

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 6 期

2013 年 3 月 (半月刊)

目 次

专论与综述

- 基于遥感技术的森林健康研究综述..... 高广磊,信忠保,丁国栋,等 (1675)
Agent 农业土地变化模型研究进展..... 余强毅,吴文斌,杨 鹏,等 (1690)

个体与基础生态

- 辽东湾北部近海沙蜃的动态分布..... 王 彬,秦宇博,董 婧,等 (1701)
口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达..... 刘海映,刘连为,姜玉声,等 (1713)
中缅树鼯头骨及下臼齿几何形态与环境的关系..... 朱万龙,贾 婷,黄春梅,等 (1721)
亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响..... 季晓燕,江 洪,洪江华,等 (1731)
浙北地区常见绿化树种光合固碳特征..... 张 娇,施拥军,朱月清,等 (1740)
两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征..... 郭春燕,李晋川,岳建英,等 (1751)
基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术..... 张建平,赵艳霞,王春乙,等 (1762)
基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草蛉不同地理种群遗传分化研究..... 周志军,尚 娜,刘 静,等 (1770)
圈养尖吻蝾螈雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系..... 胡明行,谭群英,杨道德 (1778)
应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇..... 郑思宁,黄居昌,叶光禄,等 (1784)
青蒿素对外生菌根真菌化感效应..... 李 倩,袁 玲,王明霞,等 (1791)

种群、群落和生态系统

- 海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用..... 李纯厚,林 琳,徐姗姗,等 (1798)
上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响..... 孙鲁峰,柯 昶,徐兆礼,等 (1811)
半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例..... 彭 羽,高 英,冯金朝,等 (1822)
太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应..... 金冠一,赵秀海,康峰峰,等 (1832)
重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应..... 王轶浩,王彦辉,于澎湃,等 (1842)

景观、区域和全球生态

- 城市典型水域景观的热环境效应..... 岳文泽,徐丽华 (1852)
外来树种桉树引种的景观生态安全格局..... 赵筱青,和春兰 (1860)
基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究..... 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1872)
大气 CO₂ 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响..... 严 陈,许 静,钟文辉,等 (1881)

资源与产业生态

- 基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价..... 柯丽娜,王权明,孙新国,等 (1889)
亚热带养殖海湾皱瘤海鞘生物沉积的现场研究..... 闫家国,齐占会,田梓杨,等 (1900)
黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征..... 张丽娜,李 军,范 鹏,等 (1907)

旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应..... 张丁辰,蔡典雄,代 快,等 (1916)

商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性..... 彭晓邦,张硕新 (1926)

外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应..... 高会玲,刘金隆,郑青松,等 (1935)

基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 刘庆新,孟 平,张劲松,等 (1944)

研究简报

湿地自然保护区保护价值评价方法..... 孙 锐,崔国发,雷 霆,等 (1952)

干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征..... 高成杰,唐国勇,李 昆,等 (1964)

海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征..... 周瑞莲,王 进,杨淑琴,等 (1973)

宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 姜 林,耿增超,张 雯,等 (1982)

学术争鸣

小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化..... 侯玲玲,毛子军,孙 涛,等 (1994)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2002)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说: 亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木,可高达 25m,胸径 50cm。其树冠呈卵圆形,树皮白色,纸状分层剥离;叶三角状、卵形或菱状卵形;花单性,雌雄同株。白桦树喜光,耐严寒,对土壤适应性强,喜酸性土,沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好,生长较快,萌芽强,在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里,往往由白桦首先进入,为先锋树种,而形成白桦次生林。白桦分布甚广,我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林,在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112141910

朱万龙, 贾婷, 黄春梅, 王政昆. 中缅树鼯头骨及下臼齿几何形态与环境的关系. 生态学报, 2013, 33(6): 1721-1730.

Zhu W L, Jia T, Huang C M, Wang Z K. Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1721-1730.

中缅树鼯头骨及下臼齿几何形态与环境的关系

朱万龙, 贾 婷, 黄春梅, 王政昆*

(云南师范大学生命科学学院, 昆明 650500)

摘要:共选取分布于云南、贵州和广西地区的 190 个中缅树鼯头骨和 32 颗臼齿(第二、第三下臼齿), 运用几何形态测量法对其头骨侧面、腹面、背面及下颌侧面的形态特征进行主成分分析、薄片样条分析, 同时运用统计软件 SPSS15.0 对头骨和臼齿进行多维尺度分析, 以探讨头骨及臼齿形态与环境之间的关系。结果表明, 头骨侧面在研究多种群头骨形态时更适宜, 更有参考价值; 经过薄片样条法分析显示形变多集中在鼻骨和臼齿, 这可能与中缅树鼯生存的气候和地理环境相适应; 经多维尺度分析显示云南、贵州和广西地区的中缅树鼯头骨具有明显的地区差异, 同时, 对臼齿的分析显示, 臼齿形态具有地区差异, 这种变化可能与中缅树鼯生活环境的经度和纬度有关。综上, 云南、贵州和广西地区的中缅树鼯的头骨具有形态变异, 并且差异仅仅发生在种群水平, 这可能反映了其对特定生态环境的形态适应。

关键词:中缅树鼯; 几何形态测量法; 头骨; 臼齿

Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi

ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, WANG Zhengkun*

School of Life sciences of Yunnan Normal University, Kunming 650500, China

Abstract: Tree shrews, native in south-east Asia, are diurnal mammals that share morphological features with insectivores and primates. This led to the assumption that tree shrews derived from a basal stock of Mesozoic insectivore Eutheria close to the origin of primates. Nowadays tree shrews are positioned as a separate order Scandentia with the extant species integrated into the families Tupaiidae and Ptilocercidae. *Tupaia belangeri* belongs to Scandentia, Tupaiidae. They are small mammals of Palearctic realm and Primarily inhabit in Southern China, India, and Southeast Asia. *T. belangeri* had the widest of distribution and occupies the highest of latitude in their family; and they were always inhabited in terrestrial, arboreal, mountainous forest and shrub areas. The analysis of shape is a fundamental part of many biological researches. Along with the development of statistics, so it had the sophistication of the analysis of these types of data. In the 1980s, a fundamental change began in the nature of the data gathered and analyzed, which focused on the coordinates of landmarks and the geometric information about their relative positions. This new approach, called “geometric morphometrics”, which had benefits that lead Rohlf and Marcus (1993) to proclaim a “revolution” in morphometrics. Morphological divergence among taxa was estimated quantitatively by analysing the outline of the mandible. This method treats the mandible shape globally and provides continuous data which can be used to compute of phenotypic distances. In the present study, the morphological characteristics of the skulls, mandibles and molars (lower second molar and lower third molar) of *T. belangeri* distributed in Yunnan, Guizhou and Guangxi were measured by geometric morphometric techniques, principal

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31260097); 云南省应用基础研究面上项目(2011FZ082)

收稿日期:2011-12-14; **修订日期:**2012-08-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wz_k_930@yahoo.com.cn

components analysis, discriminate analysis, thin plate spline and multidimensional scaling analysis. Principal components analysis showed the morphological characteristics of the lateral cranium were more valuable to be considered as morphological index, this could be the result of sense organs including the nasal cavity, orbit and the ear vesicle of lateral cranium in *T. belangeri*. In addition, significant morphological differentiations were observed in both nose bone and molars by using thin plate spline analysis, which may reflect its adaptation to geographical differences in climate and environment, morphological changes of nasal cavity can alleviate the cold air from the outside to the lungs effectively, but also reflects the rate of water loss, and water loss was related to the environment temperature, so the different ambient temperature may result in changes of nasal cavity morphology in *T. belangeri*. In addition, the size of nasal cavity may also reflect humidity conditions of its habitat indirectly. Therefore, the dual role of the temperature and the humidity may lead to difference of nasal cavity in *T. belangeri* which were distributed in Yunna, Guizhou and Guangxi. With multidimensional scaling analysis, it was showed that the morphological characteristics of skulls and molars were significant differentiate from three areas. Using multidimensional scaling analysis of molars, differences in molar may reflect different feeding habits, which may be related to longitude or latitude of their habitations. It showed that the second lower molar of the score (0.443, 0.433) and three lower molars of the score (0.448, 0.412) had the larger contribution on the first dimension from the diagram of dimension weights, combined with the results by multidimensional scaling analysis, changes of molar may be influenced by the longitude, in other word, it may be influenced by the condition of water. In conclusion, the morphological characteristics of the skulls and mandibles of *T. belangeri* distributed in Yunna, Guizhou and Guangxi can be distinguished at population level, which may indicated the geographical adaptation to the environment.

Key Words: *Tupaia belangeri*; geometric morphometric techniques; skull; molar

中緬樹鼯(*Tupaia belangeri*)属攀鼯目(Scandentia)树鼯科(Tupaiidae),为东洋界热带亚热带特有类群,其分布从马来半岛北部一直延伸到我国的南部和西南部以及喜马拉雅山区,是东南亚树鼯分布最北的一个种,我国南部和西南部很可能是树鼯分布的北限。在我国,中緬树鼯主要分布与云南、四川西南部、广西南部 and 海南岛,除海南岛外,中緬树鼯在我国的其它分布范围属青藏高原南延部分,其海拔西部高东部低,相对高度变化较大,属典型的热带、亚热带气候地区,其环境条件由湿热类型向干旱寒冷逐渐转变,形成明显的气候过渡地带,为动物生存提供了多种多样的栖息环境^[1]。

生态形态学研究的是环境因子(包括物理的和生物的)与生物形态之间的关系,及其在物种分化和形成中的作用,可以用来测定生物形态变化与生态变化之间的关联性以及根据形态特征做出生态学推断^[2]。其立足点在于形态特征与生态分布的相关性,甚至认为通过生态形态特征可以推断有机体在不同的环境下的进化特征和进化模式^[3]。形态特征历来是分类学的基础,是探讨系统发育同源或异源的主要依据。头骨形态的比较不仅在动物种间、种内关系^[4]和生态特征^[5]等研究方面具有重要参考价值,而且在动物地理演化、发育生物学以及进化生态学的研究中也具有十分重要的意义^[6]。地理分布的不同,使得物种生活的环境可能不同,长期适应的结果最终是使生活在其中的一些小型哺乳动物在种内或种间水平上出现了形态学上的差异^[7-9],这些形态学的差异在一定程度上反映在该物种的骨骼和身体大小的变化上^[10-11]。臼齿的形态反映的是哺乳动物的食性问题,对臼齿形态的研究可以深入的了解动物形态与其生活环境、食性之间的关系。目前已有很多研究显示第二、第三下臼齿在研究动物与其生活环境的适应关系及其分类和演化方面有重要的意义^[12-14]。近年来,几何形态测量技术不断地发展和完善,已经成为研究种间、种内形态分化的重要手段,而且已经在啮齿动物中得到了广泛的应用^[15-18]。相对于传统的形态测量法,几何形态测量技术可以对生物样本及样本之间的形态变化进行定量描述和分析,并区分和确定引起形态变异的原因^[19]。几何形态测量技术的优点正是在于能对生物形态特征进行定量比较分析研究,并且在比较的过程中,仅需要考虑的是样本的形态变化,而不需要考虑标本实际大小,因此得到了广泛的应用,目前已有诸多报道^[20-21]。

树鼯的分类地位、亚种分化以及形态变异等问题,一直以来为许多学者所关注^[22-28]。因此为了阐明中国树鼯形态变异的特征及其与环境之间的关系,本研究在之前的研究基础上^[29],进一步通过几何形态测量技术对分布于云南、贵州和广西地区的中缅树鼯的头骨形态差异及第二和第三下臼齿的形态特征进行了探讨,从种群水平推断环境因子与形态变异之间的关联性,为中缅树鼯形态适应以及系统演化的研究提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 样本采集

本研究所涉及到的所有标本均来自中国科学院昆明动物研究所标本馆,共 190 个标本,其中,云南地区标本的采集地包括:德钦($n=4$)、丽江($n=19$)、大理($n=27$)、昆明($n=47$)、德宏($n=6$)、临沧($n=7$)、马关($n=8$)、腾冲($n=4$)、红河($n=8$)、景东($n=4$)、怒江($n=8$)、版纳($n=13$)和思茅($n=13$);贵州地区标本的采集地为黔西南的兴义和贞丰龙头山($n=3$);广西地区标本的采集地包括:南宁、金秀和瑶山($n=19$)。下臼齿的研究采用其中的德钦($n=4$)、丽江($n=19$)、大理($n=27$)、贵州($n=3$)和广西地区($n=19$)的共 32 个样本。Cardini 等^[16]提出性二型形在考虑样本大小时表现出极大的影响,而在研究样本形态时可以被忽略。本研究仅涉及样本形态的差异,所以忽略了样本性别,统一计数。

1.2 数据获取

几何形态测量技术是一种功能较强的分析方法,它可以对生物体及其器官的形态进行定量分析^[30]。本研究采用的是标点法,标点是在生物结构中选定的样点,即通过若干界标点对每一个样本数字化后所获取的外形结构数据。过程包括图片获取、图片数字化、去除非形态变异及数据处理。形态差异可以通过变异中多变量比较数据来体现,即利用栅格的变形来表示^[31],称之为薄片样条法(TPS)^[32]。几何形态测量技术可以将样本的大小和形状相互独立,以使结果更加可信。

1.2.1 图片获取

用 Cannon A 720IS 数码相机距离头骨 10 cm 以微距拍摄头骨侧面、背面、腹面和下颌侧面(图 1),臼齿照片利用解剖镜 2.5 倍放大拍摄(图 2)。

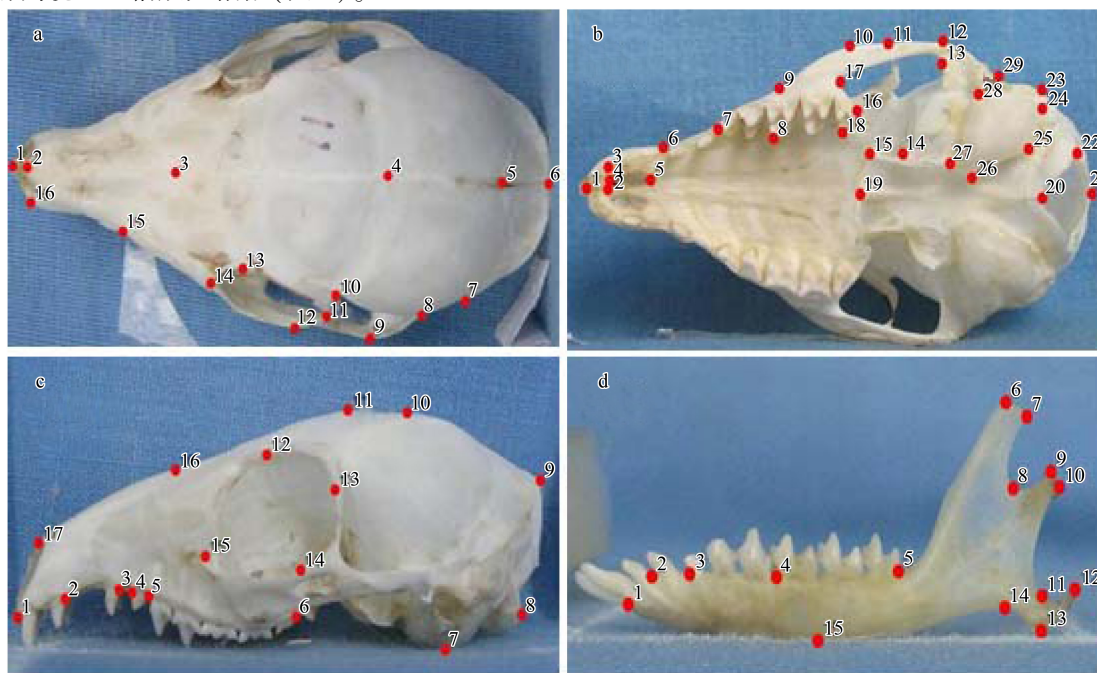


图 1 中缅树鼯头骨背面(a)、头骨腹面(b)、头骨侧面(c)及下颌侧面(d)标点标记图

Fig. 1 Landmark configurations on the dorsal cranium (a), ventral cranium (b), lateral cranium (c) and lateral mandible (d) of *Tupaia belangeri*

1.2.2 图片数字化

用 TPSDIG2 软件对获得的图片进行数字化^[33]处理。根据相关兽类头骨及下臼齿标记的方法^[20-21]并结合中缅树鼩头骨及下臼齿的实际形态,对相应照片进行打点标记(图 1 和图 2)。界标点被数字化处理后获得相应的坐标数据。为避免数据重复,对中缅树鼩头骨形态的研究仅对样本左面结构进行标记,对下臼齿的研究仅分析其咬合面的形态。为保证界标准确性,每个标记均由同一人重复标记 6 次以上,所得到的均值坐标数据用于后面的统计分析。

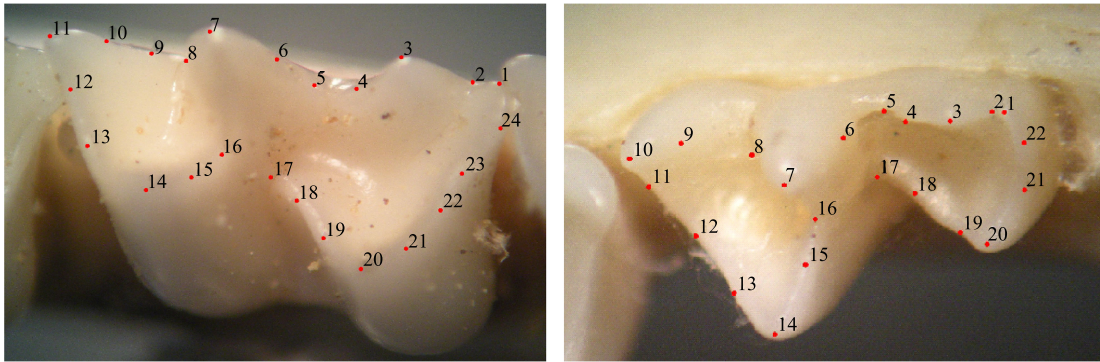


图 2 中缅树鼩第二下臼齿(左)和第三下臼齿(右)界标点标记图

Fig.2 Landmark configurations on the crown of the lower second molar (left) and the lower third molar (right) of *T. belangeri*

1.2.3 去除非形态变异

标本上界标点的位置、比例等的变化,即人为因素造成图片角度的误差等会引起直接分析的相关性变化,因此,必须去除非形态变异对分析的干扰。本研究主要采用的是广义普鲁克分析(GPA),即使用最小正方形估计平移和旋转参数,从而将界标点布局进行叠印。

1.2.4 薄片样条法

薄片样条法是一种用来绘制样本形态差异的方法。该方法中的形态差异是通过 D'Arcy Thompson 的栅格转化理论经严格数学计算实现的,形变显示了平均标记与目标结构之间的差异。描述这些变形的参数可以作为形态变异总体内和总体间统计比较时的变量。

1.3 数据处理

用 Morphologika 2 v 2.5 软件对所得数据进行薄片样条分析及主成分分析。用 SPSS15.0 将头骨每个面分析所得到的前 3 个主成分值各自做判别函数分析。头骨背面、腹面、侧面及下颌侧面的数据信息组合起来可以代表整个头骨的形态特征,4 组数据组合后所得矩阵使用多维尺度分析法来进行分析。多维尺度分析采用 SPSS15.0 完成。

2 结果

2.1 头骨侧面分析

以头骨侧面做主成分分析,结果表明(表 1):前三个主成分的特征值占总体变量的 77.9%。第一主成分

表 1 主成分分析前三个主成分的特征值、解释总体变异量及其累计值

Table 1 Eigenvalues, percentage of total variance explained and cumulative variance explained of first three principal components for the principal component analysis

主成分 Principal component(PC)	特征值 Eigenvalue	占总体变异/% Variance explained	累计占总体变异/% Cumulative variance explained
第一主成分(PC1)	0.003257	52.1	52.1
第二主成分(PC2)	0.001127	18.0	70.1
第三主成分(PC3)	0.000489	7.8	77.9

特征值为 0.003257,第二主成分特征值为 0.001127,对第一主成分和第二主成分作图(图 3),显示各采样地的样本均有不同程度的重叠,其中,分布于云南滇西北的德钦、丽江、大理和怒江地区的中缅树鼯样本与分布于贵州和广西地区的中缅树鼯完全分开;昆明地区的中缅树鼯几乎与所有地区重叠。TPS 图显示(图 4),各个地区中缅树鼯头骨侧面的鼻骨与眼眶之间的形变最大,且采集地不同,形变不同。

2.2 头骨背面分析

以头骨背面做主成分分析,结果表明(表 2):前三个主成分的特征值占总体变量的 87.5%。第一主成分特征值为 0.008723,第二主成分特征值为 0.000418,对第一主成分和第二主成分作图(图 5),显示各采样地的样本均有不同程度的重叠,其中,分布于贵州和广西地区的中缅树鼯完全分开;昆明地区的中缅树鼯几乎与所有地区重叠。TPS 图显示(图 6),鼻骨与眼眶之间造成的形变以及乳突的相对位置因采集地不同而不同。

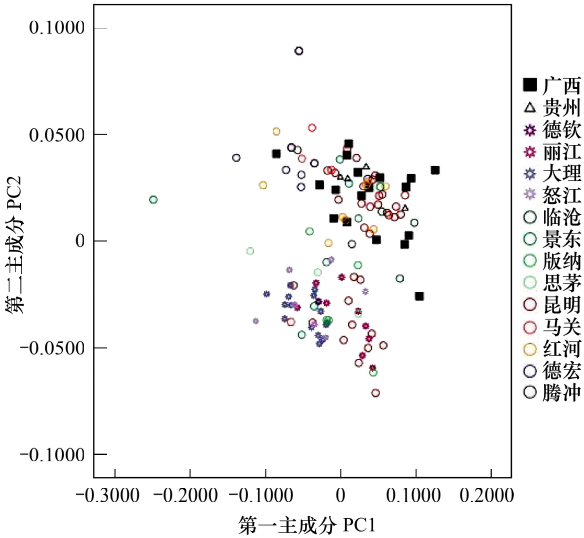


图 3 中缅树鼯头骨侧面第一主成份和第二主成份散点图
Fig. 3 Plots of principal component factors 1 and 2 for lateral cranium of *T. belangeri*

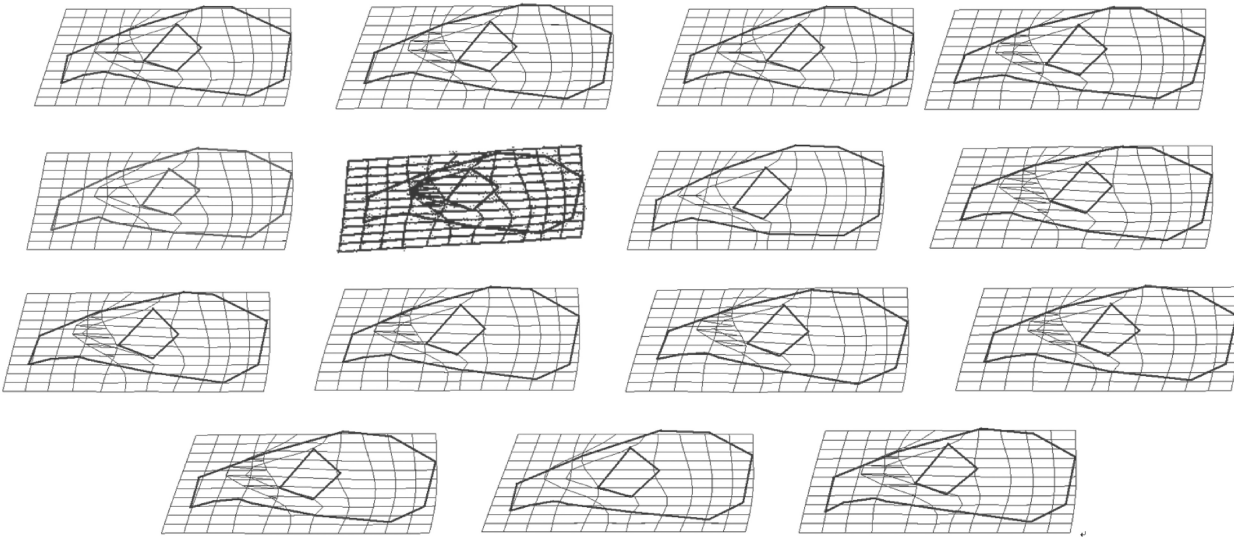


图 4 中缅树鼯头骨侧面薄片样条分析图
Fig. 4 Plots of TPS for lateral cranium of *T. belangeri*

从左至右,从上至下依次为:丽江、大理、德钦、怒江、腾冲、德宏、临沧、思茅、版纳、景东、昆明、红河、马关、广西、贵州

表 2 主成分分析前三个主成分的特征值、解释总体变异性及其累计值

Table 2 Eigenvalues, percentage of total variance explained and cumulative variance explained of first three principal components for the principal component analysis			
主成分 Principal component (PC)	特征值 Eigenvalue	占总体变异/% Variance explained	累计占总体变异/% Cumulative variance explained
第一主成分 (PC1)	0.008723	80.3	80.3
第二主成分 (PC2)	0.000418	3.9	84.2
第三主成分 (PC3)	0.00036	3.3	87.5

2.3 头骨腹面分析

以头骨腹面做主成分分析,结果表明(表3):前三个主成分的特征值占总体变量的90.3%。第一主成分特征值为0.008510,第二主成分特征值为0.000208,对第一主成分和第二主成分作图(图7),显示各采样地的样本均有不同程度的重叠,其中,滇西北的德钦、丽江、大理和怒江地区的中缅树鼯基本分布于图7的左上角,其余云南省地区则分布于图7的右下角;昆明地区的中缅树鼯几乎与所有地区重叠。TPS图显示(图8),第一臼齿齿冠内侧缘点和靠近第一臼齿上颌骨外侧最内凹点间的相对位置及眼窝与听泡之间的形态所产生的形变因采集地不同而不同。

2.4 下颌侧面分析

以下颌侧面做主成分分析,结果表明(表4):前三个主成分的特征值占总体变量的91.1%。第一主成分特征值为0.009540,第二主成分特征值为0.000396,对第一主成分和第二主成分作图(图9),显示各采样地的样本均有不同程度的重叠,TPS图显示(图10),臼齿齿槽的相对位置及下颌中部底面最低点与角突前最上凹点间的形变因采集地不同而不同。

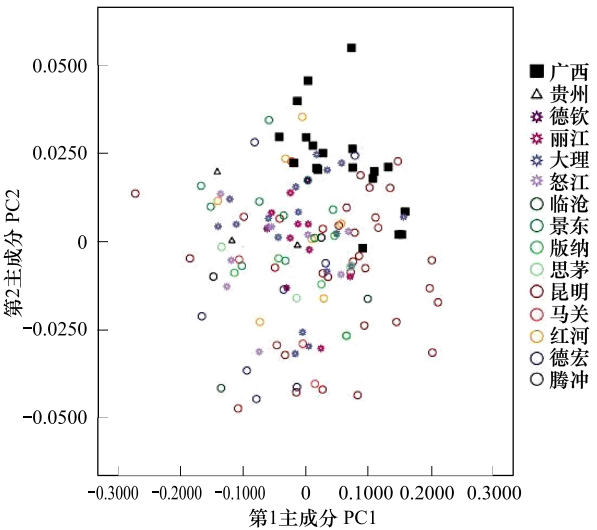


图5 中缅树鼯头骨背面第一主成份和第二主成份散点图
Fig. 5 Plots of principal component factors 1 and 2 for dorsal cranium of *T. belangeri*

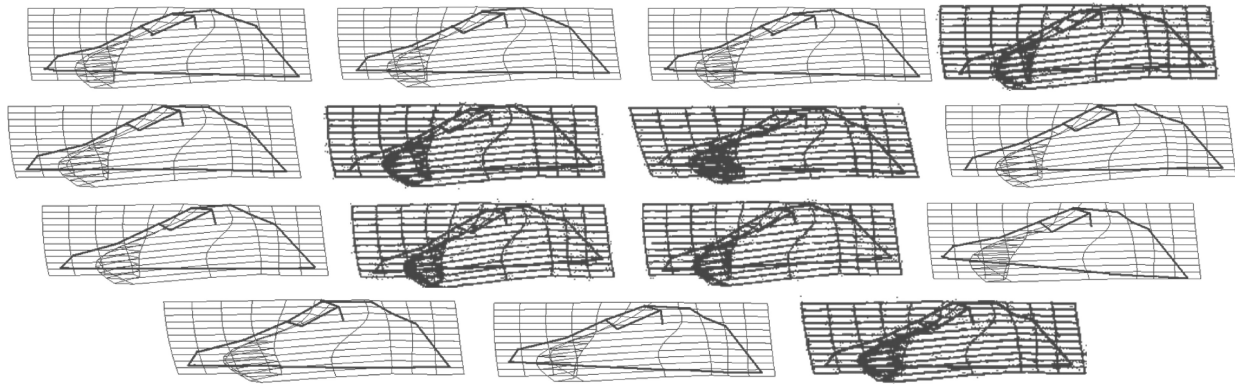


图6 中缅树鼯头骨背面薄片样条分析图
Fig. 6 Plots of TPS for dorsal cranium of *T. belangeri*

从左至右,从上至下依次为:丽江、大理、德钦、怒江、腾冲、德宏、临沧、思茅、版纳、景东、昆明、红河、马关、广西、贵州

表3 主成分分析前三个主成分的特征值、解释总体变异性及其累计值

Table 3 Eigenvalues, percentage of total variance explained and cumulative variance explained of first three principal components for the principal component analysis			
主成分 Principal component (PC)	特征值 Eigenvalue	占总体变异/% Variance explained	累计占总体变异/% Cumulative variance explained
第一主成分 (PC1)	0.008510	87.0	87.0
第二主成分 (PC2)	0.000208	2.1	89.1
第三主成分 (PC3)	0.000112	1.2	90.3

2.5 头骨数据的多维尺度分析

将相同采集地的头骨样本的侧面、腹面、背面及下颌侧面的数据整合得到代表各地区样本的数据,经多维

尺度分析可以看出(图 11):各地区的中缅树鼯头骨形态有明显差异,来自滇西北地区的德钦、大理、丽江和怒江的中缅树鼯样本聚在一起;来自滇西南地区的临沧、思茅、版纳和景东的中缅树鼯聚在一起;来自滇南的红河及滇东南的马关和广西、贵州聚在一起,呈现出 3 个主要的居群,即:滇西北居群、滇西南居群和滇南、滇东南及广西、贵州居群。滇中高原的昆明地区位于图 11 的中间的位置,显示出与 3 个主要居群均存在着联系。

2.6 第二、第三下臼齿的多维尺度分析

将相同采集地的第二、第三下臼齿的数据整合得到代表各地区臼齿样本的数据,经多维尺度分析可以看出(图 12):所研究各地区的中缅树鼯臼齿有明显差异。将图 12 与云南地区比较可以看出:在第一维度方向上,德钦、大理、丽江、贵州的相对位置与云南地图上 4 个地区的经度排列一致,故估计中缅树鼯臼齿差异可能受到

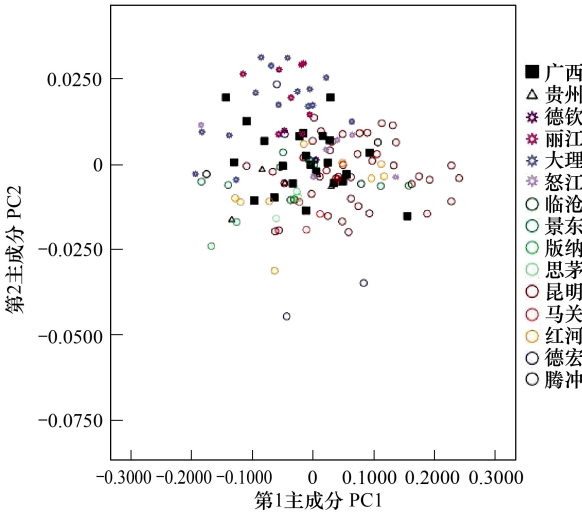


图 7 中缅树鼯头骨腹面第一主成份和第二主成份散点图
Fig.7 Plots of principal component factors 1 and 2 for ventral cranium of *T. belangeri*

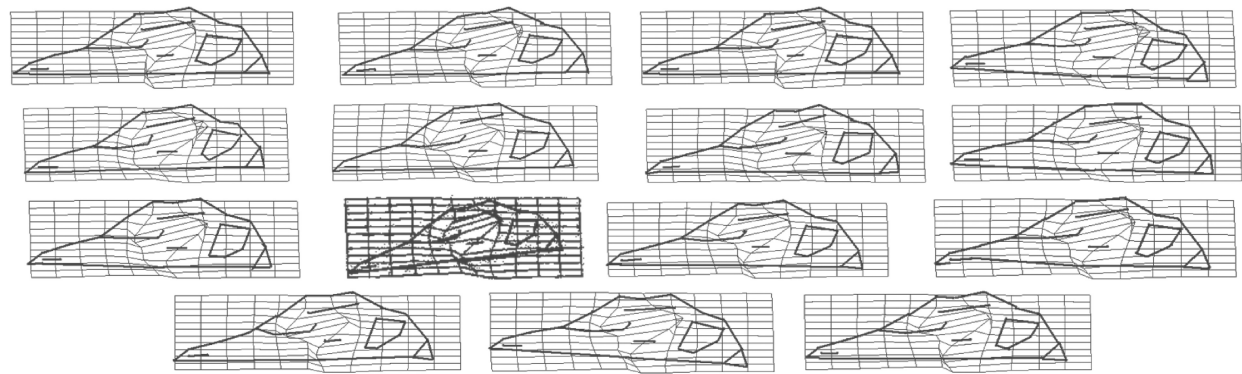


图 8 中缅树鼯头骨腹面薄片样条分析图
Fig.8 Plots of TPS for ventral cranium of *T. belangeri*
从左至右,从上至下依次为:丽江、大理、德钦、怒江、腾冲、德宏、临沧、思茅、版纳、景东、昆明、红河、马关、广西、贵州

经度变化的影响;在第二维度方向上,德钦、大理、丽江、贵州及广西的相对位置与云南地图上四个地区的纬度排列一致,故估计 4 个地区中缅树鼯臼齿差异可能受到纬度变化的影响。从个体权重空间分布图(图 13)可以看出,第二下臼齿的评分(0.443,0.433)及第三下臼齿的评分(0.448,0.412)均对第一维度的贡献较大。

表 4 主成分分析前三个主成分的特征值、解释总体变异量及其累计值

Table 4 Eigenvalues, percentage of total variance explained and cumulative variance explained of first three principal components for the principal component analysis			
主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	占总体变异/% Variance explained	累计占总体变异/% Cumulative variance explained
第一主成分 (PC1)	0.009540	85.3	85.3
第二主成分 (PC2)	0.000396	3.5	88.8
第三主成分 (PC3)	0.000259	2.3	91.1

3 讨论

生态形态学是一门研究形态多样性与生态多样性相互作用的交叉学科,其立足点在于形态特征与生态分

布的相关性,甚至认为通过生态形态特征可以推断有机体在不同的环境下的进化特征和进化模式^[3]。Bookstein^[32]认为几何形态测量学有两个主要核心,一是形态本身的几何学及其点的定位,另一个是形态变形的问题。目前几何形态测量学的方法,已经开始为不同领域的研究者所采用^[17-18]。

本文研究的结果表明利用几何形态学研究多地点树鼯头骨形态时,头骨侧面显示出更大的优势,这可能是由于中缅树鼯头骨侧面包括了鼻腔、眼眶和听泡等用于感知外界的器官有关。结合对中缅树鼯头骨侧面、腹面、背面以及下颌侧面的研究,形变多集中在鼻腔和臼齿处,这可能与中缅树鼯栖息的气候和地理环境相关。鼻腔形态变化可以有效缓解外界寒冷空气对肺部的影响,同时也反映了水分的散失程度,水分的散失又与环境温度相关^[11],所以,环境温度的不同可能导致中缅树鼯的鼻腔形态发生变化。此外,鼻腔大小也可能间接反映该物种栖息地的湿度条件^[29]。温度与湿度的双重作用可能导致不同地区中缅树鼯的鼻腔产生差异。臼齿的差异可能反映食性的不同,食性的不同可能与中缅树鼯生存环境的温度和湿度等条件的差异有关。横断山地区属亚热带高寒气候,与其余地点的气候条件存在明显差异,这可能是分布于其中的生物与其它地区生物存在差异的重要原因。

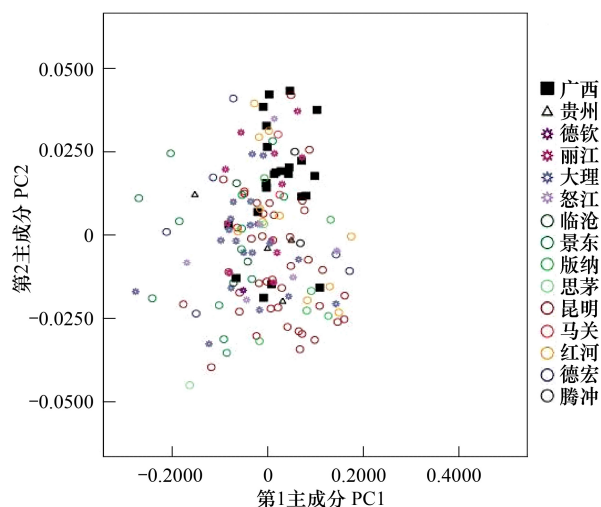


图9 中缅树鼯下颌侧面第一主成份和第二主成份散点图

Fig. 9 Plots of principal component factors 1 and 2 for lateral mandible of *T. belangeri*

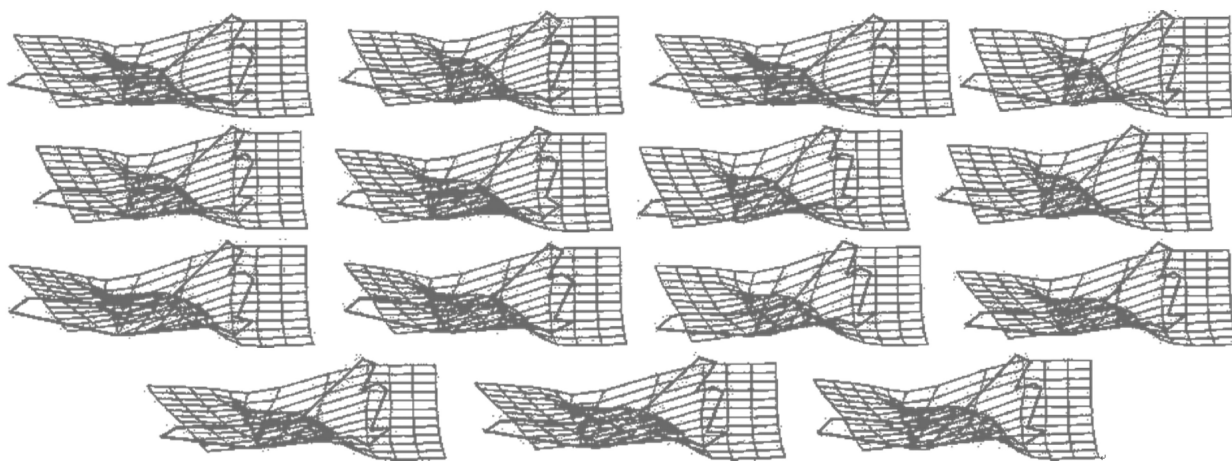


图10 中缅树鼯下颌侧面薄片样条分析图

Fig. 10 Plots of TPS for lateral mandible of *T. belangeri*

从左至右,从上至下依次为:丽江、大理、德钦、怒江、腾冲、德宏、临沧、思茅、版纳、景东、昆明、红河、马关、广西、贵州

多维尺度法用于反映多个特征之间相似(或不相似)程度,通过适当的降维方法,将这种相似(或差异)程度在低维度空间中以点与点之间的距离表示出来,以辅助识别那些影响特征间相似性的潜在因素。在本研究中将头骨背面、腹面、侧面及下颌侧面的数据信息组合起来构建整个头骨的形态特征,经多维尺度分析发现不同地区的中缅树鼯头骨有明显差异,然而这种差异可以将滇南、滇东南地区与滇西北、滇西南地区的中缅树鼯区分开来,且这种差异可能是由于经度与纬度的不同所造成。各居群中的地区相对位置的变化可能与中缅树鼯的生活环境相适应。此外,昆明地区位于整个多维尺度图的中间位置,这可能显示该地区是联系云南北南两地的重要枢纽。经多维尺度法对中缅树鼯的第二、第三下臼齿的整合数据进行分析,结果显示德钦、大理、

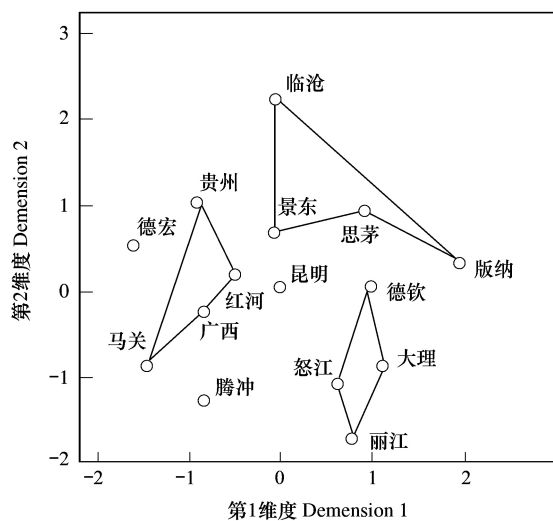


图 11 中缅树鼯各采样点头骨组合数据的多维尺度分布图

Fig. 11 Diagram of MDS for combined datasets of skull in different regions of *T. belangeri*

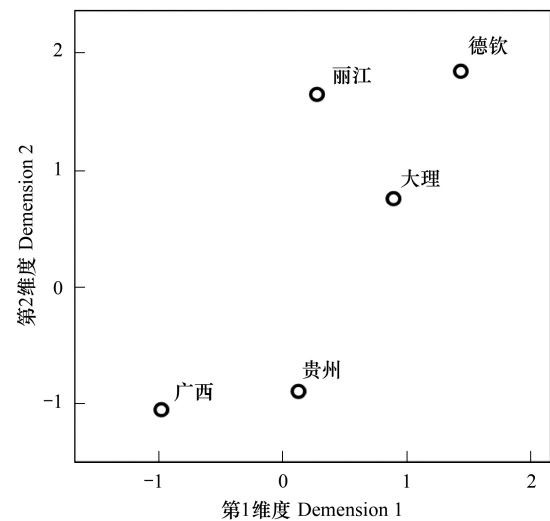


图 12 中缅树鼯各采样点臼齿组合数据的多维尺度分布图

Fig. 12 Diagram of MDS for combined datasets of molar in different regions of *T. belangeri*

丽江、贵州和广西的中缅树鼯的臼齿具有形态变异,且在第一维度中缅树鼯的臼齿受经度变化的影响,在第二维度上中缅树鼯的臼齿受纬度变化的影响。从个体权重空间分布图可以看出,第二下臼齿的评分(0.443, 0.433)及第三下臼齿的评分(0.448, 0.412)均对第一维度的贡献较大,结合多维尺度分析结果可知:臼齿的变化可能受经度影响较大,即受水分条件的影响较大。

综上所述,分布于云南、贵州和广西的中缅树鼯也表现出了相应的适应对策。总之,云南、贵州和广西地区的中缅树鼯的头骨具有形态变异,并且差异仅仅发生在种群水平,这与生态适应密切相关。

致谢:中国科学院昆明动物研究所的梁醒财研究员、蒋学龙副研究员及李松老师在样本的提供和实验过程中给予帮助,特此致谢。

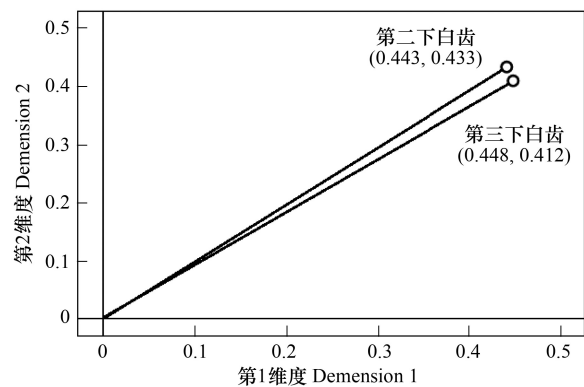


图 13 中缅树鼯第二、第三下臼齿个体权重空间分布图

Fig. 13 Diagram of dimension weights for lower second molar and lower third molar of *T. belangeri*

References:

- [1] Peng Y Z, Ye Z Z, Zou R J, Wang Y X, Tian B P, Ma Y Y, Shi L M. Biology of Chinese Tree Shrews. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1991: 1-422.
- [2] Zhang T L, Li Z J, Cao W X. Advances in studies on the ecomorphology of fish. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(1): 152-160.
- [3] Rohlf F J, Marcus L F. A revolution morphometrics. Trends in Ecology and Evolution, 1993, 8(4): 129-132.
- [4] Yom-Tov Y, Yom-Tov S, Moller H. Competition, coexistence, and adaptation amongst rodent invaders to Pacific and New Zealand islands. Journal of Biogeography, 1999, 26(5): 947-958.
- [5] Barlow K E, Jones G, Barratt E M. Can skull morphology be used to predict ecological relationships between bat species? A test using two cryptic species of Pipistrelle. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 1997, 264(1388): 1695-1700.
- [6] Xiong W H, Zhang Z B. Sexual dimorphism and comparisons of skull morphology among three rodent species in Raoyang County, Hebei Province, China. Acta Theriologica Sinica, 2007, 27(3): 280-283.
- [7] Sabrina O, Yao L, Villalba S, Sajewicz A, Pittaluga S, Tosato G. Regulation of endothelial cell branching morphogenesis by endogenous chemokine stromal-derived factor-1. Blood, 2002, 99(8): 2703-2711.
- [8] Kaneko Y. Morphological variation and geographical and altitudinal distribution in *Eothenomys melanogaster* and *E. mucronatus* (Rodentia,

- Arvicolinae) in China, Taiwan, Burma, India, Thailand, and Vietnam. *Mammal Study*, 2002, 27(1): 31-63.
- [9] Yom-Tov Y, Yom-Tov S. Climatic change and body size in two species of Japanese rodents. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2004, 82(2): 263-267.
- [10] Yom-Tov Y. Global warming and body mass decline in Israeli passerine birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2001, 268(1470): 947-952.
- [11] Zhu W L, Jia T, Lian X, Wang Z K. Evaporative water loss and energy metabolic in two small mammals, voles (*Eothenomys miletus*) and mice (*Apodemus chevrieri*), in Hengduan mountains region. *Journal of Thermal Biology*, 2008, 33(6): 324-331.
- [12] Lucas P W, Teaford M F. The functional morphology of colobine teeth//Oates J, Davies A G, eds. *Colobine Monkeys: Their Evolutionary Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994: 173-203.
- [13] MacFadden B J, Cerling T E. Mammalian herbivore communities, ancient feeding ecology, and carbon isotopes: a 10 million-year sequence from the Neogene of Florida. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 1996, 16(1): 103-115.
- [14] Boyer D M. Relief index of second mandibular molars is a correlate of diet among prosimian primates and other euarchontan mammals. *Journal of Human Evolution*, 2008, 55(6): 1118-1137.
- [15] Caumul R, Poll P D. Phylogenetic and environmental components of morphological variation: skull, mandible, and molar shape in marmots (*Marmota*, Rodentia). *Evolution*, 2005, 59(11): 2460-2472.
- [16] Cardini A, Hoffmann R S, Thorington R W Jr. Morphological evolution in marmots (Rodentia, Sciuridae): size and shape of the dorsal and lateral surfaces of the cranium. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 2005, 43(3): 258-268.
- [17] Renaud S, Chevret P, Michaux J. Morphological vs. molecular evolution: ecology and phylogeny both shape the mandible of rodents. *Zoologica Scripta*, 2007, 36(5): 525-535.
- [18] Renaud S, Michaux J R. Mandibles and molars of the wood mouse, *Apodemus sylvaticus* (L.): integrated latitudinal pattern and mosaic insular evolution. *Journal of Biogeography*, 2007, 34(2): 339-355.
- [19] Endo H, Hayashi Y, Rerkamnuaychoke W, Nadee N, Nabhitabhata J, Kawamoto Y, Hirai H, Kimura J, Nishida T, Yamada J. Sympatric distribution of the two morphological types of the common tree shrew in Hat-Yai districts (South Thailand). *Journal of Veterinary Medical Science*, 2000, 62(7): 759-761.
- [20] Cardini A, O'Higgins P. Patterns of morphological evolution in *Marmota* (Rodentia, Sciuridae): Geometric morphometrics of the cranium in the context of marmot phylogeny, ecology and conservation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2004, 82(3): 385-407.
- [21] Rácz, G R, Gubányi A, Vozár Á. Morphometric differences among Root Vole (Muridae: *Microtus oeconomus*) populations in Hungary. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 2005, 51(2): 135-149.
- [22] Butler P M. The tupaiid dentition // Luckett W P, ed. *Comparative Biology and Evolutionary Relationships of Tree Shrews*. New York: Plenum Press, 1980: 171-204.
- [23] Novacek M J. Morphology, paleontology, and the higher clads of mammals. In Genoways H H, ed. *Current Mammalogy*. New York: Plenum Press, 1990: 507-543.
- [24] Schmitz J, Ohme M, Zischler H. The complete mitochondrial genome of *Tupaia belangeri* and the phylogenetic affiliation of scandentia to other eutherian orders. *Molecular Biology and Evolution*, 2000, 17(9): 1334-1343.
- [25] Endo H, Hikida T, Motokawa M, Chou L M, Fukuta K, Stafford B J. Morphological adaptation of the skull for various behaviors in the tree shrews. *Journal of Veterinary Medical Science*, 2003, 65(8): 873-879.
- [26] Olson L E, Sargis E J, Martin R D. Intraordinal phylogenetics of treeshrews (Mammalia: Scandentia) based on evidence from the mitochondrial 12S rRNA gene. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2005, 35(3): 656-673.
- [27] Ravosa M J, Dagosto M. *Primate Origins: Adaptations and Evolution*. New York: University of Chicago, 2007: 143-178.
- [28] Wang Y X. Taxonomic research on Burma-Chinese tree shrew, *Tupaia belangeri* (Wagner), from southern China. *Zoological Research*, 1987, 8(3): 213-230.
- [29] Jia T, Lin A Q, Wang R, Zhu W L, Xiao C H, Liu C Y, Meng L H, Lian X, Wang Z K. Pilot study of *Tupaia belangeri* from Yunnan Province based on morphometrics of the skulls and mandibles. *Acta Theriologica Sinica*, 2009, 29(3): 259-268.
- [30] Adams D C, Rohlf F J, Slice D E. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*, 2004, 71(1): 5-16.
- [31] Thompson D A W. *On Growth and Form*. Abridged edition//Bonner J T, ed. New York: Cambridge University Press, 1961: 1917-1942.
- [32] Bookstein F L. *Morphometric Tools for Landmarks Data*. New York: Cambridge University Press, 1991: 435.
- [33] Rohlf F J. *Tpspline: A Program to Compare Two Shapes Using a Thin-Plate Spline*, Department of Ecology and Evolution. New York: State University of New York at Stony Brook, 1990: 11794.

参考文献:

- [1] 彭燕章, 叶智彰, 邹如金, 王应祥, 田保平, 马原野, 施立明. 树鼩生物学. 昆明: 云南科学技术出版社, 1991: 1-422.
- [2] 张堂林, 李钟杰, 曹文宣. 鱼类生态形态学研究进展. *水产学报*, 2008, 32(1): 152-160.
- [6] 熊文华, 张知彬. 饶阳地区三种农田啮齿类头骨形态比较及性二型. *兽类学报*, 2007, 27(3): 280-283.
- [28] 王应祥. 中国树鼩的分类研究. *动物学研究*, 1987, 8(3): 213-230.
- [29] 贾婷, 林爱青, 王睿, 朱万龙, 肖彩虹, 刘春燕, 孟丽华, 练硝, 王政昆. 云南不同地区中缅树鼩头骨形态特征的比较. *兽类学报*, 2009, 29(3): 259-268.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 6 March, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Review and Monograph

- Forest health studies based on remote sensing: a review GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al (1675)
- Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al (1690)

Autecology & Fundamentals

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al (1701)
- Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria* LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al (1713)
- Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al (1721)
- Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al (1731)
- The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al (1740)
- Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth and their response to changes in light intensity GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al (1751)
- Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al (1762)
- Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al (1770)
- Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus* HU Minghang, TAN Qunying, YANG Daode (1778)
- The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al (1784)
- Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al (1791)

Population, Community and Ecosystem

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al (1798)
- The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al (1811)
- Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al (1822)
- The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al (1832)
- The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing, China WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1842)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Thermal environment effect of urban water landscape YUE Wenze, XU Lihua (1852)
- Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus* ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan (1860)
- Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1872)
- Effect of elevated CO₂ on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al (1881)

Resource and Industrial Ecology

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An *in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China YAN Jiaguo, QI Zhanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

Research Notes

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ... ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

Opinions

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

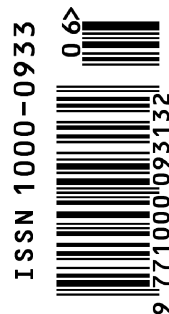
第 33 卷 第 6 期 (2013 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元