

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.05.023

奶啤生产技术研究进展

李新玲^{1,2}, 陆东林², 其布日其其格¹, 罗晓红¹, 徐敏^{2,3}, 蔡扩军^{2,3}, 吴林英⁴, 杨贵龙⁵, 妥彦峰^{5*}

(1. 新疆天润生物科技股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830088; 2. 乌鲁木齐市奶业协会, 新疆 乌鲁木齐 830063; 3. 乌鲁木齐市动物疾病控制与诊断中心, 新疆 乌鲁木齐 830063; 4. 新疆旺源驼奶实业有限公司, 新疆 阿勒泰 836400; 5. 大连工业大学 食品学院, 辽宁 大连 116034)

摘要: 奶啤是一种兼具酸乳、啤酒和碳酸饮料风味口感的新型发酵乳饮料。该文从原辅料、发酵剂菌种、发酵过程、工艺流程和质量控制、产品开发等方面综述奶啤生产技术研究进展, 并针对市售奶啤质量状况和存在问题, 提出制定奶啤饮料行业标准的紧迫性和必要性。

关键词: 奶啤饮料; 新型发酵乳饮料; 生产技术; 质量状况; 行业标准

Research Progress in Production Technology of Milk Beer

LI Xinling^{1,2}, LU Donglin², Qiburi Qiqige¹, LUO Xiaohong¹, XU Min^{2,3}, CAI Kuojun^{2,3},WU Linying⁴, YANG Guilong⁵, TUO Yanfeng^{5*}

(1. Xinjiang Tianrun Biotechnology Co., Ltd., Urumqi 830088, Xinjiang, China; 2. Dairy Association of Urumqi City, Urumqi 830063, Xinjiang, China; 3. Urumqi Centre of Animal Disease Control and Diagnosis, Urumqi 830063, Xinjiang, China; 4. Xinjiang Wangyuan Tuonai Industry Co., Ltd., Altay 836400, Xinjiang, China; 5. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning, China)

Abstract: Milk beer is a new type of fermented milk beverages that combines the flavors of yogurt, beer, and carbonated drinks. The research progress in the production technology of milk beer was reviewed from the aspects of raw materials, starters, fermentation process, process flow, quality control, and product development. In view of the quality and existing problems of commercially available milk beer products, it is urgent to formulate the industry standard for milk beer beverages.

Key words: milk beer beverage; new type of fermented milk beverages; production technology; quality condition; industry standard

引文格式:

李新玲, 陆东林, 其布日其其格, 等. 奶啤生产技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(5): 173-178.

LI Xinling, LU Donglin, Qiburi Qiqige, et al. Research Progress in Production Technology of Milk Beer[J]. Food Research and Development, 2025, 46(5): 173-178.

奶啤是以生鲜乳和/或乳(乳清)粉为主要原料, 佐以水、白砂糖、食品添加剂等辅料, 经乳酸菌和酵母菌发酵制成的一种发酵型乳饮料, 除有机酸、肽、氨基酸等营养成分, 还含有二氧化碳和微量酒精。奶啤口感酸甜适度、清冽爽口、质感细腻、风味饱满, 并有轻微杀口感, 是一种健康、营养的新型发酵乳制品。

赵江等^[1]研制的“奶啤饮料工业化生产技术”通过

天津市科学技术委员会的成果鉴定, 标志着我国奶啤饮料的诞生。经过 20 多年的不断研发, 奶啤已成为饮料市场中的后起之秀, 深受消费者青睐, 具有广阔的发展前景^[2-3]。

1 原辅料和稳定剂对奶啤品质的影响

奶啤是在传统发酵乳制品和奶酒的基础上, 将生

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2100704); 兵团科技计划项目(2022CB014-02); 自治区“天山英才-科技创新领军人才”项目

作者简介: 李新玲(1965—), 女(汉), 正高级工程师, 本科, 研究方向: 发酵食品加工工艺及其菌种研发应用。

*通信作者: 妥彦峰(1977—), 男, 教授, 博士, 研究方向: 益生菌与乳品发酵剂。

产酸乳、啤酒、碳酸饮料的原料和工艺相结合,在乳的发酵过程中产生二氧化碳和酒精,酒精含量低于0.5%的发酵乳饮料。

由于缺乏生产技术标准,奶啤生产的原料和工艺技术存在着较大的差异,最终的产品品质也差别较大。早期报道的奶啤使用的原辅料主要有鲜牛乳和/或乳粉、纯净水、蔗糖、麦芽汁、啤酒花等^[4]。鲜牛乳的用量一般为30%左右(乳粉可按干物质比例折算)^[5]。增加奶啤原料中牛乳用量,可提高产品中蛋白质等营养成分含量和乙醇(酒精)体积分数,但稳定剂用量也需增加,导致产品黏度上升,爽口感下降^[6]。生产奶啤用水应为纯净水或软化水,使用未经软化处理的自来水,易造成产品蛋白质沉淀和分层^[7-8]。蔗糖可为发酵微生物提供碳源,并有增稠、改善风味口感等作用,一般用量为6%~10%。麦芽汁、啤酒花可使奶啤具有啤酒麦芽香味,但由于其在产品中用量较大(达到50%~60%),且工艺复杂、成本偏高,因此在引入果汁、蔬菜汁类等原辅料^[9-10]、选用优质乳源性酵母菌发酵^[11-12]、产品风味口感均得以保证甚至更加丰满的基础上,这两种原料已不再是必加成分。

牛乳中的蛋白质、脂肪,当发酵使酸度达到或低于酪蛋白等电点(pI4.9)时,在加工、储运过程中易发生蛋白质沉淀和脂肪上浮等现象;同时,在发酵过程中产生的乳酸、二氧化碳和微量酒精,也会影响产品外观的稳定性。方新阳等^[13]根据乳蛋白质和乳脂肪的结构特点和理化性质,通过试验研究,提出添加乳化剂、增稠剂、蔗糖、缓冲盐类和高压均质处理等措施,以提高奶啤的外观稳定性。史经略等^[14]以牛乳、麦芽、酒花、白砂糖为原料,通过乳酸菌、酵母菌二次发酵制作奶啤,研究海藻酸丙二醇酯(propylene glycol alginate, PGA)、羧甲基纤维素钠(carboxymethylcellulose Sodium, CMC-Na)、黄原胶、琼脂、蔗糖酯等单一稳定剂及不同组合对产品稳定性的影响,结果表明,以加入0.1%PGA、0.15%CMC-Na、0.05%蔗糖酯效果最好。张翠英等^[15]研究表明,在相同添加量的条件下,CMC-Na对奶啤的稳定效果优于黄原胶、明胶、海藻酸钠和卡拉胶,添加量以0.2%为佳;缓冲盐柠檬酸三钠的稳定效果优于磷酸氢二钠,添加量以0.15%为佳。李宁等^[16]以牛乳、苹果、麦芽、白砂糖等为原料,经乳酸菌和啤酒酵母二次发酵,制作苹果奶啤,苹果汁于后发酵时加入,其最佳稳定剂组合为CMC-Na 0.15%、果胶0.15%、焦磷酸钠0.10%。张书猛等^[17]以牛乳为原料,用蛋白酶水解,添加蔗糖,接种乳酸菌发酵,然后将酸乳液和啤酒混合,添加增稠剂、乳化剂等进行配方优化,最优复合稳定剂配方为CMC-Na 0.05%、黄原胶0.10%、蔗糖酯0.15%。奶啤生产过程中,稳定剂配方及用量和原辅料、发酵剂、生产工艺、生产规模等密切相关,实验室取得的数

据必须在工厂的规模化生产实践中通过反复试验验证后,方可在生产中推广应用。

2 奶啤发酵剂

菌种是发酵乳制品的“灵魂”,对产品营养、质构、风味、口感有重要影响。奶啤生产中常用的乳酸菌主要为德氏乳杆菌保加利亚亚种(*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*)和唾液链球菌嗜热亚种(*Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*)^[18];酵母菌主要为马克斯克鲁维酵母(*Kluyveromyces marxianus* var. *marxianus*)和酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)。通常在奶啤生产中先用乳酸菌对牛乳进行乳酸发酵,制备酸乳,然后将辅料溶解后加入备用酸乳中,经过配料、酸度标准化、预热、均质、杀菌、冷却等一系列工序,再加进酵母菌发酵剂进行二次发酵(酒精发酵),最后制成奶啤。

德氏乳杆菌保加利亚亚种菌株和唾液链球菌嗜热亚种菌株在牛乳中生长代谢,形成了营养和抵抗环境胁迫的协同共生关系,其生长繁殖和产酸、产黏速率均比各自单独发酵更快,所产生的乳酸和挥发性芳香类化合物种类也更丰富,并赋予酸乳特有的风味和口感^[19-21]。目前,奶啤生产中制作酸乳大多使用上述两菌种构成的商业发酵剂。为提高产品的功能效应或增进风味口感,干酪乳杆菌、嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌等菌种被用于奶啤发酵^[22-23]。

酵母是发酵奶啤的关键微生物,它能产生醇类、酸类、酯类等主要风味物质,其发酵特性决定了奶啤的品质和风味。马克斯克鲁维酵母和酿酒酵母都是传统发酵乳制品中的优势菌种^[24-25],属于安全可食用微生物^[26]。酿酒酵母是酿造葡萄酒、啤酒和制作面包、馒头以及发酵乳制品的主要酵母菌种,富含多种营养素,具有生长速度快、pH值适应性广、耐高渗透、酒精产量高、易于分离培养等特点,可提高发酵食品的营养价值,丰富产品的风味和口感^[27]。但酿酒酵母不能利用乳糖发酵产酒精^[28],导致原料乳中乳糖的转化率较低,需加入较高比例的蔗糖提供碳源。马克斯克鲁维酵母具有生长速率快、高生物量、耐高温、可利用多种碳源等特征^[29-31],用于制备奶啤更有利于乳糖转化。范维等^[32]研究发现与乳酸菌单独发酵相比,额外添加马克斯克鲁维酵母的发酵乳中 β -半乳糖苷酶、乳酸脱氢酶、己糖激酶、丙酮酸激酶活性均增强,乳糖利用率增加,糖酵解进程加快,发酵产酸较多。

李新玲等^[33-34]从新疆本地原料乳和传统发酵乳制品中分离、筛选出可赋予产品独特风味及营养特性的乳源马克斯克鲁维酵母A3菌株(CGMCC, No.3781)和酿酒酵母TR2菌株(CGMCC, No.14964)并用于奶啤生产,马克斯克鲁维酵母A3单独发酵奶啤通常需要16h,且易受外界因素影响延长发酵时间,也易污染产黏,导

致产品质量下降;酿酒酵母 TR2 单独发酵啤酒只需 8 h 左右,不易污染产黏,但酒精含量易超标(>0.5% vol)。按传统方式制备啤酒,制作环节多、操作复杂、易受污染,同时,由于制备条件和技术水平的差异,常导致产品质量波动。将两种酵母菌分别制成冻干菌剂,活菌数分别为 $2.0 \times 10^8 \sim 3.2 \times 10^8$ cfu/g 和 $4.0 \times 10^8 \sim 6.4 \times 10^8$ cfu/g,按质量比 3:1~5:1 进行复配,即得复合冻干发酵菌剂^[35],可配合市售乳酸菌直接用于啤酒生产。

3 啤酒生产工艺流程和质量控制

采用不同的菌种生产啤酒工艺流程和过程控制有所不同,复配的啤酒专用菌种可在特定的技术规程内对配料采用一段式发酵。目前啤酒的工厂化生产大多采用分段式发酵,首先是制备酸乳,然后进行啤酒发酵^[36]。

3.1 制备酸乳

原料乳→验收→净化→预热(60~70℃)→均质(15~20 MPa)→杀菌(95℃,5 min)→冷却(25~30℃)→接种乳酸菌发酵剂→培养(42~44℃,5~6 h,酸度控制在 70~75℃T)→冷却(4~6℃)→后熟(8 h 以上,酸度控制在 85~90℃T)→酸乳(备用)。

3.2 制备啤酒

热纯净水→添加辅料(蔗糖、稳定剂等干拌均匀)→化料溶解加入备用酸乳→标准化、调酸→搅拌均匀→预热(60~70℃)→均质(15~20 MPa)→杀菌(95℃,5 min)→降温(25~30℃)→接种酵母菌发酵剂→培养(26~28℃,16~24 h)→检验→等压灌装→二次杀菌(70℃,15 min)→冷却(4℃)→成品。

3.3 质量控制

3.3.1 原辅料

生牛乳应符合 GB 19301—2010《食品安全国家标准 生乳》的要求。建议使用国家奶业创新团队提出的优良级原料乳(蛋白质含量≥3.0%、脂肪含量≥3.1%、体细胞数≤50 万个/mL、菌落总数≤50 万 cfu/mL)^[37];乳粉应符合 GB 19644—2010《食品安全国家标准 乳粉》的要求;白砂糖应符合 GB/T 317—2018《白砂糖》的要求。

3.3.2 水质

啤酒生产用水必须是软化水或纯净水,水质应符合 GB 5749—2022《生活饮用水卫生标准》的要求。

3.3.3 配料

配料时对各种原辅料要准确称量,化料要保证充分溶解。加入备用酸乳搅拌均匀。因每批酸乳酸度不一定完全相同,配料时要对基料进行酸度调试和标准化,仔细观察溶液状态,如出现絮凝、沉淀、色泽异常、异味等情况,不得进入后续工序。

3.3.4 均质和杀菌

均质的目的在于使乳脂肪球破碎、变小,使乳中成分均匀地分布在料液中,可增加其黏稠性和稳定性,防

止脂肪上浮和蛋白质沉淀。均质温度一般为 65~70℃,压力 15~20 MPa。杀菌采用 90~95℃,5 min 的高温巴氏杀菌,可杀死所有微生物的生长细胞和芽孢,钝化大多数酶(不包括牛乳和细菌的蛋白酶和脂肪酶)和耐热芽孢,并使乳清蛋白变性^[38]。

3.3.5 生产发酵剂选择、制备

从市场购进的乳酸菌和酵母菌可按说明书直接用于生产,企业自选发酵剂必须经分离、纯化、发酵性能测试(产酸、二氧化碳、风味物质、酒精)、安全性能测试。经鉴定证实确定菌种后,发酵性能测试前 3 项高、后 1 项低可视为优良菌种。乳源马克斯克鲁维酵母与酿酒酵母菌株按一定比例复配可解决啤酒自然发酵酒精超标、二氧化碳不达标问题。

啤酒生产中马克斯克鲁维酵母和酿酒酵母菌株如同德氏乳杆菌保加利亚亚种菌株和唾液链球菌嗜热亚种菌株一样重要,是啤酒生产的基础菌种,尤其是发酵乳糖的马克斯克鲁维酵母菌株是开发低糖啤酒不可缺少的菌种,二者形成的良好共生关系可突破啤酒生产中的众多技术问题,在二者复配的基础上可添加其他改善啤酒风味和功能增益型菌种,生产出发酵风味、功能、种类各异的多种啤酒。自选菌种可制备成干粉菌种直接应用,也可以通过增菌扩培成液体菌种,活力测定后,用于生产。在液体菌种制备过程中可保存一部分用于菌种传代,用于传代的菌种反复活化,活力恢复达到要求后进行扩培用于生产。

3.3.6 接种发酵

乳酸菌发酵过程前处理同普通酸乳。在 42~44℃ 下培养 3~6 h,酸度保持在 50~75℃T,然后将发酵结束的酸乳冷却至 15℃左右备用。在制作啤酒阶段,辅料和酸乳搅拌均匀后,经配料、预热、均质、杀菌、降温,接种酵母菌发酵剂,在 26~28℃下培养 16~24 h,经检验各项指标合格,即可灌装。

3.3.7 灌装

在 4~8℃低温条件下采用等压灌装,可避免因二氧化碳气体逸出而影响产品口感,同时也可减少外界空气中微生物污染。包装材料采用两片式易拉罐或其他耐压、耐酸腐蚀的包装材料。易拉罐具有安全、轻便等优点,可避免产品受到物理和化学性污染。

3.3.8 补气、杀菌

啤酒灌装降温前后需进行二氧化碳压力测试,压力为 0.15~0.18 MPa 视为合格,压力超过 0.30 MPa 存在爆罐风险,低于 0.15 MPa 需进行后发酵补气,以免口感不佳。需注意二次杀菌后的冷却工序不可或缺,在室温下缓慢降温可能导致褐变,严重影响产品品质。

4 乳酸菌和酵母菌共同发酵对啤酒品质的影响

乳酸菌和酵母菌共同参与啤酒的发酵。乳酸菌在

发酵过程中能适度水解乳中的乳糖、蛋白质和脂肪,产生较易吸收的单糖、游离氨基酸和挥发性脂肪酸,为酵母菌生长提供丰富的营养源。酵母菌适于偏酸性环境,乳酸菌代谢乳糖产生乳酸,为酵母菌提供适宜的pH生长环境,也可供酵母菌作为碳源,从而可促进酵母菌生长。酵母菌在发酵过程中可水解乳中的蛋白质产生氨基酸,可供乳酸菌利用,从而促进乳酸菌生长。在发酵乳制品和发酵型乳饮料中,乳酸菌和酵母菌共同发酵,其产品的风味、口感、营养价值和生理功能均优于任何单一菌种的发酵产品^[39-42]。

张智等^[43]研究不同发酵方式对芦荟奶啤风味的影响,结果显示,采用乳酸菌和酵母菌共同接种发酵的奶啤产品,醇、乳香和谐,纯正饱满,清爽怡人,风味最佳。郭水连等^[44]将脱脂乳粉、白砂糖、益生元、水按一定质量比溶解,用中性蛋白酶水解,经灭菌、灭酶后冷却,将乳酸菌和酵母菌发酵剂接种于酶解液中共同发酵,确定奶啤最佳发酵条件为杆菌和球菌的比例1.5:1,酵母菌数量为 1.0×10^7 cfu/mL,酶活力为800 U/mL,在该条件下制备的奶啤感官评分最高。邵明凯等^[45]研究表明,在奶啤生产中采用乳酸菌和酿酒酵母共生发酵,对后者生长代谢和产生挥发性风味物质具有促进作用;用筛选出的酿酒酵母Y9菌株和乳酸菌共同发酵,酯类、醇类等风味物质种类和含量显著提高,所制得的奶啤风味最佳。综上,乳酸菌和酵母菌混合发酵,可简化发酵工序,缩短生产周期,节约制作成本,并可提升产品质量和风味口感。

不同菌种共同发酵存在对营养物质的竞争,以及各自的代谢产物彼此相互抑制,同时还存在一定的拮抗作用,因此,有必要对此作深入研究,避免发酵剂菌种间的拮抗作用,采用具有协同共生关系的菌种作为发酵剂。

5 奶啤的产品开发

奶啤自诞生至今,生产技术不断改进,日臻完善。早期奶啤原料主要是牛乳和/或牛乳粉、白砂糖、麦芽汁、啤酒花等成分。随着消费者的饮食需求和健康意识的提升,含有果汁^[46](如苹果汁^[47-48]、蓝莓汁^[49]、草莓汁^[50]、山茱萸、山楂、红梅、玫瑰果和石榴汁^[51]、黑胡萝卜、青甘蓝和葡萄^[52]等),低糖和无糖^[53]的奶啤,已均有相关研究或发明专利,有的已形成产品投放市场,丰富奶啤的品种和风味口感,进一步提升奶啤的营养品质。

市场上销售的奶啤基本上是以牛乳和/或牛乳粉为主要原料,加工制作而成。现已有企业和研究机构采用营养功能异于牛乳的特种乳(驼、马、驴乳、山羊乳等)为原料研制奶啤产品^[54-57],目前未见特种乳奶啤投放市场。

6 市售奶啤的质量状况和制定奶啤行业标准的建议

目前,我国奶啤生产技术的相关研究已取得较大进展,奶啤品牌众多,市场已形成一定规模,且呈逐年增长之势。

但奶啤市场仍存在较多问题和隐患,主要是生产没有统一的产品标准规范,有的企业执行GB/T 21732—2008《含乳饮料》,产品类型杀菌(非活菌)型乳酸菌饮料;多数企业执行企业标准。有的企业简化生产工艺,舍弃发酵流程,直接以啤酒、乳酸菌饮料发酵原液、食品添加剂等进行勾兑,其产品类型为风味饮料,营养成分表中蛋白质和脂肪含量均标注为0(实测值 $\leq 0.5\%$)^[58-60]。市场上同为“奶啤”名称的产品,类型迥异,营养成分差别巨大,质量参差不齐,不仅对消费者形成误导,而且导致市场混乱、恶性竞争,严重侵犯消费者权益,制约产业发展。

奶啤是一种由乳酸菌和酵母菌共同参与发酵酿制而成的发酵型乳饮料,其生产工艺、理化指标、风味口感与现行GB/T 21732—2008《含乳饮料》中的乳酸菌发酵产品存在一定区别。因此建议由行业协会牵头,组织相关企业和院校、科研机构,研究制定奶啤的行业标准,以利于统一产品质量要求,加强市场监管,促进奶啤及相关产品发展。

参考文献:

- [1] 赵江,吕晓玲,姚秀玲,等.奶啤饮料工业化生产技术[EB/OL].(2002-03-08)[2024-06-20].<https://www.tech110.net/portal.php?mod=view&aid=5080111>.
ZHAO Jiang, LÜ Xiaoling, YAO Xiuling, et al. Industrial production technology of milk beer[EB/OL].(2002-03-08)[2024-06-20].<https://www.tech110.net/portal.php?mod=view&aid=5080111>.
- [2] 徐杭蓉.奶啤的研究进展[J].中国酿造,2023,42(1):27-30.
XU Hangrong. Research progress in milk beer[J]. China Brewing, 2023, 42(1): 27-30.
- [3] WANG L, HE Y T, SWANSON C S, et al. Optimization of medium composition and culture conditions for cell multiplication of a high quality milk beer fermentation yeast (*Kluyveromyces marxianus*)[J]. Food Science and Technology Research, 2020, 26(3): 351-361.
- [4] 赵江,吕晓玲,陈莹,等.奶啤饮料的研究与开发[C]//中国饮料工业协会.2003中国国际饮料科技报告会论文集.北京:中国饮料工业协会,2003:237-239.
ZHAO Jiang, LÜ Xiaoling, CHEN Ying, et al. Research and development of milk beer [C]// China Beverage Industry Association. Proceedings of the 2003 China International Beverage Technology Conference. Beijing: China Beverage Industry Association, 2003: 237-239.
- [5] 方新阳.克菲尔奶啤的研制[D].天津:天津科技大学,2005.
FANG Xinyang. Development of kefeier milk beer[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2005.
- [6] 尹艳军,夏文水,王玉良,等.牛乳经酵母菌和乳酸菌发酵生产低醇乳酒的研究[J].食品与发酵工业,2005,31(7):117-121.
YIN Yanjun, XIA Wenshui, WANG Yuliang, et al. A low-alcohol milk beer fermented by a mixed culture of yeast and lactic bacterial[J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(7): 117-121.

- [7] 王桂桢. 酸性含乳饮料常见的质量问题和控制方法[J]. 中国乳业, 2012(8): 63-65.
WANG Guizhen. Common quality problems and control methods of acidic milk-containing beverages[J]. China Dairy, 2012(8): 63-65.
- [8] 其布日其其格, 李勇. 奶啤生产过程中影响产品质量的因素及控制措施[J]. 现代食品, 2019, 25(5): 92-94, 98.
QI Buriqiqige, LI Yong. The influencing factors and controlling measures of milk-beer drink[J]. Modern Food, 2019, 25(5): 92-94, 98.
- [9] 彭玲, 赵云, 焦文佳, 等. 红枣雪梨汁复合奶啤的研制[J]. 食品工业, 2017, 38(4): 67-72.
PENG Ling, ZHAO Yun, JIAO Wenjia, et al. Study on development of milk beer with added compound red dates juice and snow pear juice[J]. The Food Industry, 2017, 38(4): 67-72.
- [10] 郭红珍, 张怡梦. 新型仙人掌果奶啤饮料的研制[J]. 酿酒科技, 2022(7): 99-104.
GUO Hongzhen, ZHANG Yimeng. Development of a new type of *Cactus* fruit-milk beer[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2022(7): 99-104.
- [11] 何明迎. 奶啤菌种的优选、冻干菌粉的制备及奶啤发酵工艺的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2021.
HE Mingying. Optimization of milk beer strains, preparation of freeze-dried bacterial powder and study on fermentation technology of milk beer[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2021.
- [12] WANG L, GAO E Y, HU M, et al. Isolation, identification and screening of high-quality yeast strains for the production of milk beer[J]. International Journal of Dairy Technology, 2018, 71(4): 944-953.
- [13] 方新阳, 赵江, 吕晓玲. 奶啤饮料稳定性的研究[J]. 广州食品工业科技, 2003, 19(4): 54-56.
FANG Xinyang, ZHAO Jiang, LÜ Xiaoling. A study on stability of milk beer beverage[J]. Guangzhou Food Science and Technology, 2003, 19(4): 54-56.
- [14] 史经略, 王传荣. 奶啤的研制[J]. 食品科技, 2005, 30(2): 78-81.
SHI Jinglue, WANG Chuanrong. Preparation of milk beer[J]. Food Science and Technology, 2005, 30(2): 78-81.
- [15] 张翠英, 郭兰兰, 孙健. 新型奶啤饮料的研制[J]. 乳业科学与技术, 2005, 28(5): 207-209, 234.
ZHANG Cuiying, GUO Lanlan, SUN Jian. Study on the milk-beer-beverage[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2005, 28(5): 207-209, 234.
- [16] 李宁, 王雪静, 徐立强, 等. 新型饮料苹果奶啤的研制[J]. 食品科技, 2008, 33(6): 53-56.
LI Ning, WANG Xuejing, XU Liqiang, et al. Development of a new beverage of apple milk beer[J]. Food Science and Technology, 2008, 33(6): 53-56.
- [17] 张书猛, 吕嘉彬, 朱莉莉. 复合增稠剂在奶啤饮料中的应用研究[J]. 饮料工业, 2011, 14(12): 18-20.
ZHANG Shumeng, LU Jiali, ZHU Lili. Study on use of composite thickeners in milk-beer beverages[J]. The Beverage Industry, 2011, 14(12): 18-20.
- [18] 国家卫生健康委员会. 关于《可用于食品的菌种名单》和《可用于婴幼儿食品的菌种名单》更新的公告[EB/OL]. (2022-08-25) [2024-06-21]. <http://www.nhc.gov.cn/sp/s/7892/202208/1d6c229-d6f744b35827e98161c146afb.shtml>.
National Health Commission. Announcement on the update of the 'List of microorganisms approved for use in food' and the 'List of microorganisms approved for use in infant foods'[EB/OL]. (2022-08-25)[2024-06-21]. <http://www.nhc.gov.cn/sp/s/7892/202208/1d6c229-d6f744b35827e98161c146afb.shtml>.
- [19] ULMER A, ERDEMANN F, MUELLER S, et al. Differential amino acid uptake and depletion in mono-cultures and co-cultures of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* in a novel semi-synthetic medium[J]. Microorganisms, 2022, 10(9): 1771.
- [20] SIEUWERTS S, MOLENAAR D, VAN HIJUM S A F T, et al. Mixed-culture transcriptome analysis reveals the molecular basis of mixed-culture growth in *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2010, 76(23): 7775-7784.
- [21] YAMAMOTO E, WATANABE R, ICHIMURA T, et al. Effect of lactose hydrolysis on the milk-fermenting properties of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* 2038 and *Streptococcus thermophilus* 1131[J]. Journal of Dairy Science, 2021, 104(2): 1454-1464.
- [22] NYHAN L, SAHIN A W, ARENDT E K. Co-fermentation of non-*Saccharomyces* yeasts with *Lactiplantibacillus plantarum* FST 1.7 for the production of non-alcoholic beer[J]. European Food Research and Technology, 2023, 249(1): 167-181.
- [23] 王凌琴, 李浩然, 闫苗苗, 等. 新型奶啤饮料的工艺优化及品质评价[J]. 中国酿造, 2019, 38(5): 204-209.
WANG Lingqin, LI Haoran, YAN Miaomiao, et al. Process optimization and quality evaluation of new milk beer beverage[J]. China Brewing, 2019, 38(5): 204-209.
- [24] 乔传丽, 蒋彩虹, 金丹, 等. 新疆传统发酵酸奶中酵母菌的分离鉴定及系统发育分析[J]. 中国酿造, 2017, 36(4): 67-71.
QIAO Chuanli, JIANG Caihong, JIN Dan, et al. Isolation, identification and phylogenetic analysis of yeast from traditional Xinjiang fermented yogurt[J]. China Brewing, 2017, 36(4): 67-71.
- [25] 潘庆珉, 杨洁, 岳海涛, 等. 阿勒泰地区酸乳中酵母菌的分离鉴定及耐受性分析[J]. 中国乳品工业, 2023, 51(6): 27-31, 39.
PAN Qingmin, YANG Jie, YUE Haitao, et al. Screening of yeasts in fermented camel milk in Altay for tolerance analysis[J]. China Dairy Industry, 2023, 51(6): 27-31, 39.
- [26] 姚粟, 王鹏辉, 白飞荣, 等. 中国传统发酵食品用微生物菌种名单研究(第二版)[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(1): 272-307.
YAO Su, WANG Penghui, BAI Feirong, et al. Research on the inventory of microbial food cultures in Chinese traditional fermented foods(2nd edition)[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(1): 272-307.
- [27] 王颀贤, 贾曼, 李科先, 等. 酿酒酵母及马克斯克鲁维酵母生理特性及应用研究[J]. 云南农业科技, 2023(3): 11-16.
WANG Jingxian, JIA Man, LI Kexian, et al. Study on physiological characteristics and application of *Saccharomyces cerevisiae* and *Kluyveromyces cesmarxianus*[J]. Yunnan Agricultural Science and Technology, 2023(3): 11-16.
- [28] COSTA C E, ROMANÍ A, TEIXEIRA J A, et al. Resveratrol production for the valorisation of lactose-rich wastes by engineered industrial *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Bioresource Technology, 2022, 359: 127463.
- [29] LANE M M, MORRISSEY J P. *Kluyveromyces marxianus*: A yeast emerging from its sister's shadow[J]. Fungal Biology Reviews, 2010, 24(1/2): 17-26.
- [30] RODICIO R, HEINISCH J J. Yeast on the milky way: Genetics, physiology and biotechnology of *Kluyveromyces lactis*[J]. Yeast, 2013, 30(5): 165-177.
- [31] KARIM A, GERLIANI N, AIDER M. *Kluyveromyces marxianus*: An emerging yeast cell factory for applications in food and biotechnology[J]. International Journal of Food Microbiology, 2020, 333: 108818.
- [32] 范维, 张咚咚, 张彧, 等. 马克斯克鲁维酵母对发酵乳中糖代谢的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 128-134.
FAN Wei, ZHANG Dongdong, ZHANG Yu, et al. Effect of *Kluyveromyces marxianus* on lactose metabolism in traditional fermented milk[J]. Food Science, 2015, 36(15): 128-134.
- [33] 李新玲, 顾瑞霞, 闫辉, 等. 马克斯克鲁维酵母的筛选鉴定与应用[J]. 中国奶牛, 2013(15): 44-46.
LI Xinling, GU Ruixia, YAN Hui, et al. Screening, identification and application of *Kluyveromyces max*[J]. China Dairy Cattle, 2013(15): 44-46.
- [34] 李新玲, 姜淑娟, 牟光庆, 等. 新疆乳源性酿酒酵母的筛选鉴定

- 与应用[J]. 新疆畜牧业, 2017, 32(12): 51-53.
- LI Xinling, JIANG Shujuan, MOU Guangqing, et al. Screening, identification and application of lactogenous *Saccharomyces cerevisiae* in Xinjiang[J]. XINJIANG XUMUYE, 2017, 32(12): 51-53.
- [35] 李新玲, 牟光庆, 罗晓红, 等. 一种复配型奶啤冻干发酵菌剂的制备方法及其应用: CN108485994B[P]. 2020-02-21.
- LI Xinling, MOU Guangqing, LUO Xiaohong, et al. Preparation method and application of a composite milk beer freeze-dried fermentation agent: CN108485994B[P]. 2020-02-21.
- [36] 李新玲, 张丹凤, 陆东林, 等. 低糖奶啤饮料生产工艺与质量控制研究[J]. 中国乳品工业, 2008, 36(2): 34-36.
- LI Xinling, ZHANG Danfeng, LU Donglin, et al. Study on processing technology and quality control low sugar yoghurt-beer drink[J]. China Dairy Industry, 2008, 36(2): 34-36.
- [37] 王加启, 郑楠. 中国奶产品质量安全研究报告-2015年度[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016: 33-50.
- WANG Jiaqi, ZHENG Nan. China milk product quality and safety research report-2015[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2016: 33-50.
- [38] LI Z B, LIU D S, XU S, et al. Effects of pasteurization, microfiltration, and ultraviolet-c treatments on microorganisms and bioactive proteins in bovine skim milk[J]. Food Bioscience, 2021, 43: 101339.
- [39] KADYAN S, RASHMI H M, PRADHAN D, et al. Effect of lactic acid bacteria and yeast fermentation on antimicrobial, antioxidative and metabolomic profile of naturally carbonated probiotic whey drink[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 142: 111059.
- [40] WANG X M, LI W P, MAHSA G C, et al. Co-cultivation effects of *Lactobacillus helveticus* SNA12 and *Kluyveromyces marxianus* GY1 on the probiotic properties, flavor, and digestion in fermented milk[J]. Food Research International, 2023, 169: 112843.
- [41] SUN M Y, YU J, SONG Y L, et al. Fermented milk by *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactocaseibacillus paracasei*, and *Kluyveromyces marxianus* shows special physicochemical and aroma formation during the storage[J]. Food Bioscience, 2023, 55: 103025.
- [42] KANG H Y, AO X L, TANG Q, et al. Effects of yeast screened from traditional fermented milk on commercial fermented milk as adjunct flavor culture[J]. Food Bioscience, 2024, 57: 103551.
- [43] 张智, 余萍. 芦荟奶啤的研制[J]. 酿酒, 2007, 34(3): 103-105.
- ZHANG Zhi, YU Ping. Development of *Aloe* milk beer[J]. Liquor Making, 2007, 34(3): 103-105.
- [44] 郭水连, 赵晓晴, 庄钰蓉, 等. 酶法辅助共发酵奶啤的工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(24): 103-108.
- GUO Shuilian, ZHAO Xiaoping, ZHUANG Yurong, et al. Response surface optimization of process conditions for enzyme-assisted co-fermentation of milk beer[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(24): 103-108.
- [45] 邵明凯, 王佳, 王开祥, 等. 奶啤饮料中酵母发酵对品质的影响及加工工艺对饮料稳定性的影响[J]. 饮料工业, 2023, 26(5): 4-9.
- SHAO Mingkai, WANG Jia, WANG Kaixiang, et al. Effect of yeast fermentation on the quality and processing technology on the stability of milk beer beverage[J]. Beverage Industry, 2023, 26(5): 4-9.
- [46] GÓMEZ G A, CUFFIA F, NAGEL O G, et al. Fermentation of whey-derived matrices by *Kluyveromyces marxianus*: Alcoholic beverage development from whey and fruit juice mixes[J]. The Journal of Dairy Research, 2024, 91(1): 108-115.
- [47] LAOSEE W, KANTACHOTE D, CHANSUWAN W, et al. Effects of probiotic fermented fruit juice-based biotransformation by lactic acid bacteria and *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745 on anti-*Salmonella* and antioxidative properties[J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2022, 32(10): 1315-1324.
- [48] CĂLUGĂR P C, COLDEA T E, POP C R, et al. Effect of co-inoculation of *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* yeasts and nutrients addition during malolactic fermentation on apple cider composition[J]. Food Bioscience, 2024, 60: 104314.
- [49] ZHANG J G, FANG L, HUANG X D, et al. Evolution of polyphenolic, anthocyanin, and organic acid components during coinoculation fermentation (simultaneous inoculation of LAB and yeast) and sequential fermentation of blueberry wine[J]. Journal of Food Science, 2022, 87(11): 4878-4891.
- [50] DA SILVA ARAÚJO C, MACEDO L L, TEIXEIRA L J Q. Evaluation of mid-infrared spectra associated with chemometrics for the determination of physicochemical properties during fermentation of a new strawberry-based beverage with water kefir grains[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 123: 105490.
- [51] OZCELİK F, AKAN E, KINIK O. Use of Cornelian cherry, hawthorn, red plum, roship and pomegranate juices in the production of water kefir beverages[J]. Food Bioscience, 2021, 42: 101219.
- [52] AGIRMAN B, YILDIZ I, POLAT S, et al. The evaluation of black carrot, green cabbage, grape, and apple juices as substrates for the production of functional water kefir-like beverages[J]. Food Science & Nutrition, 2024, 12(9): 6595-6611.
- [53] 牟泓羽, 李媛, 余智瑾, 等. 无糖奶啤的研制[J]. 中国乳业, 2022(7): 97-102.
- MU Hongyu, LI Yuan, YU Zhijin, et al. Development of sugar-free milk beer[J]. China Dairy, 2022(7): 97-102.
- [54] KHAKHARIYA R, BASAIWMOIT B, SAKURE A A, et al. Production and characterization of ACE inhibitory and anti-diabetic peptides from buffalo and camel milk fermented with *Lactobacillus* and yeast: A comparative analysis with *in vitro*, *in silico*, and molecular interaction study[J]. Foods, 2023, 12(10): 2006.
- [55] 王文兴, 黄博光, 张花方. 一种酸马奶啤饮品及其制备方法: CN110777026A[P]. 2020-02-11.
- WANG Wenxing, HUANG Boguang, ZHANG Huafang. An acidic mare's milk beer beverage and its preparation method: CN110777026A[P]. 2020-02-11.
- [56] 武运, 张剑林, 殷娜, 等. 由新菌亚罗酵母 Y1 耦合的复合菌剂及其制备的驴乳奶啤: 202110616523.9[P]. 2021-09-24.
- WU Yun, ZHANG Jianlin, YIN Na, et al. Composite microbial agent coupled with new strain *Yarrowia lipolytica* Y1 and its application in donkey milk beer: 202110616523.9[P]. 2021-09-24.
- [57] HUANG Z H, HUANG L, XING G L, et al. Effect of co-fermentation with lactic acid bacteria and *K. marxianus* on physicochemical and sensory properties of goat milk[J]. Foods, 2020, 9(3): 299.
- [58] 张德荣. 7 款奶啤对比: 4 款蛋白质为零[EB/OL]. (2022-10-09)[2024-06-25]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=17462011465-11961425&wfr=spider&for=pc>.
- ZHANG Derong. Comparison of 7 milk beers: 4 brands with zero protein[EB/OL]. (2022-10-09)[2024-06-25]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1746201146511961425&wfr=spider&for=pc>.
- [59] 铁兵. 奶啤市场存在哪些问题[EB/OL]. (2022-10-28)[2024-06-25]. https://m.baidu.com/bh/m/detail/ar_8847298854832824554.
- TIE Bing. What problems exist in the milk beer market[EB/OL]. (2022-10-28)[2024-06-25]. https://m.baidu.com/bh/m/detail/ar_8847298854832824554.
- [60] 郭铁. 乳企争相布局奶啤产品, 工艺品质参差不齐[EB/OL]. (2022-10-26)[2024-06-28]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1747736364247384334&wfr=spider&for=pc>.
- GUO Tie. Dairy companies compete to launch milk beer products, with varied process quality[EB/OL]. (2022-10-26)[2024-06-28]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1747736364247384334&wfr=spider&for=pc>.