

枸杞多糖提取方法的研究进展

田晓静¹, 景冰玉¹, 王彩霞², 陆会宁¹, 陈士恩^{1*}

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 兰州 730030; 2. 四川农业大学食品学院, 雅安 625014)

摘 要: 枸杞多糖具有增加免疫能力、抗氧化和延缓衰老、调节血脂、降血糖作用、神经保护、抗辐射等功能而广泛应用于医药、保健和美容等领域。本文简单介绍了枸杞多糖的结构和功效, 重点归纳并对比了浸提法、微波提取法、超声波提取法、纤维素酶提取法提取枸杞多糖的提取工艺参数。原料预处理多采用干燥后粉碎, 除部分要求达到40~100目, 一般对颗粒度未做要求; 料液比多在1:10~1:30; 提取温度和时间差异较大, 浸提法时间最长, 微波法、超声波法和酶法相对较短; 对提取温度, 酶法提取时均在60℃以下, 另3种方法相对较高, 多在60~90℃。浸提法的提取率最低, 微波法、超声波法和酶法提取率均高于浸提法。枸杞多糖提取工艺的优化研究可为其精深加工和利用提供研究基础。

关键词: 枸杞多糖; 提取方法; 研究进展

Research progress on extraction methods of *Lycium barbarum* polysaccharides

TIAN Xiao-Jing¹, JING Bing-Yu¹, WANG Cai-Xia², LU Hui-Ning¹, CHEN Shi-En^{1*}

(1. College of Life Science and Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou 730030, China;
2. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, China)

ABSTRACT: *Lycium barbarum* polysaccharide (LBP) is widely used in medicine, health, beauty and other fields, for its effects such as increasing immunity, anti-oxidation and anti-aging, regulating blood lipid, lowering blood glucose, neural protection and anti radiation, etc. This paper simply introduced the structure and function of LBP, and mainly summarized and compared the research progress on technological parameter of soaking extracting method, microwave assisted extraction, ultrasonic assisted extraction and enzyme assisted extraction method. For material pretreatment, the Goji berry were dried and crushed, without any particle size requirements, except for few 40~100 mesh in some articles. For ratio of solid to liquid, 1:10~1:30 were frequently used. The extraction temperature and time differed significantly, for extraction time, soaking extraction was the longest, and microwave method, ultrasonic method and enzymatic were relatively short; for extraction temperature, enzymatic extraction are all below 60℃, while the other 3 methods were relatively high, most at 60~90℃. Under these conditions, the extraction ratio of soaking extraction was lower than the other 3 methods. The optimization of LBP extraction process can lay foundation for deep processing and utilization of Goji berry.

KEY WORDS: *Lycium barbarum* polysaccharides; extraction methods; research progress

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560477)、中央高校科研创新项目

Fund: Supported by the Project of National Natural Science Foundation of China (31560477) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities

*通讯作者: 陈士恩, 教授, 主要研究方向为食品安全与品质控制。E-mail: chshien@163.com

*Corresponding author: CHEN Shi-En, Professor, College of Life Science and Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou 730030, China. E-mail: chshien@163.com

1 引言

茄科植物(*Solanaceae*)枸杞(*Lycium barbarum* L.)为多棘刺落叶小灌木,广泛分布于我国宁夏、甘肃、青海、河北、内蒙古、新疆等地,其浆果—枸杞子具有滋补肝肾、养阴生血、精益明目、润肺生津等功效,是我国传统的名贵中药材,素有“红宝”的美称^[1]。枸杞具有多方面的药理作用和生物活性功能,作为枸杞子中主要的生物活性因子,枸杞多糖(*Lycium barbarum polysaccharides*, LBP)能促进和免疫调节作用,增强各项细胞免疫指标,提高机体血液、肝和肌组织的超氧化歧化酶(superoxide dismutase, SOD)的活性含量,具有增强免疫力、延缓衰老和抗疲劳、提高抗体等效果,已成为保健食品的一个重要的功能性添加剂。

现有关枸杞多糖的研究主要集中在以下两个方面:(1)结构鉴定、抗氧化^[2,3]、降血糖^[4]、抗癌^[5,6]等功效研究;(2)浸提法、酶法、微波法和超声法^[7]等提取工艺优化研究。本文主要针对枸杞多糖的结构、功效及其提取方法的研究进展进行综述,旨在提高枸杞多糖的提取效率,为其在行业中的应用提供理论基础。

2 枸杞多糖及其功效研究

枸杞多糖是从枸杞子中提取得到的一种水溶性多糖蛋白复合物,主要由阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖、甘露糖、木糖、鼠李糖 6 种单糖组成^[8],其单糖组成为鼠李糖基、阿拉伯糖基、木糖基、甘露糖基、葡萄糖基、半乳糖基,且摩尔比率为 2.07:2.38:3.11:1.00:1.12:2.86^[9],但产地、品种等因素会影响枸杞多糖的糖环形式、糖苷键类型、单糖组成及其物质的量^[10]。

对枸杞功效的研究表明,作为枸杞子中主要生物活性因子的枸杞多糖能促进和免疫调节^[11]、调节血糖和血脂代谢^[12]、延缓衰老^[13]和抗疲劳^[14]等,已成为保健食品的一个重要的功能性添加剂。枸杞多糖的分离提取和纯化技术的提升对其深入开发和利用具有重要意义。

3 枸杞多糖的提取工艺优化

目前,提取枸杞多糖的方法主要有浸提法、微波提取法、超声波提取法及微波辅助酶法等,本文对这 4 种方法的提取条件、得率进行了比较和分析。

3.1 浸提法

水提醇沉淀法是大规模提取枸杞多糖较常用的方法,但是该方法中料液比、浸提温度、浸提时间、浸提次数等物理参数对提取得率都有很大的影响。对现有研究成果中主要影响因素进行归纳总结,结果见表 1。由表 1 可知,枸杞原料的预处理方法基本都是采用低温烘干后粉碎,不同之处在于对粉碎的颗粒度要求,大多文献并未给出颗粒度,

仅有王月国等^[15]和许程剑等^[16]提出分别要求达到 40 目和 60 目;料液比的变化范围较大,从 1:10 到 1:35 均有采用,但是较常用的是 1:10~1:20;提取温度相对较集中,多在 70~90 ℃之间;提取时间在 2~7 h 之间,其中 3~4 h 较多;提取次数一般都在 1~3 次,提取次数升高,得率也提高,但是时间、经济成本也随之提高,因此应根据具体情况而定。在上述条件下,枸杞多糖的得率差异较大,范围一般为 1.14%~18.56%,但较多集中在 5%上下,仅有寿鸿飞等^[17]研究中提取率高达 36.993%。

对枸杞传统提取工艺的研究发现,与自然酸碱度提取条件相比,碱性条件更有利于获得枸杞多糖,因而胡仲秋等^[26]在碱性条件下获得枸杞多糖的最佳提取工艺为料液比 1:70、pH 为 10、65 ℃下浸提 3.5 h,其提取率可高达 7.46%;在此研究的基础上,改用细胞通透性较强的碱性稀乙醇溶液作为提取剂,进一步优化了枸杞多糖的提取条件,即碱性乙醇提取枸杞多糖最佳条件为料液比 1:50、乙醇体积分数 8%、pH 10.5、70 ℃下浸提 6.5 h,此时枸杞多糖得率最高可达 29.19%^[27]。此外已有报道表明,反复冻溶液会改变枸杞多糖的溶出率^[28]。可见适当控制浸提条件,可以有效提高枸杞多糖的得率。

3.2 微波辅助提取法

利用电磁波的作用提取枸杞中枸杞多糖的方法也得到广泛应用,且料液比、浸提温度、浸提时间、浸提次数及功率都对提取率有很大的影响,具体见表 2。由表 2 可知,原料枸杞子的预处理方法大都采用烘干后粉碎,仅郑玲利等^[34]研究中采用剪碎。上述研究中大多未对样品粉碎程度进行要求,只有邱志敏等^[29]和史高峰等^[30]研究中要求样品颗粒度达到 60 目和 40~60 目;微波辅助提取枸杞多糖时料液比的范围较大,从 1:30~1:10,及 26:1~10:1 均有采用;提取次多为 2 次;微波法提取的提取温度较集中,在 50~120 ℃之间,较多采用 90 ℃;提取时间各个文献中差异较大,从 1.8~120 min 不等,总体较浸提法用时短,多在 1 h 内,可避免长时间高温引起的热不稳定物质的分解破坏^[31];在参数优化方法上,以单因素和正交试验为主,辅以响应面法。在上述条件下,枸杞多糖的得糖率差异较大,在 6.574%~19.1%之间波动,相对于传统的热热水浸提法有明显提高;且微波辅助提取法用时更短,效率更高。

3.3 超声辅助提取法

利用超声波的空化效应、热效应和机械作用使枸杞子细胞壁及整个生物体的破裂在瞬间完成,能显著提高提取效率^[37],且以其提取时间短、效率高、能耗低、杂质少、有效成分易于分离纯化^[38]等优点广泛应用于大规模生产中。超声波辅助提取时,料液比、提取温度、提取时间、提取次数物理参数对提取率都有很大的影响,对研究成果中的上述因素进行归纳总结结果见表 3。由表 3 可见,超

声辅助提取法提取枸杞多糖的原料预处理与前 2 种方法一样, 均是干燥后粉碎, 且大多对粉碎后颗粒度大小未做明确要求; 提取温度相对较集中, 在 60~90 ℃, 与浸提法接近; 提取时料液比在 1:14~1:50 之间波动, 较多选择 1:20~1:30; 由于超声的辅助, 提取时间比浸提法显著缩短, 在 15~50 min 之间, 且多集中在 30 min 左右; 试验优化也是采用的单因素、正交试验相结合, 也有部分研究采用响应面、均匀设计等试验方法; 现有报道中超声功率大多在 60~250 W 之间, 而 200 W 相对常用。在上述条件下, 多糖得率在 4.28%~14.48%之间波动, 高于浸提法, 却低于微波辅助提取法。

3.4 酶法提取枸杞多糖

酶法提取枸杞多糖时, 酶的种类及用量、料液比、酶解时间、酶解温度、pH 等因素对其得率均有影响, 对现有

研究成果中上述因素进行归纳总结, 结果见表 4。由表 4 可见, 对枸杞原料的预处理方法基本都是采用烘干后粉碎, 不同之处在于粉碎的颗粒度要求上, 大多文献并未给出颗粒度, 仅有梁敏等^[50]和邹东恢等^[51]研究中要求颗粒度分别是 80 目和 80~100 目, 而吴素萍等^[52]研究中采用浸泡后打浆; 料液比在 1:10~1:45 之间, 但是较常用的 1:10~1:20; 为保证酶活性最强, 酶解温度集中在 40~60 ℃之间, 这是与前面几种方法差异最大的地方; 提取时间在 20~160 min 之间; 在酶的选择上有单一酶也有选择复合酶的, 选用的角度主要是木瓜蛋白酶、纤维素酶和果胶酶, 用量大多控制在 0.45%上下, 但也有酶用量达到 3%^[53]; 在上述条件下, 枸杞多糖的得率差异较大, 在 2.9498%~23.68%之间波动。酶解法虽然多糖得率有所提高, 但为保持酶活其对温度和 pH 的控制上有较高要求, 且成本相对较高。

表 1 浸提法提取参数对比分析
Table 1 Comparison of extraction parameters of aqueous extraction method

原料	预处理方法	料液比/(m:V)	提取温度/℃	提取时间/h	提取次数/次	优化方法	得率/%
干枸杞	粉碎	1:27	81	2.5	1	Box-Behnken 实验设计	5.03 ^[18]
宁夏枸杞	粉碎	1:35	90	3	2	单因素、正交试验	18.56 ^[19]
枸杞子	捣碎浸泡过夜	1:15	热水	2	3	单因素、正交试验	36.993 ^[17]
宁夏枸杞		1:26	87	7	1	响应面法	8.2 ^[20]
宁夏枸杞	粉碎, 40 目	1:10	90	3.5	3	单因素、正交试验	3.5 ^[15]
精河枸杞	粉碎, 60 目	1:20	80	3	3	单因素、正交试验	>2.59 ^[16]
枸杞子	粉碎	1:30	75	3	1	单因素、正交试验	1.14 ^[21]
枸杞子	干燥	1:15~1:30	50~60	4	2		7.87 ^[22]
新鲜枸杞	干燥、粉碎	1:20	70	4	3	正交试验	4.51 ^[23]
干枸杞		1:15	90	3	1	正交试验	4.001 ^[24]
枸杞子		1:10	90	4	3		2.96 ^[25]

表 2 微波法辅助提取参数对比分析
Table 2 Comparison of extraction parameters of microwave-assisted extraction

原料	预处理方法	料液比/(m:V)	提取温度/℃	提取时间/min	提取次数/次	微波功率/W	优化方法	得率/%
中宁枸杞	干燥粉碎, 60 目	26:1		1.8	2	300	响应面	9.57 ^[29]
宁夏枸杞	烘干、粉碎	25:1	120	24	2	300	正交试验	6.574 ^[32]
枸杞渣	烘干粉碎, 40~60 目	1:12	90	40	2	500	正交试验	7.51 ^[30]
枸杞子	烘干、粉碎	1:30	50	3	2	540	正交试验	19.1 ^[33]
宁夏枸杞	干燥、剪碎	1:10	90	5	1	320	响应面	10.14 ^[34]
枸杞子	干燥、粉碎	1:10	90	120	1	600	单因素、正交试验	12.23 ^[35]
精河枸杞	烘干、粉碎	1:20	85	45	1	200	单因素、正交试验	7.22 ^[36]

表 3 超声波法辅助提取参数对比分析
Table 3 Comparison of extraction parameters of ultrasonic-assisted extraction

原料	预处理方法	料液比/(m:V)	提取温度/℃	提取时间/min	超声功率/W	优化方法	得率/%
枸杞	干燥	1:14		15		正交试验	8.94 ^[39]
枸杞子		1:20	60	30		单因素、正交试验	7.44 ^[40]
宁夏枸杞	烘干研碎, 60 目	1:30	60	40		正交试验	14.48 ^[41]
枸杞子	破碎	1:30	室温	20		单因素、正交试验	10 ^[42]
野生枸杞	粉碎	1:25.4		16.5	249.5	Box-Behnken 试验设计	5.318 ^[43]
新鲜枸杞	烘干后粉碎	1:50	90	15	60	单因素、正交试验	4.28 ^[44]
枸杞	冻干后粉碎	1:30	70	50	200	单因素、正交试验	5.02 ^[45]
枸杞	烘干后研碎	1:20		40	100	正交试验	4.724 ^[46]
无籽枸杞	烘干、粉碎	1:21	63	27	200	均匀设计	5.16 ^[47]
黑果枸杞	粉碎过 60 目筛	1:30	73	29	198	响应曲面法	12.91 ^[48]
宁夏枸杞	真空干燥, 研碎	1:20	70	20		响应曲面法	^[49]

表 4 酶法提取参数对比分析
Table 4 Comparison of extraction parameters of enzymatic method

原料	预处理方法	料液比/(m:V)	酶解温度/℃	酶解时间/min	pH	酶及其用量/%	优化方法	得率/%
枸杞子	烘干、粉碎	1:20	59.7	91	5.0	纤维素酶, 2.0 木瓜蛋白酶, 1.0	Box-Behnken 试验设计	6.81 ^[53]
枸杞	烘干、粉碎	1:10	51	60	4.5	蛋白酶: 纤维素酶: 果胶酶=1:1:1, 0.32	响应面法	13.96 ^[54]
新鲜枸杞	干燥粉碎, 80 目	3:35	45	120	7.0	木瓜蛋白酶, 0.3	正交试验	14.9 ^[50]
宁夏枸杞	浸泡打浆		50	60	5.0	纤维素酶, 0.5	单因素、正交试验	11.2 ^[52]
枸杞	冻干粉碎	1:45	55	120	3.5	果胶酶, 0.4	单因素、正交试验	7.4 ^[55]
青海枸杞	粉碎	1:20	50	20		木瓜蛋白酶, 0.5	单因素、正交试验	2.9498 ^[56]
新鲜枸杞	干燥后粉碎 80~100 目	1:25	55	120	6.0	纤维素酶: 木瓜蛋白酶=2:1, 0.4	正交试验	16.5 ^[51]
宁夏枸杞	烘干后粉碎	1:10	50	160	4.5	纤维素酶, 0.45	单因素、正交试验	23.68 ^[57]

4 结 论

综上所述, 上述 4 种常用枸杞多糖的提取方法在原料预处理上具有共性, 即多采用干燥后粉碎, 除部分文献要求粉碎后达到 40~100 目外, 一般对颗粒度没有过高要求; 料液比在 1:10~1:30 之间最为常用; 提取温度和时间差异较大, 浸提法时间最长, 微波法、超声波法和酶法提取时间相对都有不同程度缩短; 酶法提取时提取温度均在 60 ℃ 以下, 另 3 种方法的提取温度相对较高, 多在 60~90 ℃ 之间。对于提取率而言, 浸提法的提取率最低, 但辅以碱液提取时, 其得率明显提高; 微波法、超声波法和酶法提取率也均高于浸提法, 但是微波法和超声波法均对

设备有一定要求, 酶法提取需要消耗大量酶, 使得提取成本升高, 使得这 3 种方法在应用上受到一定限制。在今后的研究中, 对如何进一步优化浸提法的提取工艺条件使其得率提升的研究具有重要的现实意义。

参考文献

[1] 薛立文, 李以暖. 枸杞子的营养和保健功能[J]. 广东微量元素科学, 2000, 7(6): 1-4.
Xue LW, Li YN. Nutrition and health functions of *Lucium bararum* L. [J]. Guangdong Trace Elem Sci, 2000, 7(6): 1-4.
[2] 高春燕, 田呈瑞. 枸杞多糖体外抗氧化特性研究[J]. 粮食与油脂, 2005, (7): 28-29.
Gao CY, Tian CR. Study on antioxidant effectiveness of *Ch. Wolfberry*

- polysaccharides [J]. Cereal Oils, 2005, (7): 28–29.
- [3] 龚涛, 王晓辉, 赵靓, 等. 枸杞多糖抗氧化作用的研究[J]. 生物技术, 2010, 20(1): 84–86.
- Gong T, Wang XH, Zhao L, et al. Research on antioxidant of *Lycium barbarum* polysaccharide [J]. Biotechnology, 2010, 20(1): 84–86.
- [4] 加杨娥, 任立余, 燕华玲. 枸杞多糖对糖尿病患者的疗效研究进展[J]. 世界最新医学信息文摘: 连续型电子期刊, 2016, 16(52): 54–55.
- Jia YE, Ren LC, Yan HL. Research progress of *Bararum* polysaccharide on diabetes [J]. Word Latest Med Inform (Elect Version), 2016, 16(52): 54–55.
- [5] Zhu CP, Zhang SH, Xiao JX. Morphological study on hela cells apoptosis induced by *lyciumbarbarum* polysaccharides [J]. Food Sci, 2010, 31(19): 329–334.
- [6] 朱彩平, 张声华. 枸杞多糖对 H₂₂ 肝癌小鼠的抑癌作用[J]. 中国公共卫生, 2006, 22(6): 717–718.
- Zhu CP, Zhang SH. Study on the cancer inhibition effect of *Lycium barbarum* polysaccharide on the H₂₂ hepatoma mice [J]. Chin J Public Health, 2006, 22(6): 717–718.
- [7] 赵超. 超声强化亚临界水提取枸杞多糖的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- Zhao C. Ultrasound-enhanced subcritical water extraction of polysaccharides from *Lycium barbarum* L. [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [8] Amagase H, Farnsworth NR. A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of *Lycium barbarum*, fruit (Goji) [J]. Food Res Int, 2011, 44(7): 1702–1717.
- [9] 郭琦, 孙润广, 郭国贤, 等. 枸杞多糖分离纯化及其结构光谱分析与显微学观察[J]. 中草药, 2012, 43(4): 645–648.
- Guo Q, Sun RG, Guo GB, et al. Isolation and purification, its structure spectral analysis, and microscopy observation of *Lycium barbarum* polysaccharide [J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 2012, 43(4): 645–648.
- [10] 徐金楠, 刘玮, 刘春晶, 等. 不同枸杞中多糖含量与结构特征的对比研究[J]. 中国食品学报, 2015, 15(4): 233–239.
- Xu JN, Liu W, Liu CJ, et al. Comparative study of the content and structural features of polysaccharides from different *Lycium barbarum* [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2015, 15(4): 233–239.
- [11] 秦睿玲, 李国徽, 张久荣, 等. 枸杞多糖对机体免疫功能调节的研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2011, (15): 39–41.
- Qin RL, Li GH, Zhang JR, et al. Research progress of *Lycium barbarum* polysaccharide on immune modulatory [J]. Heilongjiang Anim Sci Vet Med, 2011, (15): 39–41.
- [12] 唐华丽, 孙桂菊, 陈忱. 枸杞多糖的化学分析与降血糖作用研究进展[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 244–247.
- Tang HL, Sun GJ, Chen C. Progress on chemical analysis and hypoglycemic function of *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. Food Mach, 2013, 29(6): 244–247.
- [13] 郑棋月, 任建武. 枸杞多糖延缓衰老的研究进展[J]. 中国园艺文摘, 2014, (12): 48–52.
- Zheng QY, Ren JW. An overview of *Lycium barbarum* polysaccharides on anti-aging [J]. Chin Horticul Abstr, 2014, (12): 48–52.
- [14] 张雅莉, 黄晓旭, 蔡美琴. 枸杞多糖的抗氧化及缓解体力疲劳作用研究进展[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2015, 35(6): 911–914.
- Zhang YL, Huang XX, Cai MQ. Advances of functions of antioxidation and relieving physical fatigue of *Lycium barbarum* polysaccharide [J]. J Shanghai Jiaotong Univ (Med Sci Ed), 2015, 35(6): 911–914.
- [15] 王月囡, 辛广, 翁霞. 两种不同方法提取枸杞多糖的比较研究[J]. 鞍山师范学院学报, 2010, 12(4): 39–43.
- Wang YN, Xin G, Weng X. Comparative study on extraction of *Lycium barbarum* polysaccharides by two different method [J]. J Anshan Norm Univ, 2010, 12(4): 39–43.
- [16] 许程剑, 郭文波, 赵玉华, 等. 新疆枸杞多糖提取与脱色工艺的研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(5): 2887–2889.
- Xu CJ, Guo WB, Zhao YH, et al. Extraction and decolouration technology for polysaccharide from *Lycium barbarum* in Xinjiang [J]. J Anhui Agric Sci, 2012, 40(5): 2887–2889.
- [17] 寿鸿飞, 马天宇, 苏苗, 等. 浸提法提取枸杞多糖工艺优选[J]. 北方药学, 2015, 12(10): 78–80.
- Shou HF, Ma TY, Su M, et al. Process optimization of extraction to extract LBP [J]. J North Pharm, 2015, 12(10): 78–80.
- [18] 李丹丹, 吴茂玉, 宋烨, 等. 响应面分析法优化枸杞多糖的提取工艺[J]. 中国果菜, 2014, 34(6): 19–23.
- Li DD, Wu MY, Song Y, et al. Optimization of polysaccharides extraction from *Lycium barbarum* using response surface analysis [J]. China Fruit Veget, 2014, 34(6): 19–23.
- [19] 汪琢, 赵佳莹, 廖林, 等. 枸杞多糖提取条件优化及体外抗氧化活性研究[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(6): 1440–1444.
- Wang Z, Zhao JY, Liao L, et al. Optimizing technology of extracting polysaccharides from *Lycium chinense* and its anti-oxidant activities [J]. Hubei Agric Sci, 2015, 54(6): 1440–1444.
- [20] 刘琳, 鄢瑞明, 曾凡骏. 响应面法优化枸杞多糖提取的研究[J]. 食品与发酵科技, 2011, 47(6): 32–35.
- Liu L, Yan RM, Zeng FJ. Study on optimization of the extraction technology of *Lycium barbarum* polysaccharide by response surface methodology [J]. Food Ferment Technol, 2011, 47(6): 32–35.
- [21] 王赞夷, 李龙飞, 胡彪, 等. 枸杞多糖提取工艺的优化[J]. 湖南农业科学, 2016, (6): 71–73.
- Wang YY, Li LF, Hu B, et al. Extraction process optimization of *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. Hunan Agric Sci, 2016, (6): 71–73.
- [22] 阿依姑丽·艾合麦提, 王颖, 杨晓君, 等. 枸杞多糖提取方法及两种不同产地枸杞中多糖含量的比较研究[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(5): 724–728.
- A YGL, Wang Y, Yang XJ, et al. Study on extraction method and assay of polysaccharides of *Lycium barbarum* L. from two different sources [J]. Xinjiang Agric Sci, 2007, 44(5): 724–728.
- [23] 韩秋菊, 马宏飞. 两种提取枸杞多糖方法的比较研究[J]. 化学与生物工程, 2012, 29(5): 64–66.
- Han QJ, Ma HF. Comparison of 2 extraction methods for *Lycium barbarum* polysaccharide [J]. Chem Bioeng, 2012, 29(5): 64–66.
- [24] 赵彦华, 周志铭. 物理条件对枸杞水浸提液中枸杞多糖的影响[J]. 饮料工业, 2004, 7(4): 25–27.
- Zhao YH, Zhou ZH. Effect of physical conditions on *Lycium barbarum* polysaccharides (LBP) in *Lycium barbarum* aqueous extract [J]. Bever Ind, 2004, 7(4): 25–27.
- [25] 高春燕. 枸杞多糖的提取分离技术及其特性研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006.
- Gao CY. Study on extraction and separation technology and

- characteristics of *Ch. Wolfberry* polysaccharide [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2006.
- [26] 胡仲秋, 刘建党, 王保玲. 枸杞多糖的碱液提取工艺研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(10): 173–178.
- Hu ZQ, Liu JD, Wang BL. Research on extraction technology of *Lycium barbarum* polysaccharides by the alkaline solution [J]. J Northwest A & F Univ (Nat Sci Ed), 2008, 36(10): 173–178.
- [27] 胡仲秋, 王利, 王保玲, 等. 枸杞多糖碱性乙醇提取及消除羟基自由基活性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 93–98.
- Hu ZQ, Wang L, Wang BL, et al. Antioxidant activity of polysaccharides from *Lycium barbarum* [J]. Food Sci, 2009, 30(24): 93–98.
- [28] 温梓辰, 荣雪, 郭乃菲, 等. 反复冻融法对枸杞多糖溶出率的研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(19): 111–113.
- Wen ZC, Rong X, Guo NF, et al. Technique of extracting polysaccharides from Goji berry by repeated freezing and thawing method [J]. J Anhui Agric Sci, 2016, 44(19): 111–113.
- [29] 邱志敏, 芮汉明. 微波辅助提取枸杞多糖的工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(7): 220–223, 227.
- Qiu ZM, Rui HM. Study on optimization of microwave-assisted extraction of polysaccharide from *Lycium barbarum* and research of its antioxidizability [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(7): 220–223, 227.
- [30] 史高峰, 李娜, 陈学福, 等. 微波辅助提取枸杞中总多糖的工艺研究[J]. 中成药, 2011, 33(3): 521–524.
- Shi GF, Li N, Chen XF, et al. Study on microwave-assisted extraction of *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. Chin Tradit Patent Med, 2011, 33(3): 521–524.
- [31] 刘迎迎, 李盼盼, 刘柯妍. 微波萃取技术的应用与发展[J]. 济源职业技术学院学报, 2015, 14(3): 16–18.
- Liu YY, Li PP, Liu KY. The progress of microwave-assisted extraction [J]. J Jiyuan Vocat Tech Coll, 2015, 14(3): 16–18.
- [32] 张自萍, 黄文波, 王玉炯. 正交试验研究枸杞多糖的微波辅助提取[J]. 宁夏大学学报:自然科学版, 2006, 27(1): 72–74.
- Zhang ZP, Huang WB, Wang YJ. Study on microwave-assisted extraction of *Lycium barbarum* polysaccharides by orthogonal test [J]. J Ningxia Univ (Nat Sci Ed), 2006, 27(1): 72–74.
- [33] 陈金娥, 李成义, 张海容. 微波法与传统工艺提取枸杞多糖的比较研究[J]. 中成药, 2006, 28(4): 573–576.
- Chen JE, Li CY, Zhang HR. Comparision of microwave-assisted extraction and traditional method of *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. Chin Tradit Patent Med, 2006, 28(4): 573–576.
- [34] 郑玲利, 李燕, 黄玲, 等. 枸杞多糖的微波提取及抗氧化性分析[J]. 解放军药科学学报, 2016, 32(1): 1–4.
- Zheng LL, Li Y, Huang L, et al. Research on the extraction and purification process of polysaccharide in Chinese wolfberry [J]. Pharm J Chin People's Liber Army, 2016, 32(1): 1–4.
- [35] 杨志远. 食用枸杞中多糖的提取纯化工艺的研究[J]. 价值工程, 2015, (29): 132–133.
- Yang ZY. Extraction and putrifaction of *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. Value Eng, 2015, (29): 132–133.
- [36] 庞亚茹, 朱风涛, 吴茂玉, 等. 微波辅助提取枸杞多糖工艺条件优化[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(11): 50–53.
- Pang YR, Zhu FT, Wu MY, et al. Microwave-assisted extraction of *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. Food Res Dev, 2016, 37(11): 50–53.
- [37] 张昌军, 原方圆, 邵红兵. 超声波法在提取多糖类化合物中的应用研究[J]. 化工时刊, 2007, 21(2): 54–56.
- Zhang CJ, Yuan FY, Shao HB. Application of extracting polysaccharide compound by ultrasonic method [J]. Chem Ind Times, 2007, 21(2): 54–56.
- [38] 张元, 冯琼, 杨晓方, 等. 酶解-超声法对猪苓多糖正交优选提取及抗氧化活性的初步实验研究[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 25(9): 1657–1662.
- Zhang Y, Feng Q, Yang XF, et al. Optimization of enzymatic coupled with ultrasonic-assisted extraction of polysaccharide from polyporus umbellatus and its antioxidant activity [J]. Nat Prod Res Dev, 2015, 25(9): 1657–1662.
- [39] 蔡宇. 超声法提取枸杞多糖工艺条件优选[J]. 中成药, 2010, 32(10): 1820–1822.
- Cai Y. Optimization of ultrasonic extraction process of *Lycium barbarum* polysaccharides from *Lycium barbarum* L. [J]. Chin Tradit Patent Med, 2010, 32(10): 1820–1822.
- [40] 陈吉生, 吕剑豪. 超声法提取枸杞多糖工艺研究[J]. 今日药学, 2009, 19(12): 46–48, 51.
- Chen JS, Lv JH. Study on ultrasonic extraction process of *Lycium barbarum* polysaccharides from *Lycium barbarum* L. [J]. Pharm Today, 2009, 19(12): 46–48, 51.
- [41] 孟良玉, 邱松山, 兰桃芳, 等. 枸杞多糖的超声提取工艺优化及其抗氧化能力研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(25): 12168–12170.
- Meng LY, Qiu SS, Lan TF, et al. Optimization of ultrasound extraction technology of *Lycium barbarum* polysaccharide and study on its antioxidation ability [J]. J Anhui Agric Sci, 2009, 37(25): 12168–12170.
- [42] 孙汉文, 刘占锋. 枸杞多糖的超声波辅助水提取与分级纯化[J]. 食品工业科技, 2009, 30(3): 230–233.
- Sun HW, Liu ZF. Ultrasonic-assisted water-extraction technology and fraction –purification of *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. Sci Technol Food Ind, 2009, 30(3): 230–233.
- [43] 李文谦, 茅燕勇. 响应面法超声波提取枸杞多糖工艺优化[J]. 中国酿造, 2011, 235(10): 122–126.
- Li WQ, Mao YY. Optimizing ultrasonic extraction of *Lycium barbarum* polysaccharide by response surface methodology [J]. China Brew, 2011, 235(10): 122–126.
- [44] 韩秋菊, 赵佳. 超声法提取枸杞多糖工艺优化[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(13): 3783–3785.
- Han QJ, Zhao J. The optimization of *Lycium barbarum* polysaccharides extraction by ultrasonic extraction method [J]. Sci Technol Eng, 2013, 13(13): 3783–3785.
- [45] 刘腾子, 赵春玲, 张成军, 等. 超声法提取枸杞多糖的工艺研究[J]. 广东化工, 2014, 41(18): 18–19, 41.
- Liu TZ, Zhao CL, Zhang CJ, et al. Study on the extraction of *Lycium barbarum* polysaccharides with ultrasonic radiation [J]. Guangdong Chem Ind, 2014, 41(18): 18–19, 41.
- [46] 吕凤娇, 吴洪, 高平章. 枸杞多糖提取工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4): 2075–2076, 2079.
- Lv FJ, Wu H, Gao PZ. Study on the extraction technology of *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(4): 2075–2076, 2079.
- [47] 郝继伟. 均匀设计法优化超声波辅助提取枸杞多糖的工艺[J]. 光谱实验室, 2011, 28(5): 2493–2497.
- Hao JW. Optimal ultrasonic-assisted extraction conditions of

- polysaccharides in *Lycium barbarum* by uniform design [J]. Chin J Spectrosc Lab, 2011, 28(5): 2493–2497.
- [48] 陈亮, 张伟, 陈元涛, 等. 响应曲面法优化黑果枸杞多糖的超声提取工艺[J]. 食品科技, 2015, 40(1): 220–227.
- Chen L, Zhang W, Chen YT, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction process of *Lycium ruthenicum murr polysaccharides* by response surface methodology [J]. Food Sci Technol, 2015, 40(1): 220–227.
- [49] 杨新生, 姜忠丽. 枸杞多糖的超声波辅助提取法及其抗氧化研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(10): 73–77.
- Yang XS, Jiang ZL. LBP ultrasonic-assisted extraction method and its antioxidant activity [J]. Food Res Dev, 2016, 37(10): 73–77.
- [50] 梁敏, 邹东恢, 郭建华. 酶法提取枸杞多糖工艺研究[J]. 粮油加工, 2010, (3): 104–106.
- Liang M, Zou DH, Guo JH. Study on extraction of *Lycium barbarum* polysaccharides by enzymatic method [J]. Cere Oils Process, 2010, (3): 104–106.
- [51] 邹东恢, 郭建华, 魏小娟. 枸杞多糖的双酶法提取与纯化工艺研究[J]. 农业机械, 2011, (32): 166–169.
- Zou DH, Guo JH, Wei XJ. Study on extraction of *Lycium barbarum* polysaccharides by bi-enzymatic method [J]. Farm Mach, 2011, (32): 166–169.
- [52] 吴素萍, 徐建宁. 酶法提取枸杞多糖的研究[J]. 食品科技, 2007, 32(8): 114–117.
- Wu SP, Xu JN. Study on extraction of *Lycium barbarum* polysaccharides by water enzymatic method [J]. Food Sci Technol, 2007, 32(8): 114–117.
- [53] 张娇. 枸杞中水溶性多糖的提取工艺研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- Zhang J. Studies on extraction progress of the water-soluble polysaccharides in *Lycium barbarum* [D]. Tianjin: Tianjin University, 2012.
- [54] 于翠芳, 朱英莲, 王世清. 复合酶法提取枸杞多糖工艺[J]. 食品研究与开发, 2014, 35 (4): 40–43.
- Yu CF, Zhu YL, Wang SQ. Study on extraction of *Lycium barbarum* polysaccharides by compound enzymes method [J]. Food Res Dev, 2014, 35(4): 40–43.
- [55] 李阳, 赵春玲, 王晓晓, 等. 酶法提取枸杞多糖的工艺研究[J]. 广州化工, 2014, 42(20): 59–60, 65.
- Li Y, Zhao CL, Wang XX, et al. Study on extraction of *Lycium barbarum* polysaccharides by enzymatic method [J]. Guangzhou Chem Ind, 2014, 42(20): 59–60, 65.
- [56] 汪焕林, 曹长年, 汪世昊, 等. 酶法提取格尔木枸杞中多糖工艺的研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(1): 304–306.
- Wang HL, Cao CN, Wang SH, et al. Study on technique of extracting polysaccharide from Golmud *Lycium barbarum* with enzymatic method [J]. J Anhui Agric Sci, 2013, 41(1): 304–306.
- [57] 王岩岩, 陈东海, 车烈权, 等. 纤维素酶提取枸杞多糖及工艺优化[J]. 食品科技, 2007, 32(3): 104–106.
- Wang YY, Chen DH, Che LQ, et al. Process optimization and extraction of *Lycium barbarum* polysaccharides by cellulase [J]. Food Sci Technol, 2007, 32(3): 104–106.

(责任编辑: 姚 菲)

作者简介



田晓静, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品、农产品品质检测。
E-mail: smile_tian@yeah.net

陈士恩, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为食品安全与品质控制。
E-mail: chshien@163.com