

# 雌性根田鼠对血液气味的行为识别

于鸿浩<sup>1,3</sup>, 赵新全<sup>1</sup>, 孙平<sup>2\*</sup>

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2. 河南科技大学动物科技学院; 3. 中国科学院研究生院)

**摘要:**大量研究表明尿液在动物的嗅觉通讯中具有重要作用, 血液是尿液的根本来源, 但对其嗅觉通讯功能的研究较少。因此以雌性根田鼠 *M. icrotus oeconomus* 为研究对象, 在行为选择箱中观察其对 4 种气味源的行为响应模式以判断能否识别不同血液气味。气味源分别为雌性根田鼠血液、雄性根田鼠血液、雄性 Wistar 大鼠血液和蒸馏水对照。结果表明: 雌性根田鼠能够识别血液气味, 且通过血液气味进行种间识别, 但不能进行性别识别。

**关键词:** 根田鼠; 嗅觉通讯; 血液识别; 性别识别; 种间识别

**中图分类号:** Q95-3; Q958.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7083(2009)01-0055-05

## Behavioral Recognition to Blood Odor in Root Vole

YU Hong-hao<sup>1,3</sup>, ZHAO Xin-quan<sup>1</sup>, SUN Ping<sup>2\*</sup>

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, The Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;

2. College of Animal Science and Technology, Henan University of Science and Technology;

3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences)

**Abstract:** A large number of studies demonstrated that urine played an important role in the olfactory communication. Blood is the origin of urine, but the research about olfactory communication of blood is infrequent. So the author took female root voles as subject and investigated whether the females could recognize the different odors of blood. The female root voles' behavioral patterns to four kinds of odorants were observed in a behavioral choice maze. The odorants were female root voles' blood, male root voles' blood, Wistar male rats' blood and distilled water control. The results indicate that root vole can recognize blood odor, and discriminate the inter-species blood odor, but can not discriminate the blood odor of different gender.

**Key words:** *M. icrotus oeconomus*; olfactory communication; blood recognition; sex recognition; inter-species recognition

动物间的信息交流对于动物生存和繁殖具有重要意义, 由于生存环境的不同, 动物信息交流的策略和方式存在差异。通常, 动物获取信息的方式主要有视觉、听觉、嗅觉、味觉等, 而嗅觉通讯在大多数哺乳动物的通讯行为中占有主导地位。啮齿类动物也主要依赖嗅觉来完成信息交流, 其嗅觉通讯中的主要气味源包括粪便、尿液、特化腺体的分泌物等 (Brown, 1979), 这些气味源中含有关于性别、生育、社会等级、个体识别和健康状况的信息, 对于调控动物的社会行为非常重要 (Brown, 1995)。Lai 等 (1996) 发现雌性坎氏毛足鼠 *Phodopus campbelli* 用于传递其繁殖状况的气味信号有 4 种, 不同的气味在不同的繁殖时期对雄鼠有着特殊的吸引作用。其中尿液气味和来源于口中的气味仅在雌鼠产后的动情期间有吸引雄性的作用。对草原田鼠 *M. icrotus pennsylvanicus* 的研究也发现: 身体不同部位 (包括尿

液、粪便、唾液, 背部的、胸部的、下体等) 所产生的气味信号, 对异性的吸引作用不同; 其中来自尿液、粪便和下体的气味更具性吸引力。而携带有关动物性别、繁殖状况等信息的气味信号也随着季节而有所变化 (Ferkin *et al.*, 1995)。

诸多研究表明尿液在动物嗅觉通讯中有非常重要的作用, 而血液是尿液的根本来源, 但对于血液是否含有气味信号、含有何种功能气味信号的研究很少。Sandnabba (1997) 用高攻击性的 Turku aggressive (TA) 小鼠作为实验动物, 研究血液对雄性小鼠攻击行为的影响, 结果表明血液能够抑制 TA 小鼠的攻击行为, 增加攻击小鼠的嗅闻行为, 且血液抑制攻击行为是由嗅觉介导的。此外 Claudia 等 (1998) 研究血液对牛行为模式的影响时也得到了相似的结果, 其结果表明血液气味能够引起牛嗅闻行为的增加, 并认为血液气味改变了牛的行为模式, 给动物提

收稿日期: 2008-03-20 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30500073)

作者简介: 于鸿浩 (1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 动物行为生态学, E-mail: geneyhh@126.com

\*通讯作者 Corresponding author, E-mail: pingsunny@msn.com

供一种警戒气味信号。可见血液气味能够被动物嗅觉系统所感知,其主要的功能在于抑制动物攻击行为,增加动物的嗅闻行为。

根田鼠 *Microtus oeconomus* 是一种分布广泛的小型哺乳动物 (Tast, 1996)。在海拔高寒草甸地区是优势小型啮齿动物之一,主要分布于植被覆盖度较好的草甸和灌丛中。其尿液的嗅觉通讯功能研究较多,孙平等 (2005、2006) 研究发现,雄性同胞中社会等级高的优势鼠与从属鼠对来自熟悉和陌生同性个体的尿气味存在行为差异;不同社会等级的雄性根田鼠对自身尿气味和非自身尿气味的行为响应模式也存在差异。此外,雌性根田鼠基于尿气味能够识别不同亲属关系异性气味并对不同气味表现出不同的行为响应模式,而雄鼠不能识别这些气味并对其表现出类似的行为模式 (孙平等, 2007)。根田鼠尿液中含有复杂的信息成分这个事实是毋庸置疑的,然而关于尿液中信息素来源的问题研究甚少。基于以上情况,本实验拟以雌、雄根田鼠血液和雄性 Wistar 大鼠血液 3 种不同的气味源,以雌性根田鼠为观察对象,从行为学角度判断不同性别、物种血液对根田鼠行为模式的影响,探讨根田鼠能否依赖血液气味进行性识别和种间识别。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验器材

实验采用 Y 字形行为选择箱,由两个气味源箱 (30 cm × 30 cm × 30 cm) 和一个中立箱 (45 cm × 45 cm × 45 cm) 组成。两个气味源箱由两个连接通道 (7 cm × 7 cm × 20 cm) 与中立箱相连,在靠近中立箱 5 cm 处的连接通道上有可以控制开关的闸门。在气味源箱中,以培养皿盛放新鲜的血液和蒸馏水作为气味源,实验动物可以在中立箱和气味源箱中自由穿行。具体如图 1 所示。

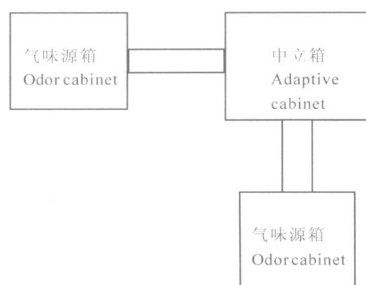


图 1 行为选择箱平面示意图

Fig 1 The behavior choice apparatus used in this experiment

### 1.2 实验动物

野外根田鼠捕自青海省门源县中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站区域 (37°29' ~ 37°45' N, 101°12' ~ 101°23' E), 在室内繁育 F1 至 F3 代实验种群。饲养在 40 cm × 28 cm × 15 cm 的塑料箱内,巢材为锯末,室温控制在 20 ± 1, 光周期 14L 10D, 光照始于 8:00。用于行为观察的根田鼠为成体、非动情雌性,每只根田鼠只用于一次行为观察实验。用于制备血液气味源的实验动物为成体雌性和雄性根田鼠以及成体雄性 Wistar 大鼠。以上所有实验动物之间无亲缘关系。行为观察实验共分为 3 组: 1. 雌性根田鼠对同性别根田鼠血液的行为识别; 2. 雌性根田鼠对雄性根田鼠血液的行为识别; 3. 雌性根田鼠对雄性 Wistar 大鼠血液的行为识别。

### 1.3 实验内容与步骤

**1.3.1 气味源的制备** 根田鼠血液气味源的制备: 将培养皿先以 75% 酒精清洗, 后用蒸馏水冲洗去除残留酒精, 烘干备用。采用摘眼球方法获得根田鼠新鲜血液, 立即把血液滴在事先准备好的培养皿中, 用脱脂棉将血液均匀涂布于培养皿中。对照组以蒸馏水涂布于培养皿中, 随后将上述两个气味源随机放在气味源箱中。大鼠血液气味源的制备: 制备大鼠血液气味源时, 以尾静脉采血的方式获得新鲜血液, 其他步骤与制备根田鼠血液气味源相同。

**1.3.2 行为观察** 气味识别实验在行为选择箱内进行。选择箱内的温度、光照、通风条件与饲养箱相同, 行为观察时间为 09:00 ~ 18:00。首先将实验动物放入中立箱中, 使其能够自由穿行在行为选择箱中, 适应 5 min, 然后用玻璃管把实验鼠固定在中立箱中央, 关闭连接通道的闸门, 把制备好的新鲜血液和蒸馏水对照分别放在两个气味源箱的中央, 静止 2 min。最后打开两个连接通道的开关, 开启摄像机拍摄实验动物在行为选择箱中的所有活动, 拍摄时间为 10 min。如果在 5 min 之内实验动物没有进入任何一个气味源箱则取消本次实验, 如果实验动物在连接通道内持续停留超过 3 min 亦取消实验, 拍摄完毕后用 75% 酒精擦洗选择箱并用大量清水冲洗, 烘干, 继续下一个实验。为了避免实验人员气味的干扰, 所有实验过程均佩戴一次性 pV 手套操作。有关行为指标定义的描述参见孙平 (2004)。

### 1.4 数据分析

拍摄的视频录像转入到电脑中, 观察者用秒表记录各项行为指标的时间和频次, 用 SPSS11.5 软件包进行统计分析。采用 Wilcoxon 方法分别检验了雌

性根田鼠对 3种血液与蒸馏水对照的行为差异。用 Mann-Whitney方法分别检验雌性根田鼠对雌、雄性根田鼠血液的行为差异及其对雄性根田鼠和 Wistar大鼠血液的行为差异。

## 2 结果

### 2.1 雌性根田鼠对雌性根田鼠血液和蒸馏水的行为识别

Wilcoxon检验结果表明,雌性根田鼠对雌性根田鼠血液气味的接近潜伏期显著短于对照,对血液的嗅舔频次显著多于对对照的嗅舔频次,而对血液的嗅舔时间极显著多于对对照的嗅舔时间。在访问频次和访问时间两个行为变量的表现上没有显著差异(表 1)。

表 1 雌性根田鼠对雌性根田鼠血液的识别(平均值±标准误)  
Table 1 Female root voles recognize females' blood (mean ±SE)

行为变量	雌性根田鼠血液气味	对照	显著性
Behavioral variable	Females' blood odor	control	Significance
接近潜伏期	114.11 ±15.61	257.33 ±54.70	*
访问频次	5.22 ±0.91	4.56 ±0.71	*
访问时间	163.11 ±24.78	135.44 ±29.81	ns
嗅舔频次	2.89 ±0.56	0.89 ±0.31	*
嗅舔时间	22.11 ±7.81	1.78 ±0.62	**

Wilcoxon检验,样本量为 10: \*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$ ; ns无差异 Wilcoxon  $t$ -test, sample size  $n = 10$ : \*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$ ; ns no significance

### 2.2 雌性根田鼠对雄性根田鼠血液和蒸馏水的行为识别

结果表明,雌性根田鼠对雄性根田鼠血液的嗅舔频次和嗅舔时间都极显著多于对照,其他行为指标没有显著差异(表 2)。

表 2 雌性根田鼠对雄性根田鼠血液的识别(平均值±标准误)  
Table 2 Female root voles recognize male root voles' blood (mean ±SE)

行为变量	雄性根田鼠血液气味	蒸馏水对照	显著性
Behavioral variable	Males' blood odor	Distilled water	Significance
接近潜伏期	156.2 ±35.8	246.3 ±61.93	ns
访问频次	3.9 ±0.67	3.3 ±0.54	ns
访问时间	105.8 ±18.47	88.1 ±17.02	ns
嗅舔频次	4.3 ±0.75	1 ±0.25	**
嗅舔时间	25 ±7.1	0.8 ±0.2	**

Wilcoxon检验,样本量为 10: \*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$ ; ns无差异 Wilcoxon  $t$ -test, sample size  $n = 10$ : \*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$ ; ns no significance

### 2.3 成体雌性根田鼠对大鼠血液和蒸馏水气味的

### 行为响应

雌性根田鼠对雄性大鼠血液气味的嗅舔频次、嗅舔时间显著多于对照;访问频次、访问时间、接近潜伏期都没有显著差异,说明雌性根田鼠能够识别大鼠血液的气味(表 3)。

表 3 雌性根田鼠对大鼠血液的识别(平均值±标准误)  
Table 3 Female root voles recognize rats' blood (mean ±SE)

行为变量	大鼠血液气味	蒸馏水对照	显著性
Behavioral variable	Rats' blood odor	Distilled water	Significance
接近潜伏期	89.62 ±34.67	251.50 ±73.88	ns
访问频次	3.25 ±0.59	2.5 ±0.78	ns
访问时间	108.86 ±24.3	85.13 ±28.32	ns
嗅舔频次	3.25 ±0.90	1.71 ±0.65	*
嗅舔时间	4.63 ±2.39	1.13 ±0.48	*

Wilcoxon检验,样本量为 8: \*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$ ; ns无差异 Wilcoxon  $t$ -test, sample size  $n = 8$ : \*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$ ; ns no significance

### 2.4 雌性根田鼠对不同性别根田鼠血液气味的行为指标分析

Mann-Whitney检验结果表明成体雌性根田鼠对雌性和雄性根田鼠血液气味的各项行为指标都无显著差异(图 2)。

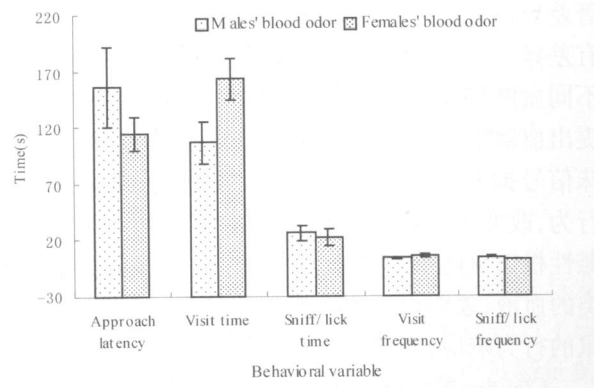


图 2 雌性根田鼠对不同性别血液的行为响应模式  
Fig 2 Female root voles' behavioral pattern to the different gender blood

### 2.5 雌性根田鼠对雄性根田鼠血液气味和大鼠血液气味的行为识别

采用 Mann-Whitney检验方法比较分析雌性根田鼠对雄性根田鼠血液气味和大鼠血液气味的行为变量,结果表明雌性根田鼠对雄性根田鼠血液气味的嗅舔时间显著多于对大鼠血液气味的嗅舔时间。而嗅舔频次、访问频次、访问时间、接近潜伏期都没有显著差异(图 3)。

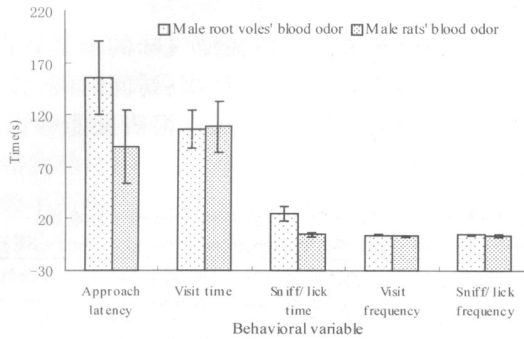


图 3 雌性根田鼠对异种血液的行为响应模式  
Fig 3 Female root voles' behavioral pattern to the different species' blood

### 3 讨论

哺乳动物的嗅觉通讯(也称之为化学通讯)是一个十分复杂而又精确的信息交流方式,一般来说化学通讯包括两个部分:动物化学信息的释放和动物对化学信息的接受并对所接受的化学信息做出相应的反应(Jang, 2004),这些反应可以是行为反应也可以是生理反应。本实验的结果表明雌性根田鼠对雌性根田鼠血液的嗅舔频次显著多于对照,而嗅舔时间极显著地多于对照;对雄性根田鼠血液的嗅舔频次和嗅舔时间都极显著地多于蒸馏水对照组;对雄性大鼠血液的嗅舔频次和时间都与对照组有显著差异,对雄性根田鼠和大鼠血液气味的行为响应有差异,证明了雌性根田鼠能够识别血液气味,且对不同血液做出不同的行为反应。Sandnabba(1997)提出血液中可能含有由嗅觉介导的信息素,这种气味信号抑制 TA 实验小鼠的攻击行为,增加其嗅闻行为,改变了动物行为模式。本实验的结果也表明雌性根田鼠能够识别血液气味,且能够区分不同种类的血液,表明血液中含有气味信号,能够引起根田鼠的行为响应,实验的结论支持 Sandnabba 的观点。

Claudia 等(1998)研究了血液对牛的行为模式的影响,认为血液气味可能是一种潜在的危险信号,增加了动物的嗅闻行为。本实验的结果表明血液导致雌性根田鼠的嗅舔行为增加,嗅舔行为的增加是根田鼠对血液气味的行为反应。动物嗅闻行为是对环境中气味信号的基本行为反应,嗅闻行为的增加可能预示动物个体感知空气中可能存在的潜在的危险气味信号。自然条件下,动物之间的配偶竞争、领地竞争和食物资源竞争等都可能引起个体间的攻击行为,攻击行为很可能造成流血,此时血液气味作为一种警示信号提示被攻击者采取对策,而血液能够

抑制攻击动物的攻击行为(Sandnabba, 1997),从而改变了争斗个体间的行为模式。动物之间采取这样的策略能够避免争斗中个体的死亡,保存了遗传给后代的基因多样性。因此血液识别对于动物种内个体竞争具有重要的意义。

尿液是十分重要的信号物质来源,在啮齿类动物的领域标记、个体识别中扮演重要的角色,对个体的识别包括对识别对象的性别、年龄、亲缘关系的识别等。

雄性啮齿动物尿中含有一类被称作主要尿蛋白的蛋白质,能够结合并释放挥发性信息素,这些挥发性物质对雌性动物有吸引力,可以激发前青春期及成年雌体发情(Jemio *et al.*, 1985)。啮齿类动物的主要尿蛋白来自于肝脏,经过血液,通过肾脏进入尿液(Pavel *et al.*, 2007)。雌性根田鼠能否依赖血液气味辨别性别?本实验的结果表明雌性根田鼠对雌性根田鼠血液气味和雄性根田鼠血液气味的各项行为指标都没有差异,说明雌性根田鼠在行为上不能根据血液气味判断性别。由此推测根田鼠不能依赖于血液中的信息素辨别性别,其原因可能是因为血液中的信息素没有达到根田鼠识别的阈值,或者血液中的主要尿蛋白没有结合与个体识别有关的信息素,其结合信息素的过程与尿液产生的过程密切相关。

总之,血液中含有与嗅觉通讯相关的信号物质,在动物的嗅觉通讯中扮演一定的角色。实验的结果表明雌性根田鼠可以根据血液气味信号进行种间识别,但不能进行性别识别。

### 4 参考文献

- 孙平,赵亚军,赵新全. 2004. 根田鼠气味识别的性二型[J]. 兽类学报, 24(4): 315~321.
- 孙平,赵亚军,赵新全,等. 2005. 雄性根田鼠的同胞竞争及其对同性个体的气味识别[J]. 动物学研究, 26(3): 230~236.
- 孙平,赵亚军,徐世晓,等. 2006. 不同社会等级雄性根田鼠对自身和同性陌生气味的辨别[J]. 兽类学报, 26(3): 280~284.
- 孙平,于鸿浩,赵新全,等. 2007. 根田鼠对不同亲属关系异性尿液气味的识别[J]. 兽类学报, 27: 389~394.
- Brown RE. 1979. Mammalian social odors: A critical review[J]. *Adv Study Behav.* 10: 103~162.
- Brown RE. 1995. What is the role of the immune system in determining individually distinct body odours[J]. *International Journal of Immunopharmacology*, 17: 655~661.
- Claudia Terbuw, Alain Boissy, Patrick Blinot. 1998. Behavioural responses of cattle to the odours of blood and urine from conspecifics and to the odour of faeces from carnivores[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 57: 9~21.

(下转第 63 页)

- Chanut F. 2006. The Sound of Dinner[J]. Public library of Science Biology, 10: 1037 ~ 1039.
- Elisabeth KV. 1998. How echolocation bats approach and acquire food [A]. In: Kunz TH and Racey PA eds. Bat Biology and Conservation [M]. Washington and London: Smithsonian Institution Press. 197 ~ 205.
- Fenton MB. 1990. The foraging behaviour and ecology of animal-eating bats[J]. Can J Zool, 68: 411 ~ 42.
- Jensen ME, Miller LA. 1997. Echolocation signals of the bat *Eptesicus serotinus* recorded using a vertical microphone array: effect of flight altitude on searching signals[J]. Behav Ecol Sociobiol, 47: 60 ~ 69.
- Jones G, Holderied MW. 2007. Bat echolocation calls: adaptation and convergent evolution[J]. Proceedings of the Royal Society Series B Biological Sciences, 274: 905 ~ 912.
- Kalko EKV, Schnitzler HU. 1993. Plasticity in echolocation signals of European pipistrelle bats in search flight: implications for habitat use and prey detection[J]. Behav Ecol Sociobiol, 33: 415 ~ 428.
- Kunz TH, Fenton MB. 2003. Bat Ecology [M]. Chicago and London: The University of Chicago Press: 10 ~ 50.
- Lancaster WC, Speakman JR. 2001. Variations in respiratory muscle activity during echolocation when stationary in three species of bat (Microchiroptera: Vespertilionidae) [J]. The Journal of Experimental Biology, 204: 4185 ~ 4197.
- Neuweiler G. 1983. Echolocation and adaptivity to ecological constraints [A]. In: Huber F and Markl H eds. Neuroethology and Behavioural Physiology [M]. Berlin: Springer-Verlag: 280 ~ 302.
- Norberg UM, Rayner JMV. 1987. Ecological morphology and flight in bats (Mammalia: Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation[J]. Philos Trans Roy Soc Lond B Biol Sci, 316: 335 ~ 427.
- Robinson MF, Stebbings RE. 1993. Food of the serotine bat, *Eptesicus serotinus*-is faecal analysis a valid qualitative and quantitative technique [J]. The Zoological Society of London, 231: 239 ~ 248.
- Siemers BM, Schnitzler HU. 2004. Echolocation signals reflect niche differentiation in five sympatric congeneric bat species[J]. Nature, 429: 657 ~ 661.
- Surlykke A, Bojesen O. 1996. Integration time for short broad band clicks in echolocating FM-bats (*Eptesicus fuscus*) [J]. Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology, 178: 235 ~ 241.
- Wilkinson GS. 1995. Information transfer in bats[J]. Symp Zool Soc Lond, 67: 345 ~ 360.
- Wund MA. 2005. Learning and the development of habitat-specific bat echolocation[J]. Animal Behaviour, 70: 441 ~ 450.

(上接第 58 页)

- Ferkin MH, Johnston RE. 1995. Meadow voles, *Microtus pennsylvanicus*, use multiple source of scent for sex recognition[J]. Anim Behav, 49: 37 ~ 44.
- Ferkin MH, Sorokin ES, Johnston RE. 1995. Seasonal changes in scents and responses to them in meadow voles: Evidence for the coevolution of signals and response mechanisms[J]. Ethology, 100: 89 ~ 98.
- Jeniol D, Alberts J, Sochinski-Wiggins S, et al. 1985. Behavioural and endocrine responses of female mice to synthetic analogs of volatile compounds in male urine[J]. Anim Behav, 33: 1114 ~ 1118.
- Jiang ZG. 2004. Animal Behavior Principles and Species Conservation Methods [M]. Beijing: Science Press: 327 ~ 339.
- Lai SC, Vasilieva NY, Johnston RE. 1996. Odors providing sexual information in Djungarian hamsters: evidence for an across-odor code[J]. Horm Behav, 30: 26 ~ 36.
- Pavel Stopka, Katerina Janotova, David Heyrovsky. 2007. The advertisement role of major urinary proteins in mice[J]. Physiology & Behavior, 91: 667 ~ 670.
- Sandnabba KN. 1997. The effect of blood signals on aggressive behaviour in mice[J]. Behav Process, 41: 51 ~ 56.
- Tast J. 1996. The root vole, *Microtus oeconomus* (Pallas) as an inhabitant of seasonally flooded land[J]. Ann Zool Fenn, 3: 127 ~ 171.