



研究论文 ORIGINAL PAPERS

熔岩台地生境中大林姬鼠
植物性食物季节性特征研究单洪佳^{1,2}, 杨斌斌¹, 许 晴¹, 张晓颖¹, 丁 森², 李殿伟^{1*}, 金志民¹

(1. 牡丹江师范学院生命科学与技术学院, 牡丹江 157011;

2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

稿件运行过程

收稿日期: 2025-03-25

修回日期: 2025-10-28



关键词: 大林姬鼠;

熔岩台地;

DNA 宏条形码技术;

食性;

季节变化

Keywords: Korean field mouse (*Apodemus peninsulae*);

Lava plateau;

DNA metabarcoding;

Diet;

Seasonal variation

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2026)-02-0208-08

DOI: 10.12375/ysdwxb.202503021

摘 要

为揭示熔岩台地生境中大林姬鼠(*Apodemus peninsulae*)的植物性食物组成特征,于2021年9—11月(秋季)与2022年4—6月(春季)在镜泊湖熔岩台地地区使用铗捕法采集大林姬鼠样本,利用DNA宏条形码技术分析其肠道内容物中的植物组成。结果表明:春秋两季植物性食物共包含36目66科130属,以草本和木本植物为主,含少量苔藓和藻类;春季食物包含30目46科82属,优势类群为榆属(*Ulmus*)、洼瓣花属(*Lloydia*)和小滨菊属(*Leucanthemella*);秋季食物包含35目58科116属,优势类群为榛属(*Corylus*)、蛇葡萄属(*Ampelopsis*)和大豆属(*Glycine*);两季共有植物性食物68属,以大豆属、洼瓣花属和小滨菊属为主。 α 和 β 多样性分析表明,秋季大林姬鼠植物性食物多样性和丰富度均高于春季,且食物组成存在显著季节性差异。研究结果丰富了熔岩台地生境中啮齿动物摄食生态学的基础资料。

Seasonal Characteristics of Plant-Based
Food of *Apodemus peninsulae* in
the Lava Plateau HabitatSHAN Hongjia^{1,2}, YANG Binbin¹, XU Qing¹,
ZHANG Xiaoying¹, DING Sen², LI Dianwei^{1*}, JIN Zhimin¹

(1. College of Life Science and Technology,

Mudanjiang Normal University, Mudanjiang 157011, China;

2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

基金项目: 黑龙江省省属高等学校基本科研业务费科研项目(1453ZD026);牡丹江师范学院教育教学改革项目(SJGY20220619)

第一作者简介: 单洪佳(2000—),男,硕士研究生;主要从事野生动植物资源保护与利用研究。E-mail: wiwj0818hj@163.com

* 通信作者: 李殿伟, E-mail: swxldw@126.com

Abstract: To reveal the characteristics of the plant-based food composition of Korean field mouse (*Apodemus peninsulae*) in the lava plateau habitats, field sampling was collected using the snap-trapping method in the Jingpo Lake lava plateau region from September to November 2021 (autumn) and April to June 2022 (spring). The plant-based composition of Korean field mouse was analyzed using DNA metabarcoding. The results revealed that the plant food in spring and autumn encompassed 36 orders, 66 families and 130 genera, and the majority of plant food were herbs and woody plants, with a minor amount of mosses and algae. The plant food in spring included 30 orders, 46 families and 82 genera, the predominant genera were *Ulmus*, *Lloydia*, and *Leucanthemella*. The plant-based food in autumn expanded to 35 orders, 58 families and 116 genera, the predominant genera were *Corylus*, *Ampelopsis* and *Glycine*. A total of 68 plant food genera were identified in two seasons, the main food genera were *Glycine*, *Lloydia* and *Leucanthemella*. Results of α and β diversity analysis indicated that plant food diversity and richness in autumn were higher than those in spring, and there were significant seasonal differences in plant-based food composition. The results enrich the basic information on rodent feeding ecology in lava plateau habitats.

食性分析是动物生态学中理解物种生存适应机制的重要手段,有助于理解捕食者、食物资源与环境条件之间的相互关系^[1-3]。传统食性研究通过摄食观察或对胃容物、粪便分析来直接了解食物资源信息,但受观察周期、食物分类经验与消化程度等影响,在确定食物资源的准确性和全面性上有所欠缺^[4-5]。近年来,DNA宏条形码技术为食性研究提供了新视角,该技术通过对食物残存DNA进行高通量测序与序列比对,能够实现对食物组成定性分析与定量分析,具有高灵敏度、高分辨率和广谱检测能力,可精准识别微量、高度降解或形态相近的食物成分,极大降低了人工视觉分类造成的误差^[6-8]。目前,该技术已广泛应用于啮齿类动物食性研究中^[9-10]。

大林姬鼠(*Apodemus peninsulae*)是我国北方地区一种常见的杂食性偏植食性的小型啮齿类动物^[11]。多数研究发现大林姬鼠主要分布于林区生境,偏好郁闭度和落叶覆盖度高的乔木生境^[12],其植物性食物组成多与所处生境中的植物类型与资源量有关,多以植物果实和种子为食^[13-14]。然而,动物在不同生境中的摄食策略可能因其独特的食物资源格局而发生适应性调整。本课题组2020—2022年持续监测发现,熔岩台地生境有大林姬鼠分布,其种群数量逐年增加,并已发展为优势鼠种。熔岩台地由火山熔岩溢流冷凝形成,整体地势平坦,伴有凸凹起伏的地表构造,由于土壤层较薄,其植被类型以灌木和草本为主^[15]。熔岩台地生境类型独特,植物性食

物资源有别于林区生境,大林姬鼠在此生境中的食物组成特征尚未可知。因此,本研究运用DNA宏条形码技术对镜泊湖熔岩台地生境中大林姬鼠春、秋两季的植物性食物组成进行了分析,旨在揭示该物种在熔岩台地生境中不同季节的植物性食物组成特征及差异,为啮齿动物的摄食生态学研究提供基础资料,并为理解动物对特殊生境的适应机制提供新的案例。

1 研究区概况

镜泊湖熔岩台地位于黑龙江省牡丹江市西南部的地质公园自然保护区内(44°03′46″—44°03′49″N, 128°58′40″—129°00′20″E),平均海拔320 m。该区属温带大陆性气候,年平均气温3.6℃,降水多在夏季,年降水量为506.4 mm^[16]。受风化程度及成土过程差异的影响,研究区植被群落自火山口中心台地向外围逐步分化,依次为地衣-苔藓群落、矮草本群落、高草本群落、矮灌木群落、高灌木群落和小乔木-灌木群落^[17]。

2 材料与方法

2.1 样本采集

于秋季(2021年9—11月)和春季(2022年4—6月)采用铗捕法捕捉大林姬鼠。选取包含灌木丛、草丛等生境的3块样地,每块样地设计3条长200 m的样线,样线间隔20 m,每条样线等间距设置40个捕鼠铗。于每月中上旬投放熟瓜子为诱饵,24 h后检查

并记录捕获数量并补充诱饵,持续捕捉1周。累计捕获27只躯体完整(未受降水腐蚀、微生物降解或动物啃食)的大林姬鼠样本,包括春季13只(SC1~SC13)、秋季14只(QC1~QC14)。样本带回实验室后,在无菌条件下解剖,取0.3~0.5 g胃容物置于2 mL离心管中,放入-80 °C冰箱保存,待下一步分析。本研究已通过牡丹江师范学院实验动物福利伦理委员会审批(批准号:20210066)。

2.2 DNA提取

使用OMEGA M5635-02试剂盒提取胃容物样本总DNA。采用荧光分光光度计(Quantifluor ST fluorometer, Promega, E6090)测定荧光值以检测DNA浓度,并使用1.2%琼脂糖凝胶电泳检测DNA质量。

2.3 PCR扩增与测序

对于合格的样本检测区域进行高保真PCR扩增,设置3个重复,以标准基因组DNA Mix作为阳性对照。以胃容物DNA为模板,用引物[18]扩增叶绿体\muL,包含5 $\times$ 反应缓冲液5.00 μ L,5 $\times$ GC缓冲液5.00 μ L,dNTP(2.5 mmol/L)2.00 μ L,正、反向引物(10 μ mol/L)各1.00 μ L,DNA模板2.00 μ L,双蒸水8.75 μ L,Q5DNA聚合酶0.25 μ L。PCR反应程序为98 °C预变性2 min;98 °C变性15 s,55 °C退火30 s,72 °C延伸30 s,共20个循环;72 °C终延伸5 min,4 °C保存。PCR产物经1.5%琼脂糖凝胶电泳检测后,采用磁珠法纯化回收,所得上清液转移至1.5 mL离心管保存。对PCR产物进行定量后,根据所需测序量按相应比例混合,送至上海派诺森生物科技股份有限公司测序。

2.4 测序数据处理

测序所得原始数据使用cutadapt软件切除序列的引物片段,并弃去未匹配引物的序列;使用VSEARCH软件对序列进行拼接、质控、去重和去除嵌合体,获得高质量序列;使用QIIME2软件在97%相似度水平对高质量序列聚类,生成OTU表,并将该表分别与Greengenes数据库(<https://ngdc.cncb.ac.cn/databasecommons/database/id/3120>)和SILVA数据库(<http://www.arb-silva.de>)进行比对与物种注释。

2.5 数据分析

为反映大林姬鼠对不同植物性食物的摄食偏好,计算各食物类群的相对丰度(relative abundance, R_A)和出现频率(frequency of occurrence, F_o)。使用Primer 5软件计算摄取植物性食物的观测物种指数及Shannon、Simpson等 α 多样性指数,用以比较春秋两季植物性食物多样性的差异,采用Mann-Whitney U 检验判断其差异显著性。为分析不同样本间植物性食物组成的 β 多样性,使用R软件ape包进行基于Bray-Curtis距离的主坐标分析(principal co-ordinates analysis, PCoA),结合Adonis非参数检验分析春秋两季植物性食物组成差异的显著性。

3 结果

3.1 大林姬鼠植物性食物组成

大林姬鼠春季植物性食物共有82属,隶属于30目46科。在科水平上,相对丰度大于1.00%的植物有11种,其中主要优势类群7种($R_A \geq 5.00\%$),分别为榆科(Ulmaceae, $R_A = 31.48\%$)、百合科(Liliaceae, $R_A = 13.70\%$)、菊科(Asteraceae, $R_A = 10.16\%$)、豆科(Fabaceae, $R_A = 8.34\%$)、薯蓣科(Dioscoreaceae, $R_A = 7.26\%$)、牻牛儿苗科(Geraniaceae, $R_A = 7.05\%$)和十字花科(Brassicaceae, $R_A = 5.00\%$)(图1A)。从出现频率来看,榆科与菊科出现频率最高,均为100.00%,其次是百合科、豆科、无患子科(Sapindaceae)和蔷薇科(Rosaceae),均为92.31%(图1B)。

在属水平上,相对丰度大于1.00%的植物有12种,其中主要优势类群7种($R_A \geq 5.00\%$),分别为榆属(*Ulmus*, $R_A = 31.48\%$)、洼瓣花属(*Lloydia*, $R_A = 13.67\%$)、小滨菊属(*Leucanthemella*, $R_A = 9.95\%$)、薯蓣属(*Dioscorea*, $R_A = 7.26\%$)、老鹳草属(*Geranium*, $R_A = 7.05\%$)、大豆属(*Glycine*, $R_A = 5.94\%$)和葶苈属(*Draba*, $R_A = 5.00\%$)(图1C)。在出现频率上,榆属和小滨菊属出现频率最高,为100.00%,其次是洼瓣花属、大豆属和槭属(*Acer*),为92.31%(图1D)。

大林姬鼠秋季植物性食物共有116属,隶属于35目58科。在科水平上,相对丰度大于1.00%的植物有16种,主要优势类群7种($R_A \geq 5.00\%$),分别为豆科($R_A = 15.56\%$)、桦木科(Betulaceae, $R_A = 13.80\%$)、葡萄科(Vitaceae, $R_A = 11.85\%$)、禾本科

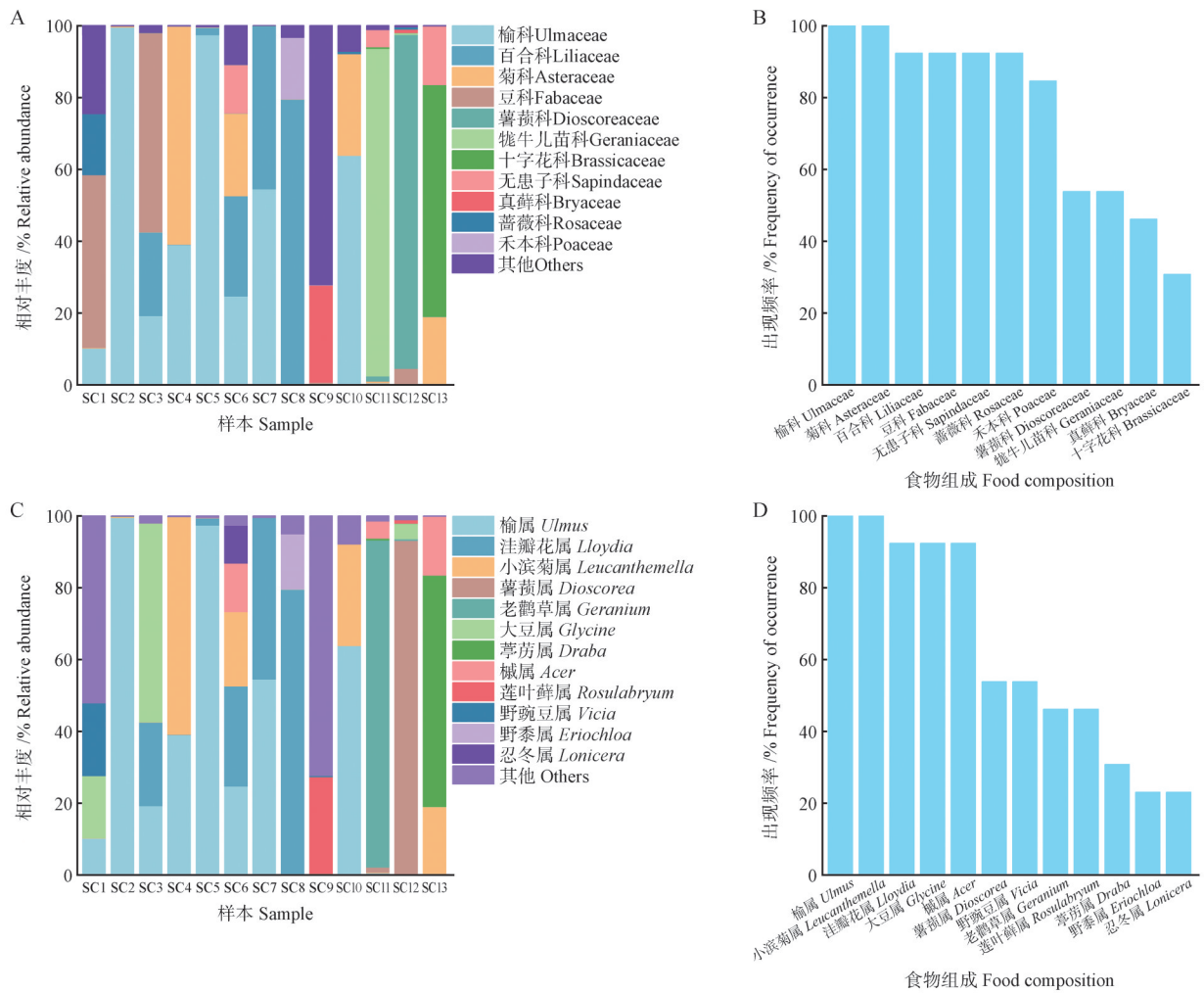


图1 春季大林姬鼠科、属水平植物性食物相对丰度(A、C)与出现频率(B、D)

Figure 1 Relative abundance (A, C) and frequency of occurrence (B, D) of plant-based food at family and genus levels for Korean field mouse in spring

(Poaceae, $R_A = 9.90\%$)、壳斗科 (Fagaceae, $R_A = 9.09\%$)、百合科 ($R_A = 7.01\%$)和菊科 ($R_A = 6.06\%$) (图2A)。出现频率最高的为豆科与菊科,出现频率为100.00%,其次是葡萄科、禾本科、无患子科 (Sapindaceae)和润肺木科 (Strombosiaceae),出现频率为92.86% (图2B)。

在属水平上,相对丰度大于1.00%的有18种,其中主要优势类群7种 ($R_A \geq 5.00\%$),分别为榛属 (*Corylus*, $R_A = 13.80\%$)、蛇葡萄属 (*Ampelopsis*, $R_A = 11.85\%$)、大豆属 ($R_A = 9.26\%$)、栎属 (*Quercus*, $R_A = 9.09\%$)、野黍属 (*Eriochloa*, $R_A = 7.63\%$)、洼瓣花属 ($R_A = 7.00\%$)和小滨菊属 ($R_A = 5.61\%$) (图2C)。出现频率最高的为大豆属,出现频率为100.00%,其次为蛇葡萄属、小滨菊属和槭属,出现频率为92.86% (图2D)。

3.2 植物性食物组成的季节性差异

数据分析结果表明,大林姬鼠在春秋两季植物性食物共有130属,隶属于36目66科,其中两季共有植物有68属,春季特有14属,秋季特有48属,分别占食物总属数的52.31%、10.77%和36.92% (图3)。共有类群包括大豆属、洼瓣花属和小滨菊属等,春季特有类群主要包括绢藓属 (*Entodon*)、松属 (*Pinus*)和苦参属 (*Sophora*)等,秋季特有类群主要包括堇菜属 (*Viola*)、蒿属 (*Artemisia*)和柳属 (*Salix*)等。

结合实地调查与测序结果,将植物性食物种类按植物生活型进一步划分。结果发现,春季,大林姬鼠的植物性食物以草本植物为主 ($R_A = 46.99\%$),木本植物次之 ($R_A = 42.97\%$),苔藓 ($R_A = 2.16\%$)和藻类 ($R_A = 0.25\%$)的取食占比较低;秋季,木本植物成

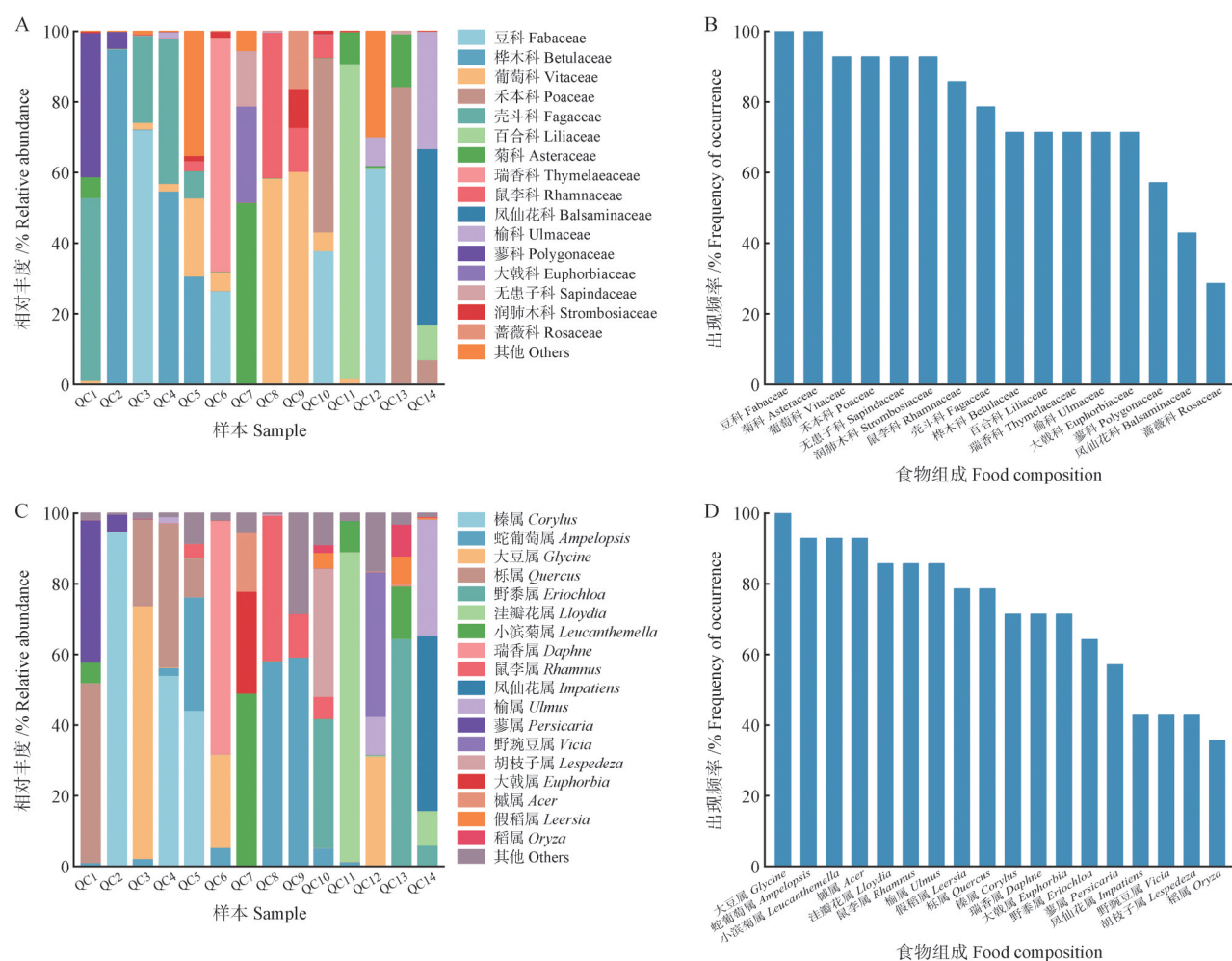


图2 秋季大林姬鼠科、属水平植物性食物相对丰度(A、C)与出现频率(B、D)

Figure 2 Relative abundance (A, C) and frequency of occurrence (B, D) of plant-based food at family and genus levels for Korean field mouse in autumn

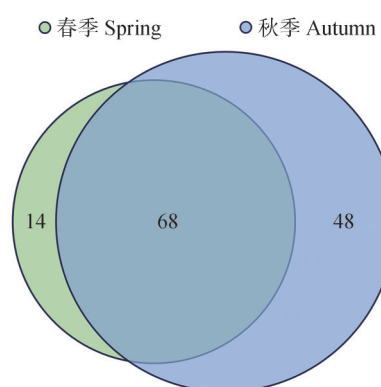


图3 大林姬鼠春秋两季植物性食物种类重叠分布

Figure 3 Overlapped distribution of plant-based food genera for Korean field mouse in spring and autumn

为其主要食物来源($R_A = 50.38\%$),草本植物次之($R_A = 49.22\%$),苔藓与藻类的取食仅为微量($R_A < 0.01\%$)(图4)。

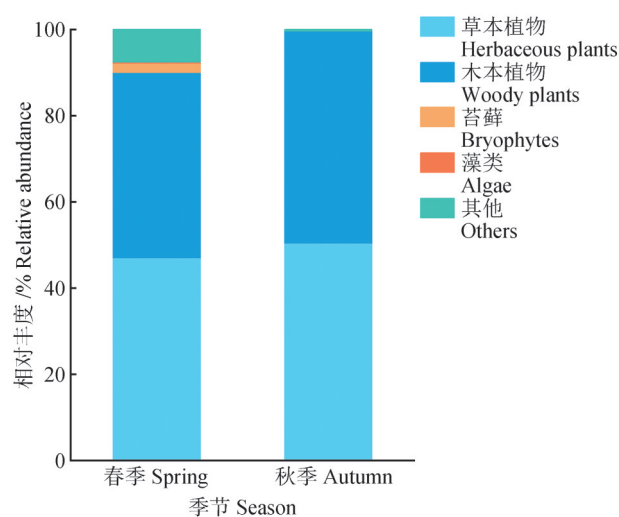


图4 大林姬鼠春秋两季植物性食物类型相对丰度

Figure 4 Relative abundance of plant-based food types of Korean field mouse in spring and autumn

3.3 植物性食物多样性的季节性差异

从大林姬鼠植物性食物多样性特征来看(图5A),秋季的观测物种指数、Shannon指数、Simpson指数和Chao1指数均高于春季,表明秋季植物性食物多样性、丰富度高于春季,但差异不显著($P > 0.05$)。基于主坐标分析(PCoA)的空间分布特征显

示(图5B),植物性食物组成在不同季节间呈现明显的组间分异趋势,说明大林姬鼠植物性食物组成随季节更替发生变化。Adonis检验结果表明,季节变化对大林姬鼠的植物性食物组成具有极显著影响($R^2 = 0.09, P = 0.005$)。

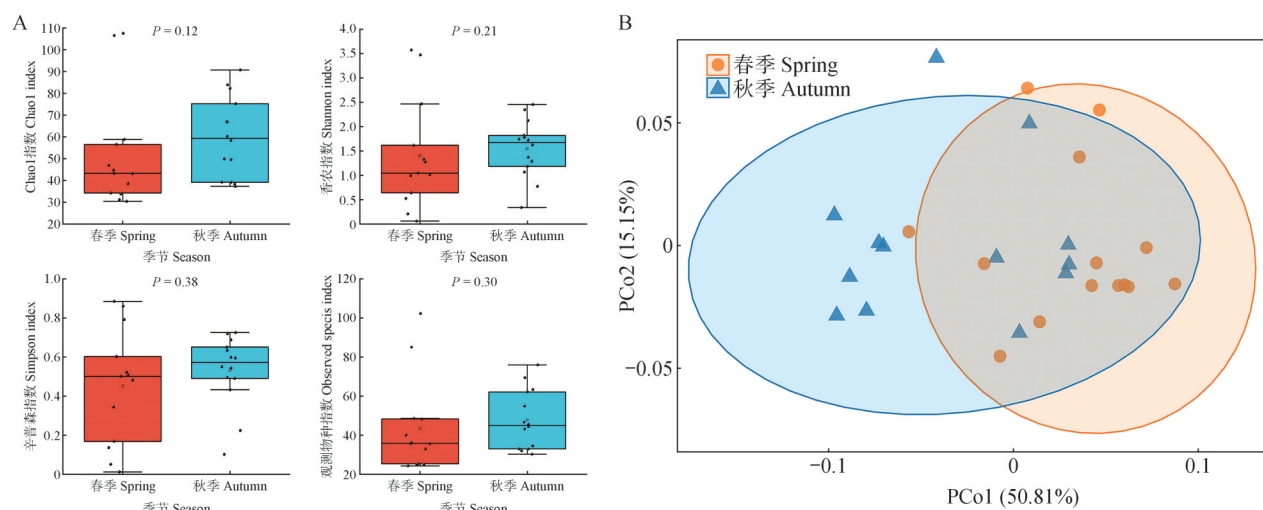


图5 大林姬鼠春秋两季植物性食物组成 α 多样性检验(A)和PCoA分析(B)

Figure 5 α diversity test (A) and PCoA analysis (B) of plant-based food composition of the Korean field mouse in spring and autumn

4 讨论

食物资源利用方式是动物在不同环境条件下形成的一种适应性策略。Soininen *et al.* [19]对加拿大极地地区的研究发现,在食物资源匮乏时,啮齿动物会取食苔藓以维持能量代谢。本研究利用DNA宏条形码技术分析发现,镜泊湖熔岩台地大林姬鼠的植物性食物以草本和木本植物为主,部分时段也取食苔藓和藻类,其中苔藓和藻类仅在春季植物性食物组成中有较高相对丰度和出现频率,这可能与当地食物资源的季节可利用性有关。我国东北地区春季气温波动大,可利用植物资源相对有限[20],而苔藓和藻类有较强的低温适应能力[21-22],因而可能成为春季大林姬鼠的部分替代性植物性食物,以减缓春季植物性食物资源短缺所带来的生存压力。

本研究结果表明,大林姬鼠的植物性食物组成在不同季节呈现明显的变化特征,春季时其植物性食物以草本植物为主。春季植被相对稀疏且种类较少,草本植物因生长周期短且易获取[23],对大林姬鼠来说是资源量丰富的食物来源。尽管草本植物整体相对丰度较高,但从单一食物组分来看,木本植物中

的榆属是大林姬鼠春季的主要植物性食物,相对丰度为31.48%。实地调查发现,研究区域分布有较多数量的榆树,每年4—5月是其果实成熟期,这为此时的的大林姬鼠提供了丰富的食物来源。秋季大林姬鼠则主要取食木本植物,食物丰富度和多样性均高于春季。根据植物科学数据中心(<https://www.plantplus.cn/cn>)资料,该区域大部分木本植物果期为9—10月,与本研究秋季采样时间相符。此时食物资源充足,大林姬鼠可能倾向于根据食物资源可利用性贮食,以应对冬季低温和食物资源匮乏的影响[13,24]。

食物资源的质量和适口性是影响动物食性的关键因素[9]。大豆属、小滨菊属和洼瓣花属等植物在春秋两季均具有较高的相对丰度与出现频率,这与3种植物在研究区域分布广泛有关。其中,大豆属植物的蛋白质和油脂含量高、种皮薄而适口性好,小滨菊属和洼瓣花属植物分布范围较广且易于采食,因此在大林姬鼠春秋两季植物性食物资源中占据一定比例。

已有研究表明,啮齿动物会结合所在生境类型展示出多样化的摄食策略[25]。本研究在比较大林姬

鼠春秋两季植物性食物多样性指数时发现,部分样本(春季SC1、SC9及秋季QC2、QC11)在多样性指数分布上明显偏离整体趋势。从食性组成来看,春季异常样本食物种类丰富,表现出较宽的食谱广度,而秋季异常样本则呈现出摄食对象高度集中、食物结构单一的特征。这一现象可能与样本采集的微生境食物资源分布格局有关。调查显示,春季异常样本采集于草丛生境,秋季异常样本采集于小乔木与灌木交错生境。我们推测,在不同微生境中,植物性食物资源的分布格局可能驱动了大林姬鼠摄食行为的差异,在资源稀疏或分散的草丛生境中,大林姬鼠倾向于拓宽取食生态位以满足营养需求,而在资源相对丰富且集中分布的灌丛生境中,则偏好取食少数优势类群食物以提高摄食效率。值得注意的是,个体摄食偏好、种间竞争压力等因素也会对啮齿动物食性组成产生影响^[26-27],这一推测仍有待进一步研究验证。

本研究区域地形地貌复杂,植被群落类型和微生境的多样性为大林姬鼠提供了丰富的植物性食物资源和庇护场所,使其能根据季节变化灵活调整摄食策略以利于种群规模逐步扩大。本研究仅限于大林姬鼠植物性食物成分分析,尚不能反映其完整的食性结构,未来将开展动物性食物检测,进一步解析熔岩台地生境中啮齿动物食物组成特征。

参考文献:

- [1] 程铭昊, 李劲, 张溢, 等. 基于DNA条形码技术的神农架国家公园川金丝猴食性研究[J]. 生态学报, 2024, 44(15): 6424-6435.
CHENG M H, LI J, ZHANG Y, *et al.* Golden snub-nosed monkey diet research in Shennongjia National Park based on DNA barcoding technology [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(15): 6424-6435.
- [2] 郑佳鑫, 左清秋, 王刚, 等. 藏狐的食物组成及其季节差异[J]. 兽类学报, 2023, 43(4): 398-411.
ZHENG J X, ZUO Q Q, WANG G, *et al.* Dietary composition and seasonal changes of the Tibetan fox (*Vulpes ferrilata*) [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2023, 43(4): 398-411.
- [3] YAMAO K, ISHIWAKA R, MURAKAMI M, *et al.* Seasonal variation in the food habits of the Eurasian harvest mouse (*Micromys minutus*) from western Tokyo, Japan [J]. *Zoological Science*, 2016, 33(6): 611-615.
- [4] 常诗麒, 李殿伟, 徐梦昊, 等. 张广才岭东部地区黑线姬鼠夏秋季植物性食物分析研究[J]. 野生动物学报, 2024, 45(4): 727-733.
CHANG S Q, LI D W, XU M H, *et al.* Analysis of plant food of *Apodemus agrarius* in summer and autumn in eastern zhangguang-cailing [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2024, 45(4): 727-733.
- [5] 郭艳萍, 张浩, 赵新钢, 等. DNA宏条形码技术在食草动物食性研究中的应用[J]. 生物技术通报, 2021, 37(3): 252-260.
GUO Y P, ZHANG H, ZHAO X G, *et al.* Applications of DNA metabarcoding in diet identification of herbivores [J]. *Biotechnology Bulletin*, 2021, 37(3): 252-260.
- [6] 高祥刚, 夏莹, 王震, 等. 基于DNA宏条形码技术的斑海豹食性分析[J]. 野生动物学报, 2024, 45(3): 498-503.
GAO X G, XIA Y, WANG Z, *et al.* Preliminary dietary analysis of spotted seals based on DNA metabarcoding [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2024, 45(3): 498-503.
- [7] 严丽君, 王普, 施启龙, 等. 动物食性分析在生态学中的应用研究进展: 基于DNA宏条形码技术[J]. 生态学报, 2023, 43(8): 3007-3019.
YAN L J, WANG P, SHI Q L, *et al.* Applications of animal diet analysis based on DNA metabarcoding in ecological research [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(8): 3007-3019.
- [8] 张养养, 孙飞达, 霍霏, 等. 草地啮齿动物食性的影响因素及研究方法综述[J]. 中国草地学报, 2023, 45(8): 129-138.
ZHANG Q Q, SUN F D, HUO F, *et al.* Review on influencing factors and research methods of grassland rodent feeding habits [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2023, 45(8): 129-138.
- [9] 陆荣华, 杨舒晗, 曹和琴, 等. 基于高通量测序的贵州北部地区红腿长吻松鼠秋季食性分析[J]. 野生动物学报, 2024, 45(4): 717-726.
LU R H, YANG S H, CAO H Q, *et al.* Autumn dietary analysis of red-hipped squirrel in northern Guizhou Province based on high-throughput sequencing [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2024, 45(4): 717-726.
- [10] AYLWARD C M, STATHAM M J, BARTHAMAN-THOMPSON L, *et al.* Dietary characterization of the endangered salt marsh harvest mouse and sympatric rodents using DNA metabarcoding [J]. *Ecology and Evolution*, 2022, 12(7): e9121.
- [11] 金志民, 刘铸, 李殿伟, 等. 黑龙江省东南部林区6种啮齿动物食性分析[J]. 畜牧与饲料科学, 2011, 32(5): 11-13.
JIN Z M, LIU Z, LI D W, *et al.* Analysis on the feeding habits of six kinds of rodents in the southeast forest region of Heilongjiang Province [J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2011, 32(5): 11-13.
- [12] 黄广传, 司俊杰, 蒙新, 等. 不同生境和季节社鼠与大林姬鼠的微生境选择比较[J]. 兽类学报, 2019, 39(3): 242-251.
HUANG G C, SI J J, MENG X, *et al.* Differences in microhabitat selection between Chinese white-bellied rats (*Niviventer confucianus*) and Korean field mice (*Apodemus peninsulae*) in different habitat types and seasons [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2019, 39(3): 242-251.
- [13] LI D W, HAO J W, YAO X, *et al.* Observations of the foraging

- behavior and activity patterns of the Korean wood mouse, *Apodemus peninsulae*, in China, using infra-red cameras [J]. *ZooKeys*, 2020, 992: 139–155.
- [14] 董世鹏. 牡丹峰自然保护区啮齿动物种群数量调查及对林木危害研究 [D]. 牡丹江: 牡丹江师范学院, 2015.
- DONG S P. Investigation of the quantity of rodents' population and their harm to forests in Mudanfeng Nature Reserve [D]. Mudanjiang: Mudanjiang Normal University, 2015.
- [15] 于爽, 曲秀春, 尹航, 等. 黑龙江镜泊湖熔岩台地种子植物多样性 [J]. *西北植物学报*, 2010, 30(2): 385–390.
- YU S, QU X C, YIN H, *et al.* Diversity of seed plants in lava plateau of Jingbo Lake in Heilongjiang [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2010, 30(2): 385–390.
- [16] 王树力, 杨振, 袁伟斌. 镜泊湖区主要森林类型的土壤水文特性 [J]. *中国水土保持科学*, 2007, 5(4): 7–12.
- WANG S L, YANG Z, YUAN W B. Soil hydrological properties of four forest types around Jinbo Lake [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2007, 5(4): 7–12.
- [17] 尹航, 曲秀春, 于爽, 等. 镜泊湖熔岩台地种子植物区系调查分析 [J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(3): 103–105.
- YIN H, QU X C, YU S, *et al.* Flora of lava rock seed plants in Jingpohu Lake [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 37(3): 103–105.
- [18] TABERLET P, COISSAC E, POMPANON F, *et al.* Power and limitations of the chloroplast *trnL* (UAA) intron for plant DNA barcoding [J]. *Nucleic Acids Research*, 2007, 35(3): e14.
- [19] SOININEN E M, GAUTHIER G, BILODEAU F, *et al.* Highly overlapping winter diet in two sympatric lemming species revealed by DNA metabarcoding [J]. *PLoS One*, 2015, 10(1): e0115335.
- [20] 李殿伟. 张广才岭森林啮齿动物分散贮食行为策略研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
- LI D W. Scatter-hoarding strategy of rodents to the forest tree seeds in the temperate forest of Zhangguangcai Mountains in northeastern China [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2019.
- [21] KOU J, WANG T J, YU F Y, *et al.* The moss genus *Didymodon* as an indicator of climate change on the Tibetan Plateau [J]. *Ecological Indicators*, 2020, 113: 106204.
- [22] ELSTER J, BENSON E E. Life in the polar terrestrial environment with a focus on algae and cyanobacteria [M]//FULLER B J, LANE N, BENSON E E. Life in the frozen state. Boca Raton: CRC Press, 2004: 137–176.
- [23] 韩婷婷. 草甸草原不同季节东北鼯鼠(*Myospalax psilurus*)的食性特征研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2024.
- HAN T T. Feeding characteristics of the *Myospalax psilurus* in different seasons in meadow grasslands [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2024.
- [24] LI D W, LIU Y, SHAN H J, *et al.* Effects of season and food on the scatter-hoarding behavior of rodents in temperate forests of northeast China [J]. *ZooKeys*, 2021, 1025: 73–89.
- [25] 韩婷婷, 商正昊妮, 袁帅, 等. 草甸草原春季不同生境东北鼯鼠(*Myospalax psilurus*)的食性特征及差异研究 [J]. *草地学报*, 2024, 32(10): 3167–3175.
- HAN T T, SHANG Z H N, YUAN S, *et al.* Dietary characteristics and differences of *Myospalax psilurus* in different habitats of the meadow grassland in springtime [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2024, 32(10): 3167–3175.
- [26] 李殿伟, 姚旭, 陈蒙爱, 等. 黑线姬鼠对林木种子的选择性 [J]. *中国森林病虫*, 2019, 38(6): 1–5.
- LI D W, YAO X, CHEN M A, *et al.* Selection preference strategy for different tree seeds of *Apodemus agrarius* [J]. *Forest Pest and Disease*, 2019, 38(6): 1–5.
- [27] 金苗, 姚志诚, 石锐, 等. 贺兰山西坡啮齿动物生境选择及种间关系 [J]. *生态学报*, 2022, 42(18): 7676–7684.
- JIN M, YAO Z C, SHI R, *et al.* Habitat selection and interspecific relationship of rodent in the west slope of Helan Mountain [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(18): 7676–7684.