

DOI: 10.20103/j.stxb.202212133586

李波,汪玲,左方明,胡高鑫,黎昌雄,覃三立,王霞,李俊年,陶双伦.实验检验东方田鼠学习能力的性别差异.生态学报,2023,43(20):8647-8654.
Li B, Wang L, Zuo F M, Hu G X, Li C X, Qin S L, Wang X, Li J N, Tao S L. Tests of sex differences in learning abilities of reed voles (*Microtus fortis*).
Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(20):8647-8654.

实验检验东方田鼠学习能力的性别差异

李 波,汪 玲,左方明,胡高鑫,黎昌雄,覃三立,王 霞,李俊年,陶双伦*

吉首大学生物资源与环境科学学院,吉首 416000

摘要:东方田鼠选择从禾本科植物叶片的不同部位采食会引起食物摄入率的巨大差异,这项具有明显的认知和学习行为的觅食活动是否存在性别差异。在由带两片叶的新鲜马唐茎秆配置的密集食物斑块上,测定东方田鼠觅食马唐叶片的行为序列、过程及参数,检验其在学习能力上的性别差异。结果表明,雌鼠和雄鼠的觅食决定时间尽管均随觅食学习天数的增加而减小,但雌鼠的觅食决定时间显著地高于雄鼠的;雌鼠和雄鼠均由从对叶片部位无差别选择和采食转向偏爱从叶片基部采食。学会这项采食技能后,雌鼠从叶片基部采食的选择指数显著地高于雄鼠的;二者的摄入率均随觅食学习天数的增加极显著地增大,但雌鼠的摄入率却极显著地高于雄鼠的。研究结果充分验证了提出的假设:雄鼠较雌鼠能更快地习得从禾本科植物叶片的基部采食和收获食物;但当二者习得这项采食技艺后,雌鼠较雄鼠能获得更高的食物摄入率;同时也说明,新建立的评价小型植食性哺乳动物认知和学习能力的实验方法,具有可靠的有效性和实用性。

关键词:东方田鼠;学习;性别;选择指数;摄入率

Tests of sex differences in learning abilities of reed voles (*Microtus fortis*)

LI Bo, WANG Ling, ZUO Fangming, HU Gaoxin, LI Changxiong, QIN Sanli, WANG Xia, LI Junnian, TAO Shuanglun*

College of Biological and Environmental Sciences, Jishou University, Jishou 416000, China

Abstract: Sex differences in animals can have a significant impact on their cognitive processes as well as their behavior. In the case of reed voles (*Microtus fortis*), their feeding behavior, specifically the consumption of different parts of grass leaves, plays a crucial role in determining their food intake rates during foraging. However, the extent to which learning and cognitive processes vary between genders in this foraging behavior remains unclear. To bridge this knowledge gap, our study focused on investigating gender-specific learning and selection patterns of different leaf parts during the foraging process of reed voles, leveraging their inherent cognitive behavioral abilities. To ensure unbiased assessment of cognitive ability, we took measures to prevent prior exposure of the experimental individuals to objects resembling the stems and leaves of crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) plants. In our experiments, we focused on concentrated food patches of crabgrass, each containing two fresh leaves per stalk. Meticulous measurements were conducted to capture the sequence, processes, and parameters of vole foraging behavior. Our findings revealed several noteworthy insights. Firstly, the decision time for foraging decreased as the experimental days progressed for both female and male voles. However, the females consistently exhibited significantly longer decision times compared to males on each experimental day. Over time, both female and male voles exhibited a transition from random feeding across the three parts of the leaves to a clear preference for feeding on the leaves at the base. Notably, once the foraging skill was acquired, females demonstrated a significantly higher selection index for

基金项目:国家自然科学基金项目(31760109);湖南省自然科学基金项目(2020JJ4502);湖南省科技厅重点领域研发项目(2020NK2040);吉首大学校级科研项目(Jdy20076)

收稿日期:2022-12-13; 采用日期:2023-07-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: taoshl_xj@126.com

feeding on the leaves at the base compared to males. Furthermore, as the experimental days advanced, both female and male voles increased their food intake rates. However, the intake rates of females were found to be significantly higher than those of males. These findings support the hypothesis put forth in our study, indicating the presence of a gender gap in the cognition and learning capability of reed voles. Additionally, our results highlight that males acquire the foraging skill of feeding on the base part faster during the experimental process. However, once both females and males acquired this foraging skill, females surpassed males in achieving higher intake rates. Overall, this paper sheds light on the underlying cognitive abilities of reed voles and contributes to our understanding of gender differences in cognition and learning among small herbivorous mammals. Moreover, it demonstrates the reliability, effectiveness, and practicality of the newly established experimental method for evaluating cognitive and learning abilities in this species.

Key Words: *Microtus fortis*; learning; gender; selection index; intake rate

在行为学领域,学习概念涵盖了所有能使动物行为在特定环境条件下产生适应性变化的过程^[1-4]。可以说,学习是动物借助于个体生活经历和经验,使自身行为发生适应性调节和改变的综合过程^[4-6]。人的认知心理学研究发现,社会分工不同,人的认知和学习能力在性别上存在明显差异^[7-11]。

尽管所有动物类群都有学习能力^[5-6, 12-17],然而关于动物学习能力的性别差异仅在以工具获取食物的灵长类动物,如黑猩猩^[12](*Pan troglodytes*)、野生卷尾猴^[16](*Sapajus libidinosus*)等物种上得到了验证。例如年轻的雌黑猩猩成功学会使用白蚁捕鱼的技能比同龄雄性早 27 个月,并在获得这项技能后能更熟练地运用该技能^[12]。对于此类动物的认知和学习能力及其在性别上的差异,可以通过工具的使用情况如习得时间及熟练程度得到检验^[12, 16, 18-19]。然而,对于那些不以工具进行觅食活动的小型植食性哺乳动物而言,它们是如何学习并有效地完成目标任务的? 是否能找到某种切实可行的实验方法来测定它们的学习能力,进而检验它们在学习能力上是否亦存在性别差异?

鉴于上述原因,为了能找到某种理想的评价方法,从动物在自然环境中的各种生活动行为和过程出发,去发现一些有价值的线索,则不失为一种有效的探索和发现方式^[20-22]。野外观察发现,小型植食性哺乳动物东方田鼠(*Microtus fortis*) 在觅食禾本科植物叶片时,存在明显的认知、判断和试错学习行为,为开展本研究提供了契机。东方田鼠通常以禾本科植物幼嫩的叶片为食,因口型小,一口不能获取整株植物^[20]。然而,选择采食植物叶片的部位不同,会引起食物摄入率的巨大差异^[23]。采食叶片端部,会因植物茎秆和叶片的弹性伸缩以及前足抓持和控制叶片难度的增加,潜在地降低摄入叶片的速率即食物摄入量;然而,采食叶片的中部及基部,特别是叶片基部,则能易于收获叶片的大部分或整片叶,并在随后的处理(即咀嚼和吞咽)叶片活动中易于用前肢把持和控制叶片,能潜在地提高摄入量^[22]。东方田鼠觅食禾本科植物叶片的这一行为过程,伴随着明显的判断、选择和定位特定叶片以及叶片特定部位的认知和试错学习行为,期间的每一次错判和误判都有可能降低摄入量^[20]。

小型植食性哺乳动物东方田鼠典型地是以母系为核心组成家群,共占共享同一块领地作为自己的巢区,在巢区内进行各项生命活动^[24-25]。家群中的父、母鼠在保卫领地和繁育后代方面分工相对明确,父鼠主要负责保卫领地和家庭成员的生命安全,母鼠则肩负着繁育后代及后代安危的重任^[26-27]。

因此,东方田鼠选择和采食禾本科植物叶片的觅食行为特征,以及在家群生活中父、母鼠双亲的分工特征,为探讨其学习能力以及在学习能力上的性别差异提供了理想的素材。提出的特定假设为:东方田鼠在觅食禾本科植物叶片时,雄鼠较雌鼠能更快地习得从禾本科植物叶片的基部采食和收获食物;但当二者习得这项采食技艺后,雌鼠较雄鼠能获得更高的摄入量。

本文以栖息于洞庭湖区的小型植食性哺乳动物东方田鼠为实验用动物,以其觅食禾本科植物马唐(*Digitaria sanguinalis*) 叶片的行为过程为研究对象,在实验室条件下,通过测定动物觅食行为过程、序列及参数,检验上文提出的假设,同时评价新建立的研究方法的有效性和实用性。

1 材料与方法

1.1 实验用动物

以洞庭湖区植食性小型哺乳动物东方田鼠为实验对象。于 2020 年 6 月,在湖南省岳阳市华容县境内野外捕捉后带回至吉首大学动物繁育和驯养实验室。以干木屑为巢垫,兔颗粒饲料为主要食物,同时补充适量的新鲜草料,供给充足的饮水,单只驯养于透明的饲养笼。实验室温度控制在 $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$,光照周期为 12L:12D。

同年 12 月,以 1:1 比例雌雄配对,饲养于塑料鼠笼内(61 cm×43.5 cm×21.5 cm)。饲养条件同上,同时辅以粉碎的新鲜马唐叶片(叶面积最大约为 0.8 cm×0.4 cm),此处理的目的在于,剥夺东方田鼠子代对所食植物形态特征的认知和判断,同时确保个体在未接触过整株马唐植物的形态特征的情况下,对所食植物气味特征的熟悉和偏爱。配对鼠于翌年 1 月开始陆续分娩,子代出生后至 22 日龄即与父、母鼠分离,同窝兄弟姐妹鼠饲养于同一鼠笼,饲养条件同母鼠,作为预实验群体。幼鼠达 50 日龄,平均体重为 (42.6 ± 4.7) g,开始正式实验。正式实验期间,除了行为测定时,实验个体可以接触到新鲜的带叶片的马唐植株外,其他时间均以粉碎的新鲜马唐茎和叶为主、兔颗粒饲料为辅进行饲喂。

1.2 食物斑块的配制

以木质纤维板构建 120 cm×30 cm 的食物斑块,作为实验个体的觅食活动空间。以带有 2 片叶且叶片大小一致,干重为 (6.06 ± 0.15) mg 的新鲜马唐植株,配置实验个体均质密集食物斑块。以 8.0 cm 的空间距离于斑块上钻孔(该距离确保实验个体在食物斑块上自由觅食时,各植株叶片在空间上不相交叉,以便于录像机录像重播慢放时,能清晰地观测到个体对马唐叶片部位的采食选择及其觅食行为过程及序列),孔口直径约 0.5 cm,用小型塑胶软塞将新鲜马唐植株固定于纤维板上,共配置 24 株。

1.3 行为观测装置的制作

为有效地控制实验个体,准确测定个体的觅食行为过程、序列及参数,在食物斑块上部周边设立观测箱。观测箱由透明玻璃构成,底部面积与食物斑块大小一致,为 120 cm×30 cm,高度为 40 cm。观测箱由投放区和觅食区两部分构成(图 1)。在投放区周边玻璃上覆以牛皮纸,作为实验个体规避风险的隐藏区。两区间以底部带孔的隔板相隔,此孔可作为实验个体在两区间自由活动的通路,其中投放区面积 40 cm×30 cm,觅食区面积 80 cm×30 cm。

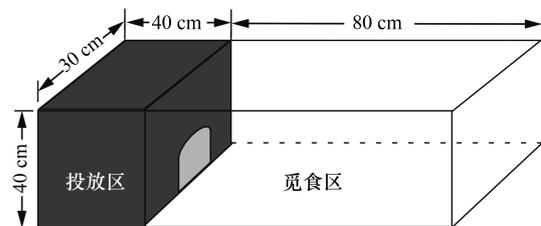


图 1 实验个体觅食行为观测装置示意图

Fig.1 The schematic diagram of the experimental observation device for foraging behavior

1.4 行为参数定义

参照 Spalinger 和 Hobbs^[28]、Hobbs 和 Gross^[29]等、陶双伦^[23-25, 30-31]等对小型植食性哺乳动物觅食行为动作参数及其在觅食活动中伴随的警觉行为动作参数的定义,测定如下行为参数:觅食决定时间(T_{FD}):实验个体投放于投放区至开始采食第一口食物的时间(min);采食部位:对所采食的马唐叶片的基部、中部及端部的选择;选择指数(SI):实验个体选择采食马唐叶片的基部、中部及端部的比例;采食时间(h):实验个体口鼻部接触到叶片,至其分离叶片的时间(min);处理时间(t):咀嚼和吞咽叶片食物的时间(min);口量(S):通过一次或多次采食动作,经连续咀嚼,1次吞咽的叶片食物量(mg);觅食中断时间(T_{FI}):觅食过程中,因警觉而引起觅食活动出现短暂中断的时间(min);摄入率(I):单位时间,实验个体摄入叶片食物干物质的量(mg/min)。

1.5 觅食行为参数估计

在吉首大学基础生物学实验室测定实验个体的觅食行为。从预实验群体中选择毛色光亮、摄食活跃的

20 只(雌、雄各 10 只)健康个体作为实验个体。为使其充分适应观测装置,行为测定前 2 周,每天将实验个体投放于观测箱(图 1),使其适应观测装置 20 min。

行为测定时,将实验个体饥饿 2—3 h,使其处于半饥饿状态,从投放区投放于观测箱。行为测定时,打开行为观测装置投放区与觅食区(图 1)间的孔口,使个体自由觅食。采用焦点取样法,以录像机录像和记录实验个体的觅食行为过程序列及选择和采食轨迹。同时观测者记录实验个体所采食的马唐植株的叶片部位、每口收获的叶片面积或长度占单个叶片面积或长度的比例^[32—33]。实验持续时间 25 min。测定结束后,分离、称重每个被食叶片的剩余部分。每次行为测定结束后,用自来水彻底冲洗斑块,去除遗留气味,避免影响后续实验。实验测定期,行为测定均由同一观测者执行。每日行为测定实验结束后,计算机慢放重播录像,观测实验个体的觅食行为过程、序列及参数,选择和采食植株叶片的轨迹,以及所采食的植株叶片的部位、每口收获的叶片长度占单个叶片长度的比例^[32—33]。从每天配置食物斑块的新鲜马唐叶片中,随机抽取 100 个叶片在 55℃ 烘箱中烘至恒重,估计每次实验叶片的干物质转化率。

采用植食性小型哺乳动物警觉-功能反应模型^[30]计算实验个体的摄入率:

$$I = \frac{S}{h + t + T_{FI}}$$

式中, S 为口量, h 为采食时间, t 为处理时间, T_{FI} 为觅食中断时间, I 为摄入率,各行行为参数定义同 1.4。

1.6 统计分析

实验个体的觅食决定时间、采食时间、选择指数及摄入率均以平均值±标准差($M \pm SD$)表示。

由于有 2 只实验个体在连续 4 天的测试期未在食物斑块上进行觅食活动,所以统计分析了 18 个个体的觅食行为。定义个体学会采食马唐叶片的标准为:随着觅食学习天数的增加,个体的食物摄入量逐渐增大并趋于稳定,且对马唐叶片基部的采食选择指数达到 60% 以上。测试期间,个体每天学习采食马唐叶片的摄入量是通过计算每个采食回合的摄入率的均值来估计,因而涉及多次测量,故在对实验个体的摄入量进行重复测量方差分析前,对每只个体每天的摄入量进行了平均处理,将其视为一组数据。

采用双因素重复测量方差分析,比较雌鼠和雄鼠的觅食决定时间及摄入率的差异显著性;采用单因素方差分析,比较雌鼠及雄鼠选择觅食马唐叶片基部、中部及端部所花费的采食时间的差异显著性;采用独立样本 t 检验,比较雌鼠和雄鼠选择觅食马唐叶片基部、中部及端部所花费的采食时间的差异显著性;采用费里德曼检验,比较雌鼠及雄鼠在连续 4 天测试期选择觅食马唐叶片不同部位选择指数的差异显著性;采用卡方检验,比较雌鼠和雄鼠每天选择觅食马唐叶片部位选择指数的差异显著性。

以上统计分析均由 SPSS 23.0 软件执行。

2 结果

2.1 觅食决定时间

随学习天数的增加,雌鼠和雄鼠的觅食决定时间的动态格局明显不同(图 2)。双因素重复测量方差分析结果显示,雌鼠的觅食决定时间显著地高于雄鼠的($F_{(1,16)} = 4.894, P = 0.042 < 0.05$);二者的觅食决定时间均随觅食学习天数的增加显著地降低($F_{(1,493,23.888)} = 4.397, P = 0.033 < 0.05$),但性别与觅食学习天数的交互作用对觅食决定时间的影响则不显著($F_{(1,493,23.888)} = 1.343, P = 0.273 > 0.05$)。说明,性别与觅食学习天数均对实验个体的觅食决定时间有显著地影响。

2.2 采食时间

雌鼠及雄鼠采食马唐叶片各部位所花费的采食时

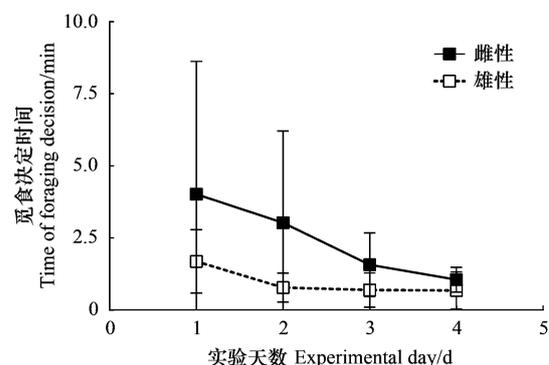


图 2 雌鼠与雄鼠觅食决定时间的比较

Fig. 2 Comparisons on time of foraging decision in female and male *Microtus fortis*

间明显不同(表 1)。单因素方差分析结果显示,雌鼠及雄鼠选择从马唐叶片基部、中部及端部采食花费的采食时间差异均极显著(雌鼠: $F_{(2,357)} = 323.032, P < 0.001$;雄鼠: $F_{(2,557)} = 560.998, P < 0.001$),其中,二者从叶片基部采食花费的采食时间均极显著地小于从叶片中部(雌鼠: $P < 0.001$;雄鼠: $P < 0.001$)和端部(雌鼠: $P < 0.001$;雄鼠: $P < 0.001$)采食花费的,且从叶片中部采食花费的采食时间亦极显著地低于从端部采食花费的(雌鼠: $P < 0.001$;雄鼠: $P = 0.006 < 0.01$)。说明,无论是雌鼠还是雄鼠,选择从叶片基部采食均能以最少的时间投入收获叶片食物,而选择从叶片端部收获食物则要投入更多的时间。独立样本 t 检验分析结果显示,雌鼠和雄鼠选择从马唐叶片基部、中部或端部采食时,二者花费的采食时间均无显著性差异(基部: $t_{(342.394)} = 1.704, P = 0.089 > 0.05$;中部: $t_{(203)} = 1.136, P = 0.257 > 0.05$;端部: $t_{(179)} = 1.926, P = 0.056 > 0.05$)。

表 1 雌鼠与雄鼠采食时间的单因素方差检验分析结果

Table 1 Results of One-Way Anova of cropping time of female and male *Microtus fortis* for cutting leaves in different regions

行为参数 Behavioral parameters	性别 Gender	采食部位 Cutting regions	样本数/个 Sample number	平均值± 标准差 M±SD	F	df	P
采食时间 Cropping time	雌性	基部	201	0.021 ± 0.007	323.032	2	357
		中部	65	0.053 ± 0.016			
		端部	94	0.063 ± 0.022			
	雄性	基部	333	0.020 ± 0.006	560.998	2	557
		中部	140	0.050 ± 0.016			
		端部	87	0.057 ± 0.017			

2.3 选择指数

随着学习天数的增加,雌鼠和雄鼠选择从马唐叶片不同部位采食的选择指数的动态格局明显不同(图 3)。费里德曼检验结果显示,随学习天数的增加,二者的选择指数均有极显著的差异(雌鼠: $\chi^2 = 21.606, P < 0.001$;雄鼠: $\chi^2 = 15.776, P < 0.001$)。进一步分析发现,雌鼠($\chi^2 = 1.028, P < 0.001$)及雄鼠($\chi^2 = 0.597, P = 0.034 < 0.05$)从叶片基部采食的选择指数均极显著或显著地高于从叶片端部采食的;除了雄鼠选择从叶片基部采食的选择指数极显著地高于从叶片中部采食的($\chi^2 = 0.861, P = 0.001 < 0.01$),雌鼠选择从叶片基部采食的选择指数与从叶片中部采食的($\chi^2 = 0.556, P = 0.055 > 0.05$)以及雌鼠($\chi^2 = 0.472, P = 0.135 > 0.05$)及雄鼠($\chi^2 = -0.264, P = 0.789 > 0.05$)从叶片中部采食的选择指数与其从叶片端部采食的均不显著。说明,雌鼠选择从马唐叶片基部采食的选择指数随学习天数的延长逐渐和稳定地增大,而雄鼠选择采食马唐叶片基部的选择指数尽管亦随学习天数的延长而逐渐增大,但与雌鼠相比,其选择指数在趋近最大值时并不稳定。

卡方检验结果显示,测试期第 1—3 日,雌鼠和雄鼠选择从叶片各部位采食的选择指数均无显著差异(第 1 日: $\chi^2_{0.05,2} = 5.622, P = 0.06 > 0.05$;第 2 日: $\chi^2_{0.05,2} = 4.106, P = 0.128 > 0.05$;第 3 日: $\chi^2_{0.05,2} = 0.386, P = 0.824 > 0.05$),但在测试期第 4 日,二者选择从马唐叶片各部位采食的选择指数存在显著差异($\chi^2_{0.05,2} = 7.313, P = 0.026 < 0.05$) (图 3)。进一步分析发现,雌鼠选择从叶片基部采食的选择指数显著地高于雄鼠的($\chi^2_{0.0166,1} = 6.284, P = 0.012 < 0.0166$),而二者选择从叶片中部及端部采食的选择指数则无显著差异(中部: $\chi^2_{0.0166,1} = 0.331, P = 0.565 > 0.0166$;端部: $\chi^2_{0.0166,1} = 5.655, P = 0.017 > 0.0166$)。说明,随觅食学习天数的增加,雌鼠和雄鼠由开始时的对

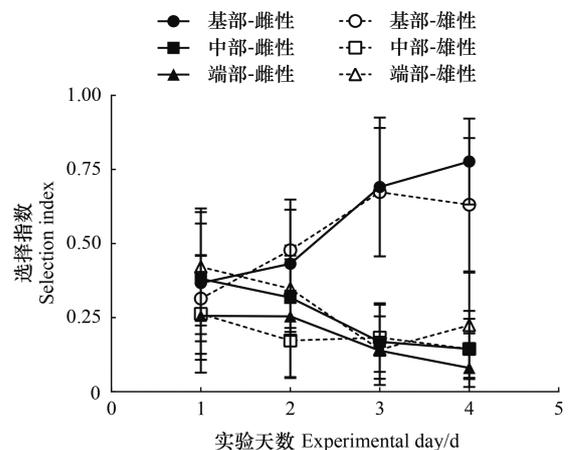


图 3 雌鼠与雄鼠选择指数的比较

Fig. 3 Comparisons on selection indices in female and male *Microtus fortis*

马唐叶片各部位的无偏向性选择逐渐转向偏爱和喜欢从叶片基部采食;然而,雌鼠选择从叶片基部采食的选择指数显著地高于雄鼠的。自二者学会选择从马唐叶片基部采食和获取整个叶片这项技能后,在随后的觅食活动中均能很好地运用这项技能获取叶片食物。但相较于雄鼠,雌鼠能更好地掌握和运用这项技能,即在熟悉和掌握采食马唐叶片这一技能上,雌鼠优于雄鼠,二者存在性别差异。

2.4 摄入量

随着学习天数的增加,雌鼠与雄鼠的摄入率的动态格局明显不同(图4)。双因素重复测定分析结果显示,性别与觅食学习天数的交互作用对摄入量有极显著的影响($F_{(3,24)} = 7.183, P = 0.001 < 0.01$);检验性别对摄入率的独立效应,发现测试期第1日($F_{(1,8)} = 3.950, P = 0.082 > 0.05$)和第2日($F_{(1,8)} = 4.135, P = 0.076 > 0.05$),雌鼠和雄鼠的摄入量差异不显著;但在测试期第3日($F_{(1,8)} = 10.855, P = 0.011 < 0.05$)及第4日($F_{(1,8)} = 14.758, P = 0.005 < 0.01$),二者的摄入量存在显著或极显著的差异。检验觅食学习天数对摄入率的独立效应发现,尽管雌鼠($F_{(3,24)} = 59.096, P < 0.001$)与雄鼠($F_{(1.459, 11.674)} = 6.264, P = 0.020 < 0.05$)的摄入量均随觅食学习天数的增加极显著或显著地增大,但在测试期第

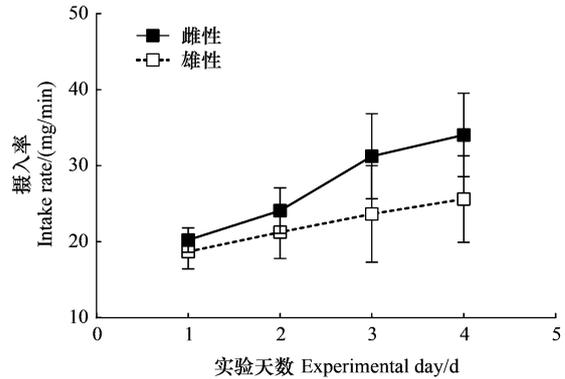


图4 雌鼠与雄鼠摄入率的比较

Fig.4 Comparisons on intake rate in female and male *Microtus fortis*

3日及第4日,雌鼠的摄入量却极显著地高于第1日及第2日的(第3日对比第1日: $P = 0.001 < 0.01$;第3日对比第2日: $P = 0.001 < 0.01$;第4日对比第1日: $P < 0.001$;第4日对比第2日: $P < 0.001$);而雄鼠仅在测试期第4日的摄入量显著地高于第2日的(第4日对比第1日: $P = 0.073 > 0.05$;第4日对比第2日: $P = 0.047 < 0.05$;第4日对比第3日: $P = 0.417 > 0.05$)。说明,随着觅食学习天数的增加,雌鼠和雄鼠均能显著地提高其摄入量,但雌鼠摄入量要极显著地高于雄鼠的。

上述检验结果充分说明,东方田鼠觅食马唐叶片伴随着明显的认知、判断和试错学习过程。雌鼠较雄鼠对陌生环境和新颖事物的觅食选择决定更为谨慎,当习得从马唐叶片基部采食和收获整个叶片食物这项技能后,能较雄鼠将这项技能更加熟练和精进,不但提高了从叶片基部采食和收获整个叶片食物的选择指数,而且降低了收获食物花费的时间,使得其在测试期末能较雄鼠获得更高的摄入量,进而证明了本文提出的假说:东方田鼠觅食禾本科植物马唐叶片存在性别差异,雄鼠较雌鼠能更快地习得从马唐叶片的基部采食和收获食物,但当二者习得这项技艺后,雌鼠则较雄鼠能获得更高的摄入量。

3 讨论

本研究基于小型植食性哺乳动物东方田鼠觅食禾本科植物马唐叶片时,选择从叶片的基部采食和收获叶片食物,以这一伴随着明显的认知、判断和试错学习的行为过程为线索,剥夺其在学习行为测定前接触整株马唐茎、叶以及类似形态的可利用新鲜植物,测定实验个体选择和采食马唐叶片的觅食行为序列、过程及参数,检验雌鼠和雄鼠在认知和学习能力上的性别差异。结果发现,除了采食时间外,雌、雄鼠在觅食马唐叶片时的觅食决定时间、选择和采食马唐叶片部位的选择指数及叶片食物的摄入量,均存在明显的性别差异。

雌、雄鼠的觅食决定时间均随觅食学习天数的增加而显著地降低(图2),与其对实验观测装置和觅食环境的认知和熟悉程度增加密切相关。随着学习天数的增加,它们能感知到进入观测装置便有可获得的食物,觅食的欲望和动机随之增大,使得个体的觅食决定时间逐渐减小。然而,雌鼠的觅食决定时间显著地高于雄鼠的(图2)。表明,二者在探索新领域和尝试新鲜事物上存在明显的性别差异。

由于雌鼠及雄鼠选择从叶片基部采食和收获叶片食物的采食时间显著地小于从叶片中部和端部收获食

物的采食时间(表 1),说明,雌鼠和雄鼠经过连续 4 天的学习,均学会了选择从马唐叶片的基部采食和收获叶片食物(图 3),但二者选择从叶片基部、中部或端部收获叶片食物的采食时间无明显差异。选择从叶片基部采食,不但能通过一次采食和收获动作获得相对完整的一片叶,而且还能减少从马唐植株收获叶片食物时所花费的时间,进而提高了单位时间摄入食物的量,同时减少自己暴露于外界环境的时间,降低被捕食的风险压力^[23, 30]。尽管如此,雌鼠和雄鼠选择从马唐叶片各部位采食和收获叶片食物的选择指数动态格局明显不同(图 3)。测试期第 1 至 3 日,雌鼠与雄鼠选择从叶片各部位采食的选择指数无显著差异;但在测试期第 4 日,二者选择采食叶片部位的选择指数呈现出显著差异。尽管二者均偏爱选择从叶片基部采食和收获叶片食物,但雌鼠选择从叶片基部采食的选择指数要明显地高于雄鼠的。说明,相较于雄鼠,雌鼠一旦学会选择从叶片基部采食和收获叶片食物,则能专注于对这项技能的熟练和精进。雄鼠尽管亦学会了这项采食技能,但雌鼠对这门技能的熟练程度显然要优于雄鼠的,这与雌鼠和雄鼠在社群生活中的社会分工不同,扮演的角色及承担的社会及家庭责任不尽相同密切相关^[26-27],导致其发展出适应环境的不同生物学特征。雌性动物一般在社群生活中承担着繁衍和养育后代之重任,更加亲近和偏爱已知和熟悉的事物,比较关注事件的细节,对习得的经验和技能相对比较保守和刻板,因而对新奇事物比较谨慎,对陌生领域的探索和冒险意愿不高^[26-27, 34],使得它们常常能将已习得的技能不断熟练和精进,以致能达到非常娴熟的程度。与之相异的是,雄性动物因承担着保卫整个家群成员的生命安全和领地完整之重任,以及保障整个家群或社群繁衍和发展所需的食物及空间资源,需要不断地尝试新鲜事物和开疆扩土拓展自己的领地^[27, 35-36]。雄性动物的这些进化适应性特征决定了其对陌生环境和新鲜事物充满好奇,对熟悉的事物缺乏耐心和对新鲜事物的细节过程关注不够,导致雄鼠选择从马唐叶片基部采食和获取叶片食物的选择指数小于雌鼠的。

雌鼠和雄鼠的摄入率均随学习天数的增加而增大,至第 3 日,摄入率趋于稳定(图 4)。根据植食性哺乳动物警觉-功能反应模型理论预测^[30],动物觅食活动中伴随着警觉,其摄入率为,采食和处理(口腔咀嚼和吞咽)一口食物的量,与采食、处理食物时间及觅食中断时间之比。雌鼠和雄鼠在选择、采食、收获和处理每口叶片食物的过程中,由于实验室环境条件稳定,食物斑块所配置的食物为均质,因而收获和摄取一口叶片食物的摄入率主要取决于采食和收获叶片的部位。如果选择从叶片的端部采食,会使前足把持叶片的难度增大,使得动物采食一口食物需要花费更多的时间,而获得的每口食物量则较少,降低了处理一口食物的效率即摄入率;另一方面,因马唐植株典型的冠状伞形结构,会使动物的口鼻部先接触到叶片端部。在测试期第 1 日,雌鼠和雄鼠均先从叶片端部采食,多次采食不得后,又选择从叶片中部或基部采食。第 2 日,雌鼠和雄鼠对目标叶片选择采食的部位出现了变化。首先同第 1 日觅食活动,觅食时口鼻部先接触到叶片端部,但多次采食不得后,口鼻部开始逆向顺着叶片从端部向中部及基部前行,并在此过程中,随机从远离端部的中部或基部采食,减小了从叶片端部采食投入较多的采食时间,使得单位时间摄取的食物量即摄入率增大。至第 3 日,雌鼠和雄鼠觅食时尽管口鼻部先接触到叶片端部,但选择从叶片端部采食的选择指数显著地降低。测试期末即第 4 日,尽管二者均学会了从叶片基部或中部采食,但雌鼠的摄入率极显著地高于雄鼠的,进一步证明雌鼠和雄鼠在学习和掌握采食马唐叶片这项采食技能上不但存在差异,而且雌鼠优于雄鼠。

总括上述,本研究以东方田鼠觅食禾本科植物马唐叶片所伴随的明显的认知和学习行为为线索,在实验室条件下,测定其选择和学习从马唐叶片不同部位采食和收获叶片食物的觅食行为过程序列及参数。研究结果不但证实了提出的假说,而且亦充分说明,新建立的测定和评价植食性小型哺乳动物的认知和学习能力的实验方法,具有可靠的有效性和实用性。

参考文献(References):

- [1] Maravita A, Iriki A. Tools for the body (schema). *Trends in Cognitive Sciences*, 2004, 8(2): 79-86.
- [2] Frigaszy D, Patrícia Izar, Visalberghi E, Ottoni E B, Oliveira M G D. Wild capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) use anvils and stone pounding tools. *American Journal of Primatology*, 2004, 64(4): 359-366.
- [3] Kenward B, Weir A A S, Rutz C, Kacelnik A. Behavioural ecology: tool manufacture by naive juvenile crows. *Nature*, 2005, 433(7022): 121.

- [4] 尚玉昌. 动物行为学. 北京: 北京大学出版社, 2005.
- [5] Cunningham C, Anderson J, Mootnick A. A sex difference in effect of prior experience on object-mediated problem-solving in Gibbons. *Animal Cognition*, 2011, 14(4): 599-605.
- [6] Nematipour B, Bračić M, Krohs U. Cognitive bias in animal behavior science: a philosophical perspective. *Animal Cognition*, 2022, 25(4): 975-990.
- [7] Downey D B, Kuhfeld M, van Hek M. Schools as a relatively standardizing institution: the case of gender gaps in cognitive skills. *Sociology of Education*, 2022, 95(2): 89-109.
- [8] Zell E, Krizan Z, Teeter S R. Evaluating gender similarities and differences using metasynthesis. *The American Psychologist*, 2015, 70(1): 10-20.
- [9] Ford Katherine J, David B G, Leist Anja K. Examining gender differentials in the association of low control work with cognitive performance in older workers. *European Journal of Public Health*, 2021, 31(1): 174-180.
- [10] Karimpour S, Sayad A, Taheri M, Sheibani K A. A gender difference in Emotional Intelligence and Self Regulation Learning Strategies: is it true? *Novelty in Biomedicine*, 2019, 7(2): 38-44.
- [11] Murat Yildirim T. Gender and agenda diversity: cognitive differences in representatives' information processing. *The Policy Studies Journal*, 2018, 48(2): 327-341.
- [12] Lonsdorf E. Sex differences in the development of termite-fishing skills in the wild chimpanzees, *Pan troglodytes schweinfurthii*, of Gombe National Park, Tanzania. *Animal Behaviour*, 2005, 70(3): 673-683.
- [13] Burman O H P, Parker R M A, Paul E S, Mendl M T. Anxiety-induced cognitive bias in non-human animals. *Physiology & Behavior*, 2009, 98(3): 345-350.
- [14] Pfeffer S, Wolf H. Arthropod spatial cognition. *Animal Cognition*, 2020, 23(6): 1041-1049.
- [15] Giurfa M, de Brito A G, de Brito T G, de Brito Sanchez M G. Charles Henry Turner and the cognitive behavior of bees. *Apidologie*, 2021, 52(3): 684-695.
- [16] Falótico T, Bueno C Q, Ottoni E B. Ontogeny and sex differences in object manipulation and probe tool use by wild tufted capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*). *American Journal of Primatology*, 2021, 83(5): e23251.
- [17] Dong S H, Lin T, Nieh James C, Tan K. Social signal learning of the waggle dance in honey bees. *Science*, 2023, 379(6636): 1015-1018.
- [18] Corp N, Byrne R W. The ontogeny of manual skill in wild chimpanzees: evidence from feeding on the fruit of *Saba florida*. *Behaviour*, 2002, 139(1): 137-168.
- [19] Gruber T, Clay Z, Zuberbuhler K. A comparison of bonobo and chimpanzee tool use: evidence for a female bias in the *Pan lineage*. 2010, *Animal Behaviour*, 80(6), 1023-1033.
- [20] Shipley L A. The influence of bite size on foraging at larger spatial and temporal scales by mammalian herbivores. *Oikos*, 2007, 116(12): 1964-1974.
- [21] Garcia J, Koelling R A. Relation of cue to consequence in avoidance learning. *Psychonomic Science*, 1966, 4(1): 123-124.
- [22] Seed A M, Boogert N J. Animal cognition: an end to insight? *Current Biology*, 2013, 23(2): R67-R69.
- [23] 马静, 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 王璐, 李俊年. 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用. *生态学报*, 2013, 33(09): 2734-2743.
- [24] 吴帅玲, 陶双伦, 章力, 马静, 唐显江, 汪玲, 左方明, 李俊年. 东方田鼠家族群对成员个体觅食行为的影响. *生态学报*, 2019, 39(13): 4966-4974.
- [25] 章力, 陶双伦, 吴帅玲, 左方明, 李波, 汪玲, 李俊年, 马静. 东方田鼠社群气味对家族群成员个体觅食行为的影响. *生态学报*, 2020, 40(5): 1750-1758.
- [26] Zorenko T A, Rutovskaya M V. Social behavior of the reed vole, *Microtus fortis* (Rodentia, Arvicolinae). *Zoologicheski Zhurnal*, 2006, 85(8): 983-997.
- [27] Grzegorzolka B, Gruszczynska J. Reproduction biology of the reed vole (*Microtus fortis*). *Reproduction In Domestic Animals*, 2017, 52: 92.
- [28] Spalinger D E, Hobbs N T. Mechanisms of foraging in mammalian herbivores: new models of functional response. *The American Naturalist*, 1992, 140(2): 325-348.
- [29] Thompson Hobbs N, Gross J E, Shipley L A, Spalinger D E, Wunder B A. Herbivore functional response in heterogeneous environments: a contest among models. *Ecology*, 2003, 84(3): 666-681.
- [30] 陶双伦, 杨锡福, 邓凯东, 张良军, 李俊年, 刘季科. 东方田鼠警觉对其功能反应的作用格局. *生态学报*, 2011, 31(2): 410-420.
- [31] 唐显江, 陶双伦, 马静, 章力, 吴帅玲, 李俊年. 视野受阻对东方田鼠觅食行为的影响. *生态学报*, 2017, 37(3): 1035-1042.
- [32] 陶双伦, 刘季科, 都玉蓉, 李俊年, 马建滨. 根田鼠瞬时摄入率对植物可利用性变量集功能反应的格局. *兽类学报*, 2001, 21(4): 279-286.
- [33] 陶双伦, 张伟华, 李俊年, 何岚. 植食性哺乳动物能量收益函数模型的预测性及适用性. *生态学报*, 2010, 30(20): 5431-5438.
- [34] Pillay N, Rymer T L. Sons benefit from paternal care in African striped mice. *Developmental Psychobiology*, 2021, 63(4): 662-675.
- [35] Jia R, Tai F D, An S C, Broders H, Sun R Y. Neonatal manipulation of oxytocin influences the partner preference in mandarin voles (*Microtus mandarinus*). *Neuropeptides*, 2008, 42(5/6): 525-533.
- [36] Wright H W Y. Paternal den attendance is the best predictor of offspring survival in the socially monogamous bat-eared fox. *Animal Behaviour*, 71(3): 503-510.