

自动凯氏定氮仪测定食品中蛋白质消化条件的改进

郑倩清^{1*}, 欧阳珮珮², 黄 诚³

(中山市疾病预防控制中心, 中山 528400)

摘要: 目的 优化自动凯氏定氮仪测定食品中蛋白质含量的消化条件。**方法** 选择 3 种不同类别的食品分别进行测量, 研究样品量、催化剂配比(K_2SO_4 用量/ $CuSO_4$ 用量, 以克计, 以下同)、浓硫酸用量、消化时间和消化温度对蛋白质测定的影响。**结果** 实验得出最佳消化条件为: 大米样品量 0.8 g, 催化剂配比 6/0.4, 浓硫酸用量 12.00 mL, 420 °C 消化 80 min; 香肠样品量 0.8 g, 催化剂配比 6/0.2, 浓硫酸用量 10.00 mL, 420 °C 消化 90 min; 纯牛奶样品量 1.00 mL, 催化剂配比 6/0.2, 浓硫酸用量 10.00 mL, 420 °C 消化 70 min。平行测定结果的相对标准偏差分别为 0.21%、0.29%、0.50%, 加标回收率均在 99% 以上。**结论** 采用优化消化条件后的自动凯氏定氮仪测定食品中蛋白质含量精密度高, 稳定性好, 测定结果准确可靠, 满足日常检测要求。

关键词: 自动凯氏定氮仪; 蛋白质; 消化条件

Improvement of digestion condition in determination of protein in food by automatic kjeldahl apparatus

ZHENG Qian-Qing^{1*}, OUYANG Pei-Pei², HUANG Cheng³

(Zhongshan Center for Disease Control and Prevention, Zhongshan 528400, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the digestion condition of determination of protein content in food by automatic kjeldahl apparatus. **Method** Totally 3 different categories of food were measured in terms of sample amount, catalyst proportion (K_2SO_4 dosage/ $CuSO_4$ dosage, in grams, the following is the same as), sulfuric acid amount, digestion time and digestion temperature to analyze their respective effect on the protein determination. **Results** The optimal digestion conditions were: as to rice, the sample weight was 0.8 g, catalyst proportion was 6/0.4, added amount of sulfuric acid 12.00 mL, digestion time was 80 min at a temperature of 420 °C; as to sausage, the sample weight was 0.8 g, catalyst proportion was 6/0.2, added amount of sulfuric acid 10.00 mL, digestion time was 90 min at a temperature of 420 °C; as to pure milk, the sample volum was 1.00 mL, catalyst proportion was 6/0.2, added amount of sulfuric acid 10.00 mL, digestion time was 70 min at a temperature of 420 °C. The relative standard deviations were 0.21%, 0.29%, and 0.50%, and the recoveries were all above 99%. **Conclusion** The optimized method has good precision and stability, and with accurate and reliable measurement, which can meet the requirements of routine testing.

基金项目: 中山市医学科研基金项目(2017J159)

Fund: Supported by Medical Scientific Research Foundation of Zhongshan City(2017J159)

*通讯作者: 郑倩清, 主管技师, 主要研究方向为食品、水质质量与安全。E-mail: zqq12300@qq.com

*Corresponding author: ZHENG Qian-Qing, Technician, Zhongshan Center for Disease Control and Prevention, No.70, Changjiang Road, Zhongshan 528400, China. E-mail: zqq12300@qq.com

KEY WORDS: automatic kjeldahl apparatus; protein; digestive conditions

1 引言

蛋白质是构成人体细胞、组织的重要成分,是生命的物质基础^[1,2]。蛋白质是食品的主要营养成分之一,是衡量食品质量的一项重要指标^[3,4]。目前,测定蛋白质含量的方法主要有凯氏定氮法、双缩脲法、甲醛滴定法、考马斯亮蓝法、杜马斯燃烧法、近红外光谱法、高效液相色谱-质谱/质谱联用法等^[5-11],双缩脲法干扰物质较少,但灵敏度不高;甲醛滴定法中甲醛对人的眼、鼻等有刺激作用,且为致癌物质,对人体危害较大;考马斯亮蓝法及杜马斯燃烧法用于不同样品的蛋白质测定时会存在一定偏差;近红外光谱法和高效液相色谱-质谱/质谱联用法测定样品类型相对较少,且检测成本较高。凯氏定氮法灵敏度高、稳定性好、所用试剂对人体危害小且成本低廉,是测定蛋白质的常用方法,也是国标规定的方法,适用于各类食品中蛋白质含量的测定,是蛋白质测定的通用方法^[12]。传统的凯氏定氮法主要人工操作,过程繁琐,实验费时,工作效率不高,检测结果受人为主观因素影响比较大^[13,14],全自动凯氏定氮仪是对传统玻璃仪器的一个整合,把加液、蒸馏、滴定、记录数据和计算实行一体化操作,省时省力,同时减少了操作误差,提高测定结果的准确度和检测效率。

目前全自动凯氏定氮仪测定蛋白质的文献报道已有不少,但多见于对单一类型食品或者某一反应条件的研究,缺乏全面性,由于食品类别繁多,基质复杂,采用同一方法处理样品容易造成资源浪费,耗时耗力。本研究针对 3 种不同类别、含氮量不同的样品,包括肉类制品、大米以及液态奶进行分析,在消化过程中选择合适的催化剂配比、消化温度、消化时间、硫酸用量和样品量,以降低样品基质在消化过程中出现的爆沸、粘壁等现象,减少样品量的损失,提高消化效率,达到环保、高效、快速、安全的效果,为相关检测研究提供参考。

2 材料与方 法

2.1 材料、仪器与试剂

大米、纯牛奶和香肠均为当地超市在售知名品牌。

8400 全自动凯氏定氮仪(瑞士福斯仪器公司); 2500 消化炉(瑞士福斯仪器公司); AL204 电子天平(梅特勒-托利多仪器有限公司); Purelab Classic UV 超纯水机(系统)(颇尔公司); 氢氧化钠、硼酸、硫酸铜、硫酸钾、硫酸(分析纯,广州化学试剂厂); 溴甲酚绿、甲基红(上海三爱思试剂有限公司); 盐酸标准溶液(GBW(E)081127, 1.001 mol/L, 深圳市博林达科技有限公司)。

盐酸标准滴定溶液(0.1001 mol/L): 量取 100.0 mL 盐

酸标准溶液于 1000 mL 容量瓶中,用超纯水定容至刻度。

硼酸混合指示剂: 按每升 1% 硼酸溶液加入 10 mL 0.1% 溴甲酚绿乙醇溶液和 7 mL 0.1% 甲基红乙醇溶液比例混合。

2.2 实验方法

2.2.1 样品制备

大米用粉碎机粉碎处理; 香肠用绞肉机搅碎后再用粉碎机 2 次粉碎; 液态纯牛奶摇匀直接量取。

2.2.2 实验设计

称取或量取一定量混匀后的样品于消化管中,加入硫酸铜、硫酸钾作催化剂,再加入适当浓硫酸(浓硫酸沿管口旋转缓慢加入),置于 FOSS 消化炉加热消化,同时降低排废罩,打开水龙头开启排气装置,当消化管中的液体呈绿色透明状,取出冷却至室温,用 Kjeltec 8400 型全自动凯氏定氮仪测定蛋白质含量^[15]。选择样品量、催化剂配比、浓硫酸用量、消化时间和消化温度作为变量,研究各因素对仪器测定结果的影响。

2.2.3 蒸馏条件

稀释液(超纯水)体积: 60 mL; 氢氧化钠溶液(400 g/L) 体积: 50 mL; 接收液(硼酸混合指示剂)体积: 30 mL。

3 结果与分析

3.1 样品量对测定结果的影响

取样量的多少主要取决于样品蛋白质含量,一般来说,减少取样量可以缩短消化时间,但降低了样品的代表性,增大系统误差;增大样品量有利于提高检测结果的准确性,却拖长了消化时间,增加了试剂用量,容易造成资源浪费,所以选择合适的样品量进行实验是十分必要的。

以样品量为变量,固定浓硫酸添加量 10 mL,催化剂配比(K_2SO_4 用量/ $CuSO_4$ 用量,以克计,以下同)6/0.4,消化时间 90 min,消化温度 420 °C,研究样品量对 3 种不同类型食品蛋白质含量的影响。其中大米、香肠样品量以克为单位,纯牛奶以毫升为单位。大米称样量在 1.5 g 和 2.0 g 时消化后呈黑色液体,证明消化不完全,没有进行蒸馏滴定。标准差是一组数据平均值分散程度的一种度量,其反应多组数据之间稳定值差异,可以当作不确定性的一种测量。结合标准差计算分析,由表 1 可见,样品测定值稳定性好。当大米和香肠样品量 < 0.8 g,牛奶样品量 < 1.00 mL 时,随着样品量的增加蛋白质含量也随之增加,标准差值也相对较大。当大米和香肠的蛋白质样品量在 0.8 g、纯牛奶在样品量为 1.00 mL 时,蛋白质含量测定值相对较高,且标准差值相对较低,随着样品量的增加蛋白质含量测定值有下降趋势,在此消化条件下再增加样品量容易造成消化不完全。

因此, 样品量选择大米和香肠为 0.8 g, 纯牛奶为 1.00 mL。

表 1 样品量对蛋白质测定结果的影响($n=6$)
Table 1 Effect of sample amount on the protein content($n=6$)

样品量 (g/mL)	大米		香肠		纯牛奶	
	蛋白质 含量/%	标准差 /%	蛋白质 含量/%	标准差 /%	蛋白质 含量/%	标准差 /%
0.2	6.80	0.15	12.68	0.15	3.49	0.13
0.5	6.79	0.14	12.55	0.16	3.51	0.09
0.8	6.83	0.10	12.73	0.08	3.57	0.10
1.0	6.68	0.09	12.63	0.12	3.61	0.06
1.2	6.75	0.13	12.57	0.13	3.47	0.08
1.5	—	—	12.56	0.10	3.46	0.06
2.0	—	—	12.70	0.09	3.48	0.09

3.2 催化剂配比对测定结果的影响

凯氏定氮法中催化剂的作用是提高浓硫酸释放基质的速度。高温条件下, 有机化合物在浓硫酸中的分解速度比较缓慢, 加入硫酸钾提高消化液的沸点, 加快有机物的分解; 硫酸铜作为催化剂, 加速氧化反应, 缩短消化时间^[16]同时在反应过程中作为碱性指示剂。若硫酸钾加入量过大, 消化液温度太高, 反应生成的硫酸氢铵分解放出氨, 容易造成损失, 但加入量太少, 则出现氨化不充分, 反应不完全^[17]。因此, 选择合理的催化剂配比以达到最佳的消化效果。

以催化剂配比为变量, 固定样品量大米 0.8 g、香肠 0.8 g、纯牛奶 1.00 mL, 浓硫酸用量 10 mL, 消化时间

90 min, 消化温度 420 °C, 研究催化剂对比对 3 种不同类型食品蛋白质含量的影响。由表 2 可见, 大米在 $K_2SO_4/CuSO_4$ 为 6/0.4, 香肠和纯牛奶在 6/0.2 时, 蛋白质测定结果出现最大值, 而 $K_2SO_4/CuSO_4$ 在 4/0.8 时, 3 种样品的消化液均出现灰色沉淀, 说明硫酸铜用量过大, 故考虑硫酸铜的加入量不宜超过 0.5 g。结合硫酸钾的加入量在 6 g 时出现峰值, 且标准差选择相对较低, 大米所用 $K_2SO_4/CuSO_4$ 配比为 6/0.4, 香肠和纯牛奶所用配比为 6/0.2 为宜。

3.3 浓硫酸用量对测定结果的影响

凯氏定氮法测定蛋白质只能用硫酸消化, 样品与浓硫酸在加热作用下将有机氮转变为无机氮, 浓硫酸用量过少, 反应消化不完全, 造成测定结果偏低, 过多反而浪费试剂、污染环境, 浓硫酸用量对测定结果有重要影响。

以浓硫酸用量为变量, 当大米样品量为 0.8 g、香肠 0.8 g、纯牛奶 1.00 mL, 催化剂配比大米为 6/0.4, 香肠和纯牛奶为 6/0.2, 消化时间 90 min, 消化温度 420 °C。如表 3 所示, 当硫酸用量为 4.00 mL 和 6.00 mL 时, 消化液冷却后有少量黑色溶液悬浮于液面, 证明样品未完全消化, 蛋白质含量测定值偏低。当硫酸用量 < 10 mL 时, 蛋白质含量随着浓硫酸用量的增加而增大, 在测定大米时, 浓硫酸用量在 12.00 mL 蛋白质含量出现最大值, 随后有所下降; 在测定香肠和纯牛奶时, 浓硫酸用量在 10.00 mL 出现最大值; 浓硫酸用量在 20.00 mL 时由于用量过大, 无法达到碱过量, 蒸馏无法顺利进行, 故未进行含量测定。盲目增大硫酸用量并不能提高蛋白质检出率, 实验需要在碱性条件下进行蒸馏, 本次实验氢氧化钠溶液加入量为 50 mL, 在保证样品消化完全的前提下, 鉴于消化管容量 (250 mL) 限制以及避免试剂浪费, 结合标准差计算分析, 测定大米的浓硫酸用量在 12.00 mL, 香肠和纯牛奶在 10.00 mL 为理想。

表 2 催化剂对比对蛋白质测定结果的影响($n=6$)
Table 2 Effect of catalyst proportion on the protein content($n=6$)

催化剂配比(K_2SO_4 用量 / $CuSO_4$ 用量)	大米		香肠		纯牛奶	
	蛋白质含量/%	标准差/%	蛋白质含量/%	标准差/%	蛋白质含量/%	标准差/%
3/0.2	6.72	0.17	12.53	0.22	3.48	0.10
4/0.8	6.76	0.22	12.67	0.30	3.48	0.08
6/0.2	6.79	0.17	12.84	0.17	3.51	0.06
6/0.4	6.84	0.15	12.75	0.16	3.47	0.06
4.5/0.5	6.69	0.19	12.69	0.19	3.47	0.08
5/0.2	6.72	0.13	12.66	0.15	3.46	0.06
4/0.2	6.73	0.19	12.67	0.17	3.44	0.08

表 3 浓硫酸用量对蛋白质测定结果的影响($n=6$)
Table 3 Effect of sulfuric acid amount on the protein content($n=6$)

硫酸用量 /mL	大米		香肠		纯牛奶	
	蛋白质 含量/%	标准差 /%	蛋白质 含量/%	标准差 /%	蛋白质 含量/%	标准差 /%
4.00	3.73	0.16	12.08	0.39	3.46	0.06
6.00	6.56	0.10	12.66	0.17	3.49	0.06
8.00	6.83	0.08	12.73	0.08	3.49	0.02
10.00	6.85	0.08	12.81	0.11	3.52	0.03
12.00	7.03	0.07	12.67	0.07	3.47	0.04
15.00	6.57	0.08	12.44	0.08	3.42	0.04
20.00	—	—	—	—	—	—

3.4 消化时间对测定结果的影响

消化时间关系着消化反应的完全程度^[18]。从理论上讲,消化时间越长,样品消化越完全,但片面地追求消化效率,消化时间过长,氮元素随着蒸汽排出而造成氮损失,导致测定结果偏低,同时浪费能源;时间过短消化不完全,影响测定结果。以消化时间为变量,当大米样品量为 0.8 g、香肠 0.8 g、纯牛奶 1.00 mL, 催化剂配比大米为 6/0.4, 香肠和纯牛奶为 6/0.2, 浓硫酸用量大米为 12.00 mL, 香肠和纯牛奶 10.00 mL, 消化温度 420 °C, 如表 4 可见, 随着时间的增加, 蛋白质含量在不断增大, 当消化时间在 30~60 min 时, 随着时间延长, 冷却后的消化液颜色由全黑色过渡到咖啡色, 证明消化并未完全; 当消化时间在 70~90 min 时, 消化液呈浅蓝色, 蛋白质含量出现最大值, 表明在此时间内样品消化已完全, 而延长测定值并没有出现明显的提高, 为了提高实验的时效性, 结合标准差结果分析, 测定大米的消化时间可控制在 80 min, 香肠 90 min, 纯牛奶 70 min。

3.5 消化温度对测定结果的影响

消化温度过高, 样品分解致使氮损失, 过低则消化速度慢, 消化不完全导致测定结果偏低。选择适当的消化温度, 提高反应效率同时避免资源浪费。以消化温度为变量, 大米样品量为 0.8 g, 催化剂配比 6/0.4, 浓硫酸用量 12.00 mL, 消化 80 min; 香肠 0.8 g, 催化剂配比 6/0.2, 浓硫酸用量 10.00 mL, 消化 90 min; 纯牛奶 1.00 mL, 催化剂配比 6/0.2, 浓硫酸用量 10.00 mL, 消化 70 min。如表 5 所示, 3 种样品分别在 340 °C 消化后, 消化液为黑色液体, 表示样品未消化完全, 故没有进行含量测定。当温度在 360~400 °C 时, 随着温度升高, 冷却后的消化液由棕黑色逐渐向浅蓝色过渡, 蛋白质含量测定值也逐渐增加, 表明消化温度低于 400 °C 样品不能完全消化, 当温度在 420 °C 时, 测定结果出现最大值, 即样品消化已完全, 且数据稳

定性相对较好, 温度再增大结果也无明显差异, 故消化温度宜控制在 420 °C。

表 4 消化时间对蛋白质测定结果的影响($n=6$)
Table 4 Effect of digestion time on the protein content($n=6$)

消化时间 /min	大米		香肠		纯牛奶	
	蛋白质 含量/%	标准差 /%	蛋白质 含量/%	标准差 /%	蛋白质 含量/%	标准差 /%
30	6.65	0.21	12.47	0.22	3.48	0.11
40	6.72	0.11	12.50	0.20	3.49	0.05
50	6.79	0.05	12.62	0.10	3.49	0.04
60	6.83	0.04	12.73	0.09	3.48	0.06
70	6.93	0.06	12.77	0.09	3.59	0.04
80	6.99	0.05	12.85	0.09	3.49	0.09
90	6.89	0.03	12.87	0.07	3.48	0.04
120	6.93	0.06	12.65	0.11	3.51	0.09

表 5 消化温度对蛋白质测定结果的影响($n=6$)
Table 5 Effect of digestion temperature on the protein content($n=6$)

消化温度 /°C	大米		香肠		纯牛奶	
	蛋白质 含量/%	标准差 /%	蛋白质 含量/%	标准差 /%	蛋白质 含量/%	标准差 /%
340	—	—	—	—	—	—
360	6.56	0.09	12.10	0.04	3.34	0.03
380	6.70	0.03	12.31	0.12	3.43	0.03
400	6.76	0.02	12.66	0.05	3.51	0.04
420	6.84	0.01	12.79	0.04	3.55	0.02
440	6.84	0.03	12.74	0.12	3.34	0.03

3.6 精密度实验及准确度实验

通过上述实验确定 3 种样品的最优消化条件见表 6。根据实验条件, 用全自动凯氏定氮仪对 3 种样品进行精密度实验, 每个样品平行测定 6 次, 计算平均值和相对标准偏差, 结果见表 7; 3 种样品各称取 3 组, 分别加入低、中、高(0.005、0.01、0.015 g)3 个实验水平硫酸铵(相当于 1.06、2.12、3.18 mg 氮), 按 2.2.2 操作及表 6 消化条件处理样品并测定, 进行加标实验, 计算回收率, 由表 8 可知, 该消化条件下, 3 种样品的平均回收率均大于 99%。为验证方法的准确性, 选择脂肪含量较少的标物为代表, 以样品量为 0.8 g, 催化剂配比 6/0.4, 浓硫酸用量 12.00 mL, 420 °C 消化 80 min 的条件下测定全麦粉 GBW(E)100126 中粗蛋白质, 如表 9 可见, 测定值与标准物质证书标示值相符。

表 6 最优消化条件
Table 6 The optimal digestion conditions

样品	样品量/	催化剂配比(K ₂ SO ₄ 用量/CuSO ₄ 用量)	硫酸用量/mL	消化时间/min	消化温度/°C
大米	0.8 g	6/0.4	12.00	80	420
香肠	0.8 g	6/0.2	10.00	90	420
纯牛奶	1.00 mL	6/0.2	10.00	70	420

表 7 精密度实验结果
Table 7 Results of precision experiment

样品	蛋白质测定值/%						平均值/%	相对标准偏差/%
	1	2	3	4	5	6		
大米	6.84	6.84	6.87	6.84	6.82	6.83	6.84	0.21
香肠	12.83	12.76	12.75	12.84	12.80	12.80	12.79	0.29
纯牛奶	3.57	3.54	3.54	3.57	3.53	3.56	3.55	0.50

表 8 准确度实验结果(n=3)
Table 8 Results of accuracy experiment(n=3)

样品	样品含氮量/mg	加标量/mg	总氮量/mg	实测值/mg	回收率/%	
					结果	平均值
大米	9.22	1.06	10.28	10.27	99.1	99.3
	9.36	2.12	11.48	11.46	99.1	
	9.25	3.18	12.43	12.42	99.7	
香肠	16.38	1.06	17.44	17.43	99.1	99.6
	16.27	2.12	18.39	18.40	100	
	16.51	3.18	19.69	19.68	99.7	
纯牛奶	5.56	1.06	6.62	6.61	99.1	99.8
	5.53	2.12	7.65	7.67	101	
	5.60	3.18	8.78	8.76	99.4	

表 9 标准物质分析结果
Table 9 Results of standard substances

标准物质	标准值/%	测定值/%						平均值/%
		1	2	3	4	5	6	
GBW(E)100126	15.8±0.3	15.74	15.51	15.93	15.80	16.04	15.62	15.77

3.7 实际样品测定

用表 6 的消化条件和方法对市售的 3 类样品进行分析测定, 结果见表 10。每类样品分别购买 5 种不同品种的产品进行分析, 所测结果与标签标示值基本一致, 符合国家安全标准。

4 结论

本次实验通过优化消化条件, 完善自动凯氏定氮仪测定食品中蛋白质含量的方法, 经实验得出最优消化条件: 大米样品量 0.8 g、催化剂配比 6/0.4、浓硫酸用量 12.00 mL、

消化 80 min、消化温度为 420 °C; 香肠样品量 0.8 g、催化剂配比 6/0.2、浓硫酸用量 10.00 mL、消化 90 min、消化温度 420 °C; 纯牛奶样品量 1.00 mL、催化剂配比 6/0.2、浓硫酸用量 10.00 mL、消化 70 min、消化温度 420 °C。通过精密度和准确度实验, 在该处理条件下, 方法的结果重现性好, 精密度高, 结果准确可靠。本次实验将食品类型粗分, 通过各因素的优化, 减少了试剂的浪费和能源的损耗, 缩短消化时间, 与传统方法相比, 减少了人为误差, 可批量消化样品, 提高工作效率, 降低出现消化不完全、粘壁等现象, 操作更简单安全, 满足日常检测要求。

表10 样品测定结果
Table 10 Detection results of samples

样品	测定值/%			平均值/%
	1	2	3	
黑龙江大米	7.17	7.24	7.22	7.21
泰国香米	7.26	7.19	7.22	7.22
广东大米	6.99	6.93	7.05	6.99
广西大米	6.64	6.59	6.50	6.58
江西大米	8.23	8.23	8.22	8.23
热狗肠	12.59	12.73	12.49	12.60
火腿切片	16.19	15.92	15.96	16.02
培根	17.35	17.41	17.49	17.42
三文治	10.66	10.53	10.75	10.65
鸡肉火腿肠	11.33	11.19	11.27	11.26
高钙牛奶	3.16	3.22	3.24	3.21
核桃牛奶	2.53	2.48	2.57	2.53
红枣枸杞牛奶	1.69	1.76	1.70	1.72
谷粒牛奶	3.42	3.52	3.48	3.47
全脂牛奶	3.66	3.79	3.73	3.73

参考文献

- [1] 冯旭东, 安卫东, 丁毅, 等. 蛋白质快速检测仪测定乳及乳制品中蛋白质[J]. 分析化学, 2011, 39(10): 1496-1500.
Feng XD, An WD, Ding Y, *et al.* Fast determination of protein in milk and dairy products using protein fast analyzer [J]. Chin J Anal Chem, 2011, 39(10): 1496-1500.
- [2] 方亚敏, 冯蓓健, 杨滨. 食品中蛋白质两种测定方法比较[J]. 上海预防医学杂志, 2009, 21(8): 381-382.
Fang YM, Feng BJ, Yang B. Comparison of 2 determining methods towards protein in food [J]. Shanghai J Prev Med, 2009, 21(8): 381-382.
- [3] 赵艳萍, 陈平, 张蕾. 全自动凯氏定氮仪测定食品中蛋白质分析[J]. 科技创新导报, 2014, 11(8): 45.
Zhao YP, Chen P, Zhang L. Analysis of the determination of food protein by automatic kjeldahl apparatus [J]. Sci Technol Innov Herald, 2014, 11(8): 45.
- [4] 史玮, 孙莹, 徐振斌. 凯氏定氮法测定粮食蛋白质含量方法研究[J]. 粮食科技与经济, 2013, 38(5): 31-32.
Shi W, Sun Y, Xu ZB. Determination of protein content in grain by kjeldahl method [J]. Grain Sci Technol Econ, 2013, 38(5): 31-32.
- [5] 雷泽夏, 段苏洋, 朱建宇, 等. 食品中蛋白质的含量方法测定[J]. 现代食品, 2016, (6): 100-101.
Lei ZX, Duan SY, Zhu JY, *et al.* Determination of protein in content in foods [J]. Mod Food, 2016, (6): 100-101.
- [6] Ren YP, Han Z, Chu XJ, *et al.* Simultaneous determination of bovine α -lactalbumin and β -lactoglobulin in infant formulae by ultra-high-performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. Anal Chim Acta, 2010, 667(1): 96-102.
- [7] Vaknin Y, Ghanim M, Samra S, *et al.* Predicting Jatropha curcas seed-oil content, oil composition and protein content using near-infrared spectroscopy: A quick and non-destructive method [J]. Ind Crops Prod,

2011, 34(1): 1029-1034.

- [8] 赵文英, 花锦, 张梨花, 等. 近红外光谱测定不同鲜肉肉糜中蛋白质含量[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 48-50, 118.
Zhao WY, Hua J, Zhang LH, *et al.* Prediction on protein concentration of fresh minced meat using near-infrared spectroscopy [J]. Food Mach, 2017, 33(1): 48-50, 118.
- [9] 姬玉梅. 三种小麦蛋白质测定方法的比较[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(12): 2533-2535.
Ji YM. Comparison of 3 determining methods towards protein in wheat [J]. Hubei Agric Sci, 2011, 50(12): 2533-2535.
- [10] 尉立刚, 张生万, 齐尚忠, 等. 光度法测定肉制品中蛋白质含量的方法研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2010, 33(2): 267-269.
Wei LG, Zhang SW, Qi SZ, *et al.* Assaying protein in meat product by a spectrophotometry [J]. J Shanxi Univ (Nat Sci Ed), 2010, 33(2): 267-269.
- [11] 侯向昶, 董浩, 罗东辉, 等. 乳与乳制品中蛋白质检测方法的研究现状与进展[J]. 乳业科学与技术, 2013, 36(3): 28-31.
Hou XC, Dong H, Luo DH, *et al.* Research status and progress on analytical techniques for protein in milk and dairy products [J]. J Dairy Sci Technol, 2013, 36(3): 28-31.
- [12] 徐新娟, 黄中文, 王伟, 等. 全自动凯氏定氮仪测定大豆蛋白质方法的研究[J]. 黑龙江农业科学, 2016, (2): 108-110, 121.
Xu XJ, Huang ZW, Wang W, *et al.* Study on the processing conditions of soybean protein sample with automatic kjeldahl nitrogen determination apparatus [J]. Heilongjiang Agric Sci, 2016, (2): 108-110, 121.
- [13] 贾丽艳, 王丽丽. 对微量凯氏定氮法测定蛋白质含量的改进[J]. 农产品加工(学刊), 2010, (1): 64-65, 75.
Jia LY, Wang LL. Improved micro-kjeldahl determination of protein content [J]. Acad Period Farm Prod Process, 2010, (1): 64-65, 75.
- [14] 陆卫明, 尹华. 用蛋白质测定仪测定食品中的蛋白质[J]. 江苏预防医学, 2007, (1): 61-62.
Lu WM, Yin H. Study on determination of food protein by kjeldahl apparatus [J]. Jiangsu J Prev Med, 2007, (1): 61-62.
- [15] GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].
GB 5009.5-2016 National food safety standard-Determination of protein in food [S].
- [16] 王天竹. 食品卫生检验方法(理化部分)注解(上)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
Wang TZ. The annotations of food hygiene examination(physicochemical portion)(the first volume) [M]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [17] 袁静宇. 凯氏定氮法测定玉米淀粉蛋白质含量最佳消化温度的摸索[J]. 粮食与饲料工业, 2013, (11): 25-27.
Yuan JY. Optimum digestion temperature for determination of protein content by kjeldahl method [J]. Cere Feed Ind, 2013, (11): 25-27.
- [18] 郭应时, 曹小彦, 邹杭君, 等. 全自动凯氏定氮仪测定大米蛋白质[J]. 食品与机械, 2017, 33(11): 67-71.
Guo YS, Cao XY, Zou HJ, *et al.* Study on determination of rice protein by automatic kjeldahl apparatus [J]. Food Mach, 2017, 33(11): 67-71.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



张倩清, 主管技师, 主要研究方向为食品、水质质量与安全。

E-mail: zqq12300@qq.com