



张广才岭东部地区黑线姬鼠 夏秋季植物性食物分析研究

常诗麒^{1,2}, 李殿伟^{1*}, 徐梦昊¹, 王 阳¹, 单洪佳¹, 丁 森²

(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水生态环境研究所, 北京, 100012)

稿件运行过程

收稿日期: 2023-11-17

修回日期: 2023-12-27



关键词: 黑线姬鼠;

食性;

季节变化;

DNA 宏条形码;

张广才岭

Keywords: *Apodemus agrarius*;

Dietary analysis;

Seasonal variation;

DNA metabarcoding;

Zhangguangcailing

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2024)-04-0727-07

DOI: 10.12375/ysdwxb.20240405

摘要

黑线姬鼠(*Apodemus agrarius*)是农林业典型害鼠,为探究黑线姬鼠对食物资源利用的变化特征,选取张广才岭东部地区三道关针阔叶混交林为研究地点,分别于夏季(2020年6—8月)和秋季(2020年9—11月),采用铈日法和样线法采集黑线姬鼠样本,利用DNA宏条形码技术进行黑线姬鼠食性分析。结果表明:黑线姬鼠的夏季食物主要为草本植物,胃容物包含14科19属21种,其中以稗(*Echinochloa crus-galli*, 87.0%)和堪察加费菜(*Phedimus kamschaticus*, 7.0%)为主;秋季食物主要为乔木植物果实,胃容物包含15科40属44种,其中以蒙古栎(*Quercus mongolica*, 48.3%)、湿地风毛菊(*Saussurea umbrosa*, 17.0%)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*, 7.9%)和葎草(*Humulus scandens*, 6.2%)为主;夏秋两季均摄食的有14种,以湿地风毛菊为主。通过Shannon-Wiener指数(夏季, $H' = 0.50$; 秋季, $H' = 0.83$)、Simpson指数(夏季, $D = 0.77$; 秋季, $D = 0.62$)和Chao1指数(夏季, Chao1 = 12.29; 秋季, Chao1 = 13.50)等多多样性指数分析,发现黑线姬鼠的秋季食物组成较夏季更丰富,食物物种多样性更高。研究结果探明了张广才岭三道关林区黑线姬鼠夏秋两季的食物资源利用特征,为科学开展鼠害防治提供基础资料。

Analysis of Plant Food of *Apodemus agrarius* in Summer and Autumn in Eastern Zhangguangcailing

基金项目: 研究生科技创新项目(kjcx2023-118mdjnu); 黑龙江省自然科学基金项目(SS2021C006); 牡丹江师范学院横向课题(2021H001)

第一作者简介: 常诗麒(1998—), 女, 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: changsq21@163.com

* 通信作者: 李殿伟, E-mail: swxldw@126.com

CHANG Shiqi^{1,2}, LI Dianwei^{1*}, XU Menghao¹, WANG Yang¹, SHAN Hongjia¹, DING Sen²

(1. College of Life Science and Technology, Mudanjiang Normal University, Mudanjiang, 157011, China;

2. Institute of Water Ecology and Environment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing, 100012, China)

Abstract: *Apodemus agrarius* is a typical harmful rat in agriculture and forestry. This study focuses on the characteristics of plant food resource utilization of *A. agrarius*. The rat samples were captured by snap traps in broad-leaved mixed forest of Sandaoguan Forestry Farm in the eastern part of Zhangguangcailing in summer (June-August 2020) and autumn (September-November 2020), respectively. The diet composition of *A. agrarius* was analyzed by DNA metabarcoding method. The results showed that *A. agrarius* mainly fed on herbaceous plants in summer. The food resources consisted of 21 species belong to 19 genera of 14 families, and the main components included *Echinochloa crus-galli* (87.0%) and *Pheidimus kamtschaticus* (7.0%). Moreover, the rats mainly fed on arbor fruit in autumn. The food resources consisted of 44 species belong to 40 genera of 15 families, and the main components included *Quercus mongolica* (48.3%), *Saussurea umbrosa* (17.0%), *Pinus sylvestris* var. *mongolica* (7.9%), and *Humulus scandens* (6.2%). *A. agrarius* fed on 14 plant species in both summer and autumn, mainly *Saussurea umbrosa*. The results of several biodiversity indices, such as the Shannon-Wiener diversity index ($H'_{summer} = 0.50$; $H'_{autumn} = 0.83$), the Simpson's diversity index ($D_{summer} = 0.77$; $D_{autumn} = 0.62$) and the Chao1 index ($Chao1_{summer} = 12.29$; $Chao1_{autumn} = 13.50$), indicated the food composition of *A. agrarius* was more abundant and higher diverse in autumn than that in summer. This study reveals the characteristics of food resource utilization of *A. agrarius* in Sandaoguan Forest Farm of Zhangguangcailing in summer and autumn, and provided basic data for scientific rodent control and management.

食物是物种生存和群落动态变化的物质与能量基础,是生存的资源^[1]。对于啮齿动物来说,食物资源是否充沛不仅影响个体的行为特征,也会影响种群数量的动态变化。研究发现,在食物资源相对匮乏时,营养不良的鼠类比营养正常的鼠类更倾向于打斗,以获得更多的食物资源^[2]。通过附加食物的实验研究表明,相比无附加食物的种群,附加食物能有效降低鼠类种群内部的竞争行为,并使种群数量维持在较高水平^[3]。上述研究表明食物资源的可利用性对鼠类种群数量变化具有潜在影响。

黑线姬鼠(*Apodemus agrarius*)是一种小型农林业害鼠^[4],遍布于我国东部各地及新疆西北部^[5]。黑线姬鼠属杂食性偏植物食性,具有较宽泛的食物资源利用类型^[6-7]。根据本课题组2014—2018年对张广才岭东部地区的持续监测可知,初期黑线姬鼠主要分布于农田生境^[8],而后期针阔叶混交林中的黑线姬鼠数量急剧增加,并成为三道关林区的优势物种^[9]。在黑线姬鼠分布区域转变以及种群数量增加这一过程中,黑线姬鼠的食物资源利用特征如何变

化尚未可知。食性分析是掌握鼠类对食物资源利用和环境适应能力情况的重要手段^[10-11]。传统食性分析方法一般包括粪便显微组织分析法^[12]、胃容物分析法、剖胃目视法^[13-15]、野外观察法^[16]和几何形态学法^[17],其优点是成本低、易操作^[18],但具有工作量大、食物组分难以准确区分的缺点^[19]。随着分子生物学技术的发展,目前多数研究采用基于高通量测序的DNA宏条形码技术进行食性分析,这大大提高了食物分析的准确性^[20-23]。本研究应用DNA宏条形码技术分析张广才岭东部地区黑线姬鼠夏秋两季的植物性食性特征,在野生动物食性研究方面突破了传统的显微分析方法,为野生动物营养生态学的研究提供了新的方法和思路,以期科学制定鼠害防治策略提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

三道关林场(44°41'—44°51' N, 129°17'—129°35' E)位于牡丹江市西北部,属长白山系张广才岭

东坡。该区域属温带大陆性季风气候,年平均降水量为 537 mm,海拔 380 ~ 550 m,属于流水侵蚀山地^[24]。研究区为针阔叶混交林生境,主要有红松(*Pinus koraiensis*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、紫椴(*Tilia amurensis*)和毛榛(*Corylus mandshurica*)等^[25-26]。

1.2 样品采集

分别于夏季(2020年6—8月)和秋季(2020年9—11月)采用铗日法(15 cm × 8 cm 铁板捕鼠铗)采集黑线姬鼠样本。在三道关林场设置2块生境环境相同的调查样地,每块样地按3条样线布铗,样线间隔20 m,铗距5 m,每条样线放置100个捕鼠铗。以炒熟的白瓜子为诱饵,24 h后查看捕获情况并补充诱饵。排除捕获的其他鼠类物种后,共采集黑线姬鼠21只,其中夏季7只(样本名称:XH1、XH2、XH3、XH4、XH5、XH6和XH7)、秋季14只(样本名称:QH1、QH2、QH3、QH4、QH5、QH6、QH7、QH8、QH9、QH10、QH11、QH12、QH13和QH14)。本研究已通过牡丹江师范学院实验动物福利伦理委员会的审查(2023002)。

1.3 样品制备与DNA宏条形码分析

在无菌环境下解剖黑线姬鼠获取胃容物,取0.3 ~ 0.5 g胃容物置于2 mL离心管中,放入冰箱-80 °C保存,以待后续分析。在无菌条件下向胃容物中加入TE缓冲液进行研磨,加入10 μL蛋白酶K,于56 °C恒温条件下消化12 h后,使用FAST土壤DNA提取试剂盒(MP Biomedicals, Santa Ana, CA)提取DNA。所得产物溶于TE缓冲液中,经2%琼脂糖凝胶电泳检测(110 V, 20 min)后于冰箱-20 °C保存。

对合格样本的检测区域设置3个重复实验,进行高保真PCR扩增,同时以标准基因组DNA Mix作为阳性对照,扩增引物选用叶绿体基因[27]对

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。将PCR产物用磁珠纯化回收,将上清液移到1.5 mL离心管中保存,采用Illumina MiSeq/NovaSeq高通量测序平台制备文库以及对群落DNA片段进行双端(paired-end)测序。测序由上海天昊生物科技有限公司完成。

1.4 数据分析

原始数据经过QIIME2软件的cutadapt插件去除可能包含的adapter序列和引物后,统计原始数据质量。为得到高质量的测序数据,以提高后续生物信息分析的准确性,使用QIIME2软件的DADA2插件对数据进行质量过滤、降噪、拼接及去嵌合体。采用扩增序列变体(amplicon sequence variant, ASV)仅去掉重复序列,不进行相似度聚类,使用QIIME2的DADA2插件进行质控后直接生成分类单元,并对每个样品进行ASV抽平,然后选取有效的OTU代表性序列,与数据库(16S默认Greengenes Database 13_8版本)进行比对,采用朴素贝叶斯分类器(naive Bayes classifier)注释被挑选出来的有效特征序列,将每个样本的分类信息按照不同的分类水平整合到一起,导入QIIME2软件,再运用QIIME2软件的DADA2插件进行质控后直接生成物种注释信息,在物种注释信息的基础上,去掉注释信息为叶绿体和不能注释到界级别的OTU及其包含的序列,并删除丰度小于0.005%的特征,基于OTU的绝对丰度及注释信息,对每个样品在7个分类水平(界、门、纲、目、科、属、种)上的所有序列数目所占总序列数的比例进行统计,根据ASV/OTU表,统计研究样本在界、门、纲、目、科、属、种7个分类水平上的物种丰度。用R软件包中的ggplot2和VennDiagram分析物种相对丰度柱状图,进而分析黑线姬鼠夏秋季植物性食物组成,由于在物种注释时可能存在错配现象,导致出现的物种不是本地物种,在这种情况下,将非本地物种所在属作为注释结果。采用观测物种数、Shannon-Wiener指数(H')、Simpson指数(D)和Chao1指数进行两季食物多样性比较,公式为

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i,$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}.$$

式中： P_i 为第*i*种植物的相对丰度； N 为所有序列数， n_i 指第*i*个ASV所含的序列数。

2 结果

2.1 黑线姬鼠夏季植物性食性特征分析

黑线姬鼠夏季胃容物中共鉴定出14科19属21种植物，植物相对丰度(relative abundance, R_D)大于1.0%的植物有5种。黑线姬鼠夏季优势食物为禾

本科(Poaceae)稗属(*Echinochloa*)稗(*E. crus-galli*)，达植物总丰度的87.0%，其后依次为景天科(Crassulaceae)费菜属(*Phedimus*)堪察加费菜(*Ph. kamtschaticus*)、菊科(Asteraceae)风毛菊属(*Saussurea*)湿地风毛菊(*S. umbrosa*)、菊科蒿属(*Artemisia*)萎蒿(*A. selengensis*)和松科(Pinaceae)松属(*Pinus*)樟子松，分别占植物总丰度的7.0%、1.4%、1.4%和1.1%(图1)。

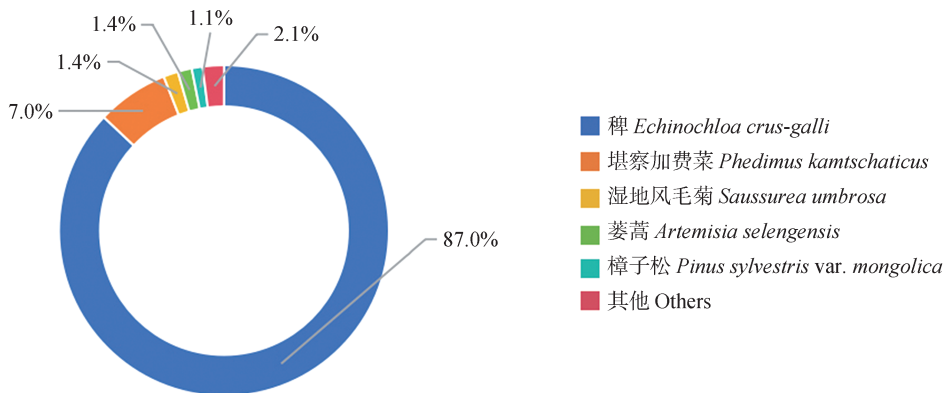


图1 三道关林场黑线姬鼠夏季植物性食物构成

Fig. 1 Plant food composition of *Apodemus agrarius* in Sandaoguan Forest Farm in summer

2.2 黑线姬鼠秋季植物性食性特征分析

黑线姬鼠秋季胃容物中共鉴定出15科40属44种植物，其中 $R_D > 1.0%$ 的植物有10种。黑线姬鼠秋季优势食物为壳斗科(Fagaceae)栎属(*Quercus*)蒙古

栎, $R_D = 48.3%$ 。此外, R_D 大于5.0%的植物包括湿地风毛菊($R_D = 17.0%$)、樟子松($R_D = 7.9%$)、大麻科(Cannabaceae)葎草属(*Humulus*)葎草(*H. scandens*, $R_D = 6.2%$)(图2)。

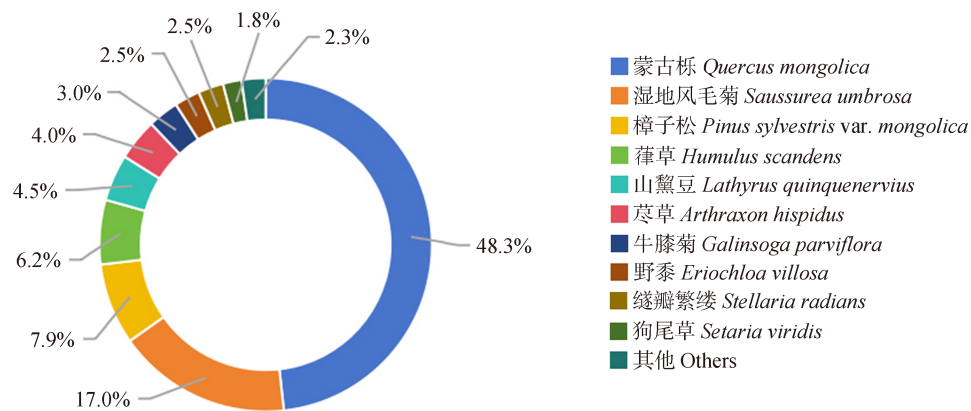


图2 三道关林场黑线姬鼠秋季植物性食物构成

Fig. 2 Plant food composition of *Apodemus agrarius* in Sandaoguan Forest Farm in autumn

2.3 黑线姬鼠夏秋两季植物性食性的差异

经Illumina高通量测序后，在21份样本中共得到1 517 392条reads，经降噪等处理后得到1 418 287条有效序列用于数据分析。经聚类获得77个ASV，其中黑线姬鼠夏季ASV有33个(占比42.9%)、秋季ASV

有58个(占比75.3%，图3)。夏季特有ASV共19个，秋季特有ASV共44个，夏秋两季共有14个ASV，均少于两季特有ASV数，说明黑线姬鼠夏秋季植物性食物组成有差异。黑线姬鼠夏季主要以草本植物为食，取食种类主要有5种，而秋季主要以乔木植物果实为食，

取食种类主要有10种。两季相同的食物种类为湿地风毛菊和樟子松,但夏季取食量较少(图4)。

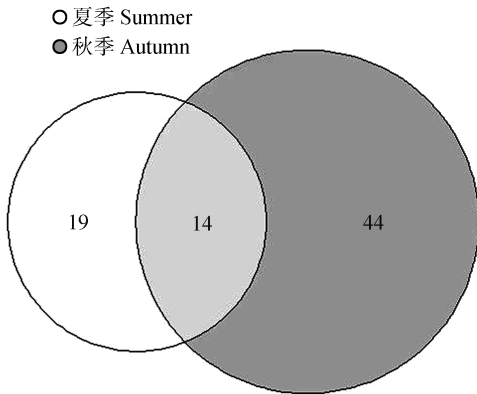


图3 黑线姬鼠夏秋两季ASV韦恩图

Fig. 3 ASV Venn diagram of *Apodemus agrarius* in summer and autumn

从黑线姬鼠的植物性食物多样性特征来看,秋季的观测物种数、Chao1指数和Shannon-Wiener多样性指数均高于夏季,而夏季Simpson指数高于秋季(表1),表明黑线姬鼠秋季食物组成多样性明显高于夏季,取食植物种类和数量更为丰富。

表1 黑线姬鼠夏秋两季食物多样性指数

Tab. 1 Comparison of food diversity index of *Apodemus agrarius* between summer and autumn

季节 Season	观测物种数 Observed species index	Chao1 指数 Chao1 index	Shannon-Wiener 多样性指数(H') Shannon-Wiener index	Simpson 指数(D) Simpson index
夏季 Summer	12	12.29	0.50	0.77
秋季 Autumn	13	13.50	0.83	0.62

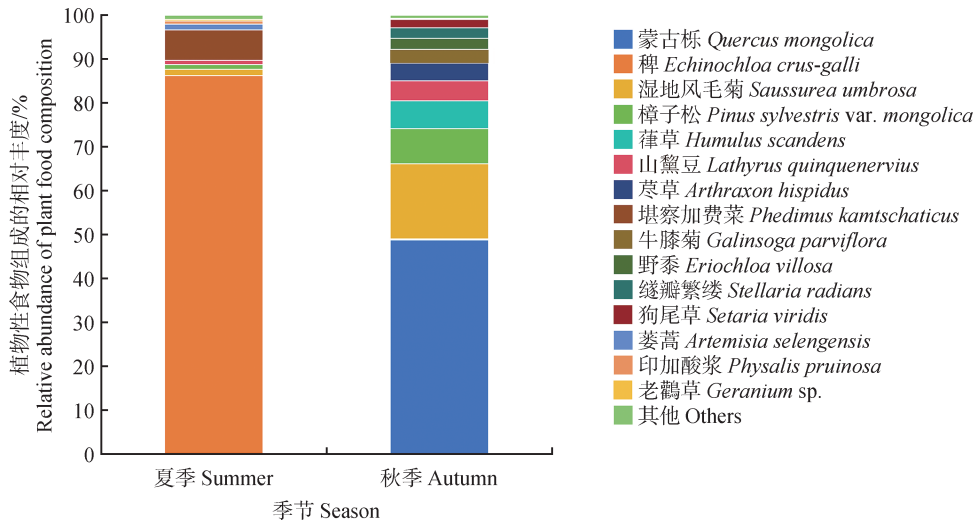


图4 黑线姬鼠夏秋两季植物性食物组成的相对丰度

Fig. 4 Relative abundance of plant food composition of *Apodemus agrarius* in summer and autumn

3 讨论

动物食性分析方法是科学掌握鼠类食物资源利用特征和环境适应方式的重要手段。传统食性分析方法简单、成本低,但在确定食物组成方面准确性不高,很多植物碎屑难于鉴定^[13],而近年来应用较多的分子分析方法能较好地解决这一问题^[28],因此当前啮齿动物的食性分析研究中多采用DNA宏条形码技术^[29-30],但该方法也存在一定的局限性,如在实验操作时,样本里混入了污染物或测序时发生序列错误等,都会影响后续测序结果的准确性^[19]。Brandon-Mong *et al.* ^[31]研究发现,DNA宏条形码分析结果中

出现高水平OTUs的原因一方面是文库测序时引物杂交引起的错误,另一方面是在检测中发现存在残留组织,如卵、微小标本和内共生细菌(如沃尔巴克氏体)等。

不同生境类型中的鼠类可利用的食物资源类型存在明显差异。张旭新^[32]研究发现,鼯鼠(*Myospalacinae*)在不同生境类型样地中的食物种类组成明显不同,说明鼯鼠的取食在很大程度上受生境中植被类型的影响。本研究结果发现,在三道关林场针阔混交林生境中,黑线姬鼠夏季以草本植物为主要食物资源,秋季以乔木植物果实为主要食物资源。与以往研究相比,张广才岭农田生境中黑线姬鼠在

夏秋季主要利用人工种植的大豆(*Glycine max*)、马铃薯(*Solanum tuberosum*)等作为食物资源,在冬春季则以动物性食物和绿色植物为食^[23]。这一结果表明,一方面黑线姬鼠对果实等食物资源存在偏好,会优先利用果实作为主要能量补充^[33],另一方面,不同生境中的食物资源类型会驱动黑线姬鼠取食发生变化。

本研究表明,季节变化也会引起黑线姬鼠可利用的植物性食物资源类型发生转变。三道关林场属于温带大陆季风气候,本研究所选样地气候湿润,低矮植被茂盛,乔木主要以蒙古栎和樟子松为主。根据研究结果可知,黑线姬鼠夏秋两季食物种类组成差异较大,依据植物科学数据中心(<https://www.plantplus.cn/cn>)查询得知,对于本研究所鉴定出的植物,夏季大部分植物的花期在6—7月,果期在8—10月,此时食物资源丰富,黑线姬鼠食物组成丰富,多为草本植物;秋季乔木的果期在9—10月,草本植物的果期在8—9月,食物种类较少,且多为果实,该查询结果与夏秋两季生长的植物花果期相符,说明了该数据的准确性。有研究表明,黑线姬鼠主要食用植物的根、茎和叶,较少食用种子^[13],而本研究夏季食物中发现樟子松,可能是秋冬季节果实成熟自然脱落和贮食遗留。

黑线姬鼠为杂食性鼠类,除了以植物为主要食物外,还以蝗虫、蚯蚓等无脊椎动物为食^[13,23]。本研究未进行动物性食性检测,尚不能获取黑线姬鼠动物性食物构成的有效信息,后续需开展相关研究。

参考文献:

- [1] LI D W, ZHANG C Z, CAO Y W, *et al.* Food preference strategy of four sympatric rodents in a temperate forest in northeast China [J]. *ZooKeys*, 2023, 1158: 163–177.
- [2] WHATSON T S, SMART J L, DOBBING J. Social interactions among adult male rats after early undernutrition [J]. *British Journal of Nutrition*, 1974, 32(2): 413–419.
- [3] 聂海燕, 刘季科, 苏建平. 小型啮齿动物种群系统调节复合因子理论的野外实验研究: 食物可利用性和捕食对根田鼠种群空间行为的作用模式及其对种群调节的探讨[J]. *兽类学报*, 1995, 15(1): 41–52.
NIE H Y, LIU J K, SU J P. Field experimental studies on the multifactorial hypothesis of population system regulation for small rodents: the effect pattern of food availability and predation on spacing behaviour of root voles and the function of spacing behaviour in population regulation[J]. *Acta Theriologica Sinica*, 1995, 15(1): 41–52.
- [4] 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 north-eastern China[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2019.
- [5] 杨再学, 金星, 郭永旺, 等. 贵州省不同地区黑线姬鼠种群数量动态分析[J]. *山地农业生物学报*, 2015, 34(1): 13–17; 27; 2.
YANG Z X, JIN X, GUO Y W, *et al.* Analysis of population quantity dynamics of *Apodemus agrarius* in different regions of Guizhou Province [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2015, 34(1): 13–17; 27; 2.
- [6] 牛翠娟, 娄安如, 孙儒泳, 等. 基础生态学[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2015.
NIU C J, LOU A R, SUN R Y, *et al.* *Foundations in ecology* [M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2015.
- [7] 杨再学, 郑元利, 金星, 等. 黑线姬鼠胎仔数变动规律及对种群数量的影响[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(33): 363–367.
YANG Z X, ZHENG Y L, JIN X, *et al.* Fluctuation law of litter size and its influence on population quantity of *Apodemus agrarius* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29 (33) : 363–367.
- [8] 金志民. 黑龙江省张广才岭林区啮齿动物群落格局动态研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
JIN Z M. A study on dynamics of rodent community patterns in forests of Zhangguangcai Mountain, Heilongjiang Province, China [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2019.
- [9] 李殿伟, 姚旭, 金志民, 等. 张广才岭东部山地啮齿动物群落多样性调查[J]. *中国森林病虫*, 2019, 38(5): 28–33; 37.
LI D W, YAO X, JIN Z M, *et al.* Investigation of rodent community diversity in the eastern forest of Zhangguangcai Mountains [J]. *Forest Pest and Disease*, 2019, 38(5): 28–33; 37.
- [10] 李天保. 济源市王屋山地区林栖鼠类食性分析[J]. *现代农业科技*, 2020(20): 83–85; 88.
LI T B. Dietary analysis of forest rodents in Wangwu Mountain area of Jiyuan City [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2020(20): 83–85; 88.
- [11] 雍仲禹, 郭聪, 张美文, 等. 啮齿动物食性研究的意义及方法评述[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(11): 2637–2645.
YONG Z Y, GUO C, ZHANG M W, *et al.* Significance and methodology of rodent's food habit research: a review [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(11): 2637–2645.
- [12] ELLIOTT T F, VERNES K. Notes on the diets of four rodent species from Goodenough Island [J]. *Australian Mammalogy*, 2020, 43(2): 256–259.
- [13] 雍仲禹, 张美文, 郭聪, 等. 洞庭湖区黑线姬鼠食性调查[J]. *动物学杂志*, 2012, 47(3): 115–121.
YONG Z Y, ZHANG M W, GUO C, *et al.* Dietary habit of *Apodemus agrarius* in Dongting Lake area [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2012, 47(3): 115–121.
- [14] MULUNGU L S, MASSAWA A W, KENNIS J, *et al.* Differ-

- ences in diet between two rodent species, *Mastomys natalensis* and *Gerbilliscus vicinus*, in fallow land habitats in central Tanzania[J]. African Zoology, 2011, 46(2): 387-392.
- [15] 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.
- [16] YIP S J S, DICKMAN C R. Foraging and food selection in a desert rodent: diet shifts of the sandy inland mouse between population booms and busts[J]. Animals, 2023, 13(10): 1702.
- [17] CANO A R G, FERNÁNDEZ M H, ÁLVAREZ-SIERRA M Á. Dietary ecology of Murinae (Muridae, Rodentia): a geometric morphometric approach[J]. PLoS One, 2013, 8(11): e79080.
- [18] 湛振杰, 张超, 陈敏豪, 等. 基于DNA宏条形码技术的大兴安岭北部欧亚水獭冬季食性分析[J]. 生物多样性, 2023, 31(6): 85-96.
ZHAN Z J, ZHANG C, CHEN M H, *et al.* DNA metabarcoding-based winter diet analysis of Eurasian otter (*Lutra lutra*) in the northern Greater Khingan Mountains[J]. Biodiversity Science, 2023, 31(6): 85-96.
- [19] 杨舒哈, 蔡延芳, 王野影, 等. 贵州茂兰喀斯特地区隐纹花松鼠秋季食性分析[J]. 野生动物学报, 2022, 43(2): 337-344.
YANG S H, CAI Y F, WANG Y Y, *et al.* Autumn diet analysis on Swinhoe's striped squirrel (*Tamiops swinhoei*) in Maolan Karst area, Guizhou Province, China[J]. Chinese Journal of Wildlife, 2022, 43(2): 337-344.
- [20] 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.
- [21] ZHANG X X, ZOU Y, ZOU X, *et al.* DNA metabarcoding uncovers the diet of subterranean rodents in China[J]. PLoS One, 2022, 17(4): e0258078.
- [22] LOPES C M, DE BARBA M, BOYER F, *et al.* DNA metabarcoding diet analysis for species with parapatric vs sympatric distribution: a case study on subterranean rodents[J]. Heredity, 2015, 114(5): 525-536.
- [23] SOININEN E M, RAVOLAINEN V T, BRÅTHEN K A, *et al.* Arctic small rodents have diverse diets and flexible food selection[J]. PLoS One, 2013, 8(6): e68128.
- [24] 李殿伟, 孟繁星, 刘佳慧, 等. 张广才岭东部两种姬鼠两性异形比较研究[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(20): 105-110; 187.
LI D W, MENG F X, LIU J H, *et al.* Comparative study of two sexual dimorphisms of two species of *Apodemus* in the east of Zhangguangcailing[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2022, 61(20): 105-110; 187.
- [25] 王悦山, 王丽丽, 范春楠, 等. 张广才岭森林植物区系研究[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2012, 13(5): 573-577.
WANG Y S, WANG L L, FAN C N, *et al.* Study of flora in Zhangguangcai Mountains[J]. Journal of Beihua University (Natural Science), 2012, 13(5): 573-577.
- [26] 孙越, 夏富才, 赵秀海, 等. 张广才岭温带次生针阔混交林物种组成和群落结构特征[J]. 生态学报, 2017, 37(10): 3425-3436.
SUN Y, XIA F C, ZHAO X H, *et al.* The composition and community structure of coniferous and broadleaved mixed forest species in the Zhangguangcai Mountains, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(10): 3425-3436.
- [27] 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.
- [28] KHANAM S, HOWITT R, MUSHTAQ M, *et al.* Diet analysis of small mammal pests: a comparison of molecular and microhistological methods[J]. Integrative Zoology, 2016, 11(2): 98-110.
- [29] KLURE D M, GREENHALGH R, DEARING M D. Addressing nontarget amplification in DNA metabarcoding studies of arthropod-feeding rodents[J]. Mammal Research, 2022, 67(4): 499-509.
- [30] NEBY M, KAMENOVA S, DEVINEAU O, *et al.* Issues of under-representation in quantitative DNA metabarcoding weaken the inference about diet of the tundra vole *Microtus oeconomus*[J]. PeerJ, 2021, 9: e11936.
- [31] BRANDON-MONG G J, GAN H M, SING K W, *et al.* DNA metabarcoding of insects and allies: an evaluation of primers and pipelines[J]. Bulletin of Entomological Research, 2015, 105(6): 717-727.
- [32] 张旭新. 宁夏六盘山地区鼯鼠食性与胃内容物微生物相关性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
ZHANG X X. Study on the correlation between diet and stomach contents microbes of zokor in Liu-pan Mountains, Ningxia[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2022.
- [33] 李楠, 黎道洪, 袁萌. 亚热带森林啮齿类动物对林区两种植物果实的捕食和扩散研究: 以宽阔水自然保护区为例[J]. 四川动物, 2011, 30(3): 362-365; 371.
LI N, LI D H, YUAN M. Diffusion effects of plant seeds by rodents collecting fruits of two species plants in subtropical forest: a case of Kuankuoshui Nature Reserve, Guizhou of China[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2011, 30(3): 362-365; 371.