

袁进,田雨光,吴清洪,等.实验动物智能化综合管理系统开发及应用[J].中国比较医学杂志,2023,33(2):91-98.

Yuan J, Tian YG, Wu QH, et al. Development and application of intelligent comprehensive management system for laboratory animals [J]. Chin J Comp Med, 2023, 33(2): 91-98.

doi: 10.3969/j.issn.1671-7856.2023.02.012

实验动物智能化综合管理系统开发及应用

袁进^{1,2*}, 田雨光^{1,2}, 吴清洪^{1,2}, 于奎³, 张庆岩³

(1.南方医科大学实验动物管理中心,广州 510515;2.广州南方医大实验动物科技发展有限公司,广州 510515;
3.中科装备(广州)生物安全科技有限公司,广州 511466)

【摘要】 目的 为了提高医科院校实验动物管理效率和用户体验,以探索实验动物综合管理的智能化、科学化和流程化。**方法** 应用计算机、物联网云平台和移动通信终端等技术构建一套用于实验动物生产、销售、动物实验、数据统计与分析等环节于一体的智能化综合管理系统。**结果** 该系统经过测试和试运行,实现了实验动物综合管理系统各主要技术流程和环节的稳定运行。**结论** 本系统运行安全稳定、性能可靠,实现智能化的管理模式,降低了运行成本,达到了系统开发的预期效果。

【关键词】 实验动物;智能化;综合管理系统

【中图分类号】 R-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856 (2023) 02-0091-08

Development and application of intelligent comprehensive management system for laboratory animals

YUAN Jin^{1,2*}, TIAN Yuguang^{1,2}, WU Qinghong^{1,2}, YU Kui³, ZHANG Qingyan³

(1. Laboratory Animal Management Center, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China.

2. Guangzhou Southern Medical University Laboratory Animal Sci. &Tech. Co., Ltd., Guangzhou 510515.

3. Zhongke Equipment (Guangzhou) Biosafety Sci. &Tech. Co., Ltd., Guangzhou 511466)

【Abstract】 Objective To improve user experience and the management efficiency of laboratory animals in medical universities, it's critical to develop an intelligent, scientific, and process-oriented comprehensive management system for laboratory animals. **Methods** We developed a comprehensive and scientific management system for laboratory animal production, sales, animal experiments, data statistics, and analysis using computer clusters, the Internet of Things (IoT) cloud platform, and mobile communication terminal technology. **Results** The comprehensive management system for laboratory animals achieved stable operation over its main technological processes and steps after undergoing testing and trialing. **Conclusions** The system performs stable and reliably, and achieving intelligent management, reducing operation costs, and meeting the expectation of system design.

【Keywords】 laboratory animals; intelligent; comprehensive management system

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

实验动物中心属医学院校的二级教辅机构,是全校教学、科研保障的公共服务平台,涉及实验动

物生产繁殖、保种、销售,动物实验管理、伦理审查、财务结算、物资采购及出入库,以及各种票据的开

【基金项目】南方医科大学自筹经费项目。

【作者简介】袁进(1969—),男,副教授,研究方向:实验动物繁育及资源开发。E-mail:yjin01@126.com

具等方方面面的业务,工作复杂而繁琐^[1-2]。在传统的管理模式下,这些工作均由专人负责,采用人工记录、统计、分类和资料保存等,存在工作量大,需多次重复性劳动,工作效率低,人工记录资料不规范,且易出现错误或偏差,难以保证记录的完整性和准确性,使工作缺乏连续性等^[3-4]。为解决目前实验动物管理中心运营管理效率低、速度慢、易出错等管理问题。鉴此,学校与中科装备(广州)生物安全科技有限公司合作开发了一套实验动物智能化综合管理系统,用于规范各环节的流程及网络自动化,以提高管理效率和水平,从而全面掌控从生产到实验服务的各项信息动态,最终达到标准化、科学化、流程化、信息化管理^[5-7]。

1 系统主要功能模块及其介绍

系统主要包括对外服务系统、核心系统、动物销售系统和辅助系统四大功能模块(图1),它涵盖了实验动物实验动物生产繁殖、保种、销售,动物实验管理、伦理审查、财务结算、物资采购及出入库,以及各种数据统计分析等管理工作,且各子系统数据可实现共享,极大地提高了工作效率。

1.1 对外服务系统模块

包括门户网站、用户管理、培训考核、课题组签约和线上动物订购五个子系统模块。

1.1.1 门户网站

主要实现信息的公开与展示,提供单位介绍、通知公告、规章制度、服务指南等信息的对外公开,对实验动物管理平台进行宣传 and 展示。用户可通过门户网站实现平台的注册登录,并完成相关服务的网上预约等。

1.1.2 用户管理

主要记录管理用户信息,根据线上培训及考试结果,评估专业技能。通过统一的身份验证平台,与门禁系统(支持人脸识别、指纹识别)对接,实现数字化的登录与授权。用户门禁权限开启后,可使用对应权限的实验室、实验设备,系统自动保存人员进出记录、设备使用记录,为后续自动续费、人员及实验管理提供支持。

1.1.3 培训考试

提供在线视频、语音和文字等知识交流学习;知识库按照不同等级动物设施的培训需求进行分类并开设题库,需要开展动物实验的人员接受培训后,按照预设的考试需求,从题库中定向抽取或随机抽取题目,测试学习成果。通过在线答题的方式,实现人员培训的实时性和有效性。

1.1.4 课题组签约

课题组可通过线上进行课题入驻申请,通过入驻申请的课题组可线上提交伦理审查、登记实验项

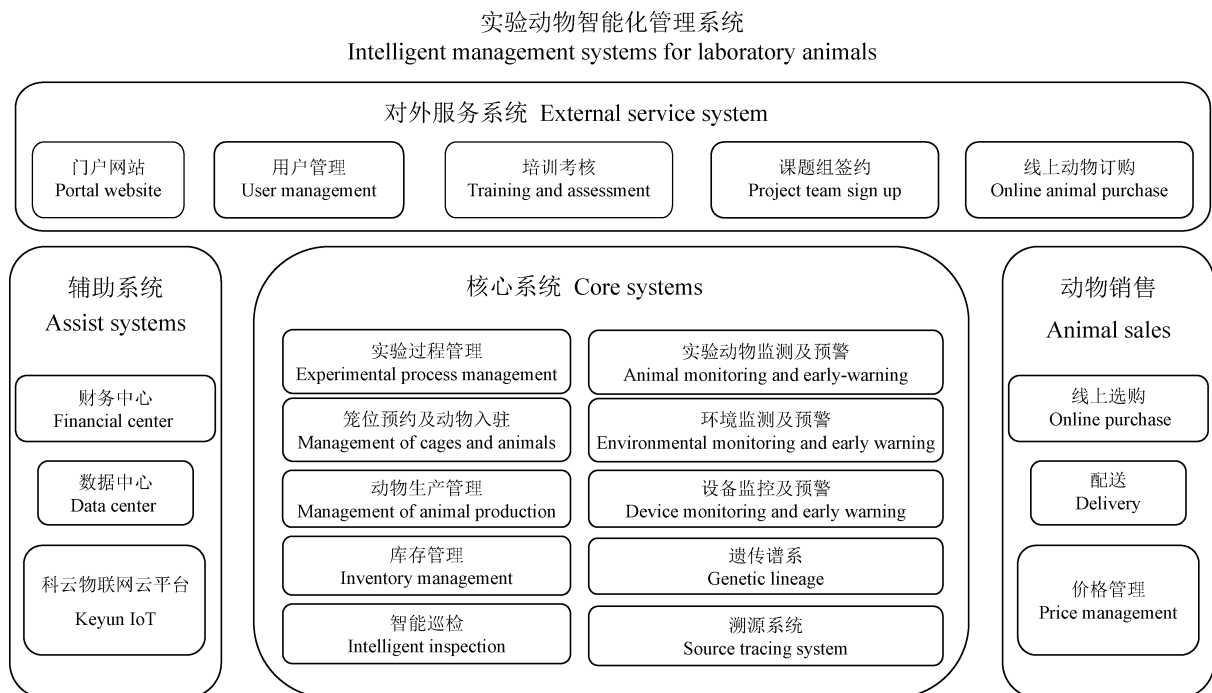


图1 系统主要功能模块框架结构图

Figure 1 System main function module frame structure diagram

目、缴纳实验费用。平台支持线上审批、记录管理实验信息及课题组成员等信息。

1.1.5 线上动物订购

可提供在线动物订购服务,并自动与实验研究方案内品系、数量等业务自动关联,可追溯订单采购状态,查看订单进度。动物订单价格,可根据订购用户(单位)设置对应销售价格。

1.2 核心系统模块

主要包括实验过程管理、笼位预约及动物入驻、动物生产管理、库存管理、智能巡检、实验动物监测及预警、环境监测及预警、设备监控及预警、遗传谱系和溯源系统等十大子系统模块。

1.2.1 实验过程管理

提供平板等终端设备,协助实验操作人员,实时高效记录实验过程中的相关数据(如动物麻醉、动物手术、动物逃逸、动物异常等信息)。

1.2.2 笼位预约及动物入驻

通过可视化平面图形方式,管理展示实验区域、房间、笼架及笼位信息,可直观进行在线笼位的申请预约及动物入驻。

1.2.3 动物生产管理

通过给实验动物逐一建档,其内容包括遗传背景、饲养过程所有数据、环境监测数据、异常记录、检疫检测记录等,可以精准地了解动物生产过程中各环节的详细情况,从而提高动物生产管理的效率。

1.2.4 库存管理

系统自动对耗材的使用状况进行周期性分析,设置预警值,到期自动预警并推荐采购清单(对于实验用动物的储存情况能够根据其周龄实时更新其状态信息);同时能及时了解各项目对耗材的消费现状,实现仓储管理的实时性和有效性。管理员具备审核、批复等功能,保证耗材领用过程的顺畅,节省申请时间,降低库存误差风险,从而提高仓库管理效率。

1.2.5 智能巡检

系统提供巡检平板,利用移动客户端随时随地、自由地使得管理员可以在巡检同时记录动物、笼位情况,对于有特殊情况的笼位,其问题可即时通过短信、APP、邮件等形式反馈给对应负责实验人员,提高巡检工作效率。平板端功能主要包括:笼位情况记录、实验服务提醒、记录查询、动物接收、动物检疫等功能。

1.2.6 实验动物监测及预警

依托中科科云物联网平台,通过动物穿戴传感

器设备(体温、行为轨迹、活动量、心率等)智能识别实验动物。针对各类型动物,设置各动物监控指标阈值,平台可自动推送预警信息到相关实验人员。

1.2.7 环境实时监测及预警

通过物联网技术,将传感器或其他设备置于笼具或动物饲养环境。传感器等设备通过物联网平台,将数据实时发送并保存至数据中心。监控平台实时展示实验室环境数据,并根据预设阈值,自动推送预警信息或调整设备工作状态,保障实验室环境的稳定。

1.2.8 设备监控及预警

通过物联网技术,远程实时监控实验室设备(如中央空调机组、送排风机组、独立通风笼(individual ventilated cages, IVC)笼具、消毒设备等)运行情况。设备管理人员可通过手机等移动设备,远程控制设备运行状态。自动推送预警信息或调整设备工作状态,保障实验室设备运行的稳定。

1.2.9 遗传谱系及溯源系统

对种群个体进行射频识别(radio frequency identification, RFID)建档,记录个体之间的关系及种群日常管理的关键信息。形成种群的谱系架构,合理组织动物配种,优化整个种群生产繁育。依托个体建档及种群谱系架构,实现通过 RFID 或其他方式(扫码等)溯源动物,展示动物饲养过程数据、检疫检测记录、遗传谱系等数据。

1.3 动物销售系统模块

主要包括线上选购、配送和价格管理 3 个子系统模块。

1.3.1 线上选购

提供在线动物选购服务,主要是将实验动物生产部门生产的所有微生物等级、所有品种或品系,以及不同年龄、性别和体重的动物实时上传到管理系统,供客户和实验人员进行在线选购,并预留客户或实验人员详细配送信息(包括联系人、电话、地址、开具发票信息等),极大地方便了客户,同时也节约了单位的管理成本。

1.3.2 配送

客户或实验人员在线上选购好动物之后,可以选择配送方式和配送时间。配送方式有自提或销售单位统一配送,配送时间由客户或实验人员自行在线上选购时确定。销售单位根据客户或实验人员选择的配送方式和时间予以配送。若是选择统一配送,则销售单位必须将动物销售税务发票、动

物质量合格证等资料随动物一起送交到客户或实验人员手中。

1.3.3 价格管理

包括动物价格和其它收费标准等费用管理。其中动物价格由实验动物管理中心统一定价,针对不同来源客户,可设置对应价格,如正常价格、协议价格、单位内部价格及线上采购价格等。根据动物品种、品系、购买动物单位(只、窝等)等设置对应价格。实验动物管理中心人员可根据需求动态调整各种动物定价。其它费用价格如包装费、纸箱费及配送费等费用标准,由实验动物管理中心统一定价。针对不同用户及配送需求,受理销售订单后确定对应价格。

1.4 辅助系统模块

主要包括财务中心、数据中心和科云物联网平台 3 个子系统模块。

1.4.1 财务中心

系统根据课题组入驻、伦理审查、动物入驻、实验结束,以及动物销售等业务数据流转,自动计算并扣除实验过程中产生的笼位费、饲养费、服务费、动物费等相关费用。并根据管理人员及用户需求,定期生成对账单,保证财务数据的准确、清晰。

1.4.2 数据中心

数据中心为管理人员、课题组人员、实验人员、供销人员等不同用户提供数据查询及报表汇总支持。根据不同用户,不同业务需求,统计汇总相应业务数据,通过但不局限于列表、图形等方式展示数据,并支持数据的导出与打印。

1.4.3 科云物联网云平台

科云物联网云平台是一款为企业提供软、硬件一站式解决方案的物联网平台,赋能众多细分行业,提供安全可靠的设备接入、应用开发、组态服务、运维管理、数据统计与分析等核心功能,全面开放平台化能力,以模块化、组件化、系统化的能力帮助用户降成本、高效率搭建自己的物联网系统(图2)。平台支持多种标准和非标准设备协议 Modbus/MQTT/TCP/NB-IOT,可以对接市面上大多数物联网硬件,轻松实现诸如生物安全等领域的数据采集和设备控制。云平台支持云组态,用户可以根据需要自由搭建物理系统界面,即使不懂编程的非专业人士,也能自由、快速地搭建出适合的物联网系统。云平台使用 B/S 架构,支持 PC 浏览器、手机 APP、微信公众号等^[8-10],满足用户在不同场景使用需求。

2 系统的主要技术特点

系统具有覆盖业务全面,操作简便,智能化,流程化,安全性高,监控性强,配置性强,扩展性高,权限管理机制完善等技术特点。

2.1 建立了合理的分权管理机制

根据需要设置管理角色,管理角色分为超级管理员:拥有所有功能的最高权限;系统管理员:负责系统参数及基础信息的日常维护;业务管理员:管理库存、受理业务、查看统计汇总数据等;普通用户:可线上订购动物、发起伦理审查、实验申请、记录实验数据等。

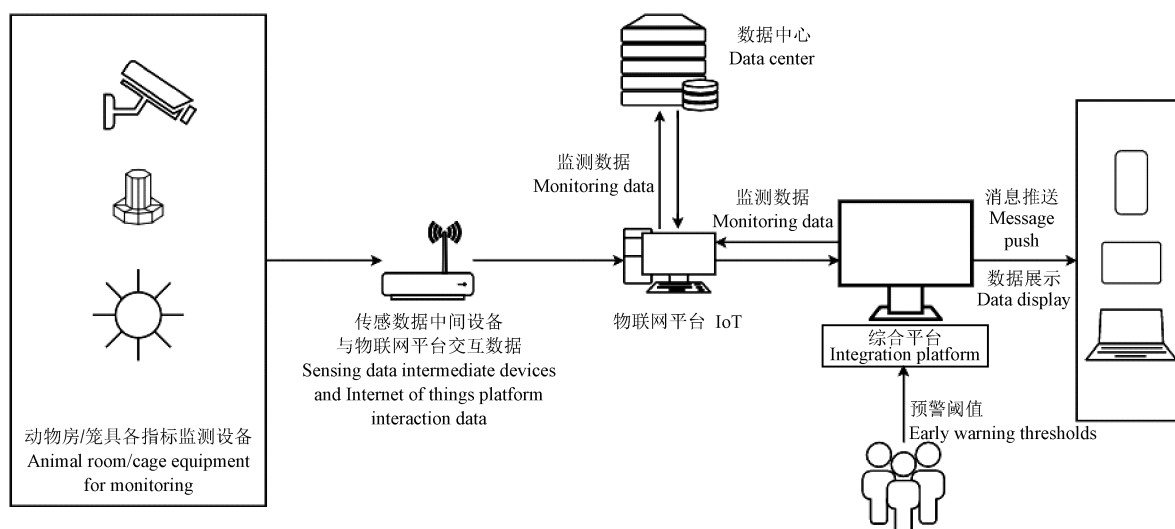


图2 物联网云平台框架结构示意图

Figure 2 Schematic diagram of cloud platform framework for the internet of things

2.2 信息管理规范真实高效

系统中采用的控制协议、编解码协议、接口协议、媒体文件格式、传输协议等符合国家标准、行业标准和公安部颁布的技术规范。系统具有良好的兼容性和互联互通性,各主子系统围绕核心数据库实现信息共享,避免出现信息孤岛、数字二意性现象,保证数据的标准化和一致性。对接入系统的设备和用户,进行严格的接入认证,以保证接入的安全性。系统支持对关键设备、关键数据、关键程序模块采取备份、冗余措施,有较强的容错和系统恢复能力。

2.3 所有操作易学易用

根据实际需求,流程化操作,智能汇总数据,覆盖核心业务(图3)。同时,系统提供清晰、简洁、友好、美观的人机交互界面,满足用户操作习惯,操作简便、灵活、易学易用。

2.4 数据安全性高

对敏感数据的查看及操作权限控制全面,且对必要数据进行加密处理。所有用户的注册、登录及业务处理,系统自动记录操作日志,实时监控异常信息。

2.5 可配置性高

系统中几乎所有选择要素及业务流程,均可通过对应功能进行配置修改,具有较高的可配置性,一定程度简化了系统维护的时间成本,亦提高了系

统的可扩展性。

2.6 扩展性高

系统具备良好的输入输出接口,可为各外接系统提供业务接口,实现与其他内部系统的互联互通。同时,系统使用主流的开发框架,兼容性高,扩展性强,可进行功能的定制化扩展与调整。

3 系统实现的平台及软硬件环境

实验室信息管理系统作为 20 世纪 70 年代提出的一门实用新型学科已在国际范围内广泛应用和研究^[11-13]。基于此,我校实验动物智能化综合管理系统平台建立后,运用互联网和计算机技术对实验动物生产和销售、动物实验、财务结算等信息进行处理和管理,可实现实验动物信息网络资源共享、各部门业务集中共管,还可使实验动物电子商务成为可能^[14]。

本智能化综合管理系统实现的软件环境:Windows/Mac(通过浏览器访问使用)、Android/IOS(APP);硬件环境:4 G 内存+百兆网卡/局域网;移动终端:Android+4 G 内存+16 G。目前本套管理系统除支持电脑浏览器操作外,还支持手机和各类平板电脑等平台进行各项业务操作。因此,在设计管理系统时已考虑到这种需求,对程序代码做了优化调整,以使本套管理系统能在各个智能终端上便捷操作。

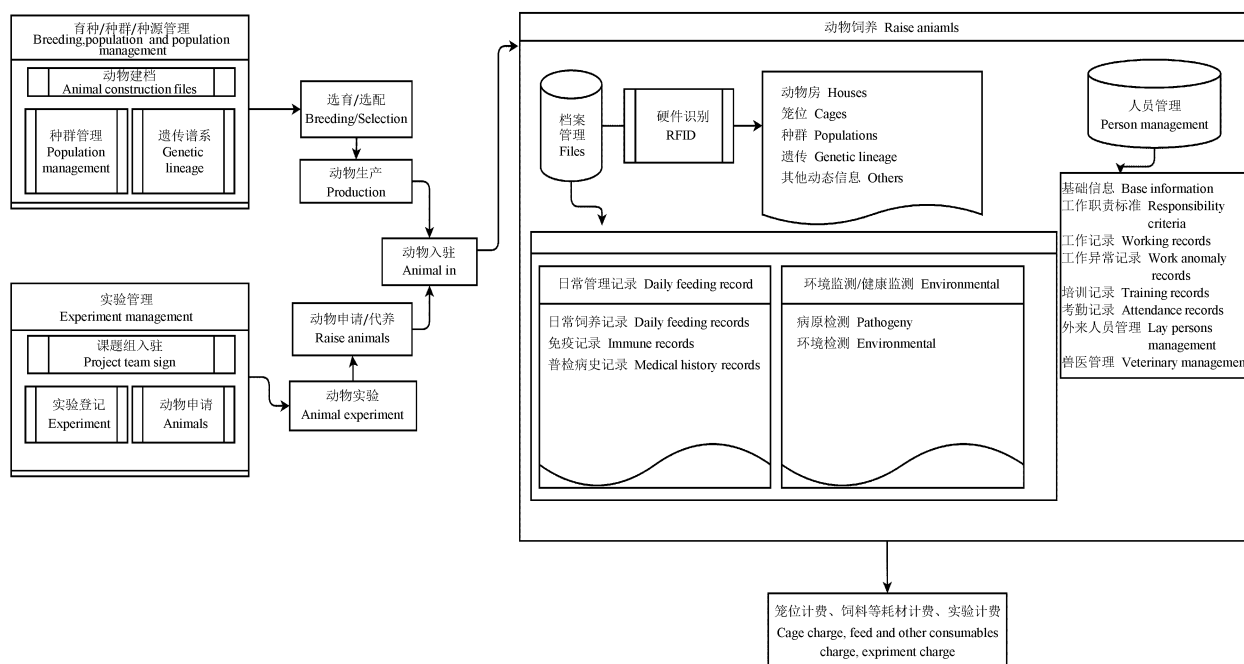


图3 智能管理系统业务概览及流程

Figure 3 Intelligent management system service overview and process

4 系统应用

4.1 动物生产管理

实验动物中心作为医科大学教学和科研服务保障机构,其主要工作任务是为学校教学和科研提供所需的各种微生物等级和不同品种品系的实验动物。为了提高实验动物生产管理效率,该智能化综合管理系统开发了种源、饲养、动物档案、人员、育种和种群、预警预案等 6 个管理模块,以实现实验动物生产繁殖等工作的科学化和精细化管理(图 4)。

4.1.1 种源管理

建立所有实验动物种子来源、遗传背景等遗传信息,并对不同遗传背景实验动物进行分类管理,便于开展不同遗传背景实验动物的选种、育种和生产繁殖工作,确保实验动物遗传质量不会发生改变。

4.1.2 饲养管理

主要是对生产管理过程中的各项具体工作进行全过程管理和详细记录,如设施主要环境质量指标参数、异常观察、分笼及换笼、配种及离乳、喂食、清洁卫生及消毒、饲料消耗及申请、动物及笼盒标签更换等,以便于对动物生产全流程的监督检查和管理。

4.1.3 动物档案管理

涉及对单位已有动物品种品系遗传系谱及育

种繁殖、动物来源等信息的建档、动物标识挂装、日常各种饲养管理信息记录(如换笼、离乳、繁育、喂食、消毒、标签更换)、环境参数异常及饲料申请管理记录等,以规范各种文件档案的管理。

4.1.4 人员管理

该模块主要记录包括员工个人基本信息、工作及异常、培训、考勤、外来人员管理等部分。通过该模块,管理人员可以及时了解生产部门各岗位员工的情况,实现对各岗位一线员工和相关人员工作的监督检查。

4.1.5 育种和种群管理

对种群个体进行 RFID 建档,记录个体之间的关系及种群日常管理关键信息,形成动物种群谱系架构等。针对不同遗传背景动物,合理进行选育和选配,避免动物遗传变异等情况发生,确保动物种群的遗传质量。

4.1.6 预警预案

对实验动物生产和实验设施环境指标参数(如温度、湿度、压差等)、库存物资,以及其他相关指标等设置报警值,以便进行安全有效的监管^[15]。当系统监测到的数据超出正常范围时,系统会有相应的报警提示,并通过系统手机客户端第一时间以短信、邮件等方式发送至相关管理人员、一线工作人员或实验人员,以便及时采取处理措施。

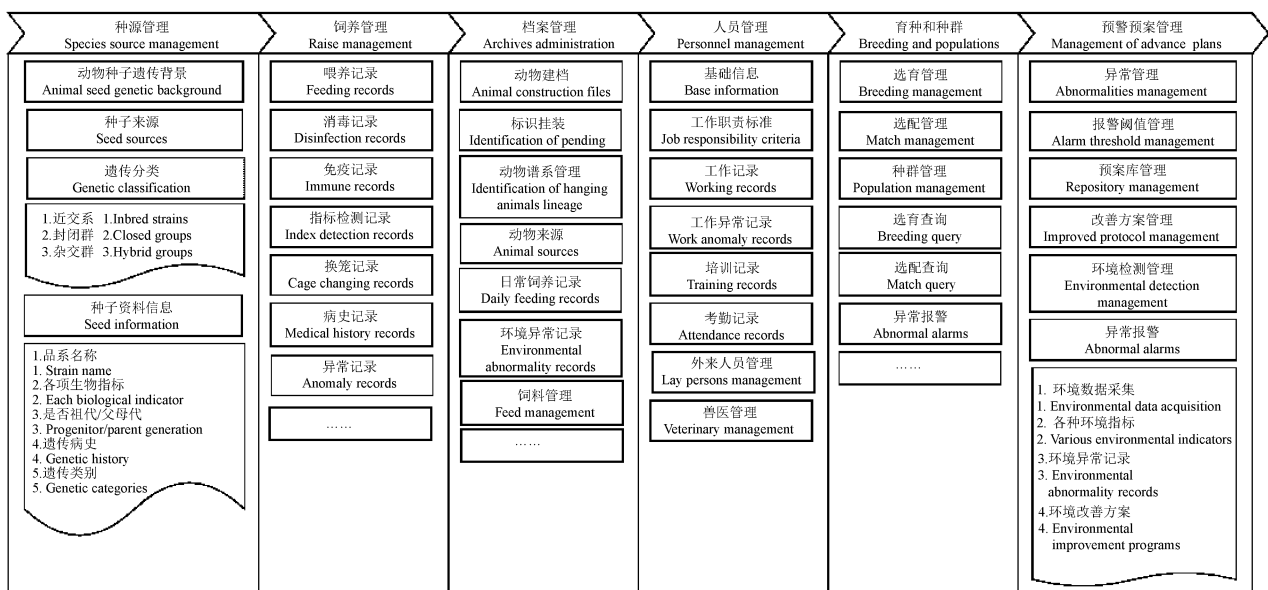


图 4 动物生产管理模块总览

Figure 4 Animal production management module overview

4.2 动物实验管理

主要介绍了动物实验从申请入驻、动物实验研究方案的伦理审查、实验登记到动物实验过程中的具体流程。涉及课题组管理、动物实验研究方案伦理审查、实验管理、笼位管理和费用管理 5 个模块(图 5)。

4.2.1 课题组管理

主要包括 PI 管理、课题组签约、课题组成员、课题组账户等信息管理。所有信息均通过管理系统实施线上填写和操作,极大地提高了工作和管理效率,也方便了广大专家教授和科研试验人员。

4.2.2 动物实验研究方案伦理审查

实验研究人员在线填写动物实验研究方案后提交至动物实验室,按照要求缴纳动物实验项目伦理审查费用。由动物实验室管理人员将动物实验研究方案分配给实验动物伦理委员会专家进行伦理审查,并将通过伦理审查的动物实验项目的审查结果发送至动物实验室管理人员,再由动物实验室管理人员将动物实验研究方案的伦理审查结果进行在线发布,同时通过电子邮件发送至实验申请人员本人。

4.2.3 实验管理

主要是确认实验人员人数、门禁卡登记授权及发放,以及实验过程中实验数据实时上传保存、设

备及耗材使用在线登记和费用结算等管理,以实现实验过程管理的精细化和高效化。

4.2.4 笼位管理

通过笼位预约确定每位实验人员的笼位数,然后开始按照每个笼位的计价标准进行实验费用计算,计费时间以每天 00:00 分开始第 2 天的计费。实验过程中如笼位数减少或增加,笼位管理系统也会自动进行相应费用的计算,直至实验结束当天。如实验项目在开始之前所购动物还需检疫,则笼位管理系统也会自动计算检疫动物的笼位费用。实验结束后,空出的笼位数自动添加到笼位盘点库中供后面的实验人员进行预约。

4.2.5 费用管理

包括自动计费、对账单、财务报表分析等模块。自动计费包括订购动物费、伦理审查费、实验费等费用的自动计算。当实验人员在本系统注册成为会员之后,若该会员从本单位订购动物,并在本单位开展动物实验,那么该会员的订购动物费、伦理审查费、实验费等费用会实时自动计算出来,实验结束后可自己生成费用清单。此外,该模块还提供了月度、季度和年度对账单和财务报表分析。这些模块的设置,既减轻了财务人员工作量,也节约了实验人员和财务人员的时间,提高了工作效率。

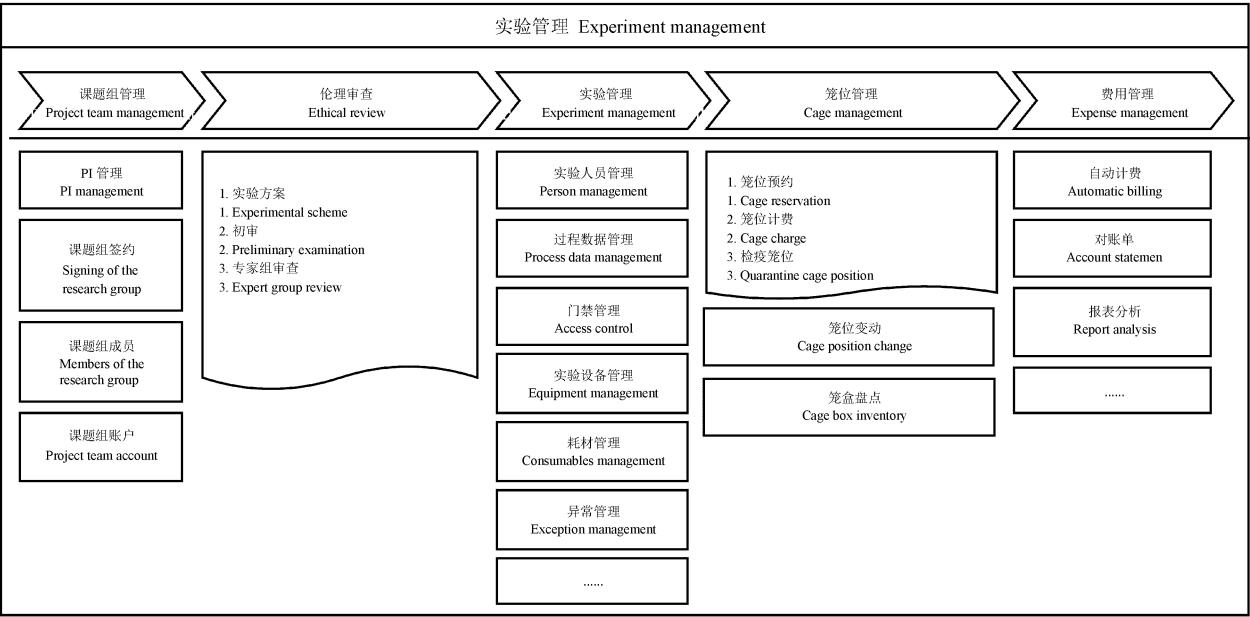


图 5 动物实验管理模块总览
Figure 5 Animal experiment management module overview

5 讨论

本智能化综合管理系统按动物生产及销售、动物实验、实验动物伦理审查及人员培训、库存管理、人员管理、财务管理等多模块进行设计,并已完成第一版的构建和内部的测试运行,其主要技术流程和环节运行稳定、流畅,管理效能大大提高,基本达到了系统开发的预期效果。由于在第一版的设计过程中,肯定存在一些遗漏或不完善的地方,在今后的使用当中还应对各功能模块进行进一步的优化和完善,以便更好地发挥本系统在实验动物生产、实验,以及内部管理等各个方面中的作用。

综上所述,本系统是一套比较系统全面的集实验动物生产、动物实验、仓库管理及财务处理于一体的信息化管理软件。它具有提供信息数据发布、实验动物生产和销售、动物实验、在线培训、库存管理、财务结算等多方面的管理服务功能,能够将各业务部门的信息流整合起来,形成一个统一的数据库,然后通过数据中心的处理,形成不同的数据形式提供给各业务部门,从而达到高效管理的目的。因此可以说,本套管理系统是一套操作简便、功能强大、运行高效的实验动物智能综合管理系统。

参考文献:

- [1] 张永斌,梁晓庆. 高校实验动物管理软件的开发与应用[J]. 畜牧与饲料科学, 2012, 33(4): 84-86.
- [2] 张大维,邴国强,何满,等. 实验动物繁育与信息化管理[J]. 中国实验动物学杂志, 2001, 11(4): 236-238.
- [3] 张潇,谭德讲,杜颖,等. 动物实验室管理系统软件的构建及功能[J]. 中国比较医学杂志, 2008, 18(8): 74-77.
- [4] 顾祖曦,张超超,蔡贞贞,等. 动物实验信息化管理系统的开发和应用[J]. 实验动物与比较医学, 2016, 36(3): 219-225.
- [5] 蒙少鹏. 实验动物设施自动控制系统的应用问题及对策[J]. 中国比较医学杂志, 2015, 25(8): 73-75.
- [6] 邵叶秦,吴凌燕,刘宝. 开放实验管理系统的设计和开发[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(31): 80-82.
- [7] 陈纪猛,王训立,郑和平,等. 实验动物管理系统的开发和应用[J]. 实验动物与比较医学, 2015, 35(1): 37-41.
- [8] 李可欣,张凤梅,杨根岭,等. 实验动物屏障设施系统自动化控制技术体系应用探索[J]. 中国比较医学杂志, 2018, 28(12): 102-107.
- [9] 阎俊,韩万祥,闫永亮. B/S 模式下实验预约管理系统的研究与设计[J]. 实验室科学, 2015, 18(1): 63-65.
- [10] 李自发,耿希文,徐凯勇,等. 基于物联网及大数据技术的实验动物中心运营管理实践[J]. 实验动物科学, 2021, 38(4): 52-55.
- [11] 王萍,邱晖,周子荣. 上海市黄浦区实验室信息管理系统平台建设的思考[J]. 中国卫生信息管理杂志, 2012, 9(2): 89-94.
- [12] 邹岩柏,刘福生,赵明海,等. 动物实验管理系统的特点分析[J]. 中国比较医学杂志, 2013, 23(8): 72-74.
- [13] 胡永艳,陶迎红,孔申申. 一种基于互联网的实验动物管理系统介绍[J]. 实验动物与比较医学, 2020, 40(3): 257-261.
- [14] 李志满,李国婧,张晓红,等. 实验动物电子商务平台建设之构想[J]. 实验动物科学, 2011, 28(5): 51-53.
- [15] 唐利军,徐国景,郭诚,等. 图形显示自控技术在实验动物环境设施中的应用[J]. 中国实验动物学报, 2000, 8(4): 218-223.

[收稿日期]2022-04-13