超滤分级甜菜中果胶的理化性质及乳化特性研究

吴国利[1]，扶雄[1]，孟赫诚[1]，赵振刚[1]，杨雄[2]

（1. 华南理工大学轻工与食品学院，广东广州 510640）（2. 新疆绿原糖业有限公司，新疆库尔勒 841311）

摘要：利用超滤技术将甜菜果胶分为相对分子质量不同的 4 个级分，并采用高效液相色谱（HPLC）、傅里叶变化红外光谱（FT-IR）和气相色谱（GC）等技术研究了不同级分果胶分子的结构组成及其乳化特性。结果表明：甜菜果胶中截留相对分子量（MWCO）大于 100,000 的含量最大，达到 64.86%；果胶相对分子量与其性质直接相关，随着相对分子量的增大，果胶中半乳糖醛酸、阿魏酸和酯化度均增大，单糖种类增多，而单糖的含量却减少，其分布亦有差异；相对分子量不同的果胶乳化性有很大不同，其中分子量为 4.64×104Da 组分的果胶乳化活性和乳化稳定最好。

关键词：甜菜果胶；超滤；结构组成；乳化特性

文章篇号： 1673-9078(2013)6-1237-1242

Structure and Emulsifying Properties of Sugar Beet Pectin Fractionated by Ultrafiltration

WU Guo-li[1], FU Xiong[1], MENG He-cheng[1], ZHAO Zheng-gang[1], YANG Xiong[2]

(1.College of Light Industry and Food Science, South China Univ. Of Tech, Guangzhou 510640, China)

(2.Xinjiang Luyuan Sugar Industry Co., Ltd, Korla 841311, China)

Abstract: Pectin extracted from sugar beet was fractionated into four fractions by filtration. The structure and emulsifying properties of pectin from the fractios were characterized by HPLC, FT-IR and GC. The results showed that the content of pectin was the highest (64.86%) when the MWCO size membrane was above 100000. Molecular weight of beet pectin was related to its physicochemical properties. And the galacturonic acid content, the ferulic acid content and degree of esterification increased with the increase of the molecular weight. The pectin emulsifying properties depended on the molecular weight. The pectin with the molecular weight of 4.64×10^4 Da showed the highest emulsifying activity and stability.

Key words: sugar beet pectin; ultrafiltration; sturctural compositions; emulsifying properties

果胶是一种由不同酯化度的半乳糖醛酸以 α-1,4-糖苷键聚合形成的多糖链，其侧链主要由 L-鼠李糖、L-阿拉伯糖、D-半乳糖、D-木糖、L-岩藻糖、L-甘露糖等组成[1]，广泛存在于绿色植物中[2]。果胶具有良好特性和生理疗效，主要用于食品、医药、日化、纺织等行业，我国果胶年需求量达 4500 t，其中 80%从国外进口，2011/12 年度全球甜菜粕产量为 1470 万 t，年产量大，甜菜粕中果胶含量高达 28%，甜菜果胶持水性好，廉价易得，具有明显的保健作用和生理疗效，可用作低热量食品基料、胶凝剂、增稠剂、乳化剂和稳定剂[3]。甜菜粕果胶的发展可以提高甜菜废丝附加值，为国内果胶市场发展提供新原料。

超滤是一种利用膜孔径大小进行物质分离、浓缩和提纯的高效分离技术，可用于分离 1000 Da~1,000,000 Da 的化合物。由于超滤具有高效、节能、环保、分子级分离及过程简单、易于控制等特征，目前已广泛应用于食品、医药、生物、化工、能源、水处理等领域。近年来，对甜菜果胶的研究集中在提取方法及提取条件对果胶性质和结构的影响，其中利用超滤技术分离纯化甜菜果胶已成研究热点。2002 年，Akhtar M.等[4]首先通过超滤膜分离甜菜粗果胶液，然后再进行醇沉，分离得到的果胶具有良好的乳化性能。

2007 年，Beda M Y 等[5]在此基础上利用 MWCO 为 10000 超滤膜分离纯化甜菜果胶，并与醇沉法进行比较，发现果胶的产量、纯度、物化特性均随其分离方法不同而存在差异。2009 年，Nuñez A.[6]利用 MWCO 为 3000 超滤膜分离鉴定了几种甜菜果胶复合蛋白，并更进一步明确了复合蛋白对甜菜果胶乳化性

收稿日期：2013-02-27

基金项目：广东省科技计划项目（2009B040600001）；广东省国际科技合作项目（2012B050500003）；新疆生产建设兵团重大科技专项计划—科技援疆专项（2011AB026）

作者简介：吴国利（1987-），女，硕士，研究方向为碳水化合物

通讯作者：赵振刚（1979-），男，讲师，研究方向：功能性碳水化合物

能的影响。上述文章的研究重点均集中在采用超滤膜技术提取分离果胶，就超滤膜具有截留化合物不同相对分子质量的特点，对果胶分子量进行分级截留及其特性研究较少，仅田玉霞等[7]采用超滤对苹果果胶进行了分子量分级，并对不同分子量的苹果果胶进行了性质研究。到目前为止，超滤法用于甜菜果胶的分级及性质研究还未见报道。因此，本研究在前人的基础上，利用超滤技术将甜菜果胶分为相对分子质量不同的4个级分(大于100000、50000~100000、20000~50000和小于 20000）果胶，并分析了各级分甜菜果胶的单糖组成及乳化特性，为甜菜果胶的分级纯化及各级分的精细化利用提供参考。

1 材料与设备

1.1 实验材料

自制脱色甜菜果胶（pH 3.5，含水量 5.4%，Gla 61.48%，酯化度 66.52%）；阿魏酸标准品、单糖标准品购自拉丁试剂公司；半乳糖醛酸、Pullulan 系列标准品均购自 sigma 公司；咔唑、三氟乙酸、盐酸羟胺、吡啶、醋酸酐、浓盐酸、无水乙醇、氢氧化钠等均为分析纯，浓硫酸为优级纯。

1.2 主要实验仪器

TU-1901 双光束紫外可见分光光度计，北京晋析通用仪器有限责任公司；FE20/EL20 实验室 pH 计，梅特勒-托利仪器（上海）有限公司；FJ200-SH 数显高速分散均质机，上海标本模型厂；FT-IR 型红外分析仪，德国 BRUKE；数显恒温水浴锅，电热恒温干燥箱；电子天平；KA-1000 低速离心机，上海精科实业有限公司，FlowMem-0015 螺旋膜小试设备，厦门福美科技有限公司；7890A 气相色谱仪：Agilent 中国；1260 液相色谱仪，Agilent 中国；18-N 冷冻干燥机，德菲科学仪器；不同截留分子量的超滤膜组件（MWCO 为 100 000、50000、20 000）。

2 实验方法

2.1 甜菜果胶的超滤分级

2.1.1 甜菜果胶液的制备

甜菜粕中果胶的提取采用酸水解法，工艺流程：

甜菜粕→粉碎→过 60 目筛→浸泡漂洗→沥水→酸解（料液比为 1:20，pH 为 1.0，温度为 90 ℃，时间为 3.5h）→趁热过滤（200 目滤布）→离心（转速 3000 r/min，离心 10 min）→果胶液→树脂脱色→浓缩→3 倍体积醇沉→洗涤三次→冷冻干燥得甜菜果胶样品→再溶解→过 0.45 μm 滤膜→备用

2.1.2 超滤分离甜菜果胶

组装不同膜组件，分别测定超滤膜跨膜压差、料液温度、料液浓度与膜通量的关系（其中膜通量[mL/(cm^2·h)]=单位时间透过液体积/有效膜面积），得到经济有效的超滤操作条件：进口压力为 0.025 MPa，料液温度为 40 ℃，料液浓度为 1 g/L；在此条件下，将 2.1.1 制备的甜菜果胶液依次通过不同截留分子量的超滤膜（100 000、50 000、20000）分离，透过液从膜组件外侧的出口端流出，截流液返回烧杯中再次循环超滤，分布收集不同膜组件的截留液。最终得到 4 个不同分子量分布范围的级分：理论分子质量>100000、50000~100000、20000~50000 和<20000。减压浓缩（50 ℃下），醇沉，冷冻干燥，得到 4 种级分的甜菜果胶样品，备用。

2.1.3 不同级分分子量测定

以 Pullulan P-800、P-400、P-200、P-100、P-50、P-20、P-10 和 P-5 作为分子量测量的标准品，采用 HPLC 法测定不同级分的甜菜果胶的分子量，其中样品浓度为 5 mg/mL，色谱条件为：柱子：Gel-TSK4000PWXL（7.8×30.0 mm）；柱温：35 ℃；检测器温度：40 ℃；检测器：RID；流动相为：0.05 moL/L 的 Na_2SO_4 溶液。流速：0.5 mL/min。以出峰时间为横坐标，LgWM 为纵坐标，绘制标准曲线，建立线性方程，y=-0.2876x+9.339，R^2=0.999。

甜菜果胶的结构组成分析

2.2.1 FT-IR 分析

参照 Park 等[8]的方法：取 1~2 mg 样品于研钵中，加入 100 mg 干燥的溴化钾粉末，研磨均匀，压片，在 4000~400 cm^{-1} 波数范围内进行红外光谱扫描。

2.2.2 半乳糖醛酸含量的测定

参照 Dubios 和 Kintner 等[9~10]的方法：配置浓度为 0、10、20、30、40、50、60、70 μg/mL 的半乳糖醛酸溶液，分别取 2 mL 上述浓度的标准半乳糖醛酸溶液与 12 mL 浓硫酸在冰浴中混合，待冷却至室温。将其置于沸水浴中水解 10 min，再冷却到室温，分别加入 0.15%咔唑试剂 1 mL，混合均匀，在室温下静置 30 min，然后在 530 nm 波长下测定吸光度，根据吸光度与半乳糖醛酸含量的关系，绘制标准曲线，建立线性回归方程，y=0.00971x-0.04224，其中 R^2=0.9990。采用同样方法测定样品的吸光度，对照标准曲线，计算出半乳糖醛酸含量。

2.2.3 阿魏酸含量测定

参照 Synytsya 的方法[11]：用浓度为 50 mmol/L、pH 值 7.0 的 PBS 溶解阿魏酸标准品，配置浓度为 20 μg/mL 的阿魏酸标准液，稀释成不同浓度梯度，以 PBS 作为空白对照，在 325 nm 处测定吸光值，根据阿魏酸浓度与吸光值的关系，建立回归方程：

y=63.063x-0.0029，R^2=0.999。采取同样方法，将果胶样品稀释至适宜浓度，测定不同级分果胶的吸光度，对照标准曲线，计算样品阿魏酸含量。

2.2.4 酯化度的测定

参考 Pinheiro 等的方法[12]：准确称取 0.2 g 干果胶，用乙醇润湿，加入 40 ℃的重蒸水 20 mL，振荡 2 h 至样品溶解。滴加 3 滴酚酞指示剂，用 0.1 mol/L 的氢氧化钠标准溶液进行滴定，中和果胶中未被酯化的羧基，记录滴定终点时消耗氢氧化钠的体积（V_1）。继续加入 0.1 mol/L 的氢氧化钠标准溶液 10 mL，在室温下振荡 2 h，待样品中被酯化的羧基皂化完全后，加入 10 mL 0.1 mol/L 的盐酸溶液，过量的盐酸用 0.1 mol/L 氢氧化钠溶液滴定。记录滴定终点时所消耗氢氧化钠的体积（V_2），果胶的酯化度按下式计算可得。

$$DE/\% = \frac{V_2}{V_1+V_2} \times 100$$

注：DE 为果胶的酯化度（%）；V_1 为样品溶液的初滴定度（mL）；V_2 为样品溶液的皂化滴定度（mL）。

2.2.5 中性糖组分分析

参照 Rumpel 等[13]方法：称取 10 mg 果胶样品，移入具塞管中，加入 2 mol/L 三氟乙酸 2 mL，封管，110 ℃水解 3 h，冷却至室温，采用吹氮法除尽残余的三氟乙酸。然后将样品水解物及各单糖标准品进行衍生化，向水解物和单糖标准品中加入 10 mg 盐酸羟胺和 1.0 mL 吡啶，待溶解后，在 90 ℃水浴中反应 30 min，并振荡，冷却至室温，加入 1.0 mL 醋酸酐，继续在 90 ℃水浴中反应 30 min，将生成的乙酸酯衍生物直接进行气相分析。根据不同浓度的单糖标准品与峰面积的对应关系，计算果胶样品中单糖比例。

GC 条件：色谱柱：HP-5 石英毛细管柱(30 mm×0.25 mm，0.25 μm)；载气（N_2）流速：10 mL/min；检测器：FID；空气和氢气的流速比：400:30；尾吹气：25 mL/min；柱温：270 ℃；

后进样口温度：280 ℃；后检测器温度：300 ℃；进样量 1 μL；

升温程序：以 7 ℃/min 从 150 ℃升温至 190 ℃，保持 1 min；以 8 ℃/min 从 190 ℃升温至 270 ℃，保持 2 min。

2.3 不同级分果胶乳化特性测定

参照 Dalev 等[14]的方法，取 2 mL 大豆油和 2 mL 0.5%的不同分子量果胶组分溶液混合，装入 10 mL 带刻度透明离心管中，并加入 0.3%（*m/m*）的三梨酸钾（作为抑菌剂），通过分散均质机进行均质分散，转速为 10000 r/min，均质 2 min，达到较好的乳化水平，在离心力为 527 g、温度为 23 ℃的条件下离心 5 min，读取整个体系的体积（WV）和乳化层体积（ELV）。则乳化活性采用下式计算：

EA(%)=(ELV/WV)×100

每种分子量的果胶液准备四只离心管，按照同样的方法制备乳化液，均在离心力为 527 g、温度为 23 ℃的条件下离心 5 min 后，读取乳化层体积（ELVi）两个离心管贮藏在 4 ℃，另两只离心管贮藏在 23 ℃条件下，分别储藏 1 d 和 30 d 后，离心，读取乳化层体积（ELVr），采用下式计算不同条件下，不同级分甜菜果胶的乳化稳定性。

ES（%）=（ELVr/ELVi）×100

3 结果与讨论

3.1 不同级分甜菜果胶的分布及分子量测定

表 1 不同级分甜菜果胶含量的分布及分子量的测定

Table 1 The distribution and molecular weights of sugar beet pectin

甜菜果胶样品	>100000	50000~100000	20000~50000	<20000
在总果胶中分布/%	54.45	18.63	9.74	3.27
在收集果胶分布/%	64.66	20.16	11.39	3.89
相对分子量/Da	8.48×10^4	4.64×10^4	2.99×10^4	6.44×10^3
纯度/%	91.04	91.62	90.45	88.97

甜菜果胶经溶解、超滤分级、收集滤液、醇沉后，得到四种级分的果胶，其占总果胶的比例和分子量如表 1 所示。理论相对分子质量大于 100000 的级分占总果胶的 54.45%，占收集果胶总量的 64.86%，在 20000 以下的较少，仅占总果胶 3.27%，占收集果胶总量的 3.89%。由表 1 可见，分级后，分子量大于 100000 的占主要部分，果胶收集率为 84.06%。不同级分果胶分子量较超滤膜的理论截留分子量有所降低，但整体上非常接近，样品分子量较为集中，纯度分别达到 91.04%、91.62%、90.45%和 88.97%。说明超滤分级果胶效果良好。这一结果与 Morton 等[15]研究结论：果胶不经过降解直接超滤能获得很好的分级效果相一致。在操作过程中，对截留液进行了再次醇沉，造成甜菜果胶的收集率降低和实际分子量截留分子量稍低，这与 Beda 等[16]的研究结论：采用醇沉法会降低果胶的分子量和果胶得率相似。

3.2 不同级分甜菜果胶的红外光谱

图 1 为超滤所得不同级分果胶的红外光谱图，3000~3600 cm^{-1} 间的宽峰是-OH 的伸缩振动峰，由分子间和分子内的 O-H 伸缩振动吸收引起的，这主要与果胶分子中半乳糖醛酸主链间或链内的氢键有关，也可能是由于果胶中所含水分引起的[17]。

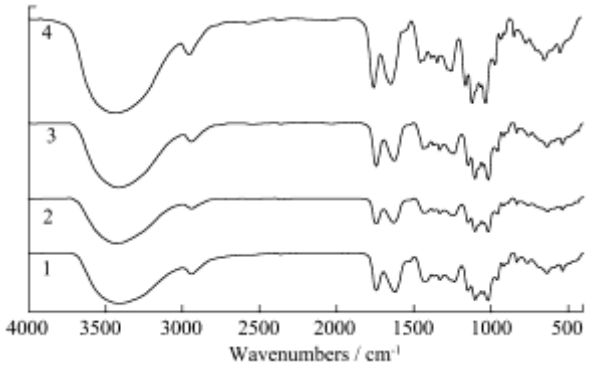

图 1 不同级分果胶的红外光谱图

Fig.1 FT-IR spectrum of sugar beet pectin sugar beet pectin with different molecular weights

注：1：<20000、2：20000~50 000、3：50000~100000、4：>100 000。

3000~2800 cm^{-1} 间的吸收峰是由 C-H 吸收引起的，主要包括 CH、CH_2 和 CH_3 的伸缩振动[18]，1760~1730 cm^{-1} 和 1630~1600 cm^{-1} 间较强的吸收峰，分别由酯化的羰基和未酯化的羰基红外吸收引起的[19]；1380 cm^{-1} 处的 C-H 弯曲吸收峰，1300~1000 cm^{-1} 的 C=O 伸缩振动吸收峰[20]；1100~1200 cm^{-1} 之间存在 R-O-R 和 C-C 的吸收峰，说明其为环状结构，在 1540~1560 cm^{-1} 处未出现吸收峰，说明各组分中没有与蛋白质结合的果胶[21]，1740 cm^{-1} 处出现的伸缩振动峰是 C=O 基团引起的，说明甜菜果胶中存在乙酰基。从图 1 中可以看出，不同分子量的甜菜果胶的特征基团没有明显差别，各波数下红外吸收的强弱不同。特别是，分别代表被酯化的羰基吸收和未被酯化羰基吸收的 1741 cm^{-1} 和 1630 cm^{-1} 处峰的强弱明显不同。随着果胶分子量减小，与 1630 cm^{-1} 处未被酯化羰基的吸收强度相比，1741 cm^{-1} 处被酯化的羰基吸收越来越弱，参照 Singthong 等[18]利用 1630 cm^{-1} 和 1741 cm^{-1} 处峰面积计算果胶酯化度的方法，得出不同分子量果胶酯化度变化趋势与 3.3 一致，略低于滴定法测定的结果。这与梅新[22]的研究结果一致。此外，分子量在 20000 以下的果胶，其 1300~800 cm^{-1} 间吸收较弱。

3.3 不同级分甜菜果胶的组成特性分析

为了进一步了解不同分子量甜菜果胶的组成特性，测定不同级分甜菜果胶半乳糖醛酸、阿魏酸含量和酯化度，其结果如表 2 所示。随着分子量增大，半乳糖醛酸、阿魏酸含量、酯化度逐渐增大。果胶是半乳糖醛酸(G.A.)的聚合多糖，通过测定不同级分果胶中的半乳糖醛酸的含量，进一步证实了果胶含量主要分布在分子量大的级分中。在 20000~100000 果胶级分中，阿魏酸含量降幅很小，而在大于 100000 的果胶级分中，阿魏酸含量较高，这可能主要是由于阿魏酸在果胶中，部分以游离态存在，部分以与蛋白质结合的形式存在，与蛋白质结合的阿魏酸主要存在大分子果胶级分中。果胶的酯化度均大于 50%，只有理论分子量小于 20000 的果胶酯化度略微低于 50%，这表明各级甜菜果胶仍为高酯果胶。

表 2 不同级分甜菜果胶的特性

Table 2 The properties of beet pectin with different molecule weight

理论分子量	>100000	50000~100000	20000~50000	<20000
半乳糖醛酸/%	82.77±0.59	68.57±0.53	59.28±0.59	47.17±1.04
阿魏酸/%	0.64±0.04	0.48±0.01	0.41±0.01	0.25±0.02
酯化度/%	77.27±0.95	67.26±0.97	56.19+0.67	44.89±0.92

3.4 不同级分甜菜果胶的中性糖分析

表 3 不同级分甜菜果胶的中性糖组成和含量

Table 3 Monosaccharide composition and contents of sugar beet pectin with different molecular weights

单糖组成/%	>100000	50000~100000	20000~50000	<20000
L-阿拉伯糖	3.6	12.7	10.2	6.6
L-岩藻糖	0.2	0.1	-	-
L-鼠李糖	1.8	0.7	1.0	0.4
D-木糖	0.3	0.1	0.2	-
D-甘露糖	0.8	0.4	0.9	1.0
D-葡萄糖	1.6	2.5	0.4	1.6
D-半乳糖	6.2	11.4	15.9	7.6

注："-"表示未检出。

采用 GC 法测定不同级分甜菜果胶的单糖构成，结果如表 3 所示。不同级分的甜菜果胶中所含单糖的种类有所差异，随着果胶的分子量降低，单糖种类减少；果胶主要由半乳糖、鼠李糖、木糖、阿拉伯糖、甘露糖和少量的岩藻糖和葡萄糖构成，四种组分中，主要以阿拉伯糖和半乳糖为主。这与果胶的结构和提取条件有关。分子量为 8.48×10^4 Da 的组分中含有以上 7 种单糖，随着分子量的减小，分子量为 2.99×10^4 Da 的组分中未检测出岩藻糖，分子量为 6.44×10^3 Da 的组分中未检测出岩藻糖和木糖。大分子量果胶中中性糖含量较低，随着分子量降低，低分子量果胶中中性糖含量相对较高，当果胶分子量为 8.48×10^4 Da 时，中性糖含量仅有 14.5%，分子量为 2.99×10^4 Da 的果胶中性糖含量高达 28.60%，但当果胶分子量为 6.44×10^3 Da 时，中性糖含量为 17.2%，仅略高于分子量为 8.48×10^4 Da 的果胶。说明在 2.1.1 提取条件下，侧链主要集中在理论分子量为 20000~50000 的果胶级分中，这与 B M Yapo 等[23]的结论：在不同提取条件下，果胶侧链水解程度存在差异，导致中性糖含量和种类

存在差异的结论相一致。中性糖主要来源于果胶中多聚半乳糖醛酸的侧链区域，在高温和强酸条件下，果胶的侧链较主链耐酸性差，易发生断裂，由此说明，酸法制备的果胶中小分子侧链较多，中性糖含量较高，经过超滤分级后，小分子侧链主要聚集在分子量较小的组分中，中性糖含量较高。分子量较大的组分侧链较少，中性糖含量较低。

3.5 不同级分果胶的乳化特性分析

表 4 不同分子量果胶的乳化活性和乳化稳定性

Table.4 The emulsifying activity and emulsion stability of sugar beet pectin with different molecular weights

不同分子量	乳化活性/%	乳化稳定性/%			
	23 ℃	1 d		30 d	
		4 ℃	23 ℃	4 ℃	23 ℃
8.477×10^4	36.88	60.47	56.98	57.86	54.18
4.64×10^4	43.13	78.26	72.75	77.73	69.06
2.99×10^4	38.75	75.12	70.88	74.42	68.28
6.435×10^3	45.63	80.76	76.06	67.26	62.35

分别对不同分子量的果胶组分的乳化活性和乳化稳定性进行研究，其结果如表 4。在本实验条件下，四种组分的乳化活性良好，其中分子量为 4.64×10^4 Da 和 6.435×10^3 Da 的果胶组分乳化活性更高，乳液在 4 ℃储藏 1 d 时，其乳化稳定性在 60.76~80.76%之间变化，在 23 ℃储藏 1 d 时，其乳化稳定性在 56.98~79.02%之间变化，与储藏 1 d 相比，储藏 30 d 后，除了分子量为 6.435×10^3 的果胶样品，其他乳化稳定性变化均较小，说明四种乳化液在 4 ℃和 23 ℃均具有较好的乳化稳定性，且在 4 ℃时，乳液稳定性更好。从表中可以看出，乳化性能和分子量不成线性，综合乳化活性和乳化稳定性，分子量为 4.64×10^4 Da 的果胶组分的乳化性能最好。

4 结论

本文采用超滤分离甜菜果胶液，得到四种不同级分的甜菜果胶，其中分子量大于 100000 的组分为主要成分，含量达到 64.86%，而相对分子质量在 20000 以下的组分含量最少，仅有 3.89%。结果表明，超滤法实现了不同分子量甜菜果胶的良好分离，随着果胶分子量的减小，其半乳糖醛酸含量、酯化度和阿魏酸含量逐渐降低，其单糖的种类随分子量的降低而减少。比较四种级分甜菜果胶的乳化活性和乳化稳定性，分子量为 4.64×10^4 Da 的甜菜果胶的乳化性能最好。

参考文献

[1] Bhalla T C, Joshi M, Agrawal H O. Evaluation of some methods for isolation of pectin from apple pomace [J]. National Academy Sciences Letters, 1993, 16: 157-159

[2] Hoff J E, Castro M D. Chemical composition of potato cell wall [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1969, 6: 1328-1331

[3] Thakur B R, Singh R K, Handa A K. Chemistry and uses of pectin-A review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1997, 37(1): 47-73

[4] Akhtar M, Dickinson E, Mazoyer J, et al. .Emulsion stabilizing properties of depolymerized pectin [J]. Food Hydrocolloids, 2002, 16: 249-256

[5] Beda M Y, Bernard W, Michel P. Comparison of alcohol precipitation and membrane filtration effects on sugar beet pulp pectin chemical features and surface properties [J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21: 245-255

[6] Nuñez A, Fishman M L, Fortis L L, et al. Identification of extensin protein associated with sugar beet pectin [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(22): 10951-10958

[7] 田玉霞,乔书涛,仇农学,等.不同分子量苹果果胶超滤法分离及其特性研究[J].食品科学.2009,24(30):197-201

[8] Park J K, Khan T, Jung J Y. Structural studies of the glucuronic acid oligomers produced by gluconacetobacter hansenii strain [J]. Carbohydrate Polymers, 2006, 63:482-486

[9] Dubios M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colorimetric method for Determination of sugar and related substances [J]. Analytical Chemistry, 1956, 28(3): 350-356

[10] Kintner P K, van Bure J P. Carbohydrate interference and its correction in pectin analysis using the m-hydroxyl diphenyl method [J]. Journal of Food Science, 1982, 47(3): 756-759

[11] Synytsya A, Copikova J, Jankovska P, et al. Spectroscopic estimation of feruloyl groups in sugar beet pulp and pectin [J]. International Sugar Journal, 2003, 105(1258): 481-488

[12] Pinheiro E R, Silva I M D A, Gonzaga L V, 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: 5561-5566

[13] Rumpel C, Dignac M F. Gas chromatographic analysis of monosaccharides in a forest soil profile: Analysis by gas chromatography after trifluoroacetic acid hydrolysis and reduction-acetylation [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2006, 38: 1478-1481

[14] Dalev P G, Simeonova L S. Emulsifying properties of protein-pectin complexes and their use in oil containing

foodstuffs [J]. Journal of Science and Food Agriculture, 1995, 68: 203-206

[15] Morton P A, Murray B S. Acid beverage floc: Protein-saponin interactions and an unstable emulsion model [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2001, 21: 101-106

[16] Beda M Y, Bernard W, Michel P. Comparison of alcohol precipitation and membrane filtration effects on sugar beet pulp pectin chemical features and surface properties [J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21: 245-255

[17] Gnanasambandam R, Proctor A. Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy [J]. Food Chemistry, 2000, 68: 327-332

[18] Singthong J, Cui S W, Ningsanond S, et al. Structural characterization, degree of esterification and some gelling properties of Krueo Ma Noy (Cissampelos pareira) pectin [J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 58: 391-400

[19] Manrique G D, Lajolo F M. FT-IR spectroscopy as a tool for measuring degree of methyl esterification in pectins isolated from ripening papaya fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 25: 99-107

[20] Coimbra M A, Barros A, Barros M, et al. Multivariate analysis of uronic acid and neutral sugars in whole pectic samples by FT-IR spectroscopy [J]. Carbohydrate Polymers, 1998, 37: 241-248

[21] Monsoor M A. Effect of drying methods on the functional properties of soy hull pectin [J]. Carbohydrate polymers, 2005, 3(6): 1-6

[22] 梅新.甘薯膳食纤维-果胶制备及物化特性研究[D].北京:中国农业科学院,2010

[23] Yapo B M, Robert C, Etienne I, et al. Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts [J]. Food Chemistry, 2007, 100: 1356-1364

现代食品科技