

中药种质资源生物化学的学科探讨*

陈蔚文**, 徐 晖, 詹若挺, 杨锦芬, 何 瑞, 刘嘉炜, 严 萍, 马新业

(广州中医药大学中药资源科学与工程研究中心/岭南中药资源教育部重点实验室 广州 510006)

摘 要 中药种质资源生物化学是现代科学技术迅速发展并不断向中药资源学渗透而产生的一门二级交叉学科,指利用生物化学及分子生物学、化学等技术手段,系统研究中药基原物种种质(简称:中药种质)的遗传变异、基因转录、蛋白表达与物质代谢,阐明中药种质特征及其形成的分子调控机制,旨在为中药种质鉴别、优化,中药及药效活性成分的生产提供生物化学理论知识基础。本文就中药种质资源生物化学学科产生的时代背景、概念、意义、定位、研究内容等进行了论述,冀求广大同仁的共鸣与探讨。

关键词 中药种质资源 生物化学 交叉学科

doi: 10.11842/wst.2014.04.004 中图分类号: R282 文献标识码: A

中药资源是中医药事业和中药现代化产业发展的战略物质基础。围绕着中药资源的核心问题——中药资源的可持续开发利用,广大学者开展了多方面的研究。1993年5月,由周荣汉教授主编出版的《中药资源学》为指导中药资源的实践奠定了基本的理论基础^[1]。随着中药资源学研究的深入,多学科的高新技术新思想不断地渗透融合,推动了中药资源学技术与理论上的更新与突破,进一步促进学科的发展和建设。本文结合本团队及国内相关的工作实践,探讨中药种质资源与现代生物化学的学科关系,提出“中药种质资源生物化学”的学科概念,冀求同仁的共鸣。

1 中药资源学科的形成与发展

中药资源学是中医药学的重要组成部分。其形成的原始状态最早可追溯到人类生命活动的起始,当时是一种基于生存需求的“资源发掘利用阶段”,先秦时期《诗经》中记载:“神农尝百草,日遇七十二

毒…”,即是古人进行中药资源发掘利用的形象描述。在资源发掘利用阶段,大自然资源丰富,自生能力强盛,能够满足人类需求,不存在资源存量与资源消耗的矛盾。随着历史的进程,地球人口和生产力不断增长提高,尤其是进入现代社会,生产力发展迅猛,对自然资源需求急剧增长,加上生态环境日益恶化,中药自然资源的存量与资源消耗的矛盾加剧,由此,中药资源进入了一个“资源保护与合理综合利用阶段”,同时也进入了一个得到现代科学技术支撑的新阶段。1987年,国家批准部分中医药高等院校试办中药(天然药物)资源专业中,中药资源学是该专业的主干课。1993年,我国首部《中药资源学》专著^[1]的正式出版,标志着中药资源学的诞生,专著中明确了中药资源学的概念、性质、任务和研究范围^[1]。近年来陆续有中药资源学的文献和专著产生,进一步探讨了中药资源学的定位、发展方向等,中药资源学的学术体系已经基本形成^[2-5]。中药资源学是研究中药资源的种类、数量、质量、地理分布、时空变化及其合理开发、利用、保护和管理的一门综合性学科,其研究对象包括药用植物、动

收稿日期:2013-12-30

修回日期:2014-04-02

* 国家财政部中央财政支持地方高校发展专项(粤财教[2010]358号) 南药可持续利用研究与综合开发利用技术平台,负责人 陈蔚文 广东省教育厅广东省高等院校学科与专业建设专项(粤财教[2013]412号,2013CXZDA011) 春砂仁等“十大广药”条形码标准化研究,负责人 陈蔚文 国家财政部中央财政支持地方高校发展专项(财教[2011]183号) 中药学,负责人 陈蔚文。

** 通讯作者 陈蔚文,本刊编委,教授,研究员,主要研究方向:中药资源保护与合理开发利用。

物、微生物、矿物资源等,其中又以药用植物资源为主体^[1~5]。

当前,中药资源学的研究内容非常广泛,研究手段不断进步。针对中药资源日益短缺,分布范围缩小,生态环境恶化,道地药材优良种质不断消失和解体,部分品种衰退甚至濒临灭绝等关键问题,学者们开展了中药资源分布调查、中药材道地性形成机制分析、扩大药源途径和中药材规范化种植标准、中药资源管理等工作。仅就药材道地性形成机制而言,就有不同的学者从化学组成、生物地球化学、环境胁迫、植物内生菌、微量元素等多个侧面展开研究,使用了包括近红外光谱技术、热分析技术等多种现代的技术手段^[6~12]。而 3S 技术等空间信息分析手段,即全球定位系统(Global Positioning System, GPS)、遥感(Remote Sensing, RS)和地理信息系统(Geographic Information System, GIS),也被成功用于中药资源调查和蕴藏量估测等^[13]。因此,中药资源学科的研究是现代科学技术的交叉综合利用,显示出多方位、多学科的特点。通过与其它学科的交叉、融合,不仅提升了中药资源学的研究水平,而且丰富了中药资源学的科学内涵,促进了中药资源学理论的发展。目前已衍生出了中药资源生态学、中药资源管理学、中药资源经济学、中药资源地理学、中药资源化学等多个“中药资源学”下的二级学科^[3,4]。

2 中药资源学与种质资源学的学科交叉研究发展

中药资源学具有中医药学知识的本质特征,同时作为研究一类天然物质资源的学科,又具备有自然科学属性。从自然科学领域来说,植物和动物类中药资源归属于生物资源学范畴,因此,国内有学者认为,生物因素是中药资源多学科交叉与融合的生长点,是解决目前中药资源面临重大挑战的根本性措施的源泉^[5]。

随着现代生命科学的发展,特别是基因组学的重大研究进展,生物资源的种质研究越来越受到关注。种质资源,又称为遗传资源或基因资源。种质资源学是研究生物分类、起源与演化、种质考察与搜集、种质保存、种质评价与鉴定以及种质利用的一门科学^[14]。世界各国都很重视种质资源的保护和研究,纷纷建立了各种种质资源库和核心种质资源库。种质的评价和鉴定是有效利用种质资源的基

础。种质鉴定技术从最初的表型变异、化学差异到后来的染色体多态性、蛋白质多态性,最后发展到现在的 DNA 多态性分析,可实现对种质的系统评价^[14,15]。创新利用是种质资源研究的最终目的,除了自然选育和杂交选育外,基因工程手段也被成功用于种质的创新^[14,16]。随着生物化学与分子生物学技术的发展,其在种质资源学研究的各环节中扮演着越来越重要的角色。

在国内外重要农作物、经济作物种质资源研究发展的推动下,国内多个研究团队提出并积极开展中药种质资源的保护和研究工作。有学者指出,种质是药材品质形成的基础和关键,也是“道地药材”的本质体现^[4]。本单位于 2004 年开始建设华南药用植物种质资源库,对 1 000 多种南药种质实施迁地或就地保护,同时借助生物化学及其相关分子生物学、化学的手段来研究中药种质的遗传、生长发育和物质代谢规律,揭示阳春砂、化橘红、巴戟天等南药品种特征和道地药材的本质^[17~19]。成都中医药大学依靠四川丰富的中药自然资源,牵头搭建“国家中药种质资源库(四川)”研发平台,比较了川芎、白芷等道地药材种质资源的遗传多样性、化学差异等^[20~22]。中国中医研究院中药研究所历时 20 多年,经过几代人的努力,针对苍术、芍药等等 10 多种大宗常用的典型道地药材,系统比较了道地和非道地药材的物质代谢和遗传背景,明确了这些道地药材的遗传机制,进一步结合环境因子,提出道地药材形成的模式理论^[23]。

3 中药种质资源与生物化学的学科交叉研究发展

生物化学是在分子水平上探讨生命现象本质的科学,主要研究生物体分子结构与功能、物质代谢与调节以及遗传信息传递的分子基础与调控规律^[24]。随着科学的发展,生物化学的内涵也日益丰富,与遗传学、分子生物学、化学越来越多地相互融合,而生物化学和分子生物学更是基本上相互结合在一起了。

生物化学的技术手段已被广泛用于植物种质资源的研究,例如草坪草、茶等。傅金民等^[25,26]综合利用植物生物化学、生理学、分子生物学和蛋白质组学的方法研究了逆境条件下的不同种质草坪草的生理反应和机制。Chen J 等^[27]从形态学、生物化学等角度揭示了云南大叶茶及其近缘品种的遗传

多样性和分化机制。王小萍等^[28]对收集的 52 份茶树种质的主要生化组分(包括水浸出物、氨基酸、茶多酚等)进行了检测,结果显示所收集的茶树种质资源生化组分存在丰富的多样性。

随着生物化学与种质资源学的交叉,已衍生出了若干新的学科概念。例如,有学者提出“茶种质资源生物化学”的概念*,指研究茶树品种特性与化学成分的关系,茶树生化特性的遗传变异规律,茶树品种适制性的生化指标,茶树品种品质鉴定的生化手段,茶树品种抗逆性的生化基础,品种进化阶段的生化特性及茶树起源、进化与分类研究的生化方法等。

以上学科领域的研究进展,带动了中药种质资源与生物化学交叉研究工作的发展,研究主要表现在以下几方面:

3.1 中药种质特性与生化组分的关系

蛋白质、氨基酸、多糖等生物大分子和各种次生代谢产生的化学小分子是中药种质特性的主要体现,与中药材道地性直接相关。在揭示中药种质特性与生化组分关系方面,相关学者开展了大量的工作。如本研究团队比较了阳春砂道地产区广东省阳春地区的 3 个栽培亚型,“长果”、“圆果”和“春选”,三者挥发油化学组成上的差别,结果显示“长果”和“圆果”较为接近,“春选”差别较大^[29]。马洁等^[30]通过 GC-MS 法测定西双版纳不同采集地、不同株型、不同果实性状的不同种质阳春砂仁挥发油的主要化学成分,发现以矮杆型品质较好。毕红艳等^[31]比较了来源于吉林等 6 省市的不同种质党参,发现其多糖含量差异显著。刘江等^[32]分析了四川盆地不同麦冬种质资源的氨基酸组成,结果显示不同麦冬资源间氨基酸种类不尽相同。李明^[33]利用蛋白质电泳技术比较了当归及其混伪品欧当归、独活的鲜叶、干药材的过氧化物同工酶,结果表明三者间存在差异。

3.2 中药种质的分子鉴定

中药种质的分子鉴定是现代生物技术在中药种质资源研究应用中的一个重要方面。除了传统的外观性状、显微性状、理化性状鉴别外,基于种质自身遗传性状的分子标记方法和 DNA 条形码技术为中药种质的鉴定提供新的技术手段,使中药种质鉴定更趋于系统、可靠。本团队针对两面针品种混杂

问题严重,建立了基于 ITS2、*psbA-trnH* 和 *rbcL* 序列的两面针、常见混伪品及同属近缘种(共 10 个种)的物种鉴定方法(未发表数据)。此外,还利用 26S rDNA D1-D3 区序列多重比对分析,将阳春砂栽培亚型“春选”与其它两个栽培亚型“长果”、“春选”区分开来,该结果与基于生化组分的分析结果相一致^[34]。文苗苗等^[35]采用 ISSR 分子标记技术对 147 份黄芩种质进行了分析,揭示黄芩种质资源在总体上具有较高的遗传多样性。童巧珍等^[36]利用随机扩增多态性 DNA 标记技术(Random Amplified Polymorphic DNA, RAPD)将在形态、生药性状及化学成分等特征上具有高度相似性的 16 个百合种源区分开来。姚领爱等^[37]通过对铁皮石斛叶绿体相关基因(*rbcL*、*trnH-psbA*、*rbl16*)进行扩增、测序、序列对比、聚类分析,发现 *rbcL* 基因可将市场上常易混淆的石斛种苗有效区分。

3.3 中药种质特征成分的代谢与调控

研究中药种质特征成分的代谢途径和调控规律,有助于从分子水平实施人工调控,从而实现中药材的定向栽培或者通过人工生物合成直接获得具有药效活性的中药种质特征成分。Paddon C J 等^[38]在深入研究青蒿素生物合成途径的基础上,利用合成生物学方法在酿酒酵母中重构了青蒿酸(青蒿素的前体)的生物合成途径,发酵效价可达 $25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,有望成为除植物青蒿外获得青蒿素的另一重要来源。胡之璧等在黄芪苷类成分的生物合成与代谢进行了深入的研究,创建了黄芪毛状根 30 L 大规模培养体系;克隆了颗粒结合型淀粉合成酶基因 *GBSS I* 等,调控黄芪活性成分生物合成,使黄芪中有效成分黄芪甲苷与黄芪多糖的含量分别提高了 6~7 倍和 2 倍,生长速度也大大提高;成功克隆了膜荚黄芪中两个与有效成分生物合成相关的糖苷转移酶基因 *UGP*,实现了活性蛋白的高表达^[39-44]。黄璐琦等^[45-49]多个研究团队利用基因芯片、转录组技术鉴定了与丹参酮类成分生物合成相关的多个基因,确定了在生物合成途径中的 5 个关键酶基因 *SmHM-GR*、*SmDXS2*、*SmFPPS*、*SmGGPPS* 和 *SmCPS*,并利用获得的基因人工合成了丹参酮的前体化合物丹参酮二烯和铁锈醇。本团队针对阳春砂药效活性部位——挥发油,开展阳春砂挥发性萜类成分的生物

* <http://www.baike.com/wiki/>

合成及调控规律研究。克隆和鉴定了与之相关的 3 个生物合成相关基因 *AvDXR*、*AvHMGR* 和 *AvDXS*, 分析了它们在植物激素茉莉酸甲酯刺激下基因表达和挥发性萜类成分积累的变化^[50,51]。目前正在利用转录组学方法研究阳春砂中萜类的代谢网络, 可为将来进行阳春砂萜类代谢工程调控和生产奠定理论基础。

4 中药种质资源生物化学的学科思考

综合上文中药种质资源研究的现状及发展趋势分析, 可以看出, 中药种质资源生物化学学科已初具雏型。当前, 将中药种质资源生物化学研究的实践认识进一步理论升华, 对中药资源学的科学发展具有重要意义。以下是作者对中药种质资源生物化学的几点学科思考。

4.1 “中药种质资源生物化学”的概念、意义和学科定位

中药种质资源生物化学 (Biological Chemistry of Chinese Herbal Germplasm Resources) 是一门利用生物化学及分子生物学、化学等技术手段, 系统研究中药种质的遗传变异、基因转录、蛋白表达与物质代谢, 阐明中药种质特征及其形成的分子调控机制的学科, 旨在为中药种质鉴别、优化, 中药及药效活性成分的生产提供生物化学理论知识基础。中药种质资源属于中药资源学的学科范畴, 与中药资源生态学、中药资源管理学、中药资源经济学、中药资源地理学、中药资源化学等共同支撑起中药资源学的科学理论知识体系。

4.2 中药种质资源生物化学的任务和研究内容

中药种质资源生物化学研究的任务在于阐明与中药种质的质量、产量相关特征属性及其形成的生物化学基础。主要研究内容包括: ①中药种质的生物化学评价, 从遗传、生物学性状、化学等不同层面对中药种质进行综合评价, 明确中药种质特征, 阐明中药材道地性形成的内在因素; ②中药药效活性成分的生物合成及调控机制, 利用分子生物学技术、组学技术 (基因组学、转录组学、蛋白组学等等), 鉴定与活性成分生物合成相关的关键功能基因, 阐明其生物合成途径及调控, 为优化中药种质的质量性状奠定基础; ③药效活性成分的生物有机合成, 针对临床药效明确、来源困难的中药药效活性成分, 在阐明其生物合成的基础上, 通过在大肠

杆菌、酵母菌等微生物中重构生物合成途径来大量获得目标成分; ④中药种质产量性状的生物化学基础及调控机制, 关注中药种质的产量性状, 借助分子生物学、组学技术, 挖掘与产量性状相关的遗传决定因素, 为优化中药种质的产量性状奠定基础。

5 结语

中药种质资源生物化学是现代科学技术, 尤其是生物技术, 迅速发展并不断向中药资源学渗透而产生的一门交叉学科。

综合利用生物化学及分子生物学、化学等技术来阐明中药种质特征及其形成的分子调控机制, 可为全方位地保护和开发利用中药资源提供科学理论支撑, 促进中药生产技术的创新。该学科的提出和建设将有助于凝练和提升中药资源学的自然科学属性。

随着中药种质资源生物化学学科的发展, 中药种质的生物化学评价将是主要的研究内容, 中药材道地性形成的生物化学研究有待于深入。由于大多数中药种质缺乏参考基因组, 基于高通量检测技术的各种组学技术能够提供大量的遗传信息, 反映生物组织基因组信息和外部特征的动态联系, 相信将在中药种质资源生物化学研究中发挥重要作用。

参考文献

- 1 周荣汉. 中药资源学. 北京: 中国医药科技出版社, 1993.
- 2 万德光. 中药资源学专论. 北京: 人民卫生出版社, 2009.
- 3 辛文锋, 张文生, 王永炎. 浅论中药资源学学科定位与建设. 中国药房, 2010, 21(3): 193~195.
- 4 段金廛, 周荣汉, 宿树兰, 等. 我国中药资源科学发展现状及展望. 自然资源学报, 2009, 24(3): 378~386.
- 5 严铸云. 略论中药资源科学面临的现实与挑战. 中药与临床, 2012, 3(6): 1~5, 14.
- 6 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. 现代中药研究与实践, 2003, 17(1): 19~21.
- 7 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. 时珍国医国药, 2010, 21(2): 472~474.
- 8 黄璐琦, 郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成. 中国中药杂志, 2007, 32(4): 277~280.
- 9 江曙, 钱大玮, 段金廛, 等. 植物内生菌与道地药材的相关性研究. 中草药, 2008, 39(8): 1268~1272.
- 10 秦俊法, 李德义, 陆伟红, 等. 12 种道地中药中无机元素的含量测定. 广东微量元素科学, 1996, 3(4): 40~47.

- 11 郭兰萍,黄璐琦,Christian W Huck.近红外光谱技术及其在中药道地性研究中的应用.中国中药杂志,2009,34(14):1751~1757.
- 12 李华,晁衍明,李明,等.热分析技术在中药道地药材鉴定中的应用.中国民族民间医药,2010,19(17):19~20.
- 13 郭兰萍,黄璐琦,吕冬梅,等.基于 3S 技术的中药道地药材空间分析数据库的构建及应用.中国中药杂志,2007,32(17):1821~1824.
- 14 张天真.作物育种学总论.北京:中国农业出版社,2003.
- 15 刘萍,马宏伟,王掌军.我国药用植物种质资源遗传多样性及其研究进展.农业科学研究,2008,29(3):66~70.
- 16 Moose S P, Mumm R H. Molecular plant breeding as the foundation for 21st century crop improvement. *Plant Physiology*, 2008, 147(3):969~977.
- 17 陈蔚文,徐鸿华.南药资源的保护与可持续利用研究.广州中医药大学学报,2009,26(3):201~203.
- 18 林励,欧剑锋,廖观荣,等.化橘红道地性的初步研究.广州中医药大学学报,2010,27(2):163~170.
- 19 丁平,楚桐丽,徐吉银.不同种质资源的巴戟天化学成分的指纹图谱研究.华西药学杂志,2006,21(1):12~14.
- 20 杨支才.成都将建西部最大中药材种质资源库.中国高新技术产业导报,2011-05-09B08.
- 21 汪杨丽,严铸云,马云桐,等.不同品种和产地川芎油 GC-MS 分析.中成药,2010,32(8):1433~1435.
- 22 郭丁丁,马逾英,唐琳,等.白芷种质资源遗传多样性的 ISSR 研究.中草药,2009,40(10):1627~1630.
- 23 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.中国中药杂志,2008,33(20):2303~2308.
- 24 B.B.布坎南,W.格鲁依森姆,R.L.琼斯编.瞿礼嘉,顾红雅,白书农译.植物生物化学与分子生物学.北京:科学出版社,2004.
- 25 Fu J, Fry J, Huang B. Minimum water requirements and stress and indicators of four turfgrasses subjected to deficit irrigation. *HortScience*, 2004, 39(4):1740~1744.
- 26 Qian Y L, Fu J, Wilhelm S J, *et al.* Relative salinity tolerance of turf-type saltgrass selections. *HortScience*, 2007, 42(2):205~209.
- 27 Chen J, Wang P, Xia Y, *et al.* Genetic diversity and differentiation of *Camellia sinensis* L. (cultivated Tea) and its wild relatives in Yunnan province of China, revealed by morphology, biochemistry and allozyme studies. *Genet Resour Crop Ev*, 2005, 52(1):41~52.
- 28 王小萍,唐晓波,王迎春,等.52 份茶树资源生化组分的表型多样性分析.茶叶科学,2012,32(2):129~134.
- 29 宁鑫,吴睿,何瑞,等.不同栽培品种阳春砂的化学成分比较研究.广州中医药大学学报,2010,27(3):285~287.
- 30 马洁,张丽霞,彭建明,等.西双版纳不同种质阳春砂仁挥发油的化学成分比较.中药材,2007,30(12):1489~1491.
- 31 毕红艳,苏晓敬,张丽萍.党参不同种质资源间多糖含量的差异.安徽农业科学,2012,40(2):714~715,718.
- 32 刘江,陈兴福,刘卫国,等.四川盆地不同麦冬种质资源氨基酸组分析及其食用价值初探.食品科学,2010,31(5):82~85.
- 33 李明.当归及其混伪品的过氧化物同工酶电泳鉴别.中药材,2000,23(4):200.
- 34 黄琼林,杨锦芬,段中岗,等.基于 26S rDNA D1-D3 区和 *matK* 基因序列分析的阳春砂分子鉴别.广州中医药大学学报,2010,27(2):151~155.
- 35 文苗苗,李桂双,张龙进,等.黄芩种质资源 ISSR 遗传多样性的分析及评价.植物研究,2012,32(1):32~37.
- 36 童巧珍,周日宝,刘湘丹,等.百合种质资源间亲缘关系及 RAPD 指纹图谱分析.湖南中医药大学学报,2010,30(3):32~36.
- 37 姚领爱,胡之璧,郑志仁,等.铁皮石斛种质资源研究中的 DNA 条形码初探.上海农业学报,2012,28(1):49~54.
- 38 Paddon C J, Westfall P J, Pitera D J, *et al.* High-level semi-synthetic production of the potent antimalarial artemisinin. *Nature*, 2013, 496(7446):528~532.
- 39 我校胡之璧院士领衔完成的“黄芪活性产物代谢调控的基因工程关键技术研究”获国家科技进步二等奖(简讯).上海中医药大学学报,2008,22(2):42.
- 40 单俊杰,王顺春,刘涤,等.黄芪毛状根与栽培黄芪中多糖的比较.中草药,2001,32(5):31~32.
- 41 彭估松,赵淑娟,吴晓俊,等.黄芪毛状根 *GBSSI* 基因 cDNA 克隆及其结构分析.植物学报,2000,42(9):940~945.
- 42 吴晓俊,杜旻,王子艳,等.颗粒结合型淀粉合成酶过量表达显著提高黄芪毛状根中黄芪甲苷含量(英文).药物生物技术,2012,19(6):485~490.
- 43 杜旻,吴晓俊,王子艳,等.黄芪甲苷合成差异基因克隆和鉴定(英文).药物生物技术,2005,12(2):76~80.
- 44 吴晓俊,杜旻,翁颖琦,等.黄芪 UGPase cDNA 克隆、分析及其在大肠杆菌中的表达(英文).植物学报,2002,44(6):689~693.
- 45 Cui G, Huang L, Tang X, *et al.* Candidate genes involved in tanshinone biosynthesis in hairy roots of *Salvia miltiorrhiza* revealed by cDNA microarray. *Mol Biol Rep*, 2010, 38(4):2471~2478.
- 46 高伟,崔光红,孔建强,等.丹参柯巴基焦磷酸合酶基因的优化表达、纯化及抗体制备.药科学报,2008,43(7):766~772.
- 47 Kai G, Liao P, Xu H, *et al.* Molecular mechanism of elicitor-induced tanshinone accumulation in *Salvia miltiorrhiza* hairy root cultures. *Acta Physiol Plant*, 2012, 34(4):1421~1433.
- 48 Dai Z, Liu Y, Huang L, *et al.* Production of miltiradiene by metabolically engineered *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnol Bioeng*, 2012, 109(11):2845~2853.
- 49 Guo J, Zhou Y J, Hillwig M L, *et al.* CYP76AH1 catalyzes turnover of miltiradiene in tanshinones biosynthesis and enables heterologous production of ferruginol in yeasts. *Proc Natl Acad Sci*, 2013, 110(29):12108~12113.
- 50 杨锦芬,何国振,阿迪卡利,等.阳春砂 3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶 A 还原酶基因的克隆及分析.时珍国医国药,2010,21(8):1893~1897.
- 51 Yang J, Adhikari M N, Liu H, *et al.* Characterization and functional analysis of the genes encoding 1-deoxy-D-xylulose-5-phosphate reductoisomerase and 1-deoxy-D-xylulose-5-phosphate synthase, the two enzymes in the MEP pathway, from *Amomum villosum* Lour.. *Mol Biol Rep*, 2012, 39(8):8287~8296.

Opinions on a New Cross-discipline "Biological Chemistry of Chinese Herbal Germplasm Resources"

Chen Weiwen, Xu Hui, Zhan Ruoting, Yang Jinfen, He Rui, Liu Jiawei, Yan Ping, Ma Xinye

(Research Centre of Chinese Herbal Resource Science and Engineering, Guangzhou University of Chinese Medicine, Key Laboratory of Chinese Medicinal Resource from Lingnan, Ministry of Education, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Biological chemistry of Chinese herbal germplasm resources (BCCHGR) is a new cross-discipline formed from rapid development of modern science and technology and its application in the area of Chinese herbal resources. BCCHGR was defined as probing and understanding biological processes like heredity, gene transcription, expression and metabolism of Chinese herbal germplasm, at the interface of biochemistry, molecular biology and chemistry, elucidating the nature of Chinese herbal germplasm using as TCM medicine as well as the forming mechanism thereof. In this paper, the scientific background, definition, significance and contents of BCCHGR were discussed to depict a preliminary picture of BCCHGR and arouse popular consideration and discussions.

Keywords: Chinese herbal germplasm resources, biological chemistry, cross-discipline

(责任编辑 李沙沙 张志华, 责任译审 王 瑀)