

酶解辅助水蒸汽蒸馏法提取紫枝玫瑰精油工艺研究

沈丹彤¹, 李黎明¹, 薛慧君², 杨 柳^{3*}

1.北京市二十中学, 北京 100085;

2.北京师范大学附属实验中学, 北京 100032;

3.北京农学院植物科学技术学院, 北京 102206

摘 要: 为了优化酶解法辅助水蒸汽蒸馏法提取紫枝玫瑰精油的工艺, 筛选出了能够有效提高精油香气主成分含量及精油提取率的果胶酶和纤维素酶, 通过单因素试验, 探索酶用量、酶解温度、酶解 pH 对玫瑰精油香气主成分及精油提取率的影响, 在此基础上, 利用正交分析, 确定酶解-水蒸汽蒸馏法提取紫枝玫瑰精油的最佳工艺条件为: 添加果胶酶和纤维素酶的复合酶体系, 酶用量 3 000 U/g, 酶解温度 50℃, 酶解 pH 5.5。采用此工艺条件, 紫枝玫瑰精油的提取率是 0.243 9%。

关键词: 紫枝玫瑰; 精油; 酶解辅助水蒸汽蒸馏法

DOI: 10.3969/j.issn.2095-2341.2017.02.14

Extraction of Essential Oil from *Rosa rugosa* Zizhi Using Enzymatic Hydrolysis-hydro Distillation

SHEN Dantong¹, LI Liming¹, XUE Huijun², YANG Liu^{3*}

1.Beijing No. 20 High School, Beijing 100085, China;

2.The Experimental High School Attached to Beijing Normal University, Beijing 100032, China;

3.Plant Science and Technology College, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China

Abstract: The process was optimized for extracting essential oil from *Rosa rugosa* by the enzymatic hydrolysis-hydro distillation in this investigation. In comparison with steam distillation method, extraction rate of essential oil and contents of main components in essential oil could be increased by the pectinase and cellulose extraction method. The effects of factors including enzymolysis temperature, concentration of enzymes and enzymolysis pH on the extraction yields of essential oil and contents of main components in essential oil were explored by single-factor and orthogonal test. The optimal extraction conditions were as follows: with enzyming pretreatment, enzymatic concentration was 3 000 U/g, enzymolysis temperature was 50℃, enzymolysis pH was 5.5, of which the extraction yield was 0.243 9%.

Key words: *Rosa rugosa* Zizhi; essential oil; enzymatic hydrolysis-hydro distillation

《食物本草》、《药性考》等中医药书籍中, 对玫瑰均有研究和记载。紫枝玫瑰^[1] (*Rosa rugosa*) 是山刺玫与平阴玫瑰的杂交后代, 具有三季开花、花形大、香味浓郁、抗性强等特点, 是集观赏、药用、食用于一身的花木, 我国南北方均有大面积种植。

玫瑰精油具有美容养颜、抗氧化^[2]、抑菌抗

菌^[3]、消除焦虑^[4]、调节内分泌^[5]等功效。玫瑰精油的提取方法有: 蒸馏法、榨取法、吸附法、萃取法和浸泡法等^[6~17]。最常用的紫枝玫瑰精油的提取方法是水蒸汽蒸馏法^[18], 但该法得率较低 (0.2%左右)。前人对生姜^[19]、桔皮^[20]、松针^[21]、椴柑^[22]、紫薯^[23]、迷迭香^[24] 和山杏^[25] 等研究表明, 酶法辅助水蒸汽蒸馏法提取次生代谢产

收稿日期: 2016-12-07; 接受日期: 2017-01-12

基金项目: 北京青少年科技创新学院基地建设工程资助。

作者简介: 沈丹彤, 高中生。Tel: 010-60600300, E-mail: nkygxx@sohu.com。* 通信作者: 杨 柳, 高级实验师, 主要研究植物次生代谢物质的提取及成分分析。Tel: 010-80799470, E-mail: yangliu@sohu.com

物,具有提取时间短、有效成分破坏少和得率较高的优点。

本试验在水蒸汽蒸馏法的基础上,筛选出能够有效提高紫枝玫瑰精油香气主成分^[26,27](香茅醇和香叶醇)含量及精油提取率的酶,并研究酶解温度、酶解 pH、酶用量对香气主成分含量及精油提取率的影响,得到酶法提取紫枝玫瑰精油的适宜工艺条件,为更好的利用紫枝玫瑰精油,推进酶法提取紫枝玫瑰精油技术在生产中的应用提供实验基础和技术依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

试验样品为 2015 年 7 月采自北京市房山区半壁店村种植的玫瑰,品种为紫枝玫瑰(*Rosa rugosa*),从玫瑰植株中随机选取初露花蕊的玫瑰花,采下后放入洗净的干燥广口瓶中带回。

纤维素酶(AMRESCO,美国)、木聚糖酶(AMRESCO,美国)、果胶酶(AMRESCO,美国)、 β -葡聚糖酶(AMRESCO,美国)。超纯水自制,氯仿为色谱纯,其他试剂为分析纯。

1.2 主要仪器

恒温培养箱(上海一恒科技有限公司);超纯水系统(北京佰亿新创科技有限公司,型号 UNIQUE-R20);超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司,型号 KQ-500DB);旋转蒸发器;氮吹仪;气质联用仪(Agilent 6890N,美国)。

1.3 方法

1.3.1 样品处理 去除花托,将花瓣混合。称取 200 g 玫瑰花,放入广口瓶中,加氯化钠 240 g,加水 1 200 mL,加酶,搅匀,适当温度及适当 pH 条件下酶解 12 h 后,放入蒸馏装置中,氯仿萃取,保持微沸 3 h 后停止加热,冷却后氮吹仪定量至 10 mL,用气质联用仪测定精油主成分,每个样品检测 3 次。试验中以不加酶的样品作为对照。

1.3.2 玫瑰精油成分分析条件^[28] 升温程序:35℃ 5 min;10℃/min 升温至 45℃,保持 5 min;5℃/min 升温至 250℃,保持 10 min。

质谱条件:进样口温度:280℃;载气:高纯氮气;流速:1 mL/min;分流比 50:1;接口温度:280℃;离子源温度:230℃;四级杆温度:150℃;电

离方式:EI;电子能量:70 eV;调谐方式:标准调谐;溶剂延迟:3 min。

1.3.3 香气主成分含量及精油提取率的计算方法 采用气质联用仪检测获得的精油,得到总离子流图。两个精油香气的主成分香茅醇和香叶醇经面积归一法测定其相对含量。精油提取率(%)=1-氯仿相对含量。

1.3.4 单因素试验条件和正交试验设计 ①酶的筛选。以不加酶的样品作为对照,样品处理过程如上所述,酶解温度 50℃、pH 5.5、酶用量 1 000 U/g;②考察酶用量影响。样品处理过程如上所述,酶解温度 50℃、pH 5.5,酶用量分别为:1 000 U/g、2 000 U/g、3 000 U/g;③考察酶解温度影响。样品处理过程如上所述,酶用量 1 000 U/g、pH 5.5,酶解温度分别为:45℃、50℃、55℃;④考察酶解 pH 影响。样品处理过程如上所述,酶用量 1 000 U/g、酶解温度 50℃,酶解 pH 分别为:3.5、4.5、5.5。在此基础上设定 L9 正交设计试验的考察因素与水平,如表 1。

表 1 正交试验设计因素水平表
Table 1 Factors and levels of orthogonal test.

水平	酶用量(U/g)	酶解温度(℃)	酶解 pH
1	1 000	45	3.5
2	1 000	50	4.5
3	1 000	55	5.5
4	2 000	45	5.5
5	2 000	50	3.5
6	2 000	55	4.5
7	3 000	45	4.5
8	3 000	50	5.5
9	3 000	55	3.5

2 结果与分析

2.1 酶的筛选

植物细胞壁的主要成分是果胶质、纤维素、半纤维素和葡聚糖等,其中半纤维素的主要成分又是木聚糖。表 2 的结果表明,果胶酶和纤维素酶的精油提取率和主成分含量均显著高于对照,这说明两种酶可以有效地破坏玫瑰花瓣的细胞壁与细胞间质,促使胞内物质快速扩散溶出,从而提高了精油的提取率,同时又保持了精油香气主成分

的有效活性。木聚糖酶是一类降解木聚糖的酶系,包括 β -1,4-内切木聚糖酶、 β -木糖苷酶、 α -L-阿拉伯糖苷酶、 α -D-葡萄糖苷酸酶、乙酰基木聚糖酶和酚酸酯酶。从表 2 的结果可以看出,添加木聚糖酶对玫瑰花瓣进行生物降解,与不加酶的对照相比,精油的提取率并未达到显著水平,但是,精油香气主成分香茅醇的含量显著高于对照。添加 β -葡聚糖酶的样品与不加酶的对照相比,精油提取率和主成分含量均未达到显著水平。

表 2 不同酶解辅助水蒸汽蒸馏法获得的精油提取率及其主要成分的含量

Table 2 Extraction rate and contents of main components in essential oil extracted by different enzymes.

酶	香茅醇(%)	香叶醇(%)	精油提取率(%)
果胶酶	11.100 a	3.205 a	0.239 a
纤维素酶	10.687 a	2.017 a	0.218 a
木聚糖酶	10.248 a	1.591 b	0.156 b
β -葡聚糖酶	9.626 b	1.214 b	0.135 b
CK	8.682 b	1.406 b	0.119 b

注:同列数据后的不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

结果说明生物酶解技术辅助水蒸汽蒸馏法能更有效的提取紫枝玫瑰精油,精油提取率比水蒸汽蒸馏法(CK)提高了 0.016%~0.120%,主成分香茅醇的含量提高为 0.944%~2.418%,香叶醇的含量提高为 0.185%~1.799%。以精油提取率为主要指标,从经济成本角度考虑,本试验选定果胶酶和纤维素酶的复合酶体系辅助水蒸汽蒸馏法提取紫枝玫瑰精油,进一步通过单因素和正交试验分析其最优的工艺条件。

2.2 各影响因素对紫枝玫瑰精油主成分的影响

2.2.1 酶用量的影响 在酶解温度 50℃、pH 5.5 条件下,选择不同的酶用量进行试验,计算精油中主成分的含量和提取率(表 3)。总的来看,2 000 U/g 的酶用量提取精油时,主成分的含量和提取率均低于 1 000 U/g 和 3 000 U/g。针对精油提取率和香茅醇而言,酶用量 3 000 U/g 略优于 1 000 U/g,而对香叶醇来说,则是酶用量 1 000 U/g 略优于 3 000 U/g,但是在 $P<0.05$ 水平上均无显著差异。

2.2.2 酶解温度的影响 在酶用量 1 000 U/g、pH 5.5 条件下,选择不同的酶解温度进行试验,

表 3 不同酶用量对精油提取率及其主要成分含量的影响

Table 3 Extraction rate and contents of main components in essential oil extracted with different concentration of enzymes.

酶用量(U/g)	香茅醇(%)	香叶醇(%)	精油提取率(%)
1 000	12.589 a	1.410 a	0.184 a
2 000	10.300 b	1.064 b	0.141 b
3 000	12.933 a	1.271 a	0.187 a

注:同列数据后的不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上存在显著差异。

计算精油中主成分的含量(表 4)。从表 4 的结果可以看出,对于精油提取率和两种精油主成分的含量,酶解最适温度均为 50℃。

表 4 不同酶解温度对精油中主要成分含量的影响

Table 4 Extraction rate and contents of main components in essential oil extracted in different temperature.

酶解温度(℃)	香茅醇(%)	香叶醇(%)	精油提取率(%)
45	11.161 b	1.256 a	0.165 b
50	13.401 a	1.346 a	0.183 a
55	11.261 b	1.143 b	0.163 b

注:同列数据后的不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2.3 酶解 pH 的影响 在酶用量 1 000 U/g、酶解温度 50℃条件下,选择不同的酶解 pH 进行试验,计算精油中主成分的含量(表 5)。从表 5 的结果可以看出,对于两种精油主成分的含量,要求的最适 pH 不同,香茅醇的最适酶解 pH 是 3.5,其次是 5.5,而香叶醇在不同酶解 pH 条件下没有显著差异。对于精油提取率而言,pH 3.5 最适,且与其他两个 pH 比较达到 $P<0.05$ 水平显著差异。

表 5 不同 pH 对精油提取率及其主要成分含量的影响

Table 5 Extraction rate and contents of main components in essential oil extracted with different pH.

pH	香茅醇(%)	香叶醇(%)	精油提取率(%)
3.5	12.563 a	1.254 a	0.205 a
4.5	11.116 b	1.218 a	0.156 b
5.5	12.143 a	1.274 a	0.177 b

注:同列数据后的不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 正交试验确定最佳工艺条件

在单因素试验的基础上,以酶用量、酶解温度、酶解 pH 3 个因素为变量,根据文献选取变量的梯度,设计 3 因素 3 水平正交试验,结果如表 6。

表 6 正交试验结果
Table 6 Results of orthogonal test.

试验号	酶用量 (A)	酶解温度 (B)	酶解 pH (C)	精油提 取率(%)
1	1 000	45	3.5	0.208 5
2	1 000	50	4.5	0.181 8
3	1 000	55	5.5	0.167 7
4	2 000	45	5.5	0.172 5
5	2 000	50	3.5	0.129 9
6	2 000	55	4.5	0.117 5
7	3 000	45	4.5	0.116 8
8	3 000	50	5.5	0.243 9
9	3 000	55	3.5	0.206 2
K1	0.558 0	0.497 8	0.544 6	
K2	0.419 9	0.555 6	0.416 1	
K3	0.566 9	0.491 4	0.587 1	
k1	0.186 0	0.165 9	0.181 5	
k2	0.140 0	0.185 2	0.138 7	
k3	0.189 0	0.163 8	0.195 7	
R ²	0.147 0	0.064 2	0.171 0	

由表 6 可知,根据权重的大小判断,3 个因素对精油提取率影响的顺序为:酶解 pH>酶用量>酶解温度。因素 A₃、B₂、C₃的权重最大,正交试验的最优组合为 A₃B₂C₃,即:酶用量 3 000 U/g、酶解温度 50℃、酶解 pH 5.5。在这个最佳工艺条件下,紫枝玫瑰精油的提取率为 0.243 9%。

3 讨论

紫枝玫瑰是我国具有自主知识产权的品种,目前全国各地均有种植,其中以华北、西北地区为主。本研究从其花中提取出的玫瑰精油含有大约 100 种化学成分,造就其玫瑰花香的主体成分是香茅醇和香叶醇,还有少量的芳樟醇、β-苯乙醇、橙花醇及它们的酯类,未检测到金合欢醇。这一结论与甘肃苦水玫瑰^[29]、新疆玫瑰^[30]、北京妙峰山玫瑰^[31]一致。香茅醇具有清香、花香、柑橘香、

玫瑰香的香气特征,香叶醇具有甜的花香、木香、青香、柑橘香、柠檬香的香气特征,香茅醇和香叶醇的含量越高,香气越甜^[32]。

玫瑰精油的提取方法有水蒸汽蒸馏法、有机溶剂萃取法和超临界流体萃取法。溶剂萃取法存在溶剂残留问题,超临界流体萃取法不仅成本较高,而且萃取的主要是酯类,严重破坏了精油的香气^[33],因此工业生产中更青睐采用水蒸汽蒸馏法。但是水蒸汽蒸馏法的精油得率较低,受各种因素的影响,每公斤精油的花瓣耗用量主要在 2~5 t 之间波动(即精油提取率一般为 0.2‰~0.5‰)。

精油成分存在于花瓣的细胞中,为了更有效的提取精油,可以利用物理手段(超声、微波等)和化学方法(酶解)破除细胞壁。植物细胞壁的主要成分是多糖(纤维素、果胶质、半纤维素和木质素等)、蛋白质和类脂。利用纤维素酶、半纤维素酶、果胶酶、蛋白酶等生物酶能够在温和的条件下特异性的降解细胞壁成分,从而将细胞内活性成分充分释放出来。在国内外有关复合酶解辅助水蒸汽蒸馏法提取玫瑰精油的研究少有报道。本试验借鉴了地木耳^[34]、茶^[35]、龙眼^[36]、陈皮^[37]、关黄柏^[38]、广藿香^[39]、金芪^[40]、山药^[41]、土茯苓^[42]、青梅^[43]、牡丹^[44]、茶树菇^[45]、西洋参^[46]等利用酶解辅助水蒸汽蒸馏法提取次生代谢产物的经验,充分发挥了酶法辅助水蒸汽蒸馏法提取次生代谢产物得率较高、有效成分破坏少、提取时间短的优点,在摸索出的最佳工艺条件为:采用果胶酶和纤维素酶的复合酶体系,酶用量 3 000 U/g、酶解温度 50℃、酶解 pH 5.5,该条件下紫枝玫瑰精油的提取率达到了 0.243 9%。

参 考 文 献

[1] 孙繁霞. 玫瑰家庭新成员——紫枝玫瑰[J]. 农村实用科技信息,2007, 1: 16.

[2] 牛淑敏, 朱颂华, 李 巍, 等. 中药材玫瑰花抗氧化及作用机制的研究[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2004, 37(2): 29-33.

[3] 李玉杰, 刘晓蕾, 刘 霞, 等. 玫瑰精油的化学成分及其抗菌活性[J]. 植物研究, 2009, 29(4): 488-491.

[4] 贾佼佼, 苗明三. 玫瑰花的化学、药理及应用分析[J]. 中医学报, 2014, 29(9): 1337-1338, 1350.

[5] Toyoshi U, Hiroyasu I, Kimiyo N. Anti-conflict effects of rose oil and identification of its active constituents[J]. Life Sci., 2002, 72(1): 91-102.

[6] 余 峰, 张 彬, 周 武, 等. 玫瑰精油的提取和理化性质分析

- [J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24: 784-789, 807.
- [7] 牛晓娜, 刘宁, 莫世彬, 等. 植物精油的新型提取工艺及其研究进展[J]. 中国洗涤用品工业, 2013(4): 80-82.
- [8] 薛晓丽. 超临界 CO₂ 萃取玫瑰精油的优化工艺研究[J]. 江苏农业科学, 2010(2): 307-309.
- [9] 王晓霞, 魏杰, 刘劲芸, 等. 云南食用玫瑰精油化学成分的 GC/MS 分析及其应用研究[J]. 云南大学学报, 2011, 33(S2): 414-417.
- [10] 刘雷, 何江, 唐洪波, 等. 引种大马士革 III 玫瑰精油化学成分研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(11): 3372-3373.
- [11] 虞依林. 玫瑰活体香气和花水成分及含量变化研究[D]. 上海: 上海交通大学, 硕士学位论文, 2012.
- [12] 应丽亚. 玫瑰精油化学成分及其功能性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 硕士学位论文, 2012.
- [13] 李延辉, 魏杰, 刘劲芸, 等. 超临界 CO₂ 萃取玫瑰精油的优化工艺研究[J]. 江苏农业科学, 2010(2): 307-309.
- [14] 王晓霞, 薛晓丽, 于连贵, 等. 长白山玫瑰精油化学成分的分析[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(9): 65-68.
- [15] 王慧英, 王金亭. 玫瑰精油的研究与应用现状[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(10): 5-9.
- [16] 滕祥金, 郝再彬, 孟滕, 等. 玫瑰精油的开发利用[J]. 北方园艺, 2011(7): 172-173.
- [17] 王多宁. 玫瑰花的综合利用及开发前景[J]. 黑龙江农业科学, 2010(1): 117-120.
- [18] 张海云, 吕传润, 孟宪水, 等. 新品种丰花玫瑰与紫枝玫瑰出油率及成分的探讨[J]. 香料香精化妆品, 2009, 4(2): 11-16.
- [19] 李晓, 刘艳芳. 酶法提取生姜精油的研究[J]. 中国调味品, 2009, 12(34): 67-69.
- [20] 王建美, 罗玲环, 吴梦霞, 等. 酶解-水蒸汽蒸馏法提取桔皮精油的工艺研究[J]. 金华职业技术学院学报, 2013, 13(6): 86-89.
- [21] 刘晓庚, 鞠兴荣, 茆旭东, 等. 酶法提取松针精油的实验室研究[J]. 林产化学与工业, 2005, 25(3): 112-114.
- [22] 欧阳辉, 余估, 张永康, 等. 酶法辅助提取湘西椴柑皮精油的工艺优化研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(6): 152-154.
- [23] 李继伟, 余思敏, 李倩, 等. 酶法辅助提取紫薯中花青素的研究[J]. 应用化工, 2016, 45(9): 1646-1649.
- [24] 黄丹丹, 沈奇, 朱秋劲, 等. 响应面法优化酶法辅助提取迷迭香酸工艺及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2016(14): 37-42.
- [25] 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(10): 69-75.
- [26] Zhou X S. Extraction of essential oil from ku-shui rose and component analysis by GC/MS[J]. Sci. Technol. Food Ind., 2009, 11: 226-229.
- [27] Feng L G. Comparative analysis of head space volatile of Chinese *Rosa rugosa*[J]. Molecules, 2010, 15: 8390-8399.
- [28] 杨柳, 崔亚宁, 刘松, 等. 大马士革玫瑰 1 号精油香气成分的分析[J]. 北京农学院学报, 2015, 30(3): 19-23.
- [29] 周围, 周小平, 赵国宏, 等. 中国苦水玫瑰油香气成分的研究[J]. 色谱, 2002, 20(6): 560-564.
- [30] 徐金玉, 杜鹃, 张晓敏, 等. GC/MS 分析新疆玫瑰精油化学成分[J]. 浙江化工, 2006, 37(3): 3-4.
- [31] 吴承顺, 汪沂, 赵德修, 等. 玫瑰芳香油主要化学成分研究[J]. 植物学报, 1985, 27(5): 510-515.
- [32] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003, 90-99.
- [33] 程劫, 谢建春, 孙宝国. 国产玫瑰精油的化学成分及香气特征[J]. 中国食品添加剂, 2007(5): 66-70.
- [34] 李让, 鲁军, 陈剑婷, 等. 超声波辅助溶菌酶酶解提取地木耳蛋白质工艺优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 237-241.
- [35] 谢蓝华, 肖南, 张嘉怡, 等. 复合酶解辅助乙醇提取茶多酚工艺研究[J]. 茶叶科学, 2013, 33(1): 27-33.
- [36] 易阳, 张名位, 廖森泰, 等. 龙眼多糖超声波-酶解辅助提取工艺优化[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 131-136.
- [37] 宁娜, 韩建军, 薛东芳, 等. 酶解辅助提取陈皮中橙皮苷的工艺优化[J]. 中国兽药杂志, 2016, 50(3): 24-29.
- [38] 林静, 高卫真, 李卓燕, 等. 酶解辅助提取关黄柏生物碱的工艺研究[J]. 天津医科大学学报, 2012, 18(3): 388-391.
- [39] 于敬, 齐悦, 罗刚, 等. 酶解辅助提取广藿香挥发油成分分析与抗肿瘤活性初探[J]. 中药材, 2012, 35(5): 796-799.
- [40] 南楠, 宁娜, 孟利娜, 等. 酶解辅助提取金芪降糖片中生物碱的工艺研究[J]. 中成药, 2014, 36(1): 192-195.
- [41] 董义, 沈才洪, 曾里, 等. 酶解辅助提取山药多糖的研究[J]. 河南工业大学学报, 2015, 36(3): 56-60.
- [42] 任倩, 李志平, 杨朝霞, 等. 酶解辅助乙醇法提取土茯苓总黄酮条件研究[J]. 生命科学仪器, 2011(9): 46-48.
- [43] 鲁旺旺, 杜冰, 温升南, 等. 酶解辅助乙醇浸提法提取青梅中的有机酸[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 63-67.
- [44] 孟庆焕, 祖元刚, 王化, 等. 酶解辅助乙醇提取牡丹种皮中的木犀草素[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(6): 133-138.
- [45] 姜宁, 刘晓鹏, 肖强, 等. 木瓜蛋白酶酶解辅助提取茶树菇多糖的研究[J]. 中国酿造, 2012, 31(1): 119-122.
- [46] 吴宪玲, 于晓红, 刘涛, 等. 响应面法优化西洋参多糖的酶解辅助提取工艺[J]. 食品工业, 2016, 37(1): 118-122.