

# 奇亚籽希腊式酸奶的工艺优化研究

马荣琨<sup>1,2\*</sup>, 李望铭<sup>1,2</sup>

(1. 郑州科技学院食品科学与工程学院, 郑州 450064; 2. 郑州市食品安全快速检测重点实验室, 郑州 450064)

**摘要:** **目的** 优化奇亚籽希腊式酸奶的配方和工艺, 并考察其抗氧化性。**方法** 以纯牛奶为主要原料, 奇亚籽、混合发酵剂、乳清蛋白和白砂糖为辅料制作希腊式酸奶, 以感官评分为评价指标, 通过单因素试验和正交试验方法研究奇亚籽希腊式酸奶的最佳配方和工艺。**结果** 奇亚籽添加量、混合发酵剂添加量、乳清蛋白添加量、白砂糖添加量、发酵温度和发酵时间因素均对奇亚籽希腊式酸奶的感官品质产生明显影响。其最佳配方和工艺为: 以纯牛奶质量为基础, 奇亚籽添加量 4%、混合发酵剂添加量 0.3%、乳清蛋白添加量 4%、白砂糖添加量 9%、发酵温度 42 °C、发酵时间 6 h。在此条件下, 奇亚籽希腊式酸奶的蛋白质含量 5.37 g/100 g, pH 为 4.56, DPPH 自由基清除率为 44.68%。**结论** 适量添加奇亚籽可改善希腊式酸奶的感官品质, 并提高其营养价值, 所制奇亚籽希腊式酸奶具有一定的抗氧化效果。

**关键词:** 奇亚籽; 希腊式酸奶; 乳清蛋白; 抗氧化性

## Study on process optimization of Chia seed Greek-style yogurt

MA Rong-Kun<sup>1,2\*</sup>, LI Wang-Ming<sup>1,2</sup>

(1. Department of Food Science and Engineering, Zhengzhou Institute of Science and Technology, Zhengzhou 450064, China; 2. Zhengzhou Key Laboratory of Rapid Detection Technology of Food Safety, Zhengzhou 450064, China)

**ABSTRACT: Objective** To optimize the formula and process of Chia seed Greek-style yogurt, and investigate its antioxidant. **Methods** Pure milk was used as the main raw material, Chia seed, mixed fermentation agent, whey protein and sugar were used as auxiliary materials to produce Chia seed Greek-style yogurt, The optimal formula and process of Chia seed Greek-style yogurt were studied by single factor test method and orthogonal test method with sensory score as indexes. **Results** The addition of Chia seed, mixed fermentation agent, whey protein and sugar, the fermentation temperature and the fermentation time had obvious effects on the sensory scores of Chia seed Greek-style yogurt. The optimum formulas and process of Chia seed Greek-style yogurt were as follows: On the basis of the weight of pure milk, the addition of Chia seed was 4%, the addition of mixed fermentation agent was 0.3%, the addition of whey protein was 4%, the addition of sugar was 9%, the fermentation temperature was 42 °C and the fermentation time was 6 h. Under these conditions, the protein content of the Chia seed Greek-style yoghurt was 5.37 g/100g, the pH was 4.56, and the clearance rate of DPPH free radical was 44.68%. **Conclusion** Appropriate addition of Chia seed can improve the sensory quality of Greek-style yogurt, and enhance its nutritional value, and the prepared Chia seed Greek-style yogurt has a certain degree antioxidant activity.

**KEY WORDS:** Chia seed; Greek-style yogurt; whey protein; antioxidant

基金项目: 郑州科技学院重点学科建设项目

**Fund:** Supported by the Key Discipline Construction Projects of Zhengzhou Institute of Science and Technology

\*通信作者: 马荣琨, 硕士, 副教授, 主要研究方向为乳制品及功能食品技术。E-mail: mrk770@163.com

\*Corresponding author: MA Rong-Kun, Master, Associate Professor, Department of Food Science and Engineering, Zhengzhou Institute of Science and Technology, Zhengzhou 450064, China. E-mail: mrk770@163.com

## 0 引言

希腊式酸奶, 也称为浓缩酸奶, 是源自地中海地区的一种传统酸奶, 其消费量风暴式扩张和增长却是在美国。希腊式酸奶具有蛋白质含量高、脂肪和乳糖含量低、质地细腻、风味浓郁等特点<sup>[1]</sup>, 因而深受国内外消费者所喜爱。希腊式酸奶生产工艺有两种: 一种是采用先发酵, 然后将大部分乳清分离的“滤乳清工艺”; 另一种是在生产过程中添加蛋白粉和增稠剂的“非滤乳清工艺”<sup>[2]</sup>。我国的希腊式酸奶开发生产相对较晚, 目前市场上销售的希腊式酸奶品种以原味、果蔬风味、谷物风味等为主, 如乐纯的水果系列、谷物系列、坚果系列及茶味系列等产品, 安慕希和纯甄的水果系列产品, 莫斯利安的果蔬风味系列产品等。国内有关希腊式酸奶的研究文献<sup>[1,3-5]</sup>较少, 有关奇亚籽希腊式酸奶的研究文献还未见报道。

奇亚籽(*Salvia hispanica*), 又称黑奇亚、墨西哥奇亚, 是一种鼠尾草属的薄荷类草本植物的种子, 产自墨西哥及北美洲的高海拔地区, 至今已有 5000 多年的食用历史<sup>[6]</sup>。奇亚籽富含 *n-3* 系列不饱和脂肪酸、蛋白质、维生素、膳食纤维等多种活性物质, 具有免疫调节(包括预防肠道失衡和炎症性疾病)、抗氧化、降血压、降血脂、改善心血管等功效<sup>[7-10]</sup>。将奇亚籽添加到希腊式酸奶中有助于提高酸奶的功能性。因此, 本研究主要以奇亚籽和纯牛奶为主要原料制作希腊式酸奶, 并优化其工艺条件, 以期丰富希腊式酸奶的花色品种、提升其功能性提供技术支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

全脂纯牛奶(蛋白质含量 3.2 g/100 mL, 蒙牛乳业有限

公司); 奇亚籽(赣州康瑞农产品有限公司); 混合发酵剂(含保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、开菲尔菌、乳双歧杆菌、长双歧杆菌和婴儿双歧杆菌, 昆山佰生优生物科技有限公司); 乳清蛋白粉(乳清蛋白含量 80%, 河南晟发生物科技有限公司); 白砂糖: 市售。

硫酸钾(分析纯, 成都万象宏润生物科技有限公司); 硫酸铜(分析纯, 河南奇峰化工有限公司); 氢氧化钠、盐酸(分析纯, 河南省千灯化工有限公司); 甲基红、溴甲酚绿(分析纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司); 无水乙醇(分析纯, 郑州豫润工贸有限公司); 浓硫酸(分析纯, 开封市旭信化工有限公司); 硼酸(分析纯, 郑州派尼化学试剂厂); 1,1-二苯基-2-苦基肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH, 美国 Sigma 公司)。

### 1.2 仪器与设备

JY2002 电子天平(0.01 g, 上海浦春计量仪器有限公司); L18-Y920 破壁机(九阳股份有限公司); 筛网(80 目, 绍兴市上虞圣超仪器设备有限公司); JA2003A 精密电子天平(0.0001 g, 上海浦春计量仪器有限公司); WT2202 电磁炉(美的集团股份有限公司); HH-6 恒温水浴锅(常州市亿能实验仪器厂); GJJ-25MP 高压均质机(上海科劳机械设备有限公司); HDPN-55 电热恒温培养箱(上海跃进医疗器械厂); PHS-3E pH 计(安徽鸿众医疗器械有限公司); TD-50B 台式离心机(上海安亭科学仪器厂); KDN-04 消化炉、KDN-08B(04B)自动定氮仪(上海洪纪仪器设备有限公司); UV-2800H 紫外可见分光光度计[尤尼柯(上海)仪器有限公司]。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 工艺流程



图 1 奇亚籽希腊式酸奶的工艺流程

Fig.1 Process chart of Chia seed Greek-style yogurt

#### 1.3.2 奇亚籽希腊式酸奶的制作方法

奇亚籽的预处理: 称取一定量的奇亚籽(干籽), 用破壁机粉碎后过 80 目筛, 备用。

成品制备: 以 200 g 纯牛奶为基础, 称取一定量的乳清蛋白粉、奇亚籽粉(加 60 mL 100 °C 水热烫 10 min)、白砂糖。将纯牛奶加热到 40 °C 左右时加入以上 3 种物料, 搅拌均匀, 加热至 65~70 °C 时, 于 25 MPa 下均质 3 min。继续加热至 95 °C, 保持 5 min 进行杀菌。然后快速冷却至 42 °C 加入混合发酵剂, 振摇均匀后于 42 °C 电热恒温培养箱中发酵一定时间, 然后于 4 °C 下后熟 12 h, 即为成品。

#### 1.3.3 单因素试验设计

按照 1.3.2 中酸奶的制作方法, 分别对奇亚籽添加量、混合发酵剂添加量、乳清蛋白添加量、白砂糖添加量、发酵温度和发酵时间因素进行单因素试验, 对其成品进行感官评价。

以牛奶质量为基准, 奇亚籽添加量分别设定为 2%、4%、6%、8%、10%, 添加 2% 乳清蛋白、8% 白砂糖、0.3% 混合发酵剂, 发酵温度 42 °C, 发酵时间为 8 h, 后熟 12 h 制得酸奶; 混合发酵剂添加量分别设定为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%, 添加 4% 奇亚籽, 其他条件同上; 乳清蛋白添加

量分别设定为 1%、2%、3%、4%、5% 进行单因素试验, 添加 4% 奇亚籽, 其他条件同上; 白砂糖添加量分别设定为 6%、7%、8%、9%、10% 进行单因素试验, 添加 4% 奇亚籽, 其他条件同上; 发酵温度分别设定为 36、38、40、42、44 °C 进行单因素试验, 添加 4% 奇亚籽, 其他条件同上; 发酵时间分别设定为 5、6、7、8、9 h 进行单因素试验, 添加 4% 奇亚籽, 其他条件同上; 各试验制得的希腊式酸奶采用感官评价方法进行评价。

### 1.3.4 正交试验设计

在单因素试验基础上确定正交试验设计的因素水平, 分别以奇亚籽添加量(A)、混合发酵剂添加量(B)、乳清蛋白添加量(C)、白砂糖添加量(D)进行  $L_9(3^4)$  正交试验设计, 采用感官评分为评价指标, 优化奇亚籽希腊式酸奶的最佳配方, 正交试验因素及水平见表 1。

表 1 正交试验因素水平表  
Table 1 Factor level table of orthogonal test

水平	因素			
	A 奇亚籽添加量/%	B 混合发酵剂添加量/%	C 乳清蛋白添加量/%	D 白砂糖添加量/%
1	2	0.2	3	8
2	4	0.3	4	9
3	6	0.4	5	10

### 1.3.5 感官评价方法

奇亚籽希腊式酸奶的感官评分标准参考 GB 19302—2010《食品安全国家标准 发酵乳》并略做修改, 见表 2, 选择经专门培训合格的 10 人组成感官评价小组, 对奇亚籽希腊式酸奶的色泽、口感、黏稠度、滋气味、组织状态等指标进行感官评价打分(满分 100 分), 结果取其平均值。

表 2 奇亚籽希腊式酸奶的感官评价标准  
Table 2 Sensory criteria standards of Chia seed Greek-style yogurt

指标	评分标准
色泽(15 分)	色泽均匀一致, 奇亚籽颗粒均匀分布在酸奶中(11~15 分)
	色泽一般, 奇亚籽颗粒分布略不均匀(6~10 分)
	色泽较差, 奇亚籽颗粒分布很不均匀(1~5 分)
口感(20 分)	口感润滑, 无奇亚籽的砂质感(16~20 分)
	口感较润滑, 稍有奇亚籽的砂质感(11~15 分)
	口感稍粗糙, 具有较明显奇亚籽的砂质感(6~10 分)
	口感过于粗糙, 具有强烈的奇亚籽的砂质感(1~5 分)

表 2(续)

指标	评分标准
黏稠度(20 分)	黏度适中(16~20 分)
	黏度稍稀薄(11~15 分)
	黏度较稀薄或较稠(6~10 分)
	黏度过于稀薄或黏稠(1~5 分)
滋气味(20 分)	酸甜适中, 具有浓郁的希腊式酸奶特有风味(16~20 分)
	酸甜较适宜, 具有较浓郁的希腊式酸奶特有的风味(11~15 分)
	酸甜较不协调, 希腊式酸奶风味较淡薄(6~10 分)
	酸甜不协调, 希腊式酸奶风味淡薄, 有异味(1~5 分)
组织状态(25 分)	组织细腻, 奇亚籽与酸奶混合均匀, 不分层, 无颗粒, 无乳清析出(21~25 分)
	组织较细腻, 奇亚籽与酸奶混合较均匀, 稍有微小颗粒或乳清析出(16~20 分)
	组织较细腻, 奇亚籽与酸奶混合稍不均匀, 有少量较小颗粒或乳清析出(11~15 分)
	组织较粗糙, 奇亚籽与酸奶混合较不均匀, 有少量较大颗粒或较多乳清析出(6~10 分)
	组织粗糙不均匀, 奇亚籽在酸奶中分层, 有较多大颗粒或大量乳清析出(1~5 分)

### 1.3.6 理化指标的测定

奇亚籽希腊式酸奶蛋白质含量按照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中第一法凯氏定氮法进行测定; 使用 PHS-3E 型 pH 计对酸奶 pH 进行测定。

DPPH 自由基清除率的测定参照 RUMBAOA 等<sup>[11-12]</sup>的方法略做修改。

0.2 mmol/L DPPH 溶液制备: 准确称取 0.0197 g DPPH, 用无水乙醇溶解后, 定容至 250 mL, 置于 4 °C 冰箱中保存, 使用前放置至室温。

样品处理: 按照酸奶与无水乙醇的比例 1:50 (V:V) 对产品进行稀释, 将样品混合均匀后, 在转速为 3000 r/min 条件下离心 15 min。离心结束后取上清液进行抗氧化性测定。

分别取 DPPH 溶液和样品上清液各 2 mL 于 10 mL 离心管中充分混匀, 室温下避光放置 30 min, 于波长 517 nm 下测定吸光值。按照公式(1)进行计算:

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = [1 - (A_i - A_j)/A_0] \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $A_i$  为样品酸奶的吸光度;  $A_0$  为对照组(无水乙醇溶液)吸光度;  $A_j$  为空白组(等体积无水乙醇溶液代替 DPPH 溶液)吸光度。

### 1.3.7 数据统计与处理方法

采用 Origin 7.5 软件及 Excel 2016 进行数据统计和处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 奇亚籽添加量对希腊式酸奶感官品质的影响

随着奇亚籽添加量增加,奇亚籽希腊式酸奶的感官评分呈现先升高后降低的趋势。当奇亚籽的添加量为4%时,酸奶的感官评分最高(89分),口感润滑、组织细腻,奇亚籽在酸奶中分布均匀。这表明适当提高发酵体系的总固体含量,可增强酪蛋白凝胶的持水性,改善酸奶品质<sup>[13]</sup>。但当奇亚籽添加量低于4%时,希腊式酸奶黏度略低,有少量乳清析出现象。酸奶乳清析出原因较多,如配料中总固体含量(蛋白质含量)低、操作过程中热处理过度、酸化速率过快、发酵温度过高等<sup>[13-15]</sup>。而当奇亚籽含量过低时,不能提供必要的总固体含量以提高凝胶体系的持水性,可能是导致乳清析出的原因。当奇亚籽添加量超过4%时,希腊式酸奶组织逐渐变得较不均匀、口感粗糙,有较大颗粒及沉淀现象。其原因可能是配料总固体含量过高,奇亚籽中的纤维素强烈吸水造成的。因此奇亚籽较适宜的添加量范围为2%~6%。

### 2.2 混合发酵剂添加量对希腊式酸奶感官品质的影响

菌种添加量是影响酸奶最终品质的主要因素之一<sup>[16]</sup>。随着混合发酵剂添加量增加,奇亚籽希腊式酸奶的感官评分呈现先升高后降低的趋势,当混合发酵剂添加量为0.3%时,其感官评分最高(93分),此时的希腊式酸奶口感酸甜适中、组织黏稠细腻、无砂质感,表明适当的混合发酵剂添加量有利于改善希腊式酸奶的品质。但当混合发酵剂添加量低于0.3%时,希腊式酸奶发酵不充分,易出现组织偏稀、酸味较淡现象。其原因是混合发酵剂添加量过少,酸化速度慢,酸化过程中分子发生重排形成局部致密的凝胶网络结构,这些结构之间联系很少,从而形成较弱的凝胶<sup>[17]</sup>,影响酸奶的组织状态。当混合发酵剂添加量超过0.3%时,酸奶的酸味逐渐加重,易出现酸甜不协调现象,组织粗糙,硬度增大,这是由于pH下降过快,蛋白质被锁定到一个更分散的结构中,其密度可能更高,甚至更强<sup>[18-19]</sup>。因此菌种的较适宜添加量范围为0.2%~0.4%。

### 2.3 乳清蛋白添加量对希腊式酸奶感官品质的影响

随着乳清蛋白添加量的不断增加,奇亚籽希腊式酸奶的感官评分呈现先逐步升高而后迅速降低的趋势。当乳清蛋白加入4%时,其感官评分达到最高(92分),此时的希腊式酸奶酸甜适宜、组织黏稠细腻、口感润滑。这表明乳清蛋白的添加提高了发酵体系的总固体物(蛋白质)含量,乳清蛋白与酪蛋白凝胶结合,强化了酪蛋白凝胶特性,增加了酸奶的硬度和黏度,从而改善了酸奶品质<sup>[20]</sup>。但当乳清蛋白添加量低于4%时,希腊式酸奶组织有乳清析出,表明乳清蛋白添加量较少时不能有效改善酪蛋白凝胶的持水

性。当乳清蛋白添加量超过4%时,奇亚籽希腊式酸奶易出现组织不细腻均匀,有颗粒、凝块现象,表明此时乳清蛋白添加量已造成希腊式酸奶的硬度和黏稠度过大。因此乳清蛋白较为适宜的添加量范围为3%~5%。

### 2.4 白砂糖添加量对希腊式酸奶感官品质的影响

白砂糖对奇亚籽希腊式酸奶感官品质的影响主要体现在甜度和风味协调性。随着白砂糖添加量的增加,酸奶的感官评分呈现先逐渐升高而后降低的趋势。当白砂糖添加量为9%时,其感官评分达到最高(93分),奇亚籽希腊式酸奶口感酸甜适中,组织细腻。但当白砂糖添加量低于9%时,酸奶主要表现为酸甜不协调、偏酸涩现象;当白砂糖的添加量大于9%时,酸奶口感偏甜腻、酸甜滋味逐渐变得不协调。综上,白砂糖较适宜的添加范围为8%~10%。

### 2.5 发酵温度对希腊式酸奶感官品质的影响

发酵温度直接影响菌种的生长繁殖速率,进而对希腊式酸奶的感官品质产生较大影响。嗜热链球菌的最适生长温度为37~42℃,保加利亚乳杆菌的最适生长温度为42~45℃,因此酸奶的发酵温度应该在42℃左右<sup>[21]</sup>。随着发酵温度的逐渐升高,奇亚籽希腊式酸奶的感官评分呈现先逐步上升而后快速下降的趋势。当发酵温度为42℃时,酸奶的感官评分最高(90分),此时酸奶口感润滑,酸甜适中,组织黏稠细腻,这表明菌种发酵乳糖产生乳酸的速率适当,酪蛋白酸化形成凝胶的品质较高。但当发酵温度低于42℃时,酸奶易出现组织不够黏稠、酸味不足、稍有砂质感等现象,其原因是菌种生长速率较缓慢、发酵乳糖产生的乳酸量不够充分造成的。当发酵温度大于42℃时,希腊式酸奶易出现组织不均匀、有较大凝块和颗粒感、硬度偏大、酸味偏重、乳清析出等现象,其原因主要是发酵温度过高导致发酵产酸速率过快,造成酪蛋白过度收缩。因此酸奶的最佳发酵温度为42℃。

### 2.6 发酵时间对希腊式酸奶感官品质的影响

随着发酵时间的增加,奇亚籽希腊式酸奶的感官评分呈现出先升高而后逐步降低的趋势。当发酵时间为6h时,酸奶的感官评分达到最高(90分),此时酸奶香气较浓郁、口感酸甜适中、组织黏稠细腻,表明此时产生的风味物质较佳,酪蛋白凝胶品质较好。但当发酵时间低于6h时,因发酵不足导致产生的乳酸量较少,造成酸甜不协调,酸奶凝固不充分,缺乏希腊式酸奶特有的香气和组织状态;当发酵时间大于6h时,希腊式酸奶酸味逐渐变得偏重、不协调,组织状态较硬且有乳清析出现象。这是由于随着发酵时间的延长,产酸量上升使口感过酸,乳清析出较多,影响口感,酪蛋白过度收缩,破坏了组织状态<sup>[22]</sup>。因此奇亚籽希腊式酸奶的最佳发酵时间为6h。

## 2.7 正交试验

在单因素试验的基础上,选取奇亚籽添加量(A)、混合发酵剂添加量(B)、乳清蛋白添加量(C)和白砂糖添加量(D)

作为考察因素,以感官评分作为指标,选择  $L_9(3^4)$  正交表实施正交试验,以确定奇亚籽希腊式酸奶的最优配方。正交试验因素水平及结果分析见表 3。

表 3 正交试验结果分析  
Table 3 Orthogonal experiment results analysis

试验号	因素				感官评分/分
	A 奇亚籽添加量/%	B 混合发酵剂添加量/%	C 乳清蛋白添加量/%	D 白砂糖添加量/%	
1	1 (2)	1 (0.2)	1 (3)	1 (8)	60
2	1	2 (0.3)	2 (4)	2 (9)	87
3	1	3 (0.4)	3 (5)	3 (10)	76
4	2 (4)	1	2	3	82
5	2	2	3	1	89
6	2	3	1	2	83
7	3 (6)	1	3	2	68
8	3	2	1	3	80
9	3	3	2	1	79
$K_1$	223	210	223	228	
$K_2$	254	256	248	238	
$K_3$	227	238	233	238	
$k_1$	74.3	70.0	74.3	76.0	
$k_2$	84.7	85.3	82.7	79.3	
$k_3$	75.7	79.3	77.7	79.3	
R	10.4	15.3	8.4	3.3	

由表 3 直观分析可知,感官评分最高的是 5 号试验,其组合为  $A_2B_2C_3D_1$ 。从极差分析来看,各因素影响奇亚籽希腊式酸奶感官品质的主次顺序为  $B$ (混合发酵剂添加量)  $> A$ (奇亚籽添加量)  $> C$ (乳清蛋白添加量)  $> D$ (白砂糖添加量),即混合发酵剂添加量对酸奶的感官品质影响最大,其次为奇亚籽添加量和乳清蛋白添加量,白砂糖添加量的影响最弱。因白砂糖的后两个水平的  $k$  值相等,以白砂糖量少为原则,奇亚籽希腊式酸奶的最佳组合为  $A_2B_2C_2D_2$ 。直观分析与极差分析不一致,故需进行验证试验。验证试验结果见表 4。

表 4 验证试验结果  
Table 4 Results of verification test

组合	感官评价	综合评分
$A_2B_2C_2D_2$	组织黏稠细腻,口感酸甜适中,无砂质感	93
$A_2B_2C_3D_1$	组织黏稠略有凝块、颗粒感,口感稍偏酸,稍有砂质感	89

由表 4 知,二者主要差别是乳清蛋白和白砂糖添加量。组合  $A_2B_2C_2D_2$  感官评分相对较高,酸奶品质较好。组合  $A_2B_2C_3D_1$  因乳清蛋白添加量略多、白砂糖添加量相对较少,导致酸奶出现有凝块和颗粒感,酸甜滋味不够协调等现象。因此,奇亚籽希腊式酸奶的最优组合为  $A_2B_2C_2D_2$ ,即奇亚籽添加量 4%、混合发酵剂添加量为 0.3%、乳清蛋白添加量为 4%、白砂糖添加量 9%。经检测,其蛋白质含量为 5.37 g/100 g, pH 为 4.56,符合希腊式酸奶的品质要求。

## 2.8 奇亚籽希腊式酸奶的抗氧化性

DPPH 自由基清除能力是评估发酵乳抗氧化性的重要指标,自由基与供氢物质发生反应生成稳定物质,阻止自由基链反应<sup>[23]</sup>。经检测,最佳组合的奇亚籽希腊式酸奶的 DPPH 自由基清除率为 44.68%,高于文献报道的百合希腊式酸奶的 DPPH 自由基清除率(12.41%)<sup>[5]</sup>,具有更好的抗氧化性能。在奇亚籽希腊式酸奶中,除乳酸菌外,奇亚籽因含有较多的不饱和脂肪酸,及其他抗氧化活性成分,如生育酚、甾醇和酚类化合物包括绿原酸、杨梅黄酮、槲皮素和山奈酚等<sup>[24]</sup>,具有较强的抗氧化活性。冉世宇等<sup>[25]</sup>研

究了奇亚籽油的抗氧化活性, 并经动物试验证实了奇亚籽油能有效降低力竭运动大鼠血清中丙二醛含量, 增加其血清中过氧化氢酶和超氧化物歧化酶含量, 表明奇亚籽油具有较好的抗氧化活性。高妮娜等<sup>[26]</sup>对奇亚籽油的提取工艺进行了优化, 并发现奇亚籽油的质量浓度与 DPPH 自由基的清除率呈正相关, 质量浓度为 50 mg/mL 时自由基清除率可达到 80%以上。与之相比, 奇亚籽希腊式酸奶的自由基清除率较低, 其原因可能是酸奶中奇亚籽的质量浓度相对较低, 所提供的抗氧化活性成分含量相对较少造成的。因此, 将奇亚籽应用于希腊式酸奶中, 能有效改善希腊式酸奶的抗氧化效果。

### 3 结论与讨论

本研究采用感官评价法分析了奇亚籽添加量、混合发酵剂添加量、乳清蛋白添加量、白砂糖添加量、发酵温度和发酵时间对奇亚籽希腊式酸奶感官品质的影响状况, 并优化了其工艺条件。在影响奇亚籽希腊式酸奶的诸因素中, 白砂糖对希腊式酸奶感官评分影响程度最小, 在实际应用中可根据消费者的嗜好性做调整; 其他因素对希腊式酸奶的感官品质影响相对较大。最佳工艺条件下奇亚籽希腊式酸奶的蛋白质含量为 5.37 g/100 g, 符合目前市场上希腊式酸奶的蛋白质含量要求, 且具有一定的抗氧化效果。奇亚籽因具有较强的吸水性, 在酸奶配料中添加量过大会造成较大颗粒或团块出现, 难于分散均匀。此外, 奇亚籽含有蛋白质、脂肪、粗纤维等多种成分<sup>[8]</sup>, 而且黑、白奇亚籽的组成成分存在一定差异<sup>[27]</sup>。这些成分及其差异状况对不同脂肪含量的希腊式酸奶的感官品质、流变学特性、微观结构及抗氧化性等方面产生的影响, 还有待进一步深入研究。另外, 本研究所用的混合发酵剂包含保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、开菲尔菌、乳双歧杆菌、长双歧杆菌和婴儿双歧杆菌等。在酸奶发酵过程中各类菌种因具有不同的生长条件和生长特性, 多个菌种之间可能存在互利共生、竞争关系, 从而使发酵酸奶具有明显的品质优势, 接下来将进一步研究以上菌种之间的配比对酸奶发酵特性的影响状况, 将为奇亚籽在希腊式酸奶中的应用提供更为完善的科学依据。

### 参考文献

- [1] 武波波, 刘文收, 张伟丽. 希腊式酸奶的研制[J]. 乳业科学与技术, 2012, 35(4): 25-28.
- WU BB, LIU WY, ZHANG WL. Preparation of Greek yogurt [J]. J Dairy Sci Technol, 2012, 35(4): 25-28.
- [2] 杨郁莹, 郑华杰, 王新, 等. 高蛋白酸奶的生产工艺与开发现状[J]. 中国乳品工业, 2019, 47(9): 32-34, 38.
- YANG YH, ZHENG HJ, WANG X, et al. Production technology and development status of high-protein yoghurt [J]. Chin Dairy Ind, 2019, 47(9): 32-34, 38.

- [3] 刘婕, 姜竹茂, 杨宝雨, 等. 玫瑰希腊式酸奶生产工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2018, (2): 161-165.
- LIU J, JIANG ZM, YANG BY, et al. Study on rose Greek yoghurt processing [J]. China Food Addit, 2018, (2): 161-165.
- [4] 苏蔚莹, 蔡舒轶, 薛雯婧, 等. 果味希腊酸奶工艺研究[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(2): 95-97, 124.
- SU WY, CAI SY, XUE WJ, et al. Study on the process of fruity Greek yogurt [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2018, 24(2): 95-97, 124.
- [5] 冯红霞, 李凯, 韩跃军, 等. 百合希腊式酸奶的研制及其抗氧化活性研究[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(9): 58-61.
- FENG HX, LI K, HAN YJ, et al. Development of lily Greek yogurt and its antioxidant activity [J]. Chin Dairy Ind, 2020, 48(9): 58-61.
- [6] MARINELI RDS, MORAES EA, LENQUISTE SA, et al. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean Chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.) [J]. LWT-Food Sci Technol, 2014, 59(2): 1304-1310.
- [7] 姚宏燕, 罗文涛, 杨成, 等. 奇亚籽油的品质特性及提取工艺研究进展[J]. 中国油脂, 2019, 44(4): 46-49.
- YAO HY, LUO WT, YANG C, et al. Progress in quality characteristics and extraction technology of Chia seed oil [J]. China Oils Fats, 2019, 44(4): 46-49.
- [8] THAKUR R, NIMBALKAR R. Quinoa and Chia seeds: Protein isolation, properties, nutritional and health benefits [J]. J Agric Hortic, 2020, 2(9): 9-19.
- [9] 康焯, 王京法, 彭彰智, 等. 奇亚籽保健功能研究进展[J]. 昆明学院学报, 2016, 38(3): 117-121.
- KANG Y, WANG JF, PENG ZZ, et al. Research progress of health function of Chia seed [J]. J Kunming Univ, 2016, 38(3): 117-121.
- [10] ULLAH R, NADEEM M, KHALIQUE A, et al. Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): A review [J]. J Food Sci Technol Mys, 2016, 53(4): 1750-1758.
- [11] RUMBAAO RGO, CORNAGO DF, GERONIMO IM. Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine sweet potato (*Ipomoea batatas*) varieties [J]. Food Chem, 2008, 113(4): 1133-1138.
- [12] 方策, 于淑娜, 张初署, 等. 紫薯花生酸奶的制备工艺及稳定性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(20): 6843-6848.
- FANG C, YU SN, ZHANG CS, et al. Study on preparation technology and stability of purple potato peanut yoghurt [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(20): 6843-6848.
- [13] LUCEY JA, SINGH H. Formation and physical properties of acid milk gels: A review [J]. Food Res Int, 1998, 30(7): 529-542.
- [14] LUCEY JA. The relationship between rheological parameters and whey separation in milk gels [J]. Food Hydrocolloid, 2001, 15(4): 603-608.
- [15] 鞠印凤, 崔立雪. 搅拌型酸奶生产中易出现的质量缺陷及控制[J]. 中国乳业, 2013, (4): 52-54.
- JU YF, CUI LX. Quality defects and control in the production of stirred yogurt [J]. Chin Dairy Ind, 2013, (4): 52-54.
- [16] BILIADERIS CG, KHAN MM, BLANK G. Rheological and sensory properties of yogurt from skim milk and ultra filtered retentates [J]. Int Dairy J, 1992, 2(5): 311-323.
- [17] LANGE I, MLEKO S, TOMCZYNSKA-MLEKO M, et al. Technology and factors influencing Greek-style yogurt: A review [J]. Ukrainian Food J, 2020, 9(1): 7-35.
- [18] THOMPSON A, BOLAND M, SINGH H. Milk protein: From expression

- to food [M]. New York: American Academic Press, 2009.
- [19] LEE WJ, LUCEY JA. Structure and physical properties of yogurt gels: Effect of inoculation rate and incubation temperature [J]. *J Dairy Sci*, 2004, 87(10): 3153–3164.
- [20] SFAKIANAKIS P, TZIA C. Conventional and innovative processing of milk for yogurt manufacture; development of texture and flavor: A review [J]. *Foods*, 2014, 3(1): 176–193.
- [21] 秦南冰, 李妍, 袁珠妮, 等. 保加利亚乳杆菌与嗜热链球菌的比例变化对酸奶品质的影响[J]. *中国乳品工业*, 2011, 39(2): 37–40.  
QIN NB, LI Y, YUAN ZN, *et al.* Vary of the ratio of *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* during inoculation and fermentation and its effect on yoghurt quality [J]. *Chin Dairy Ind*, 2011, 39(2): 37–40.
- [22] 吴海燕, 邵元健, 李文婷. 紫薯南瓜凝固型酸奶发酵工艺研究[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(23): 94–97.  
WU HY, SHAO YJ, LI WT. Research on fermentation technology of purple sweet potato and pumpkin yoghurt [J]. *Food Res Dev*, 2015, 36(23): 94–97.
- [23] SAH BNP, VASILJEVIC T, MCKECHNIE S, *et al.* Effect of refrigerated storage on probiotic viability and the production and stability of antimutagenic and antioxidant peptides in yogurt supplemented with pineapple peel [J]. *J Dairy Sci*, 2015, 98(9): 5905–5916.
- [24] AYERZA R, COATES W. Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown Chia (*Salvia hispanica* L.) [J]. *Ind Crop Prod*, 2011, 34(2): 1366–1371.
- [25] 冉世宇, 房磊, 刘静雪. 奇亚籽油对力竭运动大鼠体内脂质过氧化物和抗氧化酶影响的研究[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(10): 95–97.  
RAN SY, FANG L, LIU JX. Study on effects of Chia seed oil on lipid peroxidation and antioxidant enzymes in exhausted exercise rats [J]. *J Cere Oils*, 2020, 33(10): 95–97.
- [26] 高妮娜, 刘鸿铖, 樊红秀, 等. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取奇亚籽油工艺优化及抗氧化活性的研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(8): 217–222.  
GAO NN, LIU HC, FAN HX, *et al.* Process optimization and antioxidant activity of Chia seed oil extracted by supercritical CO<sub>2</sub> [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(8): 217–222.
- [27] 韩凯, 李欣阳, 赵相宇, 等. 奇亚籽营养成分分析及其饮料工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(12): 163–170, 177.  
HAN K, LI XY, ZHAO XY, *et al.* Analysis of nutritional components of Chia seeds and its optimization of beverage process [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2019, 40(12): 163–170, 177.

(责任编辑: 郑丽于梦娇)

## 作者简介



马荣琨, 硕士, 副教授, 主要研究方向为乳制品及功能食品技术。  
E-mail: mrk770@163.com