

一种低脂型燕麦酸奶的制备

黄洁梅, 钟佳敏, 杨娟*, 张世奇

岭南师范学院食品科学与工程学院, 广东 湛江

收稿日期: 2023年6月6日; 录用日期: 2023年7月27日; 发布日期: 2023年8月8日

摘要

为制备一种具有一定的燕麦香味、口感适中且有一定减脂功效的酸奶, 以脱脂灭菌牛奶、燕麦麸皮粉作为主要原料; 发酵菌为嗜热链球菌和德氏乳杆菌保加利亚亚种, 加入木糖醇和甜菊糖苷低热量甜味剂。通过单因素试验和响应面试验来优化配方, 以感官评定为标准, 得出低脂型燕麦酸奶的最佳工艺配方: 发酵时间为6 h, 发酵菌种量为0.036%, 甜菊糖苷替代比例为30%, 燕麦麸皮粉添加量为3%, 发酵温度为42°C。

关键词

甜菊糖苷, 燕麦, 酸奶, 响应面

Preparation of a Low Fat Oat Yogurt

Jiemei Huang, Jiamin Zhong, Juan Yang*, Shiqi Zhang

College of Food Science and Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang Guangdong

Received: Jun. 6th, 2023; accepted: Jul. 27th, 2023; published: Aug. 8th, 2023

Abstract

In order to prepare a kind of yogurt with a certain amount of oatmeal, a moderate taste and a certain reduction of fat, the milk and the oats bran powder are the main ingredients. Fermentation bacteria are used as a plant of the bacillus bacillus, which is a low-heat sweetener for xylydine and sweet malxylydine. The optimal formula for the test and response of the test was evaluated, and the optimal process formula for low fat oatmeal yogurt was the optimal process: the fermentation time was 6 h, the fermentation bacteria was 0.036%, the replacement proportion of the sweet chrysanthemum glycoside was 30%, and the amount of oatmeal gluten was added to 3%, and the fermentation temperature was 42°C.

*通讯作者。

Keywords

Stevia, Oat, Yogurt, Response Surface

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高糖是引发高血糖、糖尿病等疾病的主要病因，从而导致人群逐步趋于肥胖，最终引发人类健康的重大公共卫生危机事件[1]。因此，营养专家号召大家减少糖类和脂肪的摄入。甜菊叶(*Stevia rebaudiana*)，也可称之为甜叶菊，现在被广泛种植[2]。甜菊糖苷是一种提取自甜叶菊的零热量新型天然甜味剂，与甜菜糖、甘蔗糖一起被称为“世界三大糖源”[3]。甜菊叶的糖苷是多种糖苷混合而成的物质，它们均具有相同结构骨架以及苷元甜菊醇，唯一不同之处在于不同的苷键上结合的糖种类和数量[4][5]。甜菊糖苷拥有高甜度和低热量的特性，它的甜度大约是300倍蔗糖甜度，但它的热量却只为蔗糖的1/300[6]。甜菊糖苷具有降血糖、降血压、抑菌抗炎、提高免疫力、抗氧化、抗肿瘤等功效[7]。燕麦(*Avena sativa*)，一种典型的禾本科植物，又被称为莜麦、雀麦，主要类型有：带稃型(皮燕麦)和裸粒型(裸燕麦)。燕麦在世界各地被广泛种植，也是一种在中国具有2100多年历史的主要杂粮作物[8]。燕麦是低糖、高营养、高能量的食品[9]。燕麦中富含多种功能性成分，主要包括：可溶性 β -葡聚糖、蛋白质、钙、矿物质、生物碱、燕麦皂苷等[10]，在这些物质中， β -葡聚糖被公认是一种具有降脂作用的物质[11]，能够改善肠道菌群，对抗疲劳、降糖、降脂、预防结肠癌、增强机体免疫力具有重大作用[12]。

近几年，酸奶在全球范围内发展迅速，受到广大消费者的喜爱，产品种类越来越多，销售量也越来越大。酸奶具有丰富的保健功能，其中包括解酒、抗氧化、减肥、减轻乳糖不耐受、通便、对砷毒性的缓解作用、富含锌以及清热解暑等功效[13]。此外，酸奶还具有减少胆固醇的吸收、调节肠道菌群、促进胃肠蠕动、增强人体免疫力、容易被消化吸收、改善肠道健康等作用[14][15]。由于在制作加工全脂酸奶时，一般加入了7%~10%的蔗糖，所以它不但会给人体带来更多的热量，而且还会引发牙齿的龋齿[16]。试验以新型甜味剂甜菊糖苷和木糖醇来取代蔗糖，并采用脱脂灭菌牛奶作为原料乳，加入燕麦谷物，确定最优生产工艺配方，以期进一步研制一种健康减糖降脂型酸奶，拓宽酸奶市场。

2. 材料与设备

脱脂灭菌纯牛奶(青岛新希望琴牌乳业有限公司)；型号为YO-MIX PRIME 900 LY0 200 DCU复合菌种，成分为嗜热链球菌种和德氏乳杆菌保加利亚亚种(丹尼斯克中国有限公司)；燕麦麸皮粉(张家口华盛粮油加工有限公司)；木糖醇(安徽蜀健药业有限公司)；甜菊糖苷(曲阜制药有限公司)。

LPH-250F生化培养箱，上海一恒科学仪器有限公司；PHS-3C雷磁pH计，上海精密科学仪器有限公司。

3. 试验方法

研究的试验方法主要包括工艺流程和单因素实验设计，具体内容如下。

3.1. 工艺流程

工艺流程包括制作工艺和操作要点，具体内容如下。

3.1.1. 制作工艺

甜菊糖苷、木糖醇

↓

(1) 脱脂灭菌牛奶→预热(40℃~50℃)→混合搅拌→冷却→接种(42℃)→发酵→冷藏→后熟

(2) 燕麦麸皮粉

(1) + (2)→调配搅匀→成品

3.1.2. 操作要点

1) 称量：量取 100 mL 纯牛奶置于 150 mL 锥形瓶中，分别称量一定量的复配乳酸菌种，木糖醇和甜菊糖苷。

2) 预热：把牛奶放置于万用电炉上加热至 45℃~50℃。

3) 调配：将一定量的木糖醇、甜菊糖苷按一定比例混合，跟预热好的牛奶充分搅拌混合均匀。

4) 冷却：混合均匀的物料冷却至约 42℃，用灭菌的温度计测量其温度。

5) 接种：在无菌环境下，按照配方加入发酵剂并搅拌溶解。先取少量牛奶溶解复合乳酸菌发酵剂。需要注意容器需充分灭菌，防止存在其它非需要菌群污染。灌装封口：将上步骤中接种完成后的牛奶灌装到经过消毒的玻璃容器剩余牛奶中，用密封性良好的保鲜膜对锥形瓶进行密封。灌装量为 90%，不可过量。

6) 发酵：将灌装封口好的牛奶放入固定温度的恒温发酵箱中发酵，使酸奶达到凝固状态。

7) 冷藏后熟：把发酵完成的酸奶放进 4℃ 的冰箱中进行冷藏，在低温状态下，对乳酸菌的生长进行快速有效的抑制，降低其酶活性，避免过量产酸；同时还可以提高酸奶的质量，使酸奶变得清爽可口。后熟可以改善酸奶的口感和硬度，促进产生香味物质，提高酸奶风味。香味物质产生的最大释放时间一般是在制成后 4 个小时左右，通常在 12~24 小时完成。

8) 燕麦调配：冷藏后熟完毕的酸奶加入燕麦麸皮粉，充分搅拌均匀即可食用。

3.2. 单因素试验设计

单因素试验设计包括发酵时间对酸奶品质的影响、发酵菌种添加量对酸奶品质的影响和甜菊糖苷替代比例对酸奶品质的影响，具体内容如下。

3.2.1. 发酵时间对酸奶品质的影响

在发酵时间单因素实验中，固定脱脂灭菌牛奶添加量 100 mL，参照杨洋[17]和张蕴哲等[18]控制总糖量为 8%，其中木糖醇添加量为总糖量的 50%，甜菊糖苷为总糖量的 50%，0.036% 菌种接种量，在 42℃ 时分别发酵 4 h、5 h、6 h、7 h、8 h，于 4℃ 冰箱中冷藏 18 h，最后加入 3% 的燕麦麸皮粉进行调配搅拌，通过感官评价来判断酸奶的最佳发酵时间。

3.2.2. 发酵菌种添加量对酸奶品质的影响

在发酵菌种添加量单因素实验中，固定脱脂灭菌牛奶添加量 100 mL，总糖量为 8%，其中木糖醇添加量为总糖量的 50%，甜菊糖苷为总糖量的 50%，分别添加发酵菌种添加量 0.032%、0.034%、0.036%、0.038%、0.040%，在 42℃ 时发酵 6 h，于 4℃ 冰箱中冷藏 18 h，最后加入 3% 的燕麦麸皮粉进行调配搅拌，通过感官评价来判断酸奶的最佳发酵菌种添加量。

3.2.3. 甜菊糖苷替代比例对酸奶品质的影响

在甜菊糖苷替代比例单因素实验中，固定脱脂灭菌牛奶添加量 100 mL，总糖量为 8%，再分别加入木糖醇添加量为总糖量的 80%、70%、60%、50%、40%，甜菊糖苷为总糖量的 20%、30%、40%、50%、

60%，再添加 0.036% 复合乳酸菌种，在 42℃ 时发酵 6 h，于 4℃ 冰箱中冷藏 18 h，最后加入 3% 的燕麦麸皮粉进行调配搅拌，通过感官评价来判断酸奶的最佳甜菊糖苷替代比例。

3.3. 响应面优化试验设计

由于燕麦麸皮粉仅作为辅料在酸奶发酵结束后添加进行调配搅拌，对酸奶发酵影响较小，因此不作为考察因素。参照于楠楠等[19]和王丽爽等[20]的研究试验，最终确定燕麦麸皮粉添加量为 3%。在单因素试验的基础上，运用 Box-Behnken 中心组合设计原理，将发酵时间、发酵菌种添加量、甜菊糖苷替代比例作为考察因素(X)，将低脂发酵酸奶感官评分(Y)作为响应值，运用 Design Expert 13 软件进行 3 因素 3 水平的响应曲面优化，构建数学模型，以期得到甜菊糖苷低脂燕麦酸奶的最佳发酵工艺条件，响应面试验因素与水平见表 1。

Table 1. Factors and levels of response surface experiment for yogurt formula optimization

表 1. 酸奶配方优化响应面试验因素与水平

因素	编码	水平		
		-1	0	1
发酵时间/h	A	5	6	7
发酵菌种添加量/%	B	0.034	0.036	0.038
甜菊糖苷替代比例/%	C	20	30	40

3.4. 指标测定

指标测定包括产品 pH 的测定、酸奶持水力测定、酸奶乳清析出率的测定和感官评定标准，具体内容如下。

3.4.1. 产品 pH 的测定

用雷磁 pH 计测量产品的 pH 值。

3.4.2. 酸奶持水力测定

用量勺取出 5 mL 酸奶样品，用电子天平称量其重量，按照操作说明书，开启离心机，设置转速 3000 r/min 以及离心时间 10 min，离心机结束工作后，拿出离心管，轻放置于台面 10 min。倒除上层清液后，称量其质量，酸奶持水力按式(1)计算。

$$\text{持水力} = \frac{m}{m_0} \times 100\% \quad \text{式(1)}$$

式中： m 代表残余物的质量，g；

m_0 代表样品的质量，g。

3.4.3. 酸奶乳清析出率的测定

用量勺取出 5 mL 酸奶样品放入离心管中，用电子天平称量其重量，设置离心机转速 3000 r/min，离心时间 10 min，完成后将离心管静置台面 10 min 后，吸取上清液后称量其重量，酸奶乳清析出率按式(2)计算。

$$\text{持水力} = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad \text{式(2)}$$

式中： m_1 代表上清液质量，g； m_0 代表样品的质量，g。

3.4.4. 感官评定标准

本实验中甜菊糖苷低脂燕麦酸奶的感官评价采用评分检验法[21] [22]。按照 GB 19302-2010 酸牛乳感官评鉴细则中对评分人员规定的规定，选用 10 名专业人员组成感官评价小组，评分人员以甜菊糖苷低脂燕麦酸奶的组织状态、色泽、口感、风味 4 个方面为依据，对其进行评价，总分 100 分，按照表 2 的评分标准对产品打分，得出分数中按式(3)计算。

Table 2. Sensory evaluation standard of low-fat oat yogurt

表 2. 低脂型燕麦酸奶感官评定评分标准

项目	特征	得分/分
组织状态 (30 分)	组织结构好、均匀，可以有少量乳清析出，较粘稠	21~30
	组织结构较好、均匀，有乳清析出，较稀	11~20
	组织结构不均匀，有较多乳清析出，很稀	0~10
色泽 (30 分)	色泽均匀一致，呈乳白色或微黄色	21~30
	色泽较均匀，颜色较为暗淡	11~20
	色泽不均匀，有明显的分层现象	0~10
口感 (30 分)	口感细腻润滑，酸甜适中，无苦涩味，有轻微颗粒感	21~30
	口感较细腻润滑，酸味适中，略酸或略甜，稍有苦涩味	11~20
	口感粗糙，过酸或过甜，颗粒感过强	6~10
	口感异常	0~5
风味 (10 分)	浓郁的燕麦味，纯正的酸奶味	9~10
	微弱燕麦味，纯正酸奶味	6~8
	燕麦特征风味不够	3~5
	风味异常	0~2

3.5. 数据统计分析

采用 Excel 2016 和 SPSS 22.0 对实验数据进行数据处理及统计分析整理，使用和 Origin 2018 作图，利用 Design-Expert 13 进行响应面分析，所有试验数据都是 3 次平行实验结果的平均值，数据表示为($\bar{x} \pm SD$)形式。

4. 实验结果与讨论

实验结果分析包括单因素实验结果与分析和响应面优化结果分析，具体内容如下。

4.1. 单因素试验结果与分析

选取发酵时间、发酵菌种添加量和甜菊糖苷替代比例 3 个因素进行单因素试验，研究不同的因素对低脂燕麦酸奶感官评分的影响。

4.1.1. 发酵时间对酸奶品质的影响

在酸奶发酵的过程中，微生物会持续不断地产酸、产香，对酸奶最终的组织状态、风味影响挺大。由图 1 可以看出，酸奶的感官评分变化趋势随着其发酵时间的不断延长表现为先升后降的趋势变化。低脂燕麦酸奶的感官评分在发酵时间 6 h 时达到最高分(86.75 ± 0.46)分，且析出乳清最少，其组织形态最佳。

在发酵时间低于 6 h 时, 由于发酵时间不充足, 发酵不完全, 酸奶的质地较为稀释, 且酸奶香味不够浓郁, 口感整体偏涩; 随着发酵时间的延长, 酸奶的凝固性逐渐增加, 最终呈半固态状, 并伴有少量乳清; 同时, 发酵时间越长, 其酸度整体会变弱, 但超过 6 h 时, 酸奶会析出较多乳清, 其整体组织结构越来越差。因此, 6 h 是最佳的发酵时间。

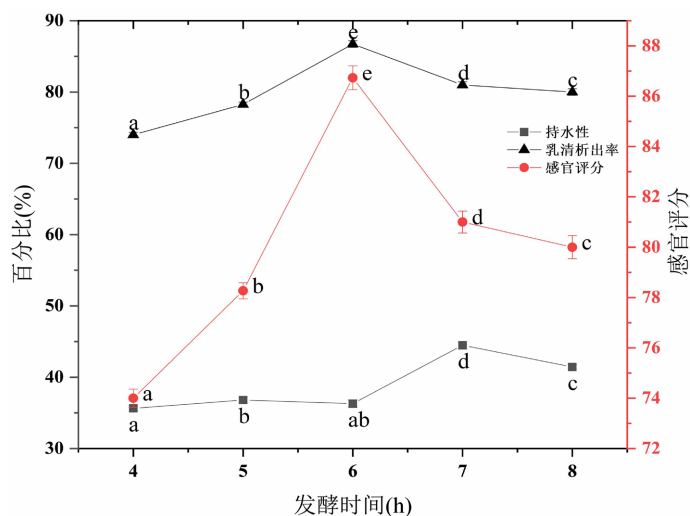


Figure 1. Influence of fermentation time on yogurt quality
图 1. 发酵时间对酸奶品质影响

4.1.2. 发酵菌种添加量对酸奶品质的影响

由图 2 可以看出, 随着复合乳酸菌种添加量的增加, 低脂燕麦酸奶品质的感官评分先增高后降低。当发酵菌种用量较少时, 在整个发酵过程中, 酸奶的组织结构较差, 产酸能力不强, 酸度降低。当菌种添加量为 0.036% 时, 可以形成有强烈酸奶风味, 无乳清析出, 口感细腻爽滑, 不会出现分层现象, 黏稠性好。但当发酵剂添加量大于 0.036% 时, 口感偏酸, 过于黏稠, 有乳清析出。故最佳发酵菌种添加量为 0.036%。

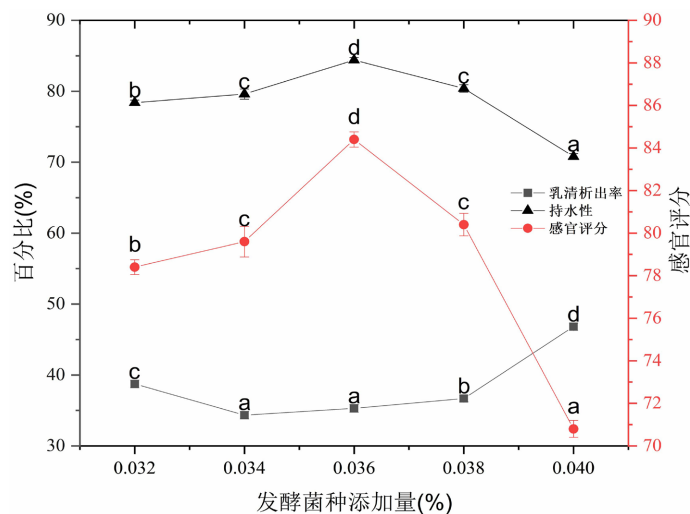


Figure 2. Influence of fermentation strain addition amount on yogurt quality
图 2. 发酵菌种添加量对酸奶品质的影响

4.1.3. 甜菊糖苷替代比例对酸奶品质的影响

由图3可知,当甜菊糖苷替代比例在20%~30%之间时,随着替代比例的增加,酸奶感官评分随之快速升高;在甜菊糖苷替代比为30%时评分达到最大值,为 (88.60 ± 0.32) 分;替代比例达到30%之后感官评分开始逐步下降。感官评分升高的原因可能是添加了甜菊糖苷增强了酸奶的风味和结构[23];感官评分下降是因为当甜菊糖苷替代比例达到一定值后,甜菊糖苷带有的淡淡薄荷醇的苦味和涩味[24]就会比较突出,同时还会产生后甜味,使得酸奶风味不佳,成品的组织状态也会变差,影响酸奶感官品质。故而甜菊糖苷最佳替代比例为30%。

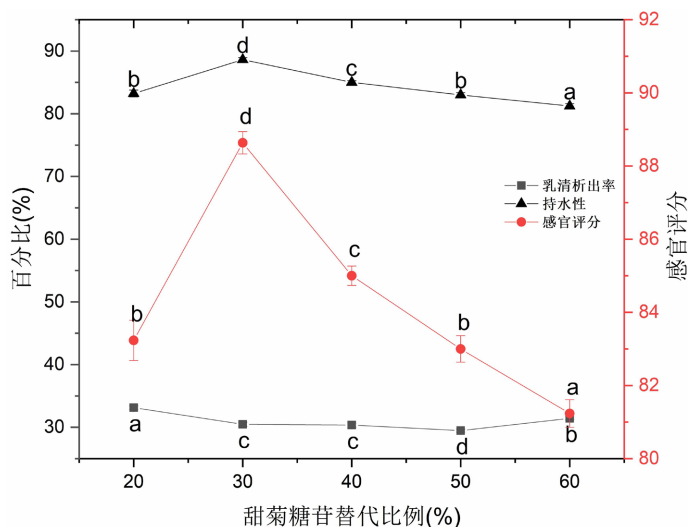


Figure 3. Influence of stevia substitution ratio on yogurt quality

图3. 甜菊糖苷替代比例对酸奶品质影响

4.2. 响应面优化结果分析

响应面优化结果分析包括响应面试验设计和结果、回归模型分析、响应面交互作用分析、最优配方的确定和验证试验,具体内容如下。

4.2.1. 响应面试验设计和结果

在单因素试验的基础上,固定燕麦麸皮粉添加量3%,总糖量8%,以发酵时间、发酵菌种添加量、甜菊糖苷替代比例为考察因素自变量(X),低脂燕麦酸奶感官评分(Y)为响应值,运用 Box-Behnken 中心组合设计,研究三个因素之间的交互作用对产品品质的影响,响应面试验结果如表3所示。

Table 3. Response surface test design and results

表3. 响应面试验设计和结果

序号	发酵时间 (A)/h	发酵菌种添加量(B)/%	甜菊糖苷替代比例(C)/%	感官得分(Y)/分
1	6	0.038	40	82.55
2	6	0.038	20	83.55
3	6	0.036	30	89.11
4	5	0.036	20	81.38

Continued

5	6	0.036	30	88.00
6	7	0.034	30	82.25
7	5	0.038	30	81.25
8	6	0.036	30	87.88
9	6	0.034	20	87.22
10	6	0.034	40	84.55
11	6	0.036	30	88.22
12	7	0.036	20	83.50
13	7	0.036	40	81.88
14	5	0.034	30	82.88
15	5	0.036	40	83.00
16	7	0.038	30	83.25
17	6	0.036	30	88.88

4.2.2. 回归模型分析

运用 Design-Expert 13 软件, 对表 4 的数据展开方差与显著性分析, 其结果见表 5。对此模型进行分析, P 值为 0.0007, 小于 0.05, 说明回归模型具有显著性; 失拟项的 P 值为 0.0678 大于 0.05, 不显著, 表明该模型符合实际情况, 说明对低脂型燕麦酸奶工艺条件的预测是合理可行的, 即在整个试验过程中不确定、不可控的因素对试验结果影响是比较小的, 方程对试验有较好的拟合性。该模型的相关系数 $R^2 = 0.9530$, 表明 Y 的变化有 95.30% 与 A、B、C 三个因素有关, 该模型的拟合程度好, 所产生的试验误差小, 可以用于低脂燕麦酸奶工艺条件的优化。另外, 从分析结果可以看出, A^2 为极显著, B、 B^2 为显著, A、C、AB、AC、BC 交互作用不显著。

根据表 4 的 F 值可知, 影响低脂燕麦酸奶品质的因素主次顺序为 $B > C > A$, 即发酵菌种添加量 $>$ 甜菊糖苷替代比例 $>$ 发酵时间, 即发酵菌种添加量对酸奶品质感官评分的影响最为显著。

对数据进行多项拟合, 得到回归方程: 感官得分 $Y = 88.42 + 0.2963A - 0.7875B - 0.4588C + 0.6575AB - 0.81AC + 0.4175BC - 4.02A^2 - 1.99B^2 - 1.96C^2$ 。

Table 4. Analysis of variance of response surface test regression equation

表 4. 响应面实验回归方程的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方 MS	F 值	P 值	显著性
模型	123.17	9	13.69	15.78	0.0007	**
A	0.7021	1	0.7021	0.8095	0.3982	
B	4.96	1	4.96	5.72	0.0481	*
C	1.68	1	1.68	1.94	0.2062	
AB	1.73	1	1.73	1.99	0.2008	
AC	2.62	1	2.62	3.03	0.1255	
BC	0.6972	1	0.6972	0.8038	0.3977	
A^2	68.01	1	68.01	78.41	<0.0001	***

Continued

B ²	16.70	1	16.70	19.25	0.0032	**
C ²	16.16	1	16.16	18.63	0.0035	**
残差	6.07	7	0.8674			
失拟项	4.88	3	1.63	5.44	0.0678	
纯误差	1.20	4	0.2989			
总和	129.24	16				

注: $P \leq 0.0001$, 表示高度显著, 用“***”表示; $P \leq 0.01$, 表示极显著, 用“**”表示; $P \leq 0.05$, 表示显著, 用“*”表示; $P > 0.05$, 表示不显著。

4.2.3. 响应面交互作用分析

运用 Design-Expert 13 进行分析, 得到低脂燕麦酸奶响应面分析图, 图 4~6 是交互因素对响应面值的响应曲面及等高线图。

发酵时间和发酵菌种添加量的交互作用见图 4。由图可以看出低脂燕麦酸奶的感官评分随着发酵时间和发酵菌种添加量的增多先上升后下降, 响应面等高线图接近于圆形, 说明发酵时间和发酵菌种添加量的交互作用不太显著。发酵菌种添加量的变化趋势快于发酵时间, 说明发酵菌种添加量比发酵时间对酸奶感官评分的影响更为显著。

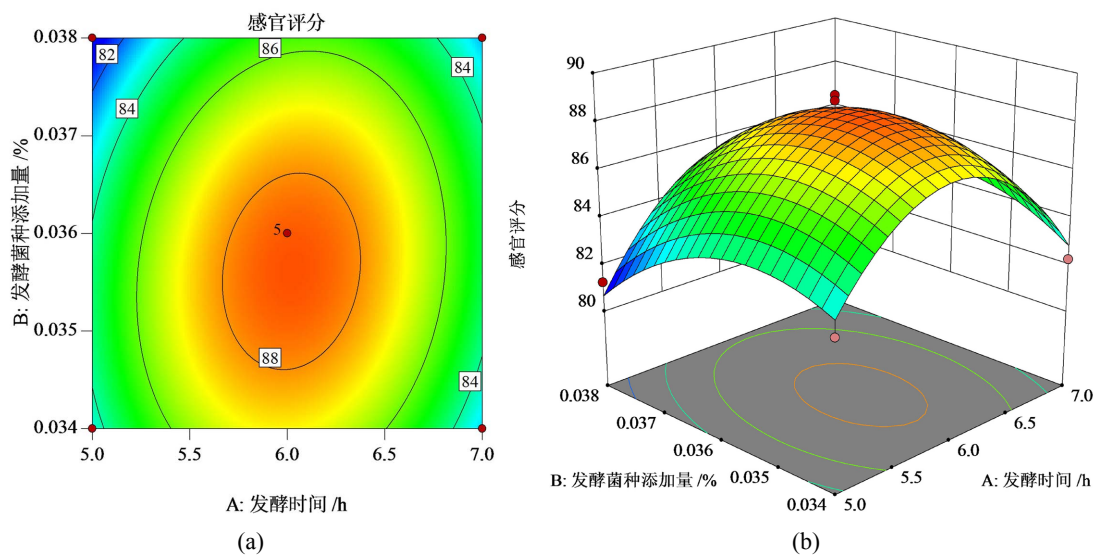


Figure 4. The three-dimensional surface diagram and contour map of the effect of the fermentation time and fermentation bacteria addition on sensory evaluation of yoghurt

图 4. 发酵时间和发酵菌种添加量对酸奶感官评价影响的三维曲面图和等高线图

发酵时间和甜菊糖苷替代比例的交互作用见图 5。由图可以看出低脂燕麦酸奶的感官评分随着发酵时间和甜菊糖苷替代比例的提高先增后减, 等高线图偏向于圆形, 表示发酵时间和甜菊糖苷替代比例的交互作用不显著。等高线沿甜菊糖苷替代比例轴向发酵时间轴密集, 说明甜菊糖苷替代比例比发酵时间对于酸奶的感官评分影响更加显著。响应值有最大值, 表示因素 AC 之间存在一定交互作用, 但是对感官品质具有相对较小的影响。

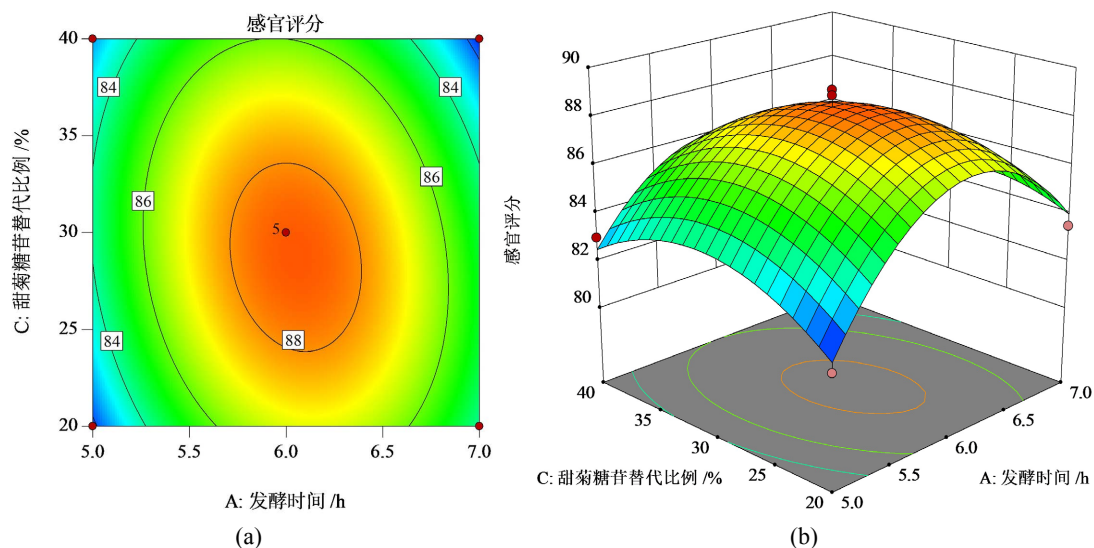


Figure 5. Three dimensional surface graph and Contour line graph of the effect of fermentation time and stevioside substitution ratio on the sensory evaluation of yogurt

图 5. 发酵时间和甜菊糖苷替代比例对酸奶感官评价影响的三维曲面图和等高线图

发酵菌种添加量和甜菊糖苷替代比例的交互作用见图 6。由图可以看出低脂燕麦酸奶的感官评分随着发酵菌种添加量和甜菊糖苷替代比例的提高先变高后变低，等高线图呈圆形，说明发酵菌种添加量和甜菊糖苷替代比例的交互作用不显著。总的来说，感官评分的趋势变化不大。图 6 所示的结果与表 5 所显示的结果一致。

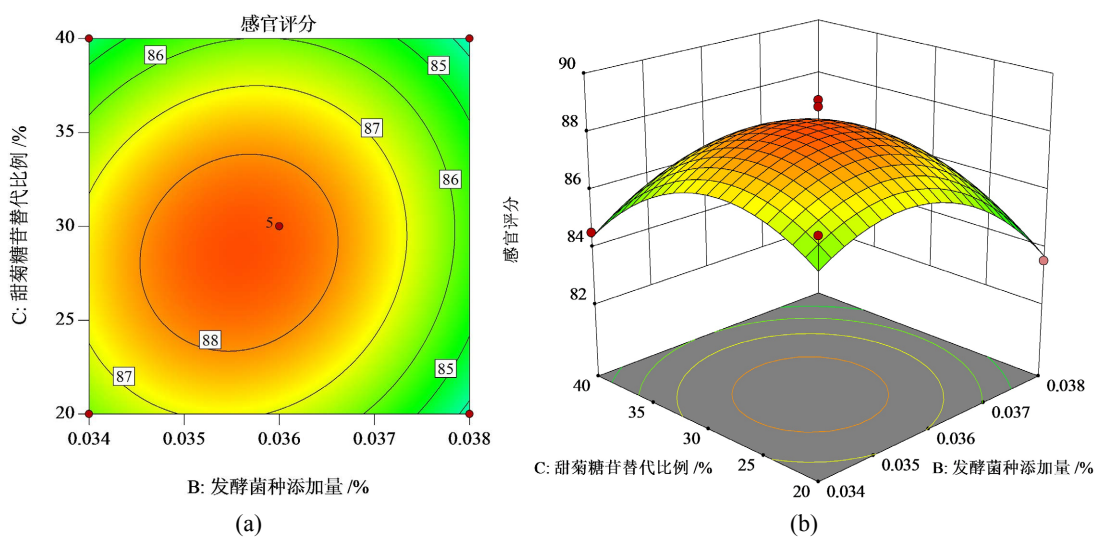


Figure 6. Three-dimensional surface and contour maps of effects of fermentation strain addition and stevia substitution ratio on sensory evaluation of yogurt

图 6. 发酵菌种添加量和果甜菊糖苷替代比例对酸奶感官评价影响的三维曲面图和等高线图

4.2.4. 最优配方的确定

利用 Design-Expert 13 软件进行回归模型预测低脂燕麦酸奶的最佳工艺条件为：发酵时间为 6.035 h，发酵菌种添加量为 0.036%，甜菊糖苷替代比例为 28.541%，感官评分为 88.538 分。根据实际情况以及方

便操作, 将最佳工艺条件参数调整修订为: 发酵时间为 6 h, 发酵菌种添加量为 0.036%, 甜菊糖苷替代比例为 28.5%。

4.2.5. 验证试验

由表 5 可知, 在该工艺条件下进行验证试验, 做三次独立性试验, 对低脂燕麦酸奶的品质进行验证, 3 次试验的感官评分平均值为(88.74 ± 0.46)分, 跟响应面预测的 88.54 分极其接近, 说明本试验中得到的酸奶制作工艺是可靠的。

Table 5. Optimize process validation results

表 5. 优化工艺验证结果

因素	感官评分	
	预测值(分)	实际值(分)
发酵时间(h)	6	
发酵菌种添加量(%)	0.036	88.54
甜菊糖苷替代比例(%)	28.5	88.74 ± 0.46

5. 产品质量检验

产品质量检验包括低脂燕麦酸奶感官指标和理化指标, 具体内容如下。

5.1. 低脂燕麦酸奶感官指标

这种低脂燕麦酸奶是呈现一种微黄色或者乳白色, 色泽一致均匀, 外表平滑, 部分存在着乳清分离的情形, 具备着独特的口感, 具有燕麦的香气。口感较为细腻、酸甜可口。

5.2. 理化指标

在此工艺条件下制备的低脂燕麦酸奶持水性较好, 乳清析出率最低, pH 值的范围在 4.3~4.5 之间浮动。

6. 结论

采用单因素试验和响应面优化设计试验来确定低脂燕麦酸奶最佳生产工艺条件: 发酵菌种的添加量为 0.036%, 甜菊糖苷替代比例为 28.5%, 发酵时间为 6 h, 发酵温度为 42℃, 最终的感官评分为(88.74 ± 0.46)分, 与模型预测值 88.54 分接近。在最优的工艺条件下, 最后制备而成的低脂燕麦酸奶结构组织一致均匀、没有明显乳清物料分层的现象、风味独特良好、口感爽滑细腻、有独特的燕麦风味和香气。本产品既满足大众对低脂低热量的健康追求, 也可为燕麦应用于食品的开发利用提供参考, 从而进一步拓宽酸奶市场。

参考文献

- [1] Chen, S. (2020) The Role of Functional Food Security in Global Health. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 52, 200. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2019.04.020>
- [2] Marisa, R.B., Lillian, B., Amilcar, L.A., et al. (2018) Assessment of the Nitrogen Fertilization Effect on Bioactive Compounds of Frozen Fresh and Dried Samples of Stevia Rebaudiana Bertoni. *Food Chemistry*, 243, 208-213. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.137>
- [3] Salehi, B., Lopez, M.D., Martinez-Lopez, S., et al. (2019) Stevia Rebaudiana Bertoni Bioactive Effects: From *in Vivo* to Clinical Trials towards Future Therapeutic Approaches. *Phytotherapy Research: PTR*, 33, 2904-2917. <https://doi.org/10.1002/ptr.6478>

- [4] 李亚辉, 罗敏花, 高庆超, 等. 甜叶菊主要功能性成分研究进展[J]. 中国糖料, 2023, 45(2): 33-40.
- [5] 万会达, 李丹, 夏咏梅. 甜菊糖苷类物质的功能性研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(17): 264-269.
- [6] 黄伟志. 甜菊糖苷的功能及其在食品工业中的应用[J]. 江苏调味副食品, 2021(4): 5-9, 13.
- [7] 吉桂珍, 石文杰, 张莘莘, 等. 近红外光谱法监测甜菊糖苷生产过程液中乙醇浓度的应用研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(1): 300-305.
- [8] 祝焯媛, 赵钢, 王爱莉. 新型燕麦酸奶制作工艺及其理化性质分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 184-192.
- [9] 刘成祥. 无蔗糖燕麦植物酸奶的研制[J]. 食品工业, 2022, 43(10): 39-42.
- [10] Guo, Y.F. (2022) Industrial Milling and Oat Quality. *Nature Food*, 4, 13. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00679-5>
- [11] Nirupama, G., Mohammad, B.H., Dilip, K.R., et al. (2015) A Review of Extraction and Analysis of Bioactives in Oat and Barley and Scope for Use of Novel Food Processing Technologies. *Molecules*, 20, 10884-10909. <https://doi.org/10.3390/molecules200610884>
- [12] 宋慧波, 陆世海, 薛冰, 等. 酶解燕麦饮品的研究进展[J]. 现代食品, 2023, 29(2): 51-53.
- [13] 王双萍, 周合江. 功能型酸奶的研究进展[J]. 中国乳业, 2023(3): 85-91.
- [14] 巨家升, 焦璐, 周连玉. 富硒酸奶的研究现状[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(22): 194-199.
- [15] 顾凡, 徐志涛, 赵存朝, 等. 核桃冻干酸奶的研制[J]. 中国乳品工业, 2023, 51(1): 57-64.
- [16] 许洪高, 王鑫, 李东. 乳制品减糖的必要性及研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(5): 14-23.
- [17] 杨洋, 高航, 李中柱. 响应面法对燕麦酸奶配方的优化[J]. 包装与食品机械, 2014, 32(4): 24-27.
- [18] 张蕴哲, 郝亚利, 贾丽娜. 菠萝燕麦无糖酸奶的加工工艺研究[J]. 农产品加工, 2017(10): 37-39.
- [19] 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, 30(12): 125-130.
- [20] 王丽爽, 赵秀红. 燕麦膳食纤维酸奶的研制[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(3): 91-95.
- [21] 李卿, 马盛凯, 张悦, 等. 感官评定在新食品开发中的应用[J]. 食品工程, 2021(2): 42-45.
- [22] 丛懿洁, 马蕊, 李银塔. 原味酸奶的感官属性分析及模糊数学评价[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(12): 53-58.
- [23] 张平, 陈丽红, 孔令梅. 甜菊苷应用在凝固型酸奶中对乳酸菌数的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2001, 13(3): 72-75.
- [24] 杨洋, 李启明, 高航, 等. 甜菊糖苷功能特性与应用现状[J]. 食品工业, 2018, 39(11): 270-272.