

发芽糙米即食粉滚筒干燥生产工艺研究

张卫华^{1,2}, 宋玉², 陶澍², 洪莹², 段依梦^{1,2}, 曹磊², 刘超^{2*}, 杜传来^{1*}

(1.安徽科技学院 食品工程学院, 安徽 滁洲 233100; 2.安徽省农业科学院 农产品加工研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要:为提高发芽糙米的食用方便性,减少加工能耗,探讨应用滚筒干燥技术制备发芽糙米即食营养粉的生产工艺,通过正交试验结合模糊数学判断法优化工艺参数;并在最优工艺参数下明确产品中的 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)、膳食纤维、糊化度、复水性、黏度的变化情况。结果显示,滚筒干燥制备发芽糙米即食营养粉的最佳工艺为:料液比1:2.0(g/mL)、粒径80目、滚筒转速40 r/h、蒸汽温度130℃,在此条件下,即食营养粉的复水性916%,黏度7 968 mPa·s,稳定性系数 $K=0.015$,结块率56%,感官评分98分,GABA含量13.05 mg/100 g,可溶性膳食纤维含量0.13 g/g,植酸含量6.75 mg/g。通过快速黏度分析仪分析,即食营养粉的糊化温度显著低于发芽糙米粉($P<0.05$),回生值、峰值黏度差异不显著。

关键词:发芽糙米;滚筒干燥;功能营养;即食营养粉;冲调特性

Study on Drum Drying Production Process of Germinated Brown Rice Instant Powder

ZHANG Wei-hua^{1,2}, SONG Yu², TAO Shu², HONG Ying², DUAN Yi-meng^{1,2}, CAO Lei²,
LIU Chao^{2*}, DU Chuan-lai^{1*}

(1. College of Food Engineering, Anhui Science and Technology University, Chuzhou 233100, Anhui, China;
2. Institute of Agro-Products Processing, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, Anhui, China)

Abstract: In order to improve the edible convenience of germinated brown rice and reduce the energy consumption of processing, the process parameters were optimized by orthogonal test and fuzzy mathematical judgment. The changes of the products such as γ -aminobutyric acid (GABA), dietary fiber, gelatinization degree, rehydration degree and viscosity, were clarified by optimizing the technological conditions. The results showed that under the conditions of 1:2.0 (g/mL) ratio of material to liquid, 80 mesh of particle size, 40 r/h rotating speed of drum and 130℃ steam temperature, the rehydration of instant nutritional powder was 916%, viscosity was 7 968 mPa·s, stability coefficient was $K=0.015$, caking rate was 56%, sensory score was 98, GABA content was 13.05 mg/100 g, soluble dietary fiber content was 0.13 g/g, phytic acid content was 6.75 mg/g. According to rapid viscosity analysis, the gelatinization temperature of instant nutritional powder was significantly lower than that of germinated brown rice powder ($P<0.05$), and the difference of retrogradation value and peak viscosity were not significant.

Key words: germinated brown rice; drum drying; functional nutrition; instant nutritive powder; punching characteristic

基金项目:安徽省科技重大专项(18030701148);安徽科技学院重点学科(AKZDXK2015B04);安徽省农业科学院谷物加工创新团队(2020YL077);安徽省重点研究和开发计划(201904f06020049);安徽省农产品加工产业技术体系

作者简介:张卫华(1996—),女(汉),硕士研究生,研究方向:农产品加工与贮藏。

*通信作者:刘超(1963—),男,研究员,研究方向:谷物加工与全谷物食品研发;杜传来(1968—),男,教授,研究方向:农产品加工与贮藏。

引文格式:

张卫华,宋玉,陶澍,等.发芽糙米即食粉滚筒干燥生产工艺研究[J].食品研究与开发,2021,42(4):123-128.

ZHANG Weihua, SONG Yu, TAO Shu, et al. Study on Drum Drying Production Process of Germinated Brown Rice Instant Powder[J]. Food Research and Development, 2021, 42(4): 123-128.

将糙米在一定温度和湿度下进行培养,得到的发芽糙米,属于全谷物类食品^[1]中的一种。糙米发芽后其一些功能性成分也大大增加^[2],如 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)、谷胱甘肽、谷维素、米糠多糖、二十八烷醇、脂多糖、肌醇等,具有预防老年痴呆、降血糖、降血脂、降血压等保健功效^[3]。伴随着现代生活节奏的加快、工作压力的增大,人们对营养丰富、口感细腻、食用方便且易消化吸收的全谷物即食产品需求大大增加,本文将提供一种高GABA含量,冲调稳定性较好的即食营养粉加工方式。

目前即食型的产品加工方式主要有喷雾干燥^[4]、挤压膨化^[5]和滚筒干燥^[6]。滚筒干燥适宜于对水分含量较高的原料进行加工,具有干燥速率高、操作便捷、节能等优点,已在食品加工中广泛应用^[7-9],如马铃薯全粉、南瓜粉、玉米粉、糙米粉等,其原理是将热量通过管道输送至滚筒内壁,进而传导到外壁,再传导给料膜,通过水分蒸发,使物料干燥后被滚筒表面的刮刀铲离滚筒。但以新鲜的发芽糙米为原料进行滚筒干燥制备即食型全谷物产品相关报道还较少。

将糙米发芽后(含水量33%)进行直接磨浆,采用滚筒干燥工艺生产即食营养粉,主要研究料液比、粒径、蒸汽温度、滚筒转速等工艺因素对发芽糙米即食营养粉的功能性成分、冲调、糊化等特性的影响,平衡产品的物理特性与营养成分含量对滚筒干燥温度等参数要求差异的矛盾,通过筛选优化工艺参数,获得营养丰富、复水性好、易消化吸收、食用方便的发芽糙米即食营养粉,为研发全谷物即食型产品提供一种新的技术思路。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

粳稻:安徽省滁州市;邻苯二甲醛、2-巯基乙醇、GABA标准品(纯度 $\geq 99\%$)、丙酮、 α -淀粉酶(4000 U/g)、蛋白酶(1.2 $\times 10^4$ U/g)、葡萄糖苷酶(1 $\times 10^5$ U/g)、植酸标准品(纯度 $\geq 95\%$)、盐酸羟胺、邻菲罗琳(以上化学试剂均为分析纯)、甲醇(色谱纯)、四氢呋喃(色谱纯):国药集团化学试剂公司。

1.1.2 仪器与设备

SBJM-FB80 胶体磨:上海索贝流体机械有限公司;EMG0505 滚筒干燥刮板:江苏省东台市民益机械厂;LT48KW-07 蒸汽发生器:盐城市丽泰合金电器有限公司;DVESRVTJ0 黏度计:Brook FIELD 公司;CSF-6 膳食纤维测定仪:意大利VELP公司;1525 高效液相色谱仪:美国Waters公司;RVA-4 快速黏度分析仪:澳大利亚Newport公司。

1.2 试验方法

1.2.1 发芽糙米生产工艺流程

糙米 $\rightarrow$ 清洗 $\rightarrow$ 灭菌 $\rightarrow$ 浸泡(28 $^{\circ}\text{C}$, 8 h) $\rightarrow$ 萌发(28 $^{\circ}\text{C}$, 9 h) $\rightarrow$ 新鲜的发芽糙米冷藏备用

1.2.2 即食营养粉生产工艺

配料 $\rightarrow$ 制浆 $\rightarrow$ 滚筒干燥 $\rightarrow$ 发芽糙米片 $\rightarrow$ 粉碎 $\rightarrow$ 发芽糙米即食营养粉 $\rightarrow$ 密封贮藏

1.2.3 滚筒干燥工艺的筛选

选取料液比[1:1.6, 1:1.8, 1:2.0, 1:2.2, 1:2.4(g/mL)], 粒径(40、60、80、100、120目)、滚筒转速(20、30、40、50、60 r/h)、蒸汽温度(110、120、130、140、150 $^{\circ}\text{C}$)进行单因素试验。考察料液比、粒径、滚筒转速、蒸汽温度对发芽糙米即食营养粉物理特性(复水性、黏度、稳定性、结块率、感官)和GABA含量的影响。

1.2.4 产品综合特性的模糊数学评价

根据即食产品特点,兼顾营养功能,设计了适用于即食营养粉的模糊数学综合评价法:通过强制性决定法赋予GABA含量、复水性、黏度、稳定性系数K、结块率、感官6个指标的权重^[10],即综合评分=0.3 $\times$ GABA含量+0.2 $\times$ 复水性+0.2 $\times$ 感官+0.1 $\times$ 黏度+0.1 $\times$ 稳定性+0.1 $\times$ 结块率,再进行正交试验,确定滚筒干燥的最优工艺。

1.2.5 滚筒干燥工艺组合优化

在单因素的试验基础上,分析单因素试验所得数据,确定试验因素和水平因子,设计四因素三水平正交试验,见表1。

1.2.6 产品营养指标测定

GABA含量测定:参照赵岩等^[11]方法,使用高效液相色谱仪测定。

膳食纤维测定:采用酶解法^[12]测定。

植酸测定:采用分光光度法^[13]间接测定样品中植

表1 正交试验因素

Table 1 Orthogonal test factors

水平	因素			
	A 料液比/ (g/mL)	B 粒径/目	C 滚筒转速/ (r/h)	D 蒸汽温 度/℃
1	1:1.6	80	40	130
2	1:1.8	100	50	140
3	1:2.0	120	60	150

酸含量。

糊化特性测定:采用快速黏度分析仪(rapid viscosity analyzer, RVA)测定糊化特性^[15]。

1.2.7 产品物理特性测定

1.2.7.1 复水性测定

参考郭婷等^[16]的方法稍加修改,精确称取 1.000 g 样品,置于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 蒸馏水,搅拌均匀,在 25 ℃恒温箱中放置 1 h 后,在转速 4 000 r/min 条件下离心 30 min,测量沉淀物的质量。按下式计算:

$$R/\%=(m_2-m_1)/m_1\times 100$$

式中: R 为复水性,%; m_1 为复水前质量,g; m_2 为复水后质量,g。

1.2.7.2 黏度测定

将样品在 105 ℃恒温干燥箱中干燥 12 h,冷却至 25 ℃,称取 20 g 样品,加入 200 mL 80 ℃的热水,配制质量分数 10%的米糊,以 30 r/min 转速进行磁力搅拌 2 min,放置 10 min,测其黏度^[17]。

1.2.7.3 稳定性系数 K 测定

参照马涛等^[18]的方法并加以改进,称取样品 20 g 置于 250 mL 量筒中,并加入 80 ℃、140 mL 热水搅拌,静置 3 min,量取上清液高度 h 和冲调液总高度 H ,按下式计算 K 值。

$$K=h/H$$

表3 料液比对发芽糙米即食营养粉的影响

Table 3 Effect of the ratio of material liquid on instant nutritional powder of germinated brown rice

料液比/(g/mL)	GABA/(mg/100 g)	复水性/%	黏度/(mPa·s)	稳定性系数 K	结块率/%	感官评分
1:1.6	10.47±0.84 ^a	803±16.73 ^d	7 983±71.40 ^b	0.052±0.004 ^a	70.67±1.14 ^a	87.60±2.51 ^a
1:1.8	10.86±0.10 ^a	876±1.00 ^c	7 964±32.32 ^c	0.023±0.001 ^c	56.67±0.01 ^b	89.20±0.05 ^a
1:2.0	10.74±0.10 ^a	983±11.02 ^a	6 980±21.00 ^c	0.011±0.001 ^d	41.00±0.58 ^c	90.50±0.30 ^a
1:2.2	10.62±0.04 ^a	938±1.73 ^b	6 649±79.62 ^d	0.026±0.001 ^c	52.30±0.01 ^b	88.70±0.07 ^a
1:2.4	10.35±0.71 ^a	658±5.06 ^c	4 837±38.08 ^e	0.031±0.052 ^b	56.90±6.41 ^b	86.20±0.68 ^a

注:同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

在粒径 80 目,滚筒转速 30 r/h,蒸汽温度 130 ℃条件下,随着溶剂体积的加大,GABA 含量、复水性、感官评分均呈现先上升后下降的趋势,稳定性系数 K、结块率呈现先下降后上升的趋势,黏度呈下降趋势。料液

1.2.7.4 结块率的测定

称取样品 5 g 置于 250 mL 烧杯中,加入 70 ℃的去离子水 100 mL,以 10 r/min 转速进行轻微搅拌 30 s。对米糊进行过滤,用清水漂洗筛上物一次,沥干后于 105 ℃条件下烘干至恒重^[19]。计算公式如下。

$$\text{结块率}/\%=(\text{结块物的质量}/\text{样品干重})\times 100$$

1.2.7.5 感官评价

参照文献[20]方案稍加修改,选 20 名专业人员组成感官品质评定小组,对即食营养粉的外观及冲泡状态、米糊口感 3 个方面进行品质评价,总分为各项指标之和。感官评定标准见表 2。

表2 感官评定标准

Table 2 Sensory evaluation standard

项目	感官评定标准	评分
色泽外观 (30分)	色泽呈蛋黄色,均呈片状结构	21~30
	稍有粉末状、色泽呈黄色	11~20
	色泽呈暗黄色、粉末居多	0~10
组织状态 (30分)	黏稠的糊状、无沉淀	21~30
	有少量沉淀、糊状	11~20
	结块严重,不易冲开	0~10
滋味口感 (40分)	细腻无颗粒感、口味纯正、无生粉味	31~40
	稍有颗粒感、有生粉味	11~30
	口感差、生粉味、颗粒感严重	0~10

1.2.8 数据处理

所有试验平行测定 3 次,试验结果以 $\bar{x}\pm s$ 表示;采用 SPSS 19.0 进行数据统计与分析;显著性分析采用 Duncan's 多重比较, $P<0.05$ 差异显著, $P<0.01$ 差异极显著。

2 结果与分析

2.1 滚筒干燥工艺对 GABA 含量及物理特性的影响

2.1.1 料液比的影响

试验结果如表 3 所示。

比对产品稳定性系数 K 影响较大,对 GABA 含量影响较小;不同料液比下复水性、黏度差异显著,产品的综合评分值分别为 986.63、998.37、920.02、878.65 和 641.34,选择综合评分较高的 3 组,进一步设计正交试验,确定

最佳加工工艺。

2.1.2 粒径的影响

试验结果如表4所示。

在料液比1:2(g/mL),滚筒转速30 r/h,蒸汽温度130℃条件下,随着粒径的加大,GABA含量、稳定性系数K呈现下降的趋势,复水性、黏度呈上升的趋势。粒

表4 粒径对发芽糙米即食营养粉的影响

Table 4 Effect of raw material particle size on instant nutritional powder of germinated brown rice

粒径/目	GABA/(mg/100 g)	复水性/%	黏度/(mPa·s)	稳定性系数 K	结块率/%	感官评分
40	11.52±0.13 ^a	696±2.64 ^d	3 353±20.88 ^a	0.050±0.007 ^a	62.03±1.66 ^a	86.80±1.30 ^b
60	11.45±0.07 ^b	869±17.57 ^c	4 658±92.50 ^b	0.033±0.009 ^b	60.32±1.25 ^a	87.20±1.48 ^b
80	11.40±0.15 ^b	985±1.00 ^b	7 749±98.20 ^a	0.013±0.001 ^c	55.67±2.40 ^a	90.30±1.78 ^a
100	9.60±0.07 ^c	986±2.00 ^b	7 856±64.21 ^a	0.012±0.001 ^c	57.38±1.83 ^a	86.90±0.89 ^a
120	8.30±0.39 ^d	989±1.00 ^a	7 964±31.21 ^a	0.014±0.002 ^c	57.42±1.97 ^a	85.20±1.18 ^b

注:同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

径对黏度影响较大,对稳定性系数K影响较小;不同粒径下,结块率、感官评分差异显著,产品综合评分值为501.32、666.47、998.94、1 008.76和1 019.43在此基础上,选择综合评分较高的3组,进一步设计正交试

验,对即食营养粉进行优化,确定最佳的加工工艺。

2.1.3 滚筒转速的影响

试验结果如表5所示。

在粒径80目,蒸汽温度130℃条件下,料液比1:

表5 滚筒转速对发芽糙米即食营养粉的影响

Table 5 Effect of rotating speed of roller on instant nutritional powder of germinated brown rice

滚筒转速/(r/h)	GABA/(mg/100 g)	复水性/%	黏度/(mPa·s)	稳定性系数 K	结块率/%	感官评分
20	9.96±0.26 ^c	988±5.56 ^a	5 488±89.02 ^c	0.026±0.007 ^a	41.4±0.45 ^d	87.90±0.97 ^b
30	10.58±0.39 ^b	986±1.00 ^b	6 852±46.94 ^b	0.014±0.001 ^b	41.2±0.38 ^d	90.03±0.04 ^a
40	10.62±0.15 ^b	989±2.00 ^b	7 749±59.78 ^c	0.016±0.005 ^b	43.6±0.03 ^c	89.20±0.38 ^a
50	11.40±0.59 ^a	759±6.08 ^b	7 854±25.06 ^b	0.033±0.006 ^a	48.1±0.20 ^a	86.30±0.52 ^c
60	11.41±0.68 ^a	691±10.58 ^c	7 962±6.08 ^a	0.036±0.003 ^a	45.9±0.24 ^b	85.70±0.38 ^c

注:同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

2(g/mL)条件下,随着滚筒转速的加大,GABA含量、黏度和结块率呈现上升的趋势,稳定性系数K呈现先下降后上升的趋势,感官评分呈现先上升后下降的趋势,滚筒转速对产品复水性影响较大,对结块率影响较小。不同滚筒转速条件下,产品的综合评分值为

771.08、907.69、998.08、963.89和960.65在此基础上,选择综合评分较高的3组,进一步设计正交试验,对即食营养粉进行优化,确定最佳的加工工艺。

2.1.4 蒸汽温度的影响

试验结果如表6所示。

表6 蒸汽温度对发芽糙米即食营养粉的影响

Table 6 Effect of steam temperature on instant nutritional meal of germinated brown rice

蒸汽温度/℃	GABA/(mg/100 g)	复水性/%	黏度/(mPa·s)	稳定性系数 K	结块率/%	感官评分
110	11.42±0.39 ^a	682±15.10 ^d	4 622±38.16 ^c	0.026±0.011 ^a	58.90±0.31 ^a	87.60±2.36 ^c
120	11.25±0.07 ^a	775±9.16 ^c	6 908±68.55 ^b	0.016±0.002 ^b	54.33±3.07 ^a	89.20±0.36 ^a
130	10.98±0.08 ^a	945±5.19 ^b	7 685±96.62 ^a	0.014±0.003 ^b	41.02±0.04 ^b	90.30±0.78 ^a
140	11.68±0.09 ^b	956±31.00 ^b	7 850±82.27 ^a	0.013±0.020 ^b	52.40±0.73 ^a	89.60±0.86 ^a
150	9.23±0.78 ^b	989±7.94 ^a	7 966±28.84 ^a	0.013±0.010 ^b	56.70±0.86 ^a	88.90±1.14 ^a

注:同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

在粒径80目,滚筒转速30 r/h,料液比1:2(g/mL)条件下,随着蒸汽温度的升高,GABA含量、稳定性系数K呈下降趋势,复水性、黏度呈上升的趋势,结块率呈先下降后上升的趋势,感官评分呈先上升后下降的趋势。蒸汽温度对产品GABA含量影响较大,对稳定性系数K影响较小。不同蒸汽温度下,产品的综合评

分值为678.45、872.45、982.96、1 050.27和1 020,在此基础上,选择综合评分较高3组,进一步设计正交试验,对即食营养粉进行优化,确定最佳的加工工艺。

2.2 滚筒干燥工艺组合优化

在发芽糙米即食营养粉生产过程中,GABA含量作为即食营养粉重要的功能性成分,受料液比、粒径、

滚筒转速、蒸汽温度的影响。根据单因素试验结果并综合考虑加工即食营养粉的冲调特性,结合模糊数学综合评价法,计算加权指标得出综合评分,结果见表7。

表7 正交试验结果

Table 7 Orthogonal test results

试验号	A	B	C	D	综合评分
1	1	1	1	1	951.5
2	1	2	2	2	701.8
3	1	3	3	3	769.3
4	2	1	2	3	899.2
5	2	2	3	1	701.1
6	2	3	1	2	811.1
7	3	1	3	2	956.8
8	3	2	1	3	949.2
9	3	3	2	1	966.7

根据正交设计助手分析软件对试验结果进行极差分析,如表8所示。

表8 极差分析

Table 8 Range analysis

K 值	A	B	C	D
1	807.5	935.8	903.9	873.1
2	803.8	784.0	855.9	823.2
3	957.6	849.0	809.1	872.6
极差	153.8	151.8	46.8	49.9

从表8分析来看,因素的主次顺序为:A>B>D>C,最优水平组合为A₃B₁C₁D₁,滚筒干燥生产即食营养粉的最优工艺为:料液比1:2.0(g/mL)、粒径80目、滚筒转速40 r/h、蒸汽温度130℃,此组合并未出现在正交试验组中。在此最优工艺条件下进行试验,其综合评分值为1 026.52,显著高于正交试验中的9组试验得分。

2.3 营养成分变化情况

滚筒干燥对即食营养粉主要成分的影响见表9。

表9 滚筒干燥对即食营养粉主要成分的影响

Table 9 Effect of drum drying on main components of instant nutritional powder

种类	GABA 含量/ (mg/100 g)	可溶性膳食纤维/ (g/g)	植酸/(mg/g)
糙米	36.30±0.42 ^b	0.27±0.02 ^a	38.41±0.69 ^a
发芽糙米	44.13±0.08 ^a	0.17±0.03 ^b	32.36±0.18 ^b
即食营养粉	13.05±0.044 ^c	0.13±0.02 ^b	6.75±0.16 ^c

注:同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

GABA是发芽糙米中主要功能性成分,将发芽糙米粉烘干至含水量为5%,进行测定。由表9可以看出,糙米、发芽糙米、即食营养粉三者之间GABA含量差异显著,可能是滚筒干燥高温导致的GABA含量减少^[21]。

膳食纤维被称为第七类营养素。由表9可以看出,糙米和即食营养粉中可溶性膳食纤维含量差异显著。其中,经过滚筒干燥后即食营养粉中可溶性膳食纤维含量最低,主要原因可能是在滚筒干燥过程中纤维素等发生了降解,从而导致膳食纤维含量降低^[22]。

植酸因其有很强的金属螯合能力,限制了人体对矿物质元素的吸收。由表9可以看出,糙米、发芽糙米和即食营养粉的植酸含量差异显著。其中,即食营养粉植酸含量最少,可能是滚筒转速逐渐增强,摩擦力增大,温度升高,导致植酸降解程度不断增加,植酸含量大幅度降低^[23]。

2.4 糊化特性变化情况

糙米、发芽糙米、即食营养粉的糊化特性见表10、图1。

峰值黏度是指淀粉在糊化过程中淀粉颗粒的膨

表10 糊化特性变化情况

Table 10 Gelatinization characteristics

种类	峰值黏度/(mPa·s)	崩解值/(mPa·s)	最终黏度/(mPa·s)	峰值时间/min	糊化温度/℃	回生值/(mPa·s)	保持黏度/(mPa·s)
糙米	1 114.67±117.35 ^a	317.00±28.16 ^a	1 106.67±1.54 ^a	5.57±0.25 ^a	89.57±2.04 ^a	308.97±20.71 ^a	797.70±175.57 ^a
发芽糙米	2 435.33±154.85 ^a	1 028.02±130.02 ^a	2 003.00±221.31 ^a	5.91±0.06 ^a	86.1±0.46 ^a	595.69±28.15 ^b	1 407.31±72.04 ^a
即食营养粉	2 892.80±72.21 ^b	1 028.13±9.85 ^a	2 460.46±104.07 ^b	4.62±0.27 ^b	64.07±1.29 ^b	595.79±12.73 ^b	1 864.67±149.58 ^b

注:同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

胀程度,膨胀程度越大,对应的峰值黏度则越高^[24],其中即食营养粉峰值黏度最高,达到了2 892.80 mPa·s,与糙米和发芽糙米的峰值黏度差异均显著(P<0.05),表明即食营养粉在糊化过程中具有较大的膨胀程度;回生值是最终黏度与保持黏度的差值,反映淀粉老化的趋势,回生值越高则形成凝胶的强度越高,即食营

养粉回生值最高,为595.79 mPa·s,与发芽糙米的回生值差异不显著;糊化温度是指高温导致淀粉溶胀形成糊状物质时的温度,糊化温度因淀粉的结构不同而存在差异,糊化温度越低,淀粉完全糊化所需的能量越少,即食营养粉糊化温度最低,为64℃,与糙米、发芽糙米的糊化温度具有显著差异(P<0.05)。

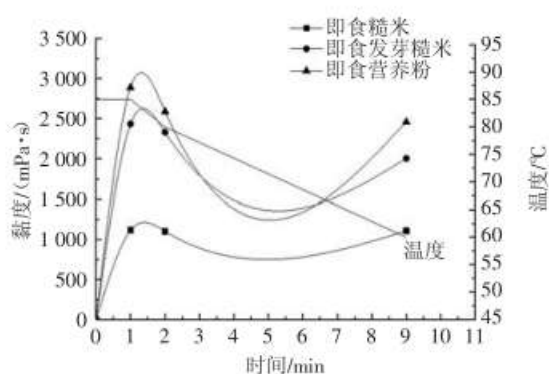


图1 黏度曲线

Fig. 1 Viscosity curve

3 结论

本研究应用滚筒干燥技术制备发芽糙米即食营养粉,通过单因素、正交试验得出其最佳工艺条件参数,即料液比1:2.0(g/mL)、粒径80目、滚筒转速40 r/h、蒸汽温度130℃,此工艺条件下即食营养粉的GABA含量为13.05 mg/100 g,复水性为916%,黏度为7968 mPa·s,感官评分为98分,滚筒干燥后即食营养粉回生值为597.79 mPa·s,与发芽糙米原料无明显差异;糊化温度64.07℃,较糙米和发芽糙米大幅度降低;峰值黏度较高,淀粉膨胀度较大。通过滚筒干燥技术制备发芽糙米即食营养粉,既较多的保留了发芽糙米的功能营养物质又获得了良好的物理特性,为全谷物类原料的开发提供了一种新的思路。

参考文献:

- [1] 刘玉环,阮榕生.生物技术在糙米食品开发中的应用研究[J].食品科学,2008,29(8):640-642.
- [2] 陈志刚,顾振新,汪志军,等.糙米的营养成分及其在发芽过程中的变化[J].南京农业大学报,2003,26(6):84-87.
- [3] Kim J Y,Xee M Y,ji G E,et al.Production of γ -aminobutyric acid in black raspberry juice during fermentation by *Lactobacillus brevis* GABA 100 [J].International Journal of Food Microbiology,2009,130(1):12-16.
- [4] 葛邦国,崔春红,马超,等.桂圆粉滚筒干燥生产工艺的研究[J].食品工业科技,2014,35(4):239-241,245.

- [5] 司俊玲,李红,李冬青,等.小米速溶粉的工艺研究[J].食品工业,2015,36(12):56-61.
- [6] 康竹君,陈恺,李焕荣,等.复合米粉挤压膨化制品配方的研究[J].中国食物与营养,2012,18(6):26-32.
- [7] 石林娟,曹磊,宋玉,等.HPLC法和Berthelot比色法测定发芽糙米中 γ -氨基丁酸的含量[J].粮食与饲料工业,2015,17(1):61-65.
- [8] 王瑾.滚筒干燥机研制及南瓜粉干燥过程数学模拟[D].北京:中国农业机械化科学研究院,2011.
- [9] 李春梅,迟玉杰,王丹,等.甜玉米米粉滚筒干燥加工工艺优化[J].农业工程学报,2012,28(21):256-264.
- [10] 袁如英,韩飞,黄荣和,滚筒干燥结合酶法生产婴幼儿米粉的工艺研究[J].现代食品,2018(11):187-189.
- [11] 彭芸芳,杜先锋.滚筒干燥条件对荞麦雪花片质构特性的影响[J].安徽农业大学学报,2013,40(6):927-931.
- [12] 赵岩,葛邦国,吴茂玉,等.红枣粉滚筒干燥生产工艺研究[J].食品研究与开发,2012,33(10):45-48.
- [13] Anderson J W, Baird P, Davis Jr R H, et al. Health benefits of dietary fiber [J]. Nutrition reviews, 2009,67(4): 188-205.
- [14] 吕杰,李耀根,肖志芳.分光光度法测定食物中植酸的研究[J].中国卫生检验杂志,2000,10(6):652-655.
- [15] 江帆.RVA仪分析不同添加剂对大米粉糊化特性的影响[J].食品研究与开发,2013,34(8):74-77.
- [16] 郭婷,陈振林,何新益,等.热风干燥温度对甘薯粉品质的影响[J].食品与机械,2016,32(1):175-178.
- [17] 张冬媛,邓媛元,张名位,等.发芽-挤压-淀粉酶协同处理对速食糙米粉品质特性的影响[J].中国农业科学,2015,48(4):759-768.
- [18] 马涛,卢镜竹.提高挤压膨化糙米粉的冲调分散性[J].食品工业科技,2012,33(5):277-279,284.
- [19] 许亚翠,钱海峰,张晖.高温型 α -淀粉酶对膨化米粉冲调性的影响[J].食品与发酵工业,2012,38(8):73-77.
- [20] 王波,杨晓勇,徐德琼,等.复配营养早餐粉的研制[J].食品与发酵科技,2014,50(3):90-93.
- [21] 杨颖.富硒发芽糙米制备工艺及其滚筒干燥技术的研究 [D].合肥:安徽农业大学,2012.
- [22] 马永轩,张名位,魏振承,等.挤压膨化对大米和糙米理化与营养特性的影响[J].食品研究与开发,2017,38(12):9-12.
- [23] 张维恒,薛兵,刘维超.糙米挤压膨化对营养因子的影响[J].粮食储藏,2019,48(4):33-41.
- [24] 邵春水,田纪春,张永祥.不同筋力小麦品种的搅拌值及其它淀粉糊化特性指标[J].中国粮油学报,2002,17(3):51-54.

加工编辑:王艳

收稿日期:2020-04-01