

根田鼠气味识别的性二型

孙 平^{1,3} 赵亚军^{2*} 赵新全¹

(1 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810001)

(2 中国农业大学设施农业生物环境工程农业部重点实验室, 北京, 100083)

(3 中国科学院研究生院, 北京, 100039)

摘要: 以新鲜尿和粪作气味源, 在行为选择箱中观察根田鼠的行为识别模式, 结果表明: 雌鼠对陌生同性尿、粪气味源行为识别的差异不显著, 雄鼠对陌生同性尿、粪气味源的行为识别在多个指标上存在显著差异; 根田鼠对陌生异性尿、粪的行为响应模式无明显差异; 除嗅舔时间外, 雌、雄鼠对粪气味的行为识别在其他指标上不存在明显差异; 比较雌、雄鼠对尿刺激的行为识别发现, 雄鼠对尿刺激的访问频次和反标记显著大于雌鼠, 雌性嗅舔时间显著大于雄性, 其他方面二者之间并无显著差异。因此, 雌、雄性根田鼠对粪气味的行为识别模式不存在性别差异; 对尿气味的行为识别模式存在性别差异。

关键词: 根田鼠; 气味源; 行为识别模式; 性别差异; 性二型

中图分类号: Q958.12

文献标识码: A

文章编号: 1000-1050(2004)04-0315-07

Sexual Dimorphism of Odoural Discrimination in Root Voles

SUN Ping^{1,3} ZHAO Yajun^{2*} ZHAO Xinquan¹

(1 Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining, 810001)

(2 Ministry of Agriculture Key Laboratory for Agr-Biological Environmental Engineering, China Agricultural University, Beijing, 100083)

(3 Graduate school of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039)

Abstract: The behavioral discrimination to fresh urine and feces of root voles (*Microtus oeconomus*) was investigated in a behavioral choice maze. The results showed that: (1) There were no significant difference between odor discrimination to urine and feces in female root voles. There were significant differences between odor discrimination to urine and feces in males. (2) There was no significant difference in odoural discrimination of root voles between urine and feces of strange opposite sex. (3) Except for sniff / lick time, there were no significant difference on odor discrimination to feces between males and females. (4) By comparison of odor discrimination to urine between males and females found that, the visit frequency and counter-marking of males to urine were significantly more than females, and females spent more time sniffing / licking opposite-sex voles than males did, even there were no significant differences in other aspects. The results indicated that there was no sexual difference in odor discrimination to feces and there were sexual differences in odor discrimination to urine between males and females.

Key words: Root vole (*Microtus oeconomus*); Odorant; Behavior discrimination; Sexual difference; Sexual dimorphism

嗅觉通讯在大多数哺乳动物的通讯行为中占主导地位^[1], 而啮齿类则是主要依靠嗅觉进行个体交流的动物类群^[2]。啮齿动物的主要气味源有尿、粪便和特化腺体(唾液、哈氏腺、腹中腺、侧腺、肺腺等)的分泌物^[2,3~7]。不同来源的气味信号所携带的信息以及它们所产生的作用可能不同。对多

种啮齿类的研究发现, 尿气味有明显的个体特征, 种内个体识别是通过尿气味来完成的^[8]。对雌性坎氏毛足鼠(*Phodopus campbelli*)用于传递繁殖状况气味信号的研究发现, 其中尿液的气味信息仅在雌鼠产后动情期间对雄鼠有吸引力^[9], 而对草甸田鼠(*Microtus pennsylvanicus*)的研究也表明, 源于动物

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30100016); 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX1-09-01)

作者简介: 孙平(1975-), 男, 博士研究生, 主要从事动物行为学和化学通讯的研究。

收稿日期: 2003-08-26; 修回日期: 2004-03-15

*通讯作者, E-mail: yajunzhao1@263.net

尿液、粪便和下体的气味对异性更有吸引作用^[6]。有研究表明, 粪便气味也具有个体特征^[10,11]。

已有的研究发现, 小型啮齿动物在本能行为和空间学习等方面存在明显的性二型^[12~14]。尹峰等对布氏田鼠 (*M. brandti*) 择偶行为的研究发现, 雌雄鼠对异性个体外阴处的探究时间存在明显的性别差异^[15], 我们的研究发现, 雄性根田鼠 (*M. oeconomus*) 体重大小上的优势与择偶行为上的优势是一致的, 同时日龄相当的雌雄根田鼠具有非常显著的体重偏雄性二型^[16]。而根田鼠对同种气味源的行为响应是否存在性别特征, 有关报道尚不多见。

根田鼠的个体气味中携带有表明动物性别特征、熟悉程度等特征的信息^[17~19], 以往的研究中, 我们以巢垫物或活体动物, 作为携带根田鼠个体信息的气味源, 这些气味信号是来源于身体不同部位气味的混合, 还带有个体的面部特征。本实验中, 我们以高寒草甸金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 灌丛优势动物根田鼠为实验动物, 研究根田鼠对不同气味源 (包括尿和粪两种类型) 的行为响应模式以及给予同种刺激时不同性别个体间是否存在行为响应的性二型。

1 材料与方法

1.1 实验动物

根田鼠为捕自中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站 (37°29' ~ 37°49' N, 101°12' ~ 101°33' E) 附近, 在中国科学院西北高原生物研究所动物饲养室内繁殖的 F1 和 F2 代。动物饲养在 40 cm × 28 cm × 15 cm 的塑料箱内, 以干净的锯末为铺垫, 棉花作巢材, 为保证巢箱的清洁和卫生, 每周至少更换一次铺垫和巢材, 水和食物供应充足, 并提供少量的胡萝卜, 室温控制在 22 ± 2 °C, 光周期为 14L:10D, 光亮始于 08:00。

1.2 气味源的制备

实验动物健康的标准: 毛色发亮, 梳理整齐, 体表无寄生虫, 活动正常, 食量稳定的个体。气味源的制备: 选取与实验动物无亲缘关系、陌生的根田鼠作为刺激鼠, 所有刺激鼠的体重相差不大, 以捕鼠笼将其分别放在饲养箱上, 饲养箱上铺有两层纱网以隔离粪尿。用镊子夹取粪便, 均匀放入清洗干净的培养皿 (直径 8 cm) 中; 尿样用脱脂棉沾

取, 在清洗干净的培养皿中涂匀, 并将沾有尿液的脱脂棉放在培养皿 (直径 8 cm) 中央。为保证气味源新鲜, 粪便或尿的排泄时间不超过 30 min。在气味源搜集以及实验过程中, 均戴外科手套以防止其他气味对实验的影响。

1.3 实验器材

行为观察箱为品字形, 由两个气味源箱 (30 cm × 30 cm × 30 cm) 和中立箱 (45 cm × 30 cm × 30 cm) 组成, 中立箱与气味源箱由透明的管道 (长 20 cm, 直径 6 cm) 相连, 并以闸门控制, 箱体及管道的材料为聚氯乙烯。

1.4 实验内容

1.4.1 雌性根田鼠对陌生同性粪、尿气味的行为响应

本实验样本数共 64 个, 其中尿样 34 个, 粪样 30 个。分别以不同个体的粪便和尿作为雌鼠个体识别的气味源, 以检验雌鼠对陌生同性粪便和尿刺激响应模式的差异。

1.4.2 雄性根田鼠对陌生同性粪、尿气味的行为响应

本实验样本数共 62 个, 其中尿样 40 个, 粪样 22 个。分别以不同个体的粪便和尿作为雄鼠个体识别的气味源, 以检验雄鼠对陌生同性粪便和尿刺激响应模式的差异。

1.4.3 雌性根田鼠对陌生雄性尿、粪气味的行为响应

实验样本数共 46 个, 其中尿样 16 个, 粪样 30 个。分别以陌生异性的粪便和尿作为雌鼠个体识别的气味源, 以检验雌鼠对陌生异性粪便和尿刺激响应模式的差异。

1.4.4 雄性根田鼠对陌生雌性尿、粪气味的行为响应

实验样本数共 33 个, 其中尿样 16 个, 粪样 17 个。分别以陌生异性的粪便和尿作为雄鼠个体识别的气味源, 以检验雄鼠对陌生异性粪便和尿刺激响应模式的差异。

1.4.5 雌、雄性根田鼠对同性粪气味的行为响应

运用 1.4.1 和 1.4.2 的数据, 以粪为气味源, 探讨雌、雄鼠对粪刺激响应模式的性别差异。

1.4.6 雌、雄性根田鼠对同性尿气味的行为响应

运用 1.4.1 和 1.4.2 的数据, 以尿为气味源, 探讨雌、雄鼠对尿刺激响应模式的性别差异。

1.5 实验步骤

所有的实验在与饲养房条件一样的行为观察室内进行。观察时间选在 08:30 ~ 21:30, 与光周期协调。首先, 采用平衡设计, 将不同来源的气味源随机放入两个气味源箱中央, 静置 2 min, 关闭闸门, 然后放入实验动物, 令其适应 5 min, 用塑料管将其固定在中立箱中央, 打开闸门, 放开实验动物, 实验开始, 观察并以秒表记录动物的行为, 如在 5 min 内, 实验动物未能成功进入任一气味源箱, 则取消该实验, 如果动物在玻璃管内持续停留时间超过 3 min 则取消本次实验。10 min 后结束实验, 将实验动物放回原位置, 用 75% 酒精擦洗, 并以大量清水冲洗以除去各种气味对下组实验的可能影响。行为记录如下:

(1) 访问时间 (Visit duration): 整个实验过程中, 实验动物进入任一气味源箱直到离去的所有活动。

(2) 访问频次 (Visit frequency): 实验动物访问某一气味源箱的次数。

(3) 接近潜伏期 (Approach latency): 首次进入某一气味源箱之前的所有时间。

(4) 嗅舔时间 (Sniff / lick duration): 实验动物靠近气味源, 并用鼻吻对气味源进行嗅/舔且停留时间超过 0.5 s。

(5) 嗅舔频次 (Sniff / lick frequency): 实验动物靠近气味源, 并用鼻吻对气味源进行嗅/舔的次数。

(6) 接近频次 (Approach frequency): 实验动物接近培养皿 1 cm 范围内, 又无明显的嗅舔行为。

(7) 自我修饰 (Self-groom): 舔舐以及搔扒自己的鼻吻部、头部、胁侧、尾部以及阴部和整理前后抖擻全身等。

(8) 反标记 (Counter-marking): 在实验期间, 实验动物在气味源箱中排粪次数以及尿的斑和条数。

(9) 其它 (Others): 实验动物在气味源箱中的直立、观察、跳跃、拳击等进攻或逃逸的动作等。

1.6 数据分析

以秒表计时, 记录各种行为变量持续的时间, 并统计各行为变量发生的频次, 输入计算机, 数据的统计分析采用 SPSS10.0 软件包。用 Mann - Whitney test 检验 (非参数的独立样本 T - 检验) 比较实验动物对不同气味源的响应差异以及不同性别的实验动物对相同类型气味源的响应差异。

2 结果

2.1 雌性根田鼠对陌生雌性粪、尿气味的行为响应

与粪便相比, 尿刺激更能诱发雌性根田鼠的自我修饰, 而在接近潜伏期、访问频次及时间、嗅舔频次及时间、接近频次、反标记以及其它方面, 二者之间无显著差异 (表 1)。

表 1 雌性根田鼠对陌生雌性尿粪的识别 (平均值 \pm 标准误)

Table 1 Discrimination for strange female urine and feces by female (Mean \pm SE)

行为变量 Behavior variable	尿样 Urinary sample (n = 32)	粪样 Feces sample (n = 30)	显著性 Significance
接近潜伏期 Approach latency (s/ 10 min)	174.43 \pm 30.18	197.74 \pm 29.74	ns
访问频次 Visit frequency (No/ 10 min)	4.12 \pm 0.67	4.17 \pm 0.37	ns
访问时间 Visit time (s/ 10 min)	240.47 \pm 23.91	198.43 \pm 22.20	ns
嗅/ 舔频次 Sniff / lick frequency (No/ 10 min)	5.47 \pm 0.74	3.67 \pm 0.42	ns
嗅舔时间 Sniff / lick time (s/ 10 min)	20.83 \pm 2.39	20.76 \pm 2.60	ns
接近频次 Approach frequency (No/ 10 min)	2.26 \pm 0.45	1.60 \pm 0.33	ns
自我修饰 Self-grooming (No/ 10 min)	7.24 \pm 1.92	1.10 \pm 0.30	* *
反标记 Counter-marking (No/ 10 min)	0.15 \pm 0.10	0.37 \pm 0.19	ns
其它 Others (No/ 10 min)	11.06 \pm 2.26	8.83 \pm 2.69	ns

注 Note: Mann - Whitney 检验 Mann - Whitney test. * * $P < 0.01$; ns: no significance

2.2 雄性根田鼠对陌生雄性粪、尿气味的行为响应

雄性根田鼠对尿刺激的接近潜伏期显著短于粪刺激,对尿刺激的访问频次、嗅舔频次、自我修饰

及其它等方面均显著高于粪刺激,而雄性对尿的访问时间、嗅舔时间和接近频次都高于粪刺激,但未达到显著水平,对尿、粪刺激的反标记亦无明显差异(表2)。

表2 雄性根田鼠对陌生雄性尿粪的识别(平均值±标准误)

Table 2 Discrimination for strange male urine and feces by male (Mean ± SE)

行为变量 Behavior variable	尿样 Urinary sample (n = 40)	粪样 Feces sample (n = 22)	显著性 Significance
接近潜伏期 Approach latency (s/10 min)	131.25 ±26.33	225.06 ±46.17	*
访问频次 Visit frequency (No/10 min)	6.45 ±0.72	3.95 ±0.86	*
访问时间 Visit time (s/10 min)	226.58 ±22.73	209.19 ±36.67	ns
嗅/舔频次 Sniff/lick frequency (No/10 min)	5.70 ±0.73	3.32 ±0.65	*
嗅舔时间 Sniff/lick time (s/10 min)	14.25 ±2.05	11.84 ±2.51	ns
接近频次 Approach frequency (No/10 min)	2.93 ±0.42	1.88 ±0.60	ns
自我修饰 Self-grooming (No/10 min)	7.50 ±1.43	1.33 ±0.73	**
反标记 Counter-marking (No/10 min)	1.23 ±0.43	1.31 ±0.63	ns
其它 Others (No/10min)	12.00 ±1.79	6.75 ±5.05	***

注 Note: Mann - Whitney 检验 Mann - Whitney test. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; ns: no significance

2.3 雌性根田鼠对陌生雄性尿、粪气味的行为响应

Mann - Whitney 检验结果表明,所有行为指标

间的差异均未达到显著水平,因此,雌性根田鼠对陌生雄性尿、粪的行为响应模式无显著差异(表3)。

表3 雌性根田鼠对陌生雄性尿粪的识别(平均值±标准误)

Table 3 Discrimination for strange male urine and feces by female (Mean ± SE)

行为变量 Behavior variable	尿样 Urinary sample (n = 16)	粪样 Feces sample (n = 30)	显著性 Significance
接近潜伏期 Approach latency (s/10 min)	171.82 ±46.46	171.85 ±31.37	ns
访问频次 Visit frequency (No/10 min)	3.44 ±0.61	3.67 ±0.27	ns
访问时间 Visit time (s/10 min)	241.26 ±37.85	223.24 ±21.79	ns
嗅/舔频次 Sniff/lick frequency (No/10 min)	5.38 ±0.94	4.27 ±0.49	ns
嗅舔时间 Sniff/lick time (s/10 min)	19.26 ±3.55	26.37 ±3.47	ns
接近频次 Approach frequency (No/10 min)	2.94 ±0.77	2.27 ±0.37	ns
自我修饰 Self-grooming (No/10 min)	10.56 ±3.14	3.77 ±1.66	ns
反标记 Counter-marking (No/10 min)	0.19 ±0.14	0.80 ±0.40	ns
其它 Others (No/10 min)	12.19 ±2.57	9.27 ±2.46	ns

注 Note: Mann - Whitney 检验 Mann - Whitney test. ns: no significance

2.4 雄性根田鼠对陌生雌性尿、粪气味的行为响应

Mann - Whitney 检验结果表明, 所有行为指标

间的差异均未达到显著水平, 因此, 雄性根田鼠对陌生雌性尿、粪的行为响应模式无显著差异 (表 4)。

表 4 雄性根田鼠对陌生雌性尿粪的识别 (平均值 \pm 标准误)

Table 1 Discrimination for strange female urine and feces by male (Mean \pm SE)

行为变量 Behavior variable	尿样 Urinary sample (n = 16)	粪样 Feces sample (n = 17)	显著性 Significance
接近潜伏期 Approach latency (s/ 10 min)	163.11 \pm 41.38	179.77 \pm 39.69	ns
访问频次 Visit frequency (No/ 10 min)	6.59 \pm 1.10	4.50 \pm 0.74	ns
访问时间 Visit time (s/ 10 min)	179.08 \pm 21.82	190.72 \pm 26.95	ns
嗅/ 舔频次 Sniff / lick frequency (No/ 10 min)	6.47 \pm 1.41	5.19 \pm 1.14	ns
嗅舔时间 Sniff/ lick time (s/ 10 min)	29.39 \pm 4.87	23.68 \pm 3.81	ns
接近频次 Approach frequency (No/ 10 min)	3.06 \pm 0.60	1.81 \pm 0.59	ns
自我修饰 Self-grooming (No/ 10 min)	3.00 \pm 0.99	3.13 \pm 1.15	ns
反标记 Counter-marking (No/ 10 min)	2.06 \pm 1.33	3.69 \pm 2.68	ns
其它 Others (No/ 10 min)	8.65 \pm 3.03	16.63 \pm 5.65	ns

注 Note: Mann - Whitney 检验 Mann - Whitney test. ns: no significance

2.5 雌、雄性根田鼠对同性粪气味的行为响应

比较雌、雄根田鼠对粪刺激的行为响应发现, 雌性根田鼠对粪刺激的嗅舔时间显著大于雄性, 而

在接近潜伏期、访问频次及时间、嗅舔频次、接近频次、自我修饰、反标记以及其它等方面, 二者之间无显著差异 (表 5)。

表 5 雌、雄性根田鼠对同性粪的识别 (平均值 \pm 标准误)

Table 5 Discrimination for same-sex feces by female and male (Mean \pm SE)

行为变量 Behavior variable	雌性样本 Female sample (n = 22)	雄性样本 Male sample (n = 30)	显著性 Significance
接近潜伏期 Approach latency (s/ 10 min)	197.75 \pm 29.74	225.06 \pm 46.18	ns
访问频次 Visit frequency (No/ 10 min)	4.17 \pm 0.37	3.95 \pm 0.86	ns
访问时间 Visit time (s/ 10 min)	198.43 \pm 22.20	209.19 \pm 36.67	ns
嗅/ 舔频次 Sniff / lick frequency (No/ 10 min)	3.67 \pm 0.43	3.32 \pm 0.65	ns
嗅舔时间 Sniff / lick time (s/ 10 min)	20.76 \pm 2.60	11.84 \pm 2.51	*
接近频次 Approach frequency (No/ 10 min)	1.60 \pm 0.33	1.88 \pm 0.60	ns
自我修饰 Self-grooming (No/ 10 min)	1.10 \pm 0.30	1.33 \pm 0.73	ns
反标记 Counter-marking (No/ 10 min)	0.37 \pm 0.19	1.31 \pm 0.63	ns
其它 Others (No/ 10 min)	8.83 \pm 2.69	6.75 \pm 5.05	ns

注 Note: Mann - Whitney 检验 Mann - Whitney test. * $P < 0.05$; ns: no significance

2.6 雌、雄性根田鼠对同性尿气味的行为响应

比较雌、雄根田鼠对尿刺激的行为响应发现, 雄性根田鼠对尿刺激的访问频次和反标记两项指标显著大于雌性, 雌性根田鼠对尿刺激的嗅舔时间显

著大于雄性, 而在接近潜伏期、访问时间、嗅舔频次、接近频次、自我修饰以及其它等方面, 二者之间无显著差异 (表 6)。

表6 雌、雄性根田鼠对同性尿的识别 (平均值 \pm 标准误)Table 6 Discrimination for same-sex urine by female and male (Mean \pm SE)

行为变量 Behavior variable	雌性样本 Female sample (n = 34)	雄性样本 Male sample (n = 40)	显著性 Significance
接近潜伏期 Approach latency (s/ 10 min)	174.43 \pm 30.18	131.25 \pm 26.33	ns
访问频次 Visit frequency (No/ 10 min)	4.12 \pm 0.67	6.45 \pm 0.72	* *
访问时间 Visit time (s/ 10 min)	240.47 \pm 23.91	226.58 \pm 22.73	ns
嗅/ 舔频次 Sniff / lick frequency (No/ 10 min)	5.47 \pm 0.74	5.70 \pm 0.73	ns
嗅舔时间 Sniff/ lick time (s/ 10 min)	20.83 \pm 2.39	14.25 \pm 2.05	*
接近频次 Approach frequency (No/ 10 min)	2.26 \pm 0.45	2.93 \pm 0.42	ns
自我修饰 Self-grooming (No/ 10 min)	7.24 \pm 1.92	7.50 \pm 1.43	ns
反标记 Counter-marking (No/ 10 min)	0.15 \pm 0.10	1.23 \pm 0.43	*
其它 Others (No/ 10 min)	11.06 \pm 2.26	12.00 \pm 1.79	ns

注 Note: Mann - Whitney 检验 Mann - Whitney test. * $P < 0.05$; * * $P < 0.01$; ns: no significance

3 讨论

啮齿动物的气味源主要包括尿、粪便和特化腺体的分泌物等^[2,3~7]。动物个体的气味信息是来源于身体不同部位气味的混合, 带有明显的个体特征、性别特征以及其在种群中的社会地位等信息。不同来源的气味信号所携带的信息以及它们所产生的作用可能是不同的。对多种啮齿类的研究发现, 尿气味有明显的个体特征, 种内个体识别是通过尿气味来完成的^[8]。张立等的研究发现, 布氏田鼠的尿液和粪便都带有性别特征和季节信息^[20]。本实验表明: 雌鼠对陌生同性尿、粪气味源行为响应的差异不显著。而雄鼠对陌生同性尿、粪气味源行为响应的差异较为显著。这种现象产生的原因可能是: (1) 与雌鼠相比, 雄鼠的攻击行为较强, 巢区较大^[21], 并且雄性经常在一个较大的范围内移动, 其移动范围甚至可达到 5 000 m², 其活动距离即使在冬季也比雌性根田鼠夏季的活动距离大^[22]。(2) 根田鼠为多配制小型啮齿动物, 为了与同一个雌性交配, 雄性个体之间必然存在激烈的配偶竞争^[23], 为节省能量和避免不必要的伤害, 导致雄性个体的气味识别能力增强。

Lewis 和 Gower 指出: 哺乳动物的信息素是在泌尿系统的代谢作用、消化系统的排泄过程和体表皮肤腺的分泌过程中产生的^[24]。动物嗅觉通讯中化学成分组成的个体差异是由遗传、激素水平和食物等多因子共同作用的结果^[25]; 同时, 实验动物

的饲养条件也会影响到 Long-Evans 大鼠的个体气味^[26]。本实验发现: 雌、雄鼠对陌生同性个体粪、尿的行为响应模式不存在明显差异, 因此, 同一个体的粪、尿中可能携带类似的表明其个体特征的信息, 对异性具有同等程度的吸引力。类似的研究也表明, 源于动物尿液和粪便的气味对异性更有吸引作用^[6]。

在雄性哺乳动物中, 普遍存在对同种个体气味标记的反标记现象^[27,28]。我们的研究发现: 雌、雄鼠对粪气味的行为响应模式不存在性别差异; 雄鼠对尿刺激的访问频次和反标记两项指标显著大于雌鼠, 雌鼠的嗅舔时间明显多于雄性, 雌、雄鼠对尿气味的行为响应模式存在性二型。可能的原因是, 在野外条件下, 由于土壤对尿的吸收和扩散, 外加太阳照射和风力等环境因子的协同作用, 尿的挥发速度要明显高于粪的挥发速度, 同时, 在社群中, 雄鼠防御领域的的能力明显强于雌鼠, 雄鼠对尿刺激的接近潜伏期显著短于粪刺激, 亦证明了这一点。

动物个体行为是长期进化的产物, 是其生活环境和遗传相互作用的结果。环境条件的变化, 会引起动物个体行为的改变。张立等曾指出: 在气味辨别实验中, 许多因素都可能会对动物的行为产生影响, 甚至导致偏差。因此, 在行为学中研究动物对不同气味的辨别能力, 还需要从实验方法上进行深入的探讨^[29]。

参考文献:

- [1] Müller-Schwarze D. Scent glands in mammals and their function [A]. In: Eisenberg J F, Kleiman D Geds. Advances in the study of mammalian behavior. Special Publication No. 7 [C]. The American Society of Mammalogists, 1983. 150 - 197.
- [2] Brown R E. The rodents. II. Suborder myomorpha [A]. In: Brown R E, Macdonald D Weds. Social Odours in Mammals, Vol. 1 [C]. Oxford: Oxford University Press, 1985. 345 - 457.
- [3] Ferkin M H, Johnston R E. Meadow voles, *Microtus pennsylvanicus*, use multiple source of scent for sex recognition [J]. *Anim Behav*, 1995, **49**: 37 - 44.
- [4] Smith B A, Block M L. Preference of Mongolia gerbils for salivary cues: a developmental analysis [J]. *Anim Behav*, 1990, **39**: 512 - 521.
- [5] Shanas U, Terkel J. Mole-rat Harderian gland secretions inhibit aggression [J]. *Anim Behav*, 1997, 1255 - 1263.
- [6] Ferkin M H, Sorokin E S, Johnston R E. Seasonal changes in scents and responses to them in meadow voles: Evidence for the co-evolution of signals and response mechanisms [J]. *Ethology*, 1995, **100**: 89 - 98.
- [7] Lai S C, Johnston R E. Individual odors in Djungarian hamsters (*Phodopus campbelli*) [J]. *Ethology*, 1994, **96**: 117 - 126.
- [8] Halpin Z T. Individual odors among mammals: Origins and function [J]. *Adv Study Behav*, 1986, **16**: 40 - 70.
- [9] Lai S C, Vasilieva N Y, Johnston R E. Odors providing sexual information in Djungarian hamsters: evidence for an across-odor code [J]. *Horn Beha*, 1996, **30**: 26 - 36.
- [10] 张立, 房继明. 非繁殖期成年雄性布氏田鼠对群体气味的辨别 [J]. *兽类学报*, 1996, **16** (3): 285 - 290.
- [11] Rozenfeld F F, Rasmont R. Odour cue recognition by male bank voles, *Clethrionomys glareolus* [J]. *Anim Behav*, 1991, **41**: 839 - 850.
- [12] Galea L A M, Kavaliers M, Ossenkopp K, Innes D, Hargreaves E L. Sexually dimorphic spatial learning varies seasonally in two populations of deer mice [J]. *Brain Research*, 1994, **635** (1 - 2): 18 - 26.
- [13] Ferkin M H, Sorokin E S, Johnston R E. Self-grooming as a sexually dimorphic communicative behaviour in meadow voles, *Microtus pennsylvanicus* [J]. *Anim Behav*, 1996, **51** (4): 801 - 810.
- [14] Perrot - Sinal T S, Heale V R, Ossenkopp K, Kavaliers M. Sexually dimorphic aspects of spontaneous activity in meadow vole (*Microtus pennsylvanicus*): effects of exposure to fox odor [J]. *Behav Neurosci*, 1996, **110** (5): 1126 - 1132.
- [15] 尹峰, 房继明. 布氏田鼠的择偶行为 [J]. *动物学报*, 1998, **44** (2): 162 - 169.
- [16] 赵亚军, 孙儒泳, 房继明, 李保明, 赵新全. 青春期雌性根田鼠初次择偶行为与雄性优势等级 [J]. *动物学报*, 2003, **49** (3): 303 - 309.
- [17] Zhao Y J, Fang J M, Sun R Y. Familiarity and mate choice in root voles (*Microtus oeconomus*) [J]. *Acta Theriol Sin*, 1999, **19** (4): 288 - 297.
- [18] 赵亚军. 田鼠社会组织、亲属识别和近交回避 [D]. 博士后出站报告, 1999.
- [19] 赵亚军, 邵发道, 王廷正, 赵新全, 李保明. 熟悉性对棕色田鼠和根田鼠择偶行为的影响 [J]. *动物学报*, 2002, **48** (2): 167 - 174.
- [20] 张立, 房继明, 孙儒泳. 布氏田鼠在不同光周期下对陌生个体尿液和粪便的气味辨别 [J]. *兽类学报*, 2001, **21** (4): 292 - 300.
- [21] 孙儒泳, 郑生武, 崔瑞贤. 根田鼠巢区的研究 [J]. *兽类学报*, 1982, **2** (2): 219 - 231.
- [22] Tast J. The root vole, *Microtus oeconomus* (Pallas) as an inhabitant of seasonally flooded Land [J]. *Ann Zool Fenn*, 1966, **3**: 127 - 171.
- [23] Ralls K. Sexual dimorphism in mammals: avian models and unanswered questions [J]. *Am Nat*, 1977, **111**: 917 - 938.
- [24] Lewis D B, Gower D M. Signals and their evolution [A]. In: Biology of Communication [C]. New York: Halsted Press, 1980. 125 - 167.
- [25] Schellinck H M, West A M, Brown R E. Rats can discriminate between the urine odors of genetically identical mice maintained on different diets [J]. *Physiol Behav*, 1992, **51**: 1079 - 1082.
- [26] Brown R E. Effects of rearing condition, gender, and sexual experience on odor preferences and urine marking in Long-Evans rats [J]. *Anim Learn Behav*, 1991, **19** (1): 18 - 28.
- [27] Robin M Wilcox, Robert E Johnston. Scent counter-marks: Specialized mechanisms of perception and response to individual odors in golden hamsters (*Mesocricetus auratus*) [J]. *J Comparative Psycho*, 1995, **109** (4): 349 - 356.
- [28] Robert E Johnston, Ravi Munver, Candice Tung. Scent counter marks: selective memory for the top scent by golden hamsters [J]. *Anim Behav*, 1995, **49** (6): 1435 - 1442.
- [29] 张立, 房继明. 布氏田鼠的嗅觉通讯 II: 两种不同方法下气味辨别实验的重复测量方差分析 [J]. *北京师范大学学报 (自然科学版)*, 1997, **33** (2): 258 - 260.