

# 澳洲坚果酸奶的研制

汤木果<sup>1</sup>, 汪玉兰<sup>1</sup>, 赵存朝<sup>1,2</sup>, 陶亮<sup>1,2\*</sup>, 田洋<sup>1,2,3</sup>

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650201) (2. 食药同源资源开发与利用教育部工程研究中心, 云南昆明 650201) (3. 云南省药食同源功能食品工程研究中心, 云南昆明 650201)

**摘要:** 该研究以澳洲坚果仁浆为主要原料开发一款澳洲坚果酸奶, 通过单因素结合响应面优化试验, 研究蔗糖添加量、发酵温度、发酵时间等因素对产品感官、酸度的影响, 确定最佳工艺。结果表明: 澳洲坚果酸奶最佳发酵菌种为保加利亚乳杆菌与嗜热链球菌复配, 复配比例 1:2 (0.33%:0.67%), 感官评分可达 85.5 分, 口感最佳; 澳洲坚果仁料液比为 1:3、热处理温度为 65~75 °C、采用二次均质 (第一次为 20 MPa 均质 5 min, 第二次 40 MPa 均质 10 min)、最佳发酵温度 41.5 °C、发酵时间 7.5 h、蔗糖添加量 6.27%, 此条件下, 其硬度为 323.10 g, 黏度 53.04 mPa·s、持水性 1.53%、pH 值 3.91, 酸度 76.12 °T, 其蛋白质含量 4.98%、脂肪含量 11.80%, 乳酸菌活菌数为  $1.65 \times 10^9$  CFU/g、大肠菌群、菌落总数、霉菌、酵母及致病菌 (金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、沙门氏菌) 未检出。澳洲坚果酸奶含有 15 种脂肪酸, 主要为不饱和脂肪酸 (含量 67.77%)。研发的澳洲坚果酸奶味道醇香、酸甜适中、口感细腻、质地均匀, 是一款高蛋白、风味佳的纯植物基酸奶, 在一定程度上丰富了酸奶品类, 提升了澳洲坚果精深加工水平, 对澳洲坚果产业健康发展具有积极的推动作用。

**关键词:** 澳洲坚果; 纯植物基酸奶; 响应面优化

文章编号: 1673-9078(2022)06-214-222

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.6.0908

## Development of Macadamia Yogurt

TANG Muguo<sup>1</sup>, WANG Yulan<sup>1</sup>, ZHAO Cunchao<sup>1,2</sup>, TAO Liang<sup>1,2\*</sup>, TIAN Yang<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

(2. Engineering Research Center of Development and Utilization of Food and Drug Homologous Resources, Ministry of Education, Kunming 650201, China)

(3. Yunnan Engineering Research Center for Drug and Food Homologous Functional Food, Kunming 650201, China)

**Abstract:** In this study, macadamia nut yoghurt was developed with macadamia nut pulp as the main raw material. Through the single factor combined with response surface optimization test, the effects of sucrose addition, fermentation temperature and fermentation time on the sensory and acidity of the product were studied, and the best process was determined. The results showed that the best fermentation strain of Macadamia yoghurt was the combination of *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*, the ratio of which was 1:2 (0.33%:0.67%), the sensory score was 85.5, and the taste was the best; The ratio of macadamia nut kernel to liquid was 1:3, the heat treatment temperature was 65~75 °C, the secondary homogenization was adopted (20 MPa homogenization for 5 min for the first time and 40 MPa homogenization for 10 min for the second time), the optimum fermentation temperature was 41.5 °C, the fermentation time was 7.5 h, and the addition amount of sucrose was 6.27%. Under these conditions, the hardness was 323.10g and the viscosity was 53.04 mPa·s. The water holding capacity is 1.53%, the pH value is 3.91, the acidity is 76.12 °T, the protein content is 4.98%, the fat content is 11.80%, and the number of viable lactic acid bacteria is  $1.65 \times 10^9$  CFU/g, coliform group, total number of colonies, mold, yeast and pathogenic bacteria (*Staphylococcus aureus*,

引文格式:

汤木果,汪玉兰,赵存朝,等.澳洲坚果酸奶的研制[J].现代食品科技,2022,38(6):214-222

TANG Muguo, WANG Yulan, ZHAO Cunchao, et al. Development of macadamia yogurt [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(6): 214-222

收稿日期: 2021-08-18

基金项目: 云南省重大科技专项 (2022AA100005); 农业农村部云南省农垦局科研项目 (18200053); 云南省科技厅云南绿色食品国际合作研究中心项目 (2019ZG00905)

作者简介: 汤木果(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1600996895@qq.com

通讯作者: 陶亮(1987-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 乳品科学, E-mail: 875316158@qq.com

*Escherichia coli* and *Salmonella*) were not detected. Macadamia yogurt contains 15 fatty acids, mainly unsaturated fatty acids (67.77%). The developed macadamia nut yogurt has a mellow taste, moderate sweet and sour taste, delicate taste and uniform texture, it is a pure plant-based yogurt with high protein and good flavor, which enriches the category of yogurt to a certain extent, improves the deep processing level of macadamia nuts, and has a positive role in promoting the healthy development of the macadamia nut industry.

**Key words:** macadamia; pure plant-based yogurt; response surface optimization

澳洲坚果 (*Macadamia integrifolia*) 为山龙眼科, 属于常绿乔木树种, 有“世界坚果之王”、“坚果皇后”的美誉<sup>[1]</sup>。澳洲坚果原产于澳大利亚昆士兰与新南威尔士的亚热带雨林, 二十世纪六七十年代开始引入我国。澳洲坚果含有大量的脂肪外, 还含有丰富的蛋白质 (17 种氨基酸)、碳水化合物、微量元素<sup>[2]</sup>及少量的 B 族维生素等营养成分, 属高档干果, 富含热能, 不含胆固醇<sup>[3,4]</sup>, 同时具有调节血脂、控制血糖平衡、预防血栓以及益智作用<sup>[5]</sup>, 非常适合老年人及血脂偏高的人群食用<sup>[6]</sup>。截止 2017 年底, 我国澳洲坚果种植面积为 282 万亩, 产量为 1.72 万 t, 而云南省澳洲坚果种植面积为 262 万亩, 占全球澳洲坚果种植面积 (约 460 万亩) 的一半以上, 占全国种植面积的九成多, 产量 1.6 万 t<sup>[3]</sup>。目前我国很多种植的澳洲坚果未到丰产期, 一旦到丰产期, 产量会迅速增加。现阶段我国澳洲坚果主要以干果为主, 产品较单一, 精深加工不足, 市场消耗量低, 严重制约澳洲坚果产业健康发展。

传统酸奶都是以牛乳为原料<sup>[7]</sup>, 而澳洲坚果酸奶是以纯植物基成分为原料, 添加菌种, 采用生物发酵工艺以“植物蛋白”替换“动物蛋白”为原料制作的发酵乳<sup>[8]</sup>。澳洲坚果具不仅有较高的营养价值, 而且还具有一定的药用价值<sup>[9]</sup>, 以澳洲坚果为原料开发酸奶, 不仅可以丰富澳洲坚果制品的产品种类, 同时可满足当代人对于健康与营养新产品的需求。相较于传统酸奶, 澳洲坚果酸奶具有高蛋白、易消化、不含胆固醇等优点, 且适合血脂偏高的人饮用。目前, 国内外已有利用植物蛋白进行部分或完全替代乳蛋白产品开发的研究, 但以澳洲坚果作为酸奶原料的研究未见相关报道。本研究以澳洲坚果仁为主要原料, 研发一款澳洲坚果植物基酸奶新产品, 结合澳洲坚果的营养成分与酸奶的营养, 不仅赋予酸奶更好的营养物质, 也为澳洲坚果的应用提供一个新方向, 进一步拓宽澳洲坚果开发利用渠道和酸奶的市场。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

澳洲坚果, 临沧市恒丰种植开发有限公司; 蔗糖,

南宁糖业股份有限公司; Mild 1.0 菌种、R-704 菌种、R-707 菌种, 科汉森菌种生物科技公司; 保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、植物乳杆菌、植物乳杆菌 P-8、植物乳杆菌 PYS-010, 光明乳业研究院。

### 1.2 仪器与设备

JM-85 胶体磨, 常州华奥仪器制造有限公司; DHP-500 电热恒温培养箱, 北京市永光明医疗仪器有限公司; HJJ-6 水浴恒温电动搅拌器, 常州华奥仪器制造有限公司; SVJ-358 智能商用型酸奶机, 北京世纪阳光有限公司; NDJ-8S 旋转式黏度计, 河南精迈仪器仪表有限公司; pHS-3C 雷磁 pH 计, 上海仪电科学仪器股份有限公司; YP5001 电子分析天平, 上海光正医疗仪器有限公司; 60-6S 高压均质机, 上海东华高压均质机厂; TA-10 型质构仪 (硬度), 济南赛成电子科技有限公司。

### 1.3 方 法

#### 1.3.1 工 艺 设 计

(1) 工艺流程:

澳洲坚果仁→清洗及浸泡→打浆→过滤去渣→磨浆→坚果乳→配料→加热→均质→杀菌→接种发酵→坚果酸奶

(2) 操作要点:

①清洗及浸泡: 将澳洲坚果仁置于 25 °C 蒸馏水中, 按 1:5 浸泡 16 h, 备用。

②加热: 在 65~75 °C 下加热 10 min, 过 60 目筛进行均质。

③均质: 采用二次均质对澳洲坚果乳进行均质, 先在 20 MPa 均质压力下均质 5 min; 再在 40 MPa 的更高压力下均质 10 min。

④杀菌: 在 75~80 °C 条件下杀菌 15 min, 既要保证充分杀菌, 又不能影响澳洲坚果酸奶的质地及风味。

⑤接种发酵: 接种按设定复配菌种发酵液, 按设定温度下发酵一定时间, 促进澳洲坚果酸奶的形成及产酸产香。

⑥后熟: 澳洲坚果酸奶发酵结束后, 在 4 °C 条件下冷藏后熟 24 h, 进一步后熟产酸产香, 完善酸奶的风味和滋味。

#### 1.3.2 菌种筛选及菌种复配比例的确定

以感官评分及酸度为指标,对直投式乳酸菌种进行筛选及菌种复配比例的确定。

### 1.3.3 单因素试验及响应面优化试验

以感官评分为分析指标,考察料液比、发酵时间(h)、发酵温度(°C)、蔗糖添加量(%)对澳洲坚果酸奶的影响;料液比参数是工业生产中重要参数,考虑加工成本、设备及产品特性稳定的需要,要求在单因素试验中完成料液比的确定,其他相关参数优化需要围绕既定的料液比参数展开进一步研究。因此后期优化试验以发酵时间(h)、发酵温度(°C)和蔗糖添加量(%)为自变量,以感官评分为响应值,通过响应面优化试验优化澳洲坚果酸奶最佳工艺配方。澳洲坚果酸奶优化试验因素与水平如表1所示。

表1 响应面试验因素水平

Table 1 Response surface test factor level

水平	因素		
	X <sub>1</sub> 发酵时间/h	X <sub>2</sub> 发酵温度/°C	X <sub>3</sub> 蔗糖添加量/%
-1	5	39	4
0	7	41	6
1	9	43	8

### 1.3.4 产品质量

#### 1.3.4.1 感官评定

选择10名专业人士组成评定小组对澳洲坚果酸奶的感官特性进行评估。在色泽(20分)、组织状态(20分)、滋味(30分)、气味(30分)四个方面进行感官评定。其感官评分标准见表2。

表2 澳洲坚果酸奶感官评定标准

Table 2 Sensory evaluation standard of macadamia nut yogurt

项目	评分标准	分值
色泽 (20)	色泽均匀一致,呈乳白色,有光泽	13~20
	色泽均匀一致,但色泽较暗	7~12
	色泽灰暗,不均匀	0~6
组织 状态 (20)	组织细腻,质地均匀,黏适中,无乳清析出	13~20
	组织较细腻,有少量乳清析出	7~12
	有较多乳清析出,组织粗糙	0~6
气味 (30)	具有浓郁的坚果酸奶香味,无任何异味	21~30
	香味不明显,无异味	10~20
	有不可接受的异味	0~9
滋味 (30)	酸甜适中,无不良滋味	21~30
	过酸或过甜,无不良滋味	10~20
	不可接受的滋味	0~9

#### 1.3.4.2 产品理化指标测定

##### (1) 组织特性

##### ① 持水性测定

参考熊政委等<sup>[10]</sup>方法并稍作修改。取20 mL 坚果

酸奶放入离心管。离心管质量为 $M_1$ ,加入澳洲坚果酸奶后的总质量为 $M_2$ ,4000 r/min,离心10 min,静置10 min,去除上清液后,剩余质量为 $M_3$ 。持水性计算公式:

$$M / \% = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100\%$$

式中:

$M_1$ ——离心管质量;

$M_2$ ——澳洲坚果酸奶总质量;

$M_3$ ——去除上清液后剩余质量。

②黏度的测定:在常温条件下,根据旋转式黏度计的说明书来进行测定3次,最终结果取平均值。

③硬度的测定:在常温条件下,采用TA-10型质构仪,直径为13 mm的TA-10探头测定澳洲坚果酸奶的硬度,使用校正后的质构仪直接测定3次,最终结果取平均值。测定条件为:测试速度为1.0 mm/s,返回速度为1.0 mm/s,循环次数为3次,探头进入距离为10 mm,压缩之间停留时间为10 s。

##### (2) 常规理化

①蛋白质含量:参照GB 5009.5-2016《凯氏定氮法》的方法测定<sup>[11]</sup>;

②脂肪含量:参照GB 5009.6-2016《索氏抽提法》的方法测定<sup>[12]</sup>;

③酸度测定:参照GB 5009.239-2016《食品安全国家标准食品酸度的测定》中的方法进行测定<sup>[13]</sup>;

④pH测定:pH计校准后,重复测量澳洲坚果酸奶pH值,结果取平均值。

##### (3) 脂肪酸测定

脂肪酸含量:参照GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》的方法测定<sup>[14]</sup>。

#### 1.3.4.3 微生物指标测定

乳酸菌数测定:参照GB 4789.35-2016《食品安全国家标准食品微生物学检验乳酸菌检验》<sup>[15]</sup>;大肠杆菌测定:参照GB 4789.3-2016《食品微生物学检验大肠菌群计数》<sup>[16]</sup>;致病菌数测定:参照GB 4789.18-2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳与乳制品检验》;霉菌和酵母测定:参照GB 4789.15-2016《食品安全国家标准食品微生物学检验霉菌和酵母计数》;菌落总数测定:参照GB/T 21732《食品安全国家标准含乳饮料》。

#### 1.3.5 数据统计与分析

数据处理及统计分析采用Excel 2013、SPSS 24,利用Design-Expert 8.0.6进行响应面分析。

## 2 结果与分析

## 2.1 澳洲坚果酸奶发酵菌种的筛选

### 2.1.1 发酵菌种对澳洲坚果酸奶感官评分及酸度的影响

发酵菌种对酸奶的质量品质有至关重要的作用,对酸奶风味品质、组织形态均有重要影响<sup>[17]</sup>。本试验选用 8 种不同菌种制作坚果酸奶,不同单一发酵菌种对酸奶的酸度、感官评分的影响如图 1a 所示。从图中可以看出,感官评分最高的菌种为保加利亚乳杆菌,达 86.67 分,酸度为 65.86 °T,其次是 Mild1.0 菌种和嗜热链球菌菌种,感官评分分别为 81.77 分、80.12 分,其酸度分别为 71.33 °T、70.45 °T,最终根据酸奶发酵的组织状态、口感、风味、感官评分和酸度综合分析筛选后,选定有较高的感官品质、口感及风味较好、酸度适宜的保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌与 Mild1.0 按照 1:1 复配后发酵澳洲坚果酸奶。

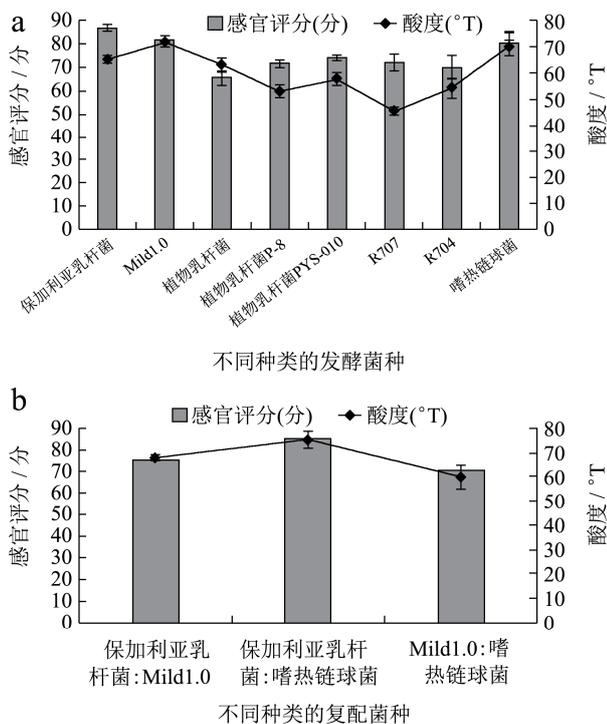


图 1 菌种种类对澳洲坚果酸奶感官评分及酸度的影响

Fig.1 Effects of strains on the sensory score and acidity of macadamia yogurt

从图 1b 可以看出,三种澳洲坚果酸奶的感官评分存在一定的差异,表现为保加利亚乳杆菌与嗜热链球菌组具有最高的评分为 85.50 分,酸度为 75.30 °T,该组澳洲坚果酸奶具有明显的酸奶香味,酸甜适中,细腻浓稠,口感最佳;其次是保加利亚乳杆菌:Mild1.0,感官评分为 75.80 分,酸度为 68.56 °T,最低的是 Mild1.0:嗜热链球菌,感官评分为 70.85 分,酸度 60.32,该两组澳洲坚果酸奶虽然风味较佳,但是口感

相对较差。所以本研究以保加利亚乳杆菌与嗜热链球菌作为复配发酵菌制作澳洲坚果酸奶。

### 2.1.2 菌种复配比例对澳洲坚果酸奶感官评分的影响

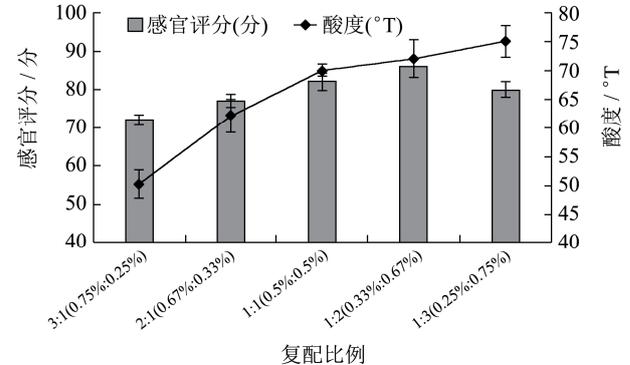


图 2 菌种复配比例对澳洲坚果酸奶感官评分的影响

Fig.2 Effect of strain ratio on the sensory score of macadamia yogurt

保加利亚乳杆菌与嗜热链球菌是酸乳生产中常用的发酵剂<sup>[18]</sup>,在试验过程中发现单一菌种发酵的产酸能力较低、口感较差,而混合菌种发酵的产酸、口感优于单一菌种,同时前人研究表明混合菌种能够促使两者之间互助合作,促进生长,具有协同关系<sup>[19]</sup>。由图 2 可知,当保加利亚乳杆菌与嗜热链球菌比例在 1:2 (0.33%:0.67%) 时,感官评分最高,达到 86.05 分,酸度为 72.11 °T,澳洲坚果酸奶呈现组织细腻,色泽均匀,酸甜适中,口感及风味较好,当菌种复配比例在 3:1 (0.75%:0.25%) 时,感官评分为 72.35 分,酸度为 50.96 °T,此时酸奶呈现酸味不足、甜度过高,主要是保加利亚乳杆菌产香,嗜热链球菌产酸,当菌种复配比例在 1:3 (0.25%:0.75%) 时,感官评分为 80.10 分,酸度为 75.02 °T,此时酸奶发酵过度,酸甜失调,口感差。因此,菌种复配比例为 1:2 (0.33%:0.67%) 最佳。

## 2.2 单因素试验结果

### 2.2.1 料液比对澳洲坚果酸奶感官评分的影响

在发酵温度为 41 °C,发酵时间为 7 h,蔗糖添加量为 6% 条件下,考察料液比对坚果酸奶的影响。由图 3 可知,随着澳洲坚果料液比的增大,澳洲坚果酸奶的感官评分呈先上升后下降趋势,当料液比为 1:3 时,感官评分最高,达到 83.90 分。当料液比小于 1:3 时,与澳洲坚果充分混匀发酵后,含水量较低,所得到的澳洲坚果酸奶浓度较高,口感较差;当料液比大于 1:3 时,澳洲坚果的状态变得过稀,澳洲坚果酸奶较淡,都不利于发酵,影响澳洲坚果整体的味道,影响感官评分指标。因此选择最适澳洲坚果料液比为 1:3。

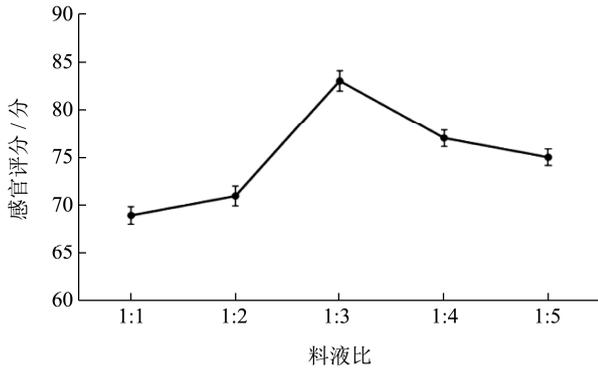


图3 料液比对澳洲坚果酸奶感官评分的影响

Fig.3 Effect of material-liquid ratio on the sensory score of macadamia yogurt

2.2.2 发酵时间对澳洲坚果酸奶感官评分的影响

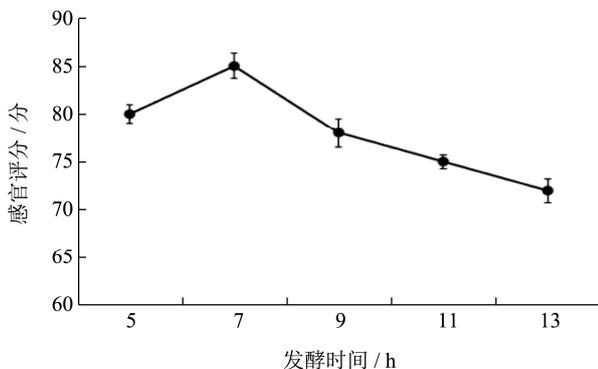


图4 发酵时间对澳洲坚果酸奶感官评分的影响

Fig.4 Effect of fermentation time on the sensory score of macadamia yogurt

在发酵温度为 41 ℃，蔗糖添加量为 6%，料液比为 1:3 条件下，考察发酵时间对坚果酸奶的影响。由图 4 可知，澳洲坚果酸奶的感官评分在 7 h 时最高，此时酸奶表面凝固较好，呈乳白色，澳洲坚果酸奶味道醇香、酸甜适中、口感细腻、质地均匀，无乳清析出；酸奶发酵时间低于 7 h 时，酸奶发酵不完全，黏稠度低，质地偏软，凝固性差，口感差；高于 7 h，酸奶发酵过度，组织状态不均匀，酸度增加，风味口感较差并伴有少量乳清析出。因此，确定发酵时间为 7 h。

2.2.3 发酵温度对澳洲坚果酸奶感官评分的影响

发酵温度会影响发酵效率和感官品质。在发酵时间为 7 h，蔗糖添加量为 6%，料液比为 1:3 条件下，考察发酵温度对澳洲坚果酸奶的影响。由图 5 可知，随着发酵温度的升高，澳洲坚果酸奶的感官评分呈先上升后下降趋势，当发酵温度达到 41 ℃时，感官评分最高。而发酵温度过低时出现凝乳不够完全、产酸产香不足的问题，当发酵温度为过高时，出现乳清析

出、组织状态变差、产生不愉快的气味等。因此，最佳澳洲坚果酸奶发酵温度为 41 ℃。

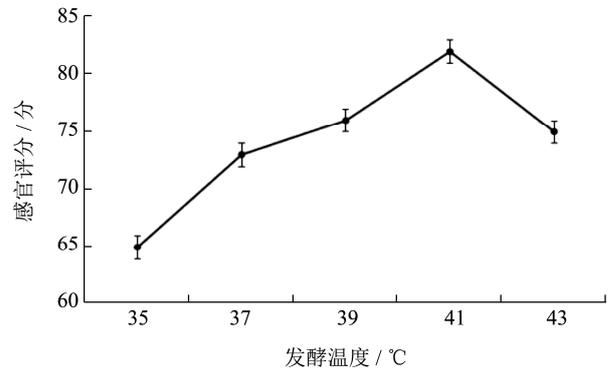


图5 发酵温度对澳洲坚果酸奶感官评分的影响

Fig.5 Effect of fermentation temperature on the sensory score of macadamia yogurt

2.2.4 蔗糖添加量对澳洲坚果酸奶感官评分的影响

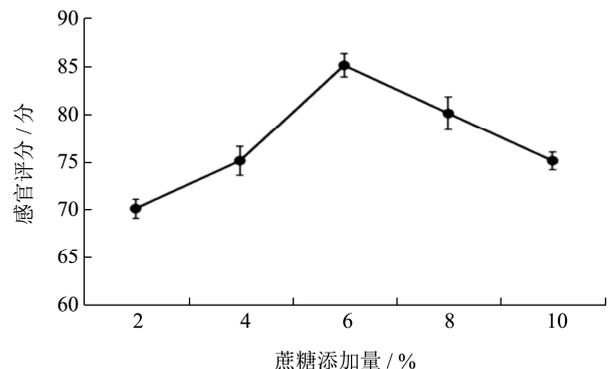


图6 蔗糖添加量对澳洲坚果酸奶感官评分的影响

Fig.6 Effect of sucrose addition on the sensory score of macadamia yogurt

由图 6 可以看出，在其他因素一定的条件下，随着蔗糖添加量的增加，感官评分呈现先上升后下降的趋势。当蔗糖添加量在 6% 时，感官评分最高，达到 85.08 分。蔗糖在酸奶中为菌种提供碳源、增加甜味、同时增加固形物，使酸奶口感更好，且体系较稳定<sup>[20]</sup>。当蔗糖添加量低于 7% 时，酸甜味不足，香味不足，口感偏差，当蔗糖添加量超过 7%，口感过甜，并且有少量刺激味产生。因此确定 7% 蔗糖是最优添加量。

2.3 响应面试验优化结果

2.3.1 响应面试验设计及结果分析

在单因素试验基础上，以发酵时间 (h)  $X_1$ 、发酵温度 (℃)  $X_2$ 、蔗糖添加量 (%)  $X_3$  为自变量，以感官评分为响应值，利用响应面进行 3 因素 3 水平试验设计，试验方案及结果见表 3，回归分析见表 4。

表3 响应面试验结果

Table 3 Response surface test results

试验号	$X_1$ 发酵时间/h	$X_2$ 发酵温度/°C	$X_3$ 蔗糖添加量/%	Y 感官评分/分
1	-1	0	-1	71.12±1.01
2	-1	-1	0	69.31±2.13
3	0	1	1	78.84±1.22
4	1	0	1	78.38±1.29
5	0	1	-1	81.38±1.37
6	0	0	0	86.27±1.33
7	1	1	0	75.48±1.72
8	0	0	0	85.46±1.02
9	1	-1	0	72.39±1.26
10	1	0	-1	76.39±2.11
11	-1	0	1	76.48±1.92
12	0	-1	1	76.93±0.98
13	0	0	0	87.00±1.30
14	0	0	0	86.00±0.78
15	0	-1	-1	70.04±2.92
16	0	0	0	84.64±1.34
17	-1	1	0	75.48±1.63

表4 方差分析结果

Table 4 Variance analysis results

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	551.66	9	61.3	51.44	<0.0001	**
$X_1$ -发酵时间	13.13	1	13.13	11.02	0.0128	
$X_2$ -发酵温度	63.34	1	63.34	53.16	0.0002	**
$X_3$ -蔗糖添加量	17.11	1	17.11	14.36	0.0068	*
$X_1X_2$	2.37	1	2.37	1.99	0.2012	
$X_1X_3$	2.84	1	2.84	2.38	0.1666	
$X_2X_3$	3.84	1	22.23	18.66	0.0035	*
$X_1^2$	4.84	1	203.79	171.03	<0.0001	**
$X_2^2$	5.84	1	139.31	116.91	<0.0001	**
$X_3^2$	6.84	1	46.54	39.06	0.0004	*
残差	7.84	7	1.19			
失拟项	8.84	3	1.74	2.21	0.2289	
纯误差	9.84	4	0.78			
总方差	10.84	16				

注:  $R^2=0.9851$ ,  $R^2_{Adj}=0.966$ ; \*: 差异显著,  $p<0.05$ ; \*\*: 差异极显著,  $p<0.01$ 。

### 2.3.2 模型建立及显著性检验

利用 Design-Expert 8.0.6 软件对实验数据进行统计分析, 得到二次多项式回归方程:

$$Y=85.87+1.28X_1+2.81X_2+1.46X_3-0.77X_1X_2-0.84X_1X_3-2.36X_2X_3-6.96X_1^2-5.57X_2^2-3.32X_3^2$$

方差分析结果见表4。

由表4 方差分析可知, 二次回归模型的  $p<0.0001$

$<0.01$ , 表明回归模型显著; 失拟性检验 F 值=2.21,  $p=0.2289>0.05$ , 失拟项不显著, 说明模型可以接受, 即表明所选澳洲坚果酸奶感官评分二次回归模型可用于预测设定的参数, 即可用于评估酸奶的感官评分。模型的确定系数  $R^2=0.9851$ , 调整系数  $R^2_{Adj}=0.966$ , 说明该模型具有较高的拟合及预测精度。综上所述, 回归模型拟合程度良好, 试验误差小, 能够准确的分

析和预测澳洲坚果酸奶感官评分,说明实验操作可信度高,具有一定的实践指导意义。由回归系数显著性表明,在所取因素水平范围内,各因素对澳洲坚果酸奶感官评分影响的顺序为:蔗糖添加量( $X_3$ )>发酵温度( $X_2$ )>发酵时间( $X_1$ )。

### 2.3.4 最佳条件的确定和回归模型的验证

根据此回归方程,通过响应面法得到最优澳洲坚果酸奶工艺条件为发酵温度为41.50℃,发酵时间为7.50 h,蔗糖添加量为6.27%。此条件进行三次重复试验,感官评分达到了89.16分,与模型预测结果接近,表明基于该响应面模型分析优化感官评分的方法有效可行。

## 2.4 澳洲坚果酸奶的产品质量指标测定

### 2.4.1 澳洲坚果酸奶的理化及微生物指标

由表5可知,制备的澳洲坚果酸奶硬度为323.10 g,黏度为53.04 mPa·s,持水性为1.53%,pH值为3.91,酸度为76.12 °T,蛋白质含量达到4.98%,与市面上的酸奶相比,高于大部分酸奶蛋白质含量,是一种高蛋白的酸奶,脂肪含量为11.80%,主要成分为不饱和脂肪酸,且脂肪链较短,更易被人体消化吸收,不易在体内形成脂肪堆积<sup>[21]</sup>,并对人体具有较高的营养价值。乳酸菌活菌数为 $1.65 \times 10^9$  CFU/g、大肠菌群、菌

落总数、霉菌、酵母及致病菌(金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、沙门氏菌)均未检出,符合国家标准。澳洲坚果本身就具有多种人体生长所必需营养物质且风味独特,制备的澳洲坚果酸奶蛋白质含量高,同时具有不含胆固醇、高蛋白、易消化、风味佳等特点。

表5 澳洲坚果酸奶的理化及微生物指标

Table 5 Physicochemical and microbiological indexes of macadamia nut yogurt

项目	测定结果
持水性/%	1.53±0.13
硬度/g	323.10±1.12
黏度/mPa·s	53.04±0.56
蛋白质/%	4.98±0.92
脂肪/%	11.80±0.5
酸度/°T	76.12±1.35
pH	3.91±0.13
乳酸菌数/(CFU/g)	$1.65 \times 10^9$
大肠菌群/(CFU/g)	未检出
菌落总数/(个/mL)	未检出
霉菌/(CFU/g)	未检出
酵母/(CFU/g)	未检出
致病菌(金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、沙门氏菌)/(CFU/mL)	未检出

表6 澳洲坚果酸奶脂肪酸种类与相对含量

Table 6 Types and relative content of fatty acids in macadamia yogurt

序号	检测项目	脂肪酸相对含量/%	类别	总含量/%
1	棕榈油酸	20.15±0.74	不饱和脂肪酸	67.77
2	油酸	39.32±0.34		
3	11-二十碳烯酸	3.51±0.18		
4	异油酸	0.24±0.05		
5	亚油酸	2.41±1.15		
6	亚麻酸	2.17±2.03		
7	十五烷酸	0.28±0.14	饱和脂肪酸	33.06
8	棕榈酸	16.88±0.19		
9	硬脂酸	9.95±0.11		
10	花生酸	2.23±0.33		
11	山嵛酸	1.18±0.15		
12	辛酸	0.35±0.51		
13	葵酸	1.22±0.65		
14	月桂酸	0.40±0.17		
15	肉豆蔻酸	0.6±1.01		

### 2.4.2 澳洲坚果酸奶脂肪酸种类与相对含量

脂肪酸可分为不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸<sup>[22]</sup>。从表6可以看出,共检测出脂肪酸成分为15种,主要为不饱和脂肪酸。不饱和脂肪酸具有降低冠心病的发生

几率、降血糖、调节血脂<sup>[23]</sup>及调节人体血液中胆固醇含量<sup>[4]</sup>等作用,常作为高端食品的辅料。澳洲坚果酸奶中不饱和脂肪酸含量达67.77%,含量最高的为油酸,油酸能保护脂蛋白免受氧化,从而保护动脉免受

损伤,并具有保留好胆固醇的能力,被称为“安全的脂肪酸”<sup>[24]</sup>,这使得澳洲坚果酸奶具有较高的营养价值;产品饱和脂肪酸总含量为33.06%,含量最高的是棕榈酸。与金素钰等<sup>[25]</sup>研发的牦牛酸奶中脂肪酸相比,牦牛酸奶中油酸含量为27.19%,棕榈酸为33.76%,澳洲坚果酸奶的油酸为39.32%,棕榈酸为16.88%。罗倩等人<sup>[26]</sup>的研究发现,辛酸、葵酸、月桂酸、肉豆蔻酸是酸奶的主要风味物质,对酸奶的滋味及气味起到重要作用,其中辛酸呈水果香气;葵酸是脱脂乳酸奶中主要的呈味酸类,增加奶香;月桂酸呈甜味;肉豆蔻酸具有辛香味及棕榈酸可赋予酸奶特殊的香味。本产品风味更加柔和,口感更加细腻绵柔,更具有独特的澳洲坚果风味。

### 3 结论

3.1 澳洲坚果酸奶加工的最佳发酵剂菌种为保加利亚乳杆菌与嗜热链球菌,其菌种复配比为1:2(0.33%:0.67%),发酵温度为41.50℃,发酵时间为7.50h,蔗糖添加量为6.27%。加工的澳洲坚果酸奶产品香气浓郁,滋味厚重,凝固性好,是一种适合中国人口味的纯植物基酸奶。其硬度为323.10g,黏度为53.04mPa.s、持水性为1.53%、pH值为3.91,酸度为76.12℃T,感官评分达到了89.16分,整体感官品质较好;产品的蛋白质含量4.98%,脂肪含量11.80%,乳酸菌活菌数为 $1.65 \times 10^9$ CFU/g、及大肠菌群、菌落总数、霉菌、酵母及致病菌(金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、沙门氏菌)未检出;本产品共检测出脂肪酸成分15种,其中不饱和脂肪酸总含量达67.77%,饱和脂肪酸总含量达33.06%。

3.2 澳洲坚果酸奶以植物蛋白为主要原料,区别于动物源的酸奶产品,是一款高蛋白、风味佳、营养价值高的纯植物基成分的产品,具有一定的新颖性和较好的市场前景,也可丰富澳洲坚果产品形式,对产业发展具有一定的推动意义。

### 参考文献

- [1] 岳元福.对德宏州澳洲坚果产业发展的思考[J].林业建设,2020,4:54-58  
YUE Yuanfu. Thoughts on the development of macadamia industry in Dehong prefecture [J]. Forestry Construction, 2020, 4: 54-58
- [2] 张汉周,杨为海,张明楷,等.澳洲坚果果皮矿质元素含量分析[J].湖北农业科学,2014,53(21):5179-5183  
ZHANG Hanzhou, YANG Weihai, ZHANG Mingkai, et al. Analysis of mineral elements content in macadamia peel [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 53(21): 5179-5183
- [3] 乔进超,卢娜,黎思琦,等.云南澳洲坚果产业可持续发展研究综述[J].农机与农艺,2021,7:1-4  
QIAO Jinchao, LU Na, LI Siqi, et al. Development status and countermeasures of macadamia industry in Yunnan province [J]. Agricultural Machinery and Agriculture, 2021, 7: 1-4
- [4] 任二芳,牛德宝,刘功德,等.澳洲坚果仁营养成分分析与其加工副产物的综合利用研究[J].食品研究与开发,2020,41(6):1-6  
REN Erfang, NIU Debao, LIU Gongde, et al. Analysis of nutrient composition of macadamia nut kernel and comprehensive utilization of its processing by-products [J]. Food Research and Development, 2020, 41(6): 1-6
- [5] 赵静,唐君海,王文林,等.澳洲坚果营养成分分析[J].农业研究与应用,2013,4:24-25  
ZHAO Jing, TANG Junhai, WANG Wenlin, et al. Analysis of nutrient composition of macadamia nuts [J]. Agricultural Research and Application, 2013, 4: 24-25
- [6] 乔进超,卢娜,黎思琦,等.云南省澳洲坚果产业发展现状及对策[J].农机与农业,2021,23(8):1-3  
QIAO Jinchao, LU Na, LI Siqi, et al. Development status and countermeasures of macadamia industry in Yunnan province [J]. Agricultural Machinery and Agriculture, 2021, 23(8): 1-3
- [7] Condurso C, Verzera A, Romeo V, et al. Solid-phase microextraction and gas chromatography mass spectrometry analysis of dairy product volatiles for the determination of shelf-life [J]. International Dairy Journal, 2008, 18: 819-825
- [8] 朱静静,张红彩,赵存朝,等.响应面法优化高脂酸奶发酵工艺及其品质分析[J].食品工业,2020,41(2):71-77  
ZHU Jingjing, ZHANG Hongcai, ZHAO Cunchao, et al. Optimization of high-fat yogurt fermentation process and quality analysis by response surface methodology [J]. Food Industry, 2020, 41(2): 71-77
- [9] 刘建福,黄莉.澳洲坚果的营养价值及其开发利用[J].中国食物与营养,2005,2(2):25-26  
LIU Jianfu, HUANG Li. Nutritional value of macadamia nuts and its development and utilization [J]. Food and Nutrition in China, 2005, 2(2): 25-26
- [10] 熊政委,王文佳,温瑞,等.响应面法优化菊糖酸奶的发酵工艺[J].食品科学,2014,35(13):156-160  
XIONG Zhengwei, WANG Wenjia, WEN Rui, et al. Optimization of fermentation process for yogurt with added inulin by response surface analysis [J]. Food Science, 2014, 35(13): 156-160
- [11] GB 5009.5-2016,食品安全国家标准食品中蛋白质的测定

- [S] GB 5009.5-2016, National Food Safety Standard Determination of Protein in Food [S]
- [12] GB 5009.5-2016, 食品安全国家标准食品中脂肪的测定[S]  
GB 5009.5-2016, National Food Safety Standard Determination of Fat in food [S]
- [13] GB 5009.239-2016, 食品安全国家标准食品酸度的测定[S]  
GB 5009.239-2016, National Food Safety Standard Determination of Food Acidity [S]
- [14] GB 5009.239-2016, 食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定[S]  
GB 5009.239-2016, National Food Safety Standard Determination of Fatty Acids in Food [S]
- [15] GB 4789.2-2016, 食品微生物学检验菌落总数测定[S]  
GB 4789.2-2016, Food Microbiology Test of the Total Number of Colonies [S]
- [16] GB 4789.3-2016, 食品微生物学检验大肠菌群计数[S]  
GB 4789.3-2016, Food Microbiology Inspection Coli Form count [S]
- [17] 王振伟. 蔓越莓酸奶的研制及工业化应用研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2021  
WANG Zhenwei. Research on development and industrial application of cranberry yogurt [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2021
- [18] Delgado Fernandez P, Corzo N, Olano A, et al. Effect of selected pre-biotics on the growth of lactic acid bacteria and physicochemical properties of yoghurts [J]. *International Dairy Journal*, 2019, 89: 77-85
- [19] 王茜, 陈明君, 王宝维, 等. 保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌及双歧杆菌共生关系和对搅拌型酸乳特性的影响[J]. *中国乳品工业*, 2020, 43(8): 1-2  
WANG Qian, CHEN Mingjun, WANG Baowei, et al. Symbiotic relationship between *Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus* and *Bifidobacterium* and its effect on the characteristics of stirred yogurt [J]. *China Dairy Industry*, 2020, 43(8): 1-2
- [20] 郭瑞成, 徐一获, 高冬腊, 等. 巴旦木风味酸奶的研制[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(13): 3-4  
GUO Ruicheng, XU Yidi, GAO Dongla, et al. Development of almond-flavored yogurt [J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(13): 3-4
- [21] 曾寿瀛. 现代乳与乳制品加工技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003  
ZENG Shouying. *Modern Milk and Dairy Products Processing Technology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003
- [22] 梅温泉, 汪禄祥, 方海仙, 等. 8种云南植物油脂肪酸的气相色谱-质谱测定[J]. *分析实验室*, 2016, 35(12): 1432-1437  
MEI Wenquan, WANG Luxiang, FANG Haixian, et al. Determination of fatty acids in eight Yunnan vegetable oils by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Analytical Laboratory*, 2016, 35(12): 1432-1437
- [23] 施万英, 徐甲芬, 蔺淑贤. 高单不饱和脂肪酸型肠内营养制剂(Clucema)用于2型糖尿病[J]. *中国临床营养杂志*, 2004, 12(1): 39-42  
SHI Wanying, XU Jiafen, LIN Shuxian, et al. High-monounsaturated-fat formula for patients with type 2 diabetes receiving enteral nutrition support [J]. *Chinese Journal of Clinical Nutrition*, 2004, 12(1): 39-42
- [24] 吴时敏. 功能性油脂[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001  
WU Shimin. *Functional Grease* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001
- [25] 金素钰, 龚卫华, 杨明, 等. 家庭自制牦牛酸奶中脂肪酸组成的分析[J]. *西南民族大学学报(自然科学版)*, 2007, 33(4): 1-3  
JIN Suyu, GONG Weihua, YANG Ming, et al. Analysis of fatty acid composition of homemade yak yogurt [J]. *Journal of Southwest University for Nationalities Natural Science Edition*, 2007, 33(4): 1-3
- [26] 罗倩, 田计均, 唐媛霞, 等. 山葵酸奶工艺及挥发性风味物质研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(7): 7-9  
LUO Qian, TIAN Jijun, TANG Yuanxia, et al. Analysis and research on the technology and volatile flavor of horseradish yoghurt [J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(7): 7-9