

在线近红外法快速测定麦麸中的水分含量

方案编号：HM-ZHS-003

适用仪器：HM-ZHS 在线近红外水分分析系统

发布日期：2026 年 3 月 18 日

1 前言

水分含量是麦麸品质控制的核心指标，直接影响麦麸的贮存稳定性、加工适用性及商业价值。麦麸作为小麦加工副产物，广泛应用于饲料、食品加工领域，其水分含量过高易引发霉变、结块，降低饲用营养价值和食品加工性能，还会增加仓储损耗；水分过低则会导致麦麸粉化严重，加工时扬尘大且影响成型效果。我国《GB/T 42225-2022 小麦麸》明确规定，商品小麦麸的水分含量限量为 $\leq 14.0\text{g}/100\text{g}$ ，饲料用麦麸水分含量通常要求 $\leq 13.5\text{g}/100\text{g}$ ，该指标是麦麸生产、加工、流通及饲料配方设计的重要依据。

麦麸传统水分检测采用烘箱直接干燥法（GB/T 5009.3-2016），虽结果准确但操作繁琐、耗时较长（需 6-8 小时），且需人工取样检测，无法实现生产线实时监控和工艺快速调整。本方案采用在线近红外水分分析系统，基于水分子对 $1.45\mu\text{m}$ 、 $1.94\mu\text{m}$ 近红外特征波段的选择性吸收原理，实现麦麸水分的非接触、实时、连续快速检测。该方法自动化程度高、检测速度快、无样品损耗，能精准匹配麦麸工业化生产的质量管控需求，为生产线烘干、仓储等工序的参数优化提供实时数据支撑。

2 仪器与样品

2.1 仪器

HM-ZHS 在线近红外水分分析系统；分析天平（感量 0.0001g ）；烘箱、干燥器、铝制/玻璃制的扁型称量瓶、计时器、尺子等。

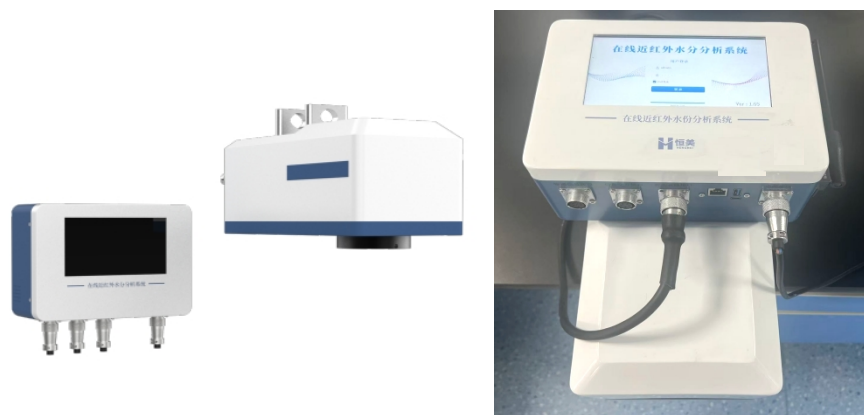


图 1：HM-ZHS 在线近红外水分分析系统外观图

2.2 样品

麦麸标样、待测麦麸样品

麦麸样品选择要求：需具有代表性，无结块、霉变、杂质，粒度符合生产要求。麦麸标样需覆盖水分含量 8.00%~14.00% 区间，含饲料用、食品用不同品类麦麸，用于仪器标定。标样需在恒温恒湿环境下均衡 72 小时以上，均衡误差（同一样品三份平行样的烘箱结果的极差）应控制在 0.3% 以内，剔除结块、霉变的异常标样，标样覆盖面越广，测试越准确，最多不超过 200 个。

3 实验方法

3.1 直接干燥法（烘箱法）测麦麸标样水分含量真值

（1）取洁净铝制或玻璃制的扁形称量瓶，置于 101℃~105℃ 干燥箱中，瓶盖斜支于瓶边，加热 1.0h，取出盖好，置干燥器内冷却 0.5h，称量，并重复干燥至前后两次质量差不超过 2mg，即为恒重。将混合均匀的试样迅速磨细至颗粒小于 2mm，不易研磨的样品应尽可能切碎，称取 2g~10g 试样（精确至 0.0001g），放入此称量瓶中，试样厚度不超过 5mm，如为疏松试样，厚度不超过 10mm，加盖，精密称量后，置于 101℃~105℃ 干燥箱中，瓶盖斜支于瓶边，干燥 2h~4h 后，盖好取出，放入干燥器内冷却 0.5h 后称量。然后再放入 101℃~105℃ 干燥箱中干燥 1h 左右，取出，放入干燥器内冷却 0.5h 后再称量。并重复以上操作至前后两次质量差不超过 2mg，即为恒重。

注：两次恒重值在最后计算中，取质量较小的一次称量值。



图 2：样品称量

（2）试样中的水分含量，按下式进行计算：

$$X = (m_1 - m_2) / (m_1 - m_3) \times 100$$

式中：

X-试样中水分的含量，单位为克每百克（g/100g）；

m1-称量瓶和试样的质量，单位为克（g）；

m2-称量瓶和试样干燥后的质量，单位为克（g）；

M3-称量瓶的质量，单位为克（g）；

100-单位换算系数。

水分含量≥1g/100g 时，计算结果保留三位有效数字；水分含量<1g/100g 时，计算结果保留两

位有效数字。

3.2 HM-ZHS 在线近红外水分分析系统麦麸测试算法建立

3.2.1 仪器基础参数设置

仪器开机预热 30 分钟后，进入系统设置界面完成基础参数配置，具体设置值见表 1。

表 1 在线近红外水分分析系统基础参数设置

参数项	设置值	说明
响应周期	5s	适配麦麸生产线传送带速度，兼顾响应速度与数据稳定性
存储周期	5min	实时记录检测数据，满足生产监控数据留存需求
水分值类型	平均值	系统默认，避免单次检测波动影响结果
水分值精度	0.01%	提高麦麸水分检测的精准度
低限警报	8.00%	贴合麦麸生产低水分质控需求
高限警报	14.00%	贴合麦麸生产最高水分质控需求
光斑直径	60-90mm	匹配生产线麦麸物料检测区域
工作距离	250mm±50mm	保证检测光路稳定，无杂光干扰

3.2.2 麦麸测试算法建立

在仪器主界面进入算法管理，选择窄范围精确算法（适配麦麸水分 8.00%~14.00%的窄区间检测需求）。将已定值的麦麸标样依次置于仪器探头测量范围内，待数据稳定后，输入标样烘箱水分值，点击截取完成光谱与水分值的匹配采集，累计采集标样数据不少于 20 个。点击 PLSR 拟合，仪器自动生成拟合算法，将算法添加至仪器算法数据库，命名为麦麸专用算法。

3.2.3 麦麸测试算法二次标定

（1）二次标定：进入仪器标定界面，选择上述麦麸专用算法，将上述参与标定的至少 5 个标样进行重复光谱与水分含量的匹配，标定完成后，点击拟合，要求拟合相关系数 $R^2 \geq 0.90$ ，添加至仪器处方数据库，并进行处方命名，检测时可直接调用。

（2）处方验证：在相同检测条件下，对已进行烘箱法测真值的待测样品选择相应处方名称后，进行测试，准确性 $\leq 0.5\%$ 且重复测定 5 次，稳定性 $\leq 0.5\%$ ，即算法、处方建立成功。

3.3 在线样品检测步骤

- 1、仪器安装：将在线近红外水分分析系统的检测探头通过悬臂固定于麦麸生产线传送带上方，保证探头与麦麸物料表面垂直，工作距离控制在 250mm±50mm，加装遮光罩避免阳光直射。
- 2、处方调用：在仪器检测设置界面，选择上述已建处方名称，即可进行测试。
- 3、启动检测：开启生产线传送带，启动仪器自动检测程序，仪器将对传送带上的麦麸进行非接触式连续检测，实时显示水分值，并按设定的存储周期自动记录数据（最大值、最小值、平均值）。
- 4、数据上传：若需远程监控，开启仪器 Wi-Fi/网线联网功能，打开自动上传设置，检测数据将实时上传至数据管理平台。



图 3：目标样品水分含量测试界面图

4 结果与讨论

4.1 结果计算与表示

- 1、在线近红外法：仪器直接显示麦麸水分含量（%），结果保留两位小数。
- 2、烘箱法参考计算公式：

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

式中：

X—麦麸水分含量，单位为克每百克（g/100g）；

m_0 —铝制称量盒恒重质量，单位为克（g）；

m_1 —铝制称量盒+麦麸样品烘前质量，单位为克（g）；

m_2 —铝制称量盒+麦麸样品烘后恒重质量，单位为克（g）。

4.2 测试结果示例

选取 2 个不同批次的麦麸样品，用烘箱法测试水分含量真值。选用已建好的处方进行水分含量测试，测试结果如下：

表 2 麦麸水分检测结果（g/100g）

样品名称	烘箱法测定值	近红外法测定值 （平均值）	绝对偏差
麦麸-1	13.82	13.86	+0.04
麦麸-2	13.98	13.9	-0.08

4.3 准确性与稳定性

在重复性条件下，对同一麦麸样品进行 5 次在线近红外法连续检测，结果的稳定性极差 $\leq 0.5\%$ ；在线近红外法检测结果与烘箱法（国标基准方法）的绝对偏差 $\leq 0.5\%$ ，满足麦麸生产过程质量控制的检测要求。

5 方案特点与优势

5.1 仪器优势

- 1、非接触无损伤：检测过程不接触麦麸物料，无样品损耗，不影响生产线正常运行。
- 2、实时快速检测：单次检测仅需数秒，可实现生产线连续在线监控，相比烘箱法效率提升上百倍。
- 3、数据稳定可靠：采用双探测器+多温度传感器温漂补偿设计，7 波段 14 光程光路，有效消除杂光、设备漂移干扰，检测结果稳定性高。
- 4、操作便捷：7 寸高清安卓触摸屏，UI 交互界面直观，麦麸专用处方一键调用，无需专业人员操作。
- 5、数据可追溯：16G 大容量存储，可保存 2 万条检测数据，支持数据导出、实时上传，满足生产溯源需求。

5.2 方案适用性

- 1、样品类型：饲料用小麦麸、食品用小麦麸、全麦麸皮等各类小麦加工麸皮产品。
- 2、检测范围：水分含量 0%~60%（适配国标麦麸水分限量要求，可通过调整标样扩展检测范围）。
- 3、应用场景：麦麸生产线上的连续在线检测、原料入厂快速筛查、成品出厂质量检测、烘干工序实时监控、仓储水分抽检等。
- 4、检测时效：单样品在线检测 $\leq 5s$ ，批量连续检测无间隔，适配麦麸工业化大生产的节奏，可实现从加工到仓储的全流程水分管控。

5.3 质量控制要点

- 1、标样控制：标样水分需覆盖麦麸实际生产的全水分区间，兼顾不同粒度、粗纤维含量的麦麸品类；标样均衡处理需满足 72 小时恒温恒湿，平行样极差 $\leq 0.3\%$ ，确保标样定值准确。
- 2、环境控制：检测探头需避开阳光直射、强电磁场、强烈振动源，麦麸生产粉尘较大，需为探头加装防尘罩，定期清理周围粉尘。
- 3、探头维护：每周用酒精棉签轻轻清洁探头光学镜片，避免指纹、油污、粉尘影响光路，

保证检测精度。

4、定期校准：仪器连续使用 30 天或生产线更换麦麸品种时，需用麦麸标样对检测处方进行重新验证或修正，确保结果准确。

6 结论

采用在线近红外水分分析系统测定麦麸中水分含量，方法基于水分子近红外特征吸收原理，通过建立麦麸专用检测算法和处方，有效消除了麦麸粒度、粗纤维含量及生产粉尘带来的检测干扰，实现了麦麸水分的非接触、实时、快速检测。该方法检测结果与国标烘箱直接干燥法一致性良好，重复性高、操作简便，检测效率远高于传统方法，完全满足麦麸工业化生产过程中实时质量监控、烘干工艺快速调整、全流程水分管控的需求。

本方案不仅适用于各类小麦麸皮的水分检测，还可通过调整标样和算法，拓展至玉米皮、稻糠、豆粕等其他粮油加工副产物的水分快速检测，为粮油加工、饲料生产行业的质量管控提供高效、可靠的技术手段，对提升生产效率、降低仓储损耗、保障产品品质具有重要意义。

7 参考文献

- [1] GB/T 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- [2] GB/T 42225-2022 小麦麸[S].
- [3] NY/T 119-2021 饲料原料 小麦麸[S].