

金属元素在中医药研究中的现状^{*}

李倩华 孙淑军 王 洋 房军伟 郑宁宁 张永煜^{**}

(上海中医药大学中医方证与系统生物学研究中心 上海 201203)

摘 要:金属(半金属)元素在机体内具有较多的生理生化作用,多项研究表明,金属元素与中医证候及中药药效的发生、发展有一定的相关性。本文将从金属元素在中医证候、中药药性理论、中药药效、中医组方原理、中药炮制理论以及中药质量控制等方面的研究现状作以介绍,指出目前从金属元素入手进行中医药研究的不足,介绍系统生物学“组学家族”成员—金属组学的概念及其在中医药领域中的应用前景。

关键词:中医药 金属元素 微量元素 金属组学

doi:10.11842/wst.2015.04.027

中图分类号:R285.1

文献标识码:A

广义上的金属(半金属)元素包括微量元素和常量元素。所谓微量元素是指在体内含量小于0.01%的元素,例如Fe、Zn、Cu、Mn、Cr、Se、Mo、Co、F等元素,其中有些甚至是痕量元素。常量元素在机体内的含量远大于微量元素,譬如Ca、P、K、Mg、Na等元素。由于重金属元素过量会对机体造成较强的伤害而受到越来越多的关注,主要包括Hg、Cd、Pb、Cr、As等元素。一方面,金属元素因具有不同的生物活性,对维持机体正常生理状态发挥着不可忽视的作用,如酶的催化活性、蛋白质的合成及功能稳定、神经传导、肌肉运动和营养物质的代谢,均与微量元素有密切关系。另一方面,作为众多中药的成分之一,金属元素也在一定程度上影响着中药的药性和药效。中医药中金属元素研究开始于20世纪70年代初期^[1],随着中医药现代化研究进程的加快,关于金属元素或者微量元素在中医药研究现状的综述陆续报道,如席斌等^[2]从虚、实证入手,综述了中医证与微量元素相关性的研究概况;马亚兵等^[3]从微量元素在中药四气、归经、功效等方

面综述了中药微量元素与其药理关系研究等。结合近几年在相关领域的研究成果,本文将从中医证候、中药药性、中药药效、中医组方、中药炮制、中药质量控制等方面介绍金属元素在中医药研究中的现状。

1 中医证候研究

作为中医治病救人的基础,辨证是中医认识与治疗疾病的起点,证候是机体在疾病发展过程中某一阶段的病理概括,包括了病位、病因、病性以及正邪关系,反映了疾病发展过程中某一阶段的病理变化的本质。人体中的金属元素是机体多种酶的组成成分以及激活因子,若机体发生异常状态,金属元素在体内的吸收、分布、排泄发生异常,这或许是证候发生发展的诱因。通过对体内金属元素的分析,我们可以了解中医证候状态下金属元素浓度的异常情况,在一定程度上来解释证候的发生机制和动态过程。目前针对金属元素在中医证候中的作用研究较多的有两个证型:湿热证和脾虚证。

1.1 湿热证

目前,湿热证的物质基础研究多集中在消化、泌

收稿日期 2014-11-16

修回日期 2014-11-30

^{*} 国家自然科学基金面上项目(81373519):基于整体代谢网络的异病同证(三焦)湿热证的证候基础及病变机制研究,负责人 张永煜,国家“十二五”重大专项(2012ZX10005001-002)基于转化医学的慢性乙型病毒性肝炎中医证候生物学研究,负责人 胡义扬;上海市学位委员会[(2012)13号]研究生交叉学科创新人才培养平台建设项目,负责人 张永煜;上海市高校一流学科建设(A类),负责人 王峥涛。

^{**} 通讯作者 张永煜,本刊编委,博士,教授,博士生导师,主要研究方向:证候及药效物质基础与体内代谢。

尿、生殖系统疾病上,如慢性胃炎脾胃湿热证及肝胆湿热证、妇科湿热证、IgA 肾病湿热证等^[4],其中金属元素与湿热证关系的探讨也受到了研究者的重视^[5]。刘立等^[6-8]通过临床实验与动物实验系列研究,从湿热证患者、模型动物与金属元素和维生素 E 的关系入手去探讨湿热证存在的物质基础与矿物质元素和维生素 E 相关性。该系列实验通过检测临床湿热证患者、湿热证动物模型以及药物干预湿热证动物模型血清中 Zn、Fe、Se 和 Cu 元素含量,发现无论湿热证患者还是湿热证动物模型与健康对照组相比,血清中 Zn、Fe、Se 元素含量均下降;而 Cu 元素含量升高,结果表明湿热证的临床表现可能与这些元素的代谢相关。魏跃钢等^[9]取 40 例雄激素性脱发湿热证患者前、中、侧、后的头发,用扫描电镜观察头发的表面形态,测定分析其化学元素的能谱图像,经计算机处理后可得到该微区内各种元素的重量百分比,以此来观察雄激素源性脱发湿热证毛发电镜元素的含量变化。结果发现湿热证患者发根与发干中,金属元素 Mg 含量百分比(发根:0.03%;发干:0.49%)存在显著性差异,为雄激素源性脱发湿热证患者的发病机制提供了一定的物质基础。作为临床上常见的证候类型,湿热证与氨基酸、有机酸、糖类、有机胺、脂肪酸等小分子代谢物群之间的相关性,作者所在课题组进行了初步探讨^[10,11],发现湿热证与部分金属元素之间存在一定相关性。

1.2 脾虚证

脾虚证是一组能够比较集中地反映脾的生理功能不足的综合证候群^[12]。近年来研究者对脾虚证的实验研究涉及了脾与消化吸收功能、免疫功能、内分泌、金属元素及血液变化等^[13],但是多数研究集中在动物实验层面^[14,15]。随着金属元素与中医证候间关系的不断深入研究,研究者发现,中医脾虚证与金属元素含量的变化存在一定相关性^[16,17]。王明香等^[18]通过检测肺脾气虚证患儿和健康对照儿童血清微量元素(Cu、Zn、Ca)和 T 细胞亚群,探讨复感儿肺脾气虚证与血清微量元素、T 细胞亚群之间的相关性,研究发现患儿中存在较高比例的微量元素降低或失调的现象。杨泽民等^[19]通过对脾虚证和脾胃湿热证的慢性浅表性胃炎患者进行 DNA 芯片实验,分析慢性浅表性胃炎脾虚证与脾胃湿热证患者体内矿物质元素、脂类、蛋白质、等物质和能量代谢情况,从物质能量代谢的角度探讨脾虚证病

理发生机制。研究发现 COMMD1、SLC39A6、FTL、CHRFAM7A、SCGN 和 S100A6 参与金属元素 Cu、Zn、Fe 和 Ca 的代谢,在脾虚证患者体内降低了这些矿物质元素的代谢,或许是脾虚证疾病发生的重要机制。另有研究者发现金属元素或半金属元素 Se^[20]、Ge^[21]、Zn^[22]、Li^[23] 可以提高免疫细胞因子的分泌,进而提高机体的免疫功能。

2 中药药性理论研究

研究表明^[24-26],金属元素的含量、种类与中药性味、归经、功效等都有着一定的相关性。药性是中药理论的核心,中药寒、热、温、凉 4 性为其重要组成部分,是说明药物作用的主要理论依据之一。秦旭华等^[26]从不同角度入手探讨了中药药性物质基础的研究,其中,中药中包含金属元素在内的各种无机元素含量水平是其药性的物质基础之一。早在 20 世纪 90 年代,李心河等^[27]对当时《中药学》教材中 313 种中药中 35 种金属元素进行检测,试图探讨中药药性、药味、归经、药理和药效与金属元素的关系。随后的研究者^[28]在此研究方法的基础上,建立了根据金属元素的含量判别中药药性的数字模型,该模型具有显著的判别效能。另外,盛良等^[29-31]从药物能量的观点,利用广义酸碱原则和前线分子轨道理论中的电子得失解释了中药四气五味,探寻了中药四气五味的规律。其中,以矿物类中药材为主的寒热温凉四性的解释为:金属元素易失去电子吸收能量而为寒,非金属元素易接受电子放出能量而为热,金属元素与非金属元素之性有强弱不同,电子得失有难易不同,故元素有寒凉温热四性。对于不同功效的中药,有研究者^[3]得出总结:补血药中的 Fe、Mn、Zn、Cu 的含量较高,补肾药中富含 Fe、Mn、Cu,能维持内分泌机能的正常进行,明目中药均富含 Mn、Zn、Cu 等微量元素。

3 中药药效研究

中药疗效与金属元素的关系源远流长,早在《神农本草经》就记载了 41 种矿物药,这些矿物药的组成成分主要为金属元素或者半金属元素,其中多数金属元素与人体正常生理机能息息相关。由于金属元素易形成离子状态从而与化合物结合,参与体内酶合成、还原氧化反应、能量代谢等重要的生化过程,是很多疾病发生、发展的重要因素,对疾病

的预防、治疗、预后^[32]也具有不可忽视的作用。金日光等^[33]将各种中药、人体器官和组织中的金属元素根据金属离子和不同基团的络合能力分为有益元素群(Fe、Cu、Ca、Mg、Mn、Ni、Zn等元素)和有毒元素群(Ag、Cd、Pb、Hg、Tl、Be等元素),试图从金属元素角度分析病因并提供原始科学依据。

钟越等^[34]测定中药柴胡中微量元素的含量,发现其中含有丰富的Fe、Zn和Mn金属元素,为研究柴胡治疗呼吸系统疾病及清除自由基提供了有用的数据。刘小燕等^[35]观察中药复方防感浓缩液治疗小儿反复呼吸道感染肺脾气虚夹瘀热证的临床疗效,试图通过检测治疗组血清微量元素的变化探讨健脾益肺、消积清虚热法对小儿反复呼吸道感染的治疗机制。该实验通过观察治疗期间呼吸道感染发作情况以及血清Zn、Ca、Fe含量变化,发现治疗组在治疗有效率和减少呼吸道感染次数,提高机体血清Zn、Ca、Fe的作用上均优于对照组,得出了防感浓缩液对患儿机体中微量元素血清Zn、Ca、Fe含量的恢复有一定促进作用的结论。魏道智等^[36]测定中药蜈蚣中金属元素与药效的相关性,结果表明,蜈蚣比一般利尿中药含有更高的钾元素,蜈蚣中的其它微量元素Fe、Zn、Cu、Mn、Se和Sr等含量均比较高,这可能与其解毒、排石和抗肿瘤等功效有较为密切的相关性。

4 中医组方原理研究

从微量元素的角度来看,中药组方实际上是某些与药物功效密切相关的微量元素进行配合与协调。经此配比与协调,使复方中微量元素的整体作用优于单味药材中微量元素的作用。组方中协调了与每组药物作用密切相关的微量元素的用量配比,在很大程度上突出了这些元素的作用。张明昶等对中医组方原则与微量元素关系进行了研究,分别测定了经典补虚方剂:左归饮方^[37]、四逆汤^[38]、六味地黄丸^[39]和补中益气汤^[40]中Zn、Cu、Mn、Fe、Co、Cr这6种微量元素的含量,并以中医药基本理论为指导,应用因子分析方法,研究同虚证密切相关的微量元素与药物功效的相关性,探讨微量元素与上述方剂组方原则之间的关系。初步总结了中医组方原则与微量元素种类和含量存在一定的相关性。

5 中药炮制理论研究

将金属元素作为中药炮制理论的研究指标,其基本方法是通过测定炮制前后及不同炮制方法中微量元素含量,结合微量元素所具有的生理作用进行系统的分析,进一步揭示和阐明炮制机理和作用,为传统中药炮制理论奠定科学基础。王一硕等^[41]通过测定中药斑蝥原药材及其不同炮制品中Cu、Mn、Zn、Fe、Mg、Ca等11种元素的含量,比较不同炮制品以及头、足、翅的元素含量,从金属元素角度探讨中药斑蝥的炮制机理。张燕等^[42]对中药炮制前后微量元素的变化及其对功效的影响做了综述,提出炮制方法对微量元素的质和量影响较大,合理的炮制工艺可以增加人体必需微量元素的溶出,减少有害的微量元素溶出,起到增强疗效、降低毒性的作用。此外,该综述中作者根据不同炮制方法和不同炮制辅料阐述了中药炮制理论与微量元素的相关性,进一步佐证了从微量元素的角度解释中药炮制理论的可行性。

6 中药质量控制的研究

金属元素在中药的真伪鉴定和质量控制方面中发挥着较大的作用,是中药质量控制不可或缺的参数^[43]。其中,重金属元素因其较大的生物毒性和较长的半衰期,对机体危害极大,因此在中药的质量控制中,重金属元素是检测的重点。张凌艳^[44]测定葛根中重金属元素Pb、Cd的含量,并与丹参、西洋参、白芍、黄芪中重金属的含量进行比较,以此考察葛根长期用药的安全性。胡军高等^[45]对辅助癌症治疗的中成药一十一味参芪胶囊进行了常见的金属元素检测,并与国内外标准进行对比分析,说明药物质量,进一步保证临床用药安全。王静等^[46]对9种道地四川药材川木香、丹参、大黄、川芎、川黄连、麦冬、羌活、川明参和白芷中金属元素Co、Ni、Cu、Zn等11种元素含量进行了分析测定,结果显示金属元素在不同的药材中含量差异较大,如Zn元素,在麦冬中的含量为5.36 ppb,而在中药川黄连中的含量却高达118.29 ppb。通过对照相应药材标准,一方面明确了金属元素可能参与药效的发挥,另一方面提示中药材种植加工中应做到标准化操作,避免重金属超标。

7 金属组学

近年来发展起来的金属组学,是由日本学者 Haraguchi H^[47] 于 2003 年提出的,它是一门对若干涉及金属相关生命过程的分子机制以及对细胞与组织内全部金属离子和金属配合物进行综合研究的学科。与化学、临床生物学、药理学、动植物生理学及营养学等多学科息息相关,成为继基因组、蛋白组和代谢组后系统生物学中用来揭示生命规律的又一重要的组学技术^[48]。

目前,金属组学以其广泛的样本来源已运用到疾病发病机理、诊断、治疗研究以及药物研究中。例如 Yasuda H^[49] 等运用金属组学通过检测自闭症儿童头发中金属元素,发现了自闭症儿童患者 Zn、Mg 等金属元素缺乏,而有毒金属超标,为自闭症疾病的研究提供了一定的线索;李昕^[50] 建立了基于电感耦合等离子质谱技术与出生缺陷相关疾病的尿液、血清及羊水的金属组学研究方法,考察了妊娠时营养不良的孕鼠和正常孕鼠羊水中金属元素谱的差异,分析了临床诊断孕育神经管缺陷和胚胎停育胎儿孕妇以及正常孕妇尿液和血清金属元素的差异;Sussulini A 等^[51] 运用金属组学的方法研究 Li 制剂对于抑郁症的治疗效果。

然而十多年来,金属组学在中医药研究中的应用在国内外报道不多。夏明月等^[52] 通过金属组学高通量的金属元素检测方法,发现中成药四味肝泰颗粒抑制荷瘤小鼠瘤组织生长的作用机制可能涉及金属元素。Liu F 等^[53] 采用大鼠尿液代谢组学和大鼠血清金属组学相结合的方法,对高脂饮食大鼠模型注射中药黄连素,进而分析研究黄连素的药效机制。研究结果发现,注射黄连素后,大鼠模型体内柠檬酸循环、胆固醇代谢以及渗透压调节发生改变。另外,金属元素 V、Mn、Na、K 在大鼠血清中有显著性改变。结果提示,从差异性代谢物和差异金

属入手,或许是探讨黄连素药效作用机制的潜在生物标志物的方法。

笔者初步运用金属组学探讨中药药对作用于大鼠脂肪肝模型药效机制的研究,采用基于微波消解的 ICP-MS 技术检测动物血清、组织样本中 Ca、Fe、Mg、Cu、Mn、Se、Zn 等 28 种金属元素含量,运用 SPSS、SIMCA-P⁺ 等统计学软件分析给药组和对照组大鼠体内金属元素的差异,试图从金属元素的角度入手,结合疾病自身发生、发展的过程,探讨中药药对发挥疗效的作用机制。

从在中医药研究中的运用情况来看,目前,金属组学在中药药效研究方面中的应用,还处于起步阶段,而其它方面如中医证候、中药药性、中药炮制等也可以采用金属组学的研究方法。

8 展望

综上所述,不难发现,当前以金属元素为入手点的中医药研究还处在含量测定和种类分析的阶段,虽有部分研究者较为深入地探究中药中金属元素的形态,但其研究多为某单一元素。中医证候物质内涵不仅仅包含几种理化指标,而是多层面各指标间的网络联系^[54];与此同时,中药发挥作用也是机体内众多的生化反应的结果。这些问题的阐述均不是一种或几种金属元素所能解释清楚。中医药的现代化研究要求我们能清楚地解释中医药理论,全面系统地继承和发扬我国传统文化的瑰宝^[55,56]。相较于传统的研究方法,基于高通量检测技术的金属组学在扩大样本金属元素的检测范围的同时,通过联用技术、分子生物学实验等,可更加深入地探讨金属元素在中医证候以及中药药理物质内涵等方面研究中的生物学意义。相信随着其他组学技术在中医药研究中的发展,金属组学有望为中医药的现代化做出更大的贡献。

参考文献

- 秦俊法,陈馨华.中国的中药微量元素研究I.微量元素:一切中药的基本成分.广东微量元素科学,2010,17(11):1-18.
- 席斌,田道法.中医“证”与微量元素相关性研究概况.中国中西医结合耳鼻咽喉科杂志,2006,14(1):59-62.
- 马亚兵,王海刚.中药中微量元素与中药药理学研究.第三届泰山微量元素高级论坛论文集.2009:167-170.
- 张英泽,阎小萍,赵铁.风湿病湿热证的实质研究辨析.中医研究,2011,24(11):1-3.
- 于鹤轩,杨强.脾胃湿热证的研究进展.中国中医药信息杂志,2005,12(10):108-109.
- 刘德传,吴仕九,杨运高,等.微量元素、抗氧化剂与湿热证的相关性的研究.广东微量元素科学,2001,8(2):30-32.
- 刘立,杨运高,吴仕九,等.湿热证微量元素变化的实验研究.新中医,2003,35(2):77-78.

- 8 刘立,杨运高,吴仕九,等.湿热证动物模型微量元素、维生素E变化及清香散的调节作用.广东微量元素科学,2002,9(7):33-36.
- 9 魏跃钢,闵仲生,莫祥银,等.雄激素源性脱发湿热证40例毛发镜的初步观察.南京中医药大学学报,2007,23(6):393-394.
- 10 Dai J, Sun J, Peng J, *et al.* Exploration of macro-micro biomarkers for Dampness-Heat syndrome differentiation in different diseases. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2013, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/706762>.
- 11 Dai J, Sun J, Cao J, *et al.* Similar connotation in chronic hepatitis B and nonalcoholic fatty liver patients with Dampness-Heat syndrome. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2013, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/793820>.
- 12 赵慧,荣向路,陈芝喜,等.脾虚、肾虚证及脾肾相关的客观化研究.中国临床康复,2006,10(47):130-135.
- 13 黄河,林亚平,易受乡,等.脾虚证相关检测指标的研究进展与思考.医学信息,2010,23(4):1504-1507.
- 14 杨冬花,李家邦,郑爱华,等.脾气虚证模型大鼠Th1/Th2细胞因子的失衡以及四君子汤的干预作用.中国医师杂志,2004,6(2):181-183.
- 15 孙远岭,周伟,奚政君,等.运脾治疗对脾虚大鼠免疫生化物质作用的研究.中国中医药信息杂志,2003,10(12):19-20.
- 16 赵光,张玉珍,刘永利,等.实验性脾虚证大鼠血清中微量元素含量的研究.实验动物科学与管理,1996,13(1):1-4.
- 17 董明国.消化性溃疡脾虚证胃液微量元素、前列腺素E₂及IgG的变化.浙江中医杂志,1994,29(12):557-558.
- 18 王明香,范桂华,潘德军,等.复感儿肺脾气虚证与血清微量元素T细胞亚群相关分析.中医药学刊,2004,22(6):1037-1038.
- 19 杨泽民,陈蔚文,王颖芳,等.慢性浅表性胃炎脾虚与脾胃湿热证患者物质能量代谢基因差异表达研究.中国中西医结合杂志,2012,32(9):1180-1187.
- 20 王庆晓,王建军,徐根兴.富硒转白细胞介素2基因双歧杆菌对小鼠移植瘤H22的治疗作用.中国微生态学杂志,2011,23(9):788-791,796.
- 21 周正任,杨晓临,梁再赋,等.有机锗对动物免疫低功状态的调整作用研究.中国医科大学学报,1993,22(2):81-84.
- 22 荔霞,刘永明,齐志明,等.锌对小鼠血清中细胞因子水平的调控作用研究.家畜生态学报,2007,28(6):13-15.
- 23 蔡冬坡,吴易元.锂增强小鼠LAK细胞活性及其体内抗瘤作用的研究.中华微生物学和免疫学杂志,1994,14(1):37-39.
- 24 马廷刚.中药归经理论本质及现代研究与应用.吉林中医药,2009,29(1):65-69.
- 25 秦俊法.中国的中药微量元素研究Ⅲ.微量元素:中药性数量化的物质基础.广东微量元素科学,2011,18(1):1-10.
- 26 秦旭华,唐怡,胡荣,等.中药四气理论现代研究概况及思考.当代医学,2010,16(3):18-19.
- 27 李心河,刘少平,高海青,等.313种中药35种无机元素含量的研究.山东医科大学学报,1994,32(2):174-179.
- 28 陈和利,冯江,孙龙川,等.100种中药的四性与15种无机元素含量关系的研究.微量元素与健康研究,1996,13(4):35-36.
- 29 盛良.中药四气五味和化学成分的关系.现代中西医结合杂志,2004,13(21):2804-2806.
- 30 盛良.论中药矿物药四性与无机化学的结合—二论中药四性与现代化学的统一.中国中医基础医学杂志,2004,10(3):24-26.
- 31 盛良.论化学元素具有寒热温凉四性——论中药四性与现代化学的统一.中国中医基础医学杂志,2003,9(1):14-15,29.
- 32 中华医学会消化病学分会,房静远,刘文忠,等.中国慢性胃炎共识意见(2012年,上海).中华消化内镜杂志,2013,30(1):1-6.
- 33 金日光,牟雪雁.关于生物高分子元素活性中心分布规律的第四统计力学理论标度的研究(Ⅲ)—论各种化学元素成为生物高分子活性中心元素的先决条件.北京化工大学学报(自然科学版),2003,30(4):41-44.
- 34 钟越,董顺福,雷钧涛,等.柴胡中微量元素和总黄酮测定与清除自由基构效关系分析.安徽农业科学,2008,36(19):8137-8138.
- 35 刘小燕,张敏涛,段海楠,等.防感浓缩液治疗小儿反复呼吸道感染及对微量元素影响.陕西中医,2012,33(7):789-791.
- 36 魏道智,郭澄,刘皋,等.中药蜈蚣中微量元素与临床药效的相关性分析.广东微量元素科学,2002,9(10):64-67.
- 37 张明昶,任永全,李健.微量元素与左归饮组方的研究.微量元素与健康研究,2006,23(6):27-29.
- 38 张明昶,任永全,李健.微量元素与四逆汤方解分析.微量元素与健康研究,2003,20(4):24-26.
- 39 张明昶,麻秀萍,徐文芬.微量元素与六味地黄丸组方关系研究.中国实验方剂学杂志,2011,17(8):100-103.
- 40 张明昶,麻秀萍,徐文芬.微量元素与补中益气汤配伍相关性分析.中国医院药学杂志,2011,31(21):1786-1789.
- 41 王一硕,赵丽娜,张振凌.中药斑蝥炮制前后微量元素含量的比较研究.中药材,2013,36(5):718-720.
- 42 张燕,李飞,王文全,等.中药炮制前后微量元素的变化及其对功效的影响.微量元素与健康研究,2006,23(6):54-57.
- 43 秦俊法.中国的中药微量元素研究V.微量元素:中药质量控制不可或缺的特征参数.广东微量元素科学,2011,18(3):1-20.
- 44 张凌艳.葛根与4种常用中药材中重金属元素含量的比较研究.中医药信息,2011,28(3):54-55.
- 45 胡军高,梁旭霞,梁晓艳,等.ICP-MS检测十一味参芪胶囊中常见金属元素.中药新药与临床药理,2012,23(3):342-346.
- 46 王静,阳小成,彭书明,等.9种川产道地中药材微量金属元素含量分析.成都大学学报(自然科学版),2014,33(1):14-16.
- 47 Haraguchi H. Metallomics as integrated biometal science. *J Anal Atomic Spectrom*, 2004, 19(1):5-14.
- 48 Mounicou S, Szpunar J, Lobinski R. Metallomics: the concept and methodology. *Chem Soc Rev*, 2009, 38(4):1119-1138.
- 49 Yasuda H, Yasuda Y, Tsutsui T. Estimation of autistic children by metallomics analysis. *Sci Rep*, 2013, 3:1199. doi: 10.1038/srep01199.
- 50 李昕.基于色谱质谱联用技术的出生缺陷代谢组学和金属组学的研究.上海:上海交通大学.2010.
- 51 Sussulini A, Banzato C E, Arruda M A. Exploratory analysis of the serum ionomic profile for bipolar disorder and lithium treatment. *Int J Mass Spectrom*, 2011, 307(1):182-184.
- 52 夏月明,王帅,孟宪生等.基于金属组学四味肝泰颗粒抑瘤作用机制初步研究.广东微量元素科学,2012,19(4):47-53.

- 53 Liu F, Gan P P, Wu H, *et al.* A combination of metabolomics and metallomics studies of urine and serum from hypercholesterolaemic rats after berberine injection. *Anal Bioanal Chem*, 2012, 403(3):847-56.
- 54 简维雄,袁肇凯.中医证候的组学研究进展.上海中医药大学学

报,2008,22(2):69-72.

- 55 肖培根.21 世纪中药研究的进展方向.中药研究与信息,2005,7(6):6-7.

- 56 鄢丹,肖小河.基于道地药材和生物测定的中药质量控制模式与方法研究—工作参照物.中国中药杂志,2011,36(9):1249-1252.

The Current Research of Metal Elements in Traditional Chinese Medicine

Li Qianhua, Sun Shujun, Wang Yang, Zhang Yongyu

(Center for Traditional Chinese Medicine and Systems Biology, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China)

Abstract: Metal or semi-metal elements have numerous physiological and biochemical properties and have correlations with the process of occurrence and development of Zheng and Chinese herbal medicine pharmacodynamics mechanism. This article will expound the current situation of traditional Chinese medicine (TCM) research based on metal elements from the researches of Zheng, medicine theory, pharmacodynamic mechanism, prescription principles, medicine concocted theory and medicine quality control in TCM. In addition to putting forward the shortages of current researches, we also introduce metallomics, the member of Omics in systems biology to offer a new idea for modernization of TCM based on metal elements.

Keywords: Traditional Chinese medicine, metal or semi-metal element, trace elements, metallomics

(责任编辑:王俊丽 张志华,责任译审:王 晶)