

植物基谷物饮料功能特性强化、体系稳定调控与产业化应用

张新科¹, 邓国哲², 宋江峰^{3*}, 蒋思佳³

¹河南中意隆机械设备有限责任公司, 河南 驻马店

²江苏省食品药品职业技术学院, 江苏 淮安

³江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京

收稿日期: 2026年6月17日; 录用日期: 2026年7月14日; 发布日期: 2026年7月24日

摘 要

植物基谷物饮料是近年来食品科学与健康产业交叉领域的研究热点。围绕谷物资源高效利用、植物基产品创新与功能食品开发等关键科学问题, 国内外已在原料筛选、工艺优化、功能挖掘、体系稳定及产业化应用等方面形成大量研究成果。本文系统梳理了植物基谷物饮料的原料种类与营养特征, 归纳了预处理、酶解、发酵、均质、杀菌等关键加工技术的研究进展, 阐述了抗氧化、调节血糖、调节肠道、降脂护心等功能活性及其作用机制, 总结了体系失稳机理与稳定调控策略, 分析了产品类型、产业现状与市场特征, 评述了当前行业面临的技术瓶颈、研究不足与标准滞后问题, 并对未来功能化、精准化、绿色化、智能化发展方向进行了展望。研究表明, 植物基谷物饮料已形成较为完善的技术体系, 但在稳定机制解析、风味精准调控、功能机理验证、高效产业化转化、标准体系构建等方面仍存在明显短板。未来研究应加强基础理论与工程化技术融合, 推动谷物饮料向高品质、功能化、规范化方向高质量发展。

关键词

植物基饮料, 谷物, 发酵, 酶解, 稳定性, 功能特性, 产业化, 标准体系

Review on Functional Property Enhancement, System Stability Regulation and Industrial Application of Plant-Based Cereal Beverages

Xinke Zhang¹, Guozhe Deng², Jiangfeng Song^{3*}, Sijia Jiang³

¹Henan Zhongyilong Machinery Equipment Co., Ltd., Zhumadian Henan

*通讯作者。

文章引用: 张新科, 邓国哲, 宋江峰, 蒋思佳. 植物基谷物饮料功能特性强化、体系稳定调控与产业化应用[J]. 食品与营养科学, 2026, 15(4): 544-557. DOI: 10.12677/hjfn.2026.154058

²Jiangsu Food & Pharmaceutical Science College, Huai'an Jiangsu³Institute of Agro-Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing Jiangsu

Received: June 17, 2026; accepted: July 14, 2026; published: July 24, 2026

Abstract

Plant-based cereal beverages have emerged as a research hotspot at the intersection of food science and the health industry in recent years. Focusing on key scientific issues such as the efficient utilization of cereal resources, innovation in plant-based products, and the development of functional foods, numerous research findings have been achieved worldwide in terms of raw material screening, process optimization, functional exploration, system stability, and industrial application. This paper systematically reviews the raw material types and nutritional characteristics of plant-based cereal beverages, summarizes the research advances in key processing technologies including pretreatment, enzymatic hydrolysis, fermentation, homogenization and sterilization, elaborates on the functional activities and underlying mechanisms such as antioxidant activity, blood glucose regulation, intestinal health modulation and lipid-lowering as well as cardiovascular protection, generalizes the instability mechanisms and stability regulation strategies of beverage systems, analyzes the product categories, industrial status and market characteristics, discusses the technical bottlenecks, research deficiencies and lagging standards confronting the current industry, and prospects the future development trends toward functionalization, precision, greenization and intellectualization. Studies indicate that a relatively complete technical system has been formed for plant-based cereal beverages, yet obvious shortcomings still exist in the elucidation of stability mechanisms, precise flavor regulation, verification of functional mechanisms, efficient industrial transformation and construction of standard systems. Future research should strengthen the integration of basic theory and engineering technology, so as to boost the high-quality development of cereal beverages in the direction of high quality, functionality and standardization.

Keywords

Plant-Based Beverages, Cereals, Fermentation, Enzymatic Hydrolysis, Stability, Functional Properties, Industrialization, Standard System

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

谷物作为人类膳食结构中最基础、最稳定的能量与营养来源，不仅提供淀粉、蛋白质、膳食纤维、B族维生素与矿物质等宏量与微量营养素，还富含多酚、黄酮、花青素、 β -葡聚糖、 γ -氨基丁酸(GABA)、植物甾醇、烷基间苯二酚等生物活性物质，具有抗氧化、抗炎、调节血糖、降低血脂、改善肠道菌群、增强饱腹感、保护心血管等多种健康功能[1] [2]。我国是世界第一大谷物生产与主要消费国，小米、燕麦、黑米、藜麦、荞麦、青稞、薏米等特色杂粮资源丰富、分布广泛、营养优势突出，但长期以来以初级加工、主食化消费为主，精深加工比例不足 30%，产品附加值偏低、同质化严重、高值化利用程度不高，制约粮食产业提质增效与乡村振兴战略落地。

植物基谷物饮料以全谷物、杂粮或其组分为原料，经浸泡、发芽、烘烤、磨浆、酶解、发酵、均质、

杀菌、稳定调控等现代食品加工工艺制成,兼具谷物全营养与饮品便捷性,能够满足消费者对天然、健康、低糖、高纤、零添加、清洁标签、可持续的消费需求,同时可满足乳糖不耐受、牛奶蛋白过敏、素食主义、控糖减脂、特殊生理阶段等人群的差异化饮食需求[3][4]。近年来,全球植物基饮料市场年均增速超过 15%,其中谷物基饮料占比达到 45%~50%,成为仅次于大豆基的第二大品类;中国市场增速更快,2025 年行业规模突破 450 亿元,预计 2026 年将超过 550 亿元,呈现高速扩容态势。

尽管行业发展迅速,植物基谷物饮料在基础研究、工业化生产与市场化应用中仍面临一系列共性技术瓶颈与科学问题。谷物多组分体系在加工与贮藏过程中易发生淀粉老化、蛋白质变性聚集、膳食纤维沉降及脂肪上浮等现象,进而引发分层、沉淀、析水与凝胶化等失稳问题,显著影响产品货架期稳定性与商品品质[5][6]。全谷物原料带来的高膳食纤维含量易造成口感粗糙,部分特色原料固有的苦涩味与生腥味难以通过常规工艺彻底消除,整体风味协调性不足,消费接受度提升受限[7][8]。热加工与长期贮藏过程易造成多酚、花青素、 γ -氨基丁酸等热敏性功能成分降解,功能组分保留率偏低[9][10],且相关功效验证与作用机制研究尚不充分。现有产品在配方、工艺与市场定位上趋同现象突出,高端化、差异化与精准化供给能力不足,创新驱动的产品迭代相对滞后[4]。行业标准体系建设相对滞后,现有标准对新型产品类型、关键品质指标与功能成分的界定与规范尚不健全,无法有效支撑产业规范化、高质量发展的现实需求。

基于上述背景,本文围绕谷物原料特性与适应性、关键加工技术、功能活性与作用机制、体系稳定调控理论、产品开发、产业发展现状与关键瓶颈及标准体系等内容展开全面综述,旨在厘清该领域的研究进展与学科前沿,剖析现存关键科学问题与技术短板,并对未来发展方向进行展望,以期为谷物资源深度利用、植物基饮品创新开发、功能食品理论完善及产业高质量发展提供参考与理论支撑。

2. 植物基谷物饮料原料分类与特性

2.1. 单一谷物原料

2.1.1. 燕麦

燕麦是全球范围内研究较为深入、产业化成熟、市场接受度高的谷物饮料原料,其核心竞争力体现在 β -葡聚糖带来的营养功能与体系稳定双重价值,同时具备良好的加工适性。燕麦因蛋白质品质优良、不饱和脂肪酸含量高、膳食纤维丰富,尤其是 β -葡聚糖含量可达 3%~7%,成为植物基代乳饮料的首选原料[11][12]。 β -葡聚糖作为一种水溶性膳食纤维,不仅被美国 FDA 认证具有降低胆固醇、减少心血管疾病风险的功能,还能够在饮料体系中形成弱凝胶结构,起到天然增稠、稳定悬浮、抑制分层的作用,在 8%(w/w)添加量下即可实现常温储藏 1 个月无明显分层[11]。魏齐敏[11]采用发芽联合高能流体磨工艺制备全组分燕麦乳,在不经过滤除渣的前提下,将颗粒粒径降至 77.00 μm ,实现膳食纤维全保留、体系稳定性显著提升,为零添加全谷物饮料提供了技术路径。然而,燕麦也存在明显短板:燕麦蛋白质热稳定性差,在 UHT 杀菌条件下易变性聚集;淀粉易老化回生,导致货架期内黏度上升、口感变稠、沉淀增多[10][13]。这意味着单纯依靠物理加工难以彻底解决稳定性问题。

2.1.2. 小米

小米作为我国传统特色杂粮,凭借易消化、低致敏、抗氧化活性高、发酵适配性好等特点,成为适合儿童、老年及肠胃敏感人群的优质谷物基底,研究重点集中于生物转化提质增效。小米蛋白质、多酚、类黄酮与矿物质含量显著高于精制大米,氨基酸组成相对均衡,且不含麸质、致敏性低、肠胃负担小,是典型温和型谷物原料[14][15]。为进一步提升品质,研究采用挤压膨化与益生菌发酵联用技术:膨化处理可破坏淀粉结晶结构,提升持水性与持油性,为益生菌提供更易利用的碳源与氮源;发酵后总游离氨基酸含量提升 12.1%,必需氨基酸占比达到 33.5%,同时挥发性风味物质种类大幅增加,异味降低、香气提

升[16]。李若琳[14]通过蛋白酶解技术将小米蛋白水解度提升至 23.56%，获得高抗氧化活性体系，DPPH 自由基清除率达到 71.11%。但小米脂肪含量低、天然乳化能力弱，单独制浆时颗粒易沉降、体系难以稳定。

2.1.3. 黑米

黑米以高花青素、高多酚、强抗氧化为核心优势，是开发高端功能性饮料的理想原料，但其高淀粉、高纤维与苦涩味构成了加工应用的主要障碍。黑米富含花青素、酚类与黄酮类物质，抗氧化、抗炎及辅助调节血糖能力突出，然而其淀粉与膳食纤维含量高、结构致密，直接制浆会导致严重分层、析水与粗糙口感，同时花青素等物质在热加工中易降解[7][9]。张骧虹[7]采用挤压膨化预处理、米曲霉固态预发酵与乳酸菌液态发酵耦合的分段式生物转化技术，对黑米饮料的制备工艺进行优化。其中，米曲霉在发酵过程中可分泌淀粉酶、蛋白酶及纤维素酶等水解酶系，对体系中的淀粉、蛋白质及膳食纤维等大分子组分实现定向降解；试验结果表明，经该工艺处理后，体系中可溶性糖质量分数提升 121.34%，总酚含量提升 27.81%，产品苦涩味显著降低。在此基础上，后续乳酸菌发酵可进一步调节体系 pH，改善风味品质并增强产品稳定性。王宁雅等[9]发现，全谷物体系中的蛋白质与膳食纤维可通过氢键与疏水作用对花色苷形成包裹保护，延缓热降解与氧化损失，为功能成分保留提供了理论依据。但目前研究多集中于工艺优化，对花青素降解通路、稳定机制及体内代谢研究较少，功能宣称仍缺乏系统证据。

2.1.4. 藜麦

藜麦作为无麸质全营养假谷物，在高端植物基饮料中具有不可替代的定位，其研究焦点在于解决溶解性差、风味苦涩与成本偏高问题。藜麦蛋白质含量达 13%~18%，含全部 9 种必需氨基酸，矿物质与维生素均衡，且不含麸质，适配乳糜泻、素食、健身及特殊医疗人群[8][17]。范金旭[8]证实，发芽与酶促挤压处理可提高淀粉糊化度、增加总酚保留率、改善蛋白溶解性，使发酵饮料感官品质显著优于传统工艺。藜麦与红豆复配可实现低糖、高蛋白、高纤维的营养结构，满足现代健康消费趋势[18]。但藜麦存在两大天然缺陷：一是皂苷残留带来苦涩味与麻感；二是球蛋白占比高、水溶性差，单独制浆口感偏涩、稳定性差。因此，藜麦很少单独使用，多与燕麦、大米等温和原料复配。

2.1.5. 荞麦

荞麦是典型药食同源谷物，苦荞因黄酮(芦丁)含量极高，在降糖、降脂、抗氧化功能饮料开发中占据独特地位，脱苦与风味优化是其产业化关键。荞麦分为甜荞与苦荞，苦荞总黄酮、总酚酸含量远高于普通谷物，对 α -葡萄糖苷酶具有抑制作用，适合辅助降糖、降脂功能产品[19]。但苦荞天然带有明显苦涩味与青草味，直接制浆难以被消费者接受。研究表明，烘烤、发酵与酶解联用可有效脱苦：美拉德反应掩盖异味，微生物代谢降解酚类前驱物质，酶解改善口感细腻度。郑学斌等[20]将荞麦与薏米、百香果复配，利用果香与谷物香协同，显著提升接受度。然而，荞麦淀粉易老化、蛋白乳化性弱，单独制浆稳定性差，且功能成分溶出率低，需通过生物转化强化功能表达。

2.1.6. 青稞

青稞作为青藏高原特色谷物，凭借高 β -葡聚糖、高膳食纤维、高 GABA、高抗氧化活性，成为区域性特色饮料开发的重要原料。青稞 β -葡聚糖、膳食纤维与 GABA 含量显著高于普通谷物，具备高纤、低糖、抗氧化、抗疲劳等优势，适合开发高原特色功能饮品[21]。传统工艺因过滤去渣导致营养大量流失，张天宇[22]采用高压射流磨超微粉碎技术，将青稞粒径由 56.5 μm 降至 24.1 μm ，实现全谷物无渣化，可溶性固形物与稳定性同步提升，为高原杂粮高值化提供了可行路径。青稞与西藏凹乳芹等药食同源植物复配发酵，可进一步叠加抗氧化与抗疲劳功能，形成地域特色产品矩阵[23]。但青稞纤维粗、口感硬、风味偏淡，须经过深度改性才能提升适口性。

2.2. 复合谷物原料

复合谷物配方主要通过营养互补、风味协同、稳定增强、功能叠加等方法,解决单一原料营养单一、风味平淡、稳定性差等固有缺陷,是当前创新研究与产业开发的主流方向。燕麦与鹰嘴豆复配可实现氨基酸互补,显著提升蛋白质营养价值与消化吸收率[24];紫米与黑米按 1:4 复配制备的无蔗糖麦冬米乳饮料, α -葡萄糖苷酶抑制率达到 36.96%,具备明确辅助降糖潜力[25];玉米与薏米、百香果等复配可掩盖异味、增加香气层次[26];谷物与坚果复配可利用脂肪与蛋白协同乳化,改善体系稳定性[12][27]。田红涛等[28]将薏米、大豆、燕麦、小米按 2:3:2:3 复配,采用酵母与乳酸菌联合发酵,获得口感细腻、香气浓郁、体系稳定的五谷饮料。尽管复配优势显著,现有研究仍以经验配方、感官优化为主,缺乏基于营养组学、风味组学与胶体界面科学的理性设计模型,对营养协同吸收、功能互作机制、长期稳定预测等基础问题研究不足。

3. 植物基谷物饮料加工工艺

3.1. 原料预处理

预处理是决定后续加工效率、营养保留、风味形成与体系稳定的基础环节,其本质是通过物理或生物手段改变谷物结构、激活内源酶、钝化不良酶系、脱除抗营养因子。浸泡是最基础的预处理手段,能够软化籽粒、破坏种皮、提升磨浆效率,同时激活内源酶、溶出植酸等抗营养因子。藜麦在料液比 1:20、浸泡 116 min 时蛋白质提取率达到最高[5];小米浸泡 24 h 可显著提升后续发酵效率与感官品质[29]。发芽是一种温和高效的生物活化技术,在适宜温湿度下,谷物内源酶系统被激活,淀粉、蛋白质降解为小分子, GABA、多酚、黄酮等功能成分大量富集,抗氧化能力成倍提升[30][31]。热处理包括蒸制、烘烤、微波与挤压膨化:蒸制可提高淀粉糊化度、提升稳定性;烘烤促进美拉德反应、产生焦香风味、钝化脂肪氧化酶、减少氧化异味;挤压膨化具有高温、高压、短时特点,使淀粉彻底糊化、纤维结构疏松,发酵适应性大幅提升[7][32]。超微粉碎、高压射流磨与高能流体磨能够将颗粒降至微米级,提高溶解性、均匀性与稳定性,是全谷物无渣饮料的核心技术[11][22]。但目前预处理多为单一步骤,多种技术联用的协同机制、参数最优组合及对品质影响规律仍不明确,限制了提质效果。

3.2. 酶解

酶解是利用生物催化剂定向降解大分子物质的绿色高效技术,是解决谷物饮料口感粗糙、黏度失调、溶解性差、消化率低的重要手段。淀粉酶解以中温 α -淀粉酶、糖化酶为主,可降低体系黏度、增加可溶性糖、提升稳定性。燕麦在料液比 1:9、中温 α -淀粉酶添加量 0.8 $\mu\text{L/g}$ 、酶解 30 min 条件下, DE 值达到 42.9%,黏度适中、口感顺滑[33]。蛋白酶解采用碱性蛋白酶、复合蛋白酶等水解谷物蛋白,提升溶解度、释放抗氧化肽与鲜味氨基酸。小米蛋白经碱性蛋白酶水解后, DPPH 自由基清除率达 71.11%[14];藜麦蛋白溶解度由 66.16%提升至 90.71%,抗氧化肽得率大幅提高[34]。复合酶解实现多酶协同,同步降解淀粉、蛋白与纤维,全面提升品质。青稞经淀粉酶、麦芽糖淀粉酶与蛋白-谷氨酰胺酶处理后,蛋白溶解度高达 99.62%,粒径降低 4.6 倍[21]。但酶解存在成本偏高、条件严苛、过度酶解导致风味变淡、体系过稀等问题,工业化应用需精准控制水解度。酶解技术成熟、效果显著,但适度酶解窗口与风味平衡仍是难点,未来应向定向酶解、高效复配酶与低成本生物酶方向发展。

3.3. 发酵

微生物发酵是提升谷物饮料风味、功能、稳定性与附加值的最有效途径,通过产酸、产香、产酶、富集活性物质实现品质跨越式提升。乳酸菌是最主流发酵菌种,包括植物乳杆菌、鼠李糖乳杆菌、副干酪

乳酪杆菌等,可降低 pH 至 4.0~4.8,避开蛋白质等电点,减少沉淀产生;同时提升多酚含量、增强抗氧化、抑制杂菌、赋予肠道益生功能[35][36]。酵母菌与乳酸菌联用可实现风味协同:酵母产香增醇,乳酸菌产酸提质,香气层次更丰富、口感更协调[28][37]。复合菌种发酵效果优于单一菌种,酵母菌与乳酸菌按 2:5 复配发酵五谷饮料,氨基酸态氮与感官评分显著提升[28]。非靶向代谢组学证实,发酵可使 1-羟基-2-萘甲酸、二氢白藜芦醇等小分子活性物质含量提升数百倍,功能表达显著增强[29]。但发酵周期长、条件敏感、活菌常温稳定性差,导致产品高度依赖冷链,限制市场覆盖面。发酵是功能饮料的核心技术,但冷链依赖与风味标准化是产业瓶颈,需开发耐温菌株、缓释保护与精准控醇技术。

3.4. 均质与杀菌

均质与杀菌工序是调控谷物饮料体系微观结构、贮藏稳定性、微生物安全性及营养成分保留率的关键单元操作。均质过程主要借助机械剪切、高速撞击及空化效应实现颗粒破碎与粒径降低,进而提升体系均匀性与悬浮稳定性。工业化生产中应用最为广泛的高压均质技术已被证实具有显著稳定效果,例如燕麦饮料在 60 MPa、60℃ 条件下均质 1 次,稳定性最优[13];藜麦饮料在 25 MPa、50℃ 条件下均质 2 次,离心沉淀率最低[5]。以高压射流磨与高能流体磨为代表的高能均质技术在 120 MPa 条件下可显著改善体系分散性,在减少或不使用稳定剂的前提下仍能维持良好稳定性,符合清洁标签产品的开发趋势[11][22]。杀菌工艺的选择需要在产品安全性、营养保留率与体系稳定性之间进行综合权衡。巴氏杀菌条件温和,对营养物质与活菌破坏程度较低,适用于发酵型谷物饮料,经 95℃、15 min 处理的藜麦饮料在 4℃ 条件下贮藏可达 189 d [5]。超高温瞬时杀菌虽能实现彻底灭菌并延长货架期,但易引发燕麦蛋白变性 with 淀粉回生老化,造成体系稳定性下降[10]。以高静压与脉冲电场为代表的非热杀菌技术可最大程度保留热敏性功能成分,但受限于设备投资与运行成本,尚未实现规模化普及。总体而言,谷物饮料的均质技术正朝着高能化与微细化方向发展,杀菌技术则呈现温和化与组合化趋势,适度热加工与非热技术协同应用将成为未来主流技术路线。

3.5. 稳定性调控

体系稳定性不足是制约谷物饮料产业化发展的重要瓶颈,其原因在于体系内部淀粉老化、蛋白质变性聚集、固体颗粒沉降及脂肪上浮等多重失稳机制共同作用。植物基谷物饮料属于多相复杂胶体分散体系,失稳过程可通过 DLVO 胶体相互作用、界面吸附行为、高分子相分离及 Stokes 沉降动力学进行微观解释[38]。其中,蛋白质作为双亲大分子易在界面发生不可逆吸附,热加工促使疏水位点暴露而引发聚集;淀粉糊化后发生回生并伴随凝胶脱水收缩析水;膳食纤维颗粒沉降速率与粒径平方成正比,大颗粒更易分层。

针对上述失稳机制,目前的调控手段主要包括化学稳定、物理改性与体系环境调控。在化学稳定方面,稳定剂复配是最常用化学稳定手段,黄原胶、卡拉胶、海藻酸钠及羧甲基纤维素钠等稳定剂通过协同构建空间位阻与黏度屏障,可有效抑制相分离,显著提升体系稳定性[25][39]。燕麦来源的 β -葡聚糖作为天然高分子多糖,可形成弱凝胶三维网络赋予体系剪切变稀流变特性,亦具备良好的稳定效果,符合清洁标签与绿色化加工趋势[40]。除化学添加剂外,物理与工艺调控也是重要途径。物理稳定依靠超微粉碎、发芽等降低颗粒粒径、改善颗粒表面特性与分散状态,减少对化学稳定剂依赖[11][22]。体系调控通过调节 pH、控制总固形物含量及添加低糖多元醇等方式,避开蛋白质等电点、增强静电排斥,可在维持产品健康属性的同时改善流变特性与悬浮稳定性[16][25]。

尽管现有手段已能缓解部分失稳问题,但多依赖经验摸索,缺乏基于胶体化学、界面科学与流变学的理论模型,难以实现精准稳定设计。因此,深入揭示谷物多相体系的失稳机制、构建理论驱动的精准

稳定调控方法，推动天然稳定、零添加稳定与智能稳定技术的创新突破，将成为未来谷物饮料品质提升的重要方向。

植物基谷物饮料体系稳定调控路径如图 1 所示。

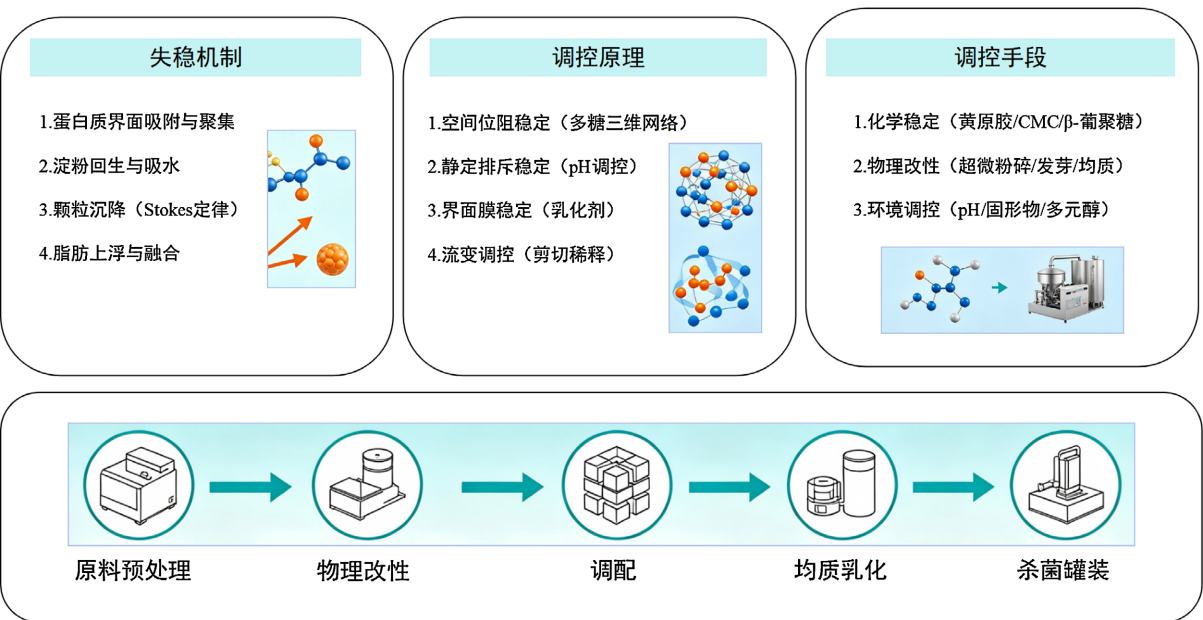


Figure 1. Stable regulation path of plant-based cereal beverage system

图 1. 植物基谷物饮料体系稳定调控路径

4. 植物基谷物饮料功能特性研究

4.1. 抗氧化

抗氧化是谷物饮料最普遍、证据最充分的健康功能，主要源于多酚、黄酮、花青素、GABA、维生素 E 等活性成分的协同作用。这类活性物质可作为氢原子供体与电子供体直接清除活性氧自由基，有效阻断脂质过氧化链式反应，从而发挥抗氧化作用；多酚类物质进入体内后，还可经肠道菌群代谢为酚酸、马尿酸等小分子产物进入循环系统，发挥全身效应。发芽与发酵是提升抗氧化能力的两大核心技术：粟米发芽 48 h 后总酚提升 108%、总黄酮提升 157%，自由基清除能力显著增强[30]；乳酸菌发酵米乳使总酚含量与抗氧化活性同步提升，DPPH 自由基清除率提高 3.55% [41]。黑米、藜麦、发芽谷物本身抗氧化能力突出，复合产品如麦冬米乳、燕麦坚果饮料抗氧化活性显著优于市售普通饮品[12] [25]。但绝大多数研究仅停留在体外化学检测层面，缺乏人体代谢、生物利用率、靶标作用机制与剂量效应关系数据，难以支撑合规健康宣称。

4.2. 调节血糖

谷物饮料因富含全谷物、膳食纤维、抗性淀粉与功能因子，在延缓糖分吸收、平稳餐后血糖、改善胰岛素抵抗方面具有天然优势。 β -葡聚糖、抗性淀粉、皂苷、D-手性肌醇与黄酮类物质可通过抑制 α -葡萄糖苷酶、延缓淀粉消化、促进胰岛素敏感性等途径实现降糖效果[19] [27]。麦冬米乳饮料 α -葡萄糖苷酶抑制率达 36.96%，具备明确辅助降糖潜力[25]；发酵可降解大分子淀粉为小分子糖，降低升糖指数(GI)，减少血糖波动[7]。藜麦、苦荞、黑麦均为低 GI 原料，适合糖耐量异常与糖尿病高危人群[8] [17] [42]。但

临床干预研究少、评价方法不统一、有效剂量不明确，限制功能宣称落地。

4.3. 调节肠道菌群

谷物饮料可作为兼具益生菌活性与益生元功能的双效载体，通过活性菌株与可溶性膳食纤维的协同作用实现肠道微生态的有效调节。发酵饮料中的乳酸菌耐胃肠液、可定植肠道，抑制致病菌、提升免疫力[35] [43]；谷物膳食纤维与低聚糖作为益生元，促进 *Akkermansia*、双歧杆菌与乳酸菌增殖，提升短链脂肪酸水平，维护肠屏障[44]。此外，苦荞来源的功能组分可进一步提高肠道菌群多样性，促进肠道稳态维持[45]。但现有技术条件下，益生菌在热加工、贮藏及胃肠道环境中存活率偏低，定植效能与作用稳定性仍有待提升，常温产品中活菌数长效保持仍是制约产业发展的关键瓶颈。

4.4. 降血脂与保护心血管

谷物饮料对心血管的保护作用主要来自 β -葡聚糖、谷物多酚、不饱和脂肪酸与植物甾醇的协同降脂效果。燕麦 β -葡聚糖被多国权威机构认证可降低总胆固醇与低密度脂蛋白胆固醇，每日摄入 3 g 以上可显著减少心血管疾病风险[10] [27]。发酵进一步提升降脂效果，小米发酵饮料可降低高脂模型动物血清总胆固醇与甘油三酯[44]；抗肥胖乳酸菌发酵燕麦能抑制胆固醇吸收与脂肪堆积[46]。但功效研究多依赖动物模型，高质量人体干预试验仍然偏少。

4.5. 营养补充

植物基谷物饮料可作为优质蛋白质、膳食纤维、维生素与矿物质的膳食补充载体，适配全人群，尤其满足特殊人群营养需求。其营养供给效率取决于蛋白质消化率、氨基酸平衡、矿物质溶解性与生物利用率。藜麦、燕麦、小米蛋白氨基酸相对均衡，复配后营养价值大幅提升[24] [47]；全谷物饮料可显著弥补我国居民膳食纤维摄入不足的现状[48]；无乳糖、无牛奶蛋白、无麸质特点使其满足乳糖不耐受、素食、乳糜泻人群需求。但植物蛋白含量与消化率仍低于乳制品，是与动物基饮料竞争的主要短板。

综上，植物基谷物饮料含多酚、黄酮、 β -葡聚糖、活性肽等关键功能因子，摄入人体后均会历经胃肠道消化分解、肠道吸收、体内转运、靶组织特异性作用及最终代谢排出的生理过程，通过多通路协同发挥健康功效，其体内代谢途径见图 2。

植物基谷物饮料主要功能特性与对应活性物质如表 1 所示。

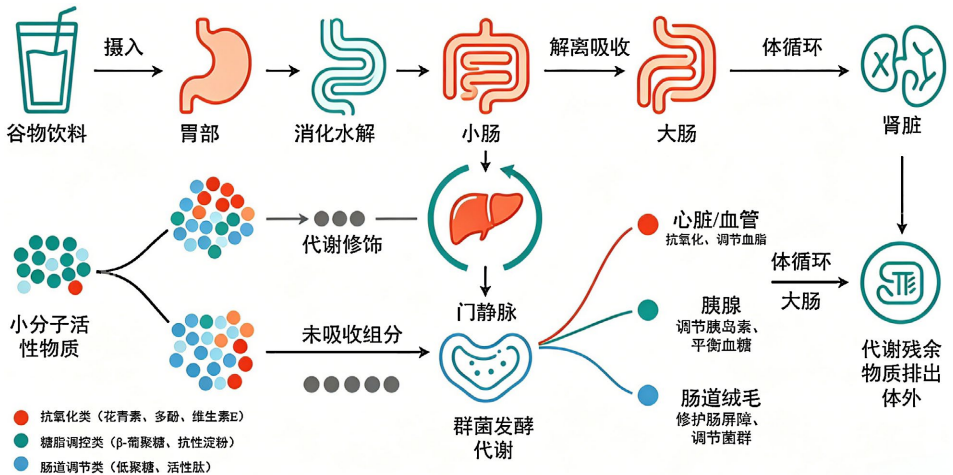


Figure 2. *In Vivo* metabolism of key functional factors of cereal beverage
图 2. 谷物饮料关键功能因子体内代谢

Table 1. Functional characteristics and active substances of plant-based cereal drinks
表 1. 植物基谷物饮料功能特性与活性物质

活性物质	分子机制	生理功能	相关谷物源
多酚、黄酮、花青素	清除自由基、抑制氧化应激、保护生物膜	抗氧化、抗炎	黑米、藜麦、发芽粟米
β -葡聚糖、抗性淀粉	抑制 α -葡萄糖苷酶、延缓碳水消化、提升胰岛素敏感性	调节血糖、平稳餐后血糖	燕麦、黑麦、青稞
益生菌、可溶性膳食纤维	调节肠道菌群结构、促进短链脂肪酸生成、修复肠屏障	调节肠道、提升免疫力	发酵谷物、全谷物
β -葡聚糖、谷物活性肽	抑制胆固醇吸收、降低低密度脂蛋白、保护血管内皮	降血脂、护心血管	燕麦、小米、荞麦
谷物多肽、必需氨基酸	补充植物蛋白、提升消化吸收率、促进机体代谢	营养补充、低致敏	藜麦、燕麦、小米

5. 不同类型植物基谷物饮料研究进展

5.1. 非发酵型谷物饮料

非发酵型谷物饮料以工艺简单、口感清爽、成本较低、风味自然为优势，是面向大众消费市场的主流产品类型。以燕麦乳、大米乳、玉米汁、藜麦饮料为代表，经磨浆、酶解、均质、杀菌制成，口感温和、接受度高、适于大规模生产。但非发酵型饮料 pH 接近蛋白等电点，稳定性高度依赖稳定剂，功能较弱、风味偏淡，长期存放易老化分层。随着清洁标签趋势兴起，高能均质、全谷物、天然稳定技术正在推动其向“零添加、高纤、顺滑”方向升级。

5.2. 发酵型谷物饮料

发酵型谷物饮料是功能与风味双优的高端方向，兼具营养强化、功能提升、风味改善与体系稳定等优势。乳酸菌发酵可提升抗氧化、改善风味、延长货架期[41] [49]；复合菌种发酵实现香气与口感协同，消费者接受度更高；新疆波杂、满族酸茶等传统发酵饮料微生物多样性丰富、益生特性突出，具有文化与功能双重价值[50] [51]。但发酵风味控制难度大、冷链依赖、成本偏高，制约大众化推广。

5.3. 谷物浓浆型饮料

浓浆型谷物饮料具有固形物含量高、膳食纤维丰富、饱腹感强等特点，可作为代餐、早餐及体重管理场景的重要饮品，近年来市场需求持续上升。此类产品营养密度高，能够有效增强饱腹感并替代部分正餐摄入，同时有助于降低餐后血糖应答，对减少慢性代谢性疾病风险具有积极作用[52]。但由于体系内固形物浓度较高，产品在加工及贮藏过程中易出现凝胶化、团聚、析水及黏度波动等现象，加之口感较为厚重，其稳定性调控难度显著高于常规低黏度谷物饮料。酶解控黏、高能均质、稳定剂精准复配是主要解决方案。

5.4. 谷物固体饮料

谷物固体饮料以便携、耐储、营养保留好为优势，适合差旅、办公、户外等场景化细分市场。喷雾干燥成本低、效率高，为工业化主流；冷冻干燥营养保留最好、品质最优，适用于高端产品。冲调速溶性、水分分散性及复溶稳定性是评价谷物固体饮料品质的核心指标，受粉体粒径、辅料载体种类与稳定剂配伍效果的综合影响显著。当前谷物固体饮料正向高蛋白、高膳食纤维、益生菌强化、低糖化以及药食同

源原料复配的方向迭代升级[7] [53]。

5.5. 功能性复合谷物饮料

功能复合化已成为谷物饮料实现产品差异化定位、品质高端化升级及营养精准化供给的重要发展路径。通过谷物基质与多种功能性组分进行复配配伍，可针对性适配不同人群的生理特征与健康诉求。现有研究多围绕血糖调控、抗氧化、肠道益生、儿童营养补给、老年慢病调理及运动机能舒缓等功能方向开展产品开发，常将药食同源原料、果蔬组分、食用菌多糖、生物活性肽及维生素矿物质等辅料与谷物基底进行融合，依托多组分协同作用实现健康功效的叠加增益。现阶段多数复配研发仍依赖经验式配比与简单原料混合模式，对组分间互作机制、最优配伍比例及体内外功能效应验证研究较为薄弱，易出现组分叠加但功效未同步提升的现象。未来功能复合产品的开发，亟需由传统经验筛选转向理论指导下的理性配方设计，深入解析多组分协同作用机理，并完善功效评价与临床验证体系，充分释放复合配方的营养与功能价值。

主要植物基谷物饮料工艺参数优化结果如表 2 所示。

6. 植物基谷物饮料产业化现状与问题

6.1. 产业化现状

我国植物基谷物饮料已形成规模化龙头、区域特色企业、小型创新品牌三级产业格局，市场高速增长，技术转化加快。规模化企业实现万吨级自动化生产线，如胚芽米乳、五谷发酵饮品等完成产学研转化与示范线建设；区域企业依托青稞、小米、荞麦等特色资源，打造地域差异化产品[21] [50]；高压微磨、全组分、益生菌发酵等先进技术逐步落地。低糖、无添加、益生菌、代餐成为四大增长引擎，消费者接受度持续提升。产业初具规模、增长强劲，但正处于从规模扩张向质量提升转型的关键阶段。

6.2. 存在的问题

我国植物基谷物饮料产业在快速扩张的同时，仍受到多重关键因素的制约，整体发展仍处于从规模增长向质量提升转型的过渡阶段。谷物饮料因淀粉易老化、蛋白质易变性沉降，加之膳食纤维与脂肪在体系中的分布不均，极易在贮藏与流通环节出现分层、沉淀及析水等现象，难以实现长期稳定的品质保持。全谷物原料在提升营养完整性的同时，也带来口感粗糙等问题，加之黑米、荞麦、藜麦等特色原料本身带有不良风味，仅依靠常规加工手段难以实现风味的有效改善，进而影响产品的市场接受程度。热加工环节对多酚、花青素、 γ -氨基丁酸等热敏性物质破坏显著，造成功能成分损失明显，功能表达不足。产品结构方面，原料选择与开发方向高度集中，同质化竞争突出，能够满足细分人群与特定健康需求的创新产品供给明显不足。现行行业标准发布时间较早、指标设置相对滞后，难以覆盖全谷物、益生菌、功能组分等新型产品的评价与监管需求，标准体系的不完善进一步加剧了市场不规范现象。

6.3. 标准体系进展

我国谷物饮料相关标准体系建设相对滞后，已成为制约行业规范化、高质量发展的重要因素。现有行业标准适用范围有限、技术指标更新不及时，难以适应发酵型、浓浆型、益生菌型、全谷物型等新产品的的评价与管理需求。相较于国际上对植物基饮品命名、原料要求、营养标识及功能宣称的成熟管理模式，我国相关标准规制仍存在一定差距。近年来，相关标准化工作已逐步推进，《燕麦乳》等团体标准率先对原料配比、理化指标等进行了明确与规范，为行业分类管理提供了参考[54]。当前，国家层面正积极开展植物基饮料及谷物饮料相关标准的研制与修订工作，未来将进一步完善产品分类、原料要求、

Table 2. Optimization results of technological parameters of plant-based cereal beverage
表 2. 植物基谷物饮料工艺参数优化结果

饮料类型	主要原料	最优配比	酶/菌种添加量	处理条件	稳定剂	稳定性	参考文献
藜麦饮料	藜麦	1:20	α -淀粉酶添加量 100U/g, 糖化酶添加量 120U/g	α -淀粉酶 50°C 酶解 60min; 糖化酶 50°C 酶解 60min	黄原胶 0.0694%, 瓜尔豆胶 0.0858%, 海藻酸钠 0.0618%, 复配乳化剂 0.151%	离心沉淀率最低	[5]
燕麦全组分乳	发芽燕麦	—	—	120MPa 高能流体磨	无添加	粒径 77.00 μ m、稳定性最优	[11]
小米发酵饮料	小米	9.50%	鼠李糖乳杆菌 3.0%	挤压膨化熟化; 37°C 发酵 9.8h; 30MPa 均质 2 次	果胶 + CMC-Na 复配, 0.4mg/mL, pH7	离心沉淀率最低、粒径最小、体系稳定	[16]
富含膳食纤维荞麦饮料	荞麦、聚葡萄糖、椰浆、花生酱	—	—	80°C 烘烤 25min; 胶体磨; 35MPa 均质 2 次; 121°C 灭菌 13min	黄原胶, 瓜尔胶, 海藻酸钠, 蔗糖酯 / 单甘酯 复配, 0.18%	无分层、无沉淀、离心分离率 96.57%	[19]
荞麦复合型谷物饮料	荞麦、薏米、百香果	薏米汁 35%、荞麦汁 15%、百香果汁 10%	α -淀粉酶	酶解	—	质地均匀、黏度适中、无沉淀	[20]
燕麦鹰嘴豆复合饮料	燕麦、鹰嘴豆	1:16(g/mL)	—	正交优化; 胶体磨、均质、灭菌	CMC-Na 0.8g/L, 黄原胶 0.5g/L, 海藻酸钠 0.3g/L	离心沉淀率 12.40%	[24]
麦冬米乳饮料	紫米、黑米、麦冬	1:8	复合稳定剂 0.15%	—	卡拉胶: 黄原胶 =2:3	无分层、无沉淀	[25]
燕麦坚果饮料	燕麦浆、榛子、腰果、巴旦木	燕麦浆 44%, 坚果浆 2%, 紫苏籽油 0.10%, 食用盐 0.10%	—	单因素, 响应面; 50°C、25MPa 均质 2 次; 121°C 灭菌 10min	—	口感爽滑、品质稳定; 4°C 可储存 30 天	[27]
五谷复合饮料	薏米、大豆、燕麦、小米	1:10	复合菌种 1.93%	34°C 发酵 6h	—	pH4.76、总固形物 11.41g/100g	[28]
谷物乳酸菌发酵饮料	小米、糯米、山药、红枣	1:50	副干酪乳杆菌 L1, 干酪乳杆菌 YQ336	35°C 发酵 24h, 初始 pH7.0	海藻酸钠 0.06%, 黄原胶 0.06%, CMC-Na 0.15%	28d 分层率 $\leq$ 5.6%	[29]
益生发酵米汁饮料	大米、小米、玉米	1:8	嗜酸乳杆菌, 植物乳杆菌, 干酪乳杆菌 (1:1:1), 接种量 6.30%	挤压膨化 170°C; 32°C 发酵 15.70h; 均质 30MPa, 8min	黄原胶 0.1%	体系稳定、无明显沉淀, 感官 96 分	[32]
乳酸菌发酵米乳	黑米、红米、糙米	—	直投式乳酸菌	40°C 发酵 20h	黄原胶、HPMC、瓜尔豆胶	发酵后稳定、无明显分层	[40]

全谷物添加量、活菌数、膳食纤维及 β -葡聚糖等功能成分的量化指标, 逐步构建与产业发展相适应的标准体系, 为规范市场秩序、推动行业提质升级提供制度支撑。

7. 植物基谷物饮料发展趋势与展望

未来, 植物基谷物饮料的研发与产业化将呈现功能强化、原料多元、绿色低碳、智能制造及全值利用的发展趋势。依托组学技术与临床评价体系, 谷物饮料的功能靶向性与营养精准化程度将持续提升, 面向特定人群与健康需求的专用化产品开发将成为重要方向。以物理改性、生物转化为核心的绿色加工技术将进一步推广应用, 有利于减少食品添加剂使用, 推动清洁标签产品与天然稳态化技术创新。特色杂粮、药食同源资源的深度挖掘将推动原料结构与产品类型向多样化、差异化升级, 进一步提升产品辨识度与市场竞争力。智能制造、在线监测与大数据优化将逐步融入加工全过程, 实现工艺精准调控与品质稳定可控, 提升产业现代化水平。谷物加工副产物与功能成分的高效回收利用将得到更多关注, 推动全谷物资源高值化与全产业链增值, 提升产业可持续发展能力。整体而言, 行业将向更高效、更健康、更可持续的方向高质量发展。

8. 结论

植物基谷物饮料依托谷物资源优势与现代食品加工技术, 已逐步形成涵盖原料筛选、工艺创新、功能挖掘、产品开发及产业化应用的技术体系与研究框架。发芽活化、酶解、微生物发酵、超微粉碎、高能均质及体系稳定调控等关键技术的集成应用, 显著提升了产品的营养品质、感官特性与贮藏稳定性, 推动谷物饮料向复合化、功能化、清洁标签与全谷物化方向持续创新。其在抗氧化、调节血糖、调节肠道菌群、降血脂及膳食营养补充等方面的健康效应已得到大量研究证实, 市场潜力与发展空间广阔。与此同时, 行业发展仍面临诸多关键制约, 谷物多组分体系易失稳导致货架期品质难以保障, 全谷物口感与风味缺陷影响消费接受度, 热敏性功能成分在加工与贮藏过程中损失明显, 产品同质化竞争较为突出, 配套标准体系建设相对滞后, 上述问题共同制约产业向高端化、规范化、高质量发展。未来应不断强化功能机理研究、精准营养设计、绿色稳态化加工及智能化制造水平, 推动谷物饮料产业向功能精准化、原料多元化、加工绿色化、制造智能化与资源高值化方向跨越升级。我国具备谷物资源丰富、消费市场广阔、饮食文化底蕴深厚等多重优势, 植物基谷物饮料产业有望成为推动粮食资源高值利用、助力健康中国战略与食品工业高质量发展的重要增长点。

参考文献

- [1] 路帅帅, 张译匀, 张宇鑫, 等. 谷物性植物饮料的研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2024, 31(3): 43-45.
- [2] 张瑞, 刘敬科, 常世敏, 等. 谷物饮料的研究进展[J]. 食品科技, 2023, 48(8): 152-158.
- [3] 王涵, 陶然, 路帅帅, 等. 谷物资源在植物基食品中的研究进展[J]. 粮食问题研究, 2024(3): 29-33.
- [4] 刘婷玉, 周素梅, 刘丽娅, 等. 植物基谷物饮料研究及产业开发进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(10): 18-22.
- [5] 朱新越. 藜麦饮料的研制及营养评价[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2023.
- [6] 刘贤雍, 张玥, 付成丽, 等. 谷物浓浆稳定性影响因素研究进展[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(5): 7-11.
- [7] 张骧虹. 发酵型黑米乳及其固体饮料的开发及性质表征[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2025.
- [8] 范金旭. 酶促挤压改善藜麦性质研究及其谷物饮料开发[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2023.
- [9] 王宁雅, 马勤, 张瑞芬, 等. 不同食品大分子对黑米饮料花色苷加工和储藏稳定性的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(4): 136-145.
- [10] 刘婷玉. 燕麦原料和热处理对高蛋白燕麦乳稳定性的影响[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- [11] 魏齐敏. 发芽联合高能流体磨系统制备全组分燕麦乳及其品质研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2025.

- [12] 严莎莎, 王少君, 马挺军. 燕麦谷物饮料的研究进展[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(12): 92-96.
- [13] 张友慧. 燕麦饮料的研制及其稳定性研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2023.
- [14] 李若琳. 小米蛋白酶解饮料品质及产品开发生研究[D]: [硕士学位论文]. 邯郸: 河北工程大学, 2025.
- [15] 张瑞. 小米发酵饮料产品开发及其品质变化研究[D]: [硕士学位论文]. 邯郸: 河北工程大学, 2023.
- [16] 陈睦文. 小米发酵饮料研制及货架期研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西大学, 2025.
- [17] 成翠, 王婷玉, 兰乾敏, 等. 假谷物多肽的制备、分离纯化及应用研究进展[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2025, 44(4): 353-360.
- [18] 董璇, 刘军, 束琦琳, 等. 藜麦红豆全谷物低糖高蛋白饮品研制[J]. 蚌埠学院学报, 2022, 11(2): 13-20.
- [19] 吴纯丽. 富含膳食纤维燕麦谷物饮料的配方与工艺研究[J]. 现代食品, 2021(22): 128-130.
- [20] 郑学斌, 韩凯, 肖瑀, 等. 基于荞麦复合型谷物饮料配方研究[J]. 吉林农业科技学院学报, 2022, 31(1): 1-4.
- [21] 顾英婕. 青稞分级粉的贮藏特性及酶法改性研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2023.
- [22] 张天宇. 高压射流磨对青稞全谷物浓浆稳定性的调控作用研究[D]: [硕士学位论文]. 林芝: 西藏农牧学院, 2023.
- [23] 赵泽素. 西藏凹乳芹多糖的分离纯化、结构表征及其复合发酵饮料研究[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2023.
- [24] 宋昊, 阙斐. 燕麦鹰嘴豆复合饮料配方优化及工艺研究[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(5): 78-85.
- [25] 朱艳华, 闫荣. 麦冬米乳饮料配方优化与稳定性研究[J]. 美食研究, 2021, 38(2): 65-70.
- [26] 林志荣, 朱智强. 玉米薏米复合饮料的制备及其稳定性研究[J]. 中国果菜, 2022, 42(6): 20-25.
- [27] 严莎莎, 王少君, 王苗苗, 等. 燕麦坚果饮料加工工艺研究[J]. 饮料工业, 2022, 25(6): 20-27.
- [28] 田红涛, 陈鹏鹏, 游新侠, 等. 酵母菌和乳酸菌联合发酵五谷复合饮料的研制[J]. 食品与发酵科技, 2026, 62(1): 59-65.
- [29] 赵昕琪. 谷物乳酸菌发酵饮料研制及发酵前后营养成分分析[D]: [硕士学位论文]. 锦州: 锦州医科大学, 2021.
- [30] 单迪. 超声处理对发芽粟米及其酸奶制品生理活性的影响[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2023.
- [31] 宋佳敏. 发芽糙小米发酵饮料工艺优化及抗氧化、挥发性风味物质研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北科技大学, 2022.
- [32] 高祯彦. 益生发酵米汁饮料的研制[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [33] 邓秀杰. 燕麦酶法加工及其应用研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2023.
- [34] 唐子箫. 藜麦多肽和饮料的制备工艺研究及车间设计[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2021.
- [35] 赵志霞, 罗峻渲, 朱涵予, 等. 新疆传统谷物发酵饮料中乳酸菌的分离鉴定及其益生特性分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(3): 112-120.
- [36] 左旭, 吴兴壮. 益生菌发酵谷物饮料研究进展[J]. 农产品加工, 2024(15): 100-104.
- [37] 赵修报, 程立坤, 付强, 等. 乳酸菌和酵母菌混合发酵制备谷物发酵饮料的工艺研究[J]. 中国酿造, 2021, 40(2): 198-202.
- [38] Patra, T., Rinnan, Å. and Olsen, K. (2021) The Physical Stability of Plant-Based Drinks and the Analysis Methods Thereof. *Food Hydrocolloids*, 118, Article 106770. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106770>
- [39] 陈震. 活菌型燕麦基饮料的研制[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2024.
- [40] 朱春燕, 陈湖南, 黄澳, 等. 燕麦 β -葡聚糖添加量对谷物饮料稳定性的影响[J]. 南昌大学学报(理科版), 2024, 48(6): 574-579.
- [41] 高小妹, 隋勇, 祝振洲, 等. 乳酸菌发酵对米乳品质、风味和抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(4): 127-135.
- [42] 邵虎, 梁艺茹, 蔡敬敬, 等. 功能型黑麦饮料的研制[J]. 农产品加工, 2025(19): 31-35.
- [43] 刘亚男, 高雁, 杨奕凡, 等. 新疆不同民族传统谷物发酵饮料中乳酸菌分离鉴定及发酵性能比较[J]. 中国酿造, 2024, 43(10): 109-117.
- [44] 许蓝心. 小米发酵饮料对高脂饮食仓鼠脂质代谢和肠道菌群的影响[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2020.
- [45] 刘钰. 苦荞来源的纳米颗粒对肠道微生物的影响及发酵饮料的研发[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都大学, 2022.

-
- [46] 李可心. 抗肥胖功能乳酸菌的体外筛选及其在燕麦饮料中的应用[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2024.
- [47] 朱曼莉. 一款藜麦蛋白饮料的体外消化及营养功能特性研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西大学, 2023.
- [48] 王悦, 朱媛昱, 隋航烁. 6-14 岁儿童膳食纤维摄入状况调查分析[J]. 中国食物与营养, 2025, 31(8): 97-100.
- [49] 马春敏, 付佳宁, 吴巧艳, 等. 乳酸菌发酵在谷物产品中的应用及研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(22): 29-38.
- [50] 刘亚男, 张龔, 吴江超, 等. 新疆伊犁地区民族传统谷物发酵饮料的微生物多样性及功能预测[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(7): 150-158.
- [51] 臧敏. 满族酸茶优势菌株分离及发酵工艺研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连工业大学, 2022.
- [52] 李琪, 李云龙, 胡俊君, 等. 国内谷物浓浆饮料稳定性研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(21): 299-303.
- [53] 杨庆华. 两种谷物发酵固体饮料的研制及其功能性评价[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2023.
- [54] 中国营养学会. T/CNSS 029-2024 燕麦乳[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.