

自然与信息工程出版社
Nature and Information Engineering Publishing Sdn Bhd

B-03A-15, One South Street Mall, Jalan OS, Taman Serdang Perdana,
43300 Seri Kembangan, Selangor Darul Ehsan.
+60 11-3978 7006
contact@zycentre.com



Chinese Journal of Food Engineering

中国食品工程杂志

eISSN: 3122-6868



Volume 2 Issue 1 January 2026
eISSN: 3122-6868

中国食品工程杂志

Chinese Journal of Food Engineering



中文刊名：中国食品工程杂志

ISSN: 3122-6868 (电子)

出版语言：华文

期刊网址：https://cn.niepublish.com/cjfe

出版社名称：自然与信息工程出版社

Serial Title: Chinese Journal of Food Engineering

ISSN: 3122-6868 (Online)

Language: Chinese

URL: https://cn.niepublish.com/cjfe

Publisher: Nature and Information Engineering Publishing Sdn Bhd

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge
Infrastructure

版权声明 /Copyright

自然与信息工程出版社出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据 Creative Commons 国际署名 - 非商业使用 4.0 版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归中宇国际教育中心所有。

All articles and any accompanying materials published by Nature and Information Engineering Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). Nature and Information Engineering Publishing Sdn Bhd reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nature and Information Engineering Publishing Sdn Bhd

电子邮箱 /E-mail: contact@zycentre.com

官方网址 /Official Website: https://niepublish.com/index.php

地址 /Address: B-03A-15, One South Street Mall, Jalan OS, Taman Serdang Perdana,
43300 Seri Kembangan, Selangor Darul Ehsan, Malaysia



Nature and Information Engineering Publishing

《中国食品工程杂志》征稿函

期刊概况:

中文刊名: 中国食品工程杂志

ISSN: 3122-6868 (Online)

出版语言: 华文

期刊网址: <https://cn.niepublish.com/cjfe>

出版社名称: 自然与信息工程出版社

出版格式要求:

- 稿件格式: Microsoft Word
- 稿件长度: 字符数 (计空格) 4500 以上; 图表核算 200 字符
- 测量单位: 国际单位
- 论文出版格式: Adobe PDF
- 参考文献: 温哥华体例

出刊及存档:

- 电子版出刊 (公司期刊网页上)
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 中国知网 (CNKI)、谷歌学术 (Google Scholar) 等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益:

- 期刊为 OA 期刊, 但作者拥有文章的版权;
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档;
- 以开放获取为指导方针, 期刊将成为极具影响力的国际期刊;
- 为作者提供即时审稿服务, 即在确保文字质量最优的前提下, 在最短时间内完成审稿流程。

评审过程:

编辑部和主编根据期刊的收录范围, 组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审, 并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登, 提供高效、快捷、专业的出版平台。

主 编

毕思远, 深圳市金阅检测有限责任公司, 中国

副主编

Filiz Yangilar, Erzincan University, Turkey

洪梅玲, 昌吉回族自治州检验检测中心, 中国

狄 慧, 张家口市食品药品检验中心, 中国

刘延平, 菏泽市食品药品检验检测研究院, 中国

编 委

Muhammad Anjum Zia, University of Agriculture, Pakistan

李广鹏, 深圳市鹏科检测有限公司, 中国

马 丽, 呼伦贝尔市食品药品检验所, 中国

窦丽芳, 武汉产品质量监督检验所, 中国

邸 静, 鄂尔多斯市检验检测中心, 中国

王庆丰, 白城职业技术学院, 中国

1	气相串联质谱法在食用油中塑化剂残留检测的应用 / 邬春晖 王婷 李英杰 何宇星	30	食品检验技术在食品质量安全控制中的应用研究 / 罗浩瑜
4	计量检定在食品安全质量控制中的应用研究 / 洪梅玲	33	食品加工环节质量安全管控体系构建 / 李小鑫
7	发酵食品加工中益生菌增殖规律及食品安全风险防控研究 / 韩晓磊 毛颖超 梁珏钦 莫妮娜 丘彪	36	植物多酚在食品体系中的抗氧化特性及其应用研究 / 李妍
10	食品级非离子表面活性剂的乳化性能评价 / 周建平 巴明建 何琴 孙玲	39	食品中有机磷农药残留预处理技术研究 / 魏然 孙艳波
13	食叶草籽粒粮率先在酸模领域开辟粮食生产新途径 / 柏绿山 曾建国 于秀平 黄鹏 张雷	42	仓储前光选机处理对粮食产后毒素超标风险的影响研究 / 霍晓亮 秦丽莹 张旭昕
17	基于国标 GB 21733-2008 奶茶中茶多酚前处理的优化研究 / 吴晓玲	45	健康中国战略下药食同源产业的政策驱动与路径探索 / 严学迎 陆神义
21	试论动物源性食品真实性的鉴别方法 / 丁永刚 黄寒丽 黄洁	48	浓香型白酒酿造过程中不锈钢窖帽与传统泥窖帽对比研究 / 侯振峰 罗毅 杨梦涛 时东升 苏冬冬
24	影响食品理化检测准确度的常见因素与对策研究 / 李梦瑶 曾小容 廖嘉洪	51	不同气体组分对杨梅保鲜效果影响的研究综述 / 周俊 杨挺 张芳芳
27	基于人工智能的食品微生物检测结果判读系统构建与应用研究 / 于冰 范圣萍	55	粮食污染物的快速检测技术研究进展 / 王世双

- 1 Application of Gas Chromatography Tandem Mass Spectrometry in the Determination of Plasticizer Residues in Edible Oil / Chunhui Wu Ting Wang Yingjie Li Yuxing He
- 4 Application of Metrological Verification in Food Safety Quality Control / Meiling Hong
- 7 Study on the Proliferation Law of Probiotics and Food Safety Risk Control in Fermented Food Processing / Xiaolei Han Yingchao Mao Jueqin Liang Nina Mo Biao Qiu
- 10 Evaluation of Emulsification Performance of Food Grade Nonionic Surfactants / Jianping Zhou Mingjian Ba Qin He Ling Sun
- 13 Grain of the Seed of the Grass of the Food First in the Field of the Sour Mold to Open Up a New Way of Food Production / Lvshan Bai Jianguo Zeng Xiuping Yu Peng Huang Lei Zhang
- 17 Optimization Study on Pre-treatment of Tea Polyphenols in Milk Tea Based on National Standard GB 21733-2008 / Xiaoling Wu
- 21 Discussion on the Identification Method of Authenticity of Animal-derived Food / Yonggang Ding Hanli Huang Jie Huang
- 24 Study on Common Factors and Countermeasures Affecting the Accuracy of Food Physical and Chemical Testing / Mengyao Li Xiaorong Zeng Jiahong Liao
- 27 Construction and Application Research of an Artificial Intelligence-Based Food Microbiological Detection Result Interpretation System / Bing Yu Shengping Fan
- 30 Research on the Application of Food Inspection Technology in Food Quality and Safety Control / Haoyu Luo
- 33 Construction of Quality and Safety Control System in Food Processing / Xiaoxin Li
- 36 Antioxidant Properties of Plant Polyphenols in Food Systems and Their Application Research / Yan Li
- 39 Research on Pretreatment Techniques for Organophosphorus Pesticide Residues in Food / Ran Wei Yanbo Sun
- 42 Study on the Influence of Pre-storage Light Selective Machine Processing on Post-harvest Grain Toxicity Risk / Xiaoliang Huo Liying Qin Xuxin Zhang
- 45 Policy-driven and Path Exploration for the Food-Drug Homology Industry under the Healthy China Strategy / Xueying Yan Shenyi Lu
- 48 Comparative Study on Stainless Steel Cell Cover Compared with Traditional Clay Cell Cover in the Production Process of Strong-Aroma Baijiu / Zhenfeng Hou Yi Luo Mengtao Yang Dongsheng Shi Dongdong Su
- 51 A Review on the Effects of Different Gas Components on the Preservation of Chinese Bayberry / Jun Zhou Ting Yang Fangfang Zhang
- 55 Research Progress of Rapid Detection Technology for Food Contaminants / Shishuang Wang

Application of Gas Chromatography Tandem Mass Spectrometry in the Determination of Plasticizer Residues in Edible Oil

Chunhui Wu Ting Wang Yingjie Li Yuxing He

Ordos City Inspection and Testing Center, Ordos, Inner Mongolia, 017010, China

Abstract

Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS/MS) technology, with its advantages of high separation efficiency, strong specificity, and high sensitivity, has become one of the key techniques for detecting trace pollutants in complex matrices. Supported by the practical testing experience of the Ordos Testing and Inspection Center, this article comprehensively elucidates the principles and characteristics of GC-MS/MS technology, and deeply analyzes the key technical points for detecting plasticizer residues in edible oils. It includes sample pretreatment, optimization of chromatographic conditions, setting of mass spectrometry parameters, and qualitative and quantitative analysis procedures. The study also discusses the specific application of this technology in detecting plasticizer residues in edible oils. The aim is to provide technical support for the efficient detection of plasticizer residues in edible oils, enhance the quality control capabilities of testing and inspection institutions, and promote the healthy development of the edible oil industry and consumer dietary safety.

Keywords

edible oil; plasticizer residue; gas chromatography-tandem mass spectrometry (GC-MS); detection technology; quality and safety

气相串联质谱法在食用油中塑化剂残留检测的应用

邬春晖 王婷 李英杰 何宇星

鄂尔多斯市检验检测中心, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 017010

摘要

气相串联质谱 (GC-MS/MS) 技术依靠高分离效能、强特异性与高灵敏度等优势, 已成为复杂基质里痕量污染物检测的关键技术之一。本文凭借鄂尔多斯市检验检测中心的检测实践作支撑, 全面阐释GC-MS/MS技术的原理与特性, 深度剖析食用油中塑化剂残留检测的关键技术要点, 包含样品预先处理、色谱条件优化操作、质谱参数设定工作及定性定量分析流程, 研讨该技术在食用油塑化剂残留检测中的具体应用。意在为食用油里塑化剂残留的高效检测给予技术支持, 推动检验检测机构增强质量管控能力, 维护食用油产业的良性发展与消费者饮食保障。

关键词

食用油; 塑化剂残留; 气相串联质谱法; 检测技术; 质量安全

1 引言

食用油身为日常生活里必不可少的食品原料, 其质量的安全性直接关系到消费者的身体健康。塑化剂也称作增塑剂, 是一类普遍应用于塑料制品制作的人工合成有机化合物, 具备提升材料柔韧性及加工性能的功效。鉴于塑化剂跟塑料基质之间以非共价键相联结, 在某些条件下易于迁移到接触到的食品里, 食用油鉴于富含油脂成分, 对脂溶性塑化剂有着极强的吸附本领, 成为受塑化剂污染的高风险食品类别。塑化剂进入人体之后难以代谢排出, 长久蓄积会干扰内

分泌体系, 对生殖发育和免疫系统功能造成影响, 甚至存在潜在致癌的可能性, 故而各国均针对食品中塑化剂残留制定了严格的限量标准。

常用塑化剂检测办法如气相色谱法、高效液相色谱法等, 有着特异性欠佳、灵敏度不够、易被基质影响等弊病, 难以达成食用油中痕量塑化剂残留的精确检测要求。气相串联质谱 (GC-MS/MS) 技术整合了气相色谱的高效分离本领与串联质谱的高特异性、高灵敏度特性, 能有效消除复杂基质干扰, 完成痕量目标物的准确定性定量, 已在食品污染物检测领域大量运用。鄂尔多斯市检验检测中心作为区域内食品质量安全检验检测的关键机构, 担负着食用油生产企业质量监管、市场抽样及风险提示等重要任务, 在 GC-MS/MS 技术应用于食用油塑化剂残留检测方面积累了大量的实

【作者简介】邬春晖 (1994-), 男, 蒙古族, 中国内蒙古鄂尔多斯人, 本科, 工程师, 从事食品检验检测研究。

践经验。本文结合中心的检测业务,全方位探究 GC-MS/MS 技术在食用油塑化剂残留检测里的应用,为食品检验检测行业给予技术参考与实践借鉴。

2 GC-MS/MS 技术的原理与特点

GC-MS/MS 技术是从气相色谱 (GC) 与单级质谱 (MS) 基础上发展出来的联用技术,该技术的核心由气相色谱分离系统、串联质谱检测系统和数据处理系统组成^[1]。样品前处理后,通过进样口进入气相色谱柱,依据不同物质在固定相和流动相之间的分配系数差别,达成目标化合物与基质成分的分离;分离完毕的化合物逐一进入串联质谱仪,第一级质谱 (MS1) 把化合物分子转化成离子态,生成初级离子碎片;初始离子碎片进入碰撞池,和碰撞气体 (像氩气、氮气) 产生碰撞诱导解离,造就更具特征性的次级离子碎片;第二级质谱 (MS2) 对次级离子碎片实施筛选与检测,借助记录离子碎片的质荷比与强度,完成目标化合物的定性定量分析。在定性鉴别中,依据保留时间与特征离子对 (母离子-子离子) 的匹配状况开展判定;在定量检测中,运用外标法或者内标法,凭借特征离子对的峰面积与目标化合物浓度确立线性关系,完成痕量残留的精准测定。气相色谱柱可以有力分离食用油中繁杂的油脂基质与众多塑化剂同分异构体,为后续质谱检测消除基质干扰创造条件。

3 食用油中塑化剂残留 GC-MS/MS 检测的关键技术环节

3.1 样品前处理

食用油成分繁杂,饱含甘油三酯等油脂成分,若直接进样会对色谱柱和质谱仪造成污染,并且极大妨碍目标化合物的检测,所以样品前处理是保证检测结果精确性的关键步骤,其目的是达成塑化剂与油脂基质的有效分离,富集目标化合物,排除干扰物质。常使用的样品前处理方法包含液-液萃取法、固相萃取法 (SPE)、分散固相萃取法 (d-SPE)、凝胶渗透色谱法 (GPC) 等。液-液萃取法借助塑化剂与油脂在不同溶剂里溶解度的差别达成分离,操作便捷但分离成效有限;固相萃取法凭借吸附剂对目标化合物的特异性吸附与洗脱,达成高效分离纯化,是当前应用最为普遍的方法之一;分散固相萃取法操作迅速、成本不高,适宜进行批量样品处理;凝胶渗透色谱法可以按照分子体积差异对油脂与塑化剂进行分离,净化效果佳只是仪器成本偏多、分析周期偏长。

鄂尔多斯市检验检测中心在实际操作中运用“分散固相萃取+固相萃取”的联合净化方式,针对食用油试样,先利用分散固相萃取快速除去大部分油脂与大分子杂质,再经由固相萃取柱进一步精制,明显增强了目标化合物的回收率与净化效果。在样品预处理阶段,应严格管控溶剂选取、萃取时间长度、洗脱条件情形等参数,规避目标化合物损耗或带入污染物,同时保障操作环境与器具的干净,防止外源

性塑化剂对检测结果造成干扰。

3.2 色谱条件优化

色谱条件的改良直接关乎目标化合物的分离成效与检测精准度,关键改良参数涵盖色谱柱挑选、柱温设定、进样模式、载气流速等^[2]。选择色谱柱时需要综合考虑塑化剂的物理化学性质,常用的为毛细管色谱柱,固定相多数为聚硅氧烷类,如 DB-5MS、HP-5MS 等,这类色谱柱对非极性或弱极性的塑化剂有着良好的分离功效,可有效辨别不同种类塑化剂及其同分异构体。柱温程序选用程序升温样式,初始温度设置到较低状态,保证目标化合物的聚焦,之后渐渐升高温度,达成不同沸点塑化剂的逐个洗脱,防止峰重叠;升温比率得按照目标化合物的沸点不同而调整,保证分离效果与分析效率的协调。进样方法一般采用分流/不分流进样,面对痕量残留检测,可以采用不分流进样增强检测灵敏度,不过要把控进样量防止色谱柱过载;进样口温度应高于目标化合物的沸点,保证目标化合物充分气化。选用高纯度的氮气或氦气作为载气,流量得维持稳定,利用优化线速度增进分离效率与峰形质量。鄂尔多斯市检验检测中心借助单因素试验与正交试验,优化选定了食用油中多种塑化剂残留检测的最佳色谱环境,达成了目标化合物与基质杂质的有效分离,峰形匀称、分离程度好,为后续质谱检测筑牢了根基。

3.3 质谱参数设定

质谱参数的设置是确保检测特异性与灵敏度的要点,主要包含离子源选择、电离方式、碰撞能量、特征离子对筛选等。普遍应用的离子源为电子轰击电离源,该电离源电离效能高、碎片离子信息充足,适合大部分塑化剂的检测;电离能量一般设定为 70eV,会形成稳定的特征离子碎片。在串联质谱检测方式中,常采用多反应监测模式,此模式借助挑选特定的母离子与子离子对来开展监测,可有效消除基质干扰,增强检测灵敏度与特异性。特征离子对的甄选是质谱参数优化的要点,得通过直接进注标准品,在全扫描模式中取得目标化合物的分子离子峰,接着通过子离子扫描模式明确丰度较高、特异性强的子离子,构建特征离子对;同时对碰撞能量进行优化,令特征离子的响应强度升至最大值。就每一类塑化剂而言,选择 1 个定量离子对和 2-3 个定性离子对,利用定性离子对的相对丰度比跟标准品对照,保证定性结果的精准度。鄂尔多斯市检验检测中心针对常见的邻苯二甲酸二乙酯、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二异辛酯等塑化剂,全面优化了质谱的各项参数,构建了专属的 MRM 检测方法,极大提升了检测的特异性与灵敏度。

3.4 定性与定量分析

定性分析运用保留时间与特征离子对相对丰度比双重判别标准:样本中目标化合物的保留时间跟标准品的保留时间偏差得在允许范围中;样品里定性离子对的相对丰度比跟标准品的相对丰度比偏差要满足相关标准规定,一般偏差不超出 $\pm 20\%$,经过双重核实保证定性结果的正确性,杜绝

假阳性判定^[3]。定量分析运用外标法或者内标法,外标法操作简易但易受基质效应和仪器波动干扰;内标法借助添加和目标化合物结构相仿、理化特性相近的内标物,能够有效修正基质效应与操作偏差,提升定量精准度。在实际检验操作中,应配制一系列不同浓度的标准工作液,绘制出标准曲线,标准曲线的相关系数(R^2)必须 ≥ 0.995 ,保证定量结果呈现良好的线性关系。样品检测时,把样品处理液注入 GC-MS/MS 仪,按照标准曲线计算出样品中目标化合物的浓度,同时设置好空白对照、平行样品以及加标回收实验,空白对照应无目标化合物被检出,平行样品的相对标准偏差(RSD)要 $\leq 10\%$,加标回收率应处于 80%-120% 的范围,保证检测结果的精确性与可靠性。鄂尔多斯市检验检测中心在定量分析当中采用内标法,成功消除了食用油基质的干扰,增强了定量结果的精确性。

4 GC-MS/MS 技术在食用油塑化剂残留检测中的具体应用

4.1 常见塑化剂残留检测

食用油中常见的塑化剂污染种类主要是邻苯二甲酸酯类,如邻苯二甲酸二甲酯(DMP)、邻苯二甲酸二乙酯(DEP)、邻苯二甲酸二丁酯(DBP)、邻苯二甲酸二异辛酯(DEHP)之类,这类塑化剂应用范围宽泛、迁移能力突出,是各国食品安全标准下的重点管控对象。GC-MS/MS 技术能够达成对这类常见塑化剂的同步检测,利用优化前处理方式与仪器条件,能够有效去除食用油基质干扰,做到痕量残留的精准测量。对于 DEHP 等具有较高迁移风险的塑化剂,GC-MS/MS 技术的检测界限可达到 ng/g 级别,远远低于国家所设定的标准限量,可迅速察觉潜在的污染隐患。

4.2 新型塑化剂残留检测

伴随邻苯二甲酸酯类塑化剂的使用受限,一批如脂肪族聚酯类、柠檬酸酯类、环氧类等新型塑化剂渐渐投入应用,这类新型塑化剂的安全性与迁移特性依旧需要进一步研究,其残留检测同样成为食品安全领域的新热点。GC-MS/MS 技术借助其极强的灵活性与适应性,能够通过对比色谱与质谱条件进行优化,达成对新型塑化剂残留的测定^[4]。按照新型塑化剂的理化特性,更改色谱柱类别、柱温程序设定与质谱参数值,挑选特征离子对,构建专属检测方法。鄂尔多斯市

检验检测中心高度留意塑化剂行业的发展态势,已展开对柠檬酸三丁酯、环氧大豆油等新型塑化剂的检测方法钻研,成功确立了对应的 GC-MS/MS 检测方法,为全面把控食用油中塑化剂残留风险提供了技术保障。

4.3 多组分同步检测

食用油中可能同时存在多种类型的塑化剂残留,传统检测手段难以达成多组分的同步高效检测。GC-MS/MS 技术借助优化色谱分离条件与质谱监测模式,能够在单次分析当中同时检测出数十种塑化剂残留,极大提升检测效率,减少检测成本,适宜批量样品的快速筛查与定量分析。鄂尔多斯市检验检测中心创设的多组分同步检测手段,可一并检测 30 余种常见及新型塑化剂残留,检测时长缩减到 15-20 分钟/样品,契合了市场抽检、企业质量管控等批量检测要求,明显增强了食用油塑化剂残留检测的覆盖广度与效率。

5 结论

GC-MS/MS 技术融合了气相色谱的高效分离性能与串联质谱的高特异性、高灵敏度长处,是食用油中塑化剂残留检测的理想技术举措。该技术依靠优化样品前处理、色谱条件以及质谱参数,能够有效消除食用油复杂基质的干扰,达成常见塑化剂、新型塑化剂的多组分同步检测,达成痕量残留的精准定性与定量要求。鄂尔多斯市检验检测中心在实践过程中构建的 GC-MS/MS 检测方法,既提高了检验检测机构的检测能力,而且为食用油生产企业的过程管控、市场监管部门的风险预警供给了科学凭据。

参考文献

- [1] 肖庚鹏,廖丹丹,李桂生,等.气相色谱-串联质谱法测定食用油中角鲨烯和氧化角鲨烯及角鲨烯热稳定性评价[J].色谱,2025,43(07):815-822.
- [2] 陈锂,张恺,杨杭,等.QuEChERS-气相色谱-串联三重四极杆质谱法测定食用油中7种抗氧化剂残留[J].食品安全质量检测学报,2025,16(07):55-62.
- [3] 王溪,钟诚,荣维广,等.大气压气相色谱-串联质谱法测定食用油中37种脂肪酸的含量[J].理化检验-化学分册,2024,60(12):1222-1230.
- [4] 胡贝贞,孙红,陈瑶,等.气相色谱-串联质谱法测定食用油中的青霉素残留量[J].中国粮油学报,2025,40(06):175-180.

Application of Metrological Verification in Food Safety Quality Control

Meiling Hong

Changji Prefecture Inspection and Testing Center, Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract

Food safety constitutes a pivotal public welfare issue impacting public health, social stability, and economic development. As a foundational technical measure ensuring accurate testing data, controllable processes, and unified standards, metrological verification plays an irreplaceable supporting role throughout the entire food safety quality control chain. This paper systematically analyzes its application scenarios at critical stages including raw material acceptance, production process monitoring, finished product quality testing, and traceability in distribution, based on the core principles and technical specifications of metrological verification. By examining current practices in China's food safety metrological verification, the study identifies existing challenges and proposes targeted optimization strategies, including improving legal frameworks and standardization systems, enhancing equipment investment and technological innovation, upgrading professional competencies of practitioners, and establishing a multi-stakeholder collaborative supervision mechanism.

Keywords

metrological verification; food safety; quality control; full-chain supervision; application optimization

计量检定在食品安全质量控制中的应用研究

洪梅玲

昌吉州检验检测中心, 中国·新疆 昌吉 831100

摘要

食品安全是关系公众健康、社会稳定与经济发展的核心民生议题,而计量检定作为保障检测数据准确、过程可控、标准统一的基础性技术手段,在食品安全质量控制全链条中发挥着不可替代的支撑作用。本文基于计量检定的核心原理与技术规范,系统分析其在食品原料验收、生产过程监控、成品质量检测、流通环节追溯等关键节点的应用场景,结合当前我国食品安全领域计量检定的实践现状,深入剖析存在的问题,并针对性提出完善法律法规与标准体系、强化设备投入与技术创新、提升从业人员专业能力、构建多元协同监管机制等优化策略。

关键词

计量检定; 食品安全; 质量控制; 全链条监管; 应用优化

1 引言

计量检定是指为评定计量器具的计量性能,确定其是否符合法定要求所进行的全部工作,包括检验、调整、校准等环节,其核心目标是保证计量器具的量值准确可靠、统一一致。在食品安全质量控制中,从原料采购时的农残快速检测,到生产过程中的温度、湿度、压力等工艺参数监控,再到成品出厂前的理化指标、微生物含量检测,以及流通环节的仓储环境监控、追溯数据采集,均依赖于精准的计量器具与规范的检定流程。因此,系统研究计量检定在食品安全质量控制中的应用,对提升食品安全管控效能、防范安全风险具有重要的现实意义。

【作者简介】洪梅玲(1993-),女,中国河南商丘人,硕士,高级工程师,从事食品科学与工程研究。

2 计量检定在食品安全质量控制中的核心应用场景

2.1 原料验收环节,源头把控质量关

2.1.1 农兽药残留检测器具检定

食品原料(尤其是农产品)的农兽药残留检测是原料验收的关键项目,常用检测器具包括气相色谱仪、液相色谱仪、气质联用仪、液质联用仪、快速检测卡等。这些器具需定期进行检定,确保其检出限、定量限、重复性等指标符合标准要求,避免因仪器失准导致农兽药残留超标原料流入生产环节。

2.1.2 重金属检测器具检定

用于检测原料中铅、汞、镉、砷等重金属含量的原子吸收分光光度计、原子荧光光度计等仪器,需依据相关检定规程进行定期检定,确保检测结果的准确性。

3.1.3 微生物检测器具检定

原料中的微生物污染（如沙门氏菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等）是食品安全的重要风险点，常用检测器具包括微生物培养箱、菌落计数器、酶标仪等。这些器具的温度控制精度、计数准确性等指标需通过计量检定进行保障，避免因仪器误差导致微生物污染漏检^[1]。

2.2 生产过程环节。实时监控工艺参数

2.2.1 工艺参数监控器具检定

食品生产过程中涉及的温度、压力、时间、pH值、水分含量等工艺参数，需通过相应的计量器具进行实时监控，如温度计、压力表、计时器、pH计、水分测定仪等。这些器具需定期检定，确保其测量精度符合生产工艺要求。例如，在乳制品生产中，巴氏杀菌的温度（72-85℃）与时间（15-30秒）是保障杀菌效果、防止微生物残留的关键参数，若温度计失准导致实际杀菌温度低于标准要求，将增加乳制品微生物超标的风险；某面包生产企业因烤箱温度计未检定，导致烘烤温度偏高，面包中丙烯酰胺含量超标，不符合食品安全国家标准。

2.2.2 加工环境监控器具检定

食品生产车间的洁净度、温湿度、微生物数量等环境指标需通过洁净度检测仪、温湿度计、浮游菌采样器等器具进行监控，这些器具的计量性能直接影响环境评价的准确性。

2.2.3 计量投料器具检定

食品生产中原料的投料量需通过电子秤、台秤、容量瓶等计量器具进行精准控制，确保产品配方的一致性与质量稳定性。这些器具需定期进行检定，避免因投料量偏差导致产品质量不合格或食品添加剂超标。

2.3 流通储存环节，保障全程质量稳定

2.3.1 仓储环境监控器具检定

食品仓储过程中的温度、湿度、通风条件等需通过温湿度计、通风量检测仪等器具进行监控，尤其是冷链食品（如冷藏肉制品、冷冻水产品、乳制品等），对仓储温度的控制要求更为严格（通常为-18℃以下或0-4℃）。这些器具需定期检定，确保温度控制精度符合要求，防止食品因仓储环境不当发生变质。

2.3.2 运输过程监控器具检定

食品运输过程中的温度、湿度等参数需通过便携式温湿度记录仪、冷链监控设备等进行实时记录与监控，这些设备的计量性能需通过检定进行保障，确保监控数据的真实性与可靠性。

2.3.3 追溯系统计量器具检定

食品追溯系统中涉及的重量、体积、生产日期等数据的采集，依赖于电子秤、条码秤、日期打印机等计量器具，这些器具需定期检定，确保追溯数据的准确性与可追溯性^[2]。

3 计量检定在食品安全质量控制应用中存在的问题

3.1 企业计量检定意识淡薄，重视程度不足

当前，部分食品生产经营企业对计量检定的重要性认识不足，存在明显的认知偏差，将计量检定视为“额外负担”，而非食品安全质量控制的必要保障。一方面，一些中小型食品企业受成本压力影响，为降低开支，刻意逃避计量器具的定期检定，甚至使用未经检定、检定不合格或超过检定周期的计量器具。这些企业错误地认为，计量检定会增加企业的时间成本和经济成本，却忽视了因计量器具失准可能导致的食品安全风险和更大的经济损失。另一方面，部分企业缺乏完善的计量管理制度，未建立计量器具台账，对计量器具的采购、使用、检定等环节缺乏有效管理，导致计量器具的检定工作处于无序状态。此外，一些企业的员工对计量检定知识了解甚少，不清楚计量器具的检定周期和要求，无法及时开展检定工作，进一步加剧了计量检定应用中的问题。

3.2 计量检定体系不完善，区域发展不均衡

我国计量检定体系虽然在不断完善，但仍存在体系不健全、区域发展不均衡等问题，制约了其在食品安全质量控制中的应用成效。从计量检定机构建设来看，当前我国计量检定机构主要分为法定计量技术机构和第三方检定机构，法定计量技术机构受编制、资金等因素限制，服务能力和覆盖范围有限，难以满足日益增长的食品企业计量检定需求。第三方检定机构虽然数量在不断增加，但部分机构存在资质不全、技术水平参差不齐等问题，检定结果的可靠性难以保障。

从区域发展来看，计量检定资源主要集中在东部经济发达地区和大中城市，而在中西部地区、农村地区，计量检定机构数量少、设备落后、技术人员不足，食品企业往往需要长途运输计量器具到异地进行检定，增加了企业的检定成本和时间成本。这种区域发展不均衡的状况，导致部分偏远地区的食品企业计量检定工作难以有效开展，食品安全质量控制缺乏有力支撑。

3.3 计量检定技术滞后，难以适应新型食品检测需求

随着食品工业的不断发展，新型食品种类不断涌现，食品检测项目日益复杂，对计量检定技术提出了更高的要求。然而，当前我国计量检定技术发展相对滞后，在应对新型食品检测需求时存在明显不足。一方面，针对一些新型检测仪器（如生物传感器、量子点检测设备等）的计量检定规程尚未及时出台，导致这些仪器缺乏统一的检定标准和方法，无法进行有效的计量检定，影响了其在食品安全检测中的应用。另一方面，传统的计量检定技术多以人工操作为主，检定效率低下，准确性易受人为因素影响，难以适应大规模、高效率的食品企业计量检定需求。

此外，在食品快速检测领域，计量检定技术的滞后问题更为突出。快速检测技术因其便捷、高效的特点，在食品

监管和企业自检中应用越来越广泛,但针对快速检测仪器的计量检定技术和标准相对缺乏,导致快速检测结果的准确性和可靠性难以保障。例如,当前市场上的便携式食品添加剂快速检测仪种类繁多,但部分仪器缺乏对应的计量检定规程,企业和监管部门无法有效验证其检测精度,影响了快速检测技术在食品安全质量控制中的应用效果^[3]。

4 优化计量检定在食品安全质量控制中应用的策略

4.1 强化企业主体责任,提升计量检定意识

强化食品生产经营企业的主体责任,提升其对计量检定的重视程度,是优化计量检定应用的关键。首先,监管部门应加强对食品企业的宣传教育,通过开展培训、发放宣传资料、案例讲解等方式,向企业普及计量检定的法律法规和重要意义,让企业认识到计量检定是保障食品安全的重要技术支撑,而非额外负担。例如,组织开展“计量检定进企业”活动,邀请计量专家为企业讲解计量器具的使用和检定知识,结合因计量器具失准导致的食品安全事故案例,增强企业的风险意识和责任意识。

其次,建立健全食品企业计量信用评价体系,将企业的计量检定情况纳入信用评价指标,对严格执行计量检定规定、计量管理规范的企业给予信用激励,如在政府招标采购、评优评先中予以优先考虑;对逃避计量检定、使用不合格计量器具的企业进行信用惩戒,如列入失信名单、向社会公示,增加企业的违法成本^[4]。

4.2 完善计量检定体系,促进区域均衡发展

完善计量检定体系,缩小区域发展差距,是提升计量检定服务能力的重要举措。首先,应加强法定计量技术机构建设,加大对法定计量技术机构的资金投入,更新检定设备,提升技术水平,扩大服务覆盖范围。同时,优化法定计量技术机构的布局,在中西部地区、农村地区增设计量检定分支机构或服务站点,解决偏远地区企业计量检定难的问题。

其次,规范第三方计量检定机构发展,加强对第三方检定机构的资质认定和监管,建立退出机制,淘汰资质不全、技术水平低下的机构,促进第三方检定机构良性竞争。同时,鼓励法定计量技术机构与第三方检定机构开展合作,实现资源共享,提升计量检定服务的整体能力。此外,应建立区域计量检定协作机制,推动东部发达地区与中西部地区的计量

检定机构开展技术交流和合作,通过技术帮扶、人员培训等方式,提升中西部地区计量检定机构的服务水平,促进计量检定资源的均衡配置。

4.3 推动计量检定技术创新,适应新型检测需求

推动计量检定技术创新,是解决当前计量检定滞后问题的核心路径。首先,应加强计量检定技术研发投入,鼓励科研机构、高校与计量检定机构、食品企业开展产学研合作,针对新型食品检测仪器和复杂检测项目,研发先进的计量检定技术和方法。例如,围绕生物传感器、快速检测设备 etc 新型仪器,加快制定相应的计量检定规程和标准,填补技术空白。

其次,建立计量检定技术更新机制,及时跟踪国际先进计量检定技术发展动态,引进和消化吸收先进技术,推动我国计量检定技术与国际接轨。例如,借鉴欧盟、美国等发达国家的计量检定标准和方法,结合我国食品安全实际需求,完善我国的计量检定技术体系。

5 结论

计量检定作为保障检测数据准确、过程可控、标准统一的基础性技术手段,在食品原料验收、生产过程监控、成品检测、流通储存等全链条质量控制中发挥着不可替代的作用。当前,我国计量检定在食品安全质量控制中的应用取得了一定成效,但仍存在计量检定体系不完善、设备更新滞后、从业人员专业素养不足、企业重视程度不够、监管力度有待加强等突出问题。通过完善计量检定体系、强化设备投入与技术创新、提升从业人员专业能力、提高企业重视程度、构建多元协同监管机制等优化策略,能够有效解决这些问题,提升计量检定在食品安全质量控制中的应用水平,为食品安全提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 李天然. 计量检定在食品安全质量控制中的应用[J]. 食品安全导刊, 2025, 19(28): 141-143.
- [2] 李铁勇. 食品安全检测中微量元素计量检定方法研究[J]. 中国食品工业, 2025, (10): 105-107.
- [3] 尹茜. 探讨市场监督管理工作中计量检定检测技术的应用[J]. 产品可靠性报告, 2025, (02): 65-67.
- [4] 詹燕妮. 计量检定在食品检验中的应用研究[J]. 食品安全导刊, 2024, (33): 34-36.

Study on the Proliferation Law of Probiotics and Food Safety Risk Control in Fermented Food Processing

Xiaolei Han¹ Yingchao Mao^{1*} Jueqin Liang¹ Nina Mo² Biao Qiu³

1. Hunan Province Agricultural Products Processing and Quality Safety Research Institute, Changsha, Hunan, 410125, China

2. Hunan Miduoqi Food Co., Ltd., Yiyang, Hunan, 413100, China

3. Lianyuan Fengleyuan Agricultural Development Co., Ltd., Loudi, Hunan, 417100, China

Abstract

This study establishes a comprehensive “early risk prevention and control” system encompassing precise raw material management, intelligent fermentation monitoring, environmental pathogen detection, and HACCP implementation. Through systematic investigation of probiotic proliferation patterns during fermented food processing and corresponding food safety risk mitigation strategies, the research demonstrates that probiotics follow a characteristic growth curve comprising four distinct phases: the stationary phase, exponential growth phase, stable phase, and decline phase. Probiotic proliferation rates are primarily influenced by strain characteristics, fermentation substrate composition, and process parameters including temperature, pH, and oxygen levels. The findings indicate that optimizing carbon-to-nitrogen ratios, adding growth-promoting factors, and implementing staged pH and temperature controls can significantly enhance viable probiotic counts. These results not only provide theoretical support for achieving both high viable microbial counts and enhanced food safety in fermented products, but also offer practical technical solutions for industry implementation.

Keywords

fermented food; probiotics; proliferation dynamics; food safety; risk prevention and control

发酵食品加工中益生菌增殖规律及食品安全风险防控研究

韩晓磊¹ 毛颖超^{1*} 梁珏钦¹ 莫妮娜² 丘彪³

1. 湖南省农产品加工与质量安全研究所, 中国·湖南长沙 410125

2. 湖南米多奇食品有限公司, 中国·湖南益阳 413100

3. 涟源市丰乐园农业发展有限公司, 中国·湖南娄底 417100

摘要

本文搭建了一套“风险提前防控”的全程保障体系,具体包括原料精准管控、发酵过程智能化监控、环境病原菌监测,以及HACCP体系。通过系统研究发酵食品加工时益生菌的增殖规律,以及对应的食品安全风险防控方法,得出结论:益生菌在发酵过程中会遵循典型的生长曲线,也就是迟缓期、对数期、稳定期和衰亡期这四个阶段。它的增殖速度主要受菌种本身特性、发酵基质的成分,还有温度、pH值、氧含量这些工艺参数的共同影响。研究发现,通过优化碳氮源的比例、添加促进生长的因子,再分阶段控制pH值和温度,能明显提高益生菌的活菌数量。这不仅为发酵食品同时实现高活菌数和高安全性提供了理论支持,还给出了切实可行的技术方法。

关键词

发酵食品; 益生菌; 增殖动力学; 食品安全; 风险防控

1 引言

发酵食品是饮食文化里的重要部分,现在大家越来越看重它的健康价值,尤其是像含益生菌的发酵奶、泡菜、酵素这些产品。益生菌能调节肠道菌群平衡、增强免疫力、帮着吸收营养,对身体有不少好处。但在工业化生产中,怎么让益生菌在发酵时长得又多又活跃,同时还能有效控制潜在的食品安全风险,这已经成了制约这个行业高质量发展的核心技术难题。益生菌的生长繁殖不是孤立的,它和发酵原料里的营养成分、环境条件,还有复杂的微生物生态系统都密

切相关^[1]。不同的菌种(比如乳酸杆菌、双歧杆菌、酵母菌),在同样的发酵环境下,生长速度和规律可能完全不一样。

当前发酵食品行业,正处在从传统经验型生产,向现代科学化、智能化制造转型的关键阶段。深入研究益生菌在特定食品原料中的生长规律,据此搭建精准的过程控制和风险防控体系,这对提升产品品质、保障消费者安全、增强行业的国际竞争力都特别重要。这项研究,系统探讨益生菌在发酵食品加工中的生长规律及其影响因素,全面找出并分析加工全过程中的关键风险点,最后提出一套科学又高效的综

合风险防控策略,为行业的规范发展和技术创新提供理论支持和实际操作指导。

2 益生菌在发酵食品中的增殖动力学规律

2.1 益生菌典型生长曲线与动力学模型

在发酵食品加工过程中,益生菌群的生长会遵循典型的微生物生长规律,主要分为四个连续阶段:迟缓期、对数生长期、稳定期和衰亡期。迟缓期的时候,益生菌刚进入新环境,需要适应,为后续快速分裂做准备。这个阶段的长短,主要看接种量多少、菌种活化得好不好,还有环境变化会不会对它造成冲击。等进入对数生长期,益生菌就会以最快的速度指数级增殖。这个阶段特别关键,直接决定了最后能有多少活菌,而且它持续的时间和增殖速度,也会影响整个发酵周期的长短和生产效率。到了稳定期,因为发酵基质里的营养物质快被消耗完了,加上益生菌代谢产生的有害物质越积越多,pH值也变了,所以新长出来的益生菌数量和死亡的数量差不多,达到了动态平衡。最后,环境条件越来越差,益生菌就进入了衰亡期,活菌数量开始慢慢下降^[2]。为了能精准预测和控制发酵过程,研究人员常用数学模型来描述益生菌的生长规律,通过模型能算出不同时间点的菌体浓度,这样就能为优化发酵工艺参数提供理论支持。

2.2 影响益生菌增殖的关键因素

益生菌有多快的生长速度、能达到多少密度,是多种因素共同作用的结果,主要集中在三个方面:菌种本身、发酵用的基质、工艺条件。首先是菌种特性和它们之间的协同作用,这是内在的决定因素。不同属、不同种的益生菌,最适合它们生长的条件和代谢特点差别很大。比如乳酸杆菌一般比较耐酸,而双歧杆菌对氧气更敏感。实际生产中,经常会用多种菌种一起协同发酵,比如乳酸菌和酵母菌搭配的共生体系。就像开菲尔发酵时,酵母菌会利用乳酸菌代谢产生的氨基酸和肽类生长,同时还会产生维生素等生长因子反过来滋养乳酸菌,而且酵母菌消耗氧气后,能为乳酸菌和双歧

杆菌创造无氧环境——这种互相帮忙的共生关系,能明显促进整个益生菌群体的生长和代谢活性。然后是发酵基质的成分,这是益生菌生长的物质基础。碳源和氮源是构成益生菌细胞结构、提供能量的核心元素。比如做酸奶发酵时,乳清蛋白和酪蛋白的水解产物,会给乳酸菌提供容易吸收利用的氮源。如果在发酵基质里加一些特定的生长促进因子,像低聚糖(也就是益生元)、番茄汁提取物或者酵母浸膏,就能显著缩短益生菌的迟缓期,让最终的活菌密度更高。有研究显示,在乳酸杆菌的发酵液里加0.5%的酵母提取物,最终的活菌数能提升1-2个数量级。

工艺参数是调控益生菌增殖的外部关键手段。温度会直接影响益生菌体内酶的活性和代谢速度,每种益生菌都有自己最适合的生长温度范围(比如乳酸菌一般在37-42℃)。pH值也是个关键因素,发酵过程中益生菌会产生酸性物质,导致pH值下降,这又会反过来抑制它们自己生长。所以在高密度发酵时,常会采用分阶段调控pH的策略,比如在对数生长期后期,通过添加中和剂把pH值维持在适宜范围。对于专性厌氧的双歧杆菌来说,氧含量太关键了,全程保持无氧或者微氧环境,才能保证它们高效生长。另外,搅拌速度会影响营养物质的传递效率和对菌体的剪切力,也会间接影响益生菌的生长情况。

2.3 代谢产物与增殖的反馈调节

益生菌在生长繁殖的时候,会不断产生代谢产物,这些产物反过来又会影响它们自己的生长^[3]。比如乳酸菌会把糖类转化成乳酸,导致周围环境的pH值快速下降,等pH值低于乳酸菌能承受的下限,它们的生长就会受到强烈抑制。还有些菌株在特定条件下会产生细菌素这类抗菌物质,虽然能抑制杂菌生长,但也可能影响同一个体系里其他菌种的生长。再比如酒精发酵时,酵母菌产生的乙醇积累到一定浓度,就会对酵母菌自身产生毒性,让发酵过程停止。所以,通过实时监测这些关键代谢产物的浓度,并且及时调控,是让益生菌一直高效生长繁殖的重要方法。

3 发酵食品加工中的主要食品安全风险

3.1 生物性风险

生物性风险是发酵食品里最常见,而且危害也最大的安全问题。杂菌污染主要来自原料、生产设备或者周围环境。比如发酵乳制品里要是混入了霉菌、酵母菌,它们不仅会抢益生菌的营养和生存空间,抑制益生菌生长,产生的代谢产物还可能让产品出现怪味,最后导致产品腐败变质。

更严重的是致病菌污染。虽然发酵环境的低pH值(也就是偏酸)和益生菌产生的抗菌物质,能抑制不少致病菌,但有些耐酸的致病菌,比如大肠杆菌O157:H7、单核细胞增生李斯特菌,可能在发酵刚开始的时候,或者后期污染阶段存活下来并繁殖。尤其是如果发酵失败,导致pH值没降到位,这种风险会大大增加。

【基金项目】国家农业优势特色产业集群项目“湘南‘供粤港澳’蔬菜优势特色产业集群建设”(2025年度);2025年娄底市科技计划科技特派员项目“一种基于传统腌制手法制作的健康酱腌菜及新型增味抑菌技术研究与应”;湖南省2025年度国家“基层科普行动计划”项目“‘从餐桌到课堂’构建具有湖湘特色的食育科普模式与路径探究”(项目编号:kxcbkt2025018)。

【作者简介】韩晓磊(1987-),男,中国湖南长沙人,硕士,助理研究员,从事农产品加工及贮藏保鲜研究。

【通讯作者】毛颖超(1987-),女,中国湖南长沙人,硕士,助理研究员,从事食品精深加工及质量安全等研究。

3.2 化学性风险

化学性风险主要分两类：一类是发酵过程中有害代谢产物越积越多，另一类是外部带进来的化学污染有害代谢产物，这里面生物胺是大家最关注的。它是微生物把游离氨基酸分解后产生的，像发酵香肠、鱼露、奶酪这些产品里经常会有。能产生大量生物胺的大多是杂菌，比如某些片球菌、乳杆菌或者肠球菌。要是吃多了生物胺（尤其是组胺和酪胺），可能会出现头痛、心跳快、呕吐这些过敏中毒的反应。还有乙醛，它是酸奶里特有的风味物质，但如果积累得太多，对人体可能也有潜在危害。

3.3 物理性风险与过程失控风险

物理性风险主要就是指加工过程中可能混进产品里的异物，比如玻璃碎片、金属屑、塑料渣这些。这通常和设备老化、管理不到位有关系，另外发酵过程没控制好本身也是个大风险^[4]。要是发酵温度没控制好，或者菌种活力不够，可能会导致发酵变慢甚至发酵失败，产品达不到预期的低pH值（也就是不够酸），这样就给致病菌繁殖留了机会。还有后发酵环节，比如包装、储存的时候温度没控制好，也会让益生菌产气太多，导致产品质地变样，甚至让腐败菌再次生长，出现包装鼓胀（也就是常说的“胖听”）这类质量问题，同时还带着安全风险。

4 基于风险前移理念的综合防控体系构建

4.1 原料精准管控与菌种管理

食品安全风险防控得从源头抓起。首先得建立严格的原料供应商审核制度和入厂检验标准，不管是乳、肉、蔬菜这些主料，还是辅料、食品添加剂，都要做全面的安全指标检测，重点查微生物总数、致病菌、农药残留和重金属这些关键项。至于发酵用的菌种，要实行“菌种准入”管理——只选那些经过全面安全性评估（包括有没有毒力因子、会不会有耐药基因转移的风险等）、符合公认安全地位（GRAS）或者国家相关标准的工业发酵剂。同时还要制定规范的菌种活化和扩培流程，保证接种的时候菌种活力足，这样才能让它快速占据生长优势，压制住杂菌。

4.2 发酵过程的精准控制与智能化监控。

生产过程中要保证发酵食品的品质的一致性和安全性，核心是基于对益生菌生长规律的深入了解，对发酵过程进行精准控制。具体来说，就是在发酵罐里装上线传感器，实时监测pH值、温度、溶解氧、氧化还原电位这些关键参数，然后把监测到的数据传到中央控制系统。系统会按照预先设定好的优化工艺曲线，自动调节夹套温度、搅拌速度、酸碱泵这些设备，确保发酵过程一直处在最佳状态。

4.3 环境病原菌监控与 HACCP 体系应用

生产环境的卫生情况，是防止产品二次污染的关键。首先得制定常态化的环境病原菌监控计划，定期对车间空气、设备表面、工作人员的手部这些关键位置采样检测，重

点盯着李斯特菌、沙门氏菌这类难清除的致病菌^[5]。同时，要全面推行“危害分析与关键控制点（HACCP）”体系。具体来说，就是对发酵食品加工的整个流程做系统性的危害分析，确定原料验收、发酵、巴氏杀菌（如果有这个环节的话）、包装这些关键控制点（CCP），然后明确每个控制点的关键限值、监控流程、出现问题后的纠偏措施，还有验证程序。这样就能形成一套预防性的、有书面文件记录的安全管理体系，确保所有潜在的风险都能被控制住。

4.4 可追溯体系与持续改进

发酵过程需要建立一套从原料到成品的全链条可追溯体系。一旦发生食品安全问题，能快速锁定有问题的产品批次、查出问题根源，然后精准召回相关产品，把损失和不良影响降到最低。另外，风险防控体系不是一成不变的，得是动态循环、持续改进的。企业要定期评估防控措施有没有效果，结合产品抽检结果、客户投诉情况、新出台的法规标准，还有行业里的预警信息，不断更新和完善自己的风险防控方案，这样才能适应内外部环境的变化。

5 结论

本文系统研究了发酵食品加工过程中益生菌的生长规律，还有相关的食品安全风险，同时也搭建了对应的综合防控体系。得出结论如下：益生菌的生长繁殖有特定的规律，会受到菌种本身、发酵基质和工艺参数的复杂影响，通过多方面的优化调整，能明显提高它的活菌数量和活性。发酵食品的安全风险挺多样的，既有潜在性又会动态变化，得从生物性、化学性、物理性这多个维度去识别和评估。以“风险提前防控、预防为主”为核心思路，把原料管控、过程精准控制、环境监控和 HACCP 体系结合起来的综合防控策略，是让发酵食品既保证高品质又兼具高安全性的必经之路。

参考文献

- [1] 李莉峰,邱晗,叶春苗. 乳酸菌在食品加工中的应用进展 [J]. 农产品加工, 2025, (09): 99-101. DOI:10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2025.09.021.
- [2] 付勋,聂青玉,张艳,等. 科教融汇视域下“发酵食品加工与检测”课程改革实践探索 [J]. 农产品加工, 2024, (09): 123-126. DOI:10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2024.09.025.
- [3] 刘畅,裴晋红,穆秀丽,等. 基于双相动力学分析靶向药物联合应用对肝癌细胞SNU-387增殖的影响及其作用机制 [J]. 中国生物制品学杂志, 2021, 34 (10): 1184-1190. DOI:10.13200/j.cnki.cjb.003446.
- [4] 袁震,高齐圣. 舆情数据驱动的食品质量安全风险评估研究 [J/OL]. 复杂系统与复杂性科学, 1-9[2025-11-23]. <https://link.cnki.net/urlid/37.1402.N.20251121.1344.002>.
- [5] 胡淑青,林莉,徐强,等. 斯洛伐克农食产品技术性贸易措施体系研究 [J/OL]. 标准科学, 1-11[2025-11-23]. <https://link.cnki.net/urlid/11.5811.T.20251117.1055.041>.

Evaluation of Emulsification Performance of Food Grade Nonionic Surfactants

Jianping Zhou Mingjian Ba Qin He Ling Sun

Zhejiang Golden Palm Technology Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang, 313300, China

Abstract

Food-grade nonionic surfactants play a pivotal role in food processing, emulsification, and stabilization systems, with their performance directly determining product texture characteristics, stability, and flavor profile. This study focuses on emulsification properties, conducting a systematic analysis from three perspectives: molecular structure, interfacial activity characteristics, and emulsion stabilization mechanisms. Results demonstrate that the hydrophobic-lipophilic balance (HLB) and critical micelle concentration (CMC) of surfactants jointly govern emulsion formation and stabilization processes. Hydrophobic chain length, polar group types, and molecular orientation influence interfacial membrane density and droplet repulsion. The compound system significantly enhances emulsion efficiency, anti-aggregation capability, and storage stability through synergistic effects. The research suggests that establishing a standardized emulsification performance evaluation system combined with molecular design optimization can provide scientific basis and technical support for food formulation development, product quality control, and green emulsifier development.

Keywords

nonionic surfactants; emulsification; hydrophile-lipophile balance; interfacial activity; food emulsion stability

食品级非离子表面活性剂的乳化性能评价

周建平 巴明建 何琴 孙玲

浙江金棕榈科技股份有限公司, 中国·浙江 湖州 313300

摘要

食品级非离子表面活性剂在食品加工、乳化与稳定体系中具有核心作用, 其性能直接决定产品的质构特征、稳定性和风味表现。本文以乳化性能为研究重点, 从分子结构、界面活性特征及乳液稳定机理三方面展开系统分析。结果表明, 表面活性剂的亲水亲油平衡值 (HLB) 与临界胶束浓度 (CMC) 共同决定乳液形成与稳定过程; 疏水链长度、极性基团类型及分子取向影响界面膜致密性与油滴间排斥力。复配体系通过协同作用显著提升乳液的乳化效率、抗聚并能力与储藏稳定性。研究认为, 建立标准化乳化性能评价体系并结合分子设计优化, 可为食品配方研发、产品品质控制及绿色乳化剂开发提供科学依据与技术支持。

关键词

非离子表面活性剂; 乳化性能; 亲水亲油平衡; 界面活性; 食品乳液稳定性

1 引言

表面活性剂广泛应用于食品、医药、化妆品和日化产品中, 其在食品体系中的主要功能包括乳化、分散、润湿、起泡与稳定。食品级表面活性剂具有安全、低毒、生物可降解等特性, 常见类型有单、双甘油酯、蔗糖酯、山梨醇酯及聚氧乙烯山梨醇酯 (Tween 类) 等。非离子型表面活性剂因分子结构中不含电荷基团, 受 pH 值及离子强度影响较小, 兼具良好的热稳定性与体系适应性, 是食品工业中使用最广的乳化剂类型。乳化性能是其最核心的功能指标, 直接决定

油滴形成、粒径分布、界面膜强度与体系稳定性。乳化效果受分子在油水界面的吸附能力、膜结构致密性及抑制聚并能力影响。传统评价方法多依赖经验或单一参数, 难揭示结构与性能的内在关系。随着食品加工功能化与结构化发展, 乳化剂的分子设计与性能表征成为研究重点。构建科学系统的乳化性能评价体系, 探讨结构—性能关系, 对于优化食品配方、提升产品品质和推动绿色高效乳化技术具有重要理论与实践意义。

2 食品级非离子表面活性剂的分子特征与分类

2.1 分子结构特征与亲水亲油平衡关系

非离子表面活性剂的乳化性能与其分子结构密切相关, 其基本骨架由疏水烃链与亲水极性基团构成, 两者比例决

【作者简介】周建平 (1974-), 男, 中国湖北荆州人, 本科, 工程师, 从事油脂表面活性剂研究。

定了分子的亲水亲油平衡值 (HLB)。在食品乳液体系中, HLB 值介于 8–18 的表面活性剂通常用于油 / 水型 (O/W) 体系, 而 HLB 值为 3–6 的品种更适合水 / 油型 (W/O) 体系。食品级非离子表面活性剂如 Tween-20、Tween-80、Span-60、蔗糖酯等, 因结构中含有聚氧乙烯链或糖基结构, 兼具良好的亲水性与生物安全性。实验表明, 极性基团数量越多, 分子亲水性越强, HLB 值越高, 乳液的形成速率与均匀性越好; 而疏水链长度增加可增强界面膜的韧性与抗剪切性能, 从而提高乳液稳定性。通过改变聚氧乙烯链长度或疏水烷基结构, 可对 HLB 值进行精确调控, 以匹配特定食品体系的乳化需求, 实现乳化膜结构与界面能的最优配置。

2.2 主要类型与应用特征

食品工业中常用的非离子表面活性剂类型丰富, 其性能与应用领域各具特色。甘油单酯是一类兼具乳化、起泡与保湿性能的表面活性剂, 广泛用于乳制品、蛋黄酱和烘焙制品中。山梨醇酯及其聚氧乙烯衍生物 (Tween 类) 具有良好的乳化与增溶作用, 可显著提高油性香精、乳饮料和沙拉酱的分散稳定性。蔗糖酯由于含有多羟基结构, 不仅表现出优异的乳化性能, 还具有抗氧化与防腐协同作用, 适用于高脂肪乳制品及功能性食品中。聚乙二醇脂肪酸酯因界面吸附速率快、乳化膜致密, 常用于乳饮料及蛋白饮品的均质体系中。不同类型的表面活性剂因极性基团种类、空间结构与链长不同, 其在界面的吸附动力学、取向方式与膜形成速率存在差异, 从而导致乳化效果与储藏稳定性的变化。

2.3 分子聚集行为与界面活性特征

非离子表面活性剂在水溶液中可通过疏水相互作用形成胶束结构, 其临界胶束浓度 (CMC) 是衡量界面活性的关键指标。CMC 越低, 说明分子在界面上的自组装能力越强, 界面张力下降速度越快。乳化剂分子在油水界面的吸附与重排过程受温度、pH 及盐离子浓度影响显著。温度升高会引起聚氧乙烯链段脱水, 使分子亲水性降低, 从而影响乳化膜稳定性; pH 变化可能影响糖酯类乳化剂的水解速率及极性基团电性; 而高盐环境可能压缩双电层厚度, 改变胶束结构。研究发现, 不同 HLB 值的表面活性剂复配使用可产生显著的协同效应, 通过调节吸附速率与界面排列密度, 能降低体系的界面能, 改善油滴分散与防聚并性能, 从而提升乳液体系的热稳定性与长期储藏性能。这种协同机制为食品工业设计多功能复配乳化剂体系提供了理论支撑与应用基础。

3 乳化性能的评价指标与方法体系

3.1 乳液形成效率的测定方法

乳液形成效率是评价非离子表面活性剂乳化性能的核心指标, 其优劣主要取决于分子在油 / 水界面的扩散速率与吸附能力。评价方法通常从粒径分布、分散均匀性和乳化速率三个维度展开。动态光散射 (DLS) 技术可定量分析乳液粒径与分布宽度, 从而反映乳化体系的均匀程度; 显微镜成

像结合图像分析软件可观察油滴形态、聚并趋势与分布状态, 用以判断乳化剂初期分散能力。实验数据表明, 粒径分布越集中、变异系数越低的乳液, 其物理稳定性越高。具有较高 HLB 值的乳化剂由于亲水端吸附速率快、界面张力降低显著, 能更有效形成粒径较小且分散均匀的油滴结构, 表现出优异的乳化效率与形成速度。

3.2 界面张力与吸附动力学分析

界面张力是衡量乳化剂界面吸附能力与形成稳定膜结构的重要参数。滴重法和旋转滴法是常用测定手段, 可获得不同浓度下的界面张力变化曲线。根据实验数据可拟合 Langmuir 或 Gibbs 吸附模型, 以推算吸附常数、界面膜密度及分子占据面积等关键参数。吸附动力学研究表明, 扩散速率越快、吸附自由能越低的分子更易在界面形成致密单分子层, 进而提高膜强度与乳液稳定性。实验结果显示, Tween 类乳化剂在低浓度下即可显著降低油 / 水界面张力, 说明其分子极易迁移至界面; 蔗糖酯体系虽然吸附速率略慢, 但形成的界面膜更稳固、抗聚并能力更强, 体现出动力学与热力学性能的双重优势。

3.3 乳液稳定性与储藏性能评价

乳液稳定性决定产品的使用寿命与商业价值, 是乳化性能综合评估的重要环节。常用测试包括加速离心法、热循环法和长期储藏实验。乳液的分层速率、界面电位 (ζ 电位) 及体系粘度变化是主要评价参数。通过 60 天储藏测试发现, 含聚氧乙烯链的非离子表面活性剂因能在油滴周围形成厚吸附层, 显著抑制油滴聚并和相分离。离心试验结果显示, 蔗糖酯与 Tween 复配体系的分层高度小于 2%, 优于单一体系。温度循环实验表明, 该类乳化剂在高低温交替环境下仍保持较好的粒径稳定性与界面强度。复配体系通过静电斥力与空间位阻的协同作用, 提高了抗热扰动与抗离心性能, 实现了长期乳液稳定的结构强化与功能优化。

4 影响乳化性能的主要因素分析

4.1 分子结构与 HLB 值的作用规律

乳化性能的差异根源于非离子表面活性剂的分子结构特征。实验表明, 当 HLB 值处于 10–14 范围时, 乳化剂在油 / 水乳液体系中表现出最佳稳定性。较长的疏水链段能增强油滴表面膜的机械强度, 使其抵抗外界扰动的能力提升; 而亲水基团的空间位阻效应有助于减少油滴间聚集与聚并, 维持体系均匀分散。蔗糖酯因含有多羟基, 可在界面形成稳固的氢键网络, 提高乳液的热稳定性和抗氧化能力。分子极性分布与对称性亦决定其在界面的排列方式, 影响吸附层致密度及乳化膜的完整性, 从而决定乳液体系的长效稳定性。

4.2 复配体系的协同效应

单一乳化剂往往难以兼顾乳化速率与体系稳定性, 复配不同 HLB 值的表面活性剂可实现界面吸附速率与膜韧性

的平衡。研究发现, Tween-80 与 Span-60 按不同比例混合可有效调节体系 HLB 值, 使界面张力进一步下降, 形成致密稳定的复合吸附膜。复配体系能显著降低临界胶束浓度 (CMC), 增强界面分子间相互作用力, 减少油滴间融合与聚并现象。实验结果显示, 复配体系的抗离心分层率较单组分体系下降约 30%, 且在高温条件下仍能保持较小粒径变化。复配乳化体系通过界面膜的协同增强, 实现“快速乳化—高稳定—抗聚并”的动态平衡, 是食品乳液开发的重要方向。

4.3 环境条件对乳化性能的影响

非离子表面活性剂在不同环境条件下的乳化性能表现差异明显。温度升高会导致聚氧乙烯链段脱水, 降低乳化膜的柔性与稳定性; 酸性环境下蔗糖酯等糖基结构可能发生水解, 导致 HLB 值变化, 从而影响乳化效率。pH 变化虽不直接改变分子电荷, 但会影响其在界面的吸附取向及膜厚度。剪切速率在乳化过程中起关键作用, 过低会导致油滴破碎不充分, 过高则可能造成界面膜破裂。实验表明, 适度剪切可显著缩小乳液粒径并提高分散均匀性。综上, 控制环境参数、优化乳化条件, 是保持非离子表面活性剂性能稳定与实现高效乳化的必要条件。

5 实验研究与性能比较分析

5.1 实验设计与材料方法

为系统评价食品级非离子表面活性剂的乳化性能, 本研究选取具有代表性的 Tween-20、Tween-80、Span-60 及蔗糖酯四种乳化剂作为研究对象。实验以大豆油为油相、去离子水为水相, 按油相质量配比添加乳化剂, 设定浓度梯度为 1%、2%、3%。采用高速剪切乳化机 (转速 10000 r/min) 乳化 5 分钟, 所得乳液静置 24 小时后测试相关参数。乳液平均粒径及分布由动态光散射仪 (DLS) 测定, 界面张力通过旋转滴法获得, 稳定性指标包括分层高度变化率、离心分离率及热循环前后粒径变化。所有实验均在恒温 ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) 环境下进行, 以确保数据可比性。通过单因素与多因素分析, 研究乳化剂类型与浓度对乳液形成效率、界面稳定性及长期储藏性能的影响, 探讨不同结构参数与乳化性能间的关联规律, 为食品工业选择合适乳化体系提供实验依据。

5.2 乳化性能结果与分析

实验结果显示, 不同非离子表面活性剂在相同条件下的乳化性能差异显著。Tween-80 在 1% 浓度下形成的油/水乳液粒径分布最为均匀, 平均粒径为 $2.1 \mu\text{m}$, 且界面张力较未加乳化剂体系下降约 45%, 表明其具有较强的界面活化能力。Tween-20 虽亲水性更强, 但由于其疏水链较短, 形成的界面膜强度较低, 乳液长期稳定性略逊。Span-60 因 HLB 值较低, 油溶性较好, 表现出优异的乳化初期分散性,

但在储藏后出现轻微聚并, 稳定性不足。蔗糖酯体系的乳化效率与热稳定性最优, 其形成的乳液粒径最小、分布最窄, 体系在高温下依旧保持良好的流变性能。复配体系 (Tween-80 与 Span-60 按 3:1 比例混合) 表现出显著的协同效应: 乳化效率高、界面膜致密、油滴间相互作用力弱, 分层速率低于 0.2%, 表明复配能有效兼顾乳化速率与稳定性, 适用于乳饮料、调味油脂等复杂体系。

5.3 长期储藏与热循环性能

为评估乳液的耐储性与抗热性能, 样品在 4°C 与 25°C 环境下储藏 60 天并进行 5 次热循环 (加热至 60°C 后冷却至室温) 测试。结果表明, Tween-80 及其与 Span-60 复配体系在长期储藏过程中保持较好的稳定性, 分层高度变化率均小于 3%, 油滴聚并与相分离现象极少。蔗糖酯体系在 25°C 条件下稳定性最佳, 粒径变化小于 $0.3 \mu\text{m}$, 说明其界面膜在热循环下仍具较高的韧性与抗氧化能力。对比分析显示, 单一乳化剂体系在经历多次加热冷却后乳液结构易发生重排, 而复配体系通过形成复合界面膜结构显著提高了抗热扰动能力。该结果表明, 不同 HLB 值的乳化剂复配可有效缓解高温与剪切对乳液体系的破坏作用, 延长产品货架期。综合评价可见, 蔗糖酯与 Tween 复配体系在乳化效率、热稳定性及储藏性能方面均优于单一体系, 具有更广泛的食物应用潜力。

6 结语

食品级非离子表面活性剂在食品乳化体系中具有不可替代的作用。研究表明, 其乳化性能受分子结构、HLB 值、复配比例及环境因素多重影响。复配使用不同极性的表面活性剂可有效改善界面膜致密性与体系稳定性。通过建立标准化乳化性能评价体系, 结合粒径、界面张力与稳定性等指标, 可实现对乳化剂功能的量化评估。未来研究应在多相体系动态监测、界面膜结构可视化与乳化过程模拟等方向深化, 推动食品乳化剂从经验应用向数据驱动与精准调控转变, 为食品工业高质量发展与绿色生产提供科学支撑。

参考文献

- [1] 张梦. 芒果核壳纤维素纳米纤维的结构表征、乳液制备及应用研究[D]. 华中农业大学, 2023.
- [2] 徐志刚. 松香改性壳聚糖非离子表面活性剂制备及性能研究[D]. 安徽理工大学, 2016.
- [3] 别业勇. 植物源表面活性剂和黄腐酸在农药和肥料中核心技术攻关与应用. 广西壮族自治区, 广西勤德科技股份有限公司, 2016-02-05.
- [4] 李婉春. 两种小麦蛋白衍生表面活性剂的合成、性能及应用研究[D]. 江南大学, 2024.
- [5] 于洪洋. 腰果酚基驱油表面活性剂的合成及性能研究[D]. 东北石油大学, 2019.

Grain of the Seed of the Grass of the Food First in the Field of the Sour Mold to Open Up a New Way of Food Production

Lvshan Bai¹ Jianguo Zeng² Xiuping Yu¹ Peng Huang² Lei Zhang³

1. Beijing Junxin Quansheng Environmental Science and Technology Research Institute, Beijing, 100010, China

2. Yuelu Mountain Laboratory Chinese Medicinal Materials Variety Innovation Center, Changsha, Hunan, 410082, China

3. Beijing Hemu Runfeng Ecological Farm, Beijing, 100010, China

Abstract

Food security is a strategic issue concerning national economy and people's livelihood. As global food security faces multiple challenges such as shrinking arable land, resource constraints, and nutritional imbalances, expanding non-traditional food resources has become a strategic choice. The edible herb, a perennial herb of the genus *Suaeda* in the Polygonaceae family, has achieved the agricultural innovation model of "double harvest in the same year" for the first time, broadening the boundaries of the food industry, consolidating the security of the nation's granary, and strengthening the foundation of food security for the Chinese people. The edible herb seed grain (also known as Polygonum seed grain or Polygonum rice) utilizes over 80 natural composite nutrients as a novel functional food source. It pioneers the feasibility and development potential of grain production channels in the Polygonum genus, leveraging its distinct coarse grain attributes and nutritional advantages. This breakthrough fills the historical gap of no large-scale grain supply from Polygonum plants, offering a new pathway for developing non-traditional food sources. With core values such as strong adaptability, high nutritional density, and outstanding resource utilization efficiency, it demonstrates strategic importance in enhancing farmland efficiency, strengthening nutritional security, and improving agricultural risk resilience. The implementation of the "double-yield" innovative model of edible herb "Fengchan Shuangliang" (meaning "abundant dual grain") leverages the unique dual output of herb powder and grain, providing a novel approach to addressing the challenge of diversified food supply and consolidating the food security system.

Keywords

oryza sativa; food security; oryza genus; diversification of food supply; sustainable agricultural development

食叶草籽粒粮率先在酸模领域开辟粮食生产新途径

柏绿山¹ 曾建国² 于秀平¹ 黄鹏² 张雷³

1. 北京军信泉盛环境科学技术研究院, 中国·北京 100010

2. 岳麓山实验室中药材品种创制中心, 中国·湖南 长沙 410082

3. 北京禾亩润丰生态农场, 中国·北京 100010

摘要

粮食安全是关乎国计民生的战略议题, 随着全球粮食安全面临耕地缩减、资源约束与营养失衡多重挑战, 拓展非传统粮食资源成为战略选择。食叶草为蓼科酸模属多年生草本植物, 首次实现同年“丰产双粮”的农业创新模式, 拓宽粮食产业新边界, 夯实大国粮仓保障, 筑牢国人饭碗安全根基。食叶草籽粒粮(又称蓼麦、蓼米或蓼麦米)以八十余种天然复合营养新晋功能粮源, 率先在酸模领域开辟粮食生产渠道的可行性与发展潜力, 以明确的杂粮属性和营养优势, 打破了酸模属植物无规模化粮食供给的历史空白, 为非传统粮源开发提供了全新路径, 具有适应性强、营养密度高、资源利用效率突出等核心价值, 以及提升耕地利用效率、强化营养保障、增强农业抗风险能力等方面展示了战略重要性。食叶草“丰产双粮”创新模式的落地, 以草粉粮、籽粒粮双产出的独特优势, 为破解粮食供给多元化难题、夯实粮食安全保障体系提供了全新路径^[1、2、3]。

关键词

食叶草酸模籽粒粮; 粮食安全; 酸模属领域; 粮食供给多元化; 农业可持续发展

1 引言

粮食安全始终是治国安邦的头等大事, 《粮食安全

保障法》明确将“确保谷物基本自给、口粮绝对安全”作为核心目标。中国面临人口增长与膳食结构升级带来的粮食需求刚性增长、耕地“非粮化”“非农化”导致的生产空间压缩、水资源短缺与气候变化引发的生产风险加剧等多重挑战。在此背景下, 《中国食物与营养发展纲要》明确提出“拓展非

【作者简介】柏绿山(1942-), 男, 中国山东日照人, 本科, 教授级高级工程师, 从事农业、食品、生物、环保研究。

传统粮食资源”，寻求高产、优质、抗逆性强的新型粮源成为农业科技攻关重点。另外，中国饲料蛋白年缺口超 5000 万吨，需大量进口大豆等原料弥补，食叶草酸模籽粒粮问世正是国家和人民急需高蛋白粮源的又一创新。

食叶草酸模被开发为粮食资源，这是经过多年的科技研发和实践应用所实现的“鲜叶产草粉粮、果实产籽粒粮”双粮模式，为构建多元化粮食供给体系成为保障国家粮食安全的关键突破口。本文基于粮食安全的“供给保障、资源支撑、风险抵御、营养满足”四维框架，系统阐释食叶草酸模籽粒粮的战略价值，为其产业化推广与政策支持提供理论依据^[4, 5]。

2 食叶草酸模籽粒粮的核心特性与比较优势

2.1 环境适应性强，拓宽粮食生产空间

食叶草酸模具有极强的抗逆性，能在盐碱地、贫瘠坡地等边际土地生长，耐干旱、耐严寒、耐盐碱能力显著优于小麦、玉米等传统粮食作物。实践证明，食叶草酸模在 pH 值 8.5 ~ 9.5 的中度盐碱地、年降水量 300mm 以上的干旱地区均可正常生长，且对土壤肥力要求较低，无需重茬轮作即可连续种植，寿命达 20 年，丰采期持续 15 年。其籽粒粮生产无需占用优质耕地，可有效利用中国约 5 亿亩盐碱地、3 亿亩贫瘠地等边际资源，在不与传统粮食作物争地的前提下，开辟新的粮食生产资源，为保障粮食总产量提供增量支撑^[6]。

2.2 营养密度突出，强化粮食营养结构

食叶草酸模籽粒粮营养成分兼具优质蛋白、氨基酸、维生素以及膳食纤维与多种生物活性物质，营养价值显著高于传统谷物。经检测数据显示，其籽粒粗蛋白含量达 18% ~ 22%，远超传统粮食作物蛋白水平，且含有人体必需的 18 种氨基酸，尤其是赖氨酸解决了传统谷物赖氨酸不足的短板；同时富含钙、铁、锌等矿物质及维生素 A/B/C/D/E 族、生物类黄酮等活性成分，兼具营养供给与健康保健功能。食叶草酸模籽粒粮是新型优质蛋白粮，既可作为功能性口粮粮源，加工米粥、面包、面条、休闲饼干、代餐粉等产品，也可作为饲料原料替代豆粕，缓解中国优质蛋白饲料依赖进口的现状^[7]。

2.3 资源利用高效，提升农业生产效益

食叶草酸模兼具叶片高产优质、籽粒营养丰富的双重特性，实现了“籽粒粮与叶粉粮兼收”的大农业新模式。食叶草籽粒粮年亩产量 200 ~ 300 公斤，与传统粮食作物相比，其生长周期短（籽粒生育期约 120 天），可与短季作物进行轮作套种，提高单位土地年产出率；同年可收获鲜叶制备的草粉粮，南北地区鲜草产量存在差异，均可实现“一亩双收”资源利用效率。此外，食叶草根系发达，可固氮改土，连续种植能提升土壤有机质含量，改善边际土地质量，实现种植与养地相结合，为农业可持续发展提供支撑。无论是食

叶草酸模红色籽粒粮还是绿色草粉粮，均可形成优质功能口粮与饲料用粮，在资源利用效率、环境适应性及营养供给能力等方面展现出独特优势。

3 食叶草酸模籽粒粮对保障粮食安全战略价值

3.1 拓宽粮食供给渠道，增强总量保障能力

中国粮食需求呈刚性增长态势，预计 2030 年总人口将达 14.5 亿，粮食总需求将突破 7.5 亿吨，而优质耕地资源有限，传统粮食作物单产提升空间逐渐收窄。食叶草酸模籽粒粮可利用边际土地进行规模化种植，若按每亩年产 250 公斤籽粒计算，仅开发 1 亿亩盐碱地即可新增粮食产量 2500 万吨，相当于中国全年粮食总产量的 3.6%，能有效弥补传统粮食生产的增量缺口。同时，其籽粒与茎叶的双重产出特性，可实现“粮食 + 饲料”多元供给，缓解饲料用粮与口粮争地的矛盾，为改变传统“谷物 + 豆类 + 薯类”粮食结构、构建多元化粮食供给体系提供重要辅助^[8, 9]。

3.2 优化耕地资源配置，缓解资源约束压力

中国耕地资源呈现“总量少、质量差、分布不均”的特点，优质耕地仅占耕地总面积的 30% 左右，而边际土地资源丰富但未得到有效利用。食叶草酸模籽粒粮种植无需占用优质耕地，可将优质耕地集中用于保障小麦、玉米、水稻三大主粮生产，实现“主粮稳产量、新粮拓空间”的资源优化配置。此外，其耐盐碱、耐贫瘠的特性，可推动盐碱地等边际土地的开发利用，按照“以种适地、以地适种”原则，实现边际土地的粮食生产功能，缓解中国耕地资源短缺的约束，为保障主粮安全提供空间支撑。

3.3 提升农业抗风险能力，增强粮食安全韧性

气候变化与极端天气事件对传统粮食生产的冲击日益加剧。中国每年因干旱、洪涝、盐碱化等灾害导致的粮食减产达 1000 万吨以上。食叶草酸模的强抗逆性使其在极端环境下仍能保持稳定产出，与传统粮食作物形成“风险互补”效应。在干旱地区，其籽粒产量稳定性比小麦高 40% 以上；在盐碱地区，可实现“零废弃”种植，避免传统作物因盐碱胁迫导致的绝收风险。同时，食叶草酸模多年生特性可减少耕地翻耕次数，降低水土流失与土壤退化风险，增强农业生态系统的稳定性，为粮食生产提供可持续的长效生态依托，提升粮食安全韧性^[10]。

3.4 强化营养安全保障，满足膳食结构升级需求

随着国民生活水平的提高，膳食结构从“吃得饱”向“吃得好”“吃得健康”转变，优质蛋白、氨基酸等营养需求显著增长。中国当前蛋白粮进口依存度达 80% 以上，优质蛋白摄入不足已成为影响国民健康的突出问题。食叶草酸模籽粒粮综合性营养特性，可有效弥补传统谷物营养短板，作为优质创新粮源纳入百姓膳食体系，满足生活饮食营养需求，还可用于饲料提升畜禽肉蛋奶品质。其富含的生物活性物质具有抗氧化、增强免疫力等功能，可推动粮食品类

从“营养供给”向“健康保障”升级，为构建营养型粮食安全体系提供新路径。

4 食叶草酸模籽粒粮营养功能性

4.1 优质蛋白供给与氨基酸平衡功能

食叶草酸模籽粒粮粗蛋白含量稳定在 18% ~ 22%，远高于小麦、玉米等传统谷物，接近大豆蛋白水平，是优质的植物蛋白来源。其氨基酸组成具有显著优势，含有人体必需的 8 种氨基酸，且氨基酸模式与联合国粮农组织（FAO）推荐的理想蛋白模式契合度达 85% 以上。其中，赖氨酸含量高达 0.8% ~ 1.0%，有效弥补了传统谷物赖氨酸匮乏的营养短板，而赖氨酸作为人体生长发育的关键氨基酸，对儿童青少年骨骼发育、成年人组织修复具有重要作用；蛋氨酸、苏氨酸等限制性氨基酸含量也显著高于玉米、水稻，蛋白质消化吸收率优于大豆蛋白，可高效为人体补充蛋白质，适用于构建营养均衡的膳食体系。

4.2 膳食纤维、水苏糖的生理调节功能

食叶草酸模籽粒粮总膳食纤维含量达 41.0%。其中，可溶性膳食纤维在肠道内形成凝胶状物质，延缓葡萄糖吸收，降低餐后血糖峰值，对预防 II 型糖尿病具有积极作用；同时协同水苏糖作用，能吸附肠道内的胆固醇与胆汁酸，促进其排出体外，有助于降低血清胆固醇水平，减少动脉粥样硬化风险。不可溶性膳食纤维（纤维素、半纤维素、木质素）则能增加粪便体积，促进肠道蠕动，缩短食物残渣在肠道内的停留时间，有效预防便秘，降低结直肠癌的发病风险^[11]。

4.3 矿物质与维生素的营养补充功能

食叶草酸模籽粒粮富含多种人体必需的矿物质，且生物利用率高。钙与膳食纤维、氨基酸形成螯合态钙，吸收率达 35% ~ 40%，优于植物性钙源的平均水平；铁与维生素 C 结合，可促进铁的吸收转化，对改善缺铁性贫血具有重要意义；锌、硒均满足人体每日推荐摄入量，对维持免疫系统功能、促进生长发育具有关键作用。此外，其维生素 B 族（B1、B2、B6、烟酸）、维生素 E，能有效补充人体对脂溶性维生素与水溶性维生素的需求，避免维生素缺乏引发的代谢紊乱。

4.4 生物活性物质的健康保健功能

食叶草酸模籽粒粮中含有丰富的生物类黄酮、多酚、β-胡萝卜素等生物活性物质，具有显著的抗氧化、抗炎、免疫调节等功能。生物类黄酮（主要为芦丁、槲皮素）可清除体内自由基，抑制脂质过氧化反应，减少氧化应激对细胞的损伤，延缓衰老过程；多酚类物质能抑制炎症因子的表达，对慢性炎症具有一定的缓解作用；β-胡萝卜素可在体内转化为维生素 A，对维持视网膜健康、保护视力、增强黏膜屏障功能至关重要。此外，籽粒中含有的 γ-亚麻酸是人体自身无法合成的不饱和脂肪酸，对调节血脂、改善心血管健康具有积极作用^[12]。

4.5 低升糖与减脂的膳食适配功能

食叶草酸模籽粒粮的升糖指数（GI）仅为 35 ~ 40，属于低 GI 食物，远低于小麦（GI=70）、大米（GI=73）等精制谷物。其低升糖特性源于高膳食纤维与高蛋白的协同作用，可延缓碳水化合物的消化吸收速度，避免血糖剧烈波动，适合糖尿病患者作为主食替代食材。同时，该籽粒热量较低，且膳食纤维能增强饱腹感，减少其他高热量食物的摄入，有助于控制总热量摄入，辅助体重管理。此外，其脂肪含量仅为 3.6%，且以不饱和脂肪酸为主，无反式脂肪酸，符合健康减脂的膳食需求。

5 食叶草酸模籽粒粮开辟粮食供给渠道与战略价值

总量补充：按推广 5000 万亩食叶草计算，可新增相当于 2000 万吨粮食的营养当量，其中籽粒粮作为直接粮源，能有效补充粮食供给总量，缓解粮食短缺压力。

应急保障：食叶草酸模生长周期短，种植 40 天后即可采收草粉粮；从第二年开始，每年的 6 月底收籽粒粮，完成收获后又可丰收草粉粮。无论是籽粒粮还是草粉粮均易储存、加工快，在自然灾害或突发粮食危机时，可快速形成双粮供给能力，增强粮食安全韧性。

加大科研投入，研发食叶草酸模籽粒粮规模化脱壳、研磨以及产品深加工技术，开发籽粒粉、杂粮食品、饲料添加剂等多元化产品，延伸产业链条。

推进规模化种植与标准化生产：依托盐碱地综合利用、边际土地开发等项目，建设食叶草酸模籽粒粮规模化种植基地，推广“统一品种、统一技术、统一管理、统一回收”的标准化生产模式；建立从种植到加工的质量追溯体系，保障产品质量安全。

加强政策支持与市场引导：期待国家给予种植补贴、农机购置补贴等政策支持；设立专项基金，支持产业链关键环节的技术研发与产业化推广；加强市场宣传与消费引导，提升产品知名度与市场接受度，培育稳定的消费市场。

构建产学研用协同创新体系：鼓励科研机构、企业、农户建立协同创新平台，开展技术研发、成果转化等合作；加强技术培训，提升农户的种植与管理水平；推动校企合作，开发高附加值产品，提升产业整体竞争力^[13]。

6 应用试验案例

自 2021 年始，北京禾亩润丰生态农场与北京食叶草科技发展有限公司共同合作，根据食叶草酸模籽粒粮所含八十余种营养成分对人体的作用，针对功能性食品进行研发，科学设计配方，将红色籽粒粮熬米粥、做米饭，加工成馒头、包子、饺子以及代餐粉、固体饮料、休闲食品等，香味浓厚，口感新颖，更加体现出食养功能性实效。经多年实践验证，结合食叶草酸模籽粒粮的营养元素及人体作用机制，该粮食适合广谱性受众群体，如普通健康人群：可作为日常粗粮的

优质补充,丰富膳食结构,帮助维持机体正常代谢与免疫功能。心血管与血脂异常人群:其含有的膳食纤维、植物甾醇等成分,有助于调节血脂,适合作为辅助膳食选择。血糖管理人群:高膳食纤维能延缓碳水吸收,平稳餐后血糖,适合糖尿病或糖耐量异常人群适量食用。肠道功能不佳人群:膳食纤维可促进肠道蠕动、调节肠道菌群,适合便秘或肠道微生态失衡者。营养不良与免疫力低下人群:丰富的氨基酸、维生素及矿物质,能补充人体必需营养,助力提升机体抵抗力等。北大石汉平教授提出“营养是一线治疗”的重要理念,强调营养是健康维护与身体康复的核心基础。食叶草籽粒粮富含强劲的综合营养组合,且全面均衡,正是日常膳食营养补充的优质选择。坚持食用有助于增强体质、辅助改善亚健康状态,对健康维护有积极作用。特别提示:本品为普通食品,不可替代药物治疗。

7 结论

粮食安全是国家安全的重要基础,面对全球资源约束与变化风险,构建多元化、可持续的粮食供给体系是保障粮食安全的必然选择。食叶草已被纳入国家新食品原料名录,其籽粒粮作为兼具环境适应性、资源利用效率与营养供给能力的新晋粮食资源,在拓宽粮食生产空间、优化资源配置、增强抗风险能力、保障营养安全等方面具有不可替代的战略价值。通过规模化种植、完善加工技术、健全产业链条、加大政策支持等措施,推动食叶草酸模籽粒粮的产业化发展,可有效弥补传统粮食生产的短板,为构建“主粮稳、新粮增、营养全、韧性强”的粮食安全保障体系提供重要支撑,对保障国家粮食安全、促进农业可持续发展具有重要意义。未来,需进一步加强科研攻关与政策引导,加快食叶草酸模籽粒粮的推广应用,让这一新型粮食作物在保障国家粮食安

全中发挥更大作用。

参考文献

- [1] 高慧新,田慧. 酸模属植物研究概况 [J]. 壮瑶药研究季刊, 2018, (01): 25-31+134-135.
- [2] 杨辉,张竹,习凯杰, 粮食功能区视角下农业高质量发展水平及区域差异研究 [J]. 生态经济, 2024, 40 (04): 105-113.
- [3] 盛誉, “双碳”背景下中国粮食功能区的农业水资源利用效率评价 [J]. 湖北农业科学, 2024, 63 (04): 212-218.
- [4] 郑立友. 功能食品营养功效及生物活性物质开发 [J]. 农产品加工, 2024, (21): 2.
- [5] 刘抗, 等. 论藜麦对国家粮食生产安全的影响与意义[J]. 世界农业经济研究, 2025, 6(2)
- [6] 彭祚全,肖黎东,张凤香,等. 食叶草耐硒能力初步研究与营养成分特点 [J]. 中国食品工业, 2025, (11): 106-107+110
- [7] 刘兴浩,崔亚君,王佳凯,等. 藜麦营养功能特性及其在植物基食品中的应用 [J/OL]. 中国粮油学报, 1-11[2025-04-28]
- [8] 高珈琦,张慧颖,韩嘉欣,等. 酸模茎叶多糖提取纯化及体外抗氧化活性 [J/OL]. 天津科技大学学报, 1-9[2025-12-18].
- [9] 刘抗, 柏英庭, 等. 探索新晋功能粮食藜麦天然复合营养及其对健康的深远意义[J]. 科技创新与工程, 2025, 2(1)
- [10] 施宇,桂伟,汪茜. 池州市富硒功能农业发展现状问题及对策 [J]. 南方农业, 2025, 19 (03): 160-163.
- [11] 张玉玲,邢国徽,邢艳妮,等. 食叶草酸模工厂化育苗与栽植技术初探 [J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2017, 19 (02): 7-8+39.
- [12] 尹雪斌,印遇龙. 发展功能农业科技“创新链”,助推农业新质生产力 [J]. 中国科学:生命科学, 2025, 55 (03): 397-398.
- [13] 尹朝静,杨坤,孔锋. 气候变化下的中国粮食全要素生产率再测度 [J/OL]. 华中农业大学学报(社会科学版), 1-15[2025-04-28]. 2025.03.002.

Optimization Study on Pre-treatment of Tea Polyphenols in Milk Tea Based on National Standard GB 21733-2008

Xiaoling Wu

Shanghai CTI Product Standard Testing Technology Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

Abstract

The content of tea polyphenols is an important indicator for evaluating the quality of tea beverages. The national standard method GB/T 21733-2008 Appendix A uses ethanol precipitation-ferrous tartrate colorimetry to determine the content of tea polyphenols in tea beverages. This method has a limited scope of application, especially for beverage products such as milk tea that use emulsifiers and stabilizers, as it faces the problem of being unable to obtain a clear pretreatment solution before colorimetry, which directly affects the accuracy of the detection results. This study improved the sample pretreatment method by using pineapple protease hydrolysis, which solved the problem of turbidity in the pretreatment solution and improved the precision and accuracy of tea polyphenol content determination in milk tea beverages. The method recovery rate was 98.5%~102.5%, and the relative standard deviation (RSD) was 0.16%~0.32% (n=6).

Keywords

milk tea; tea polyphenols; ferrous tartrate colorimetric method; pineapple protease; detection cost

基于国标 GB 21733-2008 奶茶中茶多酚前处理的优化研究

吴晓玲

上海华测品标检测技术有限公司, 中国·上海 201114

摘要

茶多酚含量是评估茶饮料质量的关键指标。国家标准GB/T 21733-2008附录A规定采用乙醇沉淀-酒石酸亚铁比色法测定茶饮料中的茶多酚含量,但该方法适用范围有限,尤其对于奶茶等添加了乳化剂、稳定剂等添加剂的产品,在比色前难以获得澄清的预处理液,从而无法得到较为准确的检测结果。本研究通过改进样品前处理方法,引入菠萝蛋白酶进行酶解,成功解决了预处理液浑浊问题,且获取了性价比较高的菠萝蛋白酶,提升了奶茶饮料中茶多酚含量测定的精密度和准确度的同时,也兼顾了实验成本的问题。实验结果显示,该方法的回收率为98.5%~102.5%,相对标准偏差。

关键词

奶茶; 茶多酚; 酒石酸亚铁比色法; 菠萝蛋白酶; 检测成本

1 引言

茶多酚作为奶茶中重要的功能成分,其含量测定的准确性直接影响产品质量评价。GB/T 21733-2008《中华人民共和国国家标准 茶饮料》^[1]中对茶饮料中茶多酚含量作出了明确规定,其中,调味茶饮料(奶、奶味)中茶多酚含量应 $\geq 200\text{mg/kg}$,复(混)合茶饮料中茶多酚含量应 $\geq 150\text{mg/kg}$ 。

在奶茶这一深受消费者喜爱的茶饮料中,茶多酚的含量不仅影响着产品的口感与风味,更直接关系到其营养价值和健康效益。传统奶茶是由茶汤和牛奶调制而成,口感顺滑,随着食品工业的不断发展,人们对口味要求的不断提升,当今市售的奶茶产品中除了牛奶和茶汤以外,使用了多种食品

添加剂,各种乳化剂的加入使得按照国标方法前处理时无法得到澄清透明的液体,从而无法得到准确的实验结果,因此,准确测定并优化奶茶中的茶多酚前处理过程,对于提升产品质量、满足消费者需求具有重要意义。本研究基于国标 GB 21733-2008,旨在探索更为高效、精准的奶茶中茶多酚前处理方法,以为行业提供科学依据和技术支持。

国家标准 GB/T 21733-2008 附录 A 在测定奶茶产品中茶多酚含量时使用乙醇作为沉淀剂,由于添加的乳化剂、稳定剂改变了样品溶液体系的极性,乙醇无法有效沉淀蛋白质,导致无法得到澄清预处理液;另外在蛋白质沉淀处理时可能因为存在络合效应导致茶多酚检测结果偏低,该方法对于奶茶类产品适用性存在较大偏差。目前测定茶多酚含量的方法,如钼酸铵分光光度法、高锰酸钾滴定法、紫外分光光度法、重氮化-偶合分光光度法、柠檬酸铁铵分光光度法、流动注射-抑制化学发光法、近红外光谱快速无损检

【作者简介】吴晓玲(1984-),女,中国山西大同人,硕士,工程师,从事农产品加工及贮藏工程研究。

测方法等^[2]，也都只适用于基质比较简单的样品如液体茶饮或茶汤中茶多酚含量的测定，而不适合浑浊且成分复杂的奶茶类样品中茶多酚含量的测定。

本研究分别采用乙醇沉淀法^[1]、乙酸沉淀法^[3]、三氯乙酸沉淀法^[4]、丙酮沉淀法^[5]、不同品牌菠萝蛋白酶酶解法^[2]，来比较沉淀效果，最终选择采用菠萝蛋白酶酶解法，这种前处理方法安全无毒、回收率高，并且选择出一种性价比更高的菠萝蛋白酶，为客户提供更加准确的实验数据。

2 实验材料与方法

2.1 材料与仪器

试剂：无水乙醇（分析纯）、冰乙酸（分析纯）、三氯乙酸（分析纯）、丙酮（分析纯）、丙酮、氯化钠、95%乙醇、菠萝蛋白酶（活力 300u/mg）

实验仪器：

METTLER XS205Du 分析天平 梅特勒托利多公司；

TU-1810PC 紫外-可见分光光度计 北京谱析；

SHA-C 水浴恒温振荡器 常州市瑞华仪器制造有限

2.2 实验方法

测试方案：用清澈茶饮料按比例和牛奶混合制定 3 种奶茶饮品，采用不同的蛋白质沉淀方式进行前处理，测试奶茶中茶多酚含量，比较不同前处理方式的回收效果，从而得出最优条件。

2.2.1 供试液的制备

称取 25g 奶茶样品（精确称取至 0.001g）至 50mL 容量瓶中，采用以下 6 种前处理方式，

1、95%乙醇定容至刻度，静置 15min 后用慢速定量滤纸过滤，滤液备用；

2、加 4%冰乙酸 1mL 混匀，用 95%乙醇定容至刻度，静置 15min 用慢速定量滤纸过滤，滤液备用；

3、加 1%盐酸（2.4mL 至 100mL）1mL，混匀，用丙酮定容至刻度，静置 15min 后用慢速定量滤纸过滤，滤液备用；

4、加入 10g/100mL 菠萝蛋白酶溶液 4mL，用 95%乙醇定容至刻度，充分摇匀，60℃水浴酶解 15 分钟后，冷却至室温；用慢速定量滤纸过滤，弃去 5mL 初滤液。

5、加入 5 mL95%乙醇，再加入 6 mL 10 g/L 三氯乙酸溶液，2mL 10 g/L 氯化钠溶液，95%乙醇定容至刻度，混匀静置 10 min 后过滤，滤液备用。

6、较浑浊的样液（如果汁茶饮料、奶茶饮料等）称取充分混匀的样液 25.00ml 于 50 mL 容量瓶中，加入 95%乙醇 15 mL，充分摇匀，放置 15 min 后，用水定容至刻度，用慢速定量滤纸过滤，滤液备用。（标准条件）

2.2.2 茶多酚含量的测定

精确移取上述滤液 5.0mL 于 25mL 容量瓶中，加酒石酸亚铁溶液 5.0mL，充分摇匀，用 pH7.5 的磷酸缓冲溶液

定容至刻度，用 10mm 的比色皿，在波长 540nm 处，以试剂空白做参比，测定吸光度（A1）；同时移取等量的滤液于 25mL 容量瓶中，用 pH7.5 磷酸缓冲溶液定容至刻度，用 10mm 的比色皿，在波长 540nm 处，以试剂空白做参比，测定吸光度（A2）。

计算：茶多酚计算公式：

$$X=\frac{(A1-A2)\times1.957\times2\times K}{m}\times1000$$

式中：X—样品中茶多酚含量，mg/kg；

A1—样品显色后在波长 540nm 处的吸光度；

A2—样品底色在波长 540nm 处的吸光度；

1.957—用 10mm 比色皿，当吸光度等于 0.50 时，1mL 茶汤中茶多酚的含量相 1.957mg；

K—稀释倍数，K=50/V，V 为测定时移取的滤液体积；

m—样液的质量，单位为克（g）。

3 结果与讨论

使用已知茶多酚含量（12132mg/kg，测试 10 组样品，取平均值）的茶汤和纯牛奶制备三种不同浓度的奶茶，具体比例见表 1。为进行质量控制，同步测试了茶饮茶多酚质控样，证书特征值为 507mg/kg，可接受范围是 431-583mg/kg，实际测试为 498mg/kg，说明质控有效。

表 1 3 种奶茶样品的配置比例

样品 1	茶、奶各 100 毫升	定容到 200
样品 2	茶、奶各 100 毫升	定容到 250
样品 3	茶、奶各 100 毫升	定容到 500

3.1 前处理条件删选

分别对以上 3 种奶茶样品，用以下 6 种沉淀方法进行前处理，沉淀现象如表 2 所示。

前处理条件	沉淀方法	沉淀状态	过滤时间	滤液状态
1	95%乙醇法	无法沉淀	无法有效过滤	浑浊
2	冰乙酸法	有效沉淀	快	澄清
3	盐酸法	有效沉淀	较快	澄清
4	菠萝蛋白酶法	有效沉淀	很快	澄清
5	三氯乙酸法	有效沉淀	很快	澄清
6	标准方法	无法沉淀	无法有效过滤	浑浊

从表 2 可以看出，采用 6 种前处理方式后，1、6 两种处理方式无法沉淀蛋白质，从而无法有效过滤，得到的是浑浊的过滤液；另外 4 种方式都可以有效沉淀，但是由于沉淀原理和状态有差异，过滤速率有一定的差异，过滤速度最快的是 4、5 两种方法，且 4 种方法均能得到澄清的滤液。基于以上差异，后续回收率实验只采用 2、3、4、5 方法得到的过滤液进行后续测试。

3.2 数据分析

分别按照 2、3、4、5 四种前处理方式进行后续测试，回收率见表 3。

表 3 4 种前处理方式下 3 种样品的回收率

样品	前处理条件	茶多酚含量 (mg/kg)	回收率 (%)
样品 1	2	10954	90.3
	3	12184	100.4
	4	12132	100.0
	5	10123	84.2
样品 2	2	11440	94.3
	3	13950	115.0
	4	12591	103.8
	5	10652	87.8
样品 3	2	11798	97.2
	3	12748	105.1
	4	12356	101.8
	5	10422	85.9

由表 3 可见, 4 种前处理方式得到的测试结果差异较大, 对于不同浓度的样品来说, 方法 4 始终能够得到很好的回收效果, 其次是方法 3、2、5, 但是考虑到丙酮的易挥发性以

及人身安全的影响, 综合评价方法 4 是一种安全无毒, 且易操作的最优方法。

比较不同品牌价格的菠萝蛋白酶的酶解效果, 回收率比较如表 4。

表 4 两种菠萝蛋白酶的回收效果比对

样品	茶多酚含量		回收率 (%)	
	酶 1 (较贵)	酶 2 (便宜)	酶 1 (较贵)	酶 2 (便宜)
样品 1	12132	12105	100.0	99.8
样品 2	12591	12046	103.8	99.3
样品 3	12356	12073	101.8	99.5

考虑成本的投入, 同时比对了两个不同品牌和价格的菠萝蛋白酶, 由表 4 可见, 相同浓度下, 两种菠萝蛋白酶的酶解效果无明显差异, 均可以达到食品理化检测的质控要求 (回收率 95%~105%), 所以可以采购性价比更高的菠萝蛋白酶 2, 足以满足日常的测试需求。

将菠萝蛋白酶 2 (酶活力 300u/mg) 配置成不同浓度的酶解液, 对样品 1 进行不同添加量的实验, 酶解效果如表 5。

表 5 不同添加量下酶解效果比对

酶液浓度(g/100mL)	添加量 (mL)	酶活力 (u/mg)	沉淀效果	过滤速度	滤液状态	茶多酚含量 (mg/kg)	回收率 (%)
10	4	120	有效	正常	澄清	12150	99.8
7.55	4	90	有效	正常	澄清	11945	98.5
5.0	4	60	有效	正常	澄清	11677	96.3
2.5	4	30	有效	较慢	澄清	11954	98.5
1	4	12	有效	慢	澄清	11584	95.5
1	1	3	无效	很慢	浑浊	/	/

菠萝蛋白酶的酶解原理是特征性地水解蛋白质中特定的氨基酸残基, 将大蛋白切割成较小的肽段, 从而释放出结合在蛋白质结构中的茶多酚, 使其更易于被溶剂提取和检测。只要所需酶活力可以达到酶解蛋白质的目的, 且反应条件温和, 不会破坏茶多酚的活性结构, 不同品牌菠萝蛋白酶虽来源有异, 但其核心催化位点高度保守, 因此在实际应用中表现出相近的酶解效率。如表 5 所示, 当酶液浓度不低于 2.5 g/100mL、添加量不少于 4 mL 时, 均能有效释放茶多酚, 回收率稳定在 98.5% 以上, 且滤液澄清、过滤速度正常。进一步降低酶量至 1 g/100mL 时, 虽仍具活性, 但过滤速度显著变慢, 回收率降至 95.5%, 接近质控下限; 当酶活力不足时, 沉淀不完全, 导致滤液浑浊, 影响检测准确性。因此, 在保证酶解效率和检测稳定性的前提下, 推荐采用浓度为 2.5 g/100mL、添加量 4 mL 的条件进行常规样品处理, 既节约成本, 又满足批量检测需求。该条件下, 每批次样品处理可节省酶试剂成本约 32%, 同时确保检测结果的重复性和准确性达到质控标准, 适用于实验室日常高通量样品分析。该优化方案可进一步降低检测成本, 提升工作效率, 在保证数据质量的前提下实现经济效益最大化。

回收率和精密度的测定: 对样品 1、2、3 添加菠萝蛋

白酶 2, 浓度为 2.5 g/100mL、添加量 4 mL, 结果见表 6。

表 6 3 种样品的回收率和精密度

样品	茶多酚含量 (mg/kg)	相对标准偏差 (%)	回收率 (%)
样品 1	11956	0.25	98.5%
样品 2	12440	0.16	102.5%
样品 3	12023	0.32	99.1%

由表 6 可知方法的平均回收率为 98.5% ~ 102.5%, 准确性较好, 相对标准偏差 (RSD) 为 0.16% ~ 0.32% (n=6), 重现性较好, 能满足实际样品的检测需要。

4 结论

用菠萝蛋白酶对奶茶样品进行酶解, 通过破坏其乳化体系使蛋白质沉淀, 从而得到澄清的样品处理液, 随后采用酒石酸亚铁比色法测定其中茶多酚含量。该方法的相对标准偏差 (RSD) 为 0.16% ~ 0.32% (n=6), 平均回收率为 98.5% ~ 102.5%, 具有良好的精密度和较高的准确度, 且操作简便快捷。此方法能够较为准确地测定奶茶及奶味茶饮料等浑浊样品中的茶多酚含量, 有效克服了国家标准方法和传统方法的不足, 适用于奶茶样品中茶多酚含量的测定。

参考文献

- [1] GB/T 21733-2008 《中华人民共和国国家标准 茶饮料》.
- [2] 任艳,陈青俊,金竹,等.奶茶饮料中茶多酚含量测定的方法改进研究 and 应用[J].饮料工业:2024,27(03)
- [3] 梁瑞婷,刘青,奚星林,等.奶茶制品中茶多酚含量的测定方法改进[J].现代测量与实验室管理,2014(3):17-18
- [4] 颜慧,张鹏,邹勇平,等.奶茶饮料中茶多酚含量测定方法的改进[J].食品安全导刊,2017(12X):154-156
- [5] 杜淑霞,欧仕益,徐丽,等.奶茶中茶多酚含量测定方法的改进[J].食品工业科技,2010(3):358-360

Discussion on the Identification Method of Authenticity of Animal-derived Food

Yonggang Ding Hanli Huang Jie Huang

Hubei Akred Inspection and Testing Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 438300, China

Abstract

Animal-derived foods possess rich nutritional value and hold a significant position in human dietary structure. However, in recent years, incidents of adulteration in animal-derived foods have occurred. Traditional identification techniques are limited by complex operations, high detection limits, and low accuracy, failing to meet the public's demand for food quality and safety. Therefore, enhancing the application research of various advanced methods can provide support for the authenticity identification of animal-derived foods. The rational application of traditional physicochemical identification methods, molecular biological identification techniques, immunological identification methods, and instrumental analysis methods can serve as important references for various tasks. In this study, the challenges in the authenticity identification of animal-derived foods are primarily analyzed, commonly used identification methods are explored, and several effective control measures are proposed for reference by relevant personnel.

Keywords

animal-derived food; authenticity; identification methods

试论动物源性食品真实性的鉴别方法

丁永刚 黄寒丽 黄洁

湖北省阿克瑞德检验检测有限公司, 中国·湖北 武汉 438300

摘要

动物源性食品有着丰富的营养价值,在人类的膳食结构中占据十分重要的地位。然而近些年,动物源性食品掺假事件时有发生,传统的鉴别技术存在操作复杂,检出限高、准确度低的局限性,无法满足人们对食品质量安全的需求。因此通过加强各种先进方法的应用研究,可以为动物源性食品真实性鉴别提供支持。合理应用传统理化鉴别方法、分子生物学鉴别技术、免疫学鉴别方法和仪器分析法等多种方法,为各项工作提供重要依据。在本文的研究工作中,主要分析动物源性食品真实性鉴别的挑战,探究常用的鉴别方法,并提出几点有效的管控措施,以供相关人员参考。

关键词

动物源性食品;真实性;鉴别方法

1 引言

动物源性食品的掺假事件不仅构成了商业欺诈,更可能引入过敏原、未知病原体或非法添加物,直接威胁公众健康。食品真实性的内涵包括物种真实性、成分真实性以及产地真实性。因此通过开展鉴别工作,可以满足现代监管需求,保障动物源性食品的真实性和安全性。

2 动物源性食品真实性鉴别的挑战

2.1 技术挑战的复杂性

动物源性食品真实性鉴别过程中会受到技术的影响。一,加工过程对靶标物质的破坏。深加工食品对鉴别技术构

成了极大的挑战,高温灭菌、高压处理、酸碱调节等工艺,会导致DNA片段化、蛋白质变性。二,复杂基质的干扰效应。实际食品样品极少是单一成分,往往包含了多种动植物成分、调味料、添加剂和加工助剂。这些成分会干扰目标物质的提取和检测。多糖、多酚,脂肪和盐分是最常见的干扰物质。多糖可与DNA结合,抑制PCR反应;多酚易氧化,并与蛋白质DNA形成复合物,降低提取效率;高脂肪含量影响DNA提取的纯度^[1]。

2.2 监管难度大

动物源性食品产业链条长,涉及环节多,从养殖、屠宰、加工到流通、销售,每个环节都可能存在真实性问题,给监管工作带来了巨大的挑战。而且追溯体系断裂和信息孤岛也会增加监管难度。理想的追溯体系应覆盖从农田到餐桌的全链条,但现实中,各环节信息记录标准不一,数据共享机制缺失,形成了多个信息孤岛。出现问题很难快速追溯问题源

【作者简介】丁永刚(1997-),男,中国湖北麻城人,本科,从事食品常规理化分析研究。

头,难以对违规企业进行精准追责。

2.3 检测标准体系不完善与不统一

健全统一的检测标准,是保证真实性鉴别工作规范化和标准化开展的基础,但目前来说,我国动物源性食品真实性检测标准体系还存在一些短板。一方面,部分鉴别项目缺乏明确的国家标准或行业标准,未形成统一的检测方法和判定标准,导致不同检测机构使用的方案参数存在差异,检测结果缺乏可比性。另一方面,现有的标准更新滞后于造假技术的发展,不法商家不断地创新造假手段。例如采用基因编辑技术,改变动物蛋白特征。现有的一些标准无法涵盖这些新型造假行为的鉴别方法,导致部分造假行为难以被有效识别。

3 动物源性食品真实性的鉴别方法

3.1 传统理化方法

传统理化鉴别方法是基于动物源食品的物理性质和化学组成差异开展真实性判断的一类方法。操作相对简单,成本低。物理性质测定法主要通过检测密度、折射率、水分含量、色泽、质地等物理指标,结合不同品种、产地食品的特性差异实行初步筛选。化学组成分析方法则是通过测定蛋白质、脂肪、氨基酸、矿物质等化学成分的含量或比例差异进行鉴别。该方法操作简单,成本低,可适用于现场快速筛查,但也存在一定的局限性。物理指标容易受加工工艺、储存条件影响,化学分析方法操作烦琐,检测周期长,仅能用于初步筛查。

3.2 分子生物学鉴别技术

分子生物学鉴别技术是建立在生物大分子特异性基础上,主要靶向DNA和蛋白质两类生物标志物。具有特异性强、灵敏度高、准确性好的优点,不会受到样品加工状态、储存条件等因素影响。主要技术方法有DNA-based技术、蛋白质组学技术。DNA-based技术方面,可以应用聚合酶链式反应(PCR)技术,该技术是分子鉴别的核心。常规PCR通过特异性引物扩增靶DNA片段,通过凝胶电泳分析产物大小进行物种判断,具有操作简单、成本低的优点,不过只能定性检测^[2]。实时荧光定量PCR技术是在PCR反应体系中加入荧光标记探针,实时监测扩增过程,兼具定性和定量功能,线性范围宽,是目前应用最为广泛的定量检测方法。多重PCR是在同一反应体系中加入多对特异性引物,同时检测多个物种。DNA条形码与高通量测序技术也可应用于动物源性食品真实性鉴别中。DNA条形码是利用标准化短基因序列作为物种分子身份证的生物信息学技术。高通量测序又称下一代测序,可对数百万条DNA片段进行平行测序。

DNA组学技术可以针对DNA在深加工中可能完全降解的困境进行解决。质谱蛋白质组学通过酶解蛋白质产生肽段,利用液相色谱-串联质谱,分析特征肽段。例如,可通过检测物种特异性肽段鉴别不同鱼类产品。蛋白质芯片是将

多种物种特异性抗体固定在芯片表面,通过免疫反应实现高通量并行检测的一种方法。

3.3 免疫学鉴别方法

免疫学鉴别方法是基于抗原与抗体的特异性结合反应,以动物源性食品中的特异性蛋白质为检测目标,通过检测抗原-抗体复合物的信号实现真实性鉴别。常用的技术分为酶联免疫吸附测定、免疫层析技术和免疫印迹技术三大类。

酶联免疫吸附测定技术是免疫学鉴定方法的核心技术,通过加上抗原/抗体固定在固相载体上,利用酶催化底物显示的信号放大效应,实现对目标抗原的定性与定量检测,具有特异性强、灵敏度高、可批量检测的优势^[3]。根据反应模式的不同,可分为双抗体夹心法、间接法和竞争法等,其中双抗体夹心法最适用于动物源性食品中特异性抗原的检测。例如在乳粉真实性鉴别中通过检测牛乳酪蛋白、羊乳酪蛋白的特异性抗原,可判断是否存在羊乳掺杂牛乳或反之。在肉类鉴别中检测牛肉肌红蛋白、猪肉血红蛋白等特异性抗原,可快速区分肉类品种。该方法成本适中、可批量检测、灵敏度高,不过会受环境影响,容易出现交叉反应。对加工度高的样品,蛋白质抗原性可能被破坏,检测灵敏度会下降。

免疫层析技术是一种快速可视化的检测技术,主要基于抗原-抗体特异性结合与毛细作用原理,实现了对目标抗原的定性检测。该方法具有操作简单、速度快、无需复杂设备的优势,是现场快速筛查的首选技术。例如,市场监管部门的现场巡查中可应用该技术,快速检测肉类是否掺杂。

免疫印迹技术结合了凝胶电泳的分离能力与抗原抗体结合的特异性,通过分离样品中的蛋白质组分,实现对目标抗原的精准定性检测。该技术具有特异性极高,可同时分析多种蛋白质的优势。在复杂样品鉴别中具有不可替代的优势。例如,在复合肉制品的鉴别中,可同时分离,检测多种肉类的特异性蛋白质,精准判断掺杂成分。在酶联免疫吸附测定结果出现假阳性的情况时,可应用该技术进行验证。

3.4 仪器分析鉴别方法

仪器分析技术通过测量食品的物理化学特征指纹进行鉴别,用于反映食品的整体化学成分的特性。不同物种、不同产地的食品,具有独特的代谢物组成、元素分布和光谱特征,通过模式识别,可建立鉴别模型。

应用色谱-质谱联用技术。高效液相色谱-质谱技术主要用于分析非挥发性和热不稳定性化合物,在肉类鉴别中常用于分析特征性肽段、核苷酸、维生素等,例如通过磷脂组成差异,鉴别不同禽肉种类。气相色谱质谱法主要用于分析挥发性和半挥发性化合物,在肉类鉴别中常用于分析脂肪酸、风味化合物等,例如通过脂肪酸组成区分反刍动物与非反刍动物肉。电感耦合等离子体质谱法,主要用于分析元素组成和同位素比值,通过元素指纹和稳定同位素比值,实现产地溯源。(如图1所示)

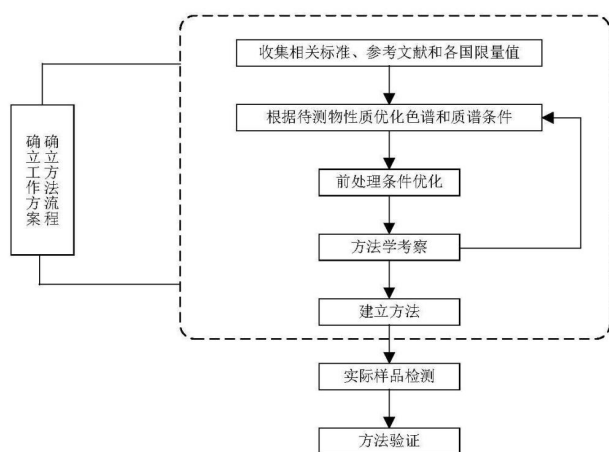


图1 检测技术流程

可应用光谱与成像技术。近红外光谱检测含氢基团的倍频与合频吸收，具有快速、无需前处理、可同时测定多种成分的优势，通过化学计量学建立鉴别模型，适合在线监测^[4]。拉曼光谱法，基于分子振动引起的非弹性散射开展鉴别工作，不会受到水的干扰，适合高水分样品。例如，可通过拉曼特征峰值区分正常肉与注水肉。高光谱成像主要结合了光谱学与数字成像技术，同时获取空间信息和光谱信息，实现肉类不同成分分布的可视化。例如，可以检测碎肉产品中的软骨、结缔组织等非肉成分。

4 动物源性食品真实性鉴别的管控措施

4.1 做好技术影响的控制

深加工食品对鉴别技术构成极大的挑战。针对这一问题，科研人员开发多种应对策略。可以应用微型条形码技术。该方法指的是选择更短的DNA片段作为靶标，提高从降解样品中成功提取和扩增的几率。可应用肽段质量指纹图谱，利用质谱检测特征性肽段，即便蛋白质变性，其酶解后的特征肽段仍可被识别^[5]。应用表观遗传标记，通过研究DNA甲基化模式等表观遗传标记，可以进行识别。这些标记在某些加工条件下，可能比DNA序列本身更加稳定。而为了应对复杂基质的干扰效应，现代检测方法改进了提取方案，例

如使用专门设计的裂解缓冲液、增加清洗步骤或者采用硅胶膜柱纯化技术。

4.2 完善监管体系

完善监管体系，强化多部门协同监管机制，明确农业、农村、市场监管、海关等部门的职责边界，建立信息共享、联合执法、案件移送的协同工作机制。构建全生命周期追溯体系，实现来源可查、去向可追。制定全国统一的动物源性食品追溯管理规范，明确具体的内容。通过规范管理，压实企业追溯主体责任，出现问题及时追责，可以规范市场行为。

4.3 统一检测标准

统一检测标准，是确保鉴别技术规范应用，检测结果权威可比的基础。针对当前部分品类缺乏标准的问题，要组织科研机构、行业协会企业联合开展标准制定工作，明确检测方法、技术参数、判定阈值等关键内容。针对同一鉴别项目存在多种检测方法的问题，要通过方法验证和比对实验，筛选出最优检测方法作为国家标准方法，统一引物设计、反应条件、检出限等技术参数。

5 结语

综上所述，动物源性食品真实性鉴别工作中存在一定的挑战，因此采取适当的措施优化控制，充分发挥传统理化鉴别方法、分子生物学鉴别方法、免疫学鉴别方法、仪器分析鉴别方法等优势，保障技术有效落地，规范市场秩序，保障食品安全，推动产业高质量发展。

参考文献

- [1] 李名路,梁飞燕,刘华文,等. 动物源性食品兽药残留监控要素分析及研究进展[J]. 现代食品科技,2025,41(4):382-395.
- [2] 陈秀英,李爱军,李明阳,等. 动物源性食品中兽药残留前处理及检测技术研究进展[J]. 中国畜牧兽医,2025,52(4):1914-1923.
- [3] 陈均,孙千然,黄玉坤,等. 动物源性食品中5种新型农药残留的气相色谱-串联质谱法测定[J]. 中国测试,2025,51(9):102-112.
- [4] 李玖锋,白玉,许瑞利,等. 动物源性食品中兽药残留检测技术研究现状及展望[J]. 食品安全导刊,2025(16):133-139.
- [5] 黄小真. 食品中8种动物源性成分恒温荧光快速鉴别方法的建立[J]. 现代食品,2025(9):224-228.

Study on Common Factors and Countermeasures Affecting the Accuracy of Food Physical and Chemical Testing

Mengyao Li Xiaorong Zeng Jiahong Liao

Shenzhen Jinyue Testing Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518100, China

Abstract

The effective implementation of physicochemical testing in food safety can better ensure food safety and promptly identify food issues. During the process of conducting physicochemical testing, sample management, instruments and equipment, reagents and materials, and environmental conditions all play a crucial role in the accuracy of test results. Under such circumstances, targeted management optimization and technical optimization are essential to control and manage the factors affecting the accuracy of physicochemical testing. Only in this way can the test results be guaranteed to be true, reliable, and accurate, which requires attention and emphasis. Staff members should strengthen the control of interfering factors through various methods, such as full life cycle management of samples, management of instruments and equipment, control of reagents and materials, and management of experimental environments, to obtain accurate and true test results.

Keywords

influencing factors; food; physicochemical testing; countermeasure analysis

影响食品理化检测准确度的常见因素与对策研究

李梦瑶 曾小容 廖嘉洪

深圳市金阅检测科技有限责任公司，中国·广东 深圳 518100

摘 要

食品理化检测工作的有效落实可以更好地保障食品安全，及时发现食品问题。而在食品理化检测工作开展的过程中样品管理、仪器设备、试剂材料和环境条件对于检测结果的准确性都会起到至关重要的影响，在这样的背景下针对性地做出管理优化和技术优化，做好理化检测准确度影响因素的控制和管理是十分必要的。只有这样才能保障检测结果真实、可靠、准确，需要引起关注和重视。工作人员通过样品全生命周期管理、仪器设备管理、试剂材料管控和实验环境管控等多种方式加强干扰因素控制，获得准确真实的检测结果。

关键词

影响因素；食品；理化检测；对策分析

1 引言

经济社会的迅速发展以及人们消费能力的不断提升使得现阶段人们的饮食结构发生了明显的变化，市场也在需求推动下产生了各种各样的食品，为确保人们的饮食安全，进行食品理化检测是十分必要的。而在食品理化检测中影响检测准确度的因素相对较多，具体体现在如下几个方面。

2 影响食品理化检测准确度的常见因素

2.1 样品管理

样品是食品理化检测过程中的重要物质基础，样品管理是否到位将会直接影响检测结果是否准确。而在样品管理

的过程中，若采样并未严格按照规范要求，未能坚持代表性和随机性原则则意味着样品无法有效反馈食品的真实质量。此外在样品运输及储存的过程中对环境控制不当，温度、湿度、光照等相应因素都会对目标分析物产生一定影响，导致样品理化性质检测的结果受到冲击。在食品理化性质检测的过程中还需要对样品进行粉碎、均质和缩分处理，满足后续实验要求，在这个过程中若样品管理不到位也很容易会出现交叉污染和挥发性成分损失等相应问题，这些也会影响检测结果^[1]。

2.2 仪器设备

仪器设备是食品理化检测的重要物质基础，仪器设备的状态与精度对于检测结果也会产生较大的影响。根据《中华人民共和国计量法》，应用于医疗卫生、环境监测、安全防护、贸易结算等方面的工作计量器具需强制检定。而在食品理化检测的过程中若并未对设备进行校准检测，则很容易

【作者简介】李梦瑶（2000-），女，中国山西忻州人，本科，助理工程师，从事食品质量与安全研究。

会影响设备功能的有效发挥,这些误差都会传递至最终结果。此外,若设备维护保养工作落实不到位则很容易会出现关键部件老化等相应问题,致使设备灵敏度大幅降低,这也会影响最终的检测结果。

2.3 试剂材料

试剂材料也会影响食品理化检测结果,出现结果偏差。若试剂纯度不达标,其中的杂质则会导致检测结果受到干扰,引发定性或定量失误。例如,在气相色谱或液相色谱分析中若色谱纯试剂不符合检验方法标准要求,其中的杂质则会在色谱图上产生干扰。而标准溶液的配制和标定错误也会引发结果偏差。尤其是在定量分析的过程中,若未严格按照逐级稀释原则则会产生巨大的累积误差,导致检测结果失真。

2.4 环境条件影响

在食品理化检测的过程中环境温度、湿度、洁净度和光照,对于检测结果也会产生较大影响。若温度、湿度控制不当,则很容易会影响化学反应速率、溶液体积膨胀系数及仪器设备性能,尤其是在高精度容量分析中环境条件的影响对于检测结果的影响更是不容忽视的。此外,实验室布局不合理引发交叉污染和微环境干扰的情况也是较为常见的。例如,强酸强碱挥发气体若扩散至精密仪器室则会腐蚀仪器电路板,导致检测结果受到干扰^[2]。

2.5 人员因素

工作人员始终是各项工作的最终落脚点和第一执行人,工作人员的素养能力对于食品理化检测也会产生较大的影响。而在影响因素分析的过程中可以从人员操作的主观性和熟练度两个维度来展开分析。主观性是指工作人员在实践工作落实的过程中是否端正工作态度或是否能够有效掌握关键控制点,了解最新的标准方法,避免因使用的处理方法滞后或主观态度不重视、出现马虎大意等相应情况影响检测结果。而熟练度则是指工作人员在理化检测过程中的操作手法,在手工操作的过程中必须通过操作规范的明确,确保操作手法一致。例如在滴定终点的颜色判断、移液管的放液速度、滤纸的折叠方式上,不同工作人员往往有明显的个体差异,这种差异在微量分析中可能会放大导致检测结果精度下降。

3 提升食品理化检测准确度的对策分析

3.1 规范样品管理

在样品管理工作落实的过程中必须从样品采集、运输、存储、制备等全过程出发,明确管理标准和管理要求。在样品采集的过程中应严格遵循随机抽样原则,根据相关规章制度和作业指导书坚持随机性和代表性原则重构采样流程、明确样品采集标准。同时需做好信息记录,明确样品采样地点、环境温度、样品包装状况等相应信息,为后续样品分析提供更多的信息参考和数据支撑。具体的采样规范还需视待检

测样品及组分的特性做出针对性调整,例如若待检测样品属于易变质样品则必须通过预处理,避免在运输存储过程中出现样品变质,例如可添加防腐剂或调节 pH 值等^[3]。

在样品运输及储存的过程中应建立冷链管理机制,确保样品运输时温度符合标准要求,例如冷冻样品需在零下 18℃ 进行运输,冷藏样品需确保环境温度在 0~4℃。在样品运输的过程中还需要加强样品存储容器管理,一般情况下可选用聚四氟乙烯、高密度聚乙烯等惰性材料,避免样品容器与样品发生吸附或反应情况。同时在样品运输的过程中还需要根据样品性质明确样品运输周期,优化运输路线,在规定的周期内将样品送至实验室,避免样品变质。在样品储存的过程中也需要加强环境管理,明确不同样品的存储要求。而在样品制备期间可选用均质设备保障样品制备效果,但需要注意在每次使用结束之后应彻底清洗验证,防止交叉污染。

3.2 强化仪器设备管理

仪器设备管理应坚持全员、全系统、全寿命原则,建立完善的量值溯源体系。工作人员需要做好仪器设备的分析,根据检测项目明确对检测结果有显著影响的相关设备,例如玻璃量器、温度计、天平、色谱仪等^[4]。根据不同仪器设备的购入时间、老化程度及常见的仪器设备问题来确定仪器设备的检定周期和校准规范。例如电子天平每年需落实一次外部检定,核查频率应根据设备稳定性确定,一般情况下可每三个月进行一次。为确保设施设备始终处于最佳运转状态,可建立设施设备维修保养机制,定期定向落实维修保养工作。同时,当设备可能对检测结果有影响时应进行期间核查。为确保核查的有效性,可引入仪器设备期间核查作业表对关键性能指标进行量化核查,如表 1 所示。

表 1: 仪器设备期间核查作业表

核查项目	核查标准 / 方法
水平状态	观察水平仪气泡位置
重复性	加载 100g 标准砝码,重复称量 6 次
偏载误差	在秤盘 4 个象限及中心加载 100g 砝码
回零误差	空载与加载后回零读数比对
核查结论	设备运行正常,满足检测要求。

3.3 试剂材料管理

试剂和标准物质管理可以有效消除检测误差,而在试剂材料管理上需从采购、验收、配置全过程进行管控。在验收环节,应制定明确的试剂验收标准,确定不同试剂验收期间应注意的问题^[5]。例如对于色谱纯试剂需通过上机测试确认无干扰峰,对于实验用水需每日监测电导率和吸光度,对于标准物质需采购有证标准物质并在有效期内使用。在标准溶液配置的过程中应确立明确的流程,可从试剂称取、溶解与转移、标定操作、副标验证、有效期管理等多个维度,来明确核查内容和标准要求,如表 2 所示。

表 2：标准溶液关键步骤及核查重点

关键步骤	核查内容与标准要求
试剂称取	使用万分之一天平，称样量满足滴定体积在 20-30ml 之间
溶解与转移	使用 A 级容量瓶，定容温度控制在 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，摇匀次数 ≥ 20 次
标定操作	平行标定次数 ≥ 4 次，极差 $\leq 0.1\%$ ，双人双平行
复标验证	配制人与复标人结果相对偏差 $\leq 0.2\%$
有效期管理	贴标注明配制人、日期、浓度、有效期，常温避光保存

3.4 加强人才管理

人才管理可以为食品理化检测提供支撑，确保各项工作落实的规范性、科学性和适切性，降低人为因素对检测结果所产生的影响和冲击，因此加强人才管理也是十分必要的。而在人才管理上需抓住如下几个关键点。首先需要提高人才准入门槛，在人才招聘的过程中，需确保相关工作人员接受过专业系统的培训，对于食品理化检测流程、方法、技巧有较为全面的了解和掌握，能够有效解决实践工作中的各种问题。在此基础之上需通过加强人员培训的方式，不断提高相关工作人员的业务能力和专业素养。在人员培训上需丰富培训内容。一方面通过培训内容优化帮助相关工作人员更好地明确最新的检测规范、标准以及技术方法和最新检测仪器设备的操作方法，提高相关工作人员的业务能力。另一方面需通过培训内容优化及调整加强观念意识培训，端正相关工作人员的工作态度，让相关工作人员认识到食品理化检测的重要性与影响，在实践工作开展的过程中自觉规范工作行为。同时也可通过适当提升检测培训频次，利用理论化、系统化、周期性培训提高培训效果。在此基础之上，可建立责任机制、奖惩机制等相应规章制度，这对于人员工作行为规范、态度端正也会起到至关重要的影响。在责任机制建设的过程中需明确食品理化检测全过程中不同工作人员负责

的工作内容、应遵循的工作标准、需要规避的工作问题，做好责任划分，确保食品理化检测各项工作推进的规范性。配合区块链技术做好食品理化检测全过程数据的整合，若发现检测结果的准确性受到影响，则可借助区块链技术完成责任溯源，然后联动奖惩机制，对于能够有效落实食品理化检测工作任务、保证各项工作落实规范性、科学性的工作人员可适当予以资金奖励、精神奖励，让相关工作人员在实践工作开展的过程中可以自主规范自身工作行为^[6]。

4 结语

在食品理化检测的过程中影响检测结果准确性的因素是相对较多的，如环境条件、样品管理、仪器设备、试剂材料等等，为确保食品理化检测结果的准确性、真实性和可靠性，更好地反馈食品的实际情况，相关单位必须结合理化检测项目及检测流程做好各因素的管理和控制，保障检测结果真实、准确、可靠。

参考文献

- [1] 彤茵,于洪建. 影响食品理化检测结果准确度因素分析 [J]. 中外食品工业, 2024, (14): 60-62.
- [2] 苏建树,郝博,高红霞,等. 影响食品理化检验检测准确性的因素及提高检验结果准确度的方法 [J]. 中外食品工业, 2024, (10): 69-71.
- [3] 乔玲. 影响食品理化检测中准确度因素分析 [J]. 中外食品工业, 2024, (08): 67-69.
- [4] 齐梅. 探究影响食品理化检验检测准确性的因素及提高检验结果准确度的方法 [J]. 现代食品, 2024, 30 (06): 28-30. .
- [5] 王书红. 食品理化检测准确度提升策略 [J]. 食品界, 2021, (01): 99.
- [6] 李佰玲. 食品理化检测中准确度影响因素的研究 [J]. 食品界, 2017, (10): 52.

Construction and Application Research of an Artificial Intelligence-Based Food Microbiological Detection Result Interpretation System

Bing Yu Shengping Fan

Microspectrum North Testing and Certification (Shandong) Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266000, China

Abstract

To address the issues of long interpretation cycles, low accuracy, and poor efficiency in traditional manual food microbiological testing, this study constructed and applied an artificial intelligence-assisted interpretation system. Through requirement analysis, clear requirements were defined, and a hierarchical architecture and core modules were designed. Multi-channel data collection and preprocessing were completed, and a convolutional neural network was optimized for image recognition. A combined interpretation model of support vector machine and decision tree was constructed. After case verification and multi-dimensional evaluation by enterprises and testing institutions, the system achieved a microbial identification accuracy rate of over 97% and a result judgment accuracy rate of 98%. The detection cycle was significantly shortened, efficiency was significantly improved, and costs were reduced. This system provides reliable technical support for food safety supervision and has broad prospects. At the same time, it points out the deficiencies in data coverage and algorithm generalization, as well as future improvement directions.

Keywords

artificial intelligence; food microbiological testing; convolutional neural network; machine learning

基于人工智能的食品微生物检测结果判读系统构建与应用研究

于冰 范圣萍

微谱北方检测认证（山东）有限公司，中国·山东 青岛 266000

摘要

为解决传统人工食品微生物检测判读周期长、准确率低、效率差的问题，本研究构建并应用人工智能辅助判读系统。通过需求分析明确要求，设计分层架构及核心模块；完成多渠道数据采集预处理，优化卷积神经网络用于图像识别，构建支持向量机与决策树结合的判读模型；经企业与检测机构案例验证及多维度评价，系统微生物识别准确率超97%、结果判断准确率达98%，检测周期大幅缩短，显著提升效率、降低成本。该系统为食品安全监管提供可靠技术支持，前景广阔，同时指出数据覆盖、算法泛化等不足及未来改进方向。

关键词

人工智能；食品微生物检测；卷积神经网络；机器学习

1 引言

食品安全关乎公众健康与社会稳定，食品微生物检测是关键保障，但传统人工判读方式存在周期长、准确率低、效率差等弊端，难以适配行业发展需求。人工智能技术的飞速发展为解决这一问题提供了新思路，其辅助判读系统可显著提升检测效率、准确性并降低长期成本，具有重要现实意义。国内外相关研究已取得一定成果，但仍存在实验室研究为主、评价标准缺失、数据共享不足等问题。本研究旨在构

建高效准确的人工智能辅助食品微生物检测结果判读系统，将通过数据收集预处理、算法筛选、系统开发及性能评估实现目标，采用文献研究、案例分析与实验研究相结合的方法，按“数据获取-预处理-模型训练-系统开发-评估优化”的技术路线推进。

2 人工智能辅助判读系统的需求分析与设计

2.1 系统需求分析

系统的功能需求主要包括数据采集、图像识别、结果分析和风险预警四方面，其中数据采集功能需支持从酶标仪、PCR仪等专业检测仪器获取微生物量化检测数值，从

【作者简介】于冰（1990-），女，中国山东泰安人，硕士，工程师，从事食品微生物检验研究。

实验室信息管理系统 (LIMS) 获取食品种类、来源等样本背景信息, 通过专业显微镜相机等设备获取清晰的微生物菌落图像, 还能从科研文献数据库提取有用信息辅助分析判读; 图像识别功能需借助深度学习算法精准识别不同微生物的菌落形态、大小、颜色等关键特征, 如区分营养琼脂上大肠杆菌的灰白色光滑圆形菌落与金黄色葡萄球菌的金黄色光滑凸起菌落, 并准确计数菌落数量以提供量化数据; 结果分析功能要对采集数据和识别结果进行全面深入分析, 结合食品安全标准判断食品微生物污染情况及程度, 分析污染源与传播途径, 同时生成包含检测基本信息、结果、结论及建议的详细检测报告^[1]; 风险预警功能则需根据微生物危害程度、食品流通范围等因素评估食品安全风险等级, 当检测到高风险致病微生物超标时, 及时向监管部门、生产企业及消费者发出包含风险类型、程度、危害及应对措施的预警信息。系统的性能需求涵盖准确性、稳定性、实时性和可扩展性, 准确性方面, 微生物种类识别准确率需达 95% 以上, 菌落计数误差控制在 $\pm 5\%$ 以内, 结果判断准确率达 98% 以上; 稳定性方面, 需能长时间连续稳定运行, 适应不同软硬件环境, 具备良好容错能力, 可处理异常数据和操作失误; 实时性方面, 常规检测需在 1 小时内完成数据采集、图像识别、结果分析及报告生成的全流程; 可扩展性方面, 硬件上支持新检测仪器接入, 软件上便于添加新算法模型和分析功能, 以适应行业发展和检测需求变化。

2.2 系统总体设计

本系统采用数据层、算法层、应用层的分层架构设计, 各层通过接口交互协作, 实现人工智能辅助食品微生物检测结果判读功能, 具备良好的可维护性、可扩展性与灵活性, 便于开发部署升级。数据层为系统数据基础, 负责数据存储、管理及与外部数据源交互同步, 包含存储仪器信号、微生物图像等原始数据的原始数据存储库, 以及存储经清洗、标注、特征提取后数据的预处理数据存储库。算法层是系统核心, 实现各类 AI 算法模型并处理数据, 含机器学习、深度学习及专家系统模块, 承担模型训练优化以提升准确性。应用层为用户交互界面, 提供数据采集、图像识别、结果判读、风险预警、报告生成等功能, 同时具备用户管理与权限控制保障安全。系统核心模块包括四部分: 数据采集模块从检测仪器、LIMS 系统等多源采集数据, 兼具数据校验预处理功能; 微生物图像识别模块基于深度学习算法, 实现菌落特征提取、种类识别与数量计数, 采用数据增强技术提升模型泛化能力; 结果判读模块结合检测结果与安全标准综合判读, 分析污染风险并给出处理建议; 数据库管理模块采用关系型数据库结构化存储数据, 负责数据查询、备份等管理操作, 同时管控用户权限保障系统安全。

3 关键技术实现

3.1 数据采集与预处理

高质量数据是构建人工智能辅助判读系统的基础, 数

据采集分为图像与检测数据两类: 图像数据借助专业显微镜及高分辨率 CCD/CMOS 相机获取, 将微生物样本制备于载玻片后, 根据微生物大小调整显微镜放大倍数 (常见细菌用 1000 倍油镜), 拍摄不同生长阶段微生物以保证数据多样性; 检测数据来源于多种仪器与方法, 恒温培养箱培养样本后通过平板计数等方法记录菌落数量, PCR 仪结合凝胶电泳等技术确定微生物含量, 酶标仪通过 ELISA 实验定量检测微生物或其代谢产物, 所有检测均设重复实验并统计分析去除异常值以保障数据可靠。采集数据含噪声, 需经清洗处理: 图像数据的高斯噪声用高斯滤波平滑去除, 椒盐噪声用中值滤波处理并保留边缘细节; 检测数据通过审核验证剔除超出量程或不符合实际的异常值。图像标注是模型训练关键, 由专业人员按规范标注微生物种类、菌落形态、大小、颜色等信息, 采用多人标注与交叉审核保障准确性, 标注数据作为训练数据助力模型学习微生物特征模式, 实现新图像的准确识别分类。

3.2 微生物图像识别算法

卷积神经网络 (CNN) 是微生物图像识别的核心模型, 其通过卷积层、池化层、全连接层及激活函数的组合, 适配空间结构图像数据的特征提取与分类。预处理标注后的微生物菌落图像输入后, 卷积层通过卷积核滑动卷积提取边缘、纹理等特征, 深层卷积层可学习更抽象的微生物类别相关特征; 池化层 (最大值 / 平均值池化) 对特征图下采样, 减少计算量并保留关键特征, 提升模型对图像变换的不变性; 全连接层将特征图展平后与输出层全连接, 经激活函数 (如 ReLU) 非线性变换输出分类结果, 确定微生物类别概率^[2]。为提升识别准确性与效率, 需对 CNN 算法优化改进: 网络结构调整可增加深度 (卷积层 / 全连接层数量) 和宽度 (卷积核数量) 提升模型表达能力, 但需平衡性能与计算资源, 避免过拟合; 参数优化关键在于动态调整学习率 (如指数衰减调度器) 保障收敛, 调整 L2 正则化参数 (weight_decay 0.001-0.01) 防止过拟合; 数据增强通过旋转、缩放、裁剪等操作扩充训练数据集, 增强模型泛化能力。结合三类优化方法, 可显著提升算法性能, 适配食品微生物检测判读需求。

3.3 结果判读模型构建

在微生物检测结果判读与风险评估中, 支持向量机 (SVM) 和决策树是核心机器学习模型。SVM 基于统计学习理论, 通过核函数将低维检测数据映射到高维空间, 寻找最优分类超平面实现数据间隔最大化分类, 可输入微生物种类、数量及食品属性等特征, 适配二分类问题, 泛化能力强且适合小样本处理。决策树以树形结构递归划分数据集, 依据菌落数量、生长速度等检测指标构建节点, 直观易理解, 能清晰展示决策过程, 可处理多分类问题, 适配多种微生物混合污染的综合判读。模型训练需以涵盖不同食品、微生物污染情况及检测指标的数据集为基础, 按 70%-80%、10%-15%、10%-15% 的比例划分为训练集、验证集和测试集;

训练中需调整模型参数,如 SVM 的核函数类型、惩罚参数 C 等,通过验证集评估筛选最优参数组合。模型验证采用准确率、召回率、F1 分数等指标,准确率反映整体预测准确性,召回率保障污染样本检出避免漏检,F1 分数综合二者评估性能;结合交叉验证方法,将数据集分为 K 个子集循环训练验证取均值,提升评估可靠性。通过参数优化与有效训练验证,可提升模型性能,为食品安全监管提供可靠技术支持。

4 案例分析

4.1 案例一:某乳制品企业微生物检测结果判读系统应用

某大型乳制品企业生产规模大、产品品类全,乳制品易滋生微生物致变质或引发食源性疾病,故对原奶采购、生产加工、成品储运等全环节微生物检测要求极高,需检测多种致病菌及有害微生物,执行严于国标的内部标准,对检测准确性、及时性和高效性需求迫切。为满足需求,企业引入人工智能辅助食品微生物检测判读系统,升级改造检测实验室、对接先进检测仪器实现数据自动采集传输,并整合信息化系统获取生产全流程信息支撑分析。系统应用成效显著:检测效率大幅提升,传统人工判读 50 个样本需 2-3 天,系统将全流程缩短至 1 天内,效率提升超 50%,可快速监控生产、规避不合格产品批量生产;长期成本显著降低,检测人员减少 30%,减少人工失误带来的重复检测成本,同时降低质量问题引发的召回赔偿损失;准确性大幅提高,1000 个样本检测中常见微生物识别准确率超 98%,优于传统人工的 90%,可准确区分易混淆微生物,提升产品质量稳定性,增强消费者信任,为企业可持续发展奠定基础^[2]。

4.2 案例二:某食品检测机构的实践

某综合性第三方食品检测机构面向多方提供检测服务,业务具显著多样性与样本复杂性:业务涵盖粮食制品、肉制品等全食品品类检测,不同品类食品成分、工艺及污染风险差异大;样本来源广泛含成品、原料等,部分基质复杂含干扰成分,部分微生物含量极低,且样本采集保存条件各异,对检测技术与流程要求极高。针对上述特点,对人工智能辅助检测判读系统进行适配优化:适配方面,评估改造现有仪器并开发专用接口实现数据自动传输,优化扩展检测项目库与参数设置,为不同品类食品检测建立专属模块与判读规则;优化方面,采用先进预处理技术去除复杂基质干扰,引入深度学习弱信号增强算法提升低含量微生物检测灵敏度,建立样本质量评估模型修正检测结果。系统应用成效显著,多品类多项目样本检测周期从 5-7 天缩短至 3-4 天,提升服

务响应速度;5000 个复杂样本检测总体准确率超 96%,减少误漏判,增强机构信誉与竞争力,为食品安全监管提供更有利技术支撑^[3]。

5 系统评价与展望

为全面验证系统的实用价值,为后续推广应用提供科学依据,本研究从准确性、可靠性、效率、易用性四维度设定评价指标评估系统性能。结果显示,系统对 1000 个食品样本的微生物种类识别准确率达 97%、检测结果判断准确率达 98%,较传统人工分别提升 10% 和 8%;99% 测试次数中稳定运行,结果一致性超 98%;处理 1000 条数据平均仅需 3 分钟,检测周期从 48 小时缩短至 8 小时内,效率显著提升;85% 检测人员认可其界面友好、操作简便。系统应用前景广阔,可助力监管部门快速获取可靠决策依据,强化食品供应链全流程监管,提升监管精准度;帮助企业提升质量控制水平,缩短产品上市周期,增强市场竞争力。推广中面临技术、法规、成本挑战,需针对性施策:技术上需适配新检测技术与食品基质差异,加强产学研合作优化算法、建立干扰数据库;法规上需完善相关标准明确结果法律效力,借鉴国际经验推动法规接轨;成本上需通过政府扶持、开发通用平台、建立运维合作机制,有效降低中小微企业及检测机构的应用门槛。

6 结论

本研究成功构建人工智能辅助食品微生物检测判读系统,完成多渠道检测数据的收集与规范化处理,选定并优化卷积神经网络算法(识别准确率超 97%),设计分层架构及核心功能模块,经实践验证显著提升检测效率、降低成本。研究仍存在特殊食品与罕见微生物数据覆盖不足、复杂场景算法泛化能力有限、系统与现有流程融合不紧密等问题。未来将拓展数据来源并强化标注质控,探索新 AI 算法与多模态数据融合技术,优化系统功能适配实际流程,可引入区块链保障数据安全追溯,推动检测领域智能化发展。

参考文献

- [1] 刘英.人工智能在食品微生物检测中的应用[J].食品安全导刊,2025,(11):128-130.
- [2] 朱健新.人工智能技术在食品微生物检测中的应用研究[J].中国食品工业,2025,(20):92-93.
- [3] 李宏双.新技术在食品微生物检测中的应用现状及发展方向[J].工业微生物,2025,55(4):86-88.DOI:10.3969/j.issn.1001-6678.2025.04.023.

Research on the Application of Food Inspection Technology in Food Quality and Safety Control

Haoyu Luo

Yunnan Zhaotong Center for Disease Control and Prevention, Zhaotong, Yunnan, 657000, China

Abstract

Food quality and safety are important foundations for public health governance and high-quality development of regional industries. Food inspection technologies play a key supporting role in risk identification, quality determination, and regulatory decision-making. Based on the needs of food quality and safety control, this paper systematically sorts out the technical functions of food inspection technologies in physical and chemical analysis, microbial detection, and rapid screening, and clarifies their role mechanisms in the food safety control system. Combining with Yunnan's regional characteristics of rich ecological resources, diverse agricultural product types, and concentrated ethnic 特色 foods, this paper analyzes the impact of plateau environment, traditional processing methods, and circulation conditions on the morphological characteristics of food safety risks, and further explores the adaptive requirements and practical value of food inspection technologies in food quality and safety control in Yunnan.

Keywords

food inspection technology; food quality and safety; risk control; regional characteristics; Yunnan

食品检验技术在食品质量安全控制中的应用研究

罗浩瑜

云南昭通疾病预防控制中心，中国 · 云南 昭通 657000

摘 要

食品质量安全是公共健康治理与区域产业高质量发展的重要基础，食品检验技术在风险识别、质量判定与监管决策中发挥着关键支撑作用。立足食品质量安全控制需求，系统梳理食品检验技术在理化分析、微生物检测及快速筛查等方面的技术功能，阐明其在食品安全控制体系中的作用机理。结合云南地区生态资源丰富、农产品类型多样、民族特色食品集中的区域特征，分析高原环境、传统加工方式与流通条件对食品安全风险形态的影响，进一步探讨食品检验技术在云南食品质量安全控制中的适配要求与现实价值。

关键词

食品检验技术；食品质量安全；风险控制；区域特色；云南

1 引言

随着食品产业链条不断延伸和消费结构持续升级，食品质量安全问题呈现出风险类型多元化、发生环节复杂化的特征，对食品安全监管体系和技术支撑能力提出了更高要求。食品检验技术作为食品质量安全控制的重要技术手段，是实现风险识别前移、问题溯源精准和监管决策科学化的关键基础。云南昭通地形复杂、生态环境多样，特色农产品和民族传统食品种类丰富，原料来源分散、加工方式差异明显，在提升食品品质的同时，也形成了具有区域特征的食品安全风险结构。在此背景下，系统研究食品检验技术在食品质量

安全控制中的作用，并结合云南昭通食品安全实际探讨其技术适配与控制重点，对于提升区域食品安全治理能力具有现实意义。

2 食品检验技术在食品质量安全控制中的基础支撑作用

2.1 食品检验技术在食品质量安全体系中的功能定位

食品检验技术是食品质量安全体系中承担技术判定和事实支撑的重要组成部分，其核心功能在于通过科学检测手段对食品污染状况进行客观反映，为安全控制措施的制定提供可靠依据。食品从生产、加工到流通和消费各环节均存在质量风险隐患，食品检验技术通过对关键指标的检测与分析，将食品安全问题由经验判断转化为数据支撑，实现质量状态的可量化表达。在食品质量安全体系中，检验技术不仅

【作者简介】罗浩瑜（1986-），男，中国云南昭通人，本科，理化检验师（中职），从事食品检验技术与质量管理研究。

承担结果判定功能，还在风险评估、标准执行和监管反馈中发挥基础支撑作用，是连接食品生产实际与监管决策的重要技术纽带^[1]。

2.2 食品检验技术对食品质量风险识别与预警的支撑作用

食品质量风险具有隐蔽性和累积性特征，单纯依靠感官判断难以及时发现潜在问题，食品检验技术通过对理化指标和微生物指标的检测，为风险识别提供科学路径。通过对异常数据的监测与比对，可以提前捕捉食品质量变化趋势，为风险预警提供技术依据。检验结果的动态积累有助于形成风险判别基础，使食品安全控制由事后处置向前端防控延伸。食品检验技术在风险识别与预警中的作用，体现为对食品质量变化的敏感响应和对风险信号的技术放大，是食品安全管理中不可替代的技术支撑^[2]。

2.3 食品检验技术对食品安全应急处置的关键支撑

在食品安全突发事件（如群体性食物中毒、食品污染事件）处置中，食品检验技术发挥着“精准溯源、科学判定”的核心作用。昭通市山区地形复杂，部分乡镇交通不便，突发事件处置响应时间受限，疾控系统需依托快速检验技术，在短时间内锁定致病因子（如沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、亚硝酸盐等），为风险评估、溯源追踪与应急处置措施制定提供即时技术支持。检验结果的准确性与时效性直接影响突发事件的处置效率，是保障公众健康、降低危害扩散的重要技术保障。

3 食品质量安全控制中食品检验技术的技术构成与检测重点

3.1 食品质量安全控制对理化检验技术的核心需求

理化检验技术通过对食品成分、添加物及理化性质进行检测，是食品质量安全控制的重要技术基础。食品在生产加工过程中涉及多种物理和化学变化，理化指标能够直观反映食品质量状态及其稳定性。通过对残留物、营养成分和理化参数的检测，可以判断食品是否符合相关质量要求，为质量控制提供量化依据。理化检验技术在食品质量安全控制中的作用，体现在对关键质量指标的精准测定上，是保障食品品质和安全水平的重要技术手段。

3.2 食品质量安全控制中微生物检测技术的关键作用

微生物污染是影响食品质量安全的重要因素，微生物检测技术在食品安全控制中承担着风险识别和安全判定的关键任务。食品在原料处理、加工储存和运输过程中容易受到微生物影响，微生物检测结果能够反映食品卫生状况及潜在安全隐患。通过对菌落数量和致病微生物情况的检测，可以为食品安全风险控制提供直接依据。微生物检测技术的有效应用，有助于强化食品安全底线控制，是食品质量安全体系中不可或缺的技术组成。

4 云南地区食品安全特征及食品检验技术适配要求

4.1 昭通特色农产品食品安全风险的区域特征

昭通市地处云南东北部低纬高原，山区面积占比超96%，立体气候显著，昼夜温差大、光照充足的自然条件孕育了苹果、马铃薯、高原蔬菜、茶叶、中药材等特色农产品集群。全市农作物种植面积超400万亩，其中苹果种植面积突破100万亩，年产量达150万吨以上，高原蔬菜年外销量占云南东北部区域市场份额的35%以上，茶叶、中药材种植分散于各县区山区。此类区域特征要求食品检验技术需针对性强化：检测项目上聚焦本地高频使用农药品种与特征污染物，检测频次向雨季、山区产区倾斜，技术选择上优先配置适配复杂基质样品的高精度检测手段，以应对农产品风险的动态波动。

4.2 民族特色食品与传统食品加工环节的安全控制特点

昭通市居住着彝族、回族、苗族等25个少数民族，少数民族人口占比超10%，形成了以彝族腌制肉制品、回族发酵乳制品、传统豆制品发酵食品等为代表的特色食品体系。这些食品的生产模式以家庭作坊和小型加工点为主，占比超70%，生产条件参差不齐，加工工艺依赖传统经验。由于加工过程标准化程度低，食品安全控制高度依赖后端检验验证，这就要求食品检验技术在常规微生物、理化指标检测基础上，强化对传统工艺关键节点的动态监测能力，增加亚硝酸盐、添加剂等指标的检测覆盖。

4.3 生态环境与产业结构对食品检验技术提出的特殊要求

昭通市森林覆盖率达48.3%，境内金沙江、牛栏江等流域为重要水源涵养区，生态环境承载能力较强，绿色食品、有机产品发展势头良好。“昭通苹果”“昭通马铃薯”等地理标志产品市场认可度高。生态环境优势对食品质量安全提出了“底线安全+品质提升”的双重要求，食品检验不仅需覆盖农药残留、致病菌等安全底线指标，还需强化产地环境关联指标（如土壤重金属背景值、灌溉水水质）的协同检测。这一特征对食品检验技术提出双重要求：一方面需提升检验结果的时效性，满足食品的快速筛查需求；另一方面需完善检验数据的可追溯性，建立全流程质量控制体系，为区域特色食品产业高质量发展提供技术支持^[3]。

5 食品检验技术在云南食品质量安全控制中的运行机制

5.1 食品检验技术在云南食品生产与流通环节中的协同运行

在食品生产与流通环节，云南逐步形成以检验技术为支撑的质量控制协同机制。生产环节中，重点食品企业和农产品基地按照质量控制要求开展自检与委托检验，检测项目

覆盖主要安全指标,检测频次与生产批次保持匹配。流通环节中,批发市场和集散中心普遍配置快速检测设备,对蔬菜、水果等高频流通食品进行现场筛查,单个检测周期控制在30分钟以内。相关数据显示,快速检测年均实施次数超过200万次,有效提升了风险排查效率。检验技术在生产与流通环节的协同运行,构建起食品质量安全控制的连续技术链条,降低了风险在流通过程中的扩散概率。

5.2 食品检验技术在云南食品安全风险防控中的支撑机制

食品检验技术在云南食品安全风险防控中发挥着基础支撑和技术保障作用,其运行机制体现为数据积累、趋势分析与风险反馈的闭环模式。通过对多年检测数据的汇总分析,可以识别高风险品类和重点时段,为监管资源配置提供依据。以蔬菜和水产品为例,风险监测数据显示,部分指标在雨季和高温季节出现阶段性波动,检验数据成为调整抽检重点的重要参考。检验技术支撑下的风险防控机制,使监管措施更具前瞻性,有助于将食品安全风险控制在早期阶段,体现出技术在区域食品安全治理中的核心支撑价值^[4]。

6 提升食品检验技术在云南食品质量安全控制中作用效能的路径

6.1 构建本地化精准检验技术体系

围绕昭通市食品结构特征与风险分布,优化检验技术配置与项目组合。针对特色农产品,重点升级色谱-质谱联用技术、电感耦合等离子体质谱技术,提升农药残留、重金属、真菌毒素的检测精准度与效率;针对民族传统食品,完善微生物快速检测技术(如飞行时间质谱技术、实时荧光定量PCR技术)与理化指标联合检验方案,强化亚硝酸盐、添加剂等特色指标检测;针对流通环节,扩大便携式快速检测设备的应用范围,推广免疫分析、比色法等快速检验技术,实现高频风险项目的现场快速筛查。同时,建立检验技术动态调整机制,根据本地风险监测结果与产业发展变化,及时新增或优化检测项目,确保技术体系与实际需求精准适配。

6.2 推动检验技术与监管制度深度融合

将食品检验技术应用与食品安全监管制度、公共卫生治理体系深度衔接。一是将疾控系统的检验数据纳入食品安全风险分级管理体系,根据检验结果确定食品生产经营主体的风险等级,实现监管资源精准配置;二是将高频超标项目、

重点风险品类纳入下一年度食品安全风险监测计划与监管重点清单,形成“数据-研判-优化”的动态调整模式;三是完善检验结果应用的法律法规与制度保障,明确检验数据在行政执法、应急处置、责任认定中的法律效力,畅通数据转化渠道。通过制度保障,充分发挥检验技术的支撑作用,实现技术效能与制度效能的协同提升^[5]。

6.3 加强检验技术创新与科研转化

鼓励疾控系统与高校、科研机构、企业开展产学研合作,聚焦昭通市食品安全突出问题,联合开展检验技术攻关,如复杂基质样品前处理技术优化、特色污染物快速检测方法研发等。同时,积极引进国内外先进检验技术与设备,进行本地化适配与改良,提升技术的实用性与可操作性。推动科研成果向实际应用转化,将研发的快速检测方法、优化的检验流程推广至基层疾控机构,提升全系统检验技术的整体水平。此外,加强检验技术科普宣传,向公众普及食品安全检验知识与风险识别方法,引导公众科学消费,营造良好的食品安全社会共治氛围。

7 结语

食品检验技术是食品质量安全控制体系中不可或缺的技术支撑,其科学性和适配性直接影响食品安全治理成效。立足云南地区食品结构多样、生态环境复杂和民族特色食品集中的实际情况,系统分析食品检验技术在质量安全控制中的作用机制与运行路径,有助于提升区域食品安全风险防控的针对性与有效性。通过持续完善检验技术体系、强化基层技术能力,并推动技术手段与监管制度深度融合,能够进一步夯实云南食品质量安全控制基础,为区域食品产业健康发展和公众饮食安全提供稳定保障。

参考文献

- [1] 王贺.微生物检测技术与质量控制在食品检验中的应用[J].黑龙江科学,2025,16(23):28-31.
- [2] 王宁.食品检验机构加强检验工作质量管理的探讨[J].产品可靠性报告,2025,(12):113-114.
- [3] 戚建忠,朱绍吉,王智,王家芳.食品检验检测机构的质量管理问题优化研究[J].中外食品工业,2025,(23):89-91.
- [4] 赵婷婷.食品检验检测的质量控制及细节问题分析[J].现代食品,2025,(22):195-197.
- [5] 林卫先.食品安全检验检测质量管理的问题及对策探讨[J].食品安全导刊,2025,19(33):41-43.

Construction of Quality and Safety Control System in Food Processing

Xiaoxin Li

Shuanghui Investment Development Co., Ltd., Luohe, Henan, 462000, China

Abstract

As global food safety challenges intensify, quality and safety management in food processing has become paramount. The food production process involves multiple stages—from raw material procurement to final product quality control—each of which directly impacts the safety and quality of the end product. To enhance food safety management, this paper proposes a comprehensive quality and safety control system for food processing. By integrating risk assessment, identification and monitoring of critical control points, and effective quality testing methods, the system establishes a structured framework. This approach effectively reduces the risk of food safety incidents and safeguards consumer health.

Keywords

food processing; quality and safety; control system; risk assessment; quality control

食品加工环节质量安全管控体系构建

李小鑫

双汇投资发展股份有限公司，中国·河南 漯河 462000

摘要

随着全球食品安全问题日益严峻，食品加工环节的质量安全管控显得尤为重要。食品加工涉及多个环节，从原材料采购到最终产品的质量控制，每个环节的管控直接影响到最终产品的质量与安全。为了提高食品安全管理水平，本文提出了一种食品加工环节质量安全管控体系，基于风险评估、关键控制点的识别与监控，以及有效的质量检测手段，构建了一个系统的质量安全管控框架。该体系能够有效降低食品安全事故的发生风险，保障消费者的健康。

关键词

食品加工；质量安全；管控体系；风险评估；质量控制

1 引言

随着全球食品安全问题的加剧，食品质量安全管理已成为世界各国政府、食品生产企业及消费者关注的焦点。近年来，食品安全事件频发，不仅严重影响了公众的消费信心，也给食品行业带来了巨大的负面影响。食品加工环节作为食品生产的核心环节，对食品的安全性和质量具有决定性作用。然而，由于生产环境复杂、加工工艺多样、原料来源不一等多方面因素，食品加工过程中不可避免地存在各种质量安全隐患。因此，建立科学合理的食品加工环节质量安全管控体系，及时发现并有效控制这些风险，显得尤为重要。目前，国内外在食品加工质量安全管理方面已有一定的研究和应用。例如，基于 HACCP（危害分析与关键控制点）原理的质量安全管理体系已在全球广泛应用。然而，随着

食品加工技术的不断进步和市场需求的不断变化，传统的管理模式面临着新的挑战。为了适应这些变化，必须构建更加灵活、智能化的质量安全管控体系，以确保食品加工环节的安全性和稳定性。本文将从食品加工环节的质量安全问题入手，探讨构建适应现代化食品加工生产的质量安全管控体系的方法，并通过具体的案例分析，展示该体系在实际生产中的应用效果，最终为食品行业的质量安全提升提供理论支持和实践依据。

2 食品加工环节的质量安全问题概述

2.1 食品加工过程中的质量安全风险来源

食品加工过程中，涉及原材料的采购、生产加工、储存运输及销售等多个环节，每一个环节都可能存在不同的质量安全隐患。例如，原材料的采购环节可能受到质量不合格、来源不明、添加剂超标等问题的影响；加工过程中可能存在交叉污染、温控不当、加工设备清洁不彻底等问题；存储环节则可能出现温湿度控制不当，导致产品变质或滋生有害微

【作者简介】李小鑫（1989-），男，中国河南漯河人，硕士，工程师，从事食品加工与安全研究。

生物；运输环节若操作不规范，也可能导致食品在运输过程中受到污染。食品加工环节的每一个环节都需要精确的管控，以确保最终产品的安全性和质量。

2.2 食品加工行业面临的主要安全隐患

当前，食品加工行业面临着日益复杂的安全隐患。首先，由于原材料来源广泛且难以追溯，一些不合格、劣质或被污染的原料进入加工环节，成为产品安全隐患的重要源头。其次，食品加工工艺的复杂性和多样性，使得不同环节中的质量控制难度增加。在加工过程中，不同食品的特性决定了它们需要不同的加工条件，而这些条件往往难以实现精准控制。再者，生产过程中的人为操作失误，如工人操作不当、设备故障等，也可能成为食品安全隐患。此外，随着消费者对食品安全要求的不断提高，如何在保证生产效率的同时，严格落实食品质量安全标准，成为行业面临的巨大挑战。

2.3 国内外食品加工质量安全现状

在全球范围内，食品加工质量安全现状已得到广泛关注。国际上，许多国家和地区已经制定了相关的法律法规和标准，以规范食品生产过程中的各项活动。例如，美国的食品安全现代化法（FSMA）和欧盟的食品安全法都明确要求食品生产企业落实食品安全管理责任。中国也已制定并实施了《食品安全法》《食品生产加工通则》等法律法规，推动食品加工行业的安全管理。然而，现有的食品安全管理体系仍存在不足，尤其在应对复杂生产环境、控制多样化食品安全风险方面，传统的管理方法面临较大挑战。因此，建设更加完善和高效的质量安全管控体系显得尤为迫切。

3 食品加工环节质量安全管控体系的设计框架

3.1 管控体系的总体设计理念

食品加工环节的质量安全管控体系必须具备全面性、系统性和动态性，覆盖从原材料采购到成品出厂的整个生产过程。体系设计应充分考虑食品加工行业的复杂性和多样性，包括生产流程的多变性、市场需求的波动以及食品安全管理的灵活性。因此，该管控体系不仅需要集成风险预警、质量追溯、数据分析和实时监控等功能，还应能依据实时数据动态调整控制策略，确保每一环节的质量可追溯、风险可预警。此外，管控体系还应具备较强的适应能力，能够根据市场变化和生产需求及时优化和调整管理措施。通过这些科学的管理措施，可以有效预防食品加工过程中可能出现的质量安全隐患，提升食品的安全性与生产效率。

3.2 质量安全管理的关键环节与控制措施

在食品加工过程中，质量管理应覆盖每一个关键环节，确保每个环节的安全性与合规性。首先，在原材料采购环节，企业应建立合格供应商管理制度，确保所采购的原材料符合相关质量标准，并能够追溯来源。加工过程中的质量控制也同样至关重要，特别是在温度、湿度和时间等关键控制因素的监控方面，必须使用先进的实时监控设备，确保

加工过程中不会因环境条件不当而引发食品安全问题。在成品检验环节，应实施严格的质量检测程序，包括外观、微生物、化学成分等方面的检测，确保每一批次的成品都符合相关的食品安全标准。同时，成品的储存和运输环节也需严控，确保储存环境和运输过程中的食品安全不受影响，最终确保消费者的健康。

3.3 管控体系的技术架构与实现路径

食品加工环节的质量安全管控体系的技术架构应具备全面的数据采集、传输、分析和决策支持功能。数据采集模块通过高精度的传感器和监控设备，实时采集生产过程中的各类数据，如温度、湿度、生产速度、产品质量等。数据传输模块负责将采集到的数据实时上传至集中管理系统，确保数据的准确性和及时性。数据分析模块对采集到的数据进行全面分析，利用大数据和机器学习等技术，识别出潜在的质量风险和隐患，进而做出实时的响应，调整生产策略。最后，决策支持模块将分析结果转化为可执行的操作指令，提供给生产管理人员，以便快速做出决策并调整生产流程。通过这种技术架构，管控体系能够实时监控生产过程，及时识别并控制食品加工中的各类风险，确保食品加工的质量和安

4 食品加工环节质量安全管控的核心技术与方法

4.1 风险评估与危害分析方法

风险评估是食品加工环节质量安全管控的基础，能够系统识别生产过程中潜在的危害，并为其提供优先控制的策略。通过对食品加工过程中的各个环节进行细致分析，识别可能的生物、化学或物理危害，评估其对食品安全的影响，从而为控制措施的制定提供依据。危害分析（HACCP）作为一种成熟的风险评估方法，广泛应用于食品加工行业，并成为国际食品安全管理的重要标准。通过 HACCP 方法，可以对加工过程中的每一关键环节进行风险识别，并采取相应的预防和控制措施，确保最终产品的安全性。该方法不仅能有效降低食品安全事故的发生概率，还能够确保食品生产过程的可控性和稳定性，为企业提供科学的安

4.2 关键控制点的识别与监控技术

关键控制点（CCP）是指在食品加工过程中，能够有效控制危害并确保产品安全的关键环节。在食品加工过程中，必须通过危害分析法来识别出若干关键控制点，这些点对食品安全具有决定性作用。对这些关键环节的控制能够有效避免潜在风险对食品安全造成的不良影响。举例来说，在热加工过程中，温度和时间控制是至关重要的关键控制点。必须依赖精准的温控设备和实时监控系

4.3 食品质量检测与追溯技术

食品质量检测与追溯技术在食品加工环节中至关重要。通过建立科学、系统的质量检测体系，能够在生产的每一环节进行有效的抽检和全检，确保食品符合既定的质量标准。质量检测不仅能够检测出加工过程中的任何不合格产品，还能够及时发现可能的安全隐患。通过现代化的检测技术，如快速检测仪器和自动化检验系统，可以提高检测的效率和精度。同时，食品追溯技术是质量管理中不可或缺的一环，一旦发生质量问题，追溯系统能够迅速追踪到问题源头，帮助企业找出具体的原因，并采取有效的整改措施。这不仅能降低食品安全事件的发生风险，还能增强消费者对企业的信任，提升品牌信誉。

5 食品加工环节质量安全管控体系的实施策略

5.1 企业内部质量安全管理的落实与监督

企业内部的质量安全管理制度是确保食品加工过程中各项安全措施得到贯彻和执行的基础。为了使各项管理措施落到实处，企业应当建立明确的责任体系，确保每个环节、每个岗位的工作人员都清楚自己的职责和义务。通过定期组织员工培训，提升员工的质量安全意识，加强日常操作中的规范性，确保员工理解并遵守操作规程和质量标准。此外，定期的检查和评估也是确保管理制度执行的重要手段。企业应定期开展内部审核、风险评估等工作，发现并整改潜在的安全隐患。通过建立完善的监督机制，确保质量安全管控体系能够有效运行，达到预期的食品安全管理效果。

5.2 政府监管与行业标准的制定与执行

政府在食品安全管理中发挥着至关重要的作用。为了保证食品加工企业能够严格遵循质量安全标准，政府应制定和完善相关的法规政策，明确食品加工企业在生产过程中的责任和义务，并通过法律手段强制执行。政府应加大监管力度，对食品加工企业的生产过程进行全面检查，确保其符合相关食品安全标准。同时，政府应推动行业内的信息共享与协作，特别是在食品安全事件发生时，能够迅速共享信息，减少食品安全隐患的蔓延。行业标准的制定不仅要满足国际化标准，还应结合本地市场的实际情况，使其更具操作性和可执行性。通过政府的有效监管与行业标准的执行，能进一步提升食品加工行业的整体质量安全水平。

5.3 食品安全文化的建设与员工培训

食品安全文化的建设是确保质量安全管控体系能够持久、稳定运行的关键。企业应注重培养和建设积极的食品安全文化，使质量安全成为每个员工日常工作的自然延伸。在这一过程中，企业需要定期组织员工进行食品安全相关的培训，确保每个员工都能理解食品安全的重要性，并掌握相关的操作标准和应急处理措施。与此同时，通过内部沟通机制，增强员工之间的协作，确保每个员工在工作中都能高度关注食品安全，落实食品安全管理要求。企业应鼓励员工提出食品安全改进意见，并对其进行反馈和实施，从而不断完善食品安全管控体系。通过食品安全文化的深入推广，企业能够建立起全员参与的安全管理氛围，确保食品加工过程中的每一环节都能够符合质量安全要求。

6 结语

本文构建的食品加工环节质量安全管控体系，结合风险评估、关键控制点监控和质量检测手段，为提升食品加工行业的安全性和质量提供了系统化的理论框架和实践指导。尽管该管控体系在提升食品安全管理水平方面取得了明显成效，但在实际应用中仍面临诸多挑战，如信息化技术的不足、监管体系的完善与执行等问题。未来，为确保管控体系的高效运作，需要进一步加强技术研发，优化管理机制，并提升系统的灵活性与适应性。随着科技的不断发展，特别是在人工智能、大数据和物联网技术的应用下，食品加工环节的质量安全管控体系将逐步向智能化、自动化方向发展，进一步提升食品安全保障水平。未来的研究应聚焦于这些新技术的深度应用，以解决现有体系中的局限，并提升整体管控能力。

参考文献

- [1] 袁源.食品安全管理体系下食品加工环节的质量控制策略研究[J].食品安全导刊,2025,19(25):61-63.
- [2] 高嘉翼.食品加工工艺中质量安全管理优化研究[J].中外食品工业,2025,(08):13-15.
- [3] 薛雪,黄佳琪,谷乐.标准化在食品质量安全管理中的重要作用[J].食品安全导刊,2022,(08):54-56.
- [4] 国丽影.企业生产环节食品安全管理体系的构建[D].长春理工大学,2014.
- [5] 徐颖然,卢伟东,王亚锋,等.根因模型管理法助力油脂生产企业质量安全全流程管控[J].中国质量,2024,(06):31-34.

Antioxidant Properties of Plant Polyphenols in Food Systems and Their Application Research

Yan Li

Dalian Customs Technology Center, Dalian, Liaoning, 116000, China

Abstract

Plant polyphenols are important natural antioxidants in foods, and their activity is regulated by both molecular structural characteristics and the food matrix environment. Polyphenols act through antioxidant mechanisms such as hydrogen atom transfer and single electron transfer, but their structure-activity relationships show significant matrix dependence in real food systems. Interactions between food components, disturbances from processing conditions, and effects at phase interfaces can all cause discrepancies between in vitro chemical evaluations and actual application outcomes. Techniques such as microencapsulation, nano-delivery systems, and synergistic regulation strategies between polyphenols and food components provide technical approaches to addressing the stability challenges of polyphenols in complex food environments. Applications of grape seed extracts in model emulsified systems show that proper formulation design and process control can greatly enhance the functional value of polyphenols, laying the foundation for the precise application of natural antioxidants in the food industry.

Keywords

plant polyphenols; antioxidant mechanisms; structure-activity relationship

植物多酚在食品体系中的抗氧化特性及其应用研究

李妍

大连海关技术中心, 中国·辽宁 大连 116000

摘要

植物多酚是食品中的重要天然抗氧化剂, 它的活性受到分子结构特征和食品基质环境的双重调节。多酚以氢原子转移、单电子转移的抗氧化机理起作用, 但是构效关系在真实食品体系中表现出明显的基质依赖性。食品组分间的相互作用、加工条件的扰动、相态界面的影响都会使体外化学评价的结果与实际应用效果有偏差。微胶囊化技术、纳米递送体系、多酚-食品组分的协同调控策略, 给破解多酚在复杂食品环境中的稳定性难题赋予了技术途径。葡萄籽提取物在模拟乳化体系中应用表明, 合适的配方设计、工艺控制可以大大提高多酚的功能化价值, 为天然抗氧化剂在食品工业中的精准应用打下基础。

关键词

植物多酚; 抗氧化机制; 构效关系

1 引言

植物多酚属于次生代谢产物, 它在植物抵御氧化胁迫时起着重要的作用, 因此它向食品体系的迁移应用似乎是理所当然的。但是多酚在纯化溶液中表现出来的强大的自由基清除能力, 在真实的食品基质中却大打折扣, 甚至在某些情况下变成促氧化因子。

【作者简介】李妍(1984-), 中国辽宁大连人, 本科, 高级工程师, 从事食品农药残留、食品添加剂、保健品非法添加检测等研究。

2 植物多酚的抗氧化作用机理与构效关系

2.1 基于氢原子转移与单电子转移的初级抗氧化机制

多酚通过酚羟基氢原子转移稳定脂质自由基, 自身形成的酚氧自由基由于共轭体系而稳定。原花青素 B2 的酚羟基解离能低于脂质过氧自由基夺氢阈值, 反应可以自发进行。单电子转移机制中多酚直接把电子转移给自由基, 形成半醌式中间体后歧化。两种机制在不同的微环境中互相切换, 受 pH 值、溶剂极性以及自由基类型的影响^[1]。

2.2 多酚结构(羟基位置、共轭体系、糖基化)与自由基清除能力关联

B 环邻位二羟基构型由于氢键效应明显增强活性, 儿茶素清除速率远大于单羟基儿茶素。共轭体系延伸会降低酚氧自由基的能量, 但是原花青素的活性随着聚合度呈钟形曲线, 三聚体后由于空间位阻降低。糖基化增强水溶性, 但

是占据酚羟基位点,活性下降约三成。

2.3 多酚对过渡金属离子的螯合作用及促氧化双面性

邻位酚羟基会和金属离子形成螯合物,从而阻断芬顿反应,在中性 pH 下多酚和铁配合物会使得脂质氧化的诱导期延长数倍。但是碱性条件下多酚氧化为醌类可以还原三价铁重启芬顿循环,加快自由基的生成。乳化体系储存后 pH 值变碱,促氧化转变就会发生,用量和 pH 值必须精确控制。

3 食品复杂体系对多酚抗氧化效能的影响因素

3.1 食品组分(蛋白质、脂类、碳水化合物)与多酚的相互作用

蛋白质通过疏水作用、氢键和静电引力与多酚结合成复合物,多酚的疏水性芳香环可以插入到蛋白质的疏水口袋里,酚羟基也可以与肽链的氨基、羧基形成氢键网络,这样的结合既改变了蛋白质的构象又影响了多酚的可及性。葡萄籽提取物和乳清蛋白相互作用研究显示,多酚结合之后蛋白质二级结构出现明显变化, α -螺旋含量减少,无规卷曲增多,被蛋白质包裹的多酚对水相自由基的清除能力降低,但是在乳化体系中蛋白质-多酚复合物可以锚定在油水界面,将多酚递送至脂质氧化的关键位点。脂类不饱和度和氧化敏感性决定了多酚保护的必要性和难度,葡萄籽提取物在富含亚油酸的油脂体系中表现出很强的氧化抑制效果,但是多酚的亲脂性不足限制了它在纯油相中的溶解和分散,大部分多酚滞留在容器壁面或者聚集成团,真正发挥作用的有效浓度远低于添加量^[2]。

3.2 加工条件(热处理、pH 值、光照)对多酚稳定性与活性的影响

热处理是食品加工的常规操作,但也是多酚稳定性的严峻考验,高温下多酚会发生异构化、聚合甚至降解,酚羟基氧化成醌,再进一步缩合形成褐色聚合物。葡萄籽提取物在模拟巴氏杀菌条件下降解动力学研究中发现,温度每升高 10 度降解速率常数增大近一倍,符合阿伦尼乌斯方程预测,但是短时高温处理反而会提高抗氧化活性,因为热诱导结构变化使更多的活性位点暴露出来。pH 值通过改变多酚的解离状态和氧化还原电位来深刻影响其抗氧化性能,酸性环境下多酚以分子态存在结构稳定但是亲水性降低,碱性条件下促进酚羟基解离为酚氧负离子虽然增强了电子供给能力,但是也加速了自氧化过程。葡萄籽提取物在不同的 pH 缓冲液中稳定性比较,pH 三到五区间内活性保留率最高,超过七后迅速下降,溶液颜色由浅黄变为深褐表示氧化聚合。光照特别是紫外光直接激发多酚分子电子跃迁产生激发态多酚与活性氧物种,激发态多酚可与基态氧发生能量转移生成单线态氧,这是氧化能力极强的活性氧。

3.3 食品相态(水包油、油包水)与多酚界面分布及活性表达

乳化体系相态决定多酚的空间分布格局。水包油型乳

液中多酚主要溶解在水相中,需要穿过界面膜才能接触油相脂质底物,油包水型则把多酚困在内水相和外油相脂质之间,隔绝得更彻底。葡萄籽提取物在两种相态乳液中抗氧化效果存在显著差异,水包油体系中由于多酚可以在界面富集从而保护效果好,油包水体系中由于多酚被囚禁所以效果差,说明“极性悖论”并不是普遍规律,界面特性以及乳化剂类型的影响往往比多酚本身的极性要大。界面活性物质乳化剂和多酚在界面的竞争吸附改变了界面的化学环境,非离子型乳化剂通过氢键和多酚相互作用,可以协同增强界面的抗氧化屏障,离子型乳化剂由于静电作用排斥或者吸引多酚,改变其界面浓度。液滴尺寸影响比表面积和界面多酚总量,纳米乳液因为液滴微小而具有很大的比表面积,但是实际测定发现纳米乳液氧化速率反而加快,原因是小液滴曲率半径极小导致界面张力过高,界面结构松散多孔,氧气渗透速率激增^[3]。

3.4 体外化学评估方法与真实食品体系抗氧化效果的相关性分析

DPPH、ABTS 等自由基清除法常被用来快速筛选多酚活性,但是这些方法使用水溶性合成自由基,反应在均相溶液中进行,与食品体系中脂质过氧化、蛋白质氧化等异相反应存在本质区别。葡萄籽提取物在 DPPH 法中表现出的强活性在实际油脂体系中并没有得到体现,两者相关系数低于预期,说明体外评估的预测能力较差。氧自由基吸收能力法虽然更接近生理条件,但是它所用的荧光素探针在食品基质中容易受到干扰,蛋白质、色素等成分的本底荧光和淬灭效应都会导致测定值偏离真实。脂质氧化体系如亚油酸乳液法、油脂氧化诱导期测定等虽然更接近食品实际,但仍然是简化模型,缺少真实食品的复杂组分和加工历程。葡萄籽提取物在纯亚油酸体系中表现出的抗氧化效果,与含有蛋白质、碳水化合物的复配体系中存在明显的差异,后者由于组分相互作用而表现出非线性效应,简单模型的结论不能直接外推,建立与终端应用场景高度匹配的评价体系,才是提高活性评价可靠性的根本途径。

4 多酚在食品中功能化应用的策略与技术

4.1 基于微胶囊化与纳米递送体系的活性保护与靶向释放

微胶囊化是用壁材把多酚包裹起来,隔绝它与外界环境的接触,从而减缓其在加工储存中发生降解的速度。喷雾干燥、冷冻干燥、复凝聚等技术可以将葡萄籽提取物包裹在多糖、蛋白质或者脂质壁材里,形成微米级颗粒。壁材的选择要兼顾阻隔性、成膜性和成本,阿拉伯胶由于乳化性能好而常被用来包埋亲水性多酚,但是其阻氧性能一般,壁材厚度要达到一定值才能有效隔绝氧气,这又增加了颗粒尺寸和成本。复合壁材例如阿拉伯胶和乳清蛋白的组合,可以起到相互增益的效果,蛋白质赋予界面活性剂结构强度,多糖贡

献阻隔性能和缓释功能。

纳米递送体系把多酚负载在纳米尺度的载体上,明显提高其生物利用度和靶向性。脂质体、纳米乳液、固体脂质纳米粒等载体可以保护多酚不受消化酶和pH值变化的影响,在小肠部位释放来提高吸收效率。葡萄籽提取物负载脂质体的制备研究显示,磷脂和多酚的摩尔比、包封方法、粒径分布都会影响包封率和释放行为,在优化的条件下包封率可以达到80%以上,体外模拟消化实验中肠道释放率明显高于游离多酚。

4.2 多酚作为天然防腐剂在抑制脂质氧化与微生物生长中的应用

脂质氧化是富脂食品品质劣变的首要原因,合成抗氧化剂BHT、BHA使用受限促使天然替代品的研发。葡萄籽提取物在肉制品中的应用表明,适当添加量可以使冷藏储存期延长近一倍,脂质氧化指标过氧化值、硫代巴比妥酸值的增长速率明显减慢,感官评价中酸败味出现的时间推迟。但是多酚的加入会改变肉色,高浓度时导致褐变加深,消费者接受度下降,需要在抗氧化效果和感官品质之间做出权衡,或者采用真空包装、充氮等方式来降低多酚用量而不影响保质期。

多酚的抗菌活性是由于它破坏了微生物的细胞膜,抑制了酶的活性。酚羟基与膜蛋白的疏水作用使膜的通透性增大,胞内物质外漏,多酚还可以和细菌DNA结合干扰其复制转录。葡萄籽提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等常见食源性致病菌的抑菌实验表明,最小抑菌浓度处于毫克每毫升量级,比化学防腐剂低,但是联合使用可以产生协同增效,允许降低化学防腐剂用量以满足清洁标签的要求。抗菌机制的多靶点特点也能降低耐药性发生的几率,这也是多酚作为天然防腐剂特有的优势。

4.3 多酚在功能食品与保健食品中的稳态化添加工艺

功能食品要求活性成分在货架期内保持稳定,在消化道中有效释放,对多酚的添加工艺提出了很高的要求。固体食品如烘焙制品在高温作用下多酚大量降解,所以需要采用低温预混、分段添加等手段减少损失,或者选择热稳定性较好的多酚来源。液体食品如饮料,pH调节、充氮包装、避光保存等手段可以延长多酚活性的保持时间,但是成本的增加是不可避免的。葡萄籽提取物稳定化果汁饮料的研究表明,添加抗坏血酸为共同抗氧化剂,能够减缓多酚本身的氧化,活性保存率能提高到九成以上。

剂型创新给多酚的稳态化提供新的思路。片剂、胶囊等固体剂型用控制释放技术使多酚在胃中稳定存在,在肠道中靶向释放。肠溶包衣材料如丙烯酸树脂在酸性环境下不

溶,遇到碱性肠液迅速溶解释放内容物。软糖、口含片等新型剂型由于口感好而受到消费者的喜爱,但是含水量高、储存温度变化大,对多酚的稳定性是考验。葡萄籽提取物软糖的货架期试验表明,水分活度控制是关键,水分活度低于临界值时多酚降解速率明显减慢,质构和风味也较好。

4.4 多酚-食品组分互作对产品感官品质及营养特性的协同调控

多酚的涩味和苦味会限制它高浓度使用。涩味是由多酚和唾液蛋白结合形成的蛋白质沉淀造成的,苦味是由味觉受体被激活而产生的。糖基化、酰化等修饰可以降低涩感,但是活性损失是代价。葡萄籽提取物在乳制品的应用发现乳蛋白可以部分掩蔽多酚的涩味。

多酚和其他营养素之间相互作用影响产品的营养价值。多酚可以提高某些维生素的稳定性,比如与维生素E的协同抗氧化作用,但是也会抑制铁、锌等矿物质的吸收,因为多酚的螯合作用降低了金属离子的生物可利用性。葡萄籽提取物增强的谷物食品中,铁吸收率降低近三成,在营养干预项目中要注意。通过添加抗坏血酸等还原剂,可以部分逆转多酚对铁吸收的抑制,但是最佳配比需要人体试验来验证,不能仅凭体外模拟来推断。

5 结语

植物多酚在食品体系中的抗氧化应用,不是简单的“天然替代合成”。分子层面的构效关系给活性预测赋予了理论框架,但无法完全涵盖复杂食品基质里多种交互效应,加工条件的扰动以及相态界面的空间限制,把多酚从理想状态拉回严酷现实。微胶囊化、纳米递送等技术的发展为解决稳定性问题提供了新途径,但是成本和工艺复杂度增加,产业界在技术可行性与经济合理性之间要做出慎重选择。葡萄籽提取物的应用实践表明,成功的功能化要依靠对食品体系特性精准地设计,不能简单地套用体外评估的数据和结论。未来研究要集中于多酚在真实食品环境中的行为跟踪和机制解析,创建起从分子到宏观、从体外到体内多层次的评价体系,从而给天然抗氧化剂的理性运用创建起牢固的基础。

参考文献

- [1] 刘雨欣,贾茹,吴安楠,李全宏,廖小军,赵婧.植物多酚对线粒体的保护作用研究进展[J].食品工业科技,2025,46(9):456-465.
- [2] 庞楚耀,黎江明.天然植物多酚对冷鲜肉抗氧化保鲜效果的实验研究[J].中外食品工业,2025(12):74-76.
- [3] 李凯利,周颖洁,尚超越,郎育杰,陈晓晨,高磊,曾祥芳,俞海峰,刘凤菊,秦鹏,褚瑰燕,蔡传江.布拉迪酵母和植物多酚对母猪繁殖性能、抗氧化能力、免疫功能和粪便菌群的影响[J].动物营养学报,2025,37(9):5824-5837.

Research on Pretreatment Techniques for Organophosphorus Pesticide Residues in Food

Ran Wei Yanbo Sun

Puyang Product Quality Inspection and Testing Center, Puyang, Henan, 457000, China

Abstract

Organophosphorus pesticides are widely used in agricultural production due to their high efficiency and broad spectrum, yet their residues tend to cause human neurotoxicity through bioaccumulation in the food chain. The key to detecting trace organophosphorus residues in food lies in the pretreatment process. This paper systematically reviews the common pretreatment technologies for organophosphorus pesticide residues in food, focuses on analyzing the principles and application characteristics of solid-phase extraction, solid-phase microextraction, dispersive solid-phase extraction and magnetic solid-phase extraction, summarizes the performance shortcomings of each technology, and proposes that the combination of multiple technologies is the core development direction for the high efficiency, precision and greenization of pretreatment technologies in the future, providing a technical reference for the standardization and high efficiency of organophosphorus residue detection in food.

Keywords

organophosphorus pesticides; solid-phase extraction; ionic liquids; molecularly imprinted templates; nanomaterials

食品中有机磷农药残留预处理技术研究

魏然 孙艳波

濮阳市产品质量检验检测中心, 中国·河南 濮阳 457000

摘要

有机磷农药因高效广谱被广泛应用于农业生产,但其残留通过食物链富集易引发人体神经中毒,食品中痕量有机磷残留检测的关键在于预处理环节。本文系统综述食品中有机磷农药残留常见预处理技术,重点分析固相萃取、固相微萃取、分散固相萃取、磁性固相萃取的原理与应用特性,总结各技术的性能短板,提出多技术联用是未来预处理技术高效化、精准化、绿色化的核心发展方向,为食品有机磷残留检测的标准化与高效化提供技术参考。

关键词

有机磷农药; 固相萃取; 离子液体; 分子印迹模板; 纳米材料

1 研究背景与意义

有机磷农药 (Organophosphorus, OPs) 凭借高效广谱、易生物降解的特性,在农业病虫害防治中应用广泛,是保障农作物产量的重要农资。但受不规范施用、残留管控不严等因素影响,部分食品中有机磷农药残留超标问题频发,其可通过食物链富集,长期或过量摄入会引发人体中毒,严重威胁饮食安全与公众健康。开展食品中有机磷农药残留相关研究,可优化检测技术,完善残留限量标准与管控体系,对筑牢食品安全防线、保障公众身体健康、推动农产品产业高质量发展及提升我国食品质量安全监管水平,具有重要的理论价值与现实意义。目前,食品中残留的有机磷农药含量很低,因此有必要对有机磷农药的痕量检测展开分析研究。

【作者简介】魏然 (1988-), 女, 中国河南内黄人, 硕士, 工程师, 从事食品检测研究。

2 食品样品的预处理技术

食品基质成分复杂、形态各异,果蔬、粮油等产品常含有糖脂、色素、蛋白质等杂质,在上机分析前需要对食品样品中的目标物进行提取。一方面去除样品中杂质与干扰物质,保护检测仪器免受污染,保障实验结果的准确可信;另一方面,食品中有机磷农药残留量很低,如 GB2763 规定蔬菜中的甲胺磷、甲拌磷、对硫磷中多种有机磷农药残留不得超过 0.01mg/kg,达到痕量级别,需在预处理阶段对食品样品中的目标物进行富集以实现有效检出。现对固相萃取法、固相微萃取法、分散固相萃取法、磁性固相萃取法等几种常见处理方法进行总结研究。

2.1 固相萃取技术

固相萃取 (Solid-Phase Extraction, SPE) 技术基于液-固相色谱理论,通过活化、上样、淋洗、洗脱四个核心步骤用固相填料选择性吸附目标物,使其与杂质分离,以实现富

集净化的目的。固相萃取处理食品基质，不仅富集效果好、净化能力强，同时具有有机溶剂用量少、操作简便等特点，大大简化了实验步骤，目前已成为食品中有机磷农药残留检测的主要预处理技术，被 GB 23200 系列多项国标纳入标准方法。但也应看到，在实际操作中，固相萃取柱在处理基质复杂或过柱体积较大的样品时，会因柱筛板堵塞导致过柱流速缓慢，影响实验效率。

2.2 固相微萃取

固相微萃取 (SPME) 是 1989 年由加拿大滑铁卢大学 Pawliszyn 团队首次提出的无溶剂样品前处理技术。不同于固相萃取技术，固相微萃取技术没有填料，而是由可重复使用的手柄和含高分子固定相涂层的萃取头组成。通过涂覆特定固定相的石英纤维选择性吸附分析物，集采样、萃取、浓缩、进样于一体，无需任何溶剂是一种环境友好型提取技术，同时有效克服了传统萃取方法的基质干扰问题，与气相质谱仪等联用可实现超痕量分析。

喻磊^[1]等人首次应用 SPME 与气相质谱仪、高效色谱仪联用，测定了水生蔬菜荸荠、茭白中毒死蜱、多菌灵等农药残留。实验通过对固相萃取纤维材料 (75 μ m-PDMS/CAD、65 μ m-PDMS/DVB、85 μ m-PA) 的考察、色谱条件的优化等建立了最优实验条件，多种农残回收率均在 71.16% 以上，检出限最低可达 8.0ng/g。

2.3 分散固相萃取

分散固相萃取 (d-SPE) 是 Anastassiades 等 2003 年提出的高效样品前处理技术。d-SPE 同样基于吸附-解吸热力学平衡，但不同的是，该技术改变了传统固相萃取小柱的形式，而是将毫克级固相吸附剂直接分散在样品基质中通过疏水作用、氢键及静电作用将目标物选择性富集出来。因此分散固相萃取技术不仅拥有更大的比表面积，同时避免了萃取柱容易堵塞的问题，通过机械分离如离心或过滤分离出后，以少量有机溶剂洗脱即可联用色谱、质谱仪器检测。

蔡玺晨^[2]等人研究了分散固相萃取对水中农药残留的萃取情况，通过对提取条件的多方面的调试，建立了对甲基对硫磷、乐果、毒死蜱三种有机磷农药提取的最佳条件，回收率在 74%~94% 之间。相较于传统的固相萃取，分散固相萃取在处理基质较复杂的样品时，避开了柱子堵塞的瓶颈，大大提高了实验效率，该方法萃取过程不超过 40min，具有较好的应用价值。

d-SPE 虽有效解决固相萃取柱易堵塞的弊端，但其实际操作需多次离心，易造成实验效率下降。

2.4 磁性固相萃取

Safarikova 和 Safarik 在 1999 年首次提出“磁性固相萃取”这一概念。该方法先将磁性吸附剂分散于样品基质中，目标物借助疏水作用、氢键作用及静电作用吸附于吸附剂表面，随后通过外加磁场实现吸附剂与样品溶液的快速分离，向分离后的吸附剂中加入少量溶剂作为解吸液，使目标物充

分溶解于解吸液中，再次利用磁场分离吸附剂与解吸液，最后收集解吸液，经吹干、定容处理后，即可用于后续色谱分析(操作过程如图 1-1 所示)。可以看出磁性固相萃取 (MSPE) 不仅避免了固相萃取技术在处理复杂基质时易堵塞的弊端，同时也规避了分散固相萃取技术需要多次离心的问题，具有分离快、操作简单、溶剂用量少等优势。

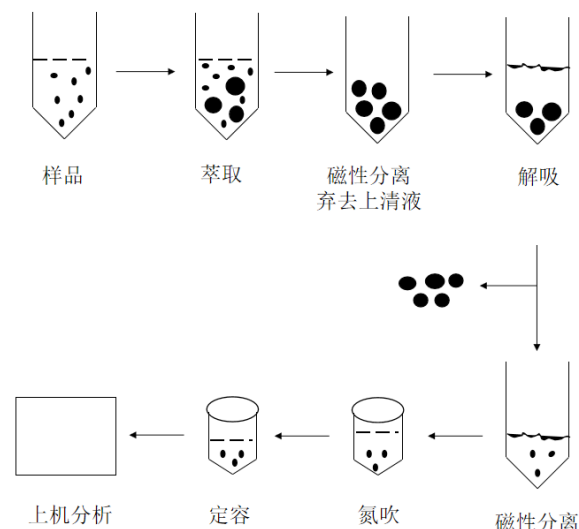


图 1-1 磁性固相萃取技术操作过程

于有伟^[3]等人通过利用肽键修饰磁性纳米材料，对食品中的抗生素、棒曲霉素、色素等进行检测。实验条件优化后，目标物线性范围良好，回收率在 92.2% 以上。方法简便快速，具有很好的应用价值，在食品安全检测领域具有很大的发展潜力。

于希^[4]等人利用 MNPs/PS_t 磁性聚苯乙烯萃取水样中菊酯类农药，得到较高的灵敏度，定量限在 0.012-0.026ng/mL 之间，回收率在 79.96% 以上。方法便捷可行、经济环保。

3 新材料在固相吸附萃取中的应用

3.1 离子液体

离子液体 (ILs) 是常温下呈液态的纯离子体系。与传统溶剂相比，离子液体具有熔点低、液态范围宽、常温下粘度较大、离子间作用力强、对有机和无机溶剂的可调控性、导电性好、电化学窗口宽等优势。因此，离子液体凭借其独特优势已在诸多领域获得广泛应用。目前，将其与固相萃取技术相结合，应用于食品萃取领域的相关研究与实践，也已取得了阶段性进展

林海禄等^[5]采用 1-丁基-3-甲基咪唑六氟磷酸盐离子液体作为中空纤维液相微萃取剂，构建离子液体固相微萃取与气相色谱联用技术，成功测定苹果、梨、香蕉、西红柿中的目标物；马拉硫磷、毒死蜱、对硫磷的富集倍数依次为 132、119、147，回收率 98.8%~104.3%，证实该萃取方法高效可靠。

3.2 分子印迹模板 (MIP)

分子印迹技术是20世纪中期发展起来的一种新方法。1993年瑞典科学家Mosbach等人报道了茶碱分子印迹聚合物,广泛引起了相关研究人员的兴趣。使其应用在固相萃取、临床药物分析等多个领域。分子印迹技术(molecular imprinting technique, MIT)的设计灵感源自免疫学原理。它是印迹分子与功能单体在一定介质中通过共价键或非共价键形成复合物,随后在交联剂的作用下引发聚合反应,将与印迹分子结合的功能基团固定在聚合物骨架中,待聚合反应完成后,在特定条件下将印迹分子从聚合物中洗脱分离,最终在聚合物内部形成与印迹分子在空间结构、结合位点上高度匹配的特异性三维空穴。MIP因其选择性好、可反复使用的优势被广泛地应用在固相萃取、固相微萃取等领域,成为样品前处理的一个热点。

白文^[6]等人通过将毒死蜱与功能单体甲基丙烯酸混合,在交联剂的作用下得到聚合物,以极性溶剂将毒死蜱洗脱得到了可专一“识别”毒死蜱的分子印迹聚合微球。该微球稳定性强、重复利用率高,为有机磷农药残留的高选择性检测提供了新型功能材料支撑,具有良好的实际应用前景。

但是在食品农残检测中,往往需要一次检测多种目标物,MIP因其专一性在日常检测中不具备明显优势,更适用于在单一目标物测定。

3.3 纳米材料

纳米材料是指任一量度在纳米级的材料。它对有机污染物具有卓越的吸附能力,吸附容量越大,吸附耗材用量越少。与传统的固相萃取方式(键合硅胶类吸附剂和非硅胶类吸附剂)相比,纳米材料拥有更大的比表面积和扩散率,在溶剂中能够更快地达到吸附平衡,因此在有机物污染物吸附方面比传统富集方式更有优势。同时由于纳米材料易于功能化修饰,可针对不同的目标物引入不同的官能团,增强对目标物吸附的靶向性。近年来,碳纳米管、金纳米粒子,以及备受关注的磁性碳材料成为固相萃取的热门研究材料。

吕冰婧^[7]等人通过刻蚀金纳米棒程度不同可捕捉到不同的溶液颜色,有机磷农药浓度不同影响双氧水对金纳米棒的刻蚀程度,以此为原理进行测定。该方法简单便捷,但是

由于是目视比色法,所以只能作为半定量手段。

王为中^[8]等人采用碳包覆 Fe_3O_4 作为前处理的固相萃取材料对水体中的拟除虫菊酯类和有机磷类药物进行提取,结合高效液相色谱技术进行联机检测,建立了MSPE-HPLC-UV-VD联用技术,相关系数在0.9992以上,检出限可达 $0.2\mu\text{g/L}$ 。

4 结语

本研究围绕样品前处理技术优化与功能材料应用展开,系统探讨了固相萃取(SPE)、固相微萃取(SPME)、分散固相萃取(d-SPE)及磁性固相萃取(MSPE)的技术原理。通过引入离子液体、分子印迹模板及纳米材料作为改性剂,显著提升了萃取过程的选择性、吸附容量与分离效率。研究证实,各类技术与功能材料的协同创新,可有效解决复杂样品中痕量目标物的分离富集难题,为食品中有机磷农药残留检测提供了有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 喻磊. 固相微萃取在水生蔬菜农药残留分析中的应用研究[D]. 华中农业大学,2014.
- [2] 蔡玺晨. 分散固相萃取-HPLC-QTOF/MS法测定水中农药残留的研究[D]. 苏州科技学院,2015.
- [3] 于有伟. 磁性固相萃取—高效液相色谱在食品安全检测中的应用研究[D]. 山西师范大学,2017.
- [4] 于希. 基于聚苯乙烯磁性纳米颗粒的磁性固相萃取的研究[D]. 吉林大学,2013.
- [5] 林海禄,彭雪娇,闫红. 离子液体液相微萃取-气相色谱法测定水果中3种有机磷农药残留[J]. 理化检验(化学分册),2011,v.47(12):1440-1442.
- [6] 白文. 分子印迹技术在有机磷农药毒死蜱检测中的应用研究[D]. 吉林大学,2011.
- [7] 吕冰婧. 贵金属纳米材料在有机磷农药残留检测中的应用研究[D]. 东南大学,2017.
- [8] 王为中,王向阳,孙小涵,姜大雷. 表面活性剂液相微萃取在白蚁药物残留分析中的应用研究[J]. 中华卫生杀虫药械,2017,v.23;No.118(02):166-169.

Study on the Influence of Pre-storage Light Selective Machine Processing on Post-harvest Grain Toxicity Risk

Xiaoliang Huo Liying Qin Xuxin Zhang

China Grain Reserves Jilin Quality Inspection Center Co., Ltd., Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract

The quality of post-harvest grain processing directly impacts storage stability and supply chain safety, with micro-damaged grains, moldy grains, and imperfect grains being key risk sources for toxin accumulation during storage. Optical sorters, by identifying grain color, spectral reflection, and surface defects, can effectively eliminate latent moldy grains and high-risk grains, significantly reducing initial toxin levels. This study focuses on major mycotoxins (Aflatoxin, Ochratoxin, Vomaxin, and Fumaxin) and establishes an analytical framework of “optical recognition—risk classification—toxin migration” to systematically evaluate the intervention effects of optical sorting on the toxin formation chain. The research demonstrates that optical sorting reduces the sources of pathogenic fungi, optimizes the microecological structure during storage, and diminishes the potential for toxin regeneration and diffusion, thereby making the storage process more conducive to maintaining a safe state. This provides crucial technical support for building a green, low-risk modern grain storage system.

Keywords

optical sorter; post-harvest grain processing; toxin control; storage safety; mold risk

仓储前光选机处理对粮食产后毒素超标风险的影响研究

霍晓亮 秦丽莹 张旭昕

中储粮吉林质检中心有限公司, 中国·吉林 长春 130000

摘要

粮食产后处理的质量直接影响储藏稳定性与供应链安全, 其中微损伤粒、霉变粒及不完善粒是储藏期毒素累积的关键风险源。光选机通过识别粮粒颜色、光谱反射与表面缺陷, 可有效剔除隐性霉变粒和高风险颗粒, 显著降低初始毒素水平。本文以主要真菌毒素(黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、呕吐毒素、伏马毒素)为对象, 构建“光学识别—风险分级—毒素迁移”分析框架, 系统评估光选对毒素形成链条的干预作用。研究表明, 光选减少致毒菌来源、优化储藏微生态结构并削弱毒素再生与扩散潜能, 使储藏过程更易维持安全状态, 为构建绿色、低风险的现代储粮体系提供了重要技术支撑。

关键词

光选机; 粮食产后处理; 毒素控制; 储藏安全; 霉菌风险

1 引言

粮食安全管控正逐渐将重点前移至产后处理阶段。受气候波动、种植制度变化及机械化收获强度提升等因素影响, 粮粒在脱粒、运输与晾晒环节更易产生微裂纹与隐性霉变, 使高风险颗粒比例持续上升。已有研究表明, 受损粮粒在储藏中更容易吸湿并被霉菌侵染, 形成毒素富集点, 局部污染进而可能扩散为区域性甚至系统性超标。当曲霉属、镰刀菌属等致毒菌群占据优势时, 储藏温湿度的轻微波动即可触发毒素快速累积。在此背景下, 光选机通过对霉变粒、破损粒及色差粒的光电识别与精准剔除, 为减少高风险颗粒入仓提供有效途径, 使储藏初始状态更为安全。本文据此探讨

光选干预在阻断毒素形成链条中的作用机制, 为提升产后处理阶段的储粮安全管理提供理论依据。

2 光选机在粮食产后处理中的技术基础与应用逻辑

2.1 光学识别机制与霉变粒检测能力的形成逻辑

光选机的核心识别单元由高光谱成像器、可见光摄取装置及多维特征提取算法共同组成, 其识别能力建立在粮粒表面纹理、光谱反射率及色度差异的综合判别基础之上。霉变粒由于菌丝生长、胞外代谢物沉积与细胞结构破坏, 使其表面呈现出颜色异常、光泽减弱或局部斑状暗沉等特征, 反射光谱曲线与正常粮粒存在明显差别。在高光谱识别过程中, 不同毒素相关霉菌在代谢阶段产生的色素种类各异, 使其在特定波段出现特征吸收峰, 从而为“隐性霉变粒”的识别提供重要线索。通过模型训练, 光选机能够对不同等级

【作者简介】霍晓亮(1985-), 女, 中国吉林公主岭人, 本科, 副高级工程师, 从事粮油检验研究。

的色差粒进行精细划分,为产后环节的风险剔除提供稳定基础。由于光学识别过程具有高速性与非接触性特征,使其在大规模粮食流量处理中表现出良好适配性,是传统人工挑拣与物理分级无法比拟的。

2.2 受损粒与缺陷粒剔除在储藏期毒素控制中的基础作用

产后粮食的破碎粒与机械损伤粒是储藏过程中霉菌感染的主要入口。裂纹会破坏籽粒的保护结构,使内部淀粉与蛋白质暴露在外环境中,极易成为曲霉、镰刀菌等致毒“先入菌”的侵染位点。受损粒在温湿交替的仓储环境中吸湿速度更快,使其局部水活度迅速提升,进而形成霉菌生长的微气候环境。光选机利用表面纹理识别与强光照射反射差异,将这类隐性高风险颗粒剔除,可显著降低仓储粮堆中潜在生物风险源的数量。在同等仓储条件下,受损粒比例较高的粮堆往往出现毒素上升速率快、局部污染点扩散范围大的特点,而经光选处理的粮食因初始微生物负荷低、破损率低,使霉菌难以在储藏早期建立优势群落,从源头上减弱毒素上升趋势。

2.3 光选处理对粮食批次毒素分布均匀性的改善意义

未经筛选的粮食往往存在“毒素偏聚”现象,即部分批次中极少量高污染颗粒造成整体毒素水平波动,使储藏管理难度显著增加。光选机通过高风险颗粒的分离,使毒素在剩余粮粒中的分布更加均匀,降低了局部高污染点扩散的概率。在毒素监测中,均匀度提升意味着检测结果更加稳定,使储粮工程能够精准掌握风险变化趋势,减少因样品代表性不足导致的误判。均匀化作用对于赭曲霉毒素和呕吐毒素具有尤为重要的意义,这些毒素具有潜在扩散性与显著的蓄积效应,只有减少高毒素颗粒的进入才能在储藏初期实现稳定控制。

3 光选机处理对粮食主要毒素风险的作用机理分析

3.1 对黄曲霉毒素风险的抑制路径与作用特征

黄曲霉毒素多来源于黄曲霉、寄生曲霉等真菌,它们通常偏好高温偏干环境,但在受损粒中即便在较低湿度环境下也能完成快速定殖。光选机的应用可有效降低霉变粒比例,使储藏粮堆的初始菌群结构发生显著变化。由于高风险粒被剔除,仓储环境中的“初始菌源压力”下降,使致毒菌在粮粒间的扩散速率受到抑制。同时,黄曲霉毒素往往集中在极少数高度霉变颗粒中,光选的去除此类颗粒使整体毒素水平呈现明显下降趋势。光选处理后,后续仓储期即便温湿条件出现波动,霉菌的生长优势仍难以建立,从而降低储藏期间二次增毒的可能性。工程实践表明,经光选处理后的玉米在储藏6个月内的黄曲霉毒素增幅显著低于未处理样品,反映了该技术的前端抑制效果。

3.2 对呕吐毒素与伏马毒素等镰刀菌属毒素的影响机制

镰刀菌属霉菌通常依赖在田间生长阶段形成的初始感染,因此呕吐毒素及伏马毒素在原粮中的初始含量往往与种植管理、天气条件及收获时间相关。光选机虽然无法逆转田间感染,但能够去除多数表面具有隐性霉变特征的颗粒,使具有潜在毒素富集风险的籽粒不进入仓储体系。镰刀菌毒素在储藏期的再度上升往往依赖于粮粒的含水量变化和温度波动,通过减少受损粒比例可以减弱镰刀菌在仓储环境中的活性来源,使基于营养物质泄露的再污染链条难以形成。实验结果显示,经光选处理的粮食样品在储藏后期的呕吐毒素含量趋于稳定,而未经处理样品在温度升高阶段存在明显增长,说明光选对于储藏阶段的生物链条具有一定阻断作用。

3.3 光选机处理对赭曲霉毒素风险传播链的干扰效应

赭曲霉毒素的形成过程往往与局部湿度异常、粮堆通风不均及微损伤颗粒的水分吸附能力密切相关。光选机在处理阶段减少隐性霉变粒与吸湿性强的缺陷粒,使储藏粮堆内部的湿度梯度更加平缓,从而减弱局部高湿区域的形成倾向。赭曲霉毒素的扩散容易沿着“高湿点—微损伤粒—霉菌代谢增强”路径传播,当高湿点减少后,其扩散链条被显著削弱。由于光选处理使粮粒整体物理完整性提高,表面结构均匀度增强,储藏阶段的传湿过程更加稳定,进而抑制了赭曲霉污染点的扩展范围。

4 光选处理在粮食储藏生态系统中的协同效应与机制衍生

4.1 光选干预对储藏微生态结构演化轨迹的影响

粮食储藏微生态系统由多类真菌与细菌共同构成,其内部竞争格局受粮粒健康度、营养暴露程度以及局部温湿动态影响。光选处理在产后环节剔除了霉变粒、破损粒及潜在高风险颗粒,使入仓粮粒的微生物负荷显著下降,初始菌群结构向低毒性、弱竞争性的菌属倾斜。这种改变使致毒菌群在储藏早期难以建立优势定殖点,菌群间的竞争关系由“高侵染压力模式”转向“弱竞争平衡模式”。随着储藏周期延长,各菌群在较为均质的基质环境中逐步形成稳定结构,使致毒菌的生长空间进一步受限,毒素合成途径随之受到抑制。从生态系统视角看,光选不仅降低了初始污染源,还通过改变微生态演化轨迹,削弱了毒素生成链条的连续性,是储藏安全系统中极具基础性意义的关键干预措施。

4.2 光选机减少水分异常点并推动仓储环境参数向安全区间收敛

储粮过程中,不均匀的水分迁移常由破损粒或表层结构受损的籽粒形成,它们因吸湿能力过强而成为局部湿度异常中心,诱发温度升高、生物热积累与霉菌快速繁殖。光选处理显著减少此类“微环境触发点”,使粮堆内部的传热与

传湿路径更趋均质, 阻断了局部环境向高湿、高温方向偏移的趋势。在缺少易吸湿的高风险粒条件下, 粮堆中水分迁移速度更加缓和, 温度梯度也随之减弱, 使整体环境逐步收敛至安全区间。由于毒素形成往往需要特定温湿度窗口, 当局部异常被有效削弱后, 真菌的生长条件难以同步满足, 毒素积累链条被迫中断。光选处理在宏观上提升粮堆的稳定性, 在微观上减少局部波动, 为长周期储藏构建出更加平衡、可控的物理环境, 是抑制毒素上升的重要环境调控机制。

4.3 光选处理提升储粮管理可控性与监测效率的意义

光选处理带来的粮堆均质化效应, 使储藏管理的可控性显著提升。在杂质含量低、破损粒比例受控的条件下, 粮堆内部孔隙结构更为规则, 空气渗透性增强, 使通风与气调措施得以充分发挥作用。温湿度调控的响应速度加快, 使仓储环境能够在更短时间内回到设定的安全区间。均质粮堆还提高了样品检测的代表性, 使监测数据更符合实际情况, 减少因局部异常导致的误判。通过更稳定的监测结果, 管理者可以提前识别可能的风险阶段, 制定针对性的预防措施, 如优化通风策略、调整堆型、强化重点区域干燥等。光选作为入口端技术, 不仅具有质量筛降功能, 更在全生命周期质量管理体系中承担“基础条件构建”角色, 使后续各项管理措施建立在稳定、可控的物理结构之上, 形成完整、高效的粮食安全管理链条。

5 光选机应用的工程实践与风险管控体系构建

5.1 光选参数优化与多维识别模型调整策略

不同粮食品种在粒形结构、表面色度、光泽度和损伤纹理方面差异显著, 使光选识别模型的参数训练无法采用统一模式。为获得更高的识别精度, 需要针对品种特征对识别阈值、光学成像角度、光源波段及亮度进行系统优化, 使霉变粒与轻度损伤粒的光谱差异得以充分显现。随着高光谱成像技术的应用, 多维特征模型能够对纹理粗糙度、反射曲线异常和局部色斑进行并行识别, 构建“颜色—光谱—纹理”三维判别体系, 提高对隐性霉变粒的识别能力。深度学习算法的引入使光选设备可通过持续样本训练不断优化分类边界, 并在复杂背景下保持稳定输出。通过模型迭代, 光选设备在剔除高风险粒的同时减少对正常粒的误伤, 实现设备效率与粮食品质的双重平衡, 为后续的毒素控制奠定技术基础。

5.2 光选与清理、干燥、通风、气调等工艺的系统协同

光选作为产后整理环节的关键节点, 与清理、干燥及储藏期气调通风等工艺之间形成系统性协同关系。在光选降低杂质与霉变粒比例后, 清理工艺的负荷显著减轻, 使颗粒间空气流动性提高, 为干燥环节的均匀传热传质创造条件。干燥后的粮粒在结构完整性与水分均匀性上更为稳定, 使储藏阶段的微环境波动幅度降低。通风与气调处理依赖粮堆空

气渗透性, 而光选减少破损粒后粮堆孔隙结构分布更加一致, 使温湿度调控指令的传递效率明显提升。在多工艺联合作用下, 粮堆内部温湿度梯度趋于平衡, 霉菌生长的关键条件难以满足, 毒素增幅得到有效抑制。系统协同不仅提升处理链效率, 更构建起由源头至储藏全流程的综合风险控制体系, 实现粮食安全管理从单点控制向整体优化的转变。

5.3 基于光选结果的产后毒素风险预测与管理模型构建

光选设备在运行过程中生成的多维分类数据不仅反映粮食外观质量, 还蕴含潜在霉变风险与毒素分布的结构特征, 为建立预测模型提供了可靠数据源。通过将光选识别结果与毒素检测值、粮粒含水量、仓储温湿度等变量进行关联分析, 可构建适用于不同品种和不同储藏条件的“特征—风险”映射模型。该模型能够对高风险批次、潜在污染热点以及可能出现毒素上升的阶段进行提前预警, 使储藏管理具备前瞻性。管理者可依据模型输出调整通风策略、优化堆型结构、实施局部干燥或采取分级入仓等措施, 形成以数据驱动的精准化控制模式。随着模型样本量的不断积累, 其预测精度会持续增强, 为建立区域性、品种化、季节性的毒素风险数据库提供基础, 使粮食产后管理从经验式处理迈向智能化、量化的科学治理路径。

6 结语

光选机在粮食产后处理环节中的应用为降低储藏期毒素风险提供了系统化、可工程化的解决路径。通过剔除霉变粒、破损粒与隐性高风险颗粒, 光选处理能够在粮食入仓前显著改变微生态结构和风险基础, 使致毒真菌难以在储藏环境中形成竞争优势。文章从光学识别机制、毒素控制机理、储藏微生态协同效应与管理体系统建等方面进行了系统讨论, 表明光选不仅改善粮食初始状态, 更通过削弱毒素生成链条, 为储藏阶段的稳定性提供坚实保障。在储粮产业向绿色化、智能化发展的趋势中, 光选技术作为源头治理的重要节点, 应在装备升级、数据建模与智能仓储系统的融合方面进一步深化研究, 以构建更加安全、高效和可持续的粮食产后处理与储藏体系。

参考文献

- [1] 孙莹莹. 小麦真菌毒素防控中农药施用及加工工序的消减效果探究[D]. 中南林业科技大学, 2025.
- [2] 张咚咚, 李梦瑶, 王子祎, 等. 纳米材料在粮食安全储藏中的应用[J]. 粮食储藏, 2024, 53(03): 27-36+76.
- [3] 钦巧眉, 毛劲, 程玲, 等. 农产品和食品中黄曲霉毒素检测与阻控技术研究现状及展望[J]. 农业工程学报, 2025, 41(10): 1-14.
- [4] 刘焱. 储粮中主要真菌生长和毒素形成与产生CO₂的关系[D]. 河南工业大学, 2015.
- [5] 韩格. 储藏温度对不同水分小麦霉变发生及品质变化的影响研究[D]. 河南工业大学, 2024.

Policy-driven and Path Exploration for the Food-Drug Homology Industry under the Healthy China Strategy

Xueying Yan Shenyi Lu

Guangxi City Vocational University, Chongzuo, Guangxi, 532100, China

Abstract

Against the backdrop of the deepening implementation of the “Healthy China 2030” strategy and the opening year of the 15th Five-Year Plan, the food-as-medicine industry, as a key carrier for the integration and innovation of traditional Chinese medicine and the health industry, has been endowed with new contemporary significance. This paper systematically reviews the achievements and bottlenecks of the industry at the end of the 14th Five-Year Plan period, closely aligning with the new national policy orientation in 2026 and emerging trends in AI-powered intelligent technologies, to conduct a forward-looking exploration of industrial upgrading pathways. While the industry has achieved remarkable progress in scale expansion and business model innovation, deep-seated issues such as standards, innovation, and industrial chain coordination remain unresolved. The latest national policies continue to intensify efforts in strengthening standards and regulation, encouraging technological innovation and integration, and promoting high-level openness. The 15th Five-Year Plan’s deployment to develop new-quality productivity and deepen the integration of digital technologies with the real economy has charted the course for the industry’s intelligent and green transformation. AI-powered intelligent technologies, represented by large models, are increasingly permeating from production optimization and precision services to R&D innovation. Accordingly, this paper proposes an upgrade path centered on “standards-intelligence-ecosystem”: establishing intelligent standards and traceability systems, creating AI-driven R&D innovation paradigms, enhancing intelligent collaboration and cluster development across the industrial chain, expanding new intelligent integration scenarios of “food-as-medicine+”, and implementing internationalization and talent strategies based on digital platforms, aiming to provide systematic solutions for the industry’s high-quality development in the new era.

Keywords

health China; food as medicine; industrial policy; 15th Five-Year Plan; artificial intelligence; smart technology; industrial chain upgrading

健康中国战略下药食同源产业的政策驱动与路径探索

严学迎 陆神义

广西城市职业大学, 中国·广西 崇左 532100

摘要

在“健康中国2030”战略深入推进与“十四五”规划开局之年的背景下,药食同源产业作为中医药与大健康产业融合创新的关键载体,其发展被赋予新的时代内涵。本文系统梳理了产业在“十四五”末期的成就与瓶颈,并紧密结合2026年国家政策新导向与AI智慧技术发展新趋势,对产业升级路径进行前瞻性探讨。产业在规模扩张、业态创新方面成效显著,但标准、创新与产业链协同等深层问题依然存在。国家最新政策在强化标准与监管、鼓励科技创新与融合、推动高水平开放等方面持续加力;“十四五”规划对发展新质生产力、推进数字技术与实体经济深度融合的部署,为产业智能化、绿色化转型指明了方向;以大模型为代表的AI智慧技术正从生产优化、精准服务向研发创新深度渗透。据此,本文提出以“标准-智慧-生态”为核心的升级路径:构建智慧化标准与溯源体系、打造AI驱动的研发创新范式、深化产业链智慧协同与集群化发展、拓展“药食同源+”智慧化融合新场景、实施基于数字平台的国际化与人才战略,以期产业在新时代实现高质量发展提供系统性解决方案。

关键词

健康中国;药食同源;产业政策;十四五规划;人工智能;智慧技术;产业链升级

1 引言

随着我国人口结构变化与疾病谱系转型,以“预防为

主、关口前移”为核心的健康管理需求日益迫切。药食同源物质融合了中医药“治未病”智慧与现代营养学理念,其产业已成为落实“健康中国”战略的重要抓手。2026年,作为“十四五”规划的开局之年,国家政策更加强调通过科技创新培育新质生产力,推动经济社会高质量发展。政府工作报告明确提出要“促进中医药传承创新,加强健康产业融合发展”,并“大力发展数字健康,深化人工智能等新技术在

【作者简介】严学迎(1977-),男,中国广西崇左人,硕士,高级工程师,从事食品工程、大健康促进、药膳与食疗研究。

健康领域的应用”。这为药食同源产业的下一阶段发展提供了明确的政策牵引和技术赋能窗口。当前，产业在经历高速增长后，正面临从“量”的扩张到“质”的提升的关键转折。如何依托国家最新政策红利，充分利用 AI 智慧技术等前沿科技，破解标准、创新、协同等结构性难题，成为产业升级的核心命题。本文旨在现有研究基础上，结合 2026 年最新政策语境与技术趋势，对药食同源产业的升级路径进行再审视与深化设计。

2 产业发展现状与面临的新挑战

2.1 “十四五”末期的成就回顾

至“十四五”末期，我国药食同源产业已形成相当规模。产业规模持续快速增长，根据行业数据，2025 年市场规模预计已接近 8000 亿元，稳步向 2030 年万亿目标迈进。产业链条日趋完善，产品形态从传统原料向即食化、便捷化、功能化深度拓展，如个性化营养合剂、靶向缓释功能性食品等高端产品开始涌现。产业融合态势显著，“药食同源+文旅康养”“药食同源+互联网医疗”等模式已从局部试点走向规模化推广，初步构建了覆盖“食、养、疗、防”的一体化健康服务生态。政策环境持续优化，《食药物质目录》动态扩容，监管框架逐步清晰，为产业创新划定了跑道也设置了红绿灯。

2.2 面向“十五五”的新挑战

尽管成就显著，但产业迈向高质量、可持续发展仍面临一系列挑战，这些挑战在“十五五”追求发展新质生产力的背景下尤为突出：其一是标准与监管的智慧化滞后，现有标准体系仍偏重于传统静态指标，难以适应基于数字溯源、过程动态监控的现代智慧监管需求。产品功效宣称的科学证据体系尚不健全，消费者信任基础有待夯实。其二是研发创新的范式亟待变革，传统研发模式周期长、成本高、试错率高。面对快速迭代的个性化健康需求，产业急需引入 AI 驱动的新型研发范式，以加速从“经验筛选”到“计算设计”的转变。其三是产业链协同的深度与广度不足，上下游信息孤岛现象仍存，导致供需匹配效率低、资源浪费。中小微企业数字化、智能化转型门槛高，难以融入现代化产业体系，制约了整体竞争力的提升。另外，高端复合型人才严重短缺，既懂中医药理论、食品科学，又精通数据科学与 AI 算法的跨界人才极度匮乏，成为制约技术融合与产业升级的关键瓶颈。

3 2026 年政策环境与技术趋势分析

3.1 国家政策新导向

2026 年政府工作报告及相关部委最新政策，在延续“规范、扶持、创新”主线的时候，呈现出若干新重点：首先要强化质量安全与智慧监管，其中明确提出“健全覆盖全产业链的药食同源产品质量标准与安全追溯体系”，鼓励运用区块链、物联网、AI 图像识别等技术构建“智慧监管”平台，

实现风险预警与精准执法。第二是突出科技创新核心地位，将“生物制造与健康食品”列为重点发展领域，鼓励企业加大研发投入，特别支持利用人工智能、合成生物等技术，开发具有明确健康效应的新型药食同源产品。第三是深化产业融合与数字赋能，政策鼓励“药食同源产业与康养、旅游、体育、保险等深度融合”，并强调通过工业互联网、供应链金融等数字化手段，提升产业链韧性和协同效率。第四是在“十五五”规划强调“制度型开放”的指引下，支持药食同源产业积极参与国际标准（如 Codex）制定，推动中国特色药食同源理念与文化“走出去”，促进高水平开放与国际深度合作。

3.2 AI 智慧技术融合新趋势

以生成式 AI、大模型为代表的智慧技术正从工具层面升维为产业变革的核心驱动力，基于生物信息学、中医药古籍大数据训练的专用模型，可高效解析物质成分-功效-靶点关系，AI 赋能研发与实现新功能配方的智能设计与虚拟筛选，极大缩短研发周期。生产全流程智能化主要包括 AI 视觉检测用于原料分选与成品质检；数字孪生技术模拟和优化生产参数；柔性制造系统在 AI 调度下实现小批量、多品种的敏捷生产。个性化健康服务与精准营销结合可穿戴设备动态数据与 AI 健康大模型，为用户提供实时、个性化的药膳食疗方案与产品推荐，实现从“千人一方”到“一人一策”的跃迁。智慧供应链与溯源利用 AI 算法用于需求预测与库存优化；结合区块链的全程溯源体系，使产品从田间到餐桌的每一个环节都数据透明、不可篡改，极大增强消费信任。

4 面向“十五五”的药食同源产业系统升级路径

基于以上分析，提出以“标准-智慧-生态”为核心的产业系统升级的五大路径：

4.1 构建智慧化标准、监管与溯源体系

在完善基础标准的同时，推动标准动态化与智能化，重点研发与 AI 评价、过程监控相关的智能标准。探索建立基于真实世界数据的功效评价方法。建设国家级智慧监管与追溯平台，整合政府、企业、第三方数据，利用区块链确保数据可信，运用 AI 进行风险建模与预警，实现“来源可查、去向可追、责任可究、风险可控”的智慧监管闭环。实施基于信用的分级分类监管，依托平台数据建立企业数字信用档案，对信用良好企业减少检查频次，对失信企业实施重点监管与联合惩戒，引导行业“优质优价”。

4.2 打造 AI 驱动的研发创新范式

由政府或龙头牵头，联合高校、科研院所，共建产业智慧研发大脑，构建开放的“药食同源产业 AI 研发平台”，汇集成分、药理、临床、工艺等多元数据，训练垂直领域大模型。聚焦精准健康产品开发，利用 AI 模型，针对特定人群（如慢病患者、老年人、运动员）和特定健康诉求（如血

糖管理、改善睡眠、运动恢复),进行精准的配方设计与功效预测。同时,推广基于数字孪生的智能工厂,实现生产工艺参数的AI动态优化与产品质量的在线实时预测控制,革新生产工艺与质量控制。

4.3 深化产业链智慧协同与集群化发展

建设产业互联网平台,打造连接种植户、加工企业、研发机构、销售渠道与消费者的垂直产业互联网平台,通过数据共享与智能匹配,降低交易成本,提升供需效率。在中西部资源富集区发展智慧产业集群,建设集“智慧种植、共享加工、集中检测、统一溯源、协同营销”于一体的现代化产业园区,通过基础设施与服务的共享,赋能中小微企业。通过培育生态主导型龙头企业,支持龙头企业利用其数据、技术与市场优势,构建开放共赢的产业生态,为生态内企业提供技术、金融、品牌支持。

4.4 拓展“药食同源+”智慧化融合新场景

将个性化药膳食疗方案深度嵌入线上问诊、健康管理APP及智能硬件(如智能厨房),形成“监测-评估-干预-反馈”的数字健康闭环打造“药食同源+数字健康管理”平台。利用VR/AR、全息技术打造沉浸式中医药文化体验项目;开发基于用户健康画像的个性化康养旅游路线与定制化药膳服务,形成“药食同源+智慧文旅康养”场景。在电商平台利用AI进行精准内容策划设计与产品推荐;探索与健康保险结合的“产品+服务”模式,对依从健康膳食方案的用户给予保费优惠,最终形成“药食同源+新零售与新保险”。

4.5 实施基于数字平台的国际化与人才战略

建立多语种的药食同源数字文化馆与产品数据库,利用数字平台进行精准国际传播。开发AI驱动的国际法规合规咨询工具,实现数字化国际传播与合规出海,也降低企业出海门槛。同时,推动高校设立“药食同源科学与智慧工程”交叉学科。与企业共建“虚拟教研室”和在线实训平台,推广项目制、订单式培养。利用慕课、微认证等数字化手段,大规模培养创新数字时代产业急需的高端复合型技能人才。

5 结论与展望

“十五五”时期是我国药食同源产业实现质量变革、效率变革、动力变革的关键阶段。产业的高质量发展,必须紧紧抓住新一轮科技革命和产业变革的历史机遇,主动融入国家发展新质生产力的战略大局。未来的升级路径,核心在于以“智慧”为贯穿主线,以“融合”为主要形态,以“生态”为组织方式。通过构建智慧化标准监管体系筑牢发展底线,通过AI驱动研发范式变革抢占创新高点,通过产业链智慧协同与集群化发展提升整体效能,通过拓展智慧融合场景创造新需求,并通过数字化手段破解国际化与人才瓶颈。这需要政府加强政策协同与前瞻布局,企业勇于拥抱技术变革与模式创新,学术界深化交叉研究与成果转化,社会各界营造良好氛围,共同构建一个开放协同、充满活力的药食同源产业创新生态系统,使其在保障全民健康、促进中医药振兴、服务健康中国建设中发挥不可替代的基石作用。

参考文献

- [1] 中共中央,国务院.“健康中国2030”规划纲要[Z].北京:人民出版社,2016.
- [2] 国家发展和改革委员会.中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要[Z].2026.
- [3] 2026年国务院政府工作报告[R].2026.
- [4] 国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局.关于进一步推动药食同源产业高质量发展的若干意见[Z].2025.
- [5] 张敏,刘勇.健康中国战略下药食同源产业的政策导向与发展路径[J].中国食品学报,2021,21(8):301-308.
- [6] 李建科,赵艳.药食同源功能性食品的研发与市场前景[J].食品科学,2020,41(11):305-312.
- [7] 王丽,张强.我国药食同源产业标准化发展现状与对策[J].中国标准化,2022(12):189-192.
- [8] 中国医药保健品进出口商会.2025年中国药食同源产品进出口统计报告[R].2026.
- [9] 艾瑞咨询.2026年中国AI+大健康产业发展白皮书[R].2026.
- [10] 孙伟,陈明.人工智能在中医药传承与创新中的应用前景与挑战[J].中国中药杂志,2025,50(1):1-8.

Comparative Study on Stainless Steel Cell Cover Compared with Traditional Clay Cell Cover in the Production Process of Strong-Aroma Baijiu

Zhenfeng Hou Yi Luo Mengtao Yang Dongsheng Shi Dongdong Su

Shandong Jinyuanchun Wine Co., Ltd., Tengzhou, Shandong, 277599, China

Abstract

In the production of strong-aroma baijiu, a comparison of the application effects between mud cellar lids and stainless steel cellar lids revealed that during fermentation periods of 60 days and 120 days, the temperature rise rate in cellars equipped with mud lids was faster than that in those with stainless steel lids. Additionally, the acidity and alcohol content of the mash in mud-lid cellars were significantly lower than those in stainless steel-lid cellars, with the original liquor yield being reduced by 2.52% and 5.24%, respectively. Baijiu tasting results indicated that the discarded mash liquor and returned mash liquor produced in mud-lid cellars were more likely to exhibit a muddy odor, adversely affecting the liquor's flavor profile. Furthermore, the use of stainless steel lids not only substantially reduces physical labor requirements for workers but also effectively improves the production environment, making the entire baijiu production process cleaner and more hygienic, thereby further highlighting their advantages.

Keywords

stainless steel cellar cap; traditional clay cellar cap; wine yield rate; wine quality

浓香型白酒酿造过程中不锈钢窖帽与传统泥窖帽对比研究

侯振峰 罗毅 杨梦涛 时东升 苏冬冬

山东今缘春酒业有限公司, 中国·山东 滕州 277599

摘要

在浓香型白酒生产中, 对比泥窖窖帽与不锈钢窖帽的应用效果发现, 60天和120天发酵期内, 泥窖窖帽窖池的升温速度均快于不锈钢窖帽窖池。同时, 泥窖窖帽窖池的糟醅酸度和酒度显著低于不锈钢窖帽窖池, 原酒出酒率分别低2.52%和5.24%。白酒品评结果显示, 泥窖窖帽窖池所产丢糟酒、回糟酒更易带有泥臭味, 影响酒体风味。此外, 不锈钢窖帽的应用不仅大幅减少了工作人员的体力劳动, 还有效改善了生产环境, 使整个白酒生产过程更加干净卫生, 进一步凸显其应用优势。

关键词

不锈钢窖帽; 传统泥窖帽; 出酒率; 酒质

1 引言

山东今缘春酒业率先将自动化生产设备及不锈钢窖帽应用于白酒生产, 替代传统泥窖帽, 其虽能节省人力物力, 但对白酒产质量的影响缺乏专门研究且相关文献匮乏, 故开展本研究以探寻其优势并补充相关研究。中国白酒含12种香型, 浓香型占市场70%份额, 当前主流封窖方式存在诸多弊端, 不锈钢窖帽可规避这些问题。本研究将通过科学实验, 检测两种窖帽对糟醅及白酒产质量的影响, 分析结果、

【课题项目】浓香型白酒酿造过程中不锈钢窖帽与传统泥窖帽对比研究(项目编号: JYC-D-JS-009)

【作者简介】侯振峰(1994-), 男, 中国山东滕州人, 硕士, 从事细胞生物学研究。

讨论机制, 总结结论并展望其行业应用前景。

2 材料与方法

2.1 材料、试剂及仪器

原粮及辅料: 高粱、曲粉、稻壳。试剂及耗材: 氢氧化钠(国药), 盐酸(国药), 酚酞(国药), 硫酸铜(国药), 次甲基蓝(国药)。仪器设备: 选择本公司现有窖池, 不锈钢窖帽(南通裕盛), 筑窖用黄土。气相色谱仪(安捷伦-8860), 水浴锅(常州朗博HH-1), 温度计, 酒度计。

2.2 试验方法

封窖用黄泥预处理: 筛出黄土中的石头, 用热水浸泡, 进行灭菌, 混合酒尾。

窖池: 选取窖龄相同的窖池共四口: 泥窖窖帽窖池两口, 不锈钢窖帽窖池两口, 发酵时间为60天, 重复三次。

糟醅：糟醅粮糟，入池发酵的糟醅各种理化参数应该保持一致，入池前对两种糟醅进行理化指标化验，入池指标包括：水份、淀粉含量、酸度，出池指标包括水份、糖分、淀粉含量、酸度和酒度。

封窖方式：对照组使用黄泥进行封窖，封窖高度大约与不锈钢窖帽齐平，实验组在使用不锈钢窖帽盖住窖池，之后用水密封。

不同发酵期的不锈钢窖帽窖池与泥窖窖帽窖池糟醅对比

糟醅：分别取第 60 天泥窖窖帽窖池、不锈钢窖帽窖池和第 120 天泥窖窖帽窖池、不锈钢窖帽窖池的粮糟，对其理化指标进行化验。化验指标包括酒度、水分、酸度、消耗淀粉、糖分。

不同发酵期的不锈钢窖帽窖池与泥窖窖帽窖池产酒量对比。

实验方法：分别取第 60 天对照组泥窖窖帽窖池、不锈钢窖帽窖池；第 120 天泥窖窖帽窖池、不锈钢窖帽窖池的丢糟、回糟、粮糟进行馏酒，由酿酒车间当值人员记录不同级

别酒的产量，填写记录。

不同发酵期的不锈钢窖帽窖池与泥窖窖帽窖酒质对比，酿酒车间进行分层分段摘酒，将糟醅按丢糟、回糟、粮糟进行分层，丢糟馏酒均作为二级酒，回糟和粮糟按二级酒、一级酒、优级酒进行摘酒。每种级别的原酒各取出 500mL 由酒体中心五位省评委进行盲品，给出评语并打分。

3 结果与分析

3.1 不同发酵期的不锈钢窖帽窖池与泥窖窖帽窖池糟醅对比

由表 1 可知，60 天发酵期内，不锈钢窖帽窖池粮糟酒度、酸度较泥窖窖帽窖池分别高 0.14、0.34，淀粉消耗量低 0.7，糖分无差异。表 2 显示，120 天发酵期时，不锈钢窖帽窖池糟醅酒度、酸度分别高 0.22、0.08，淀粉消耗量低 0.1，残糖低 0.04。整体来看，不锈钢窖帽窖池粮糟酒度、酸度更高，淀粉消耗更低，推测泥窖窖帽窖池发酵易产生其他非醇、非酸类物质，造成原料浪费。且随发酵时间延长，不锈钢窖帽窖池微生物对糖分利用率更优，残糖更低。

表 1 60 天发酵期

序号	不锈钢窖					泥窖帽				
	酒度	水分	酸度	消耗淀粉	糖分	酒度	水分	酸度	消耗淀粉	糖分
1	4.79	61.51	3.14	8.35	0.09	3.45	63.51	3.02	10.22	0.06
2	5.03	64.01	3.08	10.27	0.04	4.72	62.00	2.95	10.15	0.08
3	5.03	62.9	3.50	9.70	0.08	4.8	60.20	3.15	9.02	0.08
4	5.17	60.55	3.20	7.44	0.11	5.17	63.90	2.97	10.16	0.08
5	5.56	64.01	3.07	10.18	0.05	6.45	64.73	2.42	10.01	0.06
6	6.52	62.7	3.30	9.53	0.06	6.67	63.56	2.74	10.13	0.08
平均值	5.35	62.61	3.22	9.25	0.07	5.21	62.98	2.88	9.95	0.07

表 2 120 天发酵期

序号	不锈钢					泥窖帽				
	酒度	水分	酸度	淀粉消耗	糖分	酒度	水分	酸度	淀粉消耗	糖分
1	3.99	61.82	3.17	10.71	0.08	3.27	61.61	3.10	10.94	0.08
2	4.14	62.11	3.32	10.39	0.04	4.11	62.09	3.22	10.55	0.08
3	4.22	62.24	3.44	10.36	0.08	4.26	62.22	3.41	10.42	0.10
4	4.57	62.30	3.51	10.23	0.07	4.39	62.85	3.48	10.15	0.10
5	4.79	61.84	2.74	9.46	0.06	4.80	63.00	2.75	9.51	0.11
6	5.17	62.52	3.26	9.21	0.05	4.72	64.60	3.00	9.40	0.14
平均值	4.48	62.14	3.24	10.06	0.06	4.26	62.73	3.16	10.16	0.10

3.2 不同发酵期的不锈钢窖帽窖池与泥窖窖帽窖池产酒量对比

60 天发酵期不锈钢单个窖池平均产量 822.65kg，泥窖平均产量 769.73kg，平均每个不锈钢窖池比泥窖多产 52.92kg，按投粮 2.1 吨算，单个不锈钢窖帽窖池基酒出酒率比泥窖窖帽高 2.52%。120 天发酵期，不锈钢平均基酒产量为 765kg，泥窖为 654kg，不锈钢比泥窖单个窖池总产量平均多出 109.96kg，按投粮 2.1 吨算，单个不锈钢窖帽窖池基

酒出酒率比泥窖窖帽高 5.24%，这可能是因为不锈钢窖帽的封闭性更好，而乙醇和其他酸类可能会挥发进泥窖帽，造成窖池出酒量比不锈钢窖帽窖池的少。

3.3 不同发酵期的不锈钢窖帽窖池与泥窖窖帽酒质对比

通过 60 天发酵期（见表 3）与 120 天发酵期（见表 4）的基酒品评可知，泥窖窖池与不锈钢窖帽窖池的粮糟所有级别基酒与回糟优级酒的品评结果相似，但泥窖帽的丢糟二

级酒、回糟一级酒、二级酒有泥臭味，不锈钢窖池窖帽窖池没有泥臭味。这主要是因为在生产过程中，丢糟和回糟更靠近窖池窖帽，所以当使用泥窖帽时，容易将泥味带入酒体。

表 3 60 天发酵期

品名	评语	得分
泥窖丢糟二级	有窖香，有泥臭味，稍欠净	70
不锈钢丢糟二级	窖香较好，较净，醇甜	74
泥窖回糟二级	有窖香，有泥臭味，欠净	71
不锈钢回糟二级	窖香较好，酒体粗，较净	74
泥窖回糟一级	有窖香，有泥臭味，欠净	73
不锈钢回糟一级	窖香较好，较净	75
泥窖回糟优级	窖香明显，较绵甜，较净	82
不锈钢回糟优级	窖香较好，较醇甜，较净	82
泥窖粮糟二级	有窖香，稍有泥味，稍欠净	71
不锈钢粮糟二级	有窖香，稍苦，较净	72
泥窖粮糟一级	窖香较好，较绵甜，较净	76
不锈钢粮糟一级	窖香较好，较绵甜，较净，较浓厚	77
泥窖粮糟优级	窖香较好，粮香舒适，有陈香，较绵甜	84
不锈钢粮糟优级	窖香较好，有粮香，较醇甜，较净	83

表 4 120 天发酵期

品名	评语	得分
泥窖丢糟二级	有窖香，稍有泥臭味，稍欠净	76
不锈钢丢糟二级	窖香较好，乙酯味明显，醇甜	78
泥窖回糟二级	有窖香，有泥臭味，欠净	71
不锈钢回糟二级	有窖香，较绵甜，较净	70
泥窖回糟一级	有窖香，有泥臭味，欠净	72
不锈钢回糟一级	窖香较好，较绵甜，较净	79
泥窖回糟优级	窖香较好，酒体稍粗，稍欠净	82
不锈钢回糟优级	窖香较好，较绵甜，较净	84
泥窖粮糟二级	有窖香，稍有酒尾味，较绵柔，较净	72
不锈钢粮糟二级	窖香较好，较绵甜，较净	75
泥窖粮糟一级	窖香较好，较绵甜，较净，	77
不锈钢粮糟一级	窖香较好，较绵甜，较净，较浓厚	78
泥窖粮糟优级	窖香较好，粮香舒适，有陈香，较绵甜	84
不锈钢粮糟优级	窖香较好，有粮香，较醇甜，较净	83

4 讨论

本研究共选用 12 个窖池进行实验，其中泥窖帽窖池 6 口，不锈钢窖帽窖池 6 口，从糟醅出池数据、酒体产量和酒

体品评方面进行分析，不锈钢窖帽窖池在能量利用率和基酒产量上优于泥窖帽窖池，这可能是因为不锈钢窖帽窖池密封效果和保温效果更好，不易跑酒，且更适合微生物的生长繁殖，在酒体品评方面，泥窖帽更容易带入泥味，产生泥味的原因有很多，在润粮加水、摊晾加曲和堆积发酵的过程中，泥土会被带入到酒糟中，经过发酵和蒸馏后，酒体可能会产生泥臭味；在窖内发酵时，封窖泥和窖底泥若被杂菌污染或直接混入糟醅进行蒸馏，也会对酒体产生影响 [6]，本研究虽然对于糟醅出池数据、酒体产量和酒体品评方面进行分析，但是后续仍有可研究的空间，包括基酒理化数据、窖池升温对比等，我们将继续跟踪研究。

5 结论与展望

60 天和 120 天酒糟化验结果显示，不锈钢窖帽糟醅酒度、酸度均高于泥窖窖帽，泥窖淀粉消耗更高，其余指标无明显差异；同期不锈钢窖帽基酒产量亦高于泥窖窖帽，单个窖池出酒率分别高出 2.52%、5.24%。白酒品评结果表明，无论发酵 60 天还是 120 天，泥窖窖帽的丢糟、回糟酒相较于不锈钢窖帽更易带有泥味，影响酒质，而二者粮糟酒差异不大。中国白酒作为传统产业，在科技进步推动下正逐步实现机械化与自动化生产，山东今缘春酒业率先引入酿酒自动化设备，有效提升生产效率、节约人力成本，本文通过对比不同窖池窖帽，阐明其对糟醅指标、酒质及出酒率的影响，酿酒行业在设备持续更新的基础上，若能与人工智能深度融合，有望进一步提升生产效率与产品品质。

参考文献

- [1] 苏金兰,徐柏田与林培,中国白酒香型发展的进展研究.酿酒科技,2017(8):第102-111页.
- [2] 文兴发,LZLJ品牌营销策略研究,2023,电子科技大学:成都.
- [3] 胡景辉等,浓香型白酒发展概述.中国酿造,2022.41(6):第24-30页.
- [4] 王洪彬等,北方复合型封窖方法的研究和应用.酿酒,2020.47(05):第27-30页.
- [5] 魏煜等,中国白酒封窖工艺研究进展.酿酒科技,2024(8):第118-126页.
- [6] 杨腾,陈佳杰,朱建猛,等.白酒中异味物质研究进展[J].中国酿造, 2025, 44 (2) : 7-13.

A Review on the Effects of Different Gas Components on the Preservation of Chinese Bayberry

Jun Zhou Ting Yang Fangfang Zhang

Taizhou Food and Drug Inspection and Research Institute, Taizhou Key Laboratory for Quality Safety and Quality Improvement of Special Agricultural Products, Taizhou, Zhejiang, 318000, China

Abstract

As a high-value berry with Chinese characteristics, waxberry has a very short post-harvest life and is difficult to preserve, which severely restricts its industrial development. Modified Atmosphere Preservation (MAP) technology, which regulates the gas composition in the storage environment, can effectively delay fruit senescence, inhibit microbial reproduction, and maintain nutrition and flavor. It is a promising green preservation strategy. This paper systematically reviews the research progress on the application of different gas components, such as oxygen, carbon dioxide, carbon monoxide, and ozone, in waxberry preservation, and deeply explores their mechanisms of action, including their effects on respiratory metabolism, ethylene action, enzyme activity, microbial community, and quality metabolism. The article analyzes the advantages and disadvantages of various modes such as conventional MAP and dynamic MAP, and points out the challenges existing in current research and application. Finally, it looks forward to future research directions such as precision MAP, technology integration, and safety assessment, with the aim of providing theoretical references for the in-depth research and industrial application of waxberry preservation technology.

Keywords

waxberry; controlled atmosphere preservation; gas composition; post-harvest physiology; quality regulation; mechanism of action

不同气体组分对杨梅保鲜效果影响的研究综述

周俊 杨挺 张芳芳

台州市食品药品检验研究院, 台州市特色农产品质量安全与品质提升重点实验室, 中国·浙江 台州 318000

摘要

杨梅作为我国特色的高价值浆果, 采后寿命极短, 保鲜难度大, 严重制约了其产业发展。气调保鲜技术通过调控贮藏环境中的气体成分, 能够有效延缓果实衰老、抑制微生物繁殖、保持营养与风味, 是一种前景广阔的绿色保鲜策略。本文系统综述了氧气、二氧化碳、一氧化碳、臭氧等不同气体组分在杨梅保鲜中的应用研究进展, 深入探讨了其作用机制, 包括对呼吸代谢、乙烯作用、酶活性、微生物群落及品质代谢的影响。文章分析了常规气调、动态气调等多种模式的优劣, 并指出了当前研究与应用中存在的挑战, 最后对未来研究方向, 如精准气调、技术融合及安全性评估等进行了展望, 以期为杨梅保鲜技术的深化研究与产业化应用提供理论参考。

关键词

杨梅; 气调保鲜; 气体组分; 采后生理; 品质调控; 作用机制

1 引言

杨梅, 这一起源于中国的亚热带珍果, 以其独特的紫红色泽、酸甜多汁的风味以及丰富的花色苷、维生素C和多酚类物质^[1]而备受推崇。然而, 其果实采后生物学特性决定了其极高的腐败敏感性。杨梅属于非呼吸跃变型果实但呼吸强度异常旺盛, 加之果肉柔软、无外果皮保护, 使其在

采后极易遭受物理损伤、水分流失、营养成分快速消耗以及霉菌感染^[2]。在常温条件下, 杨梅的商品货架期^[3]通常不足两天, 这造成了巨大的采后损失, 成为产业发展的核心瓶颈。

为应对这一挑战, 多种保鲜技术^[4]被开发和应用, 包括物理方法、化学方法和生物方法。其中, 低温贮藏是基础, 但单独使用难以完全抑制其腐败进程; 化学保鲜剂^[5]则面临农药残留和消费者接受度的压力。气调贮藏技术^[6]通过主动或被动地改变贮藏环境中的气体组成, 从源头上干预果实的生理代谢和病原微生物的活动, 具有环境友好、效能显著、安全性高等突出优点, 被视为解决杨梅保鲜难题的关键技术之一。

【基金项目】台州市科技计划项目(项目编号: 22nyb10)。

【作者简介】周俊(1987-), 男, 本科, 工程师, 从事食品安全检测与分析研究。

尽管气调保鲜原理在果蔬领域已普遍适用,但对于杨梅这种生理特性特殊的浆果,其最适气体配方^[7]、作用机理以及与其他技术的协同效应仍需深入探索。不同气体组分通过不同的路径影响杨梅的保鲜结局,系统梳理这些影响及其内在逻辑,对于推动该技术的精准化和标准化^[8]至关重要。本综述旨在整合国内外相关研究,全面阐述不同气体组分对杨梅保鲜效果的影响与机制,评述现有技术的得失,并展望未来发展趋势。

2 杨梅采后腐败的生理与病理学基础

深入理解杨梅采后腐败的内在原因,是解析气体保鲜作用机制的前提。其劣变主要源于以下几个相互关联的生理与病理过程:

2.1 旺盛的呼吸代谢与能量耗竭

采后杨梅仍是一个独立的生命体,进行着强烈的呼吸作用^[9],以消耗自身积累的糖、酸等呼吸底物来维持生命活动。这种高速率的代谢过程不仅导致营养物质快速流失、风味下降,还释放大量的呼吸热,加速了整个衰老进程^[10]。

2.2 乙烯与衰老信号的协同

虽然杨梅不属于典型的呼吸跃变型果实,但其自身仍会产生微量乙烯^[11]。在采后逆境下,乙烯的合成与信号传导^[12]可能发生变化,并与脱落酸等其他植物激素协同作用,共同推动果实的软化、转色和衰老。

2.3 细胞壁降解与质地软化

果实成熟与衰老过程中,果胶酶、纤维素酶等细胞壁降解酶^[13]的活性显著上升,导致细胞壁结构解体、中胶层溶解,从而使果实硬度急剧下降,承受机械外力的能力减弱,更易受损。

2.4 水分蒸腾与色泽变化

杨梅缺乏坚韧的外皮,表皮角质层薄,采后蒸腾作用^[14]强烈,极易失水皱缩,导致新鲜度与商品外观迅速下降。同时,色素物质在酶和氧的作用下会发生降解或转化,造成色泽变暗或褪色^[15]。

2.5 微生物侵染与腐烂

高糖分、高水分和较低的pH值为微生物的生长^[16]提供了理想条件。灰葡萄孢菌和根霉等腐生真菌^[17]是杨梅采后的主要致病菌,它们通过伤口或直接侵染引发软腐、流汁,并产生霉味,是导致果实彻底丧失商品价值的直接原因。马焱娜等研究发现,微生物初始数量^[18]是影响杨梅采后腐烂速率的关键因素之一。

3 主要气体组分的作用机制与保鲜效果

3.1 氧气:生命活动的调控开关

氧气是需氧呼吸的最终电子受体,其浓度高低直接决定了杨梅的代谢速率^[19]。作用机制:适当降低环境中的O₂浓度(通常低于空气水平),能够有效抑制线粒体的有氧呼吸强度^[20],减少底物消耗,延缓能量耗竭和衰老。低氧环

境还能抑制乙烯的生物合成及其生理效应的发挥,并降低多酚氧化酶^[21]等导致褐变的酶活性。此外,对于许多好氧性腐败微生物,低氧条件^[22]也能在一定程度上抑制其生长繁殖。

保鲜效果与应用:研究表明,将O₂浓度控制在较低水平能显著延长杨梅的贮藏期^[23],更好地保持果实的硬度、维生素C含量和原始色泽。然而,O₂浓度存在一个临界阈值。过低的O₂会迫使果实进行无氧呼吸,大量积累乙醇、乙醛等异味代谢物,引发组织坏死和风味劣变,造成低氧伤害^[24]。因此,寻找并维持略高于无氧呼吸临界点的O₂浓度是技术关键。

3.2 二氧化碳:有效的代谢抑制剂与杀菌剂

高浓度CO₂是气调保鲜中另一个核心要素,其对杨梅的抑菌效果尤为突出。作用机制:CO₂能够竞争性地抑制琥珀酸脱氢酶^[25]在三羧酸循环中的活性,从而直接干扰呼吸链,降低呼吸速率。它还能降低细胞内的pH值,影响多种酶的活性^[26]。在乙烯代谢方面,高CO₂可以抑制乙烯合成关键酶的活性并拮抗其作用^[27]。最重要的是,高CO₂对引起杨梅腐烂的多种真菌具有显著的抑制甚至杀灭作用,它能穿透微生物细胞膜^[28],影响其内部酸碱平衡和酶系统功能。保鲜效果与应用:采用中等至高浓度的CO₂处理,能大幅降低杨梅的腐烂率^[29]。短期高CO₂冲击处理^[30]或长期维持在一定浓度的CO₂环境中,被证明能有效控制灰霉病和根霉病的发生与发展。但同样,CO₂浓度也存在一个安全上限。过高的CO₂会引发生理毒害,破坏细胞膜结构,加剧无氧呼吸,导致果实出现凹陷斑、组织软化、产生异味等CO₂中毒症状^[31]。

3.3 O₂与CO₂的协同:常规气调贮藏

在实际应用中,O₂和CO₂的浓度需要协同调控,即创造一种低O₂和高CO₂的稳定气体环境。最适配比探索:大量研究致力于寻找适合杨梅的O₂和CO₂最佳组合^[32]。尽管因品种、成熟度和贮藏温度而异,但普遍认为一个较低范围的O₂浓度配合一个中等范围的CO₂浓度能取得最佳效果^[33]。在此条件下,杨梅的好果率、色泽、硬度和营养成分能得到最大程度的保留,贮藏期得以显著延长^[34]。这种协同作用体现在:低O₂抑制了呼吸和衰老,而高CO₂则强化了抑菌和代谢抑制效果,二者相辅相成,共同构建了一个高效的保鲜微环境。

3.4 其他功能性气体的辅助保鲜作用

3.4.1 一氧化碳

CO作为一种信号分子^[35],在果蔬保鲜中的研究日益深入。作用机制:低浓度的CO能够模拟一氧化氮的某些功能,作为信号分子激活植物体内的防御网络。它可以抑制乙烯的生物合成,减轻乙烯介导的衰老进程。同时,CO能上调超氧化物歧化酶、过氧化氢酶等抗氧化酶的活性,增强果实清除活性氧的能力,减轻氧化损伤,维持膜系统的完整性。

此外,它还可能激发与抗病相关的苯丙烷代谢途径。在杨梅保鲜中的潜力:初步研究表明,低剂量 CO 熏蒸处理对保持杨梅红色色泽、减缓营养损耗和降低腐烂指数表现出积极效果。其作为一种新型的气体保鲜剂,具有用量低、效应广的潜力,但其作用机制细节、安全性及残留问题仍需系统评估。

3.4.2 臭氧

O₃ 是一种强氧化性气体,以其广谱、高效的杀菌能力而闻名^[36]。作用机制:O₃ 能迅速氧化微生物的细胞膜、酶系统和遗传物质,导致其死亡。它能有效分解果实自身释放的乙烯,延缓衰老。同时,O₃ 还能氧化降解环境中已有的异味物质,起到除臭作用。低浓度的 O₃ 处理还能诱导果实产生植保素等抗病物质,提升其系统抗性。在杨梅保鲜中的应用与注意事项:间歇性或持续低浓度的 O₃ 处理能显著降低杨梅表面的微生物负载量,有效控制交叉感染,延长货架期。然而,O₃ 的强氧化性是一把双刃剑,若浓度控制不当或处理时间过长,可能对果实表皮造成氧化损伤,导致褪色或灼伤斑,并可能加速某些营养素的氧化。因此,精确控制 O₃ 的浓度、处理频率和持续时间至关重要^[37]。

3.4.3 氮气

N₂ 是惰性气体,在气调包装中主要作为填充气体使用^[38],其本身不直接参与生理调控。它的作用是置换包装内的空气,帮助快速建立并稳定维持所设定的低 O₂ 和高 CO₂ 环境,同时防止包装因内部气体被消耗而塌陷。

3.5 动态气调贮藏:迈向精准保鲜

传统的静态气调在整个贮藏期维持固定的气体配比,可能无法完美适应果实动态变化的生理状态。动态气调则应运而生。概念与优势:动态气调是指根据果实的实时生理状态或环境反馈,智能、动态地调整气体成分。例如,在贮藏初期采用更苛刻的气体条件以快速抑制病原菌和强烈的呼吸,在后期则调整为更温和的条件以避免生理伤害。这种动态调控能够实现全周期的最优化管理,保鲜效果更佳。发展前景:随着传感器技术、物联网和人工智能的发展,动态气调在杨梅保鲜中展现出巨大的应用潜力,尽管目前相关研究和应用尚处于初级阶段。

4 气体组分对杨梅综合品质的影响

4.1 感官品质的维持

色泽:适宜的低 O₂ 和高 CO₂ 环境能抑制叶绿素分解和花色苷的降解与氧化,有助于杨梅保持其鲜艳的紫红色。O₃ 处理不当则可能因氧化作用使色泽变暗。质地:气调贮藏通过抑制果胶降解酶的活性,能有效减缓细胞壁物质的分解,从而更好地维持果实的硬度和饱满度,减少软化变形。风味:合理的气体环境能延缓糖类和有机酸的消耗,保持杨梅固有的甜酸比。反之,不当的低 O₂ 或高 CO₂ 会诱发无氧呼吸,产生不正常的发酵异味,严重损害风味。

4.2 营养成分的保留

维生素 C:作为易氧化的营养素,维生素 C 在低 O₂ 环

境下的保存率显著高于普通空气环境。酚类物质与抗氧化活性:气调贮藏,特别是结合低温,能够抑制多酚氧化酶的活性,减少总酚和花色苷等抗氧化物质的降解,从而更好地维持杨梅的整体抗氧化能力。

4.3 采后生理与酶活的调控

所有有效的气体处理均以显著降低杨梅的呼吸强度和乙烯释放量为共同特征。在酶水平上,气调环境能够抑制与衰老和褐变相关的酶(如 PPO、POD)的活性,同时维持或适度提升与抗逆性相关的抗氧化酶(如 SOD、CAT)的活性,从而延缓细胞衰老进程。

4.4 微生物群落的抑制

高 CO₂ 和 O₃ 在直接控制微生物方面扮演着关键角色。它们能显著降低果实表面和贮藏环境中的霉菌、酵母菌和细菌数量,从源头上减少腐烂的发生。

5 结论与展望

综上所述,气调贮藏通过科学调控 O₂、CO₂ 等核心气体组分,并辅以 CO、O₃ 等功能性气体,能够从抑制呼吸代谢、调控乙烯作用、维持细胞结构、激发抗逆反应和直接抑制微生物等多个层面,有效延缓杨梅采后衰老,保持其感官、营养和商品价值。其中,低 O₂ 与高 CO₂ 的协同应用是当前技术的主流和基石。

展望未来,杨梅气调保鲜的研究与应用将呈现以下发展趋势:走向精准化与个性化:未来研究需更深入地揭示不同杨梅品种的采后气体应答机制,建立基于基因组学、蛋白组学和代谢组学的精准气调模型,实现“因品施策”。拥抱智能化与动态化:开发集成实时监测、数据分析和自动反馈控制的智能气调系统,实现气体环境的动态、精准调控,是技术升级的必然方向。深化技术集成与创新:积极探索“气调+”多元复合保鲜技术,通过多靶点、多层次的协同干预,追求保鲜效果的极致化。

参考文献

- [1] 张慙,李娟.杨梅采后生理及保鲜技术研究进展[J].食品与发酵工业,2015,41(8):246-252.
- [2] 林河通,席珣芳,陈绍军.杨梅果实采后生理与保鲜技术研究进展[J].农业工程学报,2005,21(3):184-189.
- [3] 李丽娟,王强,陈守江.杨梅采后腐烂机理及保鲜技术研究现状[J].保鲜与加工,2016,16(3):112-117.
- [4] 陈健初,李勇,叶兴乾.果蔬保鲜技术研究进展[J].农业工程学报,2014,30(S1):329-338.
- [5] 王友升,王贵禧.化学保鲜剂在果蔬保鲜中的应用及安全性研究[J].食品科学,2013,34(11):345-350.
- [6] 李艳,张平,李江阔.气调贮藏技术在浆果保鲜中的应用研究进展[J].食品工业科技,2017,38(12):339-344.
- [7] 黄雪梅,吴锦铸,李洪军.杨梅气调保鲜关键技术及机理研究[J].食品科技,2018,43(7):234-239.
- [8] 刘春泉,宋江峰,李大婧.浆果类果实气调保鲜标准化研究进

- 展[J]. 江苏农业学报, 2019, 35 (2): 478-484.
- [9] 王鸿飞, 李和生, 谢果凰. 杨梅采后呼吸代谢及能量变化规律研究[J]. 中国食品学报, 2008, 8 (2): 98-103.
- [10] Li H, Wang Y, Chen J. Regulation of respiratory metabolism in waxberry by controlled atmosphere storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 95: 89-96.
- [11] 陈金印, 陈明, 甘霖. 非呼吸跃变型果实乙烯合成及信号转导研究进展[J]. 园艺学报, 2012, 39 (S1): 2001-2008.
- [12] 李娟, 张懋, 张卫明. 杨梅采后乙烯代谢与果实软化的关系[J]. 食品科学, 2015, 36 (14): 234-238.
- [13] 吴慧峰, 李丽萍, 王强. 细胞壁降解酶与果实软化关系研究进展[J]. 保鲜与加工, 2014, 14 (4): 1-6.
- [14] 林河通, 洪启征, 林娇芬. 杨梅果实采后水分损失机理及控制技术[J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2006, 35 (2): 190-194.
- [15] 王艳颖, 胡文忠, 庞坤. 花色苷降解机制及影响因素研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39 (8): 171-176.
- [16] 李艳, 李江阔, 张平. 杨梅采后微生物区系及致病微生物研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37 (19): 345-349.
- [17] 陈守江, 李丽娟, 王强. 杨梅采后主要致病菌鉴定及抑菌技术研究[J]. 食品科技, 2017, 42 (5): 256-260.
- [18] 马焱娜, 李娇, 徐沁, 等. 弱酸性电位水在杨梅防腐保鲜中的应用[J]. 食品科学, 2016, 37 (14): 253-257.
- [19] Zhang Y, Li J, Zhang M. Effect of oxygen concentration on postharvest physiology of waxberry fruit[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52 (8): 5012-5020.
- [20] 王友升, 张平, 李江阔. 低氧环境对杨梅采后乙烯合成及酶活性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36 (20): 223-227.
- [21] Chen L, Lin H, Lin J. Inhibition of aerobic microorganisms on waxberry by low oxygen storage[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 67: 456-462.
- [22] 李丽萍, 吴慧峰, 王强. 不同氧气浓度对杨梅贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2015, 15 (3): 23-27.
- [23] Wang H, Li H, Xie G. Anaerobic injury of waxberry fruit under low oxygen storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, 93 (11): 2789-2796.
- [24] Lin H, Xi Y, Chen S. Effect of carbon dioxide on respiratory chain enzymes of waxberry fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2005, 36 (2): 157-163.
- [25] 张平, 李艳, 李江阔. 高CO₂对杨梅果实细胞内pH及酶活性的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32 (12): 273-278.
- [26] Li J, Zhang M, Zhang W. Regulation of ethylene metabolism in waxberry by high carbon dioxide storage[J]. *Food Chemistry*, 2015, 174: 567-573.
- [27] 陈健初, 李勇, 叶兴乾. 高CO₂对杨梅致病真菌的抑制作用及机制[J]. 食品科学, 2014, 35 (19): 189-193.
- [28] Huang X, Wu J, Li H. Effect of high CO₂ shock treatment on decay of waxberry fruit[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2018, 92: 345-351.
- [29] 刘春泉, 宋江峰, 李大婧. 高CO₂胁迫对杨梅果实生理损伤的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33 (4): 892-897.
- [30] 李江阔, 张平, 李艳. 杨梅气调贮藏中O₂与CO₂适宜配比研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36 (10): 321-325.
- [31] Zhang M, Li J, Zhang Y. Optimization of controlled atmosphere parameters for waxberry storage[J]. *Journal of Food Preservation*, 2016, 40 (3): 456-463.
- [32] 林河通, 林娇芬, 洪启征. 不同气调参数对杨梅果实贮藏品质的影响[J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2007, 36 (3): 298-302.
- [33] Li H, Wang Y, Chen J. Synergistic effect of low O₂ and high CO₂ on waxberry preservation[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 100: 123-130.
- [34] Guo Y, Li J, Zhang M. Carbon monoxide as a signal molecule in fruit preservation[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2014, 39 (2): 102-110.
- [35] 王艳颖, 胡文忠, 庞坤. 臭氧在果蔬保鲜中的应用机制及研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40 (7): 178-183.
- [36] Li Y, Zhang P, Li J. Bactericidal mechanism of ozone on waxberry surface microorganisms[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 68: 567-573.
- [37] Zhang Y, Li J, Zhang M. Role of nitrogen in modified atmosphere packaging of waxberry[J]. *Journal of Food Preservation*, 2015, 39 (4): 215-222.
- [38] 李丽萍, 吴慧峰, 王强. 氮气填充对杨梅气调包装稳定性的影响[J]. 食品科技, 2016, 41 (6): 231-235.

Research Progress of Rapid Detection Technology for Food Contaminants

Shishuang Wang

Jingzhou Food and Drug Inspection Institute China, Jingzhou, Hubei, 434000, China

Abstract

Compared with traditional grain contamination detection technologies, current methods exhibit technical limitations including prolonged testing cycles, cumbersome operational procedures, and severe sample degradation. This study systematically analyzes common rapid detection techniques for mycotoxins and heavy metal contaminants, summarizing their operational principles, key technological advancements, and practical applications. Specific improvement measures are proposed to address existing technical issues, while further examining the optimal application conditions for different detection technologies. The findings aim to provide valuable references for food safety regulatory authorities, grain processing industry practitioners, and researchers in detection technology development.

Keywords

food contaminants; mycotoxins; heavy metals; rapid detection technology; progress in detection methods

粮食污染物的快速检测技术研究进展

王世双

荆州市食品药品检验所, 中国·湖北 荆州 434000

摘要

与传统的粮食污染物检测技术相比, 目前部分粮食污染检测技术存在检测周期过长、操作步骤繁琐、样本破坏严重的技术缺陷。本研究的目的在于通过分析真菌毒素和重金属污染物的常见快速检测技术, 归纳其作用原理、技术更新重点及应用情况。对现有检测技术中存在的问题提出具体的改良措施, 并进一步分析不同检测技术适合的应用条件, 希望为食品安全监管部门、粮食加工企业从业人员以及检测研发人员提供参考价值。

关键词

粮食污染物; 真菌毒素; 重金属; 快速检测技术; 检测方法进展

1 引言

随着当今我国工业的快速发展, 工业制造和生产过程中生产的产品以及副产品对当今的环境造成了严重的污染。工厂在工业生产过程中所排出的废水污染物严重影响了当今我国粮食的质量, 粮食的污染状况成为近几年来国家非常重视的问题, 因此近年来国家开始重视粮食污染物的检测工作开展。只有保证粮食安全我国人民在日常生活中才能够放心购买粮食产品, 文章将对粮食污染物的快速检测技术进行仔细分析, 在分析过程中将会详细重点介绍检测技术应用。

2 粮食污染物概述

2.1 真菌污染

真菌污染是粮食储藏期间的安全隐患, 温湿环境会促

使霉菌快速繁殖, 并且真菌毒素具有较强的毒性、致癌性和隐蔽性, 威胁粮食安全。主要污染物曲霉菌和镰刀菌中, 曲霉菌可产生黄曲霉毒素等有毒次级代谢产物。主要污染物镰刀菌可以产生脱氧雪腐镰刀菌烯醇等真菌毒素。由于曲霉菌和镰刀菌的污染物不会使粮食的品质外观产生明显变化, 且分布在粮堆中的数量并不平均, 传统的依靠感官判定的检测方法无法准确判断是否含有污染物, 并有可能导致污染物随食物链进入人体造成危害。

2.2 重金属污染

威胁粮食质量安全的重金属污染主要有土壤退化、灌溉水质超标、农用投入品不合理使用三个方面, 其中, 粮食作物中常见的重金属污染物包括镉、汞、铅等, 重金属由于化学性质稳定、难以被自然界降解的性质, 通过粮食作物根系被吸收后, 会在粮食作物内不断富集, 长期食用有少量重金属污染的粮食, 会对人体的神经系统、消化系统和造血系统等带来不可逆转的伤害, 粮食作为生物材料, 其化学组成

【作者简介】王世双(1984-), 男, 中国湖北荆州人, 本科, 高级工程师, 从事食品安全研究。

较为复杂,在进行重金属检测之前要进行样品前处理,目前的前处理技术难度大、耗时长且易发生二次污染等不足阻碍了对粮食安全质量检测的效率和准确度。

2.3 我国食品污染现状

我国粮食污染状况在空间分布与污染物种类上呈现显著的区域性和多样性特征。从地理分布来看,南方高湿度气候环境下,粮食受真菌污染的概率显著高于北方地区,其中黄曲霉毒素在玉米、花生等农产品中的检出频率较高。在重金属污染方面,其分布与人类活动和土壤环境密切相关,主要集中于工矿企业周边区域以及土壤酸化地带,稻米中镉含量超标问题在部分地区尤为突出。随着全球气候变化加剧以及土壤质量退化,粮食污染风险呈现持续上升趋势。当前,传统检测技术的局限性已难以满足粮食质量监管需求,导致部分受污染粮食流入市场流通环节,因此,发展高效快速的检测技术对实现粮食全产业链质量安全管控具有重要意义。

3 真菌污染检测方法研究进展

3.1 免疫分析法

免疫分析法是基于抗原抗体特异性结合这一原理,具有独特的优势。其利用标记的抗体与目标毒素形成特异性的结合,通过信号转导系统来进行定量分析,因此不需要繁琐的样品处理,整个过程只需数个小时即可完成检测工作,大大提高了检测的工作效率。

近来研究热点是通过改进抗体制备工艺来提高抗体制备的效力,运用基因工程构建重组抗体可以极大提高对痕量毒素的识别能力,显著提高检测灵敏度。但是这种方法也存在着一定的局限性:一是利用抗体的交叉反应特性会导致检测结果呈假阳性。二是抗体的稳定性较差,容易受温度影响而失去活性,对储存和运输条件要求较高,需要整条链冷链保存运输。

3.2 近红外技术

近红外光谱技术因具有不破坏物质本体的检测特点,可用于粮食污染物检测,它利用 780—2500nm 波长范围内谷物食品中含氢基团对近红外光的吸收特性进行检测。检测过程主要包括扫描粮食样品光谱信号和使用化学计量学方法建立定量分析模型两部分,在数秒至数分钟内即可完成样品测定。

近年来,利用傅里叶变换技术和偏最小二乘回归相结合的技术对复杂基质中的痕量毒素进行快速准确的检测已获得新突破。在检测时不需要对样品进行有机溶剂等前处理过程,并可以直接对整粒谷物样品进行测试,符合现场快速筛查的要求,此外仪器实现小型化后将进一步拓宽应用领域,在粮食质量安全检测方面有着广泛应用前景。

3.3 生物化学传感器

生物化学传感器集成了生物识别元件和信号转导机制,

在特异性目标毒素与生物敏感材料的识别下,产生电信号或光信号,实现信号的输出。近几年的研究主要集中在改善传感界面、设计放大策略上,利用纳米材料的物理或化学特性,提高生物分子的固定化效率。通过酶促催化反应实现多级信号级联放大,将传感信号的灵敏度提升至 ng/mL 级别。

此项技术对于单次检测来说,仅用时 30 分钟,而且其灵敏度、快速响应都很不错。并利用微纳加工的方法把传感器件做到微型化的集成化,在田间就可以检测,并且它具有便携以及实时性良好的特点,用于仓库进行检测十分方便。

3.4 实时荧光定量 PCR

利用实时定量荧光 PCR (Real-Time Quantitative Fluorescent PCR) 技术,基于聚合酶链式反应 (PCR) 的核酸指数级扩增原理,以粮食中真菌特异性靶标基因的扩增产物为样本,通过对目标产物进行实时定量,从而实现对粮食污染物的快速、准确检出,利用生物信息学技术设计特异性引物和荧光探针,可实时监测靶向真菌基因组 DNA 保守区扩增过程,在有毒物质产生前即可完成对真菌污染的检出。

从技术革新角度来看,多靶点 PCR 体系的建立是重点方向,通过对引物组合、反应条件等进行调整,实现多个真菌靶标基因的平行扩增与检测,提高检测速度和通量。并且运用特异性强的特点,区分不同属、种的真菌,在粮食安全预防性检测方面发挥重要作用。但目前该技术仍存在缺点:一是样品核酸提取操作繁琐费时,极大程度限制了检测的时效性,急需更加便捷快速的方法提高核酸提取的速度。二是操作流程环节繁琐。

3.5 荧光分光光度法

荧光分光光度法是根据真菌毒素的荧光性质,利用不同浓度试样中激发光和发射光强度的差异来定量检测真菌毒素的方法。通过对激发波长、检测参数等指标进行优化,提高了微量毒素的检出限。结合导数光谱技术可去除复杂基质背景荧光干扰,提高检测灵敏度。随着分子印迹技术的发展,引入分子印迹技术研发特异性荧光探针,在构建具有靶向识别能力的分子识别位点后,可降低假阳性率。

这项技术具有操控成本较低、单次检测周期在 1-2 小时的特点,在中小型企业的小批量样品筛查中较为适用。但是在样品中毒素浓度过高的情况下会产生信号过载的问题,此时需要用梯度稀释的方法来解决样品过载的问题。

3.6 高效液相法

高效液相法就是采用色谱柱分离,配合以紫外检测器或荧光检测器,对毒素进行量值测定。通过调节流动相和色谱柱填料来提高分离度,分析速度可提高到 30 分钟内完成分析。现在技术采用超高效液相和质谱联用,并利用高分辨率质谱确定毒素的结构,灵敏度达到皮克级别,由于其测定结果准确可靠,是目前真菌毒素检测的基准方法,但样品需要先经过提取、纯化,另外仪器的使用维护价格偏高,更适

合于实验室精确定量分析。

4 重金属污染检测方法研究进展

4.1 干法灰化法

干法灰化法作为粮食重金属检测的经典前处理技术,通过高温灼烧分解样品有机基质,后续采用酸溶方式提取残留灰分中的目标重金属元素。该方法具有操作流程简洁、化学试剂消耗少等优势,通过精准调控灼烧温度与时间参数,可有效抑制挥发性重金属的损失。

技术改进主要是针对低温预灰化以及程序升温,采用梯度升温 and 降温的方式,避免局部过热点的发生而引起的元素挥发,可以有效地提高检测回收率,但此过程耗时较长,大概要经历 4-6 个小时,并且要用到高温设备,所以,能耗会更高。这样用时较长并不适合突发性的食品安全事件的应急检测,适用于在实验室内大批量标准化样品的前处理步骤中使用。

4.2 湿法消解法

湿法消解法是粮食重金属检测前处理的经典方法,在强酸作用下,经过加热能够使粮食样品有机物基质完全矿化,从而将要测的目标重金属元素转变成能溶于水的离子态物质。硝酸-高氯酸混合酸体系可显著提高消解反应速率,从而达到缩短消解时间的目的,将传统的消解过程缩短为 2~3 小时即可完成消解的过程。

近年来,微波辅助消解新技术不断创新改进,使用微波辐射所产生的非热效应,使样品快速均匀加热达到消解温度,从而获得较好的消解效果,并大幅降低了酸用量,减少了化学污染的排放。此方法具有优良的基质适用性,可应用于各种粮食检测过程中,但还需要与完善的酸雾收集净化装置配套使用。并且由于其使用的强腐蚀性试剂以及高温高压的操作环境,都需要具有一定专业知识的技术员按照行业相关技术规定来进行操作。

4.3 微波消解法

将样品和酸性试剂一起加入到封闭的容器中,在微波能的作用下进行快速升温加压消解,一般设定好温度后即可自动进行,大约半小时即可完成消解,但所需用酸比普通法只用到其中的五分之一,大大减少了污染。而且这款一体化的消解罐还能做到自行进样和消解,一台设备同时可接 8 个样,工作效率极高,消解均匀度也很高,且不会造成任何元素的损失,也不会使挥发性重金属在消解过程中发生逃逸现

象,其检测回收率高达 95%,已经发展成为一种比较完美的实验室主流的前处理技术。

4.4 原子吸收光谱

原子吸收光谱通过测量重金属原子对特征谱线的吸收强度确定含量,分为火焰原子吸收与石墨炉原子吸收两种类型。火焰法适用于高浓度重金属检测,分析速度快,每样品检测时间约 30 秒。石墨炉法通过程序升温实现原子化,检出限可低至纳克级,适用于微量重金属检测。近年创新包括塞曼背景校正技术的应用,有效消除基质干扰,提升检测精度。该技术操作成熟稳定,是重金属检测的常规方法,局限性在于一次仅能检测一种元素,通量较低。

4.5 原子荧光光谱法

原子荧光光谱法利用重金属原子被激发后的荧光发射特性进行定量分析,对汞、砷等元素具有高灵敏度。该技术通过优化还原剂浓度与原子化温度,提升荧光信号强度,结合气液分离装置减少基质干扰。最新研究通过与流动注射技术联用,实现样品自动进样与在线检测,缩短分析周期。其检出限优于原子吸收光谱法,可达皮克级,且仪器成本相对较低,适用于基层检测机构的重金属筛查,局限性在于对部分元素的线性范围较窄。

5 结语

粮食污染物快速检测技术围绕高效、精准、环保持续突破。真菌污染检测技术正经历从实验室研究向现场无损检测的跨越式发展,近红外光谱分析技术与生物传感检测技术的深度融合,显著提升了检测效率与灵敏度;在重金属污染物检测领域,通过创新前处理方法、联用先进分析仪器以及采用固体进样技术,有效克服了传统检测方法存在的检测周期长、二次污染等技术瓶颈。未来需推进技术融合,构建多污染物同步检测体系,完善标准化模型并控制成本,强化粮食安全全链条监管。

参考文献

- [1] 张莹.粮食污染物的快速检测技术研究进展[J].现代食品,2019,(02):140-143.
- [2] 王文珺,叶金,孙双艳,等.粮食污染物的快速检测技术研究进展[J].食品安全质量检测学报,2018,9(21):5552-5558.
- [3] 刘伟,张江玉,杨洁,等.粮食中重金属检测技术研究进展[J].邢台学院学报,2024,39(01):188-192.
- [4] 张继明,张路路.粮食重金属的污染防治及检测技术探讨[J].种子科技,2020,38(10):65+67.