



【编者按】品质与营养健康是园艺学科的重要研究领域。随着社会经济的发展和物质生活水平的提高,人们对园艺产品的要求不断升级,消费者在选择园艺产品时更加重视其品质及营养健康功能,果蔬等园艺产品的消费需求方向也不断发生变化,园艺产业的发展也逐渐从数量型向质量型和功能型转变。本专题立足于当前国内外园艺产品领域的最新资料和研究成果,以柑橘、杨梅、嘉宝果等园艺产品为研究对象,选刊了在园艺产品品质形成代谢、积累分布、分离提取和活性评价等领域的相关研究论文,阐释了园艺产品的品质特性和营养健康价值,展现了国内学者在该领域开展的探索性研究新进展。

专题主持人:孙崇德教授

我国主要园艺植物天然产物研究进展

梁姣娇[†], 陈云义[†], 王岳, 陈杰标, 曹锦萍, 李鲜, 孙崇德^{*}

(浙江大学果实品质生物学实验室/农业农村部园艺植物生长发育与品质调控重点开放实验室/园艺产品冷链物流工艺与装备国家地方联合工程实验室/园艺植物整合生物学研究与应用浙江省重点实验室, 杭州 310058)

摘要 天然产物在自然界中广泛存在,其独特的化学多样性赋予它多种与人体健康相关的生物活性。我国园艺植物资源丰富,其中所蕴含的天然产物是值得深入研究与利用的资源宝库。本文主要围绕我国主要园艺植物天然产物的鉴定挖掘、分离纯化及其活性评价应用等方面进行综述,总结归纳了相关研究进展以及不同评价方法的优缺点,旨在为我国主要园艺植物天然产物的深度挖掘利用、活性物质分离效率的提高以及评价技术体系的完善提供参考,从而推进未来我国园艺植物天然产物相关产业融合发展的进程。

关键词 园艺植物;天然产物;分离;纯化;鉴定;活性评价

中图分类号 S 6-0

文献标志码 A

Research progress on natural products of main horticultural plants in China. *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 2021,47(6):683-694

LIANG Jiaojiao[†], CHEN Yunyi[†], WANG Yue, CHEN Jiebiao, CAO Jinping, LI Xian, SUN Chongde^{*}
(Laboratory of Fruit Quality Biology/Key Laboratory of Horticultural Plant Growth, Development and Quality Improvement, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Horticultural Products Cold Chain Logistics Technology and Equipment National-Local Joint Engineering Laboratory/Zhejiang Provincial Key Laboratory of Integrative Biology of Horticultural Plants, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract Natural products are widely found in nature, and their unique chemical diversity endows them with a variety of biological activities related to human health. China is rich in horticultural plant resources, in which the natural products are worthy of in-depth study and utilization. This article mainly focused on the identi-

基金项目: 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作专项(2017YFE0122300);国家自然科学基金(32072132, 3210932);农业农村部科研杰出人才及其创新团队(果实营养与人类健康创新团队)项目;中央高校基本科研业务费专项资金(2020XZZX003-03)。

***通信作者**(Corresponding author): 孙崇德(<https://orcid.org/0000-0002-2874-0292>), E-mail: adesun2006@zju.edu.cn

第一作者(First author): 梁姣娇(<https://orcid.org/0000-0002-1702-9972>), E-mail: 12016038@zju.edu.cn; 陈云义(<https://orcid.org/0000-0002-4639-1452>), E-mail: 12016039@zju.edu.cn。†共同第一作者

收稿日期(Received): 2021-06-15; **接受日期**(Accepted): 2021-11-29

cation, separation and purification of natural products of main horticultural plants in China and their application in activity evaluation systems, and summarized the progress of related research and the advantages and disadvantages of various evaluation methods, aiming to deepen the utilization of horticultural plant natural products, improve the separation efficiency of active substances and complete the evaluation systems, and further promote the integration and development of horticultural plant natural products related industries in the future.

Key words horticultural plants; natural products; separation; purification; identification; activity evaluation

广义的天然产物(natural products, NPs)是指自然界中的各种植物、动物、微生物在生命活动过程中产生的所有代谢产物的集合^[1]。而目前研究较多的天然产物多指具有特殊生物学作用且分子量小于1 500 Da的次生代谢物^[2-3]。天然产物数量巨大、结构类型繁多,仅植物中的天然产物就多达上百万种。根据其结构的不同可分为生物碱、有机硫化物、酚类化合物和萜类化合物等^[4]。

天然产物具有多种与人体健康相关的生物活性,包括抗菌、抗癌、免疫抑制、抗炎、生物膜抑制等。毒副作用低、生物活性较强、作用机制独特、靶点广泛等优势使之成为新药研发的重要来源,特别是在癌症和传染病的治疗领域^[5]。据统计,近40年间,全球获批上市的1 881种新药中,约23.5%来源于天然产物及其衍生物^[6],其中,由美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)和欧洲药品管理局(European Medicines Agency, EMA)批准的大约1/4的药物是以植物为基础的^[7]。在如今全球公共卫生面临挑战的大背景下,作为联结化学和生物学之间的天然通道,对天然产物的深度挖掘、结构鉴定与功能研究将在有效药物的开发、生命科学的认识和人类健康繁衍方面具有重要科学意义。此外,天然产物在食品保健、美容护肤、香精香料、绿色农药等领域也有巨大的发展潜力^[8-9]。对天然产物的研究不仅是改善生活品质的有力保障,也是人类与环境和谐共处的重要指导,更是发现世界、追溯生命起源的探索过程。

园艺产品是人类对生物活性成分摄入的重要途径,增加水果、蔬菜的消费是降低癌症和慢性疾病发生率的有效策略^[10]。应用分析化学、分子生物学以及生物医学等技术手段研究园艺产品生物活性物质的活性结构与生物效价,是园艺学发展的新的学科生长点,促进了园艺学与食品营养学、医药学等多学科的交叉融合。对相关天然产物的研究

也极大地推动了生物活性物质的提取分离技术、结构鉴定技术的迅速发展。

当前,我国植物化学研究水平已从“跟跑”成为“并跑”,部分园艺植物天然产物的开发利用已进入“领跑”阶段,取得了诸多突破性成果,并获得了广泛关注和认可。本文从园艺植物天然产物的鉴定、挖掘、分离纯化和活性评价及应用等方面对我国主要园艺植物天然产物研究进行了系统综述。

1 园艺植物天然产物鉴定的对象和方法演化

不同园艺植物中的天然产物种类丰富,组分含量差异大。因此,科学选择合适的研究对象,采用高效、环保的方法更有利于从资源丰富的园艺植物中鉴定出有效成分,以便为这些天然活性成分在食品、医药及日化等领域的开发应用提供指导。目前,我国主要园艺植物天然产物的鉴定对象和方法逐渐呈现出以下变化趋势。

1.1 从资源导向型到需求导向型

中国幅员辽阔,除了不同地区气候环境和地形地势等因素差异,园艺植物自身的特性也影响着其在全国的分布及其天然产物的研究。比如:苹果主要产于山东、河北、河南、陕西、新疆和辽宁等地;柑橘主要产于浙江、福建、江西、四川等地,在北方种植极少;茶叶尽管在北方有少数产区,但主要产于南方各省山区;热带水果则主要在福建、广东、广西、海南、云南等地主栽,其中海南盛产椰子。此外,少数极具特色的园艺植物资源,如菊科风毛菊属植物雪莲则主要分布在我国以新疆部分山区为主的高寒地带。由于生长环境特殊以及资源濒危,我国正积极利用克隆和组培等生物技术开发特色野生园艺植物的人工培育^[11-12],有望开辟取代野生园艺植物资源来满足市场需求的新渠道。

正是由于我国园艺植物天然产物研究的来源对象具有地理上的分布差异,所以国家因地制宜地实施不同政策,并在各地建立了多家功能型研究中心和种质资源圃(图1)。利用不同地区种质圃中特色优势的园艺植物资源进行研究,有效促进了我国园艺植物天然产物相关领域的发展。在以往的研究中,研究人员多选择当地广泛种植的园艺作物作为研究对象。随着经济社会的不断发展,国内对园艺植物天然产物的研究逐步显现出从资源导向型向需求导向型的转变,如利用人工气候室模拟高山、极寒或热带地区的气候环境,以满足一些特色

园艺植物跨地区的生长需求,进而使有潜在市场需求的特色园艺植物被更好地开发利用;物流和交通的发展同样也促进了园艺植物的快速运输与流通,便于科研人员收集来自全国不同地区的园艺植物资源进行研究。如靳欣欣等^[13]选取新疆、陕西、山东、内蒙古、甘肃等地的优质红富士苹果品种共16种,采用冷藏运输的方式将新鲜果实运至广东实验室进行品质性状和营养成分的相关分析。严鑫等^[14]从全国19个圆黄梨的产地分别采集样品,用硬纸箱包装后尽快寄回南京农业大学梨工程技术研究中心进行天然活性成分测定。

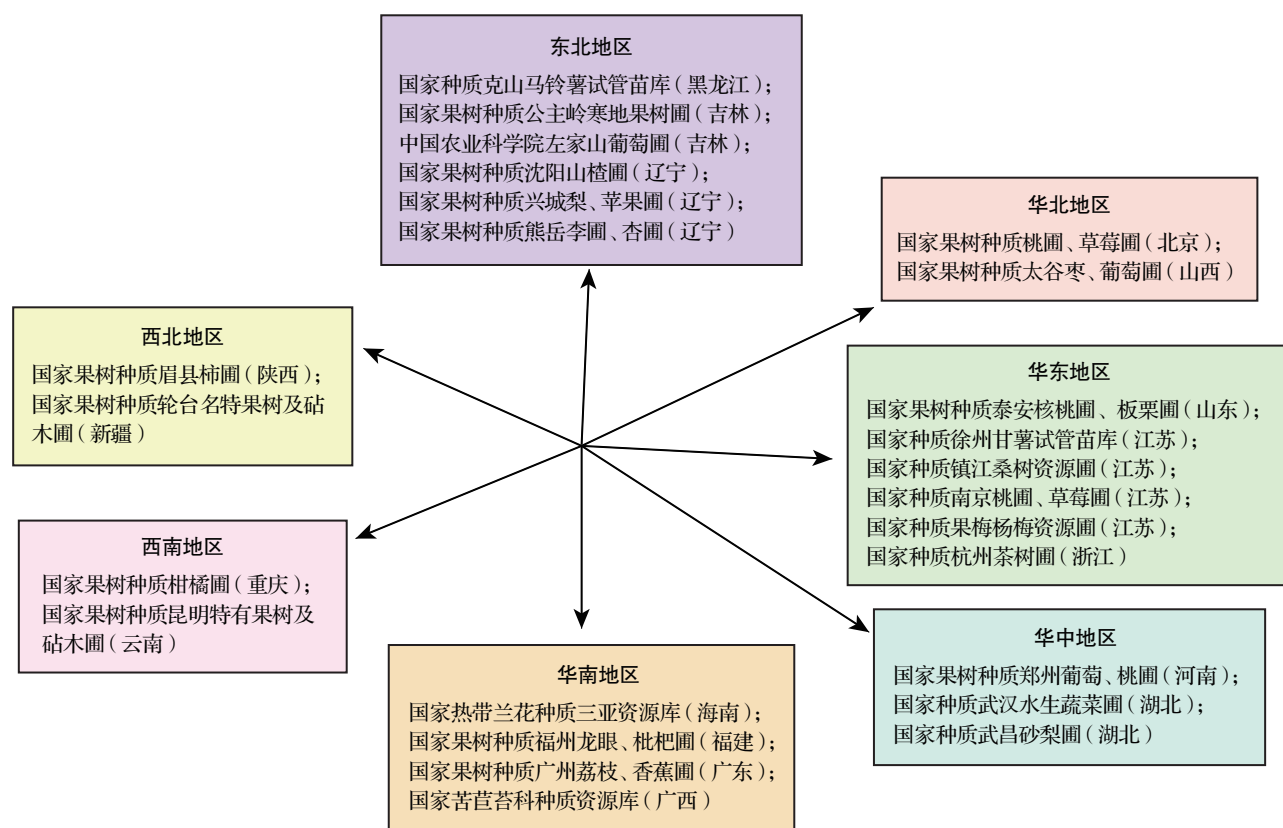


图1 有代表性的国家园艺植物种质资源圃在全国各地的分布情况

Fig. 1 Distribution of the representative national horticultural plant germplasm resource nurseries in China

1.2 从粗放提取型到精准鉴定型

许多园艺植物含有微量的天然产物,对其进行纯化和鉴定是开展后续研究的基础。而早期的提取设备较为单一,方式较为粗放,所得天然产物仅为粗提物。如1994年研究人员直接利用芒果、番石榴、龙眼、橄榄、蒲桃和绿茶等植物粗提后的上清液,探究园艺产品中多酚物质对超氧化物自由基的清除作用^[15]。而发展至今,园艺植物天然产物的表征已可以借助多种现代仪器分析手段进行精准的鉴

定。经研究发现,作为占辣椒干果质量30%~60%的辣椒籽,其中含有的种子蛋白在加工过程中未被充分利用而造成资源浪费^[16]。韩玉竹等^[17]在前人研究的基础上,结合超滤离心和葡聚糖凝胶层析技术优化了辣椒籽抗菌肽的提取条件,得到了纯度较高的天然产物。冯鑫等^[18]以生姜产品生产过程中产生的副产物生姜皮为原料提取出生姜皮粗多糖后,再经二乙氨基乙基-纤维素-52阴离子交换柱和Sephadex G-100凝胶柱层析纯化鉴定,得到了3种

水溶性生姜皮多糖(GE-1、GE-2、GE-3),这为我国进一步利用生姜副产物提供了参考。

近30年来,现代波谱技术的应用极大地促进了天然产物结构鉴定的发展。红外光谱(infrared spectroscopy, IR)、紫外光谱(ultraviolet spectroscopy, UV)、质谱(mass spectroscopy, MS)、核磁共振(nuclear magnetic resonance, NMR)波谱已逐渐代替传统的化学手段而在结构鉴定中占据主要地位^[19]。郑振佳^[20]为有效鉴定牛蒡中抗氧化活性成分,建立了1,1-二苯基-2-三硝基苯肼-高效液相色谱-飞行时间质谱联用体系,成功从牛蒡乙酸乙酯相部位筛选并鉴定出19种咖啡酸及其衍生物。XU等^[21]采用气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometer, GC/MS)、一维核磁共振(¹H NMR、¹³C NMR)和二维核磁共振(全相关谱、¹H的异核多碳相关谱、异核单量子相干谱)等技术对火龙果果肉的主要多糖组分的组成和构型进行了精确表征。王晓天等^[22]则利用超高效液相色谱-串联质谱(ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometer, UPLC-MS/MS)在19个树莓品种中检测和鉴定到黄烷-3-醇、黄烷酮、酚酸、黄酮醇和单宁5大类31种非花色苷酚类化合物,这为筛选较高生物化学成分含量的树莓品种资源提供了科学指导。

2 园艺植物天然产物挖掘的思路及模式

随着越来越多的天然产物从园艺植物中被发现和鉴定,进一步挖掘其结构与生物活性的关系逐渐受到关注。在从园艺植物中发现并鉴定活性天然产物的进程中,除传统的营养物质外,近年来,我国在类胡萝卜素^[23]、类黄酮^[24]及其他多酚类^[25]、香豆素^[26]和萜类^[27]等活性物质中取得了诸多成果。其中,对萜类及其聚合物的功能挖掘成为一大亮点。研究者从十字花科诸葛菜(*Orychophragmus violaceus*)种子中分离得到的3个具有新颖骨架的生物碱类化合物^[28]和从姜科植物圆瓣姜花(*Hedychium forrestii*)根茎中分离得到的半日花烷型二萜hedychin B^[29]具有抗肿瘤活性。国内首个原创的用于治疗2型糖尿病的天然药“桑枝总生物碱片”已获国家药监局批准上市。这充分体现了挖掘

园艺植物天然产物活性物质的巨大研究价值和开发潜力。通过分析总结近10年我国对园艺植物天然产物挖掘相关的文献,发现其研究思路和研究模式主要呈现以下2种趋势。

2.1 从正向遗传学到反向遗传学

传统对园艺植物天然产物发掘的研究方法主要是利用正向遗传学,其思路是通过已有的天然产物表型推测天然产物活性物质的分子结构,主要借助手段是诱变筛选与突变基因克隆技术。黄永娟等^[30]利用0.4%甲基磺酸乙酯诱变甘蓝型油菜NJ7982种子,从后代筛选获得高油酸突变体,经基因克隆发现,高油酸突变体中*BnFAD2 I*和*BnFAD2 II-1*基因发生了碱基改变,进而影响了油酸脱饱和酶的活性,这可能是突变体油酸含量升高的原因。但由于诱变筛选不可逆、不可控,且难以一次性筛选到在基因组中与研究性状相关的所有基因,因此,与正向遗传学思路刚好相反的反向遗传学受到了研究人员的关注。

反向遗传学通过预先测定并掌握园艺植物的基因组,随后在已有的代谢通路上进行分子调控,有目的地对遗传因子或相关酶进行改造,使天然产物生成量增多或减少或使其功能发生变化。SONG等^[31]利用纳米孔测序技术首次完成了对药用野菊的全基因组测序,并对杭白菊的全长转录组遗传信息进行了挖掘,这极大地促进了未来对杭白菊药效成分基因的深入挖掘和利用。华南农业大学林顺权课题组联合多家单位综合运用基因组、代谢组、转录组等手段,系统解析了枇杷富含活性三萜酸的分子进化机制^[32],为利用合成生物学开发枇杷中高价值的天然活性成分提供了参考。

2.2 从独立研发型到共同合作型

早期的研究团队常聚焦于某一中心课题潜精研思、独立研发。河北农业大学刘孟军课题组经15年刻苦攻关,于2014年率先完成了枣全基因组测序^[33],使其成为世界鼠李科和我国干果中首个完成的物种,并揭示了枣果高效积累维生素C的独特机制;2019年,他们又利用代谢组学和转录组学方法研究枣果实成熟期果皮变色的机制,发现成熟后期黄酮类代谢产物的变化促进了果皮变红^[34]。这一研究成果对鉴定参与黄酮生物合成途径的结构基因调控模式,保持枣在长期贮藏下良好的着色具有重要意义。

随着研究对象中相关组学数据量的日渐庞大,

为提高效率,需要更多的团队一起协作才能有效对数据进行分析和验证。2014年,中国农业科学院(深圳)农业基因组研究所黄三文实验室对360多个番茄品种进行了重测序研究^[35];同年,在组学分析方面居于国际领先的华中农业大学罗杰课题组基于代谢物的全基因组关联分析(metabolome-based genome-wide association study, mGWAS)这一经典代谢组学研究方法,开发建立了一种利用多组学手段对大规模遗传群体进行深入研究的反向遗传学模式^[36]。2018年,这2个顶尖团队合作并牵头在*Cell*上发表了相关研究结果:利用多重组学研究揭示了在驯化历史中番茄果实的营养和风味物质的变化及遗传调控位点^[37]。2019年,北京农林科学院许勇研究团队和郑州果树研究所刘文革研究团队联合其他合作单位共同完成了高质量西瓜基因组序列图谱^[38],并鉴定了与西瓜含糖量、瓢色、形状等性状关联的43个信号位点。2021年,南京农业大学吴俊、张绍铃研究团队联合美国康奈尔大学研究人员揭示了梨的驯化改良过程,发现梨果的糖、有机酸等初级代谢产物在驯化改良过程中会受到持续选择^[39]。对这些基因组数据的深入挖掘越来越成为天然产物发现和利用的重要手段。

3 园艺植物天然产物分离纯化特征

自20世纪90年代以来,园艺植物天然产物的分离方法、光谱技术和灵敏的生物检测研究发展迅速。传统分离方法存在纯度低、分离不彻底、样品变性等问题,阻碍了对有效化学成分性质的研究进程^[40]。因此,如何对园艺植物资源中活性成分进行高效的分离纯化,进而实现园艺资源的深度利用,得到高产率、高纯度的活性物质是当前该研究领域的重点之一。

园艺植物天然产物的种类繁多且具有含量低、结构复杂、稳定性差等特点,在实际分离纯化过程中,需依据天然产物分子的特性选择相应的技术,以获得高质量的天然产物(图2)。通过分析比较国内研究人员对园艺植物天然产物的分离体系,发现主要有2种思路:一种是对天然产物的多组分同时分离,另一种则聚焦于天然产物的单体分离。这2种思路的选择依据大致可以归纳为目标天然产物的特点、成本、用途及安全性。

3.1 分离目标明确科学

从园艺植物中提取出的活性物质,多具有医用功效,可用于临床治疗及食品工业领域。我国园艺植物天然产物资源种类繁多,然而传统的园艺植物天然产物分离纯化模式较为单一,有时因分离目标不明确而导致园艺植物天然产物资源浪费极为严重。因此,对不同的园艺植物天然产物进行分离时,可结合具体目标化合物的性质对溶剂体系进行筛选和调整。

以花色苷的研究为例,花色苷单体的快速大量制备是花色苷产业化的难题之一。刘静波等^[41]采用柱色谱法及半制备型高效液相色谱法,系统研究了蓝莓果实中花色苷单体的制备技术,并从食品安全角度考虑,采用70%乙醇-0.1%盐酸溶液为提取剂,利用超声辅助提取法,使花色苷的提取效率较热浸提法提高50%以上,为该类产品原料选择及分离纯化方法提供了重要参考。除此之外,单独采用高速逆流色谱(high-speed counter-current chromatography, HSCCC)技术或与其他技术联用因具有提高分离后纯度的优势,在近几年的发展较为迅速。PENG等^[42]在最优条件下通过2步分离成功地从柿中得到7种主要多酚,纯度均高于95.0%,并且发现HSCCC在制备原花青素二聚体方面具有明显的优势。MA等^[43]采用HSCCC-蒸发光散射检测法(evaporative light-scattering detection, ELSD)成功地从大蒜粗提液中一步分离纯化出4种纯度可达93.0%以上的甾体皂苷,这也是上述联用技术首次用于分离和纯化该类成分。LI等^[44]使用HSCCC结合反胶束溶剂系统,开发出了一种从苦瓜果实中分离蛋白质的新方法,这也是首次在苦瓜中发现该成分。

3.2 纯化工艺安全高效

除上述分离纯化技术之外,其他一些具有优势的技术也为园艺植物资源的高效利用提供了帮助。河南省农业科学院农副产品加工研究中心等单位利用膜分离技术结合聚酰胺层析技术回收和纯化黑、红树莓汁,使黄酮回收率均达90%以上^[45]。这种方法不仅能脱除膜截留液中残留的水溶性糖,而且最重要的优势在于基本没用化学试剂。湖南农业大学刘仲华院士团队采用聚酰胺薄层色谱法,实现了从绿茶、红茶、乌龙茶、白茶茶叶提取物中同时分离出儿茶素和邻甲基化(-)-表没食子儿茶素没食

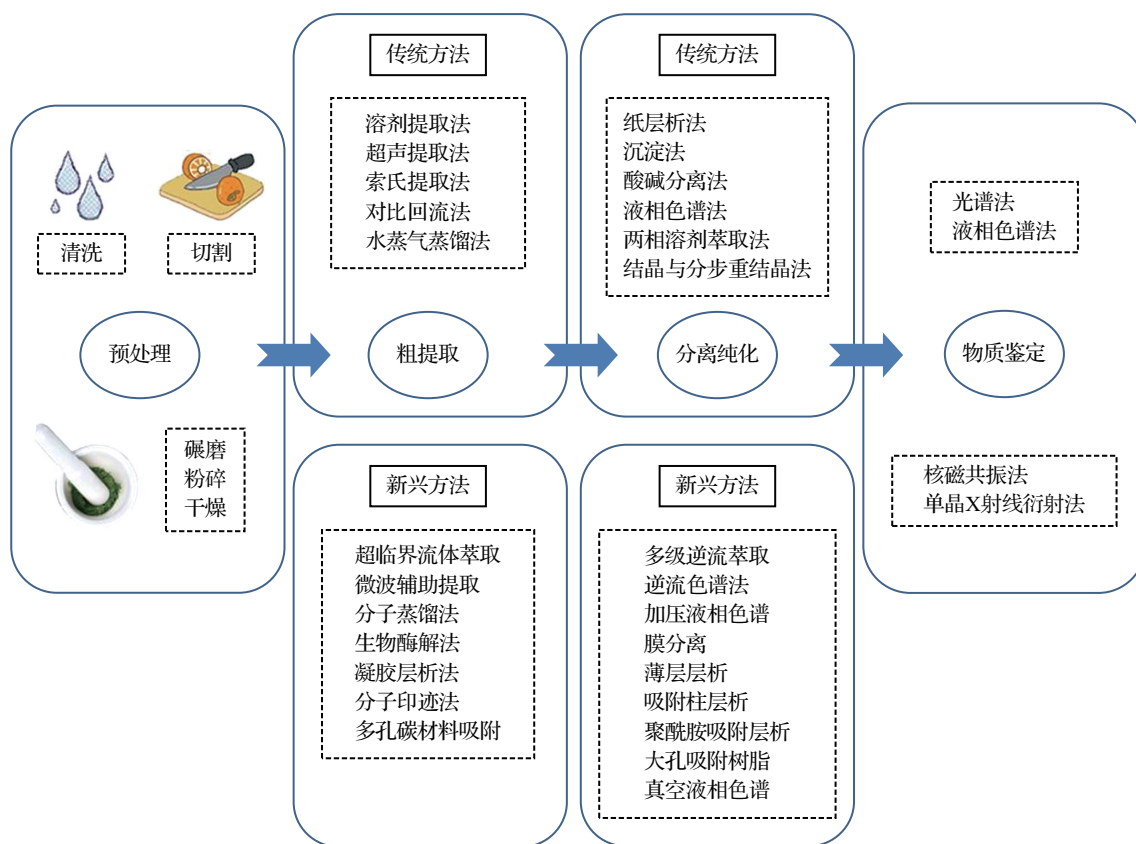


图2 园艺植物天然产物分离纯化的主要流程与方法

Fig. 2 Main processes and methods for separating and purifying natural products of horticultural plants

子酸酯等7种相关化合物^[46]。用这种方法制备样品简单,且仅需少量有机溶剂,更加简便高效。中国医科大学魏敏杰研究团队则采用大孔树脂和聚酰胺柱层析相结合的方法分离纯化绿茶中表没食子儿茶素-3-没食子酸酯(epigallocatechin-3-gallate, EGCG)^[47],经聚酰胺柱纯化和蒸馏水一步结晶后可得纯度为95.1%的EGCG,为从天然园艺植物中大规模分离和纯化EGCG提供了一种简单方法。

可见,在对园艺植物天然产物分离纯化过程中,在掌握不同天然产物性质的基础上运用优化的技术体系,将会提高提取分离效率以及目标产物的纯度,便于之后对产物的进一步探究。

4 园艺植物天然产物的活性评价趋势

基于化学方法、细胞模型、动物模型和临床试验的活性评估体系作为常规的测试体系在园艺植物天然产物活性成分筛选中占有举足轻重的地位,应用最为广泛,同时也是建立快速筛选技术如高通量筛选模型的坚实基础。计算机技术和结构生物

学的发展则使得基于蛋白质三维结构的活性物质筛选和设计成为可能(图3)。随着筛选模型和评价体系的建立健全,目标天然产物活性发挥的多样性和特异性也逐渐明晰。

4.1 营养健康功能逐步明确

我国中医学自古以来就有“药食同源”或“医食同源”理论,历代本草文献所载具有治疗或保健作用的食物不下百种,孕育了灿烂的药膳文化。早在2002年公示的《既是食品又是药品的物品名单》中就包括刀豆、山药、山楂、木瓜、金银花、菊花等常见园艺作物^[48]。伴随着传统医学向现代药理学的跨越,这些功能性果蔬或花卉的生物学潜力被不断深入发掘。最新研究发现,山楂果实粗糖蛋白和山楂叶分别具有降脂和改善神经细胞损伤的作用^[49-50];金银花酸性杂多糖提取物^[51]和萝卜的有机提取物^[52]可用于酶靶向治疗糖尿病。分离鉴定技术的发展和活性评价体系的成熟也使得发挥生物学活性的主效化学物质逐渐明晰,实现了从粗提混合物到单体“明星”分子的进阶。研究发现,葫芦素、苦瓜凝集素、多糖分别是苦瓜中治疗慢性瘙痒、发挥抗癌

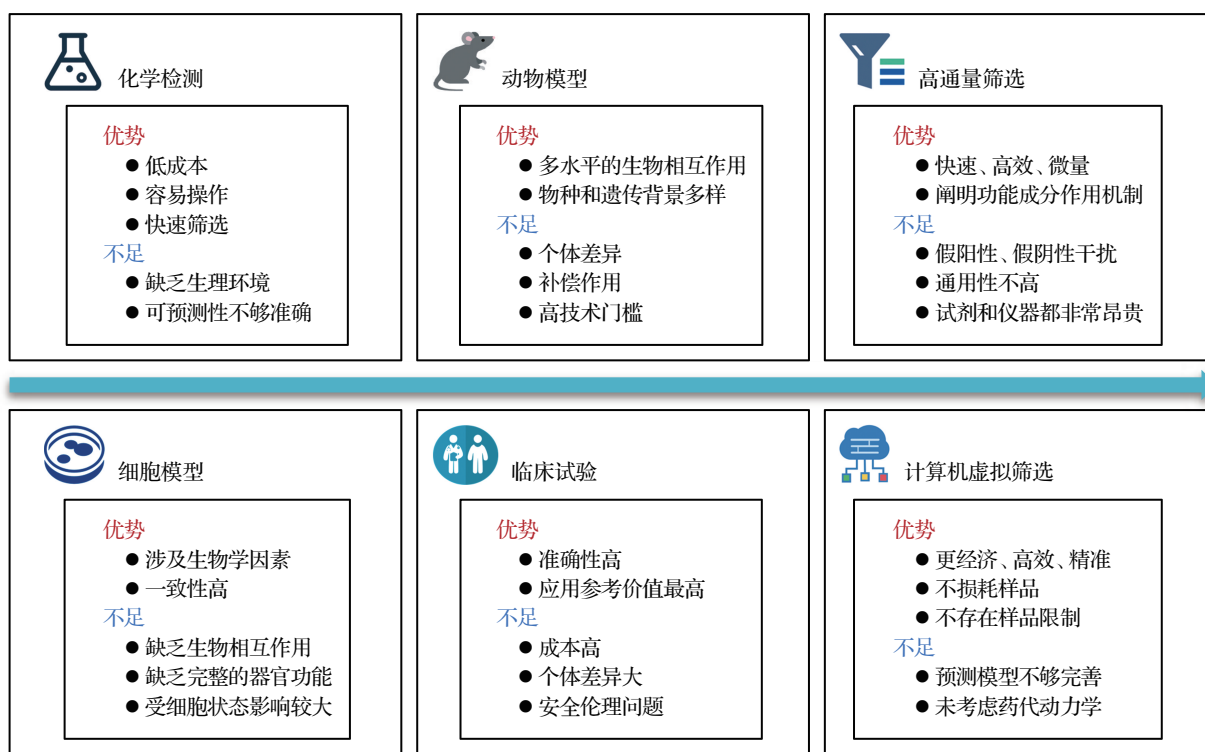


图3 不同活性评价体系的优缺点

Fig. 3 Advantages and disadvantages of different activity evaluation systems

和免疫调节活性的关键组分^[53-54]。而硫代葡萄糖苷为广泛存在于十字花科蔬菜中的次生代谢物。目前,国内学者主要致力于硫苷组分的鉴定及调控,在抗氧化、抗肿瘤方面的功能探索正处于起步阶段^[55-56]。近年来,黄酮类化合物如槲皮素、芹菜素等在癌症、炎症、慢性疾病中的治疗靶点受到极大关注^[57-58],且这些活性成分的作用机制被认为与肠道菌群的调节密切相关^[59]。与此同时,为了最大化实现植物有效成分的生物功效,提高生物利用度的相关探索也正在大力开展。当前,微胶囊、纳米脂质体等新兴载体系统的研发为番茄红素、花色苷等功能因子的精准靶向递送提供了可能^[60-61]。

值得注意的是,从我国传统中医理论方面出发,天然产物用以治疗疾病更多的是发挥“扶正”作用,而并非单纯的“祛邪”。在大多数情况下,与临床使用的化学药物不同,天然产物也许不能直接逆转疾病的发生,但能够作为辅助因子维持健康稳态以调节体质、预防疾病,并起到协同增效、解除抗药性、防止副作用等功效。

4.2 活性功能产品快速落地

随着对园艺产品生物活性物质的化学组成、分子结构、主效成分以及作用机制等的深入探究,园

艺植物天然产物在食品、保健品、日化、医药领域的开发应用日益广泛。2009年—2014年,茶叶籽油、茶树花、EGCG、茶氨酸依次被批准为新食品原料^[62],这极大地拓展了茶资源在医药、日化等产业中的应用广度和深度。2012年—2018年,蓝莓由于含有大量的花色苷、黄酮醇、酚酸等活性成分在化妆品行业受到极大关注,并用以抗氧化和美白产品研发^[63]。目前,代表性药食两用植物山药中的多糖组分,也被尝试开发成免疫调节剂、肠道微生态调节剂、保肝剂、补铁剂、烟草添加剂、抗氧化剂、保鲜剂、乳化剂等多种产品^[64]。

近年来,我国天然产物领域的专利申请数量逐年上升,未来增长动力日趋强劲。2011年至今,超过6 800条专利名称涵盖“天然产物”的相关专利在万方数据库中被公开,其技术创新涉及天然产物的提取分离、功能性复合物的制备、新用途的探索发现、衍生物的合成制备、生物利用率的提高,应用领域涵盖食品加工、膳食补充、疾病防治、美容护肤、绿色农业,甚至卷烟工业等。黄酮类化合物相关专利申请数量在近10年更是接近1.3万条。类黄酮来源丰富,这其中就包括茶叶、银杏、菊、桑、竹、山楂、柑橘、杨梅、芹菜等园艺产品。中国医学科学院孙

晓波研究团队将西洋参茎叶总皂苷与山楂叶总黄酮按照1:(0.5~5)混合研发的药物混合物可应用于心血管疾病治疗^[65]。中国农业科学院郑金铠研究团队近些年也已开发出含有柑橘黄酮的乳酸菌功能饮料^[66]、风味添加剂^[67]、柚皮苷胶囊和片剂^[68]等保健食品。多甲氧基黄酮(polymethoxylated flavonoids, PMFs)作为几乎特异性地存在于柑橘属植物中的功能性化合物,其生物活性研究尚处于初期阶段,国内相关公开专利仅200余例,且多集中在近5年。而随着活性构效关系、量效关系、作用靶点的深入挖掘,这一来源丰富的特色天然产物的应用前景广阔。

5 小结与展望

园艺植物种类的多样性造就了其次生代谢产物结构的多样性,进而孕育了天然产物的生物活性和作用机制的多样性,为人类生产生活提供了庞大的资源宝库。如何对这一宝库进行深度挖掘解析和深度开发利用是实现其多样化价值的关键。

园艺植物天然产物的鉴定发掘与分离纯化方法日新月异。从基因组研究的角度通过反向与正向遗传学分析对基因进行深度挖掘与利用,从兴起之初的溶剂提取、纸色谱法等传统的分离纯化方法到目前广泛使用的高速逆流色谱等各种制备型色谱技术,不论是鉴定发掘的针对性、分离纯化的效率还是选择性上都有极大的提高。实践证明,对于从园艺植物中获得天然产物,技术的整合比单一技术的使用具有更大的应用价值。而将制备型色谱与分析型色谱技术联合来实现一体化操作还有待更深入的研究,以摸索出适合于不同园艺植物天然产物分离纯化的手段。我国对园艺植物天然产物鉴定发掘与分离纯化技术的研究从未止步,多种新技术方兴未艾,相信未来的分离纯化技术会形成更加科学完善的体系,不仅能满足在实验室中的研究,而且能为园艺植物天然产物从实验室研究转向大健康产业工厂化大规模生产的过渡和成果落地提供支持。

天然产物的活性评价方法多样、特点各异。与分离纯化一样,当前尚未出现一种能综合评价物质活性的方法。即使是具有靶向特性的高通量模型和计算机虚拟技术,其筛选出的功能成分还需要通

过动物模型和临床试验进行复筛和验证。因此,为能够获得较为客观真实的生物学功能评价,研究者应采取多种评估测试体系,做到体内与体外、分子与整体、虚拟和现实的统一。当然,为了突破现有方法的局限与发展新兴技术,研究人员需要在实践中不断总结归纳现有经验并进行改革创新。例如,生物合成作为一种绿色高效的资源获取策略已得到科学界和工业界的广泛认可。我国学者经过长期的积累在天然产物合成生物学以及酶学领域方面也都取得了众多阶段性进展,为破解资源短缺、健康安全、生态环境等重大挑战提供了全新解决方案。

伴随着人民生活水平的提高带来的营养保健的需求,功能性食品必将成为“健康中国”一大主力。我国园艺产品资源丰富,并且拥有源远流长的食疗食补养生传统文化,这无疑为深度开发高价值健康食品、提升农产品综合利用效益创造了有利条件。但我国目前在与人类营养健康密切相关的园艺产品天然产物方面还未实现充分的功能挖掘、产业应用和科普推广。未来应更加注重具有健康调节功效的园艺植物天然产物,包括传统药用(含药食同源)植物天然产物的产品研发和创新,促进相关产业融合发展,延长农业生产的产业链。

参考文献(References):

- [1] SHEN Y M, HAO X J. Natural product sciences: an integrative approach to the innovations of plant natural products. *Science China (Life Sciences)*, 2020,63(11):1634–1650. DOI:10.1007/s11427-020-1799-y
- [2] PHAM J V, YILMA M A, FELIZ A, et al. A review of the microbial production of bioactive natural products and biologics. *Frontiers in Microbiology*, 2019,10:1404. DOI:10.3389/fmicb.2019.01404
- [3] SOROKINA M, STEINBECK C. Review on natural products databases: where to find data in 2020. *Journal of Cheminformatics*, 2020,12(9):629–661. DOI:10.1186/s13321-020-00424-9
- [4] MARTEL J, OJCIUS D M, KO Y F, et al. Phytochemicals as prebiotics and biological stress inducers. *Trends in Biochemical Sciences*, 2020,45(6):462–471. DOI:10.1016/j.tibs.2020.02.008
- [5] ATANASOV A G, ZOTCHEV S B, DIRSCH V M, et al. Natural products in drug discovery: advances and opportunities. *Nature Reviews: Drug Discovery*, 2021,20(3):200–216. DOI:10.1038/s41573-020-00114-z
- [6] NEWMAN D J, CRAGG G M. Natural products as sources of new drugs over the nearly four decades from 01/1981 to

- 09/2019. *Journal of Natural Products*, 2020,83(3):770–803. DOI:10.1021/acs.jnatprod.9b01285
- [7] PATRIDGE E, GAREISS P, KINCH M S, et al. An analysis of FDA-approved drugs: natural products and their derivatives. *Drug Discovery Today*, 2016,21(2):204–207. DOI:10.1016/j.drudis.2015.01.009
- [8] 郭瑞霞,李力更,王于方,等.天然药物化学史话:天然产物化学研究的魅力. *中草药*, 2015,46(14):2019–2033. DOI:10.7501/j.issn.0253–2670.2015.14.001
- GUO R X, LI L G, WANG Y F, et al. Historical story on natural medicinal chemistry: great charm of study on natural product chemistry. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2015,46(14):2019–2033. (in Chinese with English abstract)
- [9] UGBOGU E A, ELGHANDOUR M, IKPEAZU V O, et al. The potential impacts of dietary plant natural products on the sustainable mitigation of methane emission from livestock farming. *Journal of Cleaner Production*, 2019,213:915–925. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.12.233
- [10] LIU R H. Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet. *Advances in Nutrition*, 2013,4(3):384S–392S. DOI:10.3945/an.112.003517
- [11] 武运芳.新疆雪莲植株再生体系的优化及农杆菌介导的遗传转化研究.北京:中央民族大学,2013.
- WU Y F. Optimization of plant regeneration system and *Agrobacterium*-mediated genetic transformation of *Saussurea involucrata* in Xinjiang. Beijing: Minzu University of China, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [12] 赵红艳,江丽丽,马森.濒危药用植物天山雪莲高效植株再生体系的建立. *种子*, 2012,31(4):1–3. DOI:10.16590/j.cnki.1001–4705.2012.04.053
- ZHAO H Y, JIANG L L, MA M. *In vitro* micro-propagation system of *Saussurea involucrata* an endangered Chinese medicinal herb. *Seed*, 2012,31(4):1–3. (in Chinese with English abstract)
- [13] 靳欣欣,田英姿,英犁,等.新疆地区与黄河流域红富士苹果性状与品质分析. *现代食品科技*, 2016,32(7):249–254. DOI:10.13982/j.mfst.1673–9078.2016.7.038
- JIN X X, TIAN Y Z, YING L, et al. Fruit characteristics and quality of Red Fuji apples grown in Xinjiang and Yellow River Basin. *Modern Food Science and Technology*, 2016,32(7):249–254. (in Chinese with English abstract)
- [14] 严鑫,吴巨友,贡鑫,等.不同产地圆黄梨果实品质差异分析. *果树学报*, 2021. <https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsx.20210255>. DOI:10.13925/j.cnki.gsx.20210255
- YAN X, WU J Y, GONG X, et al. Analysis on the difference of fruit quality of Wonhwang pear from different regions. *Journal of Fruit Science*, 2021. (in Chinese with English abstract)
- [15] 罗广华,王爱国.植物中的多酚物质对超氧化物自由基的清除作用. *热带亚热带植物学报*, 1994,2(4):95–99.
- LUO G H, WANG A G. Scavenging effect of plant polyphenolics on superoxide radicals. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1994,2(4):95–99. (in Chinese)
- [16] 马燕,徐贞贞,邹辉,等.8个品种辣椒籽成分分析与比较. *食品科学*, 2017,38(22):178–183. DOI:10.7506/spkx1002–6630–201722027
- MA Y, XU Z Z, ZOU H, et al. Analysis and comparison of constituents in hot pepper seeds of eight varieties. *Food Science*, 2017,38(22):178–183. (in Chinese with English abstract)
- [17] 韩玉竹,李平兰,何琴,等.辣椒籽抗菌肽提取条件优化及分离纯化. *食品科学*, 2019,40(24):258–264. DOI:10.7506/spkx1002–6630–20181112–123
- HAN Y Z, LI P L, HE Q, et al. Optimization of extraction conditions, separation and purification of antifungal peptides from hot pepper seeds. *Food Science*, 2019,40(24):258–264. (in Chinese with English abstract)
- [18] 冯鑫,夏宇,陈贵堂,等.生姜皮多糖的分离纯化及其结构组成分析. *食品科学*, 2017,38(6):185–190. DOI:10.7506/spkx1002–6630–201706029
- FENG X, XIA Y, CHEN G T, et al. Purification and structural analysis of polysaccharides from ginger peels. *Food Science*, 2017,38(6):185–190. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王思明,付炎,刘丹,等.天然药物化学史话:“四大光谱”在天然产物结构鉴定中的应用. *中草药*, 2016,47(16):2779–2796. DOI:10.7501/j.issn.0253–2670.2016.16.001
- WANG S M, FU Y, LIU D, et al. Historical story on natural medicine chemistry: application of UV, IR, MS, and NMR spectra in structure elucidation of natural products. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2016,47(16):2779–2796. (in Chinese with English abstract)
- [20] 郑振佳.牛蒡活性成分与抗II型糖尿病功能研究.山东,泰安:山东农业大学,2018.
- ZHENG Z J. Study on the active components and anti-type II diabetes function of *Arctium lappa* L. (Burdock). Tai'an, Shandong: Shandong Agricultural University, 2018. (in Chinese with English abstract)
- [21] XU L S, ZHANG Y J, WANG L Z. Structure characteristics of a water-soluble polysaccharide purified from dragon fruit (*Hylocereus undatus*) pulp. *Carbohydrate Polymers*, 2016,146:224–230. DOI:10.1016/j.carbpol.2016.03.060
- [22] 王晓天,李兴国,李大龙,等.不同树莓品种中非花色苷酚的鉴定与分析. *北方园艺*, 2021(11):36–43. DOI:10.11937/bfy.20203753
- WANG X T, LI X G, LI D L, et al. Identification and analysis of non-anthocyanin phenolics in various raspberry (*Rubus* spp.) cultivars. *Northern Horticulture*, 2021(11):36–43. (in Chinese with English abstract)
- [23] LU S W, ZHANG Y, ZHU K J, et al. The citrus transcription factor CsMADS6 modulates carotenoid metabolism by directly regulating carotenogenic genes. *Plant Physiology*, 2018,176(4):2657–2676. DOI:10.1104/pp.17.01830
- [24] 陈学森,王楠,张宗营,等.我国高类黄酮(红皮与红肉)苹果育种取得突破性进展. *中国果树*, 2020(2):6–9. DOI:10.16626/j.cnki.issn1000–047.2020.02.002

- CHEN X S, WANG N, ZHANG Z Y, et al. Breakthrough in the breeding of high flavonoid (red-skin and red-fleshed) apple in China. *China Fruits*, 2020(2):6–9. (in Chinese with English abstract)
- [25] 吴乾,王艳芳,蔚沐庭,等.红肉苹果果实酚类物质含量及抗氧化性测定. *山西农业科学*, 2020,48(11):1763–1766. DOI: 10.3969/j.issn.1002-2481.2020.11.14
- WU Q, WANG Y F, YU M T, et al. Determination of phenolics content and antioxidant capacity of red-fleshed apple. *Shanxi Agricultural Science*, 2020,48(11):1763–1766. (in Chinese with English abstract)
- [26] TAO L, ZHUO Y T, QIAO Z H, et al. Prenylated coumarins from the fruits of *Artocarpus heterophyllus* with their potential anti-inflammatory and anti-HIV activities. *Natural Product Research*, 2021. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14786419.2021.1913590>. DOI:10.1080/14786419.2021.1913590
- [27] 陈士林,孙奕,万会花,等.中药与天然药物2015—2020年研究亮点评述. *药学学报*, 2020,55(12):2751–2776. DOI: 10.16438/j.0513-4870.2020-1170
- CHEN S L, SUN Y, WAN H H, et al. Highlights on the progress of traditional Chinese medicine and natural drugs during 2015—2020. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2020,55(12): 2751–2776. (in Chinese with English abstract)
- [28] ZHANG G J, LI B, CUI H M, et al. Orychophragins A–C, three biologically active alkaloids from *Orychophragmus violaceus*. *Organic Letters*, 2018,20:656–659. DOI: 10.1021/acs.orglett.7b03801
- [29] ZHAO Q, GAO J J, QIN X J, et al. Hedychins A and B 6, 7–dinorlabdane diterpenoids with a peroxide bridge from *Hedychium forrestii*. *Organic Letters*, 2018,20:704–707. DOI: 10.1021/acs.orglett.7b03836
- [30] 黄永娟,张凤启,杨甜甜,等.EMS诱变甘蓝型油菜获得高油酸突变体. *分子植物育种*, 2011,9(5):611–616. DOI:10.3969/mpb.009.000611
- HUANG Y J, ZHANG F Q, YANG T T, et al. High oleate mutants of *Brassica napus* produced by EMS inducement. *Molecular Plant Breeding*, 2011,9(5):611–616. (in Chinese with English abstract)
- [31] SONG C, LIU Y F, SONG A P, et al. The *Chrysanthemum nankingense* genome provides insights into the evolution and diversification of chrysanthemum flowers and medicinal traits. *Molecular Plant*, 2018,11(12):1482–1491. DOI:10.1016/j.molp.2018.10.003
- [32] SU W B, JING Y, LIN S K, et al. Polyploidy underlies co-option and diversification of biosynthetic triterpene pathways in the apple tribe. *PNAS*, 2021,118(20):e2101767118. DOI: 10.1073/PNAS.2101767118
- [33] LIU M J, ZHAO J, CAI Q H, et al. The complex jujube genome provides insights into fruit tree biology. *Nature Communications*, 2014,5:5315. DOI:10.1038/ncomms6315
- [34] ZHANG Q, WANG L L, LIU Z G, et al. Transcriptome and metabolome profiling unveil the mechanisms of *Ziziphus jujuba* Mill. peel coloration. *Food Chemistry*, 2020,312:125903. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125903
- [35] LIN T, ZHU G T, ZHANG J H, et al. Genomic analyses provide insights into the history of tomato breeding. *Nature Genetics*, 2014,46:1220–1226. DOI:10.1038/ng.3117
- [36] CHEN W, GAO Y Q, XIE W B, et al. Genome-wide association analyses provide genetic and biochemical insights into natural variation in rice metabolism. *Nature Genetics*, 2014,46:714–721. DOI:10.1038/ng.3007
- [37] ZHU G T, WANG S C, HUANG Z J, et al. Rewiring of the fruit metabolome in tomato breeding. *Cell*, 2018,172(1/2): 249–261. DOI:10.1016/j.cell.2017.12.019
- [38] GUO S G, ZHAO S J, SUN H H, et al. Resequencing of 414 cultivated and wild watermelon accessions identifies selection for fruit quality traits. *Nature Genetics*, 2019,51:1616–1623. DOI:10.1038/s41588-019-0518-4
- [39] ZHANG M Y, XUE C, HU H J, et al. Genome-wide association studies provide insights into the genetic determination of fruit traits of pear. *Nature Communications*, 2021, 12:1144. DOI:10.1038/S41467-021-21378-Y
- [40] 王仁才.果蔬营养与健康.北京:化学工业出版社,2013: 184–192.
- WANG R C. *Nutrition and Health of Fruits and Vegetables*. Beijing: Chemical Industry Press, 2013:184–192. (in Chinese)
- [41] 刘静波,陈晶晶,王二雷,等.蓝莓果实中花色苷单体的色谱分离纯化. *食品科学*, 2017,38(2):206–213. DOI:10.7506/spkx.1002-6630-201702033
- LIU J B, CHEN J J, WANG E L, et al. Separation of anthocyanin monomers from blueberry fruits through chromatographic techniques. *Food Science*, 2017,38(2):206–213. (in Chinese with English abstract)
- [42] PENG J M, LI K K, ZHU W, et al. Separation and purification of four phenolic compounds from persimmon by high-speed counter-current chromatography. *Journal of Chromatography B*, 2018,1072:78–85. DOI:10.1016/j.jchromb.2017.11.010
- [43] MA Q, LUO J G, KONG L Y. Preparative isolation of steroidal saponins from garlic (*Allium Sativum* L.) using high-speed counter-current chromatography coupled with evaporative light scattering detection. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 2011,34(17):1997–2007. DOI:10.1080/10826076.2011.582911
- [44] LI Y N, YIN L H, ZHENG L L, et al. Application of high-speed counter-current chromatography coupled with a reverse micelle solvent system to separate three proteins from *Momordica charantia*. *Journal of Chromatography B*, 2012,895/896:77–82. DOI:10.1016/j.jchromb.2012.03.017
- [45] 芦鑫,洪梦佳,宋国辉,等.树莓汁中黄酮的初级分离纯化. *食品科技*, 2017,42(2):197–203. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2017.02.039
- LU X, HONG M J, SONG G H, et al. Preliminary separation and purification of flavone in raspberry juice. *Food Science and Technology*, 2017,42(2):197–203. (in Chinese with English abstract)

- abstract)
- [46] WANG K B, CHEN Q C, LIN Y, et al. Separation of catechins and *O*-methylated (–)-epigallocatechin gallate using polyamide thin-layer chromatography. *Journal of Chromatography B*, 2016,1017/1018:221–225. DOI:10.1016/j.jchromb.2015.11.060
- [47] JIN X, LIU M Y, CHEN Z X, et al. Separation and purification of epigallocatechin-3-gallate (EGCG) from green tea using combined macroporous resin and polyamide column chromatography. *Journal of Chromatography B*, 2015, 1002:113–122. DOI:10.1016/j.jchromb.2015.07.055
- [48] 中华人民共和国卫生部. 关于进一步规范保健食品原料管理的通知. 2002–02–28. [2021–06–12]. <http://www.nhc.gov.cn/zwgk/ztwj/201304/e33435ce0d894051b15490aa3219cdc4.shtml>
Ministry of Health of the People's Republic of China. Notice on further standardizing the management of health food raw materials. 2002–02–28. [2021–06–12].
- [49] 高雪婧,罗思奕,汤凯洁,等. 山楂粗糖蛋白对高脂小鼠降脂及抗氧化作用的初步研究. *食品与发酵工业*, 2021,47(1): 138–142. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.024873
GAO X J, LUO S Y, TANG K J, et al. Effect of crude hawthorn glycoprotein on hypolipidemic and antioxidant activity in high-fat mice. *Food and Fermentation Industries*, 2021,47(1):138–142. (in Chinese with English abstract)
- [50] 李丽静,王领弟,吴晓光. 山楂叶总黄酮通过调控 miR-133b 改善缺氧复氧诱导的神经细胞损伤. *中成药*, 2020,42(6): 1443–1449. DOI:10.3969/j.issn.1001-1528.2020.06.009
LI L J, WANG L D, WU X G. Effects of hawthorn leaf flavonoids on improvement of hypoxia-reoxygenation-induced neuronal damage via miR-133b regulation. *Chinese Traditional Patent Medicine*, 2020,42(6): 1443–1449. (in Chinese with English abstract)
- [51] FU X T, YANG H H, MA C L, et al. Characterization and inhibitory activities on α -amylase and α -glucosidase of the polysaccharide from blue honeysuckle berries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020,163:414–422. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.06.267
- [52] PAUL S, ZHANG X M, YANG Y P, et al. Chemical constituents from turnip and their effects on α -glucosidase. *Phyton—International Journal of Experimental Botany*, 2020,89(1):131–136. DOI:10.32604/phyton.2020.08328
- [53] ZHONG Y L, XU H, ZHONG Y, et al. Identification and characterization of the Cucurbitacins, a novel class of small-molecule inhibitors of tropomyosin receptor kinase a. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2019,19:295. DOI: 10.1186/s12906-019-2709-z
- [54] CHEN F, HUANG G L, HUANG H L. Preparation, analysis, antioxidant activities *in vivo* of phosphorylated polysaccharide from *Momordica charantia*. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 252:117179. DOI:10.1016/j.carbpol.2020.117179
- [55] 冯尚坤,陈浩,邵志勇,等. 红光处理对萝卜芽菜采收贮藏过程中芥子油苷和抗氧化能力的影响. *核农学报*, 2021,35(6): 1340–1346. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2021.06.1340
FENG S K, CHEN H, SHAO Z Y, et al. Effect of red light treatment on glucosinolates and antioxidant capacity in radish sprouts during post-harvest storage. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021,35(6):1340–1346. (in Chinese with English abstract)
- [56] 赵彤,安慧,李佳文,等. 外源茉莉酸对盐芥芥子油苷含量与抗氧化特性的影响. *植物生理学报*, 2021,57(3):614–622. DOI:10.3969/j.issn.1000-3150.2020.12.001
ZHAO T, AN H, LI J W, et al. Effects of exogenous jasmonic acid on glucosinolate content and antioxidant properties of *Eutrema salsugineum*. *Plant Physiology Journal*, 2021,57(3):614–622. (in Chinese with English abstract)
- [57] LI Y, CHENG X Y, CHEN C L, et al. Apigenin, a flavonoid constituent derived from *P. villosa*, inhibits hepatocellular carcinoma cell growth by CyclinD1/CDK4 regulation via p38 MAPK–p21 signaling. *Pathology—Research and Practice*, 2020,216(1):152701. DOI:10.1016/j.prp.2019.152701
- [58] DONG J, ZHANG X, ZHANG L, et al. Quercetin reduces obesity-associated ATM infiltration and inflammation in mice: a mechanism including AMPK α 1/SIRT1. *Journal of Lipid Research*, 2014,55(3):363–374. DOI:10.1194/jlr.M038786
- [59] CHEN J B, WANG Y, ZHU T L, et al. Beneficial regulatory effects of polymethoxyflavone-rich fraction from ougan (*Citrus reticulata* cv. *Suavissima*) fruit on gut microbiota and identification of its intestinal metabolites in mice. *Antioxidants*, 2020,9(9):831. DOI:10.3390/antiox9090831
- [60] JIA C S, CAO D D, JI S P, et al. Whey protein isolate conjugated with xylo-oligosaccharides via Maillard reaction: characterization, antioxidant capacity, and application for lycopene microencapsulation. *LWT—Food Science and Technology*, 2020,118:108837. DOI:10.1016/j.lwt.2019.108837
- [61] SUN Y, CHI J P, YE X Q, et al. Nanoliposomes as delivery system for anthocyanins: physicochemical characterization, cellular uptake, and antioxidant properties. *LWT—Food Science and Technology*, 2021,139:110554. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110554
- [62] 屠幼英,马驰. 近50年我国茶资源综合利用研究成果及应用进展. *中国茶叶*, 2020,42(12):1–8. DOI:10.3969/j.issn.1000-3150.2020.12.001
TU Y Y, MA C. Research achievements and application progress of utilizations of tea resources in China in recent 50 years. *China Tea*, 2020,42(12):1–8. (in Chinese with English abstract)
- [63] 朱纪林,郝建宏. 涉及蓝莓的化妆品专利技术综述. *江西化工*, 2019(2): 190–192. DOI: 10.3969/j.issn.1008-3103.2019.02.055
ZHU J L, HAO J H. Summary of cosmetic patent technology involving blueberries. *Jiangxi Chemical Industry*, 2019(2): 190–192. (in Chinese)
- [64] 彭新,牛乐,周宁,等. 山药多糖功能活性及新产品开发研究进展. *食品研究与开发*, 2020,41(17):204–209. DOI:10.12161/

- j.issn.1005-6521.2020.17.033
PENG X, NIU L, ZHOU N, et al. Research progress in functional activity and new product development of Chinese yam polysaccharide. *Food Research and Development*, 2020, 41(17):204-209. (in Chinese with English abstract)
- [65] 孙晓波. 总皂苷与总黄酮在制备治疗心血管疾病药中的应用:CN201110188718.4. 2011-11-02.
SUN X B. Application of total saponins and total flavonoids in preparing medicines for treating cardiovascular diseases: CN201110188718.4. 2011-11-02. (in Chinese)
- [66] 中国农业科学院农产品加工研究所. 一种柑橘乳酸菌饮料及其制备方法:CN201710038172.1. 2017-06-20.
Chinese Academy of Agricultural Sciences. Institute of Food Science and Technology. A citrus lactobacillus beverage and preparation method thereof: CN201710038172.1. 2017-06-20. (in Chinese)
- [67] 中国农业科学院农产品加工研究所. 一种含有多甲氧基黄酮的柑橘风味添加剂及其制备方法:CN201811584224.6. 2019-05-28.
Chinese Academy of Agricultural Sciences. Institute of Food Science and Technology. A citrus flavor additive containing polymethoxyflavones and a preparation method thereof: CN201811584224.6. 2019-05-28. (in Chinese)
- [68] 中国农业科学院农产品加工研究所. 具有改善肠道菌群结构和减缓动脉粥样硬化功能的柑橘产品及其制备方法与应用:CN202010160680.9. 2020-06-05.
Chinese Academy of Agricultural Sciences. Institute of Food Science and Technology. Citrus product with the function of improving the structure of intestinal flora and reducing atherosclerosis and its preparation method and application: CN202010160680.9. 2020-06-05. (in Chinese)

书 名:《园艺产品品质与营养健康》

作 者:孙崇德 主 编

李 鲜 刘学波 金 鹏 周春华 副主编



内容简介:由浙江大学孙崇德教授牵头,组织浙江大学果树科学研究所采后研究团队以及西北农林科技大学、南京农业大学、扬州大学等院校的专家共同编写了本书,以期为读者在园艺产品选择和食用时提供科学指导,为园艺学科发展奠定一定基础,也为相关科学研究提供一定的理论依据。本书基于当前国内外园艺产品领域的最新资料和研究成果,阐释园艺产品的品质特性和营养健康价值。该书涉及知识甚广,除了主要的园艺产品品质与营养健康相关信息的介绍外,也涉及品种分类、栽培育种、产业开发等多方面的内容,旨在全方位、多角度地介绍园艺产品与人类生活的关系。同时,本书也是一本面向大众的通俗科普读物,希望能够帮助读者对园艺产业有更好的认识,并有力促进我国相关领域的研究以及园艺产业和学科的发展。本书受到浙江省普通高校“十三五”新形态教材建设项目和浙江大学慕课(MOOC)建设项目“园艺产品品质与营养健康”的支持。

章节介绍:全书分为六章,第一章绪论中对园艺产品的品质、营养健康与人类生活的关系进行了简要介绍,并简单梳理了园艺产业的发展 and 品质改良史;第二章

着重介绍了园艺产品的品质要素,包括色泽、香味、风味、质地、营养等品质的构成及影响因素,并阐述了园艺产品果实形成的机制;第三章着重介绍了园艺产品与营养健康的关系,阐述了功能性成分发挥多种保健作用的机制;第四章以苹果、柑橘、葡萄等多种常见水果为例,介绍了水果与人体健康的关系;第五章以西蓝花、香菇、大蒜等多种常见蔬菜为例,介绍了蔬菜与人体健康的关系;第六章以牡丹、芍药、玫瑰等多种常见花卉为例,介绍了花卉与人体健康的关系。