

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.04.027

# 马铃薯酸奶研制及贮藏期间的品质变化

## Study on the manufacture of potato yogurt and its quality change during storage

郭晶晶 李斌

GUO Jing-jing LI Bin

(华中农业大学食品科技学院,湖北 武汉 430070)

(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China)

**摘要:**以奶粉和马铃薯为原料研制马铃薯酸奶。研究了发酵时间、发酵温度、菌种添加量对酸奶发酵工艺的影响,以及搅拌速度、搅拌时间、马铃薯浆添加量对搅拌工艺的影响进行研究,并对贮藏期间马铃薯酸奶水分含量、pH、酸度、持水力、质构、流变的变化进行研究。结果表明:马铃薯酸奶的最佳发酵工艺为菌粉添加量0.02%,发酵温度41℃,发酵时间4.5h;最佳搅拌工艺为马铃薯浆添加量25.5%,搅拌速度90 r/min,搅拌时间25 min;在贮藏期间,马铃薯酸奶各项指标均有一定程度的增减,但与空白组相比变化幅度更小,说明品质更稳定。

**关键词:**马铃薯酸奶;工艺;贮藏;品质

**Abstract:** The potato yogurt was developed with milk powder and potato as raw materials. The effects on the fermentation process of yogurt were studied, including fermentation time, fermentation temperature and inoculation amount, and the optimum fermentation conditions were determined. The influence of stirring speed, stirring time and the amount of potato pulp addition on the mixing process was also studied, and the optimum technological conditions of agitation were determined. The moisture content, pH, acidity, water holding capacity, texture and rheology of potato yogurt during storage were determined, and the quality changes during storage were studied. Results: The optimal fermentation conditions were: inoculation amount of 0.02%, fermentation temperature 41℃, and fermentation time 4.5 h. The best mixing technology were: potato pulp adding amount 25.5%, stirring speed 90 r/min, stirring time 25 min. In the storage period, the indexes of potato yogurt have a certain degree of change, but the change range is smaller compared with the control group, which shows the quality is more stable.

**Keywords:** potato yogurt; process optimization; storage; quality

**基金项目:**湖北省技术创新专项重大项目(编号:2017ABA150)

**作者简介:**郭晶晶,女,华中农业大学在读硕士研究生。

**通信作者:**李斌(1972—),男,华中农业大学教授,博士。

E-mail: libinfood@mail.hzau.edu.cn

**收稿日期:**2018-10-28

马铃薯俗称土豆、洋芋,是中国餐桌上常见的食品<sup>[1]</sup>。马铃薯含有丰富的赖氨酸与色氨酸,及钾、锌、铁等矿物元素。马铃薯所含的纤维素细嫩,对胃肠黏膜无刺激作用,有解痛或减少胃酸分泌的作用,常食马铃薯已成为防治胃癌的辅助疗法。近年来,随着马铃薯主粮化的提出,马铃薯粉、马铃薯热干面、马铃薯馒头等研究层出不穷。同时,也有不少学者研究马铃薯的深加工,制作马铃薯休闲食品,如烘烤、膨化或是做果脯;还有饮料类如酒、罐头等。王慧君<sup>[2]</sup>将马铃薯用酶先液化后糖化处理,再接种酵母制作蒸馏酒;王迎<sup>[3]</sup>从护色、脱水、杀菌等工艺参数研究了马铃薯咸菜;曾文杰<sup>[4]</sup>利用马铃薯发酵制取柠檬酸,尝试取代传统的玉米发酵。

酸奶中添加水果很常见,添加燕麦等粗粮也不少,但市面上还未出现将马铃薯添加到酸奶中的产品,本试验拟以马铃薯、奶粉为原料,通过对发酵时间、温度、菌粉添加量及搅拌速度、时间、马铃薯浆添加量进行研究,优化发酵和搅拌工艺。并对制作出的马铃薯酸奶在贮藏期的理化性质进行探讨,以为马铃薯深加工研究提供理论基础。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

#### 1.1.1 材料与amp;试剂

马铃薯:湖北省云梦县产;

全脂奶粉:瑞士雀巢有限公司;

金海芳白砂糖:武汉海芳工贸发展有限公司;

酸奶发酵专用菌粉:法国丹尼斯克(DANISCO)有限公司;

氢氧化钠、盐酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

#### 1.1.2 仪器与amp;设备

分析天平:BSA124S-CW型,德国Sartorius公司;

pH计:PHS-3C型,上海精密科学仪器有限公司;

电子天平:PTT-A600型,美国康州HZ电子科技有限公司。

限公司;

恒温培养箱:DNP-9162型,上海精宏实验设备有限公司;

磁力加热搅拌器:78-1型,金坛市医疗仪器厂;

高速冷冻离心机:CR21G型,日本日立高新公司;

质构仪:TA.XT.plus型,英国 Stable Micro System 公司;

流变仪:AR2000ex型,美国TA公司。

## 1.2 方法

### 1.2.1 工艺流程

(1) 马铃薯→清洗去皮→切片→蒸 10 min→打浆 5 min→马铃薯浆

(2) 全脂奶粉+6%白糖溶解→均质→巴氏杀菌→冷却后接种菌粉→发酵→添加马铃薯浆并搅拌→4℃冷藏后熟→成品

### 1.2.2 发酵单因素试验

(1) 菌粉添加量对发酵的影响:选取接种量 0.010%, 0.015%, 0.020%, 0.025%, 0.030%, 控制发酵温度 41℃, 发酵时间 4 h, 以 pH 值为评价指标。

(2) 发酵时间对发酵的影响:选取发酵时间 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 h, 控制发酵温度 41℃, 菌种添加量 0.02%, 以 pH 值为评价指标。

(3) 温度对发酵的影响:选取发酵温度 39, 40, 41, 42, 43℃, 控制发酵时间 4 h, 菌种添加量 0.02%, 以 pH 值为评价指标。

1.2.3 发酵工艺优化 选取菌粉添加量、发酵时间、发酵温度为试验因素,采用  $L_9(3^3)$  正交试验设计,以 pH 值为评价指标,确定酸奶的最佳发酵工艺<sup>[5]</sup>。

### 1.2.4 搅拌工艺单因素试验

(1) 搅拌速度对搅拌工艺的影响:选取搅拌速度 60, 70, 80, 90, 100 r/min, 控制搅拌时间 30 min, 马铃薯浆添加量 25%, 以持水力为评价指标。

(2) 搅拌时间对搅拌工艺的影响:选取搅拌时间 15, 20, 25, 30, 35 min, 控制搅拌速度 90 r/min, 马铃薯浆添加量 25%, 以持水力为评价指标。

(3) 马铃薯浆添加量对搅拌工艺的影响:选取马铃薯浆添加量 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 控制搅拌速度 90 r/min, 搅拌时间 30 min, 以持水力为评价指标。

1.2.5 搅拌工艺优化 根据单因素试验所筛选的最佳搅拌速度、搅拌时间和马铃薯浆添加量,应用三因素三水平的 Box-Behnken 设计<sup>[6]</sup>,以持水力为响应值,采用响应面法进行分析。

## 1.3 指标测定

1.3.1 pH值和酸度的测定 从冰箱中取出样品并恢复至室温,搅拌均匀后,直接用 pH 计测定样品的 pH 值并记录数据;样品的酸度测定参考 GB 5413.34—2010。

1.3.2 持水力的测定 根据文献[7]进行测定,酸奶的持水力按式(1)计算:

$$X = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

X——持水力,%;

$W_0$ ——离心前样品质量,g;

$W_1$ ——离心后样品质量,g。

1.3.3 水分的测定 按 GB 5009.3—2016 执行。

1.3.4 酸奶质构分析 根据文献[8]进行测定。检测指标有:硬度、稠度、内聚性、黏度。

1.3.5 酸奶流变学分析 根据文献[9]进行测定,每组样品平行测定 3 次。

1.3.6 数据处理与统计分析 用 Excel 2003 软件进行数据分析,Origin 8.0 作图并进行显著性分析,显著水平  $P=0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 马铃薯酸奶制作工艺

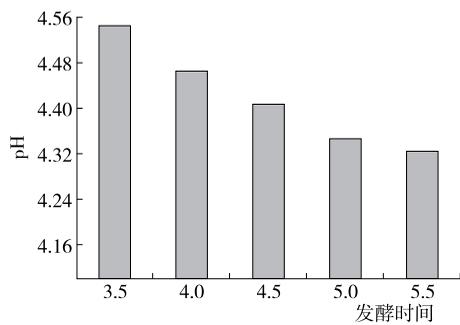
2.1.1 发酵工艺参数的确定 由图 1(a)可知,随着发酵时间的延长,酸奶的 pH 值逐渐降低,这是乳酸菌利用乳糖发酵产生乳酸的结果。由于一般酸奶在 pH 为 4.5 左右品质较好,过酸同样会影响酸奶的风味,所以选择发酵时间为 3.5~4.5 h 进行正交试验。由图 1(b)可知,随着菌粉添加量的增加,酸奶的 pH 值逐渐降低,因为菌粉越多,即乳酸菌越多,分解更多乳糖产酸导致。同理选择菌粉添加量为 0.015%~0.025% 进行正交试验。由图 1(c)可知,随着温度的升高,酸奶的 pH 值先下降后上升,当发酵温度为 41℃ 时, pH 值最小,之后温度上升, pH 值反而升高,因为 41℃ 附近是乳酸菌较适宜的生长温度,超过之后,不利于生长,乳糖消耗减小,乳酸产量减小,因而 pH 值升高,所以选择发酵温度为 40~42℃ 进行下一步正交试验。

2.1.2 发酵工艺参数优化 根据单因素试验结果设计正交试验因素水平表<sup>[10]</sup>,见表 1,试验结果见表 2。

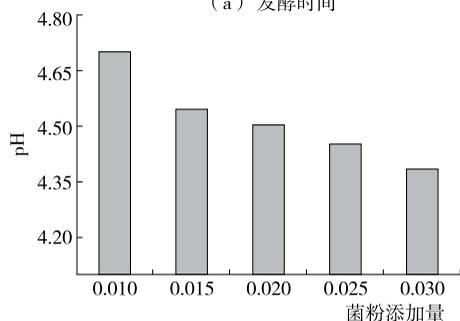
由表 1、2 可知,根据马铃薯酸奶发酵工艺条件优化正交试验,进行极差分析,影响产品 pH 值的主次因素依次为发酵时间>发酵温度>菌粉添加量。正交设计表的 9 个试验组中,由于 pH 在 4.5 左右最优,则第 5 组试验结果最优,组合为  $A_2B_2C_3$ 。但分析表中的  $k$  值,则得到理论最佳组合为  $A_2B_3C_2$ ,由于 9 组试验组中无此组合,按此组合进行验证实验,得到产品的 pH 为 4.502,因此最佳发酵工艺参数为菌粉添加量 0.02%,发酵时间 4 h,发酵温度 41℃。

2.1.3 搅拌工艺参数的确定 由图 2(a)可知,随着搅拌速度的加快,持水力有一定程度的升高,但超过 80 r/min 后,持水力基本持平,搅拌速度较低时,只破坏酸奶的凝

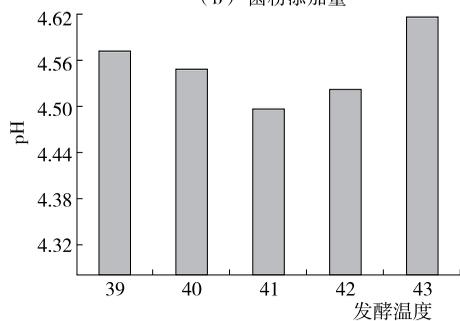
胶结构,酸奶被分割成碎块状,因此持水力较低;但搅拌速度上升后,同样的时间里能搅拌得更加均匀,之后的冷藏又能形成比较均一的体系,持水力就有所上升。选择 80~100 r/min 进行下一步响应面试验。由图 2(b)可知,随着搅拌时间的延长,持水力有小幅度的上升,但整体变化不大。选择 20~30 min 进行响应面试验。由图 2(c)可知,添加马铃薯浆越多,持水力逐渐下降,因为马铃薯



(a) 发酵时间



(b) 菌粉添加量



(c) 发酵温度

图 1 发酵工艺对马铃薯酸奶 pH 值的影响  
Figure 1 Effect of fermentation on pH value of potato yogurt

表 1 正交试验因素水平表

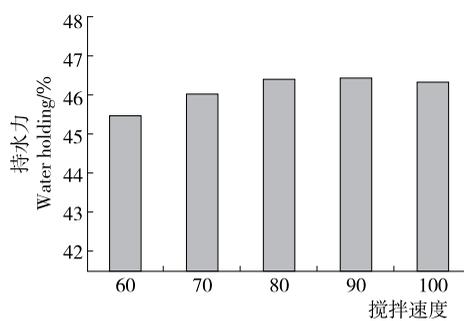
Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	A 菌粉添加量/%	B 发酵时间/h	C 发酵温度/°C
1	0.015	3.5	40
2	0.020	4.0	41
3	0.025	4.5	42

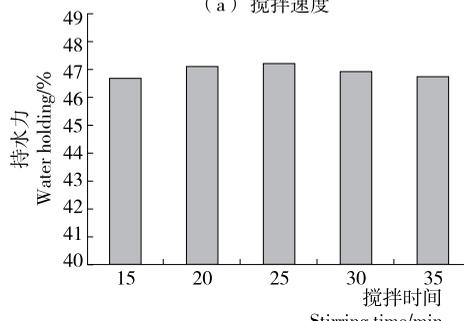
表 2 发酵工艺的正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal experiment for fermentation technology

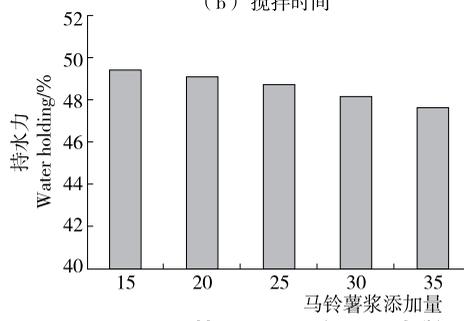
试验号	A	B	C	pH
1	1	1	1	4.830
2	1	2	2	4.583
3	1	3	3	4.467
4	2	1	2	4.557
5	2	2	3	4.513
6	2	3	1	4.610
7	3	1	3	4.717
8	3	2	1	4.600
9	3	3	2	4.423
$k_1$	4.627	4.701	4.680	
$k_2$	4.560	4.565	4.521	
$k_3$	4.580	4.500	4.566	
R	0.067	0.201	0.159	



(a) 搅拌速度



(b) 搅拌时间



(c) 马铃薯浆添加量

图 2 搅拌工艺对马铃薯酸奶持水力的影响  
Figure 2 Effect of mixing process on water holding of potato yogurt

浆含一定量的水分,相当于往酸奶中添加了液体,不利于酸奶凝胶网络成型,因此导致持水力有一定程度的下降。综合实际情况,选择添加量 20%~30%进行下一步试验。

2.1.4 搅拌工艺参数优化 综合分析单因素试验,确定搅拌速度、搅拌时间和马铃薯浆添加量 3 个因素为自变量,持水力为响应值,根据 Box-Behnken 设计试验<sup>[11]</sup>(表 3),试验结果见表 4。

使用 Design Expert 8.0.6 分析软件对试验数据进行拟合,得到二次多项回归方程:

$$Y = 47.12 + 0.64A + 1.86B + 0.76C - 0.26AB - 1.08AC + 0.29BC - 0.91A^2 - 3.13B^2 - 0.96C^2 \quad (2)$$

由表 5 可知,二次回归模型极显著,失拟项不显著,说明建模成功。响应面的回归系数  $R^2 = 0.9723$ ,校正后的  $R_{Adj}^2 = 0.9366$ ,Adeq Precisor 测得的信噪比为 14.411 (通常 >4),表明该模型的拟合程度较好,试验误差较小,能够用于马铃薯酸奶搅拌工艺条件的分析和预测。方差

表 3 响应面试验因素水平表

Table 3 Factors and levels of response surface experiment

水平	A 添加量/ %	B 搅拌速度/ (r · min <sup>-1</sup> )	C 搅拌时间/ min
-1	20	80	20
0	25	90	25
1	30	100	30

表 4 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 4 Box-Behnken design matrix and experimental results

试验号	A	B	C	持水力 Y/%
1	0	0	0	47.20
2	1	-1	0	42.35
3	0	1	1	45.62
4	0	0	0	46.90
5	0	-1	1	41.15
6	1	1	0	45.40
7	0	0	0	47.53
8	-1	0	1	47.00
9	0	0	0	46.33
10	0	1	-1	44.32
11	-1	-1	0	40.24
12	-1	1	0	44.33
13	1	0	-1	45.67
14	0	0	0	47.66
15	0	-1	-1	41.03
16	1	0	1	45.82
17	-1	0	-1	42.52

表 5 回归模型的方差分析

Table 5 Analysis results of regression and variance

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	93.12	9	10.35	27.25	0.000 1
A	3.32	1	3.32	8.73	0.021 3
B	27.75	1	27.75	73.10	<0.000 1
C	4.58	1	4.58	12.05	0.010 4
AB	0.27	1	0.27	0.71	0.426 6
AC	4.69	1	4.69	12.35	0.009 8
BC	0.35	1	0.35	0.92	0.370 2
A <sup>2</sup>	3.49	1	3.49	9.20	0.019 0
B <sup>2</sup>	41.34	1	41.34	108.88	<0.000 1
C <sup>2</sup>	3.89	1	3.89	10.24	0.015 1
残差	2.66	7	0.38		
失拟项	1.52	3	0.51	1.78	0.290 1
纯误差	1.14	4	0.28		
合计	95.78	16			

分析结果还表明,A、C 对酸奶持水力的影响显著,B 的影响极显著,说明搅拌速度是影响搅拌工艺的重要因素。由 F 值可知,各因素对马铃薯酸奶持水力的影响程度大小为:搅拌速度>搅拌时间>马铃薯浆添加量。

从图 3 可知,在所选的范围存在极值点<sup>[12]</sup>。持水力随着搅拌速度、搅拌时间和马铃薯浆添加量的变化呈先增大后下降趋势,且 3 个响应面均呈开口向下的凸型曲面。根据数学模型分析,预测出最佳搅拌工艺条件为马铃薯浆添加量 25.5%、搅拌速度 92.31 r/min,搅拌时间 25 min。此条件下预测到的持水力为 47.227 7%。为验证该预测,并结合实际情况,将最佳搅拌工艺参数调整为:马铃薯浆添加量 25.5%、搅拌速度 90 r/min,搅拌时间 25 min,经多次平行实验测得持水力为 47.36%,与预测值接近,说明模型准确性较高,能较好地预测马铃薯酸奶搅拌工艺条件。

2.2 马铃薯酸奶在贮藏期间的品质变化

2.2.1 基本理化品质变化 由图 4 可知,马铃薯酸奶的持水力与空白组相差不大,1~7 d 两者持水力都有一定程度的下降,但幅度不大。贮藏后期,空白组持水力下降十分明显,比样品组下降更多,马铃薯酸奶的贮藏稳定性较好<sup>[13]</sup>。

由图 5 可知,马铃薯酸奶的水分含量比空白组高,分析是加入了马铃薯浆的缘故,两者在第 14 天时水分含量有较明显的下降,但整体变化不大。

由图 6、7 可知,马铃薯的添加对酸奶的 pH 值有一定程度的影响,pH 值更高,但仍在可接受的范围内:pH < 4.5,两者都存在后酸化现象,随着冷藏时间延长,pH 值逐渐降低,酸度逐渐升高。贮藏后期,虽然两者下降较

多,但空白组的 pH 值比样品组更低,分析可能会对口感和滋味有一定程度影响。

2.2.2 质构的变化 由图8可知,马铃薯酸奶的硬度、稠

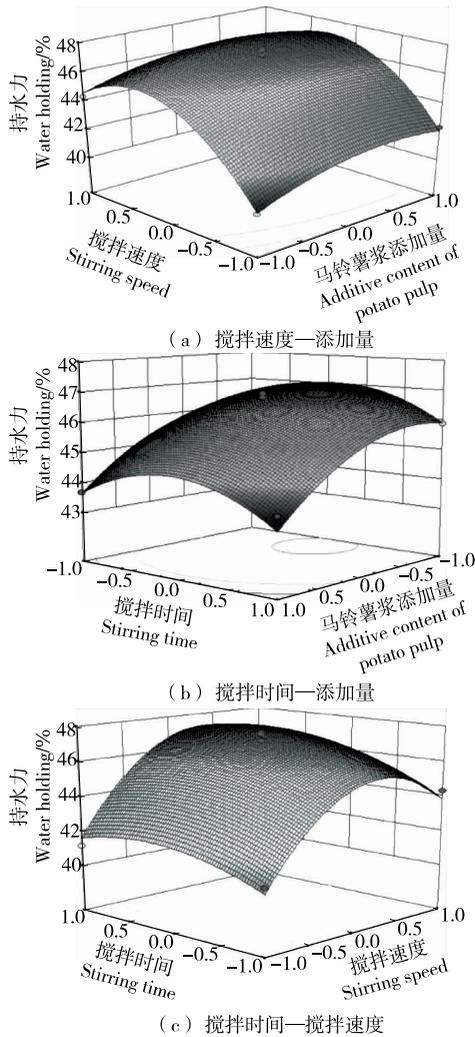


图3 搅拌工艺对马铃薯酸奶持水力的交互影响效应  
Figure 3 Interaction effect of stirring process on water holding capacity of potato yogurt

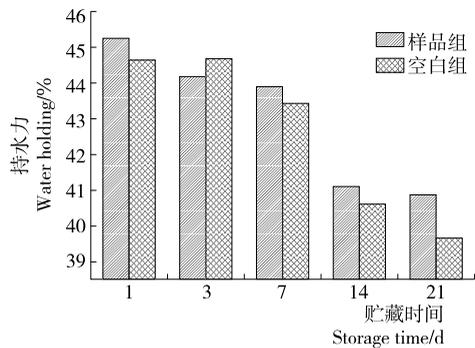


图4 马铃薯酸奶贮藏期间持水力变化  
Figure 4 The water holding capacity of potato yogurt during storage

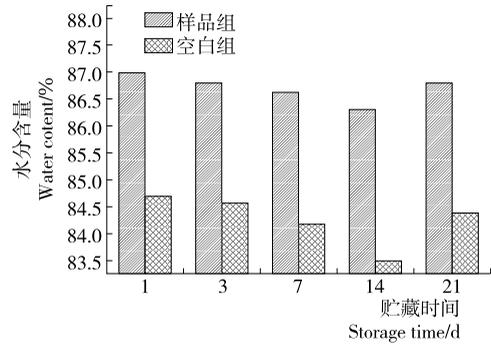


图5 马铃薯酸奶贮藏期间水分含量变化  
Figure 5 The water content change of potato yogurt during storage

度、内聚性、黏度相应数值均比空白组低,马铃薯的添加对酸奶品质有一定影响,但从贮藏时间来看,马铃薯酸奶质构特性指标的变化幅度很小,稳定性比空白组要好<sup>[14-16]</sup>。

2.2.3 流变变化 由图9可知,随着剪切速率的加快,表观黏度逐渐降低,最后趋近于0。马铃薯酸奶的黏度比空白组低,随着贮藏时间的增加,2组黏度都先下降后小幅上升,根据图中散点可以看出,样品组的散点较集中,可以反映出马铃薯酸奶的流变特性更稳定<sup>[17-18]</sup>。

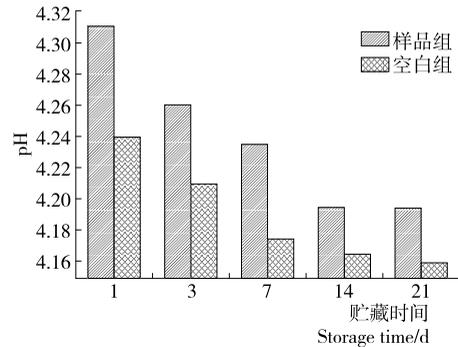


图6 马铃薯酸奶贮藏期间 pH 值变化  
Figure 6 pH value change of potato yogurt during storage

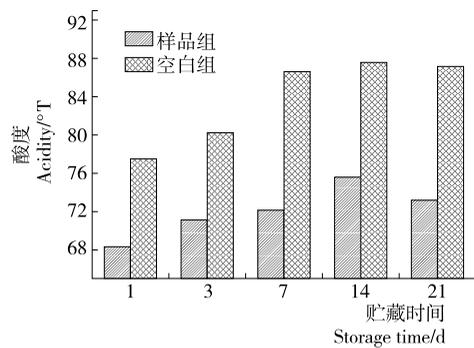


图7 马铃薯酸奶贮藏期间酸度变化  
Figure 7 Acidity change of potato yogurt during storage

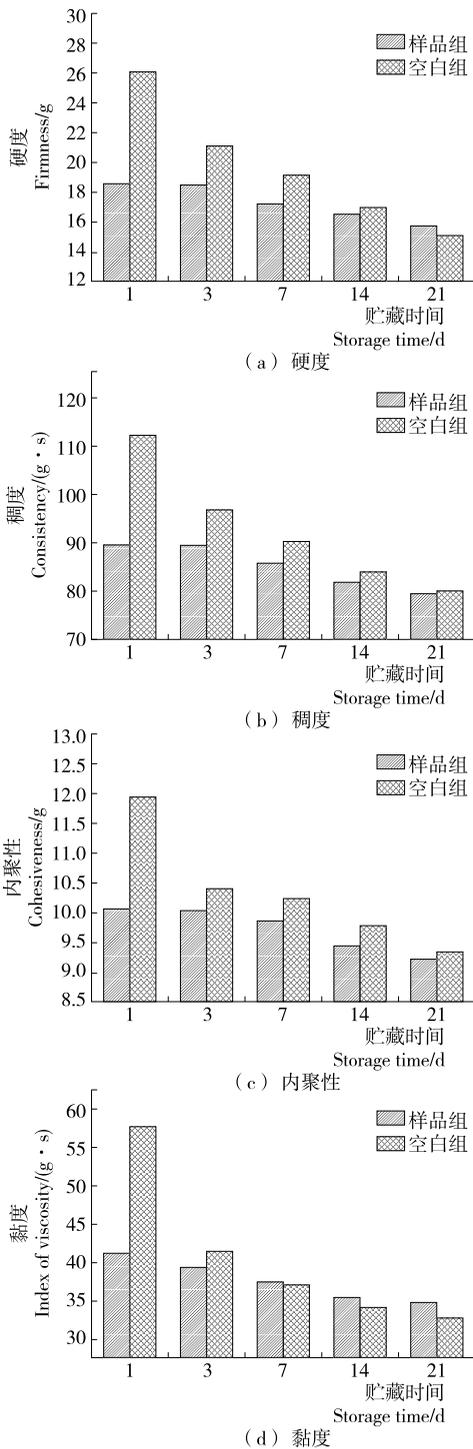


图8 马铃薯酸奶贮藏期间质构品质变化

Figure 8 Changes in texture of potato yogurt during storage

### 3 结论

本试验确定了马铃薯酸奶的制作工艺,试验结果表明,马铃薯酸奶的最佳发酵工艺为菌粉添加量 0.02%、发酵温度 41 °C、发酵时间 4.5 h;最佳搅拌工艺为马铃薯浆

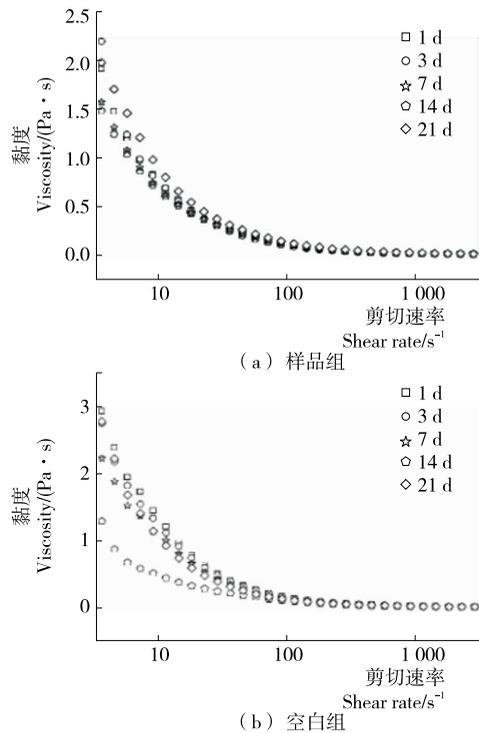


图9 马铃薯酸奶贮藏期间流变变化

Figure 9 Rheological changes of potato yogurt during storage

添加量 25.5%、搅拌速度 90 r/min、搅拌时间 25 min。通过对马铃薯酸奶在贮藏期间的理化品质进行研究,发现马铃薯酸奶具有良好的贮藏稳定性,值得开发,为马铃薯的食用开辟了新途径。在实际生产过程中,环境条件与试验误差不同,发酵、搅拌工艺的影响因素也更为复杂,后续可考虑将工艺参数进行细化,如控制搅拌时的温度,转子的不同型号等;还可从不同分子水平如微生物水平进行探讨。

### 参考文献

- [1] 丁声俊. 探索不同于谷物的马铃薯主粮化路径(一)[J]. 黑龙江粮食, 2015, 24(7): 14-15.
- [2] 王慧君. 马铃薯蒸馏酒生产工艺研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015: 7-8.
- [3] 王迎. 菜用马铃薯咸菜的加工工艺及其品质控制研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2013: 6-7.
- [4] 曾文杰. 马铃薯发酵制柠檬酸工艺研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013: 32-33.
- [5] 卜坚珍, 于立梅, 曾晓房, 等. 榴莲果酒发酵工艺优化及其香气成分分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 184.
- [6] 王芳. 内源乳化法制备海藻酸钙微球及其固定化果胶酶研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016: 38-39.
- [7] 谭莎莎. 复配魔芋寡糖在不同发酵体系中的应用评估[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015: 45-46.

(下转第 178 页)

- 特征及其营养成分比较[J]. 中国野生植物资源, 2018, 37(1): 31-36.
- [11] CUI Li-wei, ZHAO Jia-ting, CHEN Jiu-yu, et al. Translocation and transformation of selenium in hyperaccumulator plant *Cardamine ensiensis* from Enshi, Hubei, China[J]. *Plant and Soil*, 2018, 425(1): 577-588.
- [12] 曹斌. 恩施碎米荃含硒蛋白分离提取、初步纯化、体外抗氧化活性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016: 35-51.
- [13] YUAN Lin-xi, ZHU Yuan-yuan, LIN Zhi-qing, et al. A novel selenocystine-accumulating plant in selenium-mine drainage area in enshi, china [J]. *Plos One*, 2013, 8(6): e65615.
- [14] 吕昊. 含硒蛋白运动补剂缓解运动性疲劳作用研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(21): 172-175.
- [15] 刘坤媛, 田秀丽, 秦治国. 壶瓶碎米荃中含硒蛋白结构特性及其缓解运动性疲劳的作用[J]. 食品科学, 2015, 36(9): 160-165.
- [16] 包怡红, 王芳, 王文琼. 大豆多肽硒螯合物的制备及抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2013, 34(16): 27-32.
- [17] 圣志存, 吴双, 王安平, 等. 珊瑚菌子实体和菌丝体营养成分与抗氧化活性的比较[J]. 现代食品科技, 2018, 34(5): 62-67, 40.
- [18] 董竹平, 李超, 扶雄. 不同品种辣木叶多糖的理化性质和抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2018, 34(1): 38-44.
- [19] 孙雪萍, 徐艳, 刘布鸣, 等. 沙虫蛋白酶解产物抗氧化与免疫调节活性的研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(4): 67-72.
- [20] 孙亚男, 李文香, 胡欣蕾, 等. 杏鲍菇多肽提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 144-149.
- [21] 王梅, 张红香, 邹志辉, 等. 原子荧光光谱法测定富硒螺旋藻片中不同形态、价态的硒[J]. 食品科学, 2011, 32(6): 179-182.
- [22] 姚昭, 李红艳, 张云龙, 等. 有机硒、无机硒、V<sub>E</sub>单独使用及有机硒与 V<sub>E</sub>联用对大鼠体内抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 272-276.
- [23] 郑时莲, 潘瑶, 张云龙, 等. 不同形态硒、维生素 E、紫萝卜提取物体外抗氧化协同作用研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 86-90.
- [24] 李改平, 刘子川, 王梦亮. 有机硒和无机硒对小鼠抗氧化作用比较研究[J]. 山西中医学院学报, 2001, 2(3): 19-21.
- [25] ZHANG Zhong-hao, WU Qiu-yan, CHEN Chen, et al. Comparison of the effects of selenomethionine and selenium-enriched yeast in the triple-transgenic mouse model of Alzheimer's disease[J]. *Food and Function*, 2018, 9(7): 3 965-3 973.
- [26] 黄延盛, 吴小勇, 宁初光, 等. 富硒大豆蛋白的酶解及抗氧化性能研究[J]. 中国食品工业, 2013(8): 63-66.

(上接第 126 页)

- [35] XIA Xiu-fang, KONG Bao-hua, LIU Qian, et al. Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze-thaw cycles[J]. *Meat Science*, 2009, 83(2): 239-245.
- [36] HANSEN E, JUNCKER D, HENCKEL P, et al. Oxidative stability of chilled pork chops following long term freeze storage[J]. *Meat Science*, 2004, 68(3): 479-484.
- [37] BENJAKUL S, BAUER F. Biochemical and physicochemical changes in catfish (*Silurus glanis* Linne) muscle as influenced by different freeze-thaw cycles[J]. *Food Chemistry*, 2001, 72(2): 207-217.
- [38] FERNANDEZ-SEGOVIA I, ESCRICHE I, FUENTES A, et al. Microbial and sensory changes during refrigerated storage of desalted cod (*Gadus morhua*) preserved by combined methods[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2007, 116(1): 64-72.
- [39] 付湘晋. 白鲢鱼脱腥及其低盐鱼糜制备的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 38-51.

(上接第 151 页)

- [8] 赫君菲. 建立凝固型酸奶质构参数对感官性质的预测模型[D]. 扬州: 扬州大学, 2013: 19-20.
- [9] 雷勇刚. 大豆酸奶流变学特性及微观结构的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013: 3-4.
- [10] 白卫东, 沈颖, 刘晓艳, 等. 响应面优化荔枝酒混菌发酵工艺的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2013, 12(1): 58-59.
- [11] 陈龙飞, 王敏, 范柳萍, 等. 响应面法优化玛咖全粉直接压片法研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 173-174.
- [12] 黄达明, 张雪, 管国强, 等. 响应面法优化混菌发酵豆粕的条件研究[J]. 食品工业科技, 2014, 15(13): 226-227.
- [13] 陈杰华, 蒋益虹, 王颖滢, 等. 酶法生产紫马铃薯饮料的工艺研究[J]. 中国食品学报, 2012, 31(4): 1-62.
- [14] 杨莹莹. 凝固型紫甘薯酸奶发酵工艺优化及质构特性和风味的研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2013: 20-21.
- [15] 王微. 凝固型原味酸奶质地及微观结构的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007: 17-18.
- [16] 林海知. 凝固型酸豆乳品质改良及冷藏稳定性研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011: 58-61.
- [17] 范瑞, 许静, 顾宗珠, 等. 酸乳货架期内理化特性的研究[J]. 中国乳品工业, 2008, 36(8): 26-29.
- [18] 李全阳, 夏文水. 酸乳流变学特性的初步研究[J]. 食品与发酵工业, 2003, 27(12): 35-39.