

健康谷物及其制品在乳品加工中的应用

Application of healthy grains and its products in dairy processing

咎学梅^{1,2} 刘 明² 孟 宁^{2,3} 刘艳香²
ZAN Xue-mei^{1,2} LIU Ming² MENG Ning^{2,3} LIU Yan-xiang²
谭 斌² 刘翼翔¹ 倪 辉¹
TAN Bin² LIU Yi-xiang¹ NI Hui¹

(1. 集美大学食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037; 3. 哈尔滨商业大学旅游烹饪学院, 黑龙江 哈尔滨 150076)

(1. Jimei University, College of Food and Biological Engineering, Xiamen, Fujian 361021, China;

2. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China;

3. Harbin University of Commerce, College of Tourism and Cooking, Harbin, Heilongjiang 150076, China)

摘要:文章综述了健康谷物及其制品的加工技术及特点, 介绍了健康谷物及其制品在乳品加工领域的应用进展, 并进一步探讨了中国健康谷物乳制品发展中存在的问题和发展方向。

关键词:健康谷物; 乳制品; 加工技术

Abstract: This paper summarizes the processing technology and characteristics of healthy cereals and their products, introduces the application progress of healthy cereals and their products in dairy processing field, and further discusses the problems and development direction in the development of healthy cereals and dairy products in China.

Keywords: healthy grains; dairy products; processing technologies

健康谷物是一类具有生物活性化合物且长期摄入可调节代谢促进人体健康的谷物的总称, 包括全谷物、特色杂粮和通过加工技术增加目标生物化合物谷物^[1-4]。Ross 等^[5]的研究结果表明长期摄入全谷物对血浆胆固醇表现出明显的影响趋势, 进一步支持了全谷物降低脑血管疾病风险的流行病学证据。Mcrae^[2]的研究也显示, 全谷物中的麸皮、胚芽、胚乳中含有的营养物质具有多种生

理活性功能。例如可降低 2 型糖尿病和癌症发生的风险等。而 Anderson 等^[6-7]的研究也表明健康谷物中的目标活性化合物甾醇可以和胆固醇竞争酯化酶。胆固醇酯化反应减少, 降低了肠道对胆固醇的吸收, 从而降低血清胆固醇的含量。全谷物食品还可对人体血压和体内血浆同型半胱氨酸含量等产生影响^[8]。因此, 增加健康谷物食品的摄入量能够降低心脑血管疾病等慢性疾病发生的风险。

乳制品是指以乳为原料加工制作的产品^[9]。包括乳牛乳、水牛乳、山羊乳和绵羊乳。因加工方法和利用不同, 乳制品有不同的形态, 较常见的是奶粉、发酵型乳饮料和冰淇淋等。乳制品中含有人体生长所需的蛋白质、脂肪、矿物元素和维生素等营养物质。其中的不饱和脂肪酸对婴幼儿的视网膜和大脑有重要作用^[10]。但是, 乳制品维生素含量低, 且蛋白种类仅限于动物蛋白。而“中国特色双蛋白工程”^[11]开始探索植物蛋白和动物蛋白的营养量效关系, 从而加快人体细胞损伤修复^[12]。优质的动物蛋白和植物蛋白不但可以协同增强抗阻运动后的肌肉蛋白的生成, 还可以促使动植物蛋白优势互补, 发挥其本身的生理调节作用, 从而改善人体健康。Reidy 等^[13]的研究结果也显示, 大豆与牛奶蛋白混合促进运动后肌肉蛋白合成的能力高于单一的乳清蛋白。《中国居民膳食指南》^[14]中指出, 谷物作为膳食宝塔的塔基, 是人们的日常主食。乳品作为健康食品, 和富含目标生物化合物的健康谷物一起食用, 不仅优化了中国居民膳食营养结构, 而且还进一步提升了乳制品的营养价值。文章就健康谷物及其制品在乳品中的应用予以概述, 以期与健康谷物及制品在乳品中的开发应用提供科学参考。

基金项目:“十三五”国家重点研发计划(编号:2018YFD0400802)

作者简介:咎学梅, 女, 集美大学在读硕士研究生。

通信作者:谭斌(1972—), 男, 国家粮食和物资储备局科学研究院研究员, 博士。E-mail: tb@chinagrains.org
刘翼翔(1982—), 男, 集美大学副教授, 博士。
E-mail: lyxjmu@jmu.edu.cn

收稿日期:2019-07-24

1 健康谷物及其制品概述

1.1 健康谷物的研究现状

健康谷物包括全谷物和特色杂粮。其中全谷物包括稻米、小麦和玉米等,而特色杂粮主要包括青稞、燕麦、薏苡等,此外还包括荞麦与籽粒苋两种假谷物^[15]。健康谷物中的功能活性成分大体包括酚类、甾醇和阿拉伯木聚糖与 β -葡聚糖等非淀粉多糖等^[16]。健康谷物中功能活性物质的种类与含量随健康谷物种类和品种的不同而具有不同的应用价值。如朱昱琳等^[17]研究表明长黑青稞中因含有丰富的酚类化合物而是一种具有潜在抗氧化价值的功能性食品原料。孟娟娟等^[18]研究发现燕麦中的 β -葡聚糖具有降低胆固醇和调节机体免疫功能等多种营养保健功效。另外,增加健康谷物种类的另一种途径是通过加工技术增加谷物中目标生物化合物的含量。如 Heffi 等^[19]研究表明通过发芽技术可以使小麦叶酸含量增加 4~6 倍。Zhang 等^[20]研究也表明经过纤维素酶处理的糙米发芽后 γ -氨基丁酸含量增加。

综上所述,健康谷物是一种富含目标生物化合物的谷物,这些活性物质均具有一定的自由基清除能力,可以通过整合具有催化作用的金属离子、调节体内氧化酶类和抗氧化酶类的活性、促进内源性抗氧化物质的形成等方式使机体免受氧化损伤^[21-22]。因此,健康谷物不仅可以预防包括癌症、2 型糖尿病、阿尔茨海默症等在内的人类慢性疾病^[23-24],而且也开拓了谷物的应用途径和领域。目前,市场上有关健康谷物产品主要有:发芽糙米、全麦粉、全麦面包、全麦饼干、糙米膨化食品、燕麦片、谷物饮料等。

1.2 健康谷物的加工技术

近年来,全谷物和特色杂粮因其营养保健功效受到学术界和消费者的青睐,但是部分谷物由于米糠层的纤维素及其复合物难以咀嚼,不容易被人体消化食用受到局限。目前中国的食品企业正在改变过去以杂粮原粮为主的单一模式,加大了对全谷物和杂粮等健康食品的科研投入,通过膨化技术、超微粉碎技术和低温等离子体技术等食品工程高新技术处理的健康谷物不仅可以解决谷物的感官和食用品质,还可以提高产品的附加值,如营养保健功效。

1.2.1 发芽技术 发芽技术是指在合适的温湿条件下会激发种子内源酶的活性,从而将淀粉等大分子部分降解,使必需成分和生理活性成分的种类和含量增加,是一种提高健康谷物营养保健价值行之有效的方法^[25]。徐建国等^[26]研究发现,经过发芽技术处理的燕麦,其 γ -氨基丁酸含量显著增加。膳食多酚是健康谷物发芽过程中富集的一种功能活性成分,且已被证明在一系列人类慢性疾病,如癌症、心血管疾病和神经退行性疾病等的预防和治

疗上发挥有益作用^[27]。一般认为膳食多酚的这种生理功能主要归功于其抗氧化活性。膳食多酚在不同健康谷物中组成的差异,一方面取决于基因等内源性的因素,另一方面植物在生长和萌发等生理活动的过程中,伴随着体内复杂的激素和代谢酶的变化,酚类组成也会随之改变^[28]。发芽技术通过浸泡破坏植物细胞壁,从而提高相关酶对底物的可及性和生物活性化合物的可提取性。如 Cho 等^[29]研究表明发芽糙米中可溶性酚酸和结合酚酸的组成随苯丙氨酸裂解酶和细胞壁过氧化物酶等相关酶的相互作用而发生显著变化。其中,可溶性酚酸是在萌发初期根据苯丙氨酸裂解酶活性的变化合成的,主要分布在芽部。而糙米发芽后期,其茎部细胞壁过氧化物酶的逐渐活化引起不溶性酚酸的增加。所以,发芽诱导的酚酸含量的增加导致发芽糙米抗氧化活性的增加。同理,发芽技术也提高了藜麦、荞麦和小麦等健康谷物种子的抗氧化活性^[30-31],而这些抗氧化能力与抗氧化成分的存在有关,如酚类化合物、黄酮类化合物等膳食多酚。因此,发芽技术是积累抗氧化成分膳食多酚(如芦丁等生物活性类黄酮)的良好途径之一。

谷物通过发芽技术增加了健康谷物的种类和人体对目标化合物的摄入量,从而增加了调节人类代谢综合征的食物来源。发芽技术在健康谷物中的应用存在的问题:①发芽浸泡过程中会使健康谷物失去特征气味;②不同种类内源酶激活条件和机制尚不清楚。所以关于发芽技术在健康谷物中的条件优化机理还需进行深入研究。

1.2.2 酶解技术 酶是由生物体活细胞产生的且具有特殊催化作用的一类蛋白质^[32]。而酶解技术是指借助酶在常温、常压和温和的酸碱条件下,高效催化活体细胞内各种生化反应的技术。它不仅破坏健康谷物的组织细胞壁,如纤维素酶、半纤维素酶等;而且还可利用酶的专一性生成特定的活性成分如 γ -氨基丁酸等。Zhang 等^[20]研究表明酶解技术不仅可以富集目标活性物质 γ -氨基丁酸,而且还可降低糙米中抗营养成分植酸的含量,防止植酸与微量元素螯合,影响人体对 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 等的利用。谷氨酸脱羧酶催化谷氨酸生成 γ -氨基丁酸,因此,提高谷氨酸含量有望提高 γ -氨基丁酸在谷物中的积累^[33]。而钱亚丹等^[34]的研究进一步说明了酶解技术相比于热磨法、发芽法和糙米酵素法更适合去除植酸。这是因为植酸在植酸酶的作用下,其分子中的磷酸依次从肌醇环上水解下来,直至完全降解^[35]。因此,酶促降解优于其他方法。

由于不同健康谷物的加工要求使用的酶种类不同,而酶解技术的优点是可以利用酶的专一性来判断某种结构的物质含量。但是酶的储存、杂菌污染及稳定性较差也是其技术推广中的难点,同时如何使酶在合适的环境中进行高效的催化反应,以及酶解不同物质所使用的复

合酶之间的协同作用机制等都有待解决。

1.2.3 发酵技术 发酵是通过微生物的生物化学反应改变植物中营养组分和抗营养组分的比例,从而提高产品的生物活性和消化性等。然而,健康谷物中常见的酚类化合物,尤其是酚酸和黄酮类化合物,通常是与多糖、纤维素、半纤维素和脂质分子结合形成共轭不溶性的结合形式^[36]。而发酵过程中,微生物代谢产物中的酶如纤维素酶、淀粉酶、半纤维素酶和果胶酶在释放酚酸方面起重要作用。因此,健康谷物通过发酵技术会使酚类化合物和类黄酮化合物的数量增加,导致抗氧化活性增加。此外,发酵诱导植物细胞壁的结构破坏,也会增加各种抗氧化化合物的合成途径^[37]。而刘燕等^[38]研究表明燕麦经过发酵后,红曲燕麦多糖的生物活性有所提高,清除羟自由基的能力和抑制淀粉酶的能力均高于未发酵燕麦。

发酵技术与人类健康息息相关。因此,发酵技术在健康谷物加工方面也具有很大的发展潜力。虽然发酵这项技术已有悠久的历史,但是健康谷物方面的应用还有些关键技术未完善。如优质发酵剂、发酵方式、产率及成本高等问题。因此深入研究相关加工条件、提高发酵健康谷物品质量和实现产业化生产迫在眉睫。

1.2.4 超微粉碎技术 超微粉碎是一种利用机械力或流体动力将 3 mm 以上的物料颗粒粉碎至 10~25 μm 的物料加工高新技术^[39-40]。Zhu 等^[41]通过傅里叶变换红外光谱分析发现,超细粉碎后的健康谷物主要化学结构没有破坏。但是,随着粒径的减小,类黄酮化合物、总多酚、可溶性蛋白和多糖的溶出度逐渐提高^[42]。超微粉碎技术是健康谷物制品的一种后续加工方式,使其具有更好的溶解性、分散性、吸附性等物料性质。所以超微粉技术应用于谷物麸皮中具有降低界面张力和空间位阻效应等良好的物理性能^[43]。Zhu 等^[41]研究表明超微粉碎影响了麦麸基体,造成一些酚类化合物释放或暴露,因而提高了麦麸总酚含量、DPPH 自由基清除活性和铁还原抗氧化能力。

但是,目前关于超微粉碎技术有些问题尚待进一步验证。例如:超微粉碎的健康谷物破壁后溶出的物质对产品整体的营养价值和货架期是否有影响;健康谷物超微粉碎粒度的控制;超微粉碎后的健康谷物的比表面积增大是否会影响产品营养成分的稳定性和贮藏等。

1.2.5 膨化技术 膨化过程的基本原理一般指外施加热和压力使物料结构膨大并改变其某些理化性质^[44]。而膨化过程中的高温高剪切等作用可以最大限度地促进大分子类聚合物的化学键发生断裂,转变成小分子的可溶性物质。膨化技术应用于健康谷物中解决了部分谷物的粗糙口感从而拓展了健康谷物的利用途径。Mir 等^[45]研究表明膨化技术降低了糙米总酚和总黄酮的含量。同时,Gujral 等^[46]研究表明砂焙对燕麦的总酚和类黄酮含量均有

影响。说明膨化技术中温度参数会影响总酚和类黄酮含量。然而,薛朕钰等^[47]的研究结果也显示,苦荞黄酮提取物和燕麦的混合物经过挤压膨化后,类黄酮类物质有一定的损失,但并不十分显著。因此,膨化技术对总酚和类黄酮含量的影响与健康谷物的种类和样品形态等有关,但关于膨化技术对抗氧化生物活性成分的影响机理还需进一步的研究。

膨化技术具有产品多样化、营养成分保存率大、利用率高、生产设备简单、无污染的特点。但是,设备的操作参数和原料加工工艺参数的优化仍然是目前的研究热点。而且随着新技术和新工艺的出现及人们消费观念的转变。生产低油低脂和天然保健食品会受到消费者的青睐。因此,低温、超声膨化技术等都有可能在未来应用于实践,开拓新的原料来源和新型膨化设备、技术及其他食品加工技术的有机结合也将是膨化技术发展的重点和热点。

1.2.6 超高压技术 超高压技术是一种在室温或温和加热条件下利用 100~1 000 MPa 的压力处理物料的非热加工技术^[23]。在操作过程中温度一直保持在恒定无熟化状态,所以对小分子物质影响较小,能完好地保留原料中的营养成分、原有风味品质等。超高压处理能引起非共价键(氢键、离子键和疏水键等)的破坏或形成,使酶、蛋白质、淀粉等天然高分子物质分别失活、变性和糊化,从而达到食品灭菌、保藏和加工的目的^[48]。同时超高压对维生素、色素等低分子物质的共价键无任何影响^[49],因而超高压食品可以很好地保持其原有的营养价值、色泽和天然风味。而 Tsironi 等^[50]研究表明超高压技术中温度参数为 45 $^{\circ}\text{C}$ 时,荞麦的抗氧化活性高于对照组未处理荞麦。此种现象的产生有可能与酶的活性有关,因为 Cho 等^[29]研究表明酶也可以清除自由基。王晓杰等^[51]通过超高压协同碱性蛋白酶制备玉米黄粉 ACE 抑制肽,结果表明不仅提高了 ACE 抑制率,而且酶解时间显著缩短。说明超高压技术可以作为一种生产玉米功能肽的绿色高效制备方法。但超高压技术对不同健康谷物的抗氧化活性还需进一步研究。

超高压技术作为当前比较热门的技术之一,不仅有效地减少了加热处理对产品本身营养成分的影响,而且超高压技术还具有耗能低、无污染等优点。不足的是经超高压处理的食物必须进行密封包装处理。

1.2.7 低温等离子体技术 等离子体是一种电离气体(也称为物质的第四态)^[52]。在等离子体中,这些电离产生的电离气体,包括离子、电子、自由基和激发态,以高能态的形式存在。根据等离子体的温度和能级,可将其分为高温等离子体和低温等离子体(包括热等离子体和冷等离子体)。高温等离子体通常用于核应用,而低温等离子体是制备和改性材料的有效工具。所以,在食品领域

常用低温等离子体加工谷物或改性等。低温等离子体对糙米中酚类物质积累和抗氧化活性提高的积极作用,已有多篇报道^[53-55]。而 Zargarchi 等^[56]研究表明,低压等离子体处理后的发芽糙米,种子吸水率、发芽率和 GABA 含量均有显著提高。但酚类物质浓度和抗氧化活性下降可能是由于酚类物质的分解和苯丙氨酸裂解酶的失活或其他反应产生的自由基导致酚类化合物氧化所致。所以,低压等离子体可以作为一种开发 GABA 功能组分的新方法应用于水稻。而关于低温等离子体在健康谷物的抗氧化及酶活方面的影响还需要进一步探究。低温等离子体初步涉入食品加工技术中的应用,所以低温等离子体在健康谷物中的应用价值还需进行深层次的研究。

2 健康谷物及其制品在乳品中的应用

健康谷物应用在不同乳品中所需的加工方式不同。例如发酵技术使谷物中分子较大的淀粉和蛋白质被分解为相对来说分子更小的糊精、低聚糖、还原糖、多肽及氨基酸。而周雪松等^[57-58]研究表明低聚糖有利于酸奶的水合作用,可以增加黏稠度;而肽有利于嗜热链球菌的生长及产酸。这是因为牛奶本身只含有少量的非蛋白态氮,且嗜热链球菌的蛋白水解能力非常弱。因而牛奶并非嗜热链球菌生长的理想培养基,添加肽后,促进了嗜热链球菌的生长和产酸能力,从而加速了发酵乳的发酵进程。而低聚果糖对益生菌也有促生长效果^[59]。所以,健康谷物应用在乳品中,不仅满足消费者对乳品种类和营养的需求,而且也优化了乳品的加工特性。

2.1 健康谷物及其制品在奶粉中的应用

奶粉是以生鲜乳为主要原料,添加或不添加辅料,经杀菌、浓缩、喷雾干燥制成的粉状产品^[9]。健康谷物奶粉是以健康谷物和新鲜奶为原料而制成的冲调食品^[60]。健康谷物奶粉在营养上不仅做到了全面、均衡,在原材料上也解决了奶源紧张的问题。而冲调产品最重要的是稳定性和溶解性。健康谷物可以通过超微粉碎和挤压膨化等技术解决其在奶粉中的稳定性和溶解性。而且,乳品中含有相当比例的干酪素胶束,这些胶束是两亲性的、多孔的^[61]。乳品这种两亲性、多孔的胶束结构可使健康谷物中的营养物质更好地保存在乳品中。同时, Mahmoodani 等^[62]的研究结果显示脂质氧化产物与维生素 D₃ 含量呈负相关。而健康谷物中的营养因子甾醇是维生素 D₃ 的前体。即随着甾醇含量增加,脂质氧化反应会减少。因此,富含甾醇的健康谷物应用于乳制品中,还可延长乳品的货架期。

2.2 健康谷物及其制品在发酵乳制品中的应用

发酵乳是以生乳为原料添加乳酸菌,经发酵而制成的饮料或食品^[9]。通过乳酸发酵生产的乳饮料,不仅延长了产品的货架期,而且还具有促进消化酶的分泌和肠

道的蠕动、提高食物消化吸收率、机体免疫等功效。黏度是评价发酵乳质地的主要参数。而 Nemska 等^[63]研究表明酪蛋白胶束的形成是由于蛋白质颗粒间交联次数的增加和结构强度的增加而形成的,这会导致凝乳的持水能力、硬度和黏度的增加。而不同的健康谷物中的蛋白以不同的速率改变微凝胶结构中蛋白基质的密度,从而影响发酵乳的黏度。另外,乳品中的蛋白质和多肽还能提高健康谷物中矿物质和微量元素的生物利用度,如钙、镁、锰、锌、硒和铁等,而健康谷物中复杂的碳水化合物(纤维、持久淀粉和低聚糖)还包含细菌的生长因子和益生元成分。

2.3 健康谷物及其制品在冰淇淋中的应用

冰淇淋是由冰晶、分散的脂肪球和空气、蛋白质—水胶体结构和连续的未冻水相组成的复杂的食品乳状液体体系^[64]。因其冰爽口感而深受消费者喜爱。但是随着人们生活水平的提高和消费观念的转变,消费者要求冰淇淋产品满足口感的同时还要具有一定的保健功效。而健康谷物因其丰富的营养价值和多样的加工特性也受到了消费者的青睐。因此,研制一款含健康谷物的冰淇淋将会具有广阔的市场前景。如 Moriano 等^[65]研究冰结合蛋白(也称为抗冻蛋白)对冰淇淋的结构和质地的影响,结果表明,用冬黑麦的冰激肽制成的冰淇淋含有大量的冰晶,这些冰晶将冰淇淋混合物包裹在一个刚性的网络中,使冰淇淋硬度降低,产品光滑,整体可接受性较高。另外,健康谷物中较高等度的脂肪可以稳定空气相,从而有助于优化冰淇淋的物理特性,如质地和融化特性。

3 展望

健康谷物应用在乳品中,不仅丰富了乳品的营养种类,而且也拓展了乳品的风味和健康谷物的利用途径。健康谷物在乳品中应用的优点是:① 与牛奶相比,含健康谷物的乳品具有低热量、营养素含量高的特点^[65]。② 含健康谷物的乳品弥补了纯植物奶缺乏钙、核黄素和酪蛋白等多种天然营养素的缺点。③ 健康谷物或加工之后的健康谷物的质构接近脂肪^[66]。因此,含健康谷物的乳品使其口感质地更浓厚且具有谷物天然的香味。此外,由于健康谷物本身一般都具有天然甜味,不需另加甜味剂。而市场上关于健康谷物乳品不足的是:① 健康谷物品单一。单谷物产品较多,尤其是燕麦产品。但是多种谷物混合产品较少,如藜麦、糙米和薏米等。② 健康谷物的呈现形式较局限。目前,市场上较常见的是燕麦以颗粒的形式在酸奶中呈现。但是其他真实大颗谷粒的乳品很少。③ 特定消费人群的产品种类较少。随着时代的发展,消费者在选择产品时会更加注重其营养保健功能,尤其是肥胖和糖尿病人群。④ 跨界产品少。如代餐类奶昔等。目前,代餐类奶昔有蒙牛的慢燃纤维奶昔牛奶和娃

哈哈的纤细佳人藜麦奶昔等。⑤ 产品升级少。市场上无论是纯奶还是酸奶,口味大多还是以水果口味为主,而谷物口味的如青稞、藜麦等很少。因此,如何研制出具有口感细腻、风味独特的健康多谷物保健乳品是目前较为重要的研究内容。

参考文献

- [1] POUTANEN K, SHEPHERD R, SHEWRY P, et al. Beyond whole grain: The European HEALTHGRAIN project aims at healthier cereal foods[J]. *Cereal Foods World*, 2008, 53(1): 32-35.
- [2] MCRAE M P. Health benefits of dietary whole grains: An umbrella review of meta-analyses[J]. *Journal of Chiropractic Medicine*, 2017, 16(1): 10-18.
- [3] WARD J L, KAISA P, KURT G, et al. The HEALTHGRAIN cereal diversity screen: Concept, results, and prospects[J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56(21): 9 699-9 709.
- [4] SHEWRY P R. The HEALTHGRAIN programme opens new opportunities for improving wheat for nutrition and health[J]. *Nutrition Bulletin*, 2010, 34(2): 225-231.
- [5] ROSS A B, BRUCE S J, BLONDEL-LUBRANO A, et al. A whole-grain cereal-rich diet increases plasma betaine, and tends to decrease total and LDL-cholesterol compared with a refined-grain diet in healthy subjects[J]. *Br J Nutr*, 2011, 105(10): 1 492-1 502.
- [6] JAMES W Anderson, TAMMY J Hanna, PENG Xue-jun, et al. Whole grain foods and heart disease risk[J]. *J Am Coll Nutr*, 2000, 19(S3): 291S-299S.
- [7] JACOBS D R, MEYER K A, KUSHI L H, et al. Whole-grain intake may reduce the risk of ischemic heart disease death in postmenopausal women: The Iowa women's health study[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1998, 68(2): 248-257.
- [8] SLAVIN J L, JACOBS D, MARQUART L. Grain processing and nutrition[J]. *Crit Rev Biotechnol*, 2001, 21(1): 49-66.
- [9] 《乳制品工业产业政策(2009年修订)》正式发布[J]. *中国畜牧杂志*, 2009, 45(14): 44.
- [10] ABEDFAR A, HOSSEININEZHAD M, SADEGHI A, et al. Investigation on "spontaneous fermentation" and the productivity of microbial exopolysaccharides by *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus pentosaceus* isolated from wheat bran sourdough[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 96: 686-693.
- [11] MCCLAVE S A, TAYLOR B E, MARTINDALE R G. Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: Society of critical care medicine (SCCM) and american society for parenteral and enteral nutrition (A.S.P.E.N.) (vol 40, pg 159, 2016)[J]. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 2016, 40(8): 1 200.
- [12] GABOR S, RENNER H, MATZI V, et al. Early enteral feeding compared with parenteral nutrition after oesophageal or oesophagogastric resection and reconstruction[J]. *Br J Nutr*, 2005, 93(4): 509-513.
- [13] REIDY P T, WALKER D K, DICKINSON J M, et al. Protein blend ingestion following resistance exercise promotes human muscle protein synthesis[J]. *J Nutr*, 2013, 143(4): 410-416.
- [14] 《中国居民膳食指南(2016)》发布 提出六条核心推荐条目[J]. *中国油脂*, 2016, 41(6): 91.
- [15] 汪丽萍, 谭斌, 刘明, 等. 全谷物中生理活性物质的研究进展与展望[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(8): 141-147.
- [16] 谭斌, 谭洪卓, 刘明, 等. 粮食(全谷物)的营养与健康[J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(4): 100-107.
- [17] 朱昱琳, 杨士花, 黄勇桦, 等. 长黑青稞中不同形态多酚的提取及体外抗氧化活性[J/OL]. *食品科学*. [2019-10-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20190710.0931.014.html>.
- [18] 孟娟娟, 齐宝宁, 张志刚, 等. 燕麦片中 β -葡萄糖水提工艺条件优化[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(7): 1 910-1 913.
- [19] HEFNI M, WITTHOFT C M. Effect of germination and subsequent oven-drying on folate-content in different wheat and rye cultivars[J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 56(2): 374-378.
- [20] ZHANG Qiang, LIU Nian, WANG Shuang-shuang, et al. Effects of cyclic cellulase conditioning and germination treatment on the gamma-aminobutyric acid content and the cooking and taste qualities of germinated brown rice[J]. *Food Chemistry*, 2019, 289: 232-239.
- [21] WAGNER J R, HU Chia-Chieh, AMES B N. Endogenous oxidative damage of deoxycytidine in DNA[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 1992, 89(8): 3 380-3 384.
- [22] GUTIERREZ-GRIJALVA E P, AMBRIZ-PERE D L, LEYVA-LOPEZ N, et al. Review: Dietary phenolic compounds, health benefits and bioaccessibility[J]. *Arch Latinoam Nutr*, 2016, 66(2): 87-100.
- [23] HUANG Chun-yung, WU Shu-jing, YANG Wen-ning, et al. Antioxidant activities of crude extracts of fucoidan extracted from *Sargassum glaucescens* by a compressional-puffing-hydrothermal extraction process [J]. *Food Chemistry*, 2016, 197: 1 121-1 129.
- [24] BABBAR N, OBEROI H S, UPPAL D S, et al. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues[J]. *Food Research International*, 2011, 44(1): 391-396.
- [25] 卢黄华, 丁玉琴, 曾端辉, 等. 糙米全谷物食品加工新技术及产品的开发[J]. *食品工业*, 2015, 36(6): 246-250.

- [26] 徐建国. 燕麦发芽过程中多酚含量及其抗氧化活性的变化[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1): 201-205.
- [27] SERRA D, ALMEIDA L M, DINIS T C P. Dietary polyphenols: A novel strategy to modulate microbiota-gut-brain axis[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 78: 224-233.
- [28] 王晨, 龙晓珊, 邹宇晓, 等. 膳食多酚的糖稳态调节作用研究进展[J/OL]. 食品与机械. [2019-10-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1183.TS.20190830.1551.008.html>.
- [29] CHO D H, LIM S T. Changes in phenolic acid composition and associated enzyme activity in shoot and kernel fractions of brown rice during germination[J]. Food Chemistry, 2018, 256: 163-170.
- [30] ACOSTA-ESTRADA B A, GUTIERREZ-URIBE J A, SEMA-SALDIVAR S O. Bound phenolics in foods, a review[J]. Food Chemistry, 2014, 152: 46-55.
- [31] ALVAREZ-JUBETE L, WIJNGARDD H, ARENDT E K, et al. Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking[J]. Food Chemistry, 2010, 119(2): 770-778.
- [32] KANG Hong-yu, HOU Zhen, LI Jiao. Facilitating full-text access to biomedical literature using open access resources[J]. Stud Health Technol Inform, 2015, 216: 1 123.
- [33] WU Feng-feng, YANG Na, TOURE Alhassane, et al. Germinated brown rice and its role in human health[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2013, 53(5): 451-463.
- [34] 钱亚丹, 毛鹏, 张俊杰, 等. 糙米中抗营养因子及其去除方法研究[J]. 农业科技与装备, 2018(2): 36-39.
- [35] 王新坤, 仲磊, 杨润强, 等. 植物籽粒中植酸及其降解方法与产物研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(3): 301-306.
- [36] TORINO M I, LIMON R I, MARTINEZ-VILLALUENGA C, et al. Antioxidant and antihypertensive properties of liquid and solid state fermented lentils[J]. Food Chemistry, 2013, 136(2): 1 030-1 037.
- [37] KATINA K, LAITILA A, JUVONEN R, et al. Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye[J]. Food Microbiol, 2007, 24(2): 175-186.
- [38] 刘燕, 罗游, 魏岱岳, 等. 红曲菌固态发酵对燕麦多糖体外抗氧化及抑制淀粉酶活性的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(5): 95-101.
- [39] CHAU Chi-fai, WANG Yi-ting, WEN Yu-ling. Different micronization methods significantly improve the functionality of carrot insoluble fibre[J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1 402-1 408.
- [40] CHEN Jia-lun, GAO Dong-xiao, YANG Le-tian, et al. Effect of microfluidization process on the functional properties of insoluble dietary fiber[J]. Food Research International, 2013, 54(2): 1 821-1 827.
- [41] ZHU Feng-mei, DU Bin, LI Jun. Effect of ultrafine grinding on physicochemical and antioxidant properties of dietary fiber from wine grape pomace[J]. Food Sci Technol Int, 2014, 20(1): 55-62.
- [42] ZHAO Xiao-yan, YANG Zai-bin, GAI Guo-sheng, et al. Effect of superfine grinding on properties of ginger powder[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(2): 217-222.
- [43] HUANG Xin, DOU Jun-yang, LI Dong, et al. Effects of superfine grinding on properties of sugar beet pulp powders[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 87: 203-209.
- [44] DU Li-juan, GAO Qing-han, JI Xiao-long, et al. Comparison of flavonoids, phenolic acids, and antioxidant activity of explosion-puffed and sun-dried jujubes (*Ziziphus jujuba* Mill.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(48): 11 840-11 847.
- [45] MIR S A, BOSCO S J D, SHAH M A, et al. Effect of puffing on physical and antioxidant properties of brown rice[J]. Food Chemistry, 2016, 191: 139-146.
- [46] GUJRAL H S, SHARMA P, RACHNA S. Effect of sand roasting on beta glucan extractability, physicochemical and antioxidant properties of oats[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(10): 2 223-2 230.
- [47] 薛朕钰, 薛森, 王雪, 等. 添加苦荞黄酮提取物的裸燕麦挤压膨化产品抗氧化及降血脂功效研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 33-38.
- [48] GEORGET E, SEVENICH R, REINEKE K, et al. Inactivation of microorganisms by high isostatic pressure processing in complex matrices: A review[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015, 27: 1-14.
- [49] SUAREZ-JACOBO A, RUEFER C E, GERVILLA R, et al. Influence of ultra-high pressure homogenisation on antioxidant capacity, polyphenol and vitamin content of clear apple juice[J]. Food Chemistry, 2011, 127(2): 447-454.
- [50] TSIRONI T, ANJOS L, PINTO P I S, et al. High pressure processing of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets and tools for flesh quality and shelf life monitoring[J]. Journal of Food Engineering, 2019, 262: 83-91.
- [51] 王晓杰, 丛万锁, 刘晓兰, 等. 玉米 ACE 抑制肽的制备工艺及中试生产[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(7): 158-164.
- [52] WANG Dong-dong, ZOU Yu-qin, TAO Li, et al. Low-temperature plasma technology for electrocatalysis[J]. Chinese Chemical Letters, 2019, 30(4): 826-838.
- [53] SALEH H M, HASSAN A A, MANSOUR E H, et al. Melatonin, phenolics content and antioxidant activity of germinated selected legumes and their fractions[J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2019, 18(3): 294-301.
- [54] GOMEZ-FAVELA M A, GUTIERREZ-DORADO R, CUEVAS-RODRIGUEZ E O, et al. Improvement of chia seeds with antioxidant activity, GABA, essential amino acids, and dietary fiber by controlled germination bioprocess[J]. Plant Foods Hum Nutr, 2017, 72(4): 345-352.

(下转第 140 页)

质的影响。研究表明,与传统扣碗酪和添加普通发酵剂(保加利亚乳杆菌:嗜热链球菌=1:1)的扣碗酪相比,添加副干酪乳杆菌的感官品质显著提高($P<0.05$)。在 5 d 的贮藏期间,副干酪乳杆菌 KLDS.LP T1610 显著提高了扣碗酪的酸度和乳酸菌活菌总数,并改善了扣碗酪的质构特性,在短时间凝乳的情况下,得到了风味良好、质地紧密、贮藏期品质稳定的扣碗酪产品。后续将继续探索副干酪乳杆菌 KLDS.LP T1610 对人体的益生作用,并进行风味扣碗酪的研制,进一步扩展扣碗酪的产品种类。

参考文献

- [1] 张和平, 孙天松, 郑宏旺. 扣碗酪的初步研究[J]. 中国乳品工业, 1995, 23(1): 6-9.
- [2] 刘振民, 骆承痒. 江米酒乳凝固机理研究[J]. 食品科学, 2000, 21(7): 13-15.
- [3] 黄璐, 霍贵成. 利用响应曲面法优化扣碗酪的生产工艺[J]. 食品工业科技, 2009, 30(10): 209-212.
- [4] SADRZADEH-YEGANEH H, ELMADFA I, DJAZAY-ERY A, et al. The effects of probiotic and conventional yoghurt on lipid profile in women[J]. British Journal of Nutrition, 2010, 103(12): 1 778-1 783.
- [5] LI Hong-yan, JIN Zheng-yu, XU Xue-ming. Design and optimization of an efficient enzymatic extrusion pretreatment for Chinese rice wine fermentation[J]. Food Control, 2013, 32(2): 563-568.
- [6] 林莉, 宋小红, 陈历俊. 宫廷奶酪的加工工艺研究[J]. 中国乳业, 2007(8): 28-30.
- [7] 滕国新. 酒曲中根霉凝乳酶性质及对扣碗酪凝乳质地影响的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005: 90.
- [8] 滕国新, 李里特. 热处理与均质压力对扣碗酪凝乳质构的影响[J]. 食品工业科技, 2006, 27(1): 49-51.
- [9] 蔡晓林. 不同原料乳对扣碗酪加工中微生物菌群组成及品质的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016: 37.
- [10] 张新杰, 李琳, 江岩, 等. 扣碗酪的品质特性及其影响因素的研究[J]. 食品工业, 2016, 37(11): 103-106.
- [11] 蔡晓林, 郭鸽, 胡新新, 等. 不同酒曲及凝乳酶对扣碗酪品质的影响[C]//第五届中国乳业科技大会. 哈尔滨: 中国畜产品加工研究会, 2014: 192-193.
- [12] 耿文超, 关今韬, 程申, 等. 副干酪乳杆菌的功能特性及其应用研究进展[J]. 生物加工过程, 2018, 16(4): 1-7.
- [13] 巨晓英, 寇晓虹. 副干酪乳杆菌的功能及其在食品工业中的应用研究进展[J]. 中国乳品工业, 2009, 37(8): 50-52.
- [14] 庄海霁, 雷虹, 张铁丹, 等. 副干酪乳杆菌的应用研究进展[J]. 生物技术通讯, 2006, 17(6): 989-991.
- [15] IOANNA M, STAVROS P, MARIA O, et al. Effect of a novel *Lactobacillus paracasei* starter on sourdough bread quality[J]. Food Chemistry, 2019, 271: 259-265.
- [16] 屠康, 赵艺泽, 洪莹, 等. 利用质构仪对不同类型干酪质地品质的研究[J]. 中国乳品工业, 2004, 32(12): 16-18.
- [17] POONAM, POPHALY S D, TOMAR S K, et al. Multifaceted attributes of dairy propionibacteria: A review[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2012, 28(11): 3 081-3 095.
- [18] spray-drying: Physicochemistry, rehydration properties, and stability during storage[J]. Powder Technology, 2019, 345: 601-607.
- [19] MAHMOODANI F, PERERA C O, ABERNETHY G, et al. Lipid oxidation and vitamin D3 degradation in simulated whole milk powder as influenced by processing and storage[J]. Food Chem, 2018, 261: 149-156.
- [20] NEMSKA V, LOGAR P, RASHEVA T, et al. Functional characteristics of lactobacilli from traditional Bulgarian fermented milk products[J]. Turk J Biol, 2019, 43: 148-153.
- [21] AKBARI M, ESKANDARI M H, DAVOUDI Z. Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 86: 34-40.
- [22] MORIANO M E, ALAMPRESE C. Organogels as novel ingredients for low saturated fat ice creams[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 86: 371-376.
- [23] ROBERTS K T, CUI S W, CHANG Y H, et al. The influence of fenugreek gum and extrusion modified fenugreek gum on bread[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(2): 350-358.

(上接第 10 页)

- [55] CHEN Hua-han, CHANG Hung-chia, CHEN Yu-kuo, et al. An improved process for high nutrition of germinated brown rice production: Low-pressure plasma [J]. Food Chemistry, 2016, 191: 120-127.
- [56] ZARGARCHI S, SAREMNEZHAD S. Gamma-aminobutyric acid, phenolics and antioxidant capacity of germinated indica paddy rice as affected by low-pressure plasma treatment[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 102: 291-294.
- [57] 周雪松, 蒋灿明, 曾建新, 等. 低聚糖、肽对发酵乳发酵时间及品质影响研究[J]. 现代食品科技, 2007(5): 1-3.
- [58] 谭允冰, 赵强忠. 大豆蛋白酶解产物对不同发酵剂酸奶品质的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(8): 103-109.
- [59] 低聚果糖可影响不同发酵剂生产的益生菌酸奶中的共轭亚油酸含量[J]. 中国乳业, 2008(1): 70-71.
- [60] 钱轶, 顾霆. 健康食品新主角——悦华谷奶(粉)[J]. 中国食品添加剂, 2013(S1): 271-275.
- [61] LANDIM NEVES M I, DESOBRY BANON S, PERRONE I T, et al. Encapsulation of curcumin in milk powders by