DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250620002
引用格式: 朱晓玲, 陈锂, 刘杰, 等. 基于微观形貌特征分析的葛根淀粉掺假鉴别研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(7): 13–21.
ZHU XL, CHEN L, LIU J, *et al*. Study on the identification of adulteration in *Puerariae lobatae* starch based on microscopic morphological characteristics analysis [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(7): 13–21. (in Chinese with English abstract).

基于微观形貌特征分析的葛根淀粉掺假鉴别研究

朱晓玲[1,2,3], 陈 锂[1,2,3], 刘 杰[1,2,3], 王 彬[1,2,3], 江 丰[1,2,3*], 刘 艳[1,2,3], 周翠云[1,2,3], 李贝贝[1,2,3]

[1. 湖北省食品质量安全监督检验研究院, 武汉 430075; 2. 国家市场监督管理总局重点实验室(动物源性食品中重点化学危害物检测技术), 武汉 430075; 3. 湖北时珍实验室, 武汉 430075]

摘 要: 目的 建立基于微观形貌特征分析的葛根淀粉掺假鉴别方法。**方法** 采用扫描电子显微镜技术, 对自制的真实葛根淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉、红薯淀粉、马铃薯淀粉的微观形貌进行观察, 通过特征分析, 对各种淀粉显微颗粒的主要典型形貌进行总结与描述, 并进一步对模拟葛根淀粉掺假样品(葛根淀粉中掺入玉米淀粉、木薯淀粉、红薯淀粉、马铃薯淀粉)开展微观形貌分析, 总结各类淀粉的形貌差异与鉴别要点, 验证方法的可靠性并开展实际样品的分析。**结果** 葛根淀粉与玉米淀粉、木薯淀粉、红薯淀粉、马铃薯淀粉在微观形貌特征上存在一定的差异, 当存在掺假时, 可以进行准确鉴别。**结论** 基于微观形貌特征分析方法可以用于鉴别葛根淀粉的掺假, 该方法简单、无需进行样品前处理, 为葛根淀粉的掺假鉴别提供一种直观、便捷的技术手段。

关键词: 扫描电子显微镜; 葛根淀粉; 微观形貌; 掺假鉴别

Study on the identification of adulteration in *Puerariae lobatae* starch based on microscopic morphological characteristics analysis

ZHU Xiao-Ling[1,2,3], CHEN Li[1,2,3], LIU Jie[1,2,3], WANG Bin[1,2,3], JIANG Feng[1,2,3*], LIU Yan[1,2,3], ZHOU Cui-Yun[1,2,3], LI Bei-Bei[1,2,3]

(1. *Hubei Provincial Institute for Food Supervision and Test*, *Wuhan* 430075, *China*; 2. *Key Laboratory of Detection Technology of Focus Chemical Hazards in Animal-derived Food*, *State Administration for Market Regulation*, *Wuhan* 430075, *China*; 3. *Hubei Shizhen Laboratory*, *Wuhan* 430075, *China*)

ABSTRACT: Objective To establish a method for identifying adulteration of *Puerariae lobatae* starch by analysis of microscopic morphological characteristics. **Methods** The microscopic morphology of self-prepared authentic *Puerariae lobatae* starch, corn starch, cassava starch, sweet potato starch and potato starch were observed by using

收稿日期: 2025-06-20
基金项目: 国家市场总局科技计划项目(2023MK086); 国家重点研发计划项目(2023YFF1104700)
第一作者: 朱晓玲(1987—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 342960150@qq.com
***通信作者:** 江丰(1985—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 349136833@qq.com

scanning electron microscopy. Through characteristic analysis, the main typical morphologies of various starch microparticles were summarized and described. Then microscopic morphology analyses were conducted respectively on the simulated *Puerariae lobatae* starch adulterated with corn starch, cassava starch, sweet potato starch and potato starch, summarized the morphological differences and identification points to verify the reliability of the method and carry out the analysis of actual samples. **Results** The differences of microscopic morphological characteristics could distinguish *Puerariae lobatae* starch from corn starch, cassava starch, sweet potato starch and potato starch when the adulteration was present. **Conclusion** The analysis method of microscopic morphological characteristics can be used to identify the adulteration of *Puerariae lobatae* starch. The method is simple and does not require sample pretreatment, it can be provide an intuitive and convenient technical for the *Puerariae lobatae* starch adulteration identification.

KEY WORDS: scanning electron microscope; *Puerariae lobata* starch; microscopic morphologymicromorphology; adulteration identification

0 引 言

葛根(*Puerariae lobatae*)为豆科植物葛的干燥根，于上世纪九十年代被我国卫生部列入药食同源的名录中。葛根具有解肌退热、生津止渴、透疹、升阳止泻、通经活络、解酒毒[1]以及降血压、降血脂等辅助保健功效[2–4]，以葛根为原料生产的葛粉是一种优质的植物淀粉，除了含有大量淀粉外，还含有葛根素、异黄酮等物质，近年来市场需求激增。然而由于葛根原料价格较高，葛根淀粉出粉率低，部分商家通过掺入廉价淀粉(如木薯淀粉、玉米淀粉等)牟取暴利，损害消费者权益，不利于社会公众对国家食品安全的信任，同时也不利于我国葛根产业的高质量发展与壮大。辛博等[5]、王书雅等[6]指出淀粉掺伪在食品加工中可能已经是一种较为普遍的现象，近年来关于淀粉类产品的掺杂使假等舆情信息也不断涌现，引起公众广泛关注，因此开发淀粉类产品的掺假鉴别技术具有一定意义。

葛根素是葛根粉的关键成分之一，GB/T 30637—2014《食用葛根粉》中对葛根粉产品的质量指标葛根素进行了限量值的规定，根据产品等级(优级品、一级品、合格品)葛根素含量必须分别大于等于 40、30、20 mg/kg，新制定的新版标准 GB/T 30637—2025《食用葛根粉质量通则》中，将葛根素指标限量根据等级(特级品、优级品、合格品)提高至必须分别大于等于 120、80、50 mg/kg，相当于对葛根粉产品的掺假进行了质量指标上的限制，但不同品种、生长环境、生长阶段的葛根，其葛根素含量可能会存在一定的差异，且葛根粉的加工工艺对终产品中葛根素的含量具有较大的影响[7–8]，会存在葛根粉中葛根素含量符合国家标准规定，但无法判断产品中是否掺入其他淀粉的情况。目前，针对淀粉类产品的掺假鉴别，文献报道所采用的技术主要有红外光谱技术[9–10]、拉曼光谱技术[11]，太赫兹光谱技术[12]、高光谱成像技术[13]等光谱技术，同时还有显色分析技术[14]、热分析技术[15]、X-射线衍射仪分析技术[16]以及与粒度分析、黏度分析相结合[17]的技术，以及稳定同位素比质谱技术[18]、核磁共振波谱技术[19]、色谱-质谱技术[20]结合组学技术[21]，实时荧光定量聚合酶链反应方法[22–24]等，为食品的掺假鉴别提供了丰富的技术手段，但直接针对葛根粉掺假鉴别的研究并不多。这些方法中传统的理化方法，容易受加工的影响，存在特异性差、受水分干扰大等问题；光谱技术以及稳定同位素比质谱技术等，通常首先需要采集大量的真实样品数据，结合化学计量学建立判别模型[25]；色谱-质谱技术一般也需要结合组学技术进行数据分析或者寻找特征的标志物成分[26]，对实验人员要求较高，仪器成本高。扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)技术可直观地反映样品的微观形貌特征，相比普通光学显微镜具有高分辨率(可达 1 nm)和更大景深的优势，能清晰呈现淀粉颗粒的立体形貌特征。目前已被应用于大米、小麦淀粉的品种鉴别，也有文献对淀粉类产品的形貌进行了分析[27–28]，SEM 具有食品微观结构鉴别的优势，目前鲜少见应用于葛根粉的掺假检测研究。

本研究主要采用 SEM 技术，基于不同品种的淀粉具有不同的典型微观形貌特征，建立可以用于鉴别葛根粉掺假的技术方法，为葛根粉的掺假鉴别提供了一种直观、便捷的技术手段。

1 材料与方法

1.1 仪器与材料

JSM-IT800 型扫描电子显微镜(含 SEM Center 和 Smile view lab date 操作软件，日本电子株式会社)；XPR105DR 型分析天平[精度 0.01 mg，梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]；FSJ-A05N6 型粉碎机(小熊电器股份有限公司)；UF160 型鼓风干燥箱(德国 Memmert 公司)；CLT55R 型大容量离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司)；

Milli-Q 型超纯水仪(法国密理博公司)。

纯葛根淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉、红薯淀粉、马铃薯淀粉为自购原料后进行淀粉的提取制备获得; 模拟掺假样品: 将纯玉米淀粉、木薯淀粉、红薯淀粉、马铃薯淀粉分别按照 5%的质量比例与制备好的纯葛根淀粉样品进行混合, 制备成自制模拟掺假样品。另有 5 份从不同产地收集的纯葛根淀粉样品, 4 份市售葛根粉样品, 详细样品详细信息见表 1。

1.2　实验方法

1.2.1　纯淀粉样品提取制备

按照食品产品生产许可证审查细则中淀粉类产品的基本生产流程[清洗→浸泡(鲜薯类除外)→磨碎→分离→脱水→干燥→包装], 进行纯淀粉样品的提取制备。分别取 2500 g 新鲜葛根、玉米、木薯、红薯、马铃薯样品, 经清洗, 去皮, 切片后, 按照料水比约 1:5 (*V*:*V*)加入超纯水, 采用粉碎机进行样品粉碎, 浆液经纱布过滤, 过滤后的淀粉悬浊液静置 4~6 h, 分离得到淀粉沉淀, 得到的淀粉沉淀用超纯水反复洗涤、静置、分离, 将最后得到的淀粉沉淀自然晾干或 40 ℃下烘干, 粉碎, 得到纯葛根、玉米、木薯、红薯与马铃薯淀粉。

1.2.2　掺假样品的制备

将木薯、玉米、红薯、马铃薯淀粉分别按质量分数 5%的比例掺入葛根淀粉, 混合均匀, 作为自制模拟掺假葛根淀粉样品。

1.2.3　扫描电子显微镜观察

分别取少量淀粉样品, 均匀撒在带有导电胶的圆形金属样品台上, 用标记笔在载物台上做好标记, 并用洗耳球气流吹散去除散落的以及未固定紧实的淀粉粉末, 将处理好的样品台置于扫描电镜样品仓内进行观察并拍摄照片, SEM 工作加速电压为 3~10 kV, 检测器为二次电子检测器。对样品微观结构进行观察、拍照, 并同时记录、测量可量性特征。

1.3　数据处理

采用 SEM Center 软件进行样品观察及样品图像拍摄, 保存采集的样品数据, 采用 Smile view lab 软件进行样品图像中颗粒长短径的测量与统计, 每个样品中典型形态的颗粒均进行 10 次以上的长短径测量。

2　结果与分析

2.1　各类淀粉的质量指标比较

对现行国家标准中葛根粉与其他常见淀粉(小麦淀粉、马铃薯淀粉、玉米淀粉、豌豆淀粉、甘薯淀粉、木薯淀粉)的质量指标进行系统对比, 见表 2。结果显示, 尽管各类淀粉在理化指标(如水分、灰分、蛋白质含量、黏度等)

表 1　样品信息
Table 1　Sample informations

样品编号	样品名称	原料/配料	来源
1	纯葛根淀粉	葛根	自制
2	纯玉米淀粉	玉米	自制
3	纯木薯淀粉	木薯	自制
4	纯红薯淀粉	红薯	自制
5	纯马铃薯淀粉	马铃薯	自制
6	模拟掺假样品 1	玉米淀粉、葛根淀粉	自制
7	模拟掺假样品 2	木薯淀粉、葛根淀粉	自制
8	模拟掺假样品 3	红薯淀粉、葛根淀粉	自制
9	模拟掺假样品 4	马铃薯淀粉、葛根淀粉	自制
10	纯葛根淀粉 1	有机葛根	湖北随州
11	纯葛根淀粉 2	野生葛根	江西
12	纯葛根淀粉 3	新鲜葛根	湖南
13	纯葛根淀粉 4	野生葛根	安徽
14	纯葛根淀粉 5	葛根	湖北钟祥
15	市售葛根粉 1	野生葛根粉	市售
16	市售葛根粉 2	红豆、山药、大米、葛根等	市售
17	市售葛根粉 3	葛根	市售
18	市售葛根粉 4	葛根粉	市售

表 2 各类淀粉质量指标对比

Table 2 Comparison of various starch quality indicators

等级	指标	GB/T 30637—2014	GB/T 8883—2017《食用小麦淀粉(小麦 A 淀粉)》	GB/T 8884—2017《食用马铃薯淀粉》	GB/T 8885—2017《食用玉米淀粉》	GB/T 38572—2020《食用豌豆淀粉》	GB/T 34321—2017《食用甘薯淀粉》	GB/T 29343—2012《木薯淀粉》
优级品	水分/%	≤14.00	≤14.0	≤20.00	≤14.0	/	≤14.0	≤13.5
	灰分(干基)/%	≤0.25	≤0.25	≤0.50	≤0.10	≤0.2	≤0.3	≤0.20
	蛋白质(干基)/%	/	≤0.30	≤0.10	≤0.35	≤0.4	≤0.1	≤0.20
	斑点/(个/cm^2)	/	≤1.0	≤3.0	≤0.4	≤2.0	≤3	≤3.0
	细度(100 目筛通过率)/%	/	≥99.8	≥99.90	≥99.5	≥99	≥99.5	≥99.8
	白度(457 nm 蓝光反射率)/%	/	≥93.0	≥92.0	≥88.0	≥92	≥82.0	≥92.0
	峰值黏度 6%干物质计, 700 cmg/BU	/	/	/	/	/	≥500	≥600
	黏度 4%干物质, 700 cmg/BU	/	/	≥1300	/	/	/	/
	黏度(6%淀粉糊化液 30 ℃)/(mPa•s)	≥1800	/	/	/	/	/	/
	pH	/	/	6.0~8.0	/	4.0~8.0	6.0~8.0	5.0~8.0
	脂肪(干基)/%	/	≤0.07	/	≤0.10	≤1.0	/	/
	葛根素/(mg/kg)	≥40	/	/	/	/	/	/
	酸度/°T	≤20.00	≤2.00	/	≤1.50	/	/	/
	电导率/(μS/cm)	/	/	≤100	/	/	/	/
一级品	水分/%	≤14.00	≤14.0	≤20.00	≤14.0	/	≤15.0	≤14.0
	灰分(干基)/%	≤0.30	≤0.30	≤0.50	≤0.15	≤0.4	≤0.35	≤0.30
	蛋白质(干基)/%	/	≤0.40	≤0.15	≤0.40	≤0.6	≤0.2	≤0.30
	斑点/(个/cm^2)	/	≤2.0	≤5.0	≤0.7	≤4.0	≤7	≤6.0
	细度(100 目筛通过率)/%	/	≥99.0	≥99.50	≥99.0	≥98	≥99.0	≥99.5
	白度(457 nm 蓝光反射率)/%	/	≥92.0	≥90.0	≥87.0	≥90	≥78.0	≥89.0
	峰值黏度 6%干物质计, 700 cmg/BU	/	/	/	/	/	≥500	≥600
	黏度 4%干物质, 700 cmg/BU	/	/	≥1100	/	/	/	/
	黏度(6%淀粉糊化液 30℃)/(mPa•s)	≥1800	/	/	/	/	/	/
	pH	/	/	6.0~8.0	/	4.0~8.0	6.0~8.0	5.0~8.0
	脂肪(干基)/%	/	≤0.10	/	≤0.15	≤1.0	/	/
	葛根素/(mg/kg)	≥30	/	/	/	/	/	/
	酸度/°T	≤20.00	≤2.50	/	≤1.80	/	/	/
	电导率/(μS/cm)	/	/	≤150	/	/	/	/
二级品(合格品)	水分/%	≤14.00	≤14.0	≤20.00	≤14.0	/	≤15.0	≤15.0
	灰分(干基)/%	≤0.40	≤0.40	≤0.50	≤0.18	≤0.6	≤0.4	≤0.40
	蛋白质(干基)/%	/	≤0.50	≤0.20	≤0.45	≤0.8	≤0.3	≤0.40
	斑点/(个/cm^2)	/	≤3.0	≤9.0	≤1.0	≤5.0	≤9	≤8.0
	细度(100 目筛通过率)/%	/	≥98.0	≥99.00	≥98.5	≥97	≥98.0	≥99.0
	白度(457 nm 蓝光反射率)/%	/	≥91.0	≥88.0	≥85.0	≥89	≥76.0	≥86.0
	峰值黏度 6%干物质计, 700 cmg/BU	/	/	/	/	/	≥500	≥600
	黏度 4%干物质, 700 cmg/BU	/	/	≥900	/	/	/	/
	黏度(6%淀粉糊化液 30 ℃)/(mPa•s)	≥800	/	/	/	/	/	/
	pH	/	/	6.0~8.0	/	4.0~8.0	6.0~8.0	5.0~8.0
	脂肪(干基)/%	/	≤0.15	/	≤0.20	≤1.0	/	/
	葛根素/(mg/kg)	≥20	/	/	/	/	/	/
	酸度/°T	≤20.00	≤3.50	/	≤2.00	/	/	/
	电导率/(μS/cm)	/	/	≤200	/	/	/	/

注: /表示无具体规定。

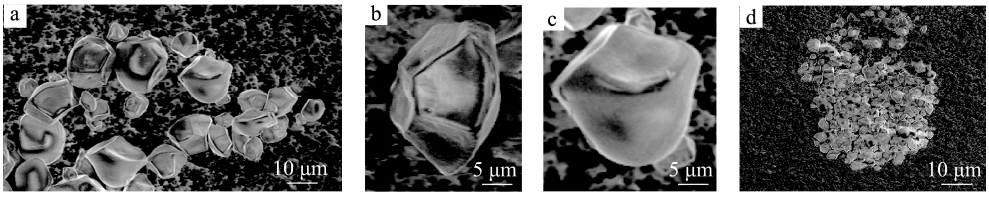
上存在一定差异, 但这些指标的交叉范围较大, 如葛根粉与小麦淀粉、玉米淀粉、甘薯淀粉的水分标准要求均为≤14.0%, 木薯淀粉的水分标准要求为≤13.5%, 这些淀粉与葛根粉混合后, 水分指标仍然能满足标准要求; 葛根粉与小麦淀粉的灰分标准要求均为≤0.25%, 玉米淀粉、豌豆淀粉、木薯淀粉的灰分标准要求分别为≤0.10%、≤0.2%、≤0.20%, 与葛根粉灰分的标准指标要求接近, 且均能满足葛根粉的灰分指标标准要求, 马铃薯淀粉的灰分标准要求为≤0.50%, 虽然与葛根粉存在差异, 但仍可以通过控制掺假比例使终产品的灰分指标达标, 另外, 表 2 中显示各类淀粉在标准指标的设置上也并不完全统一, 现行国家标准中的理化指标体系无法有效区分葛根粉中是否掺入其他淀粉的掺假行为。在部分地方标准 DBS 42/006—2022《湖北省食品安全地方标准 葛粉》及 GB/T 30637—2025 中, 提出了采用显微镜观察典型葛粉淀粉颗粒形态特征的方式作为辅助鉴别样品中是否混入其他淀粉颗粒的行为, 具有一定的标准先进性, 但未对淀粉特异性形貌特征进行量化描述, 检测人员需提前应用光学显微镜观察并熟悉标准中所提及的其他植物对照品淀粉的颗粒形态, 从而减少人为误差, 提高准确性。

2.2　纯淀粉样品的微观形貌特征分析

SEM 是以光栅扫描的方式, 用聚焦很细的电子束扫描固体试样表面, 电子会与元素的原子核还有外层的电子发生多次的碰撞, 包括弹性碰撞和非弹性碰撞。这样就会有一部分的电子经样品表面反射出去, 另一部分电子渗入样品中, 在渗入的过程中逐渐失去动能最终停止运动, 其中高能电子束与样品物质发生交互作用产生各种信号, 主要有二次电子、X 射线、透射电子、背散射电子、俄歇电子、吸收电子等。扫描电镜就是通过检测到这些电子来获得试样表层形貌的信息, 从而对样品进行分析。扫描电子显微镜具有分辨率高、放大倍率高、景深大、立体感强等特点, 可用于观察纳米级别的微粒。在 SEM 观察下, 各种淀粉的微观形貌见图 1~图 6。

由图 1a 可见, 纯葛根淀粉的颗粒在 SEM 下呈现不规则结构, 大小不一, 棱角明显。其主要典型形貌有两种, 一种为不规则的多面体结构, 见图 1b, 类似宝石状, 顶部为小半圆凸弧面, 侧面和底部为类似五边形的刻面; 另一种典型形貌见图 1c, 一侧为光滑半弧球形, 另一侧为凸起的类似三角形组合体。另外, 葛根淀粉颗粒在扫描电镜下观察时, 较多视野区域内可观察到葛根淀粉存在聚集现象, 见图 1d, 多个葛根淀粉颗粒粘连在一起成团分布, 文献[29]中也指出了存在该现象。经软件长短径计算, 葛根淀粉颗粒的粒径范围为 4~15 μm。

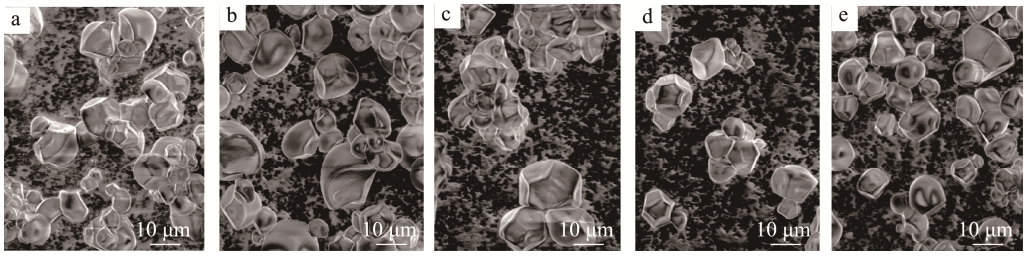
由于葛根淀粉的形态特征描述对于后期进行葛根粉掺假鉴别具有至关重要的作用, 因此, 本研究进一步对采集自不同产地(湖北随州、江西、湖南、安徽、湖北钟祥)的葛根, 经不同生产厂家加工, 制得纯葛根淀粉样品后进行电镜观察, 如图 2a~e, 以明确产地与加工工艺因素对淀粉颗粒形貌的影响, 观察结果显示, 5 份样品在电镜下的微观形貌颗粒均以不规则的多边形为主, 呈现出葛根淀粉典型的多面体-椭球形复合结构, 且部分颗粒紧密地聚集, 形成一定的团聚结构, 表明在目前的生产加工方式下, 可以建立起相对统一的纯葛根粉微观形貌特征标准, 用于判别葛根粉的掺假。



注: a. 纯葛根淀粉; b. 纯葛根淀粉典型形貌 1; c. 纯葛根淀粉典型形貌 2; d. 纯葛根淀粉全貌。

图 1　纯葛根淀粉颗粒微观形貌结构

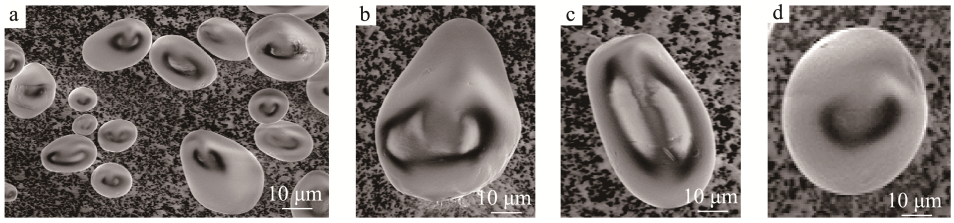
Fig.1　Microscopic morphological structure of pure *Pueraria lobata* starch granules



注: a. 采自湖北随州的葛根淀粉; b. 采自江西的葛根淀粉; c. 采自湖南的葛根淀粉; d. 采自安徽的葛根淀粉; e. 采自湖北钟祥的葛根淀粉。

图 2　不同产地葛根淀粉的微观形貌结构

Fig.2　Microscopic morphological structure of pure *Pueraria lobata* starch granules from different producing areas



注: a. 马铃薯淀粉; b. 马铃薯淀粉典型形貌 1; c. 马铃薯淀粉典型形貌 2; d. 马铃薯淀粉典型形貌 3。

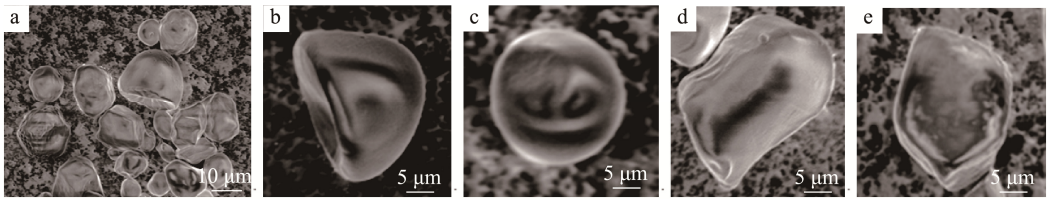
图 3 马铃薯淀粉颗粒微观形貌结构

Fig.3 Microscopic morphological structure of potato starch granules

马铃薯淀粉颗粒的微观形貌结构见图 3a, 可见马铃薯淀粉颗粒表面光滑, 大小不一。其主要包括 3 种典型颗粒形貌, 一种为大的典型颗粒, 呈梨形、椭圆形或马铃薯块茎的形状, 表面光滑, 见图3b, 粒径约30~70 μm; 一种为中等颗粒, 呈卵形, 见图 3c, 粒径 22~30 μm; 还有一种未成熟的颗粒, 呈球形, 见图 3d, 粒径 10~25 μm。不同的马铃薯淀粉颗粒形态表面均较光滑, 没有突出棱角和直边。

红薯淀粉颗粒的微观形貌结构见图 4a, 其颗粒大小不一, 无固定形态, 主要包括 3 种典型颗粒, 一种为半球体颗粒, 有截头, 截面部分稍有内陷, 如图 4b; 一种为球体, 为典型的未成熟红薯淀粉小颗粒, 如图 4c; 其他还有部分为大半球体颗粒以及不规则的颗粒形态, 如图 4d~e。红薯淀粉的颗粒粒径为 8~33 μm。

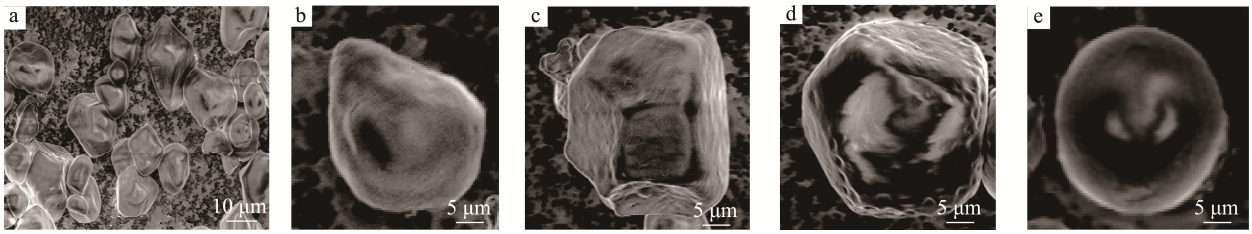
玉米淀粉颗粒的微观形貌结构见图 5a, 其颗粒形貌不规则, 主要包括 2 种典型颗粒, 一种为多面体形, 有棱角, 棱角圆滑, 少量颗粒看不出明显棱角, 颗粒表面不光滑, 凹凸不平, 部分有小坑, 如图 5b~d; 另一种呈球形, 无凹陷, 为少量的未成熟玉米淀粉颗粒的形貌, 如图 5e。玉米淀粉的颗粒粒径为 3~30 μm。另外, 值得注意的是在本研究中, 当采用市场上购买的鲜嫩玉米为原料制作的玉米淀粉时, 其 SEM 下观察到的淀粉颗粒以圆球形的小颗粒形貌为主, 这与玉米的成熟度有关。



注: a. 红薯淀粉; b. 红薯淀粉典型形貌 1; c. 红薯淀粉典型形貌 2; d. 红薯淀粉典型形貌 3; e. 红薯淀粉典型形貌 4。

图 4 红薯淀粉颗粒微观形貌结构

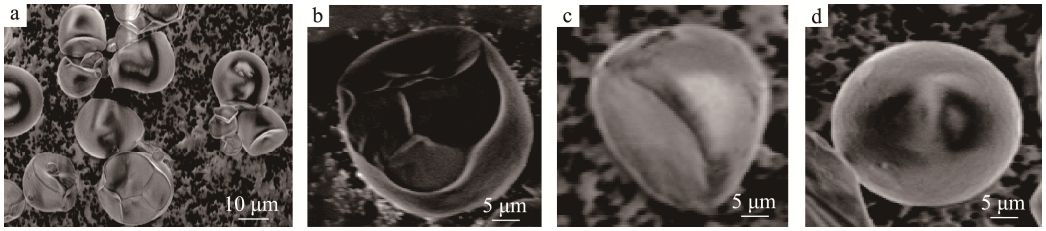
Fig.4 Microscopic morphological structure of sweet potato starch granules



注: a. 玉米淀粉; b. 玉米淀粉典型形貌 1; c. 玉米淀粉典型形貌 2; d. 玉米淀粉典型形貌 3; e. 玉米淀粉典型形貌 4。

图 5 玉米淀粉颗粒微观形貌结构

Fig.5 Microscopic morphological structure of corn starch granules



注: a. 木薯淀粉; b. 木薯淀粉典型形貌 1; c. 木薯淀粉典型形貌 2; d. 木薯淀粉典型形貌 3。

图 6 木薯淀粉颗粒微观形貌结构

Fig.6 Microscopic morphological structure of cassava starch granules

木薯淀粉颗粒的微观形貌结构见图 6a, 该淀粉主要有 2 种典型形貌, 一种为半球体, 有截头, 截头呈多面体, 表面不规则, 部分有内陷, 见图 6b~c; 另一种为球形, 表面以及边缘光滑, 见图 6d。木薯淀粉的颗粒直径为 5~25 μm。

由上述可见, 各类不同品种的淀粉, 其微观颗粒形貌特征和直径大小均有所不同, 葛根淀粉颗粒主要呈多面体型, 与马铃薯淀粉的颗粒形态存在明显区别; 红薯淀粉、木薯淀粉主要呈球体和带截头的半球体特征形貌, 截头部分不规则或内陷, 红薯淀粉还存在部分不规则形态, 两者与葛根淀粉的颗粒形态部分相似, 但红薯淀粉、木薯淀粉的颗粒粒径比葛根淀粉的大; 玉米淀粉主要呈不规则多角形或圆球形, 不规则颗粒表面多部光滑, 凹凸不平。研究中还可以看出, 一般较小或未成熟的淀粉颗粒多呈球体, 这可能与淀粉颗粒在生物合成初期, 其物理结晶结构上主要以支链淀粉构成的无定形结构为主有关。另外, 同一品种的淀粉颗粒也存在多种不同的典型形貌特征。

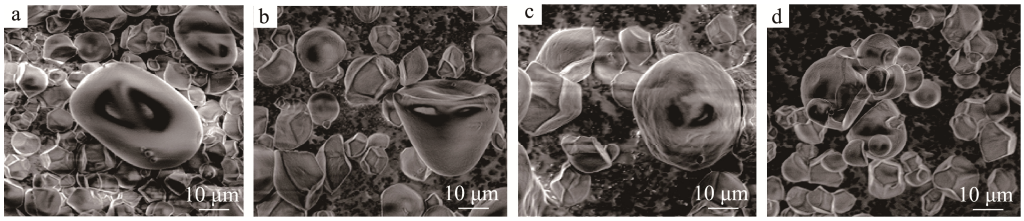
2.3　模拟掺假样品的微观形貌分析

淀粉的掺伪一般是将低值淀粉掺入高值淀粉, 比如葛根淀粉中掺入玉米淀粉、木薯淀粉等低值淀粉, 以低成本获取高额经济利益。本研究自制模拟掺假样品进行葛根淀粉的掺假鉴别研究与验证, 向真实葛根淀粉样品中分别添加 5%的马铃薯淀粉、红薯淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉, 进行电镜观察, 得到模拟混合掺假样品的超微形貌图见图 7。

图 7a 为葛根淀粉样品中掺入马铃薯淀粉后采用电镜观察到的微观形貌图片, 图片中较大的马铃薯淀粉颗粒能够明显可见, 与葛根淀粉能较好相区分, 马铃薯淀粉典型颗粒的直径远大于葛根淀粉, 比较容易辨别; 图 7b 为葛根淀粉中掺入红薯淀粉的混合样品微观形貌图, 明显可见有截头的半球体颗粒; 图 7c 为葛根淀粉中掺入玉米淀粉的混合样品微观形貌图片, 玉米淀粉与葛根淀粉的典型形貌虽然都是不规则的形貌, 但玉米淀粉颗粒的凹凸表面比较明显, 同时, 玉米典型颗粒中 85%属于中等颗粒, 粒径在 10~30 μm 之间[20], 葛根淀粉颗粒则大部分为小颗粒, 两者在颗粒大小与形貌特征上均存在一定差异, 能够将两者进行区分; 图 7d 为葛根淀粉中掺入木薯淀粉的混合样品微观形貌图, 可以观察到木薯淀粉带截头的半球体形貌特征, 木薯淀粉颗粒的半截头球体与红薯淀粉的比较相似, 但能和葛根淀粉较好区分。因此, 通过对模拟掺假样品的显微分析, 在葛根淀粉中混入马铃薯淀粉、红薯淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉后, 采用电镜观察, 结合各类淀粉的典型形貌以及颗粒大小, 可以进行葛根粉掺假的鉴别。

2.4　市售样品分析

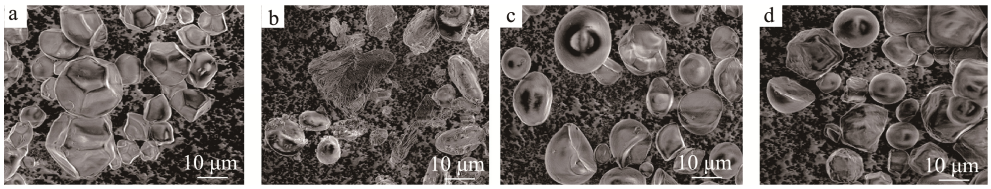
购买 4 份市售的葛根粉样品进行电镜分析, 其中 1 份不是纯的葛根淀粉, 其主要原料为红豆, 山药, 大米, 葛根等, 用于验证本研究所建立方法的可靠性。4 份样品分别采用扫描电子显微镜对样品粉末进行微观形貌表征观察, 见图 8, 1 号市售葛根粉样品形貌图如图 8a, 在电镜视野中可观察到葛根粉颗粒的不规则多面体结构, 且较明显。2 号市售样品微观形貌图如图 8b, 图片中显示该样品的微观形貌与本研究观察到的葛根淀粉、马铃薯淀粉、红薯淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉的典型形貌存在明显差异, 文献[30]中描述, 大米粉通过粉碎机或磨浆机制备得到, 受到物理破碎的力有随机性, 且含有碳水化合物、蛋白质、脂肪、纤维等多种成分, 因此大米粉只能观测到颗粒被破坏后的随机几何形状, 与本研究观察到的图片相似, 另外按照 GB 7718—2011《食品安全国家标准 预包装食品标签通则》要求, 食品中各种配料应按制造或加工食品时加入量的递减顺序一一排列, 2 号样品标签显示葛根在该产品的配料中排第 4 位, 可能葛根在产品中的加入量并不多, SEM 观察结果与样品信息相符。3 号市售葛根粉样品形貌图如图 8c, 可观察到在电镜视野中典型葛根粉形貌的颗粒相对较少, 还存在部分半截头球体和球体的形态, 与木薯淀粉的典型形貌特征相符合, 提示该样品可能存在掺假木薯淀粉。4 号市售葛根粉样品形貌图如图 8d, 该样品的微观形貌图也同样显示部分半截头球体和球体的形态, 可能掺假木薯淀粉, 同时在视野中还明显可见不规则多面体结构, 颗粒表面粗糙, 凹凸不平, 具有不规则的凹陷和突起, 这与玉米淀粉的典型形态特征相符合, 由此判断该样品可能还掺入了玉米淀粉。



注: a. 葛根淀粉掺入马铃薯淀粉; b. 葛根淀粉掺入红薯淀粉; c. 葛根淀粉掺入玉米淀粉; d. 葛根淀粉掺入木薯淀粉。

图 7　葛根淀粉中分别掺入马铃薯淀粉、红薯淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉后的样品微观形貌结构

Fig.7　Microscopic morphological structure of the samples after adding potato starch, sweet potato starch, corn starch and cassava starch respectively to *Pueraria lobata* starch



注: a. 市售葛根粉 1; b. 市售葛根粉 2; c. 市售葛根粉 3; d. 市售葛根粉 4。

图 8 4 份市售样品的微观形貌结构

Fig.8 Microscopic morphological structure of 4 commercially available samples

3 结 论

本研究基于 SEM 技术, 进行了不同产地葛根淀粉的微观形貌特征分析, 结果显示, 在 SEM 下不同产地葛根淀粉样品的微观形貌颗粒均以不规则多边形为主, 呈现出葛根淀粉典型的多面体-椭球形复合结构, 以及团聚现象, 这一特征可作为鉴别掺假的有效依据。通过与常见掺假淀粉(马铃薯淀粉、红薯淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉)的微观形貌系统对比, 明确了各类淀粉的颗粒形态与粒径差异, 为快速鉴别葛根淀粉掺假提供了直观的形态学判据。该方法无需复杂前处理, 操作简便且特异性强, 但在实际应用中需注意, 由于电镜观察区域局限, 对于均匀性存疑的样品, 建议通过多点采样, 结合不同视野分析以提高结果的代表性。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中国药典[M]. 2025 年版. 北京: 中国医药科技出版社, 2025.
National Pharmacopoeia Commission. Chinese pharmacopoeia [M]. 2025 Edition. Beijing: China Medical Science Press, 2025.

[2] 韩磊, 贾娟. 药食同源葛根的生物活性及其在食品中应用的研究[J]. 粮食与食品工业, 2025, 32(3): 55–58.
HAN L, JIA J. Study on the biologicalactivity of medicinal and edible kudzuroot and its application in food [J]. Cereal & Food Industry, 2025, 32(3): 55–58.

[3] YANG HB, SONG JY, XU C, *et al*. Interventional effects of pueraria oral liquid on t2dm rats and metabolomics analysis [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2024, 175: 116780.

[4] WANG XY, HE K, MA LL, *et al*. Puerarin attenuates isoproterenol-induced myocardial hypertrophy via inhibition of the wnt/*β*-catenin signaling pathway [J]. Molecular Medicine Reports, 2022, 26(4): 306.

[5] 辛博, 陈哲, 闫玉洽. 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, 9: 68–70.
XIN B, CHEN Z, YAN YH. Quality and Safety status of starch and starch products and regulatory recommendations [J]. China Food Safety Magazine, 2023, 9: 68–70.

[6] 王书雅, 翟晨, 时超, 等. 基于 X-射线衍射及扫描电子显微镜的马铃薯淀粉掺伪鉴别[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 10(9): 2311–2315.
WANG SY, ZHAI C, SHI C, *et al*. Detection and identification of adulterated substitution in potato starch by X-ray diffraction and scanning electron microscope [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 10(9): 2311–2315.

[7] 殷茜茜. 药食两用粉葛特征性成分的变化规律研究[D]. 南昌: 江西中医药大学, 2022.
YIN QQ. The variation law of characteristic components in edible *Pueraria lobate* [D]. Nancang: Jiangxi University of Chinese Medicine, 2022.

[8] 魏德生, 张恩让, 高爱琴, 等. 不同采收期和不同加工方法对葛根素含量的影响[J]. 现代中药研究与实践, 2008, 22(3): 10–13.
WEI DS, ZHANG ENR, GAO AIQ, *et al*. Effect on the puerarin contents of Gegen for different harvesting and processing [J]. Research and Practice of Chinese Medicines, 2008, 22(3): 10–13.

[9] 任顺成, 曹悦, 常云彩. 近红外光谱技术对马铃薯掺假淀粉的检测[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(5): 156–159.
REN SC, CAO Y, CHANG YC. Detection of adulterated starch in potato by near infrared spectroscopy [J]. Cereals & Oils, 2021, 34(5): 156–159.

[10] SHI XY, GAN XQ, WANG XB, *et al*. Rapid detection of *Ganoderma lucidum* spore powder adulterated with dyed starch by NIR spectroscopy and chemometrics [J]. Food Science and Technology/Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 2022, 167: 1–7.

[11] 寇泽坤, 陈国通, 李思雨, 等. 拉曼光谱结合化学计量学方法鉴别糖浆掺假蜂蜜[J]. 食品科学, 2024, 45(1): 254–260.
KOU ZK, CHEN GT, LI SY, *et al*. Identification of honey adulterated with syrup by Raman spectroscopy and chemometrics [J]. Food Science, 2024, 45(1): 254–260.

[12] 徐振, 刘燕德, 胡军, 等. 基于太赫兹时域光谱技术的掺假川贝母检测[J]. 农业工程学报, 2021, 37(15): 308–314.
XU Z, LIU YD, HU J, *et al*. Detection of adulterated fritillariae using terahertz time domain spectroscopy [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(15): 308–314.

[13] 孔丽琴, 牛晓虎, 王程磊, 等. 高光谱技术在牛肉丸复合掺假类型鉴别中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2024, 44(8): 2183–2191.
KONG LQ, NIU XH, WANG CL, *et al*. Application of hyperspectral imaging technology in the identification of composite adulteration type in beef balls [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2024, 44(8): 2183–2191.

[14] JIE W, LIU YZ, JIE L, *et al*. Mechanism of bluish pigment formation in lotus rhizome starch with ferrous sulfate and its application in rapid detection of adulteration [J]. International Journal of Food Properties, 2022, 25(1): 1203–1214.

[15] 王绍清, 高峡, 兰巧峰, 等. 掺假藕粉中木薯淀粉和甘薯淀粉的鉴别-差示扫描量热法[J]. 食品工业科技, 2015, 36(13): 325–328.
WANG SQ, GAO X, LAN QF, *et al*. Detection of cassava and sweet

potato starch in adulterated lotus root starch by differential scanning calorimetry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(13): 325–328.

[16] PODGORBUNSKIKH EM, DOME KV, BUKHTOYAROV VA, *et al*. X-ray diffraction for detecting starch adulteration and measuring the crystallinity indices of the polymorphic modifications of starch [J]. Health, Food & Biotechnology, 2022, 4(1): 62–70.

[17] 侯汉学, 董海洲, 刘传富. 甘薯淀粉中掺有玉米淀粉的检测方法[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(1): 134–137.
HOU HX, DONG HZ, LIU CF. Rapid determination of maize starch adulterate sweet potato starch [J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 36(1): 134–137.

[18] 雷佳蕾, 田丹, 薛佳, 等. δD, δ18O 和 δ13C 同位素比率质谱法在鲜榨苹果汁鉴伪中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46: 234–242.
LEI JL, TIAN D, XUE J, *et al*. Application of isotope ratio mass spectrometers of δD, δ18O, & δ13C in the authentication of fresh apple juice [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46: 234–242.

[19] 李建文, 冯浩彬, 靳玲, 等. 核磁共振波谱技术用于酸枣仁及其成药的掺假鉴别[J]. 品牌与标准化, 2024(6): 42–44.
LI JW, FENG HB, JIN L, *et al*. Application of nuclear magnetic resonance spectroscopy in the identification of adulterated jujube seed and its traditional Chinese medicine [J]. Brand and Standardization, 2024(6): 42–44.

[20] 张睿, 刘芸, 丁涛, 等. 基于高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨率质谱的寡糖轮廓分析用于蜂蜜中淀粉糖浆的掺假鉴别研究[J]. 分析测试学报, 2016, 35(12): 1628–1633.
ZHANG R, LIU Y, DING T, *et al*. Identification of starch syrup in honey adulteration based on oligosaccharide profiling test by high performance liquid chromatography-quadrupole/electrostatic field orbitrap high resolution mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2016, 35(12): 1628–1633.

[21] 张九凯, 徐冰冰, 韩建勋, 等. 基于脂质组学的沙棘油及其掺假油的甘油酯组成比较分析[J]. 中国食品学报, 2021, 21(11): 144–158.
ZHANG JK, XU BB, HAN JX, *et al*. Comparative analysis of the glyceride composition of sea buckthorn oil and its adulterated oil based on lipidomics [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(11): 144–158.

[22] 范维, 高晓月, 董雨馨, 等. 4 种植物源性成分多重 real-time PCR 检测方法的建立及其在食用淀粉中的应用[J]. 食品科学, 2024, 45(1): 210–216.
FAN W, GAO XY, DONG YX, *et al*. Establishment of a multiplex real-time PCR method for detection of four plant-derived components and its application to edible starches [J]. Food Science, 2024, 45(1): 210–216.

[23] CHEN J, ZHANG YL, HEN C, *et al*. Identification and quantification of cassava starch adulteration in different food starches by droplet digital PCR [J]. PLoS One, 2020, 15(2): 1–16.

[24] 张伊动, 刘艳, 李诗瑶, 等. 基于实时荧光 PCR 技术检测葛根粉中植物源性成分[J]. 中南农业科技, 2024, 45(9): 29–35.
ZHANG YD, LIU Y, LI SY, *et al*. Detection of plant-derived components in kudzu root powder based on real-time fluorescent PCR [J]. South-Central Agricultural Science and Technology, 2024, 45(9): 29–35.

[25] 李萌, 杨承恩, 郭瑞雪, 等. 基于中红外光谱技术结合化学计量学对假冒和掺假梅花鹿茸粉的快速鉴别[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(18): 94–100.
LI M, YANG CEN, GUO RX, *et al*. Rapid identification of counterfeit and adulterated sika deer antler powder based on mid-infrared spectroscopy combined with chemometrics [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(18): 94–100.

[26] 周健, 陈晓红, 金米聪. 基于真菌毒素污染差异的液相色谱-串联质谱法鉴别板栗粉中掺假小麦粉[J]. 色谱, 2022, 40(4): 303–312.
ZHOU J, CHEN XH, JIN MC. Adulteration identification of wheat flour in chestnut flour based on differences in mycotoxin contamination by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2022, 40(4): 303–312.

[27] 常云彩, 胡海洋, 任顺成. 食用淀粉颗粒特性分析及掺假检测研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(5): 45–52.
CHANG YC, HU HY, REN SC. Study on particle characteristics and adulteration detection of edible starches [J]. Journal Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 40(5): 45–52.

[28] 王绍清, 武士奎, 穆同娜, 等. 扫描电镜和稳定碳同位素比质谱法鉴别马铃薯淀粉中的掺假玉米淀粉[J]. 食品科学, 2010, 31(22): 332–335.
WANG SQ, WU SK, MU TN, *et al*. Detection of adulterated maize starch in potato starch by scanning electron microscope and stable carbon isotope ratio analysis [J]. Food Science, 2010, 31(22): 332–335.

[29] 常云彩. 常见食用淀粉特性及掺假检测方法研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015.
CHANG YC. Study on the characteristics and adulteration detection method of common edible starch [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015.

[30] 黄冬, 彭海亮, 黄晓赞, 等. 扫描电镜法快速鉴别鲜湿米粉和调制鲜湿米粉的研究[J]. 食品科技, 2021, 46(6): 263–267.
HUANG D, PENG HL, HUANG XZ, *et al*. Rapid identification of fresh wet rice noodles and fresh wet rice noodles containing starch by scanning electron microscope [J]. Food Science and Technology, 2021, 46(6): 263–267.

(责任编辑: 韩晓红　安香玉)