

双酶组合处理工艺 对干燥方便米饭品质影响的研究

徐树来¹,金慧荣¹,张 静¹,王 丽²,吴 阳¹,于 颖¹

(1.哈尔滨商业大学食品科学与工程省级重点实验室,黑龙江哈尔滨 150076;

2.哈尔滨商业大学后勤总公司,黑龙江哈尔滨 150076)

摘 要:本文对干燥方便米饭双酶组合糊化工艺进行了研究。系统研究了浸泡时间、浸泡温度、糊化时间、糊化温度以及碱性蛋白酶和 β -淀粉酶的添加量对复水时间和复水效果的影响。通过酶的配方实验获得了复合酶制剂的最佳配比:碱性蛋白酶的浓度为2.66 g/L, β -淀粉酶浓度为0.15 g/L;通过正交实验获得了最佳的糊化工艺条件:利用最优配比酶液浸泡40 min,浸泡温度40℃,糊化时间45 min,糊化温度90℃。在此条件下获得较优品质的方便米饭:碱消值为6.83,复水时间为7 min,提高了方便米饭的食用品质。

关键词:方便米饭,工艺,双酶法,碱消值,复水时间

Study on the quality of dried instant rice processed by double enzyme technology

XU Shu-lai¹, JIN Hui-rong¹, ZHANG Jing¹, WANF Li², WU Yang¹, YU Ying¹

(1.Heilongjiang Food Science and Engineering Key Lab, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China;

2.General Logistics Company, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

Abstract: In this paper, the gelatinization technology for the dried instant was studied by double enzyme method. The soaking time, soaking temperature, paste time, gelatinization temperature, the ratio and amount of the alkaline protease and β -amylase solution on the effect of the rehydration time and rehydration effect were systematically studied. The best ratio and the amount of composite enzyme solution were determined by the formula experiment: the concentration of alkaline protease was 2.66 g/L, the concentration of β -amylase was 0.15 g/L. The best paste condition was determined by orthogonal experiment: soaking in optimum enzyme solution was 40 min, soaking water temperature was 40℃, gelatinization time period was 45 min, gelatinization temperature was 90℃. The high quality instant rice can be obtained under this condition: the alkali spreading value was 6.83, the rehydrate time was 7 min, and the quality of instant rice was improved.

Key words: instant rice; technology; double enzyme method; alkali spreading value; rehydrate time

中图分类号: TS210.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2016)13-0221-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2016.13.036

方便米饭是继方便面之后发展起来的另一种方便食品。它具有体积小、重量轻、携带食用方便、安全卫生、耐贮存、在野外环境下能够即食等优点^[1],受到了越来越多的消费者的欢迎。国内外采用较多的加工方法为干燥法,干燥方便米饭含水率低(小于10%),故在常温下可长期贮藏,食用时仅须加沸水即可复原,设备投资相对较小;产品具有携带方便,保质期长,卫生经济等特点,很适宜学生、差旅人员、以及部队和现代家庭等人员和部门消费。但干燥方便米饭仍存在很多问题,如:复水时间长,回生现象严重,香气损失大等缺点^[2]。本文采用双酶组合处理技术改善干燥方便米饭的复水性以提高产品的质量和食用性,取得了较为理想的效果。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

香满年牌东北大米 市售; KOH 溶液 哈尔滨市新达化工厂; 碱性蛋白酶(200000 U/g)、 β -淀粉酶(100000 U/g) 北京奥博星生物技术有限责任公司。

HZQ-F160A 型高低温恒温振荡培养箱、DHG-9123A 型电热恒温鼓风干燥箱、AE-50 型分析天平 上海一恒科学仪器有限公司; HH-4 型数显恒温水浴锅 上海浦东物理光学仪器厂; ALC-210.2 型电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司; 其他常规仪器设备 哈尔滨商业大学食品科学与工程省级

收稿日期: 2016-01-14

作者简介: 徐树来(1966-),男,博士,教授,研究方向:农产品加工, E-mail: xushulai@sina.com。

基金项目: 黑龙江省回国留学人员择优资助项目“基于干燥方便米饭复水机理和品质改良的关键加工技术研究”。

重点实验室。

1.2 实验方法

1.2.1 复水时间的测定 复水时间是评价干燥方便米饭品质的重要指标,实验称取筛理过的成品 50 g,放入 100 mL 烧杯中,按比例迅速加入煮沸开水(1:1.3)加盖,直到米饭完全复水为止,记录时间,即为复水时间^[3]。

1.2.2 碱消值的测定 碱消值与干燥方便米饭糊化度及内部质构相关^[4],通过检测碱消值可以从另一个角度评价干燥方便米饭的品质。碱消值测定及评级方法如下^[5]:每种样品中随机选取 6 粒饱满完整方便米饭粒置于平皿内,加入 15.0 mL 的 1.70% 氢氧化钾溶液。用玻璃棒将平皿内米粒排布均匀,加盖。将平皿平稳移至 33 ± 2 ℃ 的恒温箱内(移动平皿时应防止米粒移动),保温约 23 h,再平稳地取出。逐粒观察米粒胚乳的分解情况,按表 1 进行分级记录。6 粒方便米饭碱消值的平均数即为样品的碱消值。重复测定一次,二次测定结果的相对相差应小于 0.5 级。

表 1 碱消值分级表
Table 1 Grading of the alkali spreading

级别	分解度	消晰度
1	米粒无变化	米心白色
2	米粒膨胀	米心白色,有粉末状环
3	米粒膨胀,环不完全或狭窄	米心白色,环棉絮云雾状
4	米粒膨大,环完整而宽	米心棉白色,环雾状
5	米粒开裂,环完整而宽	米心棉白色,环云清晰
6	米粒部分分散溶解,与环融合在一起	米心云白色,环消失
7	米粒完全分散	米心与环均消失

1.2.3 评价方法 单因素实验采用干燥方便米饭复水时间作为主要评价指标,以感官评价为辅的评价方法^[6];酶试剂配比实验采用综合评价体系^[7]:复水时间和碱消值的折算值各占 20,产品感官检验占 60 的折算评价方法^[8]。而感官检验方法为:以复水米饭的口感、完整性和无硬心的程度作为感官评价的评价指标,每个指标满分为 20 分,分为四个等级:较差(0~5);一般(5~10);较好(10~15);很好(15~20)^[9]。综合平均值 y 具体计算公式为:

$$y = \frac{20}{7} \times J + T + E$$

式中: y -综合评价值; J -碱消值; T -复水时间折算值; E -感官评价值。

注:1.碱消值以 7 分最高分对应 20 分,按比例折算分数;分数 = 20/7 × 碱消值。2.复水时间折合分数计算方法:以 5 min 对应最高分数 20 分,随时间增加分数依次递减,6 min 对应 19 分,7 min 对应 18 分,以此类推。

1.2.4 单因素实验 分别以浸泡时间、浸泡温度、糊化温度、糊化时间、碱性蛋白酶浓度、 β -淀粉酶浓度为基本参数,研究不同参数条件对复水时间的影响。

1.2.4.1 浸泡时间对复水时间的影响 选取浸泡温度 45 ℃,糊化温度 80 ℃,糊化时间 35 min,碱性蛋白酶浓度 0.03 g/L, β -淀粉酶浓度为 0.2 g/L,分别研究浸泡时间为 20、30、40、50、60 min 对复水时间的影

响。重复 3 次实验。

1.2.4.2 浸泡温度对复水时间的影响 选取浸泡时间 40 min,糊化温度 80 ℃,糊化时间 35 min,碱性蛋白酶浓度 0.03 g/L, β -淀粉酶浓度为 0.2 g/L,分别研究浸泡温度为 20、30、40、50、60 ℃ 对复水时间的影响。重复 3 次实验。

1.2.4.3 糊化时间对复水时间的影响 选取浸泡时间 40 min,浸泡温度 45 ℃,糊化温度 80 ℃,碱性蛋白酶浓度 0.03 g/L, β -淀粉酶浓度为 0.2 g/L,分别研究糊化时间为 15、25、35、45、55 min 对复水时间的影响。重复 3 次实验。

1.2.4.4 糊化温度对复水时间的影响 选取浸泡时间 40 min,浸泡温度 45 ℃,糊化时间 35 min,碱性蛋白酶浓度 0.03 g/L, β -淀粉酶浓度为 0.2 g/L,分别研究糊化温度为 60、70、80、90、100 ℃ 对复水时间的影响。重复 3 次实验。

1.2.4.5 碱性蛋白酶添加量对复水时间的影响 选取浸泡时间 40 min,浸泡温度 45 ℃,糊化时间 35 min,糊化温度 80 ℃, β -淀粉酶浓度为 0.2 g/L,分别研究碱性蛋白酶浓度为 0.02、0.03、0.04、0.05、0.06 g/L 对复水时间的影响。重复 3 次实验。

1.2.4.6 β -淀粉酶添加量对复水时间的影响 选取浸泡时间 40 min,浸泡温度 45 ℃,糊化时间 35 min,糊化温度 80 ℃,碱性蛋白酶浓度 0.03 g/L,分别研究 β -淀粉酶浓度为 0.15、0.2、0.25、0.3、0.35 g/L 对复水时间的影响。重复 3 次实验。

1.2.5 复合酶制剂的配比实验 本实验研究的复合酶溶液主要由碱性蛋白酶 X_1 、 β -淀粉酶 X_2 、纯净水 X_3 三种成分组成。根据单因素实验结果,要求碱性蛋白酶 X_1 的含量不低于 0.003%、 β -淀粉酶 X_2 的含量不低于 0.015%、纯净水 X_3 的含量不低于 99.5%,通过配方实验确定使实验指标 y 最大的最优配比。

$X_1 \geq 0.00003$, $X_2 \geq 0.00015$, $X_3 \geq 0.995$, 即 $a_1 = 0.00003$, $a_2 = 0.00015$, $a_3 = 0.995$

$$X_1 = (1 - \sum_{j=1}^3 a_j) z_1 + a_1 = 0.00482 z_1 + 0.00003 \quad \text{式(1)}$$

$$X_2 = (0.80 - \sum_{j=1}^3 a_j) z_2 + a_2 = 0.00482 z_2 + 0.00015 \quad \text{式(2)}$$

$$X_3 = (0.80 - \sum_{j=1}^3 a_j) z_3 + a_3 = 0.00482 z_3 + 0.995 \quad \text{式(3)}$$

选择 {3,2} 单纯型格子点设计,回归方程为三元二次方程^[10],即:

$$y = b_1 z_1 + b_2 z_2 + b_3 z_3 + b_{12} z_1 z_2 + b_{13} z_1 z_3 + b_{23} z_2 z_3$$

通过式(1)~式(3)计算得出各组份所占比例,列于表 2。

表 2 酶制剂配比实验设计表
Table 2 Test design for enzyme formulation

实验号	z_1	z_2	z_3	X_1 碱性蛋白酶	X_2 β -淀粉酶	X_3 纯净水	评分 y
1	1	0	0	0.00485	0.00015	0.99500	
2	0	1	0	0.00003	0.00497	0.99500	
3	0	0	1	0.00003	0.00015	0.99982	
4	1/2	1/2	0	0.00244	0.00256	0.99500	
5	1/2	0	1/2	0.00244	0.00015	0.99741	
6	0	1/2	1/2	0.00003	0.00256	0.99741	

1.2.6 正交实验 根据单因素实验结果,选取 A(浸泡时间)、B(浸泡温度)、C(糊化时间)、D(糊化温度)四个因素,各取三水平,进行 $L_9(3^4)$ 正交实验,酶试剂选用配比实验结果添加,实验因素与水平见表 3。

表 3 正交实验因素水平编码

Table 3 Coded factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素			
	A 浸泡时间 (min)	B 浸泡温度 (℃)	C 糊化时间 (min)	D 糊化温度 (℃)
1	30	40	25	70
2	40	45	35	80
3	50	50	45	90

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果及分析

2.1.1 浸泡时间对复水时间的影响结果 如图 1 可知,浸泡时间越长,复水时间越短。这是因为浸泡时间的延长,米饭的吸水率增加。但浸泡时间过长,尽管对方便米饭复水时间的缩短效果有所改善,但会使米粒变软、易碎,营养成分流失,不易获得完整的饭粒,而且影响工业生产的生产效率,增加生产成本^[11]。所以,最佳的浸泡时间在 30~50 min。

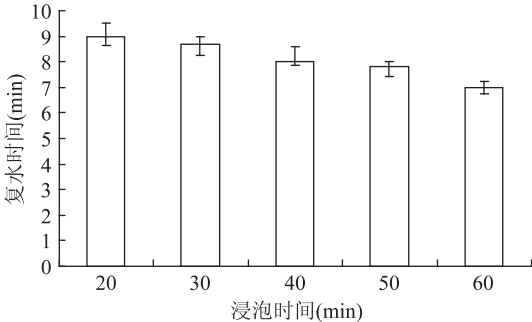


图 1 浸泡时间对复水时间的影响

Fig.1 Influence of soaking time on rehydrate time

2.1.2 浸泡温度对复水时间的影响结果 大米一般含水 12% 左右,通过浸泡使生大米充分吸水,可以改善糊化效果。如大米吸水不足,则蒸煮过程中,大米蒸煮不透,影响米饭质量^[12]。由图 2 可知,浸泡温度越高,复水时间越短。然而通过对实验结果的感官评价发现,当浸泡温度达到 60 ℃ 时,糊化后的米饭较粘,且干燥后易碎,这是因为温度提高了吸水速率,但吸水过多,糊化后的米较粘且不完整,所以浸泡温度不易过高,应在 30~50 ℃ 之间。

2.1.3 糊化时间对复水时间的影响结果 由图 3 可知,糊化时间越长,复水时间越短^[13]。然而通过对实验结果的感官评价发现,当糊化时间超过 45 min 时,糊化后的米饭较粘,当糊化时间达到 55 min 时,几乎没有完整的颗粒,所以糊化时间不易过长,应在 25~45 min 之间为宜。

2.1.4 糊化温度对复水时间的影响结果 由图 4 可知,糊化温度越高,复水时间越短,这是因为随着糊化温度的升高,糊化的效果越来越好,所以干燥后大米的复水效果也越来越好,复水时间也随之变短^[14]。

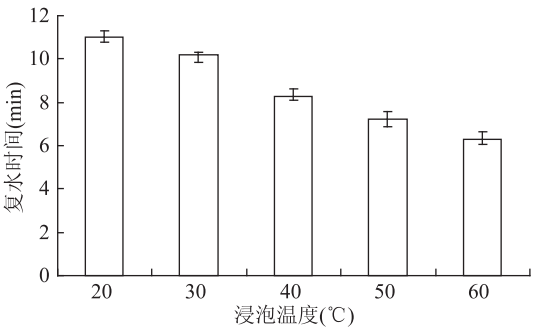


图 2 浸泡温度对复水时间的影响

Fig.2 Influence of soaking temperature on rehydrate time

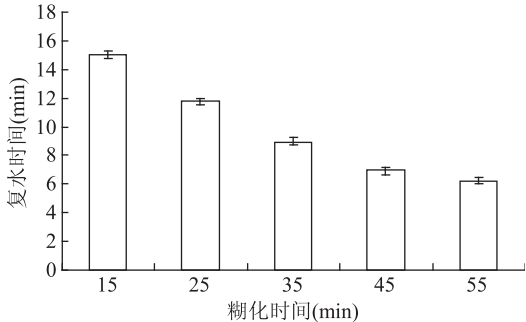


图 3 糊化时间对复水时间的影响

Fig.3 Influence of gelatinization time on rehydrate time

但当温度达到 90 ℃ 时,复水时间不再缩短,所以为了节约能源和降低成本,糊化温度选择 70~90 ℃。

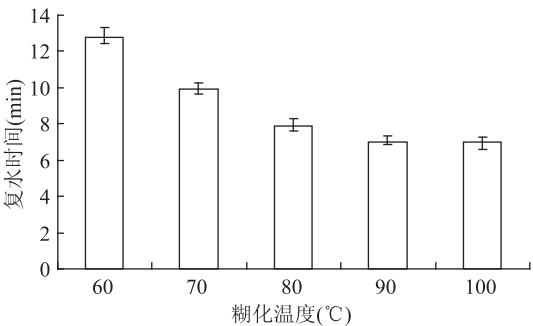


图 4 糊化温度对复水时间的影响

Fig.4 Influence of gelatinization temperature on rehydrate time

2.1.5 碱性蛋白酶添加量对复水时间的影响结果 如图 5 可知,酶液浓度越高,复水时间越短,当酶液浓度达到 0.05 g/L 时,复水时间基本不再变化。这是由于随着加酶量的增加,释放的淀粉中直链淀粉的比例也随着增加,在储藏过程中易于老化,反而无助于方便米饭的复水特性及其品质提高^[15-16]。所以碱性蛋白酶酶液的浓度应在 0.03~0.05 g/L 为宜。

2.1.6 β -淀粉酶添加量对复水时间的影响结果 由图 6 可知,酶液浓度越高,复水时间越短,可见酶添加量的提高对缩短复水时间具有较显著的改善效果。这是因为大米淀粉中的直链淀粉在热水中较难形成粘稠胶状溶液, β -淀粉酶可以分解大米淀粉中的直链淀粉,防止老化^[17]。但直连淀粉具有抗润胀性,酶过量会使其失去抗润胀性而吸水过多,造成米粒过粘,不易形成松散的米饭粒^[18]。所以酶的添加量不易过高,应在 0.2~0.3 g/L。

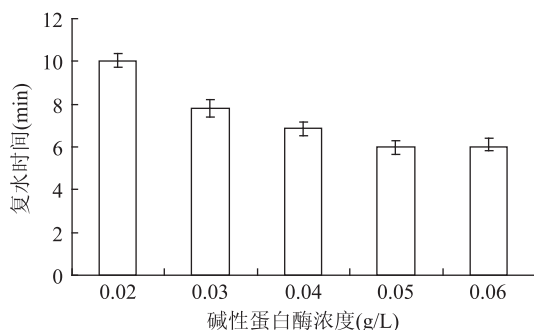


图5 碱性蛋白酶浓度对复水时间的影响

Fig.5 Influence of concentration of alkaline protease on rehydrate time

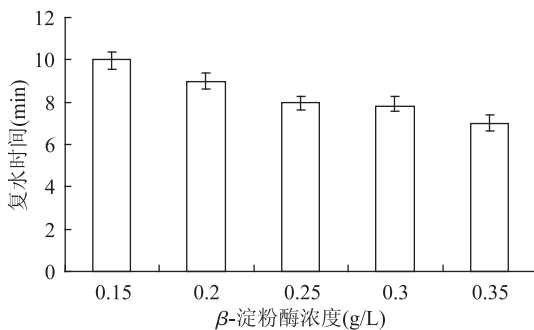


图6 β-淀粉酶浓度对复水时间的影响

Fig.6 Influence of concentration of β-amylase on rehydrate time

2.2 酶制剂配比实验的结果及分析

酶制剂配比实验的实验结果列于表4。

表4 酶制剂配比实验结果

Table 4 The results of enzyme formulation experiment

实验号	z_1	z_2	z_3	X_1 碱性蛋白酶	X_2 β-淀粉酶	X_3 纯净水	评分 y
1	1	0	0	0.00485	0.00015	0.99500	55.3
2	0	1	0	0.00003	0.00497	0.99500	71.8
3	0	0	1	0.00003	0.00015	0.99982	44.7
4	1/2	1/2	0	0.00244	0.00256	0.99500	66.5
5	1/2	0	1/2	0.00244	0.00015	0.99741	79.1
6	0	1/2	1/2	0.00003	0.00256	0.99741	66.1

将每号实验相关数据代入三元二次方程^[7],求得:

$$b_1 = y_1 = 55.3$$

$$b_2 = y_2 = 71.8$$

$$b_3 = y_3 = 44.7$$

$$y_{12} = 66.5$$

$$y_{13} = 79.1$$

$$y_{23} = 66.1$$

$$b_{12} = 4y_{12} - (2y_1 + 2y_2) = 11.8$$

$$b_{13} = 4y_{13} - (2y_1 + 2y_3) = 116.4$$

$$b_{23} = 4y_{23} - (2y_2 + 2y_3) = 31.4$$

求解获得实验指标 y 与变量之间的三元二次回归方程为:

$$y = 55.3z_1 + 71.8z_2 + 44.7z_3 + 11.8z_1z_2 + 116.4z_1z_3 + 31.4z_2z_3$$

利用 Excel 规划求解工具,根据上述回归方程的和有关约束条件,得到该回归方程 $z_1 = 0.545533, z_2 = 0, z_3 = 0.454467$ 时,指标值 y 取得最大值 79.34123

由于:

$$z_1 = (X_1 - 0.00003) / 0.00482;$$

$$z_2 = (X_2 - 0.00015) / 0.00482;$$

$$z_3 = (X_3 - 0.995) / 0.00482。$$

所以当 $X_1 = 0.00266, X_2 = 0.00015, X_3 = 0.9972$ 时,评分最高,这时碱性蛋白酶、β-淀粉酶、纯净水的用量分别为 0.266, 0.015, 99.72 g/L。从而确定了酶制剂的最佳配比。

2.3 正交实验结果及分析

2.3.1 以碱消值为指标的正交实验结果的分析 通过正交实验 $L_9(3^4)$ 确定方便米饭糊化的最佳工艺条件,以碱消值为指标的实验结果及分析列于表5。

表5 以碱消值为指标的正交实验结果及极差分析

Table 5 The results and range Analysis of orthogonal experiment as the indicator of alkali spreading value

实验号	A 浸泡时间 (min)	B 浸泡温度 (°C)	C 糊化时间 (min)	D 糊化温度 (°C)	碱消值
1	1	1	1	1	4.2
2	1	2	2	2	5.2
3	1	3	3	3	6.0
4	2	1	2	3	6.7
5	2	2	3	1	5.7
6	2	3	1	2	5.5
7	3	1	3	2	6.2
8	3	2	1	3	5.7
9	3	3	2	1	5.3
K_1	15.39	17.10	15.39	15.21	—
K_2	17.91	16.59	17.19	16.89	—
K_3	17.19	16.80	17.91	18.39	—
k_1	5.13	5.70	5.13	5.07	—
k_2	5.97	5.53	5.73	5.63	—
k_3	5.73	5.6	5.97	6.13	—
极差	0.84	0.17	0.84	1.06	—
因素主次	DACB 或 DCAB				
优方案	$A_2B_1C_3D_3$				

根据表5可知,以碱消值为指标时的因素主次依次为:糊化温度(D),糊化时间(C),浸泡时间(A),浸泡温度(B)或者为糊化温度(D),浸泡时间(A),糊化时间(C),浸泡温度(B)。最佳的工艺条件为:浸泡时间 40 min,浸泡温度 40 °C,糊化时间 45 min,糊化温度 90 °C。

2.3.2 以复水时间为指标的正交实验结果的分析 通过正交实验 $L_9(3^4)$ 确定方便米饭糊化的最佳工艺条件,以复水时间为指标的实验结果及分析列于表6。

根据表6可知,以复水时间为指标时的因素主次依次为:糊化温度(D),糊化时间(C),浸泡时间(A)浸泡温度(B)。最佳的工艺条件为:浸泡时间 40 min,浸

泡温度 45 ℃,糊化时间 45 min,糊化温度 90 ℃。

表 6 以复水时间为指标的正交实验结果及极差分析

Table 6 The results and range Analysis of orthogonal experiment as the indicator of rehydrate time

试样	A 浸泡 时间 (min)	B 浸泡 温度 (℃)	C 糊化 时间 (min)	D 糊化 温度 (℃)	复水时间 (min)
1	1	1	1	1	12
2	1	2	2	2	9
3	1	3	3	3	8
4	2	1	2	3	7
5	2	2	3	1	8
6	2	3	1	2	9
7	3	1	3	2	7
8	3	2	1	3	8
9	3	3	2	1	10
K ₁	29.1	26.1	29.1	30.0	—
K ₂	24.0	24.9	26.1	24.9	—
K ₃	24.9	27.0	23.1	23.1	—
k ₁	9.7	8.7	9.7	10.0	—
k ₂	8	8.3	8.7	8.3	—
k ₃	8.3	9	7.7	7.7	—
极差	1.7	0.7	2	2.3	—
因素主次	DCAB				
优方案	D ₃ C ₃ A ₂ B ₂				

2.3.3 综合平衡法确定最佳工艺条件 由上述分析可以看出不同指标所对应的优方案是不同的,可通过综合平衡法获得综合的最优方案^[19]：

因素 A:对于两个指标来说,都是以 A₂ 为最佳水平,所以选择 A₂。

因素 B:对于第一个指标是 B₁ 较好,对于第二个指标是 B₂ 较好,对碱消值这一指标来说,B 是较为主要的因素,而对于复水时间这一指标来说,B 为处于末位的次要因素,所以根据 B 因素对于不同指标的重要程度,选取 B₁。

因素 C:对于两个指标来说,都是以 C₃ 为最佳水平,所以选择 C₃。

因素 D:对于两个指标来说,都是以 D₃ 为最佳水平,所以选择 D₃。

综合上述的分析:优方案为 A₂B₁C₃D₃,即浸泡时间 40 min,浸泡温度 40 ℃,糊化时间 45 min,糊化温度 90 ℃。

2.3.4 验证实验 按照实验设计及分析原则^[20],本实验需要做验证实验,以最终获得最佳工艺条件。根据 2.3.3 中所分析得出的最优方案以及 2.2 中所得酶的配比确定出最佳的工艺条件:碱性蛋白酶的浓度为 2.66 g/L,β-淀粉酶浓度为 0.15 g/L,浸泡时间 40 min,浸泡温度 40 ℃,糊化时间 45 min,糊化温度 90 ℃。在此条件下分别以复水时间和碱消值为指标进行验证实验,结果复水时间为 7 min,而碱消值为 6.83。在此最佳工艺条件下生产出的方便米饭复水效果好,复水时间短,米饭口感好,米粒较完整,基本

无硬心,达到了预期的效果。

3 结论

通过单因素实验研究,确定了浸泡时间、浸泡温度、糊化时间、糊化温度以及碱性蛋白酶和 β-淀粉酶的添加量参数范围。

通过酶的配方实验获得了复合酶制剂的最佳配比:碱性蛋白酶的浓度为 2.66 g/L,β-淀粉酶浓度为 0.15 g/L。

通过正交实验获得了最佳的糊化工艺条件:利用最优配比酶液浸泡 40 min,浸泡温度 40 ℃,糊化时间 45 min,糊化温度 90 ℃。在此条件下获得较优品质的方便米饭:碱消值为 6.83,复水时间为 7 min,提高了方便米饭的食用品质。

参考文献

[1] 孙爱景,刘玮,蔡淑珍.改善干燥方便米饭品质的研究进展[J].中国食物与营养,2010(3):44-46.
[2] 徐树来,刘晓东,刘玮.我国方便米饭的发展现状及存在的主要问题[J].农机化研究,2008,10:250-252.
[3] 杨颖.酶法浸泡及微波热风干燥对方便米饭复水时间影响的研究[J].食品科学,2006,27(12):498-500.
[4] Yang C C, Chang SM, Chiu YY. Study on the Physicochemical Properties of Various Puffed Waxy Rice Flours and the Effect on the Quality of Rice Cakes[J]. Food Science, 1989, 16: 445-452.
[5] 曾庆孝,蒋卫东,张晓燕.大米特性对方便米饭生产工艺的影响[J].食品科学,1995,16(9):25-29.
[6] 郑志,张原箕,罗水忠,等.热风干燥型方便米饭品质评价方法及原料适应性[J].中国粮油学报,2011,26(1):102-105.
[7] Debabandya M, Satish B. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(3): 253-259
[8] Christian Mestres, Fabienne Ribeyre, Brigitte Pons, et al. Sensory texture of cooked rice is rather linked to chemical than to physical characteristics of raw grain [J]. Journal of Cereal Science, 2011, 53(1): 81-89.
[9] 徐树来,王永华.食品感官分析与实验[M].北京:化学工业出版社,2010:55-62.
[10] 李云燕,胡传荣.实验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2008:79-83,143-151.
[11] 刘秀河.方便米饭加工工艺的研究[J].西部粮油科技,1998,23(1):34-35.
[12] 佟月英,孙永海,石晶.干燥方法对营养强化方便米饭复水性的影响[J].农业机械学报,2003,34(3):54-57.
[13] Orrawan Rewthong, Somchart Soponronnarit, Chaiyong Taechapairoj, et al. Effects of cooking, drying and pretreatment methods on texture and starch digestibility of instant rice [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 103(3): 258-264.
[14] 郑志,张建朱,王丽娟,等.不同干燥方式制备方便米饭的品质比较[J].食品科学,2013,34(2):63-66.
[15] 舒奕,赵迪,刘美艳,等.干燥方便米饭酶法抗回生技术的研究[J].食品工业,2011(8):28-30.
[16] 张建朱.方便米饭的干燥工艺及贮藏过程中老化特性研究[D].合肥:合肥工业大学,2012:42-45.

(下转第 229 页)

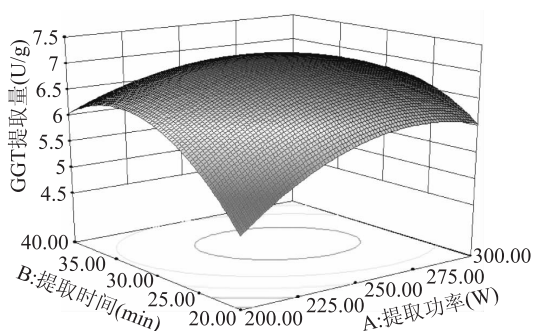


图4 提取功率与提取时间

对 GGT 提取量交互影响效应的响应面 3D 分析图

Fig.4 Response surface of the effects between power and time on the GGT content

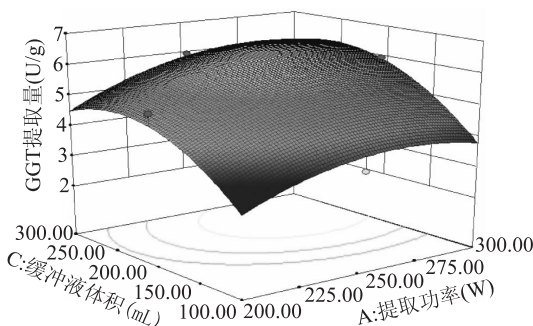


图5 提取功率与缓冲液体积

对 GGT 提取量交互影响效应的响应面 3D 分析

Fig.5 Response surface of the effects between power and buffer volume on the GGT content

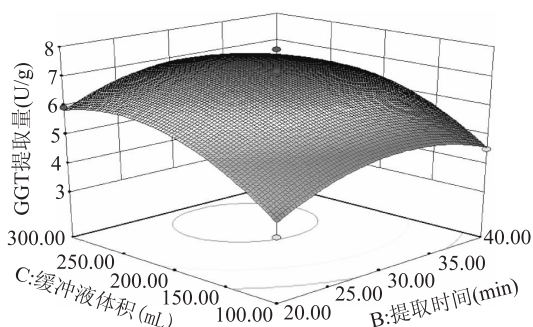


图6 提取时间与缓冲液体积

对 GGT 提取量交互影响效应的响应面 3D 分析

Fig.6 Response surface of the effects between time and buffer volume on the GGT content

行设计和分析,同时结合实际的操作,得到超声辅助提取 GGT 的最佳条件:提取功率、提取时间、缓冲液体积的最佳条件分别为 260 W, 28 min, 240 mL (10.00 g)。在该最佳提取条件下,提取液中 GGT 的

提取率达到了 7.188 U/g,与理论值是相符合的,这表明了该回归方程较为真实地反映出各因素对香椿中的 GGT 提取量的影响,为 GGT 的提取以及后续实验提供了操作指导。

参考文献

- [1] 陈德根,郝明灼,梁有旺,等.不同种源香椿芽菜感官品质及营养成分分析[J].林业科技开发,2011,25(3):40-43.
- [2] 李聚英,王军,戴蕴青,等.香椿特征香气组成及其在贮藏中变化的研究[J].北京林业大学学报,2011,33(3):127-131.
- [3] Liu C, Zhang J, Zhou Z, et al. Analysis of Volatile Compounds and Identification of Characteristic Aroma Components of *Toona sinensis* (A. Juss.) Roem. Using GC-MS and GC-O [J]. Food & Nutrition Sciences, 2013, 4(3):305-314.
- [4] Jia-Xiao L, Kirk E, Xian-Wen G, et al. Identification of (S, S)- γ -Glutamyl-(cis-S-1-propenyl) thioglycine, a Naturally Occurring Norcysteine Derivative, from the Chinese Vegetable *Toona sinensis* [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2013, 61(31):7470-7476.
- [5] 孟佩佩,刘冬英,蒋敏丽,等. γ -谷氨酰转肽酶的性质及其应用进展[J].食品与发酵工业,2009(9):105-110.
- [6] Mehdi K, Thierie J, Penninckx M J. gamma - Glutamyl transpeptidase in the yeast *Saccharomyces cerevisiae* and its role in the vacuolar transport and metabolism of glutathione [J]. Biochemical Journal, 2001, 359(3):631-637.
- [7] 赵瑞香,王大红,牛生洋,等.超声波细胞破碎法检测嗜酸乳杆菌 β -半乳糖苷酶活力的研究[J].食品科学,2006,27(1):47-50.
- [8] 蒋敏丽. γ -谷氨酰转肽酶酶学性质及其催化应用研究[D].广东:广东药学院,2011.
- [9] 石莉娜,罗红霞,宋阳,等.利用 Box-Behnken 设计优化糯玉米汁加工工艺[J].食品工业,2011(9):32-36.
- [10] 徐艳,刘冠群.超声细胞粉碎提取黄芪多糖[J].中国中医药信息杂志,2007,14(3):44-45.
- [11] 黎春怡,黄卓烈,张东方,等.超声波和超临界流体对酶活性的影响[J].生物技术通讯,2007,18(2):360-362.
- [12] 吕鹏,庄重,凌建亚,等.超声对酶的影响[J].生物技术通讯,2004,15(5):534-536.
- [13] 王长远,许凤,张敏.超声时间对米糠蛋白理化和功能特性的影响[J].中国粮油学报,2014(12):43-47.
- [14] 杨文鸽,谢果凤,颜伟华,等.响应面分析法优化海鳗的湿腌工艺[J].中国食品学报,2010,10(1):133-139.
- [15] 王永菲,王成国.响应面法的理论与应用[J].中央民族大学学报:自然科学版,2005,14(3):236-240.
- [16] Oladipo A A, Gazi M, Yilmaz E. Single and binary adsorption of azo and anthraquinone dyes by chitosan-based hydrogel: Selectivity factor and Box-Behnken process design [J]. Chemical Engineering Research & Design, 2015, 104(C):264-279.

(上接第 225 页)

- [17] 丁文平,丁霄霖.普鲁兰酶和 β -淀粉酶对大米支链淀粉回生影响的研究[J].中国粮油学报,2003,18(1):13-16.
- [18] Shifeng Yu, Ying Ma, Da-Wen Sun. Impact of amylose content on starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage [J]. Journal of Cereal Science, 2009, 50(2):

139-144.

- [19] 钱平,陈潇,张晓娟,等.方便米饭的新型组合干燥工艺[J].食品与发酵工业,2013,39(9):83-87.
- [20] 辛涛.回归分析与实验设计[M].北京:北京师范大学出版社,2010:78-89.