

# 荞麦品质研究进展与展望

高勇彬<sup>1</sup>, 仓曲珍<sup>1</sup>, 桑旦卓玛<sup>1</sup>, 冯佰利<sup>2</sup>

(1. 西藏自治区墨脱县德兴乡农牧综合服务中心, 西藏 林芝 860700; 2. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 荞麦作为一种传统的粮食和药用作物, 因其独特的营养价值和保健功能而备受关注。针对荞麦品质的主要影响因素, 包括遗传背景、环境条件和加工工艺等, 重点探讨了荞麦营养成分、生物活性物质和品质改良的最新研究进展, 并对荞麦品质研究的发展方向进行了展望。

**关键词:** 荞麦; 品质; 营养成分; 生物活性物质; 研究进展

中图分类号: S517

文献标识码: A

## Research Progress and Prospects on Buckwheat Quality

GAO Yongbin<sup>1</sup>, Cangquzhen<sup>1</sup>, Sangdanzhuoma<sup>1</sup>, Feng Baili<sup>2</sup>

(1. Metok County Dexing Township Agricultural and Animal Husbandry Comprehensive Service Center, Nyingchi Xizang 860700, China; 2. College of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Buckwheat, as a traditional food and medicinal crop, has garnered attention due to its unique nutritional value and health benefits. This paper reviews the main factors affecting buckwheat quality, including genetic background, environmental conditions, and processing techniques. It highlights the latest research advancements in nutritional components, bioactive substances, and quality improvement of buckwheat. Finally, the paper looks ahead to the development directions of buckwheat quality research, aiming to provide references for breeding, cultivation, and industrialization of buckwheat.

**Key words:** Buckwheat; quality; nutritional components; bioactive substances; research progress

荞麦 (*Fagopyrum esculentum* Moench) 作为一种适应性广泛的作物, 因其丰富的营养成分和多种生物活性物质而备受关注。荞麦富含蛋白质、膳食纤维、矿物质和维生素, 尤其是黄酮类、多酚类等具有抗氧化和抗炎活性的功能成分, 使荞麦成为营养、保健和食疗兼备的天然资源<sup>[1]</sup>。然而荞麦的品质特性和营养成分受到遗传背景、环境条件和加工方式等多种因素的影响。研究表明: 不同荞麦品种的营养成分和功能成分存在显著差异, 而气候、土壤、光照等环境因素及加工方式的选择和优化均会影响荞麦中

活性物质的含量和生物利用度<sup>[2]</sup>。

近年来, 随着健康食品需求的不断增长, 国内外学者在荞麦品质改良、营养成分提升和加工工艺创新方面开展了广泛研究。在育种方面, 通过将传统育种方法与现代分子标记辅助育种技术相结合, 可以筛选和培育出高营养价值的优质荞麦品种。此外, 新型加工技术 (如超微粉碎、酶解处理和发酵) 已在荞麦产品开发中广泛应用, 不仅提高了其营养成分的利用率, 更拓宽了其市场需求。在此背景下, 本研究从荞麦品质的主要影响因素出发, 系统总结了荞麦在营养成分、生

收稿日期: 2024-11-03

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFD1202700, 2023YFD1202704); 国家谷子高粱产业技术体系 (CARS-06-A26)。

作者简介: 高勇彬 (1992—), 男, 农艺师, 主要研究方向为杂粮种质资源创新和栽培技术推广, E-mail: gyb9797@163.com。

通信作者: 冯佰利 (1966—), 男, 教授, 主要从事特色杂粮 (谷子、糜子、荞麦等) 种质资源、高产优质高效栽培生态生理、品质特性及遗传育种研究, E-mail: fengbaili@nwfau.edu.cn。

物活性物质、品质改良和加工工艺方面的最新研究进展,并展望了未来研究方向,以期荞麦产业的发展和健康食品的研发提供科学参考。

## 1 荞麦品质的影响因素

### 1.1 遗传背景

荞麦的品质特性在很大程度上受到其遗传背景的影响。不同品种的荞麦在营养成分、生物活性物质和加工特性等方面存在显著差异。Podolska等<sup>[3]</sup>通过对不同类型和不同花色的荞麦进行研究,发现苦荞品种的总酚酸和芸香苷含量普遍高于甜荞,而甜荞种子的蛋白质、铜、锰和锌等元素的含量则明显高于苦荞,这些营养成分的差异反映出品种对生物活性成分的不同积累能力,也凸显了其在保健食品开发中的潜力。此外,在甜荞品种中,不同花色的个体在次级代谢产物积累上也表现出显著差异<sup>[3]</sup>。

Aubert等<sup>[1]</sup>在比利时进行的一项种植不同类型荞麦的田间试验进一步验证了不同荞麦类型在营养成分上的差异。结果显示:甜荞在蛋白质和镁的含量上具有优势,而苦荞在黄酮类物质的积累上更为突出,这表明不同生态型的荞麦在功能性成分的组成上具有显著的独特性。因此,根据具体应用需求选择适宜的品种,可以更有效地满足食品加工和功能性食品开发的不同要求。

基因组学和转录组学的发展进一步推动了荞麦品质的改良。Luthar等<sup>[4]</sup>通过总结转录组学、基因组学等多种方法在荞麦育种中的应用,提出利用基因组编辑和分子标记技术可以有效提高荞麦的营养和药用成分,这些技术手段可以精准锁定与功能成分合成相关的关键基因,从而选育出更优质的荞麦品种。这些研究不仅拓展了对荞麦遗传背景的理解,也为未来培育高营养、高抗性的优质荞麦新品种提供了强有力的技术支持。

### 1.2 环境条件

荞麦的生长环境在很大程度上决定了其品质特性,包括营养成分和生物活性物质的积累,这主要受到土壤类型、气候条件和栽培管理等因素的综合影响。通常适宜的温度和光照条件能够提高荞麦籽粒的充实度和蛋白质含量,而土壤的肥力和水分则对矿物质吸收及生物活性物质的积累起到关键作用。Wisniewska等<sup>[5]</sup>通过连续

3个生长季的试验研究发现,环境条件显著影响荞麦籽粒中蛋白质、淀粉和多酚等营养及生物活性成分的含量;Wang等<sup>[6]</sup>通过对中国西南3个不同产区的6种苦荞进行研究发现,从灌浆期到收获期的最高温度、最低温度、日温差和光照强度等气候条件中,光照强度对黄酮类化合物的积累及相关酶基因的表达具有显著促进作用,从而直接影响荞麦籽粒的品质;Kreft等<sup>[7]</sup>的研究表明,环境中紫外线的增强能够促进荞麦籽粒中芸香苷及其他紫外线吸收次生代谢物的合成,进一步验证了紫外线照射在提升荞麦籽粒特定生物活性物质含量中的重要作用。

栽培管理也是决定荞麦品质的重要因素之一。Fang等<sup>[8]</sup>的研究指出,合理的栽培管理方法(如适度施肥、合理灌溉及防止过度光照等)能够优化荞麦的生长环境,在维持其营养成分的同时提升生物活性物质的稳定性;Gao等<sup>[9]</sup>发现氮肥施用显著提高了普通荞麦籽粒的蛋白质含量,并改善了淀粉的物理化学特性;此外,温度与营养元素的协同应用能够进一步提升荞麦品质特性;还有适宜的温度、水分调控及合理施肥能够显著促进荞麦的光合作用,从而有效提升其产量和品质。

### 1.3 加工工艺

荞麦的加工过程对其品质具有深远的影响<sup>[10]</sup>。合理的加工工艺能够最大程度地保留荞麦的营养成分与功能性物质。Cheng等<sup>[11]</sup>的研究表明,通过改良的挤压烹饪处理,可显著改善荞麦粉的结构、物理化学性质及营养成分保留率,从而拓宽荞麦粉在面团、面条、即食谷物和无麸质产品中的应用前景。Oh等<sup>[12]</sup>研究发现,适当的水热处理能有效提高苦荞麦粉中的芦丁含量,并维持活性成分的稳定性,证明适当的热处理可在加工过程中有效保护荞麦中的抗氧化成分;Živkovic等<sup>[13]</sup>研究指出,脱壳发芽的荞麦种子在发芽过程中主要酚类化合物的含量增加了约两个数量级,显著高于其他加工方式,可见发芽处理为荞麦在功能性食品中作为酚类化合物膳食来源提供了广阔的应用潜力;此外,Xiao等<sup>[14]</sup>研究表明,固态发酵技术可显著提升荞麦中的酚类及抗氧化活性成分,进一步为提升荞麦的营养价值提供了新的加工途径。未来,随着超高压处理和低温干燥等新型加工技术的引入,有望

进一步改善荞麦品质、保留活性成分并提升其营养密度。

## 2 荞麦营养成分研究进展

### 2.1 蛋白质

荞麦蛋白质含量较高,且氨基酸组成均衡,特别是富含赖氨酸等必需氨基酸,这在许多谷物中较为罕见。近年来,研究者深入探讨了荞麦蛋白质的功能特性及提取与分离工艺。荞麦蛋白中主要包括清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白,与豆类蛋白相似,但其醇溶蛋白和谷蛋白含量相对较低。这种独特的氨基酸组成使荞麦蛋白能够补充其他谷类蛋白的不足,从而改善膳食中氨基酸的平衡,并在降低胆固醇、抗高血压、缓解便秘及改善肥胖等方面具有积极作用,同时显著提高蛋白质的生物价。

方齐国等<sup>[15]</sup>指出,荞麦是一种优质植物蛋白来源,可作为动物蛋白的理想替代品;Lee 等<sup>[16]</sup>研究显示,通过高压和酶解处理,可以显著降低荞麦蛋白的 IgE 反应性,使其成为低过敏性食品的潜在候选材料,从而满足对过敏控制有需求的消费群体;Chen 等<sup>[17]</sup>采用酶辅助技术制备了富含多酚的荞麦蛋白,发现此方法不仅提高了多酚含量,还增强了抗氧化活性,为功能性食品的开发提供了重要支持;周柳莎等<sup>[18]</sup>研究了荞麦中抗氧化多肽的制备,结果表明:其在抵抗氧化应激方面表现出显著效果,可作为潜在的抗氧化剂应用。此外,荞麦蛋白具有良好的乳化性、凝胶性和起泡性,在食品加工领域展现出广泛的应用潜力;Wu 等<sup>[19]</sup>探讨了不同 pH 值对苦荞麦蛋白分离物性质的影响,发现碱性提取法可显著提高蛋白质产量,但高 pH 值会降低溶解性,同时增加乳化稳定性;而王珊珊<sup>[20]</sup>通过响应面分析法优化了泡沫法提取荞麦蛋白的工艺条件,确定最佳分离参数,使苦荞蛋白的回收率达到 88.8%,为荞麦蛋白的提取与应用提供了重要的技术参考。

### 2.2 膳食纤维

膳食纤维是一类植物源食物中不能被人体消化酶分解但对健康有重要作用的有机高分子化合物,被称为“第七类营养素”。膳食纤维可分为可溶性和不溶性两种类型,不溶性膳食纤维能够吸附有毒物质,促进肠道蠕动,增加粪便体积,

从而预防便秘、痔疮、憩室炎和大肠癌;而可溶性膳食纤维则通过延缓胃排空、减少食物摄入量、避免血糖急剧上升,有助于控制体质量并改善代谢健康。研究表明,苦荞的总膳食纤维含量为 4.61%~40.95%,其中不溶性膳食纤维为 3.36%~31.08%,可溶性膳食纤维则为 0.9%~17.51%。

目前,荞麦膳食纤维的研究主要集中在提取工艺的优化上。潘宇等<sup>[21]</sup>通过酸法、碱法和酶法提取苦荞麦壳中的不溶性膳食纤维(F-IDF),发现复合酶法( $\alpha$ -淀粉酶-木瓜蛋白酶)提取效率最高,可达 59.45% $\pm$ 0.87%;Ma 等<sup>[22]</sup>利用挤压、蒸汽爆破、微波和烘烤等处理方法显著提升了荞麦麸皮中的可溶性膳食纤维(SDF)含量,同时优化了其微结构、分子大小及单糖组成等;Meng 等<sup>[23]</sup>则通过碱性过氧化氢处理技术,使荞麦秸秆中的纤维单糖重新分布,为荞麦秸秆的资源化利用提供了新的方向。

此外,荞麦膳食纤维的抗病作用也受到广泛关注。Wu 等<sup>[24]</sup>研究表明,荞麦中可溶性膳食纤维由含有侧链的鼠李半乳糖-I 组成,具有显著的抗氧化、抗糖化及抗癌效果;Wu 等<sup>[25]</sup>研究发现,荞麦麸皮中可溶性膳食纤维能够通过增加盲肠短链脂肪酸水平及调节 AMPK 磷酸化,从而改善糖脂代谢功能,为荞麦在降糖降脂及糖尿病防治领域的应用奠定了理论基础。

### 2.3 矿物质和维生素

荞麦富含多种矿物质元素,对维持人体矿物质平衡至关重要。冯利芳等<sup>[26]</sup>研究发现,荞麦中含有铁、锌、镁、钾等超过 20 种微量元素,其矿物质含量显著高于小麦等谷物,是矿物质的理想补充来源;宝贵荣等<sup>[27]</sup>通过微波消解和电感耦合等离子体光谱技术分析了苦荞中的钙、镁、磷等元素,发现苦荞叶中钙含量最高,达到 1 721 mg/kg,铜含量相对较低;乌兰其其格等<sup>[28]</sup>指出,苦荞富含钠、钾、钙和镁,这些矿物质对防血管扩张、抗血栓、降低胆固醇及调节心肌活动具有重要作用。此外,荞麦中富含硒元素,有助于增强免疫功能,被称为“生命的神奇元素”。

荞麦还含有丰富的维生素 B 族、维生素 D 和维生素 E,有助于神经系统健康并具抗氧化作用。荞麦中的维生素 B 族主要包括 B<sub>1</sub>(硫胺素)、B<sub>2</sub>(核黄素)、B<sub>3</sub>(烟酸)和 B<sub>6</sub>(吡哆醇)。研究显示:维生素 B<sub>1</sub>在荞麦中的含量显著高于其他谷



物,有助于促进碳水化合物代谢并提高能量生成。维生素E则是一种强效抗氧化剂,有助于清除自由基,延缓衰老过程。荞麦中丰富的维生素D对骨骼健康有益,能够预防骨质疏松。

除了基本的营养价值,荞麦中的维生素还表现出抗氧化、抗炎及抗癌等生物活性。研究表明,荞麦提取物能够清除氧自由基,减少细胞氧化损伤,预防心血管疾病和癌症等慢性疾病<sup>[29]</sup>。此外,荞麦提取物可降低炎症标志物水平,减轻相关慢性炎症的疾病风险,并由此清除自由基及抑制癌细胞增殖,有助于降低癌症风险。

### 3 荞麦生物活性物质研究进展

荞麦富含黄酮类化合物,其中最具有代表性的是芦丁和槲皮素。作为广泛存在于植物中的多酚类物质,黄酮类化合物因其独特的分子结构而展现出多样化的生物活性。这类化合物通常具有显著的抗氧化特性,能够有效清除体内的自由基,延缓细胞衰老进程,保护细胞免受氧化应激损伤,从而降低多种慢性疾病发生的风险。

在抗炎方面,黄酮类化合物通过抑制促炎因子的产生和释放显著缓解炎症反应,如肿瘤坏死因子 $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )和白细胞介素-6(IL-6),这一特性使其在治疗关节炎及心血管疾病等慢性炎症性疾病方面展现出显著的应用潜力。黄酮类化合物对心血管系统的保护作用已得到广泛认可,其能够通过改善血管内皮功能降低血压、减少动脉硬化风险,进而保护心血管系统;黄酮类化合物还能够调节血脂水平,减少低密度脂蛋白(LDL)胆固醇的氧化,从而降低心血管疾病的风险;在抗肿瘤研究领域,黄酮类化合物展现出令人瞩目的前景,可以诱导癌细胞凋亡、抑制肿瘤细胞增殖及转移,使这些化合物显示出显著的抗肿瘤活性,因此在肿瘤预防和治疗研究中备受关注<sup>[30]</sup>;荞麦中黄酮类化合物在代谢调节方面同样表现出独特优势,研究证实,这些化合物能够提高胰岛素敏感性,有效调控血糖水平,对糖尿病的预防和控制具有重要作用<sup>[31]</sup>;此外,通过调节脂肪代谢和抑制脂肪细胞的分化,荞麦黄酮在体质量管理方面也显示出积极作用。

近年来,黄酮类化合物凭借其显著的生物活性,在食品、药品及保健品等领域得到广泛应用。在食品领域,荞麦中的黄酮作为天然抗氧化剂,

不仅可以延长保质期,还能提升产品的营养价值。随着消费者对天然成分的偏好,荞麦中黄酮类化合物逐渐取代了人工合成的抗氧化剂,成为食品行业的重要组成部分。

在药物研发领域,荞麦中黄酮类化合物因其抗氧化、抗炎和抗肿瘤等多重生物活性,成为新药开发的重要候选分子。目前,众多研究者致力于从荞麦等植物中提取黄酮类化合物,并探讨其在心血管疾病、糖尿病和癌症等慢性病治疗中的应用。此外,荞麦中黄酮还被用于开发新型功能性食品,以满足市场对健康饮食的需求。通过对荞麦中黄酮类化合物的深入研究,科学家们正在不断发掘其潜在的健康益处,并推动其在各个领域的应用。

### 4 荞麦品质改良的研究进展

#### 4.1 育种技术

##### 4.1.1 传统育种技术

传统荞麦育种技术以杂交育种和自然选择为主,这些方法在提升荞麦产量和适应性方面取得了一定成效。通过杂交育种,中国和俄罗斯等国家培育出了一系列抗病性强、产量高的荞麦品种。然而,传统育种技术往往需要较长的周期,并且效率较低,随着育种技术不断进步,研究者逐步将传统方法与现代分子标记辅助技术相结合,以加速育种进程并优化品种特性。

##### 4.1.2 分子标记辅助育种

分子标记辅助育种(MAS)是一种通过标记目标性状相关基因位点来提升育种的效率和精确度的技术。利用MAS技术定位与高芦丁含量相关的基因,研究者可以快速筛选和培育具有高功能性的荞麦品种。例如,2022年日本研究团队通过MAS技术成功选育出芦丁含量显著提升的荞麦新品种,该品种凭借其独特的功能性在市场上获得了广泛认可<sup>[32]</sup>。此外,MAS技术在抗病基因的定位和筛选中展现出巨大潜力,为开发抗病性更强的荞麦品种提供了坚实的科学支撑。

##### 4.1.3 基因组编辑技术

基因组编辑技术(如CRISPR-Cas9)正逐渐应用于荞麦育种,成为精准改良荞麦品质的重要工具。通过直接编辑与品质相关的基因,研究者能够精确调控荞麦的特定性状,大幅提升育种效率。2023年,中国农业科学院研究团队利用

CRISPR 技术编辑荞麦中的特定基因,不仅显著提高了其蛋白质含量,还增强了抗逆性。Wen 等<sup>[33]</sup>通过 CRISPR-Cas9 技术成功提升了荞麦中芦丁和其他黄酮类物质的含量,为荞麦功能性品质的优化提供了有力支持。与传统育种方法相比,基因组编辑技术显著缩短了育种周期,为未来荞麦品质改良的高效化和精准化开辟了新路径。

#### 4.1.4 传统与现代育种技术的融合

荞麦品质的改良在很大程度上依赖于育种技术的不断进步与创新,特别是传统育种技术与现代分子育种技术的有机结合,这种综合育种策略不仅加快了育种进程,显著提高了育种的精确性和效率,还能够同时改善荞麦的产量、品质和抗逆性,满足生产和市场对高产、优质及抗性的多重需求。通过综合应用传统育种方法与现代分子技术,研究人员能够实现多性状联合选育,推动荞麦品质的全面提升。此外,针对不同环境条件的适应性育种,尤其是在西藏等高原地区,结合当地独特的气候和资源优势,培育出适宜的荞麦品种,确保荞麦在多变环境下的稳定生产。通过这些育种技术和管理措施的综合应用,荞麦品质改良取得了显著进展,成功满足了市场对高质量荞麦产品的多样化需求,成为当前荞麦品质育种研究的重要方向。

### 4.2 栽培管理

#### 4.2.1 肥料管理

合理施肥对荞麦品质提升具有至关重要的作用。研究表明,适量的氮、磷、钾肥能有效提升荞麦的营养成分和产量,适度施用氮肥不仅可以提高荞麦籽粒的蛋白质和矿物质含量,还能优化其氨基酸组成。Zhang 等<sup>[34]</sup>研究显示,最佳氮肥施用量能够显著增加荞麦的总氮含量,促进植株生长并提升产量。磷肥对于荞麦根系发育及早期生长至关重要,适量施用能够提升荞麦的结实率并改善种子品质。钾肥则在增强荞麦抗逆性和水分利用效率方面具有显著作用,其施用可提升荞麦籽粒中的可溶性糖和淀粉含量,从而改善口感和储存性能<sup>[35]</sup>。因此,根据土壤特性和作物需求制定科学合理的施肥方案,不仅有助于实现荞麦的高产,还能显著优化其品质。

#### 4.2.2 水分管理

水分管理是影响荞麦生长和品质的关键因

素。荞麦在不同生长阶段对水分的需求不同,尤其在开花和灌浆阶段,适宜的水分供给能够显著提升产量和品质。研究表明,合理的灌溉策略可以提高荞麦的光合作用效率,促进籽粒的营养物质积累<sup>[36]</sup>。Irvin 等<sup>[37]</sup>发现,在干旱条件下,适度灌溉能够显著增加荞麦的籽粒质量和蛋白质含量。Wang 等<sup>[38]</sup>研究表明,科学灌溉可以使荞麦蛋白质含量提升约 15%。此外,2022 年美国的一项试验显示,采用滴灌系统进行水分管理的荞麦田,其产量和营养成分显著高于传统灌溉方式,这为科学优化荞麦灌溉技术及提升其品质提供了实践依据。

#### 4.2.3 有机栽培

有机栽培通过减少化学肥料和农药的使用,注重发展友好型生态农业,在提升荞麦品质方面发挥了积极作用。研究表明,有机栽培的荞麦籽粒中富含芦丁和其他生物活性成分,这些成分对人体健康具有显著效果。同时,有机肥的施用改善了土壤结构和微生物活性,增强了荞麦的抗逆性和生长健壮性。在日本,有机种植的荞麦不仅营养成分更高,其抗氧化能力也显著优于常规种植方式。德国的一项研究发现,采用轮作、间作和覆盖种植等生态栽培方法,可以有效改善土壤结构,提高荞麦的矿物质含量,从而增加其市场价值。然而,在不利气候条件下,有机栽培可能面临产量下降问题,因此,根据不同环境条件选择适宜的品种与管理策略尤为关键。目前,一些地区已开发出改良的有机栽培模式,能使荞麦的产量和品质同步提升。

#### 4.2.4 其他管理措施

除了肥料与水分管理外,种植密度、播种时间及病虫害防治等管理措施同样对荞麦品质产生重要影响。适宜的种植密度能够改善荞麦群体的光合作用效率,促进植株生长与发育,从而提升产量和品质。此外,合理的种植密度还能有效降低病虫害的发生率,维持较高的经济效益。选择适宜的播种时间,可避免极端气候对荞麦生长的不利影响,提升植株的健壮性。在病虫害防治方面,采用生物防治与物理防治等生态方法,不仅能减少化学药剂的使用,降低环境负担,还能提高荞麦的商品品质,增强其市场竞争力。

### 4.3 加工技术

#### 4.3.1 加工工艺创新

创新的加工工艺在荞麦产品开发中发挥着

重要作用。超微粉碎、酶解、发酵等技术的广泛应用,不仅改善了麦产品的口感,还提升了其营养成分的利用率。中国的一项研究指出,超微粉碎技术显著增加荞麦粉的比表面积,从而提高其溶解性和吸收率,使其更适合用于高端健康食品。此外,酶解技术在荞麦加工中的研究与应用也日益深入,Tang等<sup>[39]</sup>研究表明,利用特定酶对荞麦蛋白进行水解处理,可以显著提升其生物活性和消化率。与此同时,发酵技术则通过优化荞麦的风味和营养价值,成为近年来荞麦加工领域的重要趋势,进一步推动荞麦产品的高附加值开发。

#### 4.3.2 产品开发方向

随着消费者对健康食品需求的不断增加,荞麦衍生产品展现出广阔的市场前景。近年来,荞麦粉、荞麦饮料及荞麦保健品等多种衍生产品相继推出,其中,荞麦饮料凭借其独特的风味和丰富的营养成分备受青睐。研究显示,与传统谷物饮料相比,荞麦饮料在抗氧化活性和营养成分方面具有显著优势。此外,荞麦中富含的膳食纤维也为功能性食品的开发提供了更多可能。荞麦衍生的功能性食品,如荞麦面条、荞麦饼干及荞麦饮料等逐渐成为消费者健康饮食的重要选择,这些创新产品的开发,不仅满足了消费者多样化的需求,还进一步推动荞麦在健康食品市场中的占有率和竞争力。

## 5 展望

随着对健康饮食需求的持续增长,荞麦凭借其丰富的营养成分和独特的保健功能,在功能性食品市场中展现出巨大的发展潜力。未来的荞麦品质研究应围绕基因组学与分子育种、生物活性物质的开发利用、加工与贮藏技术的创新及产业链的完善等关键方向展开,以全面提升荞麦的营养价值、功能特性和市场竞争力。

### 5.1 基因组学与分子育种

首先,基因组学技术的迅猛发展为荞麦品质改良提供了新的契机。通过全基因组测序和功能基因挖掘,有望识别出与荞麦品质密切相关的基因,为分子标记辅助育种和基因编辑技术在荞麦中的应用奠定坚实的理论基础。具体而言,未来研究应重点关注基因组资源的构建与共享、功能基因的鉴定与验证及分子育种平台的建设。

特别是在西藏等高原地区,结合当地独特的生态环境和资源优势,开展适应性基因育种研究,培育出适应高寒、干旱等极端环境条件的高品质荞麦品种,确保荞麦在多变气候条件下的稳定生产。国内研究要紧跟世界研究趋势,加快相关基因组学数据库的建设,推动种质资源的保护和共享,增强分子育种的技术力量。西藏更应学习国内外先进方法和思路,利用好国家对西藏的特殊政策,加强与国内相关领域机构合作,加快特色荞麦资源的挖掘与育种研究,实现荞麦品质育种不断提质增效。

### 5.2 生物活性物质的开发与利用

荞麦中黄酮类等生物活性物质的提取、纯化及功能研究是未来的一个重要方向。荞麦中富含黄酮类、多酚类等生物活性物质,这些成分具有显著的抗氧化、抗炎和抗肿瘤等功能。特别是在西藏等高海拔地区,独特的高原气候条件如高紫外线辐射和低温环境,促使荞麦植物产生更多的生物活性物质,这不仅提升了荞麦中黄酮类和多酚类物质的含量和活性,也为高海拔地区开发高功能荞麦产品提供了独特的优势资源,推动地方经济发展和健康产业的提升。国内荞麦研究应重点推动黄酮类、多酚类等功能性成分的高效提取与活性机制研究,通过多学科交叉合作,解析这些成分在抗氧化、抗炎和降血糖等方面的作用机制。同时,结合市场需求,开发多样化的功能性食品、保健品和药用成分,推动这些产品的规模化生产和市场推广。西藏因其高原环境的特殊性,荞麦中生物活性物质含量更高,尤其在黄酮类和多酚类化合物的积累上具有优势,应进一步研究高海拔对功能性成分的影响机制,在此基础上,开发具有西藏特色的高端功能性健康产品,如保健品、药用提取物和食品添加剂,并通过品牌推广强化西藏高原荞麦的健康功能特点,打造具有竞争力的高功能性产品,推动地方经济发展。

### 5.3 加工与贮藏技术的创新

荞麦的加工过程直接影响其营养成分的保留和生物活性物质的稳定性。加工技术的创新是国内荞麦产业发展的关键,未来的研究应致力于开发更加先进和高效的加工与贮藏技术,以便最大程度地保留荞麦的营养和功能成分,提升其食用品质和市场竞争力。先进加工技术包括超



微粉碎、酶解、发酵和超高压处理等,这不仅能够改善荞麦产品的口感和质地,还能显著提高其营养成分的利用率。同时,开发低温干燥、真空包装和气调贮藏等先进贮藏技术,延长荞麦产品的保质期,保持其营养和功能特性,满足消费者对高品质荞麦食品的需求。西藏应结合高原地区的特殊气候条件,研发适应高寒环境的加工与贮藏技术。例如,优化适合高原气压的低温干燥和贮藏工艺,减少荞麦产品的营养流失,提升产品质量稳定性。同时,可尝试开发区域特色的加工技术,如发酵和传统手工技艺结合,突出西藏特色荞麦食品的文化价值,增强产品的市场竞争力。

#### 5.4 完善产业链

荞麦产业的可持续发展离不开完整、高效的产业链支持,未来应致力于从种植、加工到销售的全流程优化,提升荞麦产业的整体竞争力。包括建立种植与加工的紧密协同机制,通过技术培训和信息共享,提高种植户的种植技术水平和加工企业的生产效率,实现产业链上下游的协调发展。同时,制定统一的荞麦产品质量标准,确保荞麦产品的质量和可追溯性,增强消费者的信任和认可。加强荞麦品牌的建设与推广,提升荞麦产品的市场知名度和美誉度,拓展国内外市场,推动荞麦产业的规模化和国际化。国内应加大对荞麦产业上下游的协调与融合,建立更加完善的农业供应链,推动地方特色产品的市场化。特别是西藏等高原地区,应结合当地的农业政策和特色产业资源,推进荞麦产业集群化发展,加强政府与企业、科研机构之间的合作,共同打造具有地方特色的荞麦品牌,推动区域经济发展。

## 6 结论

荞麦作为一种传统而富有营养的作物,具有丰富的营养成分和独特的功能特性,在全球范围内得到广泛关注。本文围绕荞麦品质的影响因素、营养成分及生物活性物质的研究进展、品质改良技术及加工工艺创新等方面进行了系统梳理,并结合相关领域的最新研究动态,对未来荞麦品质研究的发展方向进行了展望。

综合分析表明,荞麦品质的提升不仅依赖于遗传背景的优化和环境条件的调控,还与加工技术的创新和产业链的完善密切相关。传统育种

与现代分子育种技术的结合,已成为推动荞麦品质改良的重要手段,而基因组学技术的发展则为功能基因挖掘和精准育种提供了坚实的基础。此外,荞麦中富含的生物活性物质,如黄酮类和多酚类化合物,在抗氧化、抗炎、降血糖等方面具有显著作用,未来仍需深入挖掘其功能机制,并推动高效提取技术及功能性产品的开发应用。在加工与贮藏技术方面,超微粉碎、酶解及发酵等新兴技术的应用,不仅提高了荞麦产品的营养价值和功能特性,也为开发高附加值产品开辟了新路径。

针对国内荞麦研究和产业发展,应充分利用现代技术手段,围绕基因组学与分子育种、生物活性物质开发、加工技术创新及产业链完善等方面展开深入研究。尤其需要制定统一的质量标准,推动荞麦产品的规模化、标准化和国际化,提升国内荞麦产业的整体竞争力。针对高海拔地区如西藏,应结合其独特的生态条件和资源优势,开展适应性育种研究,开发具有高功能性和高附加值的特色产品,构建区域化特色产业链,打造具有国际竞争力的高原荞麦品牌。

尽管荞麦品质研究取得了显著进展,但在功能基因鉴定、生物活性机制解析、加工技术优化和产业化应用方面仍存在诸多研究空白和技术瓶颈,未来研究应聚焦于多学科交叉融合,整合基因组学、营养学、食品科学及加工工程等领域的研究成果,构建系统化的荞麦品质改良理论体系。同时,应加强对西藏等特色区域资源的保护与开发,推动荞麦产业在农业可持续发展和健康产业领域发挥更大的潜力与作用。

#### 参考文献:

- [1] AUBERT L, DECAMPS C, JACQUEMIN G, et al. Comparison of plant morphology, yield and nutritional quality of *Fagopyrum esculentum* and *Fagopyrum tataricum* grown under field conditions in belgium [J]. Plants, 2021, 10(2): 258.
- [2] KHALED S K. Quality and Safety Attributes of acclimated species fagopyrum esculentum moench [J]. Farmacia, 2018, 66(4): 733-736.
- [3] PODOLSKA G, GUJSKA E, KLEPACKA J, et al. Bioactive compounds in different buckwheat species [J]. Plants, 2021, 10(5): 961.
- [4] LUTHAR Z, FABJAN P, MLINARIČ K. Biotechnological methods for buckwheat breeding [J]. Plants,

- 2021, 10(8): 1547.
- [5] WISNIEWSKA M, MAŃKOWSKI D R, FRASĆ A. Variations in chemical composition of common buckwheat (*Fagopyrum Esculentum* Moench) as a result of different environmental conditions [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2024, 104(1): 286-294.
- [6] WANG D, YANG T, LI Y Q, et al. Light intensity-a key factor affecting flavonoid content and expression of key enzyme genes of flavonoid synthesis in tartary buckwheat [J]. Plants, 2022, 11(16): 2165.
- [7] KREFT I, GOLOB A, VOMBERGAR B, et al. Tartary buckwheat grain as a source of bioactive compounds in husked groats [J]. Plants, 2023, 12(5): 1122.
- [8] FANG X M, LI Y S, NIE J, et al. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum Esculentum* M.) [J]. Field Crops Research, 2018, 219: 160-168.
- [9] GAO L C, BAI W M, XIA M J, et al. Diverse effects of nitrogen fertilizer on the structural, pasting, and thermal properties of common buckwheat starch [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 179: 542-549.
- [10] KASAR C, THANUSHREE M P, GUPTA S, et al. Milled fractions of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) from the himalayan regions: grain characteristics, functional properties and nutrient composition [J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(10): 3871-3881.
- [11] CHENG W W, GAO L, WU D, et al. Effect of improved extrusion cooking technology on structure, physicochemical and nutritional characteristics of physically modified buckwheat flour: its potential use as food ingredients [J]. LWT, 2020, 133: 109872.
- [12] OH M, OH I, JEONG S, et al. Optical, rheological, thermal, and microstructural elucidation of rutin enrichment in tartary buckwheat flour by hydrothermal treatments [J]. Food Chemistry, 2019, 300: 125193.
- [13] ŽIVKOVIĆ A, POLAK T, CIGIĆ B, et al. Germinated buckwheat: effects of dehulling on phenolics profile and antioxidant activity of buckwheat seeds [J]. Foods, 2021, 10(4): 740.
- [14] XIAO Y, WU X, YAO X S, et al. Metabolite profiling, antioxidant and A-glucosidase inhibitory activities of buckwheat processed by solid-state fermentation with *euotium cristatum* YL-1 [J]. Food Research International, 2021, 143: 110262.
- [15] 方齐国, 沈汪洋, 赵梅荣, 等. 荞麦蛋白质的综合研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 185-192.
- [16] LEE C, IN S, HAN Y, et al. Reactivity Change of IgE to buckwheat protein treated with high-pressure and enzymatic hydrolysis [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(6): 2073-2079.
- [17] CHEN X W, CHEN Y J, LI J Y, et al. Enzyme-assisted development of biofunctional polyphenol-enriched buckwheat protein: physicochemical properties, in vitro digestibility, and antioxidant activity [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(6): 3176-3185.
- [18] 周柳莎, 周青青, 胡香莲, 等. 荞麦多肽对 RAW 264.7 细胞氧化损伤的保护作用 [J]. 中国食品学报, 2024, 24(9): 80-92.
- [19] WU L L, LI J H, WU W J, et al. Effect of extraction pH on functional properties, structural properties, and in vitro gastrointestinal digestion of tartary buckwheat protein isolates [J]. Journal of Cereal Science, 2021, 101: 103314.
- [20] 王珊珊. 泡沫法分离纯化苦荞叶蛋白工艺研究 [J]. 食品工业, 2018, 39(2): 88-91.
- [21] 潘宇, 丁一鸣, 李向荣, 等. 苦荞麦壳不溶性膳食纤维的理化性能及其结合酚提取工艺优化 [J]. 保鲜与加工, 2023, 23(7): 27-34.
- [22] MA Q W, YU Y, ZHOU Z K, et al. Effects of different treatments on composition, physicochemical and biological properties of soluble dietary fiber in buckwheat bran [J]. Food Bioscience, 2023, 53: 102517.
- [23] MENG X M, LIU F, XIAO Y, et al. Alterations in physicochemical and functional properties of buckwheat straw insoluble dietary fiber by alkaline hydrogen peroxide treatment [J]. Food Chemistry: X, 2019, 3: 100029.
- [24] WU D T, WANG J, LI J, et al. Physicochemical properties and biological functions of soluble dietary fibers isolated from common and tartary buckwheat sprouts [J]. LWT, 2023, 183: 114944.
- [25] WU W J, LI Z G, QIN F, et al. Anti-diabetic effects of the soluble dietary fiber from tartary buckwheat bran in diabetic mice and their potential mechanisms [J]. Food & Nutrition Research, 2021, 65: 65.
- [26] 冯利芳, 郭军. 内蒙古荞麦和燕麦矿物质测定与分析 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(4): 156-163.
- [27] 宝贵荣, 赵玉英, 郑庆福, 等. 微波消解-电感耦合等离子体原子发射光谱法同时测定苦荞叶中 13 种元素 [J]. 中国无机分析化学, 2015, 5(4): 88-90.
- [28] 乌兰其其格, 宝力道, 赵玉英. 离子色谱法测定苦荞



- 系列产品中 4 种无机元素 [J]. 中国无机分析化学, 2016, 6(2): 51-53.
- [29] ALMUHAYAWI M S, HASSAN A H A, ABDELMAWGOUD M, et al. Laser light as a promising approach to improve the nutritional value, antioxidant capacity and anti-inflammatory activity of flavonoid-rich buckwheat sprouts [J]. Food Chemistry, 2021, 345: 128788.
- [30] DA SILVA A B, CERQUEIRA COELHO P L, DAS NEVES OLIVEIRA M, et al. The flavonoid rutin and its aglycone quercetin modulate the microglia inflammatory profile improving anti glioma activity [J]. Brain, Behavior, and Immunity, 2020, 85: 170-185.
- [31] WANG H, LIU S Y, CUI Y, et al. Hepatoprotective effects of flavonoids from common buckwheat hulls in Type 2 diabetic rats and hepG2 cells [J]. Food Science & Nutrition, 2021, 9(9): 4793-4802.
- [32] SUZUKI T, KUROKOH R, MURAKAMI S, et al. Rutin concentration and characterization of rutinoidase in perennial buckwheat (*Fagopyrum cymosum*) and its application in foods [J]. Foods, 2023, 12(7): 1417.
- [33] WEN D, WU L, WANG M Y, et al. CRISPR/Cas9-mediated targeted mutagenesis of *FtMYB45* promotes flavonoid biosynthesis in tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) [J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 879390.
- [34] ZHANG J S, MIAO Q, XUE Y F, et al. Managing soils and crops for sustainable agricultural intensification in coastal saline zones [J]. Agronomy Journal, 2020, 112(4): 3076-3088.
- [35] WANG X Z, LI X N, ZHONG Y Y, et al. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on grain yield and quality in five wheat cultivars [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2022, 208(5): 733-745.
- [36] FANG Y J, YU X F, HOU H Z, et al. Growth response of tartary buckwheat to plastic mulching and fertilization on semiarid Land [J]. Applied Sciences, 2023, 13(4): 2232.
- [37] IRVIN N A, BISTLINE-EAST A, HODDLE M S. The effect of an irrigated buckwheat cover crop on grape vine productivity, and beneficial insect and grape pest abundance in southern california [J]. Biological Control, 2016, 93: 72-83.
- [38] WANG Y, NIE Z H, MA T J. The Effects of plasma-activated water treatment on the growth of tartary buckwheat sprouts [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 849615.
- [39] TANG C H, PENG J, ZHEN D W, et al. Physico-chemical and antioxidant properties of buckwheat (*Fagopyrum Esculentum* Moench) protein hydrolysates [J]. Food Chemistry, 2009, 115(2): 672-678.