

金华北山三种啮齿动物身体热值、脂肪和水分含量的研究

杜卫国¹, 鲍毅新², 施利强², 金伟星², 俞华英²

(1. 杭州师范学院生物学系, 杭州 310036; 2. 浙江师范大学生物学系, 金华 321004)

摘要:研究了浙江金华 3 种啮齿动物的身体热值、脂肪含量和水分含量。成年社鼠、褐家鼠和白腹巨鼠生物量热值季节变动范围分别为 6.209~7.657KJ/g, 6.153~7.096KJ/g, 6.199~12.033KJ/g; 水分含量为 66.64%~69.75%, 67.48%~70.19%, 56.64%~72.37%; 灰分含量不存在季节差异, 年平均值分别为 12.50%, 12.23%, 10.49%。社鼠脂肪含量春、夏季高于秋冬季, 与繁殖密切相关; 褐家鼠脂肪含量没有季节差异; 白腹巨鼠脂肪含量则是冬季明显高于春、夏季。脂肪含量的种间差异与动物环境条件和对寒冷的适应对策不同有关, 同时也反映了种的动物地理史。春季成年社鼠的水分含量高于亚成年个体, 褐家鼠春、秋季幼年个体的脂肪含量生物量热值低于成年和亚成年个体。动物水分含量与脂肪含量呈显著负相关。

关键词:社鼠; 褐家鼠; 白腹巨鼠; 身体热值; 脂肪含量; 水分含量

Energy density of body, lipid and water contents in three species of rodents from Jinhua, Zhejiang

DU Wei-Guo¹, BAO Yi-Xin², SHI Li-Qiang², JIN Wei-Xing², YU Hua-Ying² (1. Department of Biology, Hangzhou Normal College, Hangzhou 310036, China; 2. Department of Biology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: Energy density of body, lipid and water contents in three species of rodents, from Jinhua, Zhejiang, were determined. Energy density in biomass of adult bodies ranged seasonally from 6.209 to 7.657 KJ/g for *Rattus niviventer confucianus*, from 6.153 to 7.096 KJ/g for *R. norvegicus*, and from 6.199 to 12.033 KJ/g for *R. edwardsi*. The seasonal variations of water contents in the three species were 66.64%~69.75%, 67.48%~70.19%, 56.64%~72.37%, respectively. However, no significant seasonal changes were found in ash contents, with the annually average of 12.50%, 12.23%, 10.49%, respectively. We found lipid contents for *R. n. confucianus* were higher in spring and summer than those in autumn and winter, and the seasonal changes correlated with the reproductive activity. In contrast to, lipid contents in winter were higher than that in spring and autumn for *R. edwardsi*. In *R. norvegicus*, we could not found seasonal variations in lipid contents. Environmental condition and strategy of adaptation to the cold weather were responsible to the interspecific difference of lipid contents, which reflected the zoogeographic history of the species involved. Water contents of subadults and adults of *R. n. confucianus* differed significantly during spring, and Energy density of body and lipid contents of juveniles were lower than those of adults and subadults in *R. norvegicus* during spring and winter. We also found water contents negatively correlated with lipid contents in the three species.

Key words: *Rattus niviventer confucianus*; *R. norvegicus*; *R. edwardsi*; Energy density of body; lipid content; water content

文章编号: 1000-0933(2000)01-0155-05 中图分类号: Q958.1 文献标识码: A

小型啮齿动物身体储存的能量和营养成分是生态系统能流和物质流的重要组成部分。身体热值和脂肪含量等数据是能流研究中必不可少的基础资料,随着生态系统能流研究的开展和深入,需要更加完备的数据。有关啮齿动物热值和脂肪含量的研究国外在六七十年代已有较多的报道,如同一季节测定的动物热值^[1~3],热值的季节变化^[4~5]以及脂肪含量的季节变化^[6~7]。国内这方面的研究始于 80 年代,曾缙祥等^[8]研究了高山草甸 3 种啮齿动物热值、脂肪和水分含量的季节变化;陈俨梅^[9]报道了内蒙古草原生态系统中 4 种小型啮齿动物的身体组成成分。总之,国内研究数据尚非常缺乏,尤其是在我国南方,进一步的积累基础数据是深入能学研究所必需的。

社鼠(*Rattus niviventer confucianus*)是亚热带山林金华北山啮齿动物的优势种^[10],褐家鼠(*Rattus norvegicus*)是家栖环境的优势种,白腹巨鼠(*Rattus edwardsi*)则是较为典型的南方种^[11]。本文对金华北山地区的这 3 种啮齿动物进行了研究,旨在了解 3 种啮齿动物身体组成的季节变化及 3 种啮齿动物身体组成的种间差异。

1 材料与方 法

实验动物社鼠($n=115$)、白腹巨鼠($n=25$)和褐家鼠($n=104$)于 1995 年 3 月~1996 年 2 月和 1997 年 4 月~1998 年 3 月捕自金华北山(社鼠、白腹巨鼠)及其附近居民区(褐家鼠)。捕获当天带回实验室称重、鉴定性别,解剖去除胃内容物,然后在 65℃ 恒温干燥箱中烘至恒重,整体粉碎后作为待测样品。每一样品取一部分用长沙仪器厂制造的 GR-3500 型氧弹式热量计测定热值,另取一部分样品用索氏脂肪抽提仪测定脂肪含量(55℃ 下抽提 5h,分析纯乙醚作为抽提溶剂),干物质灰分含量是样品燃烧后称取残留的灰分所得。同时,1997 年按季节缺捕社鼠和褐家鼠,解剖获得胃内容物,烘干称重并测能值。

3 种鼠各指标雌雄差异不显著(所有 $P>0.05$),故合并计算。社鼠年龄划分参照鲍毅新等的标准^[12],褐家鼠参照杨再学的标准^[13],白腹巨鼠体重大于 350 g 者被视为成体。

数据以春(3、4、5 月份),夏(6、7、8 月份),秋(9、10、11 月份),冬(12、1、2 月份)四季统计,所有统计分析借助 Statistica 软件完成,在进行参数检验前,先用 Kolmogorov-Smirnov 和 F-max 分别检验数据正态性和方差均一性,经检验,部分数据经 Ln 转化后符合参数分析的条件。本研究涉及的参数统计方法有 t 检验、单因素方差分析、Post-hoc 比较(Tukey's 检验)和相关性分析等。显著性水平设置为 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 社鼠、褐家鼠和白腹巨鼠身体热值的季节变化

生物量热值(每克鲜重热值)在生物能学研究中能对能量流的计算最为有用,因为生物量热值用于全部生物能学的转换^[8],成年社鼠生物量热值夏季最高,其他季节无明显差异($F_{3,70}=15.97, P<0.00001$);成年褐家鼠则是夏季最高,冬季最低,两季差异显著($F_{3,48}=4.22, P<0.01$);成年白腹巨鼠身体热值的季节变动趋势不同于前两种鼠类,表现为冬季显著高于秋、春季,且比春季高出 94%($F_{2,17}=39.46, P<0.00001$)。秋、冬季白腹巨鼠的生物量热值明显高于其他两种鼠(秋季: $F_{2,33}=4.99, P<0.05$;冬季: $F_{2,34}=160.87, P<0.00001$),但在春季三者差异不明显($F_{2,33}=0.51, P=0.61$)(图 1)。

社鼠成体与亚成体生物量热值的差异仅存在于春季($t=2.59, df=30, P<0.05$),且亚成体(7.369 ± 0.156 KJ/g, $n=14$)高于成体(6.537 ± 0.176 KJ/g, $n=18$),其他季节生物量热值无年龄差异;每克干重热值也没有明显差异($t=1.65, df=30, P=0.19$)。褐家鼠春、秋季生物量热值幼年个体最低(春季: $F_{2,20}=5.79, P<0.01$;秋季: $F_{3,16}=5.30, P<0.05$),但干重热值无年龄差异(春季: $F_{2,20}=0.38, P=0.69$;秋季: $F_{3,16}=3.13, P=0.06$);夏季与秋季的生物量和干重热值皆无年龄差异(所有 $P>0.05$)。

2.2 社鼠、褐家鼠和白腹巨鼠脂肪含量和水分含量的季节变化

单因素方差分析表明,春、夏季成年社鼠的脂肪含量明显高于秋、冬季($F_{3,70}=25.07, P<0.00001$);成年褐家鼠虽表现为春季略高,但季节差异不显著($F_{3,48}=1.57, P=0.21$);成年白腹巨鼠的脂肪含量季节变化不同于上述两者,其冬季脂肪含量分别比秋、春季高 177%和 129%($F_{2,17}=12.23, P<0.01$)。脂肪含量的种间差异与生物量热值相似,秋、冬季以白腹巨鼠最高,褐家鼠次之,社鼠最低(图 2)。

各季节社鼠脂肪含量不存在明显的年龄间差异(所有 $P>0.05$)。春季褐家鼠脂肪含量存在明显的年

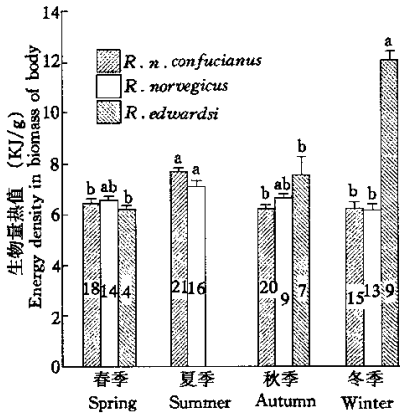


图 1 社鼠、褐家鼠和白腹巨鼠生物量热值的季节变化

Fig. 1 Seasonal changes of energy density in biomass of body for *Rattus niviventer confucianus*, *R. norvegicus* and *R. edwardsi*.

数据用平均值±标准误表示,柱柱中注明样本数,不同上标的平均值之间差异显著(Tukey's 检验)Data are expressed as mean±SE. Numbers in the bars are sample sizes. Means with different superscripts are statistically different (Tukey's test)

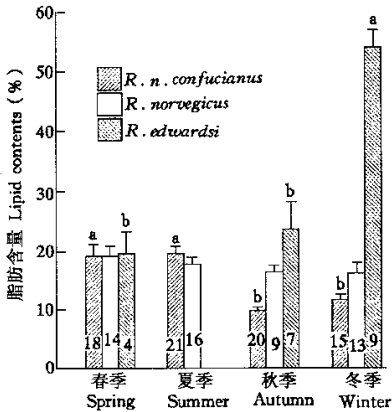


图 2 社鼠、褐家鼠和白腹巨鼠脂肪含量的季节变化

Fig. 2 Seasonal changes of lipid contents for *Rattus niviventer confucianus*, *R. norvegicus* and *R. edwardsi*

数据同图 1 Data are as same as fig. 1

于繁殖前期储备大量能量,以备繁殖额外能耗,因而繁殖期机体的营养状况最佳,此时身体脂肪含量也较高^[8]。由于妊娠、哺乳时能量需要明显高于非繁殖期^[14,15]。所以,随着长时期的繁殖活动(妊娠、哺乳、交配),动物身体贮能逐渐消耗,脂肪含量便下降。金华社鼠繁殖盛期 5~9 月份^[10],由此可见,社鼠身体热值和脂肪含量的季节变化与其繁殖周期是密切相关的。褐家鼠脂肪含量的季节差异在统计上虽未达到显著水平,但在春季数据,可能也与繁殖有一定关系,因为其繁殖盛期在 4~5、9~10 月份^[11]。但也有研究显示一些种类脂肪沉积与繁殖无关,如黄喉姬鼠(*Apodemus flavicollis*)^[6];棉鼠(*Sigmodon hispidus*)^[5]。

龄差异($F_{2,20} = 9.63, p < 0.01$),成体($19.01 \pm 1.63\%$, $n = 14$)、亚成体($20.79 \pm 0.72\%$, $n = 4$)显著高于幼体($9.47 \pm 0.75\%$, $n = 8$)。其他季节的脂肪含量年龄差异不显著(所有 $P > 0.05$)。

成年社鼠的水分含量秋季最高,夏季最低($F_{3,70} = 6.68, P < 0.001$)。成年褐家鼠则是冬季最高,夏季最低($F_{3,48} = 2.95, P < 0.05$),成年白腹巨鼠水分含量各季差异显著,春季 > 秋季 > 冬季($F_{2,17} = 35.79, P < 0.00001$)。社鼠与褐家鼠的水分含量接近,而秋、冬季白腹巨鼠的水分含量明显低于社鼠与褐家鼠(秋季: $F_{2,33} = 4.69, P < 0.05$;冬季: $F_{2,34} = 157.97, P < 0.00001$)(图 3)。

春季成年社鼠水分含量($68.52\% \pm 0.50\%$, $n = 18$)高于亚成年个体($66.58\% \pm 0.77\%$, $n = 14$)($t = 2.19, df = 30, P < 0.05$),其他季节各年龄组社鼠的水分含量无显著差异。褐家鼠水分含量的年龄间差异仅在春季($F_{2,20} = 17.02, P < 0.00001$)、秋季($F_{3,16} = 9.04, P < 0.01$)中发现,且都是幼年 > 亚成年 > 成年 > 老年个体。水分含量与脂肪含量密切相关,成年个体脂肪含量高时水分含量则低,两者呈极显著负相关(社鼠: $R = -0.519, df = 74, P < 0.0001$;褐家鼠: $R = -0.336, df = 52, P < 0.05$;白腹巨鼠: $R = -0.869, df = 20, P < 0.001$)。

2.3 社鼠、褐家鼠和白腹巨鼠灰分含量的季节变化

成年社鼠和褐家鼠灰分含量四季差异不显著(社鼠: $F_{3,70} = 1.71, P = 0.17$;褐家鼠: $F_{3,48} = 0.44, P = 0.72$),且两者都是夏季略低。成年白腹巨鼠的灰分含量也不存在四季差异($F_{2,16} = 0.57, P = 0.58$),但在冬季略低(图 4)。成年社鼠、褐家鼠和白腹巨鼠灰分含量的年平均值分别为:12.50%、12.23%和 10.49%。社鼠和褐家鼠各季节中灰分含量皆无年龄差异(所有 $P > 0.05$)。

3 讨论

同一地区 3 种鼠科动物的身体热值、脂肪含量和水分含量存在明显的季节和种间差异。其季节差异受繁殖状态、气温、食物条件等的影响。一般动物

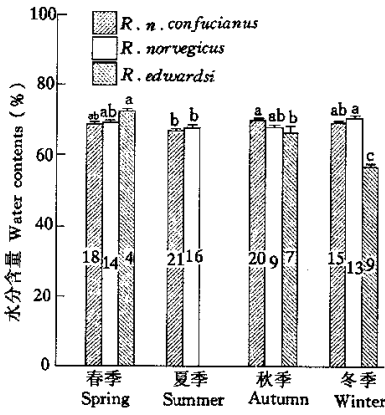


图3 社鼠、褐家鼠和白腹巨鼠水分含量的季节变化
Fig. 3 Seasonal changes of water contents for *Rattus niviventer confucianus*, *R. norvegicus* and *R. edwardsi*.
数据同图1 Data are as same as fig. 1

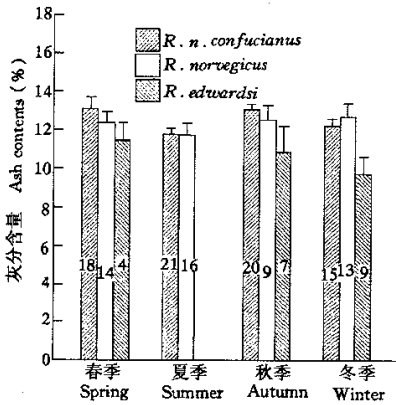


图4 社鼠、褐家鼠和白腹巨鼠灰分含量的季节变化
Fig. 4 Seasonal changes of ash contents for *Rattus niviventer confucianus*, *R. norvegicus* and *R. edwardsi*.
数据同图1 Data are as same as fig. 1

向下,最低部才是巢室^[18]。白腹巨鼠则无明显筑巢特性。Vogt等^[19]报道在1~13℃条件下,用5g棉花筑成的巢中的单只白足鼠(*Peromyscus leucopus*)24h的代谢消耗减少18%~39%。因此,两者相比,社鼠以种子为食,因此冬季食物并不匮乏,在一定程度上保证了越冬所需能量的来源(表1);而且,行为调节在对寒冷的适应中起着重要作用。而白腹巨鼠则更多依靠冬季大量的贮能:因为冬季脂肪含量升高可以增加隔热性和作为代谢能库^[1,5];同时,春季白腹鼠巨脂肪偏呈降至最低,可能也是脂肪在冬季中大量消耗的结果。

另外,夏武平等^[20]认为脂肪含量的季节变化反映了动物对环境条件的适应状况,而且,脂肪含量的周年变化反映了种的动物地理史(the zoogeographic history)^[5]。比较3种动物的地理分布,褐家鼠分布最广,对气候的适应性最强;社鼠则广泛分布我国,除宁夏、新疆、黑龙江外,各省均有分布^[21],其对亚热带的冬季气候适应性最强;白腹巨鼠则分布在我国南方各省^[11],其对冬季寒冷的适应要较上述两种动物差,故需在体内储备大量以备寒冷冬季之用。

表1 社鼠和褐家鼠的食物条件
Table 1 Food conditions of *R. n. confucianus* and *R. norvegicus*

	社鼠 <i>R. n. confucianus</i>		褐家鼠 <i>R. norvegicus</i>	
	食物量 Food intake	能值(KJ/g) Energy density	食物量 Food intake	能值(KJ/g) Energy density
春 Spring	1.69	21.31	13.32	23.07
夏 Summer	7.54	22.49	15.05	23.38
秋 Autumn	12.45	20.09	14.45	23.37
冬 Winter	9.39	19.09	14.10	23.48

食物量以胃内容物干重×100/体重表示, Food intake is indicated as dry weight of contents of stomach×100/body mass

3种啮齿动物脂肪含量季节变化各不相同,社鼠脂肪含量在繁殖季节较高,褐家鼠脂肪含量没有明显的季节变化,而冬季白腹巨鼠脂肪含量明显高于其他季节。动物的储能除与繁殖状况密切相关外,还与其环境条件有关,褐家鼠生活于半自然环境,其食物可得性和质量明显好于野生社鼠,且四季稳定(表1),这种良好的食物条件可能使得动物对身体贮能要求没有野生种类强烈。在金华,社鼠、白腹巨鼠分布区重叠^[10],本研究的社鼠和白腹巨鼠也捕自同一生境,但两者在冬季的贮能明显不同,这反映两种动物在适应冬季寒冷策略上有差异。非冬眠小型哺乳动物对寒冷适应表现在许多方面,如形态、行为、生理等^[16~17],在此没有足够的讨论,从上述各方面对这两种鼠的适应性进行完整的讨论,不过,在实验室内观察比较了两者的以棉花为巢材在驯化条件下(5℃)的筑巢特性,发现社鼠有明显的筑巢行为,能用棉花几乎把全身包裹,这与野生环境中观察到的相一致,而且野外巢穴隧道弯曲

已有研究表明脂肪含量季节变化的种间差异明显。黄喉姬鼠脂肪含量春、夏季最低,冬季最高^[6];Gol-ley^[22]认为 *Peromyscus polionotus* 冬季脂肪含量升高是食物可得性增加的结果;Fleharty^[5]发现美国堪萨斯 4 种鼠的脂肪含量季节变化也不尽相同;曾缙祥^[5]报道高山草甸小哺乳动物脂肪含量在繁殖季节(春季)最高。本研究中的 3 种亚热带啮齿动物脂肪含量的季节变化也各不相同,且与动物的繁殖和环境条件密切相关。

关于啮齿动物含水量季节变化的报道都是夏季最高,如:Gorecki^[4]对普通 鼯(*Sorex araneus*),黑线姬鼠(*Apodemus agrarius*)、普通田鼠(*Microtus arvalis*)的测定,曾缙祥^[5]对高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)、根田鼠(*Microtus oeconomus*)、高原鼯鼠(*Myospalax fontanieri*)的测定结果等。而金华的社鼠和褐家鼠却是秋、冬季高于春、夏季。分析其原因,笔者认为:水分含量与动物体的脂肪含量密切相关,脂肪含量高,水分含量则低,反之亦然。本项研究已证实这一点(各鼠的水分含量与脂肪含量呈显著负相关),而且纵观已有报道啮齿类的水分含量其之所以在夏季最高,与其夏季脂肪含量最低是相对应的。

参考文献

- [1] Hayward J S. The gross body composition of six geographic races of *Peromyscus*. *Can. J. zool.*, 1965, **43**(2): 297~308.
- [2] Hansson L and Grodzinski W. Bioenergetic parameters of the field mice (*Microtus agrestis* L.). *Oikos*, 1970, **21**(1): 76~82.
- [3] Kaufman D W, Kaufman G A and Wiener J G. Energy equivalents for sixteen species of xeric rodents. *J. Mammal.*, 1975, **56**(4): 946~949.
- [4] Gorecki A. Energy values of body in small mammals. *Acta theriol.*, 1965, **10**: 333~352.
- [5] Fleharty E D, Krause M E, and Stinnett D P. Body composition, energy content, and lipid cycles of four species of rodents. *J. Mammal.*, 1973, **54**(2): 426~438.
- [6] Sawicka-kapusta K. Annual fat cycle of field mice, *Apodemus flavicollis*. *Acta Theriol.*, 1968, **13**: 329~339.
- [7] Pucek M. Variability of fat and water content in two rodent species. *Acta Theriol.*, 1973, **18**(2): 57~80.
- [8] 曾缙祥, 王祖望, 韩永才, 等. 高山草甸小哺乳动物身体热值、水分和脂肪含量的季节变化. *动物学报*, 1981, **27**(3): 292~298.
- [9] 陈俨梅. 内蒙古锡林河流域四种小型啮齿类若干身体组成成分的研究. *兽类学报*, 1989, **9**(2): 146~153.
- [10] 鲍毅新, 诸葛阳. 金华北山啮齿类研究. *兽类学报*, 1987, **7**(4): 266~274.
- [11] 诸葛阳主编. 浙江动物志(兽类). 杭州: 浙江科学技术出版社, 1989. 82~89.
- [12] 鲍毅新, 诸葛阳. 社鼠的年龄鉴定与种群年龄组成. *兽类学报*, 1984, **4**(2): 127~137.
- [13] 杨再学. 褐家鼠种群年龄的研究. *贵州农业科学*, 1994, (4): 40~43.
- [14] Innes D G L, millar J S. Body weight, litter size, and energetics of reproduction in *Clethrionomys gapperi* and *Microtus pennsylvanicus*. *Can. J. Zool.*, 1981, **59**: 785~789.
- [15] 王德华, 孙儒泳, 王祖望. 根田鼠哺乳期的同化能及产后生长发育过程中的能量分配. *动物学报*, 1996, **42**(2): 140~145.
- [16] 王德华, 王祖望, 孙儒泳. 非冬眠小型哺乳动物对寒冷的适应策略. 见: 张洁主编. 中国兽类生物学研究. 北京: 中国林业出版社. 139~149.
- [17] Merritt J F. Winter survival adaptations of the short-tailed shrew (*Blarina brevicauda*) in an appalachian montane forest. *J. Mammal.*, 1986, **67**(3): 450~464.
- [18] 吕国强, 等. 社鼠生物学特性调查初报. *植物保护*, 1986, (3): 15~17.
- [19] Vogt F D and Lynch G R. Influence of ambient temperature, nest availability, hudding, and daily torpor on energy expenditure in the white-footed mouse *Peromyscus leucopus*. *Physiol. Zool.*, 1982, **55**: 56~63.
- [20] 夏武平, 孙崇潞. 红背 肥满度的研究. *动物学报*, 1963, **15**(1): 33~43.
- [21] 汪 松, 等. 中国社鼠亚种小志. *动物学集刊*, 1981, 1~8.
- [22] Golley F B. Energy dynamics of a food chain of an old-field community. *Ecol. Monogr.*, 1960, **30**: 187~206.