

## 技术交流

## 粉丝与粉条的DNA提取方法比较与优化

郑人浩<sup>1</sup>, 邱希斌<sup>2, 3</sup>

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002;

2. 福建省产品质量检验研究院/国家加工食品质量检验检测中心, 福建 福州 350015;

3. 福建师范大学生命科学学院, 福建 福州 350117)

**摘要:**目的:为解决粉丝与粉条因高温挤压和淀粉、多糖类的干扰及化学添加剂导致DNA严重降解的技术瓶颈,研究旨在优化DNA提取方法,以期提高DNA提取效率。方法:以市售主流品牌及电商热销产品为样本,对比CTAB法、多糖多酚植物DNA提取试剂盒(离心柱法)、通用型基因组DNA提取试剂盒(磁珠法)及磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒的提取效率,基于DNA浓度、纯度( $A_{260}/A_{280}$ )及实时荧光PCR扩增效果筛选最优方案,并针对性优化CTAB法的前处理步骤与酶添加策略。结果:磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒提取的DNA浓度(13.68~20.17 ng/ $\mu$ L)与纯度( $A_{260}/A_{280}$  1.54~1.75)最优,但成本较高;优化CTAB法通过“高速破壁匀浆仪粉碎+液氮振荡研磨”前处理与添加5  $\mu$ L $\beta$ -甘露聚糖酶和5  $\mu$ L $\alpha$ -淀粉酶,37 $^{\circ}$ C孵育1 h后,再45 $^{\circ}$ C孵育1 h,使DNA浓度提升至15.69~19.33 ng/ $\mu$ L,较未优化方法处理提升近38%,且与磁珠法提取效果接近。结论:优化CTAB法在保证DNA提取效率的同时显著降低成本,为深加工淀粉制品原料真实性鉴定及市场监管提供了高效、经济的技术支撑。

**关键词:**深加工淀粉制品;掺假检测;DNA提取优化;实时荧光PCR

中图分类号:Q78 文献标识码:A 文章编号:1009-8143(2026)01-0015-08

Doi:10.3969/j.issn.1009-8143.2026.01.03

## Comparison and Optimization of DNA Extraction Methods for Fans and Vermicelli

Zheng Ren-hao<sup>1</sup>, Qiu Xi-bin<sup>2, 3</sup>

(1. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

2. Fujian Provincial Institute of Product Quality Inspection and Research/National Center for Quality Inspection and Testing of Processed Food, Fuzhou, Fujian 350015, China;

3. College of Life Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350117, China)

**Abstract: Objective:** The optimization of DNA real-time fluorescence quantitative PCR spectra aims to solve the technical bottleneck of severe DNA degradation caused by high temperature compression, starch, polysaccharide interference, and chemical additives in fans and vermicelli. The research aims to optimize DNA extraction methods in order to improve DNA extraction efficiency. **Methods:** Using mainstream commercial brands and e-commerce best-selling products as samples, the extraction efficiencies of the CTAB method, polysaccharide-polyphenol plant DNA extraction kits (centrifugal column-based method), universal genomic DNA extraction kits (magnetic bead-based method), and magnetic bead-based DNA extraction kits for deep-processed foods were compared. The optimal method was selected based on DNA concentration, purity ( $A_{260}/A_{280}$ ), and real-time fluorescent PCR amplification efficiency. The pretreatment steps and enzyme supplementation strategy of the CTAB method were further optimized. **Results:** The magnetic bead-based kit for deep-processed foods yielded the highest DNA concentration (13.68–20.17 ng/ $\mu$ L) and purity ( $A_{260}/A_{280}$  1.54–1.75), albeit at a higher cost. The optimized CTAB method, incorporating pretreatment with “high-speed wall-breaking homogenizer

收稿日期:2025-09-12

第一作者简介:郑人浩(2004—),男,2023级本科生,研究方向:植物生态和分子生物学。Email:3170879773@163.com

grinding + liquid nitrogen oscillation grinding” and supplementation with 5  $\mu\text{L}$   $\beta$ -mannanase and 5  $\mu\text{L}$   $\alpha$ -amylase, followed by incubation at 37°C for 1 h and 45°C for 1 h, achieved a DNA concentration of 15.69–19.33 ng/ $\mu\text{L}$ . This represented a 38% improvement over the unoptimized protocol, with performance comparable to the magnetic bead-based method. **Conclusion:** The optimized CTAB method ensures high DNA extraction efficiency while significantly reducing costs, providing an efficient and economical technical solution for raw material authenticity identification and market regulation of deep-processed starch-based products.

**Key words:** deep-processed starch-based products; adulteration detection; DNA extraction optimization; real-time fluorescent

## 引言

粉丝,又称线粉、丝粉,是我国传统的淀粉类食品,具有柔韧、可口、滑润等特点,深受消费者的喜爱。粉丝与粉条作为我国传统淀粉制品,加工的原材料选择面较多,豆类淀粉、薯类淀粉和谷物淀粉等均可作为原料<sup>[1]</sup>。然而,市场上各种淀粉在价格上的差异较大<sup>[2,3]</sup>,价格最高的有绿豆淀粉和豌豆淀粉,价格较低有玉米淀粉和木薯淀粉,这几种淀粉原料和制品的感官非常相近,难以明确区分<sup>[4,5]</sup>。近年来,粉丝和粉条掺假问题频发,尤以以次充好、虚假标注原料成分的案例引发广泛关注。例如以良品铺子为代表的休闲食品企业频繁曝出粉丝类产品掺假事件,引发公众关注。目前市场掺假方式主要有2种,一是将红薯淀粉掺入马蹄淀粉中;二是将木薯淀粉掺入红薯淀粉中<sup>[6]</sup>。以低廉的木薯粉冒充高价红薯粉,这种原料掺假行为不仅构成商业欺诈,更可能引发食品过敏等食品安全风险。食品掺假是消费者常常投诉的案件,特别是无法用肉眼分辨出掺假品类的情况最为突出<sup>[7]</sup>。近年来,技术人员开始普遍使用聚合酶链式反应(Polymerase Chain Reaction, PCR)技术<sup>[8]</sup>、实时荧光 PCR (Quantitative Real-Time PCR, qPCR) 技术<sup>[9]</sup>和数字 PCR (Digital PCR, dPCR) 技术<sup>[10]</sup>开展植物源性成分的检测和鉴定。但是,要从分子生物学层面开展掺假的打假工作,核酸的有效提取是关键,目前粉丝和粉条类深加工产品的 DNA 提取面临着技术难点:其一,深加工可导致 DNA 严重降解,李朝阳等<sup>[11]</sup>研究表明,当温度达到 80°C 时 DNA 完全变性,当温度达到 100°C 时 DNA 降解为碎片。粉丝和粉条生产需经历高温糊化、高压挤出成型及干燥等工序,所以其 DNA 会严重降解导致难以提取;其二, DNA 的提取容易受到淀粉、多糖类物质的干扰,罗素梅等<sup>[12]</sup>研究显示多糖类、色素、酚类、蛋白质等极易造成 DNA 的污染;

其三,传统制造工艺中,为提高韧性,增加口感,减少断条损失,需要在加工过程中添加适量的硫酸铝钾(钾明矾)或硫酸铝铵(铵明矾)等含铝添加剂<sup>[13]</sup>,这些物质会与 DNA 形成稳定的复合物,显著降低提取效率,残留成分一定程度上抑制后续 PCR 扩增效率。这些因素使得传统 CTAB 法或商品化的试剂盒所提取的 DNA 片段短、杂质多,难以满足后续分子检测的需求。因此有必要就如何有效提高粉丝和粉条中 DNA 的提取效率开展进一步的研究,从而为后续采用 PCR 相关技术开展掺假研究提供技术手段。

本研究通过对比 CTAB 法、多糖多酚植物 DNA 提取试剂盒(离心柱法)、通用型基因组 DNA 提取试剂盒(磁珠法)及磁珠法深加工食品 DNA 提取试剂盒的提取质量,采用 DNA 浓度和纯度( $A_{260}/A_{280}$ )及实时荧光 PCR 扩增效果的技术指标进行评判,再结合试剂成本、时间成本、设备成本等多维度评价体系,筛选和优化提取方案。旨在建立一种针对粉丝和粉条的高效、稳定的 DNA 提取方案,为淀粉制品原料真实性鉴定及市场监管提供技术依据,填补淀粉加工食品 DNA 提取方法的研究空白,解决传统方法效率低、兼容性差的问题。

## 1 实验部分

### 1.1 主要仪器与试剂

小型高速离心机:MINISPIN 型,德国艾本德公司。

漩涡混合仪:MS3 basic 型,德国艾卡公司。

分析天平:MSU-125P-100-DU 型,德国赛多利斯公司。

双控恒温金属浴:MB-01-04 型,武汉纳磁生物科技有限公司。

全自动核酸提取纯化仪:TGuide S32 型,天根生化科技(北京)有限公司。

高速混匀仪:Mixer-H 型,武汉纳磁生物科技有

限公司。

高速破壁匀浆仪:HTY-761型,浙江泰林生物技术股份有限公司。

高通量研磨仪:NHG-192型,武汉纳磁生物科技有限公司。

实时荧光定量PCR仪:CFX C1000型,伯乐生命医学产品(上海)有限公司。

生物安全柜:BSC-1604IIB2型,苏州安泰空气技术有限公司。

超微量可见分光光度计:Nanodropone型,赛默飞世尔科技公司。

磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒:武汉纳磁生物科技有限公司。

TGuide Smart通用型基因组DNA提取试剂盒:天根生化科技(北京)有限公司。

Taq PCR Mix (2X, without dye)套装:生工生物工程(上海)股份有限公司。

$\beta$ -巯基乙醇、异丙醇、十六烷基三甲基溴化铵、乙二胺四乙酸二钠:均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 样品的采集

研究所采集的样品涵盖了主要电商网络平台中粉丝和粉条销售量相对靠前的产品和市售主流品牌,还包含部分省份主要品牌以及省内农贸市场的随机散装产品(见表1)。本研究选取了三种市售产品中标称“红薯粉丝”、“木薯粉条”、“豌豆粉丝”等销量较高的样品作为优化性测试样品(编号1~3),同时选取销量较高的另外6批次产品作为适应性测试样品(编号4~9),分别开展相关实验。

表1 实验研究用样品信息

样品编号	样品名称	标称(添加植物)	产地
1	红薯粉丝	红薯	山东省
2	木薯粉条	木薯	广东省
3	豌豆粉丝	豌豆	贵州省
4	新竹米粉	玉米	福建省
5	龙口粉丝	绿豆	山东省
6	冠珠粉丝	豌豆	山东省
7	红薯粉条	红薯	河南省
8	山药粉条	山药	安徽省
9	酸辣粉条	木薯	江苏省

### 1.2.2 DNA提取方法的比较

#### (1)CTAB法

称取100 mg待提取样品于2 mL离心管中,加入1.5 mL CTAB提取缓冲液和10  $\mu$ L蛋白酶K溶液。65°C振荡30 min,12 000 r/min离心10 min,转移上清液至2 mL离心管中。加入750  $\mu$ L氯仿后涡旋振荡,12 000 r/min离心5 min,将上清液转移到新的离心管中。加入2倍体积的CTAB溶液进行沉淀,室温静置1 h,12 000 r/min离心15 min,弃去上清液。加入350  $\mu$ L 1.2 mol/L NaCl溶液将沉淀溶解,加入350  $\mu$ L氯仿,涡旋振荡混匀,12 000 r/min离心10 min。转移上清液后加入0.8倍体积的异丙醇,混匀后20°C放置1 h,12 000 r/min离心10 min,弃去上清液。加入500  $\mu$ L 70%乙醇溶液洗涤沉淀,干燥后溶解于100  $\mu$ L无菌水中,-20°C保存。

#### (2)多酚植物基因组DNA提取试剂盒(离心柱法)

称取100 mg待提取样品于2 mL离心管中,加入300  $\mu$ L的GA提取缓冲液、20  $\mu$ L蛋白酶K溶液和5  $\mu$ L RNA酶溶液。于56°C恒温过夜裂解后,加入200  $\mu$ L缓冲液GB,充分颠倒混合,70°C放置10 min,12 000 r/min离心30 s。加入200  $\mu$ L无水乙醇,涡旋振荡,12 000 r/min离心30 s。转移所有溶液至吸附柱CB<sub>3</sub>中,12 000 r/min离心30 s,倒掉废液,转移吸附柱至收集管中。加入500  $\mu$ L的缓冲液GD,12 000 r/min离心30 s,倒掉废液,重复加入500  $\mu$ L缓冲液GD的步骤后转移吸附柱至收集管中,12 000 r/min离心2 min,倒掉废液。吸附柱CB<sub>3</sub>室温静置5 min,转移至新的离心管,滴加50~200  $\mu$ L洗脱缓冲液TE至吸附膜的中间部分,室温放置2~5 min,12 000 r/min离心2 min,转移溶液到离心管中即得DNA。

#### (3)TGuide Smart通用型基因组DNA提取试剂盒(磁珠法)

称取约100 mg待测样品至离心管,加入300  $\mu$ L Buffer GHA和20  $\mu$ L蛋白酶K溶液,于65°C下振荡加热1 h。加热完成后,冷却至室温,12 000 r/min离心30 s,取300  $\mu$ L上清液加到单样本试剂条的第一孔中,再加入300  $\mu$ L异丙醇,放入全自动核酸提取仪中30 min,取出TE溶解液即得DNA。

#### (4)磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒

称取约100 mg待测样品至离心管,加入1 mL的裂解液和20  $\mu$ L蛋白酶K试剂,再放入1颗5~6 mm钢珠。设置自动研磨仪程序,60 Hz运行30 s暂停

30 s, 循环10次, 随后60℃下2 000 r/min 孵育30 min, 结束后添加80 μL 除杂剂, 充分混匀后8 000 r/min 离心10 min。取400 μL 上清液至试剂盒放入全自动核酸提取仪中30 min, 取出洗脱液即得DNA。

### 1.2.3 CTAB法提取DNA的优化

#### (1) 优化前处理

采用样品编号1~3的3个样品开展优化性实验, 先用剪刀将粉丝与粉条尽可能地剪碎剪小, 然后再进行以下处理。前处理A: 高速破壁匀浆仪粉碎+手工研磨法, 将剪碎的粉丝/粉条放入高速破壁匀浆仪(20 000 r/min) 高速旋转粉碎, 再倒入研钵手工研磨成更细粉末; 前处理B: 液氮振荡研磨法, 将剪碎的粉丝/粉条放入钢罐中, 放入1颗钢罐专用钢珠, 盖紧钢罐并浸泡在液氮中30 s, 研磨仪设置60 Hz 运行30 s后取出钢罐, 再次浸泡在液氮中30 s; 重复研磨操作3次即完成样本研磨处理; 前处理C: 高速破壁匀浆仪粉碎+液氮振荡研磨法, 将经A处理过的样品再按B方法处理。前处理D: 不做任何变化, 之后操作步骤依据CTAB法继续进行提取。

#### (2) 添加酶的优化

选择(1)中优化的最佳处理完成后, 将粉碎好的粉丝/粉条转移到2 mL 的EP管, 加入1.5 mL CTAB提取缓冲液和10 μL 蛋白酶K溶液, 再按以下方式进行处理。处理a: 5 μL α-淀粉酶, 37℃ 孵育1 h; 处理b: 加入5 μL β-甘露聚糖酶和5 μL α-淀粉酶, 37℃ 孵育1 h后, 再45℃ 孵育1 h; 处理c: 不做任何变化。之后操作步骤依据CTAB法继续进行提取。

### 1.2.4 DNA质量浓度及纯度检测

根据GB/T 34796-2017《水溶液中核酸的浓度和纯度检测 紫外分光光度法》, 采用Nanodropone超微量可见分光光度计测定DNA质量浓度及 $A_{260}/A_{280}$ 值。

### 1.2.5 实时荧光定量聚合酶链式反应(RT-qPCR)验证提取效果

选用真核生物高度保守的18S rRNA基因序列设计的引物, 以所提DNA为模板进行PCR扩增。引物序列: 18S rRNA F: TCTGCCCTATCAACTTTC-GATGGTA, 18S rRNA R: AATTTGCGCGCCTGCT-GCCTTCCTT, 18S rRNA Probe: FAM-CCGTTTCT-CAGGCTCCCTCTCCGGAATCGAACC-TAMRA, 扩增片段长度: 137 bp。扩增体系(25 L): Taq PCR Mix(2x) 12.5 μL, 上下游引物各0.5 μL、模板DNA

5 μL, 补足灭菌后的ddH<sub>2</sub>O, 扩增条件: 50℃ 2 min; 95℃ 预变性10 min; 95℃ 15 s, 60℃ 1 min, 40个循环。荧光定量PCR扩增产物通过实时监测荧光信号评估扩增效果。

### 1.2.6 优化DNA提取方法的适应性实验

选用优化的方法提取6种市售粉丝/粉条DNA(样品编号4~9), 通过质量浓度、纯度测定、qPCR 18S rRNA验证优化方法的适用性。

### 1.2.7 数据处理

所有数据平行测定3次, 采用SPSS26软件对数据进行统计分析, 绘图采用Origin 2020软件。

## 2 结果与讨论

### 2.1 DNA提取方法的结果比较

根据1.2所列出的4种方法分别对表1中编号1~3样品进行DNA提取, 提取的质量浓度和纯度见图1。

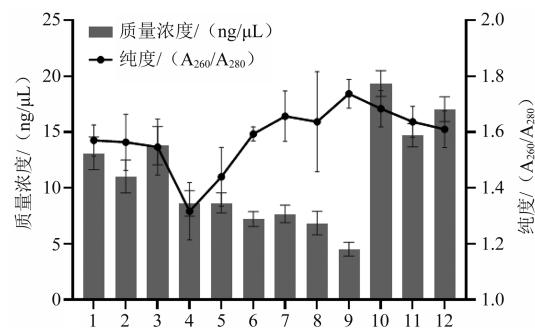


图1 粉丝/粉条DNA提取方法比较

注: 1~3为CTAB法, 4~6为多糖多酚植物DNA提取试剂盒(离心柱法), 7~9为通用型基因组DNA提取试剂盒(磁珠法), 10~12为磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒法。

就纯度而言, 磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒 $A_{260}/A_{280}$ 比值处于1.54~1.75, 优于其他方法, 其DNA浓度在13.68~20.17 ng/μL之间(见图1)。采用不同的方法提取同一种产品的DNA时, 因存在裂解均匀性、RNA或者淀粉等成分的影响, 同一样品的不同批次之间也会存在一定差异。因此 $A_{260}/A_{280}$ 比值范围也会存在变化, 这就导致比值在一个较宽范围内有所浮动。图2为提取DNA实时荧光定量PCR谱图, 结果表明4种方法所提取的DNA均能在18S rRNA内参体系中扩增, 但采用CTAB法提取的DNA虽能扩增出目的片段, 相对荧光强度低, 且CT值靠后; 多糖多酚植物DNA提取试剂盒(离心柱法)

提取的DNA产生的扩增信号严重滞后,且尚未到达对数期;通用型基因组DNA提取试剂盒(磁珠法)提取的DNA虽含量较低,但由于其纯度相对较好,扩增反应较为理想,但也滞后于磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒。

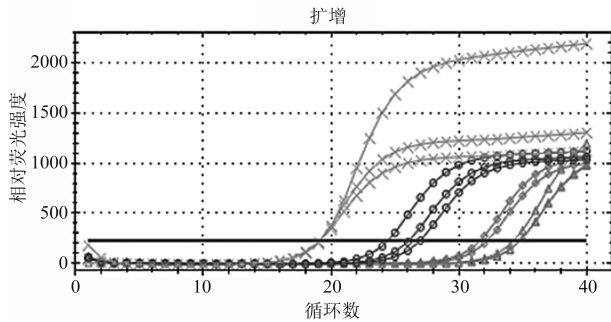


图2 不同提取法提取DNA后实时荧光定量PCR谱图

注:圆形示踪为CTAB法,三角形示踪为多糖多酚植物DNA提取试剂盒(离心柱法),环形示踪为通用型基因组DNA提取试剂盒(磁珠法),交叉形示踪为磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒法

为评估从样本中提取DNA的便捷及有效性,比较了4种DNA提取程序(见表2)。CTAB法需自行配制缓冲液,且需冷藏保存避免溶解物析出;其他方法均为试剂盒法,缓冲液为商品化试剂,质量较为稳定,使用便捷性较好。整个提取过程用时最短的为磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒,能在50 min内提取到含量较高质量较好的DNA。在提取过程

中我们发现,当温度处于65℃时,粉丝/粉条样品由于其产品特性,出现不同程度的变性,从而导致结块而无法混匀,被包裹的样品无法充分接触到裂解液,在一定程度上影响了核酸的释放和沉淀。反观磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒,由于其裂解温度为60℃,且维持时间较短,样品能最大程度在EP管内呈现漩涡形态,能使样品尽可能与裂解液接触,并与蛋白酶K作用,进一步解离DNA,从而提高了DNA的获得量,较为高效与便捷。

## 2.2 优化后DNA提取方法的比较

### 2.2.1 优化样品的前处理

采用不同前处理方式待测样品的效果见表3,其中经前处理A法处理后的待测样品,样品相较于仅用剪刀剪应力切割的样品形态更为细碎,总体呈现味精颗粒状,但仍有大量较大细长颗粒。经前处理B法处理后的待测样品,总体呈现类淀粉状,颗粒较为细腻,偶有细长颗粒,但可通过过筛予以去除,相较于前处理A法提升较为明显。经前处理C法处理后的待测样品,通过初步打碎和液氮低温研磨后,样品呈现为淀粉状,质地细腻,经过筛检验,95%以上能通过325目网筛,通过显微镜观察,粒径约在200 μm左右,相较于B法提升尤为显著。

经处理过的样品采用CTAB法进行后续提取,结果见图3,通过优化前处理方法,DNA的质量浓度有了较为显著的提升,尤其以前处理C为甚,经过处

表2 DNA提取程序对比

方法	裂解相		沉淀相		总提取时间
	缓冲液	时间/温度	缓冲液	时间/温度	
CTAB法	CTAB、TE	65℃/30 min	冷异丙醇	-20℃/1 h	1.5 h
多糖多酚植物DNA提取试剂盒(离心柱法)	Buffer GPS、GPA	65℃/15 min	TE	/	1.5 h
通用型基因组DNA提取试剂盒(磁珠法)	Buffer GHA	65℃/1 h	TE	/	2 h
磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒	裂解液	60℃/30 min	洗脱液	/	50 min

注:“/”表示常温处理且操作时长<5 min。

表3 不同前处理方法下样品处理效果对比

前处理方法	样品形态描述	颗粒细腻度
高速破壁匀浆仪粉碎+手工研磨法	味精颗粒状,大量较大细长颗粒	较粗糙
液氮振荡研磨法	类淀粉状,偶有细长颗粒	较细腻
高速破壁匀浆仪粉碎+液氮振荡研磨法	淀粉状,质地均匀细腻	极细腻

理的样品浓度介于 14.51~18.56 ng/ $\mu$ L, 同前处理 D 的 9.76~10.68 ng/ $\mu$ L 提升了近 80%, 但纯度提升不显著, 分析可能是由于淀粉状样品在裂解时有大量多糖颗粒悬浮在裂解液中, 在电荷作用下对游离出样品本体的 DNA 产生了一定吸附, 又因电荷作用无法完全沉淀, 导致沉淀提取液体中混杂了一定细筛后多糖, 使得纯度未出现较大提升。综上, 通过将粉丝/粉条样品做进一步打粉和研磨处理, 在一定程度上提升了质量浓度, 有利于优质核酸的提取。

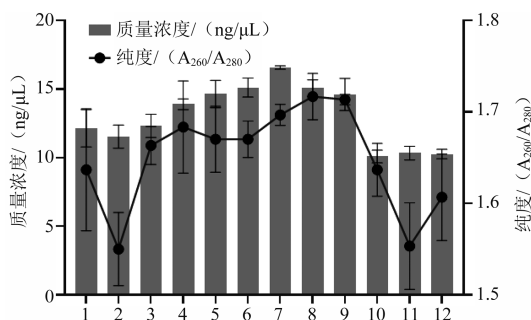


图3 优化前处理的DNA提取方法比较

注: 1~3为处理A法, 4~6为前处理B法, 7~9为前处理C法, 10~12为前处理D法

## 2.2.2 酶添加结果的比较

采用 a、b、c 不同处理方式下, 待测样品的裂解效果见表 4。其中 a 为经处理 a 法处理后的待测样品, 样品相较于仅添加蛋白酶 K 的样品裂解液, 上清液颜色更为暗沉, 并出现大量气泡, 显示为酶解反应发生, 淀粉酶分解了部分淀粉, 溶液中有一定游离糖存在, 下层沉淀略有减少。b 为经处理 b 法处理后的待测样品, 与 a 类似, 有气泡产生, 酶解反应分解了部分类瓜尔胶质, 或使得胶质脱离, 经离心后于液相底部沉淀, 并加深了底部着色, 上清液较 a 与 c 都更为澄清透亮。

经处理过的样品采用 CTAB 法进行后续提取, 提取 DNA 的浓度及纯度见图 4。结果表明, 通过优化前处理方法, DNA 的质量浓度提升甚微。经 a 处理过的样品提取纯度反而有所下降, 添加淀粉酶的 DNA 平均浓度相较仅添加蛋白酶 K 的处理方法, 提高 0.17 ng/ $\mu$ L, 远小于标准差, 且纯度反而有所下降, 分析可能是由于淀粉状样品在通过淀粉酶裂解后, 产生大量二糖和小分子多糖, 这些糖类物质悬浮在裂解液体中, 增加了液体小分子密度, 不利于

表4 不同处理方式下样品裂解效果对比

处理方式	上清液特征	气泡现象	沉淀特征
5 $\mu$ L $\alpha$ -淀粉酶	颜色暗沉	大量气泡	下层沉淀略有减少
5 $\mu$ L $\beta$ -甘露聚糖酶和 5 $\mu$ L $\alpha$ -淀粉酶	澄清透亮	有气泡	底部沉淀增多、着色加深
不做任何变化	颜色淡黄	无明显气泡	下层沉淀未见明显减少

DNA 基于渗透压的主动游离。而通过方法 b 处理的裂解液, 由于胶质的分解沉降, 在蛋白酶 K 的作用下, 相继释放了一部分受束缚的 DNA, 使得 DNA 的得率提升了近 1 ng/ $\mu$ L。综上, 通过加入一定量的相关酶, 在一定程度上能小幅促进质量浓度的提升, 有利于核酸的提取。

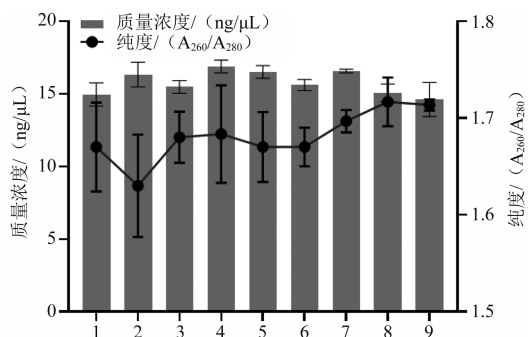


图4 优化酶添加的DNA提取方法比较

注: 1~3为处理a法, 4~6为处理b法, 7~9为处理c法

## 2.2.3 经优化后DNA提取方法适用性的比较

对比优化的方法提取 6 种市售粉丝与粉条 DNA 的适用性, 图 5 为经过优化 CTAB 法提取 DNA 的质量浓度在 15.69~19.33 ng/ $\mu$ L, 纯度在 1.65~1.69; 图 6 为磁珠法深加工食品 DNA 提取试剂盒法提取的 DNA 质量浓度在 15.64~21.47 ng/ $\mu$ L, 纯度在 1.61~1.68 之间。结果表明, 磁珠法深加工食品 DNA 提取试剂盒法提取的 DNA 质量浓度和纯度与优化 CTAB 法相比稍显优势, 但二者实际差异并不显著。图 7 为经优化提取 DNA 方法的实时荧光定量 PCR 谱图, 结果表明, 所提取的 DNA 均能在 18S rRNA 内参体系中扩增, 与采用优化 CTAB 法提取 DNA 的荧光强度与磁珠法深加工食品 DNA 提取试剂盒法提取 DNA 的荧光强度结果相近; 其次, 优化 CTAB 法和磁珠法深加工食品 DNA 提取试剂盒法相比 CT 值稍靠后, 但整体 CT 在 15~30 之间。因此表

明优化CTAB法扩增反应较为理想,满足分子生物学检测的需要。

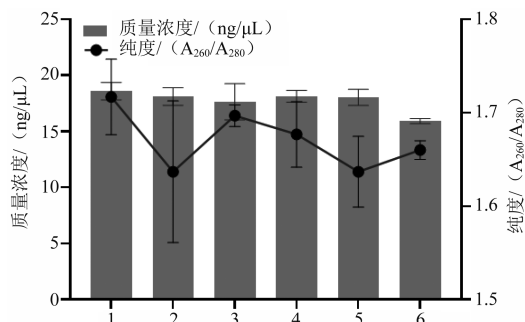


图5 优化CTAB法提取的DNA质量浓度及纯度

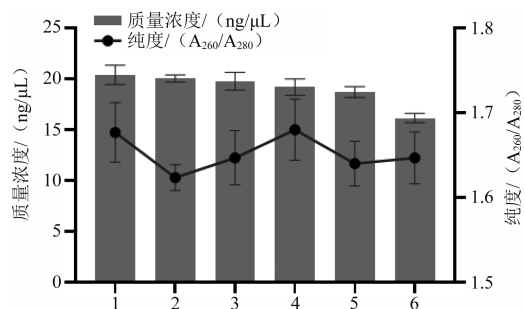


图6 磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒法提取的DNA质量浓度及纯度

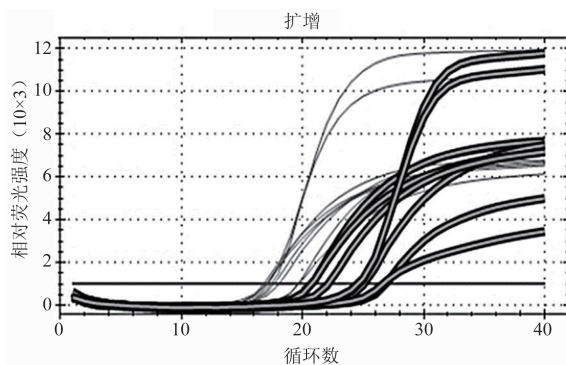


图7 经优化DNA实时荧光定量PCR谱图

注:加粗扩增曲线为优化CTAB法,细扩增曲线为磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒法

### 3 结论

本研究综合比较了CTAB法、多糖多酚植物DNA提取试剂盒(离心柱法)、通用型基因组DNA提取试剂盒(磁珠法)、磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒法提取粉丝和粉条DNA的效率,同步采用qPCR对提取效果进行验证。结果表明4种方法所提取的DNA均能在18S rRNA内参体系中扩增,其中磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒法提取的

DNA相对较好,其次是CTAB法。综合成本角度考虑,选择如下处理方法:基于CTAB法,并通过高速破壁粉碎和液氮振荡研磨法进行前处理,在裂解前加入5 μL β-甘露聚糖酶和5 μL α-淀粉酶,采用37℃孵育1 h后,再45℃孵育1 h。结果表明,优化CTAB法和磁珠法深加工食品DNA提取试剂盒法的提取效果接近,并通过实际样品检测验证了方法的可行性。优化CTAB法在保证DNA可扩增性的同时,显著降低成本,为深加工淀粉制品原料真实性鉴定及市场监管提供了高效、经济的技术支撑。展望未来,在食品掺假事件频发以及分子生物学检测技术飞速发展的今天,对粉丝、粉条等深加工淀粉制品的DNA提取进行优化改进的研究也会不断发展。吴翼等<sup>[14]</sup>提出可以结合数字PCR技术,能准确定量确定深加工食品中成分含量。此外,由于深加工食品在加工过程会经过高温糊化、高压挤出成型、干燥等工序,因此可通过设计能耐受80℃人工DNA特异性标记,在食品的加工制作环节直接嵌入,以解决深加工食品由于深度加工后其含有的天然DNA失活导致不能溯源的问题。今后的DNA提取技术将会更精准地着眼于不同样品进行个性化设计,以期在提取的效率、质量和纯度上谋求新的突破。

### 参考文献

- [1] 潘雪萍,莫罗杭,徐锡明,等. 西南地区淀粉加工型甘薯的淀粉性状对粉丝蒸煮品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(10): 7-13.
- [2] 余以,高德,张萍. 加工工艺对淀粉分子结构及米制品品质影响研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(23): 295-302.
- [3] Li H, Yu L, Yu W, et al. Autoclaved rice: The textural property and its relation to starch leaching and the molecular structure of leached starch[J]. Food Chem, 2019, 283: 199-205.
- [4] 李兵,肖香兰,杨永红,等. 国内外淀粉含量的检测标准现状及检测方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(09): 3830-3839.
- [5] 张明珠,郝明欣,桑喆. 玉米淀粉的扫描电镜分析方法[J]. 理化检验-物理分册, 2022, 58(08): 21-24+28.
- [6] 韩建勋,吴亚君,王斌,等. 实时荧光PCR法快速检测食用淀粉中的木薯成分[J]. 检验检疫学刊, 2015, 25(06): 4-8.
- [7] 施向东,张静,龙兮,等. 南宁市4起木薯中毒事件分析

- [J]. 海峡预防医学杂志, 2020, 26(06):62-64.
- [8] 赵仲麟, 李瑞歌, 秦志扬, 等. 食品中绿豆成分PCR特异性检测方法的建立[J]. 河南农业大学学报, 2017, 51(06): 867-870.
- [9] 陈佳琛, 陈晨, 张瑞, 等. 实时荧光PCR法鉴别莜面中掺杂淀粉的植物源性[J]. 食品安全导刊, 2023, (11): 122-128.
- [10] 秦爱, 王娟, 邓方进, 等. 数字聚合酶链式反应技术在食品安全核酸检测领域中的研究进展及标准化现状[J]. 食品科学, 2024, 45(18): 350-360.
- [11] 李朝阳, 李良玉, 刁静静. pH和温度对蛋白结构和功能特性影响的研究进展[J]. 科学技术创新, 2019, (18): 59-60.
- [12] 罗素梅, 郭崇炎, 刘小平, 等. 5种金边瑞香基因组DNA提取方法比较研究[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(05): 74-77+88.
- [13] 辛博, 陈哲, 闫玉滢. 淀粉及淀粉制品的质量安全状况及监管建议[J]. 食品安全导刊, 2023, (26): 68-70.
- [14] 吴翼, 刘蕊, 郭爱汕, 等. 硅胶干燥对棕榈科植物DNA提取效果的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(18): 83-86.

## 投稿中常见的问题

<1>数字和英文单位间,除了%、℃、\$外,其他单位和数字之间均需加四分之一汉字。

<2>公式请用(Word—插入—对象—Microsoft公式3.0)编辑,否则显示为乱码;公式中凡是变量须斜体,例如: $R$ 、 $r$ 及 $n$ ;体积比 $v/v$ ,质量比 $m/m$ ,质核比 $m/z$ ;信噪比 $S/N$ ,标准曲线中的 $X$ 、 $Y$ 或 $x$ 、 $y$ ,扩展不确定度中的包含因子 $k$ 等。

<3>英文摘要中~应为-;中文部分应为~(半角波浪线)。

<4>比号不能用冒号:代替,请用特殊符号输入比号:

<5>“重组大肠杆菌全细胞催化合成 $\beta$ -烟酰胺单核苷酸”中,“ $\beta$ -”应改为“ $\beta$ -”, $\beta$ -表示取代基、分子构型时,应用斜体。

<6>千分空:从小数点起,向左和向右每三位数字一组,组间空四分之一汉字,即二分之一阿拉伯数字的位置。  
示例:55 235 367.346 239 823 535

<7>负号不能用横线-代替,要用特殊符号输入-;小于号和大于号不能用尖括号<>代替,要用特殊符号输入<>。

<8>参考文献格式按《信息与文献 参考文献著录规则》(GB/T 7714-2015)编写,参考文献以 $\geq 10$ 篇为宜。

<9>本刊投稿需要包含英文部分:标题,作者,单位,摘要,关键词。

<10>投稿作者需要提供:通讯地址,收件人,手机号。

<11>关键词

在中英文摘要下面标引3~8个关键词,中英文对照。关键词间用“;”分隔,最后一个关键词后不加标点符号。关键词不得用缩写、缩略词,应给出全称。应使用全国科技名词委员会规范发布的术语、专业名词,尽量避免自造。

<12>计量单位

采用法定计量单位。在一个组合单位符号的表示中只可以采用1条斜线的形式,如 $\text{mg/kg}$ , $\text{mmol/L}$ 等表示,但若有2个以上单位时,应采用负数幂的形式表示,如“ $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{min})$ ”可用“ $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ”但不能用“ $\text{ng}/\text{kg}/\text{min}$ ”表示,也不能写为 $\text{ng}/\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ ,文章中的计量单位格式应保持一致。百分数起止前后均应加百分符号,如40%~60%。面积用长 $\times$ 宽表示,应写成2 cm $\times$ 3 cm;体积用长 $\times$ 宽 $\times$ 高表示,应写成2 cm $\times$ 3 cm $\times$ 4 cm。避免使用不规范单位符号,如“rpm”应写为“r/min”、浓度单位“M”应写成“mol/L”、避免浓度当量“N”单位符号。千瓦符号kW。单位W必须大写,倍率千小写k,ml应改为mL,uL应改为 $\mu\text{L}$ 。

<13>表格:表格应有表序和表题,并放在表的上方。尽量使用“三线表”,必要时可加辅助线。表中参数应标明量和单位(用符号),名称与单位之间用“/”或用()隔开。

<14>图:插图应有中文图序和图题,并放在图的下方。

<15>图表:要避免重复,能用文字叙述时尽量不使用图表。图表在正文对应部分需引用。

<16>仪器设备,实验药品要有厂家信息。

《福建分析测试》编辑部

2026年1月