番石榴汁对酸奶品质的影响及模糊数学感官评价

谢丽清[1]，王昊鹏[2]

1 泉州轻工职业学院，福建泉州 362200
2 漯河微康生物科技有限公司，河南漯河 462300

摘　要：[目的]探究番石榴汁对酸奶品质的影响。[方法]以不同添加量的番石榴汁[0%（w/w）、5%（w/w）、10%（w/w）、15%（w/w）、20%（w/w）]和牛乳作为原料，通过接种发酵制备酸奶。考察不同添加量的番石榴汁对酸奶可滴定酸度、持水力、硬度以及贮藏期乳酸菌活菌数变化等指标的影响，并通过建立模糊数学模型进行感官评价。[结果]添加番石榴汁有助于改善酸奶质地结构，提高酸奶持水力。番石榴汁添加量为15%（w/w）时，酸奶通过模糊数学模型进行感官评价的得分最高。[结论] 番石榴汁在稳定酸奶体系结构上有良好的应用效果，为开发功能性番石榴酸奶产品提供理论依据。

关键词：番石榴汁；模糊数学模型感官评价；酸奶

文章编号：1671–4393（2025）05–0115–07　　DOI:10.12377/1671–4393.25.05.18

0 引言

番石榴（*Psidium guajava* Linn）俗名芭乐、喇叭果、那拔、鸡屎果等，为桃金娘科（*Myrtaceae*）番石榴属（*Psidium* Linn），广泛种植于我国海南、广西、广东、福建、台湾等热带和亚热带地区[1，2]。番石榴具有“超级水果”的美称，富含各类营养成分及功能因子[3，4]。研究表明，番石榴含有丰富蛋白质，钙、镁、磷等微量元素以及维生素A、C，其中维生素C含量明显高于其他水果，可达1 000 mg/100 g[5，6]。此外，番石榴含有丰富的多酚与多糖，具有抗炎、抗氧化、降血糖、抗病毒等功能[7~10]。番石榴口感清脆香甜、营养价值高，但易碰伤、难运输，存在经济利用短板，因此开展番石榴及其相关产品开发研究具有一定的意义和价值。

功能性乳制品是指乳制品成分中除传统乳制品固有的营养成分外，还包括其他特殊营养成分或功

作者简介：谢丽清（1994–），女，福建泉州人，硕士，研究方向为功能食品配料与添加剂；
王昊鹏（1992–），男，河南洛阳人，硕士，工程师，研究方向为益生菌菌种工艺优化。

中国乳业线上阅读

能性物质，且有一种或多种特定生理功能。酸奶一般是以鲜牛乳或复原乳为主要原料，利用乳酸菌发酵而成的一种富含益生菌的发酵乳制品[11]。近年来，我国酸奶产量逐年增加，市场发展潜力巨大。

本研究将不同添加量的番石榴汁添加至酸奶，探究不同添加量的番石榴汁对酸奶可滴定酸度、持水力、硬度以及贮藏期乳酸菌活菌数变化等指标的影响，并通过构建模糊数学模型对酸奶进行感官评价，旨在开发一款番石榴酸奶，既有利于番石榴综合利用，又有利于酸奶食品多元化，为开发功能性番石榴酸奶产品提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试剂

番石榴、蔗糖，市售；雀巢全脂奶粉，雀巢（中国）有限公司；直投式酸奶发酵剂，丹尼斯克（中国）有限公司；邻苯二甲酸氢钾、氢氧化钠，北京西陇化工有限公司；MRS固体培养基，北京陆桥技术股份有限公司。以上化学试剂均为分析纯。

1.1.2 仪器和设备

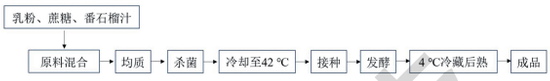
数显型高速剪切仪（IKA-T25），德国艾卡公司；电热恒温水浴锅（HWS-28），上海齐欣科学仪器有限公司；磁力搅拌器（WH220-HT），维根技术(北京)有限公司；超净工作台（SW-CJ-2D），上海尚道仪器制造有限公司；电热式压力蒸汽灭菌器（XFH-50CA），浙江新丰医疗器械有限公司；高速冷冻离心机（GL-21M），湖南湘仪实验室仪器开发有限公司；生化培养箱（SHP型），北京中兴伟业仪器有限公司；破壁料理机，浙江苏泊尔集团有限公司；质构仪（TA.new plus），美国Stable Micro System公司；酸度计（PHS25），上海仪电科学仪器股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品制备

番石榴汁制备：将新鲜番石榴打浆，纱布过滤，4 000 r/min离心5 min，取上清液，测定pH值，调节pH值至6.0，调节后的清液即为番石榴汁。

番石榴酸奶的制备工艺流程如下。



原料混合：按表1 各组配方分别称取番石榴汁、蔗糖、乳粉于烧杯中，充分搅拌混合。

表 1 番石榴酸奶配方

样品名称	全脂奶粉（g）	蔗糖（g）	水（g）	番石榴汁（g）
对照组酸奶	20	6	74	--
添加 5% 番石榴汁酸奶	20	6	69	5
添加 10% 番石榴汁酸奶	20	6	64	10
添加 15% 番石榴汁酸奶	20	6	59	15
添加 20% 番石榴汁酸奶	20	6	54	20

注：“--”表示未添加。pL-5% 酸奶，pL-10% 酸奶，pL-15% 酸奶，pL-20% 酸奶分别代表番石榴汁添加量为5%（w/w），10%（w/w），15%（w/w），20%（w/w）的酸奶样品

均质、杀菌：使用数显型高速剪切仪将混合后的样品5 000 r/min均质5 min。均质后于65 ℃杀菌30 min。

接种、发酵：样品冷却至42 ℃后，按照0.15 g/L接种量投入发酵剂，搅拌均匀后置于酸奶瓶中，42 ℃恒温培养发酵6 h。

冷藏、后熟：发酵完成后，将样品冷却至室温后4 ℃冷藏后熟12 h，制得样品。

1.2.2 可滴定酸度测定

可滴定酸度测定参考《GB 5009.239—2016 食品安全国家标准 食品酸度的测定》第一法——酚酞指示剂法。

1.2.3 pH值测定

使用PHS25酸度计测定样品pH值。

1.2.4 持水力测定

持水力测定参考Delikanli等[12]方法。取20 g样品

中国乳业杂志上传版

于50 mL离心管中，4 ℃、6 000 r/min离心20 min，去除上清液，倒挂20 min。

持水力计算如下公式：

$$持水力/\% = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100\%$$

式中m_1为离心后样品和离心管总重量，m_2为离心管重量，m为样品离心前重量。m_1，m_2，m单位为g。

1.2.5 硬度测定

硬度测定参考梁海艳等[13]方法。取5 mL样品于烧杯中测定硬度。探头为A/BE 35，测定方法为酸奶反挤压，测定条件：测试前、中、后速率均为2 mm/s，测定距离为25 mm，下压50%，最小触发力为10 g。

1.2.6 贮藏期乳酸菌活菌数变化

乳酸菌计数参考《GB 4789—2016 食品安全国家标准 食品微生物学 乳酸菌检验》。在贮藏第0d、7d、14d、21d对乳酸菌活菌计数。

1.2.7 模糊数学模型感官评价

感官评价参考《GB 19302—2010 食品安全国家标准 发酵乳》评价标准，随机选择10 名食品专业学生在感官实验室独立评价，从色泽、气味、组织状态、口感进行感官评价。评价标准如表2所示。

以色泽、气味、组织状态、口感为因素集，以好、中、差为评价集，以20%、30%、20%、30%为权重集，构建模糊数学模型[14]。

酸奶因素集E=（E1，E2，E3，E4），E1、E2、E3、E4分别代表色泽、气味、组织状态、口感4 个评价项目。

酸奶评价集R=（R1，R2，R3），R1、R2、R3分别代表好、中、差3 个评价等级。

酸奶权重集W=（W1，W2，W3，W4）=（20%，30%，20%，30%）分别代表色泽占比20%，气味占比30%，组织状态占比20%，口感占比30%。

模糊数学模型Y=W，其中Y为模糊数学模型感官评价集，W为权重系数，M为模糊矩阵。根据表2感官评价进行评价，结合模型可得最终感官评价得分。

1.2.8 数据分析

每组试验平行3 次。利用Origin 9.0作图，采用SPSS 18.0软件分析数据，数值以“平均值±标准偏差”表示。

表 2 感官评价标准

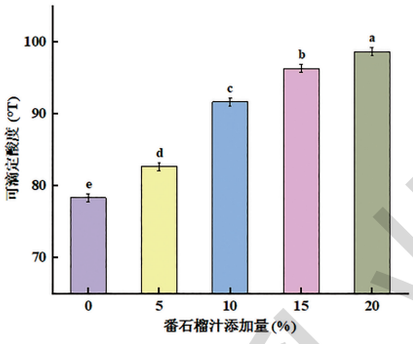
项目	评价标准	得分与等级
色泽（20%）	色泽均匀，呈乳白色	14 ~ 20 分 / 好
	色泽不均匀，但整体为乳白色	7 ~ 13 分 / 中
	色泽不均匀，呈浅黄色或浅灰色	≤ 6 分 / 差
气味（30%）	奶香浓郁，番石榴味浓郁，无异味	21 ~ 30 分 / 好
	奶香略淡，番石榴味略淡，无异味	11 ~ 20 分 / 中
	无奶香，无番石榴味或有酸臭味，焦味	≤ 10 分 / 差
组织状态（20%）	均匀细腻，表面光滑，无乳清析出	14 ~ 20 分 / 好
	均匀细腻，表面光滑，少量乳清析出	7 ~ 13 分 / 中
	表面粗糙，有气泡，较多乳清析出	≤ 6 分 / 差
口感（30%）	口感醇厚，润滑，无颗粒感	21 ~ 30 分 / 好
	口感略稀薄，润滑，略有颗粒感	11 ~ 20 分 / 中
	口感稀薄，明显颗粒感	≤ 10 分 / 差

中国乳业线上阅读

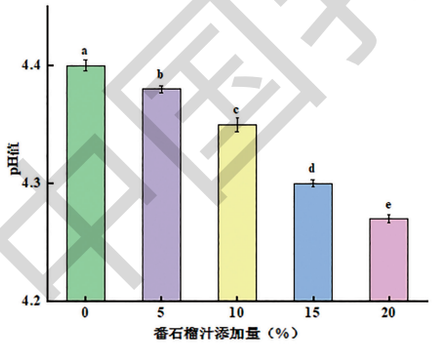
2 结果与分析

2.1 可滴定酸度和 pH 值

酸度（°T）是衡量酸奶后酸化程度的重要指标，酸奶酸度在70～110 °T口感较好，高于120 °T难以被接受[15]。由图1可知，添加番石榴汁添加量为5%～20%的酸奶，可滴定酸度随番石榴汁添加量增加而增加，pH值随番石榴汁添加量增加而降低，酸度皆在70° T～110 °T，有良好的可接受性。推测酸奶发酵过程中，由于番石榴汁富含多糖，可提高乳酸菌发酵速率，使添加番石榴酸奶pH值更低、可滴定酸度更高[16]。



（a）



（b）

图1 不同番石榴汁添加量的酸奶pH值（a）和可滴定酸度（b）

注：不同小写字母表示显著性差异（$P<0.05$），下同

2.2 持水力

酸奶持水力，即酸奶中三维网络结构对水的保持能力，主要与酸奶凝胶网络结构及空间网络孔隙有关[17，18]。持水力强，说明酸奶质地紧实、不易析出乳清，反之，则结构松散、质地差。番石榴酸奶持水力如图2所示，随番石榴汁添加量增加，酸奶持水力显著增强，说明番石榴汁能提高酸奶的持水力。推测主要是由于番石榴汁中富含酚类物质，可促进酸奶发酵过程中与酪蛋白束协同，增强非共价结合作用，形成更丰富的网络结构，且扩大结合水面积，增强酸奶的持水力，减少乳清析出，从而起到提升酸奶质地的作用[19，20]。

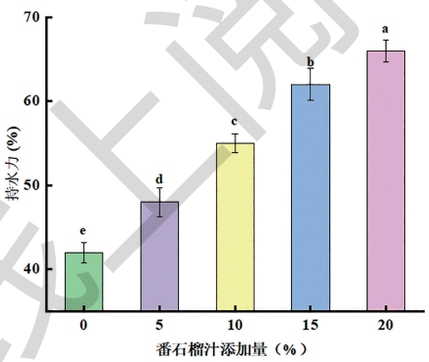


图2 不同番石榴汁添加量的酸奶持水力

2.3 硬度

硬度是评价酸奶结构和品质的重要指标，主要与发酵过程条件控制、固形物含量以及蛋白质含量有关[21]。图3显示不同番石榴汁添加量的酸奶硬度，发现酸奶硬度与番石榴汁添加量呈正相关，番石榴汁添加量越高，酸奶硬度越大。推测主要由于番石榴汁中的多酚与酪蛋白胶束形成丰富网络结构，改

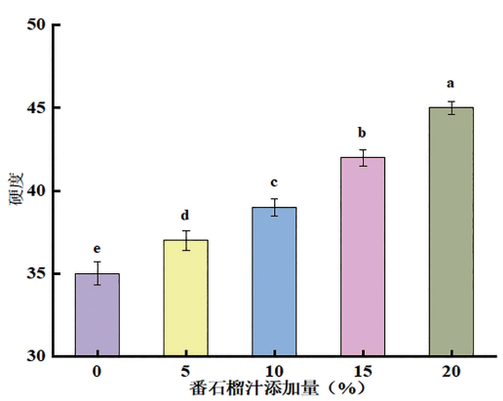


图3 不同番石榴汁添加量的酸奶硬度

中国乳业线上阅读

善了酸奶蛋白支撑结构，使酸奶硬度上升[22, 23]。

2.4 不同番石榴汁添加量的酸奶在贮藏期乳酸菌活菌数

不同番石榴汁添加量的酸奶在贮藏期的乳酸菌活菌数变化如图4所示。结果发现乳酸菌活菌数在贮藏期呈下降趋势。初始时，未添加番石榴汁的酸奶与添加番石榴汁酸奶乳酸菌活菌数基本处于同一数量级，贮藏7 d时，各组乳酸菌活菌数下降约2 个数量级；贮藏14 d时，乳酸菌活菌数下降幅度最大，超过2 个数量级；贮藏21 d时，乳酸菌活菌数约为1.5×10^5 CFU/g。但整体而言，在贮藏期，添加番石榴汁的酸奶中乳酸菌活菌数略高于未添加番石榴汁的酸奶。这与Bagheri等[24]研究一致，番石榴多糖能作为益生元促进乳酸菌生长。

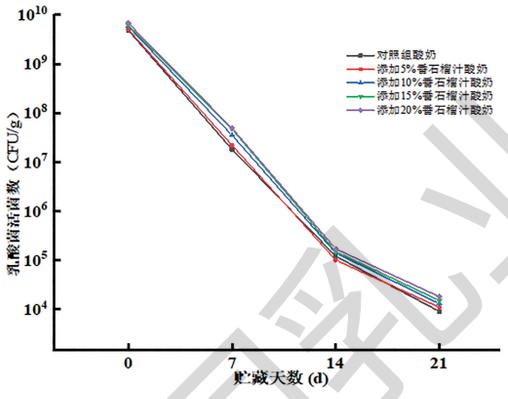


图 4 不同番石榴汁添加量的酸奶在贮藏期乳酸菌活菌数

2.5 模糊数学模型感官评价

根据表2感官评价标准，随机选取10 名食品专业学生，在感官实验室对13 个样品进行独立感官评价，评价结果如表3所示[25]。

根据感官评定等级结果，以样品1为例，色泽6人评好，3人评中，1人评差，因此色泽R色泽=（0.6，0.3，0.1），同理的，R气味=（0.7，0.3，0），R组织状态=（0.6，0.2，0.2），R口感=（0.7，0.3，0），因此，样品1的模糊矩阵为 $M1=\begin{bmatrix}0.6&0.3&0.1\\0.7&0.3&0\\0.6&0.2&0.2\\0.7&0.3&0\end{bmatrix}$，同理的，样品2−样品5的模糊矩阵依次为 $M2=\begin{bmatrix}0.6&0.4&0\\0.7&0.3&0\\0.6&0.2&0.2\\0.7&0.3&0\end{bmatrix}$，$M3=\begin{bmatrix}0.8&0.2&0\\0.7&0.3&0\\0.8&0.1&0.1\\0.8&0.2&0\end{bmatrix}$，$M4=\begin{bmatrix}0.9&0.1&0\\0.8&0.2&0\\0.9&0.1&0\\0.8&0.2&0\end{bmatrix}$，$M5=\begin{bmatrix}0.5&0.4&0.1\\0.6&0.4&0\\0.7&0.3&0\\0.4&0.3&0.3\end{bmatrix}$，根据模糊数学模型$Y=W\times M$，建立感官评价集，其中W为权重系数，W=(0.2，0.3，0.2，0.3)，得 $Y1=W1\times M1=(0.2,\ 0.3,\ 0.2,\ 0.3)\times\begin{bmatrix}0.6&0.3&0.1\\0.7&0.3&0\\0.6&0.2&0.2\\0.7&0.3&0\end{bmatrix}=(0.66,\ 0.28,\ 0.06)$。同理得Y2=（0.66，0.30，0.04），Y3=（0.77，0.21，0.02），Y4=（0.84，0.16，0），Y5=（0.54，0.35，0.11）。

根据感官评分表，感官评价等级区域为：70~100分为好；36~69分为中，0~35分为差，以评分等级中间值作为评价集，R0=（85，53，18），酸奶样品模糊数学模型感官评价总分$R_i=Y_i\times R0$（i=0，1，2，3，4，5），即R1=（0.66，0.28，0.66）×（85，53，18）=71.98，同理的R2=72.72，R3=76.94，R4=79.88，R5=66.43。

表 3 感官评价结果

样品	色泽（20%）			气味（30%）			组织状态（20%）			口感（30%）		
	好	中	差	好	中	差	好	中	差	好	中	差
1	6	3	1	7	3	0	6	2	2	7	3	0
2	6	4	0	7	3	0	6	2	2	7	3	0
3	8	2	0	7	3	0	8	1	1	8	2	0
4	9	1	0	8	2	0	9	1	0	8	2	0
5	5	4	1	6	4	0	7	3	0	4	3	3

注：样品编号1～5分别为对照组酸奶，添加5% 番石榴汁酸奶，添加10% 番石榴汁酸奶，添加15% 番石榴汁酸奶，添加20%番石榴汁酸奶。数据为感官评分等级投票数量

中国乳业线上阅读

根据上述模糊数学模型感官综合评分，R4评分最高，根据感官评分结果，在番石榴汁含量为15%（w/w）时，酸奶的感官品质最优，当番石榴汁含量超过15%（w/w）时，有轻微涩味。

3 结论

通过分别添加0%（w/w）、5%（w/w）、10%（w/w）、15%（w/w）、20%（w/w）的番石榴汁，探究番石榴汁对酸奶品质的影响。研究结果表明，添加番石榴汁有助于改善酸奶体系的质地结构，有效抑制后熟，显著提高持水力，同时，添加番石榴汁有助于促进乳酸菌发酵，提高乳酸菌活菌数。添加番石榴汁的酸奶在贮藏期乳酸菌活菌数高于未添加的酸奶。建立模糊数学模型对酸奶进行感官评价的结果显示，番石榴汁添加量为15%（w/w）时，酸奶感官品质最优；小于15%（w/w）时，番石榴风味稍不足；而高于15%（w/w）时，酸奶有轻微涩味。本研究拓展了番石榴的开发利用领域，同时围绕休闲食品发展方向，为番石榴和酸奶的综合开发利用提供参考[26]。

参考文献

[1] Guti é rrez R M P，Mitchell S，Solis R V.*Psidium guajava*：A review of its traditional uses，phytochemistry and pharmacology[J].Journal of Ethnopharmacology，2008，117（1）：1–27.

[2] Sarkar A，Nayak B，Joshi V，et al.An economic，and environmentally benign *Psidium guajava* L. leaves catalyst for biodiesel production at room temperature：Process optimization，and life cycle cost analysis[J].Industrial Crops & Products，2024，222：119609.

[3] Dakappa–Shruthi S，Adhikari R，Timilsina S S，et al.A review n the medicinal plant *Psidium guajava* Linn.（Myrtaceae）[J].Journal of Drug Delivery and Therapeutics，2013，3（2）：162–168.

[4] Qadi M，Jaradat N，Al–Maharik N，et al.Antimicrobial activity and phytochemistry of Psidium guajava essential oil from palestine：Targeting oral microbial strains[J].Journal of Herbal Medicine，2024，47，100928.

[5] 周浓，莫日坚，闫协民，等.不同加工工艺对番石榴果粉品质的影响及对其褐变的抑制[J].食品与发酵工业，2019，45（10）：129–134.

[6] Le T，Nguyen C，Ha A.Optimisation and evaluation of the correlation of extraction conditions for total flavonoid content and antixanthine oxidase activity in *Psidium guajava*[J].Journal of Herbal Medicine，2024，47，100915.

[7] 李珊，梁俭，冯彬，等.番石榴多糖的提取工艺优化、纯化及其抗氧化活性测试[J].粮食与油脂，2020，33（7）：68–73.

[8] Hossain M M M，Akter S，Dey B K，et al.Dietary *Psidium guajava*，guava leaf extract protects Oreochromis niloticus，Nile tilapia from Pseudomonas aeruginosa infection and enhances growth[J].Comparative Immunology Reports，2024，7，200164.

[9] Orororo C O，Efekemo O，Odeghe B O，et al.Phytochemical screening，in vitro antioxidant capacity and Nephro–protective Effects of combined extract of *Psidium guajava* and Carica papaya leaves in rats intoxicated with cadmium[J].Asian Journal of Medicine and Health，2024，22（8）：86–97.

[10] Joshi T，Kapoor S，Rana S，et al.Valorization of guava seed oil as a functional ingredient in salad dressing：Implications on quality characteristics，rheological behaviour，morphology，oxidative stability and shelf life[J].Journal of Food Measurement & Characterization，2024，18（8）：6698–6710.

[11] 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（8）：819–825.

[12] Delikanli B，Ozcan T.Improving the textural properties of yogurt fortified with milk proteins[J].Journal of Food Processing and Preservation，2017，41（5）：e13101.

[13] 梁海艳，张铁华，郑健，等. 人参多糖对乳酸菌发酵及酸奶质构特性的影响[J]. 中国乳品工业，2013，41（1）：21–24.

[14] Shrivastava C，Chakraborty S.Bread from wheat flour partially replaced by fermented chickpea flour：Optimizing the formulation and fuzzy analysis of sensory data[J].Food Science and Technology，2018，90：215–223.

[15] Hussien H，Abd–Rabou H S，Saad M A.The impact of incorporating Lactobacillus acidophilus bacteriocin with inulin and FOS on yogurt quality[J]. Scientific Reports，2022，12（1）：13401.

[16] 韩永佳.功能型酸奶的理化特性、抗氧化活性及微观结构的研究[D].合肥：合肥工业大学，2016.

[17] Wang X，He Z，Zeng M，et al. Effects of the size and content of protein aggregates on the rheological and structural

中国乳业线上阅读

properties of soy protein isolate emulsion gels induced by CaSO4[J]. Food Chemistry，2017，221：130–138.

[18] Zhang Y，Wei W，Ma W，et al.Effects of Dioscorea opposita mucilage addition on the physicochemical properties，texture，and stability of set–type yogurt[J].Food Science and Technology，2024，206，116586.

[19] 杜华鑫.桑椹果渣对搅拌型酸奶品质特性的影响及其物质基础初探[D].南昌：江西农业大学，2022.

[20] Kim J，Kim Moonsook，Choi I.Physicochemical characteristics，antioxidant properties and consumer acceptance of Greek yogurt fortified with apple pomace syrup[J].Foods（Basel，Switzerland），2023，12（9）：1856.

[21] 常旭龙，周青霞，马文聪，等.不同发酵剂发酵酸奶的风味及理化特性的研究[J].食品工业科技，2025，46（8）：263–271.

[22] He Z，Xu M，Zeng M，et al.Interactions of milk α–and β–casein with malvidin–3–O–glucoside and their effects on the stability of grape skin anthocyanin extracts[J].Food Chemistry，2016，199，314–322.

[23] Silyvridou A，Bari A，Georgopoulou T，et al.Aqua extracts of lyophilized Sea Buckthorn modify fermentation and quality properties of Set–Type Yogurt[J].Applied Sciences，2024，14（17）：7634.

[24] Bagheri E，Shori A B，Baba A S H.Effects of Garcinia mongostana，Lycium barbzarum，Momordica grosvenori，and *Psidium guajava* on the growth of *Lactobacillus* spp. and *Streptococcus thermophilus*[J].Asian Food Science Journal，2021：30–39.

[25] 谢倩，李易易，张诗艳，等.基于模糊数学感官评价、理化特性与电子舌的橄榄鲜食品质分析[J].食品科学，2023，44（3）：69–78.

[26] 余森艳，梁海龙，黄璋，等.花香型葡萄植物基酸奶工艺优化[J].中国乳业，2024（8）：130–136.

Effects of *Guava Juice* on Yogurt Quality and Sensory Evaluation Based on Fuzzy Mathematical Model

XIE Liqing[1]，WANG Haopeng[2]

[1]Quanzhou College of Technology，Quanzhou Fujian 362200

[2]Luohe Wecare–Biotechnology Co.，Ltd.，Luohe Henan 462300

Abstract：[Objective]To explore the effect of guava juice on the quality of yogurt.[Method]Using guava juice [0%（w/w），5%（w/w），10%（w/w），15%（w/w），20%（w/w）] with different addition amounts and milk as raw materials to prepare yogurt by inoculation and fermentation. The effects of different addition amounts of guava juice on indicators such as titratable acidity，water-holding capacity，hardness and changes in the number of viable lactic acid bacteria during storage of yogurt were investigated，and sensory evaluation was conducted by establishing a fuzzy mathematical model.[Result] Adding guava juice could help improve the textural and structure of yogurt and enhance its water-holding capacity of yogurt. When the addition amount of guava juice was 15%（w/w），yogurt had the highest score in sensory evaluation by fuzzy mathematical modeling .[Conclusion] Guava juice had a good application effect in stabilizing the structure of yogurt system, which provided a reference for the comprehensive utilization of guava and enrichment of yogurt types.

Keywords：guava juice；sensory evaluation of fuzzy mathematical model；yogurt

中国乳业线上阅读