

粮油加工过程中品质变化的检测方法与质量控制研究

万云

随州市公共检验检测中心

DOI:10.32629/as.v9i5.3953

[摘要] 粮油加工是保障农产品有效转化和食品稳定供给的重要环节,其质量水平直接影响产品的营养保持、加工性能、贮藏稳定性和食用安全。在清理、碾磨、压榨、精炼及储运过程中,受原料品质、热处理条件、机械作用强度及外部环境等因素影响,粮油容易发生脂质氧化、蛋白质变性、淀粉结构改变和风味物质损失等品质变化,进而造成感官特性和理化指标波动。随着消费者对粮油产品品质、安全性和稳定性要求不断提高,传统依赖经验判断和终端抽检的管理方式已难以适应现代加工需求。当前,粮油品质检测正逐步向快速化、精准化、在线化和智能化方向发展,质量控制也由成品结果管理转向加工全过程协同控制。

[关键词] 粮油加工; 品质变化; 检测技术; 质量控制; 在线监测; 品质安全

中图分类号: V448.15+1 **文献标识码:** A

Detection Methods and Quality Control Research on Quality Changes during Grain and Oil Processing

Yun Wan

Wuxi Public Inspection and Testing Center

[Abstract] Grain and oil processing is an important link for ensuring the effective transformation of agricultural products and the stable supply of food. The quality level of this process directly affects the retention of nutritional value, processing performance, storage stability, and edible safety of the products. During the processes of cleaning, grinding, pressing, refining, and storage and transportation, due to factors such as raw material quality, heat treatment conditions, mechanical action intensity, and external environment, grains and oils are prone to quality changes such as lipid oxidation, protein denaturation, starch structure alteration, and loss of flavor substances, which in turn cause fluctuations in sensory characteristics and physicochemical indicators. As consumers' requirements for the quality, safety, and stability of grain and oil products continue to increase, the traditional management methods relying on experience judgment and terminal sampling inspections have become difficult to meet modern processing needs. Currently, grain and oil quality testing is gradually developing towards rapid, precise, online, and intelligent directions, and quality control has shifted from post-product result management to collaborative control of the entire processing process.

[Key words] Grain and Oil Processing; Quality Changes; Detection Technology; Quality Control; Online Monitoring; Quality Safety

粮油产品是居民膳食结构中的基础组成部分,其加工品质不仅影响营养供给和食用品质,也直接关联产业链增值能力与市场信任度。近年来,粮油消费需求已由“数量满足”逐步转向“品质优先”,行业关注点也从单纯提高出品率延伸到营养保留、风味维持、加工稳定性和安全风险防控。与一般食品相比,粮油加工过程中的品质变化具有连续性、隐蔽性和累积性特征,许多质量问题往往在加工前期已经形成,却在成品阶段才集中显现。如何准确识别这些变化、提高检测效率并实现前移式控制,已成为

提升粮油加工现代化水平的关键问题和重要研究方向。

1 粮油加工过程中品质变化的主要表现及其形成机制

1.1 粮食加工过程中品质变化的主要表现

粮食加工中的品质变化首先表现为籽粒组织结构和营养组分的重构。以稻谷碾磨为例,糙米经碾白和抛光后,胚芽和糊粉层大量去除,虽然白度和外观均匀性提高,但维生素B族、矿物质、膳食纤维等功能成分明显下降;当碾磨度超过适宜范围

时,碎米率上升,整精米率下降,蒸煮吸水性和食味值也会受到影响^[1]。小麦制粉过程中,磨辊压力、筛理精度和剥刮比例直接决定面粉颗粒度及麸星含量,若研磨温升过高,面粉中部分蛋白质发生热变性,湿面筋含量与面团稳定时间下降,粉质曲线中吸水率和形成时间随之波动,最终影响挂面、面包和馒头等制品的加工适应性。对于玉米、杂粮等原料,高强度粉碎还可能导致淀粉颗粒表面破损率升高,破损淀粉增加后虽有利于吸水,但过量时会加快酶解和褐变反应,缩短贮藏期。由此可见粮食加工品质变化并非单一感官改变,而是营养、结构、功能特性同步变化的结果。

1.2 油脂加工过程中品质变化的主要表现

油脂加工中的品质变化更具化学反应特征,核心问题集中在脂质水解、氧化和微量伴随物损失三个层面。油料在蒸炒、压榨和浸出阶段若受热过度,会引发甘油三酯部分裂解,导致游离脂肪酸含量升高,酸价增加;在后续储藏过程中,不饱和脂肪酸进一步与氧接触,形成氢过氧化物、醛、酮及短链酸等氧化产物,表现为过氧化值升高、哈喇味加重和色泽加深。以大豆油、菜籽油和葵花籽油为例,这些油脂亚油酸和亚麻酸比例较高,对氧、光、金属离子及热处理尤为敏感。精炼虽能去除磷脂、色素、蜡质和异味物质,但若脱臭温度过高或真空控制不足,维生素E、植物甾醇和天然抗氧化组分也会同步损失,导致油脂氧化稳定性下降。花生油、芝麻油等风味油脂还面临香气物质挥发和热裂解问题,吡嗪类、呋喃类和醛酮类风味成分在高温处理下比例失衡,会使成品由“醇香”转为“焦苦”或“寡淡”。这说明油脂品质变化不只是理化指标偏移,更涉及营养价值、货架期和风味识别度的整体下降。

1.3 品质变化的形成机制与关键影响因素

粮油加工品质变化的形成具有明显的阶段性和耦合性,通常由原料初始质量、加工参数、设备状态和环境条件共同决定^[2]。原料方面,水分含量是首要变量,稻谷入机水分一般控制在13.5%—14.5%,小麦制粉前润麦水分通常调至15.5%—17.0%,若偏高则易造成黏辊、发热和微生物繁殖,若偏低则出粉率和加工均匀性下降。油料如油菜籽、花生仁、大豆在入厂前若含水率超过安全范围,极易发生脂肪酶活化和霉变,造成初始酸价偏高。工艺方面,温度、时间和机械剪切强度决定了品质劣变速度,例如蒸炒温度过高会促进美拉德反应和油脂氧化,碾磨线速度过快会增加表面摩擦热,精炼过程中脱色白土添加量和接触时间不当会影响色素去除和微量营养保留之间的平衡。设备方面,磨辊磨损、压榨螺旋间隙失准、换热器效率下降以及在线传感器漂移,都会使实际工艺参数偏离设定值。环境方面,空气湿度、氧浓度、光照强度及包装阻氧性能决定了品质变化是否在加工后继续扩展。质量问题往往不是在单一环节突然出现,而是在多个环节逐渐累积,因此必须把品质变化视为全过程演化问题,而不是终端检验问题。

2 粮油加工过程中品质变化的检测方法及其适用场景

2.1 常规理化检测在品质识别中的基础作用

常规理化检测仍然是粮油加工质量判定的基础依据,其优势在于指标明确、方法成熟、结果可比性强。在粮食加工中,水分、灰分、粗蛋白、湿面筋、降落数值、糊化特性和白度值是评价加工适宜性的关键指标。面粉质量分析中,凯氏定氮法可用于蛋白质定量,面筋测定仪可直接获得湿面筋含量和面筋指数,粉质仪与拉伸仪则可评价面团形成时间、稳定时间和弱化度,适合判断小麦粉是否适用于面包粉、馒头粉或专用挂面粉。大米品质检测则更强调调整精米率、垩白粒率、胶稠度和直链淀粉含量,尤其是近年加工企业在食味评价中常引入蒸煮后硬度、黏性和回生趋势等指标,以提高商品米分级的精度。油脂检测方面,酸价、过氧化值、苯并[a]芘、溶剂残留、水分及挥发物、皂化值和色泽是常用控制指标,其中酸价反映水解程度,过氧化值反映初期氧化水平,若进一步判定深度氧化,则常结合丙二醛、羰基价和茴香醛值等指标。理化方法的不足在于检测周期相对较长,多数仍依赖实验室操作,不适合高频在线控制,但在校准快速检测模型、判定批次合格性和建立质量基准方面不可替代。

2.2 仪器分析技术对复杂品质变化的精确表征

当粮油品质变化涉及微量成分、风味构成或分子结构时,常规理化检测往往难以满足识别需求,需要借助高分辨仪器分析技术^[3]。近红外光谱技术已广泛应用于小麦粉蛋白、水分、湿面筋及油料含油率的快速无损检测,通过样品对特定波段的吸收差异建立定量模型,单一样品检测时间通常可控制在1分钟以内,适合原料分级、在线筛查和生产线快速反馈。对于油脂氧化及脂肪酸组成分析,气相色谱-质谱联用技术可对棕榈酸、油酸、亚油酸等脂肪酸进行精确定量,并识别己醛、壬醛等氧化挥发物,用于判断油脂早期劣变。高效液相色谱常用于测定维生素E、甾醇、酚类抗氧化物及黄曲霉毒素B1等成分,尤其适用于花生油、玉米油和米糠油等活性物质较丰富的油品。差示扫描量热法、质构仪以及电子鼻、电子舌等技术,也可分别对粮油产品的热特性、质地特征和风味变化进行量化分析。这类技术不仅提高了检测精度,更推动粮油品质评价由经验判断向定量决策转变。

2.3 快速检测与在线监测技术在质量控制中的嵌入应用

与终端实验室检测相比,粮油加工质量控制的关键在于能否在生产过程中及时发现异常并进行干预。近年来,快速检测与在线监测技术在实际生产中的作用日益突出。碾米生产线可利用在线图像识别系统实时监测碎米率、异色粒和裂纹粒,并据此调整碾白和抛光参数;制粉生产线可借助在线近红外模块连续检测面粉水分和蛋白质变化,配合自动配麦与润麦系统实现闭环控制;食用油生产线则可通过温度、真空度、流量和氧含量传感器,对脱色、脱臭和灌装环节进行连续监测,并通过优化充氮参数延缓氧化。对于黄曲霉毒素、农药残留等风险,还可采用快速检测技术在原料入厂环节进行前移筛查。进一步将在线检测数据接入MES或SCADA系统,可实现异常预警、批次追踪和趋势分析,使检测真正服务于过程控制。

3 粮油加工过程中质量控制的关键路径与实施方法

3.1 以原料分级和前处理优化为起点的源头控制

质量控制的起点不是车间，而是原料端。不同品种、不同产地、不同收获与储藏条件下的粮油原料在蛋白含量、脂肪酸组成、酶活性和霉变风险上差异明显，若未经分级直接混用，后续再精细的工艺也难以得到稳定品质^[4]。因此原料入厂应建立分层次验收制度。粮食原料除常规检测水分、容重、不完善粒和杂质外，还应根据用途增加专属性指标，如制粉小麦需关注湿面筋和降落数值，优质稻谷需关注垩白率和直链淀粉含量。油料则应重点控制酸价、含油率、霉变粒和黄曲霉毒素水平，对花生仁、玉米胚等高风险原料可设置批批快检。前处理环节同样影响后续品质稳定性，稻谷清理需强化去石、去稗和磁选，小麦需保证润麦均匀性，油料需合理控制剥壳率和软化条件。以菜籽压榨为例，适宜软化温度和蒸炒终水分有助于提高出油效率并减少油脚；对花生仁而言，低霉变原料与适度烘炒结合，既有利于风味形成，又能避免过度氧化。源头控制的本质不是单纯“把不合格原料挡在门外”，而是通过原料识别与分级，让后续检测和工艺控制建立在可控基础之上。

3.2 围绕关键工艺参数建立过程质量控制链

加工过程中的质量控制不能停留于单点抽检，而应围绕关键控制点建立连续控制链。粮食加工中，清理、调质、碾磨、筛理和包装各环节都应设定质量阈值。以小麦制粉为例，润麦时间不足会导致皮层韧性不够、胚乳粉碎不充分，过长又可能引发微生物风险，因此应根据硬质麦、软质麦和混合麦的差异调整润麦时间，并实时监测入磨水分和出粉温度。大米加工则需重点控制碾白室压力、辊速和抛光喷雾量，在保证白度的同时降低碎米率和爆腰率。油脂加工中的关键控制更强调“低氧、适温、短时、洁净”。例如压榨前蒸炒温度过高虽可提高瞬时出油率，但会加剧过氧化物形成；精炼脱臭阶段若温度长期维持在240℃以上，虽能改善气味，却可能造成反式脂肪酸生成风险上升，因此应根据油种和精炼深度要求优化工艺窗口。包装环节也属于质量控制链的一部分，食用油宜使用避光性较好的深色瓶、镀铝膜或阻氧性能高的复合材料，并通过充氮封装降低氧化速率。真正有效的过程控制，是将在线监测、关键限值、纠偏机制和工艺记录结合起来，使每一个检测点都能对应实际调控动作，而非停留在报表层面。

3.3 以数字化与标准化融合推动质量控制体系升级

在当前粮油加工领域，单靠人工巡检和事后复盘已难以适

应连续化、规模化和多批次生产的实际需求，质量控制体系亟须向数字化与标准化协同升级。标准化的重点在于将原料验收、工艺参数控制、设备维护、取样检测和异常处置等要求细化为可执行、可核查的技术规范，保证不同批次、不同岗位之间的操作一致性。数字化的重点则在于对生产过程中的关键数据进行实时采集、传输、记录与反馈，使质量控制由静态管理转向动态管理^[5]。实践中可通过建立“原料—工艺—成品”质量数据库，将原料水分、蛋白含量、酸价等指标与成品色泽、稳定性和贮藏性能进行关联分析，并结合物联网技术持续监测温度、湿度、氧含量和设备运行状态，利用统计过程控制方法及时识别偏差趋势。对于中大型企业，还可借助电子档案和批次编码系统完善全过程追溯机制。一旦出现品质异常，便能快速判断问题源于原料波动、设备故障还是工艺参数偏移，从而提高质量控制的精准性、预警能力和决策效率。

4 总结

粮油加工过程中品质变化具有连续性和累积性，既受原料质量影响，也与加工温度、机械作用及储运条件密切相关。面对现代粮油加工对品质稳定和安全控制的更高要求，单纯依赖成品检验已难以满足实际需要。应将常规理化检测、仪器分析、快速筛查与在线监测结合起来，及时识别营养流失、脂质氧化、风味劣变等问题，并通过原料分级、工艺优化、关键控制点管理和数字化追溯，实现全过程质量控制。推动检测技术与质量管理深度融合，是提升粮油产品品质保障能力和促进行业高质量发展的重要方向。

[参考文献]

- [1]马洪华.信息化背景下粮油加工质量安全问题研究[J].粮油与饲料科技,2024,(05):11-13.
- [2]高小云.粮油加工环节存在的质量安全问题与对策[J].食品安全导刊,2023,(18):24-26.
- [3]房创民.信息化背景下粮油加工环节存在的质量安全问题研究[J].现代食品,2021,(08):175-176+179.
- [4]徐斌,高天慧,王宏平.粮油加工过程品质控制的近红外智能检测装备现状与趋势[J].中国食品学报,2025,25(2):15-26.
- [5]金征宇,江连洲,王兴国,等.品质导向的粮油食品精准加工分子基础与调控[J].中国食品学报,2024,24(05):1-18.

作者简介：

万云(1983—)，女，汉族，湖北省随州市人，本科，中级职称，研究方向：粮食工程、粮食加工。