

引用:王会,张静华,黄钰芳,等.灵芝发酵液对凝固型酸奶品质特性的影响[J].聊城大学学报(自然科学版),2026,39(4): 614-621.

Citation: WANG Hui, ZHANG Jinghua, HUANG Yufang, HU Xintong, CHEN Fang, KONG Feng, LIU Guiqin. Effect of *Ganoderma lucidum* fermentation broth on the quality characteristics of set yogurt[J]. Journal of Liaocheng University (Natural Science Edition), 2026, 39(4): 614-621.

文章编号 1672-6634(2026)04-0614-08

DOI 10.19728/j.issn1672-6634.2025100003

灵芝发酵液对凝固型酸奶品质特性的影响

王会¹,张静华¹,黄钰芳¹,胡梓童¹,陈芳^{1,2},孔峰^{1,2},刘桂芹³

(1. 聊城大学 药学与食品工程学院,山东 聊城 252059;2. 山东省蛋白与多肽类药物应用技术重点实验室(筹),
山东 聊城 252059;3. 聊城大学 农业与生物学院,山东 聊城 252059)

摘要 研究灵芝发酵液对凝固型酸奶品质特性的影响。通过灵芝液体培养实验,采用酸奶理化性质和感官品质指标检测方法,研究了灵芝发酵液添加量(0~20%)对凝固型酸奶理化性质和感官品质的影响。当灵芝发酵液添加量为10%时,酸奶的抗氧化性、酸度、持水力、感官评价均处于最高水平。与对照组相比,酸奶抗氧化性增加了21.19%、持水力增加了10.07%,酸度显著升高,感官评分在色泽、滋味、组织状态等维度均表现优异,同时,弹性指数与内聚性呈现最大值。适量添加灵芝发酵液有利于改善酸奶的理化性质和感官品质,为功能性酸奶的开发提供指导。

关键词 灵芝发酵液;凝固型酸奶;理化性质;感官品质

中图分类号 TS252.54

文献标志码 A

开放科学(资源服务)标识码(OSID)



Effect of *Ganoderma lucidum* fermentation broth on the quality characteristics of set yogurt

WANG Hui¹, ZHANG Jinghua¹, HUANG Yufang¹, HU Xintong¹,
CHEN Fang^{1,2}, KONG Feng^{1,2}, LIU Guiqin³

(1. School of Pharmaceutical Sciences and Food Engineering, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China;
2. Shandong Key Laboratory of Applied Technology for Protein and Peptide Drugs, Liaocheng 252059, China;
3. College of Agriculture and Biology, Liaocheng University, Liaocheng Shandong, 252059, China)

Abstract The effect of *Ganoderma lucidum* fermentation broth on the quality characteristics of set yogurt was investigated. Using liquid culture experiments of *Ganoderma lucidum* and testing methods for the physicochemical properties and sensory quality indicators of yogurt, the study investigated the effects of adding 0% to 20% *Ganoderma lucidum* fermentation broth on the physicochemical properties and sensory quality of set yogurt. When the addition amount of *Ganoderma lucidum* fermentation broth was 10%, the yogurt exhibited the highest levels of antioxidant activity, acidity, water holding capacity, and sensory evaluation. Compared with the control group, the yogurt's antioxidant activity increased by 21.19%, wa-

收稿日期:2025-10-16

基金项目:国家重点研发计划项目(2024YFD1300500);国家自然科学基金项目(32401979);聊城大学大学生创新训练项目(cxcy2025275,cxcy2025273);聊城“科技副总”协同创新项目(2024XT02)资助

通信作者:刘桂芹,女,汉族,博士,教授,研究方向:动物科学,E-mail:guiqinliu@lcu.edu.cn.

ter holding capacity increased by 10.07% ($p < 0.05$), and acidity significantly increased ($p < 0.05$). The sensory scores were excellent in terms of color, taste, and texture. Additionally, the elasticity index and cohesiveness indicators also showed significant peaks ($p < 0.05$). Adding an appropriate amount of *Ganoderma lucidum* fermentation broth is beneficial for improving the physicochemical properties and sensory quality of yogurt, providing guidance for the development of functional yogurt.

Keywords *Ganoderma lucidum* fermentation broth; set-type yogurt; physicochemical property; sensory quality

0 引言

随着消费者健康意识的不断提升,功能性食品市场呈现出蓬勃发展的态势^[1]。酸奶,作为一种富含蛋白质、益生菌以及多种营养成分的发酵乳制品,因其能够调节肠道菌群、增强免疫力等功能而深受消费者青睐^[2]。特别是复合功能性酸奶,它将具有保健功效的天然成分融入酸奶之中,开发出既营养又具有特定功能的新产品,展现出巨大的发展潜力,已成为食品领域的研究热点。

在当前市场中,功能性酸奶产品多以添加水果、谷物或特定功能性成分为主,而以灵芝为原料的功能性酸奶研发相对较少^[3]。灵芝作为一种传统的药食同源真菌,富含多糖、三萜类等活性成分,具备免疫调节、抗氧化、抗肿瘤等功效,在功能性食品的开发中具有显著的价值^[4-5]。然而,传统的灵芝栽培面临生产周期长、活性成分提取难度大、品质受环境影响显著等问题,这些因素限制了其大规模生产。相比之下,灵芝液体发酵技术通过精确控制发酵条件,能够提升生产效率,显著增加灵芝多糖、三萜类成分的含量,并扩大生产规模^[6]。灵芝多糖作为灵芝发酵液中的主要活性物质,能够清除体内自由基,增强机体的抗氧化能力^[7]。同时,灵芝发酵过程中产生的代谢产物可为产品赋予独特风味。将灵芝与酸奶相结合,不仅能够丰富酸奶的营养成分,还能实现营养价值与保健功能的双重提升。

本研究选取灵芝发酵液与牛奶作为主要原料,制备灵芝酸奶,系统性地研究了不同灵芝发酵液添加量对酸奶抗氧化性、感官品质、持水力、酸度、质构特性等指标的影响。通过探究灵芝发酵液对凝固型酸奶品质特性的影响,确定最佳的灵芝发酵液添加比例,以制备出凝固型灵芝酸奶,为功能性发酵乳制品的创新开发提供理论基础与技术支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料与试剂

(1) 实验材料。纯牛奶,伊利乳业有限责任公司;白砂糖、马铃薯,市售;发酵剂,微康益生菌股份有限公司;灵芝菌种,实验室保藏菌种。

(2) 实验试剂。葡萄糖、琼脂、氢氧化钠、酚酞、苯酚、硫酸、甲基红、亚甲基蓝、甲醇、氯仿、DPPH、95%乙醇、无水乙醇、MRS培养基。

1.2 实验仪器与设备

表1 实验仪器与设备

Tab. 1 Experimental instruments and equipment

实验仪器	厂家
恒温摇床(TS-100B)	上海天呈实验仪器制造有限公司
250B 恒温培养箱	金坛市科析仪器有限公司
超净工作台	德国 Baker 公司
立式压力蒸汽灭菌器(LDZX-50KBS)	上海申安医疗器械厂
智能生化培养箱(YK-S300)	合肥右科仪器设备有限公司
电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9240A)	上海三发科学仪器有限公司
冰箱(BCD-239WDCG)	海尔智家股份有限公司

1.3 实验方法

1.3.1 凝固型灵芝酸奶的制备。取 100 mL 纯牛奶,加入 6 g 白砂糖搅拌至完全溶解。将混合液于 95 ℃ 水浴灭菌 10 min,冷却至 40~42 ℃ 后,依次加入灭菌的灵芝菌丝体发酵液与 0.3 g 发酵剂,搅拌均匀后灌装密封。置于 43 ℃ 恒温箱发酵 6 h,发酵完成后转入 4 ℃ 冰箱冷藏 12 h。

1.3.2 灵芝发酵液的制备。参考王秀艳等^[8]的方法,并略加修改。将实验室恒温保藏的灵芝菌种接种至 PDA 培养基,在 28 ℃ 恒温培养箱内培养 4~6 天,待菌丝初步生长后进行纯化处理。纯化后的菌种继续培养,如图 1 所示,直至菌丝完全覆盖培养皿表面。挑取适量菌丝体,接入到含有液体培养基的锥形瓶中,于 28 ℃、转速 120 r/min 摇床中培养 5~7 天,当在显微镜下观察到液体中出现较多孢子时,吸取 5 mL 发酵液进行扩大培养。如图 2 所示,当观察到液体培养基恢复澄清,且菌丝球表面形成明显毛状分支结构时,结束培养。使用 8 层纱布过滤,将菌液置于高压蒸汽灭菌锅中进行灭活处理,冷却后转移至冰箱低温保藏备用。



图 1 平板纯化后菌丝生长状态图

Fig. 1 Purification plate purification post-hyphae growth status diagram

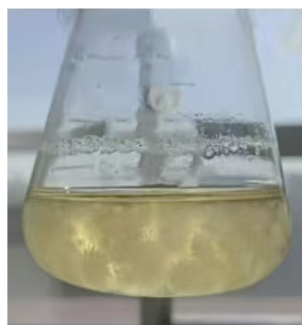


图 2 液体培养菌丝生长状态图

Fig. 2 The activation process of mycelium in liquid culture medium

1.3.3 灵芝发酵液粗多糖含量的测定。参考 NYT1676—2023《食用菌中粗多糖的测定》,在 490 nm 处测定吸光值,以吸光度为纵坐标,葡萄糖浓度为横坐标,绘制标准曲线,如图 3 所示。参考洪佳瑞等^[9]的方法,吸取过滤后的灵芝菌丝体发酵液 5.0 mL,用无水乙醇稀释,静置后离心,将沉淀用水溶解移至 25 mL 容量瓶中,定容后采用苯酚-硫酸法,在 490 nm 处测定吸光度。

1.3.4 灵芝发酵液添加量对灵芝酸奶品质特性的影响。实验共设 5 个处理组,灵芝发酵液添加量分别为 0、5%、10%、15%和 20%,同时保持纯牛奶 100 mL、白砂糖 6 g、发酵剂 0.3 g 的用量不变。将混合乳置于 43 ℃ 培养箱发酵 6 h,随后于 4 ℃ 冰箱后熟 12 h 以制得成品。对不同处理组的酸奶进行抗氧化活性、酸度、持水力、质构特性测定,并进行感官评定,分析灵芝添加量与凝固型酸奶品质指标间的相关性。

1.3.5 感官评定。根据 RHB 104—2020《发酵乳感官评鉴细则》中的凝固型发酵乳评分标准,并参考胡文静等^[10]的酸奶评分标准,略作修改。由 10 名食品专业学生从色泽、滋味、气味、口感与组织状态五个维度,对凝固型灵芝酸奶开展感官评定工作,评价标准总分为 100 分,具体评分细则如表 2 所示。

1.3.6 持水力的测定。参考 Buniowska-Olejnik 等^[11]的方法,先称取 50 mL 离心管的重量记为 W ,再将 15 g 搅拌均匀的酸奶置于该离心管中,称重记为 W_1 ,将离心管放入离心机,在 4 000 r/min 转速下离心 15 min,弃去上清液后称重记为 W_2 。持水力通过公式计算

$$L = \frac{W_2 - W}{W_1 - W} \times 100\%$$

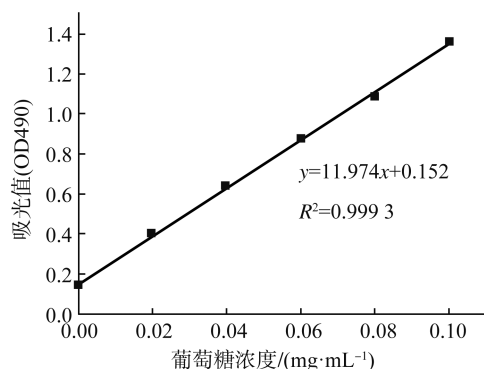


图 3 葡萄糖标准曲线

Fig. 3 The standard curve of glucose

每个样品均进行3次平行测定,并取平均值。

1.3.7 酸度的测定。参照 GB 5009.239—2016《食品酸度的测定》中的酚酞指示剂法进行测定,称取 10g 搅拌均匀的酸奶样品于锥形瓶中,依次加入 20 mL 新煮沸冷却至室温的水、2 mL 酚酞指示剂,用氢氧化钠标准溶液滴定,每个样品均进行3次平行测定,并取平均值。

表2 凝固型灵芝酸奶感官评价标准

Tab.2 Sensory evaluation criteria for set yogurt containing ganoderma iucidum

项目	评分标准	评分
色泽(20分)	色泽均匀一致,呈乳白或乳黄色	12~20
	色泽较均匀,呈深黄色或灰色	4~11
	色泽不均匀,有色斑点或杂质,出现异常颜色	0~3
滋味(20分)	酸甜适中,灵芝发酵液的味道适中,回味甘甜	12~20
	略酸或略甜,灵芝发酵液的味道较淡	4~11
	过酸或过甜,灵芝发酵液的风味过淡或过浓	0~3
气味(20分)	奶香味浓郁,带有灵芝发酵液特有的清香,无异味	12~20
	奶香味适中,灵芝发酵液的清香较淡,无异味	4~11
	无奶香味,无灵芝发酵液的香味,有异味	0~3
口感(20分)	口感细腻丝滑,无颗粒感	12~20
	口感较细腻,有轻微颗粒感	4~11
	口感粗糙,颗粒感明显	0~3
组织状态(20分)	组织细腻均匀、质感坚实、弹性好,无乳清析出	12~20
	组织较细腻均匀,弹性较差,有少量乳清析出	4~11
	组织不均匀、质感偏软、弹性差,乳清析出较多	0~3

1.3.8 质构特性的测定。参考杨续金等^[12]的方法并略做修改,用 CT3 质构仪对酸奶进行 TPA 测定。选用探头 TA4/1000、夹具 TA-RT-KT,设置触发点负载 7 g、测试速度 1 mm/s、测试长度 30 mm,引发类型为自动。每个样品进行3次平行实验。

1.3.9 粘度测定。参考杨扬^[13]的方法,采用数显粘度计,选用3号转子,转速为 12 r/min,每 20 s 取一次数值,重复3次后取平均值。

1.3.10 抗氧化性测定。参考董闯等^[14]的方法,略作修改。(1) 样品预处理:取 2 g 搅拌均匀的酸奶样品于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 无水乙醇,混匀后,室温 4 000 r/min 离心 30 min,取上清液为待测液。(2) DPPH 自由基清除率测定。取 3 mL 待测液与 3 mL 0.2 mmol/L DPPH 溶液混匀,室温下避光反应 30 min,以 4 000 r/min 离心 10 min,最后取上清液于 517 nm 测定吸光度值 A_i ,分别用无水乙醇代替待测液与 DPPH 溶液测定吸光度值为 A_o 和 A_j 。并按下列公式计算 DPPH 自由基清除率

$$P = (1 - \frac{A_i - A_j}{A_o}) \times 100\%。$$

1.3.11 蛋白质含量测定。参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法,使用自动凯氏定氮仪进行测定。

1.3.12 脂肪含量测定。参照 GB 5009.6—2025《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》,并稍作修改。称取 5 g 搅拌均匀的酸奶样品,依次加入 4 mL 甲醇、2 mL 三氯甲烷,振摇 3 min 后加入 2 mL 三氯甲烷和 2 mL 蒸馏水,振荡 30 s,4 000 r/min 离心 15 min,吸取油层至已恒重的抽提筒中,100 ℃烘干 30 min,于干燥器中恒重 30 min,称其质量。

1.3.13 乳酸菌数测定。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》进行测定,将酸奶稀释为适宜梯度,取 100 μ L 涂布于 MRS 平板培养基,36 ℃培养 48 h 后计数菌落。

1.3.14 数据统计与分析。每项实验均重复测定3次,采用 Excel 2021 进行数据统计,使用 OriginPro 2021 进行绘图,使用 SPSS 20.0 进行方差分析(ANOVA),采用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 灵芝发酵液粗多糖含量特征及功能性分析

本研究中灵芝菌丝体发酵液的粗多糖含量为 2.30 ± 0.03 g/L,与王琼^[15]在相同 5 天发酵周期的研究数据(2.15 ± 0.03 g/L)相比,多糖提取效率提升 6.88%~7.08%,该差异推测与液态发酵工艺参数的不同设置有关。灵芝多糖富含 β -葡聚糖等功能性成分,具有抗氧化^[16]、抗肿瘤^[17]等生物活性,在酸奶发酵过程中,灵芝多糖可通过多重作用机制优化酸奶品质与功能,通过提高酸奶的乳酸活菌数、调节肠道菌群稳定、激活相关信号通路等途径,赋予酸奶免疫调节潜力^[18]。

2.2 灵芝发酵液添加量对酸奶品质的影响

2.2.1 灵芝发酵液添加量对酸奶感官品质的影响。由图 4 可知,当灵芝发酵液的添加比例为 0%、5%、10%、15%、20%时,酸奶的感官总评分依次为 77、86、95、84、74。在灵芝发酵液的添加量从 0%增加至 10%的过程中,酸奶的色泽、口感、气味、组织状态以及口味的各个评价指标均呈现出上升趋势。与未添加灵芝发酵液的酸奶相比,添加了 10%灵芝发酵液的酸奶在感官评分上提升了 23.38%,经分析,原因在于添加适量灵芝发酵液,其成分能与酸奶体系较好融合,从而在感官层面上进行优化。然而,当添加量超过 10%时,感官评分明显降低,这是因为过量的灵芝发酵液干扰了酸奶的发酵过程,影响了乳酸菌的生长和代谢以及蛋白质的凝聚,不利于酸奶的组织结构,导致感官评价各指标表现不佳,品质下降。综上,适量添加灵芝发酵液对于保持或提升酸奶的感官品质是有益的。

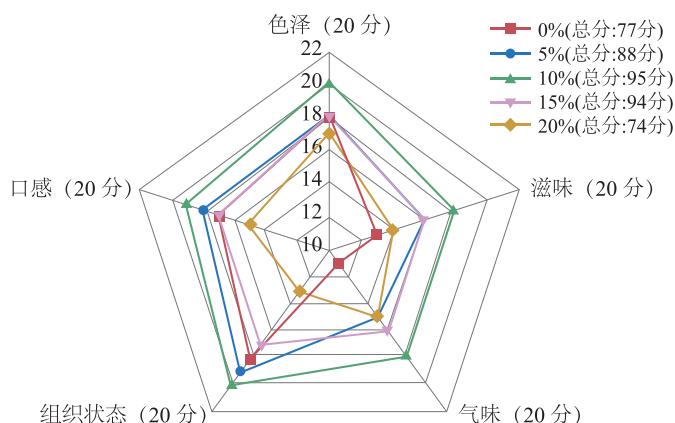
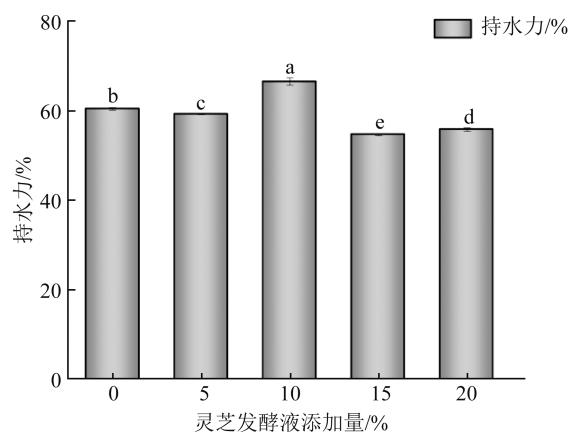


图 4 灵芝发酵液添加量对酸奶感官品质的影响

Fig. 4 The influence of the addition amount of ganoderma lucidum on the sensory quality of yogurt



注:不同字母表示差异显著($p < 0.05$),图 7 同。

图 5 灵芝发酵液添加量对酸奶持水力的影响

Fig. 5 The influence of the addition amount of ganoderma lucidum on the water holding capacity of yogurt

2.2.2 灵芝发酵液添加量对酸奶持水力的影响。从图 5 可以看出,灵芝发酵液的添加量对酸奶的持水力具有显著影响,表现为先增加后减少的趋势。当添加量在 5%至 10%之间时,持水力呈现上升趋势,尤其是添加量达到 10%时,持水力达到峰值。与未添加灵芝发酵液的酸奶相比,持水性显著提高了 10.07%($p < 0.05$)。推测这与灵芝发酵液中含有的多糖等成分有关,这些成分的亲水性以及它们之间的协同作用有助于构建一个紧密的凝胶网络,从而增强持水力。然而,当添加量超过 10%时,持水力开始下降。经分析,原因在于灵芝发酵液中的干物质含量较低,在发酵成为凝固型酸奶的过程中,未能形成足够致密的胶体结构,无法有效束缚乳中的水分,导致乳清分离,凝乳结构变得不稳定^[15],进而使得持水力降低。

2.2.3 灵芝发酵液添加量对酸奶抗氧化性的影响。如图 6 所示,添加灵芝发酵液可显著提升酸奶的 DPPH 自由基清除能力。当添加量不大于 10%时,清除率随添加量增加而上升,在 10%时达到最高,较空白组提高 21.19%,这主要归因于灵芝发酵液中多糖、三萜等活性成分的累积效应^[19]。然而,添加量增至 15%时清除率显著下降,可能与成分相互作用变化或体系稳定性受干扰有关。继续提高至 20%时,清除率有所回升,推测是由于抗氧化成分间协同作用恢复平衡,且体系中氨基酸、有机酸等物质起到辅助抗氧化作用^[19]。结果

表明,灵芝发酵液的添加量对抗氧化活性具有显著影响,而且并非线性关系,适量添加方能实现最佳抗氧化效果。

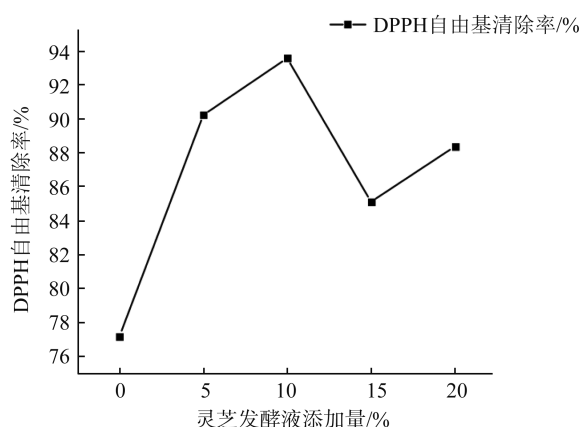


图6 灵芝发酵液添加量对酸奶抗氧化性的影响

Fig. 6 The influence of the addition amount of ganoderma iucidum on the antioxidant activity of yogurt

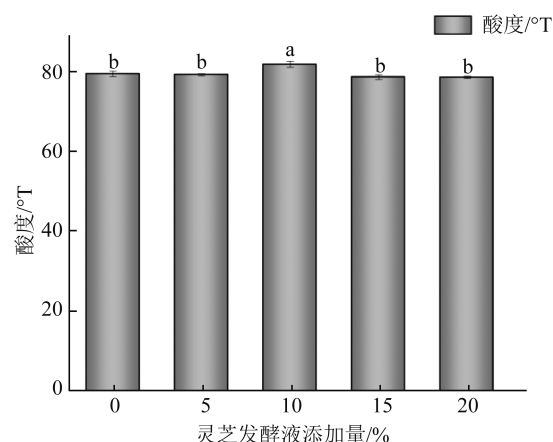


图7 灵芝发酵液添加量对酸奶酸度的影响

Fig. 7 The influence of the addition amount of ganoderma iucidum on the acidity of yogurt

2.2.4 灵芝发酵液添加量对酸奶酸度的影响。由图7可知,当灵芝发酵液的添加比例介于5%至10%之间时,酸奶的酸度表现出上升趋势。特别地,与未添加灵芝发酵液的酸奶相比,添加量为10%的酸奶酸度存在显著差异($p<0.05$)。参考 Vanegas-Azuero 等^[20]的研究成果,灵芝发酵液中的 β -葡聚糖(BGGL)能够增加酸奶中蛋白质、碳水化合物等多种成分的含量,并为乳酸菌的生长代谢提供适宜的环境,从而促进酸度的增加。然而,当灵芝发酵液的添加比例在10%至20%范围内时,酸奶酸度呈现下降趋势,并且差异不显著($p>0.05$)。这是由于灵芝发酵液中三萜类物质的积累改变了体系的pH值、渗透压等物理化学性质,抑制了乳酸菌的代谢,导致其产酸能力降低,进而使得酸奶的酸度下降^[4]。

2.2.5 灵芝发酵液添加量对酸奶质构和粘度的影响。灵芝添加量对酸奶质构和粘度的影响如表3所示。由表3可知,在添加了10%灵芝发酵液的情况下,酸奶的弹性指数和内聚性指标均达到了显著的峰值($p<0.05$),显示出明显的提升。这说明添加10%的灵芝发酵液能够通过氢键和疏水作用增强蛋白质-多糖网络结构的稳定性,同时也揭示了适量的灵芝多糖与乳蛋白之间存在协同效应。此外,拉丝长度在未添加灵芝发酵液时也显示出显著的峰值($p<0.05$),这是由于灵芝发酵液中的三萜类物质抑制了酪蛋白的水解,从而影响了凝胶结构的连续性^[21]。拉丝长度的非单调变化进一步表明,灵芝胞外多糖的添加对凝胶流变学具有复杂的调控作用。在本研究的实验范围内,粘度和硬度形变参数并未表现出显著性差异($p>0.05$)。这项研究证实了灵芝发酵液主要通过调节蛋白-多糖的相互作用来影响酸奶的质构特性,并且在10%的添加量下能够显著改善酸奶的质地,为功能性酸奶的开发提供了理论支持。

表3 灵芝发酵液添加量对酸奶质构和粘度的影响

Tab. 3 The influence of the addition amount of ganoderma iucidum on the texture and viscosity of yogurt

灵芝添加量/%	弹性指数	内聚性	拉丝长度/mm	粘度/(Pa·s)	硬度形变/mm
0	0.94±0.01ab	0.45±0.04b	2.88±0.08a	9.78±0.01ab	3.96±0.01a
5	0.90±0.05bc	0.49±0.01b	2.21±0.03c	9.78±0a	3.96±0a
10	0.96±0.02a	0.58±0.02a	2.43±0.04b	9.78±0a	3.97±0.01a
15	0.94±0.01ab	0.49±0.01b	2.36±0.07b	9.78±0.01ab	3.94±0.03a
20	0.87±0.01c	0.46±0.02b	2.46±0.02b	9.77±0c	3.94±0.03a

注:数据为平均值±标准差;同一列中不同字母表示该列差异显著($p<0.05$)。

2.3 凝固型灵芝酸奶最优组与对照组的品质指标对比分析

通过研究灵芝添加量对酸奶品质的影响,确定凝固型灵芝酸奶的最佳配方:以100 mL纯牛奶为例,添加10 mL灵芝发酵液、6 g白砂糖、0.3 g发酵剂,在43℃条件下发酵6 h。根据最佳配方,制备10%灵芝发

酵液添加量的最优组和 0%灵芝发酵液添加量的对照组两组酸奶,并测定相关理化指标,如表 4、表 5 所示。

依据 GB19302-2010《食品安全国家标准 发酵乳》标准,表 4 和表 5 所列各项指标均达到了国家规定的标准。通过将最优组与对照组进行多角度比较,我们发现最优组的抗氧化性能提高了 28.1%,乳酸菌数量增加了 34.67%。这表明灵芝发酵液不仅具有清除自由基的能力,还能促进乳酸菌的繁殖。此外,与对照组相比,最优组的蛋白质含量降低了 4.55%,脂肪含量降低了 10.45%,这是由于添加了灵芝发酵液,从而稀释了酸奶中的蛋白质和脂肪浓度。在质构和持水力方面,最优组酸奶的弹性增加了约 1.52%,胶着性降低了约 5.71%,内聚性增加了约 31.82%,硬度降低了约 27.85%,持水力增加了约 14.81%。这是由于灵芝成分与酸奶成分的相互作用,改变了分子间的结合方式、结构稳定性以及水分的结合能力。综合分析,添加 10%的灵芝发酵液能显著提升酸奶的多项品质。

表 4 最优组与空白对照组的理化及微生物指标对比

Tab. 4 Comparison of physical, chemical and microbial indicators between the optimal group and the blank control group

组别	抗氧化性/%	脂肪/(g·100 g ⁻¹)	蛋白质/(g·100 g ⁻¹)	乳酸菌数/(CFU·g ⁻¹)	酸度/°T
最优组	94.17	2.57	2.31	1.01×10 ⁸	82.66
对照组	73.49	2.87	2.42	7.50×10 ⁷	78.73

表 5 最优组与空白对照组的质构及持水力指标对比

Tab. 5 Comparison of texture and water-holding capacity indicators between the optimal group and the blank control group

组别	弹性/mm	胶着性	内聚性	硬度/g	持水力/%
最优组	4.01	132.00	0.58	228.00	67.30
对照组	3.95	140.00	0.44	316.00	58.62

3 讨论

本研究系统探讨了灵芝发酵液对酸奶品质的影响,确定了其最适添加量,并证实其在改善酸奶理化、功能及感官特性方面具有潜力。以下结合现有文献展开讨论,分析如下。

3.1 灵芝发酵液在功能食品中的应用与本研究创新点

灵芝发酵液富含多糖、三萜、灵芝酸及漆酶等活性成分,已在抗氧化、美白、免疫调节及抑菌等方面展现出明确功效^[21-25],这使其在食品、保健品及化妆品领域展现出广泛的应用价值。在食品领域中,已有研究探索了其在灵芝醋^[26]、馒头^[27]等产品中的品质改良作用。然而在乳制品体系,尤其是酸奶中的应用研究仍较为有限,且多数集中于单一指标的评价或传统配方的简单复配,对酸奶理化性质和功能活性的系统性、量化分析较为欠缺^[8]。本研究聚焦于酸奶,通过量化添加实验,首次从理化特性、抗氧化活性、质构与感官等多维度综合评价了灵芝发酵液的影响,并确定灵芝发酵液可显著影响酸奶品质,10%为其最适添加量。这不仅拓展了灵芝发酵液在乳制品中的应用途径,也为开发兼具功能与品质的新型酸奶提供了直接依据。

3.2 研究不足与未来展望

本研究仍存在以下不足,有待后续深入:(1) 作用机制尚不明确:本研究仅明确了宏观品质变化,未深入解析灵芝发酵液中关键活性成分(如多糖、漆酶^[28])与乳蛋白、乳酸菌之间的相互作用机制。未来可借助成分分离纯化^[29-30]及分子互作研究技术进一步阐明。(2) 贮藏稳定性与体内功效未验证:研究未考察该功能性酸奶的贮藏期品质变化及体内生理功效。后续可参照相关动物模型^[31-32],验证其长期食用后的抗氧化、免疫调节等生理功能,为其应用提供更充分的科学支撑。

4 结论

灵芝发酵液可显著影响酸奶品质,其最适添加量为 10%。在此条件下,酸奶的抗氧化能力提高 21.19%,持水力增加 10.07%,酸度达 82.66 °T,乳清析出减少,质构(弹性与内聚性)与感官评分(95 分)均表现最佳,且各项指标符合国家标准。综上所述,灵芝发酵液能有效改善酸奶的质构、提升其抗氧化活性与整体可接受性,具备良好的应用前景。后续研究应着重于阐明其作用机理并验证贮藏稳定性与体内功效,以

推动该功能性产品的实际开发。

参 考 文 献

- [1] 郑民,杜晶晶,陆毅,等. 功能性酸奶的应用研究进展[J]. 现代食品,2022,28(13):48-50.
- [2] WANG Y Z, WANG Y J, HUANG X, et al. Unlocking the potential of seaweed in functional yogurt: a comparative study on the impact of *Undaria pinnatifida* and *Saccharina japonica* on quality, flavor, and microbial communities[J]. Food Bioscience, 2025,68(6):106627.
- [3] 罗倩. 山葵酸奶加工工艺及其品质研究[D]. 成都:成都大学,2019.
- [4] 李平作,章克昌. 灵芝胞外多糖的分离纯化及生物活性[J]. 微生物学报,2000,40(2):217-220.
- [5] 陈春锋. 高免疫活性灵芝多糖菌株的筛选及发酵条件的研究[D]. 上海:上海师范大学,2007.
- [6] 梁海秋,田春龙,杨辉,等. 液体发酵灵芝菌胞外多糖的研究[J]. 现代食品科技,2006,22(2):55-57.
- [7] 吕欣彧,赵文文,陈喜君. 食用菌多糖在功能性酸奶中的应用研究进展[J]. 食用菌,2022,44(6):6-9.
- [8] 王秀艳,段香玉,王欣悦,等. 灵芝菌丝体发酵酸奶的研制[J]. 食用菌,2024,46(4):79-82.
- [9] 洪佳瑞,张丽梅,王思凡,等. 复合花粉灵芝发酵工艺优化及活性物质组分分析[J]. 保鲜与加工,2024,24(11):107-117.
- [10] 胡文静,杨晓聪,孙鹤,等. 山药多糖对凝固型板栗酸奶稳定性及品质的影响[J]. 粮食与油脂,2025,38(4):108-113.
- [11] BUNIEWSKA-OLEJNIK M, MYKHALEVYCH A, URBANSKI J, et al. Storage quality and antioxidant properties of yogurt fortified with highly bioavailable formula of curcumin[J]. LWT-Food Science and Technology, 2025,223(5):117798.
- [12] 杨续金,侯燕军,呼斯乐,等. 凝固型绵羊奶酸奶的发酵特性及活菌数变化[J]. 食品科学,2021,42(20):69-74.
- [13] 杨扬. 十种真菌多糖对酸奶发酵剂发酵特性的影响[J]. 食品工业科技,2023,44(8):85-98.
- [14] 董闯,周小波,祝亚辉,等. 不同处理方式对牦牛乳及酸奶理化性质的影响[J]. 食品与发酵工业,2025,51(14):97-105.
- [15] 王琼. 灵芝菌丝体培养中多糖组分的变化与相关酶活性分析[D]. 无锡:江南大学,2013.
- [16] 张尚博,刘永超,齐鸿伟,等. 灵芝多糖对心肌保护作用机制的研究进展[J]. 天然产物研究与开发,2025,37(9):1775-1783.
- [17] 郭瑶瑶,叶云,董军秀,等. 灵芝菌固态发酵多花黄精化学成分变化及抗肿瘤活性研究[J/OL]. 特产研究,1-10[2025-12-13]. <https://doi.org/10.16720/j.cnki.tcyj.2025.071>.
- [18] 李广富,陈伟,范路平,等. 灵芝功能成分酸奶营养品质与风味物质分析[J]. 食品科学,2015,36(10):168-173.
- [19] 李增梅. 灵芝发酵培养与生物活性研究[D]. 济南:齐鲁工业大学,2023.
- [20] VANEGAS-AZUERO A M, GUTIÉRREZ L F. Physicochemical and sensory properties of yogurts containing sachal inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and β -glucans from *Ganoderma lucidum*[J]. Journal of Dairy Science, 2018,101(2):1020-1033.
- [21] 张周美,谢纯良,颜少慰,等. 不同菌株灵芝发酵液抗氧化和美白活性差异比较分析[J]. 中国食用菌,2021,40(8):43-48,56.
- [22] 崔月花,缪婧,陈清颖,等. 大孔树脂对灵芝发酵液中抗氧化物质的分离纯化的研究[J]. 食品工业,2018,39(11):49-52.
- [23] 潘明,徐轶婷,许艳丽,等. 灵芝发酵液多糖抑菌作用研究[J]. 中国酿造,2010,29(2):56-58.
- [24] 张珏,章克昌. 灵芝发酵液的超滤提取及其抗氧化活性的研究[J]. 食品研究与开发,2005,26(5):60-63.
- [25] 曹婧,徐玉珍,宁安红,等. 灵芝发酵液多糖提取物对荷瘤小鼠细胞免疫的动态观察[J]. 中国微生态学杂志,2004,16(3):140-141.
- [26] 杨玉华. 灵芝发酵液改善馒头品质的机制及漆酶基因在毕赤酵母内的异源表达[D]. 新乡:河南师范大学,2015.
- [27] 萧晋川,张勇,李毅,等. 大豆粉用于灵芝发酵液制取灵芝醋的研究[J]. 科学技术与工程,2014,14(15):153-155.
- [28] 张悦. 灵芝发酵液漆酶分离纯化、酶学特性及其资源化处理木质素的研究[D]. 郑州:郑州轻工业大学,2025.
- [29] 田亚平,李屹松,章克昌. 固定化亲和层析分离灵芝发酵液蛋白酶A抑制剂[J]. 食品工业科技,2006,27(5):85-87.
- [30] 田亚平,章克昌. 灵芝发酵液中蛋白酶抑制剂 GLPIA2 的纯化及其特性[J]. 色谱,2005,23(3):267-269.
- [31] 曾瑾,罗霞,郑林用,等. 灵芝发酵液诱导 PC12 细胞分化及 β 淀粉样肽细胞毒性的保护作用[J]. 中药药理与临床,2009,25(5):82-85.
- [32] 郭芳,齐亚娟,张永健,等. 灵芝发酵液对衰老大鼠抗氧化作用及其性功能的研究[J]. 第三军医大学学报,2005(15):1564-1568.

(责任编辑:刘庆松)