

DOI: 10.5846/stxb201211091570

陈文文, 钟杰, 刘三峡, 熊高明, 陈芳清, 谢宗强, 江广华, 周友兵. 神农架地区 4 种啮齿类食性及脏器形态差异比较. 生态学报, 2014, 34(13): 3620-3628.

Chen W W, Zhong J, Liu S X, Xiong G M, Chen F Q, Xie Z Q, Jiang G H, Zhou Y B. Variations in food habit and viscera organ morphology of four rodents in Shennongjia, central China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(13): 3620-3628.

神农架地区 4 种啮齿类食性及脏器形态差异比较

陈文文^{1,2}, 钟 杰¹, 刘三峡³, 熊高明¹, 陈芳清², 谢宗强¹, 江广华⁴, 周友兵^{1,*}

(1. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093; 2. 三峡大学化学与生命科学学院, 宜昌 443000;

3. 湖北神农架林区林业科学研究所, 松柏 442400; 4. 湖北省宜昌市五峰县林业局野保站, 五峰 443400)

摘要:生活在同一地域的物种, 会因强烈的资源竞争而产生生态位重叠与分离, 从而实现相互共存。以神农架地区啮齿动物为研究对象, 比较分析不同啮齿类食性、脏器重量及消化道形态差异, 探索其共存机制及其生理生态学上的适应策略。食性上, 安氏白腹鼠(*Niviventer andersoni*)、社鼠(*N. confucianus*)、高山姬鼠(*Apodemus chevrieri*)、中华姬鼠(*A. draco*)均为杂食者, 但各自喜食偏好不同, 安氏白腹鼠的食物组成以植物枝叶和种子为主, 社鼠、高山姬鼠和中华姬鼠的食物组成均以种子和动物性食物为主。与各自生态习性及其食性相适应, 不同啮齿动物的脏器重量及消化道形态发生相应的变化。脏器重量上, 不同啮齿动物心鲜重、肺鲜重、脾鲜重和干重无显著差异, 其它指标差异显著。安氏白腹鼠的心干重、肺干重、肝鲜重和干重、肾鲜重和干重显著大于社鼠、高山姬鼠和中华姬鼠。消化道形态上, 不同啮齿动物盲肠长、净鲜重和干重无显著差异, 其它指标差异显著。其中, 胃内容物鲜重、净鲜重和干重, 盲肠内容物鲜重, 大肠长、含内容物鲜重、净鲜重和干重均以安氏白腹鼠具较大值, 但各自变化趋势不同; 小肠长、含内容物鲜重、净鲜重和干重则以社鼠具较大值。且同属姬鼠属的高山姬鼠和中华姬鼠脏器重量及消化道形态各指标间均无显著差异。由于小泡巨鼠和猪尾鼠数量较少, 未进行统计分析。以上结果显示: 食物资源利用上的分化有利于安氏白腹鼠与其近缘物种社鼠及其他鼠类的同域共存, 且为适应不同的食物资源利用模式, 其脏器及消化道形态也发生了适应性的变化; 同域分布的近缘物种高山姬鼠、中华姬鼠则有可能采取其它策略而非食物资源分化模式实现共存。

关键词: 同域分布; 共存机制; 食性; 脏器重量; 消化道形态

Variations in food habit and viscera organ morphology of four rodents in Shennongjia, central China

CHEN Wenwen^{1,2}, ZHONG Jie¹, LIU Sanxia³, XIONG Gaoming¹, CHEN Fangqing², XIE Zongqiang¹, JIANG Guanghua⁴, ZHOU Youbing^{1,*}

1 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

2 College of Chemistry and Life Science, China Three Gorges University, Yichang 443000, China

3 Shennongjia Institute of Forestry, Shennongjia Forestry Region in Hubei Province, Songbai 442400, China

4 Wildlife Conservation Station, Wufeng Forestry Bureau in Hubei Province, Wufeng 443400, China

Abstract: The separation of ecological niches in terms of food resource, activity pattern or space contributes to the coexistence of sympatric species. Spatiotemporal variations in resource availability affect foraging behavior, habitat selection and even the existence of species. To explore the coexistence mechanisms of sympatric rodents, variations in food habit, viscera organ and digestive tract morphology among different rodent species were investigated in Shennongjia, central China.

Studied rodents were trapped by snap-trap in October 2010. Upon capture, all rodents were carried to laboratory. The

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (No.30970474); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA05050302)

收稿日期: 2012-11-09; **网络出版日期:** 2014-02-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhouyb@ibcas.ac.cn

species, gender, age, reproductive status, body mass and length were recorded. Then the heart, lung, liver, spleen, kidney and the entire digestive tract were removed from the body and the carcass mass was weighted. The connective tissue and lipid was stripped and the digestive tract was extended to its full length. Fresh weights of all organs and lengths of digestive tract were weighted. After removing digestive tract contents, fresh weights without contents and food items in the stomach were recorded. Dry weights of all organs were measured after drying in the oven.

A total of 220 adult rodents, including 8 *Niviventer andersonii*, 167 *N. confucianus*, 5 *Apodemus chevrieri*, and 35 *A. draco*, 2 *Leopoldamys edwardsi* and 3 *Typhlomys cinereus*, were collected for analysis. *L. edwardsi* and *T. cinereus* were excluded for statistical tests due to insufficient samples. The analysis of food habit showed that *N. andersonii*, *N. confucianus*, *A. chevrieri* and *A. draco* were omnivorous but the Chi-square test detected significant variation in dietary biases. *N. andersonii* was primarily phyllophagous and seminivorous and the others were primarily seminivorous and carnivorous. The analysis of covariance of viscera organs showed that while fresh weights of heart, lung and spleen and dry weight of spleen did not differ between rodents, other indices did exhibit significant variation with the highest value found in *N. andersonii*. In the analysis of digestive tract morphology, while length, fresh and dry weight of caecum did not differ between rodents, fresh and dry weights of stomach and large intestine, fresh weights including stomach, caecum and large intestine contents, and length of large intestine did differ significantly with the highest value found in *N. andersonii*. Otherwise, the length, fresh and dry weight of small intestine, and fresh weight including small intestine contents also showed significant variations between species, with the highest value found in *N. confucianus*.

Variations in viscera organ morphology of *N. andersonii* compared to other species indicate that the segregation of food resources contributes to this species coexistence with other rodents. In order to adapt to different availability of food resources, the viscera organ and digestive tract morphology of *N. andersonii* show adaptable phenotypic plasticity. However, *A. chevrieri* and *A. draco*, both belonging to the genus *Apodemus*, do not exhibit differences in food habit, viscera organ and digestive tract morphology, which implied that their coexistence may result from other strategies than resource allocation, such as habitat selection.

Key Words: sympatric; coexistence mechanisms; food habit; viscera organ; digestive tract morphology

同域分布物种会因竞争排斥而产生生态位重叠与分离,以此达到长期共存的目的^[1-2]。生态位重叠与分离主要表现在栖息地、食性、活动时间或其他特征上^[3-5]。其中,食性差异是研究动物摄食行为、资源分割的前提^[6],同时,摄食行为差异会导致生境选择的不同,进一步导致生态位分离^[7]。

消化道作为动物处理食物和能量吸收的场所,食性差异会对其形态产生重要影响^[8];消化道形态的改变,会改变其容纳和处理食物的能力,最终会影响到动物对外界环境变化的适应能力^[9-10]。同时,动物生命活动的进行,离不开内脏器官作为其物质载体,脏器重量作为衡量内脏器官功能的指标,也可以判别动物对外界环境的适应能力^[11-12]。因此,研究同域分布物种脏器重量和消化道形态差异将有助于更进一步理解同域分布种的生存策略和资源利用模式^[1,13]。

神农架地区保存有相对完好的亚热带高山森林生态系统,其植被组成丰富多样,为哺乳动物的生存繁衍提供了良好的栖息环境^[14-15]。李义明等指出:神农架地区有非飞行哺乳动物 59 种,与当地植被垂直地带性分布相适应,非飞行哺乳动物呈现出沿海拔梯度分布不同的格局^[14]。然而,关于神农架地区小型哺乳动物共存的生理生态机制,尚未见报道。本文在该区域调查了安氏白腹鼠(*Niviventer andersonii*)、社鼠(*Niviventer confucianus*)、高山姬鼠(*Apodemus chevrieri*)、中华姬鼠(*Apodemus draco*)、小泡巨鼠(*Leopoldamys edwardsi*)、猪尾鼠(*Typhlomys cinereus*)食物组成、脏器重量和消化道形态特征,首次提供了相关物种的基础信息,同时通过比较分析,初步探讨神农架地区小型哺乳动物共存的生理生态学机制。

1 材料与方法

1.1 研究区域及实验动物采集

研究区域选择在神农架地区的龙门河国家森林公园(31°16′—31°22′ N, 110°25′—110°31′ E), 为大巴山脉东延部分、神农架山脉南坡, 海拔 1000—1700 m^[16]。依据中国科学院神农架生物多样性定位研究站 2001—2008 年气象观测数据, 当地年均气温 10.5 ℃, 年均降水量 1344.3 mm。

2010 年 10 月 3 日—16 日, 在中国科学院神农架生物多样性定位研究站 10 km 范围内, 海拔 1400—1600 m 之间, 以新鲜花生米为诱饵, 采用铗日法对当地小型兽类进行捕获。按照样线法置铗, 样线间距 50—200 m, 每条样线置 105 铗, 铗距 5 m, 共 4604 有效铗日。

1.2 室内分析

将捕获的小型兽类带回实验室, 进行种类和性别鉴定, 并依据臼齿磨损程度判断其年龄^[17-18], 记录重量(±0.01 g)、体长(±0.1 cm)后进行解剖。仔细辨别并分离出心、肺、肝、脾、肾、胃、小肠、盲肠、大肠, 记录动物的胴体重(±0.01 g)和心、肺、肝、脾、肾鲜重(±0.001 g)。对于消化道器官, 剔除其肠系膜及其附着的结缔组织, 使其自然伸展到最大长度并用直尺进行测量(±0.01 cm), 称取其含内容物鲜重(±0.001 g)。由于胃长度受其充盈度影响, 在此不作分析。将胃进行纵切, 参照胃内食糜分析法^[8, 19], 对各动物的食性作出分析: (1) 植物茎叶: 食糜呈现绿色, 或可见块状的茎、叶残渣; (2) 植物种子: 食糜呈黄白色、黄褐色或淡黄色糊粒状, 或可见种皮碎片; (3) 动物性食物: 食糜呈红色、褐色或黑色, 或可见昆虫的翅、足碎片。之后, 置于生理盐水中清洗干净置滤纸上干燥, 称取其不含内容物鲜重(±0.001 g)。对于小肠、盲肠、大肠, 用注射器吸取生理盐水, 反复冲

洗其内容物后, 置滤纸上干燥, 称取其不含内容物鲜重(±0.001 g)。最后, 将所有器官置于 60 ℃ 的烘箱中烘至恒重并记录其数值。

1.3 数据分析

数据分析中剔除了当年生幼年个体, 统计分析借助 SPSS 16.0 软件完成, 定义显著性水平 $P < 0.05$ 。

食性差异分析中, 记录胃内各食糜出现频次, 以相对频次(出现频次与总频次之比)表示不同鼠类的食物组成, 采用卡方检验(Chi-square test)比较不同鼠类间食物组成差异。

所采集的雌性个体中未发现怀孕鼠, 因此在性别差异分析上将所有雌性个体数据纳入分析。采用 t 检验(t -test)分析社鼠、安氏白腹鼠、中华姬鼠所有成年个体体重、体长、胴体重的性别差异, 为避免体重受胚胎重量、进食量的影响, 采用以胴体重为协变量的单因素协方差分析法(One-way ANCOVA)分析脏器重量间的性别差异, 采用以体长为协变量的单因素协方差分析法分析消化道长度的性别差异, 结果显示社鼠各指标雌雄间无显著差异^[10], 安氏白腹鼠仅盲肠长度($F_{1,5} = 6.877, P = 0.047$)、中华姬鼠仅胴体重($t = 4.450, df = 33, P = 0.043$)和大肠干重($F_{1,32} = 4.655, P = 0.039$)在性别上有差异。由于其统计学上并不是十分显著(P 接近 0.05), 隐藏了部分指标的雌雄差异, 将不同种类雌雄数据合并计算, 采用单因素方差分析法(One-way ANOVA)比较不同鼠类间体重、体长、胴体重差异, 采用以胴体重或体长为协变量的单因素协方差分析法比较不同鼠类间脏器重量或长度的差异, 利用 LSD 进行组间差异分析。文中脏器各指标均以胴体重或体长为协变量的矫正值给出, LSD 分析结果以最大 P 值列出。由于捕获的小泡巨鼠和猪尾鼠数量较少(表 1), 未纳入统计分析中; 同时, 由于部分个体遭到捕食导致器官难以辨认, 舍弃未用或仅分析可辨认器官。

表 1 小泡巨鼠和猪尾鼠体重、体长、胴体重及脏器形态指标

Table 1 Body mass, body length, carcass mass and visceral organ morphology of <i>Leopoldamys edwardsi</i> and <i>Typhlomys cinereus</i>					
	小泡巨鼠 <i>Leopoldamys edwardsi</i>		猪尾鼠 <i>Typhlomys cinereus</i>		
	个体 1	个体 2	个体 1	个体 2	个体 3
体重 Body mass/g	308.55	239.19	19.29	20.72	18.34
体长 Body length/cm	22.2	22.1	7.3	8.0	8.0
胴体重 Carcass mass/g	139.16	118.19	9.48	11.84	10.27
心 Heart	W/g	1.440	0.910	0.180	0.120
	D/g	0.350	0.240	0.050	0.020

续表		小泡巨鼠 <i>Leopoldamys edwardsi</i>		猪尾鼠 <i>Typhlomys cinereus</i>		
		个体 1	个体 2	个体 1	个体 2	个体 3
肺 Lung	W/g	2.280	1.870	0.210	0.350	0.080
	D/g	0.470	0.390	0.050	0.070	0.020
肝 Liver	W/g	7.710	5.870	0.500	0.240	0.270
	D/g	2.130	1.580	0.150	0.050	0.070
脾 Spleen	W/g	1.451	0.390	0.035		0.009
	D/g	0.034	0.080	0.007		0.002
肾 Kidney	W/g	0.930	0.910	1.880	0.160	0.200
	D/g	0.270	0.200	0.050	0.030	0.050
胃 Stomach	C/g	27.450	14.140	0.580	0.180	0.740
	W/g	3.070	2.560	0.150	0.140	0.160
	D/g	0.470	0.470	0.020	0.020	0.020
小肠 Small intestine	L/cm	156.65	144.32	33.69	40.61	39.80
	C/g	6.120	8.450	0.600	0.460	0.610
	W/g	3.210	1.730	0.100	0.100	0.260
	D/g	0.560	0.130	0.010	0.010	0.030
盲肠 Caecum	L/cm	12.15	8.46	8.61	4.62	3.19
	C/g	9.090	6.790	0.110	0.140	0.310
	W/g	1.730	1.410	0.050	0.050	0.110
	D/g	0.310	0.180	0.007	0.010	0.010
大肠 Large intestine	L/cm	46.35	36.42	10.32	13.11	7.51
	C/g	8.130	5.470	0.230	0.320	0.180
	W/g	1.780	1.870	0.130	0.160	0.120
	D/g	0.290	0.180	0.020	0.020	0.010

L: 长度 length, C: 含内容物鲜重 fresh weight including contents, W: 湿重 wet weight, D: 干重 dry weight

2 结果

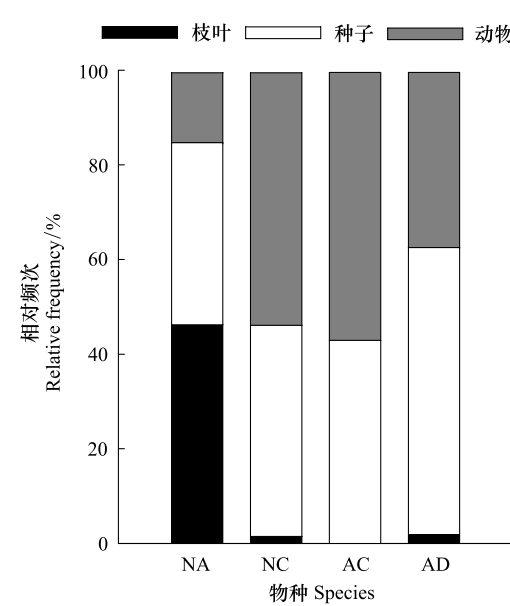
2.1 食性差异分析

不同鼠类胃内容物食糜组成及其出现的相对频次见图 1。卡方分析结果显示不同鼠类食物中各成分出现的相对频次差异明显($\chi^2=83.7$, $df=6$, $P<0.001$)。安氏白腹鼠食物组成中以枝叶(相对频次为 46.2%)和种子(38.5%)为主,动物性食物(15.4%)为辅;社鼠食物组成中以动物性食物(53.9%)和种子(44.6%)为主,含少量枝叶(1.5%);高山姬鼠食物组成中仅种子(42.9%)和动物性食物(57.1%);中华姬鼠食物组成中主要是植物种子(60.4%)、动物性食物(37.5%),夹杂少量植物枝叶(2.1%)。

2.2 不同鼠类体重、体长和胴体重差异

不同鼠类体重、体长和胴体重的平均值如图 2 所示。单因素方差分析结果显示,不同鼠类间体重($F_{3,211}=243.75$, $P<0.001$)、体长($F_{3,211}=183.50$, $P<0.001$)、胴体重($F_{3,211}=234.78$, $P<0.001$)有显著差异,均以安氏白腹鼠具最大值,社鼠次之,高山姬鼠和中华姬鼠最小(LSD 分析结果依次为: $P<0.002$;

$P<0.001$; $P<0.001$)。



物种 Species	枝叶 (Branches/Leaves) %	种子 (Seeds) %	动物 (Animals) %
NA (安氏白腹鼠)	46.2	38.5	15.4
NC (社鼠)	1.5	44.6	53.9
AC (高山姬鼠)	0	42.9	57.1
AD (中华姬鼠)	2.1	60.4	37.5

图 1 不同鼠类胃内容物食糜成分及相对频次

Fig.1 Relative frequency of occurrence and component of food items among different rodents

NA: 安氏白腹鼠 *Niviventer andersoni*; NC: 社鼠 *Niviventer confucianus*; AC: 高山姬鼠 *Apodemus chevrieri*; AD: 中华姬鼠 *Apodemus draco*

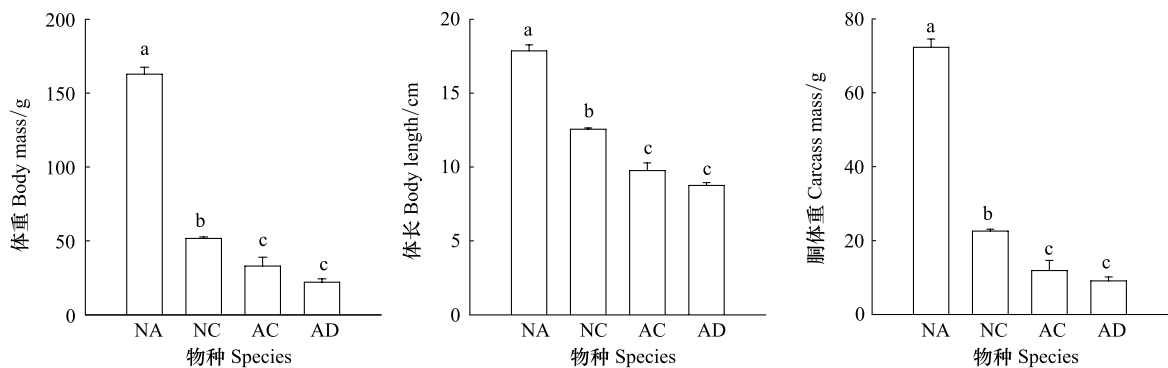


图2 不同鼠类体重、体长和胴体重差异

Fig.2 Body mass, body length and carcass mass of different rodents

NA:安氏白腹鼠 *N. andersoni*;NC:社鼠 *N. confucianus*;AC:高山姬鼠 *A. chevrieri*;AD:中华姬鼠 *A. draco*

2.3 不同鼠类脏器重量差异

不同鼠类间心、肺、肝、脾、肾重量矫正值见表2。以胴体重为协变量的单因素协方差分析结果显示:不同鼠类间心鲜重、肺鲜重、脾鲜重和干重无显著差异,而心干重、肺干重、肝鲜重和干重、肾鲜重和干重差异显著,均以安氏白腹鼠、社鼠值较大,高山姬鼠和中华姬鼠值较小,但各自变化趋势不同。心干重中,安氏白腹鼠与社鼠、高山姬鼠、中华姬鼠差异显著(LSD: $P<0.001$),后三者间无显著差异。肺干重

中,安氏白腹鼠与社鼠、高山姬鼠、中华姬鼠有显著差异(LSD: $P<0.001$),后三者间社鼠与高山姬鼠之间、高山姬鼠与中华姬鼠之间无显著差异。肝鲜重和干重中,安氏白腹鼠与社鼠、高山姬鼠、中华姬鼠有显著差异(LSD 分析结果依次为: $P<0.003$, $P<0.001$),后三者间高山姬鼠与中华姬鼠之间无显著差异。肾鲜重和干重中,社鼠与安氏白腹鼠无显著差异,而显著大于高山姬鼠和中华姬鼠(LSD 分析结果依次为: $P<0.025$; $P<0.008$)。

表2 不同鼠类脏器重量

Table 2 Variations in visceral organ mass of different rodents

		安氏白腹鼠 <i>Niviventer andersoni</i>	社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	高山姬鼠 <i>Apodemus chevrieri</i>	中华姬鼠 <i>Apodemus draco</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
样本量 Sample size		8	167	5 or 4 or 3	35 or 34 or 28		
心 Heart	W/g	0.358±0.072	0.317±0.008	0.298±0.050	0.277±0.024	0.82	0.484
	D/g	0.173±0.20a	0.089±0.002b	0.082±0.014b	0.080±0.007b	5.99	0.001
肺 Lung	W/g	0.836±0.134	0.616±0.016	0.509±0.093	0.492±0.045	2.39	0.070
	D/g	0.270±0.033a	0.154±0.004b	0.128±0.023bc	0.118±0.011c	4.85	0.003
肝 Liver	W/g	3.271±0.417a	2.015±0.049b	1.282±0.322c※	1.433 ±0.141c [#]	6.21	<0.001
	D/g	1.142±0.136a	0.608±0.016b	0.394±0.105c※	0.427±0.046c [#]	6.96	<0.001
脾 Spleen	W/g	0.078±0.130	0.200±0.015	0.162±0.115 [*]	0.178±0.047 [*]	2.46	0.064
	D/g	0.014± 0.033	0.051±0.004	0.033±0.029 [*]	0.041±0.012 [*]	1.26	0.289
肾 Kidney	W/g	0.313±0.077ab	0.391±0.009a	0.254±0.060b [*]	0.308±0.026b	6.93	<0.001
	D/g	0.081±0.019ab	0.105±0.002a	0.066±0.014b [*]	0.078±0.006b	11.74	<0.001

各数值以胴体重为协变量的矫正值±标准误表示;同一行上标字母不同表示差异显著;W:湿重,D:干重;标有※,&,#,*的样本量分别为4,3,34,28

2.4 不同鼠类间消化道形态差异

以体长为协变量的单因素协方差分析结果显示:不同鼠类间盲肠长无显著差异,小肠长和大肠长度差异显著(表3)。小肠长度中,安氏白腹鼠与社

鼠值较大,高山姬鼠和中华姬鼠值较小(LSD: $P<0.001$)。大肠长度中,安氏白腹鼠大于社鼠、高山姬鼠和中华姬鼠,且与三者差异显著(LSD: $P<0.001$),后三者间社鼠与高山姬鼠、高山姬鼠与中华姬鼠之

间大肠长无显著差异。

以胴体重为协变量的单因素协方差分析结果显示:不同鼠类间盲肠净鲜重、干重无显著差异,其他指标差异显著(表 3)。其中,小肠内容物鲜重、净鲜重、干重中在社鼠中值最大,各自变化趋势不同:社鼠小肠含内容物鲜重与中华姬鼠差异显著($LSD:P<0.003$),与安氏白腹鼠、高山姬鼠无显著差异;其净鲜重与安氏白腹鼠、中华姬鼠间差异显著($LSD:P<0.025$),与高山姬鼠无显著差异;干重与安氏白腹鼠

差异显著($LSD:P<0.009$),与高山姬鼠、中华姬鼠无显著差异。其他指标均在安氏白腹鼠中出现最大值,各自变化趋势不同:安氏白腹鼠胃净鲜重与中华姬鼠、高山姬鼠差异显著($LSD:P<0.014$),与社鼠无显著差异;另六个指标(胃含内容物鲜重、胃干重、盲肠含内容物鲜重、大肠含内容物鲜重、大肠净鲜重、大肠干重)均与社鼠、高山姬鼠、中华姬鼠差异显著(LSD 分析结果依次为: $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.031$ 、 $P<0.040$)。

表 3 不同鼠类间消化道形态差异
Table 3 Variations in digestive tract of different rodents

		安氏白腹鼠 <i>Niviventer andersoni</i>	社鼠 <i>Niviventer confucianus</i>	高山姬鼠 <i>Apodemus chevrieri</i>	中华姬鼠 <i>Apodemus draco</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
样本量 Sample size		8	167	5	35		
胃 Stomach	C/g	6.142 ± 0.841a	2.301 ± 0.098b	1.209 ± 0.583bc	1.383 ± 0.281c	7.50	<0.001
	W/g	0.846 ± 0.126a	0.608 ± 0.015a	0.415 ± 0.087b	0.467 ± 0.042b	4.02	0.008
	D/g	0.195 ± 0.023a	0.104 ± 0.003b	0.070 ± 0.016c	0.076 ± 0.008c	6.61	<0.001
小肠 Small intestine	L/cm	68.76 ± 3.77a	66.75 ± 0.63a	46.25 ± 3.55b	40.47 ± 1.99b	58.58	<0.001
	C/g	1.187 ± 0.447ab	2.036 ± 0.052a	1.652 ± 0.310ab	1.545 ± 0.149b	8.50	<0.001
	W/g	0.028 ± 0.297b	1.002 ± 0.035a	0.740 ± 0.206abc	0.761 ± 0.099c	11.52	<0.001
	D/g	0.013 ± 0.049b	0.141 ± 0.006a	0.116 ± 0.034ab	0.110 ± 0.016ab	6.44	<0.001
盲肠 Caecum	L/cm	9.65 ± 2.69	7.00 ± 0.45	5.42 ± 2.54	6.19 ± 1.42	0.40	0.754
	C/g	2.940 ± 0.323a	1.139 ± 0.038b	0.556 ± 0.224c	0.675 ± 0.108c	11.67	<0.001
	W/g	0.258 ± 0.179	0.370 ± 0.021	0.329 ± 0.124	0.343 ± 0.060	0.40	0.752
	D/g	0.114 ± 0.069	0.086 ± 0.008	0.071 ± 0.048	0.055 ± 0.023	0.57	0.637
大肠 Large intestine	L/cm	32.21 ± 2.11a	22.19 ± 0.35b	19.43 ± 1.99bc	16.09 ± 1.11c	10.78	<0.001
	C/g	2.278 ± 0.377a	0.957 ± 0.044b	0.662 ± 0.261bc	0.547 ± 0.126c	4.87	0.003
	W/g	0.781 ± 0.139a	0.408 ± 0.016b	0.380 ± 0.096bc	0.261 ± 0.046c	3.65	0.013
	D/g	0.113 ± 0.021a	0.052 ± 0.002b	0.056 ± 0.014b	0.037 ± 0.007b	3.34	0.020

各数值以胴体重或体长为协变量的矫正平均值±标准误表示;同一行上标字母不同表示差异显著;L:长度,C:含内容物鲜重,W:湿重,D:干重

4 讨论

啮齿类动物作为森林生态系统的初级消费者,在整个生态系统的物质循环和能量流动上起着重要作用^[20]。食性分析,作为种群生态学研究的基本内容之一,有利于了解动物与环境间的相互关系^[21],且研究某一生境内不同啮齿动物的食性差异,有利于了解其共存机制^[20]。安氏白腹鼠、社鼠、高山姬鼠、中华姬鼠在食物组成上虽有重叠,但各自偏好不同。同属白腹鼠属的安氏白腹鼠和社鼠食性差异较大,安氏白腹鼠主食植物枝叶和种子,社鼠主食植物种子和动物性食物。同属姬鼠属的高山姬鼠和中华姬鼠均喜食植物种子和动物性食物,但两者出现的

相对频次在两鼠中略有差别,中华姬鼠相对于高山姬鼠更喜食植物种子。值得注意的是,社鼠和高山姬鼠食物中动物性食物出现频次超过 50%,可能与秋季昆虫数量丰富,易被捕获有关。但就观察到的总生物量而言,各个鼠类所摄食的种子性食物比例要超出其他食物。

与食性及各自生态习性相适应,4 种啮齿类动物的脏器形态也表现出相应的差异。心、肺和肾与动物的代谢功能密切相关,高代谢率的动物,具有较大的心、肺和肾^[22-23]。安氏白腹鼠心、肺、肾出现较大值,与其栖息海拔较高有关。安氏白腹鼠主要栖息在接近 2000—3000m 的高山森林中^[24],高海拔的低温,心、肺、肾重量的增加有利于动物对寒冷气候的

适应。肝脏是动物体内的一个重要产热器官,与环境温度、光周期、食物质量密切相关^[25]。在逐渐缩短的光周期、低温及高纤维的食物质量条件下,动物的肝相对增加^[26-27]。安氏白腹鼠的肝重量显著大于社鼠、高山姬鼠和中华姬鼠,与其栖息海拔及食物组成中植物纤维含量较高密切相关。脾脏是动物体内重要的免疫器官,野外环境恶劣的情况下,脾脏重量增加可以提高机体的免疫能力^[25],且动物的免疫能力与环境温度及营养状态密切相关^[28]。季节性低温下棉鼠(*Sigmodon hispidus*)脾脏在冬季达到最大^[29],而社鼠则无明显变化^[22],冷驯化条件下长爪沙鼠脾脏重量亦无明显变化^[30]。Liu 和 Wang^[26]指出长爪沙鼠在食用高纤维的食物时,脾脏重量会明显下降。本文中安氏白腹鼠食物中纤维含量较高,且其栖息海拔亦较其他 3 种鼠类要高,但其脾脏重量却与其他 3 种鼠类无显著差异,可能与光周期、温度和食物质量的综合作用有关。

胃是动物暂时性储藏食物进行初步消化的场所,其大小与动物的食性、食物质量、繁殖状态等因素密切相关^[31]。胃的各项指标中,安氏白腹鼠胃内容物鲜重、净鲜重和干重要大于社鼠、高山姬鼠和中华姬鼠,与安氏白腹鼠食物构成中富含高纤维的枝叶有关。食物营养低、质量较差时,胃容积相应增大,有利于增加单次取食活动中食物的摄取量,缩短觅食时间,提高取食效率,同时降低被捕食风险^[1,32]。小肠是营养物质消化和能量吸收的主要场所,反映动物对能量需求的大小,当动物能量需求增加时,小肠长度和重量相应增加^[33]。本研究中,小肠长度以安氏白腹鼠最大,但其与社鼠无显著差别,重量各指标均以社鼠显著大于其它 3 种鼠类。社鼠遍布中国南部、中部和东部的高地,是栖息在从原始森林到耕地的各种栖息地的优势种,其分布范围广于其它 3 种鼠类^[24],较小的小肠,有利于高质量的食物直接在小肠内消化吸收以提供能量,从而适应不同生境条件下的能量需求,此暗示着社鼠的消化系统在应对不同的生境时具有较高的可塑性。盲肠是纤维素发酵的部位,当食物中纤维含量增加时,盲肠相应增大^[34-35]。本研究中安氏白腹鼠食物组成中出现纤维含量高的植物枝叶,但其盲肠各指标中仅含内容物鲜重与其他鼠类差异显著,其余指标未表现出显著差异。这可能与食物组成有关,虽然食

物组成上茎叶出现比例高达 46.2%,但就总生物量而言要小于种子的摄取量,纤维含量有可能未达到引起肠道改变的阈值;其次,肠道组织的维持是个极为耗能的过程^[9],在权衡能量消耗和能量获取利弊上,可能导致其未发生显著变化。大肠是吸收经盲肠分解后的纤维素中营养物质和能量的部位,其大小与食物质量密切相关^[35];除此之外,大肠还是水分和离子的吸收部位^[23,36],本文中安氏白腹鼠大肠各指标均显著大于其他鼠类,这可能与安氏白腹鼠主要栖息于高山林地,水源不充足有关。

值得注意的是,同域分布的近缘物种高山姬鼠和中华姬鼠的食物组成、脏器重量及消化道形态无显著差异,黎运喜等^[37]在研究唐家河保护区高山姬鼠和中华姬鼠共存机制中指出其空间生态位和生境利用方式上的不同是其达到相互适应、长期共存的基础。神农架地区高山姬鼠和中华姬鼠的共存有可能亦与此相关,尚需进一步研究。此外,本文较为遗憾的是所捕获的小泡巨鼠和猪尾鼠数量稀少,未能进行统计分析,以期今后能提高样本量,深入探讨神农架林区内小型哺乳动物共存机制。

致谢:野外和室内工作得到湖北神农架国家级自然保护区管理局、龙门河林场、湖北神农架森林生态系统国家野外观察研究站工作人员的支持和帮助;澳大利亚青年大使 Lily van Eeden 润色英文摘要,特此致谢。

References:

- [1] Li J S, Song Y L, Zeng Z G. A comparison of the content and morphology of seven desert rodent species. *Acta Zoologica Sinica*, 2003, 49(2): 171-178.
- [2] Yang C W. Research on species coexistence of five kinds of rodents in forestry area in northeast [D]. Haerbing: Northeast Forestry University, 2007.
- [3] Mulungu L S, Massawe A W, Kennis J, Crauwels D, Eiseb S, Mahalaba T A, Monadjem A, Makudi R H, Katakweba A, Leirs H, Belmain S R. Differences in diet between two rodent species, *Matomys natalensis* and *Gerbilliscus vicinus*, in fallow land habitats in central Tanzania. *African Zoology*, 2011, 46(2): 387-392.
- [4] Jones M E, Barmuta L A. Niche differentiation among sympatric Australian dasyurid carnivores. *Journal of Mammalogy*, 2000, 81(2): 434-447.
- [5] Arlettaz R. Habitat selection as a major resource partitioning mechanism between the two sympatric sibling bat species *Myotis myotis* and *Myotis blythii*. *Journal of Animal Ecology*, 1999, 68

- (3): 460-471.
- [6] Kincaid W B, Cameron G N. Dietary variation in three sympatric rodents on the Texas coastal prairie. *Journal of Mammalogy*, 1982, 63(4): 668-672.
- [7] Fan N C, Zhang D C. Foraging behavior of *Ochotona curzontae* and *Ochotona daurica* and their adaptation to habitat. *Acta Theriologica Sinica*, 1996, 16(1): 48-53.
- [8] Xu X J, Lv J W, Xie Z L, Ji S B, Zhou S T, Wang C H. Digestive tract morphology of *Apodemus agrarius manthuristicus* and *Cricetulus barabensis manchuricus* in the plantation of lower Nenjiang valley. *Chinese Journal of Zoology*, 2008, 43(6): 131-136.
- [9] Wang D H, Wang Z W. Seasonal variations in gastrointestinal tract morphology in plateau zokor (*Myospalax beileyi*). *Acta Theriologica Sinica*, 2000, 20(4): 270-276.
- [10] Chen W W, Zhong J, Liu S X, Chen F Q, Xie Z Q, Jiang G H, Zhou Y B. Variation in food habits and digestive tract morphology of the Chinese white-bellied rat (*Niviventer confucianus*) among different forest types. *Acta Theriologica Sinica*, 2012, 32(2): 168-174.
- [11] Pucek Z. Seasonal and age changes in the weight of internal organs of shrews. *Acta Theriologica*, 1965, 10(26): 369-438.
- [12] Liao L F, Li W, Wang C, Nie S C. The growth index and its changes of main internal organs in *Cricetulus migratorius*. *Acta Theriologica Sinica*, 2002, 22(4): 299-304.
- [13] Kotler B P, Brown J S. Mechanisms of coexistence of optimal foragers as determinants of local abundances and distributions of desert granivores. *Journal of Mammalogy*, 1999, 80(2): 361-374.
- [14] Li Y M, Xu L, Ma Y, Yang J Y, Yang Y H. The species richness of nonvolant mammals in Shennongjia Nature Reserve, Hubei Province, China; distribution patterns along elevational gradient. *Biodiversity Science*, 2003, 11(1): 1-9.
- [15] Shen Z H, Hu H F, Zhou Y, Fang J Y. Altitudinal patterns of plant species diversity on the southern slope of Mt. Shennongjia, Hubei, China. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 99-107.
- [16] Tian Z Q, Chen Y, Chen W L, Hu D. Vegetation mapping and analysis at Longmenhe region, Shennongjia, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(Z1): 30-39.
- [17] Luo Z X. Age distribution of the striped field mouse populations in the Ta-khing mountains and sakiang plans of northeastern China. *Acta Zoologica Sinica*, 1963, 15(3): 382-396.
- [18] Luo Z X, Fan Z Q. Specific differences of *Rattus Niviventer* and *R. coxingi* occurring sympatrically in the western highland of Szechwan province. *Acta Zoologica Sinica*, 1965, 27(3): 334-342.
- [19] Bao W D, Wang D H, Wang Z W. Seasonal changes of food habits in striped hamster (*Cricetulus barabensis*) in Kubuqi Desert, Inner Mongolia. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, 20(4): 72-73.
- [20] Yong Z Y, Guo C, Zhang M W, Wang Y, Li B. Significance and methodology of rodent's food habit research. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(11): 2637-2645.
- [21] Tie J, Zhang J, Peng L P, Wang D X, Hu D F, Zhang Z X. Feeding habits of *Rhinopithecus roxellana* in Shennongjia Nature Reserve of China in winter and spring. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(1): 62-68.
- [22] Du W G, Bao Y X, She L Q, Yu H Y. Seasonal variations of visceral organ mass and water content in *Niviventer confucianus*. *Chinese Journal of Zoology*, 1999, 34(1): 23-25.
- [23] Chen W W, Liu S X, Zhong J, Jiang G H, Zhou Y B, Chen F Q, Xie Z Q. Visceral organ mass of *Niviventer confucianus* among five forest types in Shennongjia forestry region. *Sichuan Journal of Zoology*, 2012, 31(6): 945-949.
- [24] Andrew T S, Yan X. *Aguide to the mammals of China*. Changsha: Hunan Education Press, 2009.
- [25] Zhang Z Q, Wang D H. Seasonal variations of visceral organ mass and gut length in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*). *Acta Theriologica Sinica*, 2009, 29(3): 294-301.
- [26] Liu Q S, Wang D H. Effects of diet quality on phenotypic flexibility of organ size and digestive function in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*). *Journal of Comparative Physiology B*, 2007, 177(5): 509-518.
- [27] Zhang Z Q, Zhang L N, Wang D H. Effects of reducing photoperiod and temperature on energy metabolism and body composition in Brandt's voles (*Lasiopodomys brandtii*). *Acta Theriologica Sinica*, 2007, 27(1): 18-25.
- [28] Zhang Z Q, Wang D H. Animal immunocompetence and its effect on population regulation and life history trade-off. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(7): 1375-1379.
- [29] Lochmiller R L, Vestey M R, Memurry S T. Temporal variation in humoral and cell-mediated immune response in a *Sigmodon hispidus* population. *Ecology*, 1994, 75(1): 236-245.
- [30] Steffen J M, Roberts J C. Temperature acclimation in the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*): biochemical and organ weight changes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 1977, 58(3): 237-242.
- [31] Wang B, Zhu W L, Lian X, Wang Z K. Seasonal variations of the digestive tract morphology in *Apodemus chevrieri* distributed in Hengduan Mountains region. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 1719-1724.
- [32] Zhu W L, Yang S C, Zhang L, Wang Z K. Seasonal variations of body mass, thermogenesis and digestive tract morphology in *Apodemus chevrieri* in Hengduan mountain region. *Animal Biology*, 2012, 62(4): 463-478.
- [33] Du W G, Bao Y X. Seasonal variations in length and weight of the digestive tracts in *Rattus Niviventer confucianus* and *Rattus Norvegicus*. *Acta Zoologica Sinica*, 2000, 46(3): 271-277.

- [34] Sassi P L, Borghi C E, Bozinovic F. Spatial and seasonal plasticity in digestive morphology of cavies (*Microcavia australis*) inhabiting habitats with different plant qualities. *Journal of Mammalogy*, 2007, 88(1): 165-172.
- [35] Du W G, Bao Y X. Seasonal variations in length and weight of digestive tract in *Rattus Niviventer confucianus*. *Acta Zoologica Sinica*, 1998, 44(1): 112-114.
- [36] Sheng L, Wang Y, Wang J, Hu Z J, Zhang M W, Li B. Seasonal changes in weight and length of digestive tract of striped field mouse (*Apodemus agrarius*) in three ecosystems in Dongting Lake region. *Sichuan Journal of Zoology*, 2005, 24(2): 132-137.
- [37] Li Y X, Zhang Z J, Sun Y R, Chen L M, Yang X G, Hu J C. A comparison of summer habitats selected by sympatric *Apodemus chevrieri* and *Apodemus draco* in Tangjiahe Nature Reserve, Chian. *Acta Ecologic Sinica*, 2012, 32(4): 1241-1248.
- [16] 田自强,陈玥,陈伟烈,胡东. 神农架龙门河地区的植被制图及植被现状分析. *植物生态学报*, 2002, 26: 30-39.
- [17] 罗泽珣. 大兴安岭及三江平原黑线姬鼠的种群年龄组成. *动物学报*, 1963, 15(3): 382-396.
- [18] 罗泽珣,范志勤. 川西林区社鼠与白腹鼠中间差异的探讨. *动物学报*, 1965, 27(3): 334-342.
- [19] 鲍伟东,王德华,王祖望. 内蒙古库布齐沙地黑线仓鼠食物构成的季节变化. *生态学杂志*, 2001, 20(4): 72-73.
- [20] 雍仲禹,郭聪,张美文,王勇,李波. 啮齿动物食性研究的意义及方法评述. *生态学杂志*, 2011, 30(11): 2637-2645.
- [21] 铁军,张晶,彭林鹏,王大兴,胡德夫,张志翔. 神农架川金丝猴冬春季食性分析. *生态学杂志*, 2010, 29(1): 62-68.
- [22] 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.
- [23] 陈文文,刘三峡,钟杰,江广华,周友兵,陈芳清,谢宗强. 神农架林区 5 种林型中社鼠脏器的重量. *四川动物*, 2012, 31(6): 945-949.
- [24] Andrew T S, 解焱. 中国兽类野外手册. 长沙: 湖南教育出版社, 2009.
- [25] 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.
- [27] 张志强,张丽娜,王德华. 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*, 2007, 27(1): 18-25.
- [28] 张志强,王德华. 免疫能力与动物种群调节和生活史权衡的关系. *应用生态学报*, 2005, 16(7): 1375-1379.
- [31] 王蓓,朱万龙,练硝,王政昆. 横断山区高山姬鼠消化道形态的季节动态. *生态学报*, 2009, 29(4): 1719-1724.
- [33] 杜卫国,鲍毅新. 社鼠和褐家鼠消化道长度和重量的季节变化. *动物学报*, 2000, 46(3): 271-277.
- [35] 杜卫国,鲍毅新. 社鼠消化道长度和重量的季节变化. *动物学报*, 1998, 44(1): 112-114.
- [36] 沈丽,王勇,王劼,胡忠军,张美文,李波. 洞庭湖不同生态类型区黑线姬鼠消化道重量和长度的季节变化. *四川动物*, 2005, 24(2): 132-137.
- [37] 黎运喜,张泽钧,孙宜然,谌利民,杨学贵,胡锦鑫. 唐家河自然保护区高山姬鼠和中华姬鼠夏季生境选择的比较. *生态学报*, 2012, 32(4): 1241-1248.
- 参考文献:**
- [1] 李俊生,宋延龄,曾治高. 7 种荒漠啮齿动物食物组成与消化道长度的比较. *动物学报*, 2003, 49(2): 171-178.
- [2] 杨春文. 东北主要林区森林五种啮齿动物共存机制研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
- [7] 樊乃昌,张道川. 高原鼠兔与达乌尔鼠兔的摄食行为及对栖息地适应性的研究. *兽类学报*, 1996, 16(1): 48-53.
- [8] 徐兴军,吕建伟,谢振丽,计沈斌,周双涛,王昌河. 嫩江下游人工林中黑线姬鼠与黑线仓鼠的消化道形态及其取食策略. *动物学杂志*, 2008, 43(6): 131-136.
- [9] 王德华,王祖望. 高寒地区高原鼯鼠消化道形态的季节变化. *兽类学报*, 2000, 20(4): 270-276.
- [10] 陈文文,钟杰,刘三峡,陈芳清,谢宗强,江广华,周友兵. 不同森林类型中社鼠食性和消化道形态变化. *兽类学报*, 2012, 32(2): 168-174.
- [12] 廖力夫,黎唯,王诚,聂时敏. 灰仓鼠重要内脏器官生长指数及其变化. *兽类学报*, 2002, 22(4): 299-304.
- [14] 李义明,许龙,马勇,杨敬元,杨玉慧. 神农架自然保护区非飞行哺乳动物的物种丰富度: 沿海拔梯度的分布格局. *生物多样性*, 2003, 11(1): 1-9.
- [15] 沈泽昊,胡会峰,周宇,方精云. 神农架南坡植物群落多样性的海拔梯度格局. *生物多样性*, 2004, 12(1): 99-107.