响应面法优化蕨麻酸奶工艺及品质分析

于翠翠，阎莹莹，张文会

（西藏自治区农牧科学院农产品开发与食品科学研究所，西藏 拉萨 850000）

摘　要：以蕨麻、纯牛奶为主要原料，研究并确定蕨麻酸奶的最优制备工艺。以感官评分为评价指标，通过单因素和响应面试验优化蕨麻添加量、发酵剂添加量、蕨麻目数和水添加量对蕨麻酸奶感官评分的影响，确定蕨麻酸奶的制作工艺。采用电子鼻、质构仪对蕨麻酸奶的风味、组织结构进行评价分析。结果表明：蕨麻酸奶的最佳工艺条件为：蕨麻添加量 5.08%、发酵剂（植物乳植杆菌、德氏乳杆菌保加利亚亚种、嗜热链球菌比例为 3∶2∶2）添加量 0.15%、蕨麻目数 160 目、水添加量 4.84 mL、白砂糖添加量 8%，发酵时间 7 h。在此工艺条件下制得的蕨麻酸乳感官评分为 85.52 分，产品组织状态良好，风味独特，整体品质较优。

关键词：蕨麻酸奶；响应面法；工艺优化；质构特性

中图分类号：TS252.54　　**文献标识码**：A

Optimization of *Potentilla Anserina* L. yogurt processing and quality analysis by response surface methodology

Yu Cuicui, Yan Yingying, Zhang Wenhui

(Institute of Agricultural Products Development and Food Science, Xizang Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa Xizang 850000, China)

Abstract: Using *Potentilla anserina* and pure milk as raw materials, this study optimized the preparation technology of *Potentilla anserina* yogurt. Single-factor test and response surface methodology (RSM) were adopted to analyze the effects of *Potentilla anserina* dosage, starter addition, mesh size of *Potentilla anserina* powder and water dosage on sensory score, so as to determine the optimal processing parameters. Electronic nose and texture analyzer were used to test the flavor and texture properties of finished yogurt. The optimal technological conditions were determined as follows: *Potentilla anserina* powder 5.08%, starter inoculation amount 0.15% (ratio of *Lactiplantibacillus plantarum* : *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* : *Streptococcus thermophilus*=3 : 2 : 2), mesh size 160, water addition 4.84 mL, sucrose 8%, fermentation time 7 h. Under this condition, the sensory score of yogurt reached 85.52, with uniform texture and unique flavor, showing excellent comprehensive quality.

Key words: *Potentilla anserina*; response surface methodology; processing optimization; texture property

蕨麻 *Potentilla anserina* L.是蔷薇科委陵菜属的草本植物[1-2]，在西藏又被称为人参果，国内主要分布在青藏高原等地区。《四部药典》记载其入药有健脾补胃、补血补气等作用[2-3]。在藏医中蕨麻可止咳利痰、收敛止血，同时也具有止热泻、治诸血症等功效[4-6]。蕨麻富含蛋白质、膳食纤维、维生素、矿物质等基础营养物质和皂苷、多糖等活性成分[7-11]，具有抗炎症、提高免疫力、

收稿日期：2026-03-22

基金项目：那曲蕨麻资源创新利用与产品研发项目（NQKJ-2024-05）。

作者简介：于翠翠（1988—），女，硕士，助理研究员，主要从事特色农产品开发，E-mail：913180271@qq.com。

通信作者：张文会（1979—），男，硕士，研究员，主要从事特色农产品开发，E-mail：zhhf08@163.com。

控制血糖、降低胆固醇等多种功效，是一种高价值药食同源型经济植物[12-15]。现阶段蕨麻研究集中于活性物质多糖、多酚、皂苷、生物碱等功能物质研究[16]，产品主要集中在蕨麻饮品等[17]。在西藏传统饮食习俗中常将蕨麻与酸奶搭配食用，因此本研究以蕨麻和纯牛奶为主要原料，采用植物乳植杆菌、德氏乳杆菌保加利亚亚种、嗜热链球菌进行发酵，研制一款营养丰富、风味独特的蕨麻酸奶，并对其进行品质评价。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

蕨麻，购于西藏特产店；纯牛奶，伊利乳业股份有限公司；植物乳植杆菌、德氏乳杆菌保加利亚亚种、嗜热链球菌，山东威凯海思生物工程有限公司；白砂糖，太古糖业有限公司上海分公司。多功能粉碎机（KF-X500），厦门康源鑫有限公司；蒸烤箱，松下电器产业株式会社；酸奶机（SNJ-C10P2），广东小熊电器有限公司；恒温磁力搅拌水浴锅，浙江欧莱仪器有限公司；电子鼻（pen3），德国 AIRSENSE 分析有限责任公司；质构仪（TWS-Pro），美国 FTC 食品科技公司；台式低速离心机（TD-6M），四川蜀科仪器有限公司。

1.2　试验方法

1.2.1　工艺流程

原料乳→预热→调配（蕨麻粉、白砂糖混匀）→灭菌→冷却→加发酵剂→发酵→冷却→后熟（24 h）→成品[18]。

1.2.2　蕨麻酸奶的制备

取一定量的蕨麻（干品）除杂清洗后放入烤箱，在 110 ℃下烘烤 4 min，在 160 ℃下烘烤6 min。将蕨麻粉碎后过筛，取 100 mL 纯牛奶放入锅中预热（45 ℃），称取一定量蕨麻粉和白砂糖加入牛奶中搅拌均匀后在沸水中灭菌 15 min；取出冷却至 45 ℃后加入植物乳植杆菌、德氏乳杆菌保加利亚亚种、嗜热链球菌后充分搅拌；在 42 ℃酸奶机中发酵一定时间，取出冷却后放入 4 ℃冷藏柜中后熟 24 h，即得成品[18-19]。

1.2.3　感官评价

选择 10 名品评员，对蕨麻酸奶的色泽、组织状态、滋味口感和风味进行感官评分，评价标准见表 1[20]。

表 1　蕨麻酸奶的感官评价标准

感官指标	评分标准	评分/分
色泽	各部分分布较均匀，混合后呈现燕麦色	18～20
	蕨麻部分稍有不均匀，混合后呈现燕麦色	15～17
	蕨麻部分分布不均匀，颜色过深或过浅	11～14
组织状态	发酵后凝乳质地均匀一致，无乳清析出	26～30
	发酵后凝乳质地稍有或稀薄或浓稠不均匀，部分乳清析出	21～25
	发酵后凝乳质地稀薄或浓稠不均匀分层严重，乳清析出严重	16～20
滋味口感	酸奶细腻润滑，蕨麻香味适宜，较为均匀	26～30
	酸奶有颗粒感，蕨麻香味过浓或过淡	21～25
	酸奶口感粗糙，蕨麻香味较浓或较淡	16～20
风味	酸奶味浓厚，酸甜适中	18～20
	酸奶味明显，略酸或略甜	15～17
	酸奶味不明显，酸味或甜味较突出	11～14

1.3　试验设计

1.3.1　单因素试验设计

以 100 g 纯牛奶为基准，固定 140 目蕨麻添加量 5%，白砂糖添加量 7%，发酵剂添加量 0.2%、菌种（植物乳植杆菌、德氏乳杆菌保加利亚亚种、嗜热链球菌）比例为 1∶1∶1，水添加量 10%，发酵时间 7 h 为基础条件，分别考察单因素蕨麻添加量（4%、5%、6%、7%）、发酵剂添加量（0.05%、0.10%、0.15%、0.20%）、蕨麻目数（120 目、140 目、160 目、180 目）、发酵剂菌种比例（1∶2∶2、1∶1∶1、3∶2∶2、2∶1∶1）、水添加量（0%、5%、10%、15%）、白砂糖添加量（6%、7%、8%、9%）对酸奶感官评分的影响。

1.3.2　响应面优化试验

在单因素试验的基础上，利用 Design Expert 12 软件进行 Box-Behnken 设计，以感官评分（Y）为响应值，选取蕨麻添加量（A）、发酵剂添加量（B）、蕨麻目数（C）、水添加量（D）为自变量，进行 4 因素 3 水平的响应面试验设计[20]。设计因素水平见表 2。

表 2　响应面设计因素表

水平	A 蕨麻添加量/%	B 发酵剂添加量/%	C 蕨麻目数/目	D 水添加量/%
−1	4	0.10	140	0
0	5	0.15	160	5
1	6	0.20	180	10

1.4　成品检测指标

1.4.1　酸奶质构的测定

采用质构仪测定酸奶的质构，测试前探头以 1.5 mm/s 速度下降，测试后探头以 5 mm/s 速度上升，进入样品时探头距离为 200 mm；自动触发，触发力为 5 N[21]。

1.4.2　酸奶电子鼻的测定

参照文献[22]的方法修改后，取原味和蕨麻酸奶各 10 mL 置于顶空瓶中，取 3 次平行并在室温下静置 1 h，静置后进行样品测定。设置采集电子鼻信号时间 120 s，清洗时间 60 s。

1.5　数据分析

采用 SPSS 21、Design Expert 12 软件对数据进行分析。试验进行 3 次平行，结果以 $\bar{x}\pm s$ 表示[19]。

2　结果与分析

2.1　单因素试验结果

2.1.1　蕨麻添加量的确定

由图 1 可知，随着蕨麻添加量的增加，酸奶黏度持续上升，感官评分先升高后下降。蕨麻添加量少时可适度结合水分提升口感，感官评分上升；蕨麻添加量增加过度容易吸附水分，酸奶黏稠度偏高、细腻度下降，感官评分下降，因此筛选出蕨麻添加量 4%、5%、6%应用到后续响应面试验中。

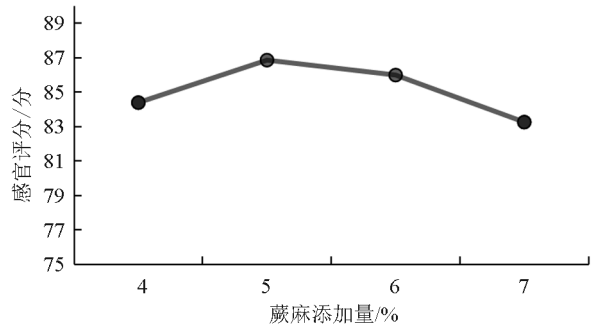


图 1　蕨麻添加量对酸奶感官评分的影响

2.1.2　发酵剂添加量的确定

由图 2 可知，蕨麻酸奶感官评分随发酵剂添加量增加先增加后降低。这是由于发酵剂过少酸奶发酵不成功比较稀，而发酵剂过多会造成酸奶酸度过高且乳清析出，造成感官评分降低[19]，因此选择 0.10%、0.15%、0.20%的发酵剂应用到后续响应面试验中。

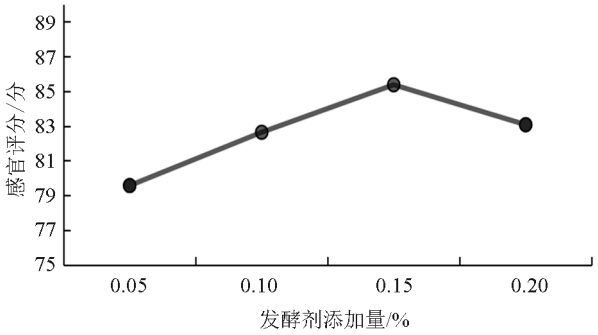


图 2　发酵剂对酸奶感官评分的影响

2.1.3　蕨麻目数的确定

由图 3 可知，蕨麻酸奶感官评分随蕨麻目数不断增加呈现先增加后降低趋势。这是由于蕨麻粉目数对酸奶口感有一定影响，添加蕨麻较粗时酸奶略有扎口感而感官评分较低；而添加蕨麻过细时会使酸奶黏稠感官评分降低，因此选择 140 目、160 目、180 目的蕨麻应用到后续响应面试验中。

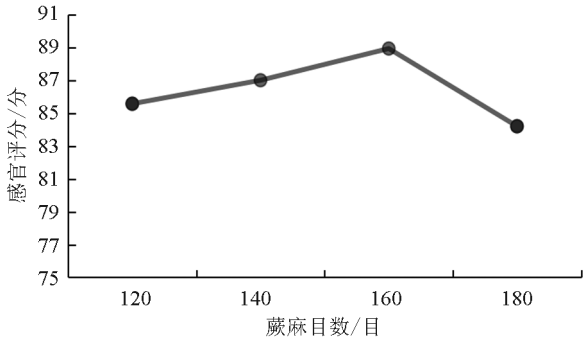


图 3　蕨麻目数对酸奶感官评分的影响

2.1.4　发酵剂菌种添加比例确定

由图 4 可知，蕨麻酸奶感官评分随发酵剂添加比例变化呈先降低后增加最后降低的趋势。这是因为发酵剂中植物乳植杆菌对酸奶的形成有较大影响，其添加量过少，会使酸奶发酵呈现比较稀的状态；添加量较多时会导致酸奶酸度过高，乳清吸出。在发酵剂（植物乳植杆菌、德氏乳杆菌保加利亚亚种、嗜热链球菌）比例为 3∶2∶2 时，蕨麻酸奶表面光滑且组织细腻无奶清析出，其感官评分最高，因此筛选出发酵剂菌种比例为 3∶2∶2 应用到后续响应面试验中。

2.1.5　水添加量确定

由图 5 可知，蕨麻酸奶感官评分随水添加量

增加先增高后降低。这是因为水添加量对酸奶浓稠度有很大影响，过量添加酸奶质地稀薄，感官评分较低，因此选择水添加量 0%、5%、10%应用到后续响应面试验中。

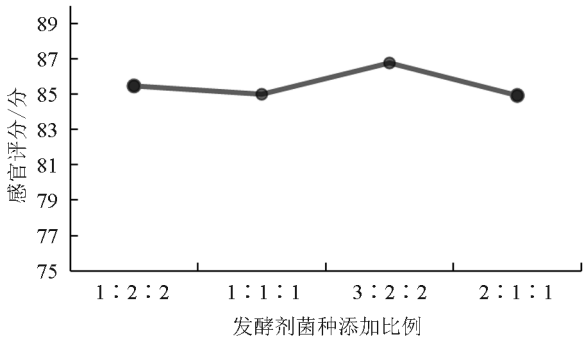


图 4　发酵剂菌种添加比例对酸奶感官评分的影响

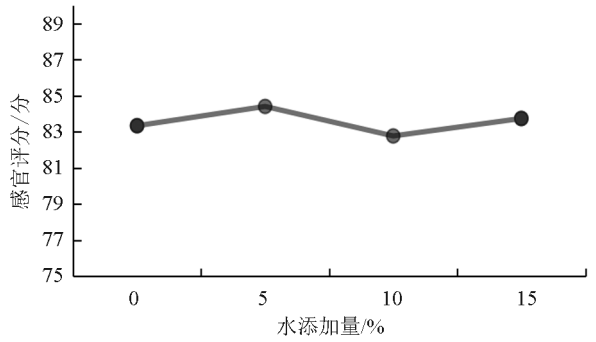


图 5　水添加量对酸奶感官评分的影响

2.1.6　发酵时间的确定

由图 6 可知，蕨麻酸奶感官评分随发酵时间增加先增加后降低。这是因为发酵时间过长容易导致酸奶乳清析出、过于酸涩，感官评分降低。在发酵时间为 7 h 时，蕨麻酸奶口感细腻，酸甜适中，感官评分最高，故选出发酵时间为 7 h 应用到后续响应面试验中。

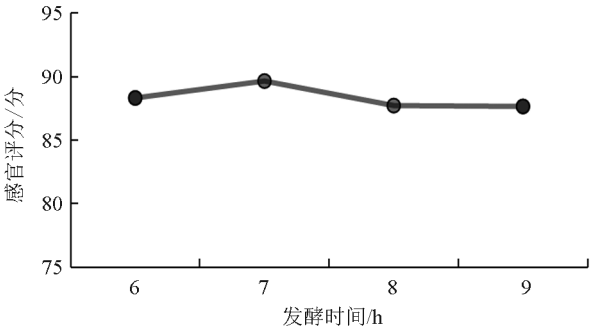


图 6　发酵时间对酸奶感官评分的影响

2.1.7　白砂糖添加量的确定

由图 7 可知，蕨麻酸奶感官评分随着白砂糖添加量增加呈现先增加后降低趋势。这是由于加入白砂糖少时酸奶口感较酸，而加入白砂糖多时酸奶过甜[22]，两者均可引起酸奶感官评分降低，故选择添加 8%白砂糖，此时蕨麻酸奶口感细腻，酸甜适中，感官评分最高。

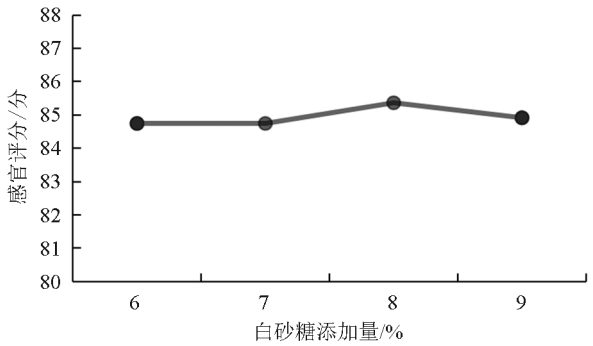


图 7　白砂糖添加量对酸奶感官评分的影响

2.2　响应面试验结果

2.2.1　响应面试验设计与结果

通过单因素试验结合响应面试验设计，选取蕨麻添加量、发酵剂添加量、蕨麻目数、水添加量为响应面考察因素，以感官评分(Y)为响应值进行 4 因素 3 水平响应面优化试验，其他条件选择最优条件进行。采用 Design Expert 12 软件对表 3 进行回归拟合分析，得到蕨麻酸奶感官评分对蕨麻添加量、发酵剂添加量、蕨麻目数、水添加量的二次回归模型方程(1)，回归模型的显著性检验和方差分析结果见表 3。

$$Y=84.24+0.161\ 7A+0.111\ 7B+0.502\ 5C-0.292\ 5D-0.057\ 5AB+0.9AC+1.057\ 5AD-0.122\ 5BC+0.8BD-0.435CD-1.316\ 3A^2-1.781\ 2B^2-2.787\ 5C^2-3.702\ 5D^2 \quad (1)$$

表 3　响应面试验设计及结果

试验号	因素				感官评分/分
	A 蕨麻添加量	B 发酵剂添加量	C 蕨麻目数	D 水添加量	
1	1	−1	0	0	82.23
2	1	1	0	0	81.77
3	−1	0	−1	0	80.90
4	−1	0	0	−1	80.17
5	0	0	0	1	79.63
6	0	−1	−1	0	78.17
7	0	0	−1	1	76.90
8	0	0	1	−1	79.03
9	−1	0	1	0	80.23
10	0	1	1	0	80.17
11	0	−1	0	−1	80.07
12	0	1	0	−1	77.97
13	0	0	1	1	77.43
14	1	0	0	−1	77.87
15	1	0	−1	0	78.77
16	0	−1	0	1	78.80

续表 3　响应面试验设计及结果

试验号	因素				感官评分/分
	A 蕨麻添加量	B 发酵剂添加量	C 蕨麻目数	D 水添加量	
17	0	0	0	0	86.10
18	0	0	0	0	84.93
19	1	0	1	0	81.70
20	0	0	0	0	84.67
21	−1	−1	0	0	80.63
22	0	−1	1	0	80.90
23	−1	1	0	0	80.40
24	0	1	−1	0	79.93
25	0	0	0	0	84.50
26	0	0	0	0	84.33
27	0	1	0	1	79.57
28	−1	0	0	1	77.70
29	0	0	−1	−1	76.77

蕨麻酸奶感官评分建立模型的 $p<0.000\ 1$，说明该模型极显著，失拟项 $p=0.792\ 8>0.05$，表示失拟项不显著且未知因素对试验影响较小。由表 4 中的 F 值可知，A（蕨麻添加量）、B（发酵剂添加量）、C（蕨麻目数）、D（水添加量）对蕨麻感官评分影响均不显著，各因素对酸奶影响从大到小依次为 C（蕨麻目数）、D（水添加量）、A（蕨麻添加量）、B（发酵剂添加量）。由表 4 可知，因素 AD 的 $F<0.05$，由图 8 可知 AD 因素之间形成的响应面曲线较为陡峭，等高线接近椭圆，说明因素 AD 互交作用对感官评分影响较大，即蕨麻添加量与水添加量之间的交互作用对酸奶感官评分影响较大。方程中二次项 A^2、B^2、C^2、D^2 对蕨麻酸奶感官评分有极显著（$p<0.01$）的影响。

表 4　回归模型方差分析

来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	137.950 0	14	9.850 0	10.220 0	<0.000 1	**
A	0.313 6	1	0.313 6	0.325 4	0.577 4	
B	0.149 6	1	0.149 6	0.155 3	0.699 5	
C	3.030 0	1	3.030 0	3.140 0	0.097 9	
D	1.030 0	1	1.030 0	1.070 0	0.319 5	
AB	0.013 2	1	0.013 2	0.013 7	0.908 4	
AC	3.240 0	1	3.240 0	3.360 0	0.088 1	
AD	4.470 0	1	4.470 0	4.640 0	0.049 1	*
BC	0.060 0	1	0.060 0	0.062 3	0.806 5	
BD	2.560 0	1	2.560 0	2.660 0	0.125 4	
CD	0.756 9	1	0.756 9	0.785 4	0.390 5	
A^2	11.240 0	1	11.240 0	11.660 0	0.004 2	**
B^2	20.580 0	1	20.580 0	21.360 0	0.000 4	**
C^2	50.400 0	1	50.400 0	52.300 0	<0.000 1	**
D^2	88.920 0	1	88.920 0	92.270 0	<0.000 1	**
残差	13.490 0	14	0.963 7			
失拟项	7.860 0	10	0.786 1	0.558 3	0.792 8	
纯误差	5.630 0	4	1.410 0			
合计	151.440 0	28				

注：* 表示 $p<0.05$，** 表示 $p<0.01$，差异有统计学意义。

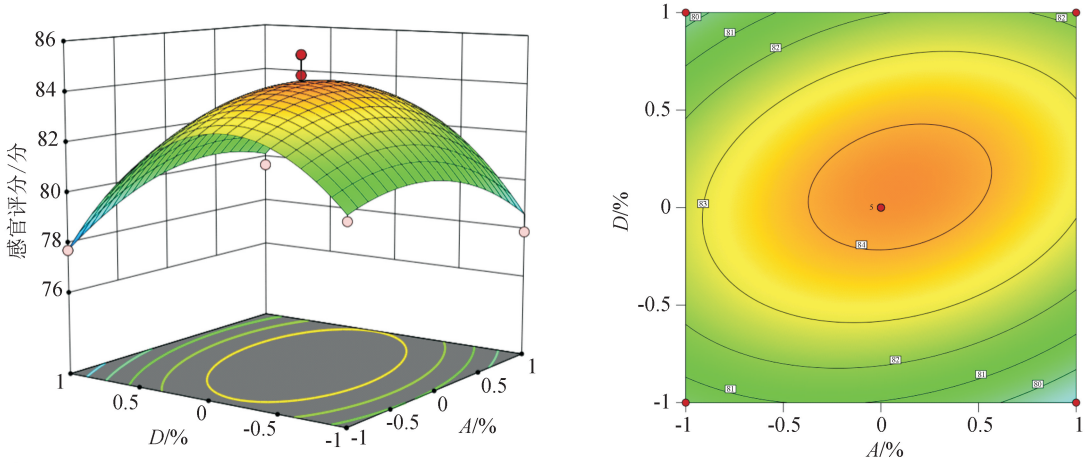


图 8　因素互交影响的响应面分析

2.2.2　响应面验证试验

利用响应面软件对于蕨麻酸奶感官评分进行分析得到预测最优工艺为：添加 160 目蕨麻粉 5.08%、发酵剂 0.15%、水 4.84 mL、8%白砂糖、在 42 ℃发酵 7 h，其感官评分预测为 84.27 分。此条件下平行试验得到蕨麻酸奶的感官评分 85.52 分，该值与预测值之间无显著性差异，说明模型有效。

2.3　添加蕨麻对酸奶品质的影响

2.3.1　添加蕨麻对酸奶质构的影响

由表 5 可知，蕨麻酸奶弹性和咀嚼性显著高于原味酸奶，因蕨麻中淀粉吸水糊化，能够收紧酸奶凝乳结构；蕨麻酸奶在硬度、内聚性、胶黏性和黏附性方面与原味酸奶之间差异不显著，说明蕨麻添加量适中时仅局部改变凝胶排布，未大幅改变酸奶内部结合力。综上可知蕨麻添加仅为改善酸奶弹性与咀嚼特性，对酸奶整体质构影响不明显。

表 5　原味酸奶与蕨麻酸奶的质构结果

质构指标	原味酸奶	蕨麻酸奶
硬度/N	0.31±0.01	0.33±0.00
内聚性	0.72±0.01	0.81±0.00
弹性/mm	1.25±0.21b	1.82±0.02a
胶黏性/N	0.23±0.02	0.26±0.01
咀嚼性/mj	0.30±0.08b	0.48±0.01a
黏附性/mJ	0.12±＋0.03	0.10±0.01

注：小写字母不同表示$p<0.05$，差异有统计学意义，下同。

2.3.2　蕨麻的添加对酸奶气味的影响

由表 6 可知，蕨麻酸奶与原味酸奶气味测试的结果显示，蕨麻酸奶的传感器 W5S、W1S、W1W、W2S、W2W 和 W3S 响应值显著低于原味酸奶，表明添加蕨麻可显著降低酸奶体系内氮氧化物、甲烷、硫化物、乙醇类物质含量。硫化物与乙醇响应水平下降，反映酸奶发酵后贮藏稳定性提升、异味生成减少、产品风味趋于纯净；表征芳香类物质的 W1C 传感器响应无显著差异，说明蕨麻添加不会改变酸奶原有主体香气特征，蕨麻酸奶与原味酸奶基础风味无明显区别。

表 6　酸奶电子鼻结果

传感器名称	性能描述	原味酸奶	蕨麻酸奶
W1C	芳香成分	1.163±0.119	1.177±0.009
W5S	灵敏度大，对氮氧化合物很敏感	1.435±0.017a	1.354±0.004b
W3C	氨水，对芳香化合物灵敏	1.155±0.005	1.155±0.009
W6S	主要对氢气有选择性	1.004±0.003	1.006±0.004
W5C	烷烃，芳香成分	1.121±0.004	1.119±0.007
W1S	对甲烷灵敏	0.469±0.021a	0.412±0.006b
W1W	对硫化物灵敏	1.275±0.042a	1.13±0.010b
W2S	对乙醇灵敏	0.848±0.032a	0.784±0.006b
W2W	芳香成分，对有机硫化物灵敏	1.137±0.023a	1.057±0.004b
W3S	对烷烃灵敏	1.004±0.001a	1.000±0.001b

3　结论

本试验以蕨麻、纯牛奶为主要原料制备蕨麻酸奶，以感官评分为指标进行单因素和响应面优化试验，以 100 g 纯牛奶为基准确定制作蕨麻酸奶的最优工艺条件为：添加 160 目蕨麻粉5.08%、添加发酵剂（植物乳植杆菌、德氏乳杆菌保加利亚亚种、嗜热链球菌比例为 3∶2∶2）0.15%、添加 4.84 mL 水和 8%白砂糖，发酵时间为 7 h。在此工艺条件下制得的蕨麻酸奶成燕麦色，组织细腻，酸甜适口，有较好的营养价值。本研究不仅提高了酸奶的营养与保健价值，也丰富了蕨麻产品种类，满足人们对健康食品增长的需求。

参考文献：

[1]　高禹涵.蕨麻多糖结构表征及体外消化酵解特性的研究 [D].西宁：青海师范大学，2025.

[2]　李军乔.野生资源植物—蕨麻（*Potentilla Anserina* L.）的生物学特性及应用研究 [D].杨凌：西北农林科技大学，2004.

[3]　吴鹏法.蕨麻和枸杞水溶性化学成分的研究 [D].兰州：兰州理工大学，2017.

[4]　中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志-第

三十七卷 [M].北京:科学出版社,1985.
[5] 中国科学院西北高原生物研究所.藏药志 [M].西宁:青海人民出版社,1991.
[6] 肖华,张炜,马青青,等.藏药蕨麻的本草考证 [J].西北药学杂志,2024,39(1):20-25.
[7] 切吉卓玛,李军乔,李积雲.藏药蕨麻可溶性膳食纤维酶法提取工艺优化 [J].食品工业,2020,41(1):42-46.
[8] 谭亮,李军乔,杨伟.青藏高原主产地蕨麻营养成分分析与综合评价 [J].食品安全质量检测学报,2023,14(24):60-71.
[9] 尚云青,王玲,刘亚,等.四川蕨麻营养成分和呈味成分的分析与评价 [J].食品工业,2013,34(2):180-183.
[10] 夏琳婧,刘雨薇,胡锦蓉,等.蕨麻淀粉特性的分析 [J].食品工业科技,2011,32(3):103-105.
[11] 刘雨薇,夏琳婧,胡锦蓉,等.蕨麻蛋白的提取与功能特性的研究 [J].食品工业科技,2011,32(3):131-133,138.
[12] Tomczyk M, Latté K P. *Potentilla*: a review of its phytochemical and pharmacological profile [J].Journal of Ethnopharmacology,2009,122(2):184-204.
[13] 刘志军,白瑶,郭丽霞,等.蕨麻的化学成分及药理活性研究进展 [J].食品安全质量检测学报,2015,6(9):3569-3574.
[14] 马强,代璐,柯娜,等.蕨麻营养成分和生物活性成分研究进展 [J].北方农业学报,2025,53(2):119-125.
[15] Xia L, You J M. The determination of amino acids composition of the traditional food *Potentilla anserina* L.root by high-performance liquid chromatography *via* fluorescent detection and mass spectrometry [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011,46(6):1164-1170.
[16] 李婷,艾柯代·艾地汗,张仲瑞,等.蕨麻活性组分的制备工艺、健康益处及食品应用研究进展 [J].食品工业科技,2025,46(21):25-34.
[17] 陈兴叶,张小燕,彭涛,等.富含蕨麻多糖的低热量浊汁饮料产品的关键工艺探索 [J].现代食品,2019(22):63-66,75.
[18] 游新侠,田红涛,朱玲,等.联合发酵薏苡仁酸奶的研制及品质评价 [J].包装与食品机械,2025,43(2):103-112.
[19] 党思琳,卢露润,丁知画,等.红藜麦的添加对凝固型酸乳品质的影响 [J].食品科技,2024,49(11):81-88.
[20] 杨承钰,龚盛祥,王正武.紫马铃薯酸奶的工艺优化及其品质评价模型的建立 [J].食品工业科技,2019,40(22):192-200.
[21] 石亚芳,朱艳冰,刘瑾琰,等.响应面法优化褐藻胶寡糖酸奶工艺及品质分析 [J].中国调味品,2025,50(8):161-168.
[22] 白雪,杨爽,孟鑫.GC-MS 结合电子鼻检测微生物脂肪酶对乳品风味的影响 [J].食品工业科技,2018,39(14):209-212,218.