

4种蛋白质沉淀剂测定乳粉中非蛋白氮含量的效果

漆亚乔¹, 彭名军¹, 黄秋婷¹, 吴嘉文¹, 苏燕瑜¹, 刘冬豪^{1*}, 唐书泽^{2*}

(1. 广州市食品检验所, 广州 510410; 2. 暨南大学理工学院, 广州 510632)

摘要: 目的 测定乳粉中非蛋白氮含量, 比较4种蛋白质沉淀剂分离蛋白质和非蛋白含氮物质的效果。

方法 样品加水溶解后分别用15%三氯乙酸溶液、丙酮、20%乙酸铅溶液+3%草酸钾+7%磷酸氢二钠溶液、乙酸锌溶液和亚铁氰化钾溶液沉淀蛋白质, 过滤后取滤液进行消化定氮, 同时在样品中加标三聚氰胺, 检测计算回收率。**结果** 三氯乙酸沉淀法的非蛋白氮含量为0.2036%±0.0002%, 丙酮沉淀法的非蛋白氮含量为0.0981%±0.0050%, 乙酸铅沉淀法的非蛋白氮含量为0.1372%±0.0012%, 乙酸锌沉淀法的非蛋白氮含量为0.3466%±0.0100%。当10 g样品中加标量高于2 mg 低于20 mg 三聚氰胺时, 三氯乙酸沉淀法的加标回收率最好。**结论** 三氯乙酸沉淀法结果准确度和稳定性较其他3种方法更好, 但受到加标量的影响, 当10 g样品加标79.2 mg时, 三氯乙酸沉淀法加标回收率低且相对标准偏差较大, 此时乙酸铅沉淀法的加标回收率优于三氯乙酸沉淀法。

关键词: 乳粉; 非蛋白氮; 三氯乙酸; 三聚氰胺; 加标回收率

Determination of non-protein nitrogen in milk powder by four protein precipitants

QI Ya-Qiao¹, PENG Ming-Jun¹, HUANG Qiu-Ting¹, WU Jia-Wen¹, SU Yan-Yu¹,
LIU Dong-Hao^{1*}, TANG Shu-Ze^{2*}

(1. Guangzhou Inspection of Food Control, Guangzhou 510410, China; 2. College of Science & Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

ABSTRACT: Objective To determine the content of non-protein nitrogen in milk powder and compare the effects of four protein precipitants in separating four protein and non-protein nitrogen. **Methods** After the sample was dissolved in water, the protein was precipitated with 15% trichloroacetic acid solution, acetone, 20% lead acetate solution + 3% potassium oxalate+7% disodium hydrogen phosphate solution, zinc acetate solution and potassium ferrocyanide solution, respectively. After filtration, filtrate was taken for digestion and determination of nitrogen. Meanwhile, standard melamine was added to the sample to detect and calculate the recovery rate. **Results** The

基金项目: 广州市科技计划项目(201707010372, 201704020024)

Fund: Supported by Guangzhou Science and Technology Project (201707010372, 201704020024)

*通讯作者: 刘冬豪, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全质量技术。E-mail: 371538650@qq.com

唐书泽, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全。E-mail: tangsz@jnu.edu.cn

*Corresponding author: LIU Dong-Hao, Senior Engineer, Guangzhou Institute for Food Control, Guangzhou 510410, China. E-mail: 371538650@qq.com

TANG Shu-Ze, Ph.D, Professor, College of Science & Engineering Jinan University, Guangzhou 510632, China.

E-mail: tangsz@jnu.edu.cn

non-protein nitrogen content separately gained by trichloroacetic acid precipitation method and acetone precipitation method were $0.2036\% \pm 0.0002\%$ and $0.0981\% \pm 0.0050\%$. While dealing with lead acetate precipitation method and zinc acetate precipitation method, the figures were $0.1372\% \pm 0.0012\%$ and $0.3466\% \pm 0.0100\%$. When the adding amount of melamine was more than 2 mg and less than 20 mg in 10 g sample, trichloroacetic acid precipitation method showed the best recovery rate. **Conclusion** The accuracy and stability of the trichloroacetic acid precipitation method was better than other three methods, while it would be affected by the spiked levels. When 79.2 mg melamine was added to 10 g sample, trichloroacetic acid precipitation method had a low recovery rate and large relative standard deviation. At this time, the recovery rate of lead acetate precipitation method was better than that of trichloroacetic acid precipitation method.

KEY WORDS: milk powder; non-protein nitrogen; trichloroacetic acid; melamine; spike recovery

1 引言

乳粉中蛋白质是非常重要的营养指标,一般通过测定样品含氮量来反映蛋白质情况。从 1985 年至今,国家标准中食品蛋白质含量的测定一直沿用经典的凯氏定氮法^[1,2],但该方法不能区分真蛋白和非蛋白氮。乳粉样品中的非蛋白含氮物质来源较多,一部分作为蛋白质的代谢产物天然存在,其含量受到乳牛品种、饲料和饲养方法的影响^[3];一部分可能是人为添加,如氨基酸、水解蛋白等,其含量可能影响营养功效。还有一部分可能来自非法添加,如尿素、三聚氰胺等,过量摄入可能会引起身体功能损害^[4,5]。

我国在 2008 年出台了 GB/T 21704-2008《乳与乳制品中非蛋白氮含量的测定》^[6],等同引用 2001 年国际标准化组织和国际乳品联合会发布的乳制品中非蛋白氮测定的标准方法。此标准方法的关键步骤是通过前处理分离蛋白质与非蛋白含氮物质,此外我国还有商检标准 SN/T 3382-2012《出口乳与乳制品中非蛋白氮含量的测定》^[7],核心检测方法也是凯氏定氮法,与国家标准的区别在于蛋白质的沉淀剂不通。国际标准和其他国家检测乳制品中非蛋白氮的方法主要是凯氏定氮法,如国际标准 ISO 8968-4-2016^[8],欧洲标准 EN ISO 8968-4-2016^[9]、英国标准 BS EN ISO 8968-4-2016^[10]和德国标准 DIN EN ISO 8968-4-2016^[11]等。

近年来对乳制品中非蛋白氮含量测定的研究较少,主要集中在用色谱检测技术测定三聚氰胺等非法添加非蛋白含氮物质,通常用三氯乙酸溶液或丙酮沉淀蛋白质,代江华等^[12]用高效液相色谱检测配方乳粉中三聚氰胺含量,通过三氯乙酸溶液进行前处理分离样品中的蛋白质;张泽泉等^[13]用乙酸锌溶液作为蛋白质沉淀剂,结果表明独用乙酸锌沉淀蛋白质时沉淀效果并不理想。且关于比较多种不同蛋白质沉淀剂的研究较少。

鉴于此,本研究从国家标准、行业标准等资料中选出 4 种蛋白质沉淀剂,包括 15%三氯乙酸溶液^[2]、丙酮^[3]、20%

乙酸铅溶液和 3%草酸钾-7%磷酸氢二钠溶液(GB 5413.5-2010《食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中乳糖、蔗糖的测定》第二法^[14])、乙酸锌溶液和亚铁氰化钾溶液(GB 5009.33-2016《食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》第二法^[15]),比较分离蛋白质后非蛋白氮含量的测定效果,为日常检测蛋白质提供参考。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

Vapodest 50sc 全自动(凯氏)定氮仪、Kjeldatherm KB/KBL 消化装置(德国格哈特有限公司); AB204-S 电子天平(瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司); ROTOFIX 32A 离心机(德国 hettich 公司)。

三氯乙酸、蔗糖、丙酮、三水合乙酸铅、一水合草酸钾、无水磷酸氢二钠、乙酸锌、冰乙酸、亚铁氰化钾、硫酸、硼酸、氢氧化钠(分析纯,广州化学试剂厂); 三聚氰胺(分析纯,无锡市亚泰联合化工有限公司); 硫酸铜-硫酸钾(催化剂)、Antifoam Solution 消泡剂(德国格哈特(中国)有限公司); 实验室用水为 Milli-Q 超纯水。

乳粉样品 1: 市售某国产品牌婴幼儿配方乳粉(1 段), 700 g 装。

乳粉样品 2: 市售某国产品牌婴幼儿配方乳粉(3 段), 700 g 装。

2.2 实验方法

2.2.1 试剂配制

15%三氯乙酸溶液: 称取 15.0 g 三氯乙酸, 纯水溶解稀释至 100 mL。

20%乙酸铅溶液: 称取 20.0 g 乙酸铅, 纯水溶解稀释至 100 mL。

草酸钾-磷酸氢二钠溶液: 称取 3.0 g 草酸钠, 称取磷酸氢二钠 7.0 g, 纯水溶解稀释至 100 mL。

乙酸锌溶液(220 g/L): 称取 22.0 g 乙酸锌, 先加 3 mL 冰乙酸, 溶解后纯水稀释至 100 mL。

亚铁氰化钾溶液(106 g/L): 称取 10.6 g 亚铁氰化钾, 纯水溶解稀释至 100 mL。

2.2.2 样品制备

三氯乙酸沉淀法、乙酸铅沉淀法、乙酸锌沉淀法的样品制备同法操作。取乳粉样品 10 g, 精确至 0.0001 g, 置于烧杯中, 加入 90 mL 温水(45 °C), 搅拌, 70 Hz 超声溶解 5 min。吸取 10 mL 样液于烧杯中, 称量待用。加标样在称量样品后加入 20 mg 三聚氰胺, 其他步骤同样品处理。

丙酮沉淀法取样 1 g, 加入 10 mL 水溶解。加标样在称量样品后加入 2 mg 三聚氰胺, 其他步骤同样品处理。

(1)三氯乙酸沉淀法

加入 40 mL 15%三氯乙酸溶液, 静置 5 min 后中速滤纸过滤, 待测。

空白对照: 取蔗糖 0.1 g, 加入 16 mL 三氯乙酸, 其他步骤同样品处理。

(2)丙酮沉淀法

在通风橱内操作, 加入 40 mL 丙酮, 静置 5 min 后中速滤纸过滤, 待测。

空白对照: 不加样品, 其他步骤同样品处理。

(3)乙酸铅沉淀法

加入 5 mL 乙酸铅溶液, 5 mL 草酸钾-磷酸氢二钠溶液, 静置 5 min, 4000 r/min 离心 5 min, 中速滤纸过滤, 待测。

空白对照: 取蔗糖 0.1 g, 加入 5 mL 乙酸铅溶液, 5 mL 草酸钾-磷酸氢二钠溶液, 其他步骤同样品处理。

(4)乙酸锌沉淀法

加入 5 mL 乙酸锌溶液, 5 mL 亚铁氰化钾溶液, 静置 5 min, 4000 r/min 离心 5 min, 中速滤纸过滤, 待测。

空白对照: 取蔗糖 0.1 g, 加入 5 mL 乙酸锌溶液, 5 mL 亚铁氰化钾溶液, 其他步骤同样品处理。

2.2.3 样品测定

三氯乙酸沉淀法滤液取 20 g, 加入硫酸铜-硫酸钾(催化剂)、10 mL 硫酸、3 滴消泡剂, 设定消化程序 10 min, 240 °C; 50 min, 280 °C; 90 min, 400 °C。自动定氮仪完成自动加液、蒸馏、滴定、记录滴定数据。非蛋白氮计算在 GB/T 21704-2008 中公式的基础上调整, 适用于固体样品的测定。

$$X = \frac{1.4007c(V_1 - V_0)(m_2 - 0.065m_1)}{m_3m_1} \times \frac{100}{m_0} \quad (1)$$

式(1)中: X —试样中非蛋白氮的含量, %; C —盐酸标准滴定溶液的浓度, mol/L; V_1 —试样消耗盐酸标准滴定溶液的体积, mL; V_0 —空白消耗盐酸标准滴定溶液的体积, mL; m_2 —加入 40 mL 三氯乙酸溶液后的试样质量, g; 0.065—响应因子; m_1 —用于沉淀蛋白的试样质量, g; m_3 —用于消化滤液的质量, g; m_0 —固体样品质量, g。

丙酮沉淀法取全部滤液, 通风橱中水浴挥发丙酮, 待丙酮完全挥发后加入硫酸铜-硫酸钾(催化剂)、10 mL 硫酸, 进行消化和自动定氮程序, 程序设定时间和温度与三氯乙酸沉淀法相同。丙酮沉淀法非蛋白氮计算按 SN/T

3382-2012 中公式。

$$X = \frac{0.0140(V_1 - V_0)c}{m} \times 100 \quad (2)$$

式(2)中: X —试样中非蛋白氮的含量, %; V_1 —试样消耗盐酸标准滴定溶液的体积, mL; V_0 —空白消耗盐酸标准滴定溶液的体积, mL; C —盐酸标准滴定溶液的浓度, mol/L; 0.0140—1.0 mL 盐酸[$c(\text{HCl})=1.000$ mol/L]标准滴定溶液相当的氮的质量, g; m —试样质量, g。

乙酸铅沉淀法和乙酸锌沉淀法取滤液 8 g, 其他程序和计算公式与三氯乙酸沉淀法相同。

3 结果与分析

3.1 不同沉淀方法的非蛋白氮含量结果

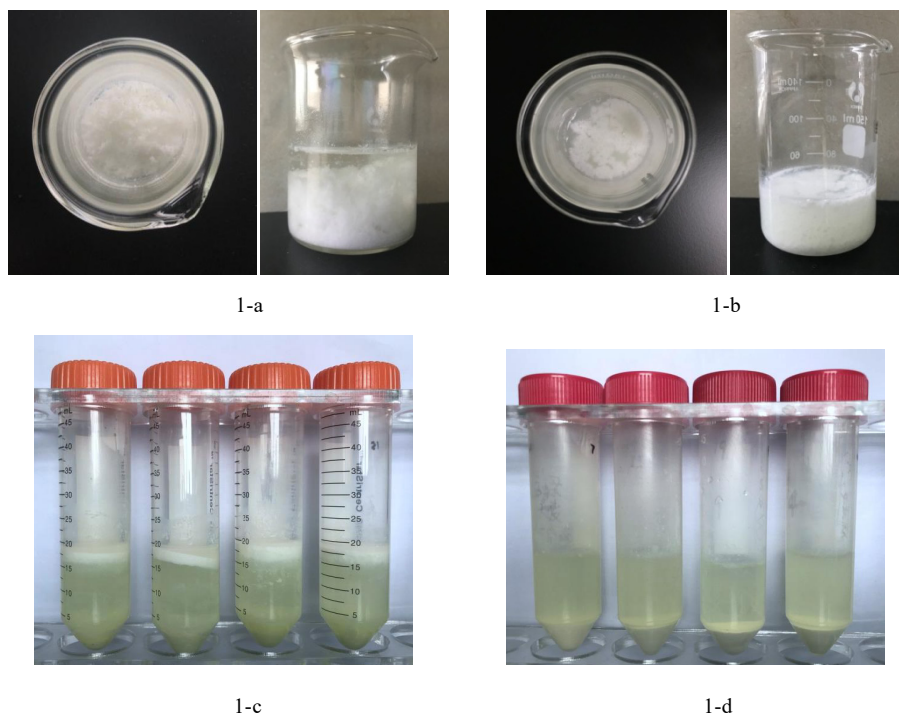
4 种沉淀剂均能沉淀乳粉中的蛋白质, 其中三氯乙酸沉淀蛋白质后溶液出现分层, 下层为豆腐渣样白色沉淀; 丙酮沉淀蛋白质后有部分蛋清样凝集物浮在表面, 下层白色沉淀, 静置后凝集物不下沉; 乙酸铅加入后出现凝结, 溶液流动性降低, 离心后分为上下两层; 乙酸锌加入后出现凝结, 离心后分三层, 上层为白色软膏样物质, 中层为较清溶液, 下层为白色沉淀, 具体实验观察结果见图 1。

由表 1 可知, 三氯乙酸沉淀法的非蛋白氮含量为 0.2036%±0.0002%, 丙酮沉淀法的非蛋白氮含量为 0.0981%±0.0050%, 乙酸铅沉淀法的非蛋白氮含量为 0.1372%±0.0012%, 乙酸锌沉淀法的非蛋白氮含量为 0.3466%±0.0100%。从 4 种方法的标准偏差(standard deviation, SD)和相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)可知, 三氯乙酸沉淀法和乙酸铅沉淀法的方法稳定性较好, 丙酮沉淀法的方法稳定性最差。

4 种方法得出的非蛋白氮含量不一致, 可能是由于丙酮沉淀法的计算公式不够精准, 没有考虑滤液润湿滤纸和滤液转移的损耗; 不同沉淀剂的分子量不同, 因消化滤液是按质量取用, 分子量越大, 相同质量的滤液中样品占比例越小, 非蛋白氮含量会越小。由王丽颖^[16]在原料乳与乳制品中蛋白质质量评价研究中对 5 个不同厂家乳粉中非蛋白氮含量的测定和评价可知, 0.088%~0.208%的非蛋白氮含量可作为参考范围, 因此乙酸锌沉淀法所得非蛋白氮含量明显超出正常范围, 可能是由于蛋白质沉淀不完全。

3.2 不同沉淀方法的加标回收率比较

由表 2 可知, 三氯乙酸沉淀法和乙酸铅沉淀法加标回收率较好, 在 100%±10%范围内; 丙酮沉淀法加标回收率最低, 仅为 50.56%±7.90%, 可能与三聚氰胺不溶于丙酮的物理性质有关; 乙酸锌沉淀法加标回收率为 86.81%±2.87%, 说明乙酸锌沉淀法的准确性不足, 有待改进实验条件。从 RSD 可知, 除丙酮沉淀法外, 其他方法的加标回收率稳定性较好。



注: 1-a: 三氯乙酸沉淀法; 1-b: 丙酮沉淀法; 1-c: 乙酸铅沉淀法; 1-d: 乙酸锌沉淀法。

图 1 4 种沉淀蛋白质方法实验观察结果

Fig.1 Experimental results of four methods for protein precipitation

表 1 4 种沉淀蛋白方法测定非蛋白氮含量结果(n=3)
Table 1 Determination results of non-protein nitrogen content by four precipitation protein methods(n=3)

方法	非蛋白氮含量平均值/%	SD/%	RSD/%
三氯乙酸	0.2036	0.0002	0.1023
丙酮	0.0981	0.0050	5.1482
乙酸铅	0.1372	0.0012	0.9111
乙酸锌	0.3466	0.0100	2.8810

表 2 4 种沉淀蛋白方法加标回收率比较(n=3)
Table 2 Comparison of standard recovery of 4 precipitation protein methods(n=3)

方法	加标测定含氮量折算标物量平均值/mg	加标理论值/mg	回收率/%	RSD/%
三氯乙酸	19.21	20	96.07±2.29	2.38
丙酮	1.01	2	50.56±7.90	15.63
乙酸铅	19.27	20	96.34±2.94	3.05
乙酸锌	17.36	20	86.81±2.87	3.07

3.3 不同加标量对加标回收率的影响

三氯乙酸沉淀法和乙酸铅沉淀法的稳定性和分离蛋白质氮和非蛋白氮效果较好, 因此可作为进一步探析不同加标量对加标回收率影响的研究对象。

分别在样品中添加 1、2、20、79.2 mg 三聚氰胺作为标准物, 其中 79.2 mg 加标量是徐纬等^[17]在甲醛-三氯乙酸

沉淀_凯氏定氮法测定牛奶中真蛋白质文献中提到的最大加标量, 如超过此剂量可能会因三聚氰胺不能完全溶解导致样品冲调性试验结果不合格, 2 种方法的加标回收率见表 3。对于取样 10 g, 加标 1 mg 时, 三氯乙酸沉淀法和乙酸铅沉淀法的加标回收率均超出了 100%±10% 的范围, 且 RSD 过大, 说明加标量过小对检测准确性和稳定性造成影

响; 加标 2 mg 和加标 20 mg, 加标回收率均在 100%±10% 范围内, 三氯乙酸法的 RSD 均较小, 表明三氯乙酸沉淀法在准确度和稳定度方面都优于乙酸铅沉淀法; 加标 79.2 mg 时, 乙酸铅沉淀法加标回收率在 100%±10% 的范围内, 三氯乙酸沉淀法加标回收率低且 RSD 较大, 表明在大

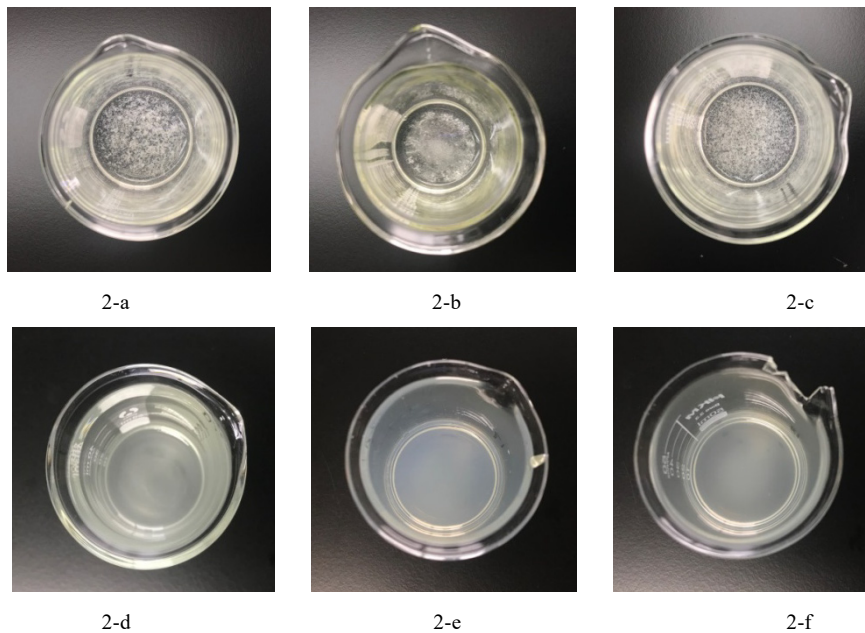
剂量加标时, 乙酸铅沉淀法优于三氯乙酸沉淀法。

在实验中可观察到加标 79.2 mg 时, 三氯乙酸沉淀法的滤液中有白色小绒毛状物质, 且随着时间的推移不断增加, 白色绒毛状物质的量越多。乙酸铅沉淀法滤液较澄清, 无析出。滤液观察情况见图 2。

表 3 三氯乙酸沉淀法和乙酸铅沉淀法加标回收率比较(n=3)

Table 3 Comparison of standard recovery of trichloroacetic acid precipitation method and lead acetate precipitation method(n=3)

方法	三氯乙酸				乙酸铅			
加标测含氮量折算 标物量平均值/mg	1.13	2.08	19.35	51.06	1.14	2.19	19.57	76.48
回收率/%	112.94±26.66	103.97±5.31	96.75±0.26	64.47±5.21	114.33±48.60	109.70±20.65	97.84±3.91	96.57±1.07
RSD/%	23.61	5.11	0.27	8.08	42.51	18.83	4.00	1.11



注: 2-a、2-b、2-c 三氯乙酸沉淀法滤液平行样; 2-d、2-e、2-f 乙酸铅沉淀法滤液平行样。

图 2 三氯乙酸沉淀法和乙酸铅沉淀法加标 79.2 mg 时滤液观察情况

Fig.2 Experimental results of filtrate with trichloroacetic precipitation and lead acetate precipitation when adding 79.2 mg melamine

4 结论

本研究比较了 4 种常见蛋白质沉淀剂, 对各方法的实验操作和适用范围进行了探究。三氯乙酸沉淀法相比其他方法, 其结果准确度和稳定性最好。丙酮沉淀法因丙酮沸点低, 为防止消化时暴沸必须蒸干滤液, 其计算公式较简单, 未能考虑各环节转移过程时的样品损耗, 计算结果较三氯乙酸沉淀法偏低。乙酸锌沉淀法测得的非蛋白氮含量较三氯乙酸沉淀法偏高, 可能与蛋白质未完全沉淀有关, 需进一步改进实验条件。

三氯乙酸沉淀法的准确度和稳定性受到加标量的影

响。加标量不高于 20 mg 三聚氰胺/10 g 样品时, 三氯乙酸沉淀法优于乙酸铅沉淀法; 加标量为 79.2 mg 三聚氰胺/10 g 样品时, 乙酸铅沉淀法优于三氯乙酸沉淀法。通过研究可知 GB/T 21704-2008 中方法是测定乳与乳制品中非蛋白氮含量的最优方法, 接下来将探索如何进一步优化实验条件, 提高实验效率, 试验三氯乙酸沉淀法能够准确稳定检测的样品中最大三聚氰胺加标量, 明确方法适用范围, 并验证实验 3.3 中滤液出现的白色绒毛状物质成分。

参考文献

- [1] GB/T 5009.5-1985 食品中蛋白质的测定方法[S].
GB/T 5009.5-1985 Determination of protein in food [S].

- [2] 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 standards-Determination of protein in food [S].
- [3] 冯旭东. 奶制品中蛋白质的检测仪器和方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
Feng XD. Study on instruments and methods for detection protein in dairy products [D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- [4] Rovina K, Siddiquee S. A review of recent advances in melamine detection techniques [J]. *J Food Compos Anal*, 2015, 43: 25-38.
- [5] 吴红岩, 郭同军, 张俊瑜, 等. 三聚氰胺的毒性和检测方法的研究进展[J]. *养殖与饲料*, 2019, 3: 54-57.
Wu HY, Guo TJ, Zhang JY, *et al.* Research progress on toxicity and detection methods of melamine [J]. *Anim Breed Feed*, 2019, 3: 54-57.
- [6] GB/T 21704-2008 乳与乳制品中非蛋白氮含量的测定[S].
GB/T 21704-2008 Determination of non-protein-nitrogen content in milk and dairy products [S].
- [7] SN/T 3382-2012 出口乳与乳制品中非蛋白氮含量的测定[S].
SN/T 3382-2012 Determination of non-protein-nitrogen content in milk and dairy products for export [S].
- [8] ISO 8968-4-2016 Milk and milk product-Determination of nitrogen content - Part 4: Determination of protein and non-protein nitrogen content and true protein content calculation (Reference method) [S].
- [9] EN ISO 8968-4-2016 Milk and milk products - Determination of nitrogen content - Part 4: Determination of protein and non-protein nitrogen content and true protein content calculation (reference method) [S].
- [10] BS EN ISO 8968-4-2016 Milk and milk products-Determination of nitrogen content - Part 4: Determination of protein and non-protein nitrogen content and true protein content calculation (reference method) [S].
- [11] DIN EN ISO 8968-4-2016 Milk and milk products - Determination of nitrogen content - Part 4: Determination of protein and non-protein nitrogen content and true protein content calculation (Reference method) [S].
- [12] 代江华, 管乐, 周兴旺, 等. 婴幼儿配方乳粉中三聚氰胺检测中前处理方法的优化[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(4): 837-842.
Dai JH, Guan Y, Zhou XW, *et al.* Optimization of pretreatment methods for determination of melamine in infant formula milk powder [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(4): 837-842.
- [13] 张泽泉, 罗翠婷, 李孔寿, 等. 凯氏定氮法蛋白质测定的改进探讨[J]. *海峡预防医学杂志*, 2017, 23(1): 64-66.
Zhang ZQ, Luo CT, Li KS, *et al.* Discussion on improvement of protein determination by Kjeldahl method [J]. *Strait J Prev Med*, 2017, 23(1): 64-66.
- [14] GB 5413.5-2010 食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中乳糖、蔗糖的测定[S].
GB 5413.5-2010 National food safety standard-Determination of lactose and sucrose in foods for infants and young children, milk and milk products [S].
- [15] GB 5009.33-2016 食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S].
GB 5009.33-2016 National food safety standard-Determination of nitrite and nitrate in food [S].
- [16] 王丽颖. 原料乳与乳制品中蛋白质质量评价研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
Wang LY. Study on protein quality evaluation of raw milk and milk products [D]. Yanglin: Northwest A&F University, 2010.
- [17] 徐纬, 聂四平, 李军, 等. 甲醛-三氯乙酸沉淀-凯氏定氮法测定牛奶中真蛋白质[J]. *理化检验(化学分册)*, 2015, 51(1): 31-34.
Xu W, Nie SP, Li J, *et al.* Determination of true protein in milk with formaldehyde-trichloroacetic acid precipitation-Kjeldahl nitrogen [J]. *Phys Test Chem Anal Part B*, 2015, 51(1): 31-34.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



漆亚乔, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: qiyaqiao@qq.com



刘冬豪, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全质量技术。

E-mail: 371538650@qq.com



唐书泽, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: tangsz@jnu.edu.cn