

我国水果副产物综合利用的研究及应用

黄林华^{1,2}, 吴厚玖^{1,2*}

(1. 西南大学柑桔研究所, 重庆 400712; 2. 中国农业科学院柑桔研究所, 重庆 400712)

摘要: 随着水果种植面积和加工规模不断扩大, 我国水果副产物资源也越来越多, 由此引发的资源浪费和环境污染的问题也越来越严重。在水果生产过程中, 果园中的落果、残次果以及不可直接食用的根茎叶等资源的浪费给果农造成了相当大的经济损失。水果加工后剩余的果皮、果渣、果核、种籽、叶、茎、根等下脚料以及加工废水等如果不加以综合利用, 不仅会造成资源浪费, 还会增加加工企业的废渣废水处理成本。本文阐述了水果副产物的含义及其综合利用研究进展, 分析水果副产物利用存在的问题和发展趋势。

关键词: 水果; 副产物; 综合利用

Investigation and application of comprehensive utilization of fruit by-products in China

HUANG Lin-Hua^{1,2}, WU Hou-Jiu^{1,2*}

(1. Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China; 2. Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China)

ABSTRACT: Nowadays, more and more fruit by-products resources have been arising from unceasing expansion of fruit cultivation area and processing scale in China. As a result, resource waste and environmental pollution problem is becoming more and more serious. During the process of fruit production, the dropped or left-over fruit in orchards and inedible root and leafves waste caused enormous economic loss to farmers. After fruit processing, the rest of the peel pomace, seeds, leaves, stem, root and processing water could not only create a waste of resource without comprehensive utilization, but also increase the enterprise's production costs. This paper expounded the meaning and utilization of fruit by-products and proposed an analysis of existing problems and the development trend of fruit by-products utilization.

KEY WORDS: fruit; by-products; comprehensive utilization

1 引言

水果是农作物的重要组成部分和人类生存必需的营养物质的来源, 也是食品工业发展的基础原料之一。我国是世界最大的水果生产国, 栽培历史悠久, 种植资源丰富。

近几十年来, 随着经济的飞速发展和科学技术的进步, 我国水果产业也经历了一个快速发展的时期。如今, 果业产值占农业总产值的 20% 以上, 已成为许多农业经济主导地区的经济支柱产业, 是带动农村经济发展和农民发家致富的主要动力之一。

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD31B10)、中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2015C086)

Fund: Supported by the National Science & Technology Pillar Program during the 12th Five-year Plan Period (2012BAD31B10) and Fundamental Research Funds for the Central Universities (XDJK2015C086)

*通讯作者: 吴厚玖, 研究员, 主要研究方向为柑桔加工及资源化利用。E-mail: wuhoujiu@cric.cn

*Corresponding author: WU Hou-Jiu, Researcher, Citrus Research Institute, Southwest University, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China. E-mail: wuhoujiu@cric.cn

随着果业发展的规模化和集约化, 果业种植面积和产量逐渐增加, 水果加工量快速增加, 水果副产物产量也随之大量增加, 其所含有丰富的高价值营养成分, 若不加以合理利用, 不仅会造成资源的浪费, 还会引起环境污染。因此对水果副产物开发利用, 既可以提高农产品的附加值, 增加经济效益, 变废为宝; 又可以消除污染源, 保护环境, 从而确保我国农业产业持续、快速、稳步地发展。

2 水果副产物资源及其分类

2.1 水果副产物资源

水果副产物包括落果、残次果和加工后剩余的果皮、果渣、果核、种子、叶、茎、根等下脚料以及加工废水等。在水果种植、储运和加工过程中, 往往产生大量的副产物。据国家统计局数据显示, 2014 年我国水果总产量约为 2.6 亿吨, 水果副产物的数量也高达上亿吨, 这其中蕴含了大量宝贵的财富。以苹果为例, 2014 年全国总产量首次超过 4 千万吨(国家统计局数据), 粗略估计苹果副产物的产量超过百万吨。改革开放初期, 由于缺乏应用技术的深入研究和大力推广, 使苹果副产物资源优势不但未能得以发挥, 反而带来了污染环境的问题。近些年来, 通过加强技术的研发, 利用苹果副产物开发出系列副产品, 如果胶、膳食纤维、微生物发酵饲料等, 逐渐形成了苹果副产物综合利用的产业链。又如从柑橘皮中提取香精油、果胶、萜烯和黄酮等, 从菠萝皮中提取蛋白酶和粗纤维, 用富含糖分的水果皮渣酿酒、酿醋或加工制成动物饲料等。农产品副产物资源的高值化无废弃开发已成为未来农副产品加工业的发展方向。

2.2 水果副产物资源分类

2.2.1 非食用部分

除可食用的果实, 有很多果树或水果的其他部分如叶、茎、花、根等也可以作为水果副产品加以利用, 比如香蕉树的茎叶中可溶性碳水化合物及多种维生素含量丰富, 特别是叶中有较高含量的粗蛋白和纤维素^[1]。在香蕉皮中含有比较丰富的微量元素, 粗蛋白和粗脂肪的含量也比较高。通过加工处理后可用在饲料、造纸、医药等行业。

2.2.2 落果和残次果

很多水果在生长发育和成熟过程中会因生理或外部环境的原因产生一定量的落果, 这些落果如果能及时收集利用可以最大程度挽回果农的经济损失。有的水果采前落果的功能性成分含量更高, 如柑橘的采前落果果胶、类黄酮等成分比成熟果实更高, 用于提取这些成分的成本更低。水果采摘后品质良莠不齐, 经过分级筛选后实现优质优价。但分选后不宜鲜销或加工的残次果又称为等外果, 其中多数虽然外观不佳, 但是口感风味不错, 而且其营养价值并无太大损失, 经过去掉腐烂、损坏的部分后还可以进行榨汁或制成果脯等产品。

2.2.3 加工副产物

果蔬加工副产物是指在果蔬加工过程中产生的, 如果皮、果核、果渣、种子等副产物。我国是水果生产大国, 水果产量连年增加, 其加工副产物也越来越多, 尤其是果皮在整个水果中占较大比重, 是水果加工业副产物中的主要部分。以我国四大水果苹果、香蕉、梨、柑橘为例, 果皮的比例分别为 10~15%、35~41%、11~16%、16~23%^[2]。果蔬加工副产物的主要成分有糖分、有机酸、维生素、酚类和黄酮类成分、蛋白质、脂肪、原果胶、纤维素、半纤维素及矿质元素等^[3]。例如柑橘皮、苹果皮就是提取食用果胶的最佳原料。

3 水果副产物资源利用现状

3.1 水果副产物的直接利用

水果在加工过程中, 会产生大量副产物。通过对这些副产品的综合利用, 既可以增加附加值, 提高水果加工的经济价值, 增加社会财富, 又可减少把这些副产品当作垃圾处理负担和环境污染。例如菠萝是重要的罐头和果汁产品制作原料, 但菠萝加工罐头时, 大约只利用了 40% 的果肉, 剩下的不规则碎果肉、果心、果眼以及菠萝在削皮、修整和切片时产生的自流汁都往往压榨成菠萝汁被加以利用, 而且压榨后的渣主要是木质纤维, 是制纸和胶合板的理想原料。

目前, 不仅水果加工中产生的各种副产品基本上被综合利用, 而且有些水果的副产品实现了资源化多层次利用。如柑橘类的果皮中含有 5% 左右果胶、2~3% 橙皮苷、0.5% 皮精油、一定量的色素、维生素以及钾、钙、铁等微量元素等。因此, 柑橘皮首先可以用来提取香精油, 随后提取果胶和黄酮类等功能性成分, 甚至一些成分还可作为混浊剂、杀虫剂、抗菌剂。把柑橘皮渣进行发酵, 还可以产生乙醇、甲烷等产品。柑橘类果皮也可以直接用作加工果脯、果酱、果茶、果冻等食品的原料, 还可以制作成重要的中药和食品调味剂-陈皮。还有研究直接利用苹果渣加工成苹果粉, 不仅感官指标良好, 而且苹果粉中含有丰富的果糖、蔗糖和果胶, 具有较高的生物活性, 可应用于面包业和糖果点心业^[4]。通过研究开发多种水果的产品形式, 提高水果副产品资源的加工附加值, 更能提高这些资源的社会和市场接受度。表 1 中列出了几种主要品类的水果的综合加工产品形式。

3.2 水果副产物有效成分提取

3.2.1 膳食纤维

膳食纤维是在植物中难以在人类的小肠中被消化吸收、在大肠中会全部发酵分解的可食部分或类似的碳水化合物。随着人们对自身饮食习惯的认识, 膳食纤维作为一种具有缓解如糖尿病和肥胖等流行病的功能性食品基料受到越来越多的关注。很多研究者致力于从植物资源特别是

表 1 几种主要水果的综合加工产品形式
Table 1 Products of several major fruits by comprehensive processing

水果类	部分	产品
苹果 ^[5, 6]	果皮或果渣 ^[7]	果蜡、果丹皮、果酱、果胶、苹果粉、膳食纤维片或饮料 ^[8] 、饲料等
	果肉	苹果汁、罐头、果酒、果醋等
	果芯	籽油等
柑橘 ^[9]	果皮或果渣	橘皮饮料、陈皮、果酱、膳食纤维片、果胶、精油、苧烯、类黄酮等
	果肉	果汁、果酒、果醋、罐头、汁胞等
	籽	籽油、柠檬苦素等 ^[10]
梨 ^[11]	果皮或果渣	多酚、梨油等
	果肉	榨汁、罐头等
	果芯	饲料等
葡萄 ^[12]	果皮或果渣	色素、无色多酚、堆肥、饲料等
	果肉	榨汁、葡萄酒等
	籽 ^[13]	籽油、原花青素等 ^[14]
	茎或枝条	堆肥、食用菌栽培基质等
香蕉 ^[15]	香蕉皮或树叶	入药、果胶、膳食纤维、饲料、叶绿素铜钠盐等 ^[1, 16]
	果肉	果脯、饮料、脆片等

从果蔬加工后的下脚料中寻找并开发膳食纤维^[17-19]。如李华鑫等^[20]以柠檬皮渣为原料,分别采用乙醇为溶剂在不同温度下制备具有较高营养价值的柠檬膳食纤维,并同时提取维生素 C 和黄酮类成分。申瑾瑜^[8]利用苹果加工下脚料生产苹果膳食纤维,设备投资小、生产成本低、产品质量稳定。

水果副产物中可溶性膳食纤维的主要成分是果胶。由于果胶具有抗菌、止血、消肿、解毒、降血脂、抗辐射等作用,还是一种优良的药物制剂基质。目前,全世界的果胶年需求量逐渐增大,大部分商品果胶都是从柑橘皮或苹果皮中提取的^[21, 22]。也有一些研究者尝试从其他水果来源获得果胶,王满力等^[23]从猕猴桃皮渣中用硫酸提取和酒精沉淀法制备果胶,但得率仅为 4% 左右。邱玉美等^[24]以提取蛋白酶后的菠萝皮渣为原料采用类似方法获得果胶。水果皮渣中果胶的提取方法研究的较多,主要包括酸提取乙醇沉淀法、离子交换法、酸提取盐沉淀法及微生物法等^[4]。目前从水果副产物中提取果胶如山东安德利果胶公司已经具有较大规模,但仍需要更多的专业化企业才能充分利用我国几十万吨的水果副产物。

3.2.2 油脂

水果副产物中的油脂包括皮精油、果肉(汁)油以及种籽油。水果皮油最具代表的是柑橘皮精油,存在于外皮细小油胞中,世界年产量高达 4 万吨左右,是目前产量最大的天然香精油。可广泛应用于调味剂、饮料、食品、化妆

品、烟酒制品、肥皂、医药制品及杀虫剂的生产^[25]。柑橘皮精油的化学成分有上百种,其中 85% 的是苧烯,苧烯去污能力极强,是“超级清洁剂”,广泛用于电子和航空工业的清洁,同时也可作合成高级有机化合物。钱学射等^[26]认为鳄梨油是天然化妆品的优质原料,含大量的不饱和脂肪酸和丰富的维生素,特别是维生素 E 及胡萝卜素,对紫外线还有较强的吸收力,是护肤、防晒、保健化妆品的优质原料。另外,包括柑橘、葡萄等水果种子中的油具有其他农作物种籽油所没有的特性,非常适合应用于化妆、食品及药品中^[13]。以柑橘皮精油为例,油脂的提取方法有 5 种:蒸馏法、冷榨法、浸提法、吸附法和超临界流体萃取法,其中超临界流体萃取提取的精油往往因其萃取条件温和而具有较高的品质^[27]。

3.2.3 功能性物质

水果副产物中含有大量的功能性成分包括花青素、黄酮类、多酚类、维生素、有机酸等对人体健康具有特殊保健功能^[11]。如花青素、维生素、多酚类具有抗氧化作用,能清除人体内的自由基,预防心血管疾病,提高人体免疫力。李俊等^[28]优化了乙醇提取菠萝皮渣中多酚的工艺条件,最佳条件下多酚得率达 7.77 mg/g。还有报道从杏和木瓜皮渣中分别提取维生素 E 和熊果酸和齐墩果酸等活性物质^[29, 30]。目前,为了提高水果副产物中活性物质提取的效果,研究者往往采用微波、超声等物理辅助方式。马亚琴等^[31]和李佳秀等^[32]采用超声波辅助方法分别提取温州蜜柑皮渣

中总酚和山楂皮渣中总黄酮, 发现超声波辅助不仅能加快总黄酮的提取耗时, 还能提高黄酮的抗氧化能力。汪开拓等^[33]优化了超声波辅助提取葡萄皮渣中白藜芦醇的工艺条件, 最高提取率达 48.72 $\mu\text{g/g}$ 。崔蕊静等^[34]通过微波辅助方式提取安梨皮渣中的总黄酮, 总黄酮类物质得率最高达 0.21%。功能性成分的提取不仅其提取物本身对人体健康具有积极意义, 同时还能提高水果加工产业的附加值, 但是由于其技术应用成本高和工艺复杂的特点阻碍了这类副产物的加工利用在国内充分的工业化推广。

3.3 水果副产物生物质转化

水果副产物中提取功能成分因成本较高且也会留下大量残渣造成污染而制约了其在工业上的大规模生产, 而直接作为饲料又有可能不利于动物的消化吸收, 但若将其进行生物转化发酵生产饲料、肥料、燃料、有机酸、酶制剂等从而提高其利用价值, 不仅可减少巨大的资源浪费, 而且能为发展水果产业另辟蹊径^[35, 36]。

3.3.1 发酵生产果酒或果醋

利用水果资源酿酒最典型的当属葡萄酒, 葡萄酒在世界各地都受到极大的欢迎并逐渐形成悠久而醇厚的葡萄酒文化。目前国内也出现了一些苹果酒和柑橘酒企业。但是在国外市场目前广受关注的猕猴桃酒和梨酒, 在国内市场还尚未有较大规模和影响的上市。随着人们生活水平的提高, 高档低度保健型果酒已逐步被国内消费者接受, 具有一定的开发前景和市场潜力。

食醋使人们日常生活中不可缺少的调味品, 传统的食醋酿造是以大米、玉米等淀粉类为主要原料酿制而成, 其工艺复杂、成本高, 不仅消耗大量的粮食, 而且营养、风味、口感更是不能满足人们越来越高的要求。以水果代替粮食通过微生物发酵, 可以保留水果中矿物质元素, 调节人体的钾钠平衡, 保护心血管。此外, 果醋中一般含有水果中特殊的芳香和色泽, 具有不同于一般醋饮的口感、风味和外观, 更具受市场欢迎。近年来果醋作为一种保健调味品在欧美、东南亚以及日本风靡一时, 产品种类繁多、用途广泛。国内早在 90 年代, 曾掀起一段时间的醋酸饮料的热潮, 被认为是继碳酸饮料、饮用水、果汁和茶饮料的第四代饮料。目前国内开发的果醋或果醋饮料种类主要有苹果、柑橘、猕猴桃、山楂等, 顾彩琴等^[37]甚至以菠萝皮渣为主要原料, 采用半固态发酵和二次补糖工艺, 对菠萝皮渣酒精发酵和醋酸发酵工艺进行研究, 以确定最优酿造工艺参数和实现菠萝皮渣果醋的高效生产。然而, 我国果醋总体产量较少, 产品品质不理想, 多数为醋酸和果汁、蜂蜜调配而成, 口感和风味不尽如人意。

3.3.2 果渣发酵产柠檬酸和酶制剂

柠檬酸作为重要的化工原料, 广泛应用于食品、医药、精细化工等行业中, 需求量越来越大。我国目前柠檬酸生产的主要原料为薯干和玉米, 但由于该类粮食的种植

面积以及粮食安全政策的调整, 柠檬酸的原料成本上升很快。以苹果、柑橘等水果榨汁后的废渣为主要原料发酵生产柠檬酸, 既充分利用了果渣中丰富的还原糖、纤维素和半纤维素资源, 又开辟了一条低成本生产柠檬酸的新途径^[4, 38]。同样, 许多酶制剂的生产都以微生物发酵方式为主, 选用农业废弃物作为发酵培养基的碳源是降低生产成本, 高效利用资源的理想方式。而且很多微生物分泌的酶制剂都为诱导酶, 在较高浓度底物的诱导下能够大幅度提高目标酶制剂的产量。因此, 富含果胶的水果皮渣是微生物发酵生产果胶酶系的优良培养基材料^[39]。

3.3.3 发酵生产饲料蛋白、肥料

水果加工废渣富含维生素、果糖等可溶性营养成分, 很适合作为发酵基质, 通过发酵后可用作饲料, 发酵后粗蛋白含量增加, 粗脂肪和灰分含量也大幅提高, 同时消除其中的抗营养因子, 饲喂效果和经济收益比鲜用和烘干用有较大提高^[40]。梁耀开等^[41]以菠萝皮渣为原料生产蛋白饲料, 选出最佳的菌种组合, 最优条件下饲料中粗蛋白含量达到 17.8%。柑橘皮渣含有大量糖分, 是生产发酵饲料的理想原料, 中国农科院柑桔研究所自上世纪 90 年代开始柑橘皮渣发酵饲料的研究, 研制的柑橘皮渣发酵饲料生物活性物质含量高, 饲喂奶牛效果好, 产奶量大幅度提高^[42], 并成功将该技术在重庆万州地区进行了示范推广, 不仅为解决了皮渣处理难题, 而且为企业创造了利润^[43]。水果皮渣内有机质、氮、磷、钾等植物需要的营养元素含量较高, 皮渣肥料同时具有提供植物养分和改良土壤的功效。赵健等^[44]利用高温纤维菌和果胶菌进行高温堆肥发酵, 可无害化处理柑橘皮渣生产有机肥, 适量添加能够提高种植烤烟的烟叶产量和品质。

3.3.4 发酵生产乙醇或沼气

利用水果皮渣通过微生物发酵生产燃料乙醇是一种安全可再生的方法, 生产的乙醇可以作为枯竭的石油能源替代品^[36]。以柑橘皮渣为原料, 通过酶或酸水解成可发酵糖液, 通过糖酵解途径经发酵乙醇的微生物将其转化为乙醇, 提取脱水到体积分数 99.5% 即得到燃料乙醇^[10]。还有一些报道利用微生物发酵柑橘皮渣用于同时生产燃料乙醇和其他产品如糖蜜和饲料^[45, 46]。柳静等^[47]在厌氧及恒温条件下, 利用葡萄皮渣作为发酵原料采用批量发酵工艺研究其产生沼气的工艺条件获得了较好的成效。

4 水果副产物利用存在的问题及建议

4.1 重视解决水果副产物的农药残留问题

目前, 水果农药残留问题不仅是农产品安全问题, 同时也在一定程度上限制了水果副产物的再利用。应大力提倡水果规范化和无公害化生产; 避免工业生产的“三废”对果园环境的污染; 政府应加强引导农民科学施用农药, 避免或降低农残量, 并积极开展农药残留监测工作。多方位、

全过程地监管水果副产物中的农药将有利于我国水果副产物的综合利用。

4.2 加大水果副产物利用技术的实用性

水果副产物综合利用技术的实用性体现在技术的可放大和多集成两方面。国内的一些研究所和高校在实验室对水果副产物利用进行了小批量的研究,工业化放大的可行性研究和技术推广效益的认证还不够,这在一定程度上制约了水果副产物的利用。此外,目前多数研究主要集中在单一技术方案,往往忽视了资源利用的效益最大化,应该大力研发成套的多技术集成、覆盖水果及其副产物加工全过程的技术体系。

4.3 重点研究现代生物技术在水果副产物综合利用中的应用

生物技术是引导未来农业生产的重要学科。发酵工程、酶工程、基因工程、生物信息技术在水果副产物的产品开发、生物转化、活性物质的提取与分析检测上的运用,必将提高水果副产物资源的利用率^[48, 49]。

5 水果副产物利用展望

随着社会经济的高速发展和科学技术的不断进步,我国水果副产物综合利用率低、大多被贱卖或填埋,造成的浪费资源、污染环境等问题会逐渐凸显^[50]。采用水果副产物多种产品开发、功能成分提取、资源生物转化3种方式进行水果副产物综合利用技术研究,不断开发新产品,延伸产业链,实现水果副产物的综合利用与规模化开发,建立技术集约型加工模式并进行示范,可以全面提升我国水果副产物综合利用的创新能力和技术水平,促进产业可持续发展。从环境、资源、经济三个方面来说,水果副产物资源的回收利用势在必行。随着科学技术的发展,水果副产物资源的利用研究和推广将会进一步深入,并将产生巨大的社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] 桑利伟, 李琳, 郑服丛. 香蕉茎叶和皮的综合利用研究[J]. 黑龙江农业科学, 2006, (04): 96-98.
Sang LW, Li L, Zheng FC. Study on the comprehensive utilization of banana by-product [J]. Heilongjiang Agric Sci, 2006, (04): 96-98.
- [2] 杨文晶, 许泰百, 冯叙桥, 等. 果蔬加工副产物的利用现状及发展趋势研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, (14): 379-383.
Yang WJ, Xu TB, Feng XQ, *et al.* The research progress of utilization and developmental trend on by-products from processing industry of fruit and vegetables [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, (14): 379-383.
- [3] Santana-Méridas O, González-Coloma A, Sánchez-Vioque R. Agricultural residues as a source of bioactive natural products [J]. Phytochem Rev, 2012, 11(4): 447-466.
- [4] 杜江, 耿欣. 植物性食品加工副产物的综合利用和开发的现状[J]. 食品工业科技, 2012, (02): 410-414.
- [5] Du J, Geng X. Status of the utilization and development of by-products from plant-derived food processing [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, (02): 410-414.
- [5] 孟祥庆. 苹果综合利用的现状和发展前景[J]. 烟台果树, 2009, (01): 10-11.
Meng XQ. The present situation and development prospect of comprehensive utilization of apple [J]. Yantai Fruit, 2009, (01): 10-11.
- [6] 于滨, 吴茂玉, 朱凤涛, 等. 苹果渣综合利用研究进展[J]. 中国果菜, 2012, (12): 31-34.
Yu B, Wu MY, Zhu FT, *et al.* Research progress of comprehensive utilization of apple residue [J]. China Fruit Veget, 2012, (12): 31-34.
- [7] Shalini R, Gupta DK. Utilization of pomace from apple processing industries: a review [J]. J Food Sci Technol, 2010, 47(4): 365-371.
- [8] 申瑾瑜. 利用苹果加工下脚料生产膳食纤维的研究[J]. 农产品加工(学刊), 2005, (04): 26-27.
Shen JY. Technology research on production of food fibre using remnant material after apple process [J]. Agric Product Process (Aca Period), 2005, (04): 26-27.
- [9] 高彦祥, 方政. 柑橘类果汁加工副产品综合利用研究进展[J]. 饮料工业, 2005, (01): 1-7.
Gao YX, Fang Z. Progress in research on comprehensive utilization of by-products of citrus juice processing [J]. Beverage Ind, 2005, (01): 1-7.
- [10] 温志英, 刘焕云. 柑橘加工废料综合利用现状及发展前景[J]. 食品研究与开发, 2008, (11): 162-166.
Wen ZY, Liu HY. The comprehensive utilization and prospect of by-products of orange [J]. Food Res Dev, 2008, (11): 162-166.
- [11] 詹萍, 田洪磊. 梨榨汁残余物中多酚物质提取工艺的研究[J]. 辽宁农业科学, 2007, (05): 20-22.
Zhan P, Tian HL. Study on extraction of polyphenols in pear pomace [J]. Liaoning Agric Sci, 2007, (05): 20-22.
- [12] 高学峰, 杨继红, 王华. 葡萄及葡萄酒生产过程中副产物的综合利用研究进展[J]. 食品科学, 2015, (07): 289-295.
Gao XF, Yang JH, Wang H. Comprehensive utilization of by-products from grape and wine production [J]. Food Sci, 2015, (07): 289-295.
- [13] 邹磊. 酿酒后葡萄籽综合利用的研究进展[J]. 中国酿造, 2012, (01): 16-18.
Zou L. Comprehensive utilization of grape seed after wine brewing [J]. Chin Brew, 2012, (01): 16-18.
- [14] 苏海霞, 孔保华, 徐盼. 葡萄皮和葡萄子的综合利用[J]. 农产品加工(学刊), 2005, (11): 41-43.
Su HX, Kong BH, Xu R. Utilization of grape skin and grape sub-comprehensive [J]. Agric Product Process (Aca Period), 2005, (11): 41-43.
- [15] 赵国建, 鲍金勇, 杨公明. 香蕉营养保健价值及综合利用[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(6): 175-178.
Zhao GJ, Bao JY, Yang GM. Hygienic nutrition function of banana and its utilization [J]. Food Res Dev, 2005, 26(6): 175-178.
- [16] 冯焕德, 谢子四, 魏守兴, 等. 香蕉副产物综合利用研究进展[J]. 农学报, 2014, (07): 68-72.
Feng HD, Xie ZS, Wei SX, *et al.* Research advances in comprehensive utilization technology of banana by-products [J]. J Agric, 2014, (07): 68-72.
- [17] 杨金姝. 香蕉及其副产物的加工利用研究进展[J]. 保鲜与加工, 2015, (03): 72-75.

- Yang JS. Research progress on the processing and utilization of banana and its byproducts [J]. *Storage Process*, 2015(03): 72–75.
- [18] 舒肇甦, 韩广勇, 邓光仙. 我国菠萝加工与综合利用现状[J]. *保鲜与加工*, 2006, (03): 4–7.
Shu ZS, Han GY, Deng GX. Present situation of processing and comprehensive utilization on pineapple in China [J]. *Storage Process*, 2006, (03): 4–7.
- [19] 李梁, 滕硕, 刘超, 等. 杏皮渣膳食纤维固体饮料的研制[J]. *新疆农业大学学报*, 2012, (04): 317–320.
Li L, Teng S, Liu C, *et al.* Preparation of mixed solid beverage of dietary fiber from apricot dregs [J]. *J Xinjiang Agric Univ*, 2012, (04): 317–320.
- [20] 李华鑫, 雷激, 刘琴, 等. 柠檬皮渣膳食纤维制备工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2011, (09): 287–290.
Li HX, Lei J, Liu Q, *et al.* Study on the preparation technology of dietary fiber from lemon [J]. *Food Res Dev*, 2011, (09): 287–290.
- [21] 才红, 邱贺媛, 张赞源. 苹果皮渣中提取果胶的最佳工艺研究[J]. *广东化工*, 2005(07): 19–20.
Cai H, Qiu HY, Zhang ZY. Research of best technics of distilling pectin from apple peel [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2005, (07): 19–20.
- [22] 马亚琴, 吴厚玖, 周志钦, 等. 超声辅助提取柑桔鲜皮渣果胶的工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2012, (08): 287–290.
Ma YQ, Wu HJ, Zhou ZQ, *et al.* Ultrasonic assisted extraction pectin from fresh sweet orange residue [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, (08): 287–290.
- [23] 王满力, 吴英华, 吴惠芳. 从猕猴桃皮渣中提取果胶的工艺研究[J]. *食品科技*, 2003, (01): 85–86.
Wang ML, Wu YH, Wu HF. Study on technology of extracting pectin from kiwifruit peel [J]. *Food Sci Technol*, 2003, (01): 85–86.
- [24] 邱玉美. 菠萝皮渣提取果胶的工艺优化研究[J]. *中外食品工业(下半月)*, 2014, (1): 14–16.
Qiu YM. Study on process optimization of extracting pectin from pineapple peel [J]. *Sino-foreign Food Ind*, 2014, (1): 14–16.
- [25] 李巧巧, 雷激, 唐洁, 等. 柑橘精油的抑菌性及 D-柠檬烯在面包的初步应用研究[J]. *食品工业*, 2012, (01): 21–23.
Li QQ, Lei J, Tang J, *et al.* Antibacterial activity of citrus essential oils and preliminary application of D- in bread [J]. *Food Ind*, 2012, (01): 21–23.
- [26] 钱学射, 张卫明, 顾襄平, 等. 鳄梨资源的开发利用[J]. *中国野生植物资源*, 2010, (05): 23–25.
Qian XS, Zhang WM, Gu GP, *et al.* Development of *persea americana* resources [J]. *Chin Wild Plant Resour*, 2010, (05): 23–25.
- [27] 段琼芬, 罗金岳, 陈思多, 等. 我国柑橘精油提取技术研究现状[J]. *安徽农业科学*, 2008, (26): 11174–11176.
Duan QF, Luo JY, Chen SD, *et al.* Research status of the extraction of citrus essential oil in China [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2008, (26): 11174–11176.
- [28] 李傲, 沈佩仪, 吴华星, 等. Hartley 方法优化菠萝皮渣多酚化合物提取工艺[J]. *食品科学*, 2011(04): 131–134.
Li C, Shen PY, Wu HX, *et al.* Optimizing the extraction of polyphenols from pineapple peel residue by Hartley's experimental design method [J]. *Food Sci*, 2011, (04): 131–134.
- [29] 贺小贤, 刘昌蒙. 杏仁皮渣中维生素 E 的酶法辅助萃取工艺研究[J]. *陕西科技大学学报(自然科学版)*, 2012, (05): 73–76.
He XX, Liu CM. Study on organic extraction of vitamin E from skin residue of almond assisted by pectinase[J]. *J Shaanxi Univer Sci Technol (Nat Sci Edi)*, 2012, (05): 73–76.
- [30] 蔡娟, 刘世尧, 韦正鑫, 等. 皱皮木瓜皮渣齐墩果酸和熊果酸提取工艺优化研究[J]. *食品工业科技*, 2015, (02): 282–285.
Cai J, Liu SY, Wei ZX, *et al.* Study on the conditions of extracting oleonic acid and ursolic acid from residue of *Chaenomeles speciosa*(Sweet) Nakai [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, (02): 282–285.
- [31] 马亚琴, 吴厚玖, 周志钦, 等. 不同超声频率对温州蜜柑皮总酚和抗氧化能力的影响[J]. *食品科学*, 2012, (13): 66–69.
Ma YQ, Wu HJ, Zhou ZQ, *et al.* Effect of Different Ultrasonic Frequencies on Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Methanol Extracts from *Citrus unshiu* Peels [J]. *Food Sci*, 2012, (13): 66–69.
- [32] 李佳秀, 刘慧, 张春岭, 等. 山楂皮渣中总黄酮的超声波辅助提取工艺研究[J]. *中国酿造*, 2014, (11): 106–109.
Li JX, Liu H, Zhang CL, *et al.* Ultrasonic assisted extraction technology of total flavonoids from Hawthorn skin [J]. *Chin Brew*, 2014, (11): 106–109.
- [33] 汪开拓, 马莉, 卢霞. 超声波辅助提取葡萄皮渣中白藜芦醇工艺的优化研究[J]. *西南农业学报*, 2013, (03): 1201–1206.
Wang KT, Ma L, Lu X. Study on process optimization of ultrasonic-assisted extraction of resveratrol from grape skin dreg [J]. *Southwest Chin J Agric Sci*, 2013, (03): 1201–1206.
- [34] 崔蕊静, 刘秀凤, 常学东. 安梨皮渣中总黄酮微波辅助提取工艺优化[J]. *中国酿造*, 2014, (12): 85–88.
Cui RJ, Liu XF, Chang XD. Microwave-assisted extraction of flavonoids from *Pyrus ussuriensis* Anli peel [J]. *Chin Brew*, 2014, (12): 85–88.
- [35] 孙金辉, 陈海桂, 卢沿钢, 等. 柑橘皮渣生物转化利用研究进展[J]. *食品科学*, 2011, (19): 312–315.
Sun JH, Chen HG, Lu YG, *et al.* Research progress of the transformation of citrus peel residues [J]. *Food Sci*, 2011, (19): 312–315.
- [36] Stabnikova O. Biotransformation of vegetable and fruit processing wastes into yeast biomass enriched with selenium [J]. *Bioresour Technol*, 2005, 96(6): 747–751.
- [37] 顾采琴, 陈婉玲, 郑志茂, 等. 菠萝皮渣半固态法酿醋工艺[J]. *食品科学*, 2010, (16): 56–60.
Gu CQ, Chen WL, Zheng ZM, *et al.* Vinegar production from pineapple waste by semi-solid state fermentation [J]. *Food Sci*, 2010, (16): 56–60.
- [38] Dhillon GS, Brar SK, Verma M, *et al.* Utilization of different agro-industrial wastes for sustainable bioproduction of citric acid by *Aspergillus niger* [J]. *Biochem Eng J*, 2011, 54(2): 83–92.
- [39] Ruiz HA, Rodríguez-Jasso RM, Rodríguez R, *et al.* Pectinase production from lemon peel pomace as support and carbon source in solid-state fermentation column-tray bioreactor [J]. *Biochem Eng J*, 2012, 65: 90–95.
- [40] Agu PN, Oluremi OIA, Tuleun CD. Nutritional evaluation of sweet orange (*Citrus sinensis*) fruit peel as feed resource in broiler production [J]. *Int J Poultry Sci*, 2010, 9(7): 684–688.
- [41] 梁耀开, 邓毛程, 吴亚丽. 利用菠萝皮渣生产蛋白饲料的发酵条件研究[J]. *河南农业科学*, 2010, (09): 129–131.
Liang YK, Deng MC, Wu YL. Study on the fermentation conditions of protein feed using pineapple peel residue [J]. *J Henan Agric Sci*, 2010, (09): 129–131.
- [42] 吴厚玖, 焦必林, 王华, 等. 柑桔皮渣发酵饲料中间试验研究[J]. *中国饲料*, 1997, (17): 37–39.
Wu HJ, Jiao BL, Wang H, *et al.* Study on the intermediate test of the fer-

- mented feed of citrus peel [J]. *China Feed*, 1997, (17): 37–39.
- [43] 马亚琴, 王华, 吴厚玖, 等. 生产柑橘皮渣发酵饲料的多菌种优化培养条件[J]. *食品与发酵工业*, 2010, (12): 111–114.
Ma YQ, Wang H, Wu HJ, *et al.* Optimal culture conditions for the production of citrus peel fermented feed [J]. *Food Ferment Ind*, 2010, (12): 111–114.
- [44] 赵建, 袁玲, 黄建国, 等. 柑橘皮渣高温堆肥生产有机肥[J]. *农业工程学报*, 2011, 57(10): 270–276.
Zhao J, Yuan L, Huang JG, *et al.* High temperature compost of citrus pill residues to produce organic fertilizer [J]. *J Agric Eng Res*, 2011, 57(10): 270–276.
- [45] 繁星. 柑橘皮渣制作乙醇和饲料[J]. *农村新技术*, 2010, (16): 62.
Fan X. Production of ethanol and feed from citrus peel [J]. *New Rural Techno*, 2010, (16): 62.
- [46] 沈艳丽, 吴厚玖. 利用柑桔加工废弃物制取糖蜜及乙醇[J]. *北京工商大学学报(自然科学版)*, 2012, (04): 31–36.
Shen YL, Wu HJ. Production of molasses and alcohol using citrus processing residues [J]. *J Beijing Technol Bus Univ: Nat Sci Edi*, 2012, (04): 31–36.
- [47] 柳静, 张无敌, 尹芳, 等. 葡萄皮渣的沼气发酵潜力研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, (22): 11939–11940.
Liu J, Zhang WD, Yin F, *et al.* Study on biogas fermentation potential of wine grape residues [J]. *J Anghui Agric Sci*, 2010, (22): 11939–11940.
- [48] Chandrasekaran M, Bahkali AH. Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology – Review [J]. *Saudi J Biolog Sci*, 2013, 20(2): 105–120.
- [49] 曾峰, 赵坤, 韩伟伟, 等. 食品生物技术在农产品副产物综合利用中的应用[J]. *食品科学*, 2011, (S1): 29–32.
Zeng F, Zhao K, Han WW, *et al.* Application of food biotechnology in comprehensive utilization of agricultural products [J]. *Food Sci*, 2011, (S1): 29–32.
- [50] 郭雪霞, 张慧媛, 刘瑜, 等. 中国农产品加工副产物综合利用问题研究与对策分析[J]. *世界农业*, 2015, (08): 119–123.
Guo XX, Zhang HY, Liu Y, *et al.* Research on the comprehensive utilization of by-products of agricultural products processing in China [J]. *World Agric*, 2015, (08): 119–123

(责任编辑: 金延秋)

作者简介



黄林华, 博士研究生, 助理研究员, 主要研究方向为酶与柑橘加工及其资源利用。
E-mail: huanglh@cric.cn



吴厚玖, 本科, 研究员, 主任, 主要研究方向为柑桔加工及资源化利用。
E-mail: wuhoujiu@cric.cn