

植物乳杆菌发酵提取未成熟琯溪蜜柚果实果胶工艺优化

Optimization of pectin extraction from immature fruits of Guanxi pomelo by *Lactobacillus plantarum* fermentation

丁红霞¹ 杨远帆^{1,2,3} 黄淑安¹ 倪 辉^{1,2,3}

DING Hongxia¹ YANG Yuanfan^{1,2,3} HUANG Shuan¹ NI Hui^{1,2,3}

(1. 集美大学海洋食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省食品微生物与酶工程重点实验室, 福建 厦门 361021; 3. 厦门市食品生物工程技術研究中心, 福建 厦门 361021)

(1. College of Ocean Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Food Microbiology and Enzyme Engineering, Xiamen, Fujian 361021, China; 3. Research Center of Food Biotechnology of Xiamen City, Xiamen, Fujian 361021, China)

摘要:目的:利用植物乳杆菌发酵未成熟琯溪蜜柚果实提取果胶,并分析植物乳杆菌发酵提取果胶的性质。方法:以果胶提取率为指标,采用正交试验优化植物乳杆菌发酵未成熟琯溪蜜柚果实提取果胶的工艺条件,并测定果胶的半乳糖醛酸含量、酯化度、蛋白质、持水性、持油性、乳化活性以及乳化稳定性。结果:植物乳杆菌发酵未成熟琯溪蜜柚果实提取果胶的最佳工艺条件为发酵温度37℃、植物乳杆菌发酵接种量14%、液料比25:1(mL/g)、发酵时间12 h。此条件下未成熟琯溪蜜柚果胶提取率为11.60%;果胶的半乳糖醛酸含量、酯化度、蛋白质、持水性、持油性、乳化活性以及乳化稳定性分别为26.13%、68.58%、1.57%、0.53 g/g、7.01 g/g、14.33%和33%。结论:植物乳杆菌发酵提取的果胶提取率与酸法工艺的相似,所得果胶为高酯化度果胶,且应用性质良好。

关键词:琯溪蜜柚;果胶;植物乳杆菌;发酵;提取率

Abstract: Objective: This study aimed to optimize the pectin extraction yield from immature fruits of Guanxi pomelo by *L. plantarum* fermentation and analysis of the properties of pectin extracted by *L.s plantarum* fermentation. Methods: Taking the extraction yield of pectin as the index, orthogonal test was used to optimize the process conditions of fermentation of immature fruits of Guanxi pomelo by *L. plantarum*, and the content of galacturonic acid, degree of esterification, protein, water-holding

capacity, oil-holding capacity, emulsifying activity and emulsion stability of pectin were determined. Results: The optimal conditions for fermentation of immature fruits of Guanxi pomelo by *L. plantarum* were as follows: fermentation temperature of 37℃, *L. plantarum* fermentation inoculum of 14%, liquid-solid ratio of 25:1(mL/g), and fermentation time of 12 h. Under the control of these conditions, the extraction yield of pectin was 11.60%, and the content of galacturonic acid; the degree of esterification, protein, water-holding capacity, oil-holding capacity, emulsifying activity and emulsion stabilities were about 26.13%, 68.58%, 0.53 g/g, 7.01 g/g, 14.33% and 33%, respectively. Conclusion: The extraction yield of pectin extracted by fermentation of *L. plantarum* was similar to that of the acid process, and the obtained pectin was highly esterified pectin with good application properties.

Keywords: Guanxi pomelo; pectin; *Lactobacillus plantarum*; fermentation; extraction yield

柚类水果是中国南方广泛种植的水果之一。其中,琯溪蜜柚是福建省平和县种植量最大的水果之一。自2015年以来,琯溪蜜柚年产量超过120万t,年出口量超过14万t^[1]。在柚类水果种植过程中会有大量未成熟柚类果实(immature pomelo fruit, IPF)产生,约占柚类水果总生产量的20%~50%^[2]。这些残次果不仅造成巨大的资源浪费,还会污染环境。有研究表明,IPF中含有较高的精油^[3]和果胶^[4]。其中,果胶是一种存在于植物组织中的复合杂多糖,因具有独特的凝胶特性被广泛应用于食品、药品等领域,这可能是未成熟柚类果实潜在的有效

基金项目:福建省科技厅引导性项目(编号:2021N0015)

作者简介:丁红霞,女,集美大学在读硕士研究生。

通信作者:杨远帆(1971—),女,集美大学教授,博士。

E-mail: yuanfan@jmu.edu.cn

收稿日期:2023-04-26 改回日期:2023-11-13

利用途径。

目前,工业上主要采用酸碱法进行果胶提取,但酸碱溶液易腐蚀提取设备,并对环境产生不利影响^[5]。研究表明,酵母菌^[6]、乳酸菌^[7]、曲霉^[8]等微生物同样可以用于植物果胶提取。发酵法提取果胶是利用微生物代谢产生的酶和酸类物质破坏植物细胞壁,从而释放出果胶类物质^[9],具有反应条件温和、耗能低、环境污染低等优点^[10]。从目前来看,有关微生物发酵法提取果胶的研究尚未应用到柚类水果的未成熟果实中。乳酸菌在发酵过程中会产生乳酸等酸性物质^[11],酸性物质可将植物中非可溶性果胶转化为可溶性果胶,从而促进果胶的溶出^[12],同时,乳酸菌在发酵时会产生果胶酶,也可有效促进植物组织中的果胶提取^[13-14]。此外,植物乳杆菌等乳酸菌发酵提取的果胶多糖具有较好的结构和理化性质^[15]。

研究拟以果胶提取率为指标,对植物乳杆菌发酵未成熟琯溪蜜柚果实提取果胶的工艺参数(接种量、发酵时间及液料比)进行优化,并分析植物乳杆菌发酵提取果胶的性质,旨在为利用未成熟柚类果实生产果胶提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

未成熟琯溪蜜柚果实:未成熟琯溪蜜柚果实切片后于 60 ℃ 烘干、粉碎,过 60 目筛备用,福建省平和县农业技术推广站;

乳酸菌菌粉:含有 1×10^{10} CFU/g 的植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*),山东中科嘉亿生物工程有限公司;

MRS 肉汤:广东环凯微生物科技有限公司;

浓硫酸、无水乙醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

咪唑:分析纯,上海麦克林生化科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

电子天平:ME104E/02 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

酶标仪:Epoch 2 T 型,美国伯腾公司;

生化培养箱:ZWYR-2102 型,上海智城分析仪器制造有限公司;

双人单面超净工作台:SW-CJ-2FD 型,苏州净化设备有限公司;

立式压力蒸汽灭菌器:YXQ-LS-30SH 型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂。

1.3 试验方法

1.3.1 果胶提取工艺 精确称取一定量的原料与蒸馏水混合后装入三角瓶中,用 16 层纱布及牛皮纸封口,121 ℃ 灭菌 15 min。将植物乳杆菌粉于 MRS 肉汤培养液中 37 ℃ 活化,制得植物乳杆菌悬浮菌液,按照一定的接种量

(以体积量计)接种到灭菌的原料中,混匀,37 ℃ 静置发酵一定时间。

1.3.2 单因素试验

(1) 接种量:固定发酵时间 24 h,液料比 20 : 1 (mL/g),分别选取接种量为 8%,10%,12%,14%,16%(以体积量计)进行试验,确定最佳接种量。

(2) 发酵时间:固定接种量 12%,液料比 20 : 1 (mL/g),分别选取发酵时间为 12,24,36,48,60 h 进行试验,确定最佳发酵时间。

(3) 液料比:固定接种量 12%,发酵时间 24 h,分别选取液料比为 10 : 1,15 : 1,20 : 1,25 : 1,30 : 1 (mL/g) 进行试验,确定最佳液料比。

1.3.3 正交试验设计 在单因素试验基础上,以果胶提取率为考察指标,对接种量、发酵时间和液料比进行三因素三水平正交试验,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验进一步优化 IPF 果胶提取工艺参数。

1.3.4 果胶提取率测定 采用硫酸咪唑比色法^[16]。以吸光度为纵坐标,半乳糖醛酸标准溶液质量浓度为横坐标,绘制标准曲线 $y = 0.0064x + 0.0059$, $R^2 = 0.9969$,并按式(1)计算果胶提取率。

$$Y = \frac{c \times 10 \times m_1}{M \times m_2 \times 10^6} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

Y——果胶提取率,%;

c——标准曲线上的半乳糖醛酸质量浓度, $\mu\text{g/mL}$;

m_1 ——烘干的果胶质量,g;

m_2 ——称取的果胶样品质量,g;

M——样品质量,g。

1.3.5 理化指标测定

(1) 酯化度:参照 Silva 等^[17]的方法并修改。取 0.1 g 样品加少量无水乙醇湿润后溶于 20 mL 蒸馏水中,35 ℃ 水浴 2 h,用 0.1 mol/L NaOH 调 pH 至 8.2,加入 10 mL 0.1 mol/L NaOH 溶液静置 2 h,加入 10 mL 0.1 mol/L HCl 溶液,用 0.1 mol/L NaOH 调 pH 至 8.2,按式(2)计算果胶酯化度。

$$R = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

R——酯化度,%;

V_1 ——第一次滴定 NaOH 溶液消耗体积,mL;

V_2 ——第二次滴定 NaOH 溶液消耗体积,mL。

(2) 持水性和持油性:参照 Saeidy 等^[18]的方法并修改。取 0.1 g 样品于离心管中,加入 20 mL 蒸馏水(或 10 mL 花生油),混匀搅拌 1 min,8 000 r/min 离心 10 min,除去上清液,记录离心管与样品总质量,按式(3)计算持水性和持油性。

$$X_1 = \frac{m_3 - m_2}{m_1}, \quad (3)$$

$$X_2 = \frac{m_4 - m_5}{m_1}, \quad (4)$$

式中:

X_1 ——持水力, g/g;

X_2 ——持油力, g/g;

m_1 ——样品质量, g;

m_2 ——样品吸水前质量, g;

m_3 ——样品吸水后质量, g;

m_4 ——样品吸油前质量, g;

m_5 ——样品吸油后质量, g。

(3) 蛋白质含量;参照 Aklilu 等^[19]的方法。

(4) 乳化性和乳化稳定性;参照 Saeidy 等^[18]的方法。

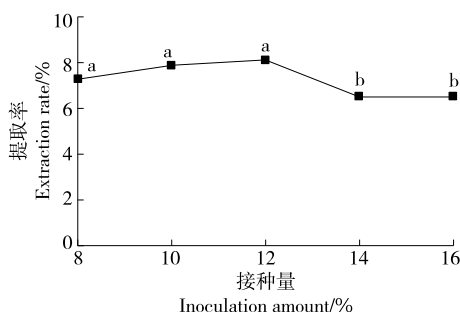
1.4 数据处理

所有试验均重复 3 次,采用 Excel 和 SPSS 19.0 软件对数据进行处理及制图。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 接种量对果胶提取率的影响 由图 1 可知,随着植物乳杆菌接种量的增加,果胶提取率呈先上升后下降再逐渐趋于平缓的趋势。当接种量为 12% 时,果胶提取率达最大(8.10%)。继续增大接种量,果胶提取率下降,可能是接种量过多,发酵底物中的营养物质被消耗殆尽,不足以维持菌种生长、产酶及产酸,从而导致果胶提取率下降^[20]。因此,接种量取 12% 左右进行正交试验。

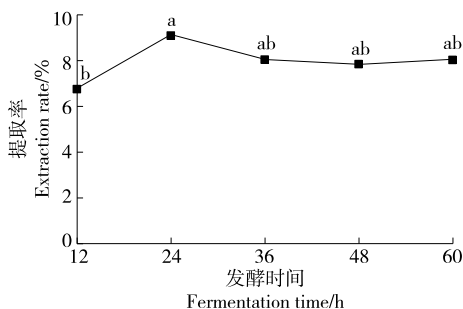


字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 1 接种量对果胶提取率的影响

Figure 1 Effects of inoculation amount on the yield of pectin

2.1.2 发酵时间对果胶提取率的影响 由图 2 可知,发酵初期,果胶提取率随发酵时间的延长有一定增加,发酵至 24 h 时果胶提取率(9.08%)达最大;随后果胶提取率趋于平稳。在乳酸菌发酵提取贡水白柚皮膳食纤维中也存在类似现象^[21],可能是发酵初期乳酸菌产生了一定量的酶和酸,促进果胶释放,而 24 h 后发酵底物中营养物质



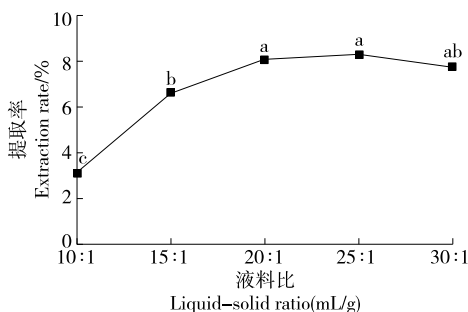
字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 2 发酵时间对果胶提取率的影响

Figure 2 Effects of fermentation time on the yield of pectin

逐渐被消耗,菌种生长及产酸能力下降,从而导致果胶提取率下降^[22-23]。因此,发酵时间取 24 h 左右进行正交试验。

2.1.3 液料比对果胶提取率的影响 由图 3 可知,随着液料比的增加,果胶提取率呈先上升后趋于平稳的趋势。当液料比 $> 20:1$ (mL/g) 时,果胶提取率稳定在 8.31% 左右。植物乳杆菌发酵过程中,会产生一定量的酶和酸,随着液料比的增加,发酵液中各营养物质将达到最适发酵浓度,促进酶与酸的产生,从而增强与柚子果实的作用,果胶提取率提高;但液料比增加到一定程度时,发酵液中的酸与酶对柚子果实的作用达到平衡,增加液料比,果胶提取率不会再增加^[22]。因此,液料比取 25:1 (mL/g) 左右进行正交试验。



字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 3 液料比对果胶提取率的影响

Figure 3 Effects of liquid-solid ratio on the yield of pectin

2.2 正交优化试验

根据单因素试验结果,选择合适的参数范围进行正交试验优化,试验因素水平见表 1,试验设计及结果见表 2。

由表 2 可知,最佳的发酵条件为接种量 14%,液料比 25:1 (mL/g),发酵时间 12 h;各因素对果胶提取率的影响由大到小依次为液料比 $>$ 发酵时间 $>$ 接种量。

植物乳杆菌发酵未成熟琯溪蜜柚果实提取果胶的最

表 1 正交试验因素水平表
Table 1 Factor level of orthogonal test

水平	A 接种量/%	B 液料比(mL/g)	C 发酵时间/h
1	10	20 : 1	12
2	12	25 : 1	24
3	14	30 : 1	36

表 2 正交试验设计及结果
Table 2 Orthogonal test results

试验号	A	B	C	提取率/%
1	1	1	1	7.87
2	1	2	2	10.02
3	1	3	3	9.68
4	2	1	2	7.60
5	2	2	3	8.98
6	2	3	1	11.13
7	3	1	3	8.47
8	3	2	1	10.97
9	3	3	2	9.14
k_1	9.19	7.98	9.99	
k_2	9.23	9.99	8.92	
k_3	9.53	9.98	9.04	
R	0.34	2.01	1.07	

优工艺条件为接种量 14%、料液比 25 : 1 (mL/g)、发酵时间 12 h,在此条件下进行 3 次平行验证实验,测得果胶平均提取率为 11.60%,与表 2 中最大果胶提取率相似。

2.3 未成熟琯溪蜜柚果实果胶性质分析

经检测,采用植物乳杆菌发酵法提取的未成熟琯溪蜜柚果实中果胶的半乳糖醛酸含量为 26.13%、酯化度为 68.58%、蛋白质含量为 1.57%、持水性与持油性分别为 0.53,7.01 g/g、乳化性以及乳化稳定性分别为 14.33%和 33%。检测数据表明,IPF 果胶属于高酯化度果胶,根据高酯化度果胶对酸度(pH<3.5)和糖度(>55%)的要求,该 IPF 果胶可应用于果酱、糖果以及酸奶等食品工业。持水性与持油性主要受果胶密度及表面微观结构等特性影响,在食品工业用于改善产品的硬度和黏度^[24]。IPF 果胶的持水性与持油性略高于 Muñoz-Almagro 等^[25]提取的浆果果胶,可能是发酵过程中产生的酶作用于 IPF 中的果胶,使其结构被破坏,呈疏松多孔状,从而增大了水或油与果胶的接触面积,因此持水性和持油性增大^[26]; IPF 果胶中蛋白质含量符合粮农组织的建议(<15.6%),其乳化活性和乳化稳定性低于李扬^[27]提取的狐臭柴叶片果胶,可能与蛋白质含量会影响果胶的乳化性能有关^[28]。

3 结论

利用植物乳酸菌发酵提取未成熟琯溪蜜柚果实中的

果胶,其最适提取工艺条件为乳酸菌接种量 14%、液料比 25 : 1 (mL/g)、发酵时间 12 h,此条件下果胶提取率为 11.60%,半乳糖醛酸含量为 26.13%、酯化度为 68.58%、蛋白质含量为 1.57%、持水性与持油性分别为 0.53,7.01 g/g、乳化活性以及乳化稳定性分别为 14.33%和 33%。试验仅探究了发酵因素对果胶提取率的影响,后续可以对果胶的其他性质如凝胶性、热稳定性或结构等进行深入分析。

参考文献

[1] TANG Y, ZHAN T, FAN G, et al. Selenium combined with chitin reduced phosphorus leaching in soil with pomelo by driving soil phosphorus cycle via microbial community [J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2022, 10(1): 107060.

[2] WU H, XIAO D, LU J, et al. Effect of high-pressure homogenization on microstructure and properties of pomelo peel flour film-forming dispersions and their resultant films[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 102: 105628.

[3] LIU G, HOU T, GUO S, et al. Comprehensive utilization of immature honey pomelo fruit for the production of value-added compounds using novel continuous phase transition extraction technology[J]. Biology, 2021, 10(8): 815.

[4] HOU T, GUO S, LIU Z, et al. Novel pectic polysaccharides isolated from immature honey pomelo fruit with high immunomodulatory activity[J]. Molecules, 2022, 27(23): 8 573.

[5] DIAS I P, BARBIERI S F, FETZER D E L, et al. Effects of pressurized hot water extraction on the yield and chemical characterization of pectins from Campomanesia xanthocarpa Berg fruits[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 146: 431-443.

[6] 刘嫻. 用发酵法提取马铃薯渣果胶的工艺研究[J]. 黑河学院学报, 2017, 8(5): 213-214.

LIU X. Research on technique of extracting potato slag pectin with fermentation[J]. Journal of Heihe University, 2017, 8(5): 213-214.

[7] WAN Y J, HONG T, SHI H F, et al. Probiotic fermentation modifies the structures of pectic polysaccharides from carrot pulp [J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 251: 117116.

[8] 田亚红, 刘辉. 不同方法提取甘薯渣中果胶的研究[J]. 食品工业, 2013(7): 112-114.

TIAN Y H, LIU H. Different extraction techniques for pectin from sweet potato pomace[J]. The Food Industry, 2013(7): 112-114.

[9] 王若男, 厉荣玉, 郑鹏, 等. 黄精多糖微生物发酵提取、表征及其抗氧化活性分析[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(9): 54-62.

WANG R N, LI R Y, ZHENG P, et al. Microbial fermentation extraction, characterization and antioxidant activity of Polygonatum polysaccharide[J]. China Food Additives, 2022, 33(9): 54-62.

[10] 戴少庆, 李高阳, 苏东林, 等. 柑橘果胶的提取及其改性方法的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(16): 376-379.

- DAI S Q, LI G Y, SU D L, et al. Research progress in citrus pectin extraction and modification[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(16): 376-379.
- [11] 侯金丽. 乳酸菌在发酵食品中的应用研究进展[J]. 工业微生物, 2023, 53(1): 1-3.
- HOU J L. Application of *Lactobacillus* in fermented food[J]. Industrial Microbiology, 2023, 53(1): 1-3.
- [12] 谢蔓莉, 叶发银, 雷琳, 等. 酸法提取条件对苹果果胶理化特性的影响及机制[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(4): 287-292.
- XIE M L, YE F Y, LEI L, et al. Effects of acid extraction conditions on the physicochemical properties of apple pectin and its mechanisms[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(4): 287-292.
- [13] 刘金梅, 常文环, 陈志敏, 等. 果胶及其微生物降解研究进展[J]. 畜牧兽医学报, 2023, 54(7): 2 723-2 731.
- LIU J M, CHANG W H, CHEN Z M, et al. Research progress of pectin and its microbial degradation [J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2023, 54(7): 2 723-2 731.
- [14] 刘丽平, 张淑华, 及雪敏. 果胶的提取及应用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 30-34.
- LIU L P, ZHANG S H, JI X M. Research progress of pectin extraction and application[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44(8): 30-34.
- [15] 卫津宇. 植物乳杆菌高效发酵生产胞外多糖及其应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022: 1-4.
- WEI J Y. Efficient production of functional exopolysaccharide by *Lactobacillus plantarum* and their applications[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022: 1-4.
- [16] 姚月华, 唐宁, 应熙锐, 等. 红萍多糖结构特征、流变特性及抗氧化活性[J]. 食品与机械, 2022, 38(3): 154-159, 172.
- YAO Y H, TANG N, YING X R, et al. Characterization, rheological study and antioxidant activities of polysaccharide from *Azolla*[J]. Food & Machinery, 2022, 38(3): 154-159, 172.
- [17] SILVA I M, GONZAGA L V, AMANTE E R, et al. Optimization of extraction of high-ester pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* flavicarpa) with citric acid by using response surface methodology[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(13): 5 561-5 566.
- [18] SAEIDY S, OMIDI P, NASIRPOUR A, et al. Physicochemical and functional properties of cross linked and high pressure homogenized sugar beet pectin: A comparative study[J]. Food Hydrocolloids, 2023, 134: 108041.
- [19] AKLILU E G. Modeling and optimization of pectin extraction from banana peel using artificial neural networks (ANNs) and response surface methodology (RSM) [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15(3): 2 759-2 773.
- [20] 王兆为, 解梦汐, 于森, 等. 发酵-超声提取豆渣可溶性膳食纤维工艺优化[J]. 农业科技与装备, 2022(5): 59-61, 64.
- WANG Z W, XIE M X, YU M, et al. Optimization of fermentation-ultrasonic extraction of soluble dietary fiber from okara [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2022(5): 59-61, 64.
- [21] 张乔会, 万海英, 李亚杰, 等. 响应面法优化发酵法提取贡水白柚皮可溶性膳食纤维工艺[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(12): 104-111.
- ZHANG Q H, WAN H Y, LI Y J, et al. Optimization of extraction conditions of soluble dietary fiber from Gongshui white pomelo peel using response surface analysis[J]. China Food Additives, 2021, 32(12): 104-111.
- [22] 刘俊红, 林青青, 刘瑞芳, 等. 发酵法提取葡萄皮渣中可溶性膳食纤维的研究[J]. 河南城建学院学报, 2022, 31(1): 75-79, 92.
- LIU J H, LIN Q Q, LIU R F, et al. Extraction of soluble dietary fiber from grape skin pomace by fermentation method[J]. Journal of Henan University of Urban Construction, 2022, 31(1): 75-79, 92.
- [23] 周向辉. 响应面法优化发酵猴头菇多糖提取工艺研究[J]. 化学工程师, 2023, 37(5): 10-14, 52.
- ZHOU X H. Optimization of fermented monkey head mushroom polysaccharide extraction process by response surface method[J]. Chemical Engineer, 2023, 37(5): 10-14, 52.
- [24] MEGÍAS-PÉREZ R, FERREIRA-LAZARTE A, VILLAMIEL M. Valorization of grape pomace as a renewable source of technofunctional and antioxidant pectins [J]. Antioxidants, 2023, 12(4): 957.
- [25] MUÑOZ-ALMAGRO N, RUIZ-TORRALBA A, MÉNDEZ-ALBIÑANA P, et al. Berry fruits as source of pectin: Conventional and nonconventional extraction techniques[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 186: 962-974.
- [26] 闵钟媛, 高路, 高育哲, 等. 黑曲霉发酵法制备米糠粕可溶性膳食纤维工艺优化及其理化分析[J]. 食品科学, 2018, 39(2): 112-118.
- MIN Z M, GAO L, GAO Y Z, et al. Optimization of the preparation process for soluble dietary fiber from rice bran by *Aspergillus niger* fermentation and its physicochemical properties [J]. Food Science, 2018, 39(2): 112-118.
- [27] 李扬. 狐臭柴叶片果胶提取及干燥技术研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2021: 31-32.
- LI Y. Study on extraction and drying technology of pectin from *Premna puberula* pamp[D]. Guiyang: Guizhou University, 2021: 31-32.
- [28] CHEN H, QIU S, GAN J, et al. New insights into the functionality of protein to the emulsifying properties of sugar beet pectin[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 57: 262-270.