

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20231229010

现制饮料中腐败微生物及其检测与 防控技术研究进展

张 诺^{1,2}, 邹 纯², 余启明^{1*}, 尹军峰^{2*}

(1. 桂林医学院公共卫生学院, 桂林 541199; 2. 中国农业科学院茶叶研究所, 杭州 310008)

摘 要: 我国现制饮料种类丰富, 产业发展快速且前景广阔。然而, 近年来现制饮料中由腐败微生物引起的食品质量问题频发, 受到了人们的高度重视。现制饮料行业的可持续发展离不开对腐败微生物的有效防控。因此, 本文总结了现制饮料中存在的主要腐败微生物种类、污染源及其产生的不良影响, 介绍了传统检测法和快速检测法在腐败微生物检测中的应用, 阐述了物理杀菌法和食品防腐剂抑菌法等腐败微生物防控中的应用, 为现制饮料腐败微生物控制和产业的可持续发展提供了理论依据和技术支撑。

关键词: 腐败微生物; 现制饮料; 防控; 检测

Research progress of spoilage microorganism and its detection and control technology in freshly-made beverages

ZHANG Nuo^{1,2}, ZOU Chun², YU Qi-Ming^{1*}, YIN Jun-Feng^{2*}

(1. School of Public Health, Guilin Medical University, Guilin 541199, China;
2. Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China)

ABSTRACT: China's freshly-made beverages are rich in variety, and their industry is developing rapidly and has broad prospects. However, in recent years, food quality problems caused by spoilage microorganisms in ready-made beverages are frequent, and people pay great attention to them. The sustainable development of the existing beverage industry cannot be separated from the effective prevention and control of spoilage microorganisms. Therefore, this paper summarized the main types of spoilage microorganisms, pollution sources and their adverse effects in the current beverage, introduced the application of traditional detection methods and rapid detection methods in the detection of spoilage microorganisms, and expounded the application of physical sterilization and food preservatives in the prevention and control of spoilage microorganisms. This paper provides theoretical basis and technical support for the

基金项目: 浙江省三农九方科技协作项目“新式茶饮专用特色茶加工技术研究及产品开发”(2022SNJF039)、国家茶产业技术体系项目(CARS-19)、中国农业科学院创新工程项目(CAAS-ASTIP-TRI)

Fund: Supported by the Zhejiang Province Three Rural and Nine Fang Science and Technology Cooperation Project “Research and Product Development of New Tea Beverage Specialty Tea Processing Technology” (2022SNJF039), the China Agriculture Research System of Ministry of Finance and Ministry of Agriculture and Rural Affairs (CARS-19), and the Innovation Project for Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS-ASTIP-TRI)

*通信作者: 余启明, 博士, 副教授, 主要研究方向为营养与疾病预防。E-mail: qm_yu19@glmc.edu.cn
尹军峰, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与茶饮料工程。E-mail: yinjfatricaas.com

*Corresponding author: YU Qi-Ming, Ph.D, Associate Professor, Guilin Medical University, No.1, Zhiyuan Road, Lingui District, Guilin 541199, China. E-mail: qm_yu19@glmc.edu.cn

YIN Jun-Feng, Ph.D, Professor, Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, No.9, Meiling South Road, Xihu District, Hangzhou 310008, China. E-mail: yinjfatricaas.com

control of spoilage microorganisms in freshly made beverages and the sustainable development of the industry.

KEY WORDS: spoilage microorganism; freshly-made beverages; control; detection

0 引言

现制饮料是以茶叶、水果、果汁浓缩液、乳制品和糖浆等原料经现场制作并销售,可直接饮用的饮料。中国饮品店行业的市场规模由 2017 年的 1152 亿元增至 2022 年的 3054 亿元,现制饮料行业正经历快速发展时期,产业发展前景广阔。现制饮料种类繁多,包括现榨饮料、现磨饮料和现调饮料等。新式茶饮以现榨饮料和现调饮料为主,已在现制饮料行业中占主导地位。《2022 现制茶饮行业研究报告》显示,2022 年我国新式茶饮行业市场规模超过 1040 亿元^[1]。随着饮品店的竞速扩张,食品质量问题频发。频繁爆发食品质量事件一方面是现制饮料本身营养丰富且没有经过杀菌,很容易滋生微生物;另一方面是由于原材料品质把控不严、制作过程操作不规范等人因素。

本文对现制饮料中常见的腐败微生物类型、来源及产生的不良影响进行了归纳总结,进一步介绍了腐败微生物的检测方法和防控技术及其优缺点,为提高现制饮料食品安全风险防范和控制水平提供参考。

1 现制饮料中腐败微生物的类型、来源及其不良影响

现制饮料中常见的主要腐败微生物涉及细菌、酵母菌和霉菌。它们的主要来源是原料、冰块、空气、不卫生的

设备等。腐败微生物会产生酸败气味、浑浊和沉淀物等腐败变质现象,影响现制饮料感官品质和理化性质,产生威胁人体健康的物质(表 1)。

1.1 腐败细菌

现制饮料中检测出的腐败细菌有肠杆菌属、芽孢杆菌属、脂环酸芽孢杆菌属、假单胞菌属、葡萄球菌属、肠球菌属。王雪君等^[2]调查杭州市某区 2018—2020 年市售食品的微生物污染情况,结果表明,随机抽取的 28 份奶茶样品中,大肠杆菌检出率为 53.6%,其中有 8 份计数 ≥ 110 MPN/mL。江勋等^[12]调查衡阳市现制茶饮微生物污染情况,结果表明,25 个样品中均存在不同程度的菌落污染,其中有 22 个样品存在大肠菌群污染,最高者达 4.0×10^6 CFU/mL。黄艳芬等^[13]调查广州市某地区食品微生物污染状况,结果表明,52 份现制饮料样品中有 15 份样品大肠菌群超标。许姣等^[14]调查开封市市售奶茶中的蜡样芽孢杆菌污染状况,结果表明,奶茶中检出非呕吐型蜡样芽孢杆菌,其检出量为 4.56×10^4 CFU/mL,当蜡样芽孢杆菌数为 1×10^5 CFU/mL 时,可引起食物中毒。枯草芽孢杆菌是在污染生乳中检出率最高的的杆菌属细菌,占 30%^[15]。原料奶常见的污染种类有蜡样芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌和环状芽孢杆菌^[4]。张月等^[16]为了解百色城区饮品店现制饮料的微生物污染状况,购买现制茶饮和果汁饮料共 185 份,经微生物学检验,检测出表皮葡萄球菌 39 株、检出率为 8.70%;金黄色葡萄球菌检出率 1.56%;肠球菌检出率 5.36%。

表 1 现制饮料中主要腐败微生物、污染源及其不良影响

Table 1 Main spoilage microorganisms, pollution sources and their adverse effects on prepared beverage

	腐败微生物	污染源	不良影响	文献
腐败细菌	肠杆菌属(<i>Enterobacter</i>)	原料	产生丙酸、促进腐败	[2]
	芽孢杆菌属(<i>Bacillus</i>)	原料、冷凝水	产生酸败气味、产气	[3]
	假单胞菌属(<i>Pseudomonas adaceae</i>)	水、空气、原料	二次发酵、发生腐败	[4]
	脂环酸芽孢杆菌属(<i>Alicyclobacillus</i>)	原料	变酸、黏稠、气味异常	[5]
	葡萄球菌属(<i>Staphylococcus</i>)	原料、不卫生的设备	发生腐败	[6]
腐败酵母	肠球菌属(<i>Enterococcus thiercelin and Jouhaud</i>)	原料、不卫生的设备	感官品质劣变	[7]
	酿酒酵母属(<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	制作仪器	二次发酵	[6]
	毕赤酵母属(<i>Pichia</i>)	原料、制作过程	奶茶腐败、产膜、产气	[8]
	假丝酵母属(<i>Candida</i>)	原料	产生不良气味,成膜	[8]
腐败霉菌	汉逊酵母属(<i>Hansenulaanomala</i>)	原料	产生不良气味,成膜	[6-8]
	曲霉属(<i>Aspergillus</i>)	原料	产生沉淀、异味等腐败现象	[6]
	枝孢属(<i>Cladosporium</i>)	原料	产生沉淀,出现“生花”现象	[9]
	青霉属(<i>Penicillium</i>)	原料	果实腐烂、产真菌毒素	[10]
	篮状菌属(<i>Talaromyces</i>)	原料	产生异味、沉淀	[11]

现制饮料中腐败细菌的主要来源是原料、冰块、空气、不卫生的设备等。现制饮料中的原料包括茶、奶、果汁等, 均有腐败细菌检出。陈佳琪等^[17]为了解无锡市校园周边现制饮料微生物污染状况, 随机采集现制样品 108 份, 其中 10 份样品菌落总数超标, 16 份大肠埃希菌超标且果汁样品超标率高于奶茶和茶饮。周炯等^[18]对花茶、绿茶、红茶、乌龙茶和普洱茶进行微生物种类测定, 结果表明, 茶叶中主要污染细菌是枯草芽孢杆菌和阴沟肠杆菌, 其中乌龙茶和红茶大肠菌群检出量均为 0.6 MPN/g。不同类别的现制饮料中, 蛋白类饮料菌落总数和大肠菌群数明显高于其他种类饮品, 引起这一现象的原因可能是蛋白类饮料中蛋白质含量丰富, 更适宜微生物生长繁殖。有研究发现添加不同配料的现制奶茶中对细菌总数含量有显著影响, 其中添加冰块可使奶茶中的细菌总数增加 10^2 CFU/mL^[19]。张艺桦等^[20]调查海口市小型自制饮料店生产的饮料微生物污染情况, 调查结果表明, 采集的 43 份样品中现制红茶细菌总数高达 1.97×10^4 CFU/mL, 自制饮料店内不同位置的空气细菌检测发现在店门口的位置细菌总数合格率最低为 61.54%且细菌数最高达 122.87×10^2 CFU/mL。徐燕英等^[21]为了解苏州市某城区市售鲜榨果汁工具卫生情况, 随机抽取榨汁机和一次性饮品杯各 30 件进行微生物指标检测, 检测结果表明, 榨汁机和一次性饮品杯中菌落总数和致病菌合格率均为 100%, 榨汁机中大肠菌群合格率为 86.7%。李羽翥等^[22]调查兰州市主城区餐具微生物污染状况, 随机抽取 12 件鲜榨果汁饮品杯, 结果表明, 大肠杆菌检出量为 8.33%。

腐败细菌会使现制饮料变酸、变稠、产气、感官品质劣变, 危害饮用者健康。张江波等^[23]从猕猴桃及猕猴桃汁中分离出了脂环酸芽孢杆菌属, 被该菌污染的果汁会产生难闻气味, 其污染产物愈创木酚量达到 $10.56 \sim 34.74 \mu\text{g/L}$ 。DANYLUK 等^[24]通过气相色谱-嗅闻联用技术(gas chromatography-olfactometry, GC-O)与气相色谱-质谱联用技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联合对被污染的芒果汁、菠萝汁的异味成分进行分析, 发现了呈现药水气味的愈创木酚。许灿等^[25]将酸土脂环酸杆菌接入水蜜桃乳果汁饮料高温培养 30 d 后, 愈创木酚和邻乙氧基苯酚含量分别为 2818 和 2036 $\mu\text{g/L}$, 果汁具有强烈的臭袜子及药水味, 严重破坏果汁品质。乳及乳制品中常见的嗜冷菌为芽孢杆菌属和假单胞杆菌属, 芽孢杆菌属能分解乳制品中蛋白质和脂肪, 产生酸败味, 导致鲜奶产气^[4]。假单胞杆菌属在低温条件下能快速繁殖, 将乳蛋白或脂肪分解产生腐败味, 导致低温冷藏乳制品的腐败^[26]。高振鹏等^[27]为了解乳制品腐败变质原因, 从乳制品中分离出荧光假单胞菌。

1.2 腐败酵母

现制饮料中检测出的腐败酵母菌有毕赤酵母属、酿酒酵母属、假丝酵母属、汉逊酵母属。UHITIL 等^[28]分析了

大型超市压榨的新鲜果汁中假丝酵母属酵母菌的污染状况, 66 份橙汁样品中分离出 6 种假丝酵母属酵母, 检出频率最高的为 *Candida guilliermondii* (54.55%)。ARIAS 等^[29]研究橙汁中酵母菌种类发现, 鲜榨橙汁中酵母菌主要是汉逊酵母属。

现制饮料中的腐败酵母菌主要来源于原料和冰块。调查发现奶茶的酵母菌菌落总数是 2.2×10^3 CFU/mL, 其中冰奶茶的酵母菌菌落总数为 2.4×10^3 CFU/mL^[30]。张大为等^[31]从腐败的柑橘中分离腐败菌, 经菌落形态观察鉴定为酿酒酵母。在酸性、高糖和高温条件下均能检测到腐败酵母的生长。研究发现, pH 为 4.5 时适合鲜榨橙汁酵母菌生长, pH 为 6.0 时是鲜榨西瓜汁中酵母菌的最适生长值^[30]。刘灿灿等^[32]从腐败变质的浓缩苹果汁中分离出一株异常毕赤酵母 *Pichia anomala*, 该酵母能够在葡萄糖含量为 500~650 g/L 的环境中生长。ANAPI 等^[33]研究橙汁中的耐热酵母, 发现一株发酵毕赤酵母(*P. fermentans*)表现出较高的耐热性。

1.3 腐败霉菌

现制饮料中检测出的腐败霉菌有枝孢属(*Cladosporium*)、曲霉属、青霉属、篮状菌属。现制饮料中腐败霉菌的主要来源是原料, 原料中的果汁、茶叶、水果等均有腐败霉菌检出。有研究调查现制饮品微生物污染状况时发现同种奶茶冬季的霉菌数最低^[19]。江峰^[9]研究发现常温下引起猕猴桃腐败变质的主要菌株为青霉菌和枝孢霉菌。童迅等^[11]对浓缩果汁中的耐热霉菌进行检测和鉴定, 结果表明, 15 份样品中有 8 个样品检出耐热霉菌, 以产真菌毒素的篮状菌和正青霉为主。

霉菌不仅会加速现制饮料原料的腐败, 而且还会产生毒素。调查发现新茶饮原料中的余甘子营养丰富, 其中青霉菌是余甘子的典型腐败菌, 它能激活果实的浸透酶产生酶解物质从而加速果实腐烂变质过程, 同时降低余甘子维生素 C 含量^[10]。ZHAO 等^[34]从我国云南、湖北、湖南和广西等 4 个省份收集了黑茶茶样本, 从中分离到 76 株真菌, 包括曲霉属和青霉属, 进行产毒分析发现其中 6 株真菌均可以产生赭曲霉毒素 A (ochratoxin A, OTA)。

2 腐败微生物的检测技术

当前, 现制饮料腐败菌的检测方法主要有传统检测法和快速检测法。传统检测法包括菌落计数法和聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)检测技术, 所需设备简单、成本低, 但操作复杂烦琐、结果不稳定且易出现假阳性或无法准确鉴定等现象。近年来, 随着科技的不断发展进步, 新兴技术逐渐产生并应用。新兴技术主要有分子印迹技术、胶体金免疫层析法、近红外光谱技术和高光谱成像技术等, 新兴技术比传统检测法需要的样本量少、检测结果快、识别准确率高。分子印迹技术和胶体金免疫层析法在

现制饮料检测中应用较少,目前现制饮料检测中常见的新兴技术有近红外光谱技术和高光谱成像技术(表 2)。

表 2 腐败微生物检测方法的优缺点
Table 2 The advantages and disadvantages of the detection method of corrupt microorganisms

方法	优点	缺点	文献
菌落计数法	设备少、成本低、直观	操作烦琐、检测周期长、灵敏度较低	[35]
PCR 检测技术	操作简单、快速、灵敏度高	结果不稳定、易出现假阳性	[35-36]
近红外光谱技术	方便、快速、无损	成本高、定标建模复杂	[37]
高光谱成像技术	迅速、无损、高效	缺乏准确的校准曲线、数据量多	[38]

2.1 菌落技术法

菌落计数法依据国标 4789 系列标准,如 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》、GB 4789.15—2012《食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母菌计数》和 GB 4789.14—2014《食品安全国家标准 食品微生物学检验 蜡样芽孢杆菌检验》上述国标计数法根据检测的微生物种类选择相应的培养基,进行接种、培养、计数、鉴定菌落形态、革兰氏染色等步骤。该方法检测具有结果直观、所需成本较低、设备少的优势,但存在操作繁杂、检测周期较长等缺陷^[35]。

2.2 PCR 检测技术

PCR 是常见的分子生物学检测方法其具有操作简单、快速和灵敏度高等特点,但容易出现检测结果不稳定或假阳性等现象。PCR 技术主要应用类型包括常规 PCR、复合 PCR、荧光 qPCR 等^[36-38]。孙建霞等^[39]利用 PCR 法对苹果汁和桃汁进行种属鉴定,规定最低检出限为 5、10 ng/μL。赵宁等^[40]利用过滤富集法与 PCR 技术结合检测原料乳中的蜡样芽孢杆菌,灵敏度可达 10^1 mL^{-1} ,并在 6 h 内完成检查。梁丽姣^[41]建立 qPCR 检测方法区分乳制品中的蜡样芽孢杆菌和其他芽孢杆菌属模型,结果表明,模拟微生物污染样品检测时,乳制品中 <200 CFU/mL 细菌可立即检出。张娜娜等^[42]采用实时 qPCR 检测市售的 11 份乳酸菌饮料样品,嗜酸乳杆菌检出量在 $5.83 \times 10^2 \sim 3.68 \times 10^4 \text{ CFU/mL}$ 之间。董银萍等^[43]建立乳酸杆菌和嗜热链球菌种的 16S rRNA PCR 克隆方法,检测北京市市售酸奶,结果表明该方法灵敏、可靠,适用于乳酸杆菌和嗜热链球菌鉴定。

2.3 近红外光谱技术

近红外光谱(near infrared, NIR)技术是基于采集样本光谱和测量利用化学计量法,建立校正模型来检测致病菌和腐败菌,其波长范围为 780~2560 nm^[37]。NIR 技术具有

方便、快速、无损等优点,但也存在成本高,定标建模复杂等缺点^[44]。张亮^[45]采用 NIR 技术建立不同污染程度的苹果中扩展青霉的模型定性和定量分析,可有效区分扩展青霉和苹果中其它致腐菌,其检出限为 $1.5 \times 10^1 \text{ 个/mL}$ 。王健明等^[46]利用傅里叶变换近红外技术(Fourier transform-near infrared, FT-NIR)结合化学计量学方法经多元散射校正(multiplicative scatter correction, MSC)预处理后检测被阪崎肠杆菌、金葡萄球菌、大肠杆菌污染的乳制品,准确率达到 100%。连媛媛等^[47]利用 NIR 技术结合 PCR 法对不同品牌椰子原汁、椰子饮料及椰子粉进行定性分析,准确判别率达到 100%。王若男等^[48]应用傅里叶变换近红外技术对脂环酸芽孢杆菌种间 7 株不同种的标准菌进行建模,模型判别准确率为 100%并能正确区分标准菌类型。

2.4 高光谱成像技术

高光谱成像技术是成像和光谱技术相结合的一种新兴技术,其原理是在 200~2500 nm 光谱范围内,利用成像光谱仪在光谱覆盖范围内的数十或数百条光谱波段对目标物体连续成像。具有快速、无损、高效的特点,但引物设计要求较高且易受干扰^[38]。石吉勇等^[49]采用模式识别法对比酸奶中高光谱图像技术和光谱技术的结果,筛选出以光谱特征所建立的最小二乘支持向量机(least squares support vector machines, LS-SVM)模型为最优模型,其大肠杆菌计数的相对误差为 3.33%,金黄色葡萄球菌和沙门氏菌计数的相对误差均为 0。

3 腐败微生物的防控技术

常用的现制饮料中腐败微生物防治方法包括物理杀菌法和食品防腐剂抑菌法。物理杀菌法是采用非传统加热方法杀灭微生物,具有成本低、对感官品质和活性成分影响较小等优点,但存在设备安全系数低、抗菌局限性等缺陷。物理杀菌法主要有超高压加工技术、超声波技术、高压脉冲电场、高压 CO₂ 杀菌技术、辐照杀菌等,除辐照杀菌外均对现制饮料品质成分影响较小。食品防腐剂抑菌法是通过添加食品防腐剂抑制微生物生长。食品防腐剂按照来源分为化学食品防腐剂和天然防腐剂均。化学防腐剂由于存在抑菌效果易受环境 pH 影响、防腐剂具有微量毒性,具有致癌可能性等缺陷,目前在现制饮料中使用较少。随着人们对食品安全要求的提高,天然防腐剂成为食品行业研究的热点。天然防腐剂主要有茶多酚、果胶酶解物、蜂胶、壳聚糖、ε-聚赖氨酸、乳酸链球菌素等,其具有无毒、操作简单、对营养和风味影响小等优势。其中壳聚糖、ε-聚赖氨酸、乳酸链球菌素、二甲基二碳酸盐为现制饮料中常见的防治方法。文章总结了微生物防治技术在现制饮料中的应用(表 3)。

表 3 腐败微生物防控方法的优缺点
Table 3 Advantages and disadvantages prevention and control methods of corrupt microorganisms

方法	优点	缺点	文献	
物理杀菌法	超高压加工技术	对感官和活性成分影响较小	生产效率低、设备安全系数低	[7]
	超声波技术	对营养、质量和感官影响较小	设备昂贵、存在抗菌局限性	[7]
	高压脉冲电场技术	能耗低、可连续杀菌	设备结构复杂、难操作、成本高	[50-52]
	高压 CO ₂ 杀菌技术	成本低、安全无毒、食品中热敏物质破坏小	对细菌芽孢抑制效果差、效率低	[53]
食品防腐剂抑菌法	ϵ -聚赖氨酸	天然的、具有广谱、高效抗菌性	与食品体系中带负电荷物质结合, 形成沉淀或絮凝, 削弱抑菌效果	[50,54]
	乳酸链球菌素	天然、安全、对感官品质影响较小	存在抗菌局限性	[55]
	二甲基二碳酸盐	成本低、安全性高、对营养和风味无影响	对细菌抑制效果较差	[56-57]
	壳聚糖	具有广谱抗菌性、无毒、良好保湿性、可降解	高糖环境影响抑菌效率	[54,58]

3.1 物理方法

物理杀菌法相比于传统的热杀菌工艺, 这类技术有利于保持食品本身的生物活性及营养成分, 避免营养物质被破坏、产生不良口感等问题。

3.1.1 超高压加工技术

超高压加工技术属于非热杀菌技术, 可有效保持现制饮料原有维生素含量及风味品质, 减少其致病菌。田学智等^[59]对比超高压加工技术与热处理探究复合果汁微生物和品质变化, 研究发现, 在 500 MPa 处理 3~5 min 超高压条件下, 无霉菌和酵母菌检出, 能保持维生素 C 的含量。王明雪等^[60]在 480 MPa 单次持续处理 16 min 的超高压加工技术条件下, 雪梨汁中菌落总数、霉菌和酵母菌数均为 0, 可较好保持其风味品质。王凤玲等^[61]采用 UHP 处理鲜榨复配果汁, 结果表明, 在 450 MPa、25°C、15 min 的条件下, 复配果汁品质与未处理果汁品质接近, 无糠醛生成, 可延长货架期。

3.1.2 超声波技术

超声波技术指的是频率大于 20 kHz 以上的声波, 能够在极短的时间内达到灭菌效果^[51], 从而更好地保持现制饮料原有的风味。宋旻^[62]探究超声-烷基化复合改性大豆分离蛋白在奶茶中的应用, 确定改性大豆分离蛋白添加量为 0.2% 时奶茶稳定性达到市售标准, 感官品质和营养价值可满足广大消费者。ZHU 等^[63]研究了超声波对蓝莓果汁中大肠杆菌的杀灭效果, 结果表明在 560 W、40°C/350 MPa、5 min 条件下大肠杆菌被快速灭活。李红艳等^[64]采用超声波-超高压加工技术联合法处理鲜榨樱桃汁, 探究甜樱桃汁微生物数量和品质成分变化。研究结果表明, UW-UHP 联合

法可降低贮存过程中总菌数和霉菌数量, 可有效延长货架期; 能抑制过氧化物酶和多酚氧化酶活性, 提高抗氧化能力。

3.1.3 高压脉冲电场

高压脉冲电场技术可实现对现制饮料的连续化杀菌, 并减少营养破坏^[50]。AGUILÓ-AGUAYO 等^[65]探究 PEF 技术处理西瓜汁在贮藏过程中风味化合物的变化, 结果表明, 在 35 kV/cm、1727 μ s 条件下己醛、(E)-2-壬烯醛、壬醛、甲基庚烯酮和香叶基丙酮的浓度大约上升了 20%。方婷等^[66]采用鲜榨橙汁为原料, 探究高压脉冲电场技术对鲜橙汁中微生物的影响, 结果表明, 高压脉冲电场技术可有效杀灭鲜橙汁中微生物并有效抑制维生素 C 在贮存期间的损失。陶晓赟^[51]采用高压脉冲电场技术处理鲜榨蓝莓汁, 结果表明, 当处理条件为 30 kV/cm、60 μ s 时, 灭菌率可达到 99% 以上。李楠楠^[52]探究高压脉冲电场技术对鲜榨橙汁的杀菌效果, 结果表明, 在处理条件为 28 kV/cm、15 mL/min、40°C 时, 微生物总致死率平均为 2.7 个对数, 符合 GB 7101—2015《食品安全国家标准 饮料》菌落总数要求。

3.1.4 高压 CO₂ 杀菌技术

高压 CO₂ 杀菌技术对现制饮料中热敏物质破坏力较小, 具有安全无毒、操作简便等优点。ERKMEN^[67]研究发现在 10.1 MPa、30°C 的条件下采用高压 CO₂ 杀菌技术处理 6 h 后, 全脂和脱脂牛奶中的大肠杆菌分别降低了 6.42 个和 7.24 的对数值。陈洋杨^[68]采用超声真空与高压 CO₂ 杀菌技术联合探究对浓缩橙汁中的抗坏血酸是否有延缓降解的作用, 结果表明, 联合法可延缓抗坏血酸降解, 但对美拉德反应产生的褐变作用甚微。吴克平^[53]研究发现在 30 MPa、50°C、70 min 的条件下可降低苹果汁中酸土脂环酸杆菌芽

孢 3.12 个对数值; 采用溶酶菌和高压 CO₂ 杀菌技术协同作用可造成苹果汁中芽孢大量死亡, 并能更好的保持营养成分并延长保质期。刁恩杰等^[69]将鲜榨橙汁在 37°C, 60 MPa 的条件下采用高压 CO₂ 杀菌技术处理 9 min, 结果表明, 橙汁在 4°C 和 15°C 下贮藏, 货架期分别在 84 d 和 56 d 以上, 且维生素 C 含量保持在 80% 以上, 可有效延长保质期。

3.2 食品防腐剂抑菌法

随着新一代消费人群需求的个性化发展, 现制饮料深受消费者喜爱。在食品工业中, 现制饮料及原料的防腐、保鲜一直是亟待解决的问题。文章中食品防腐剂主要介绍了 ϵ -聚赖氨酸、乳酸链球菌素、纳他霉素、二甲基二碳酸盐和壳聚糖, 除二甲基二碳酸盐外均为天然食品防腐剂。食品防腐剂可有效防止食品腐败并延长保质期、保持食品原有营养价值。

3.2.1 ϵ -聚赖氨酸

ϵ -聚赖氨酸是一种天然食品防腐剂, 在 pH 为 5~8 之间抑菌效果最强^[70]。 ϵ -聚赖氨酸单独使用可达到抑菌效果, 但联合使用其他方法的杀菌效果更优。王换男^[50]研究发现 ϵ -聚赖氨酸可抑制 NFC 血橙汁中的典型腐败菌酸土脂环芽孢杆菌和酿酒酵母, ϵ -聚赖氨酸协同高温瞬时杀菌效果更好。徐红等^[71]研究比较了 ϵ -聚赖氨酸和甘氨酸在单独或复配使用时对牛奶的保鲜实验, 结果显示, ϵ -聚赖氨酸与甘氨酸复配使用时, 有明显的协同增效作用, 相较于单独使用时其抑菌能力有大大提升。王晓璐^[72]将 ϵ -聚赖氨酸与聚阴离子六偏磷酸钠结合形成聚合物探究在巴氏灭菌乳中的抑菌效果。结果表明, 聚合物对牛乳中的菌落有良好抑制效果且蜡样芽孢杆菌低于 10⁶ CFU/mL。

3.2.2 乳酸链球菌素

乳酸链球菌素是一种安全、无毒的天然防腐剂。研究发现 pH 小于 4 时抑菌效果更好。陈婷婷^[70]探究乳酸链球菌素对鲜榨果汁微生物的影响, 发现添加量为 0.05 g/kg 乳酸链球菌素可有效抑制蜡样芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌的生长。夏云梯等^[73]研究不同乳酸链球菌素添加量对苹果汁、桔子汁和葡萄柚汁中的酸土芽孢杆菌抑制效果, 研究发现添加适量的乳酸链球菌素可有效防止果汁饮料腐败。研究发现鲜奶中添加 50 mg/kg 乳酸链球菌素, 鲜奶保质期可延长至 16 d^[74]。乳酸链球菌素在酸性条件下具有更好的抑菌效果。钟旭美^[55]研究乳酸链球菌素对橙汁中嗜酸耐热菌的抑制作用, 研究发现在 pH<4、温度较低的情况下抑菌效果更佳, 具有降低杀菌温度和缩短热处理时间的作用。

3.2.3 二甲基二碳酸盐

二甲基二碳酸盐也称维果果灵或二甲基二碳酸酯, 具有成本低、安全性高、对营养和风味无影响等优势, 但对细菌抑制效果较差。它在现制饮料中的应用较为广泛。经过二甲基二碳酸盐处理过的抹茶拿铁饮品, 可有效抑制细

菌, 霉菌酵母菌等腐败菌的繁殖, 对饮品本身的风味和口感影响甚微^[75]。林焱等^[76]探究二甲基二碳酸盐对百香果汁的杀菌效果, 发现细菌、霉菌和酵母菌的生长被有效抑制。郭换丽^[56]采用二甲基二碳酸盐联合乳酸链球菌素法探究对荔枝汁的协同杀菌效果, 结果表明, 对肠膜状明串珠菌和枯草芽孢杆菌有较强协同作用, 但对大肠杆菌无明显抑制作用。

3.2.4 壳聚糖

壳聚糖是天然多糖类物质, 无毒性, 可被降解, 常应用于现制饮料中, 对其感官品质影响较小。张朝红^[77]采用壳聚糖衍生物羧甲基壳聚糖与天然抗氧化多酚化合物合成表没食子儿茶素没食子酸酯-羧甲基壳聚糖接枝物和绿原酸-羧甲基壳聚糖接枝物探究鲜榨葡萄汁的保鲜效果, 研究发现, 二者均可有效减少鲜榨葡萄汁的蛋白质流失, 保持原有感官品质, 抑制微生物生长。

4 结束语

随着我国经济社会的快速发展, 人们对生活品质的要求日益提高。现制饮料是一种以茶叶、水果、乳制品等天然材料为原料, 经现场制作、直接饮用的饮料产品, 风味品质高、营养活性成分保留多, 符合高质化的消费趋势, 日益为消费者所喜爱, 具有广阔的发展前景。但因为现制饮料存在原料不标准、受制作过程和环境影响大等问题, 现制饮料的食品质量和安全问题仍呈现散点多发、数量上升的趋势, 影响产业的进一步发展, 亟待通过技术和管理创新实现突破。

现制饮料未来将呈现高质化、多样化、特色化、功能化发展趋势, 而产品的质量安全尤为重要。针对目前产业存在的问题和领域研究现状, 以下 3 个方面需要进一步的研究和创新。(1) 典型现制饮料微生物生长与变化规律研究。通过系统研究现制饮料微生物生长与变化规律及不同典型物料、场景的影响, 构建微生物增长模型, 探明其发展规律, 对指导现制饮料加工技术、质量管理和产品标准等都具有重要的意义;(2) 现制饮料低成本快速检测技术创新。PCR 检测、近红外光谱、高光谱成像等新兴检测技术虽然具有方便、快速、高效等特点, 但仍存在诸多不足, 而且难于直接应用到现制饮料门面店应用。积极引进各种新技术, 采用荧光法、显色法等新方法, 开发专用设备, 实现门面店在线快速检测;(3) 现制饮料微生物限定标准及控制技术研究。目前现制饮料的微生物限定标准仍较缺乏, 物理杀菌法存在设备昂贵且结构复杂难操作, 食品防腐剂抑菌法因抑菌效果差和存在抗菌局限性等因素导致使用率较低, 且不受消费者欢迎。未来可以研究探明不同物料、场景下现制饮料的微生物控制指标, 便于现制饮料门面店进行有效管理; 开发可在门面店应用的专用设备及包装技术,

有效控制现制饮料中微生物的生长, 减少质量安全问题的发生。

参考文献

- [1] 李苏童, 杨兴辉, 刘少群, 等. 从茶叶基底看新式茶饮的创新与发展[J]. 中国茶叶, 2023, 45(12): 25–33.
LI ST, YANG XH, LIU SQ, *et al.* The innovation and development of novel-tea beverage from the basis of tea [J]. China Tea, 2023, 45(12): 25–33..
- [2] 王雪君, 张倩, 赵磊. 杭州市拱墅区 2018 年—2020 年食品微生物污染风险监测分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2021, 31(23): 2935–2938.
WANG XJ, ZHANG Q, ZHAO L. Monitoring and analysis of food microbial contamination risk in Gongshu district of Hangzhou from 2018 to 2020 [J]. China J Health Lab Technol, 2021, 31(23): 2935–2938.
- [3] 关怀. 控制果汁及果汁饮料中腐败菌的非加热法[J]. 国外医学(卫生学分册), 2002, (3): 182–185.
GUAN H. Non-heating method for controlling spoilage bacteria in fruit juices and fruit drinks [J]. Foreign Med Sci (Health Branch), 2002, (3): 182–185.
- [4] 邱月, 秦雪, 马钰, 等. 原料乳中腐败微生物对液态乳品质的影响及防控[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(16): 8–15.
QIU Y, QIN X, MA Y, *et al.* Effects of spoilage microorganisms in raw milk on the quality of liquid milk and their prevention and control [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(16): 8–15.
- [5] 何鹏晖, 庠晓, 钱杨, 等. 发酵蔬菜中腐败微生物及其防控的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(11): 374–378, 84.
HE PH, SHE X, QIAN Y, *et al.* Research advances of spoilage microorganisms and their preventive measures in fermented vegetables [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(11): 374–378, 84.
- [6] 周锦文, 李莹, 孙悦. 果酒生产中腐败微生物及其防控研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2023, (9): 1–10.
ZHOU JW, LI Y, SUN Y. Research advances on prevention and control of spoilage microorganisms in fruit wine manufacture [J]. Food Ferment Ind, 2023, (9): 1–10.
- [7] 李靖. 刺梨浓缩汁腐败菌的分离鉴定及鲜榨刺梨汁工艺研究[D]. 成都: 西华大学, 2022.
LI J. Isolation and identification of spoilage micro-organisms from concentrated rose roxburghii juice and study on the processing of fresh rose roxburgh juice [D]. Chengdu: Xihua University, 2022.
- [8] 郭冬琴. 橙汁中酵母菌的分离鉴定及其快速分子检测技术研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
GUO DQ. Isolation and identification of yeasts in orange juice and their rapid molecelar detection techniques [D]. Chongqing: Southwest University, 2012.
- [9] 江峰. 猕猴桃腐败菌的分离鉴定及壳聚糖席夫碱对其抑菌作用研究[D]. 贵阳: 贵州医科大学, 2017.
JIANG F. Identification of pathogenic bacteria separated from kiwifruit and antimicrobial effect of chitosan schiff-bases reseach [D]. Guiyang: Guizhou Medical University, 2017.
- [10] 倪少义, 吴漫晔, 陈丽玲, 等. 新茶饮中余甘子原料的安全监管[J]. 现代食品, 2021, (12): 124–126.
NI SY, WU MY, CHEN LL, *et al.* Safety supervision of raw materials of phyllanthus emblica in new tea drinks [J]. Mod Food, 2021, (12): 124–126.
- [11] 童迅, 高雯, 黄庭轩, 等. 浓缩果汁中耐热霉菌的分析及鉴定[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 198–202.
TONG X, GAO W, HUANG TX, *et al.* Determination of heat resistant mould in concentrated fruit juice [J]. Food Sci, 2016, 37(20): 198–202.
- [12] 江勋, 杨学军, 汪胜, 等. 现制茶饮质量安全风险分析与对策探讨[J]. 食品安全导刊, 2022, (32): 32–36, 41.
JIANG X, YANG XJ, WANG S, *et al.* Risk analysis and countermeasures of quality and safety of fresh tea [J]. China Food Saf Magaz, 2022, (32): 32–36, 41.
- [13] 黄艳芬, 钟文彬, 张雅婷. 2017—2020 年广州市增城区食品微生物污染状况分析[J]. 河南预防医学杂志, 2022, 33(3): 236–239.
HUANG YF, ZHONG WB, ZHANG YT. Analysis of microbial contamination of food in Zengcheng district of Guangzhou from 2017 to 2020 [J]. Henan J Prev Med, 2022, 33(3): 236–239.
- [14] 许姣, 陈磊, 巩飙. 开封市售奶茶中蜡样芽胞杆菌的鉴定与分析[J]. 河南预防医学杂志, 2020, 31(4): 308–310.
XU J, CHEN L, GONG B. Identification and analysis for bacillus cereus from milk tea for sale in Kaifeng [J]. Henan J Prev Med, 2020, 31(4): 308–310.
- [15] 任俊琦, 贺雅非, 卢彩霞, 等. 乳品中芽孢杆菌概述[C]. 重庆微生物学会第九届会员代表大会暨学术年会, 中国贵州遵义, 2009, (5): 18–22.
REN JQ, HE QF, LU CX, *et al.* The summarize of bacillus in milk [C]. The Ninth Member Congress and Academic Annual Meeting of Chongqing Microbiology Society, Zunyi, Guizhou, China, 2009, (5): 18–22.
- [16] 张月, 刘艳奎, 冉义芬, 等. 百色城区饮品店生产各种饮料细菌污染的调查研究[J]. 右江民族医学院学报, 2015, 37(1): 119–120, 123.
ZHANG Y, LIU YK, RAN YF, *et al.* Bacteria contamination of the drinks in beverage stores of urban Baise [J]. J Youjiang Med Univ Nat, 2015, 37(1): 119–120, 23.
- [17] 陈佳琪, 任梁, 钱红丹. 无锡市校园周边现制饮料食品风险监测结果[J]. 中国学校卫生, 2023, 44(7): 1092–1094.
CHEN JQ, REN L, QIAN HD. Food safety and risk assessment for prepared beverage around the campus in Wuxi [J]. Chin J Sch Health, 2023, 44(7): 1092–1094.
- [18] 周炯, 丁胜, 王金菊, 等. 茶叶中污染微生物分析及茶多酚抑菌性研究[J]. 饮料工业, 2010, 13(5): 18–21.
ZHOU E, DING S, WANG JJ, *et al.* Analysis of contaminated microorganisms in tea and study on antibacterial activity of tea polyphenols [J]. Bever Ind, 2010, 13(5): 18–21.
- [19] 杨露, 赵爱飞, 朱军莉. 市售奶茶饮品微生物含量的调查与分析[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(1): 251–253, 304.
YANG L, ZHAO AIF, ZHU JL. Survey and analysis on microbial content of milky tea from retail stores [J]. J Anhui Agric, 2015, 43(1): 251–253, 304.
- [20] 张艺桦, 乐桂婷, 许浩田, 等. 海口市小型自制饮料店的细菌学调查[J]. 农学学报, 2016, 6(4): 80–83.
ZHANG YY, LE GT, XU HT, *et al.* Bacteriology investigation on small homemade drink stores in haikou city [J]. J Agric, 2016, 6(4): 80–83.
- [21] 徐燕英, 刘华清, 顾勤明. 餐饮企业自制鲜榨果汁卫生质量的调查与

- 分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(8): 2580–2583.
- XU YY, LIU HQ, GU QM. Investigation and analysis on sanitary quality of fresh fruit juice manufactured by catering business [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(8): 2580–2583.
- [22] 李羽翥, 芮文君, 傅雷, 等. 兰州市餐饮食品、餐具食源性致病菌监测结果分析[J]. 中国食物与营养, 2021, 27(7): 12–16, 89.
- LI YF, RUI WJ, FU L, *et al.* Investigation and analysis on foodborne pathogens in food and tableware in Lanzhou City [J]. Food Nutr China, 2021, 27(7): 12–16, 89.
- [23] 张江波, 刘兴华, 岳田利, 等. 陕西猕猴桃汁嗜酸耐热菌污染能力评测与多样性分析[J]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 198–207.
- ZHANG JB, LIU XH, YUE TL, *et al.* Evaluation of kiwi-fruit juice contaminant capacity of indigenous *alicyclobacillus* and its biodiversity [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 46(2): 198–207.
- [24] DANYLUK MD, FRIEDRICH LM, JOUQUAND C, *et al.* Prevalence, concentration, spoilage, and mitigation of *Alicyclobacillus* spp. in tropical and subtropical fruit juice concentrates [J]. Food Microbiol, 2011, 28(3): 472–477.
- [25] 许灿, 李二虎. 脂环酸芽孢杆菌对 5 种商业果汁饮料中异味物质含量的影响[J]. 食品科技, 2014, 39(12): 327–331.
- XU C, LI ERH. Effect of *Alicyclobacillus* spp. on the quality of 5 commercial fruit juice beverages [J]. Food Sci Technol, 2014, 39(12): 327–331.
- [26] 范江平, 毛华明. 原料奶质量中微生物指标检验的研究[J]. 中国奶牛, 2003, (6): 53–55.
- FAN JP, MAO HM. Studies on testing microbiological index of raw milk [J]. China Dairy Cattle, 2003, (6): 53–55.
- [27] 高振鹏, 岳田利, 袁亚宏, 等. 乳制品中低温腐败菌的分离鉴定[J]. 中国食品学报, 2008, (1): 67–71.
- GAO ZP, YUE TL, YUAN YH, *et al.* Isolation and identification of low-temperature spoilage bacteria in dairy products [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2008, (1): 67–71.
- [28] UHITIL S, HADINA S, GRANIC K, *et al.* Prevalence of *Candida* species in the fresh fruit juices [J]. Arh Hig Rada Toksikol, 2009, 60(4): 443–447.
- [29] ARIAS CR, BURNS JK, FRIEDRICH LM, *et al.* Yeast species associated with orange juice: Evaluation of different identification methods [J]. Appl Environ Microbiol, 2002, 68(4): 1955–1961.
- [30] 刘洋, 王雪涵. 鲜榨果汁及手工调制饮料微生物检测分析[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(4): 97–101.
- LIU Y, WANG XH. Analysis of detection results of microbial contamination in handmade beverages and fresh squeezed juice [J]. Food Ferment Sci Technol, 2018, 54(4): 97–101.
- [31] 张大为, 张洁, 李猛. 分离引起柑橘腐烂、霉变的微生物及生物防治[J]. 生物加工过程, 2011, 9(4): 54–57.
- ZHANG DW, ZHANG J, LI M. Isolation and biocontrol of strains caused rotten and mildewing of oranges [J]. Chin J Bioprocess Eng, 2011, 9(4): 54–57.
- [32] 刘灿灿, 岳田利, 袁亚宏. 浓缩苹果汁中高渗酵母的分离鉴定及耐糖性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(8): 111–118.
- LIU CC, YUE TL, YUAN YH. Isolation, identification and sugar-tolerance analysis of an osmophilic yeast strain from concentrated apple juice [J]. J Northwest Agric Forest Univ, 2014, 42(8): 111–118.
- [33] ANAPI GR, ABA RPM, GABRIEL AA. Screening for heat-resistant reference yeast isolate in orange juice [J]. Food Microbiol, 2021, 94: 103639.
- [34] ZHAO ZJ, LOU YG, SHUI YC, *et al.* Ochratoxigenic fungi in post-fermented tea and inhibitory activities of *Bacillus* spp. from post-fermented tea on ochratoxigenic fungi [J]. Food Control, 2021, (12): 124–126.
- [35] 王影, 王蕊, 何鸿举, 等. 冰鲜鸡肉腐败微生物检测技术研究进展[J]. 肉类研究, 2022, 36(11): 60–66.
- WANG Y, WANG R, HE HJ, *et al.* Progress in detection techniques for spoilage organisms in chilled chicken meat [J]. Meat Res, 2022, 36(11): 60–66.
- [36] 唐玲, 胡萍, 周国君, 等. 乳品中腐败微生物检测及污染途径的研究进展[J]. 中国酿造, 2012, 31(4): 1–5.
- TANG L, HU P, ZHOU GJ, *et al.* Research advance in detection of spoilage microbes and their contamination routes in dairy products [J]. China Brew, 2012, 31(4): 1–5.
- [37] 周冰谷, 花振新, 杨荣, 等. 近红外光谱技术在食品微生物检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(16): 5393–5398.
- ZHOU BG, HUA ZX, YANG R, *et al.* Application of near-infrared spectroscopy in food microorganism detection [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(16): 5393–5398.
- [38] 傅志丰, 周鹤, 张国利, 等. 食源性致病菌和腐败菌的快速检测方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(3): 859–865.
- FU ZF, ZHOU H, ZHANG GL, *et al.* Research progress on methods for the rapid detection of food-borne pathogenic bacteria and spoilage bacteria [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(3): 859–865.
- [39] 孙建霞, 白卫滨, 曹春廷, 等. 苹果汁和桃汁种类特异性 PCR 检测方法的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(7): 288–291.
- SUN JX, BAI WP, CAO CT, *et al.* Specific PCR detection method of apple juice and peach juice species [J]. Sci Technol Food Ind, 2014, 35(7): 288–291.
- [40] 赵宁, 吕琦, 姚丽燕, 等. 原料乳中蜡样芽孢杆菌的快速检测[J]. 中国乳品工业, 2009, 37(9): 43–45.
- ZHAO N, LV Q, YAO LY, *et al.* Rapid detection of *Bacillus cereus* in raw milk [J]. Chin Dairy Ind, 2009, 37(9): 43–45.
- [41] 梁丽姣. 原料乳中蜡样芽孢杆菌快速识别及耐药基因分布迁移研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2022.
- LIANG LJ. The rapid identification technology of *Bacillus cereus* in raw milk and the distribution and migration investigation of its drug resistance genes [D]. Nanjing: Nanjing University of Finance & Economics, 2022.
- [42] 张娜娜, 刘洋, 俞漪, 等. 乳酸菌饮料中嗜酸乳杆菌的实时荧光定量 PCR 检测方法[J]. 食品科学, 2019, 40(8): 27–32.
- ZHANG NN, LIU Y, YU Y, *et al.* Real-time fluorescent quantitative PCR method for detection of *Lactobacillus acidophilus* in probiotic beverages [J]. Food Sci, 2019, 40(8): 27–32.
- [43] 董银苹, 崔生辉, 李凤琴, 等. 乳酸杆菌及嗜热链球菌的种水平鉴定-16S rRNA 基因 PCR 扩增及序列分析[J]. 卫生研究, 2010, 39(4): 454–458, 65.
- DONG YP, CUI SH, LI FQ, *et al.* Identification of *Lactobacillus* and *Streptococcus thermophilus* by PCR amplification and sequence analysis of 16S rRNA [J]. J Hyg Res, 2010, 39(4): 454–458, 65.
- [44] 孙洪涛. 近红外光谱技术在食品微生物检测中的应用[J]. 食品安全导刊, 2023, (19): 183–185.

- SUN HT. Application of near infrared spectroscopy in the detection of microorganism in food [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2023, (19): 183–185.
- [45] 张亮. 扩展青霉和展青霉素的近红外检测技术研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2010.
- ZHANG L. Application of near infrared spectroscopy on detection of penicillium expansum and patulin [D]. Xianyang: Northwest Agric Forest University, 2010.
- [46] 王建明, 李颖, 李祥辉, 等. 傅里叶变换近红外技术在乳制品微生物鉴别中的应用研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2016, 36(S1): 56–57.
- WANG JM, LI Y, LI XH, *et al.* Study on the identification of microorganisms in milk and dairy products by fourier transform near-infrared spectroscopy [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2016, 36(S1): 56–57.
- [47] 连媛媛, 熊乾威, 杨木莎, 等. 基于近红外光谱技术快速检测椰汁品质[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(12): 235–240.
- LIAN YY, XIONG QW, YANG MS, *et al.* Rapid detection of coconut juice quality based on the near infrared spectroscopy [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(12): 235–240.
- [48] 王若男, 岳田利, 袁亚宏, 等. 基于傅里叶变换近红外光谱的脂环酸芽孢杆菌种间分类鉴定[J]. *光谱学与光谱分析*, 2015, 35(11): 3073–3077.
- WANG RN, YUE TL, YUAN YH, *et al.* Differentiation and identification of *Alicyclobacillus* strains by Fourier transform near-infrared spectroscopy [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2015, 35(11): 3073–3077.
- [49] 石吉勇, 吴胜斌, 邹小波, 等. 基于高光谱技术的酸奶中常见致病菌的快速鉴别及计数[J]. *光谱学与光谱分析*, 2019, 39(4): 1186–1191.
- SHI JY, WU SB, ZOU XB, *et al.* Rapid identification and enumeration of common pathogens in yogurt using hyperspectral imaging [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2019, 39(4): 1186–1191.
- [50] 王换男. ϵ -聚赖氨酸协同高温瞬时对 NFC 血橙汁杀菌工艺及贮藏品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- WANG HN. Effect of ϵ -polylysine and high-temperature instant on NFC blood orange juice sterilization process and storage quality [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [51] 陶晓璇. 高压脉冲电场(PEF)对蓝莓汁品质及杀菌机理探究[D]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- TAO XY. Effect of pulsed electric fields on blueberry juice and sterilization mechanism of PEF [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2015.
- [52] 李楠楠. 高压脉冲电场技术对鲜榨柑桔汁的杀菌效果及品质影响的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- LI NN. Study on effect of pulsed electric fields on sterilization and quality in ponkan juice [D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [53] 吴克平. 协同因子对苹果汁中致腐菌芽孢高压 CO_2 杀灭效果的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
- WU KP. Study on the effect of high pressure carbon dioxide on inactivation of bacteria spores accounted for the spoilage of apple juice in coordination with cofactors [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.
- [54] 吕济民. ϵ -聚赖氨酸形成聚电解质复合物及其在豆乳保鲜中的应用[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2018.
- LV JM. Application of ϵ -polylysine to form polyelectrolyte complexes in soybean milk preservation [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2018.
- [55] 钟旭美. 橙汁中嗜酸耐热菌(TAB)的分离、特性及 Nisin 对其抑制作用的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006.
- ZHONG XM. The study on separation and properties of *Alicyclobacillus acidoterrestris* (TAB) in orange juice and inhibition of Nisin on TAB [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2006.
- [56] 郭换丽. DMDC 联合 Nisin 对荔枝汁的协同杀菌作用机制研究及其应用[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015.
- GUO HL. Study on synergistic bactericidal mechanism of DMDC combined with Nisin on lychee juice and its application [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2015.
- [57] 刘红艳. DMDC 前处理在巨峰冰葡萄酒酿造中的应用研究[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2019.
- LIU HY. Application research of DMDC pretreatment in khoyo ice wine brewing [D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2019.
- [58] 王淋靓. 壳聚糖联合处理对新鲜果蔬的应用研究进展[J]. *农业研究与应用*, 2020, 33(3): 46–49.
- WANG LL. Research progress on chitosan application in fruits and vegetables preservation [J]. *Agric Res Appl*, 2020, 33(3): 46–49.
- [59] 田学智, 刘一璇, 王芯媛, 等. 超高压处理对新疆复合果汁贮藏期微生物及品质的影响[J]. *食品科技*, 2022, 47(5): 127–134.
- TIAN XZ, LIU YX, WANG XY, *et al.* Effects of high hydrostatic pressure treatment on microorganisms and quality of Xinjiang composite juice during storage [J]. *Food Sci Technol*, 2022, 47(5): 127–134.
- [60] 王明雪, 赵江丽, 程玉豆, 等. 雪花梨汁超高压处理工艺参数优化[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(3): 203–210.
- WANG MX, ZHAO JL, CHENG YD, *et al.* Optimization of process parameters for ultra high pressure treatment of snowflake pear juice [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2022, 38(3): 203–210.
- [61] 王凤玲, 朱琳, 柴瑾, 等. 超高压处理对鲜榨复合果汁品质及货架期的影响[J]. *食品工业科技*, 2023: 1–13. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023060060
- WANG FL, ZHU L, CHAI J, *et al.* Effects of ultra-high pressure treatment on quality and its shelf life of freshly squeezed compound juice [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2023: 1–13. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023060060
- [62] 宋旸. 超声-烷基化改性大豆分离蛋白及其在奶茶中的应用研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- SONG Y. Research on soy protein isolate of ultrasonic-alkylation modification and application on milk tea [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2015.
- [63] ZHU J, WANG Y, LI X, *et al.* Combined effect of ultrasound, heat, and pressure on *Escherichia coli* O157:H7, polyphenol oxidase activity, and anthocyanins in blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice [J]. *Ultrason Sonochem*, 2017, 37: 251–259.
- [64] 李红艳, 孟庆, 徐明磊. 超声波及超高压联合处理对甜樱桃汁货架期及品质的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2023, 34(8): 220–229.
- LI HY, MENG Q, XU ML. Effect of ultrasonic wave and high pressure combined treatment on shelf life and quality of sweet cherry juice [J]. *China Food Addit*, 2023, 34(8): 220–229.
- [65] AGUILÓ-AGUAYO I, MONTERO-CALDERÓN M, SOLIVA-FORTUNY R, *et al.* Changes on flavor compounds throughout cold storage of watermelon juice processed by high-intensity pulsed electric fields or heat [J]. *J Food Eng*, 2010, 100(1): 43–49.
- [66] 方婷, 严志明, 赵勇, 等. 不同杀菌方式对鲜橙汁品质的影响及其感官评价[J]. *北华大学学报(自然科学版)*, 2008, (1): 75–79.

- FANG T, YAN ZM, ZHAO J, *et al.* Effects of different sterilization treatments on fresh orange juice qualities and its sensory evaluation [J]. *J Beihua Univ (Nat Sci Ed)*, 2008, (1): 75–79.
- [67] ERKMEN O. Effects of high-pressure carbon dioxide on *Escherichia coli* in nutrient broth and milk [J]. *Int J Food Microbiol*, 2001, 65(1-2): 131–135.
- [68] 陈洋杨. 浓缩橙汁贮藏期间褐变调控的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
- CHEN YY. Study on the regulation of browning of concentrated orange juice during storage [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.
- [69] 刁恩杰, 李向阳. 高压二氧化碳处理对橙汁货架期的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(2): 298–301.
- DIAO ENJ, LI XY. Effect of high pressure carbon dioxide treatment on the shelf life of orange juice [J]. *Trans Chin Soc Agric En*, 2009, 25(2): 298–301.
- [70] 陈婷婷. Nisin与化学防腐剂在3种鲜榨果汁中的应用研究[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2017.
- CHEN T. Application of Nisin and chemical preservatives in 3 kinds of fresh juice [D]. Harbin: Heilongjiang University 2017.
- [71] 徐红, 刘华. 聚赖氨酸在牛奶保鲜中的应用研究[J]. *食品与发酵工业*, 2000, (2): 33–35, 53.
- XU H, LIU H. Application of polylysine in milk preservation [J]. *Food Ferment Ind*, 2000, (2): 33–35, 53.
- [72] 王晓琨. *e*-聚赖氨酸与六偏磷酸钠聚合物的形成、抑菌机理以及其在牛乳中的应用研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2023.
- WANG XJ. Research on the formation and antibacterial mechanism of *e*-polylysine and Sodium hexametaphosphate polymer and its application in cow's milk [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2023.
- [73] 夏云梯, 潘利华, 朱克美, 等. 乳酸链球菌素(Nisin)的特性及在果汁饮料中的应用[J]. *饮料工业*, 2000, (4): 14–15.
- XIA YT, PAN LH, ZHU KM, *et al.* The characteristics of Nisin and the application of it to fruit juice drinks [J]. *Bever Ind*, 2000, (4): 14–15.
- [74] 曹阳, 查恩辉, 富春江, 等. 乳酸链球菌素在鲜奶中的应用[J]. *饮料工业*, 2004, (2): 8–10.
- CAO Y, ZHA ENH, FU CJ, *et al.* Application of nisin in fresh milk [J]. *Bever Ind*, 2004, (2): 8–10.
- [75] 何文毅, 邢威, 王晨, 等. 不同防腐剂对抹茶拿铁饮料保鲜影响的研究[J]. *特产研究*, 2023, 45(5): 75–81.
- HE WY, XING W, WANG C, *et al.* Effect of different preservatives on the preservation of matcha latte beverage [J]. *Spec Wild Econ Anim Plant Res*, 2023, 45(5): 75–81.
- [76] 林菱, 李博哲, 徐玉娟, 等. 二甲基二碳酸盐对百香果汁的杀菌效果及品质影响[J]. *保鲜与加工*, 2022, 22(9): 38–44.
- LIN X, LI BZ, XU YJ, *et al.* Sterilization efficacy and quality influence of dimethyl dicarbonate on passion fruit juice [J]. *Storage Process*, 2022, 22(9): 38–44.
- [77] 张朝红. 多酚-羧甲基壳聚糖接枝物的制备及性能研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2021.
- ZHANG CH. Preparation and properties of polyphenol-carboxymethyl chitosan conjugates [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2021.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介



张 诺, 硕士研究生, 主要研究方向为营养与食品卫生学。
E-mail: 1174201471@qq.com



余启明, 博士, 副教授, 主要研究方向为营养与疾病预防。
E-mail: qm_yu19@glmc.edu.cn



尹军峰, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶加工与茶饮料工程。
E-mail: yinjfatricaas.com