

# 碎米淀粉分步制取工艺优化

## Optimization on starch preperation from broken rice by Fractional steps

祝水兰      刘光宪      周巾英      付晓记      冯健雄

ZHU Shui-lan   LIU Guang-xian   ZHOU Jing-ying   FU Xiao-ji   FENG Jian-xiong

(江西省农业科学院, 江西 南昌 330200)

(Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang, Jiangxi 330200, China)

**摘要:**以稻谷加工副产物碎米为原料提取淀粉,通过单因素试验和正交试验,以碎米淀粉提取率和纯度为指标,用碱法浸提、超声波协同碱性蛋白酶法提取碎米淀粉,得出最佳工艺条件为:超声波处理 25 min,加酶量 5 mg/g,酶解时间 2 h,酶解温度 45 ℃,固液比 1:4 (g/mL),该条件下淀粉提取率达 98.56%,纯度达 99.13%。

**关键词:**碎米;淀粉;超声波;碱性蛋白酶

**Abstract:** The broken rice starch was prepared from the rice processing by-products. By single factor tests and orthogonal experiments, taking the extracting rate and purity as the indexes, the rice starch was prepared by alkaline hydrolysis method of microwave-assisted with alkaline protease extraction. The optimum conditions were as followed: the ultrasonic time 25 min, enzyme content 5 mg/g, enzyme hydrolysis time 2 h, enzyme hydrolysis temperature 45 ℃, ratio of solid to liquid 1:4 (g/mL). Under the conditions, starch extraction yield reached 98.56%, and the purity was 99.13%.

**Keywords:** rice; starch; ultrasonic; alkaline protease

中国稻米年产量占世界稻谷年总产量的 34% 左右,居世界首位<sup>[1]</sup>。稻米加工生产过程中产生约 10%~35% 的碎米,碎米的价格仅为整米的 1/3~1/2,而其化学组成与大米相同<sup>[2]</sup>,淀粉含量达 80% 的左右<sup>[3]</sup>。杨夫光等<sup>[4]</sup>利用碎米生产淀粉糖浆,单斌等<sup>[5]</sup>利用碎米调配成米乳饮料,本试验拟利用碎米提取其功能性成分纯淀粉。目前国际市场上对高纯度大米淀粉的需求较大,美国、比利时、德国、荷兰、意大利等国家兴起了大米淀粉研究开发的热潮<sup>[6]</sup>。制备大米淀粉的方法主要有碱浸法、酶法、表面活性剂法、超声波法、物理法等<sup>[7]</sup>。如马丽娜等<sup>[8]</sup>采用碱法提取大米淀粉,但碱法提取更易吸水膨胀;Bliaderis 等<sup>[9]</sup>发现用高纯度的 Pronase 蛋白酶

水解大米蛋白来制备大米淀粉不会破坏淀粉与脂肪之间的结合,淀粉颗粒的完整性保持得最好;芦鑫等<sup>[10]</sup>采用表面活性剂结合超声波法分离淀粉和蛋白,但表面活性剂使用量大,生产成本较高,大米蛋白难回收利用。本试验拟以谷物加工副产物碎米为原料,通过负压工艺使碎米粉快速吸水膨胀,使结合紧密的碎米淀粉和蛋白分离,再采用超声波-碱酶联用处理,研究制取碎米淀粉的最佳提取条件,并优化碎米淀粉分步提取的制备工艺,为碎米淀粉深加工提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料与仪器

##### 1.1.1 材料与试剂

早籼碎米:农户售,水分 5.92%、粗蛋白 8.85%、粗淀粉 69.4%、粗脂肪 1.4%、灰分 3.4%,色泽气味正常;

氢氧化钠、乙酸铅、硫酸钠、乙醚、硫酸钠、盐酸、乙醇等:分析纯,国药化学试剂有限公司;

碱性蛋白酶:酶活  $2.0 \times 10^5$  U/g,江苏锐阳生物科技有限公司。

##### 1.1.2 主要仪器

高速组织捣碎机:JJ-2(2003-61)型:常州亿通分析仪器制造有限公司;

粉碎机:XL-200A 型,上海润实电器有限公司;

分析天平:TP-214 型,北京赛多利斯仪器系统有限公司;

超声波细胞粉碎机:UP250 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

水分测定仪:HB43-S 紧凑型,瑞士 Metter Toledo 公司;

水浴恒温振荡器:SHA-B 型,常州润华电器有限公司;

pH 计:雷磁 PHS-3C 型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

离心机:LXJ-II B 型,上海安亭科学仪器厂。

#### 1.2 方法

1.2.1 碎米粗淀粉和纯淀粉制取 将碎米置烘箱中干燥后

**基金项目:**江西省科技支撑重点项目(编号:20151BBF60021)

**作者简介:**祝水兰,女,江西省农业科学院副研究员,学士。

**通信作者:**冯健雄(1963—),男,江西省农业科学院研究员,学士。

E-mail: fjsx630320@163.com

**收稿日期:**2017-11-27

置于粉碎机中粉碎,过 80 目筛,得干米粉。将 NaOH 固体配成一定浓度溶液,按一定固液比将干米粉调配成碎米溶液,在高速组织捣碎机中捣碎 30 min,将捣碎后的浆液倒回容器,置于真空干燥箱负压处理 15 min,用磁力搅拌器搅拌 25 min,使溶液混合均匀,从配制溶液到磁力搅拌结束时间为提取时间。将溶液转入离心机中以 3 000 r/min 离心 3 次,每次 15 min,接着用 85%乙醇溶液脱脂,再在离心机中以 5 000 r/min 离心水洗 3 次,每次 10 min,真空干燥,粉碎后制得粗淀粉;将粗淀粉按一定固液比加水溶解,超声波振荡,在一定条件下加入碱性蛋白酶在水浴振荡中水解一定时间,在 5 000 r/min 离心水洗 3 次,每次 10 min,干燥粉碎后制得纯淀粉。

1.2.2 单因素试验

(1) 粗淀粉单因素试验:以碎米淀粉提取率为指标,分别考察 NaOH 浓度(0.1%,0.2%,0.3%,0.4%,0.5%,0.6%)、固液比[1:4,1:5,1:6,1:7,1:8(g/mL)]、提取时间(1,2,3,4,5,6 h)3 个因素对粗淀粉提取率的影响。当选定某一因素进行单因素试验时,其他因素的条件为:NaOH 浓度 0.3%,固液比 1:4(g/mL),提取时间 2 h,进行 3 次重复试验。

(2) 纯淀粉单因素试验:以碎米淀粉提取率为指标,分别考察超声波处理时间(10,15,20,25,30,35 min)、固液比[1:3,1:4,1:5,1:6,1:7,1:8(g/mL)]、酶解温度(30,35,40,45,50,55 ℃)、酶用量(3,4,5,6,7,8 mg/g)、酶解时间(1,2,3,4,5,6 h)5 个因素对纯淀粉提取率的影响。当选定某一因素进行单因素试验时,其他因素的条件为:超声波处理时间 25 min,固液比 1:4(g/mL),酶解时间 2 h,酶解温度 45 ℃,进行 3 次重复试验。

1.2.3 正交试验 根据单因素试验结果,粗淀粉提取每个因素选取 3 个水平;纯淀粉的提取每个因素选取 4 个水平,以碎米淀粉提取率为考察指标,进行 3 次重复试验。

1.2.4 淀粉提取率的计算

$$c = \frac{m_3}{m} \times 100\%,$$
$$m_3 = m_1 \times c_1,$$
$$m = m_2 \times c_2,$$
$$c_3 = 100\% - c_4 - c_5 - c_6,$$

式中:

$c$ ——碎米淀粉提取率,%;

$c_1$ ——样品中淀粉含量,%;

$c_2$ ——原料中淀粉含量,%;

$c_3$ ——淀粉纯度,%;

$c_4$ ——残留蛋白质含量,%;

$c_5$ ——脂肪含量,%;

$c_6$ ——灰分含量,%;

$m_1$ ——样品质量,g;

$m_2$ ——原料质量,g;

$m_3$ ——样品中淀粉质量,g;

$m$ ——原料中淀粉质量,g。

1.2.5 检测指标及方法

- (1) 淀粉的测定:按 GB/T 5009.9—2008 的酸水解法执行。
- (2) 蛋白质测定:按 GB 5009.5—2010 的凯氏定氮法执行。
- (3) 灰分测定:按 GB 5009.4—2016 执行。
- (4) 脂肪测定:按 GB 5009.6—2016 执行。

1.2.6 数据统计分析 试验数据采用 Excel 2003 软件作图,用正交助手软件进行极差分析。

2 结果与分析

2.1 粗淀粉提取单因素试验

2.1.1 NaOH 浓度对碎米粗淀粉提取率的影响 由图 1 可知,当 NaOH 浓度为 0.3%左右时,碎米淀粉的提取率最高。这是因为大米胚乳中蛋白体 PBⅡ约占总蛋白质含量的 80%,是碱溶性的谷蛋白<sup>[9,11]</sup>,碱液能使蛋白质溶解在溶液中,从而使碎米淀粉沉淀分离出来。当 NaOH 浓度过大时,碎米淀粉的结构和性质受到破坏,碎米淀粉提取率下降。故 NaOH 的浓度选择在 0.3%附近。

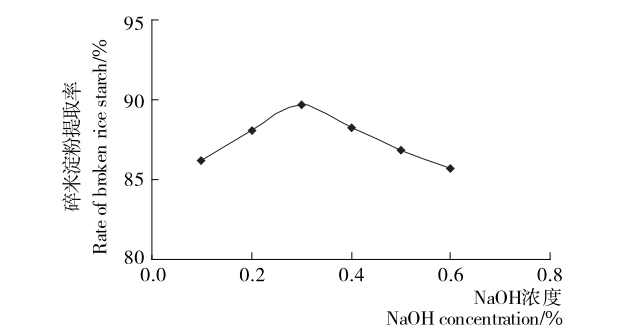


图 1 NaOH 浓度对碎米淀粉提取率的影响  
Figure 1 Effects of NaOH concentrateon on starch yields from broken rice

2.1.2 固液比对碎米粗淀粉提取率的影响 由图 2 可知,随着溶剂增加,碎米淀粉提取率先升高再降低,当固液比为 1:5(g/mL)时碎米淀粉提取率最高。这是由于一定的固液比可提高碎米淀粉的提取率,但随着溶剂增加,碎米内的蛋白质不能与淀粉分离,从而使碎米淀粉的提取率下降。所以选择固液比 1:5(g/mL)较为合适。

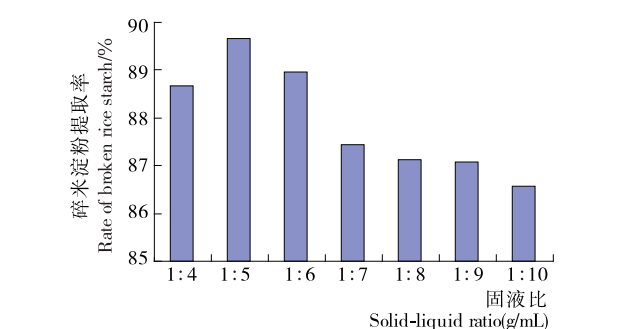


图 2 固液比对碎米淀粉提取率的影响  
Figure 2 Effects of ratio of solid-liquid on starch yields from broken rice

2.1.3 提取时间对碎米淀粉提取率的影响 由图 3 可知,随着提取时间的延长,碎米淀粉的提取率增加,但当提取 3 h 后,碎米淀粉的提取率增加缓慢。这是由于时间增加,NaOH 破坏大米淀粉结构,不利于碎米蛋白从淀粉中分离。从成本考虑,浸提时间应选择在 3 h 左右。

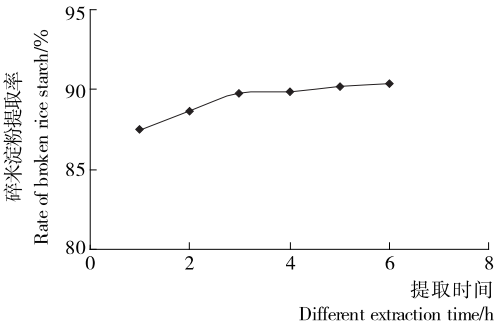


图 3 不同提取时间对碎米淀粉提取率的影响

Figure 3 Effects of different extraction time on starch yields from broken rice

2.2 正交试验

2.2.1 正交试验因素水平确定 正交试验因素水平见表 1。

2.2.2 正交试验结果及分析 由表 2 可见,粗淀粉提取工艺中,影响碎米提取率的主次因素依次为 C>A>B,最佳工艺组合为 A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>,即碱液浓度 0.4%,固液比 1:4 (g/mL),浸提时间 2 h。最佳工艺组合不在正交表组合中,在最优组合条件下进行验证实验,结果提取率为 91.67%,纯度为 96.58%。

表 1 正交试验因素水平表

| Table 1 Factors and levels of the orthogonal experiment |          |             |             |
|---------------------------------------------------------|----------|-------------|-------------|
| 水平                                                      | A 浸提时间/h | B 固液比(g/mL) | C NaOH 浓度/% |
| 1                                                       | 2        | 1:3         | 0.2         |
| 2                                                       | 3        | 1:4         | 0.3         |
| 3                                                       | 4        | 1:5         | 0.4         |

表 2 正交试验提取率结果及分析

Table 2 Results and analysis of extraction rate by orthogonal experiment

| 试验号            | A     | B     | C     | 淀粉提取率/% |
|----------------|-------|-------|-------|---------|
| 1              | 1     | 1     | 1     | 88.83   |
| 2              | 1     | 2     | 2     | 90.36   |
| 3              | 1     | 3     | 3     | 90.79   |
| 4              | 2     | 1     | 2     | 87.82   |
| 5              | 2     | 2     | 3     | 89.99   |
| 6              | 2     | 3     | 1     | 88.34   |
| 7              | 3     | 1     | 3     | 89.34   |
| 8              | 3     | 2     | 1     | 87.25   |
| 9              | 3     | 3     | 2     | 88.25   |
| <hr/>          |       |       |       |         |
| k <sub>1</sub> | 89.99 | 88.66 | 88.14 |         |
| k <sub>2</sub> | 88.72 | 89.20 | 88.81 |         |
| k <sub>3</sub> | 88.28 | 89.13 | 90.04 |         |
| R              | 1.71  | 0.54  | 1.90  |         |

2.3 纯淀粉的提取单因素试验

2.3.1 超声处理时间对碎米纯淀粉提取率的影响 由图 4 可知,随超声处理时的延长,碎米淀粉提取率先升高后降低,当超声时间为 25 min 时碎米淀粉的提取率最高。可能是超声波细胞粉碎机<sup>[12]</sup>是一种利用强超声在液体体系中产生空化、剪切、剧烈搅拌等作用,使碎米淀粉和蛋白质分离。因此超声波处理时间选25 min 左右。

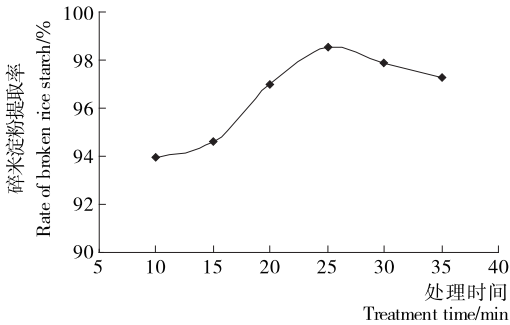


图 4 超声波处理时间对碎米淀粉提取率的影响

Figure 4 Effects of ultrasonic treatment rime on starch yields from broken rice

2.3.2 固液比对碎米纯淀粉提取率的影响 由图 5 可知,随着固液比的增加,碎米纯淀粉的提取率先升高后降低,当固液比为 1:5 (g/mL)时,达到最大值。这是由于溶剂增加,蛋白酶与蛋白质反应,从而使蛋白质更易溶解在溶液中,而淀粉通过离心沉淀分离。因此固液比选择 1:5 (g/mL)左右。

2.3.3 酶解温度对碎米纯淀粉提取率的影响 由图6可知,

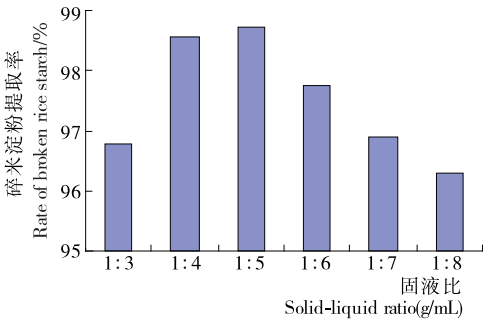


图 5 固液比对碎米纯淀粉提取率的影响

Figure 5 Effects of solid-liquid ratio on starch yields from broken rice

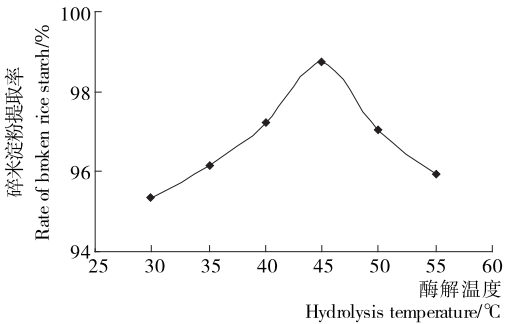


图 6 酶解温度对碎米淀粉提取率的影响

Figure 6 Effects of hydrolysis temperature on starch yields from broken rice

随着温度的升高,碎米淀粉提取率先升高后降低,当酶解温度为 45 ℃时,碎米淀粉提取率最高达 98.72%。由于温度升高,酶的活性上升,蛋白质分解;当温度达到 45 ℃时,随温度升高,酶活性下降。因此酶解温度选择在 45 ℃以下。

2.3.4 酶用量对碎米纯淀粉提取率的影响 由图 7 可知,碎米淀粉提取率随酶用量的增加先升高后降低,当酶用量达到 5 mg/g,碎米淀粉提取率达到最大值。因为随酶用量增加,提高了蛋白质的分解效率,当酶用量超过 5 mg/g 时,酶用量抑制碎米淀粉的提取效率。因此酶用量选择 5 mg/g 左右。

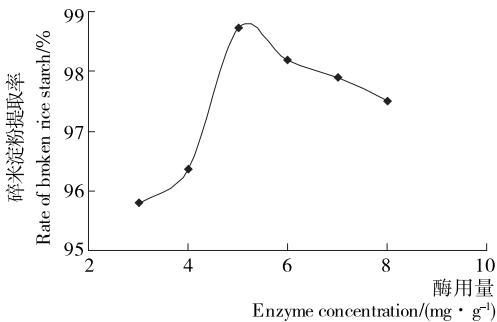


图 7 酶用量对碎米提取率的影响

Figure 7 Effects of enzyme concentration on starch yields from broken rice

2.3.5 酶解时间对碎米纯淀粉提取率的影响 由图 8 可知,碎米淀粉的提取率随酶解时间的延长先升高,当达到 2 h 随酶解时间的延长提取率反而下降,可能是由于酶解时间过长,淀粉颗粒结构变得疏松,不利于沉淀,从而影响了淀粉的提取率。因此酶解时间选择 2 h 左右。

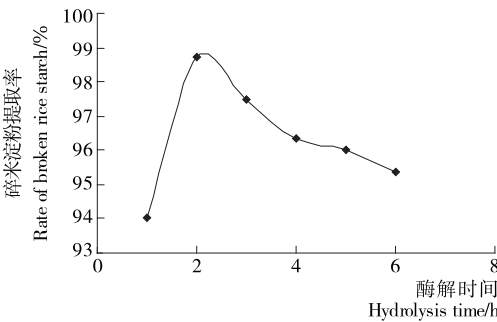


图 8 酶解时间对碎米淀粉提取率的影响

Figure 8 Effects of hydrolysis time on starch yields from broken rice

2.4 纯淀粉正交试验

2.4.1 正交试验因素水平确定 正交试验因素水平见表 3。

2.4.2 纯淀粉正交试验结果及分析 由表 4 可知,碎米纯淀粉提取工艺中,影响碎米纯淀粉提取率的主次因素依次为: B>A>D>E>C,最优工艺组合为 A<sub>4</sub>B<sub>3</sub>C<sub>2</sub>D<sub>4</sub>E<sub>3</sub>,即超声波处理时间 25 min,酶用量 5 mg/g,酶解时间 2 h,酶解温度 45 ℃,固液比 1:5 (g/mL)。最佳工艺组合不在正交表组合中,在最优组合条件下进行验证实验,结果为:淀粉提取率达 98.56%,纯度达 99.13%。

表 3 正交试验因素水平表

Table 3 Factors and levels of the orthogonal experiments

| 水平 | A 超声波处理<br>时间/min | B 酶用量/<br>(mg · g <sup>-1</sup> ) | C 酶解时<br>间/h | D 酶解温<br>度/℃ | E 固液比<br>(g/mL) |
|----|-------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| 1  | 10                | 3                                 | 1            | 30           | 1:3             |
| 2  | 15                | 4                                 | 2            | 35           | 1:4             |
| 3  | 20                | 5                                 | 3            | 40           | 1:5             |
| 4  | 25                | 6                                 | 4            | 45           | 1:6             |

表 4 正交试验提取率结果及分析

Table 4 Results and analysis of extraction rate by orthogonal experiment

| 试验号                   | A      | B      | C      | D      | E      | 纯淀粉提<br>取率/% |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| 1                     | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 92.25        |
| 2                     | 1      | 2      | 2      | 2      | 2      | 94.85        |
| 3                     | 1      | 3      | 3      | 3      | 3      | 96.10        |
| 4                     | 1      | 4      | 4      | 4      | 4      | 95.55        |
| 5                     | 2      | 1      | 2      | 3      | 4      | 95.03        |
| 6                     | 2      | 2      | 1      | 4      | 3      | 95.75        |
| 7                     | 2      | 3      | 4      | 1      | 2      | 94.86        |
| 8                     | 2      | 4      | 3      | 2      | 1      | 95.38        |
| 9                     | 3      | 1      | 3      | 4      | 2      | 95.55        |
| 10                    | 3      | 2      | 4      | 3      | 1      | 95.28        |
| 11                    | 3      | 3      | 1      | 2      | 4      | 97.85        |
| 12                    | 3      | 4      | 2      | 1      | 3      | 96.29        |
| 13                    | 4      | 1      | 4      | 2      | 3      | 96.56        |
| 14                    | 4      | 2      | 3      | 1      | 4      | 95.88        |
| 15                    | 4      | 3      | 2      | 4      | 1      | 98.26        |
| 16                    | 4      | 4      | 1      | 3      | 2      | 95.52        |
| <i>k</i> <sub>1</sub> | 94.688 | 94.847 | 95.343 | 94.820 | 95.292 |              |
| <i>k</i> <sub>2</sub> | 95.255 | 95.440 | 96.108 | 96.160 | 95.195 |              |
| <i>k</i> <sub>3</sub> | 96.242 | 96.767 | 95.727 | 95.482 | 96.175 |              |
| <i>k</i> <sub>4</sub> | 96.555 | 95.685 | 95.563 | 96.278 | 96.077 |              |
| <i>R</i>              | 1.867  | 1.920  | 0.765  | 1.458  | 0.980  |              |

3 结论

超声波-碱性蛋白酶联用在一定工艺条件下,能有效提高碎米淀粉的提取率和纯度,碎米粗淀粉的最佳提取条件为:碱浓度 0.4%,固液比 1:4 (g/mL),浸提时间 2 h,粗淀粉提取率为 91.67%,纯度达 96.58%;纯淀粉的最佳提取条件为:固液比 1:5 (g/mL),超声时间 25 min,碱性蛋白酶的浓度 5 mg/g,时间 2 h,温度 45 ℃,淀粉提取率达 98.56%,纯度达 99.13%。李玥<sup>[13]</sup>提取大米淀粉前大米浸泡 18 h 再打浆提大米淀粉;李翠莲等<sup>[14]</sup>提取大米淀粉需反应 5 h,本试验证实米提取淀粉无需提前浸泡,采用干法粉碎碎米成米粉,负压工艺使结合紧密的碎米淀粉和蛋白产生松动,碎米

(下转第 220 页)

3 结论

黄原胶、魔芋粉、刺槐胶、蔗糖酯和复合磷酸盐均可明显改善马铃薯粉丝剪切与拉伸性能,但添加量超过一定水平,对粉丝质构性能有负面影响。刺槐胶添加过量破坏粉丝拉伸性能,魔芋粉极显著提高粉丝剪切性能,黄原胶和蔗糖酯添加过量破坏剪切性能。试验结果显示无矾马铃薯粉丝改良剂最佳配方为黄原胶 0.125%、魔芋粉 0.250%、刺槐胶 0.300%、蔗糖酯 0.025%、复合磷酸盐 0.050%。表明多种食用胶、乳化剂和复合磷酸盐复配可明显改善马铃薯粉丝品质,其改善机理尚需对粉丝微观结构及物质结合键做深入研究。

参考文献

[1] 陈洪兴,顾正彪,洪雁. 粉丝的原料、生产工艺及发展趋势[J]. 食品工业科技, 2003, 24(7): 94-96.

[2] 索海英,德力格尔桑,张航. 无明矾马铃薯粉丝制作工艺及其性能的研究[J]. 粮食与食品工业,2011, 18(2): 27-30.

[3] 苏晶,姜英杰,陈玉波. 无矾粉丝复合添加剂的研制[J]. 食品添加剂, 2013, 34(9): 133-136.

[4] 陶瑞霄,张海均,贾冬英,等. 薯类粉条粉丝加工中明矾替代物的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2012, 12(2): 39-44.

[5] 李颖. 无矾红薯粉丝的加工研究[J]. 粮油加工, 2009, 40(6): 113-115.

[6] KASEMSUWAN T, BAILEY T, JANE J. Preparation of clear noodles with mixtures of tapioca and high-amylose starches[J]. Carbohydrate Polymers, 1998, 36(4): 301-312.

[7] KAURA L, SINGH J, SINGH N. Effect of glycerol monostearate on the physico-chemical, thermal, rheological and noodle making properties of corn and potato starches[J]. Food Hydro-

colloids, 2005, 19(5): 839-849.

[8] PRABHASANKAR P, RAJIV J, INDRANI D, et al. Influence of whey protein concentrate, additives, their combinations on the quality and microstructure of vermicelli made from Indian T. Durum wheat variety[J]. Food Engineering, 2007, 80(4): 1 239-1 245.

[9] 谢定. 黄原胶在甘薯粉丝加工中的作用机理[J]. 食品与机械, 1991(4): 19-20.

[10] 彭湘莲,付红军,洪伟. 魔芋粉丝的研制及感官评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(6): 192-196.

[11] 陈洁,钱晶晶,王春. 胶体在冷冻面条中的研究[J]. 中国食品添加剂, 2011, 18(2): 178-180.

[12] 张百盛,张心田. 蔗糖酯的特性及在食品中的应用[J]. 农产品加工, 2006, 64(5): 76-77.

[13] 吴雪辉,李琳. 复合磷酸盐对面条改良作用的研究[J]. 粮食与饲料工业, 1998, 19(12): 43-44.

[14] 张永强,于学聪,张建波,等. 明矾替代物生产马铃薯淀粉粉丝的研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(4): 96-99.

[15] 岳晓霞,王梁,刘广,等. 五种食品添加剂对马铃薯粉丝品质特性的影响[J]. 中国调味品, 2013, 38(10): 32-35.

[16] 李兴革,李娟,魏春红. 复合改良剂对马铃薯淀粉粉丝断条率的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2012, 24(1): 58-60, 91.

[17] 孙琛,曹余,何绍凯,等. 两种酯化变性淀粉用于无明矾粉丝的制作研究[J]. 粮食与饲料工业, 2013, 12(9): 35-38.

[18] 杜林,章恩明. 湿方便甘薯粉丝加工工艺研究[J]. 仲恺农业技术学院学报, 2001, 14(3): 96-99.

[19] 胡肖容,廖卢艳. 粉丝品质的研究进展[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(3): 5-7.

[20] 孟亚萍. 挤压米粉粉丝加工及品质改良技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 3-5.

(上接第 215 页)

淀粉和蛋白易分离,大大缩短了提取淀粉时间,提高效率,避免了夏季气温高或浸泡时间长使碎米粉变质酸败。后续将对淀粉的理化特性进行研究,以期碎米粉的应用提供理论依据。

参考文献

[1] MARSHALL W G, WORDSWORTH J I. Rice science and technology[M]. New York: Mafc Dekker Inc, 1994: 237-259.

[2] 刘宜锋,翁丰颖,何丹华. 碎米应用开发[J]. 福建轻纺, 2007(1): 30-33.

[3] 于泓鹏,徐丽,高群玉,等. 大米淀粉的制备及其综合利用研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2004(4): 21-22.

[4] 杨夫光,李飞,母应春,等. 挤压碎米生产淀粉糖浆的工艺优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 190-194.

[5] 单斌,朱建华,金小丽,等. 双酶法优化复合碎米-糙米乳饮料工艺条件[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 232-236.

[6] 王校红. 大米淀粉研发的现状及发展趋势[J]. 黑龙江粮食, 2012

(2): 42-44.

[7] 易翠平,姚惠源. 高纯度大米蛋白和淀粉的分离提取[J]. 食品与机械, 2004, 20(6): 18-21.

[8] 马丽娜,姜丹,张守文. 碱法提取五常稻花香大米淀粉工艺优化[J]. 农产品加工·学刊, 2014(1): 46-47.

[9] BILIADERIS C G, JULIANO B O. Thermal and mechanical- preperities of concentrated rice starch gels of varying composition[J]. Food Chemistry, 1993, 48(3): 243-250.

[10] 芦鑫,张晖,姚惠源. 采用表面活性剂结合超声波法分离淀粉[J]. 食品工业科技, 2007(4): 73-76.

[11] RESURRECCION A P, LI Xing-xiang, OKITA T W, et al. Characterization of poorly digested protein of cooked rice protein bodies[J]. Cereal Chemistry, 1993, 70(1): 101-104.

[12] 朱建华,邹秀容,罗红. 稻谷加工业副产物碎米中蛋白的超声提取工艺研究[J]. 江西农业学报, 2013, 25(1): 106-108.

[13] 李玥. 大米淀粉的制备方法 & 物理化学特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 22-23.

[14] 李翠莲,方北曙,李艳红. 大米淀粉提取工艺的研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(33): 10 840, 10 936.