

文章编号:1673-2383(2018)03-0020-06

网络出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1378.N.20180620.0922.008.html>

网络出版时间:2018-6-20 9:22:54

# 果胶多糖在体外模拟消化体系中结构特性的变化研究

王 培,张丽芬,陈复生\*

(河南工业大学 粮油食品学院,河南 郑州 450001)

**摘要:**果胶多糖存在于人们的日常饮食中,研究果胶在人体内的消化有助于开发更易于人体吸收的果胶多糖产品。以柑橘果胶为原料,采用单因素试验研究了果胶浓度和酶解时间等因素对其结构特性的影响,揭示了果胶多糖在体外模拟消化体系中的结构变化规律。采用吡啶比色法对果胶含量进行测定,并借助近红外光谱(FTIR)和原子力显微镜(AFM)对果胶结构进行分析。果胶含量测定结果表明:经过胃液消化后,果胶(质量浓度为 1.0 g/L)中半乳糖醛酸含量由 40.10%降为 18.54%,还原糖含量也逐渐降低,并随消化时间的增加而降低,随着肠液消化时间的增加,半乳糖醛酸和还原糖含量没有明显变化( $P>0.05$ )。FTIR 结果表明:在胃消化过程中,果胶降解,结构发生改变,果胶的酯化度降低,经肠液消化后果胶酯化度没有明显的变化。AFM 分析显示:随着胃液消化时间的增加,聚集体数量减少,果胶分子链宽值减小,果胶多糖降解,经肠液消化后果胶纳米结构没有明显的变化。研究结果表明,果胶的降解主要发生在胃消化过程中。

**关键词:**果胶;体外模拟;降解;结构

中图分类号:TS201.2

文献标志码:B

## 0 引言

果胶是一种常见的天然多糖,来源丰富,多存在于高等植物的根、茎和果实中。果胶多糖广泛应用于食品工业中,具有多种生理功能,如调节血脂、抗肿瘤、抗氧化等<sup>[1]</sup>,研究果胶在人体内的消化特性有助于开发更易于人体吸收的果胶多糖产品。

目前,研究者进行了多种多糖的体外消化研究。在体外消化过程中,由于酶、酸性环境以及电解质溶液的作用,多糖的分子质量、化学成分和结构都会发生变化<sup>[2]</sup>。鼎湖鳞伞菌胞外多糖、龙井茶多糖以及南瓜多糖的体外研究结果表明,唾液对多糖没有消化作用,经过胃液和肠液消化后,有还原糖生成,并且随胃液消化时间的延长,还原糖含

量逐渐增加<sup>[3-5]</sup>。经过体外模拟消化后,多糖的分子质量明显降低,但是不生成游离的单糖<sup>[6]</sup>。经过肠胃消化后,大粒车前子多糖分子质量明显降低,灵芝多糖分子质量从(198.0±0.3)kDa 降低到(147.1±0.3)kDa<sup>[7-8]</sup>。胃液提供的酸性环境是多糖被消化的主要原因。前期研究表明,唾液淀粉酶对桑葚多糖几乎没有影响,肠胃消化后多糖分子质量降低,还原末端增加,但是没有产生单糖,且胃液的消化作用要大于肠液<sup>[9]</sup>。青钱柳多糖的体外消化试验中,多糖在胃液和肠液中,均没有被消化,但是,酸性环境以及电解质溶液影响了多糖的构象和稳定性<sup>[10]</sup>。

作者以柑橘果胶为原料,采用单因素试验研究了果胶浓度和酶解时间等因素对其结构特性的影响,揭示了果胶多糖在体外模拟消化体系中的结构变化规律,研究结果可为多糖的体外模拟消化体系的建立提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

果胶:丹尼斯克公司;胃蛋白酶(1:3 000)、胰酶(USP 级):上海麦格林生化科技有限公司; $\alpha$ -D-

收稿日期:2017-10-25

基金项目:国家自然科学基金项目(31501535,31371851);河南省教育厅自然科学项目(15A550011);河南工业大学科技创新人才(2014CXRC01)

作者简介:王培(1993—),女,河南郑州人,硕士研究生,研究方向为食品资源开发与利用。

\* 通信作者:陈复生,教授,博导,E-mail:fusheng@aliyun.com

水解半乳糖醛酸:西格玛奥德里奇贸易有限公司;溴化钾、氯化钠等试剂均为分析纯。

## 1.2 主要仪器与设备

THZ-82型数显水浴恒温振荡器:江苏省金坛市医疗仪器厂;高速万能粉碎机:北京市永光明医疗仪器有限公司;LGJ-18型冷冻干燥机:北京四环科学仪器厂;TDL-5-A型离心机:上海安亭科学仪器厂;PHS-3C pH计:上海仪电科学仪器股份有限公司;UV-1901型紫外分光光度计:北京普析通用仪器有限责任公司;FITR光谱仪:北京瑞利分析仪器有限公司;原子力显微镜:上海卓伦微纳设备有限公司。

## 1.3 方法

### 1.3.1 果胶多糖的制备

称取果胶样品 10.00 g,溶于 105 mL 蒸馏水中,在 40 °C 下振荡溶解,加入 195 mL 无水乙醇,沉淀 24 h 后过滤,用乙醚洗涤沉淀,放入通风橱过夜干燥,然后称量并记录。测定纯化前后样品中半乳糖醛酸含量。样品粉碎备用。

### 1.3.2 果胶多糖的体外模拟消化

#### 1.3.2.1 体外模拟胃液和肠液的配制

胃电解质溶液:6.20 g NaCl,2.20 g KCl,0.30 g CaCl<sub>2</sub>,1.20 g NaHCO<sub>3</sub>溶于 2 L 的蒸馏水中。体外模拟胃液:0.67 g 胃蛋白酶中加入 900 mL 胃电解质溶液,混合均匀,然后用 1.00 mol/L HCl 调 pH 至 2.0。肠电解质溶液:10.80 g NaCl,1.30 g KCl,0.66 g CaCl<sub>2</sub>溶于 2 L 的蒸馏水。70.0 g/L 胰酶:21.00 g 胰酶溶于 300 mL 水,5 000 g 离心 10 min,取上清液待用。体外模拟肠液:500 mL 胰酶溶液中加入 500 mL 肠电解质溶液,混合均匀,然后用 1.00 mol/L NaHCO<sub>3</sub>调 pH 至 7.0。

#### 1.3.2.2 果胶多糖在体外模拟胃中的消化

在 14 个锥形瓶(250 mL)中分别加入 100 mL 体外模拟胃液,然后各加入 100 mL 1.0 g/L 多糖溶液(其中前 7 个锥形瓶做果胶多糖体外模拟胃消化,后 7 个锥形瓶做果胶多糖体外模拟胃肠道消化),充分混合以后,在 150 r/min、37 °C 的摇床中消化,分别在 0.5、1、2、3、4、5、6 h 各取出 1 个锥形瓶,4 800 g 离心 10 min;取上清液 100 mL 用生理盐水透析(8 000 Da);其余上清液以及沉淀部分冻干备用;用去离子水取代多糖溶液作为空白对照。同时分别用 2.00、3.00、4.00、5.00 g/L 的果胶多糖溶液再次进行以上操作,分析不同浓度下果胶多糖在体外模拟胃肠道环境中的消化规律。

#### 1.3.2.3 果胶多糖在体外模拟胃肠道中的消化

取 7 个在体外模拟胃中消化 6 h 的多糖的锥

形瓶,分别用 1.0 mol/L NaHCO<sub>3</sub>调节溶液 pH 值为 7.0,然后分别向 7 个锥形瓶中加入 6 mL 的体外模拟的肠消化液,充分混合后,于 150 r/min、37 °C 的摇床中消化,在 0.5、1、2、3、4、5、6 h 取出 1 个锥形瓶,4 800 g 离心 10 min;取上清液 100 mL 用生理盐水透析(8 000 Da),其余上清液冷冻干燥备用。空白对照组,用去离子水代替多糖溶液,其他操作步骤同上。试验平行进行 3 次。

### 1.3.3 果胶含量测定

采用咪唑比色法测定果胶含量<sup>[11]</sup>。配置一系列质量浓度分别为 0、10、20、30、40、50、60、70 mg/L 的半乳糖醛酸标准溶液。取 2 mL  $\alpha$ -D-半乳糖醛酸溶液加入 12 mL 冷硫酸中,沸水浴中加热 10 min,迅速冷却至室温,加入咪唑溶液 1 mL(1.5 g/L),摇匀,使其充分混合,然后放在室温下静置 30 min,以 0 g/L 管作为空白调零,在 530 nm 波长下测定吸光度 A。绘制标准曲线。以同样的方法测定样品吸光度并计算  $\alpha$ -D-半乳糖醛酸含量。

### 1.3.4 果胶多糖及消化产物的 FTIR 扫描

取大约 200 mg 干燥过的 KBr 和 4 mg 干燥后的固体样品,研磨至完全均匀,取大约 100 mg,用 HY-12 型压片机及压片模具压制成透明薄片,扫描其红外光谱。

### 1.3.5 果胶多糖及消化产物还原糖含量的测定

#### 1.3.5.1 葡萄糖标准曲线绘制

按表 1 加入试剂摇匀之后,沸水浴 10 min,快速冷却至室温,用蒸馏水定容至 10 mL,摇匀。空白调零,测定吸光值 A(540 nm),绘制标准曲线。

表1 绘制葡萄糖标准曲线的试剂量

Table 1 The reagent amount for glucose standard

管号	curve						
	0	1	2	3	4	5	6
葡萄糖标准液/mL	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
蒸馏水/mL	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
DNS 试剂/mL	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
相当于葡萄糖量/mg	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6

#### 1.3.5.2 还原糖含量的测定

取待测样品用 DNS 法测定其还原糖的含量。用 1.00 mol/L 碳酸氢钠溶液调样品 pH 至 7.0。取 1 mL 体外模拟胃和胃肠道的消化产物于 10 mL 的具塞试管中,用绘制标准曲线的方法测定吸光度。计算还原糖含量。

### 1.3.6 数据分析

采用 Excel、Origin8.0 和 SPSS 20 软件进行数据以及显著性分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 体外模拟消化对果胶中半乳糖醛酸含量的影响(表 2)

表 2 体外模拟消化时间对样品中半乳糖醛酸含量的影响

Table 2 Effect of simulated digestion time on the content of galacturonic acid in samples

时间/h	胃液消化/%	肠液消化/%
0	40.10±1.01 <sup>e</sup>	-
0.5	30.20±1.10 <sup>f</sup>	-
1	26.03±0.77 <sup>g</sup>	15.90±1.82 <sup>b</sup>
2	22.10±0.45 <sup>d</sup>	-
3	20.66±0.77 <sup>c</sup>	15.52±1.15 <sup>b</sup>
4	19.60±1.41 <sup>b</sup>	-
5	19.00±1.28 <sup>ab</sup>	-
6	18.54±1.55 <sup>a</sup>	12.36±1.50 <sup>a</sup>

注:不同小写字母表示差异显著,下同。

由表 2 可知,随消化时间的延长,胃液消化后果胶中半乳糖醛酸含量逐渐降低,且降低速率逐渐变缓。经胃液和肠液共同消化后,果胶中半乳糖醛酸含量也呈下降趋势,但变化不明显( $P>0.05$ )。结果表明:果胶随消化时间延长发生降解,在胃液中的降解较为明显,在肠液中的含量无明显变化。因此,果胶多糖的消化主要发生在胃液中,在肠液中有极少量的果胶被消化。

### 2.2 果胶多糖消化产物还原糖含量的测定(表 3)

表 3 体外模拟消化时间对样品中还原糖含量的影响

Table 3 Effect of simulated digestion time on the content of reducing sugar in samples

时间/h	胃液消化/%	肠液消化/%
0	41.62±1.10 <sup>e</sup>	-
0.5	39.66±1.57 <sup>f</sup>	-
1	32.73±1.89 <sup>g</sup>	7.30±0.11 <sup>a</sup>
2	25.83±1.21 <sup>d</sup>	-
3	19.46±1.17 <sup>c</sup>	9.65±0.47 <sup>a</sup>
4	16.15±0.42 <sup>b</sup>	-
5	15.89±1.32 <sup>b</sup>	-
6	13.64±1.15 <sup>a</sup>	8.25±0.41 <sup>a</sup>

果胶中单糖主要有半乳糖醛酸、半乳糖、阿拉伯糖、鼠李糖和岩藻糖等。半乳糖醛酸含量约为 80%,是果胶分子主链的主要成分,半乳糖和阿拉伯糖组成果胶分子侧链。在果胶降解过程中,糖苷键断裂,释放出单糖,单糖是果胶中主要的还原

糖。由表 3 可知,随着消化时间的延长,样品还原糖含量逐渐降低,且降低速率逐渐变缓。而经过肠道环境消化后还原糖含量降至更低,但是没有显著差异( $P>0.05$ )。胃液的 pH 较低,在酸性环境下,果胶多糖的糖苷键可能被破坏,发生断裂,生成寡糖或单糖,半乳糖醛酸、半乳糖以及阿拉伯糖含量增加,这些小分子糖分散在胃液中,使胃液中还原糖含量增加,例如鼎湖鳞伞菌胞外多糖随胃液消化的时间越长,胃液中还原糖含量越高<sup>[3]</sup>。通过还原糖含量的测定可以证明是否有糖苷键的断裂<sup>[7,12]</sup>。本试验主要测定消化后果胶样品中还原糖含量,还原糖含量呈下降趋势是因为生成的小分子物质主要分布在胃液中,或者透析后进入透析液中,造成测得的还原糖含量较低。其中部分糖醛酸基团可能会在体外模拟消化系统中受其他离子影响,导致样品中的还原糖含量略有变化。因此,随着果胶的降解,导致果胶含量降低,果胶样品中还原糖含量降低。

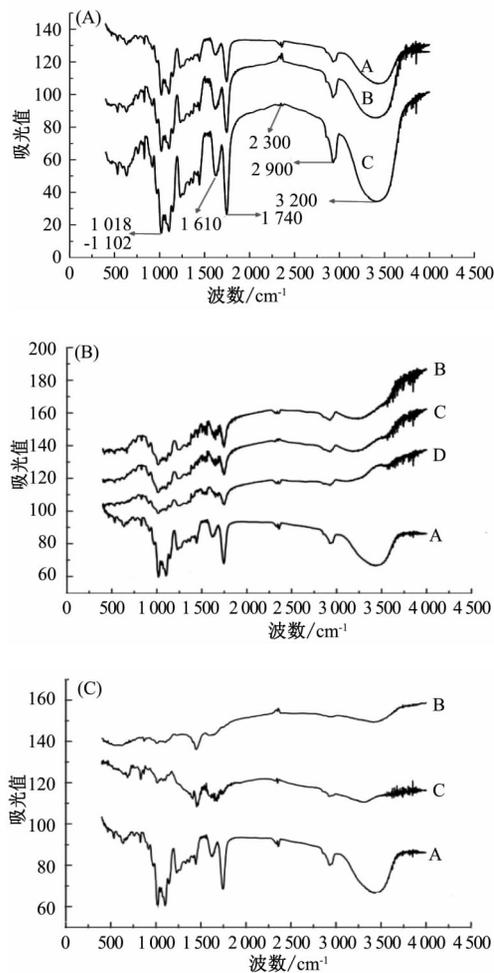
### 2.3 果胶多糖体外消化产物的红外光谱特性研究

果胶质量浓度对体外模拟胃消化果胶多糖红外光谱特性的影响如图 1(A)所示。 $1\ 000\sim 2\ 000\ \text{cm}^{-1}$  的吸收峰是果胶结构信息的特征峰。 $1\ 102\sim 1\ 018\ \text{cm}^{-1}$  有吸收峰表明果胶分子中含有糖醛酸。 $1\ 740\ \text{cm}^{-1}$  处波峰的面积与  $1\ 740\ \text{cm}^{-1}$  和  $1\ 610\ \text{cm}^{-1}$  的波峰面积之和的比值称为果胶的酯化度。 $2\ 300\ \text{cm}^{-1}$  和  $2\ 900\ \text{cm}^{-1}$  左右吸收峰为 C—H 的伸缩振动和变角振动, $3\ 200\ \text{cm}^{-1}$  左右的吸收峰为 O—H 的伸缩振动。其中  $1\ 610\sim 1\ 550\ \text{cm}^{-1}$  处是自由羧基官能团吸收峰, $1\ 700\sim 1\ 750\ \text{cm}^{-1}$  处是酯化羧基官能团吸收峰。果胶在体外模拟体系中经过胃消化后,随着质量浓度的增加, $1\ 102\sim 1\ 018\ \text{cm}^{-1}$  之间的波峰逐渐降低,说明果胶中糖醛酸含量逐渐降低,与前面所测果胶含量变化相一致;消化后,果胶酯化度降低。消化后  $2\ 300\ \text{cm}^{-1}$  和  $2\ 900\ \text{cm}^{-1}$  左右吸收峰减弱,说明果胶中 C—H 结构被破坏;而  $3\ 300\ \text{cm}^{-1}$  左右的吸收峰增强,是分子内羟基形成氢键的原因。

观察图 1(B)并分析得知:经过模拟胃体系消化不同时间后,果胶中  $1\ 102\sim 1\ 018\ \text{cm}^{-1}$  之间的波峰逐渐降低,说明其半乳糖醛酸含量逐渐降低,与前面所测果胶含量变化相一致;经过模拟胃消化后, $1\ 740\ \text{cm}^{-1}$  处波峰的面积与  $1\ 740\ \text{cm}^{-1}$  和  $1\ 610\ \text{cm}^{-1}$  的波峰面积之和的比值逐渐减小,果胶样品酯化程度降低,可能是因为在模拟环境中发生了化学修饰作用<sup>[13]</sup>,也可能与胃液中较低的 pH 环境有关。 $2\ 300\ \text{cm}^{-1}$  和  $2\ 900\ \text{cm}^{-1}$  左右吸收峰依旧存在且变化不明显,证明 C—H 结构依旧存在;而  $3$

300  $\text{cm}^{-1}$  左右的吸收峰减弱。由以上分析可知:果胶多糖在体外模拟消化系统中被降解,模拟胃液的酸性环境对多糖结构有一定的影响。

观察图 1(C)并分析得知:经胃肠消化后,果胶在 1 102~1 018  $\text{cm}^{-1}$  之间的波峰降低明显,样品几乎没有峰面积,说明果胶中半乳糖醛酸含量极低;1 740  $\text{cm}^{-1}$  和 1 610  $\text{cm}^{-1}$  处的波峰面积几乎为 0,说明酯化度极低。与模拟胃消化后的样品相比,肠液消化后果胶酯化度没有明显的变化。Miller 等<sup>[14]</sup>研究表明,胰酶不能使果胶脱甲酯化,与试验结果一致。2 300  $\text{cm}^{-1}$  和 2 900  $\text{cm}^{-1}$  左右吸收峰依旧存在且变化不明显,证明 C-H 结构依旧存在;而 3 300  $\text{cm}^{-1}$  左右的吸收峰减弱。与胃消化相比,果胶多糖在肠道中的消化程度较小。



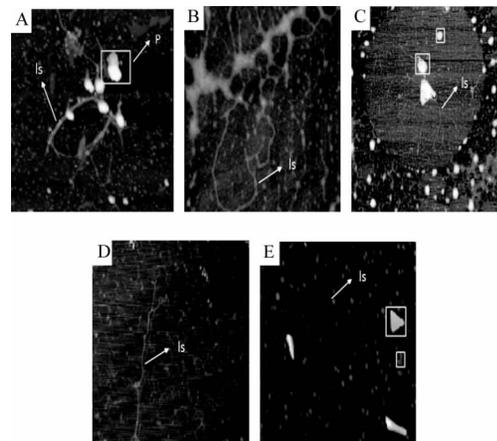
图(A)果胶质量浓度对果胶多糖红外特性的影响,A:空白;B:3 g/L;C:5 g/L;图(B)胃消化时间对果胶多糖红外特性的影响,A:空白;B:1 h;C:3 h;D:6 h;图(C)肠消化时间对果胶多糖红外特性的影响,A:空白;B:6 h;C:1 h。

图1 体外模拟消化对果胶多糖红外光谱特性的影响

Fig.1 Effect of simulated digestion on the FTIR characteristic of pectin polysaccharides

## 2.4 果胶多糖体外消化产物的微观结构研究

图 2 是体外模拟消化对果胶多糖纳米结构的影响。*P* 表示聚集体, *ls* 表示线性单片段。果胶主要存在的形式有聚合体、酶-酶链结合体和线性单片段;在果胶未经过消化时(图 2A),柑橘果胶的分子结构主要以聚合体和果胶链连接而成,并且可以观察到果胶分子中存在较多的链连接聚集体形式。而在果胶经过胃液消化处理 1 h 之后(图 2B),链状结构比较松散,聚集体结构减少。在经过消化处理 6 h 之后(图 2C),可以观察到,除了链之外,存在还有聚集体附着在链上的聚集体结构,推断其是胃蛋白酶。果胶经过肠液消化 1 h 后(图 2D),可以看出果胶链分支结构增加;消化 6 h 后(图 2E)主要以链状和小聚集体形式存在。图 2 中较大的聚集体结构可能是模拟胃肠液中的酶。同时与原果胶比较可以很明显地观察到经过消化的果胶聚集体结构减少。



A:空白;B:胃消化 1 h;C:胃消化 6 h;D:胃肠消化 1 h;E:胃肠消化 6 h;图的高度为 3  $\mu\text{m}$ ,样品的扫描范围是 5  $\mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ 。

图2 体外模拟消化对果胶多糖分子纳米结构的影响  
Fig.2 Effect of simulated digestion on nanostructures of pectin polysaccharides

对果胶分子链宽进行分析,结果显示,原果胶样品分子链宽均在 60 nm 以上。经过胃消化 1 h 以后,链宽值明显减小,果胶分子链宽在 30~50 nm 之间的比例约为 93%;胃消化 6 h 后,80%的果胶分子链宽处于 10~30 nm 之间;模拟肠液消化 1 h 后,分子链宽处于 10~30 nm 之间的果胶分子增加至 90%;同时经过 6 h 的肠消化后,果胶分子链宽没有明显的变化。因此可知,模拟胃液对果胶多糖有明显的消化效果,但模拟肠液对果胶多糖的消化作用较小。

### 3 结论

在体外模拟消化体系中,果胶中半乳糖醛酸含量随消化时间的增长而降低,但在肠液环境中的降解速率明显低于在胃中。FTIR 分析结果表明,随消化时间的增加,果胶的酯化度降低。对果胶多糖的微观结构分析表明,随着果胶在模拟胃肠中消化时间的增加,聚集体结构减少;果胶分子链宽从高于 60 nm 变化至 10~30 nm (90%)。果胶多糖在胃液中的消化程度要大于在肠液中的消化程度。

#### 参考文献:

- [1] SCHEPETKIN I A, QUINN M T. Botanical polysaccharides: Macrophage immunomodulation and therapeutic potential [J]. *International Immunopharmacology*, 2006, 6(3): 317-333.
- [2] EDWARDS A, MUR L A J, GIRDWOOD S E, et al. Coupled cryoconite ecosystem structure-function relationships are revealed by comparing bacterial communities in alpine and Arctic glaciers [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2014, 89(2): 222-237.
- [3] 袁清霞, 吴凡, 邱丽淳, 等. 鼎湖鳞伞菌胞外多糖在体外 3 种模拟消化液中的消化作用 [J]. *食品科学*, 2016, 37(5): 72-77.
- [4] 陈萍, 张拥军, 朱丽云, 等. 人工胃液作用抗氧化龙井茶多糖的体外模拟研究 [J]. *中国食品学报*, 2014, 14(10): 35-41.
- [5] 金晖, 张则鸣, 张拥军, 等. 人工胃液作用南瓜多糖的体外模拟研究 [J]. *食品科技*, 2012, 37(4): 178-181.
- [6] 张冠亚, 黄晓君, 聂少平, 等. 体外模拟 3 种消化液对铁皮石斛多糖的消化作用 [J]. *食品科学*, 2014, 35(23): 279-283.
- [7] HU J L, NIE S P, MIN F F, et al. Artificial simulated saliva, gastric and intestinal digestion of polysaccharide from the seeds of *Plantago asiatica* L. [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 92(2): 1143-1150.
- [8] DING Q, NIE S, HU J, et al. In vitro, and in vivo, gastrointestinal digestion and fermentation of the polysaccharide from *Ganoderma atrum* [J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 63: 646-655.
- [9] CHEN C, ZHANG B, FU X, et al. The digestibility of mulberry fruit polysaccharides and its impact on lipolysis under simulated saliva, gastric and intestinal conditions [J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 58: 171-178.
- [10] 闵芳芳, 聂少平, 万宇俊, 等. 青钱柳多糖在体外消化模型中的消化与吸收 [J]. *食品科学*, 2013, 34(21): 24-29.
- [11] 黄晓钰, 刘邻渭. *食品化学与分析综合实验* [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009.
- [12] CHEN J, LIANG R H, LIU W, et al. Degradation of high-methoxyl pectin by dynamic high pressure microfluidization and its mechanism [J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 28(1): 121-129.
- [13] CARNACHAN S M, BOOTTEN T J, MISHRA S, et al. Effects of simulated digestion *in vitro* on cell wall polysaccharides from kiwifruit (*Actinidia* spp.) [J]. *Food Chemistry*, 2012, 133(1): 132-139.
- [14] MILLER J G, BUCHANAN C J, EASTWOOD M A, et al. The solubilisation and hydrolysis of spinach cell wall polysaccharides in gastric and pancreatic fluids [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1995, 68(3): 389-394.

## STUDY ON THE CHANGE OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF PECTIN POLYSACCHARIDE IN SIMULATED VITRO DIGESTION

WANG Pei, ZHANG Lifan, CHEN Fusheng

(School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001)

**Abstract:** There are abundant pectin polysaccharides in our daily diet. Investigating the digestion of pectin in human body is helpful for the development of pectin polysaccharide products which are more easily absorbed by our body. In this study, the effect of pectin concentration and enzymatic hydrolysis time on the pectin structural

characteristics was examined by using single factor experimental design method. The content of pectin in the external simulation of gastric and gastrointestinal tract in vitro was investigated by carbazole colorimetry, while the structure of pectin was analysis by Atomic Force Microscope (AFM) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) methods. The results showed that with the increasing of digestion time, the galacturonic acid content (from 40.10% to 18.54%) and reducing sugar content (from 41.62% to 13.64%) decreased after digested by gastric juice. There was no significant difference ( $P>0.05$ ) in the galacturonic acid and reducing sugar content after digested by intestinal fluid. The FTIR results showed that pectin polysaccharide degraded, and the esterification degree gradually decreased throughout the digestion progress. However, the esterification degree of pectin had no obvious difference after digested by intestinal fluid. The result of AFM indicated that with the increase of digestion time of gastric juice, the number of aggregates and the molecular chain width of pectin decreased and the pectin polysaccharide degraded, while the nanostructure of pectin had no significant change after intestinal digestion. It was concluded that the degradation of pectin was mainly affected by gastric juice..

**Key words:** pectin; in vitro digestion; degradation; structure

## 我校成功获批博士学位授予单位及 3 个博士学位授权点

近日,国务院学位委员会下发《关于下达 2017 年审核增列的博士、硕士学位授予单位及其学位授权点名单的通知》(学位[2018]19 号),经国务院学位委员会第三十四次会议审议批准,我校成功获批博士学位授予单位,食品科学与工程、机械工程、土木工程等三个学科获批博士学位授权一级学科点。

跻身博士学位授予单位,是学校办学实力、办学水平、办学特色和学术地位的集中体现,对于进一步提升我校办学层次、增强核心竞争力具有十分重要的意义。

学校将根据国务院学位委员会要求,认真贯彻落实党的十九大精神,强化质量意识、汇聚高端人才、增加教育投入、补短板强弱项,大力发展内涵建设,不断提升办学水平和研究生培养能力,确保顺利通过国务院学位委员会核查。

河南工业大学研究生处