

## 酶解处理对竹笋膳食纤维理化特性的影响

王佳<sup>1</sup>, 张颜笑<sup>1</sup>, 郑炯<sup>1,2\*</sup>

1(西南大学 食品科学学院, 重庆, 400715) 2(重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆, 400715)

**摘 要** 用单一酶和复合酶在不同条件下对竹笋膳食纤维进行酶解处理, 测定其膨胀力 (swelling capacity, SWC)、持水力 (water-holding capacity, WHC)、持油力 (oil-binding capacity, OBC) 等主要理化性质, 并观察其微观结构的变化, 从而探究酶解处理对竹笋膳食纤维理化性能的影响。结果表明: 在 pH=5.0, 酶解温度 50℃, 反应时间 2 h, 同时添加 180 U/g DF 纤维素酶和 90 U/g DF 木聚糖酶时, 竹笋膳食纤维达到最佳改性效果, 其中 SWC 为 9.29 mL/g, WHC 为 5.57 g/g, OBC 为 1.53 g/g, 可溶性膳食纤维含量为 12.1%。扫描电镜观察到, 竹笋膳食纤维原料表面平整; 单一酶处理后的竹笋膳食纤维表面粗糙, 有碎屑孔隙; 复合酶处理后的膳食纤维表面蓬松, 有大量孔隙。复合酶处理使其具有更优势的微观结构。

**关键词** 竹笋膳食纤维; 纤维素酶; 木聚糖酶; 理化特性; 微观结构

膳食纤维 (dietary fiber, DF) 具有调节肠道菌群、降血压、降血糖、降血脂及胆固醇等生理功能<sup>[1-2]</sup>, 其主要是通过理化特性影响肠道功能, 从而达到不同的生物活性效果<sup>[3-4]</sup>。DF 组成中可溶性膳食纤维 (soluble dietary fiber, SDF) 含量达到 10% 以上才是高品质 DF, 高品质 DF 不仅具有较强膨胀力 (swelling capacity, SWC)、持水力 (water-holding capacity, WHC) 和持油力 (oil-binding capacity, OBC), 而且还能改善其本身的口感和应用成品的质构。然而天然 DF 资源中 SDF 含量远低于高品质 DF 要求, 因此对其进行改性是研究的热点。目前膳食纤维的改性方法主要有化学处理法、物理机械降解法、生物改性、联合处理技术<sup>[5-6]</sup>。MA 等<sup>[7]</sup>研究了提取方式和粒径分布对脱脂孜然 DF 理化特性的影响; WANG 等<sup>[8]</sup>结合蒸汽爆破和稀酸浸泡的方法对橘皮 SDF 的理化特性进行了研究; CHEN 等<sup>[9]</sup>研究了化学法和酶法对玛卡酒渣 DF 理化特性的影响。这些改性方法对 DF 的理化特性均有改善作用, 生物酶法和联合处理的效果更好。

生物法通常包括酶法改性和发酵改性。该方法具有作用条件温和、专一性强、产品色泽变化小、反应时间较短、副产物较少、纯度高等优点, 具有很好的应

用前景<sup>[10]</sup>。一些学者对榨菜皮 DF<sup>[11]</sup>、大豆豆渣 DF<sup>[12]</sup>、玉米麸皮 DF<sup>[13]</sup>、香菇柄 DF<sup>[14]</sup>、番茄皮渣 DF<sup>[15]</sup> 及红枣渣 DF<sup>[16]</sup> 的酶法改性进行了研究, 但是目前对竹笋 DF 的研究大多集中在提取方法上<sup>[17-18]</sup>, 而对理化特性方面的研究较少。本文以竹笋 DF 为研究对象, 采用生物酶法, 以理化特性为考察指标, 以期对竹笋 DF 的研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

竹笋膳食纤维, 实验室自制; 纤维素酶 (10 000 U/g)、木聚糖酶 (6 000 U/mg), 美国 sigma 公司; 金龙鱼调和油, 购于重庆市北碚区永辉超市; 95% 乙醇、柠檬酸 (一水)、NaOH、丙酮: 分析纯, 成都市科龙化工试剂厂。

### 1.2 仪器与设备

FA2004A 电子分析天平, 上海精天电子仪器有限公司; pH-3C 酸度计, 成都世纪方舟科技有限公司; HH-8 数显恒温水浴锅, 常州澳华仪器有限公司; 1580 常温离心机, 基因有限公司; SHB-III 循环水式多用真空泵, 郑州长城科工贸有限公司; DHG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱, 上海齐欣科学仪器有限公司; FW135 中草药粉碎机, 天津市泰斯特仪器有限公司; SX-2.5-10 马弗炉, 浙江嘉兴东城仪器厂; KDN-04B 定氮仪, 上海新嘉电子有限公司; JSM-6510LV 钨灯丝扫描电子显微镜, 日本电子株式会社 (JEOL)。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 纤维素酶处理

第一作者: 硕士研究生 (郑炯副教授为通讯作者, E-mail: zhengjiong\_swu@126.com)。

基金项目: 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项 (cstc2015-shmszx80007); 中央高校基本科研业务费专项 (SWU115051); 中央高校基本科研业务费重点项目 (XDJK2016B035)

收稿日期: 2016-04-08, 改回日期: 2016-04-25

### 1.3.1.1 处理时间对 DF 的影响

参考刘生利<sup>[19]</sup>的方法,准确称取 10 g DF 四份,加入 180 U/g DF 纤维素酶,以液固比 10:1 (mL:g) 加入 100 mL 柠檬酸缓冲液调节 pH 为 5.0,搅匀后 50 ℃ 分别水浴 1、2、3、4 h,反应完后 100 ℃ 下灭酶 10 min。混合液以 4 500 r/min 离心 15 min,将乙醇预热到 60 ℃,加入上清液 4 倍体积的乙醇沉淀 4 h,布氏漏斗抽滤,分别用 78% 乙醇,95% 乙醇,丙酮洗涤沉淀 2 遍,60 ℃ 烘干过夜,粉碎,得到改性膳食纤维,测定 SWC、WHC、OBC。

### 1.3.1.2 酶用量对 DF 的影响

取 10 g DF 五份,分别按 60、100、140、180、220 U/g DF 添加纤维素酶,加入 100 mL 柠檬酸缓冲液调节 pH 为 5.0,50 ℃ 水浴加热 2 h,反应完后灭酶。其余同 1.3.1.1。

### 1.3.2 木聚糖酶处理

#### 1.3.2.1 处理时间对 DF 的影响

取 10 g DF 五份,加入 120 U/g DF 木聚糖酶,分别加入 100 mL 柠檬酸缓冲液调节 pH 为 4.8,搅匀后 50 ℃ 分别水浴 1、2、3、4、5 h,反应完后灭酶。其余同 1.3.1.1。

#### 1.3.2.2 酶用量对 DF 的影响

取 10 g DF 五份,分别按 30、60、90、120、150 U/g DF 加入木聚糖酶,加入 100 mL 柠檬酸缓冲液调节 pH 为 4.8,50 ℃ 水浴加热 4 h,反应完后灭酶。其余同 1.3.1.1。

### 1.3.3 复合酶处理对 DF 的影响

(1) 取 10 g DF 两份,采用分步酶解,2 份按不同顺序添加 180 U/g DF 纤维素酶和 120 U/g DF 木聚糖酶,同时加入 100 mL 柠檬酸缓冲液调节 pH 为最适值(纤维素酶最适 pH = 5.0,木聚糖酶最适 pH = 4.8),搅匀后,每种酶分别于 50 ℃ 水浴 2 h,反应完后灭酶。其余同 1.3.1.1,并测定 SDF。

(2) 取 10 g DF 三份,采用同时酶解,分别添加 3 种不同用量的复合酶(纤维素酶 + 木聚糖酶),其添加量分别为(140 + 90)、(180 + 120)、(180 + 90) U/g DF,加入 100 mL 柠檬酸缓冲液调节 pH = 4.9,搅匀后于 50 ℃ 水浴 2 h,反应完后灭酶。其余同 1.3.1.1,并测定 SDF。

## 1.4 测定项目与方法

### 1.4.1 食品中膳食纤维的测定

GB/T 5009.88—2008<sup>[20]</sup>。

### 1.4.2 SWC 测定方法

称取 2 g (*M*) 膳食纤维粉,放入 10 mL 量筒中读取体积  $V_1$ ,量取 80 mL 纯水转移到 100 mL 量筒中,振荡均匀,25 ℃ 条件下放置 24 h,读取纤维吸水后体积  $V_2$ 。计算膨胀性。

$$\text{SWC}/(\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{V_2 - V_1}{M} \quad (1)$$

### 1.4.3 WHC 测定方法

参考李安平等<sup>[17]</sup>的方法,称取 1 g ( $m_1$ ) 膳食纤维粉,放入烧杯中,加入 20 ℃ 的水饱和纤维 60 min,将纤维置于滤纸上沥干后,把保留在滤纸上结合了水的纤维转移到表面皿中称重,记为  $m_2$ 。计算持水力。

$$\text{WHC}/(\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad (2)$$

### 1.4.4 OBC 测定方法

称取 1 g (*M*) 膳食纤维粉放入离心管中称重,记为  $m_1$ ,加入 20 mL 食用油在 37 ℃ 下饱和纤维 60 min,4 500 r/min 离心 10 min,沥干后,称重记为  $m_2$ 。计算持油力。

$$\text{OBC}/(\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{m_2 - m_1}{M} \quad (3)$$

### 1.4.5 微观结构测定

参考 WANG 等<sup>[8]</sup>的方法,取少量原料膳食纤维粉和改性后膳食纤维粉过 80 目筛,60 ℃ 真空冷冻干燥,将干燥好的样品平铺在粘有导电胶的载物台上,置于真空镀膜机中进行喷金镀膜,并在扫描电镜下观察样品组织的微观结构。

## 1.5 数据处理

使用 Microcal Origin8.0, SPSS18.0 软件进行图表的绘制和相关数据的处理,图中标注字母不同表示有显著性差异( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 纤维素酶处理对 DF 理化特性的影响

#### 2.1.1 处理时间对 DF 理化特性的影响

由图 1 可知,添加 180 U/g DF 纤维素酶时,在反应开始的 1~2 h 内,DF 的膨胀力和持水力均随着时间的延长而增加,2 h 达到最大值,分别为 8.76 mL/g、5.52 g/g,持油力平缓增加,2 h 达到最大值,为 1.52 g/g。这是因为,纤维素酶在部分降解 DF 中纤维素的同时可改变其表面的结构,使结构更松散,颗粒增加,孔隙增多,油和水更易进入膳食纤维的间隙,同时暴露出一些亲水、亲油的活性基团,使膨胀力、持水力、持油力得到改善。处理时间超过 2 h 后,DF 的各项性质均呈现下降的趋势。这可能是由于纤维素酶

完全降解产生的葡聚糖等可溶性 DF 被进一步降解,其表面的一些活性基团和孔隙结构被破坏,致使其持水和持油能力下降。这一结果与刘生利<sup>[19]</sup>用纤维素酶处理江蓠残渣 DF 的研究结果相似。

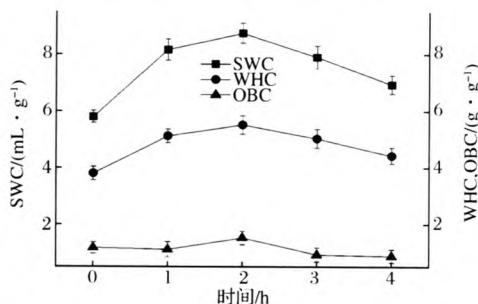


图1 纤维素酶处理时间对 DF 理化特性的影响

Fig. 1 Effect of cellulase hydrolysis time on physicochemical properties of dietary fiber

### 2.1.2 酶用量对 DF 理化特性的影响

由表 1 可知,随着纤维素酶用量的增加,DF 的膨胀力和持水力明显的增加,在添加量为 180  $\mu\text{g}$  DF 时达到最大值,相较原料有明显改善 ( $P < 0.05$ );持油力呈增加趋势,比较平缓,相较原料有一定改善。这可能是因为纤维素酶对纤维素的部分降解作用生成葡聚糖同时原纤维表面出现很多孔隙,亲水、亲油基团暴露,改善其理化性质;酶添加量超过 180  $\mu\text{g}$  DF 后,膨胀力、持水力和持油力均下降。胡叶碧等<sup>[21]</sup>发现这是由于纤维素酶对细胞壁的降解作用是有限的,当酶用量超过一定水平后,不会再有大量的细胞壁随酶用量的增加而被降解,且其水解产物的聚合度反而被进一步降低以致失去持水和持油能力。

表 1 纤维素酶用量对 DF 理化特性的影响

Table 1 Effect of cellulase dosage on physicochemical properties of dietary fiber

酶用量/ ( $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ )	SWC/ ( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ )	WHC/ ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	OBC/ ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )
0	5.80 ± 0.05 <sup>c</sup>	3.81 ± 0.04 <sup>c</sup>	1.17 ± 0.01 <sup>ab</sup>
60	7.80 ± 0.03 <sup>b</sup>	5.18 ± 0.04 <sup>ab</sup>	1.01 ± 0.01 <sup>b</sup>
100	8.16 ± 0.07 <sup>ab</sup>	5.24 ± 0.05 <sup>ab</sup>	1.20 ± 0.04 <sup>ab</sup>
140	8.52 ± 0.05 <sup>a</sup>	5.38 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.38 ± 0.02 <sup>ab</sup>
180	8.76 ± 0.04 <sup>a</sup>	5.52 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.52 ± 0.05 <sup>a</sup>
220	6.33 ± 0.10 <sup>c</sup>	4.78 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.14 ± 0.07 <sup>ab</sup>

注:同一列中带不同字母的表示在 5% 水平上差异显著 ( $n=3$ )。

## 2.2 木聚糖酶处理对 DF 理化特性的影响

### 2.2.1 处理时间对 DF 理化特性的影响

由图 2 可知,添加 120  $\text{U/g}$  DF 木聚糖酶时,在反

应开始的 1~4 h 内,DF 的膨胀力、持水力和持油力均随时间的增加而增加,在 4 h 达到最大值,分别为 6.8  $\text{mL/g}$ 、5.01  $\text{g/g}$ 、1.47  $\text{g/g}$ 。这是由于,木聚糖酶将不溶性半纤维素降解成可溶性半纤维素,同时使膳食纤维表面由于半纤维素的部分降解产生孔隙结构,一些活性基团进一步暴露,使 DF 的膨胀力、持水力和持油力增加。反应时间超过 4 h,其理化性质呈下降趋势,这可能是因为随着酶活化时间的增加,降解产生的可溶性半纤维素进一步降解,且破坏了 DF 表面的膨松结构和活化基团,使其相应的理化性质下降。

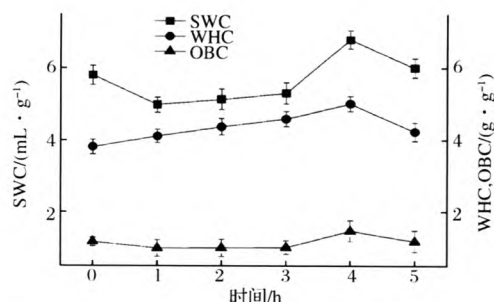


图2 木聚糖酶处理时间对 DF 理化特性的影响

Fig. 2 Effect of xylanase hydrolysis time on physicochemical properties of dietary fiber

### 2.2.2 酶用量对 DF 理化特性的影响

由表 2 可知,随着木聚糖酶用量的增多,膨胀力、持水力和持油力平缓增加,添加量为 120  $\mu\text{g}$  DF 时达到最大值,这是由于,木聚糖酶的部分降解作用同时改变膳食纤维的组成和表面结构,使其理化性质得到改善。而添加量超过 120  $\mu\text{g}$  DF 后,各项指标呈缓慢下降的趋势,这可能是因为大量的半纤维素被水解成不构成膳食纤维成分、没有持水和持油能力的小分子糖类。

表 2 木聚糖酶用量对 DF 理化特性的影响

Table 2 Effect of xylanase dosage on physicochemical properties of dietary fiber

酶用量/ ( $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ )	SWC/ ( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ )	WHC/ ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )	OBC/ ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )
0	5.80 ± 0.05 <sup>c</sup>	3.81 ± 0.04 <sup>d</sup>	1.17 ± 0.01 <sup>ab</sup>
30	6.01 ± 0.07 <sup>bc</sup>	4.06 ± 0.02 <sup>cd</sup>	1.19 ± 0.01 <sup>ab</sup>
60	6.31 ± 0.09 <sup>abc</sup>	4.33 ± 0.04 <sup>bc</sup>	1.29 ± 0.02 <sup>ab</sup>
90	6.56 ± 0.06 <sup>ab</sup>	4.67 ± 0.06 <sup>ab</sup>	1.30 ± 0.10 <sup>ab</sup>
120	6.80 ± 0.03 <sup>a</sup>	5.01 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.05 <sup>a</sup>
150	6.69 ± 0.08 <sup>a</sup>	4.83 ± 0.11 <sup>ab</sup>	0.95 ± 0.02 <sup>b</sup>

注:同一列中带不同字母的表示在 5% 水平上差异显著 ( $n=3$ )。

2.3 复合酶处理对 DF 理化特性的影响

由表 3 可知,复合酶处理对竹笋膳食纤维的理化特性有改善作用,且可溶性膳食纤维的量明显增加( $P<0.05$ )。同时酶解时,SWC 和 WHC 明显增加( $P<0.05$ ),分步酶解时缓慢增加。当同时加入 180 U/g DF 纤维素酶和 90 U/g DF 木聚糖酶处理 2 h 时,膳食纤维的 SWC、WHC 和 OBC 均达到最优值,分别为 9.29 mL/g、5.57 g/g、1.53 g/g, SDF 含量由原料的 5.6% 增加为 12.1%。说明纤维素酶和木聚糖酶对底物细胞壁的降解存在正协同作用。

表 3 复合酶处理对 DF 理化特性的影响  
Table 3 Effect of composite enzymehydrolysis on physicochemical properties of dietary fiber

处理	SWC/ (mL · g <sup>-1</sup> )	WHC/ (g · g <sup>-1</sup> )	OBC/ (g · g <sup>-1</sup> )	SDF/%
1	5.80 ± 0.05 <sup>b</sup>	3.81 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.17 ± 0.01 <sup>a</sup>	5.6 ± 0.12 <sup>d</sup>
2	5.95 ± 0.10 <sup>b</sup>	3.95 ± 0.16 <sup>b</sup>	1.20 ± 0.04 <sup>a</sup>	8.2 ± 0.04 <sup>c</sup>
3	6.05 ± 0.02 <sup>b</sup>	4.07 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.29 ± 0.05 <sup>a</sup>	8.3 ± 0.08 <sup>c</sup>
4	6.30 ± 0.11 <sup>b</sup>	4.09 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.30 ± 0.08 <sup>a</sup>	8.6 ± 0.17 <sup>c</sup>
5	9.12 ± 0.09 <sup>a</sup>	5.39 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.49 ± 0.04 <sup>a</sup>	9.8 ± 0.15 <sup>b</sup>
6	9.29 ± 0.08 <sup>a</sup>	5.57 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.53 ± 0.03 <sup>a</sup>	12.1 ± 0.06 <sup>a</sup>

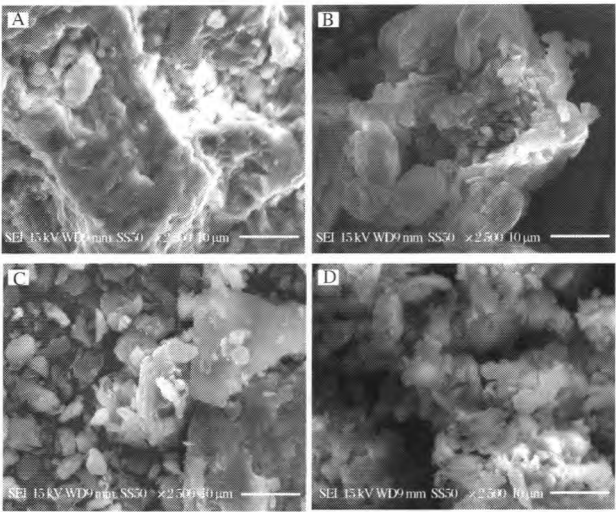
注:a. 1—原料 DF;2—先加入 180 U/g DF 纤维素酶,后加入 120 U/g DF 木聚糖酶;3—先加入 120 U/g D 木聚糖酶,后加入 180 U/g DF 纤维素酶;4—同时加入 140 U/g DF 纤维素酶和 90 U/g DF 木聚糖酶;5—同时加入 180 U/g DF 纤维素酶和 120 U/g DF 木聚糖酶;6—同时加入 180 U/g DF 纤维素酶和 90 U/g DF 木聚糖酶。b. 同一列中带不同字母的表示在 5% 水平上差异显著( $n=3$ )。

2.4 酶解处理对 DF 微观结构的影响

图 3(A)为 DF 原料,其表面较整齐,有少量碎屑颗粒,无明显孔隙;图 3(B)为单一纤维素酶活化后的 DF,表面变得粗糙,形成明显凹穴,有很多孔隙,同时产生了较小颗粒的膳食纤维碎屑;图 3(C)为单一木聚糖酶活化后的 DF,有大量碎屑生成,但仍存在大块片状结构,蓬松度低,孔隙结构少;图 3(D)为复合酶活化后的 DF,其表面变得松散,膨松多孔,有很多的碎屑和片层状结构,有许多沟壑,从而具有很大的比表面积。

酶解作用能改变 DF 的成分组成和表面结构,从而影响其理化性质和功能特性<sup>[22]</sup>。MA 等<sup>[23]</sup>发现酶法改性后的脱脂孜然 DF 表面呈蜂巢状,粗糙且纤维粘连,形成深沟和碎屑,其理化特性得到改善。CHEN 等<sup>[9]</sup>研究认为酶法改性后的玛卡酒渣 DF 表面结构松散,出现很多沟壑,孔隙增多,单糖种类增多是其理化特性增强的原因。比较单一酶和复合酶的处理效果,单一酶活化的 DF 相对原料比表面积增

加,但相对复合酶活化的 DF,其蓬松度很低,这一结果表明纤维素酶和木聚糖酶对底物细胞壁的降解存在协同作用,且表面形态的差别是造成其亲水亲油能力变化的一个重要原因。



A - 原料 DF; B - 纤维素酶活化 DF; 木聚糖酶活化 DF;  
D - 复合酶活化 DF

图 3 不同酶处理方式活化后的膳食纤维  
电镜扫描图

Fig. 3 Scanning electron microscope images of dietary fiber with different enzymatic hydrolysis

3 结论

纤维素酶和木聚糖酶都能改善膳食纤维的膨胀力、持水力和持油力;纤维素酶的改善效果更好;复合酶处理的效果优于单一酶。当同时加入 180 U/g DF 纤维素酶和 90 U/g DF 木聚糖酶时,竹笋膳食纤维的 SWC、WHC、OBC 和 SDF 分别提高了 61%、46%、31%、116%,为最佳改性条件。膳食纤维电镜扫描结果表明,复合酶改性后的竹笋膳食纤维表面结构变为有孔隙的蓬松结构。

参 考 文 献

[1] RODRÍGUEZ R, JIMÉNEZ A, FERNÁNDEZ-BOLAÑOS J, et al. Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients [J]. Trends in Food Science and Technology, 2006, 17(1): 3 - 15.  
[2] SATYA S, BAL L M, SINGHAL P, et al. Bamboo shoot processing: food quality and safety aspect: a review [J]. Trends in Food Science and Technology, 2010, 21(4): 181 - 189.  
[3] FULLER S, BECK E, SALMAN H, et al. New horizons for the study of dietary fiber and health: a review [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2016, 71(1): 1 - 12.

- [4] JAMES P. In dietary fiber fiber-depleted foods and disease [M]. London: Academic Press, 1985.
- [5] 朱国君, 赵国华. 膳食纤维改性研究进展[J]. 粮食与油脂, 2008(4): 40-42.
- [6] 王强, 赵欣. 不同膳食纤维改性技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(9): 392-395.
- [7] MA Meng-mei, MU Tai-hua. Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 237-246.
- [8] WANG Lei, XU Hong-gao, YUAN Fang, et al. Preparation and physicochemical properties of soluble dietary fiber from orange peel assisted by steam explosion and dilute acid soaking[J]. Food Chemistry, 2015, 185: 90-98.
- [9] CHEN Jin-jin, ZHAO Qing-sheng, WANG Li-wei, et al. Physicochemical and functional properties of dietary fiber from maca (*Lepidium meyenii Walp*) liquor residue[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 132: 509-512.
- [10] 谭惠子, 万捷. 膳食纤维的生理功能与改性[J]. 食品科技, 2007, 32(4): 41-44.
- [11] 成林林, 周莲, 潘年龙, 等. 纤维素酶改性榨菜皮膳食纤维的理化性质的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 134-138.
- [12] HUANG Su-ya, HE Ya-wen, ZOU Yan-pin, et al. Modification of insoluble dietary fibres in soya bean okara and their physicochemical properties[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2015, 50(12): 2 606-2 613.
- [13] HU Ye-bi, ZHANG Wang, XU Shi-Ying. Treatment of corn bran dietary fiber with xylanase increases its ability to bind bile salts, *in vitro* [J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 113-121.
- [14] 林雯, 黄茂坤, 张凤玉, 等. 香菇柄膳食纤维酶法改性及功能特性研究[J]. 广东农业科学, 2011, 38(3): 92-95.
- [15] 吴洪斌, 杨明, 魏婷, 等. 番茄皮渣膳食纤维酶法改性工艺研究[J]. 食品科技, 2011, 36(6): 104-107.
- [16] 赵梅, 许学勤, 许艳顺, 等. 纤维素酶-木聚糖酶对红枣渣膳食纤维的酶法改性[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(5): 11-15.
- [17] 李安平, 谢碧霞, 王俊, 等. 竹笋膳食纤维的制备及其功能结构比较[J]. 中国食品学报, 2010, 10(1): 86-92.
- [18] 李月华, 张思耀, 赖谱富, 等. 复合酶法制取笋头水溶性膳食纤维的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(10): 269-271.
- [19] 刘生利. 江蓠残渣高活性膳食纤维和羧甲基纤维素钠的制备及性能研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2011.
- [20] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 GB/T 5009.88-2008 食品中膳食纤维的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [21] 胡叶碧, 王璋. 纤维素酶和木聚糖酶对玉米皮膳食纤维组成和功能特性的影响[J]. 食品工业科技, 2006, 27(11): 103-105.
- [22] 王艳丽, 刘凌, 孙慧, 等. 膳食纤维的微观结构及功能特性研究[J]. 中国食品添加剂, 2014(2): 98-103.
- [23] MA Meng-mei, MU Tai-hua. Modification of deoiled cumin dietary fiber with laccase and cellulase under high hydrostatic pressure[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 136: 87-94.

## Effects of enzymatic hydrolysis on the physicochemical properties of dietary fiber from bamboo shoot

WANG Jia<sup>1</sup>, ZHANG Yan-xiao<sup>1</sup>, ZHENG Jiong<sup>1,2\*</sup>

1(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

2(Chongqing Research Center of Special Food Engineering and Technology, Chongqing 400715, China)

**ABSTRACT** The bamboo shoot dietary fiber (BSDF) was hydrolyzed with single and composite enzymes under different conditions, and the main physicochemical properties of the hydrolyzed BSDF including swelling capacity (SWC), water-holding capacity (WHC) and oil-binding capacity (OBC), were determined. Meanwhile, the change of the microstructure was observed. The results showed that the optimized modification conditions were as follows: pH 5.0, hydrolytic temperature of 50 °C, reaction time of 2 hours, simultaneous addition composite cellulase of 180 U/g DF and xylanase of 90 U/g DF. Under this condition, SWC was 9.29 mL/g, WHC was 5.57 g/g, OBC was 1.53 g/g, and the proportion of soluble fiber increased to 12.1%. Scanning electron microscopy exhibited that raw BSDF had smooth surface, BSDF hydrolyzed with single enzyme had rough, clastic and porous surface, and BSDF hydrolyzed with composite enzymes showed fluffy porous surface. Compared with raw BSDF and BSDF treated with single enzyme, BSDF hydrolyzed with composite enzymes possessed preferential microstructure.

**Key words** bamboo shoot dietary fiber; cellulase; xylanase; physicochemical property; microstructure