, precipitation of wettest month and wettest quarter were main climatic factors affecting the distribution of plateau zokor. We also found that there were unimodal relationships between plateau zokor distribution and the soil factors (soil moisture, soil bulk density, soil clay content and soil sand content).

Key words: distribution region; population dynamics; plateau zokor; alpine meadow

本 刊 声 明

近期,有单位和读者向本刊反映,有中介机构或网站宣称代理《草原与草坪》征集稿件,并向投稿者收取费用,承诺可以在本刊发表文章,此举已对本刊声誉造成严重不良影响。对此,本刊声明如下:

1.《草原与草坪》从未设立其他采编点或分支机构,也从未委托任何单位或个人编辑出版《草原与草坪》期刊。

2.《草原与草坪》办公地点为甘肃省兰州市安宁区营门村1号,甘肃农业大学草业学院。邮箱 cyycp@gsau.edu.cn,联系电话 0931-7631885。

3.发至《草原与草坪》编辑部邮箱(cyycp@gsau.edu.cn)的稿件视为正式投稿,不接收其他形式的投稿,本刊编辑部是通过邮件形式通知作者交纳稿件审稿费和版面费。

敬请广大作者和读者注意,谨防上当受骗。同时,本刊将依法追究侵权者的法律责任。

特此声明

《草原与草坪》编辑部