

# 复合型米糠脂肪替代品的 制备工艺及性质研究

吉义平, 沈瑞敏, 雷霖

(华中农业大学楚天学院 食品与生物科技学院, 湖北 武汉 430205)

**摘要:**以米糠为原料,研究一种复合型米糠脂肪替代品的制备工艺及其性质。结果表明,最佳制备工艺为:水料比为15:1、功率400 W、超声处理时间20 min、50 ℃下搅拌提取时间30 min、高温淀粉酶用量4.8 U/g、95 ℃下糊化米糠淀粉时间30 min。喷雾干燥后的得率为35%。同时考察了三种不同DE值的脂肪替代品的性质。综合比较可知,DE值为2.45的样品在吸湿性、持水性、持油性、乳化性及起泡性等方面表现出更优性质,是一种较理想的脂肪替代品,具有良好的应用前景。

**关键词:**米糠;复合型脂肪替代品;麦芽糊精;可溶性蛋白

**中图分类号:**TS 210.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)01-0025-05

## Research on preparation and properties of composite fat substitutes with rice bran

Ji Yi-ping, SHEN Rui-min, LEI Lin

(College of Food and Biology Science and Technology, Chutian College,  
Huazhong Agriculture University, Wuhan Huibei 430205)

**Abstract:** The preparation and properties of a composite fat substitute based on rice bran were studied. The result showed that the optimal preparation technology were: ratio of water to material 15:1, the time of supersonic with 400 W was 20 min, stir extraction at 50 ℃ for 30min, the additive amount of high temperature amylase 4.8 U/g, and pasting rice bran starch at 95 ℃ for 30 min, the yield could reach up to 35% after spray drying. Moreover, the properties of three kinds of fat substitutes with different DE (dextrose equivalent) were studied. The sample with DE of 2.45 possessed better properties than the other two in hygroscopic property, water/oil retention, emulsifiability and foamability, could be used as perfect fat substitute and provided with assuring potential for applications.

**Key words:** rice bran; composite fat substitute; maltodextrin; soluble protein

目前,脂肪替代品主要有蛋白质类、碳水化合物类、合成物质类和混合类等四大类型<sup>[1]</sup>。其中,碳水化合物类又主要以亲水胶体、多聚葡萄糖、转化糖、膳食纤维和淀粉等为基质,主要应用于冰淇淋<sup>[2]</sup>、色拉调味料<sup>[3]</sup>、焙烤食品<sup>[4]</sup>和乳制品<sup>[5]</sup>中。

米糠含有优质而丰富的脂肪、蛋白质、淀粉和膳食纤维等营养素和生育酚、 $\gamma$ -谷维醇和神经酰胺等生理活性物质<sup>[6]</sup>,所以研究和开发其功能食品成为了谷物科学领域的关注焦点。其中有关米糠水溶性功能成分的研究报告却相对较少,自2000年日本推出一种含有米糠多种水溶性功能成分的“RI-CEO”制品后<sup>[7]</sup>,该类功能性成分引起了人们的关注。研究报道表明米糠蛋白<sup>[8-11]</sup>具有良好的乳化

性、起泡性和持水性,可改善食品的性状、外观、口感;米糠多糖<sup>[12-13]</sup>具有良好的生物活性及营养保健功能,既可作为营养强化剂添加到普通食品中,也可作为增稠剂和稳定剂添加到饮料、焙烤食品、冰淇淋和汤类等食品中<sup>[14]</sup>;同时米糠水溶性膳食纤维<sup>[15-16]</sup>因其高度持水性在面包和饮料方面也受到关注。但米糠制品在脂肪替代品中的研究与应用未见报道。

本实验以米糠为原料,制备一种含有低DE值(dextrose equivalent,葡萄糖当量值)麦芽糊精、可溶性米糠蛋白、米糠多糖和可溶性米糠膳食纤维的复合型脂肪替代品。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 实验原料

新鲜米糠:由碾米厂提供。

收稿日期:2014-05-15

作者简介:吉义平,1984年出生,女,硕士,讲师。

### 1.1.2 主要试剂

耐高温  $\alpha$ -淀粉酶(酶活单位为 10 000U/g):无锡杰能科生物工程有限公司;苯酚、硫酸、正己烷、硼酸、氢氧化钠(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

### 1.1.3 主要仪器

SD-1500 喷雾干燥机:上海沃迪科技有限公司;JM-L50 胶体磨:温州市七星乳品设备厂;TDL-5-A 离心机:上海安亭科学仪器厂;DF-2 集热式磁力搅拌器:金坛市医疗仪器厂;722B 型可见光分光光度计:天津市普瑞斯仪器有限公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 复合型米糠脂肪替代品的制备

原料→调浆均质→超声→pH 9.0 下搅拌提取→  
↓  
上清液 I

滤渣→加水糊化→酶解→调 pH 灭酶→离心→上清液 II→合并两次上清液→喷雾干燥→复合型脂肪替代品

操作要点:新鲜米糠参照文献<sup>[17]</sup>微波稳定化处理后,粉碎,过 50 目筛,采用正己烷脱脂处理干燥备用。原料进行超声处理后,按一定的料水比调浆,经胶体磨均质后调整 pH 为 9.0 进行搅拌提取,过滤,滤渣加水升温至 95 ℃,糊化 30 min,加入高温淀粉酶,酶解一定时间后迅速降温调整 pH 至 2.0 进行灭酶,保持 10 min 后调回中性,3 000 r/min 离心 15 min,两次上清液合并喷雾干燥即得复合型米糠脂肪替代品。

### 1.2.2 提取工艺条件优化

按照 1.2.1 的工艺流程,设定酶解工艺为:淀粉酶用量 4.8 U/g、糊化温度 95 ℃、时间 30 min。固定超声功率 400 W,分别考察不同超声时间、水料比、搅拌提取温度和时间等因素对脂肪替代品得率的影响。

### 1.2.3 不同 DE 值米糠脂肪替代品的制备

分别设定酶添加量 1.6、3.2、4.8、6.4、8.0 U/g 五个水平下,酶解 30 min,考察酶添加量与 DE 值的关系,同时制备三种不同 DE 值的脂肪替代品。

### 1.2.4 脂肪替代品得率的计算

$$\text{得率} = m/m_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中: $m$  为脂肪替代品质量,g; $m_0$  为米糠质量,g。

### 1.2.5 DE 值的计算

因米糠中含有一定含量的还原糖,为了更好的表示淀粉的水解度,故参照文献<sup>[18]</sup>中的方法计算 DE 值。

$$DE = \frac{x_2 - x_1}{x} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $x$  脂肪替代品质量,g; $x_1$  水解前还原糖含量,g; $x_2$  水解后还原糖含量,g。

其中还原糖含量测定采取 3,5-二硝基水杨酸比色法。

### 1.2.6 主要成分的测定

总糖的测定:苯酚-硫酸法;蛋白质的测定:GB/T 5009.5—2003 中的凯氏定氮法;膳食纤维含量的测定:改良的水溶性膳食纤维含量快速分析法<sup>[19]</sup>;水分的测定:GB/T 5009.3—2003 中的 105℃ 恒重法;灰分的测定:GB/T 5009.4—2003 中的 550~600℃ 灰化法;脂肪的测定:GB/T 5009.6—2003 中的索氏抽提法。

### 1.2.7 脂肪替代品的性质测定

#### 1.2.7.1 吸湿性

准确称取 1.0 g 样品置于恒重小烧杯中,分别放在 4 个不同的相对湿度环境中<sup>[18]</sup>。放置 10 天左右直至恒重,由公式(3)计算其吸湿性。

$$\text{吸湿性} = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100\% \quad (3)$$

式中: $m$  为样品干重,g; $m_1$  为吸水前样品质量,g; $m_2$  为吸水后样品质量,g。

#### 1.2.7.2 持水性和持油性

准确称量 0.1 g 样品,放入恒重的 5 mL 离心管中,加入 3 mL 水(或油)后搅拌均匀,静置 25 min 左右,3 000 r/min 离心 20 min,然后将上层水(油)倒掉,准确称量离心管和沉淀的质量。然后按式(4)进行计算。

$$\text{持水(油)性} = \frac{w_2 - w_1}{w_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中: $w_0$  为样品干重,g; $w_1$  为离心管 + 干样品重,g; $w_2$  为离心管 + 沉淀重,g。

#### 1.2.7.3 乳化性和乳化稳定性

取不同浓度的样品溶液 50 mL,加入 50 mL 色拉油,于电动搅拌器中以 1 000 r/min 的转速乳化 10 min,吸取一定体积乳状液置入离心管中,在 3 000 r/min 条件下离心 5 min,记录离心管乳状液最初高度  $h_0$  和乳化层高度  $h_1$ 。然后将离心管置于 80 ℃ 水浴中保温 30 min,冷却至室温,于 3 000 r/min 离心 5 min,取出离心管,读取此时乳化层高度  $h_2$ 。分别按式(5)和式(6)计算乳化性(emulsion capability, EC)和乳化稳定性(emulsion stability, ES)。

$$\text{乳化性}(EC) = \frac{h_1}{h_0} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{乳化稳定性}(EC) = \frac{h_2}{h_1} \times 100\% \quad (6)$$

式中: $h_0$  为离心管乳状液最初高度,cm; $h_1$  为乳化层高度,cm; $h_2$  为水浴后乳化层高度,cm。

#### 1.2.7.4 起泡性及其稳定性

取不同浓度的样品溶液 25 mL 于 50 mL 的离心管中,在电动搅拌器中以 1 000 r/min 下搅拌 10 min,以产生的气泡的顶端与液面的距离为高,容器的横截面积为底面积,立即计算泡沫体积。停止搅拌静置 30 min 后,计算此时泡沫体积。分别根据公式(7)和(8)计算该脂肪替代品的起泡力(foam capability,FC)和泡沫稳定(foam stability,FS)性。

$$\text{起泡力}(FA)\% = \frac{v_1}{v_0} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{泡沫稳定性}(FS)\% = \frac{V_2}{V_1} \times 100 \quad (8)$$

式中: $v_0$  为溶解样品水溶液的体积,mL; $v_1$  为搅拌停止时泡沫的体积,mL; $v_2$  为静置 30 min 后泡沫的体积,mL。

## 2 结果与分析

### 2.1 米糠基本成分

新鲜米糠的基本成分如表 1 所示。从表 1 中可以看出,米糠的主要成分是膳食纤维、蛋白质和碳水化合物。其中膳食纤维分为可溶性和不溶性两种,而水溶性膳食纤维(SDF)含量达 11% 左右。蛋白质主要由清蛋白、球蛋白和谷蛋白<sup>[8]</sup>组成,因此用超声辅助稀碱提取法可将米糠蛋白及其他可溶性成分提取出来。总糖中含有 33% 左右的淀粉<sup>[20]</sup>,可通过淀粉酶酶解为低 DE 值的麦芽糊精,这些成分混合喷雾干燥即可获得复合型脂肪替代品。

表 1 米糠基本成分含量

| 成分 | 水分   | 总糖    | 蛋白质   | 粗脂肪   | 灰分   | 总膳食纤维 |
|----|------|-------|-------|-------|------|-------|
| 含量 | 1.61 | 36.45 | 14.60 | 17.17 | 2.85 | 27.11 |

### 2.2 提取工艺的条件优化结果

#### 2.2.1 超声时间

超声功率 400 W,分别超声处理 10、20、30、40、50 min,水料比 15:1,在 50 ℃ 下搅拌提取 30 min,考察超声时间对米糠脂肪替代品得率的影响如图 1 所示。

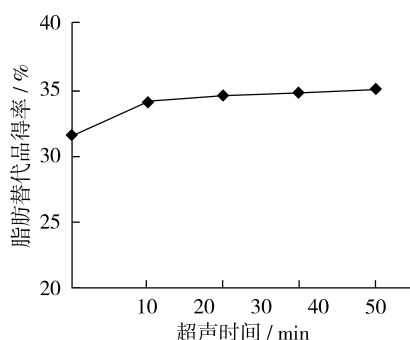


图 1 超声时间对脂肪替代品得率的影响

超声波的空穴作用可以破坏植物细胞组织结构,使细胞内成分更容易溶出。由图 1 可知,在 40 min 前,随着时间延长,脂肪替代品得率一直在增大;但 20 min 后增长趋势变缓,原因可能是超声波处理时间过长会导致部分成分的分解。因此,超声处理时间定在 20 min 为最佳。文献报道称超声 20 min 可同时获得较高的多糖得率和蛋白质得率<sup>[21]</sup>,与本实验结果是相一致的。

#### 2.2.2 料液比的确定

超声功率为 400 W,超声时间为 20 min,在 50 ℃ 温度下搅拌提取 30 min,分别按 5:1、10:1、15:1、20:1 和 25:1 的比例添加蒸馏水,考察水料比对米糠脂肪替代品得率的影响,结果如图 2 所示。

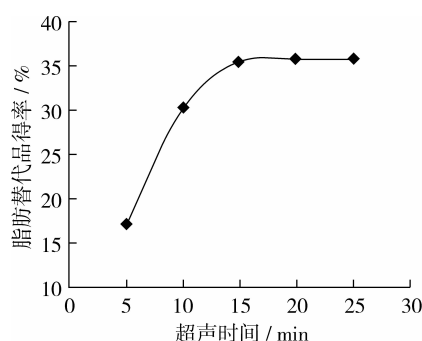


图 2 水料比对脂肪替代品得率的影响

从图 2 中可以看出,随水料比的增加,得率也随之增加,当水料比达到 15:1 后增加量不大,这可能是因为随着物料中可溶物的溶出,溶液的粘度也随之增加,到达一定程度将会影响可溶物的溶出,故水料比确定为 15:1。

#### 2.2.3 提取时间的确定

超声功率 400 W,超声时间 20 min,料水比为 1:15,在 50 ℃ 温度下,分别搅拌提取 10、20、30、40、50 min,研究搅拌提取时间对米糠脂肪替代品得率的影响,结果如图 3 所示。

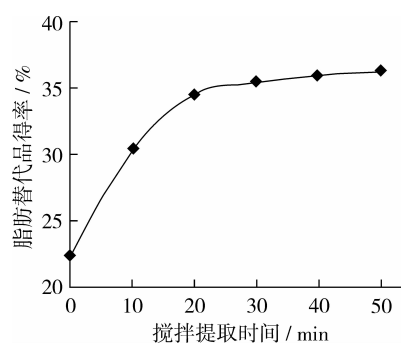


图 3 搅拌提取时间对脂肪替代品得率的影响

一般来说,米糠中蛋白质或多糖的常规热水提取大概需要 4 h<sup>[22]</sup>。从图 3 中可以看出,通过前期超声辅助处理后大大缩短了提取时间,且随着提取时间的增加,脂肪替代品的得率也有所增加,在搅拌

提取 30 min 后增加较缓慢,这主要是由于长时间的提取使大分子多糖的糖苷键断裂而造成了多糖的部分损失,同时长时间的搅拌也会导致部分蛋白质的变性而溶解变差。故脂肪替代品制备工艺的提取时间确定为 30 min。

2.2.4 提取温度的确定

超声功率 400 W,超声时间 20 min,水料比为 15:1,分别在 30、40、50、60 和 70℃ 下搅拌提取 30 min,研究提取温度对米糠脂肪替代品得率的影响,结果如图 4 所示。

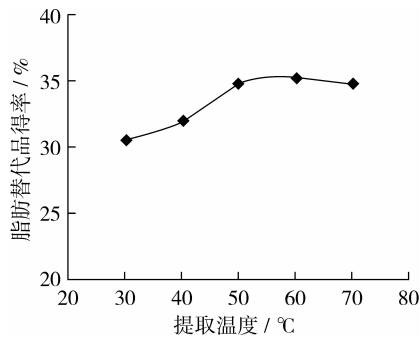


图 4 提取温度对脂肪替代品得率的影响

从图 4 可以看出,在 60℃ 之前随着温度增加,得率也明显增加,说明温度的提高有利于蛋白质和多糖等成分的溶出。但 60℃ 之后即开始下降,这主要是因为米糠淀粉的开始糊化温度为 60~75℃,淀粉的糊化将会使原来的悬浮液变成了黏性很强的淀粉糊,会阻碍蛋白质和多糖等成分的进一步溶出,从而降低了提取率。为使淀粉能更好的保留在滤渣中进行糊化酶解,同时也考虑蛋白质的稳定性,选定提取温度确定为 50℃。

2.3 三种 DE 值米糠脂肪替代品的制备

在 95℃ 的糊化温度下,设定酶添加量五个水平下进行酶解 30 min,考察酶添加量与 DE 的关系如图 5 所示。

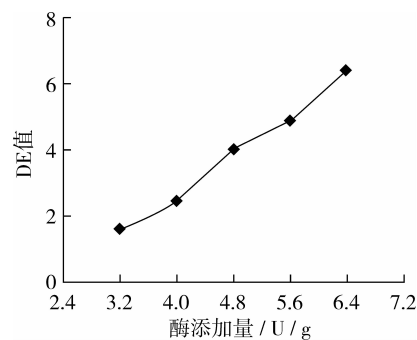


图 5 酶添加量对脂肪替代品 DE 的影响

从图 5 可以看出,随着酶添加量的增大,水解后 DE 值在不断的增大,即米糠水解程度随着  $\alpha$ -淀粉酶的添加量增加而加剧。杨玉玲等人<sup>[23]</sup>在研

究淀粉基质脂肪替代品的制备时指出 DE 值在 10 以下,最好在 2~5 之间时脂肪替代品具有良好的流变学性质和凝胶性质。故本实验分别选取酶添加量 4、4.8、5.6 U/g 进行酶解,获得 DE 分别为 2.45、4.01 和 4.93 的脂肪替代品作为后续实验的研究对象。

2.4 复合型米糠脂肪替代品的性质

2.4.1 成分的测定

表 2 不同 DE 值样品的主要成分组成 %

| 样品        | 总糖   | 蛋白质  | 灰分   | 水分  | SDF |
|-----------|------|------|------|-----|-----|
| DE = 2.45 | 74.5 | 5.68 | 6.71 | 4.2 | 8.1 |
| DE = 4.01 | 75.0 | 5.71 | 6.74 | 4.5 | 8.1 |
| DE = 4.93 | 75.3 | 5.72 | 6.76 | 4.8 | 8.2 |

对于脂肪替代品而言,较为重要的是其在食品配方中各种功能性的体现,包括对食品的外观、质构、口感、持油(水)性、乳化和起泡等方面性质的影响。对不同 DE 值脂肪替代品的基本成分进行初步分析,结果如表 2 所示。样品的主要成分为糖类,含量为 75% 左右,即包括米糠中淀粉经淀粉酶酶解后生成的麦芽糊精、米糠中含有的可溶性还原糖和水溶性多糖。麦芽糊精及多糖能模拟脂肪的质构和口感,因为其能形成具有一定流动性的三维网状结构凝胶,具有脂肪的涂抹性和假塑性,且像脂肪一样粘口。由此可见,高含量的糖类物质使该产品有望成为一种较为理想的脂肪替代品。同时,该复合型脂肪替代品 5% 左右的蛋白质,可使其更优于单独的麦芽糊精脂肪替代品。因为蛋白质变性后,分子中的疏水基团和区域暴露在分子表面,能模拟油脂的疏水性状。同时由于颗粒之间能发生滚动并相互压缩,使微粒化的蛋白质分散液产生了类似脂肪的口感特性,能较好的模拟脂肪的润滑和奶油状感官特征。同时,蛋白质的存在也有望使该复合型脂肪替代品在乳化性和起泡性等方面表现出一定的优势。

总之,该复合型产品以麦芽糊精、可溶性多糖、低聚糖、蛋白质以及水溶性膳食纤维 SDF 等为主要成分,利用其较高粘度的多糖溶液和麦芽糊精以及蛋白质之间的协同效应,可达到模拟脂肪的目的,在一些食品体系中有一定的应用价值。

2.4.2 吸湿性

将一定质量米糠脂肪替代品放入称量瓶中,在 105℃ 烘箱中干燥 48 h,分别在不同相对湿度环境中放置至恒重,相对湿度与吸湿性实验结果如表 3。

表 3 米糠脂肪替代品相对湿度与吸湿性关系

| 相对湿度      | 31%    | 76%    | 90%    | 自然条件下  |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| DE = 2.45 | 16.73% | 21.90% | 23.20% | 18.40% |
| DE = 4.01 | 14.27% | 18.26% | 19.70% | 15.53% |
| DE = 4.93 | 8.87%  | 17.07% | 21.90% | 14.90% |

从表 3 可以看出随着环境湿度的增加,样品吸湿性增大趋势明显,且 DE 越大,吸湿性越小,与文献[24]中结论一致。米糠脂肪替代品具有较强的吸湿性,主要因为其中具有丰富的亲水基团,同时说明米糠脂肪替代品具有良好的水溶性,因此,推测该脂肪替代品可应用于某些特殊的食品体系中。

2.4.3 持水性和持油性

米糠脂肪替代品持水性和持油性如表 4 所示。

| 表 4 米糠脂肪替代品持水性和持油性 g/g |      |      |
|------------------------|------|------|
| 样品                     | 持水性  | 持油性  |
| DE = 2.45              | 3.36 | 1.48 |
| DE = 4.01              | 2.97 | 1.29 |
| DE = 4.93              | 2.78 | 0.97 |

从表 4 可以看出,DE 值为 2.45 的样品持水性和持油性均比 DE 值 4.01 和 4.93 样品的更好。对比分析可知,三种脂肪替代品成分相差不大,DE 较大者含有的麦芽糊精类物质含量稍高,由此可推测其持水/持油性差异可能与麦芽糊精有关。因为麦芽糊精在冷水中溶胀,吸水形成网状的凝胶,把大量的水截流在胶束内。随着 DE 值的增加,样品形成凝胶的能力逐渐减弱,束缚水(油)的能力下降。

2.3.4 乳化性和乳化稳定性

三个样品分别配制三个不同浓度(0.025、0.05、0.075 g/mL)进行乳化性和乳化稳定性的测定。实验结果如表 5 和表 6。

| 表 5 米糠脂肪替代品的乳化性 % |           |      |       |
|-------------------|-----------|------|-------|
| 样品                | 浓度/(g/mL) |      |       |
|                   | 0.025     | 0.05 | 0.075 |
| DE = 2.45         | 37        | 44   | 50    |
| DE = 4.01         | 21        | 24   | 31    |
| DE = 4.93         | 10        | 15   | 22    |

| 表 6 米糠脂肪替代品的乳化稳定性 % |           |      |       |
|---------------------|-----------|------|-------|
| 样品                  | 浓度/(g/mL) |      |       |
|                     | 0.025     | 0.05 | 0.075 |
| DE = 2.45           | 89        | 94   | 95    |
| DE = 4.01           | 83        | 86   | 88    |
| DE = 4.93           | 81        | 83   | 86    |

图 5 和图 6 反映了不同 DE 值的乳化性和乳化稳定性随着浓度变化的变化过程,从图可以看出,DE 值越小,乳化性及乳化稳定性越大;同时同一 DE 值样品,浓度越大,乳化性及乳化稳定性越大。即 DE 为 2.45 的样品表现出最好的乳化性和乳化稳定性。乳化性的大小主要与蛋白质含量的多少呈正比关系,但同时 DE 越大,含有的小分子单糖越多,样品溶解度增加,造成乳化层较少,乳化性降低;同时,小分子单糖都是具有亲水性的,所以低 DE 值

样品冷却后形成的凝胶较为稳定,DE 值增大后凝胶强度减弱,长分子链被切断后乳化层较不稳定容易下沉<sup>[25]</sup>,破坏了原来的乳化稳定性。所以,本实验结果表明 DE 值 2.45 的样品乳化性效果最好。

2.3.5 起泡力和泡沫稳定性

麦芽糊精基本上不具备起泡性,蛋白质的一个重要界面功能性质即为起泡性,所以蛋白质的存在可能是起泡能力的主要原因。蛋白质的起泡性质主要与溶解度和溶液粘度等因素相关。表 7 和表 8 显示了三种不同 DE 值样品的起泡性测定结果,由表可看出,随着样品浓度的增加,蛋白质的浓度逐渐增加,样品的起泡性和泡沫稳定性都有所增加。从整体来看,三种不同 DE 的样品的起泡性和泡沫稳定性比较接近,这主要是因为三种样品的蛋白质含量基本相同。其中 DE 越大,起泡性稍差而泡沫稳定性越高,说明较大 DE 值的样品溶液具有更高粘度。样品中混有的小分子单糖与可溶性多糖可能对起泡能力有一定的协助作用。由此可见,该复合型米糠脂肪替代品具备良好的起泡性,可在一些高脂肪含泡沫食品中发挥一定的脂肪替代功能。

| 表 7 米糠脂肪替代品的起泡性 % |           |      |       |
|-------------------|-----------|------|-------|
| 样品                | 浓度/(g/mL) |      |       |
|                   | 0.025     | 0.05 | 0.075 |
| DE = 4.01         | 591       | 625  | 647   |
| DE = 4.93         | 589       | 620  | 638   |

| 表 8 米糠脂肪替代品的泡沫稳定性 % |           |      |       |
|---------------------|-----------|------|-------|
| 样品                  | 浓度/(g/mL) |      |       |
|                     | 0.025     | 0.05 | 0.075 |
| DE = 2.45           | 70        | 72   | 73    |
| DE = 4.01           | 73        | 77   | 80    |
| DE = 4.93           | 77        | 83   | 88    |

3 结论

以米糠超声提取物和米糠淀粉酶解物的组合方式获得了一种复合型米糠脂肪替代品,得率高达 35%。复合型脂肪替代品因含有 75% 左右的低 DE 值麦芽糊精、5% 左右的蛋白质及 8% 左右的膳食纤维等多种成分。因低 DE 值麦芽糊精和蛋白质等的共同作用,其在吸湿性、持水(油)性、乳化性和起泡性等方面表现出较理想的脂肪替代性质,其中 DE 值为 2.45 的样品性质更优。复合型米糠脂肪替代品不仅能模拟脂肪在食品中的感官特性,形成三维网状结构,表现出较好的流动性,同时蛋白颗粒的存在使其在质构和口感上能替代一部分脂肪添加到食品中,降低食品中脂肪的含量,而且能增加食品中水溶性膳食纤维的含量,具有良好的保健作用。

(下转第 62 页)

性要求。

## 2.8 检测时间

酸提取处理 ICP-OES 测定法测定稻谷中镉元素样品前处理时间约 11 min, 上机时间约 3 min, 完成一个样品, 双试验的检测时间为 14 min。前处理简便, 试剂用量少, 前处理成本较低。

## 3 结论

酸提取处理 ICP-OES 测定稻谷中镉元素的方法测定稻谷中镉前处理简便, 试剂用量少, 有利于环境保护, 且具有较高的准确度及较好的重现性, 并且测试速度快, 提高了工作效率。

通过该方法工作曲线线性范围、检出限、定量限、准确性、台间差、重复性、稳定性等参数验证, 测试结果符合 GB/T 5009.15—2003 等标准和规定的要求, 完成一个样品的检测时间不超过 15 min, 该方法可满足稻米中镉含量快速检测的要求。

### 参考文献:

- [1] ZHAO X L, SAIGUSA MASAIHIKO. Amelioration of Cadmium Polluted Paddy Soils by Porous Hydrated Calcium Silicate[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2007, 183(1-4): 309-315.
- [2] DAUM D K, BOGDAN M K, Schenk, et al. Influence of the field water management on accumulation of arsenic and cadmium in paddy rice[J]. Developments in Plant and Soil Sciences, 2001, 92:290-

191.

- [3] 柯娟, 邓金兰, 李海丽. 微波消解—石墨炉 AAS 法测定大米中镉含量[J]. 价值工程, 2014, (11): 318-319.
- [4] 李俊伟, 鞠福龙, 杨光, 等. ICP-OES 轴向观测法测定大米中镉含量[J]. 化学工程师, 2010, 175(4): 32-33, 48.
- [5] 章月莹, 李琛. 不同加工程度对粮食中镉含量的影响研究[J]. 粮食储藏, 2014, 43(1): 37-39.
- [6] GB/T 5009.15-2003, 食品中镉的测定[S].
- [7] 张亚冬, 韩北琦. 石墨炉原子吸收法测定大米中镉含量的不确定度评定[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2012, 33(2): 74-77.
- [8] 唐英, 甘云娟, 郭春媚, 等. 原子吸收法测定大米中镉不同消化方式的比较[J]. 热带农业工程, 2010, 34(1).
- [9] 刘宏伟, 秦宗会, 谢华林, 等. ICP-OES/ICP-MS 测定葵花子中 28 种无机元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(1): 225-227.
- [10] 李沛青, 轩春江, 李燕. 微波消解—石墨炉原子吸收分光光度法测定粮食中镉含量[J]. 粮食与油脂, 2008, (9): 45-46.
- [11] KATHRYN J L, STEVE J H. Microwave Digestion Procedures for Environmental Matrices[J]. Analyst, 1998, 123(7): 103-133.
- [12] 刘淑君, 平庆杰, 李菊, 等. 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定大米及米粉类食品中有害元素[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(7): 111-115.
- [13] GB/T 4883-2008, 数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理[S].
- [14] GB/T 4889-2008, 数据的统计处理和解释 正态分布均值和方差的估计与检验[S].

(上接第 29 页)

### 参考文献:

- [1] 杨玉玲, 许时婴. 淀粉为基质的脂肪替代品[J]. 食品工业科技, 2002, 23(12): 85-87.
- [2] 陈颖, 姚惠源. 淀粉基质的脂肪模拟物及在冰淇淋中的应用现状[J]. 粮油加工与食品机械, 2004, (10): 64-66.
- [3] 董吉林, 张静雯, 张文丽, 等. 小麦糊精低脂蛋黄酱研究[J]. 粮食与油脂, 2012, (3): 16-19.
- [4] 酆渊, 张连富. 大米水解物替代氢化植物油的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(3): 66-71.
- [5] 徐聃, 杜宇虹, 孔保华. 脂肪替代品在乳制品中的研究与应用进展[J]. 食品科技, 2006, (11): 28-32.
- [6] 潘亚萍. 米糠的开发与应用[J]. 中国油脂, 2010, 3(56): 52-54.
- [7] 亦森. “RICEO”米糠水溶性功能性制品[J]. 粮食与油脂, 2001, 5: 46.
- [8] 陈季旺, 姚惠源, 张小勇, 等. 米糠可溶性蛋白的提取工艺和特性研究[J]. 中国油脂, 2003, 28(2): 46-50.
- [9] 吕银德, 赵俊芳. 蒸谷米糠蛋白乳化性的研究[J]. 粮食加工, 2010, 35(6): 37-40.
- [10] 陈清婵, 王劲松. 米糠饮料的开发与研究进展[J]. 食品科技, 2012, 37(9): 156-159.
- [11] 张薇, 宋春春, 徐玉娟等. 米糠蛋白复合乳饮料制备及其乳化稳定性[J]. 乳业科学与技术, 2013, 36(4): 7-10.
- [12] Yamagishi T, Tsuboi T, Kikuchi K, et al. Potent natural immunomodulator rice water-soluble polysaccharide fractions with anti-complementary activity[J]. Cereal Chemistry, 2003, 80(1): 5-8.

- [13] 易翠平. 米糠多糖研究进展[J]. 粮食与油脂, 2003, (2): 20-22.
- [14] 胡国华, 杨帆, 马正智, 等. 米糠多糖的研究及应用进展[J]. 中国食品添加剂, 2007: 80-85.
- [15] 王学辉. 米糠营养纤维的应用研究进展[J]. 海军医学杂志, 2005, 26(4): 373-375.
- [16] 许晖, 孙兰萍. 从米糠中制备水溶性膳食纤维的比较研究[J]. 粮食与饲料工业, 2007, 5: 13-15.
- [17] 谢莹, 林亲录, 吴伟. 米糠微波稳定化工艺优化[J]. 粮食与油脂, 2012, 12: 17-19.
- [18] 王秀军, 张晖, 王立. 小麦麸皮淀粉水解工艺的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2009, (1): 20-21.
- [19] 潘英明, 林宁, 葛春玉, 等. 膳食纤维测定方法的改进[J]. 食品科学, 2002, 23(11): 106-108.
- [20] 蔡凯凯, 黄占旺, 沈柱英, 等. 双酶法水解米糠淀粉的工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(5): 17-22.
- [21] 李东锐, 苏明华, 汪海波. 超声波及匀浆技术在米糠多糖和米糠蛋白提取中的应用研究[J]. 粮油加工, 2007, (11): 92-95.
- [22] 王莉, 陈正行, 张兵. 不同方法提取米糠多糖工艺的优化研究[J]. 食品科学, 2007, 28(4): 112-116.
- [23] 杨玉玲, 许时婴. 淀粉基脂肪替代品的制备[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(3): 87-90.
- [24] 徐良增, 许时婴, 杨瑞金. 麦芽糊精[J]. 粮食与油脂, 2000, (7): 36-38.
- [25] 邢明, 王展, 黄华, 等. 燕麦淀粉为基质的脂肪替代品的 DE 值选择[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 111-114.