DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251014008
引用格式: 孙书棋, 彭世洋, 刘海涛, 等. 健康啤酒的创新及多元化发展研究综述[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(4): 157–166.
SUN SQ, PENG SY, LIU HT, *et al*. Review of the innovation and diversification development of healthy beer [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(4): 157–166. (in Chinese with English abstract).

健康啤酒的创新及多元化发展研究综述

孙书棋[1,2,3], 彭世洋[1,2,3], 刘海涛[4], 夏 颖[5], 谢燕霞[1,2,3], 杨子玺[1,2,3], 绳贺心[1,2,3], 朱圆敏[1,2,3*], 余龙江[1,2,3*]

[1. 华中科技大学生命科学与技术学院, 武汉 430074; 2. 分子生物物理教育部重点实验室, 武汉 430074; 3. 湖北省食药两用资源工程技术研究中心, 武汉 430074; 4. 武汉市汉阳科技创新研究院, 武汉 430022; 5. 百威(武汉)啤酒有限公司, 武汉 430051]

摘 要: 啤酒以其独特口感和丰富的文化内涵, 成为全球最受欢迎的饮品之一。在健康理念日益深入人心、高端饮品需求快速升温的背景下, 主打健康功效的啤酒类别正以前所未有的速度抢占市场高地。健康啤酒在传统啤酒的基础上实现了低风险和功能强化, 通过原料改良和工艺创新推出各种新产品。本综述通过 Engineering Village Compendex、Web of Science、PubMed、中国知网等中外权威数据库, 关键词包括“啤酒 beer”“健康啤酒 healthy beer”“功能啤酒 functional beer”等检索了 2015 年至 2025 年发表的论文, 根据筛选标准选择文献进行综述, 围绕功能定位、原料与工艺创新这两个维度对健康啤酒进行分类, 并探讨其在高品质、个性化消费趋势下发展的潜力, 同时也剖析行业在口感平衡、消费者认知误区以及市场规范等方面所面临的挑战以及未来的发展方向, 为啤酒产业的转型升级提供理论支持, 推动健康啤酒在食品领域的广泛应用。

关键词: 口感; 健康啤酒; 功能定位; 原料与工艺创新

Review of the innovation and diversification development of healthy beer

SUN Shu-Qi[1,2,3], PENG Shi-Yang[1,2,3], LIU Hai-Tao[4], XIA Ying[5], XIE Yan-Xia[1,2,3], YANG Zi-Xi[1,2,3], SHENG He-Xin[1,2,3], ZHU Yuan-Min[1,2,3*], YU Long-Jiang[1,2,3*]

[1. *College of Life Science and Technology*, *Huazhong University of Science and Technology*, *Wuhan* 430074, *China*; 2. *Key Laboratory of Molecular Biophysics*, *Ministry of Education*, *Wuhan* 430074, *China*; 3. *Hubei Engineering Research Center for Both Edible and Medicinal Resources*, *Wuhan* 430074, *China*; 4. *Wuhan Hanyang Institute of Scientific and Technological Innovation*, *Wuhan* 430022, *China*; 5. *Budweiser* (*Wuhan*) *Brewing Co*., *Ltd*., *Wuhan* 430051, *China*]

ABSTRACT: Beer, with its unique taste and rich cultural connotations, has become one of the most popular beverages worldwide. Against the backdrop of growing health consciousness and rapidly increasing demand for premium beverages, beers emphasizing health benefits are capturing the market at an unprecedented pace. Healthy beers build upon traditional beers by offering lower risks and enhanced functionalities, introducing various new

收稿日期: 2025-10-14
基金项目: 武汉市汉阳科技创新研究院重点产业创新项目(2024ZDCYCXZX001)
第一作者: 孙书棋(2003—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为生物学。E-mail: sunshuqi@hust.edu.cn
***通信作者:** 朱圆敏(1986—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为微生物技术与发酵工程。E-mail: zhuyuanmin@hust.edu.cn
余龙江(1966—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为资源生物学与生物技术。E-mail: yulongjiang@hust.edu.cn

products through ingredient improvements and process innovations. This review searched authoritative domestic and international databases including Engineering Village Compendex, Web of Science, PubMed and China National Knowledge Infrastructure, using keywords such as “beer” “healthy beer” and “functional beer”, covering papers published from 2015 to 2025. Selected of the literature according to screening criteria for the review. The study categorized healthy beers from the perspectives of functional positioning, ingrediented and processed innovation, explored their development potential under trends of high-quality and personalized consumption, and analyzed industry challenges and bottlenecked in taste balance, consumer misconceptions and market regulations. The review also discussed future development directions to provide theoretical support for the transformation and upgrading of the beer industry and to promote the broad application of healthy beer in the food sector.

KEY WORDS: taste; healthy beer; functional positioning; ingredient and process innovation

0 引 言

啤酒作为世界上消费量最大的酒精饮料之一，目前已跃居全球三大饮品之列[1−2]。随着全球消费者健康意识的显著提升以及产品创新驱动的影响，传统啤酒市场正经历深刻的变革。消费者对啤酒的需求不再局限于口感和风味，而是更加关注其健康属性与成分构成。市场调研数据显示，全球啤酒市场增速逐渐放缓，但主打低卡、低糖等健康功效的啤酒市场却呈现逆势增长的趋势。欧洲和北美是健康啤酒的主要消费市场，亚太地区(尤其是中国和印度)因人口基数大和消费升级，成为增长最快的区域。传统啤酒巨头如百威英博、喜力和新兴品牌纷纷布局健康啤酒领域，推出创新产品。据中研网发布的“2025 啤酒产业深度调研及发展现状、市场规模分析”显示，啤酒行业正经历从规模扩张向质量提升的战略转型，健康化趋势推动低醇、无醇、低糖、低卡啤酒需求激增，Z 世代(18~35 岁)消费者作为市场主力，贡献了啤酒市场 60%左右的销售额，且对“微醺不宿醉”、低负担的饮酒体验表现出强烈偏好。健康啤酒以营养优化、功能强化及风险降低 3 个维度为核心，通过在原料、工艺和功能性成分上进行科技创新，实现了传统饮品与健康功能的结合，开发满足特定健康需求的啤酒，产品创新呈现出技术驱动、需求导向的特点[3]。在原料改良上，使用低糖麦芽、未发芽谷物降低啤酒的血糖生成指数(glycemic index, GI)，引入富含多酚的辅料，增强啤酒的抗氧化能力[4]；在工艺创新上，结合反渗透膜技术以及酶吸附等技术实现了低醇、无醇以及低嘌呤啤酒的生产[5−7]；在成分添加上，通过引入益生菌、天然植物提取物增强了啤酒的健康属性[8−9]。未来，在大数据和人工智能技术的驱动下，健康啤酒将会向高端化、个性化、全球化的方向发展，进一步扩大市场占有率，成为啤酒行业的重要增长点。随着消费者对健康饮品的偏好日益增长，传统啤酒的市场格局正在发生变化，啤酒如果能够通过创新实现健康化转型，也将对公共卫生和预防医学产生积极影响。本综述系统梳理了健康啤酒的类型、特征及发展瓶颈，旨在为行业技术研发与市场布局提供参考，为啤酒行业的创新提供理论支持和实践指导，为啤酒产业未来的可持续化发展开辟新的道路。

1 健康啤酒的主要类型

健康啤酒的发展源于消费者对传统啤酒有潜在的酒精负担、热量过高及营养单一等问题的重新审视。目前，啤酒行业呈现出的多元化创新以及健康化升级等多维度交叉特点，单一分类难以全面反映产品特性，因此，根据当下产品的侧重点，功能定位和原料与工艺创新两个维度构建分类框架(图 1)，既可以区分产品的市场导向与技术实现方式，又能结合二者之间的内在联系，更准确描述健康啤酒的创新生态。功能定位是从消费者需求和市场角度出发，回答“这款啤酒能够满足什么健康需求或解决什么痛点”，关注产品的最终市场定位和功效。原料与工艺创新则从技术和生产角度出发，揭示产品创新的内在逻辑。这两种分类方式相辅相成，共同反映出健康啤酒的产品矩阵与发展方向，体现了啤酒行业从传统酿造向健康产业跨界融合的新趋势。

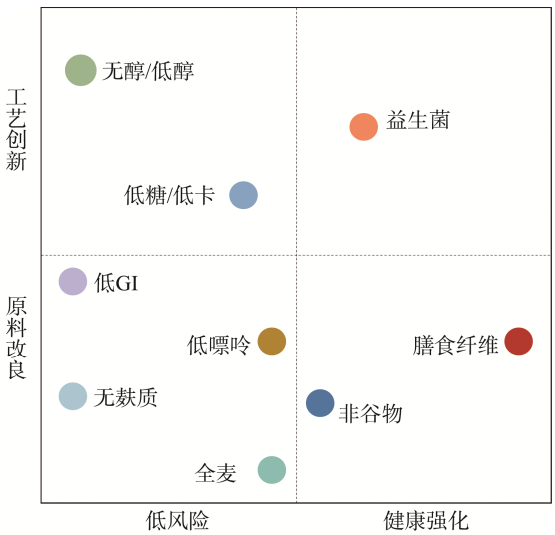


图 1 健康啤酒的分类

Fig.1 Types of healthy beer

1.1　按功能定位分类

1.1.1　低风险型健康啤酒

低风险型健康啤酒旨在减少或去除传统啤酒中可能对健康不利的成分或降低其含量，以满足特定的健康需求或生活方式(图 2)。此类产品主要包括低醇/无醇啤酒如百威零度，低糖/低卡啤酒如喜力 0.0、立吞零糖西海岸皮尔森，无麸质啤酒如埃斯特拉 Green's Gluten-Free Beer 以及低嘌呤啤酒如麒麟淡丽 PLATINUM DOUBLE，回应了消费者对减轻饮酒负担的关心，尤其是对酒精、热量、糖分及特定过敏原的担忧。

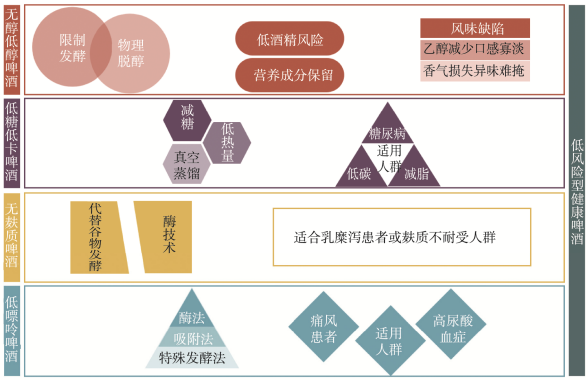


图 2　低风险型健康啤酒

Fig.2　Low-risk health beer

低醇/无醇啤酒的开发，可避免过量饮用啤酒对身体可能带来的健康风险，尤其适用于不宜饮酒的特殊人群。已有研究表明适量饮用啤酒在预防氧化应激和抗凝血栓方面可能发挥积极作用[10]，因此，开发无醇啤酒和低醇啤酒作为酒精饮料的健康替代品显得尤为重要。目前，无醇和低醇啤酒的发展正趋向于与人体血液及其他营养物质达到等渗状态，能够迅速补充人体所需的电解质和营养成分[11]。MAURICIO 等[12]研究证实，在运动前饮用无醇啤酒相比于水或普通含醇啤酒，更有利于维持体内的电解质平衡。低醇/无醇啤酒的生产核心在于脱醇，在发酵过程中可以采用生物方法(限制发酵)实现，在发酵完成后通过物理方法处理[13]。物理脱醇法主要有真空蒸馏法、膜过滤法等。PURWASASMITA 等[14]使用非多孔膜蒸馏对啤酒进行脱醇，可在 6 h 内将酒精含量从 5%降至 2.45%；LIGUORI 等[15]通过改良渗透蒸馏(膜工艺)对啤酒进行脱醇，使用初步脱醇工艺的回收溶液作为脱醇剂，经过 4 次脱醇循环，利用拉格啤酒酿造出无醇啤酒。生物技术不断应用于低醇/无醇啤酒的生产中，DA-SLIVA 等[16]利用低温冷萃取技术，酿造出低酒精且感官评分好的啤酒。DALBERTO 等[17]利用冷萃取技术减少酵母的可发酵糖，成功生产出低醇啤酒。另外，非酿酒酵母的发酵也为低醇/无醇啤酒的生产提供了新方法，SIMÕES 等[18]研究证明了利用非常规酵母生产低醇或无醇啤酒的适用性，KLIMCZAK 等[19]发现利用非酿酒酵母菌株美极梅奇酵母(*Metschnikowia pulcherrima*) MG971250 和德尔布有孢圆酵母(*Torulaspora delbrueckii*) MG971248 生产的低醇啤酒，感官评分优于传统酿酒酵母，在降低乙醇含量的同时也保留原有风味。

低糖/低卡啤酒生产的核心在于减少糖分和热量，饮用后不会对血糖水平产生较大影响，尤其适合糖尿病患者。随着健康饮食的兴起，低糖低卡啤酒的市场需求逐渐增加，但普及度有限，主要受限于消费者对传统啤酒的偏好。FRANC 等[20]采用真空蒸馏技术将啤酒酒精含量控制在 1.2%以下，且糖含量最高不超过 0.75 g/100 mL，在降低啤酒热量的同时保留了口感和营养价值。

无麸质啤酒通过替代谷物发酵或用酶技术去除麸质，降低了过敏原的风险，对于乳糜泻患者或麸质不耐受人群是一种安全的选择。无麸质食品通常使用替代谷物和假谷物如大米、藜麦、荞麦、玉米等[21]避免存在麸质，同时还能改善产品的营养价值和感官特性[22]。ALMEIDA 等[23]采用曲霉(*Aspergillus* sp.) FSDE 16 固态发酵产脯氨酰内源蛋白酶生产出无麸质啤酒。CELA 等[24]研究发现采用非常规无麸质谷物替代 40%的大麦麦芽，即可生产出适销对路的无麸质啤酒，而无需使用酶来减少麸质。GASIŃSKI 等[25]尝试使用绿扁豆芽酿造无麸质啤酒，结果表明该原料使用具有可行性。

低嘌呤啤酒主要采用酶法和吸附法来降低啤酒中的嘌呤含量[26]，以满足高尿酸血症和痛风患者的饮用需求。啤酒中的嘌呤主要经过人体代谢后会转化为尿酸(图 3)，而尿酸水平过高则是痛风和高尿酸血症发病的主要原因[26–27]。低嘌呤啤酒的开发从一定程度上可以减轻医疗负担，同时，也降低了健康人群的潜在风险。ZHOU 等[28]将马克思克鲁维酵母(*Kluyveromyces marxianus*)来源的鸟嘌呤脱氨酶用于啤酒酿造过程中，使麦汁中鸟嘌呤的含量降低了 80.33%，成熟啤酒中减少了 80%。LIU 等[29]将双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)来源的嘌呤核苷磷酸化酶在毕赤酵母中异源表达，并用于麦汁糖化过程，使嘌呤核苷减少了 33.54%，同时提高了酵母对嘌呤碱基的利用率，最终酿造出保留原始风味的低嘌呤啤酒。SHI 等[30]通过计算机辅助设计在体外重建嘌呤降解路径，成功构建能降解 4 种嘌呤的复合酶，显著降低了啤酒中的嘌呤含量。同时，利用吸附法降低嘌呤含量也比较常用，比如，利用羰基材料如活性炭等来吸附啤酒中的嘌呤。WEI 等[31]构建了一种多功能富含纤维素的甘蔗渣磁性多孔碳，将啤酒中的嘌呤含量降低了 82.66%。

1.1.2　功能强化型健康啤酒

功能强化型啤酒旨在通过额外添加功能性成分，使啤酒在满足解渴和享受的同时，还能提供健康益处，超越传统啤酒带来的价值(图 4)，体现了啤酒从普通饮品向功能性饮品的转变。主要代表产品有益生菌啤酒，如青岛"青益益生菌啤酒"；抗氧化/抗炎啤酒，如贝罗娜枸杞精酿啤酒；膳食纤维啤酒，如江南大学&泰利杰联合研发的聚葡萄糖膳食纤维啤酒。

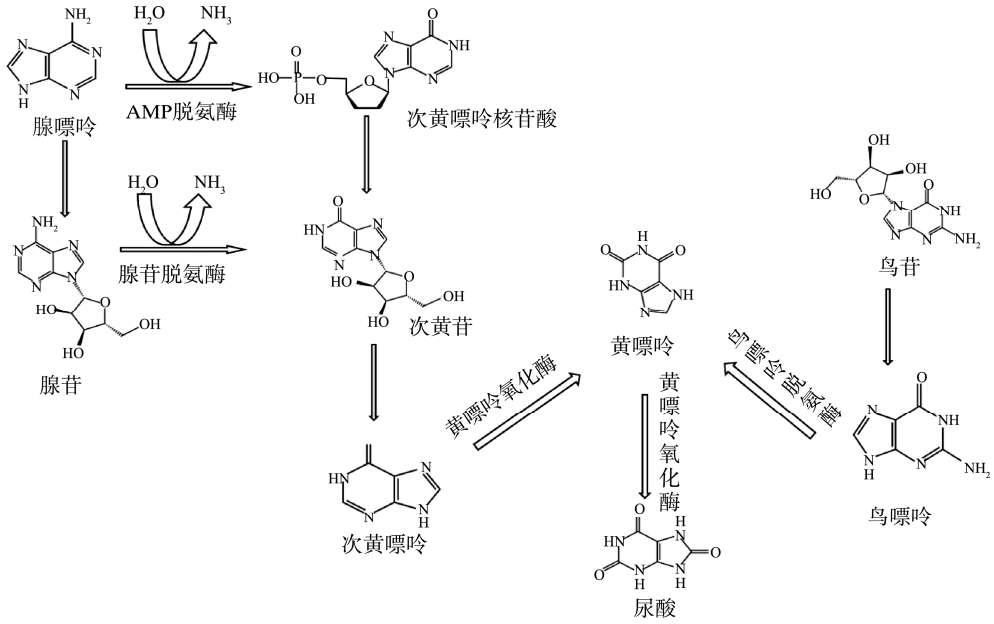


图 3 嘌呤代谢过程

Fig.3 Process of purine metabolism

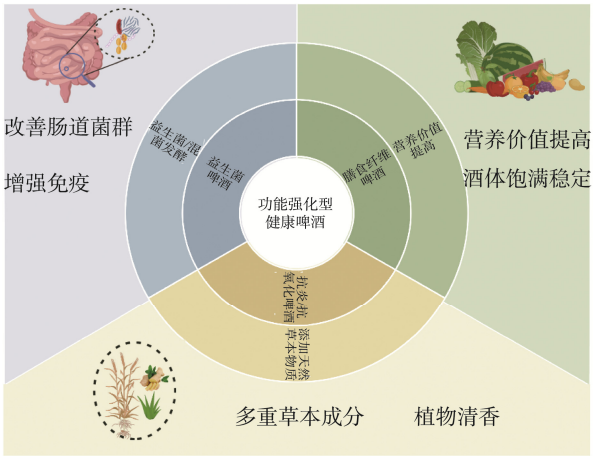


图 4 功能强化型健康啤酒

Fig.4 Functional enhanced health beer

益生菌啤酒作为一种创新的非乳制品益生菌来源，特别吸引那些寻找替代性益生菌产品的消费者[32]。富含活性益生菌的啤酒未经过滤和巴氏消毒，能提供常规啤酒所不具备的健康益处，如改善肠道微生物平衡、增强免疫等[33]，与其他饮料(如水、红茶、咖啡、果汁或可乐)相比，啤酒基质中的混合益生菌培养物在消化过程中表现出更高的存活率[34]。目前，已有多种菌株用于生产益生菌啤酒。ALCINE-CHAN 等[35]使用副干酪乳杆菌(*Lactobacillus paracasei*) L26 与酿酒酵母共发酵生产益生菌啤酒，副干酪乳杆菌 L26 在发酵过程中保持了高于 10^8 CFU/mL 的活菌数，与酵母细胞兼容性较好，证明啤酒可以作为益生菌的良好载体。POSTIGO 等[36]使用短乳杆菌、酿酒酵母和酒香酿酒酵母共发酵，生产的成熟啤酒香气平衡，且抗氧化能力较强。

抗氧化/抗炎啤酒主要是通过向啤酒中添加多酚以及维生素来实现。在啤酒的原料中，多酚物质主要来源于麦芽和啤酒花，它们作为天然的抗氧化剂，不仅影响着啤酒的风味，还对其稳定性和胶体特性起着重要作用[37−38]。此外，酚类物质还具有抗菌、抗炎、抗病毒等作用[38]。蒲公英含有酚酸和香豆素，加入到啤酒中起到抗癌、抗炎、抗菌和抗血栓作用[39]。将茉莉花茶提取物替代啤酒花加入到啤酒中，在提升啤酒泡沫稳定性的同时，还增加了多酚和有机酸的含量[40]。橄榄叶中富含的多酚，可赋予啤酒酸味、涩味和草药香气，具有令人愉快的感官特性[41]。木脂素是一类对人类健康有积极作用的植物多酚，云杉叶片中含量比较高，在麦芽汁煮沸阶段添加以云杉叶碎片制成的提取物，增加啤酒中木脂素的含量，赋予啤酒抗病毒和抗菌功能，且不会对啤酒天然的味道和香味产生负面影响[42]。姜汁提取物中含有姜酮、姜酚和姜黄素等生物活性物质[43]，使姜汁啤酒具有碳酸化、酸性和清爽的风味，以及典型的姜香气、清甜和微辣的口感[44]，啤酒老化过程中会形成一层生物膜，姜黄素还具有抗生物膜作用，保证啤酒的品质[45]。茄子皮提取物[eggplant (*Solanum melongena* L.) peel extract, EPE]含有大量的类黄酮和花青素等酚类化合物，添加 EPE 可以增加啤酒的抗氧化性，且能使啤酒在储藏过程中，无需添加人工防腐剂也可保持较长时间的风味稳定[46]。

膳食纤维啤酒将传统啤酒的酿造工艺与现代营养学理念相结合，通过添加膳食纤维提升啤酒的营养价值。膳食纤维多来源于啤酒糟和大麦麦芽，啤酒糟是啤酒酿造过程中的主要副产物，富含纤维素、半纤维素和木质素。通过碱处理和酸水解，可以从中提取出微纤维和纳米纤维素，用于啤酒的膳食纤维强化[47]。大麦麦芽本身含有丰富的 β-葡聚糖和阿拉伯木聚糖，这些非淀粉多糖在啤酒中具有膳食

纤维的功能[48]。PAUCAR-MENACHO 等[49]将苍白藜(*Chenopodium pallidicaule*)麦芽和香蕉百香果汁加入啤酒酿造过程中，所得啤酒纤维含量增加，酒体泡沫稳定性显著提升。

1.2　按原料与工艺创新分类

1.2.1　原料改良型

原料改良型通过改变酿造原料或增添辅料来实现健康特性，是产品创新的物质基础(图 5)。这类创新不仅改变了啤酒的风味特征，还从根本上提升了营养价值和功能特性。全麦、有机原料啤酒采用全麦谷物或全麦面包发酵，可以减少农药残留，代表产品有美国 Sierra Nevada “Organic Pale Ale”。MARTIN-LOBERA 等[50]使用全麦面包替代 50% 的麦芽酿造啤酒，所得啤酒多酚和抗氧化能力增强，营养价值提高。非谷物原料啤酒以水果、蔬菜或草本植物为辅料，提升啤酒的风味与营养，代表产品有中国“优布劳”草莓微果泥啤酒。水果中含有大量的有机酸和酚类物质，因其独特的果香和清甜的口感使得加入水果的啤酒更受女性消费者的青睐。樱桃、柑橘、葡萄、杏、桃、覆盆子、柿子等都可以作为原料生产果味啤酒，使啤酒中酚酸含量大大提高，胡萝卜素、维生素等其他化学物质也提供了额外的营养价值[51]。成冬冬等[52]使用山楂酿造啤酒，所得山楂啤酒中黄酮类物质含量上升，且感官品评良好。低 GI 啤酒使用升糖指数低的原料如藜麦和燕麦，降低饮用啤酒带来的血糖波动，代表产品有澳大利亚的“Low GI Lager”。

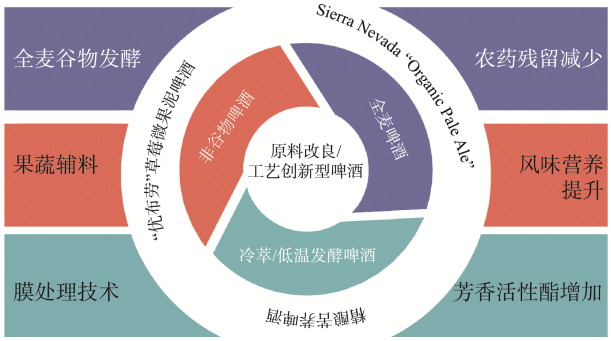


图 5　原料改良型和工艺创新型健康啤酒

Fig.5　Health beer with improved ingredients and innovative processes

1.2.2　工艺创新型

工艺创新是通过革新酿造技术或后处理技术来提升啤酒产品的健康属性(图 5)，这类创新一般需要投入大量的研发和设备改造，但也能够带来更具突破性的产品体验。

冷萃/低温发酵啤酒采用低温慢发酵的方式，减少醛类物质的生成，降低刺激性，代表产品有雪点白的精酿苦荞啤酒。NIKULIN 等[53]使用酿酒酵母和耐寒酵母进行杂交得到了能够耐受低温的啤酒酵母，发酵产生了更多的高级醇和芳香活性酯。URBINA 等[54]使用杂交菌株真贝酵母(*Saccharomyces eubayanus*)利用低温麦汁发酵，产生了更高的醇和酚类，以及更多的挥发性化合物，如乙酸酯和乙酯等。

膜分离技术生产的啤酒是通过膜过滤截留大分子杂质，保留小分子风味物质，可以提升啤酒的清爽度，代表产品有丹麦 Carlsberg“Pure Gold”。CIMINI 等[55]使用陶瓷中空纤维膜粗过滤和 0.45 μm 筒式过滤器进行精细过滤后，得到澄清且胶体稳定的啤酒。

2　健康啤酒的核心特征

2.1　营养成分特征

健康啤酒的营养成分具有低糖、低卡、低醇“三减”的核心特征，同时，强化有益的功能性成分，可以满足消费者的不同需求。在功能成分上，需达到具有健康功效的有效剂量，根据中国保健协会团体标准，益生菌啤酒应当满足活菌数大于等于 1×10^7 CFU/mL，以确保有足够数量的活菌到达肠道并发挥改善肠道健康的作用。当抗氧化啤酒的总多酚大于等于 50 mg/L 时，可有效帮助消费者清除体内自由基，发挥抗炎症、抗氧化能力。在全球范围内，对健康食品的标签要求日益严格，欧盟、美国等市场已经强制要求标注“低糖”“低卡”“功能性成分含量”，中国也在 2025 年实施 GB 7718—2025《食品安全国家标准 预包装食品健康标签通则》，旨在规范健康声称，让消费者获取准确直观的产品信息，避免误导性宣传。

2.2　功能特性

健康啤酒的功能特性是其核心价值的体现，它必须建立在科学验证的基础上，并具有明确的适应场景。益生菌需要通过临床实验证明其能有效改善肠道菌群多样性，进而调节肠道功能。低醇啤酒需要通过生物标志物检测，验证其具有的显著降低肝脏代谢负担和减少酒精代谢对身体负面影响的作用。抗氧化啤酒可通过体内和体外双重实验，验证其抗氧化活性及对健康的具体益处。上述基于实验验证的功能，是健康啤酒区别于普通啤酒和营销概念的关键。针对不同人群的消费需求，健康啤酒逐渐细化了应用场景。低风险啤酒(如低醇/无醇)精准适配需要保持清醒的社交场合。健康强化型啤酒则聚焦运动后体能恢复、日常肠道调理(益生菌啤酒)、保健(抗氧化啤酒)以及特定营养补充(膳食纤维啤酒)等场景。

2.3　感官品质特征

健康啤酒在感官品质特征上易出现口感失衡的问题。低醇啤酒由于酒精含量低，它的缺失会使啤酒香气的挥发性降低，风味层析感和饱满度减弱，其口感会显得风味单薄、寡淡和酒体轻盈，需通过增加酒花或延长发酵时间来提升酯类物质，改善口感。低糖/低卡啤酒则因为糖分缺失导致酒体醇厚感和平衡感降低。低糖低卡啤酒以干啤酒为代表，通过更高的发酵度消耗啤酒中的碳水化合物，减少酒的糖分与热量，使啤酒甜味减弱，苦味更加明显，但整体的风味更加清淡。低嘌呤啤酒的口感与生产工艺相关，通过物理吸附方法去除嘌呤的过程中会损失一部分风味，

更加清爽; 通过益生菌或特殊改良酵母发酵的啤酒, 酯类物质更为丰富, 带来独特香气; 通过添加谷物等辅料的原料优化, 则使啤酒形成特殊风味。在风味创新上, 健康啤酒正朝着“融合健康和丰富风味”的方向发展, 其中, 乳酸菌发酵的酸啤以及低 pH 的果味啤成为主流。酸啤中的酸度主要来源乳酸, 酸味的柔和、清新可以提升饮用的清爽感。果味啤酒创新的核心在于“酸甜平衡”, 水果的加入为啤酒注入了天然果甜和果酸, 且富含果香, 使其口感更易被接受。

3 健康啤酒发展的主要瓶颈

随着人们健康意识的增强和对健康生活方式的追求, 不断推动健康啤酒市场的拓展。然而, 在对产品持续创新的过程中, 也面临着诸多挑战。

3.1 技术瓶颈

3.1.1 功能成分稳定性不足

作为抗氧化成分的酚类物质对热较敏感, 在高温发酵、杀菌等工艺环节中容易分解、变性或降解, 从而大幅削弱其健康功效。此外, 啤酒的酸性环境也可能对酚类等稳定性产生不利影响。

由于啤酒本身含有乙醇、有机酸、啤酒花中的异 α-酸等抗菌成分, 其中, 乙醇还能通过使蛋白质变性和破坏细胞膜稳定性来抑制细菌生长, 因此, 在益生菌啤酒的生产过程中, 使益生菌保持活性很关键[56]。副干酪乳杆菌 F19 的增殖在高啤酒花浓度的啤酒中不受影响, 但高浓度的啤酒花中异 α-酸含量高, 会抑制其代谢能力, 导致产酸能力减弱, 啤酒 pH 下降缓慢[57]。HINOJOSA-AVILA 等[58]评估了 21 个商业的及潜在的乳酸菌益生菌对乙醇和啤酒花抗性, 发现有 5 株能够在含有乙醇、啤酒花和低 pH 的环境中生存和增殖, 其余菌株仅能在特定条件下生存。为了提高益生菌的存活率, 需要采用特殊的发酵工艺和选育特定的菌株, 这不仅会增加生产成本, 也对生产条件提出更严格的要求, 增加了技术难度。同时, 益生菌在发酵和储存过程中会产生其他代谢物, 可能会改变啤酒的风味、口感和稳定性, 对其酿造及储存温度提出了新的挑战[59−60]。此外, 益生菌如何在含有酒精的环境中保持活性, 同时使啤酒保持优良感官品质, 是目前生产亟待解决的技术难题[61]。

3.1.2 工艺复杂且成本高

无醇和低醇啤酒的酿造过程需要严格把控乙醇产生, 这主要依赖于酵母的发酵作用, 在无醇或低醇啤酒的生产中, 必须限制酵母的发酵或采用其他方法去除酒精。这需要对发酵条件(包括温度、时间、酵母的种类和数量等)进行精准调控, 避免酒精含量超标或啤酒风味受损。酒精作为啤酒中的重要风味物质, 在脱醇过程中, 啤酒的其他风味成分也可能受到影响, 从而使得无醇啤酒的口感与传统啤酒存在显著差异[62]。低 GI 原料啤酒以及无麸质啤酒中需要用到特殊原料, 如有机谷物、非传统辅料(益生菌菌株等), 依赖进口导致供应链成本高。

3.1.3 风味问题

草本植物的添加虽然能带来独特的风味, 但可能与啤酒的传统风味(如麦芽香、酒花香)产生冲突, 导致最终产品风味不协调。浓烈的草本味或苦味可能会掩盖或干扰啤酒的清爽口感和细腻香气, 进而影响消费者的饮用体验。草本植物的风味物质含量也受到气候、地域等多种因素的影响, 这导致了每批原料在质量上存在差异, 使酿造出的啤酒难以保持绝对一致的风味轮廓。

3.2 市场瓶颈

3.2.1 消费者认识偏差

消费者对于健康啤酒的认识偏差和信任危机是其面临的最根本障碍, “健康=口感差”的刻板印象是产品难以被接受的首要因素。消费者认为低醇啤酒“像水”、低糖啤酒无麦香难以满足感官体验。传统啤酒的消费者习惯通过醇厚的酒体, 浓郁的麦芽香和适度的苦来评判优劣。而健康啤酒在达成“低糖、低卡”等目标时, 往往需要在原料或酿造工艺上进行调整, 易导致酒体单薄, 风味寡淡。为扭转这一刻板印象, 需要品牌方投入市场教育成本, 让消费者亲身体验到健康啤酒的风味, 但这对于中小型企业而言是一项长期且艰巨的任务。当啤酒宣传“富含益生菌, 有助于调节肠道菌群”“含有抗氧化物质, 能够延缓衰老”时, 绝大多数消费者持怀疑态度, 根源在于缺乏权威机构的明确认证。在当下信息爆炸时代, 消费者已经对各种健康宣传产生“免疫”。

3.2.2 价格敏感度与市场竞争

健康啤酒的研发投入、生产工艺成本以及高价值的原料和辅料都远高于传统啤酒, 成本投入高决定了其市场均价高, 仅有少数消费者愿意为健康属性支付溢价。这一矛盾在下沉市场尤为突出, 该市场消费者对价格更为敏感, 健康意识相对薄弱, 使得健康啤酒难以突破区域限制。传统啤酒的核心消费场景更注重于社交属性以及畅饮时的快感, 对健康功能的诉求较低, 这也限制了健康啤酒在核心消费场景中的被认可度, 使其更多的局限在特定小众场景。面对技术壁垒, 许多中小品牌扎堆推出低糖低卡基础款健康啤酒, 导致了严重同质化竞争, 缺乏差异化功能创新, 品牌之间只能进行残酷的价格战和营销战, 而非通过真正的价值创新来共同做大市场蛋糕。

3.3 法规与标准瓶颈

全球主要市场对于“健康”相关术语的定义和声称要求存在显著差异, 对企业, 特别是有意出口的跨国企业, 设置了重重障碍。以“低糖”为例, 欧盟要求“低糖”小于等于 2.5 g/100 mL, 美国则是小于等于 4 g/100 mL。同样, “低醇”的定义在各国也不相同, 如英国为小于等于 1.2% 酒精度(alcohol by volume, ABV), 而德国则为小于等于 1.5% ABV。这种细微的差异意味着企业无法通过一套统一的配方和标签来应对全球市场, 必须为不同地区进行定制化生产和包装, 极大地增加了供应链的复杂性和成本。在多数

国家, 啤酒主要被归类为酒精饮料。当企业试图为其添加“调节肠道”“抗氧化”等功能性时, 产品便可能滑入“保健食品”或“特殊医学用途食品”的监管范畴, 导致企业面临监管部门不确定, 无法遵循哪套法规体系的困境, 增加了市场准入的未知性和时间成本。

对于超出基础营养的功能性宣称, 全球主要监管机构均持审慎态度, 设置了极高的科学证据门槛。以全球监管风向标—欧盟食品安全局为例, 其明确规定, 任何关于“益生菌”与健康的声称, 必须基于特定菌株、特定剂量在特定产品基质中的人体临床研究数据。这意味着, 企业不能简单地引用其添加的益生菌在酸奶或补充剂中已有的研究结论, 而必须针对“啤酒”这一特定载体进行耗时耗钱的临床试验。一套符合规范的人体临床试验, 从设计、伦理审批、招募受试者、执行到数据分析和报告撰写, 通常需要 2~3 年甚至更长时间, 直接研发成本可达数百万美元。这对于绝大多数啤酒企业而言, 是一个难以承受的财务和时间负担, 严重抑制了企业在深度功能创新上的积极性。

在市场竞争压力下, 部分企业为吸引消费者, 使用“减肥”“降尿酸”“治疗便秘”等明示或暗示疗效的词汇, 而监管机构[如美国食品及药物管理局(Food and Drug Administration, FDA)、中国国家市场监督管理总局]明确禁止普通食品和饮料宣传具有预防或治疗疾病的功效, 因此, 企业极易在营销宣传上触及监管红线。2025 年, 国家市场监督管理总局曝光的广告违法典型案例中, 50%与虚假宣传相关。这种行为不仅会被罚款、产品下架和强制销毁, 更会透支整个品类的公信力。

4　未来发展趋势与展望

4.1　技术创新方向

健康啤酒技术的创新正推动行业从传统酿造向精准、可控、功能化的方向快速发展。生物功能改良、新型脱醇工艺和智能酿造系统将成为未来技术竞争的 3 大核心领域。这些创新不仅提升了啤酒的健康属性, 更重新定义了啤酒作为功能性饮品的价值边界。

基因编辑技术在生物功能改良领域正开辟前所未有的可能性。规律间隔成簇短回文重复序列-Cas9 (clustered regularly interspaced short palindromic repeats/crispr-associated protein 9, CRISPR-Cas9)技术被用于改造酿酒酵母的代谢途径, 通过精准的基因编辑, 降低啤酒发酵过程中有害物质的积累, 还能优化风味、改善发酵效率。酚醛异味会影响啤酒的口感, MERTENS 等[63]通过 CRISPR 技术编辑 *FDC1* 基因引入天然突变, 成功减少了酚醛异味的产生, 为啤酒风味的多样化提供了新途径。BENNIS 等[64]通过增强脂肪酸合成酶复合物的特定基因表达, 提高了乙酯的产量, 从而为啤酒增添了更多果香和花香。在啤酒酿造过程中, 酵母对糖的利用率直接影响发酵效果和啤酒品质。KROGERUS 等[65]通过编辑 *STA1* 基因改善酵母对麦芽三糖的利用能力, 发酵效率得到显著提升。未来, 随着技术的进一步发展, CRISPR-Cas9 有望在啤酒工业中发挥更大的作用, 为消费者带来更健康、更美味的啤酒产品。

耐高温益生菌包埋技术, 通过微胶囊化处理将益生菌存活率大大提升, 确保了益生菌在啤酒酸性环境和酒精作用下的稳定性。TAN 等[59]使用海藻酸钠盐封装益生菌, 提高了其在啤酒中的存活率。新型封装材料和技术在益生菌递送系统上呈现出独特优势, 壳聚糖的加入可以进一步加强微胶囊的机械强度和稳定性[66], 未来有望将这些技术应用到益生菌啤酒的生产, 使啤酒不仅是休闲饮品, 而是成为了真正意义上的“活性功能性食品”。低嘌呤啤酒的研发也从单纯降低啤酒中嘌呤含量, 演进为添加具有调节黄嘌呤活性或降尿酸功能的成分, 致力于消费者在享受啤酒的同时, 帮助调控尿酸水平。YAO 等[67]将蒲公英引入啤酒中, 在不改变其感官特性的情况下, 提升了啤酒的抗氧化和抑制尿酸生成的特性。郭懿锋[68]以藤茶和大麦为原料酿造藤茶风味啤酒, 具有降尿酸的保健效果。酿造工艺的转变也标志着低嘌呤啤酒的开发重点, 已经从最初的“被动减少危害”转向“主动健康赋能”, 这些创新尝试都旨在让啤酒本身成为一种功能性载体。

保留啤酒中关键的风味化合物, 不仅可以提高啤酒的风味, 还能为消费者带来更加丰富的感官体验。超临界 CO_2 萃取能够从啤酒花中分离出特定的萜烯类化合物, 如香叶烯和葎草烯, 并进一步分馏为不同的亚组分。啤酒的风味是其品质的核心, 而萜烯类化合物如香叶烯和葎草烯在塑造啤酒独特香气和口感方面起着至关重要的作用。DIETZ 等[69]使用超临界 CO_2 萃取酒花中的萜烯醇和倍半萜, 加入啤酒中形成了不同的风味。SONG 等[70]使用脉冲电场预处理啤酒花, 并将其投入啤酒酿造中, 得到的成品感官评估结果好, 表明脉冲处理可以在保证啤酒品质的同时提高生产效率。未来的研究可以进一步探索这些技术的协同效应, 以实现啤酒风味的最优化。

智能酿造系统的开发也正让啤酒生产进入“数字精准时代”。通过人工智能优化发酵参数, 系统能够实时监测并调整温度、pH 和溶氧量等关键变量, 实现“功能成分最大化”和“风味损失最小化”的双重目标。

4.2　产品创新方向

健康啤酒的产品创新正呈现出多元化、个性化和社会化的显著特征。消费者需求的分层和细化推动啤酒企业从“大规模生产”转向“精准定制”, 复合功能型啤酒、场景化定制产品和精酿健康啤酒 3 大方向共同构成了未来产品创新的全景图。

复合功能型啤酒成为市场高端竞争的新焦点。这类产品不再满足于单一健康功能, 而是追求多效合一的综合健康价值。市场上出现的“低糖+益生菌+抗氧化”复合型啤酒代表了这一趋势, 如燕京啤酒推出的“狮王玻光酿玫瑰葡萄精酿啤酒”, 添加了透明质酸钠提升黏膜舒适度, 同时降

低了糖分和热量。三得利的“ALL FREE”系列则成功结合无醇工艺与美容成分，吸引女性及年轻消费者。上述产品通常采用分层发酵技术或后添加工艺，确保不同功能成分的活性和稳定性。未来，复合功能型啤酒将进一步整合天然草药提取物(如姜黄素、黄芪多糖)和现代功能性成分(如 γ-氨基丁酸、β-烟酰胺单核苷酸(nicotinamide mononucleotide, NMN)，创造出真正意义上的“全效健康啤酒”，满足消费者对一站式健康解决方案的需求。

场景化定制产品重新定义了啤酒与消费场景的关系，使健康啤酒成为特定生活方式的组成部分。针对运动人群，啤酒品牌开始添加电解质(钠、钾、镁)和支链氨基酸(branched chain amino acid, BCAA)，替代传统运动饮料，成为运动后恢复的新选择。针对熬夜人群，添加 γ-氨基丁酸实现助眠效果，通过调节神经系统功能缓解压力和提高睡眠质量。针对老年人群，低醇加钙强化啤酒可以解决传统啤酒对骨骼健康的潜在负面影响，同时添加维生素 D_3 促进钙吸收。这些场景化产品通常与健康监测设备和移动应用结合，将形成完整的健康管理生态系统。

精酿健康啤酒让小众需求成为可能，推动了啤酒行业的民主化和多元化发展。小型精酿厂凭借其灵活性和创新性，聚焦大厂忽视的细分功能市场，推出了众多特色健康啤酒。无麸质酸啤采用粟米、荞麦替代大麦，配合复合酶(如米曲霉 α-淀粉酶)分解麸质蛋白，使成品麸质含量小于 5 ppm，满足乳糜泻患者的需求。草本抗炎 IPA 则融入具有抗炎特性的天然植物提取物，如生姜中的姜辣素和姜烯酚以及枸杞多糖，赋予啤酒抗氧化和抗炎功能。广药集团的“凌爽”草本精酿啤酒就是典型代表，添加互花米草提取物，具有降尿酸功效，解决了啤酒易引发痛风的消费痛点。类似地，兰州大学团队开发的“浆水啤酒”通过添加源自传统发酵食品“浆水”的特有益生菌，使其能够在人体肠道定植并持续发挥降解嘌呤、促进尿酸排泄的作用。上述精酿健康啤酒往往强调原料溯源和手工品质，通过讲述品牌故事和文化内涵吸引特定消费群体。未来，随着微型酿造设备的普及和原料获取的便利化，精酿健康啤酒将更加多元化，可能出现针对特定基因型、肠道菌群组成甚至情绪状态的完全个性化啤酒产品。

4.3 市场与法规方向

健康啤酒市场的健康发展不仅需要技术和产品创新的支撑，更离不开消费者教育、本土化原料开发和标准化体系建设 3 大市场与法规方向的协同进步。这些要素共同构成了健康啤酒行业的生态系统，决定了行业发展的速度和质量。

消费者教育是建立市场信任的关键环节。随着健康啤酒产品的多样化，消费者面临信息过载和选择困难的问题，而部分夸大宣传的产品更是加剧了消费者的疑虑。为此，需要联合行业协会推动建立“健康啤酒认证标志”体系，例如，低糖认证要求啤酒中残糖量低于特定标准(如小于等于 5 g/L)，功能验证则要求提供体外实验或临床试验证据支持健康声称。

本土化原料开发是健康啤酒实现差异化竞争和可持续发展的重要策略。利用区域特色原料不仅能够降低成本，更能增强产品的文化属性和地域特色。中国的青稞 β-葡聚糖含量高且具有一定的营养价值，应用于健康啤酒中可以创造出具有西藏特色的品种。东南亚的棕榈果、椰子糖等特色原料则为健康啤酒提供了天然甜味剂和风味物质，减少了糖的使用。这些本土原料往往具有更好的环境适应性和文化接受度，为健康啤酒赋予了独特的地域标识。这种基于地域特色的原料策略不仅降低了供应链风险和成本，还创造了更具文化内涵和故事性的健康啤酒产品，满足了消费者对独特性和真实性的追求。

标准化体系建设是健康啤酒行业规范发展的基石。目前，健康啤酒领域缺乏统一的国际标准和评价方法，导致不同国家和企业的产品难以比较和评估。为此，国际标准化组织需要制定健康啤酒通用标准，涉及功能成分最低含量、健康声称规范和质量控制要求等方面。这些标准旨在确保健康啤酒产品的安全性、有效性和真实性，防止夸大宣传和误导消费者。同时，标准化体系还需要考虑差异化和灵活性，避免“一刀切”的标准扼杀创新。未来，标准化体系建设将向分层级、多维度的方向发展，既包括基础的安全和质量标准，也包括高级的健康功效评价标准；既考虑产品的化学组成，也考虑生物利用度和体内活性。这种全面的标准体系将为健康啤酒行业的健康发展提供有力保障，同时也为消费者选择提供清晰可靠的依据。

5 结束语

健康啤酒正随着全球消费者健康意识的觉醒和消费观念的革新而迅猛发展，是啤酒行业转型的核心方向，正引领一场从“工业量产”到“功能共创”的消费革命。健康中国战略和政策支持为行业创造了有利的环境，2021 年《中国酒业“十四五”发展指导意见》明确了“十四五”中国酒类产业的十三个主要目标，涵盖产业经济目标、产业结构、社会责任、人才建设、知识产权等。健康啤酒的发展浪潮，不仅仅是消费市场的升级，更是在国家“健康中国”战略引领下，产业政策、社会需求与技术创新共同作用的结果，其发展深度契合《“健康中国 2030”规划纲要》中关于“普及健康生活”“优化健康服务的核心精神”。 当前健康啤酒市场呈现出功能多元化和原料工艺创新化的显著特征，发展面临技术、市场和法规三重瓶颈，需要通过“技术突破-产品创新-市场教育-标准共建”协同体系解决。未来必须构建一个根植于中国国情、系统性的协同发展体系，在“健康中国”战略中扮演更积极的角色。《“健康中国 2030”规划纲要》指出，“共建共享、全民健康”，是建设健康中国的战略主题，将具有明确科学验证的健康产品纳入政策支持体系，正是对这一政策的积极响应与具体实践。企业可与科研院校以及研究机构建立联合实验室，以市场为导向，重点突

破风味稳定、功能性成分稳态化以及个性化需求等关键技术瓶颈，构建“产学研用”一体化平台。健康啤酒产业升级不仅是啤酒行业的内部升级，其发展与“健康中国”战略中的国民营养计划、慢性病防控等目标紧密相连，通过倡导“适度饮酒、文明饮酒”理念，有助于引导大众建立健康的生活方式。健康啤酒的未来发展，必须超越行业自身，融入国家发展大局，通过精准的政策引导、产学研合作以及明确在“健康中国”战略中的积极角色，构建一个多方共赢的系统。未来，坚持以科学验证为基础、以消费者真实需求为导向的发展理念，推动健康啤酒从“概念营销”走向“实质功能价值”，实现“健康”与“风味”的真正融合，为人民的健康生活和中国食品工业的高质量发展贡献力量。

参考文献

[1] ANDERSON HE, SANTOS IC, HILDENBRAND ZL, *et al*. A review of the analytical methods used for beer ingredient and finished product analysis and quality control [J]. Analytica Chimica Acta, 2019, 1085: 1–20.

[2] SALANȚĂ LC, COLDEA TE, IGNAT MV, *et al*. Non-alcoholic and craft beer production and challenges [J]. Processes, 2020, 8(11): 1382–1406.

[3] HABSCHIED K, IVKOVIĆ A, KRSTANOVIĆ V, *et al*. Functional beer-a review on possibilities [J]. Beverages, 2020, 6(3): 51–66.

[4] DENG Y, LIM J, LEE GH, *et al*. Brewing rutin-enriched lager beer with buckwheat malt as adjuncts [J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2019, 29(6): 877–886.

[5] RAMSEY I, YANG Q, FISK I, *et al*. Assessing the sensory and physicochemical impact of reverse osmosis membrane technology to dealcoholize two different beer styles [J]. Food Chemistry: X, 2021, 10: 100121.

[6] VARGA Á, BIHAI-LUCENA E, LADÁNYI M, *et al*. Experimental study and modeling of beer dealcoholization via reverse osmosis [J]. Membranes, 2023, 13(3): 329.

[7] ZENG Y, AHMED HGM, LI X, *et al*. Physiological mechanisms by which the functional ingredients in beer impact human health [J]. Molecules, 2024, 29(13): 3110.

[8] HINOJOSA-AVILA CR, CHEDRAUI-URREA JJT, ESTARRÓN-ESPINOSA M, *et al*. Chemical profiling and probiotic viability assessment in gueuze-style beer: Fermentation dynamics, metabolite and sensory characterization, and *in vitro* digestion resistance [J]. Food Chemistry, 2025, 462: 140916.

[9] CORONAS R, BIANCO A, NICCOLAI M, *et al*. Polyphenolic content and antimicrobial effects of plant extracts as adjuncts for craft herbal beer stabilization [J]. Foods, 2024, 13(17): 2804.

[10] SANCÉN M, LÉNIZ A, MACARULLA MT, *et al*. Features of non-alcoholic beer on cardiovascular biomarkers. Can it be a substitute for conventional beer? [J]. Nutrients, 2023, 15(1): 173–187.

[11] BAIANO A. Craft beer: An overview [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020, 20(2): 1829–1856.

[12] MAURICIO CS, NEIL J, ASTUDILLO S, *et al*. Effects of beer, non-alcoholic beer and water consumption before exercise on fluid and electrolyte homeostasis in athletes [J]. Nutrients, 2016, 8(6): 345–353.

[13] KOZŁOWSKI R, DZIEDZIŃSKI M, STACHOWIAK B, *et al*. Non- and low-alcoholic beer-popularity and manufacturing techniques [J]. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 2021, 20(3): 347–357.

[14] PURWASASMITA M, KURNIA D, MANDIAS FC, *et al*. Beer dealcoholization using non-porous membrane distillation [J]. Food and Bioproducts Processing, 2015, 94: 180–186.

[15] LIGUORI L, FRANCESCO GD, RUSSO P, *et al*. Production and characterization of alcohol-free beer by membrane process [J]. Food and Bioproducts Processing, 2015, 94: 158–168.

[16] DA-SILVA KE, MARCEL BORGES E, CRESTANI I, *et al*. Cold extraction process for producing a low-alcohol beer, international pale lager style: Evaluation and description of flavors using electronic tongue [J]. Food Research International, 2024, 190: 114598.

[17] DALBERTO G, DA-ROSA MR, NIEMES JP, *et al*. Cold mash in brewing process: Optimization of innovative method for low-alcohol beer production [J]. Acs Food Science&Technology, 2021, 1(3): 374–381.

[18] SIMÕES J, COELHO E, MAGALHÃES P, *et al*. Exploiting non-conventional yeasts for low-alcohol beer production [J]. Microorganisms, 2023, 11(2): 316.

[19] KLIMCZAK K, CIOCH-SKONECZNY M, CIOSEK A, *et al*. Application of non-*Saccharomyces* yeast for the production of low-alcohol beer [J]. Foods, 2024, 13(20): 3214.

[20] FRANC A, MUSELÍK J, VETCHÝ D. Beer with reduced carbohydrates and alcohol content suitable for diabetics [J]. Česká a Slovenská Farmacie, 2018, 67(5-6): 212–215.

[21] YANG D, GAO X. Progress of the use of alternatives to malt in the production of gluten-free beer [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(10): 2820–2835.

[22] CARBONI AD, PUPPO MC, FERRERO C. Gluten-free lentil cakes with optimal technological and nutritional characteristics [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2024, 104(10): 6298–6310.

[23] ALMEIDA TC, SANTOS SFM, SANTOS ESD. Production of the prolyl endoprotease (PEP) from *Aspergillus* sp. FSDE 16 by solid-state fermentation (SSF) and use for producing a gluten-free beer [J]. Biotechnology and Applied Biochemistry, 2024, 71(2): 460–476.

[24] CELA N, GALGANO F, DI-CAIRANO M, *et al*. Development of gluten-free craft beer: Impact of brewing process on quality attributes and consumer expectations for sensory properties [J]. Journal of Food Science, 2023, 88(12): 5203–5215.

[25] GASIŃSKI A, KAWA-RYGIELSKA J. Assessment of green lentil malt as a substrate for gluten-free beer brewing [J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 504.

[26] ALMEIDA C, MÁRCIA CN, FREIRE MG. Towards the use of adsorption methods for the removal of purines from beer [J]. Molecules, 2021, 26(21): 6460–6488.

[27] ANAIZI N. The impact of uric acid on human health: beyond gout and kidney stones [J]. Ibnosina Journal of Medicine and Biomedical Sciences, 2023, 15(3): 110–116.

[28] ZHOU P, XU J, WANG Z, *et al*. Characterization of guanine deaminase from *Kluyveromyces marxianus* and its industrial application to reduce guanine content in beer [J]. Foods, 2025, 14(7): 1085.

[29] LIU J, LU J. The characterization of the purine nucleoside phosphorylase from *Agaricus bisporus* and its potential application in reducing purine content in beer [J]. Journal of Fungi, 2025, 11(4): 268.

[30] SHI P, ZHANG R, LIU CX, *et al*. Computer-assisted *in vitro* reconstitution of purine degradation pathway to lower the purine content in food [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 102(15): 7079–7086.

[31] WEI TQ, XIONG YS, LU T, *et al*. Multifunctional cellulose-rich bagasse magnetic biochar capable of efficient elimination and separation of purine compounds in beer: DFT calculation and practical system applications [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2025, 309(Pt 2): 142690.

[32] HINOJOSA-AVILA CR, GARCÍA-GAMBOA R, CHEDRAUI-URREA JJT, *et al*. Exploring the potential of probiotic-enriched beer: Microorganisms, fermentation strategies, sensory attributes, and health implications [J]. Food Research International, 2024, 175: 113717.

[33] PYO Y, KWON KH, JUNG YJ. Probiotic functions in fermented foods: Anti-viral, immunomodulatory, and anti-cancer benefits [J]. Foods, 2024, 13(15): 2386.

[34] MATOUSKOVA P, HOOVA J, RYSAVKA P, *et al*. Stress effect of food matrices on viability of probiotic cells during model digestion [J].

Microorganisms, 2021, 9(8): 1625.
[35] ALCINE-CHAN MZ, CHUA JY, TOH M, *et al*. Survival of probiotic strain *Lactobacillus paracasei* L26 during co-fermentation with *S. cerevisiae* for the development of a novel beer beverage [J]. Food Microbiology, 2019, 82: 541–550.
[36] POSTIGO V, GARCÍA M, ARROYO T. Study of a first approach to the controlled fermentation for lambic beer production [J]. Microorganisms, 2023, 11(7): 1681.
[37] PAIVA RAM, MUTZ YS, CONTE-JUNIOR CA. A review on the obtaining of functional beers by addition of non-cereal adjuncts rich in antioxidant compounds [J]. Antioxidants (Basel), 2021, 10(9): 1332–1340.
[38] WANNENMACHER J, GASTL M, BECKER T. Phenolic substances in beer: Structural diversity, reactive potential and relevance for brewing process and beer quality [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2018, 17(4): 953–988.
[39] OLAS B. New perspectives on the effect of dandelion, its food products and other preparations on the cardiovascular system and its diseases [J]. Nutrients, 2022, 14(7): 1350–1361.
[40] CHEN DQ, ZOU C, HUANG YB, *et al*. Adding functional properties to beer with jasmine tea extract [J]. Frontiers in Nutrition, 2023, 10: 1109109.
[41] GUGLIELMOTTI M, PASSAGHE P, BUJATTI S. Use of olive (*Olea europaea* L.) leaves as beer ingredient, and their influence on beer chemical composition and antioxidant activity [J]. Journal of Food Science, 2020, 85(8): 2278–2285.
[42] BALÍK J, HÍC P, TŘÍSKA J, *et al*. Beer and beer-based beverage contain lignans [J]. Food Science and Technology, 2021, 58(2): 581–585.
[43] NUTAKOR C, ESSIEDU JA, ADADI P, *et al*. Ginger beer: An overview of health benefits and recent developments [J]. Fermentation, 2020, 6(4): 102–125.
[44] IARA GDOL, KAROLINE ADCW, FRANCA BF, *et al*. Ginger beer derived from back-slopping: Volatile compounds, microbial communities on activation and fermentation, metabolites and sensory characteristics [J]. Food Chemistry, 2024, 435: 137–145.
[45] MOHAMMADI K, SARIS PEJ. Antibiofilm effect of curcumin on *Saccharomyces boulardii* during beer fermentation and bottle aging [J]. Biomolecules, 2023, 13(9): 1367–1383.
[46] HORINCAR G, ENACHI E, BOLEA C, *et al*. Value-added lager beer enriched with eggplant (*Solanum melongena* L.) peel extract [J]. Molecules, 2020, 25(3): 731–743.
[47] MORALES-JUÁREZ AA, TERRAZAS-ARMENDÁRIZ LD, ALCOCER-GONZÁLEZ JM, *et al*. Potential of nanocellulose as a dietary fiber isolated from brewer's spent grain [J]. Polymers, 2023, 15(17): 3613.
[48] REID JESJ, YAKUBOV GE, LAWRENCE SJ. Non-starch polysaccharides in beer and brewing: A review of their occurrence and significance [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2024, 64(3): 837–851.
[49] PAUCAR-MENACHO LM, SALVADOR-REYES R, CASTILLO-MARTINEZ WE, *et al*. Optimization of a craft ale-type beer enriched with cañihua malt (*Chenopodium pallidicaule*) and banana passionfruit juice (*Passiflora tripartita var.* mollisima) [J]. Heliyon, 2025, 11(4): e42610.
[50] MARTIN-LOBERA C, FERMOSO J, BLANCO CA, *et al*. Brewing with whole wheat bread to produce different beer styles [J]. Foods, 2025, 14(10): 1697.
[51] CHO JH, KIM ID. Persimmon fruit enhanced quality characteristics and antioxidant potential of beer [J]. Food Science and Biotechnology, 2018, 27(4): 1067–1073.
[52] 成冬冬, 甄晨瑞, 迟玉洁, 等. 山楂风味啤酒酿造工艺研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(19): 7767–7771.
CHENG DD, ZHEN CR, CHI YJ, *et al*. Study on the brewing technology of hawthorn flavor craft beer [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(19): 7767–7771.
[53] NIKULIN J, KROGERUS K, GIBSON B. Alternative *Saccharomyces* interspecies hybrid combinations and their potential for low-temperature wort fermentation [J]. Yeast, 2018, 35(1): 113–127.
[54] URBINA K, VILLARREAL P, NESPOLO RF, *et al*. Volatile compound screening using HS-SPME-GC/MS on *Saccharomyces eubayanus* strains under low-temperature pilsner wort fermentation [J]. Microorganisms, 2020, 8(5): 755.
[55] CIMINI A, MORESI M. Innovative rough beer conditioning process free from diatomaceous earth and polyvinylpolypyrrolidone [J]. Foods, 2020, 9(9): 1228.
[56] DYSVIK A, LA-ROSA SL, DE-ROUCK G, *et al*. Microbial dynamics in traditional and modern sour beer production [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2020, 86: e00566, 20.
[57] DA-SILVA LBM, ARRUDA KA, SUZUKI JY, *et al*. Survival of the probiotic strain *Lacticaseibacillus paracasei* subsp. *paracasei* F19 in high-hopped beers [J]. Food Research International, 2024, 196:115040.
[58] HINOJOSA-AVILA CR, GARCÍA-CAYUELA T. Enhancing probiotic viability in beer fermentation: selection of stress-resistant lactic acid bacteria and alternative approaches [J]. ACS Food Science & Technology, 2024, 4 (11): 2575–2584.
[59] TAN LL, ANG KL, LOO SCJ. Alginate encapsulation improves probiotics survival in carbonated sodas and beers [J]. PLoS One, 2023, 18(3): e0283745– e0283760.
[60] DYSVIK A, LA-ROSA SL, LILAND KH, *et al*. Co-fermentation involving *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus Species* tolerant to brewing-related stress factors for controlled and rapid production of sour beer [J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 11: 279.
[61] PULIGUNDLA P, SMOGROVICOVA D, MOK C. Recent innovations in the production of selected specialty (non-traditional) beers [J]. Folia Microbiologica, 2021, 66(4): 525–541.
[62] BORȘA A, MUNTEAN MV, SALANȚĂ LC, *et al*. Effects of botanical ingredients addition on the bioactive compounds and quality of non-alcoholic and craft beer [J]. Plants, 2022, 11(15): 1958–1963.
[63] MERTENS S, GALLONE B, STEENSELS J, *et al*. Reducing phenolic off-flavors through CRISPR-based gene editing of the FDC1 gene in *Saccharomyces cerevisiae* x *Saccharomyces eubayanus* hybrid lager beer yeasts [J]. PLoS One, 2019, 14(1): e0209124.
[64] BENNIS NX, BIESEMAN J, DARAN JG. Unlocking lager's flavour palette by metabolic engineering of *Saccharomyces pastorianus* for enhanced ethyl ester production [J]. Metabolic Engineering, 2024, 85: 180–193.
[65] KROGERUS K, MAGALHÃES F, KUIVANEN J, *et al*. A deletion in the STA1 promoter determines maltotriose and starch utilization in STA1$^+$ *Saccharomyces cerevisiae* strains [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2019, 103(18): 7597–7615.
[66] VIJAYARAM S, SINHA R, FAGGIO C, *et al*. Biopolymer encapsulation for improved probiotic delivery: Advancements and challenges [J]. AIMS Microbiology, 2024, 10(4): 986–1023.
[67] YAO JQ, MA ZY, WANG YX, *et al*. Effects of dandelion addition on antioxidant property, sensory characteristics and inhibitory activity against xanthine oxidase of beer [J]. Current Research in Food Science, 2022, 5: 927–939.
[68] 郭懿锋. 藤茶风味啤酒的酿造工艺及其降尿酸特性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(12): 263–271.
GUO YF. Research on the brewing technology and hypouricemic properties of *Grossedentata* tea flavored beer [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(12): 263–271.
[69] DIETZ C, COOK D, WILSON C, *et al*. Exploring the multisensory perception of terpene alcohol and sesquiterpene rich hop extracts in lager style beer [J]. Food Research International, 2021, 148: 110598.
[70] SONG PY, TSAI SY, CHANG CK, *et al*. Employing pulsed electric field pretreatment on hops to lower the utilization of hops during the dry hopping stage in beer production [J]. Food Chemistry, 2025, 492(Pt 3): 145664.

(责任编辑: 蔡世佳 安香玉)