

·综述·

本文引用:樊启猛,贺玉婷,李海英,贺鹏,贺福元.贝叶斯网络在中医药理论研究的现状及与超分子化学联合应用前景[J].湖南中医药大学学报, 2019,39(11):1407-1411.

贝叶斯网络在中医药理论研究的现状及与超分子化学联合应用前景

樊启猛^{1,2}, 贺玉婷^{1,2}, 李海英^{1,2}, 贺鹏^{1,2}, 贺福元^{1,2,3,4*}

(1.湖南中医药大学药学院,湖南长沙410208;2.中药成药性与制剂制备湖南省重点实验室,湖南长沙410208;
3.湖南中医药大学现代中药制剂制备技术与评价实验室,湖南长沙410208;4.湖南中医药大学中医药超分子
机理与数理特征化实验室,湖南长沙410208)

[摘要] 由超分子化学重构的中医药基本理论可通过一系列方法和手段进行研究,但需借助优质的数学方法与技术从大量研究数据中挖掘其潜在的关联性、规律性等信息,进一步直观、清晰地阐明中医药超分子化学理论。诸多数据挖掘技术中,贝叶斯网络最为符合推理过程,是当前在不确定知识表达和推理领域中最有效的理论模型之一,尤其适合于中医药超分子复杂体系的研究。本文阐述了贝叶斯网络的发展历程及基本理论,对其在中医药研究中的现状作综述,探讨贝叶斯网络与中医药超分子化学相辅相成的关系,二者有机结合、联合应用可为中医药理论体系研究提供定性、定量的表征方法和手段,为中医药现代化提供强大助力。

[关键词] 中医药;贝叶斯网络;超分子化学;数据挖掘;证候;药性

[中图分类号] R2-03 **[文献标志码]** A **[文章编号]** doi:10.3969/j.issn.1674-070X.2019.11.026

Research Status of Bayesian Network in Traditional Chinese Medicine Theory and Prospect of Combined Application with Supramolecular Chemistry

FAN Qimeng^{1,2}, HE Yuting^{1,2}, LI Haiying^{1,2}, HE Peng^{1,2}, HE Fuyuan^{1,2,3,4*}

(1. School of Pharmacy, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208, China; 2. Hunan Key Laboratory of Druggability and Preparation Modification of Traditional Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208, China; 3. Modern Pharmaceutical Preparation Technology and Evaluation Laboratory of Traditional Chinese Medicine, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208, China; 4. Supramolecular Mechanism and Mathematic-Physics Characterization for Chinese Materia Medica, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208, China)

[Abstract] The basic theory of traditional Chinese medicine (TCM) reconstructed by supramolecular chemistry can be studied through a series of methods and means. However, high-quality mathematical methods and techniques are needed to dig out the correlation, regularity and other potential information from a large number of research data, so as to further clarify the theory of TCM reconstructed by supramolecular chemistry intuitively and clearly. Among many data mining technologies, Bayesian Network is one of the most effective theoretical models in the field of uncertain knowledge expression and reasoning, which is most consistent with human reasoning process and suitable for studying supramolecular complex system of TCM. This paper expounded the development and basic theory of Bayesian Network, and its present research status in TCM were reviewed to explore the

[收稿日期] 2019-03-15

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(81573691、81703824、81803729、81874507);湖南省自然科学基金资助项目(2016JJ4065);湖南省研究生科研创新项目(CX20190570);湖南中医药大学研究生科研创新课题(2018CX18)。

[作者简介] 樊启猛,男,在读博士研究生,主要从事中药药理学、中药药剂学、中医药超分子与数理特征化的研究。

[通讯作者] * 贺福元,男,教授,博士研究生导师,E-mail:pharmsharking@tom.com。

complementary relationship between Bayesian Network and TCM supramolecular chemistry. The organic integration and combined application of Bayesian Network and supramolecular chemistry of TCM can provide qualitative and quantitative characterization methods and means for the theoretical system of TCM, and provide strong support for the modernization of TCM.

[**Keywords**] traditional Chinese medicine; Bayesian Network; supramolecular chemistry; data mining; syndrome; drug properties

中医药学有着数千年历史,为中华民族的繁衍昌盛及全球人类的健康事业做出了巨大贡献,是世界医学的重要组成部分。对人体有序多分子群综合作用的宏观规律的特征形成了中医药理论,其微观物质基础可通过超分子化学诠释,体现了宏观与微观的高度统一^[1]。然而,海洋般研究数据的有效处理和可靠相关性关联,已成为中医药理论发展和应用中的一大瓶颈。贝叶斯网络(bayesian network, BN)是一种模拟人类推理过程,在不确定知识表达和推理领域中最有效的理论模型之一。近年来,贝叶斯网络已得到广泛关注,并已逐步应用于中医药研究,取得了一定成果,但并未完全发挥其优势及其应有作用。其中,最重要的原因之一是忽视了中医药的超分子化学特征这一事实,缺乏与中医药超分子化学的有机融合。若将贝叶斯网络与超分子化学结合,对阐明中医药微观物质运行规律、机体宏观状态描述及其二者的依赖关系会起到重要作用,可为中医药理论体系的现代化指明方向,也必将有助于推动和加快中医药的现代化、国际化进程。

1 贝叶斯网络的基本理论与应用

英国数学家托马斯·贝叶斯(Thomas Bayes)在1736年首先提出了贝叶斯定理,1763年其遗著《论机会学说问题的求解》(*An essay towards solving a problem in the doctrine of chances*)由他的朋友理查德·普莱斯(Richard Price)整理并代为发表后^[2],贝叶斯理论才为世人所认识与重视,至今对现代概率论和数理统计还有着重要的影响。由于需要大量而繁重的计算,贝叶斯理论在很长一段时间无法得到广泛研究和应用。直至进入到20世纪后半叶,随着计算机的诞生和快速发展,贝叶斯理论才获得足够的重视,并迎来蓬勃发展。1985年朱迪亚·珀尔(Judea Pearl)首先将贝叶斯理论应用到拓扑网络的构建,并提出贝叶斯网络的概念^[3-4]。

贝叶斯网络,或称信念网络,是一种由贝叶斯概率方法和有向无环图的网络拓扑结构两者结合表示的数学模型,是图论与概率论相结合的产物,可通过概率处理不确定性和不完整性问题。网络结构的有向无环图中的节点代表随机变量,可表示各类待考察的指标或其他变量;两节点间的有向边则表示对应节点(变量)两者间的依赖关系,如果两节点间

的边有箭头,说明两者存在依赖关系;反之,则说明两者不存在依赖关系,相互独立;模型中的一组概率集合则给出了各变量以其父节点作条件时的条件概率^[5]。贝叶斯网络算法原理成熟,但计算比较复杂,一般采用软件 Hugin Reseacher 7.0、MATLAB 的贝叶斯工具箱、NETICA、可视化 GeNIe2.2 等软件来建立数据的网络拓扑结构,以最大期望算法估计网络中各节点的条件概率,从而完成贝叶斯网络的整体构建。在处理数据时贝叶斯网络具有如下优点:其一,使用概率测度的权重对各变量间的相关性进行描述,并可通过处理带噪音的、不完整的数据集以解决数据间的不一致问题;其二,使用图形的形式描述各变量间的相互关系,可读性强、易于理解,有助于利用变量间的依赖关系进行预测分析。因此,贝叶斯网络能用于定性(有无依赖关系)、定量(条件概率大小)描述变量之间的相互依赖联系,具直观性强、可理解性强等特点,可用于分析复杂系统的影响因素之间的关系,尤其适合于中医药这一复杂科学体系的研究。

因贝叶斯网络可对不确定知识进行推理,但凡涉及到预测、智能推理、诊断、决策、风险/可靠性分析的问题几乎均可用贝叶斯网络来处理、研究,目前已在人工智能^[6]、工程学(如故障诊断,航空、铁路、海洋航行等的安全/风险评估)^[7]、商业投资风险预估^[8]、医学诊断^[9]、信息检索^[10]、图像处理^[11]等诸多领域得到了广泛的应用。近年来,贝叶斯网络亦已逐步应用于中医药研究,并取得了一定成果。

2 贝叶斯网络在中医药研究中的应用

2.1 贝叶斯网络在中医证候研究中的应用

中医的“证候”是对疾病过程中一定阶段的病位、病因、病性、病势及机体抗病能力强弱等所作的病理性概括,亦即一系列相互关联症状的总称^[6]。而“辨证”是根据四诊所收集的资料,通过对证候进行分析、综合,从而确定其病理本质,并作出证名诊断的思维认识过程^[12]。证候存在着极其复杂的网络关系,随之辨证亦极其复杂、高度非线性的。贝叶斯网络具有与人脑类似的思维模式,可处理不确定性和不完整性的问题,因此,诸多中医专家学者将贝叶斯网络广泛应用于中医证候的研究。

首先,贝叶斯网络较早运用于构建中医专家诊疗系统。朱咏华等^[13]建立了肺阴虚证的贝叶斯网络模型,所构建的贝叶斯网络判别结果与临床辨证完全吻合。朱文锋等^[14]建立了肺系病证症状与证素间的相关关系、证素组合形成证名的规律的贝叶斯网络,结果表明其与中医专家经验有很高的吻合性。后又分别建立了痰火扰神证、肺热炽盛证的贝叶斯网络模型,对数据分析、推理和验证,结果同样表明贝叶斯网络判别与临床辨证完全吻合^[15]。胡雪琴等^[16]构建了 5 种胃炎证型的贝叶斯网络,结果发现,预测的正确率(88.75%)较高,但与临床专家水平有一定差距。孙亚南等^[17]建立了基于朴素贝叶斯和强属性集贝叶斯网络算法的中医冠心病临床证型诊断的数学模型,结果表明该分类算法在该模型中具有良好的分类性能。

其次,应用贝叶斯网络对中医证型与疾病、症状与证候之间关系的研究已有诸多报道。吴荣等^[18]通过贝叶斯网络方法研究冠心病的证候要素及应证组合规律,并提取出 8 个证候要素,结果表明冠心病最常见的证候是气虚痰浊血瘀证,其次常见证候还有阳虚血瘀证、气阴两虚血瘀证、阳虚血瘀痰阻证、血瘀痰阻证和气虚血瘀证。徐璿等^[19]通过贝叶斯网络对冠心病的证候信息进行分类识别研究,结果表明该数学模型对心阳虚、血瘀、心气虚、心阴虚、痰浊 5 个证型的识别率依次为 84.85%、83.87%、69.34%、65.12%和 65.12%。

曲森和包祖晓等^[20-21]对抑郁症进行中医证候学调查和精神科量表观察,并以此构建贝叶斯网络,结果发现抑郁症的主要病机为肾精亏虚,主要脏腑为肾脏,但也涉及其他病机和其他相关脏腑。孙文军等^[22]建立中医证候的贝叶斯网络模型,提取出广泛性焦虑症的 9 个证候类型,此后又建立了混合性焦虑抑郁障碍(mixed anxiety depressive disorder, MADD)症状的贝叶斯网络模型,提取证候要素、应证组合,结果发现 MADD 的最常见证型为肝郁脾虚、心脾两虚、心肾不交^[23]。薛亚静^[24]通过贝叶斯网络技术提取出 17 项焦虑抑郁共病(comorbid anxiety and depression, CAD)证候要素,然后再此建立贝叶斯网络模型,进一步提取出 7 类 CAD 常见证型,其中心胆气虚证占比最高,而肝郁化火证、心肾不交证、肾虚肝郁证、心脾两虚证、肝郁脾虚证、脾肾阳虚证的占比依次降低。

范建平^[25]建立了类风湿关节炎的聚类贝叶斯

网络模型,找出了与“是否类风湿关节炎”直接相关的 7 项症状。龚燕冰等^[26]构建了 2 型糖尿病合并脑病、肾病、高血压病患者的 82 个变量的贝叶斯网络关系,结果表明主要症状可对并发症进行预测,发现空腹血糖异常、餐后 2 h 血糖异常、糖化血红蛋白异常者的主要症候分别为阴虚热盛、阴虚、阴虚热盛。除此,还发现血脂异常者以气虚为主,血压异常者伴见血瘀^[27]。江丽杰等^[28]通过贝叶斯网络分析缺血性中风病中医证候要素动态变化与患者功能障碍情况之间的关系,结果发现缺血性中风病的美国国立卫生院卒中量表评分变化在不同时点均有多个证候要素评分与之相关,其相关程度随时间动态演变。

2.2 贝叶斯网络在中药药性研究中的应用

中药药性理论是中医药理论体系的重要组成部分,包括四气、五味、升降浮沉、归经、有毒无毒等,而其中寒热温凉四气和酸苦甘辛咸五味又是药性的核心内容。当前亦有一些研究者采用贝叶斯网络方法对中药药性及药效等方面进行了探索性的研究。

张培等^[29]构建了中药五味的贝叶斯网络模型,并对模型验证,结果表明苦味、辛味、甘味模型的正确率依次为 86.15%、73.44%、85.51%。齐方等^[30]结合运用最小二乘判别分析与贝叶斯网络,构建了物质成分之间“君、臣、佐、使”的贝叶斯网络模型,结果表明所构建的中药整体药性贝叶斯网络模型的灵敏度、特异度高,对中药药性判别能力强,训练集判别正确率和对测试集的预测率均较高。钟女娟等^[31]构建了 60 种中药药味-药性-功效贝叶斯网络,结果表明所建网络能够反映药味、药性和功效三者间的直接、间接关系。王晓燕^[32]构建了中药寒热药性、药效与物质成分间的贝叶斯网络模型,尝试揭示中药寒热药性的物质基础和性效发生机制的规律。

刘颖等^[33]构建了中药的活血化瘀功效与药理指标之间的贝叶斯网络,结果发现当归、三七等具有活血化瘀功能的中药概率值接近于 1,而清热解毒药连钱草、忍冬藤以及止血药白及概率值偏低,与实际相吻合。王梅等^[34]运用贝叶斯网络研究中药补肾、活血等功效与药理作用之间的关系,并对中药组分进行功效预测,结果发现中药组分与原饮片功效基本一致。邢雁辉等^[35]建立了中风方药组方疗效的贝叶斯网络模型,通过统计计算得到了具有较好疗效的中药及其和证候、疗效间的联系和规律。沈忱等^[36]构建了活血化瘀功效与药理间的贝叶斯网络模型,并预测古今文献报道不一致的中药的活血化瘀概率

值,结果提示这些药味具有一定的活血化瘀功效。

诚如前述,贝叶斯网络已在中医症候、中药药性等方面的研究中取得阶段性进展,但并未完全发挥其优势及其应有的作用,其中最重要的原因之一是忽视了中医药的超分子化学特征这一事实,缺乏与中医药超分子化学有机融合。

3 中医药超分子化学研究

生物体是由单分子、超分子、聚合超分子、巨复超分子多级化学构成的复杂体系。生物体的形成实则是由小分子构成多级有序超分子的过程,形成的超分子主体保留了小分子客体的“印迹模板”,机体通过这些通道结构得以和外界发生一系列反应,进而发生物质、能量等联系,以此维持生命活动^[1]。人体与源于自然的中药必然是一巨复的超分子体,而中医药理论则是各式各样各级的超分子综合作用下表征出的宏观现象^[37-41]。中医的脏腑经络是机体内的超分子“印迹模板”所特有的孔穴通道空间结构^[1]。当小分子与脏腑经络产生印迹作用时,亦即小分子客体在脏腑经络超分子主体的“印迹模板”按“气析”进行迁移,宏观上表现为中医的脏腑经络对小分子作用的各向异性,即脏象;当中药成分与脏腑经络“印迹模板”产生作用时,宏观上表现为中药药性与药效规律^[1]。如中药归经,中药成分进入人体后,与其自身“印迹模板”相吻合的人体的脏腑经络超分子主体发生自组织、自识别、自组装、自复制作用,产生针对脏腑经络的特异性药效规律,宏观上表现为中药归经现象^[38-39]。再如中药四性,中药成分进入人体后,寒、热不同的中药客体分子与不同状态下的人体主体分子通过非共价键结合,通过释放(或吸收)能量纠正机体受热邪/寒邪侵袭而造成机体超分子自组织、自识别、自组装、自复制过程产生偏移的情况,最终使机体回归正常,宏观上表现为中药四性^[40]。再如中药炮制,其实质是对与人体脏腑经络“印迹模板”相一致的成分群所形成的巨复超分子体的炮制,即是在一定外界条件下,并辅以其他物质(加辅料或不加辅料)对中药超分子主客体进行化学变化的制药技术^[41]。

因此,中医药超分子化学的研究对于中医药理论的阐明发挥着极其重要的作用。中医基础理论的气、阴阳、五行、脏腑、经络、气血精津液等,中医诊断的四诊合参、八纲辨证等,中药的四性五味、炮制、方剂配伍等无不蕴含着极其复杂性、高度非线性的网络体系。超分子化学理论可高度整合中医“理法方药”,创立以人体脏腑经络为基础,以中药多成分群为用药特点,以超分子“印迹模板”作用规律为表达

内容的现代化中医药理论体系,形成以单分子、多分子、超分子多重特征化学属性的医学理论体系,也就实现宏观规律现象与微观物质基础的高度统一。然而如何构建这一极其庞大、极其复杂的网络体系,这势必需要借助优质的数学方法与技术。

4 贝叶斯网络与超分子化学结合起到相辅相成的作用

目前,贝叶斯网络是与人脑最为相类似的思维模式,能通过先验概率推导后验概率,获得似然概率函数,构建有向无环拓扑图,能正确刻画变量间作用的前“因”后“果”关系。同时,贝叶斯网络具有整体性、动态性、复杂性等特点,能将相对模糊、不易确定、欠缺完整的事件,通过可视的图形、精细的数据、清晰的语义进行描述。若将贝叶斯网络与超分子化学结合,超分子化学解决中医药理论研究中的定性问题,而贝叶斯网络则解决其中的定量问题,将对实现中医药超分子理论的现代化予强大助力。前期已对经络、脏腑、气、中药药性、理法方药等理论进行了超分子化学解释^[1],从定性层面可通过超分子化学分析^[1],定量层面则需结合贝叶斯网络。以中药四性为例^[40],通过测定得到:(1)寒热中药超分子体的燃烧焓、信息熵等热量数据,设定区间段;(2)寒热中药的模板分子与其功能单体间非共价键形式,并进行分类;(3)服用寒热中药成分单体后生物体新陈代谢过程中热量的变化,设定区间段;(4)寒热中药单体成分与体内“印迹模板”结合时的能量,设定区间段;(5)寒热中药单体成分的拓扑指数,设定区间段,等等。首先将以上输入待分类项数据,确定特征属性,获取训练样本;然后再将特征属性和训练样本输入,计算得到每个特征属性所划分的条件概率,形成分类器;最后通过分类器对各待分类项进行分类,最终得到中药寒热的各个贝叶斯网络。如,从燃烧焓、信息熵得到的贝叶斯网络可得到寒性或热性中药的燃烧焓、信息熵的各区间的条件概率,通过测定一味未知中药(未鉴定的情况下)燃烧焓、信息熵判断其寒热属性,或已知一味中药的寒热属性可定量其燃烧焓、信息熵的区间段及其概率。其余贝叶斯网络以此类推,再综合所有构建的贝叶斯网络可实现中药四性超分子的定性及定量表征。中医药其他理论都可构建与之相应的贝叶斯网络,并相互关联,最终形成一张极其庞大的、极其复杂的中医药超分子贝叶斯网络体系。可见,将贝叶斯网络与超分子化学结合,对阐明中医药微观物质运行规律、机体宏观状态描述及其二者的依赖关系会起到重要作用,可为中医药理论体系的现代化指明方向,必将有助

于推动和加快中医药的现代化、国际化的进程。

5 小结

综上所述,贝叶斯网络已逐步应用于中医药的研究,在中医证候、中药药性方面已取得了一定进展。但未能与超分子化学理论有机结合限制了贝叶斯网络在中医药中的充分发展和广泛应用。超分子化学可整合“理-法-方-药”建立现代化的中医药理论体系,而贝叶斯网络是挖掘中医药超分子化学研究的海量数据的强有力手段,二者的有机结合、联合应用可为中医药理论体系研究提供定性、定量的表征方法和手段,同时可为当前“2019 中医药重大前沿科学问题和工程技术难题”指明方向、明确思路,为中医药现代化提供强大臂助。

参考文献

- [1] 贺福元,周逸群,邓凯文,等.超分子化学对中医药理论的特殊影响[J].中国中药杂志,2014,39(8):1534-1543.
- [2] BAYES T. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances. 1763[J]. MD computing: computers in medical practice, 1991, 8(3): 157.
- [3] PEARL J. Bayesian networks: A model of self-activated memory for evidential reasoning[C]. Proceedings of the 7th Conference of the Cognitive Science Society,1985:329-334.
- [4] PEARL J. Fusion, propagation, and structuring in belief networks [J]. Artificial intelligence,1986,29(3):241-288.
- [5] PEARL J. Belief networks revisited[J]. Artificial intelligence in perspective,1994,59(1-2):49-56.
- [6] KORB K B, Nicholson A E. Bayesian artificial intelligence[M]. London: Chapman & Hau/CRC Press, 2010.
- [7] 黄影平.贝叶斯网络发展及其应用综述[J].北京理工大学学报,2013,33(12):1211-1219.
- [8] SHEN C W. A bayesian networks approach to modeling financial risks of e-logistics investments [J]. International Journal of Information Technology & Decision Making,2009,8(4):711-726.
- [9] NIKOVSKI D. Constructing Bayesian networks for medical diagnosis from incomplete and partially correct statistics[J]. IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering, 2000,12(4):509-516.
- [10] DE CAMPOS L M, Fernández-Luna JM, Huete JF. Bayesian networks and information retrieval: an introduction to the special issue[J]. Information processing & management,2004,40(5):727-733.
- [11] LUO J, SAVAKIS A E, SINGHAL A. A Bayesian network-based framework for semantic image understanding[J]. Pattern recognition,2005,38(6):919-934.
- [12] 朱文锋,黄碧群.证、证候的辨析与规范[J].山西中医,2005,21(3):1-3.
- [13] 朱咏华,朱文锋.基于贝叶斯网络的中医辨证系统[J].湖南大学学报(自然科学版),2006,33(4):123-125.
- [14] 朱文锋,晏峻峰,黄碧群.贝叶斯网络在中医证素辨证体系中的应用[J].中西医结合学报,2006,4(6):567-571.
- [15] 朱文锋,朱咏华,黄碧群.采用贝叶斯网络运算进行中医辨证的探讨[J].广州中医药大学学报,2006,23(6):449-452.
- [16] 胡雪琴,周昌乐,张志枫,等.基于数据预处理的贝叶斯网络在中医证候诊断中的应用[J].辽宁中医杂志,2007,34(12):1700-1702.
- [17] 孙亚男,宁士勇,鲁明羽,等.贝叶斯分类算法在冠心病中医临床证型诊断中的应用[J].计算机应用研究,2006,23(11):164-166.
- [18] 吴荣,聂晓燕,王阶,等.基于贝叶斯网络的名老中医治疗冠心病辨证规律研究[J].中国中医药信息杂志,2010,17(5):98-99.
- [19] 徐璿,许朝霞,许文杰,等.基于贝叶斯网络原理的 835 例冠心病病例中医证候分类研究[J].上海中医药杂志,2014,48(1):10-13.
- [20] 曲森,唐启盛,包祖晓,等.贝叶斯网络模型在中医证候研究中的应用[J].中华中医药学刊,2008,36(7):1497-1498.
- [21] 包祖晓.基于贝叶斯(Bayes)网络技术的抑郁症中医证候规律研究[D].北京:北京中医药大学,2008.
- [22] 孙文军,曲森,唐启盛.基于贝叶斯网络的广泛性焦虑症中医证候学规律研究[J].北京中医药,2014,33(6):403-405, 421.
- [23] 孙文军,冯玉桥,唐启盛.基于贝叶斯网络的阈下焦虑抑郁中医证候学研究[J].中华中医药杂志,2018,33(7):3112-3115.
- [24] 薛亚静.基于贝叶斯网络技术对焦虑抑郁共病中医证候学规律研究[D].北京:北京中医药大学,2018.
- [25] 范建平,李常洪,吴美琴,等.贝叶斯网络在中医诊断中的应用研究[J].管理科学学报,2008,11(6):143-150.
- [26] 龚燕冰,倪青,高思华,等.2型糖尿病不同并发症中医证候与血糖相关性的贝叶斯网络分析[J].北京中医药大学学报,2009,32(12):815-818.
- [27] 龚燕冰,倪青,高思华,等.2型糖尿病主要理化指标与中医证候相关性的贝叶斯网络分析[J].中华中医药杂志,2010,25(1):31-33.
- [28] 江丽杰,胡镜清,易丹辉,等.缺血性中风病中医证候要素动态变化与 NIHSS 评分变化相关性的贝叶斯网络分析[J].世界中医药,2013,8(6):613-617.
- [29] 张培,李江,王耘,等.贝叶斯网络在中药有效组分五味预测中的应用[J].世界科学技术-中医药现代化,2008,10(5):114-117, 125.
- [30] 齐方,容蓉,薛付忠.贝叶斯网络模型在中药整体药性特征分析中的应用[J].山东大学学报(医学版),2011,49(5):147-152.
- [31] 钟女婿,宋咏梅,刘更生,等.中药经验要素贝叶斯网络模型构建及应用[J].山东大学学报(医学版),2012,50(2):157-160,164.
- [32] 王晓燕.基于贝叶斯网络的中药寒热药性、药效及物质成分相关性的研究[D].济南:山东中医药大学,2014.
- [33] 刘颖,李江,王耘,等.贝叶斯网络在中药活血化瘀功效预测中的应用[J].北京中医药大学学报,2008,31(4):229-231.
- [34] 王梅,张培,王耘,等.基于药理作用的中药组方功效预测研究[J].世界科学技术(中医药现代化),2011,13(1):93-95.
- [35] 邢雁辉,崔蒙,储戟农,等.基于贝叶斯分类算法的治疗中风中药组方研究[J].中西医结合心脑血管病杂志,2015,13(4):471-474.
- [36] 沈忱,陈卫平.基于贝叶斯网络对《本草纲目》中活血化瘀类中药功效与药理间关系的研究[J].南京中医药大学学报,2015,31(3):231-233.
- [37] 贺福元,贺红,邓凯文,等.超分子“印迹模板”(药素)特征的中药药理学研究方法探索[J].中国中药杂志,2015,40(21):4313-4318.
- [38] 贺福元,贺红,邓凯文,等.基于超分子化学的中药药性理论研究方法探讨(1)中药归经[J].中国中药杂志,2015,40(8):1624-1629.
- [39] 邓凯文,陶叶琴,唐闻汉,等.循生物演化轨迹,析经络超分子属性[J].中国针灸,2017,37(3):325-330.
- [40] 刘惠,刘文龙,唐闻汉,等.基于超分子“印迹模板”理论探讨中药四性[J].中草药,2018,49(19):4473-4479.
- [41] 周逸群,陶叶琴,邱云,等.中药炮制的超分子化学机制探讨[J].中国中药杂志,2016,41(18):3496-3500.