

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250103002

引用格式: 孔芳, 李永刚, 刘小红, 等. GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》的关键问题探讨及方法优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(13): 189–194.

KONG F, LI YG, LIU XH, *et al.* Exploration of key issues and method optimization of GB 5009.3—2016 *National food safety standard-Determination of moisture in foods* [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(13): 189–194. (in Chinese with English abstract).

GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》的关键问题探讨及方法优化

孔 芳¹, 李永刚¹, 刘小红¹, 张晓甜¹, 李国强², 袁超君², 侯 力², 闻 胜^{1*}

(1. 湖北省疾病预防控制中心, 国家卫生健康委员会食品安全风险评估与标准研制特色实验室, 武汉 430079;

2. 应城市疾病预防控制中心, 应城 432400)

摘 要: **目的** 分析 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中直接干燥法操作步骤中影响恒重的关键因素, 并优化减压干燥法、蒸馏法和卡尔·费休法的试验条件。**方法** 样品中水分含量测定参照 GB 5009.3—2016 进行。同时, 改变实验条件探讨直接干燥法中影响恒重的关键因素; 改变真空压力优化减压干燥法的条件; 比较不同的试剂(二甲苯试剂、卡尔·费休试剂)对检测结果的影响。**结果** 直接干燥法中, 样品温度、干燥器内冷却时间和样品粉碎程度等 3 个方面是影响恒重的关键因素; 减压干燥法中, 真空度提高到 -0.1 MPa, 并在干燥箱内加入有效干燥剂, 可快速挥发出样品中的水分, 提高检测效率; 蒸馏法中分析纯甲苯或二甲苯试剂的制备提纯可删除; 卡尔·费休法可采用低毒性的无吡啶卡尔·费休试剂。**结论** 对该标准中的 4 个检测方法分别进行优化, 解决了反复烘干难以达到恒重、使用有毒有害试剂等问题。本研究提供的合理化建议, 增加了该标准的可操作性, 提高了实验室的检测效率。

关键词: 水分测定; 国家标准; 关键问题

Exploration of key issues and method optimization of GB 5009.3—2016 *National food safety standard-Determination of moisture in foods*

KONG Fang¹, LI Yong-Gang¹, LIU Xiao-Hong¹, ZHANG Xiao-Tian¹, LI Guo-Qiang²,
YUAN Chao-Jun², HOU Li², WEN Sheng^{1*}

(1. Hubei Provincial Center for Disease Control and Prevention, National Health Commission Specialty Laboratory of Food Safety Risk Assessment and Standard Development, Wuhan 430079, China; 2. Yingcheng City Center for Disease Control and Prevention, Yingcheng 432400, China)

收稿日期: 2025-01-03

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFF1104800); 2023 年湖北省自然科学基金项目(2023AFB1019); 国家卫生健康委食品安全国家标准修订项目(spaq-2022-28)

第一作者: 孔芳(1987—), 女, 硕士, 主管技师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 289569926@qq.com

*通信作者: 闻胜(1977—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品安全。E-mail: 30723280@qq.com

ABSTRACT: Objective To analyze the key factors affecting constant weight in the direct drying method and to optimize the experimental conditions for vacuum drying, distillation, and Karl Fischer methods as specified in the GB 5009.3—2016 *National food safety standard-Determination of moisture in foods*. **Methods** The determination of moisture content in samples was conducted according to GB 5009.3—2016. The study altered experimental conditions to explore key factors affecting constant weight in the direct drying method, optimized conditions for vacuum drying by adjusting vacuum pressure, and compared the effects of different reagents (xylene, Karl Fischer reagent) on detection results. **Results** In the direct drying method, sample temperature, cooling time in the desiccator and the degree of sample pulverization were identified as key factors affecting constant weight. For vacuum drying method, increasing the vacuum to -0.1 MPa and adding an effective desiccant to the drying box could rapidly evaporate moisture from the sample, improving detection efficiency. In the distillation method, the preparation and purification of analytical-grade toluene or xylene could be omitted. The Karl Fischer method could use a low-toxicity, pyridine-free Karl Fischer reagent. **Conclusion** The 4 detection methods in this standard are optimized separately to solve problems such as difficulty in achieving constant weight after repeated drying and the use of toxic and harmful reagents. The rationalization suggestions provide in this study have increased the operability of the standard and improved the testing efficiency of the laboratory.

KEY WORDS: moisture determination; national standard; key issues

0 引言

水分含量是食品加工和保存过程中的关键参数。食品中水分含量过高容易导致微生物滋生而缩短保质期^[1-2]；水分含量过低则可能影响食品的质地和口感^[3-5]，同时食品水分含量的改变还会引起营养素及有害物质浓度的变化，即同一食品可因水分的改变造成其他项目测定数据上的较大差异。因此，水分含量的测定对于监控生产过程中的水分变化、优化产品配方和提高产品质量至关重要^[6-8]。

目前，食品中水分含量检测主要有直接检测法和间接检测法^[9]。直接检测法是基于食品在受热条件下水分自身游离易丢失的原理，如烘箱干燥法、红外线干燥法、卤素灯干燥法等^[10-12]；间接检测法是利用水的化学反应或者水中的光折射、吸收、氢原子自旋、电磁波衰减等物理信号的变化来测定，如卡尔·费休法^[13-14]、蒸馏法、阿贝折射法、近红外光谱法^[15-18]、低场核磁共振法^[19-20]等。

我国现行有效的食品中水分测定相关的方法标准主要有 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》、GB/T 20264—2006《粮食、油料水分两次烘干测定法》、GB/T 26626—2011《动植物油脂 水分含量测定 卡尔·费休法(无吡啶)》等。其中 GB 5009.3—2016 是强制性标准，包括直接干燥法、减压干燥法、蒸馏法和卡尔·费休法等 4 个方法。这 4 个方法在实际应用中仍存在一些问題，例如干燥法中反复烘干难以达到恒重^[21]、蒸馏法中甲苯、二甲苯及卡尔·费休法中含吡啶的卡尔·费休试剂有毒有害等^[22-26]。本研究结合实验和数据对 4 个方法中的相关细节问题进行讨论和分析，并提出了合理化建议，为提

高该标准在实际检测工作中的可操作性提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

食品样品采购于武汉市的超市和农贸市场。玉米粉质控样(编号 CFAPA-QC987B-1, 标准值 11.975 g/100 g, 大连中食国实检测技术有限公司)。

甲苯、二甲苯、卡尔·费休试剂(含吡啶)、卡尔·费休试剂(无吡啶)、无水氯化钙(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

DHG-9143BS-III型电热恒温干燥箱(上海新苗医疗器械制造有限公司); DZF-6020A 型真空干燥箱(上海力辰科技有限公司); ZDJ-600S 型全自动高精度滴定仪(北京先驱威锋有限公司); AL204 型电子天平(精度 0.01 mg, 瑞典梅特勒-托利多公司); Milli-Q 去离子水发生器(美国 Millipore 公司)。

1.3 试验方法

样品中水分含量测定参照 GB 5009.3—2016 进行。

1.4 数据处理

所有数据均表示为同一批样品平行检测 6 次的平均值。实验室数据采用 Microsoft Excel 2010 对数据进行归类、分析和计算; 采用 IBM SPSS Statistics 25.0 进行成对样品 t 检验统计分析; 采用 Microsoft Excel 2010 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 干燥法中反复烘干难以达到恒重的问题

干燥法规定样品在烘箱内干燥的时间为 2~4 h, 取出冷却后称量, 然后再干燥至恒重(前后两次质量差不超过 2 mg)。该方法在实际使用过程中, 有实验室人员反映“存在难以达到恒重、需反复烘干、导致实验时间过长”等问题。本研究从样品温度、冷却时间长短、样品粉碎程度等方面来探索影响恒重的关键因素, 达到提高检测效率的目的。

2.1.1 样品温度的影响

对于高精度电子天平, 温度是影响天平准确度的重要因素^[27-28]。样品在烘箱内干燥后仍处于高温状态, 若直接称量会由于高温导致电子天平不稳定, 从而出现数值漂移, 难以达到恒重。因此, 加热干燥后的样品应在干燥器内冷却至室温后再称量。

2.1.2 冷却时间长短的影响

围绕加热干燥后的样品在干燥器内冷却时间的长短研究, 解决样品难以达到恒重的问题。

准确称取 3 g 玉米粉质控样品经过干燥 4 h 后, 在干燥器内冷却 10 min、15 min、20 min、30 min、40 min、1 h 后称量。结果显示, 当冷却时间小于 15 min 时, 称量瓶还处于微热状态, 称量时天平显示数值还不稳定; 当冷却时间为 20 min 时, 称量瓶已经冷却至室温状态, 称量时天平数值显示稳定。因此, 冷却时间至少需要 20 min。

同时考察了当干燥器内湿度小于 10% 时, 准确称取 3 g 玉米粉质控样品经过干燥 4 h 冷却 30 min 后称量, 再继续干燥 1 h 后将样品放在干燥器内冷却 30 min、1 h、2 h、4 h、8 h、16 h、96 h、192 h、288 h 后称量, 连续两次干燥后称量的质量差的变化。结果如图 1 所示, 当冷却时间低于 2 h 时, 连续两次干燥后称定的质量差在 2 mg 内; 当冷却时间高于 2 h 时, 连续两次干燥后称定的质量差

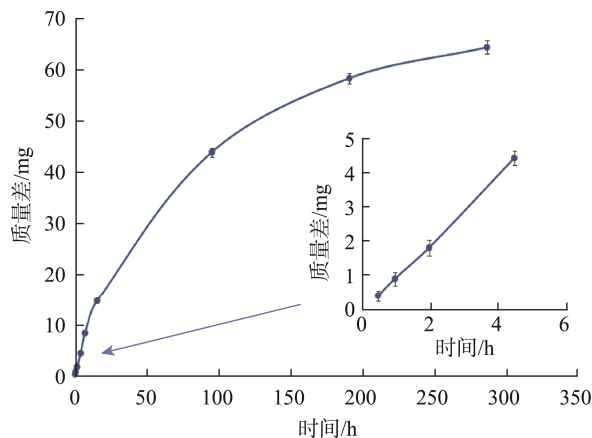


图 1 干燥器内冷却时间对恒重的影响
Fig.1 Effects of cooling time inside the dryer on constant weight

大于 2 mg。这主要是因为干燥器内也并非是一个绝对干燥的环境, 变色硅胶经过了烘干处理, 使干燥器内的湿度小于 10%, 当经过干燥处理的样品放入干燥器内, 会对干燥器中的水分进行一个再吸附再平衡, 放置时间(也就是冷却时间)越长, 可能导致样品中的水分在增加^[29]。

因此, 为了确保恒重, 同时满足节约时间、提高检测效率的目的, 建议干燥后样品的冷却时间严格控制在 30 min。

2.1.3 样品粉碎程度的影响

GB 5009.3—2016 中直接干燥法要求样品的干燥时间为 2~4 h, 影响干燥时间的差别主要因素是样品粉碎后的粒径不同导致水分挥发速度不同^[30]。本研究考察了玉米粉、茶叶和猪肉脯干在不同的干燥时间里对水分含量和恒重的影响情况。玉米粉、茶叶和猪肉脯干的粒径分别约为 0.1、0.5、2.0 mm。准确称取 3 g 样品在 103 °C 下分别干燥 0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 h 后, 放入干燥器内冷却 30 min 后称量。结果如图 2 所示, 玉米粉、茶叶、猪肉脯干干燥时间分别为 2.0、3.0、4.0 h 时, 样品再次干燥后的质量差小于 2 mg, 即已达到恒重。对于粒径大一些的猪肉脯干和茶叶, 样品内部水分难以挥发导致水分挥发的速度相对要慢一些, 达到恒重需要的时间要长。

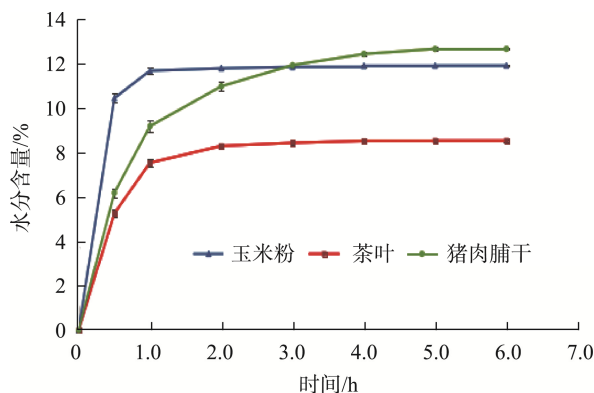


图 2 干燥时间对恒重的影响
Fig.2 Effects of drying time on constant weight

同时考察了不同粒径的猪肉脯干在不同的干燥时间里对水分含量和恒重的影响情况。准确称取粒径分别为 2、4、6、8 mm 的猪肉脯干颗粒, 在 103 °C 下分别干燥 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10 h 后, 放入干燥器内冷却 30 min 后称量。结果如图 3 所示, 粒径越大, 猪肉脯干中水分的挥发速度越慢, 即达到恒重需要的时间越长。因此, 样品粒径也是影响干燥时间和恒重的重要因素。在样品制备过程中应尽可能将样品粉碎或研磨至细小颗粒状, 对于无法粉碎到更小粒径的食品基质应适当的延长首次干燥时间, 以减少复烘的次数。

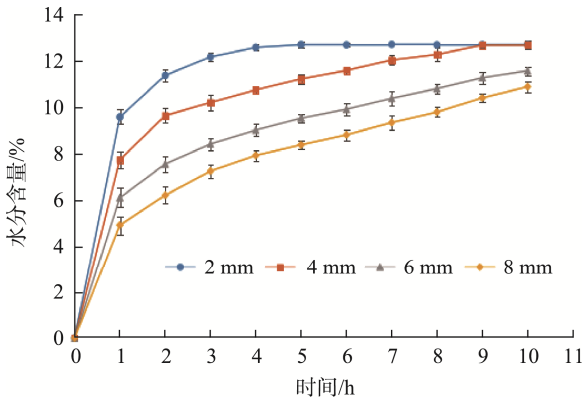


图3 同一样品不同粒径对恒重的影响
Fig.3 Effects of different particle sizes of the same sample on constant weight

2.2 减压干燥法实验条件的优化

GB 5009.3—2016 规定,减压干燥法的原理是在真空干燥箱达到一定压力(40~53 kPa)后加热至 60 °C±5 °C 下将样品中的水分去除。直接干燥法是在 101.3 kPa, 温度 101~105 °C 条件下加热样品将水分去除。理论上适用于直接干燥法的样品(如奶粉、玉米粉、淀粉等,这 3 种基质均为粒径小于 2 mm 的均匀粉末状颗粒物,基质中不含挥发性成分,且含糖量低),用减压干燥法测出的水分含量应与直接干燥法测出的结果一致,但在实际操作过程中,发现减压干燥法测定的结果均低于直接干燥法测定结果的 20%左右。说明在压力为 40~53 kPa 下加热至 60 °C±5 °C,样品中的水分并没有完全被去除。同时,在温度为 60 °C±5 °C 下,真空干燥箱内的空气并不是绝对的干燥环境,当样品中的水分含量与真空干燥箱内的水分含量一致时,将达到一个水分平衡状态,样品中的水分将无法继续被去除。这是导致测定结果偏低的主要原因。

为了优化减压干燥法的实验条件,选取奶粉、玉米粉、马铃薯淀粉 3 种样品采用减压干燥法进行不同压力下和在有干燥剂的情况下测定水分的含量的试验比较,同时

用直接干燥法测定 3 种样品的水分含量。结果如表 1 所示,当采用减压干燥法测定 3 种基质的水分时,按照 GB 5009.3—2016 标准中减压干燥法规定的压力设置为 50 kPa 时,测得的水分含量仅为直接干燥法的 80%左右;当压力设置为-0.1 MPa 时,测得的水分含量仅为直接干燥法的 90%左右;当压力设置为-0.1 MPa,同时在真空干燥箱中加入无水氯化钙干燥剂时,测得的水分含量为直接干燥法的 95%左右。结果说明,减压干燥法在压力为 40~53 kPa 下不足以把样品中的水分全部去除;当把真空干燥箱中的压力调到最大值-0.1 MPa 时,样品中的水分也仅 90%被去除;当压力设置为-0.1 MPa,同时在真空干燥箱内放入烘烤过的干燥剂时,样品中的水分有近 95%被去除。因此,建议减压干燥法的压力应设置为-0.1 MPa,并在真空干燥箱内加入有效干燥剂。

2.3 蒸馏法实验条件的优化

蒸馏法中使用的试剂为分析纯的甲苯或二甲苯,方法中要求先对甲苯或二甲苯用水饱和后,分去水层,再进行蒸馏,收集馏出液后备用。这两种试剂毒性较大,短期吸入对眼及上呼吸道有刺激作用,高浓度时对中枢神经系统有麻醉作用。根据 GB/T 684—2023《化学试剂 甲苯》和 GB/T 16494—2013《化学试剂 二甲苯》中的技术要求,分析纯的甲苯和二甲苯的纯度要求分别为≥99.5%和≥99.0%,水分含量均要求≤0.03%。本研究对分析纯甲苯和二甲苯进行了试剂空白检测($n=6$),因试剂中的含水量极低,没有在水分接收管中接收到水分。同时考察了用蒸馏提纯过的二甲苯和未提纯过的二甲苯测定 7 种水果制品中的水分含量,结果如表 2 所示,未提纯和提纯过的分析纯二甲苯试剂测定 7 份样品中的水分结果的相对偏差为-1.36%~0.55%,采用 SPSS 软件对 2 组数据进行 t 检验分析, $P>0.05$,表明未提纯和提纯过的分析纯二甲苯试剂测定样品中的水分结果无显著性差异。因此,建议分析纯的甲苯或二甲苯可不必采用蒸馏提纯的步骤,既简化了实验步骤,又可尽量减少检测人员接触甲苯或二甲苯试剂的时间。

表 1 不同压力下测得的水分含量
Table 1 Moisture content measured under different pressures

样品基质	直接干燥法 (g/100 g)	减压干燥法(65 °C)					
		50 kPa		-0.1 MPa		-0.1 MPa+干燥剂	
		水分含量 (g/100 g)	减压/直接干 燥法/%	水分含量 (g/100 g)	减压/直接干 燥法/%	水分含量 (g/100 g)	减压/直接干 燥法/%
奶粉	4.87	3.86	79.3	4.31	88.5	4.61	94.7
玉米粉	11.90	9.48	79.7	10.60	89.1	11.40	95.8
马铃薯淀粉	17.90	15.00	83.8	16.60	92.7	17.10	95.5

表 2 提纯和未提纯的分析纯二甲苯对样品中水分含量的影响
Table 2 Effects of purified and non-purified analytical-grade xylene on the moisture content in the sample

编号	样品名称	蒸馏法/(g/100 g)		相对偏差/%
		未提纯	提纯	
1	蜜枣	11.80	11.70	-0.85
2	山楂饴	18.00	18.10	0.55
3	果丹皮	15.40	15.30	-0.65
4	话梅	39.40	39.30	-0.25
5	葡萄干	14.50	14.50	0
6	山楂片	8.19	8.08	-1.36
7	果蔬脆	4.51	4.48	-0.67

2.4 卡尔·费休法实验条件的优化

卡尔·费休法中使用的是含吡啶的卡尔·费休试剂, 该试剂主要是由碘、二氧化硫、吡啶和甲醇组成的溶液, 吡

啶在其中起催化作用。但是吡啶挥发性极强, 具有强烈的刺激性气味和毒性。现有研究发现采用无臭、无毒的咪唑类含氮碱或乙二醇胺可以替代吡啶官能团的作用^[13-14]。本研究考察了含吡啶和无吡啶的卡尔·费休试剂对油脂和无水奶油中水分含量测定结果的影响, 重复测定 6 次, 评价采用无吡啶卡尔·费休试剂检测水分含量的精密度, 同时评价含吡啶和无吡啶的卡尔·费休试剂的测定结果的差异性。结果如表 3 所示, 采用无吡啶的卡尔·费休试剂测定样品中的水分含量的 RSD 为 1.23%~1.38%, 精密度良好。通过 SPSS 软件, 对无吡啶的卡尔·费休试剂和含吡啶的卡尔·费休试剂的测定结果进行 *t* 检验分析, 结果显示两种试剂对检测结果无显著性差异, 即 *P*>0.05。因此, 建议卡尔·费休法采用无吡啶的卡尔·费休试剂来替代含吡啶的卡尔·费休试剂, 以减少检测过程中有毒试剂对检测人员的身体伤害。

表 3 含吡啶和无吡啶卡尔·费休试剂对样品中水分含量的影响(*n*=6)
Table 3 Effects of Karl Fischer reagent with and without pyridine on the moisture content in the sample (*n*=6)

样品基质	卡尔·费休试剂	水分含量/(g/100 g)						平均值 /(g/100 g)	RSDs /%	<i>P</i>
		1	2	3	4	5	6			
食用调和油	无吡啶	0.086	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	0.089	1.38	0.66
	含吡啶	0.089	0.088	0.088	0.088	0.087	0.089	0.088	0.85	
猪油	无吡啶	0.044	0.045	0.044	0.044	0.045	0.045	0.045	1.23	0.36
	含吡啶	0.045	0.046	0.044	0.045	0.044	0.045	0.045	1.68	
无水奶油	无吡啶	0.041	0.042	0.042	0.041	0.041	0.042	0.042	1.32	0.61
	含吡啶	0.040	0.042	0.041	0.042	0.041	0.042	0.041	1.98	

注: 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。

3 结 论

通过对 GB 5009.3—2016 标准中 4 个方法的操作步骤中的关键点及实验条件进行研究, 形成以下建议: (1)对于直接干燥法, 一是将样品粉碎或研磨至细小颗粒状或适当延长首次干燥时间, 以减少复烘的次数; 二是严格控制烘干后的样品放在干燥器内的冷却时间(30 min), 以快速达到恒重; (2)为了快速将食品中的水分挥发出来, 建议减压干燥法将真空度提高到-0.1 MPa, 并在干燥箱内加入有效干燥剂; (3)蒸馏法中的分析纯甲苯或二甲苯可删除试剂的制备提纯过程, 卡尔·费休法中采用毒性低的无吡啶卡尔·费休试剂, 以减少有毒有害试剂对实验人员身体和环境的危害。这些合理化建议增加了该标准的可操作性, 提高了实验室的检测效率, 为该标准的进一步修订提供了技术支持。

参考文献

[1] 张曦鹏, 蒋中权, 郭全友, 等. 水分含量对轻腌大黄鱼贮藏期间细菌菌相和风味特征的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(8): 210-217.

ZHANG XP, JIANG ZQ, GUO QY, *et al.* Effects of different moisture contents on bacterial flora and flavor characteristics of lightly salted large yellow croaker during storage [J]. Food Science, 2024, 45(8): 210-217.

[2] 赵秋艳, 裴琪, 郭星星, 等. 不同水分含量鲜腐竹冷藏过程中品质变化研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(18): 211-221.

ZHAO QY, PEI Q, GUO XX, *et al.* Study on the quality changes of fresh yuba during cold storage with different moisture content [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(18): 211-221.

[3] 叶佳琳, 杜京霖, 吴光玥, 等. 温度及水分含量对二氧化碳气调储藏稻谷品质的影响[J]. 中国稻米, 2024, 30(6): 60-65.

YE JL, DU JL, WU GY, *et al.* Effects of storage temperature and rice moisture content on quality of rice in carbon dioxide atmosphere storage [J]. China Rice, 2024, 30(6): 60-65.

[4] 汪师帅, 毛响, 谭慧, 等. 水分对碱面条品质的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(6): 145-149.

WANG SS, MAO X, TAN H, *et al.* Effect of water content on the quality of alkali noodles [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(6): 145-149.

[5] 张诗雯, 仪淑敏, 吕柯明, 等. 水分含量对冻结金线鱼肉香肠品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 21-26.

ZHANG SW, YI SM, LV KM, *et al.* Effect of moisture content on the quality of frozen *Nemipterus virgatus* sausages [J]. Food Science, 2019, 40(24): 21-26.

[6] ZHANG TT, LI JW, DING ZS, *et al.* Effects of initial moisture content on the oil absorption behavior of potato chips during frying process [J]. Food

- and Bioprocess Technology, 2016, 9(2): 331–340.
- [7] ZHANG L, ZHAO LL, ZHANG J, *et al.* Relationships between transparency, amylose content, starch cavity, and moisture of brown rice kernels [J]. *Journal of Cereal Science*, 2019, 1: 90.
- [8] 杨子江, 赵娅英, 王桂瑛, 等. 云南 5 种火腿水分分布与质构特性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(10): 3134–3140.
- YANG ZJ, ZHAO YY, WANG GY, *et al.* Study on moisture distribution and texture characteristics of 5 kinds of hams in Yunnan [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2022, 13(10): 3134–3140.
- [9] 王乐军, 邢优诚, 牛燕丽, 等. 植物性食品原料水分含量检测研究进展[J]. *食品与机械*, 2023, 39(8): 218–226.
- WANG LJ, XING YC, NIU YL, *et al.* Advances in the detection of water content of plant-based food materials [J]. *Food & Machinery*, 2023, 39(8): 218–226.
- [10] 刘宏超, 杨莹, 王步军. 3 种不同检测方法测定大豆水分含量的差异分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(9): 2753–2757.
- LIU HC, YANG Y, WANG BJ. Difference analysis of the determination of moisture content in soybean by 3 kinds of different methods [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(9): 2753–2757.
- [11] 张淑芝, 卢剑青. 改良减压干燥法测定凝胶糖果水分含量[J]. *农产品加工*, 2023(21): 78–80.
- ZHANG SZ, LU JQ. Determination of water content in gummy with improved vacuum drying method [J]. *Farm Products Processing*, 2023(21): 78–80.
- [12] 邹渝丰, 钟燕基, 赵惠吉. 蜂蜜中水分测定方法验证[J]. *广东化工*, 2022, 49(16): 195–197.
- ZOU YF, ZHONG YJ, ZHAO HJ. Verification of moisture determination methods in honey [J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2022, 49(16): 195–197.
- [13] 杨健, 马跃龙, 葛淑丽, 等. 卡尔费休容量法测定蜂花粉水分含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(11): 3614–3618.
- YANG J, MA YL, GE SL, *et al.* Research on the determination of water content in bee pollen samples by volumetric Karl Fischer method [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(11): 3614–3618.
- [14] MORGANO MA, MILANI RF, MARTINS MCT, *et al.* Determination of water content in Brazilian honeybee-collected pollen by Karl Fischer titration [J]. *Food Control*, 2011, 22(10): 1604–1608.
- [15] 王会, 卢雅婷. 近红外水分测定仪的发展及在食品水分检测中的应用[J]. *农业工程*, 2016, 6(1): 58–61.
- WANG H, LU YT. Development of near infrared moisture measuring instrument and its application in food moisture detection [J]. *Agricultural Engineering*, 2016, 6(1): 58–61.
- [16] 吕都, 唐健波, 姜太玲, 等. 基于近红外光谱技术快速检测稻谷水分含量[J]. *食品与机械*, 2022, 38(2): 51–56, 63.
- LV D, TANG JB, JIANG TL, *et al.* Research on rapid prediction model of rice moisture content based on near infrared spectroscopy [J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(2): 51–56, 63.
- [17] 张静, 郭榛, 王思花, 等. 便携式近红外和可见光光谱仪检测水稻水分含量方法比较研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2023, 43(7): 2059–2066.
- ZHANG J, GUO Z, WANG SH, *et al.* Comparison of methods for water content in rice by portable near-infrared and visible light spectrometers [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2023, 43(7): 2059–2066.
- [18] 张雯雯, 胡亚东, 孙文珂, 等. 基于近红外光谱与深度学习的紫菜水分无损检测[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(21): 190–197.
- ZHANG WW, HU YD, SUN WK, *et al.* Non-destructive detection of water content in porphyra based on near-infrared spectroscopy and deep learning [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(21): 190–197.
- [19] 夏天兰, 刘登勇, 徐幸莲, 等. 低场核磁共振技术在肉与肉制品水分测定及其相关品质特性中的应用[J]. *食品科学*, 2011, 32(21): 253–256.
- XIA TL, LIU DY, XU XL, *et al.* Application of low-field nuclear magnetic resonance in determining water contents and other related quality characteristics of meat and meat products: A review [J]. *Food Science*, 2011, 32(21): 253–256.
- [20] 陈成, 王晓曦, 王瑞, 等. 核磁共振技术在食品中水分迁移状况的研究现状[J]. *粮食与饲料工业*, 2015(8): 5–8, 13.
- CHEN C, WANG XX, WANG R, *et al.* Research progress of moisture migration in food by nuclear magnetic resonance [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2015(8): 5–8, 13.
- [21] 周伟斌, 沈露洁, 王怡, 等. 与恒重相关问题的讨论[J]. *中国卫生检验杂志*, 2012, 22(2): 398–400.
- ZHOU WB, SHEN LJ, WANG Y, *et al.* Discussion on issues related to constant weight [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, 2012, 22(2): 398–400.
- [22] 张玉荣, 李铁军. 甲苯对海洋水生生物的急性毒性[J]. *山东化工*, 2020, 49(10): 161–162, 169.
- ZHANG YR, LI TJ. Acute toxicity of toluene to marine aquatic organisms [J]. *Shandong Chemical Industry*, 2020, 49(10): 161–162, 169.
- [23] 李学峰, 周启星, 罗义. 甲苯、乙苯和二甲苯对中华新米虾的毒性效应[J]. *中国环境科学*, 2013, 33(3): 530–537.
- LI XF, ZHOU QX, LUO Y. Toxic effects of toluene, ethylbenzene and xylene on *Neocaridina denticulata sinensis* [J]. *China Environmental Science*, 2013, 33(3): 530–537.
- [24] 张泽志, 王小松, 高霞, 等. 环保型卡尔·费休试剂的实验研究[J]. *河南教育学院学报(自然科学版)*, 2021, 30(1): 61–63.
- ZHANG YZ, WANG XS, GAO X, *et al.* Research of environmentally-friendly Karl-Fischer reagent [J]. *Journal of Henan Finance University (Natural Science Edition)*, 2021, 30(1): 61–63.
- [25] 永华化学股份有限公司. 一种环保型卡尔费休试剂及其制备方法: 中国, CN202111405714.7[P]. 2023-05-26.
- Yonghua Chemical Co., Ltd. An environmentally friendly Karl Fischer reagent and its preparation method: China, CN202111405714.7 [P]. 2023-05-26.
- [26] 江苏永华精细化学品有限公司. 安全稳定型无吡啶卡尔费休试剂及其制备方法: 中国, CN201210057643.0[P]. 2012-07-25.
- Jiangsu Yonghua Fine Chemicals Co., Ltd. Safety and stability pyridine-free Karl Fischer reagent and its preparation method: China, CN201210057643.0 [P]. 2012-07-25.
- [27] 赵鹏, 侯雯. 温度对高精度电子天平称量准确度影响的研究[J]. *科技风*, 2018(28): 238.
- ZHAO P, HOU W. Research on the impact of temperature on the weighing accuracy of high-precision electronic balances [J]. *Technology Wind*, 2018(28): 238.
- [28] 孙鹏龙, 何开宇, 卜晓雪, 等. 环境温度对高精度电子天平称量准确度的影响[J]. *计量与测试技术*, 2016, 43(10): 34–35.
- SUN PL, HE KY, BU XX, *et al.* The Influence of environment temperature on the accuracy of high precision electronic balance [J]. *Metrology & Measurement Technique*, 2016, 43(10): 34–35.
- [29] 速亚飞. 对食品水分测定时冷却时间的探讨[J]. *现代面粉工业*, 2011, 25(3): 41–42.
- LV YF. Discussion on the cooling time in the determination of moisture content in foods [J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2011, 25(3): 41–42.
- [30] 徐宗季, 王平东, 袁华山, 等. 不同水分磨的粉碎细度对粮食水分含量的影响[J]. *粮食储藏*, 2021, 50(1): 48–52.
- XU ZJ, WANG PD, YUAN HS, *et al.* Effect of grinding fineness of different moisture mills on grain moisture content [J]. *Grain Storage*, 2021, 50(1): 48–52.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)