

大豆破碎耦合蒸汽灭酶工艺优化

Optimization of coupled pulping and steam blanching on lipoyxygenase denaturation of soybeans

王修坤^{1,2} 吴嘉琪^{1,2} 崔政伟^{1,2}

WANG Xiu-kun^{1,2} WU Jia-qi^{1,2} CUI Zheng-wei^{1,2}

(1. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 无锡 江苏 214122; 2. 江南大学机械工程学院, 无锡 江苏 214122)

(1. *Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi, Jiangsu 214122, China*; 2. *School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China*)

摘要:为最大程度减少豆浆制浆过程中产生的豆腥味,通过破碎耦合蒸汽热烫对浸泡大豆的脂肪氧化酶(lox)进行灭活。以单因素试验为基础,研究蒸汽结束时豆浆的温度、豆浆升温速率和大豆浸泡时间对 lox 活性和豆浆气味感官品质的影响。然后依据 Box-Behnken 试验设计原理进行了三因素三水平响应面法优化试验,优化后得到的最佳工艺条件为:温度 95.34 °C、升温速率 0.37 °C/s、浸泡时间 10.53 h。该条件下,lox 已完全灭活,同时豆浆气味感官评价好。

关键词:豆浆;耦合蒸汽热烫;脂肪氧化酶;气味感官评价

Abstract: In order to minimize the beany flavor and improve the quality of soybean milk, the pulping of soybean milk coupled with steam inactive lipoyxygenase (lox) activity was investigated. The effect of three factors, including temperature, heating rate, and soaking time, impacting on the lipoyxygenase (lox) activity and sensory evaluation of odor of product, were evaluated based on the results of single-factor experiment. Thenafter, the response surface methodology was applied to find optimal condition for the denaturation of the lipoyxygenase (lox). The optimum conditions were as follows: being heated at 95.34 °C, with heating rate of 0.37 °C/s and soaking for 10.53 h.

Keywords: soybean milk; coupled steam blanching; lipoyxygenase; sensory evaluation of odor

大豆中蛋白质含量占比约 40%,比肉类、蛋类及动物乳类的蛋白质含量普遍高出 2 倍,脂肪含量约为 18%~

22%,同时含有大量的不饱和脂肪酸。其中氨基酸成分和含量也均符合人体需求的比例^[1]。豆浆是中国传统植物蛋白饮料,大豆加工为豆浆后,蛋白质游离度提高,人体更容易消化吸收^[2]。

如何高效和最大程度减少豆浆腥味是控制豆浆质量的关键。豆浆生产工艺根据大豆预处理是否浸泡分为干法和湿法工艺,根据磨浆和煮沸的先后顺序分为生浆和熟浆工艺。干法工艺免除浸泡环节,能缩短生产周期,但未浸泡大豆硬度大,增加了磨浆机功耗和刀具的磨损,也不利于大豆蛋白质和其他营养成分的溶出^[3]。湿法工艺是提前对大豆进行浸泡软化处理,磨浆充分,豆浆口感细腻爽滑,营养物质含量更高,缺点是延长了生产时间,增加了工业废水的排放^[4-5]。生浆工艺是先过滤豆渣再煮沸豆浆,这样做出的豆浆蛋白质、多糖和磷脂的含量较熟浆工艺要高。但由于煮浆工序靠后使得豆浆带有更多豆腥味和苦涩味^[6]。熟浆工艺在日本和韩国等国家运用较多,生产的豆浆口感更加细腻,豆腥味要比生浆工艺明显减少^[7]。目前中国主要采用传统湿法生浆工艺,不能完全消除豆腥味,影响豆浆品质,迫切需要进行工艺的改进^[8-9]。

大豆的脂肪氧化酶(lox)由大豆种皮包裹保护。在大豆种皮破碎后,lox 结合水和氧气与大豆中的不饱和脂肪酸迅速反应生成主要成分为醛、醇、酮等具有豆腥味的化合物,一旦产生便难以去除^[10-12]。国内外探索豆浆脱腥的方法种类多,主要包括物理法、化学法、生物工程法、风味掩盖法等^[13-14]。物理化学法大多使用高温处理或添加化学物质来使 lox 钝化或失活,生物工程法目的是培养 lox 缺失的新型大豆,风味掩盖法通过添加呈味物质来掩盖部分豆腥味。要消除豆浆豆腥味,控制最初异味的产生是关键。

目前研究者普遍采用提前对大豆进行热处理来达到

基金项目:江苏省研究生科研创新计划项目(编号:KYCX18-1844)

作者简介:王修坤,男,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:崔政伟(1963—),男,江南大学教授,博士。

E-mail: cuizhengwei@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2018-09-04

灭酶去腥味的目的,刘鑫等^[15]采用单独对脱皮大豆进行热烫处理,但整体大豆传热慢且均匀性差,还增加了工序和废水排放;王伟华等^[4]利用烘箱在 180 °C 下单独加热,然后脱皮浸泡软化,磨浆过程中再用热水热烫。但处理工序多,控制参数繁多,如脱皮大豆含水量、加热和浸泡温度等。而本研究优势在于将灭酶和磨浆过程统一起来,在磨浆过程中就完成了对大豆的灭酶处理。蒸汽具有温度高,流速快的特点,灭酶迅速,同时豆浆原有风味得以保留^[16]。本研究采用大豆破碎磨浆耦合蒸汽灭酶工艺,通入蒸汽可以隔绝空气切断酶反应条件,在磨浆开始时迅速升温灭酶,从而最大程度减少豆腥味气体的产生。拟通过单因素试验及响应面分析,建立 lox 酶活力预测模型,在满足气味感官评价较好的基础上优化工艺,以期为企业工业化快速生产无腥味豆浆提供一种改良方案。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料

大豆:产地黑龙江绥化。

1.1.2 试剂

亚油酸:纯度≥99.9%,美国 Sigma 公司;

硼酸、四硼酸钠、吐温-20:国药集团化学试剂有限公司。

1.1.3 主要仪器和设备

全自动小型电加热蒸汽锅炉:LDR24-0.45-Z 型,温州市顺达服装机械有限公司;

高速离心机:TGL-16C 型,上海安亭科学仪器厂;

紫外可见分光光度计:UV1800 型,日本岛津公司;

玻璃转子流量计:LZB-10WB 型,祥云流量仪器厂;

分析天平:AR1140 型,奥豪斯国际贸易公司;

多功能果蔬破碎机:TM-767 型,中山市海盘电器有限公司;

温度计:CENTER-309 型,群特科技股份有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 豆浆的制备工艺流程

挑选、浸泡→磨浆同时通入蒸汽→过滤→豆浆基料

1.2.2 浸泡 室温下将 50 g 大豆按 1:3 (g/mL) 豆水比浸泡(液面将大豆完全浸没),浸泡预定时间,然后过滤掉浸泡液,用离心机甩干大豆表面的水分。

1.2.3 破碎耦合蒸汽灭酶 提前通入蒸汽(蒸汽压力 0.13 MPa,蒸汽温度为 107 °C)给破碎机预热 2 min,然后将浸泡好的 50 g 大豆按 1:6 (g/mL) 豆水比加入破碎机,通入预定流速的蒸汽开始磨浆,等豆浆达到指定的温度,停止通入蒸汽,统一磨浆时间为 3 min。

1.2.4 过滤 通过 100 目滤网过滤豆渣,挤压浆液直至没有滤液滴出,滤液为所得样品。

1.3 试验设计

1.3.1 单因素试验选择 蒸汽结束时豆浆的温度、豆浆升温速率和大豆浸泡时间为单因素试验的试验因素,以豆浆样品中 lox 活性以及豆浆气味感官评分为考查指标,设计破碎耦合蒸汽灭酶的单因素试验。

(1) 通入蒸汽结束时豆浆的温度:在升温速率 0.37 °C/s,大豆浸泡时间 12 h 的条件下,选取蒸汽结束时豆浆的温度分别为 70,80,90,100 °C,以确定最佳温度。

(2) 豆浆的升温速率:在通入蒸汽结束时豆浆的温度 90 °C,大豆浸泡时间 12 h 的条件下,选取豆浆的升温速率分别为 0.30,0.34,0.37,0.40 °C/s,以确定最佳升温速率。

(3) 大豆的浸泡时间:在通入蒸汽结束时豆浆的温度 90 °C,豆浆升温速率 0.37 °C/s 的条件下,选取大豆的浸泡时间分别为 10,12,14,16 h,以确定最佳浸泡时间。

1.3.2 响应面优化 通过单因素试验数据分析,使用 Design-Expert 8.0.6 软件中 Box-Behnken 组合设计原理来设计三因素三水平的响应面试验。以蒸汽结束时豆浆的温度、豆浆升温速率和大豆浸泡时间为响应变量,以 lox 活性(R_1)和气味感官评分(R_2)为响应值,考察这 3 个因素交互作用程度^[17]。

1.4 对所得豆浆样品的气味感官评价

对所得豆浆进行气味感观评定,成立 10 人的感官评分小组,统一规定和解释评价标准。样品按排序检验法规定的编号及排列方式分别送至气味感观评定小组评分^[18-19]。

表 1 豆浆气味感官评价标准

Table 1 Standards for odor sensory evaluation of soy milk

风味评分	感官描述
1~3	豆腥味显著,有酸败味,焦糊味,熟豆味或其他不良气味
3~6	豆浆原有香气稍淡,稍有豆腥味或焦糊味等不良气味
6~8	豆浆原有香气稍淡,无豆腥味或焦糊味等不良气味
8~10	豆浆原有香气浓郁,纯正,无其他不良气味

1.5 脂肪氧化酶(lox)酶活检测

(1) 亚油酸底物配制:0.3 mL 吐温-20 滴入 40 mL pH 9 的 0.2 mol/L 硼酸缓冲液中,然后向下逐滴加入 0.3 mL 亚油酸,混合均匀使亚油酸充分分散在混合液中,避免产生气泡。将混合液稀释 6 倍,4 °C 环境下冷藏备用。

(2) 待测酶液配制:取豆浆样本置于离心管中,设置离心机分离转速 8 000 r/min,离心时间 15 min,结束后取离心管上清液稀释适当倍数作为待测酶液。

(3) 酶活测定步骤:使用紫外分光光度计对样品酶活进行检测,将 0.2 mol/L 硼酸缓冲液 0.9 mL 和 2.0 mL 亚油酸底物在 1 cm 光程的石英比色皿中混合均匀,加入 0.1 mL 的待测酶液后合上盖子,上下振荡摇匀,放入比色槽,在波长 234 nm 处获得 OD 值随时间变化的曲线图,测定时间为 3 min,扫描时间间隔为 12 s,变化曲线的直线部分的斜率即为相对酶活^[4]。

1.6 数据处理

各试验数据重复测定 3 次取平均值,采用 Origin 9.0 和 SPSS 17.0 软件进行统计和方差分析。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验

2.1.1 通入蒸汽结束时的温度对豆浆指标的影响 温度是影响 lox 活性的主要因素,不同的温度处理,会有不同的灭酶效果,与豆浆豆腥味感官感受有直接联系。由图 1 可知,当通入蒸汽结束温度低于 70 °C 时,lox 检测的活性依然很高,豆腥味气体感觉明显;lox 活性随通入蒸汽结束时温度的升高而下降明显,同时气味感官评分也得到上升,90 °C 时酶活性已经趋向于 0。综合考虑,90 °C 为最优试验条件。

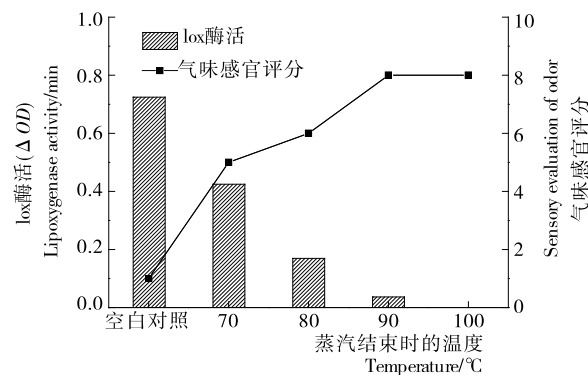


图 1 温度对酶活性和气味感官评分的影响

Figure 1 Effect of temperature on the residual lipoxigenase activity and odor sensory evaluation

2.1.2 升温速率对豆浆指标的影响 豆浆的升温速率会影响豆浆进入预设最高温度的快慢,由于磨浆时间统一,升温速率高的豆浆会在高温阶段维持更长的时间,能对 lox 进行更快更持久的灭活。由图 2 可知,酶活在升温速率 0.3 °C/s 以前依然很高,同时所生产的豆浆依然能感受到豆腥味,感官评分较低。推测是由于灭酶不及时,豆腥味气体已经产生。豆浆升温速率在达到 0.37 °C/s 时,lox 酶活性下降变化放缓,继续增大蒸汽流速意义不大。而豆浆气味感官评分在升温速率达到 0.37 °C/s 后基本保持一致,综合考虑,0.37 °C/s 为最优试验条件。

2.1.3 浸泡时间对豆浆指标的影响 浸泡可以让大豆组织松软,使蛋白质等其他营养物质更容易在磨浆过程中

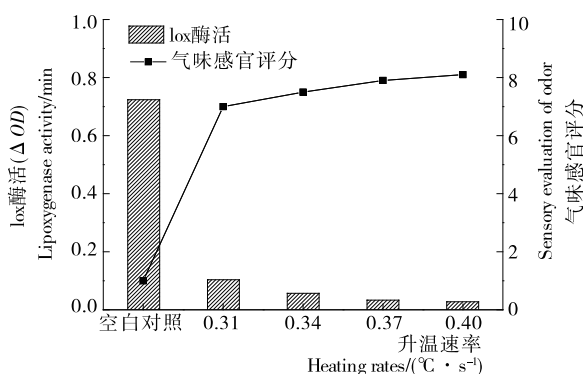


图 2 升温速率对酶活性和气味感官评分的影响

Figure 2 Effect of heating rates on the residual lipoxigenase activity and odor sensory evaluation

析出,同时也可以减少刀具磨损和降低功耗。但是浸泡时间过长会带来大豆营养流失,浸泡液腐败,提前促使异味产生^[20]。由图 3 可知,浸泡 10 h 之前,处理结束后基本无豆腥味,在气味感官评价上差别不大。但是由于浸泡时间短,使豆浆机磨浆困难,磨浆功耗增加,同时所制豆浆不够细腻,豆渣明显增多。根据杨蕊莲^[21]的研究,豆浆浸泡在 10~14 h 时,可以更好地软化大豆,同时保留大豆中的蛋白质。当浸泡时间超过 14 h 后能感受到豆腥味气体的存在,推测大豆中 lox 已经与水中的氧气发生反应。当浸泡时间达到 16 h 时,浸泡液浑浊,豆腥味明显,气味感官评分明显下降。综合考虑,12 h 为最优试验条件。

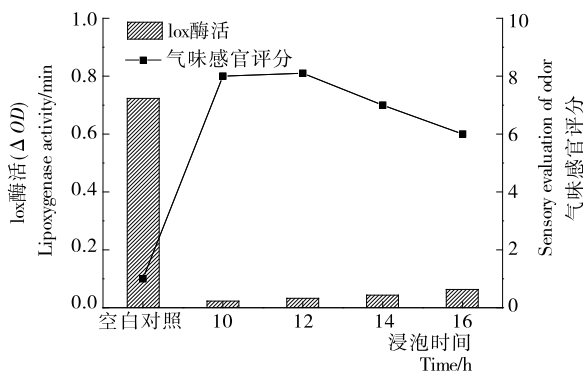


图 3 浸泡时间对酶活性和气味感官评分的影响

Figure 3 Effect of time on the residual lipoxigenase activity and odor sensory evaluation

2.2 响应面法优化工艺

2.2.1 因素水平和编码设计 根据单因素试验结果确定的因素水平见表 2。

2.2.2 响应面试验设计及结果 使用 Design-Expert 8.0.6 对表 3 数据进行多元回归拟合,得到破碎耦合蒸汽灭酶优化工艺试验模型的显著性检验和方差分析,结果见表 4、5。

表 2 因素水平表
Table 2 Table of factors and levels

编码水平	A 通入蒸汽结束 时温度/℃	B 升温速率/ (℃·s ⁻¹)	C 浸泡时间/ h
-1	80	0.34	10
0	90	0.37	12
1	100	0.40	14

2.2.3 回归方程的方差分析 由表 4 可以看出,因素 A、B、C、AB、A² 高度显著(P<0.01),AC(温度与浸泡时间交互项)显著(0.01<P<0.05),BC 等其他项不显著(P>

0.05)。此模型的 P<0.001,说明该方程模型极显著。回归模型的决定系数 R²=99.90%,调整后的模型决定系数 R²_{Adj}=99.77%,即表示预测数据与真实值有较好的拟合度,可以对豆浆 lox 酶活进行分析和预测。失拟项 P=0.339 1 为不显著(P>0.05),说明该模型无需再引入其他因素,试验条件合适。信噪比=81.699>4,表明该模型信号强度充足。各因素对 lox 酶活影响大小顺序依次是:A>B>C。所得预测模型为:

$$y=0.032-0.080A-0.014B+0.006\ 2C+0.014AB-0.004\ 3AC-0.001\ 5BC+0.047A^2-0.000\ 41B^2+0.000\ 77C^2。$$
 (1)

表 3 响应面试验设计及结果
Table 3 Program and experimental results of Box-Behnken experimental

试验 序号	A	B	C	相对酶活 (ΔOD)/min	气味感 官评分	试验 序号	A	B	C	相对酶活 (ΔOD)/min	气味感 官评分
1	0	0	0	0.033 6	8.0	10	1	0	1	0.000 0	7.6
2	-1	0	-1	0.151 8	5.7	11	0	1	-1	0.012 1	8.5
3	1	0	-1	0.000 0	8.2	12	-1	1	0	0.130 0	6.2
4	-1	-1	0	0.186 0	4.8	13	0	0	0	0.034 9	8.1
5	0	-1	1	0.055 7	7.0	14	0	-1	-1	0.036 4	7.5
6	1	1	0	0.000 0	7.5	15	0	0	0	0.028 0	8.3
7	0	0	0	0.030 8	7.8	16	0	1	1	0.025 5	7.6
8	-1	0	1	0.168 9	5.4	17	0	0	0	0.033 0	8.0
9	1	-1	0	0.000 0	7.9						

表 4 酶活响应面方差分析
Table 4 Analysis of variancethe regression model for residual lox activity

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.063	9	6.99E-03	778.10	<0.000 1	* *
A	0.051	1	0.051	5 643.41	<0.000 1	* *
B	1.53E-03	1	1.53E-03	169.98	<0.000 1	* *
C	3.10E-04	1	3.10E-04	34.52	0.000 6	* *
AB	7.84E-04	1	7.84E-04	87.31	<0.000 1	* *
AC	7.31E-05	1	7.31E-05	8.14	0.024 6	*
BC	8.70E-06	1	8.70E-06	0.97	0.357 7	—
A ²	9.44E-03	1	9.44E-03	1 051.11	<0.000 1	* *
B ²	6.91E-07	1	6.91E-07	0.077	0.789 5	—
C ²	2.50E-06	1	2.50E-06	0.28	0.614 3	—
残差	6.29E-05	7	8.98E-06			
失拟项	3.35E-05	3	1.12E-05	1.52	0.339 1	不显著
绝对误差	2.94E-05	4	7.35E-06			
总和	0.063	16				

表 5 气味感官评价响应面方差分析

Table 5 Analysis of variancethe regression model for sensory evaluation of odor

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	19.24	9	2.14	68.18	<0.000 1	* *
A	10.35	1	10.35	330.11	<0.000 1	* *
B	0.84	1	0.84	26.95	0.001 3	* *
C	0.66	1	0.66	21.09	0.002 5	* *
AB	0.81	1	0.81	25.83	0.001 4	* *
AC	0.023	1	0.023	0.72	0.425 0	—
BC	0.040	1	0.040	1.28	0.295 9	—
A ²	5.89	1	5.89	187.76	<0.000 1	* *
B ²	0.28	1	0.28	8.90	0.020 4	*
C ²	0.074	1	0.074	2.36	0.168 6	—
残差	0.22	7	0.031			
失拟项	0.087	3	0.029	0.88	0.521 3	不显著
绝对误差	0.13	4	0.033			
总和	19.46	16				

由表 5 可以看出,因素 A、B、C、AB、A² 高度显著 ($P<0.01$),B² 显著 ($0.01<P<0.05$),其他项不显著 ($P>0.05$)。此模型的 $P<0.001$,说明该方程模型极显著。回归模型的决定系数 $R^2=98.87\%$,调整后的模型决定系数 $R^2_{Adj}=97.42\%$,即表示预测数据与真实值有较好的拟合度,可以对豆浆气味感官评分进行分析和预测。失拟项 $P=0.521\ 3$ 为不显著 ($P>0.05$),说明该模型无需再引入其他因素,试验条件合适。信噪比 $=27.059>4$,表明该模型信号强度充足。各因素对气味感官评分影响大小顺序依次是:A>B>C。所得预测模型为:

$$y=8.04+1.14A+0.33B-0.29C-0.45AB-0.075AC-0.10BC-1.18A^2-0.26B^2-0.13C^2。(2)$$

2.2.4 响应面分析与优化 根据 Design-Expert 8.0.6 的响应面分析结果,建立的响应面方程三维模型图,结果见图 4、5。

图 4(a)、(b)比图 4(c)的曲面图坡度更加陡峭,则温度和升温速率、温度和浸泡时间对 lox 酶活交互作用影响更显著。图 5(a)、(b)比图 5(c)的曲面图坡度更加陡峭,则温度和升温速率、温度和浸泡时间对气味感官评分交互作用影响更显著。

通过响应面软件优选工艺参数,同时考虑节约能源,

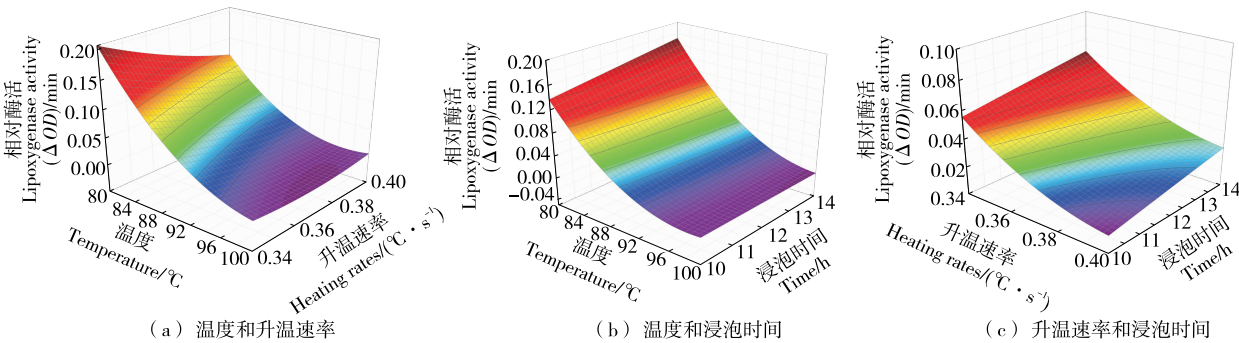


图 4 各因素对 lox 酶活性的交互作用

Figure 4 Response surface plots for the effectsof various conditions onlipoxigenase activity

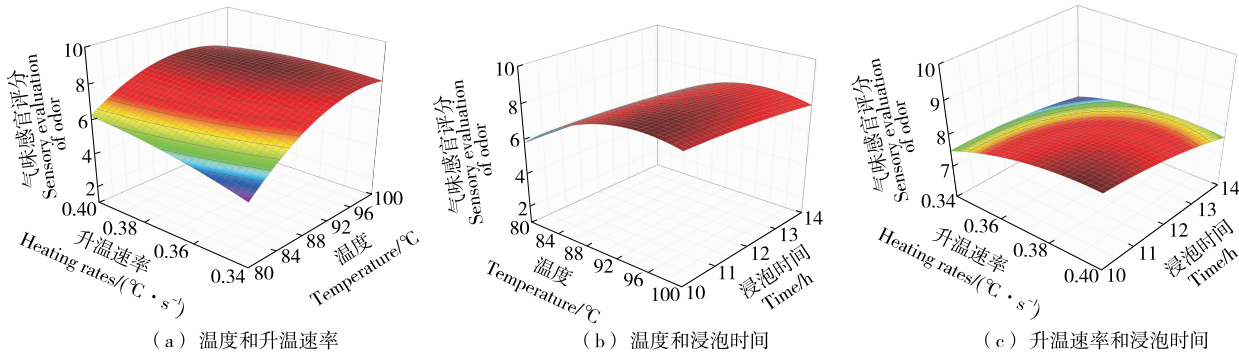


图 5 各因素对气味感官评分的交互作用

Figure 5 Response surface plots for the effects of various conditions on sensoryevaluation of odor

减少加工时间的原则。优选的工艺参数为:通入蒸汽结束时温度 95.34 ℃、升温速率 0.37 ℃/s、浸泡时间 10.53 h, 气味感官评分为 8.48 分。此条件进行试验检测 lox 酶已灭活, 很难感受到豆腥味, 豆香味浓郁。为了试验便捷可操作, 选用(96±1) ℃、0.37 ℃/s、(10.5±0.5) h 的条件进行验证实验, 重复 3 次, 在此条件下, lox 已经完全失活, 达到与赵毅^[22]在 100 ℃热水单独热烫 8 min 的灭酶效果。同时气味感官评分为 8~9, 与响应面预测值相符, 说明该模型能够较可靠地预测试验数据, 已经达到了优化破碎耦合蒸汽灭酶制浆工艺的目的。

3 结论

通过蒸汽快速加热灭酶, 减少豆腥味气体产生, 可生产气味感官评价好的豆浆。其最佳制浆工艺条件为通入蒸汽结束时温度(96±1) ℃、升温速率 0.37 ℃/s、浸泡时间(10.5±0.5) h。在此条件下所制豆浆基料无豆腥味, 充满豆浆本身浓郁豆香, 同时 lox 已经完全失活, 与模型预期效果一致, 进一步证实模型的可靠性。与刘鑫等^[15]先对大豆单独热水热烫处理, 再进行磨浆的方法研究相比, 本研究将磨浆工序和灭酶统一起来, 缩短了工序流程, 减少处理废水的排放, 并且使用全豆制作, 提高了大豆利用率。

由于不同品种大豆之间 lox 活性存在差异, 当酶活过高或过低时, 需根据实际大豆品种进行试验, 以得到针对性的优化参数。

参考文献

- [1] 韩立德, 盖钧镒, 张文明. 大豆营养成分研究现状[J]. 种子, 2003(5): 58-60.
- [2] 林旭东, 潘巨忠, 凌建刚. 豆浆的保健功能及研究进展[J]. 现代农业科技, 2007(24): 146-149.
- [3] 李琳, 王宸之, 赵赓九, 等. 干法制浆工艺对豆浆品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 188-193.
- [4] 王伟华, 王二利. 干湿热结合法去除大豆豆腥味的工艺研究[J]. 广东农业科学, 2007(11): 73-74.
- [5] 孙晓欢, 李佳勋, 荣建华, 等. 干豆和湿豆制作豆浆的营养评价[J]. 粮食与饲料工业, 2014, 12(11): 17-20.
- [6] VISHWANATHAN K H, SINGH V, SUBRAMANIAN R. Wet grinding characteristics of soybean for soymilk extraction[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(1): 28-34.
- [7] 吴彩珍, 傅苏芳, 戴晶晶, 等. 不同制浆工艺豆浆品质分析[J]. 大豆科技, 2014(3): 32-35.
- [8] MIN S, YU Y, YOO S, et al. Effect of soybean varieties and growing locations on the flavor of soymilk[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(1): C1-C11.
- [9] 田其英, 王静. 豆浆的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(17): 208-210.
- [10] 刘博, 卫玲, 肖俊红, 等. 大豆脂肪氧化酶研究进展[J]. 山西农业科学, 2018, 46(2): 303-305.
- [11] 张文灿, 邹焱, 朱辰, 等. 豆奶风味物质的研究[J]. 大豆科技, 2014(4): 32-38.
- [12] YANG Ai-jun, SMYTH H, CHALIHA M, et al. Sensory quality of soymilk and tofu from soybeans lacking lipooxygenases[J]. Food Science & Nutrition, 2016, 4(2): 207-215.
- [13] 代养勇, 曹健, 董海洲, 等. 大豆食品豆腥味研究进展[J]. 中国粮油学报, 2007(4): 50-53.
- [14] GIRI S K. Processing influences on composition and quality attributes of soymilk and its powder[J]. Food Engineering Reviews, 2012, 4(3): 149-164.
- [15] 刘鑫, 陈聪, 赵建新, 等. 响应面法优化未浸泡脱皮大豆湿热灭酶工艺[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 131-135.
- [16] PRACHAYAWARAKORN S, PRACHAYAWASIN P, SOPONRONNARIT S. Heating process of soybean using hot-air and superheated-steam fluidized-bed dryers [J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(7): 770-778.
- [17] 万萍, 易晓成, 邓娟, 等. 适于益生菌发酵的青稞酶解液制备工艺优化[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 174-178.
- [18] ALHENDI A, YANG Wa-de, GOODRICH-SCHNEIDER R, et al. Sensory evaluation and flavour analysis of soymilk produced from lipooxygenase-free soya beans after modified processes and pulsed light treatment[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2018, 53: 1434-1441.
- [19] TORRES-PENARANDA A V, REITMEIER C A. Sensory descriptive analysis of soymilk[J]. Journal of Food Science, 2010, 66(2): 352-356.
- [20] 杨道强, 邢建荣, 陆胜民, 等. 豆浆专用免浸泡大豆制备中浸泡工艺优化[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(7): 1226-1232.
- [21] 杨蕊莲. 豆浆工艺优化及预处理对其品质影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016: 17-19.
- [22] 赵毅. 脂肪氧化酶缺失型大豆加工特性及其豆奶加工工艺研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2006: 22-26.