

# 黑米风味酸奶发酵工艺的优化研究

周辉<sup>1</sup>, 戴国伟<sup>1</sup>, 于瑶瑶<sup>2</sup>, 耿辽宁<sup>1</sup>, 王向丽<sup>1</sup>, 赵艳锋<sup>1</sup>, 成堃<sup>2</sup>

1. 山东韵味达餐饮服务有限公司 山东 滨州 256500 2. 齐鲁理工学院 化学与生物工程学院 山东 济南 250200

作者简介: 周辉, 学士, 工程师; 研究方向: 发酵食品

通讯作者: 成堃, 副教授; 研究方向: 工业微生物遗传育种, 发酵食品

**摘要:**以黑米、白砂糖、鲜牛奶为原料, 分别采用单因素试验、响应面法优化了黑米风味酸奶的配方和发酵工艺条件。黑米经煮熟、打浆制成黑米浆。黑米风味酸奶的配方为每 100 mL 鲜牛奶中添加黑米浆 10 mL、白砂糖 7 g; 按 10% 的接种量接种母发酵剂, 于 40 °C 发酵 7.9 h。发酵的黑米风味酸奶具有清新的米香和良好的口感, 各项指标均符合国家标准。

**关键词:** 黑米; 风味酸奶; 响应面法

谷物作为中国人的传统主食, 在膳食中具有重要地位。黑米是谷物中的珍贵品种, 在我国具有悠久的种植历史。与其他主粮相比, 黑米中除了含有蛋白质、淀粉、胡萝卜素、磷、钙、镁、钾、铜、锌等矿物质元素, 还含有花青素、酚类等特殊营养成分<sup>[1]</sup>。经常食用黑米熬制的米粥, 滋阴补肾, 养肝明目, 美容抗衰, 有助于改善肠道健康。但由于黑米的营养成分多存在于黑色皮层中, 所以黑米不宜精加工。

风味酸奶以丰富的营养、可口的味道和调节肠道微生物等生理功能备受消费者青睐, 目前, 市售风味酸奶以水果风味型为主。随着风味酸奶的进一步研发, 风味酸奶的生产原料、种类更加丰富多样, 如啤酒糟酸奶<sup>[2]</sup>、红酒酸奶<sup>[3]</sup>、红茶酸奶<sup>[4]</sup>、紫淮山药板栗酸奶<sup>[5]</sup>、黄精红枣酸奶<sup>[6]</sup>等。同时, 以谷物为原料生产的酸奶也日益增多, 如黑小麦芽酸奶<sup>[7]</sup>、小米酸奶<sup>[8]</sup>、绿豆酸奶<sup>[9]</sup>等。

该研究以黑米为原料, 经工艺优化制成黑米风味酸奶, 克服了黑米粗糙、不易消化吸收的缺陷, 扩大了黑米的综合利用范围, 对黑米的开发具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

新鲜牛奶由山东省滨州市某畜牧养殖场提供; 白砂糖、黑米、酸奶发酵菌粉(佰生优)购自超市。

### 1.2 仪器与设备

SP16S-1000 型静音破壁机: 浙江绍兴苏泊尔生活电器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 黑米风味酸奶发酵工艺流程

黑米风味酸奶的发酵工艺流程见图 1。



牛奶 → 配料(黑米浆, 白砂糖) → 预热, 均质 → 灭菌(90 °C, 20 min) → 冷却(室温)  
→ 接种 → 发酵 → 后熟(4 °C, 12 h) → 成品

图 1 黑米风味酸奶的发酵工艺流程

### 1.3.2 操作要点

#### (1) 黑米浆的制备

称取 50g 黑米, 加入 200mL 水, 加热煮沸至黑米熟, 继续熬煮至米汤被黑米全部吸收。加入 200 mL 水, 倒入破壁机打浆。

#### (2) 母发酵剂的制备

1000 mL 三角瓶中分装 500mL 新鲜牛奶, 于 115 °C 保温 10min。冷却至室温, 加入 1g 酸奶发酵菌粉, 摇匀, 42 °C 发酵 5h 作为母发酵剂。

### 1.3.3 单因素试验

以感官评分为评价指标, 采用单因素试验研究黑米浆添加量 (5%、10%、15%、20%、25%)、白砂糖添加量 (1%、3%、5%、7%、9%)、母发酵剂接种量 (5%、10%、15%、20%、25%)、发酵温度 (38 °C、40 °C、42 °C、44 °C、46 °C)、发酵时间 (6h、7h、8h、9h、10h) 对黑米风味酸奶质量的影响。

### 1.3.4 响应面优化试验

选择母发酵剂接种量 (A)、发酵温度 (B)、发酵时间 (C) 为自变量, 以感官评分 (Y) 为响应值, 进行发酵工艺条件的响应面优化试验 (表 1)。

水平	A 母发酵剂接种量 /%	B 发酵温度 / °C	C 发酵时间 /h
-1	5	38	7
0	10	40	8
1	15	42	9

表 1 黑米风味酸奶发酵工艺优化响应面试验因素与水平

### 1.3.5 黑米风味酸奶的质量指标

#### (1) 黑米风味酸奶的感官质量品评

黑米风味酸奶的感官质量品评评分标准见表 2。由本校师生和企业生产、技术人员共 10 人对黑米风味酸奶进行品评、打分, 结果取平均值。

表 2 黑米风味酸奶感官质量品评评分标准

评价指标	评价标准	分值
色泽 (20 分)	深紫色或乳白色	0~6
	紫色或灰白色	7~13
	淡紫红色	14~20
组织状态 (30 分)	奶液稀薄或有大量乳清析出, 粘度差	0~10
	质地较均匀, 粘度较适中, 或似米糊状, 或有少量乳清析出	11~20
	质地均匀光滑, 粘度适中, 无乳清析出	21~30
口感 (30 分)	口感差, 有杂质, 酸味或甜味重	0~10
	口感似米糊, 酸味与甜味不协调	11~20
	口感细腻, 酸甜适中	21~30
风味 (20 分)	无黑米香味, 奶香明显	0~6
	黑米香味淡, 发酵乳香较淡	7~13
	发酵乳香浓郁, 与黑米香味协调	14~20

(2) 黑米风味酸奶其他指标的检测参考国家标准<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑米浆添加量对黑米风味酸奶质量的影响

黑米浆添加量为 5% 时, 颜色似灰色; 黑米浆添加量为 10%、15% 时, 呈现淡紫色; 黑米浆添加量为 20%、25% 时, 颜色呈紫色, 反而不如 10%、15% 的颜色好。从组织状态上看, 所有添加了黑米浆的风味酸奶均无分层和乳清析出的现象; 但是黑米浆本身就较黏稠, 当添加量超过 10% 后, 风味酸奶口感似米糊状, 说明黑米浆添加量过高。感官评分如图 2 所示, 根据感官评分的结果, 最终确定黑米浆的添加量为 10%。



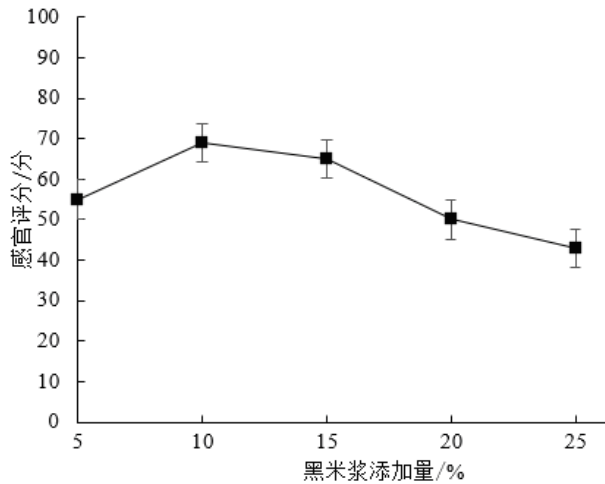


图 2 黑米浆添加量对黑米风味酸奶质量的影响

### 2.2 白砂糖添加量对黑米风味酸奶质量的影响

黑米风味酸奶质量差异的主要体现之一是口感。白砂糖添加量低于5%时(1%、3%、5%),风味酸奶口感酸,感官评分总体均低于80分;特别是添加量为1%时,口感项评分仅为12分。白砂糖的添加量为7%时,风味酸奶酸甜可口,感官评分最高;当白砂糖添加量达到9%时,发酵出的风味酸奶太甜,口感项评分为13分,感官评分为71分,如图3所示。综合比较,最终确定白砂糖的添加量为7%。

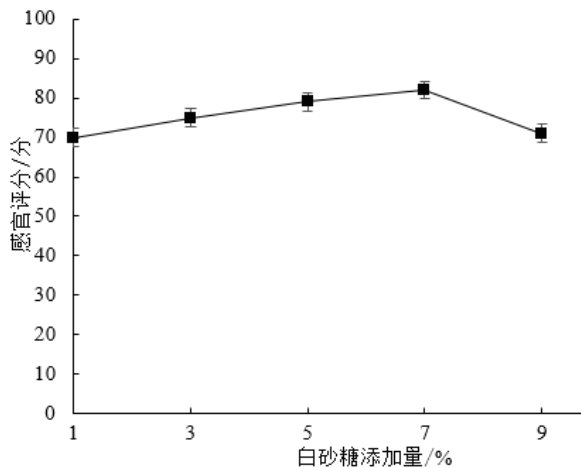


图 3 白砂糖添加量对黑米风味酸奶质量的影响

### 2.3 母发酵剂接种量对黑米风味酸奶质量的影响

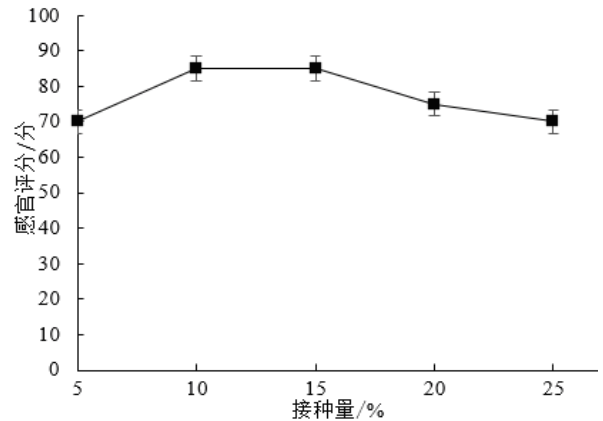


图 4 母发酵剂接种量对黑米风味酸奶质量的影响

母发酵剂接种量为10%、15%时,酸奶感官质量最高且没有明显差异,感官评分均为85分(如图4所示);接种量较低时(如5%),酸奶发酵延滞期长,酸度低,酸奶口感偏甜;接种量高于15%(如20%、25%)时,延滞期缩短,酸奶的酸度比接种量为5%时的高,口感酸,同时有乳清析出,稳定性差。综合四项评价指标以及生产成本,最终确定母发酵剂接种量为10%。

### 2.4 发酵温度对黑米风味酸奶质量的影响

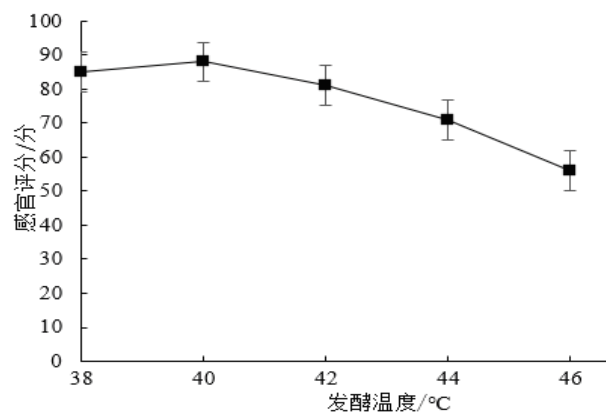


图 5 发酵温度对黑米风味酸奶质量的影响

当发酵温度为38°C、40°C时,风味酸奶口感差异不显著,但是40°C发酵的酸奶比38°C的质地更均匀,组织

状态一项评分达到 27 分, 感官评分为 88 分; 当发酵温度超过 40℃时, 酸奶开始有乳清析出, 特别是 46℃发酵出的酸奶, 有大量乳清析出, 品尝时口中有颗粒状蛋白沉淀, 组织状态一项评分仅为 10 分, 感官评分为 56 分, 如图 5 所示。因此, 确定发酵温度为 40℃。

### 2.5 发酵时间对黑米风味酸奶质量的影响

当发酵时间不足 7h 时, 酸奶黏度差, 有明显的牛奶味; 当发酵 8h 时, 酸奶的感官质量评价最好; 当发酵时间超过 8h(如 9h、10h)时, 酸奶口味偏酸, 感官质量变差, 感官评分情况如图 6 所示。因此, 确定发酵时间为 8h。

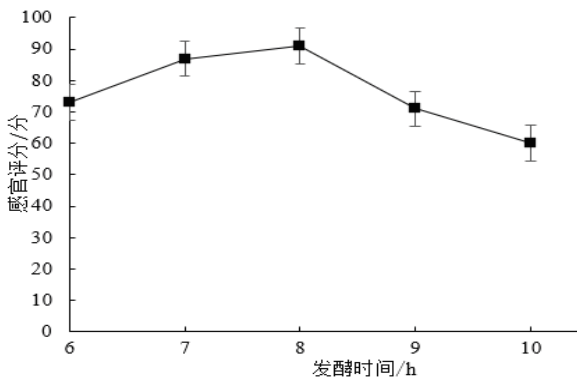


图 6 发酵时间对黑米风味酸奶质量的影响

### 2.6 响应面法优化工艺条件

#### 2.6.1 响应面法试验设计与结果

利用 Design-Expert 8.0.6 软件设计了 3 因素 3 水平响应面法试验组, 试验设计与结果见表 3。

表 3 黑米风味酸奶发酵工艺优化响应面法试验设计与结果

实验号	A	B	C	感官评分 / 分
1	0	0	0	91
2	0	0	0	90
3	0	1	1	75
4	0	1	-1	87
5	-1	0	1	77
6	0	-1	1	78
7	1	1	0	77

8	0	0	0	89
9	-1	1	0	81
10	-1	0	-1	66
11	0	0	0	91
12	1	0	-1	77
13	1	-1	0	80
14	0	0	0	92
15	0	-1	-1	70
16	1	0	1	71
17	-1	-1	0	67

#### 2.6.2 模型的建立及方差分析

通过软件分析, 得到响应值 (Y) 与因素 A、B、C 编码值的回归方程为:

$$Y = 90.60 + 1.75A + 3.13B + 0.12C - 4.25AB - 4.25AC - 5.00BC - 9.55A^2 - 4.80B^2 - 8.30C^2$$

显著性检验和方差分析结果见表 4。

表 4 多元回归模型方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1200.49	9	133.39	50.61	< 0.0001	**
A	24.50	1	24.50	9.30	0.0186	*
B	78.13	1	78.13	29.64	0.0010	**
C	0.13	1	0.13	0.047	0.8338	
AB	72.25	1	72.25	27.41	0.0012	**
AC	72.25	1	72.25	27.41	0.0012	**
BC	100.00	1	100.00	37.94	0.0005	**
A2	384.01	1	384.01	145.70	< 0.0001	**
B2	97.01	1	97.01	36.81	0.0005	**
C2	290.06	1	290.06	110.05	< 0.0001	**
残差	18.45	7	2.64			
失拟项	13.25	3	4.42	3.40	0.1341	
纯误差	5.20	4	1.30			
总变异	1218.94	16				
$R^2(\text{adj}) : 0.9654 \quad CV : 2.03\%$						

注: “\*\*\*” 表示差异极显著 (P < 0.01)。

系数 ( $R^2(\text{adj})=0.9654$ ) 和变异系数 ( $CV=2.03\%$ ) 可以确定黑米风味酸奶的发酵工艺能够根据该回归方程预测<sup>[11]</sup>。由 F 值知, 三因素对黑米风味酸奶感官评分的影响程度为  $B(F=29.64) > A(F=9.30) > C(F=0.047)$ 。

### 2.6.3 响应面分析与最优工艺验证

以感官评分为响应值的各因素的响应曲面图和等高线图, 见图 7。A 与 B、A 与 C、B 与 C 的椭圆度都很大, 椭圆度越大, 说明因素间的交互影响越显著; 由图 7 知, B 与 C 的交互影响最显著。

通过软件分析得到三因素的最优值分别为 A 10.17%, B 40.74 °C, C 7.89 h, 感官评分预测值为 91.2 分。调整三因素的最优值分别为 10%、40°C、7.9h, 以便于实际操作。经验证, 黑米风味酸奶的感官评分为 91 分, 说明最优发酵工艺条件可靠。

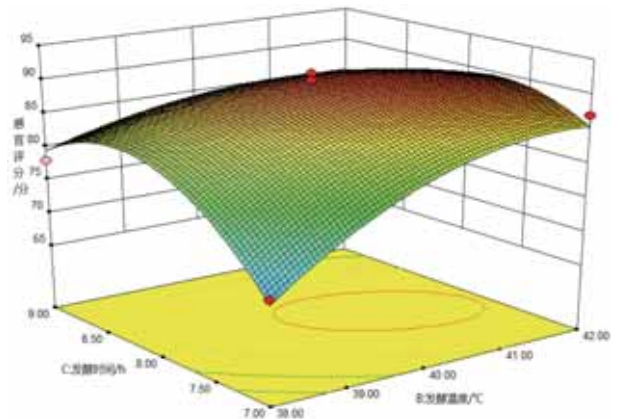
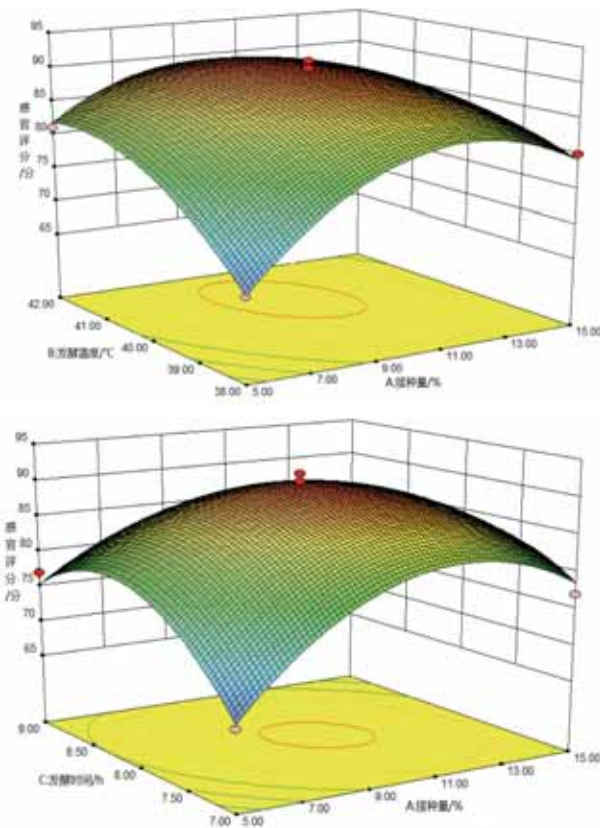


图 7 因素间的交互作用对黑米风味酸奶感官评分影响的响应面和等高线



## 2.7 产品指标

黑米风味酸奶的质量指标见表 5。

表 5 黑米风味酸奶的质量指标

感官指标	
项目	结果
色泽	淡紫红色
组织状态	黏度适中, 无乳清析出
口感	酸甜适中
风味	带有清新的米香
理化指标	
蛋白质/(g/100g)	3.1
脂肪/(g/100g)	3.7
酸度/(°T)	77
微生物指标	
乳酸菌数(CFU/mL)	$2.7 \times 10^6$
大肠菌群(CFU/mL)	-
金黄色葡萄球菌(CFU/mL)	-
沙门氏菌(CFU/mL)	-
霉菌(CFU/mL)	-
酵母(CFU/mL)	-

注: “-”表示未检出

(下转 98 页)

[13] 邱保方. 酿造水对低度啤酒质量的影响——诠释红石梁的酿造用水[J]. 酿酒, 2006(04):57-60.

[14] 申慧军, 仲白莹. 淡色啤酒酿造用水的选择与改良[J]. 啤酒科技, 2004(07):41.

[15] 张与红. 钙离子在啤酒生产中的作用与控制[J]. 啤酒科技, 2003(02):11-12.

[16] 李立东. 水对啤酒质量的影响及处理[J]. 啤酒科技, 2002(12):30-32.

[17] 李冬梅. 酿造用水对啤酒安全和质量的影响[J]. 啤酒科技, 2002(10):59-60.

[18] 范大雨. 啤酒酿造用水[J]. 啤酒科技, 2001(12):6-8.

[19] Wolfgang Winkler. 现代啤酒厂的酿造用水[J]. 中国食品工业, 2000(06):40-41.

[20] 王加春. 钙离子在啤酒酿造中的作用及其含量测定[J]. 工业微生物, 1999(03):40-43.

[21] Brewing Chemistry; Findings from West Chester University in Brewing Chemistry Reported (Influence of Strike Water Alkalinity and Hardness on Mash pH)[J]. Chemicals & Chemistry, 2015.

[22] 盛梅斌. 简述残余碱度的两种计算方式[J]. 啤酒科技, 2012(08):37-38.

[23] 陈涛. 水中离子的增酸降酸作用对酿造的影响[J]. 啤酒科技, 2011(02):33-34.

[24] deLange A. J.. Alkalinity, Hardness, Residual Alkalinity and Malt Phosphate: Factors in the Establishment of Mash pH[J]. ChemInform, 2005, 36(47).

### (上接92页) 3 结论

通过单因素试验、响应面法试验优化了黑米风味酸奶的配方和发酵工艺条件, 发酵出的黑米风味酸奶口感丝滑, 米香清新, 相关质量指标均符合国家标准。黑米风味酸奶提高了黑米和牛奶的营养价值, 为黑米的综合利用、风味酸奶的种类开发提供了新途径。■

### 参考文献

[1] 熊艳珍, 黄紫萱, 马慧琴, 等. 黑米的营养功能及综合利用研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 408-415.

[2] 王然. 啤酒糟酸奶的研制[J]. 中国酿造, 2018, 37(12): 204-207.

[3] 阮雁春, 冯印. 响应面法优化红酒酸奶的制作工艺[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(23): 112-116.

[4] 于楠楠, 张文莉, 戴晓娟, 等. 燕麦红茶酸奶加工工艺的研究[J]. 中国食品添加剂, 2019(12): 125-130.

[5] 方立辉, 程来, 谢三都. 紫淮山药板栗酸奶的研制[J]. 食

品工业, 2021, 42(3): 49-52.

[6] 王玉茜, 范宜雯, 张学新, 等. 响应面法优化黄精红枣酸奶的工艺配方[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(9): 67-74.

[7] 李楠, 郭佳丽. 黑小麦芽酸奶工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品工业, 2020, 41(8): 26-30.

[8] 贺莹. 响应面优化小米酸奶工艺优化[J]. 食品工业, 2019, 40(10): 19-22.

[9] 李海涛, 杜莹, 官俊峰, 等. 绿豆酸奶的研制[J]. 中国酿造, 2019, 38(1): 183-187.

[10] 中华人民共和国卫生部 GB19302—2010 发酵乳[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

[11] 成堃, 袁雪娇, 高星, 等. 响应面法优化金银花枸杞风味酸奶的发酵工艺[J]. 中国酿造, 2020, 39(2): 206-210.

