

赤腹松鼠血清肝肾功能指标的测定

贾义平^① 靳伟^{②#} 左之才^{①*} 沈留红^① 马晓平^① 任志华^① 邓俊良^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: 以捕自四川荣经县的 161 只成体赤腹松鼠 (*Callosciurus erythraeus*, 雄鼠 76 只, 雌鼠 85 只) 为研究对象, 从 2015 年 2 月至 12 月分四个季节测定了雌、雄鼠血清中反映肝肾功能的 14 项指标, 并分析了妊娠对各项指标的影响。结果显示: (1) 肝肾功能指标均无显著的性别差异。(2) 白蛋白、胆碱酯酶和肌酐在春季有升高的趋势, 但无明显的季节差异。(3) 总蛋白、球蛋白及尿酸含量春季低于其他季节, 总胆红素、直接胆红素、间接胆红素和尿素氮含量春季高于其他季节, 前白蛋白、丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶和 γ -谷氨酰转移酶春季高于其他季节, 夏季显著下降, 冬季最低。(4) 妊娠鼠血清胆碱酯酶含量高于未妊娠鼠, 尿素氮、肌酐和尿酸含量低于未妊娠鼠。结果表明, 雌、雄赤腹松鼠肝肾功能指标无性别差异且季节变化趋势相同, 大多数在春季变化显著且妊娠影响较小, 这可能与雌、雄的繁殖状态及在多变性环境条件下的生理适应能力有关。

关键词: 赤腹松鼠; 肝肾功能; 性别; 季节; 妊娠

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2017) 03-497-10

Characterization of Serum Hepatic and Renal Function Markers in Red-bellied Squirrel (*Callosciurus erythraeus*)

JIA Yi-Ping^① JIN Wei^{②#} ZUO Zhi-Cai^{①*} SHEN Liu-Hong^① MA Xiao-Ping^①
REN Zhi-Hua^① DENG Jun-Liang^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

Abstract: The aim of the study was to get better insight of some biochemical parameters reflecting hepatic and renal functions in the blood plasma of Red-bellied Squirrel (*Callosciurus erythraeus*). During the course of a one-year period 76 male and 85 female adult squirrels were captured from February to December 2015, respectively from Yingjing County, Sichuan Province. These indices were statistically analyzed for differences between gender, season and pregnancy by two-way ANCOVA or one-way ANCOVA. No significant sex difference was found for serum hepatic and renal function markers in red-bellied squirrel (Fig.

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, 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: 2016-07-02, 修回日期: 2016-10-04 DOI: 10.13859/j.cjz.201703016

1 - 3). No significant difference but higher serum concentrations of albumin (Fig. 1b), cholinesterase (Fig. 1c) and creatinine (Fig. 3a) were found in the spring compared to the other seasons. The serum concentrations of total protein (Fig. 1d), globulin (Fig. 1e) and uric acid (Fig. 3c) were significantly higher in the spring, while total bilirubin (Fig. 2a), direct bilirubin (Fig. 2b), indirect bilirubin (Fig. 2c) and blood urea nitrogen (Fig. 3b) were obviously lower. Alanine aminotransferase (Fig. 2d), pre-albumin (Fig. 1f), aspartic transaminase (Fig. 2d) and γ -glutamine transferase (Fig. 2f) concentrations were significantly higher in the spring compared to other seasons and markedly decreased in the summer, then reached nadir in the winter. Serum concentrations of blood urea nitrogen (Fig. 4a), creatinine (Fig. 4b) and uric acid (Fig. 4d) were significantly lower in pregnant squirrels compared to non-pregnant individuals, while the concentration of cholinesterase (Fig. 4a) was significantly higher in pregnant squirrels. These results indicated seasonal differences in blood biochemical parameters in red-bellied squirrels. Most of the studied parameters were the lowest or highest in the spring, but less impacted by pregnancy. This might be related to reproductive status of male and female squirrels and the ability of physiological adaptation to the diversities of environments.

Key words: Red-bellied Squirrel, *Callosciurus erythraeus*; Hepatic and renal functions; Gender; Season; Pregnancy

血液具有重要的生理作用，是动物机体内实现物质运输、营养代谢以及神经体液调节的重要载体，其生理生化特性是动物长期进化的结果，是对其生存环境长期适应的反映，具有物种特异性（张映等 2001）。血液生化指标能反映动物体内物质代谢和某些组织器官功能状态的变化情况，是诊断疾病、判断动物健康状况的重要参数（Twente et al. 1967, Vié et al. 1998）。近年来，关于野生小型哺乳动物的血液生理生化指标的研究较多，主要包括东北松鼠（*Sciurus carolinensis*）（赵桂英等 2014）、旱獭（*Marmota himalayana*）（陶元清等 2010，刘海青等 2015）、花鼠（*Tamias sibiricus*）（朴忠万等 2001）和棕色田鼠（*Lasiopodomys mandarinus*）（何建平等 2001）等，这些研究对于深入认识野生哺乳动物的健康状况、营养水平及繁殖生理等方面具有重要意义。此外，对赤腹松鼠（*Callosciurus erythraeus*）的血液生理参数亦有报道（靳伟等 2015），但对野外环境条件下其生化指标的性别和季节差异尚无报道。

赤腹松鼠是啮齿目松鼠科丽松鼠属动物，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，混交林、针叶林中较为常见，以植物的果实、种子和嫩叶为主食，可造成人工林不同程度的损害（王酋之等 1984，1999）。目前，对赤腹松鼠的研究主要集中在生态分布（Chung et al. 2006, Bertolin et al. 2013）、食性（Koyabu et al. 2009）、繁殖特性（Kusahora et al. 2006）及危害（蔡红霞等 2001）等方面。为进一步认识赤腹松鼠适应季节性环境条件的特征，并为防治其危害提供理论依据，对反映其肝肾功能的 14 项血清指标进行了为期一年的测定，分析了各参数的性别和季节差异以及妊娠对各参数的影响。

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（《荣经县志》编纂委员会 2011）。另外，赤腹松鼠的食物组成具有明显的季节性变化，春、冬季单一，从夏季至秋季逐

渐丰富(原宝东 2011)。

1.2 动物捕捉和血液样品的采集

2015 年 2 月至 12 月捕捉性成熟野生赤腹松鼠 161 只(76♂/85♀)。春季(2~4 月)捕获 48 只(18♂/30♀), 夏季(5~7 月)捕获 54 只(27♂/27♀), 秋季(8~10 月)捕获 36 只(18♂/18♀), 冬季(11~12 月)捕获 23 只(13♂/10♀)。3 月和 4 月捕获的 24 只雌鼠中 12 只为妊娠鼠。将捕获的赤腹松鼠带回实验室禁食 12 h 后, 放入有盖、可密闭的玻璃箱内, 电子天平称重(PL4001, 梅特勒, 精度 0.1 g)后, 倒入乙醚实施吸入麻醉, 活体心穿刺采集心血, 3 500 r/min 离心血液 15 min, 收集血清 150~200 μ l, -20℃ 保存待测。

1.3 血清样品检测

检测反映肝肾功能的常用指标 14 项。肝功参数包括: 总蛋白(total protein, TP)、白蛋白(albumin, ALB)、球蛋白(globulin, GLOB)、前白蛋白(pre-albumin, PA)、总胆红素(total bilirubin, TBIL)、直接胆红素(direct bilirubin, DBIL)、间接胆红素(indirect bilirubin, IBIL)、丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase, ALT)、天冬氨酸氨基转移酶(aspartate aminotransferase, AST)、 γ -谷氨酰转移酶(γ -glutamine transferase, γ -GT)和胆碱酯酶(cholinesterase, CHE); 肾功参数包括: 尿素氮(urea nitrogen, BUN)、肌酐(creatinine, CRE)和尿酸(uric acid, UA)。

1.4 检测方法

总蛋白, 双缩脲比色法; 白蛋白, 溴甲酚绿法; 前白蛋白, 免疫比浊法; 总胆红素, 钒酸盐氧化法; 直接胆红素, 钒酸盐氧化法; 丙氨酸氨基转移酶, 紫外-乳酸脱氢酶法; 天冬氨酸氨基转移酶, 紫外-苹果酸脱氢酶法; γ -谷氨酰转移酶, 硝基苯胺法; 胆碱酯酶, 铁氰化钾法; 尿素氮, 酶速率法; 肌酐, 肌氨酸氧化酶法; 尿酸, 氧化酶法; 球蛋白即总蛋白与白蛋白之差; 间接胆红素即总胆红素与直接胆红素之差。均采用卓越 450 全自动生化分析仪(上

海科华实验系统有限公司)进行测定。定标及校准: 根据不同的待检样品, 采用线性定标或非线性定标方法进行曲线的拟合, 然后采用漂移限(差限)检查法进行校准。

1.5 数据处理

采用 Excel 软件和 SPSS 22.0 软件对实验数据进行统计分析。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, 采用双因素协方差分析(Two-way ANCOVA)比较赤腹松鼠血清中肝功指标、肾功指标的性别和季节差异; 若上述指标有性别差异, 则以体重为协变量, 用单因素协方差分析(One-way ANCOVA)比较雌、雄赤腹松鼠的季节差异; 以体重为协变量, 采用单因素协方差分析(One-way ANCOVA)比较妊娠与未妊娠赤腹松鼠上述指标间的差异; 使用最小显著差数法(LSD)来分析各相关变量。数据用平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)表示, 显著水平为 $P < 0.05$ (双尾检验)。

2 结果

2.1 赤腹松鼠体重及肝功指标的性别与季节差异

赤腹松鼠的体重既无性别差异($F_{(1, 153)} = 0.574, P > 0.05$), 也无季节差异($F_{(3, 153)} = 0.294, P > 0.05$) (图 1a)。血清蛋白、胆红素及酶类含量均无性别差异($P > 0.05$) (图 1b~f)。白蛋白($F_{(3, 152)} = 1.977, P > 0.05$) (图 1b)和胆碱酯酶($F_{(3, 152)} = 0.786, P > 0.05$) (图 1c)含量无季节差异, 其均值分别为 27.78 g/L 和 1 389.78 U/L。总蛋白($F_{(3, 152)} = 2.840, P < 0.05$) (图 1d)和球蛋白($F_{(3, 152)} = 6.867, P < 0.05$) (图 1e)含量春季低于其他季节; 前白蛋白($F_{(3, 152)} = 24.675, P < 0.05$) (图 1f)含量春季最高, 夏季其次, 且都显著高于冬季; 总胆红素($F_{(3, 152)} = 3.702, P < 0.05$) (图

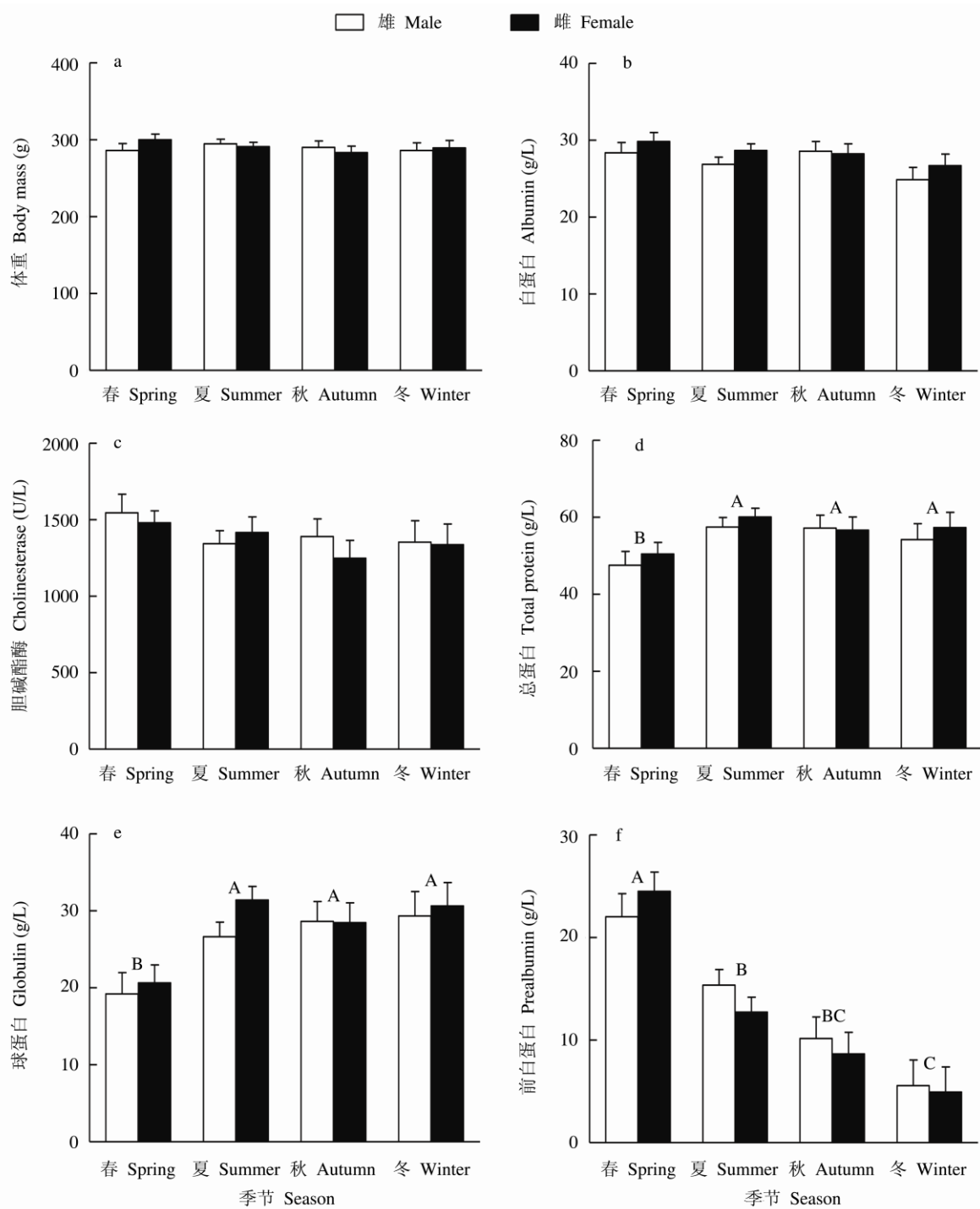


图 1 赤腹松鼠体重及血清肝功指标的性别与季节差异

Fig. 1 Sex and seasonal differences of body mass and serum hepatic function markers in Red-bellied Squirrel

a. 体重; b. 白蛋白; c. 胆碱酯酶; d. 总蛋白; e. 球蛋白; f. 前白蛋白。

a. Body mass; b. Albumin; c. Cholinesterase; d. Total protein; e. Globulin; f. Prealbumin.

柱上不同大写字母代表季节差异显著 ($P < 0.05$)。

Different capital letters above the bars indicated significant difference among seasons ($P < 0.05$).

2a)、直接胆红素 ($F_{(3, 152)} = 8.374, P < 0.05$) (图 2b) 和间接胆红素 ($F_{(3, 152)} = 2.725, P < 0.05$) (图 2c) 含量春季高于夏、秋、冬季; 丙氨酸氨基转移酶 ($F_{(3, 152)} = 12.444, P < 0.05$) (图 2d)、天冬氨酸氨基转移酶 ($F_{(3, 152)} = 5.006, P < 0.05$) (图 2e) 和 γ -谷氨酰氨基转移酶 ($F_{(1, 152)} = 14.821, P < 0.05$) (图 2f) 含量春季显著高于其他季节, 且均在冬季最低。

2.2 赤腹松鼠肾功指标的性别与季节差异

赤腹松鼠血清尿素氮、肌酐及尿酸含量均无性别差异 ($P > 0.05$) (图 3a~c)。肌酐含量无季节差异 ($F_{(3, 152)} = 0.240, P > 0.05$) (图 3a), 其均值为 $39.40 \mu\text{mol/L}$ 。尿素氮浓度春季高于其他季节 ($F_{(3, 152)} = 4.082, P < 0.05$) (图 3b), 其变化范围为 $1.96 \sim 18.78 \text{ mmol/L}$; 尿酸含量春季最低, 其次冬季, 夏、秋季最高 ($F_{(3, 152)} = 10.02, P < 0.05$) (图 3c), 其变化范围为 $20.00 \sim 158.00 \mu\text{mol/L}$ 。

2.3 妊娠对赤腹松鼠肝肾功能指标的影响

春季妊娠鼠胆碱酯酶 ($F_{(1, 21)} = 2.090, P < 0.05$) 含量高于未妊娠鼠 (图 4a), 尿素氮 ($F_{(1, 21)} = 3.058, P < 0.01$) (图 4b)、肌酐 ($F_{(1, 21)} = 3.402, P < 0.01$) (图 4c) 和尿酸 ($F_{(1, 21)} = 2.170, P < 0.05$) (图 4d) 含量低于未妊娠鼠, 其余等 11 项指标均无显著差异 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 赤腹松鼠肝肾功能指标的性别差异

赤腹松鼠的肝肾功能指标均未表现出明显的性别差异。这与大多数小型哺乳动物的研究结果不同, 如大鼠 (*Rattus norvegicus*) (王冬平等 2009) 的白蛋白和袋獾 (*Sarcophilus harrisii*) (Stannard et al. 2016) 总蛋白含量雌性高于雄性, 金黄地鼠 (*Mesocricetus auratus*) (王洪等 2008) 尿素氮含量雌性低于雄性, 袋獾 (Stannard et al. 2016) 天冬氨酸氨基转移酶和金黄地鼠 (王洪等 2008) 丙氨酸氨基转移酶活性雄性高于雌性。这种雌、雄的差异性可能是由繁殖过程中生理需求水平不同引起。在雌

性动物中, 妊娠和哺乳可引起能量需求显著增加, 而促进脂肪的分解供能, 使得雌性动物体内激素发生变化, 更依赖于从肝外如脂肪等组织获取能量, 从而减少肝对体内蛋白的降解水平, 相关酶的活性降低和含氮物的生成减少 (Domingo-Roura et al. 2001)。赤腹松鼠血清蛋白和尿素氮等指标无性别差异, 这可能与其所处环境及独特的生活习性有关。本文所研究地区的雌性赤腹松鼠在妊娠和哺乳期间为增加能量摄入, 会大量啃食树皮和嫩叶, 其食物质量较差, 导致体内脂质储存不足, 致使肝对内源性蛋白降解显著增加, 其酶活性、蛋白和尿素氮等指标的含量与雄性赤腹松鼠保持一致。

3.2 赤腹松鼠肝肾功能指标的季节差异

本文测定的 14 项指标中, 除白蛋白、胆碱酯酶和肌酐无季节差异外, 其余指标都在春季变化最为明显, 这可能与赤腹松鼠的生活史特征及外界环境条件的变化有关。

蛋白质是体内物质代谢、生理活动、生长发育、组织修复和防御的重要物质基础, 其含量能够部分反映动物体的营养状况, 如前白蛋白水平可敏感地反映肝合成和分解代谢的轻微改变 (Caccialanza et al. 2013), 总蛋白及球蛋白水平可反映机体外源蛋白摄入或内源性蛋白分解代谢情况 (于小杰等 2010)。丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶是动物体内最为重要的 2 种转氨酶; γ -谷氨酰转移酶则参与体内蛋白质代谢, 在氨基酸吸收或重吸收中起重要作用 (王俊东 2004, 姜涛等 2015)。另外, 尿素氮是食物中蛋白质和动物机体内源性蛋白代谢的终产物, 其含量会随着营养不良状况的加重而下降 (李俊生等 2003), 但是当内源性蛋白质被大量消耗时, 其含量会呈现升高状态。

赤腹松鼠总蛋白及球蛋白含量在春季最低, 其余季节无明显变化; 前白蛋白在春季最高、冬季最低, 丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶和 γ -谷氨酰转移酶亦在春季最高、冬季最低, 且均呈现下降趋势。研究表明, 倭狐猴 (*Microcebus murinus*) (Marchar et al.

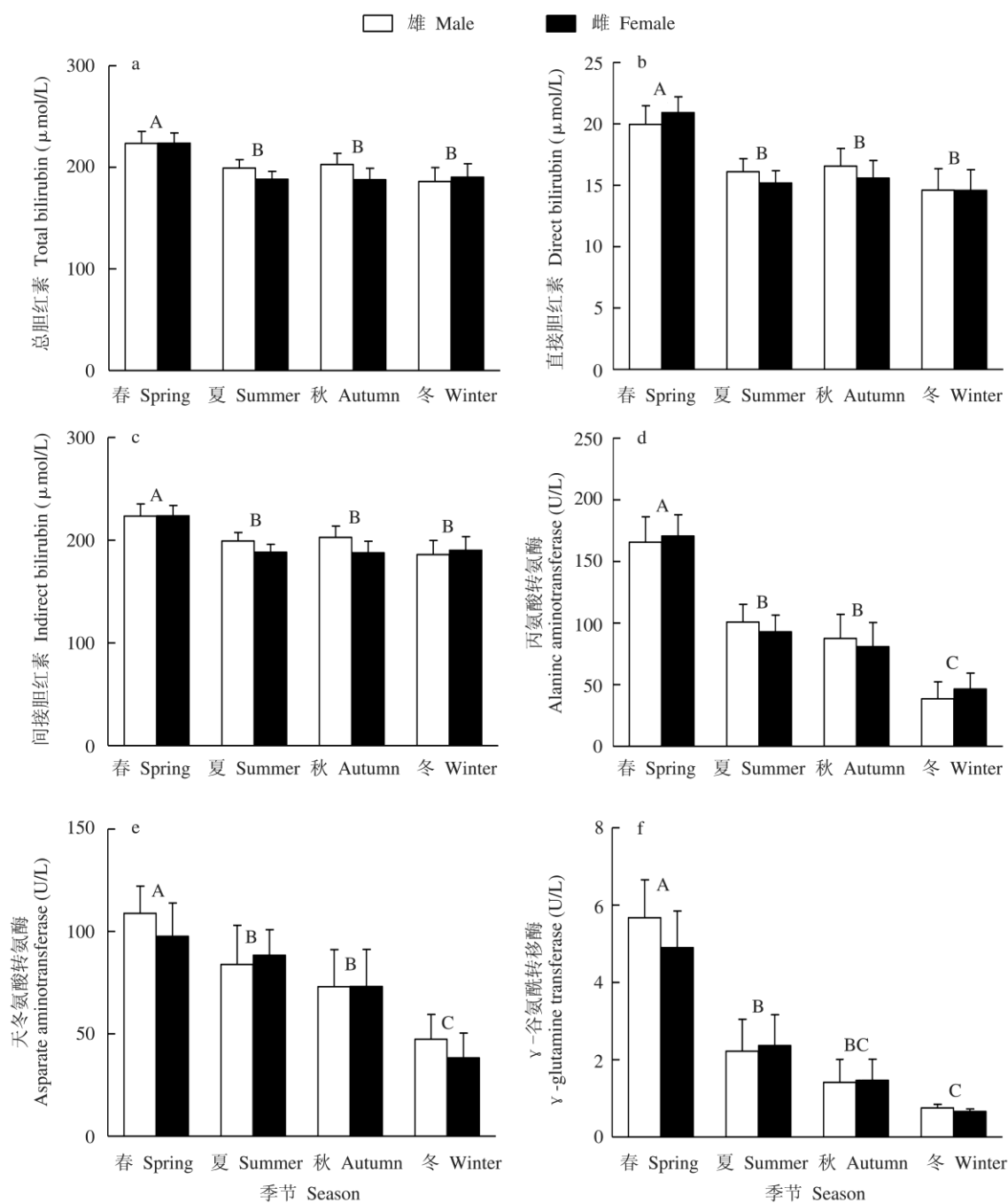


图 2 赤腹松鼠血清肝功指标的性别与季节差异

Fig. 2 Sex and seasonal differences of serum hepatic function markers in Red-bellied Squirrel

a. 总胆红素; b. 直接胆红素; c. 间接胆红素; d. 丙氨酸氨基转移酶; e. 天冬氨酸氨基转移酶; f. γ -谷氨酰氨基转移酶。

a. Total bilirubin; b. Direct bilirubin; c. Indirect bilirubin; d. Alanine aminotransferase; e. Aspartate aminotransferase; f. γ -glutamine transferase.

柱上不同大写字母代表季节差异显著 ($P < 0.05$)。

Different capital letters above the bars showed significant difference among seasons ($P < 0.05$).

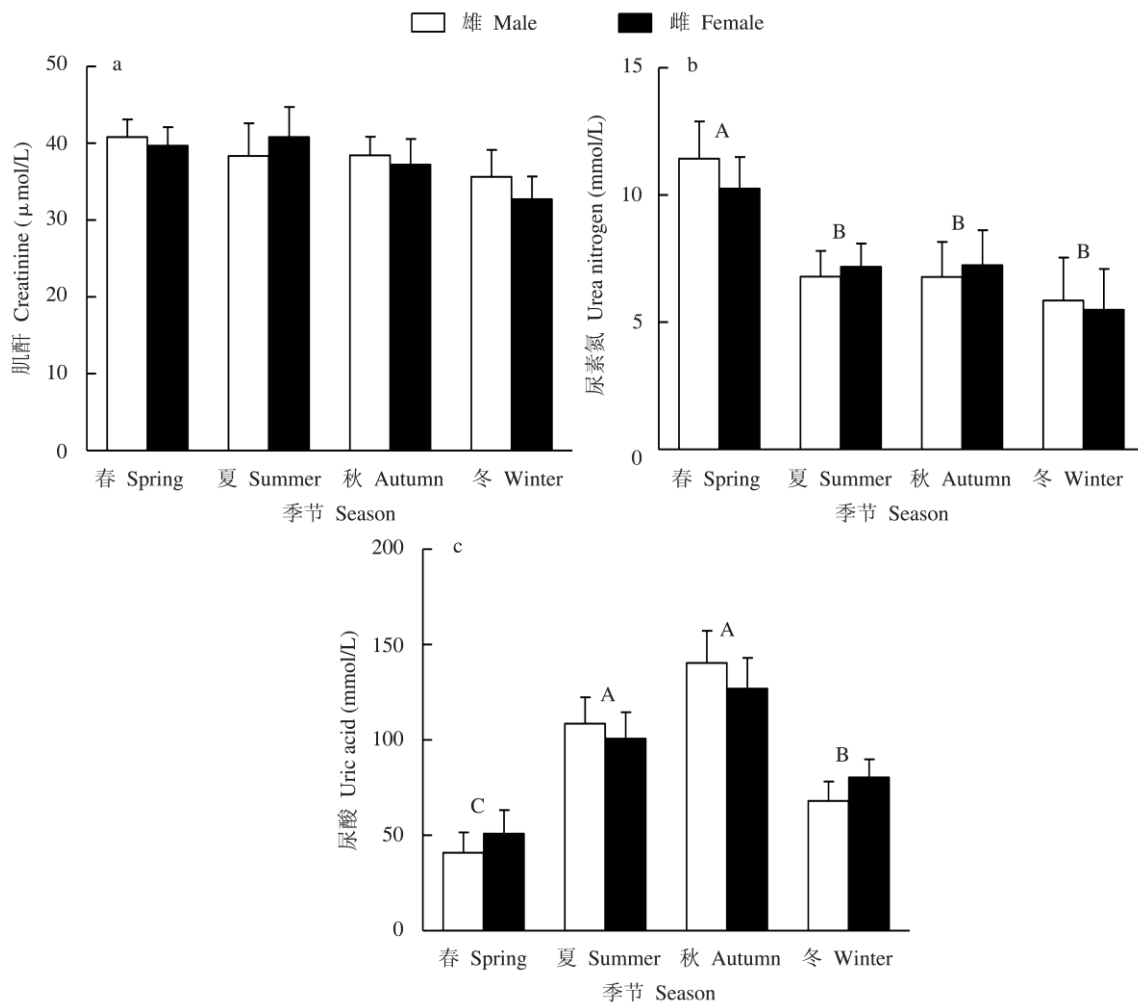


图3 赤腹松鼠血清肾功指标的性别和季节差异

Fig. 3 Sex and seasonal differences of serum renal function markers in Red-bellied Squirrel

a. 肌酐; b. 尿素氮; c. 尿酸。a. Creatinine; b. Urea nitrogen; c. Uric acid.

柱上不同大写字母代表季节差异显著 ($P < 0.05$)。

Different capital letters above the bars showed significant difference among seasons ($P < 0.05$).

2012) 总蛋白、球蛋白、及白蛋白含量在夏季低于冬季, 丙氨酸氨基转移酶、碱性磷酸酶等酶的活性在夏季高于冬季; 里海兔 (*Lepus eruopaeus*) (Massanyi et al. 2009) 总蛋白含量在春季和夏季差异显著, 丙氨酸氨基转移酶和天冬氨酸氨基转移酶在春季最高、夏季最低, 其尿素氮含量亦在春季最高, 其血清蛋白、尿素氮和酶活性都在繁殖高峰季节发生了显著变化。另有研究表明, 小型哺乳动物在繁殖期为

满足繁殖能量的需求, 会显著增加能量摄入 (Speakman 2007)。董岚等 (2009) 研究表明, 春季赤腹松鼠繁殖期对食物能量的需求增加, 而人工林中食物相对匮乏, 故赤腹松鼠会大量取食树皮以满足繁殖的需求。一方面, 这使得肝对于吸收后营养物质的加工能力增强, 基础代谢率增加, 进而促使肝的合成和分解代谢水平显著增加, 前白蛋白及酶活性显著升高。另一方面, 由于食物质量较差, 对蛋白摄入不足,

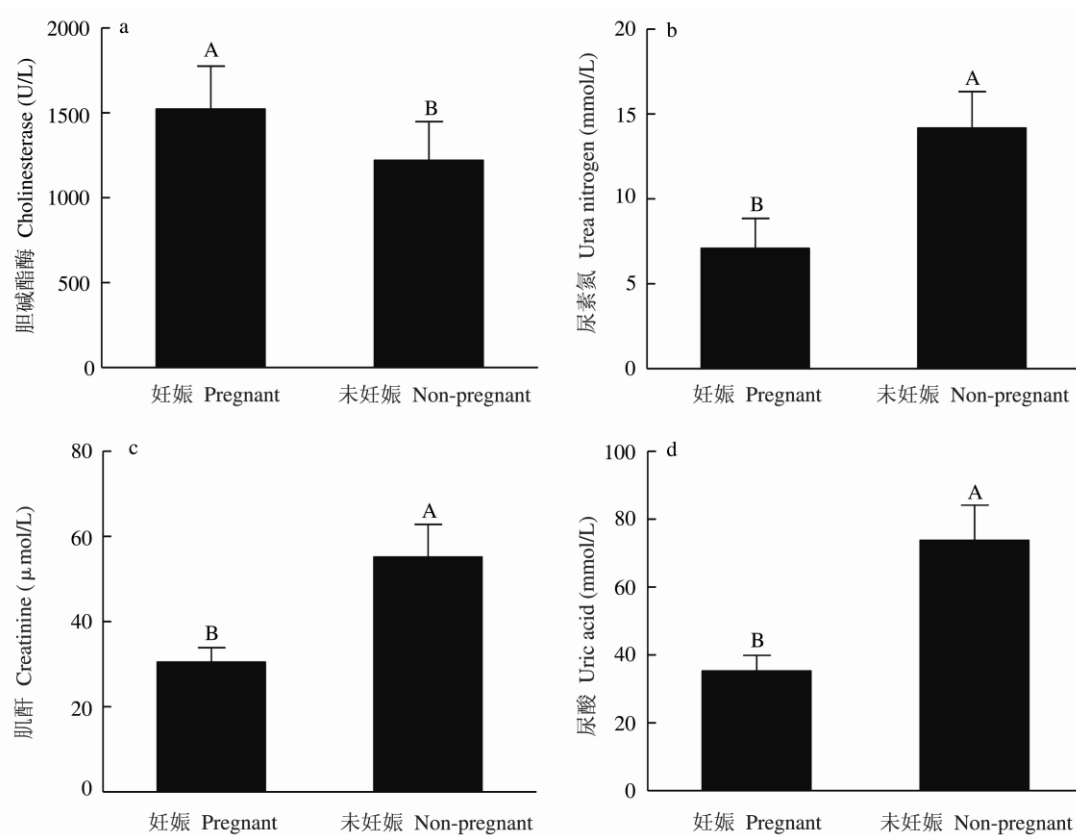


图4 妊娠对赤腹松鼠血清肝肾功能指标的影响

Fig. 4 Effects of pregnancy on serum hepatic and renal function markers of Red-bellied Squirrel

a. 胆碱酯酶; b. 尿素氮; c. 肌酐; d. 尿酸。a. Cholinesterase; b. Urea nitrogen; c. Creatinine; d. Uric acid.

柱上不同大写字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。

Different capital letters above the bars showed significant difference ($P < 0.05$).

总体上是分解大于合成,呈负氮平衡状态,故总蛋白及球蛋白下降;而由于内源性蛋白质被大量消耗,其尿素氮的生成也明显增加。此外,尿酸含量的变化可能和赤腹松鼠所处环境中食物组成的变化有关,在冬、春季主要啃食树皮为食,夏、秋季主要以逐渐成熟的果实为食(原宝东 2011)。

赤腹松鼠总胆红素、间接胆红素和直接胆红素含量春季显著高于其他季节。研究表明,里海兔在初春繁殖季节胆红素水平最高(Massanyi et al. 2009)。胆红素是血液循环中衰老红细胞在肝、脾及骨髓的单核-吞噬细胞系统中分解和破坏的产物,未在肝内经过葡萄糖

醛酸化的叫做间接胆红素,在肝内代谢的叫做直接胆红素,其生成受机体代谢及活动水平的影响(王俊东等 2004)。春季,赤腹松鼠对食物能量和巢材的需求增加,其觅食及活动时间明显增加且更加频繁,这可能造成了其肌肉的损害或肌红蛋白的分解增加,血液中间接胆红素的生成增加,肝对胆红素的处理能力加强,直接胆红素生成增加。Languille 等(2012)认为,上述指标的季节变化节律是生理输出的结果,尤其是性激素的波动性变化。

3.3 妊娠对赤腹松鼠肝肾功能指标的影响

妊娠期间,为了满足胎儿生长发育的需要,母体各器官、系统均发生一系列适应性变

化, 其中最主要的是生殖器官的局部变化和母体各器官相应的功能及代谢改变(张惠中 2009)。春季妊娠鼠尿素氮、肌酐、尿酸含量低于未妊娠鼠, 胆碱酯酶含量高于未妊娠鼠。由于妊娠期母体肾血浆流量和肾小球滤过率增加, 代谢产物滤过增多, 故血清中尿素氮、肌酐和尿酸含量比非孕鼠减少。血清胆碱酯酶活力能较好地反映肝的合成功能, 妊娠期间肝合成代谢功能的加强有利于母体内氮的储存, 不仅仅是供给胎儿发育、子宫及乳腺等增大所用, 而且也为分娩消耗及产后乳汁分泌做好准备。

总之, 赤腹松鼠的肝肾功能指标无性别差异, 但大部分指标有明显的季节差异, 且主要表现为春季上升或下降, 充分反映了其在季节环境中食物摄取、身体营养及繁殖状况以及压力等条件下的生理适应能力, 这与其繁殖期间的营养变化及危害程度是一致的; 另外, 春季妊娠只影响少部分肝肾功能指标, 说明繁殖状态对赤腹松鼠身体状态的影响有限, 该鼠的生存适应能力很强, 这也是其对人工林危害较大的原因之一。

参 考 文 献

- Bertolino S, Lurz P W W. 2013. *Callosciurus* squirrels: worldwide introductions, ecological impacts and recommendations to prevent the establishment of new invasive populations. *Mammal Review*, 43(1): 22–33.
- Caccialanza R, Palladini G, Klersy C, et al. 2013. Serum prealbumin: An independent marker of short-term energy intake in the presence of multiple-organ disease involvement. *Nutrition*, 29(3): 580–582.
- Chung K P S, Corlett R T. 2006. Rodent diversity in a highly degraded tropical landscape: Hong Kong, South China. *Biodiversity & Conservation*, 15(14): 4521–4532.
- Domingo-Roura X, Newman C, Calafell F, et al. 2001. Blood biochemistry reflects seasonal nutritional and reproductive constraints in the Eurasian badger (*Meles meles*). *Physiological & Biochemical Zoology*, 74(3): 450–460.
- Koyabu D B, Oshida T, Dang N X, et al. 2009. Craniodental mechanics and the feeding ecology of two sympatric callosciurine squirrels in Vietnam. *Journal of Zoology*, 279(4): 372–380.
- Kusahara M, Kamimura Y, Tamura N, et al. 2006. A new pair of primers for molecular sexing of the Pallas squirrel, *Callosciurus erythraeus*, and variation in fetal sex ratio. *Mammal Study*, 31(2): 87–92.
- Languille S, Blanc S, Blin O, et al. 2012. The grey mouse lemur: A non-human primate model for ageing studies. *Ageing Research Reviews*, 11(1): 150–162.
- Marchal J, Dorieux O, Haro L, et al. 2012. Characterization of blood biochemical markers during aging in the Grey Mouse Lemur (*Microcebus murinus*): impact of gender and season. *Bmc Veterinary Research*, 8(2): 211.
- Massányi P, Slamečka J, Lukáč N, et al. 2009. Seasonal variations in the blood biochemistry of brown hare. *Medycyna Weterynaryjna*, 65(6): 389–393.
- Speakman J R. 2007. The energy cost of reproduction in small rodents. *Acta Theriologica Sinica*, 27(1): 1–13.
- Stannard H J, Thompson P, Mcallan B M, et al. 2016. Hematology and serum biochemistry reference ranges of healthy captive Tasmanian devils (*Sarcophilus harrisii*) and their association with age, gender and seasonal variation. *Mammalian Biology*, 81(4): 393–398.
- Twente J W, Twente J A. 1967. Concentrations of D-glucose in the blood of *Citellus lateralis* after known intervals of hibernating periods. *Journal of Mammalogy*, 48(3): 381–386.
- Vi é J C, Moreau B, de Thoisy B, et al. 1998. Hematology and serum chemistry values of free-ranging red howler monkeys (*Alouatta seniculus*) from French guiana. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 29(2): 142–149.
- 蔡红霞, 冉江洪, 张家平, 等. 2001. 赤腹松鼠危害季节性变化与食性的初步探讨. *四川林业科技*, 22(3): 21–24.
- 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.
- 何建平, 李金钢, 王智, 等. 2001. 棕色田鼠血液生理生化指标的测定. *动物学杂志*, 36(6): 50–53.
- 姜涛, 康慨, 文祯, 等. 2015. γ -谷氨酰转移酶在预测代谢综合征中的意义. *中国全科医学*, 26(3): 274–277.

- 靳伟, 贾义平, 左之才, 等. 2015. 荣经县赤腹松鼠血液生理指标测定与分析. *四川林业科技*, 36(4): 37–40.
- 李俊生, 宋延龄, 曾治高. 2003. 有蹄类动物营养状况的测定方法及其评价. *动物学杂志*, 2003, 38(2): 90–96.
- 刘海青, 王宝菊, 张静宵, 等. 2015. 喜马拉雅旱獭血液生化指标测定. *四川动物*, 34(5): 764–766.
- 朴忠万, 金建丽, 杨春文, 等. 2001. 花鼠血液生理生化指标的研究. *牡丹江师范学院学报: 自然科学版*, 5(3): 10–11.
- 陶元清, 范薇, 王忠东, 等. 2010. 喜马拉雅旱獭血液生理指标测定. *四川动物*, 29(5): 625–626.
- 王冬平, 隋丽华, 尚世臣, 等. 2009. 清洁级SD大鼠血液生理生化指标的测定. *中国比较医学杂志*, 19(9): 44–46.
- 王洪, 张华琼, 黄麟, 等. 2008. 雌雄金黄地鼠血液生理生化指标的比较分析. *中国比较医学杂志*, 18(2): 35–42.
- 王俊东. 2004. *兽医临床诊断学*. 北京: 中国农业出版社.
- 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.
- 《荣经县志》编纂委员会. 2011. *荣经县志*. 北京: 方志出版社.
- 于小杰, 葛兴芳, 杨亮亮, 等. 2010. 野生动物免疫球蛋白的研究进展. *黑龙江畜牧兽医*, 6(12): 48–49.
- 原宝东. 2011. 赤腹松鼠采食选择的季节性变化. *四川动物*, 30(4): 602–606.
- 张惠中. 2009. *临床生物化学*. 北京: 人民卫生出版社.
- 张映, 刘桂林, 王文魁. 2001. *动物生理生化*. 北京: 中国农业科技出版社.
- 赵桂英, 于富贵, 王国民, 等. 2014. 松鼠血液生理生化指标测定与分析. *中国兽医杂志*, 50(2): 32–33.