

柏雨岑,王卫,郑筱光,等. 实验动物平台基地科技创新能力建设情况研究 [J]. 中国比较医学杂志, 2020, 30(1): 94-98, 108.  
Bai YC, Wang W, Zheng XG, et al. Research on the innovation ability of platform and base of laboratory animal science and technology [J]. Chin J Comp Med, 2020, 30(1): 94-98, 108.  
doi: 10.3969/j.issn.1671-7856.2020.01.015

# 实验动物平台基地科技创新能力建设情况研究

柏雨岑<sup>1</sup>, 王 卫<sup>1,2</sup>, 郑筱光<sup>1</sup>, 胡小鹿<sup>1</sup>, 贾敬敦<sup>1\*</sup>

(1. 中国农村技术开发中心, 北京 100045; 2. 中国医学科学院医学实验动物研究所, 北京 100021)

**【摘要】** 实验动物作为遗传背景明确和微生物质量控制的活体研究材料, 是生命科学创新、医药成果转化及农业产业发展不可或缺的战略资源。近年来, 各部门和地方大力加强了实验动物科技工作, 组建了完善的科研团队, 承担了大型的科研项目, 建设了若干省部级重点实验室和工程(技术)研究中心, 但尚缺乏高水平创新团队和国家级科技创新设施, 如国家重点实验室、国家工程(技术)研究中心等。创新能力建设是实验动物平台基地开展科技创新和产业发展的基础支撑条件。在科技部基础司指导下, 本文通过对卫健委人类疾病比较医学重点实验室、新发再发传染病动物模型研究北京市重点实验室、国家中医药管理局人类疾病动物模型三级实验室、北京市人类重大疾病实验动物模型工程技术研究中心以及中国科学院模式与特色动物实验平台等进行调研, 了解掌握了我国实验动物平台基地科技创新能力建设的成效, 发现其总体上存在源头创新不足、科研经费紧缺、高层次人才匮乏等问题, 并针对性地提出强化顶层设计、推行管理改革、加强投入和能力建设、组建人才队伍、提升开放共享水平等建议, 以供参考。

**【关键词】** 实验动物; 科技创新; 能力建设; 情况调查

**【中图分类号】** R-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856(2020) 01-0094-05

## Research on the innovation ability of platform and base of laboratory animal science and technology

BAI Yucen<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>1,2</sup>, ZHENG Xiaoguang<sup>1</sup>, HU Xiaolu<sup>1</sup>, JIA Jingdun<sup>1\*</sup>

(1. China Rural Technology Development Center, Beijing 100045, China. 2. Institute of Laboratory Animal Sciences, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100021)

**【Abstract】** As *in vivo* research material with a clear genetic background and microbiological quality control, laboratory animals are indispensable strategic resources for life science innovation, transformation of pharmaceutical achievements, and development of the agricultural industry. In recent years, various departments and localities have made great efforts to strengthen experimental animal science and technology innovation capacity building, established a sound scientific research team, undertaken large-scale scientific research projects, and established a number of provincial-level key laboratories and engineering (technical) research centers. However, there is still a lack of high-level innovation teams and state-level scientific and technological innovation facilities, such as national key laboratories and national engineering (technical) research centers. Innovation capacity is the basic supporting condition of the platform & base for experimental animal science and technology innovation and industrial development. Under the guidance of the Basic Department of the Ministry of Science and Technology, we conducted research on the Key Laboratory of Comparative Medicine for Human Diseases, National Health Commission, the Beijing Key Laboratory for Animal Models of New and Recurring Infectious

[作者简介] 柏雨岑(1989—), 男, 副研究员, 研究方向: 实验动物创新管理。E-mail: baiyucen@foxmail.com

[通信作者] 贾敬敦(1963—), 男, 研究员, 研究方向: 实验动物战略研究。E-mail: jiajd@most.cn

Diseases, and the Level-III Laboratory of Human Diseases Animal Model of the State Administration of Traditional Chinese Medicine, the Beijing Human Diseases Experimental Animal Model Engineering Technology Research Center and laboratory animal resources, Chinese Academy of Sciences to further understand the effectiveness of China's experimental animal science and technology innovation capacity, and found that it generally involves insufficient innovation and scientific research at the source. There are various issues, including a shortage of funds and lack of high-level talent. It also put forward proposals for strengthening top-level design, implementing management reforms, strengthening investment and capacity building, establishing talent teams, and improving open sharing levels for reference.

**【Keywords】** laboratory animal; science and technology innovation; capacity building; investigation

党的“十九大”报告提出,要加快建设创新型国家,为强化基础研究和应用基础研究,实现前瞻性基础研究、引领性原创成果重大突破。实验动物作为遗传背景明确和微生物质量控制的活体研究材料,是生命科学前沿和关键核心技术创新、生物医药和农业领域成果转化及产业发展不可或缺的战略资源,是相关行业领域创新发展的重大战略性基础支撑和条件保障<sup>[1-3]</sup>。《“十三五”国家科技创新基地与条件保障能力建设专项规划》中明确指出,加强包括实验动物在内的科技创新基地与科技基础条件保障能力建设是国家创新发展的重要基础,是国家实施创新驱动发展战略的必然选择,是我国创新生态环境建设的重要组成部分;要面向为科学研究和创新创业提供高水平服务的需求,突破实验动物资源和模型等一批关键技术,加强实验动物资源研发与应用,包括实验动物新品种(品系)、动物模型的研究,我国优势和特色实验动物资源的培育、开发与应用,围绕人类重大疾病、新药创制等重大民生健康需求开展相关动物模型资源研发,以及动物实验替代方法研究等。以上战略目标的达成对实验动物平台基地创新能力建设提出了新的要求<sup>[4]</sup>。实验动物创新能力建设具体包括创新团队、体制机制、研究资源、科研经费及科研合作等方面。为了进一步了解情况、部署工作,农村中心作为受科技部基础司委托,承担实验动物相关过程管理工作的专业机构特组织本次调研,理清实验动物科技发展思路,推动其整合资源、加强建设,从而进一步凝聚创新资源,提升创新能力,为国家的实验动物科技创新工作以及有关部门的决策提供参考。

## 1 研究方案

为了解相关部委和地方对实验动物平台基地建设等重视程度,本文对全国省部级的重点实验室和工程技术中心进行调查,系统性地筛选出了与实验动物科技相关的重点实验室和工程技术中心,并

就管理制度、科技成果及资源建设等开展调研。

为更具体了解实验动物平台基地建设情况,本文选择了中国医学科学院、中国科学院等国家层面代表性研究机构所属平台基地,包括对卫健委人类疾病比较医学重点实验室、新发再发传染病动物模型研究北京市重点实验室、国家中医药管理局人类疾病动物模型三级实验室、北京市人类重大疾病实验动物模型工程技术研究中心以及中国科学院模式与特色动物实验平台,进行了现场调研和会议调研。

## 2 实验动物科技创新能力建设现状

为了推动实验动物科技创新,以基础前沿技术进步引领和带动其他学科和产业发展,各相关部委和地方非常重视实验动物科技创新能力建设<sup>[5-6]</sup>。截至目前,卫健委、教育部等部委已设立实验动物相关重点实验室 5 个,北京、天津等省市已设立实验动物相关重点实验室 10 个。同时,为加强实验动物技术创新体系、能力的建设,加强生物医学科技成果转化的中间环节,提高现有科技成果的成熟性、配套性和工程化水平,北京、贵州等各地地方省市分别建立了实验动物相关工程技术中心 8 个。这些设施在依托单位和国家科技计划的支持下,不断加强自身创新能力建设,获得了良好的成效。

一是建立了健全的内部管理制度。各设施根据自身特色及依托单位实际,制定了一系列的管理制度,包括《关于人才引进的实施办法》、《关于科技经费管理的规定》、《科技成果转化管理办法》等,有力保障了研发设施的规范稳定运行。

二是取得了丰硕的科技成果。在依托单位和国家科技计划的支持下,各设施不断实现实验动物基础研究和关键技术研发、转化、推广、科普等领域的创新突破,特别是在动物模型的研发和分析方面,包括动物克隆技术、基因编辑技术、人源化动物技术、模型分析技术等,取得了丰硕的科技成果<sup>[7]</sup>,

获得了部门、地方以及行业的认可。

三是支撑了相关领域科技创新和行业发展。部分设施建立了一定规模的动物资源库和数据信息库<sup>[8-9]</sup>,充分发挥了其公益性基础作用,为相关领域科技创新提供了重要支撑,并带动了实验动物行业和市场的发展。

## 2.1 案例 1:新发再发传染病动物模型研究北京市重点实验室

该实验室储备有多物种的模型动物资源、基因工程动物模型资源、遗传复杂性(GD)小鼠资源,丰富的物种储备为研究个体间基因差异和疾病易感性、靶向药物疗效提供动物模型资源,从而为“精准医疗计划”的实施奠定研究基础。同时,实验室在易感实验动物培育及创制、动物模型建立、表型分析以及应用研究等方面不断创新,取得了基因组编辑技术体系建立和基因编辑大鼠模型资源建设、疾病易感实验动物资源库的建立、重大传染病动物模型资源库的建立及应用等一系列标志性成果。此外,还建立了动物模型创制、分析、评价技术指标规范、标准,并在国内首次建立了在体动物生物安全保障体系和应对新发突发疫情的药物快速筛选系统,为重大传染病的常规储备及新发突发传染病应急反应能力的提升提供了强有力的支撑<sup>[10]</sup>。2011-2016 年间以第一单位共发表 SCI 论文 98 篇,影响因子累计 342。该重点实验室提供的资源和技术服务,支撑了 200 余篇 SCI 发表,包括 Science, Immunity, Nature Medicine 等顶级期刊。实验室成立以来荣获多项省部级奖项,其中包括教育部奖、北京市奖励、中国实验动物学会奖等共计 15 项。

## 2.2 案例 2:北京市人类重大疾病动物模型工程技术研究中心

该工程中心以生物医药研究和产业化需要的疾病动物模型资源和技术为导向,以人类心脑血管疾病、神经系统疾病、代谢性疾病、免疫系统疾病、恶性肿瘤、皮肤病、重大传染病等重大疾病动物模型的创制、分析和评价为核心技术体系,建成了以疾病动物模型研制和分析、物种和品系保存和供应、动物实验和药物临床前评价为主要任务的资源和技术输出基地。主要研究方向为疾病动物模型研制技术、疾病动物模型分析技术、临床前药效学评价技术。近三年,该工程中心围绕实验动物基因工程动物研发、疾病动物模型分析、基因组编辑技术开发、实验动物标准化等进行研究,独立或参与

发表论文 100 多篇,其中 SCI 论文 70 余篇,含 Nature Communication, Cell Research, Blood, Hypertension 等顶尖杂志。围绕疾病动物模型资源研制技术、疾病模型分析技术和质量保障技术,共获得授权国家专利 9 项。该工程中心是国家科技重大专项“重大新药创制”专项的三个基因工程技术平台之一,在基因工程大鼠方面处于国际先进水平<sup>[11]</sup>,同时是我国第一个人类重大疾病动物模型资源合作研制、统一保存、技术高度集成和共享的支撑中心,为国内的医学研究、生物医药成果转化提供疾病动物模型资源、分析技术、药效学临床前评价、产业化资源和技术驱动保障。

## 2.3 案例 3:中国科学院模式与特色动物实验平台

在国家专项经费支持下,中国科学院从 2006 年起整合了中国科学院现有的人才与资源的优势,遴选了具备一定硬件设施及研究队伍的单位组建了中国科学院模式与特色动物实验平台。通过 10 年的建设,中国科学院模式与特色动物实验平台以“整合资源、服务科研、服务社会”为目标,为院内外成员提供模式与特色动物的实验动物品系和实验动物技术设备等交流共享平台,促进中国科学院生物医药研究的发展。经过各方努力,中国科学院动物平台工作取得丰硕成果。以 2016 年为例,中国科学院动物平台建立了中国科学院模式与特色动物利用联盟资源共享与交流平台;支撑一些重大原创性成果产出,包括 2016 年度中国科学十大进展中的四项<sup>[12]</sup>;进一步加强中科院实验动物子平台信息化网站建设;对各方提供多层次多种类技术服务;有效提升中科院实验动物模型的研发和支撑能力;并积极推动国家实验动物支撑体系建设。中科院特色与模式动物实验平台已经为“知识创新工程”、“十二五”规划等目标的全面实现提供特色与模式动物支撑,并继续为“十三五”规划贡献力量。

## 3 存在问题

### 3.1 分级分类管理松散,学科覆盖面较窄

我国科技创新机构主要按照管理权限、研究阶段以及学科领域进行分级分类管理。目前,实验动物科技创新机构分属不同部门(如卫健委、教育部、中科院)和地方(如北京市、江苏省),并按照研究阶段划分为注重基础研究的重点实验室和注重产业共性技术转化的工程(技术)研究中心,缺乏协调统一的管理规范和机制;且学科特征明显,如实验动

物、模式动物、比较医学等,学科覆盖面较窄。管理和学科设置上的松散分割导致了创新资源和创新链(科学研究、技术转化、产业发展)的碎片化,严重影响了资源利用效率和学科交叉融合发展。

### 3.2 学科领域定位尴尬,发展受限

实验动物学科和行业自身特点决定了其科技创新的公益性和基础性,其核心任务是实验动物种子资源的开发与保藏<sup>[13]</sup>,与现有科学与工程研究类、技术创新与成果转化类国家科技创新基地不相适宜,又未纳入基础支撑与条件保障类国家科技创新基地。且目前国家科技创新设施是按照领域,以及基础研究、应用基础研究、工程技术开发、产业化示范等不同研究阶段定位划分的,而实验动物是众多学科领域共享的基础支撑学科,没有明确所属。这些问题,客观制约了省部级科技创新设施跃升至国家级科技创新设施,从而获得支持和发展机会。

### 3.3 团队规模不足,缺乏高级领军人才

目前省部级科技创新设施的发展规模普遍偏小,比如国家卫生健康委人类疾病比较医学重点实验室共有中级以上科技人员 55 人,包括高级职称 21 名,中级职称 34 名;北京市人类重大疾病动物模型工程技术研究中心固定人员为 37 人,其中依托单位固定人员 30 人,高级职称 7 人,副高级职称 7 人,中级职称 11 人,中级以上人员 25 人,如此规模尤其是高级人才规模与国家级重点实验室存在差距。如医学分子生物学国家重点实验室现有中国科学院、中国工程院院士 5 人,国家杰出青年科学基金获得者 10 人,教育部长江学者奖励计划获得者 5 人,万人计划 2 人,青年千人计划 5 人,百千万人才工程获得者 7 人,总共固定人员 95 人,正高级职称 30 人,副高级职称 23 人,中级职称 42 人;干细胞与生殖生物学国家重点实验室现有院士 2 位,“万人计划”2 位,“万人计划”青年拔尖人才 1 位,“百人计划”14 位,“青年千人”3 位,“杰青”7 位,“优青”3 位,共计固定成员 76 人,研究员 23 人,副研究员 9 人,助理研究员 21 人,高级工程师和实验师 4 人。较小的发展规模也导致了资源的利用率不高、学科单一、产学研分离,不符合当前创新设施整合资源,融合发展的大趋势,也难以适应新时期科技创新、产业发展与人才培养的新要求。

### 3.4 缺乏长期稳定支持,动物资源损失严重

“十二五”期间,国家在实验动物领域启动实施了 9 个国家科技支撑计划重大项目,累计投入科研

经费 3.35 亿元,对实验动物科技创新发挥了重大作用。但“十三五”以来,改革后的国家科技计划中尚未设立针对实验动物科技创新的重点专项,导致科技工作无法延续和领域内科技人才持续流失,严重影响实验动物自主创新能力的提升。

此外,在实验动物科技创新能力的建设不是一个阶段性工作任务,而是一项长期、复杂的公益性系统工程,需要国家经费支持。由于实验动物活体资源维持成本较高,以往在科技管理、科研立项、资金投入等诸多方面的间断性和不稳定性,严重影响了科研设施的稳定运行,导致了大量动物模型资源损失。

### 3.5 各机构研究内容雷同,研究不够深入

由于实验动物对生命科学、医药研发及农业发展的重要性及必需性,各地各部门大力开展实验动物研究,几乎每个领域相关高等院校、科研院所、医疗机构、企事业单位都建立实验动物中心(学部)。但由于各单位科技支撑的需要及地方、部门间的条块分割,各中心(学部)普遍存在研究内容雷同,缺乏明确的研究特色和亮点,导致各机构低水平重复,同质化竞争,未能形成科技创新的合力,不能高效地支撑我国科技创新战略。

## 4 对策建议

### 4.1 强化顶层设计,明确发展思路

实验动物创新能力建设需从国家层面作出长远规划和整体设计。要坚持国家实验动物科技发展目标,根据科技创新能力建设和发展需要,制定出适合我国国情和实验动物自身特点、有利于实验动物科技发展的长远规划,提出实验动物创新能力建设的整体设计和建设框架,有计划、分阶段、稳步推进实验动物创新能力的建设工作。

### 4.2 推行管理改革,整合资源,提升管理规范性和灵活性

根据科学技术和产业发展的实际,应重新审视创新能力建设过程中限定性定位发展的问题,限制了科学研究和产业技术的协同创新,也导致忽略了实验动物这一类的基础性公益性平台。应当推进相关管理体制的改革,一是进一步整合资源,扩大创新能力建设的内涵,弱化基于分类和学科特征的划分管理,强化聚焦于科学问题的基于实际贡献和发展实效的综合绩效管理,形成适度规模和体系,实现多学科融合发展,贯通科技进步与产业发展的创

新链,更好地服务于科技创新、人才培养和产业发展;二是加强规范化管理,制定统一规范的符合实验动物自身特点的科技创新设施管理办法和配套管理细则,建立协调共享管理机制,为实验动物科技创新提供制度保障;三是提升管理的灵活性,赋予各机构自身理事会更多管理决策职责,紧密围绕国家战略需求的同时,适时根据科技发展趋势调整和制定符合自身特定的单位发展策略和管理机制。

#### 4.3 加强创新能力建设,提升支撑服务和条件保障水平

围绕国家重大战略需求,将实验动物纳入基础支撑与条件保障类国家科技创新基地管理,加强实验动物优质资源有机集成,提升实验动物资源使用效率,为科学研究、技术进步和社会发展提供网络化、社会化的科技资源共享服务。加强实验动物创新能力建设,形成完备的关键技术和创新服务体系,为相关领域科技创新提供高水平基础支撑和条件保障。重点加强实验动物新品种(品系)、动物模型的研究和我国优势实验动物资源的开发与应用,建立实验动物、动物模型的评价体系和质量追溯体系,开展动物实验替代方法研究,保障实验动物福利;围绕人类重大疾病、新药创制等重大民生健康需求,通过基因修饰、遗传筛选和遗传培育等手段,研发相关动物模型资源;加强具有中国特色实验动物资源培育,重点开展灵长类、小型猪、树鼩等实验动物资源研究,加快建立大型实验动物遗传修饰技术和模型分析技术体系。

#### 4.4 培养和引进高层次人才,组建高水平创新团队

实验动物作为科技创新的基础性学科,其入门槛低、团队规模小以及学科归属性差,导致无法有效的引进、培养及保有高水平人才,不利于支撑实验动物的科技进步及国家的科技创新。应当设立专门科技及人才项目,推进高层次培养和引进计划的实施,加快培养引进一批在国际前沿领域具有较高影响力的领军人才。瞄准世界科学研究前沿,培养和支持一批中青年科学家。发挥重点实验室等创新机构与设施的凝集作用,稳定支持一批优秀创新团队。

#### 4.5 加大经费投入,长期稳定支持

实验动物作为生物医药等科技发展的战略资源和重要支撑,事关全民健康和国家安全<sup>[14]</sup>。随着《“健康中国 2030”规划纲要》的发布实施,以及我国生命科学、生物医药、环境、农业等产业的快

速发展,对实验动物信息、新资源、新模型和新技术的需求日益增长,迫切需提高我国实验动物科技创新水平。因此,需要国家加大对于实验动物资源积累与维持,以及前沿核心技术研发方面的投入,继续推动“实验动物科技创新”研发任务,列入 2018 年国家重点研发计划予以支持,并建立多元化、多渠道、多层次的投入机制,完善项目、基地、人才的统筹协调机制,进一步优化支持结构和方式,加强支持力度。

同时,目前的国家科技计划体系是任务导向型的,保证了公平择优的竞争性,但延续性和稳定性不足。建议针对实验动物等基础公益性学科的特点,设立较为长期稳定的支持计划,并建立相应的检查考评制度,对设施运行情况和管理水平作出评估,业绩作为国家是否予以投入的主要依据,推动和保障实验动物资源保藏和科技创新。

#### 4.6 促进各机构间交流合作,形成科技创新合力

为减少各科研机构的无谓内耗和恶性竞争,可通过科研项目等方式引导各机构聚焦于各自擅长的科研方向和领域,按照实验动物产业链环节、研究环节、动物种类、模型类型、应用方向等不同层次进行行业细分,领域细化,形成差异化和特色化的研究网格,并进行有效的科研合作和协同创新,相互促进,相互提高,协同发展,共同支撑国家相关学科和行业的创新发展。

建立统一的实验动物资源信息数据库和种质库,进一步提高开放共享水平,形成统一、规范、高效的服务平台,从而提高实验动物资源利用效率,全方位支撑相关领域科技创新,并将进一步促进自身产业发展。

#### 参考文献:

- [1] 孔琪,李继平,赵永坤.实验动物资源是生物医药产业创新的重要支撑条件[J].科技导报,2016(34):13.
- [2] 秦川,孔琪,钱军,等.实验动物科学技术是生命科学和健康中国建设的基础支撑条件[J].科技导报,2017,35(11):10-14.
- [3] 孙杰,吴英杰.基于供给侧改革探讨实验动物对提升科技创新的作用[C]//辽宁省高等教育学会 2016 年学术年会暨中青年学者论坛三等奖.2016.
- [4] 国家实验动物基础设施建设规划研究"课题组.实验动物基础设施及其对科技创新的支撑[J].中国科技资源导刊,2008,40(1):65-68.
- [5] 史晓萍,郑志红,张梅英,等.促进重点实验室向高技术水平深层次发展的体会[J].中国比较医学杂志(8):116-117.

## 参考文献:

- [ 1 ] 张卫强, 王涛, 张志明, 等. 大鼠心肌缺血再灌注损伤模型的改进与评判[J]. 中国实验动物学报, 2018, 26(3):311-316.
- [ 2 ] 刘付平, 姚宏伟, 李俊. 大鼠心肌缺血再灌注损伤模型的改进[J]. 安徽医科大学学报, 2003, 38(3): 234-236.
- [ 3 ] 关雷, 金英, 王永安. 心肌缺血再灌注损伤动物模型建立的主要影响因素[J]. 国际药学研究杂志, 2009, 36(6):423-425+430.
- [ 4 ] 张东, 贾连群, 杨关林, 等. 急慢性心肌缺血动物模型造模方法研究简况[J]. 实用中医内科杂志, 2018, 32(5):75-77.
- [ 5 ] 李晓民, 汪克明, 刘婧, 等. 大鼠心肌缺血再灌注模型的有效复制方法[J]. 中国心血管病研究, 2007, 5(6):463-464.
- [ 6 ] 李陶奎, 赵乐, 何萍, 等. 提高结扎冠状动脉在体大鼠心肌梗死模型制作速度和质量的实验研究[J]. 中国中西医结合杂志, 2012, 32(7):948-950.
- [ 7 ] 吕铁伟, 田杰, 江德勤, 等. 急性心肌梗死动物模型的建立[J]. 中国比较医学杂志, 2004, 14(3): 166-169.
- [ 8 ] 陈可冀, 张敏州, 霍勇. 急性心肌梗死中西医结合诊疗专家共识[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2014, 12(6):641-645.
- [ 9 ] Su HH, Chu YC, Liao JM, et al. *Phellinus linteus* mycelium alleviates myocardial ischemia-reperfusion injury through autophagic regulation [J]. Front Pharmacol, 2017, 8: 175.
- [ 10 ] Jennings RB, Sommers HM, Smyth GA, et al. Myocardial necrosis induced by temporary occlusion of a coronary artery in the dog [J]. Arch Pathol, 1960, 70: 68-78.
- [ 11 ] 侯梦梦, 邢冬梅, 刘璇, 等. 大鼠心肌缺血再灌注损伤模型建立的关键性问题[J]. 天津中医药大学学报, 2014, 33(6):323-326.
- [ 收稿日期 ] 2019-06-26
- 
- (上接第 98 页)
- [ 6 ] 董诚, 荣瑞章, 王晓宁, 等. 我国实验动物基础设施建设研究[J]. 实验动物科学, 2008, 25(3):34-38.
- [ 7 ] Liu Z, Cai Y, Wang Y, et al. Cloning of macaque monkeys by somatic cell nuclear transfer [J]. Cell, 2018, 172(4): 881-887.e7.
- [ 8 ] 张连峰. 我国常用实验动物资源的现状及对未来发展的思考[J]. 中国比较医学杂志, 2011, 21(10-11):39-44.
- [ 9 ] 黄韧, 薛成, 程树军, 等. 实验动物信息学与中国实验动物数据信息网建设[J]. 中国实验动物学杂志, 2010, 10(3):61-64.
- [ 10 ] Chen Z, Wang J, Bao L, et al. Human monoclonal antibodies targeting the haemagglutinin glycoprotein can neutralize H7N9 influenza virus [J]. Nat Commun, 2015, 6: 6714.
- [ 11 ] Bao D, Ma Y, Zhang X, et al. Preliminary characterization of a leptin receptor knockout rat created by CRISPR/Cas9 system [J]. Sci Rep, 2015, 5: 15942.
- [ 12 ] Liu Z, Li X, Zhang JT, et al. Autism-like behaviours and germline transmission in transgenic monkeys overexpressing MeCP2 [J]. Nature, 2016, 530(7588): 98-102.
- [ 13 ] 贾敬敦. 动物种业科技创新战略研究报告[M]. 科学出版社, 2015.
- [ 14 ] 李继平, 金剑, 秦川. 实验动物在医学创新研究与发展中的作用[J]. 中国医药导报, 2014, 11(31):152-155.
- [ 收稿日期 ] 2018-10-24