

水果加工技术研究进展

李进红, 罗照西, 潘宏兵, 吴健华, 王成, 陈太萍, 李丽 (攀枝花市农林科学研究院, 四川攀枝花 617000)

摘要 传统(热和机械)加工技术和相对新的(非热)加工技术对水果的风味物质和活性成分影响不同,影响的大小取决于工艺参数,如温度、时间、功率和浓度等。水果加工可延长保质期,改善质地、风味和食用性。然而,加工也会导致食品的物理化学、感官和营养特性产生不良的变化,并且产生大量废弃物。因此研究高效率、绿色环保的加工工艺和不同水果加工技术对产品质量和功能性的影响是十分必要的。

关键词 水果加工;风味物质;营养成分;副产物

中图分类号 TS255 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)19-0016-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.19.004



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Progress of Fruit Processing Technology

LI Jin-hong, LUO Zhao-xi, PAN Hong-bing et al (Panzhihua Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Panzhihua, Sichuan 617000)

Abstract Conventional (thermal and mechanical) and relatively new (non-thermal) processing technologies have different effects on fruit flavor substances and active ingredients, and the influence depends on the process parameters, such as temperature, time, power and concentration. Fruit processing can prolong shelf life and improve texture, flavor and edibility. However, processing may also cause undesirable changes in the physicochemical, sensory and nutritional characteristics of food, and also produce a large amount of waste. Therefore, it is imperative to determine the effect of high efficiency, green processing technology and different fruit processing technologies on product quality and functionality.

Key words Fruit processing; Flavor substance; Nutrition ingredient; By-product

水果加工是食品加工重要的组成部分,由于水果保鲜期较短且易腐烂,所以水果加工是可以确保全年都可获得的有效方法。加热和冷冻的处理方式,仍是重要的保存和制备各种水果产品的方法。虽然有标准化的技术保证加工产品的质量,但是加工过程中不可避免地造成营养成分的损失。如何高效地获得水果加工产品,并最大限度地保留水果中风味和营养成分成为水果加工中的热门课题^[1]。笔者对水果加工去皮技术、提取分离技术、灭菌保鲜技术、脱水干燥技术、包装技术、废弃物加工的研究发展进行综述,为水果加工产品的开发研究提供参考。

1 去皮技术

1.1 传统去皮技术 去皮是水果加工的前处理步骤,传统去皮方法有手工去皮、热力去皮、机械去皮、碱液去皮和酶法去皮等。热力去皮主要是通过热水和热蒸汽去皮。热力去皮,成本低,不会造成环境污染。热烫处理可以降低果肉分离难度,有效控制果皮褐变。随着科学技术的发展,机械去皮已经往自动化、连续化发展,Zhang^[2]设计了一种基于动态控制器的甘蔗去皮机,可以实现输入、去皮和输出的自动化。机械去皮效率高,但会对水果组织细胞造成损伤,使产品的货架期品质受到影响。碱液去皮会使产品的糖分和抗氧化物质损失严重,碱液处理时间越长,浓度越低,对营养成分影响越大,但碱液处理会改善产品的颜色。碱液去皮会产生工业废水造成环境污染,所以找到最佳的碱液浓度和处理时

间,如何处理去皮后的废水成为一大研究方向。酶法去皮具有节能、高效、无污染等优点,但存在酶价格昂贵、酶活易损失、酶回收困难等问题。酶法去皮一般采用高活性多糖水解酶溶液处理水果,包括果胶酶、纤维素酶和半纤维素酶等多糖酶。Pagána等^[3]通过测定可溶性固体、还原糖、半乳糖醛酸营养成分损失,果肉色泽变化,设计优化试验,得到最优反应酶浓度、温度、时间。

1.2 红外超声去皮 红外、功率超声去皮具有绿色环保、无废液污染等优点,一般辅助其他传统去皮方法,能有效减少物料损失,提高效率。红外去皮加热导致表皮细胞膜融化,多个细胞层塌陷以及细胞壁结构降解,继而引起果皮变松、变脆并且更容易破裂分离。付复华等^[4]研究表明超声波辅助法去皮能提高去皮效率,改进酶法去皮黄桃的质量,硬度、咀嚼指数增大,酶用量、酶解时间减小。

2 提取分离技术

分离技术是水果加工中重要的操作单元,传统分离技术分为机械分离和扩散分离,机械分离主要通过离心、沉降、过滤压榨等操作实现分离。新型分离技术得益于新技术、新材料、新工艺的发展。

2.1 萃取分离技术 萃取分离具有高效节能、选择性高、可分离易氧化热敏性物质等优点。超声波和微波萃取提取效率高、提取时间短,常用于萃取水果中的酚类、花青素、黄酮等活性物质。超临界萃取能在无氧和超低温条件下进行萃取,可精制热敏性物质和易氧化物质,常被用于萃取果皮、种子中的脂肪酸和多酚易挥发性物质。Ara等^[5]超临界CO₂萃取石榴果皮中的精油和挥发性物质,经过GC-MS分析和质谱鉴定,2种提取物中的主要化合物均为油酸、棕榈酸和右旋龙脑。反胶束萃取内表面的活性剂极性头之间的静电引

基金项目 四川省科技厅定向财力转移支付项目(2017NZYZF0119);四川省科普培训项目(2019JDKP0034);攀枝花市现代特色农业产业技术体系创新团队项目(2020006)。

作者简介 李进红(1993—),女,四川达州人,硕士,从事农产品加工及贮藏工程研究。

收稿日期 2021-01-21; **修回日期** 2021-02-19

力与蛋白质通过疏水相互作用使蛋白质在反胶束内富集,从而使水果中的蛋白质分离纯化。反胶团法萃取蛋白质主要优点:萃取率高且具有一定的选择性;操作过程方便;可以避免在非细胞环境下蛋白质的失活。有研究将葡萄酒沉淀物和葡萄籽作为原料,通过反胶束萃取得到其中的蛋白质,为水果副产物增值发展提供试验依据。双水相萃取是分离纯化蛋白质和酶混合物的一种高效经济的方法,已被用于分离和回收各种蛋白酶,具有酶活性损失小等优点。Ketnawa等^[6]利用双水相萃取从菠萝皮中提取菠萝蛋白酶,使其纯度提高了3.44倍,酶活回收率为206%。

2.2 膜分离技术 膜分离具有选择性,并且产生的废物量少,能耗低,设备装置占地面积小,分离过程不使用有机溶剂,可分离处理温敏物质,绿色经济等特点。膜分离技术在果汁浓缩脱色脱苦中起到非常重要的作用。符瑞华等^[7]采用旋流器耦合膜分离对糖浆进行澄清,浑浊去除率为29.53%,此过程不使用化学澄清剂,减轻环境负担。Oliveira等^[8]应用微滤-渗滤联用浓缩纯化西瓜中的番茄红素,通过反渗透工艺获得了番茄红素含量和抗氧化能力分别是鲜榨果汁的17.7倍和11.6倍。

2.3 吸附分离技术 吸附分离具有分离产品纯度高、可分离痕量物质等优点。高速逆流色谱分离的固定相和流动相都是液体,没有不可逆吸附,样品损失小,可分离提纯水果中的微量物质。Frighetto等^[9]采用高速逆流色谱法成功分离苹果皮中的熊果酸,证明苹果汁或苹果酒中有残留的熊果酸,应用高速逆流色谱分离苹果渣中的提取物,可能是一种生产食品和医药熊果酸的有效途径。He等^[10]采用高速逆流色谱法(HSCCC)对黑加仑子提取物中的微量酚类化合物进行了分离,从黑加仑中分离纯化出原儿茶酸、咖啡酸、4-羟基苯甲酸、杨梅素4种微量酚酸;结果表明,HSCCC是从水果粗提物中分离微量化合物的有效方法。吸附树脂具有吸附能力强、易解吸再生等优点,通过吸附树脂分离水果中的多酚,可以防止加工和贮藏过程中的褐变和涩味产生。Yao等^[11]通过二甲基丙烯酸乙二醇酯和二乙烯基苯的聚合物为原料的大孔吸附剂可分离纯化越桔中的花青素,花色素苷的纯度约为96%,解吸率为83%。应用大孔树脂吸附还可以从水果种子分离得到皂苷,从果皮中分离得到黄酮。

3 灭菌保鲜技术

3.1 辐射杀菌技术 辐射杀菌穿透力强,能迅速杀死食物内部微生物,具有杀菌速度快、能耗低等优点。王华等^[12]用⁶⁰Co- γ 射线对葡萄籽、葡萄皮粉末进行灭菌,结果表明,在有效杀菌的同时多酚、原花青素、白藜芦醇等物质没有明显变化。甲基溴被用于农作物上的线虫、真菌和昆虫的有效防治,然而,甲基溴是一种会消耗臭氧层的物质,它可能对人类健康和环境造成严重的问题。辐射不会留下任何残留物,也不会对食品消费者有害。此外,与传统的甲基溴熏蒸法相比,辐照杀菌能提供更好的水果质量。黄单胞杆菌引起的溃疡病是柑橘重要的细菌性病害之一,Song等^[13]研究了X射线对柑橘表面黄单胞杆菌的影响,结果发现,X射线杀菌是

消除所有黄单胞杆菌的最佳方法,在无症状感染的柑橘类水果上也是如此。由于微波辐射主要是通过热效应杀菌,所以辐射时间和功率对杀菌率、产品品质均有显著影响。新出现的微波技术能够在5~8 min杀死食品中的病原体和引起食品腐败的微生物。

3.2 低温等离子体杀菌技术 低温等离子体主要是在高能粒子、高频电磁场、自由基和紫外线的作用下使微生物的细胞被破坏,从而达到灭菌的作用。它能有效地减少玻璃、金属、织物和琼脂等材料表面的多种微生物,包括营养体、孢子、真菌、病毒和寄生虫等,研究证明低温等离子体在杀死固体和液体食品中的微生物方面是有效的^[14]。食品中的维生素C有脱氧和脱氢2种,都具有生物活性。新鲜食品中维生素C主要以脱氧型存在。碱性环境、热、氧和紫外线都能促进其氧化,使其转化为脱氢型。脱氢型维生素C可被氧化或水解为二酮果酸,导致其生物活性丧失。经低温等离子体处理后,橙汁中大部分维生素C仍具有生物活性(脱氧型和脱氢型),不氧化为二酮果酸。低温等离子体杀菌作用成分复杂,有带电粒子(电子、正负离子)、活性物质(RS)[氧原子(O)、臭氧(O₃)、羟基(OH)、NO、NO₂]、紫外线等,在微生物的内外部结构能够与各种大分子(如脂质、蛋白质、核酸等)发生反应,导致微生物死亡或伤害,其相互作用的化学过程极其复杂,其确切的灭活机理尚不清楚。低温等离子体对果汁中的金黄色葡萄球菌、大肠埃希氏菌和白色念珠菌具有灭活作用,显著延长其保质期。低温等离子体处理对果汁的营养、物理和化学特性几乎没有影响^[15]。

3.3 高压脉冲电场灭菌技术 高压脉冲电场处理是一种广泛研究的非热杀菌技术,它利用高压脉冲发生器产生的脉冲电场对食品进行杀菌。高压脉冲电场在强电作用下使微生物细胞电穿孔而达到灭菌的效果,对果酒果汁中的酵母、大肠杆菌有明显的抑制作用,在不损失原有色泽和营养成分的情况下,可以得到较好的贮藏效果^[16]。

臭氧、二氧化氯等气体常被用于鲜果杀菌保鲜,通过强氧化作用对有机物进行杀菌。臭氧和二氧化氯对微生物的抗性因种类不同而不同,微生物的耐热系数越高的微生物,需要越长时间越高浓度的处理。 γ 射线、X射线、紫外辐射杀菌也常被用于鲜果的保鲜贮藏。

4 脱水干燥技术

4.1 常见干燥技术 当水果暴露在光、热和氧气中时,其生物活性成分很容易丧失,因此新型水果干燥和加工技术,在稳定和延长水果保质期同时要保持其成分的活性。水果干燥除了降低水分活度,抑制微生物生长,还可以拓宽水果加工的种类。常见干燥方式有对流干燥、辐射干燥、接触式干燥。对流干燥以高温空气为热源,通过对流交换食物中的水分,使食物干燥。热风对流干燥技术比较成熟,在果片、果干热风干燥的动力学模型方面研究广泛,通过研究产品水分变化规律,为预测和描述热风干燥过程中产品水分含量和干燥时间提供理论依据。辐射干燥主要有微波和红外干燥2种方法;辐射干燥一般与对流干燥相结合应用,主要用于果干

的干燥。Chaikham 等^[17]研究了微波辐射密度和热风速度对龙眼干的理化性质和感官评价的影响,在空气干燥系统中,热风对流能除去水果表面的水,而微波干燥能除去产品内部的水,空气对流速度在微波干燥过程中具有重要作用,不仅是水分蒸发的载体,而且有助于干燥过程更加均匀和快速。低功率微波干燥比常规微波功率干燥和高功率微波干燥能更好地保留水果中的营养成分,微波干燥和热风干燥相结合的系统不仅可以提高干燥速度,还可以提高产品的质量。渗透干燥已成功应用于浆果、苹果、葡萄等的脱水,在糖溶液中浸泡生果有利于延缓酶促褐变反应,增强果实结构的机械阻力,改善果实的口感和外观色泽,由于渗透压效应,还能缩短干燥时间。Bórquez 等^[18]采用微波真空和渗透对覆盆子进行联合干燥,与其他预处理方法相比,渗透干燥前的微波预处理能显著增强水果的干燥速率,微波预处理可显著提高细胞中的酚类、黄酮类、花青素等抗氧化剂的保留率。接触式干燥是将食物放在热壁上进行干燥的方法,可在常压和真空2种条件下进行。接触式干燥热传导速率快、干燥效率高,在物料越薄的情况下,干燥效果越好。

4.2 喷雾干燥技术 相较于果汁,果粉的水分含量低,保质期长,体积和重量减少,节约包装材料,便于运输,更加经济。喷雾干燥是将果汁果浆悬浮于热空气中,水分迅速汽化进行干燥的方法。对果汁进行喷雾干燥,得到果粉的维生素、酚类、花青素、类胡萝卜素等营养成分含量较高。由于水果中存在高浓度的低分子糖和有机酸,粉末容易粘在干燥室内成为果汁喷雾干燥中最常见的问题。有研究证明,添加适量麦芽糊精可以改变果汁液滴的表面黏性,有助于提高玻璃化温度,减小喷雾干燥过程中的壁面沉积,形成均匀分散的果汁粉。喷雾干燥过程中达到高度组织结构的结晶糖可以降低黏性。Cano-Chauca 等^[19]对纤维素在芒果粉喷雾干燥过程中的结晶诱导作用进行分析;微观结构分析表明,以麦芽糊精、阿拉伯树胶、淀粉蜡为载体,在不添加纤维素的情况下喷雾干燥得到的芒果汁粉末表面呈无定形颗粒。添加一定量的纤维素后,颗粒表面呈半结晶状态;纤维素的添加对黏度的影响很小,芒果粉的溶解度随纤维素浓度的增加而降低;纤维素作为一种诱导糖结晶的物质是不合适的。

4.3 其他干燥技术 真空干燥是将物料在真空负压条件下使水的沸点降低从而快速蒸发得到干燥。真空干燥一般与辐射干燥相结合应用。真空冷冻在果粉、果片干燥等方面都有应用,得到的产品保质期更长,颜色、香气和营养保持较好。

变温压差膨化干燥是一种健康、节能的非油炸膨化干燥技术,在产品保持酥脆同时,最大限度保留了水果的营养成分。研究表明,干燥后含水率、膨化温度和真空干燥时间这3个变量对水果加工产品含水率、脆度、膨化度、复水比和色泽等指标有影响。

其他新型干燥技术,例如节能环保的太阳能干燥技术,传导、辐射和薄层干燥相结合的折射窗干燥技术,减少干燥过程中物料组织结构损坏的超临界干燥技术,干燥技术还在不断地发展,更重要的是根据生产的产品种类和水果特点选

择合适的干燥类型^[20]。

5 包装技术

水果加工产品的多样化依赖于包装技术的发展。真空包装在防腐蚀、抗氧化、防潮、干燥、污染、电荷、紫外线、机械损伤、真菌生长、易腐烂等方面起到了屏障作用。真空包装在鲜果包装方面有较多应用,由于降低了包装中的氧气和氮气水平,从而延长了水果的保质期。不同鲜果采用真空包装,对贮藏期间鲜果的失重率、褐变度、果实硬度、细胞膜透性、可溶性固形物影响不同。Rana 等^[21]研究发现,相比真空包装果实,未处理组果实由于与空气直接接触,呼吸和蒸散速率较高,导致果实失重率较高。真空的包装在果实周围形成高浓度的 CO₂ 气体环境,干扰乙烯在贮藏过程中的成熟作用,延缓叶绿素降解,从而延缓果实成熟。水果在贮藏过程中硬度的下降主要是由于表面水分的流失导致细胞失去膨胀性,果胶的分解导致细胞壁结构和组成的变化,真空包装抑制了这一成熟过程,从而显著减少了贮藏期间水果硬度的下降。真空包装阻止了气体的交换,减小了呼吸速率。充气包装可克服真空包装易机械损伤的缺点,一般 N₂、CO₂ 以一定比例作为气调包装。宋要强等^[22]对比 1-甲基环丙烯和复合气调(5% O₂+10% CO₂+85% N₂)的保鲜效果,结果发现,1-甲基环丙烯在保鲜、保持水果风味方面优于复合气调,但两者复合处理优于 2 种单独处理。有研究发现,葡萄在氯气的环境中贮藏能有效抑制灰霉病的发生,氯气可以替代二氧化硫作为食用葡萄采后控制的气体。无菌包装在果汁、果汁发酵产品上应用较多。冷藏包装可以降低细胞的呼吸作用和微生物的繁殖。

水果的加工都会产生大量的副产物和废物,造成大量原材料损失外和严重的环境问题。这些废弃物主要由种子、果皮和残渣组成,是生物活性化合物的良好来源,如类胡萝卜素、多酚、膳食纤维、维生素、酶和油脂等。

6 废弃物加工

利用水果废弃物生产各种重要的生物活性成分,是迈向可持续发展的重要一步,其中一些生物活性化合物具有抗菌、抗肿瘤、抗病毒、抗突变和心脏保护活性的保健功能。从各种植物性食品原料、工业食品废弃物和副产物中高效、高质量地提取高价值组分已得到广泛的研究。

6.1 果皮加工

6.1.1 活性物质提取。从番茄皮中提取番茄红素,从红葡萄渣、葡萄籽和马铃薯皮中提取多酚,或从橘皮中提取精油和果胶。石榴皮提取物是食品工业生产酚类、类黄酮和单宁等抗氧化活性天然化合物的重要来源,因为石榴皮中的总酚、总黄酮、单宁具有较高的生物活性。Uckoo 等^[23]从柑橘皮中分离出 9 种聚甲氧基黄酮和 1 种柠檬酸。其中 3,5,7,3',4'-五甲氧基黄酮是首次从柑橘属植物中分离得到的,对哈维氏弧菌的细胞信号转导和生物膜形成具有抑制作用,研究结果有助于开发聚甲氧基黄酮来预防细菌性致病,从柑橘品种中鉴定出有效的抗菌剂将为柑橘加工业带来额外的经济效益。Jeong 等^[24]从梨果皮中分离得到 5 种原花青素,其

中 2 个 B 型原花青素二聚体已经在梨果实中发现,然而 3 个 A 型原花青素三聚体是首次在梨果皮中鉴定出来的。原花青素具有抗氧化、抗菌、抗过敏、抗癌和减肥作用。A 型原花青素三聚体具有抗氧化、抗菌和抗癌特性。

6.1.2 其他物质分离。从香蕉皮中分离出的淀粉可作为淀粉的替代来源,与木薯淀粉、玉米淀粉、马铃薯淀粉、小麦淀粉等相比,阿贡香蕉皮淀粉具有一般淀粉的特性,黏度较高,糊化温度低于木薯淀粉。有研究证明,利用 CO₂ 超临界萃取柑橘皮中的膳食纤维,在 200 °C 处理下,纤维素获得率最高,可达 80%。果胶是存在于水果各部分细胞壁中间层的重要成分,它在果酱、果冻、蜜饯等水果产品的生产中起着重要的作用。Sudhakar 等^[25]研究表明在最佳提取条件下,从芒果果皮中提取果胶含量约为 20%,此外,新鲜芒果皮具有代谢活性,如果处理不当,果胶的质量会迅速下降。

6.1.3 直接加工。果皮除了能分离提取化合物,经过加工具有较高的食用和药用价值。利用菠萝皮进行厌氧发酵,发酵后香气浓郁,乳酸含量和氨基酸总量显著提高,是一种优质的高蛋白饲料。火龙果加工副产物火龙果皮具有潜在开发价值,对其进行加工再利用,以火龙果皮为主要原料,利用乳酸菌为发酵剂,得到火龙果皮乳酸发酵饮料。陈雪梅等^[26]利用柚皮苷酶对柚皮脱苦,利用氯化钙溶液浸泡对柚皮进行硬化,用真空渗糖法工艺,制成的柚皮果脯块形完整、颜色淡黄、透明饱满、柚香浓郁、酸甜适口。

6.2 果核加工 人们越来越关注价值被低估的废弃物,如用副产物和废物来生产粮食和饲料,会有助于改善对现有资源的开发。对来自不同野生植物的种子油进行了大量的调查研究,结果表明这些植物可以开发成许多有价值的产品,如营养和药用活性成分提取。

6.2.1 活性物质提取。种子含有许多营养成分,如多酚和皂苷,它们通常在消费和加工过程中被当作水果废弃物丢掉。对荔枝种子提取物抗糖尿病作用进行了化学和药理学研究,结果表明荔枝种子提取物含有多种富含儿茶素的化合物和松果酚苷,能改善糖尿病大鼠的生活质量,并通过提高糖耐量和胰岛素抵抗而保护胰腺、肝脏和肾脏。此外,荔枝种子提取物能改善糖、脂代谢,抑制细胞凋亡引起的肝损伤和炎症,保护机体免受糖尿病加重的影响。Tabiri 等^[27]对 3 个西瓜品种(查尔斯顿灰、深红色甜瓜和黑钻石)的种子进行了矿物质、植物化学成分、总酚含量和抗氧化活性的分析,结果表明,西瓜种子中钙、磷、镁、钠等矿物质含量较高,钾最高,钠最低;所有样品中均含有皂苷、单宁、三萜苷和生物碱;深红色甜瓜总酚和抗氧化活性最高,其次是黑钻石,最低的是查尔斯顿灰;西瓜籽是饮食中很多营养成分的重要来源,其中的矿物质、酚类等抗氧化活性物质含量高,具有保健价值和经济效益。

6.2.2 油脂提取。石榴籽是最有价值的食物废料之一,主要来自石榴汁工业。石榴籽含有 12%~25% 的原油,富含生物活性脂质。它含有生育酚、植物甾醇和石榴酸,这些成分都有一定的保健功能。石榴酸占石榴籽油总脂肪酸含量的

74%~85%,具有抗氧化、抗肿瘤、免疫调节、抗动脉粥样硬化和降血脂活性。Çavdar 等^[28]通过微波辅助溶剂萃取石榴籽,得到的脂肪酸的主要成分是石榴酸(86%),与冷溶剂萃取法相比,所得油脂的理化性质、总酚含量和抗氧化活性均有所提高。抗氧化剂是一系列生物活性化合物,通常用于保护食品免受氧化酸败。它们还能通过捕获自由基保护人体免受许多慢性心血管疾病、癌症和衰老的影响。研究证明,典型的草本植物(如迷迭香、洋甘菊、玫瑰果、山楂、柠檬马鞭草和绿茶)以及一些种子提取物(如冬瓜油和木瓜籽提取物)因为具有高抗氧化活性,是天然抗氧化剂的重要来源^[29]。Samaram 等^[30]通过超声辅助萃取木瓜籽油,结果表明,在高温下用高超声功率和低溶剂进行超声提取是最理想的提取条件,具有可靠的油脂回收率、抗氧化活性和稳定性。

7 结语

我国拥有丰富的水果资源,具有多样的加工产品类型和优良的市场发展前景,水果加工技术研究进展为水果产品的研究和开发提供了技术支持。随着生活水平的提升,人们对水果加工产品要求绿色、健康、环保。水果加工过程中产生大量的废弃物,通过焚烧或扔进城市垃圾场来处理,对环境造成污染。水果加工废弃物具有较高的营养价值,在食品工业、饲料工业以及医药工业等方面具有较大的发展潜力,因此加大加深对水果废弃物综合利用的研究,在经济健康发展和环境可持续发展方面具有重要的意义。

参考文献

- [1] SELVARAJU G, ABU BAKAR N K. Production of a new industrially viable green-activated carbon from *Artocarpus integer* fruit processing waste and evaluation of its chemical, morphological and adsorption properties [J]. Journal of cleaner production, 2017, 141 (10): 989-999.
- [2] ZHANG D H. Design of sugarcane peeling machine based on motion controller [J]. Advance journal of food science and technology, 2015, 7 (10): 824-826.
- [3] PAGANA A, CONDE J, IBARZ A, et al. Effluent content from albedo degradation and kinetics at different temperatures in the enzymatic peeling of grapefruits [J]. Food and bioproducts processing, 2010, 88 (2/3): 77-82.
- [4] 付复华, 袁洪燕, 潘兆平, 等. 黄桃超声波辅助酶法去皮工艺优化及其品质分析 [J]. 食品与机械, 2016, 32 (8): 182-187.
- [5] ARA K M, RAOFIE F. Application of response surface methodology for the optimization of supercritical fluid extraction of essential oil from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel [J]. Journal of food science and technology, 2016, 53 (7): 3113-3121.
- [6] KETNAWA S, CHAIWUT P, RAWDKUEN S. Aqueous two-phase extraction of bromelain from pineapple peels ('Phu Lae' cultiv.) and its biochemical properties [J]. Food science and biotechnology, 2011, 20 (5): 1219-1226.
- [7] 符瑞华, 高俊永, 孙潇, 等. 旋流耦合膜分离澄清糖浆的实验研究 [J]. 甘蔗糖业, 2012 (4): 41-45.
- [8] OLIVEIRA C S, GOMES F S, CONSTANT L S, et al. Integrated membrane separation processes aiming to concentrate and purify lycopene from watermelon juice [J]. Innovative food science and emerging technologies, 2016, 38: 149-154.
- [9] FRIGHETTO R T S, WELENDORF R M, NIGRO E N, et al. Isolation of ursolic acid from apple peels by high speed counter-current chromatography [J]. Food chemistry, 2008, 106 (2): 767-771.
- [10] HE D J, GU D Y, HUANG Y, et al. Separation and purification of phenolic acids and myricetin from black currant by high-speed countercurrent chromatography [J]. Journal of liquid chromatography and related technologies, 2009, 32 (20): 3077-3088.
- [11] YAO L J, ZHANG N, WANG C B, et al. Highly selective separation and purification of anthocyanins from bilberry based on a macroporous polymeric adsorbent [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2015, 63

- (13):3543-3550.
- [12] 王华,徐春雅,李倩倩,等.⁶⁰Co- γ 射线对葡萄仔超微粉辐照灭菌对其主要功能性成分的影响[J].食品科学,2009,30(13):97-100.
- [13] SONG M A, PARK J S, KIM K D, et al. Effect of x-irradiation on citrus canker pathogen *Xanthomonas citri* subsp. *citri* of satsuma mandarin fruits [J]. The plant pathology journal, 2015, 31(4):343-349.
- [14] 李娅西,邵先军,彭兆裕,等.介质阻挡放电对橙汁灭菌及其品质的影响[J].高压电技术,2012,38(13):211-216.
- [15] SHI X M, ZHANG G J, WU X L, et al. Effect of low-temperature plasma on microorganism inactivation and quality of freshly squeezed orange juice [J]. IEEE transactions on plasma science, 2011, 39(7):1591-1597.
- [16] JAMBARI H, AZLI N A, RAHMAT Z, et al. Non thermal pasteurization for orange juice using pulsed electric field [J]. Advanced science letters, 2017, 23(5):4082-4085.
- [17] CHAIKHAM P, KREUNGERN D, APICHARTSRANGKON A. Combined microwave and hot air convective dehydration on physical and biochemical qualities of dried longan flesh [J]. International food research journal, 2013, 20(5):2145-2151.
- [18] BÓRQUEZ R M, CANALES E R, REDON J P. Osmotic dehydration of raspberries with vacuum pretreatment followed by microwave-vacuum drying [J]. Journal of food engineering, 2010, 99(2):121-127.
- [19] CANO-CHAUCA M, STRINGHETA P C, RAMOS A M, et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization [J]. Innovative food science and emerging technologies, 2005, 6(4):420-428.
- [20] 赵凤敏,李树君,张小燕,等.常见浆果的真空冷冻干燥特性研究[J].现代食品科技,2014,30(4):220-225.
- [21] RANA S, SIDDIQUI S, GANDHI K. Effect of individual vacuum and modified atmosphere packaging on shelf life of guava [J]. International journal of chemical studies, 2018, 6(2):966-972.
- [22] 宋要强,惠伟,刘敏会,等.1-甲基环丙烯和复合气调对艳阳甜樱桃保鲜效果研究[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2010,38(4):84-87.
- [23] UCKOO R M, JAYAPRAKASHA G K, VIKRAM A, et al. Polymethoxyflavones isolated from the peel of miray mandarin (*Citrus miray*) have bio-film inhibitory activity in *Vibrio harveyi* [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2015, 63(32):7180-7189.
- [24] JEONG D E, CHO J Y, LEE Y G, et al. Isolation of five proanthocyanidins from pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) fruit peels [J]. Food science and biotechnology, 2017, 26(5):1209-1215.
- [25] SUDHAKAR D V, MAINI S B. Isolation and characterization of mango peel pectins [J]. Journal of food processing and preservation, 2000, 24(3):209-227.
- [26] 陈雪梅,陈小红,刘菲菲.柚皮的酶法脱苦及其果脯的研制[J].龙岩学院学报,2015,32(2):68-73.
- [27] TABIRI B, AGBENORHEVI J K, WIREKO-MANU F D, et al. Watermelon seeds as food: Nutrient composition, phytochemicals and antioxidant activity [J]. International journal of food sciences and nutrition, 2016, 5(2):139-144.
- [28] ÇAVDAR H K, YANIK D K, GÖK U. Optimisation of microwave-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil and evaluation of its physicochemical and bioactive properties [J]. Food technology & biotechnology, 2017, 55(1):86-94.
- [29] HAGHPARAST S, KASHIRI H, ALIPOUR G H, et al. Evaluation of green tea (*Camellia sinensis*) extract and onion (*Allium cepa* L.) juice effects on lipid degradation and sensory acceptance of persian sturgeon (acipenser persicus) filets: A comparative study [J]. Planta, 2011, 160(6):500-507.
- [30] SAMARAM S, MIRHOSSEINI H, TAN C P, et al. Optimisation of ultrasound-assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: Oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability [J]. Food chemistry, 2015, 172(1):7-17.

(上接第15页)

- [19] BUSATTO N, FARNETI B, TADIELLO A, et al. Target metabolite and gene transcription profiling during the development of superficial scald in apple (*Malus × domestica* Borkh) [J]. BMC Plant Biology, 2014, 14:1-13.
- [20] GONG Y H, SONG J, DU L N, et al. Characterization of laccase from apple fruit during postharvest storage and its response to diphenylamine and 1-methylcyclopropene treatments [J]. Food chemistry, 2018, 253:314-321.
- [21] SONG Y, YAO Y X, ZHAI H, et al. Polyphenolic compound and the degree of browning in processing apple varieties [J]. Agricultural sciences in China, 2007, 6(5):607-612.
- [22] ABBASI N A, KUSHAD M M, HAFIZ I A, et al. Relationship of superficial scald related fruit maturity with poly phenoloxidase and superoxide dismutase activities in red spur delicious apples [J]. Asian journal of chemistry, 2008, 20(8):5986-5996.
- [23] DU Z Y, BRAMLAGE W J. Peroxidative activity of apple peel in relation to development of poststorage disorders [J]. HortScience, 1995, 30(2):205-209.
- [24] PESIS E, EBELER S E, DE FREITAS S T, et al. Short anaerobiosis period prior to cold storage alleviates bitter pit and superficial scald in Granny Smith apples [J]. Journal of the science of food and agriculture, 2010, 90(12):2114-2123.
- [25] JU Z G, YUAN Y B, LIU C L, et al. Relationships among simple phenol, flavonoid and anthocyanin in apple fruit peel at harvest and scald susceptibility [J]. Postharvest biology and technology, 1996, 8(2):83-93.
- [26] FARNETI B, BUSATTO N, KHOMENKO I, et al. Untargeted metabolomics investigation of volatile compounds involved in the development of apple superficial scald by PTR-ToF-MS [J]. Metabolomics, 2015, 11(2):341-349.
- [27] HEDAYATI R, BAKHSHI D, PIRMORADIAN N, et al. On-Tree water spray affects superficial scald severity and fruit quality in 'Granny Smith' apples [J]. Journal of applied horticulture, 2020, 22(1):62-66.
- [28] LIU H, LIU S H, DU B Y, et al. *Aloe vera* gel coating aggravates superficial scald incidence in 'Starking' apples during low-temperature storage [J/OL]. Food chemistry, 2020, 339[2020-11-05]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128151>.
- [29] JEMRIC T, LURIE S, DUMIJA L, et al. Heat treatment and harvest date interact in their effect on superficial scald of 'Granny Smith' apple [J]. Scientia horticulturae, 2006, 107(2):155-163.
- [30] CURRY E. Effects of 1-MCP applied postharvest on epicuticular wax of apples (*Malus domestica* Borkh.) during storage [J]. Journal of the science of food & agriculture, 2008, 88(6):996-1006.
- [31] ASIF M H, PATHAK N, SOLOMOS T, et al. Effect of low oxygen, temperature and 1-methylcyclopropene on the expression of genes regulating ethylene biosynthesis and perception during ripening in apple [J]. South African journal of botany, 2009, 75(1):137-144.
- [32] 苑克俊,李震三,张道辉,等.苹果低氧气调新组合贮藏后效应的利用研究[J].果树学报,2002,19(6):369-372.
- [33] 苑克俊,李震三,张道辉,等.低氧气调新组合处理苹果贮藏后效应的生理基础探讨[J].山东农业科学,2002,34(2):13-15,18.
- [34] HUI W, NIU R X, SONG Y Q, et al. Inhibitory effects of 1-MCP and DPA on superficial scald of dangshansuli pear [J]. Agricultural sciences in China, 2011, 10(10):1638-1645.
- [35] DU L N, SONG J, CAMPBELL PALMER L, et al. Quantitative proteomic changes in development of superficial scald disorder and its response to diphenylamine and 1-MCP treatments in apple fruit [J]. Postharvest biology and technology, 2017, 123:33-50.
- [36] LU X G, NOCK J F, MA Y P, et al. Effects of repeated 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on ripening and superficial scald of 'Cortland' and 'Delicious' apples [J]. Postharvest biology and technology, 2013, 78:48-54.
- [37] LARRIGAUDIÈRE C, LINDO-GARCÍA V, UBACH D, et al. 1-Methylcyclopropene and extreme ULO inhibit superficial scald in a different way highlighting the physiological basis of this disorder in pear [J]. Scientia horticulturae, 2019, 250:148-153.
- [38] GUO J M, WEI X Y, LÜ E L, et al. Ripening behavior and quality of 1-MCP treated 'd' Anjou pears during controlled atmosphere storage [J/OL]. Food control, 2020, 117[2020-11-05]. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107364>.
- [39] BARANYAI L, LIEN N L P, MAI D S, et al. Evaluation of precooling temperature and 1-MCP treatment on quality of 'Golden Delicious' apple [J]. Journal of applied botany and food quality, 2020, 93:130-135.