液体乳中水分含量检测方法的研究

张道云，谷亚宁，张 宵，曹文燕*，侯晓锋，马建军，包岗雪

保定蒙牛饮料有限公司，河北省乳品智能化检测技术重点实验室，河北保定 072450

摘 要：[目的] 针对《GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定》第一法在检测液体乳水分含量过程中存在的检测时间长、能耗较高等问题，优化检测方法，以提高检测效率并降低能耗。[方法] 通过系统优化称样量、水浴搅拌频次及鼓风干燥箱的温度与时间等关键参数，建立一种改进的直接干燥法。在确保结果准确性的前提下，明确最佳称样范围为5~6 g，确定干燥温度为102 ℃，干燥时间为（2+0.5）h，并通过与国标法的精密度对比验证方法的可靠性。[结果] 优化后的方法在精密度上符合GB 5009.3—2016 第一法的要求，检测结果具有良好的一致性。同时，单次检测时间缩短2.5 h，节约电能7.5 kW，显著提高了检测效率并降低了能耗。[结论]本研究提出的优化方法在保证检测准确度的同时，具有节能、高效的优点，适用于液体乳水分含量的快速检测，具备良好的推广应用价值。

关键词：水分；干燥；液体乳；恒重

文章编号：1671–4393（2025）11–0147–07 DOI:10.12377/1671–4393.25.11.18

0 引言

液体乳是以健康奶牛所产鲜乳为原料，经有效加热杀菌处理后分装制成的饮用乳。根据国际乳业联合会（IDF）的定义，液态乳包括巴氏杀菌乳、灭菌乳和酸乳三类。其水分含量通常在85.5%~89.5%之间，作为食品中最基本的组成成分之一，水分对液态乳的口感、稳定性、保质期及加工特性具有重要影响。食品中水分的测定是食品分析中的关键环节，水分含量的变化直接关系到产品的质量与稳定性，因此在食品检测中受到严格监控[1]。目前，常规

基金项目：河北省乳品智能化检测技术重点实验室项目（SZQ2020018）

作者简介：张道云（1986–），女，河北保定人，本科，中级工程师，研究方向为牛奶中理化指标的检测技术；
谷亚宁（1989–），女，河北保定人，本科，中级工程师，研究方向为牛奶中理化指标的检测技术；
张 宵（1988–），女，河北保定人，本科，中级工程师，研究方向为食品检验检测；
侯晓锋（1987–），男，河北张家口人，本科，研究方向为食品质量与安全、食品检测和追溯系统；
马建军（1984–），男，内蒙古呼和浩特人，本科，研究方向为行政管理；
包岗雪（1984–），女，河北承德人，满族，本科，中级工程师，研究方向为食品检验检测。
*通信作者：曹文燕（1987–），女，山东济南人，本科，高级工程师，研究方向为食品质量与安全、食品检测和追溯系统。

中国乳业线上阅读

检测方法依据《GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定》[2]中第一法——直接干燥法。该方法基于水分的物理性质，在101.3 kPa（1 个标准大气压）下，于101~105 ℃条件下使样品中水分及可挥发物质挥发，通过测定干燥前后质量差值得出水分含量，其结果包括吸湿水、部分结晶水以及该条件下可挥发的其他物质。针对该标准方法在检测液体乳水分时存在的耗时长、能耗高等问题[3]，本文通过对称样量、搅拌频次及干燥条件等进行优化[4]，建立了1 种高效的水分检测方法，以期为相关行业的水分分析工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

海沙（分析纯），福晨（天津）化学试剂有限公司；铝皿（高32 mm，直径55 mm），上海安谱实验科技股份有限公司；小玻璃棒（适用于铝皿的直径规格，可倾斜置于铝皿盒内，不影响盒盖闭合）。

电热恒温水箱（DK-8AD），上海一恒科技有限公司；电热鼓风干燥箱（WGL-230B），天津市泰斯特仪器有限公司；干燥器（内附有效干燥剂，直径36 cm），上海泰坦科技股份有限公司；电子天平（AL204，感量为0.1 mg），梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司。

1.2 样品要求

本试验所用试样为不同品牌市售液体乳。液体样品称量前混合均匀（添加谷物或果粒的样品可采用均质机或同等打碎机打磨至少1 min），制备过程应避免带入水分或其他杂质，制备好的样品选择合适的密闭容器保存，避免水分挥发及杂质落入，称量前要恢复至室温。

1.3 方法

GB 5009.3—2016 第一法与优化后方法的步骤见表1。

2 试验结果

2.1 结果

试样中的水分含量计算公式：$X=(m1-m2)/(m1-m3)\times 100$

式中：

X—试样中水分的含量，g/100 g

m1—铝皿（加海沙、玻璃棒）和试样的质量，g

m2—铝皿（加海沙、玻璃棒）和试样干燥后的质量，g

m3—铝皿（加海沙、玻璃棒）的质量，g

100—单位换算系数

水分含量≥1 g/100 g时，计算结果保留3 位有效

表 1 两种水分测定方法的操作步骤对比

步骤	《GB 5009.3—2016》第一法	优化后方法
器皿准备	取含约 10 g 海沙及玻璃棒的称量瓶，于101~105 ℃干燥 1.0 h，冷却 0.5 h 后称量，重复至恒重。	从 102 ℃干燥箱中取已烘干过夜的、内含 10 g 海沙及玻璃棒的铝皿，冷却 0.5 h 后称量。
称样	称取 5~10 g（精确至 0.000 1 g）试样于称量瓶中。	称取 5~6 g（精确至 0.000 1 g）试样于铝皿中。
水浴蒸干	沸水浴蒸干，随时搅拌，擦去瓶底水滴。	于恒温水箱中水浴蒸干，每隔约 5 s 搅拌 1 次，擦去皿底水滴。
第一次干燥	置于 101~105 ℃干燥箱中干燥 4 h，冷却 0.5 h 后称量。	置于 102 ℃干燥箱中干燥 2 h，冷却 0.5 h 后称量。
再次干燥与恒重	再次于 101~105 ℃干燥约 1.0 h，冷却 0.5 h 后称量。重复至恒重（2 次质量差≤ 2 mg）。	再次于 102 ℃干燥约 0.5 h，冷却 0.5 h 后称量。重复至恒重（2 次质量差≤ 2 mg）[3]。

中国乳业线上阅读

数字；水分含量＜1 g/100 g时，计算结果保留2 位有效数字。

2.2 精密度

在重复性条件下，获得2 次独立测定结果的绝对差值不大于算术平均值的10%（参考GB 5009.3—2016 第7条要求）。

3 可行性论证

优化方法中，分别通过控制样品称样量、增加水浴时搅拌次数及控制烘箱中的干燥温度和时间所得测定结果，与GB 5009.3—2016 直接干燥法检测水分含量结果对比，详细剖析日常检测不同点，阐述该法可行性[5]。

3.1 水浴蒸干时间对比

图1显示，温度100 ℃时，铝皿内盛有相同质量的样品进行水浴实验，液体乳比半固体乳的水浴蒸干时间需要更长些，同一类型乳称样质量较小的水浴时间则更短；根据搅拌方式的不同，间隔5 s左右搅拌蒸干需要时间比偶尔搅拌水浴蒸干需要时间更短。

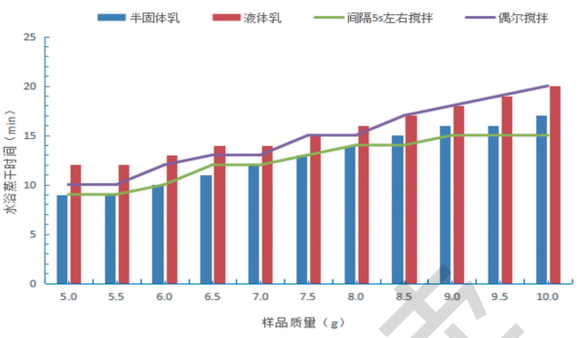


图 1 不同样品量和搅拌次数对水浴蒸干时间的影响

3.2 不同干燥温度和时间数据分析

基于国标法中干燥温度[6]为101~105 ℃的要求和鼓风干燥箱计量参数要求，设置烘箱温度梯度为101 ℃、102 ℃、103 ℃、104 ℃和105 ℃分别进行实验数据分析，同时在同一干燥温度下设计不同称样量及干燥时间试验，得到相应水分含量变化[7]。

3.2.1 烘箱温度101 ℃试验结果分析

表2显示，烘箱温度101 ℃时，称样量5~6 g，烘箱干燥时间为（3+1）h和（2.5+1）h时测定结果与国标法结果对比，符合精密度要求，（2+1）h未达到恒重故此参数不符合要求；称样量7~8 g，烘箱干燥时间为（3+1）h时测定结果与国标法结果对比，符合精密度要求；称样量9~10 g，烘箱干燥时间为国标法规定时间才能达到样品恒重。综上所述，烘箱温

表 2 烘箱温度 101 ℃时不同干燥时间水分含量变化

样品名称	称样量（g）	（4+1）h 水分含量（g/100g）	（3+1）h 水分含量（g/100g）	（2.5+1）h 水分含量（g/100g）	（2+1）h 水分含量（g/100g）
枕纯	5~6	87.6	87.6	87.6	未恒重
包纯	5~6	86.3	86.3	86.2	未恒重
go 畅	5~6	88.2	88.1	88.1	未恒重
酸酸乳	5~6	90.4	90.4	90.4	未恒重
纯甄	5~6	79.2	79.1	79.2	未恒重
枕纯	7~8	87.6	87.6	未恒重	/
包纯	7~8	86.3	86.3	未恒重	/
go 畅	7~8	88.2	88.1	未恒重	/
酸酸乳	7~8	90.4	90.4	未恒重	/
纯甄	7~8	79.2	79.1	79.2	/
枕纯	9~10	87.6	未恒重	/	/

注：“（4+1）h”中“4”为国标法第一次烘箱干燥时间，“1”为第二次烘箱干燥时间；“（3+1）h”中“3”为第一次烘箱干燥时间，“1”为第二次烘箱干燥时间，其他依此类推；“未恒重”为样品烘干后第一次与第二次的两次称量质量大于2 mg，下同

中国乳业线上阅读

度101 ℃时，称样量5~6 g，干燥时间为（2.5+1）h更节省时间和能耗。

3.2.2 烘箱温度102℃试验结果分析

表3显示，烘箱温度102 ℃时，称样量5~6 g，烘箱干燥时间为（3+1）h和（2.5+0.5）h时测定结果与国标法结果对比，符合精密度要求，（1.5+0.5）h未达到恒重故此参数不符合要求；称样量7~8 g，烘箱干燥时间为（3+1）h与国标法结果相比符合精密度要求，干燥（2+0.5）h的部分未达到恒重故舍弃；称样量9~10 g，烘箱干燥时间为国标法规定时间才能达到样品恒重。综上所述，称样量5~6 g、烘箱温度102 ℃干燥时间为（2+0.5）h更节省时间和能耗。

3.2.3 烘箱温度103 ℃试验结果分析

表4显示，烘箱温度103 ℃时，烘箱干燥时间为（3+0.5）h，称样量为5~10 g的测定结果与国标法相比，符合精密度要求；烘箱干燥时间为（2+0.5）h部分样品两次称量未达到恒重故舍弃。综上所述，称样量5~6 g、烘箱温度103 ℃干燥时间为（2+0.5）h更节省时间和能耗。

3.2.4 烘箱温度104 ℃试验结果分析

表5显示，烘箱温度104 ℃时，烘箱干燥时间为（2+0.5）h，称样量5~8 g的测定结果与国标法相比，符合精密度要求；称样量9~10 g时两次称量未达到恒重故舍弃。综上所述，称样量5~8 g、烘箱温度104 ℃干燥时间为（2+0.5）h更节省时间和能耗。

表 4 烘箱温度 103 ℃不同干燥时间水分含量变化

样品名称	称样量（g）	（4+1）h 水分含量（g/100 g）	（3+0.5）h 水分含量（g/100 g）	（2+0.5）h 水分含量（g/100 g）
枕纯	5~6	87.6	87.6	87.6
包纯	5~6	86.3	86.3	86.3
go 畅	5~6	88.2	88.1	88.1
酸酸乳	5~6	90.4	90.4	90.4
纯甄	5~6	79.2	79.1	79.1
枕纯	7~8	87.6	87.6	87.6
包纯	7~8	86.3	86.3	86.3
go 畅	7~8	88.2	88.1	88.1
酸酸乳	7~8	90.4	90.4	未恒重
纯甄	9~10	79.2	79.1	未恒重
枕纯	9~10	87.6	87.7	87.7
包纯	9~10	86.3	86.2	86.2
go 畅	9~10	88.2	88.2	未恒重

3.2.5 烘箱温度105 ℃试验结果分析

表6显示，烘箱温度105 ℃时，烘箱干燥时间为（2+0.5）h，称样量5~10 g的测定结果与国标法相比符合精密度要求；称样量7~10 g干燥时间为（1.5+0.5）h时两次称量部分未达到恒重故舍弃。综上所述，称样量5~6 g、烘箱温度105 ℃烘箱干燥时间为（1.5+0.5）h更节省时间和能耗。

上述试验结果显示，不同温度梯度条件下，最佳称样量为5~6 g；结合鼓风干燥箱的干燥效果和耗能情况，在确保干燥目标得以实现的前提下，采用较

表 3 烘箱温度 102 ℃时不同干燥时间水分含量变化

样品名称	称样量（g）	（4+1）h 水分含量（g/100 g）	（3+1）h 水分含量（g/100 g）	（2+0.5）h 水分含量（g/100 g）	（1.5+0.5）h 水分含量（g/100 g）
枕纯	5~6	87.6	87.6	87.6	未恒重
包纯	5~6	86.3	86.3	86.2	未恒重
go 畅	5~6	88.2	88.1	88.2	未恒重
酸酸乳	5~6	90.4	90.4	90.5	未恒重
纯甄	5~6	79.2	79.1	79.2	未恒重
枕纯	7~8	87.6	87.6	87.6	/
包纯	7~8	86.3	86.3	86.2	/
go 畅	7~8	88.2	88.1	88.2	/
酸酸乳	7~8	90.4	90.4	未恒重	/
纯甄	7~8	79.2	79.1	未恒重	/
枕纯	9~10	87.6	87.7	/	/

中国乳业线上阅读

表 5 烘箱温度 104 ℃不同干燥时间水分含量变化

样品名称	称样量（g）	（4+1）h 水分含量(g/100 g)	（2+0.5）h 水分含量（g/100 g）
枕纯	5–6	87.6	87.6
包纯	5~6	86.3	86.3
go 畅	5~6	88.2	88.1
酸酸乳	5~6	90.4	90.4
纯甄	5~6	79.2	79.1
枕纯	7~8	87.6	87.6
包纯	7~8	86.3	86.3
go 畅	7~8	88.2	88.1
酸酸乳	7~8	90.4	90.4
纯甄	7~8	79.2	79.1
枕纯	9~10	87.6	87.7
包纯	9~10	86.3	86.2
go 畅	9~10	88.2	未恒重

表 6 烘箱温度 105 ℃时不同干燥时间水分含量变化

样品名称	称样量（g）	（4+1）h 水分含量（g/100 g）	（2+0.5）h 水分含量（g/100 g）
枕纯	5~6	87.5	87.6
包纯	5~6	86.3	86.3
go 畅	5~6	88.2	88.1
酸酸乳	5~6	90.3	90.4
纯甄	5~6	79.2	79.1
枕纯	7~8	87.6	87.6
包纯	7~8	86.3	86.3
go 畅	7~8	88.2	88.1
酸酸乳	7~8	90.4	90.4
纯甄	7~8	79.2	79.1
枕纯	9~10	87.6	87.7

表 7 国标法与优化方法试验数据对比

样品序号	国标法，水分含量（%）	（2h+0.5h）水分含量（%）	精密度（%）	判定结果	样品序号	国标法，水分含量（%）	（2h+0.5h）水分含量（%）	精密度（%）	判定结果
1	87.6	87.6	0	符合	26	90.4	90.3	0.11	符合
2	87.7	87.6	0.11	符合	27	90.3	90.3	0	符合
3	87.6	87.7	0.11	符合	28	90.4	90.3	0.11	符合
4	87.8	87.7	0.11	符合	29	90.3	90.4	0.11	符合
5	87.7	87.7	0	符合	30	88.2	88.2	0	符合
6	87.1	87.2	0.11	符合	31	88.2	88.1	0.11	符合
7	87.2	87.1	0.11	符合	32	88.1	88.1	0	符合
8	87.1	87.2	0.11	符合	33	88.2	88.2	0	符合
9	87.1	87.1	0	符合	34	88.2	88.1	0.11	符合
10	87.1	87.2	0.11	符合	35	82.2	82.2	0	符合
11	86.7	86.7	0	符合	36	82.3	82.2	0.12	符合
12	86.7	86.6	0.12	符合	37	82.2	82.1	0.12	符合
13	86.6	86.7	0.12	符合	38	82.2	82.2	0	符合
14	86.7	86.7	0	符合	39	82.3	82.2	0.12	符合
15	87.3	87.3	0	符合	40	83.9	83.8	0.12	符合
16	87.3	87.3	0	符合	41	83.8	83.8	0	符合
17	87.2	87.2	0	符合	42	83.8	83.7	0.12	符合
18	87.2	87.1	0.11	符合	43	83.9	83.9	0	符合
19	86.5	86.3	0.23	符合	44	83.9	83.8	0.12	符合
20	86.5	86.4	0.12	符合	45	79.2	79.1	0.13	符合
21	86.6	86.5	0.12	符合	46	79.1	79.1	0	符合
22	86.6	86.5	0.12	符合	47	79.2	79.2	0	符合
23	86.5	86.6	0.12	符合	48	79.1	79.0	0.13	符合
24	86.6	86.5	0.12	符合	49	79.2	79.2	0	符合
25	90.4	90.4	0	符合	50	79.2	79.1	0.13	符合

中国乳业线上阅读

低的温度和较短的时间，可有效节能和提效，烘箱温度102 ℃干燥时间为（2+0.5）h为最优设置条件。

3.2.6 效果验证

为验证结论可行性，采用国标法与优化方法试验数据对比验证，以精密度判断符合性。精密度计算方法例如：国标法测定水分含量87.7%，优化方法测定水分含量87.6%，两次测定差值0.1%，平均值87.65%；其精密度为0.1%/87.65%×100%=0.11%。对比结果见表7。

表7显示，对比两种方法测定结果的精密度均小于10%，优化方法对液体乳水分含量测定结果与国标法相比具有良好的一致性。

4 讨论

随科学技术的持续进步，乳制品水分含量检测技术正朝着智能化、便携化、非接触化及高精度化的方向不断发展，为该领域带来了显著的技术革新机遇。不同水分含量测定方法的技术特点详见表7。

表8显示，快速测定乳制品中水分含量的方法众多，且检测速度快、精度高，然而，多数检测设备购置成本和后期维护费用较高。因此，在实际应用中，可依据待测物料特性，合理选择适配的水分含量测定方法[12]。

直接干燥法是国内用于水分含量测定的常用方法，该法具有操作简便、设备成本低、应用范围广且精度较高等优点，被广泛应用于食品、化工、医药等领域的水分检测中。但其仍存在一定局限性，在选择使用该法时，应根据样品的特性和测定要求进行综合考虑。同时，为确保测定结果的准确性和可靠性，还应定期对设备进行校准和维护，并严格按照操作规程进行操作。

5 结论

本研究试验表明，样品称样量5~6 g、沸水浴过

表 8 不同水分含量测定方法的技术特点

名称	技术特点
电容法	电容法水分仪[8]是该方法的代表，测量精度高，可以达到0.3%以下，且测量时间短，仅需5 s。然而，受到温度、粮食品种和紧实度等多种因素的影响，可能导致测量结果的不稳定。
红外线加热干燥法[9]	测量范围广泛但易受到温度和加热时间的影响，且不适用于在线测量。
微波加热法	实验室微波水分测定仪[10]是这一方法的典型应用，其测量精度高达0.01%，仅需100 s即可完成测量，且测水范围广泛，从12%~100%均可轻松覆盖。然而，该方法受到微波炉功率、谷物质量、密度以及介电特性的共同影响。
介电法	介电损失角法不仅经济实惠，而且测量精度高，特别适用于高水分谷物的测量。其代表仪器可以在0.1 s内完成测量，测水范围覆盖1%~30%。
复阻抗分离电容法	巧妙地运用了复阻抗分离电路的设计，使得电阻参量的干扰得以有效排除，从而仅关注电容参量的变化。这一技术对于提升电容式水分计的测量精确度而言，显得尤为关键。
摩擦阻力法	粮食的动态摩擦阻力与其含水率呈现线性关系，方法干扰因素较少，值得一提的是，其传感技术稳定可靠。
声学法	粮食籽粒的弹性和振动特性与水分含量紧密相关，声学法测量具有较好的重复性，但噪声信号的屏蔽成为一大挑战。
核磁共振法	基于原子核自旋的重新取向，检测速度很快，精度高，但设备昂贵。
近红外线反射光谱（NIRS）	近红外光技术应用于粮食水分测定，具有快速、简便的优点。
中子式水分仪	测量精度高，特别适用于冰冻状态粮食的测量。
双烘法和隧道式烘箱法	适用于高含水量粮食。
快速失重法	简化操作步骤，提高检测精度。
直流电阻法和甲苯蒸馏法	利用化学性质进行水分测定。
卡尔·费休法[11]	微量水分测定的经典方法，虽然成本较高但精度极高。
直接干燥法	水分检测领域中应用广泛且常用的标准方法之一。

中国乳业在线上阅读

程中增加搅拌次数，烘箱温度设置为102 ℃，干燥时间为（2+0.5）h，测定的水分含量结果与国标法GB 5009.3—2016 第一法结果具有良好的一致性，精密度符合要求。且该法将检测时间缩短了2.5 h，节省电能7.5 kW，显著降低了能耗并提高了检测效率。因此，该法更具推广应用价值。

参考文献

[1] 余晓琴.食品中水分的测定标准解读[N].中国市场监管报，2021-12-17（8）.

[2] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定方法[S].

[3] 万凡杰，李燕，陈宁.影响直接干燥法测定粮食水分的因素[J].齐鲁粮食，2018（5）：46-48.

[4] 张曼玲，郭鸣灏，陈东红.不同食品中水分测定方法探讨[J].现代农业科技，2009（21）：291-293.

[5] 孔芳，李永刚，刘小红，等. GB5009.3—2016《食品安全国家标准食品中水分测定》探讨及方法优化[J].食品安全质量检测学报，2025，16（13）：189-194.

[6] 刘俊科，于娜林，有机食品原料水分检测技术研究进展[J].中国标准化，2025（18）：183-187.

[7] 郑超，王月秋.食品中水分的测定方法[J].黑龙江科技信息，2016（22）：8.

[8] 王勇，郝军. 粮食水分测定仪原理及优缺点[J]. 食品安全导刊，2015（30）：103.

[9] 魏铭炎.国外远红外线加热干燥方法概况[J].特殊电工，1978（2）：66-69.

[10] 寻继勇，李继波，刘凯.微波水分快速测定仪[J].中国仪器仪表，2017（7）：66-68.

[11] 刘恒立，董娜.粮食、油料水分不同测定方法的研究与比较[J].粮食与食品工业，2024，31（4）：70-72.

[12] 孙健，周展明，唐怀建.国内外粮食水分快速检测方法的研究[J].粮食储藏，2007，36（3）：46-49.

Research on the Method for Detecting Moisture Content in Liquid Milk

ZHANG Daoyun，GU Yaning，ZHANG Xiao，CAO Wenyan*，HOU Xiaofeng，MA Jianjun，BAO Gangxue

Baoding Mengniu Beverage Co.，Ltd.，Hebei Province Key Laboratory of Intelligent Dairy Testing Technology，Baoding Hebei 072450

Abstract：[Objective] This study aimed to optimize the detection method for determining moisture content in liquid milk，addressing the issues of long detection time and high energy consumption associated with the first method of "GB 5009.3—2016 National Food Safety Standard—Determination of Moisture in Foods，" so as to improve detection efficiency and reduce energy consumption. [Method] By systematically optimizing key parameters such as sample weighing amount，stirring frequency during water bath，and the temperature and duration of the air drying oven，an improved direct drying method was established. Under the premise of ensuring accuracy，the optimal sample weighing range was determined to be 5~6 g，the drying temperature was set at 102 °C，and the drying time was set at（2 + 0.5）h. The reliability of the method was verified through precision comparison with the national standard method. [Result] The optimized method meets the precision requirements of the first method of GB 5009.3—2016，with detection results showing good consistency. Additionally，the single detection time was shortened by 2.5 hours，saving 7.5 kW of electricity，significantly improving detection efficiency and reducing energy consumption. [Conclusion] The proposed optimized method ensures detection accuracy while offering advantages of energy savings and high efficiency，making it suitable for rapid detection of moisture content in liquid milk and demonstrating good potential for widespread application.

Keywords：water content；dry；liquid milk；constant weight

中国乳业线上阅读