

长爪沙鼠体质量生长模式特征*

刘伟 宛新荣 钟文勤**

(中国科学院动物研究所农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

摘要 通过 Gompertz 方程拟合分析了野外围栏条件下当年春季出生的长爪沙鼠 (*Meriones unguiculatus*) 体质量生长模式。结果表明: 雌、雄鼠体质量生长系数相近, 该结果支持生长系数具有种的特异性, 反映物种固有特征的结论; 但雄鼠的当年稳定体质量和体质量日瞬时增长率高于雌鼠, 雄鼠的体质量增长的拐点时间、生长速率降低到起始值的时间以及达到稳定体质量 90% 的时间均较雌鼠的晚, 这些指标呈现的性别差异提示了长爪沙鼠婚配策略中的多配倾向。

关键词 长爪沙鼠; Gompertz 方程; 年龄; 婚配策略

中图分类号 Q958.1 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)09-1853-04

Body mass growth pattern of *Meriones unguiculatus*. LIU Wei, WAN Xin-rong, ZHONG Wen-qin (State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(9): 1853-1856

Abstract Gompertz function was used to fit and analyze the body mass growth pattern of *Meriones unguiculatus* born in the same spring in a field enclosure. The female and male *M. unguiculatus* had the similar growth rate constant (k), which supported the earlier reports that the growth rate constant is species-specific and can reveal the inherent characteristics of species. However, the males had higher asymptotic mass and higher growth rate of body mass than the females, and the inflection time of body mass increase, the time of growth rate declining to the initial value, as well as the time achieving 90% of the asymptotic value of body mass were later for the males than for the females, illustrating that *M. unguiculatus* exhibited sexual dimorphism, with the females having relatively earlier time finishing their body mass development, an indicative of a polygamy mating strategy.

Key words *Meriones unguiculatus*; Gompertz function; age; mating strategy

小型哺乳动物体质量 (即体重) 生长规律是个体生存率、社群结构和种群动态等研究的基础 (周立等, 1987; Boonstra *et al.*, 1993; Femendez-Salvador *et al.*, 2001), 相关研究亦对定量衡量有害动物危害程度以及估算危害防治的经济阈值有着重要意义 (宛新荣等, 2002)。长爪沙鼠 (*Meriones unguiculatus*) 是中国北方干旱半干旱农牧交错地带的优势鼠种, 其种群暴发年份, 常形成鼠害, 给当地农牧业带来损失。以往对长爪沙鼠生长规律的研究结果主要来自室内养殖种群 (Norris & Adams, 1972; Zullinger *et al.*, 1984)。在该鼠社群行为和种群动态研究中,

应用的年龄划分方法主要依据铗捕资料所获得的臼齿特征标准划分 (夏武平等, 1982), 但此类方法不适于针对活体动物的年龄特征分析, 也无法依据绝对时间描述相关形态指标的变化特征, 进而深入分析种群结构的动态规律。在描述哺乳动物体质量生长规律时, Zullinger 等 (1984) 研究表明, Gompertz 方程在许多方面优于经典的 Logistic 方程, 且 Gompertz 方程中的参数生长系数可能具有种的特异性, 适于不同物种间的比较研究。目前该方程在啮齿动物生长发育研究中为越来越多的学者所关注和应用 (Kyriazakis & Emman, 1992; Yoshinaga *et al.*, 1997; 窦薇和宛新荣, 1999)。本文利用内蒙古太仆寺旗农牧交错区野外围栏种群的标志重捕资料, 对 2001 年 4 月中旬—5 月上旬出生的个体的体质量首先进

* 国家自然科学基金资助项目 (30770292)。

** 通讯作者 E-mail: zhongwq@iz.ac.cn

收稿日期: 2008-12-01 接受日期: 2009-04-29

行 Logistic 和 Gompertz 模型拟合优度比较, 然后选其优者对雌、雄鼠的相关参数进行分析, 旨在比较春季出生的雌、雄鼠当年体质量生长特征, 建立动态模型, 并为该鼠的年龄鉴定提供定量依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究样地

研究地点选择在内蒙古太仆寺旗头支箭乡的农牧交错地段 ($41^{\circ}58'N$, $115^{\circ}17'E$)。标志重捕样地面积为 0.5 hm^2 ($100 \text{ m} \times 50 \text{ m}$), 属该乡农牧交错地带中的放牧地, 植被类型为羊草 (*Leymus chinensis*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、苔草 (*Carex* spp.)、杂类草 (主要包括 *Potentilla* spp., *Heteropappus aluicinus*, *Serratula centauroides*) 群落。样地四周邻接作物地和草地, 设有石棉板 (地上 40 cm, 地下 40 cm) 作标界, 据日常观察, 该高度的标界不能完全阻挡长爪沙鼠的内外移动。样地内除长爪沙鼠外, 还有少量达乌尔黄鼠 (*Spermophilus dauricus*)、黑线仓鼠 (*Cricetulus barabensis*)、草原鼯鼠 (*Myospalax aspalax*) 和麝鼯 (*Scaptochirus moschatus*) (刘伟等, 2004)。

1.2 研究方法

2001年 4—10月, 对样地内 4月中旬—5月上旬的 3只临产雌鼠及其当月出生的幼鼠 (3窝共 18只, 其中雄鼠 10只, 雌鼠 8只) 的体质量通过标志重捕方法进行了连续跟踪。用 U 型铁丝笼, 以花生米为饵料, 采取洞口布笼, 在孕鼠或幼鼠活动洞群进行重捕调查, 每天从 6:00—19:00, 每隔 1 h 查看 1 次 (夏季 11:00—15:00 暂时关笼, 以避免炎热天气带来取样个体损失), 连续诱捕 3 d。在取样过程中, 记录捕获鼠编号、捕获位置及一些体表特征信息; 称体质量, 并确认性别; 判别雄鼠睾丸下降与否, 记录雌鼠腹部特征、生殖孔状态和乳头特征。然后将捕获鼠在原捕获点释放, 该操作不影响动物的生长 (Krebs, 1999)。凡首次捕获的个体均以切趾法进行个体标识, 并采用“一洗黑”染发剂在沙鼠的头部、背部或臀部进行不同部分组合的染色标记, 以便在后续直接观察实验时确认身份, 每个个体的编号是唯一的。

3窝幼鼠出生日期是通过 3只临产雌鼠体型 (主要是腹部) 和体质量间隔 3~5 d 的连续观测及重捕跟踪确定的, 如此取样虽有一定误差但对怀孕鼠干扰较小, 且操作上可行。将雌鼠腹部鼓胀明显消失且体质量骤然下降 10~20 g 的日期判定为雌

鼠产仔日期, 即幼鼠出生日期 (出生当天记为 0 d)。在雌鼠分娩后, 每隔 3 d 对这 3只雌鼠所在洞群进行目标取样观察, 15 d 以后陆续有幼鼠出洞活动, 且绝大多数时间在其母鼠的领域内活动。从初次观测到幼体起, 对其进行标志重捕跟踪。重捕取样间隔, 95 d 以内为 (5 ± 1) d, 95~125 d 为 (10 ± 1) d, 125~152 d 为 (30 ± 1) d。

由于长爪沙鼠的出巢日龄在 15 d 以后。因此, 在野外很难捕获 15 d 以下的个体。为描述沙鼠在当年生活史中体质量生长的完整模式, 作者同期在实验室 (距研究样地 150 m) 人工饲养条件下 (室温、自然光照) 跟踪观察捕于自然种群的孕鼠分娩时间及其幼鼠出巢活动前的体质量, 以弥补曲线拟合中所需的早期生长数据。这一替代虽有不足, 但考虑到幼鼠在出巢前完全以母乳为食, 且其生活的窝巢在亲鼠的维护下保持了相对稳定的小环境, 这与室内饲养个体出巢前的生长环境相似。此外, 作者比较发现, 无论雄鼠 (t -test $t = 1.317$, $df = 16$, $P > 0.05$) 还是雌鼠 (t -test $t = 0.191$, $df = 12$, $P > 0.05$), 室内与研究样地出生个体 (17 ± 2) d 时的体质量差异不显著。故用实验室内出生鼠的早期数据代替其自然状况的早期生长数据仍有一定的参考价值。

用于体质量生长模式分析的 Logistic 和 Gompertz 方程表达式分别为:

$$M(t) = A [e^{-k(t-I)} + 1]^{-1}$$

$$M(t) = A e^{-e^{-k(t-I)}}$$

式中: $M(t)$ 为 t 日龄时的体质量 (g); t 为日龄 (d); A 为方程渐近线体质量值 (g) 即当年体质量稳定值; K 为日生长系数 (d^{-1}); I 为体质量增长的拐点时间 (d)。判断方程拟合优度的指数为残差平方和 (RSS) 和曲线相关指数 (R^2), RSS 值小且 R^2 值大者为优。当年生雌鼠怀孕后的体质量不纳入拟合分析中。曲线拟合通过 Statistica 4.5A 统计软件包的 Nonlinear Estimation 程序进行。

2 结果与分析

2.1 Logistic 方程与 Gompertz 方程拟合优度比较

长爪沙鼠雌、雄个体的当年体质量生长规律 Logistic 方程与 Gompertz 方程拟合优度参数结果 (采用最小二乘法获得) 表明, Logistic 方程, 雄鼠拟合曲线的 $RSS = 1766.32$, $R^2 = 0.9699$, $df = 214$; 雌鼠拟合曲线的 $RSS = 1106.41$, $R^2 = 0.9691$, $df = 163$,

Gompertz方程, 雄鼠拟合曲线的 $RSS = 1436.33$ $R^2 = 0.9756$ $df = 214$; 雌鼠拟合曲线的 $RSS = 826.48$ $R^2 = 0.9759$ $df = 163$ 。显然, Gompertz方程的各项拟合度明显优于 Logistic方程。故下文通过 Gompertz方程拟合结果比较分析春季出生的雌、雄鼠当年体质量生长特征。

2.2 Gompertz方程的拟合结果

长爪沙鼠雌、雄鼠的生长系数基本相似, 二者分别为 0.031和 0.030。体质量生长的时间拐点雌鼠为 29.0 d 雄鼠为 31.5 d 前者略早于后者。此外体质量的当年稳定值雄鼠 (59.2 g)比雌鼠 (52.2 g)高出 11.8% (图 1)。

基于 Gompertz模型拟合的体质量生长模式, 进一步分析雌、雄鼠各日龄 (0~152 d)的体质量增长率, 结果表明, 雄鼠体质量的日瞬时增长率在出巢活动后 (17±2) d一直较雌鼠高; 雄鼠瞬时增长率最高时达 $0.66 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, 雌鼠为 $0.60 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ (图 2)。但雌鼠增长率降低到起始值的时间发生在 70 d 雄鼠在 80 d 前者比后者早 10 d 左右 (图 2); 另外雌鼠体质量生长至当年稳定值的 90% 的时间 (100 d) 也早于雄鼠 (105 d)。上述结果表明, 春季出生的雌性长爪沙鼠尽管其体质量日增长率低于雄鼠, 但其达到当年稳定体质量的时间较雄鼠早。

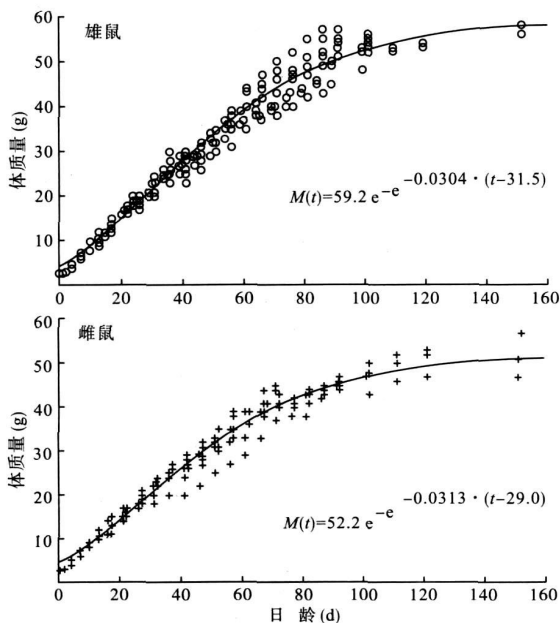


图 1 Gompertz模型拟合长爪沙鼠雄鼠和雌鼠的体质量生长曲线及相关参数

Fig 1 Growth curves and parameters of body mass of males and females in *Meriones unguiculatus*

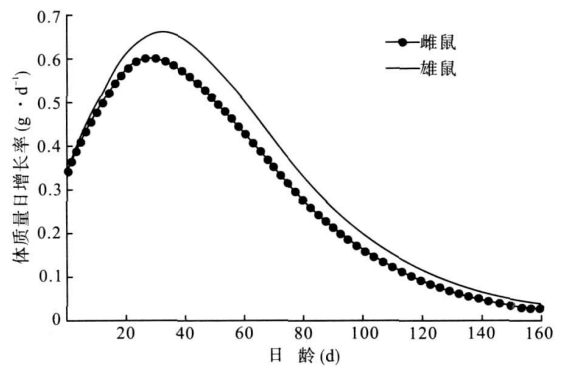


图 2 长爪沙鼠的体质量日增长率变化

Fig 2 Growth rate of body mass in *Meriones unguiculatus*

3 讨论

Zullinger等 (1984) 指出用于非线性回归的 Gompertz方程是分析和比较不同哺乳动物生长模式的较优模型。本文长爪沙鼠雌、雄个体的当年体质量生长规律 Logistic方程与 Gompertz方程拟合分析比较结果支持上述结论。此外, 雌、雄长爪沙鼠的体质量生长 Gompertz模型拟合的生长系数值相近 (0.03), 该结果亦支持生长系数值的稳定性反映出生长速度常数的种属特异性和物种的固有特征 (Zullinger *et al*, 1984 窦薇和宛新荣, 1999)。

在啮齿动物种群生态学研究, 阐明动物的生长模式可以为种群个体年龄划分的形态学标准 (如体质量等) 提供基础资料 (王岐山等, 1984 杨荷芳, 1990 张洁, 1995)。在长爪沙鼠生长规律的 Gompertz模型拟合中, 室内种群个体生长的相关参数略高于研究样地种群 (Zullinger *et al*, 1984), 上述差异主要表现在出巢后的体质量生长参数。类似结果在狐尾林鼠 (*Neotoma cinerea*)、缅甸鼠 (*Rattus exulans*) 的研究中亦有报道 (Martin 1973 Wirtz 1973)。可见, 在自然条件下, 掌握当年生个体的生长规律, 并以此来确定个体年龄, 有助于更合理分析自然种群年龄结构、动态以及生存率等生态学问题。本文基于体质量日增长率变化特征, 并结合夏武平等 (1982) 根据铍捕资料所获得的依据臼齿特征的年龄划分标准, 确定长爪沙鼠幼年组的日龄划分标准为 < 1.5 月龄, 成年组的日龄从体质量日增长率 < 0.1000 时算起, 其中雌鼠为 ≥ 117 d 雄鼠为 ≥ 124 d。由 Gompertz方程估算划分雌、雄幼年组的体质量标准分别为 ≤ 28.8 g 和 ≤ 30.4 g 成年组雌、雄鼠体质量标准分别为 ≥ 49.0 g 和 ≥ 55.0 g。不过需要指出的是, 由于动物生长率可能有季节上的差异, 因此, 上

述标准可能不适于越冬鼠的年龄判定,要确定越冬鼠年龄划分的体质量标准,尚需对当年鼠冷季生长特征作进一步研究。

此外,越来越多的研究指出了解动物生长模式的同生群及性别的表现特征将有助于分析动物社群体系或婚配策略 (Dewsbury *et al.*, 1980; Boonstra *et al.*, 1993; Schulte-Hostedde 2007)。体质量等形态指标的性别差异是动物进化过程中性选择压力作用的结果,可指示动物的婚配类型 (Kyriazakis & Emmans 1992; Yoshinaga *et al.*, 1997)。研究表明,鼠类成年雄鼠体质量高于雌鼠与一雄多雌婚配策略密切相关 (Andersson 1994; Schulte-Hostedde 2007)。此类婚配体制中,雄鼠间常因竞争配偶而冲突明显,体型较大、体力强壮者常可获得较多的配偶和交配机会,提高其繁殖收益,因而得以进化 (Heske & Ostfeld 1990; Hoogland 2003)。长爪沙鼠当年稳定体质量显示偏雄优势 (即雄鼠体质量大于雌鼠),预示了雄性长爪沙鼠的多配倾向。对生活史相对较短的啮齿动物而言,在进化历程中,雌性性选择利于那些能获得最大收益的繁殖策略,其中性成熟和初始繁殖时间早是一种有效的策略,它使动物在有限的时间内获得更多后代,对提高个体的适合度有利 (Caswell & Hastings 1980; Stearns 1992; Oli & Dobson, 2003)。本研究中雌性长爪沙鼠体质量生长过程中的多项指标,如体质量增长的时间拐点、体质量生长率降低到起始值的时间和体质量生长至当年稳定值的 90% 的时间,均显示雌鼠体成熟较雄鼠快;以往研究表明,雌鼠性成熟发育亦较雄鼠早 (刘伟等, 2004)。显然,春季出生的雌鼠生长和发育快于雄鼠,使得雌鼠可以早于雄鼠加入繁殖群体,种群中繁殖雌鼠比例的增加也为多雌婚配体制提供了条件。由此可见,自然条件下雌、雄长爪沙鼠生长发育模式的差异在一定程度上提示了长爪沙鼠多雌婚配对策。

致谢 感谢内蒙古太仆寺旗植保站武斌先生在取样中的帮助。

参考文献

- 窦薇, 宛新荣. 1999. Gompertz 方程的数学属性及其描述异速生长的能力. 生物数学学报, 14(5): 632-636
- 刘伟, 宛新荣, 王广和, 等. 2004. 不同季节长爪沙鼠同生群的繁殖特征及其在生活史对策中的意义. 兽类学报, 24(3): 229-235
- 宛新荣, 刘伟, 王广和, 等. 2002. 布氏田鼠摄食量、累积摄食量与日龄的关系. 生态学杂志, 21(4): 15-17
- 王岐山, 叶文虎, 谭明文, 等. 1984. 用体重和体长鉴定黑线姬鼠年龄方法的商榷. 兽类学报, 4(2): 117-126

- 夏武平, 廖崇惠, 钟文勤, 等. 1982. 内蒙古阴山北部农业区长爪沙鼠的种群动态及其调节研究. 兽类学报, 2(1): 51-69
- 杨荷芳. 1990. 小型兽类年龄鉴定方法简评. 生态学杂志, 9(2): 54-55
- 张洁. 1995. 鼠类年龄鉴定与划分的研究 // 张洁. 中国兽类生物学研究. 北京: 中国林业出版社: 52-61
- 周立, 刘季科, 刘阳. 1987. 高原鼠兔种群生产量生态学的研究. iv. 高原鼠兔体重生长动态数学模型的研究. 兽类学报, 7(1): 67-78
- Andersson M. 1994. Sexual Selection. Princeton, NJ: Princeton University Press
- Boonstra R, Gilbert BS, Krebs CJ. 1993. Mating systems and sexual dimorphism in mass in microtines. *Journal of Mammalogy*, 74: 224-229
- Caswell H, Hastings A. 1980. Fecundity, developmental time, and population growth rate: An analytical solution. *Theoretical Population Biology*, 17: 71-79
- Dewsbury DA, Baumgardner DJ, Evans RL, *et al.* 1980. Sexual dimorphism for body mass in 13 taxa of murid rodents under laboratory conditions. *Journal of Mammalogy*, 61: 146-149
- Fernandez-Salvador R, Gamca-Pereira R, Ventura J. 2001. Reproduction and postnatal growth of the Cabrera vole, *Microtus cabreus*, in captivity. *Canadian Journal of Zoology*, 79: 2080-2085
- Heske EJ, Ostfeld RS. 1990. Sexual dimorphism in size, relative size of testes, and mating systems in North American voles. *Journal of Mammalogy*, 71: 510-519
- Hoogland JL. 2003. Sexual dimorphism in five species of prairie dogs. *Journal of Mammalogy*, 84: 1254-1266
- Krebs CJ. 1999. Ecological Methodology (2nd ed.). New York: Addison-Wesley
- Kyriazakis I, Emmans GC. 1992. The growth of mammals following a period of nutritional limitation. *Journal of Theoretical Biology*, 156: 485-498
- Martin RJ. 1973. Growth curves for bushy-tailed woodrats based upon animals raised in the wild. *Journal of Mammalogy*, 54: 517-518
- Norris ML, Adams CE. 1972. The growth of the Mongolian gerbil *Meriones unguiculatus* from birth to maturity. *Journal of Zoology*, 166: 277-282
- Oli MK, Dobson FS. 2003. The relative importance of life-history variables to population growth rate in mammals: Cole's prediction revisited. *The American Naturalist*, 161: 422-440
- Schulte-Hostedde AI. 2007. Sexual size dimorphism in rodents // Wolff JO, Sherran FW, eds. Rodent Societies: An Ecological and Evolutionary Perspective. Chicago, USA: The University of Chicago Press: 243-254
- Stearns SC. 1992. The Evolution of Life Histories. Oxford: Oxford University Press
- Wirtz WO. 1973. Growth and development of *Rattus exulans*. *Journal of Mammalogy*, 54: 189-202
- Yoshinaga Y, Okayama T, Ohno W, *et al.* 1997. Growth, development, and reproductive patterns in the Japanese field vole *Microtus montebelli*. *Journal of Mammalogy*, 78: 830-838
- Zullinger EM, Ricklefs RE, Redford KH, *et al.* 1984. Fitting sigmoidal equations to mammalian growth curves. *Journal of Mammalogy*, 65: 607-636

作者简介 刘伟,男,1972年生,博士,助理研究员。主要从事鼠类种群和行为生态学研究,发表论文 20 余篇。E-mail: liuwe@ioz.ac.cn

责任编辑 刘丽娟