

枸杞与牛奶结合产品的研究分析与探索

吴红军¹, 黄学¹, 沙娇², 马浩睿², 舒琴², 刘永峰^{2*}

(1.宁夏夏进乳业集团股份有限公司, 宁夏吴忠 751101; 2.陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西西安 710062)

摘要: 本文综述了枸杞与牛奶结合产品的研究现状, 系统分析了二者相互作用机制及产品开发应用研究进展。首先, 概述了枸杞所含主要生物活性物质及其营养价值, 以及牛奶中受枸杞影响的关键营养成分; 其次, 分析了枸杞-牛奶复合体系在营养互补与功能协同方面的潜力, 并评述了相关产品的研究与开发现状。研究表明, 该复合产品可显著提升牛奶的营养价值, 但其相互作用机理、体内生物利用度及加工过程中活性成分稳定性等关键问题仍待深入探究。本文创新性地提出了枸杞牛奶产品的开发思路, 并展望未来应重点围绕加工稳定性、活性保持与作用机制明晰化等方向开展研究, 以推动该类功能性乳制品的科学开发与产业化应用。

关键词: 牛奶; 枸杞; 营养互作; 产品

文章编号: 1671-4393 (2026) 03-0131-09

DOI:10.12377/1671-4393.26.03.18

Research Analysis and Exploration of Products Combining Wolfberry and Milk

WU Hongjun¹, HUANG Xue¹, SHA Jiao², MA Haorui², SHU Qin², LIU Yongfeng^{2*}

(1.Ningxia Xiajin Dairy Group Co., Ltd., Wuzhong Ningxia 751101; 2.College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi 710062)

Abstract: This paper reviewed the current research status of products combining wolfberry and milk, and systematically analyzed the interaction mechanism between the two and the progress in product development and application research. Firstly, the main bioactive substances contained in wolfberry and their nutritional values were summarized, as well as the key nutrients affected by wolfberry in milk. Secondly, the potential of wolfberry-milk composite system in terms of nutritional complementarity and functional synergy was analyzed, and the current

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目 (2024BBF02015)

作者简介: 吴红军 (1975-), 男, 宁夏吴忠人, 本科, 研究方向为乳制品加工及其工艺;

黄学 (1970-), 男, 宁夏吴忠人, 本科, 研究方向为乳品科学与工程;

沙娇 (2001-), 女, 宁夏吴忠人, 硕士, 研究方向为乳品科学;

马浩睿 (1999-), 男, 陕西西安人, 硕士, 研究方向为乳品科学;

舒琴 (1994-), 女, 安徽池州人, 博士, 讲师, 研究方向为畜产品加工与质量安全。

通信作者: 刘永峰 (1981-), 男, 陕西西安人, 博士, 教授, 研究方向为畜产品科学与营养。

research and development status of related products was reviewed. Studies have showed that this composite product can significantly enhance the nutritional value of milk. However, key issues such as the interaction mechanism, bioavailability in the body, and the stability of active components during processing still need to be further explored. This paper innovatively proposed the development ideas for wolfberry-milk products, and looked forward to conducting research in the future focusing on aspects such as processing stability, active substance retention, and clarification of the mechanism of action, in order to promote the scientific development and industrial application of this type of functional dairy products.

Keywords: milk; wolfberry; nutrient interaction; products

枸杞 (*Goji berry*, *Wolfberry*, *Lycium barbarum* L.) 广泛种植于中国西部和华北地区, 其中, 以宁夏枸杞最为知名, 它具有多个不同的种属, 是我国重要的特色药用植物资源之一^[1]。大量研究表明, 枸杞中含有人体必需营养素, 如碳水化合物、蛋白质、维生素和矿物质 (以硒、铁含量最为丰富), 同时还含有枸杞多糖、多酚类物质 (类黄酮、酚酸、香豆素)、生物碱、植物甾醇等生物活性物质^[2, 3]。根据枸杞果实的颜色特征, 枸杞主要分为红枸杞和黄枸杞、黑枸杞, 而现今的研究主要集中于红枸杞, 黑枸杞, 对黄枸杞的研究较少^[4, 5]。不同品种枸杞之间的生物活性物质含量差异较大, 这也导致其功能特性各不相同。黑枸杞中花青素含量最高, 而红枸杞中类胡萝卜素含量远高于黑枸杞。由于花青素能够增强自由基清除能力, 这使得黑枸杞提取物的酚类物质含量和抗氧化能力显著高于红枸杞^[6]。然而, 枸杞无论种类如何, 都被证明具有不同程度的降血糖、血脂^[7], 抗氧化, 抗衰老^[8], 免疫调节^[9], 抗视疲劳^[10], 抗肿瘤^[11], 神经系统保护, 调节肠道菌群^[12]等生理作用, 具有广阔的应用前景。

牛奶最初被用作母乳的替代品, 是人类饮食中蛋白质、脂肪和维生素等营养物质的重要来源之一^[13]。牛奶中的蛋白质主要分为酪蛋白和乳清蛋白, 其含量分别占总蛋白质含量的约80%和20%, 是决定牛奶品质的重要参数^[14]。而蛋白质中的蛋氨酸和赖氨酸又是决定牛奶中蛋白质质量的关键因素^[15]。例

如, 在热加工处理过程中, 乳糖中的羰基和酪蛋白中的赖氨酸残基发生美拉德反应, 消耗了牛奶中的必需氨基酸 (赖氨酸), 从而导致牛奶的营养价值降低^[16]。因此, 可以通过调节这两种氨基酸的合适比例来确保牛奶保持良好的质量。

酪蛋白是牛奶中含量最丰富的蛋白质之一, 具有较高的营养价值。酪蛋白与多糖、多酚和金属离子的相互作用对于调节乳制品的功能特性和质地质量具有重要意义^[17]。例如, 添加枣多糖可提高酪蛋白的网络结构的稳定性^[18]。添加多酚, 如飞燕草素3-O-葡萄糖苷、花青素3-O-葡萄糖苷和锦葵素3-O-葡萄糖苷, 可改善酸奶的质地、颜色和持水能力^[19]。多酚类物质与酪蛋白联合使用可有效提高乳制品的稳定性和乳化效果^[20]。此外, 采用必需矿物质强化牛奶还可增加产品的营养成分含量。牛奶中富含能够与酪蛋白结合的钙类物质, 这些钙质在人体内可被分解成钙离子, 从而被吸收利用。钙离子是一种带正电的金属离子, 在细胞中起信号传导、细胞黏附等关键作用, 能够与其他物质形成化学键构成钙桥。脂多糖结合蛋白是一种酸性糖蛋白混合物, 研究证实, Ca^{2+} 形成的钙桥在脂多糖结合蛋白凝胶网络结构的形成中起关键作用^[21], 从而在机体中发挥免疫调控和炎症反应介导功能。

枸杞与牛奶的结合, 充分利用了二者的营养价值与功能性成分, 不仅契合消费者对健康与安全的双重需求, 更能通过协同增效开发出创新的功能性

乳制品,从而释放出更大的市场潜力。目前,大部分乳品企业聚焦于枸杞牛奶的工艺设计及优化,并未对其中功能因子相互结合的机制及作用等做出深入研究。随着食品生产技术的不断提升,一系列枸杞与牛奶相结合的创新产品已进入市场,如枸杞红枣牛奶、红枣枸杞风味酸奶以及枸杞红枣厚乳等,这些产品可通过淘宝等线上电商平台便捷购买。因此,越来越多研究者开始关注如何科学优化枸杞与牛奶的结合方式,设计兼具功能性与市场竞争力的枸杞牛奶产品,并进一步拓展其产业体系。本文通过综述枸杞与牛奶结合的营养价值,梳理相关研究进展,旨在为枸杞在乳品领域的深度开发与高值化利用提供理论依据和技术参考。同时,本文通过剖析现有研究中的挑战,并展望未来研究方向,以期充分挖掘枸杞在乳业中的应用潜力。

1 枸杞的主要生物活性成分及其功能

1.1 枸杞多糖

枸杞多糖(Lycium barbarum polysaccharide, LBP)作为枸杞中最丰富的生物活性因子,是一种由酸性杂多糖和多肽或蛋白质组成的复杂糖肽,其中糖链(包括葡萄糖、阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、木糖和鼠李糖等)占其总量的70%^[22]。大量研究表明,LBP具有多种功能特性,其中抗氧化性受到广泛关注。张雅莉等^[23]研究证实,LBP能有效清除自由基,增强抗氧化酶活性,减少氧化应激等途径,提高机体抗氧化能力,增强机体免疫力。大量体内体外研究进一步揭示了LBP抗氧化的机制。Zeng等^[24]构建了胃和小肠的体外微环境,研究模拟胃和肠道消化对LBP化学特性和抗氧化活性的影响,发现消化后的LBP抗氧化能力不是由单一因素决定的。Wang等^[25]研究比较了4个来自不同品种的LBP对ARPE-19细胞氧化应激的基本理化性质和抑制作用,发现不同种枸杞均能通过Nrf2/ARE信号通路保护ARPE-19细胞免受活性氧产生和抗氧化酶系统损伤的影响,其中LBP_{N-7}表现出最强效果。唐开锋等^[26]探讨了LBP对急性胰腺炎(AP)小鼠炎症和

氧化应激的影响和机制,发现LBP可通过抑制炎症因子,氧化应激分子和NF- κ B信号通路缓解AP小鼠的胰腺损伤,为LBP的临床应用提供了依据。除抗氧化性外,随着研究的深入,LBP的一些其他功能性质也逐渐被揭示并完善。Deng等^[27]从LBP中分离出4种具有不同分子量(MW)的水溶性组分,使用鼠肝癌H22细胞和H22小鼠在体外和在体内研究了LBP的MW和抗肿瘤活性之间的关系,发现4种LBP组分对H22细胞均有抑制作用,且LBP的抗肿瘤活性与其MW密切相关,具有中等MW(40-350 kDa)的LBP-3是主要活性成分;Zhou等^[28]通过高脂饮食/链脲佐菌素(HFD/STZ)诱导的糖尿病小鼠模型,发现LBP可通过恢复肠道微生物群的组成和增强HFD/STZ诱导的糖尿病小鼠的肠道屏障功能来延缓糖尿病发展。

随着研究的深入,LBP的利用价值被进一步发掘,而关于LBP的提取工艺也逐步完善。传统的提取方法包括热水浸提、碱水浸提、超声波辅助提取、微波辅助提取、生物酶提取及多法联用。随着学科交叉发展,亚临界水提取法、高压脉冲电场提取法、高速剪切技术辅助提取法、反复冻融提取法等新技术也被逐渐应用到LBP的提取中^[29]。因此,关于LBP的研究相对完善,如何让LBP在体内保持良好的生物活性已成为下一个亟待解决的问题。

1.2 类胡萝卜素

除了LBP外,类胡萝卜素也被证明是枸杞中的另一类重要功能因子,常被视为天然色素被添加至食品中。玉米黄质是枸杞中常见的类胡萝卜素之一,占总类胡萝卜素的31%~56%,主要以玉米黄质二棕榈酸的形式存在^[30]。然而,类胡萝卜素的水溶性差和低生物利用度,限制了其在食品行业的应用。因此,将类胡萝卜素掺入功能性食品或膳食补充剂中成为研究热点。Zhang等^[31]将枸杞中的类胡萝卜素通过掺入非离子表面活性剂进行自乳化的方式生产成食品级纳米乳液。研究发现,当表面活性剂与油的比例 ≥ 2 (表面活性剂浓度 $\geq 10\%$)时可形成小尺寸、高类胡萝卜素生物可利用性的纳米乳液。因

此，通过设计有效的递送系统以封装食品应用中的类胡萝卜素和其他亲脂性生物活性成分具有重要意义。

1.3 甜菜碱

甜菜碱是一种水溶性季胺类生物碱，是人体内重要的甲基供体和渗透压调节剂，可通过抑制炎症反应、改善胰岛素抵抗、降低细胞内质网氧化应激等机制，在肝脏疾病的预防与治疗中发挥积极作用^[32]。然而，甜菜碱对光和温度敏感，易褪色和失活。Yang等^[33]通过超声诱导形成酵母蛋白-壳寡糖-甜菜碱复合物（YCB），并评估其对甜菜碱的保护作用，发现YCB促进了三者的结合，能有效保持甜菜碱的热、光和金属离子（铁和铜）稳定性，并实现了其在模拟胃肠道中的控释行为，为稳定甜菜碱生物活性提供了有效方法。

1.4 花青素

黑枸杞被誉为“花青素之王”。花青素是衍生自2-苯并吡喃的糖基化多羟基或聚甲氧基衍生物的黄酮化合物，以其强大的抗菌和抗氧化特性而闻名，可有效维持食品品质并延长保质期。因其对pH值独特的敏感性，可随环境酸碱度变化而发生颜色变化，因此可作为一种有效的指示剂，用于实时监测食品新鲜度，并预警潜在的食品品质劣变^[34]。Liu等^[35]制备了大豆分离蛋白/黄原胶/琼脂-黑枸杞花青素智能指示膜，并证实了其在羊肉保鲜中的良好作用。

综上所述，枸杞中丰富的生物活性物质已获得广泛认可和深入研究。因此，进一步将这些活性物质与其他物质相结合，并开发出对人体显著有益的功能性食品具有广阔前景。

2 牛奶中受枸杞影响的主要营养物质

2.1 酪蛋白

牛奶是优质蛋白质来源，酪蛋白作为其中含量最多的蛋白质，存在多种具有生物活性的肽序列，对人体生理生化功能有调节作用。根据氨基酸序列的差异，酪蛋白可分为4种亚型，包括 α_{s1} -CN、

α_{s2} -CN、 β -CN和 κ -CN，并以胶束形式悬浮于乳液水相中^[36]。目前，大量研究集中在酪蛋白的各个基因型上，并针对各个亚型进行了大量研究。 α_{s1} -CN和 α_{s2} -CN是牛奶中已知的过敏原之一，尤其婴幼儿对其更为敏感^[2]。Liu等^[37]成功建立了基于LC-MS/MS的婴幼儿配方奶粉中这两种酪蛋白的测定方法。

β -CN是乳酪蛋白中的主要成分之一，总量占酪蛋白的33%~40%，其中A1、A2为其最常见的两种不同功能的结构类型^[14]。关于牛奶中酪蛋白与枸杞中各种功能活性分子的相互作用，现有研究已取得初步进展。Shori等^[38]探讨了干酪中添加枸杞和鱼胶原蛋白对蛋白水解和血管紧张素转化酶-I（ACE）活性抑制的影响，表明枸杞中的生物活性物质可能与酪蛋白相互作用。然而，牛奶中的酪蛋白具有高度异质性和特殊的聚集模式，其遗传变异原因和酪蛋白胶束的结构尚不完全明确，仍需进一步研究。此外，针对酪蛋白组成和胶束形成进行深入研究，继续改进相应检测方法，可为功能性食品、医疗用品及药物新剂型的开发提供参考。

2.2 乳清蛋白

作为牛奶中蛋白质的重要组成，乳清蛋白富含 β -乳球蛋白（ β -LG）、 α -乳白蛋白（ α -LA）、免疫球蛋白、乳过氧化物酶等生物活性物质，具有良好的抗癌、抗氧化和抑菌作用。其中， α -乳白蛋白、 β -乳球蛋白的分子量较小，消化和吸收效率也更高^[39]。乳清蛋白的功能特性主要有胶凝、乳化和发泡性等。基于乳清蛋白的乳化特性，其作为一种天然乳化剂的应用已获得广泛认可。目前，针对乳清蛋白与各种天然物质的复合物已开展大量研究。Guo等^[40]研究发现，乳清分离蛋白和高甲基酯化的柑橘果胶经24 h共轭反应具有最佳的乳化性。同时，短时间热处理形成的乳清蛋白-鼠李糖脂缀合物能够作为高效的生物乳化剂，具有巨大的应用潜力^[41]。此外，关于乳清蛋白的其他功能特性的研究也逐渐深入。Shen等^[42]通过制备乳清蛋白分离物溶液，并探究高强度超声（HUS，20kHz）对葡萄糖酸- δ -内酯诱导的乳清蛋白凝胶胶凝特性的影响，结果表明，

高强度超声可用于修饰乳清蛋白并改善其胶凝特性。张思雨等^[43]通过模拟不同加热条件下对3种乳清蛋白起泡能力的研究,发现这3种乳清蛋白起泡能力均有不同程度提高,其中,在80℃处理20s,对乳清蛋白的起泡能力和理化特性的促进作用最为显著。基于乳清蛋白良好的功能性能,将其与枸杞中的活性物质相结合也是当前研究的热点。Tian等^[44]利用LBP对由乳清蛋白分离物包被的水包油乳液的物化稳定性进行研究,发现LBP能有效抑制乳液体系中的蛋白质和脂质氧化,对改善乳液类食品的质量具有重要意义。Wang等^[45]研究了浓度为0~2.00% LBP与乳清分离蛋白(WPI)的相互作用,发现在LBP浓度为1.00%时具有最佳抗氧化活性,且LBP-蛋白质复合物是提升食品工业产品功能性和稳定性的潜在功能性食品材料。Al-Wraikat等^[46]探讨了基于LBP和乳清蛋白(WP)的功能性食品如何影响肠道菌群多样性,发现WP和LBP的综合作用可显著增强肠道微生物组代谢活动和分类多样性,为治疗肥胖和相关疾病提供了有效途径。

2.3 其他成分物质

乳糖是一种含有半乳糖和葡萄糖的还原性双糖,由 β -(1,4)-糖苷键连接^[47]。乳糖是牛奶中的重要碳水化合物,可提供能量,但也是导致部分人群乳糖不耐受的主要原因之一。在加工过程中,长时间热处理不仅会形成早期美拉德产物,也可能与枸杞中的果酸或果胶结合形成凝块,严重影响牛奶的稳定性和营养性。除此之外,牛奶中的一些维生素和矿物质等与枸杞中的营养成分也可以相互补充,发挥协同作用,但同时也需要注意可能存在的不良影响。

3 枸杞与牛奶结合产品的营养价值及研究现状

枸杞和牛奶结合可以发挥营养互补的作用,尤其是在预防老年人慢性疾病和促进人体健康等方面具有重要意义。枸杞中的多糖、类胡萝卜素等与牛奶中的蛋白质、钙和维生素D相结合,能提供更全面

的营养支持。目前,关于枸杞和牛奶的研究多聚焦于二者的功能活性分子复合。有研究将LBP成功接枝到乳清分离蛋白上,形成二元复合物,并揭示了二者的相互作用,为二者在复合凝胶制备及其在肉制品等中作为脂肪替代品提供了新思路^[48]。综上所述,枸杞和牛奶的结合不仅在营养上具有互补性,而且在生理功能上可能产生协同效应,这对于开发新的健康食品和推动中医药现代化具有重要意义。

随着居民健康意识的增强,营养保健功能性产品的开发越来越受到重视。利用现代发酵技术可保留或增加枸杞中的多种营养成分和生物活性物质。研究人员聚焦于枸杞和牛奶结合体系的工艺研究,利用单因素试验和响应面法对枸杞和其他具有功能活性分子的食品复合并添加到牛奶中的工艺进行研究,从而确定最优配比。成堃等^[49]通过响应面法优化了金银花枸杞风味酸奶的发酵工艺。在长期研究过程中,目前已有枸杞红枣牛奶等产品投入市场,深受消费者的喜爱。因此,枸杞牛奶的研究不仅限于工艺研究或优化,而应将关注点更多地聚焦于枸杞功能乳品的研究,进一步探究乳品中生物活性分子的代谢机制以及抗性特点。目前,齐瑾等^[50]研究了不同菌种复合发酵制备的枸杞酸奶,对其中多酚类化合物的代谢变化做出回答,揭示了枸杞益生菌酸奶中多种酚酸类物质的表达上调和糖苷类黄酮的生成,是发酵后其抗氧化活性提升的主要原因,为后期功能性酸奶的研发提供了依据。

需要注意的是,以LBP和蛋白质为例,二者在热处理过程中,若温度控制不当,极易发生美拉德反应,糠氨酸(Furosine)、糖基化终产物(AGE)和晚期糖基化终末产物等多种美拉德反应有害产物会导致慢性疾病。因此,将枸杞中的活性因子与牛奶中蛋白质等物质结合并使其在体内保持较高活性,已成为枸杞牛奶精深加工的一个重要议题。其中,采用封装技术是一种行之有效的措施,通过制备脂质体、微胶囊和纳米乳液等方法来保护和封装枸杞中生物活性物质,不仅可以保护其免受环境影响,还利于优化输送和释放活性物质,在新型功能食品

的设计和开发中发挥重要作用。目前, LBP的研究虽然较为深入, 仍缺乏具有较强市场竞争力的高附加值产品, 其市场规模化与产业集约化、标准化的进程远逊于如香菇多糖与黄芪多糖等植物多糖, 需通过大规模临床试验以支持其广泛应用。

4 枸杞与牛奶结合产品的创新开发思路

4.1 复合凝胶食品

有研究表明, 添加LBP可以改善大豆分离蛋白(Soy Protein Isolate, SPI)热诱导凝胶复合材料的质构, 使其具有更高的凝胶强度、持水能力、黏弹性和热稳定性^[51]。通过对植物源蛋白质与LBP结合的研究, 可以进一步衍生到动物源蛋白结合LBP, 设计和开发含有LBP的新食品, 扩大枸杞在新型功能性食品中的应用。He等^[52]通过控制 pH 值和 LBP 浓度, 能够开发具有可调质地和增强流变特性的凝胶, 这可能为 LBP 在复合凝胶上的应用提供重要参考。牛奶中的乳清蛋白因富含 β -乳球蛋白而具有出色的凝胶性, 因此, 可以基于牛奶中 β -乳球蛋白与LBP设计复合凝胶食品, 开发可调节凝胶型食品, 以满足不同的消费者偏好。

4.2 枸杞膳食纤维酸奶

在枸杞加工处理过程中, 鉴于枸杞皮渣仍含有枸杞特征活性物质, 如膳食纤维、多酚、多糖等。Sun等^[53]探索了枸杞残留物的膳食纤维潜力, 使用酶法从枸杞残留物(LBR)中提取水不溶性膳食纤维(LBIDF), 并比较分析LBR和LBIDF的单糖组成、微观结构、理化性质和吸附性能。结果表明, 与LBR相比, LBIDF具有理想的理化性质, 适合在300℃以下加工。此外, LBIDF对胆固醇、胆汁酸、亚硝酸盐离子、葡萄糖和葡萄糖的阻滞能力较高, 并能在体外抑制脂肪和淀粉的消化。上述发现表明, 来自LBR的膳食纤维样品具有作为功能性食品成分的潜力。胡欣欣^[54]采用单一碱法对枸杞膳食纤维进行提取, 并将枸杞膳食纤维添加在酸奶中, 对其理化流变、质构等进行了测定, 发现与商业柑橘纤维相比, 枸杞纤维具有更优的食品添加属性, 最

小程度的影响食品特性。因此, 目前对枸杞膳食纤维的应用研究主要集中在对食品感官、理化组织特性的影响上, 未来可进一步探究其多种提取工艺, 以及将其与牛奶中各种功能活性因子结合后, 对肠道菌群、升糖指数等方面的影响。

4.3 枸杞牛奶奶酪

Wang等^[48]研究了红枣多糖(JP)和LBP对山羊奶干酪质地、流变特性和微观结构的影响, 发现与对照奶酪相比, 含有LBP的奶酪表现出较低的脂肪含量、较高的水分含量和更柔软的质地。Chang等^[56]将WPI和黄原胶(XG)复合制备了WPI/XG油凝胶, 将海藻酸钠(SA)加入乳清蛋白纳米纤维(WPN)中制备了WPN/SA水凝胶, 最后采用不同比例将二者结合制备了新型乳清蛋白凝胶, 并探讨了上述凝胶作为乳清蛋白衍生的奶油类似物的可行性, 发现其在质地、流变特性和感官特性方面表现出最佳的一致性, 同时也显示出更强的热稳定性, 有望在未来成为合成脂肪类食品的可持续替代品。因此, 可考虑利用枸杞中活性物质与牛奶制备成奶酪、奶油和乳膏等的替代品。

4.4 枸杞色素代替天然着色剂

枸杞中的类胡萝卜素和花青素相较于商业着色剂具有更高的安全性和营养价值, 可代替商业着色剂用于牛奶色泽的改良。Vidana等^[57]研究了不同浓度花青素提取物在发酵乳中的应用, 并与商业着色剂进行比较, 发现含有黑枸杞花青素提取物的酸奶在贮藏过程中表现出较高的稳定性和抗氧化活性, 表明黑枸杞花青素提取物是极具潜力的商业着色剂替代品。

4.5 低敏性产品

生牛奶中的部分蛋白质和小分子, 如 α -LA、 β -LG和 α_{s1} -CN已被证实是引起消费者过敏的重要原因^[58]。研究表明, 通过糖基化修饰可削弱牛奶的致敏性^[16]。Perusko等^[59]将 β -LG与葡萄糖高度糖基化后发现糖基化改变了 β -LG的高级结构并使其发生热凝聚, 通过破坏蛋白的构象表位降低过敏原与抗体的结合几率, 从而降低干扰素- γ 、白细胞介素

(interleukin, IL)-5和IL-13的释放和嗜碱性粒细胞的活性。鉴于LBP是一种天然糖源,未来研究可探索利用LBP对乳清蛋白或酪蛋白进行糖基化修饰,在降低牛奶致敏性的同时,赋予产品枸杞的活性功能,实现新型功能乳制品开发。

5 结论与展望

面对全球日益严峻的人口老龄化趋势,枸杞与牛奶结合产品以其独特的营养价值和健康益处,展现出巨大的市场潜力和开发前景。枸杞与牛奶结合产品有望开发出更多具有创新性的功能乳制品。未来研究应重点利用多组学技术,深入解析LBP与乳蛋白的互作机制;开发针对枸杞热敏成分的温和加工工艺(如超高压、脉冲电场);开展临床研究验证枸杞牛奶产品的健康功效;推动LBP在乳制品中的标准化与产业化应用。集成理论研究、工艺优化、营养验证、市场推广等方面,开发创新性功能乳制品,进一步推动乳制品行业的可持续发展。

参考文献

- [1] Qian D, Ji R F, Gao W, et al. Advances in research on relationships among Lycium species and origin of cultivated Lycium in China[J].Zhongguo Zhongyao Zazhi, 2017, 42 (17): 3282-3285.
- [2] Kulczyński B, Gramza-Michałowska A. Goji Berry (Lycium barbarum): Composition and health effects—a Review[J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2016, 66 (2): 67-75.
- [3] Ma R H, Zhang X X, Ni Z J, et al. Lycium barbarum (Goji) as functional food: a review of its nutrition, phytochemical structure, biological features, and food industry prospects [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 63 (30): 10621-10635.
- [4] 张琦, 朱绚绚, 熊佳丽, 等. 枸杞营养功能特性及其产品开发现状[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50 (15): 398-408.
- [5] 兰天, 段国珍, 祁有朝等. 黑果枸杞和黄果枸杞的广泛靶向代谢组学分析[J]. 食品科学, 2024, 45 (12): 52-58.
- [6] Islam T, Yu X, Badwal T S, et al. Comparative studies on phenolic profiles, antioxidant capacities and carotenoid contents of red goji berry (Lycium barbarum) and black goji berry (Lycium ruthenicum) [J]. Chemistry Central Journal, 2017, 11 (1): 59.
- [7] Masci A, Carradori S, Casadei M A, et al. Lycium barbarum polysaccharides: Extraction, purification, structural characterisation and evidence about hypoglycaemic and hypolipidaemic effects. A review[J]. Food Chemistry, 2018, 254: 377-389.
- [8] Vidović B B, Milinčić D D, Marčetić M D, et al. Health benefits and applications of goji berries in functional food products development: A review[J]. Antioxidants, 2022, 11 (2): 248.
- [9] 刘冰, 马静钰, 李婷, 等. 提取温度对黑果枸杞多糖理化特性及抗氧化、免疫调节活性的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46 (3): 60-70.
- [10] 松伟, 段昊, 赵健, 等. 枸杞原料在缓解视疲劳保健食品中的应用[J]. 食品科技, 2023, 48 (8): 59-64.
- [11] Miranda M R, Vestuto V, Amodio G, et al. Antitumor mechanisms of lycium barbarum fruit: an overview of in vitro and in vivo potential[J]. Life, 2024, 14 (3): 420.
- [12] Wang J, Li S, Zhang H, et al. A review of Lycium barbarum polysaccharides: Extraction, purification, structural-property relationships, and bioactive molecular mechanisms[J]. Carbohydrate Research, 2024, 544: 109230.
- [13] Guo W, Liu S, Khan M Z, et al. Bovine milk microbiota: Key players, origins, and potential contributions to early-life gut development[J]. Journal of Advanced Research, 2024, 59: 49-64.
- [14] 贤歌, 刘慧敏, 王加启, 等. 牛奶中A1和A2 β -酪蛋白的结构、功能和检测方法研究进展[J]. 畜牧兽医学报, 2024, 55 (12): 5440-5451.
- [15] 李明博, 刘环宇, 张龙舟, 等. 氨基酸调控牛生长代谢及产品品质的研究进展[J]. 饲料研究, 2021, 44 (17): 137-140.
- [16] 徐文龙, 谢一嘉, 潘洋, 等. 乳制品中美拉德反应有害产物的生成途径、检测方法及其控制策略研究进展[J]. 食品科学, 2025, 46 (3): 274-283.
- [17] Ma B, Al-Wraikat M, Shu Q, et al. An overview of interactions between goat milk casein and other food components: polysaccharides, polyphenols, and metal ions[J]. Foods, 2024, 13 (18): 2903.
- [18] Wang W, Jia R, Hui Y, et al. Utilization of two plant polysaccharides to improve fresh goat milk cheese: Texture, rheological properties, and microstructure characterization[J]. Journal of Dairy Science, 2023, 106 (6): 3900-3917.
- [19] Chen L, Li Z Y, He Q, et al. Effect of lotus (Nelumbo nucifera) petals extract on the quality of yogurt and its action mechanism[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45 (5): 1-10.
- [20] Chen L, Chen N, He Q, et al. Effects of different phenolic

- compounds on the interfacial behaviour of casein and the action mechanism[J].Food Research International, 2022, 162 (Pt B) : 112110.
- [21] Wang H, Ke L, Ding Y, et al.Effect of calcium ions on rheological properties and structure of Lycium barbarum L. polysaccharide and its gelation mechanism[J].Food Hydrocolloids, 2022, 122: 107079.
- [22] Zhang L, Hu Z, Jin X.Analysis of polysaccharides characteristic, monosaccharide composition and xylitol content of Lycium barbarum[J].Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34 (4) : 657-662.
- [23] 张雅莉, 黄晓旭, 蔡美琴.枸杞多糖的抗氧化及缓解体力疲劳作用研究进展[J].上海交通大学学报(医学版), 2015, 35 (6) : 911-914, 923.
- [24] Zeng W, Chen L, Li Y, et al.The effect of in vitro digestion on the chemical and antioxidant properties of Lycium barbarum polysaccharides[J].Food Hydrocolloids, 2023, 139: 108507.
- [25] Wang H, Wang N, Ma L, et al.Polysaccharides from different cultivars of wolfberry: Physicochemical characteristics and protection against oxidative stress[J].Industrial Crops and Products, 2023, 197: 116548.
- [26] 唐开锋, 王剑虹, 余家奇.枸杞多糖在AP小鼠体内抗炎、抗氧化应激的作用机制[J].中国老年学杂志, 2020, 40 (21) : 4653-4656.
- [27] Deng X, Li X, Luo S, et al.Antitumor activity of Lycium barbarum polysaccharides with different molecular weights: an in vitro and in vivo study[J].Food & Nutrition Research, 2017, 61 (1) : 1399770.
- [28] Zhou W, Yang T, Xu W, et al.The polysaccharides from the fruits of Lycium barbarum L. confer anti-diabetic effect by regulating gut microbiota and intestinal barrier[J].Carbohydrate Polymers, 2022, 291: 119626.
- [29] 牛忻, 袁继承, 吴北霞.枸杞多糖研究进展[J].食品安全导刊, 2024, 9: 151-160.
- [30] Fratianni A, Niro S, Alam M D R, et al.Effect of a physical pre-treatment and drying on carotenoids of goji berries (Lycium barbarum L.) [J].Food Science & Technology, 2018, 92: 318-323.
- [31] Zhang C, Li B.Fabrication of nanoemulsion delivery system with high bioaccessibility of carotenoids from Lycium barbarum by spontaneous emulsification[J].Food Science & Nutrition, 2022, 10 (8) : 2582-2589.
- [32] Wang C, Ma C, Gong L, et al.Preventive and therapeutic role of betaine in liver disease: A review on molecular mechanisms[J].European Journal of Pharmacology, 2021 (912) : 174604.
- [33] Yang R, Hu J, Ding J, et al.Ultrasound assisted fabrication of the yeast protein-chitoooligosaccharide-betain composite for stabilization of betanin[J].Ultrasonics Sonochemistry, 2024, 104: 106823.
- [34] Yong H, Liu J.Recent advances in the preparation, physical and functional properties, and applications of anthocyanins-based active and intelligent packaging films[J].Food Packaging and Shelf Life, 2020, 26: 100550.
- [35] Liu B, Gao J, Liu X, et al.Preparation of soybean isolate protein/xanthan gum/agar-Lycium ruthenicum anthocyanins intelligent indicator films and its application in mutton preservation[J].International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 283 (Pt 3) : 137751.
- [36] De Groot A, Bijl E, Sagis L M C.Casein network formation at oil-water interfaces is reduced by β -casein and increased by Ca^{2+} [J].Food Hydrocolloids, 2025, 160 (Pt 1) : 110741.
- [37] Liu Z, Gao X, Ruan H,et al.Determination of α_{s1} -Casein and α_{s2} -Casein in hypoallergenic infant formula by extended specific peptide -isotope-labeled internal standard dilution-LC-MS/MS[J].Food Bioscience, 2024, 62: 105197.
- [38] Shori A B, Ling Y H, Baba A S.Effects of Lycium barbarum and fish collagen in cheese on the proteolytic degradation profile with anti - ACE activity[J].Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45 (3) : e15239.
- [39] Zeng X, Wang Y, Yang S, et al.The functionalities and applications of whey/whey protein in fermented foods: a review[J]. Food Science and Biotechnology, 2024, 33 (4) : 769-790.
- [40] Guo X, Guo X, Meng H, et al.Influences of different pectins on the emulsifying performance of conjugates formed between pectin and whey protein isolate[J].International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 123: 246-254.
- [41] Zhang G, Li Y, Song T, et al.Improvement in emulsifying properties of whey protein-Rhamnolipid conjugates through short-time heat treatment[J].Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2019, 181: 688-695.
- [42] Shen X, Zhao C, Guo M.Effects of high intensity ultrasound on acid-induced gelation properties of whey protein gel[J].Ultrasonics Sonochemistry, 2017, 39: 810-815.
- [43] 张思雨, 程建军, 孙玉雪, 等.热处理对乳清蛋白原料起泡性、理化特性的影响及关系研究[J].食品与发酵工业, 2023, 49 (22) : 117-124.
- [44] Tian L, Zhang S, Yi J, et al.Formation of antioxidant multilayered coatings for the prevention of lipid and protein oxidation in oil-in-water emulsions: Lycium barbarum polysaccharides and whey proteins[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69 (51) : 15691-15698.
- [45] Wang H, Zhang J, Rao P, et al.Mechanistic insights into

- the interaction of Lycium barbarum polysaccharide with whey protein isolate: Functional and structural characterization[J]. Food Chemistry, 2024, 463 (Pt 1) : 141080.
- [46] Al-Wraikat M, Zhang L, Li L, et al.Recent advances in wolfberry polysaccharides and whey protein-based biopolymers for regulating the diversity of gut microbiota and its mechanism: A review [J].International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 281 (Pt 3) : 136401.
- [47] Li A, Zheng J, Han X, et al.Advances in low-lactose/lactose-free dairy products and their production[J].Foods, 2023, 12 (13) : 2553.
- [48] Wang H, Zhang J, Rao P, et al. Mechanistic insights into the interaction of Lycium barbarum polysaccharide with whey protein isolate: Functional and structural characterization[J]. Food Chemistry, 2025, 463 (Pt 1) : 141080.
- [49] 成堃, 袁雪娇, 高星, 等.响应面法优化金银花枸杞风味酸奶的发酵工艺[J].中国酿造, 2020, 39 (2) : 206-210.
- [50] 齐瑾, 郭帅, 陈彦辉, 等.枸杞益生菌酸奶特性评价及其多酚类化合物的代谢变化[J].食品工业科技, 2025, 46 (10) : 163.
- [51] Xing H, Liu X, Hu Y, et al.Effect of Lycium barbarum polysaccharides on heat-induced gelation of soy protein isolate[J].Food Hydrocolloids, 2024 (147) : 109323.
- [52] He Z, Ma T, Zhang W, et al. Heat-induced gel formation by whey protein isolate-Lycium barbarum polysaccharides at varying pHs[J].Food Hydrocolloids, 2021 (115) : 106607.
- [53] Sun H, Ge W, Song D, et al.Structure, physicochemical and adsorption properties of insoluble dietary fiber from Lycium barbarum residue: A potential functional factor[J].Food Bioscience, 2024 (61) : 104703.
- [54] 胡欣欣.枸杞膳食纤维的制备表征、功能活性及应用研究[D].杭州: 浙江大学, 2023.
- [55] Wang W, Jia R, Hui Y, et al.Utilization of two plant polysaccharides to improve fresh goat milk cheese: Texture, rheological properties, and microstructure characterization[J]. Journal of Dairy Science, 2023, 106 (6) : 3900-3917.
- [56] Chang R, Liu J, Ji F, et al.Hypoglycemic effect of recrystallized resistant starch on high-fat diet-and streptozotocin-induced type 2 diabetic mice via gut microbiota modulation[J].International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 261 (Pt 2) : 129812.
- [57] Vidana Gamage G C, Goh J K, Choo W S.Application of anthocyanins from black goji berry in fermented dairy model food systems: An alternate natural purple color[J].Food Science & Technology, 2024 (198) : 115975.
- [58] 胡永芯, 谭宏凯, 胡巍, 等牛乳乳清中主要过敏原的B细胞表位定位[J].食品科学, 2022, 43 (20) : 148-156.
- [59] Perusko M, Roest M, Stanic - Vucinic D, et al.Glycation of the major milk allergen β - lactoglobulin changes its allergenicity by alterations in cellular uptake and degradation[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2018, 62 (17) : 1800341.