

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.60029

含羧甲基纤维素钠的发酵乳中脂肪检测技术

The research on detection methods for fat in the fermented milk
added with the CMC-Na

刘芳芳 薛敏敏 吴倩 彭程程 邓凌云

LIU Fang-fang XUE Min-min WU Qian PENG Cheng-cheng DENG Ling-yun

(湖南省产商品质量检验研究院, 湖南 长沙 410011)

(Hunan Testing Institute of Product and Commodity, Changsha, Hunan 410011, China)

摘要:目的:提高含有 CMC-Na 发酵乳中脂肪检测方法的准确性。方法:采用国家标准方法——碱水解法,对含有 CMC-Na 发酵乳中的脂肪进行测定;通过优化碱水解法中各关键参数、盐酸水解代替氨水水解以及碱水解法中加入金属离子等方式,探索适用于含有 CMC-Na 发酵乳中脂肪的检测技术。结果:①随着 CMC-Na 添加量的增加,碱水解法测得含 CMC-Na 发酵乳中脂肪结果越低;②碱水解法中氨水体积、水解时间、水解温度、提取次数 4 个关键条件的改变,并不会对含 CMC-Na 发酵乳中脂肪的测定产生有效影响;③采用 2 mL 盐酸水解代替氨水水解时,不同 CMC-Na 添加量(0.50%, 0.75%, 1.00%)的发酵乳中脂肪测定结果,与碱水解法测定不含 CMC-Na 发酵乳的结果基本一致;④碱水解法中加入金属离子 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 时, Na^+ 、 K^+ 的浓度越高,含 CMC-Na 发酵乳的脂肪测定结果越高,并在金属离子浓度达到 0.5 mol/L 后达到正常值,而随 Ca^{2+} 浓度的增加,脂肪测定结果先小幅提高后显著下降。结论:CMC-Na 的添加会使得发酵乳中脂肪测定结果偏低,可采用盐酸水解或在碱水解法中加入 Na^+ 、 K^+ , 提高含有 CMC-Na 发酵乳中脂肪测定的准确性。

关键词:羧甲基纤维素钠;发酵乳;脂肪;检测

Abstract: Objective: Improving the accuracy of the determination of fat in CMC-Na fermented milk. **Methods:** The national standard method-alkali hydrolysis method was used to determine the fat contained in CMC-Na fermented milk. By optimizing the key parameters in the alkali hydrolysis method, hydrolysis of hy-

drolysis instead of ammonia hydrolysis, and adding metal ions to the alkali hydrolysis method, the suitable fat containing CMC-Na fermented milk was explored. **Results:** ① With the increase of CMC-Na content, the lower the fat result in CMC-Na fermented milk measured by alkaline hydrolysis; ② The change of the four key conditions, such as the ammonia volume, hydrolysis time, hydrolysis temperature and extraction frequency in alkaline hydrolysis, will not affect the determination on fat in CMC-Na fermented milk. ③ When 2 mL hydrochloric acid hydrolysis was used to instead ammonia hydrolysis, the fat determination results in fermented milk with different CMC-Na content (0.50%, 0.75%, 1.00%) were almost the same as the alkali hydrolysis method for the determination of CMC-Na-free fermented milk; ④ When metal ions Na^+ , K^+ and Ca^{2+} were added to the alkali hydrolysis method, the higher the concentration of Na^+ and K^+ , the higher the fat determination results containing CMC-Na fermented milk, and the normal value will be achieved after the concentration of metal ions reaches to 0.5 mol/L, while the increase of Ca^{2+} concentration, and the fat determination will be determined. As a result, it increased slightly first, and then decreased significantly. **Conclusion:** The addition of CMC-Na will make the fat determination results in the fermented milk low. Hydrochloric acid hydrolysis or Na^+ and K^+ can be added to the alkali hydrolysis method to improve the accuracy of fat determination in the fermented milk containing CMC-Na.

Keywords: CMC-Na; fermented milk; fat; detection

发酵乳是一种口感风味俱佳的乳制品,富含多种营养成分,具有促进消化、防止乳糖不耐、降低胆固醇等多种功效,深受广大消费者的喜爱^[1-4]。目前,发酵乳的消费比例在中国液态乳制品中已高达 50%^[5]。

脂肪含有 200 多种不同类型的脂肪酸和大量甘油三酯,是发酵乳中风味物质及营养功效的主要来源^[6-8],同时也是发酵乳产品质量监测的重要指标,其在发酵乳中

基金项目:湖南省市场监督管理局科技计划项目(编号:2021KJJH40)

作者简介:刘芳芳,女,湖南省产商品质量检验研究院工程师,硕士。

通信作者:薛敏敏(1985—),女,湖南省产商品质量检验研究院工程师,硕士。E-mail:356355093@qq.com

收稿日期:2022-03-05

最常用的国家标准检测方法为碱水解法^[9-10]。但是在实际工作中发现,采用碱水解法测定含有羧甲基纤维素钠(CMC-Na)的发酵乳中脂肪时,结果显示偏低。由于发酵乳在生产过程中,通常会添加各类稳定剂保障其酸性体系的稳定性,而 CMC-Na 作为一种离子型纤维素胶,具有增稠、持水、乳化、悬浮等功能特点^[11],可防止酪蛋白聚集沉淀分层,并且价格低廉来源广,被广泛使用和研究^[12-13]。但暂未发现关于 CMC-Na 影响发酵乳中脂肪测定的相关研究报道,仅宋艳梅等^[14]研究表明果胶和明胶两种不同稳定剂的添加使得发酵乳中脂肪测定结果偏低。因此,有必要深入了解 CMC-Na 的添加对发酵乳中脂肪检测的影响。

研究拟通过深入分析碱水解法测定发酵乳中脂肪的技术原理,对含 CMC-Na 的发酵乳中脂肪测定偏低进行溯源分析,并对脂肪检测方法进行特定条件优化,以期开发出具有更高准确度的含 CMC-Na 发酵乳中脂肪的检测方法,为日常检测判定提供新的技术思路,也为未来国标的修订提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

全脂纯牛奶:蒙牛乳业(集团)股份有限公司;

20 款市售风味发酵乳:德人牧香、光明、蒙牛、伊利、认养一头牛、德亚、君乐宝等多家企业不同系列产品(其中两款含 CMC-Na),市售;

蔗糖:成都太古糖业有限公司;

发酵菌粉(保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌):昆山佰生优生物科技有限公司;

羧甲基纤维素钠:食品级,河南万邦化工科技有限公司;

氨水、无水乙醇、无水乙醚、石油醚(沸程 30~60℃)、盐酸、氯化钠、氯化钾、氯化钙:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:SI-234 型,丹佛仪器北京有限公司;

食品均质器: SJ-II 型,上海昆虫科技开发公司;

生化培养箱:BD115E2 型,德国 Binder 公司;

毛式抽脂瓶:容量 100 mL,合肥市三元化玻仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:HWS-28 型,上海一恒科学仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:DHG-9240A 型,北京市永光明医疗仪器厂。

1.2 方法

1.2.1 制备含 CMC-Na 的发酵乳 将脂肪含量为 3.91 g/100 g 的全脂纯牛奶等量取样 7 份,分别加入不同

量的 CMC-Na,配制成 CMC-Na 添加量分别为 0.00%,0.10%,0.25%,0.50%,0.75%,1.00%,1.25% 的牛奶样品,再加入 6% 的蔗糖。将配制好的样品在 30 MPa 下均质处理,108℃ 灭菌 15 min,取出后冷却至 40~45℃ 备用。各样品按 1 g/L 依次加入发酵菌粉,充分搅拌均匀,放入 42℃ 恒温培养箱中发酵 8 h,取出后放入 4℃ 冰箱贮藏待测。

1.2.2 碱水解法关键条件的优化 对 GB 5009.6—2016 第三法碱水解法中关键条件进行优化调整。选择氨水体积、水解温度、水解时间、提取次数 4 个关键试验参数,通过依次改变其中一个参数的水平条件,保持其他参数与国标方法相同(氨水体积 2.0 mL,水解温度 65℃,水解时间 20 min,提取次数 3 次)的情况下,对 CMC-Na 添加量为 0.50%,0.75%,1.00% 的 3 个发酵乳样品逐一进行脂肪分析检验。其中,氨水体积的优化水平有 4.0,6.0,8.0 mL;水解温度的优化水平有 75,80,85℃;水解时间优化水平有 30,45,60 min;提取次数的优化水平有 4,5,6 次。最终对比条件优化后结果与国标方法结果的区别。

1.2.3 盐酸水解对含 CMC-Na 发酵乳中脂肪测定的影响

参照碱水解中的参数条件,使用盐酸替代氨水进行酸水解提取发酵乳中的脂肪。以市售含有 CMC-Na 的 2 款发酵乳产品,及 CMC-Na 添加量分别为 0.00%,0.50%,0.75%,1.00% 的自制发酵乳为研究对象,各取 5 份平行样品,分别对应添加 2.0,4.0,6.0,8.0,10.0 mL 5 个体积梯度的盐酸,之后从水浴水解步骤开始按碱水解法中步骤操作。最后对比各试验条件下的检测结果,考察盐酸水解对含 CMC-Na 发酵乳中脂肪测定的适用性。

1.2.4 碱水解法中加入金属离子对含 CMC-Na 发酵乳中脂肪测定的影响 由于 CMC-Na 是一种聚电解质,当溶液中离子强度改变时,其黏度特性也会发生改变^[15],因此,针对 CMC-Na 含量不同(0.50%,0.75%,1.00%)的发酵乳,分别加入 0.00,0.01,0.05,0.10,0.20,0.50,1.00 mol/L NaCl、KCl、CaCl₂ 溶液,然后采用碱水解法对含有不同种类、不同浓度金属离子的样品进行脂肪测定,对比分析各金属离子对含 CMC-Na 发酵乳中脂肪测定的影响。

2 结果与分析

2.1 基于国标碱水解法测定含 CMC-Na 发酵乳中脂肪的结果分析

依据 GB 5009.6—2016 碱水解法对 20 款市售风味发酵乳及自制 CMC-Na 含量不同的发酵乳进行脂肪测定,结果见表 1。结果显示,以 CMC-Na 为主要添加剂的两款产品(编号 1 和编号 2)脂肪检测结果分别为 2.33,2.35 g/100 g,远低于标示值 2.7,3.2 g/100 g,并且 GB 19302—2010《食品安全国家标准 发酵乳》规定风味发酵乳的脂肪含量不得低于 2.5 g/100 g,由此可判定上述两款产品脂肪不合格。而其余产品的脂肪检测结果则与

表 1 20 款市售风味发酵乳中脂肪测定结果

Table 1 Determination results of fat in 20 commercial flavor fermented milk g/100 g

编号	标示值	实测值	编号	标示值	实测值
1	2.7	2.33	11	3.4	3.27
2	3.2	2.35	12	2.9	2.78
3	3.2	3.15	13	3.5	3.41
4	3.0	3.01	14	3.8	3.70
5	3.0	2.97	15	3.2	3.09
6	4.2	4.17	16	2.7	2.77
7	3.2	3.25	17	3.1	2.97
8	3.5	3.41	18	3.5	3.52
9	3.6	3.53	19	3.3	3.19
10	3.0	3.04	20	2.8	2.86

其标示值接近,且均符合产品标准合格要求,产品配料表显示,其余产品并未添加 CMC-Na,大部分以羟丙基二淀粉磷酸酯、乙酰化淀粉二磷酸酯、果胶、琼脂等作为主要增稠剂。

此外,通过对 CMC-Na 添加量为 0.00%,0.10%,0.25%,0.50%,0.75%,1.00%,1.25%的自制发酵乳中脂肪含量进行测定。检测过程中发现,不含 CMC-Na 的对照管壁上光滑无附着物,含 0.10%和 0.25% CMC-Na 的毛式脂肪管壁上有少量细小颗粒状物质,但添加量超过 0.50%后,毛式脂肪管壁上开始呈现胶状物质,且随着 CMC-Na 添加量的增加,胶状物质增多,当添加量达到 1.25%时,胶状物质已基本覆盖整个管壁。

从脂肪测定结果(图 1)可知,当 CMC-Na 添加量低于 0.25%时,脂肪检测结果基本持平,无明显下降趋势,但当 CMC-Na 添加量达到 0.50%时,脂肪含量明显下降,为 3.74 g/100 g,比未添加 CMC-Na 的发酵乳下降 0.17 g/100 g,而 CMC-Na 添加量为 0.75%,1.00%,1.25%的发酵乳脂肪结果则分别为 3.56,3.39,3.05 g/100 g,差值最高达到 0.86 g/100 g。根据 GB 5009.6—2016 第三法规定,当样品脂肪含量 $\leq 5\%$ 时,同一样品两次测定结果的绝对差值不应超过 0.1 g/100 g,当 CMC-Na 添加量达到 0.50%后,脂肪检测结果随 CMC-Na 添加量的增加而明显减小,远超出标准要求范围。说明 CMC-Na 的加入可能造成国家标准方法碱水解法对发酵乳中脂肪检测结果偏低,甚至造成产品的不合格判定。

2.2 碱水解法关键条件的优化对含 CMC-Na 发酵乳中脂肪测定的影响

在国标方法的基础上,逐一对碱水解法中氨水体积、水解温度、水解时间、提取次数 4 个关键条件进行优化调整,对 CMC-Na 添加量为 0.50%,0.75%,1.00%的发酵乳中脂肪进行测定,结果见图 2。从图 2 可以看出,随着氨

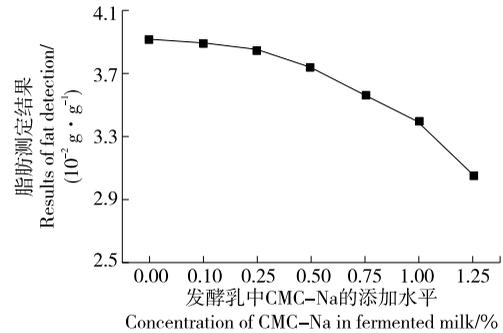


图 1 不同 CMC-Na 含量的发酵乳脂肪测定结果

Figure 1 Determination results of fat in fermented milk with different CMC-Na content

水体积的增加、水解温度的提高、水解时间的延长、提取次数的增加,不同 CMC-Na 添加量水平下发酵乳中脂肪的测定结果无明显变化规律,均未提高,并且每个试验条件变化下脂肪测定结果间的偏差值均在 0.1 g/100 g 的范围内。由此可见,碱水解法中关键条件的参数变化对含 CMC-Na 发酵乳中脂肪检测结果不会产生明显影响,可能与 CMC-Na 的化学特性及发酵乳中脂肪的存在形式有关。

乳中脂肪主要由酪蛋白包裹以脂肪球的形式存在^[16-17],碱水解法通过氨水破坏酪蛋白膜而使脂肪球游离出来,再用有机试剂进行提取,而 CMC-Na 在发酵乳中的功能作用是通过其胶体特性吸附在酪蛋白表面形成交联网状结构,产生静电排斥和空间位阻作用使发酵乳体系达到稳定^{[18]14}。因此,针对含有 CMC-Na 发酵乳中脂肪的提取,必须先破坏 CMC-Na 的胶体作用。但 CMC-Na 黏度在 pH 6~9 时最大,pH 7 时保护胶体性最佳,pH 为 10 或更高时,对黏度影响较小甚至有微小增高现象^[19-20],因此,碱水解环境基本不影响 CMC-Na 的胶体性及黏度,使得碱水解过程中氨水很可能无法充分水解酪蛋白,使得脂肪无法得到充分释放游离,造成脂肪抽提不完全。而且 CMC-Na 添加量越高,胶体覆盖吸附酪蛋白越全面,有机溶剂抽提过程中不溶的胶状物质越多,脂肪得到充分水解游离及完全抽提的概率越小,使得测定结果越低。因此,在碱性环境不变的情况下,以及无其他影响 CMC-Na 化学特性的因素存在下,仅通过改变氨水体积、水解温度、水解时间以及抽提次数,并不会对脂肪的测定产生有效影响。

2.3 盐酸水解对含 CMC-Na 发酵乳中脂肪测定的影响

在碱水解法中各参数条件不变的情况下,用不同体积的盐酸代替氨水对含 CMC-Na 的发酵乳进行脂肪测定,结果见表 2。由表 2 可知,2 mL 盐酸水解时,不含 CMC-Na 的发酵乳中脂肪测定结果,与碱水解法测定结

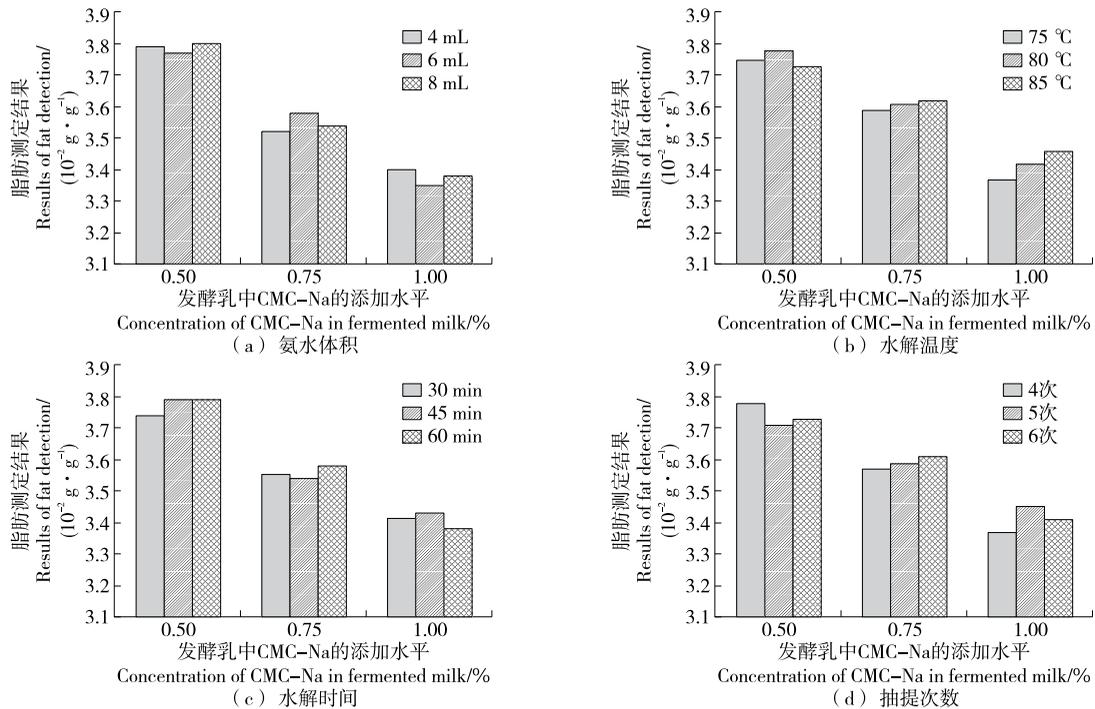


图 2 碱水解法中关键条件优化对含 CMC-Na 发酵乳中脂肪测定结果的影响

Figure 2 Determination results of fat in fermented milk with CMC-Na by optimization test of key parameter in alkali hydrolysis

果基本一致,并且 CMC-Na 添加量为 0.50%,0.75%,1.00%时,2 mL 盐酸水解结果分别为 3.90,3.89,3.92 g/100 g,与碱水解法测定不含 CMC-Na 发酵乳的结果偏差最高为 0.02 g/100 g,在国标规定的 0.1 g/100 g 的允差要求内,可认为检测结果一致。同时,采用 2 mL 盐酸对市售两款含有 CMC-Na 的产品进行水解,其脂肪测定结果分别为 2.73,3.11 g/100 g,与标示值 2.7,3.2 g/100 g 接近。但随着盐酸体积的增加,脂肪测定结果逐渐提高,4 mL 时,检测结果提高了 0.04~0.08 g/100 g,

但基本还在偏差要求范围内,但当盐酸体积增至 6 mL 时,脂肪检测结果有了明显提升,偏差均超过了 0.1 g/100 g,最高达到 0.19 g/100 g,当体积增至 8,10 mL 时,结果基本稳定,但偏差最高达到 0.27 g/100 g,并且提取物中出现黑色焦状物。

试验结果表明,参照碱水解法中的参数条件,可采用 2 mL 盐酸替代氨水水解含 CMC-Na 的发酵乳,其脂肪测定结果即可到达正常值。根据相关研究^[21],当 pH 降低时,CMC-Na 体系部分负电荷得到中和,分子链卷曲,黏

表 2 不同体积盐酸水解对含 CMC-Na 发酵乳中脂肪测定结果的影响

Table 2 Determination results of fat in fermented milk containing CMC-Na by hydrolysis with different volumes of hydrochloric acid g/100 g

盐酸体 积/mL	CMC-Na 含量								市售含 CMC-Na 产品			
	0.00%		0.50%		0.75%		1.00%		1 号		2 号	
	结果 ^a	偏差 ^b	结果 ^a	偏差 ^c	结果 ^a	偏差 ^c						
2.0	3.93	0.02	3.90	-0.01	3.89	-0.02	3.92	0.01	2.73	0.40	3.11	0.76
4.0	3.97	0.06	3.98	0.07	3.95	0.04	3.96	0.05	2.72	0.39	3.17	0.82
6.0	4.10	0.19	4.09	0.18	4.06	0.15	4.07	0.16	2.79	0.46	3.28	0.93
8.0	4.14	0.23	4.17	0.26	4.16	0.25	4.13	0.22	2.91	0.58	3.42	1.07
10.0	4.16	0.25	4.14	0.23	4.12	0.21	4.15	0.24	2.94	0.61	3.39	1.04

[†] a. 对应体积下盐酸水解脂肪测定结果;b. 盐酸水解与碱水解法测定不含 CMC-Na 发酵乳结果的差值,碱水解法测定不含 CMC-Na 发酵乳中脂肪的测定结果为 3.91 g/100 g;c. 盐酸水解与碱水解法测定市售含 CMC-Na 产品结果的差值,碱水解法测定市售含 CMC-Na 产品 1 号和 2 号中脂肪的测定结果分别为 2.33,2.35 g/100 g。

度减小,pH 过低时则形成 CMC-Na 游离酸而沉淀,从而破坏了 CMC-Na 与酪蛋白的吸附,进而盐酸水解脂肪球膜,释放脂肪。但当盐酸体积升高至 6 mL 及更高时,脂肪测定结果偏高且出现黑色焦状物,有研究^[22]表明该现象主要是由于分解物和水一同混入所致,当有机溶剂挥发后,则会产生黑色焦油状物质;随着盐酸浓度的增大,可能导致样品过度水解,同时加剧了糖类等物质的炭化,更多分解产物混入而使检测值偏高。

2.4 金属离子对碱水解法测定含 CMC-Na 发酵乳中脂肪的影响

2.4.1 Na⁺、K⁺对碱水解法测定含 CMC-Na 发酵乳中脂肪的影响

由图 3 和图 4 可知,Na⁺与 K⁺的变化趋势基本一致。Na⁺、K⁺的浓度越高,含 CMC-Na 发酵乳的脂肪测定结果越高,并在金属离子浓度达到 0.5 mol/L 时,含不同浓度 CMC-Na 的发酵乳脂肪测定值基本达到稳定,与不含 CMC-Na 发酵乳的碱水解测定结果(3.91 g/100 g)一致。CMC-Na 是一种阴离子型聚电解质,通过同性电荷的静电排斥作用使得分子链得以伸展,

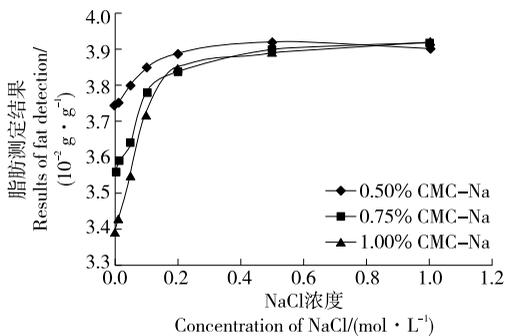


图 3 NaCl 对碱水解法测定含 CMC-Na 发酵乳中脂肪的影响

Figure 3 Effects of NaCl on determination of fat in fermented milk containing CMC-Na by alkali hydrolysis method

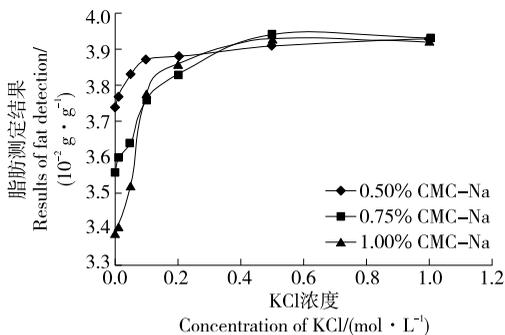


图 4 KCl 对碱水解法测定含 CMC-Na 发酵乳中脂肪的影响

Figure 4 Effects of KCl on determination of fat in fermented milk containing CMC-Na by alkali hydrolysis method

呈现高黏度及稳定等特性^[23]。研究^{[18]27[24]}表明,加入 Na⁺、K⁺后,溶液中离子强度发生改变,使得 CMC-Na 部分阴离子静电场得到平衡,同性电荷的静电排斥作用减弱,分子链卷曲体系粒径变小,黏度降低;同时,使得阴离子聚合物 pKa 值降低,降低了 CMC-Na 与酪蛋白的吸附作用。因此,可能减弱了 CMC-Na 对氨水水解酪蛋白膜的阻碍,使得脂肪测定结果随 Na⁺、K⁺浓度的增加而增加,最终达到提取完全。

2.4.2 Ca²⁺对碱水解法测定含 CMC-Na 发酵乳中脂肪的影响

由图 5 可知,Ca²⁺对含 CMC-Na 发酵乳中脂肪测定的影响与 Na⁺、K⁺不同。随着 Ca²⁺浓度的增加,在低浓度 0.01,0.05 mol/L 时,脂肪的测定结果存在小幅的上升,随后浓度再增加时,脂肪测定结果显著下降,甚至低于未加金属离子时的脂肪结果。研究^[25-26]表明,Ca²⁺的加入,一开始时会因阳离子抵消了 CMC-Na 部分阴离子聚合电解质效应,使其黏度降低,与酪蛋白吸附成网状结构的能力降低,因而脂肪测定结果会部分提高,但当钙离子增加时,高分子会通过钙发生螯合作用形成超结构,使得 CMC-Na 黏度进一步增加,与酪蛋白的结合更加牢固,可能导致氨水水解酪蛋白膜的效果更差,脂肪测定结果更低。

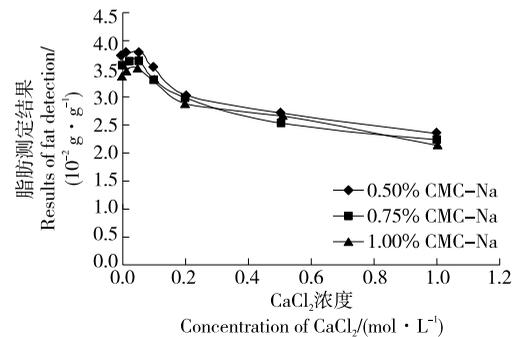


图 5 CaCl₂对碱水解法测定含 CMC-Na 发酵乳中脂肪的影响

Figure 5 Effects of CaCl₂ on determination of fat in fermented milk containing CMC-Na by alkali hydrolysis method

3 结论

当发酵乳中 CMC-Na 添加量达到 0.50% 时,会使得脂肪含量的检测结果明显偏低,并且碱水解法中关键条件(氨水体积、水解时间、水解温度、提取次数)的调整,不会提高含有 CMC-Na 发酵乳中脂肪测定的准确性。但当采用 2 mL 盐酸水解含 CMC-Na 不同添加量(0.50%, 0.75%, 1.00%)的发酵乳时,即可使得其脂肪测定结果趋于正常;此外,通过在碱水解法中加入一定浓度的 Na⁺或 K⁺(0.5 mol/L 及以上),同样可以改善含 CMC-Na 发酵乳的脂肪测定结果。

CMC-Na 的添加对发酵乳中脂肪的测定存在不利影响, 容易造成产品的不合格判定, 在日常检测中, 需重点关注该现象, 及时改进检测方法, 避免产品误判。但是, 随着添加剂种类的增多, 可能还有其他添加剂影响关键成分准确测定的现象出现, 需要对日常检测工作中的异常现象进行及时总结, 对相关添加剂的化学特性进行深入了解, 从而推动国家标准方法的改进修订, 以保证产品质量的精准判定, 同时也为企业对添加剂的选择提供一定参考。

参考文献

- [1] BOURRIE B, WILLING B P, COTTER P D. The microbiota and health promoting characteristics of the fermented beverage kefir[J]. *Front Microbiol*, 2016, 7: 647.
- [2] 侯彩云, 郭秀兰, 彭家宣, 等. 芦丁对低脂酸奶品质和抗氧化能力的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(4): 37-41.
HOU Cai-yun, GUO Xiu-lan, PENG Jia-xuan, et al. Effect of supplementing rutin on quality and antioxidant capacity of low-fat yoghurt[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(4): 37-41.
- [3] GARCÍA-BURGOS M, MORENO-FERNÁNDEZ J, ALFÉREZ M J M, et al. New perspectives in fermented dairy products and their health relevance[J]. *Jouanal of Functional Foods*, 2020, 72: 104059.
- [4] TREMBLAY A, PANABI S. Yogurt consumption as a signature of a healthy diet and lifestyle[J]. *The Journal of Nutrition*, 2017, 147(7): 1476S-1480S.
- [5] 张宇. 中国酸奶零售市场持续增长酸奶系列产品受消费者追捧[N]. *中国食品安全报*, 2015-04-09(B01).
ZHANG Yu. China's yoghurt retail market continues to grow, and yoghurt series products are sought after by consumers[N]. *China Food Safety News*, 2015-04-09(B01).
- [6] UNGER A, TORRES-GONZALEZ M, KRAFT J. Dairy fat consumption and the risk of metabolic syndrome: An examination of the saturated fatty acids in dairy[J]. *Nutrients*, 2019, 11(9): 2 200.
- [7] 孟婷婷, 周星, 陆振猷, 等. 脂肪对低脂植物蛋白饮料风味及体系稳定性的影响研究进展[J]. *食品与机械*, 2019, 35(7): 220-225.
MENG Ting-ting, ZHOU Xing, LU Zhen-you, et al. Reviews of effects of fat on the flavor and system stability of low-fat plant protein beverage[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(7): 220-225.
- [8] 姜铁民, 贺小龙, 高一依, 等. 不同酸奶脂肪营养价值的评价及其影响因素[J]. *中国食品添加剂*, 2022, 33(1): 154-163.
JIANG Tie-min, HE Xiao-long, GAO Yi-yi, et al. Nutritional value of fat in yogurt and its influencing factors[J]. *China Food Additives*, 2022, 33(1): 154-163.
- [9] 孙雷. 利用近红外光谱法检测酸奶中蛋白质和脂肪含量[D]. 长春: 吉林大学, 2008: 4-6.
SUN Lei. Using near-infrared spectroscopy to detect the content of protein and fat in yoghurt[D]. Changchun: Jilin University, 2008: 4-6.
- [10] 朱彦群. 灭菌调味乳及酸牛乳中脂肪的快速测定[J]. *乳业科学与技术*, 2004(30): 111.
ZHU Yan-qun. Fast detecting fat content in sterilized milk and yoghurt[J]. *Journal of Dairy Science and Technology*, 2004(30): 111.
- [11] BURGARDT V C F, ZUGE L C B, DE BONNA Sartor G, et al. The addition of carboxymethylcellulose in caseinomacropeptide acid gels: Rheological, optical and microstructural characteristics[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 11(2): 1-11.
- [12] 陈一萌, 李思宁, 唐善虎, 等. 不同稳定剂对凝固型牛酸奶在冷藏后熟过程中品质及风味的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(4): 188-196.
CHEN Yi-meng, LI Si-ning, TANG Shan-hu, et al. Effect of different stabilizers on the quality and flavors of set-style yak yoghurt during post-fermentation storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(4): 188-196.
- [13] FUQUAY J W, HERR B. Additives in dairy foods: Types and functions of additives in dairy products encyclopedia of dairy sciences[M]. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2011: 34-40.
- [14] 宋艳梅, 刘玉英, 夏忠悦, 等. 酸奶中脂肪含量检测差异影响因素的研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(6): 2 146-2 152.
SONG Yan-mei, LIU Yu-ying, XIA Zhong-yue, et al. Study on the factors influencing the detection difference of fat content in yogurt[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2021, 12(6): 2 146-2 152.
- [15] KÄSNER U. Structure and solution properties of sodium carboxymethyl cellulose[J]. *Colloids and Surfaces A*, 1997, 123: 307-328.
- [16] DU B Q, LI J, ZHANG H B, et al. Influence of molecular weight and degree of substitution of Carboxymethyl cellulose on the stability of acidified milk drinks[J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(5): 1 420-1 426.
- [17] 晏凯, 刘晓彤, 刘悦, 等. 碱水解法测定乳及乳制品中脂肪的含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(1): 82-85.
YAN Kai, LIU Xiao-tong, LIU Yue, et al. Determination of fat content in milk and dairy products by alkaline hydrolysis [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2020, 11(1): 82-85.
- [18] 邱蓉. CMC 和大豆多糖对酸性乳饮料中酪蛋白稳定机理的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2010.
QIU Rong. Casein in the acidified milk drinks induced by CMC and soybean polysaccharide[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2010.
- [19] 吴晓静. 碱水解法测定乳粉中脂肪含量[J]. *食品安全导刊*, 2018(5): 63-64.
WU Xiao-jing. Determination of fat content in milk powder by alkaline hydrolysis[J]. *China Food Safety*, 2018(5): 63-64.
- [20] 刘祥. 高粘度羧甲基纤维素钠的研制[J]. *安徽工业大学学报*, 2001(2): 114-116.
LIU Xiang. Preparation of carboxymethyl cellulose with high viscosity[J]. *Journal of Anhui University of Technology*, 2001, 18(2): 114-116.
- [21] MITSUMATA T. pH-respose of chitosan, K-carrageenan, carboxymethylcellulose sodium saltcomplex hydrogels[J]. *Polymer*, 2003, 44: 7 103-7 111.

(下转第 86 页)

- Engineering, 2021, 22(2): 141-154.
- [8] 史亚贝. 基于 DSP 的三自由度采摘机械手控制系统研究[J]. 农机化研究, 2022, 12(2): 34-38.
- SHI Ya-bei. Research on control system of 3-DOF picking manipulator based on DSP[J]. Agricultural Mechanization Research, 2022, 12(2): 34-38.
- [9] 李光, 章晓峰, 杨加超, 等. 基于残差 BP 神经网络的 6 自由度机器人视觉标定[J]. 农业机械学报, 2021, 52(4): 366-374.
- LI Guang, ZHANG Xiao-feng, YANG Jia-chao, et al. Vision calibration of 6-DOF robot based on residual BP neural network[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2021, 52(4): 366-374.
- [10] MA Wei-ping, LI Wen-xin, SUN Jin-chuan, et al. Binocular vision target location method based on coarse fine stereo matching[J]. Computer Applications, 2020, 40(1): 227-232.
- [11] 宋海涛, 何文浩, 原魁. 一种基于 SIFT 特征的机器人环境感知双目立体视觉系统[J]. 控制与决策, 2019, 34(7): 1 545-1 552.
- SONG Hai-tao, HE Wen-hao, YUAN Kui. A robot environment perception binocular stereo vision system based on SIFT feature[J]. Control and Decision, 2019, 34(7): 1 545-1 552.
- [12] AHANDANI M A, ALAVIRAD H. Opposition-based learning in the shuffled differential evolution algorithm[J]. Soft Computing, 2016, 26: 64-85.
- [13] GAUTAM J V, PRAJAPATI H B, DABHI V K, et al. Empirical study of job scheduling algorithms in hadoop map reduce[J]. Cybernetics and Information Technologies, 2017, 21(1): 146-163.
- [14] 赵利平, 吴德刚. 基于小波与模糊相融合的苹果分级算法[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 142-145.
- ZHAO Li-ping, WU De-gang. Apple grading algorithm based on Wavelet and fuzzy fusion[J]. Food & Machinery, 2020, 36(4): 142-145.
- [15] AZUMAYA C M, DAYS E L, VINSON P N, et al. Screening for AMPA receptor auxiliary subunit specific modulators[J]. PLoS One, 2017, 12(3): 1 523-1 538.
- [16] 贺禹强, 刘故帅, 肖异瑶, 等. 基于改进 GA-PSO 混合算法的变电站选址优化[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(23): 143-150.
- HE Yu-qiang, LIU Gu-shai, XIAO Yi-yao, et al. Substation location optimization based on improved GA-PSO hybrid algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(23): 143-150.
- [17] 朱光耀. 基于无标定视觉伺服的全向移动机械臂跟踪控制[J]. 电子测量技术, 2020, 43(23): 23-29.
- ZHU Guang-yao. Tracking control of omnidirectional mobile manipulator based on uncalibrated visual servo[J]. Electronic Measurement Technology, 2020, 43(23): 23-29.
- [18] 王志中. 基于改进蚁群算法的移动机器人路径规划研究[J]. 机械设计与制造, 2018, 12(1): 242-244.
- WANG Zhi-zhong. Research on mobile robot path planning based on improved ant colony algorithm[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2018, 12(1): 242-244.
- [19] 于文妍, 杨坤林. 四旋翼无人机串级模糊自适应 PID 控制系统设计[J]. 机械设计与制造, 2019, 12(1): 227-231.
- YU Wen-yan, YANG Kun-lin. Design of cascade fuzzy adaptive PID control system for quadrotor UAV[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2019, 12(1): 227-231.

(上接第 42 页)

- [22] 嵇林娜, 刘石雪, 汪凤玲, 等. 酸水解法测定脂肪的研究及方法优化[J]. 现代食品, 2020(21): 180-183.
- ZHUO Lin-na, LIU Shi-xue, WANG Feng-ling, et al. Study on the determination of fat by acid hydrolysis method and its optimization[J]. Modern Food, 2020(21): 180-183.
- [23] 何曼君, 陈维孝, 董西侠. 高分子物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2001: 137-139.
- HE Man-jun, CHEN Wei-xiao, DONG Xi-xiang. Polymer physics[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2001: 137-139.
- [24] HEMAR Y, HORNE D S. Electrostatic interactions in adsorbed protein layers probed by a sedimentation technique[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1998, 206(1): 138-145.
- [25] ISABELLE B, SERGE P. Molecular basis of Ca^{2+} -induced gelation in alginates and pectins: The egg-box model revisited[J]. Biomacromolecules, 2001, 2: 1 089-1 096.
- [26] 杜柏桥. 羧甲基纤维素钠(CMC)与酪蛋白的相互作用及其稳定酸性乳体系机理的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008: 47-52.
- DU Bo-qiao. The interaction between carboxymethylcellulose (CMC) and casein micelle and the stabilization mechanism of acidified milk drinks induced by CMC[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2008: 47-52.

(上接第 81 页)

- [9] 张红岩, 王永志, 刘庆红. 图像识别技术在食品包装缺陷检测中的应用[J]. 食品与机械, 2020, 36(8): 225-228.
- ZHANG Hong-yan, WANG Yong-zhi, LIU Qing-hong. Application of image recognition technology in food packaging defect detection[J]. Food & Machinery, 2020, 36(8): 225-228.
- [10] CORTES C, VAPNIK V N. Support-vector networks[J]. Machine Learnig, 1995, 20(3): 273-297.
- [11] VAPNIK V N. The nature of statistical learning theory[M]. New York: Springer, 1995: 133-135.
- [12] 梁礼明, 冯新刚, 陈云嫩, 等. 基于样本分布特征的核函数选择方法研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(1): 323-328.
- LIANG Li-ming, FENG Xin-gang, CHEN Yun-nen, et al. Research on kernel function selection method based on sample distribution characteristics[J]. Computer Simulation, 2013, 30(1): 323-328.
- [13] 王文剑, 田萌. 核选择研究进展[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2017, 40(3): 460-471.
- WANG Wen-jian, TIAN Meng. Advances in kernel selection research[J]. Journal of Shanxi University (Natural Science Edition), 2017, 40(3): 460-471.