

## 果蔬加工副产物的活性成分及其在食品工业中的应用

谢婕<sup>1</sup>, 齐洪鑫<sup>1</sup>, 韩梅梅<sup>1</sup>, 蒋黎艳<sup>2\*</sup>

(1. 德州市农业科学研究院, 山东德州 253000; 2. 湖南科技学院化学与生物工程学院, 湖南永州 425199)

**摘要** 随着我国果蔬加工业的迅速发展和人民生活水平的不断提高, 由此产生的大量果蔬加工副产物不仅容易带来环境污染, 同时因其富含的营养素和营养外化合物不能有效利用, 还会造成宝贵资源的浪费。在介绍源于果蔬加工副产物的多种活性成分的基础上, 着重阐述了果蔬加工副产物在开发创新性食品、酶制剂、抗氧化剂、抑菌剂、天然食品调味料、发酵固定化载体等食品工业中的应用, 并对其发展前景进行了展望。

**关键词** 果蔬加工副产物; 活性成分; 食品工业

中图分类号 TS255 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)11-0021-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.11.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Bioactive Ingredients of By-products from Fruit and Vegetable Processing and Their Application in the Food Industry

XIE Jie, QI Hong-xin, HAN Mei-mei et al (Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou, Shandong 253000)

**Abstract** With the rapid development of fruit and vegetable processing industry and the improvement of people's living standards, a large number of fruit and vegetable processing by-products not only had a negative impact on the environment, but also led to the waste of resources as they are rich in nutrients and extranutrients. Various active ingredients derived from by-products of fruit and vegetable processing were introduced, and their application in developing innovative foods, enzymes, antioxidants, antimicrobial agents, natural food seasonings, fermentation immobilized carriers and other food industries were expounded. Finally their development was prospected.

**Key words** Fruit and vegetable by-products; Bioactive ingredients; Food industry

据统计, 果蔬加工过程中可产生大约相当于 50% 原材料的果皮、果核、果渣、未成熟或损坏的水果和蔬菜等副产物<sup>[1-2]</sup>。这些副产物大多直接被丢弃, 极易造成环境污染。此外, 果蔬加工副产物因其富含各类营养素和非营养素成分, 是蛋白质、多糖、维生素、粗纤维、矿物质、植物甾醇、必需脂肪酸和抗氧化剂等良好的天然来源, 可作为高附加值产品的回收资源<sup>[3-5]</sup>。更重要的是, 与化学合成物相比, 用果蔬加工副产物提取的天然成分来开发具有生物活性的产品更容易被消费者接受。目前, 国内外对果蔬加工副产物中的活性成分有一定的应用研究, 然而这些研究与每年产生的副产物数量相比, 其利用率和开发程度远远不够, 且目前的开发主

要是针对具体果品的副产物进行处理, 缺乏从活性成分上进行全面的综合分析和利用。鉴于此, 笔者对果蔬加工副产物中的活性成分进行了介绍, 着重阐述了其在开发创新性食品、酶制剂、抗氧化剂、抑菌剂、天然食品调味料、发酵固定化载体等食品工业中的应用, 以期为更加合理利用果蔬加工副产物、降低环境污染风险和支持食品工业经济发展提供科学指导。

#### 1 果蔬加工副产物中的活性成分

果蔬加工副产物主要由水、有机物质和矿质元素组成, 营养物质丰富<sup>[6]</sup>(表 1)。研究表明, 在果蔬加工副产物中广泛存在多种活性成分, 这些化合物基本上是植物的初级和次级代谢产物, 主要有膳食纤维、果胶、酚类、脂肪酸等<sup>[7]</sup>。

表 1 部分果蔬加工副产物中可利用成分的比例

Table 1 Proportions of available components in some fruit and vegetable processing by-products

序号 Code	种类 Type	淀粉 Starch	果胶 Pectin	类黄酮 Flavonoid	蛋白质 Protein	粗纤维 Crude fiber	功能油脂 Function oil
1	柑橘副产物	—	20~30	30.0	(籽蛋白质) 8.0~11.0	13.0~27.3	4~5
2	马铃薯(干基)	37	17	—	4.0	31.0	—
3	番茄副产物	—	约 5~10	—	约 13.3	约 86.0	约 5~20
4	苹果副产物	—	9~15	1.0~1.5	约 2.3	约 16.9	约 1

注: “—”为未测定

Note: “—”indicated not detected

**1.1 膳食纤维** 膳食纤维是非淀粉多糖的多种植物物质, 通常分为两大类: 水溶性的果胶、树胶和不溶性的纤维素、木质素、部分半纤维素等。果蔬加工副产物是膳食纤维的天然来源(表 2), 例如苹果渣中干物质的含量达 93.2%, 而膳食

纤维占干物质的 60.1%<sup>[8]</sup>。Amaya-Cruz 等<sup>[9]</sup>对芒果、番石榴和桃汁加工后的副产物中的膳食纤维进行了研究, 结果显示芒果和桃子副产物表现出不溶性/可溶性膳食纤维的充分平衡以及高含量的类胡萝卜素和多酚; 番石榴副产物中不溶性膳食纤维的含量最高达 74%。Zhang 等<sup>[10]</sup>对葡萄果实加工后产生的副产物红葡萄渣中的膳食纤维和多酚类化合物进行了提取研究, 结果显示提取物中总膳食纤维含量较高,

**作者简介** 谢婕(1988—), 女, 山东菏泽人, 研究实习员, 硕士, 从事农产品加工研究。\* 通信作者, 讲师, 硕士, 从事食品毒理学研究。

**收稿日期** 2019-10-08

达 57.24%,其中不溶性纤维含量高达 51.70%。

表 2 膳食纤维在果蔬副产物中的比例

Table 2 Proportions of dietary fiber in fruit and vegetable by-products

果渣成分 Components of fruit residues	苹果 Apple	樱桃 Cherry	野樱桃 Wild cherry	黑加伦 Black- currant	梨 Pear	胡萝卜 Carrot
果胶 Pectin	11.7	1.5	7.85	2.73	13.4	3.88
半纤维素 Hemicellulose	24.4	10.7	33.50	25.30	18.6	12.30
纤维素 Cellulose	43.6	18.4	34.60	12.00	34.5	51.60
木质素 Lignin	20.4	69.4	24.10	59.30	33.5	32.20

膳食纤维在体内不易消化,但在大肠中可被微生物(如双歧杆菌)酵解,同时产生短链脂肪酸(乙酸、丙酸和丁酸),促进有益菌的增殖,改善肠道环境,提高肠道消化系统免疫力,降低患结肠癌和直肠癌的风险<sup>[11]</sup>。由此分析,果蔬加工副产物富含的膳食纤维活性成分应用前景广泛,如在食品工业中可以用来强化食品,增加其膳食纤维含量,赋予食品适当的流变学特性,改善食品的风味和质构,并生产出低卡路里、低胆固醇和低脂肪的健康产品<sup>[12]</sup>。

**1.2 果胶** 果胶是一种直线型天然高分子多糖聚合物,是水果和蔬菜细胞壁中间层的主要构成成分,具有良好的凝胶性和乳化稳定性,在化妆品、食品及医药保健品中应用广泛。果蔬加工副产物中含有丰富的果胶,是天然优质果胶的良好来源。Wang等<sup>[13]</sup>研究发现,与市售果胶相比,从苹果渣中提取的果胶多糖的分子量、半乳糖醛酸含量、干物质和蛋白质含量较低,灰分含量和中性糖含量较高;同时还发现提取的果胶多糖在体外显示出比商业果胶更高的抗氧化能力和对 HT-29 结肠腺癌细胞更强的抑制作用。Jiang等<sup>[14]</sup>以发酵山楂酒渣(FHP)和浸泡山楂酒渣(SHP)为原料,采用酸法来提取山楂酒渣和浸泡山楂酒渣中的果胶,并进行详细的比较,结果发现提取出来的这 2 种果胶均为高甲氧基果胶,SHP 的分子量高于 FHP。差示扫描量热分析表明,SHP 的熔体温度低于 FHP,分子排列比 FHP 有序。FHP 和 SHP 溶液具有剪切稀释性能,但 SHP 具有较强的抗剪切能力。随着浓度的增加,FHP 趋向于弹性固体,在 SHP 中不显著。研究还表明,FHP 和 SHP 都有可能成为果胶的新来源,这 2 种果胶均可作为食品加工中的增稠稳定剂。近年来,医疗保健行业通过合成和改性果胶在免疫、抗癌、材料行业等方面取得巨大成功,随着人们对营养健康食品的追求,食品行业中各种低酯果胶、酰胺化果胶以及脂肪替代品果胶会是今后发展的一个方向,因此果蔬加工副产物在这方面也具有较大的应用前景。

**1.3 多酚** 果蔬加工副产物还具有多酚含量高的特点。许多水果和蔬菜被归入 100 种最丰富的多酚膳食来源中<sup>[15]</sup>。苹果副产物是多酚类化合物的重要来源,这些化合物主要包括黄烷醇类、酚酸类、儿茶素及花青素类等<sup>[16]</sup>。葡萄籽也是多酚的良好来源,特别是酚酸、鞣花苷、黄酮、黄烷-3-醇,如儿茶素、花青素、二苯乙烯和白藜芦醇,均具有抗氧化、抗肿

瘤、抗微生物、抗衰老的功能,对肝脏具有抗毒性和抗炎作用<sup>[17]</sup>。Yilmaz等<sup>[18]</sup>研究发现,葡萄籽粉和葡萄皮的总酚含量的抗氧化能力与藻红蛋白的氧自由基吸收能力有类似的趋势,表明葡萄皮和葡萄籽粉的健康功能成分与水果和蔬菜相当。甘蔗渣也可用作多酚类物质的潜在来源,并可能在功能性药剂的开发和农业工业收入的增加中发挥作用。Zheng等<sup>[19]</sup>研究了甘蔗渣提取物中酚类物质的组成,发现甘蔗皮渣总酚含量为(7.83±0.24)mg/g,包括自由酚(EF)(7.35±0.25)mg/g和结合酚(0.48±0.01)mg/g。此外,还有研究表明花生皮<sup>[20]</sup>、蔓越莓果渣<sup>[21]</sup>也富含多酚类物质。近年来,从植物中寻找天然抗氧化剂的需求日益增加,果蔬加工副产物中具有丰富的多酚类物质,是天然抗氧化剂的良好来源,因此从果蔬副产物中提取多酚类物质具有较大的应用前景。

**1.4 脂肪酸和脂溶性物质** 水果加工行业产生越来越多的种子和果仁的副产品,这些副产品可以作为油脂类物质的天然来源,与化学合成物质相比,这些天然来源的物质更容易被消费者接受。Góma等<sup>[4-5]</sup>对西瓜、石榴、猕猴桃等 9 种工业水果副产物种子中油脂的回收及其脂肪酸和植物甾醇组分进行了研究,发现果实种子的出油率为 11.8%~28.5%,每种籽油中脂肪酸成分都不一样;大部分样品中亚油酸含量较高(38.0%~70.7%),而石榴籽油中石榴酸含量极高(86.2%)。此外,还发现酸樱桃副产物的产油率为 17.5%~37.1%,平均为 31.8%,主要脂肪酸有亚油酸(35.50%~46.06%)、油酸(25.25%~45.30%)、 $\alpha$ -榄香酸(7.43%~15.76%)和棕榈酸(5.06%~7.38%)。Petkova等<sup>[22]</sup>对 3 个品种甜瓜种子中的油脂含量及成分进行了研究,发现油脂中甾醇、磷脂和生育酚的含量分别为 0.6%、0.7%~1.7%、435~828 mg/kg,脂类中的主要脂肪酸为亚油酸(51.1%~58.5%),其次为油酸(24.8%~25.6%),证实了将该油用于制药或化妆品工业的可能性。综上所述,果蔬加工副产物是油脂类物质的天然来源,如果能够采用合理的技术手段和加工方法对其进行纯化并加以利用,果蔬加工副产物可以作为食用油的新资源,具有较大的开发利用空间。

## 2 果蔬加工副产物在食品工业中的应用

**2.1 开发创新性食品** 目前果蔬加工副产物在开发创新性食品的应用研究较多。大量的研究发现苹果渣可以作为膳食纤维的补充成分,在不同的产品中加入可以起到一定的作用。Rocha等<sup>[23]</sup>以苹果渣为原料制备无麸质(GF)烘焙产品,发现苹果渣中的纤维含量很高,纤维含量越高,粘性越低。Choi等<sup>[24]</sup>研究了苹果渣纤维和猪肉脂肪含量对未经加工、低脂鸡肉香肠品质的影响,结果表明,在配方中加入苹果渣纤维可以成功地降低乳化香肠中的脂肪含量,同时与常规脂肪(30%)对照组相比,发现可以改善乳化香肠的质量特性。还有研究表明,从干苹果渣中提取的纤维可以成功地用于制备嗜酸性酸奶、芒果饮料、苹果饮料等富含纤维的产品<sup>[25]</sup>。

此外,果蔬加工副产物在创新性食品的营养组成上也可以发挥一定的作用。Bertagnoli等<sup>[26]</sup>以不同用量(30%、50%

和 70%) 番石榴皮粉来开发饼干配方, 感官分析表明, 含有 30% 番石榴皮粉的饼干在香气、风味和质地特性方面令人满意, 含 50% 和 70% 番石榴皮粉的饼干仅在香气方面令人满意, 研究还表明添加番石榴皮粉的典型特征是纤维、矿物质、多酚和  $\beta$ -胡萝卜素等的含量较高, 脂类和碳水化合物含量低。因此, 番石榴皮粉可部分替代小麦粉用于生产饼干, 以提高营养价值, 而不影响产品的感官质量。Selani 等<sup>[27]</sup> 研究了冷冻干燥菠萝副产物和菜籽油作为脂肪替代品对低脂肪牛肉汉堡包的氧化稳定性、胆固醇含量和脂肪酸组成的影响, 结果表明菠萝副产物和菜籽油可作为食品成分在更健康的牛肉汉堡开发中进行应用。综上, 果蔬加工副产物中营养成分丰富, 尤其是膳食纤维含量较高, 可以作为开发创新性食品的潜力资源。

**2.2 制备酶制剂的原料** 果蔬加工副产物含有大量的果胶、碳水化合物、蛋白质, 且脂肪含量低, 可以用作微生物产酶的原料。Hours 等<sup>[28]</sup> 以苹果渣为原料, 采用固态发酵法小规模生产果胶酶, 发现苹果渣是果胶酶生产的适宜原料。Reddy 等<sup>[29]</sup> 以芒果干果加工工业产生的废料为碳源, 利用真菌菌株生产果胶酶, 结果发现在温度 28  $^{\circ}\text{C}$ 、pH 6.0、接种量 0.024 mL/mL、培养时间 72 h、底物浓度为 0.006 g/mL、碳源-果糖 (1%) 条件下, 果胶酶产量较高。在最佳条件下, 果胶酶活力最高可达 81.971 8 U/mL。Ruiz 等<sup>[30]</sup> 以柠檬皮渣为底物, 黑曲霉 Aa-20 为载体, 采用固态发酵法来生产果胶酶, 结果表明柠檬皮渣是一种生产果胶酶的良好原料。还有报道来自葡萄酒和果汁生产的葡萄渣已被用于生产木聚糖酶和果胶酶<sup>[31]</sup>。随着对酶的深入研究和越来越多的认识, 各种酶制剂在食品工业中的应用越来越普遍, 酶的提取和合成也是目前的研究热点, 充分利用果蔬副产物作为各种酶底物的来源将具有非常广阔的应用前景。

**2.3 提取抗氧化剂和抑菌剂** 果蔬加工副产物中含有的花青素、类黄酮、维生素 C 等具有强大的抗氧化作用, 能够清除机体内自由基、延缓机体衰老, 预防心血管、老年痴呆、糖尿病等疾病<sup>[32]</sup>。因此抗氧化剂提取也成为果蔬加工副产物的重要应用。目前有关果蔬加工副产物中抗氧化剂的应用开发研究较多, 并且对它们的作用效果也进行了一定的鉴定。Albuquerque 等<sup>[33]</sup> 对分别来自热带岛屿的四个品种番荔枝的果肉、果皮和种子的抗氧化活性进行了研究, 结果表明番荔枝及其副产品均具有较强的抗氧化能力, 可以作为有价值的天然提取物。Rodrigues 等<sup>[34]</sup> 综述了橄榄副产物的组成及其所含的生物活性成分, 表明橄榄副产物含有丰富的生物活性化合物, 如抗氧化剂、脂肪酸和矿物质, 可以成为抗老化化妆品活性成分的来源。此外, 还有研究表明<sup>[35]</sup> 把橄榄废弃物中的多酚提取物用于动物试验中, 通过与对照组相比, 发现饲喂橄榄研磨废弃物多酚日粮的仔猪在血液和大部分受试组织中的抗氧化机制显著增强, 表现为总抗氧化能力 (TAC)、谷胱甘肽 (GSH) 和过氧化氢酶活性 (CAT) 升高。

果蔬加工副产物还可以作为潜在天然抑菌剂, 主要是因为其具有抗氧化性和自由基清除活性, 可以延缓或抑制

DNA 的氧化以及蛋白质和脂质的氧化, 在防止病原体入侵和保护食品中扮演着重要角色<sup>[36]</sup>。Rodríguez-Carpena 等<sup>[37]</sup> 研究发现, 牛油果的果皮、果肉和种子中的提取物对革兰氏阳性细菌显示出中度的抗菌作用。Chacko 等<sup>[38]</sup> 以柑橘、菠萝、石榴、香蕉等果皮为原料来制作果酱, 并对其抑菌性能进行了评价, 结果发现石榴果酱对志贺氏菌的抗菌活性最高。此外, 果蔬加工副产物的提取物还可以通过联合不同的处理方法来增强其抑菌活性。Sanz-Puig 等<sup>[39]</sup> 研究了花椰菜和柑橘副产物在 37 和 10  $^{\circ}\text{C}$  浸泡条件下对肠杆菌伤寒沙门氏菌的灭活效果, 发现副产物单独使用具有较强的抗菌效果, 当联合高压处理 (200 MPa, 2 min) 时, 对鼠伤寒沙门氏菌的抗菌作用增强。Vodnar 等<sup>[40]</sup> 研究了罗马尼亚主要农用工业废物 (苹果皮、胡萝卜浆、白葡萄和红葡萄皮、红甜菜肉和皮) 中的生物活性物质, 并对这些物质的抗微生物活性进行了评价, 结果发现胡萝卜提取物对两种菌株 (伤寒沙门氏菌 TA98 和 TA100) 均无抑菌作用, 而经过热处理 (10 min, 80  $^{\circ}\text{C}$ ) 后的红葡萄渣对两种菌株抑菌效果最好。

**2.4 合成天然调味料** 果蔬加工副产物中的提取物还可用于各种菜肴的调味品。目前由于天然调味料提取成本较高, 大多数商业调味品都是通过化学合成来获得。果蔬副产物或者食品残渣均可作为化学合成的替代品, 这是一个潜在的风味来源。Rossi 等<sup>[41]</sup> 研究了柠檬浆在固态发酵中利用蜡状囊菌生产芳香挥发物的应用, 发现以柠檬汁生产工业的废弃物为原料来制作柠檬浆, 在柠檬浆中添加大豆麸、甘蔗糖蜜和矿质盐溶液, 可产生强烈的水果香气。Mantzouridou 等<sup>[42]</sup> 对柑桔皮固态发酵选育工业酵母菌株进行了研究, 发现利用柑桔皮渣进行固态发酵生产具有“果味”特性和高工业价值的酵母挥发性芳香酯是可行的, 还发现这主要与橙子废料的高活性有关, 因为其含有高含量的可发酵碳水化合物, 即来自于水解后自然产生的简单糖 (葡萄糖、果糖) 和多糖 (纤维素、半纤维素、果胶) 以及氨基氮。Christen 等<sup>[43]</sup> 研究发现小麦麸皮、木薯渣和甘蔗渣是菲氏角胞杆菌生长和产香的适宜基质。在所测试的营养培养基中, 甘蔗渣与含有葡萄糖 (200 g/L) 的合成培养基中可产生水果香气, 而与含亮氨酸或缬氨酸的培养基产生强烈的香蕉香气。Soares 等<sup>[44]</sup> 研究报道在以蒸汽处理过的咖啡壳与葡萄糖联合作为底物进行固态发酵时, 可产生强烈的菠萝香味, 增加亮氨酸的含量可产生强烈的香蕉气味。Martínez 等<sup>[45]</sup> 利用克鲁维酵母菌, 以甘蔗渣/甜菜糖蜜为原料, 通过甘蔗渣/甜菜糖蜜混合物的固态发酵生产水果气味的化合物。目前在各种调味料的生产方面, 越来越多的研究主要基于微生物的生物合成或食品废弃物的生物转化, 因而果蔬加工副产物作为香辛料天然来源的前体物质, 具有巨大的应用潜力。

**2.5 其他应用** 果蔬加工副产物如果皮、果核、果梗、果肉等固体残渣回收利用价值高, 残余物质可以转化为商业产品, 作为二级过程的原料、操作供应品或作为新产品的成分。Orzua 等<sup>[46]</sup> 研究发现椰壳、苹果渣、柠檬皮和橙皮具有较高的吸水能力和良好的微生物生长速率, 是固态发酵 (SSF) 中

具有较大潜力的固定化载体,且具有成本优势以及丰富的适用性。Borah等<sup>[47]</sup>以马铃薯皮和甜菜果渣为原材料,来开发可生物降解包装膜,发现该膜能有效地降低面包样品的重量损失、降低硬度和抑制表面微生物负载。Santos等<sup>[48]</sup>研究发现热解橙皮可用作生产固体生物燃料过滤器和重金属生物吸附剂,特别是铅吸附材料,其性质随着热解温度的升高而提高。

果蔬加工副产物还可以作为功能性饲料成分用于农畜牧饲养,迎合消费者“清洁”“天然”和“生态/绿色”的需求。Guil-Guerrero等<sup>[49]</sup>发现采用植物性副产物(棉籽粕、绿茶、苹果和红酒渣)作为饲料补充,因其含有适当浓度的抑菌剂和促进剂(天然替代品),能够减少抗生素的使用。上述副产物还可以引起体内微生物的变化,比如减少回肠大肠杆菌数量,改善小肠指示微生物的多样性,对畜禽免疫系统也有积极作用。此外,血糖、尿素、肌酐、甘油三酯、胆固醇和皮质醇浓度通常在植物性副产物摄入后降低,这些副产物还能导致肌肉的抗氧化活性增加。虽然果蔬加工副产物在营养和卫生方面适用于动物饲料,能够有效地用于畜牧业营养生产,提高畜产品的品质,但是也有研究发现,果蔬加工副产物含水量过高,在作为动物饲料成分加入的时候必须通过一些干燥方法来减少水分含量<sup>[50]</sup>;此外,还发现咖啡和葡萄酒副产物中亚硝酸盐含量很高,如果蔬菜副产物中的亚硝酸盐含量低于规定的最大允许限度,那么将其用作动物饲料的原料将是可行的。

### 3 结论

果蔬加工副产物具有来源广泛、价格低廉、无二次污染等优点,同时也是膳食纤维、果胶、多酚类物质和脂肪酸等营养成分的良好来源,因此应该加大果蔬加工副产物在食品工业中的应用。未来可以在以下几个方面对果蔬加工副产物开展深入研究:①采用先进的提取和加工技术,对果蔬加工副产物进行梯次利用,最大化利用其膳食纤维、果胶、酚类、脂肪酸等有效成分;②拓展开发果蔬副产物中的活性化物的利用途径,讨论不同果蔬副产物中活性成分的区别;③针对果蔬加工副产物提取的活性成分,更深入地研究这些生物活性分子在受到食品加工和储存的影响之后,再从食物基质中释放,被生物体吸收、分布、代谢、消除的生物过程。

### 参考文献

[1] GÓMEZ M, MARTINEZ M M. Fruit and vegetable by-products as novel ingredients to improve the nutritional quality of baked goods[J]. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2018, 58(13): 2119–2135.

[2] PADAYACHEE A, DAY L, HOWELL K, et al. Complexity and health functionality of plant cell wall fibers from fruits and vegetables[J]. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2017, 57(1): 59–81.

[3] KOWALSKA H, CZAJKOWSKA K, CICHOWSKA J, et al. What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry[J]. *Trends in food science & technology*, 2017, 67: 150–159.

[4] GÓRNAS P, RUDZIŃSKA M. Seeds recovered from industry by-products of nine fruit species with a high potential utility as a source of unconventional oil for biodiesel and cosmetic and pharmaceutical sectors[J]. *Industrial crops and products*, 2016, 83: 329–338.

[5] GÓRNAS P, RUDZIŃSKA M, RACZYK M, et al. Composition of bioactive compounds in kernel oils recovered from sour cherry (*Prunus cerasus* L.) by-products: Impact of the cultivar on potential applications[J]. *Industrial*

*crops and products*, 2016, 82: 44–50.

[6] 朱宇竹, 李锋, 陈义伦, 等. 纳米技术在农产品加工副产物利用中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(9): 186–193.

[7] BANERJEE J, SINGH R, VIJAYARAGHAVAN R, et al. Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals[J]. *Food chemistry*, 2017, 225: 10–22.

[8] NAWIRSKA A, KWAŚNIEWSKA M. Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste[J]. *Food chemistry*, 2005, 91(2): 221–225.

[9] AMAYA-CRUZ D M, RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ S, PÉREZ-RAMÍREZ I F, et al. Juice by-products as a source of dietary fibre and antioxidants and their effect on hepatic steatosis[J]. *Journal of functional foods*, 2015, 17: 93–102.

[10] ZHANG L L, ZHU M T, SHI T, et al. Recovery of dietary fiber and polyphenol from grape juice pomace and evaluation of their functional properties and polyphenol compositions[J]. *Food & function*, 2017, 8(1): 341–351.

[11] VERSPREET J, DAMEN B, BROEKAERT W F, et al. A critical look at prebiotics within the dietary fiber concept[J]. *Annual review of food science and technology*, 2016, 7: 167–190.

[12] 王瑶, 张明, 王兆升, 等. 果蔬加工副产物膳食纤维改性及应用研究进展[J]. *中国果菜*, 2019, 39(1): 36–41.

[13] WANG X, LÜ X. Characterization of pectic polysaccharides extracted from apple pomace by hot-compressed water[J]. *Carbohydrate polymers*, 2014, 102: 174–184.

[14] JIANG Y, DU J H, ZHANG L G, et al. Properties of pectin extracted from fermented and steeped hawthorn wine pomace: A comparison[J]. *Carbohydrate polymers*, 2018, 197: 174–182.

[15] PÉREZ-JIMÉNEZ J, NEVEU V, VOS F, et al. Identification of the 100 richest dietary sources of polyphenols: An application of the Phenol-Explorer database[J]. *European journal of clinical nutrition*, 2010, 64(S3): 112–120.

[16] RABETAFIKA H N, BCHIR B, BLECKER C, et al. Fractionation of apple by-products as source of new ingredients: Current situation and perspectives[J]. *Trends in food science & technology*, 2014, 40(1): 99–114.

[17] NOWSHEHRI J A, BHAT Z A, SHAH M Y. Blessings in disguise: bio-functional benefits of grape seed extracts[J]. *Food research international*, 2015, 77: 333–348.

[18] YILMAZ Y, TOLEDO R T. Oxygen radical absorbance capacities of grape/wine industry byproducts and effect of solvent type on extraction of grape seed polyphenols[J]. *Journal of food composition and analysis*, 2006, 19(1): 41–48.

[19] ZHENG R, SU S, ZHOU H F, et al. Antioxidant/antihyperglycemic activity of phenolics from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) bagasse and identification by UHPLC-HR-TOFMS[J]. *Industrial crops and products*, 2017, 101: 104–114.

[20] BALLARD T S, MALLIKARJUNAN P, ZHOU K, et al. Microwave-assisted extraction of phenolic antioxidant compounds from peanut skins[J]. *Food chemistry*, 2010, 120(4): 1185–1192.

[21] OSZMIANSKI J, WOJDYŁO A, LACHOWICZ S, et al. Comparison of bioactive potential of cranberry fruit and fruit-based products versus leaves[J]. *Journal of functional foods*, 2016, 22: 232–242.

[22] PETKOVA Z, ANTOVA G. Proximate composition of seeds and seed oils from melon (*Cucumis melo* L.) cultivated in Bulgaria[J]. *Cogent food & agriculture*, 2015, 1(1): 1–15.

[23] ROCHA PARRA A F, RIBOTTA P D, FERRERO C. Apple pomace in gluten-free formulations: Effect on rheology and product quality[J]. *International journal of food science & technology*, 2015, 50(3): 682–690.

[24] CHOI Y S, KIM Y B, HWANG K E, et al. Effect of apple pomace fiber and pork fat levels on quality characteristics of uncured, reduced-fat chicken sausages[J]. *Poultry science*, 2016, 95(6): 1465–1471.

[25] SHARMA P C, GUPTA A, ISSAR K. Effect of packaging and storage on dried apple pomace and fiber extracted from pomace[J]. *Journal of food processing and preservation*, 2016, 41(3): 1–10.

[26] BERTAGNOLLI S M M, SILVEIRA M L R, FOGAÇA A O, et al. Bioactive compounds and acceptance of cookies made with Guava peel flour[J]. *Food science and technology (Campinas)*, 2014, 34(2): 303–308.

[27] SELANI M M, SHIRADO G A N, MARGIOTTA G B, et al. Pineapple by-product and canola oil as partial fat replacers in low-fat beef burger: Effects on oxidative stability, cholesterol content and fatty acid profile[J]. *Meat science*, 2016, 115: 9–15.

- [28] HOURS R A,VOGET C E,ERTOLA R J. Apple pomace as raw material for pectinases production in solid state culture [J]. *Biological wastes*, 1988, 23(3): 221-228.
- [29] REDDY M P,SARITHA K V. Bio-catalysis of mango industrial waste by newly isolated *Fusarium* sp. (PSTF1) for pectinase production [J]. *3 Biotech*, 2015, 5(6): 893-900.
- [30] RUIZ H A,RODRÍGUEZ-JASSO R M,RODRÍGUEZ R, et al. Pectinase production from lemon peel pomace as support and carbon source in solid-state fermentation column-tray bioreactor [J]. *Biochemical engineering journal*, 2012, 65: 90-95.
- [31] BOTELLA C,DIAZ A,DE ORY I, et al. Xylanase and pectinase production by *Aspergillus awamori* on grape pomace in solid state fermentation [J]. *Process biochemistry*, 2007, 42(1): 98-101.
- [32] 陶纯洁,张伊宁. 食品中常见抗氧化物质的研究 [J]. *粮食与食品工业*, 2014, 21(3): 53-55, 59.
- [33] ALBUQUERQUE T G,SANTOS F,SANCHES-SILVA A, et al. Nutritional and phytochemical composition of *Annona cherimola* Mill. fruits and by-products: Potential health benefits [J]. *Food chemistry*, 2016, 193: 187-195.
- [34] RODRIGUES F,PIMENTEL F B,OLIVEIRA M B P P. Olive by-products: Challenge application in cosmetic industry [J]. *Industrial crops and products*, 2015, 70: 116-124.
- [35] GERASOPOULOS K,STAGOS D,PETROTOS K, et al. Feed supplemented with polyphenolic byproduct from olive mill wastewater processing improves the redox status in blood and tissues of piglets [J]. *Food and chemical toxicology*, 2015, 86: 319-327.
- [36] AYALA-ZAVALA J F,VEGA-VEGA V,ROSAS-DOMÍNGUEZ C, et al. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives [J]. *Food research international*, 2011, 44(7): 1866-1874.
- [37] RODRÍGUEZ-CARPENA J G,MORCUENDE D,ANDRADE M J, et al. Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, in vitro antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2011, 59(10): 5625-5635.
- [38] CHACKO C M,ESTHERLYDIA D. Antimicrobial evaluation of jams made from indigenous fruit peels [J]. *International journal of advanced research*, 2014, 2(1): 202-207.
- [39] SANZ-PUIG M, MORENO P, PINA-PÉREZ M C, et al. Combined effect of high hydrostatic pressure (HHP) and antimicrobial from agro-industrial by-products against *S. Typhimurium* [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 77: 126-133.
- [40] VODNAR D C, CĂLINOIU L F, DULF F V, et al. Identification of the bio-active compounds and antioxidant, antimutagenic and antimicrobial activities of thermally processed agro-industrial waste [J]. *Food chemistry*, 2017, 231: 131-140.
- [41] ROSSI S C, VANDENBERGHE L P S, PEREIRA B M P, et al. Improving fruity aroma production by fungi in SSF using citric pulp [J]. *Food research international*, 2009, 42(4): 484-486.
- [42] MANTZOURIDOU F T, PARASKEVOPOULOU A, LALOU S. Yeast flavour production by solid state fermentation of orange peel waste [J]. *Biochemical engineering journal*, 2015, 101: 1-8.
- [43] CHRISTEN P, MEZA J C, REVAH S. Fruity aroma production in solid state fermentation by *Ceratocystis fimbriata*: Influence of the substrate type and the presence of precursors [J]. *Mycological research*, 1997, 101(8): 911-919.
- [44] SOARES M, CHRISTEN P, PANDEY A, et al. Fruity flavour production by *Ceratocystis fimbriata* grown on coffee husk in solid-state fermentation [J]. *Process biochemistry*, 2000, 35(8): 857-861.
- [45] MARTÍNEZ O, SÁNCHEZ A, FONT X, et al. Valorization of sugarcane bagasse and sugar beet molasses using *Kluyveromyces marxianus* for producing value-added aroma compounds via solid-state fermentation [J]. *Journal of cleaner production*, 2017, 158: 8-17.
- [46] ORZUA M C, MUSSATTO S I, CONTRERAS-ESQUIVEL J C, et al. Exploitation of agro industrial wastes as immobilization carrier for solid-state fermentation [J]. *Industrial crops and products*, 2009, 30(1): 24-27.
- [47] BORAH P P, DAS P, BADWAIK L S. Ultrasound treated potato peel and sweet lime pomace based biopolymer film development [J]. *Ultrasonics sonochemistry*, 2017, 36: 11-19.
- [48] SANTOS C M, DWECK J, VIOTTO R S, et al. Application of orange peel waste in the production of solid biofuels and biosorbents [J]. *Bioresource technology*, 2015, 196: 469-479.
- [49] GUIL-GUERRERO J L, RAMOS L, MORENO C, et al. Plant-food by-products to improve farm-animal health [J]. *Animal feed science and technology*, 2016, 220: 121-135.
- [50] SAN MARTIN D, RAMOS S, ZUFÍA J. Valorisation of food waste to produce new raw materials for animal feed [J]. *Food chemistry*, 2016, 198: 68-74.

(上接第 20 页)

- [4] 王惠玲,肖明,冯立新. 紫苏梗、孕酮对子宫内酶活性效应的比较试验 [J]. *西安交通大学学报*, 1990, 11(2): 121-124.
- [5] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 [S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 318.
- [6] 张卫明, 刘月秀, 王红. 紫苏子的化学成分研究 [J]. *中国野生植物资源*, 1998, 17(1): 42-44.
- [7] 王永奇, 邢福有, 刘凡亮, 等. 紫苏子镇咳、祛痰、平喘作用的药理研究 [J]. *中南药学*, 2003, 1(3): 135-138.
- [8] 王远, 郭萍, 李晖, 等. RP-HPLC 法同时测定紫苏子中  $\alpha$ -亚麻酸和亚油酸的含量 [J]. *药物分析杂志*, 2012, 32(2): 252-254.
- [9] 崔凯, 丁霄霖. 中国紫苏属植物种子含油量及其脂肪酸组成研究 [J]. *无锡轻工大学学报*, 1998, 17(1): 78-81.
- [10] 魏长玲, 郭宝林, 张琛武, 等. 中国紫苏资源调查和紫苏叶挥发油化学型研究 [J]. *中国中药杂志*, 2016, 41(10): 1823-1834.
- [11] 刘月秀, 张卫明. 紫苏属植物的分类及资源分布 [J]. *中国野生植物资源*, 1998, 17(3): 1-4.
- [12] 李卫萍, 魏长玲, 张琛武, 等. 紫苏栽培种质的形态分类及化学型关系研究 [J]. *中国中药杂志*, 2019, 44(3): 454-459.
- [13] 温春秀, 谢晓亮, 周巧梅. 紫苏多倍体育种研究 [C] // 第九届全国药用植物及植物药学术研讨会论文集. 北京: 中国植物学会, 2010.
- [14] 严兴初. 苏子种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [15] 沈奇, 王仙萍, 田世刚, 等. 紫苏种质资源的考察标准及其性状描述 [J]. *贵州农业科学*, 2016, 44(1): 17-20.
- [16] 魏忠芬, 李慧琳, 奉斌, 等. 贵州紫苏种质资源表型性状的遗传多样性 [J]. *西南农业学报*, 2017, 30(1): 45-52.
- [17] 魏忠芬, 李慧琳, 奉斌, 等. 贵州省苏麻种质资源调查及利用研究 [J]. *种子*, 2015, 34(12): 58-60, 66.
- [18] 惠荣奎. 紫苏种质资源遗传多样性研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [19] 欧巧明, 崔文娟, 叶春雷, 等. 油用紫苏种质主要农艺性状及品质特征鉴定与评价 [J]. *核农学报*, 2018, 32(9): 1721-1739.
- [20] 刘月秀, 张卫明, 钱学射. 紫苏属植物的研究与利用 [J]. *中国野生植物资源*, 1996, 15(3): 24-27.
- [21] 张丽, 曾玉恒, 曾娟, 等. 紫苏种质资源总黄酮含量的测定及评价 [J]. *种子*, 2017, 36(11): 58-61.
- [22] 向福, 江安娜, 项俊, 等. 不同生育期紫苏叶中  $\beta$ -胡萝卜素和总黄酮的动态积累 [J]. *食品工业科技*, 2015, 36(14): 143-146, 151.
- [23] 温贺, 王仙萍, 杨森, 等. 紫苏 SSR 标记筛选及遗传关系分析 [J]. *分子植物育种*, 2019, 17(7): 2285-2290.
- [24] 张天缘, 宋莉, 沈奇. 紫苏 EST-SSR 分布特征及标记开发 [J]. *贵州农业科学*, 2017, 45(9): 114-118.
- [25] 王仙萍, 温贺, 商志伟, 等. 基于 SSR 标记 13 个紫苏品种 (系) 的亲缘关系及遗传多样性 [J]. *贵州农业科学*, 2017, 45(9): 103-106.
- [26] 王仕玉, 郭凤根. 基于 ISSR 标记的云南紫苏资源的遗传多样性研究 [J]. *中国油料作物学报*, 2012, 34(4): 372-376.
- [27] 陈俊银, 王力军, 沈奇, 等. 基于 ISSR 标记的 10 份紫苏种质资源的遗传多样性评价 [J]. *贵州农业科学*, 2016, 44(12): 10-14.
- [28] 罗玉明, 张卫明, 丁小余, 等. 紫苏属药用植物的 rDNA ITS 区 SNP 分子标记与位点特异性 PCR 鉴别 [J]. *药学报*, 2006, 41(9): 840-845.
- [29] 蔡顺顺, 张兴翠. 四川、重庆不同紫苏遗传多样性的 SRAP 研究 [J]. *西南师范大学学报 (自然科学版)*, 2013, 38(3): 101-106.