

植物蛋白饮料及其稳定性的研究进展

丁保淼¹, 覃瑞², 熊海容², 刘虹², 易丽莎², 高梦祥^{1*}

(1. 长江大学生命科学学院, 荆州 434025; 2. 中南民族大学武陵山区特色资源植物种质保护与利用湖北省重点实验室, 武汉 430074)

摘要: 植物蛋白饮料因其天然、营养、健康和功能性等特点而广受消费者喜爱。由于原料的差异, 不同植物蛋白饮料的营养价值、口感、市场接受度和容量, 以及发展前景也各不相同。由于植物蛋白饮料中含有丰富的蛋白质、糖类、脂肪等成分, 在其生产、贮藏等过程中常出现分散相的下沉、上浮等不稳定现象, 甚至产生分层, 严重影响到产品品质。保证和提高植物蛋白饮料的稳定性是其生产中需要解决的一个关键问题。本文综述了常见植物蛋白饮料的发展现状, 以及影响其稳定性的物理、化学和微生物方面的主要因素, 以为植物蛋白饮料的生产、研发、市场推广提供依据。

关键词: 植物蛋白; 乳状液; 蛋白变性; 稳定性

Research progress on plant protein beverages and their stability

DING Bao-Miao¹, QIN Rui², XIONG Hai-Rong², LIU Hong², YI Li-Sha², GAO Meng-Xiang^{1*}

(1. College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou 434025, China; 2. Hubei Provincial Key Laboratory for Protection and Application of Special Plant Germplasm in Wuling Area of China, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China)

ABSTRACT: Plant protein beverages are widely loved by consumers for their natural, nutritional, health and functional properties. Due to differences in raw materials, the nutritional value, taste, market acceptance and capacity of different vegetable protein beverages, as well as their development prospects are different. Since vegetable protein beverages are rich in protein, sugar, fat and other components, in the process of production, storage and the like, unstable phenomena such as sinking and floating of the dispersed phase often occur, and even delamination occurs, which seriously affects product quality. Ensuring and improving the stability of vegetable protein beverages is a key issue that needs to be addressed in their production. This paper reviewed the development status of common vegetable protein beverages, as well as the physical, chemical and microbiological factors that affect their stability, in order to provide a basis for the production, research, development and marketing of vegetable protein beverages.

KEY WORDS: plant protein; emulsion; protein denaturation; stability

基金项目: 国家科学技术部科技基础性工作专项重点项目(2014FY110100)、湖北省科技条件平台建设专项(2017BEC014)

Fund: Supported by Special Key Program for Basic Research of the Ministry of Science and Technology, China (2014FY110100), S&T Infrastructure and Facility Development Program of Hubei Province (2017BEC014)

***通讯作者:** 高梦祥, 教授, 博士, 主要研究方向为食品加工与安全。E-mail: mgao@yangtzeu.edu.cn

***Corresponding author:** GAO Meng-Xiang, Professor, Ph.D, College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou 434025, China. E-mail: mgao@yangtzeu.edu.cn

1 引言

随着生活水平的提高和人们健康意识的增强, 传统上被认为具有滋养功效的植物蛋白饮料也越来越受到消费者的青睐。与主要软饮料类型, 如果汁、即饮茶、瓶装水以及碳酸饮料相比, 植物蛋白饮料具有绿色、营养、保健等功能, 近年来取得了长足发展^[1]。市场预测, 全球植物蛋白饮料将从 2014 年的 82 亿美元增至 2020 年的 195 亿美元, 年增长率达 15.5%; 亚太地区不但占有最大的市场份额, 而且增长最快^[2]。

GB16322-2003《植物蛋白饮料卫生标准》^[3]将植物蛋白饮料定义为: 以植物果仁、果肉及大豆为原料(如大豆、花生、杏仁、核桃仁、椰子等), 经加工、调配后, 再经高压杀菌或无菌包装制得的乳状饮料。由于其营养、保健、绿色的理念, 以及良好的风味, 近年来植物蛋白饮料获得了长足的发展。咨询公司英敏特调查报告认为, 预计至 2020 年中国植物蛋白饮料市场总销量将增长到 107.97 亿升^[4]。我国也已颁布了一系列的植物蛋白饮料标准, 如《GB/T 30885-2014 植物蛋白饮料豆奶和豆奶饮料》^[5]、《GB/T 31325-2014 植物蛋白饮料核桃露(乳)》^[6]、《GB/T 31324-2014 植物蛋白饮料杏仁露》^[7]、《QB/T 2300-2006 植物蛋白饮料椰子汁及复原椰子汁》^[8]、《QB/T 2439-1999 植物蛋白饮料花生乳(露)》^[9]。本文总结了根据生产原料植物蛋白饮料的主要分类, 探讨物理、化学、微生物等因素对植物蛋白饮料稳定性的影响, 为植物蛋白饮料研究人员和生产者提供一定的参考和依据。

2 植物蛋白饮料的分类

按植物蛋白饮料制备的原料, 通常将其分为豆奶饮料、核桃露、杏仁露、椰汁、花生乳以及复合植物蛋白饮料等^[10-14]。

2.1 豆奶饮料

豆奶饮料是以大豆为主要原料制备的一类植物蛋白饮料。通常用于制备植物蛋白饮料的大豆是黄豆, 《中国食物成分表》^[15]中指出: 100 g 黄豆中含 35.0 g 蛋白质、16.0 g 脂肪, 维生素 A 等多种维生素, 以及钾、磷、镁、钙等丰富的矿物元素。豆奶中含有丰富营养成分和活性成分, 如不饱和脂肪酸含量占总脂肪酸含量的 80%以上; 大豆异黄酮占大豆籽粒的 1%~2%; 以及大豆卵磷脂、大豆多肽等成分。由于其营养丰富、价格便宜、风味多样而广受消费者的喜爱, 其销量位居各类植物蛋白饮料之首^[16]。据统计, 我国豆奶销售额已从 2011 年的 50.8 亿元增长到了 2017 年的 90 亿元。同期, 其销售量由 73.7 万吨增长到了 109 万吨。据预测, 至 2020 年我国豆奶销售额将高达 100 亿元。值得注意的是, 大豆中含有皂甙、胰蛋白酶抑制素

等不良成分, 为提高产品的营养价值和安全性, 在加工过程中需通过高温煮沸将其破坏^[10]。

2.2 核桃露

美国农业部的农产品统计公报显示: 中国、美国、乌克兰、土耳其等国家是全球最主要的核桃种植区域, 其中, 中国是全球最大的核桃生产国, 2017 年中国核桃产量为 189 万吨, 占全球核桃总产量的 47%。中国既是核桃生产大国, 也是核桃消费大国。每 100 g 核桃中含蛋白质 14.9 g、脂肪 58.8 g, 丰富的维生素 E、维生素 C、尼克酸等维生素, 以及磷、镁、钾等矿物元素^[15]。核桃露是以核桃仁为主要原料制得的植物蛋白饮料^[17]。该植物蛋白饮料具有外观呈乳白色乳液状、口感细腻润滑、核桃香味浓郁等特点。在我国, 养元饮品的核桃露占有绝对比例, 其 2016 年产量为 99 万吨, 销量达 98 万吨, 其销售额更是占整个市场的 87.6%^[18]。

2.3 杏仁露

杏仁露是以杏仁为主要原料制得的绿色植物蛋白饮料, 其含有丰富的蛋白质、氨基酸、维生素和微量元素^[19]。杏仁主要产于我国北方各地。早在 2600 多年前, 杏仁已被用作食品, 它是一类较丰富的植物蛋白资源。它不仅对人体具有很高的营养保健价值, 而且苦杏仁还具有非常重要的药用价值, 能够祛痰、止咳、润肠等^[20]。每 100 g 杏仁中含蛋白质 22.5 g、脂肪 45.4 g, 以及多种维生素和矿物质, 如其钙、钾、磷含量分别为牛奶的 3 倍、2 倍和 6 倍^[15]。杏仁蛋白是易消化的低分子白蛋白, 是一种食用价值极高的植物蛋白^[21]。甜杏仁蛋白中含有 8 种必需氨基酸。长期食用杏仁及杏仁制品有益健康^[22]。以河北承德露露集团露露牌杏仁露产销量最大, 其 2017 年产销量分别为 24.90 万吨和 24.16 万吨^[23]。

2.4 椰汁

椰子树是棕榈科椰子属常绿乔木, 它也是热带地区重要的木本油料作物和食品原料作物^[24]。我国海南文昌、万宁等是其主要种植地。统计显示, 2017 年海南椰子果产量约 3 亿个(其中文昌椰果年产量约 1.7 亿), 占全国总量的 99%。每 100 g 椰子可食部分中含蛋白质 4.0 g、脂肪 12.1 g, 丰富的维生素 C 等维生素, 以及钾、磷、镁等矿物质^[15]。中医认为, 椰子具有补虚强壮、益气祛风等功效。椰汁由新鲜椰肉经破碎、压榨、过滤得到的乳浊体系^[25]。椰汁富含人体所需的蛋白质、脂肪、以及维生素 C、钙、磷等多种微量元素, 是一种营养丰富的植物蛋白饮料^[15]。椰树集团是我国最大的椰汁生产商, 其 2017 年销售额约 40 亿元, 占椰汁市场的 40%。椰树椰汁不仅是我国椰汁产销量最大的品牌, 更是凭借优良品质成为“中国国宴饮品”^[26]。

2.5 花生乳

花生被称为“绿色牛奶”。我国花生年产量丰富, 多年

来位居世界各国前列,但花生加工程度较低,产品的开发还没有形成产业优势^[27]。花生乳是以花生为主要原料加工制得的植物蛋白饮料。每 100 g 花生仁中含蛋白质 24.8 g、脂肪 44.3 g、维生素 E、尼克酸等多种维生素,以及钾、磷、钙、镁等多种人体必需矿物元素^[15]。所得花生乳饮料不仅含有很高的蛋白质、不饱和脂肪酸、卵磷脂、人体必需氨基酸、维生素、矿物质等,含极低胆固醇,且蛋白质易于被人体消化吸收,其吸收率可达 90%。花生的红衣中还含有大量的原花色素、白藜芦醇、黄酮等活性成分,具有较强的抗氧化、抗衰老等作用,且在促进儿童脑细胞发育,增强儿童记忆力等方面具有显著作用^[14]。此外,这些活性成分对糖尿病、动脉硬化、高血压等疾病具有一定的功效。花生奶由于其特有的香气和口感,非常适合与其他食品原料复配,制备复合奶,不仅丰富了口感,而且使产品的营养成分更为全面、均衡,如花生牛奶、红豆花生牛奶、薏仁花生牛奶等^[28]。

3 植物蛋白饮料的稳定性及其影响因素

植物蛋白饮料是一个复杂的蛋白质胶体系统,也是一个热力学上不稳定的体系,该体系中包括由蛋白质形成的悬浊液、由脂肪形成的乳浊液,以及由糖、盐等形成的真溶液^[29]。因此,植物蛋白饮料在生产储藏期间,易出现蛋白质变性、沉淀,脂肪上浮等现象,导致体系产生分层、絮凝、聚结等,会显著地降低产品品质^[30]。植物蛋白饮料的稳定性受多种因素的影响,但总体而言,主要包括化学、物理和微生物 3 方面因素^[31]。

3.1 化学因素

3.1.1 蛋白质浓度

在植物蛋白饮料中,同时存在蛋白质-蛋白质相互作用和蛋白质-脂类相互作用,前者易导致絮凝产生沉淀,而后者则有利于体系的稳定。蛋白质浓度对这 2 种相互作用都有影响。此外,这 2 种相互作用也受到蛋白质理化性质的影响^[32]。植物蛋白质和脂类的种类复杂,其理化性质与其组成、结构等有直接关系,而目前,在植物饮料领域对于具体种类的蛋白质之间、蛋白质与脂类之间的相互作用方面的研究还较缺乏。

3.1.2 pH

蛋白质的水化作用显然受到体系 pH 的影响,这是因为蛋白质分子中含有氨基和羧基,其具有酸碱两性性和等电点^[33]。不同来源的植物蛋白质,其等电点具有显著差异。即使同种植物蛋白质,由于其结构与环境的不同,其等电点也各不相同。常见植物蛋白质的等电点介于 pH4~pH6 之间,如大豆蛋白的等电点在 pH 4.5 左右。在此条件下,蛋白质所带净电荷接近于零,蛋白质分子间缺乏静电斥力,其水化作用最弱,溶解度最小,易于产生絮凝沉淀^[34]。为

保证植物蛋白饮料的稳定,需促进蛋白质的解离,以提高植物蛋白分子的水化能力和溶解度。因此,在满足口感和风味的前提下,应使植物蛋白饮料的 pH 远离该植物蛋白的等电点。在极酸和极碱条件下,植物蛋白饮料品质下降,不利于饮用,因而,一般将植物蛋白饮料的最适 pH 控制在 7~8^[35]。

3.1.3 盐离子

一般而言,盐离子对蛋白质具有“盐溶效应”和“盐析效应”2 方面作用^[20]。低 Na^+ 浓度促进蛋白质的溶解,而当其浓度达到在 0.5 mol/L 以上时,则会导致蛋白质的析出,特别是, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等二价盐离子以及其他多价离子易导致蛋白质的析出^[36]。因此,在植物蛋白饮料生产和贮藏期间,应该避免高浓度的盐离子存在。

3.1.4 配料成分

植物蛋白饮料中的配料成分对其体系稳定性的影响非常复杂。最主要的是糖类、乳化剂和增稠剂^[37]。一般来说,糖类物质易在蛋白质分子表面形成一层糖膜,并借此提高蛋白质与水的亲和性,此外,糖类物质还能提高分散介质的粘度和密度,因而在一定程度上提高了植物蛋白饮料的稳定性^[38]。

乳化剂则可降低两相界面的张力,降低分散体系的界面能,提高脂肪在乳状液中分布的均匀性和溶液的稳定性。带有电荷的乳化剂分子可使液滴表面带电形成双电层,增强液滴间的静电斥力,减少液滴碰撞而聚结的几率。在植物蛋白饮料中常用的乳化剂有单、双甘油硬脂酸酯、聚甘油脂肪酸酯、蔗糖脂肪酸酯^[39-41]。根据国标 GB 2760-2014^[42]中的规定,在蛋白饮料中,单、双甘油硬脂酸酯可以适量使用,而无明确限量要求,聚甘油脂肪酸酯的最大使用量为 10 g/kg,蔗糖脂肪酸最大使用量为 1.5 g/kg。具体的乳化剂与蛋白质、脂肪在饮料体系稳定效果之间的关系,不仅与乳化剂的种类有关,同样也与蛋白质、脂肪的理化性质有关,一般而言,乳化剂浓度越高越有利于饮料体系的稳定^[43]。

斯托克斯定律表明,粘度增加可降低乳状液体系中颗粒沉降的速度,从而提高体系的稳定性^[44]。增稠剂可增加植物蛋白饮料的粘稠度,使饮料保持均匀稳定的状态。植物蛋白饮料生产中常用的增稠剂有黄原胶、果胶、卡拉胶、瓜尔豆胶、羧甲基纤维素钠等^[45]。

3.2 物理因素

3.2.1 温度

温度是导致蛋白质变性的常见因素,并进而影响到植物蛋白饮料的稳定性,且低温和高温都能够导致蛋白质的变性^[30]。当原料贮存在温度 0 °C 以下,即导致蛋白质发生变性,这可能与蛋白质的疏水相互作用有关,引起了某些官能团的解离和重排。高温时,分子间会产生剧烈运动,

稳定蛋白质高级结构的键(如疏水相互作用、静电相互作用)易于被打断,蛋白质的疏水基团从内部暴露出来,蛋白质与水分子的相互作用减弱,蛋白质溶解度下降^[46]。因此,在满足生产要求下,生产过程中应尽量缩短加热时间,杀菌后迅速冷却,以及提高蛋白质与脂类的相互作用,有利于减小蛋白质的变性程度,以提高产品的稳定性。

3.2.2 粒度大小

植物蛋白饮料稳定性与分散相的粒度大小密切相关^[47]。斯托克斯定律显示,粒子沉降或上浮的速度与粒子半径的平方呈正比关系。粒度越大,越容易因重力的作用而沉淀析出。但当粒子直径小于0.2 μm时,微粒在溶液中产生布朗运动,这有利于溶液的稳定。根据斯托克斯定律,对特定植物蛋白饮料而言,粒子密度是常量;介质密度和粘度变化小,也可视为常量^[48]。因此,植物蛋白饮料粒子粒度越大,其沉降速度也就越大。植物蛋白饮料中的非酸败沉淀分层,大部分是由其粒子直径大,沉降速度加快,沉降平衡被破坏而引起的。

3.3 微生物

通常微生物是植物蛋白饮料稳定性的重要影响因素之一^[47]。非发酵植物蛋白饮料中,若不杀菌,微生物极易导致产品的腐败变质,引起植物蛋白饮料腐败变质的常见细菌有假单孢菌属、变形杆菌属、梭状芽孢杆菌属等^[49]。为避免微生物所导致的破坏,可采取的措施是,加强植物蛋白饮料生产过程中的质量控制和卫生管理,规范杀菌工艺。

在商业生产中,植物蛋白饮料生产中若杀菌不彻底,在适宜温度条件下,微生物则会生长繁殖,导致产品腐败变质;若杀菌时温度过高或杀菌时间过长,则可能导致蛋白质变性、脂肪氧化,致使产品黏度下降、稳定性变差,以及色泽变暗^[50]。为保证产品的安全性,不得不牺牲其色泽等感官品质,同时,为保证产品的稳定性,通常需加入羧甲基纤维素钠等稳定剂^[51]。

目前,常见的发酵型植物蛋白饮料是乳酸菌发酵产品。乳酸菌类微生物主要是将碳水化合物发酵,生成乳酸。由于淀粉、不溶性碳水化合物的存在会降低产品的稳定性,从这方面看,乳酸菌发酵有利于植物蛋白饮料的稳定性。另一方面,乳酸的生成导致产品pH的降低,这可能会导致蛋白质结构的改变,而促使发生沉淀。

4 结论与展望

植物蛋白饮料以其含有丰富蛋白质和氨基酸,适量的不饱和脂肪酸,不含或含有较少的胆固醇,营养成分全面合理等特点,越来越受消费者欢迎。目前,市场上的植物蛋白饮料主要有豆奶类、核桃乳类、杏仁露类、椰汁和花生乳。植物蛋白饮料的稳定性是评价其品质的一个重要

指标,影响其稳定性的主要因素包括物理方面、化学方面和微生物方面。近年来,在我国植物蛋白饮料取得了长足的进步。然而,在整个饮料市场植物蛋白饮料其占有率仍然不足,且市场总体容量偏低,远远落后于果汁类、茶类、碳酸类饮料;此外,目前植物蛋白饮料市场几乎完全被豆奶、核桃乳、杏仁露、椰汁、花生乳等5个种类所占有,大力开发其他种类植物蛋白饮料,如玉米蛋白饮料、马铃薯蛋白饮料等,丰富产品种类,并拓展植物蛋白饮料的范围和扩大市场容量势在必行。多种类植物蛋白饮料的开发有利于提高农产品的精深加工层次和附加值,不仅能够满足人们多口味和喜好的需求,而且对提高农民收入,解决三农问题具有现实意义。

参考文献

- [1] 沈金荣, 史梦珂, 邓泽元, 等. 大豆复合植物蛋白饮料配方优化及其理化性质[J]. 食品工业科技, 2018, 39(2):175-181.
Shen JR, Shi MK, Deng ZY, *et al.* Formulation optimization and physicochemical properties of soybean compound plant protein beverage [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(2): 175-181.
- [2] Future Market Insights. Plant based protein beverages market: Global industry analysis 2012-2016 and opportunity assessment 2017-2027 [DB/OL]. [2018-12-10]. <https://www.futuremarketinsights.com/reports/plant-based-protein-beverage-market>
- [3] GB 16322-2003 中华人民共和国国家标准植物蛋白饮料卫生标准[S]. GB 16322-2003 State standard of the People's Republic of China-hygienic standard for vegetable protein beverage [S].
- [4] 杨文丽. 中国饮料出口比较利益增进研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014. Yang WL. Study on promotion of comparative profit based on china's beverage export [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [5] GB/T 30885-2014 中华人民共和国国家标准植物蛋白饮料豆奶和豆奶饮料[S]. GB/T 30885-2014 State standard of the People's Republic of China-plant protein beverage-Soy milk and soy milk beverage [S].
- [6] GB/T 31325-2014 中华人民共和国国家标准植物蛋白饮料核桃露(乳)[S]. GB/T 31325-2014 State standard of the People's Republic of China-plant protein beverage-Walnut beverage [S].
- [7] GB/T 31324-2014 植物蛋白饮料杏仁露[S]. GB/T 31324-2014 State standard of the People's Republic of China-plant protein beverage-Almond beverage [S].
- [8] QB/T 2300-2006 中华人民共和国轻工行业标准植物蛋白饮料椰子汁及复原椰子汁[S]. QB/T 2300-2006 Light industry standard of the People's Republic of China-plant protein beverage-Coconut meat juice and reconstituted coconut meat juice [S].
- [9] QB/T 2439-1999 中华人民共和国轻工行业标准植物蛋白饮料花生乳(露)[S]. QB/T 2439-1999 Light industry standard of the People's Republic of China-plant protein beverage-Peanut beverage [S].
- [10] 华欲飞. 豆奶饮料加工技术原理及产品开发[J]. 饮料工业, 2017, 20(4):

- 78-80.
Hua YF. Processing principle and product development of soybean milk [J]. *Bever Ind*, 2017, 20(4): 78-80.
- [11] 张文静, 魏琳, 袁唯. 带种皮核桃乳饮料的研制[J]. *食品工业*, 2018, 39(7): 50-54.
Zhang WJ, Wei L, Yuan W. Study on the walnut milk beverage with endotesta [J]. *Food Ind*, 2018, 39(7): 50-54.
- [12] 赵振甲, 马文锦, 彭涛, 等. 提高杏仁露产品蛋白含量及改善产品风味工艺的研究[J]. *食品科技*, 2010, 35(7): 66-69, 73.
Zhao ZJ, Ma WJ, Peng T, *et al.* The content of protein improvement and taste enhanced foralmond milk [J]. *Food Sci Technol*, 2010, 35(7): 66-69, 73.
- [13] Patil U, Benjakul S. Coconut milk and coconut oil: Their manufacture associated with protein functionality [J]. *J Food Sci*, 2018, 83(8): 2019-2027.
- [14] De-Albuquerque EMB, Almeida FAC, Gomes JP, *et al.* Production of "peanut milk" based beverages enriched with umbu and guava pulps [J]. *J Saudi Soc Agric Sci*, 2015, 14(1): 61-67.
- [15] 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所. 中国食物成分表(第2版): 第一册[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2009.
National Institute of Nutrition and Food Safety, China CDC. *China Food Composition (2nd Edition): Book 1* [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2009.
- [16] Eslami O, Shidfar F. Soy milk: A functional beverage with hypocholesterolemic effects? A systematic review of randomized controlled trials [J]. *Complement Therap Med*, 2019, (42): 82-88.
- [17] Cui XH, Chen SJ, Wang Y, *et al.* Fermentation conditions of walnut milk beverage inoculated with kefir grains [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2013, 50(1): 349-352.
- [18] 田粟, 冯冬颖, 姚奎章, 等. 核桃植物蛋白饮料改善记忆力人群试食试验研究[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(3): 36-41.
Tian L, Feng DY, Yao KZ, *et al.* A human feeding trial of walnut milk on memory improvement [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2016, 16(3): 36-41.
- [19] 李通, 柳珊, 刘贺, 等. 浓缩杏仁乳制备及其稳定性技术研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(11): 198-201.
Li T, Liu S, Liu H, *et al.* The preparation of concentrated almond milk and the study on its stability technology [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35(11): 198-201.
- [20] Lee J, Townsend JA, Thompson T, *et al.* Analysis of the cariogenic potential of various almond milk beverages using a streptococcus mutans biofilm model *in vitro* [J]. *Car Res*, 2018, 52(1-2): 51-57.
- [21] Briviba K, Gräf V, Walz E, *et al.* Ultra high pressure homogenization of almond milk: Physico-chemical and physiological effects [J]. *Food Chem*, 2016, (192): 82-89.
- [22] Stall S, Adams G. Can almond milk be called milk? [J]. *J Ren Nutr*, 2017, 27(3): e15-e17.
- [23] 河北承德露露股份有限公司 2017 年年度报告[R].
Hebei Chengde Lolo Co. Ltd. 2017 Annual report [R].
- [24] 李铭, 赵鹤飞, 陈冬梅. 椰子水的非热杀菌技术应用研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(8): 201-206.
Li M, Zhao H, Chen DM. Advances in the applications of non-thermal pasteurization on coconut water [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(8): 201-206.
- [25] 段宙位, 符志海, 谢辉, 等. 复合型椰汁饮料的制备工艺[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(19): 92-96.
Duan ZW, Fu ZH, Xie H, *et al.* Preparation technology of coconut milk compound beverage [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2017, 45(19): 92-96.
- [26] 石佳. 饮料品牌的包装设计-以“椰茸”牌椰汁椰奶的设计为例[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2014.
Shi J. Package and design of beverage brand-Yerong coconut milk as an example [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2014.
- [27] 张井印, 常学东, 刘素稳, 等. 花生绿豆蛋白饮料工艺参数的研究[J]. *食品研究与开发*, 2013, 34(12): 52-56.
Zhang JY, Chang XD, Liu SW, *et al.* Optimization technology for protein beverage from peanuts and mung beans by processing [J]. *Food Res Dev*, 2013, 34(12): 52-56.
- [28] 田洪芸, 任雪梅, 杨颖. 花生牛奶复合蛋白饮料的市场状况及关键工艺研究[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(20): 105-106, 147.
Tian HY, Ren XM, Yang Y. Study on market situation and key process of peanut milk mixed protein beverage [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2016, 44(20): 105-106, 147.
- [29] 郭明月. 植物蛋白饮料稳定性及其测定方法综述[J]. *饮料工业*, 2014, 17(12): 34-37.
Guo MY. Introduction of stability and stability analysis method for plant protein beverage [J]. *Beverag Ind*, 2014, 17(12): 34-37.
- [30] 胡明明, 潘开林, 牛跃庭, 等. 植物蛋白饮料稳定性及其分析方法研究进展[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(6): 334-339, 344.
Hu MM, Pan KL, Niu YT, *et al.* Research progress on stability and stability analysis method for plant protein beverage [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(6): 334-339, 344.
- [31] 侯占群. 植物蛋白饮料物理化学稳定性评价技术与新产品开发[J]. *饮料工业*, 2017, 20(4): 74-77.
Hou ZQ. Evaluation of physicochemical stability and product development of vegetable protein beverage [J]. *Beverag Ind*, 2017, 20(4): 74-77.
- [32] 高玉丽, 左爱东, 杜江美. 复合植物蛋白饮料稳定性影响因素分析[J]. *饮料工业*, 2017, 20(2): 51-54.
Gao YL, Zuo AD, Du JM. The analysis of factors on mixed plant protein beverage stability [J]. *Beverag Ind*, 2017, 20(2): 51-54.
- [33] 雷昌贵, 蔡花真, 孟宇竹, 等. 植物蛋白饮料稳定性分析与控制措施[J]. *饮料工业*, 2010, 13(10): 34-36.
Lei CG, Cai HZ, Meng YZ, *et al.* Analysis of and control measures on stability of vegetable protein beverages [J]. *Beverag Ind*, 2010, 13(10): 34-36.
- [34] Manassero CA, Beaumal V, Vaudagna SR, *et al.* Calcium addition, pH and high hydrostatic pressure effects on soybean protein isolates—Part 2: Emulsifying properties [J]. *Food Bioprocess Technol*, 2018, (11): 2079-2093.
- [35] Mitchell CJ, McGregor RA, D'Souza RF, *et al.* Consumption of milk protein or whey protein results in a similar increase in muscle protein synthesis in middle aged men [J]. *Nutrients*, 2015, 7(10): 8685-8699.
- [36] Nishinari K, Fang Y, Guo S, *et al.* Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification [J]. *Food Hydrocolloid*, 2014, (39): 301-318.
- [37] 张旭光, 刘春芬, 慕金超. 黑豆核桃复合植物蛋白饮料的研究开发[J].

- 食品研究与开发, 2017, 38(6): 75–78.
- Zhang XG, Liu CF, Mu JC. Development of black bean and walnut compound protein beverage [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(6): 75–78.
- [38] Shori AB. Influence of food matrix on the viability of probiotic bacteria: A review based on dairy and non-dairy beverages [J]. *Food Biosci*, 2016, (13): 1–8.
- [39] Liu S, Liu F, Xue Y, *et al.* Evaluation on oxidative stability of walnut beverage emulsions [J]. *Food Chem*, 2016, (203): 409–416.
- [40] Ogawa A, Cho H. Role of food emulsifiers in milk coffee beverages [J]. *J Colloid Interface Sci*, 2015, (449): 198–204.
- [41] Zhao L, Zhang H, Hao T, *et al.* In vitro antibacterial activities and mechanism of sugar fatty acid esters against five food-related bacteria [J]. *Food Chem*, 2015, (187): 370–377.
- [42] GB 2760-2014 国家食品安全标准食品添加剂使用标准[S].
GB 2760-2014 National food safety standard-The usage standard of food additives [S]
- [43] Raikos V, Duthie G, Ranawana V. Comparing the efficiency of different food-grade emulsifiers to form and stabilise orange oil-in-water beverage emulsions: influence of emulsifier concentration and storage time [J]. *Intern J Food Sci Technol*, 2017, 52(2): 348–358.
- [44] Miyagawa Y, Katsuki K, Matsuno R, *et al.* Effect of oil droplet size on activation energy for coalescence of oil droplets in an O/W emulsion [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2015, 79(10): 1695–1697.
- [45] Kim H, Hwang HI, Song KW, *et al.* Sensory and rheological characteristics of thickened liquids differing concentrations of a xanthan gum-based thickener [J]. *J Text Stud*, 2017, 48(6): 571–585.
- [46] Zielbauer BI, Franz J, Viezens B, *et al.* Physical aspects of meat cooking: time dependent thermal protein denaturation and water loss [J]. *Food Biophys*, 2016, 11(1): 34–42.
- [47] Ferragut V, Hernández-Herrero M, Veciana-Nogués MT, *et al.* Ultra-high-pressure homogenization (UHPH) system for producing high-quality vegetable-based beverages: physicochemical, microbiological, nutritional and toxicological characteristics [J]. *J Sci Food Agric*, 2015, 95(5): 953–961.
- [48] Yi J, Li Y, Zhong F, *et al.* The physicochemical stability and in vitro bioaccessibility of beta-carotene in oil-in-water sodium caseinate emulsions [J]. *Food Hydrocolloid*, 2014, (35): 19–27.
- [49] Kim SJ, Park SY, Lee J, *et al.* Biochemical compositions and biological activities of extracts from 3 species of Korean Pine Needles [J]. *J Food Nutr Res*, 2017, 5(1): 31–36.
- [50] Chen D, Pang X, Zhao J, *et al.* Comparing the effects of high hydrostatic pressure and high temperature short time on papaya beverage [J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2015, (32): 16–28.
- [51] Evans M, Ratcliffe I, Williams PA. Emulsion stabilisation using polysaccharide-protein complexes [J]. *Curr Opin Colloid Interfac Sci*, 2013, 18(4): 272–282.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



丁保森, 副教授, 博士, 主要研究方向为植物源食品加工与安全。

E-mail: bmding@yangtzeu.edu.cn



高梦祥, 教授, 博士, 主要研究方向为食品加工与安全。

E-mail: mgao@yangtzeu.edu.cn