

豆腐柴中功能性成分提取及产品开 展的研究进展

陈磊¹, 周忠雨¹, 王晓琼¹, 毕秀芳^{1,2*}, 邢亚阁^{1,2}, 车振明^{1,2}

(1. 西华大学 食品与生物工程学院, 四川 成都 610039; 2. 宜宾西华大学研究院, 四川 宜宾 644000)

摘要: 豆腐柴是一种药食兼用野生植物, 其根、茎、叶中含有丰富的果胶、蛋白质及多种生物活性成分, 具有重要的利用开发价值。该文综述近年来豆腐柴中主要功能性成分: 豆腐柴果胶、豆腐柴蛋白、豆腐柴黄酮及多酚类化合物等的提取及豆腐柴系列产品开发的研究进展, 并对我国豆腐柴的开发利用前景进行展望。

关键词: 豆腐柴; 功能性成分; 提取; 产品开发; 加工工艺

Extraction of Functional Components from *Premna microphylla* Turcz and Development of *Premna microphylla* Turcz-Based Products

CHEN Lei¹, ZHOU Zhong-yu¹, WANG Xiao-qiong¹, BI Xiu-fang^{1,2*},
XING Ya-ge^{1,2}, CHE Zhen-ming^{1,2}

(1. School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, Sichuan, China; 2. Yibin Xihua University Research Institute, Yibin 644000, Sichuan, China)

Abstract: *Premna microphylla* Turcz is a Chinese wild plant that can be used as both medicine and food. Its roots, stems and leaves are rich in pectin, protein and various bioactive components, which can be utilized and developed with high added value. This article reviewed the recent progress made in the extraction of functional components from *Premna microphylla* Turcz, including pectin, protein, flavonoids and polyphenols, as well as in the development of *Premna microphylla* Turcz-based products. Furthermore, the application prospect of *Premna microphylla* Turcz in China was discussed as well.

Key words: *Premna microphylla* Turcz; functional components; extraction; product development; processing technology

引文格式:

陈磊, 周忠雨, 王晓琼, 等. 豆腐柴中功能性成分提取及产品开

展的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(7): 209-214.
CHEN Lei, ZHOU Zhongyu, WANG Xiaoqiong, et al. Extraction of Functional Components from *Premna microphylla* Turcz and Development of *Premna microphylla* Turcz-Based Products[J]. Food Research and Development, 2021, 42(7): 209-214.

豆腐柴(*Premna microphylla* Turcz), 又名豆腐木、腐婢, 属马鞭草科豆腐柴属的落叶灌木, 广泛分布于湖南、湖北、四川和贵州等省, 主要野生于海拔 500 m~1 000 m 的林缘、沟边、林下、荒山、路旁、灌丛中, 阴坡

多于阳坡, 较适于微酸性至酸性土壤生长^[1]。豆腐柴的根、茎、叶中含有大量的果胶、粗纤维、粗蛋白及丰富的矿物质和黄酮类、多酚类物质^[2]; 以及木栓酮、木栓醇、十八碳酸、甾醇、胡萝卜苷、柚皮素、香草酸等多种药用成分^[3]。因此, 豆腐柴具有较高的营养、保健作用及特殊的药用用途^[4]。

早期关于豆腐柴的研究, 多集中在其对于食品、医药及化工等方面的应用上, 而近几年来, 在人们日渐重视追求健康和预防各种疾病的大环境中, 研究学

基金项目: 成都市技术创新研发项目(2018-YF05-00095-SN)

作者简介: 陈磊(1997—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工。

* 通信作者: 毕秀芳(1990—), 女, 副教授, 博士, 研究方向: 农产品贮藏与加工。

者们对豆腐柴中功能性物质的提取、分离及其对人体健康的作用机理方面则更为关注。在豆腐柴产品开发方面,早期仅限于民间采用豆腐柴叶加工制作清凉豆腐,即豆腐柴叶豆腐,俗称“神仙豆腐”^[2]。近年来研究人员更加注重豆腐柴的营养价值和保健功能,将豆腐柴作为加工食品的原料,利用其含有的功能性成分来开发保健食品,扩大其应用范围。本文重点对近年来国内对豆腐柴功能性成分的提取及相关产品的开发研究进行综述,以期为我国豆腐柴资源深度开发利用提供参考。

1 豆腐柴中的主要功能性成分

1.1 果胶

豆腐柴叶子中含有大量果胶,干叶中果胶含量约为10%~30%^[5-6]。果胶是一种由半乳糖醛酸聚合而成的高分子物质,有良好的凝胶性、乳化稳定性^[7],在食品、医药、化工等多个行业被广泛应用^[8]。目前,市场上售卖的果胶主要以橘皮、苹果渣为原材料,其果胶含量为20%左右^[8-9]。相比之下,豆腐柴叶果胶含量更高,且结构与橘皮果胶结构类似^[10]。豆腐柴为野生植物资源,生长条件要求不高,生长迅速,原料丰厚,具有极大的开发利用价值,可作为一种新型的提取商业果胶的原材料^[11]。

1.2 蛋白质和氨基酸

豆腐柴蛋白是一种具有开发价值的功能性成分,研究证实,豆腐柴鲜叶中粗蛋白含量达到了13.52%,高于一般农作物,但低于大豆籽粒(36.60%)^[12]。并且,豆腐柴叶中含有18种氨基酸,其中必需氨基酸占氨基酸总量的32.4%,氨基酸含量接近于芦笋,营养价值较高^[13-14]。李月文等^[12]研究发现豆腐柴中半胱氨酸含量为2.46 mg/g,高于大多数粮食作物和畜禽饲料。因此,由

豆腐柴叶加工的食品,将能弥补人们食物中半胱氨酸的不足,改善膳食营养结构,提高营养质量。

1.3 黄酮和多酚类化合物

豆腐柴的根、茎、叶中均含有丰富的黄酮类化合物。范超敏等^[15]测得豆腐柴干叶总黄酮含量为73.43 mg/g,总多酚含量为29.44 mg/g。HU等^[16]从豆腐柴乙醇提取物的氯仿萃取部位中分离得到了黄酮类化合物——香叶木素。此外,豆腐柴叶的水提物或醇提物具有显著的增强免疫、抗疲劳、抗菌^[17]、抗炎、预防肿瘤^[18]、清除自由基、抗氧化^[18-20]及可以延长果蝇寿命和具备一定的抗衰老^[21]作用,这些功能与豆腐柴提取液中富含多酚类和黄酮类化合物有关。

1.4 其它成分

除上述功能性成分外,豆腐柴鲜叶中矿物质含量也较为丰富,Zn、Mg、P、K含量分别达到0.43、0.39、1.83、2.33 mg/g^[12]。人工种植豆腐柴叶鲜叶中维生素C含量达到3.25 mg/g,略低于野生豆腐柴鲜叶中的维生素C含量(3.62 mg/g)^[12-13],但高于常见维生素C的食用植物,如青椒、苦瓜(0.60 mg/g~0.90 mg/g),黄瓜、番茄(0.40 mg/g~0.50 mg/g)^[22]。

2 豆腐柴中功能性成分提取及其生物活性研究进展

近年来,国内外对豆腐柴的研究多集中在对其中功能性成分的提取、分离、鉴定及相关生物活性的研究,其中对豆腐柴果胶、豆腐柴蛋白、豆腐柴黄酮及多酚等功能性成分提取是当下研究的热点。

2.1 豆腐柴果胶

目前,豆腐柴果胶的提取方法包括酸提取法^[5,23-24]、酶提取法^[25]、微波辅助提取法^[26]、超声波辅助提取法^[10,27]、超声波微波协同萃取法^[28]等,见表1。

表1 豆腐柴果胶提取研究进展

Table 1 Research progress on extraction of pectin from *Premna microphylla* Turcz

方法	提取条件	得率(以干重计)/%	参考文献
酸提取法	磷酸与亚硫酸体积比1:3~3:1,料液比1:10(g/mL)~1:50(g/mL),提取液pH1.0~5.0,提取时间60 min~180 min,提取温度60℃~100℃	18.53	[5]
	料液比1:5(g/mL)~1:12(g/mL),提取液pH1.5~2.5,提取时间60 min~120 min,提取温度60℃~100℃	15.77	[23]
	料液比1:12(g/mL)~1:24(g/mL),提取液pH0.5~3.5,提取时间20 min~65 min,提取温度25℃~90℃	17.00	[24]
	料液比1:10(g/mL)~1:50(g/mL),提取液pH1.0~3.0,提取时间60 min~180 min,提取温度60℃~100℃	10.57	[10]
酶提取法	液料比1:10(g/mL)~1:30(g/mL),提取液pH3.5~7.5,加酶量0.15 g~0.35 g,提取时间30 min~90 min,提取温度30℃~70℃	18.51	[25]
微波辅助提取法	液料比1:10(g/mL)~1:50(g/mL),微波功率为600 W~800 W,提取时间为10 s~50 s	20.31	[26]
超声波辅助提取法	提取液pH1.0~3.0,提取温度40℃~80℃,超声波功率150 W~750 W	23.16	[27]
超声波微波协同萃取法	料液比1:10(g/mL)~1:50(g/mL),提取液pH1.0~5.0,提取时间200 s~800 s,微波功率50 W~120 W	19.41	[28]

宁海凤等^[9]采用正交试验确定了酸法提取豆腐柴叶中果胶的最佳提取工艺为:磷酸与亚硫酸体积比1:2,料液比1:35(g/mL),提取液pH1.5,提取时间1.5h,提取温度90℃,该条件下,豆腐柴叶中果胶的得率为18.53%,透光率为92.60%。在此基础上,宁海凤等^[28]又采用超声波微波协同萃取法进一步优化豆腐柴酸法提取工艺,通过正交试验确定了其最佳提取条件:料液比1:15(g/mL),提取液pH1.5,提取时间500s,微波功率100W,在此条件下豆腐柴叶中果胶的得率为19.41%,透光率为92.50%。对比两种方法发现,超声波微波协同萃取法能大大缩短豆腐柴果胶提取时间,而且一定程度上提高了果胶的得率。包立军等^[27]采用响应面方法优化超声波辅助提取豆腐柴叶果胶工艺,获得最佳提取工艺条件为pH1.9、提取时间90min、提取温度70℃、超声波功率630W,在该条件下,豆腐柴叶果胶得率为23.16%。该方法提取工艺简单、成本低、得率高,且果胶成品性质良好,能有效克服传统酸法工艺提取所需温度高、时间长、产物生物活性低等缺点^[27, 29]。此外,张攀等^[10]研究发现若超声波辅助提取时间过长时(大于60min),由于超声波的空化效应,会加速果胶分子的裂解,导致果胶得率下降。

另外有研究发现豆腐柴叶果胶含量和季节有关^[10, 30],数据显示每年5月~8月豆腐柴叶果胶得率较高,为15%~25%,而每年10月份最低,得率仅为4%左右^[10, 12, 31]。蒋立科等^[30]测得5月~7月果胶含量最高,7月份以后开始下降,可能由于秋冬季叶子正处于枯萎的过程中,果胶酶活性高,果胶被水解导致果胶含量的下降。豆腐柴叶作为果胶提取和相关产品的原料应考虑在此期间进行采收^[32]。另外,预处理方式对豆腐柴果胶得率会产生一定影响。有研究报道,豆腐柴分别经过蒸汽、微波、酸浸泡、烫漂、冷冻不同预处理后,果胶得率为8.95%~19.32%。其中通过蒸汽预处理,果胶干重得率最高(19.32%),且得到的果胶纯度高,说明蒸汽处理优于其它处理方式,是用于豆腐柴果胶提取工艺的最佳预处理方式^[11]。

研究人员对豆腐柴果胶的结构、性质进行了研究。陈福明等^[33]测定豆腐柴中果胶含量高达30%,酯化度为73%~78%,属于高甲氧基果胶,胶凝度在165级以上,属于优质果胶。由于低甲氧基果胶比高甲氧基果胶在食品中的应用有更大的发展潜力,陈顺伟等^[34]用NH₃-醇酰胺化对提取的豆腐柴果胶脱酯化制取低甲氧基果胶。张攀等^[10]对酸法和超声波辅助提取法得到的豆腐柴果胶性质进行研究,发现两种方法提取的果胶产品的干燥减重、灰分、总半乳糖醛酸含量、酯化

度、钙含量等常规成分和结构相似。由于豆腐柴中钙含量较高,其果胶中灰分含量较橘皮果胶高^[10]。钙离子含量对果胶的胶凝性能有影响,当钙离子含量达到3%时豆腐柴果胶的胶凝性能和黏度最好^[35]。宁海凤等^[36]在探究豆腐柴果胶流变学性质时也发现豆腐柴果胶溶液的黏度随钙离子添加量的增加而增大,加热处理之后,果胶溶液表现出牛顿流体行为。李晓等^[37]在研究中发现豆腐柴果胶具有较强的持水力和持油力,以及良好的起泡性和泡沫稳定性,使其具有作为乳化剂、稳定剂、起泡剂用于高脂食品体系感官品质改善的潜在应用价值。另外,有文献表明豆腐柴果胶具有一定的抗氧化能力,当果胶浓度为1.00mg/mL时,DPPH自由基清除率高达90.0%;并且还原力随着果胶溶液浓度的增加而增强^[38]。因此,豆腐柴果胶因其含量高、品质好而具有良好的开发利用价值。近年来,对高甲氧基果胶进行低酯化的研究是果胶改性的一大研究热点,但针对豆腐柴果胶的研究较少,限制了豆腐柴果胶的应用范围,因此,应开展豆腐柴果胶改性研究来为豆腐柴的进一步开发利用提供一定的理论依据。

2.2 豆腐柴蛋白

关于豆腐柴蛋白的研究主要集中在提取上,对于其功能性质的研究较少。张弛等^[39]通过不同溶剂提取蛋白质,发现用碱溶液、重蒸水、乙醇、氯化钠提取时蛋白质得率分别为0.570%、0.361%、0.161%、0.155%,得出豆腐柴中碱溶性蛋白质>水溶性蛋白质>醇溶性蛋白质>盐溶性蛋白质的结论。植物蛋白提取除了采用普通溶剂提取外,近年来新兴的闪式提取法,能将植物快速破碎实现有效成分的迅速渗透、释放,方法简单、快速、环保^[40-41]。陶阿丽等^[42]以豆腐柴叶为原料,通过响应面模型优化获得豆腐柴叶蛋白最佳闪式提取工艺为:闪提时间为164s、料液比为1:42(g/mL)、闪提电压为120V、pH11.3,豆腐柴叶蛋白的平均提取率为63.06%。同时对豆腐柴叶蛋白的体外抗氧化能力进行研究,结果显示,豆腐柴叶蛋白对DPPH自由基、超氧阴离子自由基均具较明显的清除作用,清除率与豆腐柴叶蛋白浓度存在着明显的量效关系^[42]。李刚凤等^[43]在进行豆腐柴营养成分分析评价时发现,豆腐柴中必需氨基酸的含量为5.89g/100g,非必需氨基酸含量为8.35g/100g,并得出豆腐柴叶蛋白质属于优质蛋白,可进行开发利用。

2.3 豆腐柴黄酮及多酚类化合物

研究人员采用普通溶剂提取和超声波辅助提取的方法来提取豆腐柴黄酮及多酚化合物^[17, 44-45]。王海潮等^[44]采用索氏提取法对豆腐柴的根、茎、叶中的总黄酮

进行提取,确定最佳条件为:乙醇体积分数 60%、料液比 1:40(g/mL)、提取时间 2 h,此条件下,根、茎、叶中总黄酮的得率分别为 0.50%、0.58%、2.32%。曹稳根等^[46]在乙醇体积分数为 75%、料液比为 1:30(g/mL)的条件下,加热回流提取 1 h,得到总黄酮得率为 5.09%。曾奕秀等^[45]在单因素试验的基础上,采用正交试验优化豆腐柴总黄酮的提取工艺,并确定了超声波辅助提取豆腐柴叶黄酮的最佳工艺:乙醇体积分数 60%、温度 80℃、料液比 1:50(g/mL)、时间 50 min,总黄酮得率为 8.83%,并发现了豆腐柴叶总黄酮的抗氧化活性随着质量浓度的增加而增大^[48]。黄玲艳等^[47]采用响应面法优化超声辅助提取豆腐柴多酚,得到最佳工艺件为:料液比 1:40(g/mL)、乙醇体积分数 52%、超声温度 74℃、提取时间 33 min。在此条件下,多酚得率为 4.24%。超声波辅助提取较普通溶剂提取具有得率高、提取时间短、环保、有效成分不易被破坏等优点^[47],可作为豆腐柴黄酮、多酚的较好提取方式。另外,胡予等^[48]研究了豆腐柴总黄酮的提纯,发现 X-5 型较 D101、D201、HZ-806 型大孔吸附树脂更为理想,测得黄酮纯度达到了 85.34%,并初步鉴定其可能为二氢黄酮。

另有文献表明,不同体积分数的乙醇萃取得到的豆腐柴叶总黄酮的抗氧化活性存在显著性差异,体积分数为 75%的乙醇的提取产物抗氧化活性较好^[20]。并且,豆腐柴提取物的抗氧化能力高于抗坏血酸,且相同浓度下,比玫瑰花、香椿叶、金樱子对自由基的清除率更高^[19, 49-50]。同时,研究人员发现豆腐柴叶总黄酮粗提液和纯化液对自由基清除能力依次为: DPPH·> ABTS·>O₂⁻>·OH,且纯化液更为显著^[46]。由此可见,豆腐柴总黄酮能作为一种天然抗氧化剂,具有良好的应用前景。高贵珍等^[51]研究发现豆腐柴根提取物浓度为 5.3 μg/mL 时可明显降低小鼠血液中残余的刚果红含量,说明了豆腐柴根提取物可以增强小鼠巨噬细胞对刚果红的吞噬能力,加速血中刚果红的清除速度,具有增强机体非特异性免疫功能的作用。方雪梅等^[52]研究发现豆腐柴根提取物浓度为 2.0 μg/mL 时,能明显促进刀豆蛋白 A(concanavalin A, ConA)诱导小鼠 T 淋巴细胞发生增殖反应,表明了豆腐柴根提取物可通过增强巨噬细胞的吞噬,促进 T 淋巴细胞增殖发挥特异性免疫,从而实现其显著的抗炎作用。豆腐柴根提取物中富含黄酮及多酚类化合物,在机体抗肿瘤、抗菌等方面具有重要的意义。然而,上述试验均采用混合提取物进行功能试验,未对其中的抗氧化组分进行定性定量分析,限制了豆腐柴作为药物资源的开发利用。因此,豆腐柴中抗氧化组分的定性定量分析,可作

为重要的研究方向,为豆腐柴的合理开发利用提供科学依据。

2.4 其它

吴永祥等^[53]采用水蒸气蒸馏法提取了豆腐柴叶挥发油,并证实其具有较强的抗氧化活性,对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌和绿脓杆菌均有显著抑制作用。陶阿丽等^[54]以 D-101、AB-8、D-3520、NK-9、X-5 5 种不同型号的大孔吸附树脂,对豆腐柴多糖进行吸附和解吸性能考察,最终确定了 D-101 型大孔吸附树脂是分离纯化豆腐柴多糖较好的材料。这为豆腐柴多糖的分离纯化提供了重要的理论依据。然而,豆腐柴多糖的结构、性质和功能都未被全面研究,限制了豆腐柴的综合利用。

3 豆腐柴系列产品开发研究进展

由于豆腐柴中含有丰富的功能性成分,近年来人们对豆腐柴系列产品开发研究的兴趣日趋浓厚,主要研究集中在以下几个方面。

3.1 传统食品

研究人员采用豆腐柴鲜叶^[1]或豆腐柴干叶粉末^[55]来制作豆腐。罗东升等^[1]利用豆腐柴鲜叶,在料液比 1:12(g/mL)、pH 4.0、CaCO₃ 添加量 0.08% 的最佳工艺条件下制作出豆腐柴鲜叶豆腐,硬度为 147.30 g,凝胶强度为 133.84 g,渗出液为 21.30 mL/100g,出品率为 826.20%。刘婷等^[55]探讨了制作“观音豆腐”的新型工艺,发现采用干叶粉末制作“观音豆腐”最佳条件为干叶粉末料液比 1:20(g/mL)~1:25(g/mL),粉末粒径 500 目以上,水温 90℃~95℃,不加任何添加剂。该方法操作简单,制作的“观音豆腐”无添加剂,是一种无污染的纯天然绿色食品。但是,“观音豆腐”在贮藏过程中存在易渗水的问题。针对该问题,楚文靖等^[56]发现在制作观音豆腐过程中添加黄原胶和卡拉胶后,豆腐柴叶豆腐在 20℃下 24 h 的渗出液比传统方法(仅添加碳酸钙)减少了 47%,表明黄原胶和卡拉胶作为胶凝剂能延缓豆腐柴叶豆腐的渗出液量,能有效解决豆腐柴叶豆腐在贮藏过程中的脱水收缩问题,同时为豆腐柴叶豆腐的贮藏和工业化生产提供了相应参考。

3.2 功能食品

豆腐柴中含有丰富的天然活性成分,可以用于加工、开发出形式多样的功能食品。目前研究开发较多的豆腐柴食品有豆腐柴果冻、豆腐柴保健饮料以及发酵型豆腐柴叶汁胶冻。

刘焕举等^[49]以豆腐柴叶超微粉为原料,在料液比 1:17(g/mL)、CaCO₃ 添加量 0.06%、水浴温度 85℃的

最佳工艺条件下制作了豆腐柴果冻,并对其功能做了评价,结果表明,每克豆腐柴果冻含有 23.65 mg 黄酮和 155.71 mg 果胶,并且具有明显的 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶抑制活性,可作为糖尿病患者的休闲食品或代餐食品。罗兴武等^[1]采用体积分数 40% 的豆腐柴叶浸提液,复配白砂糖、蜂蜜和柠檬酸,加工制成具有保健功能的饮料,饮料中因含有维生素、氨基酸等可溶性有效成分,具有一定的食疗作用。另外还有研究人员采用乳酸菌发酵豆腐柴叶汁,使之形成一种质地均匀的胶冻食品,该产品具有营养、安全、保健、耐贮的特点^[7]。

3.3 其它

针对豆腐柴鲜叶具有季节性强、不耐贮藏、不便运输的特点,将豆腐柴鲜叶经过烘干、磨粉、过筛处理加工成可直接冲水食用的超细颗粒的粉剂^[5]。这种粉剂方便储藏和运输,可实现即制即食,还可作为一种食品添加剂应用于其它食品中^[58]。杨子欣等^[59]将豆腐柴叶烫漂液添加于马铃薯挂面中,发现腐柴叶烫漂液可作为胶凝剂增加马铃薯挂面中马铃薯全粉含量,有改善马铃薯挂面的硬度、咀嚼性、弹性、口感、光滑性和表观状态等蒸煮特性和食用品质的作用。

4 结语

作为一种具有丰富营养组成及药用价值的植物,豆腐柴具有极大的开发潜力,然而我国大部分豆腐柴以野生为主,因此对豆腐柴的人工繁殖和驯化后的管理尚需进一步开发研究,为豆腐柴的深度开发利用提供优质原料资源。近几年来,国内的研究学者对豆腐柴中各部分活性成分进行了分析研究并进行了提取工艺的优化,但对豆腐柴果胶改性、豆腐柴蛋白功能性质、豆腐柴中抗氧化组分的定性定量分析以及豆腐柴多糖的结构、性质和功能的研究还有待深入。在产品开发方面,我国现阶段主要以传统豆腐柴豆腐为主,对豆腐柴系列新型产品的开发仍不成熟,未来可以围绕豆腐柴生物活性成分展开研究,利用豆腐柴果胶、黄酮及多酚类化合物开发天然食品添加剂,如稳定剂、增稠剂和抗氧化剂等。同时,可以精深加工开发豆腐柴休闲食品或功能性饮料等。随着经济的发展和人们生活水平的提高,国内对豆腐柴产品的需求量将越来越大,因此豆腐柴产品的开发在我国功能食品市场上具有极大的潜力。

参考文献:

[1] 罗东升,余萍,阚建全.豆腐柴鲜叶豆腐的工艺条件优化[J].食

品科学,2013,34(24):313-317.

- [2] 李刚凤,严红波,康明,等.豆腐柴叶豆腐的加工工艺优化[J].食品研究与开发,2017,38(14):68-74.
- [3] 罗兴武,吴菲.豆腐柴保健饮料的研制[J].食品工业科技,2012,33(2):246-249.
- [4] 刘焕举,高月滢,刘飞,等.豆腐柴果冻的制作工艺优化及其降血糖活性研究[J].食品安全质量检测学报,2018,9(10):2463-2469.
- [5] 宁海凤,童群义.混合酸提取豆腐柴叶中果胶的研究[J].食品工业科技,2011,32(1):222-224,228.
- [6] 李梅青,王媛莉,董明,等.豆腐柴的研究与应用综述[J].食品工业科技,2011,32(3):462-464.
- [7] TAMAKI Y, KONISHI T, FUKUTA M, et al. Isolation and structural characterisation of pectin from endocarp of *Citrus depressa*[J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 352-361.
- [8] WIKIERA A, MIKA M, STARZYŃSKA-JANISZEWSKA A, et al. Application of Celluclast 1.5 L in apple pectin extraction[J]. Carbohydrate polymers, 2015, 134: 251-257.
- [9] HOSSEINI S S, KHODAIYAN F, YARMAND M S. Aqueous extraction of pectin from sour orange peel and its preliminary physico-chemical properties [J]. International journal of biological macromolecules, 2016, 82: 920-926.
- [10] 张攀,熊双丽,薛朝云.豆腐柴叶果胶的提取与理化性质分析[J].食品工业科技,2016,37(16):278-284.
- [11] 张攀,陈信,熊双丽,等.不同预处理对豆腐柴叶果胶理化性质的影响[J].食品工业科技,2019,40(1):82-86,91.
- [12] 李月文,杜红,王显琼,等.重庆豆腐柴叶营养成分测定及分析评价[J].中国林副特产,2011(6):18-20.
- [13] 杨子欣.豆腐柴叶营养成分及加工应用现状[J].农家参谋,2018(10):70.
- [14] 高贵珍,曹稳根,蔡红,等.野生豆腐柴叶营养成分分析及评价[J].植物资源与环境学报,2003,12(1):60-61.
- [15] 范超敏,卢秀彬,钟耕,等.臭黄荆叶理化组成及挥发油成分分析[J].食品科学,2011,32(8):248-251.
- [16] HU Zhengxi, XUE Yongbo, YAO Guangmin, et al. Chemical constituents from the leaves of *Premna microphylla* Turcz [J]. Journal of Chinese Pharmaceutical Sciences, 2013, 22(5): 431-434.
- [17] 黄玲艳,黄宏轶,张海燕,等.响应面法优化超声辅助提取豆腐柴多酚的工艺[J].食品研究与开发,2016,37(14):58-61.
- [18] 曾奕秀,熊双丽,薛朝云.豆腐柴叶总黄酮抗氧化活性研究[J].现代食品,2018(4):86-89.
- [19] 孙霁寒,黄玲艳,顾嘉昌,等.豆腐柴提取物不同极性部位的总酚、总黄酮含量及体外抗氧化活性[J].食品工业科技,2017,38(15):55-58.
- [20] 熊双丽,马楠,廖婷婷,等.豆腐柴叶总黄酮不同溶剂级分抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2017,38(18):19-24.
- [21] 孙翌,李京雨,刘冀捷,等.豆腐柴提取物对果蝇寿命的影响研究[J].现代食品,2018(3):16-18,22.
- [22] 方雪梅,曹稳根.豆腐柴鲜叶 β -胡萝卜素及维生素 C 的含量测定[J].淮北煤炭师范学院学报(自然科学版),2004,25(4):66-68.
- [23] 陈红玲,段红,翟科峰,等.正交试验法优选豆腐柴叶中果胶提

- 取工艺[J]. 淮师范大学学报(自然科学版), 2011, 32(3): 52-55.
- [24] 徐汶, 张俊峰, 王存文, 等. 豆腐柴叶果胶的提取工艺条件研究[J]. 天然产物研究与开发, 2003, 15(2): 138-140.
- [25] 张鹏, 沈炼成, 茹神来, 等. 纤维素酶法提取豆腐柴叶果胶的初探[J]. 广州化工, 2011, 39(13): 63-64, 145.
- [26] 陶阿丽, 冯学花, 尹伟, 等. 响应面法优化微波辅助提取豆腐柴果胶工艺及其抗氧化研究[J]. 汕头大学学报(自然科学版), 2014, 29(4): 53-60.
- [27] 包立军, 柯斧, 孙凯, 等. 优化超声波辅助提取豆腐木叶果胶的工艺及产品性质分析[J]. 现代食品科技, 2017, 33(10): 201-207.
- [28] 宁海凤, 童群义. 超声微波协同萃取豆腐柴叶中果胶的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(3): 148-151.
- [29] CHEN Wei, WANG Weiping, ZHANG Huashan, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of water-soluble polysaccharides from *Boletus edulis* mycelia using response surface methodology[J]. Carbohydrate polymers, 2012, 87(1): 614-619.
- [30] 蒋立科, 陈伟凡, 金青, 等. 豆腐柴叶果胶理化性质及“神仙豆腐”制备的条件[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 138-142.
- [31] 廖雯娟. 豆腐柴果胶的分离及其性质研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2010: 24.
- [32] 李瑜, 张百忍, 柯斧, 等. 豆腐木叶果胶含量的动态变化规律研究[J]. 中国野生植物资源, 2013, 32(6): 14-15.
- [33] 陈福明, 柴文森, 陈顺伟, 等. 豆腐柴叶提取果胶工艺研究[J]. 浙江林业科技, 1988, 8(2): 1-6.
- [34] 陈顺伟, 陈福明, 汪建民. 豆腐柴叶制取低甲氧基果胶工艺条件研究[J]. 浙江林业科技, 1992, 12(1): 13-17.
- [35] 王媛莉. 豆腐柴果胶的提取及其特性的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2011: 33-35.
- [36] 宁海凤, 童群义. 豆腐柴叶果胶的流变学性质研究[J]. 食品科技, 2011, 36(6): 88-91.
- [37] 李晓, 李静雯, 陈晔, 等. 豆腐柴叶低甲氧基果胶提取工艺优化及其加工特性和微观结构研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 14-21.
- [38] 晋睿冲. 豆腐柴叶中果胶提取、理化性质表征及生物活性初步研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2018: 44-45.
- [39] 张驰, 吴永尧, 彭振坤, 等. 豆腐柴中有效成分复合分离提取研究[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 234-238.
- [40] 李雅松, 蔺立杰, 呼娜, 等. 栗叶蛋白闪式提取工艺优化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 243-247, 250.
- [41] 冯学花, 陶阿丽, 谢伟. 木瓜籽油闪式提取工艺优化及不同产地木瓜籽得油率比较[J]. 中国油脂, 2018, 43(3): 10-12, 16.
- [42] 陶阿丽, 冯学花, 曹殿洁, 等. 豆腐柴叶蛋白闪式提取工艺优化计及其体外抗氧化活性研究[J]. 长江大学学报(自科版), 2018, 15(10): 50-56.
- [43] 李刚凤, 罗家兴, 李洪艳, 等. 豆腐柴叶营养成分分析与评价[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(21): 62-65.
- [44] 王海潮, 曹稳根, 张兴桃, 等. 索氏提取法提取豆腐柴根茎叶中的总黄酮[J]. 光谱实验室, 2013, 30(5): 2428-2432.
- [45] 曾奕秀, 熊双丽, 薛朝云. 正交实验优化超声波辅助提取豆腐柴叶总黄酮的提取工艺研究[J]. 产业与科技论坛, 2018, 17(14): 60-61.
- [46] 曹稳根, 段红, 翟科峰, 等. 野生豆腐柴叶总黄酮抗氧化活性研究[J]. 滁州学院学报, 2016, 18(5): 40-43.
- [47] 林颖华, 吴晓玲, 彭荣珍, 等. 响应面法优化豆腐柴中总黄酮提取工艺[J]. 中国医药导报, 2013, 10(18): 116-118, 134.
- [48] 胡予, 李旭升, 马楠, 等. 豆腐柴叶总黄酮的提取、纯化及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 268-273.
- [49] 张京芳, 王冬梅, 周丽, 等. 香椿叶提取物不同极性部位体外抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2007, 7(5): 12-17.
- [50] 皮建辉, 胡朝嗽, 蔡婧, 等. 金樱子提取物不同极性部位体外抗氧化活性分析[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 285-288.
- [51] 高贵珍, 曹稳根, 刘晓阳, 等. 豆腐柴根提取物对小鼠非特异性免疫功能的影响[J]. 生物学杂志, 2003, 20(1): 25-26.
- [52] 方雪梅, 曹稳根, 高贵珍. 豆腐柴根提取物对小鼠 T 淋巴细胞增殖反应的影响[J]. 生物学杂志, 2004, 21(1): 33-34.
- [53] 吴永祥, 杨庆, 李林, 等. 豆腐柴叶挥发油化学成分及其抗氧化和抑菌作用研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(1): 45-51, 96.
- [54] 陶阿丽, 苏诚, 刘亚赛, 等. 大孔吸附树脂纯化豆腐柴多糖工艺研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2014, 30(4): 36-38.
- [55] 刘婷, 李瑜, 郑甲成, 等. 速制“观音豆腐”生产工艺初步研究[J]. 食品工业, 2012, 33(7): 69-71.
- [56] 楚文靖, 王世强, 贡松松, 等. 响应面法优化豆腐柴叶豆腐渗液的研究[J]. 食品工业, 2014, 35(10): 75-78.
- [57] 王世强, 王德青, 张沙沙. 发酵型豆腐柴叶汁胶冻形成条件的探讨[J]. 食品工业科技, 2008, 29(1): 169-170.
- [58] 黄莹莹, 邵宇. 豆腐柴资源利用现状及对策[J]. 现代农业科技, 2016(14): 91-92.
- [59] 杨子欣, 公艳, 高蕾, 等. 豆腐柴叶烫漂液对马铃薯挂面品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(19): 70-75.

加工编辑:王艳

收稿日期:2020-04-20