

基于微服务架构的省级中药材生产统计监测系统设计与应用 基于微服务架构的省级中草药生产统计系统研究

潘焯焯¹ 郭煜¹ 李辉¹

(¹山西省中医院 太原 030012)

〔摘要〕 **目的/意义** 解决山西省中药材产业生产底数不清、监管滞后、数据分散等问题，以数字化赋能产业规范化发展，为省级中药材产业统计监测体系建设提供实践参考。**方法/过程** 制定山西特色中药材监测指标体系，以微服务架构为核心，设计并构建涵盖统计、监测数据管理、数据展示的省级中药材生产统计系统，完成标准化接口改造与多重数据安全部署，针对建设中的指标构建、数据采集、业务协同难题提出对应解决对策。以微服务架构为核心，制定山西特色中药材监测指标体系，设计并搭建涵盖统计、监测数据管理、数据展示的省级中草药生产统计系统，完成标准化接口改造与多重数据安全部署，针对建设中的指标构建、数据采集、业务协同难题提出对应解决对策。**结果/结论** 系统成功落地并实现种植、加工数据全流程的数字化管理，大幅提升了统计效率与准确率，实现质量安全实时预警，为政府决策、企业发展提供数据支撑，建成了覆盖山西中药材产业核心环节的数字化决策支持体系。

〔关键词〕 中药材产业；统计系统；数字化监测

Design and Application of a Provincial-level Chinese Medicinal Materials Production Statistics and Monitoring System Based on Microservice Architecture

Pan Yeyang¹ Guo Yu¹ Li Hui¹

(¹Shanxi Hospital of Traditional Chinese Medicine, Taiyuan 030012, China)

〔Abstract〕 **Purpose/Significance** To solve the problems of unclear production data, lagging supervision and scattered data in the Chinese medicinal materials industry in Shanxi Province, empower the standardized development of the industry through digitalization, and provide practical references for the construction of a provincial-level statistical and monitoring system for the Chinese medicinal materials industry. **Methods/Processes** Taking the microservice architecture as the core, a monitoring indicator/index system with Shanxi characteristics for Chinese medicinal materials was formulated, and a provincial-level Chinese medicinal materials/Chinese herbal medicine production statistics system, which covering statistics, monitoring data management and data display, was designed and built. The standardized interface transformation and multiple-layered data security deployment were completed. Corresponding solutions were proposed for the difficulties in establish of indicators, data collection/capture and business collaboration during of construction. **Results/Conclusion** The system has been successfully implemented and realized the whole-process digital management of planting and processing data, which greatly improved the statistical efficiency and accuracy, and realized real-time early warning of quality and safety. It provides/serves as data support for government decision-making and enterprise development, and a digital decision support system covering the core links of the Chinese medicinal materials industry in Shanxi has been built.

〔Keywords〕 Chinese medicinal materials industry; statistics system; digital monitoring

1. 引言

中医药产业数字化转型已成为国家重要战略。推进中药材产业数字化监测，既是产业高质量发展的有力支撑，也是依托特色药材壮大县域经济、带动农户增收的有效途径^[1-3]。山西省素有“北药宝库”之称，现有中药材 1788 种，其中 30 余种为道地药材与大宗栽培品种^[4]。目前，当地中药材生产统计存在底数不清、监管滞后、数据碎片化等问题，严重制约区域产业由资源优势向产业优势转型^[5-6]。为破解上述发展难题，建立一套省级中药材生产统计监测系统显得尤为重要。

省级中药材监测工作参与主体多、业务场景复杂，同时需要频繁对接外部业务系统，并根据产业发展持续迭代系统功能^[7]。为此，本研究提出基于微服务架构的系统设计，通过业务解耦、分布式部署实现服务弹性扩容，构建覆盖中药材生产、加工等环节的全链条监测体系，实现动态监管、智能分析与数据共享。

山西省作为“北药宝库”，省内分布中药材品种数达 1500 种，有 30 多种中药材被列入道地药材或大宗药材。近年来，一批具有鲜明地方特色的中药材品种，依托道地药材资源，形成了中药农业、工业、商贸流通、中医医疗等产业体系，构建了门类比较齐全的产业化生产体系和流通体系。但中药材生产底数不清、监管滞后、数据分散等问题依旧存在^[8]，本研究提出基于微服务架构建设覆盖种植、产地加工的中药材生产统计系统^[9]，实现对重点中药材在生产、加工等环节的动态监测、智能分析与数据共享^[3]，构建中草药全链条产业监测体系。为政府精准监管、企业科学决策、科研创新突破提供坚实支撑，以数字化赋能产业规范化、高质量发展，助力山西从“药材大省”迈向“药材强省”^[4]。

2. 相关研究情况

目前国内中药材产业数字化与生产统计研究已积累了一定成果。国家层面搭建了全国中药资源动态监测网络，各地也相继开展药材种植溯源、大数据分析 with 智能监管平台的研发

工作，相关实践为省级中药材信息化系统的设计与落地提供了技术参考与实践经验^[8-10]。目前，国内已建成的中药材数字化平台大多采用传统单体架构进行开发部署。单体架构是将界面交互、业务逻辑、数据访问等所有功能模块整合在同一代码库与运行环境中，以单一数据库完成数据存储与读写操作，其特点是开发流程简单、部署便捷。但该架构各模块耦合度极高，当系统面向省级“多产区、多品种、多主体、多系统”的复杂业务场景时，功能迭代与模块运维难度大、跨系统对接成本高、高并发环境下运行稳定性不足，难以支撑中药材全流程、规模化的统计监测工作。

基于上述研究现状及技术痛点，本研究立足于山西省中药材产业发展实际，引入微服务架构开展系统设计。微服务架构^[11]是一种分布式软件架构风格，其核心思路是按照业务边界将大型应用拆分成若干个高内聚、低耦合的独立单元，每个服务单元遵循单一职责原则，可实现独立开发、部署、扩容与运维。基于微服务架构的省级中药材生产统计监测系统将统计监测、GIS空间分析、物联网数据采集、智能预警、可视化展示等核心业务拆解为独立微服务，实现中药材种植、粗加工全流程数字化监测。本研究尝试推动微服务技术与山西道地药材产业深度融合，弥补现有技术架构的缺陷，以期为区域中医药产业数字化升级提供新的技术思路与实践案例。前，国内中药材产业数字化与生产统计研究已形成良好基础，国家层面搭建了中药资源动态监测网络，多地探索种植、加工溯源的、大数据分析、智能监管平台，为省级系统建设提供技术与经验参考。山西依托第四次全国中药资源普查成果，建成多个中药资源数字化库，在道地药材数据治理、质量追溯等方面取得阶段性进展^[5]。2024年我省建成十大晋药中药材价格行情信息服务平台^[6]，紧扣中药材价格监测、信息发布、数据分析的核心要求，以解决市场信息不对称、价格波动频繁等问题为目标，完成全流程平台搭建与功能落地，填补了省内中药材价格系统化监测的空白。

但现有研究多侧重资源普查与价格行情的单点应用，缺乏覆盖全省、贯通种植与粗加工的统一统计监测体系，数据整合、智能分析与业务协同仍有提升空间^[7]。本研究立足省情，补齐短板，从药品种植、粗加工等整个流程进行监控^[8]，推动研究成果转化为产业治理能力，助力山西中医药产业数字化升级^[9]。

3. 基于微服务架构的省级中药材生产统计监测系统研究与设计

3.1. 系统总体设计思路与建设目标

构建本地化监测指标体系。为统一山西省中药材统计口径，本研究严格参照《全国中药材资源监测技术规范》《中药材产业统计管理制度》等国家行业标准，结合山西省道地药材种植特征与省级统计监管业务需求，从种植面积、种植资源、生产产量、加工规模生态环境、产业效益等维度构建本地化统计监测指标框架^[12-13]。指标体系通过实地产业调研、多部门行业专家论证、业务口径对标校验完成修订完善，保障指标的规范性、权威性与区域适配性，指标适用性通过后续系统实证试验进一步验证。

设计全链条数据管理系统。围绕中药材种植、粗加工业务，规划统计管理、监测管理、可视化展示等系统^[14]，设计与国家中药材统计平台、山西省十大晋药价格平台的数据互联互通，依靠标准化接口实现跨平台数据流转，依托系统汇总数据开展产业发展规律分析，为政策研究提供依据。

多技术融合路线实现智能分析。集成GIS^[15]、物联网^[16]、大数据技术，融合地理空间、环境感知、产业统计多元数据，搭建省级中药材产业可视化驾驶舱，实现种植区域分布、基地规模、产量产值、环境状态、质量信息的一图展示、动态监测与智能分析，为产业规划、资源调配、精准监管提供科学的数据支撑。

建立闭环质量预警机制。围绕田间种植环境、农资投入、加工工艺、仓储条件等关键环节设置预警阈值^[17]，搭建“数据采集、阈值判定、异常识别、信息推送、处置反馈”的闭环预警模型，以此提升中药材全流程质量管控水平^[18]。

3.1.1. 制定中药材种植、粗加工情况监测数据采集指标体系

制定符合我省实际的中药材种植监测指标和产地粗加工监测指标，涵盖种植面积、产量、质量、效益等维度，形成具有山西特色的中药材监测指标体系，突出党参、黄芪、连翘等道地药材的特色监测指标^[19]。该指标体系的构建已通过实地调研、多部门会商论证、行业标准对标与数据闭环校验相结合的方法完成建设，本文主要描述其在本统计系统建设中的应用部分内容。

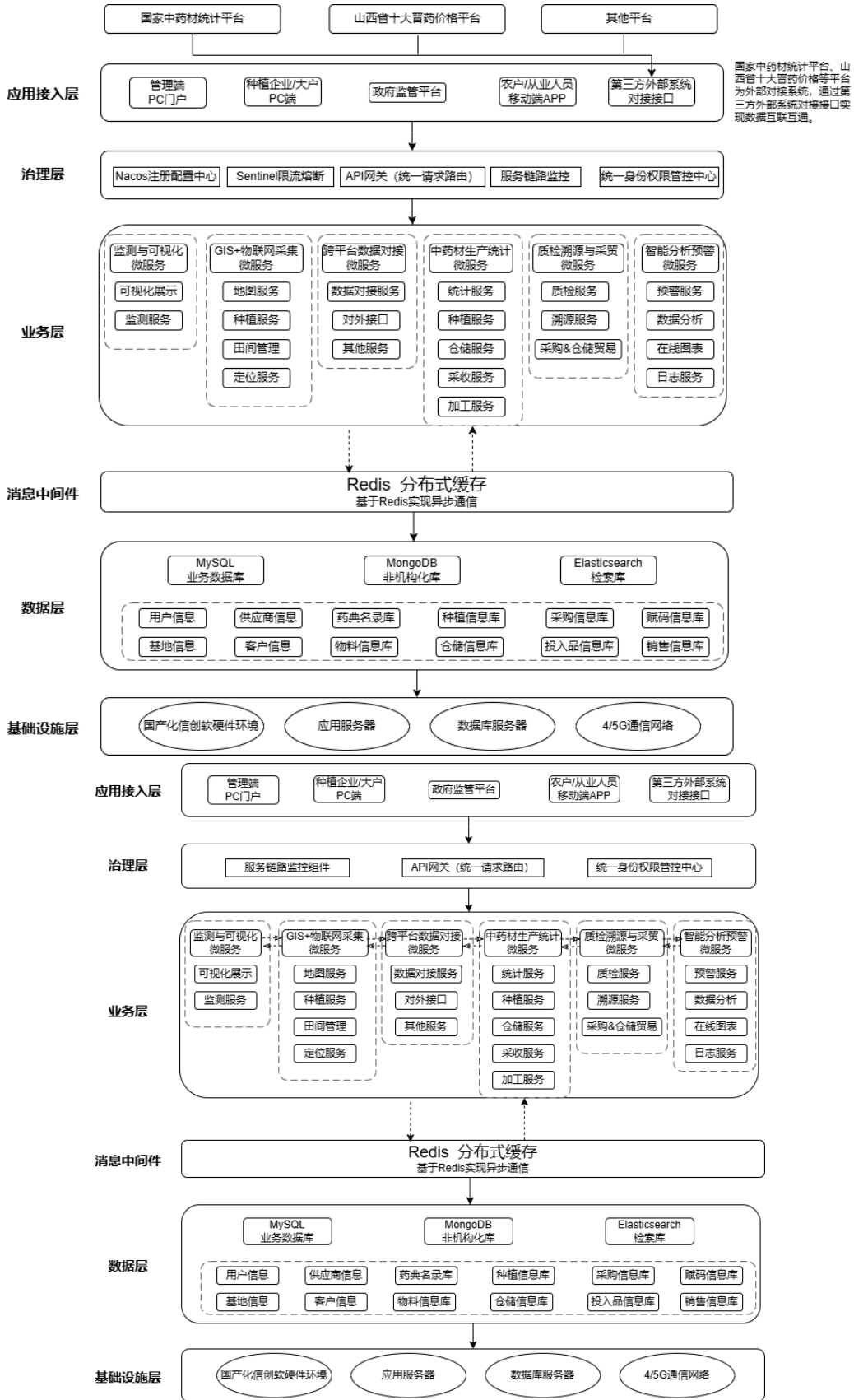
3.1.2. 建设中药材种植、粗加工监测统计数据管理系统

完成中药材统计监测系统建设，包括中药材种植、粗加工统计数据管理系统、监测数据管理系统、数据展示平台、API接口子系统^[21]。实现与已有平台数据无缝对接，确保数据高效流转和共享^[22]。定期形成产业监测报告，为省级中医药产业政策制定提供数据支持，促进中医药产业高质量发展^[23]。

3.2. 系统架构设计应用架构

由于中药材统计监测涉及统计、监测、GIS、物联网、数据对接、可视化展示等多项业务，用户覆盖省、市、县、企业、农户多层级，系统需具备高并发、易扩展、易对接、易维护的能力。传统单体架构难以满足多业务协同、多系统对接、功能持续迭代的需求

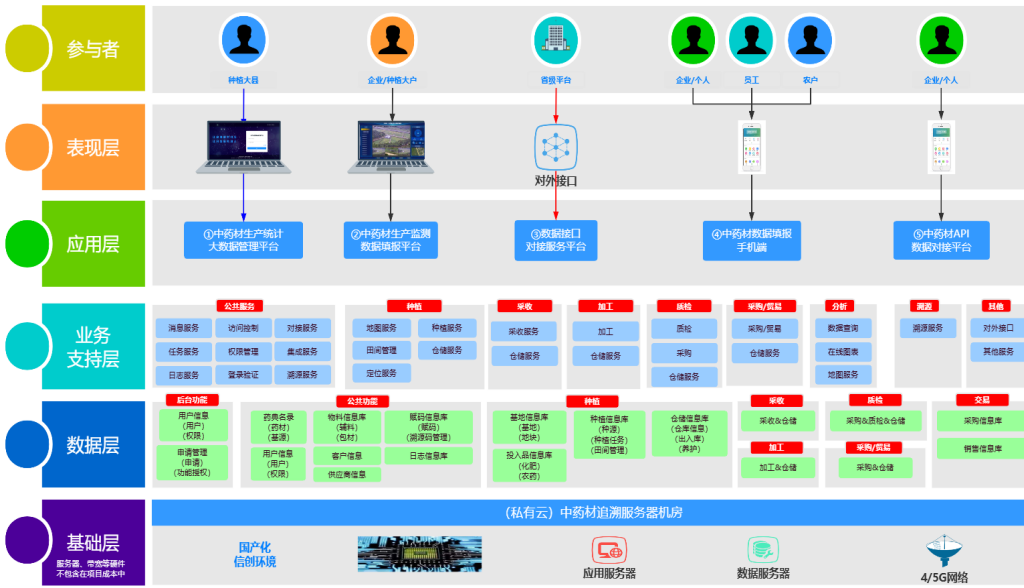
[19-20]。因此系统整体采用分布式部署的微服务架构，将各业务模块独立拆分、独立开发、独立部署，实现各业务之间灵活组合与无缝对接，解决传统架构耦合过高、多源数据难以互通的技术难题，系统架构见图 1。



国家中药材统计平台、山西省十大药材价格平台为外部对接系统，通过第三方外部系统对接接口实现数据互联互通。

10.12201/bmr.202606.00077V1

中药材种植、粗加工统计、监测平台——系统架构图



中药材种植、粗加工统计、监测平台——系统架构图

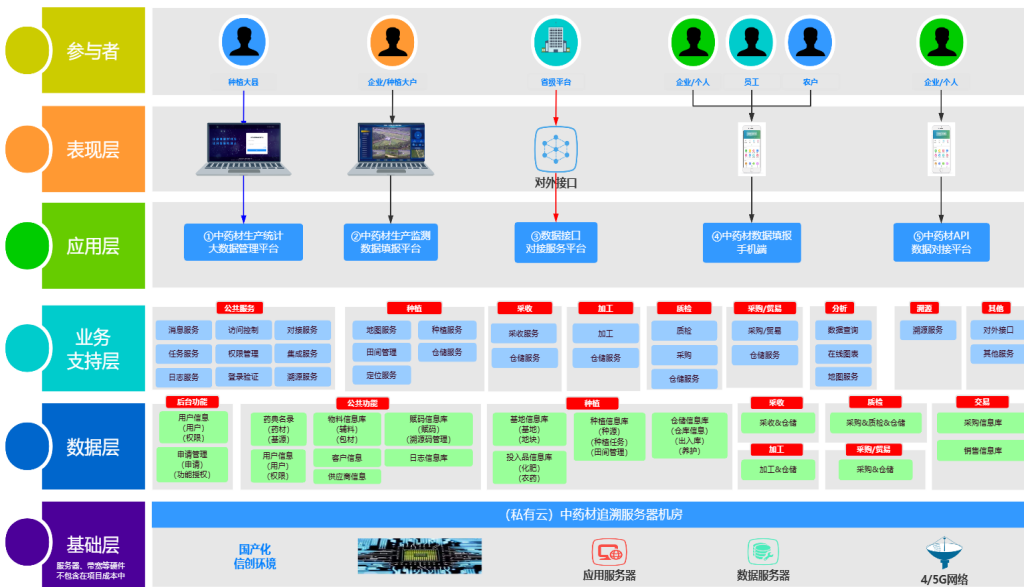


图 1 微服务架构下山西中药材生产统计监测系统架构图分布式微服务架构下山西中药材生产统计监测系统架构图

系统采用分布式微服务架构，自上而下划分为应用接入层、治理层、业务层、消息中间件层、数据层与基础设施层，各层级职责清晰，耦合度低，具备良好的扩展性和可维护性。应用接入层整合管理端 PC 门户、种植企业/大户 PC 端、农户/从业人员移动端 APP、政府监管平台及第三方外部系统对接接口，同时接入国家中药材统计平台、山西省十大晋药价格平台等外部系统，通过标准化接口实现跨平台数据互联互通，统一汇聚全渠道访问和数据交互请求。请求经由治理层进行统一管控；通过 Nacos 注册配置中心实现服务发现与配置管理，Sentinel 完成流量熔断与限流保护，API 网关负责统一请求路由，同时依托统一身份权限管控中心实现访问鉴权与安全校验，最终将请求下发至业务层各微服务。业务层按照业务边界拆分为监测与可视化微服务、GIS+物联网采集微服务、跨平台数据对接微服务、中药材生产统计微服务、质检溯源与采贸微服务、智能分析预警微服务六大独立模块，各微服务之间既能够通过网关完成同步 HTTP 调用，也可依托 Redis 发布订阅机制实现跨服务异步数据交互。消息中间件层以 Redis 分布式缓存为核心，支撑微服务间异步通信，同时缓存高频访问数据，降低数据库压力，提升系统整体响应效率。数据层采用 MySQL、MongoDB、Elasticsearch 多库分储方案，按业务属性分类存储主体信息、

10.12201/bmr.202606.00077V1

种植生产、种质名录、溯源交易等多源数据。全系统依托国产化信创软硬件、应用与数据库服务器、4/5G网络构成基础设施底座，在满足省级中药材统计监测业务需求的同时，实现架构高可用、易扩展与数据安全管控。

省级中草药生产统计系统架构，见图1。该平台整体使用分布式部署的微服务架构，以服务器为硬件支撑，搭建产业发展决策支持系统，利用Python的Django框架，在数据治理的基础上实现数据、流程、应用之间相互独立。数据层，汇集基础数据库、药材数据库、生产数据库、地市库、气象环境数据库等，实现公共服务包括信息服务、权限控制、登录验证服务等，追溯服务包括种植、加工、仓储、销售流通、赋码追溯、追溯可视化等以基础层、数据层、业务支持层为底，构建应用层中药材种植、粗加工统计数据管理系统监测数据管理系统、数据展示平台、API接口子系统。通过电脑端、移动手机、LED大屏和API接口满足终端用户使用需求，用户包括监管部门、种植企业、加工企业、经营企业、种植户、外部业务系统和消费者等。

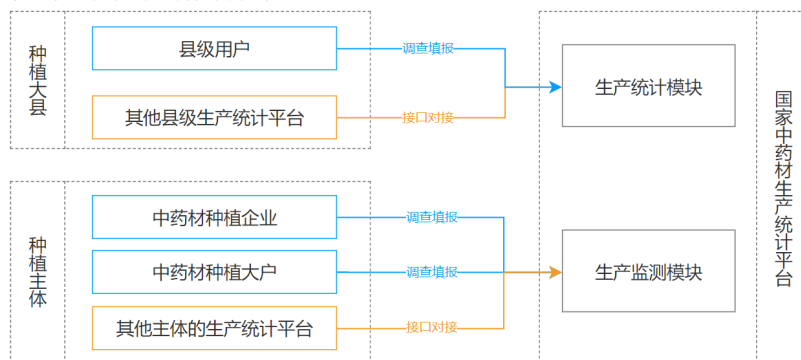


图2 系统模块

中药材生产统计平台分为两个模块，见图2。中药材种植、粗加工统计——以中药材种植大县为调查对象，填报中药材种植大县中药材种植面积、产量、产值等统计数据。中药材种植、粗加工监测——以中药材种植企业/大户为调查对象，填报中药材种植基地/中药材产地生态环境、种子种苗繁育、种植、农事管理、采收、销售等监测数据。

3.3. 系统应用模块及流程设计

系统分为生产统计及生产监测两个模块，实现宏观统计与微观监测的结合，见图2。

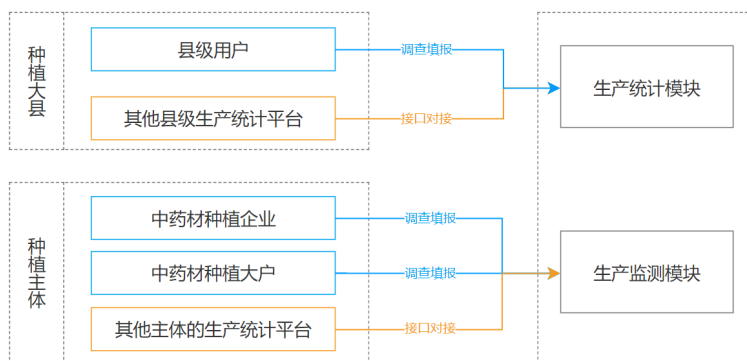


图2 系统应用模块

统计模块面向中药材重点种植县域用户设计开发，结合既定统计指标体系，填报主体按要求录入机构的基础信息、区域生态环境、种植规模、生产经营等相关数。监测模块主要服务于规模化种植企业与种植大户，围绕种植基地、种质资源、田间管理、采收作业、粗加工、质量检测、仓储库存七大环节设置填报项，实现生产全流程线上数据采集。上述多类监测数据汇总整合后，可形成完整的动态数据档案与报表，实现生产信息的追溯、查询。

3.3.1. 统计数据管理系统

3.3.1.1. 统计数据填报子系统：针对各县域需要填报的统计数据指标，设计填报模版，填报人员将机构基本信息、县域生态环境信息、中药材种植及统计情况、生产统计信息等数据按照填报模版录入系统，支持批量导入数据、数据暂存与修改。

3.3.1.2. 统计数据管理子系统：(1) 设置县级、地市级、省级等多级审核机制。审核人员可查看填报数据记录及附件。审核完成后生成填报数据报表，对于标记异常的数据需填写驳回原因，被驳回的数据可由填报方修改后重新提交。(2) 根据统计数据填报生成标准化报表，展示县级工作人员填报的种植及粗加工数据，支持按区域、品种、时间等多维度查询统计数据。提供精准筛选功能，快速定位所需数据，提高数据获取效率。报表数据可导出为：Excel或PDF格式文件。

3.3.2. 监测数据管理系统

3.3.2.1. 监测数据填报子系统

(1) 基地数据监测填报：包括基地名称、面积等必选指标及编号等可选信息，自动关联溯源系统获取经纬度，对接企业系统采集负责人联系方式，可上传照片和证书，确保基地基础信息完整^[44]。(2) 种源数据监测填报：包括批号、基原名称等必选指标填报，根据繁殖材料等级和来源显示对应选项，外购时强制填写供应商信息，自培育则选填培育地点关联质检系统获取报告数据。(3) 种植数据监测填报：关联基地和种源数据，必填种植批号、面积等信息，自动同步基地名称和负责人，从企业生产系统抓取种植时间，预估亩产需结合历史数据校验合理性。(4) 采收数据监测填报：依据采收批号等必选指标填报，按采收类型和方式显示对应选项，关联种植数据获取种植批号，自动计算采收面积与基地面积占比，可上传采收图片。(5) 粗加工数据监测填报：关联原料药材批号和数量，必填加工后药材名称、批号等信息，从企业ERP系统同步加工时间和负责人数据，确保原料与加工量逻辑匹配^[45]。(6) 药材质检数据监测填报：包括质检单号等信息，从企业质检系统自动抓取检验品名称、批号及结果，可上传报告图片，关联对应批次药材数据实现溯源。(7) 药材库存数据监测填报：包括仓库名称、产品名称等必选指标填报，关联粗加工数据获取产品批号和规格，从企业库存系统同步重量数据，实时更新库存状态。

3.3.2.2. 监测数据管理子系统

对基地、种源、种植、采收、粗加工、药材质检及药材库存等7类监测数据进行集中整合，形成完整的数据报表。各市县可查看对应辖区内监测数据报表，可多条件组合查询包括企业信息、基地信息、种植规模、采集数据、粗加工数据、药材质检数据、药材库存等信息。

3.3.3. 监测统计数据展示平台

(1) 中药材产业数据总览：运用可视化工具及算法，通过多种图表（数字翻牌、柱状图、饼状图等）和行政区划地图，呈现本地区中药材相关主体（农户、合作社、企业等）分布、各药材种植规模、产量、产值等数据；展示产值、产量、基地面积等汇总概览信息，以及药材品种、加工能力、销售去向和中药材资源数据。(2) 中药材GIS数字基地：以GIS卫星地图为底图，动态展示企业基地、种植户的空间分布，实现资源在线监管“一张图”；可放大查看基地地块信息，点击可查看基地基本档案、图片、种植药材等详情；支持集成物联网设备，展示基地环境数据、监控视频等相关档案。(3) 基地物联网视频监控：借助物联网监控设备实现基地远程可视化管理与参观，提升信息化水平及品牌形象^[46]；包含视频监控台（多宫格展示辖区所有基地实时直播）和云控制台（放大视频、控制监控方向）。(4) 基地物联网环境动态监测：对接环境监测设备，自动采集、传输并存储温度、湿度等各类环境参数；通过多种图表可视化展示数据，可设置预警阈值并动态提醒，便于及时采取农事措施，降低气象灾害损失^[47]。

4. 关键技术系统部署

4.1. 微服务架构与分布式服务治理

本研究整体采用分层式微服务架构，基于Spring Cloud alibaba技术栈进行搭建。系统按照业务域拆分服务模块，实现各单元高内聚、低耦合、独立部署与弹性扩容。为保障系统稳定运行，依托Nacos完成服务注册、服务发现与统一配置管理；借助Sentinel完成流量控制、熔断降级，抵御高并发与异常请求带来的冲击；由API网关统一完成请求路由与负载均衡，并结合统一权限管控组件实现全链路访问鉴权。整套服务治理方案可有效降低运维复杂度，与省级业务多用户并发、功能持续迭代等需求相契合。

4.2. 跨平台数据交互技术

为破除异构系统的数据孤岛问题，本研究在应用接入层配置第三方专用对接接口，遵循RESTful API规范完成接口开发，按照统一数据格式完成与国家中药材统计平台、山西省十大晋药价格平台的双向数据传输与信息交互。既保障了外部系统对接的兼容性，也实现了跨平台数据互联互通，实现多源数据的应用价值的充分挖掘。

4.3. 物联网与GIS融合技术

系统融合GIS空间信息、物联网感知与大数据分析技术开展业务应用，以卫星地图为基底，实现种植基地、经营主体空间布局可视化，形成产区分布“一张图”管理模式；利用物联网设备实时采集土壤墒情、田间气象、现场视频等数据，为环境监测与质量预警提供支撑；结合大数据分析技术完成多维度数据汇总、趋势研判与异常识别，辅助管理决策。

4.4. 数据安全防护技术

为保障系统与数据安全，本研究从接口认证、访问权限、传输存储、数据备份、日志审计等多个维度构建安全体系。接口访问采用app_id与app_secret身份标识，结合Token数字签名完成身份核验与数据校验；搭建“用户-角色”分级权限体系，根据岗位职责精细化分配操作权限，防范越权访问风险。数据传输环节启用SSL/TLS加密协议，针对生产检测等敏感数据采用存储加密策略，避免数据泄露与篡改。系统配置定时增量备份、周期全量备份及异地备份机制，可在故障发生后快速恢复数据，保障业务连续运行。

5. 系统应用与效果验证应用成效

5.1. 系统效能对照实验研究

本研究基于微服务架构搭建省级中药材统计监测系统，依托经国标对标、专家论证的本地化指标统一全省统计口径，配套数据校验、多级线上审核功能，适配省级多产区、多主体业务，实现种植、粗加工数据全流程数字化填报、审核与汇总。为同步验证系统运行效能与本地化指标体系的区域适配性，本研究选取山西省 11 个地市、30 个重点种植县域及 50 家中药材加工企业作为试验样本，开展人机对照试验与仿真测试，对比分析人工统计模式与本研究数字化统计模式的性能差异。试验结果表明，系统数据统计准确率达 98.6%，较人工统计准确率（82.3%）提升 16.3 个百分点；整体统计工作周期由 15 天缩短至 3 天，统计效率提升约 80%。整套机制可有效规避人工填报疏漏与统计偏差，显著提升省级中药材产业统计数据的准确性、一致性与权威性，也印证了本研究构建的指标体系能够适配山西省中药材产业统计监测的实际需求。

本次对照试验控制变量保持统一，对照组与实验组覆盖完全相同地市、县域、加工企业样本，人工统计采用传统纸质填报、线下多级汇总模式，排除样本范围差异对试验结果的干扰；同时增设本地原有单体统计平台作为第二对照，单体系统统计准确率仅 87.1%，统计周期需 10 天，进一步体现微服务架构在并发、统一口径上的优势。

5.2. 质量安全预警机制有效性验证

系统构建了“实时数据采集-阈值判定-异常识别-智能推送”的智能化预警模型，可对田间种植环境、加工生产过程、仓储存储状态开展全维度动态监测与风险判别。为验证预警机制的灵敏性与可靠性，选取省内 20 处道地药材种植基地、10 家中药材加工企业，设置 100 组仿真场景，按农残超标 40 组、原料含水率异常 35 组、仓储温湿度超限 25 组分配，全部采用 3.1 预设行业标准阈值开展判别测试，模拟基地日常真实风险工况。试验结果显示，系统对各类异常工况识别率达 100%，预警信息推送准确率 100%，平均预警响应时长仅为 6.8 min，满足省级产业实时监管需求。该预警机制可实现质量风险的快速感知与闭环处置，有效弥补传统人工巡检滞后性强、覆盖面有限的短板，提升中药材全流程质量管控智能化水平。

5.3. 产业应用与决策支撑能力实证

为进一步验证系统的产业适配性与决策支撑能力，本研究选取山西省 51 家中药材加工企业、786 处规模化种植基地作为实证样本，基于实测产业数据开展系统仿真运行验证。测试结果表明，依托微服务模块化架构与多源数据融合能力，系统可有效归集种植、生产、加工等全链条数据，自动完成多维度统计分析 with 标准化报表生成，能够清晰反映区域药材种植规模、产业分布特征与生产运行态势，见图 3。系统输出的量化数据与可视化分析结果，可为省级中药材产业布局优化、资源统筹、标准体系建设及品牌培育工作提供客观的数据支撑，对推动山西省中药材产业规范化、精细化、高质量发展具备良好的实践应用价值。

本次试验以仿真数据 + 阶段性试点填报数据开展对比验证，仅完成短期功能性能测试，尚未开展全年常态化线上试运行监测。后续可依托系统持续采集全省全年连续生产统计、环境监测真实数据，开展长期稳定性、并发承压长效试验，进一步完善系统性能评价依据。



图 34 山西省中药材追溯管理平台驾驶舱

5.4. 严控质量安全，实现效益增收

系统利用多维度监测模块，实时采集土壤墒情、施肥用药、加工王艺等关键数据，引导企业合理规划种植、加工计划。截至目前，系统已覆盖全省 51 家重点中草药加工企业，

10.12201/bmr.202606.00077V1

786个种植基地，见图4。为本省中药材种植生产主体、管理部门提供十大晋药价格行情分析报告278份，中药材价格数据50062条，推动中药材产业向规模化、标准化发展，有效提高区域中药材产业综合效益。同时，系统搭载异常数据实时预警功能，当种植环节出现农药残留超标、加工环节出现水分含量异常等情况时，可在10分钟内发出预警提示，及时发现种植、加工环节的质量风险，保障中药材质量安全，进一步增强消费者对本省道地药材的信任度。

5.5. 赋能科学决策，助力乡村振兴

系统具备数据可视化、多维度分析等功能，可生成产区产能、质量等级、市场供需等各类统计报表，公开透明的产业数据展示为政府监管部门精准施策提供有力支持。同时，依托系统数据支撑，推动本省黄芪、连翘、党参3个道地药材品种完成品牌标准化认证，提升区域中药材产业的知名度与竞争力，带动本省中草药产品出口额增长。

6. 研究的局限性与未来优化方向

本研究完成了基于微服务架构的省级中药材生产统计监测系统设计与实证检验，系统架构与功能模块可有效支撑山西中药材种植、粗加工环节的数字化统计监测业务。结合系统设计思路、试验运行效果以及行业数字化发展现状，本节系统梳理本研究存在的局限性，并结合行业发展趋势提出后续可深化优化方向。

6.1. 统计指标体系的拓展与细化

本研究构建的监测指标体系主要聚焦于中药材种植与粗加工环节，指标维度以种植面积、产量、基础质量等常规统计内容为主，尚未覆盖精深加工、仓储养护、市场流通、交易价格等产业链延伸环节，指标体系全链条覆盖性不足。同时，现有指标以通用性统计口径为主，针对不同品类道地药材、不同种植模式的差异化指标设计不足。后续研究可立足中药材全产业链特征，扩充流通经营、精深加工、市场交易等维度的监测指标；结合山西道地药材资源特色与品类差异，构建分类分级的精细化指标体系，进一步提升省级中药材统计监测的精准度与适配性。

6.2. 数据采集模式的智能化升级

现阶段系统数据采集以基层主体线上人工填报为核心方式，仅依托少量物联网设备实现田间环境参数采集，整体数据采集的自动化、智能化水平有限。受人工填报主观性、操作疏漏等因素影响，原始数据质量仍存在波动，仅依靠系统逻辑校验难以从源头规避数据偏差问题。后续可依托微服务架构高扩展、易迭代的技术优势，融合物联网感知、遥感监测、机器视觉等智能技术，构建“设备自动采集-人工辅助补录”的混合采集模式。通过新增智能采集专属微服务模块，降低人工填报依赖度，从数据源头提升产业数据的真实性、完整性与采集效率。

6.3. 跨系统数据协同架构的深化设计

本研究通过标准化接口实现了系统与国家中药材统计平台、山西省十大晋药价格平台的基础数据互通，初步解决了异构系统对接壁垒。但当前跨平台数据交互仍以单向数据同步为主，尚未实现多系统间的实时双向交互与业务流程联动，且各平台数据口径、字段规范存在差异，导致跨部门、跨平台的数据协同效率受限。依托微服务架构低耦合、可扩展的特性，后续可搭建省级中药材产业统一数据共享服务中心，制定全域统一的数据交互规范与映射标准。通过优化接口服务模块，实现多平台业务流程联动，彻底破除信息孤岛，构建互联互通、协同共享的省级中药材产业一体化数据协同网络。

7. 结语

本研究针对山西省中药材产业统计零散、监管滞后、数据精度不足等现实问题，基于微服务架构搭建省级中药材生产统计监测系统，结合本地产业特征构建适配省级业务的统计监测指标体系，实现种植与粗加工环节的数据统计、动态监测、智能预警、可视化展示及跨平台数据互通，并配套标准化接口与多层安全机制保障系统稳定运行。试验验证表明，相较于传统架构与人工统计模式，本系统数字化管控能力更强，统计精度与工作效率显著提升，预警性能稳定可靠，可有效适配省级多主体、多场景的复杂监测需求，能够为山西中药材产业数字化治理提供技术支撑与实践参考。针对当前研究仅覆盖种植与初加工环节的局限性，后续可依托微服务高扩展优势，延伸流通、精深加工、市场交易等监测维度，完善产业大数据分析模型，进一步丰富中药材数字化监测的理论与应用研究。

参考文献

- [1] 国家中医药管理局,国家数据局.关于促进数字中医药发展的若干意见[Z].(2024-07-19)[2026-05-12]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202408/content_6968519.htm.
- [2] 工业和信息化部,国家卫生健康委,国家中医药管理局,等.中药工业高质量发展实施方案(2026-2030年)[Z].(2026-01-29)[2026-05-12]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202602/content_7057174.htm.
- [3] 国务院办公厅.“十四五”中医药发展规划[Z].(2022-03-29)

[2026-05-12].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-03/29/content_5682255.htm.

- [4] 高昆,林洪源,山西省道地中药材研究进展[J].山西农业科学,2023,51(12):1457-1467.
- [5] 冀宪武,刘枫,何燕,山西省中药材产业发展现状及对策研究[J].山西科技,2019,34(01):1-3+8.
- [6] 冯海,闫娟娟,胡安霞,等,山西中药产业状况与发展策略研究[J].中国中医药信息杂志,2013,20(10):1-3.
- [7] 张飞,马卫峰,陈随清,等,河南省中药资源普查省级管理系统设计的探讨[J].安徽农业科学,2021,49(12):241-243.
- [8] 马苓,蔡皓然,张小溪,等,数字经济背景下中医药产业转型升级研究——以安国数字中药都为例[J].河北工业大学学报(社会科学版),2024,16(03):1-9.DOI:10.14081/j.cnki.cn13-1396/g4.000351.
- [9] 薛苏宁,中药饮片质量标准追溯体系的建设与运用探讨[J].中国标准化,2025,(06):261-264.
- [10] 苏雨楠,甘肃中药饮片产业现状分析及高质量发展策略研究[D].兰州大学,2023.DOI:10.27204/d.cnki.glzhu.2023.001733.
- [11] 王悦,微服务架构在分布式云存储系统中的应用与关键技术研究[J].湖南邮电职业技术学院学报,2024,23(04):70-75.
- [12] 郝昊,王翀,程显隆,等,基于问卷调研的中药材质量监测机制优化探索[J].中国药事,2024,38(03):279-291.DOI:10.16153/j.1002-7777.2024.03.006.
- [13] 宗星煜,张婉迪,李慧珍,等,基于多源数据的中医药标准体系建设现状分析与发展对策研究[J].时珍国医国药,2026,37(04):790-800.
- [14] 罗冰,李青苗,方清茂,基于B/S架构的四川省中药资源信息系统设计与实现[J].中国现代中药,2019,21(10):1329-1333.DOI:10.13313/j.issn.1673-4890.20190521002.
- [15] 高倩,徐燎宇,地理信息系统(GIS)在中医药领域的应用进展[J].中国中医药科技,2020,27(06):1006-1008.
- [16] 李晓艳,基于物联网技术的中药材全产业链质量追溯体系构建[J].长春理工大学学报(社会科学版),2025,38(02):107-111.
- [17] 彭慧斌,食品标准化与质量管理体系的融合研究[J].中外食品工业,2024,(21):21-23.
- [18] 赖锬阳,肖建才,闫滨滨,等,基于中药材质量影响因素的中药材追溯体系建设[J].中国实验方剂学杂志,2024,30(07):215-224.DOI:10.13422/j.cnki.syfx.20240163.
- [19] 毛林,成维莉,夏伟伟,等,基于SaaS的茶叶质量追溯系统研究[J].安徽农业科学,2019,47(06):243-244+249.
- [20] 陈斯曼,刘婷,基于多方安全计算的中药供应链的数字化研究[J].网络安全技术与应用,2024,(09):133-135.

8. 面临的挑战和对策

8.1. 统计指标不统一、不规范，缺乏全省通用标准

在中药材种植、粗加工环节，目前仍存在统计口径不统一、指标设置不科学、部门间数据不兼容等突出问题，直接削弱了数据的权威性与横向可比性，难以实现“一张清单、一套指标、全省通用”的工作目标^[19]。本项目通过实地调研、多部门会商论证、行业标准对标与数据闭环校验相结合的方法，系统梳理全省中药材种植规模、品种结构、产地分布加工工艺、质量管控、投入产出等关键数据要素，明确构建全省统一的数据采集指标体系，清晰界定统计范围、规范核算方法、明确上报标准，最终形成一套数出有源、数出有据、全省通用的统计标准规范，有效解决指标混乱问题。

8.2. 源头数据采集难度大，数据质量难以保障

中药材生产经营主体呈现点多面广、规模偏小的特点，加之基层信息化建设水平参差不齐，部分经营主体存在不愿上报、不会上报、上报不及时等情况，导致源头数据的真实性、完整性、准确性难以得到有效保障^[20]。为破解这一难题，本项目搭建省级中药材监测统计数据管理系统，在完善经营主体名录库的基础上，实现数据在线直报、自动审核校验智能汇总分析等核心功能，强化数据逻辑校验与异常预警机制，推动人工上报与大数据+遥感技术核验深度结合，切实提升源头数据的真实性、准确性和时效性。

8.3. 数据协同不足，系统长效运行存在短板

当前，农业、林业、药监、卫健、统计等相关部门的数据资源分散存储、各自为政，“信息孤岛”现象较为突出，跨部门、跨层级的数据互通与业务协同机制尚未健全^[21]。同时，平台建设、数据核验、基层培训、日常运维等工作任务繁重，易出现“重建设、轻应

用、轻保障”的失衡问题，影响系统长期稳定运行。对此，各地各部门需强化“一盘棋”思想，明确职责分工、压实工作责任，加强上下联动与跨部门数据共享，完善分级培训、运维保障及安全管理体系，坚持“以应用促建设、以使用促规范”，提前谋划、系统应对推动监测统计系统建得成、用得好、管得住、能长效运行^[22]。

9. 结语

本文围绕山西省中草药产业发展痛点，研究构建基于微服务架构的省级中草药生产统计系统。系统制定了山西特色的中药材监测指标体系，设计了统计、监测数据管理及数据展示等核心模块，采用前后端分离架构，完成标准化接口改造与多重数据安全部署。系统落地后实现种植加工数据全流程数字化管理，大幅提升统计效率与准确率，实现质量安全实时预警，还为政府施策、产业升级提供数据支撑。中药材产业数字化建设是一项长期、系统的工程，仍需围绕产业全链条持续优化升级。未来，可依托现有系统架构，进一步拓展产业链覆盖范围，融入中药材流通、深加工、市场交易等环节数据，构建更完整的产业大数据体系，持续以数字化赋能中医药产业高质量发展。

参考文献

- [1] 张小波, 史婷婷, 郭兰萍。关于现阶段建立中药材生产统计调查制度的探讨 [J]。中国现代中药, 2023,25 (11):2261-2267.
- [2] 朱寿兴, 王伽伯, 肖小河。微服务架构在中医药政务信息系统中的应用 [J]。计算机工程与应用, 2024,60 (10):231-238.
- [3] 陈士林, 杨美华, 宋经元。中药材质量追溯大数据平台建设与应用 [J]。药学学报, 2024,59 (03):589-596.
- [4] 马存根, 李艳, 王锐。晋药道地药材数字化监测体系建设研究 [J]。山西中医学院学报, 2024,25 (01):1-5.
- [5] 孙永祥, 陈科力, 黄必胜。中药材数据治理体系构建与实践 [J]。中国中药杂志, 2024,49 (08):2210-2216.
- [6] 王升, 万修福, 康传志。中药材价格监测数字化体系建设实践 [J]。中国中药杂志, 2024,49 (11):3456-3462.
- [7] 何雅莉, 张本刚, 林丽琴。省级中药材产业大数据平台设计与实现 [J]。中国现代中药, 2024,26 (04):901-907.
- [8] 王姜力, 李艳秋。数字化赋能道地药材产业高质量发展——以武陵山片区为例 [J]。中国农业资源与区划, 2024,45 (09):211-218.
- [9] 张重义, 李娟, 刘夫会。中药材种植基地智能化监测技术研究进展 [J]。中国农业科学, 2024,57 (12):2356-2368.
- [10] 林慧彬, 彭蕴茹, 孙蓉。道地药材品牌标准化与数字化建设 [J]。中国现代中药, 2024,26 (07):1650-1655.
- [11] 王艳萍, 张丹参, 张力。省级中药材生产监管信息系统的设计与应用 [J]。计算机应用与软件, 2023,40 (12):156-162.
- [12] 周涛, 刘霞, 王勇。基于微服务的中医药数据共享平台设计 [J]。微电子学与计算机, 2024,41 (06):108-115.
- [13] 孟祥霄, 付梅红, 王智民。中医药产业数字化赋能乡村振兴的路径研究 [J]。中国中医药信息杂志, 2024,31 (05):1-6.
- [14] 张军峰, 李建民, 王丽丽。基于 GIS 的中药材种植资源空间监测系统研究 [J]。农业工程学报, 2024,40 (07):189-197.
- [15] 李耿, 赵润怀, 兰青山。中药材产地加工数字化管理系统构建 [J]。中草药, 2023,54 (20):6210-6217.
- [16] 刘训红, 兰才武, 黄文哲。中药材物联网监测技术在产地质量管控中的应用 [J]。中国药科大学学报, 2024,55 (02):215-222.
- [17] 黄璐琦, 陈敏, 张瑞贤。道地药材品质数字化监测体系构建与应用 [J]。中草药, 2024,55 (08):2401-2408.
- [18] 高文远, 张艳军, 刘春生。中药材产业高质量发展的数字化支撑体系 [J]。中国中西医结合杂志, 2023,43 (10):1161-1166.
- [19] 刘春生, 吴启南, 王崢涛。中药材产业统计指标体系构建与标准化研究 [J]。中国中药杂志, 2023,48 (18):4521-4527.
- [20] 杨世海, 赵岩, 孙海峰。中药材种植与加工一体化数字管理系统研究 [J]。中国农业科技导报, 2024,26 (05):167-175.
- [21] 郭兰萍, 康传志, 吕朝耕。中药材产业数字化转型的路径与实践 [J]。中国中药杂志,

~~2024,49 (05):1201-1207.~~

~~[22] 陈永刚, 李平, 王静. 中医药信息系统数据安全策略与实践 [J]. 计算机工程与设计, 2024,45 (03):789-796.~~

作者贡献：潘焯炆负责技术研究与应用、论文撰写；郭煜负责资料整理、数据分析；李辉负责技术指导、论文修订。

利益声明：所有作者均声明不存在利益冲突。

〔作者简介〕 潘焯炆，女，山西太原，高级工程师，从事医学信息学研究方向。

〔基金项目〕 基金项目：国家中医药管理局监测统计中心（编号：YGZXKT2024057）；2024年度山西省中医药管理局中医药科研课题（编号：2024ZY2D001）

2026年5月25日修回说明:

- 1、建议进一步凝练论文的研究创新点，系统描述较多，在适当地方补充研究贡献。
已将标题更改为基于微服务架构的省级中药材生产统计监测系统设计与应用，并在文中增加部分研究描述。
- 2、建议对系统实现的技术细节进行补充，围绕微服务架构进行介绍，系统设计和应用部分针对微服务体现的不突出，建议紧扣主题。
在引言、相关研究情况等部分，增加了使用微服务架构的必要性说明。
- 3、3.3 为何叫系统应用模块，建议介绍的几个点和总体架构图中的内容相匹配。
已优化 3.3 系统应用模块设计的内容。
- 4、4.1 部分介绍的有关细节需要和图 3 保持一致，建议对技术部分严谨表达。
将 4 部分修改为关键技术
- 5、应用成效部分介绍了系统实施后的效果，对有关统计指标的测算口径建议明确，以增强结果的可信度。
第 5 部分描述了系统应用与效果验证内容。以数据支撑系统应用效果。
- 6、建议进一步规范论文中的若干术语与表述，提升全文一致性与学术规范性。如“中草药”“中药材”，“本项目”、“本文”，“微架构”、“微服务架构”等。
已统一描述。
- 7、建议对论文中有关表达和用词进一步严谨，将部分政策性表述调整为更加客观、审慎的学术语言。
已调整。

二、第二审稿人评审意见:

1. 部分图片建议优化设计。图 1 建议参考分布式部署的微服务架构的系统架构图模版进行完善；图 2 应把重点放在生产统计、生产检测两个模块的具体功能上，现在放的图有些文不对题。图 3 没把微服务的技术、架构说清楚。
优化图 1 应用层内容；图 2 修改图片描述；原图 3 已删除。
2. 4.3 中多重数据安全策略多数针对接口，缺少数据备份与恢复、用户/角色访问控制、日志审计和监控应针对所有数据访问和操作。
在 4.5（原 4.3）中增加相关内容。

2026年6月3日修回说明:

一、第一审稿人复审意见:

- 1 将系统架构图文字和布局进一步优化，提升清晰度。
已调整
- 2 部分章节行为类似项目总结、项目报告，需按照学术论文的体例要求组织内容。
已调整第 5、6、7 部分表述
- 3 3.1 标题不妥，何为系统研究目标？
已修改为“系统总体设计思路与建设目标”

二、第二审稿人复审意见:

1. 4. 【摘要】方法/过程 第一句建议改为“制定山西特色中药材监测指标体系，以微服务架构为核心，设计并搭建涵盖统计、监测数据管理、数据展示的省级中药材生产统计系统，完成标准化接口改造与多重数据安全部署，针对建设中的指标构建、数据采集、业务协同难题提出对应解决对策。”

已按照要求修改。

2. 2. 修改完的图 1 仍没把系统架构讲清楚，分布式微服务系统架构图应显示出接入层、治理层、业务层、数据层与消息层之间的垂直关系与水平调用链路，以及相互间的通信模式。附上几张图做参考（见附件 1），其中有实例，也有基础模版，请再进行完善。

已更新架构图

- 1 行文类似项目总结、项目报告，需按照学术论文的体例要求组织内容。
- 2 第六部分“存在的问题与对策”逻辑不通，按照电话沟通意见修改。
- 3 请再反复通读凝练，确保前后逻辑衔接顺畅，避免文字表述方面出现过多错误。

- 全文按照学术论文体例重构行文，规范项目报告整体写作格式；
- 第六部分已修改为：研究的局限性与未来优化方向；