

凯氏定氮仪法测定燕麦片中的蛋白质

方案编号：HM-KDN-002

适用仪器：HM-DN2、HM-DN3 全自动凯氏定氮仪、HM-SM 系列石墨消化炉

发布日期：2026 年 5 月 22 日

1 前言

蛋白质是人体必需的营养成分，燕麦片作为广受欢迎的健康谷物制品，富含膳食纤维和植物蛋白，其蛋白质含量是衡量燕麦片营养品质的重要指标之一。我国相关标准对不同类别的燕麦片产品（如纯燕麦片、复合麦片等）均有相应的蛋白质含量要求，准确测定燕麦片中的蛋白质含量对原料采购、生产加工及质量控制具有重要意义。

本方案依据《GB 5009.5-2025 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中第一法凯氏定氮法的全自动凯氏定氮仪法（5.2 节），采用全自动凯氏定氮仪配合石墨消化炉进行测定。该方法将消解与检测流程无缝衔接：样品在石墨消化炉中消化完全后，消化管直接转移至凯氏定氮仪，由仪器自动完成蒸馏、滴定及结果计算，具有自动化程度高、结果准确、重复性好的特点，适用于燕麦片及其他谷物制品中蛋白质的批量检测。

2 仪器与试剂

2.1 仪器

HM-DN2/HM-DN3 全自动凯氏定氮仪（配有滴定系统、蒸馏系统，可直接对消化管进行蒸馏滴定），HM-SM 系列石墨消化炉（控温精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，最高温度 $\geq 420^{\circ}\text{C}$ ），分析天平（感量 0.001 g ），消化管（与消化炉和定氮仪配套），移液管、量筒等玻璃器皿，粉碎机（用于样品粉碎）。仪器说明：燕麦片样品需粉碎后测定，粉碎细度直接影响消解效率和结果准确性。

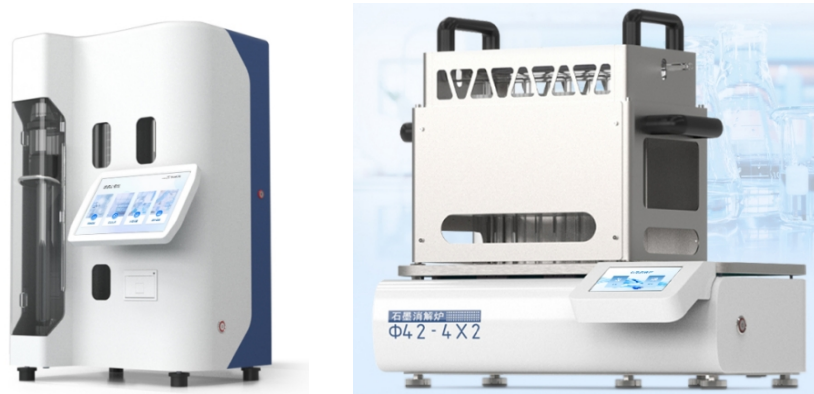


图 1 HM-DN3 全自动凯氏定氮仪及石墨消化炉外观图

2.2 试剂

硫酸铜 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)，硫酸钾 (K_2SO_4)，硫酸 (H_2SO_4 , 98%)，氢氧化钠 (NaOH)，硼酸 (H_3BO_3)，硫酸标准滴定溶液 [$c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)=0.1\text{ mol/L}$]，甲基红指示剂 (1 g/L 乙醇溶液)，溴甲酚绿指示剂 (1 g/L 乙醇溶液)，混合指示剂 B：1 份甲基红乙醇溶液与 5 份溴甲酚绿乙醇溶液混匀，水：符合 GB/T 6682 规定的三级水。

试剂选择说明：燕麦片蛋白质含量中等（约 $10\text{--}15\text{ g}/100\text{ g}$ ），建议使用 0.1 mol/L 硫酸

标准滴定溶液进行滴定。当蛋白质含量 $\leq 1 \text{ g}/100 \text{ g}$ 时可选用 0.05 mol/L 溶液。

3 实验方法

3.1 试样制备

取具有代表性的燕麦片样品，用粉碎机粉碎，使其完全通过 0.9 mm （20 目）孔径的筛子，充分混匀后装入密闭容器中备用。

关键点：燕麦片可能含有坚果、果干等添加物，取样时应确保样品具有代表性，粉碎后充分混匀。

3.2 试样称量与消解

准确称取粉碎后的燕麦片试样约 $0.3\text{-}0.5 \text{ g}$ （精确至 0.001 g ），置于干燥的消化管中。依次加入：硫酸铜 0.4 g ，硫酸钾 6 g ，硫酸 15 mL 。

轻轻摇匀，将消化管置于石墨消化炉上。启动消解程序， 420°C 恒温消解至少 $1\text{-}1.5 \text{ h}$ ，直至消解液呈蓝绿色透明状，确保消解完全。

消解结束后，取下消化管冷却至室温。无需转移消解液，消化管可直接用于后续蒸馏滴定。同时进行空白试验（不加样品，其余步骤相同）。

消解说明：燕麦片含膳食纤维较高，若 1 h 后消解液仍有黑色颗粒，可延长消解时间至 1.5 h 或适当补加硫酸。

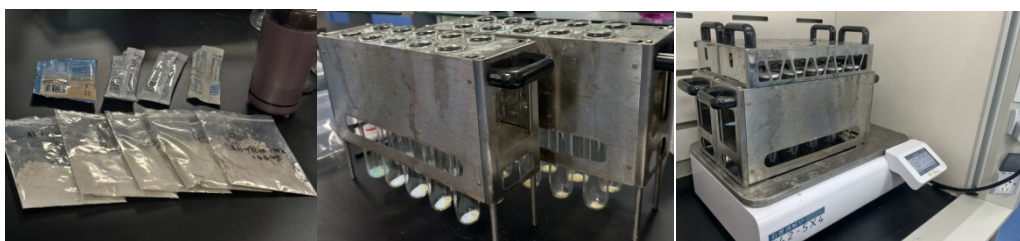


图 2 石墨消化炉消解过程图

3.3 蒸馏与滴定

开机预热全自动凯氏定氮仪，检查碱液（氢氧化钠溶液）、吸收液（硼酸溶液+混合指示剂 B）、滴定液（硫酸标准滴定溶液）是否充足。

将含有消解液的消化管（包括试样和空白）依次放入定氮仪的样品盘上。

根据仪器操作说明，设置蒸馏滴定参数（如加碱量、蒸馏时间、接收液体积等）。仪器将自动加入氢氧化钠溶液碱化蒸馏（加碱量根据消解用酸量设定，通常为酸体积的 4 倍）进行碱化蒸馏，释放的氨被硼酸吸收，然后用硫酸标准滴定溶液自动滴定至终点（混合指示剂 B 由蓝绿色变为浅灰红色）。

仪器自动记录滴定体积并计算蛋白质含量。分别记录试样消耗体积 V_1 和空白消耗体积 V_0 。

4 结果与讨论

4.1 计算公式

试样中蛋白质含量按下式计算（适用于全量蒸馏，即全部消解液用于蒸馏）：

$$X = \frac{(V_1 - V_0) \times c \times 0.0140 \times F \times 100}{m}$$

式中：

X — 试样中蛋白质含量，单位为克每百克（g/100g）

V_1 — 滴定试样消解液消耗硫酸标准滴定溶液的体积，单位为毫升（mL）

V_0 — 滴定空白消解液消耗硫酸标准滴定溶液的体积，单位为毫升（mL）

C — 硫酸标准滴定溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L），此处为 $c(1/2H_2SO_4)$

0.0140 — 与 1.00 mL 硫酸标准滴定溶液 [$c(1/2H_2SO_4)=1.000 \text{ mol/L}$] 相当的氮的质量，单位为克每毫摩尔（g/mmol）

m — 试样质量，单位为克（g）

F — 蛋白质折算系数（燕麦片取 5.83；复合燕麦片取 6.25）

100 — 换算为每百克试样的系数

注：全自动凯氏定氮仪内置上述计算公式，可直接读取蛋白质含量结果。

特别注意：燕麦属于谷物类，其蛋白质折算系数一般为 5.83（源于谷物蛋白平均含氮量约为 17.15%， $100/17.15 \approx 5.83$ ）。若产品标准有特殊规定，从其规定。

4.2 测试结果

样品名称	取样量 (g)	滴定体积 V_1 (mL)	蛋白质含量 (g/100g)	平均值 (g/100g)
燕麦片样品 1-1	0.4978	5.66	9.8	9.8
燕麦片样品 1-2	0.4876	5.556	9.8	
燕麦片样品 2	1.0296	6.985	6.3	6.3

注 1：硫酸标准滴定溶液浓度 $c = 0.1075 \text{ mol/L}$ ； V_0 ：0.113 mL。

注 2：蛋白质折算系数 $F = 5.83$ （纯燕麦）或 $F = 6.25$ （复合燕麦），结果保留三位有效数字。

The screenshot displays a software interface for protein detection. At the top, there is a '返回' (Return) button. Below it, the '蛋白质检测' (Protein Detection) section is divided into '人员管理' (Personnel Management) and '检测结果' (Detection Results). The '检测结果' section shows '滴定体积' (Titration Volume) as 5.66 and '含氮量' (Nitrogen Content) as 1.6770%. Below this, the '项目管理' (Project Management) section lists parameters for '燕麦片蛋白' (Oat Protein): '标准酸浓度(mol/L)' (Standard Acid Concentration) 0.1075, '样品质量(g)' (Sample Mass) 0.4978, '空白体积(mL)' (Blank Volume) 0.113, '加酸体积(mL)' (Acid Volume) 50, '加稀释液体积(mL)' (Dilution Volume) 20, '加碱体积(mL)' (Alkali Volume) 60, '蒸馏时间(min)' (Distillation Time) 6, '蛋白质系数' (Protein Coefficient) 5.83, and '指示剂' (Indicator) 甲基红:溴甲酚绿=1:5. At the bottom, there are buttons for '自动检测' (Automatic Detection), '手动检测' (Manual Detection), '空白检测' (Blank Detection), and '样品检测' (Sample Detection). A footer bar contains buttons for '项目类型' (Project Type), '保存项目' (Save Project), '设置系数' (Set Coefficient), '保存人员' (Save Personnel), '打印' (Print), '上传' (Upload), and '仪器调试' (Instrument Calibration).

图 4 检测结果截图

4.3 精密度

在重复性条件下获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%（因蛋白质含量 ≤ 10 g/100g 时相对偏差要求 $\leq 10\%$ ），符合 GB 5009.5-2025 标准要求。

5 方案特点与优势

5.1 针对燕麦片样品的方法优势

样品代表性：通过粉碎过筛确保样品均匀，避免颗粒大小差异导致消化不完全。

消解优化：燕麦片含膳食纤维，消解时间适当延长至 1-1.5 h，确保蛋白质彻底释放。

消解高效：石墨消化炉温控精准，420°C 恒温消解保证燕麦片中蛋白质彻底分解。

流程简化：消解后直接上机，无需转移定容，减少操作步骤和人为误差。

5.2 仪器设备优势

石墨消化炉：加热均匀、升温快、耐腐蚀，可同时处理多批样品，提高效率。

全自动凯氏定氮仪：自动化完成加碱、蒸馏、滴定、计算，结果直接读取，数据可存储导出，符合现代实验室对智能化、可追溯的要求。

5.3 关键操作要点

样品粉碎：必须完全通过 20 目筛，防止颗粒不均匀导致消化时间延长或消化不完全。

消解终点判断：消解液应呈蓝绿色透明状，无黑色炭粒。燕麦片含纤维较多，若 1 h 后仍有黑色残留，需延长消解时间至 1.5 h，确保氮完全释放。

碱液添加量：加碱量应根据消解时加入的硫酸量确定。通常碱液（40% NaOH）的添加量应为消解用浓硫酸体积的 4 倍左右，以确保完全中和硫酸并使溶液呈强碱性。

碱量是否充足的判断：可通过观察反应液颜色变化来判断。硫酸铜在碱性条件下会生成褐色沉淀（氢氧化铜），若蒸馏时溶液颜色未发生变化，说明碱液添加量不足，需要补加。

空白控制：空白值应稳定且低（通常 $V_0 < 0.3$ mL），若偏高需检查试剂纯度、消化管清

洁度或蒸馏系统密封性。

滴定液浓度：定期标定硫酸标准滴定溶液，确保浓度准确；注意使用与浓度匹配的滴定管精度。

折算系数：燕麦片推荐使用 5.83。若检测复合麦片（添加乳粉、豆粉等），一般取 6.25，必要时参照产品标准执行。

6 结论

本方案采用全自动凯氏定氮仪配合石墨消化炉，建立了燕麦片中蛋白质含量的测定方法。方法严格遵循 GB 5009.5-2025 国家标准，针对燕麦片含膳食纤维的特点优化了消解参数（适当延长消解时间），并使用谷物专用折算系数 5.83。该方法操作简便、结果准确可靠，适用于纯燕麦片、复合麦片等谷物制品的批量检测，可为燕麦片生产企业的质量控制提供有力支持。

7 参考文献

[1] GB 5009.5-2025 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].

[2] GB/T 601 化学试剂 标准滴定溶液的制备[S].

山东恒美电子科技有限公司 应用研究部