

果实废弃物中生物活性物质综合利用研究进展

许佳玉, 王菲, 黄佳瑜, 薛岩伟, 周春华* (扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏扬州 225009)

摘要 在食用的水果或坚果中,部分种类果皮与种子所占比例较大,一般作为果实废弃物直接丢弃或简单焚烧,不仅造成资源的浪费,而且会对环境产生污染。现代研究表明果实种子富含淀粉、油脂以及抗氧化成分等,坚果的果壳可以用来生产棕色素,果皮果渣中富含膳食纤维等多种生物活性物质,应该分门别类地加以利用。根据前人的研究,详细阐述了果实废弃物在淀粉、色素、精油与食用油、抗氧化物质、膳食纤维、蛋白质等方面的提取利用,并提出了未来果实废弃物中生物活性物质综合利用关注的重点方面,为果实废弃物的深入研究和综合开发利用提供参考,真正做到物尽其用,减少环境压力,既提高果实资源的综合利用效率,同时也是提高经济效益的重要途径。

关键词 果实废弃物;生物活性物质;综合利用

中图分类号 TS 209 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2023)01-0022-07

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.01.005



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Advances on Comprehensive Utilization of Bioactive Compounds in Fruit Wastes

XU Jia-yu, WANG Fei, HUANG Jia-yu et al (College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009)

Abstract Among the edible fruits or nuts, pericarp and seed of some species account for a large proportion. Generally, it is directly discarded or simply incinerated as fruit waste. It will not only cause a waste of resources, but also pollute the environment. Modern research demonstrated fruit seeds are rich in starch, oil and antioxidants, the shell of nuts can be used to produce brown pigment, the peel and pomace contain rich dietary fiber and other bioactive substances, which should be used in different categories. In this paper, the extraction and utilization of fruit waste in starch, pigment, essential oil and edible oil, antioxidant substances, dietary fiber, protein and other aspects were elaborated in detail, and also put forward key aspects of bioactive compounds comprehensive utilization being concerned in the future, so as to provide reference for further research, comprehensive development and utilization of fruit waste, hoping to make the best use of the material and reduce environmental pressure. It not only improves the comprehensive utilization efficiency of fruit resources, but also is an important way to increase economic benefits.

Key words Fruit waste; Bioactive compounds; Comprehensive utilization

近年来,随着食品加工业的迅猛发展,水果罐头、果酒、果酱等即食加工产品越来越受到人们的青睐,人们也倾向于购买加工后的去壳坚果,这就导致了果核、果皮等大量加工废弃物的产生。通常这些废弃物会被简单焚烧或直接丢弃,既造成污染环境,又不能做到物尽其用,发挥不了种核、果壳、果皮、果渣等废弃物的潜在价值。因此,如何对果品加工后产生的废弃物进行综合利用已成为目前果业发展中亟待解决的重要问题。国内外许多专业人员早已注意到这个问题,并对果实种核、果壳、果皮、果渣等废弃物的开发利用进行了研究和报道。例如,板栗等坚果的果壳可以用来提取天然色素^[1],研究证实其稳定性好,具有抗氧化、抗菌、抗炎等功能^[2];菠萝蜜种子可用于生产抗性淀粉^[3],且种子蛋白含量高于大米、玉米等谷物,矿物质元素含量也较高^[4];可可豆荚和香蕉果皮煅烧可作为合成棕榈仁油甲酯的催化剂^[5]。该研究综述果核、果仁、果壳等果实废弃物在淀粉、色素、精油与食用油、抗氧化物质、膳食纤维、蛋白质等方面的提取利用研究,为果实废弃物综合开发利用提供参考,以期真正做到物尽其用,减少环境压力,提高果实资源的综合利用效率与经济效益。

1 淀粉及抗性淀粉的提取利用

淀粉是一种常见的高分子碳水化合物,主要由直链淀

粉和支链淀粉组成,为人类生活提供营养和能量^[6]。淀粉作为食品原料,广泛用作增稠剂、稳定剂、糊化剂、填充剂、超吸收性聚合物和黏合剂等材料。由于对传统淀粉供应的限制增加,需要寻找天然淀粉的新来源,人们开始探索从不同的植物或者食品加工业产生的废弃果核中寻找淀粉提取新的可能性,并且期望这些非常规来源的淀粉能够提供新的效能^[7]。

Guo等^[8]从芒果、荔枝、枇杷、菠萝蜜、龙眼5种水果的果仁中分离出淀粉,测定它们的淀粉含量均超过50%,枇杷果核淀粉含量高达71%。赖小玲等^[9]以菠萝蜜为种子为原料提取淀粉,并分析其理化性质,证实菠萝蜜籽是一种良好的淀粉来源。廖夏云等^[10]采用超声辅助提取荔枝核中的淀粉,并且与玉米、马铃薯淀粉作比较,观察3种淀粉的理化性质,结果表明,荔枝核淀粉有巨大的潜力。聂红梅等^[11]采用正交法对芒果核提取淀粉的工艺进行优化,当料液比1:3、pH 8、浸泡时间18 h、烘干温度60℃时得到最佳提取率79.45%。Turola Barbi等^[12]研究了枇杷核淀粉在成熟与未成熟的两个时期的理化性质等,发现枇杷核淀粉可以适用于工业生产。

但是人们并不仅仅满足从果核中提取淀粉(表1),还开发了这些淀粉新的可能性。Nawab等^[13]将4%的芒果仁淀粉糊化,与甘油和山梨醇1:1配比制作用于番茄涂膜,可使番茄在保藏期间推迟成熟20 d,并且对番茄品质几乎没有不良影响。Cao等^[14]从枇杷种子中提取淀粉,与牛至精油一起制备不影响生物活性的可食用性降解膜。

基金项目 国家自然科学基金项目(31372042);扬州大学优秀青年骨干教师项目(2014)。

作者简介 许佳玉(1996—),女,江苏宿迁人,硕士研究生,研究方向:果实品质形成与调控。*通信作者,教授,博士,从事果实品质形成与调控研究。

收稿日期 2022-02-23

表 1 果实加工废弃物的分类利用

Table 1 Classification and utilization of fruit processing wastes

部位 Part	成分 Component	利用方式 Use
果壳 Shell	天然色素	食品色素
	抗氧化活性成分	保健品、药物中间体
果皮、果渣 Peel and pomace	花青素、原花青素	保健品、食品色素
	精油	化妆品、保健品
	膳食纤维	营养强化剂
	果胶	食品添加剂
种子、果仁 Seeds and nuts	淀粉	抗性淀粉、可食膜
	籽油	食用油、化妆品
	蛋白	保健品、动物饲料
	抗氧化活性成分	保健品、药物中间体

抗性淀粉指的是不能被人体的小肠吸收,但是能在结肠中发酵的淀粉或淀粉类食品的总称^[15]。抗性淀粉分为物理包埋淀粉(RS1)、抗性淀粉颗粒(RS2)、回生淀粉(RS3)、化学改性淀粉(RS4),常被用来研究的是RS3^[16]。抗性淀粉属于多糖类,是一种有利于人体的膳食纤维,具有降低血糖、改善肥胖等作用,它能改变结肠微生物群落,促进肠道有益菌繁殖。在一些心血管疾病与慢性病的治疗上也有益处^[17],在结肠癌预防方面被证明具有重要的意义^[18-19]。抗性淀粉常见的提取方法有压热法^[20]、压热酶解法^[21]、超声协同酶解法^[22]等。方桂红等^[23]利用酶法制备菠萝蜜籽抗性淀粉,采用单因素和正交试验对提取工艺进行优化。

2 天然色素的提取利用

中国人的传统饮食在意色、香、味俱全,颜色鲜亮的食物往往会令人食欲大增,食品的颜色除了来源于其本身的性质外,还来源于各种色素。常见的色素分为天然色素与人工合成色素,人工合成色素因为价格低廉、合成容易、着色稳定性好,一段时间内占据了市场的大部分份额,但是近年来人工合成色素常见有害性报道以及一些商家违规使用人工合成色素,使得人们越来越倾向于无害且有益身体健康的天然色素。天然色素一般从植物体内提取,不仅无毒,大多数还具备一定的药理作用^[24]。被废弃的果核与果壳中就存在天然色素,如何通过利用这些废弃物来提取天然色素也就成为了研究人员关注的焦点。

2.1 棕色素 果壳富含黄酮类物质已经被证明可以被用来提取色素(表1),天然棕色素主要从板栗、核桃、山核桃、榛子等坚果的果壳中提取^[25],提取方法主要有浸提法、超声波提取法、微波法、超临界萃取法、酶解法等^[25-26]。

赵婉莹等^[27]用纤维素酶水解法提取板栗壳棕色素,在温度60℃、料液比1:20、酶添加量1.0%、提取时间2.5h条件下获得的棕色素染色效果最好。邓涛等^[28]用碱溶液为提取剂,利用超声波辅助法提取核桃壳棕色素,提高了核桃棕色素的得率,稳定在39%左右。罗维巍等^[29]以榛子壳为原料,利用乙醇提取榛子壳棕色素,优化了提取工艺,用乙醇做溶剂提取棕色素比水溶剂的提取时间更短更高效。展亚莉等^[30]用大孔树脂吸附法纯化板栗壳棕色素,纯化后的板栗壳棕色素得率可达95.3%,色价可达52.3,均优于传统方法。

王转莉等^[31]也使用了乙醇作为溶剂提取山核桃果壳棕色素,在山核桃壳粗粉中加入质量分数为50%的乙醇,浸提一段时间后,通过正交试验得出最优条件。

2.2 黑色素 天然黑色素广泛存在于动物、植物及微生物的体内。人们常常会从黑米、黑木耳、黑芝麻、黑豆角、黑豆、黑加仑等植物中提取黑色素^[32],自然资源十分丰富。相较于人工合成黑色素而言,天然黑色素富含黄酮类物质和大量人体所需的微量元素,还具备氧化、保护神经和增强人体免疫力等特征。目前,研究人员对多种植物黑色素进行探究,黑色素提取工艺日趋完善。这为果核棕色素的提取奠定了理论基础、提供了可行性。目前果实废弃物中,主要从香蕉皮、杏仁种皮、花椒籽、桂花种子皮、葵花籽壳^[33-37]提取黑色素。

梁敏等^[33]以水为提取剂,再用有机溶液纯化桂花种子皮,提取黑色素,得率为0.34%,并且测定其理化性质,证明其性质稳定。董小华^[34]把花椒籽经石油醚脱脂后用碱液浸提,反复沉降离心后得到黑色素。对花椒籽黑色素进行抗氧化能力和抗菌性的测定,通过试验证明黑色素具有良好的清除自由基和DPPH的能力,多酚和黄酮的含量都较多。赵萍等^[35]利用葵花籽壳提取黑色素,采用正交分析得出最佳提取工艺。李红姣等^[36]利用多种酶提取山杏种皮黑色素,通过试验筛选,胃蛋白酶的提取效果最好,可用于进一步的提取工艺优化。闵莉静等^[37]用碱-酸法、超声辅助提取法、酶协同超声辅助提取法3种方法对香蕉皮中黑色素进行提取工艺的研究,3种方法黑色素的提取率逐渐递增,证明酶协同超声辅助提取法最优,其最优条件为:时间1.5h、pH4、加碱后pH14、超声功率为100W、超声时间10min、提取温度70℃。

2.3 花青素 花青素是一种水溶性色素,属于多酚类的黄酮亚类,花青素分子在不同的pH下可以呈现出不同的颜色,如蓝色、紫色、红色和橙色^[38],所以花青素作为色素在食品质量的管理上具有开发前景。De Olivera Filho等^[39]综述了花青素提取物用作生态环保薄膜的发展,并将其应用于智能、活性和生物活性薄膜,使消费者通过生食产品表面的智能薄膜来判断pH或者温度。

不仅如此,因花青素还具有较强的抗氧化、抗炎、清除自由基的能力,在对一些疾病的治疗上也能发挥很大的功效。临床上已经用来预防动脉粥样硬化和心血管疾病,在对高血脂、高血糖、白内障等的治疗上亦有功效^[40]。Yu等^[41]探究黑果龙葵花色苷的药理作用,试验证明花色苷可以抑制大肠癌细胞的增殖,减少结肠癌发展过程中炎性细胞因子的分泌,从而对结肠癌的预防与治疗提供试验依据。Mehmood等^[42]在人和动物模型中,对花青素作用于非酒精性脂肪性肝病的药理机制进行试验分析后发现,花青素对于此类疾病有很好的抑制作用,但需要进一步应用方法,才能发挥花青素对于疾病治疗的最大潜能。

葡萄籽在葡萄酒等食品加工业中常被当做废弃物,造成了资源的浪费,而葡萄籽被公认是一种可以提取原花青素的

原料,葡萄籽占整粒葡萄的5%左右,除了富含花青素,还具有维生素、葡萄籽油、白藜芦醇和单宁等物质^[38],应用前景广阔。杨健等^[43]利用乙醇作为葡萄籽原花青素的萃取溶剂,考察了乙醇浓度、萃取压强、温度、时间4个因素对提取效果的影响,得出最佳条件下原花青素得率为71.62 mg/g。对葡萄籽原花青素的活性测定,发现葡萄籽原花青素对于紫外线有抑制作用,可用来做防晒产品。原花青素不仅存在于葡萄籽中,罗应等^[44]还利用响应面法优化提取了百香果籽中的原花青素,刘新等^[40]在芒果籽中提取了原花青素,许铭珠^[45]研究了葡萄皮花青素提取物。

3 精油的提取利用

精油是由类异戊二烯途径产生的烃类和含氧烃类的复杂混合物,由柠檬烯等萜类化合物组成,主要由腺状毛状体产生和分泌,一般从植物的叶片、花朵、树皮、根茎、种子和果皮中提取,属于芳香植物的次生代谢物,具有高浓度芳香和挥发性^[46-48]。精油一般用于芳香疗法辅助治疗,在抗菌、抗癌、抗炎、保鲜抗氧化等方面显示出了良好的效用,并且可以缓解焦虑症状,在动物模型的临床研究上都被证实^[49-50]。薰衣草精油和橘子精油可以减轻血液透析病人的疲劳伤害,可用作治疗的辅助手段,缓解病人的不适症状^[51]。玫瑰精油、鼠尾草精油、藏红花精油、薰衣草精油含有可以缓解人类和动物应激反应的活性物质,具有镇静作用^[52]。试验证明薰衣草精油可以降低马的应激反应强度,起到安抚的作用^[53]。精油还可以和肠道微生物协同作用,影响食物摄入和能量消耗,控制体重^[54]。

柑橘是世界第一大类水果,全球柑橘水果产量巨大,据统计,2017年柑橘水果年产量为1.359亿t,每年有超过30%的柑橘类水果在榨汁和罐装操作中进行工业加工,被丢弃的果皮、种子及果实薄膜占水果质量的50%,浪费现象严重^[55]。柑橘属植物,包括橙子、柑橘、佛手柑、柠檬、柚子等都属于芳香植物,果皮可用来提取精油和果胶等,还含有酚类、抗坏血酸、膳食纤维等生物活性物质^[56](表1)。

柑橘是一种很好的天然精油来源,主要从果皮提取,长期用于食品、化妆品行业及药用等,具有缓解焦虑、杀菌消毒、改善睡眠、保护神经等作用^[57-58]。Castro等^[59]研究了柑橘精油在胆固醇代谢、脂类合成和抗氧化性能的作用,探究其作为抗动脉粥样硬化剂的潜力,证明柑橘精油对抑制胆固醇与脂类合成以及防止低密度脂蛋白过氧化有益,可以用于抗动脉粥样硬化的预防。Obob等^[60]比较了柠檬皮和柑橘皮精油对2型糖尿病中 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶和高血压酶的相互作用,结果表明,2种精油对这3种酶都有一定的抑制作用,可以列为治疗这2种疾病的潜在药物,柠檬精油的抑制效果高于柑橘精油。Yang等^[61]用分子蒸馏代替橙子精油提取的冷榨法,纯化脐橙精油,并进行抗癌活性的研究,发现脐橙精油对人肺癌细胞株A549和前列腺癌细胞株22RV-1的增殖具有积极的抑制作用。阿尔兹海默症的一种发病假说为乙酰胆碱水平的下降与不足,Ademosun等^[62]深入研究了甜橙果皮和种子精油对胆碱能和单胺能酶的抑制作用,发

现甜橙精油可以用来治疗阿尔兹海默症。Zhang等^[63]以小鼠为对象,研究了柑橘精油的抗抑郁作用,试验表明不间断的柠檬烯的吸入,使小鼠的体重增加,对蔗糖的爱好增加,活动变得活泼,抑郁症状减轻。

不仅如此,从柑橘精油中提取的柠檬烯和芳香醇具有很强的抗氧化活性,可以用作化学防腐剂的替代品,防止过氧化,维持食品面貌,延长货架期,被广泛应用^[64-65]。葡萄柚皮提取的精油可以与梅子籽分离蛋白和阿拉伯胶协同制备食品的可食用保护膜,热稳定性、水蒸气阻隔能力与抗菌新良好^[66]。海藻酸盐涂层添加柚子精油与柚子籽提取物后,在鲜食葡萄上涂布,可以降低葡萄的腐烂率^[67]。柠檬精油和酸橙精油可以抑制苹果上的灰霉病^[68]。

但是柑橘精油的使用过程中也存在一些问题,柑橘精油作为芳香疗法的一种,主要起到辅助作用,不能过分依赖而忽视医学。柑橘精油在用作肉类和鱼类的保鲜时会与蛋白质发生反应,产生未知的化合物。在不同的食品中使用精油要注意用量,否则会适得其反。

4 食用油的提取利用

果实的种子中大多含有较多的油脂,人们食用的坚果,油脂含量非常高,富含油酸、亚油酸等不饱和脂肪酸,少量食用可以护心肺^[69]。刘振雷等^[70]对市面上流行的18种常见坚果的油脂含量进行了测定,希望对人们日后的坚果选购以及膳食结构提供指引。试验证实,开心果、核桃、巴旦木、山核桃等常见坚果的油脂含量在43.15%~63.70%。因此富含油脂的坚果,除了在膳食中发挥巨大的效用,在食用油的提取上也给予研究人员极大的兴趣。除了坚果类被证明富含油脂,可以转化利用,还有很多果实废弃物也可以提取食用油(表1)。这些果实废弃物提取的油料不会对食品市场造成影响,还可以极大的利用废弃物,保护环境,并给人们带来新的益处。

Özcan等^[71]从苹果、葡萄、杏子、李子、甜樱桃、柑橘、桃子和酸樱桃的籽(种子)中提取了原油,总含油量在18.5%~39.5%,样品皂化数、油的折射率、游离脂肪酸、粗脂肪酸等性质均表现良好,可作为食用油的一种来源。Rui等^[72]检测了红富士苹果籽和砀山梨籽油的脂肪酸组成和含油量,共检测出11中脂肪酸,不饱和脂肪酸尤其丰富,苹果籽中总脂肪酸的含量高于大豆,产油量也比梨籽油高,可以进一步提取食用油。葡萄籽油中的生育酚、多酚等可以抑制炎症因子的表达,起到抗炎作用,葡萄籽油还可以调节血脂、降血糖以及含有植物甾醇、脂溶性维生素、多酚等抗氧化物质。现在葡萄籽油广泛用于医疗保健、化妆品等行业,开发生产食用油较少。事实上,葡萄籽油符合国家标准,可以用来生产食用油并且能够带来较高的市场收益^[73-74]。

5 抗氧化物质

人类在用氧的生命过程中,机体内会出现各种活性氧和自由基,自由基的存在会使人们的身体暴露在一些疾病之下,引起机体损伤。但是人类机体有各种防御体系,可以清除有害自由基,达到体内自由基的平衡稳定^[75]。随着年龄

的增长,人体内清除自由基的能力会产生不可逆的下降,这时人体内过多的自由基就会诱发一系列的氧化疾病,包括糖尿病、阿尔兹海默症、高血压、白内障、帕金森等,因此补充一些抗氧化剂是十分有必要的^[76-77]。

抗氧化物主要有多酚类、黄酮类和维生素,已经有研究表明,很多植物体内富含抗氧化物,如最常见的从茶叶中提取的茶多酚^[78],它在心脑血管疾病的预防和治疗上均有成效。从葡萄籽中提取的白藜芦醇可以增加 DNA 的稳定性细胞活力,减少细胞凋亡,延缓机体衰老,起到延长寿命的功效^[75]。猕猴桃籽多酚具有良好的抗炎活性^[79]。龙眼的种子和果皮中也含有抗氧化化合物,种子中主要是没食子酸和鞣花酸等多酚类物质,还有一些多糖,这些多糖由葡萄糖、阿拉伯糖、半乳糖等单糖组成,它们均具有对人体的免疫调节功效。龙眼的果皮中除了也含有大量的多糖外,还有很多显示出生物活性的酚类物质,如没食子酸、原花青素、黄酮苷、槲皮素等^[80]。在猕猴桃籽^[79]、石榴籽^[81]、百香果籽^[82]、荔枝果皮与荔枝籽^[80]、枇杷核^[83]、芒果仁^[84]、菠萝蜜籽^[85]、苹果籽^[86]等果实废弃物中也提取到了种类丰富的抗氧化活性物质。

Deng 等^[79]用响应面法优化猕猴桃种子提取多酚的方法,提高了提取率,并且在优化的条件下,鉴定了其中 5 种多酚类化合物。Gómez-Maldonado 等^[84]首次报道了墨西哥的一种抗氧化活性最高的马尼拉芒果果仁的多酚提取物对芒果炭疽病的抑制作用,采用超声波辅助乙醇提取芒果仁多酚,并应用于芒果抗真菌性研究,结果证实芒果仁多酚提取物可用于芒果炭疽病的防治。WEN 等^[87]采用超声波辅助提取龙眼种子酚类物质,通过进一步构建数字模型,优化传统提取工艺,并对乙醇浓度、温度和超声功率 3 个因素进行分析,发现随着乙醇浓度的升高,总多酚的提取率下降。高温可能会使酚类物质溶解,提取温度控制在 50~60 °C 为宜。超声功率与总多酚的提取率呈现正相关,但是在温度的共同作用下,选定最佳功率为 210 W。孙海燕^[88]把樱桃核磨粉真空干燥后测定其类黄酮的含量为 0.803%。郭文娟等^[89]优化提取了山楂果核中的总黄酮,并比较其与芦丁和抗坏血酸的 DPPH 自由基(DPPH·)的清除能力、OH 自由基(·OH)和 Fe³⁺的还原能力,发现山楂核总黄酮有 DPPH·和·OH 的清除能力,Fe³⁺的还原能力在 3 种物质间居于中层,是一种可供提取类黄酮等抗氧化物质的原材料。

6 膳食纤维的提取利用

膳食纤维是一类特殊的碳水化合物,由纤维素、半纤维素、果胶类和木质素构成,不容易被人体消化道内的酶分解,一般存在于植物的细胞壁中^[90]。膳食纤维可以分为水溶性和非水溶性 2 种,水果蔬菜中一般为水溶性,对人体健康产生好的影响。膳食纤维具有持水性、膨胀性和吸附性等特点^[91],人体每天摄入适量的膳食纤维可以增加肠胃的蠕动,它可以带走人体过剩的营养,清除肠道,避免因为营养过剩或者不良的饮食习惯造成便秘等肠道疾病,还可以抑制血糖的提高,避免肥胖。常见的含有膳食纤维的食物有笋、胡萝

卜、燕麦、豆类、芹菜等,来源广泛。研究人员在菠萝皮^[92-93]、火龙果皮^[93]、番木瓜^[94]、苹果渣^[95]、芒果皮^[96]、柚子皮^[97]、葡萄皮^[98]等水果废弃物中提取到了可溶性膳食纤维,并且对提取工艺做了辅助优化。

膳食纤维的提取方法一般有醇法、溶剂法、超声辅助提取法和酶法等。戴余军等^[92]选取市售菠萝的副产物——菠萝皮,杀青烘干粉碎后,用纤维素酶水解法提取菠萝皮中可溶性膳食纤维,证明酶法提取率显著高于酸法和发酵法,提取率达 23.89%。张桂春等^[93]利用同样的方法提取火龙果皮中的可溶性膳食纤维,提取率为 19.81%,略低于菠萝皮。曾广琳等^[94]采用传统的碱法和酸法提取番木瓜皮中的膳食纤维,结果发现,碱法提取的纤维素在溶解度和持水性、膨胀性等方面优于酸法。

膳食纤维对于人体的重要性已经开始慢慢被普及,果皮中可溶性膳食纤维的含量十分丰富,如何提取有利于人体的膳食纤维并且大规模生产,是关键的一点,既有利于对果皮废弃物的综合利用,也有利于人类健康的百年大计。

7 蛋白质的提取利用

蛋白质是一类构成生物细胞的有机大分子,由各种氨基酸组成,承担生物体各种重要的生命活动,没有蛋白质就没有生物体。外界的蛋白质主要由动物蛋白和植物蛋白 2 种,动物蛋白的来源一般是肉类、鱼类、蛋、牛奶等,植物蛋白最广泛的来源是红豆、鹰嘴豆、大豆等各种豆类,核桃、腰果等坚果也含有丰富的蛋白^[99]。动物蛋白虽然富含人体所需的各种氨基酸,但是饱和脂肪酸和胆固醇给人体带来了肥胖、高血脂、动脉粥样硬化等疾病。2016 年有 13.1% 的成年人口肥胖,并且肥胖率还在逐年上升^[100]。

植物蛋白来源广泛,不含胆固醇,并且所含的氨基酸容易被人体吸收,营养价值很高,可以改善心血管疾病、降低胆固醇、抗肿瘤、糖尿病等^[101]。现阶段,一方面,因为生活水平的提高,人们对于人体各种必需营养的补充开始重视起来,另一方面,动物蛋白摄入带来的各种疾病不容忽视,因此对于植物蛋白的研究探索受到重视。人们想在保证每日蛋白摄入足够的基础上,通过植物蛋白的摄入来改善人体的各种问题。近年来基因组学取得了重大的研究进展,以蛋白质组学为重点的基因组学研究已经成为生命科学研究的热点^[101],植物蛋白质组学的研究也会迈入一个新的里程,为今后植物蛋白质的研究提供坚实基础。据统计,到 2019 年,世界上有近 6.9 亿人营养不良,蛋白质的缺乏是其中之一,植物蛋白的研究刻不容缓^[100]。

除了大豆等高蛋白谷物被人们重视外,一些果实的种子也被证明具有蛋白质。菠萝蜜是一种热带水果,因其香味独特,果实肉质绵软受到人们的喜爱,它的种子在煮熟后可以直接食用。菠萝蜜的种子可以提取淀粉,并且品质不输玉米淀粉。人们发现菠萝蜜种子蛋白富含人体所需的氨基酸,营养价值可以与大豆媲美^[102]。葡萄籽作为食品加工业的废弃物,已经被证明含有原花青素、白藜芦醇等抗氧化物^[103],而葡萄籽提取的蛋白含有 18 种氨基酸,包括人体必需的 8 种

氨基酸,并且有4种氨基酸的含量接近于大豆蛋白,葡萄籽蛋白是有待开发的优质植物蛋白资源^[104]。在猕猴桃^[105]、番木瓜^[106]的籽中也存在优质的蛋白。这些植物蛋白的提取及研究对于种子废弃物的利用存在很大的启发。

8 果胶的提取利用

果胶是一种生物杂多糖,1824年首次在胡萝卜中被发现命名,广泛用作食品添加剂和天然的保健品。果胶是一种水溶性的膳食纤维,可以降低葡萄糖的吸收效率,控制胆固醇的代谢。还可以控制脂质的消化,代替脂肪添加到食品中,减少人们对于脂肪的摄入,降低肥胖率,促进益生菌生长,控制肿瘤细胞的变异,起到预防癌症的效果^[107]。我国的果胶商业化起步于1993年,主要的商业化原料为苹果皮和柑橘皮,国家在2010年发布了果胶的食品添加剂的行业标准^[108]。我国果胶行业80%依靠进口,自产能力不足。事实上,果胶广泛存在于高等植物的细胞壁中,主要维持植物的结构和硬度,它能调节细胞的pH和渗透压^[109]。柑橘皮^[110]、橙子皮^[111]、柚子皮^[112]、柠檬皮^[113]等都可以提取果胶,果胶的提取对于废弃果皮的利用提供了一种有效的途径。

9 其他

果实废弃物还有一些别的应用。菠萝皮^[114]可以做果酒,枇杷核^[115]也可以用来酿酒。核桃壳可以用作栽培平菇的基质,与普通的木炭相比,核桃壳做基质栽培的平菇,体内的铁和锌都较高^[116]。柑橘皮渣也可以做菌菇栽培的基质,它的V_C、水分、多酚和多糖的含量都高^[117]。柑橘果皮在副食品加工业也具有广阔的前景,可以制作橘皮饼、橘皮果脯、橘皮糖、橘皮果酱,还可以经过干燥粉碎等处理后变成橘皮粉添加在冰激凌、雪糕、酸奶、面包等食品中,不仅改善风味,还能增加产品的保质期。除此之外,还可以制作橘皮果醋、橘皮酒、橘皮利口酒等饮品^[118]。

10 结语

我国由于独特的地理环境,孕育了很多不同种类的水果,这些水果有的直接鲜食,有的用作食品加工业原料,会产生数量庞大的废弃物。据统计,果实加工中废弃物会占到30%左右,这些废弃物含有很多的生物活性物质,可以用于淀粉、天然色素、精油、籽油、多酚和黄酮等抗氧化活性成分、膳食纤维、植物蛋白、果胶等的提取,可以在食品加工、医药美容、饲料生产等领域进行应用,从而实现分类利用。

从目前来看,这方面的研究还比较粗浅,许多研究还仅仅局限或停留在实验室层面,离规模化、集约化生产的道路还很远。未来果实废弃物中生物活性物质综合利用应关注以下几个方面:①生物活性物质提取和分离方法的绿色和高效,不在提取的过程中增加污染;②同一废弃物多种活性成分的分步提取,不顾此失彼,实现真正意义上的综合利用;③实验室提取分离方法的产业化试验,进一步优化工艺,获取工业化应用程序;④初提物产品的进一步开发,如研发药物中间体、保健食品、营养强化剂、动物饲料等系列产品,真正发挥果实废弃物的利用价值。通过研究和开发利用,果品加

工废弃物将逐步实现真正的综合利用和资源的零剩余,在减轻环境压力的同时,也能造福于人民。

参考文献

- [1] 陈思佳. 板栗壳色素的提取工艺优化及稳定性研究[D]. 北京:北京农学院,2019.
- [2] 李德海,刘银萍,王蕾,等. 坚果果壳色素的研究进展[J]. 中国林副特产,2012(3):83-86.
- [3] 尹道娟,张国治,薛慧,等. 菠萝蜜种子主要化学成分和加工性能研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2014,35(1):87-91.
- [4] 袁海华,钟慧杰,敖新宇. 菠萝蜜种子的营养成分测定及分析[J]. 食品研究与开发,2018,39(24):169-173.
- [5] ODUDE V O, ADESINA A J, OYETUNDE O O, et al. Application of agricultural waste-based catalysts to transesterification of esterified palm kernel oil into biodiesel: A case of banana fruit peel versus cocoa pod husk [J]. Waste and biomass valorization, 2019, 10(4):877-888.
- [6] 潘元凤. 蚕豆抗性淀粉的测定、制备和性质研究[D]. 广州:暨南大学,2007.
- [7] 刘一洋. 大米淀粉提取及抗性淀粉的制备及特性研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2010.
- [8] GUO K, LIN L S, FAN X X, et al. Comparison of structural and functional properties of starches from five fruit kernels[J]. Food chemistry, 2018, 257:75-82.
- [9] 赖小玲,何春林,黄义,等. 菠萝蜜种子淀粉提取及其理化性质的研究[J]. 食品与发酵工业,2006,32(10):132-136.
- [10] 廖夏云,卢羽玲,王芊,等. 荔枝核淀粉理化性质及体外消化特性研究[J]. 食品研究与开发,2021,42(2):67-72.
- [11] 聂红梅,陈瑶琼,冯丽敏,等. 芒果核淀粉的制备及理化性质研究[J]. 食品科技,2017,42(11):284-287.
- [12] TUROLA BARBI R C, TEIXEIRA G L, HORNUNG P S, et al. *Eriobotrya japonica* seed as a new source of starch: Assessment of phenolic compounds, antioxidant activity, thermal, rheological and morphological properties[J]. Food hydrocolloids, 2018, 77:646-658.
- [13] NAWAB A, ALAM F, HASNAIN A. Mango kernel starch as a novel edible coating for enhancing shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit [J]. International journal of biological macromolecules, 2017, 103:581-586.
- [14] CAO T L, SONG K B. Effects of gum karaya addition on the characteristics of loquat seed starch films containing oregano essential oil[J]. Food hydrocolloids, 2019, 97:1-9.
- [15] 牛博文,徐薇,张或. 不同化学方法制备的抗性淀粉理化性质及表征研究[J]. 食品工业科技,2020,41(17):19-23,31.
- [16] 刘霞,黄雅萍,卢旭,等. 抗性淀粉的结构性质与功能关系研究进展[J]. 食品与发酵工业,2020,46(18):279-286.
- [17] 李颜方,王高鸿,杜艳伟,等. 作物抗性淀粉研究进展[J]. 中国农业科技导报,2019,21(8):56-62.
- [18] 畅新蕾. 不同条件下抗性淀粉的制备及性质研究[D]. 天津:天津科技大学,2019.
- [19] 熊春红,谢明勇,陈钢. 抗性淀粉研究综述[J]. 天然产物研究与开发,2007,19(4):708-717,661.
- [20] 李一博,冯进,李春阳,等. 蚕豆抗性淀粉的压热法工艺优化及其结构表征[J]. 食品工业科技,2020,41(9):168-174.
- [21] 池明亮,岑莹,冯丽敏,等. 压热-酶解法制备青芒果抗性淀粉[J]. 食品工业科技,2017,38(11):255-257,265.
- [22] 刘淑婷,王颖,王志辉,等. 超声-微波协同酶法制备蚕豆抗性淀粉工艺优化及结构分析[J]. 中国食品学报,2020,20(5):187-195.
- [23] 方桂红,陶宇,邓小宝,等. 酶法制备菠萝蜜籽抗性淀粉的工艺优化及特性研究[J]. 粮食与油脂,2019,32(4):23-27.
- [24] 陈毅怡,刘晓静,曾晓芳,等. 食用天然红色素的研究进展[J]. 广州化工,2017,45(23):6-8.
- [25] 成焕波,王磊,魏朝丹,等. 天然棕色素研究概况[J]. 中国食品添加剂,2016(12):205-209.
- [26] 陈雨鑫,王京,夏一森,等. 坚果果壳棕色素的提取方法·活性及应用[J]. 安徽农业科学,2016,44(27):55-58.
- [27] 赵婉莹,张贤双,陈康,等. 板栗壳棕色素的提取及其染色性研究[J]. 食品工业,2016,37(6):100-102.
- [28] 邓涛,李涛,耿树香,等. 超声波辅助提取核桃壳棕色素工艺条件的优化[J]. 食品工业,2019,40(9):89-93.
- [29] 罗维巍,吕琳琳,孔丽阳,等. 榛子壳中棕色素提取工艺研究[J]. 鞍山师范学院学报,2017,19(4):46-50.
- [30] 展亚莉,刘晓波,展康华,等. 大孔树脂吸附法纯化精制板栗壳天然棕

- 色素的研究[J]. 中国食品添加剂, 2015(5): 105-109.
- [31] 王转莉, 方振华, 尚雨洁, 等. 秦岭山核桃壳中天然棕色素的提取研究[J]. 应用化工, 2017, 46(5): 891-892, 896.
- [32] 黄鹏, 黄东杰. 花椒籽的研究及开发利用现状[J]. 现代农业科技, 2018(23): 231-232, 236.
- [33] 梁敏, 潘英明, 唐明明, 等. 桂花种子皮黑色素提取及其稳定性影响因素分析[J]. 食品工业科技, 2005, 26(8): 141-143.
- [34] 董小华. 花椒籽活性物质的提取、抗氧化和抑菌活性的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2016.
- [35] 赵萍, 王雅, 魏明广, 等. 葵花籽壳黑色素提取鉴定及抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(22): 133-136, 140.
- [36] 李红姣, 李巨秀, 赵忠. 酶法辅助提取山杏种皮黑色素工艺优化及其稳定性[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 69-75.
- [37] 闵莉静, 李敬芬. 香蕉皮黑色素提取工艺研究[J]. 北方园艺, 2013(15): 145-147.
- [38] 吴嘉慧, 袁春龙, 宋洋波. 葡萄籽功能性成分及其应用[J]. 日用化学工业, 2011, 41(3): 216-221, 228.
- [39] DE OLIVEIRA FILHO J G, BRAGA A R C, OLIVEIRA B R D, et al. The potential of anthocyanins in smart, active, and bioactive eco-friendly polymer-based films: A review[J]. Food research international, 2021, 142: 1-14.
- [40] 刘新, 韩琴, 徐洁, 等. 芒果核中原花青素超声波提取研究[J]. 陕西农业科学, 2011, 57(6): 20-24.
- [41] YU W C, GAO J, HAO R B, et al. *Aronia melanocarpa* elliot anthocyanins inhibit colon cancer by regulating glutamine metabolism[J]. Food bioscience, 2021, 40: 1-10.
- [42] MEHMOOD A, ZHAO L, WANG Y, et al. Dietary anthocyanins as potential natural modulators for the prevention and treatment of non-alcoholic fatty liver disease: A comprehensive review[J/OL]. Food research international, 2021, 142[2021-09-27]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110180>.
- [43] 杨健, 袁春龙, 任亚梅, 等. 葡萄籽原花青素的提取及其抗紫外线活性测定[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 69-73.
- [44] 罗应, 李彦青, 涂睿, 等. 响应面法优化百香果中原花青素提取工艺研究[J]. 应用化工, 2020, 49(12): 3026-3030.
- [45] 许铭珠. 葡萄皮花青素提取物与蛋白质的相互作用及其对色素稳定性的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- [46] ZHANG N, YAO L. Anxiolytic effect of essential oils and their constituents: A review[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2019, 67(50): 13790-13808.
- [47] BAPTISTA-SILVA S, BORGES S, RAMOS O L, et al. The progress of essential oils as potential therapeutic agents: A review[J]. Journal of essential oil research, 2020, 32(4): 279-295.
- [48] PATSALOU M, CHRYSARGYRIS A, TZORTZAKIS N, et al. A biorefinery for conversion of citrus peel waste into essential oils, pectin, fertilizer and succinic acid via different fermentation strategies[J]. Waste management, 2020, 113: 469-477.
- [49] SHARIFI-RAD J, SUREDA A, TENORE G C, et al. Biological activities of essential oils: From plant chemoeology to traditional healing systems[J]. Molecules, 2017, 22(1): 1-55.
- [50] SINGH B, SINGH J P, KAUR A, et al. Insights into the chemical composition and bioactivities of citrus peel essential oils[J]. Food research international, 2021, 143: 1-19.
- [51] AHMADY S, REZAEI M, KHATONY A. Comparing effects of aromatherapy with lavender essential oil and orange essential oil on fatigue of hemodialysis patients: A randomized trial[J]. Complementary therapies in clinical practice, 2019, 36: 64-68.
- [52] TOMI K, KITAO M, MURAKAMI H, et al. Classification of lavender essential oils: Sedative effects of *Lavandula* oils[J]. Journal of essential oil research, 2018, 30(1): 56-58.
- [53] POUTARAUD A, GUILLOTEAU L, GROS C, et al. Lavender essential oil decreases stress response of horses[J]. Environmental chemistry letters, 2018, 16(2): 539-544.
- [54] UNUSAN N. Essential oils and microbiota: Implications for diet and weight control[J]. Trends in food science & technology, 2020, 104: 60-71.
- [55] AYALA J R, MONTERO G, CAMPBELL H E, et al. Extraction and characterization of orange peel essential oil from Mexico and United States of America[J]. Journal of essential oil bearing plants, 2017, 20(4): 897-914.
- [56] LOU Z X, CHEN J, YU F H, et al. The antioxidant, antibacterial, antifibromyalgia activity of essential oil from *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* and its nanoemulsion[J]. LWT, 2017, 80: 371-377.
- [57] DOSOKY N S, SETZER W N. Biological activities and safety of *Citrus* spp. essential oils[J]. International journal of molecular sciences, 2018, 19(7): 1-25.
- [58] RAKSA A, SAWADDEE P, RAKSA P, et al. Microencapsulation, chemical characterization, and antibacterial activity of *Citrus hystrix* DC (Kaffir Lime) peel essential oil[J]. Monatshefte für chemie-chemical monthly, 2017, 148(7): 1229-1234.
- [59] CASTRO M A, LLANOS M A, RODENAK-KLADNIEW B E, et al. *Citrus reticulata* peel oil as an antiatherogenic agent: Hypolipogenic effect in hepatic cells, lipid storage decrease in foam cells, and prevention of LDL oxidation[J]. Nutrition, metabolism and cardiovascular diseases, 2020, 30(9): 1590-1599.
- [60] OBOH G, OLASEHINDE T A, ADEMOSUN A O. Inhibition of enzymes linked to type-2 diabetes and hypertension by essential oils from peels of orange and lemon[J]. International journal of food properties, 2017, 20(S1): S586-S594.
- [61] YANG C, CHEN H, CHEN H L, et al. Antioxidant and anticancer activities of essential oil from gannan navel orange peel[J]. Molecules, 2017, 22(8): 1-10.
- [62] ADEMOSUN A O, OBOH G, OLUPONA A J, et al. Comparative study of chemical composition, *in vitro* inhibition of cholinergic and monoaminergic enzymes, and antioxidant potentials of essential oil from peels and seeds of sweet orange (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck) fruits[J]. Journal of food biochemistry, 2016, 40(1): 53-60.
- [63] ZHANG L L, YANG Z Y, FAN G, et al. Antidepressant-like effect of citrus sinensis osbeck essential oil and its main component limonene on mice[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2019, 67(50): 13817-13828.
- [64] RIBEIRO-SANTOS R, ANDRADE M, DE MELO N R, et al. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends[J]. Trends in food science & technology, 2017, 61: 132-140.
- [65] BORA H, KAMLE M, MAHATO D K, et al. Citrus essential oils (CEOS) and their applications in food: An overview[J]. Plants, 2020, 9(3): 1-25.
- [66] LI C, PEI J L, XIONG X H, et al. Encapsulation of grapefruit essential oil in emulsion-based edible film prepared by plum (*Pruni domesticae semen*) seed protein isolate and gum acacia conjugates[J]. Coatings, 2020, 10(8): 1-19.
- [67] ALOUI H, KHWALDIA K, SÁNCHEZ Z-GONZÁLEZ L, et al. Alginate coatings containing grapefruit essential oil or grapefruit seed extract for grapes preservation[J]. International journal of food science & technology, 2014, 49(4): 952-959.
- [68] MBILI N C, OPARA U L, LENNOX C L, et al. Citrus and lemongrass essential oils inhibit *Botrytis cinerea* on 'Golden Delicious', 'Pink Lady' and 'Granny Smith' apples[J]. Journal of plant diseases and protection, 2017, 124(5): 499-511.
- [69] 郑晓楠, 张丹, 樊迎, 等. 市售坚果类产品的脂肪含量测定及其膳食油脂提供量的分析[J]. 食品工程, 2020(2): 60-65.
- [70] 刘振雷, 朱煜康, 楼齐明, 等. 18种市售坚果脂肪酸组成的比较分析及营养评价[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4): 90-95.
- [71] ÖZCAN M M, ÜNVER A, ARSLAN D. A research on evaluation of some fruit kernels and/or seeds as a raw material of vegetable oil industry[J]. Quality assurance and safety of crops & foods, 2015, 7(2): 187-191.
- [72] RUI Y K, WANG W Y, RASHID F, et al. Fatty acids composition of apple and pear seed oils[J]. International journal of food properties, 2009, 12(4): 774-779.
- [73] 刘霞, 王军, 张平三, 等. 葡萄籽油的营养价值与生物活性综述[J]. 中国酿造, 2020, 39(3): 12-16.
- [74] 王灿, 杨晨露, 王华, 等. 葡萄籽油生理功能及应用综述[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2020(6): 66-71.
- [75] 赵保路. 自由基、营养、天然抗氧化剂与衰老[J]. 生物物理学报, 2010, 26(1): 26-36.
- [76] 李磊, 王岳飞, 梁燕, 等. 天然抗氧化物质的保健功能及抗氧化活性研究进展[J]. 茶叶, 2008, 34(2): 70-74.
- [77] 戴玥, 郑佳, 郑黎强. 抗氧化物质和自由基产物与脑卒中关系的研究进展[J]. 实用医学杂志, 2019, 35(3): 489-491.
- [78] 余春燕, 朱坤, 黄建安, 等. 茶多酚对心肌保护作用的研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(3): 296-305.
- [79] DENG J, LIU Q, ZHANG C, et al. Extraction optimization of polyphenols from waste kiwi fruit seeds (*Actinidia chinensis* Planch.) and evaluation of its antioxidant and anti-inflammatory properties[J]. Molecules, 2016, 21

- (7):1-13.
- [80] 孙茵峰. 龙眼核多酚的分离纯化及抗氧化性能的研究[D]. 无锡:江南大学, 2019.
- [81] 赵国建, 李桂峰, 董周永, 等. 石榴籽中多酚的提取及其抗氧化作用研究[J]. 西北植物学报, 2008, 28(12): 2532-2537.
- [82] DE SANTANA F C, DE OLIVEIRA TORRES L R, SHINAGAWA F B, et al. Optimization of the antioxidant polyphenolic compounds extraction of yellow passion fruit seeds (*Passiflora edulis* Sims) by response surface methodology[J]. Journal of food science and technology, 2017, 54(11): 3552-3561.
- [83] 王萍, 王宇鹤, 李辉, 等. 枇杷核不同极性萃取物总黄酮、总多酚含量与其抗氧化活性的相关性[J]. 化学试剂, 2020, 42(9): 1067-1072.
- [84] GÓMEZ-MALDONADO D, LOBATO-CALLEROS C, AGUIRRE-MAN-
DUJANO E, et al. Antifungal activity of mango kernel polyphenols on mango fruit infected by anthracnose[J]. LWT, 2020, 126: 1-9.
- [85] 王梦霞, 金建忠, 周恩牧, 等. 菠萝蜜种子多酚的超临界 CO₂ 萃取工艺研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(8): 1444-1448.
- [86] 徐颖, 樊明涛, 冉军舰, 等. 不同品种苹果籽总酚含量与抗氧化相关性研究[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 79-83.
- [87] WEN L R, YANG B, CUI C, et al. Ultrasound-assisted extraction of phenolics from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit seed with artificial neural network and their antioxidant activity[J]. Food analytical methods, 2012, 5(6): 1244-1251.
- [88] 孙海燕. 樱桃核中类黄酮的提取工艺条件研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(17): 70-73.
- [89] 郭文娟, 王娜, 王娜娜, 等. 山楂核总黄酮的超声提取及抗氧化活性[J]. 精细化工, 2016, 33(2): 152-156.
- [90] 叶秋萍, 曾新萍, 郑晓倩. 膳食纤维的制备技术及理化性能的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 49(17): 212-217.
- [91] 郑文新, 刘占英, 石雅丽, 等. 可溶性膳食纤维提取的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(27): 107-109, 202.
- [92] 戴余军, 石会军, 李长春, 等. 菠萝皮可溶性膳食纤维提取工艺的研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(9): 1798-1802.
- [93] 张桂春, 刘玉静, 李延敏, 等. 火龙果果皮中可溶性膳食纤维的提取方法[J]. 植物学报, 2017, 52(5): 622-630.
- [94] 曾广琳, 张晶晶, 龚焱, 等. 番木瓜皮可溶性膳食纤维酸碱耦合提取工艺的优化[J]. 热带生物学报, 2016, 7(4): 489-496, 537.
- [95] 彭章普, 龚伟中, 徐艳, 等. 苹果渣可溶性膳食纤维提取工艺的研究[J]. 食品科技, 2007, 32(7): 238-241.
- [96] 刘铭, 李秀婷, 潘凌风, 等. 芒果皮可溶性膳食纤维的提取及性质研究[J]. 中国食品添加剂, 2014(1): 81-87.
- [97] 谢婧. 响应面优化复合植物水解酶提取梅州金柚皮可溶性膳食纤维[J]. 食品科技, 2015, 40(4): 296-301, 308.
- [98] 孙艳, 房玉林, 张昂, 等. 葡萄皮渣中可溶性膳食纤维提取工艺研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(10): 145-151, 158.
- [99] KUMAR M, TOMAR M, POTKULE J, et al. Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendations[J]. Food hydrocolloids, 2021, 115: 1-17.
- [100] 中国常驻联合国粮农机构代表处. FAO 发布《2020 年世界粮食及农业统计年鉴》[J]. 世界农业, 2020(12): 118-119.
- [101] 高蕾蕾, 李迎秋. 植物蛋白的研究进展[J]. 江苏调味副食品, 2018, 35(4): 6-10, 16.
- [102] 周歆. 菠萝蜜种子分离蛋白及其组分蛋白的功能性质与结构的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- [103] 任继波. 葡萄籽蛋白质的提取及分离纯化研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2015.
- [104] 温小娟, 吴丹. 葡萄籽中蛋白质的提取[J]. 食品安全导刊, 2020(21): 102-104.
- [105] 杨海霞, 关云静, 邓建军, 等. 猕猴桃籽粕蛋白质的提取分离及抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(9): 205-209.
- [106] 王标诗, 曾亿均, 姜孟, 等. 番木瓜籽蛋白质的提取工艺及其功能性质[J]. 食品工业科技, 2017, 38(14): 181-187.
- [107] 谢明勇, 李精, 聂少平. 果胶研究与应用进展[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 1-14.
- [108] 刘成梅, 刘琪, 陈军, 等. 果胶功能性质新进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(21): 344-351.
- [109] 高维. 苹果皮中果胶提取工艺的优化[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(8): 2074-2076.
- [110] 王锐, 邓仕英. 柑橘皮中果胶的提取及性能测定[J]. 化工管理, 2020(28): 165-166.
- [111] 赵凯. 脐橙果皮精油与果胶的联产工艺研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [112] 沈锐, 李磊, 谢青松, 等. 柚子皮中果胶的提取工艺优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(13): 3327-3334.
- [113] 徐丹. 柠檬果皮果胶提取工艺的研究[D]. 成都: 西华大学, 2007.
- [114] 林丽静, 马丽娜, 黄晓兵, 等. 菠萝皮渣糯米果酒发酵过程中主要成分变化研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(11): 107-113.
- [115] 唐贤华, 张崇军, 隋明, 等. 枇杷果酒研究现状与展望[J]. 酿酒, 2020, 47(4): 36-38.
- [116] 朱晓琴, 熊智. 核桃壳与木屑栽培平菇的营养成分对比分析[J]. 中国食用菌, 2007, 26(6): 38-39.
- [117] 张云茹, 富继虎, 唐国发, 等. 柑橘皮渣栽培平菇及其营养安全评估[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(12): 140-144.
- [118] 臧玉红. 柑橘果皮在副食品加工方面的研究进展[J]. 食品工业科技, 2011, 32(6): 479-482.

(上接第 21 页)

- [87] NOVOZHILOV G N, DAVYDOV O V, MAZUROV K V, et al. The vegetative index of Kerdo as an indication of primary adaptation to hot climate conditions[J]. Voенно-медитсinskiizhurnal, 1969, 8: 68-69.
- [88] WAN Z, WANG P, LI X. Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA[J]. International journal of remote sensing, 2004, 25(1): 61-72.
- [89] GITELSON A A. Wide Dynamic Range Vegetation Index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation[J]. Journal of plant physiology, 2004, 161(2): 165-173.
- [90] 罗亚, 徐建华, 岳文泽. 基于遥感影像的植被指数研究方法述评[J]. 生态科学, 2005, 24(1): 75-79.
- [91] 池宏康, 陈维英, 张海蕾. 遥感数据的裸沙土壤线校正方法[J]. 地理学报, 1999, 54(5): 454-461.
- [92] BARET F, JACQUEMOUD S, HANOCQ J F. About the soil line concept in remote sensing[J]. Advances in space research, 1993, 13(5): 281-284.
- [93] 李开丽, 倪绍祥, 扶卿华. 垂直植被指数及其解算方法[J]. 农机化研究, 2005(2): 84-86, 89.
- [94] 薛利虹, 曹卫星, 罗卫红, 等. 光谱植被指数与水稻叶面积指数相关性的研究[J]. 植物生态学报, 2004(1): 47-52.
- [95] 李映雪, 朱艳, 戴廷波, 等. 小麦叶面积指数与冠层反射光谱的定量关系[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1443-1447.
- [96] 高志海, 魏怀东, 丁峰. TM 影像 VI 提取植被信息技术研究[J]. 干旱区资源与环境, 1998, 12(3): 98-104.
- [97] CHAIRPERSON C. In situ and solar radiometer measurements of atmospheric aerosols in Bozeman, Montana[D]. Bozeman: Montana State University, 2011.
- [98] 李昕. 对 NOAA/AVHRR 通道反照率和植被指数的大气影响订正试验[J]. 气候与环境研究, 1998, 3(2): 85-96.
- [99] 赵高祥, 汪宏七. 大气对植被指数的影响[J]. 应用气象学报, 1993, 4(2): 177-184.
- [100] 孙勇. 应用遥感数据对植被指数提取分析[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017.