

DOI: 10.5846/stxb201304120695

韩群花, 张美文, 郭聪, 沈果, 周训军, 王勇, 李波, 徐正刚. 种群密度效应对成年东方田鼠内脏器官的影响. 生态学报, 2015, 35(3): 865-872.

Han Q H, Zhang M W, Guo C, Shen G, Zhou X J, Wang Y, Li B, Xu Z G. Comparison of some internal organs of adult *Microtus fortis* in different rearing density. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 865-872.

## 种群密度效应对成年东方田鼠内脏器官的影响

韩群花<sup>1,2</sup>, 张美文<sup>2,\*</sup>, 郭 聪<sup>1</sup>, 沈 果<sup>2</sup>, 周训军<sup>2</sup>, 王 勇<sup>2</sup>, 李 波<sup>2</sup>, 徐正刚<sup>2</sup>

1 四川大学生命科学学院, 成都 610064

2 中国科学院亚热带农业生态研究所, 亚热带农业生态过程重点实验室, 洞庭湖湿地生态系统观测研究站, 长沙 410125

**摘要:** 为了研究种群密度对东方田鼠 (*Microtus fortis*) 内脏器官 (心、肺、肝、脾、肾、肾上腺) 的影响, 随机选取稳定的同性别饲养群的成年东方田鼠 258 只, 雌雄各半, 分 A 组 30 笼: 2 只/笼, B 组 15 笼: 4 只/笼, C 组 11 笼: 6 只/笼和 D 组 9 笼: 8 只/笼共 4 个密度组, 饲养 90d 后解剖, 取内脏器官, 称重以及测定血浆皮质醇浓度并进行比较。结果表明: 在相同密度内, 除 B 组孕鼠的肝脏重较未孕鼠有极显著差异外, 其它各组 (A、C、D) 怀孕鼠和未孕鼠的各内脏器官重均无显著差异。在不同密度间, 怀孕鼠的肝脏重有极显著差异, 孕鼠与未孕鼠的其余各内脏器官均无显著差异; 雄鼠的肺重、脾脏重和雌鼠的脾脏重、肾上腺重差异显著, 其余各器官重在不同密度间虽未表现出显著差异, 但均具有随着密度增加而器官重量逐渐增大的趋势。各个密度组中的雄性个体血浆皮质醇浓度分别显著高于雌性, 且差异显著; 同一性别比较, 不同密度间的雌性个体血浆皮质醇浓度差异不显著, 而雄性个体血浆皮质醇浓度差异则显著, 随密度增大而明显增加。可见高密度压力导致内脏器官重量上有所调节, 但不同脏器受密度因素影响程度不同。

**关键词:** 东方田鼠; 内脏器官; 密度制约

## Comparison of some internal organs of adult *Microtus fortis* in different rearing density

HAN Qunhua<sup>1,2</sup>, ZHANG Meiwen<sup>2,\*</sup>, GUO Cong<sup>1</sup>, SHEN Guo<sup>2</sup>, ZHOU Xunjun<sup>2</sup>, WANG Yong<sup>2</sup>, LI Bo<sup>2</sup>, XU Zhenggang<sup>2</sup>

1 College of Life Science, Sichuan University, Chengdu 610064, China

2 Dongting Lake Station for Wetland Ecosystem Research, Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

**Abstract:** The internal organs of small mammals show phenotypic plasticity. The relative masses of organs may be affected by an animal's growth and development, by breeding and seasonal cycles, or by habitat change. Organ masses might therefore serve as an indicator of the responses of animals to environmental conditions or to social stress. It is well-known that population density influences growth, development, breeding, and behavior of rodents but little has been reported about density-dependent effect on internal organs. The Yangtze vole (*Microtus fortis calamorum*), a small herbivore species on the beaches of Dongting Lake, in Hunan Province, China, is an important rodent in this region. During the flood season, the voles escape flooded beaches by migrating across dikes to the surrounding rice fields, where they can cause serious damage to crops. This study investigated the influence of rearing density (high density as a social stressor) on the internal organs (heart, lung, liver, spleen, kidney, and adrenal gland) of the Yangtze vole. A total of 258 adult voles (sex ratio 1:1)

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (31170396); 中国科学院院知识创新重要方向项目 (KSCX-EW-N-05); 国家科技支撑计划项目 (2012BAD19B02)

收稿日期: 2013-04-12; 网络出版日期: 2014-04-03

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangmw@isa.ac.cn

were randomly divided into 4 groups and reared at densities of 2, 4, 6 and 8 animals per cage. After 90 days, the masses of the internal organs were measured and the plasma cortisol concentration was determined by radioimmunoassay. Differences of organ masses at different densities were analyzed by ANCOVA with carcass mass as the covariate. Two-way ANCOVA indicated that liver mass was significantly different in both density and pregnancy condition. One-way ANCOVA revealed a very significant difference in liver mass of pregnant females at density of 4 per cage, while there were no significant differences in the masses of other internal organs between pregnant and non-pregnant voles. Except for the density-dependent effect on the liver of pregnant voles, there was no significant effect of density on the masses of any other internal organs, in either pregnant or non-pregnant voles. Two-way ANCOVA showed significant sex difference in the masses of the spleen and adrenal glands, and density-dependent of the masses of the lung, spleen and adrenal glands. One-way ANCOVA showed that mean spleen and adrenal glands mass of males was lower than that of females. One-way ANCOVA also revealed significant differences among different densities in the masses of the lung and spleen in males, and in the masses of the spleen and adrenal glands of females. No differences were observed between the sexes, or among different densities, in the masses of other organs. Although other internal organ masses showed no significant differences among densities, they all gradually increased with increasing density of population. The plasma cortisol concentration was clearly higher in males than in females within each density group. Among males, there were significant differences in plasma cortisol concentrations at different densities, but not in females. Taken together, our observations of density-dependent effect support the concept of plasticity of internal organs in response to social stress, although population density influenced different organs differentially. However, further research must be conducted into the effects of density on reproductive characteristics and organ mass.

**Key Words:** *Mictotus fortis*; internal organ; density-dependent

动物内脏器官是生理功能的物质基础,其重量及其脏器指数往往与动物的生长发育<sup>[1-2]</sup>、繁殖<sup>[3-4]</sup>、季节及栖息环境变化<sup>[5-6]</sup>有关,可反应特定环境下的生理指标。因此,内脏器官的变化在一定程度上能反映出动物所处的生长发育阶段和生理生态状况,可作为动物对环境适应的近似指标<sup>[1,7]</sup>。目前,国内不少学者对鼠类的内脏器官进行了测量及研究,如黄毛鼠(*Rattus losea*)<sup>[3]</sup>、高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)<sup>[8]</sup>、灰仓鼠(*Cricetulus migratorius*)<sup>[9]</sup>、褐家鼠(*Rattus norvegicus*)<sup>[10]</sup>,结果发现在不同年龄、性别和生境间,不同鼠种存在一定的差异。国外也有许多研究者就不同因素对内脏器官影响进行了探讨,如逐渐缩短光周期和温度对褐家鼠和金色中仓鼠(*Mesocricetus aurtus*)<sup>[11]</sup>、低温驯化和高海拔对拉布拉多白足鼠(*Peromyscus maniculatus*)<sup>[12]</sup>,以及基本新陈代谢率与内脏器官的关系<sup>[1,13]</sup>等等。已有许多研究证明密度因素对啮齿动物的生长发育<sup>[14-16]</sup>、繁殖<sup>[17-18]</sup>、免疫功能<sup>[15]</sup>和行为<sup>[19-20]</sup>有显著影响,而对内脏器官(心、肺、肝、脾、肾等)很少见到报道。心脏是动物体内推动血液循环的器官,肺是重要的呼吸器官,脾脏属外周免疫器官之一,肝脏和肾脏是体内新陈代谢的重要器官。因此内脏器官也可能随不同密度条件下的社群压力不同而有相适应的变化。

东方田鼠(*Microtus fortis*)为洞庭湖区主要农业害鼠之一,每年汛期,大量的东方田鼠从湖滩迁入农田,给当地的农业生产造成严重损失<sup>[21]</sup>。目前,国内学者对于该鼠的研究较多,主要有生态学特征<sup>[22-23]</sup>、繁殖特性<sup>[24-27]</sup>、迁移行为<sup>[28-29]</sup>及成灾原因<sup>[30-33]</sup>。胡忠军等<sup>[6,22]</sup>曾比较洞庭湖区不同生活条件下以及实验室封闭群的东方田鼠内脏器官,何岚等<sup>[34]</sup>和朱俊霞等<sup>[35]</sup>研究了次生物质和蛋白含量及限食条件对东方田鼠内脏器官的影响。而不同密度东方田鼠对内脏器官的研究未见报道,本文对室内饲养条件下东方田鼠不同密度内脏器官及外部形态进行了测量,同时对不同性别,不同密度的东方田鼠脏器指标和应激激素皮质醇浓度进行了比较分析。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验用动物

本研究所用的东方田鼠为捕自湖南省洞庭湖区湖滩野生个体的实验室繁殖后代。繁殖鼠饲养于 43 cm×

32 cm×19 cm 的塑料饲养笼中(苏州市苏杭科技器材有限公司生产),实验室饲养条件为自然光照,饲料由湖南省莱斯康公司(湖南)提供,用灭菌锯末作为垫料,饲养温度保持在 18—22 ℃,光照 12 L:12 D,饮用水为自来水,饲料和水自由摄取,并定期更换垫料。

## 1.2 实验方法

258 只东方田鼠,分成 4 个饲养密度组:A 组 2 只/笼,共 30 笼(60 只);B 组 4 只/笼,共 15 笼(60 只);C 组 6 只/笼,共 11 笼(66 只);D 组 8 只/笼,共 9 笼(72 只),每笼雌雄各半。为了避免熟悉成年个体近亲繁殖,同一试鼠笼内的东方田鼠均来自不同的饲养群,彼此为陌生个体。东方田鼠饲养 3 个月之后,由于打斗、撕咬等因素导致试验个体死亡,去除新补充的个体,最后得到试鼠从配对到解剖的各组个体分别有:A 组雄 29 只,雌 27 只;B 组雄 21 只,雌 25 只;C 组雄 22 只,雌 21 只;D 组雄 30 只,雌 23 只。

东方田鼠在相同饲养管理环境下饲养 3 个月之后解剖,解剖前将东方田鼠用乙醚微麻醉,称体重( $\pm 0.1$  g)、量体长、尾长( $\pm 1$  mm)之后解剖,仔细分离出心脏、肺、肝脏、肾脏、脾脏、肾上腺等内脏器官及睾丸、附睾、子宫、卵巢性腺器官,尽量剥离附着在上述脏器周围的脂肪结缔组织,用吸水纸吸去表面的血液后,立即用电子天平(奥豪斯仪器(上海)有限公司)称量,精确到 $\pm 0.001$  g。在实验期间,试鼠死亡就补充新的成熟试鼠以保持相同的种群密度。

血浆皮质醇浓度采用放射性免疫测定法(RIA),AMEKO ELISA 试剂盒由上海越研生物科技有限公司提供。

## 1.3 数据处理

用双因素方差分析(Two-way ANOVA)比较体重和胴体重的性别和密度间差异。为去除体重(或胴体重)的影响,以胴体重为协变量,用双因素协方差分析(Two-way ANCOVA)比较内脏器官重量的不同密度以及性别间差异。对体重、胴体重和内脏器官重量,雌雄分开处理,用单因素方差分析(One-way ANOVA)及 post hoc 比较同一性别不同密度间终体重和胴体重的差异;以胴体重为协变量,用单因素协方差分析(One-way ANCOVA)及 post hoc(LSD 检验)比较内脏器官重量的密度间差异。同一密度不同性别之间的体重和胴体重差异采用独立样本  $t$  检验(Independent samples  $t$ -test)进行统计分析;同一密度不同性别之间的内脏器官重量,以胴体重为协变量,用单因素协方差分析(One-way ANCOVA)统计分析;同一性别不同密度间的血浆皮质醇浓度采用单因素方差分析(One-way ANOVA)统计分析。所有统计分析借助 SPSS 18.0 统计软件包完成,数据正态性和方差齐性分别用 Kolmogorov-Smirnov 检验和 Levene 检验。文内数据均以平均值 $\pm$ 标准误(Mean  $\pm$  SE)表示, $P < 0.05$ (双尾检验)即认为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 不同密度饲养条件下的体重与胴体重比较

独立样本  $t$  检验显示,雌雄鼠的平均胴体重分别为( $51.48 \pm 0.91$ ) g 和( $64.08 \pm 1.07$ ) g,雄鼠显著高于雌鼠( $t = 8.899$ ,  $df = 196$ ,  $P < 0.01$ );双因素方差分析表明,雌雄鼠的平均初体重、终体重和胴体重均有显著差异(表 1)。而初体重在密度间没有显著性差异( $\text{♀}: F_{(3,92)} = 2.164$ ,  $P > 0.05$ ;  $\text{♂}: F_{(3,98)} = 1.240$ ,  $P > 0.05$ ),到试验结束时的终体重和胴体重均有显著性差异(表 1),但雄鼠中无显著差异(终体重:  $F_{(3,98)} = 1.532$ ,  $P > 0.05$ ;胴体重:  $F_{(3,98)} = 1.136$ ,  $P > 0.05$ ),而在雌鼠中则差异显著(终体重:  $F_{(3,92)} = 5.269$ ,  $P < 0.05$ ;胴体重:  $F_{(3,92)} = 2.979$ ,  $P < 0.05$ )(表 1)。因此其后胴体重为协变量的内脏器官重量的相关计算均以雌雄分开统计。

### 2.2 不同密度条件下成年雌鼠繁殖情况对内脏器官的比较

以胴体重为协变量的双因素协方差分析表明(表 2),密度和雌鼠繁殖情况只对肝脏重有影响。单因素协方差分析表明,在组内,除 B 组孕鼠的肝脏重较未孕鼠有显著差异外(A 组:  $F_{(1,24)} = 3.744$ ,  $P > 0.05$ ; B 组:  $F_{(1,21)} = 8.130$ ,  $P < 0.05$ ; C 组:  $F_{(1,18)} = 0.003$ ,  $P > 0.05$ ; D 组:  $F_{(1,20)} = 0.110$ ,  $P > 0.05$ ),其余各内脏器官重,在怀孕鼠和未孕鼠中均无显著差异,其中, A 组接近于显著水平( $P = 0.064$ )。在不同密度组间,只有孕鼠的肝脏

重有极显著差异 ( $F_{(3,54)} = 7.363, P < 0.001$ ), 其余各内脏器官重, 不论孕鼠还是未孕鼠, 均无显著差异。

表 1 不同密度东方田鼠雄性和雌性初体重和终体重

Table 1 Comparison of original and last body mass in male and female under different density

| 项目<br>Item           | 性别<br>Gender | 组别 Group     |              |              |              | P             |              |                          |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------------------|
|                      |              | A            | B            | C            | D            | 密度<br>Density | 性别<br>Gender | 密度×性别<br>Ddensity×Gender |
| 样本数 Sample sizes     | ♂/♀          | 29/27        | 21/25        | 22/21        | 30/23        |               |              |                          |
| 初体重                  | ♂            | 81.06±2.44   | 85.61±2.38   | 86.27±2.66   | 86.72±2.34   | ns            | <0.001       | <0.05                    |
| Original body mass/g | ♀            | 61.57±1.94   | 55.83±1.80   | 55.79±2.21   | 57.92±1.64   |               |              |                          |
| 终体重                  | ♂            | 79.68±1.90   | 81.57±2.70   | 84.10±3.16   | 86.51±2.53   | <0.05         | <0.001       | <0.05                    |
| Final body mass/g    | ♀            | 79.11±2.73 a | 66.00±2.41 b | 73.33±2.41 a | 75.46±2.22 a |               |              |                          |
| 胴体重                  | ♂            | 61.23±1.62   | 63.82±2.33   | 65.26±2.61   | 66.16±2.11   | <0.05         | <0.001       | ns                       |
| Carcass mass/g       | ♀            | 49.13±1.87 a | 49.46±1.84 a | 52.32±1.56 a | 51.48±0.91 b |               |              |                          |

表中各数值以平均数±标准误差 ( $\bar{X} \pm SE$ ) 表示, 字母不同表示差异显著; 密度×性别, 以及密度和性别对器官重量的交互作用, 用 ACOVA 进行分析; 显著性水平为  $P < 0.05$ , ns 表示差异不显著

表 2 成年雌鼠繁殖情况对内脏器官的比较①

Table 2 Comparison of adult female pregnant condition on internal organ

| 项目<br>Item       | 怀孕情况<br>Pregnancies | 组别 Group        |                 |                 |                 | P             |                 |                            |
|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------------------|
|                  |                     | A               | B               | C               | D               | 密度<br>Density | 怀孕<br>Pregnancy | 密度×怀孕<br>Density×Pregnancy |
| 样本数 Sample sizes | 怀孕/未怀孕              | 23/4            | 9/16            | 13/8            | 15/8            |               |                 |                            |
| 心脏重 Heart/g      | 怀孕                  | 0.3323±0.0147   | 0.3888±0.0512   | 0.3090±0.0148   | 0.3392±0.0165   | ns            | ns              | <0.05                      |
|                  | 未怀孕                 | 0.3857±0.0848   | 0.3063±0.0195   | 0.3328±0.0182   | 0.3901±0.0369   |               |                 |                            |
| 肺重 Lung/g        | 怀孕                  | 0.2966±0.0114   | 0.3768±0.0222   | 0.3427±0.0193   | 0.3464±0.0180   | ns            | ns              | =0.05                      |
|                  | 未怀孕                 | 0.3396±0.0159   | 0.3374±0.0426   | 0.3150±0.0215   | 0.3278±0.0258   |               |                 |                            |
| 肝脏重 Liver/g      | 怀孕                  | 5.0176±0.2685 a | 4.0722±0.2803 b | 3.8850±0.1858 b | 3.7211±0.3043 b | <0.05         | <0.05           | ns                         |
|                  | 未怀孕                 | 3.6366±0.7465   | 3.0160±0.1728   | 3.8869±0.3787   | 3.5367±0.1899   |               |                 |                            |
| 脾脏重 Spleen/g     | 怀孕                  | 0.1418±0.0146   | 0.2846±0.0384   | 0.2717±0.0463   | 0.1551±0.0135   | ns            | ns              | ns                         |
|                  | 未怀孕                 | 0.1227±0.0275   | 0.1971±0.0473   | 0.2427±0.0780   | 0.2865±0.0764   |               |                 |                            |
| 肾脏重 Kidney/g     | 怀孕                  | 0.6783±0.0184   | 0.7233±0.0400   | 0.6805±0.0311   | 0.6851±0.0133   | ns            | ns              | ns                         |
|                  | 未怀孕                 | 0.6587±0.0745   | 0.5860±0.0217   | 0.6759±0.0389   | 0.7013±0.0378   |               |                 |                            |
| 肾上腺重             | 怀孕②                 | 0.0044±0.0022   | 0.0367±0.0072   | 0.0402±0.0031   | 0.0419±0.0030   | ns            | ns              | ns                         |
| Adrenal gland/g  | 未怀孕②                | 0.0266          | 0.0277±0.0023   | 0.0375±0.0059   | 0.0377±0.0057   |               |                 |                            |

①表中各数值以平均数±标准误差 ( $\bar{X} \pm SE$ ) 表示, 字母不同表示差异显著; 密度×怀孕, 以及密度和怀孕对器官重量的交互作用以胴体重为协变量, 用 ANCOVA 进行分析; 显著性水平为  $P < 0.05$ , ns 表示差异不显著; ②怀孕鼠的肾上腺样本数为: 15, 5, 10, 9; 未孕鼠肾上腺样本数为: 1, 10, 5, 3

### 2.3 不同密度内脏器官的比较

雌鼠肝脏因受怀孕的影响明显, 故只统计未怀孕雌鼠, 其余雌鼠内脏均为怀孕鼠与未怀孕鼠的总数据。结果见表 3。

以胴体重为协变量双因素协方差分析表明, 脾脏重和肾上腺重有明显性别差异, 心脏重、肾脏重、肺重和肝脏重在性别间无显著差异 (表 3)。经以胴体重为协变量的单因素协方差分析, 在不同性别间, 各个密度组中雌鼠脾脏重 ( $0.2044 \pm 0.0154$ ) g 显著高于雄鼠 ( $0.0940 \pm 0.0081$ ) g ( $F_{(1,194)} = 33.233, P < 0.001$ ), 肾上腺重也表现为雌鼠 ( $0.0182 \pm 0.0014$ ) g 大于雄鼠 ( $0.0357 \pm 0.0013$ ) g ( $F_{(1,118)} = 83.971, P < 0.001$ ), 其中, A、B、C、D 组雌鼠的脾脏重明显高于雄鼠 (A 组:  $F_{(1,52)} = 19.021, P < 0.001$ ; B 组:  $F_{(1,43)} = 7.584, P < 0.05$ ; C 组:  $F_{(1,40)} = 13.387, P < 0.05$ ; D 组:  $F_{(1,50)} = 2.760, P < 0.05$ )。A、B、C、D 组雌鼠的肾上腺重同样也明显高于雄鼠 (A 组:  $F_{(1,30)} = 8.304, P < 0.01$ ; B 组:  $F_{(1,25)} = 19.998, P < 0.001$ ; C 组:  $F_{(1,29)} = 42.978, P < 0.001$ ; D:  $F_{(1,25)} = 38.091, P < 0.001$ )。

以胴体重为协变量双因素协方差分析表明,在不同密度间,肺重、脾脏重、肾上腺重有明显差异,心脏重、肾脏重和肝脏重无显著差异(表3)。以胴体重为协变量,对雌雄鼠各内脏器官作单因素协方差分析。雄鼠的肺重、脾脏重和雌鼠的脾脏重、肾上腺重在不同密度组差异显著(雄鼠:肺重  $F_{(3,59)} = 5.655, P < 0.01$ ;脾脏重  $F_{(3,97)} = 4.645, P < 0.01$ ;雌鼠:脾脏重  $F_{(3,90)} = 3.111, P < 0.05$ ;肾上腺重  $F_{(3,53)} = 3.026, P < 0.05$ )。其余各器官重在不同密度间虽未表现出显著差异,但均具有随着密度增加而器官重量逐渐增大的趋势。

表3 不同密度内脏器官的比较<sup>①</sup>Table 3 Comparison of internal organs of *M. fortis* in different density

| 项目<br>Item               | 性别<br>Gender | 组别 Group        |                  |                  |                  | P             |              |                          |
|--------------------------|--------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|---------------|--------------|--------------------------|
|                          |              | A               | B                | C                | D                | 密度<br>Density | 性别<br>Gender | 密度×性别<br>Ddensity×Gender |
| 样本数 Sample sizes         | ♂/♀          | 29/27           | 21/25            | 22/21            | 30/23            |               |              |                          |
| 心脏重 Heart/g              | ♂            | 0.2997±0.0151   | 0.3296±0.0156    | 0.3408±0.0162    | 0.3686±0.0184    | ns            | ns           | ns                       |
|                          | ♀            | 0.3402±0.0171   | 0.3360±0.0230    | 0.3181±0.0115    | 0.3569±0.0170    |               |              |                          |
| 肺重 Lung/g                | ♂            | 0.3009±0.0139 a | 0.3457±0.0174 ab | 0.3358±0.0144 a  | 0.4218±0.0296 b  | <0.001        | ns           | ns                       |
|                          | ♀            | 0.3027±0.0115   | 0.3373±0.0167    | 0.3370±0.0151    | 0.3775±0.0273    |               |              |                          |
| 肝脏重② Liver/g             | ♂            | 3.3105±0.1671   | 3.4261±0.1292    | 3.7432±0.1791    | 3.7941±0.1336    | ns            | ns           | ns                       |
|                          | ♀            | 3.6366±0.7465   | 3.0160±0.1728    | 3.8869±0.3787    | 3.5367±0.1899    |               |              |                          |
| 脾脏重 Spleen/g             | ♂            | 0.0669±0.0088 a | 0.0773±0.0111 a  | 0.0832±0.0060 a  | 0.1397±0.0228 b  | <0.05         | <0.001       | <0.05                    |
|                          | ♀            | 0.1389±0.0129 a | 0.2286±0.0339 b  | 0.2607±0.0402 b  | 0.2008±0.0300 ab |               |              |                          |
| 肾脏重 Kidney/g             | ♂            | 0.6453±0.0241   | 0.7082±0.0425    | 0.7451±0.0400    | 0.7484±0.0329    | ns            | ns           | ns                       |
|                          | ♀            | 0.6754±0.0185   | 0.6354±0.0237    | 0.6787±0.0237    | 0.6852±0.0225    |               |              |                          |
| 肾上腺重③<br>Adrenal gland/g | ♂            | 0.0158±0.0040   | 0.0138±0.0010    | 0.0194±0.0090    | 0.0182±0.0014    | <0.01         | <0.001       | ns                       |
|                          | ♀            | 0.0330±0.0012 a | 0.0307±0.0029 a  | 0.0393±0.0028 ab | 0.0408±0.0352 ab |               |              |                          |

①表中各数值以平均数±标准误差( $\bar{X} \pm SE$ )表示,字母不同表示差异显著;密度×性别,以及密度和性别对器官重量的交互作用以胴体重为协变量,用 ANCOVA 进行分析;显著性水平为  $P < 0.05$ , ns 表示差异不显著;②雌鼠肝脏统计的样本数分别为:4,16,8,8;③雄鼠肾上腺统计的样本数为:17,13,17,16;雌鼠肾上腺的样本数为:16,15,15,12

## 2.4 不同密度应激激素血浆皮质醇的比较

单因素方差分析表明(表4),同一密度组的血浆皮质醇浓度在不同性别间表现为雄鼠((141.50±2.26) ng/mL)大于雌鼠((48.74±1.15) ng/mL)(A组: $F_{(1,40)} = 331.946, P < 0.001$ ;B组: $F_{(1,37)} = 379.391, P < 0.001$ ;C组: $F_{(1,43)} = 559.505, P < 0.001$ ;D组: $F_{(1,43)} = 795.631, P < 0.001$ )。同一性别比较,不同密度条件下雌性个体的血浆皮质醇浓度无显著性差异( $F_{(3,61)} = 1.509, P > 0.05$ ),雄性个体的血浆皮质醇浓度差异显著( $F_{(3,101)} = 46.575, P < 0.001$ )。其中,A、B组间明显较低,C、D组明显较高(A-C: $F_{(1,50)} = 43.461, P < 0.001$ ;B-C: $F_{(1,49)} = 62.210, P < 0.001$ ;A-D: $F_{(1,52)} = 74.526, P < 0.001$ ;B-D: $F_{(1,51)} = 103.969, P < 0.001$ ),这与肾上腺器官重量的变化相一致。

表4 不同密度应激激素皮质醇的比较

Table 4 Comparison of Plasma Cortisol of *M. fortis* in different density

| 项目<br>Item              | 性别<br>Gender | 组别 Group      |               |               |               |
|-------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                         |              | A             | B             | C             | D             |
| 样本数 Sample sizes        | ♂/♀          | 28/15         | 26/14         | 25/19         | 27/17         |
| 血浆皮质醇浓度                 | ♂            | 126.47±2.97 a | 122.04±2.70 a | 157.06±3.39 b | 161.72±2.80 b |
| Plasma Cortisol/(ng/mL) | ♀            | 46.24±2.46    | 45.85±1.75    | 50.64±2.47    | 51.19±2.13    |

表中各数值以平均数±标准误差( $\bar{X} \pm SE$ )表示;字母不同表示差异显著;显著性水平为  $P < 0.05$

## 3 讨论与分析

脏器指数可以反映动物的生理功能,其大小是一定环境条件下的生理指标。不同种群密度下,由于动物

所处环境条件不同,个体自身会有一定的生理变化,如高密度情况下,胸腺缩小,肾上腺增大和性腺萎缩,生理机能随之衰退<sup>[17,36-37]</sup>。而对不同密度条件下的内脏器官的心、肺、肝、脾、肾等器官很少见到报道。对东方田鼠内脏器官的报道见于对不同生活条件、性别以及食物数量与质量方面影响的报道<sup>[6,22,34-35]</sup>。

以往研究显示成年东方田鼠躯体大小雌雄间差异极显著<sup>[22]</sup>。而内脏器官重量雌雄间均无明显差异。这说明该鼠进入成体阶段后,在外部和头骨形态特征方面已呈现明显的性二型,而脏器却没有此现象。胡忠军等<sup>[22]</sup>探讨了实验室封闭群第7、8代东方田鼠(*M. f. calamorum*)脏器的形态学指标在雌雄间、年龄组间的差异及其与体重的关系。认为脏器绝对指标成年鼠显著长于或大于亚成年鼠,脏器绝对重量与体重正相关,脏器相对重量与体重负相关。脏器绝对和相对指标雌雄鼠间差异不显著。朱俊霞等<sup>[35]</sup>的试验发现限食70%使东方田鼠体重减少,脾脏、肝脏、肾脏重均显著减轻。10%蛋白含量降低了脾脏重和肝脏重,但未显著影响肾脏重。何岚等<sup>[34]</sup>的研究表明植物酚类化合物可影响东方田鼠内脏器官的发育,酚类化合物对东方田鼠肝脏、肾脏指数有显著的效应,增加肝脏、肾脏重量,但对心脏影响不明显。

本研究显示,东方田鼠的心、肺、肝脏和肾脏重在性别间没有显著性差异,但脾脏和肾上腺重均差异显著( $P<0.001$ )。其中,脾脏重和肾上腺重均表现为雌鼠大于雄鼠。脾脏是免疫器官之一,脾脏重量的改变可反映出免疫系统的变化,雌鼠脾脏重高于雄鼠,可能是由于雄激素对免疫功能具有抑制作用,而雌激素则具有双重影响<sup>[38]</sup>。肾上腺是重要的压力响应器官,它是下丘脑-垂体-肾上腺轴和交感神经-肾上腺髓质系统的重要组成部分,社群压力一般能导致肾上腺重量的增加,这主要是皮质肥大的结果<sup>[16,39]</sup>。Christian<sup>[17]</sup>认为行为-内分泌反馈系统通过刺激垂体-肾上腺皮质活动可调节种群增长,而肾上腺皮质肥大取决于社群压力的强度和种群数量。Andrews等<sup>[40]</sup>曾对褐旅鼠(*Lemmus trimucionatus*)做过详细研究,他提出肾上腺皮质分泌活动在高密度时甚至可增加20—60倍。曾绍祥等<sup>[36]</sup>也指出,小家鼠(*Mus musculus*)肾上腺重量随性别和性活动发生变化,呈现性别差异,即在性成熟后表现为雌性重于雄鼠,而且雌性在繁殖期肾上腺重量增加。东方田鼠脾脏和肾上腺在性别间的结果也与黄毛鼠<sup>[3]</sup>、室内饲养的10月龄灰仓鼠<sup>[9]</sup>、BALB/e-HSF<sub>1</sub> Knockout小鼠<sup>[41]</sup>的部分脏器指标一致。这说明脾脏和肾上腺重在雌性中高于雄性的现象存在于很多鼠当中。

在不同密度组间,显著性分析显示,仅雄鼠的肺重、脾重和雌鼠的脾重、肾上腺重差异显著,其余各器官重虽在不同密度间未表现出显著差异,但基本均具有随着密度增加而器官重量逐渐增大的趋势。可见高密度条件,已在内脏器官重量上有所体现。在小哺乳动物种群中,随种群密度的增加,动物繁殖和生存所需的相对资源量降低,为争夺有限资源,个体间的攻击行为肯定会有相应增加<sup>[37,42]</sup>。由此可见,东方田鼠各内脏器官重量的增加应该是竞争活动量增加导致的结果。在本实验中,尽管高密度组的食物和水分供应充足,但雌雄鼠的活动空间相对有限,实验中观察发现高密度组中的相互攻击、打斗、嘶咬行为表现极为明显,经常有受伤的个体出现,试验期间的死亡率也相对较高。这些都是其压力较大的体现,也是内脏器官适当增重的主要原因。

Christian<sup>[17]</sup>认为,啮齿类种群数量上升时,种群内个体间的“紧张”程度显然会增加,从而对中枢神经系统的刺激加强,主要影响脑下垂体和肾上腺的功能,从而影响了血浆皮质醇激素的分泌。皮质醇主要由肾上腺皮质的束状带分泌产生,此类激素在机体内大多数组织的物质代谢(糖、脂肪和蛋白质代谢)中有着非常重要的调节作用。由于皮质醇在机体内正常或异常的生理学现象有较敏感的反应,所以种群密度与血浆皮质醇水平变化关系也极为密切。杨幼凤等<sup>[14]</sup>研究鲁西平原黑线仓鼠(*Cricetulus barabensis*)种群调节发现,随着种群密度的增加,该鼠肾上腺重量增加,血浆皮质醇也随之上升,且两者呈显著正相关。在小家鼠中也有类似表现<sup>[43]</sup>。而李凤华等<sup>[15]</sup>对布氏田鼠(*Lasiopodomys brandtii*)研究显示,除了中密度(4只/笼)雄性个体的血浆皮质醇含量显著高于雌性个体外,其它各组的血浆皮质醇之间都没有显著差异。王金龙等<sup>[44]</sup>对高原鼠兔的研究也表明种群间的皮质醇水平未表现出种群密度间的显著差异。实验结果显示各个密度组中的雄性个体血浆皮质醇浓度显著高于雌性,且差异显著,在同一性别中,不同密度间的雌性个体血浆皮质醇浓度差异不显著,而雄性个体血浆皮质醇浓度差异则显著。这可能是种群密度和动物内分泌变化间的关系可能具有种和性别的特异性。就东方田鼠而言,实验室高密度条件下应激反应主要体现在雄鼠的皮质醇明显增加。在实验过

程中,高密度组 D 组除具有明显打斗、撕咬行为,试鼠死亡率较高外,杀幼行为也非常普遍,幼仔在离乳前几乎全被杀死<sup>[45]</sup>。

一些研究表明,动物的某些生理特征和动物行为密切相关。当动物处于繁殖期时,其生殖器官增重、性激素(如睾酮或雌激素)水平提高、攻击性相应增强<sup>[19]</sup>。雌性个体的内脏器官指标与雌鼠参与繁殖和哺乳有关<sup>[3, 4, 9, 46]</sup>。张美文等<sup>[4]</sup>比较洞庭湖区社鼠(*Niviventer confucianus*)成年雌鼠的内脏器官重量,结果是心脏、肝脏、肾脏和肾脏的指标虽未有显著性变化,但均以参与繁殖雌鼠较高。汪德勤<sup>[46]</sup>对 Wistar 大鼠的研究认为:孕鼠脏器重量有不同程度的增重现象,以肝、肾和卵巢增重较为显著。关于东方田鼠内脏器官受怀孕因素的影响未见详细报道,仅有胡忠军等<sup>[6]</sup>在比较不同生活条件下器官指标的初步分析中,也仅发现湖滩生境孕鼠(7 只)与未孕鼠(7 只)间肾脏指数差异达显著水平。研究结果显示:同一密度内,只有肝脏重在 B 组即 4 只/笼的孕鼠和未孕鼠中表现出显著差异( $P < 0.05$ ),其余各器官均未表现出此倾向,基本与胡忠军等<sup>[6]</sup>的结果相似。

另,室内饲养的东方田鼠的脾脏指数比洞庭湖区野生鼠差距很大<sup>[6]</sup>,这可能是洞庭湖区为血吸虫疫区,微生物和寄生虫对该鼠的入侵,使之产生免疫反应的结果<sup>[47]</sup>。而野外条件下,长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)的心脏、肝脏等重量也有增加的趋势,而在较为温和的季节,重量则下降<sup>[48]</sup>。但室内饲养的灰仓鼠在心、肝、肺、脾和肾的脏器系数没有明显的季节变异<sup>[9]</sup>。

密度因素在种群中的繁殖、生理、生化上的作用,已经有很多学者对其进行了探讨,如黑线仓鼠<sup>[14]</sup>、小家鼠<sup>[27]</sup>、小白鼠<sup>[39]</sup>、高原鼠兔<sup>[44]</sup>。不同鼠种,影响程度不同。而在室内条件下,密度因素对东方田鼠的繁殖特性、脏器指数等的影响研究还不够深入,具体内容还有待进一步的研究。

**致谢:**鄢湘平老师和杨玉超同学在实验过程中给予帮助,特此致谢。

#### 参考文献 (References):

- [1] Konarzewski M, Diamond J. Evolution of basal metabolic rate and organ masses in laboratory mice. *Evolution*, 1995, 49(6): 1239-1248.
- [2] 王洪伟, 徐金会, 靳鹏, 陈秋兰, 徐来祥. 野生黑线仓鼠脏器重量的增龄变化. *四川动物*, 2010, 29(4): 614-617.
- [3] 张世炎, 麦海. 黄毛鼠内脏器官重量和含水量的测定. *动物学杂志*, 2001, 36(5): 48-50.
- [4] 张美文, 王勇, 李波, 黄璜. 洞庭湖区社鼠脏器重量的比较. *动物学杂志*, 2006, 41(1): 113-117.
- [5] 杜卫国, 鲍毅新, 施利强, 俞华英. 社鼠内脏器官重量和水分含量的季节变化. *动物学杂志*, 1999, 34(1): 23-25.
- [6] 胡忠军, 王勇, 张美文, 郭聪. 不同生活条件下东方田鼠内脏器官比较. *生态学杂志*, 2002, 21(5): 5-8.
- [7] Pucek Z. Seasonal and age changes in the weight of internal organs of shrews. *Acta Theriologica*, 1965, 10: 369-438.
- [8] 叶润蓉, 周文杨, 白秦华, 贾敬肖. 人工饲养条件下高原鼠兔的繁殖. *兽类学报*, 1990, 10(4): 287-293.
- [9] 廖力夫, 黎唯, 王诚, 聂时斌. 灰仓鼠重要内脏器官生长指数及其变化. *兽类学报*, 2002, 22(4): 299-303.
- [10] 杜卫国, 俞华英, 施利强, 鲍毅新. 褐家鼠的身体及内脏器官重量和含水量的初步研究. *中国媒介生物学及控制杂志*, 1997, 8(3): 161-163.
- [11] Deveci D, Egginton S. The effects of reduced temperature and photoperiod on body composition in hibernator and non-hibernator rodents. *Journal of Thermal Biology*, 2002, 27(6): 467-478.
- [12] Russell G A, Chappell M A. Is BMR repeatable in deer mice? Organ mass correlates and the effects of cold acclimation and natal altitude. *Journal of Comparative Physiology B*, 2007, 177(1): 75-87.
- [13] Król E, Johnson M, Speakman J. Limits to sustained energy intake VIII. Resting metabolic rate and organ morphology of laboratory mice lactating at thermoneutrality. *The Journal of Experimental Biology*, 2003, 206(23): 4283-4291.
- [14] 杨幼凤, 卢浩泉, 郑俐俐. 鲁西平原黑线仓鼠种群调节机理的研究——种群密度与肾上腺、性腺重量及血浆皮质醇值之间的关系. *生态学杂志*, 1990, 9(6): 1-6.
- [15] 李风华, 王德华, 钟文勤. 密度因素对布氏田鼠体重增长及免疫功能的影响. *动物学报*, 2003, 49(4): 438-444.
- [16] Ulrich-Lai Y M, Figueiredo H F, Ostrander M M, Choi D C, Engeland W C, Herman J P. Chronic stress induces adrenal hyperplasia and hypertrophy in a subregion-specific manner. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 2006, 291(5): 965-973.
- [17] Christian J J. Population density and reproductive efficiency. *Biology of Reproduction*, 1971, 4(3): 248-294.

- [18] 杨荷芳, 王淑卿. 鼠类种群数量、性比对其数量的调节作用 I. 不同密度、性比对雌小白鼠繁殖的影响. 兽类学报, 1984, 4(4): 301-309.
- [19] Nelson R J. Aggression and social behavior // Nelson R J, ed. An Introduction to Behavioral Endocrinology. Sunderland (MA): Sinauer Associates, 1995: 448-484.
- [20] Nie H Y, Liu J P. Regulation of root vole population dynamics by food supply and predation: a two-factor experiment. Oikos, 2005, 109(2): 387-395.
- [21] 王勇, 郭聪, 张美文, 李波, 陈安国. 洞庭湖区东方田鼠种群动态及其危害预警. 应用生态学报, 2004, 15(2): 308-312.
- [22] 胡忠军, 王勇, 张美文, 郭聪. 东方田鼠头骨和脏器的形态学指标. 动物学杂志, 2002, 37(4): 21-26.
- [23] 郭聪, 王勇, 张美文, 陈安国. 洞庭湖区东方田鼠洞群成员分析. 兽类学报, 2001, 21(1): 44-49.
- [24] 武正军. 东方田鼠长江亚种 (*Microtus fortis calamorum*) 的生长与发育. 动物学杂志, 1996, 31(5): 26-30.
- [25] 武正军, 陈安国, 李波, 郭聪, 王勇, 张美文. 洞庭湖区东方田鼠繁殖特性研究. 兽类学报, 1996, 16(2): 142-150.
- [26] 张美文, 王勇, 李波, 黄璜, 陈剑, 韩立亮. 洞庭湖不同退田还湖类型区东方田鼠和黑线姬鼠的繁殖特性. 兽类学报, 2009, 29(4): 396-405.
- [27] 陈安国, 郭聪, 王勇, 张美文, 刘辉芬, 李波. 长江流域稻作区重要害鼠的生态学及控制对策 // 张知彬, 王祖望. 农业重要害鼠的生态学与控制对策. 北京: 海洋出版社, 1998: 114-174.
- [28] 郭聪, 王勇, 陈安国, 李波, 张美文, 武正军. 洞庭湖区东方田鼠迁移的研究. 兽类学报, 1997, 17(4): 279-286.
- [29] 郭聪, 张美文, 王勇, 李波, 陈安国. 洞庭湖区夏季温光条件及被迫迁移对东方田鼠繁殖的影响. 兽类学报, 1999, 19(4): 298-307.
- [30] 陈安国, 郭聪, 王勇, 武正军, 李波, 张美文. 洞庭湖区东方田鼠种群特性和成灾原因研究 // 张洁. 中国兽类生物学研究. 北京: 中国林业出版社, 1995: 31-38.
- [31] 李波, 王勇, 张美文, 陈剑, 邓武军, 吴承和, 胡华, 黄华南. 洞庭湖区东方田鼠种群暴发期间的行为特征观察. 动物学杂志, 2008, 43(2): 57-63.
- [32] 张美文, 李波, 王勇. 洞庭湖区东方田鼠 2007 年暴发成灾的原因剖析. 农业现代化研究, 2007, 28(5): 601-605.
- [33] 张美文, 王勇, 李波, 黄国鲜, 郭聪. 三峡工程和退田还湖对洞庭湖区东方田鼠种群的潜在影响. 应用生态学报, 2012, 23(8): 2100-2106.
- [34] 何岚, 李俊年, 杨冬梅, 陶双伦. 植物酚类化合物对东方田鼠体重增长和内脏器官发育的作用. 兽类学报, 2010, 30(3): 297-303.
- [35] 朱俊霞, 王勇, 张美文, 李波, 杨玉超. 食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响. 生态学报, 2011, 21(24): 7464-7470.
- [36] 曾缙祥, 王祖望, 韩永才. 小家鼠种群密度对肾上腺、胸腺、性腺和血糖值的影响研究. 动物学报, 1980, 26(3): 266-273.
- [37] Marchlewska-Koj A. Sociogenic stress and rodent reproduction. Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 1997, 21(5): 699-703.
- [38] Grossman C J. Regulation of the immune system by sex steroids. Endocrine Reviews, 1984, 5(3): 435-455.
- [39] Gamallo A, Villanua A, Tranco G, Fraile A. Stress adaptation and adrenal activity in isolated and crowded rats. Physiology and Behavior, 1986, 36(2): 217-221.
- [40] Andrews R V, Keil L C, Keil N N. Further observations on the adrenal secretory rhythm of the brown lemming. Acta Endocrinologica, 1968, 59(1): 36-40.
- [41] 汤百争, 刘惺, 马亚东. BALB/c-HSF1 Knockout 小鼠的主要脏器重量、脏器系数及主要血液生化指标的测定. 中国实验动物学杂志, 2002, 12(3): 153-156.
- [42] Moore J. Population density, social pathology, and behavioral ecology. Primates, 1999, 40(1): 1-22.
- [43] Chapman J C, Christian J J, Pawlikowski M A, Michael S D. Analysis of steroid hormone levels in female house mice at high population density. Physiology and Behavior, 1998, 64(4): 529-533.
- [44] 王金龙, 魏万红, 张堰铭, 殷宝法. 种群密度对高原鼠兔类固醇激素水平的影响. 兽类学报, 2006, 26(3): 241-248.
- [45] 沈果, 韩群花, 张美文, 王勇, 李波. 种群密度对东方田鼠杀婴行为的影响. 第八届全国野生动物生态与资源保护学术研讨会. 辽宁沈阳. 2012.9. 论文集: 59-60.
- [46] 汪德勤. Wistar 孕大鼠主要脏器重量的测定. 兰州医学院学报, 1992, 18(4): 239-240.
- [47] 贺宏斌, 左家铮, 刘柏香, 周利红. 室内繁殖和野生东方田鼠感染日本血吸虫的比较. 实用寄生虫病杂志, 1995, 3(2): 72-74.
- [48] 张志强, 王德华. 长爪沙鼠脏器重量和肠道长度的季节性变化. 兽类学报, 2009, 29(3): 294-301.