

桃胶的理化性质、功效成分及其安全性研究进展

林 慧¹, 代金霞², 薛 瑾¹, 张婷婷¹, 练鸿振^{2*}, 徐春祥^{1*}

(1. 江苏省食品药品监督检验研究院, 南京 210008; 2. 南京大学化学化工学院,
南京大学现代分析中心, 生命分析化学国家重点实验室, 南京 210023)

摘 要: 桃胶是一种富含多糖类的天然树胶产品, 具有较高的食用和药用价值, 已应用于食品、医药、化妆品、化工等多个领域, 但目前桃胶相关的食用和药用的国家标准缺失, 尚无明确的质量指标控制方法, 存在天然成分含量数据缺乏、桃胶多糖的结构特征和空间构型未知、安全性数据缺失等多方面研究不足。因桃胶质量评价指标研究还不完善, 使其应用范围也受到局限。本文从桃胶的质量评价角度出发, 对桃胶的感官要求、理化性质、安全性研究 3 个方面进行总结。今后的研究需充分考虑桃胶的理化性质差异, 深入研究桃胶多糖及其他功效成分, 探究可能的应用方向, 充分利用资源, 推广桃胶的应用。另外, 应对桃胶的安全性进行全面研究, 包括农药残留、重金属污染、致病菌感染、在商品桃胶加工过程中使用的酸、碱、漂白剂等的残留影响、不同树胶和工业胶的真伪鉴别及桃胶的毒理学影响等, 为桃胶的安全评估提供基础数据和理论支撑。本文有望为桃胶的质量评价标准建立提供参考, 为桃胶的资源开发应用提供科学依据。

关键词: 桃胶; 理化性质; 功效成分; 安全性

Research progress on the physical and chemical properties, efficacy composition and safety of peach gum

LIN Hui¹, DAI Jin-Xia², XUE Jin¹, ZHANG Ting-Ting¹, LIAN Hong-Zhen^{2*}, XU Chun-Xiang^{1*}

(1. Jiangsu Institute for Food and Drug Control, Nanjing 210008, China; 2. School of Chemistry & Chemical Engineering and Center of Materials Analysis, State Key Laboratory of Analytical Chemistry for Life Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

ABSTRACT: Peach gum is a natural gum product rich in polysaccharides, with high edible and medicinal value, has been used in food, medicine, cosmetics, chemical industry, and other fields. However, there is a lack of national standards related to edible and medicinal uses of peach gum, and there is no clear control method for quality indicators. There are many research deficiencies such as lack of data on the content of natural components, unknown structural characteristics and spatial configuration of peach gum polysaccharide, and lack of safety data. Due to the incomplete research on the quality evaluation index, the application range of peach gum is also limited. From the perspective of the quality evaluation of peach gum, this paper summarized the sensory requirements, physical and chemical properties, and safety research of peach gum. Future research should fully consider the differences in

基金项目: 江苏省市场监督管理局科技计划项目(KJ2022065)

Fund: Supported by the Project of Science and Technology Market Supervision and Administration of Jiangsu Province (KJ2022065)

***通信作者:** 练鸿振, 教授, 主要研究方向为环境分析化学。E-mail: hzlian@nju.edu.cn

徐春祥, 研究员级高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: xcx70@163.com

***Corresponding author:** LIAN Hong-Zhen, Professor, Nanjing University, 163 Xianlin Avenue, Qixia District, Nanjing 210023, China. E-mail: hzlian@nju.edu.cn

XU Chun-Xiang, Professor, Jiangsu Institute for Food and Drug Control, No.6, Beijing West Road, Gulou District, Nanjing 210008, China. E-mail: xcx70@163.com

physical and chemical properties of peach gum, in-depth study of peach gum polysaccharide and other functional components, explore possible application directions, give full play to resources, and promote the application of peach gum. In addition, the safety of peach gum should be comprehensively studied, including pesticide residues, heavy metal pollution, pathogenic bacterial infection, the residual effects of acids, alkalis, bleaches, *etc.*, used in the processing of commercial peach gum, authenticity identification of different gums and industrial gums, and toxicological effects of peach gum, so as to provide basic theoretical support for the safety assessment of peach gum. This paper is expected to provide a reference for the establishment of quality evaluation standards for peach gum, and also provide a scientific basis for the development and application of peach gum resources.

KEY WORDS: peach gum; physical and chemical properties; efficacy composition; safety

0 引言

桃胶是蔷薇科植物桃或山桃等树皮中分泌出来的树脂,是桃树受伤、受到虫害或者被真菌感染后分泌的胶状物质,黏稠的液体风干后,产生的无色、淡黄色或棕红色固体颗粒^[1],如图 1 所示。未经处理的桃胶一般称为原桃胶,原桃胶由于很难溶解在水中,具有溶胀性,黏度很大,故无法直接使用,一般作为药材使用。原桃胶经过去杂、水解、脱色、脱盐、干燥等一系列加工步骤处理后称为商品桃胶,较原桃胶黏度、溶解度得到改善,使其便于工业化应用^[2]。当前,桃胶在食品工业中常被作为增稠剂、稳定剂、乳化剂等食品添加剂,用以改变食品物性^[3-6];还可作为食用涂层,用以延长食品保质期^[7];也可作为食品包装材料,用以食品保鲜^[8]。桃胶的主要成分为多糖类,主要由阿拉伯糖(arabinose, Ara)、半乳糖(galactose, Gal)、木糖(xylose, Xyl)、甘露糖(mannose, Man)等单糖组成^[9],含有酚类和黄酮类等天然抗氧化活性物质,

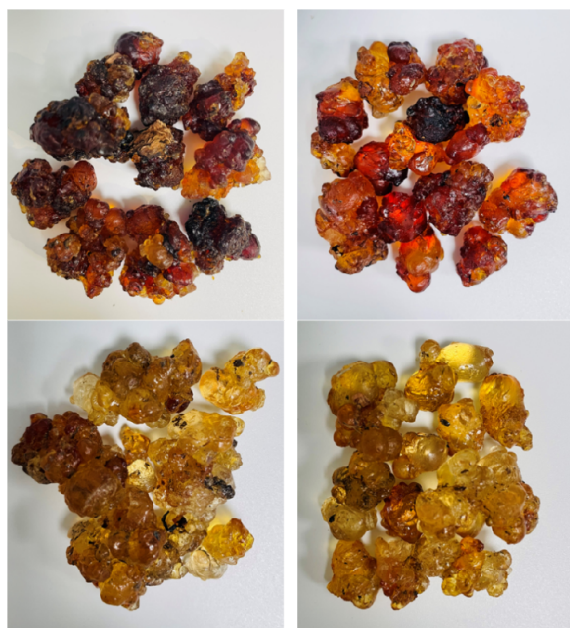


图 1 不同颜色的桃胶外观

Fig.1 Appearance of different colors of peach gum

具有降血糖、降血脂、抗氧化、抗肿瘤、提高免疫力等营养功效^[10-11]。桃胶具有较高的食用和药用价值,据史料记载桃胶食用和药用开始于南北朝,距今有 1600 年历史,具有调中和血、益气止痛。用于治疗乳糜尿、糖尿病、尿路感染、痢疾、石淋、血淋等功效^[12]。桃胶虽然有上千年的食用历史,但目前并未列入到国家普通食品名单中,仅作为食用农产品进入市场流通。随着近几年桃胶产品的网络售卖的流行,也引起相关企业和研究人员的关注。2023 年 4 月 23 日国家食品安全风险评估中心公布桃胶已通过专家评审委员会技术审查,现处于新食品原料公开征求意见阶段^[13],新食品原料的批准将会进一步推动桃胶产业的发展。除了食品领域,近年来在桃胶在化妆品、化工等领域也有所应用^[14-16]。

尽管一直以来桃胶作为食品和药品在应用,但目前桃胶相关的食用和药用的国家标准缺失,尚无明确的质量指标的控制方法。一般食品质量评价体系主要包括 3 方面:其一,形态、色泽、气味、杂质等感官要求;其二,水分、灰分、天然成分含量等理化要求;其三,农药残留、重金属、微生物等卫生安全要求,并根据食品本身的差异制定特有的质量评价指标。尽管目前已有一些桃胶相关指标研究的文献报道,但关于桃胶的质量评价体系研究仍不完善,如天然成分含量数据缺乏、桃胶多糖的结构特征和空间构型未知、安全性数据缺失等,这限制了桃胶的应用拓展。作为产量丰富的树胶,其理化特性和营养功效等研究不透彻,使得桃胶没有被完全开发利用。作为桃产业的主要副产业之一,我国桃胶年产量可达 100 亿 t,然而桃胶的利用率较低,资源浪费情况仍十分严重^[2]。本文就桃胶的感官要求、理化性质及安全性等情况进行总结,为桃胶的质量评价、安全评估及资源的进一步开发应用提供参考依据。

1 桃胶感官要求

食品质量评价中感官要求一般包括形态、色泽、气味、杂质等。可根据具体的食品特点,设置相应的感官要求。关于桃胶的感官要求目前尚无相关食品标准描述。桃胶是树干表面分泌的胶质物质,新鲜采摘的桃胶形态呈现不规

则样,根据加工方式的不同,原桃胶会有不同的形态,如采摘后直接晒干的爆米花状桃胶、晒干后机械打磨的类椭圆状桃胶、晒干后人工修剪的多棱角状桃胶等。桃胶的色泽主要呈淡黄色、黄棕色至深红色,桃胶颜色差异可能与其总酚含量差异有关^[17]。多酚类物质具有抗氧化活性,用于防御病原真菌,总酚含量越高,桃胶的颜色越深。对于桃胶气味的感官要求主要是无异味即可。桃胶的采收过程是在树干上刮下产生的胶汁或风干后的固体桃胶,在这个过程中会混入树皮、枝叶、泥土等杂质。因此一般桃胶采摘后会进行水洗、机器打磨或人工精修等工序以满足除杂要求。此外,还应对不同颗粒大小的桃胶进行划分,结合色泽、杂质含量对桃胶产品进行等级评定。

2 桃胶理化性质

2.1 桃胶水分和灰分

水分、灰分及酸不溶性灰分是食品、中药材纯净程度限量检查的重要指标,也是产品质量的重要组成部分。对于树胶产品,水分含量过高,容易引起霉变结块;灰分含量一定程度上反应了食品中所含杂质的程度。因此,水分和灰分是桃胶质量评价的两个关键指标。仅有的关于桃胶的地方中药材和中药饮片炮制规范标准,如《上海市中药材标准(1994 年版)》《上海市中药饮片炮制规范(2018 年版)》《安徽省中药饮片炮制规范(2019 年版)》及《甘肃省中藏药材标准(2020 年版)》,均未规定桃胶的水分、灰分、酸不溶性灰分的限量。在桃胶新食品原料拟公告文本中,水分含量小于 15%,灰分含量小于 2%。有研究团队采集了 10 个不同产地的原桃胶,对其水分、灰分及酸不溶性灰分进行了测定,发现其水分含量在 12.59%~13.45%之间;总灰分含量在 1.58%~1.88%之间;酸不溶性灰分含量介于 0.024%~0.107%之间^[12]。这类桃胶水分和灰分的基础数据,可为修订桃胶质量标准提供参考。

2.2 天然成分

桃胶的主要成分是多糖,还含有一些活性物质,如酚类、黄酮类,以及少量蛋白质、氨基酸、脂肪、矿物质等,这些成分一定程度上都可以提高桃胶的营养价值。桃胶成分与功效分析将为其在医药、化妆品等产品的开发利用提供依据,也为其在新资源食品工业应用开发中奠定基础,其中有益成分的含量是评价桃胶营养价值的重要指标。目前研究多关注桃胶多糖,对于其他成分的研究较少,未来仍需要进一步完善桃胶指纹图谱,为桃胶的质量评价提供理论基础。

2.2.1 桃胶多糖

桃胶多糖是一种分子结构高度支化的酸性多糖,占 80%以上,主要由半乳糖(42%)和阿拉伯糖(36%)组成,还含有少量的木糖、甘露糖、鼠李糖及糖醛酸等成分^[9,18],单

糖结构式如图 2 所示^[15]。桃胶多糖的质量控制对评价桃胶质量至关重要,目前并没有关于桃胶多糖的国家或地方标准的发布。多糖成分和结构具有复杂性,其质量控制标准研究进展缓慢。目前对于其他多糖的质量评价标准和食品质量评价标准具有相似性,主要分为感官要求和理化要求。其中感官要求主要有色泽、外观、气味、杂质等方面;理化要求主要有水分、灰分、pH、多糖含量、重金属含量等。对于桃胶多糖的含量,可通过苯酚-硫酸法、二硝基水杨酸法、蒽酮比色法的显色反应结合紫外-可见分光光度法进行测定。产地^[19]、桃树品种、树龄^[20]等因素都会影响多糖的含量。桃胶多糖具有良好的降血糖、降血脂、抗肿瘤、抗衰老、提高免疫力等功效^[21-24]。近年来,桃胶多糖应用不断拓展。

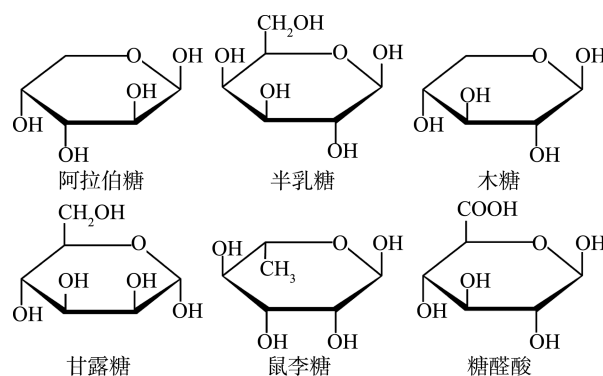


图 2 桃胶单糖结构式

Fig.2 Structural formula of peach gum monosaccharide

普遍认为,桃胶多糖的单糖含量最高的是半乳糖和阿拉伯糖,但有研究采用离子色谱仪测得,扁桃胶的单糖组成主要有葡萄糖醛酸(glucuronic acid, Glu)、木糖、半乳糖和阿拉伯糖及少量的鼠李糖(rhamnose, Rha)和海藻糖(fucoidin, Fuc),含量比为 24.35:9.25:33.75:31.60:0.74:0.31,究其原因,可能与桃胶来源的树种差异相关。同时,该研究还采用红外色谱仪和气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)初步解析了桃胶多糖的结构,推断扁桃胶的多糖主链结构可能由 1,6-linked Galp 和 1,4-linked Araf 构成;非还原性末端基团为 1-linked Fucp、1-linked Ribf 或 1-linked GluA;分枝点主要位于 1,2,6-linked Galp 上,红外光谱分析结果中 898.7 cm⁻¹表明 β -糖苷键的存在,即有 β -型吡喃糖存在^[25]。ZHANG 等^[26]通过甲基化和 GC-MS 分析、核磁共振谱及与多个检测器结合的高性能尺寸排阻色谱,从多角度表征了桃胶多糖的一级结构和构象特性。结果表明,桃胶多糖主要由阿拉伯糖(48.5%, w/w)和半乳糖(33.8%, w/w)组成,还有少量木糖(4.0%, w/w)、葡萄糖醛酸(4.3%, w/w)和半乳糖醛酸(2.3%, w/w)及微量甘露糖。推导的桃胶多糖结构如图 3 所示,主链为 β -(1 $\rightarrow$ 6)-半乳糖聚糖骨架,在半乳糖的 O-4

现性差、产量相对较低等缺点^[31]。酸或碱水解具有水解效率高、能耗低、产品重现性稳定的优点。但酸或碱水解条件相对苛刻,增加了工艺控制难度。尤其是在酸性条件下,对 pH、水解时间、水解温度要求更为苛刻^[18,32]。采用碱水解时条件较温和,弱碱性时即能实现桃胶的水解,其应用最多^[33]。采用微波辅助水解能够提高桃胶多糖的水解速度^[34]。 H_2O_2 水解的机制是 H_2O_2 形成的自由基可攻击糖苷键,导致糖苷键断裂^[35]。 H_2O_2 水解具有水解效率高、水解温度低、产品外观好等优点。组合水解技术是指将多种水解技术结合起来,是提高水解效率、获得特定多糖的有效手段^[36]。例如,WEI 等^[37]首先采用碱水解法对原桃胶进行水解,然后通过添加 H_2O_2 进行二次水解,并结合不同分子量的超滤膜对水解液进行分离,从而得到特定分子量的商品桃胶。得到的较小分子多糖的商品桃胶和常用树胶阿拉伯胶相似,在食品、医药等诸多方面表现出广泛的应用和良好的发展前景。

2.3.2 原桃胶溶胀特性

原桃胶类似于水凝胶,具有能显著地溶胀于水中而难溶解的特性,在水溶性商品桃胶的加工过程中可通过浸胀去除杂质,实现除杂的目的。在浸胀过程中,桃胶吸水量可达自身重量的 26 倍^[38]。桃胶浸胀过程会对其化学成分产生影响,如浸胀后总酚含量降低 2 倍以上。固液比^[39]、颗粒大小^[40]、温度^[41]等是影响溶胀性能的主要因素。通过优化桃胶的浸胀条件,可得到最佳的除杂条件和溶胀性能。基于原桃胶的溶胀特性,其可用作药物的缓释辅料,溶胀特性的研究可用于预测药物制剂的释药行为及使用条件。

2.3.3 商品桃胶晶体特性

晶体是由大量原子、离子、分子等微观物质单位按一定规则有序排列的结构,可以从结构单位的大小来研究判断排列规则和晶体形态。研究发现,商品桃胶在 pH 7~5 之间未表现晶体特性,而在 pH 3~1 之间和 pH 9~13 之间,桃胶结构从非晶向晶体发生了转变。pH 的改变对桃胶晶相也有极显著的影响,在酸性条件下结晶可能是多糖的微纤维化导致的,而碱性条件下结晶可能是由于多糖结晶形成^[42]。对桃胶晶体特性的研究,一方面可用于探究不同商品桃胶的差异;另一方面对不同树种胶及工业胶进行晶体表征,可进行真伪鉴别。

2.3.4 商品桃胶流变学特性

流变学特性是桃胶重要的物理性质,可作为桃胶开发利用的重要理论依据^[43-44],如根据桃胶的流变学特性,可评价其应用中的增稠效果。通过破坏桃胶多糖获得低分子量的水解产物,可提高桃胶溶解度和流变性能,例如,LIU 等^[15]使用流变仪研究了原桃胶水解前后的流变行为,从原桃胶溶液和水解后的水溶性桃胶溶液中均观察到非牛顿剪切稀化行为,即剪切黏度随着剪切速率的增加而减小。黏度与分子量呈正相关,原桃胶的黏度高于水溶性桃胶,原

桃胶成功降解为水溶性桃胶后,也提高了其与其他成分的相容性。另外,在商品桃胶溶液浓度一定时,它的酸度越高,黏性比例越高,其流动性越强。桃胶溶液的黏度与浓度成正相关,与剪切速率成负相关^[45],可据此来调节桃胶浓度和酸度,得到最佳黏度,改善桃胶的实际应用。

3 桃胶安全性

3.1 农药残留

桃是一种重要的经济作物,在种植过程中,为了防治病虫害,提高产量,会施用大量的农药,如杀虫剂和杀菌剂。桃胶是桃树重要的副产物,具有很强的黏性,可能会黏附农药,增加残留^[46]。桃胶中农药的残留与桃生产用药有关,桃胶中农药检出率普遍偏高,但残留量总体处于低风险水平^[47]。对用药后不同天数采摘的桃胶进行分析,发现在喷洒农药后时 20 d 时,桃胶几乎难检出农药残留,因此可据此确定采摘桃胶的最佳时间,避免在用药后进行采摘^[48]。通过控制农药用量及采摘时间,可以有效减少农药残留,确保桃胶的品质和食品安全性。

3.2 重金属

桃胶中含有多种无机元素,其中包括对人有益的微量元素和有害的重金属污染物。目前,对于桃胶中无机元素的测定仅有少量研究。无机元素的含量受环境、品种的影响较大,可通过检测无机元素实现桃胶的产地追溯^[49]和品种鉴别^[50]。现有桃胶中重金属测定研究发现,对人体有害的重金属元素含量均不超过食品安全国家标准中规定的限量,得出了桃胶不存在蓄积重金属的结论^[51],但是该研究受限于样品采集的环境与数量。在桃胶新食品原料拟公告的食品安全指标中规定了部分重金属限量,如铅和总砷,限量设置为小于 0.5 mg/kg。但除此之外,还有很多重金属污染的可能,如汞、六价铬。因此,关于桃胶重金属研究仍有较大空间,包括建立灵敏度高的检测方法、不同元素价态分析等。

3.3 其 他

原桃胶在生产过程中可能受到致病菌及其代谢产物的污染,如真菌毒素。在桃胶新食品原料拟公告文本中,关于桃胶的食品安全指标中规定了赭曲霉毒素、大肠杆菌、霉菌、酵母菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌的限量要求。桃胶的产生表明桃树生长可能受到了细菌、真菌或病毒的威胁,然而目前并没有更多关于桃胶中致病菌的报道。商品桃胶在加工过程中有脱色的工艺步骤,是因为桃胶多糖在水解时会发生美拉德反应而导致桃胶色泽变暗,因此会使用次氯酸钠、过氧化氢等进行漂白;也会使用适量的防腐剂,如甲醛、多菌灵等;另外在采收时往往会存在不同树胶及工业胶的的掺杂,这些都可能影响着桃胶的安全

性。桃胶自身的毒理学研究尚未见报道,对于桃胶在食用、药用及食品工业中的应用安全性缺乏实验数据支撑。因此仍需要进一步对桃胶安全性方面进行深入研究,为桃胶的安全评估以及加工产品安全应用提供充分的理论和实验依据。

4 展 望

目前桃胶已经处于国家新食品原料公开征求意见阶段,新食品原料的批准将会进一步推动桃胶产业的发展,带来可观的经济价值,因此更迫切需要完善桃胶的质量安全评价指标。本文从感官要求、理化性质和安全性研究 3 方面对桃胶的质量评价指标进行归纳,明确了目前桃胶各方面的研究现状及研究不足。桃胶主要成分为多糖,多糖成分复杂,其多糖具体的结构特征和空间构型目前仍是研究的热点。除了桃胶多糖,其他天然成分含量指标不清晰,营养功效没有充分挖掘。桃胶即将成为新食品原料,然而至今为止仍缺乏毒理学数据,包括每日允许摄入量、急性毒性和慢性毒性致死剂量等方面,这将是未来桃胶在食品工业中充分利用急需补充的研究内容。桃胶在生产过程中使用的酸、碱、漂白剂等是否影响桃胶的安全性,是否符合食品生产的要求,这些问题仍需进一步明确。另外目前仅有少量地方中药材和中药饮片炮制的标准,缺乏具体的桃胶食品质量相关的国家和地方标准。制订合理的桃胶食品质量标准,将有助于规范桃胶加工工艺流程,提高产品质量。

参考文献

- [1] LIU M, LIU X, BI JF, *et al.* Comparative study on physicochemical properties of thirteen peach gums from different varieties [J]. *Sci Hortic*, 2023, 310: 111722.
- [2] ZENG SH, LONG JW, SUN JH, *et al.* A review on peach gum polysaccharide: Hydrolysis, structure, properties and applications [J]. *Carbohydr Polym*, 2022, 279: 119015.
- [3] 潘晓筱, 郑晓玲, 同洁, 等. 橘皮桃胶果冻制备的关键技术[J]. *科技创新与应用*, 2022, 12(22): 36–39.
PAN XX, ZHENG XL, YAN J, *et al.* Key technology for the preparation of orange peel and peach gum jelly [J]. *Technol Innov Appl*, 2022, 12(22): 36–39.
- [4] 余江琼, 姬盼盼, 张磊. 不同杀菌方式对柚皮桃胶营养鲜湿面保藏的影响[J]. *食品工业*, 2019, 40(9): 84–88.
YU JQ, JI PP, ZHANG L. Effects of different sterilization methods on the qualities of nutritional fresh noodles formulated with pomelo peel and peach gum [J]. *Food Ind*, 2019, 40(9): 84–88.
- [5] 慕思雨, 高旭升, 孟宇行, 等. 非淀粉多糖提高分支麦芽糊精黏弹特性的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(12): 250–257.
MU SY, GAO XS, MENG YH, *et al.* Enhancement of viscoelastic properties of high-branched maltodextrin by non-starchy polysaccharides [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(12): 250–257.
- [6] 袁发洪, 陈婷, 黄强, 等. 桃胶-明胶复合凝聚法制备紫苏籽油微胶囊研究[J]. *长江大学学报(自科版)*, 2016, 13(15): 69–73, 7.
- [7] YUAN FH, CHEN T, HUANG Q, *et al.* Preparation and performance studies on the microcapsule of *Perilla* oil entrapped with peach gum and gelatin by complex coacervation [J]. *J Yangtze Univ (Nat Sci Ed)*, 2016, 13(15): 69–73, 7.
- [7] ZHANG L, KOU XY, HUANG X, *et al.* Peach-gum: A promising alternative for retarding the ripening and senescence in postharvest peach fruit [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2020, 161: 111088.
- [8] MAHDI AA, AL-MAQTARI QA, AL-ANSI W, *et al.* Replacement of polyethylene oxide by peach gum to produce an active film using *Litsea cubeba* essential oil and its application in beef [J]. *Int J Biol Macromol*, 2023, 241: 124592.
- [9] WEI CY, YAO L, ZHANG Y, *et al.* Structural characterization of peach gum polysaccharide and its effects on the regulation of DSS-induced acute colitis [J]. *Int J Biol Macromol*, 2023, 225: 1224–1234.
- [10] 王润华, 成欣如, 徐奕帆, 等. 凝固型桃胶酸奶的制备及其抗氧化活性[J]. *常熟理工学院学报*, 2022, 36(2): 55–60.
WANG RH, CHENG XR, XU YF, *et al.* Preparation of solidified peach gum yoghurt and its antioxidant activity [J]. *J Changshu Inst Technol*, 2022, 36(2): 55–60.
- [11] YANG M, TAO L, WANG ZL, *et al.* The mechanism of peach gum polysaccharide preventing UVB-induced skin photoaging by regulating matrix metalloproteinase and oxidative factors [J]. *Molecules*, 2023, 28(10): 4104.
- [12] 金平. 基于药食同源桃胶质量评价与生物酶解工艺研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2022.
JIN P. Study on the quality evaluation of peach gum and biological enzymatic hydrolysis process based on the theory of “medicine and food homology” [D]. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine, 2022.
- [13] 国家食品安全风险评估中心. 桃胶等 4 种新食品原料公开征求意见 [EB/OL]. [2023-04-23]. <https://www.cfsa.net.cn/Article/News.aspx?id=EEF9DA1A216186D997E91A503837A3874DDB2915C8C9D4C1> [2023-09-01].
China National Center for Food Safety Risk Assessment, Proposed announcement text for four new food raw materials including peach gum. [EB/OL]. [2023-04-23]. <https://www.cfsa.net.cn/Article/News.aspx?id=EEF9DA1A216186D997E91A503837A3874DDB2915C8C9D4C1> [2023-09-01].
- [14] LU TY, HAN XK, CHEN DM, *et al.* Multifunctional bio-films based on silk nanofibres/peach gum polysaccharide for highly sensitive temperature, flame, and water detection [J]. *Int J Biol Macromol*, 2023, 231: 123472.
- [15] LIU ZW, CHEN S, WAN Y, *et al.* Efficient utilization of peach gum to prepare UV-responsive peelable pressure-sensitive adhesives for non-destructive fabrication of ultrathin electronics [J]. *Appl Surf Sci*, 2023, 612: 155748.
- [16] SHI FF, LIU QF, YANG C, *et al.* Natural peach gum as porous carbon precursor and gel electrolyte for high-performance zinc-ion hybrid supercapacitors [J]. *Adv Sustainable Syst*, 2023, 7(3): 2200412.
- [17] LIU J, ZHANG XP, TIAN J, *et al.* Multiomics analysis reveals that peach gum colouring reflects plant defense responses against pathogenic fungi [J]. *Food Chem*, 2022, 383: 132424–132424.

- [18] 张宏媛, 钱佳俊, 李哲远, 等. 部分酸水解对桃胶多糖结构和乳化功能的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(4): 99–106.
ZHANG HY, QIAN JJ, LI ZY, *et al.* Effect of partial acid hydrolysis on the structure and emulsifying function of peach gum polysaccharide [J]. Food Sci, 2023, 44(4): 99–106.
- [19] 蔡延渠, 邓剑壕, 朱志东, 等. 不同产地原桃胶的多糖含量研究[J]. 广东药科大学学报, 2018, 34(1): 25–28.
CAI YQ, DENG JH, ZHU ZD, *et al.* Study on determinations of polysaccharides in the original peach gum from different habitats [J]. J Guangdong Pharm Univ, 2018, 34(1): 25–28.
- [20] 梁美宜, 蔡延渠, 董碧莲, 等. 不同桃的品种、树龄对桃胶多糖含量影响的研究[J]. 广东药科大学学报, 2019, 35(3): 369–372.
LIANG MY, CAI YQ, DONG BL, *et al.* Study on the effects of each variety and tree ages on polysaccharide contents of the peach gum [J]. J Guangdong Pharm Univ, 2019, 35(3): 369–372.
- [21] YAO HD, LIU B, HE L, *et al.* The incorporation of peach gum polysaccharide into soy protein based microparticles improves probiotic bacterial survival during simulated gastrointestinal digestion and storage [J]. Food Chem, 2023, 413: 135596.
- [22] 任永申, 张霏霏, 白杰, 等. 桃胶多糖的制备、质量表征及利尿作用研究[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2018, 44(5): 485–489.
REN YS, ZHANG FF, BAI J, *et al.* Preparation and quality characterization of peach gum polysaccharides, and its diuretic effect evaluation on mice [J]. J Southwest Minzu Univ (Nat Sci Ed), 2018, 44(5): 485–489.
- [23] 韩辉, 王蔓蔓, 冯丹妮, 等. 桃胶多糖的提取纯化表征及降血糖作用[J]. 武汉轻工大学学报, 2023, 42(2): 9–15, 60.
HAN H, WANG MM, FENG DN, *et al.* Extraction, purification, characterization and hypoglycemic effect of peach gum polysaccharide [J]. J Wuhan Polytech Univ, 2023, 42(2): 9–15, 60.
- [24] 蔡延渠, 董碧莲, 王晓佳, 等. 响应面法优化桃胶多糖碱水提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 中药新药与临床药理, 2019, 30(12): 1516–1522.
CAI YQ, DONG BL, WANG XJ, *et al.* Optimization of alkali water extraction technology for polysaccharides of peach gum with response surface methodology and antioxidant activity [J]. Tradit Chin Drug Res Clin Pharm, 2019, 30(12): 1516–1522.
- [25] 王立新, 王森, 邵爱玲. 扁桃胶组分和多糖结构的研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(19): 4081–4087.
WANG LX, WANG S, GAO AIL. Study on the composition and the structure of polysaccharide of almond gum [J]. Sci Agric Sin, 2010, 43(19): 4081–4087.
- [26] ZHANG H, LI CC, DING J, *et al.* Structural features and emulsifying stability of a highly branched arabinogalactan from immature peach (*Prunus persica*) exudates [J]. Food Hydrocolloid, 2020, 104: 105721.
- [27] 刘启月, 李勇, 陈小龙, 等. 基于代谢组学分析桃胶中酚类化合物含量及抗氧化活性[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(3): 746–753.
LIU QY, LI Y, CHEN XL, *et al.* Analysis on phenolics contents and antioxidant activity in peach gum based on metabolomics [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2021, 37(3): 746–753.
- [28] 刘佳, 李勇, 木其尔, 等. 非靶向代谢组学研究 3 种树胶代谢轮廓差异[J]. 食品科学, 2023, 44(10): 273–280.
LIU J, LI Y, MU QER, *et al.* Untargeted metabolomic analysis of differential metabolite profiles of three gums [J]. Food Sci, 2023, 44(10): 273–280.
- [29] 刘启月, 李勇, 余向阳, 等. 高效液相色谱-串联质谱法检测原桃胶中左旋肉碱的含量[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(17): 215–218.
LIU QY, LI Y, YU XY, *et al.* Determination of *L*-carnitine in raw peach gum by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Jiangsu Agric Sci, 2020, 48(17): 215–218.
- [30] 董碧莲, 吕莉, 朱盛山, 等. 桃胶加工工艺研究概况[J]. 广东药科大学学报, 2018, 34(3): 403–406.
DONG BL, LV L, ZHU SS, *et al.* Research progress on peach gum processing technology [J]. J Guangdong Pharm Univ, 2018, 34(3): 403–406.
- [31] WEI CY, ZHANG Y, ZHANG H, *et al.* Physicochemical properties and conformations of water-soluble peach gums via different preparation methods [J]. Food Hydrocolloid, 2019, 95: 571–579.
- [32] 戚彩娃, 陆俏颖, 杨曼娜, 等. 桃胶的性质与提取工艺研究现状[J]. 广东化工, 2009, 36(10): 153–154, 160.
QI CW, LU QY, YANG MN, *et al.* Research of the properties and extraction of peach gum [J]. Guangdong Chem Ind, 2009, 36(10): 153–154, 160.
- [33] 亓希武, 陈泽群, 房海灵, 等. 桃胶水解及脱色工艺研究[J]. 现代园艺, 2021, 44(11): 44–46, 73.
QI XW, CHEN ZQ, FANG HL, *et al.* Study on hydrolysis and decolorization technology of peach gum [J]. Contemp Hortic, 2021, 44(11): 44–46, 73.
- [34] 蒋晓颖, 王婷婷, 王亚娟, 等. 响应面法优化微波辅助桃胶水解工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(4): 95–101.
JIANG XY, WANG TT, WANG YJ, *et al.* Study on the microwave-assisted hydrolysis of peach gum [J]. China Food Addit, 2020, 31(4): 95–101.
- [35] YAO XC, CAO Y, PAN SK, *et al.* Preparation of peach gum polysaccharides using hydrogen peroxide [J]. Carbohydr Polym, 2013, 94(1): 88–90.
- [36] YANG HY, WANG DW, DENG J, *et al.* Activity and structural characteristics of peach gum exudates [J]. Int J Polym Sci, 2018, 2018: 1–5.
- [37] WEI CY, ZHANG Y, HE L, *et al.* Structural characterization and anti-proliferative activities of partially degraded polysaccharides from peach gum [J]. Carbohydr Polym, 2019, 203: 193–202.
- [38] 刘梦, 毕金峰, 刘璇, 等. 浸胀与干燥过程对桃胶色泽及总酚含量的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(11): 105–111.
LIU M, BI JF, LIU X, *et al.* Effect of the process of soaking and drying on color and total phenolic content of peach gum [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2021, 21(11): 105–111.
- [39] 张璇. 桃树胶研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2011, 18(1): 29–31, 36.
ZHANG X. Research progress on peach gum [J]. Cere Food Ind, 2011,

- 18(1): 29–31, 36.
- [40] 李凤月. 桃胶水解及衍生化研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2012.
LI FY. Study on hydrolysis and derivatization of peach gum [D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2012.
- [41] 吴思平, 蔡延渠, 田先地, 等. 桃胶改良前后的溶胀性能分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(20): 13–16.
WU SP, CAI YQ, TIAN XD, *et al.* Swelling properties analysis of peach gum before and after being improved [J]. Chin J Exp Tradit Med Formul, 2015, 21(20): 13–16.
- [42] 王森, 谢碧霞, 钟秋平, 等. 不同 pH 对扁桃胶水解物晶体特性的影响[J]. 林业科学, 2010, 46(3): 74–79.
WANG S, XIE BX, ZHONG QP, *et al.* Effects of pH on crystalline attribute of almond gum hydrolysate [J]. Sci Silv Sin, 2010, 46(3): 74–79.
- [43] 冯纪南, 李安平, 周玉杰, 等. 商品桃胶溶液的流变学特性研究[J]. 食品科技, 2016, 41(5): 44–47.
FENG JN, LI ANP, ZHOU YJ, *et al.* The rheological properties of commercial peach gum solution [J]. Food Sci Technol, 2016, 41(5): 44–47.
- [44] DING J, ZHANG H, TIAN YJ, *et al.* Rheological properties of prunus persica exudate: Potential effects of proteins and polyphenols [J]. Int J Biol Macromol, 2019, 133: 831–838.
- [45] CHEN JX, ZHOU M, LIU M, *et al.* Physicochemical, rheological properties and *in vitro* hypoglycemic activities of polysaccharide fractions from peach gum [J]. Carbohydr Polym, 2022, 296: 119954.
- [46] 官金艳, 苏小路, 胡亦清, 等. QuEChERS-气相色谱法快速测定桃胶中 16 种有机磷农药残留[J]. 分析科学学报, 2022, 38(2): 260–264.
GUAN JY, SU XL, HU YQ, *et al.* Determination of 16 organophosphorus pesticide residues in peach gum by QuEChERS-gas chromatography [J]. J Anal Sci, 2022, 38(2): 260–264.
- [47] 田菊, 李勇, 吕春茂, 等. 桃胶中多农药残留分析及风险评估[J]. 食品与机械, 2023, 39(5): 55–63, 100.
TIAN J, LI Y, LV CM, *et al.* Analysis and risk assessment of pesticide residues in peach gum [J]. Food Mach, 2023, 39(5): 55–63, 100.
- [48] 陈妙金, 孙奇男, 谢宝良, 等. 桃胶多时期采摘的农药残留分析[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(5): 1009–1011, 1015.
CHEN MJ, SUN QN, XIE BL, *et al.* Analysis of pesticide residues in peach gum harvested in multiple periods [J]. Zhejiang Agric Sci, 2021, 62(5): 1009–1011, 1015.
- [49] 金平, 陈建伟. 不同产地桃胶无机元素的 ICP-MS 分析与评价[J]. 食品工业科技, 2019, 6: 219–224.
JIN P, CHEN JW. Principal component analysis and evaluation of inorganic elements in peach gum from different areas [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 6: 219–224.
- [50] 薛梅, 邢常瑞, 孙梦璐, 等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定桃胶中 22 种矿物元素含量[J]. 安徽农业大学学报, 2020, 47(4): 505–512.
XUE M, XING CR, SUN ML, *et al.* Simultaneous determination of 22 elements in peach gum by microwave digestion and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) [J]. J Anhui Agric Univ, 2020, 47(4): 505–512.
- [51] 宫世平, 李玲, 陈明岩, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定桃胶中微量元素[J]. 农产品加工, 2021, 15: 47–49.
GONG SP, LI L, CHEN MY, *et al.* Determination of trace elements in peach gum by ICP-MS [J]. Farm Prod Process, 2021, 15: 47–49.

(责任编辑: 郑丽 韩晓红)

作者简介



林 慧, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: lh_szjy@163.com



练鸿振, 教授, 主要研究方向为环境分析化学。
E-mail: hzlian@nju.edu.cn



徐春祥, 研究员级高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: xcx70@163.com