

桃胶多糖的水解、结构性能与应用研究进展

王善红, 夏光辉, 裴世春*

(通化师范学院食品科学与工程学院, 通化 134000)

摘要: 桃胶是一种从桃树的树干、枝条和果实中分泌的天然植物胶, 桃胶近乎不溶于水的特点限制了其应用, 而桃胶多糖是一种典型的植物多糖, 可通过水解桃胶获得。具有高度支化大分子结构的桃胶多糖具有官能团多、水溶性好、生物相容性好、乳化性好、抗氧化和抗菌活性好、成本低等显著优点。桃胶多糖的应用领域包括医药、食品、吸附剂、黏合剂和凝胶材料领域。为了实现可持续发展, 人们越来越重视利用从植物资源中提取的可再生多糖来代替化学合成材料。本文系统地介绍了桃胶多糖的结构、性能, 以及桃胶多糖在科学研究和实际应用中面临的机遇和挑战, 意在了解桃胶多糖的研究现状, 突出桃胶多糖在实际应用中的巨大潜力, 从而实现桃胶资源的充分利用。

关键词: 桃胶; 桃胶多糖; 组成; 特性

Research progress on hydrolysis, structural properties, and application of peach gum polysaccharides

WANG Shan-Hong, XIA Guang-Hui, PEI Shi-Chun*

(Food Science and Engineering College of Tonghua Normal University, Tonghua 134000, China)

ABSTRACT: Peach gum is a natural plant secreted from peach trees' trunk, branches, and fruits. The almost insoluble nature of peach gum limits its application. However, peach gum polysaccharides are typical plant polysaccharide that can be obtained by hydrolyzing peach gum. Peach gum polysaccharide with highly branched macromolecular structure has many remarkable advantages, such as multiple functional groups, excellent water solubility, well biocompatibility, great emulsification, well antioxidant and antibacterial activities, and low cost. The application fields of peach gum polysaccharide include medicine, food, adsorbent, adhesive and gel materials. In order to achieve sustainable development, people pay more and more attention to using renewable polysaccharides extracted from plant resources instead of chemically synthesized materials. This paper systematically introduced the structure and properties of peach gum polysaccharide, as well as the opportunities and challenges it faces in scientific research and practical application, in order to understand the research status of peach gum polysaccharide and highlight its great potential in practical application, so as to make full use of peach gum resources.

KEY WORDS: peach gum; peach gum polysaccharides; composition; characteristic

基金项目: 吉林省教育厅科学技术项目(JJKH20210546KJ)、通化师范学院 2022 年大学生创新创业训练计划项目(S202210202105)

Fund: Supported by the Jilin Provincial Department of Education Science and Technology Project (JJKH20210546KJ), and the Tonghua Normal University 2022 College Student Innovation and Entrepreneurship Training Program Project (S202210202105)

***通信作者:** 裴世春, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 1079481030@qq.com

***Corresponding author:** PEI Shi-Chun, Ph.D, Professor, Tonghua Normal University, No.950, Yucui Road, Tonghua 134000, China. E-mail: 1079481030@qq.com

0 引言

桃胶(peach gum, PG)是一种从桃树(蔷薇科)的树干、枝条和果实中分泌的天然植物胶(图 1a、b)。当桃树受到机械损伤和感染等外部侵袭时,其内部组织会产生桃胶覆盖受感染组织的表面,抑制微生物对桃树的入侵和繁殖。通常,桃胶由多糖(80%~85%)、水分(2%~12%)、灰分(0.3%~4%)、蛋白质(0.2%~2%)和微量多酚及无机元素(如钙、钾、镁等)成分组成^[1-4]。我国天然桃胶的来源非常丰富^[5],年产量可达 100 亿 t^[6]。但到目前为止,只有一小部分桃胶被加工利用,资源浪费很严重。

桃胶具有很多功能特性,例如桃胶可作为治疗血淋、痢疾^[7]、糖尿病^[8-11]的中药和药用辅料。因粗桃胶只能膨胀,不能溶解于水中,严重限制了其广泛应用。随着水溶性桃胶多糖制备技术的不断发展,桃胶多糖(图 1c)的研究和应用引起了越来越多的学者关注。桃胶多糖的应用领域涉及医药、食品工业、吸附材料、黏合剂、凝胶材料等^[12-15]。本文系统综述了桃胶多糖的结构、性能和应用,意在了解桃胶多糖的研究现状,突出桃胶多糖在实际应用中的巨大潜力,从而实现桃胶资源的充分利用。

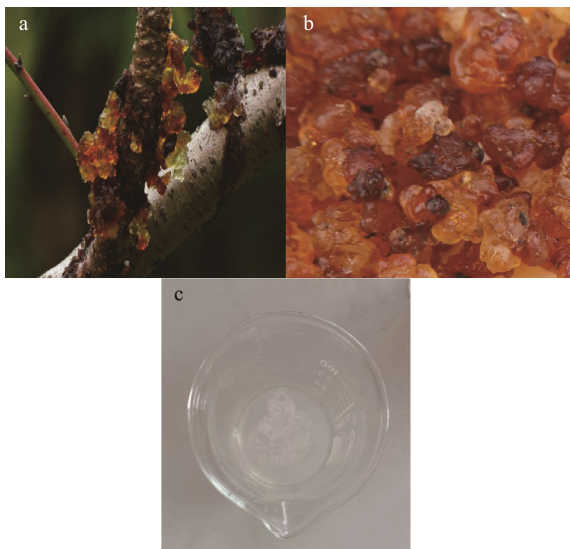


图1 天然粗桃胶实物(a、b)及水溶液中桃胶多糖形态(c)

Fig.1 Physical images of natural coarse peach gum (a, b) and morphology of peach gum polysaccharides in aqueous solution (c)

1 水解方式

一般直接采摘的粗桃胶由于其非常高的分子量和高度的支化而不溶于水。为了促进桃胶资源的利用,有必要水解粗桃胶以提供水溶性桃胶多糖。从粗桃胶到桃胶多糖的整个过程通常包括溶胀、杂质去除、水解、脱色、脱盐和干燥步骤^[16](图 2)。在所有步骤中,水解是最重要的步骤,

到目前为止,已经开发了几种水解技术,包括热水解、酸水解、碱水解、过氧化氢水解、酶水解和联合水解。水解方式显著影响桃胶多糖的后续应用。

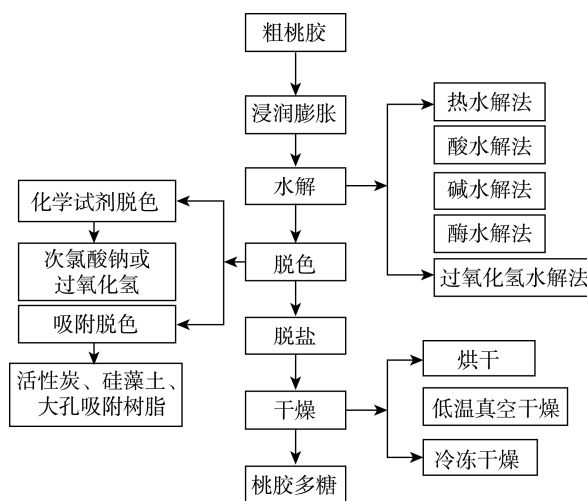


图2 桃胶多糖工艺流程图

Fig.2 Process flow diagram of peach gum polysaccharide

1.1 热水解

桃胶多糖热水解机制是高温促进水中质子的形成,形成的质子可以催化桃胶的断裂形成水溶性多糖^[17],形成的质子还可以裂解出糖醛酸基团和乙酰基,从而释放出能够进一步促进桃胶多糖降解的酸。同时,还发现水解温度和水解时间等水解条件对桃胶多糖的分子量和产率有重要影响。通常,高温有利于桃胶的快速水解,得到低分子量的多糖。例如,WEI 等^[18]在 90℃下对粗桃胶进行了 2 h 热水解,桃胶多糖产率为 77.25%。由此可见热水解是获得桃胶多糖的一种简单易行的方法,也是提取植物多糖最常见的方法之一,但提取水温高低与多糖得率不一定呈线性正相关,当水提温度过高会导致桃胶多糖进一步降解。如何利用温度控制断键数量获得适宜的桃胶多糖分子量在未来桃胶多糖应用中具有一定的研究意义。一般来说,热水解技术操作简单,不需要添加其他物质,成本相对较低。但其也存在耗时、耗能、产品再现性差等问题,要合理选择桃胶多糖水解方式。

1.2 酸/碱水解

酸/碱水解是指在酸/碱的帮助下水解粗桃胶。酸/碱的水解方式可增加桃胶多糖提取率,张宏媛等^[4]利用酸水解桃胶,桃胶多糖得率为 78.4%,蔡延渠等^[19]利用碱水解粗桃胶,得率为 86.71%。桃胶多糖得率一般先增加后下降,同时该方式可降低桃胶多糖黏性,黏性大小取决于水解试剂及水解时间。ZHOU 的团队证明随着时间延长,桃胶多糖黏度也随之下。他们提出,酸水解过程是从桃胶颗粒的表面到内部逐渐进行。随着水解时间的增加,桃胶颗粒

越来越小, 最终完全消失, 同时桃胶多糖由高分子量进一步水解为低分子量^[20]。与热水解相比, 酸水解或碱水解具有水解效率高、能耗低和产品再现性稳定的优点。但酸/碱水解条件苛刻, 不仅增加了水解过程控制的难度, 而且纯化和分离成本也很高。有实验证明粗桃胶在强酸条件下水解 4 h 未获得桃胶多糖^[18], 进一步证明酸/碱水解多糖的工艺难度。虽然酸/碱的水解方式可有效提高桃胶多糖提取率, 但该方式获得的多糖结构和组成尚不明确, 需要进一步探讨。

1.3 过氧化氢水解

过氧化氢水解的机制是过氧化氢形成的自由基可以攻击糖苷键, 使其发生断裂, 从而获得水溶性桃胶多糖。YAO 等^[21]通过过氧化氢水解的方法得到的桃胶多糖含量为 97.8%, 产率为 83.6% (*m:m*)。在实际应用中, 过氧化氢经常与一定浓度的氢氧化钠结合使用, 以提高桃胶多糖的产量。与其他水解技术相比过氧化氢水解具有水解效率高、产品外观好、水解温度低的优点。

1.4 酶水解

与其他水解技术获得的多糖相比, 酶水解提取的多糖通常具有更高的抗氧化活性^[22-23]。粗桃胶可通过酶催化植物细胞产生内外水解酶获得一些列水解多糖。KARDOŠOVÁ 等^[24]通过添加真菌半乳糖苷酶水解粗桃胶 24 h 后, 发现其形成了一系列低聚糖。此外, 陈书博^[25]利用木聚糖酶提取桃胶多糖, 得到分子量为 1.3×10^6 Da 的精多糖。尽管酶水解技术具有水解速度快、水解条件温和、产率高的优点, 但酶水解的适宜温度范围和 pH 范围通常非常窄, 为了将酶活性保持在最佳水平, 在水解过程中必须严格控制温度和 pH。

1.5 联合水解

联合水解技术是指将多种水解技术相结合, 是提高水解效率、获得特定多糖的有效手段。例如, WEI 等^[18]先用碱水解粗桃胶, 再加入过氧化氢对桃胶多糖进行二次水解。然后用不同分子量的超滤膜对水解产物进行分离。获得了 3 个不同分子量的桃胶多糖样品, 其产率分别为 65.4%、16.3% 和 18.1%。因此, 水解技术与超滤分离相结合为获得具有特定分子量的桃胶多糖提供了一种可行的策略。

2 桃胶多糖的结构

2.1 结构与组成

研究桃胶的结构和组成对促进桃胶资源的增值利用具有重要意义。1966 年, 首次报道了桃胶多糖的主链通过 β -(1 \rightarrow 6)糖苷键连接而成^[26]。随着现代分析技术的发展, 在这方面, 越来越多的团队证明桃胶多糖由阿拉伯糖(Ara)、半乳糖(Gal)、葡萄糖醛酸(GlcA)、木糖(Xyl)、甘露糖(Man)和鼠李糖(Rha)组成^[27-28](表 1), 其中各单糖分子结构式见图 3。SIMAS 团队发现桃胶的来源对桃胶多糖的组成几乎没有影响, 但对其中每个单糖的含量和比例都有影响^[27]。

最近, ZHANG 等^[29]通过一维和二维核磁共振技术(nuclear magnetic resonance, NMR)进一步分析了桃胶多糖的精细结构, 发现了多种糖残基。通过一维和二维核磁共振技术的结合对弱信号的糖基进行分类。已经确定了桃胶多糖二糖残基的主要化学位移, 并推断出桃胶多糖的分子结构(图 4)^[30-31]。即使不同技术水解的桃胶多糖的组成和结构略有不同, 但桃胶多糖通常由阿拉伯糖(32%~54%)、半乳糖(27%~42%)、木糖(4.0%~14%)、葡萄糖醛酸(1.6%~20%)、甘露糖(1.0%~5.4%)和 *L*-阿拉伯糖(0~1.3%)组成^[31-32]。通过结构式可以看出桃胶多糖是一种具有高度支化的大分子结构和大量羟基和羧基基团的天然杂多糖。

2.2 分子形态

桃胶多糖的分子形态高度依赖于其拓扑结构。通常, 高度支化的桃胶多糖在溶液中主要表现为紧密的螺旋状或球形形态, 如阿拉伯胶^[33]和铁皮石斛多糖^[34]。高聚物的特性黏度-分子量关系式($[\eta]=KM\eta\alpha$)可为溶液中多糖大分子形态提供有效信息^[35]。当关系式中的 α 值分别为 0~0.3、0.5~0.8、1 和 1.8~2.0 时, 多糖大分子在溶剂中的形态分别为球形、紧密螺旋状、柔性链、半柔性链和杆状刚性链^[18]。HUANG 等^[20]研究发现, 随着氯化钠浓度或溶液 pH 的增加, 桃胶多糖大分子形态发生改变。可能因为氯化钠的静电屏蔽作用或 pH 的变化会影响桃胶多糖中羧基基团的电离度, 从而降低桃胶多糖大分子的分子间相互作用。因此, 桃胶多糖大分子在溶液中的形态可通过调节分子量、支化度、溶液 pH、离子强度等方面来控制。

表 1 不同水解方式桃胶多糖的组成含量(%)

Table 1 Composition content of peach gum polysaccharides by different hydrolysis methods (%)

水解方式	甘露糖(Man)	半乳糖(Gal)	木糖(Xyl)	阿拉伯糖(Ara)	鼠李糖(Rha)	葡萄糖醛酸(GlcA)	参考文献
热水解法	微量	33.8	4.0	48.5	—	6.6	[29]
酸水解法	1.3	32.8	9.9	49.2	—	2.1	[4]
过氧化氢水解法	5.4	35.8	7.0	48.2	1.0	2.7	[30]

注: —表示该成分不存在。

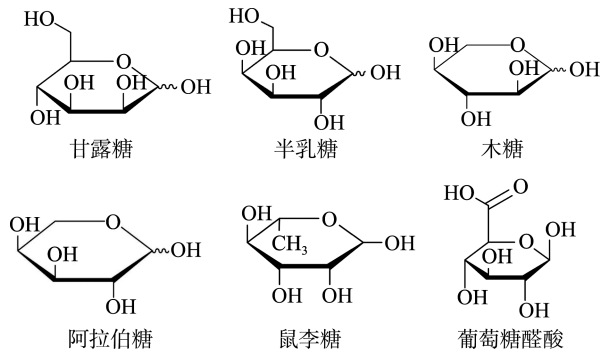


图3 桃胶多糖中各单糖结构式

Fig.3 Structural formulas of various monosaccharides in peach gum polysaccharides

3 桃胶多糖性能

3.1 流变性能

桃胶多糖溶液是一种典型的非牛顿流体^[27], 即桃胶多糖溶液的表观黏度随着剪切速率的增加而降低, 这种特性有利于后处理和降低加工能耗。天然树胶的流变性能与其成分和浓度直接相关。随着桃胶多糖浓度的增加, 桃胶多糖的大分子链相互交织, 这增加了桃胶多糖的表观黏度和储能量。桃胶多糖的流变性能受 pH、离子强度和温度等因素影响。例如, 当向桃胶多糖溶液中加入氯化钠时, 桃胶多糖大分子之间的相互作用发生变化, 导致桃胶多糖大分子聚集, 桃胶多糖溶液的黏度降低。桃胶多糖的表观黏度也表现出明显的温度依赖性。在 25~80°C 时, 相同浓度下桃胶多糖溶液的黏度总是高于阿拉伯树胶, 表明桃胶多糖有望在食品增稠剂领域取代阿拉伯树胶^[36-37]。

3.2 乳化性能

桃胶多糖的乳化性能取决于其分子量、浓度、大分子形态以及桃胶多糖与溶剂之间的相互作用。桃胶多糖的乳化性能优于阿拉伯树胶, 并随着其分子量的增加而增强。桃胶多糖乳液的稳定性随着浓度的增加而增强。桃胶多糖大分子中带电基团羧基的存在可以提供静电相互作用, 用以稳定形成的乳液, 特别是在低离子强度的条件下^[18]。因此, 桃胶多糖乳化性能可能归因其高度支化的大分子结构的球形形态有助于在油水界面形成稳定的乳液。

3.3 抗氧化活性

桃胶多糖具有较强的抗氧化能力。树胶多糖可以作为电子供体, 将活性自由基转化为更稳定的产物从而达到抗氧化的目的^[38]。有研究证明不同水解方式获得的桃胶多糖对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 自由基和 2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐 [2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS] 阳离子自由基具有清除功能。热水解和碱水解方式使得多糖发生降解, 分子量从 182500 g/mol 分别降至 78450 g/mol 和 68420 g/mol, 去除了桃胶多糖中大部分非糖成分, 提高了其抗氧化活性^[17]。同时, 蔡延渠等^[39]通过实验证明桃胶多糖能够显著降低血清及肝脏中丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 含量、增强超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 及谷胱甘肽过氧化物酶 (glutathione peroxidase, GSH-Px) 活性。且桃胶多糖的抗氧化活性与浓度呈正相关。桃胶多糖可通过清除自由基、提高机体免疫活性物质达到抗氧化的作用。由于桃胶多糖的组成和结构复杂, 其清除不同自由基的具体机制尚不清楚, 需要进一步研究。

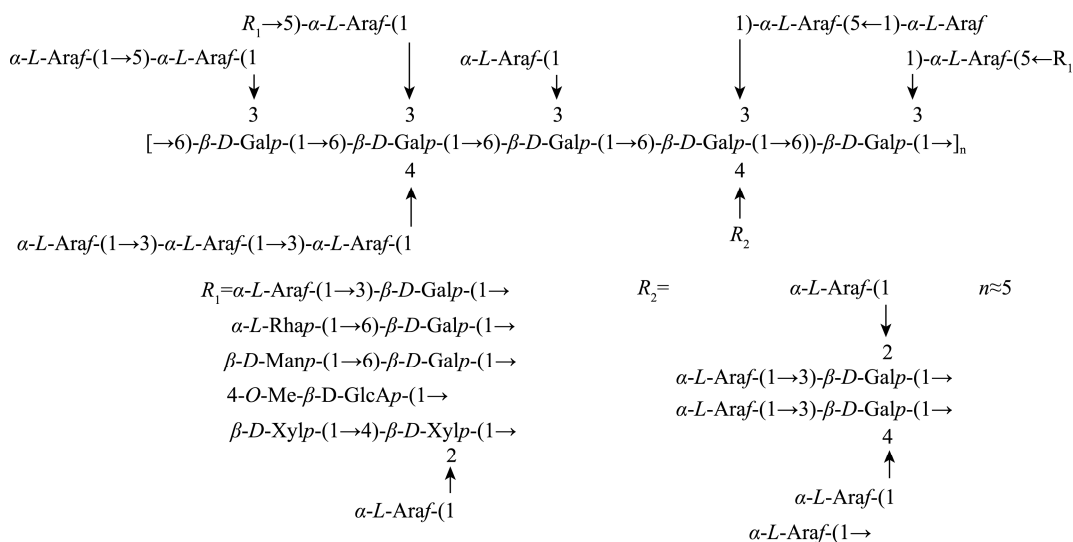


图4 桃胶多糖分子结构式

Fig.4 Molecular structural formulas of peach gum polysaccharide

3.4 抗菌活性

桃胶多糖由于其复杂的分子结构和独特的组成, 很难被真菌和细菌降解, 这可能是桃胶多糖能够有效促进桃树伤口愈合的原因。这一现象也表明桃胶多糖可作为抗菌材料使用。YAO 等^[40]通过研究得出桃胶多糖对枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抑菌带直径分别可达 9.01、10.12 和 11.04 mm, 表明桃胶多糖具有良好的抗菌活性。

4 桃胶多糖的应用

随着可持续发展的需求, 探索对环境友好的生物材料越来越受到人们的关注。桃胶多糖作为一种无毒、可再生、可降解、储量丰富、成本低廉的天然生物物质, 有望成为许多领域合成材料的替代品, 如吸附剂、食品添加剂。桃胶多糖的高度支化的大分子结构和独特的组成使其易于根据应用要求进行化学改性。由于其抗氧化、抗菌、黏稠度高易成膜^[41-43]等性质, 使其在可食性膜领域有所应用, 可有效阻挡外界微生物, 提高产品保质期, 还可应用在护肤产品中。除此以外, 桃胶多糖在食品领域、制药领域、吸附剂领域、稳定剂领域等多个领域也发挥出潜在的特点及优势^[44-46]。

4.1 制药领域

桃胶是一种具有数百年历史的中药。早在唐朝, 孙思邈就曾将桃胶用于治疗糖尿病^[47]。桃胶多糖作为桃胶的主要成分, 其药物研究主要集中在片剂辅料的制备、降低血糖、改善小鼠生殖系统、抗肿瘤细胞增殖和缓解急性肾盂肾炎等功能^[48-49]。WANG 等^[49]研究发现桃胶多糖可以显著降低链脲佐菌素诱导的糖尿病小鼠的餐后血糖。另外有研究证明, 桃胶多糖的降血糖机制为桃胶多糖可以有效抑制淀粉消化酶和麦芽糖酶的活性, 降低碳水化合物分解速率, 延缓肠道对碳水化合物的消化和吸收, 从而降低血糖水平^[47]。以上结果证明桃胶多糖可用于辅助降血糖, 应用于降糖食品或降糖药物中。

4.2 食品领域

桃胶多糖在食品领域的应用十分广泛, 如微胶囊载体、增稠剂、乳化剂、稳定剂、糖果包衣等^[31,50]。桃胶多糖微胶囊用于封装具有挥发性丁香酚, 其可保证所包裹的活性成分长时间缓慢释放, 达到最佳效果。XIE 等^[51]报道了桃胶多糖可作为微胶囊载体用于封装活性物质和挥发性化合物。由于其抗氧化、抗菌和成膜性能, 桃胶多糖也适用于制作食品保鲜可食性膜, 可涂抹于食物表面, 辅助食品储藏保鲜, 例如新鲜的桃^[52]和越橘^[53]使用桃胶多糖可食性膜后可较长时间保证鲜果品质。桃胶多糖可食性膜可以有效防止细菌、空气等环境因素对食品造成的氧化、降解和腐烂, 涂抹于水果表面可以有效延长其保质期。

4.3 护肤领域

桃胶的美容护肤产品现有桃胶面膜和桃胶护手霜。桃胶多糖提取物具有较好的吸湿和保湿性以及透皮吸收性能, 表明桃胶多糖可应用于护肤保湿剂^[54]。天然桃胶和皂荚豆胶混合制成面膜^[55], 相较于任意单一成分面膜保湿性能更佳, 其保湿程度可以达到 78.63%。另有桃胶-银耳-米糠复合涂抹型面膜易于涂抹成膜、敷用后面部清爽舒适、无任何刺激或不良反应^[56]。由此可见, 桃胶多糖保湿护肤具有较大优势, 市场前景非常可观。进一步推广加工天然桃胶制成的保湿面膜, 进行工业化绿色的生产, 可打造出一个非常具有特色的天然桃胶美容保湿面膜产品。

4.4 吸附剂

桃胶多糖作为一种可再生的天然大分子, 不仅易于获得, 而且含有独特的支化结构和大量的含氧基团, 适合于制备适用的吸附剂。粗桃胶可作为天然吸附剂, 有效和选择性地吸附亚甲基蓝和甲基紫等阳离子染料。粗桃胶对甲基蓝和甲基紫的最大吸附量分别高达 298 mg/g 和 277 mg/g^[57]。此外, 桃胶多糖包裹的二氧化硅颗粒可用于去除农药工业废水中的吡虫啉^[58]。因此, 桃胶多糖可在实际生活中用于去除水中各种污染物(如染料、重金属离子和有害化合物), 在作为吸附剂方面具有巨大潜力。

5 结束语

桃胶虽不属于新资源食品, 但桃胶作为我国丰富的农产品资源具有较高的食用价值和药用价值, 在实际应用中, 由于自身特性及其产能有限, 尚未大规模使用生产。桃胶多糖作为桃胶的主要成分, 具有以下几个优点: (1) 提取率高, 价格低廉; (2) 由多个单糖组成, 具有高度支化的大分子结构, 具有多种功能; (3) 具有良好的生物相容性、抗氧化和抗菌活性。到目前为止, 桃胶多糖已显示出可满足不同领域应用要求的潜力。未来对于桃胶多糖的研究与开发应注意的两方面问题。首先, 桃胶多糖的组成相对复杂, 很难完全确定其精细结构, 这给构效关系的研究带来了困难。另外, 桃胶多糖的水解机制尚不完全清楚, 仍需要进一步阐明。希望通过对桃胶多糖的深入研究, 可提高其利用率, 实现资源的可持续发展目的。

参考文献

- [1] LI Z, ZHANG H, LI G. Characterization of phytotoxin and secreted proteins identifies of *Lasiodiplodiatheobromae*, causes of peach gummosis [J]. *Fungal Biol-Uk*, 2019, 123(1): 51-58.
- [2] 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(15): 831-838.
- [3] JAMILA N, KHAN N, HWANG IM, *et al.* Characterization of natural gums via elemental and chemometric analyses, synthesis of silver nanoparticles, and biological and catalytic applications [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020,

- 147(15): 853–866.
- [4] 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.
- [5] ZHENG YF, CRAWFORDD GW, CHEN XG. Archaeological evidence for peach (*Prunus persica*) cultivation and domestication in China [J]. One, 2014, 9: e106595.
- [6] ZHU K, YU D, CHEN X, *et al.* Preparation characterization and controlled-release property of Fe³⁺ cross-linked hydrogels based on peach gum polysaccharide [J]. Food Hydrocolloid, 2018, 87(2): 260–269.
- [7] 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 effect of tree age on the content of peach gum polysaccharides [J]. J Guangdong Pharm Univ 2019, 35(3): 369–372.
- [8] 丁婷. 桃胶药理学作用的实验研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2010.
DING T. Experimental study on the pharmacological effects of peach gum [D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2010.
- [9] 王飞, 丁婷, 谷豪, 等. 桃胶多糖降糖机制研究[J]. 中医药导报, 2012, 18(8): 85–88.
WANG F, DING T, GU H, *et al.* Laboratory study on hypoglycemic mechanism of polysaccharide isolated from peach resin [J]. Guid J Tradit Chin Med Pharmacol, 2012, 18(8): 85–88.
- [10] 丁婷, 王飞, 韦莉萍, 等. 桃胶多糖对 2 型糖尿病大鼠血糖和血脂的影响[J]. 中医药导报, 2010, 16(5): 8–10.
DING T, WANG F, WEI LP, *et al.* Effect of peach resin on glycemia and serum lipoprotein levels in diabetes mellitus rats [J]. Guid J Tradit Chin Med Pharmacol, 2010, 16(5): 8–10.
- [11] 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.
- [12] 李向东, 汪尚游, 仇丹, 等. 超声微波协同萃取桃胶多糖的工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(8): 77–82.
LI XD, WANG SY, QIU D, *et al.* Study on the ultrasonic-microwave assisted extraction of polysaccharide from peach gum [J]. China Food Addit, 2020, 31(8): 77–82.
- [13] 钱育恩. 桃胶的研究与应用进展[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(6): 70.
QIAN YEN. Progress in research and application of peach gum [J]. Chem Design Commun, 2018, 44(6): 70.
- [14] LI C, WANG X, MENG D, *et al.* Facile synthesis of low-cost magnetic biosorbent from peach gum polysaccharide for selective and efficient removal of cationic dyes [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 107: 1871–1878.
- [15] XIE YL, ZHOU HM, QIAN HF. Effect of addition of peach gum on physicochemical properties of gelatin-based microcapsule [J]. J Food Biochem, 2006, 30(3): 302–312.
- [16] 向燕茹. 桃胶多糖的分离、质控方法及护手霜的研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2020.
XIANG YR. Study on separation, quality control method handcream of peach gum polysaccharide [D]. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine, 2020.
- [17] 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.
- [18] WEI C, ZHANG Y, ZHANG H, *et al.* Physicochemical properties and conformations of water-soluble peach gums via different preparation methods [J]. Food Hydrocolloid, 2018, 95(10): 571–579.
- [19] 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 Pharmacol, 2019, 30(12): 1516–1522.
- [20] HUANG J, ZHOU L. Peach gum polysaccharide polyelectrolyte: Preparation, properties and application in layer-by-layer self-assembly [J]. Carbohyd Polym, 2014, 113: 373–379.
- [21] YAO XC, CAO Y, PAN SK, *et al.* Preparation of peach gum polysaccharides using hydrogen peroxide [J]. Carbohyd Polym, 2013, 94(1): 88–90.
- [22] HUANG G, CHEN F, YANG W, *et al.* Preparation, deproteinization and comparison of bioactive polysaccharides [J]. Trends Food Sci Technol, 2021, 109(7): 564–568.
- [23] RUSSO D, FARAONE I, LABANCA F, *et al.* Comparison of different green-extraction techniques and determination of the phytochemical profile and antioxidant activity of *Echinacea angustifolia* L. extracts [J]. Phytochem Anal, 2019, 30(5): 547–555.
- [24] Kardošová A, Jrosík, JKubala. Utilization of degraded peach gum polysaccharide by *Aspergillus flavus* [J]. Phytochemistry, 1975, 14(2): 341–343.
- [25] 陈书博. 酶解桃胶多糖的结构表征、乳化性与乳液体外消化特性研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2022.
CHEN SB. Study on structure characterization emulsification and *in vitro* digestibility of enzymatic hydrolyzed peach gum polysaccharide [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2022.
- [26] ROSÍK J, BRUTENIČOVÁ-SÓSKOVÁ M, ZITKO V, *et al.* Polysaccharide from the resin of the peach tree *Prunus persica* (L.) Batsch [J]. Chem Pap, 1966, 20: 577–585.
- [27] SIMAS-TOSIN FF, BARRAZA RR, PETKOWICZ CLO, *et al.* Rheological and structural characteristics of peach tree gum exudates [J]. Food Hydrocolloid, 2010, 24(5): 486–493.
- [28] 郑依玲, 董鹏鹏, 梅全喜. 桃胶特性化学成分药理作用及临床应用研究进展[J]. 时珍国医国药, 2017, 28(7): 1728–1730.
ZHENG YL, DONG PP, MEI QX. Research progress on pharmacological effects and clinical applications of characteristic chemical components of peach gum [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2017, 28(7): 1728–1730.
- [29] ZHANG H, LI C, 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.
- [30] WEI C, ZHANG Y, HE L, *et al.* Structural characterization and anti-proliferative activities of partially degraded polysaccharides from peach gum [J]. Carbohyd Polym, 2019, 203(1): 193–203.
- [31] ZENG S, LONG J, SUN J, *et al.* A review on peach gum polysaccharide: Hydrolysis, structure, properties and applications [J]. Carbohyd Polym, 2022, 279: 119015.
- [32] SIMAS FF, GORIN PAJ, WAGNER R, *et al.* Comparison of structure of gum exudate polysaccharides from the trunk and fruit of the peach tree (*Prunus persica*). [J]. Carbohyd Polym, 2008, 71(2): 218–228.
- [33] LOPEZ-TORREZ L, NIGEN M, WILLIAMS P, *et al.* Acacia senegal vs. Acacia seyal gums-Part I: Composition and structure of hyperbranched plant exudates [J]. Food Hydrocolloid, 2015, 51: 41–53.
- [34] DENG Y, LI M, CHEN LX, *et al.* Chemical characterization and immunomodulatory activity of acetylated polysaccharides from dendrobium

- devonianium [J]. Carbohydr Polym, 2018, 180: 238–245.
- [35] HAIDING SE, ABDELHAMEED AS, MORRIS GA. On the hydrodynamic analysis of conformation in mixed biopolymer systems [J]. Polymer Int, 2011, 60: 2–8.
- [36] 尹楠, 沈群. 桃胶与阿拉伯胶性质的比较[J]. 食品工业科技, 2006, (8): 146–148, 165.
- YIN N, SHEN Q. Comparison of the properties of peach gum and Arabic gum [J]. Sci Technol Food Ind, 2006, (8): 146–148, 165.
- [37] QIAN HF, CUI SW, WANG Q, *et al.* Fractionation and physicochemical characterization of peach gum polysaccharides [J]. Food Hydrocolloid, 2011, 25: 1285–1290.
- [38] BOUAZIZ F, HELBERT CB, ROMDHANE MB, *et al.* Structural data and biological properties of almond gum oligosaccharide: Application to beef meat preservation [J]. Int J Biol Macromol, 2015, 72: 472–479.
- [39] 蔡延渠, 董碧莲, 陈利秋, 等. 桃胶多糖体内外抗氧化作用的研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 53–58.
- CAI YQ, DONG BL, CHEN LQ, *et al.* Antioxidant activity *in vivo* and *in vitro* of polysaccharide from peach gum [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(13): 53–58.
- [40] YAO XC, CAN Y, WU SJ. Antioxidant activity and antibacterial activity of peach gum derived oligosaccharides [J]. Int J Biol Macromol, 2013, 62(3): 1–3.
- [41] 贾锐, 陆兆新. 原桃胶中 1 株芽孢杆菌的分离鉴定及其主要抗菌物质[J]. 食品科学, 2016, 37(21): 136–143.
- JIA R, LU ZX. Isolation and identification of a *Bacillus* from peach tree gum and its main antimicrobial substance [J]. Food Sci, 2016, 37(21): 136–143.
- [42] LI C, TAO J, ZHANG H. Peach gum polysaccharides-based edible coatings extend shelf life of cherry tomatoes [J]. 3 Biotech, 2017, 7(3): 168–170.
- [43] 慕思雨, 高旭升, 孟宇行, 等. 非淀粉多糖提高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.
- [44] YUAN W, YAN MX, WANG YT, *et al.* Optimized preparation of eugenol microcapsules and its effect on hepatic steatosis in HepG2 cells [J]. Drug Dev Ind Pharm, 2020, 47(2): 225–234.
- [45] TAN J, SONG Y, HUANG X, *et al.* Facile functionalization of natural peach gum polysaccharide with multiple amine groups for highly efficient removal of toxic hexavalent chromium (Cr(VI)) ions from water [J]. ACS Omega, 2018, 3(12): 17309–17318.
- [46] NARGIS J, NAEEM K, INMIN H, *et al.* Characterization of natural gums via elemental and chemometric analyses, synthesis of silver nanoparticles, and biological and catalytic applications [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 147: 853–866.
- [47] 夏毅伟, 韦莉萍, 谷豪, 等. 桃胶多糖对 Caco-2 细胞模型吸收葡萄糖的影响[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2013, 15(2): 228–232.
- XIA YW, WEI LP, GU H, *et al.* Effects of peach gum polysaccharides on glucose uptake in Caco-2 cell model [J]. World Sci Technol-Moder Tradit Chin Med, 2013, 15(2): 228–232.
- [48] QIAN L, WANG W, SONG J, *et al.* Peach gum polysaccharides improve the spermatogenesis of KKAY mice with impaired reproduction system [J]. Am J Reprod Immunol, 2017, 77(3): e12627.
- [49] WANG Y, LIN D, WANG X, *et al.* The impact of a novel peach gum-derived polysaccharide on postprandial blood glucose control in streptozotocin-induced diabetic mice [J]. Int J Biol Macromol, 2017, 98: 379–386.
- [50] 袁发许, 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.
- YUAN FH, CHEN T, HUANG Q, *et al.* Preparation of perilla seed oil microcapsules by peach gum gelatin composite coagulation method [J]. J Yangtze Univ (Nat Sci Ed), 2016, 13(15): 69–73, 7.
- [51] XIE YL, ZHOU HM, QIAN HF. Effect of addition of peach gum on physicochemical properties of gelatin-based microcapsule [J]. J Food Biochem, 2010, 30(3): 302–312.
- [52] ZHANG L, KOU X, 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.
- [53] SHI Z, DENG J, WANG F, *et al.* Individual and combined effects of bamboo vinegar and peach gum on postharvest grey mould caused by *Botrytis cinerea* in blueberry [J]. Postharvest Biol Technol, 2019, 155: 86–93.
- [54] 蔡延渠, 董碧莲, 邓剑壕, 等. 改良桃胶多糖的吸湿保湿性能及体外透皮吸收研究[J]. 广州中医药大学学报, 2018, 35(4): 711–716.
- CAI YQ, DONG BL, DENG JH, *et al.* Study on moisture-absorption and moisture-retention properties and *in-vitro* percutaneous absorption of improved peach gum polysaccharose [J]. J Guangzhou Uni Tradit Chin Med, 2018, 35(4): 711–716.
- [55] 李晓娇, 宋志姣, 韩家曦. 桃胶、皂荚豆胶舒缓面膜的研制[J]. 化工管理, 2018, (33): 93–94.
- LI XJ, SONG ZJ, HAN JX. Preparation of peach gum and soap bean gum soothing and skin rejuvenating facial mask [J]. Chem Manage, 2018, (33): 93–94.
- [56] 赵红建, 段转霞. 桃胶-银耳-米糠自制免洗面膜的研究[J]. 广东化工, 2016, 43(19): 17–18, 24.
- ZHAO HJ, DUAN ZX. Study on peach gum-tremella-rice bran homemade disposable mask [J]. Guangdong Chem Ind, 2016, 43(19): 17–18, 24.
- [57] ZHOU L, HUANG J, HE B, *et al.* Peach gum for efficient removal of methylene blue and methyl violet dyes from aqueous solution [J]. Carbohydr Polym, 2014, 101: 574–581.
- [58] ARALAN M, MANZOOR S, ANSARI TM, *et al.* Peach resin coated silica particles for imidacloprid removal as a greener approach to water remediation [J]. Desain Water Treat, 2018, 109(3): 169–175.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



王善红, 硕士, 助教, 主要研究方向为植物资源研究与开发。

E-mail: W15354612792@163.com



裴世春, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 1079481030@qq.com