



谢建芸, 硕士, 研究员。主要从事实验动物病原体检测和遗传质量检测方法研究、野生动物的实验动物化(包括野生动物实验室培育、种群保持、生物净化、标准化研究等)以及新型实验动物资源的应用研究。主持国家科技支撑计划1项、国家重点研发计划1项、上海市科委科研项目5项;参加国家科技支撑计划1项、国家自然科学基金(面上项目)1项、上海市科委科研项目13项。以通信作者身份发表论文10篇,以第一作者身份发表论文18篇,以其他参与作者发表论文46篇;参与《实验动物学教程》《人类疾病动物模型复制方法学》的编写工作;起草上海市地方标准1项、中国实验动物团体标准4项;获得发明专利授权1项;曾获上海市科技进步三等奖。

东方田鼠作为一种实验动物新资源的研究进展报告

谢建芸

(上海实验动物研究中心, 上海 201203)

[摘要] 东方田鼠是已知的唯一一种天然抗日本血吸虫病的哺乳动物。来源于血吸虫病疫区和非疫区以及实验室培育的东方田鼠对日本血吸虫有着相同的抗性。野生东方田鼠经过30多年的实验室培育,已经实现了实验动物化。同时,研究人员对东方田鼠的生长发育、生殖生理、血清生化、血液学指标、组织解剖等生物学性状进行了较详细的研究,并且进一步深入探讨了东方田鼠的抗血吸虫病特性及机制。上海实验动物研究中心培育的洞庭湖东方田鼠封闭种群(S:DTMF)在2021年经中国实验动物学会实验动物资源与评价工作委员会认定为中国实验动物资源。本综述着重总结近10年,特别是国家科技支撑计划项目实施中在东方田鼠生物学特性、标准化、基因组以及抗血吸虫病机制等方面的研究进展。

[关键词] 东方田鼠; 实验动物化; 抗血吸虫病

[中图分类号] R-332; Q95-33 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5817(2023)05-0482-10



Research Progress Report on *Microtus fortis* as a New Resource of Laboratory Animal

XIE Jianyun

(Shanghai Laboratory Animal Research Center, Shanghai 201203, China)

Correspondence to: XIE Jianyun (ORCID: 0000-0001-5283-761X), E-mail: xiejianyun@slarc.org.cn

[ABSTRACT] *Microtus fortis* (reed vole) is the only mammal known to have natural resistance to Schistosomiasis japonica. Originating from schistosomiasis endemic and non-endemic areas, as well as laboratory bred voles have the same resistance to *Schistosoma japonicum*. After more than 30 years of laboratory cultivation of wild reed vole, a series of progress have been made in laboratory animalization. A detailed study was conducted on biological traits including growth and development, reproductive physiology, serum biochemistry, hematological indicators and tissue anatomy. At the same time, the anti-schistosomiasis characteristics and anti-schistosomiasis mechanisms of *Microtus fortis* were studied. The closed Dongtinghu population of *Microtus fortis* (S:DTMF) cultivated by Shanghai Laboratory Animal Research Center was recognized as a Chinese laboratory animal resource by the Experimental Animal Resources and Evaluation Working Committee of the Chinese Association for Laboratory Animal Sciences

[基金项目] 国家重点研发计划项目“东方田鼠抗血吸虫病和大脑中动脉缺血模型的创建及关键技术研究”(2021YFF0702403);国家科技支撑计划“东方田鼠种质资源库的建立及其抗血吸虫病机制的研究”(2015BAI09B04)

[第一作者] 谢建芸(1968—),女,硕士,研究员,研究方向:实验动物病原体检测,野生动物实验动物化。E-mail: xiejianyun@slarc.org.cn。ORCID: 0000-0001-5283-761X

in 2021. This review focuses on summarizing the research progress in the biological characteristics, standardization research, genome and anti-schistosomiasis mechanism of reed vole in the past decade, especially in the implementation of the key project in the National Science and Technology Pillar Program.

[Key words] *Microtus fortis*; Laboratory animalization; Anti-schistosomiasis

东方田鼠 (reed vole, *Microtus fortis*), 在分类学上属于啮齿目 (Rodentia) 仓鼠科 (Cricetidae) 田鼠亚科 (Microcinae) 田鼠属 (*Microtus*) 东方田鼠种 (*Microtus fortis*)^[1-3]。我国是东方田鼠的主要分布区。国内分类明确的东方田鼠有指名亚种 (*Microtus fortis fortis* Büchner, 1889)、长江亚种 (*Microtus fortis calamorum* Thomas, 1902) 和福建亚种 (*Microtus fortis fujianensis* 洪震藩, 1981), 但目前对东北地区的东方田鼠分类意见尚不一致^[1-5]。

东方田鼠是国内已知的唯一一种天然抗日本血吸虫病的哺乳动物, 是特殊的日本血吸虫 (*Schistosoma japonicum*) 非适宜宿主。血吸虫尾蚴能感染东方田鼠, 但在感染后 10 d 左右, 血吸虫停止生长和发育, 无一虫体能发育成熟^[6-8]。为了研究东方田鼠特殊的抗日本血吸虫病机制, 国内研究者们开始了持续 30 多年的东方田鼠实验动物化研究, 并获得国家和地方科技部门的基金资助。因东方田鼠的地理分布及日本血吸虫的流行区域限制, 东方田鼠实验动物化和抗血吸虫病及其他应用等方面的研究仅限于国内, 国外尚没有相关领域的研究报道。

1980 年代开始, 湖南省寄生虫病研究所和中国农业科学院上海家畜血吸虫病研究所 (中国农业科学院上海兽医研究所前身) 分别开展实验室饲养东方田鼠和其天然抗血吸虫病特性的研究, 包括东方田鼠在国内的分布情况调查、实验室饲养特性探索^[9-13]、人工感染血吸虫实验^[6-8]、抗血吸虫病机制研究^[14-18]等。1994 年中国科学院长沙农业现代化研究所从湖南省洞庭湖区捕获 40 对左右的野生东方田鼠 (长江亚种), 进行实验室饲养繁殖^[10-11]。上海实验动物研究中心分别在 1998 年和 1999 年开始对来自湖南洞庭湖 (长江亚种) 和宁夏青铜峡 (指名亚种) 的东方田鼠进行实验室饲养, 建立了东方田鼠封闭种群^[9,13]。经过 20 多年的培育, 上海实验动物研究中心实验室内饲养的东方田鼠能全年繁殖, 并用药物、生物净化等方法建立了净化的东方田鼠封闭种群^[19-20]。何永康、倪丽菊、柴淑梅和 Shen 等分别对东方田鼠的早期实验动物化研究、东方田鼠在医药生物学中的应用及抗日本血吸虫

感染机制等进行了综述^[21-24]。

本文着重介绍近 10 年的东方田鼠研究进展, 相关成果的主要产出机构包括笔者所在的上海实验动物研究中心, 以及上海生物信息技术研究中心、中国农业科学院上海兽医研究所、中国科学院上海营养与健康研究所等。部分首次发表的数据来自国家科技支撑计划 2015BAI09B04 课题验收报告。

1 东方田鼠封闭群的生物学特性

上海实验动物研究中心分别在 1998 年和 1999 年开始采用随机交配的方法建立了 2 个东方田鼠封闭种群^[9,13]。柏熊等^[19-20]分别在 2006 年和 2011 年用药物净化和生物净化、剖宫取胎、高等级小鼠和大鼠代乳等方法建立了净化的东方田鼠种群。目前, 上海实验动物研究中心现有湖南洞庭湖东方田鼠种群规模为 400 只, 宁夏青铜峡东方田鼠种群规模为 280 只, 其中繁殖群分别为 80 对和 60 对, 能满足日常实验的需求。上海实验动物研究中心建立的洞庭湖东方田鼠封闭种群 (S: DTMF) 在 2021 年经中国实验动物学会实验动物资源与评价工作委员会认定为中国实验动物资源。在种群培育过程中, 研究人员对洞庭湖封闭种群东方田鼠的生长发育、生殖生理、血液生化、解剖学特性等详尽数据进行采集, 与宁夏青铜峡种群进行比较, 并将数据上传到国家实验动物共享资源数据库, 同时对其进行了全基因组测序^[25], 为东方田鼠的研究提供了基础资料, 同时开展东方田鼠抗血吸虫病机制的相关研究。

1.1 生长发育

东方田鼠刚出生时体重约为 4 g, 皮肤为肉红色, 无被毛; 2 日龄时耳廓竖起, 长出被毛; 4~6 日龄时长出下门齿, 6~8 日龄被毛基本长全, 7~9 日龄长出上门齿, 9~12 日龄睁眼, 出生后 14 d 可以吃颗粒饲料, 21 d 离乳时体重可增至 28 g 左右。至 98 日龄, 洞庭湖种群东方田鼠的体重可增至 (66.70 ± 3.01) g (♀) 和 (85.38 ± 2.28) g (♂), 青铜峡种群东方田鼠的体重可增至 (68.25 ± 3.35) g (♀) 和 (89.94 ± 1.81) g (♂)^[13]。实验室饲养的东方田鼠寿命约 30 个月。

1.2 生殖生理

洞庭湖种群东方田鼠雌性性成熟时间为34~40 d; 雄性性成熟时间比雌性晚, 为42~49 d。青铜峡种群东方田鼠雌性和雄性的性成熟时间分别为42~50 d和44~58 d。洞庭湖种群雌鼠的发情周期为 (7.39 ± 1.54) d; 发情前期和发情间期较短, 分别为 (1.11 ± 0.68) d和 (1.11 ± 0.83) d; 发情期和发情后期分别为 (2.94 ± 1.63) d和 (2.22 ± 1.06) d。青铜峡种群雌鼠的发情周期比洞庭湖种群稍短, 为 (6.93 ± 1.03) d; 发情前期和发情间期与洞庭湖种群相似; 发情期和发情后期比洞庭湖种群稍短, 分别为 (2.27 ± 1.44) d和 (1.40 ± 1.03) d^[13]。

2个种群东方田鼠在实验室饲养的条件下全年均可繁殖。洞庭湖种群田鼠的受孕率为63.83% ($n=47$), 青铜峡种群田鼠的受孕率为48.39% ($n=62$)。洞庭湖种群田鼠的窝产仔数为2~8只, 以4~6只居多, 平均 (4.70 ± 1.15) 只; 青铜峡种群田鼠每胎窝产仔数为1~6只, 以3~5只居多, 平均 (3.59 ± 1.00) 只。2个种群东方田鼠的妊娠期均为20~21 d, 哺乳期为21 d^[13]。

需要指出, 实验动物的生殖生理涉及种质资源的保存, 因此应该开展系统而全面的基础研究, 并与其他啮齿类动物进行比较, 如不同阶段的精子、卵子、合子、胚胎的冷冻复苏、超排、体外受精等, 相关研究还有待进行。

1.3 解剖学特点

东方田鼠的门齿发达, 上、下门齿各有1对, 无犬齿及前臼齿, 臼齿上、下各3对, 齿式为 $(1、0、0、3/1、0、0、3) \times 2=16$ 。脊柱由颈椎7块、胸椎13块、腰椎6块、荐椎4块、尾椎18块, 共48块脊椎骨组成, 椎式如下: C7T13L6S4Cy18。胃属于单室胃, 呈长形袋状, 以中央部分的峡部为界, 可将其分为前胃和后胃, 前胃胃壁薄, 几乎透明, 后胃不透明, 富有肌肉和血管, 在后胃的大弯部分分布有腺体。盲肠十分发达, 盲肠长度为体长的1倍以上。8周龄东方田鼠的脾脏系数为 $(0.066\% \pm 0.022\%) \sim (0.097\% \pm 0.031\%)$, 见表1, 远远低于BALB/c小鼠的0.33%~0.47%^[26-27], 也低于SD大鼠的0.14%~0.22%^[28-29]。目前, 尚缺乏有关东方田鼠的精细组织、解剖、功能和比较研究。

1.4 血液学指标

在种群培育过程中, 对8周龄的洞庭湖和青铜峡种群东方田鼠进行了血液、血清生化数据的采集, 相关数值见表2~3。目前涉及血液生化的共享基础数据

已经积累很多, 但对于系统的血象图谱、免疫细胞分类、免疫球蛋白成分及构成等研究还是空白。

2 东方田鼠全基因组测序

对东方田鼠的染色体核型分析表明, 东方田鼠共有26对染色体, 且以端着丝粒染色体居多数, 性染色体1对, 其核型公式为 $2n=52=8(m+sm)+42(t+st)+XY(m, t)$ ^[30]。

Li等^[25]用鸟枪法对雄性洞庭湖种群东方田鼠的基因组DNA进行从头测序, 拼接后的基因组序列长度约2.2 Gb, 约为估计基因组长度(2.4 Gb)的92%, GC含量为42.4%, 与普通基因组相似; 基因组重复含量占30.2%, 低于大多数哺乳动物, 高于田鼠属中另一个已测序种草原田鼠(*M. ochrogaster*)。整合多种注释方法得到了21 867个蛋白质编码基因。与其他哺乳动物相比, 东方田鼠表现出相似的外显子长度、外显子数量和编码序列长度, 但基因长度和内含子长度较短。通过同源基因家族分析构建的系统发育树表明, 东方田鼠属于啮齿目, 与草原田鼠最接近; 东方田鼠与草原田鼠的分化时间约为8.6万年前(95%置信区间为4.2~15.5), 约46.3万年前(95%置信区间为29.3~63.9)田鼠属的祖先和大鼠、小鼠的祖先分离^[25]。

与其他哺乳动物相比, 东方田鼠有89个扩增基因家族和102个缺失基因家族, 鉴定出532个阳性选择基因(positively selected genes, PSGs)。对PSGs富集功能分析显示, 东方田鼠的细胞形态调节和先天免疫进化等生物学过程快速进化, 共有33个先天免疫基因被阳性选择, 说明东方田鼠免疫系统进化迅速。通过将人类、小鼠、大鼠和兔的IMGT数据库参考序列与东方田鼠基因组比对, 对东方田鼠免疫球蛋白(immunoglobulin, IG)和T细胞受体(T cell receptor, TCR)基因进行了注释^[25]。

笔者推测, 已经完成的东方田鼠参考基因组草图将极大地促进东方田鼠基因功能及东方田鼠-日本血吸虫相互作用机制的研究。东方田鼠IG和TCR库为筛选东方田鼠抗血吸虫特异性分子提供了宝贵的资源, 将有助于研究东方田鼠抗日本血吸虫的特殊机制。

3 东方田鼠的标准化研究

东方田鼠作为新的实验动物资源, 其环境设施、遗传和病原体控制及监测方法、配合饲料营养标准等是保证东方田鼠正常繁殖、生长、质量的重要环节。

表1 2个种群东方田鼠的体质量及脏器系数比较

Table 1 Comparison of body mass and organ coefficient between the two populations of reed voles

项目 Items	洞庭湖种群 (n=40) Population of Dongtinghu		青铜峡种群 (n=40) Population of Qingtongxia	
	♀	♂	♀	♂
体质量/g Body mass/g	53.590±7.360	67.836±9.235 [#]	45.960±4.670	65.130±9.690 [#]
心脏/体质量 Heart/body mass	0.480±0.068	0.429±0.052	0.413±0.037	0.404±0.062
肺/体质量 Lung/body mass	0.515±0.071	0.434±0.062	0.456±0.072	0.433±0.063
肝/体质量 Liver/body mass	3.825±0.514	3.802±0.643	3.134±0.004	3.177±0.343
脾/体质量 Spleen/body mass	0.097±0.031	0.071±0.014	0.071±0.029	0.066±0.022
左肾/体质量 Left kidney/body mass	0.479±0.069	0.464±0.058	0.443±0.037	0.466±0.043
右肾/体质量 Right kidney/body mass	0.472±0.065	0.454±0.058	0.442±0.038	0.466±0.049
脑/体质量 Brain/body mass	1.464±0.162	1.190±0.145	1.711±0.191	1.270±0.179 [#]
左甲状腺/体质量 Left thyroid gland/body mass	0.005±0.002	0.002±0.001 [#]	0.002±0.001 [*]	0.002±0.001
右甲状腺/体质量 Right thyroid gland/body mass	0.005±0.002	0.002±0.001 [#]	0.002±0.001 [*]	0.001±0.001
左肾上腺/体质量 Left adrenal gland/body mass	0.020±0.007	0.008±0.003 [#]	0.011±0.004 [*]	0.007±0.003
右肾上腺/体质量 Right adrenal gland/body mass	0.019±0.007	0.008±0.003 [#]	0.011±0.004 [*]	0.007±0.003
左卵巢/体质量 Left ovary/body mass	0.014±0.008	/	0.005±0.003 [*]	/
右卵巢/体质量 Right ovary/body mass	0.014±0.008	/	0.005±0.003 [*]	/
左睾丸/体质量 Left testicle/body mass	/	0.484±0.128	/	0.327±0.200 [*]
右睾丸/体质量 Right testicle/body mass	/	0.474±0.128	/	0.333±0.200 [*]
胸腺/体质量 Thymus/mass	0.121±0.047	0.194±0.067 [#]	0.120±0.044	0.103±0.037

注：本表为之前未公开发表数据，节选自国家科技支撑计划 2015BAI09B04 课题验收报告。^{*}为两个种群之间有显著性差异，[#]为同种群内雌雄间有显著性差异，*P* < 0.05。

Note: These are unpublished data, excerpted from the 2015BAI09B04 project acceptance report of the National Science and Technology Pillar Plan. ^{*} means a significant difference between the two populations, [#] represents a significant difference between males and females in the same population, *P* < 0.05.

研究人员对东方田鼠进行了病原学流行病学调查，建立了相关病原体的检测方法（尚没有公开发表）；构建了东方田鼠微卫星富集文库，同时筛选了微卫星位点，设计了微卫星引物序列，优化了微卫星检测方法，建立了东方田鼠遗传检测方法

立了东方田鼠遗传检测方法^[31]；还根据东方田鼠的食性，设计了适合东方田鼠的饲料配方（尚没有公开发表）。在此基础上，我国编制了东方田鼠系列标准，中国实验动物学会和上海市市场监

表2 2个种群东方田鼠血液学指标测定结果比较
Table 2 Comparison of hematological index measurement results between the two populations of reed voles

项目 Items	洞庭湖种群 (n=40) Population of Dongtinghu		青铜峡种群 (n=40) Population of Qingtongxia	
	♀	♂	♀	♂
红细胞计数/(10 ¹² ·L ⁻¹) Red blood cell count	9.41±1.12	10.43±0.84	10.91±0.82	11.18±0.86
血红蛋白 ρ/(g·L ⁻¹) Hemoglobin	141.63±16.54	162.95±11.24 [#]	154.58±12.23	160.95±12.30
白细胞计数/(10 ⁹ ·L ⁻¹) White blood cell count	4.78±1.78	8.77±2.77 [#]	4.03±1.76	5.08±1.79 ^{*#}
噬中性粒细胞百分比/% Percentage of phagocytic neutrophils	30.97±10.75	18.40±11.45 [#]	20.58±7.97 [*]	26.47±14.56 [#]
淋巴细胞百分比/% Percentage of lymphocytes	62.76±11.28	73.75±12.63 [#]	73.92±8.73	65.21±14.48
嗜酸性粒细胞百分比/% Percentage of eosinophils	4.55±4.13	6.62±4.78 [#]	4.89±3.07	6.93±4.85 [#]
嗜碱性粒细胞百分比/% Percentage of basophils	0	0.03±0.08	0	0
单核细胞百分比/% Percentage of monocytes	1.74±1.69	1.19±1.10	0.60±1.07 [*]	1.39±1.65 [#]
血小板计数/(10 ⁹ ·L ⁻¹) Platelet count	820.94±259.14	782.08±183.05	572.13±213.17 [*]	594.16±194.34 [*]

注：本表为之前未公开发表数据，节选自国家科技支撑计划 2015BAI09B04 课题验收报告。^{*}为两个种群之间有显著性差异，[#]为同种群内雌雄间有显著性差异，*P* < 0.05。
Note: These are unpublished data, excerpted from the 2015BAI09B04 project acceptance report of the National Science and Technology Pillar Plan. ^{*} means a significant difference between the two populations, [#] represents a significant difference between males and females in the same population, *P* < 0.05.

督管理局分别于2019年和2021年发布了东方田鼠相关团体标准和地方标准，包括上海市地方标准 DB31/T 1287—2021《实验东方田鼠 病原学等级及监测》^[32]，实验动物团体标准 T/CALAS 101—2021《实验动物 东方田鼠遗传质量控制》^[33]、T/CALAS 69—2019《实验动物 东方田鼠配合饲料》^[34]、T/CALAS 70—2019《实验动物 东方田鼠微生物学和寄生虫学等级及监测》等^[35]。总之，从遗传质量控制、病原体等级及检测方法、配合饲料营养成分等方面制定东方田鼠相关质量控制标准，完善了东方田鼠质量控制体系，为提升东方田鼠质量奠定了基础。

4 在抗血吸虫病机制研究中的应用

以往对东方田鼠天然抗血吸虫病的机制研究发现：东方田鼠血清成分具有体外杀伤血吸虫童虫的效应^[36-39]；东方田鼠体内存在天然的抗血吸虫童虫和成虫 IgG 抗体（尤其是 IgG₃）^[14,40-42]；血清补体成分在对血吸虫童虫的杀伤效应中起了重要作用^[43-44]；嗜酸性

粒细胞、巨噬细胞是东方田鼠对血吸虫童虫抗体依赖细胞介导的细胞毒性作用（antibody-dependent cell-mediated cytotoxicity, ADCC）中重要的效应细胞^[36,45-46]；感染血吸虫后2~3周，东方田鼠血清中的 GM-CSF、M-CSF、MCP-1、VEGF、IL-3、IL-4、IL-10、IFN-γ 等细胞因子及其相关基因显著高于感染后的 C57BL/6 小鼠^[18,47]；一些参与营养代谢、免疫调节的 miRNA 在感染血吸虫的东方田鼠和小鼠肝脏、脾脏和肺中差异表达^[15]；东方田鼠感染日本血吸虫 10 d 后，肺中甲状腺激素受体 α、甲状腺激素反应蛋白、类固醇 11β 脱氢酶 1 以及肝中胰岛素样生长因子 1 等水平显著下调^[48]。另有一些研究发现，血清白蛋白^[49-50]、热休克蛋白-90α^[51]、核转运蛋白-α2^[52]、肠道菌群^[53]等可能与东方田鼠抗血吸虫病作用有关。

总之，东方田鼠体内包括免疫防御系统（如抗体、补体、细胞因子、免疫细胞、miRNA）、高水平代谢产物、低水平激素表达及其难以被日本血吸虫消化的白蛋白等，均可能是不利于日本血吸虫生长发育的因素，

表3 2个种群东方田鼠生化指标测定结果

Table 3 Comparison of biochemical index measurement results between the two populations of reed voles

项目 Items	洞庭湖种群田鼠(<i>n</i> =40)		青铜峡种群田鼠(<i>n</i> =40)	
	Population of Dongtinghu		Population of Qingtongxia	
	♀	♂	♀	♂
天门冬氨酸转氨酶 <i>z</i> /(U·L ⁻¹) Aspartate aminotransferase	417.36±233.64	351.20±226.26 [#]	226.09±86.23 [*]	304.50±133.46 [#]
谷丙转氨酶 <i>z</i> /(U·L ⁻¹) Alanine transaminase	285.57±180.13	217.40±146.94 [#]	134.69±49.60 [*]	155.90±78.57 [*]
碱性磷酸酶 <i>z</i> /(U·L ⁻¹) Alkaline phosphatase	353.31±149.88	253.90±64.11 [#]	392.53±82.90	388.20±81.57 [*]
乳酸脱氢酶 <i>z</i> /(U·L ⁻¹) Lactate dehydrogenase	1 036.62±294.83	764.40±458.96 [#]	373.64±281.42 [*]	536.30±345.63 [#]
肌苷 <i>c</i> /(μmol·L ⁻¹) Inosine	11.67±3.51	10.60±3.49	9.33±2.91 [*]	11.50±3.33 [#]
尿素 <i>c</i> /(mmol·L ⁻¹) Urea	9.39±2.08	8.90±1.62	9.48±2.63	8.70±2.45
总胆固醇 <i>c</i> /(mmol·L ⁻¹) Total cholesterol	2.67±0.69	2.20±0.49	3.80±0.71 [*]	3.20±0.76 [*]
血清总蛋白 <i>ρ</i> /(g·L ⁻¹) Total serum protein	64.55±4.73	64.40±3.89	59.28±3.74	61.00±4.98
白蛋白 <i>ρ</i> /(g·L ⁻¹) Albumin	40.82±2.76	42.20±2.45	38.65±2.99	39.40±3.07
甘油三酯/(mmol·L ⁻¹) Triglyceride	1.62±1.09	1.30±0.68	1.81±1.13	1.60±0.77
血糖 <i>c</i> /(mmol·L ⁻¹) Blood sugar	2.25±0.70	2.60±0.69	2.39±0.86	2.10±0.79
高密度脂蛋白 <i>c</i> /(mmol·L ⁻¹) High density lipoprotein	1.69±0.41	1.20±0.22 [#]	2.00±0.23	1.60±0.33
低密度脂蛋白 <i>c</i> /(mmol·L ⁻¹) Low density lipoprotein	0.65±0.29	0.40±0.22 [#]	0.85±0.48 [*]	0.80±0.39 [*]
胆碱酯酶 <i>z</i> /(U·L ⁻¹) Cholinesterase	7 631.09±1 338.15	8 053.00±2 329.15	8 626.18±2 049.57	9 249.70±2 790.19
尿比重 Urine specific gravity	1.010 1 ±0.007 7	1.018 3 ±0.012 9	1.021 7±0.014 5	1.029 1±0.014 8

注：本表为之前未公开发表数据，节选自国家科技支撑计划2015BAI09B04课题验收报告。^{*}为两个种群之间有显著性差异，[#]为同种群内雌雄间有显著性差异，*P* < 0.05。

Note: These are unpublished data, excerpted from the 2015BAI09B04 project acceptance report of the National Science and Technology Pillar Plan. ^{*} means a significant difference between the two populations, [#] represents a significant difference between males and females in the same population, *P* < 0.05.

然而这些推测尚缺乏足够的支持性实验数据。截至目前，有关东方田鼠抗血吸虫病机制的研究已有多篇综述进行总结^[21,23-24]，下文重点总结目前我们的研究进展。

对小鼠和东方田鼠感染血吸虫后的肝脏进行RNA测序和比较转录组分析，探讨东方田鼠和小鼠感染血吸虫后不同时间的差异表达基因（differentially

expressed genes，DEGs），发现东方田鼠肝脏DEGs富集主要在感染血吸虫后10 d，小鼠肝脏DEGs富集在感染血吸虫后28 d和42 d；富集的基因主要为免疫系统反应、炎症反应等相关基因，表明东方田鼠在感染第10天即发生了强烈的免疫反应，而小鼠在感染后28 d，血吸虫产生虫卵后才发生较强的免疫反应^[25]。对东方田鼠上调基因功能注释发现，大多数富集途径与先天

免疫有关,前3条途径是白细胞外渗信号、整合素信号和Fc γ 受体介导的巨噬细胞和单核细胞吞噬作用。对免疫球蛋白进行分型,东方田鼠肝脏中IgG₁、IgG₃、IgA、IgM在感染血吸虫后的第7天和第10天部分上调,在第14天和第21天显著上调;小鼠肝脏中IgG₁、IgA、IgM在第28天和第42天明显升高,IgG₃几乎没有升高^[25]。

利用独创性通路分析(ingenuity pathway analysis, IPA)发现:干扰素调节因子7(interferon regulatory factor 7, IRF7)在东方田鼠感染血吸虫后的第7天和第10天显著上升,而小鼠感染后28 d才开始上升;IRF7诱导表达的干扰素刺激基因(interferon-stimulated genes, ISG)在小鼠和东方田鼠中表达模式与IRF7一致;此外,JAK-STAT信号通路激活,部分细胞因子上调^[25]。

基于DEGs、免疫球蛋白和上游调节因子分析,作者推测东方田鼠对血吸虫的免疫机制可能与以下过程有关:白细胞和其他免疫细胞被招募到肝脏,激活的IRF7启动I型干扰素的诱导,导致JAK-STAT通路和干扰素刺激基因的激活;针对血吸虫抗原产生抗体(特别是IgG₃),IgG与Fc γ 受体结合诱导吞噬作用。这些不同的过程可能共同阻止血吸虫的正常发育,独特的免疫应答机制可能是东方田鼠对血吸虫固有抗性的主要原因^[25]。

5 结语

虽然经历了30多年的实验动物化培育,我国已拥有了较大规模的东方田鼠净化种群,并且其基因组测序和注释已经完成,但是目前东方田鼠的应用还比较局限。由于东方田鼠的超数排卵问题至今没有解决,无法满足胚胎操作的要求,研究人员还无法用基因编辑技术对东方田鼠进行相关基因的功能研究,导致东方田鼠抗血吸虫病机制研究的一些结果仅限于表达水平,缺乏足够的支持性实验数据。

东方田鼠基因组草图的完成,为东方田鼠亚种分类、开发针对东方田鼠的特异性抗体、开展基因编辑技术研究等提供了基础信息。后续还应应对东方田鼠进行生殖生理、精细解剖、免疫细胞图谱、免疫球蛋白成分及构成、基因编辑技术等方面的研究,进而获得更详细、完备的基础数据,为研究东方田鼠-日本血吸虫相互作用关系及其抗血吸虫病机制、明确东方田鼠天然抗血吸虫病的效应分子、治疗血吸虫病新药筛选等提供重要的理论依据和新的思路。

【利益声明 Declaration of Interest】

作者声明本文不存在署名及版权等利益冲突。

【参考文献 References】

- [1] 罗泽珣,陈卫,高武,等.中国动物志 兽纲 第六卷 啮齿目(下册) 仓鼠科[M].北京:科学出版社,2000:221-232.
LUO Z X, CHEN W, GAO W, et al. Fauna sinica, mammalia, Vol. 6, rodentia, Part III: cricetidae[M]. Beijing: Science Press, 2000: 221-232.
- [2] 中国动物园协会.哺乳动物分类名录[M].北京:中国医药科技出版社,1992:291.
Chinese Association of Zoological Gardens. Mammalian taxonomy directory[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 1992: 291
- [3] 黄文几,陈延熹,温业新.中国啮齿类[M].上海:复旦大学出版社,1995:231-233.
HUANG W J, CHEN Y X, WEN Y X. Chinese rodents [M]. Shanghai: Fudan University Press, 1995: 231-233.
- [4] 马勇.中国有害啮齿动物分布资料[J].中国农业通报,1986,3(6):76-82.
MA Y. Distribution data of harmful rodents in China [J]. Chinese Agriculture Science Bulltin, 1986, 3(6):76-82.
- [5] 张知斌,王祖望.农业重要害鼠的生态学与控制对策[M].北京:海洋出版社,1998:130-152.
ZHANG Z B, WANG Z W. Ecology and control strategies of important agricultural rodents [M]. Beijing: Ocean Publishing House, 1998: 130-152.
- [6] 朱国正,汪英华,雷观愚,等.东方田鼠的实验室饲养及其抗血吸虫感染特性[J].上海实验动物科学,1991,11(4):193-198,201.
ZHU G Z, WANG Y H, LEI G Y, et al. Orient hamster and its antischistosoma characters[J]. Shanghai Lab Anim Sci, 1991, 11(4):193-198, 201.
- [7] 贺宏斌,左家铮,周利红,等.东方田鼠实验感染日本血吸虫的研究[J].湖南医学,1992(2):65-67,130.
HE H B, ZUO J Z, ZHOU L H, et al. Study on experimental infection of *Schistosoma japonicum* by *Microtus fortis*[J]. J Clin Res, 1992(2):65-67, 130.
- [8] 李浩,何燕艳,林邦发,等.东方田鼠重复感染日本血吸虫试验研究初步[J].中国兽医寄生虫病,2001,9(3):15-17.
LI H, HE Y Y, LIN B F, et al. The preliminary research of *Microtus fortis* superinfection *Schistosoma japonicum*[J]. Chin J Vet Parasitol, 2001, 9(3):15-17.
- [9] 柏熊,邢正弘,沈志敏,等.东方田鼠人工繁育观察[J].实验动物与比较医学,2006,26(4):242-244. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2006.04.010.
BAI X, XING Z H, SHEN Z M, et al. Observation on artificial breeding of *Microtus fortis*[J]. Lab Anim Comp Med, 2006, 26 (4):242-244. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2006.04.010.
- [10] 武正军,陈安国,李波,等.洞庭湖区东方田鼠繁殖特性研究[J].兽类学报,1996,16(2):142-150. DOI: 10.16829/j.slxb.1996.02.011.
WU Z J, CHEN A G, LI B, et al. Studies on the breeding characteristics of Yangtze vole(*Microtus fortis*) in Dongting Lake area[J]. Acta Theriol Sin, 1996, 16(2): 142-150. DOI: 10.16829/j.slxb.1996.02.011.

- [11] 武正军. 东方田鼠长江亚种(*Microtus fortis calamorum*)的生长与发育[J]. 动物学杂志, 1996, 31(5): 26-30.
WU Z J. Growth and development of Yangtze vole (*Microtus fortis calamorum*) in Dongting Lake area[J]. Chin J Zool, 1996, 31(5): 26-30.
- [12] 胡忠军, 王勇, 郭聪, 等. 人工饲养条件下东方田鼠指名亚种繁殖特性及其幼仔的生长发育[J]. 兽类学报, 2003, 23(1):58-65. DOI: 10.16829/j.slxb.2003.01.012.
HU Z J, WANG Y, GUO C, et al. Reproduction and postnatal growth of *Microtus fortis fortis* under artificial feeding conditions[J]. Acta Theriol Sin, 2003, 23(1): 58-65. DOI: 10.16829/j.slxb.2003.01.012.
- [13] 柏熊, 林金杏, 王晓东, 等. 两种群东方田鼠生长发育及繁殖性能观测[J]. 实验动物与比较医学, 2018, 38(2):135-140. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2018.02.011.
BAI X, LIN J X, WANG X D, et al. Characterization of growth and reproductive performance in *Microtus fortis*[J]. Lab Anim Comp Med, 2018, 38(2):135-140. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2018.02.011.
- [14] 蒋守富, 魏梅雄, 林矫矫, 等. 东方田鼠 IgG3 抗体抗血吸虫病作用研究[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2008, 26(1):34-36. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7423.2008.01.015.
JIANG S F, WEI M X, LIN J J, et al. Effect of IgG3 antibody purified from sera of *Microtus fortis* against *Schistosoma japonicum*[J]. Chin J Parasitol Parasit Dis, 2008, 26(1):34-36. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7423.2008.01.015.
- [15] HAN H X, PENG J B, HAN Y H, et al. Differential expression of microRNAs in the non-permissive schistosome host *Microtus fortis* under schistosome infection[J]. PLoS One, 2013, 8(12): e85080. DOI: 10.1371/journal.pone.0085080.
- [16] HONG Y, ZHANG M, YANG J M, et al. Immunoproteomic analysis of *Schistosoma japonicum* schistosomulum proteins recognized by immunoglobulin G in the sera of susceptible and non-susceptible hosts[J]. J Proteomics, 2015, 124:25-38. DOI: 10.1016/j.jprot.2015.04.010.
- [17] 刘金明, 傅志强, 李浩, 等. 东方田鼠 ADCC 体外杀伤日本血吸虫童虫效果的初步观察[J]. 寄生虫与医学昆虫学报, 2001, 8(4): 212-219. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0507.2001.04.004.
LIU J M, FU Z Q, LI H, et al. Preliminary observation on the killing effect to shistosomula of *Schistosoma japonicum in vitro* by adcc of *Microtus fortis*[J]. Acta Parasitol Med Entomol Sin, 2001, 8(4): 212-219. DOI: 10.3969/j.issn.1005-0507.2001.04.004.
- [18] HU Y, SUN L, YUAN Z Y, et al. High throughput data analyses of the immune characteristics of *Microtus fortis* infected with *Schistosoma japonicum*[J]. Sci Rep, 2017, 7(1):11311. DOI: 10.1038/s41598-017-11532-2.
- [19] 柏熊, 王晓东. 东方田鼠净化的研究初报[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2006(6):33. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7725.2006.06.016.
BAI X, WANG X D. Preliminary report on purification of *Microtus fortis*[J]. Shanghai J Anim Husb Vet Med, 2006(6): 33. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7725.2006.06.016.
- [20] 柏熊, 王晓东, 谢建云, 等. 东方田鼠种群的生物净化方法[J]. 实验动物与比较医学, 2011, 31(3): 215-217. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2011.03.013.
BAI X, WANG X D, XIE J Y, et al. Biological purification method of *Microtus fortis* population[J]. Lab Anim Comp Med, 2011, 31(3): 215-217. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2011.03.013.
- [21] 何永康, 张新跃. 东方田鼠的研究进展[J]. 中国实验动物学杂志, 1998, 8(2): 116-119.
HE Y K, ZHANG X Y. Research progress of *Microtus fortis*[J]. Chin J Lab Anim Sci, 1998, 8(2): 116-119.
- [22] 倪丽菊, 高诚, 谢建云, 等. 东方田鼠实验动物化研究进展[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2003, 21(2): 168-172. DOI: 10.3969/j.issn.1671-9964.2003.02.020.
NI L J, GAO C, XIE J Y, et al. Advances of *Microtus fortis* as laboratory animal[J]. J Shanghai Jiaotong Univ Agric Sci, 2003, 21(2): 168-172. DOI: 10.3969/j.issn.1671-9964.2003.02.020.
- [23] 柴淑梅, 傅志强, 谢建芸. 东方田鼠在医学生物学研究与应用进展[J]. 实验动物与比较医学, 2018, 38(1):72-77. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2018.01.016.
CHAI S M, FU Z Q, XIE J Y. Progress of *Microtus fortis* in research and application of medical biology[J]. Lab Anim Comp Med, 2018, 38(1): 72-77. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2018.01.016.
- [24] SHEN J, XIANG S Y, PENG M, et al. Mechanisms of resistance to *Schistosoma japonicum* infection in *Microtus fortis*, the natural non-permissive host[J]. Front Microbiol, 2020, 11:2092. DOI: 10.3389/fmicb.2020.02092.
- [25] LI H, WANG Z, CHAI S M, et al. Genome assembly and transcriptome analysis provide insights into the antischistosome mechanism of *Microtus fortis*[J]. J Genet Genom, 2020, 47(12):743-755. DOI: 10.1016/j.jgg.2020.11.009.
- [26] 张修彦, 詹纯列, 肖育华, 等. SPF 级 Balb/c 小鼠脏器质量、脏器系数、血常规、血生化指标的测定与比较[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(41):7734-7737. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8225.2011.41.033.
ZHANG X Y, ZHAN C L, XIAO Y H, et al. Measurement and comparisons of organ weight, organ coefficient, hematological parameters and hematological biochemical parameters of specific pathogen free Balb/c mice[J]. J Clin Rehabil Tissue Eng Res, 2011, 15(41):7734-7737. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8225.2011.41.033.
- [27] 刘科, 刘盛来, 杨林, 等. 不同性别 BALB/c 裸小鼠血液学及脏器系数观测[J]. 实验动物与比较医学, 2014, 34(1): 65-67, 70. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2014.01.015.
LIU K, LIU S L, YANG L, et al. Observation on hematology and organ coefficient of BALB/c nude mice of different sexes[J]. Lab Anim Comp Med, 2014, 34(1): 65-67, 70. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2014.01.015.
- [28] 董延生, 尹纪业, 陈长, 等. SD 大鼠脏器重量及脏器系数正常参考值的确立与应用[J]. 军事医学, 2012, 36(5): 351-353. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9960.2012.05.008.
DONG Y S, YIN J Y, CHEN Z, et al. Establishment and application of the normal reference values of organ masses and organ/body coefficients in SD rats[J]. Mil Med Sci, 2012, 36(5): 351-353. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9960.2012.05.008.

- [29] 樊林花, 李丹, 樊平花, 等. 清洁级SD大鼠体重和主要脏器系数正常参考值研究及相关性分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2012, 22(4):750-752.
FAN L H, LI D, FAN P H, et al. Study and correlation analysis of normal reference range of body weight and the main organs coefficient of clean SD rat[J]. Chin J Health Lab Technol, 2012, 22(4):750-752.
- [30] 潘漪清, 谢建云, 邵伟娟, 等. 不同地区东方田鼠染色体数及带型比较[J]. 中国实验动物学杂志, 2002, 12(3): 147-150.
PAN Y Q, XIE J Y, SHAO W J, et al. Analysis of chromosome number and chromosome bands of *Microtus fortis* from different regions in China[J]. Chin J Lab Anim Sci, 2002, 12(3): 147-150.
- [31] 倪丽菊, 陶凌云, 柏熊, 等. 东方田鼠微卫星标记的富集筛选与初步应用[J]. 遗传, 2011, 33(9):989-995. DOI: 10.3724/SP.J.1005.2011.00989.
NI L J, TAO L Y, BAI X, et al. Enrichment and screening of the microsatellite markers in *Microtus fortis* and its preliminary application in genetic diversity research[J]. Hereditas, 2011, 33(9):989-995. DOI: 10.3724/SP.J.1005.2011.00989.
- [32] 上海市市场监督管理局. 实验东方田鼠 病原学等级及监测: DB 31/T 1287—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
Shanghai Market Supervision and Administration Bureau. Laboratory reed vole—Pathogen standards and monitoring: DB 31/T 1287-2021 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [33] 中国实验动物学会. 实验动物 东方田鼠遗传质量控制: T/CALAS 101—2021[S]. 北京: 科学出版社, 2022.
Chinese Association for Laboratory Animal Sciences. Laboratory animals—*Microtus fortis* genetic quality control: T/CALAS 101-2021[S]. Beijing: Science Press, 2022.
- [34] 中国实验动物学会. 实验动物 东方田鼠配合饲料: T/CALAS 69—2019[S]. 北京: 科学出版社, 2020.
Chinese Association for Laboratory Animal Sciences. Laboratory animals—Nutritional requirement of reed vole: T/CALAS 69-019[S]. Beijing: Science Press, 2020.
- [35] 中国实验动物学会. 实验动物 东方田鼠微生物学和寄生虫学等级及监测: T/CALAS 70—2019[S]. 北京: 科学出版社, 2020.
Chinese Association for Laboratory Animal Sciences. Laboratory animals—Microbiological and parasitological standards and monitoring in reed vole: T/CALAS 70-2019 [S]. Beijing: Science Press, 2020.
- [36] 刘金明, 傅志强, 李浩, 等. 东方田鼠血清体外杀伤日本血吸虫童虫效果的初步观察[J]. 中国人兽共患病杂志, 2002, 18(2):81-83.
LIU J M, FU Z Q, LI H, et al. Preliminary observation on the killing effect of sera from *Microtus fortis* to the schistosomula of *Shistosoma japonicum in vitro*[J]. Chin J Zoonoses, 2002, 18(2):81-83.
- [37] 张新跃, 何永康, 李毅, 等. 正常东方田鼠血清及脾细胞体外杀血吸虫童虫作用的初步观察[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2001, 13(4):206-208. DOI: 10.16250/j.32.1374.2001.04.007.
ZHANG X Y, HE Y K, LI Y, et al. A preliminary observation on the killing of schistosomula of *Schistosoma japonicum in vitro* by sera and spleen cells of *Microtus fortis*[J]. Chin J Schistosomiasis Contral, 2001, 13(4):206-208. DOI: 10.16250/j.32.1374.2001.04.007.
- [38] 蒋守富, 魏梅雄, 林矫矫, 等. 东方田鼠血清被动转移抗日本血吸虫的保护力研究[J]. 中国寄生虫病防治杂志, 2004(5): 298-300.
JIANG S F, WEI M X, LIN J J, et al. Study on protection against *Schistosoma japonicum* induced by passively transfered sera from *microtus fortis* in the mouse[J]. Chin J Parasit Dis Contr, 2004(5): 298-300.
- [39] 罗新松, 何永康, 喻鑫玲, 等. 东方田鼠血清被动转移小白鼠抗血吸虫感染的保护性研究[J]. 中国人兽共患病杂志, 1998, 14(5): 75-76.
LUO X S, HE Y K, YU X L, et al. A study on the protective immunity against *Schistosoma japonicum* infection after passively transferring *micrtus fortis* sera to mice[J]. Chin J Zoonoses, 1998, 14(5):75-76.
- [40] 何永康, 罗新松, 喻鑫玲, 等. 洞庭湖区东方田鼠天然抗日本血吸虫抗体水平的初步研究[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 1999, 17(3): 132-134.
HE Y K, LUO X S, YU X L, et al. Preliminary study on the levels of natural antibodies against *Schistosoma japonicum* in *Microtus fortis* in Dongting Lake area[J]. Chin J Parasitol Parasit Dis, 1999, 17(3): 132-134.
- [41] 李浩, 刘金明, 傅志强, 等. 东方田鼠IgG和IgG₃对日本血吸虫抗原反应特性的研究[J]. 中国动物传染病学报, 2012, 20(4): 74-78.
LI H, LIU J M, FU Z Q, et al. Non-specific reactivities of IgG and IgG₃ from healthy *Microtus fortis* with *Scchistosoma japonicum* antigens[J]. Chin J Vet Parasitol, 2012, 20(4): 74-78.
- [42] 傅志强, 刘金明, 蒋守富, 等. 东方田鼠抗日本血吸虫抗体水平检测与分析[J]. 中国兽医寄生虫病, 2001, 9(4):8-11. DOI: 10.3969/j.issn.1674-6422.2001.04.002.
FU Z Q, LIU J M, JIANG S F, et al. Observation and analysis of *Schistosoma japonicum* specific antibodies in sera of *Microtus fortis*[J]. Chin J Vet Parasitol, 2001, 9(4):8-11. DOI: 10.3969/j.issn.1674-6422.2001.04.002.
- [43] 张新跃, 何永康, 李毅, 等. 东方田鼠感染血吸虫前后血清补体C₃C₄水平的动态[J]. 实用预防医学, 2001, 8(4):244-245. DOI: 10.3969/j.issn.1006-3110.2001.04.002.
ZHANG X Y, HE Y K, LI Y, et al. Dynamics on the levels of complement C₃ and C₄ in sera from *Microtus fortis* before and after infection with *Schistosoma japonicum*[J]. Pract Prev Med, 2001, 8(4): 244-245. DOI: 10.3969/j.issn.1006-3110.2001.04.002.
- [44] 柴淑梅, 张倩, 翟颀, 等. 感染日本血吸虫前后东方田鼠血清补体的动态变化和杀虫作用[J]. 中国动物传染病学报, 2019, 27(1): 63-69.
CHAI S M, ZHANG Q, ZHAI Q, et al. Dynamics and killing effect of serum complements from *Microtus fortis* before and after *Schistosoma japonicum* infection[J]. Chin J Vet Parasitol, 2019, 27(1): 63-69.
- [45] 王庆林, 易新元, 曾宪芳, 等. 东方田鼠感染日本血吸虫后肺和肝的组织细胞反应及虫体的扫描电镜观察[J]. 中国人兽共患病杂志, 2002, 18(4):65-67.
WANG Q L, YI X Y, ZENG X F, et al. Observations of the cellular response in the lung and liver of *Microtus fortis* infected by *Schistosoma japonicum* and the surface

ultrastructure of the worm[J]. Chin J Zoonoses, 2002, 18(4): 65-67.

[46] 何静. 东方田鼠巨噬细胞对日本血吸虫童虫杀伤作用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.

HE J. Study on the killing effect of macrophages of *Microtus fortis* on *Schistosoma japonicum* schistosomula[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science, 2020.

[47] HU Y, LU W Y, SHEN Y J, et al. Immune changes of *Schistosoma japonicum* infections in various rodent disease models[J]. Exp Parasitol, 2012, 131(2): 180-189. DOI: 10.1016/j.exppara.2012.03.022.

[48] 彭金彪. 不同宿主来源日本血吸虫童虫差异表达基因的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.

PENG J B. Analysis of differentially expressed genes among the Schistosomula of *Schistosoma japonicum* from different hosts[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science, 2010.

[49] 邬国军, 秦志强, 罗赛群, 等. 东方田鼠血清组分对日本血吸虫童虫的体外杀伤力[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2005, 23(6): 404-407. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7423.2005.06.006.

WU G J, QIN Z Q, LUO S Q, et al. *In vitro* killing activity of the fractional proteins from *Microtus fortis* serum to *Schistosoma japonicum* juveniles[J]. Chin J Parasitol Parasit Dis, 2005, 23(6): 404-407. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7423.2005.06.006.

[50] LI R, WU G J, XIONG D H, et al. A *Microtus fortis* protein, serum albumin, is a novel inhibitor of *Schistosoma japonicum* schistosomula[J]. Mem Inst Oswaldo Cruz, 2013, 108(7): 865-872. DOI: 10.1590/0074-0276130659.

[51] GONG Q, CHENG G, QIN Z Q, et al. Identification of the resistance of a novel molecule heat shock protein 90alpha (HSP90alpha) in *Microtus fortis* to *Schistosoma japonicum* infection[J]. Acta Trop, 2010, 115(3): 220-226. DOI: 10.1016/j.actatropica.2010.03.007.

[52] CHENG G, GONG Q, GAI N, et al. Karyopherin alpha 2 (KPNA2) is associated with the natural resistance to *Schistosoma japonicum* infection in *Microtus fortis*[J]. Biomed Pharmacother, 2011, 65(3): 230-237. DOI: 10.1016/j.biopha.2011.02.012.

[53] ZHANG D, HU Q, LIU X D, et al. A longitudinal study reveals the alterations of the *Microtus fortis* colonic microbiota during the natural resistance to *Schistosoma japonicum* infection[J]. Exp Parasitol, 2020, 219: 108030. DOI: 10.1016/j.exppara.2020.108030.

(收稿日期: 2023-08-10 修回日期: 2023-10-02)
(本文编辑: 张俊彦, 富群华, 丁宇菁)

[引用本文]
谢建芸. 东方田鼠作为一种实验动物新资源的研究进展报告[J]. 实验动物与比较医学, 2023, 43(5): 482-491. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2023.114.
XIE J Y. Research progress report on *Microtus fortis* as a new resource of laboratory animal[J]. Lab Anim Comp Med, 2023, 43(5): 482-491. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2023.114.

上海实验动物科普志愿者服务队

为促进社会公众准确了解并科学认知实验动物科学，并不断普及科学知识、弘扬科学精神、传播科学思想、倡导科学方法、恪守科学道德，同时大力发扬志愿者精神，2017年6月，基于上海实验动物研究中心的专业优势，在该中心党总支的领导下，成立了上海实验动物科普志愿者服务队（Shanghai Laboratory Animal Popularization Volunteer Service Team, SLAP）（“上海志愿者网”团体ID 92332603，“中国科技志愿服务”组织编号20170606142850）。这是目前上海唯一一支、也是国内少数专门针对实验动物科学的专业化科普志愿服务团队之一。

自成立以来，SLAP积极履行社会责任，主动参与新时代文明实践工作，坚持“两面向三走进”（即，面向全国、面向全市，走进社区、走进校区、走进展区），以“专业化”“可持续”为能力建设目标，逐步丰富科普课程，积累了诸多多元化、高质量的科普成果。其中，《解密生命科学——走近伟大的实验动物科学》系列课件获2021年度上海市“科技创新行动计划”科普专项资助（编号21DZ2305600）。“斑马鱼”系列短片荣获“2023年上海市优秀科普微视频”称号。与此同时，不断建立健全线上线下结合、模块化组合的科普活动组织模式，形成了兼具专业性、趣味性、互动性的科普特色，赢得了社会公众（尤其是青少年）的广泛好评，助力提高公民科学素养，营造了良好的科技创新生态。





截至目前，SLAP荣获了“2018年度上海市科技系统志愿服务先进集体”“2020—2021年上海市新时代文明实践优秀团队”“2023年度长三角优秀科技志愿服务组织”等荣誉称号，1名队员被评为“2018—2019年度上海市优秀志愿者”，得到了社会各界的高度认可。

(本刊青年编委林金杏博士供稿)