



张丽华, 查蒙蒙, 李顺峰, 等. 益生菌发酵果蔬汁研究进展[J]. 轻工学报, 2021, 36(4): 29-36.

ZHANG L H, ZHA M M, LI S F, et al. Research progress on probiotic fermentation of fruit and vegetable juice[J].

Journal of Light Industry, 2021, 36(4): 29-36. DOI: 10. 12187/2021. 04. 004

中图分类号: TS255. 44 文献标识码: A 文章编号: 2096-1553(2021)04-0029-08

# 益生菌发酵果蔬汁研究进展

## Research progress on probiotic fermentation of fruit and vegetable juice

张丽华<sup>1,2,3</sup>, 查蒙蒙<sup>1</sup>, 李顺峰<sup>4</sup>, 李昌文<sup>1,2,3</sup>, 纵伟<sup>1,2,3</sup>,  
赵光远<sup>1,2,3</sup>

ZHANG Lihua<sup>1,2,3</sup>, ZHA Mengmeng<sup>1</sup>, LI Shunfeng<sup>4</sup>, LI Changwen<sup>1,2,3</sup>,  
ZONG Wei<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Guangyuan<sup>1,2,3</sup>

1. 郑州轻工业大学 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001;

2. 食品生产与安全河南省协同创新中心, 河南 郑州 450001;

3. 河南省冷链食品质量安全控制重点实验室, 河南 郑州 450001;

4. 河南省农业科学院 农副产品加工研究中心, 河南 郑州 450002

1. *College of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;*

2. *Collaborative Innovative Center of Food Production and Safety, Zhengzhou 450001, China;*

3. *He'nan Key Laboratory of Cold Chain Food Quality and Safety Control, Zhengzhou 450001, China;*

4. *Research Center of Agro-product Processing Science and Technology, He'nan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China*

**摘要:**基于将益生菌发酵技术应用于果蔬汁深加工以丰富产品种类、提升风味特性和保健功能等研究结果,综述了益生菌发酵对果蔬汁理化性质的影响、发酵果蔬汁的益生菌活性保持技术和益生功能,指出:益生菌发酵既可改变果蔬汁的风味物质和感官品质,也可改变果蔬汁的有机酸、多酚类物质等化学成分;辅助益生元、微胶囊包埋、优化发酵条件等技术可以提高益生菌发酵果蔬汁中的活菌数;发酵果蔬汁具有改善胃肠道功能、抗氧化、抑菌、改善Ⅱ型糖尿病等益生功能。目前关于益生菌发酵果蔬汁的研究仍处于实验室研究阶段,尚不具备工业化生产条件。未来可就筛选适合不同果蔬种类的发菌菌株、提高发酵果蔬汁中益生菌在贮藏期的存活率及发酵果蔬汁与人体消化道健康和免疫调节关系的机制等进行深入研究,以进一步推进益生菌发酵果蔬汁的功能性开发及产业化生产。

### 关键词:

发酵; 益生菌; 果蔬汁; 益生功能

### Key words:

fermentation;  
probiotics;  
fruit and vegetable  
juice; probiotic function

收稿日期: 2021-03-10

基金项目: 河南省产学研合作计划项目(182107000063); 河南省科技攻关项目(202102110207)

作者简介: 张丽华(1982—), 女, 河南省焦作市人, 郑州轻工业大学副教授, 博士, 主要研究方向为果蔬保鲜与加工安全技术控制。

通信作者: 纵伟(1965—), 男, 安徽省萧县人, 郑州轻工业大学教授, 博士, 主要研究方向为果蔬加工安全技术控制。

**Abstract:** In view of the research results of enriched product types and improved flavor characteristics and health care functions by applying probiotic fermentation technology in deep processing of fruit and vegetable juice, this paper summarized the influence of probiotic fermentation on physical and chemical properties of fruit and vegetable juice, the probiotic activity maintaining technology and probiotic function of fermented fruit and vegetable juice. It was pointed out that: probiotic fermentation could not only change the flavor and sensory quality of fruit and vegetable juice, but also changed the chemical components of organic acids and polyphenols in fruit and vegetable juice; the number of viable bacteria in probiotic fermented fruit and vegetable juice could be increased by adding auxiliary prebiotics, embedding microcapsules and optimizing fermentation conditions; fermented fruit and vegetable juice had probiotic functions such as raising gastrointestinal function, resisting oxidation, inhibiting bacteria and elevating type II diabetes. At present, the research on fermented fruit and vegetable juice was still in the laboratory research stage, and has not been put into the factory for mass production. In the future, in-depth research can be carried out on screening suitable fermentation strains, enhancing the survival rate of probiotics in fermented fruit and vegetable juice during storage, and studying the mechanism of the relationship between fermented fruit and vegetable juice and human digestive tract health and immune regulation, so as to further promote the functional development and industrial production of probiotic fermented fruit and vegetable juice.

## 0 引言

益生菌被定义为一种活的微生物,当其达到一定数量时,能促进食用者的身体健康<sup>[1]</sup>.研究表明,益生菌具有维持肠道微生态平衡、增强机体免疫力等益生功能<sup>[2]</sup>.目前,益生菌被广泛应用于乳制品、肉制品、发酵果蔬、发酵谷物及保健品行业,其产品形式扩展到片剂、胶囊、颗粒状包装的菌体、冻干菌粉、发酵乳或果蔬的冻干粉剂等<sup>[3]</sup>.

果蔬营养价值高,富含多种人体所需的维生素、矿物质和生理活性因子,开发以果蔬原料为载体的益生菌发酵制品既能改善乳糖不耐症、提高机体免疫力,还具有降血脂、保护肝脏等功能<sup>[1,4]</sup>.因此,利用益生菌发酵技术对果蔬原料进行精深加工,已成为延伸果蔬深加工产业、提高其附加值的研究热点.近年来,国内外关于益生菌发酵果蔬汁的研究日益增多,本文就益生菌发酵对果蔬汁理化性质的影响进行综述,同时对发酵果蔬汁的益生菌活性保持技术和益生功能进行归纳和总结,旨在为深入研究益生菌发酵对果蔬汁营养和功能性质的影响提供参考.

## 1 益生菌发酵对果蔬汁理化性质的影响

目前,应用于果蔬汁发酵的益生菌主要有乳杆菌(植物乳杆菌、干酪乳杆菌、鼠李糖乳杆菌、嗜酸乳杆菌等)和双歧杆菌(动物双歧杆菌、两歧双歧杆菌、长双歧杆菌等)<sup>[1]</sup>.

### 1.1 物理性质的变化

益生菌发酵对果蔬汁物理性质影响的研究主要集中在两方面.一方面是风味物质的变化,新鲜果蔬汁往往呈现一定的涩味、酸味、辛辣味或异味,这与其含有的饱和直链醛类相关<sup>[5-7]</sup>.研究发现,饱和直链醛是一种不稳定的化合物,通常呈现令人不愉快的、辛辣的、刺激性涩味<sup>[8]</sup>,极易在微生物代谢活动中被分解为醇或被氧化为酸<sup>[9]</sup>.R. Di Cagno 等<sup>[6]</sup>研究发现,石榴汁发酵后,可导致异味的饱和直链醛类物质含量减少,醇类和酯类物质含量增加,有效改善了石榴汁的风味.H. Gao 等<sup>[10]</sup>利用植物乳杆菌发酵苦瓜汁发现,发酵改变了苦瓜汁的香气轮廓,醛和酮类物质的减少、酒精和酸类物质的增加赋予了苦瓜汁更理想的风味.同时,发酵对果蔬汁产品的色泽和香气也有明显的影响.例如,

经复合菌株发酵后,西印度樱桃和番石榴这两种果蔬汁的亮度均显著提高<sup>[11]</sup>.用干酪乳杆菌发酵可改变甜瓜和腰果苹果汁的挥发性特征香气,使其具有水果和乳酸菌发酵的混合香味<sup>[4]</sup>.然而,菠萝蜜汁经干酪乳杆菌发酵后,整体感官特性与发酵前没有显著差异<sup>[12]</sup>.同一菌株对不同发酵基质的风味影响不同,这可能是因为发酵基质中营养成分的差异会对益生菌的生长造成一定影响,最终导致发酵产品的品质出现一定的差别.

## 1.2 化学成分的变化

研究表明<sup>[13]</sup>,果蔬汁经益生菌发酵后,有机酸、花青素等功能活性成分含量增加,能赋予产品更好的功能特性.红枣经酵母菌发酵后制备的红枣酒和红枣醋产品,不仅能够保留红枣中的大部分营养物质,还增加了游离铁的含量,营养价值显著提高<sup>[14]</sup>.R. Kaprasob 等<sup>[15]</sup>采用植物乳杆菌、干酪乳杆菌和嗜酸乳杆菌发酵腰果苹果汁,其丹宁、VC 和酚类代谢产物含量均有所增加.枣汁经植物乳杆菌发酵后,其  $\gamma$ -氨基丁酸、短链脂肪酸、共轭脂肪酸、总酚和类黄酮的含量均有所增加<sup>[16]</sup>.蓝莓汁经过发酵后,酚类化合物含量增加 40%,花青素含量增加 15.38%<sup>[17]</sup>.多酚类物质是果蔬中的功能性因子,尤其是鞣花丹宁和类黄酮类化合物,都具有潜在的抗菌活性<sup>[18-19]</sup>.酚类物质的增加主要是由于乳酸菌发酵过程中产生的酶和羧酸破坏了细胞结构,使存在于植物组织中的结合态酚类和黄酮类物质释放成为游离态,从而增加了发酵后的总酚含量和总黄酮含量<sup>[20-21]</sup>.然而,芒果汁经短乳杆菌 MPL39 发酵后,总酚含量显著降低<sup>[22]</sup>,苹果汁经乳酸菌发酵后,总酚和类黄酮含量也显著降低<sup>[23]</sup>.由此可见,益生菌发酵对果蔬汁化学成分的影响与发酵菌株、发酵基质等因素有关.

## 2 发酵果蔬汁的益生菌活性保持技术

如何保证益生菌在发酵果蔬汁中有较高的活性及足够的数量定殖在人体肠道内,是近年来益生菌研究的热点之一.研究表明<sup>[24]</sup>,当益生菌在肠道内的数量达到  $10^6 \sim 10^7$  CFU/mL 时,才能对人体健康起到促进作用.目前,市面上的益生菌由于种类不同,其活性、抗酸性、耐热性、储存性能等均不同,经过胃肠液的消化作用,最终到达肠道的活菌数远小于达到益生效果所需的数量,导致益生菌产品不能达到预期的益生效果.为了解决这一问题,目前常采用辅助益生元、微胶囊包埋、优化发酵条件等方法提高益生菌发酵果蔬汁产品中的益生菌活性.

### 2.1 辅助益生元

益生元是一种人体不能消化的食物成分,摄入后不能被小肠消化吸收而直达大肠.大肠中的微生物(如乳酸菌)选择性地对益生元作为碳源,以促进自身生长和提高自身活性,从而对宿主产生健康效应.最常见的商品化植物益生元包括低聚果糖、菊粉、低聚异麦芽糖、低聚木糖、抗性糊精、大豆低聚糖、柑橘纤维等.陈树俊等<sup>[25]</sup>以苹果-番茄-沙棘复合果蔬汁为发酵原料,通过添加菊粉和低聚果糖,使发酵果蔬汁中的活菌数由  $10^7 \sim 10^8$  CFU/mL 提高到  $10^{11}$  CFU/mL.陈亚楠等<sup>[26]</sup>研究表明,添加  $\beta$ -环糊精和木糖醇的陈皮柑饮料在 4 °C 条件下储存 28 d 后,活菌数始终维持在  $10^8$  CFU/mL 左右.因此,在果蔬汁发酵过程中添加益生元,不仅能显著增加发酵果蔬汁产品的活菌数,而且能增强发酵果蔬汁产品的益生菌活力,进而显著延长发酵果蔬汁产品的货架期.

### 2.2 微胶囊包埋技术

微胶囊技术是指利用天然或合成的高分子包囊材料,将固体、液体或气体的微小囊核物质



包覆形成具有半透明或密封囊膜的微型胶囊(直径在1~5000  $\mu\text{m}$  范围内)的技术. 利用微胶囊技术将益生菌包埋在肠溶性壁材中,不仅可以增强菌体对不良环境的抵抗性,还能在肠道适宜条件下使微胶囊中的益生菌快速释放,为提高益生菌的活菌数,以及更好地发挥其益生作用提供了途径<sup>[27-28]</sup>. 常用的微胶囊包埋技术有挤压法、乳化法和喷雾干燥法<sup>[29]</sup>,在益生菌微胶囊制备过程中,常采用多糖类(淀粉、纤维素、海藻酸盐、果胶、卡拉胶、壳聚糖等)、蛋白质类(大豆蛋白、乳清蛋白、酪蛋白、明胶、 $\beta$ -乳球蛋白等)、脂类(植物油、石蜡等)等作为壁材<sup>[30]</sup>. 以质量浓度为200 g/L的抗性糊精为保护剂制备粒径为4 mm的海藻酸钠微胶囊,可显著提高植物乳杆菌在发酵苹果汁中的活性,冷藏21 d后菌体存活率达81%<sup>[31]</sup>. 由低聚糖-海藻酸钠包裹的副干酪乳杆菌,也可显著提高菌体在低温贮藏28 d的发酵苹果汁中的存活率<sup>[24]</sup>. 田怀香等<sup>[3]</sup>以植物乳杆菌为发酵菌株,以乙二胺四乙酸钙(EDTA-Ca)为钙载体,质量分数为1.5%的海藻酸钠为壁材,质量分数为0.3%的壳聚糖-三聚磷酸钠为涂层材料,制备的微胶囊包埋率 $\geq 80\%$ ,能有效保护植物乳杆菌免受胃酸损害,经模拟胃液处理2 h后其菌体存活率 $\geq 50\%$ ,模拟肠液处理2 h后释放率 $\geq 90\%$ ,所得酵素粉不需冷藏保存,保质期内的活菌数仍 $\geq 3.2 \times 10^9$  CFU/g;与发酵前果汁相比,清除自由基能力提高了近20%. 通过微胶囊包埋技术,益生菌活菌数显著提高,可以更好地在肠道中黏附和定殖,更大程度地发挥其益生作用.

### 2.3 优化发酵条件

细胞生长必需的成分包括碳源、氮源、无机盐、促生长物质等,这些营养成分显著影响乳酸菌的生长速率. 在发酵过程中,外界环境如接种量、发酵温度、发酵时间等都会对益生菌的生长能力造成一定的影响,进而直接影响发酵产品

的品质. 侯银臣等<sup>[32]</sup>通过优化发酵条件发现,在发酵液初始pH值6.00、种子液接种量1.60%、发酵时间17 h条件下,桑葚酵素中DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)自由基清除率达96.82%. 王惠<sup>[33]</sup>研究了发酵时间和发酵温度对发酵树莓汁益生菌的影响,结果发现,在37  $^{\circ}\text{C}$ 条件下发酵72 h,发酵树莓汁中的副干酪乳杆菌生长情况更好,活菌数达到 $2.8 \times 10^9$  CFU/mL. 仵白敏<sup>[34]</sup>以葡萄汁为发酵原料,接种植物乳杆菌与短乳杆菌进行发酵,其研究表明,按照植物乳杆菌与短乳杆菌的复配比例为1:2、接种量为7%,发酵的葡萄汁中活菌数可达 $10^9$  CFU/mL. 与单一菌种发酵果蔬汁相比,利用两种及两种以上菌种发酵时,不仅要优化发酵温度、发酵时间和接种量,还要优化不同菌种的复配比例,最大限度地为益生菌细胞的生长提供最适环境,确保发酵果蔬汁产品具有较高的活菌数.

## 3 发酵果蔬汁的益生功能

### 3.1 肠道益生功能

目前,关于益生菌发酵果蔬汁的肠道益生功能研究刚刚起步. 发酵果蔬汁中富含植物性膳食纤维、有机酸、低聚糖和多种酶类,有助于胃肠对食物的消化和吸收、恢复肠道内菌群平衡、改善人体胃肠道功能、增强肠道的蠕动能力,从而促进肠道菌群代谢功能向有利于宿主健康的方向转变<sup>[35-39]</sup>. 通过饮用益生菌发酵果蔬汁,摄入人体的益生菌能够与宿主黏膜上皮细胞结合形成占位性保护,具有生物屏障作用;益生菌在肠道内定殖后,代谢产生的有机酸等抗菌物质具有生物拮抗作用<sup>[35]</sup>. 目前,研究者对发酵果蔬汁发挥肠道益生功能的研究主要集中在代谢产物和益生菌的黏附特性等领域.

**3.1.1 增加益生代谢产物** 短链脂肪酸是肠道微生物群的代谢产物(主要包括乙酸、丙酸、

丁酸等),由益生菌利用果蔬汁中的碳水化合物、膳食纤维、蛋白质和肽进行各种代谢反应而产生<sup>[40]</sup>。发酵果蔬汁中短链脂肪酸产生量的增加,能提高肠道酸度,促进肠道益生菌(如乳杆菌、双歧杆菌等)的生长,并抑制病原菌(如金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等)的定殖,如丁酸盐,能够修复由溃疡性结肠炎引起的肠道上皮细胞受损,抑制结肠癌细胞的增殖<sup>[41]</sup>。P. Chaikham 等<sup>[42]</sup>采用人体肠道微生物生态系统模拟器,利用微囊化的嗜酸乳杆菌和干酪乳杆菌复合菌株发酵的龙眼汁,其乳酸、丙酸盐、丁酸盐和乙酸盐的含量均显著增加。植物乳杆菌发酵可增加红枣汁中 $\gamma$ -氨基丁酸、短链脂肪酸、共轭脂肪酸的含量<sup>[16]</sup>。

益生菌发酵果蔬汁后,不仅会增加短链脂肪酸含量,同时也会产生其他有助于肠道黏膜修复的代谢产物。朱艳等<sup>[36]</sup>研究表明,果蔬发酵汁中发挥益生功效的物质主要是黄酮和多酚类物质。发酵果蔬汁中的黄酮类、有机酸类及糖苷类化合物,通过增加梭状芽孢杆菌、优杆菌属、瘤胃球菌属、颤螺旋菌属等在肠道的相对丰度,改善肠道微环境,起到辅助通便的作用。在发酵过程中,益生菌代谢可以合成多种维生素<sup>[35]</sup>,其中,烟酸可以结合 GPR109A(由 *Niacr1* 编码,是结肠中丁酸盐的受体),促进小鼠树突状细胞和巨噬细胞产生抗炎因子白细胞介素-10,进而诱导调节性 T 细胞产生和抑制辅助性 T 细胞(Th)17 产生,同时,烟酸通过 GPR109A 受体可提高肠道上皮细胞白细胞介素-18 的表达,从而促进肠道黏膜屏障的损伤修复<sup>[37]</sup>。

**3.1.2 阻止病原菌的黏附和定殖** 黏附是益生菌在肠道内定殖、发挥益生功效的前提条件,定殖于肠道的益生菌能够增强肠道上皮细胞的屏障功能,抑制肠道有害菌(如大肠杆菌、沙门氏菌等)在肠道中定殖,对维持机体的新陈代谢、能量平衡,促进肠道发育,调节免疫和吸收

发挥重要作用<sup>[38-43]</sup>。朱艳等<sup>[36]</sup>通过研究发现,益生菌发酵果蔬汁能够提升饮用者的肠道益生菌黏附能力。共生的肠道菌能够产生各种水溶性小分子物质(表面或胞外蛋白、细菌素、脂肪酸、肽和核酸酶等),这些小分子物质能够感知周围环境,与相应的细胞表面、黏膜、细胞质、核酸等相互作用,快速识别感应位点,调控宿主和共生菌表型相关的基因表达,保持宿主体健康<sup>[44]</sup>。益生菌的表层蛋白可增强其与上皮细胞的黏附能力,使得益生菌占位定殖,从而阻止病原菌与肠道黏膜受体的结合,对肠道有害菌有明显的拮抗作用,可以抑制有害菌的生长繁殖,阻止病原菌的感染。

### 3.2 其他益生功能

除了肠道益生功能外,近年来,富含酚类、黄酮类化合物的发酵果蔬汁的抗氧化活性、抑菌能力、改善 II 型糖尿病等已成为国内外营养学者关注的热点。C. A. Torres 等<sup>[45]</sup>研究发现,多酚类和类黄酮含量与抗氧化活性直接相关。植物乳杆菌发酵增加了总酚和类黄酮的含量,因此可增加发酵枣汁的抗氧化能力<sup>[16]</sup>。蓝莓汁经发酵后,花青素含量可增加 15.38%,DPPH、超氧化阴离子基和羟基的清除能力均显著增强,Caco-2(人结肠腺癌细胞)模型的氧化损伤也得到有效缓解<sup>[17]</sup>。干酪乳杆菌发酵的菠萝蜜汁,其抗氧化活性增至 305.204 mmol/L Fe(II)/mg,DDPH  $IC_{50}$  为 15.65 mg/mL,对大肠杆菌 0157:H7(95%)、肠炎沙门氏菌鼠伤寒血清变种(98%)和金黄色葡萄球菌(95%)具有强抗菌活性,乳酸和 $\gamma$ -氨基丁酸含量均显著增加<sup>[12]</sup>。利用乳酸菌进行深层发酵也可以提高西印度樱桃和番石榴的活性成分含量和抗氧化活性<sup>[11]</sup>。可见,果蔬汁经益生菌发酵后,营养成分和功能特性均得到显著提高,同时也表明果蔬汁可作为益生菌发酵的良好基质,这为益生菌在非乳制品加工中的应用提供了参考。

## 4 结语与展望

益生菌及肠道菌群的研究正成为医学、营养学、食品科学等学科交叉及深度互融的前沿与热点研究领域的发展方向,采用益生菌发酵果蔬汁能综合果蔬与益生菌的优点,为饮料行业发展指出了新的方向.但目前关于益生菌发酵果蔬汁的产品在市场上还没有优良的品牌出现,主要是现在发酵果蔬汁还处于实验室研究阶段,尚未具备大批量生产的条件.因此,关于发酵果蔬汁未来的发展主要集中在以下几个方面:1)益生菌的生长有一定的选择性,需根据不同的果蔬汁筛选出适合的发酵菌株;2)提高发酵果蔬汁中益生菌在贮藏期间的存活率,确保在货架期食用的有效性;3)研究发酵果蔬汁与人体消化道健康、免疫调节关系的机制,强化功能性,使其满足某些特殊人群的营养需要.

### 参考文献:

- [1] ROBERTS D, REYES V, BONILLA F, et al. Viability of *Lactobacillus plantarum* NCIMB 8826 in fermented apple juice under simulated gastric and intestinal conditions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 97:144.
- [2] DOS SANTOS FILHO A L, FREITAS H V, RODRIGUES S, et al. Production and stability of probiotic cocoa juice with sucralose as sugar substitute during refrigerated storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 99:371.
- [3] 田怀香,徐晓琳,于海燕,等.高活性益生菌酵素粉的制备及工艺优化[J].农业工程学报, 2019,35(11):330.
- [4] DE GODOY ALVES FILHO E, RODRIGUES T H S, FERNANDES F A N, et al. Chemometric evaluation of the volatile profile of probiotic melon and probiotic cashew juice [J]. Food Research International, 2017, 99: 461.
- [5] KAPRASOB R, KERDCHOECHUEN O, LAO-HAKUNJIT N, et al. Fermentation-based biotransformation of bioactive phenolics and volatile compounds from cashew apple juice by select lactic acid bacteria[J]. Process Biochemistry, 2017,59:141.
- [6] DI CAGNO R, FILANNINO P, GOBBETTI M. Lactic acid fermentation drives the optimal volatile flavor-aroma profile of pomegranate juice [J]. International Journal of Food Microbiology, 2017,248:56.
- [7] SMID E J, KLEEREBEZEM M. Production of aroma compounds in lactic fermentations [J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2014, 5(1):313.
- [8] 许刚,丁浩宸,张燕平,等.南极磷虾头胸部和腹部挥发性风味成分对比[J].食品科学, 2014,35(22):146149.
- [9] DI CAGNO R, SURICO R F, PARADISO A, et al. Effect of autochthonous lactic acid bacteria starters on health-promoting and sensory properties of tomato juices [J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 128 (3) : 473.
- [10] GAO H, WEN J J, HU J L, et al. Momordica charantia juice with *Lactobacillus plantarum* fermentation: chemical composition, antioxidant properties and aroma profile[J]. Food Bioscience, 2019, 29: 62.
- [11] DE OLIVEIRA S D, ARAÚJO C M, DA SILVA CAMPELO BORGES G, et al. Improvement in physico-chemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) and guava (*Psidium guajava* L.) fruit by-products fermented with potentially probiotic lactobacilli [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 134:110200.
- [12] BELAL J M, SHOBIRIN M H A, HANA K,

- et al. Metabolomic changes and biological activities during the lacto-fermentation of jackfruit juice using *Lactobacillus casei* ATCC334 [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 141:110940.
- [13] XU X X, DAI M, LAO F, et al. Effect of glucoraphanin from broccoli seeds on lipid levels and gut microbiota in high-fat diet-fed mice [J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 68:103858.
- [14] 赵大洲. 运用紫外分光光度法测定枣肉、枣核的铁元素含量[J]. *轻工学报*, 2019, 34(6):9.
- [15] KAPRASOB R, KERDCHOECHUEN O, LAO-HAKUNJIT N, et al. Fermentation-based biotransformation of bioactive phenolics and volatile compounds from cashew apple juice by select lactic acid bacteria[J]. *Process Biochemistry*, 2017, 59:141.
- [16] DI CAGNO R, FILANNINO P, CAVOSKI I, et al. Bioprocessing technology to exploit organic palm date (*Phoenix dactylifera* L. cultivar Siwi) fruit as a functional dietary supplement [J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 31:9.
- [17] ZHANG Y, LIU W P, WEI Z H, et al. Enhancement of functional characteristics of blueberry juice fermented by *Lactobacillus plantarum* [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 139:110590.
- [18] SANG S K, PARK K J, AN H J, et al. Phytochemical, antioxidant, and antibacterial activities of fermented Citrus unshiu byproduct [J]. *Food Science & Biotechnology*, 2017, 26(2):461.
- [19] TÜRKYILMAZ M, TAĞI Ş, DEREĞİ U, et al. Effects of various pressing programs and yields on the antioxidant activity, antimicrobial activity, phenolic content and colour of pomegranate juices [J]. *Food Chemistry*, 2013, 138(2/3):1810.
- [20] CHEN W X, ZHU J Z, NIU H, et al. Composition and characteristics of yam juice fermented by *Lactobacillus plantarum* and *Streptococcus thermophilus* [J]. *International Journal of Food Engineering*, 2018, 14:11.
- [21] LIU Y X, CHENG H, LIU H Y, et al. Fermentation by multiple bacterial strains improves the production of bioactive compounds and antioxidant activity of goji juice [J]. *Molecules*, 2019, 24(19):3519.
- [22] LIAO X Y, GUO L Q, YE Z W, et al. Use of autochthonous lactic acid bacteria starters to ferment mango juice for promoting its probiotic roles. [J]. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 2016, 46(4):399.
- [23] WU C Y, LI T L, QI J, et al. Effects of lactic acid fermentation-based biotransformation on phenolic profiles, antioxidant capacity and flavor volatiles of apple juice [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 122:109064.
- [24] PIMENTEL T C, MADRONA G S, GARCIA S, et al. Probiotic viability, physicochemical characteristics and acceptability during refrigerated storage of clarified apple juice supplemented with *Lactobacillus paracasei* ssp. *Paraca-sei* and oligofructose in different package type [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 63(1):415.
- [25] 陈树俊, 罗佳. 开菲尔发酵复合果蔬固体饮品的制备及体外功能研究 [J]. *食品与机械*, 2020, 36(4):196.
- [26] 陈亚楠, 汪云阳, 王德行, 等. 植物乳杆菌发酵陈皮柑饮料的工艺优化与分析 [J]. *饮料工业*, 2019, 22(5):28.
- [27] COOK M T, TZORTZIS G, CHARALAMPOPOULOS D, et al. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery [J]. *Journal of Controlled Release*, 2012, 162(1):56.
- [28] TANZINA H, AVIK K, KHAN R A, et al.



- Encapsulation of probiotic bacteria in biopolymeric system[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2013, 53(9):909.
- [29] 杨畅,冯志宽,李洪亮,等. 益生菌微胶囊包埋方式的研究进展[J]. *农产品加工*, 2020(5):82.
- [30] 赵德胜. 不同壁材对益生菌微胶囊性能的影响[J]. *中国乳品工业*, 2017, 45(2):29.
- [31] 崔树茂,徐长悦,毛丙永,等. 植物乳杆菌发酵苹果汁及菌体活性保持[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(12):120.
- [32] 侯银臣,吕行,黄继红,等. 发酵条件对桑葚酵素抗氧化能力的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2019, 53(2):251.
- [33] 王惠. 乳酸菌发酵树莓汁工艺及其抗氧化、抗肿瘤活性研究[D]. 石家庄:河北科技大学, 2020.
- [34] 仵白敏. 复合益生菌发酵葡萄汁工艺优化与营养特性研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2020.
- [35] 丁楠,何美珊,戈子龙,等. 果蔬发酵制品的功效及应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(7):332.
- [36] 朱艳,尹曼,魏颖. 果蔬发酵汁对肠道益生菌及大肠杆菌黏附能力的影响[J]. *食品科技*, 2019, 44(11):9.
- [37] SINGH N, GURAV A, SIVAPRAKASAM S, et al. Activation of Gpr109a, receptor for niacin and the commensal metabolite butyrate, suppresses colonic inflammation and carcinogenesis [J]. *Immunity*, 2014, 40(1):128.
- [38] MOHANTY D, PANDA S, KUMAR S, et al. In vitro evaluation of adherence and anti-infective property of probiotic *Lactobacillus plantarum* DM 69 against *Salmonella enterica* [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2019, 126:212.
- [39] MULLER M, CANFORA E E, BLAAK E E. Gastrointestinal transit time, glucose homeostasis and metabolic health: modulation by dietary fibers[J]. *Nutrients*, 2018, 10(3):275.
- [40] 王轶帆,邓媛元,张雁,等. 龙眼多糖与燕麦多糖的结构特征及其益生活性比较[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(12):62.
- [41] GHOLAMI M, GHASEMI-NIRI S F, MAQBOOL F, et al. Experimental and pathological study of *Pistacia atlantica*, butyrate, *Lactobacillus casei* and their combination on rat ulcerative colitis model [J]. *Pathology Research and Practice*, 2016, 212(6):500.
- [42] CHAIKHAM P, APICHARTSRANGKON A, JIRARATTNARANGSRI W, et al. Influence of encapsulated probiotics combined with pressurized longan juice on colon microflora and their metabolic activities on the exposure to simulated dynamic gastrointestinal tract [J]. *Food Research International*, 2012, 49(1):133.
- [43] BEHBAHANI A B, NOSHAD M, FALAH F. Inhibition of *Escherichia coli* adhesion to human intestinal Caco-2 cells by probiotic candidate *Lactobacillus plantarum* strain L15 [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2019, 136:103677.
- [44] SHENDEROV B A. Probiotic (symbiotic) bacterial languages [J]. *Anaerobe*, 2011, 17(6):490.
- [45] TORRES C A, ROMERO L A, DIAZ R I. Quality and sensory attributes of apple and quince leathers made without preservatives and with enhanced antioxidant activity [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 62(2):996.