

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第31卷 第14期 Vol.31 No.14 2011

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 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第14期 2011年7月 (半月刊)

## 目 次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性.....	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863)
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化.....	胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872)
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例.....	罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882)
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析 .....	徐涵秋 (3890)
北京市土地利用生态分类方法.....	唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902)
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化.....	范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910)
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型.....	汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918)
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位.....	焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928)
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响.....	杨志宏,邵淑丽 (3937)
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征.....	张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947)
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布.....	李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956)
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用.....	周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964)
铜在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应 .....	翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973)
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估 .....	余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980)
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系.....	史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990)
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氨挥发的影响.....	梁 飞,田长彦 (3999)
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素.....	杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007)
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响.....	吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019)
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响.....	龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027)
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选.....	刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034)
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式.....	何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042)
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法 .....	刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056)
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型 .....	李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062)
冀西北坝上半干旱区南瓜油葵间作的水分效应.....	黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072)
<b>专论与综述</b>	
鸟类分子系统地理学研究进展 .....	董 路,张雁云 (4082)
自然保护区空间特征和地块最优化选择方法 .....	王宜成 (4094)
人类活动是导致生物均质化的主要因素.....	陈国奇,强 胜 (4107)
冬虫夏草发生的影响因子.....	张吉忍,余俊锋,吴光国,等 (4117)
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测.....	余晨兴,全 川 (4126)
<b>研究简报</b>	
塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价 .....	贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136)
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态.....	周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144)
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例.....	王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153)
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异 .....	柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 306 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 33 \* 2011-07



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

杨志宏, 邵淑丽. 食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响. 生态学报, 2011, 31(14): 3937-3946.

Yang Z H, Shao S L. The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows *passer montanus*. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 3937-3946.

## 食物质量差异对树麻雀能量预算和 消化道形态特征的影响

杨志宏, 邵淑丽\*

(齐齐哈尔大学生命科学与农林学院, 齐齐哈尔 161006)

**摘要:**为阐明树麻雀对不同食物的能量预算对策, 对3组树麻雀(*Passer montanus*)进行了2周的食物质量差异性驯化。结果表明, 分别饲喂黄粉虫、谷子和草籽种子的3组树麻雀的摄入能和消化能依次递减, 组间差异均为极显著( $P<0.001$ )。与谷子组比较, 高能食物(黄粉虫)组摄入能和消化能增加极显著( $P<0.001$ ), 增加分别为52.77%和52.71%。消化率增加不显著( $P>0.05$ ), 体内能量储备增加;与谷子组比较, 低能食物(草籽种子)组摄入能、消化能和消化率降低极显著( $P<0.001$ ), 摄入能和消化能降低, 分别为17.54%和25.67%, 体内能量储备消耗极显著( $P<0.001$ )。3组树麻雀的个体能值水平, 包括体重、体温、体脂含量和水分含量均表现出显著的组间差异( $P<0.05$ )。器官水平出现相应的变化, 小肠和总消化道长度以及肝脏重量出现极显著的表型可塑性响应。因此, 低生存压力条件下, 树麻雀对不同食物采用了不同的能量预算策略。进食高能食物时, 增加摄入能、提高消化率来获能, 收入大于支出部分的能量转化为体内的能量储备;进食低能食物时, 保持或适当降低原有的摄食能水平和降低体温的节能预算, 收入小于支出的部分能量则通过分解体内的能量储备物获能。体内能量储备增减的预算、能量摄入和能量转化器官的能力与自身能耗之间的预算, 以及摄食低能食物时的节能预算均是树麻雀能量预算策略的重要组成部分。总之, 树麻雀对不同含能食物采用不同的能量预算策略, 器官水平的表型可塑性响应是个体能值出现显著变化的基础, 也是个体能量预算策略成功的关键, 对不同食物采用不同的能量预算策略是树麻雀重要的生存对策。

**关键词:**树麻雀; 食物; 摄入能; 消化能; 消化道形态特征; 能量储备

## The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows *passer montanus*

YANG Zhihong, SHAO Shuli\*

(College of Life Science and Agriculture-Forestry, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China)

**Abstract:** For comparing and contrasting the energy budget strategies of *Passer montanus* with different food qualities, a two-week acclimation treatment with three groups of *P. montanus* was conducted. The results showed that three groups, by feeding *Tenebrio molitor*, *Setaria italica* and *Echinochla crusgalli* respectively, decreased successively in ingestive energy and digestible energy and had significant differences between these groups ( $P<0.001$ ). Compared with the *S. italica* group, the group with energy dense foods (*T. molitor*) increased remarkably by 52.77% and 52.71% respectively in ingestive energy and digestible energy ( $P<0.001$ ). The digestibility ratio had a increase tendency but did not in a marked level ( $P>0.05$ ) and the energy reserves in the body grew. While the group with low-energy foods showed marked decrease ( $P<0.001$ ) of 17.54% and 25.67% in ingestive energy, digestible energy respectively. The digestibility drop and the energy reserves in the body were consumed greatly ( $P<0.001$ ). The individual energy values of three groups of *P. montanus*, including the body weight, temperature, percentage of body fat and water content, all revealed great differences

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(C200624); 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11511447)

收稿日期: 2010-05-13; 修订日期: 2010-11-29

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shshl32@163.com;

among these groups ( $P < 0.05$ ). The organ level varies correspondently: small intestine, alimentary tract and the liver weight all had phenotypic plasticity reactions. Therefore, under the living pressure, *P. montanus* adopted different energy budget strategies towards different foods: ingestive and digestibility energy increased for high-energy foods with extra energy turned into inner reserves; sustained or even lowered level of energy capture and energy-saving budget through temperature drop for low-energy foods with insufficient energy gained by resolving the reserves. The budget of the variation of body energy reserves, the budget of the energy intake, the functional capability of energy-converting organs and the energy consumption and the energy-saving budget in taking low-energy foods are important parts of the energy budget strategies for *P. montanus*. In all, *P. montanus* adopts different energy budget strategies towards foods of different energy. The phenotypic plasticity reactions of organs serve as the basis of remarkable changes in the individual energy value and also the key to the success of individual energy budget strategies. Different energy budget strategies towards different foods is an important survival game for the *P. montanus*.

**Key Words:** tree sparrow (*Passer montanus*) ; food; energy intake; digestible energy; digestive tract morphology; energy budget strategy

动物能量的预算、储存与分解和利用效率是动物能量生态学研究的基础<sup>[1-2]</sup>。食物作为重要的生态因子之一,食物的质量、可获得性、丰富度和觅食压力等是动物能量生态学和生理生态学研究的关键环节<sup>[3]</sup>。动物能量代谢水平是物种适合度的决定因素,也是生存和繁殖能力的综合体现<sup>[4]</sup>。鸟类保持最适的能量平衡是其主要的生存对策,应对环境变化过程中生理和行为的适应性调节与其能量预算密切相关。

动物能量预算和能量代谢的调节机理是生理生态学的核心问题之一<sup>[2]</sup>。关于动物能量预算的研究存在较多的假说,如“外因限制假说”认为能量预算的限制可能源于外在因素<sup>[5-6]</sup>。“食物可利用假说”认为限制能量预算的因素之一是食物的可利用性<sup>[7]</sup>。“中心限制假说”认为能量预算取决于摄能器官、体内能量转化器官及其它相应的代谢器官<sup>[8]</sup>。“外周限制假说”认为能量预算可能被外周组织和器官消耗能量的能力所限制<sup>[9]</sup>。“热耗散限制假说”认为低温暴露不是动物额外的能量需求增加,而是打破了散热能力的限制<sup>[10-12]</sup>。这些假说多限定在某个物种和特定环境下的实验结果,而对于动物不同能需和相同能需条件下能量预算策略的比较、种内和种间能量预算水平的比较、增大时间和空间尺度进行实验动物和野外动物的比较,以及内分泌和激素水平等方面都需要进一步深入系统的研究。

动物体重的调节主要取决于能量预算的平衡,体重的变化可以反映其营养状态和受环境变化影响进行的一些适应性调节<sup>[13]</sup>,对动物生理学、形态学和行为学等研究都有重要的贡献<sup>[14]</sup>。动物体温的变化将直接改变动物个体与环境之间的温差和个体与环境之间的能量预算<sup>[15-16]</sup>,并影响激素水平的调节<sup>[17]</sup>。体脂作为动物体内的能量储备物是动物重要的生存对策之一,对于缓解增大的生存压力意义重大<sup>[18-19]</sup>。基础代谢率(basal metabolic rate, BMR)是内温动物能量预算的重要组成部分,已成为种间和种内能量代谢水平比较的重要参数,反映出不同物种不同个体基础能耗水平及动物对环境的适应模式和生理能力<sup>[20-21]</sup>,对于动物能量学的贡献和作为基础能量消耗的指数受到环境生理学家、生理生态学家和比较生理学家的广泛关注,对于了解动物生活史对策、生理学和进化等都具有重要意义<sup>[22-23]</sup>。

表型可塑性是指同一个基因型对不同环境的应答而产生不同的表型特性<sup>[24]</sup>。Vezina 和 Williams 认为表型可塑的适应性变化程度与动物生存能力的大小密切相关<sup>[25]</sup>。从进化生物学角度讲,器官的功能应与机体对该器官的要求相适应<sup>[26-27]</sup>。已经发现,树麻雀的消化道器官具有快速、可逆和可重复的表型可塑性,其能量预算与器官的可塑性密切相关<sup>[28]</sup>。因此,食物充足和3种食物质量差异能否引起树麻雀能量预算对策的改变和相应器官是否会发生表型可塑性响应需要验证。

树麻雀(*Passer montanus*)为留鸟,在我国遍布各地,是一种最常见的杂食性雀形目鸟类<sup>[29]</sup>。已发现树麻雀具有较高的BMR和热传导,相对较宽的热中性区和较低的下临界温度<sup>[30]</sup>。季节驯化的冬季树麻雀拥有相

对较高的体重和 BMR<sup>[31]</sup>。低温或短光周期驯化的树麻雀具有相对较高的体重、体脂含量和 BMR。树麻雀的能量摄入器官具有灵活的表型可塑性<sup>[28,32]</sup>。本文通过比较相同环境、食物充足和进食 3 种不同食物树麻雀的能量摄入、消化率、同化率和个体各参数水平以及器官水平的变化,探讨食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 动物来源、分组、饲养及处理

2009 年 12 月雾网诱捕树麻雀于黑龙江省齐齐哈尔市(47°29'N, 124°02'E),齐齐哈尔大学动物饲养室饲养(食物:带壳谷子)、适应 7d 后选成年健康树麻雀 27 只,并逐一称重和标记,采用 SPSS13.0 软件中动物完全随机分组分为 3 组  $N$  为样本数: $N_{\text{谷子}}=9(4 \text{ ♀}, 5 \text{ ♂})$ 、 $N_{\text{虫}}=8(5 \text{ ♀}, 3 \text{ ♂})$ 、 $N_{\text{草籽}}=10(6 \text{ ♀}, 4 \text{ ♂})$ ,组间体重比较差异不显著( $F_{(2,24)}=0.210, P>0.05$ )。对照组饲喂谷子(带壳)(*Setaria italica*);实验组为虫组饲喂黄粉虫(*Tenebrio molitor*)和草籽组饲喂鹅头稗(*Echi nochla crusgalli*)种子(带壳),树麻雀能快速去壳进食谷子和草籽。分组驯养 14d,饲养环境相同(90cm×50cm×60cm 铁丝笼),食物供应充足,每日更换洁净的清水 2 次。

### 1.2 体重、体温、体脂含量和基础代谢率的测量

#### 1.2.1 体重、体温、体脂含量的测量

体重用电子天平(BS210 型)测量(测量时软网束缚树麻雀和读数精确到 0.01g)。用数字式体温计插入泄殖腔约 1cm 测量树麻雀的体温,每次测温探头在泄殖腔内静置约 30s 左右数字温度显示稳定时读数(精确到 0.1℃)。体脂含量的测定采用索氏抽提法测定<sup>[33]</sup>。体脂含量(%)=( $W_1-W_2$ )/ $W$ ×100%;个体水分含量(%)=( $W-W_1$ )/ $W$ ×100% ( $W_1$ : 胫体干重; $W_2$ : 抽提后不含体脂的胫体干重; $W$ : 个体体重)。

#### 1.2.2 基础代谢率(BMR)

耗氧量采用封闭式流体压力呼吸计测定<sup>[34]</sup>。水浴控制呼吸室温度,误差控制在±0.5℃;呼吸室体积 3.6L。实验温度 25℃。动物呼吸产生的 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub>用硅胶和 KOH 吸收。实验前动物禁食 4h(消除体内食糜储备对实验结果的影响),单只放入铁丝笼(6cm×6cm×10 cm),再放到呼吸室内适应 1h。然后每隔 5min 记录 1 次耗氧量,测定时间至少持续 1h<sup>[35]</sup>。选择 2 个连续、稳定的最低值记为单只代谢率(BMR (mL O<sub>2</sub>/h); BMR(mL O<sub>2</sub>·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>)=BMR(mL O<sub>2</sub>/h)/体重(g))。代谢率的测定时间为北京时间:18:00—24:00。

### 1.3 摄入能、消化能和消化率

投喂食物、收集剩余食物及粪便均在 10:00—11:00,手工分离剩余食物、壳(谷子或草籽)和粪便,置于 60℃ 干燥箱干燥至恒重,称重(精确到 0.01g)。用全自动氧弹式热量仪(GR-3500 型)测定热值,计算摄入能、消化能和消化率。各参数分别用以下公式计算<sup>[36]</sup>。以分别测定的各组每天每只树麻雀的平均代谢能值为各组当天数据,记为 1 次,共测定数据 14 次(14d)。

$$\text{干食物质量(g)} = 100\% - \text{食物水分含量(%)}$$

$$\text{摄食量(g/d)} = \text{投食量(g/d)} - \text{剩余食物量(g/d)}$$

$$\text{摄入能(kJ/d)} = \text{摄入干食物质量(g/d)} \times \text{食物热值(kJ/g)} - \text{壳(干)质量(g)} \times \text{壳热值(kJ/g)}$$

$$\text{粪能(kJ/d)} = \text{粪便干重(g/d)} \times \text{粪便热值(kJ/g)}$$

$$\text{消化能(kJ/d)} = \text{摄入能(kJ/d)} - \text{粪能(kJ/d)}$$

$$\text{消化率( \% )} = \text{消化能(kJ/d)} / \text{摄入能(kJ/d)}$$

### 1.4 体内器官组织鲜重、组织干重和消化器官长度的测量

动物称重后断颈动脉处死、解剖。先取出完整的消化道,去除结缔组织和脂肪,分离出腺胃、肌胃、小肠(包含十二指肠、空肠和回肠)、直肠和盲肠;各部分平展为自然状态下最大长度(不拉伸),用游标卡尺(±1mm)测量长度。用眼科手术专用剪刀将消化道各器官纵剖开,生理盐水清洗去除内容物,用滤纸吸干残留的生理盐水。再取出脑、心脏、肝脏、肺、肾脏和消化道各器官,用 BS210 型电子天平(±0.1mg)称量,称量鲜重。将称量鲜重后的各器官置于 60℃ 鼓风干燥箱内烘干至恒重,称量和记录各器官干重。总消化道的各指

标均为胃、小肠、直肠的相加值。

### 1.5 统计分析

采用SPSS13.0进行数据统计分析。各组组内驯养前后体重比较采用配对样本(自身配对)*t*-检验(Paired-Samples *T* Test)。驯养结束后,驯养前后体重变化的组间比较,组间体重、体温、BMR、胴体干重、体脂重、体脂含量和水分含量,个体能量代谢水平和个体器官水平各数据组间比较均采用单因子方差分析(One-way ANOVA)和Tukey多组比较。结果均以平均值±标准误(Mean±SE)表示,*P*<0.05为差异显著,*P*<0.01为差异极显著。

## 2 结果

### 2.1 3组树麻雀能量代谢水平的差异

摄入能组间差异极显著( $F_{(2,39)}=58.902$ ,  $P<0.001$ )。虫组树麻雀摄入能与谷子组( $P<0.001$ )、草籽组( $P<0.001$ )比较增加极显著,摄入能增加分别为谷子组的52.77%和草籽组的85.26%;谷子组摄入能显著高于草籽组( $P<0.05$ ),比草籽组增加了17.54%。粪能组间比较达到了极显著水平( $F_{(2,39)}=31.179$ ,  $P<0.001$ )。虫组粪能最高,分别高于谷子组50.14%( $P<0.001$ )、草籽组30.01%( $P<0.001$ ),差异极显著。草籽组粪能显著高于谷子组15.48%( $P<0.05$ )。消化能组间比较差异极显著( $F_{(2,39)}=58.885$ ,  $P<0.001$ )。虫组消化能最高,分别为谷子组的52.71%( $P<0.001$ )、草籽组的92.26%( $P<0.001$ ),增加极显著。谷子组消化能显著高于草籽组25.67%( $P<0.05$ )。消化率组间比较差异极显著( $F_{(2,39)}=32.705$ ,  $P<0.001$ )。草籽组消化率显著低于谷子组( $P<0.001$ )和虫组( $P<0.001$ )。虫组消化率高于谷子组( $P>0.05$ ),但不显著。

### 2.2 3组树麻雀个体能值的变化

驯养结束后,组间体重差异显著( $F_{(2,24)}=4.921$ ,  $P<0.05$ ),草籽组显著低于谷子组和虫组。3组树麻雀驯养前后各组自身体重变化分别为:驯养结束后虫组( $t=-1.900$ ,  $df=10$ ,  $P>0.05$ )和谷子组( $t=-1.367$ ,  $df=14$ ,  $P>0.05$ )体重比驯养前增加分别为:( $1.02\pm0.41$ )g和( $1.13\pm0.47$ )g,草籽组( $t=1.708$ ,  $df=18$ ,  $P>0.05$ )体重比驯养前降低了( $0.68\pm0.47$ )g,3组树麻雀驯养前后体重增减变化均未达到显著水平( $P>0.05$ )(表1)。胴体干重组间差异显著( $F_{(2,24)}=4.363$ ,  $P<0.05$ ),虫组比草籽组增重21.18%,虫组与谷子组、谷子组与草籽组间差异不显著( $P>0.05$ )。体温组间差异极显著( $F_{(2,24)}=7.725$ ,  $P<0.001$ ),虫组与谷子组间体温差异不显著( $P>0.05$ ),但虫组和谷子组均显著高于草籽组。体脂重组间差异显著( $F_{(2,24)}=4.046$ ,  $P<0.05$ ),虫组与谷子组间体脂重差异不显著( $P>0.05$ ),但虫组和谷子组均显著高于草籽组,分别为草籽组的1.91倍和1.66倍。体脂含量组间差异显著( $F_{(2,24)}=4.200$ ,  $P<0.05$ ),虫组与谷子组、谷子组与草籽组差异不显著( $P>0.05$ ),体脂含量虫组最高、草籽组最低,虫组体脂含量是草籽组的1.78倍。个体水分含量组间差异显著( $F_{(2,24)}=4.609$ ,  $P<0.05$ ),依次为:虫组<谷子组<草籽组。食物差异并没有引起树麻雀个体BMR(mL O<sub>2</sub>/h)( $F_{(2,24)}=1.834$ ,  $P>0.05$ )和单位体重BMR(mL O<sub>2</sub>·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>)( $F_{(2,24)}=3.262$ ,  $P>0.05$ )组间的显著性变化。

### 2.3 3组树麻雀器官形态变化的比较

#### 2.3.1 能量摄入器官长度和质量变化

肌胃( $F_{(2,24)}=1.254$ ,  $P>0.05$ ;  $F_{(2,24)}=2.033$ ,  $P>0.05$ )和直肠( $F_{(2,24)}=0.058$ ,  $P>0.05$ ;  $F_{(2,24)}=0.113$ ,  $P>0.05$ )组织鲜重和干重组间差异不显著,小肠( $F_{(2,24)}=4.378$ ,  $P<0.05$ ;  $F_{(2,24)}=4.849$ ,  $P<0.05$ )组织鲜重和干重组间差异显著,组间总消化道组织鲜重( $F_{(2,24)}=4.609$ ,  $P<0.05$ )差异显著和总消化道组织干重( $F_{(2,24)}=1.842$ ,  $P>0.05$ )不显著,肌胃、小肠和总消化道组织鲜重、干重组间依次为:谷子组>虫组>草籽组,组间直肠组织鲜重虫组最大、谷子组最小,而组织干重则相反为虫组最小、谷子组最大。肌胃( $F_{(2,24)}=3.172$ ,  $P>0.05$ )和直肠( $F_{(2,24)}=0.372$ ,  $P>0.05$ )长度组间差异不显著,小肠( $F_{(2,24)}=11.246$ ,  $P<0.001$ )和总消化道( $F_{(2,24)}=8.789$ ,  $P<0.01$ )长度组间差异达到极显著水平,小肠和总消化道长度组间依次为:虫组>谷子组>草籽组。

### 2.3.2 体内能量转化器官及其他能耗器官质量变化

肝脏组织干重组间差异显著( $F_{(2,24)}=3.805, P<0.05$ ),虫组与草籽组干重差异显著( $P<0.05$ ),虫组肝脏组织干重比草籽组增重18.36%,虫组、草籽组与谷子组差异不显著( $P>0.05$ ),组间比较肝脏组织鲜重虽然未达到显著水平( $F_{(2,24)}=2.581, P>0.05$ ),但肝脏组织鲜重和干重均呈现出相同的结果,大小依次为:虫组>谷子组>草籽组。

数据结果显示,脑( $F_{(2,24)}=0.938, P>0.05$ ;  $F_{(2,24)}=0.115, P>0.05$ )、心脏( $F_{(2,24)}=0.383, P>0.05$ ;  $F_{(2,24)}=1.127, P>0.05$ )、肺脏( $F_{(2,24)}=0.178, P>0.05$ ;  $F_{(2,24)}=0.183, P>0.05$ )、肾脏( $F_{(2,24)}=0.900, P>0.05$ ;  $F_{(2,24)}=0.636, P>0.05$ )组织鲜重和干重组间差异均不显著。

### 2.4 生理解剖的观察结果

虫组树麻雀腺胃出现显著膨大,其组织增生显著于谷子组和草籽组。正常树麻雀的盲肠结构多为呈柱状,双侧,长度多不同。虫组树麻雀盲肠呈柱状,乳白色,短小或消失;谷子组树麻雀盲肠呈柱状,乳白色,相对较长;草籽组树麻雀盲肠呈柱状,较长或单侧盲肠端部膨大呈半球型或双侧膨大(两侧大小不一),膨大处多突,颜色呈棕褐色,质量出现极显著增大。

表1 3组树麻雀个体能值水平比较 (Mean±SE)

Table 1 Comparing the individual level in three teams *passer montanus* of acclimation

项目 Item	谷子组 <i>Setaria italica</i>	黄粉虫组 <i>Tenebrio molitor</i>	鹅头稗种子组 <i>Echi nochla crusgalli</i>	P
样本数 Samples	9	8	10	
初体重 Initial body mass/g	19.84±0.41	19.51±0.34	19.65±0.26	0.812
终体重 Final body mass/g	20.96±0.71 <sup>b</sup>	20.53±0.41 <sup>b</sup>	18.89±0.36 <sup>a</sup>	0.018
体重变化 Body mass change/g	1.13±0.47 <sup>b</sup>	1.02±0.41 <sup>b</sup>	-0.68±0.47 <sup>a</sup>	0.005
体温 Body temperature/℃	41.84±0.18 <sup>b</sup>	41.48±0.15 <sup>b</sup>	40.20±0.42 <sup>a</sup>	0.003
基础代谢率 BMR/(mLO <sub>2</sub> /h)	98.50±6.09	74.67±10.05	102.00±10.67	0.185
基础代谢率 BMR/(mLO <sub>2</sub> ·g <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	4.65±0.26	3.16±0.44	5.52±0.62	0.058
胴体干重 Dry body mass/g	8.26±0.52 <sup>b</sup>	8.81±0.31 <sup>b</sup>	7.27±0.26 <sup>a</sup>	0.026
体脂重 Body fat/g	2.23±0.43 <sup>b</sup>	2.56±0.30 <sup>b</sup>	1.34±0.21 <sup>a</sup>	0.033
体脂含量 Body fat/%	10.36±1.74 <sup>ab</sup>	12.39±1.33 <sup>b</sup>	6.95±0.95 <sup>a</sup>	0.029
水分含量 Water/%	60.76±1.41 <sup>b</sup>	57.14±0.87 <sup>a</sup>	61.63±0.71 <sup>b</sup>	0.022

同一行数值中,abc上角标记的数据为依次增大,含有相同字母上标的数据为差异不显著和不同字母上标的数据为差异显著;数值为平均值±标准误

表2 3组树麻雀个体能量代谢水平比较 (Mean±SE)

Table 2 Comparison of individual levels of energy metabolism in three teams *passer montanus* of acclimation

项目 Item	谷子组 <i>Setaria italica</i>	黄粉虫组 <i>Tenebrio molitor</i>	鹅头稗种子组 <i>Echi nochla crusgalli</i>	P
食物质量 Food intake/(g/d)	6.15±0.53 <sup>a</sup>	7.53±0.39 <sup>b</sup>	5.58±0.22 <sup>a</sup>	0.000
干食物质量 Dry food intake/(g/d)	5.91±0.26	5.57±0.31	5.40±0.17	0.743
排粪量 Guano/(g/d)	0.50±0.03 <sup>a</sup>	0.70±0.03 <sup>b</sup>	0.59±0.01 <sup>a</sup>	0.000
摄入能 Energy intake/(kJ/d)	90.77±4.25 <sup>b</sup>	138.67±6.19 <sup>c</sup>	74.58±2.27 <sup>a</sup>	0.000
粪能 Guano/(kJ/d)	7.30±0.41 <sup>a</sup>	10.96±0.37 <sup>c</sup>	8.43±0.20 <sup>b</sup>	0.000
消化能 Digestible energy intake/(kJ/d)	83.47±4.08 <sup>b</sup>	127.70±5.90 <sup>c</sup>	66.42±2.15 <sup>a</sup>	0.000
消化率 Digestibility/%	91.88±0.50 <sup>b</sup>	92.04±0.19 <sup>b</sup>	88.68±0.28 <sup>a</sup>	0.000

以上数据均为各组每天每只树麻雀平均代谢能值14d的统计数值

表3 3组树麻雀个体器官水平的比较 (Mean±SE)

Table 3 Comparison of individual levels of organs in three teams *passer mantanus* of acclimation

项目 Item	谷子组 <i>Setaria italica</i>	黄粉虫组 <i>Tenebrio molitor</i>	鹅头稗种子组 <i>Echi nochla crusgalli</i>	P
样本数 Samples	9	8	10	
体重 Body mass/g	20.96±0.71 <sup>b</sup>	20.53±0.41 <sup>b</sup>	18.89±0.36 <sup>a</sup>	0.018
脑组织鲜重 Weight of brain/mg	687.58±32.96	706.02±12.95	728.40±14.11	0.407
脑组织干重 Dry weight of brain/mg	162.76±12.43	157.52±3.01	162.12±3.44	0.892
心脏组织鲜重 Weight of heart/mg	311.71±13.67	328.23±18.94	316.39±7.71	0.687
心脏组织干重 Dry weight of heart/mg	86.51±4.88	93.73±5.57	84.50±3.02	0.343
肝脏组织鲜重 Weight of liver/mg	484.19±23.49	531.65±20.64	465.16±16.51	0.100
肝脏组织干重 Dry weight of liver/mg	170.80±9.19 <sup>ab</sup>	190.10±7.01 <sup>b</sup>	160.61±5.59 <sup>a</sup>	0.039
肺脏组织鲜重 Weight of lung/mg	208.00±6.68	200.40±6.32	203.46±9.74	0.838
肺脏组织干重 Dry weight of lung/mg	51.99±1.46	49.85±2.83	50.19±2.65	0.834
肾脏组织鲜重 Weight of kidney/mg	66.61±7.80	76.18±4.77	84.87±12.12	0.422
肾脏组织干重 Dry weight of kidney/mg	19.10±2.24	22.03±1.52	23.55±3.53	0.539
肌胃长度 Stomach length/mm	11.81±0.26	13.39±0.64	12.47±0.37	0.063
肌胃组织鲜重 Weight of stomach/mg	565.45±27.70	526.67±34.36	510.66±20.00	0.306
肌胃组织干重 Dry weight of stomach/mg	205.60±16.71	183.85±11.81	169.30±10.80	0.156
小肠长 Small intestine length/mm	134.28±2.50 <sup>a</sup>	144.46±2.35 <sup>b</sup>	128.78±1.96 <sup>a</sup>	0.000
小肠组织鲜重 Weight of small intestine/mg	684.15±45.66 <sup>b</sup>	601.33±31.99 <sup>ab</sup>	513.26±42.87 <sup>a</sup>	0.026
小肠组织干重 Dry weight of intestine/mg	265.14±30.74 <sup>b</sup>	214.47±9.86 <sup>ab</sup>	175.19±15.28 <sup>a</sup>	0.019
直肠长 Rectum length/mm	8.21±0.66	8.94±0.93	8.98±0.71	0.752
直肠组织鲜重 Weight of rectum/mg	26.44±2.67	28.35±5.62	27.97±4.00	0.943
直肠组织干重 Dry weight of rectum/mg	9.81±1.43	8.85±1.78	9.77±1.34	0.894
总消化道长 Total digestive tract length/mm	154.31±2.73 <sup>a</sup>	166.79±3.26 <sup>b</sup>	150.23±2.41 <sup>a</sup>	0.002
总消化道组织鲜重/mg	1278.29±67.44 <sup>b</sup>	1156.35±57.07 <sup>ab</sup>	1050.34±52.75 <sup>a</sup>	0.034
总消化道组织干重/mg	421.31±27.10	407.17±16.06	389.58±32.91	0.183
Dry weight of total digestive tract				

### 3 讨论

动物能量预算的生理调节可以在一定程度上有效适应环境的改变,生理调节的能力反映出物种适合度的大小<sup>[28,32]</sup>。动物的能量预算存在较多观点,如 Speakman 和 Krol<sup>[5]</sup>与 Humphries 等<sup>[6]</sup>认为动物的能量预算是源于外因。Johnson 等<sup>[8-9]</sup>则认为能量预算可能受到内脏器官或组织能耗的限制。Kroft 和 Speakman<sup>[10]</sup>从摄能需求和散热能力角度来解释动物的能量预算,但动物产热和散热的调节应包括生理调节和行为调节,并受外因影响,因而也不能很好的解释变温动物对环境的热依赖<sup>[16]</sup>和机体的产热能力对恒温动物能量预算的贡献。近年,我国在小型的鸟类和哺乳动物能量预算的产热调节机理方面进行了较为深入的研究<sup>[11,31]</sup>。上述这些观点从外因或内因、产热或散热的不同角度,对不同动物的能量预算进行阐述。而本文认为外因很可能是动物进行能量预算的诱因,能量的摄入可定量测定和比较;个体能值各参数的变化是其对能量预算结果的反映,产热和散热的能力是个体能量预算的重要组成部分;器官功能能力和自身能耗即是能量预算的决定因素也是能量预算的基础,器官水平相应的可塑性表型变化是动物对个体能量预算的响应。

#### 3.1 3组树麻雀能量代谢水平的变化

树麻雀对3种食物的摄食量差异显著,摄食干食物质量不显著和基本保持在同一水平。这很可能意味着3组树麻雀对于相同的驯养环境有着共同的摄能需求。3组树麻雀能量代谢水平差异极显著,虫组和草籽组树麻雀的摄入能和消化能分别为谷子组的152.77%、152.99%和82.16%、79.57%,随着3种食物能值的依次降低,对应树麻雀的能量摄入水平出现极显著的降低趋势。草籽组树麻雀的消化率显著低于虫组和谷子

组。这些结果表明,3组摄能需求相同树麻雀的能量代谢水平差异极显著。摄食高能食物时能量代谢水平和摄食能力升高,摄食低能食物时,反之。食物质量的差异属于外因范畴和3组树麻雀对食物的可获得性不同,因此,3组树麻雀能量代谢水平的变化符合外因限制假说<sup>[5-6]</sup>和食物可利用性假说<sup>[7]</sup>。树麻雀在摄食能需求相同(相同生存环境)和食物质量差异的条件下表现出能量代谢水平的显著变化很可能成为热耗散限制假说<sup>[10-12]</sup>的重要补充,但是,草籽组树麻雀体温调节标准降低的结果(表1)是否源于散热能力的变化需要进一步验证。

### 3.2 3组树麻雀能量预算在个体能值水平的反映

#### 3.2.1 体内能量储备的变化

树麻雀体内能量储备包括两种方式,一种是血糖、肝糖原和肌糖原等,另一种是脂肪、蛋白质等高能储备物和消化道内的食糜储备,高能储备物需要能量转化器官分解获能和食糜需要能量摄入器官消化、同化获能。动物体内的能量储备对于生存压力增大时意义重大<sup>[31,34]</sup>。草籽组树麻雀体脂重和体脂含量显著低于虫组和谷子组,随着黄粉虫、谷子和草籽种子3种食物含能的降低,对应3组树麻雀体脂重和体脂含量均呈现出递减的趋势(表1)。表明能量预算过剩的能量以脂肪的形式转化为体内的能量储备和不足的能量部分通过分解体内的能量储备物获能来补充,形成树麻雀体脂含量虫组增加和草籽组显著降低的结果。也表明,3种食物质量的差异已经引起了树麻雀体内能量储备策略的调整和变化。

#### 3.2.2 体温和BMR

内温动物具有相对恒定的体温,体温的改变意味着用于体温调节的能耗发生变化。树麻雀体温调节标准降低,个体与环境的温差降低,体温调节的能耗支出随之减少。草籽组树麻雀体温显著降低的调节很可能也是其重要的节能预算方式。表明草籽组树麻雀产热或散热的能力发生了改变,体温的调节标准降低。相同和较低的生存压力很可能是组间BMR没有出现显著差异的原因,表明食物质量的差异并未引起3组树麻雀夜晚维持能耗的显著变化。

#### 3.2.3 体重和水分含量

体重是反映动物能量预算的重要参数<sup>[13-14]</sup>。树麻雀体重虫组、谷子组增加和草籽组降低(表1),表明前者摄入的能量大于支出和后者摄入的能量小于支出;体脂含量的变化是形成体重组间显著差异的直接原因,也是引起草籽组树麻雀体重显著降低的主要原因。胴体干重和体脂重虫组比谷子组增加分别为0.55和0.33g,草籽组比谷子组减少分别为0.99和0.89g(表1)。因此,蛋白质等含能物质很可能也参与了树麻雀的能量预算,其质量的增减变化也是引起体重发生显著变化的原因之一。

体重降低可使运动能耗降低,个体的能耗总量相应降低。体内能量储备的降低和基础能耗总量的相应增加,个体的生存能力随之增强<sup>[37-38]</sup>。这种分析也许可以解释日间树麻雀生存活力草籽组、谷子组和虫组依次降低的现象。黄粉虫、谷子和草籽种子3种食物含能和含水量依次降低,对应3组树麻雀个体的水分含量却依次升高。树麻雀个体的水分含量是否与摄入食物的水分含量、与树麻雀的生存活力具有相关性需要进一步的验证。

因此,个体能值水平的变化反映出树麻雀对不同含能食物进行不同能量预算的结果。

### 3.3 3组树麻雀能量预算器官水平的响应

自然生境中各种生存胁迫因子的交互作用形成了不同的生存压力和动物不同的摄食能需求<sup>[20,39-40]</sup>,成功适应环境的基础是个体有效的能量预算对策和体内代谢活性器官应激后作出的表型可塑性响应<sup>[28,32]</sup>。器官功能能力与器官自身能耗的能量预算和个体能量预算策略的权衡结果最终形成了个体能值的变化。

#### 3.3.1 肝脏、肾脏和其它器官

肝脏是动物体内代谢活性最强的能量转化器官<sup>[40]</sup>,可将摄入大于支出的能量转化为体内的能量储备,摄入能量不足以维持生存能耗时分解体内的能量储备。肝脏组织干重组间变化显著(表3),随着3种食物含能的降低对应肝脏组织干重呈现出递减趋势。因此,肝脏组织干重的变化很可能间接反映出3组树麻雀不同的

能量转化能力,随肝脏组织干重的增加和能量转化功能能力显著增强。肾脏是重要的排泄器官,肾脏组织增重可能是对体内蛋白质被分解获能后含 N 废物增加的响应。3 组树麻雀的脑、心脏、肺脏、肌胃和直肠都没有显著差异,表明较低的生存压力和 3 种食物没有引起这些器官相应的可塑性响应。

### 3.3.2 消化道形态特征

肌胃是动物体内暂时储存和初步消化食物的主要场所,也是进行食糜储备的重要器官<sup>[30]</sup>。3 组树麻雀肌胃长度和重量均没有显著变化(表 3)和干物质摄食量组间差异不显著(表 2),表明 3 组树麻雀没有采用增加食糜储备的能量预算,这很可能与较低的觅食压力有关。解剖时虫组树麻雀腺胃膨大,其形态学变化很可能是受食物质量差异的影响所致。腺胃增生和部分酶液分泌量增加很可能是形成虫组树麻雀消化率组间最高的原因。

小肠是消化和吸收食物营养的主要场所<sup>[32]</sup>。虫组树麻雀小肠和总消化道长度最长,显著长于谷子和草籽组。消化道长度的增加可延长食糜在消化道内的滞留时间,间接提高了食糜的消化率和同化率,这种器官水平的响应很可能是增加能量摄入的能量预算方式。

草籽组树麻雀盲肠组织显著增生很可能是对纤维含量较高的草籽种子发生了的应激反应,分解相对更多的纤维增加获能。

因此,肝脏和小肠对 3 组树麻雀的能量预算做出了积极的器官响应,腺胃、盲肠和肾脏很可能也是参与了能量预算,并做出相应的器官响应。

### 3.4 能量预算、个体能值和器官响应三者的关系

动物增加能量摄入的能量预算方式可以是通过增加摄食量、提高消化吸收率和减少能耗支出的节能预算。增加摄食量是有效方式,但要受到肌胃容积和消化吸收能力的限制<sup>[28]</sup>。增加消化器官能耗和提高消化吸收率来增加能量摄入是高成本-高收益的能量预算,该器官在生存压力变化时很可能成为功能过剩器官和白白消耗过剩能力那部分能耗<sup>[26-27]</sup>。摄能器官的这种可塑性响应具有相对的意义,进食高能食物时增加摄能器官的能耗来增加获能是高成本-高收益的能量预算,而进食低能食物时则为高成本-低收益-高消耗的能量预算。这也是一种高风险的能量预算方式,能量摄入增加部分很可能被夜晚增加的器官维持能耗消耗了,甚至有可能消耗更多,个体适合度将相应降低<sup>[32]</sup>。草籽组树麻雀没有采用这种方式增加能量摄入,而采取动用体内能量储备补充能量摄入的不足。

食糜储备是一种低成本-高收益的能量预算方式,参与夜晚维持能耗的能量预算意义重大<sup>[33]</sup>。食糜储备增加则需要肌胃容积增大的器官响应。夜晚长的消化道可延长食糜储备用于维持能耗所需能量的持续供给。食糜中能量被吸收后可以直接参与代谢,可以相对减少用于高能储备物合成或分解的能耗,食糜储备的多少和可消化、同化的时间都将直接影响体内的能量储备<sup>[27]</sup>,进而影响个体的能量预算。

虫组树麻雀肝脏重量增加反映出肝脏对增加能量储备的预算策略作出了响应和小肠长度增长是对增加能量摄入和减少能耗支出能量预算策略的器官响应,个体的体脂含量随之增加。草籽组树麻雀即没有采用增加食糜储备或延长食糜消化、同化时间的能量预算方式,也没有采用增加消化器官的能耗来提高消化率和同化率的能量预算方式,而是采用了总消化道长度缩短、重量减少和减少消化器官能耗支出的节能预算,当摄能不足时采用动用体内能量储备的能量预算方式,个体体脂含量随之降低。

总之,个体能值差异反映出个体对不同生存环境压力进行能量预算的结果;器官水平的变化是体内各器官对个体能量预算对策的响应,也是个体与环境、器官功能能力与器官自身能耗之间能量预算的结果。

结论:低生存压力条件下,树麻雀对不同的食物采用了不同的能量预算策略。进食高能食物时,增加摄入能、提高消化率来获能,收入大于支出部分的能量转化为体内的能量储备;进食低能食物时,保持或适当降低原有的摄能水平和降低体温的节能预算,收入小于支出的部分能量则通过分解体内的能量储备物获能。

### References:

- [ 1 ] Alexander R M. Energy for Animal Life. Oxford: Oxford University Press, 1999: 63-68.

- [ 2 ] Zhao Z J, Chi Q S, Cao J. Limits on sustained metabolic rate in small mammals. *Chinese Journal of Zoology*, 2009, 44(4) : 155-160.
- [ 3 ] Bing C, Frankish H M, Pickavance L, Wang Q, Hopkins D F C, Stock M J, Williams G. Hyperphagia in cold-exposed rats is accompanied by decreased plasma leptin but unchanged hypothalamic NPY. *American Journal of Physiology*, 1998, 274(1) : 62-68.
- [ 4 ] Lovegrove B G. The influence of climate on the basal metabolic rate of small mammals: a slow-fast metabolic continuum. *Journal of Comparative Physiology B*, 2003, 173(2) : 87-112.
- [ 5 ] Speakman J R, Król E. Limits to sustained energy intake IX: a review of hypothesis. *Journal of Comparative Physiology B*, 2005, 175 (6) : 375-394.
- [ 6 ] Humphries M M, Thomas D W, Kramer D L. The role of energy availability in mammalian hibernation: a cost-benefit approach. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2003, 76(2) : 165-179.
- [ 7 ] Hammond K A, Diamond J. Maximal sustained energy budgets in humans and animals. *Nature*, 1997, 386: 457-462.
- [ 8 ] Johnson M S, Thomson S C, Speskman J R. Limits to sustained energy intake. III. Effects of concurrent pregnancy and lactation in *Mus musculus*. *The Journal of Experimental Biology*, 2001, 204(11) : 1947-1956.
- [ 9 ] Johnson M S, Thomson S C, Speakman J R. Limits to sustained energy intake. I. Lactation in the laboratory mouse *Mus musculus*. *The Journal of Experimental Biology*, 2001, 204(11) : 1925-1935.
- [10] Król E, Speakman J R. Limits to sustained energy intake VI. Energetics of lactation in laboratory mice at thermoneutrality. *The Journal of Experimental Biology*, 2003, 206: 4255-4266.
- [11] Chi Q S, Wang D H. Postnatal development of thermoregulation in Brandt's voles *Lasiopodomys brandtii*. *Acta Zoologica Sinica*, 2005, 51(5) : 780-789.
- [12] Zhao Z J, Chen J F, Wang D H. Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in Brandt's voles *Lasiopodomys brandtii*. *Acta Zoological Sinica*, 2008, 54(4) : 576-589.
- [13] Polo V, Crrascal L M. Nocturnal body mass loss in coal tits *Periparus ater*: the combined effects of ambient temperature and body reserves. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, 54(4) : 615-621.
- [14] Ashton K G. Patterns of within-species body size variation of birds: strong evidence for Bergmann's rule. *Global Ecology and Biogeography*, 2002, 11(6) : 505-523.
- [15] Shu L, Zhang Q L, Qu Y F, Ji X. Thermal tolerance, selected body temperature and thermal dependence of food assimilation and locomotor performance in the Qinghai toad headed lizard, *Phrynocephalus vlangalii*. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8) : 2036-2042.
- [16] Qiu Q B, Zeng X B, Lin L H, Ji X. Selected body temperature, thermal tolerance and influence of temperature on food assimilation in the oriental garden lizard, *calotes versicolor* (Agamidae). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4) : 1738-1744.
- [17] Voltura M B, Wunder B A. Effects of ambient temperature, diet quality, and food restriction on body composition dynamics of the prairie vole *Microtus ochrogaster*. *Physiological Zoology*, 1998, 71(3) : 321-328.
- [18] Swanson D L. Are summit metabolism and thermogenic endurance correlated in winter acclimatized passerine birds? *Journal of Comparative Physiology B*, 2001, 171(6) : 475-481.
- [19] Bairlein F. How to get fat: nutritional mechanisms of seasonal fat accumulation in migratory songbirds. *Naturwissenschaften*, 2002, 89(1) : 1-10.
- [20] McKechnie A E, Wolf B O. The allometry of avian basal metabolic rate: good predictions need good data. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2004, 77(3) : 502-521.
- [21] Rezende E L, Bozinovic F, Garland T Jr. Climatic adaptation and the evolution of basal and maximum rates of metabolism in rodents. *Evolution*, 2004, 58(6) : 1361-1374.
- [22] McKechnie A E, Freckleton R P, Jetz W. Phenotypic plasticity in the scaling of avian basal metabolic rate. *Proceedings of the Royal Society B*, 2006, 273(1589) : 931-937.
- [23] White C R, Blackburn T M, Martin G R, Butler P J. Basal metabolic rate of birds is associated with habitat temperature and precipitation, not primary productivity. *Proceedings of the Royal Society B*, 2007, 274(1607) : 287-293.
- [24] Geng Y P, Zhang W J, Li B, Chen J K. Phenotypic plasticity and invasiveness of alien plants. *Biodiversity Science*, 2004, 12(4) : 447-455.
- [25] Vézina F, Williams T D. Plasticity in body composition in breeding birds: what drives the metabolic costs of egg production?. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2003, 76(5) : 716-730.
- [26] Weibel E R. Symmorphosis and optimization of biological design: introduction and questions// Weibel E R, Taylor C R, Bolis L, eds. *Principles of Animal Design*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998 : 1-10.
- [27] Stark J M, Beese K. Structural flexibility of the intestine of *Burmese python* in response to feeding. *The Journal of Experimental Biology*, 2001, 204 (2) : 325-335.
- [28] Yang Z H, Liu J S, Shao S L. Effect of starvation on length and weight of digestive tract in *Passer montanus*. *Chinese Journal of Zoology*, 2009, 44

- (6) : 130-136.
- [29] Mackinnon J, Phillipps K. A Field Guide to the Birds of China. London: Oxford University Press, 2000; 312-340.
- [30] Liu J S, Li M. Phenotypic flexibility of metabolic rate and organ masses among tree sparrows *Passer montanus* in seasonal acclimatization. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(3) : 469-477.
- [31] Zheng W H, Li M, Liu J S, Shao S L. Seasonal acclimatization of metabolism in Eurasian tree sparrows (*Passer montanus*). *Comparative Biochemistry and Physiology (Part A)*, 2008, 151(4) : 519-525.
- [32] Yang Z H, Shao S L, Liu J S. Effects of temperature and photoperiod acclimation on digestive tract morphology and energy budget of tree sparrow (*Passer montanus*). *Chinese Journal of Zoology*, 2010, 29(2) : 334-350.
- [33] AL-Mansour M I. Seasonal variation in basal metabolic rate and body composition within individual sanderling bird *Calidris alba*. *Journal of Biological Sciences*, 2004, 4(4) : 564-567.
- [34] Górecki A. Kalabukhov-skvorsov respirometer and resting metabolic rate measurement// Grodzinski W, ed. IBP Handbook, No 24: Methods for Ecological bioenergetics. Oxford: Blackwell Scientific, 1975: 309-313.
- [35] Deng H L, Zhang X A. Standard metabolic rate in several species of passerine birds in alpine meadow. *Acta Zoologica Simica*, 1990, 36(4) : 377-384.
- [36] Drozdz A. Metabolic cages for small rodents// Grodzinski W, Klekowski R Z, Duncan A, eds. Methods for Ecological Bioenergetics. Oxford: Blackwell Scientific Press, 1975: 346-351.
- [37] Swanson D L, Liknes E T. A comparative analysis of thermogenic capacity and cold tolerance in small birds. *The Journal of Experimental Biology*, 2006, 209: 466-474.
- [38] Swanson D L. Cold hardiness and summit metabolism in North American kinglets during fall migration. *Acta Zoologica Simica*, 2007, 53: 600-606.
- [39] Rezende E L, Swanson D L, Novoa F F, Bozinovic F. Passerines versus nonpasserines: so far, no statistical differences in the scaling of avian energetics. *The Journal of Experimental Biology*, 2002, 205: 101-107.
- [40] Liu J S, Li M, Shao S L. Seasonal changes in thermogenic properties of liver and muscle in tree sparrows *Passer montanus*. *Acta Zoologica Simica*, 2008, 54(5) : 777-784.

#### 参考文献:

- [ 2 ] 赵志军, 迟庆生, 曹静. 小型哺乳动物的持续能量收支限制研究进展. *动物学杂志*, 2009, 44(4) : 155-160.
- [ 11 ] 迟庆生, 王德华. 布氏田鼠体温调节能力的胎后发育. *动物学报*, 2005, 51(5) : 780-789.
- [ 12 ] 赵志军, 陈竞峰, 王德华. 光周期和高脂食物对布氏田鼠能量代谢和产热的影响. *动物学报*. 2008, 54(4) : 576-589.
- [ 15 ] 舒霖, 张群利, 屈彦福, 计翔. 青海沙蜥的热耐受性、选择体温及摄食和运动表现的热依赖性. *生态学报*, 2010, 30(8) : 2036-2042.
- [ 16 ] 邱清波, 曾小懿, 林隆慧, 计翔. 变色树蜥 (*Calotes versicolor*) 选择体温、热耐受性及温度对食物同化的影响. *生态学报*, 2009, 29(4) : 1738-1744.
- [ 24 ] 耿宇鹏, 张文驹, 李博, 陈家宽. 表型可塑性与外来植物的入侵能力. *生物多样性*, 2004, 12(4) : 447-455.
- [ 28 ] 杨志宏, 柳劲松, 邵淑丽. 饥饿驯化树麻雀消化道长度和重量的影响. *动物学杂志*, 2009, 44(6) : 130-136.
- [ 30 ] 柳劲松, 李铭. 树麻雀代谢率和器官重量在季节驯化中表型的可塑性变化. *动物学报*, 2006, 52(3) : 469-477.
- [ 32 ] 杨志宏, 邵淑丽, 柳劲松. 温度和光周期驯化对树麻雀消化道形态特征和能量预算的影响. *生态学杂志*, 2010, 29(2) : 334 -350.
- [ 35 ] 邓合黎, 张晓爱. 高寒草甸几种雀形目鸟类的标准代谢 (SMR). *动物学报*, 1990, 36(4) : 377-384.
- [ 40 ] 柳劲松, 李铭, 邵淑丽. 树麻雀肝脏和肌肉产热特征的季节性变化. *动物学报*, 2008, 54(5) : 777-784.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No.14 July,2011( Semimonthly)**  
**CONTENTS**

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes .....	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River .....	HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains; a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province .....	LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors .....	XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing .....	TANG Xiumei, CHEN Baiping, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain .....	FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim .....	WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island .....	JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i> .....	YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China .....	ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation .....	LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt ( <i>Verticillium dahliae</i> Kleb.) .....	ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system .....	WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed .....	YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation .....	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate .....	LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay .....	YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O <sub>3</sub> at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i> .....	WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue .....	GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa ( <i>Medicago polymorpha</i> ) in soil .....	LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River .....	HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages .....	LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse .....	LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province .....	HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)
<b>Review and Monograph</b>	
Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography .....	DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods .....	WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization .....	CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i> .....	ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil .....	SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)
<b>Scientific Note</b>	
Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River .....	GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest .....	ZHOU Xiaoqing, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biologicalsoil crusts;a case study of Gurbantunggut Desert .....	WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes .....	KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

\*《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次, 全国排名第 1; 影响因子 1.812, 全国排名第 14; 第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊; 中国精品科技期刊

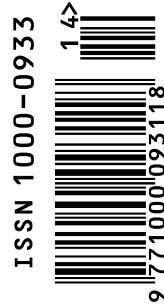
编辑部主任 孔红梅

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 31 卷 第 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 14 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief FENG Zong-Wei
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 70.00 元