鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳的工艺优化及品质研究

梁 一，刘双博，杨靖亚*

上海海洋大学食品学院，上海 201306

摘 要：[目的]开发一种营养丰富的新型山羊奶发酵乳。[方法]以鹰嘴豆和山羊奶为主要原料复配发酵乳，通过单因素试验和正交试验，优化生产工艺，分析其品质。[结果]鹰嘴豆与山羊奶的最佳复配比例为20∶80，甜味剂添加量8%、稳定剂添加量0.5%、发酵剂添加量150 U、发酵时间为6 h。在此条件下，发酵乳的感官评分达92.8 分，酸度为88.3 ° T，乳酸菌数为10.6 l g（CFU/g），均符合国家现行标准。此外，该产品苷元型异黄酮的含量丰富，尤其是鹰嘴豆芽素A的含量高达249.1 mg/kg。[结论]该新型发酵乳口感良好、营养丰富，可进一步丰富发酵乳饮品的种类。

关键词：鹰嘴豆；山羊奶；发酵乳；正交试验

文章编号：1671–4393（2025）03–0105–07 DOI:10.12377/1671–4393.25.03.17

0 引言

鹰嘴豆是维吾尔族常食的药食兼用豆类，被誉为“营养之花”和“豆中之王”，广泛分布于印度半岛、北非和中东等50 多个国家[1]。作为一种高营养的豆类植物，鹰嘴豆富含多种营养素和活性物质，如植酸、甾醇、类胡萝卜素等，并含有丰富的异黄酮等成分[2]，有较高的药用价值[3]，如具备降低血糖[4]、抗氧化[5]、预防心血管疾病[6]等功效。

山羊奶是与母乳最相近的乳制品[7]，因营养丰富和易吸收，被誉为“奶中之王”。山羊奶的脂肪颗粒体积比牛奶小2/3，更有助于身体吸收，长期饮用不会引起发胖。此外，山羊奶有助于改善吸收不良综合征[8]、缓解炎症性肠病[9, 10]并具有免疫调节功能等[11]。

随着人们健康意识的提升，动物基与植物基结合的产品逐渐走进生活，深受消费者欢迎，得到极大认可。由于鹰嘴豆乳的豆腥味会被乳酸菌在发酵过程释放的独特香气掩盖[12]，因此本研究以鹰嘴豆

作者简介：梁 一（2001–），女，河南南阳人，在读硕士，研究方向为天然产物的活性；
刘双博（1999–），男，河南周口人，在读硕士，研究方向为膳食多酚对代谢疾病的影响。
*通信作者：杨靖亚（1976–），女，陕西宝鸡人，博士，副教授，硕士生导师，研究方向为分子药理和天然产物的应用开发。

中国乳业线上阅读

和山羊奶为主要原料进行复配，研制一款新型植物基发酵乳，这不仅丰富了发酵乳饮料种类，也为鹰嘴豆和山羊奶的深加工提供新思路，有显著的经济效益和社会效益，市场前景广阔。基于此，本研究改进了产品风味、生产工艺等，研发出一款鹰嘴豆复配山羊奶的发酵乳，并研究其品质。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 材料与试剂

鹰嘴豆，山羊奶，白砂糖，市售；果胶，丹尼斯克(中国)有限公司；YO-MIX® PRIME 800发酵菌种，杜邦营养与生物科技；生理盐水、月桂基硫酸盐胰蛋白胨肉汤（LST）、BGLB培养基、酚酞、氢氧化钠、七水硫酸钴，国药集团化学试剂有限公司；甲醇，美国赛默飞世尔科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

超声波清洗机（UC-9000），深圳市朗杰超声电器有限公司；高效液相色谱仪（Waters e2695），沃特世科技（上海）有限公司；培养箱（Heratherm™），美国赛默飞世尔科技公司；超净台（HD-850），上海舍岩仪器有限公司；真空旋转蒸发仪（Hei-VAP Core），海道尔夫仪器设备（上海）有限公司；分析天平（XPR106DUH/AC），梅特勒托利多国际贸易（上海）有限公司。

1.2 方法

1.2.1 鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳的制备工艺

山羊奶→灭菌（110 ℃，15 min）→按比例加入鹰嘴豆浆、白砂糖、果胶→混匀→接种发酵剂→发酵（42 ℃）→后熟（2～8 ℃，24 h）→成品→冷藏（4 ℃冰箱）。

1.2.2 单因素试验

在预试验结果基础上，以感官评分为评价指标，探究鹰嘴豆与山羊奶的复配比例（100∶0、0∶100、15∶85、20∶80、25∶85），甜味剂添加量（2%、4%、6%、8%、10%），稳定剂添加量（0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%），发酵剂添加量（50 U、100 U、150 U、200 U、250 U），发酵时间（6 h、7 h、8 h、9 h、10 h）对鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳的品质影响。

1.2.3 正交试验

在鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳的单因素试验优化基础上设计正交试验，以甜味剂、稳定剂、发酵剂的添加量及发酵时间4 个因素作为主要影响因素，正交试验设计见表1。

表 1 正交试验设计

水平	因素			
	A 甜味剂添加量（%）	B 稳定剂添加量（%）	C 发酵剂添加量（U）	D 发酵时间（h）
1	6	0.3	100	6
2	8	0.4	150	7
3	10	0.5	200	8

1.2.4 感官评价

参考《RHB 104—2020 发酵乳感官评鉴细则》并适当调整。从色泽、滋味和气味、组织状态3 个方面进行感官评价。感官评价小组10 名成员匿名打分，得分越高表示发酵乳的总体喜好度越佳。去除每组的最高和最低分后，计算各指标的平均值，感官评价各指标分值见表2。

1.2.5 乳酸菌的测定

根据《GB 4789.35—2023 食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验》要求，测定产品中乳酸菌总数。3 次平行试验后，取其平均值作为活菌数量，结果以每克发酵液中含有的活菌数（CFU/g）表示。

1.2.6 酸度的测定

按照《GB 5009.239—2016 食品安全国家标准 食品酸度的测定》标准，测定产品酸度。

1.2.7 异黄酮含量的测定

采用高效液相色谱（HPLC）技术测定产品中异黄酮成分及其含量。准确称取5.00 g均匀混合的发酵乳样品，置于100 mL锥形瓶中，并加入30 mL

中国乳业线上阅读

表 2 鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳感官评分表

评价指标	评分标准	得分（分）
色泽	色泽均匀一致，呈乳白色，微带黄色，具有光泽	25 ~ 30
	色泽较均匀，光泽度一般	15 ~ 24
	色泽不均匀，无光泽	< 15
滋味和气味	奶香浓郁、具有良好的鹰嘴豆风味，无异味，酸甜适中，口感细腻柔和	35 ~ 40
	奶香较淡、带有轻微的鹰嘴豆风味，无异味，酸甜较适中，口感较柔和	20 ~ 34
	无奶香味、几乎没有鹰嘴豆风味，有异味，偏酸或偏甜，口感难以接受	< 20
组织状态	组织均匀且稳定，细腻，黏稠度适中，无气泡，无乳清析出，无悬浮物，无杂质	25 ~ 30
	组织较均匀稳定，有颗粒，黏稠度一般，无气泡或有少量气泡，无杂质	15 ~ 24
	组织松散，黏稠度差，有乳清析出，有气泡，有杂质	< 15

甲醇溶液，在超声波清洗仪中60 ℃下超声提取20 min，随后以10 000 r/min的转速离心10 min。将上清液转移至100 mL鸡心瓶中，再次加入30 mL甲醇溶液，超声提取20 min，合并前述两步提取的上清液，利用真空旋转蒸发仪旋干提取液，并复溶于10 mL甲醇溶液中，取1 mL浓缩液用0.22 μm滤膜过滤，收集滤液并储存于进样瓶中以备进行HPLC分析。

色谱条件：色谱柱：RP C18柱（4.6 mm×250 mm，粒度5 μm）；检测波长：260 nm；柱温：40 ℃；进样量：20 μL；流速：1.0 mL/min；流动相：A，0.1%的乙酸溶液；B，0.1%的乙酸乙腈溶液；后运行时间5 min；HPLC梯度洗脱条件见表3。

表 3 异黄酮的 HPLC 梯度洗脱条件

时间（min）	流动相 A（%）	流动相 B（%）
0	90	10
15	70	30
20	60	40
30	0	100
50	90	10

1.2.8 数据分析

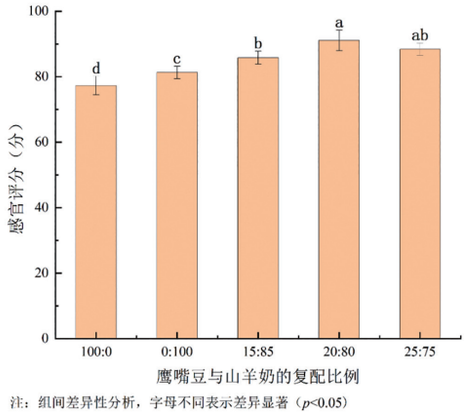
所有样品重复测定3 次，结果以均值±标准偏差的形式表示，并使用Origin软件绘制图表。统计学处理采用IBM SPSS Statistics 21进行显著性差异分析，P <0.05时，表明差异显著。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果与分析

2.1.1 鹰嘴豆与山羊奶复配比例对感官评分的影响

鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳感官评分随鹰嘴豆与山羊奶复配比例变化见图1。研究发现，单一鹰嘴豆发酵乳的感官评分最低，仅77.3 分。原因可能是产品的豆腥味较重，导致可接受程度偏低。此外，单一山羊奶发酵乳的感官评分仅次于单一鹰嘴豆发酵乳，为81.3 分。这是由于山羊奶中的脂肪球较小，短、中链脂肪酸较多且酪蛋白含量较低，造成羊奶膻味重、发酵乳组织状态差[13]。鹰嘴豆与山羊奶复配比例为20∶80时，感官评分最高，为91.1 分。说



注：组间差异性分析，字母不同表示差异显著（p<0.05）

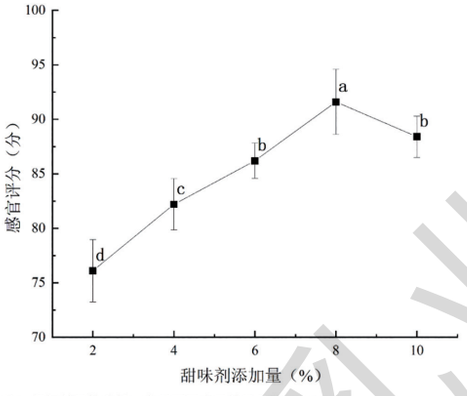
图 1 鹰嘴豆与山羊奶的复配比例对感官评分的影响

中国乳业线上阅读

明鹰嘴豆的加入显著改善了复配发酵乳的风味和组织状态。因此，后续试验选择鹰嘴豆与山羊奶的复配比例为20∶80。

2.1.2 甜味剂添加量对感官评分的影响

适量添加甜味剂有助于改善发酵乳的口感并掩盖异味，提升产品质量。鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳感官评分随甜味剂添加量的变化见图2。甜味剂添加量低于6%时，发酵乳口感不佳，感官评分较低，原因可能是添加量过少无法完全掩盖涩味。甜味剂添加量为8%时，口感细腻、酸甜适中，感官评分最高。甜味剂添加量达10%时，感官评分下滑，原因可能是甜味过重，掩盖了发酵乳固有的风味。因此选择甜味剂添加量6%、8%和10%进行正交优化试验。

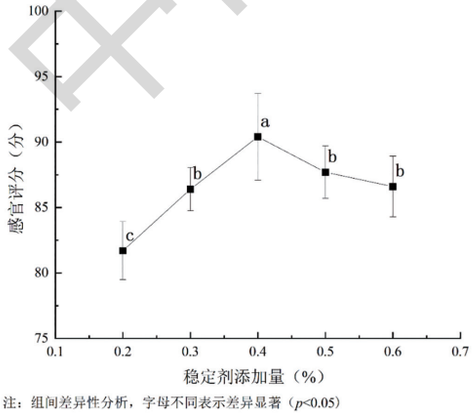


注：组间差异性分析，字母不同表示差异显著（p<0.05）

图 2 甜味剂添加量对感官评分的影响

2.1.3 稳定剂添加量对感官评分的影响

鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳是一种成分复杂且不稳定的乳浊液体系，容易出现分层和蛋白质沉淀的现象。因此，需通过添加稳定剂保证发酵乳的品质[14]，提高其坚实度、黏度和稠度，改善口感，延长货架期。图3显示感官评分随稳定剂添加量的增加先升后降。原因可能是稳定剂添加量较低时可提升发酵乳的黏度与顺滑的口感，但添加量过高时，虽然增强了发酵乳的硬度和黏弹性[15]，却导致口感不细腻，最终导致感官评分降低。稳定剂添加量为0.4%时，感官评分最高。因此选择稳定剂添加量0.3%、0.4%和0.5%的进行正交试验。

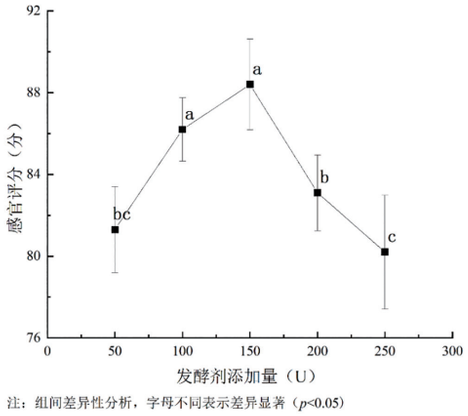


注：组间差异性分析，字母不同表示差异显著（p<0.05）

图 3 稳定剂添加量对感官评分的影响

2.1.4 发酵剂添加量对感官评分的影响

图4显示鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳感官评分随发酵剂添加量的增加先升后降。朱玲等[16]研发甜酒酿复合发酵乳饮料时指出，发酵剂添加量直接影响发酵乳饮料的发酵周期和感官品质。发酵剂添加量低于150 U时，发酵过程不完全，导致口感和质地不理想。发酵剂添加量高于150 U时，过多代谢物积累导致酸度增加，影响产品口感。因此选择发酵剂添加量100 U、150 U和200 U进行正交试验。



注：组间差异性分析，字母不同表示差异显著（p<0.05）

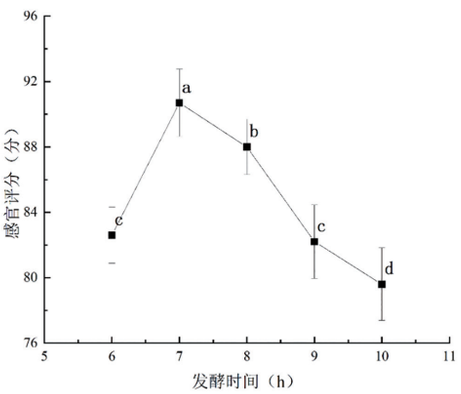
图 4 发酵剂添加量对感官评分的影响

2.1.5 发酵时间对感官评分的影响

发酵乳的品质与发酵时间密切相关。不同发酵时间会导致乳酸发酵过程中产酸量的变化，影响发酵乳品质。图5显示鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳感官评分随发酵时间延长先升后降，在7 h达到最高，为91.7 分。原因可能是随着发酵时间的增加，产酸量增大，发酵效果改善。但发酵时间超过7 h后，感

中国乳业线上阅读

官评分显著下降，这是由于长时间发酵导致营养成分大量消耗，甜度下降，酸度升高，并产生不良风味，影响口感。该研究结果与陈见荣等[17]发表的结果一致，即发酵时间不足会导致发酵效果不佳，使产品缺乏发酵乳原有的风味。因此选择发酵时间6 h、7 h和8 h进行正交试验。



注：组间差异性分析，字母不同表示差异显著（p<0.05）

图 5 发酵时间对感官评分的影响

2.2 正交试验结果与分析

2.2.1 正交试验结果与极差分析

本研究在单因素试验结果基础上设计正交试验，试验结果与极差分析见表4。对试验结果进行方差分析，发现影响鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳感官评分的因素主次顺序为A＞C＞D＞B，即甜味剂添加量＞发酵剂添加量＞发酵时间＞稳定剂添加量。最终确定鹰嘴豆复配山羊奶发酵乳最优的工艺组合为A2B3C2D1，即甜味剂添加量8%、稳定剂添加量0.5%、发酵剂添加量150 U、发酵时间6 h。

2.2.2 验证试验结果

由于正交优化试验组合中没有最优组合A2B3C2D1，因此将该最优组合与正交试验中感官评分最高的组合A2B2C2D1（表4编号5）对比，分别测定两组合的感官评分、酸度、乳酸菌含量（图6）。研究发现，正交试验中的最优组合A2B3C2D1的感官评分略高于正交试验中感官评分最高的组合A2B2C2D1，酸度和乳酸菌含量没有显著性差异。

2.3 最优组合 A2B3C2D1 的理化指标测定

异黄酮类物质是鹰嘴豆的主要活性成分之一，是一种多酚类次生代谢产物，属于天然雌激素，具

表 4 正交试验结果与极差分析

编号	A 甜味剂添加量（%）	B 稳定剂添加量（%）	C 发酵剂添加量（U）	D 发酵时间（h）	水平组合	感官评分（分）
1	1	1	1	1	A1B1C1D1	84.0
2	1	2	3	2	A1B2C3D2	79.1
3	1	3	2	3	A1B3C2D3	83.0
4	2	1	3	3	A2B1C3D3	82.7
5	2	2	2	1	A2B2C2D1	91.0
6	2	3	1	2	A2B3C1D2	88.8
7	3	1	2	2	A3B1C2D2	84.9
8	3	2	1	3	A3B2C1D3	85.7
9	3	3	3	1	A3B3C3D1	85.0
K1	246.1	251.6	258.5	260.0		
K2	262.5	255.8	258.9	252.8		
K3	255.6	256.8	246.8	251.4		
k1	82.0	83.9	86.2	86.7		
k2	87.5	85.3	86.3	84.3		
k3	85.2	85.6	82.3	83.8		
R	5.5	1.8	4.0	2.4		
最优水平	A2	B3	C2	D1		
因素主次	A ＞ C ＞ D ＞ B					
最优组合	A2B3C2D1					

中国乳业线上阅读

有抗氧化、抗癌、降血脂等多种生理功能[18]。天然异黄酮主要有两种存在形式：一类为糖苷型异黄酮，占总异黄酮的97%～98%；另一类为苷元型异黄酮。由于糖苷型异黄酮与葡萄糖结合形成稳定的糖苷键不易断裂，难以被人体消化吸收，而苷元型异黄酮可直接被人体消化吸收[19]。因此本研究分析最优组合A2B3C2D1中两种异黄酮的水平，分别考察糖苷型（如染料木苷、刺芒柄花苷）和苷元型（如鹰嘴豆芽素A、染料木素、芒柄花黄素）两种类型异黄酮含量（图7）。发现苷元型异黄酮含量显著高于糖苷型异黄酮，表明该发酵乳可能具有潜在抗氧化、降血脂等多种保健功能。

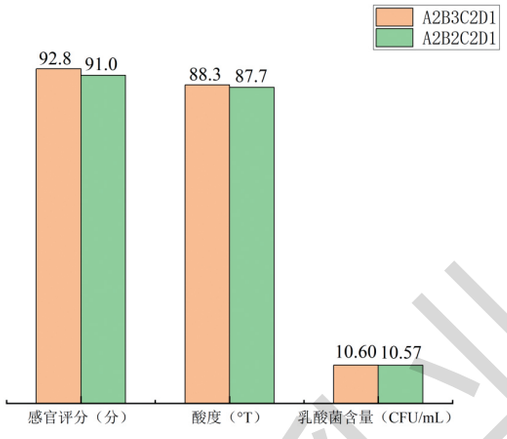


图 6 组合 A2B3C2D1 与组合 A2B2C2D1 感官评分、酸度、乳酸菌含量对比

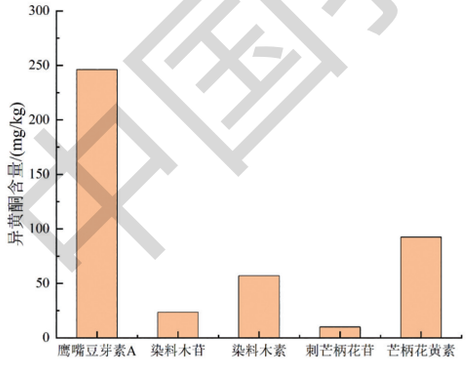


图 7 最优组合 A2B3C2D1 中异黄酮含量

3 结论

本研究通过单因素试验和正交试验，优化鹰嘴豆与山羊奶复配发酵乳的生产工艺。研究结果表明，最佳工艺参数为：鹰嘴豆与山羊奶的复配比例20∶80，甜味剂添加量8%，稳定剂添加量0.5%，发酵剂添加量150 U，发酵时间6 h。在此条件下，发酵乳的感官评分最高达92.8 分，酸度为88.3 °T，乳酸菌数为10.6 lg（CFU/g），所有指标均符合国家现行标准。制得发酵乳颜色均匀，口感酸甜柔滑，无异味、沉淀。此外，苷元型异黄酮含量丰富，尤其是鹰嘴豆芽素A含量高达249.1 mg/kg。

参考文献

[1] 张瑞，韩加.鹰嘴豆的化学成分与保健功效[J].中国野生植物资源，2019，38（3）：49–53.
[2] 吴迪，尚芯竹，白洋，等.响应面法优化鹰嘴豆–黑木耳多糖酸奶工艺及质构特性研究[J].粮食与油脂，2022，35（7）：136–140，146.
[3] 周建军.鹰嘴豆异黄酮的提取纯化工艺及其应用研究[D].上海：东华大学，2010.
[4] 薛峰.维药鹰嘴豆化学成分及降糖活性研究[D].长春：吉林农业大学，2015.
[5] 许风成.鹰嘴豆黄酮的提取、分离纯化及初步结构表征[D].石河子：石河子大学，2013.
[6] 郭靖，于新，陈于陇，等.鹰嘴豆生物活性成分及其功能研究进展[J].农产品加工，2021（3）：76–79，83.
[7] 焦凌梅，袁唯.改善山羊乳风味的方法研究[J].中国乳业，2006（6）：56–58.
[8] 刘岸书，范志红.山羊奶营养成分及其功能研究进展[J].中国乳品工业，2021，49（12）：33–38.
[9] Paturi G，Butts C A，Hedderley D，et al.Goat and cow milk powder–based diets with or without prebiotics influence gut microbial populations and fermentation products in newly weaned rats[J].Food Bioscience，2018，24：73–79.
[10] Daddaoua A，Puerta V，Requena P，et al.Goat milk oligosaccharides are anti–inflammatory in rats with hapten–induced colitis[J].Journal of Nutrition，2006，136（3）：672–676.
[11] Jirillo F，Martemucci G，D'Alessandro A G，et al.Ability of goat milk to modulate healthy human peripheral blood lymphomonocyte and polymorphonuclear cell function：In vitro effects and clinical implications[J].Current Pharmaceutical Design，2010，16（7）：870–876.
[12] Bao Y，Zhang Y，Li H，et al.In vitro screen of Lactobacillus plantarum as probiotic bacteria and their fermented characteristics in soymilk[J].Annals of Microbiology，2012，

中国乳业线上阅读

62（3）：1311–1320.
[13] 王道滇，肖梦林，魏光强，等.基于干酪乳杆菌ZLC01的山羊奶发酵乳及其特征性代谢物研究[J].食品与发酵工业，2024，50（9）：71–80.
[14] 李春梅，陈恩海，韩佳临，等.红茶、玫瑰花发酵乳饮料工艺技术的优化[J].食品研究与开发，2023，44（20）：160–166.
[15] 庞志花，曹金诺，郑羽萌，等.不同类型亲水胶体对豆乳酸奶质构、流变学特性的影响[J].食品与发酵工业，2019，45（3）：1–6.
[16] 朱玲，赵宁.甜酒酿复合发酵乳饮料的研发[J].饮料工业，2023，26（1）：46–51.
[17] 陈见容，范青青，任立焕，等.西瓜发酵乳饮料工艺研究[J].保鲜与加工，2019，19（2）：97–102，107.
[18] 陈文晋，孔庆全，赵存虎，等.鹰嘴豆营养功能研究进展[J].北方农业学报，2019，47（2）：119–123.
[19] 李紫微，曹庸，苗建银.大豆异黄酮及其苷元的研究进展[J].食品工业科技，2019，40（20）：348–355.

Study on Process Optimization and Quality of Fermented Milk with Chickpea Goat Milk

LIANG Yi，LIU Shuangbo，YANG Jingya*
College of Food Sciences & Technology，Shanghai Ocean University，Shanghai 201306

Abstract：[Objective]To develop a new type of fermented goat milk with rich nutrition.[Method]Using chickpeas and goat milk as the main ingredients to compound fermentation milk. The production process was optimized by single-factor test and orthogonal test，and its quality was analyzed.[Result] The optimal compound ratio of chickpeas and goat milk was 20∶80，the content of sweetener was 8%，the content of stabilizer was 0.5%，the content of starter culture was 150 U，and the fermentation time was 6 hours. Under these conditions，the sensory score of fermented goat milk was 92.8，the acidity was 88.3 °T，and the lactic acid bacteria count was 10.6 l g（CFU/g）which met the current national standards. In addition，the content of aglycone isoflavones was rich，especially the content of chickpea was as high as 249.1 mg/kg.[Conclusion]The new fermented milk has good taste and rich nutrition，and could further diversify the types of fermented milk beverages.

Keywords：chickpea；goat milk；fermented milk；orthogonal test

中国乳业线上阅读