

亚临界水处理制备低分子柑橘果胶及其性质研究

陈剑兵, 尹颖, 陆胜民, 夏其乐, 张俊

(浙江省农业科学院食品科学研究所, 浙江省果蔬保鲜与加工技术研究重点实验室, 浙江杭州 310021)

摘要: 为了得到低分子柑橘果胶的物理制备方法, 本文研究了高压均质法和亚临界水法处理对柑橘果胶分子质量的影响规律, 发现两者均可降低果胶分子质量, 50MPa、100MPa 和 150MPa 下均质处理后的果胶重均分子质量分别为 140 ku、130 ku 和 120 ku; 105 °C、120 °C 和 135 °C 亚临界水处理后的果胶重均分子质量分别达到了 50 ku、20 ku 和 10 ku; 综合考虑产品分子质量、得率、品质等因素确定 120 °C 亚临界水处理为制备低分子柑橘果胶的较佳方法。对比了 120 °C 亚临界水改性前后果胶的基本性质, 发现: 低分子柑橘果胶的单糖组成变化不大; 单糖 (特别是半乳糖) 含量有一定程度下降; 半乳糖醛酸含量从改性前的 74.23% 升高到 87.92%; 酯化度从 70.32% 下降到 62.47%; 重金属含量略有上升, 但仍在安全范围内。可见, 120 °C 亚临界水处理是制备低分子果胶的较好方法。

关键词: 柑橘果胶; 低分子; 高压均质; 亚临界水

文章编号: 1673-9078(2014)6-186-190

Subcritical Water Preparation and Properties of Low Molecular Citrus Pectin

CHEN Jian-bing, YIN Ying, LU Sheng-min, XIA Qi-le, ZHANG Jun

(Institute of Food Science, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Fruits and Vegetables Postharvest and Processing Technology Research of Zhejiang Province, Hangzhou 310021, China)

Abstract: To obtain the satisfied physical preparation of low molecular citrus pectin, effects of high pressure homogenization and subcritical water treatment on citrus pectin molecular weight were studied in this paper. The results showed that both of them reduced the pectin molecular weight. Average molecular weights of homogenized pectin were 140 ku, 130 ku and 120 ku under the pressure of 50 MPa, 100 MPa and 150 MPa respectively; while those of subcritical water treated samples were 50 ku, 20 ku and 10 ku under 105 °C, 120 °C and 135 °C respectively. Taking a comprehensive consideration of molecular weight, yield and quality, subcritical water treatment at 120 °C was selected as a suitable method to produce low molecular citrus pectin. Compared with those properties of non-treated sample, monosaccharide composition of the treated citrus pectin changed little and their contents (especially for galactose) were decreased at a certain degree. The content of galacturonic acid was increased from 74.23% to 87.92%, while degree of esterification decreased from 70.32% to 62.47% in the citrus pectin after treated with subcritical water at 120 °C. The content of heavy metal in the treated sample was increased slightly, but still within the safe range.

Key words: citrus pectin; low molecular; high pressure homogenization; subcritical water

柑橘果胶 (Citrus pectin, CP) 是从柑橘果皮中所提取的一种复杂多聚糖长链碳水化合物, 在食品上用作胶凝剂、增稠剂和稳定剂等。天然柑橘果胶分子质量较大, 一般达十几万甚至几十万, 食用后不能被肠

收稿日期: 2013-12-18

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (Y3110524); 国家现代农业柑橘产业技术体系专项经费项目 (MATS); 浙江省农业科学院国际合作项目 (2009R15Y04E01)

作者简介: 陈剑兵 (1981-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事果品加工利用研究

通讯作者: 陆胜民 (1969-), 男, 博士, 研究员, 主要从事果品加工利用研究

道吸收, 功能活性较低^[1]。低分子柑橘果胶 (Low Molecular Citrus Pectin, LMCP) 是将天然柑橘果胶经过改性处理后, 分子质量明显小于天然果胶, 水溶性好, 容易被肠道吸收而进入血液循环的改性果胶。低分子柑橘果胶的研究起步于上个世纪 90 年代, 并日益成为柑橘果胶的研究热点, 相关报道主要集中在近 10 年。由于分子质量小、酯化度低、溶解性好, 易被肠道吸收进入血液循环进而表现出良好的生物活性作用^[2-3], LMCP 被认为是一种新兴的生物活性多糖^[4], 在抗癌^[5]、吸附重金属^[6]、降血脂^[7]、降血糖^[7]、提高免疫^[8]等方面具有良好的功效, 应用前景广阔。目前对于 LMCP 没有明确定义, 但从分子质量角度分析,

LMCP 分子质量一般在 20 ku 以下。如何简单方便地将天然果胶降解为低分子果胶成为当今果胶研究领域的一个热点课题。

目前用于制备 LMCP 的方法主要为酸、碱法。碱法主要是引起皂化,降低果胶糖链的酯化度,对分子质量影响不明显;酸法主要是引起多糖链中糖苷键的断裂,使原本的多糖长链降解为低分子质量片断。此外,学者们研究发现高压^[9]、辐照^[10]、超高压微射流技术^[11]等物理处理方式均会对果胶的分子质量产生影响,但这些研究的的目的均不是为了制备低分子果胶,其果胶分子质量也未达到 20 Ku 以下。而 Munarin 等^[9]研究发现用高压蒸汽处理后果胶平均分子量下降较大,但该研究是为了了解不同杀菌方式对果胶性质的影响,并未深入探讨高压蒸汽对果胶分子质量的影响规律。

高压均质机和高压蒸汽灭菌锅是实验室和工厂常用的物理处理设备,前者通过其产生的空穴、撞击和剪切作用影响果胶大分子,后者通过形成高温高压的亚临界水对果胶大分子产生影响。本文以温州蜜柑皮为原料,探究两种方法对柑橘果胶的影响,以得到适合规模化生产的物理法改性低分子柑橘果胶,并研究改性后果胶的基本性质。本研究对于综合开发、利用柑橘资源,提高原料利用率和附加值,减少环境污染以及对我国柑橘产业的可持续发展均有一定的意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

尾张温州蜜柑 (*C. un shiu* Marc. cv. Owari), 由浙江柑桔研究所提供;乙醇、盐酸均为分析纯,上海化学试剂公司产品。

1.2 主要仪器设备

FD5308 真空冷冻干燥机,韩国 SIM 公司;DS-1 高速组织捣碎机,上海标本模型厂;R1002B 旋转蒸发仪,上海申生科技有限公司;D-1 型高压蒸汽灭菌锅,北京发恩科贸有限公司;AH100D 高压均质机,上海 ATS 工业系统有限公司;Waters 515 凝胶色谱仪,美国 Waters 公司;Waters 2410 示差折光检测器,美国 Waters 公司;5975C 气相质谱联用仪,美国 Agilent 公司;AA-700 原子吸收分光光度计,日本岛津公司;AFS-9230 原子荧光光度计,北京海光仪器公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

柑橘果胶提取液的制备:将新鲜温州蜜柑人工剥皮,皮切碎并洗至无色,加入 5 倍左右的水,以盐酸调节 pH 至 1.5,加热至 95 °C 并保持 1 h,期间搅动数次,经 100 目滤布过滤得滤液,滤液用氢氧化钠中和至 pH 为 5 左右,50 °C 下旋转蒸发浓缩至原液的一半,得柑橘果胶提取液。

未改性果胶样品的制备:将制备的温州蜜柑果皮果胶粗提液自然冷却后,加入 3 倍体积的 95% 乙醇进行沉淀,沉淀物用 95% 乙醇洗涤 2 次,于 -20 °C 冰箱中冷冻 2 h,再于 -78 °C 冰箱中冷冻 3 h,最后进行冷冻干燥,所得样品粉碎。

高压均质法改性果胶样品的制备:将制备的温州蜜柑果皮果胶粗提液分别于 50 MPa、100 MPa、150 MPa 下进行均质处理后,同未改性果胶样品的制备方法进行冷却、沉淀、洗涤、冷冻干燥和样品粉碎。

亚临界水法改性果胶样品的制备:将制备的温州蜜柑果皮果胶粗提液置于高压蒸汽灭菌锅中,分别进行 105 °C、120 °C、135 °C 处理 30 min,同未改性果胶样品的制备方法进行冷却、沉淀、洗涤、冷冻干燥和样品粉碎。

1.3.2 分子质量的测定

采用高效凝胶色谱法测定分子质量,具体指标包括数均分子质量 (Mn)、重均分子质量 (Mw)、峰位分子质量 (Mp)、Z 均质子量 (Mz) 以及分子质量的分散度。

色谱条件:选用 TOSOH BIOSEP G4000SWXL 型色谱柱,柱温 40 °C,流动相为 0.1 mol/L 硝酸钠溶液,流速为 0.5 mL/min,进样体积为 50 μL。

标准曲线的制作:已知分子质量分别为 401.31 ku、196.3 ku、66.7 ku、21.4 ku、10.5 ku、4.44 ku 的标准葡聚糖经流动相溶解,配制成 5 mg/mL 的标准溶液。运用 GPC 软件以标准葡聚糖分子质量的对数 LogMw 对保留时间 T 作图,得到标准曲线方程。

样品处理:准确称取温州蜜柑果皮果胶冻干粉 50 mg,经流动相溶解后定容至 50 mL,0.45 μm 滤膜过滤后进行色谱检测。

1.3.3 果胶得率

$$\text{果胶得率} / \% = \frac{\text{果胶制品的质量}}{\text{新鲜橘皮的质量}} \times 100\%$$

1.3.4 感官评定

取适量改性前后的果胶样品置于干燥、清洁的白色器皿中,在自然光线下,观察其色泽。

1.3.5 单糖成分的测定

将单糖标准品及果胶样品进行乙酰化,利用气质

联用 (GC-MS) 测定分析, 具体步骤如下:

单糖标准品的乙酰化: 精确称取等摩尔 (2 mmol/L) 的葡萄糖、半乳糖、鼠李糖、木糖、阿拉伯糖、甘露糖和岩藻糖以及七种单糖的混合物于梨形瓶中, 分别用 3 mL 蒸馏水溶解, 加入硼氢化钠 (NaBH₄) 20~30 mg, 于室温下还原 3 h, 间歇振荡。还原后用冰醋酸中和过量的 NaBH₄, 至溶液中无气泡产生, pH 保持在 4~5 之间。向溶液中加入 3 mL 甲醇, 减压蒸干, 重复 4~5 次, 充分除去反应中的副产物硼酸和水分。反应产物置于真空干燥器中过夜, 再于 110 °C 烘箱中加热 15 min, 以充分除去残留的水分, 然后加入 4 mL 醋酸, 100 °C 反应 1 h, 自然冷却后加入 3 mL 甲苯, 减压蒸干, 重复 4~5 次, 除尽多余的醋酸。向乙酰化后的产物中加入 3 mL 氯仿溶解, 转移至分液漏斗中, 加入少量蒸馏水, 充分震荡后除去上层水溶液, 连续重复 4 次。以适量的无水硫酸钠干燥氯仿层, 定容至 10 mL 待 GC-MS 分析。

样品的乙酰化: 精确称取 LMCP 纯化样品 5.0 mg, 放入长的薄壁试管中, 加入三氟乙酸 (TFA) (2 mmol/L) 4 mL, 110 °C 水解 2 h。水解液于 40 °C 以下减压蒸干, 再加入 3 mL 甲醇, 减压蒸干, 重复以上操作 4~5 次, 以彻底除去 TFA。将所得水解物按照单糖标准品的乙酰化的方法进行还原和乙酰化, 用氯仿定容至 10 mL, 待 GC-MS 分析。

色谱条件: DB-5MS 石英毛细管柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm), Agilent 7963 自动进样器, 程序升温: 柱初温 120 °C, 保持 1 min, 以 10 °C/min 升至 240 °C, 恒 7 min, 进样口温度: 250 °C 分流比 1:50, 柱流速为 1 mL/min。

1.3.6 半乳糖醛酸 (GalA) 含量的测定

采用间羟基联苯法。标准曲线的制作: 配制 1.0 mg/mL 半乳糖醛酸标准溶液, 分别取 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 和 0.6 mL 的标准溶液置于 10 mL 容量瓶中, 蒸馏水依次定容, 分别取定容后的溶液各 1.0 mL 于 20 mL 具塞试管中, 置于冰水浴中, 加入 4.78 mg/mL 四硼酸钠-硫酸溶液 5.0 mL, 旋涡混合器混匀, 再置于沸水浴中加热 5 min, 冰水浴冷却后加入 1.5 mg/mL 间羟基联苯溶液 100 μL, 混匀后振荡约 5 min, 超声 5 min 除去气泡。调零空白液以 1.0 mL 蒸馏水如上操作制得, 于 524 nm 波长下测定吸光度。以标准半乳糖醛酸质量浓度 ρ (mg/mL) 为横坐标, 吸光值 A 为纵坐标, 绘制标准工作曲线。

样品的配制与测定: 精确称取待测样品 0.05 g, 置于 50 mL 容量瓶中定容, 量取定容液 0.5 mL, 再于 10 mL 容量瓶中定容, 按照标准曲线制作的方法测定

样品含量, 计算公式:

$$\text{样品中半乳糖醛酸的含量}/\% = \frac{\text{样品中半乳糖醛酸的质量浓度} \times \text{稀释因子}}{\text{样品质量}} \times 100\%$$

1.3.7 酯化度 (DE) 的测定

采用化学滴定法。准确称取 5.0 g 果胶样品于 250 mL 锥形瓶中, 加入 100 mL 60% 乙醇和 5 mL 浓盐酸进行沉淀, 摇床振荡 10 min。真空抽滤, 用一定量的浓盐酸和 60% 乙醇混合液 (1:20, V/V) 洗涤沉淀物 5~6 次, 再用 60% 乙醇洗涤沉淀直至无明显不溶物溶出。然后将沉淀物用 20 mL 无水乙醇再次洗涤后, 于 60 °C 干燥 2 h, 自然冷却, 称重。准确称取 500.0 mg 干燥后的样品至 250 mL 锥形瓶中, 加入 2 mL 95% 乙醇和 100 mL 无二氧化碳的沸水。加盖振荡直至果胶完全溶解或已经彻底水解。加入 5 滴酚酞指示剂, 用 0.1 mol/L NaOH 溶液进行标定, 记录标定体积 V₁。加入 20 mL 0.5 mol/L NaOH 溶液, 盖紧盖子, 剧烈振荡 15 min。加入 20 mL 0.5 mol/L HCl 溶液, 振荡至粉红色消失为止, 然后加入 3 滴酚酞指示剂, 用 0.5 mol/L NaOH 溶液标定, 至溶液呈淡粉红色, 记录标定体积 V₂。果胶酯化度为:

$$\text{酯化度}/\% = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\%$$

1.3.8 干燥失重的测定

采用直接干燥法, 参照 GB 5009.3-2010。取洁净玻璃扁形称量瓶, 置于 105 °C 干燥箱中, 瓶盖斜支于瓶边, 加热 1.0 h, 取出盖好, 置干燥器内冷却 0.5 h, 称量, 并重复干燥至前后两次质量差不超过 2 mg 即为恒重。精确称取果胶样品 2~3 g (精确至 0.001 g), 记作 M₀, 放入干燥后的称量瓶中, 加盖, 精密称量后记作 M₁, 置于 105 °C 干燥箱中, 瓶盖斜支于瓶边, 干燥 2 h 后盖好取出, 放入干燥器内冷却 0.5 h 后称量。然后再放入 105 °C 干燥箱中干燥 1 h 左右取出, 放入干燥器内冷却 0.5 h 后称量。并重复以上操作至前后两次质量差不超过 2 mg, 即为恒重, 记作 M₂。计算公式为:

$$\text{样品干燥失重}/\% = \frac{M_1 - M_2}{M_0} \times 100\%$$

1.3.9 重金属含量的测定

利用原子吸收分光光度计和原子荧光光度计, 主要检测重金属铅、砷、汞、镉的含量, 检测方法参照 GB 5009-2010。

1.3.10 数据分析

除分子量分析外, 其它数据均重复 3 次, 用 Excel 分析制图, 图表中的数据为 3 次数据的平均值。

2 结果与讨论

2.1 高压均质处理对柑橘果胶性质的影响

高压均质处理对柑橘果胶分子质量的影响如图 1 所示, 由该图可知, 高压均质处理能降低果胶分子质量, 且随着均质压力的升高, 果胶分子质量下降越明显, 但高压均质并未使果胶的分子质量下降到 20 ku 以下: 50 MPa 下, Mw 仅下降了 9%, 约为 140 ku; 100 MPa 下, Mw 下降了 18%, 约为 130 ku; 150 MPa 下, Mw 下降了 23%, 约为 120 ku。三个压力下, 分子质量的分散度(表 1)并未有明显变化, 且数值偏高即分子质量的均一性较低。这与 Chen^[11]和 Corredig^[12]等人的研究结果基本一致。高压均质能产生空穴效应、撞击效应和剪切效应, 在这三种效应作用下, 物料粒径可被均匀细化到纳米级, 但均匀细化作用可能未充分触及到果胶分子水平的结构, 因而未

能使其分子质量明显下降。同时, 高压均质对果胶产品的得率、色泽也未产生明显影响。由此可见单独利用高压均质改性果胶以制备低分子果胶存在一定困难。

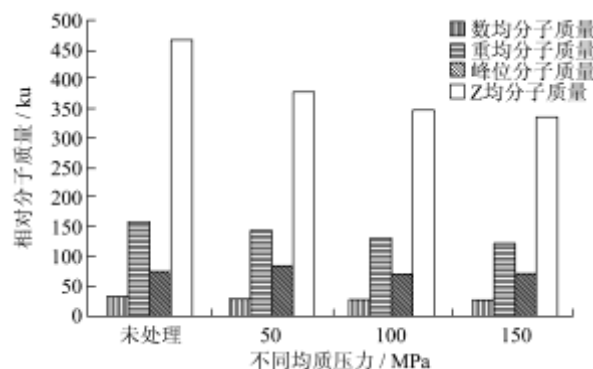


图 1 高压均质处理对果胶分子质量影响

Fig.1 Effect of high pressure homogenization on pectin molecular weight

表 1 不同处理下果胶的性质

Table 1 Properties of pectin after different treatments

	未处理	50 MPa	100 MPa	150 MPa	105 °C	120 °C	135 °C
分子质量分散度	4.49	5.29	4.51	4.36	2.98	1.33	2.07
果胶得率/%	3.42±0.08	3.41±0.09	3.34±0.12	3.31±0.11	3.45±0.09	3.12±0.10	2.77±0.07
色泽	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色	淡黄色	黄色	浅棕色

2.2 亚临界水处理对柑橘果胶性质的影响

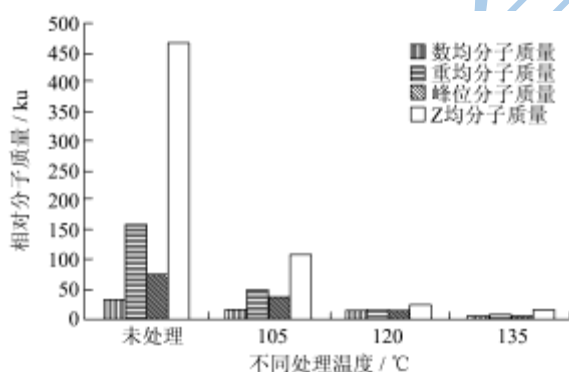


图 2 亚临界水处理对果胶分子质量的影响

Fig.2 Effect of subcritical water on pectin molecular weight

亚临界水处理对柑橘果胶分子质量的影响如图 2 所示, 由该图可知, 亚临界水处理后果胶的分子质量 Mn、Mw、Mp、Mz 均有明显下降, 并且分子质量下降程度不同。经 105 °C 处理, Mw 下降了约 70%, 分子质量约为 50 ku; 120 °C 处理后, Mw 下降了近 90%, 分子质量约为 20 ku; 135 °C 处理后, Mw 下降最为明显约 95%, 分子质量约为 10 ku。由此可见, 高压杀菌锅温度越高果胶降解程度越大, 分子质量越低。考虑到 135 °C 处理后, 产品得率低、颜色较深(表 1),

而 120 °C 处理后果胶分子质量已低于 20 ku, 且分散度低、均一性较好(表 1), 能耗也较低, 故可选用 120 °C 亚临界水处理来制备 LMCP。

2.3 亚临界水法制备的 LMCP 的性质

2.3.1 单糖成分分析

果胶改性前后单糖分布如图 3 和图 4 所示, 根据各峰的保留时间和质谱对照标准品图谱对样品中的单糖进行定性分析, 由标准图谱计算出各单糖的响应因子从而得出样品中单糖组分的摩尔比。结果表明: 果胶中含有鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、葡萄糖和半乳糖, 五种单糖的摩尔比为 1.43:2.36:1.14:9.84:22.97; 低分子果胶中同样含有鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、葡萄糖和半乳糖, 五种单糖的摩尔比为 2.60:2.37:0.73:3.17:4.30。低分子果胶与未改性样品相比, 单糖成分并未发生变化, 但单糖含量却有所降低, 尤其是半乳糖含量降低非常明显, 这与 Jackson^[13]等研究发现相似。由此可见亚临界水处理有可能通过打断中性糖(主要为半乳糖)支链和半乳糖醛酸聚糖主链之间的连接来实现对果胶的改性, 游离出来的半乳糖等中性糖残基不被乙醇沉淀, 从而表现出低分子果胶中单糖含量的下降及半乳糖醛酸含量的上升(表 2)。

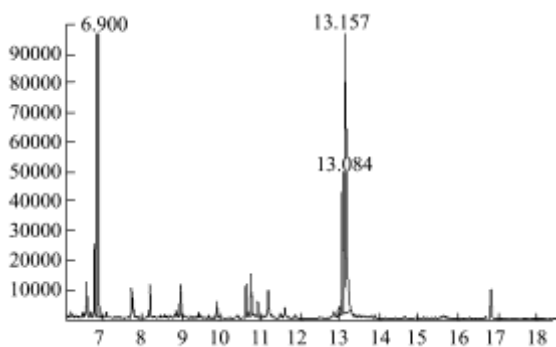


图3 柑橘果胶样品的总离子流图

Fig.3 Part of total ion chromatogram of citrus pectin

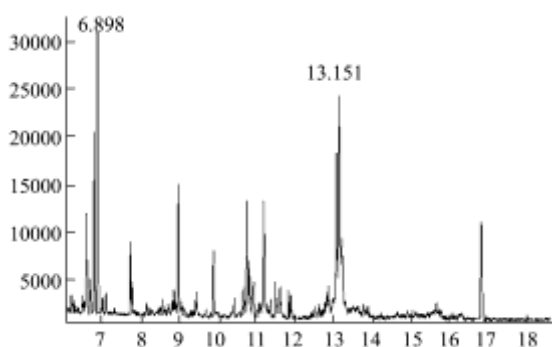


图4 低分子柑橘果胶样品的总离子流图

Fig.4 Part of total ion chromatogram of low molecular citrus pectin

2.3.2 成分分析

表2 果胶成分表

Table 2 Composition content of pectin

成分	未改性柑橘果胶	低分子柑橘果胶
半乳糖醛酸含量/%	74.23±1.33	87.92±3.96
酯化度/%	70.32±2.16	62.47±2.65
干燥失重/%	6.25±0.33	6.63±0.30
铅/(mg/kg)	0.48±0.02	0.59±0.03
砷/(mg/kg)	0.030±0.002	0.022±0.001
汞/(mg/kg)	0.0033±0.001	0.0045±0.003
镉/(mg/kg)	0.0063±0.0003	0.015±0.001

柑橘果胶 120 °C 亚临界处理前后成分变化如表 2 所示, 由该表可知: 与未改性果胶相比, 低分子果胶的半乳糖醛酸含量升高了, 可能的原因是亚临界水处理使果胶中部分中性糖及部分杂质游离出来, 从而提高了果胶的纯度; 改性让果胶的酯化度降低了, 可见亚临界水具有一定的脱脂作用; 低分子果胶重金属含量略有上升可能是在高温处理过程中从容器中溶入, 但重金属含量增加不明显, 含量均在国家标准规定的范围之内。

3 结论

3.1 高压均质处理能降低柑橘果胶的分子量, 但在试验选定的 3 个压力条件下, Mw 最高仅下降了 23%, 仍高于 120 ku, 不能达到低分子果胶的分子质量标准。

3.2 亚临界水处理能明显降低柑橘果胶的分子量, 在试验选定的 3 个温度条件下, 120 °C 和 135 °C 处理均能使 Mw 下降到 20 ku 以下, 考虑到 120 °C 处理在产品均一性、得率、色泽及能耗方面相对具有优势, 故可选用 120 °C 亚临界水处理来制备 LMCP。

3.3 亚临界水法所得低分子柑橘果胶与未处理样品相比: 单糖含量 (特别是半乳糖) 和酯化度下降了, 半乳糖醛酸含量升高了, 重金属含量略有上升。

3.4 高温高压处理有可能是通过打断果胶分子中中性糖 (主要为半乳糖) 支链和半乳糖醛酸聚糖主链之间的连接来实现对果胶的改性, 具体作用机制有待进一步研究确定。

参考文献

[1] 唐会周, 秦刚. 修饰柑橘果胶生理功能研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(2): 6-8
TANG Hui-zhou, QIN Gang. Research review on physiological functions of modified citrus pectin [J]. Food and Fermentation Technology, 2010, 46(2): 6-8

[2] Nicholas J. Fighting cancer metastasis and heavy metal toxicities with modified citrus pectin [J]. Life Extension, 2009, 9: 40-46

[3] Eliaz I, Guardino J, Hughes K. The health benefits of modified citrus pectin [J]. Potential Health Benefits of Citrus, 2006, 936: 199-210

[4] Maxwell E G, Belshaw N J, Waldron K W, et al. Pectin-An emerging new bioactive food polysaccharide [J]. Trends in Food Science & Technology, 2012, 24: 64-73

[5] Li Y, Liu L, Niu Y, et al. Modified apple polysaccharide prevents against tumorigenesis in a mouse model of colitis-associated colon cancer: role of galectin-3 and apoptosis in cancer prevention [J]. European Journal of Nutrition, 2012, 51(1): 107-117

[6] Li FT, Yang H, Zhao Y, et al. Novel modified pectin for heavy metal adsorption [J]. Chinese Chemical Letters, 2007, 18: 325-328

[7] 郭晓婧, 张爱珍, 陈建国, 等. 低分子柑桔果胶粉对糖尿病小鼠血糖、血脂的调节作用[J]. 中国全科医学, 2006, 9(20): 1685-1686

WU Xiao-jing, ZHANG Ai-zhen, CHEN Jian-guo, et al. Regulating function of low molecular citrus pectin on blood glucose and lipids in diabetic mice [J]. Chinese General

- Practice, 2006, 9(20): 1685-1686
- [8] 范晓青. 低分子柑桔果胶用于增强免疫功能的应用: 中国, 200610050803.3 [P]. 2006-12-27
FAN Xiao-qing. The application of low molecular citrus pectin on enhancing immune function: China, 200610050803.3 [P]. 2006-12-27
- [9] Naghshineh M, Olsen K, Georgiou C A. Sustainable production of pectin from lime peel by high hydrostatic pressure treatment [J]. Food Chemistry, 2013, 136: 472-478
- [10] Munarin F, Bozzini S, Visai L, et al. Sterilization treatments on polysaccharides: effects and side effects on pectin [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 31: 74-84
- [11] Chen J, Liang RH, Liu W, et al. Degradation of high-methoxyl pectin by dynamic high pressure microfluidization and its mechanism [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 28: 121-129
- [12] Corredig M, Wicker L. Changes in the molecular weight distribution of three commercial pectins after valve homogenization [J]. Food Hydrocolloids, 2001, 15: 17-23
- [13] Jackson C L, Dreaden T M, Theobald L K. Pectin induces apoptosis in human prostate cancer cells: correlation of apoptotic function with pectin structure [J]. Glycobiology, 2007, 17(8): 805-819