



引用格式:侯东敏, 刘春燕, 谌立新, 等. 化学通讯介导对中缅树鼩个体识别的影响[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(9): 3528-3532

Hou Dongmin, Liu Chunyan, Chen Lixin, et al. Effects of chemical communication mediations on individual recognition in *Tupaia belangeri* [J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(9): 3528-3532

生物科学

化学通讯介导对中缅树鼩个体识别的影响

侯东敏^{1,4}, 刘春燕¹, 谌立新¹, 王政昆¹, 朱万龙^{1,2,3*}

(1. 云南师范大学生命科学学院云南省高校西南山地生态系统动植物生态适应进化及保护重点实验室, 昆明 650500;

2. 生物能源持续开发利用教育部工程研究中心, 昆明 650500; 3. 云南省生物质能与环境生物技术

重点实验室, 昆明 650500; 4. 中国科学院昆明动物研究所, 昆明 650223)

摘要 为了探究尿液、粪便及胸腺分泌物对中缅树鼩个体识别的影响, 通过Y-迷宫对中缅树鼩尿液、粪便和胸腺分泌物三种气味源的选择频次进行了统计分析。结果表明:用三种气味源与对照作为刺激源时, 中缅树鼩均显著选择尿液和胸腺分泌物($P < 0.05$);在习惯性实验中中缅树鼩对同性尿液和胸腺分泌物的选择频次持续下降, 对陌生个体尿液和胸腺分泌物的选择频次显著增加($P < 0.05$);尿液、胸腺分泌物在雌雄中缅树鼩个体识别的影响表现出明显差异, 中缅树鼩对尿液和胸腺分泌物的选择频次均显著多于对照组($P < 0.01$), 而且雄性胸腺分泌物较雌性更受关注($P < 0.05$), 但雌性尿液比雄性更受关注($P < 0.05$)。以上所有结果说明, 中缅树鼩的尿液和胸腺分泌物中包含个体信息并用以识别个体, 这两种气味源中所包含的化学信号对中缅树鼩个体间的交流极为重要, 而粪便可能仅为单纯的排泄生理。

关键词 中缅树鼩; 尿液; 粪便; 胸腺分泌物; 个体识别

中图法分类号 Q955; **文献标志码** A

Effects of Chemical Communication Mediations on Individual Recognition in *Tupaia belangeri*

HOU Dong-min^{1,4}, LIU Chun-yan¹, CHEN Li-xin¹, WANG Zheng-kun¹, ZHU Wan-long^{1,2,3*}

(1. Key Laboratory of Ecological Adaptive Evolution and Conservation on Animals-plants in Southwest Mountain Ecosystem of Yunnan Province

Higher Institutes College, School of Life Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China; 2. Engineering Research Center of

Sustainable Development and Utilization of Biomass Energy Ministry of Education, Kunming 650500, China; 3. Key Laboratory of

Yunnan Province for Biomass Energy and Environment Biotechnology, Kunming 650500, China;

4. Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China)

[Abstract] In order to investigate the influence of urine, dung and thymus secretions on individual recognition of *Tupaia belangeri*, statistical analysis was conducted on the frequency of selection of three odor sources (urine, dung and thymus) of *Tupaia belangeri* by Y-maze. The results showed that when the three odor sources as the stimuli compared with controls, *Tupaia belangeri* investigated urine and thymus secretions significantly ($P < 0.05$); during the habitual experiment, the frequency of selection of urine and thymus secretions of the same sex in *Tupaia belangeri* decreased continuously, while the frequency of selection of urine and thymus secretions of strange individuals increased significantly ($P < 0.05$); urine and thymus secretions showed significant differences in chemical communication between sexes, *Tupaia belangeri* investigated both urine and thymus secretions more than that of controls ($P < 0.01$), and males thymus secretions get more attention than females ($P < 0.05$), but females urine get more attention than males urine ($P < 0.05$). All the above results indicate that urine and thymus secretions in *Tupaia belangeri* contained individual information and were used to identify the individuals, and chemical signals contained in these two odors were extremely important for communication between *Tupaia belangeri* individuals, while the dung may only be purely excretory physiology.

[Key words] *Tupaia belangeri*; urine; dung; thymic secretions; individual discrimination

化学通讯是指动物利用其自身产生的体液、尿液、粪便以及腺体分泌物等进行信号标记, 信号通

收稿日期: 2019-07-03; 修订日期: 2019-10-18

基金项目: 国家自然科学基金(31660121); 云南省中青年学术和技术带头人后备人才项目(2019HB013)

第一作者: 侯东敏(1992—), 男, 汉族, 山西平遥人, 硕士, 研究实习员。研究方向: 动物生理生态学。E-mail: houl92@163.com。

*通信作者: 朱万龙(1983—), 男, 汉族, 江苏南京人, 博士, 教授。研究方向: 动物生理生态学。E-mail: zwl_8307@163.com。

过接受者的嗅觉器官所接收, 并产生相应的行为、生理等反应的一系列交流过程^[1], 在哺乳动物的配偶选择、个体识别、社会等级分配、领域维护等方面具有重要的作用^[2]。这种通讯方式具有传播广泛, 传播能耗低等特点, 已成为动物个体间交流的重要方式之一^[3]。

大量研究发现许多动物能够依赖化学通讯进行个体识别。如小家鼠(*Mus musculus*)可以通过尿液气味识别个体^[4]; 长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)可以根据尿液和腹腺分泌物来识别个体, 而粪便却不具有识别功能^[5]; 猫鼬(*Suricata suricatta*)可以根据肛门腺分泌物来识别个体, 但不能根据颊腺分泌物来区分个体^[6]; 金仓鼠(*Mesocricetus auratus*)可以通过尿液、粪便、侧腹腺分泌物等至少三种气味源来进行个体识别, 而唾液、耳腺分泌物却不具有识别功能^[7]。这些研究间接揭示了并不是所有的气味源都包含个体信息, 因此确定影响个体识别的气味源至关重要。

化学通讯可以更加精细地调控动物的行为, 如亲缘识别、领域标记、配偶选择等。如身体被雄性尿液覆盖的雌性家鼠, 被雄性家鼠攻击的概率更高^[8]; 布氏田鼠(*Lasiopodomys brandtii*)的尿液含有复杂的性别信息, 可用于性别鉴定^[9]; 棕色田鼠(*Lasiopodomys mandarinus*)不但能识别熟悉和陌生异性鼠的尿液, 并且能够通过感知个体尿液中的挥发性化学物质对陌生的异性个体形成记忆^[10]。此外, 黑犀牛(*Diceros bicornis*)粪便和尿液中都携带了与性别和年龄有关的信息, 所包含的信号在其社会性和空间组织中具有重要作用^[11]; 长期的研究也揭示出大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)的尿液中包含了与亲属相关的信息^[12]。研究表明雌性鼹形鼠(*Spalax ehrenbergi*)的哈氏腺分泌物中含有的气味对雄鼠产生性诱导作用, 而对同性却无吸引作用^[13]。由此说明同一物种的雌雄个体间往往因生理特征、行为、新陈代谢等方面的差异而对化学信息素的利用方式不尽相同, 一些性别独有的化学信息素, 如阴道分泌物, 往往只对异性才表现出更高的吸引力, 因此即使是相同气味源在不同性别间也具有差异。

中缅树鼩属攀鼩目(Scandentia)树鼩科(Tupaiidae), 广泛分布于南亚、东南亚及中国西南地区^[14]。20世纪60年代以后, 中缅树鼩的野外行为生态学研究逐渐深入, 内容涉及栖息环境、繁殖状况、食性、野外社群模式等^[15]。野外和室内繁殖均表明中缅树鼩具有领域性, 雌雄成对或雄性单独防御同类入侵^[16]。在自然栖息和实验室条件下, 中缅

树鼩雌雄个体均具有将腹部腺体分泌物摩擦到周围物体上进行标记的行为^[17], 同时用尿液、粪便进行领域标记^[18]。

基于上述分析, 使用Y-迷宫, 以不同气味源作为刺激, 在同性、异性之间进行选择, 通过统计被试动物的选择频次来理解气味源的化学信号含义。研究旨在理解中缅树鼩尿液、粪便及胸腺分泌物这些化学通讯媒介中的信号功能, 为理解中缅树鼩个体间的化学通讯方式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 动物样本采集

动物样本采集于昆明市海口林场(北纬24°43'~24°56', 东经102°28'~102°38'), 共计36只成年个体(20♀:16♂), 捕捉后于云南师范大学生命科学学院动物饲养房内单笼饲养, 室温为(20±2)℃, 光周期为12 L:12D, 饲料和水自由取食。为了避免亲缘关系的干扰, 研究前期采集DNA样品进行亲缘鉴定, 结果表明此次实验动物彼此间均无亲缘关系。

1.2 气味源收集

腹腺分泌物的收集参照Bonadonna等^[19]的方法。用纯净棉球轻轻擦拭动物个体的腹部腺体分泌部位, 涂抹腺体分泌物以用于实验。

尿液和粪便收集方法: 将实验动物禁食12 h后放入尿液采集笼中, 采集笼下端放置漏斗及12 mL样品瓶(宁波哈迈公司, HM-1266A)以收集尿液。尿液采集笼底部上方1 cm处放置铁丝网地板(0.5 cm×0.5 cm), 动物排便后夹取10~20粒。尿液与粪便样本均于-20℃密封避光保存。

1.3 气味识别实验

气味识别实验以Cutrera等^[20]的方法作为参考, 使用由适应箱、公共臂、选择臂(两个选择臂之间夹角为120°)、气味源箱组成的Y-迷宫进行实验。Y-迷宫由镀锡铁皮(厚16 mm)和透明亚克力板制成。气味源箱两端接空气泵(电磁式空气泵, 型号: ACO-001, 平均风速为38 L/min)匀速送风以加快气味传送。Y-迷宫安置房间内装有实时监控摄像头采集视频信息, 15 W白炽灯用以照明。

每组实验完成后彻底清洗Y-迷宫, 并使用75%酒精消毒后备用。此外, 为消除被试动物因产生左右偏好对实验结果的影响, 在每次实验中, 刺激源在两臂之间交替放置。实验在07:30—11:00和14:00—18:30两个时段进行。

1.3.1 中缅树鼩对三种气味源的识别

首先在Y-迷宫中连续5 d进行同性之间的习惯

性实验,随后2 d 使用陌生个体的气味源进行实验。将尿液、粪便、胸腺分泌物三种气味源分别放置于气味源箱,取另一个气味源箱为空白对照,不做任何处理。通过视频信息记录统计被试动物对于两个不同气味源的选择频次。

1.3.2 中缅树鼩尿液、粪便和胸腺分泌物在不同性别个体间的识别

首先将与被试动物同性别的尿液气味源放置于气味源箱,另一个气味源箱为空白对照,不做任何处理。确定被试动物选择气味时无左右偏好后,将与被试动物不同性别的尿液气味源分别放置于两个气味源箱。通过视频信息记录统计被试动物对于两个不同气味源的选择频次。粪便和胸腺分泌物在不同性别个体间的识别实验方法与尿液相同。

1.4 统计分析

数据采用 SPSS 23.0 进行统计,所有的数据进

行正态分布检验,符合正态分布后对组间差异进行独立样本 T 检验。习惯性实验使用单因素协方差分析(One-way ANOVA)及 Duncan 多重比较。 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 中缅树鼩对三种气味源的识别

中缅树鼩对尿液、粪便和胸腺分泌物三种气味源的习惯性实验和同性陌生个体气味识别实验结果如表 1 所示。在习惯性实验阶段,随着实验组别的增加,中缅树鼩对来自同性个体的尿液和胸腺分泌物两种气味源的选择频次均呈现连续下降,但随后在对同性别陌生个体进行识别时,中缅树鼩的选择频率较习惯性实验之前显著增加。而粪便作为气味源时,中缅树鼩对陌生个体的气味选择频次与习惯性实验相比无显著性差异。

表 1 Y-迷宫中中缅树鼩对同性个体三种气味源的选择频次

Table 1 The selection frequency of three odor sources of the same sex individual of *Tupaia belangeri* in Y-maze

组别	第 1 d 组	第 2 d 组	第 3 d 组	第 4 d 组	第 5 d 组	第 6 d 组	第 7 d 组
尿液	111.45 ± 2.04 ^a	82.26 ± 15.42 ^b	71.58 ± 4.03 ^b	32.79 ± 8.53 ^c	30.54 ± 3.05 ^c	85.32 ± 4.53 ^b	—
粪便	69.11 ± 1.42 ^a	58.23 ± 11.76 ^a	66.59 ± 7.03 ^a	49.00 ± 9.42 ^b	43.51 ± 1.08 ^b	72.41 ± 2.45 ^a	55.87 ± 3.60 ^a
胸腺物	94.36 ± 1.01 ^a	76.26 ± 11.56 ^b	78.58 ± 0.22 ^b	52.79 ± 1.14 ^c	49.99 ± 4.1 ^c	58.54 ± 1.78 ^c	97.14 ± 0.70 ^a

注:数据为平均值 ± 标准差; $P < 0.05$ 表示差异显著,同行比较时,不同字母表示差异显著。

2.2 中缅树鼩尿液、粪便和胸腺分泌物在不同性别个体间的识别

通过统计多组行为实验发现,中缅树鼩在对不同性别个体尿液和胸腺分泌物的选择存在显著差异(表 2、表 3),但对粪便气味源无显著响应(表 4)。当以雄性或雌性的尿液、胸腺分泌物分别与空白对照作为气味源时,被试动物雄性($t = 4.26$, $P < 0.05$)和雌性($t = 11.27$, $P < 0.01$)均显著选择尿液和胸腺分泌物气味源。分别以雄性和雌性的尿液及胸腺分泌物作为气味源时,中缅树鼩雄性($t = 2.42$, $P < 0.05$)和雌性($t = -2.26$, $P < 0.05$)均显著偏好异性气味源。

表 2 Y-迷宫中中缅树鼩对不同性别个体尿液气味源的选择

Table 2 The selection frequency of urine in different sex of *Tupaia belangeri* in Y-maze

动物性别	尿液气味刺激源			P 值
	雄性	雌性	空白对照	
雄性	71.58 ± 4.03	—	16.54 ± 2.48	$P < 0.05$
	27.45 ± 1.3	111.45 ± 2.04	—	$P < 0.01$
雌性	—	75.32 ± 4.53	18.56 ± 2.36	$P < 0.05$
	82.26 ± 15.42	36.04 ± 1.96	—	$P < 0.01$

注:数据为平均值 ± 标准误差; $P < 0.05$ 表示差异显著; $P < 0.01$ 表示差异极显著。

表 3 Y-迷宫中中缅树鼩对不同性别个体胸腺分泌物气味源的选择

Table 3 The selection frequency of thymus secretions in different sex of *Tupaia belangeri* in Y-maze

动物性别	胸腺分泌物刺激源			P 值
	雄性	雌性	空白对照	
雄性	108.58 ± 0.22	—	56.78 ± 4.22	$P < 0.05$
	44.45 ± 3.42	114.36 ± 1.01	—	$P < 0.01$
雌性	—	123.79 ± 1.14	40.41 ± 0.17	$P < 0.01$
	36.42 ± 2.41	86.26 ± 11.56	—	$P < 0.01$

注:数值为平均值 ± 标准误差; $P < 0.05$ 表示差异显著; $P < 0.01$ 表示差异极显著。

表 4 Y-迷宫中中缅树鼩对不同性别个体粪便气味源的选择

Table 4 The selection frequency of dung in different sex of *Tupaia belangeri* in Y-maze

动物性别	粪便气味刺激源			P 值
	雄性	雌性	空白对照	
雄性	71.58 ± 4.03	—	66.59 ± 7.03	$P > 0.05$
	99.92 ± 0.59	101.11 ± 1.42	—	$P > 0.05$
雌性	—	56.32 ± 4.53	60.56 ± 2.36	$P > 0.05$
	87.26 ± 15.42	99.04 ± 1.96	—	$P > 0.05$

注:数值为平均值 ± 标准误差; $P < 0.05$ 表示差异显著; $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2.3 中缅树鼩尿液和胸腺分泌物在不同性别间的差异

通过雌雄个体对尿液和胸腺分泌物的选择频次的差异分析发现被试动物对雌雄个体的选择频次均超过了空白组(表2、表3)。

由表2、表3可知,中缅树鼩对雌性个体尿液的选择频次均显著高于胸腺分泌物;而对雄性个体尿液的选择频次均显著低于胸腺分泌物。雌性中缅树鼩对同性个体尿液的选择频次显著高于胸腹腺分泌物;而对异性个体尿液的选择频次显著低于胸腹腺分泌物。雄性中缅树鼩对同性个体尿液的选择频次显著低于胸腹腺分泌物;而对异性个体尿液的选择频次显著高于胸腹腺分泌物。

3 讨论

无论野外或笼养中缅树鼩陌生个体间追赶均为明显^[21-22]。研究结果表明中缅树鼩在解除习惯性实验后对陌生个体尿液及胸腺分泌物的选择频率明显增加,而对粪便的选择频率不显著,这说明中缅树鼩个体对尿液及胸腺分泌物表现出明显的识别作用。

哺乳动物与同类个体的有效沟通对其生存和繁殖具有至关重要的作用^[23]。随着色谱质谱检测技术的发展,中缅树鼩的尿液分析逐步深入。中缅树鼩的亲缘识别与尿液气味有关^[24]、个体尿液中含有与动物发情及繁殖相关的重要信息物质^[25]、雌性中缅树鼩尿液中含有特有物质^[26]。对小鼠(*Mus domesticus*)^[27]和雪貂(*Mustela putorius furo*)^[28]的研究表明尿液中的特有物质可用于个体性别识别和性别选择。腺体分泌物也是动物个体识别的重要信息,野外中缅树鼩经常用腹部、下巴处在倒下的树枝树、树干上进行摩擦标记^[17]。研究结果表明中缅树鼩能够显著识别其他个体的尿液和胸腺分泌物,并且雄性的胸腺分泌物更为吸引雌雄中缅树鼩,而雌性的尿液更加吸引雌雄中缅树鼩。这可能说明中缅树鼩的尿液、胸腺体分泌物中包含重要个体识别信号,而且其中可能携带与其性别相关的信息。中缅树鼩对于粪便的选择无显著性差异,可能粪便仅为单纯的排泄生理。

4 结论

综上所述,中缅树鼩的尿液和胸腺分泌物中包含个体信息并用以识别个体,这两种气味源中所包含的化学信号对中缅树鼩个体间的交流极为重要,而其粪便可能仅为单纯的排泄生理。

参 考 文 献

- 1 Johansson B G, Jones T M. The role of chemical communication in mate choice[J]. Biological Reviews, 2010, 82(2): 265-289.
- 2 Mateo J M. Development of individually distinct recognition cues[J]. Developmental Psychobiology, 2010, 48(7): 508-519.
- 3 Blank D, Ruchistuhl K, Yang W. The economics of scent marking with urine and dung in goitered gazelle (*Gazella subgutturosa*) [J]. Mammal Research, 2015, 60(1): 51-60.
- 4 Harrington J E. Recognition for territorial boundaries by olfactory cues in mice (*Mus musculus* L.) [J]. Zeitschrift Für Tierpsychologie, 1976, 41(3): 295-306.
- 5 Dagg A I, Windsor D E. Olfactory discrimination limits in gerbils [J]. Canadian Journal of Zoology, 2003, 49(4): 283-285.
- 6 Rasa O A E. Marking behaviour and its social significance in the African Dwarf Mongoose, *Helogale undulata rufula* [J]. Zeitschrift Für Tierpsychologie, 1973, 32(4): 293-318.
- 7 Johnston R E, Derzie A, Chiang G, et al. Individual scent signatures in golden hamsters: evidence for specialization of function[J]. Animal Behaviour, 1993, 45(6): 1044-1070.
- 8 Dixson A, Machkintosh J. Effects of female urine upon the social behaviour of adult male mice[J]. Animal Behaviour, 2009, 13(1): 128-140.
- 9 Ferkin M H, Johnston R E. Meadow voles, *Microtus pennsylvanicus*, use multiple sources of scent for sex recognition[J]. Animal Behaviour, 1995, 49(1): 37-44.
- 10 任宝军, 鲁发道. 棕色田鼠对熟悉和陌生异性尿液的识别[J]. 兽类学报, 2006, 26(3): 285-291.
- Ren Baojun, Tai Fadao. The recognition by mandarin voles (*Microtus mandarinus*) of the urine of novel and familiar individuals[J]. Acta Theriologica Sinica, 2006, 26(3): 285-291.
- 11 Linklater W L, Mayer K, Swaisgood R R. Chemical signals of age, sex and identity in black rhinoceros[J]. Animal Behaviour, 2013, 85(3): 671-677.
- 12 刘定震, 魏荣平, 张贵权, 等. 雄性大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)尿液中包含亲缘关系的信息[J]. 科学通报, 2008, 53(9): 1057-1064.
- Liu Dingzhen, Wei Rongping, Zhang Guiquan, et al. Urine contains information about kinship in male giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*) [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(9): 1057-1064.
- 13 Shanas U, Terkel J. Mole-rat harderian gland secretions inhibit aggression[J]. Animal Behaviour, 1997, 54(5): 1255-1263.
- 14 Helgen K M. A new species of murid rodent (*Genus mayermys*) from south-eastern New Guinea[J]. Mammalian Biology, 2005, 70(1): 61-67.
- 15 彭燕章, 叶智彰, 邹如金, 等. 树鼩生物学[M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 1991.
- Peng Yanzhang, Ye Zhizhang, Zou Rujin, et al. Biology of Chinese tree shrew [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1991.
- 16 Kawamichi T, Kawamichi M. Spatial organization and territory of tree shrews (*Tupaia glis*) [J]. Animal Behaviour, 1979, 27(1): 381-393.
- 17 Emmons L. A field study of bornean tree shrews [M]. California:

- University of California Press, 2000, 145-168.
- 18 侯东敏, 任晓英, 王政昆, 等. 中缅树鼩行为及其节律的研究[J]. 野生动物学报, 2018, 4(3): 55-56.
Hou Dongmin, Ren Xiaoying, Wang Zhengkun, et al. Research of Behavior of *Tupaia belangeri* [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2018, 4(3): 55-56.
- 19 Bonadonna F, Aguilar A. Kin recognition and inbreeding avoidance in wild birds: the first evidence for individual kin-related odour recognition[J]. Animal Behaviour, 2012, 84(3): 509-513.
- 20 Cutrera A P, María S F, Zenito R. Females prefer good genes: MHC-associated mate choice in wild and captive tuco-tucos[J]. Animal Behaviour, 2012, 83(3): 847-856.
- 21 Kawamichi T, Kawamichi M. Social system and independence of offspring in tree shrews[J]. Primates, 1982, 23(2): 189-205.
- 22 Hasler J F, Sorenson M W. Behavior of the tree shrew, *Tupaia chinensis*, in captivity[J]. American Midland Naturalist, 1974, 91(2): 294-314.
- 23 Gosling L M, Roberts S C. Scent-marking by male mammals: cheat-proof signals to competitors and mates[J]. Advances in the Study of Behavior, 2011, 30(2): 169-217.
- 24 侯东敏, 王政昆, 朱万龙. 基于行为及气味对中缅树鼩亲缘识别的研究[J]. 生物学杂志, 2019, 36(1): 50-54.
Hou Dongmin, Wang Zhengkun, Zhu Wanlong. Study on the kin recognition of *Tupaia belangeri* based on behavior and odor [J]. Journal of Biology, 2019, 36(1): 50-54.
- 25 Zhu W L, Ye F Y, Wang Z K. Study of chemical communication based on urine in tree shrews *Tupaia belangeri* (mammalia: scandentia: tupaiidae) [J]. The European Zoological Journal, 2017, 84(1): 512-524.
- 26 叶芳艳, 左木林, 朱万龙, 等. HS-SPME-GC/MS 法分析中缅树鼩尿液的化学成分[J]. 兽类学报, 2018, 25(1): 85-94.
Ye Fangyan, Zuo Mulin, Zhu Wanlong, et al. Analysis of the chemical components in the urine of the tree shrew (*Tupaia belangeri*) by HS-SPME-GC/MS [J]. Acta Theriologica Sinica, 2018, 25(1): 85-94.
- 27 Ma W, Miao Z, Novotny M. Induction of estrus in grouped female mice (*Mus domesticus*) by synthetic analogues of preputial gland constituents[J]. Chemical Senses, 1999, 24(3): 289-293.
- 28 Zhang J X, Soini H A, Bruce K E, et al. Putative chemosignals of the ferret (*Mustela furo*) associated with individual and gender recognition[J]. Chemical Senses, 2005, 30(9): 727-737.