

百香果果皮生物活性成分提取与开发利用研究进展

汪美凤, 李文娟, 吴双双, 霍红月, 龙谨彦, 胡佳慧, 李从虎* (安庆师范大学生命科学学院, 安徽安庆 246133)

摘要 百香果是一种生长在热带、亚热带地区的芳香水果, 风味独特, 具有丰富的营养价值和保健功能。果肉经食用后, 产生大量果皮废弃物。果皮中含有多种生物活性成分, 有抗氧化、抗炎、降血脂、抗焦虑等生理功能。对果皮生物活性成分的提取和开发利用能有效提升果皮的附加值, 对人类生活品质的提升和环境保护具有重要的作用。基于此, 综述了百香果果皮中多糖、多酚等生物活性成分的提取, 以及果皮活性成分在食品领域、生物技术、医药和环保领域的应用进展, 为百香果副产物的深入研究和科学开发提供参考。

关键词 百香果果皮; 多糖; 多酚; 提取; 开发利用

中图分类号 TS 209 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)19-0016-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.19.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress on Extraction of Bioactive Components from Passion Fruit Peel and Its Development and Utilization
WANG Mei-feng, LI Wen-juan, WU Shuang-shuang et al (College of Life Science, Anqing Normal University, Anqing, Anhui 246133)

Abstract Passion fruit is an aromatic fruit that grows in tropical and subtropical regions. It has a unique flavor, rich nutritional value and health care functions. After being eaten, a large number of peel wastes were produced. The peel wastes contained a variety of biologically active ingredients, which had physiological functions such as antioxidant, anti-inflammatory, hypolipidemic, and anti-anxiety. The extraction and utilization of the biologically active ingredients could effectively increase additional value of the peel wastes, and brought benefits for living quality improvement and environmental protection. This article reviewed studies on extraction technologies of polysaccharides, polyphenols and other biologically active ingredients from passiflora fruit peel wastes, as well as the utilization studies of active ingredients extraction from the peel in the fields of food, biotechnology, medicine and environmental protection. This paper could provide reference for further studies on extraction and application technologies of the peel wastes.

Key words Passion fruit peel; Polysaccharide; Polyphenol; Extraction; Utilization

百香果(*Passiflora edulia* Sims)又称西番莲、巴西果、鸡蛋果, 是一种生长在热带、亚热带地区的芳香水果, 不仅风味独特, 还具有丰富的营养价值和保健功能, 深受消费者青睐^[1]。近年来, 百香果需求量以每年 15%~20% 的速度增长, 呈供不应求趋势。2018 年全国百香果种植面积已达 4 万 km², 主要分布在台湾、广西、福建等地区, 且种植面积逐年增加^[2]。百香果的可食用部分主要为果肉, 果皮则被当作废弃物直接扔掉。据统计, 百香果果皮约占鲜果重量的 50%, 仅 2018 年就产生约 1.5×10⁷ t 废弃果皮, 这不仅造成生物资源的极大浪费, 而且还给环境带来严重的污染^[2-3]。

百香果果皮中含有丰富的多糖、多酚、黄酮等生物活性物质, 具有抗炎、抗氧化、抗癌、抗焦虑等生理功能^[1,4-6]。因此, 对百香果果皮中的活性成分进行提取, 制备高附加值的提取物, 以及对果皮的高效开发利用是当前百香果果皮资源综合利用研究的热点。基于此, 该研究总结了百香果果皮中生物活性成分的提取和果皮的开发应用研究进展, 以期为进一步百香果副产物的深入研究和科学开发提供参考与借鉴。

1 百香果果皮活性成分的提取

1.1 多糖类 多糖是一类由不同的单糖以 α-或 β-糖苷键组成的天然生物活性大分子, 主要包括果胶、纤维素、半纤维素和木质素等组分^[7]。百香果果皮中多糖含量十分丰富, 果皮细胞壁中非淀粉多糖含量高达 80% (w/w), 其中 42% 是纤

维素, 25% 是果胶质, 12% 是半纤维素^[8]。研究发现, 百香果果皮多糖具有抗肿瘤、抗炎、降血脂和抗氧化等生理功能^[4,6]。目前, 百香果果皮多糖提取方法归纳起来主要有化学法(酸提法)、物理方法辅助提取法和生物法。

1.1.1 化学法(酸提法)。百香果果胶提取的化学法主要采用酸提法, 酸提法是将原料经脱色脱脂处理后, 在酸性条件下进行提取, 再用乙醇将多糖沉淀出来。在酸性条件下, 百香果果皮多糖不易溶解, 所以酸提法有相应的优势, 但是操作过程需要严格控制酸度, 以免多糖分子中的糖苷键发生断裂, 从而破坏多糖原有的结构。Pinheiro 等^[9]采用柠檬酸提取百香果果皮中的果胶, 以酯化度为评价指标, 在单因素试验基础上, 采用响应面法进行优化, 最终确定最佳条件为 0.086% (w/v) 的柠檬酸浓度下提取 60 min, 酯化度 (DE) 达到 78.59。Liew 等^[10]研究了柠檬酸提取过程中 pH 和提取时间对果胶产量和组成的影响, 结果表明在 pH 2.0 时, 提取 75 min, 果胶产率可达 14.6%, 在扫描电镜下观察, 酸法提取的干果胶表面光滑, 几乎没有丘状颗粒。De Moura 等^[11]用 0.25 mol/L HCl 在 60 °C 下水解果皮, 发现酸水解降低了果胶的持水能力和阳离子结合能力, 但增加了果胶的脂肪吸收能力。

1.1.2 物理方法辅助提取法。物理方法辅助提取法是在化学法的基础上, 辅以物理手段, 以提高提取效率, 具有高效、环保等特点, 目前主要有微波辅助法、超声波辅助法和中等电场辅助法等方法。Seixas 等^[12]分别以酒石酸、乙酸和硝酸为萃取剂, 辅以微波诱导加热, 利用响应面法研究了萃取时间和微波功率对果胶产量的影响, 数据显示, 随着微波暴露时间和微波功率的增加, 果胶的产率也随之提高, 证实了微波的加热效应加速了百香果多糖组分的析出和溶解; 另外,

基金项目 安徽省自然科学基金项目(2108085QB51); 安徽省教育厅教研项目(2020zyrc098, 2020rcsfjd22)。

作者简介 汪美凤(1986—), 女, 福建宁德人, 助教, 硕士, 从事食品科学研究。* 通信作者, 副教授, 博士, 从事微生物及生物资源利用研究。

收稿日期 2021-11-24

对 3 种酸萃取所得的果胶进行分析显示,酒石酸萃取制备的果胶产率最高,达 18.2%,但是,该法所得果胶纯度低、酯化度低,而用乙酸和硝酸从百香果中提取的果胶在摩尔质量、酯化度与醛酸含量上都比酒石酸提取的要高。De Oliveira 等^[13]发现,通过超声波辅助可提高果胶产率,这可能是由于在超声波产生的高速运转、剧烈振动、强烈空化效应和搅拌作用下,果胶更容易进入溶剂造成的,数据显示,在 85 ℃ 和 664 W/cm² 条件下,提取果胶的半乳糖醛酸(GalA)含量高于 65%,酯化度(DE)高于 50%。De Oliveira 等^[14]对 2 种不同方法提取的百香果果皮果胶进行比较,发现采用中等电场辅助提取和传统加热法所获得的果胶的酯化度和半乳糖醛酸含量基本相近,中等电场辅助提取的果胶酯化度大于 70%,半乳糖醛酸含量高于 65%,此法避免了长时间的加热导致多糖的降解,是一种高效、省时、环保的果胶提取方法。

1.1.3 生物法。生物法也是较为常用的多糖提取方法,它具有反应条件温和、无污染,提取率高等优点,目前主要有生物酶法和微生物发酵法。Vasco-Correa 等^[15]利用原果胶酶对百香果果皮果胶进行提取,并与传统的化学提取法进行比较,研究发现,酶法提取的果胶产率比传统化学法高近 40%,可能是由于果胶酶促进了多糖中 α -1,4-糖苷键的水解,提高了果胶的产率,并且该法提取的果胶中的半乳糖醛酸含量为 85%,酯化度为 68%,类似于商业柑橘果胶,可以替代商业柑橘果胶应用于食品工业中。刘运花等^[16]优化了酶法提取百香果果皮果胶的工艺参数,将纤维素酶 0.8 g/100 g、半纤维素酶 1.2 g/100 g、木质素酶 0.2 g/100 g 进行复配,液料比为 6:1(mL:g),在 pH=4.0,温度 40 ℃ 下,提取 3.5 h,果胶提取率可以达到(2.63±0.021)%。毛慧君等^[17]以百香果皮渣为原料,优化了微生物发酵法提取可溶性膳食纤维的工艺条件,以嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌混合菌种为发酵菌种,在接种量 5%、固液比 1:10、温度 33 ℃ 下,发酵 21 h,获得的可溶性膳食纤维的含量为(29.01±0.41)%,产率高于采用化学法制备的可溶性膳食纤维的含量,且该法制备的膳食纤维的持水力优于化学法,而且溶胀性无明显变化。

1.2 多酚类 多酚是多羟基酚类化合物的总称,按天然化合物母核结构可将其分为黄酮类和酚酸类,是一类广泛存在于植物中的次级代谢产物。多酚类物质具有抗氧化作用,能有效清除体内过剩的自由基,可以起到抑制衰老、细胞退化的作用,此外,多酚类物质还具有防癌、抗菌消炎、改善血液循环、降低胆固醇等多种生理功能^[18-20]。Zeraik 等^[18]发现百香果中黄酮类化合物的总含量为 0.16 mg/mL。Simirgiotis 等^[21]研究发现,百香果果皮中黄酮类化合物的含量是果肉的 1.81 倍,且百香果果皮中黄酮类化合物多达 30 种,而果肉中类黄酮化合物仅 15 种。因此,百香果果皮可以作为一种天然的酚类化合物来源,具有良好的应用前景。目前,百香果果皮多酚常见的提取方法主要有有机溶剂提取法、物理方法辅助提取法和酶解法等。

1.2.1 有机溶剂提取法。有机溶剂提取法是利用多酚在不同溶剂中的溶解度不同进行回流提取的,常用的溶剂有甲

醇、乙醇等。Morais 等^[22]采用甲醇提取百香果果皮中的抗氧化物质,测得原果皮酚酸含量最高,达 504.06 mg(GAE)/100 g(DW,没食子酸当量),冷冻干燥 24 h 的样品的酚酸含量次之,60 ℃ 干燥 48 h 的样品酚酸含量最低;此外,他们还采用 AlCl₃ 法测定果皮甲醇提取物中总黄酮含量,测得原果皮总黄酮含量为 114.99 mg,烘箱干燥样品的总黄酮含量为 35.13 mg,冷冻干燥后样品的总黄酮含量为 89.1 mg。张玲等^[23]优化了乙醇提取百香果果皮多酚的最佳工艺条件,当乙醇体积分数 60%、液料比 30:1(mL:g)时,40 ℃ 下提取 150 min,多酚得率为 11.648 mg/g。

1.2.2 物理方法辅助提取法。由于采用单一的溶剂法提取多酚得率低,所以,在溶剂法基础上,常常辅以物理手段来提高提取率。目前,百香果果皮多酚提取常用的物理辅助方法主要有超声波辅助提取法和加压液体萃取法等。超声波辅助提取法是利用超声波产生的剧烈振动、高加速度、强烈的空化效应和搅拌等作用,加速酚类化合物进入溶剂,以提高提取率,具有高效快捷、提取温度低、提取物结构稳定的特点,不过该法获得的产品纯度不高。秦生华等^[24]采用超声波辅助提取百香果果皮中的总黄酮,在乙醇浓度 61%、液料比 59:1(mL:g)、温度 56 ℃、超声功率 240 W 下提取 25 min,此时总黄酮提取率高达 2.19%。Viganó 等^[25]采用加压液体萃取法(PLE),从脱脂百香果皮渣(DPFB)中提取酚类化合物,总酚含量为 55.237 mg GAE/g,该法提取产率明显高于常规提取技术。Viganó 等^[26]采用超声辅助加压液体提取百香果皮渣中的酚类化合物,在超声的辅助下,总酚(TP)得率提高了 60%。廖兰等^[27]对比了常规热回流法、索氏提取器提取法、超声波辅助提取法、三级逆流提取法,结果表明,百香果果皮中总黄酮提取率最高的是三级逆流提取法,提取率为 2.07%。

1.2.3 酶解法。生物酶解法是根据酶反应的专一性,通过选择相应的酶,水解或降解细胞壁组成成分,使细胞内的组分更易释放到溶剂中,以达到提取的目的。张玲等^[23]采用纤维素酶辅助提取百香果果皮中的多酚,最终确定纤维素酶用量为 25 mg/g、液料比 35:1(mL:g)、pH 5.0、40 ℃ 条件下,酶解 60 min,多酚得率最高达 15.096 mg/g,该法比乙醇提取法产率高出 29.6%,证实了纤维素酶对百香果果皮细胞壁具有良好的破碎效果,可以提高果皮多酚的提取率。

1.3 其他活性成分的提取 百香果果皮中除了含有丰富的多糖和多酚类活性成分以外,还含有生物碱类、白皮杉醇、萜烯类等生物活性物质。Viganó 等^[25]从脱脂百香果皮渣(DPFB)中提取白皮杉醇,在 70 ℃ 和 50%乙醇条件下,采用 PLE 法提取白皮杉醇,提取率达到 18.590 mg/g。据报道,利用百香果果皮提取物的给药试验,显著降低了自发性高血压大鼠的血压,对提取物成分进行分离鉴定,发现优叶酸(萜烯类)是导致其抗高血压特性的主要化合物^[28]。

2 百香果果皮的开发利用

2.1 食品领域

2.1.1 在食品添加剂中的应用。百香果果皮粉在稳定性、

乳化性、增稠性和胶凝性等方面与商用食品胶具有相似的技术特性,可以替代商用胶应用于食品中。Coelho 等^[29]将百香果果皮原粉(UF)、浸泡干燥粉碎粉(TF)与高、低甲氧基果胶、黄原胶、瓜尔胶、角叉胶进行比较,各按 0.1% 添加到食品中,发现在百香果饮料中果皮粉能阻碍颗粒沉降,TF 悬浮液体积百分比 30%,仅次于卡拉胶和瓜尔胶;添加到蛋黄酱加工过程中,发现 UF 和 TF 的黏性与瓜尔胶相似,乳化性能与瓜尔胶和黄原胶相近;在百香果糖浆制备中,添加 UF 和 TF 后,黏度分别从 48% 增加到 187%,而添加其他胶,产品黏度几乎没有增加;在考察样品凝胶性能试验中发现,添加 TF 的产品显示出更高的硬度,出现类似果冻的特性。另外,百香果果皮粉(PFEF)还可添加入饼干的制作中,当 PFEF 添加量为 3% 和 6% 时,消费者接受程度没有实质性的变化,但当添加量为 9% 时,消费者接受程度发生明显恶化^[30]。

百香果果皮胶能使面包的硬度和咀嚼性降低,有效改善面包的质构特性。姜燕等^[31]将超声波辅助提取的果果皮胶作为面包改良剂,与未添加改良剂和添加豆渣的面团进行对比,质构测试结果表明,添加百香果果皮胶的面团拉丝长度、黏性、弹性和内聚力较大,而硬度较小,其面团品质最好。此外,百香果果皮提取物还可作为天然抗氧化剂和食品防腐剂应用于腊肉中。Ramli 等^[32]从百香果果皮中提取总酚和总黄酮,通过自由基清除法(DPPH)确定了提取物对肉类抗氧化的有效性,再通过琼脂平板抑菌圈试验证实了,提取物对大肠杆菌、沙雷氏菌和金黄色葡萄球菌具有较强的抑菌活性,可应用于肉制品保藏中。

2.1.2 在益生菌饮料中的应用。百香果果皮提取物中的纤维、果胶等物质可有效提升益生菌饮料的黏度、内聚力、酸化力和提高益生菌的存活率,深受广大消费者的喜爱。Do Espírito Santo 等^[33]将百香果果皮粉加入全脂、脱脂牛奶中以制作益生菌酸奶,研究发现,添加果皮粉显著降低了脱脂奶和全脂奶的最大酸化率,缩短了大部分脱脂酸奶的发酵时间,增加了所有脱脂酸奶的硬度、稠度和内聚力。扫描电子显微镜(SEM)下观察到,百香果纤维(PFF)酸奶中的纤维覆盖酪蛋白凝胶表面或者镶嵌其中,而在对照酸奶中,胞外多糖的细丝更为明显;流变学分析显示,PFF 为益生菌酸奶提供一种支架,可以增强酸奶的结构,并在储存过程中增加表观黏度^[34]。Juliana 等^[35]评估了添加百香果果皮粉(PP,浓度为 1%、2% 和 3%)的发酵牛奶在其 29 天的货架期内的理化、微生物特性和感官接受度,结果表明乳酸菌存活到货架期的第 15 天,3% 的 PP 样品显示出最高的保水能力,收缩能力随 PP 添加量的增加而成比例下降。

Santos 等^[36]将柠檬酸法提取的果胶(PE)和商业果胶分别添加到发酵益生菌饮料中,由鼠李糖乳杆菌 ATCC 7469 进行发酵,添加商业果胶饮料中的鼠李糖乳杆菌存活率在 22%~26% (2 logCFU/mL),而含有 PE 的益生菌饮料中,鼠李糖乳杆菌的存活率在 43%~47%,胃肠道应激后乳杆菌的存活力约为 3 logCFU/mL,PE 的添加提高了饮料中鼠李糖乳杆菌的胃肠道存活率,这可能是由于低甲氧基果胶刺激了鼠李

糖乳杆菌的生长造成的。Casarotti 等^[37]将百香果副产品按 1% 添加到益生菌发酵山羊奶和谷类发酵产品中,研究发现,副产物的添加增加了发酵产品的酸化度,并且百香果副产品的存在增强了益生菌对模拟胃肠条件的抵抗力,并导致种群比对照组高 2 logCFU/mL。因此,百香果副产品可被视为生物活性组分的相关来源,有助于提高益生菌发酵产品的功能属性。此外,百香果副产物还可作为膳食成分,促进发酵豆奶中益生菌的生长和叶酸的产生^[38]。

2.1.3 其他食品领域的应用。Nascimento 等^[39]以西番莲粉(MF)为中心,与淀粉和甘油混合,开发出一种机械性能良好的生物降解柔性薄膜,通过对西番莲果粉膜的水蒸气阻隔性、化学性质、微观性质和力学性质进行分析,研究得出西番莲果粉膜具有与木薯淀粉膜相似的特性,是百香果产业副产物开发利用的一个新尝试。

2.2 生物技术领域 百香果果皮中富含多糖类化合物,可作为微生物生长繁殖的底物,从而生产与人类生活密切相关的生物技术产品。Almeida 等^[40]以百香果果皮作为底物生产 β -葡萄糖苷酶,经过工艺优化, β -葡萄糖苷酶活性增加了 5.7 倍,且在水解百香果果皮粗提取物中,葡萄糖产率达到 45.54%,以百香果果皮为底物生产 β -葡萄糖苷酶,不仅减少了废弃物的产生,降低了生产成本,而且还提高了百香果的附加价值。Martins 等^[41]筛选了几种阿拉卡里亚森林丝状真菌,以百香果果皮作为底物,生产木聚糖酶,通过工艺优化,酶活性增加了 7.89 倍,该法不仅降低了木聚糖酶的生产成本,且生产的酶具有纸浆生物漂白所需的生化特性。

2.3 医药领域 由于百香果果皮中富含多糖、多酚等化合物,具有抗肿瘤、抗炎症等生理功能,因此,其在医药领域具有重要的作用。在一项为期 4 周的安慰剂对照的双盲试验中,哮喘患者口服紫色百香果皮提取物(PFP, 150 mg/d),结果发现,提取物治疗组的喘息、咳嗽和气促的发生率明显降低,大多数哮喘临床症状均有明显缓解,且未见任何不良反应^[42]。Farid 等^[43]用 PFP 对 33 名患有膝关节骨性关节炎(OA)的患者进行双盲试验,患者接受安慰剂或 PFP 丸(150 mg/d),发现服用了 PFP 的患者在疼痛、僵直、身体功能的综合指数均有显著下降,而对照组各项指数均上升,可能是由于果皮中的黄酮类组分具有抗氧化和抗炎的作用,缓解了炎症。

百香果果皮提取物亦具有降血压、降血脂的功能。Zibadi 等^[44]对高血压患者服用 PFP 提取物(400 mg/d),发现提取物治疗组的收缩压和舒张压分别降低了 30.9 和 24.6 mmHg,且患者无不良反应报告,PFP 提取物可作为高血压患者的安全替代治疗方案。此外,在 HIV 病人膳食中添加百香果皮粉末,维持 90 d 的进食疗法,结果显示总胆固醇和三酰甘油酯下降明显^[18]。

Wijaya 等^[45]从百香果果皮的纤维素片段中获得纤维素纳米晶体(CNC),并测试了 CNC 作为药物载体对四环素抗生素的释放能力。结果显示,在 pH 3.0 时达到四环素的最佳吸收,四环素的最高释放(82.21%)在 pH 7.2 时实现,而

最低 (25.1%) 在 pH 2.1 时实现,其中释放模式遵循二级动力学模型。这一研究表明,利用百香果果皮制作 CNC,为其作为药物载体原理的应用提供了潜在的研究方向。

2.4 环保领域 百香果果皮粉可以作为生物吸附剂应用于环保领域。Lin 等^[46]测试了百香果果皮粉末废料作为生物吸附剂,以消除废水中的阳离子染料亚甲基蓝 (MB) 和甲基紫 (MV),对 MB 和 MV 的最大吸附量分别为 324.7 和 485.4 mg/g。Chao 等^[47]采用百香果壳在固定床柱中制备去除铜、镉、镍和铅离子的生物吸附剂,结果表明,生物吸附剂具有羧酸基团,可作为交换阳离子和络合位点去除重金属,且表现出很强的吸附能力。Zhao 等^[48]通过胺化反应制备表面富含氨基的百香果果皮 (DAPFP),并将其作为生物吸附剂吸附 Cr(VI),结果表明,在 90 min 内,DAPFP 可将 Cr(VI)溶液浓度 (1 mg/L) 降至世界卫生组织规定的饮用水允许的安全水平 (0.05 mg/L),且制备的生物吸附剂吸附容量可达 675.65 mg/g,还可重复使用。

3 展望

随着百香果产业的市场化发展,果皮果渣废弃物中的多糖、多酚等生物活性成分的提取及开发利用研究取得了一定的进展。然而,目前关于百香果果皮活性成分的提取与应用仍然停留在基础研究阶段,市场开发的产品相对较少。此外,关于果皮活性成分的研究仍主要以复合物为主,对具体的生物活性物质和作用机理仍不明确。因此,未来关于百香果果皮活性成分的提取和开发利用的研究重点将主要集中在机理的研究以及市场产品的高效开发,以期提升其在医药、食品保健、化妆品等产业的开发利用价值,最终促进百香果高附加值产品的开发。

参考文献

[1] 成文韬,袁启凤,肖图舰,等.西番莲果实生物活性成分及生理功能研究进展[J].食品工业科技,2018,39(16):346-351.

[2] 张文斌.福建百香果 1 号特征特性研究[J].基层农技推广,2018,6(11):30-33.

[3] 刘晓静,于立梅,庄雪莹,等.百香果果酒发酵工艺及香气成分分析[J].中国酿造,2017,36(12):153-157.

[4] 文良娟,毛慧君,张元春,等.西番莲果皮成分分析及其抗氧化活性的研究[J].食品科学,2008,29(11):54-58.

[5] 何丹,孔钰婷,宋洪波,等.紫果西番莲果皮花色苷鉴定及其生物活性[J].食品科学,2020,41(11):57-63.

[6] GAZOLA A C,COSTA G M,CASTELLANOS L,et al. Involvement of GABAergic pathway in the sedative activity of apigenin,the main flavonoid from *Passiflora quadrangularis* pericarp[J]. Revista brasileira de farmacognosia,2015,25(2):158-163.

[7] KLINCHONGKON K,KHUWIJTJARU P,WIBOONSIRIKUL J,et al. Extraction of oligosaccharides from passion fruit peel by subcritical water treatment[J]. Journal of food process engineering,2017,40(1):1-8.

[8] YAPO B M,KOFFI K L. The polysaccharide composition of yellow passion fruit rind cell wall:Chemical and macromolecular features of extracted pectins and hemicellulosic polysaccharides[J]. Journal of the science of food and agriculture,2008,88(12):2125-2133.

[9] PINHEIRO E R,SILVA I M DA,GONZAGA L V,et al. Optimization of extraction of high-ester pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) with citric acid by using response surface methodology[J]. Biore-source technology,2008,99(13):5561-5566.

[10] LIEW S Q,CHIN N L,YUSOF Y A. Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels[J]. Agriculture and agricultural science procedia,2014,2:231-236.

[11] DE MOURA F A,MACAGNAN F T,DE OLIVEIRA PETKOWICZ C L,et

al. Partially hydrolyzed pectin extracted from passion fruit peel: Molar mass and physicochemical properties[J/OL]. Bioactive carbohydrates and dietary fibre,2020,21[2021-07-25]. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2019.100206.

[12] SEIXAS F L,FUKUDA D L,TURBIANI F R B,et al. Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) by microwave-induced heating[J]. Food hydrocolloids,2014,38(6):186-192.

[13] DE OLIVEIRA C F,GIORDANI D,LUTCKEMIER R,et al. Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound[J]. LWT - food science and technology,2016,71:110-115.

[14] DE OLIVEIRA C F,GIORDANI D,GURAK P D,et al. Extraction of pectin from passion fruit peel using moderate electric field and conventional heating extraction methods[J]. Innovative food science and emerging technologies,2015,29:201-208.

[15] VASCO-CORREA J,ZAPATA ZAPATA A D. Enzymatic extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) at laboratory and bench scale[J]. LWT,2017,80:280-285.

[16] 刘运花,黄苇,郭美媛,等.西番莲果皮中果胶的复合酶法提取工艺研究[J].食品工业科技,2017,38(18):117-122.

[17] 毛慧君,文良娟,李英军,等.发酵法从西番莲果渣中制备膳食纤维的研究[J].食品科学,2010,31(3):193-197.

[18] ZERAIK M L,YARIWAKE J H. Quantification of isoorientin and total flavonoids in *Passiflora edulis* fruit pulp by HPLC-UV/DAD[J]. Microchemical journal,2010,96(1):86-91.

[19] CONFORTI F,SOSA S,MARRELLI M,et al. The protective ability of Mediterranean dietary plants against the oxidative damage: The role of radical oxygen species in inflammation and the polyphenol,flavonoid and sterol contents[J]. Food chemistry,2009,112(3):587-594.

[20] VILA F C,COLOMBO R,DE LIRA T O,et al. HPLC microfractionation of flavones and antioxidant (radical scavenging) activity of *Saccharum officinarum* L[J]. Journal of brazilian chemical society,2008,19(5):903-908.

[21] SIMIRGIOTIS M J,SCHMEDA-HIRSCHMANN G,BÓRQUEZ J,et al. The *Passiflora tripartita* (Banana Passion) fruit: A source of bioactive flavonoid C-glycosides isolated by HSCCC and characterized by HPLC-DAD-ESI/MS/MS[J]. Molecules,2013,18(2):1672-1692.

[22] MORAIS D R,ROITA E M,SARGI S C,et al. Antioxidant activity,phenolics and UPLC-ESI (-)-MS of extracts from different tropical fruits parts and processed peels[J]. Food research international,2015,77:392-399.

[23] 张玲,马于然,李春海.紫果西番莲果皮中多酚提取工艺的比较及优化[J].食品工业科技,2018,39(16):171-176.

[24] 秦生华,李珊,凌旭彬,等.百香果果皮总黄酮的超声波辅助提取工艺优化及其性质研究[J].食品工业科技,2020,41(17):159-166.

[25] VIGANÓ J,MEIRELLES A A D,NÁTHIA-NEVES G,et al. Impregnation of passion fruit bagasse extract in alginate aerogel microparticles[J]. International journal of biological macromolecules,2020,155:1060-1068.

[26] VIGANÓ J,DE PAULA ASSIS B F,NÁTHIA-NEVES G,et al. Extraction of bioactive compounds from defatted passion fruit bagasse (*Passiflora edulis* sp.) applying pressurized liquids assisted by ultrasound[J]. Ultrasonics sonochemistry,2020,64(5):1-8.

[27] 廖兰,吴俊良.逆流法提取百香果果皮中总黄酮的工艺研究[J].广西科技大学学报,2018,29(2):91-96.

[28] LEWIS B J,HERRLINGER K A,CRAIG T A,et al. Antihypertensive effect of passion fruit peel extract and its major bioactive components following acute supplementation in spontaneously hypertensive rats[J]. Journal of nutritional biochemistry,2013,24(7):1359-1366.

[29] COELHO E M,GOMES R G,MACHADO B A S,et al. Passion fruit peel flour-technological properties and application in food products[J]. Food hydrocolloids,2017,62:158-164.

[30] NING X,WU J J,LUO Z H,et al. Cookies fortified with purple passion fruit epicarp flour: Impact on physical properties,nutrition,in vitro starch digestibility, and antioxidant activity[J]. Cereal chemistry,2021,98(2):328-336.

[31] 姜燕,周敏,米热依,等.百香果果皮胶提取工艺及其对面团和面包品质的影响[J].食品研究与开发,2020,41(3):102-107.

[32] RAMLI A N M,MANAP N W A,BHUYAR P,et al. Passion fruit (*Passiflora edulis*) peel powder extract and its application towards antibacterial and antioxidant activity on the preserved meat products[J]. SN applied sciences,2020,2(10):21-33.

制的烘青绿茶外形卷曲金黄有毫,香气嫩香带花香,汤色嫩黄明亮,滋味鲜爽醇和,叶底嫩黄明亮、芽叶完整;所制工夫红茶外形细秀重实显芽苗、黑褐油润,汤色黄红明亮,香气甜香带蜜香浓郁,滋味浓甜爽口;所制黄茶干茶鹅黄隐绿,滋味较甘醇、尚鲜爽,叶底嫩匀、成朵、玉黄透绿,因其醇中带鲜的滋味和鲜活的色泽,加工黄茶等级较普通品种产品高。金凤1号适制高档名优绿茶、红茶和黄茶。

黄化、白化品种与常规绿芽品种相比由于内含机理不同,生长势弱于常规绿芽品种^[17]。金凤1号栽种后第4年发芽密度低于福鼎大白茶,高于中黄1号;第5年后高于福鼎大白茶,与中黄1号差异不显著。调查发现黄化品种晚一年投产,但在投产后长势与绿色品种基本一致,黄化茶树品种的栽培、采摘等管理措施还需要继续进行探讨研究。

因黄化品种对光照非常敏感,在太阳光线较强的地区,金凤1号在幼龄茶树栽培管理时,可以适当进行遮阴种植。成龄后该品种长势强、抗旱性、耐热性相对较强,金凤1号茶饼病、炭疽病抗性等级为中抗,小绿叶蝉、螨类抗性等级为中抗,茶园常规管理条件下,无明显病害发生。

金凤1号特异性、一致性和稳定性等主要测试性状稳定,建立了选育品比园、品比区试园和示范种植园,其大面积的栽培观察与小规模的试验结果完全一致。金凤1号表现出生长良好、品质优异、适制性广、抗性较强等特点,是一个优质黄化特异品系,适宜在与四川具有相似气候条件的茶区种植推广,也适宜推广种植于绿茶、红茶、黄茶产区。

参考文献

[1] 王新超,王璐,郝心愿,等.茶树遗传育种研究“十三五”进展及“十四

五”发展方向[J].中国茶叶,2021,43(9):50-57.

- [2] 王丽鹭,赵容波,成浩,等.叶色特异茶树品种选育现状[J].中国茶叶,2020,42(1):15-19.
- [3] 陈常颂,余文权.福建省茶树品种图志[M].北京:中国农业科学技术出版社,2016:118-131.
- [4] 陈亮,杨亚军,虞富莲,等.茶树种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2005:70-72.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.茶水浸出物测定:GB/T 8305—2013[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.茶游离氨基酸总量的测定:GB/T 8314—2013[S].北京:中国标准出版社,2013.
- [7] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法:GB/T 8313—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [8] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.茶咖啡碱的测定:GB/T 8312—2013[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.茶叶感官审评方法:GB/T 23776—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [10] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.茶叶感官审评术语:GB/T 14487—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [11] 宛晓春.茶叶生物化学[M].3版.北京:中国农业出版社,2003:9-11.
- [12] 李春霖.基于化学计量学和近红外光谱技术的龙井茶感官及化学品质评价研究[D].杭州:浙江大学,2019.
- [13] 杨亦扬,胡雲飞,李荣林,等.不同茶树品种的碧螺春茶适制性[J].江苏农业科学,2015,43(9):219-221.
- [14] 张翔,刘东娜,龚雪蛟,等.茶树黄化新品系加工绿茶品质组分分析[J].西南农业学报,2021,34(10):2100-2107.
- [15] 国家市场监督管理总局.黄茶加工技术规程:GB/T 39592—2020[S].北京:中国标准出版社,2020.
- [16] 王迎春,王小萍,李兰英,等.川西茶区茶园主要病虫害的发生规律及绿色防控措施[J].湖北农业科学,2014,53(2):330-333,336.
- [17] WALTER M H, FLOSS D S, STRACK D. Apocarotenoids: Hormones, mycorrhizal metabolites and aroma volatiles[J]. Planta, 2010, 232(1):1-17.

(上接第19页)

- [33] DO ESPÍRITO SANTO A P, PEREGO P, CONVERTI A, et al. Influence of milk type and addition of passion fruit peel powder on fermentation kinetics, texture profile and bacterial viability in probiotic yoghurts[J]. Food science and technology, 2012, 47(2):393-399.
- [34] ESPÍRITO-SANTO A P, LAGAZZO A, SOUSA A L O P, et al. Rheology, spontaneous whey separation, microstructure and sensorial characteristics of probiotic yoghurts enriched with passion fruit fiber[J]. Food research international, 2013, 50(1):224-231.
- [35] JULIANA A C, DA SILVA MARCO A P, DE OLIVEIRA KÊNIA B, et al. Fermented milk enriched with passion fruit peel flour (*Passiflora edulis*): Physicochemical and sensory aspects and lactic acid bacteria viability[J]. African journal of microbiology research, 2015, 9(35):1964-1973.
- [36] SANTOS E, ANDRADE R, GOUVEIA E. Utilization of the pectin and pulp of the passion fruit from Caatinga as probiotic food carriers[J]. Food bioscience, 2017, 20:56-61.
- [37] CASAROTTI S N, BORGONOV T F, BATISTA C L F M, et al. Guava, orange and passion fruit by-products: Characterization and its impacts on kinetics of acidification and properties of probiotic fermented products[J]. LWT, 2018, 98:69-76.
- [38] ALBUQUERQUE M A C, BEDANI R, LEBLANC J G, et al. Passion fruit by-product and fructooligosaccharides stimulate the growth and folate production by starter and probiotic cultures in fermented soymilk[J]. International journal of food microbiology, 2017, 261:35-41.
- [39] NASCIMENTO T A, CALADO V, CARVALHO C W P. Development and characterization of flexible film based on starch and passion fruit mesocarp flour with nanoparticles[J]. Food research international, 2012, 49(1):588-595.
- [40] ALMEIDA J M, LIMA V A, GILONI-LIMA P C, et al. Passion fruit peel as novel substrate for enhanced β -glucosidases production by *Penicillium*

verruculosum; Potential of the crude extract for biomass hydrolysis[J]. Biomass and bioenergy, 2015, 72:216-226.

- [41] MARTINS M D, GUIMARÃES M W, DE LIMA V A, et al. Valorization of passion fruit peel by-product: Xylanase production and its potential as bleaching agent for kraft pulp[J]. Biocatalysis and agricultural biotechnology, 2018, 16:172-180.
- [42] WATSON R R, ZIBADI S, RAFATPANAH H, et al. Oral administration of the purple passion fruit peel extract reduces wheeze and cough and improves shortness of breath in adults with asthma[J]. Nutrition research, 2008, 28(3):166-171.
- [43] FARID R, REZAIEYAZDI Z, MIRFEIZI Z, et al. Oral intake of purple passion fruit peel extract reduces pain and stiffness and improves physical function in adult patients with knee osteoarthritis[J]. Nutrition research, 2010, 30(9):601-606.
- [44] ZIBADI S, FARID R, MORIGUCHI S, et al. Oral administration of purple passion fruit peel extract attenuates blood pressure in female spontaneously hypertensive rats and humans[J]. Nutrition research, 2007, 27(7):408-416.
- [45] WIJAYA C J, SAPUTRA S N, SOETAREDO F E, et al. Cellulose nanocrystals from passion fruit peels waste as antibiotic drug carrier[J]. Carbohydrate polymers, 2017, 175:370-376.
- [46] LIN H, CHEN K W, DU L L, et al. Efficient and selective adsorption of methylene blue and methyl violet dyes by yellow passion fruit peel[J]. Environmental technology, 2021, 2020:11-16.
- [47] CHAO H P, CHANG C C, NIEVA A. Biosorption of heavy metals on *Citrus maxima* peel, passion fruit shell, and sugarcane bagasse in a fixed-bed column[J]. Journal of industrial and engineering chemistry, 2014, 20(5):3408-3414.
- [48] ZHAO X L, ZHENG J L, YOU S H, et al. Selective adsorption of CR (VI) onto amine-modified passion fruit peel biosorbent[J]. Processes, 2021, 9(5):790.