

饮料工业

BEVERAGE INDUSTRY

6

2025年
第28卷
总第223期

● 万方数据-数字化期刊群收录期刊

● 《中国学术期刊(光盘)》收录期刊

● 中国期刊网收录期刊

● 《中文科技期刊数据库》收录期刊

刊号 ISSN1007-7871
CN11-5556/TS

国内饮料行业公开发行的专业科技期刊



ISSN 1007-7871



9 771007 787256

12>

康师傅® 饮品

舒目怡神 生津止渴

全新
上市





湖北·轻工

湖北联合轻工业设计工程有限公司

Hubei United Light Industry Design Engineering Co., Ltd

匠心筑造 · 饮领未来

Crafted with Excellence

Leading the Future of Beverages

梅勇 Mei Yong

董事长 / 总经理

江南大学食品学院产业特聘教授

华中农业大学研究生院硕士专业学位行业导师

Tell: 027-85799366 13545228809

湖北省中小企业协会副会长

湖北省中小企业协会食品专委会副主任

Email: hbgqsj@hbgqsj.com

湖北省楚商联合会常务理事

中国淀粉工业协会理事

http://www.hbgqsj.com

湖北省勘察设计协会理事

武汉市室内设计协会理事

武汉市洪山区书城路 170 号创意大厦 16F

部分合作伙伴 COOPERATIVE PARTNER

关于我们 ABOUT US

元气森林



益禾堂
畅饮乐轻这一杯!

纯粒
鲜榨玉米汁饮料



蜜雪冰城
始于1997·冰淇淋与茶

湖北联合轻工业设计工程有限公司于 2009 年成立，其前身为 1958 年创立的湖北省轻工业科学研究所设计院设计所。根据国家事业单位改制和建立现代企业制度要求，经湖北省轻工行业主管部门批准（鄂轻资[2008]第 40 号），完成改制。原设计院主要设计人员与设计资质整体转移至此。

公司业务广泛，持有轻纺、建筑行业等多项设计资质，包括轻纺行业（食品发酵烟草工程、制浆造纸工程）专业乙级，建筑行业（建筑工程）专业甲级，城乡规划编制乙级资质、工程咨询单位乙级资质，以及压力管道设计资质（公用管道 GB2、工业管道 GC1、GCD）。公司重视质量管理，通过 ISO9001 质量、环境、职业健康安全三体系论证，还因关注技术创新被授予湖北省高新技术企业。

公司团队主要来自轻工行业一线，核心队伍已达 60 多人，且不断发展壮大，业务向工程建设全产业链延伸。作为知识密集型高新技术企业，公司秉持“客户至上、团队协作、技术精湛、产品优良”理念，致力于为客户提供全方位咨询与全过程服务，助力我国轻工业技术进步与产业发展。

资质荣誉 QUALIFICATION & HONOR QUALIFICATION



蜜雪冰城 (MIXUE Ice Cream & Tea)
大咖国际食品有限公司产业园项目



均瑶乳业 (Junyao)
年产 10 万吨常温发酵乳饮料项目



江西鹰潭养元 (Yangyuan Beverage)
年产 16 万吨植物蛋白饮料项目



统一
绿茶



一口春拂

茶香倍足



统一企业
UNI-PRESIDENT ENTERPRISES

开创健康快乐的明天

饮料工业

高级顾问 赵亚利

社长/主编 张金泽

责任编辑 高泓娟

编辑 赵顺阁

主管 中国轻工业联合会

主办 中国饮料工业协会

编辑、出版 《饮料工业》杂志社有限公司

地址 北京市朝阳区东三环北路丙2号

天元港中心B座1701/1702室

邮编 100027

电话 010-84464668

传真 010-84464236

网址 www.bimag.com.cn

联系信箱 ylgy@chinabeverage.org

双月刊

1986年创刊

国内外公开发行

2025年

第28卷 第6期

总第223期

目次

基础研究

零脂果汁酸乳饮料的开发及稳定性分析

..... 范俊燕, 刘海情, 赵 双, 等(1)

检测分析

离子色谱法测定食品中壳寡糖的含量

..... 利 通, 陈 茜, 贝荣廷, 等(11)

2020—2023年云南省桶装水铜绿假单胞菌污染情况调查与防控措施

..... 张贤娣, 张志广, 王 刚(18)

应用研究

黄芪党参饮料工艺优化及抗氧化性研究

..... 朱 玲(22)

低糖米乳茶饮料配方开发

..... 朱晓红(33)

综 述

豆奶的营养组分及加工工艺研究进展

..... 柴成梁, 薛雅琳, 谭本刚, 等(39)

低碳经济背景下零碳食品、低碳食品发展概况

..... 许 玮(45)

“万方数据——数字化期刊群”

“中国期刊网”

《中国学术期刊(光盘版)》

《中文科技期刊数据库》

收 录 期 刊

期刊基本参数: CN11-5556/TS*1986*b*16*80*zh*P* ¥ 12.00*2025-06

刺梨活性成分挖掘及其在饮料开发中的应用研究进展

..... 余京京,王欣颖,蓬 波,等(50)

石榴皮中多酚类物质提取工艺及生物活性研究进展

..... 余 凡,吴彦君,赵少丹,等(57)

固体奶茶粉包的结块机理及其预防措施

..... 张瑞阳,俞卓萍,王 森,等(63)

L- α -甘磷酸胆碱检测方法研究进展

..... 利 通,何 澄(70)

成果展示

茶汤香气增强天然甜味感知研究取得新突破 (76)

我国自主研发的柔性高速高精度无菌灌装装备整体性能达到国际领先水平

..... (76)

炮制可精准调控 药食同源利用更高效

..... (77)

科技信息与行业动态

暨南大学揭示“饮食城市化”对菌群及慢病的影响 (10)

低胆碱正在偷偷伤害年轻人脑 (38)

新技术为塑料设定使用寿命 (49)

大蒜漱口水抗菌能力惊人 (69)

2025 年《饮料工业》总目录 (78)

本刊加入“中国知网(CNKI)”系列数据库的声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。其著作权使用费本刊视具体情况处理。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我刊上述声明。

Serial parameters:CN11-5556/TS*1986*b*16*80*zh*P* ¥ 12.00*2025-06

《饮料工业》编委会

顾问委员(以姓氏汉语拼音为序)

蔡林昌 中国食品发酵工业研究院

刘秀梅 国家食品安全风险评估中心

史小才 FACSM,美国运动医学院院士

吴清平 中国工程院院士/广东省微生物研究所

委员(以姓氏汉语拼音为序)

段盛林 中国食品发酵工业研究院

高彦祥 中国农业大学

韩北忠 中国农业大学

胡志和 天津商业大学

江连洲 东北农业大学

刘艳琴 国家食品质量安全检验检测中心

刘景洋 中国环境科学研究院

李 琴 内蒙古伊利实业集团控股有限公司

李绍振 北京汇源食品饮料有限公司

李秀婷 北京工商大学

李言郡 杭州娃哈哈集团有限公司

罗之纲 国立屏东科技大学

任迪峰 北京林业大学

宋全厚 国家食品质量监督检验中心

孙彬青 天津科技大学

王 敏 天津科技大学

王 玉 兰州大学

吴厚玖 中国农业科学院柑桔研究所

熊 涛 南昌大学

许洪高 北京市营养源研究所

张金泽 中国饮料工业协会

张连富 江南大学

张 民 天津农学院

郑荣波 广州王老吉药业股份有限公司

朱风涛 中华全国供销合作总社济南果品研究院

广告征集 《饮料工业》杂志社有限公司
电 话 010-84464668-807

刊 号 ISSN1007-7871
CN11-5556/TS
户 名 《饮料工业》杂志社有限公司
开 户 行 中国工商银行北京燕莎支行
账 号 0200012709006590810
广 告 经 营 京朝工商广字第8128号(1-1)
许 可 证 号
邮 发 代 号 80-638
国 内 发 行 北京市报刊发行局
定 价 12元/本 全年72元
出 版 日 期 双月28日
印 刷 北京龙玺印刷有限公司

2025年第6期广告		
封	二	康师傅饮品控股有限公司
封	三	饮料工业
封	底	CBST2026
前 插	一	湖北联合轻工业设计工程有限公司
前 插	二	统一企业(中国)投资有限公司

Beverage Industry
(Bimonthly, Since 1986)

2025. Vol. 28 No.06, Serial No.223

MAIN CONTENTS

Study on the Development and Stability of Zero Fat Fruit Juice Acidic Milk Beverage

..... FAN Jun-yan, LIU Hai-qing, ZHAO Shuang, et al(1)

Determination of Chitosan Oligosaccharides in Food by Ion Chromatography

..... LI Tong, CHEN Qian, BEI Rong-ting, et al(11)

Statistical Analysis and Prevention and Control Measures of *Pseudomonas Aeruginosa* Detected in Bottled Water in Yunnan Province

..... ZHANG Xian-di, ZHANG Zhi-guang, WANG Gang(18)

Process Optimization and Antioxidant Properties of Astragalus and Codonopsis Pilosula Drink

..... ZHU Ling(22)

Development of Low-sugar Rice Milk Tea Drink

..... ZHU Xiao-hong(33)

Research Progress on Processing Technology and Nutritional Components of Soy Milk

..... CHAI Cheng-liang, XUE Ya-lin, TAN Ben-gang, et al(39)

The Current Development Status of Zero Carbon Food and Low-Carbon Food under the Background of Low-Carbon Economy

..... XU Wei(45)

Active Ingredients of *Rosa Roxburghii* Tratt and Its Progress in the Development of Beverages

..... YU Jing-jing, WANG Xin-ying, PENG Bo, et al(50)

Research Progress on Extraction Technology and Bioactivity of Polyphenols from Pomegranate Peel

..... YU Fan, WU Yan-jun, ZHAO Shao-dan, et al(57)

Caking Mechanisms of Powdered Milk Tea Sachets and Integrated Mitigation Strategies

..... ZHANG Rui-yang, YU Zhuo-ping, WANG Miao, et al(63)

Research Progress on Detection Methods of L- α -Glycerylphosphorylcholine

..... LI Tong, HE Cheng(70)

饮料工业

Senior consultant: ZHAO Ya-li

President/Chief Editor: ZHANG Jin-ze

Executive Editor: GAO Hong-juan

Editor: ZHAO Shun-ge

Administrator: China National Light Industry Council

Sponsor: China Beverage Industry Association

Edited & Published by *Beverage Industry*

Publishing House Co., Ltd.

Add: No. C2, Dongsanhuanbeilu, Chaoyang District,
Beijing, China

Postcode: 100027

Tel: 86-10-84464668

Fax: 86-10-84464236

Website: www.bimag.com.cn

E-mail: ylgy@chinabeverage.org

Advertising: *Beverage Industry* Publishing House

Co., Ltd.

Tel: 86-10-84464668-807

零脂果汁酸乳饮料的开发及稳定性分析

范俊燕, 刘海情, 赵 双, 洪 鹏, 陈 佳, 张佳靓, 谢柳佳, 张珍珍, 金 丹, 方 明*

(宏胜饮料集团有限公司, 浙江 杭州 311200)

摘要: 以脱脂奶粉、果汁、白砂糖等为主要原材料, 进行零脂果汁酸乳饮料的开发。通过单因素实验和正交实验方法, 以感官评价为主要依据, 确定最佳配方。同时, 分析不同稳定剂组合对离心沉淀率、平均粒径及不稳定性系数等参数的影响, 从而筛选出最优的稳定剂方案。结果显示, 零脂果汁酸乳饮料的最优配方为奶粉 2%、白砂糖 8%、柠檬酸 0.22%、浓缩果汁 1%、安赛蜜 0.008%; 最优稳定剂方案为果胶; 可溶性大豆多糖=1:1(添加量为 0.4%), 此条件下所得零脂果汁酸乳饮料兼具牛奶、果汁营养及香气, 口感清爽, 感官评分高, 具备良好的稳定性。所得产品的蛋白质含量为 $1.05\pm0.05\text{g}/100\text{g}$, 可溶性固形物为 $13.8\pm0.15\text{g}/100\text{g}$, 脂肪含量为 $0.05\pm0.01\text{g}/100\text{g}$, pH 为 3.7 ± 0.05 , 果汁含量 6%, 符合国家标准中“零脂肪”宣称标准, 卫生指标符合国家相关标准。

关键词: 果汁酸性乳饮料; 感官; 稳定剂

Study on the Development and Stability of Zero Fat Fruit Juice Acidic Milk Beverage

FAN Jun-yan, LIU Hai-qing, ZHAO Shuang, HONG Peng, CHEN Jia, ZHANG Jia-jing, XIE Liu-jia,
ZHANG Zhen-zhen, JIN Dan, FANG Ming*

(Hong Sheng Beverage Group Co., Ltd, Hang Zhou 311200, China)

Abstract: A zero-fat fruit juice acidic milk beverage was developed using skim milk powder, fruit juice and white sugar as the main ingredients. Single-factor and orthogonal experiments were conducted, with sensory evaluation as the primary criterion to determine the optimal formulation. Additionally, the impact of different stabilizer combinations on parameters such as centrifugation sedimentation rate, average particle size, and instability coefficient was analyzed to identify the best stabilizer solution. The results indicated that the optimal formula for the zero-fat fruit juice acidic beverage consisted of 2% milk powder, 8% white sugar, 0.22% citric acid, 1% concentrated fruit juice, and 0.008% acesulfame potassium. The most effective stabilizer combination was a 1:1 ratio of standardized pectin to soluble soy polysaccharides, with an addition level of 0.4%. Under these conditions, the product exhibited the nutritional benefits and aroma of both milk and fruit juice, a refreshing taste, high sensory scores, and good stability. The final product contained $1.05\pm0.05\text{g}/100\text{g}$ protein, $13.8\pm0.15\text{g}/100\text{g}$ soluble solids, $0.05\pm0.01\text{g}/100\text{g}$ fat, a pH of 3.7 ± 0.05 , and 6% fruit juice content, meeting the national “zero fat” standard and complying with relevant health standards.

Key words: fruit juice acidic milk beverage; sensory; stabilizer

中图分类号: TS27

文献标志码: A

文章编号: 1007-7871(2025)06-0001-10

含乳饮料起步于上世纪 80 年代, 其兼具营养、口味丰富、多消费场景的特点, 使其快速发展并很快成为软饮料中的重要品类之一。含乳饮料可分为配制性含乳饮料和

发酵型含乳饮料^[1]。配制性含乳饮料根据其加工工艺与口感的差别, 又可分为中性含乳饮料及酸性乳饮料^[2]。配制型酸性乳饮料由于生产工艺简单且无低温保鲜限制, 使其

收稿日期: 2024-11-14

作者简介: 范俊燕(1995-), 女, 工程师, 硕士, 研究方向为饮料研发。E-mail: junyan.fan@h-shgroup.com

通讯作者: 方 明(1993-), 女, 工程师, 硕士, 研究方向为饮料研发及投产技术。E-mail: ming.fang@h-shgroup.com

在乳品市场具有很强的竞争优势。口感上,配制型酸性乳饮料不仅具有适宜的酸甜度和较高的爽滑度,同时还保留了牛奶的丰富营养,这使得酸性乳饮料固形物含量较低,口感十分清爽,因此深受消费者喜爱^[3,4]。

近年来,含乳饮料行业迅猛发展,使得消费者的选择空间愈来愈广泛,因此含乳饮料行业竞争趋于白热化,亟需进行差异化产品开发。基于此,本研究将果汁与脱脂乳结合开发兼具果汁清爽口味和蛋白营养的零脂肪轻负担果汁酸乳饮料,旨在拓宽含乳饮料的消费选择。牛乳蛋白主要由酪蛋白(约占80%)和乳清蛋白(约占20%)组成,营养价值高。然而,在酸性条件下,随着pH降低,当接近酪蛋白等电点时,酪蛋白会发生沉淀,因此控制乳蛋白沉淀成为酸性乳饮料新产品开发中的关键技术难点^[5,6]。目前,工业上通常通过添加羧甲基纤维素钠、果胶、可溶性大豆多糖、海藻酸丙二醇酯等稳定剂,以提高酸性乳饮料的稳定性^[6~8]。可溶性大豆多糖由于~其黏度低、溶解性良好和热稳定性,且口感清爽,广泛应用于饮料生产中。果胶则通过静电排斥、空间位阻和游离果胶等机制,在酸性条件下提高溶液黏度并稳定乳蛋白^[9~11]。但果胶的热稳定性较差,且使用过多时可能影响饮品的风味。因此,果胶与可溶性大豆多糖的复配在此类饮料中应用较为广泛,而含果汁酸性乳饮料的相关研究仍较为稀缺。

本实验以感官因素为评价参数确定最佳配方,在此基础上研究不同果胶复配可溶性大豆多糖稳定剂方案对零脂果汁酸乳饮料稳定性的影响,旨在为零脂果汁酸乳饮料的研发提供一定的科学指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

脱脂奶粉、浓缩牛奶蛋白 恒天然;大豆多糖 平顶山金晶生物科技股份有限公司;白砂糖 广西海荣东亚糖业有限公司;果胶 泰兴斯比凯可特种化学品有限公司;无水柠檬酸 江苏国信协联能源有限公司;浓缩苹果汁(6倍浓缩) 山东佳美食品工业有限公司;安赛蜜 浙江三和食品科技有限公司。

1.2 仪器与设备

IKA T25 digital ULTRA TURRAX 分散机 德国艾卡集团;PT-20T 管式超高温杀菌机 日本 Powerpoint International 国际公司;均质机 上海锦竹机械设备有限公司;Mastersizer 3000 激光粒度仪 英国马尔文仪器有限公司;离心式多功能稳定性分析仪 LUMiFuge(111-00000) 德国罗姆集团。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

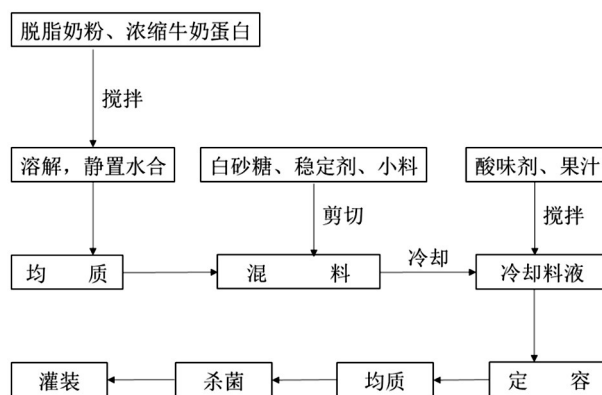


图1 零脂果汁酸乳饮料工艺流程图

Fig.1 Process flow chart of zero fat acidic milk beverage

1.3.2 操作要点

1.3.2.1 脱脂奶粉与浓缩牛奶蛋白的溶解

在50℃的水中加入脱脂奶粉与浓缩牛奶蛋白,设置搅拌条件为500rpm,持续搅拌20min,确保粉料完全溶解并均匀分散;待脱脂奶粉与浓缩牛奶蛋白充分溶解后,将水合后的奶液加热至60℃~65℃;在该温度范围内对奶液进行均质处理,均质压力设定为低压5MPa,高压20MPa,以提高奶液的均匀性和稳定性。

1.3.2.2 白砂糖、稳定剂、其他配料的溶解

将白砂糖、稳定剂、其他配料混合均匀,在70℃热水中剪切分散,设置分散机剪切速率为5000rpm,剪切时间15min,使其成为均匀的溶液。

1.3.2.3 混料

在白砂糖、稳定剂、其他配料剪切好的料液中,边剪切分散边加入均质好的奶液,设置分散机剪切速率为5000rpm,剪切时间20min。

1.3.2.4 冷却、加酸、加浓缩果汁

将混合料液置于冰水中冷却至20℃以下,边搅拌边匀速加入酸液及浓缩果汁溶液,设置搅拌条件为500rpm,20min,待料液混合均匀,进行定容。

1.3.2.5 均质

将调配完成的基料进行均质处理,均质压力设定为低压5MPa,高压20MPa,以提升乳液的稳定性和品质。

1.3.2.6 杀菌、灌装

均质后的物料通过PT-20T管式超高温杀菌机进行瞬时杀菌,杀菌条件为115℃,15s。杀菌完成后,物料以90℃灌装,并用流动水冷却至室温,即可得到最终成品。

1.3.3 零脂果汁酸乳饮料配方的确定

1.3.3.1 脱脂奶粉添加量的确定

在配方中固定添加8%的白砂糖、0.2%的柠檬酸、1%的浓缩果汁和0.008%的安赛蜜,以感官评分为主要评价指标,探讨不同脱脂奶粉添加量对零脂酸乳饮料整体感官品质的影响。国标要求配制型含乳饮料蛋白含量需≥1g/

100g, 考虑清爽口感需求选取脱脂奶粉添加量梯度为1.4%、1.6%、1.8%、2.0%、2.2%, 蛋白含量不足部分折算蛋白含量采用浓缩牛奶蛋白补足蛋白含量。

1.3.3.2 白砂糖添加量的确定

固定添加量 2.0%脱脂奶粉, 0.2%柠檬酸, 1%浓缩果汁, 0.008%安赛蜜, 以感官评分为主要评价指标, 探讨白砂糖添加量对零脂果汁酸乳饮料整体感官品质的影响。选取白砂糖添加量梯度为 6%、7%、8%、9%、10%。

1.3.3.3 柠檬酸添加量的确定

固定添加量 2.0%脱脂奶粉, 8%白砂糖, 1%浓缩果汁, 0.008%安赛蜜, 以感官评分为主要评价指标, 探讨柠檬酸添加量对零脂果汁酸乳饮料整体感官品质的影响。选取柠檬酸添加量梯度为 0.2%、0.21%、0.22%、0.23%、0.24%。

1.3.3.4 果汁添加量的确定

固定添加量 2.0%脱脂奶粉, 8%白砂糖, 0.2%柠檬酸, 0.008%安赛蜜, 以感官评分为主要评价指标, 探讨柠檬酸添加量对零脂果汁酸乳饮料整体感官品质的影响。选取果汁添加量梯度为 0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%。

1.3.3.5 安赛蜜添加量的确定

固定添加量 2.0%脱脂奶粉, 8%白砂糖, 0.2%柠檬酸, 1%浓缩果汁, 以感官评分为主要评价指标, 探讨安赛蜜添加量对零脂果汁酸乳饮料整体感官品质的影响。选取安赛蜜添加量梯度为 0.0070%、0.0075%、0.0080%、0.0085%、0.0090%。

1.3.4 正交试验

基于前期单因素实验结果发现, 果汁添加量对感官评分的影响较小, 因此, 本研究重点考察奶粉添加量、白砂糖添加量、柠檬酸添加量和安赛蜜添加量对零脂果汁酸乳饮料感官品质的影响。以感官评分为主要评价指标, 采用 $L_9(3^4)$ 正交设计进行试验, 并对结果进行感官评定, 以优化配方组合。

表 1 正交试验因素水平表				
Table 1 Orthogonal experiment factor level				
水平	因素			
	A 奶粉添加量/%	B 白砂糖添加量/%	C 柠檬酸添加量/%	D 安赛蜜添加量/%
1	1.6	7	0.21	0.007
2	1.8	8	0.22	0.0075
3	2.0	9	0.23	0.008

1.3.5 感官评价方法

参考汤木果^[12]等人的方法, 并进行一定的修改。感官评分标准见表 2。

表 2 感官评分标准			
Table 2 Sensory estimation standard			
感官项目	分数	评分细则	评分标准
色泽	20	果奶特征乳白色, 均匀明亮	15 ~ 20
		淡奶白色, 均匀略明亮	10 ~ 15
		颜色过深或过浅, 不明亮	<10
气味	30	有较强的果汁清香, 伴有明显奶香	20 ~ 30
		有果汁清香, 奶香不明显	10 ~ 20
		有较轻的果汁清香, 无奶香	<10
组织状态	25	细腻滑爽, 回味浓厚, 口感佳	20 ~ 25
		略有单薄或浓稠, 回味略淡, 口感一般	10 ~ 20
		单薄或浓稠, 回味极淡, 口感差	<10
滋味	25	酸甜适度, 可口, 无任何刺激感	20 ~ 25
		偏酸或偏甜, 无刺激感	10 ~ 20
		过酸或过甜, 有刺激感	<10

1.3.6 稳定性方案优化

在配方优化实验基础上固定配方中配料添加量, 以 0‰~2.5‰果胶、1.1‰~2.5‰可溶性大豆多糖进行稳定剂复配实验, 来确定稳定剂最优组合。

表 3 稳定剂复配方案设计												
Table 3 Stabilizer compounding scheme design												
序号	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
果胶/‰	1.1	1.3	1.5	1.7	1.5	1.5	1.5	0	0	1.8	2	2.5
可溶性大豆多糖/‰	1.5	1.5	1.5	1.5	1.1	1.8	2	3	3.5	1.8	2	2.5

1.3.7 指标测定方法

1.3.7.1 稳定性分析

采用稳定性分析仪对不同稳定剂组合下零脂果汁酸乳饮料的稳定性进行评估。测试过程中, 仪器基于斯托克斯定律的离心原理及朗伯-比尔定律的光学技术, 可实现对样品的全程分离过程、沉降行为、悬浮行为进行实时监测^[13, 14]。测定参数: 离心速度为 4000 rpm; 温度为 25℃; 时间间隔为 10s; 光因子系数为 1.00; 扫描次数为 1000 次。通过样品的不稳定性系数(范围为 0~1)来评估稳定性, 系数值越大表示体系的稳定性越差^[14]。

1.3.7.2 粒径的测定

使用 Mastersizer 3000 激光粒度分析仪对零脂果汁酸乳饮料的粒径分布进行测定。测试在室温下进行, 分散介质为水, 粒径通过体积平均粒径 $D[4, 3]$ 来表示。

1.3.7.3 离心沉淀率的测定

参考马永轩等人^[15]的实验方法并稍作修改, 取样并称取质量为 M_1 的样品, 设置离心条件为: 转速 4000rpm, 离心时间为 10min, 离心结束后, 弃去上清液, 精确称量沉

淀物的质量 M_2 。计算公式如下:

$$\text{离心沉淀率}/(\%) = \frac{M_2}{M_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

M_1 —初始样品质量, g;

M_2 —沉淀物质量, g。

1.3.7.4 理化指标的测定

蛋白质含量: 依据《食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5—2016) 进行; pH 值: 参考《食品 pH 值的测定》(GB 5009.237—2016) 标准; 脂肪含量: 参考《食品中脂肪的测定》(GB 5009.6—2016) 方法进行; 可溶性固形物: 依据《饮料通用分析方法》(GB/T 12143—2008) 执行。

1.3.7.5 微生物指标的检测

参考最新国家标准方法对大肠菌群、菌落总数、霉菌和酵母等进行检测。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 脱脂奶粉添加量对感官评分的影响

图 2 展示了脱脂奶粉添加量对感官评分的影响。在保持 8% 白砂糖、0.2% 柠檬酸、1% 浓缩果汁、0.008% 安赛蜜的固定条件下, 当脱脂奶粉添加量为 1.4% 至 2.0% 时, 随着添加量的增加, 牛奶香气和口感的醇厚程度均有所提升, 感官评分逐渐升高。当脱脂奶粉添加量达到 2.2% 时, 由于过高的奶粉含量遮掩了果汁香气, 导致整体风味失衡, 感官评分出现下降。

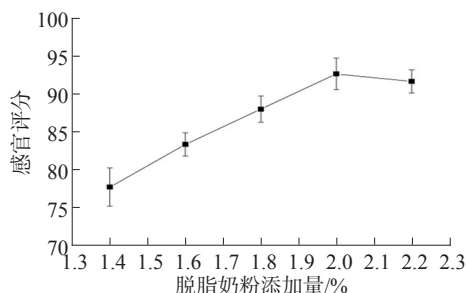


图 2 脱脂奶粉添加量对感官评分的影响

Fig.2 Effects the skim milk powder content on sensory score

2.1.2 白砂糖添加量对感官评分的影响

白砂糖的添加对产品甜度和整体口感厚实度均有影响, 图 3 展示了白砂糖添加量对感官评分的影响。在固定添加 2% 脱脂奶粉、0.2% 柠檬酸、1% 浓缩果汁、0.008% 安赛蜜的条件下, 当白砂糖添加量为 6% 至 8% 时, 随着添加量的增加, 甜味逐渐提升, 整体口感的厚实度增强, 牛奶

香气和果汁香气的表现也随之提升, 感官评分随之上升。当白砂糖添加量超过 8% 时, 感官评分开始下降, 原因在于过高的甜度掩盖了其他风味, 导致整体风味失衡。

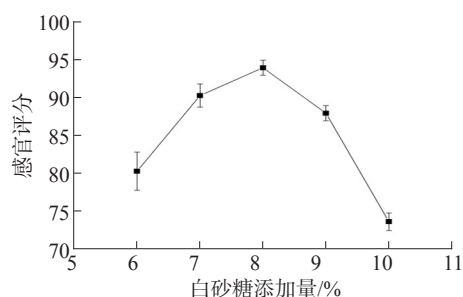


图 3 白砂糖添加量对感官评分的影响

Fig.3 Effects the sugar content on sensory score

2.1.3 柠檬酸添加量对感官评分的影响

图 4 展示了柠檬酸添加量对感官评分的影响。在固定添加 2% 脱脂奶粉、8% 白砂糖、1% 浓缩果汁、0.008% 安赛蜜的条件下, 当柠檬酸添加量在 0.2% 至 0.22% 之间时, 随着柠檬酸量的增加, 酸味逐渐提升, 产品的口感清爽度增强, 酸甜平衡达到最佳, 感官评分随之上升。然而, 当柠檬酸添加量超过 0.22% 时, 感官评分明显下降, 原因是过高的酸度导致整体风味失衡。

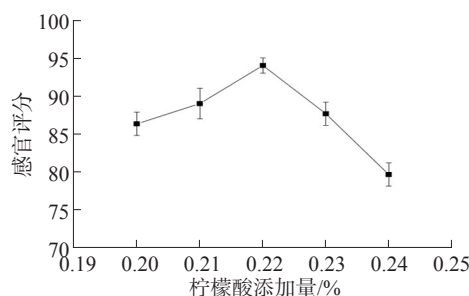


图 4 柠檬酸添加量对感官评分的影响

Fig.4 Effects the citric acid content on sensory score

2.1.4 果汁添加量对感官评分的影响

图 5 展示了果汁添加量对感官评分的影响。在固定添加 2% 脱脂奶粉、8% 白砂糖、0.2% 柠檬酸、0.008% 安赛蜜的条件下, 当果汁添加量为 0.8% 至 1.0% 时, 感官评分未表现出显著上升, 说明在本实验条件下, 果汁添加量对饮料风味的影响较小, 出于本产品果汁含量宣称考虑, 选择添加量为 1.0%。

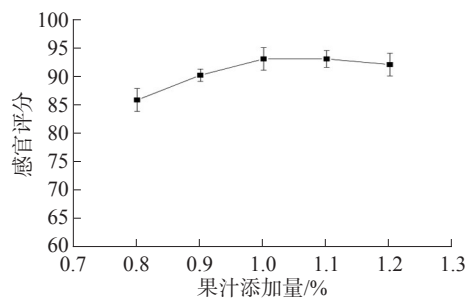


图 5 果汁添加量对感官评分的影响
Fig.5 Effects the fruit juice content on sensory score

2.1.5 安赛蜜添加量对感官评分的影响

安赛蜜是一种高倍甜味剂，其甜度是蔗糖的 200 至 400 倍，不含热量，且不被人体吸收或代谢^[16]。由于其价格低廉且在热和酸性环境中稳定，安赛蜜被广泛应用于饮料中。根据图 6，研究了安赛蜜添加量对感官评分的影响。在脱脂奶粉添加量为 2%、白砂糖为 8%、柠檬酸为 0.2%、果汁为 1%的条件下，当安赛蜜添加量为 0.007%至 0.008%时，随着安赛蜜添加量的增加，甜味增强，感官评分上升。然而，当安赛蜜添加量超过 0.0080%时，感官评分显著下降，可能是由于过高的甜度导致口感不适，产生过强的甜味余留，影响了整体风味。

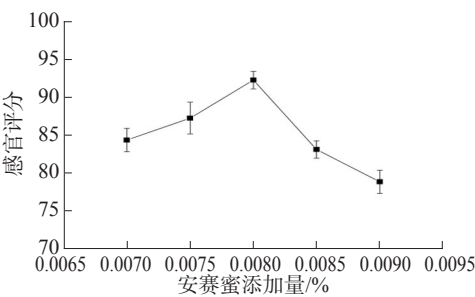


图 6 安赛蜜添加量对感官评分的影响
Fig.6 Effects the Acesulfame K content on sensory score

2.2 正交试验结果

根据上述单因素实验结果，脱脂奶粉、白砂糖、柠檬酸和安赛蜜的添加量对零脂果汁酸乳饮料的感官评分有显著影响。为了进一步优化这些因素的组合，在单因素实验的最优条件附近选取实验点并进行正交试验设计。正交试验的具体结果如表 4 所示。

表 4 正交实验结果及分析					
Table 4 Results and analysis of orthogonal test					
实验号	A	B	C	D	感官评分
1	1	1	1	1	85
2	1	2	2	2	89
3	1	3	3	3	88

续表 4

实验号	A	B	C	D	感官评分
4	2	1	2	3	93
5	2	2	3	1	89
6	2	3	1	2	90
7	3	1	3	2	91
8	3	2	1	3	95
9	3	3	2	1	93
K_1	262	269	270	267	
K_2	272	273	275	270	
K_3	279	271	268	276	
k_1	87.33	89.67	90.00	89.00	
k_2	90.67	91.00	91.67	90.00	
k_3	93.00	90.33	89.33	92.00	
R (极差)	5.67	1.33	2.33	3.00	
主次因素	$A>D>C>B$				
最优组合	$A_3B_2C_2D_3$				

根据表 4 所示的结果，各因素对零脂果汁酸乳饮料感官评分的影响程度依次为：脱脂奶粉添加量(A)>安赛蜜添加量(D)>柠檬酸添加量(C)>白砂糖添加量(B)，即奶粉的添加量对感官评分的影响最大。根据表 3 的方差分析结果，奶粉、白砂糖、柠檬酸及安赛蜜的添加量均对饮料的感官评分产生了极显著的影响。通过极差分析法，得出最优配方为：2%脱脂奶粉、8%白砂糖、0.22%柠檬酸和 0.008%安赛蜜($A_3B_2C_2D_3$)。根据此最优工艺条件进行重复实验，最终感官评分为 96 分，验证了该配方的优越性。

2.3 零脂果汁酸乳饮料的稳定性研究

2.3.1 零脂果汁酸乳饮料初始样品的稳定性分析

2.3.1.1 不同稳定剂方案对粒径的影响

不同稳定剂方案对零脂果汁酸乳饮料的粒径影响如图 7 所示。乳饮料体系中包含蛋白质、脂肪等多种成分，且这些成分的粒径不同，做无规则的布朗运动，使得体系极不稳定，容易发生析水、沉淀、分层等现象^[17]。因此，通过粒径分析可以研究饮料体系中的絮凝、聚集等不稳定现象^[18]。在 12 组稳定性方案中，方案 X(果胶：0.18%，可溶性大豆多糖：0.18%)的平均粒径最小，为 $0.818\pm0.02\mu\text{m}$ 。其次为方案 XI(果胶：0.2%，可溶性大豆多糖：0.2%)、方案 XII(果胶：0.25%，可溶性大豆多糖：0.25%)和方案 VI(果胶：0.15%，可溶性大豆多糖：0.18%)，其平均粒径分别为 $0.82\pm0.008\mu\text{m}$ 、 $0.823\pm0.005\mu\text{m}$ 和 $0.827\pm0.01\mu\text{m}$ ，通过显著性分析可得四组方案平均粒径无显著性差异($p>0.05$)。

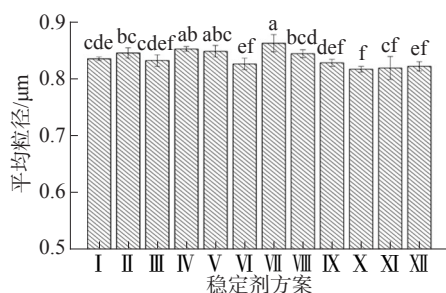


图7 不同稳定剂方案对粒径的影响

Fig.7 Effects the different stabilizer schemes on the particle size

2.3.1.2 不同稳定剂方案对离心沉淀率的影响

不同稳定剂方案对零脂果汁酸乳饮料离心沉淀率的影响如图8所示。离心沉淀率是评估乳饮料长期稳定性的一个关键指标,因为乳饮料中的蛋白质等大分子颗粒容易因重力作用而沉淀^[9]。从图中可以看出,不同稳定剂方案对零脂果汁酸乳饮料的离心沉淀率有显著影响。在12组稳定性方案中,方案XI和方案XII的离心沉淀率最低,分别为 $0.2\pm 0.02\%$ 和 $0.2\pm 0.03\%$;其次为方案VI和方案X,离心沉淀率分别为 $0.4\pm 0.05\%$ 和 $0.4\pm 0.04\%$ 。因此,基于离心沉淀率这一指标,稳定剂方案XI和XII的稳定性显著高于其他组别($p<0.05$),具有最佳稳定性,其次为方案VI和X。

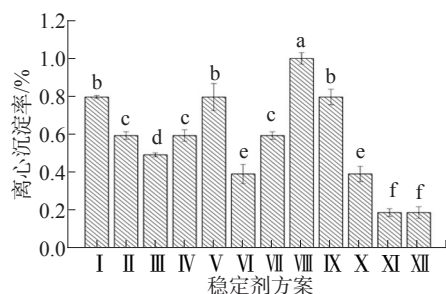


图8 不同稳定剂方案对离心沉淀率的影响

Fig.8 Effects the different stabilizer schemes on the centrifugal precipitation rate

2.3.1.3 不同稳定剂方案的稳定性分析结果

不同稳定剂方案的稳定性分析结果如图9所示。根据LUMiSizer的测定原理,颗粒在离心力的作用下会发生不同程度的迁移,通过实时分析样品的透射光过程,可以进一步了解颗粒的迁移速率,从而预测产品在货架期内的沉淀和浮油趋势^[20]。不稳定性系数值是评估不同稳定剂方案对零脂果汁酸乳饮料稳定性影响的重要指标,系数值越高,表明样品的稳定性越差。在12组稳定性方案中,方案XII的不稳定性系数值最低,为 0.605 ± 0.03 ;其次为方案VI、XI和X,其不稳定性系数值分别为 0.647 ± 0.01 、 0.65 ± 0.05 和 0.684 ± 0.02 。通过显著性分析可得四组方案不稳定性系数无显著性差异($p>0.05$)。

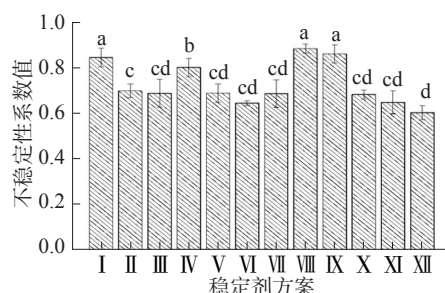


图9 不同稳定剂方案对不稳定性系数值的影响

Fig.9 Effects the different stabilizer schemes on the instability coefficient value

为进一步选出最优稳定剂方案,对VI、X、XI与XII四个方案进行 55°C ,2周加速稳定性跟踪,加速模拟零脂果汁酸乳饮料货架期变化。

2.3.2 零脂果汁酸乳饮料加速稳定性跟踪样品的稳定性分析

2.3.2.1 不同稳定剂方案对加速稳定性跟踪样品粒径的影响

从图10和图11的结果可以看出,四种稳定剂方案的初始样品粒径差异不大,均在 $0.81\mu\text{m}\sim 0.83\mu\text{m}$ 之间。经过 55°C 储存两周后,所有方案的平均粒径均有所增大,且粒径分布曲线发生了不同程度的变化。方案VI在储存两周后,其粒径分布曲线右移,出现大颗粒明显增加的情况,平均粒径由 $0.827\pm 0.01\mu\text{m}$ 增大至 $0.895\pm 0.007\mu\text{m}$;方案X的粒径分布曲线也发生右移,小粒径峰的面积减少,平均粒径由 $0.818\pm 0.005\mu\text{m}$ 增大至 $0.877\pm 0.004\mu\text{m}$;方案XI的粒径分布曲线几乎与初始曲线重合,表明体系达到了稳定状态,平均粒径由 $0.82\pm 0.02\mu\text{m}$ 增大至 $0.831\pm 0.014\mu\text{m}$,显示出较好的稳定性;方案XII则显示大颗粒明显增加,平均粒径由 $0.823\pm 0.001\mu\text{m}$ 增大至 $0.894\pm 0.002\mu\text{m}$ 。综合考虑以粒径为评价指标,稳定剂方案XI表现出较好的稳定性。

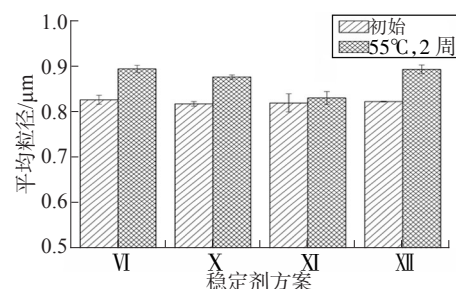
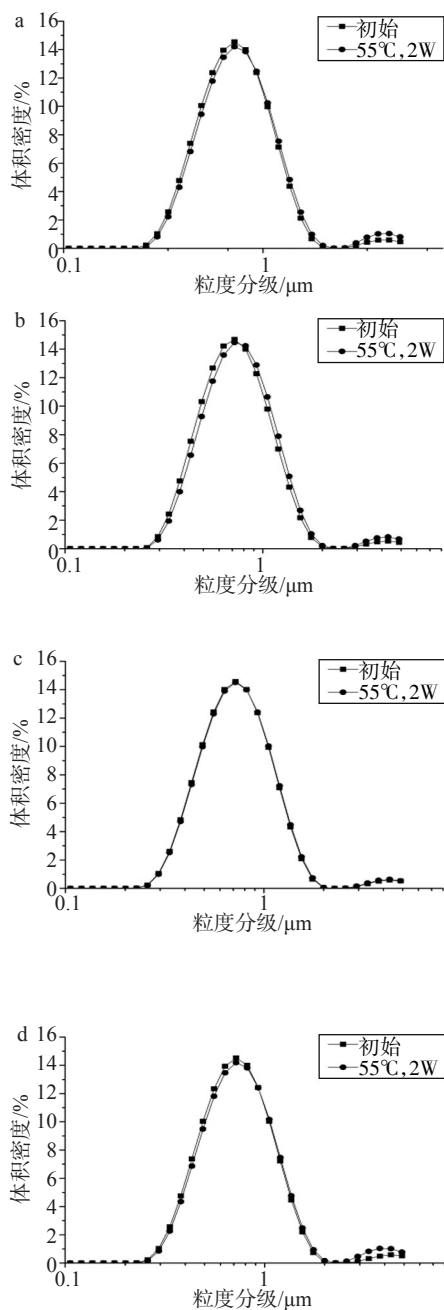


图10 不同稳定剂方案对加速稳定性跟踪样品粒径的影响

Fig.10 Effects the different stabilizer schemes on the particle size of accelerated stability tracking samples



a-方案VI;b-方案X;c-方案XI;d-方案XII

图 11 不同稳定剂方案对粒径分布的影响

Fig.11 Effects the different stabilizer schemes on the particle size distribution

2.3.2.2 不同稳定剂方案对加速稳定性跟踪样品离心沉淀率的影响

从图 12 的结果可以看出,在不同稳定剂方案下,所有样品在 55℃储存两周后的离心沉淀率均有所上升。在四种稳定剂方案中,方案VI的离心沉淀率最高,初始沉淀率为 $0.4\pm0.05\%$,储存两周后上升至 $0.6\pm0.022\%$;而方案XI的离心沉淀率最低,初始沉淀率为 $0.2\pm0.02\%$,储存两周后

上升至 $0.4\pm0.35\%$ 。图 13 显示了不同稳定剂方案对加速稳定性跟踪样品的目测沉淀影响。可以明显看出,方案VI的沉淀层最厚,沉淀呈黑色且较为紧密;而方案XI的沉淀层最薄,颜色较浅,沉淀较为松散。这一结果与图 12 的离心沉淀率结果相一致。综合考虑以离心沉淀率为评价指标,稳定剂方案XI表现出最佳的稳定性。

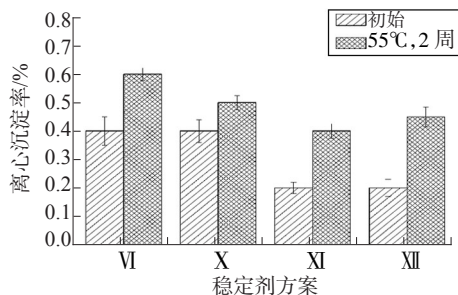
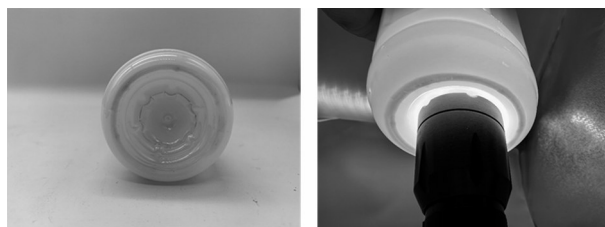
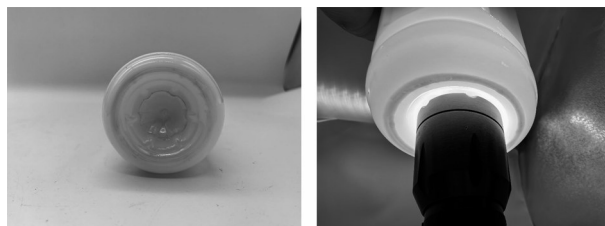


图 12 不同稳定剂方案对加速稳定性跟踪样品离心沉淀率的影响

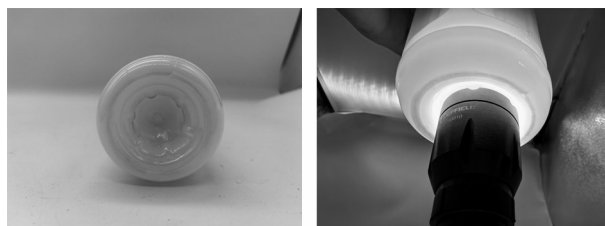
Fig.12 Effects the different stabilizer schemes on the centrifugal precipitation rate of accelerated stability tracking samples



a



b



c



a-方案 VI 55℃,2 周样品;b-方案 X 55℃,2 周样品;c-方案 XI 55℃,2 周样品;d-方案 XII 55℃,2 周样品

图 13 不同稳定剂方案对加速稳定性跟踪样品沉淀的影响

Fig.13 Effects the different stabilizer schemes on the precipitation of accelerated stability tracking samples

2.3.2.3 不同稳定剂方案的加速稳定性跟踪样品稳定性分析结果

根据图 14 的结果,经过 55℃储存两周后,不同稳定剂方案样品的不稳定性系数值均有所上升,表明储存后样品的稳定性变差。其中,方案 XI 的不稳定性系数值最低,初始值为 0.65 ± 0.05 ,储存两周后上升至 0.73 ± 0.04 ;其次是方案 VI,初始值为 0.647 ± 0.01 ,储存两周后上升至 0.731 ± 0.03 ;而方案 XII 的不稳定性系数值最高,初始值为 0.605 ± 0.03 ,储存两周后上升至 0.825 ± 0.01 。综合考虑以不稳定性系数值为评价指标,稳定剂方案 XI 显示出最佳的稳定性。

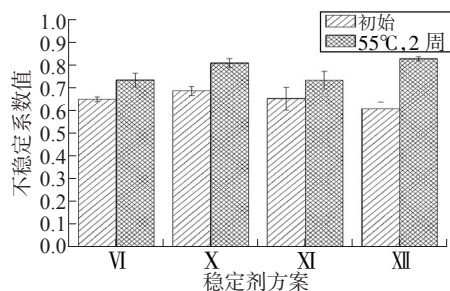
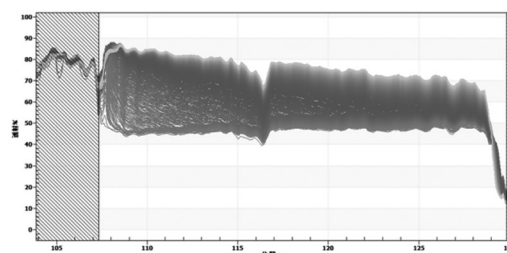


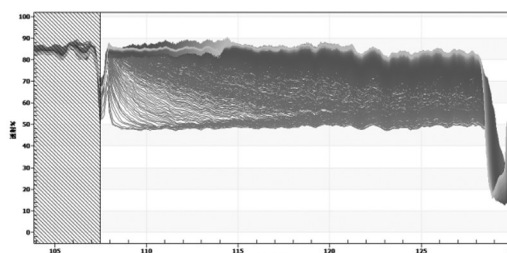
图 14 不同稳定剂方案对加速稳定性跟踪样品不稳定性系数值的影响

Fig.14 Effects the different stabilizer schemes on the instability coefficient value of accelerated stability tracking samples

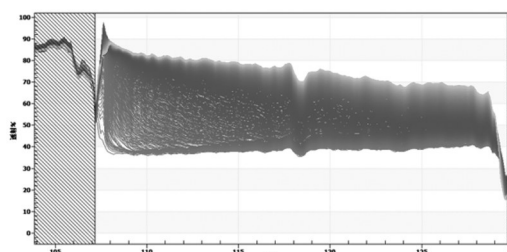
根据图 15 的透光率曲线,可以看出不同稳定剂方案组在 55℃储存两周后,透光率曲线的变化趋势基本一致。所有四个方案组的样品均表现出槽顶部透光率上升,而底部透光率下降的现象,表明所有方案组都出现了不同程度的析水和沉降现象。这表明样品的稳定性有所下降。综合考虑不稳定性系数值和透光率的变化,稳定剂方案 XI 表现出最佳的稳定性。



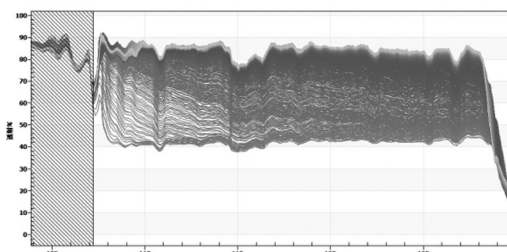
a



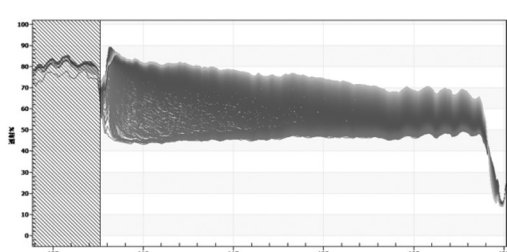
b



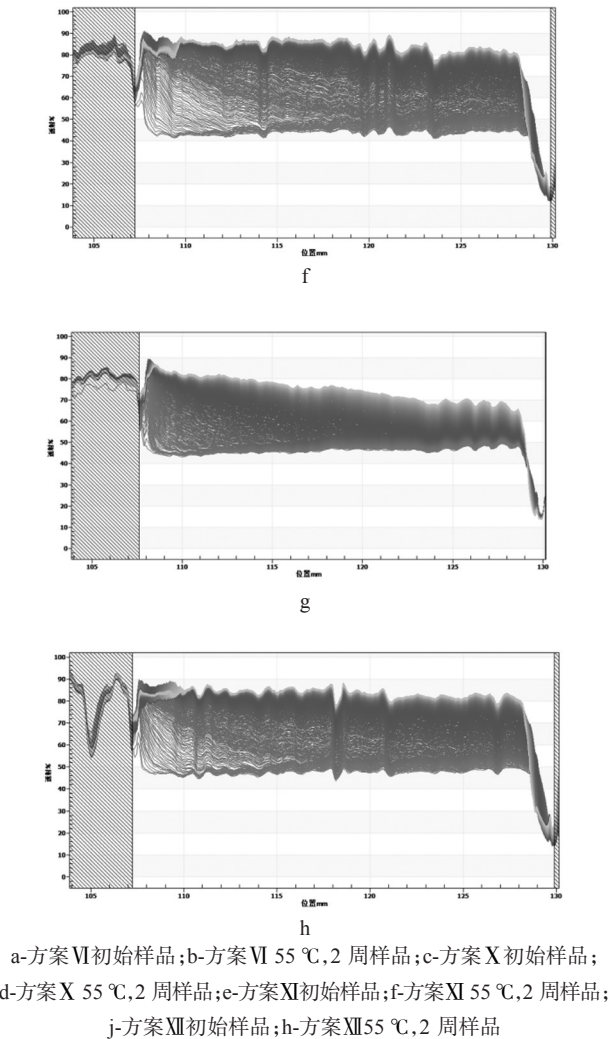
c



d



e



a-方案Ⅵ初始样品;b-方案Ⅵ 55℃,2 周样品;c-方案Ⅹ初始样品;
d-方案Ⅹ 55℃,2 周样品;e-方案Ⅺ初始样品;f-方案Ⅺ 55℃,2 周样品;
j-方案Ⅻ初始样品;h-方案Ⅻ 55℃,2 周样品
图 15 不同稳定剂方案对透光率曲线的影响

2.4 零脂果汁酸乳饮料的质量指标

零脂果汁酸乳饮料的质量指标检测结果如表 5 所示:

表 5 质量指标检测结果		
Table 5 Quality index test results		
项目	指标要求	检测结果
蛋白质/(g/100g)	>1	1.05±0.05
脂肪/(g/100g)	<0.5	0.05±0.01
可溶性固形物/(g/100g)	-	13.8±0.15
pH	-	3.7±0.05
大肠杆菌/(CFU/g)	1~10	<1, <1, <1, <1, <1
菌落总数/(CFU/g)	10 ² ~10 ⁴	<1, <1, <1, <1, <1
霉菌/(CFU/g)≤	20	<1, <1, <1, <1, <1
酵母/(CFU/g)≤	20	<1, <1, <1, <1, <1
致病菌/(CFU/g)	不得检出	未检出

3 结论

通过单因素实验和正交试验的结果, 确定零脂果汁酸乳饮料的最佳配方为: 2%脱脂奶粉、8%白砂糖、0.22%柠檬酸、1%浓缩果汁和 0.008%安赛蜜, 所制备产品的感官得分为 96 分。通过粒径、离心沉淀率和不稳定性系数值来评估其稳定性, 并进行 55℃2 周的加速稳定性跟踪, 最终得出结论: 稳定剂体系为果胶 0.2%, 可溶性大豆多糖 0.2%时, 表现出最好的稳定性。

参考文献:

[1] 食品工业标准化技术委员会饮料分技术委员会. GB/T21732—2008 含乳饮料[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.

[2] 夏文水. 食品工艺学[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2007.

[3] 王婷. 酸性含乳饮料复配稳定剂[J]. 食品工业, 2021(6):02.

[4] 薛玉清, 李文强, 胡佳麒, 等. 果胶和可溶性大豆多糖在酸性乳饮料中的应用[J]. 中国乳品工业, 2022(3): 050.

[5] SEJERSEN M T, SALOMONSEN T, IPSEN R, et al. Zeta potential of pectin-stabilised casein aggregates in acidified milk drinks[J]. International Dairy Journal, 2007, 17(4): 302–307.

[6] 田浩, 何志勇, 王召君, 等. 可溶性大豆多糖与果胶对酸化乳饮料的稳定机制对比[J]. 食品与生物技术学报, 2022(5):41.

[7] NOBUHARA T, MATSUMIYA K, NAMBU Y, et al. Stabilization of milk protein dispersion by soybean soluble polysaccharide under acidic pH conditions[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 34(1): 39–45.

[8] TUINIER R, DEKRUIF C G. Stability of casein micelles in milk [J]. The Journal of Chemical Physics, 2002, 117(3): 1290–1295.

[9] WUSIGALE, LI liang, LUO Yangchao. Casein and pectin: Structures, interactions, and applications[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 97:391–403.

[10] TROMP R H, DEKRUIF C G, VANELJK M, et al. On the mechanism of stabilisation of acidified milk drinks by pectin[J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(4): 565–572.

[11] NAKAMURA A, YOSHIDA R, MAEDA H, et al. The stabilizing behaviour of soybean soluble polysaccharide and pectin in acidified milk beverages[J]. International Dairy Journal, 2006, 16(4): 361–369.

[12] 汤木果, 陈晓琴, 赵存朝, 等. 焦香型乳酸菌饮料的研制[J]. 中国乳品工业, 2022(4):50.

[13] 李文强, 胡佳麒, 赵越, 等. 琼脂低聚糖性质及在乳酸菌饮料中的应用研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(22):6.

[14] 方明, 沈鱼, 洪鹏, 等. 燕麦拿铁饮料的研制及稳定性研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(12):233–242.

[15] 马永轩, 郝娟, 田云, 等. 花生牛奶复合乳饮料乳化稳定剂配方优化[J]. 农产品加工, 2022(7):13–17.

[16] 王少伟, 张金秋, 戚繁, 等. 高效液相色谱法测定果汁饮料中安赛蜜[J]. 现代食品, 2020(14):202–206.

[17] 李印所, 邵建波, 薛永春, 等. 食品中安赛蜜的安全检测研究进展

- [J]. 中国食品, 2024(20):104-107.
- [18] KIELCZEWSKA K, KRUK A, CZERNIEWICZ M, et al. Effects of high- pressure homogenization on the physicochemical properties of milk with various fat concentrations[J]. Polish Journal of Food & Nutrition Sciences, 2006, 15/56: 91-94.
- [19] 舒欣怡, 刘海情, 张佳靓, 等. PET瓶装奶茶饮料货架期稳定性及抗氧化活性影响因素研究[J]. 饮料工业, 2022(3):25.
- [20] 王成祥, 刘辉, 段胜林, 等. 应用快速稳定性分析方法研究增稠剂对燕麦饮料稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(3):253-259.

暨南大学揭示“饮食城市化”对菌群及慢病的影响

暨南大学研究员张芬、教授丁郁团队基于全球数据系统分析, 成功揭示了“饮食城市化”如何破坏宿主-肠道微生物组稳态, 以及这种失衡与非传染性疾病(NCDs)发病率攀升的因果关系。近日, 相关综述发表于《细胞-代谢》。

肥胖症、2型糖尿病、心血管疾病及炎症性肠病等非传染性疾病全球流行, 给现代公共卫生体系带来严峻挑战。基于1990年至2018年185个国家的数据, 研究人员发现, 城市化进程与非传染性疾病患病率显著同步上升。

这种膳食结构剧变引发“进化时差”——人类基因组及共生微生物群难以快速适应现代饮食, 导致肠道菌群剧烈变化, 致使机体稳态失衡, 这是全球慢性病负担激增的根本病理成因。全球城市扩张正急剧削弱肠道菌群的复杂性与丰富度。研究剖析了全球多区域对比研究数据, 揭示了城市生活方式引发的广泛菌群变化规律, 即城市化使人群肠道核心菌群从普雷沃氏菌型向拟杆菌型转变, 且结构性更迭与菌群功能演替紧密相关, 城市化菌群复杂碳水化合物分解能力削弱, 黏膜多糖降解及抗药基因表达等功能增强。

研究详细阐述了城市化饮食破坏宿主-肠道微生物组相互作用的机制, 包括宏量营养素结构剧变、加工添加剂扰乱、深加工工艺损害、摄食节律紊乱等, 还提出通过逆向重构传统饮食模式修复菌群生态, 如引入传统膳食成分、重置摄食节律等。

此外, 研究开创性提出基于微生物组数据的精准营养干预策略, 协同调控人群间差异与个体内特异性, 为个性化干预奠定基础, 有望提升非传染性疾病防治效能, 实现更精准的城市化相关健康风险管控。该综述汇聚中、美、德顶尖机构跨学科协作成果, 提供了综合证据链。(记者 朱汉斌)

(来源:《中国科学报》 2025-12-10)

离子色谱法测定食品中壳寡糖的含量

利 通^{1,2}, 陈 茜^{1,2}, 贝荣廷^{1,2}, 何焜鹏^{1,2}, 凌育昕^{1,2}, 林 丹^{1,2}, 郑泽洋^{1,2}

(1 广东省食品工业研究所有限公司, 广东 广州 511442;

2 广东省食品质量监督检验站, 广东 广州 511442)

摘 要: 本文研究了一种离子色谱法快速、准确测定食品壳寡糖含量的方法, 研究不同柱温、流动相及洗脱程序、提取条件的优化(净化柱的选择、柱回收考察、酸水解溶液浓度的选择、酸水解时长的选择)等对壳寡糖测定的影响, 最终确定试样在 100℃ 水浴下, 用 8mol/L 盐酸溶液水解 8h, 水解液经强阳离子交换固相萃取后, 采用糖分析(4.0mm×250mm, 10μm, 保护柱 4.0mm×50mm)色谱柱分离, 水和 200mmol/L 氢氧化钠溶液作为流动相梯度洗脱, 离子色谱法测定壳寡糖的含量。方法验证表明, 样品在 0.05μg/mL ~ 10μg/mL 质量浓度范围之间具有良好的线性关系($R^2 > 0.9998$), 样品回收率范围在 93.35% ~ 102.93%, 方法精密度相对标准偏差 $RSD\%(n=3)$ 在 0.12% ~ 1.74%, 表明该检测方法简便、准确、可靠, 线性关系、精密度、重复性、稳定性、加样回收率均较好, 可用于食品中壳寡糖的定量分析。

关键词: 食品; 壳寡糖; 氨基葡萄糖; 离子色谱法

Determination of Chitosan Oligosaccharides in Food by Ion Chromatography

LI Tong^{1,2}, CHEN Qian^{1,2}, BEI Rong-ting^{1,2}, HE Kun-peng^{1,2}, LING Yu-xin^{1,2}, LIN Dan^{1,2}, ZHENG Ze-yang^{1,2}

(1 Guangdong Food Industry Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 511442, China;

2 Guangdong Food Quality Supervision and Inspection Station, Guangzhou 511442, China)

Abstract: This paper studies a rapid and accurate method using ion chromatography to determine the content of Chitosan Oligosaccharides in food. It investigates the effects of optimizing different column temperatures, mobile phases, elution programs, and extraction conditions (such as the selection of purification columns, column recovery evaluation, choice of acid hydrolysis solution concentration, and duration of acid hydrolysis) on the determination of Chitosan Oligosaccharides. The final method established involves hydrolyzing the sample in 8mol/L hydrochloric acid solution at 100℃ for 8 hours in a water bath. The hydrolysate is subjected to strong cation exchange solid-phase extraction, followed by separation using a carbohydrate analysis column (4.0mm×250mm, 10μm, with a guard column 4.0mm×50mm). Water and 200mmol/L sodium hydroxide solution are used as the mobile phase with gradient elution. The content of Chitosan Oligosaccharides is then determined by ion chromatography. Method validation shows that the samples exhibit a good linear relationship within a concentration range of 0.05μg/mL to 10μg/mL ($R^2 > 0.9998$). The sample recovery rate ranges from 93.35% to 102.93%, and the method precision relative standard deviation $RSD\%(n=3)$ ranges from 0.12% to 1.74%, indicating that this detection method is simple, accurate, and reliable. The linearity, precision, repeatability, stability, and spiked recovery are all satisfactory, making it suitable for the quantitative analysis of Chitosan Oligosaccharides in food.

Key words: food; chitosan oligosaccharide; glucosamine; ion chromatography

中图分类号: TS207

文献标志码: A

文章编号: 1007-7871(2025)06-0011-07

2014 年 4 月 16 日原国家卫生计生委发布《关于批准壳寡糖等 6 种新食品原料的公告》(2014 年第 6 号)批准壳寡糖作为新食品原料, 制定了壳寡糖的相关质量要求, 壳寡

糖, 又叫寡聚氨基葡萄糖、低聚壳聚糖, 是以壳聚糖为原料, 经木瓜蛋白酶(或木瓜蛋白酶和纤维素酶)酶解、过滤、喷雾干燥等工艺制成的寡聚氨基葡萄糖(2~10 个聚合

收稿日期: 2025-11-25

作者简介: 利 通(1995-), 男, 硕士, 研究方向为食品加工与安全。E-mail: 1396610533@qq.com

度的壳寡糖含量 $\geq 80\%$), 分子量 322~1610, 每天食用量不大于 0.5g, 适用的使用范围不包括婴幼儿食品。

近年来, 壳寡糖的功能研究取得了长足的进步^[1~5], 同时也对壳寡糖含量的分析测定提出了挑战。目前对于食品中壳寡糖的含量测定还没有国家标准检测方法, 查阅国内外文献, 用于壳寡糖含量测定的方法主要有离子色谱法^[6,7]、高效液相色谱法^[8~10]、分光光度法^[11,12]、薄层色谱法^[13,14]、高效液相色谱-质谱联用法^[15], 离子色谱法检测糖类具有快速、精密度高、重复性好的优势^[16~19]。

目前含壳寡糖的食品种类繁多, 产业前景广阔, 但是国内尚无相应的标准可以涵盖食品中壳寡糖的测定, 缺少检测方法标准, 导致产品质量良莠不齐, 为了规范添加壳寡糖产品的健康发展和产品质量, 更好地规范食品企业的市场行为, 保护消费者和企业双方的利益, 制定食品中壳寡糖的测定方法标准, 具有十分重要的现实意义和紧迫性。

本方法将结合传统的酸水解法和高灵敏度仪器测定含量法, 拟通过酸水解法降解壳寡糖为氨基葡萄糖, 采用离子色谱法测定氨基葡萄糖浓度、折算成壳寡糖的含量进行研究, 以期为食品中壳寡糖含量的测定相关研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试剂与材料

D-盐酸氨基葡萄糖(纯度 $\geq 98\%$)、强阳离子交换柱 SCX, 1g/6mL 上海安谱实验科技股份有限公司; 50%氢氧化钠溶液(色谱纯) 美国西格玛奥德里奇公司; 甲醇(CH_3OH)(色谱纯) 德国默克公司; 氢氧化钠(NaOH)(分析纯) 西陇科学股份有限公司; 盐酸(HCl)(分析纯) 广东广试试剂科技有限公司; 水 符合《分析实验室用水规格和试验方法》(GB/T 6682)规定的一级水; 50mL 离心管

北京兰杰柯科技有限公司; 0.22 μm 水相微孔滤膜 天津博纳艾杰尔科技有限公司; Dionex™OnGuard™ II RP 柱 赛默飞世尔科技公司; 壳寡糖复合固体饮料、壳寡糖复合压片糖果、壳寡糖复合调味料、壳寡糖红高粱醋(酿造食醋)、壳寡糖饮品、壳寡糖鸡蛋挂面(含壳寡糖食品) 市售。

1.2 仪器与设备

ICS5000 离子色谱仪(配安培检测器) 赛默飞世尔科技公司; 分析天平(感量 0.0001g)、FiveEasy Plus FE28 pH 计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; KQ-500DE 型数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司; heidolph 涡旋振荡器 道尔夫仪器设备有限公司(上海)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品前处理

1.3.1.1 固体样品

取代表性样品, 用捣碎机捣至粉末状, 样品袋密封, 备用。

1.3.1.2 液体样品

直接取代表性样品混匀, 备用。

1.3.2 试样的提取

准确称取 1g~5g(精确至 0.001g)试样于 50mL 离心管中, 加入 25mL 浓度为 8mol/L 的盐酸溶液中, 混匀后拧紧盖子密封, 在 100℃水浴条件下进行酸水解 8h, 备用。

准确移取 1mL 水解液至 50mL 离心管, 放置于通风橱中 100℃水浴蒸干, 蒸干后用 15mL 一级水将结晶全部溶解, 将溶解后的样液 pH 调至 7 $\pm$ 0.5, 定容至 25mL, 备用。

1.3.3 净化

固相萃取柱依次用 10mL 甲醇和 10mL 水活化后, 备用; 将上述经提取后的样品溶液摇匀后吸取 10mL 待净化样品溶液过柱, 调节过柱速度为 2mL/min~3mL/min, 待样液完全过柱后, 用 10mL 水以稳定流速淋洗固相萃取柱, 抽干, 用 10mL 浓度为 0.1mol/L 盐酸溶液洗脱, 收集洗脱液用 0.1mol/L 盐酸溶液定容至 10mL 混匀, 待测。

1.3.4 色谱条件

色谱柱: 糖分析柱(4.0mm $\times$ 250mm, 10 μm), 或具有同等性能的色谱柱, 糖柱保护柱(4.0mm $\times$ 50mm)。柱温: 30℃。进样体积: 25 μL 。流动相: A 为水, B 为 200mmol/L 氢氧化钠溶液; 洗脱程序见表 1。

表 1 洗脱程序

Table 1 Elution procedure

序号	时间/min	流速/(mL/min)	%A	%B	曲线
1	0.001	0.600	95.0	5.0	5
2	12.000	0.600	92.0	8.0	5
3	20.000	0.500	50.0	50.0	8
4	25.000	0.500	40.0	60.0	8
5	30.000	0.500	0.0	100.0	5
6	36.000	0.500	0.0	100.0	5
7	37.000	0.500	90.0	10.0	5
8	40.000	0.500	90.0	10.0	5

1.3.5 数据分析

采用 Chromeleon 7 对原始谱图进行分析和处理, 获得目标分析物的离子色谱图、保留时间和标准曲线等信息; 采用 Excel 统计原始数据, 计算加标回收率、日内精密度和样品中壳寡糖的含量, 所有待测样品和加标样品均重复测试 3 次, 实验结果以平均值表示, 采用 Origin 2019b 32Bit 作图。

2 结果与分析

2.1 仪器条件的优化

2.1.1 柱温的选择

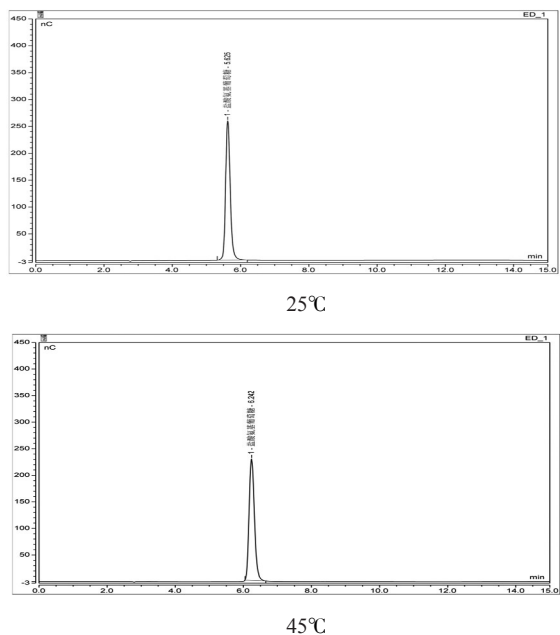


图 1 不同柱温条件下离子色谱图

Fig.1 Ion chromatograms under different column temperature conditions

不同柱温条件下测试结果显示, 相同浓度氨基葡萄糖标准溶液(10mg/L)目标峰的出峰时间存在一定差异, 但响应值及峰面积无明显差异。25℃(t=6.242)、30℃(t=6.125)、35℃(t=5.967)、40℃(t=5.859)、45℃(t=5.625), 随着柱温的上升, 目标峰出峰时间越早, 峰面积平均相对标准偏差(RSD%)≤1.51%。

2.1.2 流动相的选择

现行标准中, 离子色谱法测定糖类物质主要的流动相为(水+氢氧化钠溶液), 见表 2。本实验在参考了相关标准后, 对比了水+200mmol/L 氢氧化钠溶液、100mmol/L 氢氧化钠溶液+100mmol/L 乙酸钠、5mmol/L 氢氧化钠溶液+10mmol/L 乙酸钠几种不同流动相体系及洗脱方式, 结果表明, 相同浓度氨基葡萄糖标准溶液目标峰的出峰时间存在一定差异, 但响应值无明显差异。

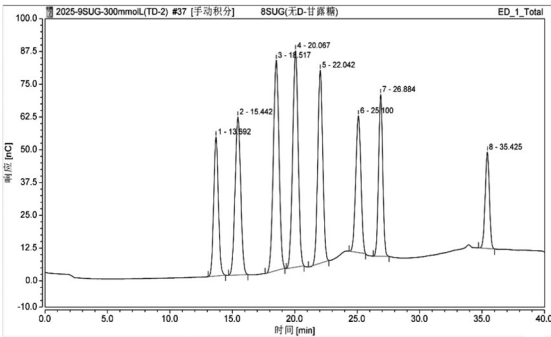
2.1.3 洗脱程序的优化

由于壳寡糖应用于各类食品中, 各种蛋白、糖类、甜味剂、添加剂、色素等, 成分复杂, 样品基质中存在一定的互相干扰情况。本实验混合了 8 种常作为甜味剂添加到食品中的糖类(见图 2), 结果显示在本实验的梯度洗脱程序下, 8 种糖分度好, 对目标峰无干扰。

表 2 参考标准

Table 2 Reference standards

标准号及名称	淋洗液	洗脱方式
《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》(GB 5009.8—2023) ^[20]	水+200 mmol/L 氢氧化钠溶液	梯度洗脱
《水果中葡萄糖、果糖、蔗糖和山梨醇的测定 离子色谱法》(NY/T 3943—2021) ^[21]	水+200 mmol/L 氢氧化钠溶液	梯度洗脱
《水果、蔬菜及其制品中阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、果糖、麦芽糖和蔗糖的测定 离子色谱法》(NY/T 3902—2021) ^[22]	水+200 mmol/L 氢氧化钠溶液	梯度洗脱
《稻米中可溶性葡萄糖、果糖、蔗糖、棉籽糖和麦芽糖的测定 离子色谱法》(NY/T 3163—2017) ^[23]	60%水+40%250 mmol/L 氢氧化钠溶液	等度洗脱
《出口葡萄酒中葡萄糖、果糖和蔗糖的测定》(SN/T 4675.6—2016) ^[24]	水+氢氧化钠溶液, 200 mmol/L	梯度洗脱
《氨基寡糖素 第 1 部分: 氨基寡糖素母药》(NY/T 2889.1—2016) ^[25]	10%100 mmol/L 氢氧化钠溶液 +90%100 mmol/L 乙酸钠溶液	等度洗脱



1—L-阿拉伯糖;2—氨基葡萄糖;3—葡萄糖;4—D-木糖
5—D-果糖;6—蔗糖;7—乳糖;8—麦芽糖

图 2 常用 8 种糖类洗脱离子色谱图

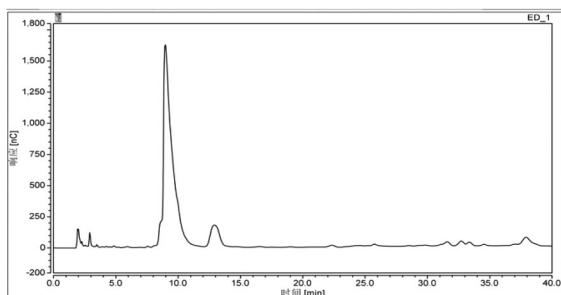
Fig.2 Common elution ion chromatograms of 8 sugars

2.2 提取条件的优化

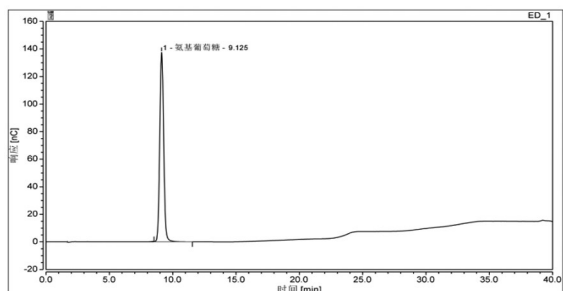
2.2.1 净化柱的选择(RP、SCX 强阳离子交换柱)

RP 柱主要通过多孔二乙烯基苯树脂选择性吸附疏水性基质, 去除样品中的疏水性物质, 如芳香染料、芳香族羧酸、碳水化合物和表面活性剂等, 减少对分析结果的干扰来提高离子色谱(IC)分析的灵敏度和准确性。而 SCX 固相萃取小柱填料苯磺酸基硅胶, 通过磺酸基的负电性吸附, 用于分离和富集样品中的碱性化合物, 其核心作用基于强阳离子交换机制和疏水相互作用, 而壳寡糖酸水解产物为氨基葡萄糖, 带氨基呈碱性化合物, 因此 SCX 柱对于氨基葡萄糖的选择性更强。RP 柱对部分类型食品的净化效果不佳, 如复合固体饮料(见图 3, 相同条件下, 目标峰标准溶液出峰时间为 9.125), 样品存在干扰, 而 SCX 柱受食品基

质影响不大。



RP 柱净化测定结果



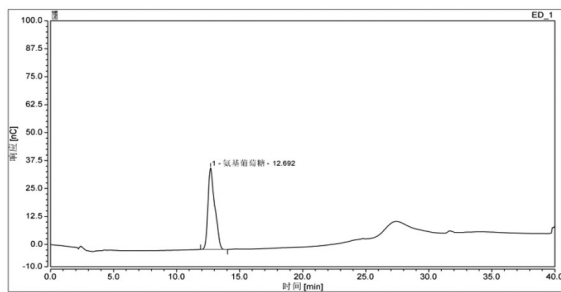
SCX 柱测定结果

图 3 不同净化柱条件下离子色谱图

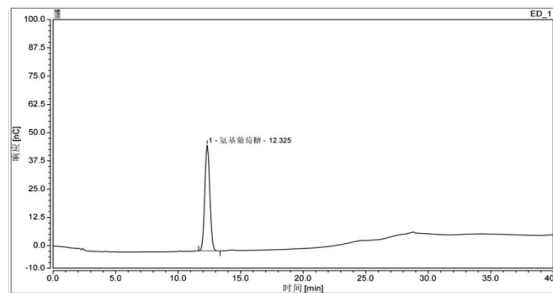
Fig.3 Ion chromatograms under different purification column conditions

2.2.2 洗脱浓度的优化

Martens D A 等^[26]采用使用强酸性阳离子交换柱 (3mL, SCX)保留氨基糖类, SCX 柱随后用 3mL 水冲洗去除大部分杂质, 用 5mL 0.3mol/L 盐酸洗脱, 经高效液相色谱-示差折光检测法(HPLC-RI)定量分析氨基糖类化合物。在参考此研究的基础上, 本实验对比强阳离子交换柱吸附的氨基葡萄糖, 先用 10mL 水冲洗去除大部分杂质, 再分别用 0.3mol/L 盐酸溶液和 0.1mol/L 盐酸溶液洗脱, 最后洗脱液经离子色谱测定。结果显示 0.3mol/L 盐酸溶液洗脱液的目标峰有明显拖尾现象, 而 0.1mol/L 盐酸溶液洗脱液析出峰相对较好。



0.3 mol/L 盐酸溶液洗脱



0.1 mol/L 盐酸溶液洗脱

图 4 固相萃取柱洗脱液不同浓度离子色谱图

Fig.4 Ion chromatograms of eluents from solid-phase extraction columns at different concentrations

2.2.3 柱回收考察

取已知浓度为 4.404 μ g/mL 的标准溶液, 过 SCX 固相萃取柱后测定浓度为 4.4716 μ g/mL, 柱回收约为 100.30%, 测定结果表明柱回收良好。

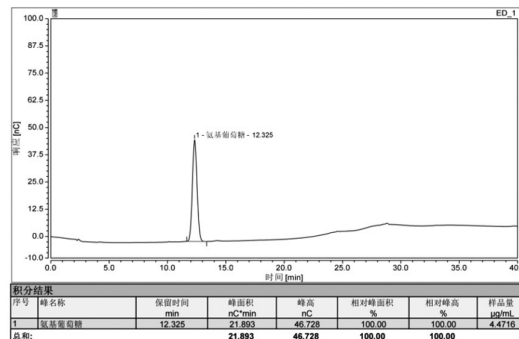


图 5 标准溶液柱回收离子色谱图

Fig.5 Ion chromatography of the standard solution column recovery

2.2.4 酸水解溶液浓度的选择

准确称取相同样品各 1g, 分别投入 4 支 50mL 离心管, 并分别加入浓度为 6、8、10、12mol/L 的盐酸溶液各 25mL, 混匀后拧紧管盖密封, 防止酸挥发, 在 100 $^{\circ}$ C 水浴条件下进行酸水解 4h。移取 1mL 酸水解液至 50mL 离心管, 离心管放置于水浴锅蒸干, 蒸干后用 20mL 一级水将结晶全部溶解, 将溶解后的样液 pH 调至 7 $\pm$ 0.5, 定容至 25mL, 取其中 10mL 过 0.22 μ m 滤膜后采用 SCX 柱净化。结果显示, 随着盐酸浓度的增大, 测定得到的峰面积先增大后减小, 当盐酸溶液浓度为 8mol/L 时, 峰面积最大。此外随着盐酸浓度的增大, 出现杂峰越大。本研究实验采用 8mol/L 盐酸溶液水解壳寡糖, 与刘玉峰^[6]等人的研究以及标准《氨基寡糖素 第 1 部分: 氨基寡糖素母药》(NY/T 2889.1—2016)^[25]水解思路一致, 方式略有不同。

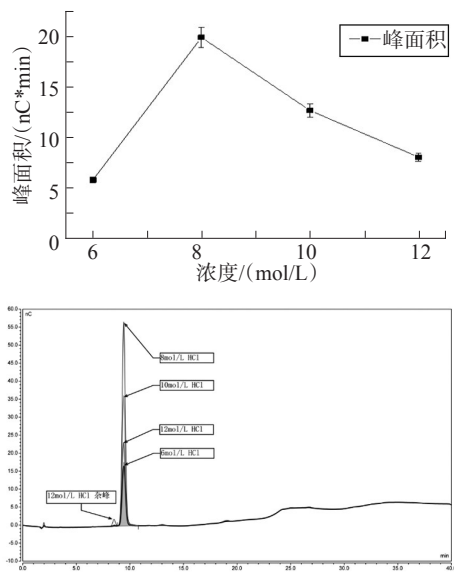


图 6 不同酸水解溶液浓度测定结果及离子色谱图
Fig.6 Determination results of different acid hydrolysis solution concentrations and ion chromatograms

2.2.5 酸水解时长的选择

准确称取 7 份相同样品各 1g，分别投 50mL 离心管中，再分别加入浓度为 8mol/L 的盐酸溶液各 25mL，混匀后固定塞口密封，防止酸挥发，在 100℃水浴中进行酸水解 0、2、4、6、8、10、12h。移取 1mL 酸水解液至 50mL 离心管，离心管放置于水浴锅蒸干，然后用 20mL 一级水将结晶全部溶解，将溶解样液的 pH 调至 7±0.5，定容至 25mL，取其中 10mL 过 0.22μm 滤膜转移至 10mL 比色管，10mL 样液过 SCX 柱后定容至 10mL。结果显示，在同一浓度盐酸溶液水解条件下，氨基葡萄糖的峰面积随着浓度增大先增加后减小，8h 水解时长峰面积最大，10h~12h 峰面积减小，可能因与壳聚糖结构相似，壳寡糖由氨基葡萄糖和少量的乙酰氨基葡萄糖构成，单体以 β-1, 4-糖苷键连接而成，HCl 对氨基葡萄糖的分子结构有破坏作用^[27,28]，导致氨基葡萄糖含量降低。

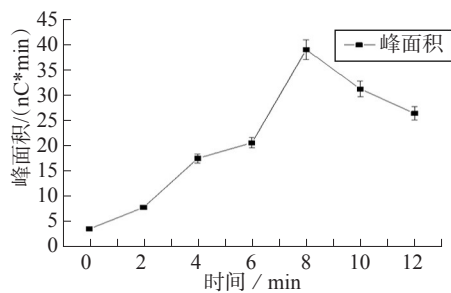


图 7 不同酸水解时长测定结果
Fig.7 Measurement results for different acid hydrolysis durations

2.3 方法学验证

2.3.1 线性关系

在上述考察仪器条件下，对标准溶液系列进行测定，相关系数和线性范围如图 8 所示， $y=4.9123x-0.0734$ ， $R^2=0.9997$ 。结果表明，氨基葡萄糖在 0.2μg/mL~10μg/mL 范围内与峰面积呈良好的线性关系。

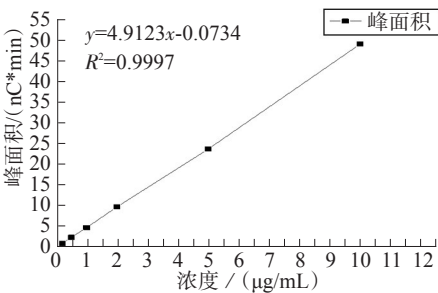


图 8 标准曲线
Fig.8 Standard Curve

2.3.2 方法回收率

为了验证方法的准确度，通过回收实验对测量结果的偏倚进行评估。根据《实验室质量控制规范 食品理化检测》(GB/T 27404—2008)，将已知浓度的分析物加到样品中，按照预定的分析方法进行检测，测得的实际浓度减去原先未添加分析物时的样品的测定浓度，并除以所添加浓度的百分率，即为回收率。根据 GB/T 27404—2008，添加水平选择了方法定量限低、中和高水平。加标回收实验结果如表 3 所示。加标低水平时，平均回收率在 97.52%~102.93%，相对标准偏差范围 0.32%~1.74%；加标中水平时，平均回收率在 96.63%~100.00%，相对标准偏差范围 0.12%~1.41%；加标高水平时，平均回收率在 93.35%~96.18%，相对标准偏差范围 0.38%~0.88%。以上加标回收实验回收率良好，证明方法标准具有良好的准确度。

表 3 方法回收率
Table 3 Method recovery and precision

样品编号	本底值平均 值/(mg/kg)	添加水 平/μg	实测值/ (mg/kg)	回收 率/%	平均回收 率/%	相对标 准偏/%
压片 糖果 2	0	2555.73	102.72			
		1250	2534.71	101.51	101.43	1.31
		2496.01	100.06			
		4821.61	96.63			
		2500	4825.38	96.72	97.02	0.63
		4884.30	97.73			
		9434.96	95.01			
		5000	9556.34	96.18	95.41	0.69
		9437.30	95.05			

续表 3						
样品编号	本底值平均 值/(mg/kg)	添加水 平/ μ g	实测值/ (mg/kg)	回收 率/%	平均回收 率/%	相对标准 偏差/%
复合调味料 1	0	2500	2540.73	101.69		
			1250	2548.42	102.63	102.42
				2561.98	102.93	
				4856.64	97.23	
				4999.00	100.00	98.71
		5000	4943.02	98.90		
				9320.16	94.12	
				9353.13	94.09	93.85
				9335.25	93.35	
				2498.01	100.20	
复合调味料 2	0	2500	1250	2493.49	99.64	100.00
				2500.75	100.17	
				4884.73	98.11	
				4879.97	97.78	97.51
				4808.21	96.65	
		5000		9436.93	94.86	
				9498.20	95.21	95.22
				9560.16	95.58	
				2385.91	95.57	
				2455.45	98.65	97.52
面制品 1	60.8310	2500		2460.22	98.33	
				4860.03	97.22	
				4858.28	97.19	97.14
				4841.78	97.01	
				9535.76	95.21	
		5000		9408.44	94.59	94.45
				9358.99	93.55	

2.3.3 方法应用

本实验对 5 个不同样品进行检测，结果如表 4 所示。实验结果显示实测样品 $RSD\% \leq 1.21$ ，方法良好。

表 4 方法验证考察结果			
Table 4 Method validation assessment results			
样品编号	测定结果/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)	RSD/%
固体饮料 1	7120.93		
	7129.32	7088.89	0.89
	7016.43		
	5180.28		
压片糖果 1	5190.14	5188.84	0.15
	5196.08		
	9412.69		
	9377.61	9402.23	0.23
液体饮品 1	9416.40		

续表 4			
样品编号	测定结果/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)	RSD/%
固体饮料 2	111979.52		
	111098.31	110808.77	1.21
	109348.47		
	3396.20		
压片糖果 3	3434.20	3402.15	0.87
	3376.05		

3 结论

本研究采用在 100℃水浴下，样品用 8mol/L 盐酸溶液水解 8h 后，水解液经强阳离子交换固相萃取后，采用离子色谱法技术，建立了一种针对食品中壳寡糖的定性筛查与定量检测方法。实验结果表明，本方法前处理操作快速方便，测试结果及方法验证表明，样品在 0.05 μ g/mL~10 μ g/mL 质量浓度范围之间具有良好的线性关系($R^2>0.9998$)，样品回收率范围在 93.35%~102.93%，方法精密度相对标准偏差 $RSD\%(n=3)$ 在 0.12%~1.74%，表明该检测方法简便、准确、可靠，线性关系、重复性、稳定性、加样回收率均较好，可用于食品中壳寡糖的定量分析。

参考文献：

[1] 张沛尧,赵宁,席军,等.壳寡糖的制备及应用的研究进展[J].中国调味品,2024,49(11):205-212.

[2] 宋雪娜,李莉,赵奎,等.功能性壳寡糖在食品领域的应用研究进展[J].食品研究与开发,2023,44(22):218-224.

[3] 姜紫薇,白顺杰,白婵,等.壳寡糖的生物活性及其在食品添加剂方面的应用进展[J].食品安全质量检测学报,2024,15(3):1-8.

[4] 郝文桐.壳寡糖抗炎结构基础与机制研究[D].青岛:中国科学院大学(中国科学院海洋研究所),2023.

[5] 赵宇珂.基于蛋白质组学研究壳寡糖对酒精损伤海马组织的保护作用[D].无锡:江南大学,2023.

[6] 刘玉峰,徐佳佳,王宗继,等.离子色谱法检测食品中壳寡糖含量的研究[J].食品安全质量检测学报,2019,10(10):2877-2881.

[7] 邵波,陈梅兰,金月珠.离子色谱快速检测壳寡糖含量[J].药物分析杂志,2017,37(11):1973-1977.

[8] 孙莹,柴珑珑,杨吉祥.PMP柱前衍生HPLC法测定壳寡糖中氨基葡萄糖含量[J].现代食品,2024,30(23):199-201+217.

[9] 蒋瑶,黄兰兰,郭思辉,等.HPLC-ELSD法测定壳寡糖酸降解液中氨基葡萄糖含量探索[J].广东职业技术教育与研究,2021(1):182-185.

[10] 钟碧萍,吴晓青,周津,等.柱前衍生化HPLC法分离不同聚合度的壳寡糖[J].生物化工,2019,5(3):16-19.

[11] 杨凡,胡超,胡红青,等.一种定量半胱氨酸、壳寡糖和壳聚糖的紫外分光光度法[J].化学研究与应用,2025,37(3):753-760.

[12] 周卫强,李娟,沈雪梅,等.基于紫外检测器的壳寡糖色谱分析与比较[J].理化检验(化学分册),2021,57(8):698-702.

[13] 王宗继,李进国,张佰帅.壳寡糖分析检测方法的研究进展[J].食品

- 安全质量检测学报, 2019, 10(23): 7887-7892.
- [14] 李允, 秦臻, 张崑, 等. 酶膜耦合法制备高聚合度壳寡糖[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 22-27.
- [15] 张静文, 陈会英, 张久明, 等. 用高分辨液相质谱法测定壳寡糖的聚合度[J]. 化学世界, 2017, 58(10): 600-603.
- [16] 宋卫得, 许美玲, 王志宏, 等. 离子色谱法同时测定啤酒中23种糖、糖醇及醇[J]. 中国酿造, 2020, 39(6): 209-213.
- [17] 朱叶青, 吕娟, 王婷婷, 等. 离子色谱法同时测定蛋白胨中葡萄糖、果糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(14): 4624-4628.
- [18] 陈熠熠, 赵瑜, 庾苏行, 等. 离子色谱法同时测定蜂蜜中的多种糖类物质[J]. 广东化工, 2015, 42(8): 193-194+192.
- [19] 姜振玲, 于卫松, 孙建宏, 等. 离子色谱法同时测定烟草中6种糖[J]. 理化检验(化学分册), 2015, 51(1): 39-42.
- [20] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB5009.8—2023 食品安全国家标准食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [21] 中华人民共和国农业农村部. NY/T3943—2021 水果中葡萄糖、果糖、蔗糖和山梨醇的测定离子色谱法[S]. 北京: 中国农业出版社出版, 2022.
- [22] 中华人民共和国农业农村部. NY/T3902—2021 水果、蔬菜及其制品中阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、果糖、麦芽糖和蔗糖的测定离子色谱法[S]. 北京: 中国农业出版社出版, 2021.
- [23] 中华人民共和国农业农村部. NY/T3163—2017 稻米中可溶性葡萄糖、果糖、蔗糖、棉籽糖和麦芽糖的测定离子色谱法[S]. 北京: 中国农业出版社出版, 2018.
- [24] 国家质量监督检验检疫总局. SN/T4675.6—2016 出口葡萄酒中葡萄糖、果糖和蔗糖的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [25] 中华人民共和国农业农村部. NY/T2889.1—2016 氨基寡糖素第1部分: 氨基寡糖素母药[S]. 北京: 中国农业出版社出版, 2016.
- [26] MARTENS D A, FRANKENBERGER W T Jr. Determination of aminosaccharides by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection[J]. Talanta, 1991, 38(3): 245-251.
- [27] 杨洋. 壳寡糖的酶法制备及其抑菌活性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022.
- [28] 刘晓, 石瑛, 白雪芳, 等. 甲壳低聚糖的酸水解[J]. 中国水产科学, 2003(1): 69-72.

2020—2023年云南省桶装水铜绿假单胞菌污染情况调查与防控措施

张贤娣, 张志广, 王 刚*

(昆明珍茗食品有限责任公司, 云南 昆明 650000)

摘要: 文章通过统计对 2020 年—2023 年云南省各地州 471 批次桶装饮用水监督抽检数据统计分析,发现不合格桶装饮用水中检出铜绿假单胞菌共计 20 批次,检出率为 4.2%,占不合格批次的 71.4%,其中同一批次的 5 份样品中,全部检出铜绿假单胞菌的有 3 个批次,占 20 批次不合格样品的 15%;有部分地州样品甚至仅 1 份样品检出铜绿假单胞菌的占 100%。结合各地州实地调研分析,铜绿假单胞菌检出区域均出现在西双版纳、红河等高温潮湿地区,据此,结合地州气候及桶装饮用水的生产过程重点分析了云南省各地州桶装饮用水中出现铜绿假单胞菌的产生原因,并围绕其产生原因提出了针对性的防控措施,以期为桶装水企业预防铜绿假单胞菌提供科学的、可行的参考建议。

关键词: 桶装饮用水;铜绿假单胞菌;原因分析;防控措施

Statistical Analysis and Prevention and Control Measures of *Pseudomonas Aeruginosa* Detected in Bottled Water in Yunnan Province

ZHANG Xian-di, ZHANG Zhi-guang, WANG Gang*

(Kunming Zhenming Food Co., Ltd., Kunming 650000, China)

Abstract: Through statistical analysis of the supervision and sampling data of 471 batches of bottled drinking water in various prefectures of Yunnan Province from 2020 to 2023, it was found that a total of 20 batches of *Pseudomonas aeruginosa* were detected in unqualified bottled drinking water, with a detection rate of 4.2%, accounting for 71.4% of the unqualified batches, of which 3 batches of 5 samples from the same batch were all detected with *Pseudomonas aeruginosa*, accounting for 15% of the 20 batches of unqualified samples. In some states, 100% of samples were detected with *Pseudomonas aeruginosa*. Combined with the field investigation and analysis of various states, the detection areas of *Pseudomonas aeruginosa* appeared in Xishuangbanna, Honghe and other high temperature and humid prefectures. Hence, the causes of *Pseudomonas aeruginosa* in bottled drinking water in various states of Yunnan Province were analyzed, concerning the climate of the prefecture and the production process of bottled drinking water. Targeted prevention and control measures were put forward in order to provide scientific and feasible reference suggestions for the prevention of *Pseudomonas aeruginosa* in bottled water enterprises.

Key words: bottled drinking water; *pseudomonas aeruginosa*; cause analysis; prevention and control measures

中图分类号: R123.1

文献标志码: A

文章编号: 1007-7871(2025)06-0018-04

水作为生命之源,是维持人体机能正常运转的重要载体。随着现代社会的飞速发展和人民生活水平的不断提

高,饮用水的安全问题越来越受到人们关注,桶装水在这样的历史背景下应运而生。2003 年,桶装水开始走进千家

收稿日期: 2024-11-16

作者简介: 张贤娣(1995-),女,助理工程师,本科,研究方向为食品质量安全。E-mail: 774421386@qq.com

通讯作者: 王 刚(1987-),男,助理研究员,硕士,研究方向为食品质量与安全管理。E-mail: 119333524@qq.com

万户,渐渐与人们的生活密不可分,越来越多的家庭、学校、企业、单位均会选择品牌型桶装饮用水。近年来,从各省监督抽检数据来看,桶装水的质量参差不齐,特别是铜绿假单胞菌检出问题不断凸显,成为公众饮用水卫生的重大隐患^[1~3]。2017年红河哈尼族彝族自治州出现的那一起因饮用带有铜绿假单胞菌的桶装水,造成45个患者腹泻且集体住院^[4]。2021年,在陕西省范围内开展包装饮用水监督抽检277批次,其中,222批次为桶装水,检出铜绿假单胞菌37批次,检出率为16.7%^[5]。2016~2022年,岳阳市共计检测水样485份,其中55份有检出铜绿假单胞菌,检出率11.34%;其中2022年市售饮用水的铜绿假单胞菌污染率最高,为14.58%^[6]。2022年,广西壮族自治区204批次桶装包装饮用水中,有55批次铜绿假单胞菌检出,检出率约为26.96%^[7]。2020年~2022年山东省市场监督管理局组织开展的包装饮用水食品安全监督抽检(省级抽检)情况,分析发现铜绿假单胞菌导致包装饮用水不合格的数量占包装饮用水不合格总数的47.06%^[8]。由此可见,铜绿假单胞菌已成为影响桶装饮品品质的一项重要指标,受到社会各界的广泛关注。

1 铜绿假单胞菌对人体的危害

我国在1994年研究发现瓶装水中含有铜绿假单胞菌(*Pseudomonas Aeruginosa*, PA)。铜绿假单胞菌又称绿脓杆菌,是一种常见的存在水中的条件致病菌。因其生长温度与人们日常生活的温度相近(25℃~42℃)。所以其广泛存在于我们的日常生活中^[9~11]。铜绿假单胞菌尤其对免疫系统不健全或存在免疫缺陷及免疫力较弱的人群造成侵害。如胃肠黏膜有损伤的病人、婴幼儿、老弱病孕人群饮用含铜绿假单胞菌的饮用水会引发腹泻,甚至有些病人会出现发热、肺炎、泌尿系感染、败血症等疾病;大面积烧伤病人感染后出现伤口溃烂,甚至造成死亡;肺部感染者会出现发烧、咳嗽、咳痰甚至气促;泌尿系统感染,可能会出现发热、尿频、尿急、尿痛等。令人担忧的是,铜绿假单胞菌具有很强的耐药性,多种抗生素对它均无法产生有效作用^[12]。随着对铜绿假单胞菌的危害的认识不断深入,自2015年5月24日起正式实施的国家饮用水标准《食品安全国家标准 包装饮用水》(GB 19298—2014)明确规定铜绿假单胞菌是必检项之一,且每250mL水样中铜绿假单胞菌不得检出,要求企业出厂前对每批次成品进行铜绿假单胞菌检测。

2 云南省各地州桶装水中检出铜绿假单胞菌数据分析

随着人们生活质量的提高,桶装水生产行业在云南省各地州迅速扩展,主要以昆明、玉溪、昭通、普洱、西双

版纳、弥勒、文山、楚雄、富源、红河等区域为主,表1、表2统计了近四年云南省各地州桶装饮用水的检出合格率及铜绿假单胞菌的检出情况,见表1。

表1 2020年~2023年云南省桶装水检测合格率数据统计

Table 1 Statistics of the pass rate of bottled water testing in Yunnan Province from 2020 ~ 2023

年份/年	总批次	合格批次	不合格批次	合格率/%	不合格率/%
2020年	59	55	4	93.2	6.8
2021年	125	118	7	94.4	5.6
2022年	145	136	9	93.8	6.2
2023年	142	134	8	94.4	5.6

表2 2020年~2023年云南省桶装水铜绿假单胞菌检出数据统计

Table 2 Statistics of the detection of *Pseudomonas aeruginosa* in bottled water in Yunnan Province from 2020 ~ 2023

年份/年	总批次	铜绿假单胞菌检出 批次	其他项 目检出 批次	铜绿假 单胞菌检 出率/%	其他项 目检出 率/%	主要检出 地州
2020年	59	2	2	50.0	50.0	玉溪
2021年	125	7	0	100.0	0	普洱、西双版纳、红河
2022年	145	6	3	66.7	33.3	文山、昭通、富源、楚雄
2023年	142	5	3	62.5	37.5	昭通、西双版纳、红河

通过数据分析可知:近4年来云南省桶装饮用水中的铜绿假单胞菌均有检出,且相较于其他项目检出情况,铜绿假单胞菌的检出率最高达到了其他项目检出率的3倍,成为云南省桶装饮用水卫生安全控制的关键因素,且铜绿假单胞菌的检出主要分布于西双版纳、红河等地区。

依据原国家食品药品监督管理总局和现国家市场监督管理总局已公布的2016—2019年食品安全监督抽检结果显示:包装饮用水总体不合格率占饮料不合格率的35.75%,以微生物指标不合格率为主,占比77.56%,其中铜绿假单胞菌指标不合格率为72.92%。铜绿假单胞菌检出不合格率夏季最多,秋季次之,春季和冬季最少^[13]。而云南的气候特点之一是区域差异和垂直变化十分明显。这种特点主要是由于云南地处低纬度高海拔地区,地形复杂多样,包括高山、盆地、河谷等多种地貌。因此,不同地区的气候条件存在显著差异。而红河、元江、普洱、西双版纳地区则属于典型的湿热地带,也是桶装饮用水中铜绿假单胞菌检出率较高的地区,由此可知,铜绿假单胞菌的滋生与湿热环境息息相关,桶装饮用水的生产则应该更加关注区域气候变化带来的影响。

3 高温湿热气候铜绿假单胞菌的防控措施

3.1 人员

生产当班组长及质检组长应及时关注、检查生产操作人员状态,发现操作工人存在手部受伤等异常现象时应及时调整岗位,与产品直接接触的岗位不能继续工作,如空桶灯检岗位。

所有入职的新员工在入职上岗前应进行健康体检及岗前培训;培训合格且取得医院健康证明后方可上岗工作。生产企业应建立健康管理制度,生产企业所有工作人员应当每年定期进行一次健康检查。

企业应定期为员工提供技能培训,强化员工的质量安全培训与考核,重点培训微生物基础知识、个人卫生与洁净区行为规范、关键设备安全操作规程(水处理、灌装、CIP)、CCP 监控要点(臭氧、灌装环境、密封)、质量安全、空桶灯检等相关知识,不断提高操作人员的各项素养,保证生产人员数量能够满足各生产岗位工序的需要。

生产企业要配备具有检验能力的检验员且检验员为专职,确保每一批产品出厂前铜绿假单胞菌和其他微生物项目检测合格。

3.2 设备设施

生产的设备尽量选用自动化设备,减少人员与设备的直接接触,如外洗机、高压内洗机、内洗机、灌装机。

内洗的工艺流程及清洗消毒工位应采用自动化,确保每只桶先清洗后消毒的工艺能够严格落实到位;将清洗消毒工艺设置为 CCP 实时监控,涵盖清洗消毒液的浓度、温度、压力、冲洗时间。其中,内洗机的清洗消毒工位应不少于 10 个(不含沥干工位),以确保清洗消毒的充分性与有效性。

避免生产过程的设备、水管等贮存设施漏水。设备设施的设计要合理、避免形成卫生设备死角,不便于清洗,形成微生物生长繁殖区域。

加强生产过程中设备设施的卫生维护,制定生产设备设施的卫生工艺周期,定期清洁;定期对灌装防护区域、清洗消毒后的包装容器等进行卫生清洁以及微生物项目监控。

3.3 原材料及包材材料

按照水源保护标准,建立水源三级保护区;未授权的人员不可以进入;生产的水源需要每天进行微生物检测监控。在每一年的丰水期和枯水期,水源要送一次外检,夏秋季节应增加监控频次。

为从源头确保 PC 桶产品质量,企业可采取自行购买原料自行吹瓶的管控模式,实现对原料品质与加工流程的双重把控;在制桶环节,优先选用“注拉吹”工艺进行生产;在生产制造 PC 空桶环节制定严格的管控标准,确保

PC 空桶成品满足使用标准。

在 PC 桶验收环节,生产企业需要建立严格规范的原辅料来料验收标准(IQC),与产品直接接触的包材,建议每批次进行微生物检测,合格后方可采用;其次原材料检验员和库管员要加强原材料相关知识的学习,且严格规范原辅料的储存和卫生管理。定期对桶和盖子进行微生物监测。每批空桶需严格按照厂内原材料验收标准对其进行抗冲击强度、密封性、跌落等检测项目,并对 PC 桶的使用年限开展持续监测;制定 PC 桶的报废标准,对于达到报废标准的 PC 桶,必须进行切割等破坏性处理,严防其流入回收市场后被违规用于食品包装,从源头规避食品安全隐患。

PC 桶回收使用应做到全链条管控,如对客户及消费者培养“爱惜空桶、妥善保存的习惯”;配送环节加强对空桶的防护,避免露天存放或长时间积存而产生绿藻问题;生产基地应做到对回收桶进行一看二闻三验收管理动作。

3.4 工艺工序

规范水处理过滤设备的设计和安装,科学规范的设计和安装工艺设备管道,避免形成死角。严格规范水箱、多介质罐、活性炭罐、输水管道的清洗消毒制度,且定期对这些设备进行清洗和 CIP。保证不同用途和不同水质水(如生产用源水、清洗消毒用水、食品加工用水)以完全分离的管路输送,避免交叉污染,并定期清洁。

严格规范水源地防护制度,对取水系统进行封闭管理,企业周排查制度需要监控水源地防护情况。

水处理设备安装建议自带清洗消毒功能,如蒸汽消毒和反洗。水处理过滤膜能进行 CIP 清洗,且安装必要的监控仪器仪表等进行监控。

质量管控中将菌落总数、大肠菌群、铜绿假单胞菌作为过程控制及出厂检验的必备指标,微生物检测时建议优先用滤膜法;严格执行保质期实验,严格按照每批产品留样及厂外返厂微生物实验观察制度,筑牢微生物质量安全防线。

空桶、半成品、成品灯检岗位应设置灯检屏,且亮度可调以适应环境照明的变化。灯检人员每 30min 轮休一次,确保污染桶不会流入下一工序。

灌装环节采用自动灌装模式,定期对灌装间及灌装设备表面实施泡沫清洗以实现微生物管控;灌装工艺优先选用非接触式定量灌装方案,既能避免灌装头与桶体直接接触,又可减少溢流损耗;压盖工序宜采用渐进式(链条加气锤)压盖方式,防止压盖过程中桶内形成负压,从而规避因倒吸空气引发的微生物污染风险。

3.5 环境

生产企业应建立严格规范的生产现场环境卫生方面的管理制度,尽量保障环境如温度、湿度、光线等基础条件满足生产要求,加强生产环境中温湿度的管控,尽量减少

冷凝水的产生,减少霉菌和微生物的滋生。

生产企业应当按照要求,认真做好铜绿假单胞菌的出厂检验。季节变化期应加强水质检测频次,对于发现问题的产品,杜绝流入市场,认真做好日管控、周排查、月调度风险排查、整改工作。每季度定期将水样品送至专业检测机构进行检测。

物流储运环节加强管理。企业可根据实际情况建立自己的物流运输车辆管理,实行从工厂到配送商的集中式统一配送模式;确保配送、回收环节全供应链的食品安全可控。在运输过程中,企业需加强对运输车辆的卫生管控,严格按照车辆卫生管理制度进行装车。包装饮用水在流通环节避免存放时间过长、确保存放环境干燥整洁。同时,注意外包装清洁、送水员提手等工具,防止因运输过程桶口漏水导致的污染。

针对云南省各地州气候差异,提出两点建议如下:

(1)针对气候差异不大的地州,在人机料法环等五因素规范管理的前提下,还需要留意铜绿假单胞菌检出不合格的季节,特别是夏季。

(2)针对气候条件存在显著差异的地州,如红河、元江、普洱、西双版纳等典型的湿热气候,则应该更加关注该区域一年四季等气候变化带来的影响。严格规范管理生产车间的温湿度,如洁净区湿度控制,尽量减少地上有积水,尽量使地面保持干燥的状态;针对湿度大的区域,建议增加除湿机、空调,减少冷凝水的产生;同时严格做好沉降菌和霉菌的监测。

4 结论

随着技术的发展及社会的关注度不断提高,基于近几年云南省桶装饮用水中铜绿假单胞菌检出数据,桶装水中铜绿假单胞菌检测整体合格率能够得到较好的控制。但深究铜绿假单胞菌污染产生原因,除生产过程中的管控措施

不力、交叉污染等外,区域气候也是造成铜绿假单胞菌滋生的关键因素所在,是桶装饮用水生产厂家不可忽视的主要环节之一。建议云南省各地州桶装水生产企业根据季节和当地气候针对性的开展铜绿假单胞菌的防控活动。

参考文献:

- [1] 杨穗珊,朱梦,常秀亭,等.海南省桶装饮用水中铜绿假单胞菌耐药性、T3SS毒力基因分布与同源性分析[J].中国热带医学,2023,23(12):1307-1312.
- [2] 傅志丰,周鹤,朱熠,等.基于AHP层次分析法的九江市桶装水铜绿假单胞菌污染的影响因素分析[J].食品安全导刊,2023,8(上):115-118.
- [3] 支晓红.包装饮用水中铜绿假单胞菌的控制措施及检测方法[J].食品安全导刊,2023(9):46-48.
- [4] 牟建春,钱帅,倪文玲,等.一起铜绿假单胞菌污染桶装水引起的感染性腹泻暴发疫情[J].医药前沿,2018(6):238-240.
- [5] 吴小勇,毋杉,李小鹏,等.包装饮用水铜绿假单胞菌不合格问题特点及原因分析[J].现代食品,2023(4):133-136.
- [6] 周瑚,周佳,周欣欣,等.2016-2022年岳阳市售饮用水铜绿假单胞菌污染情况调查[J].轻工科技,2024(1):24-27.
- [7] 曹铁群,吕仕军,缪璐,等.2022年广西包装饮用水桶装水污染情况分析[J].实验室检测,2024(1):30-34.
- [8] 邓波,魏程程,王勇,等.浅谈包装饮用水中铜绿假单胞菌的防控——以山东省级监督抽检情况为例[J].中国标准化,2023(20):167-171.
- [9] 陈水仙,马群飞,金乐君.桶装天然矿泉水铜绿假单胞菌污染原因调查[J].海峡预防医学杂志,2004(2):64-65.
- [10] 陈倩,陆峥,杨玉芝.北京市瓶装矿泉水铜绿假单胞菌污染调查[J].中国食品卫生杂志,1995(4):38.
- [11] 马群飞.瓶装饮用水铜绿假单胞菌污染研究进展[J].微生物学免疫学进展,2003(2):95-98.
- [12] 李杜娟.桶装水中检出铜绿假单胞菌的原因及防控措施[J].河南科技,2020(34):90-93.
- [13] 王珍,王川丕,夏慧丽,等.2016-2019年我国包装饮用水中铜绿假单胞菌的抽检分析[J].生物加工过程,2023,21(3):346-354.

黄芪党参饮料工艺优化及抗氧化性研究

朱 玲

(郑州科技学院食品科学与工程学院, 河南 郑州 450064)

摘要: 为优化黄芪党参饮料配方工艺,以黄芪、党参为主要原料,通过单因素实验和响应面试验,对黄芪和党参浸提工艺、产品配方工艺及抗氧化特性进行研究。结果表明:黄芪最佳浸提工艺条件为料水比 1:30,温度 60℃,时间 1.5h,此条件下,黄芪浸提液可溶性固形物含量为 1.84%,透光率为 60.79%。党参最佳浸提工艺条件为料水比 1:20,温度 80℃,时间 2h,此条件下,党参浸提液可溶性固形物含量为 3.46%,透光率为 66.01%。黄芪党参饮料最佳配方工艺为:以水质量为基准,添加黄芪浸提液 51%,党参浸提液 71%,白砂糖 3%,柠檬酸 0.04%,羧甲基纤维素钠 0.1%。在此条件下,可溶性固形物含量为 5.05%,pH 为 4.31,总黄酮含量为 105.30mg/L,总多酚含量为 362.25mg/L。黄芪党参饮料对 DPPH 清除率为 74.78%,其 IC_{50} 值为 0.203mg/mL,ABTS 清除率为 69.79%。

关键词: 黄芪;党参;工艺优化;响应面;抗氧化性

Process Optimization and Antioxidant Properties of Astragalus and Codonopsis Pilosula Drink

ZHU Ling

(School of Food Science and Engineering, Zhengzhou University of Science and Technology, Zhengzhou 450064, China)

Abstract: In order to optimize the formula technology of Astragalus membranaceus and Codonopsis pilosula beverage, the extraction technology, product formula technology and antioxidant characteristics of Astragalus membranaceus and Codonopsis pilosula were studied through single factor experiment and response surface experiment. The optimum extraction conditions of Astragalus membranaceus were as follows: the ratio of material to water was 1:30, the temperature was 60℃ and the time was 1.5h. Under these conditions, the soluble solids content of Astragalus extract was 1.84% and the light transmittance was 60.79%. The optimum extraction conditions of Codonopsis pilosula were as follows: the ratio of material to water was 1:20, the temperature was 80℃ and the time was 2h. Under these conditions, the soluble solid content of codonopsis pilosula was 3.46% and the light transmittance was 66.01%. The optimum formula of Astragalus membranaceus and Codonopsis pilosula drink is as follows: Based on the water quantity, 51% of Astragalus extract, 71% of Codonopsis pilosula extract, 3% of white sugar, 0.04% of citric acid and 0.1% of sodium carboxymethyl cellulose were added. Under these conditions, the sensory score of the product was 93, the soluble solids content was 5.05%, the pH was 4.31, the total flavonoids content was 105.30mg/L, and the total polyphenols content was 362.25mg/L. The DPPH clearance rate of Astragalus membranaceus and Codonopsis pilosula drink was 74.78%, its IC_{50} value was 0.203mg/mL, and the clearance rate of ABTS was 69.79%.

Key words: Astragalus; codonopsis pilosula; process optimization; response surface; antioxidant properties

中图分类号: TS27

文献标志码: A

文章编号: 1007-7871(2025)06-0022-11

黄芪为多年生草本植物豆科膜荚黄芪和蒙古黄芪的干燥根,又名黄耆、绵芪。黄芪所含的成分主要为黄芪皂苷类、黄芪多糖类和黄芪黄酮类等,除此之外还含有氨基酸

类、叶酸、亚麻酸、胆碱、微量元素等成分^[1]。黄芪的活性成分对于增强人体免疫力、抗疲劳、调节内分泌等方面具有显著功效^[2,3]。党参为桔梗科植物党参、素花党参或川

收稿日期: 2024-08-22

项目基金: 河南省大学生创新创业训练计划项目(S202112746031)

作者简介: 朱 玲(1980-),女,讲师,硕士,研究方向为谷物食品深加工及其功能化、发酵乳制品开发。E-mail: zhuling704@126.com

党参的干燥根。党参所含成分比较复杂,为苯丙素类、糖及糖苷类、炔类、黄酮类、挥发油,微量元素铁、铜、锌等成分^[4-6]。党参在调节血脂、降低血糖、维持细胞免疫平衡等方面发挥着重要作用^[7]。

近些年,黄芪和党参的营养保健作用受到研究者的关注,李洪森等^[8]通过对黄芪多糖的提取,研究黄芪多糖在保健饮品中的应用。陈壁娜^[9]对黄芪的提取方法和对有效成分及抗氧化活性进行研究,发现黄芪提取方法对黄芪的有效成分和抗氧化活性有显著影响。何艳青等^[10]对不同来源的黄芪进行有效成分分析,研究发现不同来源的黄芪均具有抗疲劳作用。鲍宁等^[11]通过对黄芪和莪术的研究,发现黄芪黄酮、黄芪多糖、莪术醇等有效成分对抗肝癌、抗肿瘤具有效果。姜梦雨等^[12]等对黄芪浸提物进行研究,发现黄芪浸提物中多糖、黄酮和皂苷类成分对糖尿病脑损伤具有改善作用。Cheng G Y 等^[13]通过从党参中分离出糖苷类成分,对成分进行了研究。罗春苗^[14]等通过对黄芪-党参组合在治疗胃癌方面展现了显著的分子生物学效果,为党参的药理作用和临床应用提供了理论基础。Ma K 等^[15]通过以党参多糖对非酒精性脂肪肝病的治疗作用进行研究。叶英等^[16]通过对不同产地、品种的党参进行多糖的研究,发现均具有抗氧化性的功能。

目前,以黄芪或党参为主要原料的饮料在市场上的开发应用还较为少见,对黄芪和党参的抗氧化特性研究目前也较少。本研究通过浸提工艺的研究、单因素实验和响应面试验的研究,确定黄芪党参饮料最佳配方工艺,测定其总黄酮、总多酚的含量及抗氧化特性,为开发以黄芪和党参为主要功能配料的饮料提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黄芪 内蒙古源态生种养殖专业合作社;党参 焦作德好耀农业科技有限公司;白砂糖 云南四季源农业科技有限公司;食品级纤维素酶、食品级羧甲基纤维素钠 南宁庞博生物工程有限公司;食品级柠檬酸 山东柠檬生化有限公司;纯净水 自制;氢氧化钠 天津市凯通化学试剂有限公司;无水乙醇 天津市富宇精细化工有限公司;芦丁(生物试剂) 上海源叶生物科技有限公司;硝酸铝 天津市福晨化学试剂厂;无水碳酸钠 郑州派尼化学试剂厂;亚硝酸钠(基准试剂) 天津市科密欧化学试剂有限公司;L(+)-抗坏血酸 西陇科学股份有限公司;福林酚(生物试剂) 上海麦克林生化科技有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二胺盐(2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS) 合肥巴斯夫生物科技有限公司。以上试剂未标级

别者均为分析纯。

1.2 仪器与设备

JA1203-B 型电子分析天平 上海浦春试验设备有限公司;TDL-50B 台式离心机 上海安亭科学仪器厂;UV-4800H 型紫外可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;电热恒温水浴锅 北京市永光明医疗仪器厂;pH-3C 型 pH 计 上海仪电科学仪器股份有限公司;小型超微粉碎机 温州顶历医疗机械有限公司;阿贝折光仪 上海政鸿实业有限公司;LDZX-50KBS 型立式压力蒸汽灭菌锅 上海申安医疗器械厂。

1.3 方法

1.3.1 黄芪、党参浸提工艺流程及操作要点

1.3.1.1 黄芪、党参浸提工艺流程

黄芪→清洗→烘干→粉碎→浸提→澄清过滤→黄芪浸提液

党参→清洗→烘干→粉碎→酶解后浸提→澄清过滤→党参浸提液

1.3.1.2 原料预处理

挑选无杂质、无霉变的黄芪或党参进行表面清洗,清除表面污渍后放入真空干燥箱,烘干后进行粉碎^[17],得到黄芪、党参原料备用。

1.3.1.3 浸提

黄芪浸提时通过热水浸提法,在不同料水比、不同温度、不同时间下分别浸提,以可溶性固形物含量和澄清度为评价指标得出较理想的黄芪浸提液;党参浸提时通过酶解、热水浸提法,在不同料水比、不同温度、不同时间下分别浸提,以可溶性固形物含量和澄清度为评价指标得出较理想的党参浸提液添加量。

1.3.1.4 澄清过滤

浸提结束分别自然放置澄清至室温后过滤得出黄芪、党参浸提液^[18]。

1.3.2 黄芪党参饮料工艺流程及操作要点

1.3.2.1 黄芪党参饮料工艺流程

白砂糖、柠檬酸、羧甲基纤维素钠
↓
黄芪浸提液、党参浸提液→调配混合→均质→杀菌→冷却→灌装→成品

1.3.2.2 调配

以水质量为基准,分别加入适量的黄芪浸提液、党参浸提液、白砂糖、柠檬酸和羧甲基纤维素钠进行调配。

1.3.2.3 均质

配置完成后在 15MPa、65℃条件下均质,循环时间 5min^[19],使饮料中的各种营养成分充分混合均匀,防止产品浑浊产生分层沉淀。

1.3.2.4 杀菌

均质后,将均质液灌装于灭菌后的容器中,封口后在85℃下灭菌30min,冷却至室温即为成品^[20]。

1.3.3 黄芪浸提条件的确定

采用单因素轮换法,分别设置料水比(1:10、1:20、1:30、1:40、1:50)、浸提温度(20、40、60、80、100℃)、浸提时间(0.5、1、1.5、2、2.5h),以透光率和可溶性固形物含量为评价指标。

1.3.4 党参浸提条件的确定

参考曾琦琦^[21]纤维素酶辅助热浸提工艺提取党参汁方法,酶解条件为酶解时间2h,酶解温度50℃,酶添加量2.5%。酶解后,采用单因素轮换法,分别设置料水比(1:10、1:20、1:30、1:40、1:50)、浸提温度(20、40、60、80、100℃)、浸提时间(0.5、1、1.5、2、2.5h),以透光率和可溶性固形物含量为评价指标。

1.3.5 黄芪党参饮料配方工艺单因素实验设计

以水质量为基准,初始原料添加量,按照党参浸提液25%,白砂糖4%,柠檬酸0.04%,羧甲基纤维素钠0.10%^[22]。采用单因素轮换法,分别设置黄芪浸提液添加量(10%、30%、50%、70%、90%)、党参浸提液添加量(10%、30%、50%、70%、90%)、白砂糖添加量(1%、2%、3%、4%、5%)、柠檬酸添加量(0.02%、0.04%、0.06%、0.08%、1.00%)、羧甲基纤维素钠添加量(0.05%、0.1%、0.15%、0.2%、0.25%),以感官评分和可溶性固形物含量为评价指标。

1.3.6 Box-Behnken 响应面试验设计

在单因素实验和方差分析的基础上,选择对产品品质影响程度较高的四个因素进行Box-Behnken响应面试验设计,以感官评分为响应值,进行四因素三水平响应面试验设计,并进行回归模型方差分析和响应面3D图分析。设计因素与水平如表1所示。

表1 Bx-Behnken 响应面优化试验设计因素与水平表

Table 1 Bx-Behnken response surface optimisation experimental design factors and levels table

	A	B	C	D
水平	黄芪浸提液的添加量/%	党参浸提液的添加量/%	白砂糖的添加量/%	柠檬酸的添加量/%
-1	40	60	2	0.02
0	50	70	3	0.04
1	60	80	4	0.06

1.3.7 感官评价标准

邀请10位食品相关专业的人,对产品的色泽、气味、滋味和组织状态4个方面对黄芪党参饮料进行评价得分,总分为100分,结果取平均值,感官评价标准如表2所示^[23]。

表2 黄芪党参饮料感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standard of astragalus and codonopsis pilosula drink

项目	评价标准	评价得分/分
色泽 (10分)	呈淡黄色,透亮,有光泽	8~10
	呈乳黄色,透亮度稍差	4~7
	呈淡淡的乳黄色,颜色暗淡或呈现其他颜色	1~3
气味 (20分)	具有浓郁的黄芪、党参气味	14~20
	具有淡淡的黄芪、党参气味	7~13
	无黄芪、党参气味	1~6
滋味 (30分)	酸甜适中,口感清爽	21~30
	酸甜不适中	11~20
	口感苦涩、浓稠或其他异味	1~10
组织	呈稳定均匀的状态,底部无沉淀	31~40
状态	呈稳定均匀的状态,底部有少量沉淀	15~30
(40分)	体系不均匀,出现絮凝现象,底部有较多沉淀	1~14

1.3.8 理化指标检测

黄芪党参饮料中,可溶性固形物含量的测定方法参考《饮料通用分析方法》(GB/T 12143—2008)^[24];透光率是评价饮料澄清度的重要指标之一,澄清度的测定参考苏秀芳、程水明等的方法^[25,26];pH的测定方法采用pH-3C型pH计,进行校准后直接测量。

1.3.9 抗氧化特性及总黄酮、总多酚含量的测定

1.3.9.1 抗氧化特性的测定方法

黄芪党参饮料抗氧化特性的检测方法采用DPPH自由基清除率测定法、ABTS自由基清除率测定法。DPPH清除率测定法参考贾庆超等^[27]的方法加以修改。于517nm处分别测定溶液吸光值,以VC溶液的DPPH清除率作为阳性对照。结果按照式1计算DPPH清除率,并参考赵斌等^[28]的IC₅₀的计算方法,采用SPSS软件进行数据进行概率分析,得到其IC₅₀值。

$$\text{DPPH 自由基清除率} = (1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}) \times 100\% \quad \text{式 1}$$

式中:

A₀—DPPH溶液+无水乙醇的吸光值

A₁—DPPH溶液+样液的吸光值;

A₂—无水乙醇+样液的吸光值。

ABTS清除率测定法参考闫世芳等^[29]的方法。于波长734nm处测定溶液吸光值,重复测定三次,结果取平均值。按照式2计算ABTS清除率:

$$\text{ABTS 自由基清除率} = (1 - \frac{A_4 - A_5}{A_3}) \times 100\% \quad \text{式 2}$$

式中:

A₃—去离子水+ABTS工作液的吸光值;

A₄—样液+ABTS工作液的吸光值;

A₅—去离子水+样液的吸光值。

1.3.9.2 总黄酮、总多酚含量的测定

黄芪党参饮料总黄酮和总多酚含量的测定参考胡佳慧等^[30]的方法,总黄酮含量的测定采用比色法,在510nm下测定溶液吸光值,并绘制标准曲线,利用标准曲线计算出总黄酮含量。总多酚的测定采用福林酚法,在760nm波长下测吸光值并绘制标准曲线,利用标准曲线计算出总多酚含量。

1.3.10 微生物指标测定

参照《食品安全国家标准 菌落总数检验》(GB4789.2—2022)测定菌落总数^[31];参照《食品安全国家标准 大肠菌群计数检验》(GB 4789.3—2016)测定大肠菌群^[32]。

1.3.11 数据处理

利用Origin 2018 和 IBM SPSS Statistics 21 软件对数据进行处理,用Design-Expert.V8.0.6.1 软件对产品配方工艺进行优化设计。

2 结果与分析

2.1 黄芪、党参浸提工艺单因素实验结果与分析

2.1.1 黄芪浸提工艺结果分析

2.1.1.1 料水比对浸提效果的影响

透光率指标反应饮料的澄清度,料水比对黄芪浸提效果的影响如图1所示。

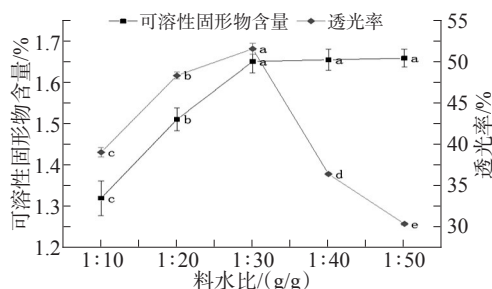


图1 料水比对黄芪浸提效果的影响

Fig.1 Influence of material-water ratio on the extraction effect of astragalus membranaceus

由图1可知,料水比在1:10~1:50范围内,对透光率影响显著($p < 0.05$),料水比在1:10~1:50范围内,对可溶性固形物含量影响显著($p < 0.05$),随料水比不断减小,透光率呈先上升后降低趋势,可溶性固形物含量呈先上升后平缓趋势。当料水比1:10~1:30变化时,浸提液由浑浊逐渐澄清,透光率逐步上升,可溶性固形物含量随料水比减小不断增加,可溶性物质溶出逐渐增多。当料水比1:30~1:50时,随着水添加量的增加,黄芪与水充分接触,一部分不溶物溶出,浸提液由澄清又逐渐浑浊,透光率下降,可溶性固形物溶出趋于平缓。当料水比为1:30时,透光率和可溶性固形物含量分别为51.53%和1.65%。因此,

黄芪较佳料水比为1:30。

2.1.1.2 浸提温度对浸提效果的影响

浸提温度对黄芪浸提效果的影响如图2所示。

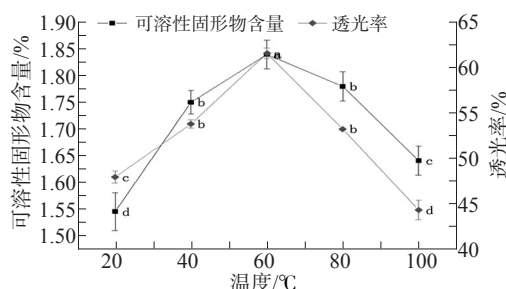


图2 浸提温度对黄芪浸提效果的影响

Fig.2 Influence of extracting temperature on the extracting effect of astragalus membranaceus

由图2可知,浸提温度对透光率和可溶性固形物含量影响显著($p < 0.05$),随浸提温度不断升高,透光率和可溶性固形物含量呈先上升后下降趋势。当浸提温度低于60°C,浸提液随浸提温度升高逐渐澄清,透光率上升,可溶性固形物含量随浸提温度升高而增加。当浸提温度高于60°C,随浸提温度不断升高,黄芪组织结构被破坏,不溶性物质溶出增加,透光率下降,黄芪多糖与不溶性物质中的蛋白质结合生成复合凝聚物,使可溶性固形物含量下降^[33]。当浸提温度为60°C时,透光率和可溶性固形物分别为61.61%和1.84%。因此,黄芪较佳浸提温度为60°C。

2.1.1.3 浸提时间对浸提工艺效果的影响

浸提时间对黄芪浸提效果的影响如图3所示。

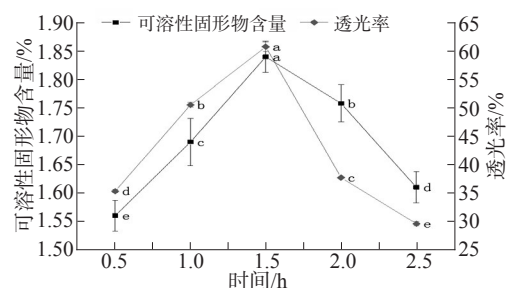


图3 浸提时间对黄芪浸提效果的影响

Fig.3 Influence of extraction time on the extraction effect of astragalus membranaceus

由图3可知,浸提时间对透光率和可溶性固形物含量影响显著($p < 0.05$),随浸提时间不断增加,透光率和可溶性固形物含量呈先上升后下降趋势。当浸提时间低于1.5h时,浸提液随浸提时间增加透光率上升,可溶性固形物含量随浸提时间增大。当浸提时间高于1.5h时,随浸提时间不断增加,黄芪组织结构被破坏,不溶性物质溶出增加,

透光率下降, 黄芪多糖与不溶性物质中的蛋白质结合生成复合凝聚物, 可溶性固形物含量下降。当浸提时间为 1.5h 时, 透光率和可溶性固形物分别为 60.79% 和 1.84%。因此, 黄芪较理想浸提时间为 1.5h。

2.1.2 党参浸提工艺的结果分析

2.1.2.1 料水比对浸提效果的影响

料水比对党参浸提效果的影响如图 4 所示。

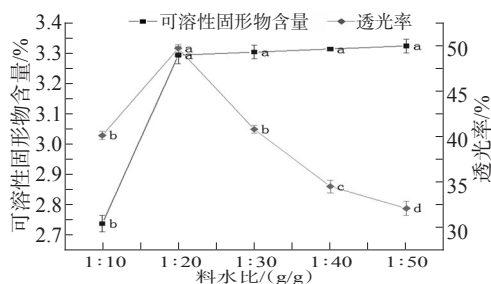


图 4 料水比对党参浸提效果的影响

Fig.4 Influence of material-water ratio on the extraction effect of codonopsis pilosula

由图 4 可知, 料水比在 1:10~1:50 范围内, 对透光率影响显著 ($p < 0.05$), 料水比在 1:10~1:20 范围内, 对可溶性固形物含量影响显著 ($p < 0.05$)。随料水比不断减小, 透光率呈先上升后降低趋势, 可溶性固形物含量呈先上升后平缓趋势。当料水比大于 1:20 时, 浸提液由浑浊逐渐变得澄清, 透光率上升, 可溶性固形物含量随料水比减小逐渐增加。当料水比小于 1:20 时, 随着水的增加, 党参与水接触充分, 一部分不溶性物质溶出, 浸提液由澄清逐渐变浑浊, 透光率下降, 可溶性固形物浸提基本完全后, 可溶性固形物含量趋于平缓。当料水比为 1:20 时, 透光率和可溶性固形物含量分别为 49.58% 和 3.29%。因此, 党参较佳料水比为 1:20。

2.1.2.2 浸提温度对浸提工艺的影响

浸提温度对党参浸提效果的影响如图 5 所示。

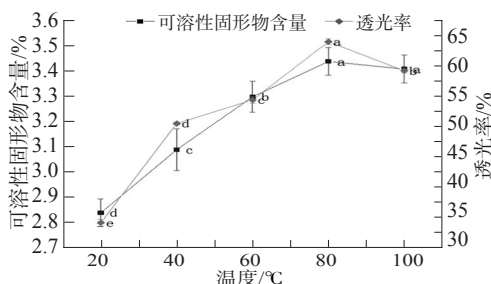


图 5 浸提温度对党参浸提效果的影响

Fig.5 Influence of extraction temperature on the extraction effect of codonopsis pilosula

由图 5 可知, 浸提温度对透光率和可溶性固形物含量影响显著 ($p < 0.05$), 随浸提温度不断升高, 透光率和可溶性固形物含量呈先上升后下降趋势。当浸提温度低于 80°C, 澄清度随浸提温度升高逐渐澄清, 透光率上升, 可溶性固形物含量随浸提温度升高增加。当浸提温度高于 80°C, 随温度不断升高, 浸提液由澄清变浑浊, 透光率下降, 主要是因为随着温度升高, 党参组织结构被破坏, 浸提液中不溶性物质增加, 导致透光率下降, 党参多糖与不溶性物质中的蛋白质结合生成复合凝聚物, 可溶性固形物含量下降。当浸提温度为 80°C 时, 透光率和可溶性固形物分别为 64.10% 和 3.44%。因此, 党参较佳浸提温度为 80°C。

2.1.2.3 浸提时间对浸提效果的影响结果

浸提时间对党参浸提效果的影响如图 6 所示。

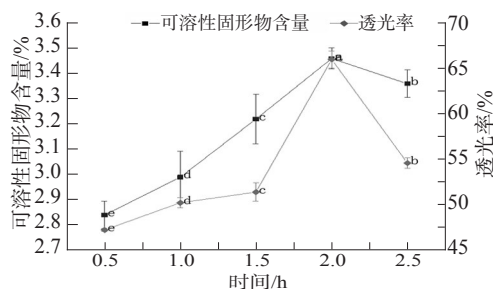


图 6 浸提时间对党参浸提效果的影响

Fig.6 Influence of extraction time on the extraction effect of codonopsis pilosula

由图 6 可知, 浸提时间对透光率和可溶性固形物含量影响显著 ($p < 0.05$), 随浸提时间不断增加, 透光率和可溶性固形物含量呈先上升后下降趋势。当浸提时间低于 2h 时, 浸提液随浸提时间增加逐渐澄清, 透光率上升, 可溶性固形物含量随浸提时间增加, 溶出物质增多。当浸提时间高于 2h 时, 随着浸提时间增加, 党参组织结构被破坏, 不溶性物质溶出率增加, 浸提液由澄清又逐渐变浑浊, 透光率下降, 党参多糖与不溶性物质中的蛋白质结合生成复合凝聚物, 可溶性固形物含量下降。当浸提时间为 2h 时, 透光率和可溶性固形物含量分别为 66.01% 和 3.46%。因此, 党参较佳浸提时间为 2h。

2.2 黄芪党参饮料单因素实验结果分析

2.2.1 黄芪浸提液的添加量对产品品质的影响

黄芪浸提液的添加量对产品品质的影响如图 7 所示。

由图 7 可知, 黄芪浸提液的添加量对感官评分和可溶性固形物含量影响显著 ($p < 0.05$), 随黄芪浸提液的添加量不断增加, 感官评分呈先上升后下降趋势, 可溶性固形物含量呈上升趋势。当黄芪浸提液的添加量小于 50% 时, 黄芪风味淡薄, 党参风味突出, 感官评分低。当黄芪浸提液的添加量大于 50% 时, 党参风味不明显, 随着黄芪添加量

增加,苦涩味逐渐变重,感官评分低。当黄芪浸提液的添加量为50%时,苦涩味不明显,同时具有黄芪和党参风味,感官评分高^[34],为80.2分。因此,黄芪浸提液较理想添加量为50%。

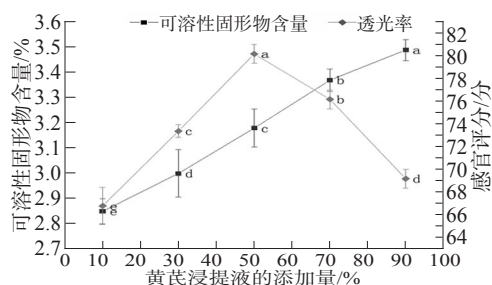


图7 黄芪浸提液的添加量对产品品质的影响

Fig.7 Influence of the addition level of astragalus root extract on product quality.

2.2.2 党参浸提液的添加量对产品品质的影响

党参浸提液的添加量对产品品质的影响如图8所示。

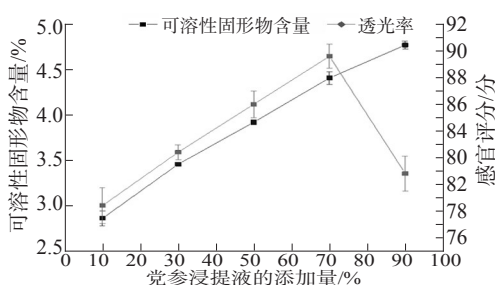


图8 党参浸提液的添加量对产品品质的影响

Fig.8 Influence of the additive amount of codonopsis extract on the quality of products

由图8可知,党参浸提液的添加量对感官评分和可溶性固形物含量影响显著($p < 0.05$),随党参浸提液的添加量不断增加,感官评分呈先上升后下降趋势,可溶性固形物含量呈上升趋势。当党参浸提液的添加量小于70%时,党参的风味过淡,黄芪的风味突出,具有苦涩味,感官评分低。当党参浸提液的添加量大于70%时,改善了黄芪苦涩味,但黄芪口味不明显,感官评分低。当党参浸提液的添加量为70%时,口感适中,具有黄芪和党参风味,感官评分高,为89.6分。因此,党参浸提液较理想添加量为70%。

2.2.3 白砂糖的添加量对产品品质的影响

白砂糖的添加量对产品品质的影响如图9所示。

由图9可知,白砂糖的添加量对感官评分和可溶性固形物含量影响显著($p < 0.05$),随白砂糖的添加量不断增加,感官评分呈先上升后下降趋势,可溶性固形物含量呈上升趋势。当白砂糖的添加量小于3%时,甜度有所降

低,口感度较差,感官评分低。当白砂糖的添加量大于3%时,甜度过高,口感不适,感官评分低。当白砂糖的添加量为3%时,甜度适中,口感较好,感官评分最高,为90.2分。因此,白砂糖较理想添加量为3%。

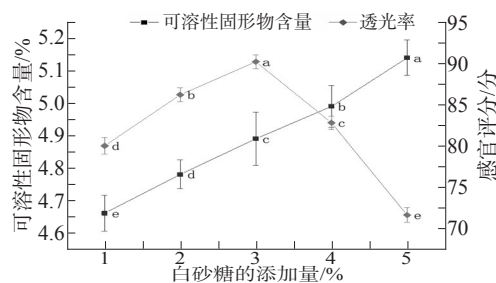


图9 白砂糖的添加量对产品品质的影响

Fig.9 Influence of white sugar addition on product quality

2.2.4 柠檬酸的添加量对产品品质的影响

柠檬酸的添加量对产品品质的影响如图10所示。

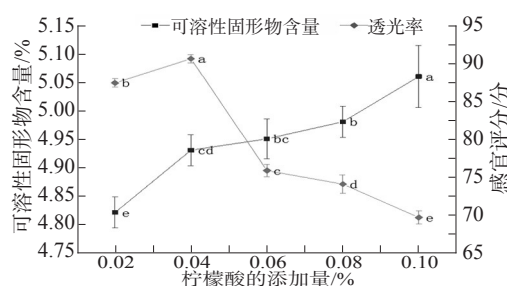


图10 柠檬酸的添加量对产品品质的影响

Fig.10 Influence of citric acid addition on product quality

由图10可知,柠檬酸的添加量对感官评分和可溶性固形物含量影响显著($p < 0.05$),随柠檬酸的添加量不断增加,感官评分呈先上升后下降趋势,可溶性固形物含量呈上升趋势。当柠檬酸的添加量小于0.04%时,酸度略显不足,口感较差,感官评分低。当柠檬酸的添加量大于0.04%时,酸度过高造成酸味强烈,感官评分低。当柠檬酸的添加量为0.04%时,酸甜度适中,口感较好,感官评分最高,为90.6分。因此,柠檬酸较理想添加量为0.04%。

2.2.5 羧甲基纤维素钠的添加量对产品品质的影响

羧甲基纤维素钠的添加量对产品品质的影响如图11所示。

由图11可知,羧甲基纤维素钠的添加量对感官评分和可溶性固形物含量影响显著($p < 0.05$),随羧甲基纤维素钠的添加量不断增加,感官评分呈先上升后下降趋势,可溶性固形物含量呈上升趋势。当羧甲基纤维素钠的添加量小于0.1%时,组织状态稀疏,口感较差,感官评分低。当羧甲基纤维素钠的添加量大于0.1%时,添加量越多组织状态变得越浓稠,口感变差,感官评分低。当羧甲基纤维素钠

的添加量为 0.1%，组织状态良好，口感细腻，感官评分最高，为 91 分。因此，羧甲基纤维素钠较理想添加量为 0.1%。

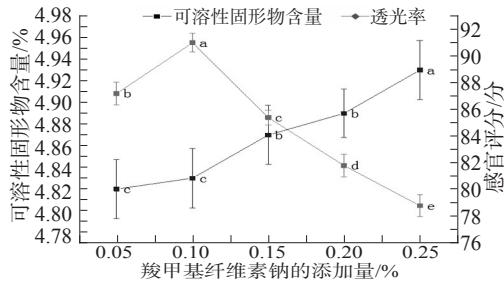


图 11 羧甲基纤维素钠的添加量对产品品质的影响

Fig.11 Influence of sodium carboxymethyl cellulose addition on product quality

2.3 黄芪党参饮料配方工艺优化响应面试验结果与分析

2.3.1 Box-Behnken 响应面试验结果与方差分析

根据产品配方工艺的单因素实验结果，以自变量为黄芪浸提液的添加量(A)、党参浸提液的添加量(B)、白砂糖的添加量(C)和柠檬酸的添加量(D)四个因素，和以响应值为感官评分(Y)，进行 Box-Behnken 响应面试验设计。并测定其不同配方下黄芪党参饮料的感官评分，建立 Box-Behnken 响应面回归模型，结果如表 3 和表 4 所示。

表 3 Box-Behnken 响应面优化黄芪党参饮料配方工艺试验设计与结果

Table 3 Experimental design and results of Box-Behnken response surface optimization of astragalus membranaceus and codonopsis pilosula drink formula

试验号	A 黄芪浸提液 的添加量/%	B 党参浸提液 的添加量/%	C 白砂糖的 添加量/%	D 柠檬酸的 添加量/%	Y 感官评 分/分
1	-1	-1	0	0	84.3
2	1	-1	0	0	87.1
3	-1	1	0	0	85.7
4	1	1	0	0	86.2
5	0	0	-1	-1	85.3
6	0	0	1	-1	84.7
7	0	0	-1	1	80.6
8	0	0	1	1	81.2
9	-1	0	0	-1	84.3
10	1	0	0	-1	85.6
11	-1	0	0	1	80.5
12	1	0	0	1	80.6
13	0	-1	-1	0	87.4
14	0	1	-1	0	86.1
15	0	-1	1	0	86.1

续表 3

试验号	A 黄芪浸提液 的添加量/%	B 党参浸提液 的添加量/%	C 白砂糖的 添加量/%	D 柠檬酸的 添加量/%	Y 感官评 分/分
16	0	1	1	0	88.4
17	-1	0	-1	0	86.3
18	1	0	-1	0	82.4
19	-1	0	1	0	85.5
20	1	0	1	0	88.9
21	0	-1	0	-1	84.7
22	0	1	0	-1	85.7
23	0	-1	0	1	80.5
24	0	1	0	1	80.4
25	0	0	0	0	90.8
26	0	0	0	0	90.4
27	0	0	0	0	91.5
28	0	0	0	0	91.4
29	0	0	0	0	91.7

表 4 Box-Behnken 响应面回归模型方差分析结果

Table 4 Box-Behnken response surface regression model anova results

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	335.57	14	23.97	35.73	< 0.0001	**
A	1.47	1	1.47	2.19	0.1609	
B	0.48	1	0.48	0.72	0.4118	
C	3.74	1	3.74	5.58	0.0332	*
D	58.52	1	58.52	87.24	< 0.0001	**
AB	1.32	1	1.32	1.97	0.1821	
AC	13.32	1	13.32	19.86	0.0005	
AD	0.36	1	0.36	0.54	0.4759	
BC	3.24	1	3.24	4.83	0.0453	*
BD	0.3	1	0.3	0.45	0.5128	
CD	0.36	1	0.36	0.54	0.4759	
A ²	55.53	1	55.53	82.78	< 0.0001	**
B ²	33.6	1	33.6	50.08	< 0.0001	**
C ²	32.5	1	32.5	48.45	< 0.0001	**
D ²	221.1	1	221.1	329.61	< 0.0001	**
残差	9.39	14	0.67			
失拟项	8.22	10	0.82	2.81	0.1661	
纯误差	1.17	4	0.29			
总和	344.97	28				
R ²	0.9728					
R ² _{adj}	0.9456					

注：“*”表示对结果影响显著($p < 0.05$)；“**”表示对结果影响显著($p < 0.01$)

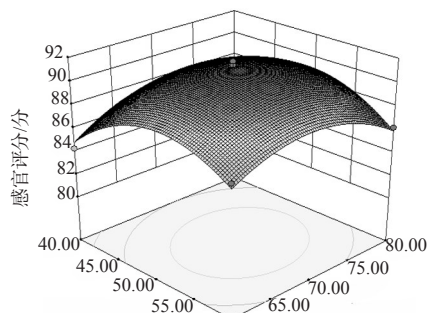
根据 Design Expert 软件对表 3 的结果进行回归方程拟合分析, 得到二次多项回归方程如下:

$$Y = +91.16 + 0.35A + 0.20B + 0.56C - 2.21D - 0.57AB + 1.82AC - 0.30AD + 0.90BC - 0.27BD + 0.30CD - 2.93A^2 - 2.28B^2 - 2.24C^2 - 5.84D^2$$

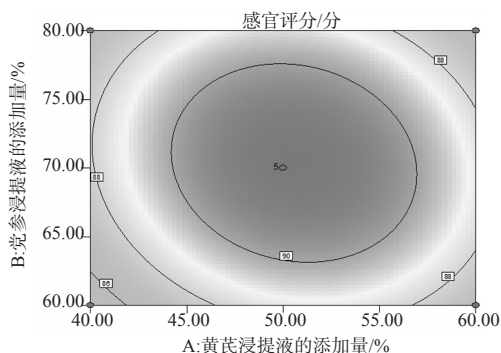
由图 4 可知, 模型的 F 值为 35.73, $p < 0.0001$, 失拟项的 F 值为 2.81, p 值为 $0.1661 > 0.05$, 说明该响应面回归模型方差拟合, 模型高度显著。对模型的可信度进行分析, 回归方程的决定系数 $R^2 = 0.9728$, 决定调整系数 $R^2_{adj} = 0.9456$, 说明响应值的变化 94.56% 来自于自变量的四个因素, 利用该模型可以较好的预测产品配方工艺各参数的实际值。由 P 值可知, 一次项 D 和二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 对结果影响及其显著 ($p < 0.01$)。一次项 C 和交互项 BC 对结果影响显著 ($p < 0.05$)。一次项 A 、 B 和二次项 AC 、 AB 、 AD 、 BD 、 CD 对结果影响不显著 ($p > 0.05$)。由 F 值可知, 影响黄芪党参饮料感官评分的因素顺序为: 柠檬酸的添加量 (D) > 白砂糖的添加量 (C) > 黄芪浸提液的添加量 (A) > 党参浸提液的添加量 (B)。

2.3.2 Box-Behnken 响应面试验交互作用分析

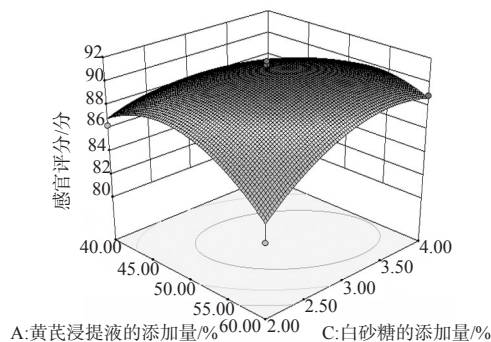
响应曲面 3D 图和等高平面图的变化, 可以较为清楚的反映各因素间的交互作用。当响应曲面图越陡峭时, 响应值间影响越显著。当等高线密集呈椭圆形状时, 响应值间影响程度越高, 等高线颜色的深浅说明响应值间影响程度的显著性^[35]。结果如 12 所示。



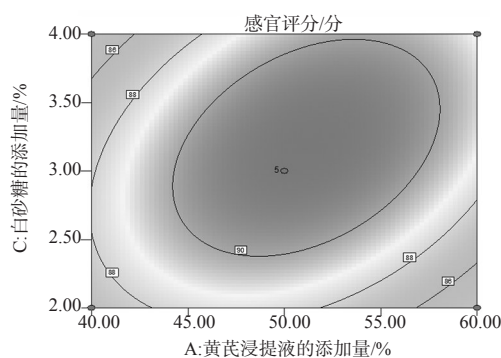
A: 黄芪浸提液的添加量/% 60.00 60.00 B: 党参浸提液的添加量/%



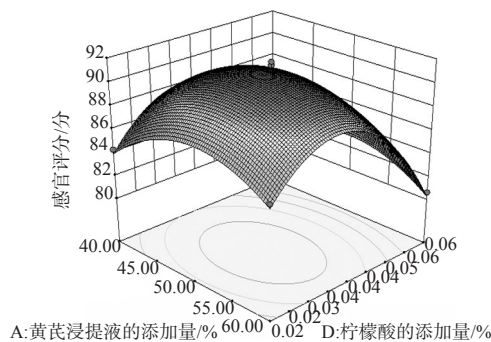
A: 黄芪浸提液的添加量/%



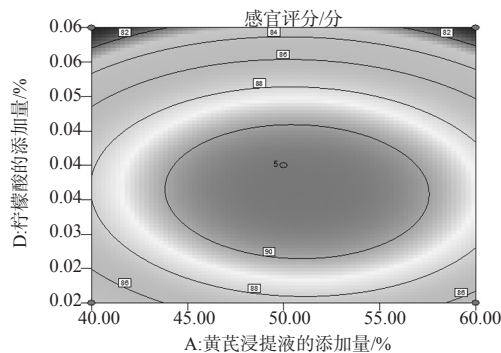
A: 黄芪浸提液的添加量/% 60.00 2.00 C: 白砂糖的添加量/%



A: 黄芪浸提液的添加量/%



A: 黄芪浸提液的添加量/% 60.00 0.02 D: 柠檬酸的添加量/%



A: 黄芪浸提液的添加量/%

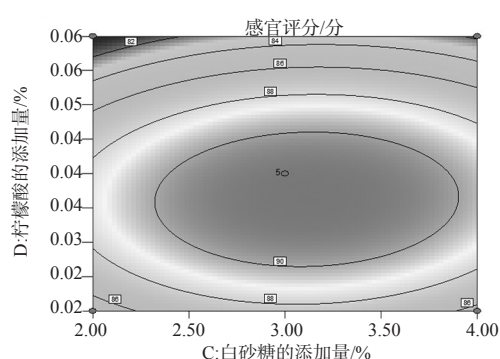
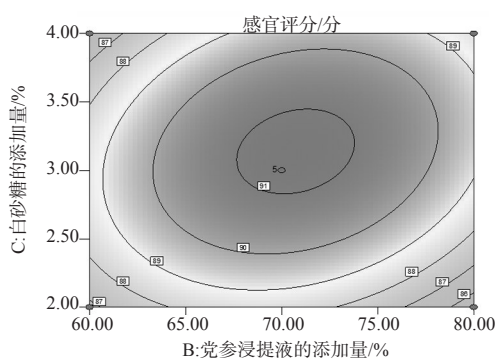
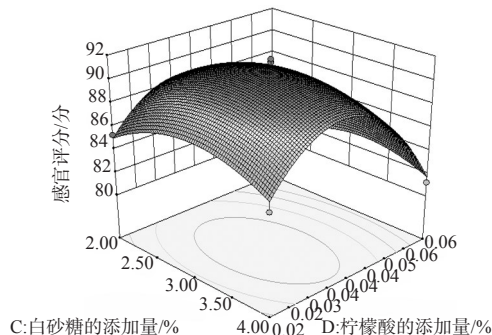
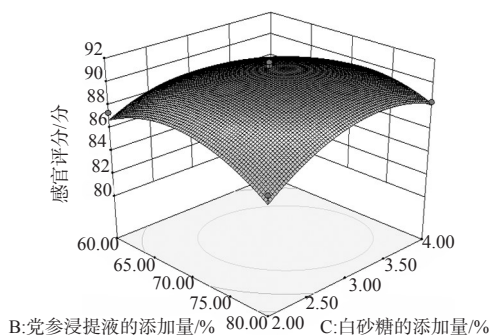


图 12 响应曲面 3D 图和等高平面图

Fig.12 3D diagram and contour plan of response surface

由图 12 可知, 当黄芪浸提液的添加量(A)、党参浸提液的添加量(B)、白砂糖的添加量(C)、柠檬酸的添加量(D)两两交互时, 对黄芪党参饮料的感官评分都有影响, AC和BC响应面较陡峭, 等高线接近椭圆形, 说明交互作用显著, 与方差分析结果一致。

2.3.3 Box-Behnken 响应面试验结果验证

使用响应面 Design-Expert.V8.0.6.1 软件对黄芪党参饮料的配方工艺进行优化, 得到预测的黄芪党参饮料的最佳配方工艺为: 以水质量为基准, 羧甲基纤维素钠添加量为 0.1%时, 黄芪浸提液的添加量 51.17%、党参浸提液的添加量 70.74%、白砂糖的添加量 3.17%、柠檬酸的添加量 0.036%, 此条件下感官评分为 91.4458 分。考虑到试验的可操作性, 在最佳配方工艺配方中调整黄芪浸提液的添加量为 51%、党参浸提液的添加量为 71%、白砂糖的添加量为 3%、柠檬酸的添加量为 0.04%, 其感官评分为 92.1 分, 和预测值较为接近, 证明该模型合理有效。

2.4 产品品质分析

2.4.1 产品理化指标和微生物检测结果

黄芪党参饮料的理化指标和微生物检测结果由表 5 可示。微生物检测结果均符合《食品安全国家标准 饮料》(GB 7101—2022)^[36]。

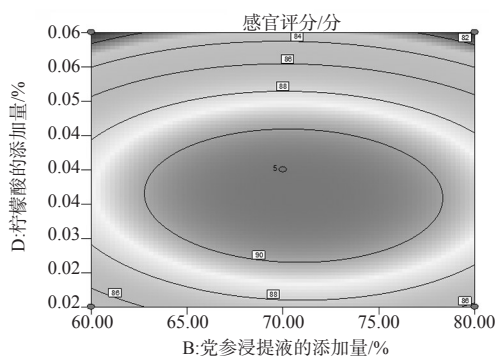
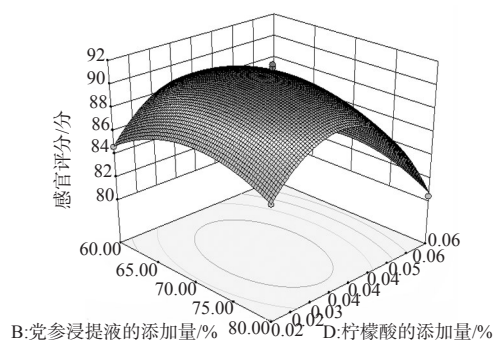


表 5 理化指标和微生物检测结果

Table 5 Physical and chemical indicators and microbial detection results

指标	结果	国家指标
可溶性固形物含量/%	5.05	—
pH	4.31	—
大肠杆菌/(CFU·mL)	未检出	≤1
菌落总数(CFU·mL)	56	<100

2.4.2 产品抗氧化性成分及抗氧化特性检测结果

通过对黄芪党参饮料 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除能力,总黄酮、总多酚含量的测定来评价其抗氧化活性。产品中总黄酮、总多酚的含量测定由图 13 和图 14 计算得出,结果如表 5 所示。

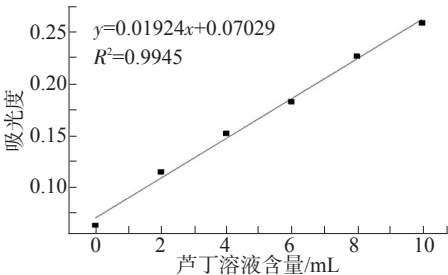


图 13 总黄酮标准曲线

Fig.13 Total flavonoids standard curve

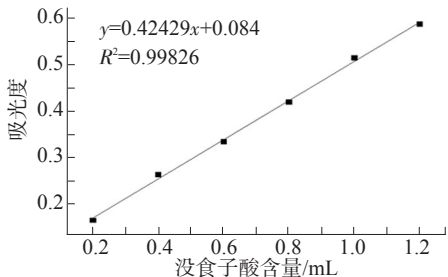


图 14 总多酚标准曲线

Fig.14 Total polyphenols standard curve

表 6 产品抗氧化性及抗氧化成分检测结果

Table 6 Product antioxidant property and antioxidant content test

检测项目	检测结果
总黄酮/(mg/L)	105.30
总多酚/(mg/L)	362.25
DPPH 自由基清除率/%	74.78
ABTS 自由基清除率/%	69.79

由表 5 可知,黄芪党参饮料具有较好的抗氧化性,黄芪党参饮料对 DPPH、ABTS 自由基的清除率较高,具有

良好的抗氧化能力。通过计算,样品溶液 DPPH 的 IC₅₀ 值为 0.203mg/mL,总黄酮、总多酚抗氧化成分含量分别为 105.30、362.25mg/L。

3 结论

通过对黄芪和党参浸提条件研究,结果表明,黄芪最佳浸提工艺条件为料水比 1:30,温度 60℃,时间 1.5h,此条件下,可溶性固形物含量为 1.84%,澄清度为 60.79%。党参最佳浸提工艺条件为料水比 1:20,温度 80℃,时间 2h,此条件下,可溶性固形物含量为 3.46%,澄清度为 66.01%。

通过单因素和响应面优化试验,确定黄芪党参饮料最佳配方和工艺并对产品进行抗氧化特性研究。产品最佳配方和工艺为:以水质量为基准,添加黄芪浸提液 51%、党参浸提液 71%,白砂糖 3%,柠檬酸 0.04%,羧甲基纤维素钠 0.1%。在此条件下,产品的感官评分为 93 分,测得的可溶性固形物含量为 5.05%,pH 为 4.31,总黄酮含量为 105.30mg/L,总多酚含量为 362.25mg/L,菌落总数及大肠杆菌菌群数量均符合相关国家安全标准。产品 DPPH 清除率为 74.78%,其 IC₅₀ 值为 0.203mg/mL,ABTS 清除率为 69.79%,具有良好的抗氧化能力。此工艺下制得产品色泽呈淡黄色,入口酸甜,并具有黄芪、党参特有风味,口感协调。

参考文献:

[1] 谷海媛,刘杰,马双成,等. 黄芪的研究进展及其质量标志物的预测分析[J]. 中国药事, 2023, 37(10): 1180-1192.

[2] 张瑞华,张静文,刘玲,等. 黄芪及其有效组分药理作用与临床应用现状[J]. 陕西中医, 2021, 42(8): 1138-1141+1146.

[3] 顾国祥,陈潇,王凡. 基于医案探讨李乃庚教授运用黄芪药对的经验[J]. 中医儿科杂志, 2023, 19(5): 12-14.

[4] 韩继怀,李乔明. 贵州道真洛党参研究现状与展望[J]. 林业科技通讯, 2024(1): 31-35.

[5] 范强,周先礼,阿萍,等. 脉花党参地上部分挥发油化学成分的研究[J]. 陕西农业科学, 2009, 55(5): 56-57+165.

[6] 金琼. 党参主要活性成分的临床前药代动力学相关研究[D]. 宜春: 宜春学院, 2024.

[7] 曾琦琦,程雪梅,胡芳弟,等. 党参化学成分、药理作用及质量控制研究进展[J]. 上海中医药杂志, 2020, 54(8): 94-104.

[8] 李洪森,谢淑玲,何丹. 黄芪多糖的提取及在保健饮品中的应用[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2023, 25(3): 1-4.

[9] 陈璧娜. 黄芪提取方法对化学成分及抗氧化活性的影响[J]. 中国现代医药杂志, 2023, 25(4): 83-86.

[10] 何艳青,招志辉,张俊红,等. 不同来源黄芪化学成分及其抗疲劳价值分析[J]. 广州中医药大学学报, 2023, 40(5): 1234-1238.

[11] 鲍宁,陈子超,赵春芹,等. 黄芪-莪术药对及其活性成分抗肝癌作用机制研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(15): 5101-5111.

- [12] 姜梦雨,姜立娟,张文凤.黄芪提取物对糖尿病脑损伤防治作用及其机制研究进展[J].吉林中医药,2023,43(6):733-736.
- [13] CHENG Yangang, YANG Siqi, LI Pei, et al. Glycosides constituents from *codonopsis pilosula*[J]. Natural Product Research, 2024: 1-4.
- [14] 罗春苗,覃敏珍,鲍美霜,等.基于网络药理学及分子对接研究黄芪-党参治疗胃癌的分子生物学机制[J].现代医药卫生,2024,40(4):548-553+558.
- [15] MA Kai, YI Xin, YANG Shuting, et al. Isolation, purification, and structural characterization of polysaccharides from *codonopsis pilosula* and its therapeutic effects on non-alcoholic fatty liver disease in vitro and in vivo[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 265(2): 130988.
- [16] 叶英,李珊,张景宜,等.不同产地党参多糖含量及抗氧化活性比较[J].安徽农业科学,2019,47(21):184-188.
- [17] 李白存.黄芪-红枣复合饮料的制备工艺研究[J].陕西农业科学,2013,59(4):24-27+37.
- [18] 安峪漩,梁菊芳,鞠亚霖,等.大豆多肽山楂复合饮料工艺及稳定性研究[J].人参研究,2024,36(2):42-44.
- [19] 朱玲,赵宁,张杰.谷物牛奶复合发酵乳的发酵条件优化及贮存品质分析[J].中国酿造,2023,42(2):138-144.
- [20] 韩国玮,胡晓霞,杨戈斌.枸杞与黄芪酿造醋营养成分的对比分析[J].中国调味品,2023,48(4):183-186.
- [21] 曾琦琦.党参复合饮料关键技术及其特性研究[D].天津:天津科技大学,2023.
- [22] 仇凤梅,王叔针.黄芪玫瑰花复合饮料的研制[J].农产品加工,2016(11):20-21.
- [23] 史蓉,陈丽娟,安若恺,等.枸杞黄芪黄精西洋参复合原浆饮料的研制及其有效成分分析[J].食品工业,2023,44(9):98-102.
- [24] 全国饮料标准化技术委员会.GB/T12143—2008 饮料通用分析方法[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [25] 苏秀芳,唐琴琴.鸡皮果汁酶法澄清及稳定性工艺[J].食品工业,2022,43(1):80-84.
- [26] 程水明,曾霞,周国钰,等.桑椹果汁澄清及稳定工艺研究[J].广东石油化工学院学报,2019,29(6):34-39.
- [27] 贾庆超,朱玲.基于模糊数学评价的黑枸杞百香果乳饮料研制及抗氧化性研究[J].中国酿造,2022,41(10):165-171.
- [28] 赵斌,葛金芳,朱娟娟,等.小议在MTT法测细胞增殖抑制率中 IC_{50} 的计算方法[J].安徽医药,2007(9):834-836.
- [29] 闫世芳,鲍玉花,肖明,等.黑枸杞玫瑰复合饮料的研制及其品质和抗氧化活性评价[J].食品安全质量检测学报,2022,13(9):2972-2980.
- [30] 胡佳慧,尹涛,张轩,等.山药皮及发酵条件对山药米酒活性物质的影响[J].湖北农业科学,2017,56(24):4854-4858+4862.
- [31] 国家卫生健康委,国家市场监督管理总局.GB4789.2—2022 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定[S].北京:中国标准出版社,2022.
- [32] 国家卫计委,国家食品药品监管总局.GB4789.3—2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验大肠菌群计数[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [33] 姜迎迎,钱磊,蒋崇怡,等.多糖与蛋白质相互作用及其复合物的功能特性[J].食品研究与开发,2023,44(10):220-224.
- [34] 苗静.黄芪多糖的分离纯化及黄芪多糖复合饮料的开发[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2023.
- [35] 盛洁,田欢,刘原野,等.响应面法优化红枣益生菌发酵饮料工艺[J].中国酿造,2021,40(2):203-207.
- [36] 国家卫生健康委,国家市场监督管理总局.GB7101—2022 食品安全国家标准饮料[S].中国标准出版社,2022.

低糖米乳茶饮料配方开发

朱晓红

(上海康识食品科技有限公司, 上海 201103)

摘要: 以大米浆、茉莉花茶、白砂糖、赤藓糖醇、葵花籽油、大米蛋白为主要原料,以感官为主要评价标准,并通过单因素实验及正交试验,确定茉莉花茶的最佳萃取条件为:茶水比 1:40,萃取温度 55℃,萃取时间 20 min,并最终确定了低糖米乳茶饮料的最佳配方为:大米浆 10%、茉莉花茶萃取液 25%、白砂糖 4%、葵花籽油 1.5%、赤藓糖醇 1.5%、大米蛋白 0.5%。最终得到一款香气自然、口感饱满、营养健康的低糖米乳茶。

关键词: 茉莉花茶;萃取;大米;乳茶;低糖

Development of Low-sugar Rice Milk Tea Drink

ZHU Xiao-hong

(Shanghai Kangshi Food Technology Co., Ltd., Shanghai 201103, China)

Abstract: Using rice slurry, jasmine tea, sugar, erythritol, sunflower seed oil, and rice protein as the primary raw materials, and adopting sensory evaluation as the key criterion, this study determined the optimal extraction conditions for jasmine tea through single - factor experiments and orthogonal experiments. The optimal conditions were as follows: tea-water ratio was 1:40, the extraction temperature was 55℃, and the extraction time was 20 minutes. The optimal formula of the low - sugar rice milk tea beverage was established as follows: 10% rice slurry, 25% jasmine tea extract, 4% sugar, 1.5% sunflower seed oil, 1.5% erythritol, and 0.5% rice protein. The low-sugar rice milk tea drink has natural aroma, full-bodied taste and abundant nutrition.

Key words: jasmine tea; extraction; rice; milk tea; low-sugar

中图分类号: TS275.2

文献标志码:A

文章编号:1007-7871(2025)06-0033-06

奶茶源自中国高原地区,经过各地不同饮食文化的改良和优化,形成了丰富多样的奶茶产品,深受广大消费者的喜爱^[1]。奶茶也是饮料市场的重要组成部分,2018年国内营业额已超过500亿元^[2];而在亚洲,奶茶的受欢迎程度也显著增长^[3]。

根据蛋白质的含量和来源不同,奶茶可分属于奶味茶饮料、奶茶饮料、含乳饮料、植物蛋白饮料及复合蛋白饮料^[4]。目前,国内市场上的奶茶主要以奶茶饮料为主,而随着市场的不断发展,消费者需要更加多元化的产品种类。现在植物奶成为饮品界的新宠,无论是线上还是线下,植物奶市场都呈现出明显的扩张态势^[5]。特别是对于牛奶蛋白过敏及乳糖不耐受人群,植物蛋白更是不错的选择。国内植物蛋白资源丰富,大米便是其中之一。作为我

国主要的粮食作物,大米蛋白为低过敏性蛋白质,其生物价与大豆相当,各种氨基酸的比值接近人体需要,具有降低血清中胆固醇的作用^[6,7]。日本和韩国市场已有很多米乳相关的饮料,而国内市场上米乳饮料种类很少。

茶被世界粮农组织称为“仅次于水的人类健康饮料”^[8]。中国是茶叶的发源地,拥有丰富的茶叶资源。茉莉花茶便是我国特有的再加工茶类,是在绿茶坯上窖制茉莉鲜花而成。茉莉花茶因其馥郁芬芳的茉莉花香和鲜醇爽口的滋味,且具有消炎、镇静、抗氧化等^[9~11]多种功效,受到大量消费者的喜爱,目前约占全国花茶总销量的90%^[12]。

在人们健康意识不断增强和糖尿病等疾病患病率不断上升的情况下,降低糖的摄入将是“健康中国”未来的发展趋势^[13]。2021年,中国饮品健康消费论坛在北京举办,正

收稿日期: 2025-10-14

作者简介: 朱晓红(1986-),女,工程师,硕士,研究方向为饮品开发。E-mail:zhuxiaohong@masterkong.com.cn

式提出减糖行动框架^[14]。《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》(GB 28050—2011)规定,饮料中糖含量≤5g/100mL时可标示“低糖”^[15]。

基于以上背景,本实验以大米蛋白、大米浆、茉莉花茶、白砂糖、植物油、赤藓糖醇为主要原料,开发一款纯植物来源的低糖米乳茶饮料,满足当下市场和消费者对低糖、健康、天然的需要。

1 材料与方法

1.1 材料

茉莉花茶 昆山隆泰有限公司;大米浆 顺大食品有限公司;白砂糖 华东精炼糖有限公司;大米蛋白 安徽金禾有限公司;赤藓糖醇 诸城东晓有限公司;葵花籽油、乳化稳定剂 嘉吉食品有限公司。

1.2 仪器与设备

分析天平、pH计 瑞士梅特勒;高速剪切分散机 艾卡有限公司;高压均质机 瑞典利乐集团;紫外分光光度计 日本岛津公司;UHT杀菌机 日本 Powerpoint International 公司。

1.3 方法

1.3.1 低糖米乳茶样品制备

茉莉花茶萃取→冷却→离心分离→萃液
↓
乳化稳定剂、大米蛋白、葵花籽油、大米浆溶解→搅拌混合
↑
白砂糖、赤藓糖醇、碳酸氢钠
→加水定容→高压均质→超高温杀菌→无菌充填→成品

低糖米乳茶固定原料用量如下:白砂糖 4%,乳化稳定剂 0.4%,大米蛋白 0.5%,碳酸氢钠 0.02%。

1.3.2 操作要点

萃取:称取茉莉花茶,加入水中进行萃取,一定时间后滤掉茶叶,并对萃液进行冷却。

溶解:称取乳化稳定剂、大米蛋白、葵花籽油、大米浆用 70℃水搅拌 15min 成乳浊液,冷却备用。

调配:将上述乳浊液、茉莉花茶萃液与白砂糖、赤藓糖醇及碳酸氢钠混合,加水定容成调配液。

杀菌、灌装:将上述调配液经过均质、UHT 超高温杀菌后,进行无菌充填。

1.3.3 茉莉花茶萃液的制备

1.3.3.1 茶叶萃取工艺单因素实验

茶水比的确定:固定温度 55℃,时间 20min,研究茶水比 1:20、1:30、1:40、1:50、1:60 对茶多酚萃取量和感官的影响。

温度的确定:固定茶水比 1:40,时间 20min,研究温

度 35℃、45℃、55℃、65℃、75℃对茶多酚萃取量和感官的影响。

时间的确定:固定温度 55℃,茶水比 1:40,研究时间 10、15、20、25、30min 对茶多酚萃取量和感官的影响。

1.3.3.2 茶叶萃取工艺正交试验

参照单因素实验的结果,选取茶水比、萃取温度和时间三个因素的各三个水平,进行 $L_9(3^3)$ 正交试验,综合茶多酚萃取量和感官评分进行评价,确定最佳萃取条件(表 1)。

表 1 茶叶萃取条件正交试验因素水平

Table 1 The table of orthogonal test for tea extraction

水平	A 萃取温度/℃	B 萃取时间/min	C 茶水比
1	45	15	1:30
2	55	20	1:40
3	65	25	1:50

1.3.4 低糖米乳茶饮料的调配

1.3.4.1 原料用量单因素实验

在茉莉花茶萃液、葵花籽油、大米浆、赤藓糖醇用量分别为 25%、1.5%、10%、1.5% 的基础上,对茉莉花茶萃液、葵花籽油、大米浆、赤藓糖醇用量进行单因素实验。分别研究茉莉花茶萃液用量(15%、20%、25%、30%、35%)、葵花籽油用量(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%)、大米浆用量(6%、8%、10%、12%、14%)、赤藓糖醇用量(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%)对低糖米乳茶品质的影响。

1.3.4.2 原料用量正交试验

根据单因素实验结果,选取茉莉花茶萃液、葵花籽油、大米浆、赤藓糖醇各三个用量水平进行 $L_9(3^4)$ 正交试验,用感官评价法对成品的香气、甜度、滋味及口感进行评分,从而确定各原料的用量。

表 2 原料添加量正交试验因素水平

Table 2 The table of orthogonal test for material content

水平	A 茉莉花茶萃液/%	B 葵花籽油/%	C 大米浆/%	D 赤藓糖醇/%
1	20	1.0	8	1.0
2	25	1.5	10	1.5
3	30	2.0	12	2.0

1.3.5 感官评价方法^[16,17]

由 10 位专业感官品评人员组成评价小组,对茉莉花茶萃液和饮料成品的品质进行综合感官评分,评价标准如表 3 和表 4。

表 3 茉莉花茶萃液感官评价标准

Table 3 Sensory evaluation standard of Jasmin tea extract

感官评分	色泽(20%)	香气(40%)	滋味(40%)
90~100	黄绿尚明亮	茉莉香气鲜浓	浓醇
80~89	黄绿尚明	茉莉香气尚鲜浓	尚浓醇
70~79	黄绿稍明	茉莉香气尚浓	醇和
< 70	黄稍暗	茉莉香气弱	稍粗涩

表 4 饮料感官评价标准

Table 4 Beverage sensory evaluation standard

感官评分	香气(20%)	甜度(20%)	滋味(30%)	口感(30%)
90~100	茉莉花香浓郁, 米香清新	甜度适中	茶味及米味纯正	顺滑, 饱满
80~89	茉莉花香和米香清晰、协调	稍甜/稍淡	茶味及米味较纯正	较顺滑, 较饱满
70~79	茉莉花香和米香明显	较甜/较淡	茶味/米味较重/较弱	较稀薄/较涩
< 70	茉莉花香和米香较淡	过甜/过淡	茶味/米味太重/太弱	稀薄/涩感重

1.3.6 茶多酚检测方法

茶多酚质量浓度的测定采用酒石酸亚铁比色法^[18]。

2 结果与分析

2.1 茉莉花茶萃液的制备

2.1.1 萃取条件优化单因素实验

2.1.1.1 茶水比对茶多酚萃取量及感官的影响

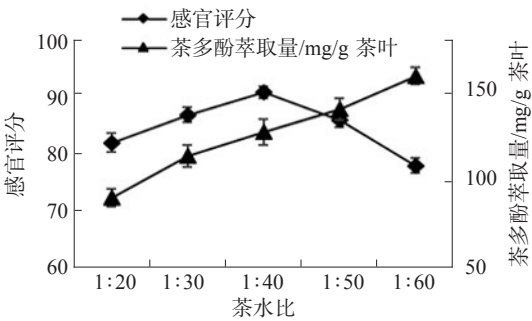


图 1 茶水比对茶多酚萃取量及感官的影响

Fig.1 Influence of proportions of tea and water on extract

如图 1 所示：随着茶水比升高，茶多酚萃取量逐渐增加，但萃液的感官品质则是先升高再降低。茶水比较低时，水量较少，茶叶中可溶性物质溶出较少，主要是一些小分子物质，导致香气及茶滋味不足；随着水量增加，茶

叶中可溶性物质不断溶出，使香气和滋味提升，但茶水比太高时，水量较多，茶叶萃取过度，大分子苦涩味物质显著增加，使得感官品质下降，在茶水比 1:40 时感官评分最高。

2.1.1.2 温度对茶多酚萃取量及感官的影响

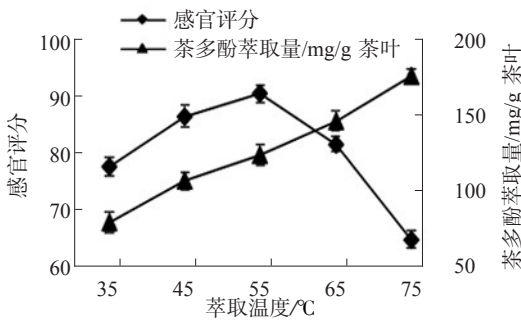


图 2 温度对茶多酚萃取量及感官的影响

Fig.2 Influence of temperature on extract

茶多酚是茶叶的重要功能成分，也是影响茶饮料滋味的主要物质。茶多酚含量过低时茶味不足，茶多酚含量过高时苦涩味加重；氨基酸是茶汤鲜味的主要贡献者，能提供茶汤丰富的滋味^[19]。由图 2 可知，随着萃取温度的升高，茶多酚萃取量不断升高，而感官评分则是先升高后下降。当萃取温度在 35℃~45℃时茶叶萃取不足，茶味较弱；萃取温度 55℃时，感官评分最佳；当温度超过 65℃后，由于茶叶中的茶多酚和咖啡因等苦涩味物质溶出过多，苦涩味加重，导致感官评分降低。与许勇泉等的结论相似：低于 70℃时，随着温度升高，游离氨基酸和茶多酚等物质含量显著增加；高于 70℃后，游离氨基酸增加较少，而茶多酚含量仍能继续增加^[20]。

2.1.1.3 萃取时间对茶多酚萃取量及感官的影响

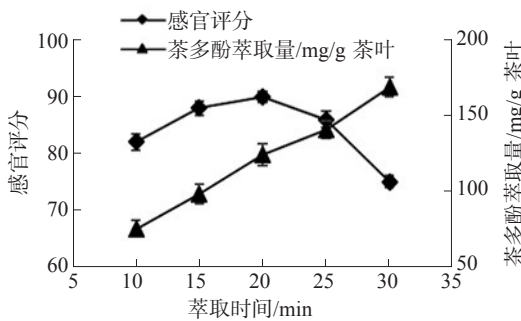


图 3 时间对茶多酚萃取量及感官的影响

Fig.3 Influence of time on extract

如图 3 所示：随着时间延长，茶多酚萃取量不断升高。与此同时，萃液的颜色及滋味也逐渐增强。10min~

15min 时茉莉花香气和滋味较淡, 颜色较浅; 20min 时, 香气及滋味最佳, 茉莉花香纯正, 茶滋味浓醇; 但随时间继续延长, 苦涩味加重, 颜色变暗, 感官评分降低。与 2021 年矫玉翠的研究一致: 随着萃取时间的延长, 各种滋味物质被萃取出来, 不断积累, 当达到一定顶点后, 使得口感达到最佳, 随后随着茶多酚和咖啡因等物质的增加, 苦涩味逐渐加重, 使得茶饮料的感官评分降低^[21]。

2.1.2 正交试验结果与分析

因为感官品质是饮料产品最重要的属性, 因此以感官评分为标准, 对萃取温度和时间、茶水比三因素进行正交试验。结果如表 5 所示: 三因素中对茉莉花茶萃液感官品质影响最大的为萃取温度, 其次为萃取时间, 最后是茶水比, 其最优组合为 $A_2B_2C_3$, 即萃取温度 55℃, 萃取时间 20min, 茶水比 1:40。在此条件下, 萃液具有茉莉花茶特征香气, 且茶滋味纯正。

表 5 正交试验结果与分析

Table 5 Results and analysis of orthogonal test

试验号	A 萃取温度/℃	B 萃取时间/min	C 茶水比	感官评分
1	1	1	1	76.24
2	1	2	2	84.45
3	1	3	3	85.90
4	2	1	2	90.04
5	2	2	3	82.27
6	2	3	1	88.39
7	3	1	3	78.29
8	3	2	1	80.87
9	3	3	2	72.38
k_1	82.20	81.52	81.83	
k_2	86.90	82.53	82.29	
k_3	77.18	82.22	82.15	
R	9.72	1.01	0.46	
因素 $A > B > C$				
最优组合条件 $A_2B_2C_3$				

2.2 低糖米乳茶配方组成

2.2.1 原料用量单因素实验结果分析

2.2.1.1 茉莉花茶萃液用量对感官品质的影响

由图 4 可知, 随茉莉花茶萃液含量的提升, 成品感官品质呈先上升后下降的趋势。用量太少时, 成品中茉莉花香较弱, 茶味较淡; 用量太高时, 茶感加重, 带来明显的苦味和收敛感, 影响感官品质。用量为 25% 时, 饮料中茉莉花香及茶感明显, 不苦不涩, 且与大米的清香搭配协调, 感官评分最高。

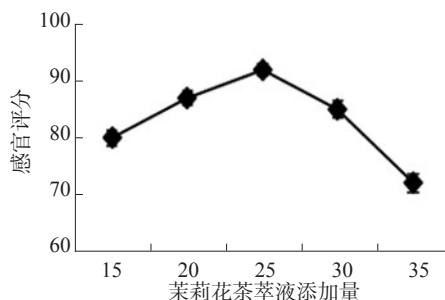


图 4 茉莉花茶萃液添加量对感官品质的影响

Fig.4 Influence of Jasmin tea extraction content on beverage quality

2.2.1.2 葵花籽油用量对感官品质的影响

葵花籽油的用量对米乳茶的口感和滋味均有影响。因脂肪可以增加口感的饱满度和顺滑感, 而大米中脂肪含量很低, 因此适量的油脂对产品口感的作用非常重要。由图 5 结果可以看出, 葵花籽油用量在 1.5% 时, 产品口感饱满顺滑; 用量小于 1.5% 时口感稀薄、顺滑感不足, 大于 1.5% 会出现腻口感, 影响感官喜好度。

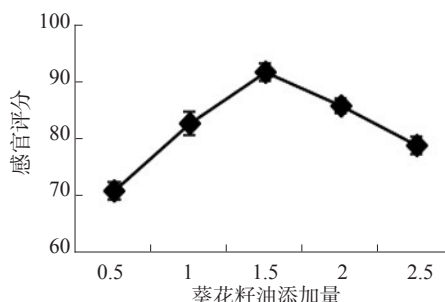


图 5 葵花籽油添加量对感官品质的影响

Fig.5 Influence of sunflower seed oil content on beverage quality

2.2.1.3 大米浆用量对感官品质的影响

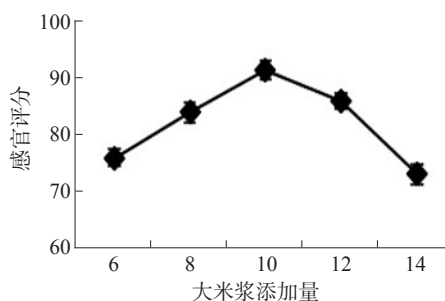


图 6 大米浆添加量对感官品质的影响

Fig.6 Influence of rice slurry content on beverage quality

由上图实验结果可知, 大米浆含量在 10% 时, 整体感官品质较好。大米浆可提升饮料整体的口感和米香, 含量太低时口感较单薄, 米香不明显; 大米浆添加量继续提升

时,会减弱茉莉花茶的风味,并出现涩感。

2.2.1.4 赤藓糖醇用量对感官品质的影响

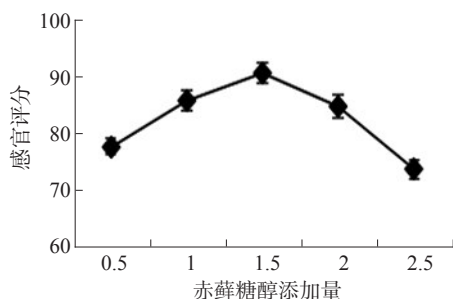


图7 赤藓糖醇添加量对感官品质的影响

Fig.7 Influence of erythritol content on beverage quality

赤藓糖醇的用量会影响产品甜度、香气和滋味表现。由图7可知,赤藓糖醇用量过少或过多均对产品的感官品质不利。含量太少时甜度低,不利于香气释放;含量太高时会出现涩口感。实验表明,赤藓糖醇1.5%时产品口味最佳。

2.2.2 低糖米乳茶配方的正交试验结果与分析

表6 正交试验结果与分析

Table 6 Results and analysis of orthogonal test

试验号	A 茉莉花茶 萃液/%	B 葵花籽油 /%	C 大米浆 /%	D 赤藓糖醇 /%	感官 评分
1	1	1	1	1	75.69
2	1	2	2	2	87.80
3	1	3	3	3	82.63
4	2	1	2	3	86.69
5	2	2	3	1	91.86
6	2	3	1	2	90.15
7	3	1	3	2	85.96
8	3	2	1	3	83.23
9	3	3	2	1	88.65
k_1	82.04	82.78	83.02	85.40	
k_2	89.57	87.63	87.71	87.97	
k_3	85.95	87.14	86.82	84.18	
R	7.53	4.85	4.69	3.79	
因素A>B>C>D					
最优组合条件		$A_2B_2C_2D_2$			

对茉莉花茶萃液、葵花籽油、大米浆和赤藓糖醇四种原料、三个用量水平进行的正交试验结果如上表所示。对产品感官品质的影响程度由高到低依次为:茉莉花茶萃液、葵花籽油、大米浆、赤藓糖醇,最佳组合为 $A_2B_2C_2D_2$,

即四种原料用量分别为:茉莉花茶萃液25%,葵花籽油1.5%,大米浆10%,赤藓糖醇1.5%。此时,低糖米乳茶的茉莉花香及米香清新自然,茶味及米味搭配和谐,甜感适中,口感饱满顺滑。

3 结论

本研究开发了一款低糖米乳茶饮料,借助单因素实验结合正交试验,确定了茉莉花茶的最佳萃取条件为:茶水比1:40,萃取温度55℃,萃取时间20min,此时的茶萃液颜色黄亮、茉莉花香纯正、滋味鲜浓醇爽。得到的最佳配方为:茉莉花茶萃液25%、葵花籽油1.5%、大米浆10%、赤藓糖醇1.5%。此配方的产品:茉莉花香纯正、大米香自然,甜度适中,口感饱满顺滑、不涩口,是一款纯植物基的低糖米乳茶,符合当下消费者追求天然美味、健康、低糖的需求,为今后植物基乳茶产品的开发提供参考。

参考文献:

- [1] 龙桂英,张清宙,刘宜奇,等.奶茶饮品的研发进展[J].食品工业,2022,43(10):197-202.
- [2] 钟燊,程浚,王子涵,等.奶茶行业市场分析报告[J].产业科技创新,2020(1):63-64.
- [3] ONG A K S, PRASETYO Y T, LIBIRAN M A D C, et al. Consumer preference analysis on attributes of milk tea: A conjoint analysis approach[J]. Foods, 2021, 10(6): 1382.
- [4] 全国饮料标准化技术委员会.GB/T 10789—2015 饮料通则[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [5] 初百吉,徐庆利,刘宝华,等.植物奶研究进展及应用现状[J].中国乳业,2023(9):119-124.
- [6] 刘洋洋,张宏康.大米乳饮料制备工艺研究[J].饮料工业,2011(5):35-38.
- [7] 莫重文.大米饮料的制作方法及其前景[J].河南工业大学学报,2008(4):18-21.
- [8] 尹祎.《中国茶叶标准化工作》系列讲座之一茶叶标准的分类及其标准体系[J].中国茶叶加工,2020(1):68-70.
- [9] 林梅,奇锦峰,王永辉,等.三种茶饮料对小鼠肠道首过效应及肝脏Cyp3a、Cyp2e1的影响[J].中国临床药理学与治疗学,2011,6(1):5-12.
- [10] KIM S, RUENGWILYSUP C, FUNG D Y C. Antibacterial effect of water-soluble tea extracts on foodborne pathogens in laboratory medium and in a food model [J]. Journal of Food Protection, 2004, 67(11): 2608-2612.
- [11] ZHANG Y B, HUANG J N, XIONG Y F, et al. Jasmine tea attenuates chronic unpredictable mild stress-Induced depressive-like behavior in rats via the gut-brain axis [J]. Nutrients, 2022, 14(1): 99.
- [12] 谈峰,裴旭晶,杨凯辉,等.窰制工艺对茉莉花茶主要滋味物质及风味品质的影响[J].中国食品学报,2024,24(12):233-245
- [13] 祝玉婷,胡志和.无糖食品的研究进展[J].饮料工业,2021,24(3):

- 75-79.
- [14] 健康中国饮料食品减糖行动白皮书(2021)[C]//中国饮品健康消费论坛.北京:2021.
- [15] 国家卫生健康委,国家市场监督管理总局.GB 28050—2025.食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则[S].北京:中国标准出版社,2025.
- [16] 徐树来,王永华,张水华.食品感官分析与试验(第二版)[M].北京:化学工业出版社,2012:112.
- [17] 李静.定量描述分析结合消费者喜好测试在桃味茶饮料感官评定中的应用研究[J].饮料工业,2020,23(6):26-30.
- [18] 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究所等.GB/T 31740.2—2015 茶制品 第2部分:茶多酚[S].北京:中国标准出版社,2015
- [19] 岳翠男,王治会,毛世红,等.茶叶主要滋味物质研究进展[J].食品研究与开发,2017,38(1):219-224.
- [20] 许勇泉,尹军峰,沈丹玉,等.武夷岩茶饮料最佳浸提参数的研究[J].浙江农业科学,2009(6):1143-1149.
- [21] 矫玉翠.不同萃取条件对茶饮料中主要滋味物质的影响[J].饮料工业,2021,24(3):19-23.

低胆碱正在偷偷伤害年轻人大脑

肥胖、高血压和胰岛素抵抗会加速认知能力下降,并增加患阿尔茨海默病的风险。11月23日,一项发表于《衰老与疾病》的研究发现,许多年轻人体内对大脑具有保护功能的胆碱含量很低,表明上述问题可能很早就对年轻人产生了影响。

此外,在这项研究中,美国亚利桑那州立大学和多家机构的科学家还在肥胖年轻人中发现了与炎症、肝脏负担及脑细胞早期损伤相关的生物标志物。

该研究涉及30名20多岁和30多岁的成年人,其中肥胖者与体重正常者各占一半,每位参与者都提供了空腹血液样本。研究人员对样本进行了循环胆碱、炎症细胞因子、胰岛素、葡萄糖、肝酶和其他代谢指标及神经丝轻链(NfL)的分析。其中,NfL是神经退行性病变的重要早期指标物,轻度认知障碍及阿尔茨海默病患者的NfL水平均出现升高。

比较显示,肥胖年轻人群的胆碱水平较低,炎症反应更强,代谢压力更大,且存在神经元损伤迹象。为探究这些发现与大脑衰老的关联,研究团队将其与确诊轻度认知障碍或阿尔茨海默病的老年人群数据进行了比较。

结果表明,年轻和老年群体均呈现低胆碱水平与高NfL水平,表明阿尔茨海默病的生物学变化可能在症状出现前多年就已开始,尤其在经历代谢压力或肥胖的人群中更为显著。

胆碱对细胞膜结构、炎症调控、肝功能,以及与记忆有关的关键神经递质乙酰胆碱的合成至关重要。研究显示,肥胖参与者的胆碱水平显著降低,且这种下降与炎症、胰岛素抵抗、肝酶及NfL水平升高呈正相关。

虽然肝脏能少量合成,但胆碱的主要来源仍是食物,包括鸡蛋、禽肉、鱼类、豆类,以及西蓝花、花椰菜、球芽甘蓝等十字花科蔬菜。研究人员还发现,女性参与者的胆碱水平低于男性,这一发现尤为重要,因为女性认知衰老及阿尔茨海默病发病率更高。

调查显示,许多美国人未能达到胆碱推荐摄入量,尤其是青少年和年轻人群。长期缺乏胆碱可能加剧代谢压力风险,并强化肥胖对大脑的损害效应。论文作者、亚利桑那州立大学的Ramon Velazquez指出:“这项研究进一步证实了胆碱作为代谢和脑功能障碍重要标志物的价值,并强调了每日摄入充足胆碱的重要性。”(文乐乐)

(来源:《中国科学报》 2025-12-05)

豆奶的营养组分及加工工艺研究进展

柴成梁, 薛雅琳, 谭本刚, 段章群*

(国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 102209)

摘要: 近年来,随着消费者健康和环保意识的不断增强,植物基饮品发展势头迅猛。豆奶作为最为普遍和受欢迎的一种植物蛋白饮品之一,除了可以提供丰富的蛋白质外,也是必需脂肪酸的良好来源,以及富含生理活性物质如异黄酮、活性肽、植物甾醇等,具有巨大的健康益处。本文综述了豆奶饮品的生产制备工艺,包括传统加工工艺和创新的工艺,及其对豆奶营养成分、品质和稳定性的影响,分析了豆奶饮品的营养组分特征,以期对未来豆奶营养品质、稳定性和适口性的提升研究,提供参考基础和科学指导。

关键词: 豆奶;营养组分;加工工艺;豆腥味

Research Progress on Processing Technology and Nutritional Components of Soy Milk

CHAI Cheng-liang, XUE Ya-lin, TAN Ben-gang, DUAN Zhang-qun*

(Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 102209, China)

Abstract: In recent years, with the increasing health and environmental awareness of consumers, the consumption of plant-based drinks has increased rapidly. As one of the most popular vegetable protein drinks, soy milk has rich protein and essential fatty acids. It also has physiological active substances with great health benefits such as isoflavones, active peptides, plant sterols, etc. The present review aims to provide a comprehensive understanding of the pretreatment and processing technology of soy milks, including both traditional and innovative methods, and their influences on the nutrition composition and stability of the drinks. Additionally, the characteristics of the nutritional components of soy milks were analyzed. The updated analyses were expected to provide reference basis and scientific guidance for the improvement of nutritional quality, stability and palatability of the soy milks in the future research.

Key words: soy milk; nutrition components; processing technology; beany flavor

中图分类号: TS214.2; TS27

文献标志码: A

文章编号: 1007-7871(2025)06-0039-06

由于健康、环境、伦理和素食主义等原因,全球植物性饮料市场发展迅速,食品工业正在开发一系列以植物为基础的牛奶替代品^[1-3]。豆奶因其方便、营养,在世界范围内受欢迎程度颇高。其富含蛋白质、生育酚、不饱和脂肪酸和大豆异黄酮等营养和活性物质,且不含乳糖及胆固醇,尤其适用于牛奶蛋白过敏和/或乳糖不耐症人群,是植物基饮品发展中的佼佼者^[4,5]。在我国,豆奶更是拥有广泛的群众基础,是第一种被用于制备替代牛奶的植物性饮品^[6,7]。随着豆奶饮品在辅助降低糖尿病、肥胖、心血管疾

病患病风险、预防癌症及骨质疏松症等健康方面产生的积极影响不断被证实,豆奶得到各国政府的鼓励和倡导^[8-11]。

豆奶饮品是大豆通过研磨、煮沸、调配等工艺加工而成的胶体悬浮液,主要成分包括大豆蛋白、脂质、碳水化合物、异黄酮及多种矿物质^[12]。随着食品行业特别是植物基饮品的不断创新发展,豆奶研究持续取得进步和突破,豆奶营养价值和感官品质不断提高,对消费者更具吸引力^[13]。文章全面分析了当前豆奶饮品的生产制备加工工艺和营养特征,介绍了用于提高最终产品营养价值的创新方

收稿日期: 2024-10-09

作者简介: 柴成梁(1984-),男,助理研究员,博士,研究方向为油脂化学与精深加工。E-mail: ccl@ags.ac.cn

通讯作者: 段章群(1981-),男,副研究员,博士,研究方向为油脂化学与加工技术。E-mail: dzq@ags.ac.cn

法及其理论基础, 旨为未来进一步提升豆奶产品的稳定性、适口性、营养性提供科学参考与依据。

1 豆奶的营养组分

1.1 蛋白质

豆奶为由蛋白质分散体和蛋白质/脂质乳剂组成的分散体系。大豆种子中的蛋白质含量为 30%~40%, 大部分是贮存蛋白质, 主要为大豆球蛋白(11S)和 β -伴大豆球蛋白(7S)^[14]。豆奶中的蛋白质含量约 3%~4%, 同样, 80%左右为大豆球蛋白和 β -伴大豆球蛋白^[15]。大豆球蛋白是一种六聚体蛋白, 其亚基(A-SS-B)由一个酸性多肽(A)和一个碱性多肽(B)通过二硫键(SS)连接而成^[16]。 β -伴大豆球蛋白是一种三聚体糖蛋白, 包括 α' 、 α 和 β 亚基, α' 、 α 亚基通过二硫键连接, 并与 P34 蛋白连接^[17]。此外, 豆奶中还含有脂氧合酶、 β -淀粉酶、凝集素、胰蛋白酶抑制剂(KTI 和 BBI)等多种具有不同生物学功能的清蛋白^[18]。

在大豆细胞中, 贮存蛋白大豆球蛋白和 β -伴大豆球蛋白以及 P34 等蛋白储存在蛋白质贮存液泡(protein storage vacuole, PSV)中, 其他蛋白质与另一个细胞器——油体(oil body, OB)相关^[19]。油体的基质核心是三酰基甘油(TAGs), 由一层磷脂膜覆盖, 磷脂膜中嵌入了七种油体蛋白^[20]。这些油体蛋白对油体的大小和稳定性起着决定性作用, 并与表面上的两种油体钙蛋白和一种油体甾醇蛋白产生相互作用^[21]。由于表面电荷的相互排斥作用, 油体间不易聚集或凝结^[22]。蛋白质与油体间的相互作用是决定豆奶中蛋白质分布和营养品质的关键。经过磨浆后, 大豆细胞中的蛋白质贮存液泡被破坏, 而油体即使在高温下也相当稳定^[23]。从贮存液泡中释放出来的大豆球蛋白、 β -伴大豆球蛋白, 以及 P34 蛋白, 会结合到油体表面, 构成油体的“第二蛋白层”^[24]。其余的蛋白质, 在豆奶中的溶液部分和蛋白颗粒中不均匀地分布。如: 7S 的 α 和 α' 亚基、11S 的酸性(A)亚基和胰蛋白酶抑制剂 BBI, 亲水性高, 构成了可溶蛋白组分。而 7S 的 β 亚基和 11S 的碱性(B)亚基, 则普遍存在于蛋白颗粒中^[25]。高温蒸煮会使豆奶蛋白质变性和聚合, 形成大小、组成和形态各异的颗粒, 油体的外层蛋白质也会脱离^[26]。甚至, 部分油体被颗粒状蛋白质捕获, 形成聚集体, 这些都会影响豆奶制品的粘度、稳定性和营养性。

蛋白质质量主要由氨基酸组成、蛋白质消化率和氨基酸生物利用度等因素决定^[27]。豆奶是植物性的完全蛋白质, 其氨基酸组成与牛奶蛋白质相近, 除组氨酸、蛋氨酸、色氨酸含量相对较低外, 其余必需氨基酸含量均较为丰富^[28]。尽管现在有 DIAAS、INFOGEST 等评分工具来评估蛋白质质量^[29, 30], 仍需要进一步的研究来探索人体消化的复杂过程, 以更加准确有效地评估通过不同工艺生产的

豆奶中多肽和氨基酸的生物利用度。

1.2 脂质

豆奶是一种低脂饮料, 其脂质含量约为 2%左右。成熟大豆中的不饱和脂肪酸约占总量的 85%, 其中, 亚油酸(C18: 2n-6)含量最多, 占总脂肪酸组成的 50%。传统豆奶饮品的脂肪酸组成与大豆相似, 除含亚油酸外, 还含有相对较多的亚麻酸(C18: 3n-3)、油酸、棕榈酸和硬脂酸^[31]。不饱和脂肪酸在豆奶加工制备和储存过程中容易发生氧化。

如前所述, 大豆油脂储存在离散的球形细胞器——油体中, 其将三酰基甘油包裹在单层磷脂中, 磷脂进一步被蛋白质层覆盖, 为油体结构提供良好稳定性的同时, 使得脂质形成天然的乳液。因此, 豆奶也是磷脂的良好来源, 与牛奶相比, 豆奶含有丰富的磷脂酰丝氨酸、磷脂酰甘油、磷脂酰乙醇胺和磷脂酰胆碱^[32]。这些磷脂具有许多生理功能, 如抗炎活性, 降低胆固醇吸收和罹患心血管疾病的风险^[33~37]。

目前, 有关油体的提取纯化和了解此细胞器中蛋白质的组成研究较多^[38~40], 而关于脂肪酸在豆奶生产过程中如何发生变化的信息有限。未来, 需要进一步的研究来探索脂肪酸在豆奶加工过程中的作用, 包括它们与其他成分潜在的相互作用以及对最终产品的稳定性、营养性和消化吸收的影响。

1.3 其他营养物质

1.3.1 碳水化合物

尽管大豆中含有大量的碳水化合物(约 30%, 包括膳食纤维和低聚糖), 但豆奶中的碳水化合物含量较低, 在 0.5%至 5%之间^[41]。豆奶中不含乳糖, 淀粉、葡萄糖和果糖含量亦较低, 其碳水化合物含量受其加工方法的影响较为明显。研究表明, 用浸泡后的大豆加工制备得到的豆奶中, 其总碳水化合物和不可消化低聚糖, 如棉子糖和水苏糖的含量显著高于未经浸泡预处理的大豆^[42]。大豆低聚糖具有益生元效应, 具有多种生理功能, 如降低血液胆固醇水平, 促进矿物质吸收, 预防某些类型的癌症等^[43~46]。

1.3.2 异黄酮

大豆含有丰富的异黄酮, 异黄酮具有降低胆固醇和抗氧化活性, 可降低心血管疾病、癌症等重大疾病的发病率^[47, 48]。豆奶中的异黄酮含量受大豆品种、加工方法、加工温度及时间等因素的影响^[49, 50]。异黄酮的代表性化合物是染料木素、大豆苷元和黄豆黄素, 它们会以四种不同的化学形式存在: 糖苷元、 β -葡萄糖苷、乙酰- β -葡萄糖苷和丙二醇基- β -葡萄糖苷^[51]。豆奶中所含的异黄酮主要为 6'-O-丙二醇基- β -葡萄糖苷, 在热加工工艺过程中会部分转化为 7-O- β -葡萄糖苷和 6'-O-乙酰基- β -葡萄糖苷, 影响其生物利用度, 且在豆奶中的含量降低, 造成异黄酮损失^[52, 53]。

2 豆奶的加工工艺

2.1 传统的豆奶加工技术

传统豆奶的制备过程主要包括大豆浸泡、湿磨、煮沸,然后过滤得到豆奶饮品。这种传统工艺存在两个主要缺点:一是由此制备的豆奶具有较大的豆腥味,二是保质期较短^[54]。对此现在传统的加工处理方法,如均质化、热处理等,可通过灭活导致豆腥风味物质产生的脂氧合酶及抗营养因子胰蛋白酶抑制剂,以来提高豆奶的营养性、稳定性和延长产品的保质期^[55,56]。

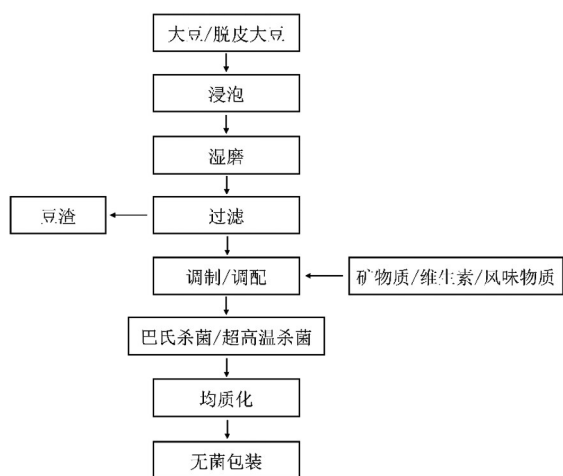


图1 豆奶工业化生产流程

Fig.1 Industrial production process of soy milk

大豆预处理工艺,如去皮、浸泡和焯水,可以改善所得豆奶饮品的营养和感官特性。浸泡大豆可以用水或碱性溶液,有研究表明,使用碳酸钠溶液浸泡大豆,与水相比,豆奶的豆腥味会显著减少^[57]。此外,碱性溶液浸泡还能提高豆奶粘度,提高蛋白质和脂肪含量,使其更易加工。大豆焯水可以显著减少因脂氧合酶作用于脂肪酸而产生的豆腥味。焯水是一种烹饪技术,即在热/沸水中短暂加热食材,然后转移到冷水中。大豆在70℃~85℃下,焯水1min~10min,可有效减少豆腥味的产生^[58]。同时,焯水过程可显著抑制胰蛋白酶抑制剂的活性^[59]。但需要注意的是,焯水的时间和温度需要合理控制,以保持减少豆腥味物质和保留非豆腥的风味物质之间的理想平衡。

大豆经预处理和研磨,产生的浆液须过滤,以分离豆奶中的固体残留物。对豆奶进行营养强化或稳定性提升,可在豆奶中添加其他成分和添加剂,如矿物质、维生素、调味剂、食用色素或稳定剂^[60]。为了延长豆奶的保质期,可以进行巴氏消毒或超高温处理,以消灭微生物,进一步灭活脂氧合酶和蛋白酶抑制剂^[61]。最后,通过均质化处

理,减小豆奶中胶体颗粒的粒径,增加产品的物理稳定性,改善粘度和外观,提升豆奶的质地、口感^[62]。

2.2 创新技术

近年来,在节能减排、资源综合利用的导向下,以提升营养成分含量、产品稳定性和保质期为目标,研究者开发了如超声波辅助技术、超高压均质和酶辅助提取等新型豆奶加工技术,如表1所示。

表1 提升豆奶品质的新方法

Table 1 New ways to improve the quality of soy milk

工艺方法	对豆奶品质的影响
微波	降低脂氧合酶和胰蛋白酶抑制剂活性 ^[61]
超声波预处理	提升豆奶稳定性 提升产品中蛋白质、异黄酮含量 减少豆腥味 ^[63,64]
低强度脉冲电场	改善豆奶产品中异黄酮形态和含量 ^[65]
酶预处理	减少豆渣残留 提升豆奶中蛋白质、异黄酮含量 ^[66]
射频预处理	改善豆奶的口感 降低脂氧合酶、胰蛋白酶抑制剂、尿酶活性 ^[67]
高温高压蒸煮	提高产品生物利用率 改善豆奶口感 ^[68]
添加天然化合物 (茶多酚)	抑制胰蛋白酶抑制剂活性 ^[69,70]
固定化植酸酶	降低植酸含量 ^[71]

2.2.1 超声波预处理技术

在豆奶的生产过程中,某些重要的营养成分,如蛋白质和异黄酮,会残留在豆渣中,导致未完全融入豆奶而丢失。为了解决这个问题,开发的超声波预处理技术,可以改变豆奶胶体颗粒粒径,提高蛋白质的溶解性和提取率^[72]。同时,超声波处理可以促进细胞壁或蛋白质-多酚复合物中异黄酮的释放,显著提升豆奶饮品中的异黄酮含量^[73]。当超声波与微波处理相结合时,最终产品的营养价值进一步提高^[74]。这种组合会导致胰蛋白酶抑制剂和脂氧合酶活性水平降低,同时蛋白质结构发生改变,有助于提高蛋白质的消化率,最终提高豆奶产品的整体营养质量。

2.2.2 低强度脉冲电场辅助技术

在生产过程中,利用低强度脉冲电场作为萃取辅助技术,可以增加β-葡萄糖苷酶活性,从而促进了丙二醇和乙酰基结构的水解,致使苷元水平升高和异黄酮总体含量的提高^[65]。对大豆进行包括纤维素酶、半纤维素酶、阿拉伯糖酶、β-葡聚糖酶和木聚糖酶的糖酶混合物预处理,可以减少大豆残渣,增加豆奶饮品中蛋白质和异黄酮的含量^[66]。在消除脂氧合酶活性和减少抗营养因子如胰蛋白酶抑制剂和植酸盐的方法开发方面,除微波处理、超声波处

理与高温处理技术相结合研究外,非热处理技术,可以减少营养物质的热降解。

2.2.3 厌氧研磨

为了解决豆奶饮品中天然钙含量低的问题,通常采用钙强化。最近的一项研究,使用厌氧研磨法结合乳酸钙作为钙源,在生产高接受度、同时保持感官特性良好的富钙豆奶方面显示出乐观的前景^[75]。厌氧研磨可以尽量减少大豆中因脂质和其他成分的氧化而导致味道变差、颜色变化和营养损失。为了提高矿物质的吸收,消除植酸的影响是至关重要的。这种抗营养物质与钙等矿物质形成复合物,限制了矿物质的吸收,降低了它们的生物利用度^[76]。研究人员正在探索使用各种基质的植酸酶固定技术,为提高矿物生物利用度提供潜在的解决方案,同时降低经济成本^[71]。

2.2.4 全豆豆奶开发中的创新技术

为了提高大豆原料的开发利用率,避免蛋白、膳食纤维、维生素以及磷脂等营养成分残留在豆渣中而损失,全豆豆奶的开发具有较明显的竞争优势。研究者正积极开发适宜的前处理技术,结合高压无热加工、真空剪切、脉冲电场杀菌等工艺,以期在保留全豆营养成分的同时,减少豆奶的苦涩味和豆腥味,提升豆奶的品质^[77~80]。

3 总结与展望

本文总结、分析了豆奶饮品的加工制备技术,包括传统的加工工艺和用于提高豆奶产品稳定性、营养性的新加工技术,总结分析了豆奶的营养成分特征。当前,在消费者对产品的高营养、良好的质地口感的需求和食品工业可持续发展的推动下,豆奶市场正在快速发展。为了满足这些需求,食品工业正在积极探索豆奶饮品生产加工的新策略,以解决诸如延长保质期、乳液稳定性、营养完整性和感官可接受性等挑战。未来,还可以期待量身定制豆奶产品,可口且适合不同营养需求人群,为消费者提供有吸引力的、多元化的豆奶选择。

参考文献:

- [1] DRUSHTI D, PEGUA K, ARYAA S S. Review of plant-based milk analogue: its preparation, nutritional, physicochemical, and organoleptic properties[J]. Food Science and Biotechnology, 2024, 33(5): 1059-1073.
- [2] PAUL A A, KUMAR S, KUMAR V, et al. Milk analog: plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(18): 3005-3023.
- [3] SMITH N W, DAVE A C, HILL J P, MCNABB W C, et al. Nutritional assessment of plant-based beverages in comparison to bovine milk[J]. Frontiers In Nutrition, 2022, 9: 957486.
- [4] NAWAZ M A, TAN M, ISETH S, et al. An emerging segment of functional legume-based beverages: A review[J]. Food Reviews International, 2022, 38(5): 1064-1102.
- [5] KUNDU P, DHANKHAR J, SHARMA A. Development of non-dairy milk alternative using soymilk and almond milk[J]. Current Research in Nutrition and Food Science Journal, 2018, 6(1): 203-210.
- [6] JESKE S, ZANNINI E, ARENDT E K. Past, present and future: The strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw materials[J]. Food Research International, 2018, 110: 42-51.
- [7] 中国食品工业协会. 豆奶营养健康与消费共识[J]. 中国食品工业, 2022, 8(15): 76-83.
- [8] 郭顺堂, 徐婧婷. 我国大豆食品产业发展现状及存在的问题[J]. 食品科学技术学报, 2023, 41(3): 1-8.
- [9] World Health Organization. Healthy diet [EB/OL]. [2022-06-27]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>.
- [10] U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. Dietary guidelines for Americans, 2020-2025. 9th Edition [A/OL]. [2022-06-27]. <https://www.dietaryguidelines.gov>.
- [11] 于小冬. 倡导豆奶消费推动国民营养均衡[J]. 中国食品工业, 2022(7): 42-43.
- [12] PENG Xingyun, WANG Yahui, XING Jiyun, et al. Characterization of particles in soymilks prepared by blanching soybeans and traditional method: A comparative study focusing on lipid-protein interaction[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 63(2): 1-7.
- [13] PENHA C B, VINÍCIUS D P S, SPERANZA P, et al. Plant-based beverages: Ecofriendly technologies in the production process[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2021, 72(4): 102760.
- [14] MEDIC J, ATKINSON C, HURBURGH C R. Current knowledge in soybean composition[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2014, 91(3): 363-384.
- [15] 张娟, 闫瑞霞, 孙志洪, 等. 全豆豆浆与传统豆浆感官品质和营养成分对比[J]. 大豆科学, 2017, 36(3): 459-462.
- [16] WANG Tao, QIN Guixin, SUN Zewei, et al. Advances of research on glycinin and β -conglycinin: A Review of two major soybean allergenic proteins[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2014, 54(7): 850-862.
- [17] MAGNI C, SESSA F, CAPRARO J, et al. Structural and functional insights into the basic globulin 7S of soybean seeds by using trypsin as a molecular probe[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2018, 496(1): 89-94.
- [18] 田其英, 王静. 豆浆的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(17): 208-210.
- [19] ABDULLAH, WEISS J, ZHANG Hui. Recent advances in the composition, extraction and food applications of plant-derived oleosomes[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 106: 322-332.
- [20] DING Jian, XU Zejian, QI Baokun, et al. Fabrication and characterization of soybean oil bodies encapsulated in maltodextrin and chitosan-EGCG conjugates: An in vitro digestibility study[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 9: 519-527.

- [21] ZAABOUL F, ZHAO Qiaoli, XU YongJiang, et al. Soybean oil bodies: A review on composition, properties, food applications, and future research aspects[J]. Food Hydrocolloids, 2022(124 Pt. A): 107296.
- [22] NIKIFORIDIS C V. Structure and functions of oleosomes (oil bodies) [J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2019, 274: 102039.
- [23] 胡佳,刘春林.植物油体研究进展[J].植物学报,2017,52(5):669-679.
- [24] CHEN Yeming, ONO T. Simple extraction method of non-allergenic intact soybean oil bodies that are thermally stable in an aqueous medium[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(12): 7402-7407.
- [25] PENG Xingyun, REN Chengang, GUO Shuntang. Particle formation and gelation of soymilk: effect of heat[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 54: 138-147.
- [26] 李家勋,荣建华,翁文丰,等.制浆工艺对豆浆营养成分构成的影响[J].粮食与饲料工业,2016(6):21-24.
- [27] JOE M D, LAYMAN D K, TOMÉ DANIEL, et al. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2008, 87(5): 1576S.
- [28] VAN DEN BERG L A, MES J J, MENSINK M, et al. Protein quality of soy and the effect of processing: A quantitative review [J]. Frontiers In Nutrition, 2022, 9: 2148.
- [29] BRODKORB A, EGGER L, ALMINGER M, et al. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion[J]. Nature Protocols, 2019, 14(4): 991-1014.
- [30] SOUSA R, RECIO I, HEIMO D, et al. In vitro digestibility of dietary proteins and in vitro DIAAS analytical workflow based on the INFOGEST static protocol and its validation with in vivo data [J]. Food Chemistry, 2023, 404(Pt B): 134720.
- [31] PEÑALVO J L, CASTILHO M C, SILVEIRA M I N, et al. Fatty acid profile of traditional soymilk[J]. European Food Research And Technology, 2004, 219(3): 251-253.
- [32] LI Qiangqiang, ZHAO Yan, ZHU Dan, et al. Lipidomics profiling of goat milk, soymilk and bovine milk by UPLC-Q-exactive orbitrap mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2017, 224: 302-309.
- [33] ONUGBU A J, OLISEKODIAKA J M, IROGUE S E, et al. Consumption of soymilk reduces lipid peroxidation but may lower micronutrient status in apparently healthy individuals[J]. Journal of Medicinal Food, 2018, 21(5): 506-510.
- [34] RIVAS M, GARAY R P, ESCANERO J F, et al. Soy milk lowers blood pressure in men and women with mild to moderate essential hypertension[J]. Journal of Nutrition, 2002, 132(7): 1900-1902.
- [35] FRASER G E, JACELDO-SIEGL K, ORLICH M, et al. Soy, and risk of breast cancer: those confounded milks[J]. International Journal Of Epidemiology, 2020, 49(5): 1526-1537.
- [36] SONIA B M, MARK M, LI S S, et al. A meta-analysis of 46 studies identified by the FDA demonstrates that soy protein decreases circulating LDL and total cholesterol concentrations in adults[J]. Journal of Nutrition, 2019, 149(6): 968-981.
- [37] ESLAMI O, SHIDFAR F. Soy milk: A functional beverage with hypocholesterolemic effects? A systematic review of randomized controlled Trials[J]. Complementary Therapies in Medicine, 2019, 42: 82-88.
- [38] CHEN Yeming, ONO T. Protein particle and soluble protein structure in prepared soymilk[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 39: 120-126.
- [39] IWANAGA D, GRAY D A, FISK I D. Extraction and characterization of oil Bodies from soy beans: A natural source of pre-emulsified soybean Oil[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(21): 8711-8716.
- [40] 孙婕,刘亦菲,尹国友.不同灭酶条件下油体得率,成分的变化及油性性质分析[J].中国粮油学报,2022,37(10):146-154.
- [41] WALTHER B, GUGGISBERG D, BADERTSCHER R, et al. Comparison of nutritional composition between plant-based drinks and cow's milk[J]. Frontiers In Nutrition, 2022, 9: 2645.
- [42] LI Siqu, YE Aiqian, SINGH H. Impacts of heat-induced changes on milk protein digestibility: A review[J]. International Dairy Journal, 2021, 123: 105160.
- [43] SADEGHI O, MILAJERDI A, SIADAT S D, et al. Effects of soy milk consumption on gut microbiota, inflammatory markers, and disease severity in patients with ulcerative colitis: A study protocol for a randomized clinical trial[J]. Trials, 2020, 21: 565.
- [44] CALVELLO R, ARESTA A, TRAPANI A, et al. Bovine and soybean milk bioactive compounds: effects on inflammatory response of human intestinal caco-2 cells[J]. Food Chemistry, 2016, 210: 276-285.
- [45] FERNANDEZ-RAUDALES D, HOEFLINGER J L, BRINGE N A, et al. Consumption of different soymilk formulations differentially affects the gut microbiomes of overweight and obese men[J]. Gut Microbes, 2012, 3(6): 490-500.
- [46] TOMOHIKO F, YUJI O, RYOICHI S, et al. The effect of soymilk intake on the fecal microbiota, particularly bifidobacterium species, and intestinal environment of healthy adults: A pilot study [J]. Bioscience of Microbiota Food & Health, 2017, 36(1): 33-37.
- [47] BEAVERS D P, BEAVERS K M, MILLER M, et al. Exposure to isoflavone-containing soy products and endothelial function: A Bayesian meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 2012, 22(3): 182-191.
- [48] REVERRI E J, LASALLE C D, FRANKE A A, et al. Soy provides modest benefits on endothelial function without affecting inflammatory biomarkers in adults at cardiometabolic risk[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2015, 59(2): 323-333.
- [49] KATHURIA D, DHIMAN A K, ATTRI S. Enrichment of isoflavone for development of functional soya and dairy products[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46: e16170.
- [50] YU Xiaoming, MEENU M, XU Baojun, et al. Impact of processing technologies on isoflavones, phenolic acids, and antioxidant capacities of soymilk prepared from 15 soybean varieties[J]. Food Chemistry, 2020, 345(1): 128612.

- [51] KřižOVÁ L, DADÁKOVÁ K, KAŠPAROVSKÁ J, et al. Isoflavones[J]. *Molecules*, 2019, 24(6): 1076.
- [52] HUANG Huihua, LIANG Hanhua, KWOK K C, et al. Effect of thermal processing on genistein, daidzein and glycitein content in soymilk[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2010, 86(7): 1110–1114.
- [53] CASSIDY A, HANLEY B, LAMUELARAVENTOS R. Isoflavones, lignans and stilbenes-Origins, metabolism and potential importance to human health[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2010, 80(7): 1044–1062.
- [54] AYDAR E F, TUTUNCU S, OZCELIK B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects[J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 70: 103975.
- [55] HAN H, CHOI J K, PARK J, et al. Recent innovations in processing technologies for improvement of nutritional quality of soymilk[J]. *CyTA-Journal of Food*, 2021, 19: 287–303.
- [56] CLEMENTEA A, DOMONEY C. Biological significance of polymorphism in legume protease inhibitors from the Bowman-Birk family[J]. *Current Protein & Peptide Science*, 2006, 7(3): 201–216.
- [57] GIRI S K, MANGARAJ S. Processing influences on composition and quality attributes of soymilk and its powder[J]. *Food Engineering Reviews*, 2012, 4(3): 149–164.
- [58] YUAN Shaohong, SAM K C, LIU Zhisheng, et al. Elimination of trypsin inhibitor activity and beany flavor in soy milk by consecutive blanching and ultrahigh-temperature (UHT) processing[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(17): 7957–7963.
- [59] LYU YanChun, SONG HuanLu, LI Xin, et al. Influence of blanching and grinding process with hot water on beany and non-beany flavor in soymilk[J]. *Journal of Food Science*, 2011, 76(1): S20–S25.
- [60] MCCLEMENTS D J, NEWMAN E, MCCLEMENTS I F. Plant-based milks: A review of the science underpinning their design, fabrication, and performance[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, 18(6): 2047–2067.
- [61] KUBO M, REIS B G D, SATO L, et al. Microwave and conventional thermal processing of soymilk: Inactivation kinetics of lipoxigenase and trypsin inhibitors activity[J]. *Lwt - Food Science and Technology*, 2021, 145: 111275.
- [62] SETHI S, TYAGI S K, ANURAG R K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(9): 3408–3423.
- [63] CHANTAPAKUL T, TAO Wenyang, CHEN Weijun, et al. Manothermosonication: inactivation and effects on soymilk enzymes[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020, 64: 104961.
- [64] KUMAR R, KUMAR A, JAYACHANDRAN L E, et al. Sequential microwave-ultrasound assisted extraction of soymilk and optimization of extraction process[J]. *Lwt - Food Science and Technology*, 2021, 151: 112220.
- [65] MORALES-DE LA PENA M, WELTI-CHANES J, MARTIN-BELLOSO O. Impact of pulsed electric field pre-treatment on the Isoflavone Profile of Soymilk[J]. *Beverages*, 2022, 8: 8020019.
- [66] PENHA C B, FALCAO H G, IDA E I, et al. Enzymatic pretreatment in the extraction process of soybean to improve protein and isoflavone recovery and to favor aglycone formation[J]. *Food Research International*, 2020, 137: 109624.
- [67] JIANG Yiming, LI Li, HE Fang, et al. Highly effective inactivation of anti-nutritional factors (lipoxigenase, urease and trypsin inhibitor) in soybean by radio frequency treatment[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2021, 56: 93–102.
- [68] WANG Jing, LI Mengdi, ZHANG Jiayu, et al. Effects of high-temperature pressure cooking on cold-grind and blanched soymilk: physico-chemical properties, in vitro digestibility and sensory quality[J]. *Food Research International*, 2021, 149: 110669.
- [69] CHEN Zhongqin, CHEN Yue, XUE Zihan, et al. Insight into the inactivation mechanism of soybean Bowman-Birk Trypsin Inhibitor (BBTI) induced by gallocatechin gallate and epigallocatechin: fluorescence, thermodynamics and docking studies[J]. *Food Chemistry*, 2020, 303: 125380.
- [70] GE Ge, GUO Wanxiang, ZHENG Jiabao, et al. Effect of interaction between tea polyphenols with soymilk protein on inactivation of soybean trypsin inhibitor[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 111: 106177.
- [71] CHEN K I, CHIANG C Y, KO C Y, et al. Reduction of phytic acid in soymilk by immobilized phytase system[J]. *Journal of Food Science*, 2018, 83(10): 2963–2969.
- [72] MU Qier, SU Hongchen, ZHOU Qi, et al. Effect of ultrasound on functional properties, flavor characteristics, and storage stability of soybean milk[J]. *Food Chemistry*, 2022, 381: 132158.
- [73] MORALES-DE LA PENA M, MARTIN-BELLOSO O, WELTI-CHANES J. High-power ultrasound as pre-treatment in different stages of soymilk manufacturing process to increase the isoflavone content[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, 49: 154–160.
- [74] VANGA S K, WANG J, RAGHAVAN V. Effect of ultrasound and microwave processing on the structure, in-vitro digestibility and trypsin inhibitor activity of soymilk proteins[J]. *Lwt - Food Science and Technology*, 2020, 131: 109708.
- [75] KAHARSO V C, MUHOZA B, KONG X, et al. Quality improvement of soymilk as influenced by anaerobic grinding method and calcium addition[J]. *Food Bioscience*, 2021, 42: 101210.
- [76] SHKEMBI B, HUPPERTZ T. Calcium absorption from food products: Food matrix effects[J]. *Nutrients*, 2021, 14: 180.
- [77] 张娟, 杨栋梁, 周媛, 等. 全豆豆浆的加工工艺研究[J]. *大豆科学*, 2016, 35(6): 1014–1017.
- [78] 易余. 批次高剪切真空混料机在全豆豆奶工艺中的应用进展[J]. *饮料工业*, 2022, 25(5): 45–48.
- [79] 舒志成, 薛玉清, 陶文初, 等. 高压射流磨在无添加全豆豆乳加工中的应用研究[J]. *饮料工业*, 2024, 27(4): 6–13.
- [80] JAGGA S, SHARMA A R, KIM E J, et al. Isoflavone-enriched whole soy milk powder stimulates osteoblast differentiation[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 58(2): 595–603.

低碳经济背景下零碳食品、低碳食品发展概况

许 玮

(北京市食品检验研究院, 北京 100094)

摘 要: 低碳经济是近年来全球范围内提倡的经济模式,近年来,国家大力推动低碳经济发展,出台了一系列政策。食品行业虽然不是“碳减排”重点关注的行业,但是在相关政策背景下,部分食品企业未雨绸缪,开始探索研究“碳中和”,开发相关产品。本文系统性地整理了“碳减排”有关政策,收集了零碳食品、低碳食品相关标准规范及行业发展情况,分析了食品工业中的碳排放源及减碳策略,为食品行业低碳发展提供思路。

关键词: 低碳经济; 碳减排; 零碳食品; 低碳食品

The Current Development Status of Zero Carbon Food and Low-Carbon Food under the Background of Low-Carbon Economy

XU Wei

(Beijing Institute of Food Inspection Research, Beijing 100094, China)

Abstract: Low-carbon economy is an economic model advocated globally. In recent years, China has vigorously promoted the development of low-carbon economy and issued a series of policies. Although the food industry is not the focus of “Carbon Emission Reduction”, some food companies have started to explore “Carbon neutrality” and develop related products in the context of relevant policies. In this paper, the related policies of “Carbon Emission Reduction” are systemically arranged, the standards of zero-carbon food and low-carbon food as well as the development of the industry are collected, and the carbon emission sources and carbon reduction strategies in the food industry are analyzed, for the food industry to provide low-carbon development ideas.

Key words: low-carbon economy; carbon emission reduction; zero carbon food; low-carbon food

中图分类号: TS201

文献标志码: A

文章编号: 1007-7871(2025)06-0045-05

随着全球气候变化问题日益突显,减缓碳排放、实现碳中和成为全球共同挑战。截至2023年9月,全球197个国家中,共有151个国家提出了碳中和目标和承诺,占全球GDP的92%、人口的89%以及碳排放的88%^[1]。

低碳食品,是指在生产和消费过程中排放少量温室气体的食品。零碳食品,指在生产过程中温室气体净排放量小于或者等于零的食品。零碳并非完全不排放二氧化碳,而是通过计算温室气体排放,设计方案抵减碳足迹,减少碳排放,直至达到碳的相对零排放^[2]。2021年1月,世界经济论坛发布《净零碳排大挑战:供应链的契机》报告,指出食品行业碳排放量占全球25%,超过建筑业、运输业等居八大行业之首^[3]。

1 推动“碳减排”的意义

推动“碳减排”,一方面能降低环境污染,提高能源利用效率,同时可加快经济发展方式转变、促进经济社会可持续发展。其深层次的意义更是一次新型工业革命,各国都希望借此制定市场规则,抢占话语权,制约他国发展。美国、欧盟、日本等发达国家和地区从发展战略、经济模式、交易机制、标准确定、市场准入等层面积极谋划与部署。美国通过发展可再生能源、降低化石燃料的比例等手段推动国内低碳经济的发展,欧盟则希望通过建立全球范围内的碳减排交易市场,主导与制定未来全球低碳经济发

收稿日期: 2025-02-10

作者简介: 许 玮(1984-),女,工程师,硕士,研究方向为食品安全监管。E-mail: 472596099@qq.com

展模式与规则^[3]。2021 年 7 月 14 日，欧盟委员会正式发布《欧盟关于建立碳边境调节机制的立法提案》，成为全球首个推出碳关税地区；2022 年 6 月 22 日，欧洲议会进一步通过了《关于欧盟议会和理事会建立碳边境调节机制的法规提案的修正案》，扩大了原有行业范围并将生产过程中外购电力所包含的间接碳排放也纳入计算；2023 年 5 月 16 日，欧盟碳边境调节机制(CBAM)成为欧盟正式法律，并于 5 月 17 日正式生效。除欧盟外，其他发达国家也有征收碳关税的计划。比如，美国提出《清洁竞争法案》，对某些碳密集型行业的商品征收碳关税；日本积极推动建立美欧日三方合作框架，计划对来自环境标准较低国家的进口商

品征收碳关税，并在日本本土通过了引入碳定价制度的草案^[4]。

综上，推动“碳减排”，对于提高发展质量，增强国际影响力和话语权，维护国家发展权益具有重要的意义。

2 低碳、零碳食品相关法规标准建设情况

2.1 主要政策法规

近年来，国家发展改革委、市场监管总局、生态环境部等相关部门发布了一系列文件，引导行业、社会开展节能减排。表 1 整理了我国推动“碳减排”的主要文件。

表 1 我国推动“碳减排”的主要文件
Table1 Key Regulations in China on Promoting “Carbon Emissions Reduction”

序号	文件名	发布时间	发布部门	主要内容
1	《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》(发改办气候[2011]2601 号)	2011	国家发改委	批准在北京、天津、上海、重庆、湖北、广东和深圳等七个省市开展碳排放权交易试点工作 ^[5] 。
2	《节能低碳产品认证管理办法》(质检总局 国家发改委令 第 168 号)	2015	质检总局、国家发改委	低碳产品认证是指由认证机构证明产品温室气体排放量符合相应低碳产品评价标准或者技术规范要求的合格评定活动。低碳产品认证目录由国家发展改革委、国家质检总局和国家认监委联合发布 ^[6] 。
3	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	2016	十二届全国人大四次会议表决通过	提出发展低碳经济的战略目标,强调通过降低碳排放来促进可持续发展 ^[7] 。
4	《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	2021	中共中央国务院	要求把碳达峰、碳中和纳入经济社会发展全局。提出推动节能减排,全面推进清洁生产,加快发展循环经济,加强资源综合利用,不断提升绿色低碳发展水平。同时提出加快推进农业绿色发展,促进农业固碳增效 ^[8] 。
5	《碳排放权交易管理暂行条例》(中华人民共和国国务院令 第 775 号)	2024	中华人民共和国国务院	规范碳排放权交易及相关活动,为全国碳排放权交易市场运行管理提供了明确的法律依据。文件自 2024 年 5 月 1 日起施 ^[9] 。
6	《关于进一步强化碳达峰碳中和标准计量体系建设行动方案(2024—2025 年)的通知》(发改环资[2024]1046 号)	2024	国家发展改革委、市场监管总局、生态环境部	提出 2024 年,发布 70 项碳核算、碳足迹、碳减排、能效能耗、碳捕集利用与封存等国家标准,基本实现重点行业企业碳排放核算标准全覆盖。2025 年,面向企业、项目、产品的三位一体碳排放核算和评价标准体系基本形成,重点行业和产品能效能效技术指标基本达到国际先进水平,建设 100 家企业和园区碳排放管理标准化试点 ^[10] 。

2.2 标准规范制定情况

ISO 国际标准化组织、国家市场监督管理总局等制定了相关标

准规范。表 2 收集了部分低碳、零碳食品相关国内外标准规范。

表 2 低碳、零碳食品相关标准规范
Table 2 Standard specifications for low-carbon and zero carbon foo

序号	标准规范	基本情况	属性
1	ISO 14064 温室气体排放标准	含四个标准,分别就温室气体在组织层面和项目层面的量化和报告,审查和核证做出详细报告,以及对认证机构的要求。	国际标准规范
2	ISO 14067 产品碳足迹	国际公认的用于量化产品碳足迹的 ISO 标准,规定了量化和报告产品碳足迹(CFP)的原则、要求和指南。	国际标准规范

续表 2

序号	标准规范	基本情况	属性
3	英国标准协会 PAS2060 碳中和核查规范	提出了碳中和的证明过程、标的物的碳排放测定与证实、碳足迹量化、碳中和承诺、碳减排、碳抵消、碳中和声明和维持碳中和状态的相关规范化要求。	国外标准规范
4	GB/T 24067—2024 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》	参照 ISO 14067,规定了产品碳足迹的研究范围、原则和量化方法等,为统一产品碳足迹核算方法和开展产品碳足迹数据国际交流互认奠定了基础。	国家标准
5	零碳负碳农产品温室气体排放评价技术规范	江苏省市场监管局联合南京国环有机产品认证中心有限公司制定,并在国家市场监管总局取得认证资格备案,我国首批零碳负碳农产品认证标准。	地方性技术规范
6	零碳负碳农产品认证实施规则		地方性技术规范
7	T/GDES 2060-2021 碳中和声明规范	规定了产品、服务、建筑、项目和活动的碳中和的基本要求和原则、声明的类型、实施流程、策划阶段、实施阶段,以及评价和实现声明。其他声明可参照文件实施。	团体标准
8	T/BJEA 0003-2023 碳中和评估指南	规定了碳中和评估的技术要求,包括术语和定义、基本原则、碳中和评估流程、评估实施前的准备工作、碳排放和碳汇量核算、实施碳中和、碳中和评估工作质量保证、碳中和评估报告和记录存档等内容。适用于组织、项目、产品、服务及活动等各类型的碳中和评估。	团体标准
9	T/CAS 799-2023 企业碳中和实施通则	两项标准分别针对企业及产品层面确立了实施碳中和工作的基本原则,规定了碳中和实施流程、基准年温室气体排放量产品碳足迹核算、碳中和承诺。室气体减排行动实施、温室气体排放抵消、碳中和评价和碳中和信息披露等工作流程的具体要求。	团体标准
10	T/CAS 800-2023 产品碳中和实施通则		团体标准
11	T/GDES 77-2022 茶类饮料碳足迹评价技术规范	规定了茶类饮料产品碳足迹评价的术语和定义、基本要求、目的和范围、系统边界、生命周期清单分析、生命周期影响评价、计算方法、报告声明的内容、产品碳足迹信息披露及验证。适用于茶类饮料产品的碳足迹核算和评价。	团体标准
12	T/GDES 2036-2022 茶类饮料产品碳中和评价技术规范	规定了基于自愿性碳减排项目的茶类饮料产品碳中和评价原则、碳排放量核算、碳减排量核证、碳中和判定、碳中和承诺与声明。适用于组织开展基于自愿性碳减排项目的茶类饮料产品碳中和评价。	团体标准
13	T/GDES 2037-2023 即饮咖啡类饮料产品碳中和评价技术规范	规定了基于自愿性碳减排项目的即饮咖啡类饮料产品碳中和评价原则、碳排放量核算、碳减排量核证、碳中和判定、碳中和承诺与声明。适用组织开展基于自愿性碳减排项目的即饮咖啡类饮料产品碳中和评价。	团体标准

3 食品工业中的碳排放源及减碳策略

食品产业是基础产业，也是链条最长的产业，食品组成的多样性和复杂性决定了其周期长、环节多，碳减排难度大^[11]。联合国全球契约组织 2021 年发布《企业碳中和路径图》，指出食品摆上餐桌前需经历研发、养殖、收获、加工、 分销、零售、储存等环节，每个环节都会产生一定量的温室气体。其中原料采购、包装和物流产生约 90%的排放，尤其原料采购是最主要的排放源^[12]。

食品工业的原料主要来源于种植业与畜牧业。科学研究发现，采用增加秸秆还田比例、氮肥优化管理、稻田间歇灌溉等传统固碳减排措施，可以有效降低粮食生产总碳排放。畜牧业领域则可通过秸秆青贮、氨化提高饲料综合利用率，实施沼气工程，提高甲烷利用率等畜牧管理相关技术实现碳减排。食品工业中的加工、包装、运输及其他环节同样存在的碳排放，可通过一系列措施降低碳排放。表 3 整理了食品工业中相关可能存在的碳排放源及减碳策略^[11,13~15]。

表 3 食品工业中的碳排放源及减碳策略
Table 3 Carbon emission sources and carbon reduction strategies in the food industry

序号	环节	来源	减碳策略
1	原料	饲料、农药、肥料的使用及畜牧甲烷排放	1. 科学高效的使用农药、肥料;2. 采用有机肥、有机饲料;3. 改进牧群管理和动物健康干预措施以提高动物生产力,减少单位重量甲烷排放;4. 加强回收和再利用,如秸秆还田、粪便堆肥、回收沼气(甲烷)作为燃料;5. 改善土壤性能,提升土地碳汇能力;6. 提高水资源的利用率

续表 3

序号	环节	来源	减碳策略
2	加工	化学能源、高能耗工艺	1. 节约用水,加强废水利用;2. 使用清洁能源;3. 优化生产工艺,减少能源消耗
3	包装	产品包装	1. 减少过度包装;2. 开发新的包装材料技术;3. 采用可回收材料
4	运输	原料、产品运输	1. 使用清洁能源运输车;2. 提升交通工具能效;3. 优化交通工具规模和运输路线;4. 就近采购生产。
5	其他	反季节果蔬、高碳排放烹调方式、食品浪费等	1. 引导消费方式,如购买应季食品,减少煎、炸、烧、烤等产生很多油烟的烹调方式等;2. 减少食物浪费

4 零碳、低碳食品发展现状

目前,食品尚未纳入低碳产品认证目录,碳关税也暂未涉及食品行业。但在低碳经济的大趋势下,减排压力终究会传导到各个行业。中国农业大学罗云波教授认为,在“双碳”目标下,节能减排是大势所趋,对零碳的开发有利于未来的竞争;同时零碳还包含着一定的社会价值,对于企业树立良好的品牌形象亦有助益。波士顿咨询公司林梦雅经理表示,碳中和有助于提高上市公司评级,减少融资成本^[16]。因此,许多食品企业已未雨绸缪,进军低碳食品、零碳食品领域。

达能旗下武汉和邛崃两家脉动工厂,通过优化能源结构,提高水的二次循环使用等,率先实现碳中和,成为达能在中国的首批碳中和工厂^[17];五粮液率先提出争创零碳酒企,建立了低碳循环、生态标杆的方针,通过生物质发电、能效提升等,优化全程创新生态链,确保综合能源指标达到行业领先水平,并为中国白酒行业的生态化发展树立典范^[18]。

此外,三元“雪凝瓶装酸奶系列”通过改用可回收玻璃瓶,减少了牛奶包装的消耗数量,降低了包装产生的碳排放量;康师傅生产的“纯萃零糖原味茶饮料”,成功获得碳中和证书,该证书由广东省节能减排标准化促进会颁布;经广州碳排放权交易所认定,广东盒马有机山茶油已实现产品预先碳中和;元气森林与远景科技集团联合发布一款碳中和气泡水,获得国内认证机构中标合信颁发的“碳中和认证(基于 PAS2060)”^[3,16,17,19];伊利和雀巢分别推出了零碳产品—金典 A2 β -酪蛋白有机纯牛奶和卓淳能恩 3 有机奶粉^[3,16,17,19]。

5 结论

在低碳经济背景下,国家推出一系列政策推动节能减排,推进低碳产品发展。一些食品企业也开始探索“碳中和”,推出低碳、零碳食品。目前低碳食品的认定,除基于 ISO 14067 产品碳足迹、ISO 14064 温室气体排放标准、英

国标准协会 PAS2060 碳中和核查规范外,只有一些地方性技术规范和团体标准,由于统一的标准和规范的缺失,可能存在一些企业虚假宣传,误导消费者。虽然目前食品行业不是国家重点关注的碳减排行业,但是,随着行业研究的深入及低碳、零碳产品的不断推出,建立统一的国家标准将是大势所趋。

参考文献:

- [1] 伏云辉.全球150余国提出碳中和目标[J].生态经济,2024,40(3):1-4.
- [2] 刘国信.零碳食品悄然走上百姓餐桌[J].防灾博览,2023(3):46-50.
- [3] 杨孝伟,杨隼.低碳食品在低碳经济发展中的重要性研究[J].生态经济,2011(4):89-91.
- [4] 杨轩,赵光洁,杨青瑞.国际碳排放约束政策对我国出口企业的影响及对策[J].质量与认证,2024(10):46-48.
- [5] 国家发展改革委办公厅.关于开展碳排放权交易试点工作的通知[EB/OL].(2011.11.29)[2024.10.28]<https://zfxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=1349>.
- [6] 国家质检总局办公厅,国家发展改革委办公厅.节能低碳产品认证管理办法[EB/OL].(2015.9.17)[2024.10.28].https://www.cnca.gov.cn/zwx/bmgz/art/2017/art_2f1561d802da49ccb4f281373359371c.html.
- [7] 新华社.中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要[EB/OL].(2016.3.17)[2024.10.28]http://www.xinhuanet.com/politics/2016lh/2016-03/17/c_1118366322_12.htm.
- [8] 中共中央、国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见[EB/OL].(2021.10.24)[2024.10.28].<http://js.wuxi.gov.cn/doc/2021/10/28/3472749.shtml>.
- [9] 国务院.关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见[EB/OL].(2024.1.25)[2024.10.28].https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm.
- [10] 国家发展改革委,市场监管总局,生态环境部.关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见[EB/OL].(2024.7.14)[2024.10.28].https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202408/t20240808_1392292.html.
- [11] 汪靖轩.“双碳”目标下的食品产业链低碳化发展刍议[J].现代食品,2023,29(17):57-59.
- [12] 联合国全球契约组织(UNGC),波士顿咨询集团(BCG).企业碳中和路径图(Corporate Net Zero Pathway)[R].2021.
- [13] 柏振忠,路云浩,王红玲.食物体系碳减排关键技术及实践路径探讨[J].湖北农业科学,2022,61(23):38-44+53.

- [14] 孟猛,郑昭阳.自主减排、碳关税对中国贸易和福利的影响研究[J].西安交通大学学报(社会科学版),2024,44(6):62-77.
- [15] 科学家提出粮食生产碳中和新路径[J].粮食加工,2023,48(3):142.
- [16] 悦文.零碳经济风起[J].中国商界,2022(10):120-123.
- [17] 解磊.践行“双碳”目标饮料行业兴起“低碳风”[N].消费日报,2022-11-16(A02).
- [18] 曾从钦.做食品就是做生态!五粮液争创零碳酒企[J].中国酒,2022,(11):42-43.
- [19] 王静.零碳食品,炒概念还是真减排? [N].新华日报,2022-12-12(11).

新技术为塑料设定使用寿命

受 DNA 等天然聚合物启发,化学家设计出一种在几天、几个月或几年内就能降解的塑料,而不会在环境中存留数百年。他们希望这项技术能催生出完成“使命”后安全自毁的塑料制品。相关论文 11 月 28 日发表于《自然-化学》。

2022 年,全球被丢弃的塑料超过 2.5 亿吨,其中仅 14%得到回收利用,其余则被焚烧或填埋。关于一种实用且可降解塑料的构想已至少存在了 35 年,人们曾尝试用竹子、海藻等各种材料制造这种塑料。但现实是,此类材料很难通过堆肥降解,它们的生产商所做的承诺往往也不切实际。

如今,美国罗格斯大学的顾玉伟(音)和同事研发了一种可调控寿命的塑料,它们能在堆肥或自然环境中迅速分解。

顾玉伟想知道,为什么 DNA、RNA 这样的天然长链聚合物能相对快速地降解,而塑料等合成聚合物却不行,以及是否有一种方法能复制前者的降解过程。

天然聚合物中含有一种名为“邻基”的化学结构,能促进降解。这种结构可引发被称为“亲核攻击”的内部反应,从而切断聚合物链上的化学键。这对普通塑料而言需要大量的能量。

研究团队创造出模仿天然邻基的人工化学结构,并添加到新塑料的制造过程中。他们发现,由此制得的塑料很容易分解,且通过调整添加物的结构,可以精确调控塑料在分解前保持完整的时间。

塑料分解后,长聚合物链会转化成小碎片,顾玉伟希望这些碎片要么用来制造新塑料,要么安全地分解在环境中。

“这项策略最适用于需要在数天至数月内受控降解的塑料,因此我们看好其在食品包装等短期消费品领域的应用潜力。”顾玉伟说,“目前该技术尚不适合那些需要在分解前保持数十年稳定的塑料,例如建筑材料或长期使用的结构部件。”

但在这类塑料实现商业化之前,仍有若干问题需要解决。首先,塑料分解后产生的液体由聚合物链碎片组成,需通过进一步测试确保其无毒,从而安全释放到大自然中。其次,目前该材料的分解过程需要紫外线触发,因此在研发出可在黑暗中分解的材料之前,任何被掩埋或覆盖的塑料都将在环境中长期存留。(李木子)

(来源:《中国科学报》 2025-12-02)

刺梨活性成分挖掘及其在饮料开发中的应用研究进展

余京京¹, 王欣颖², 蓬 波², 高昂泽², 毛立科^{1,*}

(1 中国轻工业健康饮品重点实验室, 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083;

2 贵州初好农业科技开发有限公司, 贵州 六盘水 553000)

摘 要: 刺梨是一种富含多种营养活性成分的天然原料, 具有极高的营养价值和广泛的应用前景。刺梨果实富含维生素 C、超氧化物歧化酶、黄酮类、萜烯类等功能性成分, 这些成分赋予了刺梨抗氧化、抗炎、免疫调节等多种生理活性。近年来, 随着健康意识的提升, 消费者对天然、健康、功能性饮料的需求不断增加, 刺梨为健康饮品的开发提供了新思路。目前, 市场上已有刺梨原汁、刺梨气泡水、刺梨茶、刺梨发酵饮品等多种类型的饮料, 这些饮料不仅保留了刺梨的原有风味和营养价值, 还通过与其他健康成分的复配, 实现了更多的保健功能。本文综述了刺梨中主要的营养活性成分、含量及生理功能, 探讨了刺梨在饮料开发中的应用现状和未来发展方向, 以期促进刺梨在饮料工业生产中的进一步应用, 提高刺梨资源的利用率。

关键词: 刺梨; 活性成分; 饮料工业

Active Ingredients of Rosa Roxburghii Tratt and Its Progress in the Development of Beverages

YU Jing-jing¹, WANG Xin-ying², PENG Bo², GAO Ang-ze², Mao Li-ke^{1,*}

(1 Key Laboratory of Healthy Beverages, China National Light Industry, College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2 Guizhou Chuhao Agricultural Technology Development Co., Ltd, Liupanshui 553000, China)

Abstract: Rosa roxburghii Tratt is a natural raw material rich in various nutritional active ingredients, with extremely high nutritional value and wide application prospects. Rosa roxburghii Tratt is rich in functional components such as vitamin C, superoxide dismutase, flavonoids and terpenes and so on. These ingredients endow Rosa roxburghii Tratt with various physiological activities such as antioxidant anti-inflammatory, and immune regulation. In recent years, with the improvement of health awareness, consumers' demand for natural, healthy, and functional beverages has continued to increase. Rosa roxburghii Tratt has provided new ideas for the development of healthy beverages. At present, there are various types of beverages on the market, such as Rosa roxburghii Tratt juice, Rosa roxburghii Tratt sparkling water, Rosa roxburghii Tratt tea and Rosa roxburghii Tratt fermented drinks. These beverages not only retain the original flavor and nutritional value of Rosa roxburghii Tratt, but also achieve more health functions through compounding with other healthy ingredients. This article summarizes the main nutritional active ingredients, content, and physiological functions of Rosa roxburghii Tratt, and explores the current application status and future development direction of Rosa roxburghii Tratt in beverage development. The purpose is to promote the further application of Rosa roxburghii Tratt in beverage industry production and improve the utilization rate of Rosa roxburghii Tratt resources.

Key words: Rosa roxburghii Tratt; active ingredients; beverage industry

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1007-7871(2025)06-0050-07

收稿日期: 2025-01-09

作者简介: 余京京(2000-), 女, 硕士, 研究方向为食品添加剂与功能配料。E-mail: 1175604510@qq.com

通讯作者: 毛立科(1983-), 男, 副教授, 博士, 研究方向为功能配料与健康饮品。E-mail: likemao@cau.edu.cn

刺梨是蔷薇科蔷薇属的多年生落叶灌木, 主要分布在贵州、四川、湘西区域, 尤其在贵州, 刺梨种植规模和产量最高^[1]。目前, 刺梨产业已经成为贵州省的一大特色产业, 其综合产值连续4年以年增长率超过35%的速度增长, 综合产值已超过150亿元^[2]。刺梨果实含有丰富的营养成分, 如维生素C、刺梨多糖、刺梨黄酮、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、刺梨三萜、氨基酸及微量元素等^[3-5], 这些活性物质使其在临床和食品应用中具有重要价值。根据《2021贵州刺梨功效》显示, 刺梨具有辅助免疫调节、抗氧化与抗衰老、改善睡眠、抗炎、解毒排毒、脏器保护、抗疲劳、抗突变与抗癌等诸多生理活性^[6,7]。随着健康意识的提升, 消费者对于天然、健康、功能性饮料的需求不断增加, 刺梨为健康饮品的开发提供了新思路。目前, 刺梨已被应用于开发果汁、茶饮等多种类饮品^[8,9]。本文对刺梨活性成分进行了系统论述, 探讨了其在饮料领域的应用前景, 以期推动刺梨资源在大健康产业中发挥更大作用。

1 刺梨的活性成分

1.1 维生素C

刺梨是一种维生素C含量极高的水果, 据研究, 刺梨中的维生素C含量相当于猕猴桃的30倍, 橙子的10倍, 因此刺梨也被誉为“维生素C之王”^[10]。吴红等^[11]利用高效液相色谱法对贵州17个产地的刺梨进行了维生素C含量的测定, 发现含量介于861mg/100g至1579mg/100g之间。张欣等^[12]测得刺梨鲜果汁中的维生素C含量为1611.75mg/100mL。在加工过程中产生的刺梨果渣占果实重量约50%, 果渣中维生素C含量同样不容忽视, 大约为366.02mg/100g至760mg/100g, 这一含量远高于其他常见果渣, 分别是菠萝果渣和沙棘果渣的23.8倍和20.7倍。无论是直接食用刺梨果实, 还是将其加工成果汁、果酱等食品, 刺梨都能为人体提供丰富的维生素C^[13,14]。

1.2 超氧化物歧化酶(SOD)

刺梨中超氧化物歧化酶(SOD)含量丰富, 是其重要的活性成分之一。SOD可清除人体内有害的超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$), 将其歧化成 H_2O_2 和 O_2 , 对机体免受自由基侵害尤为重要^[15]。研究报道, 刺梨样品中SOD活性高达7000U/g~10000U/g^[16], 为野生水果之冠。刺梨在生长发育过程中, SOD活性逐渐下降, 且随着采后时间的增加, 活性逐步损失。在pH值6~8时, SOD活性保持相对稳定, 而在加工过程中, 温度的变化会导致SOD活力发生改变, 范围为100U/g~5000U/g^[17]。付安妮等^[18]通过邻苯三酚自氧化法测定刺梨鲜果、糖渍刺梨、刺梨酒和刺梨干冲泡饮品的SOD酶活分别为2140、3716.2、368.1、308.2U/mL。

1.3 黄酮类化合物

刺梨富含黄酮类化合物, 总黄酮的平均含量为6.80mg/g, 最高可达8.00mg/g(鲜基)^[19]。研究发现, 刺梨果实水解液中含有槲皮素、杨梅素和山柰素三种甙元, 每100g果实的含量分别为13.57、92.89、16.65mg^[20]。另有研究表明, 刺梨鲜果中含有芦丁、槲皮素、没食子儿茶素、木犀草素等12种黄酮类化合物, 其含量是银杏叶的12倍, 柑桔的120~360倍, 因此, 刺梨被誉为“黄酮之王”^[21]。

1.4 多糖

多糖也是刺梨中重要的活性物质, 具有清除自由基、调节免疫系统, 增强机体抵抗力等功能, 展现出抗氧化、抗肿瘤和免疫调节等生物活性。刺梨中的多糖主要由葡萄糖、阿拉伯糖、鼠李糖、木糖和甘露糖等单糖组成^[15,22]。Wu等^[23]从刺梨叶中提取的粗多糖得率为11.04%, 且在较高浓度下, 刺梨多糖对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活性均有显著抑制作用, 同时具有较强的自由基清除活性。

1.5 萜烯类化合物

萜类是植物三大次生代谢产物之一。在刺梨中, 三萜类物质质量占其干重的2.10%~3.03%^[24]。研究显示, 刺梨中的萜类成分主要存在于果皮和果实中, 如熊果酸、齐墩果酸等多种三萜和单萜化合物, 这些成分在植物体中具有防御病原体和环境胁迫的功能, 能够清除体内自由基, 减少氧化应激对组织的损伤, 从而有助于预防慢性疾病和延缓衰老^[25]。其次, 刺梨中的熊果酸和齐墩果酸等成分具有抗炎特性, 可有效抑制炎症介质的产生, 缓解炎症相关疾病^[26]。此外, 这些萜类化合物还显示出抗菌和抗病毒作用, 有助于增强人体抵抗外来病原体的能力。

1.6 其他成分

1.6.1 氨基酸

野生刺梨含有7种人体必需氨基酸和9种有效氨基酸, 这些氨基酸在人体的正常生理活动中具有重要作用。野生刺梨含丰富支链氨基酸, 含量为9.89mg/g。支链氨基酸是骨骼肌蛋白质合成、肌肉修复及ATP生成不可或缺的氨基酸, 常被推荐用于肝性脑病、感染、创伤等应激病人的营养治疗中^[27]。

1.6.2 微量元素

刺梨中含有大量微量元素。不同产地的刺梨中, 铁的含量最高, 其次是锰、铷、钡、锌、铜、铬等微量元素, 这些元素对人体健康具有重要作用。锌在促进免疫系统功能、帮助伤口愈合和维持正常的味觉和嗅觉方面起到关键作用。铁是造血过程中的必需成分, 有助于预防缺铁性贫血。当然, 不同产地的刺梨果实微量元素含量存在差异, 其中铜、钛、锰的含量相对稳定, 而钴、钡和铁含量有较大差异^[28]。

2 刺梨饮料开发现状

2.1 刺梨原汁

刺梨原汁,有时也称为刺梨原浆,是通过将新鲜刺梨果进行榨汁处理,并进行过滤、精制等工艺制作而成的果汁。原汁在制作过程中不加入其他配料,保留了刺梨原有的风味和营养成分。为了达到理想的感官品质和储存稳定性,刺梨必须经过严格的挑选、压榨、酶解、分离和澄清等步骤。

刺梨的成熟度对原汁的口感和质量有重要影响。未成熟的青色刺梨香味淡,糖分和维生素含量较低,且酸涩味较重。过熟的刺梨则会导致维生素 C 和芳香物质的破坏,且果实易腐烂变质,难以保存^[29]。若使用直接压榨法提取果汁,可能导致出汁量低、维生素 C 含量较少、营养成分流失等问题。刺梨的色素主要集中在有色体内,溶解度小,不易随汁压出,因此直接压榨会使果汁的色香味不足,且大量活性物质残留在果渣中。郑健钧等^[30]采用渗出法优化刺梨汁提取工艺,控制果实切块大小、压榨温度等关键工艺参数,实现了逆流渗出工艺的高效应用,显著提高了果汁中可溶性固形物和维生素 C 的含量。

针对刺梨原汁酸涩味和口感不佳的问题,罗昱等^[31]研究了单宁酶在脱除果汁中单宁的效果,确定最佳脱除条件为单宁酶添加量 0.12%、pH4.5、脱除温度 45℃、脱除时间 100min,脱除率可达到 76.07%。为解决刺梨原汁加工和贮藏过程中果汁色泽褐变的问题,许培振等^[32]研究了葡萄糖氧化酶对果汁褐变的影响,实验结果得到了最佳抑制褐变的工艺条件:酶添加量 28U/L、作用时间 38min、作用温度 37℃。针对刺梨原汁加工后容易分层和沉淀的问题,宋琰等^[33]采用高压均质与复配稳定剂联合处理,使用黄原胶、羧甲基纤维素钠和果胶,经过两次高压均质处理,初步解决了刺梨原汁的不稳定问题。

2.2 刺梨气泡水

气泡水是指将二氧化碳加压后添加至水中,使其溶解量达到一定程度后形成气泡,从而制造出含二氧化碳气泡的饮品。气泡水因其清新的口感、细腻的气泡以及多样的口味,成为当前饮料市场上比较受欢迎的产品。刺梨气泡水是以刺梨果汁为主要原料,加入适量的糖、甜味剂、酸味剂调整口感,通过引入天然营养成分如维生素 C 和维生素 P,打造出既能满足味蕾享受,又有益健康的碳酸饮料。另一方面,二氧化碳的引入,在一定程度上可以弱化涩味的感知,从而提高刺梨饮品的感官接受度。目前市场上的刺梨气泡水一般将刺梨汁含量控制在 5%以下。此外,通过添加甜味剂(赤藓糖醇、甜菊糖苷)和酸味剂(柠檬酸、苹果酸等),平衡刺梨汁的酸甜感,以达到最佳的风味品质。

韦会平等^[34]将刺梨汁与具有抗疲劳活性的添加剂,如

牛磺酸和瓜拉纳提取物相结合,融合了刺梨特有的酸涩感与碳酸饮料的清爽口感,开发出了具有独特风味、更强抗氧化和抗疲劳活性的高果汁含量新型刺梨气泡饮料(见表 1)。该配方制得的产品呈淡黄透亮,色泽均匀,酸甜适中,散发刺梨香味,带有气泡饮料的清凉感,对羟自由基和超氧阴离子自由基的清除率分别达到 92.62% 和 82.84%,显示出较强的抗氧化活性。动物实验结果表明,该饮料具有显著的抗疲劳效果。

表 1 刺梨气泡水及其主要配料

Table 1 Rosa roxburghii Tratt sparkling water and their main ingredients

产品	主要配料
刺梨高果汁 气泡饮料 ^[35]	刺梨浓缩汁、果葡糖浆、二氧化碳、牛磺酸、瓜拉纳提取物、柠檬酸
刺梨气泡水 ^[36]	刺梨汁、果葡糖浆、赤藓糖醇、柠檬酸、DL-苹果酸、柠檬酸钠、聚葡萄糖、安赛蜜、六偏磷酸钠、苯甲酸钠、柠檬黄

2.3 刺梨茶

刺梨茶是通过特定的制茶工艺加工刺梨嫩叶制成的。刺梨嫩叶在贵州少数民族中作为传统药材使用,具有健胃消食的功效,常用于治疗积食饱胀和疳积金疮等。研究表明,刺梨叶中的总黄酮苷含量约是果实的 3 倍^[37]。此外,刺梨叶对 II 型糖尿病大鼠的脂代谢有辅助治疗作用,其抗氧化应激活性被认为是其治疗机制之一。刺梨茶具有辅助降血糖作用,能够作为一种功能性饮品用于调节血糖水平。研究还表明,刺梨茶对实验小鼠有辅助降血脂作用,这一作用可能与其所含的有机酸等水溶性物质有关^[8]。刺梨茶总黄酮具有较强的抗氧化活性,其 DPPH 清除能力介于 VC 和 BHT 之间。常见刺梨茶及其主要配料见表 2。

表 2 刺梨茶及其主要配料

Table 2 Rosa roxburghii Tratt tea and their main ingredients

产品	主要配料
刺梨叶茶 ^[37]	刺梨叶、绿茶、红茶、白茶
无籽刺梨红茶 复合饮料 ^[8]	无籽刺梨原汁、红茶茶汤、苹果酸、柠檬酸、白砂糖
刺梨双蛋白 奶茶饮料 ^[39]	刺梨汁、双蛋白、牛乳、豆乳、茶水、白砂糖
苦丁刺梨 魔芋茶 ^[38]	刺梨果、苦丁茶、魔芋精粉、白砂糖、柠檬酸
花香刺梨茶 ^[40]	刺梨干果、植物花干 (桂花、茉莉花、玫瑰花、菊花、金银花等)
刺梨营养茶 ^[41]	刺梨、白菊、绿茶、西洋参、白砂糖、早金莲

市场上也有很多利用刺梨果干为主要原料配制而成的刺梨果茶。将刺梨鲜果干制成果干,包装后形成刺梨果茶茶包。也可以通过与其他果干的复配,如桑葚、黑枸杞、无花果、柠檬等,来改善刺梨茶的风味,并提升营养价值。此外,通过与苦丁茶、杭白菊等原材料混合,可以显著改善复合袋泡茶的口感,同时保持高维生素 C 含量,增强其保健功能。苦丁刺梨魔芋茶由刺梨果汁、魔芋颗粒和苦丁茶汁制成,不仅具有刺梨果的保健功效,同时具有清热、解毒等健体强身的功效^[38]。

2.4 刺梨发酵饮品

2.4.1 刺梨果醋

刺梨果醋多以刺梨原汁或刺梨果渣为原料,加入酵母菌、醋酸菌经发酵而成,可分为传统刺梨果醋和刺梨混菌固定化发酵果醋^[42]。传统刺梨果醋采用刺梨为发酵底物,通过酵母菌和醋酸菌两步发酵制成,成品富含多种酯类和酸类等挥发性成分,口感酸甜,风味独特,具有辅助消食健脾、缓解疲劳、调节体内酸碱平衡、补充代谢消耗、清热解暑等保健功效。刺梨混菌固定化发酵果醋则是通过酵母菌、乳酸菌和醋酸菌一步发酵制成,集合了酵素与果醋的特性,保留果醋的风味,还含有多种有机酸、益生菌及酶等活性成分,能改善刺梨酸涩的不良风味,增强其功能保健作用。

刘春梅等^[43]在单因素的基础上,通过响应面分析法优化了影响发酵产醋的主要因素,建立了影响因素与响应值之间的函数关系,并通过回归方程研究出最佳工艺条件:发酵温度 30℃,接种量 4%,初始酒度 10%,最终发酵产醋量为 11.56%。李小红等^[42]采用响应面法考察了醋酸菌接种量、发酵时间、发酵温度及装液量 4 个因素对发酵工艺的影响。徐廷^[44]以刺梨果为原料发酵制得刺梨果醋,重点探讨了刺梨果醋的风味物质和有机酸组成,为刺梨果醋品质提供了理论参考。

2.4.2 刺梨发酵果汁

益生性的乳酸菌对人体健康的益处一直是国内外研究的热点。研究表明,利用益生乳酸菌发酵的果制品,不仅具有独特的风味和口感,还能提高果蔬制品的营养价值^[45]。利用副干酪乳杆菌对刺梨汁进行发酵,可以降解刺梨中的单宁,防止褐变,改善其感官品质^[46]。乳酸菌发酵的刺梨汁在降血脂、降血糖和抑制胰脂肪酶活性方面表现出比未发酵刺梨汁更强的效果。宁豫昌等^[47]将刺梨果汁与苹果汁按一定比例混合,并利用副干酪乳杆菌进行发酵,制得了一种抗氧化性强、口感柔和、兼具刺梨和苹果风味的混合发酵果汁。结果表明,当复合酶的添加量为 3g/L (果胶酶与纤维素酶的质量比为 3:2),处理温度 35℃,处理时间 1.5h 时,混合果汁的透光率最高,为 97.97%。左云洋等^[48]使用副干酪乳杆菌 SR10-1 发酵刺梨汁,能有效降解转化单宁,改善其感官品质,乳酸菌发酵刺梨汁在降血

脂、降血糖、抑制胰脂肪酶活性强于未发酵的刺梨汁。经 SR10-1 发酵的刺梨汁,还显著增强了免疫力低下小鼠的免疫功能,降低了炎症因子。此外,乳酸菌发酵刺梨汁还能通过调整小鼠肠道菌群,增加有益菌的丰度,减少有害菌,从而提升免疫力和抗氧化能力。常见刺梨发酵饮品及其主要配料见表 3。

表 3 刺梨发酵饮品其主要配料
Table 3 Rosa roxburghii Tratt fermented beverage and their main ingredients

产品	主要配料
刺梨果醋 ^[43]	刺梨汁、蔗糖、柠檬酸、蜂蜜、发酵剂 (酵母菌、乳酸菌、醋酸菌)
刺梨果酒 ^[49]	刺梨果、果胶酶、蔗糖、酿酒酵母、乳酸菌、 酒类酒球菌
刺梨糯米酒 ^[50]	饮用水、糯米、刺梨汁
刺梨啤酒 ^[51]	刺梨干粉、小麦、啤酒花、啤酒干酵母
乳酸菌发酵 刺梨汁 ^[46]	刺梨汁、副干酪乳杆菌 SR10-1
枸杞刺梨 复合饮料 ^[4]	刺梨粉、枸杞原浆、酿酒酵母
刺梨、苹果 混合发酵果汁 ^[47]	苹果、刺梨、副干酪乳杆菌、果胶酶、纤维素酶

2.4.3 刺梨果酒

果酒严格意义上不属于饮料,考虑到其作为饮品具有一定发展潜力,在此简单论述。刺梨果酒是以刺梨果粉或刺梨汁等为原料,经发酵和/或与其他酒类调配而制成的含酒精产品。根据是否与其他酒类混合调配大致可分为刺梨发酵酒和刺梨配制酒。其中刺梨发酵酒是刺梨果粉或刺梨汁经微生物发酵而不与其他酒类混合调配的酒,发酵方式包括固态发酵及液态发酵:固态发酵是以刺梨干粉、糯米为主要原料,辅以曲药发酵、陈酿的发酵方式;而液态发酵是刺梨榨汁经发酵剂发酵,然后澄清、杀菌的发酵方式^[52]。刺梨配制酒是以食用酒精或蒸馏酒为基酒,加入刺梨汁或刺梨原酒,经调味剂进行调配、混合或再加工制成的与原基酒风格不同的酒。刺梨酒保留了刺梨中的丰富营养成分,可调节情绪,有利于身体健康,受到消费者的喜爱。

2.5 刺梨功能饮料

随着消费者对健康饮品需求的不断增长,刺梨功能类饮料的开发成为研究的热点。研究人员通过添加蜂蜜、芦荟、西芹、蒲公英等健康原料,已经开发出多种刺梨复合饮料,不仅提升了饮料的营养价值和保健功能,还丰富了口感和风味。研究发现,将刺梨汁与蜂胶提取液或乳化后的粗蜂胶复合,制成的刺梨蜂胶饮料具有良好的风味,色

泽浅黄,酸甜适中,口感丰富^[53]。与单纯的刺梨汁相比,刺梨蜂胶提取液饮料和刺梨粗蜂胶饮料的酸味和苦味更为突出,而鲜味和涩味则相对较淡。刺梨蜂胶饮料能辅助降低小鼠的血糖和血脂水平,其中刺梨蜂胶提取液饮料的效果优于刺梨粗蜂胶饮料。蒲公英的维生素 C 含量较低,但与刺梨结合使用后,可以弥补这一不足,从而生产出集风味、营养和保健于一体的健康饮料^[54]。芹菜和刺梨都具有抗癌和抗氧化的作用,然而芹菜汁的苦涩味和微咸味限制了其在果蔬汁中的添加量,而刺梨汁能够调和这种蔬菜的味道,且复配后功能性成分含量得到了提升^[55]。常见刺梨功能饮料及其主要配料见表 4。

表 4 刺梨功能饮料及其主要配料

Table 4 Rosa roxburghii Tratt functional beverage and their main ingredients

产品	主要配料
芹菜刺梨复合功能性饮料 ^[55]	刺梨原浆、芹菜汁、柠檬酸、白砂糖、黄原胶、海藻酸钠
蒲公英刺梨复合饮料 ^[54]	刺梨、蒲公英、白砂糖、柠檬酸、明胶
刺梨蜂胶饮料 ^[53]	刺梨汁、蜂胶提取液、柠檬酸、蔗糖、羧甲基纤维素
刺梨胶原蛋白饮料 ^[56]	刺梨汁、胶原蛋白、透明质酸、木糖醇、苹果汁、黄原胶
富含益生元的刺梨饮料 ^[9]	刺梨原汁、低聚果糖、低聚半乳糖、菊粉
刺梨、芦荟复合保健饮料 ^[57]	刺梨原汁、芦荟原汁、白砂糖、柠檬酸、黄原胶
刺梨-松花粉复合饮料 ^[58]	刺梨原汁、松花粉、蔗糖、柠檬酸、海藻酸钠
椴柑刺梨复合果汁 ^[59]	刺梨、椴柑、蔗糖、蜂蜜、柠檬酸、明胶、黄原胶

2.6 其他

2.6.1 刺梨口服液

刺梨口服液是当前刺梨保健品开发的重要形式之一。刺梨口服液多为刺梨原浆调配柠檬酸、木糖醇等成分制成;也可与其他中药成分和功能成分复配,提升刺梨口服液的营养价值和保健功能,如茯苓、灵芝、山楂、蜂蜜、茶多糖等,制成集功能和风味为一体的多功能刺梨口服液。刺梨口服液经过多年研究,目前现有产品具有多种辅助临床功能效果,包括排铅、解酒、降血糖、降血脂、预防癌症、提高免疫力、促进胃肠消化等功能^[60]。常见刺梨口服液及其主要配料见表 5。

陈小敏等^[61]研制了一款降血糖刺梨口服液,并对降血糖效果进行测定。最佳配方为刺梨汁占比 57.34%,苦荞汁占比 27.66%,苦瓜汁占比 15.00%,小鼠实验表明降糖效

果良好。黄颖^[60]制备了一款解酒刺梨口服液,优化后的口服液配方为:刺梨 86%,蜂蜜 14%,白砂糖添加量 3%,柠檬酸添加量 0.07%,乙基麦芽酚添加量 0.03%。此条件下,血液酒精浓度下降,酒精代谢酶活力和转氨酶活力增强。该产品解酒功效强于单一原料,对酒精引起的肝损伤具有辅助保护作用。

表 5 刺梨口服液及其主要配料

Table 5 Rosa roxburghii Tratt oral liquids and their main ingredients

产品	主要配料
刺梨康倍佳口服液(辅助驱铅作用) ^[62]	纯天然刺梨果、白砂糖
刺梨解酒口服液 ^[60]	刺梨,蜂蜜,白砂糖,柠檬酸,乙基麦芽酚
刺梨降血糖口服液 ^[61]	刺梨汁、苦荞汁、苦瓜汁
丽人口服液(抗氧化作用) ^[63]	刺梨、制首乌、紫苑、白藜皮、桑椹、适量硒元素
茶多糖刺梨口服液(辅助降血糖作用) ^[64]	刺梨汁、茶多糖、复合稳定剂

2.6.2 刺梨 SOD 口服液

刺梨具有较高含量的 SOD,因此刺梨 SOD 口服液也受到了诸多关注。章建华等^[65]制备了一款刺梨 SOD 口服液,并对 38 例失眠患者进行了临床疗效观察,研究显示在治疗失眠方面效率为 88.2%。汪建疆等^[66]介绍了一种刺梨酵素 SOD 肽饮品及其生产方法,原料包括刺梨原汁、刺梨酵素、苹果浓缩汁、蓝莓原汁、鱼胶原蛋白肽、胶原三肽、人参低聚肽、燕窝肽等,产品口感细腻香醇,保健功能突出。罗忠圣等^[67]介绍了一种高活力刺梨 SOD 提取物的干燥及制备方法和应用,提取过程中不进行加热处理,通过浓缩、提取、盐析等步骤有效去除了提取物中的杂质成分,实现了对刺梨中 SOD 进行了富集。

3 刺梨饮料开发未来展望

刺梨中活性物质含量丰富,刺梨饮料的开发前景广阔。随着人们对天然、健康食品的需求日益增加,刺梨作为富含维生素 C、多酚、萜烯类和微量元素等功能性成分的天然原料,能够为饮料市场注入新的活力。尽管当前刺梨饮料在稳定性、风味改良和工艺优化方面仍存在一些挑战,但随着技术的进步和研究的深入,这些问题将得到逐步解决。未来研究可着重于刺梨活性成分的提取、复配技术的优化以及其与其他天然成分的协同作用,也可以通过发酵技术富集营养物质、分解不良风味物质,从而提升饮料的营养价值和感官体验。除了直接开发各种刺梨饮料,也可以通过开发高活性物质含量的刺梨源功能性配料,如刺梨 VC 粉、刺梨 SOD 粉、刺梨黄酮粉等,为健康饮品开

发提供更多原料选择。当前刺梨加工过程中的副产物并未得到有效利用,如何高效提取其中的活性物质,为饮料开发提供更多的纤维素、维生素C、果胶等配料,是学术界和产业界都需要关注的问题。此外,进一步开展动物、人体试验验证刺梨饮料的健康功效,为市场推广提供更有力的科学依据,进而开发更多适应大健康产业发展的刺梨新型功能饮品,助推刺梨产业高速发展。

参考文献:

- [1] 苏娟.刺梨渣不溶性膳食纤维中结合多酚对其理化性质和生物活性的影响研究[D].广州:华南理工大学,2023.
- [2] 史官清,涂兴蜓,李慧君.贵州省刺梨产业优化发展的问题与对策研究[J].中国果树,2021,11:103-108.
- [3] 俞露,赵芷,张文欣,等.贵州不同地区刺梨的综合品质对比分析[J].现代食品科技,2021,37(9):169-178.
- [4] 石玉璞,牛思思,韩璐瑶,等.枸杞刺梨复合饮料的工艺优化及其降血糖性能[J].食品研究与开发,2023,44(18):149-157.
- [5] LI Huan, FANG Wangyang, WANG Ze, et al. Physicochemical, biological properties, and flavour profile of *Rosa roxburghii* Tratt, *Pyracantha fortuneana*, and *Rosa laevigata* Michx fruits: A comprehensive review[J]. Food Chemistry, 2022, 366(10): 130509.
- [6] 任伟.中国营养专家于小冬在贵州指出:刺梨所含营养成分与人体所缺高度吻合[J].大众科学,2021,10:24-27.
- [7] MADRIGAL-SANTILLÁN E, GARCÍA-MELO F, MORALES-GONZÁLEZ J A, et al. Antioxidant and anticlastogenic capacity of prickly pear juice[J]. Nutrients, 2013, 5(10): 4145-4158.
- [8] 王赞,肖祥云,刘云,等.无子刺梨红茶复合饮料配方研究及其香气成分分析[J].食品安全质量检测学报,2022,13(11):3660-3667.
- [9] 朱一方,李贵荣,朱波,等.富含益生元的刺梨饮料配方的优化[J].食品研究与开发,2020,41(13):119-125.
- [10] 许粟,刘宇泽,史大娟,等.果汁型刺梨碳酸饮料工艺优化及其稳定性[J].食品研究与开发,2024,45(6):142-148.
- [11] 吴红,罗忠圣,罗宗乾,等.贵州十七个产地刺梨抗氧化活性及抗氧化物质分析[J].北方园艺,2023,20:94-101.
- [12] 张欣,王辉,罗婧文,等.超高压等灭菌方式对刺梨汁营养及风味的影响研究[J].食品科技,2024,49(2):82-89.
- [13] 木仁,梁班妹.刺梨果渣在动物生产中的应用研究进展[J].现代畜牧科技,2024,4:77-79.
- [14] 杨胜红,洪源,兰方林,等.刺梨果渣天然替抗的制备及其在饲料添加剂中的应用[J].现代畜牧科技,2023,12:69-72.
- [15] JAIN A, SARSAIYA S, GONG Qihai, et al. Chemical diversity, traditional uses, and bioactivities of *Rosa roxburghii* Tratt: A comprehensive review[J]. Pharmacology and Therapeutics, 2024, 259: 108657.
- [16] 卿云光,任永超.探讨温度条件对刺梨品质的影响[J].食品工业,2024,45(11):98-102.
- [17] 李东,张小勤,蒋思峡,等.刺梨功能成分及其功能性食品研究进展[J].食品安全质量检测学报,2022,13(17):5730-5738.
- [18] 付安妮,高明波,冯杰.刺梨中SOD的提取和酶活测定[J].广州化工,2016,44(16):144-146.
- [19] 王振伟,申森,胡晓冰.刺梨中黄酮的超声提取及HPLC测定[J].湖北农业科学,2014,53(19):4684-4687.
- [20] 付阳洋,刘佳敏,卢小鸾,等.刺梨主要活性成分及药理作用研究进展[J].食品工业科技,2020,41(13):328-335.
- [21] 李喆,任廷远.刺梨功能活性成分及生理作用的研究进展[J].贵州农业科学,2022,50(11):84-92.
- [22] 周世林.刺梨多糖的提取及其体外降脂活性研究[D].广州:华南理工大学,2022.
- [23] WU Hongyan, LI Mingming, YANG Xiuru, et al. Extraction optimization, physicochemical properties and antioxidant and hypoglycemic activities of polysaccharides from roxburgh rose (*Rosa roxburghii* Tratt.) leaves[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 165: 517-529.
- [24] 赵斯尘,王永刚.药食同源刺梨的研究进展[J].食品工业,2022,43(3):186-191.
- [25] 刘英荣.刺梨三萜类成分的制备及其生物学活性研究[D].绵阳:西南科技大学,2021.
- [26] 樊卫国,周禹佳.刺梨叶、花瓣和果实的多酚及三萜组分、含量及其提取物的抗氧化特性[J].贵州大学学报(自然科学版),2022,39(5):13-21.
- [27] LU Min, AN Huaming, WANG Daoping, et al. Characterization of amino acid composition in fruits of three *rosa roxburghii* genotypes[J]. Horticultural Plant Journal, 2017, 3(6): 232-236.
- [28] ONISZCZUK Anna, WOJTOWICZ Agnieszka, ONISZCZUK Tomasz, et al. *Opuntia* Fruits as Food Enriching Ingredient, the First Step towards New Functional Food Products[J]. Molecules, 2020, 25(4): 916.
- [29] 高秀丽.药食同源民族药——刺梨[M].北京:科学出版社,2017:172-176.
- [30] 郑健钧,晃芳芳,扬扬.应用渗析法加工刺梨汁工艺技术研究[J].食品科技,2003,2:4.
- [31] 罗昱.刺梨果汁褐变与风味调控研究[D].贵阳:贵州大学,2015.
- [32] 许培振,罗昱,林梓,等.响应面优化葡萄糖氧化酶抑制刺梨果汁褐变工艺[J].食品科学,2016,37(24):6.
- [33] 宋瑛,张红霞,金佳幸,等.金刺梨原汁制备及其稳定性优化[J].食品与发酵工业,2022,48(13):7.
- [34] 韦会平,马礼平,肖明鹏.刺梨气泡水配方优化及其抗氧化和抗疲劳活性研究[J].保鲜与加工,2022,22(6):58-63.
- [35] 韦会平,郑毅,韩洪波,等.刺梨高果汁气泡饮料及其制备方法和用途:中国,202110336421.1[P].2023-03-31.
- [36] 王欣颖,陈大龙,刘晟,等.一种刺梨气泡水及其制备工艺:中国,202211343685.0[P].2023-01-31.
- [37] 周艺.刺梨茶对实验小鼠降血糖、血脂及抗氧化作用研究[D].贵阳:贵州大学,2017.
- [38] 周墙,卢群.苦丁刺梨魔芋茶的加工工艺[J].农牧产品开发,2001,07:19-20.
- [39] 王倩玉,杨琦,黄国梁,等.刺梨双蛋白奶茶饮料的研制[J].保鲜与加工,2021,21(12):59-65.
- [40] 敖云霞.一种香花刺梨茶制品:中国,201611038494.8[P].2018-05-29.
- [41] 刘水波.一种刺梨营养茶及其制备方法:中国,201910002978.4[P].2019-01-03.

- [42] 李小红,阳如诗,魏韶,等.响应面法优化刺梨果醋的发酵条件[J].中国调味品,2018,43(3):63-67.
- [43] 刘春梅,代亨燕,苏晓光,等.刺梨果醋饮料的研制[J].中国酿造,2009,10:155-157.
- [44] 徐廷.刺梨果醋饮料的研制及其发酵过程中的品质变化[D].恩施:湖北民族大学,2018.
- [45] 吴石金,张嘉琳,陈彦霖,等.发酵食品中抗氧化乳酸菌的筛选与鉴定[J].浙江工业大学学报,2019,47(6):685-691.
- [46] 许浩翔.乳酸菌发酵刺梨汁对小鼠免疫力及肠道微生态影响的研究[D].贵阳:贵州大学,2021.
- [47] 宁豫昌,高俊杰,袁艺萌.复合酶处理对刺梨、苹果混合发酵果汁的影响[J].食品与生物技术学报,2023,42(8):87-94.
- [48] 左云洋,胡萍,许浩翔,等.副干酪乳杆菌SR10-1发酵刺梨汁对葡聚糖硫酸钠诱导小鼠溃疡性结肠炎的缓解作用[J].食品科学,2023,44(15):121-128.
- [49] 郭志君,杨磊,骆红霞,等.苹果酸—乳酸发酵对刺梨酒香气的影响[J].食品与机械,2022,38(3):197-204+233.
- [50] 武世新.刺梨糯米酒的酿造工艺[J].酿酒科技,2001,3:53-54.
- [51] 黄宝纯,韩雪,王雷,等.一款刺梨啤酒的研制及其成分检测[J].中国食品,2023,22:122-124.
- [52] 张立芳,杨睿,叶鑫,等.刺梨果酒发酵工艺优化及挥发性风味物质分析[J].食品安全导刊,2024,30:124-128.
- [53] 邓毅,王礼洪,李东,等.刺梨蜂胶饮料配方及其稳定性研究[J].中国酿造,2015,34:5:87-90.
- [54] 谭书明,孙宇,杨光.蒲公英、刺梨复合饮料加工工艺[J].食品工业,2001,2:3-4.
- [55] 谢曼曼,李保国,黄海欣,等.芹菜刺梨复合功能性饮料的研制[J].食品研究与开发,2016,37(18):58-61.
- [56] 漆正方,蔡金腾,张容榕.刺梨胶原蛋白饮料配方及稳定性的研究[J].食品工业,2016,37(5):58-61.
- [57] 郭军,林小敏,骆立智.刺梨、芦荟复合保健饮料工艺[J].食品工业,2005,2:16-18.
- [58] 刘敏,邓婧,谭书明.刺梨-松花粉复合饮料的研制[J].山地农业生物学报,2015,34(5):60-64.
- [59] 刘春荣,王登亮,郑雪良,等.柑桔刺梨复合果汁的研制[J].浙江柑橘,2014,31(4):29-32.
- [60] 黄颖.刺梨解酒口服液研发及功能性评价[D].贵阳:贵州大学,2020.
- [61] 陈小敏.刺梨降血糖口服液研发及功能性评价[D].贵阳:贵州大学,2020.
- [62] 陈可风,宋玲,冯成彬,等.刺梨康倍佳口服液的研制及驱铅作用[J].中国工业医学杂志,1999:4:30-31.
- [63] 钟恒亮,王荔萍,卢素,等.丽人口服液抗氧化作用及对免疫功能的影响[J].中华预防医学杂志,2002:3:74.
- [64] 刘朝东,艾于杰,李攀攀,等.一种降血糖的茶多糖刺梨口服液的制备方法:中国,202311460511.7[P].2024-01-12.
- [65] 章建华,戴建华,陈志斌,等.刺梨SOD口服液的制备及临床应用[J].中国药房,2001,04:211-212.
- [66] 汪建疆,鲍运红,韩帮国,等.一种刺梨酵素SOD肽饮品及其生产方法:中国,202311715748.5[P].2023-12-14.
- [67] 罗忠圣,杨小生,严艳芳,等.一种高活力刺梨SOD提取物的干燥及制备方法和应用:中国,202211657233.X[P].2022-12-22.

石榴皮中多酚类物质提取工艺及生物活性研究进展

余凡¹, 吴彦君¹, 赵少丹², 李楠¹, 赵莲¹

(1 陕西煤业化工技术研究院有限责任公司华州分公司, 陕西 渭南 714000;

2 西安向阳航天材料股份有限公司, 陕西 西安 710038)

摘要: 石榴皮中富含多酚类物质, 具有抗氧化、抗菌、抗炎、抗癌等功效, 在食品加工、医疗保健、饲料加工、化工生产方面有良好的利用前景。但石榴皮在石榴加工行业的利用率不高, 不仅造成资源浪费, 还会造成一定的环境污染。文章阐述了石榴皮多酚不同的提取方法、功能活性及应用价值, 旨在为石榴皮的综合利用及石榴加工行业的绿色可持续发展提供参考。

关键词: 石榴皮; 多酚类物质; 提取; 生物活性

Research Progress on Extraction Technology and Bioactivity of Polyphenols from Pomegranate Peel

YU Fan¹, WU Yan-jun¹, ZHAO Shao-dan², LI Nan¹, ZHAO Lian¹

(1 Huazhou Branch of Shanxi Coal and Chemical Technology Research Institute Co., Ltd., Weinan 714000, China;

2 Xi'an Xiangyang Aerospace Materials Co., Ltd., Xi'an 710038, China)

Abstract: Pomegranate peel is rich in polyphenols, which have antioxidant, antibacterial, anti-inflammatory, anticancer and other effects, and has good prospects in food processing, medical care, feed processing, chemical production. However, the utilization rate of pomegranate peel in pomegranate processing industry is not high, which causes both waste of resources, but also causes certain environmental pollution. This paper expounds the different extraction methods, functional activities and application values of pomegranate peel polyphenols, aiming to provide references for the comprehensive utilization of pomegranate peel and the green and sustainable development of pomegranate processing industry.

Key words: pomegranate peel; polyphenols; extraction; biological activity

中图分类号: TS255

文献标志码: A

文章编号: 1007-7871(2025)06-0057-06

石榴(*Punica granatum* L.)是千屈菜科石榴属于落叶灌木或乔木, 在我国种植较为普遍, 是集生态、经济、社会效益以及观赏与保健等功能于一身的优良果树^[1-2]。石榴皮富含多酚类物质, 如鞣花酸、没食子酸、儿茶素、儿茶酚、绿原酸等^[3,4], 这些多酚类物质约占石榴皮干重的10%~20%^[5], 具有很好的利用价值, 但在石榴加工过程中, 石榴皮仅作为饲料、肥料被简单处理或被直接丢弃, 造成了很大的浪费^[6-8]。研究表明, 石榴皮中多酚具有降低血压血脂^[9-11]、抗氧化、抗肿瘤、抑菌、抗动脉硬化、防癌、防冠心病等功效^[12-17], 在医药、化妆品以及食品领域被广泛应用。目前, 绝大多数石榴加工企业出于技术和成

本考虑, 石榴皮等副产物的利用率和利用价值均不高, 如能充分利用这些副产物使其变废为宝, 不仅可以提高其资源化利用程度, 延伸石榴生产加工产业链, 还可解决环境污染问题, 对石榴加工产业的资源高效利用和绿色可持续发展具有重大意义。

1 石榴皮多酚的提取方法

石榴皮中多酚提取方法主要有微波辅助提取法、溶剂提取法、超声波辅助提取法、超临界流体萃取法等。随着科技的进步, 一些联合提取法及一些高效的溶剂被逐步研

收稿日期: 2024-12-18

作者简介: 余凡(1990-), 男, 工程师, 本科, 研究方向为天然产物提取。E-mail: yufan0039@163.com

究出来,为石榴皮中多酚提取的工业化应用奠定了基础。

1.1 微波辅助提取法

微波辅助提取法是一种用微波能进行物质萃取的技术,通过微波能加热与样品相接触的溶剂,强化传热和传质的过程,显著提高萃取速度、效率和质量,具有节约时间、提取效率高和节省溶剂等优点,且提取的多酚生物活性保留好、操作温度低、能耗低,是一种较为环保的绿色技术^[18]。黄琦等^[19]用响应面分析法优化石榴皮总多酚的微波辅助提取工艺,以总多酚得率为指标,通过单因素实验及响应面分析,研究了乙醇体积分数、提取时间、提取功率及液固比4个主要因素对石榴皮总多酚得率的影响。采用Box-Behnken中心组合设计和响应面分析法,建立了回归方程的预测模型,确定最佳提取条件为乙醇体积分数58%、提取时间98s、提取功率235W、液固比49:1(mL/g),在此条件下总多酚得率为(23.26±0.15)%。文春娟等^[20]研究了微波辅助提取石榴皮多酚的工艺,采用单因素实验及正交试验,考察不同条件下石榴皮多酚提取率。结果表明,提取溶剂乙醇体积分数、微波功率、提取时间及料液比均对石榴皮多酚提取率有显著影响;石榴皮多酚的最佳提取条件为50%(体积分数)乙醇作溶剂,微波功率300W,提取时间120s,料液比1:35(m:v)。该条件下石榴皮多酚提取率可达21.41%。Konstantinos等^[21]对石榴皮渣(PP)中总多酚和总黄酮的真空微波辅助提取进行了研究,并在工业规模上成功优化。采用了一种新颖的、基于全面多点历史设计的高精度响应面法,结果表明:微波功率4961.07W、水料比29.9、提取时间119.53min,微波功率4147.76W、水料比19.32、提取时间63.32min时,PP总多酚和总黄酮的回收率最高。

1.2 超声辅助提取法

超声辅助提取技术是利用超声波产生的震动和空化效应来加速植物细胞内有效成分释放的提取技术,超声波在液体中传播时会产生高速、强烈的空化效应和搅拌作用,破坏植物药材的细胞壁,使溶剂能够更好地渗透到细胞内部,从而缩短提取时间,极大地提高了提取效率。穆谈航等^[22]采用单因素实验和正交试验方法对石榴皮中多酚的超声辅助提取工艺进行优化,得出最佳工艺为:成熟程度为幼期,料液比为1:5,提取温度为20℃,提取时间为50min,多酚最佳含量为11.47mg/g。Zivkovic等^[23]采用响应面法确定了超声辅助提取石榴皮多酚的最佳工艺条件为:提取时间25min,乙醇浓度59%,料液比1:44,提取温度80℃。Sun等^[24]采用超声辅助浊点萃取法进行提取操作,并对工艺参数进行优化。结果表明,在料液比1:40、Triton X-110浓度10%(v/v)、温度70℃、pH4.0、NaCl浓度14%(w/v)的条件下提取40min为最佳提取工艺。多酚的最大提取率为82.37mg没食子酸当量(GAE)/g。Motikar等^[25]为高效分离多酚,采用超声辅助浊点萃取工艺,在

55℃、pH4.5、14%的NaCl条件下,以料液比1:70、8%(v/v)Triton X-114、提取30min,得到最大提取量,总多酚含量96.28mgGAE/g。邓永等^[26]采用超声辅助提取法从石榴皮中提取多酚,结果表明:在超声条件下,用水作为溶剂有更高的多酚得率,比甲醇等有机溶剂提取效果更好。在优化条件:料液比1:60(g/mL),超声功率为400W和超声时间为25min时,多酚的最佳得率为39.3mg/g(以没食子酸为标准),高于传统溶剂提取法得率(32.58mg/g)。

1.3 溶剂提取法

溶剂提取法是植物化学成分提取最传统的方法,将经处理的天然产物浸入溶剂中,溶剂通过扩散和渗透作用进入植物细胞内,溶解可溶性成分并造成细胞内外浓度差,细胞内溶质不断向外扩散,溶剂不断进入天然产物组织细胞中,直至达到细胞内外浓度动态平衡,将溶液滤出,回收溶剂便可得到总提取物。此方法具有简单、成本低廉的优点,但提取效率相对较低,对环境相对不友好^[27]。张茂栖等^[28]采用溶剂浸提法,通过响应面法优化提取时间、乙醇浓度、温度、料液比,得到最佳提取条件为:提取时间77min、乙醇浓度36.0%、温度66.9℃、料液比1:37。在此条件下,总酚含量为242.026±1.94mgGAE/g。吴琳等^[29]对石榴皮多酚的提取工艺进行研究,选择乙醇体积分数、温度、时间、料液比等进行正交试验,结果表明:采用乙醇作为溶剂时,料液比和提取温度是影响石榴皮多酚提取效果的主要因素,两者的影响都达到极显著,乙醇体积分数的影响为显著,而提取时间的影响不显著。最佳提取条件为石榴皮粉(过60目筛),以1:20(g:mL)的料液比经过体积分数20%乙醇的回流提取(温度50℃,时间2h),总多酚得率提高为23.27%。许汝等^[30]通过单因素实验和响应面分析,研究乙醇浓度、料液比、提取时间和提取温度对石榴皮中多酚提取率的影响,结果表明最佳工艺为:60%乙醇溶液作为提取溶剂,按1:25(g/mL)料液比,在30℃条件下提取60min,石榴皮多酚的提取率可高达14.09%。苏娜等^[31]用纯水为浸提溶剂加热提取石榴皮中总多酚,通过单因素实验研究了浸提温度、时间、料液比以及提取次数4个客观因素的变化规律,通过Box-Behnken响应面分析试验确定最佳工艺为:浸提温度45℃、时间30min、料液比1:20(g/mL)、提取次数3次,4个因素对石榴皮总多酚提取率的影响顺序依次为温度、料液比、提取时间、提取次数,并以此优化工艺进行实验,所得总多酚提取率为17.11%。以纯水作为提取溶剂可避免有机溶剂残毒问题,极大地提高了其安全性。

1.4 超临界流体萃取法

超临界流体萃取是一种先进的物理萃取分离技术。利用超临界流体,即温度和压力均超过该物质的临界温度和临界压力的流体作为萃取剂,从液体或固体中萃取出特定成分。在超临界状态下气体与液体两相的界面消失,表面

张力为零,流体既有气体的良好流动性,又有液体较高的密度和溶解能力。最常见的超临界流体是二氧化碳(CO_2),它的临界温度(31.3°C)和临界压力(7.38MPa)相对较低,且性质稳定、无毒、不易燃、廉价易得,对环境相对友好^[32,33]。颜雪琴等^[34]以乙醇为夹带剂进行超临界 CO_2 萃取石榴皮花青素的工艺研究,采取单因素实验结合正交法对石榴皮中原花青素的提取工艺进行优化,最终确定最佳工艺为:乙醇体积分数 65%, CO_2 流速为 5L/h ,提取时间 58min,料液比 1:1.3,提取温度 48°C ,提取压力为 35MPa ,此工艺条件下原花青素的提取效率可达 3.4%。冯务群等^[35]比较了超临界 CO_2 萃取、超声提取、微波提取及浸渍提取法 4 种方法提取石榴皮中的没食子酸,结果表明以甲醇做夹带剂的超临界 CO_2 萃取法提取石榴皮中的没食子酸提取效率最高,可达 0.498%。以超临界 CO_2 连续模式(流量 2mL/min) 40°C 等温萃取,能够从石榴皮中分离出富含脂类或酚类的化合物,超临界萃取可以更高效地从石榴皮中提取单宁^[36]。

1.5 协同辅助提取法

协同辅助提取法是结合两种或两种以上提取技术,可获得更高的提取率。常见的协同辅助提取法包括超声波-微波提取、超声波-酶解协同辅助提取等。郭叶莹等^[37]采用超声-微波协同碱水解提取法对石榴皮鞣花酸进行提取,采用正交试验进行优化 NaOH 浓度、乙醇体积分数、料液比、提取温度和提取时间等因素对鞣花酸提取的影响,结果表明:1%NaOH 浓度、20%乙醇溶液、料液比 50:1(v/m)、提取时间 25min、提取温度 80°C 条件下,鞣花酸得率可达 26.45%。Singh 等^[38]采用超声波-微波辅助提取技术(UMAE),以乙醇为溶剂,提取石榴皮中的活性成分,研究了组合功率(超声波 200W+微波 100W~300W)、提取时间(10min~30min)、液固比(LSR)(20:1~60:1)和溶剂浓度(30vol%~70vol%)对提取率、总酚含量(TPC)的影响。使用响应面法优化 UMAE,得到最佳条件是超声功率为 150W, LRS 为 50:1mL/g,溶剂浓度为 60%,提取时间为 15min,此时提取率为 64.964%,总多酚的 GAE/gDW 为 152.089mg。刘焕云等^[39]采用超声波-微波协同提取技术提取石榴皮中多酚类物质,研究了乙醇体积分数、料液比、微波功率、提取时间、浸提次数水石榴皮多酚提取得率的影响,并在单因素实验基础上进行正交试验,确定其较佳工艺为:以料液比 1:30(g/mL)加入 60%乙醇溶液浸泡 20min 后,在微波功率 250W、超声功率 500W 条件下提取 1min,石榴皮多酚提取得率为 $(28.78\pm 0.12)\%$,提高了提取效率。Sukanya 等^[40]采用超声辅助酶法提取石榴皮中多酚类物质,采用中心复合旋转设计,利用响应面法优化工艺,选取独立参数超声时间(0min~60min)、纤维素酶浓度(0~2mL/100mL)、孵育温度(30°C ~ 50°C)和孵育时间(0h~4h),响应为总酚含量,得到最佳条件为超声时间

41.45min,酶浓度 1.32mL/100mL,孵育时间 1.82h,孵育温度 44.85°C ,在此条件下总酚含量得率为 19.77mgGAE/g。

2 石榴皮多酚的功能及应用价值

植物多酚具有较好的溶解性、较强的抗氧化、抗菌、抗肿瘤等活性,被广泛应用于染整行业、食品工业、医疗卫生、饲料行业等。

2.1 抗氧化性

自由基的过量积累是引发炎症、肿瘤和氧化应激损伤等疾病的直接原因。酚类物质含有大量的强还原性的酚羟基,通过清除自由基和调节细胞内抗氧化酶的表达和活性,提高细胞的抗氧化能力,降低各类慢性疾病的风险^[41],也可在食品行业作为食品添加剂或保鲜剂广泛使用。周强等^[42]研究了石榴皮多酚提取物的体外抗氧化能力和对 PC12 细胞增殖的影响,结果表明:石榴皮多酚提取物具有较强的清除自由基能力,可以作为天然抗氧化剂清除体内正常代谢产生的自由基,同时发现石榴皮多酚可在体外诱导 PC12 凋亡,具有较好的抗肿瘤活性。潘东升等^[43]采用 Rancimat 法和 Schaal 烘箱加速氧化法证明石榴皮多酚对棕榈油、大豆油、菜籽油有抗氧化作用,且抗氧化作用与石榴皮多酚添加量呈正相关,石榴皮对植物油的抗氧化作用优于国家已准许添加到食用油中的两种天然抗氧化剂维生素 E、茶多酚。Coronadoreyes 等^[44]研究了墨西哥特有的三种石榴皮多酚提取物的杀菌作用和抗氧化性,结果表明,石榴皮中多酚提取物因含有抗氧化活性化合物,可用于保健食品的生产,也可做药物使用。时双千^[45]研究表明,石榴皮多酚具有较强的抗氧化能力,主要是其单体成分安石榴苷、鞣花酸、没食子酸的单宁酸共同作用的结果,且石榴皮多酚抗氧化能力随着多酚浓度增加而增强。高善行等^[37]研究表明,石榴皮多酚提取物有良好的 DPPH 自由基清除率,且石榴皮多酚的总量与抗氧化能力在一定范围内呈线性正相关关系。

2.2 抗菌性

多酚类化合物能够造成病原菌细胞壁损伤和细胞膜完整性丧失,使细胞对渗透压等不利外部条件的抵抗力降低,并导致细胞内 K^+ 、核酸和蛋白质等生物大分子的大量泄漏。除破坏细胞结构外,酚类的促氧化特性可诱导过量活性氧(ROS)生成,造成细菌细胞内源性氧化应激从而导致细胞死亡。多酚还可以通过影响细菌生物膜的群体感应机制、运动性和黏附结构,或改变细菌生物膜的结构来影响细菌生物膜的形成,从而达到抗菌的作用^[46]。李慧等^[47]以石榴皮多酚为功能活性物质,采用共混法制备聚乙烯醇/纳米纤维素晶体/石榴皮多酚复合抗菌膜,该薄膜表现出良好的抑菌性,对白念珠菌的抑菌效果最好,其次为金黄色葡萄球菌、大肠杆菌。Zhou 等^[48]研究发现发酵石榴皮可通

过诱导溶藻弧菌氧化应激,破坏细胞膜和细胞壁的完整性,抑制运动性、生物被膜形成和代谢活性来发挥抑菌活性,为发酵石榴皮多酚作为新型高效抑菌剂应用控制活虾等海产品中溶藻弧菌的感染提供了重要的基础。张晓玲^[49]采用牛津杯法和药剂琼脂稀释法观察石榴皮多酚醇提取物对痤疮丙酸杆菌的体外抗菌活性,结果表明,石榴皮对痤疮皮损表面常见菌—痤疮丙酸杆菌有较强的抑制作用。Feng 等^[50]发现,石榴皮提取物中总多酚(TPS)和总鞣质(TTS)对金色葡萄球菌的抗菌强度呈正相关,而总鞣质(TTS)对耐甲氧西林金黄色葡萄球菌有抑制作用。Chen 等^[51]鉴定了石榴皮多酚(PPPS)的化学成分,发现 PPPs 可严重削弱细菌细胞膜的稳定性和完整性,显著阻碍细菌增殖。

2.3 抗癌性

大量的流行病学研究及动物实验都证明,多酚类物质能阻止和抑制癌症的发生。植物多酚的抗癌作用是多方面的,对多种癌细胞具有抑制增殖作用,抑制动物体内肿瘤生长,同时也是有效的抗诱变剂,能减少诱变剂的致癌作用,提高染色体精确修复能力,进而提高细胞的免疫力,抑制肿瘤细胞的生长^[52,53]。陆雪莹等^[54]研究证明,石榴皮对子宫颈癌和消化道癌症(胃癌和结肠癌)有较好的抑制活性。Lucia 等^[55]研究表明,石榴皮多酚提取物可通过调节细胞氧化还原平衡、诱导细胞凋亡、细胞周期阻滞和调节不同的信号通路,在宫颈癌体外模型中具有抗肿瘤活性。Tenniente 等^[56]以 HeLa、A549、MDA-MB 和 Hek-293 细胞为靶细胞,研究了来自石榴皮、咖啡果肉及各 50%混合物多酚的抗增殖和细胞活性。结果表明,当不同浓度或混合物对 HeLa、A549、MDA-MB 细胞作用时,来自石榴皮和咖啡果肉的多酚具有抗增殖和细胞毒作用。Faezeh 等^[57]利用阿拉伯胶、果胶和改性壳聚糖作为生物聚合物载体,制备含石榴皮提取物多酚的微胶囊,当胶囊与人胃癌细胞 AGS 和人肺癌细胞 A549 共孵育时,能引起一定的癌细胞活力损失,且这种作用在一定范围与微胶囊中多酚浓度呈正相关。施胜钰等^[58]研究表明,石榴皮中多酚可通过上调 miR-4316 表达来抑制肺癌细胞恶性生物学行为,为石榴皮中多酚在肺癌治疗中的应用提供了重要依据。此外,据研究表明,石榴皮多酚通过调节帕霉素靶蛋白(mTOR)/S6K 信号通路来抑制前列腺癌细胞迁移和集落形成^[59]。

2.4 抗炎性

石榴皮多酚还具有较好的抗炎效果,能抑制多种炎性介质和促炎细胞因子分泌和表达,能在多种细胞、多个部位中发挥作用。杜琳^[60]研究了石榴皮多酚对促炎细胞因子和炎性介质的抑制作用,通过炎症信号通路揭示了其抗炎的分子机制和作用靶点。龙星宇^[61]建立了高脂饮食喂养的肥胖 SD 大鼠模型,以石榴皮多酚为受试物,探究了石榴皮多酚对高脂饮食所致肥胖大鼠结肠炎性损伤的改善作

用。结果表明,石榴皮多酚能够在一定程度上改善高脂饮食所致的结肠炎性损伤,减轻脂多糖所致的 Caco-2 细胞炎症反应。Kong 等^[62]研究表明,石榴皮多酚能显著降低小鼠体内丙二醛(MDA)、肿瘤坏死因子(TNF- α)和白细胞介素-6(IL-6)的表达水平,提高小鼠肝组织超氧化物歧化酶(SOD)和还原型谷胱甘肽(GSH)的水平,表明其具有抗氧化和抗炎作用。高凡等^[63]通过探究石榴皮乳膏抑制 NOD 样受体蛋白结构域相关蛋白 3(NLRP3)炎性小体抗炎抗痤疮机制,证明石榴皮乳膏能有效改善 SD 大鼠痤疮模型的炎症反应,可通过抑制 NLRP3 炎性小体及其相关通路达到抗炎抗痤疮的作用。

2.5 其他作用

石榴皮多酚除上述功能外,研究还发现具有降血糖、抗动脉硬化、降脂瘦身、调脂、保湿、抗疤痕^[64~66]等功能。

3 结语

石榴皮因其含有的多酚类物质种类多、含量相对高,多酚有良好的生理活性及应用价值,在生物医药、食品加工、饲料行业等领域有广阔的应用前景。但目前,在石榴皮加工行业中石榴皮的利用率低,导致含有多酚等生物活性的物质被浪费,不利于资源有效利用和该行业绿色可持续发展,并且国内关于石榴皮多酚类物质的药用机理探究还有一定的局限性,应深入研究石榴皮多酚提取的绿色高效方法,广泛研究其作用机理,为石榴皮中多酚的工业化利用提供更加广阔的应用环境。

参考文献:

- [1] 侯乐峰,罗华,毕润霞,等.我国石榴育种四十年回顾与展望[J].北方园艺,2022(24):139-147.
- [2] 罗华,侯乐峰,陈颖,等.软籽石榴新品种红烛的选育[J].中国果树,2022(1):78-79+109.
- [3] RIVAS M Á, CASQUETE R, CÓRDOBA M D G, et al. Functional properties of extracts and residual dietary fibre from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel obtained with different supercritical fluid conditions[J]. LWT, 2021, 145: 111892.
- [4] 李建飞,李明明,招艳怀,等.云南蒙自甜石榴皮多酚提取工艺及多酚含片配方优化[J].热带农业科学,2022,42(8):67-73.
- [5] 张宁,曹明浩,冶鹏辉,等.石榴皮多酚提取方法、活性及其应用研究进展[J].现代食品,2020(20):41-45+55.
- [6] 高善行,张瑞祎,王毓甜,等.石榴皮多酚的提取工艺优化及其抗氧化研究[J].食品工业,2023,44(3):55-60.
- [7] 杨筱静,赵波,那可,等.石榴皮中多酚类物质的研究进展[J].中国医药工业杂志,2013,44(5):509-514.
- [8] 张立华,郝兆祥,董业成.石榴的功能成分及开发利用[J].山东农业科学,2015,47(10):133-138.
- [9] ZHAO Wei, LI Jianke, HE Xiaoye, et al. In vitro steatosis hepatic cell model to compare the lipidlowering effects of pomegranate

- peel polyphenols with several other plant polyphenols as well as its related cholesterol efflux mechanisms[J]. *Toxicology Reports*, 2014, 1: 945-954.
- [10] 曲文鑫,刘荣.茶树菇多糖与石榴皮多酚复合物的稳定性及降脂作用[J]. *食品工业科技*, 2025, 46(10): 391-399.
- [11] 闫晓越,王子琦,王桂林,等.石榴皮多酚提取研究进展[J]. *山东化工*, 2022, 51(24): 79-80+83.
- [12] 张茂栖,罗薇,蔡丽莎,等.水果副产物抗氧化活性及其在猪肉保鲜中的应用[J]. *江苏农业学报*, 2021, 37(3): 800-807.
- [13] MALVIYA S, ARVIND, JHA A, et al. Antioxidant and antibacterial potential of pomegranate peel extracts[J]. *Journal of food science and technology*, 2014, 51(12): 4132-7.
- [14] 张茂栖,涂倩,杨育静,等.响应面优化石榴皮多酚提取物提取工艺及其活性研究[J]. *甘肃农业大学学报*, 2023, 58(3): 228-238.
- [15] TENIENTE S L, ESPARZA- GONZÁLEZ S C, ASCACIO- VALDÉS A A J, et al. Antiproliferative and cytotoxic effects of polyphenols from pomegranate peel and coffee pulp on cancer cells [J]. *Natural Product Research*, 2025, 39(10): 2751-2757.
- [16] MOGA M A, OANA D, BĂLAN A, et al. Pharmacological and therapeutic properties of punica granatum phytochemicals: Possible roles in breast cancer[J]. *Molecules*, 2021, 26(4): 1054.
- [17] 新型.新疆理化所在石榴皮中多酚类化合物研究方面取得进展[J]. *化工新型材料*, 2022, 50(10): 240.
- [18] 江华明.微波辅助提取植物多酚技术的研究进展[J]. *现代食品*, 2022, 28(8): 33-36.
- [19] 黄琦,王启越,李颖,等.石榴皮总多酚的微波辅助提取工艺及抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(12): 46-51+61.
- [20] 文春鹏,陈祥贵,饶凤,等.微波辅助提取石榴皮多酚工艺研究[J]. *食品与机械*, 2011, 27(6): 103-106.
- [21] PETROTOS D, GIAVASIS I, GERASOPOULOS K, et al. Optimization of the vacuum microwave assisted extraction of the natural polyphenols and flavonoids from the raw solid waste of the pomegranate juice producing industry at industrial scale[J]. *Molecules*, 2021, 26(4): 1033-1033.
- [22] 穆谈航,叶嘉,杨明建,等.石榴皮多酚提取工艺优化及其贮藏稳定性研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(11): 142-146.
- [23] ŽIVKOVIC J, ŠAVIKIN K, JANKOVIĆ T, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenolic compounds from pomegranate peel using response surface methodology[J]. *Separation and Purification Technology*, 2018, 19440-47.
- [24] SUN Feiiong, NING Jingye, WANG Yajing, et al. Optimization of ultrasound-assisted cloud point extraction of polyphenols from pomegranate peels[J]. *Journal of Biotech Research*, 2023, 14: 160-170.
- [25] MOTIKAR P D, MORE P R, ARYA S S. A novel, green environment-friendly cloud point extraction of polyphenols from pomegranate peels: a comparative assessment with ultrasound and microwave-assisted extraction[J]. *Separation Science and Technology*, 2021, 56(6): 1014-1025.
- [26] 邓永,刘东红.超声处理对石榴皮多酚提取效果的影响[J]. *食品科学技术学报*, 2021, 39(1): 65-69+77.
- [27] 张淑淑,吕想,刘伟,等.果蔬花色苷的理化特性、提取技术及功能活性研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2024, 50(2): 360-371.
- [28] 张茂栖,涂倩,杨育静,等.响应面优化石榴皮多酚提取物提取工艺及其活性研究[J]. *甘肃农业大学学报*, 2023, 58(3): 228-238.
- [29] 吴琳,王周利,高振鹏.石榴皮多酚的提取工艺探究[J]. *农产品加工*, 2018(4): 26-28+32.
- [30] 许汝,王珊珊,谷舞,等.石榴皮多酚提取工艺优化及抑菌活性研究[J]. *粮油食品科技*, 2016, 24(6): 87-92.
- [31] 苏娜,张丽,段龙艳,等.响应面优化热浸提法提取石榴皮总多酚的工艺研究[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(9): 78-83.
- [32] 刘川铭,刘猛刚,缪菊连.超临界CO₂萃取技术在中药研究中的应用[J]. *广州化工*, 2022, 50(3): 21-25+29.
- [33] 王淑敏.超临界流体萃取技术在化工生产中的应用[J]. *聚酯工业*, 2024, 37(6): 89-91.
- [34] 颜雪琴,马彩梅.超临界CO₂萃取石榴皮原花青素工艺的优化[J]. *现代化农业*, 2018(11): 29-32.
- [35] 冯务群,李辉.4种方法提取石榴皮中没食子酸的比较[J]. *中医药导报*, 2008(8): 16-17.
- [36] 殷红,张红艳,韩姗姗,等.石榴皮单宁提取工艺及其应用研究进展[J]. *粮食与食品工业*, 2024, 31(6): 21-24+29.
- [37] 郭叶莹,吴小刚,陈晶晶,等.石榴皮鞣花酸的超声波-微波协同碱水解提取工艺研究[J]. *浙江树人大学学报*, 2019(1): 34-38.
- [38] SINGH N, KUMAR S, PATLE S D. Intensification of extraction of bioactive compounds from pomegranate peel using an ultrasound-microwave assisted extraction approach: Parametric optimization, kinetics and thermodynamics[J]. *Separation and Purification Technology*, 2025, 359(P2): 130681.
- [39] 刘焕云,王艳哲,姚楚轩.石榴皮多酚超声波-微波协同提取技术[J]. *中国调味品*, 2021, 46(2): 149-151.
- [40] NAG S, SIT N. Optimization of ultrasound assisted enzymatic extraction of polyphenols from pomegranate peels based on phytochemical content and antioxidant property[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2018, 12(3): 1734-1743.
- [41] 邵振甲,王欣卉,宋雪健,等.植物多酚的生物合成、非生物胁迫调控与生理功能研究进展[J/OL]. *食品工业科技*, 1-15[2024-12-14].
- [42] 周强,赵欣欣,孙静,等.石榴皮多酚的抗氧化性及其对PC12细胞增殖的影响[J]. *泰山医学院学报*, 2019, 40(5): 331-335.
- [43] 潘东升,谭祖顺,郭燕华,等.石榴皮多酚对植物油的抗氧化作用[J]. *食品工业*, 2021, 42(12): 264-267.
- [44] CORONADO-REYES J A, TINOCO-SALAZAR J, GUIZA-MORALES L, et al. Obtaining polyphenolic extracts from pomegranate peel (*Punica granatum*) to evaluate the bactericide and antioxidant activity[J]. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 2023, 95(suppl 1): e20200153.
- [45] 时双千.石榴皮多酚超声影响和抗氧化性及与卵清蛋白作用研究[D]. 镇江:江苏大学,2017.
- [46] 胡勇梅.植物多酚及其衍生物的抗菌活性评价与作用机制研究[D]. 银川:兰州大学,2023.
- [47] 李慧,田家瑶,庞姗姗,等.聚乙烯醇/纳米纤维素/石榴皮多酚复合抗菌薄膜性能研究[J]. *食品与机械*, 2023, 39(4): 103-109+177.
- [48] YU Zhoulin, HONG Yucong, ZHAO Shuyan, et al. Antibacterial

- effect of fermented pomegranate peel polyphenols on vibrio alginolyticus and its mechanism[J]. *Biology*, 2024, 13(11): 934–934.
- [49] 张晓玲. 石榴皮多酚对痤疮丙酸杆菌体外抑菌活性的实验研究[D]. 长沙: 湖南中医药大学, 2015.
- [50] FENG Yanlin, LIN Jiali, HE Gang, et al. Compositions and biological activities of pomegranate peel polyphenols extracted by different solvents[J]. *Molecules*, 2022, 27(15): 4796.
- [51] CHEN Xinxin, ZHANG Hengkai, LI Jianke, et al. Analysis of chemical compounds of pomegranate peel polyphenols and their antibacterial action against *Ralstonia solanacearum*[J]. *South African Journal of Botany*, 2021, 140: 4–10.
- [52] 左丽丽, 王振宇, 樊梓鸾, 等. 植物多酚类物质及其功能研究进展[J]. *中国林副特产*, 2012(5): 39–43.
- [53] 王修杰, 袁淑兰, 魏于全. 植物多酚的防癌抗癌作用[J]. *天然产物研究与开发*, 2005(4): 508–517.
- [54] 陆雪莹, 热依木古丽·阿布都拉, 李艳红, 等. 新疆石榴皮总多酚有效部位的抗氧化、抗菌及抗肿瘤活性[J]. *食品科学*, 2012, 33(9): 26–30.
- [55] TENIENTE S L, FLORES- GALLEGOS A C, ESPARZA- GONZÁLEZ S C, et al. Anticancer effect of pomegranate peel polyphenols against cervical cancer[J]. *Antioxidants*, 2023, 12(1): 127.
- [56] TENIENTE S L, GONZALEZ S C E, VALDES J A A, et al. Antiproliferative and cytotoxic effects of polyphenols from pomegranate peel and coffee pulp on cancer cells[J]. *Natural Product Research*, 2025, 39(10): 2751–2757.
- [57] FATHI F, EBRAHIMI S N, PEREIRA D M, et al. Preliminary studies of microencapsulation and anticancer activity of polyphenols extract from *punica granatum* peels[J]. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2022, 100(11): 3240–3252.
- [58] 施胜钰, 王旭文, 赵良伟, 等. 石榴皮多酚通过调控 miR-4316 表达抑制肺癌细胞增殖、迁移及侵袭实验研究[J]. *新中医*, 2023, 55(19): 1–7.
- [59] CHAVES F M, PAVAN I C B, SILVA L G S D, et al. Pomegranate Juice and peel extracts are able to inhibit proliferation, migration and colony formation of prostate cancer cell lines and modulate the akt/mTOR/S6K signaling pathway[J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2020, 75(1): 54–62.
- [60] 杜琳. 石榴皮多酚对慢性低度炎症的调节作用及其分子机制研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2019.
- [61] 龙星宇. 石榴皮多酚改善高脂饮食所致结肠炎性损伤机制研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2020.
- [62] KONG Dianwu, CAI Miao, LI Jing, et al. Optimization of extraction conditions of pomegranate peel polyphenols and its protective effect on acute alcoholic liver injury in mice[J]. *Agricultural Biotechnology*, 2023, 12(4): 16–21, 40.
- [63] 高凡, 朱明芳, 杨逸璇, 等. 石榴皮多酚乳膏抑制 NLRP3 炎性小体抗炎抗痤疮的机制研究[J]. *湖南中医药大学学报*, 2021, 41(7): 1003–1009.
- [64] 张晓玲, 朱明芳, 杨柳, 等. 石榴皮多酚对痤疮丙酸杆菌体外抑菌活性的研究[J]. *湖南中医药大学学报*, 2015, 35(9): 23–25.
- [65] 杨逸璇, 朱明芳, 王峰, 等. 石榴皮多酚软膏通过介导 TGF- β /Smad 信号通路以抗痤疮瘢痕形成的机制研究[J]. *湖南中医药大学学报*, 2019, 39(5): 596–599.
- [66] 魏露, 吴淑辉, 张曦, 等. 石榴皮多酚乳膏对金黄色地鼠皮脂腺斑 LXR α /SREBP-1 信号通路的影响[J]. *中国皮肤性病学杂志*, 2020, 34(10): 1134–1138.

固体奶茶粉包的结块机理及其预防措施

张瑞阳*, 俞卓萍, 王 淼, 汪 斌, 黄福添

(香飘飘食品股份有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 固体奶茶粉作为一种便捷式冲泡饮品,因其独特的风味和营养价值备受消费者青睐。然而,其在生产、储运及销售过程中易发生结块现象,严重影响产品品质与经济效益。本文系统综述了固体奶茶粉包的结块机理、影响因素及防控策略,旨在为优化生产工艺、延长货架期提供理论依据。固体奶茶粉包的结块行为包括晶态粉体结块与非晶态粉体结块两大类。晶态粉体(如蔗糖、乳糖)的结块主要由“晶桥理论”解释;非晶态粉体(如麦芽糊精、乳粉)则遵循“玻璃化转变理论”。根据结块机理,分子量、水分含量、粒径以及粒径分布作为内在因素不同程度地影响两种结块行为;环境的温湿度、外部压力则是影响两种结块行为的关键的外部因素。针对结块机理,本文进一步从原料、工艺、添加剂、包装与储存全链路提出多维度防控策略。未来研究需进一步探索多组分体系的协同结块机制,构建动态预测模型,为食品工业提供精准化解决方案。

关键词: 固体奶茶;结块;晶桥理论;玻璃化转变;影响因素;预防措施

Caking Mechanisms of Powdered Milk Tea Sachets and Integrated Mitigation Strategies

ZHANG Rui-yang*, YU Zhuo-ping, WANG Miao, WANG Bing, Huang Fu-tian

(Xiangpiaopiao Food Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: Powdered milk tea, a popular instant beverage, is widely appreciated for its distinctive flavor and nutritional profile. Yet it is prone to caking throughout manufacturing, storage, distribution, and retail, undermining product quality and economic performance. This review synthesizes current understanding of the caking mechanisms, determinants, and intervention strategies for powdered milk tea sachets, providing a basis for process optimization and shelf-life extension. Caking in this category manifests primarily as (i) crystalline-phase caking and (ii) amorphous-phase caking. The former-typical of sucrose and lactose, is predominantly interpreted by the crystal-bridge theory, whereas the latter-typical of maltodextrin and dairy solids, is governed by glass-transition behavior. Intrinsic determinants, including molecular weight, moisture content, particle size and size distribution, affect both modes to varying extents, while extrinsic stressors, ambient temperature and relative humidity, as well as applied pressure are critical external drivers. Guided by these mechanisms, we outline multi-pronged controls spanning raw-material selection, processing conditions, functional additives, packaging design, and storage management. Further work is needed to elucidate synergistic caking in multicomponent matrices and to develop dynamic predictive models that enable precision solutions for industrial applications.

Key words: powdered milk tea; caking; crystal-bridge theory; glass transition; influencing factors; prevention and control strategies

中图分类号: TS278

文献标志码: A

文章编号: 1007-7871(2025)06-0063-07

固体冲泡类奶茶粉是一种以乳粉、糖、粉末油脂、茶粉等为主要原料,经过特定工艺加工而成的粉末状饮品,使用时只需加入热水即可冲泡成一杯美味的奶茶^[1,2]。这种

形式的奶茶不仅满足了消费者对方便快捷的需求,同时通过科学的配方设计和加工工艺也充分保留了传统奶茶的风味和营养价值^[3]。

收稿日期: 2025-10-27

作者简介: 张瑞阳(1989-),男,工程师,硕士,研究方向为食品研发。E-mail: ruiyang.zhang@chinaxpp.com

保持固体奶茶粉良好的分散状态,对于工艺操作和产品质量都至关重要,但在实际生产、储运、销售环节,却不断面临着固体奶茶粉结块的挑战。如果流入市场的产品一旦结块,不仅会给消费者带来冲泡困难、风味不佳等不悦体验,而且对企业也会造成经济和形象的双重损失。结块是粉体类产品普遍面临的挑战,因为对产品品质严重的负面影响和它复杂的机理,自1920年以来,结块机制及其防控研究持续受到关注,涵盖肥料、食品、制药等领域。本文将重点综述固体奶茶粉包的结块机理、影响因素以及预防措施^[2-5]。

1 固体奶茶粉包的结块机理

常见的粉体可通过两种超分子结构区分为晶态粉体和非晶态粉体。晶态粉体是指其离子或分子呈三维有序排列,其结构可能由平行取向的聚合物链构成,或由原子、分子按重复的三维几何模式排列而成,处于低能态;非晶态粉体的分子则呈统计性排列,处于高能态,具有类液态分子的无序性^[6]。相应地,粉体结块分为晶态粉体结块和非晶态粉体结块。固体奶茶粉包以非晶态粉为主,比如乳粉、茶粉、植脂末等,但也可能包含晶态粉,比如蔗糖、木糖醇等。因此固体奶茶粉包既可能发生非晶态粉体结块,也可能发生晶态粉体结块,但以非晶态粉体结块为主。

晶态粉体结块主要表现为颗粒间形成硬质团块,俗称“硬结块”,学界通常采用“晶桥理论”来解释这一现象^[7]。晶态粉体颗粒间存在微米级空隙,形成毛细管网络。当环境湿度(RH)高于临界值时,水蒸气通过毛细吸附力在颗粒表面冷凝,形成液膜^[8]。“晶桥理论”认为,液膜溶解颗粒表面可溶性成分(如NaCl、蔗糖等),形成局部饱和溶液;温度升高时溶解度增大,加速溶解;温度降低或水分蒸发时,溶液过饱和度上升,溶质在颗粒接触点优先析出晶体^[9]。新生晶体以“桥联”方式连接相邻颗粒,即形成晶桥,也导致结块。

非晶态粉体结块表现为“软结块”特性,目前主要采用“玻璃化转变理论”进行解释^[8]。玻璃化转变不是一个相变过程,而是一个动力学过程,涉及物质内部分子运动的显著变化。当环境温度(T)高于非晶态物质的玻璃化转变温度(glass transition temperature, T_g)时,其分子链段具有较高的运动自由度,黏弹性显著降低,这种状态变化导致颗粒表面变软变粘,最终相互粘连形成结块;当环境温度(T)低于 T_g 时,分子链段的运动受到限制,物质进入玻璃态,相对稳定不容易结块^[6,10]。

2 影响固体奶茶粉包结块的因素

根据晶态粉体、非晶态粉体的结块机理,本文将从固

体奶茶粉包的内在因素(水分含量、分子量、颗粒特性)和外部环境因素(温度、湿度、压力)两个维度,分别探讨其对固体奶茶粉包中结块的不同影响机制。理解这些影响因素及其相互作用,对于开发有效的抗结块策略、提高产品质量和延长货架寿命都具有重要的科学意义和应用价值。

2.1 影响固体奶茶粉包结块的内在因素

2.1.1 原料分子量对固体奶茶粉包结块的影响

在固体奶茶粉包的复杂体系中,分子量作为物质的核心属性,从根本上决定了其晶态与非晶态组分的结块行为倾向,是影响产品稳定性和保质期的关键内在因素。

晶态粉体的结块行为主要受溶解—再结晶机制主导,分子量通过影响晶体溶解度、分子迁移速率以及晶格能间接调控结块强度。低分子量的晶体物质(如单糖、盐)通常具有更高的溶解度,在高湿环境下更易吸湿并在颗粒表面形成饱和溶液薄膜;同时低分子量物质具有更高的扩散系数,能更快地从高溶解度区域(颗粒接触点)迁移至低溶解度区域(晶体颈部),因此可从两个维度加速晶体桥的形成与生长,促进结块进程^[6]。例如,含有水解乳糖(即低分子量糖)的奶粉,结块速度远快于含有完整乳糖的奶粉^[11]。此外,高分子量晶体因分子间作用力强,常具有较高晶格能和熔点,能有效抵抗外力或高温引起的晶格变形,从而抑制塑性形变导致的结块。

非晶态粉体的结块行为强烈依赖于玻璃化转变温度,而通过Fox-Flory方程可知 T_g 值与分子量正相关^[12]。高分子量聚合物链段的运动性低,分子扩散受阻,从而抑制烧结桥的形成;低分子量体系则因链段活动性强及自由体积大,更易发生黏性流动与颗粒黏结^[6]。在麦芽糊精体系中,分子量通过葡萄糖当量(DE值)间接体现。高DE值麦芽糊精的分子量较低,更易在湿热环境下发生表面塑化与液桥形成,加速结块^[13]。Badin等通过环境原子力显微镜发现,低分子量麦芽糊精(DE38)在75%相对湿度下表面杨氏模量下降达50%,显著促进颗粒黏附;而高分子量样品(DE6)的抗结块性能更优^[14]。

2.1.2 原料水分含量对固体奶茶粉包结块的影响

水分含量是奶茶粉包的一个重要理化性质,也是列入国家标准《固体饮料》(GB/T 29602—2013)的控制指标,对于奶茶粉包中的晶态粉体和非晶态粉体的结块都具有重要影响。

对于奶茶粉包中的晶态粉体,水分是影响其结块行为的关键内在因素。晶态粉体的结块主要由游离水含量与环境湿度的动态平衡控制。当游离水含量高于环境平衡湿度时,水分在密闭空间内发生汽化-冷凝循环,促使颗粒接触点处发生溶解-重结晶,形成晶桥,导致颗粒粘结。结合水因分子运动性低,影响较小^[15,16]。佟云琨的研究发现当盐的水分含量从0%增大到2.0%,结块率逐渐增大^[17]。

对于固体奶茶粉包中的非晶态粉体,水分主要通过改

变 T_g 来调控结块行为。水分子作为强塑化剂, 嵌入聚合物链或生物大分子之间, 削弱分子间作用力, 增加自由体积, 使链段运动能力增强, 从而有效降低非晶态物质的 T_g ^[10]。在相同存储温度下, 高水分含量的物质因为 T_g 值低, 结块风险更大。KYOMUGASHO 等(2021)以加拿大豆为研究对象, 分别提取其细胞壁、蛋白、淀粉分离物及子叶组分, 并基于 Gordon-Taylor 方程对各类组分的干物质含量与 T_g 之间的关系进行了模型拟合, 发现这四种物质的 T_g 均与干物质含量呈显著正相关, 即与水分含量呈负相关^[18]。此外, 近年来的多项研究进一步指出, 食品体系中水分的状态同样对 T_g 具有显著影响。例如, Yan 等在对奶粉进行研究中发现, 在水分含量相近的情况下, 因为脂肪影响了水分状态, 全脂乳粉的 T_g 值显著低于脱脂乳粉^[19]。

2.1.3 原料的粒径及粒径分布对固体奶茶粉包结块的影响

奶茶粉包中粉体颗粒的粒径大小与分布对晶态及非晶态粉体的结块行为均具有显著影响, 其机制可通过颗粒间作用力、比表面积及热力学条件等因素阐释。

对于晶态粉体, 较小的粒径通常伴随更高的比表面积, 从而加剧水分吸附与毛细管作用, 促进晶桥的形成。例如, 结晶乳糖粉 $80\mu\text{m} \sim 160\mu\text{m}$ 颗粒在 95%相对湿度下的吸水量较 $160\mu\text{m} \sim 250\mu\text{m}$ 和 $250\mu\text{m} \sim 355\mu\text{m}$ 颗粒分别高 40% 和 72%^[20]。食用盐随着细颗粒盐 ($0.15\text{mm} \sim 0.30\text{mm}$) 的比例增大, 结块率升高, 结块程度增强, 但是中颗粒盐 ($0.30\text{mm} \sim 0.50\text{mm}$) 的增加对结块的影响较小^[21]。粒径分布的宽度亦为关键因素, 宽粒径分布通过毛细管凝结强化和机械接触点密度提升双路径加剧结块, 且细粉通常杂质含量更高, 与杂质协同降低潮解阈值。在相同中位粒径下, 宽粒径分布的结晶乳糖粉的流动指数较窄粒径分布的低 47%^[20]。

对于非晶态粉体, 结块主要受 T_g 调控, 而粒径效应则间接通过水分扩散动力学体现。较小粒径带来更大比表面积, 更易吸湿使 T_g 降低, 加速玻璃态-橡胶态的转变, 从而促进分子迁移与颗粒黏结。

2.2 影响固体奶茶粉包结块的外部因素

2.2.1 环境温度和湿度对固体奶茶粉包结块的影响

存储环境温度和湿度对固体奶茶粉包的结块起到关键影响。因为两类粉体不同的物理化学性质及结块机理, 环境温度和湿度对两类粉体结块的影响机制也存在本质差异。

晶态粉体(如食盐、蔗糖)的结块受环境温度、湿度双重影响, 且两者并非独立作用, 而是通过协同调控颗粒表面的溶解-重结晶动力学及液相行为, 共同驱动结块过程。当环境温度升高时, 粉体颗粒表面组分的溶解度显著增加, 形成饱和溶液液膜; 同时, 较高的相对湿度(RH)提供水分吸附动力, 促进液相层的生成与扩展。当 RH 超过粉体的临界相对湿度(DRH)时, 颗粒表面完全溶解形成饱和溶液膜, 通过毛细作用在颗粒间形成液桥。随后, 温度降

低或湿度波动引发局部蒸发-浓缩, 溶液达到过饱和状态, 析出晶体并形成坚固的晶桥^[15]。Karthik Salish 通过研究揭示了温湿度耦合效应对结块强度的显著影响; 例如, 在控制固结压力与相对湿度稳定的条件下, 温度升高 5°C 可使异麦芽酮糖醇的拉伸强度(表征结块风险的关键指标)增加至原来的 2 倍, 表明温度升高通过阿伦尼乌斯关系加速溶解与重结晶动力学, 而湿度提供的液相环境则促进传质过程^[22]。Martin Schugmann 关于蔗糖体系的研究也证实温湿度存在协同效应, 且可以通过影响液膜内的浓度分布来进行解释^[23]。

非晶态粉体(如麦芽糊精、乳清蛋白粉等)的结块行为由玻璃转变温度主导, 环境温度与湿度通过协同作用调控分子流动性影响 T_g , 进而共同影响结块行为。水分作为核心塑化剂可降低非晶态粉体的 T_g , 环境湿度主要影响水分通过吸附作用进入非晶态粉体的行为。环境湿度高, 水分更易吸附进入粉体, 降低非晶态粉体的 T_g 。若环境温度(T)高于降低后的 T_g (即 $T > T_g - \Delta T_g$, 其中 ΔT_g 为环境湿度引起的降幅), 非晶基质从玻璃态转变为橡胶态, 分子链段运动能力增强, 颗粒表面发生黏性流动形成固态桥。Fitzpatrick 等研究表明奶粉在与空气密切接触时均具有从空气中吸湿的倾向, 但非结晶乳糖含量较高的粉末对吸湿更为敏感, 从而导致结块和硬化问题^[24]。近期研究(2025)表明, 麦芽糊精/葡萄糖混合物在温度循环(25°C -高温- 25°C)中, 当存储温度高于 T_g 时, 断裂应力随 $T-T_g$ 的差值增大而指数增长; 但低水分活度条件下, 即使存储温度 T 超过 T_g 仍可抑制结块, 说明水分与温度存在协同效应^[25]。

2.2.2 压力对于固体奶茶粉包结块的影响

固体奶茶粉包在仓储阶段不可避免地会需要进行堆垛, 这就会让固体奶茶粉包在一定程度上受到外部压力(固结应力)。通过一些研究报道可知, 外部压力也会影响晶态粉体以及非晶态粉体的结块, 由此可推测对固体奶茶粉包的结块也存在一定影响。

奶茶粉包中的晶态粉体易受压力诱导的塑性变形影响, 当外部压力超过晶格屈服强度后, 位错滑移与晶格应变导致晶面畸变, 加速晶界扩散与再结晶固桥生长, 因此具有显著的压力阈值效应^[26]。Mao 提出结晶麦芽糖醇在堆垛压力大于 50kPa 时, 颗粒塑性变形加剧, 结块加剧^[27]。Afrassiabian 等在研究乳糖粉末结块行为时, 则发现 $10\text{kPa} \sim 20\text{kPa}$ 区间内压力对结块影响不显著, 可见在此压力范围未达到乳糖晶体的压力阈值, 尚未发生塑性变形^[28]。

对于奶茶粉包中的非晶态粉体, 低温环境可有效抑制分子运动, 压力影响不显著; 但当温度超过 T_g 时, 压力通过增强分子链段运动性与界面范德华力, 诱发黏性流动, 促进颗粒烧结桥形成, 结块速率随温压协同作用呈指数增长^[8]。例如, 在乳粉存储实验中, 10kPa 的固结应力作用 8 周后, 结块强度显著提升, 需极大外力才能破碎^[29]。

Ryabova 等进一步指出, 存储过程中的堆叠压力会改变粉体的粒径分布, 全脂奶粉堆叠储存 18 个月, 堆垛第 10 层样品的平均粒径^[3, 4]从 120 μm 增至 258 μm (90%颗粒尺寸达 209 μm ~559 μm), 结块强度也随着堆垛层数的增加而增加^[30]。

此外, 对于晶态粉体、非晶态粉体, 固结应力与湿度、温度协同作用时, 都会加速颗粒粘连和压实过程, 尤其在吸湿性较强的粉体中表现尤为突出。研究还发现, 固结应力导致的结块具有时间依赖性, 其强度随存储时间延长而增强。Özkan 针对奶粉提出了一个推算结块时间与外部压力、温度相关的经验公式^[31]。因此, 在粉体存储和运输中需严格控制堆叠高度与外部载荷, 以减缓压力诱导的结块现象。

3 预防固体奶茶粉包结块的措施

在深入探究固体奶茶粉包的结块机理(晶桥理论、玻璃化转变理论)及内在(水分、分子量、颗粒特性)和外部(温湿度、压力)影响因素的基础上, 本文继续聚焦“如何有效减缓结块现象”这一核心需求, 从产品全生命周期的关键环节展开具体阐述。具体将围绕原料、粉体水分含量、生产工艺、添加剂、包装材料、储存环境等六大维度, 系统提出兼具理论支撑与实践可行性的结块减缓措施, 为固体奶茶粉包的品质稳定与消费体验优化提供全面解决方案。

3.1 原料特性优化

原料是决定固体奶茶粉包是否易结块的基础性因素, 其自身特性直接从源头影响粉体的物理结构、吸湿性及稳定性, 后续工艺和储存条件的优化都将基于原料的特性来展开。

对于晶态粉体原料, 其结块的机理主要是易出现晶桥现象。该现象与晶体粉末自身晶体性质(分子量)、粒度、粒度分布、纯度等因素有关^[8]。因此, 要严格控制晶态粉体原料的分子量、粒径大小与纯度。避免使用低分子量衍生物(如水解糖), 优先选择高分子量、高晶格能、颗粒较大且形状规则整齐的产品, 降低粉体的溶解度、抗压强度与分子扩散速率, 减少晶桥形成。同时, 严格把关晶态原料杂质含量, 选择纯度高的产品, 避免杂质协同降低晶体潮解阈值, 加剧结块^[32, 33]。

对于非晶态粉体原料, 其结块的机理主要与玻璃化转变温度有关。产品自身的 T_g 越高, 则需要更高的环境温度或水分含量才能使其从玻璃态转变为橡胶态。因此, 在固体奶茶粉包的生产中, 选用高 T_g 的原料是预防结块的关键策略。杨忻瑞等研究表明, 当低 T_g 值的果糖减少加入量 26.64%后, 粉体的 T_g 可增加 23.80%, 粉体的流动性提高 21.18%。而加入高 T_g 的大分子物质如麦芽糊精、菊粉约 20%后, 可使粉体的 T_g 增加 80%~90%, 粉体流动

性升高 55.81%, 降低结块强度^[34]。Fongin 等的研究发现, 冻干芒果肉的玻璃化转变温度($T_g \approx 48.9^\circ\text{C}$)远低于麦芽糊精, 当麦芽糊精含量增加时, 芒果果肉-麦芽糊精混合物的 T_g 显著升高, 临界水分含量从 4.7%升至 9.4%, 临界水分活度从 0.095 升至 0.575^[35]。李聪等人研究发现, 在喷雾干燥时, 高 T_g 值的辅料-麦芽糊精的加入量从 4%增至 16%后, 所制得的桃粉的含水量降低 35.28%, 其 T_g 升高 4.84 $^\circ\text{C}$, 水分吸附量降低 23.53%^[36]。

3.2 控制水分含量

如前文所述, 固体奶茶粉包结块的核心因素是其水分含量超标及环境湿度影响, 无论是晶态粉体还是非晶态粉体, 都会受到水分含量的影响。

因此, 为了预防因水分含量超标而引起的固体奶茶粉包结块的问题, 则需要从生产的全链条进行管控。首先是在原料端, 需要对不同品类的粉体原料设置严格的水分要求, 如乳粉要根据国家标准其水分应不超过 5%^[37], 麦芽糊精按照标准其水分含量应不超过 6%^[38]。对于超出水分限制的原料, 应不予使用。在生产阶段, 需对混料车间和灌装车间的环境湿度进行严格把控, 其环境相对湿度应不超过 60%^[39, 40]。同时, 在包装阶段, 工作车间应匹配密闭设备和连续性的灌装-包装设备, 减少粉体物料与外界环境的接触时间; 包装材料需选用高阻隔材料, 可有效隔绝外界水汽渗透^[41]。在储存阶段, 也应控制仓库的相对环境湿度尽量与生产车间一致, 固体奶茶粉包的成品需隔墙隔地存放, 避免与墙体、地面长时间的直接接触。

3.3 优化生产工艺

生产工艺通过改变粉体的物理形态与微观结构, 能够直接影响其结块过程。对于食品生产企业而言, 优化生产工艺是从源头上控制粉体结块、提升产品品质的关键环节, 具有重要的可操作性和实际意义。对于食品行业中常见的晶态与非晶态两类粉体, 晶态粉体的典型制备流程包括溶液配制、浓缩、结晶分离、干燥脱水以及分筛等步骤; 而非晶态粉体的制备则主要包括溶液制备、浓缩、干燥和分筛等工序。无论是晶态还是非晶态粉体, 干燥工艺均为两者共有的核心环节^[42]。该过程不仅决定了粉体的最终含水量, 还影响粉体的结构特征、物理稳定性及后续应用性能, 是控制粉体质量、预防结块的重要技术节点^[43]。

当前固体饮料生产领域, 喷雾干燥、冷冻干燥与流化床造粒是三类主流加工工艺。其中, 冷冻干燥虽有技术优势, 但受限于较高的成本, 实际应用场景相对有限; 而流化床造粒技术的工艺特性, 使其更适配低果汁含量或无果汁添加类物料的干燥加工需求。而喷雾干燥技术则因其干燥效率高、速度快、经济实用、可连续生产等优点, 已被广泛应用于食品、制药和化学行业^[44, 45]。影响喷雾干燥效果的因素很多, 料液浓度、进风温度、进料流量以及辅料等都会对其产生影响^[46, 47]。许天雄等人在研究喷雾干燥技

术制备妥布霉素粉雾剂的实验结果表明,未添加辅料时,所制备的硫酸妥布霉素样品存在团聚现象,且具有较高的卡尔指数(CI),导致流动性能欠佳。然而,在前处理液中加入亮氨酸之后,颗粒状态从团聚向褶皱状变化,在亮氨酸添加至一定量时,硫酸妥布霉素样品颗粒间的液桥作用甚至会消失,CI值明显的降低,粉体流动性提高,吸湿性下降^[48]。除此之外,在实际生产中还可以通过分段浓缩、分级结晶、增设产品二次干燥程序、实施二级筛选,以及采用新型的造粒和干燥设备等科学手段,有效控制产品杂质含量、降低水分,并保障颗粒形态规整均匀^[49,50]。

3.4 选用合适的添加剂

粉类食品生产企业在日常生产与运营中,为有效延长粉体食品的储存周期,常需通过添加抗结剂这一食品添加剂,来解决粉体在储存过程中易结块的核心问题。抗结剂的科学添加与合理使用,不仅能显著降低粉体食品的结块率,更能全方位保持粉体的稳定性与流动性,进而保障产品从出厂到消费终端的整体质量稳定^[51,52]。

在使用抗结剂时,通常需要注意以下几点:

安全性:抗结剂必须符合国家食品安全标准。

有效性:抗结剂应具有阻止粉体结块的作用,主要表现在晶体粉块表面形成防水分吸附的屏障,消除摩擦;以及增加非晶体粉体的玻璃化转变温度,降低粉体的吸湿性。

稳定性:抗结剂本身的理化性质要稳定,不能使粉体发生晶型转变或玻璃化转变。

简便性:有研究发现,纳米级二氧化硅不仅可作为食品添加剂来降低粉体食品结块风险,同时能包裹维生素E、鱼油、番茄红素等疏水营养素,提升其溶解动力学和生物利用率^[53,54]。食品企业可根据自身产品情况以及国家标准来选择合适的抗结剂。

3.5 改善包材及其封口

不同的包材对温度、湿度、氧气和光照等外界因素的阻隔能力存在差异。优质包材具有强阻隔气体性能、热成型性好和密封条件可靠的特点,选用这种包材可以更好地维持固体奶茶粉包的产品品质,预防结块并延长产品货架期。有研究表明,铝塑包装袋(聚酯/聚酯纤/铝箔/聚乙烯)和高阻隔包装袋(聚乙烯/聚乙烯醇/聚乙烯)均具有优质的密封性能,能更好地保持粉体的理化性质。相较之下,普通包装(聚乙烯)的产品各项指标均发生一定程度劣变。在热加工阶段,食品的挥发性物质会发生释放,铝塑和高阻隔包装能够有效抑制这种释放,尤其是铝塑包装^[55]。同时,为缓解固体饮料贮藏时堆积的压力加剧产品结块的风险,食品企业可以考虑向包装内充入一定量的干燥惰性气体如氮气^[56]。

3.6 把控储存环境

固体饮料因富含可溶性成分且颗粒细小、比表面积

大,在储存过程中极易受环境温湿度、光照及库存管理方式影响,出现结块、风味流失甚至品质变质等问题。为从源头保障产品稳定性与新鲜度,需严格遵循“干燥、阴凉、通风”的环境控制标准,并通过科学的仓库管理流程(如先进先出)延长产品货架期。

4 讨论与展望

固体奶茶粉包在使用和储存过程中出现的结块现象已成为影响产品品质与消费者体验的突出问题。因此,深入理解粉体结块的机理,对于有效预防结块、优化产品配方以及科学预测货架期具有重要的理论价值和现实意义。目前,针对粉体结块的研究已形成若干经典理论框架,如晶态粉体中的“晶桥理论”与非晶态粉体中的“玻璃化转变理论”。然而,现有研究多集中于单一组分体系,且常将晶态与非晶态粉体的结块机制分别讨论。固体奶茶粉包作为一种典型的多组分混合物,这些组分之间通过氢键、范德华力等相互作用,形成复杂的聚合物共混网络,使得奶茶粉的结块行为呈现出复杂的动态演化特征。在这一背景下,未来的研究应着力突破单一因素的分析局限,转向多因素协同作用机制的系统性探索。需综合考量水分吸附、热力学稳定性、分子运动特性及微观结构演变等多重影响因素,耦合热力学、动力学以及材料科学等多学科理论,构建能够准确描述复杂组分相互作用与结块路径的预测模型,从而为原料筛选、配方设计、工艺优化、包材选择等制提供坚实的理论依据与决策支持。本文围绕固体奶茶粉包的结块机理展开重点阐述,并结合机理分析提出针对性的预防思路,希望能为广大食品生产企业在固体奶茶产品的研发、加工、储存全链条品质管控中提供切实的指导,助力行业突破结块难题,推动固体饮料产品向更高品质的方向发展。

参考文献:

- [1] 全国饮料标准化技术委员会.GB/T 29602—2013 固体饮料[S].北京:中国标准出版社,2013.
- [2] 刘宁宁,李星宇,付静,等.奶茶的研究进展[J].食品工业,2022,43(1):246-250.
- [3] 詹世平,刘华伟,李卓,等.脱脂奶粉分散稳定性的实验研究[J].中国粉体技术,2006(2):18-20.
- [4] 刘建文,徐义波,丁晓东,等.植物和茶固体饮料结块率研究[J].饮料工业,2019,22(2):14-19.
- [5] 初峰,卫红春,岳春.固体枣粉饮料抗结块问题的解决[J].食品与机械,2003(6):39.
- [6] CHEN Mingyang, ZHANG Dejiang, DONG Weibing, et al. Amorphous and humidity caking: A review[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2019, 27(6): 1429-1438.
- [7] Österberg T, WADSTEN T. Physical state of L-histidine after

- freeze drying and long term storage[J]. *European J Pharm Sic*, 1999, 8(4): 301-308.
- [8] 陈梦婷, 罗秉俊, 杨芳芳. 粉类食品结块原因及预防[J]. *广东化工*, 2022, 49(9): 32-33.
- [9] 詹世平, 左秀锦, 陈理. 粉体产品的结块及预防[J]. *中国粉体技术*, 2002, 8(4): 42-46.
- [10] HANCOCK B C, ZOGRAFI G. The relationship between the glass transition temperature and the water content of Amorphous pharmaceutical solids[J]. *Pharmaceutical research*, 1994, 11(4): 471-477.
- [11] CARPIN M, BERTELSEN H, BECH J K, et al. Caking of lactose: A critical review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 53: 1-12.
- [12] 卞科. 食品中的玻璃态研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2006, 27(6): 01-07.
- [13] CASTRO N, DURRIEU V, RAYNAUD C, et al. Influence of DE-value on the physicochemical properties of maltodextrin for melt extrusion processes[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 144: 464-473.
- [14] BADIN R, GAIANI C, DESOBRY S, et al. Dynamic investigation of maltodextrins surface properties by environmental atomic force microscopy[J]. *Food Hydrocolloids*, 2023, 145: 109081.
- [15] 王韬, 吴志康, 韩贵亮, 等. 食盐结块机理研究及防潮罐的开发与应用[J]. *食品工业*, 2023, 44(11): 54-58.
- [16] 窦德军, 杜方圆, 胡伟华, 等. 水溶性磷酸一铵结块的影响因素和控制措施[J]. *生态产业科学与磷氟工程*, 2025, 40(6): 54-59.
- [17] 佟云琨. 食盐结块的影响因素及实验方法[J]. *盐业与化工*, 2013, 42(5): 8-13.
- [18] KYOMUGASHO C, KAMAU P G, ARAVINDAKSHAN S, et al. Evaluation of storage stability of low moisture whole common beans and their fractions through the use of state diagrams[J]. *Food Research International*, 2021, 140: 109794.
- [19] YAN Haixia, MA Chao, SHEN Yixiao, et al. Effect of lipid - mediated moisture status on casein characteristic in two types of milk powders during accelerated storage[J]. *eFood*, 2024, 5(4): e168.
- [20] CARPIN M, BERTELSEN H, DALBERG A, et al. How does particle size influence caking in lactose powder[J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 209: 61-67.
- [21] 贺子倩, 游恩卓, 吴志康, 等. 粒度分布对食用盐结块特性的影响研究[J]. *盐科学与化工*, 2023, 52(3): 37-40.
- [22] SALISH K. Modeling the influence of intrinsic and extrinsic factors on interparticulate forces in cohesive powders[D]. Indiana: Purdue University West Lafayette, Doctoral thesis, 2022.
- [23] SCHUGMANN M, FOERST P. Tailoring crystallization kinetics in thin sucrose films during convective drying: impact of temperature and humidity on onset, growth, and nucleation rate[J]. *Pharmaceutics*, 2024, 16(10): 1260.
- [24] FITZPATRICK J J, BARRY K, CERQUEIRA P S M, et al. Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders[J]. *International Dairy Journal*, 2007, 17(4): 383-392.
- [25] Anantawittayanon S, Mochizuki T, Kawai K. Effects of water activity and temperature on the caking Properties of amorphous carbohydrate powders[J]. *Journal of Applied Glycoscience*, 2025, 72(1): 7201103.
- [26] 李延华, 王伟军, 郭亮, 等. 食品粉末颗粒间的相互作用及结块行为的研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2019, 34(3): 126-132.
- [27] MAO Baoxing, WAN Ling, XU Jingjing, et al. Method for preventing crystalline maltitol from caking during storage: EP 4420524A1[P], 2024-08-28.
- [28] AFRASSIABIAN Z, GUESSASMA M, SALEH K. A study on the caking behaviour of binary mixtures of lactose due to solid-state crystallisation of the amorphous phase[J]. *Chemical Engineering Research and Design*, 2019, 147: 354-366.
- [29] HAAPA-AHO M. Caking of lactose-free milk powders in storage and transport conditions[D]. Finland: Lappeenranta-Lahti University of Technology, Master's thesis, 2024.
- [30] RYABOVA A E, SEMIPYATNY V K, GALSTYAN A G. Effects of storage conditions on milk powder properties[J]. *Journal of Dairy Science*, 2023, 106(10): 6741-6758.
- [31] ÖZKAN N, WITHY B, CHEN Xiaodong. Effects of time, temperature, and pressure on the cake formation of milk powders[J]. *Journal of Food Engineering*, 2003, 58(4): 355-361.
- [32] 刘晓庚, 钱小华, 陈梅梅. 晶体类食品结块的成因分析与防止措施[J]. *化学与生物工程*, 2009, 26(11): 16-19.
- [33] 刘晓庚, 陈梅梅, 钱小华. 晶体类食品添加剂结块的成因与防止[J]. *中国食品添加剂*, 2010(3): 74-78.
- [34] 杨忻瑞. 基于玻璃化转变理论的枣粉吸湿机制及调控技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2022.
- [35] FONGIN S, KAWAI K, HARNKARNSUJARIT N, et al. Effects of water and maltodextrin on the glass transition temperature of freeze-dried mango pulp and an empirical model to predict plasticizing effect of water on dried fruits[J]. *Journal of Food Engineering*
- [36] 李聪, 周沫, 毕金峰, 等. 麦芽糊精对喷雾干燥桃全粉物理性质的影响[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(5): 155-163.
- [37] 食品安全国家标准 乳粉和调制乳粉: GB 19644—2024[S]. 中国标准出版社, 2024.
- [38] 全国食品工业标准化技术委员会(SAC/TC 64). 淀粉糖质量要求第6部分: 麦芽糊精: GB/T 20882.6—2021[S]. 中国标准出版社, 2021.
- [39] 王洋洋, 崔可可, 刘羽洁, 等. 铁皮石斛粉体、破壁饮片吸湿性的比较[J]. *中成药*, 2019, 41(7): 1679-1681.
- [40] 周代营, 张欣, 聂阳, 等. 真空带式干燥与喷雾干燥的灵芝皇粉体性质对比[J]. *医药导报*, 2020, 39(8): 1125-1128.
- [41] 宁梅, 程峥, 毛凯韵, 等. 茶叶包装研究现状及发展趋势[J/OL]. *仲恺农业工程学院学报*, 1-13[2025-12-08]. <https://link.cnki.net/urlid/44.1660.S.20250515.1611.002>.
- [42] KIELCZEWSKA K, SMOCHYŃSKI M, HAPONIUK E, et al. Fractal analysis of the microstructure and functional properties of milk powders[J]. *Applied Sciences*, 2025, 15(18): 10281-10281.
- [43] 杨日昭. 基于“药辅合一”的中药片剂制备工艺研究[D]. 上海: 上海中医药大学, 2021.
- [44] 冉欢. 喷雾干燥制备冬枣粉工艺优化研究[D]. 重庆: 西南大学,

- 2023
- [45] 都日娜. 喷雾干燥法生产复合杂粮麦粉的工艺研究[D]. 通辽: 内蒙古民族大学, 2024.
- [46] 丽霞, 罗学平, 李丹, 等. 四川速溶苦丁茶粉干燥工艺优化[J]. 宜宾学院学报, 2021, 21(6): 99-103.
- [47] 李晔秋, 谢宝瑞, 乔慧芳, 等. 预防乳粉结块的生产工艺研究[J]. 中国乳业, 2025(4): 126-132.
- [48] 许天雄. 基于喷雾干燥技术制备妥布霉素吸入粉雾剂的配方及吸入特性[D]. 南京: 东南大学, 2022.
- [49] 吴正红, 周建平. 药物制剂工程学[M]. 北京: 化学工业出版社: 2022.
- [50] 陈俊辰, 方思勇, 彭建强, 等. 食盐冷却设备与抗结块工艺研究[J/OL]. 无机盐工业. (2025-08-20) [2025-10-20]. 10.19964/j.issn.1006-4990.2025-0090.
- [51] Ramirez-Rosas, Sofia L et al. "Green route to produce silver nanoparticles using the bioactive flavonoid quercetin as a reducing agent and food anti-caking agents as stabilizers." *Nanomaterials* (Basel, Switzerland) vol. 12, 19 3545. 10 Oct. 2022.
- [52] KWON R-Y, YOUN S-M, CHOI S-J. Oral excretion kinetics of food-additive silicon dioxides and their effect on in vivo macrophage activation[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2024, 25(3): 1614.
- [53] 袁尔东, 刘靓赞, 黄敏, 等. 纳米二氧化硅抗结剂对护胃固体饮料稳定性及功效的影响[J]. 现代食品科技, 2021, 37(6): 167-174.
- [54] CANHAM L. Nanoscale semiconducting silicon as a nutritional food additive[J]. *Nanotechnology*, 18(18): 185704.
- [55] 张钰欣, 咎成顺, 贺凯茹, 等. HS-SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析不同包装材料对乳粉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(9): 243-252.
- [56] 范珺. 固体饮料结块原因和解决方式[J]. 食品安全导刊, 2018(28): 42-44.

大蒜漱口水抗菌能力惊人

阿联酋沙迦大学的医学研究人员发现, 大蒜提取物的抗菌效果与洗必泰(又称氯己定)等常用防腐剂和消毒剂相当。这项近日发表于《草药医学杂志》的研究报告称, 相比洗必泰, 大蒜漱口水可能会引起更多不适, 但活性似乎更持久。

作者解释说: “洗必泰被广泛用作漱口水, 但一直存在副作用和抗菌素耐药性方面的隐患。大蒜以其天然的抗菌特性而闻名, 已成为一种潜在的替代品。”

研究人员基于一项系统综述得出了上述结论。该综述探讨了大蒜提取物在临床环境中相比洗必泰的表现, 及其是否可以作为一种草药替代品。

他们的分析遵循了《2020 年系统评价和荟萃分析首选报告项目指南》, 该指南旨在提高系统评价和荟萃分析的可靠性和透明度。作者还使用 PICO 框架构建了临床研究问题。PICO 是循证医学领域用于构建临床问题、制定文献检索策略的核心结构化框架。

该综述指出, 漱口水的浓度、使用时间不同, 效果也不同, 这导致了结果的差异。一些研究支持洗必泰能维持较高的菌斑/唾液 pH 值, 另一些研究则报告称大蒜提取物在一定浓度下更有效。然而, 大蒜提取物漱口水可能会引起更强烈的不适感, 主要包括灼烧感和难闻的气味, 这可能会影响患者是否愿意从洗必泰转向大蒜基产品。

尽管如此, 该综述还是为大蒜提取物的临床抗菌活性提供了有力支持, 称大蒜提取物漱口水从基线水平显著降低了细菌计数。综述还指出, 众多研究证明, 大蒜提取物对多种细菌、真菌和病毒具有抵御作用, 并已在牙龈性口炎、牙本质小管消毒和根管内用药等领域进行过探索。

作者建议进行有更多参与者和更长随访期的临床试验, 以确认大蒜作为洗必泰替代品的有效性, 并提高临床适用性。

作者表示, 这些研究有助于理解大蒜提取物相比洗必泰等合成制剂的抗菌作用, 但未来需进一步研究以确认大蒜在牙科实践中的功效。(李木子)

(来源:《中国科学报》 2025-12-11)

L- α -甘磷酸胆碱检测方法研究进展

利 通^{1,2}, 何 澄^{1,2}

(1 广东省食品工业研究所有限公司, 广东 广州 511442;

2 广东省食品质量监督检验站, 广东 广州 511442)

摘 要: 本文系统综述了 L- α -甘磷酸胆碱的主要检测方法及其研究进展, 包括液相色谱法(如高效液相色谱-蒸发光散射检测器/示差折光检测器法、离子色谱-电化学检测法)、色谱串联质谱法、滴定法、核磁共振波谱法、薄层色谱法以及分光光度法等。重点探讨了各方法的原理、适用场景、技术特点及其在原料分析、工艺监控、杂质鉴定与生物样本检测中的具体应用。本文旨在为相关行业提供技术参考, 并展望未来检测方法在灵敏度、高通量、自动化及与组学技术融合等方面的发展趋势。

关键词: L- α -甘磷酸胆碱; 检测方法; 研究进展

Research Progress on Detection Methods of L- α -Glycerylphosphorylcholine

LI Tong^{1,2}, HE Cheng^{1,2}

(1 Guangdong Food Industry Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 511442, China;

2 Guangdong Food Quality Supervision and Inspection Station, Guangzhou 511442, China)

Abstract: This paper provides a systematic review of the main detection methods and research progress of L- α -GPC, including liquid chromatography methods (such as high-performance liquid chromatography with evaporative light scattering detection/differential refractive index detection, ion chromatography with electrochemical detection), chromatography-tandem mass spectrometry, titration, nuclear magnetic resonance spectroscopy, thin-layer chromatography, and spectrophotometry. The principles, applicable scenarios, technical characteristics, and specific applications in raw material analysis, process monitoring, impurity identification, and biological sample testing of each method are highlighted. This paper aims to offer technical references for relevant industries and to explore the future development trends of detection methods in terms of sensitivity, high throughput, automation, and integration with omics technologies.

Key words: L- α -Glycerylphosphorylcholine; detection methods; research progress

中图分类号: TS207

文献标志码: A

文章编号: 1007-7871(2025)06-0070-06

L- α -甘磷酸胆碱(L- α -Glycerylphosphorylcholine), 亦称 L- α -GPC 或甘油磷酸胆碱, 是体内天然存在的水溶性磷脂代谢产物, 由胆碱、甘油和磷酸盐组成, 分子式为 $C_8H_{20}NO_6P$, 分子量为 257.22, 是乙酰胆碱和磷脂酰胆碱合成的胆碱源, 纯度高的 L- α -GPC 一般为无色透明的粘稠状液体或白色固体粉末或颗粒^[1,2], 同时带有正负双电荷并具有亲水亲油两性的小分子, 易溶于水、甲醇以及乙醇, 不溶于其他有机溶剂^[3]。L- α -GPC 的来源包括从牛胰腺或大豆卵磷脂等生物原料中提取, 也可通过化学水解、磷脂酶

水解、化学合成法制备^[4]。L- α -GPC 的国际应用始于 1990 年意大利首次批准作为药品, 2009 年日本批准用于治疗认知障碍, 2012 年, 化学合成来源的 L- α -GPC(GRN 编号为 No.419)在美国被作为“一般认为安全的物质(GRAS)”管理, 加拿大批准 L- α -GPC 作为天然健康产品使用, 已在多个国家和地区的食品或药品领域有所应用^[5-7]。2024 年 2 月 29 日国家卫生健康委员会批准 L- α -GPC 为新食品原料。

无论是作为药品、保健食品还是新食品原料, 对 L- α -GPC 建立准确、可靠的质量控制方法都至关重要, 这直接

收稿日期: 2025-12-08

作者简介: 利 通(1995-), 男, 硕士, 研究方向为食品加工与安全。E-mail: 1396610533@qq.com

关系到产品的有效性与安全性。因此,开发适用于不同基质(如原料、制剂、复合食品及生物样本)的 L- α -GPC 检测技术,一直是分析化学与营养学领域的研究重点。

目前,针对 L- α -GPC 的检测已有多种分析方法,但未见关于此主题的综述。本综述旨在为食品安全总结 L- α -GPC 的检测技术,为行业发展提供参考。

1 液相色谱法

1.1 高效液相色谱-蒸发光散射检测器/示差折光检测器法

对于 L- α -GPC 的常规含量测定及在酶解、醇解等制备工艺中的过程监控,因 L- α -GPC 在 200nm~800nm 波长范围内没有紫外吸收峰^[8,9],而在蒸发光散射检测器(ELSD)响应良好的特性而被广泛应用。刘狄^[10]等使用 Tigerkin Diol 色谱柱(250×4.6mm, 5 μ m),以甲醇-水(90:10, V/V)等度洗脱,ELSD 参数为漂移管温度 65℃、氮气流速 1.50L/min,方法在 0.25g/L~3.00g/L 内线性良好($R^2=0.9993$),回收率 95.87%,RSD=1.75%,适用于磷脂类物质的分离定量。为避免含水流动相对正相柱的损害,杜章斌^[11]等采用 Alltech Silica 柱和纯甲醇流动相,使 L- α -GPC 在 4.97min 内快速出峰,在 13.0 μ g/mL~315.0 μ g/mL 内线性($R^2=0.9914$),检出限 6.3 μ g/mL,加标回收率 102.5%,RSD2.2%,显著提升了酶解样品分析效率。

除等度洗脱外,在 L- α -GPC 制备工艺研究中,常用梯度洗脱分离试样中的多种组分。例如在醇解制备 L- α -GPC 和甘油磷脂酰乙醇胺(GPE)的研究中^[12],采用 Spherisorb® Silica 柱,以甲醇和甲醇-水(8:1)梯度洗脱(漂移管温度 80℃),L- α -GPC 在 1.24mg/mL~1.86mg/mL 内线性良好($R^2=0.9934$)。在复合酶法制备工艺中^[13],采用 SunFire™ Prep Silica 柱进行甲醇-水梯度洗脱(雾化温度 65℃,氮气流速 1.6L/min),建立的 L- α -GPC 标准曲线在 0.5mg/mL~2.5mg/mL 范围内 $R^2=0.9983$,能有效监控转化产率。

此外,HPLC-ELSD 也常应用于 L- α -GPC 纯化过程(如硅胶或树脂吸附)的机理研究^[14~17]与最终产物纯度鉴定。这些方法多采用硅胶柱(如 ZORBAX RX-SIL、Grace Si60、Lichrospher S160 等),流动相为甲醇-水体系(比例多为 8:1 或 85:15),柱温 30℃~40℃,漂移管温度 30℃~65℃。通过建立外标法(线性范围通常为 1mg/mL~4mg/mL, $R^2\geq 0.991$),可准确测定吸附率、解吸率及产物纯度。

HPLC-ELSD 也常用于产品中杂质检测,为确保药用 L- α -GPC 的质量要求,对于测定其产品中是否含杂质(如对映体、位置异构体、降解产物及其他磷脂类杂质)至关重要,Ji Y^[18]等开发了无需衍生化的手性正相 HPLC 法,采用 Chiralcel® OX-H 手性柱(250×4.6mm, 5 μ m),以正庚烷-异丙醇-甲醇(52:45:3, v/v/v)并添加 0.1%甲酸和 0.2%三乙胺为流动相,可分离 L- α -GPC 与其对映体 D- α -GPC

及位置异构体 β -GPC,两种杂质检测灵敏度均达 0.025% (w/w)。此外,《美国药典》推荐 HPLC 联用示差折光检测器(RID)与 ELSD,以分别检测甘油等有机杂质及 GPE、GPI 等磷脂类杂质。在酶法制备工艺研究中,为区分 Sn-1 与 Sn-2 位溶血磷脂酰胆碱(LPC),可采用 HPLC-RID 结合氨基柱及 95%乙醇/草酸溶液等度洗脱^[19~20]。

在国家卫生健康委员会(2024 年第 2 号)公告^[21]中对于 L- α -GPC 的异构体杂质控制,建立了配套液相色谱法。

除了 HPLC-ELSD 外,HPLC-RID 也是测定 L- α -GPC 方法之一,Zhao^[9]等开发了配备示差折光检测器的 HPLC 方法,采用键合极性基团(-NH₂, -CN, -NO₂)的硅胶柱(4.6×250mm),以甲醇:20mM 甲酸铵(pH3.2, 磷酸调节)(65:35, v/v)等度洗脱(柱温 40℃,流速 1.0mL/min)。该方法在 0.080mg/mL~0.800mg/mL 内线性良好($R^2>0.99$),精密度 RSD<2%,揭示 L- α -GPC 在光解、热、氧化和酸性条件下稳定,而对碱性条件相对敏感是由于 L- α -GPC 结构单元中磷酸酯键的特异性断裂所致。

1.2 离子色谱-电化学检测法

对于复杂基质或需要高灵敏度定量的情况,柱后衍生-电化学检测法具有高选择性。Abbiati G^[22]等建立了基于两步酶转化的离子色谱-电化学检测法,水解生成的胆碱经 Cyano Spheri-10 反相柱(30×4.6mm)分离,通过柱后固定化胆碱氧化酶反应器转化为过氧化氢,由铂电极(+0.5Vvs. Ag/AgCl)检测。方法在 2nmol/mL~150nmol/mL 内线性良好($R^2=0.9989$),灵敏度达 2pmol/20 μ L,精密度 RSD<2.25%,可用于制剂分析。

综上所述,液相色谱法已成为 L- α -GPC 分析不可或缺的工具,从快速的工艺监控(HPLC-ELSD)到严格的药品质量控制(手性 HPLC、多检测器联用),再到高灵敏度的生物样品分析(HPLC-MS/MS),多样化的色谱条件与检测方法共同构成了全面、精准的 L- α -GPC 分析体系,为其生产、质控与应用研究提供了坚实的技术支撑。

2 色谱质谱联用法

对于 L- α -GPC 的微量、高特异性分析,尤其是在复杂基质中,液相色谱-质谱联用(LC-MS)技术因其高灵敏度与高选择性而成为核心方法。其中,同位素稀释质谱法通过向样品中加入已知同位素组成的氘代内标(如监测 m/z 258.2 的 GPC 及 m/z264.2 的内标),基于质谱精确测定同位素比值进行定量。该方法将化学分析转化为同位素测量,有效校正了前处理损失,使结果可直接溯源,具有灵敏度高、测量范围广的特点,无需严格定量分离,已广泛应用于食品、生物及环境样品中微量成分的测定。基于此原理,多项研究建立了具体的亲水相互作用色谱(hydrophilic interaction chromatography, HILIC)/正相 LC-MS/MS

方法。Koc H^[23]等与 Zhao YuanYuan^[24]的研究均采用 Ascen-tis Express HILIC 色谱柱(150mm×2.1mm, 2.7μm), 以乙腈(A)和 10mM 甲酸铵水溶液(B)为流动相进行梯度洗脱, 质谱采用电喷雾正离子(ESI+)和多反应监测(MRM)模式, 监测母离子 m/z258.0 及子离子 m/z104.0, 方法在 0.02μg/mL~2.0μg/mL 范围内线性良好, 实现了对食品基质中 L-α-GPC 的高选择性定量。

在生物样本分析中, Li H^[25]等建立了基于超快速液相色谱-离子阱-飞行时间串联质谱(UFLC-IT-TOF/MS)检测血清中 L-α-GPC 的方法。样品经甲醇/乙腈(3:1, v/v)沉淀蛋白, 采用 Endeavorsil™ C18 色谱柱, 以 0.1%甲酸水-乙腈梯度洗脱, 质谱在 ESI+模式下扫描 m/z100~1000, 并通过 MS²碎片确认结构, 该方法通量高、稳定性好, 成功用于肝癌患者血清中 GPC 的差异分析。此外, Guerra G^[26]等采用 Atlantis premiere BEH Z-HILIC 柱(2.1×100mm, 2.5μm), 以碳酸氢铵缓冲液和乙腈/甲醇梯度洗脱, 在正离子 H-ESI 模式下通过特征离子(m/z 258)及碎片离子(如 m/z 104、184)对 L-α-GPC 进行鉴定与监测, 该方法适用于血浆等复杂样品中胆碱代谢物的同步分析。

气相色谱-质谱联用(GC-MS)方法测定 L-α-GPC 则需通过衍生化步骤实现, Pomfret E A^[27]研究建立了一种结合高效液相色谱(HPLC)、薄层色谱(TLC)与气相色谱-质谱(GC-MS)的集成方法, 用于从单一样本(低至 100mg 组织)中同时测定多种胆碱代谢物, 包括甘油磷脂酰胆碱(L-α-GPC)。试样组织经氯仿/甲醇/水提取后, 亲水性组分通过正相硅胶 HPLC 柱分离, 采用二元非线性梯度洗脱, 收集相应馏分后, 经 6M HCl 于 80°C 水解 1h, 将其转化为游离胆碱; 胆碱随后经丙酰化及苯硫酚钠去甲基化处理, 生成挥发性衍生物, 最后通过 GC-MS 进行定量分析, 实现了对复杂生物基质中 L-α-GPC 的准确、可靠测定。Holmes-McNary M Q^[28]等也采用了类似的方法测定了人体和大鼠乳汁以及婴儿配方奶粉中胆碱及胆碱酯类物质。以上研究均采用高效液相色谱预分离收集 L-α-GPC, 经 HCl 水解释放胆碱, 再衍生化为丙酸酯并经苯硫酚钠脱甲基, 最终通过 GC-MS 进行定量。

液相色谱/电喷雾电离-同位素稀释质谱(LC/ESI-IDMS)方法进一步结合了色谱分离与同位素稀释质谱的绝对定量优势。Likes R^[29]等研究采用正相硅胶柱(Alltech Solvent Miser Silica, 2.1×150mm, 5μm), 在 40°C 柱温下, 以梯度洗脱, 在 ESI+模式下直接监测 L-α-GPC 及其氘代内标的分子离子, 无需衍生化, 为组织与食品样品提供了高通量、高特异性与高准确度的定量方案, 并成功应用于小麦粉及其磨制流份中 L-α-GPC 的分布研究。

此外, 用于结构确证的技术也至关重要。电喷雾电离质谱(ESI-MS)在正离子模式下可观察到 L-α-GPC 的[M+H]⁺峰(m/z258.1)、[M+Na]⁺峰(m/z280.1)及二聚体峰。傅里

叶变换红外光谱(FTIR)可指认 P=O 伸缩振动(~1239cm⁻¹)、C-O 伸缩振动(~1087cm⁻¹)及 O-H 伸缩振动(~3227cm⁻¹)等特征官能团。在合成工艺研究中, 常综合运用高效液相色谱(如 C18 柱, 以水为流动相, 配合折射率检测器)、核磁共振(¹H NMR, ¹³CNMR)及上述质谱与红外技术, 共同完成对 L-α-GPC 产物的纯度分析、结构确证与转化率评估, 构成了完整的分析体系^[4]。

3 滴定法

在 L-α-GPC 的定量分析中, 滴定法, 尤其是非水电位滴定法, 因其操作简便、成本较低且准确可靠而被长期应用。早期研究滴定法主要用于从卵磷脂水解制备 L-α-GPC 的工艺及产物鉴定的定性分析, 而非定量方法。Tattie N H^[30]等人的研究通过高碘酸(HIO₄)消耗法(在 pH6.0 磷酸缓冲液中反应 30min 后滴定剩余高碘酸)测定邻位二醇以确认甘油结构; 通过比色法或胆碱沉淀反应测定水解前后的胆碱含量, 以差值计算 L-α-GPC 含量; 辅以元素分析(氮、磷、氯、镉)和比旋光度测定来验证复合物组成与 L-α 构型, 为 L-α-GPC 的定性确认与初步定量评估提供了基础。

随后有研究建立专一、准确的 L-α-GPC 含量测定方法。刘丹^[31]等建立了经典的非水电位滴定法: 称取 294-315mg 样品, 以 40mL 乙酸酐和 10mL 3%乙酸汞溶液为溶剂, 搅拌 20min 后, 用 0.0997mol/L 高氯酸标准溶液进行滴定, 采用玻璃复合电极监测, 以二级微商法(Δ²E/ΔV²=0)确定终点。为进一步提升方法的环保性与安全性, 另一项重要改进^[32]以冰乙酸完全替代了有毒的乙酸汞溶液。该改进方法在冰乙酸-乙酸酐中, 用 0.1mol/L 高氯酸滴定, 使用玻璃-饱和甘汞电极, 在 0.16g~0.24g 称样范围内呈现优异线性(R²=0.9999), 平均回收率达 99.51%, RSD 为 0.16%, 实现了无汞化、准确高效的定量分析。与该研究相似, 国家卫生健康委员会公告^[31]将电位滴定法列为 L-α-GPC 的法定含量测定方法。

综上, L-α-GPC 的滴定分析经历了从早期定性到建立并优化改进专属性定量方法, 最终形成严格标准化官方方法的过程, 展现了该方法在药物与食品原料质量控制中的重要作用。

4 核磁共振波谱法及其他分析方法

核磁共振(NMR)波谱法已被广泛应用于 L-α-GPC 及其相关化合物的分析中, 以下分别综述其在定量分析、反应监测、结构确证、对映体纯度测定以及复杂基质分析等多个方面的具体应用。

4.1 定量分析

杜章斌^[33]等有研究采用核磁共振氢谱法(¹H NMR)测定 L- α -GPC 的含量,该方法通过选取 L- α -GPC 在氘代甲醇中化学位移 $\delta=3.76 \sim 3.83$ 处的特征质子峰作为定量依据,该峰与样品中其他信号峰分离良好,便于积分。基于质子峰面积与物质含量的正比关系,并结合各物质分子中特征质子数及摩尔质量,该方法实现了无需标准品即可同步测定 L- α -GPC、卵磷脂(PC)及溶血磷脂(LPC)的相对含量。

4.2 制备 L- α -GPC 过程监测与结构确证

在 L- α -GPC 的酶法制备工艺中, Semproli R^[34]等研究综合运用薄层色谱法(TLC)与核磁共振谱进行定性监测与结构确证,酶法制备 L- α -GPC 产物的最终纯度与结构通过核磁共振技术确认,¹H NMR 与³¹P NMR 谱图与文献报道数据一致,从而验证了所得产物为 L- α -GPC。该方法为 L- α -GPC 的酶法制备工艺提供了可靠的定性追踪与结构鉴定支持。

4.3 区分天然来源与化学合成 L- α -GPC 分析

de Ferra L^[35]等采用已知手性硼酸试剂(R)-(2-(((1-苯乙基)氨基)甲基)苯基)硼酸作为衍生化试剂,在无水 DMSO-d₆ 溶剂中,于 50℃、氮气保护及活化 4Å 分子筛存在下,与 L- α -GPC 反应 18h~24h,形成一对非对映异构的硼酸酯衍生物。通过 600MHz ¹H NMR 对反应混合物的直接分析,利用胆碱部分甲基($\sim 3.11\text{ppm}$ 与 $\sim 3.08\text{ppm}$ 处两个单峰)或手性试剂中苄位甲基($\sim 1.48\text{ppm}$ 与 $\sim 1.50\text{ppm}$ 处双峰)的信号积分比,可准确定量 L- α -GPC 与 D- α -GPC 的比例。该方法首次报道了一种基于手性衍生化与核磁共振波谱联用测定 L- α -GPC 对映体纯度的实用分析方法,能有效区分天然来源与化学合成来源样品的对映体纯度差异,为这一重要手性药物成分的质量控制提供了灵敏、可靠的解决方案。

4.4 异构体杂质检测

为严格控制 L- α -GPC 原料药的质量, Ling S^[36]等研究建立了一种基于³¹P 核磁共振光谱(³¹P NMR)定量测定其中位置异构体杂质 β -GPC 的高灵敏度分析方法。样品以氘代水(D₂O)为溶剂溶解,并选用磷酸三甲酯(TMP)作为内标,在 500MHz 谱仪上进行测定,通过优化采集参数确保信号特异性。该方法无需衍生化与色谱分离即可直接区分结构相似的异构体,为微量 β -GPC 的检测提供了准确、灵敏且可靠的替代方案。

4.5 复杂生物样品分析

在生物样品分析方面, Holmes H C^[37]等通过高氯酸提取乳样中的水溶性胆碱代谢物(包括游离胆碱、磷酸胆碱和 GPC),为克服信号重叠干扰,提取液分别在 pH2 和 pH7 条件下进行 NMR 分析,以分离因胆碱信号干扰而在 pH7 下重叠的 L- α -GPC 信号。L- α -GPC 的浓度通过从 pH2 样本中测得的 L- α -GPC 与磷酸胆碱混合信号中减去 pH7 样本中单独测得的磷酸胆碱浓度计算得出,该方法实现了对复杂

基质中人乳 L- α -GPC 的准确、高效测定。

5 薄层色谱法

薄层色谱法(Thin-Layer Chromatography, TLC)因其简便、快速、成本低廉等优势,被广泛应用于 L- α -GPC 及其相关磷脂类化合物的定性、半定量分析及反应过程监控。

TLC 在 L- α -GPC 定性、定量分析及反应监测中的应用主要是采用硅胶 GF254 作为固定相,制备方式包括实验室自制(辅以 0.5%羧甲基纤维素钠溶液制板并活化)与商品化预制铝板(硅胶 F254),展开剂根据针对 L- α -GPC 的性质,可采用 5mol/L 氨水-正丙醇(体积比 7:13)或正丁醇/水/乙酸(体积比 80:20:20)^[34]。而在复杂的工艺过程监测中,根据纯化阶段反应进程监测常选用二氯甲烷:甲醇:氨水(水)=12:7:1,以清晰区分 L- α -GPC 与 LPC;脱色等中间过程监控可选用甲醇:氨水=9:1,实现快速层析;高纯度产物鉴定则选用极性更大的异丙醇:氨水=3:2,以抑制斑点拖尾,尽管层析速度较慢^[9]。显色剂包括通用型的碘蒸气,以及针对磷脂类化合物的特异性显色剂,如硫酸铈/钼酸铵的硫酸溶液,通过加热显色^[34,38]。对于定量或半定量分析,在显色后通过扫描成像,结合灰度分析软件处理,并采用外标法绘制 PC 与 L- α -GPC 的标准曲线,进而计算反应过程中 PC 的转化率与 L- α -GPC 的产率^[38]。

此外, TLC 作为辅助手段与其他分析技术的联用。例如与 HPLC 联用,在一项 L- α -GPC 制备与纯化研究中,以高效液相色谱-蒸发光散射检测法(HPLC-ELSD)作为 L- α -GPC 含量定量的核心方法,辅以 TLC 进行反应进程的快速监测,实现了对工艺条件优化和放大验证的有效支持^[15];与 NMR 联用在酶法制备 L- α -GPC 的结构确证中,综合运用 TLC 与核磁共振谱, TLC(采用正丁醇/水/乙酸展开剂,硫酸铈/钼酸铵显色)用于反应过程的定性追踪,观察 PC(R_f ≈ 0.21)向 L- α -GPC 的转化,产物的最终纯度与精细结构则通过¹H NMR 与³¹P NMR 进行终产物鉴定^[34];在生物组织样本(如大鼠肝脏、心脏、大脑及人类血浆)中胆碱类代谢物使用 HPLC 或 TLC 进行代谢物的分离,结合气相色谱-质谱联用(GC/MS)测定 L- α -GPC^[27,28]。

6 分光光度法

分光光度法操作简便、快速,适用于大批量样品的快速筛查。Nikolaychuk P A^[6]等利用甘油磷酸胆碱磷酸二酯酶(EC3.1.4.2)水解 L- α -GPC 生成胆碱,胆碱与试剂盒胆碱氧化酶(EC1.2.1.8)、过氧化物酶(EC1.11.1.7)、3, 5-二甲氧基-N-乙基-钼(2-羟基-3-磺丙基)-钠苯胺和 4-氨基芪氨酸等组分反应(反应过程示意图,见图 1),实现 L- α -GPC 的定量比色测量。该方法在 1mg/L~40mg/L 范围内线性良

好,检出限为 1mg/L,定量限为 3.3mg/L,具有操作简便、快速、适用于常规质量控制中微量 L- α -GPC 检测的特点。缺点是该方法并不适用于含有磷脂、含有葡萄糖和葡萄糖氧化酶等复杂基质在测定过程可能会产生过氧化氢的 L- α -GPC 的测定,可能导致测定结果值存在偏差。

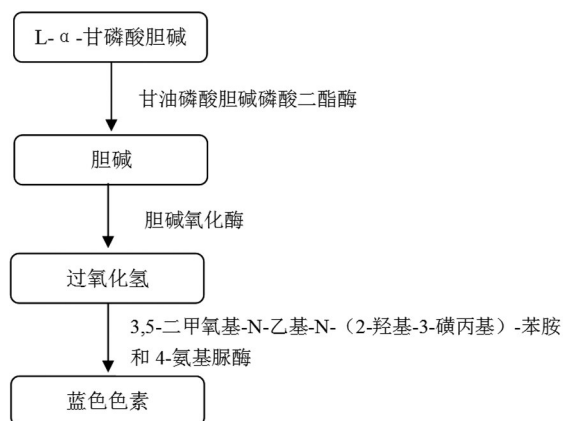


图1 酶结合分光光度法反应过程示意图

Fig.1 Schematic diagram of the enzyme-linked spectrophotometric reaction process

7 总结与展望

本文系统总结了 L- α -GPC 的各类检测方法。HPLC-ELSD 在常规质量控制中占据重要地位; LC-MS/MS(尤其是 HILIC-MS/MS)凭借高灵敏度与选择性已成为复杂基质分析的主流; NMR 在结构确证、对映体与异构体分析中优势显著; 滴定法则简便可靠, 适用于标准含量测定; TLC 与分光光度法适用于快速筛查。

未来, L- α -GPC 检测技术将趋向于更高灵敏度与特异性、更高通量与自动化, 以及与代谢组学、脂质组学等前沿技术的深度融合。开发绿色、高效的样品前处理方法, 建立适用于多种基质的标准化检测流程, 将是该领域的重要发展方向。

参考文献:

- [1] 张康逸. 水相体系酶法制备甘油磷脂酰胆碱及酰基转移机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [2] 尹荣超. 水相酶法催化制备 L- α -甘油磷酸胆碱及其微观特性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- [3] 樊鹏娟. 负载化胆碱催化天然磷脂酯交换反应制备甘油磷脂酰胆碱的研究[D]. 西安: 西北大学, 2017.
- [4] LI Junhua, ZHANG Jingping, WANG Yi, et al. L-Alpha-Glycerophosphorylcholine (L- α -GPC): A comprehensive review of its preparation techniques and versatile biological effects[J]. Journal of Food Science, 2025, 90(6): e70338.
- [5] 中国食品科学技术学会. L- α -甘油磷酸胆碱的科学共识[J/OL]. 中国食品学报, 1-6[2025-12-06]. <https://link.cnki.net/urlid/11.4528.TS.20251027.1625.002>.
- [6] NIKOLAYCHUK P A. Spectrophotometric determination of L- α -glycerylphosphorylcholine in pharmaceutical formulations and industrial equipment cleaning rinse water with the WAKO Phospholipids C assay kit[J]. PeerJ Analytical Chemistry, 2023, 5: e24.
- [7] 邹俊康, 鲍宗必, 杨启炜, 等. 甘油磷脂酰胆碱的分析、制备及纯化研究进展[J]. 化工进展, 2021, 40(11): 6295-6304.
- [8] 康世宗, 张海臣, 吴永辉, 等. L- α -甘油磷脂酰胆碱的制备、纯化及检测研究进展[J]. 中国油脂, 2017, 42(8): 103-107.
- [9] ZHAO Hongwei, SUN Ling, CHEN Huanhuan, et al. Intrinsic stability study of L- α -glycerylphosphorylcholine with HPLC method development and validation[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2020, 188: 113468.
- [10] 刘狄, 刘明, 冯宝民, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射法测定甘油磷脂酰胆碱[J]. 分析科学学报, 2014, 30(3): 377-380.
- [11] 杜章斌, 滕英来, 汪勇, 等. HPLC-ELSD 法测定酶解磷脂中甘油磷脂酰胆碱含量的研究[J]. 粮食与食品工业, 2014, 21(6): 82-86.
- [12] 孟宗, 周丽, 李进伟, 等. 大豆粉末磷脂同时制备甘油磷脂酰胆碱和甘油磷脂酰乙醇胺的研究[J]. 中国油脂, 2013, 38(9): 32-35.
- [13] 孟燕楠, 梁少华, 魏贤之, 等. 复合酶法水解大豆浓缩磷脂制备甘油磷脂酰胆碱工艺研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(1): 14-19.
- [14] 张康逸, 张丽霞, 王兴国, 等. 硅胶吸附甘油磷脂酰胆碱的动力学和焓变的研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(3): 47-52.
- [15] 刁周剑. 黑曲霉展示脂肪酶在甘油磷脂酰胆碱制备中的应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [16] 韩山山, 张康逸, 黄健花, 等. 树脂柱色谱纯化甘油磷脂酰胆碱[J]. 中国油脂, 2012, 37(3): 47-51.
- [17] 周丽, 王兴国, 张康逸, 等. 柱色谱法分离甘油磷脂酰胆碱的研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(2): 35-37.
- [18] JI Yuze, LI Xiaoyu, BIAN Yifei, et al. A novel chiral HPLC method development and validation for sensitive detection of isomeric impurities in L- α -glycerylphosphorylcholine (L- α -GPC) from distinct sources: chemical synthesis versus bio-derivative[J]. Microchemical Journal, 2025: 115036.
- [19] 邹俊康, 鲍宗必, 杨启炜, 等. 甘油磷脂酰胆碱的分析、制备及纯化研究进展[J]. 化工进展, 2021, 40(11): 6295-6304.
- [20] 邹俊康. 甘油磷脂酰胆碱的制备与纯化[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [21] 国家卫生健康委员会. 关于石斛原球茎等 23 种“三新食品”的公告[EB/OL]. (2024-03-13). <https://www.nhc.gov.cn/sps/c100088/202403/45d3e714d04b4be0863e814c2f5a586a.shtml>.
- [22] ABBIATI G, FOSSATI T, ARRIGONI M, et al. High-performance liquid chromatographic assay of L- α -glycerophosphorylcholine using a two-step enzymic conversion[J]. Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications, 1991, 566(2): 445-451.
- [23] KOC H, MAR M-H, RANASINGHE A, et al. Quantitation of choline and its metabolites in tissues and foods by liquid chromatography/electrospray ionization-isotope dilution mass spectrometry[J]. Analytical chemistry, 2002, 74(18): 4734-4740.

- [24] ZHAO Yuanyuan, XIONG Yeping, CURTIS J M. Measurement of phospholipids by hydrophilic interaction liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry: the determination of choline containing compounds in foods[J]. 2011, 1218(32): 5470-5479.
- [25] Li Hui, FAN Sufang, WANG Yan, et al. Rapid detection of small molecule metabolites in serum of hepatocellular carcinoma patients using ultrafast liquid chromatography-ion trap-time of flight tandem mass spectrometry[J]. Analytical Sciences, 2017, 33(5): 573-578.
- [26] GUERRA G, SEGRADO F, PASANISI P, et al. Circulating choline and phosphocholine measurement by a hydrophilic interaction liquid chromatography- tandem mass spectrometry[J]. Heliyon, 2023, 9(11).
- [27] POMFRET E A, DACOSTA K-A, SCHURMAN L L, et al. Measurement of choline and choline metabolite concentrations using high- pressure liquid chromatography and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Analytical biochemistry, 1989, 180(1): 85-90.
- [28] HOLMES-MCNARY M Q, CHENG Weiling, MAR M H, et al. Choline and choline esters in human and rat milk and in infant formulas[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1996, 64(4): 572-576.
- [29] LIKES R, MADL R, ZEISEL S Z, et al. The betaine and choline content of a whole wheat flour compared to other mill streams[J]. Journal of cereal science, 2007, 46(1): 93-95.
- [30] TATTRIE N H, MCARTHUR C S. The preparation of L-alpha-glycerylphosphorylcholine from lecithins [J]. Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, 1955, 33(5): 761-766.
- [31] 刘丹,张康逸,黄健花,等.非水电位滴定法测定甘油磷脂酰胆碱[J].中国油脂,2012,37(3):82-84.
- [32] 黄祥元,唐伟,蒋艾青.甘油磷脂酰胆碱含量测定方法的改进[J].科技视界,2019(17):165-166.
- [33] 杜章斌,滕英来,汪勇,等.核磁共振氢谱法测定卵磷脂、溶血磷脂和甘油磷脂酰胆碱含量[J].中国油脂,2015,40(3):83-86.
- [34] SEMPROLI R, ROBESCU M S, MEMA K, et al. Glycerophosphoinositol and glycerophosphocholine from the enzymatic hydrolysis of fractionated sunflower lecithin[J]. Industrial Crops & Products, 2025, 237: 122253.
- [35] FERRA L D, MASSA A, MOLA A D, et al. An effective method for the determination of the enantio-purity of L- α -glycerophosphocholine (L- α -GPC)[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2020, 183: 113152.
- [36] SUN Ling, FAN Yujuan, WANG Qiaoqiao, et al. Validated quantitative ^{31}P NMR spectroscopy for positional isomeric impurity determination in L- α -glycerylphosphorylcholine (L- α -GPC)[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2022, 221: 115067.
- [37] HOLMES H, SNODGRASS G J, LLES R A. Changes in the choline content of human breast milk in the first 3 weeks after birth [J]. European Journal of Pediatrics, 2000, 159(3): 198-204.
- [38] 张希双.无机碱催化天然磷脂酯交换反应制备L- α -甘油磷脂酰胆碱(L- α -GPC)的研究[D].西安:西北大学,2014.

茶汤香气增强天然甜味感知研究取得新突破

茶作为一种全球广泛消费的嗜好性饮品，其天然的甜味强度是评价茶汤品质的关键指标。目前探究茶汤天然甜味形成多聚焦在解析蔗糖等关键甜味成分及其互作效应，忽略了香气成分对天然甜味感知的影响。

近日，中国农业科学院茶叶研究所茶深加工与多元化利用团队在 Journal of Advanced Research 上发表了一项创新研究，揭示了茶汤中香气成分显著增强天然甜味感知的作用机制。该研究通过分子感官组学和分子对接技术，识别出多种具有增甜效果的关键香气成分，为开发天然甜味增强剂提供了新策略，有望应用于茶饮料和其他食品工业，以减少糖分添加同时提升风味体验。

研究发现，香气能使茶汤的天然甜味强度提升 24% 以上。进一步采用分子感官组学技术从茶汤中筛选出 18 种与甜感相关的香气活性成分，其中 10 种具有花果香的化合物(包括(E)- β -大马酮、(E)- β -紫罗酮、芳樟醇、香叶醇等)能使蔗糖溶液的甜味强度显著提升 7.5% 以上。分子对接实验表明，这些香气化合物通过降低蔗糖与甜味受体(T1R2/T1R3)的结合能，形成新的氢键和疏水相互作用，从而稳定蔗糖-受体复合物结构。该研究为开发天然甜味增强剂提供了理论依据，对低糖和无糖茶饮料研发具有指导意义。

研究得到国家自然科学基金、中国博士后科学基金面上项目和中国农业科学院创新工程等项目的资助。专家认为，这一成果为食品工业提供了新的感官调控思路：通过气味与味觉的协同作用，在分子层面提升风味体验，而非单纯依赖糖分或人工甜味剂。这一机制同样适用于其他食品体系。在酸奶中加入具有柑橘香的芳樟醇，可保持甜感同时降低热量；在果汁或咖啡饮品中，类似的策略也可能奏效。

目前，科研团队已与部分企业开展合作，尝试在产品开发中验证香气增甜技术的可行性。这项研究展示了传统饮品现代化研究的新方向，也体现了我国科研团队在食品风味科学领域的持续创新能力。团队成员表示，欢迎更多企业参与联合研发，将科学发现转化为产业应用。(本刊综合整理)

我国自主研发的柔性高速高精度无菌灌装装备整体性能达到国际领先水平

浙江大学牵头的我国自主研发的每小时 48000 瓶柔性高速高精度无菌灌装装备实现了从瓶坯处理、灭菌、吹瓶到灌装、封盖的全流程无菌化和智能化控制，灌装精度达到 ± 0.7 毫升，整体性能达到国际领先水平。其技术的成功突破标志着我国液态食品高端装备制造从“跟跑”迈向“并跑”。

浙江大学教授刘东红团队经过十余年的持续攻关，自主创新了高效干法杀菌系统、智能灌装阀结构与柔性控制算法，实现了多种液态食品的无菌灌装兼容，真正解决了“高精度与高效率难以兼得”的技术难题。尤其是新型干法灭菌技术，取代了传统湿法消毒的高能耗与高药剂使用量，不仅减少了防腐剂依赖，也降低了碳排放和运行成本，为食品制造业的绿色转型提供了现实样本。

这款装备在“柔性化”方面进行了突破。面对市场对个性化产品的需求激增，企业往往需要在不同饮品之间快速切换生产线，项目团队研发的具有自主知识产权的柔性无菌灌装阀，可以兼容不同类型液态食品灌装，可实现整条生产线灌装模式的一键切换，大幅提升了生产弹性。这意味着中国企业在成本、响应速度、品类拓展等维度上拥有了自主优势。

目前，该系列装备已在国内龙头企业实现规模化应用，有力推动了食品加工装备的产业升级。(本刊综合整理)

炮制可精准调控 药食同源利用更高效

药食同源物质是健康食品开发的重要原料。传统上药食同源物质要经过炮制处理,目的是增强药效、降低毒性或便于储存。种植人参、黄精、甘草等须经过蒸、晒处理甚至是三蒸三晒、九蒸九晒处理来提高有效性,但其药性提高的机制一直未能得到合理阐释。

江南大学张连富教授研究团队发现,在这些药食同源物质炮制过程中,原料中含有的还原糖如葡萄糖、果糖以及炮制初期产生的麦芽糖等会与游离氨基酸发生美拉德反应,形成美拉德反应初期产物阿玛多瑞化合物(ACs),如果糖基精氨酸(FruArg)、果糖基天冬氨酸(FruAsp)以及精氨酰果糖机葡萄糖(AFG)等,而这些 ACs 组分是与原料中含有的功能成分同样重要,甚至是更重要的功效性成分。调控药食同源物质加工过程、提高炮制后原料中 ACs 组分含量对原料高效利用至关重要。

张连富教授研究团队建立了精准调控药食同源物质炮制技术,大幅提升产物中 ACs 组分含量且避免了药食同源物质炮制过度依赖操作经验,阐释了 ACs 组分如何形成、关键参数及控制范围、如何避免反应进一步发展形成有害的 5-HMF 等关键问题,对于促进药食同源产业健康发展具有重大意义。

目前,张连富教授研究团队已经完成药食同源物质及部分特定果树原料在传统加工/炮制条件下发生葡萄糖、果糖、麦芽糖等还原糖与原料中优势氨基酸,如天冬氨酸、精氨酸、组氨酸等发生反应,形成 FruHis(果糖基组氨酸)、FruAsp、FruGlu(果糖基谷氨酸)及 AFG 等 ACs 组分的机制的基础研究,完成其有益人体健康作用影响及工艺调控等的基础研究,并将其应用于梨汁熬制梨膏、大蒜加工成黑蒜、水溶性洋葱粉创制、水溶性番茄粉、种植人参炮制成红参、黄精三蒸三晒/九蒸九晒等多种产品中,其中水溶性番茄粉创制技术已经转化生产,成功实现关键功效成分的进口替代。

江南大学及张连富教授研究团队目前拥有种植人参、黄精、肉苁蓉、功能性洋葱粉等加工技术的授权发明专利 1 项,实审阶段发明专利 2 项,PCT 申请 1 项。该成果应用无需大的设备投入,可多种模式合作。(高泓娟)

2025年《饮料工业》总目录

高质量发展·绿色低碳

- 2021—2023 年中国 PET 饮料包装回收水平研究
..... Vol.28.No.2 任佳萌,刘景洋,董 莉,等(1)

基础研究

- 发酵用乳酸菌菌粉中污染菌总数检测方法的建立
..... Vol.28.No.1 王稼萍,王雅琼,罗 洁,等(1)
- 非氧化型杀菌剂在 PET 饮料热灌装冷瓶水中的影响研究
..... Vol.28.No.1 肖林平,罗 洁,吕桂善,等(6)
- 8 款市售椰奶理化指标及稳定性分析
..... Vol.28.No.2 胡子宁,陈俊宇,单 萌,等(15)
- 外源单宁酶处理对乌龙茶原料品质影响的研究
..... Vol.28.No.2 胡玉荣(23)
- 环糊精对微泡含气饮料中气泡稳定性的影响
..... Vol.28.No.2 周 勇,杨 薇,李 博,等(27)
- PGA 在酸性环境中的质量特性表征及对可乐饮品持气性的影响研究
..... Vol.28.No.2 毛 勇,吴伟都,吴 琴,等(36)
- 柚汁饮品中嗜酸耐热菌的分离及检测研究
..... Vol.28.No.3 曾志明,田陇健,潘 波(1)
- 可得然胶和结冷胶改善充气型植物蛋白饮料稳定性的研究
..... Vol.28.No.3 薛玉清,王 佳,李文强,等(6)
- 冷萃咖啡加工副产物生产速溶咖啡粉的香气成分对比分析
..... Vol.28.No.4 饶建平(1)
- 两种提取方法的新会柑皮精油化学成分分析及抑菌效果的比较
..... Vol.28.No.4 王梦阳,李博洋,张珍珍,等(10)
- 双响应值优化乌龙茶饮料提取工艺
..... Vol.28.No.5 江 虹,张珍珍,宋佳昕,等(1)
- 富锌酵母在绿茶饮料中的应用研究
..... Vol.28.No.5 严 飞,梁秋元,张 彦,等(9)
- 生椰拿铁咖啡研制及其稳定性研究
..... Vol.28.No.5 陆菁钰,王 跃,王 磊,等(16)
- 零脂果汁酸乳饮料的开发及稳定性分析
..... Vol.28.No.6 范俊燕,刘海情,赵 双,等(1)

检测分析

- 控样中菌落总数的测量不确定度评定
..... Vol.28.No.4 金 丹,谢柳佳,李盼盼,等(17)

饮料中菌落总数测定不确定度评定

- Vol.28.No.4 苏艳兰(21)
- 用热脱附方法分析百香果香气成分
..... Vol.28.No.5 庄楷杏,黄绮婷,陈淑柳,等(21)
- 离子色谱法测定食品中壳寡糖的含量
..... Vol.28.No.6 利 通,陈 茜,贝荣廷,等(11)
- 2020—2023 年云南省桶装水铜绿假单胞菌污染情况调查与防控措施
..... Vol.28.No.6 张贤娣,张志广,王 刚(18)

生产工艺

- 响应面优化基础糖浆的转化工艺
..... Vol.28.No.1 郑佳佳,秦新磊,马婧婧,等(16)
- 基于 Box-Behnken 探索金银花苹果奇亚籽饮料配方优化
..... Vol.28.No.1 刘小平,张 卓(22)
- 陶瓷膜过滤应用于益生菌浓缩工艺可行性研究
..... Vol.28.No.1 周 天,顾亦昂,赵晓庆(29)
- 枸杞欧李乳酸菌复合饮料工艺研究
..... Vol.28.No.1 张小彤,朱银龙,董建方,等(33)
- 基于模糊数学与响应面法优化蜂蜜山楂酸奶发酵工艺
..... Vol.28.No.2 谢亚敏,袁惠萍,崔建涛,等(47)
- 柚子火龙果复合饮料的工艺研究
..... Vol.28.No.2 李 靓,张顺阁,张轩珂(53)
- 枸杞复合气泡水产品研究
..... Vol.28.No.3 周桂珍,孟凡震,李 勇,等(13)
- 槐米七白饮料发酵条件优化及其抗氧化性能检测
..... Vol.28.No.3 张任婧,朱永乐,周丹丹,等(18)
- 甘草罗汉果复合饮料工艺配方的优化研究
..... Vol.28.No.3 张维悦,郭昊隆,毕会敏(24)
- 火龙果发酵乳饮料的工艺条件优化及抗氧化活性测定
..... Vol.28.No.4 张楠楠(25)
- 草莓饮料浓浆复配护色剂工艺优化
..... Vol.28.No.4 李 游,赵 斌,王振磊,等(32)
- 菠萝汁凉茶制备工艺优化及其降血糖活性评价
..... Vol.28.No.5 林大成,赖 颖,潘 敏,等(28)

教学实践

- 《食品分析》课程教学改革探索
..... Vol.28.No.1 刘卫华,赵仁邦,张富源,等(39)

《食品标准与法规》课程教学改革研究进展与趋势

..... Vol.28.No.1 杜超,孙舒扬,赵芹,等(43)

研究开发

防痛风复合型果蔬汁饮料研制

..... Vol.28.No.1 王思睿,钟添宇,汪建明(48)

刺梨百香果复合果汁饮料的研制

..... Vol.28.No.1 路晶敏,卫心怡,吴静,等(54)

柚汁加入时间对柚米酒品质的影响

..... Vol.28.No.3 姜雨,黄远恒,汪嘉伟,等(30)

板栗花生植物饮料的研制

..... Vol.28.No.3 刘时瑜,时钰洁,高春慧,等(34)

玉米须草莓复合饮料配方的研制

..... Vol.28.No.4 袁惠萍,谢亚敏,胡航伟,等(55)

蒲公英-猕猴桃复合饮料的研制

..... Vol.28.No.4 许冰洁,徐娜,张杰(62)

饮料包装

PET瓶瓶壁材质对可乐饮品持气性的影响研究

..... Vol.28.No.1 毛勇,吴伟都,黄斌,等(58)

机械装备

两种不同物料预热方式的比较

..... Vol.28.No.1 刘殿宇(63)

行业聚焦

药食同源植物饮料产业及加工技术现状

..... Vol.28.No.1 高飞,王文哈(66)

评价型食品包装正面标识应用状况研究

——以上海市为例

..... Vol.28.No.2 褚怡冰,赵秀文,杨艳,等(8)

应用研究

萌发青稞黑枸杞复合饮料的研制及稳定性研究

..... Vol.28.No.2 鲍玉花(60)

红曲枸杞香菇复合饮料的研制及品质和抗氧化活性评价

..... Vol.28.No.2 王赛月,穆文倩,寇佳怡,等(67)

黑枸杞多糖提取工艺及抗氧化性研究

..... Vol.28.No.3 李冠杰,王晓丽,杨腾腾,等(40)

覆盆子大豆提取物胶囊人体试食抗氧化试验研究

..... Vol.28.No.4 梅爽,甘甜,蔡凯,等(37)

刺玫果复合饮料的研制

..... Vol.28.No.4 李文丽,李兰,秦汝兰,等(43)

人参蓝莓饮料产品配方研究

..... Vol.28.No.4 王彤,王禹欢,程兰岚,等(49)

维果灵质量特性的评价研究

..... Vol.28.No.5 毛勇,吴伟都,吴琴,等(35)

含乳碳酸饮料气容量的优化研究

..... Vol.28.No.5 李杰,沈晓宇(41)

UHT杀菌温控及防错技术应用研究

..... Vol.28.No.5 朱焕宗(46)

恩施玉露茶品饮冲泡条件优化

..... Vol.28.No.5 张又月,王淑腾,倪德江,等(51)

黄芪党参饮料工艺优化及抗氧化性研究

..... Vol.28.No.6 朱玲(22)

低糖米乳茶饮料配方开发

..... Vol.28.No.6 朱晓红(33)

安全控制

新加坡食品安全监管分析

..... Vol.28.No.3 吴晓莉,张彩霞,靳小兰,等(46)

饮料包装

饮品包装的设计符号解析及情感化探究

..... Vol.28.No.3 郭天舒,郭铭甲(51)

综述

天麻化学成分的提取及其在保健食品中的应用

..... Vol.28.No.1 万静,丁铃,谌文元,等(69)

果汁中的小分子有机酸 HPLC 检测方法的研究进展

..... Vol.28.No.1 廖蓉,程天宇,李巍,等(74)

D-核糖功能特性及其产品研究进展

..... Vol.28.No.2 杨洋,李中柱,高航(75)

乳品工厂环境微生物监控程序建立和实施研究进展

..... Vol.28.No.3 齐炳理,逯刚,喻东威,等(56)

中国食品添加剂安全管理概述

..... Vol.28.No.3 潘海霞,于上富,关鑫,等(63)

药食同源功能性运动饮料的研究进展

..... Vol.28.No.3 岑世杰,罗镁,湛佳佳,等(69)

水中微塑料检测技术综述

..... Vol.28.No.3 万鹏,赵贞,温国艳,等(73)

固体饮料生产质量管理技术要点探讨

..... Vol.28.No.4 王远(69)

饮料行业标签创新需求:从“附属品”到“战略要素”的价值跃迁

..... Vol.28.No.4 李志礼,程毅,周明春,等(73)

特殊医学用途配方食品液体剂型产品的临床研究与展望

..... Vol.28.No.5 吕校宇,莫宝庆,袁素洁,等(56)

药食同源植物饮料的研究进展及展望

..... Vol.28.No.5 孟繁洞,钟华林(61)

植物油脂替代乳脂在饮料中的研究进展与应用

..... Vol.28.No.5 杨忻怡,许丹虹,薛玉清,等(66)

咖啡香气物质的研究现状与展望

..... Vol.28.No.5 柯小庆,邹峰,高欣(70)

天然甜味剂的研究与应用进展

..... Vol.28.No.5 连琦,柯小庆,邹峰,等(75)

豆奶的营养组分及加工工艺研究进展

..... Vol.28.No.6 柴成梁,薛雅琳,谭本刚,等(39)

低碳经济背景下零碳食品、低碳食品发展概况

..... Vol.28.No.6 许玮(45)

刺梨活性成分挖掘及其在饮料开发中的应用研究进展

..... Vol.28.No.6 余京京,王欣颖,蓬波,等(50)

石榴皮中多酚类物质提取工艺及生物活性研究进展

..... Vol.28.No.6 余凡,吴彦君,赵少丹,等(57)

固体奶茶粉包的结块机理及其预防措施

..... Vol.28.No.6 张瑞阳,俞卓萍,王森,等(63)

L- α -甘氨酸胆碱检测方法研究进展

..... Vol.28.No.6 利通,何澄(70)

标准法规与政策

中国饮料工业协会团体标准《饮料浓浆》(CBIA/T 009—2022)解读

..... Vol.28.No.4 杨永兰,李志礼,赵顺阁(77)

成果展示

茶汤香气增强天然甜味感知研究取得新突破

..... Vol.28.No.6(76)

我国自主研发的柔性高速高精度无菌灌装装备整体性能达到国际领先水平

..... Vol.28.No.6(76)

炮制可精准调控 药食同源利用更高效

..... Vol.28.No.6(77)

科技信息与行业动态

上海交通大学医学院附属瑞金医院多中心临床研究为益生菌减肥降糖添新证据

..... Vol.28.No.1(15)

欧米伽-3 补充剂可减缓衰老

..... Vol.28.No.1(80)

少量高强度运动可降低 40%痴呆风险

..... Vol.28.No.3(62)

中国农业科学院郑州果树研究所“双开关”调控西瓜瓤色形成

..... Vol.28.No.3(68)

科学家发现抗辣化合物

..... Vol.28.No.3(78)

“黄酮饮食”有望延长寿命

..... Vol.28.No.3(79)

研究发现红茶+浆果有助抗衰

..... Vol.28.No.3(80)

维生素 C 能促进皮肤再生

..... Vol.28.No.4(9)

中国热带农业科学院功能型植物基饮品“肉桂拿铁”要来了

..... Vol.28.No.4(24)

中国农业科学院麻类研究所黄麻纳米纤维素可作为微塑料的“解毒剂”

..... Vol.28.No.4(31)

维生素 B₃+绿茶使衰老脑细胞重获新生

..... Vol.28.No.4(54)

《柳叶刀》杂志警示:塑料污染每年造成损失超 1.5 万亿美元

..... Vol.28.No.4(72)

全球正经历前所未有的淡水流失

..... Vol.28.No.4(80)

猫屎咖啡厉害在哪儿

..... Vol.28.No.5(8)

一种高糖水果有望降低糖尿病风险

..... Vol.28.No.5(15)

科学家在人体骨髓内发现微塑料

..... Vol.28.No.5(27)

猕猴桃和黑面包有助治疗便秘

..... Vol.28.No.5(80)

暨南大学揭示“饮食城市化”对菌群及慢病的影响

..... Vol.28.No.6(10)

低胆碱正在偷偷伤害年轻人脑

..... Vol.28.No.6(38)

新技术为塑料设定使用寿命

..... Vol.28.No.6(49)

大蒜漱口水抗菌能力惊人

..... Vol.28.No.6(69)

2025 年《饮料工业》总目录

..... Vol.28.No.6(78)

饮料工业

BEVERAGE INDUSTRY

双月刊 | 大16开本 | 80页 | 12元/本 | 72元/年 | 刊号 ISSN1007-7871 CN11-5556/TS

创刊于1986年的《饮料工业》是经国家新闻出版总署批准，由中国饮料工业协会主办，国内外公开发行的专业科技学术类期刊，为“中国核心期刊（遴选）数据库”“中国学术期刊网络出版总库”“中文科技期刊数据库”收录期刊。

《饮料工业》以中国饮料工业协会的广大会员为基础，多年来积累了众多企事业单位读者，发行覆盖国内饮料行业规模以上企业，覆盖与食品相关的大专院校、科研院所，在饮料生产、技术、研发、设备等领域影响力巨大。《饮料工业》目前主要栏目有：前沿科技、基础研究、成果转化、检测分析、生产工艺、机械装备、饮料包装、生产实践、综述等，为行业技术交流及推广新产品、新技术搭建共享平台。

欢迎  投稿

请登录饮料工业官方网站<http://www.bimag.com.cn>，通过“作者投稿系统”在线投稿，来稿必复，7个工作日内回复初审意见，2个月内回复专家审稿意见。

为便于作者与同行业读者进行交流和分享，本刊物暂不收取审稿费、版面费。

欢迎  商洽

2026年《饮料工业》广告征集正在进行中，让我们携手共享中国饮料工业高速发展的丰硕成果！

联系电话：010-84464668-807
邮箱：ghj@chinabeverage.org

联系电话：010-84464668-807
邮 箱：ylgy@chinabeverage.org



欢迎扫描二维码关注

CBST 2026

品牌展会
Brand Exhibition

引领创新
Leading Innovation

中国国际饮料 工业科技展

CHINA INTERNATIONAL
BEVERAGE INDUSTRY
EXHIBITION ON
SCIENCE & TECHNOLOGY



2026.4.9-11

深圳会展中心2/3/4/5馆

SHENZHEN CONVENTION & EXHIBITION CENTER



欢迎扫描二维码
更多的新鲜资讯

www.cbst.com.cn

国内刊号:CN11-5556/TS

邮发代号:80-633

定价:12元