

柑橘皮渣的功能组分及加工应用现状

Functional components of citrus peel and its processing and application status

唐清苗¹王鲁峰^{1,2}TANG Qing-miao¹ WANG Lu-feng^{1,2}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070;

2. 华中农业大学环境食品学教育部重点实验室, 湖北 武汉 430070)

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China; 2. Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China)

摘要:文章主要对柑橘皮渣中的特色功能组分及其抗氧化、抑菌消炎、降糖降脂等生理活性功能进行了综述,总结了目前国内外柑橘皮渣的加工利用现状,探讨了柑橘皮渣综合加工利用的技术方案,并展望了柑橘皮渣未来的开发利用方向。

关键词:柑橘; 皮渣; 功能组分; 生理活性; 加工利用

Abstract: By overviewing the characteristic functional components of the citrus peel and its physiological activities such as antioxidant, anti-bacteria and anti-inflammation, hypoglycemia and lipid-lowering, the current domestic and international situation of citrus peel processing and its applications, summarized in this review, and the technical solutions to comprehensive processing and applications in a stepwise manner, were also discussed. Finally, the future directions on the researches and applications of the citrus peel were prospected.

Keywords: citrus; peel; functional components; physiological activity; processing and utilization

柑橘(*Citrus reticulata* Blanco)是世界第一大宗水果,也是世界上重要的经济作物之一。柑橘类水果包括橘子、柑、柚、甜橙、金橘、柠檬等,喜温暖湿润气候,主要分布在鄂西、湘西、江西、广东、广西、四川、江苏、浙江、福建、海南等地。2020 年中国柑橘产量达 5 121.90 万 t,较 2019 年增长了 11.72%,占中国水果产量的 17.85%^[1-2]。

随着经济的快速发展,中国柑橘种植面积及加工规

模不断扩大,其皮渣(占果重的 20%~50%)年产量达 1 200 多万 t 以上,且皮渣中含有类黄酮、类胡萝卜素、精油等多种功能性成分。因柑橘皮渣资源的有效利用率低造成的资源浪费问题和由柑橘皮渣带来的环境污染问题已引起行业的高度重视。研究拟对柑橘皮渣中的特色功能组分及其抗氧化、抑菌消炎、降糖降脂等生理活性功能进行综述,对比目前国内外柑橘皮渣的加工利用现状,旨在为实现柑橘皮渣资源的最大化利用提供理论依据和参考。

1 柑橘皮渣的基本组分

柑橘皮渣的组成成分复杂多样。以干基为准,其中含量最高的是膳食纤维,占皮渣的 40%~60%,如果胶、纤维素、半纤维素等成分^[3],具有降脂、降胆固醇、改善大肠功能以及降低餐后血糖等生理功能。其次是丰富的次生代谢产物,包括类黄酮(橙皮苷、多甲氧基黄酮等)、精油、色素等活性物质,占总重的 3%~8%。不同柑橘皮渣中含有 3%~7% 的粗蛋白。此外,皮渣中矿物质和维生素较为丰富,尤其是铁、钙、维生素 B、维生素 C 和维生素 E 含量较高;张任豹等^[4]发现白柚和红柚皮中钙含量分别为 0.36%,0.57%;铁含量分别为 150.04,148.90 mg/kg。

2 柑橘皮渣的特色功能成分与生理作用

2.1 特色功能成分

2.1.1 膳食纤维 按溶解度的不同,膳食纤维可分为水溶性和水不溶性膳食纤维两类。水溶性膳食纤维是指不能被人体消化,能够在水中溶解的多糖类物质。柑橘皮渣中的水溶性膳食纤维主要由果胶、水胶体等组成。相比于其他的膳食纤维,柑橘膳食纤维的优势在于其中的可溶性膳食纤维含量可达到 33%,比小麦的多 26%,符合膳食纤维中可溶性膳食纤维应达到 30%~50% 的平衡

基金项目:湖北省重点研发计划项目(编号:2020BBB111)

作者简介:唐清苗,女,华中农业大学在读硕士研究生。

通信作者:王鲁峰(1983—),男,华中农业大学副教授,博士。

E-mail: pipilu001@foxmail.com

收稿日期:2021-10-18

要求^[5]。柑橘皮渣是果胶的重要来源,果胶含量占其干重的 20%~30%^[6]。果胶溶于热水冷却后形成凝胶,在食品中可用作胶凝剂和增稠剂。

水不溶性膳食纤维是指在水中不能溶解且在大肠中不能被微生物酵解的一类纤维。Sun 等^[7]研究发现,采用微波法提取小金橘、香橙、丑柑、金丝柚皮渣中的不溶性膳食纤维,其最高提取率达 18.13%。薛山^[8]研究表明,柑橘皮渣中的不溶性抗氧化膳食纤维具备优良的抗氧化能力。柑橘不溶性膳食纤维主要由纤维素、半纤维素、木质素组成,能促进有益的生理效应,如降血糖和胆固醇等。

2.1.2 色素 柑橘果皮是类胡萝卜素的主要存在部位,主要包括番茄红素、 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、叶黄素、玉米黄素、黄素、 β -隐黄素、环氧玉米黄素等成分;其中,番茄红素是自然界中一种抗氧化活性极高的天然类胡萝卜素,其抗氧化能力是维生素 E 的 100 倍, β -胡萝卜素的 2 倍,在抗氧化、降脂、抗炎、抗肿瘤、提高机体免疫力等方面具有重要作用^[9]。柑橘色素作为一种重要的天然色素,性质稳定、安全性高,可以代替人工合成色素被广泛应用于食品的染色(如饮料、糖果、果酱和糕点制作过程中的着色剂),成为极具潜力的绿色天然食品添加剂。

2.1.3 黄酮类化合物 黄酮类化合物是一类具有抗炎、抗氧化、抗癌、保护心脑血管等重要生理功能的有机化合物。目前,柑橘皮中已鉴定出 80 多种黄酮类化合物,主要是黄烷酮、黄酮、黄酮醇和花色苷等物质^[10]。Gattus 等^[11]研究发现,宽皮柑橘中的主要类黄酮物质是黄烷酮,主要为芸香柚皮苷和橙皮苷,还含有一定的香风草苷,柚类果实中主要检测到柚皮苷;朱凤妮等^[12]发现,6 种宽皮柑橘的果皮和果肉中均检出橙皮苷。此外,橙皮苷和柚皮苷是合成新橙皮苷二氢查耳酮(NHDC)的重要原料。NHDC 的性质稳定、无毒无害、高效低热,甜度是蔗糖的 1 500~1 800 倍^[13],并具有抗氧化、清除自由基、降低胆固醇和血糖等重要活性功能。

2.1.4 柑橘精油 精油是果皮油囊或油腺中大量存在的一类具有芳香气味且在常温下具有挥发性的油状液体的总称。柑橘精油主要存在于果皮表面,约占果皮鲜重的 0.5%~2.0%,由挥发性成分和非挥发性成分组成;其中挥发性组分是由单萜和倍半萜烯及其氧合衍生物组成的混合物如醇类、醛类、酚类,非挥发性组分由甾醇、脂肪酸、长链烃、类胡萝卜素和含氧杂环化合物组成^[14]。目前应用最为广泛的是 5 倍甜橙精油,是将冷榨得到的甜橙精油通过除去萜类等不稳定物质后 5 倍浓缩制得。研究^[15-16]发现,柑橘精油中主要挥发性成分是柠檬烯,具有清除自由基、抗氧化和抑菌消炎等生理活性。柑橘精油还可作为亚硝酸盐、硝酸盐及苯甲酸盐等合成抗氧化剂的天然替代品和天然抗菌剂,在食品、日用品和包装等行业拥有广阔的发展前景。

2.2 生理作用

2.2.1 抑菌消炎作用 柑橘皮渣中多种组分均有抑菌消炎作用。Hou 等^[17]研究发现,2.5 $\mu\text{L/mL}$ 的柑橘果皮精油能有效抑制常见细菌的生长。Cui 等^[18]研究表明,柑橘属植物如柠檬、柑橘、葡萄柚和橙子精油对霉菌有较好的抑制作用,其中,对黑曲霉抑制作用最强的是橙子精油,而对黄曲霉抑制效果最好的是柑橘精油。Li 等^[19-20]通过研究橙皮苷对大鼠佐剂性关节炎的治疗作用及其机制发现,致炎 20 d 后,剂量为 80,160 mg/kg 的橙皮苷可以有效抑制大鼠的继发性炎症反应,说明橙皮苷具有抗炎的生理作用。Yang^[21]发现质量浓度为 6.125~100.000 $\mu\text{g/mL}$ 的精油能够破坏微生物细胞的细胞完整性,抑制其呼吸,具有很强的抗菌活性。

2.2.2 抗氧化作用 张岩岩等^[22]分析表明,当血橙皮渣中的橙皮苷质量浓度为 0.6 mg/mL 时,其对 DPPH 自由基、OH 自由基具有一定的清除作用;黄梦竹^[23]研究证明橘皮色素提取液对 DPPH 自由基、OH 自由基和超氧自由基有较好的清除作用,且随着提取液浓度的增大,其清除效果也逐渐增强。田美杰等^[24]发现 80,160,320 mg/kg 的橙皮苷能够清除自由基,降低自由基引起的细胞氧化损伤,抑制过氧化物生成,上调抗氧化酶基因表达及提高酶活力,且呈良好的抗氧化作用;陈皮中的黄酮类化合物能够显著提高小鼠血清和组织中的 SOD 和 CAT 活性,同时降低 MDA 含量。此外,柑橘皮渣物中的类胡萝卜素是一种天然色素, also 具有很强的抗氧化能力,能淬灭单线态氧和捕捉过氧化自由基等。

2.2.3 降血糖作用 膳食纤维可作为糖尿病患者的饮食干预辅助措施。水溶性膳食纤维的结构疏松,并且含有较多的亲水性因子,因而具有优良的持油性和持水性等理化性质,使其具有良好的吸附葡萄糖和胆固醇、减缓胃排空速率等能力^[25],从而达到降低血脂水平、减缓小肠对葡萄糖的吸收甚至抑制葡萄糖吸收,进而预防糖尿病、动脉硬化、高血脂症等疾病的发生^[26-27]。吴梅青等^[28]研究发现,动物模型各组的血糖质量浓度升高,经灌胃以剂量为 5.0,3.0,1.0 g/kg 的柑橘皮醇提物 14 d 后,血糖浓度明显下降。

2.2.4 减脂抗癌作用 膳食纤维的减脂作用主要表现为:① 膳食纤维本身热量较低、其良好的持水能力吸水后体积变大,增加饱腹感,减少热量摄入;② 膳食纤维在小肠内可以与胆固醇、葡萄糖等形成复合物,一定程度上抑制脂肪、糖类的吸收从而达到减脂的作用。文献^[3,29]报道,膳食纤维与胆固醇结合减少胆汁酸的生成,增强粪便中胆固醇排泄进而降低血清总胆固醇水平;与脂肪酸的结合可减少体内脂肪过度积累,达到控制体重的目的。膳食纤维的结合水能力会影响粪便膨胀,加速肠道运输,促进重金属、毒素及致癌物质的排出,在预防和治疗便秘的同时还能降低癌症的发生率。

3 柑橘皮渣的加工利用现状

3.1 柑橘皮渣的初加工

3.1.1 生产饲料 柑橘皮渣中含有蛋白质、矿物质、维生素等营养成分,可用于反刍动物饲料的生产加工^[30]。如任春蓉^[31]采用固态发酵的形式,将柑橘皮渣作为底物进行发酵生产出单细胞蛋白饲料,但得到的饲料产品质量不佳甚至发酵失败,而发酵底物降解不充分的原因是柑橘皮渣中存在大量的果胶和纤维素,提高了微生物的降解难度。周月明^[32]以柑橘皮渣、少量麸皮和菜叶为青贮原料,利用微生物发酵制作青贮饲料并且对饲料物质组成变化和食用安全性进行了评价,取得了较好的效果。

3.1.2 生产有机肥 柑橘皮渣中富含有机质和 N、P、K 等营养元素,可将其作为原料制备有机肥。夏家帅^[33]利用柑橘皮渣为主要原料通过堆肥接种菌剂发酵制备了有机肥。余倩倩等^[34]研究发现用柑橘皮渣制成的有机肥的肥效稳定且养分释放持久,这种肥料特别适合作为柑橘专用生物有机肥,具有促进增产、改善产品品质的作用。

3.1.3 其他 除上述研究外,柑橘皮渣还可用来生产乙醇、沼气、食品和食品添加剂等。李淑兰等^[35]研究发现,利用柑橘皮渣进行厌氧发酵的产沼气能力较强,达 1.05 m³/kg TS;其中含量最高的 CH₄ 占 69.50%。此外,以橘皮和柑橘果肉为原料可以混合加工生产柑橘果酱;以柚子皮为原料经硬化、发酵、糖渍等工艺可以生产柚皮糖。虽然以上有多种加工利用途径,但主要为初加工,效益不佳,且离规模化生产还有一定距离。

3.2 柑橘皮渣深加工

柑橘皮渣深加工产品及方法见表 1。

3.2.1 柑橘精油 柑橘精油是目前柑橘皮渣加工的重要产品。柑橘精油的提取方法有压榨法、蒸馏法、溶剂提取法、超临界 CO₂ 萃取法、微波提取法等。Youcef-Ettoum 等^[36]利用电磁感应加热辅助水蒸汽蒸馏技术提取阿尔及利亚鲜橙皮精油,其主要化合物为柠檬烯和对月桂烯,且橙皮精油具有较好的清除自由基能力和抗菌活性。柑橘香精油具有特殊的芳香味,其主要成分为萜烯类、D-柠檬

烯、高级醇类、醛类、酮类、酯类等物质。吴洪梅等^[37]研究发现,4 种锦橙精油中测出 14 种共有成分,包括 D-柠檬烯、β-月桂烯、α-水芹烯、γ-松油烯等,其中还含有一些特有成分如正己醇、辛醛、橙花醇等。Olabinjo 等^[38]研究发现,甜橙果皮中提取的精油中含有多酚化合物和单宁,一种主要化学成分为柠檬烯(90.72%)、月桂烯(2.82%)和乙酸辛醇(1.24%)的纯精油具有最高的清除 ABTS 自由基的活性。Jsfa 等^[39]以麦芽糊精和明胶为载体,将甜橙精油微胶囊化以保持其良好的抗氧化和抗菌性能。

3.2.2 柑橘色素 目前提取黄色素的方法有超声波辅助提取法、溶剂浸提法、高压法、索氏提取法和微波辅助萃取法等。超声辅助提取法能有效提高色素的提取率,Pa-gan^[40]通过响应面法优化得到橘皮中黄色素的最优工艺条件为乙醇体积分数 70%、料液比 1:5 (g/mL)、超声时间 45 min、温度 70 ℃。傅虹飞^[41]运用色谱及波谱手段和方法,发现温州蜜柑中类胡萝卜素以 β-隐黄质和 β-隐黄质酯(β-隐黄质月桂酯、豆蔻酯和棕榈酯)为主;甜橙中类胡萝卜素的组成极其复杂,以紫黄质、紫黄质酯类、花药黄质、花药黄质酯等为主;红葡萄柚中以 β-胡萝卜素和番茄红素为主。此外,柑橘皮渣中提取的类胡萝卜素混合物无毒副作用^[42],说明安全性高、色泽自然的柑橘色素可被广泛应用于食品加工生产中。

3.2.3 柑橘膳食纤维 目前常用的膳食纤维提取方法有物理法、化学法、微波或超声波法、酶解法,且提取膳食纤维的同时可增加可溶性膳食纤维含量^[43]。Zhang 等^[44]采用碱性提取法和超声波辅助碱性提取法提取木瓜果皮可溶性膳食纤维。彭娅等^[45]利用柠檬酸提取柑橘皮渣中水溶性膳食纤维,最佳工艺条件下水溶性膳食纤维得率为(21.10±0.16)%。Tian 等^[46]以甜橙果皮和果渣为原料,通过多用途研磨机和球磨机制备得到普通和微粉膳食纤维,且微粉膳食纤维的粒径更小,颜色更浅,持水能力、持油能力、膨胀能力和对重金属离子的吸附能力更高。

柑橘皮渣中果胶约占 30%,是目前商品化果胶的主

表 1 柑橘皮渣的主要深加工产品

Table 1 The characteristic functional components and products of citrus peel residue for further processing

活性物质种类	主要成分	加工方法	代表产品
柑橘精油	D-柠檬烯、香叶醇、甜橙醛等	水蒸气蒸馏法、有机溶剂萃取法、微波辅助提取法等	5 倍甜橙精油、食用抗菌薄膜、柑橘精油微胶囊
色素	β-隐黄质、β-胡萝卜素、番茄红素	溶剂浸提法、索氏提取法、微波辅助萃取法等	黄色素、类胡萝卜素
柑橘膳食纤维	纤维素、木质素、半纤维素、果胶	物理法、化学法、微波或超声波法、酶解法等	脂肪替代物、稳定剂、乳化剂
柑橘次生代谢产物	橙皮苷、柚皮苷、新橙皮苷、新橙皮苷查尔酮	醇溶剂、超声、微波提取法及酶法等;化学法、生物转化法等	新橙皮苷二氢查耳酮等高效甜味剂

要来源。范传会等^[47]发明了一种碱解法制备柑橘低酯果胶的方法,在传统碱法制备低酯果胶的基础上加以改进,打破了高酯果胶与低酯果胶的平衡,通过调节磷酸二氢钠用量、碱解时间和过氧化氢加入量制备出不同酯化度的低酯果胶,该方法不仅流程简单、酯化度可控,且节能环保,可用于工业化生产。张珊珊等^[48]发明了一种分子量为2 000~3 000 Da的果胶低聚糖制备方法,将果胶溶解后通过碱液调节反应液pH略低于初始pH,加入乙醇沉淀后进行洗涤、干燥,实现了果胶的可控降解。目前,果胶提取制备的研究日趋成熟,在化妆品、医药、食品等领域被广泛应用。

3.2.4 新型甜味剂 NHDC是一种新型的高甜低热甜味剂。目前常用制备NHDC的方法是先新橙皮苷在碱性环境下开环生成新橙皮苷查耳酮,再加氢催化制备NHDC^[49]。柑橘皮渣中的黄酮类化合物主要是橙皮苷和柚皮苷,而新橙皮苷较少,一般先将柚皮苷等转化成新橙皮苷后再制备NHDC。由于NHDC的甜味清爽纯正、口感好且性质稳定,与传统甜味剂复合使用时有良好的协同效应能掩盖食物中的不良味道,改善口感;目前已被广泛应用于果冻、果酱、糖果、奶制品、脂肪和油脂、冷冻食品、饮料等食品生产中^[50]。NHDC具有较强的抗氧化活

性、清除自由基效果良好,被广泛应用于医药领域;Sandipan等^[51]研究发现,NHDC在阿尔茨海默症的治疗中有积极作用。

3.3 柑橘皮渣的综合利用

虽然柑橘皮渣深加工的产品不少,但加工率仍然偏低。以湖北为例,柑橘加工每年产生柑橘皮渣约10万t,除少量干燥橘皮和部分皮渣用于调味品生产外,其余直接作为饲料添加剂或进行填埋处理,利用率不到30%。造成这种现状的原因不仅是单一组分提取的技术不够成熟,还在于单一组分提取生产成本低,经济效益不佳。因此,研究柑橘皮渣的综合利用,降低生产成本是解决当前问题的关键。

目前的研究更多倾向于某种单一活性成分的提取分离,除广东地区有相对成熟的柑橘精油提取外,对其他组分的利用还基本停留在实验室和初级生产阶段,主要表现为:提取方法简陋,污染环境且影响产品质量;产品以粗提物和中间产物为主;提取功效成分后的皮渣未被利用,缺乏多级和深度加工。为了实现柑橘皮渣的最大化利用,可以从柑橘皮渣中连续提取类黄酮类化合物、柑橘精油、果胶、色素等有效活性成分。图1为从柑橘皮渣中依次提取分离出各功能性成分的工艺流程。

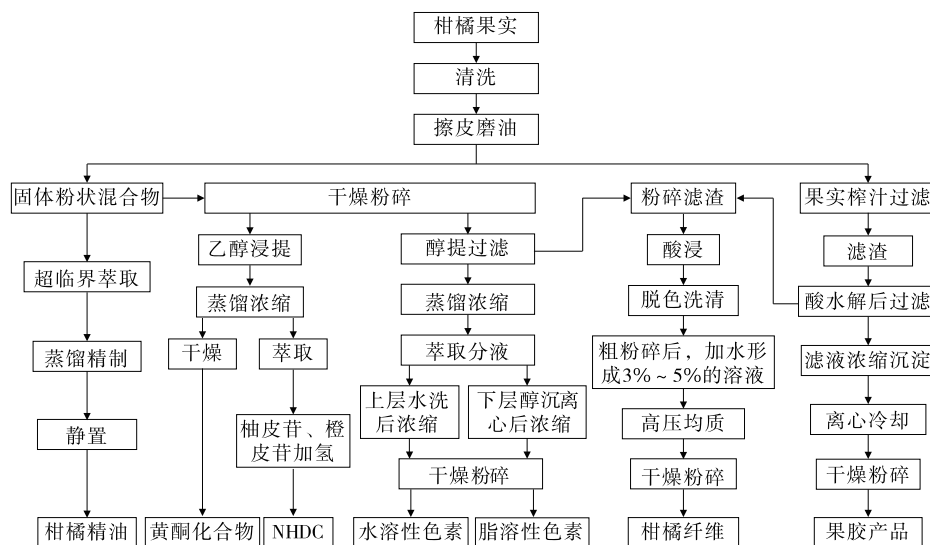


图1 柑橘皮渣综合利用生产工艺流程图

Figure 1 Production process flow chart of step utilization

4 结语

柑橘皮渣中含有丰富的膳食纤维、类胡萝卜素、维生素、橙皮苷、精油等活性组分,具有较高的综合利用价值。但整体而言,柑橘皮渣的加工利用率偏低,且主要集中在饲料、有机肥等初级加工方面;而在提取果胶、精油、色素、黄酮类化合物、膳食纤维等深加工方面还需进一步深入,在提取工艺、活性检测、应用研究等方面需继续完善。后续研究可以着重关注以下方面:① 研发以柑橘皮渣为

直接原料的新产品,增加柑橘皮渣资源的利用;② 针对性地对不同的功能性成分进行生理活性研究,明确其发挥生理活性的机制及其安全性,扩大其加工利用范围;③ 优化生物活性成分的提取分离工艺,建立高效的梯次利用体系,降低生产加工成本。

参考文献

[1] 张放. 2020年我国柑桔产量首超5 000万吨[J]. 中国果业信息,

- 2021, 38(6): 50.
- ZHANG Fang. In 2020, China's citrus output exceeded 50 million tons for the first time[J]. China Fruit News, 2021, 38(6): 50.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021: 399-401.
- National Bureau of Statistics, PRC. China statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021: 399-401.
- [3] MERENKOVA S, ZININA O, STUART M, et al. Effects of dietary fiber on human health: A review[J]. Human Sport Medicine, 2020, 20(1): 106-113.
- [4] 张任豹, 林英庭, 朱风华. 柚子皮营养成分分析与评价[J]. 天津农业科学, 2020, 26(6): 76-78, 84.
- ZHANG Ren-bao, LIN Ying-ting, ZHU Feng-hua. Analysis and evaluation of nutritional components of pomelo peel[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2020, 26(6): 76-78, 84.
- [5] SHAN Y. Industrial technology research and development of citrus processing[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science & Technology, 2006(1): 426.
- [6] MOHAMMAD Pourbafrani, GERGELY Forgács, ILONA Sárvári-Horváth, et al. Production of biofuels, limonene and pectin from citrus wastes[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(11): 4 246-4 250.
- [7] SUN H Y. Preparation and performance characterization of citrus dietary fiber[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(4): 318-321, 329.
- [8] 薛山. 柑橘皮渣中非水溶性抗氧化膳食纤维提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 151-155, 201.
- XUE Shan. The optimization of extraction process of insoluble antioxidant dietary fiber from orange pomace[J]. Food & Machinery, 2016, 32(8): 151-155, 201.
- [9] JAVIER T C, ZAIDA M, JUAN F, et al. Exploring the valuable carotenoids for the large-scale production by marine microorganisms[J]. Marine Drugs, 2018, 16(6): 203.
- [10] KE Z, PAN Y, XU X, et al. Citrus flavonoids and human cancers[J]. Journal of Food & Nutrition Research, 2015, 3(5): 341-351.
- [11] GATTUSO G, BARRECA D, CARISTI C, et al. Distribution of flavonoids and furocoumarins in juices from cultivars of Citrus bergamia Risso[J]. Agric Food Chem, 2007, 55(24): 9 921-9 927.
- [12] 朱凤妮, 卢剑青, 陈金印, 等. 江西省 6 种宽皮柑橘类黄酮及挥发油成分的研究[J]. 果树学报, 2017(9): 1 106-1 116.
- ZHU Feng-ni, LU Jian-qing, CHEN Jin-yin, et al. Flavonoid and essential oil components in six cultivars of Citrus reticulata in Jiangxi province[J]. Journal of Fruit Science, 2017(9): 1 106-1 116.
- [13] CALO J R, CRANDALL P G O, BRYAN C A, et al. Essential oils as antimicrobials in food systems: A review[J]. Food Control, 2015, 54: 111-119.
- [14] MURIEL-GALET V, CRAN M J, BIGGER S W, et al. Antioxidant and antimicrobial properties of ethylene vinyl alcohol copolymer films based on the release of oregano essential oil and green tea extract components[J]. Journal of Food Engineering, 2015, 149: 9-16.
- [15] MÁISA L M, IONTA M, FERREIRA G L, et al. Biological activities of the essential oil from the Moro orange peel (Citrus sinensis L. Osbeck)[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2020, 35(3): 1-8.
- [16] 李娟, 牛泽宇, 岳湘齐, 等. 不同产地甜橙果皮提取物抗氧化活性成分及能力研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(9): 156-162.
- LI Juan, NIU Ze-yu, YUE Xiang-qi, et al. Study on antioxidant active components and ability of sweet orange peel extracts from different origins[J]. Food & Machinery, 2019, 35(9): 156-162.
- [17] HOU H S, BONKU E M, ZHAI R, et al. Extraction of essential oil from Citrus reticulata Blanco peel and its antibacterial activity against Cutibacterium acnes (formerly Propionibacterium acnes)[J]. Heliyon, 2019, 5(12): e02947.
- [18] CUI J Y, LIANG J F. Research progress of antibacterial effects of citrus peel essential oils[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2018, 26(1): 35-39.
- [19] LI Rong, LI Jun, HU Cheng-mu, et al. Therapeutic effect of hesperidin on adjuvant arthritis in rats and its mechanisms[J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2008, 24(4): 494-498.
- [20] KAWAGUCHI K, MARUYAMA H, KOMETANI T, et al. Suppression of collagen-induced arthritis by oral administration of the citrus flavonoid hesperidin[J]. Planta Medica, 2006, 72(5): 477-479.
- [21] YANG E J, KIM S S, OH T H, et al. Essential oil of citrus fruit waste attenuates LPS-induced nitric oxide production and inhibits the growth of skin pathogens [J]. International Journal of Agriculture & Biology, 2009, 11(6): 791-794.
- [22] 张岩岩, 苏悦. 超声波辅助提取血橙皮渣中橙皮苷及抗氧化研究[J]. 包装与食品机械, 2021, 39(1): 12-17.
- ZHANG Yan-yan, SU Yue. Study on ultrasound-assisted extraction of hesperidin from blood orange peel residue and its antioxidant activity[J]. Packaging and Food Machinery, 2021, 39(1): 12-17.
- [23] 黄梦竹. 橘皮有效成分提取及关键技术研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018: 18-23.
- HUANG Meng-zhu. The extraction of effective components and key technologies of orange peel product[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2018: 18-23.
- [24] 田美杰, 孙英健, 官佳懿, 等. 橙皮苷对小鼠抗氧化作用及抗氧化酶基因表达的影响[J]. 中国实验动物学报, 2016, 24(2): 150-157.
- TIAN Mei-jie, SUN Ying-jian, GUAN Jia-yi, et al. Effect of hesperidin on the antioxidant activity and antioxidant enzyme gene expression in mice[J]. Acta Laboratorium Animalis Scientia Sinica, 2016, 24(2): 150-157.
- [25] 谢三都, 陈惠卿, 周春兰, 等. 橄榄渣膳食纤维理化及体外吸附特性及结构表征[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 29-34.
- XIE San-du, CHEN Hui-qing, ZHOU Chun-lan, et al. Physico-chemical and in vitro adsorption properties of olive pomace dietary fiber and its structure characterization[J]. Food & Machinery, 2019, 35(10): 29-34.

- [26] CHEN H H, LI J, YAO R X, et al. Mechanism of lipid metabolism regulation by soluble dietary fibre from micronized and non-micronized powders of Lotus root nodes as revealed by their adsorption and activity inhibition of pancreatic lipase[J]. Food Chemistry, 2020, 305: 125435.
- [27] GUPTA N, JANGID A K, POOJA D, et al. Inulin: a novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 132: 852-863.
- [28] 吴梅青, 李俊雅, 陈丹. 柑橘皮中总黄酮提取工艺及降血糖活性的试验研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(5): 56-59.
WU Mei-qing, LI Jun-ya, CHEN Dan. Study on extraction technology and hypoglycemic effect of total flavonoids from citrus peels[J]. Food Research and Development, 2018, 39(5): 56-59.
- [29] 张瀚文, 余秋文, 张一凡, 等. 膳食纤维的生理功能及改性方法研究进展[J]. 农业科技与装备, 2021(1): 64-65, 68.
ZHANG Han-wen, YU Qiu-wen, ZHANG Yi-fan, et al. Research progress on physiological function and modification method of dietary fiber[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2021(1): 64-65, 68.
- [30] CRIBBS J T, BERNHARD B C, YOUNG T R, et al. Dehydrated citrus pulp alters feedlot performance of crossbred heifers during the receiving period and modulates serum metabolite concentrations before and after an endotoxin challenge[J]. Journal of Animal Science, 2015, 93(12): 5 791-5 800.
- [31] 任春蓉. 柑橘皮渣固态发酵蛋白质饲料及其酶学特性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018: 25-41.
REN Chun-rong. The research of protein feed production by solid state fermentation with citrus dregs and its enzymatic properties[D]. Chongqing: Chongqing University, 2018: 25-41.
- [32] 周月明. 柑橘皮渣青贮饲料中微生物生态及其对饲料品质的影响机理研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2019: 41-143.
ZHOU Yue-ming. Research on microbial ecology and its effect mechanism on silage quality during citrus waste ensiling [D]. Chongqing: Chongqing University, 2018: 41-143.
- [33] 夏家帅. 柑橘皮渣堆肥工艺优化及其微生物群落研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018: 23-50.
XIA Jia-shuai. The optimization of citrus peel composting process and its microbial community [D]. Chongqing: Chongqing University, 2018: 23-50.
- [34] 余倩倩, 李文涛, 邓烈, 等. 柑橘皮渣有机肥对特洛维塔甜橙树体营养、果实品质和经济效益的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(10): 20-26.
YU Qian-qian, LI Wen-tao, DENG Lie, et al. Effect of citrus peel residue-based organic fertilizer (cof) on leaf nutrition, fruit quality and economic benefit of terovita orange [J]. Journal of Southwest University (Natural Science), 2017, 39(10): 20-26.
- [35] 李淑兰, 刘萍, 宋立. 柑橘皮的基本特性及沼汽化处理可行性研究[J]. 中国沼气, 2018, 36(3): 64-66.
LI Shu-lan, LIU Ping, SONG Li. The basic characteristics of orange peel and its feasibility for biogas production treatment[J]. China Biogas, 2018, 36(3): 64-66.
- [36] YOUCEF-ETTOUMI K, ZOUAMBIA Y, MOULAI-MOSTEFA N. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of Algerian Citrus sinensis essential oil extracted by hydrodistillation assisted by electromagnetic induction heating[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 58(8): 3 049-3 055.
- [37] 吴洪梅, 吕泽芳, 左龙亚, 等. GC-MS 法比较 4 个锦橙品种果皮精油成分差异[J]. 南方农业学报, 2017, 48(2): 302-308.
WU Hong-mei, LU Ze-fang, ZUO Long-ya, et al. Comparing differences in chemical components of peel essential oils from four Jincheng orange cultivars by GC-MS method [J]. Journal of Southern Agriculture, 2017, 48(2): 302-308.
- [38] OLABINJO O O, OLIVEIRA A L. Comparative study of extraction yield and antioxidant property of sweet orange peels (Citrus Sinesis) essential oil[J]. Croatian Journal of Food Science and Technology, 2020, 12(2): 184-192.
- [39] JSFDA A, ELDS B, JRO C, et al. Microencapsulation of sweet orange essential oil (Citrus aurantium var. dulcis) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidantactivities[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 143: 991-999.
- [40] PAGAN M H A I. Optimisation and kinetic study of the ultrasonic-assisted extraction of total saponins from alfalfa (Medicago sativa) and its bioaccessibility using the response surface methodology[J]. Food Chemistry, 2020, 309: 309-312.
- [41] 傅虹飞. 柑橘类胡萝卜素的结构分析及构效关系研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010: 6-79.
FU Hong-fei. Studies on the structure analysis, and the relationship between structure and antioxidant activities in vitro of carotenoids in citrus fruits [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010: 6-79.
- [42] XUE F, CHEN L, PAN S. Subacute toxicity assessment of carotenoids extracted from citrus peel (Nanfengmiju, Citrus reticulata Blanco) in rats[J]. Regulatory Toxicology & Pharmacology Rtp, 2012, 62(1): 16-22.
- [43] DUAN Xiao-ran, GAO Su-yan, JIA Shou-min, et al. Research status and progress on modification of dietary fiber at home and abroad[J]. Agricultural Biotechnology, 2019, 8(4): 131-135.
- [44] ZHANG W M, ZENG G L, PAN Y G, et al. Properties of soluble dietary fiber-polysaccharide from Papaya peel obtained through alkaline or ultrasound-assisted alkaline extraction[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 172: 102-112.
- [45] 彭娅, 彭荣, 殷钟意, 等. 柑橘皮渣水溶性膳食纤维的柠檬酸提取工艺优化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(2): 243-247.
PENG Ya, PENG Rong, YIN Zhong-yi, et al. Study on optimization of water-soluble dietary fiber extraction process from citrus residues with citric acid[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(2): 243-247.

(下转第 218 页)