

视觉信号刺激影响雌性金色中仓鼠的繁殖特征吗?

雷维蟠 饶小平[△] 刘定震*

(生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 北京师范大学生态学研究所, 北京 100875)

摘要: 以往对化学通讯在啮齿类社群生活中的作用开展了很多研究, 而对视觉信号的作用则很少涉及。本文借助一个特殊设计的透明密封玻璃缸, 研究怀孕雌性金仓鼠是否对陌生雄鼠的视觉信号刺激产生应激反应。结果发现实验组和对照组雌鼠在交配后至分娩、分娩至断乳期的体重变化、产仔数量、幼鼠体重变化、睁眼时间、存活率和性比等均未表现显著性差异, 而实验组雌鼠正常分娩率显著低于对照组。怀孕雌鼠对陌生雄鼠单一视觉刺激信号产生应激反应的假设得到部分支持。我们的结果表明, 陌生雄鼠的视觉信号刺激影响了怀孕雌鼠的繁殖, 但该影响并未延伸到分娩后和后代的生长发育。

关键词: 金色中仓鼠; 应激; 视觉刺激; 孕期; 后代

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号: 1000–1050 (2008) 04–0402–07

Does social visual stimuli from males affect the pregnant female golden hamsters' reproductive characteristics?

LEI Weipan, RAO Xiaoping[△], LIU Dingzhen*

(Ministry of Education, Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: A wealth of scientific data supports the substantial role played by social odor in mediation of rodents' social life; however, little efforts has been made to examine whether visual signals have similar roles in rodents' social life. This experiment was designed to test if exclusively visual signals from a strange male impose stress on a pregnant female and impact her reproductive characteristics. In this experiment, one male golden hamster (*Mesocricetus auratus*) caged in an air-proof and transparent glass box was put into a pregnant female's cage till the female gave birth. The results showed that there was no significant difference in the body weight changes between those two groups of females during the two periods: mating to parturition and parturition to weaning. Nor did we find any significant differences in the pups' body weight gaining, litter size, visual development, survival rates and sex ratios. However, we did find significant differences in reproductive success between those two groups of females: one third of those exposed to male stranger either aborted or died birthing; control had normal birth pattern. The hypothesis of visual signals from a strange male hamster may impose stress on pregnant female hamster was partially supported by our current data. Our results indicate that while visual signals from strange male conspecifics might impact the pregnant females' reproductive success, and there is no extended impact on the female's body weight gain and offspring physiological development. This information should help to inform animal management and treatment procedures in handling lab animals such as rat and mouse in addition to golden hamster.

Key words: Golden hamster (*Mesocricetus auratus*); Offspring; Pregnant; Stress; Social visual stimulus

应激 (stress) 指因过度环境或心理压力引起、影响有机体行为的一种生理状态 (Allaby, 2001)。有些应激反应对生物有机体有益, 有些则有害 (Moberg, 2000)。如动物在求偶、交配、猎食过程中的应激反应, 会促进动物的能量代谢 (Broom

and Johnson, 1993)。在这种短期的应激反应中, 生物体通过增加糖皮质激素的分泌促进能量的释放 (Reynaert *et al.*, 1976), 并相应调整其行为对策 (Korte *et al.*, 1993)。然而, 严峻且长期的应激可能会导致有机体免疫抑制和肌肉萎缩, 从而降低个

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30770290)

作者简介: 雷维蟠 (1985–), 男, 硕士, 主要从事动物行为学与神经内分泌学研究。

收稿日期: 2008–03–24; 修回日期: 2008–05–26

△现在地址: 中国科学院武汉数学物理研究所

* 通讯作者, corresponding author, E-mail: dzliu@bnu.edu.cn

体的适合度 (Munck, 1984; Sapolsky *et al.*, 2000)。比如因社会性冲突而引发的长期应激会促进促肾上腺皮质激素分泌而抑制泌乳激素的分泌 (Huhman *et al.*, 1995)。此外, 长期的慢性应激也会导致有机体免疫力的下降 (Jasnow *et al.*, 2001)。

大量的证据表明, 啮齿类主要以嗅觉通讯为主, 以往对啮齿类的应激反应研究也都集中于嗅觉通讯。应激源主要集中在尿液、巢垫物和腺体气味等 (Arck *et al.*, 1995; Blanchard *et al.*, 1998; Mappes *et al.*, 1998; Zhang *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2004a, 2004b; Zhang *et al.*, 2008)。最近的研究发现, 同性成对养殖的独居型雌性大仓鼠 (*Cricetulus triton*) 因应激而导致体重迅速增加 (Liang *et al.*, 2004)。人为雌雄配对饲养的雌性金色中仓鼠 (*Mesocricetus auratus*), 其血浆皮质醇水平和肾上腺、脾脏等器官质量因应激显著增大, 其后代的嗅觉器官发育延缓 (Zhang *et al.*, 2008)。此外, 孕期应激的 BALB/c 母鼠体重会显著增加, 并变得更加焦虑, 其所生育幼仔成年后抵抗疾病 (如过敏性哮喘) 能力明显减弱 (Pincus-Knackstedt *et al.*, 2006)。应激的 Long-Evans 大鼠雌鼠分娩后舔舐、修饰幼仔等行为显著减少 (Champagne and Meaney, 2006)。怀孕母鼠受应激后, 其胎儿发育延缓, 幼仔成年后行为也容易发生异常 (Brummelte *et al.*, 2006)。然而在上述所涉及的诸多应激源 (因子) 中, 比如配对饲养的个体, 同伴的气味被认为是主要的应激源, 而视觉信号的刺激作用则被忽略。同伴或者其他个体的视觉信号刺激, 是否也会导致独栖型雌鼠的应激反应, 迄今尚未有过报道。

金色中仓鼠是一种典型的独栖型啮齿动物, 也是常用的实验动物。其动情周期为 4 d (Fitzgerald and Zucker, 1976), 孕期 16 d, 幼鼠在出生后 28 d 左右断乳 (Siegel, 1985)。和其它啮齿类一样, 金色中仓鼠一直被认为是夜行性动物, 主要依靠嗅觉进行相互交往和躲避捕食者。在土耳其的最新研究发现野生金色中仓鼠在白天活动, 而且活动节律呈现双高峰 (Robert E Johnston, 私人通讯)。针对这一新发现, 我们不禁会问同伴间视觉信号是否也具有和气味信号相同的通讯功能, 近距离的视觉信号是否也和气味信号一样能够引发个体同样的应激反应。假如此时视觉信号与气味信号具有相同的作用, 那么我们可以预测怀孕雌鼠仅暴露于陌生雄鼠的视觉信号刺激同样会产生应激反应, 并

会影响其繁殖及其后代的生长发育。为验证上述假设, 我们特别设计本实验, 以期揭示陌生雄鼠视觉信号刺激对怀孕雌鼠体重增长、繁殖成功率及其后代发育的影响。

1 材料和方法

1.1 实验动物

实验动物为北京师范大学生命科学学院饲养繁育的金色中仓鼠。初始种群购自北京维通利华实验动物技术有限公司。实验前所有动物均在 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 的温度和光照 14L: 10D (灯光在 9: 00 关闭, 17: 00 打开) 下单笼 (大小 46 cm \times 30 cm \times 16 cm) 饲养, 鼠笼垫料为碎木屑。标准大鼠料块食物 (北京维通利华实验动物技术有限公司) 和水全天候供应。

首先取 18 只日龄在 120 d 左右的雌鼠, 随机分成实验组和对照 (每组 $n = 9$)。另外再选取 27 只日龄在 120 d 左右与雌鼠非亲缘的雄鼠, 其中 18 只分别与实验组和对照组的母鼠交配。另外 9 只作为视觉信号提供者。之前, 这些视觉信号提供者雄鼠与实验组雌鼠从未有过任何接触 (包括气味)。交配后实验雌鼠与放置在玻璃缸中的陌生雄鼠合笼饲养, 对照组雌鼠单独饲养, 其所在的笼中放置相同的玻璃缸, 但玻璃缸中未放置雄鼠 (具体见下述实验方法部分)。

1.2 实验器材

实验中放置刺激雄鼠 (视觉信号的提供者) 的仪器是自制透明立方体玻璃缸 (0.20 m \times 0.18 m \times 0.14 m), 顶盖活动, 使用时以固体胶和凡士林密封。顶盖正中留有直径 0.05 m 的孔, 与一根白色 PVC 导气管 (直径约 0.07 m, 长 1.20 m) 连接, 导气管与玻璃缸连接处以无味硅酮玻璃胶密封。在导气管旁边另开有直径约 0.007 m 的小孔, 放置水瓶 (小孔和水瓶导管之间缝隙以无味硅酮玻璃胶密封)。每两天检查食物和水, 每两周更换巢垫物。每次打开玻璃缸顶盖后, 都重新以玻璃胶封闭。

1.3 实验方法

首先进行雌雄鼠的适应实验。即将雄鼠放置在玻璃缸内 3 ~ 5 d 直到其不再频繁探究为止。然后, 将玻璃缸用水清洗、风干后第 2 天, 连接 PVC 排气管并安装水瓶, 将其放入雌鼠笼内, 让雌鼠适应 3 ~ 5 d 直到其不再频繁探究为止。再一次清洗玻璃缸、风干后开始正式实验。在雌雄交配后, 将装

有刺激雄鼠的玻璃缸放置在雌鼠笼内。如前所述,为防止雄鼠的气味扩散到雌鼠笼内,在放置雄鼠的玻璃缸顶端连接一根 PVC 导气管。对照组放置大小完全相同的空玻璃缸。为避免相邻鼠笼气味的影响,全部实验在一个独立的、配有 25W 红色灯光的行为观察室进行,每天 24 h 以窗式排风机保持空气清新。观察室内的温度条件及动物的管理与动物房完全相同。

1.3.1 配对和交配

结合雌鼠的以往发情周期记录、阴道分泌物粘稠程度和触压雌鼠尾根部是否出现脊柱前凸,确定是否将雌鼠与雄鼠合笼配对。交配时间以雌雄各自分开而不理睬对方或发生打斗为终止。以雌鼠阴道形成交配栓作为成功交配的标志 (Hartung and Dewsbury, 1978)。交配后,将雄鼠取出,然后把含有一个陌生雄鼠的玻璃缸或空玻璃缸放入已交配的雌鼠笼中直至雌鼠分娩。在雌鼠分娩后第 2 天将玻璃缸和雄鼠全部移出。

1.3.2 雌鼠体重测定

在雌鼠交配后 10 d 以内每 4 d 测定一次雌鼠体重,之后每 2 d 测定一次。为减少对母鼠和幼鼠的干扰,在雌鼠分娩后每 8 d 测一次母鼠体重。所用天平为 DT-B 电子天平 (金羊天平仪器厂,常熟市金羊砝码仪器有限公司),精确度为 0.01 g。

1.3.3 产仔数和幼仔体重测定

幼鼠出生当天 (记作 P_0 ,次日记为 P_1 ,依次类推,下同)记录每窝的胎仔数,以比较产仔数量是否有差异。同时测量每只幼鼠的体重,其后每 8 d 测定一次体重。如雌鼠流产,则不对该雌鼠进行产仔数和幼仔体重变化的比较。

1.3.4 性比

为降低对母鼠和幼仔的干扰,我们选择在 P_0 检查并记录每窝幼鼠雌雄个体数。主要以生殖器和肛门的距离作为判断依据。雄性的生殖器至肛门距离显著大于雌性的距离。

1.3.5 睁眼时间和存活率

根据以往的饲养经验,从 P_{13} 开始每天检查幼鼠是否睁眼直至全部睁眼。具体方法,将幼鼠的眼睛对着微弱的红色灯光,如果有反光,则表明已睁眼。记录每窝幼鼠睁眼的个体数量。在 P_{28} 统计每窝存活的幼鼠数量,以 P_{28} 时存活的幼仔数占 P_1 时幼仔数的百分比作为存活率。

整个实验过程中,实验人员佩戴无味一次性透明塑料手套 (都德利塑料制品有限公司,上海)。

1.4 统计分析方法

首先采用单样本 Kolmogorov-Smirnov test 检验原始数据的分布型,然后根据检验结果和样本量大小,抑或采用参数 (符合正态分布数据) 或非参数检验 (不符合正态分布数据) 分析数据。对母鼠正常分娩的成功率比较采用列联表卡方检验 (Crosstabs Chi-square test)。对母鼠孕期及产后体重数据 (原始数据符合正态分布) 采用重复测量方差分析 (Repeated measure ANOVA),分析母鼠在孕期及产后体重随时间的变化 (within subjects tests),实验组和对照组之间的差异 (between subjects tests)。然后再采用独立样本 t 检验,分别比较交配后不同天数两组雌鼠体重的变化和差异。对幼鼠的睁眼时间 (原始数据不符合正态分布),首先计算每天每窝睁眼幼鼠的百分率,然后采用描述的方法比较实验组和对照组幼鼠睁眼时间 (日龄) 是否有差异。另外,采用 Mann-Whitney U 检验来分析实验组和对照组幼鼠产仔数量及 P_{28} 时存活率的差别。对实验组和对照组幼鼠性别比例数据 (不符合正态分布) 采用非参数检验中二项式分布检验 (Binomial test)。对幼鼠从出生到断乳期间的体重数据 (符合正态分布),首先用测得的每只幼鼠的体重求出每窝的平均体重,再用重复测量方差分析 (Repeated measure ANOVA) 比较两组幼鼠的体重变化情况。具体方法同母鼠体重的分析方法。所有统计分析采用 SPSS 13.0 完成。显著性标准为 0.05。

2 结果

2.1 繁殖结果

实验组 9 只雌鼠全部怀孕。但繁殖结果发现,一只个体在分娩时死亡 (遗留 6 只幼鼠),另一只在分娩前流产,另外一只早产。对照组第一轮交配后有 6 只形成交配栓,并顺利生产,其余 3 只未形成交配栓。重新配对后形成交配栓,并成功生产。实验组雌鼠正常分娩率显著低于对照组 ($P < 0.001$)。

实验组所产幼鼠总数为 80 只,其中第 5 组母鼠在产下 6 只幼鼠后死亡。对其进一步解剖后发现 9 只未出生的幼鼠 (已死亡),其中一只卡在产道,两后肢前后错位,估计此为母鼠难产致死的原因。产下的 6 只幼鼠被寄养在对照组第 6 号雌鼠笼中,这 6 只幼鼠及对照组第 6 组的 10 只幼鼠仅用于对出生幼仔数量的统计,其他统计分析均排除这两组

幼鼠的数据。对照组所生幼鼠总数为 95 只, 其中第 4 组雌鼠和第 8 组雌鼠所产幼鼠分别在出生后 P_3 和 P_4 全部死亡, 因此对这两组没有进行睁眼时间的观察和分析。这样到 P_{28} 时实验组和对照组存活的幼鼠数量均为 47 只。

2.2 雌鼠体重变化

实验组和对照组雌鼠体重在交配后至分娩前都显著上升 (Repeated measure ANOVA, within subjects tests, $F_{(4, 80)} = 106.4339$, $P < 0.001$), 但实验组和对照组间无显著差别 (between subjects tests, $F_{(1, 80)} = 0.563$, $P = 0.464$)。另外, 从分娩到断乳, 哺乳雌鼠体重都显著增加 (within subjects tests, $F_{(4, 75)} = 10.645$, $P < 0.001$), 但在两组雌鼠间未表现出显著差异 (between subjects tests, $F_{(1, 75)} = 0.471$, $P = 0.503$)。孕期及产后雌鼠的体重变化只与妊娠/分娩时间长短有关, 而与是否存在异性同伴的视觉信号刺激无关 (图 1)。进一步的独立样本 t 检验结果显示, 尽管实验组雌鼠在交配后第 13 和 15 天体重较对照组显著增加, 第 18 和 25 天体重较对照组显著减少, 但两组雌鼠体重的差异均未达到统计学显著水平 (P 均大于 0.05, 图 1)。

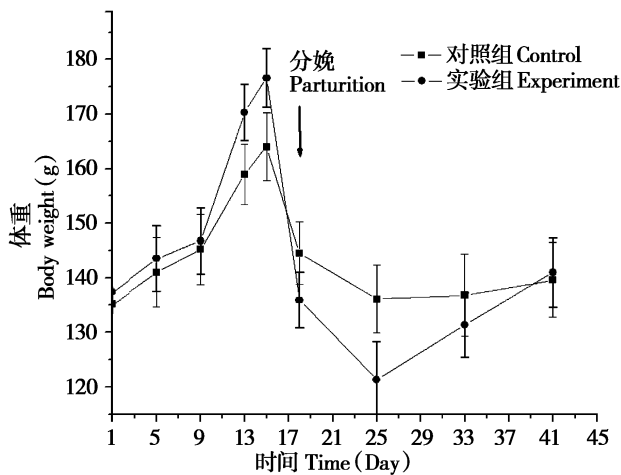


图 1 实验组和对照组雌鼠孕期及分娩后体重变化 (平均值 \pm 标准误)。从实验开始的第 1 天到结束的第 41 天, 雌鼠在交配后第 17 天分娩。数据表示为平均值 \pm 标准误

Fig. 1 Changes in body weights (Mean \pm SE) of the control and experimental groups of female golden hamsters. Data were collected from day 1 and ended on 41 days after parturition. The females gave birth on 17 days after mating

2.3 幼鼠产仔数量、存活率、性比、睁眼时间以及体重增长的比较

2.3.1 产仔数量、幼仔存活率和性别

实验组和对照组雌鼠在产仔数量上不存在显著差异 (Mann-Whitney U test, $Z = 0.449$, $P = 0.654$, 对照组: 10.6 ± 0.6 , $n = 9$ vs 实验组: 10.0 ± 0.6 , $n =$

8), 两组幼鼠的存活率 (P_{28}) 也不存在显著差异 (Mann-Whitney U test, $Z = 0.174$, $P = 0.862$, 对照组: 0.57 ± 0.12 , $n = 8$ vs 实验组: 0.63 ± 0.08 , $n = 7$)。

2.3.2 性比

两组雌鼠所繁育幼鼠在 P_9 的性比均无显著偏差 (Binomial test, 实验组: Binomial Observed Prop 雄: 雌 = $0.53: 0.47$, $P = 0.771$, $n = 47$; 对照组: Binomial Observed Prop 雄: 雌 = $0.56: 0.44$, $P = 0.471$, $n = 47$)。

2.3.3 睁眼时间

实验组幼鼠睁眼时间和对照组没有先后顺序, 在 P_{14} 开始睁眼, P_{14} 实验组的睁眼百分率为 $45.98 \pm 9.67\%$, 对照组的睁眼百分率为 $41.96 \pm 8.74\%$ 。实验组在 P_{16} , 对照组在 P_{17} 全部睁眼 (表 1)。

2.3.4 幼鼠体重

对照组和实验组雌鼠所繁育的幼鼠体重在出生后都显著增加 (Repeated measure ANOVA, within subjects, linear, $F_{(4, 65)} = 276.882$, $P < 0.001$), 但两组雌鼠所繁育的幼仔体重变化不存在显著性差异 (Repeated measure ANOVA, between subjects, $F_{(1, 65)} = 0.575$, $P = 0.466$, 图 2)。

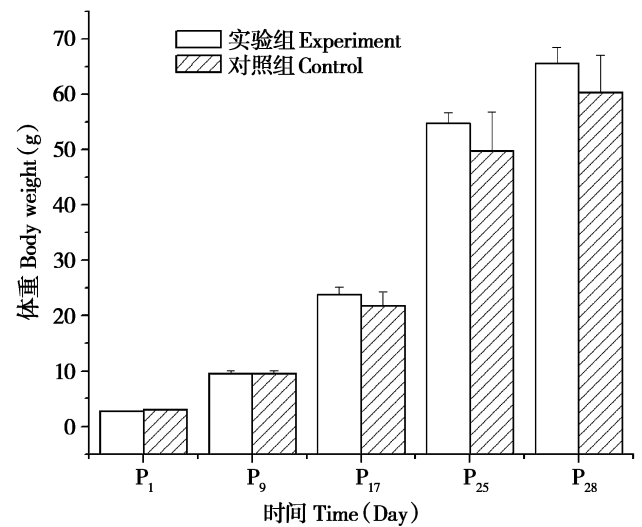


图 2 出生后实验组和对照组幼鼠体重的变化。随日龄的增加, 两组幼鼠体重都显著增加 (Repeated measure ANOVA, within subjects, linear, $F_{(1, 4)} = 276.882$, $P < 0.001$), 且实验组的体重比对照组略大, 但差异不显著。 (Repeated measure ANOVA, between subjects, $F_{(1, 4)} = 0.575$, $P = 0.466$)。数据以平均值 \pm 标准误表示。 P_0 表示出生当日, P_1 表示出生次日, 依次类推。

Fig. 2 Body weight changes (Mean \pm SE) of the pups from control (7 litters) and experimental (8 litters) $P_1 - P_{28}$ groups. The body weight gaining for the females from experimental group were larger than that from the control group, yet the difference did not reach statistical level (Repeated measure ANOVA, between subjects, $F_{(1, 4)} = 0.575$, $P = 0.466$). P_0 means the day on parturition, P_1 means the next day of parturition, the same in the following.

表 1 实验组和对照组幼鼠在相同日龄睁眼率
Table 1 Percentage of pups opening eyes in two groups

组别 Group	日龄 Age by day	13	14	15	16	17
实验组 Experiment	睁眼率 Percentage of pups opening eyes	0.00 ± 0.00 ^a	45.98 ± 9.67	95.10 ± 3.22	100	100
	窝数 No. of litters	(n = 7)	(n = 7)	(n = 7)	(n = 7)	(n = 7)
对照组 Control	睁眼率 Percentage of pups opening eyes	0.00 ± 0.00	41.96 ± 8.74	81.19 ± 8.91	93.21 ± 5.17	100
	窝数 No. of litters	(n = 7)	(n = 7)	(n = 7)	(n = 7)	(n = 7)

a. 数据表示为平均值 ± 标准误 Data were shown as mean ± SE

3 讨论

人为配对饲养大仓鼠和金色中仓鼠导致雌鼠明显的应激反应，即雌鼠体重显著增加，攻击行为增强（Liang *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2008）。这些应激源主要包括嗅觉、触觉和视觉信号的刺激。我们的研究表明，实验组和对照组母鼠的体重在分娩前都显著上升，分娩后显著下降，但两者间没有显著性差异，而实验组母鼠正常分娩率显著低于对照组。这表明来自陌生异性同伴的单一视觉刺激信号对怀孕雌鼠的繁殖产生了影响，但这种影响并未延伸到分娩后的母鼠及其所繁育幼鼠的生长发育（图 1, 2 和表 1）。这是首次在啮齿类中发现陌生异性同伴的单一视觉信号刺激影响怀孕雌鼠繁殖的特征。该结果与对人类的研究结果一致（Nepomnaschy *et al.*, 2006）。

毋庸置疑，嗅觉通讯是啮齿动物的主要通讯方式（Brown and MacDonald, 1985）。大量的研究都证实来自同伴尤其是优势个体的气味会使从属个体产生应激反应并抑制其繁殖（Rivier *et al.*, 1986; Dobson and Smith, 2000; Tilbrook *et al.*, 2000）。然而，不同于气味刺激，来自陌生异性同伴的视觉信号并未导致怀孕雌鼠体重显著增加，而仅仅影响怀孕雌鼠的分娩。这有两种可能的解释：第一，相对于气味信号，视觉信号刺激的作用很小，不足以对怀孕雌鼠构成应激，这比较符合传统的观点。实验组雌鼠分娩成功率下降，表明陌生雄鼠的影响是短暂的。实验组和对照组雌鼠在分娩后体重变化及其幼仔体重和存活率的变化佐证了这一点。第二，视觉信号刺激对怀孕雌性金色中仓鼠已经构成了应激，但是这种应激反应并没有表现在体重的变化上，而仅仅表现在激素水平。但是因为本研究设计上的不足，对此解释尚需要进一步的实验验证。

根据对实验组和对照组雌鼠所繁育幼鼠在平均胎仔数、睁眼时间和断乳时（P₂₈）平均存活率的分析结果，雄性金色中仓鼠的视觉信号刺激对怀孕

雌鼠的影响并未延伸到幼鼠及其发育。这与以往对应激和繁殖及其后代生长发育的研究结果不同（Stamps, 2003; Zhang *et al.*, 2008）。造成这种差异的主要原因，可能是应激源的不同，即嗅觉信号和视觉信号作用机理不同。根据繁殖成效学说（reproductive effect），在环境不利的条件下母鼠会减少亲本投资（Hayes and Solomon, 2004），其直接表现是母鼠的母性行为减少，而幼仔因得不到充分的照顾，体重增加会减缓（Bean *et al.*, 2004; Hayes and Solomon, 2004; Bales *et al.*, 2006），结果是幼仔数量和存活率明显下降（Hayes and Solomon, 2004）。本文研究结果显示，相对于对照组，实验组雌鼠产仔数量并未显著减少，存活率也未发生显著变化。这说明视觉信号刺激所造成的影响与气味信号刺激等造成的应激反应可能不同，比如作用的持续时间不等。

动物的雌雄性比一般为 1:1，但是很多环境因素如食物中碳水化合物成分含量（Rosenfeld *et al.*, 2003; Rosenfeld and Roberts, 2004）、交配前雌兽遭遇应激与否（Schuster and Schuster, 1972）、社会因素（Perret, 1990）、饲养空间大小（Krackow, 1997）都会影响其后代的性比。野生和实验室内金色中仓鼠出生的雌雄性比一般为 100:106，属略偏雄性的物种，成熟后的性比为 1:1（Clemens and Witcher, 1985）。本研究在 P₉ 未发现幼鼠雌雄比例偏离 1:1。不过，由于从出生到 P₉ 有可能存在幼鼠死亡，而且死亡的幼鼠可能被母鼠吞噬。因此 P₉ 时性比只是出生时性比的近似值。因此，对此结果需要进一步改进实验方法以检查幼鼠出生时的性比。

综上，陌生雄鼠的视觉信号刺激显然影响了怀孕母鼠分娩，但对分娩后母鼠的生理及幼鼠的发育没有产生显著影响。然而，由于我们在实验设计方面的不足，读者在引用我们的结果时需要谨慎。比如，本实验中我们只观测了雌鼠的生理状况、繁殖及其后代的发育，而忽略了应激对行为和内分泌的

影响 (Ottenweller *et al.*, 1985), 而且这种行为和内分泌的影响并不一定表现在繁殖和后代的发育上。因此如果进一步开展研究, 应该补充观察行为并测量内分泌激素。比如通过非损伤性取样的方法, 监测粪便中糖皮质激素的水平 (Chelini *et al.*, 2005)。应激时金色中仓鼠血液中可的松的含量会上升 (Ottenweller *et al.*, 1988; Wommack and Delville, 2003), 并且从粪便中可以检测到可的松的这种变化 (Chelini *et al.*, 2005)。

总之, 尽管陌生雄鼠的视觉信号刺激对怀孕雌鼠所繁育后代的生长发育、存活率和雌鼠的体重变化并未产生显著影响, 但实验组雌鼠流产和早产的结果, 在一定程度上还是支持了陌生雄鼠视觉信号刺激对怀孕雌鼠造成应激的假设。该结果不仅对实验室内的金色中仓鼠, 对其他实验动物如大鼠和小鼠等, 在对这些动物尤其怀孕雌体的操作、饲养和管理方面, 除需要考虑气味的作用外, 还需要考虑视觉信号的可能作用。

致谢: 承蒙美国 Loyola Marymount University 生物系副教授 Gary Kuleck 博士帮助修改并润色英文摘要, 谨此致谢。

参考文献:

- Allaby M. 2001. Oxford Dictionary of Ecology. Shanghai: Shanghai Foreign Language Education Press.
- Arck P C, Merali F S, Stanisz A M, Stead R H, Chaouat G, Manuel J, Clark D A. 1995. Stress-induced murine abortion associated with substance P-dependent alteration in cytokines in maternal uterine decidua. *Biol Reprod*, **53**: 814 – 819.
- Bales K L, Kramer K M, Lewis-Reese A D, Carter C S. 2006. Effects of stress on parental care are sexually dimorphic in prairie voles. *Physiol Behav*, **87**: 424 – 429.
- Bean K, Amos W, Pomeroy P P, Twiss S D, Coulson T N, Boyd I L. 2004. Patterns of parental relatedness and pup survival in the grey seal (*Halichoerus grypus*). *Mol Ecol*, **13**: 2365 – 2370.
- Blanchard R J, Nikulina J N, Sakai R R, McKittrick C, McEwen B, Blanchard D C. 1998. Behavioral and endocrine change following chronic predatory stress. *Physiol Behav*, **63**: 561 – 569.
- Broom D M, Johnson K G. 1993. Stress and Animal Welfare. London: Chapman and Hall.
- Brown R E, MacDonald D W. 1985. Social odours in Mammals. Oxford: Oxford University Press.
- Brummelte S, Pawlusi J L, Galea L A M. 2006. High post-partum levels of corticosterone given to dams influence postnatal hippocampal cell proliferation and behavior of offspring: a model of post-partum stress and possible depression. *Horm Behav*, **50**: 370 – 382.
- Champagne F A, Meaney M J. 2006. Stress during gestation alters post-partum maternal care and the development of the offspring in a rodent model. *Biol Psychiatry*, **59**: 1227 – 1235.
- Chelini M O M, Souza N L, Rocha A M, Felipe E C G, Oliveira C A. 2005. Quantification of fecal estradiol and progesterone metabolites in Syrian hamsters (*Mesocricetus auratus*). *Braz J Med Biol Res*, **38**: 1711 – 1717.
- Clemens L G, Witcher J A. 1985. Sexual differentiation and development. In: Siegel H I ed. The Hamster – Reproduction and Behavior. New York: Plenum Press, 155 – 171.
- Dobson H, Smith R F. 2000. What is stress, and how does it affect reproduction? *Anim Reprod Sci*, **60**: 743 – 752.
- Fitzgerald K M, Zucker I. 1976. Circadian organization of the estrous cycle of the golden hamster. *PNAS*, **73**: 2923 – 2927.
- Hartung T G, Dewsbury D A. 1978. A comparative analysis of copulatory plugs in Muroid rodents and their relationship to copulatory behavior. *J Mammal*, **59**: 717 – 723.
- Hayes L D, Solomon N G. 2004. Costs and benefits of communal rearing to female prairie voles (*Microtus ochrogaster*). *Behav Ecol Sociobiol*, **56**: 585 – 593.
- Huhman K L, Mougey E H, Moore T O, Meyerhoff J L. 1995. Stressors, including social conflict, decrease plasma prolactin in male golden hamsters. *Horm Behav*, **29**: 581 – 592.
- Jasnow A M, Drazen D L, Huhman K L, Nelson R J, Demas G E. 2001. Acute and chronic social defeat suppresses humoral immunity of male Syrian hamsters (*Mesocricetus auratus*). *Horm Behav*, **40**: 428 – 433.
- Korte S M, Bouws G A H, Bohus B. 1993. Central actions of corticotropin-releasing hormone (CRH) on behavioral, neuroendocrine, and cardiovascular regulation: brain corticoid receptor involvement. *Horm Behav*, **27**: 167 – 183.
- Krackow S. 1997. Effects of mating dynamics and crowding on sex ratio variance in mice. *J Reprod Fertil*, **110**: 87 – 90.
- Liang H, Zhang J, Zhang Z. 2004. Food restriction in pregnant rat-like hamsters (*Cricetus triton*) affects endocrine, immune function and odor attractiveness of male offspring. *Physiol Behav*, **82**: 453 – 458.
- Mappes T, Koskela E, Ylonen H. 1998. Breeding suppression in voles under predation risk of small Mustelids: laboratory or methodological artifact? *Oikos*, **82**: 365 – 369.
- Moberg G P. 2000. Biological response to stress: implications for animal welfare. In: Moberg G, Mench J eds. The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare. New York: CABI Publishing, 1 – 21.
- Munck A. 1984. Physiological functions of glucocorticoids in stress and their relation to pharmacological actions. *Endocr Rev*, **5**: 25 – 44.
- Nepomnaschy P A, Welch K B, McConnell D S, Low B S, Strassmann B I, England B G. 2006. Cortisol levels and very early pregnancy loss in humans. *PNAS*, **103**: 3938 – 3942.
- Ottenweller J E, Tapp W N, Burke J M, Natelson B H. 1985. Plasma cortisol and corticosterone concentrations in the golden hamster, (*Mesocricetus auratus*). *Life Sci*, **37**: 1551 – 1558.
- Ottenweller J E, Tapp W N, Creighton D, Natelson B H. 1988. Aging, stress, and chronic disease interact to suppress plasma testosterone in

- Syrian hamsters. *J Gerontol*, **43**: M175 – 180.
- Perret M. 1990. Influence of social factors on sex ratio at birth, maternal investment and young survival in a prosimian primate. *Behav Ecol Sociobiol*, **27**: 447 – 454.
- Pincus-Knackstedt M K, Joachim R A, Blois S M, Douglas A J, Orsal A S, Klapp B F, Wahn U, Hamelmann E, Arck P C. 2006. Prenatal stress enhances susceptibility of murine adult offspring toward airway inflammation. *J Immunol*, **177**: 8484 – 8492.
- Reynaert R, Marcus S, De Paepe M, Peeters G. 1976. Influences of stress, age and sex on serum growth hormone and free fatty acid levels in cattle. *Horm Metab Res*, **8**: 109 – 114.
- Rivier C, Rivier J, Vale W. 1986. Stress-induced inhibition of reproductive functions; role of endogenous corticotropin-releasing factor. *Science*, **231**: 607 – 609.
- Rosenfeld C S, Grimm K M, Livingston K A, Brokman A M, Lamberson W E, Roberts R M. 2003. Striking variation in the sex ratio of pups born to mice according to whether maternal diet is high in fat or carbohydrate. *PNAS*, **100**: 4628 – 4632.
- Rosenfeld C S, Roberts R M. 2004. Maternal diet and other factors affecting offspring sex ratio: a review. *Biol Reprod*, **71**: 1063 – 1070.
- Sapolsky R M, Romero L M, Munck A U. 2000. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocr Rev*, **21**: 55 – 89.
- Schuster D H, Schuster L. 1972. Speculative mechanisms affecting sex ratio. *J Genet Psychol*, **121**: 245 – 254.
- Siegel H I. 1985. The Hamster: Reproduction and Behavior. New York: Plenum Press.
- Stamps J. 2003. Behavioural processes affecting development; tinbergen's fourth question comes of age. *Anim Behav*, **66**: 1 – 13.
- Tilbrook A J, Turner A I, Clarke I J. 2000. Effects of stress on reproduction in non-rodent mammals: the role of glucocorticoids and sex differences. *Reproduction*, **5**: 105 – 113.
- Wommack J C, Delville Y. 2003. Repeated social stress and the development of agonistic behavior: individual differences in coping responses in male golden hamsters. *Horm Behav*, **80**: 303 – 308.
- Zhang J X, Cao C, Gao H, Yang Z S, Sun L, Zhang Z B, Wang Z W. 2003. Effects of weasel odor on behavior and physiology of two hamster species. *Physiol Behav*, **79**: 549 – 552.
- Zhang J X, Cao C, Gao H, Yang Z S, Ni J, Wu F Y. 2004a. Responses of rat-like hamsters (*Cricetulus triton*) of different sex and age to predator odor. *Acta Zoologica Sinica*, **50**: 151 – 157.
- Zhang J X, Ni J, Wu F Y, Zhang Z B. 2004b. Effects of social conditions on adult and subadult female rat-like hamsters (*Cricetulus triton*). *J Ethol*, **22**: 161 – 165.
- Zhang J X, Rao X P, Sun L, Wang D W, Liu D, Zhao C. 2008. Co-habitation impaired physiology, fitness and sex-related chemosignals in golden hamsters. *Physiol Behav*, **93**: 1071 – 1077.