

四川荣经县赤腹松鼠体重及脏器湿重的性别与季节差异

贾义平^① 靳伟^{②#} 左之才^{①*} 王正义^① 袁贵强^①
任毅^① 万涛梅^①

① 四川农业大学动物医学院, 环境公害与动物疾病四川省高校重点实验室 雅安 625014;

② 四川省林业科学研究院 成都 610081

摘要: 以2015年1月至12月捕自四川荣经县的310只成体赤腹松鼠 (*Callosciurus erythraeus*, 雄鼠174只, 雌鼠136只) 为研究对象, 分析了其体重及7种内脏器官湿重的性别和季节差异, 以及妊娠对内脏器官湿重的影响。1) 雌、雄鼠的体重无性别和季节差异。2) 心湿重雌、雄鼠差异显著, 春季雄性大于雌性, 夏季相反; 肝、脾、肺和肾的湿重均无性别差异。3) 肝湿重夏、冬季高于春、秋季; 脾湿重秋季高于冬季和春季; 肺湿重春季最高, 夏季最低; 肾湿重冬、春季高于夏季; 心湿重雄鼠秋季高于夏、冬季, 雌鼠夏、秋季高于冬季; 睾丸和子宫湿重都在春季最高, 秋季最低。4) 妊娠鼠肝、肺和肾湿重均高于未妊娠鼠。结果表明, 随着季节更替赤腹松鼠的体重维持稳定, 雌、雄鼠心湿重差异显著, 且器官湿重表现出了一定的弹性, 这可能与雌、雄鼠的繁殖状态及季节性环境的多样性变化有关。

关键词: 赤腹松鼠; 脏器湿重; 可塑性; 性别; 季节

中图分类号: Q954 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2017) 01-49-08

Sex- and Season-Dependent Changes of Body Mass and Organic Wet Mass in Red-bellied Squirrel (*Callosciurus erythraeus*) from Yingjing County, Sichuan Province

JIA Yi-Ping^① JIN Wei^{②#} ZUO Zhi-Cai^{①*} WANG Zheng-Yi^① YUAN Gui-Qiang^①
REN Yi^① WAN Tao-Mei^①

① *Key Laboratory of Environmental Hazard and Animal Disease of Sichuan Province, College of Veterinary Medicine, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014;* ② *Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China*

基金项目 四川省林业科学研究院自列课题 (No. ZL2014-22);

* 通讯作者, E-mail: ZZCJL@126.com;

第一作者介绍 贾义平, 男, 硕士研究生; 研究方向: 中西兽医与临床; E-mail: gehuan199203@126.com;

同等贡献第一作者 靳伟, 男, 博士, 高级工程师; 研究方向: 生物多样性保护及小型兽类研究, E-mail: 58683348@qq.com。

收稿日期: 2016-04-19, 修回日期: 2016-07-19 DOI: 10.13859/j.cjz.201701006

Abstract: Both visceral organ mass and body mass show phenotypic plasticity in small mammals, which in turn is related to their living environmental conditions. To further understand the seasonal adaptive strategy for wild Red-bellied Squirrel (*Callosciurus erythraeus*), 174 males and 136 females were captured from January to December 2015, respectively from Yingjing County, Sichuan Province. We measured body mass, wet masses of visceral organs (liver, heart, spleen, lung, kidney, testis, uterus), analyzed the data from different sexes and seasons. Besides, the impact of pregnancy in body mass and wet masses of visceral organs were also analyzed. These indices were analyzed by Two-way ANOVA or ANCOVA. If some indices showed significant sex differences, seasonal variations of those indices for any gender were further analyzed by one-way ANOVA or ANCOVA. The results were as follows: 1) No sex and seasonal differences were found for body mass (Fig. 1a). 2) Sex difference was only observed for wet mass of heart, especially, males showed higher wet mass of heart than females in spring but lower in summer (Fig. 1b). Additionally, there was no sex difference in the other internal organ wet masses. 3) The wet mass of liver in summer and winter was higher than that in spring and autumn (Fig. 2a). The wet mass of spleen in autumn was higher than that in spring and winter (Fig. 2b). The wet mass of lung showed the highest value in spring and the lowest value in summer (Fig. 2c). The wet mass of kidney in spring and winter was higher than in summer (Fig. 2d). The wet mass of heart in autumn was greater than in summer and winter for males. However, it is higher in summer and autumn than in winter for females (Fig. 1b). The wet masses of testis (Fig. 2e) and uterus (Fig. 2f) showed the highest values in spring and the lowest values in autumn. 4) The wet masses of liver, lung and kidney showed higher values in pregnant individuals than non-pregnant ones (Table 1). These results indicate that only the wet mass of heart has significant sex difference and the difference changes with seasons. All of the internal organs exhibit some flexibility characters with the change of seasons, whereas the body mass holds stabilization. The reason may be related to the reproductive status of male and female squirrels and the diversities of season environments.

Key words: Red-bellied Squirrel, *Callosciurus erythraeus*; Organ wet weight; Plasticity; Gender; Season

内脏器官是动物生理功能的物质基础, 能反映一定环境条件下生理指标的变化情况, 与动物的繁殖状态、性别和季节等因素有关 (Pucek 1965)。生活于温带地区的小哺乳动物, 其内脏器官的形态学改变通常与其功能相适应。例如, 长爪沙鼠 (*Meriones unguiculatus*) 的脏器重量和肠道长度具有季节性的动态变化及性别差异, 并与食物组成的季节性改变有关 (张志强等 2009), 且免疫及生殖器官的重量也可随季节性环境条件的变化进行适应性调整, 或可能存在权衡关系 (张志强等 2006)。在逐渐缩短光周期和改变温度的条件下, 褐家鼠 (*Rattus norvegicus*) 和金色中仓鼠 (*Mesocricetus auratus*) 的心和肺湿重表现出

一定程度的可塑性 (Deveci et al. 2002), 布氏田鼠 (*Lasiopodomys brandtii*) 和社鼠 (*Niviventer confucianus*) 的肝湿重显著增加 (张美文等 2006, 张志强等 2007)。在冷驯化条件下, 大绒鼠 (*Eothenomys miletus*) 肝占体重的百分比显著升高 (Li et al. 2001)。在野外条件下, 虽然整合分析小哺乳动物内脏器官重量可塑性变化的资料很多, 但对于赤腹松鼠 (*Callosciurus erythraeus*) 还未见研究, 限制了对其适应环境变化机理的全面理解。

赤腹松鼠属啮齿目松鼠科丽松鼠属, 原产于亚洲东南部, 适应力极强, 一般栖息于热带和亚热带森林中, 在混交林、针叶林较为常见, 以植物的果实、种子和嫩叶为主食, 并可造成

人工林不同程度的损害（王酋之等 1984，1999）。近年来，对赤腹松鼠的研究主要集中于其危害性与防治（徐玮等 2004，董岚等 2009，原宝东等 2011，郝凯文等 2014）。我们以生活在四川雅安荣经县的野生赤腹松鼠为研究对象，系统地测定了季节、性别和妊娠等因素对其体重和脏器湿重的影响，从整体和器官水平探讨了赤腹松鼠对变化的环境条件的适应能力。

1 材料与方法

1.1 自然概况

赤腹松鼠捕于四川荣经地区（29°48'N，102°51'E），该地区位于四川盆地西部边缘，地形西南高东北低，高低悬殊，海拔为 1 000 ~ 3 500 m，属亚热带季风气候，四季分明。年平均温度 15.2℃，雨量充沛，日照少，年均降雨量为 1 133.1 mm。

1.2 实验动物

从 2015 年 1 月至 12 月，于四川荣经地区共活捕野生性成熟赤腹松鼠 310 只，其中雄性 174 只，雌性 136 只。春季（2~4 月）捕获 134 只（75♂、59♀），其中，3 至 4 月共捕获 28 只雌鼠，有 14 只为妊娠鼠；夏季（5~7 月）捕获 106 只（64♂、42♀）；秋季（8~10 月）捕获 40 只（20♂、20♀）；冬季（1 月，11~12 月）捕获 30 只（15♂、15♀）。

1.3 仪器及测定方法

参照贺争鸣（2006）编著的《啮齿类实验动物生物学特性数据测定技术规程》测定赤腹松鼠的体重及脏器湿重。野外活捕带回实验室禁食 12 h，确定性别并记录。将赤腹松鼠放入有盖、可密闭的玻璃箱内，电子天平（PL4001，梅特勒，精度 0.1 g）称重，倒入乙醚实施吸入麻醉，处死后，解剖动物，小心分离并取出肝、心、脾、肺、肾、睾丸或子宫等器官，仔细剔除器官表面附着的结缔组织，去除内脏器官附带的血凝块等污物，并用滤纸吸干器官表面的水分，用分析天平（BSA423S-CW，赛多利斯，

精度 0.1 mg）称量器官的湿重。

1.4 数据统计分析

采用 Excel 软件和 SPSS22.0 软件对实验数据进行统计分析。所有的数据均用 K-S（Kolmogorov-Smirnov）检验是否符合正态分布，方差齐性用 Levine 检验。经检验肾湿重和肺湿重为非正态分布，故经对数转换使之标准化。以双因素方差分析（Two-Way ANOVA）比较体重的性别和季节差异；若有性别差异，则用单因素方差分析（One-Way ANOVA）比较雌、雄鼠体重的季节差异。为去除体重的影响，以体重为协变量用双因素协方差分析（Two-Way ANCOVA）比较脏器湿重的性别和季节差异；对有性别差异的指标，则以体重为协变量用单因素协方差（One-Way ANCOVA）分析，分别比较雌、雄鼠脏器湿重的季节差异。采用单因素方差分析或协方差分析（以体重为协变量），比较春季妊娠鼠和非妊娠鼠的体重或脏器湿重的差异。数据用平均值 ± 标准差（Mean ± SD）表示，使用最小显著差数法（LSD）比较各参数，显著水平为 $P < 0.05$ （双尾检验）。

2 结果

2.1 赤腹松鼠体重的性别和季节差异

雌、雄鼠的平均体重分别为 291.5 g 和 290.2 g，双因素方差分析二者无显著差异（ $F_{(1, 302)} = 0.267$ ， $P > 0.05$ ，图 1a）；雌、雄鼠的体重都在秋季较高，但与其他季节无显著差异（ $F_{(3, 302)} = 0.864$ ， $P > 0.05$ ，图 1a）。

2.2 赤腹松鼠脏器重量的性别和季节差异

以体重为协变量的双因素协方差分析显示，雄鼠心湿重显著低于雌鼠（ $F_{(1, 301)} = 3.475$ ， $P < 0.05$ ）。进一步以体重为协变量的单因素协方差分析结果显示，春季雄鼠心湿重高于雌鼠（ $F_{(1, 131)} = 2.290$ ， $P < 0.05$ ），夏季则相反（ $F_{(1, 103)} = 2.326$ ， $P < 0.05$ ），秋（ $F_{(1, 37)} = 0.13$ ， $P > 0.05$ ）、冬季（ $F_{(1, 27)} = 0.08$ ， $P > 0.05$ ）相近。雄鼠心湿重秋季最重，春季其次，夏、冬

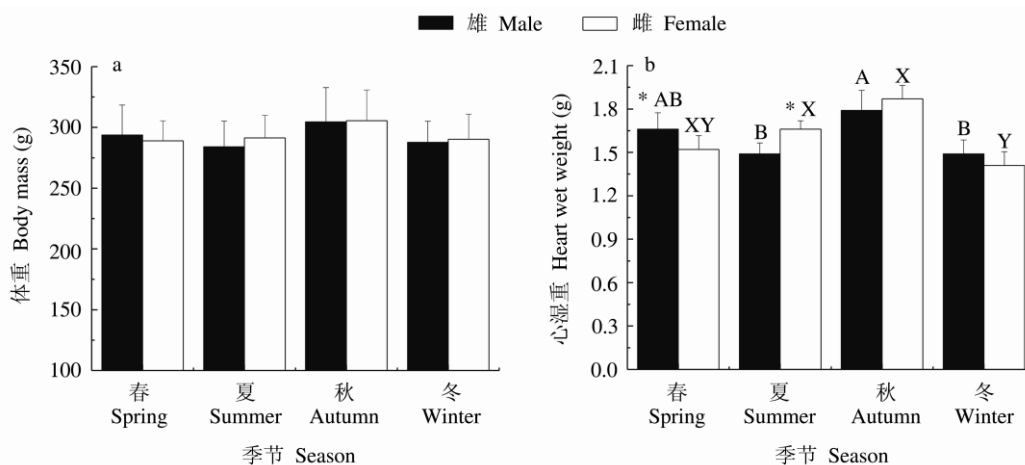


图1 赤腹松鼠体重(a)及心湿重(b)的性别和季节差异

Fig. 1 Sex and seasonal differences of body mass (a) and heart wet mass (b) in Red-bellied Squirrel

* 表示同一季节雌、雄间具有显著差异($P < 0.05$)。雄性季节间的差异用A和B表示,雌性则用X和Y表示,柱上含有不同大写字母表示季节差异显著($P < 0.05$),含有相同大写字母表示季节差异不显著($P > 0.05$)。小写字母代表图片序号。

Statistical significance was considered when $P < 0.05$ (*) between males and females in the same season. The capital A and B represented seasonal differences in males. The capital X and Y represented seasonal differences in females. Different capital letters above the bars showed significant difference among seasons ($P < 0.05$) and the same capital letters above the bars showed indifferences among seasons ($P > 0.05$). Different lowercases represented the serial number of pictures.

季最低(单因素协方差分析: $F_{(3, 169)} = 1.548$, $P < 0.05$); 雌鼠心湿重复、秋季最重,春季其次,冬季最低(单因素协方差分析: $F_{(3, 131)} = 1.684$, $P < 0.05$) (图1b)。

肝($F_{(1, 301)} = 1.368$, $P > 0.05$)、脾($F_{(1, 301)} = 0.873$, $P > 0.05$)、肺($F_{(1, 301)} = 1.248$, $P > 0.05$)和肾($F_{(1, 301)} = 1.148$, $P > 0.05$)湿重均无性别差异(图2)。肝湿重复、冬季显著高于春、秋季($F_{(3, 301)} = 4.022$, $P < 0.05$)。脾湿重秋季最高,夏季其次,春季和冬季最低($F_{(3, 301)} = 5.167$, $P < 0.05$)。肺湿重春季最高,夏季最低($F_{(3, 301)} = 7.310$, $P < 0.05$)。肾湿重冬季和春季显著高于夏季($F_{(3, 301)} = 9.540$, $P < 0.05$)。子宫湿重春季最高,其次冬季,秋季最低($F_{(3, 131)} = 7.643$, $P < 0.05$)。睾丸湿重春季最高,冬季和夏季其次,且都显著高于秋季($F_{(3, 169)} = 10.423$, $P < 0.05$)。

2.3 妊娠对赤腹松鼠体重和脏器湿重的影响

妊娠鼠($n = 14$)的体重明显大于未妊娠

鼠($n = 14$) ($F_{(1, 25)} = 14.560$, $P < 0.05$, 表1)。以体重为协变量的单因素协方差分析显示,妊娠鼠的肝($F_{(1, 25)} = 8.096$, $P < 0.05$)、肺($F_{(1, 25)} = 5.695$, $P < 0.05$)、肾湿重($F_{(1, 25)} = 16.068$, $P < 0.05$)均显著大于未妊娠鼠,但心($F_{(1, 25)} = 0.518$, $P > 0.05$)和脾湿重($F_{(1, 25)} = 2.063$, $P > 0.05$)与未妊娠鼠无显著差异(表1)。

3 讨论

赤腹松鼠的体重既无性别差异,也无季节差异。内脏器官中,春季雄性心湿重高于雌性,夏季反之,其他内脏器官的湿重无性别差异。同时,赤腹松鼠的内脏器官重量随着季节变化表现出一定程度的可塑性,且妊娠显著影响其肝、肺及肾大小。这些变化可能与赤腹松鼠的营养状态、生活史特征及雌、雄鼠对固有生境的适应有关,也可能是食物可利用性季节性波动的结果。

3.1 赤腹松鼠体重的性别和季节差异

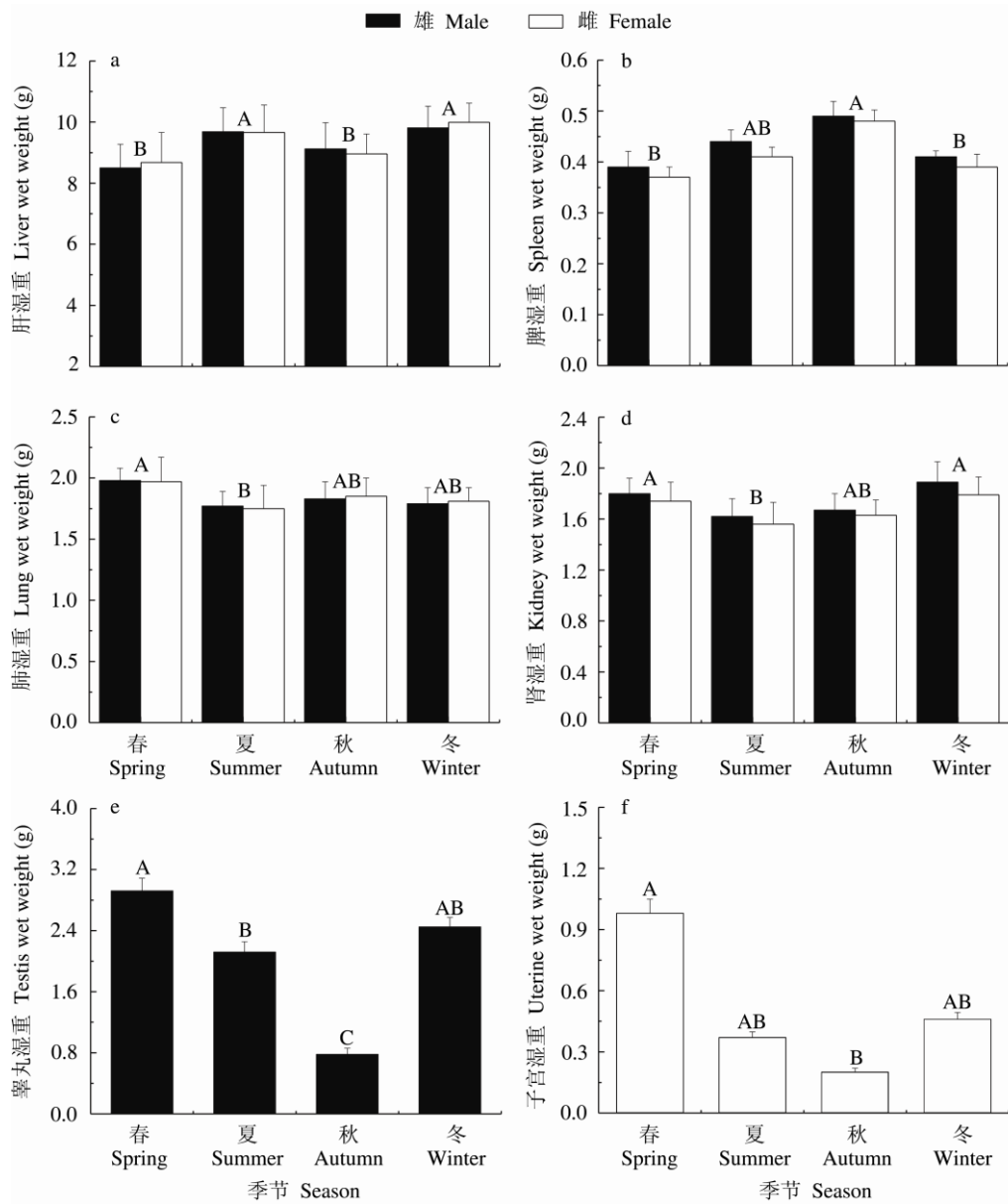


图 2 赤腹松鼠脏器湿重的性别和季节差异

Fig. 2 Sex and seasonal differences of organic wet mass in Red-bellied Squirrel

柱上含有不同大写字母表示季节差异显著 ($P < 0.05$), 相同大写字母表示季节差异不显著 ($P > 0.05$). 小写字母代表图片序号。

Different capital letters above the bars showed significant difference among seasons ($P < 0.05$) and the same capital letters o above the bars showed indifferences among seasons ($P > 0.05$). Different lowercases represented the serial number of pictures.

动物体重的变化可以反映其营养状态和随环境变化而进行的一些适应性调节 (李兴升等 2003)。在室内冷暴露 (Li et al. 2001)、短光照 (Li et al. 2003) 和低温或低质量食物 (Li et al.

2007, Liu et al. 2007) 等恶劣条件下, 长爪沙鼠的体重均无明显变化。另外, 在自然环境下, 由于入冬前贮存食物, 长爪沙鼠的体重在冬季并不下降 (张志强等 2009)。本文发现雌、雄

表 1 妊娠对体重和脏器湿重的影响 (平均值 ± 标准差)

Table 1 Effects of pregnancy on body mass and organic wet masses (Mean ± SD)

指标 Indexes	未妊娠雌鼠 Non-pregnant females (n = 14)	妊娠雌鼠 Pregnant females (n = 14)
体重 Body mass (g)	285.57 ± 29.65 ^b	323.70 ± 24.04 ^a
肝 Liver (g)	7.53 ± 1.53 ^b	8.85 ± 1.71 ^a
心 Heart (g)	1.44 ± 0.62	1.63 ± 0.20
脾 Spleen (g)	0.35 ± 0.06	0.38 ± 0.11
肺 Lung (g)	1.96 ± 0.34 ^b	2.32 ± 0.31 ^a
肾 Kidney (g)	1.59 ± 0.19 ^b	1.96 ± 0.21 ^a

同一行中不同字母代表妊娠与未妊娠雌鼠间的差异显著 ($P < 0.05$)。

Different letters in the same row represented significant difference between pregnant and non-pregnant females ($P < 0.05$).

赤腹松鼠的平均体重既无性别差异, 也无季节差异, 这与上述长爪沙鼠的研究结果相似。在蒙经地区的人工林中, 柳杉 (*Cryptomeria fortunei*) 和杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 占较大比例, 赤腹松鼠在冬季食物缺乏的条件下保持体重相对稳定, 这可能与其大量啃食柳杉和杉木的树皮有关。赤腹松鼠所啃食的部分含糖量较高, 这为其成功越冬提供了良好的物质保障, 有利于提高越冬存活率, 也为春季繁殖活动的启动预贮了能量。

在洪雅地区, 赤腹松鼠雌、雄鼠的平均体重分别为 358.7 g 和 356.2 g (蔡红霞 2002), 远高于本文在蒙经地区取样得到的雌、雄鼠的体重。对于同一种动物而言, 并非个体越大越有利于其生存, 较大的个体通常意味着较高的生长和代谢速度 (Rollo 2002)。两地区赤腹松鼠体重间的差异, 可能与各自的生境、食物可利用性不同有关。其中, 洪雅地区由西南向东北高低梯次变化, 而蒙经地区呈西南高、东北低, 地形破碎, 高低差异悬殊, 使得觅食的活动时间延长。另外, 其体重差异亦可能与取样的方法及数量有关。蔡红霞 (2002) 在洪雅林场目禅寺工区范围内采用铗日法, 捕捉数量为 31 只, 而本文在松鼠常出没的多个地区采用活捕笼, 捕捉数量为 310 只。

3.2 赤腹松鼠脏器湿重的性别和季节差异

在器官水平上, 器官重量可作为衡量脏器

功能的一个重要指标, 其变化一般可视为动物体对外界环境条件的反应 (Pucek 1965)。其中, 心的作用是推动血液流动, 向器官、组织提供充足的血液, 以供应氧和各种营养物质, 并带走代谢的终产物, 使动物机体维持正常的代谢和功能 (陈功义等 2007)。本研究结果显示, 春季雄鼠心的湿重高于雌鼠, 夏季则相反, 随后都在秋季升高, 冬季下降。在春季繁殖期, 为了提高繁殖的成功率, 雄鼠会表现出明显的占区行为, 会因扩大领域、追逐、对抗等行为消耗大量的能量, 导致能量需求增加, 所以心湿重增加; 而雌鼠居于配对选择的主控地位, 无占区行为 (周莲香 1983), 且妊娠也不影响心湿重。在夏季, 随着食物质量好转, 雄鼠处于体况的恢复期, 而雌鼠可能因分娩和泌乳而消耗大量的能量, 所以其心功能和活动加强, 湿重增加。秋季雌、雄鼠为贮存能量, 以保障冬季成功越冬, 其代谢水平增加, 心湿重增加。冬季, 雌、雄鼠为降低能量消耗, 维持体温、减少散热, 其心功能和活动下降, 故心湿重下降。

高代谢率的小动物一般具有相对较大的心、肺和肾 (杜卫国等 1999)。本文结果显示, 雌、雄鼠肺湿重春季显著高于夏季; 肾湿重冬季和春季显著高于夏季。赤腹松鼠春季处于繁殖期, 雄鼠运动量、代谢率及需氧量增加, 肺、肾功能加强, 故其器官湿重增加, 雌鼠居于配

对选择的主控地位且无占区行为，但妊娠显著影响肺及肾的湿重。夏季食物资源较为丰富，雄鼠处于体况恢复期，代谢率水平恢复正常，妊娠对雌鼠肺及肾造成的影响亦消失，肺和肾的湿重下降；冬季肾湿重的增加可能与食物可利用性和质量降低有关。

脾是一种重要的免疫器官，其重量常被用来衡量动物的免疫功能，但季节变化具有多样性 (Nelson et al. 1997)。松田鼠 (*Microtus pinetorum*) 的脾重量在秋季和春季最高，夏季最低 (Valentine et al. 1970)，而棉鼠 (*Sigmodon hispidus*) 的脾则在秋、冬季最高 (Lochmiller et al. 1994)。冷驯化 (Steffen et al. 1977) 和季节性条件 (张志强等 2006) 下，长爪沙鼠的脾重量无变化。研究表明，动物的免疫功能常常与机体自身的营养状况以及食物的质量和数量相关 (徐德立等 2015)。本文结果显示，赤腹松鼠脾湿重秋季高于冬、春季，这可能与野外条件下秋季的食物可利用性和丰富度要远远高于冬、春季有关。

肝为动物体内重要的代谢器官，具有储能和产热等多种功能，光周期、温度、食物中纤维含量以及生境的变化会导致肝重量发生相应变化 (吴鹤松等 1999, 张志强等 2009)。一般认为，产热高，肝的相对重量较大，如缩短光周期及低温下布氏田鼠 (张志强等 2007) 和社鼠 (张美文等 2006) 的肝重量增加。在冷驯化条件下，中缅树鼩 (*Tupaia belangeri*) 和大绒鼠肝占体重的百分比显著升高 (Li et al. 2001)。另有研究发现，喂以高纤维食物的长爪沙鼠，其肝湿重高于低纤维食物组 (Liu et al. 2007)。赤腹松鼠夏季肝湿重的增加，可能与其取食纤维素含量较高的植物的茎、叶有关；冬季肝湿重的增加可能是低温与取食纤维素含量较高的树皮等综合作用的结果。赤腹松鼠在春季处于繁殖高峰期，部分赤腹松鼠在夏季亦参与繁殖活动，在秋季则处于繁殖休止期，赤腹松鼠睾丸和子宫湿重均在秋季最低，冬季开始增加，并在春季达到最大值，这与其繁殖节律相一致。

3.3 妊娠对赤腹松鼠体重及脏器重量的影响

妊娠对雌性啮齿动物脏器大小有显著影响。例如，洞庭湖区妊娠社鼠心、肺、肝、肾的重量均高于未妊娠鼠 (张美文等 2006)。张世炎等 (2001) 认为，雌性黄毛鼠 (*Rattus rattoides*) 因生育繁殖的需要，其觅食及活动时间较雄鼠明显频繁并延长，故其心、肝、肺、肾相对重量明显增加。啮齿动物在妊娠期间其能量摄入稍微增加，尽管增加幅度不大，但可能使能量摄入受到限制而影响到繁殖过程 (Speakman 2007)。本研究结果显示，妊娠雌性赤腹松鼠的肝、肺、肾湿重均高于未妊娠雌鼠，这可能是妊娠雌鼠能量摄入受到限制，其觅食及活动时间较未妊娠雌性及雄性松鼠明显频繁并延长的结果。

总之，在整体水平上，赤腹松鼠的营养水平和生理状况无明显的两性差异和季节变化；在器官水平上，赤腹松鼠心湿重春、夏季两性差异明显，多种内脏器官重量随季节变化而表现出一定的弹性特征，而且可根据自身生理功能或环境条件的改变作出适应性的调整，这对于我们深入了解赤腹松鼠的危害及其适应环境变化的机理具有重要的意义。

参 考 文 献

- Deveci D, Egginton S. 2002. The effects of reduced temperature and photoperiod on body composition in hibernator and non-hibernator rodents. *Journal of Thermal Biology*, 27(6): 467-478.
- Li Q F, Sun R Y, Huang C X, et al. 2001. Cold adaptive thermogenesis in small mammals from different geographical zones of China. *Comparative Biochemistry & Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 129(4): 949-961.
- Li X S, Wang D H. 2007. Photoperiod and temperature can regulate body mass, serum leptin concentration, and uncoupling protein 1 in Brandt's voles (*Lasiopodomys brandtii*) and Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 80(3): 326-334.
- Li X S, Wang D H, Yang J C. 2003. Effect of photoperiod on body

- weight and energy metabolism in Brandt's Voles (*Microtus brandti*) and Mongolian Gerbils (*Meriones unguiculatus*). *Acta Theriologica Sinica*, 23(4): 304–311.
- Liu Q S, Wang D H. 2007. Effects of diet quality on phenotypic flexibility of organ size and digestive function in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*). *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical Systemic & Environmental Physiology*, 177(5): 509–518.
- Lochmiller R L, Vestey M R, McMurry S T. 1994. Temporal variation in humoral and cell-mediated immune response in a Sigmodon Hispidus population. *Ecology*, 75(1): 236–245.
- Nelson R J, Demas G E. 1997. Seasonal changes in immune function. *Quarterly Review of Biology*, 71(4): 511–548.
- Pucek Z. 1965. Seasonal and age changes in the weight of internal organs of shrews. *Acta Theriologica*, 10(26) 369–438.
- Rollo C D. 2002. Growth negatively impacts the life span of mammals. *Evolution & Development*, 4(1): 55–61.
- Speakman J R. 2007. The energy cost of reproduction in small rodents. *Acta Theriologica Sinica*, 27(1): 1–13.
- Steffen J M, Roberts J C. 1977. Temperature acclimation in the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*): biochemical and organ weight changes. *Comparative Biochemistry & Physiology B: Comparative Biochemistry*, 58(3): 237–242.
- Valentine G L, Kirkpatrick R L. 1970. Seasonal changes in reproductive and related organs in the pine vole, *Microtus pinetorum*, in Southwestern Virginia. *Journal of Mammalogy*, 51(3): 553–560.
- 蔡红霞. 2002. 洪雅人工林赤腹松鼠的种群生态和其对林木危害的研究. 成都: 四川大学硕士学位论文, 10–11.
- 陈功义, 朱金凤. 2007. 动物生理. 重庆: 重庆大学出版社.
- 董岚, 纪岷, 徐玮, 等. 2009. 人工林赤腹松鼠危害与繁殖关系的初步研究. *四川动物*, 28(2): 197–201.
- 杜卫国, 鲍毅新, 施利强, 等. 1999. 社鼠内脏器官重量和水分含量的季节变化. *动物学杂志*, 34(1): 23–25.
- 郝文凯, 何开伟, 邵高华, 等. 2014. 利用毒饵站防治赤腹松鼠危害的可行性研究. *四川动物*, 33(4): 553–557.
- 贺争鸣. 2006. 啮齿类实验动物生物学特性数据测定技术规程. 北京: 中国标准出版社, 5–54.
- 李兴升, 王德华, 杨俊成. 2003. 光周期对布氏田鼠和长爪沙鼠体重和能量代谢的影响. *兽类学报*, 23(4): 304–312.
- 王酋之, 胡锦矗. 1984. 四川资源动物志: 第二卷 兽类. 成都: 四川科技出版社.
- 王酋之, 胡锦矗. 1999. 四川兽类原色图鉴. 北京: 中国林业出版社.
- 吴鹤松, 杨光荣, 陶开会, 等. 1999. 3 种鼠类的肝重与体重关系研究. *中国媒介生物学及控制杂志*, 10(4): 254–256.
- 徐德立, 徐来祥. 2015. 食物限制对黑线仓鼠免疫功能的影响. *生态学报*, 35(6): 1882–1890.
- 徐玮, 冉江洪. 2004. 赤腹松鼠及其危害防治的研究. *四川林业科技*, 25(4): 16–21.
- 原宝东, 邓维安. 2011. 赤腹松鼠 (*Callosciurus erythralus*) 春季生境特征初步分析. *生物学杂志*, 28(3): 8–11.
- 张世炎, 麦海. 2001. 黄毛鼠内脏器官重量和含水量的测定. *动物学杂志*, 36(5): 48–50.
- 张美文, 王勇, 李波, 等. 2006. 洞庭湖区社鼠脏器重量的比较. *动物学杂志*, 41(1): 113–117.
- 张志强, 王德华. 2006. 长爪沙鼠免疫功能、体脂含量和器官重量的季节变化. *兽类学报*, 26(4): 338–345.
- 张志强, 王德华. 2009. 长爪沙鼠脏器重量和肠道长度的季节性变化. *兽类学报*, 29(3): 294–301.
- 张志强, 张丽娜, 王德华. 2007. 渐变的光周期和温度对布氏田鼠能量代谢和身体成分的影响. *兽类学报*, 27(1): 18–25.
- 周莲香. 1983. 台北植物园赤腹松鼠之行为研究. 台湾: 台湾大学动物研究所硕士学位论文.