

系统生物学在中医药现代化发展中的应用

纪茜茜¹, 庄子涵¹, 隆红艳^{2*}

(1. 南京中医药大学, 江苏 南京 210022; 2. 南京中医药大学附属南京中医院, 江苏 南京 210022)

【摘要】 系统生物学是对复杂的生物系统进行多重分析和建模的学科, 运用系统生物学方法挖掘并简化中医药的复杂性, 为中医药科学化、现代化发展提供新的视角和方法。通过总结中医药在理论与实践中的复杂性, 概括目前系统生物学在中医药诊断、处方优化、个性化诊疗、药物/疾病机理研究等方面的应用以及在中医药研究中的潜在价值。最后探讨将系统生物学与中医药相结合的应用前景, 强调通过系统生物学的技术手段, 能够更深入地理解中医药的复杂性, 为中医药的现代化转型和临床应用提供科学支撑。文章阐述了系统生物学在中医药中的应用具有重要意义, 有望为中医药的发展注入新的活力, 并推动中医药走向更广阔的未来。

【关键词】 中医药现代化; 系统生物学; 复杂性科学

DOI:10.70976/j.1008-0805.SZGYGY-2025-0322

CSTR:32392.14.j.1008-0805.SZGYGY-2025-0322

【中图分类号】R2-03 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1008-0805(2025)03-0520-05

中医药是中华文化的瑰宝, 包含着丰富的临床经验和知识体系, 作为传承千年的文化沉淀本身存在着很大的复杂性, 具体体现在庞大而复杂的理论体系、多样的疾病诊断和治疗手段以及个体化的治疗方法等方面, 这些复杂性使得中医药在现代社会的推广应用中面临许多挑战^[1]。系统生物学是一种新兴学科, 具备跨多学科研究领域的特性, 可以通过整合生物学、数学、计算机科学等多学科知识来深索生物系统的复杂性和整体性。本研究旨在探讨系统生物学在中医药研究中的应用, 以期为中医药的现代化转型提供新的思路与方法^[2]。

1 中医药复杂性的阐述

1.1 病证辨识复杂

中医诊断通常是基于中医独特的辨证施治理论, 包括望闻问切等诊断方法。不同的疾病表现可能会有相似之处, 而同一病证也可能有不同的病因病机, 因此病证的辨识是一个复杂而且常常是模糊的过程。且这种模糊的过程缺乏客观性与可重复性, 最终形成了中医病证辨识的复杂性^[3,4]。

1.2 药物组方复杂

中药种类及功能繁杂, 分为植物类、动物类、矿物质类多种, 临床为方便使用将其分为清热药、活血药、补气药等类别, 但每味药物具备多种功能, 且临床常以多味中药的复方形式组合应用, 组方时还需考虑每味药物的药效、药性、用量、以及药物之间君臣佐使的配伍

关系, 这些因素导致了中医临床上的药物组方极为复杂^[5-8]。

1.3 针灸选穴复杂

针灸选穴的复杂性主要体现在穴位数量众多, 且每个穴位都有其特定的位置、深度、属性和作用, 选穴及配穴原则多样, 加上疾病本身具有复杂性、选穴时还需考虑安全性和风险等多个方面^[9,10]。

1.4 中药成分及疗效机制复杂

中草药中含有多种活性成分, 其化学成分、药理作用和药效机制往往复杂多样, 且往往不同中草药之间也存在复杂的相互作用^[11]。

中药疗效机制的复杂性主要表现在中药处方多成分多靶点作用、药物相互作用、个体差异和适应性、多途径多层次调节以及整体观念和个体化治疗等方面。这些特点使得中药的疗效机制具有较高的复杂性和综合性, 需要同时考虑多种因素才能深入理解其作用机制^[12]。

1.5 治疗个体差异性大

中医认为人是复杂的, 病是复杂的, 引起疾病的原因也是复杂的, 若要达到更好的治疗效果, 需综合患者的病种、病情、病期、性别、年龄、环境、季节等综合因素, 找出病变原因, 量体裁衣, 对症用药, 这种方法便是“个体化诊疗”。中医药强调个体化治疗, 同一种疾病在不同患者身上可能会表现出不同的症状, 对于同一种疾病, 可能需要采用不同的治疗方案, 因此个体差异性也是中医药复杂性的一个体现^[13-15]。

收稿日期: 2024-04-24; 修订日期: 2024-08-05

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(82174435); 江苏省科技发展规划专题研究项目(ZT202210)

作者简介: 纪茜茜(1995-), 女(汉族), 江苏连云港人, 南京中医药大学在读博士研究生, 主要从事中医药治疗儿童肺系疾病的基础与临床研究工作。

*通讯作者简介: 隆红艳(1971-), 女(汉族), 重庆人, 南京市中医院主任中医师, 博士学位, 主要从事中医药治疗儿童肺系、肝系疾病的基础与临床研究工作。

1.6 临床实践经验复杂

中医药治疗常依赖于临床医师的经验和技能,而这些经验往往是难以量化和系统化的,目前中医药对经验的总结多使用数据挖掘的办法——通过整理名医经验总结疾病用药规律^[16,17],但实际临床诊疗过程综合因素过多,同样也导致了临床实践的复杂性。

综上所述,中医药复杂性体现在药物组方、病证辨识、药物成分、治疗个体差异性以及临床实践经验等方面,这些复杂性给中医药的研究和临床应用带来了挑战。而系统生物学可以通过整合生物学、数学、计算机科学等多学科知识,从整体性和系统性的角度来理解和解决中医药的复杂性问题。

2 简化中医药复杂性的系统生物学方法

2.1 简化中医病证诊断的系统生物学方法

与西医诊断疾病的方法不同,中医临床诊断疾病主要依靠四诊合参即望、闻、问、切,结合病史、脉象、舌诊等多方面信息进行全面的诊断。判断疾病病种的同时,还需甄别疾病的证候类型,最终得出某种病-证的双重判断,进而针对病-证确立治则治法,开具治疗处方。但中医疾病种类与证型繁多,且诊断标准不一,这种综合诊断方法不仅需要医生具备丰富的临床经验和敏锐的观察力,还需要医生能够准确地捕捉到疾病的各种表现^[18]。

采用系统生物学方法,将中医证候视为一个复杂的网络模式,通过分析证候之间的关联关系和内在机制,揭示不同证候之间的转化规律和与疾病的关系,为个性化中医药治疗提供指导^[19]。使用系统生物学建立中医证候辨识的方法涉及多个步骤和技术,以下是一种基本的方法。

2.1.1 数据收集与整理

收集大量的中医临床数据,包括患者的症状描述、舌诊、脉诊、病史等信息。同时,收集与中医证候相关的生物标志物、基因表达数据、蛋白质组学数据等生物信息数据。

2.1.2 特征提取与选择

从采集的数据中提取特征,这些特征可以包括病情表现的定量和定性特征,以及与生物学相关的分子标志物等。利用特征选择方法筛选出与中医证候辨识相关的特征。

2.1.3 建立证候网络模型

将收集到的临床数据和生物信息数据作为节点,构建中医证候的网络模型。节点可以包括症状、体征、生物标志物、基因、蛋白质等,边代表不同节点之间的相互关系和调控关系。

2.1.4 网络分析与拓扑分析

对构建的证候网络进行拓扑分析,了解网络的结

构和特点。计算网络的度中心性、介数中心性、聚类系数等指标,分析节点之间的相互作用和关联程度。

2.1.5 特征选择与模式识别

通过特征选择和模式识别技术,识别出与中医证候辨识相关的关键特征和模式。例如,利用机器学习算法对临床数据进行分析,识别出不同证候类型的特征组合和模式^[20]。

2.1.6 建立辨识模型

基于识别出的关键特征和模式,建立中医证候辨识的模型。可以采用机器学习算法、人工神经网络等技术,训练辨识模型,并评估其性能和准确度。

2.1.7 模型验证与应用

使用独立的验证数据集对建立的辨识模型进行验证,评估其在新数据上的预测性能。同时,将模型应用于实际临床数据中,进行中医证候的自动化辨识和诊断,评估模型在临床实践中的应用效果。

2.1.8 实时辅助诊断系统构建

将建立的中医证候辨识模型应用于实时辅助诊断系统的构建^[21]。结合医院信息系统或移动医疗应用,实现对患者的实时辅助诊断,提供个性化的中医治疗方案推荐。

2.1.9 临床验证与回顾研究

将模型应用于临床实践中,进行大规模的临床验证和回顾研究。评估模型在实际临床场景中的应用效果和临床意义,为中医证候辨识技术的临床推广提供科学依据。

中医证候的自动化识别和辨识,可以为中医临床诊疗提供新的理论支持和技术手段。

2.2 系统生物学引导下优化药物组方策略,以提高中医药的临床疗效

诊断完成后,可以使用系统生物学技术,进行中医处方的优化选择^[22,23]。具体方法及流程如下。

2.2.1 系统生物学分析中药复方药效网络

首先,利用系统生物学的方法,分析中药复方的药效网络,包括成分-靶点网络、成分-生物通路网络等,通过网络分析,揭示复方成分之间的相互作用和药效调控机制^[24]。

2.2.2 挖掘关键靶点和生物通路

在药效网络中挖掘出关键靶点和生物通路,即对复方的药效产生重要影响的靶点和通路。这些靶点和通路可能是复方药效的关键调控点^[25],对其进行调节可以影响整个药效网络的稳定性和疗效。

2.2.3 针对性选择药物组方

根据药效网络分析的结果,有针对性地选择药物组方。优先选择含有对药效网络中关键靶点具有调节作用的药物组分,并结合中医药理论,合理搭配各种药物组分,形成具有协同作用的药物组方^[26]。

2.2.4 药物组方的比例调配

对选定的药物组分进行比例调配,考虑其在药效网络中的作用强度和作用机制,合理安排各成分的比例,以增强其协同作用和整体疗效^[19,27]。

2.2.5 综合考虑临床实践经验

结合临床实践经验,调整药物组方的配方和用量,根据患者的具体病情和个体特征,个性化地制定药物组方。同时,不断积累临床数据和反馈信息,及时调整优化药物组方的配方。

2.2.6 实验验证和临床试验

对优化后的药物组方进行实验验证和临床试验,评估其药效和安全性。通过体外实验、动物实验以及临床试验等手段^[28,29],验证优化策略的有效性和可行性。

2.2.7 监测与调整

在临床应用过程中,不断监测药物组方的疗效和安全性,根据临床反馈和实验数据,及时调整药物组方的配方和用量,以提高中医药的临床疗效。

通过以上策略,可以在系统生物学的指导下优化中医药的药物组方,提高其临床疗效。

2.3 使用系统生物学手段设计个体化中医诊疗流程

中医的个体化治疗是中医诊疗的特色与精髓,但伴随这些优点的同时也让中医诊疗流程变得更加晦涩难参^[30]。使用系统生物学技术可以保留中医个体化诊疗的同时简化其中的流程,让过程变得更加透明易于掌握^[31]。

2.3.1 患者信息采集

收集患者的临床病史、症状描述、体征信息,包括舌诊、脉诊等中医诊断要素,以及可能的遗传信息、生活方式等个体特征。

2.3.2 生物标志物检测

对患者进行生物标志物检测,包括基因组学、转录组学、蛋白质组学等多种生物标志物的检测^[32],以获取患者的生物学信息。

2.3.3 系统生物学分析

利用系统生物学的方法,对患者的临床数据和生物标志物数据进行整合分析。包括对疾病机制、病因病机、药物作用机制等方面的分析,以揭示患者疾病状态和个体差异。

2.3.4 个性化治疗方案制定

根据系统生物学分析的结果,制定个性化的中医治疗方案。考虑患者的疾病类型、病程、病因、病理生理特点,结合患者的个体特征和生物标志物信息,量身定制适合患者的治疗方案。

2.3.5 治疗方案优化与调整

根据治疗效果和患者反馈,不断优化和调整个性化治疗方案。结合患者的临床表现和生物标志物变

化,调整药物组合、剂量、治疗时长等方面,以实现最佳治疗效果。

2.3.6 定期监测与随访

在治疗过程中,定期监测患者的病情变化和生物标志物变化,进行治疗效果评估。同时,建立定期的随访机制,与患者保持沟通,及时调整治疗方案,解决患者的问题和需求。

2.3.7 临床实践验证

在临床实践中验证个性化治疗方案的有效性和可行性。通过临床观察和回顾性研究,评估个性化治疗方案在不同患者中的应用效果和临床价值。

2.3.8 不断优化与更新

根据临床实践和科学研究的进展,不断优化个性化治疗方案的设计和实施方式。及时更新系统生物学分析的方法和工具,以提高个性化治疗方案的精准度和适用性。

通过以上步骤,可以设计出基于系统生物学的个体化中医诊疗流程,为患者提供个性化的治疗方案。这种方法能够充分考虑患者的个体差异和生物学特征,为中医临床诊疗提供更为精准和有效的指导。

2.4 运用系统生物学分析中医药干预的网络调节机制,揭示中医药治疗的作用方式与机制

中药特别是中药复方的治疗机制一直是中医药现在治疗机制探索的关键,利用系统生物学方法可以帮助我们更好挖掘其中的治疗机制,具体方法如下。

2.4.1 药物靶标预测

使用生物信息学工具预测中药成分的潜在靶标,并分析这些靶标在生物通路中的位置和功能^[33]。通过这种方式,可以理解中药成分对生物通路的影响,并推断其可能的作用机制。

2.4.2 系统药理学研究

运用系统药理学方法^[34],包括药物-靶点网络分析、药物-代谢物网络分析等,探索中药与生物体内相关分子之间的相互作用。这种方法可以揭示中药在调节生物通路和代谢网络方面的作用方式,并帮助理解中医药治疗的机制。

2.4.3 表型组学分析

利用表型组学技术(如转录组学、蛋白质组学、代谢组学等),比较中医药干预前后生物样本的分子表型变化^[35,36]。通过分析这些变化,可以揭示中医药治疗对生物体内分子水平的影响,进一步理解其作用机制。

2.4.4 网络模拟与动态建模

基于生物系统动力学模型,进行中医药治疗的网络模拟和动态建模。这种方法可以模拟中药成分与生物体内分子之间的动态相互作用过程,深入理解中医药治疗的动态调控机制。

2.4.5 群体生物学分析

运用群体生物学方法,比较中医药治疗对不同个体或不同亚群体的影响。通过分析个体间的差异性和变异性,可以揭示中医药治疗的个体化作用机制,为个性化治疗提供理论支持。

3 系统生物学在中医未来发展的展望

3.1 个性化医疗的推动

系统生物学的发展将促进中医个性化医疗的实现^[37]。通过深入挖掘患者的基因组、转录组、蛋白质组等生物数据,结合临床表现和中医诊疗经验,可以更准确地预测个体对中药的反应,制定更为个性化的治疗方案,提高治疗效果。

3.2 深度解析中医药作用机制

系统生物学方法有助于深度解析中医药的作用机制。通过系统生物学的技术手段,可以揭示中药复方的多组分、多靶点的作用模式,深入理解中医药的整体调控作用和多靶点、多途径的治疗机制,从而推动中医药的现代化研究和应用^[38,39]。

3.3 中西医结合的发展

系统生物学的综合性和多学科交叉性质,促进了中西医结合的发展^[40]。通过系统生物学的方法,可以更好地整合中医和西医的理论和技術,实现中西医结合的优势互补,为疾病的诊断和治疗提供更为全面和有效的解决方案^[41]。

3.4 中医药资源的合理利用

系统生物学的技术手段有助于对中药资源的合理利用和开发。通过系统生物学的方法,可以对中药材的成分和作用机制进行深入研究,挖掘中药的潜在药效成分,提高中药的药效和临床应用价值,推动中药资源的可持续利用^[42,43]。

3.5 中医医疗信息化的发展

系统生物学的发展将推动中医医疗信息化的进程^[44]。通过系统生物学的技术手段,可以构建中医医疗信息数据库,整合患者的临床数据、生物数据和药物数据,为中医临床诊疗提供更为科学和智能化的支持,推动中医医疗信息化的发展^[45,46]。

综上所述,系统生物学在中医未来的发展中将发挥重要作用,推动中医个性化医疗、作用机制解析、中西医结合、中药资源开发和中医医疗信息化等方面取得新的进展,为中医药的现代化发展和临床应用提供新的思路和方法。

参考文献:

- [1] 祝世内. 中医是第一门复杂性科学[J]. 山东中医药大学学报, 2016, 40(2): 99.
- [2] 胡宗仁, 张媛婷, 骆敬, 等. 中药共性靶点组: 实现系统中药现代化的路径[J]. 中华中医药杂志, 2023, 38(4): 1457.
- [3] 从系统生物学和复杂科学视角解读中医——上海中医药大学中

医复杂系统研究中心学术思想概述[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2016, 18(9): 1419.

- [4] 孙安会, 袁肇凯, 夏世靖, 等. 中医证候系统生物学的现状和展望[J]. 中华中医药杂志, 2016, 31(1): 200.
- [5] 葛楠, 闫广利, 孙晖, 等. 基于药效物质基础的中药药物发现策略及其迭代发展[J]. 针灸和草药(英文), 2023, 3(3): 158.
- [6] 唐于平, 尚尔鑫, 陈艳琰, 等. 药对配伍效应与功效物质现代研究方法策略[J]. 药学报, 2019, 54(9): 1564.
- [7] 罗超应, 罗磐真, 郑继方, 等. 中药方剂的复杂性科学特性及其研究探讨[J]. 中国中医基础医学杂志, 2013, 19(8): 944.
- [8] 陈启龙, 苏式兵. 中医证候及辨证施治复杂性研究的思路与方法[J]. 山东中医药大学学报, 2020, 44(1): 7.
- [9] 白杨. 复杂网络分析技术在针灸领域的应用现状及思考[J]. 中国中医药现代远程教育, 2023, 21(21): 83.
- [10] 马婷婷, 梁繁荣. 针灸效应复杂性的讨论[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2008(2): 42.
- [11] 侯立爽. 中药标准现状及使用问题探讨[J]. 中国实用医药, 2022, 17(2): 210.
- [12] 刘慧敏, 张悦, 王佳艺, 等. 代谢组学前沿技术进展及在中药现代研究中的应用[J]. 中草药, 2024, 55(3): 969.
- [13] 崔鸿雁, 吕兰青, 邵明义, 等. 以患者为中心进行中医药临床研究的思考与探讨[J]. 中华中医药杂志, 2022, 37(12): 7224.
- [14] 张迪, 雒琳, 文天才, 等. 中医辨证论治疗效评价研究进展[J]. 科技导报, 2023, 41(14): 32.
- [15] 孙亚男, 于长禾. 中医个体化疗效评价系统的构建思路与方法[J]. 中华中医药杂志, 2023, 38(11): 5133.
- [16] 豆改杰, 索南拉毛, 刘盛盛, 等. 基于数据挖掘的藏医药古籍文献中水银(佐太)解毒组方规律探讨[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2024, 26(3): 777.
- [17] 吴思琪, 马梦茜, 李亚琴, 等. 基于数据挖掘论玫瑰痤疮外用中药的用药规律研究[J]. 中药药理与临床, 1-18 [2024-08-03].
- [18] 余楷杰, 袁芳君, 马庆宇, 等. 机器学习驱动中医诊断智能化的发展现状、问题及解决路径[J]. 中国中医基础医学杂志, 2024, 30(3): 398.
- [19] 张晓雨, 汤欣宇, 张琴, 等. 方证相应理论的系统生物学研究进展[J]. 辽宁中医杂志, 2018, 45(6): 1335.
- [20] 江启煜, 孙晓生, 谢波, 等. 中医智能推理辨证模型探索[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 1-10 [2024-08-03].
- [21] 袁锋, 徐传杰, 郑向伟, 等. 一种中医辅助诊断系统: CN202010732178.0 [P]. CN112002409A [2024-04-23].
- [22] 樊懿萱. 基于真实世界数据慢性心力衰竭合并贫血的证治规律与处方优化研究[D]. 北京中医药大学硕士学位论文, 2022.
- [23] 田元祥, 雷燕, 曹洪欣, 等. 基于中医医院制剂处方的中药创新药处方优化模式的探讨[J]. 世界科学技术(中医药现代化), 2012, 14(4): 1831.
- [24] 谢静, 李云鹤, 缪兴龙, 等. 基于代谢组学技术的中药复方药效物质基础与作用机制研究[J]. 药物评价研究, 2020, 43(7): 1439.
- [25] 黄成钢. 体内外结合“六环式”中药复方药效物质研究策略及其在组分中药研发中的应用[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(5): 1137.
- [26] 张翼冠, 谭蓉蓉, 任思冲, 等. 基于中药复方适度调节原理与广义免疫组平衡监测的中医证候研究与中药复方药效评价新思路、新方法[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(16): 3229.
- [27] 段翰文, 郭晓杰. 厚朴三物汤与厚朴七物汤在“腹满”病中的药理研究[J]. 中医临床研究, 2022, 14(1): 50.
- [28] 于琳琳, 王婧, 邹亚, 等. 五虎汤加味对 RSV 感染哮喘小鼠气道炎

- 症及肺组织 *Mac5AC*、*STAT3*、*NF- κ B*、*NLRP3* 蛋白表达的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(19):108.
- [29] 孙文静, 王品. 穴位贴敷联合中药治疗支气管哮喘急性发作期的疗效观察[J]. 上海针灸杂志, 2024, 43(4):356.
- [30] 任丽丽, 戴国华, 高武霖, 等. 中医辨证论治个体化疗效评价指标构建思路与方法[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2022, 24(2):789.
- [31] 石兆峰, 赵晨, 尚洪才, 等. 中医个体化研究背景下构建以病机为核心的中医智能化信息平台[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2024, (2):429.
- [32] 李方, 徐慧, 马丽, 等. 浅议中医体质与肠道微生态的关系及个体化医疗[J]. 中国微生态学杂志, 2019, 31(10):1239.
- [33] 张美婷, 丁明. 化学蛋白质组学技术在药物靶标鉴定中的应用[J]. 生命科学, 2023, 35(6):816.
- [34] 段贤春, 黄石, 彭代银, 等. 网络药理学在中药复方研究中的应用[J]. 中国药理学通报, 2020, 36(3):303.
- [35] 贾国香, 董亚倩, 杨娜, 等. 蛋白质组学策略助力中药现代化的研究进展[J]. 天津中医药大学学报, 2021, 40(3):277.
- [36] 杜海玲, 刘柳, 马小兰, 等. 基于代谢组学技术研究中药生炙药性变化[J]. 系统医学, 2023, 8(5):191.
- [37] 沈晓雄. 个性化医疗: 中医走向世界的契机[J]. 中医学导报, 2019, 25(4):1.
- [38] 湛攀, 吴博文, 张鹏, 等. 基于生物网络的中医药学原理探索[J]. 科学通报, 2024, 69(1):17.
- [39] 谢成志, 任建勋. 中药及复方功效的网络药理学研究与思考[J]. 中国实验方剂学杂志, 2024, 30(1):198.
- [40] 陈海彬, 程海波, 卢伟, 等. 系统生物学是中西医结合的桥梁[J]. 中国中西医结合杂志, 2013, 33(1):119.
- [41] 许金辉, 刘璇, 丁剑, 等. 生物信息技术在中医药中的运用研究[J]. 数据, 2023(1):15.
- [42] 刘艳. 对中药现代化及中药国际化发展的思考[J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2018, 2(18):163.
- [43] 赵琳儒, 李杰, 张雅筠, 等. 基于体内过程的中草药效物质基础研究方法进展[J]. 中国医药科学, 2022, 12(23):39.
- [44] 肖勇, 常凯, 沈阳武, 等. 基于 SWOT 分析的我国中医药信息化发展战略研究[J]. 时珍国医国药, 2018, 29(7):1762.
- [45] 张婧懿, 孙芳瑞, 王梦思, 等. 数字技术赋能下中医医院高质量发展内涵及思考[J]. 中国医院管理, 2022, 42(6):13.
- [46] 张清林, 胡孔法. 中医医疗机构信息化现状分析研究[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(2):484.

Application of systems biology in the modernization of traditional Chinese medicine

Ji Xi-xi¹, ZHUANG Zi-han¹, LONG Hong-yan^{2*}

(1. *Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210022, China*; 2. *Nanjing Hospital of Chinese Medicine Affiliated to Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210022, China*)

Abstract: Systems biology, as a discipline focused on the multi-dimensional analysis and modeling of complex biological systems, uses systems biology methods to excavate and simplify the inherent complexity of traditional Chinese medicine (TCM), thus providing a novel perspective for the scientific and modern development of TCM. This study highlights the theoretical and practical complexities of TCM and reviews the current applications of systems biology in areas such as diagnostic refinement, prescription optimization, personalized treatment, and the investigation of drug and disease mechanisms. The potential of systems biology in advancing TCM research is also discussed. Furthermore, the study envisions future prospects for integrating systems biology with TCM, emphasizing its ability to unravel the complexity of TCM and provide a robust scientific foundation for modernization and clinical application. The findings highlight the transformative role of systems biology in revitalizing TCM, opening new avenues for development and expanding its global impact.

Key words: Modernization of TCM; Systems biology; Complexity science

(责任编辑:熊久林)