

龙眼的健康功效及其健康食品开发的进展

郝娟^{1,2}, 董丽红¹, 池建伟¹, 马永轩^{1,2}, 周秋云³, 张瑞芬¹, 白亚娟^{1,4}

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610) (2. 广州力衡临床营养品有限公司, 广东广州 510610)

(3. 深圳市海普瑞药业集团股份有限公司, 广东深圳 518057)

(4. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

摘要: 龙眼是我国热带水果的典型代表, 对支撑广东的农业经济发展发挥了重要作用。龙眼具有“开胃健脾, 补虚益智”等滋补功效, 以龙眼为原料开发营养健康食品是促进龙眼产业提质增效的有效途径。本文围绕龙眼活性成分及其生物活性研究、以龙眼为主要原料的营养健康食品的开发进行了综述。多糖是龙眼研究最广泛的活性成分, 已有研究对其结构特征、免疫调节等生物活性及其作用机制进行了深入系统的探究, 但对龙眼中其他活性成分及相关功能的认知仍十分有限。目前, 以龙眼为原料有 133 个获得批文的保健食品, 但产品普遍为功能因子尚不明确的第二代保健食品。同时, 以龙眼为原料的普通食品有待进一步向多元化和功能化方向拓展。创建与龙眼功能特性相适应的专用加工技术, 指导其多元化加工利用是推动龙眼产业健康发展的重要途径。

关键词: 龙眼; 活性成分; 多糖; 保健食品; 健康食品

文章编号: 1673-9078(2021)08-340-349

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.8.1220

Health Effect of Longan and Its Present Situation and Prospect of Healthy Food Development

HAO Juan^{1,2}, DONG Li-hong¹, CHI Jian-wei¹, MA Yong-xuan^{1,2}, ZHOU Qiu-yun³, ZHANG Rui-fen¹,
BAI Ya-juan^{1,4}

(1. Sericultural & Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China) (2. Guangzhou Liheng Clinical Nutrition Co. Ltd., Guangzhou 510610, China)

(3. Shenzhen Hepalink Pharmaceutical Group Co. Ltd., Shenzhen 518057, China)

(4. Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: Longan is a typical representative of tropical fruit in China. It plays an important role in supporting the development of agricultural economy of Guangdong province. The tonic effects of longan, such as “appetizing and invigorating spleen, tonifying deficiency and replenishing intelligence”, were recorded in traditional Chinese medical books. Developing healthy food with longan is an effective way to promote the development of longan industry. In this paper, the bioactive ingredients and biological activities of longan, as well as the healthy food with longan were reviewed. Polysaccharide is the most widely studied active ingredient in longan. There have been in-depth and systematic researches on its structural characteristics and immune regulation mechanism. However, the understanding of other active ingredients and bioactive mechanism in longan are still very limited. Up to now, there are 133 functional foods with longan in the market, which belong to the

引文格式:

郝娟,董丽红,池建伟,等.龙眼的健康功效及其健康食品开发的进展[J].现代食品科技,2021,37(8):340-349

HAO Juan, DONG Li-hong, CHI Jian-wei, et al. Health effect of longan and its present situation and prospect of healthy food development [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(8): 340-349

收稿日期: 2020-12-29

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32001707); 广东省科技专项资金项目 (mmkj2020001); 广州市科技计划 (202002030315; 201907010035; 201803010079)

作者简介: 郝娟 (1981-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程

通讯作者: 白亚娟 (1989-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食品科学

second generation of functional food. Meanwhile, the diversified and functional foods with longan need to be further expanded. Creating special processing technology of longan is an important way to guide diversified processing of longan and promote the development of longan industry.

Key words: longan; active ingredients; polysaccharides; functional food; healthy food

龙眼 (*Dimocarpus longan* Lour.) 是我国栽培面积仅次于荔枝、柑桔类和香蕉的热带水果^[1]。我国龙眼的种质资源、种植面积和产量均居世界首位,主产于广东、广西、福建等省,以广东省产量最高。由于其果实结构的特殊性,龙眼的储藏保鲜难度较苹果和柑橘等大宗水果大得多,采收期水果集中上市后,鲜销市场压力巨大。龙眼的市场价格主要受产量影响,近年来,我国龙眼产量呈波动上升态势,但“丰产不丰收”、“果贱伤农”的现象时有发生,极大地伤害了果农的经济利益和生产积极性,严重影响了龙眼产业的健康发展。

龙眼属于既是食品又是药品的食药两用农产品。《神农本草经》等古代医学典籍记载龙眼有“开胃健脾,补虚益智”的功效。在民间,龙眼作为滋补食材被广泛使用^[2]。现代研究表明,龙眼具有免疫调节、抗氧化、抗肿瘤等生理功能^[3]。研究人员从龙眼中分离出多糖、多酚等活性物质,表征其结构特征,并深入研究其生理功能和作用机制^[4],为进一步开发高附加值的龙眼功能食品奠定了理论基础。充分发挥龙眼的“食疗”特性和优势,针对其营养功能活性及主要活性成分特征,发展区域特色健康功能食品和保健食品,提高龙眼精深加工程度,延长加工产业链,是促进龙眼产业提质增效的重要途径。

本文综述了龙眼果肉主要活性成分及功能的研究现状,分析了以龙眼为重要成分的营养功能食品的研究开发情况,旨在为促进我国龙眼产业的可持续发展提供建议和参考依据。

1 龙眼果肉主要活性成分及其功能

龙眼含有糖类、脂类、蛋白质、膳食纤维、酚类、维生素、挥发性风味物质及微量元素等^[4,5]。对于龙眼功能活性最早的研究见于1994年,王惠琴等通过动物实验发现龙眼水提液具有清除自由基及提高小鼠胸腺T细胞比例的作用^[6]。2010年, Park 通过避暗实验发现龙眼水提物能有效提高正常小鼠的学习记忆能力^[7]; 2011年, 骆萍发现龙眼醇提物也能够通过提高东莨菪碱诱导学习记忆损伤大鼠模型的脑组织抗氧化能力,改善小鼠学习记忆能力^[8]。2016年,作者所在研究团队通过避暗实验发现龙眼水提物和醇提物均能有效改善东莨菪碱诱导的记忆障碍小鼠的学习记忆能力,其原因可能与提高乙酰胆碱转移酶活力和降低脑

组织氧化应激水平有关,并初步明确了水提物主要成分为多糖和蛋白质,醇提物含有磷脂类、酚类和黄酮类物质^[9]。项目组进一步研究发现,龙眼果肉醇提物的石油醚萃取部和水部均能提高 SAMP8 老年痴呆小鼠的抗氧化能力,并抑制脑组织中 β 淀粉样蛋白沉积,改善小鼠的学习记忆能力^[10]。以上研究主要是对龙眼粗提物活性的探究,发挥作用的具体活性物质及含量并不清楚。因此,近年来以龙眼中主要活性物质为材料开展的活性研究正逐渐增加。

1.1 多糖

多糖是龙眼果肉的主要活性成分之一^[11,12],也是龙眼果肉活性成分中结构解析与活性研究最多的一类物质。研究者从多糖的分离制备方法、结构表征及其生物活性机制等方面都开展了系列研究。

1.1.1 龙眼多糖的制备及纯化

热水浸提^[13]是多糖提取最常用的手段。此外,研究者还建立了多种物理场辅助提取的方法制备龙眼多糖,如微波提取^[14]、超声波提取^[15]、超声波-酶法提取^[16]等,其目的在于提高多糖提取率和生物活性。赵晨溟等比较了水提法、酶提法、碱提法、酸提法、超声波五种方法来提取龙眼多糖的体外抗氧化能力,发现酶法提取所得龙眼果肉多糖的抗氧化活性最高,而碱提法所得多糖的抗氧化活性最差^[17]。作者所在研究团队采用超高压辅助酶法工艺显著提高龙眼多糖的多糖得率及体外乙酰胆碱酯酶抑制活性^[18]。超微粉碎辅助酶法工艺显著提高龙眼多糖的多糖得率的同时,其体外益生活性也显著增强^[19]。

龙眼多糖是由多种单糖分子通过不同类型的糖苷键连接而成的非均一杂多糖^[20-22]。因此,分级纯化是探明多糖结构的必要前期工作。Liu 等经 DEAE-cellulose 阴离子交换柱和 Sephacryl S-400 HR 凝胶柱纯化得到的龙眼果肉多糖均一组分 LPB-2-M,其平均分子量为 8.00×10^4 u^[13]。Rong 等分离纯化得到分子量为 9.64×10^6 u 龙眼多糖级分,通过 NMR 解析得多糖链骨架由(1 \rightarrow 4)- β -Glc 和(1 \rightarrow 6)- β -Man 组成^[23]。Yang 等采用 Sephadex G-100 凝胶柱层析纯化得到龙眼多糖 PLFP,经甲基化和 GC-MS 分析得其骨架结构主要由 \rightarrow 5)-L-Araf-(1 \rightarrow 、 \rightarrow 6)-D-Glcp-(1 \rightarrow 、 \rightarrow 3)-D-Galp-(1 \rightarrow 、 \rightarrow 3)-D-GalpA-(1 \rightarrow 和 \rightarrow 6)-D-Galp-(1 \rightarrow 以 2:1:1:1:1 比例组成,为阿拉伯半乳糖和阿拉伯葡聚

糖结构^[24]。Meng 等经 DEAE-cellulose 阴离子交换柱和 Sephacryl S-300 HR 凝胶柱纯化得到 3 个龙眼果肉多糖组分 LP1、LP2 和 LP3，其中 LP1 得率最高，平均分子量为 1.1×10^5 u，解析出其糖主链骨架以葡聚糖为主，由 $\rightarrow 4\text{-}\alpha\text{-D-Glcp}\text{-}(1 \rightarrow 4)\text{-}\alpha\text{-D-GalpA}\text{-}(1 \rightarrow 4)\text{-}\alpha\text{-D-Glcp}\text{-}(1 \rightarrow 4)\text{-}\beta\text{-D-Glcp}\text{-}(1 \rightarrow$ 重复单元组成，支链由 $\rightarrow 2)\text{-}\beta\text{-D-Fruf}\text{-}(1 \rightarrow 2)\text{-L-sorbose}\text{-}(1 \rightarrow$ 组成^[25]。Bai 等经 DEAE-Fast Flow 阴离子交换柱和 Sephacryl S-300 HR 凝胶柱纯化得到龙眼果肉多糖组分 LP11a，解析出其糖链主链主要由 $1 \rightarrow 4\text{-Galp}$ 和 $1 \rightarrow 6\text{-Galp}$ 的重复单元构成，支链为 $\alpha\text{-Araf}$ 和 $1 \rightarrow 4\text{-Glcp}$ 构成的重复单元，属于阿拉伯半乳聚糖^[26]，其具体重复结构单元见图 1。可见，由于提取和纯化条件的不同，所得龙眼多糖的单糖组成与结构特征有明显的差异。

1.1.2 龙眼多糖的生物活性

作为龙眼果肉的重要活性成分，龙眼多糖具有清除自由基^[17]、抗肿瘤^[25]、抗炎^[27]、免疫调节^[28,29]、促进软骨组织增殖^[30]等多种生理活性功能，但除了免疫调节活性外，对于其他活性的研究仅有个别的研究报道。研究表明，龙眼多糖通过刺激脾淋巴细胞增殖、增强巨噬细胞吞噬功能和 NO 释放能力来实现免疫调节功能^[25]。体外受体阻断实验结果提示，龙眼多糖可能通过 TLR4/2 \rightarrow NF- κ B 通路活化巨噬细胞^[29]。然而，也有学者发现龙眼多糖能够抑制 Akt 和 MAPK 的磷酸化和 AP-1、NF- κ B 等转录因子的活化，减轻 LPS 诱导的巨噬细胞炎症反应^[28]。由此可见，调控 NF- κ B 活化是目前研究认识到的龙眼果肉多糖发挥免疫调节作用的核心调控因子。上述研究中龙眼多糖对免疫细胞表现出的不同的作用与研究所用多糖的结构、浓度以及细胞的处理方式（如是否用 LPS 对细胞进行炎性刺激）等都有直接的关系。

尽管上述研究通过动物或细胞培养实验揭示出龙眼多糖的免疫调节活性，但学界对于多糖如何发挥生物活性一直存在质疑。因为难以直接被人体内的消化酶水解消化，多糖作为一种生物大分子难以透过肠粘

膜直接被机体吸收利用，那么多糖的生物活性是如何发生的呢？作者所在研究团队发现，龙眼多糖作为唯一碳源能够促进乳酸菌生长^[31]。通过体外模拟人体粪便菌群酵解处理后，龙眼多糖的平均分子量从 2.21×10^5 u 降解至 6.97×10^4 u，发酵混合液中双歧杆菌属和乳酸菌属的相对丰度显著增加，微生物代谢产物短链脂肪酸的生成量也明显增加，提示龙眼多糖能被肠道微生物利用，增加肠道益生菌及其代谢产物水平，调节胃肠道健康^[32]。Zhang 等采用多组学手段发现龙眼多糖能够通过调节小鼠肠道菌群及其代谢产物和调节肠道免疫，发挥整体免疫调节作用^[33]。在此基础上，本研究团队通过环磷酸胺诱导的肠粘膜损伤的免疫抑制小鼠，发现摄入龙眼多糖能够增加小鼠肠道中肠粘膜免疫的重要活性物质-分泌型免疫球蛋白 A (sIgA) 的合成及分泌，同时促进调节 B 细胞分化和 IgA+浆母细胞归巢的细胞因子和受体的表达水平^[34]；同时，龙眼多糖也能够增加肠粘膜紧密连接蛋白和粘液素的表达水平，减轻环磷酸胺引起的肠粘膜屏障结构的损伤^[35]，且小鼠结肠组织中短链脂肪酸受体 GPR41 和 GPR43 的表达水平也较模型组明显增强（未发表数据）。以上研究结果提示，龙眼多糖可能通过作用于肠粘膜免疫系统，或者与肠道微生物互作调节肠道免疫稳态，从而发挥免疫调节活性。

1.2 脑苷脂类

动物及植物来源的脑苷脂类物质可以阻断活化单核巨噬细胞表面的 Toll 样受体 (TLRs) 等，经由一系列信号转导，如有丝分裂原活化的蛋白激酶 (MPAKs) 旁路，调节多种细胞因子的表达，抑制细胞的炎症反应和吞噬功能^[36-38]。Jiyoung 等从龙眼果肉中分离得到 6 个脑苷脂类物质，分别为大豆脑苷 I 和 II、龙眼脑苷 I、龙眼脑苷 II、苦瓜脑苷 I、商陆脑苷 (图 2)，这些脑苷脂都属于 2-羟基脂肪酸取代的鞘氨醇类或植物鞘氨醇类的葡萄糖脑苷脂^[39]。但是关于龙眼果肉中脑苷脂活性的研究尚未见报道。

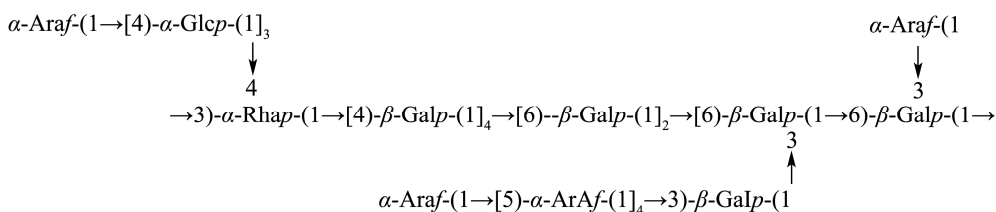


图 1 龙眼多糖 LP11a 的重复结构单元^[26]

Fig.1 Structure of repeating unit of longan polysaccharide LP11a^[26]

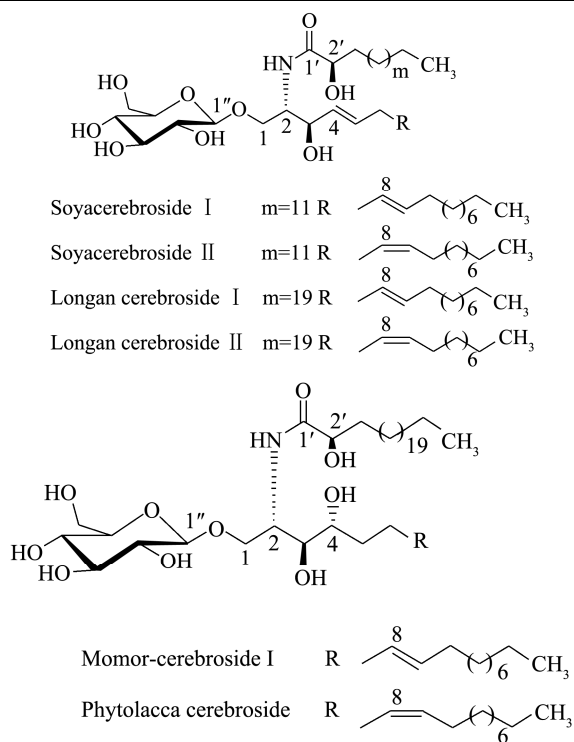


图2 龙眼果肉中脑苷脂类型^[39]

Fig.2 Type of cerebroside in longan pulp^[39]

1.3 酚类

作者所在研究团队比较了 24 种龙眼品种的酚类构成谱,发现龙眼果肉中酚类物质主要以游离态存在,其含量为 16.92~109.24 mg/100 g, 龙眼果肉酚类物质抗氧化能力和酚类物质含量呈显著正相关^[40]。经干制处理后, 龙眼果肉中表儿茶素、阿魏酸、四甲基邻苯二酚等游离酚含量显著下降, 总游离酚含量降低 25.80%~37.30%, 其抗氧化能力也显著下降, 部分游离酚转化为结合酚, 致使结合酚含量显著增加^[41]。新鲜龙眼果肉乙酸乙酯提取物中检出没食子酸、原儿茶酸、咖啡酸、丁香酸、芦丁、鞣花酸、阿魏酸、异阿魏酸、水杨酸、白藜芦醇和槲皮素 12 种酚类物质, 芦丁含量最高^[42]; 而经热风干制处理后检出 16 种酚类物质, 新增加了绿原酸、儿茶素、表儿茶素和异鼠李素 4 种酚类物质, 鞣花酸和没食子酸成为果肉中含量最高的酚类物质^[42]。

1.4 磷脂及核苷类

陈彦林通过分步萃取手段得到龙眼果肉的石油醚萃取部, 从中检出磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺、磷脂酰肌醇及磷脂酸等磷脂类成分^[42]。通过 HPLC 分析, 肖维强等在龙眼果肉中检测出 9 种核苷类化合物, 分别为尿嘧啶、胞苷、尿苷、胸腺嘧啶、次黄嘌呤核苷、鸟苷、胸苷、腺嘌呤和腺苷^[43]。

1.5 其他成分

除了上述活性成分外, 研究者也对龙眼中的有机酸、氨基酸和挥发性成分等的含量进行了测定。龙眼果肉中含有苹果酸、酒石酸、草酸、琥珀酸、柠檬酸等有机酸^[44]。新鲜龙眼果肉中含有 17 种氨基酸, 以天冬氨酸、谷氨酸和丙氨酸含量最高, 经干制后龙眼果肉中总氨基酸含量降幅达 64.30%^[45]。在龙眼果肉中检出 28 种挥发性成分, 包括 β 罗勒烯、3,4-二甲基-2,4,6-辛三烯、乙酸乙酯、别罗勒烯、1-乙基-6-亚乙基环己烯等^[46]。挥发性成分的种类及含量与龙眼品种、成熟度、生长环境及贮藏条件密切相关, 这些成分的存在及其含量可能对于龙眼风味的形成有重要作用。

上述分析结果为我们全面认识龙眼的营养构成提供了信息, 但尚没有证据提示这些成分与龙眼的健康效应有关。

2 以龙眼为原料的保健食品开发现状

我国民间和中医常以龙眼果肉入药。《本草纲目》中记载“食品以荔枝为贵, 而盗益以龙眼为良”, 认为龙眼肉具有开胃健脾、补虚益智的功效。现代研究证实龙眼具有抗氧化、免疫调节及神经调节等重要功能。基于以上原因, 作为保健食品加工原料成为龙眼精深加工利用的重要途径。

GB 16740-2014《食品安全国家标准保健食品》对保健食品进行了严格定义: 保健食品是指声称具有特定保健功能或者以补充维生素、矿物质为目的的食品, 即适宜于特定人群食用, 具有调节机体功能, 不以治疗疾病为目的, 并且对人体不产生任何急性、亚急性或者慢性危害的食品^[47]。我国保健食品的发展大体经历了三代产品。第一代保健食品是仅根据食品中各类营养素的功能推断该保健食品的功能, 缺乏功能性评价和科学性。日本及欧美等国将此类产品列入一般食品。第二代保健食品是指必须经过人体试食和动物实验证明该产品具有某项生理调节功能的食品。我国从 1997 年以后审批的保健食品都属于这一代产品^[48]。第三代保健食品是指在第二代保健食品的基础上, 还需要明确其功能因子的结构、含量及作用机制, 并且要求该功能因子能够在食品中稳定存在, 近年来开发的以中药为主要成分的保健食品多属于此类产品。

以“龙眼/桂圆”为原料关键词, 在药智网站 (<https://db.yaozh.com/>) 检索, 查询到以龙眼为主要原料的保健食品共有 133 个, 主要包括保健酒、口服液、胶囊 3 种形态, 分别有 44、40 和 28 个, 占有

龙眼保健食品 84.20%，还有少量保健食品以颗粒冲剂、咀嚼片、浸膏、饼干等形式存在（图3）。其中，以食品形态存在的保健食品共55个，占龙眼保健食品总量的41.40%。龙眼保健食品的功能声称涉及11种功能，包括增强免疫力、抗疲劳、改善营养性贫血、改善睡眠、延缓衰老、改善记忆力、美容养颜、调节胃肠道功能、调节血脂代谢、促进生长发育和提高耐缺氧性，其中前4种功能产品占产品总量的80%（图4）。原国家卫生部2003年印发并实施《保健食品检验与评价技术规范》（2003年版），明确保健食品可申报增强免疫力、辅助降血脂、辅助降血糖、抗氧化等27项功能，延缓衰老并不在27项功能之内。现存的具有延缓衰老功能声称的龙眼保健食品均为2004年之前审批通过。在133个获得批准的以龙眼为原料的保健食品中，除了2020年获批的鸿字牌五加皮玉竹桂圆酒明确标识该产品经过动物实验评价具有增强免疫力功能外，其余132个以龙眼为原料的保健食品均为1997~2015年间获批，并未标识产品的功能因子及其含量，属于第二代保健食品。

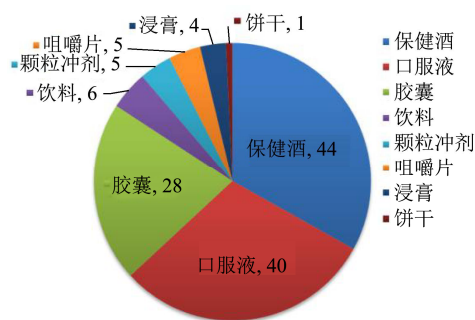


图3 以龙眼为原料的保健食品产品形态数量统计图 (个)

Fig.3 Quantity of the product forms of the functional food with longan as the ingredient

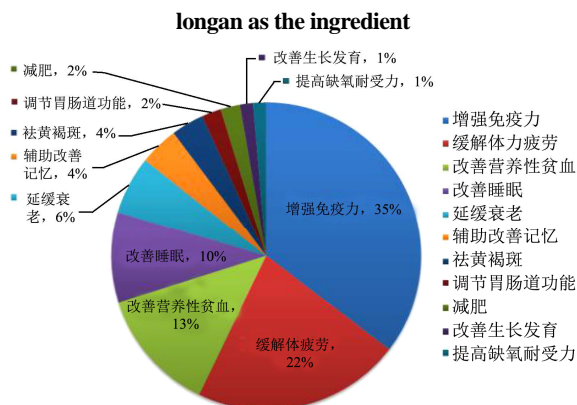


图4 以龙眼为原料的保健食品功能类别统计图 (%)

Fig.4 Pie chart of the functional categories of the functional foods with longan as the ingredient

由此可见，目前以龙眼为主要原料的保健食品的研究开发还不够深入，明确龙眼的主要活性成分及其生理活性的量效关系有利于为以龙眼为原料的保健食

品提供科技背书，增加产品的消费者认可度和市场竞争力。

3 以龙眼为原料的健康食品开发现状

龙眼采收上市时间集中在7~10月，除了鲜销外，约30%的龙眼通过加工制成果干的方式延长其货架期^[1]。我国龙眼果干加工企业规模普遍较小，主要散布在广东、广西和福建等地的龙眼产区。随着中国-东盟自由贸易区的建立，蔬菜水果零关税政策及《中华人民共和国与东南亚国家联盟全面经济合作框架协议》政策的实施，浙江义乌、广东肇庆等国内主要果干市场基本上被来自越南、泰国的产品所充斥^[1]，国内龙眼干加工厂家数量锐减。因此，开展龙眼加工产业的转型升级，增加产品附加值，丰富产品的种类是增加我国龙眼加工产业竞争力的主要出路。

随着健康中国战略的深化实施，我国居民对食品的营养功能特性越来越重视，普通食品功能化已经成为现代食品发展的重要方向，也就是经常被提及的健康食品。狭义上的健康食品是指经过有关部门审批、具有特定的健康声称或以补充维生素、矿物质等为目的的保健食品。随着近年来人们对膳食营养成分与疾病发生风险之间关系研究的不断推进，许多人群调查研究发现许多膳食营养和活性成分，如膳食纤维、维生素B12、维生素D、黄酮等的摄入量与心血管疾病、认知障碍、癌症等慢性疾病发病风险呈明显的负相关关系^[49-51]。因此，营养学家提出了许多增加膳食功能因子摄入的调整膳食结构建议和方案。也正是基于这一原因，通过选用富含某些营养活性成分的食品原料，或采用特定的食品加工手段增加产品中某些特定营养活性成分的含量。这类食品除了满足同类的普通食品所具有的感官品质和营养品质外，其某一种或几种营养活性成分的含量要高于同类的普通食品。与保健食品不同，这类产品不能声称特定的健康功能，通常也没有严格的适宜消费人群的限定，在法规上也是作为普通食品进行管理。这类食品可以代替其同类的普通食品为消费者长期食用。龙眼性温味甘，具有滋补心脾的功效，成为了功能化普通食品创制的首选原料之一。

果（蔬）汁富含丰富的维生素和植物活性物质，口感宜人，方便携带，是龙眼加工的一大方向。龙眼果汁形态包括浑浊型和澄清型两大类。生产龙眼澄清果汁时，添加适量壳聚糖^[52]，或采用超滤技术^[53]，能够在保障营养成分不减少的基础上，显著提高龙眼果汁的透光率。采用乳酸菌和酵母菌联合发酵^[54,55]或不同种类乳酸菌复配发酵的方式^[56]，制备出感官宜人风

味独特的龙眼果汁,具有良好的抗氧化活性。赖婷等发现植物乳杆菌发酵能显著提高龙眼果汁游离态多酚和黄酮含量,提高抗氧化能力^[57]。

果醋具有区别于粮食醋的独特风味和色泽。龙眼富含小分子糖,是制作果醋的优良原料之一。陆丽珠等明确了红枣龙眼复合果醋的酒精发酵的工艺参数^[58]。尹爱国等以活性干酵母发酵龙眼、柠檬复合果汁得基酒,接种醋酸菌发酵得复合龙眼果醋,其主要风味物质为醇类(4-萜烯醇、 α -松油醇、3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇、(-)-4-萜品醇及香茅醇),酯类(橙花乙酸酯、乙酸香叶酯、甲酸异戊酯及乙酸苯乙酯)等^[59]。陈晓维等采用酵母菌和醋杆菌连续发酵龙眼、枸杞、发芽糙米复合饮料,发现发酵过程中多糖含量呈上升趋势,总酚含量呈下降趋势^[60]。在市场上,传统醋酿造品牌恒顺醋业推出了桂圆口服醋,台湾十全特好食品公司推出的桂圆红枣醋等以龙眼为原料的果醋直饮饮品。

酸奶因其适口性强,具有调节胃肠道健康功能而备受消费者喜爱。果蔬酸奶也是新型酸奶开发的重要形式。利用龙眼富含单糖、寡糖及风味平和的特性,与其他果蔬产品进行复合发酵,研发出一系列如红枣山楂桂圆酸奶^[61]、山药桂圆酸奶^[62]、荞麦桂圆酸奶^[63]等重要的龙眼加工乳制品。Huang等发现龙眼果浆经乳酸菌发酵后,其多糖促进乳酸菌增殖活性进一步增强^[31],提示乳酸菌发酵处理在改善龙眼风味的同时能够进一步增强其健康功效,不失为一种龙眼健康食品的理想加工方式。

此外,女性对补血养生产品的市场需求,促使市场上利用龙眼温补功效开发的以女性为目标人群的桂圆红枣枸杞茶、阿胶红枣桂圆枸杞粉等产品的开发与销售。如传统凉茶领导品牌王老吉推出了人参桂圆红枣枸杞袋泡茶,好想你公司推出的红枣桂圆枸杞茶,广德成食品公司的广禧蜂蜜桂圆红枣茶酱,山东优雅食品有限公司的绚烂桂圆红枣果酱。这些产品加工程度低,更侧重于原材料品质筛选和多种原材料的科学配比,提高包装的美观度与食用的方便性,开拓女性消费市场。

4 存在的问题与展望

4.1 存在的问题

由于龙眼是一种具有较强地域分布特性的区域性农产品,关于其生物活性和加工利用相关的研究也具有较明显的地域局限性,主要集中在华南地区和泰国等龙眼主产区,这也是龙眼的功能成分及其加工利用

研究远没有草莓、蓝莓等深入的重要原因。目前,关于龙眼的生理活性研究及其加工利用还存在如下问题:

(1)龙眼活性成分和生物活性研究的深度和系统性有待加强:迄今为止,关于龙眼的活性成分研究比较深入的只有多糖,我们只能提出多糖是龙眼重要活性成分的结论,龙眼中其他成分的生物活性还有待进一步的深入研究。同时,其生物活性的研究也主要集中在免疫调节方面,尽管有少量研究也有涉及龙眼的补血、益智等活性,但缺乏深入的机理探究,其具体的活性成分也未明确。

(2)以龙眼为主要原料的第三代保健食品研发有待加强:如前所述,尽管我国以龙眼为原料开发出了133个获得批文的保健食品,产品的功能声称也涉及到多种健康活性,但产品普遍为功能因子尚不明确的第二代保健食品,这一现象也与龙眼本身的活性成分及其生物活性认识不够充分有直接关系。

(3)以龙眼为原料的普通食品的多元化和精深加工程度不够:尽管研究人员以龙眼为原料研究了果干、果汁、酸奶、营养餐粉等的加工工艺,但很多产品尚停留在实验室阶段,市场上的龙眼深加工产品并不多见。

4.2 展望

针对以上问题,笔者认为,关于龙眼的生物活性研究及其加工利用需要做好以下几个方面的工作。

(1)进一步加强龙眼的健康效应评价研究:在龙眼中医健康功效的指引下,通过系统剖析其活性成分的组成及含量,利用营养组学、代谢组学等研究手段,研究分析各类成分的生物活性、量效构效关系及其作用机制,为保健食品和营养健康食品创制提供充分的理论依据和利用方向。

(2)系统开展龙眼资源的营养品质特性分析:我国的龙眼品种资源丰富,不同品种龙眼的风味品质有明显差异,同时其营养活性成分也存在明显的不同,系统分析不同龙眼品种的储藏加工、营养风味等品质特性差异,一方面指导优质品种的农业品牌创建,实现优质优价,同时引导龙眼资源的品种培育和加工利用方向。

(3)创建与龙眼品质特性相适应的专用加工技术指导其多元化加工利用:龙眼的保鲜期短,糖含量较高,且缺少苹果、柑橘等水果的特征风味。以鲜龙眼为原料加工健康食品难以实现周年生产,而且龙眼热干制处理能够明显提升龙眼的风味特征,因此以龙眼干为原料加工功能食品是龙眼深加工利用的重要思

路。综合应用发酵等食品加工技术对于改善和提升产品的风味特征也具有重要作用。

要发挥企业在产业链和创新链中的主体作用,引导企业与科研机构共建研发实体或工程技术研究中心,依托重大科技计划和专项等,协同攻关解决龙眼产业发展的关键技术瓶颈。建立“企业出题、政府立项、科研机构接单、协同攻关”的联合研发方式,促进“技术—市场—产业”无缝对接。充分挖掘龙眼的功能,增加高新加工技术渗透比重,促进生产装备换代升级,提高其技术壁垒,研发推广以龙眼为主要原料、突出龙眼滋补功效的健康食品,促进科研成果有效、高效地转化,是扩大龙眼健康食品在高端食品领域占有率和收益的重要途径。

参考文献

- [1] 齐文娥,陈厚彬,彭朵芬,等.中国龙眼产业发展现状、问题与对策建议[J].广东农业科学,2016,43(8):169-174
QI Wen-e, CHEN Hou-bin, PENG Duo-fen, et al. Development status, problems and countermeasures of longan industry in China [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2016, 43(8): 169-174
- [2] YANG Cui-xian, HE Ning, Ling Xue-ping, et al. The isolation and characterization of polysaccharides from longan pulp [J]. Separation and Purification Technology, 2008, 63: 226-230
- [3] MIN Ting, SUN Jie, YI Yang, et al. Microanalysis, pharmacokinetics and tissue distribution of polysaccharide-protein complexes from longan pulp in mice [J]. Internal Journal of Molecule Science, 2015, 16: 24403-24416
- [4] Rangkadilok Nuchanart, Sitthimonchai Somkid, Worasuttayangkurn Luksamee, et al. Evaluation of free radical scavenging and antityrosinase activities of standardized longan fruit extract [J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 45(2): 328-336
- [5] JIANG Yue-ming, ZHANG Zhao-qi, Joyce Daryl, et al. Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus longan* Lour.) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 26(3): 241-252
- [6] 王惠琴,信东.龙眼肉提取液抗自由基及免疫增强作用的实验研究[J].中国老年学,1994,14(4):227-229
WANG Hui-qin, XIN Dong. Experimental study on anti-free radical and immune enhancement of longan pulp extract [J]. Chinese Gerontology, 1994, 14(4): 227-229
- [7] Park Se Jin, Park Dong Hyun, Kim Dong Hyun, et al. The memory-enhancing effects of uphoria longan fruit extract in mice [J]. Journal of Ethnopharmacol, 2010, 128(1): 160-165
- [8] 骆萍,林军,李雪华,等.龙眼肉醇提取物对东莨菪碱所致学习记忆获得性障碍大鼠学习记忆的影响[J].广西医科大学学报,2011,28(2):197-200
LUO Ping, LIN Jun, LI Xue-hua, et al. Effects of longan extract on scopolamine induced learning and memory impairment in rats [J]. Journal of Guangxi Medical University, 2011, 28(2): 197-200
- [9] 白亚娟,刘磊,张瑞芬,等.龙眼果肉提取物改善东莨菪碱诱导小鼠学习记忆功能[J].中国农业科学,2016,49(21): 4203-4213
BAI Ya-juan, LIU Lei, ZHANG Rui-fen, et al. Longan pulp extract improves scopolamine induced learning and memory function in mice [J]. Journal of Chinese Agricultural Sciences, 2016, 49(21): 4203-4213
- [10] 冉玉兵,刘磊,张瑞芬.龙眼果肉提取物改善 SAMP8 小鼠学习记忆功能[J].现代食品科技,2017,33(6): 1-8
RAN Yu-bing, LIU Lei, ZHANG Rui-fen, et al. Longan pulp extract improves learning and memory function in SAMP8 mice [J]. Modern Food Science & Technology, 2017, 33(6): 1-8
- [11] YI Yang, HUANG Fei, ZHANG Ming-wei, et al. Solution properties and *in vitro* anti-tumor activities of polysaccharides from longan pulp [J]. Molecules, 2013, 18(9): 11601-11613
- [12] HE Yin, WANG Qiang, ZHONG Kui. Optimization of enzymatic extraction of polysaccharide from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) pulp using response surface methodology [J]. Food Science, 2011, 32(2): 79-83
- [13] LIU Xing-xun, WANG Chang-sheng, LIU Li-ya, et al. Rheological properties of the polysaccharide-protein complex from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) pulp [J]. RSC Advance, 2015, 5(72): 58663-58668
- [14] 杨翠娟.龙眼多糖的提取、分离纯化及初步结构分析[D].厦门:厦门大学,2007
YANG Cui-xian. Extraction, isolation and purification of longan polysaccharide and preliminary structural analysis [D]. Xiamen: Xiamen University, 2007
- [15] ZHONG Kui, WANG Qiang. Optimization of ultrasonic extraction of polysaccharides from dried longan pulp using response surface methodology [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 80(1): 19-25
- [16] 易阳,张名位,廖森泰,等.龙眼多糖超声波-酶解辅助提取工艺优化[J].农业机械学报,2010,41(5):131-136
YI Yang, ZHANG Ming-wei, LIAO Sen-tai, et al.

- Optimization of ultrasonic-enzyme-assisted extraction technology for longan polysaccharide [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5): 131-136
- [17] 赵晨溟,刘钧发,冯梦莹,等.不同提取方法对龙眼多糖性质的影响[J].现代食品科技,2012,28(10):1298-1301
ZHAO Chen-hao, LIU Jun-fa, FENG Meng-ying, et al. Effects of different extraction methods on the properties of longan polysaccharide [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(10): 1298-1301
- [18] BAI Ya-juan, LIU Lei, ZHANG Rui-fen, et al. Ultrahigh pressure-assisted enzymatic extraction maximizes the yield of longan pulp polysaccharides and their acetylcholinesterase inhibitory activity *in vitro* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 96: 214-222
- [19] HUANG Fei, LIU Hui-jun, ZHANG Rui-fen, et al. Physicochemical properties and prebiotic activities of polysaccharides from longan pulp based on different extraction techniques [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 206: 344-351
- [20] CAO Jin-ping, TANG Dan-dan, WANG Yue, et al. Characteristics and immune-enhancing activity of pectic polysaccharides from sweet cherry (*Prunus avium*) [J]. Food Chemistry, 2018, 254(jul.15): 47-54
- [21] WANG Xiao-jiang, ZHAO Xiao-liang, LV Yong-jing, et al. Extraction, isolation and structural characterization of a novel polysaccharide from *Cyclocarya paliurus* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 132: 864-870
- [22] JI Xiao-long, ZHANG Fan, ZHANG Rui, et al. An acidic polysaccharide from *Ziziphus jujuba* cv. Muzao: purification and structural characterization [J]. Food Chemistry, 2018, 274: 494-499
- [23] RONG Yu, YANG Rui-li, YANG Yu-zhe, et al. Structural characterization of an active polysaccharide of longan and evaluation of immunological activity [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 213: 247-256
- [24] YANG Bao, JIANG Yue-ming, ZHAO Mourning, et al. Structural characterisation of polysaccharides purified from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit pericarp [J]. Food Chemistry, 2009, 115(2): 609-614
- [25] MENG Fa-yan, NING Yuan-ling, QI Jia, et al. Structure and antitumor and immunomodulatory activities of a water-soluble polysaccharide from *Dimocarpus longan* pulp [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2014, 15(3): 5140-5162
- [26] BAI Ya-juan, JIA Xu-chao, HUANG Fei, et al. Structural elucidation, anti-inflammatory activity and intestinal barrier protection of longan pulp polysaccharide LPIIa [J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 246: 116532
- [27] Kunworarath Nongluk, Rangkadilok Nuchanart, Suriyo Tawit, et al. Longan (*Dimocarpus longan* Lour.) inhibits lipopolysaccharide-stimulated nitric oxide production in macrophages by suppressing NF-kappaB and AP-1 signaling pathways [J]. Journal of Ethnopharmacol, 2016, 179: 156-161
- [28] YI Yang, ZHANG Ming-wei, LIAO Sen-tai, et al. Structural features and immunomodulatory activities of polysaccharides of longan pulp [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(1): 636-643
- [29] YI Yang, WANG Hong-xun, ZHANG Rui-fen, et al. Characterization of polysaccharide from longan pulp as the macrophage stimulator [J]. RSC Advances, 2015, 5(118): 97163-97170
- [30] ZHU Shu-yu, ZHOU Bo, LIU Qin, et al. Effect of longan polysaccharides on proliferation and phenotype maintenance in rabbit articular chondrocytes *in vitro* [J]. Medical & Biological Engineering & Computing, 2015, 54(4): 607-617
- [31] HUANG Fei, HONG Rui-yue, ZHANG Rui-fen, et al. Dynamic variation in biochemical properties and prebiotic activities of polysaccharides from longan pulp during fermentation process [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 132: 915-921
- [32] HUANG Fei, HONG Rui-yue, YI Yang, et al. *In vitro* digestion and human gut microbiota fermentation of longan pulp polysaccharides as affected by *Lactobacillus fermentum* fermentation [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 147: 363-368
- [33] ZHANG Jia-chao, YANG Guang-mei, WEN Ya-zhou, et al. Intestinal microbiota are involved in the immunomodulatory activities of longan polysaccharide [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2017, 61(11): 1700466
- [34] BAI Ya-juan, HUANG Fei, ZHANG Rui-fen, et al. Longan pulp polysaccharide protects against cyclophosphamide-induced immunosuppression in mice by promoting intestinal secretory IgA synthesis [J]. Food & Function, 2020, 11: 2738-2748
- [35] BAI Ya-juan, HUANG Fei, ZHANG Rui-fen, et al. Longan pulp polysaccharides relieve intestinal injury *in vivo* and *in vitro* by promoting tight junction expression [J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 229: 115475

- [36] 陈颖,吕洁丽,段金焱,等.从生物进化看脑苷脂类化合物的分布及其生物活性研究进展[J].国际药学研究杂志,2009,2: 43-48
CHEN Ying, LYU Jie-li, DUAN Jin-ao, et al. Research progress on the distribution and bioactivity of brain glycosides from the perspective of biological evolution [J]. Journal of International Pharmaceutical Research, 2009, 2: 43-48
- [37] LI Wen-jin, Guillaume Joren, Baqi Younis, et al. Synthesis and structure-activity relationships of cerebroside analogues as substrates of cerebroside sulphotransferase and discovery of a competitive inhibitor [J]. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry, 2020, 35(1): 1503-1512
- [38] Desplanque Mazarine, Bonte Mari-Amandine, Gressier Bernard, et al. Trends in glucocerebrosides research: asystematic review [J]. Frontiers in Physiology, 2020, 11: 558090
- [39] Jijoung Ryu, Kim Ju Sun, Kang Sam Sik. Cerebrosides from longan arillus [J]. Archives of Pharmacal Research, 2003, 26(2): 138-142
- [40] ZHANG Rui-fen, Khan Sher Ali, LIN Yao-sheng, et al. Phenolic profiles and cellular antioxidant activity of longan pulp of 24 representative Chinese cultivars [J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 746-759
- [41] 石骏,廖森泰,张名位,等.干制加工对龙眼果肉多酚组成及抗氧化活性的影响[J].华南师范大学学报:自然科学版, 2011,4:111-115
SHI Jun, LIAO Sen-tai, ZHANG Ming-wei, et al. Effects of dry processing on polyphenols composition and antioxidant activity in longan pulp [J]. Journal of South China Normal University: Natural Science Edition, 2011, 4: 111-115
- [42] 陈彦林.不同干制方式龙眼果肉主要活性物质的比较[D].武汉:华中农业大学,2014
CHEN Yan-lin. Comparison of main active substances in longan pulp by different drying methods [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014
- [43] 肖维强,赖志勇,戴宏芬,等.龙眼肉中 9 种核苷类成分的高效液相色谱分析[J].华中农业大学学报(自然科学版),2007, 5:722-726
XIAO Wei-qiang, LAI Zhi-yong, DAI Hong-fen, et al. Analysis of 9 nucleosides in longan pulp by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Natural Science Edition), 2007, 5: 722-726
- [44] Yang Bao, Jiang Yueming, Shi John, et al. Extraction and pharmacological properties of bioactive compounds from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit - a review [J]. Food Research International, 2011, 44(7): 1837-1842
- [45] 张哲,吴光亮,潘德灼,等.龙眼干加工过程氨基酸的动态变化[J].福建农业学报,2014,10(7):682-687
ZHANG Zhe, WU Guang-liang, PAN De-yao, et al. Dynamic changes of amino acids during dry processing of longan [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2014, 10(7): 682-687
- [46] JIANG Yue. Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits longan (*Dimocarpus longan* Lour.) [D]. Woodhead Publishing Limited, 2011: 408-425
- [47] GB 16740-2014,中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准保健食品[S]
GB 16740-2014, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National standard for food safety [S]
- [48] GB 16740-1997,国家技术监督局.中华人民共和国国家标准保健(功能)食品通用标准[S]
GB 16740-1997, State Administration of Technical Supervision. National standard of the People's Republic of China. General Standard for Health (Functional) Food. [S]
- [49] Kaczmarezyk Melissa M, Miller Michael J, Freund Gregory G. The health benefits of dietary fiber: beyond the usual suspects of type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease and colon cancer [J]. Metabolism-Clinical & Experimental, 2012, 61(8): 1058-1066
- [50] Arendt Johan Frederik Hkonsen, Erzsébet Horváth-Puhó, Srensen H T, et al. Plasma vitamin B12 levels, high-dose vitamin B12 treatment, and risk of dementia [J]. Journal of Alzheimer's Disease: 2021, 79(4): 1-12
- [51] Ângela Bisol, Campos Paloma Santos de, Lamers Marcelo Lazzaron. Flavonoids as anticancer therapies: a systematic review of clinical trials [J]. Phytotherapy Research, 2020, 34(3): 568-582
- [52] 林志辉,庞杰,罗联钰.壳聚糖在龙眼果汁澄清中的应用研究[J].保鲜与加工,2003,2:13-15
LIN Zhi-hui, PANG Jie, LUO Lian-yu. Application of chitosan in clarification of longan juice [J]. Storage and Process, 2003, 2: 13-15
- [53] 钱志伟,焦镛,石明生.超滤澄清龙眼果汁的研究[J].果树学报, 2011,28(4):641-644
QIAN Zhi-wei, JIAO Lei, SHI Ming-sheng. Study on ultrafiltration clarifying longan juice [J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(4): 641-644

- [54] 肖仔君,黄国清.低醇龙眼果汁混合发酵工艺研究[J].广东农业科学,2010,6:143-145
XIAO Zi-jun, HUANG Guo-qing. Study on mixed fermentation technology of low alcohol longan juice [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010, 6: 143-145
- [55] 刘国明,孙健,彭宏祥,等.龙眼发酵饮料的工艺优化及其对DPPH 的清除效果研究[J].食品工业科技,2019,40(24):104-109
LIU Guo-ming, SUN Jian, PENG Hong-xiang, et al. Study on process optimization of longan fermented beverage and its scavenging effect on DPPH [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(24): 104-109
- [56] 刘磊,张名位,魏振承,等.一种龙眼乳酸菌发酵饮料的制作方法:CN102940039B[P].2014-06-25
LIU Lei, ZHANG Ming-wei, WEI Zhen-cheng, et al. The invention relates to a preparation method of a beverage fermented by lactobacillus longan: CN102940039B [P]. 2014-06-25
- [57] 赖婷,刘磊,张名位,等.不同乳酸菌发酵对桂圆肉中酚类物质及抗氧化活性的影响[J].中国农业科学,2016,49(10):1979-1989
LAI Ting, LIU Lei, ZHANG Ming-wei, et al. Effects of different lactic acid bacteria fermentation on phenolic compounds and antioxidant activities in longan pulp [J]. Chinese Agricultural Science, 2016, 49(10): 1979-1989
- [58] 陆丽珠,陈韵,张瑾,等.红枣桂圆复合果醋的酒精发酵工艺研究[J].农产品加工,2020,3:23-28
LU Li-zhu, CHEN Yun, ZHANG Jin, et al. Study on alcohol fermentation technology of jujube longan compound fruit vinegar [J]. Agricultural Product Processing, 2020, 3: 23-28
- [59] 尹爱国,曾霞,纪秀玲,等.复合龙眼果醋的醋酸发酵工艺优化及其风味成分分析[J].食品研究与开发,2018,39(23):102-107
YIN Ai-guo, ZENG Xia, JI Xiu-ling, et al. Optimization of acetic acid fermentation process and analysis of flavor components of compound longan fruit vinegar [J]. Food Research and Development, 2018, 39(23): 102-107
- [60] 陈晓维,徐玉娟,余元善,等.龙眼枸杞糙米(发芽)复合饮料发酵期间品质变化规律研究[J].热带作物学报,2018,39(11):2265-2271
CHEN Xiao-wei, XU Yu-juan, YU Yuan-shan, et al. Study on the quality change of longan, wolfberry, and brown rice (germinated) compound beverage during fermentation [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(11): 2265-2271
- [61] 郝秋娟,李树立,郝东旭,等.红枣山楂桂圆酸奶的研制[J].中国酿造,2015,34(12):177-180
HAO Qiu-juan, LI Shu-li, HAO Dong-xu, et al. Development of red jujube hawthorn longan yogurt [J]. China Brewing, 2015, 34(12): 177-180
- [62] 魏秋红.山药桂圆保健酸奶的研制[J].食品研究与开发,2014,35(9):70-70
WEI Qiu-hong. Development of Chinese yam and longan health yoghurt [J]. Food Research and Development, 2014, 35(9): 70-70
- [63] 陈明珠,廖素兰,林永德.荞麦桂圆复合酸奶的研制[J].中国奶牛,2018,2:50-54
CHEN Ming-zhu, LIAO Su-lan, LIN Yong-de. Development of buckwheat longan compound yoghurt [J]. China Dairy Cattle, 2018, 2: 50-54

(上接第 307 页)

- [23] 李富威,张舒亚,任硕,等.鳕鱼成分的实时荧光 PCR 检测方法[J].中国生物工程杂志,2012,32(12):80-85
LI Fu-wei, ZHANG Shu-ya, REN Shuo, et al. Detection of Gadiformes by real-time PCR assay [J]. China Biotechnology, 2012, 32(12): 80-85
- [24] SN/T 3589.7-2013,出口食品中常见鱼类及其制品的鉴别方法 第7部分:鳕鱼成分检测实时荧光 PCR 法[S]
SN/T 3589.7-2013, Identification of Fish Species in Export food-Part 7: Detection of Cod Fish Ingredient-real-time PCR Method [S]