



李真,张钰,蔡杰,等.燕麦 β -葡聚糖对凝固型酸奶发酵特性及贮藏品质的影响[J].轻工学报,2025,40(2):23-30.
LI Z,ZHANG Y,CAI J,et al. Effect of oat β -glucan on fermentation characteristics and storage quality of set yogurt[J]. Journal of Light Industry,2025,40(2):23-30. DOI:10.12187/2025.02.003

燕麦 β -葡聚糖对凝固型酸奶发酵特性及贮藏品质的影响

李真^{1,2},张钰¹,蔡杰¹,杨勇^{1,2},索标^{1,2},艾志录^{1,2}

1. 河南农业大学 食品科学技术学院,河南 郑州 450002;
2. 速冻面米及调制食品河南省工程实验室,河南 郑州 450002

摘要:在不同质量分数的燕麦 β -葡聚糖(Oat β -glucan, OBG)水溶液中加入脱脂奶粉制备凝固型酸奶,并测定其 pH 值、酸度、流变特性、持水力(WHC)、乳酸菌活菌数等,考查 OBG 对凝固型酸奶发酵特性及贮藏品质的影响。结果表明:与对照组相比,OBG 对发酵期间的 pH 值无显著性影响($P>0.05$),但会显著降低发酵后期(6~8 h)和后熟 24 h 酸奶的酸度($P<0.05$),且显著增加后熟 24 h 酸奶的 WHC($P<0.05$)。添加质量分数为 0.4%的 OBG 可使后熟 24 h 酸奶表现出更高的储能模量(G')和损耗模量(G''),即黏弹性更佳,感官品质也较优;随着贮藏时间的延长,实验组和对照组的乳酸菌活菌数均呈先升高后降低的趋势,且当贮藏 15 d 时,0.4%OBG 组的乳酸菌活菌数最多(9.12 log CFU/mL)。因此,适量添加 OBG 不仅能增强凝固型酸奶的发酵特性,还能显著提升其贮藏品质,并对凝固型酸奶中的乳酸菌起到保护作用。

关键词:燕麦 β -葡聚糖;乳酸菌;凝固型酸奶;发酵特性;贮藏品质

中图分类号:TS252.1 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2025)02-0023-08

0 引言

酸奶富含益生菌、蛋白质、钙、维生素等,具有改善肠道菌群结构、调节免疫反应、减轻乳糖不耐症等生理功能,是我国乳制品中销售量增长较快的品种之一^[1];另外,经发酵后,酸奶中的游离氨基酸、脂肪酸等物质的含量有所增加,更有利于人体消化吸收。然而,目前酸奶仍存在乳酸菌活菌数少、货架期短、黏稠性低、品质不稳定、脂肪含量高、

膳食纤维缺乏等亟需解决的问题^[2-3]。

膳食纤维(如非淀粉多糖、抗性低聚糖、抗性淀粉等)对肠道消化健康起着重要作用。燕麦 β -葡聚糖(Oat β -glucan, OBG)属于非淀粉多糖,是燕麦中可溶性膳食纤维的主要成分,具有调控血糖水平、降低血清胆固醇含量、平衡肠道菌群、增强免疫细胞活性、调节血压、防止腹泻和便秘等生理功能^[4]。美国食品和药品管理局(Food and Drug Administration, FDA)建议,每天从饮食中摄入 3 g OBG,可有效降

收稿日期:2024-08-22;修回日期:2024-12-24;出版日期:2025-04-15

基金项目:河南省自然科学基金项目(232300420008)

作者简介:李真(1983—),女,河南省驻马店市人,河南农业大学副教授,博士,主要研究方向为食品工程。E-mail:zhuhelizhen@163.com

通信作者:艾志录(1965—),男,河南省辉县人,河南农业大学教授,博士,主要研究方向为食品工程。E-mail:zhilafood@sina.com

低胆固醇水平及慢性疾病的发病率^[5],2014 年,国家卫生和计划生育委员会(现卫生健康委员会)正式批准 OBG 为新食品原料^[6]。OBG 具有较好的乳化稳定性和较高的黏度等理化特性^[7],在食品行业中常被作为稳定剂、增稠剂、口感增强剂和强化添加剂使用^[8]。例如,C. S. Brennan 等^[9]研究发现,将 OBG 加入低脂酸奶中,可显著提高产品的黏度;黄苑怡等^[10]研究发现,质量分数分别为 0.1%、0.5%和 1.0%的 OBG 均能够显著改善酸奶的质构和流变特性;梁莹等^[11]研究发现,当 OBG 质量分数为 0.3%~0.5%时,酸奶质感柔滑、奶香味浓郁。

酸奶按组织状态可分为凝固型酸奶和搅拌型酸奶,目前 OBG 应用于凝固型酸奶的报道相对较少,且 OBG 对凝固型酸奶发酵期、后熟期及贮藏期品质的影响尚需进一步研究。基于此,本文拟以脱脂奶粉、OBG 为原料制备凝固型酸奶,研究 OBG 对凝固型酸奶发酵特性及贮藏品质的影响,以期为 OBG 在凝固型酸奶中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

脱脂奶粉,新西兰恒天然集团;OBG(纯度 80%),中国张家口一康生物科技有限公司;嗜热链球菌、保加利亚乳杆菌(活菌数约为 $9.00 \log \text{CFU/g}$),安琪酵母有限公司;MRS 液体培养基,北京奥博星生物技术有限公司;NaOH(分析纯),上海沃凯生物技术有限公司。

1.2 主要仪器与设备

SW-CJ-1FD 型单人单面垂直净化工作台,苏州净化设备有限公司;LHP-250 型智能恒温恒湿培养箱,上海鸿都电子科技有限公司;5430R 型台式高速冷冻离心机,德国 Eppendorf 公司;AR-1000 型动态流变仪,英国 TA Instrument 公司;FE20 型 pH 计,上海梅特勒仪器有限公司;SX-500 型高压蒸汽灭菌锅,日本 Tomy 公司;RVA4500 型快速黏度分析仪,澳大利亚 Perten 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 发酵菌株活化与培养 将 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏的保

加利亚乳杆菌和嗜热链球菌甘油保菌管取出,解冻后分别接入 MRS 液体培养基中,在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 智能恒温恒湿培养箱中静止活化培养 20 h,利用血细胞计数板法确定无杂菌后,再以 1%的接种量分别接入 MRS 液体培养基中继续培养。培养好的菌株用无菌水洗涤两次后,备用。

1.3.2 凝固型酸奶制备 根据 A. Lazaridou 等^[12]的方法,并略作修改。将 OBG 溶解在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 蒸馏水中,制备质量分数分别为 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%和 1.0%的 OBG 水溶液,冷却至 $35\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,备用;称取 12 g 脱脂奶粉于预消毒($121\text{ }^{\circ}\text{C}$, 15 min)的玻璃瓶中,加入上述 OBG 水溶液;于 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下灭菌 10 min 后冷却,在室温无菌条件下按照 3%的接种量接种发酵菌株(嗜热链球菌与保加利亚乳杆菌的接种量比例为 10:1);于 $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温条件下培养,每隔 1 h 检测 pH 值,当 pH 值达到 $4.4\sim 4.3$ 时,停止发酵,放入 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中冷藏后熟 24 h,即得凝固型酸奶,分别记为 0.2% OBG、0.4% OBG、0.6% OBG、0.8% OBG 和 1.0% OBG。以不添加 OBG 的凝固型酸奶样品为对照组(CK)。将凝固型酸奶样品于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中贮藏,分别于 1 d、5 d、10 d 和 15 d 时取样,并测定相应指标。

1.3.3 pH 值和酸度测定 使用 pH 计测定凝固型酸奶样品的 pH 值。

参考杨晨芝等^[13]的方法,将 10.00 g 凝固型酸奶样品置于 250 mL 锥形烧瓶中,加入 20 mL 蒸馏水和 0.5 mL 0.5%酚酞指示剂,用 0.1 mol/L NaOH 标准溶液滴定。将所得结果乘以 10,即为凝固型酸奶样品的酸度($^{\circ}\text{T}$)。

1.3.4 流变特性测定 根据 X. Y. Xu 等^[14]的方法,并略作修改。取贮藏 1 d 的凝固型酸奶样品,于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下平衡 5 min,用玻璃棒顺时针搅拌 5 次后,取适量样品于动态流变仪载物台上,使用直径为 40 mm、间距为 1 mm 的平板进行频率扫描,温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,频率为 $0.1\sim 10.0\text{ Hz}$,应变为 0.5%,记录样品的储能模量(G')和损耗模量(G'')。

1.3.5 持水力(WHC)测定 根据常翠华等^[15]的方法,并略作修改。取 30 g 凝固型酸奶样品(质量记作 m_1),加入 50 mL 空离心管(质量记作 m_0)中,

于 4000 r/min 条件下离心 10 min, 除去上清液, 将沉淀物质量记作 m_2 。WHC 的计算公式如下:

$$WHC = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100\%$$

1.3.6 感官评价 参考 A. Saleh 等^[16] 的方法, 选择 10 名受过训练的感官评定人员, 从酸味、香气、口感、质地和可接受度 5 个方面对凝固型酸奶样品进行感官评价。使用 9 分快乐量表进行打分, 其中 1 分代表非常不喜欢, 5 分代表既不喜欢也不厌恶, 9 分代表非常喜欢。

1.3.7 乳酸菌活菌数测定 取 1 mL 搅拌均匀的凝固型酸奶样品, 加入 9 mL 质量分数为 0.9% 的生理盐水, 用无菌均质机均质 (频率 12 次/s, 拍打 120 s) 后, 进行连续梯度稀释; 选取合适梯度稀释液涂布在 MRS 琼脂培养基上, 于 37 °C 条件下孵育 48 h 后进行活菌计数。

1.3.8 黏度测定 室温条件下, 将凝固型酸奶样品用玻璃棒沿同一方向搅拌均匀, 取 25 g 样品, 用快速黏度分析仪测定其表观黏度。具体测试参数为: 转速 160 r/min, 温度 25 °C, 时间 5 min。

1.4 数据处理

采用 SPSS21.0 软件进行数据分析, 结果用 (平均值±标准差) 表示; 使用 Origin 2021 和 GraphPad Prism 8 软件作图。

2 结果与分析

2.1 对酸奶发酵期间 pH 值和酸度的影响

在酸奶发酵过程中, 乳酸菌会分解乳糖产生乳酸, 使酸奶的酸度增加, 进而引起蛋白质变性、交联和凝固, 故酸度是考查酸奶发酵终点和品质的重要指标之一^[17]。OBG 对酸奶发酵过程中 pH 值和酸度的影响如图 1 所示, 其中 * 表示对照组与实验组之间存在显著性差异 ($P<0.05$)。由图 1 可知, 对照组与实验组的 pH 值无显著性差异 ($P>0.05$), 这表明添加 OBG 不会对酸奶中乳酸菌的活性产生不利影响。酸度随着发酵时间的延长而增加, 在发酵后期 (6~8 h), 实验组的酸度显著低于对照组 ($P<0.05$), 即添加 OBG 能有效延缓酸奶的酸化过程, 防止酸奶过度酸化。M. Aljewicz 等^[18] 研究亦表明,

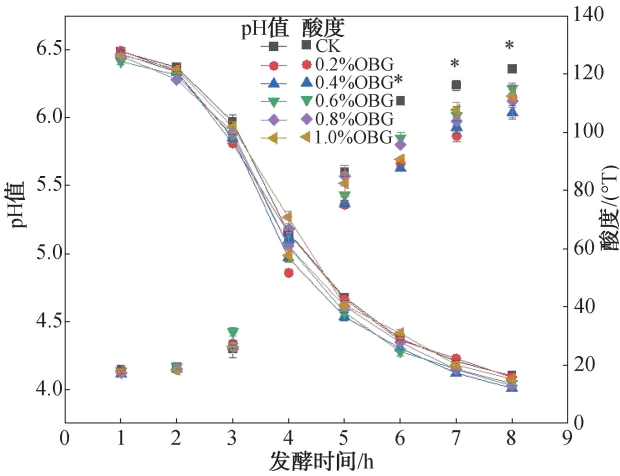


图 1 OBG 对酸奶发酵期间 pH 值和酸度的影响
Fig. 1 Effect of OBG on pH value and acidity of yoghurt during fermentation

与添加 OBG 组相比, 对照组酸奶中乳酸含量增加最多, 这可能是由于 OBG 溶于水后形成的凝胶体系具有一定的缓冲作用, 可延缓酸奶酸度的变化。

2.2 对后熟 24 h 凝固型酸奶 pH 值和酸度的影响

后熟是酸奶发酵后低温保存以优化口感和风味的关键步骤^[19]。OBG 对后熟 24 h 凝固型酸奶 pH 值和酸度的影响如图 2 所示。由图 2a) 可知, 后熟 24 h 后, 0.2% OBG、0.4% OBG 和 0.8% OBG 组的 pH 值均与对照组无显著性差异 ($P>0.05$), 0.6% OBG 组与 1.0% OBG 组的 pH 值之间无显著性差异, 但均显著高于对照组 ($P<0.05$), 这可能与乳酸菌利用 OBG 产生有机酸等物质有关^[10]。由图 2b) 可知, 与对照组相比, 添加 OBG 可显著降低后熟 24 h 凝固型酸奶的酸度 ($P<0.05$), 特别是当 OBG 质量分数为 0.4% 时, 酸度最低达到 98.33 °T, 与发酵阶段的变化规律一致。这可能是因为酸奶发酵过程中最主要的产酸菌株是保加利亚乳杆菌, 而添加 OBG 能促进嗜热链球菌生长, 使嗜热链球菌的数量超过保加利亚乳杆菌^[20], 从而有效防止酸奶的过度酸化。因此, OBG 可抑制凝固型酸奶的后酸化, 这与 M. Aljewicz 等^[18] 的研究结果较一致。

2.3 对后熟 24 h 凝固型酸奶流变特性的影响

频率扫描技术通常用于评估样品在扫描频率逐渐增加时的黏弹性反应, 可间接模拟咀嚼过程并反映食物的质地^[21]。S. Heydari 等^[22] 研究发现, 添加 6 种不同益生因子后, 发酵乳的流变特性发生了

显著变化,其中以添加 OBG 的发酵乳的流变特性最优。后熟 24 h 凝固型酸奶的频率扫描曲线如图 3 所示。由图 3 可知,实验组和对照组的 G' 均高于 G'' ,表明后熟 24 h 凝固型酸奶表现出类固体的特征^[23]。与对照组相比,实验组显示出更高的 G' 和 G'' ,表明形成了更强的凝胶结构,这可能是由于 OBG 自身的纤维三糖单元产生了振荡效果,使蛋白质与糖分子聚集形成凝胶,进而增强了后熟 24 h 凝固型酸奶的黏弹性^[24]。在 0.1~10.0 Hz 的频率范围内,除了 1.0% OBG 组的 G' 随着扫描频率的增加先增加后减小,其他组的 G' 均表现出逐渐增加的趋势,且实验组和对照组的 G' 都呈上升趋势,表明

1.0% OBG 组的黏性在增加而弹性在下降。所有组别中,0.4% OBG 组的 G' 和 G'' 增幅均较大。因此,质量分数为 0.4% 的 OBG 能较大幅度地提升后熟 24 h 凝固型酸奶的黏弹性,使其表现出优异的弹性特征及更为紧密的凝胶结构,且受外力作用时的形变程度明显减小,呈现出类似固体的稳定特性。因此,并非添加越多的 OBG 越有利于后熟 24 h 凝固型酸奶品质的提升,当 OBG 质量分数为 0.4% 时,即能有效改善酸奶的黏弹性,这体现了适量添加的重要性。

2.4 对后熟 24 h 凝固型酸奶 WHC 的影响

WHC 是评价酸奶凝胶特性的重要指标之一,其与凝胶结构对水分的束缚能力有关,通常情况下,WHC 越高,凝胶结构越致密和稳定^[25]。OBG 对后熟 24 h 凝固型酸奶 WHC 的影响如图 4 所示。由图 4 可知,添加 OBG 后,后熟 24 h 凝固型酸奶样品的 WHC 显著增加,且与 OBG 质量分数的增加呈正相关。当 OBG 质量分数为 1.0% 时,后熟 24 h 凝固型酸奶样品的 WHC 从 83.22% (对照组) 上升到 93.48%,

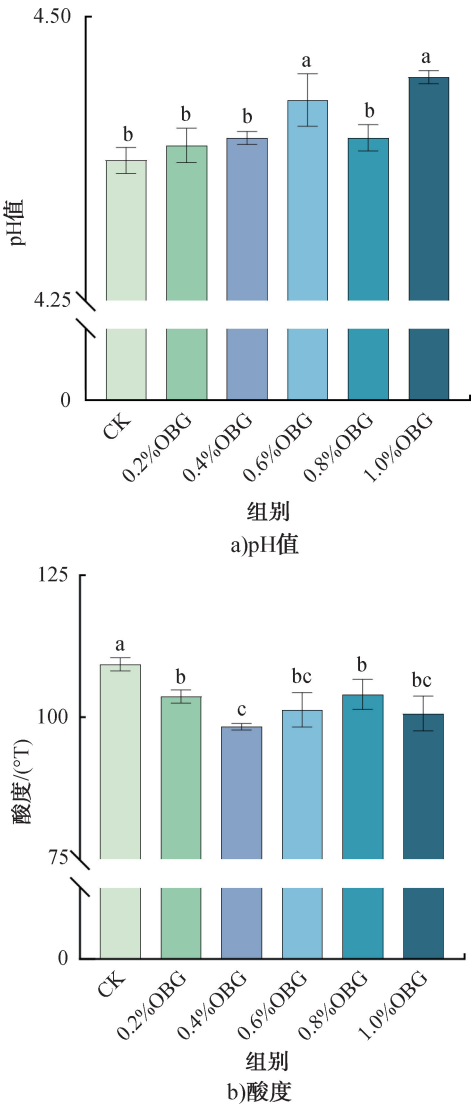


图 2 OBG 对后熟 24 h 凝固型酸奶 pH 值和酸度的影响
Fig. 2 Effect of OBG on pH value and acidity of set yogurt after 24 h post-ripening

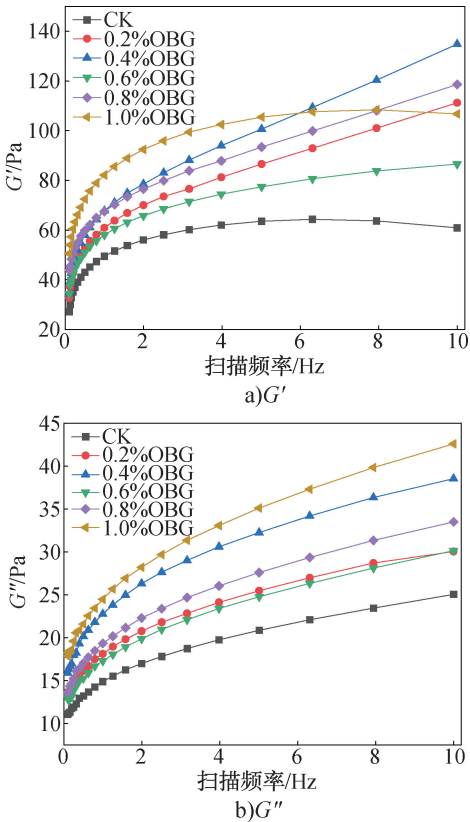


图 3 后熟 24 h 凝固型酸奶的频率扫描曲线
Fig. 3 Frequency scanning curve of set yogurt after 24 h post-ripening

这可能一方面是因为 OBG 具有较强的亲水能力,其与酪蛋白相互作用可有效拦截水分子,进而增强酸奶的凝胶结构^[26];另一方面,蛋白质分子与 OBG 之间的相互作用可使酸奶中带正电荷的蛋白质簇形成复合物,进而改善蛋白质凝胶的结构^[27]。

2.5 对后熟 24 h 凝固型酸奶感官品质的影响

酸奶的酸味、香气、口感、质地等对消费者喜好具有重大影响,并决定了其整体可接受度^[28]。OBG 对后熟 24 h 凝固型酸奶感官品质的影响如图 5 所示。由图 5 可知,当 OBG 质量分数为 0.4%和 0.8% 时,后熟 24 h 凝固型酸奶样品的酸味较小,质地均匀,口感光滑不黏,乳香味明显,整体感官得分较高,可接受度分值分别为 7.5 和 7.0;当 OBG 质量分数为 1.0%时,后熟 24 h 凝固型酸奶样品的组织状态最差,有明显结块,质地粗糙且小颗粒多,顺滑感差,乳香味淡,整体感官得分最低,可接受度分值仅为 4.7。这可能是因为过量的 OBG 与酸奶中的其他成分发生相互作用形成了颗粒^[13],对口感产生了不利影响。因此,适当添加 OBG 有利于提高后熟 24 h 凝固型酸奶的质地和口感。

2.6 对凝固型酸奶贮藏品质的影响

综合以上实验结果,选定 0.4% OBG 和 0.8% OBG 这两组凝固型酸奶进行后续贮藏品质研究。凝固型酸奶贮藏过程中 pH 值、酸度、WHC 和乳酸菌

活菌数的变化见表 1。由表 1 可知,pH 值随着贮藏时间的延长而降低,对照组的 pH 值从 4.37(贮藏 1 d)下降到 4.02(贮藏 15 d);0.4% OBG 和 0.8% OBG 组的 pH 值分别从 4.39(贮藏 1 d)下降到 4.14 和 4.15(贮藏 15 d)。这可能是由于乳酸菌利用剩余碳水化合物继续产生乳酸,同时,乳糖分解产生了少量的二氧化碳和甲酸^[29]。随着贮藏时间的延长,酸度呈上升的趋势,尽管乳酸菌的活性在冷藏过程中会受到抑制,但其仍可与酶一起缓慢分解糖类物质并产生乳酸,进而增加酸奶的酸度^[15]。与对照组相比,添加 OBG 可在一定程度上防止贮藏期间凝固型酸奶样品的过度酸化,这与 J. J. Yang 等^[30]的研究结果较相似。

随着贮藏时间的延长,WHC 逐渐降低。与对照组相比,添加 OBG 能显著提高凝固型酸奶样品的 WHC($P<0.05$),这表明 OBG 具有强亲水性,可通过吸水作用增强蛋白质凝胶网络的刚性,进而延长酸奶的保质期^[31]。J. Wang 等^[32]研究也发现,多糖分子是羟基的来源,而羟基可通过氢键与水分子结合,进而使多糖具有较好的保水能力。此外,N. Srisuvor 等^[33]研究发现,多糖可促进酸奶中的酪蛋白聚集,进而提高蛋白质凝胶结构的稳定性和 WHC。

随着贮藏时间的延长,实验组和对照组的乳酸菌活菌数均呈先升高后降低的趋势,且都在第 10 d 达到峰值。这可能是因为随着贮藏时间的延长,酸

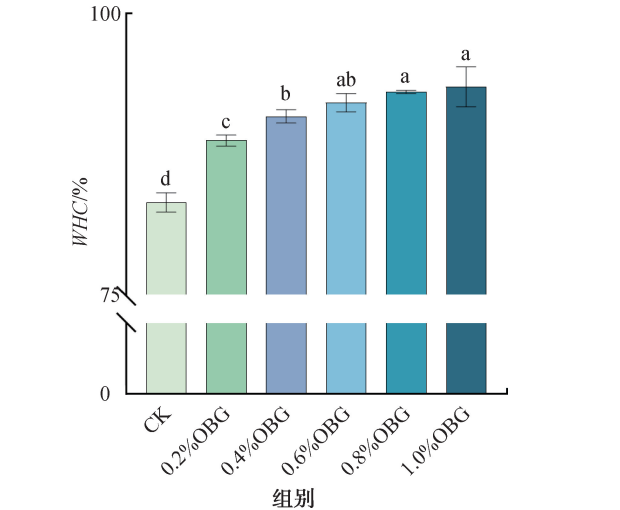


图 4 OBG 对后熟 24 h 凝固型酸奶 WHC 的影响
Fig. 4 Effect of OBG on WHC of set yogurt after 24 h post-ripening

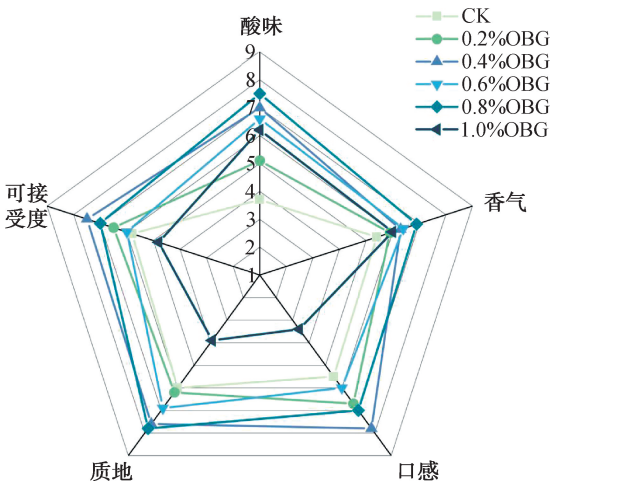


图 5 OBG 对后熟 24 h 凝固型酸奶感官品质的影响
Fig. 5 Effect of OBG on sensory quality of set yogurt after 24 h post-ripening

奶中营养物质的消耗及乳酸菌发酵作用导致的酸度增加均会抑制乳酸菌的生长繁殖,同时菌体逐渐老化,导致活菌数逐渐减少。当贮藏 15 d 时,0.4% OBG 组的乳酸菌活菌数($9.12 \log \text{ CFU/mL}$)显著多于对照组 ($8.86 \log \text{ CFU/mL}$) 和 0.8% OBG 组 ($8.84 \log \text{ CFU/mL}$)。K. G. Basyigit 等^[34] 研究结果亦表明,一定量的 OBG 可提高乳酸菌的生长活力。

2.7 对凝固型酸奶贮藏过程中黏度的影响

酸奶的黏度对其适口性、状态、品质和商业价值均具有重要的影响。凝固型酸奶贮藏过程中黏度的变化如图 6 所示。由图 6 可知,在贮藏过程中,实验组和对数组的黏度均有所降低,但贮藏结束时,实验组的黏度显著大于对照组,这可能一方面是因为 OBG 能够促进乳酸菌产生胞外多糖^[35],而

表 1 凝固型酸奶贮藏过程中 pH 值、酸度、WHC 和乳酸菌活菌数的变化

Table 1	The changes of pH value, acidity, WHC and viable counts of lactic acid bacteria of set yoghurt during storage				
组别	贮藏时间/d	pH 值	酸度/(°T)	WHC/%	乳酸菌活菌数/(log CFU · mL ⁻¹)
CK	1	4.37±0.01 ^{aA}	109.33±1.15 ^{aD}	83.22±0.85 ^{aA}	8.59±0.05 ^{bC}
	5	4.30±0.01 ^{cB}	106.33±1.15 ^{aC}	77.51±0.69 ^{bB}	8.91±0.04 ^{aB}
	10	4.18±0.01 ^{cC}	111.67±0.58 ^{aB}	77.54±0.96 ^{cB}	9.41±0.02 ^{bA}
	15	4.02±0.01 ^{bD}	120.67±1.53 ^{aA}	73.36±0.67 ^{cC}	8.86±0.03 ^{bB}
0.4%OBG	1	4.39±0.01 ^{aA}	98.33±0.58 ^{bB}	90.86±0.60 ^{bA}	8.68±0.04 ^{aD}
	5	4.28±0.01 ^{bB}	105.33±0.58 ^{aB}	82.27±0.67 ^{bB}	8.96±0.02 ^{aC}
	10	4.24±0.01 ^{bC}	105.33±0.58 ^{bB}	83.91±0.88 ^{bB}	9.39±0.02 ^{bA}
	15	4.15±0.01 ^{aD}	109.67±1.15 ^{bA}	83.85±1.61 ^{bB}	9.12±0.02 ^{aB}
0.8%OBG	1	4.39±0.01 ^{aC}	104.00±2.65 ^{cABC}	93.04±0.14 ^{aA}	8.69±0.04 ^{aD}
	5	4.40±0.01 ^{aB}	102.67±0.58 ^{bB}	86.34±0.12 ^{aC}	8.90±0.03 ^{aB}
	10	4.43±0.11 ^{aA}	97.67±0.58 ^{cAC}	88.75±0.97 ^{aB}	9.46±0.01 ^{aA}
	15	4.14±0.01 ^{aD}	108.33±0.58 ^{bA}	86.11±0.66 ^{aC}	8.84±0.01 ^{bC}

注:不同上标小写字母表示相同贮藏时间下,不同质量分数 OBG 凝固型酸奶之间存在显著性差异 ($P<0.05$);不同上标大写字母表示在不同贮藏时间下,相同质量分数 OBG 凝固型酸奶之间存在显著性差异 ($P<0.05$)。

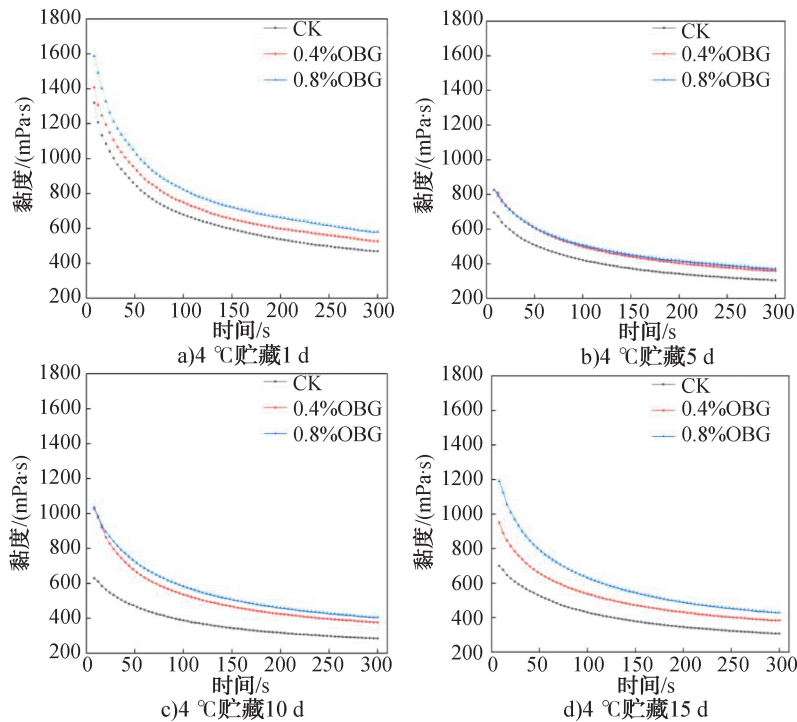


图 6 凝固型酸奶贮藏过程中黏度的变化

Fig. 6 The change of viscosity of set yoghurt during storage

胞外多糖能束缚更多的自由水并修饰酸奶的凝胶结构,同时促使酪蛋白颗粒聚集形成凝胶网络,导致酸奶的黏度增加;另一方面,OBG自身具有较强的黏性,可增加酸奶体系的黏稠度^[7]。

3 结论

本文以脱脂奶粉、OBG为原料制备了凝固型酸奶,通过评价其发酵期、后熟期及贮藏期的pH值、酸度、WHC、流变特性、感官品质、乳酸菌活菌数等变化,考查了OBG对凝固型酸奶发酵特性及贮藏品质的影响,得到如下结论:添加OBG能有效防止凝固型酸奶的过度酸化;适量OBG能显著提高后熟24 h凝固型酸奶的WHC、流变特性和感官品质;在实验贮藏期(15 d)内,质量分数为0.4%的OBG可增加凝固型酸奶的WHC和黏度,赋予酸奶理想的质地和感官品质。另外,OBG能提高乳酸菌的生长活力,在一定程度上延缓凝固型酸奶的后期酸化进程。因此,为了优化凝固型酸奶的综合品质,OBG的质量分数需控制在适宜范围内(<1.0%)。本研究结果有望为OBG在凝固型酸奶中的应用提供技术支持,并为解决酸奶存在的乳酸菌活菌数少、货架期短、膳食纤维缺乏等问题提供新的方案。

参考文献:

[1] 田硕,王晋伟,孔祥云,等.挤压处理的麦麸对酸奶品质的影响[J].食品研究与开发,2024,45(9):127-133.

[2] 魏光强,陈越,卓加珍,等.酸奶发酵和冷藏过程中品质评价及主要风味成分变化分析[J].食品与发酵工业,2019,45(18):113-119.

[3] 单晓丽,程敏,孙涛,等.货架期内搅拌型酸奶中乳酸菌的检测及其质量分析[J].食品与发酵科技,2010,46(4):82-84,87.

[4] SHOUKAT M, SORRENTINO A. Cereal β -glucan: A promising prebiotic polysaccharide and its impact on the gut health[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(5):2088-2097.

[5] Food and Drug Administration (FDA). Health claims: Soluble fiber from certain foods and the risk of coronary heart disease (CHD)[EB/OL]. (1997-02-20)[2018-06-14]. <http://www.fda.gov/media/113659/download>.

[6] 国家卫生和计划生育委员会.关于批准番茄籽油等9种新食品原料的公告[J].中国食品卫生杂志,2015,

27(1):84.

[7] ZHAO P Y, LI N N, CHEN L Y, et al. Effects of oat β -glucan on the textural and sensory properties of low-fat set type pea protein yogurt[J]. Molecules, 2023, 28(7):3067.

[8] EDO G I, NDUDI W, MAKIA R S, et al. Beta-glucan: An overview in biological activities, derivatives, properties, modifications and current advancements in food, health and industrial applications [J]. Process Biochemistry, 2024, 147:347-370.

[9] BRENNAN C S, TUDORICA C M. Carbohydrate-based fat replacers in the modification of the rheological, textural and sensory quality of yoghurt: Comparative study of the utilisation of barley beta-glucan, guar gum and inulin[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43(5):824-833.

[10] 黄苑怡,劳晓,刘勇勇,等.燕麦 β -葡聚糖添加对酸奶质构及流变特性的影响[J].工业微生物,2023,53(3):113-119.

[11] 梁莹,崔炳群,张素娟.燕麦 β -葡聚糖在发酵酸奶中的应用[J].中国食品添加剂,2011,22(1):178-181.

[12] LAZARIDOU A, SERAFEIMIDOU A, BILIADERIS C G, et al. Structure development and acidification kinetics in fermented milk containing oat β -glucan, a yogurt culture and a probiotic strain[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 39:204-214.

[13] 杨晨芝,郝静,丁霄,等.桦褐孔菌多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J].中国乳品工业,2020,48(11):22-25.

[14] XU X Y, CUI H T, XU J X, et al. Effects of cold storage time on the quality and active probiotics of yogurt fermented by *Bifidobacterium lactis* and commercial bacteria Danisco[J]. Journal of Food Science, 2023, 88(7):2796-2806.

[15] 常翠华,胡欣诺,杨严俊.蛋清蛋白颗粒填充对低脂酸奶物性特征的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(5):178-184.

[16] SALEH A, MOHAMED A A, ALAMRI M S, et al. Effect of different starches on the rheological, sensory and storage attributes of non-fat set yogurt[J]. Foods, 2020, 9(1):61.

[17] 李海平,周登云,付荷蓉,等.滑菇多糖对发酵酸奶品质的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(7):188-194.

[18] ALJEWICZ M, MAJCHER M, NALEPA B. A comprehensive study of the impacts of oat β -glucan and bacterial curdlan on the activity of commercial starter culture in yogurt[J]. Molecules, 2020, 25(22):5411.

[19] 张莉,陈炼红,张岩,等.复合稳定剂对牦牛酸奶后熟过程中风味的影响[J].食品工业,2022,43(1):228-232.

[20] 徐成勇,吴昊,郑思聪,等.酸乳后酸化影响因子的初步研究[J].食品与发酵工业,2006,32(12):10-14.

[21] CUI H T, LI J, XU X Y, et al. Enzymatic interesterification of beef tallow/coconut oil blends to produce a superior margarine base stock[J]. International Journal of Food

- Science & Technology, 2022, 57(2): 908–919.
- [22] HEYDARI S, AMIRI-RIGI A, EHSANI M R, et al. Rheological behaviour, sensory properties and syneresis of probiotic yoghurt supplemented with various prebiotics [J]. International Journal of Dairy Technology, 2018, 71(S1): 175–184.
- [23] 杨淑妮. 全谷物酸牛奶的制备与功能性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [24] 许英瑞, 朱妍丽, 马瑞娟, 等. 活性多糖在发酵乳中的应用研究进展[J]. 乳业科学与技术, 2021, 44(2): 26–30.
- [25] 吴俊霞, 程建明, 薛峰. 枸杞大豆蛋白植物基酸奶理化性质研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(10): 193–198.
- [26] QU X Q, NAZARENKO Y, YANG W, et al. Effect of oat β -glucan on the rheological characteristics and microstructure of set-type yogurt[J]. Molecules, 2021, 26(16): 4752.
- [27] XU K, GUO M M, DU J H, et al. Okra polysaccharide: Effect on the texture and microstructure of set yoghurt as a new natural stabilizer [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 133: 117–126.
- [28] LIN Y, XU Q L, LI X M, et al. *Tremella fuciformis* polysaccharides as a fat substitute on the rheological, texture and sensory attributes of low-fat yogurt [J]. Current Research in Food Science, 2022, 5: 1061–1070.
- [29] KAUR R, RIAR C S. Sensory, rheological and chemical characteristics during storage of set type full fat yoghurt fortified with barley β -glucan[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(1): 41–51.
- [30] YANG J J, SUN J W, YAN J Y, et al. Impact of *Potentilla anserine* polysaccharide on storage properties of probiotic yak yoghurt[J]. International Dairy Journal, 2023, 141: 105585.
- [31] GYAWALI R, IBRAHIM S A. Effects of hydrocolloids and processing conditions on acid whey production with reference to Greek yogurt[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 56: 61–76.
- [32] WANG J, LIU B Y, QI Y, et al. Impact of *Auricularia cornea* var. *Li* polysaccharides on the physicochemical, textural, flavor, and antioxidant properties of set yogurt [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 206: 148–158.
- [33] SRISUVOR N, CHINPRAHAST N, PRAKITCHAIWATTANA C, et al. Effects of inulin and polydextrose on physicochemical and sensory properties of low-fat set yoghurt with probiotic-cultured banana purée [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51(1): 30–36.
- [34] BASYIGIT K G, AKPINAR K D. Assessment of technological characteristics of non-fat yoghurt manufactured with prebiotics and probiotic strains [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(1): 864–871.
- [35] GEE V L, VASANTHAN T, TEMELLI F. Viscosity of model yogurt systems enriched with barley β -glucan as influenced by starter cultures [J]. International Dairy Journal, 2007, 17(9): 1083–1088.

Effect of oat β -glucan on fermentation characteristics and storage quality of set yogurt

LI Zhen^{1,2}, ZHANG Yu¹, CAI Jie¹, YANG Yong^{1,2}, SUO Biao^{1,2}, AI Zhilu^{1,2}

1. College of Food Science and Technology, Henan Agriculture University, Zhengzhou 450002, China;

2. Henan Engineering Laboratory of Quick-frozen Flour-rice and Prepared Food, Zhengzhou 450002, China

Abstract: The set yoghurt was prepared by incorporating skim milk powder into an aqueous solution of oat β -glucan (OBG) at varying concentrations. The pH value, acidity, rheological properties, water holding capacity (WHC), and viable counts of lactic acid bacteria were assessed to investigate the impact of OBG on the fermentation characteristics and storage quality of set yoghurt. The results indicated that, compared to the control group, OBG had no significant effect on pH value during fermentation ($P>0.05$). However, it significantly reduced the acidity of set yoghurt during late fermentation (6~8 h) and 24 hours post-ripening ($P<0.05$), and significantly increased the WHC of yoghurt after 24 hours post-ripening ($P<0.05$). The energy storage modulus (G') and loss modulus (G'') for set yoghurt containing 0.4% OBG after 24 hours post-ripening were optimal, it had better viscoelasticity and sensory quality. As storage time extended, the viable counts of lactic acid bacteria in both experimental and control groups initially increased before subsequently decreasing. And the viable counts of lactic acid bacteria in the yoghurt from the 0.4% OBG group maintained the highest (9.12 log CFU/mL) by day 15. Therefore, incorporating an appropriate amount of OBG not only could enhance the fermentation performance of set yoghurt but also significantly improve its overall quality while protecting lactic acid bacteria within the product.

Key words: Oat β -glucan; lactic acid bacteria; set yoghurt; fermentation characteristic; storage quality

[责任编辑: 杨晓娟]