

数据挖掘与复杂网络的融合及其在中医药领域应用

吕庆莉

陕西中医药大学基础医学院, 陕西 咸阳 712046

摘要: 传统中医药作为中华历史的瑰宝, 在经历时间淘洗后沉淀下大量的珍贵经验和价值数据。数据挖掘和复杂网络作为数据处理及知识发现的有效手段, 分别从统计性和复杂性角度描述数据, 并被广泛应用于现代中医药学研究中。数据挖掘偏向于发掘表层统计规律, 缺乏对于系统内在机制的深入讨论; 复杂网络主要通过网络角度描述系统结构, 长于在功能复杂性中发掘普适规律, 但在大数据处理中存在局限。分析了数据挖掘及复杂网络在中医药领域的应用及各自存在的问题, 并给出 2 种模式整合的方法及框架, 以脑血管疾病中医用药为例, 构建其中医用药属性拓展网络, 并结合改进的重叠社区发现 (COPRA) 算法挖掘中医用药重叠社团, 探讨中药方剂配伍规律。该方法可在原有基础上有效发掘非频繁项集的药性关联规律, 为中药配伍提供依据。

关键词: 数据挖掘; 复杂网络; 中医药; 范式整合; 配伍规律

中图分类号: R28 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2016)08-1430-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2016.08.031

Integration of data mining and complex networks and its application in traditional Chinese medicine

LV Qing-li

Basic Medical College of Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712046, China

Abstract: The traditional Chinese medicine (TCM) as a treasure of the Chinese history, has deposited lots of precious experience and valuable data. As an effective mean of data processing and knowledge discovery, data mining and complex networks are used to describe the data from the statistics and complexity, and are widely used in the research of modern TCM. Data mining bias to explore the surface of the statistical law, lack for an in-depth discussion of the inner mechanism of the system; While the complex network mainly describes the system structure through the perspective of network and good at exploring the universal law in the functional complexity, but there are limitations in the large data processing. To analyze on the applications and problems of data mining and complex networks in the field of TCM, give two methods and frame of paradigms integration, construct Chinese medicine property development network in case of cerebral vascular disease, and excavate the regularity of compatibility of TCM combined with pharmaceutical association and improved COPRA algorithm. The experimental results show that the method can effectively explore the association rules of the infrequent itemsets, and provide the basis for the compatibility of Chinese herbal medicine.

Key words: data mining; complex networks; traditional Chinese medicine; paradigms integration; regularity of compatibility

与基于还原论的西医学不同的是, 中医学在重视运动与功能的同时, 强调系统整体的统一性, 主张综合内外环境对机体阴阳平衡进行辨证论治, 是在唯物论、辩证法思想指导下, 经过长期临床实践形成的具有整体观、辨证观及分形观的系统医学^[1-4]。

经过数千年的发展, 中医药积累了大量的各种类型的数据, 这些庞杂的数据除了提供丰富信息之外, 也体现出明显的海量信息特征^[5]。因此, 数据

挖掘等技术被广泛应用到中医药领域中, 并取得了一定的研究成果^[6-7]。但中医从整体和功能层次讨论和研究人体, 长无形而主运动^[2], 而基于数据归纳及机器学习的数据挖掘局限于发掘表层统计规律, 缺乏对于系统内在机制或内涵的讨论。随着复杂系统理论研究的不断深入, 结合中医学的整体观, 越来越多的学者开始将复杂网络应用于中医药领域研究中。复杂网络范式虽充分重视系统普适规律及内

收稿日期: 2015-11-05

基金项目: 陕西省科技厅课题 (2014K14-02-02)

作者简介: 吕庆莉 (1975—), 女, 副教授, 主要研究领域为数据挖掘和计算机应用等。E-mail: 287475806@qq.com

涵,却在中医药大数据的分析与处理方面受到一定的制约。数据挖掘及复杂网络两种范式有效整合的契机已经来临^[8]。

本文在分别讨论了数据挖掘及复杂网络在中医药领域应用的基础上,进一步探讨了两者交叉应用的实例,提出了范式整合及其在中医药大数据处理的应用框架。

1 数据挖掘在中医药领域的应用

数据挖掘又称知识发现,其任务是发现隐藏在大量数据中的规律或模式,即从大量的、不完全的、有噪声的、模糊的、随机的数据集中识别有效的、新颖的、潜在有用的以及最终可被理解的模式的非平凡过程^[5]。

数据挖掘主要用于预测和描述,其研究内容包括分类、聚类、回归、关联、规则和偏差等,常用方法包括统计分析、关联规则、决策树、模糊理论、粗糙集、人工神经网络及遗传算法等^[9-10]。在中医药领域,数据挖掘应用主要有以下几方面。

1.1 中医药文献数据挖掘

中医学发展历史悠久,因此在诊断、辨证到组方等各环节,积累了包括典籍、医案、验方、秘方等在内的海量的中医药文献资源。但由于数量巨大、形式多样及缺乏规范等原因,导致了中医药信息具有非线性、模糊性、复杂性及非定量等特征^[11]。而通过数据挖掘,对中医药信息进行文本分类、聚类、关联分析等文本挖掘,将有效提取非结构化文本中的模式知识,促进中医药信息化、结构化,从而促进中医药现代化发展^[6]。

黄允瑜等^[12]收集中医药治疗肥胖和高脂血症的相关文献,运用文本挖掘研究临床用药规律,发现中医药治疗肥胖和高脂血症的处方虽有交集,但其治疗的核心药物却大不相同;杨燕等^[13]通过对129例气不足医案中症状及体征的统计分析,初步归纳了其临床表征;李靖等^[14]统计并分析了《清宫医案集成》中止咳方药的使用频率及用药规律,并探讨了治疗咳嗽的相关经验。

1.2 中医诊断学数据挖掘

中医诊断学数据挖掘主要包括中医证候标准化及中医四诊客观化。通过对中医诊断学数据挖掘,可以归纳出中医辨证规律及推理过程,发掘“司外揣内、见微知著、以常衡变”下的深层内涵,进一步将专家知识规范化、科学化,为中医药专家系统及知识库的构建提供指导。

李仕进等^[15]基于K近邻分类(KNN)及贝叶斯的挖掘算法对古方进行“症-症”关系研究,判定了方剂的主治证及兼治症;周金海等^[16]分析了舌诊与八纲辨证间的非线性关系,并利用人工神经网络(ANN)构建中医舌诊知识库;薛飞飞等^[17]归纳和总结了数据挖掘在中医四诊及证候研究中的应用,并讨论了数据与知识的有效性结合所面临的问题。

1.3 中医药临床数据挖掘

中医临床主张在“理-法-方-药”指导下进行辨证论治,而受经验、流派等影响,致使临床施治主观性强^[18]。通过对名老中医方药的数据挖掘,可获得其临床诊疗及用药规律,在满足中医药临床用药灵活性的前提下进一步探索中医药内涵及其科学性。

唐仕欢等^[19]采用分层抽样及简单随机抽样(SRS)抽样,统计分析了大量中医内科内服汤剂处方,为规范饮片用量提供依据;王雪峰等^[20]应用数据挖掘研究小儿肺炎中医疗效评价指标和方法;王萍等^[21]运用频数分析技术,总结了唐旭东教授治疗慢性萎缩性胃炎(CAG)的各证型辨证用药规律。

1.4 中药复方数据挖掘

中药复方是在“君臣佐使”原则下,经过辨证、审因及论治而形成的复杂的药味混合体,是中医方剂的主体组成,是中医用药的主要形式。中药复方数据挖掘包含药物配伍规律、配伍禁忌、病症-复方、药性-药效-药对分析等。通过挖掘中药复方数据,对于阐明复方配伍的科学内涵、完善中药药性理论、指导中药复方开发等具有深刻意义。

张天崇等^[22]利用频数分析、聚类及关联规则等对相关中药复方进行分析,探讨了肺纤维化用药规律;朱恒民等^[23]采用决策树(ID3)、支持向量机(SVM)等方法构建分类器并对中药提取时间及溶媒量建立回归预测模型,量化了参数指标及水平;胡雅凌等^[24]从历代典籍中收集有关小柴胡汤类方的方剂,利用关联规则的数据挖掘方法得到与小柴胡汤类方配伍相关的频繁项集,并对主要药物、药对、药组规律进行探讨。

1.5 中医药数据挖掘中存在的问题

中医药数据特点可进一步概括为①数据多样性:中医药数据时间跨度大、来源广泛、类型不一;②数据复杂性:因收集及处理工艺导致中医药数据不完备或存在冗余,由于历史及人为因素致使信息缺乏统一标准与规范,并可能涉及个人隐私;③数据非定量:中医药数据多为定性描述,缺少科学统

一的定量表达；④数据时效性：因证候及药理作用不同，使得部分中医药数据具有一定的时效性^[11,25]。

由于中医药数据的上述特点，在数据挖掘过程中单纯应用某一挖掘方法往往只能获取针对研究对象的片面表达，不同方法的融合有助于全面挖掘内在规律；而数据挖掘通过统计归纳及机器学习处理对象，偏向于发掘表层统计规律，缺乏对系统内在机制或内涵的深入讨论。

2 复杂网络在中医药领域的应用

复杂网络指通过将复杂系统内部元素抽象为节点，元素间关系抽象为边，从而构建的具有复杂关联关系的网络。通过这种抽象，复杂网络仅保留了系统内部组织结构及关联关系，过滤了其他复杂信息，从而使得研究者可以专注于复杂系统内部特征及性质。而随着小世界（small world）特性^[26]及无标度（scale free）网络^[27]的提出，复杂网络性质更新为自组织、自相似、吸引子、小世界和无标度等，其相关研究也相继进入一个新的阶段。

复杂网络的拓扑模型主要分为规则网络、随机网络、小世界网络及无标度网络等，其统计特征主要包括度及度分布、节点相似性、平均路径及网络直径、聚集系数及介数等^[3,28]。而在中医药领域，复杂网络应用主要有以下几方面^[3,29]。

2.1 中药药性网络

中药药性即中药在临床过程中体现的性质、功能及趋势，包括四气五味、升降浮沉、归经、毒性等，是中药区别于其他化学药物的根本特征^[30]。机体状态、化学物质及生物学效应构成中药药性核心三要素^[31]。鉴于中药药性的多维性，加之“三要素”将药性与生物系统相关联，复杂系统科学被引入到中药药性理论研究过程中。

翟华强等^[31]基于中药药性 3 要素假说，从复杂系统为切入点，确定了“化学成分-机体状态-生物效应-生物数学分析”4 段式研究模式；曹佳等^[32]通过构建亲缘药物网络，从化学成分的微观层面，利用网络分析讨论了亲缘药物间的关联关系及药性特征。

2.2 中药功效网络

中药功效是在中医药理论指导下对药物治疗作用的高度概括^[33]，是药物对人体作用机制的中医表达。建立在中药药性的多维性基础上，中药功效的作用机制表现为多成分、多靶点、多环节等通过有机整合而构成的复杂网络。

王耘等^[34]提出了中药功效在分子、模块及概

念 3 个层次的复杂网络定义，给出了网络构建的基本方法与途径，并总结和展望了中药功效网络在中药研究中的应用；过红玲等^[33]在构建中药功效概念网络的同时，结合网络聚类（NeMo）算法发掘连锁出现的功能群，并以活血功效网络为例分析了该子网络的用药配伍规律。

2.3 中药方剂网络

方剂学是研究中药方剂组成、变化和临床运用规律的一门学科，主要包括方剂组成的原则、使用及变化等^[35-36]。中药方剂网络的构建主要有中药-中药、中药-方剂及方剂-方剂 3 种。中药-中药网络中将方剂中每味药抽象为节点，根据是否在同一方剂中确定各味药节点间是否存在边关联，因此由不同方剂抽象出的完全图相互关联，进而形成中药复杂网络；中药-方剂网络构建则将单味药及方剂分别作为节点，根据单味药与方剂的从属关系进行关联；方剂-方剂网络则视方剂为节点，根据不同方剂间是否存在同味药进行关联。

刘婷等^[37]利用复杂网络构建 3 种网络，并通过其拓扑特征及与中药方剂配伍规律分析发现，前两者网络具有复杂网络特征，与中药方剂配伍间存在潜在的内部关系；龙伟等^[38]通过构建中药方剂网络及中药化学空间进行网络分析，验证中药配伍禁忌理论；周雪忠等^[39]介绍了复方药物配伍网络的构建及节点度分布特性，利用网络分析方法寻找核心处方；黄源等^[40]通过构建慢性阻塞性肺疾病（COPD）治疗方剂的药物配伍网络并对其进行统计分析，挖掘中医论治 COPD 的核心药物、核心处方及相关用药配伍规律。

2.4 中医药复杂网络应用存在的问题

复杂网络源于非线性科学、统计物理及复杂性科学^[8]。复杂网络通过抽象网络结构及关系，利用系统论构建复杂网络模型，并引入动力学分析关联及涌现，具有系统性、普适性、演化性。但根据现有研究发现，复杂网络在中医药研究中仍存在问题^[41-44]：（1）缺少对系统功能的深入讨论。中医药复杂网络研究多集中在对网络结构的描述，且仅停留在较粗糙的层面，或过于微观，如仅讨论节点的度及簇等局部性质，或仅着眼于网络全局，如网络平均距离及网络直径等，同时缺乏从微观到宏观的过度以及细粒度分析复杂网络内涵的手段。（2）在幂律分布拟合、节点相似性分析等方面存在主观性的经验判断，缺乏

必要的理论分析及证明。(3) 大数据的分析与处理能力有待提高。中医药中生物-中药-方剂-病症多层次复杂网络的构建涉及多种节点及关联关系, 研究如何快速、准确、系统地发掘有针对性价值的的数据或规律具有重要意义。(4) 仅关注复杂网络的功效性, 而忽略了其固有的脆弱性。在互联网中, 节点或边遭受攻击将影响网络的整体性能甚至崩溃。而在中医药复杂网络中, 因中医药信息数量巨大、质量难以刻画, 同样存在影响复杂网络连通性及稳定性的节点或边, 如何加强网络鲁棒性建设值得研究。

3 数据挖掘与复杂网络的融合

在大数据处理中, 数据挖掘与复杂网络各有所长又各有所需。因此, 2 种范式的有效整合显得尤为迫切, 一些学者对此进行了卓有成效的研究工作。东昱晓等^[45]针对链路预测提出节点引力算法, 在考虑节点相似性的同时兼顾节点间相互关系; 刘大有等^[46]通过研究网络中环路紧密度与社区结构的关系, 提出一种基于环路紧密度的复

杂网络社区挖掘算法。相对与信息领域, 在中医药研究中, 仍多是仅通过数据挖掘或是复杂网络讨论中药配伍及用药规律, 从而使得研究结果不可避免地存在其研究方法的固有局限。但近年来, 王映辉等^[47]、李爱峰^[48]结合复杂网络与互信息方法分析挖掘名老中医用药经验; 黄源等^[40]利用复杂网络及数据挖掘研究临床药物组方及配伍规律。2 种范式在中医药领域的整合及应用已初见端倪。

3.1 范式整合框架

沈斌^[8]在分析和总结了数据挖掘和复杂网络范式特征基础上, 给出了范式整合的方向与路径, 本文将以中药配伍规律研究为例, 探讨 2 种范式整合的方法及框架 (图 1)。

(1) 数据挖掘与复杂网络面向的均是领域内的海量异质数据, 而这类数据普遍含有噪声并存在重复或不一致、高纬度、稀疏性等特点。在运用复杂网络分析前, 可利用数据挖掘进行自动化清洗、集成、变换及规约, 从而通过预处理得到满足条件的

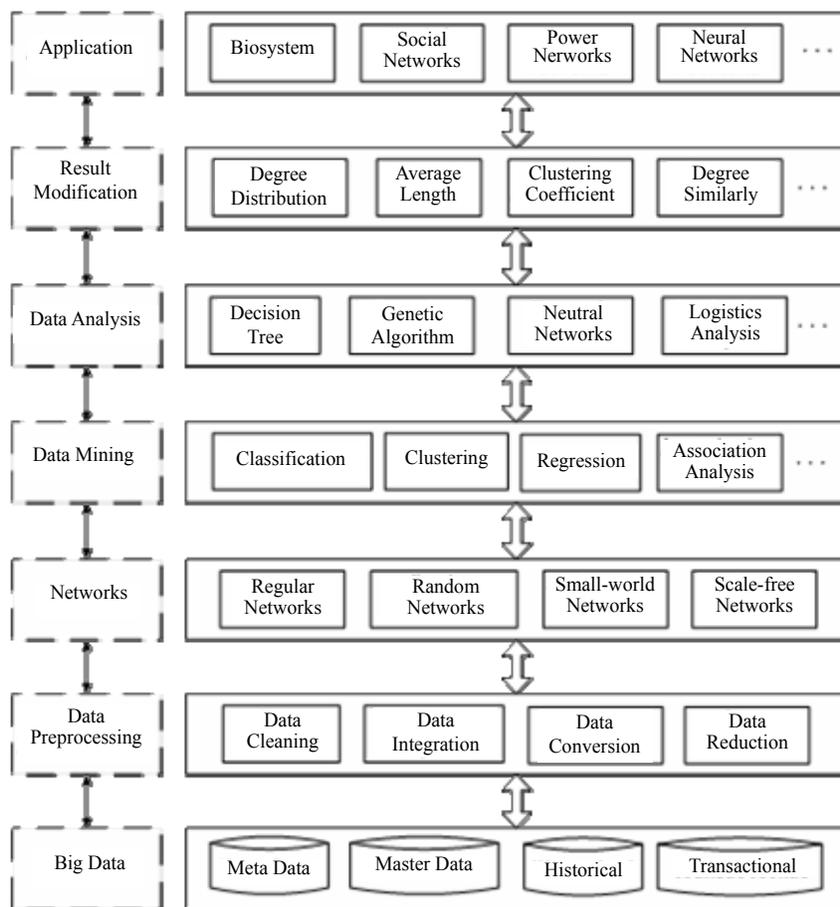


图 1 数据挖掘和复杂系统整合框架

Fig. 1 Integrated framework of data mining and complex networks

结构化数据。对于中药配伍而言，首先需对方剂进行中文分词、过滤、特征选择、文本建模等，得到描述处方文本特征的关键词向量。

(2) 数据挖掘方法通常采用分类、聚类或关联规则等方法对预处理数据进行基于统计的特征分析，而缺乏对系统内在机制的讨论。但通过构建基于领域知识的复杂网络，可从系统的角度对内部节点间相互作用进行描述。在中药配伍研究中，可根据聚集系数调节初始聚类中心对相似处方进行聚类、结合节点相似度提取常用药对或发现禁忌配伍，从而对数据分析过程进行简化或对实验结果进行修正。

3.2 脑血管疾病用药网络应用分析

结合数据挖掘与复杂网络整合方法，本文以脑血管疾病用药为例，构建中药用药属性拓展网络(主要包括性味、归经及功效等)^[49]，并根据改进的重叠社区发现算法(community overlap propagation algorithm, COPRA)算法^[50]，发掘中医用药重叠社团，分析中医用药的配伍规律。

3.2.1 数据来源 实验数据来源于陕西中医药大学脑血管疾病临床用药、陕西中医药资源普查成果数据库及数字化标本馆，共选取 279 味脑血管疾病用药方剂，其中主要中药 136 味、性味 13 种、归经 14 种、功效 86 种。

3.2.2 数据预处理 针对实验数据，数据预处理阶段主要实现对方剂药物及其性味、归经及功效等内容的提取，通过文本挖掘诸如实体挖掘、特征提取、同异名处理、上下文指代消解等方法实现。

3.2.3 复杂网络构建

(1) 中药用药复杂网络构建：采用基于互信息的药物间关联度进行组网，同时引入配伍禁忌集合提高组网效率和准确率。具体描述：对于任意中药对 (drug1、drug2)，当两者出现在配伍禁忌中，则结束此次组网；否则，计算方剂集合对药物的关联增益，当大于阈值时进行组网。算法如下：

TCMFCreat (DrugSet, FormulaSet, Incompatibility Set, x)

Input: 药物集合 DrugSet, 方剂集合 FormulaSet, 禁忌集合 IncompatibilitySet, 关联度阈值 x 。

Output: 用药网络之边集合 EdgeSet

- ① For each drug1, drug2 in DrugSet
- ② If drug1 ≠ drug2
- ③ If Incom (drug1, drug2) = true
- ④ Break

- ⑤ If Sim (drug1, drug2) > x
- ⑥ EdgeSet.Add (drug1, drug2)
- ⑦ Return EdgeSet

其中，Incom (drug1, drug2) 为 2 种药物是否出现在禁忌配伍中；Sim (drug1, drug2) 为计算方剂集合对 2 种药物的关联度增益，具体计算见式(1)。

$$Sim (drug_i, drug_j) = \log \frac{P(drug_i, drug_j)}{P(drug_i)P(drug_j)} \times \frac{1}{Len(drug_i, drug_j)} \quad (1)$$

其中， $P (drug_i)$ 、 $P (drug_j)$ 分别表示药物 $drug_i$ 、 $drug_j$ 所在方剂集合中出现的概率； $P (drug_i, drug_j)$ 为 $drug_i$ 、 $drug_j$ 同时出现在同一方剂中的概率。为解决相似度量方法在中药方剂组网应用中不均衡情况下易产生单向依赖关系和对组方长度不敏感等不足^[49]，式 (1) 在原有互信息计算的基础上引入药物 $drug_i$ 和 $drug_j$ 的平均组方长度 $Len (drug_i, drug_j)$ ，具体计算见式 (2)。

$$Len (drug_i, drug_j) = \sum \frac{L_m(drug_i, drug_j)}{N} \quad (2)$$

其中， $L_m (drug_i, drug_j)$ 为同时含有药物 $drug_i$ 和 $drug_j$ 的方剂 m 的组方长度， N 为药物 $drug_i$ 和 $drug_j$ 同时出现在方剂集合中的次数。

(2) 属性拓展网络构建：根据“属性扩展图”方法^[49]，将中药性味、归经及功效等属性作为虚拟节点添加到之前构建的中药用药复杂网络中，得到脑血管疾病用药属性拓展图，具体统计特征见表 1。

表 1 脑血管疾病用药属性拓展图特征统计

Table 1 Characteristic statistic of augmented graph on drug properties for cerebrovascular disease

属性	特征值
节点	249
药物边	287
性味边	353
归经边	512
功效边	661

3.2.4 实验与分析 采用改进的 COPRA 算法^[50]进行用药社团挖掘，其实验结果中主要用药社团见表 2、3。

其中，表 2 给出了脑血管疾病的用药社团挖掘分类，表 3 为增加了属性拓展后得到的用药社团分

表 2 脑血管疾病用药社团

Table 2 Set of cerebrovascular disease drugs

编号	药物集合
1	红花、益母草、大蓟、小蓟、川芎、延胡索
2	藕节、黄芩、白及
3	牛膝、王不留行、月季花、穿山甲、凌霄花
4	土鳖虫、斑蝥、虻虫

类。由此可知，添加属性后的药物社团划分更加明确，对于表 2 中的用药社团 1，通过属性拓展可进一步细化为表 3 中的温、凉两类；同时，新的药物或组合出现在用药属性拓展社团中，有利于挖掘基于性味归经的新社团。

4 结语

数据挖掘擅于处理各类数据并从中发现隐藏规

表 3 脑血管疾病用药属性拓展社团

Table 3 Augmented set of drug properties for cerebrovascular disease

编号	药物集合	性味	归经	功效
1	红花、川芎、延胡索、乳香、益母草	辛，温	心，肝	活血、化瘀
2	大蓟、小蓟	苦，甘，凉	心，肝	凉血
3	藕节、白及、仙鹤草	涩	肝，肺	止血
4	牛膝、王不留行、甘草、穿山甲	苦，平	肝	活血、通经
5	凌霄花、土鳖虫、斑蝥、虻虫	寒	肝	破血

律；复杂网络着重从网络角度描述系统结构功能并发掘普适规律。探究数据挖掘与复杂网络 2 种范式的融合，将有效解决复杂网络在大数据分析与管理方面的瓶颈，加强数据挖掘对系统内在机制的发掘。

本文主要讨论了数据挖掘及复杂网络在中医药领域中的应用及问题，结合 2 种模式的整合方向及路径，给出了 2 种模式整合的方法及框架，并以脑血管疾病为例构建中药用药属性拓展网络，结合药物社团挖掘探讨中药方剂配伍规律。结果表明，该方法可在原有基础上有效发掘关联药对、尤其是非频繁项集的药性关联规律，从而为中药配伍研究提供依据。

参考文献

[1] 刘志军, 欧阳恒. 浅析中医学论治体系 [J]. 中医药研究, 2001(1): 3-4.
 [2] 姚春鹏. 中国哲学与中国医学 [A] // 全国中医学方法论研讨会论文集 [C]. 北京: 中华中医药学会, 2008.
 [3] 孙继佳, 蒋 健, 严广乐, 等. 复杂网络理论及其在中医学研究中的应用 [J]. 复杂系统与复杂性科学, 2008, 5(2): 55-61.
 [4] 邓 宇, 朱栓立, 施仲源, 等. 中医分形集 [J]. 数理医药学杂志, 1999, 12(3): 264-265.
 [5] 李凌艳, 李认书, 孙 鹤. 数据挖掘技术在中药研究中的应用 [J]. 中草药, 2010, 41(5): 851-853.
 [6] 姚美村, 袁月梅, 艾 路, 等. 数据挖掘及其在中医药现代化研究中的应用 [J]. 北京中医药大学学报, 2002, 25(5): 20-23.
 [7] 田 琳, 阎英杰, 朱建贵, 等. 数据挖掘及其在中医药领域中的应用 [J]. 中国中医基础医学杂志, 2005,

11(9): 710-712.
 [8] 沈 斌. 复杂网络与数据挖掘: 研究范式的比较和整合 [J]. 复杂系统与复杂性科学, 2014, 11(1): 48-52.
 [9] 王光宏, 蒋 平. 数据挖掘综述 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2004, 32(2): 246-252.
 [10] 钟 晓, 马少平, 张 钺, 等. 数据挖掘综述 [J]. 模式识别与人工智能, 2001, 14(1): 48-55.
 [11] 杜建强, 聂 斌. 数据挖掘在中医药领域应用研究进展 [J]. 中国中医药信息杂志, 2013, 20(6): 109-112.
 [12] 黄允瑜, 陈慕芝, 郑 光, 等. 基于文本挖掘技术的肥胖和高血脂症处方规律研究 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(9): 236-238.
 [13] 杨 燕, 彭 锦, 胡镜清, 等. 宗气不足证临床表征医案文献分析 [J]. 中国中医药信息杂志, 2015, 22(1): 36-39.
 [14] 李 婧, 吴立旗, 童文新, 等. 基于数据挖掘分析《清宫医案集成》止咳方药的应用 [J]. 中华中医药杂志, 2015, 30(1): 270-273.
 [15] 李仕进, 陈 蓉, 田 玲, 等. 基于贝叶斯方法的中医“症-证”分析 [J]. 计算机工程, 2008, 34(1): 212-214.
 [16] 周金海, 杨 涛, 沈大庆, 等. 基于 ANN 的中医舌诊八纲辨证知识库构建与应用 [J]. 计算机应用研究, 2010, 27(5): 1771-1772.
 [17] 薛飞飞, 陈家旭. 数据挖掘在中医诊断学中的应用 [J]. 中医杂志, 2009, 50(3): 200-202.
 [18] 吴立旗, 童文新, 徐凤芹. 数据挖掘技术在中医临床观察分析中的应用 [J]. 中国中西医结合杂志, 2012, 32(8): 1146-1148.
 [19] 唐仕欢, 杨洪军, 黄璐琦, 等. 中医临床处方饮片用量调研报告 (内科) [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(19): 2257-2263.

- [20] 王雪峰, 董丹, 梁茂新, 等. 数据挖掘技术在小儿肺炎中医临床疗效评价研究中应用的思路与方法 [J]. 中国中西医结合杂志, 2007, 27(10): 949-951.
- [21] 王萍, 唐旭东. 唐旭东教授治疗慢性萎缩性胃炎用药经验数据挖掘分析 [J]. 北京中医药大学学报: 中医临床版, 2013, 20(1): 25-30.
- [22] 张天崇, 张素, 李秀娟, 等. 治疗肺纤维化中药复方用药规律的数据挖掘 [J]. 中国中医药信息杂志, 2011, 18(2): 31-34.
- [23] 朱恒民, 刘文杰, 王宁生. 数据挖掘技术在优化中药提取工艺中的应用 [J]. 计算机与应用化学, 2006, 23(3): 233-236.
- [24] 胡雅凌, 游强华, 王萍. 基于数据挖掘方法的小柴胡汤类方配伍规律分析 [J]. 新中医, 2012, 44(1): 103-105.
- [25] 贾李蓉, 崔蒙. 中医药科学数据研究进展 [J]. 南京中医药大学学报, 2012, 28(5): 495-497.
- [26] Watts D J, Su Shibing S H. Collective dynamics of small world networks [J]. *Nature*, 1998, 393(6684): 440-442.
- [27] Barabasi A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks [J]. *Science*, 1999, 286: 509-512.
- [28] 刘建香. 复杂网络及其在国内研究进展的综述 [J]. 系统科学学报, 2009, 17(4): 31-34.
- [29] 严蓓华, 杨铭, 陈佳蕾, 等. 复杂网络在中医药方面的研究和应用 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(7): 276-280.
- [30] 张冰, 翟华强, 林志健, 等. 从“三要素”理念探讨中药药性之核心构成 [J]. 北京中医药大学学报, 2007, 30(10): 656-657.
- [31] 翟华强, 张冰, 艾明要, 等. 基于复杂系统的中药药性理论研究思考 [J]. 北京中医药大学学报, 2008, 31(8): 522-524.
- [32] 曹佳, 王耘. 基于化学成分关系药物网的亲缘植物药药性研究 [J]. 中国中药杂志, 2013, 38(3): 453-458.
- [33] 过红玲, 顾浩, 王耘, 等. 中药功效概念网络构建及其应用 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2013, 15(4): 638-642.
- [34] 王耘, 张燕玲, 史新元, 等. 中药功效网络的构建及应用 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2008, 10(5): 105-108.
- [35] 罗静, 徐浩, 周雪忠, 等. 基于复杂网络的不稳定型心绞痛中药配伍应用规律研究 [J]. 中国中西医结合杂志, 2014, 34(12): 1420-1424.
- [36] 李昕, 王天芳, 薛晓琳, 等. 运用复杂网络分析中医药治疗肝炎肝硬化的用药规律 [J]. 中华中医药杂志, 2013, 28(5): 1495-1499.
- [37] 刘婷, 赵忻艺, 蔡小军, 等. 中药方剂网络初探 [A] // 全国方剂组成原理高峰论坛 [C]. 黄山: 中国中医科学院, 2012.
- [38] 龙伟, 邳馨, 向剑, 等. 中药方剂网络与中药化学空间的构建与分析 [J]. 北京中医药大学学报, 2011, 34(11): 729-732.
- [39] 周雪忠, 刘保延, 王映辉, 等. 复方药物配伍的复杂网络方法研究 [J]. 中国中医药信息杂志, 2008, 15(11): 98-100.
- [40] 黄源, 杨铭, 陈佳蕾, 等. 基于复杂网络的中医药治疗慢性阻塞性肺疾病的用药配伍特点 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(15): 7-11.
- [41] 吕琳媛, 陆君安, 张子柯, 等. 复杂网络观察 [J]. 复杂系统与复杂性科学, 2010, 7(2): 173-186.
- [42] 周涛, 张子柯, 陈关荣, 等. 复杂网络研究的机遇与挑战 [J]. 电子科技大学学报, 2014(1): 1-5.
- [43] 张莹莹, 陈寅莹, 王忠, 等. 药物-疾病复杂网络的模块化解构 [J]. 中国药理学通报, 2013, 29(11): 1499-1502.
- [44] 欧阳敏, 费奇, 余明辉, 等. 复杂网络的功效性与脆弱性研究综述 [J]. 计算机科学, 2008, 35(6): 1-4.
- [45] 东昱晓, 柯庆, 吴斌. 基于节点相似性的链接预测 [J]. 计算机科学, 2011, 38(7): 162-164.
- [46] 刘大有, 杨建宁, 杨博, 等. 基于环路紧密度的复杂网络社区挖掘方法 [J]. 吉林大学学报: 工学版, 2013, 43(1): 98-105.
- [47] 王映辉, 周雪忠, 张润顺, 等. 利用复杂网络与点式互信息法分析挖掘名老中医用药经验研究 [J]. 中国数字医学, 2011, 6(4): 76-80.
- [48] 李爱峰. 基于复杂网络与互信息的聂莉芳教授治疗原发性肾病综合征经验研究 [D]. 北京: 中国中医科学院, 2012.
- [49] 李茹, 孙正, 王崇骏, 等. 中药方剂药物属性的组网模型 [J]. 智能系统学报, 2014, 9(2): 148-153.
- [50] 孙道平, 高原, 谢隽, 等. 一种用于中药方剂网络重叠社区发现的改进 COPRA 算法 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2013, 49(4): 483-490.