

## 马蹄淀粉微波间歇干燥工艺研究

### Research on intermittent microwave drying of water chestnut starch

唐小闲<sup>1,2,3</sup> 汤泉<sup>4</sup> 张巧<sup>1,2,3</sup> 刘艳<sup>1,2,3</sup> 段振华<sup>1,2,3</sup>

TANG Xiao-xian<sup>1,2,3</sup> TANG Quan<sup>4</sup> ZHANG Qiao<sup>1,2,3</sup> LIU Yan<sup>1,2,3</sup> DUAN Zhen-hua<sup>1,2,3</sup>

(1. 贺州学院食品科学与工程技术研究院, 广西 贺州 542899; 2. 贺州学院广西马蹄加工工程技术研究中心, 广西 贺州 542899; 3. 广西果蔬保鲜和深加工研究人才小高地, 广西 贺州 542899; 4. 贺州学院材料与工程工程学院, 广西 贺州 542899)

(1. Institute of Food Science and Engineering Technology, Hezhou University, Hezhou, Guangxi 542899, China; 2. Guangxi Water Chestnut Process Engineering Technology Research Center, Hezhou University, Hezhou, Guangxi 542899, China; 3. Guangxi Talent Highland for Preservation and Deep Processing Research of Fruits and Vegetables, Hezhou, Guangxi 542899, China; 4. College of Materials and Environmental Engineering, Hezhou University, Hezhou, Guangxi 542899, China)

**摘要:**以马蹄为原料,采用微波间歇方式对马蹄淀粉进行干燥试验,考察其对马蹄淀粉的含水率、白度、酸度、碘蓝值及综合品质的影响,并采用正交试验优化干燥工艺。结果表明,马蹄淀粉微波间歇干燥最佳工艺条件为:微波功率210 W,装载量1.47 kg/m<sup>2</sup>,加热时间14 min,间歇时间0.75 min。在最佳工艺条件下,微波间歇干燥后马蹄淀粉含水率为10.12%,白度为97.5%,酸度为0.21 mL,碘蓝值为17.90。经微波间歇干燥后含水率达到淀粉安全含水率的标准,白度得到小幅提高,酸度下降,碘蓝值上升,综合品质得到提高。

**关键词:**马蹄;淀粉;微波;间歇干燥

**Abstract:** The water chestnut starch were tested through intermittent microwave drying, and the effects of comprehensive quality were researched including water content, whiteness, acidity and iodine blue value of chestnut starch, optimized by orthogonal tests. The results showed that the optimum drying conditions for water chestnut starch intermittent microwave were microwave power 210 W, loading 1.47 kg/m<sup>2</sup>, heating for 14 min and intermittent time 0.75 min. Under the optimum conditions, after intermittent microwave drying, water content of water chestnut starch was

10.12%, the whiteness was 97.5%, and the acidity was 0.21 mL, iodine blue value was 17.90. At present, water content reached the safety standard, and whiteness increased slightly, with the acidity decreasing and iodine blue value increasing. Therefore the quality was improved. The results could provide a reference for the actual production of water chestnut starch microwave drying technology.

**Keywords:** water chestnut; starch; microwave; intermittent drying

马蹄(Water chestnut),又称荸荠、地栗、通天草,是莎草科荸荠属浅水性宿根草本植物<sup>[1]</sup>,其球茎扁圆,熟后皮呈栗色或红棕色,表面光亮而细腻,果肉白净。马蹄可分为水果马蹄和粉马蹄<sup>[2]</sup>,其中粉马蹄,茎小果细,肉质粗糙,渣多,淀粉、低聚糖和单糖的干重占86%以上<sup>[3]</sup>。粉马蹄经加工制成淀粉,可作为食品加工业重要的原辅料,具有较大的资源优势 and 乐观的发展前景<sup>[4-5]</sup>。

评价淀粉类食品品质可以通过碘蓝值<sup>[6]</sup>、酸度<sup>[7]</sup>、白度<sup>[8]</sup>等重要指标来反映。在马蹄淀粉加工过程中,褐变、焦化现象时有发生,要使产品品质达到行业标准,就要采用先进的加工技术。微波干燥技术在农产品加工及食品工业中应用越来越广泛,近两年国内外已有关于微波干燥松花粉<sup>[9]</sup>、板栗淀粉<sup>[10]</sup>等粉末类的相关研究,但微波间歇干燥未见在马蹄淀粉加工中研究及应用。

本研究拟以微波功率、装载量、加热时间和间歇时间为主要因素进行正交试验,确定马蹄淀粉微波间歇干燥最佳工艺,以期对淀粉微波干燥的研究提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜马蹄:广西“钟山小果粉马蹄”,贺州市农贸市场。

**基金项目:**广西特色果蔬深加工与保鲜技术研究(编号:YS201601);贺州学院“果蔬深加工与保鲜团队建设”项目(编号:YS201602);广西特聘专家专项经费(编号:厅发[2016]21号);广西高校中青年骨干教师基础能力提升项目(编号:2018KY0557)

**作者简介:**唐小闲,女,贺州学院助理研究员,硕士。

**通信作者:**段振华(1965—),男,贺州学院教授,博士。

E-mail: dzh65@126.com

**收稿日期:**2018-01-06

所用试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

微波炉:G80D20CN1P-D2(S0)型,输入功率 700 W,直径 18 cm 圆形装料盘,广东格兰仕微波炉电器制造有限公司;

分析天平:BSA124S 型,北京赛多利斯仪器系统有限公司;

电热鼓风干燥箱:DHG-9240A 型,上海一恒科学仪器有限公司;

加热型磁力搅拌器:MR-Hei-Tec 型,德国海道夫公司;

水分测定仪:MA150 型,北京赛多利斯仪器系统有限公司;

色差计:CR-10 型,日本柯尼卡美能达控股株式会社;

可见分光光度计:722N 型,上海精密科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原料预处理 马蹄清洗去皮,破碎匀浆,过滤后制作成湿基含水率平均值为 40% 的马蹄湿淀粉,备用。

1.3.2 马蹄淀粉微波间歇干燥单因素试验 以马蹄淀粉的含水率、白度、酸度和碘蓝值为考核指标,选微波功率、装载量、加热时间和间歇时间进行单因素试验,确定各因素对考核指标的影响。

(1) 微波功率:固定装载量 1.96 kg/m<sup>2</sup>,加热时间 10 min,间歇时间 1.5 min,考查微波功率(0,140,280,420,560,700 W)对马蹄淀粉含水率、白度、酸度和碘蓝值的影响。

(2) 装载量:固定微波功率 140 W,加热时间 10 min,间歇时间 1.5 min,考查装载量(0.98,1.96,2.94,3.93,4.91,5.89 kg/m<sup>2</sup>)对马蹄淀粉含水率、白度、酸度和碘蓝值的影响。

(3) 加热时间:固定微波功率 140 W,装载量 1.96 kg/m<sup>2</sup>,间歇时间 1.5 min,考查加热时间(4,6,8,10,12,14 min)对马蹄淀粉含水率、白度、酸度和碘蓝值的影响。

(4) 间歇时间:固定微波功率 140 W,装载量 1.96 kg/m<sup>2</sup>,加热时间 14 min,考查间歇时间(0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0 min)对马蹄淀粉含水率、白度、酸度和碘蓝值的影响。

1.3.3 正交试验 在单因素试验的基础上,以马蹄淀粉的含水率、白度、酸度、碘蓝值为指标进行四因素三水平正交试验。

1.3.4 水分的测定 按 GB 5009.3—2010《食品安全国家标准 食品中水分的测定》执行。

1.3.5 白度的测定 参照文献[11],利用色差计测定马蹄淀粉的明度指数 L\*,数值显示越大表明被测物越白亮。

1.3.6 马蹄淀粉的酸度测定 参照 GB/T 22427.9—2008《淀粉及其衍生物酸度测定》的方法,酸度以 10 g 样品所耗用 0.1 mol/L 氢氧化钠标准溶液的毫升数表示,按式(1)计算:

$$X = \frac{c \times (V_1 - V_2) \times 10}{m \times 0.1}, \quad (1)$$

式中:

X——样品酸度,mL;

c——已标定的氢氧化钠标准溶液浓度,mol/L;

V<sub>1</sub>——样品所耗用的氢氧化钠标准溶液体积,mL;

V<sub>2</sub>——空白所耗用的氢氧化钠标准溶液体积,mL;

m——样品的干基质量,g。

1.3.7 马蹄淀粉的碘蓝值测定 根据上官佳等<sup>[12]</sup>的方法,碘蓝值按式(2)计算:

$$BVI = A_{650 \text{ nm}} \times 54.2 + 5, \quad (2)$$

式中:

BVI——碘蓝值;

A<sub>650 nm</sub>——样品在波长 650 nm 处的吸光度。

1.4 数据分析

所有试验均设定 3 个平行,测定结果以平均值±标准偏差(SD)表示,应用 Origin Pro 2016 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 马蹄淀粉微波间歇干燥单因素试验

2.1.1 微波功率对马蹄淀粉品质指标的影响 由图 1、2 可知,在相同物料装载量、加热时间、间歇时间条件下,微波功率越大,物料的含水率下降越显著,碘蓝值先升后降,酸度呈上升的趋势,物料白度呈下降的趋势,但变化不明显(P>0.05)。不同功率,各项指标大小不相同。研究发现,在试验过程中,微波功率过大,淀粉容易产生焦化、结块的现象而影响品质,在较低功率范围品质较好。在功率 140 W 时,物料

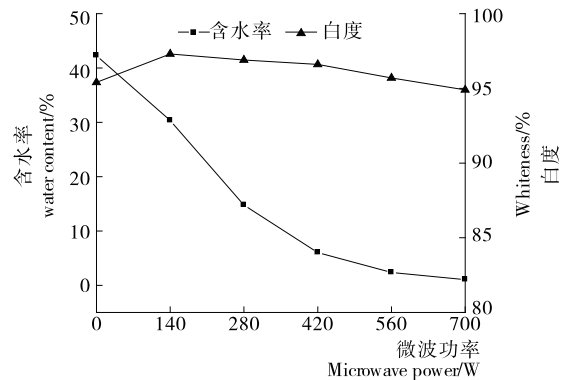


图 1 微波功率对马蹄淀粉含水率、白度的影响

Figure 1 Effect of microwave power on the water content and whiteness of water chestnut starch

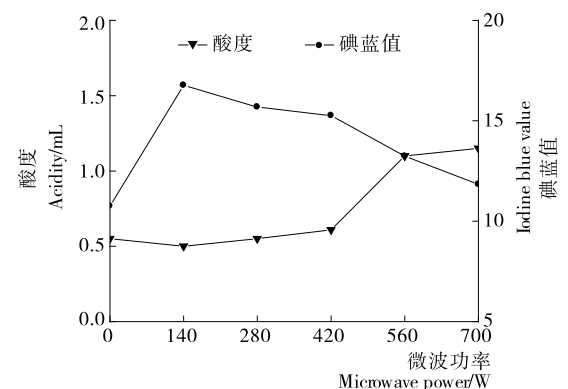


图 2 微波功率对马蹄淀粉酸度、碘蓝值的影响

Figure 2 Effect of microwave power on the acidity and iodine blue value of water chestnut starch

含水率为 30.31%;白度和碘蓝值最高,分别为 97.3% 和 16.76;酸度较低,为 0.50 mL。综合马蹄淀粉品质要求,故选 140 W 为较佳微波功率。

2.1.2 装载量对马蹄淀粉品质指标的影响 由图 3、4 可知,在恒定微波功率、加热时间、间歇时间条件下,装载量越大,物料的含水率越大,碘蓝值和白度呈先升后降的趋势,但白度变化不显著( $P>0.05$ ),酸度呈先降后升的趋势。在装载量  $1.96 \text{ kg/m}^2$  时,物料含水率为 30.31%,碘蓝值为 15.14,白度为 97.3%,酸度为 0.94 mL,马蹄淀粉综合品质最好。故选  $1.96 \text{ kg/m}^2$  为较佳装载量。

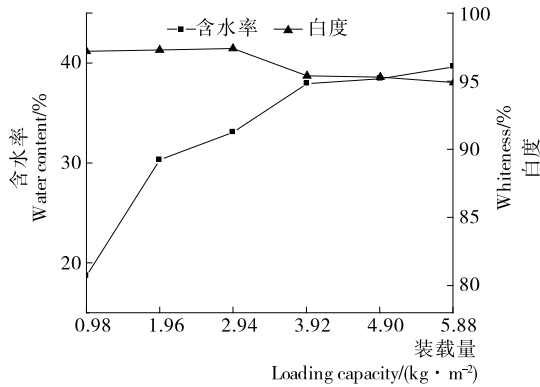


图 3 装载量对马蹄淀粉含水率、白度的影响

Figure 3 Effect of loading on the water content and whiteness of water chestnut starch

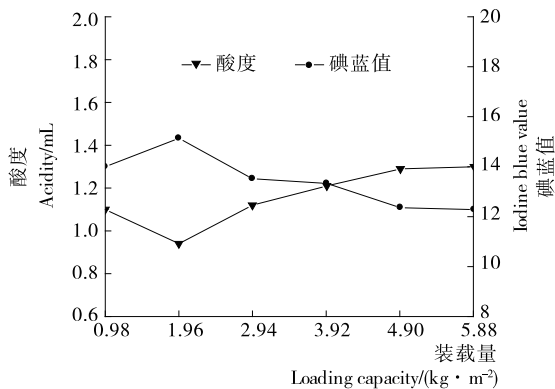


图 4 装载量对马蹄淀粉酸度、碘蓝值的影响

Figure 4 Effect of loading on the acidity and iodine blue value of water chestnut starch

2.1.3 加热时间对马蹄淀粉品质指标的影响 由图 5、6 可知,在恒定微波功率、装载量、间歇时间条件下,随加热时间的延长,物料含水率降低,白度变化不显著( $P>0.05$ ),碘蓝值呈先减少后增加的趋势,淀粉酸度逐渐增加。酸度增加的原因可能是微波干燥加热方式从内向外加热,可以加快淀粉水解产生脂肪酸,导致马蹄淀粉酸度升高。在加热时间 14 min 时,物料的含水率为 20.45%,白度为 97.6%,碘蓝值为 16.79,酸度为 0.51 mL,马蹄淀粉综合品质最好。故选 14 min 为较佳加热时间。

2.1.4 间歇时间对马蹄淀粉品质指标的影响 由图 7、8 可知,在恒定微波功率、装载量、加热时间条件下,随间歇时间

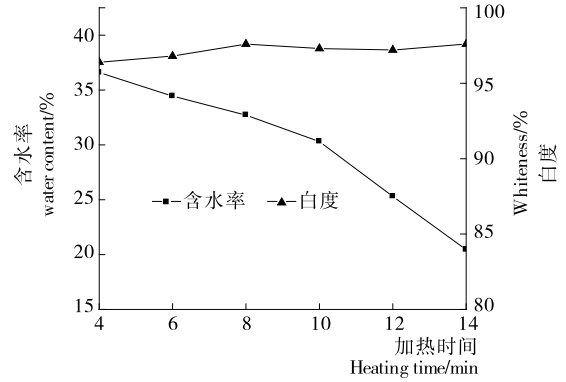


图 5 加热时间对马蹄淀粉含水率的影响

Figure 5 Effect of heating time on the water content and whiteness of water chestnut starch

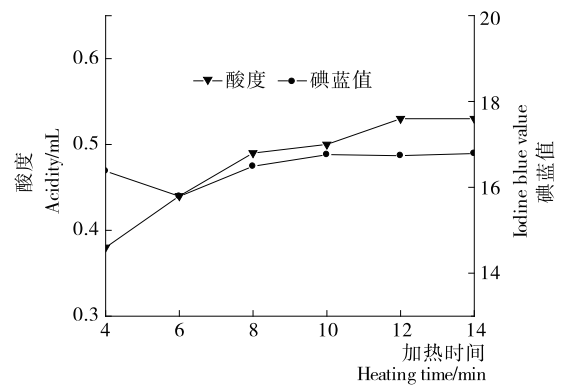


图 6 加热时间对马蹄淀粉酸度、碘蓝值的影响

Figure 6 Effect of heating time on the acidity and iodine blue value of water chestnut starch

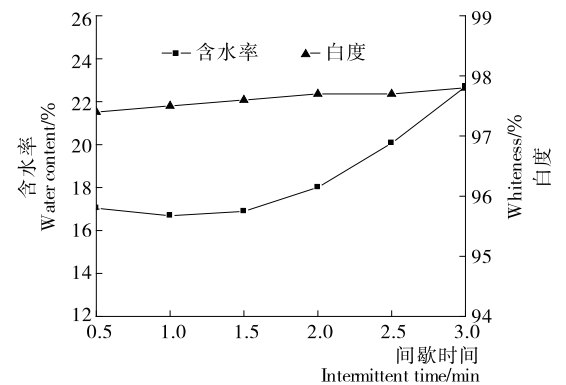


图 7 间歇时间对马蹄淀粉含水率、白度的影响

Figure 7 Effect of intermittent time on the water content and whiteness of water chestnut starch

的延长,物料含水率和酸度的呈现先降后升的趋势,碘蓝值呈先升后降的趋势,白度变化不明显( $P>0.05$ )。间歇时间较长,含水率下降缓慢,原因是在一定的时间范围内,微波间歇时间越长,加热时间相对缩短,导致含水率升高。在间歇时间为 1.0 min,物料的含水率为 16.69%,白度为 97.5%,酸度为 0.45 mL,碘蓝值为 16.84,马蹄淀粉综合品质最好。故选 1.0 min 为较佳间歇时间。

2.2 马蹄淀粉微波间歇干燥正交试验结果

在单因素试验的基础上,选用  $L_9(3^4)$  正交表(表 1),以

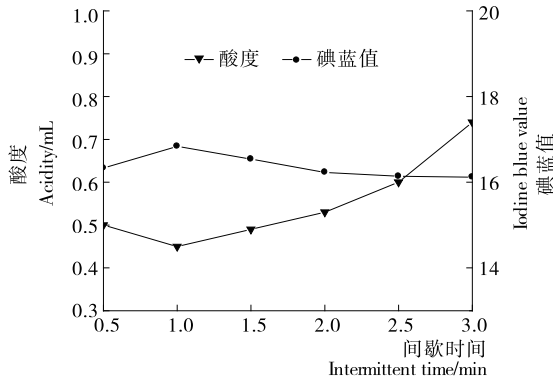


图8 间歇时间对马蹄淀粉酸度、碘蓝值的影响

Figure 8 Effect of intermittent time on the acidity and iodine blue value of water chestnut starch

淀粉的含水率、白度、酸度、碘蓝值为指标,对马蹄淀粉进行四因素三水平正交试验,结果见表2。

在本试验中,含水率和酸度这2个指标都是越小越好,白度和碘蓝值指标都是越大越好,根据各指标的重要程度对试验结果进行综合评分,使用隶属度来表示指标的分数,隶属FD按式(3)计算:

$$FD = \frac{F - F_{MIN}}{F_{MAX} - F_{MIN}}, \quad (3)$$

式中:

FD——指标隶属;

F——指标值;

$F_{MAX}$ ——指标最大值;

$F_{MIN}$ ——指标最小值。

指标最大值的隶属度为1,指标最小值的隶属度为0。含水率、白度、酸度、碘蓝值4个指标重要性不一样,需要求出加权和作为综合分数。将含水率、白度、酸度、碘蓝值权重分别取0.5,0.1,0.2,0.2,则每个试验的综合分数=含水率隶

表1 正交试验因素与水平表

Table 1 Orthogonal experiment design level and factors

水平	A 微波功率/ W	B 装载量/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )	C 加热时间/ min	D 间歇时间/ min
1	70	1.47	13	0.75
2	140	1.96	14	1.00
3	210	2.46	15	1.25

表3 试验结果综合评分表

Table 3 Comprehensive score of test results

试验号	含水率/%	白度/%	酸度/mL	碘蓝值	含水率隶属度	白度隶属度	酸度隶属度	碘蓝值隶属度	综合评分
1	34.84	97.2	0.89	17.63	0.000	0.000	0.03	0.925	0.192
2	30.87	97.4	0.91	17.57	0.161	0.286	0.00	0.884	0.286
3	33.02	97.6	0.90	16.98	0.074	0.571	0.02	0.483	0.194
4	19.80	97.9	0.52	16.87	0.611	1.000	0.67	0.408	0.622
5	24.80	97.8	0.47	16.82	0.408	0.857	0.76	0.374	0.516
6	29.70	97.7	0.38	16.27	0.209	0.714	0.91	0.000	0.359
7	10.23	97.6	0.34	17.74	1.000	0.571	0.98	1.000	0.954
8	11.92	97.5	0.33	17.41	0.931	0.429	1.00	0.776	0.864
9	12.43	97.6	0.34	17.14	0.911	0.571	0.98	0.592	0.827

表2  $L_9(3^4)$ 试验设计与结果

Table 2 Test plan and test results of  $L_9(3^4)$

试验号	A	B	C	D	含水率/%	白度/%	酸度/mL	碘蓝值
1	1	1	1	1	34.84	97.2	0.89	17.63
2	1	2	2	2	30.87	97.4	0.91	17.57
3	1	3	3	3	33.02	97.6	0.90	16.98
4	2	1	2	3	19.80	97.9	0.52	16.87
5	2	2	3	1	24.80	97.8	0.47	16.82
6	2	3	1	2	29.70	97.7	0.38	16.27
7	3	1	3	2	10.23	97.6	0.34	17.74
8	3	2	1	3	11.92	97.5	0.33	17.41
9	3	3	2	1	12.43	97.6	0.34	17.14

属度 $\times 0.5$ +白度隶属度 $\times 0.1$ +酸度隶属度 $\times 0.2$ +碘蓝值隶属度 $\times 0.2$ ,综合分最高的最好。由表3可知,试验号7的综合分最高。

根据正交试验结果进行直观分析,得到因素的主次和最优方案,见表4~7。

根据表4~7,运用综合平衡法得到综合的最优方案,具体平衡过程:

(1) 因素A:白度是取 $A_2$ 好,含水率、酸度和碘蓝值3个指标都是以 $A_3$ 为最佳水平;对含水率、白度、酸度和碘蓝值4个指标,A因素是最主要因素,在确定最优水平时应重点考虑。根据多数倾向和A因素对不同指标的重要程度,选取 $A_3$ 。

(2) 因素B:含水率和碘蓝值均是取 $B_1$ 好,白度与酸度均是取 $B_3$ 好;白度和酸度从 $K_i(k_i)$ 可以看出,白度B因素取 $B_1$ 或 $B_3$ 时相差很小,酸度B因素取 $B_1$ 或 $B_3$ 时相差不大;而从极差可以看出,白度为末位的次要因素,含水率和酸度的B因素均为第3位因素,而碘蓝值的B因素为第2位因素,所以根据多数倾向和B因素对不同指标的重要程度,选取 $B_1$ 。

(3) 因素C:含水率和碘蓝值均是取 $C_2$ 好,白度取 $C_3$ 好,从 $K_i(k_i)$ 可以看出,白度C因素取 $C_2$ 与 $C_3$ 时白度相差较小,酸度取 $C_1$ 好。从极差可以看出,碘蓝值的C因素为末位,含水率、白度和酸度3个指标的C因素均排第2位因素,但含水率的极差悬殊最大,应重点考虑,所以根据少数服从多数原则和C因素对不同指标的重要程度,选取 $C_2$ 。

表 4 含水率试验结果分析

Table 4 Water content analysis of test results

试验号	A	B	C	D
$K_1$	98.730	64.870	76.460	72.070
$K_2$	74.300	67.590	63.100	70.800
$K_3$	34.580	75.150	68.050	64.74
$k_1$	32.667	21.623	25.487	24.0230
$k_2$	24.767	22.530	21.033	23.600
$k_3$	11.527	25.050	22.683	21.580
极差 R	64.150	10.280	13.360	7.330
因素主次	ACBD			
优方案	$A_3C_2B_1D_3$			

表 5 白度试验结果分析

Table 5 Whiteness analysis of test results

试验号	A	B	C	D
$K_1$	292.20	292.70	292.40	292.60
$K_2$	293.40	292.80	292.90	292.70
$K_3$	292.70	292.90	293.00	293.00
$k_1$	97.40	97.57	97.47	97.53
$k_2$	97.80	97.60	97.63	97.57
$k_3$	97.57	97.63	97.67	97.67
极差 R	1.20	0.20	0.60	0.40
因素主次	ACDB			
优方案	$A_2C_3D_3B_3$			

表 6 酸度试验结果分析

Table 6 Acidity analysis of test results

试验号	A	B	C	D
$K_1$	2.700	1.750	1.600	1.700
$K_2$	1.370	1.710	1.770	1.630
$K_3$	1.010	1.620	1.710	1.750
$k_1$	0.900	0.583	0.533	0.567
$k_2$	0.457	0.570	0.590	0.543
$k_3$	0.337	0.540	0.570	0.583
极差 R	1.690	0.130	0.170	0.120
因素主次	ACBD			
优方案	$A_3C_1B_3D_2$			

表 7 碘蓝值试验结果分析

Table 7 Iodine value analysis of test results

试验号	A	B	C	D
$K_1$	52.180	52.240	51.310	51.590
$K_2$	49.960	51.800	51.580	51.580
$K_3$	52.290	50.390	51.540	51.260
$k_1$	17.393	17.413	17.103	17.197
$k_2$	16.653	17.267	17.193	17.193
$k_3$	17.430	16.797	17.180	17.087
极差 R	2.330	1.850	0.270	0.330
因素主次	ABDC			
优方案	$A_3B_1D_1C_2$			

(4) 因素 D: 含水率和白度都是取  $D_3$  好, 酸度取  $D_2$  好, 碘蓝值取  $D_1$  好, 从  $K_i(k_i)$  可以看出, 白度 D 因素取  $D_1$  与  $D_3$  时白度相差较小; 而从极差可以看出, 含水率和酸度指标中的 D 因素均为末位的次要因素, 白度和碘蓝值指标的 D 因素为第 3 位的次要因素, 根据多数倾向和 D 因素对不同指标的重要程度, 选取  $D_1$ 。

综合上述分析, 正交试验的最佳工艺条件为  $A_3B_1C_2D_1$ , 即微波功率 210 W, 装载量  $1.47 \text{ kg/m}^2$ , 加热时间 14 min, 间歇时间 0.75 min。

2.3 验证实验

在最佳工艺条件  $A_3B_1C_2D_1$  下进行验证实验, 结果见表 8。

表 8 最佳工艺验证实验

Table 8 Best process validation test

序号	含水率/%	白度/%	酸度/mL	碘蓝值
1	10.17	97.6	0.20	17.79
2	10.06	97.5	0.25	18.01
3	10.13	97.5	0.18	17.90
平均值	10.12	97.5	0.21	17.90

在最优条件下, 微波间歇干燥后的马蹄淀粉含水率 10.12%, 白度 97.5%, 酸度 0.21 mL, 碘蓝值 17.90, 与正交试验表中最好的第 7 号作对比, 可知最优方案比第 7 号试验结果更好, 所以认为  $A_3B_1C_2D_1$  是最佳工艺。

3 结论

在单因素试验的基础上, 通过正交试验确定马蹄淀粉微波间歇干燥的最佳工艺条件为: 微波功率 210 W, 装载量  $1.47 \text{ kg/m}^2$ , 加热时间 14 min, 间歇时间 0.75 min。在最优条件下, 微波间歇干燥后的马蹄淀粉含水率 10.12%、白度 97.5%、酸度 0.21 mL、碘蓝值 17.90。此时含水率达到淀粉安全含水率的标准, 白度得到小幅提高, 酸度下降, 碘蓝值上升, 因而综合品质得到提高。

微波间歇干燥作为一种新型干燥方式, 干燥时间短、能量利用率高、干后品质较好。该研究结果可以为实际生产中马蹄淀粉微波干燥工艺提供参考依据, 并促进传统马蹄淀粉加工业技术的进步和产品品质的提高。

参考文献

[1] 张怡, 胡月珍, 李小根. 荸荠营养成分及保健价值的研究[J]. 科技创业家, 2013(6): 204.  
 [2] 刘兵, 段振华. 马蹄的贮藏保鲜与加工利用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(18): 212-215.  
 [3] 杨君, 刘后伟, 段元波. 预糊化马蹄粉的研制[J]. 广东农工商职业技术学院学报, 2015, 31(4): 61-64.  
 [4] 曹凯光. 高黏度荸荠羧甲基淀粉制备工艺的优化[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(1): 53-56.  
 [5] 唐小闲, 段振华, 刘艳, 等. 马蹄湿淀粉微波间歇干燥特性及其动力学研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(5): 15-21.

(下转第 220 页)

- 2017, 6(2): 1-20.
- [3] 张泓, 张春江, 张雪, 等. 提升我国传统菜肴加工业水平的主要途径[J]. 农业工程技术, 2012, 1(9): 28-33.
- [4] ZHANG Qin, LI Wei, FENG Mei-qin, et al. Effects of different coagulants on coagulation behavior of acid-induced soymilk[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 33(1): 106-110.
- [5] PRABHAKARAN M P, PERERA C O, VALIYAVEETIL S. Effect of different coagulants on the isoflavone levels and physical properties of prepared firm tofu[J]. Food Chemistry, 2006, 99(3): 492-499.
- [6] 刘灵飞, 陈颖慧, 徐婧婷, 等. 凝固剂混合方式对盐卤豆腐品质特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(7): 102-108.
- [7] 赵海波. 硫酸钙诱导热变性大豆蛋白凝胶的影响因素及应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- [8] 刘志胜, 李里特, 辰巳英三, 等. 豆腐盐类凝固剂的凝固特性与作用机理的研究[J]. 中国粮油学报, 2000, 15(3): 39-43.
- [9] OBATOLU V A. Effect of different coagulants on yield and quality of tofu from soymilk[J]. European Food Research and Technology, 2008, 226(3): 467-472.
- [10] HUI Lee-ka, EASA A M, ISMAIL N. Effects of thermal treatments on texture of soy protein isolate tofu[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2000, 24(4): 275-286.
- [11] YASIR S B M, SUTTON K H, NEWBERRY M P, et al. The impact of Maillard cross-linking on soy proteins and tofu texture[J]. Food Chemistry, 2007, 104(4): 1 502-1 508.
- [12] 朱巧梅, 酃金龙, 刘妍, 等. 新型 W/O 盐卤凝固剂对大豆蛋白凝胶中水分变化的影响[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(5): 100-105.
- [13] 齐宝坤, 李杨, 王中江, 等. 超声处理对豆腐品质的影响及工艺优化[J]. 食品工业, 2016, 37(2): 138-142.
- [14] LI Teng, RUI Xin, LI Wei, et al. Water distribution in tofu and application of T<sub>2</sub> relaxation measurements in determination of tofu's water-holding capacity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(34): 8 594-8 601.
- [15] 孙小鲁, 顾振宇, 杨玥焯, 等. 石膏豆腐凝胶特性的研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(3): 133-138.

(上接第 79 页)

- [22] RAMASWAMY R, KRISHNAMURTHY K, JUN S. Microbial decontamination of food by infrared (IR) heating[J]. Microbial Decontamination in the Food Industry, 2012: 450-471.
- [23] BINGOL G, YANG Jing, BRANDL M T, et al. Infrared pasteurization of raw almonds[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(3): 387-393.
- [24] 丁丁, 胡梁斌, 丁武, 等. 紫外线照射对黄曲霉菌产毒影响的研究[J]. 江西农业学报, 2012, 24(10): 140-141.
- [25] 罗剑毅. 稻谷的远红外干燥特性和工艺的实验研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006: 7-8.
- [26] LV Shi-wen, SUN Li-hui, ZHAO Shu-yan, et al. Effect of dry heat stabilisation on the functional properties of rice bran proteins[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52(8): 1 836-1 843.
- [27] RUNYON J R, SUNILKUMAR B A, NILSSON L, et al. The effect of heat treatment on the soluble protein content of oats[J]. J Cereal Sci, 2015(65): 119-124.
- [28] ZILIC S, BOZOVIC I, SAVIC S, et al. Heat processing of soybean kernel and its effect on lysine availability and protein solubility[J]. Open Life Sciences, 2006, 1(4): 572-583.

(上接第 123 页)

- [2] 文怀兴, 俞祖俊, 史鹏涛, 等. 一种大枣自动去核、切片一体化设备: 中国, 201420746012.4[P]. 2015-04-29.
- [3] 康宁波, 尚梦玉, 马建华, 等. 自动上料气动式去核机: 中国, 201720983054.3[P]. 2018-02-27.
- [4] 李福来. 新型红枣去核机: 中国, 201510927245.3[P]. 2017-06-20.
- [5] 陈永裕. 一种家用大枣去核器: 中国, 201710497473.0[P]. 2017-10-24.
- [6] 田东. 基于 AT89C51 芯片控制的激光功率计的设计[J]. 西安邮电大学学报, 2014, 19(3): 91-94.
- [7] 袁东阁. 红枣自动去核机的设计与技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014: 13.
- [8] 刘蒋龙, 张淑娟, 周靖博, 等. 一种单工位红枣去核机去核结构的仿真分析研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(9): 154-160.
- [9] 关建行, 王玉亮, 袁东阁, 等. 一种使用不完全齿轮机构传动的红枣去核机的设计[J]. 食品工业, 2015, 36(10): 261-263.
- [10] 张鹏霞, 党凯锋, 张毅, 等. 红枣去核设备的研制[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(4): 33-37.

(上接第 215 页)

- [6] 邓资靖, 蒋和体. 不同干燥方式对紫薯全粉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(12): 360-364.
- [7] 胡婷, 樊明聪, 车丽, 等. 脉冲微波处理对大米理化指标和流变特性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(4): 100-105.
- [8] 唐小闲, 罗杨合, 汤泉, 等. 马蹄湿淀粉微波干燥的实验研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(11): 107-110.
- [9] 李海龙, 何小平, 陈建胜. 响应面优化松花粉微波干燥及灭菌关键技术参数的研究[J]. 食品工业, 2015, 36(4): 104-106.
- [10] SHAH U, GANI A, ASHWAR B A, et al. Effect of infrared and microwave radiations on properties of Indian Horse chestnut starch[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016(84): 166-173.
- [11] NATH A, CHATTOPADHYAY P K. Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(4): 1 282-1 292.
- [12] 上官佳, 吴卫国, 傅冬和, 等. 不同加工工艺制备葛根全粉的成分和特性研究[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 36-41.