

道地药材成因及其土壤元素基准探讨

孙义新, 魏源 (中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012)

摘要 简述道地药材与道地性的概念, 从遗传、人文和环境因素等方面综述道地药材的成因, 尤其突出土壤环境在药材道地性形成过程中所起的作用, 探讨将土壤元素基准的思路应用于道地药材的可能性, 展望将道地药材与土壤元素基准结合的研究前景, 认为道地药材土壤元素基准研究对于道地药材的培植与发展具有重要意义。

关键词 道地药材; 成因; 土壤环境; 元素基准

中图分类号 R 282 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)31-0008-04

Discussion on the Origin of Genuine Medicinal Materials and Soil Element Datum

SUN Yi-xin, WEI Yuan (State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012)

Abstract The concepts of Chinese medicinal materials and geoheralism are briefly described. The origin of genuine medicinal materials were reviewed from the aspects of heredity, humanity and environmental factors, especially the effect of soil environment on the genuineness of medicinal materials was emphasized. The possibility of applying soil element criteria to genuine medicinal materials was preliminarily discussed. The research prospect of combining authentic medicinal materials with soil element datum was forecasted. It was considered that the study of soil element datum of genuine medicinal materials was of great significance for the cultivation and development of genuine medicinal materials.

Key words Chinese medicinal materials; Origin; Soil environment; Elemental datum

自2016年国务院发表《中国的中医药》白皮书以来, 中医药发展上升为国家战略, 尤其是党的十九大报告中提出的“坚持中西医并重, 传承发展中医药事业”, 标志着我国中医药事业进入了新的历史发展时期^[1]。近年来, 随着我国中医药科技的不断发展, 广大医药工作者对药材道地性的研究不断深入, 也取得很大进展, 道地药材作为高效优质药材越来越受人们的青睐。

当前, 土壤元素对道地药材的生长及药材中有效成分的合成具有重要作用已在学界达成一定共识^[2-4]。目前关于道地药材与土壤元素的研究主要集中在3个方面: 药材道地产区的元素特征、药材中的元素含量特征和土壤元素与药材有效成分的相关性, 而道地药材产区土壤元素基准领域存在一定的研究空白。因此, 该研究首次提出将土壤元素基准应用于道地药材产区土壤, 具有一定的研究意义。明确道地药材产区土壤元素基准对于推动中医药尤其是道地药材振兴发展具有重要意义, 也是实现新世纪中医药现代化的重要一环。

1 道地性与道地药材的定义

1.1 道地性定义 道地性作为中医药领域独特的质量评价标准, 其理念深深地根植于中医理论体系中^[5]。道地药材是指在特定的生态环境及生长区域内所产的为世人公认的高效优质药材, 具有生产集中、栽培采收炮制技术考究的特点^[6]。道地药材名称前多冠以地名, 以突出其道地产区, “四大怀药”“浙八味”等都是驰名中外的道地药材。生长于不同产区的同种药材, 即使药材的物理性状相似, 其药效成分及药理作用会相差很大, 唐代孙思邈所著《千金翼方》中“用药

必依土地”为后人使用道地药材奠定了基础, 唐代《新修本草》中所述“离其本土, 则质同而效异”也阐明人们对药材产地的重视由来已久。道地性是药材本身在时间和空间的相互作用下, 结合药材本身的遗传基础、形态及次生代谢产物等诸多方面所表现出来的一种综合性特征。道地药材是人们长久以来公认的正品优质药材, 道地性即成为评价药材优劣的重要指标。

道地性是古人在长期的医药实践中形成的对中药质量评价的综合标准, 是中药领域对中药质量评价的解决之法^[7-9]。药材道地性的研究是系统工程, 包括对药材的品种考证、药效药理、理化性状、有效成分等各方面的研究。在长期的中医药实践中, 历代医药名家及诸多学者都对药材的道地性研究表现出浓厚的兴趣, 在道地药材的形成、质量评价与鉴定及规范化生产等^[10-13]方面做了深入的研究, 为我国道地药材的发展做出重要贡献。中医药学的发展过程尤其是道地药材的发展过程是我国中药学继承与发展的历史写照, 更是我国道地药材发展与流传的历史见证^[14]。

1.2 道地药材与非道地药材 “道地”作为经过历史检验的综的中药质量评价称谓, 使得道地药材成为优质药材的代名词, “道地”则是药材质量的象征。对于道地药材与非道地药材的疗效差异, 中医药工作者在漫长的中医药临床实践中进行大量的比较研究, 为道地药材的形成及质量评价做出大量有意义的探索。

研究表明^[15-16]道地药材与非道地药材在有效成分、元素含量等方面存在显著差异, 这也正是道地药材具有优质疗效的关键所在, 也是道地药材较非道地药材的显著特征。吴再旺等^[17]研究表明道地黄芪在解热、抗炎作用上强于非道地黄芪; 张重义等^[18-19]研究发现道地金银花总黄酮等含量高于非道地金银花、河南怀山药中多糖的含量多于非道地产区。因此, 中医药界通常把道地药材较非道地药材的显著特征作为其鉴定标准及质量评价标准, 刘春梅等^[20]在丹参传统分

基金项目 科技部技术开发研究专项(2014EG166135); 湖南省重点研发计划(2016NK2008)。

作者简介 孙义新(1993—), 男, 山东烟台人, 硕士, 从事城市农业及土壤基准研究。

收稿日期 2018-06-27; **修回日期** 2018-07-17

级标准的基础上提出以浸出物含量以及丹参酮IIA、丹酚酸 B 的含量作为道地产区和非道地产区丹参饮片的分级标准。

中药资源是我国重要的战略性资源^[21],道地药材更是我国中药资源的精华所在,保护好、发展好道地药材已成为我国向中医药现代化迈进、促进我国中医药事业蓬勃发展的重要基础。

2 道地药材成因

道地药材的成因研究经历了很长的发展阶段,简单来说,影响道地药材形成的因素主要包括药材本身的种质、生态环境、气候以及人类活动等,也有学者总结认为遗传变异、人文作用和环境影响是形成道地药材的“三大动力”^[14]。另外,有研究表明影响道地药材形成的诸多因素中,有起主导作用的因素,有起次要作用的因素,且在药用植物不同的生长阶段,主次因素可能会发生相应的转变^[22]。

2.1 遗传因素 道地药材是其本身拥有的基因型受到特定的外在环境因子诱导后表达的产物。从药材本身以及遗传学的角度来看,道地药材的形成是由其基因决定的,特定的基因型产生特定的酶,进而调控产生次生代谢产物等有效物质,因此药材的特定基因是形成道地药材的关键因素^[23],道地药材自身遗传下来的特有的物种品质,正是道地药材品质优于普通药材的根本原因。王秀全等^[24]利用 RAPD 技术对北柴胡进行分析研究,从 DNA 分子水平上为北柴胡的道地性研究提供科学依据。

从宏观上来说,药材的道地产区并不是一成不变的,同样地,从微观分子学的角度看,道地药材具有丰富的遗传多样性^[25-26],而对其遗传多样性的评价工作正是道地药材资源研究中的重要方面之一^[27]。黄璐琦等^[28]对当归、人参等多种药材的遗传多样性进行分析,揭示出道地药材的多样性遗传结构,并提出了道地药材形成的模式理论,其中对黄芪的研究表明,道地产区和非道地产区的黄芪在遗传上分化显著,并验证了“道地性越明显,基因特化越明显”的理论。

2.2 人文因素 道地药材的形成与发展离不开中医的实践验证与理论总结,这是其形成的理论基础。道地药材是劳动人民在生产生活中与疾病作斗争的过程中对当地某药材药效的总结,因此,人为因素对道地药材形成的影响不容忽视。周洁等^[29]指出道地药材蕴含了 5 种概念,其中技术性概念强调的就是人为因素对道地药材形成的重要影响。每一种道地药材的栽培、采收及炮制工艺都独具特色,其中任何一个环节都对道地药材药效药性的形成至关重要,优良考究的培植技术是道地药材形成的重要因素之一,孙思邈的《千金翼方》中所述“不依时采取,与朽木不殊”强调的是合适的采收时间对药材药性的重要性。另外,几乎每种道地药材都有一整套独特的加工炮制方法,在药材的实际生产中只有按照药材独有的加工方法进行加工才能保证药材质量,否则势必会对药材的临床效果产生影响。

文化是一个民族的灵魂,道地药材的发展史实际上反映的就是道地产区人民的文化、生产发展的历史,蕴含着浓厚的文化内涵^[30]。道地药材是自然和人文环境完美结合的产

物,体现了我国古代“天人合一”“天人相应”的传统文化理念^[31]。

2.3 环境因素 道地药材是该种质药材在长期优胜劣汰的自然选择中,在孕育该种质药材的生态环境和人类活动的共同影响下形成的特殊产物。单从自然环境来看,环境的压力与适应是道地药材形成的生态学机制。自然环境是道地药材形成的基础,也是道地药材生长发育及其药效成分形成和积累的直接影响因素,特定的自然环境使道地药材拥有特殊的秉性,《本草经集注》记载“诸药所生,皆有其界”阐明的即是特定的产区环境对药材药性的重要性。黄林芳等^[32]首次提出的道地药材基本理论,即环境生态论、品种延续与产地变异论、持续利用理论及生态型理论均强调外在环境对道地药材生长的重要作用。我国幅员辽阔,国土跨度较大,自然条件复杂,不同地区的生态环境等外在因素差异较大,自然造就道地药材的独特性和优质性。药材中产生药效的部分主要是药材本身产生的次生代谢产物,而这种产物产生的量和性质不仅取决于药材本身的种质特性,还与外界环境有关。近年来,许多研究者开始研究次生代谢产物是如何在环境胁迫下产生和释放的,但具体的诱导机制及代谢产物在药材中的积累机制尚未解决。

道地药材的道地产区是经过人们无数次实践之后形成的,具有一定的主观色彩,因此,道地产区并不是一成不变的。随着时间的推移及气候的改变,当人们发现某些非道地产区的药材比原来道地产区的药材具有更为优质的药效时,就会产生新的道地产区,此时新产区的环境与气候对于新产区的认定就起着决定性作用,如在魏晋时期人们认为咸阳出产的地黄质量最佳,而到了明朝怀庆府成为地黄的道地产区,地黄道地产区的这一变迁就与环境的改变是分不开的^[4]。

道地产区独特的生态地理环境造就了道地药材优质高效的临床效果,产区的生态地理因子对药材道地性的形成至关重要,《本草衍义》记载:“凡用药必择土地所宜者,则药力具,用之有据”,强调的正是产区水土与药材的生长、疗效的优劣有着紧密的联系,其中土壤作为植物赖以生存的物质基础,更是道地药材药效形成的直接影响因子。研究表明,道地药材正是在不断地适应环境的过程中生长的^[6]。我国幅员辽阔,不同地区土壤的成土因素不同,导致不同的土壤在理化性质上存在诸多差异,这些差异使得土壤中水、气、养分等也不相同,直接影响药材从土壤中对水和营养元素的吸收,从而造成药材中有效成分含量的变化,进而对药材的质量产生影响,如薄荷在砂质土壤中生长时,其药材中的挥发油含量较高^[2]。

目前,道地性是药材在特定环境中形成的综合性特征已成为中医药界的学术共识,医药研究者对道地药材的成因也进行了很多综合性的研究,并取得很大进展,但是对某一因素进行针对性的机制研究还有待深入。土壤是万物生长的物质基础,是一切植物营养的物质来源,选取土壤因素作为切入点深入研究其对道地性形成的调控机制具有很好的代

表性,同时也具有极大的研究潜力。

3 道地药材土壤元素基准

土壤作为药材生长的物质基础,其理化性质与药材道地性的形成密切相关。环境的压力与适应是道地药材形成的生态机制,而土壤环境又是重要的环境因子,所以研究道地药材必须研究其赖以生存的土壤环境^[33]。

3.1 道地药材与土壤元素 土壤中的微量元素对于药材而言,既是营养元素,又可成为药材中有效成分合成反应的催化剂^[34],有学者认为^[2]同一种药材的道地性与非道地性均受土壤中元素的调控,但长久以来,人们对道地药材的认识大多停留在其形、色、气味及有效成分含量上,忽视了土壤中元素在道地性成因上所扮演的重要角色。随着研究人员对道地药材研究的不断深入,土壤元素与药材的相关性研究逐渐引起医药学者的关注。

每种道地药材都有其独有的道地产区,即独特的生态地理环境,由于成土因素及过程的差异,使得每种道地药材适应的土壤也都有其独特的理化性质,而土壤被视为植物的营养库,对药材的生理代谢过程、植物体内代谢物的种类及合成数量起着重要的调控作用^[35],因此在研究道地药材时,有必要对其生长的土壤元素进行研究,为道地药材的研究提供关于土壤环境的参考依据。实际上,现有的大量研究也表明^[36-39],土壤中元素种类及含量与药材中元素的种类及含量有一定的相关性,土壤中的元素在一定程度上也影响药材的质量。王楠斐等^[40]通过对地黄与土壤元素的相关性分析发现,道地产区与非道地产区的药材和土壤在所测元素含量上均存在一定差异;沈晓凤等^[41]对丹参质量与土壤元素有效性进行相关性分析表明,土壤元素有效性影响丹参质量;向姝畅等^[42]研究表明土壤中无机元素对姜黄药材中的无机元素具有协同、拮抗等作用,进而从无机元素的角度为姜黄的品质评价提供参考。

3.2 道地产区土壤元素基准 在环境领域,基准值指的是污染物对人群健康及其所在的生态系统不产生不良甚至有害效应的最大限值,其核心是有害物质的浓度与效应的关系^[43-48]。道地药材土壤元素基准值考虑的核心是药材道地产区的土壤性质,即土壤元素的地球化学基准值,重点结合产区土壤元素的背景值及影响药效药性形成的元素实际含量状况,确定适合道地药材生长的最佳土壤元素含量组合,为道地药材的合理引种及人工培育提供科学指导,从而满足道地药材日益增长的市场及临床需求。

土壤基准值是各土层在自然界的各种外力作用下达到的动态平衡的结果^[49],对比朱立新等^[50]对土壤地球化学基准值的定义,可以将土壤元素基准值定义细化为在研究或监测的特定时间段内,某一区域土壤元素的自然分配浓度。不同土地利用类型的土壤元素基准值可以反映出不同的土壤环境及其元素的地球化学特征。研究道地药材产区的土壤元素基准值,可以了解产区的地质背景及沉积环境等,掌握道地药材生长所需的特定的地球化学环境,既有很重要的理论指导意义,又具有极大的实际应用价值。

通过现有的研究可以发现,很多研究人员已经意识到土壤基准值的重要研究意义,但是大多数研究是通过基准值与背景值的比较,明确研究区域的土壤组分特征,从而为区域性的土壤环境保护提供理论基础^[51-52]。道地药材的道地产区作为一类特殊的地理区域,需要更加针对性地研究与探讨。周启星等^[53]在环境基准方面首次提出分类开展土壤环境基准的设想,并进行一定的尝试,但该设想也是基于环境污染与修复的,将道地药材的道地产区作为单独的研究区域进行研究的情况还未见报道,因此,该研究提出将道地产区土壤与土壤环境基准联系起来尚属首次,且具有一定的研究前景。

4 总结与展望

在国土资源领域,对土壤元素基准值的研究是一项非常重要的基础性工作,其对环境资源评价及国民经济发展规划等都具有重要意义^[54]。同样,以道地药材的道地产区为研究对象,明确道地药材作为一种优质高效药材对土壤元素的含量需求,对于保护道地产区的土壤环境、保证道地药材特有的疗效具有重要意义;另外,面对道地药材日益增长的市场及临床需求,对道地药材的人为引种甚至人工栽培势必会成为今后道地药材的发展趋势。目前,随着《全国道地药材生产基地建设规划》^[55]的发布,全国各药材产区的GAP基地建设也正如火如荼地进行,道地药材土壤元素基准的研究对于药材基地建设及建成后对基地土壤的施肥及修复具有很重要的指导意义。因此,道地药材土壤元素基准研究对道地药材的人工培植具有很好的指导意义。

近年来,我国对土壤环境质量愈加重视,并于2016年发布了《土壤污染防治行动计划》,即“土十条”,也有研究人员提出基于不同保护对象的土壤环境基准的研究对策^[56],根据其研究对策,在道地药材土壤元素基准研究中可以将道地药材作为被保护对象,制订针对道地药材的土壤元素含量基准,以便在实际的药材生产中保证其元素需求,从而确保道地药材的质量及临床疗效。另外,现如今很多药材产区都将行政区域内的药材比如广东化州的化橘红申请为地理标志保护产品,相应的药材产区即可视为地理标志保护区,道地药材土壤元素基准的研究则可以为该类保护区的管理提供土壤环境元素的科学依据,从而更好地管理和发展保护区,为当地的经济服务。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 中国的中医药[J]. 中国实用乡村医生杂志, 2017, 24(11): 1-6.
- [2] 张锋, 王志芬. 浅析环境因子对道地药材形成的影响[J]. 现代中药研究与实践, 2009(5): 24-25.
- [3] 赵杨景, 陈四保, 高光耀, 等. 道地与非道地当归栽培土壤的理化性质[J]. 中国中药杂志, 2002, 27(1): 19-22.
- [4] 何辉余. 道地药材的成因研究[J]. 中国民族民间医药, 2009, 18(4): 5-6.
- [5] BAI M, TIAN S, MIAO M S, et al. Determine the environment and the efficacy of genuine traditional Chinese medicine [C]//International conference on industrial technology and management science. [s. l.]: [s. n.], 2015.
- [6] 杨晖, 陈四清. 道地药材的环境影响及保护和发展[J]. 时珍国医国药, 2015, 26(8): 1971-1972.
- [7] 郭宝林. 道地药材的科学概念及评价方法探讨[J]. 世界科学技术: 中

- 医药现代化,2005,7(2):57-61.
- [8] 黄璐琦,郭兰萍,华国栋,等. 道地药材的属性及研究对策[J]. 中国中医药信息杂志,2007,14(2):44-46.
- [9] 郭兰萍,黄璐琦,HUCK C W. 近红外光谱技术及其在中药道地性研究中的应用[J]. 中国中药杂志,2009,34(14):1751-1757.
- [10] 陈士林,宋经. 中草药 DNA 条形码物种鉴定体系[J]. 药学进展,2017(2):87-88.
- [11] 黄璐琦,郭兰萍,胡娟,等. 道地药材形成的分子机制及其遗传基础[J]. 中国中药杂志,2008,33(20):2303-2308.
- [12] 郭兰萍,张燕,朱寿东,等. 中药材规范化生产(GAP)10年:成果、问题与建议[J]. 中国中药杂志,2014,39(7):1143-1151.
- [13] 肖小河,张定盈,王伽伯,等. 中药品质综合量化评控体系——标准评控力金字塔[J]. 中国中药杂志,2015,40(1):7-12.
- [14] 肖小河,陈士林,黄璐琦,等. 中国道地药材研究20年概论[J]. 中国中药杂志,2009,34(5):519-523.
- [15] 谢艳,毕军花,郭云鹏. 道地黄芩与非道地黄芩的解毒作用比较研究[J]. 中医药导报,2015,21(8):35-38.
- [16] 周晓丽,刘春生,黄璐琦,等. 传统道地产区与非道地产区丹参有效成分含量比较[J]. 北京中医药大学学报,2011,34(3):193-196.
- [17] 吴再旺,王喆明,卢月,等. 道地与非道地黄芩的药效比较研究[J]. 中国中药杂志,2012,37(23):3628-3632.
- [18] 张重义,谢彩侠,黄晓书,等. 怀山药道地产区与非道地产区药材质量比较[J]. 现代中药研究与实践,2003,17(1):19-21.
- [19] 张重义,李萍,李会军,等. 道地与非道地产区金银花质量的比较[J]. 中国中药杂志,2007,32(9):786-788.
- [20] 刘春梅,石琪,李佩,等. 丹参饮片分级与质量评价指标的现状分析[J]. 湖北中医药大学学报,2012,14(2):66-68.
- [21] 马晓晶,郭娟,唐金富,等. 论中药资源可持续发展的现状与未来[J]. 中国中药杂志,2015,40(10):1887-1892.
- [22] 余德顺,杨军,田弋夫,等. 中药道地性相关因素研究进展与生物地球化学[J]. 时珍国医国药,2010,21(2):472-474.
- [23] 李萍,蔡朝晖,邢俊波. 5S-rRNA 基因间区序列变异用于金银花药材道地性研究初探[J]. 中草药,2001,32(9):834-837.
- [24] 王秀全,李玉新,李会成,等. 北柴胡同源道地性的 RAPD 分析[J]. 中药材,2003,26(12):855-856.
- [25] 马腾蛟,陈杰,丁显平,等. 重庆南川区道地药材玄参遗传多样性 ISSR 分析[J]. 四川大学学报(自然科学版),2016,53(5):1119-1124.
- [26] 王笠,赵志礼,倪梁红,等. 基于 ISSR 标记的麻花羌遗传多样性分析[J]. 中草药,2017,48(15):3168-3174.
- [27] 倪梁红,赵志礼,孟千万,等. 西藏麻花羌种质资源的遗传多样性分析[J]. 中草药,2013,44(22):3212-3215.
- [28] 黄璐琦,郭兰萍. 道地药材形成机理研究及应用[C]//第三届中国天然药物研究与发展论坛论文集. 北京:中国药学会,2013.
- [29] 周洁,张永清. “道地药材”管窥[J]. 山东中医药大学学报,2006,30(3):251-254.
- [30] 何婷,甄颖,华国栋. 浅议道地药材的特性内涵[C]//北京中医药大学2013年学术年会论文集汇编. 北京:北京中医药大学,2013.
- [31] 彭成. 道地药材形成的要素与面临的危机[J]. 中药与临床,2011(1):7-10.
- [32] 黄林芳,王雅平. 道地药材研究理论探讨[J]. 中国现代中药,2015,17(8):770-775.
- [33] 赵杨景,陈四保,高光耀,等. 道地与非道地当归栽培土壤的理化性质[J]. 中国中药杂志,2002,27(1):19-22.
- [34] 何辉余. 道地药材的成因研究[J]. 中国民族民间医药,2009,18(4):5-6.
- [35] 钮树芳,石松利,周红兵,等. ICP-AES 法测定蒙古扁桃药材根际土壤元素含量[J]. 广州化工,2016,44(21):108-110.
- [36] 潘媛,宋旭红,王钰,等. 不同产地栀子药材、土壤无机元素含量特征与有效成分的相关性研究[J]. 天然产物研究与开发,2018(3):451-460.
- [37] 余彦鸽,张晓丹,侯卓妮,等. 不同产地野生丹参药材及其土壤无机元素的相关性研究[J]. 浙江理工大学学报,2017,37(2):289-296.
- [38] 邹立思,马阳,王胜男,等. 不同产地太子参药材及其根际土壤无机元素的关联分析[J]. 中国现代中药,2016,18(6):766-771.
- [39] 刘岩,李连泰,计小清,等. 土壤中无机元素对不同产地黄芩中无机元素和黄芩苷量的影响[J]. 中草药,2017,48(6):1225-1228.
- [40] 王楠斐,陈随清. 地黄药材与土壤中多元素的相关性分析[J]. 中医学报,2015,30(6):849-853.
- [41] 沈晓凤,张琦,严铸云,等. 根际土壤元素有效性对丹参质量的相关性分析[J]. 中国中药杂志,2016,41(7):1212-1217.
- [42] 向妹畅,薛柳,曾建宏,等. 土壤元素有效性对姜黄质量的相关性研究[J]. 乐山师范学院学报,2017,32(4):33-37.
- [43] 赵晓丽,赵天慧,李会仙,等. 中国环境基准研究重点方向探讨[J]. 生态毒理学报,2015,10(1):18-30.
- [44] FENG C L, WU F C, MU Y S, et al. Interspecies correlation estimation-applications in water quality criteria and ecological risk assessment[J]. Environmental science & technology, 2013,47(20):11382-11383.
- [45] JIN X W, ZHA J M, XU Y P, et al. Derivation of aquatic predicted no-effect concentration (PNEC) for 2,4-dichlorophenol; Comparing native species data with non-native species data[J]. Chemosphere, 2011, 84(10):1506-1511.
- [46] STEEVENS J A, REISS M R, PAWLISZ A V. A methodology for deriving tissue residue benchmarks for aquatic biota: A case study for fish exposed to 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin and equivalents[J]. Integrated environmental assessment & management, 2005,1(2):142-151.
- [47] SU H L, WU F C, ZHANG R Q, et al. Toxicity reference values for protecting aquatic birds in China from the effects of polychlorinated biphenyls[J]. Reviews of environmental contamination & toxicology, 2014,230:59-82.
- [48] WU F C, FANG Y X, LI Y S, et al. Predicted no-effect concentration and risk assessment for 17-[beta]-estradiol in waters of China[J]. Rev Environ Contam Toxicol, 2014,228:31-56.
- [49] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [50] 朱立新,马生明,王之峰. 土壤生态地球化学基准值及其研究方法探讨[J]. 地质与勘探,2003,39(6):58-60.
- [51] 朱立新,马生明,王之峰. 中国东部平原土壤生态地球化学基准值[J]. 中国地质,2006,33(6):1400-1405.
- [52] 李丽辉,汤沛,杨天仪,等. 云南省滇池一抚仙湖地区土壤地球化学背景及元素分布特征[J]. 云南大学学报(自然科学版),2017(S2):357-370.
- [53] 周启星,安婧,何康信. 我国土壤环境基准研究与展望[J]. 农业环境科学学报,2011,30(1):1-6.
- [54] 唐文春,金立新,周雪梅. 成都市土壤中元素地球化学基准值研究及其意义[J]. 物探与化探,2005,29(1):71-83.
- [55] 黄蓓. 我国将大力发展特色道地药材[J]. 中医药管理杂志,2017(21):98.
- [56] 宋静,骆永明,夏家淇. 我国农用地土壤环境基准与标准制定研究[J]. 环境保护科学,2016,42(4):29-35.

本刊提示 参考文献只列主要的、公开发表的文献,序号按文中出现先后编排。著录格式(含标点)如下:(1)期刊——作者(不超过3人者全部写出,超过者只写前3位,后加“等”)。文章题名[J]。期刊名,年份,卷(期):起止页码。(2)图书——编著者.书名[M]。版次(第一版不写)。出版地:出版者,出版年:起止页码。(3)论文集——析出文献作者.题名[C]//。主编.论文集名.出版地:出版者,出版年:起止页码。

文稿题名下写清作者及其工作单位名称、邮政编码;第一页地脚注明第一作者简介,格式如下:“作者简介:姓名(出生年—),性别,籍贯,学历,职称或职务,研究方向”。