复合酶法提取苹果渣中的果胶及产品性质分析

王艳翠[1]，卢韵朵[1]，史吉平[2]，刘 莉[2]，李保国[*1]
（1. 上海理工大学 医疗器械与食品学院，上海 200093；2. 中国科学院 上海高等研究院，上海 201210）

摘要： 为了从苹果渣中高效提取果胶，采用复合酶法对苹果渣中果胶的提取进行了研究。首先筛选出果胶得率较高的 3 种酶：纤维素酶、木聚糖酶和酸性蛋白酶；其次确定了 3 种酶的复配方案为纤维素酶 7%、木聚糖酶 9%、酸性蛋白酶 5%；并采用响应面优化设计方法，获得了最佳的复合酶酶解条件：pH 值 4.1，温度 54 ℃，时间 1.3 h，固液质量体积比比 1 g:16 mL。在此最佳条件下，苹果渣粗果胶得率为 40.66%。与传统的酸提法粗果胶得率 26.84%相比，提高了 51.49%。最后测定了最佳工艺条件下所得果胶的产品性质，结果表明：半乳糖醛酸质量分数为 57.39%；果胶酯化度为 89.41%，相对分子质量主要分布在 217 630、16 670 与 8 170 范围内，可作为制备一系列低酯果胶的原料。

关键词： 果胶；苹果渣；酶法提取；响应面实验
中图分类号：TS 261.4　**文章编号：**1673-1689(2019)05-0030-07　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2019.05.005

Extraction of Pectin from Apple Pomace by Complex Enzymes and Analysis of Product Properties

WANG Yancui[1]，*LU Yunduo*[1]，*SHI Jiping*[2]，*LIU Li*[2]，*LI Baoguo*[*1]
（1. Medical Instrument and Food Engineering，University of Shanghai for Science and Technology，Shanghai 200093，China；2. Shanghai Advanced Research Institute，Chinese Academy of Sciences，Shanghai 201210，China）

Abstract： In order to efficiently extract pectin from apple pomace，extraction of pectin by complex enzymes was studied. Firstly，three kinds of enzymes such as cellulase，xylanase and acid protease which can improve the extraction rate of pectin were selected. Then the optimum enzymes dosage were determined as 7% cellulase，9% xylanase and 5% acid protease. On the basis，the optimal enzymatic extraction parameters，i.e.，pH 4.1，extraction temperature of 54 ℃，extraction time of 1.3 h，solid-liquid ratio of 1:16 were obtained. Under these conditions，the yield of crude pectin was 40.66%，which was increased by 51.49%，compared to 26.84% for the traditional acid extraction method. The properties of pectin obtained from the enzymatic extraction were analyzed. The results showed that the content of galacturonic acid was 57.39%，and the degree of esterification was 89.41%. The range of molecular weight was mainly distributed at 217.63 kDa，16.67 kDa，and 8.17

收稿日期： 2016-11-30
基金项目： 国家自然科学基金项目(21306219)；上海市农业科技成果转化项目(沪农科转字 2015 第 2-2 号)；中国科学院青年创新促进会专项经费项目(2015232)。
* **通信作者：** 李保国(1961—)，男，博士，教授，主要从事食品和农产品加工技术研究。E-mail：lbaoguo@126.com
引用本文： 王艳翠，卢韵朵，史吉平，等. 复合酶法提取苹果渣中的果胶及产品性质分析[J]. 食品与生物技术学报，2019，38(05)：30-36.

kDa. It can be used as raw materials to prepare a series of pectin with different degrees of esterification.

Keywords: pectin, apple pomace, enzymatic extraction, response surface experiment

目前中国已成为世界上最大的苹果浓缩汁生产国及出口国[1],每年因生产苹果浓缩汁可排出约150万吨苹果渣[2],但大部分果品加工厂的果渣都未得到合理利用,主要作为饲料或丢弃,造成资源浪费和环境污染[3]。在食品行业中,果胶广泛应用作乳化剂、增稠剂、凝胶剂、稳定剂等,除此,在纺织、造纸、化妆品等行业也都有所发展[4-5]。在全世界每年果胶的消耗量达3万多吨,且需求量每年增长4%~5%,而我国的果胶产品不仅产量低且质量不高,相比于国外的果胶产品严重缺乏竞争力[6]。苹果渣富含果胶,可作为制备果胶的原材料[7],从其中提取果胶,具有良好的经济效益和社会效益[3]。目前,工业生产常用酸法提取果胶,果胶提取率低,环境污染较大[8]。

酶法提取果胶是利用酶分解植物组织细胞壁中的纤维素、半纤维素、蛋白质,从而破坏细胞壁结构,减少溶剂提取时来自细胞壁和细胞间质的阻力,将果胶释放溶于水中。有研究表明,采用单一酶法[9-10],如纤维素酶、半纤维素酶能够提高果胶得率。有研究报道不同种类的酶[8,11-13]从其他原材料如向日葵、柑橘皮中相复合提果胶产品,且实验效果也优于单一的酶法提取,但几种酶协同作用从苹果渣中提取果胶却鲜有研究报道。

作者以苹果渣作原材料,通过复合酶法提取果胶,并结合响应面实验进行优化提取工艺[14],以期探索提高果胶产量和质量的新工艺,提高苹果渣的综合利用价值,解决环境污染问题,为酶法提取苹果渣果胶的工业化生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

苹果渣:市售苹果榨汁后果渣烘干、粉碎;无水乙醇、半乳糖醛酸(AR):国药集团化学试剂有限公司产品;咔唑(AR):生工生物有限公司;纤维素酶:上海尤特尔生化有限公司产品;中性蛋白酶、酸性蛋白酶、胰酶:南宁庞博生物有限公司产品;木聚糖酶、淀粉酶:白银赛诺生物科技公司产品。

1.2 仪器与设备

水浴恒温振荡器、ZRD-5211鼓风干燥箱:上海智城公司产品;冷冻离心机:日立仪器有限公司产品;H1全功能微孔板检测仪:美国伯腾仪器有限公司产品;CBM-20A高效液相色谱仪:日本岛津有限公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 传统酸法提取果胶 称4 g苹果渣置于三角瓶中,按固液质量体积比1 g:15 mL加盐酸溶液,调节体系的pH值为1.5。放置恒温水浴摇床中,温度90 ℃,转速180 r/min,提取2 h。提取结束定容至100 mL,取30 mL溶液15 000 r/min离心15 min。移取20 mL上清液,加入60 mL无水乙醇,使乙醇终体积分数为75%,室温沉淀1 h,过滤,固体烘干,计算粗果胶得率。

1.3.2 果胶的酶法提取 称4 g苹果渣置于三角瓶中,按固液质量体积比1 g:15 mL加蒸馏水60 mL,调节体系的pH值为酶的最适pH值,分别添加酸性蛋白酶、中性蛋白酶、胰酶、纤维素酶、木聚糖酶、淀粉酶。放置恒温水浴摇床中,温度50 ℃,转速180 r/min,提取3 h,煮沸5 min灭酶活。提取结束后定容至100 mL,取30 mL溶液15 000 r/min离心15 min。移取20 mL上清液,加入60 mL无水乙醇,使乙醇终体积分数为75%,室温沉淀1 h,过滤,固体烘干,计算粗果胶得率,考察不同酶及其用量对果胶得率的影响。

1.3.3 酶法提取果胶的响应面优化 采用四因素三水平的Box-Behnken Design(BBD)实验设计,以pH值(A)、温度(B)、时间(C)、固液质量体积比(D)为自变量,以粗果胶得率为响应值,优化最佳酶法提取果胶的条件。实验设计见表1。

1.3.4 粗果胶得率 将醇沉过滤后的沉淀物放入105 ℃烘箱,烘干至恒重,冷却后称量,计算粗果胶得率。

$$x(\%)=\frac{m_0\times V}{v\times m_1}\times 100\% \quad (1)$$

式中:x为粗果胶得率,%;m_0为烘干后果胶沉淀质

量,g;V 为果胶提取液总体积,mL;v 为用于醇沉的果胶上清液体积,mL;m_1 为实验样品中苹果渣的质量,g。

表 1　响应面分析因素水平设计

Table 1　Factors and levels in response surface analysis

水平	pH 值 A	温度 B/℃	时间 C/h	固液质量体积比/(g:mL)
−1	3.0	40	0.5	1:12
0	4.0	50	1.0	1:14
1	5.0	60	1.5	1:16

1.3.5　果胶性质分析　将提取得到的果胶复溶于水中,形成均匀的溶液,用于以下性质分析:

1）果胶中半乳糖醛酸含量的测定　半乳糖醛酸是果胶中的主要成份,其在硫酸溶液中与咔唑试剂反应生成紫红色络合物,该络合物在波长 525 nm 处有最大吸收。配制 0、0.04、0.08、0.12、0.16、0.20 g/L 的半乳糖醛酸标准溶液，分别取 1 mL 于 6 支离心管内。加入 0.25 mL 质量分数为 0.15%咔唑乙醇溶液，混匀后迅速加入 5 mL 质量分数 98%浓 H_2SO_4 溶液。85 ℃水浴 10 min，冷水浴 30 min。在波长 525 nm 下测定吸光值,并绘制标准曲线,其中横坐标为半乳糖醛酸的浓度,纵坐标为吸光值。

以提取溶剂替代样品溶液作空白对照,测定吸光值,方法同上。公式如下:

$$X(\%)=\frac{c\times V\times N}{m}\times 100\% \qquad (2)$$

式中:X 为实验样品中的半乳糖醛酸质量分数,%;c 为根据标准曲线得到的半乳糖醛酸质量浓度,g/L;V 为果胶提取液的总体积,L;N 为提取液的稀释倍数;m 为烘干后粗果胶沉淀的质量,g。

2)果胶酯化度的测定[15]　取 5 mL 均匀的果胶溶液，加 100 mL 水，滴加酚酞。用 0.02 mol/L 的 NaOH 滴定，记录消耗的体积 V_1；加入 NaOH(0.5 mol/L)溶液 20 mL,搅拌 15 min 后;再加盐酸(0.5 mol/L)标准溶液 20 mL,搅拌 15 min 至粉红色消失后,再滴入酚酞。然后用 NaOH(0.02 mol/L)标准溶液滴定至终点(粉红色)。记录滴定的体积 V_2。计算酯化度 DE 值。

$$\mathrm{DE}(\%)=\frac{\left(V_2-\frac{(c_3V_3-c_4V_4)}{c_1}\right)}{\left(V_1+V_2-\frac{(c_3V_3-c_4V_4)}{c_1}\right)}\times 100\% \qquad (3)$$

式中:V_1 为初滴定值,L;V_2 为皂化滴定值,L;c_1 为氢氧化钠浓度 mol/L;c_3 为盐酸的浓度,mol/L;V_3 为盐酸的体积,mL;c_4 为氢氧化钠的浓度,mol/L,V_4 为氢氧化钠的体积,mL。

3）果胶相对分子质量的测定　采用高效液相色谱法对果胶相对分子质量进行测定。色谱条件为:凝胶色谱柱 TSK gel Super Multipore PW-H,进样量 20 μL,流动相 H_2O,流量 0.4 mL/min,柱温 35 ℃,示差折光检测器 RID 进行检测。相对分子质量分别为 12 600、110 000、289 000 葡聚糖为标准样,绘制出峰保留时间 t 与标准样分子量的标曲，果胶样品相对分子质量按照标曲计算。

2 结果与分析

2.1　不同种类酶对果胶提取效果的影响

图 1 为酶用量为苹果渣质量的 5%，固液质量体积比 1 g:15 mL,温度 50 ℃,反应时间 3 h 时,酶的种类对粗果胶得率的影响。从图 1 可以看出:酸法提取中粗果胶得率 26.84%;不同种类酶对果胶得率的影响不同,其中添加木聚糖酶的溶液粗果胶得率最高,为 35.22%;其次为纤维素酶,达到 33.56%;酸性蛋白酶达到 32.23%。在后续实验中将此 3 种酶进行复配用于提取苹果渣中的果胶。

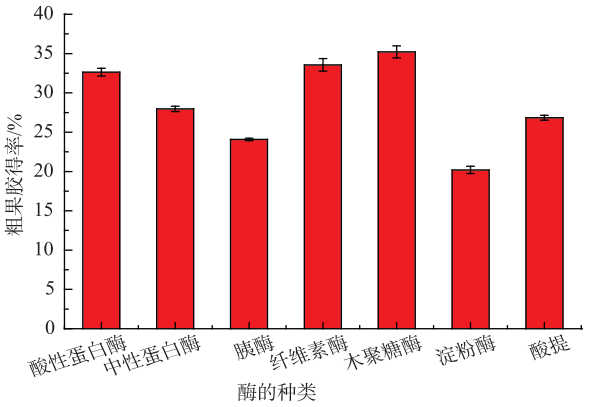


图 1　酶的种类对粗果胶得率的影响

Fig. 1　Effect of enzymes on the yield of crude pectin

2.2　酶用量对果胶提取效果的影响

图 2 所示不同酶用量(质量分数)下的纤维素酶、木聚糖酶、酸性蛋白酶对苹果渣粗果胶得率的影响,据图 2 可知,从一定的范围内来看,随着酶使用量的不断增多，明显看到粗果胶得率亦随之增多,待增加到一定的数值之后,酶用量再增加,粗果胶得率不再明显升高,说明此时酶的用量已经趋于达到饱和状态,结合考虑实际成本等因素,最终确

定此 3 种酶的最佳用量(质量分数)分别为:纤维素酶 7%、木聚糖酶 9%、酸性蛋白酶 5%。

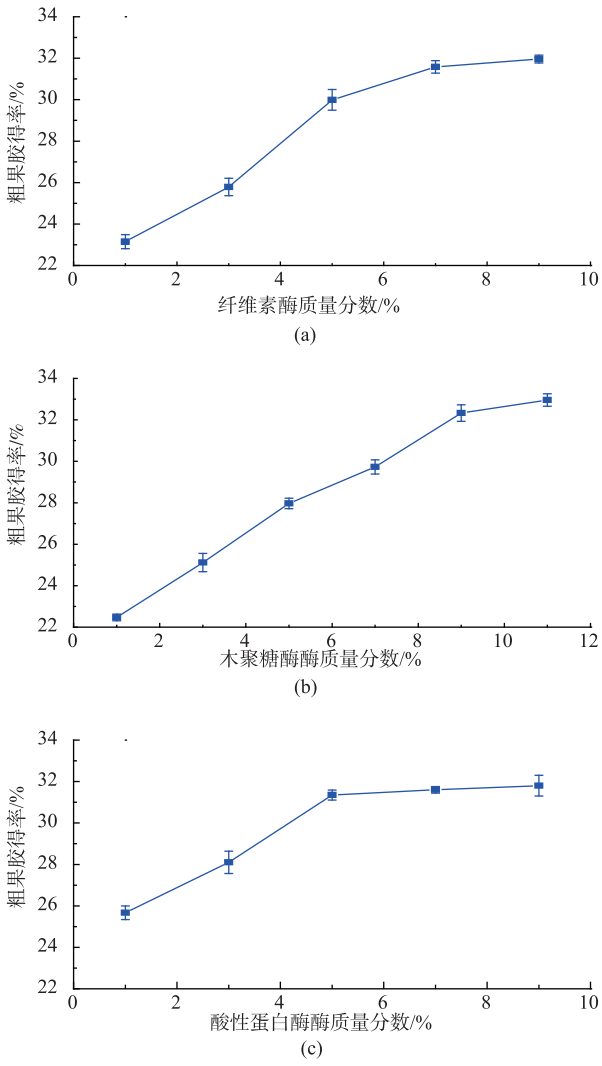


图 2　酶质量分数对粗果胶得率的影响

Fig. 2　Effect of enzyme dosage on the yield of crude pectin

2.3　酶法提取果胶响应面优化实验结果与分析

在确定了最优酶的种类及用量基础上,选择自变量为 pH 值(A)、温度(B)、时间值(C)、固液质量体积比(D),响应值为粗果胶得率(Y),采取四因素三水平的响应面实验设计,利用统计软件 Design-Expert V8.0.6 优化酶法提取果胶的最佳条件。实验方案及结果见表 2。

表 2　酶解条件响应面实验设计及结果

Table 2　Designs and results of experiment of enzymatic hydrolysis conditions by response surface methodology

序号	pH 值 A	温度 B/℃	时间 C/h	固液质量体积比 D/(g:mL)	粗果胶得率 Y/%
1	3.0	40	1.0	1:14	36.96
2	5.0	40	1.0	1:14	36.58
3	3.0	60	1.0	1:14	36.94
4	5.0	60	1.0	1:14	38.09
5	4.0	50	0.5	1:12	36.88
6	4.0	50	1.5	1:12	38.40
7	4.0	50	0.5	1:16	36.89
8	4.0	50	1.5	1:16	38.78
9	3.0	50	1.0	1:12	38.28
10	5.0	50	1.0	1:12	37.62
11	3.0	50	1.0	1:16	38.72
12	5.0	50	1.0	1:16	38.00
13	4.0	40	0.5	1:14	35.79
14	4.0	60	0.5	1:14	35.56
15	4.0	40	1.5	1:14	37.39
16	4.0	60	1.5	1:14	38.28
17	3.0	50	0.5	1:14	35.60
18	5.0	50	0.5	1:14	35.85
19	3.0	50	1.5	1:14	37.94
20	5.0	50	1.5	1:14	38.13
21	4.0	40	1.0	1:12	37.64
22	4.0	60	1.0	1:12	37.92
23	4.0	40	1.0	1:16	38.10
24	4.0	60	1.0	1:16	38.79
25	4.0	50	1.0	1:14	38.45
26	4.0	50	1.0	1:14	38.77
27	4.0	50	1.0	1:14	38.51
28	4.0	50	1.0	1:14	38.57
29	4.0	50	1.0	1:14	38.75

通过 Design-Expert.V8.0.6 软件对表 2 中测得的实验结果进行回归方程拟合,得到相应值(Y)与 pH 值(A)、温度(B)、时间(C)、液固质量体积比(D)的二次多项回归方程如下:

$$Y=+25.769\ 17+3.648\ 33A+0.509\ 00B+6.743\ 33C-1.849\ 17D+0.038\ 250AB-0.030\ 00AC-0.007\ 50AD+0.056\ 00BC+0.005\ 12BD+0.092\ 5CD-0.680A^2-0.007\ 63B^2-4.330C^2+0.058\ 437D^2\ (R^2=0.960\ 3)$$

表 3 为响应面实验回归模型方差分析结果。从

表 3 的检验结果可知，酶解条件模型 $p<0.000\ 1$，说明此回归模型极显著；失拟项 p 值为 $0.05<p=0.062\ 1$ 不显著，说明拟合的回归方程情况较好；且该模型复相关系数和校正系数分别为 $R^2=0.960\ 3$，$R^2_{Adj}=0.920\ 6$，说明模型的预测值与实测值呈现高度的相关性，分别能解释 96.03%和 92.06%的响应值变化。离散系数 CV 较低(0.77)，说明实验稳定性高，结果可靠。综上可知该模型拟合较好，酶解提取苹果渣果胶的实验条件可用该模型作进一步的预测和分析。

由表 3 中 P 值可知，时间的一次项影响极显著；温度和固液比两个因素的一次项影响显著；pH、温度、时间 3 个因素的二次项影响极显著。由方差分析表 F 值知：$F_A=0.57$，$F_B=12.34$，$F_C=147.87$，$F_D=4.53$，各因素对粗果胶得率的影响顺序为：$C>B>D>A$，即时间>温度>固液质量体积比>pH 值。

表 3　回归模型方差分析表

Table 3　Analysis of variance for the fitted quadratic polynomial

项目	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	28.14	14	2.01	23.07	< 0.000 1	**
A	0.002 4	1	0.002 4	0.57	0.867 3	
B	0.81	1	0.81	12.34	0.007 5	*
C	12.71	1	12.71	147.87	< 0.000 1	**
D	0.54	1	0.54	4.53	0.023 4	*
AB	0.59	1	0.59	8.48	0.018 9	*
AC	0.000 9	1	0.000 9	8.234	0.918 6	
AD	0.000 9	1	0.000 9	0.040	0.918 6	
BC	0.090	1	0.31	0.74	0.072 5	
BD	0.31	1	0.042	0.20	0.488 7	
CD	0.042	1	0.034	0.12	0.531 4	
A^2	0.034	1	3.00	25.71	< 0.000 1	**
B^2	3.00	1	3.78	44.23	< 0.000 1	**
C^2	3.78	1	7.60	84.79	< 0.000 1	**
D^2	7.60	1	0.35	6.31	0.057 9	
残差	0.35	14	0.083			
失拟项	1.16	10	0.11	5.25	0.062 1	
纯误差	1.08	4	0.021			
总离差	0.082	28				
$R^2=0.960\ 3$	C.V. %=0.77					

注：** 表示极显著($P<0.000\ 1$)，* 表示显著($P<0.05$)

利用 Design-Expert V8.06 软件对实验数据进行分析，得到交互作用显著的酶解温度(B)和 pH 值(A)的响应面图如图 3 所示，由图 3 可知，随着酶解温度的升高，粗果胶得率也会随着增大，当酶解温度升高到 50 ℃后，继续提高酶解温度，粗果胶得率下降；随着酶解 pH 值的增大，粗果胶得率也会随着增大，当酶解 pH 值增大到 4.0 后，继续增大酶解 pH 值，粗果胶得率随着下降。原因可能是随着温度和 pH 值的增大，超过了复合酶反应的最适温度和 pH 值范围，影响了酶的活性，进而影响粗果胶得率。因此工业上生产需严格控制反应温度和 pH 值。

过模型预测得到最佳酶解条件：pH 值为4.1，温度为 54 ℃，时间为 1.3 h，固液质量体积比为 1 g:16 mL，在该条件下模型预测灵芝粗多糖得率为 39.44%。对最优的条件下进行实验验证粗果胶得率为 40.66%。因此，通过利用响应面实验优化所得的复合酶法提取粗果胶的参数可供参考。

传统酸法提取果胶，易出现果胶分子水解和降解现象，进而导致果胶得率低、品质受到影响，除此之外，还具有在提取过程中乙醇需求量多、提取液

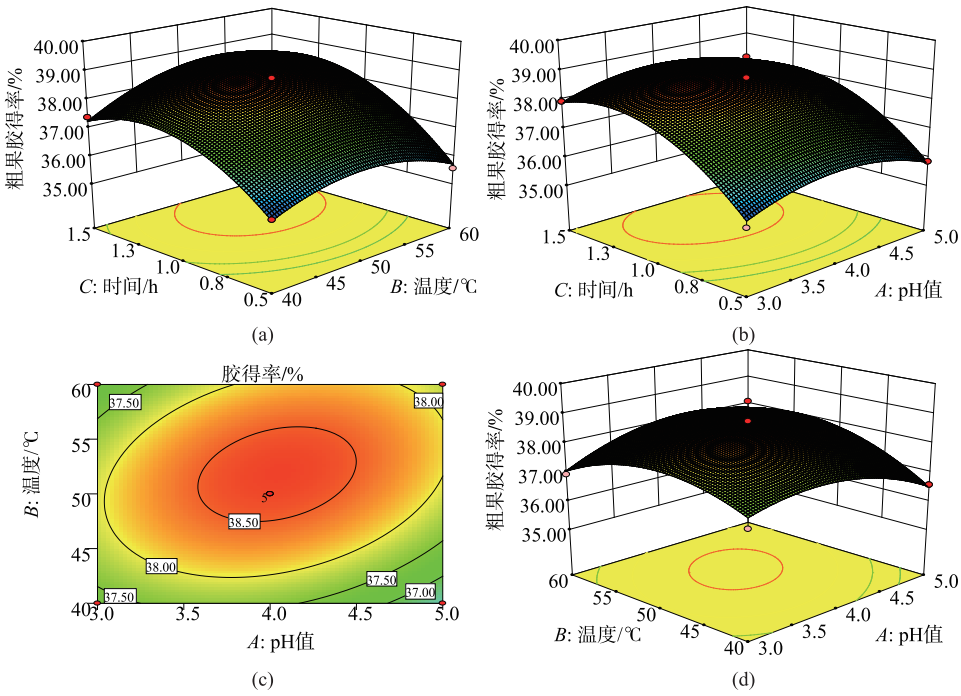


图 3　各因素交互作用对粗果胶得率的影响

Fig. 3　Influence of the interaction of the factors on the crude pectin yield

粘度大、耗时长,能耗高等劣势;而酶提法具有提取温度低、提取耗时短,操作条件温和、安全、无污染、减少提取中能量的消耗等优点。将实验取得的研究结果与传统酸法提取苹果渣粗果胶得率为 26.84%相比较,提高了 51.49%;与卡吉尔公司[16]酶法提取苹果糊果胶得率进行比较,该方法中只使用了 Genencor Multifect A40 酶,温度 50 ℃,时间 70 h,粗果胶得率为 13.7%。因此,本研究采用复合酶效果提取时间更短,粗果胶得率更高。

2.4　酶法提取果胶的性质分析

2.4.1　果胶中半乳糖醛酸质量分数及其酯化度

从表 4 可看出,作者用复合酶法提取所得果胶半乳糖醛酸质量分数和酯化度分别为 57.39%和 89.41%,与传统酸法提取所得果胶半乳糖醛酸质量分数 64.48%和酯化度 56.08%相比,半乳糖醛酸质量分数略低于传统酸法提取,其可能原因为,由于酶的加入影响了果胶的纯度,后续需对其进行进一步分离提纯处理,目前膜分离技术在果胶提取中的应用研究较多,它可将果胶纯度提高到 80%以上[17]。果胶酯化度是影响果胶凝胶时间和凝胶速度的重要因素,亦是评价果胶产品性能的一项重要指标。可分为酯化度大于 50%为高酯果胶;酯化度低于 50%的为低酯果胶。从酯化度来看,采用复合酶提取和酸法提取得到的果胶均属于高酯果胶,但前者酯化度远高于后者。与邸铮[10]酶法从苹果皮渣提取果胶所得半乳糖醛酸含量和酯化度分别进行比较可知,作者使用复合酶提取所得果胶半乳糖醛酸含量和酯化度均高于单一酶法提取。

表 4　果胶中半乳糖醛酸含量及酯化度测定

Table 4　Determination of galacturonic acid content and the degree of esterification of the pectin

果胶种类	半乳糖醛酸质量分数%	酯化度%
酸法提取果胶	64.48	56.08
纤维素酶提取果胶[10]	45.09	78.69
T.viride 半纤维素酶提取果胶[10]	34.06	69.36
复合酶提取果胶	57.39	89.41

2.4.2　果胶相对分子质量

经过对葡聚糖标准品的测定,得到标准曲线 $\lg M_w=-1.042\ 7t+13.574$($M_w$ 为葡聚糖标样的相对分子质量;t 为标样出峰时间,min;$R^2=0.997\ 2$)

酸法与酶法提取的果胶样品经凝胶柱的相对分子质量分布如图 4 所示。酸法提取出的果胶样品的相对分子质量主要分布在 165.92×10^3、5.83×10^3 与 0.45×10^3 范围内。酶法提取样品的相对分子质量主要分布在 217.63×10^3、16.67×10^3 与 8.17×10^3 范围内。

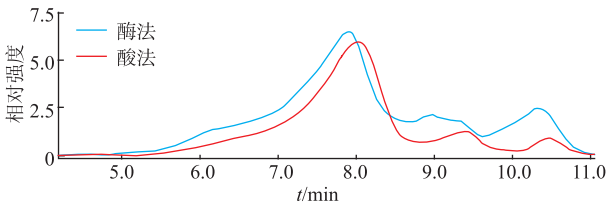


图 4　果胶样品的峰图

Fig. 4　Peak of pectin samples

3 结　语

对复合酶法提取苹果渣果胶进行了研究，并对果胶的性质进行了分析。最终得到酶法提取苹果渣果胶的工艺条件为：添加质量分数 7%纤维素酶、9%木聚糖酶和 5%酸性蛋白酶，酶解条件为 pH 值 4.1，温度 54 ℃，时间 1.3 h，固液质量体积比 1 g:16 mL。在此最佳条件下，苹果渣粗果胶得率为 40.66%。与传统酸提法粗果胶得率 26.84%相比，提高了 51.49%。使用复合酶法提取，反应条件温和、无污染、粗果胶得率高；所得果胶半乳糖醛酸质量分数为 57.39%，果胶酯化度为 89.41%，相对分子质量主要分布在 217.63×10^3、16.67×10^3 与 8.17×10^3 范围内。与传统酸法和单一酶法提取相比，果胶品质更高，具有更明显的商业价值。

参考文献：

[1] 豆常潇. 中国苹果汁出口贸易研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2014.
[2] HONG Long，CHEN Zhiqiang，ZHANG Lingqing，et al. New technology of integrated storage and utilization of apple residue and corn stalk[J]. **Journal of Agricultural Sciences**，2010，31(4)：104-106.(in Chinese)
[3] LI X L，HE X L，LU Y P，et al. Extraction and functional properties of water-soluble dietary fiber from apple pomace [J]. **Journal of Food Process Engineering**，2014，37(3)：293-298.
[4] STEPHEN A M，PHILLIPS G O. Food polysaccharides and their applications[M]. 2th ed. Boca Raton：CRC Press，2006.
[5] XUE Changhu，ZHNG Yongqin，LI Zhaojie，et al. Recent development of pectin and pectolytic enzyme [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**，2015，24(6)：94-99.(in Chinese)
[6] GAO Wei. Optimization of extraction technology of pectin from apple peel [J]. **Hubei Agricultural Sciences**，2016，55(8)：2074-2076.(in Chinese)
[7] YEOH S，SHI J，LANGRISH T A G. Comparisons between different techniques for water-based extraction of pectin from orange peels[J]. **Desalination**，2008，218(1)：229-237.
[8] ZHANG Chao，WANG Yingchen. Optimization of extraction technology of pectin from polyamide peel with microwave assisted composite enzyme[J]. **Agriculture and Technology**，2016，36(7)：5-10.(in Chinese)
[9] MAUD P，JEAN-FRANCU O T，ESTELLE B.Cellulase and protease preparations can extract pectins from various plant by products[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**，2006，54：8926-8935.
[10] DI Zheng，FU Caili，LI Na，et al. Enzymatic extraction and characetiraziton of pectin from apple pomace [J]. **Food Science**，2007，28(4)：133-136.(in Chinese)
[11] WANG Wenwen，LI Jing，DENG Maocheng，et al. Study on extraction of pectin with cellulase and amylase from citrus peels[J]. **Food Research And Development**，2014，35(5)：13-15.(in Chinese)
[12] ZHOU Wenjun LIU Yishan ZHOU Yu. Extraction of lemon pectin by compound enzyme method [J]. **Food Science And Technology**，2016，41(1)：181-184.(in Chinese)
[13] SHI Haiyan，ZHOU Yajing，CAO Zhiqin，et al. Research on extraction technology of pectin from Sunflower by complex enzyme [J]. **Food Safety Guide**，2014，56-58.(in Chinese)
[14] ZHANG Xingqi，SONG Xianliang，CHEN Yingsen et al. Optimization of enzymatic extraction process for pectin from jackfruit peel by response surface methodology[J]. **Guangdong Agricultural Sciences**，2015，3：89-93.(in Chinese)
[15] 韦诗琪. 菠萝蜜丝中果胶的分离 / 分析及其抗氧化特性研究[D]. 广州：华南理工大学，2011.
[16] 卡吉尔股份有限公司. 获得果胶的方法：美国，200680012888.4[P]. 2008-04-09.
[17] LIU Wen，DONG Saili，ZHANG Xin. Research on the application of ceramic membrane in the concentration of apple pectin[J]. **Forestry Chemical Communication**，2004，38(4)：15-18.(in Chinese)