

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250330001

引用格式: 侯超, 吕庆. 木瓜蛋白酶-重量法测定风味发酵乳中脂肪含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(13): 276–281.

HOU C, LV Q. Determination of fat content in flavored fermented milk by papain-gravimetric method [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(13): 276–281. (in Chinese with English abstract).

木瓜蛋白酶-重量法测定风味发酵乳中脂肪含量

侯 超*, 吕 庆

(上海市质量监督检验技术研究院, 上海 200233)

摘 要: 目的 建立木瓜蛋白酶-重量法测定含增稠剂风味发酵乳中脂肪含量的分析方法。**方法** 采用木瓜蛋白酶降低风味发酵乳中酪蛋白对脂肪的吸附, 木瓜蛋白酶添加量为 0.5 g, 酶水解温度为 65 °C, 水解时间 20 min, 使用乙醚和石油醚等体积[25:25 (V:V)]混合液对含增稠剂风味发酵乳水解液中脂肪进行 2 次提取, 水浴蒸干提取溶剂, 经过烘箱干燥后, 重量法定量脂肪含量。**结果** 含增稠剂风味发酵乳脂肪含量测定结果与标签值一致, 测定结果的相对标准偏差为 0.40%, 测定结果最大偏差为 0.05 g/100 g, 符合 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》第三法中精密度要求。**结论** 与 GB 5009.6—2016 第三法相比, 该方法符合绿色分析化学理念, 降低有机提取溶剂的使用量以及对人体危害和环境的污染, 该方法操作简单、重复性好, 可满足含增稠剂风味发酵乳中脂肪含量测定, 为含增稠剂风味发酵乳的质量控制提供有力的技术保障。

关键词: 木瓜蛋白酶; 增稠剂; 风味发酵乳; 脂肪含量

Determination of fat content in flavored fermented milk by papain-gravimetric method

HOU Chao*, LV Qing

(Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 200233, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for determination the fat content in flavored fermented milk containing thickeners by papain-gravimetric method. **Methods** Papain was used to reduce the adsorption of fat by casein in dairy products. The amount of papain added was 0.5 g, the enzymatic hydrolysis temperature was 65 °C, and the hydrolysis time was 20 min. A mixture of ether and petroleum ether with equal volumes [25:25 (V:V)] was used to extract fat twice from the flavored fermented milk hydrolysate containing thickening agents. The extraction solvent was evaporated in a water bath, and the fat content was quantified by gravimetric method after drying in an oven. **Results** The determination of fat content in flavored fermented milk with thickener flavor was consistent with the label value, with a relative standard deviation of 0.40% and a maximum deviation of 0.05 g/100 g, which met the precision requirements of GB 5009.6—2016 third method for determination of fat in foods. **Conclusion** This method is simple to operate and conform to the concept of green analytical chemistry, compared with GB 5009.6—

收稿日期: 2025-03-30

基金项目: 上海市质量监督检验技术研究院项目(KY-2023-9-SP)

第一作者/*通信作者: 侯超(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: houchao@sqi.org.cn

2016 third method, it reduces the total volume of mixed ethers used, thereby minimizing harm to human health and environmental pollution. With good reproducibility, it can effectively determine the fat content in flavored fermented milk containing thickeners, providing robust technical support for quality control of such products.

KEY WORDS: papain; thickener; flavored fermented milk; fat content

0 引 言

风味发酵乳一般是以各种乳粉或生乳为原料, 经过杀菌和发酵后制成的酸性产品。在发酵过程中可以选择性添加果蔬、谷物以及食品添加剂和营养强化剂。风味发酵乳可提供人类日常生活中所需求的益生菌、乳酸菌、维生素、钙和蛋白质^[1], 食用后可增强免疫力^[2-4]。

然而在风味发酵乳生产过程中会出现品质缺陷, 如乳清析出、黏稠度偏低等。为解决上述问题, 生产企业通常会通过添加一些增稠剂以改善风味发酵乳的品质。单一的增稠稳定剂往往不能完全改善酸乳品质的缺陷, 因此常将亲水胶体^[5-6]、酪蛋白^[7-8]、变性淀粉^[9]等增稠稳定剂复配后用于风味发酵乳生产中, 通过协同发挥增稠作用既提高了风味发酵乳的品质又降低了生产成本^[10]。

随着风味发酵乳中增稠剂添加比例和添加量不断变化, 其脂肪含量按照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》第三法(以下称 GB 5009.6—2016 第三法)测定越来越困难。主要是由于增稠剂使得风味发酵乳中脂肪被酪蛋白钙盐包裹无法正常全部游离出来^[11], 不能完全被提取溶剂萃取出, 导致脂肪含量测定结果偏低, 无法得到真实脂肪含量结果。刘芳芳等^[12]研究了羧甲基纤维素钠对风味发酵乳中脂肪测定的影响, 也证实羧甲基纤维素钠等添加剂的添加会导致发酵乳中脂肪检测结果偏低, 此外, 一些胶体增稠剂也导致脂肪含量检测结果偏低^[13]。这不仅增加了风味发酵乳生产企业内部质量控制难度, 同时对于监管机构在风味发酵乳脂肪质量判定上造成很大困扰。

刘芳芳等^[14]使用 2 mL 盐酸代替氨水进行水解, 测定风味发酵乳中脂肪含量, 这需要对盐酸的用量和水解时间有严格的要求, 可能会导致水解产物焦糖化, 会导致一部分糖被混合醚萃取, 导致结果偏大。宋艳梅等^[15]使用凝乳酶对风味发酵乳进行预处理后, 采用 GB 5009.6—2016 第三法检测风味发酵乳脂肪含量, 其结果与标签值一致, 但该方法增加了检测流程, 延长检测时间。

木瓜蛋白酶是一种含巯基(-SH)肽链内切酶, 具有蛋白酶和酯酶的活性, 有较广泛的特异性, 对动植物蛋白、多肽、酯、酰胺等有较强的水解能力, 在酸性、中性、碱性环境下均能分解蛋白质^[16-17]。本研究基于木瓜蛋白酶活性中心与酪蛋白结合紧密, 利用木瓜蛋白酶的催化作用,

水解蛋白, 降低酪蛋白对脂肪的束缚, 促进脂肪被有机溶剂提取^[18-22], 建立了一种能准确测定含增稠剂风味发酵乳中脂肪含量的木瓜蛋白酶-重量法, 以期改善风味发酵乳品质和维护消费者合法权益提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

风味发酵乳样品购于超市。

无水乙醚、95%乙醇、石油醚(沸程 30~60 °C)(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 木瓜蛋白酶(活力 800 U/mg, 上海普誉科贸有限公司)。

1.2 仪器与设备

MS204 电子天平(精度 0.1 mg, 瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司); FED720 烘箱(德国 Binder 公司); TW20-A 恒温水浴锅(德国 JULABO 公司); Relab-19309 脂肪抽提瓶(国药集团化学试剂有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

称取混合均匀样品 5 g(精确至 0.0001 g)置于脂肪抽提瓶中, 加入 0.5 g 木瓜蛋白酶和 5 mL 水, 振摇, 将样品溶液和木瓜蛋白酶混合均匀, 放入 65 °C 水浴中加热, 期间不时取出振荡, 20 min 后取出, 冷却至室温。

1.3.2 脂肪提取

缓慢加入 10 mL 95%乙醇于脂肪抽提瓶中, 混匀, 加入 25 mL 无水乙醚, 缓慢振摇, 加入 25 mL 石油醚, 轻轻振摇, 放置, 待上层溶液澄清, 水相与有机相分层比较明显时, 打开瓶塞, 将有机层溶液倒入脂肪收集瓶中。向脂肪抽提瓶中继续加入 5 mL 95%乙醇, 用 25 mL 无水乙醚和 25 mL 石油醚进行第 2 次抽提, 步骤同第 1 次。同时用 10 mL 水和 0.5 g 木瓜蛋白酶代替试样进行空白实验。

1.3.3 结果计算

将有机层溶液于脂肪收集瓶中, 沸水浴上蒸干溶剂后, 放入 105 °C 烘箱中干燥 1.5 h, 取出后置于干燥器内冷却 0.5 h 后称重, 重复以上操作至恒重, 两次称量差不超过 2 mg, 恒重后脂肪收集瓶和抽提物的质量选择最小一次的称量结果。脂肪含量计算方法见公式(1):

$$X = \frac{(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)}{m} \times 100 \quad (1)$$

式中: X 为试样中脂肪的含量, $\text{g}/100\text{ g}$; m_1 为恒重后脂肪收集瓶和脂肪的质量, g ; m_2 为脂肪收集瓶的质量, g ; m_3 为空白实验中, 恒重后脂肪收集瓶和抽提物的质量, g ; m_4 为空白实验中脂肪收集瓶的质量, g ; m 为样品的质量, g ; 100 为换算系数。

1.4 数据处理

所有实验重复测定 3 次, 数据采用 Microsoft Excel 2016 进行分析; 采用 OriginPro 2017 软件进行绘制图表。

2 结果与分析

2.1 样品称取质量的确定

称取不同质量的风味发酵乳样品, 加入木瓜蛋白酶进行预处理, 然后进行水解, 测定脂肪含量结果列于表 1。从表 1 中可以看出, 随着称样量的增大, 脂肪含量平均值测定结果逐渐变小。这是由于随着称样量的增大, 酶与底物比例偏小, 其次, 在水解过程中, 间歇性振摇会导致部分水解物吸附在脂肪提取瓶壁上, 导致水解、提取不完全, 脂肪含量测定值偏低。当称样量过小时, 不仅增加了称量相对偏差, 还会导致取样不均匀, 综合考虑, 选取称样量为 5 g。

表 1 不同称样量下的脂肪含量测定值
Table 1 Fat content measurement values corresponding to different sample weights

称样量/g	脂肪含量/(g/100 g)	平均值/(g/100 g)
1	3.30, 3.32, 3.34	3.32
3	3.29, 3.30, 3.31	3.30
5	3.30, 3.31, 3.30	3.30
7	3.23, 3.18, 3.21	3.21
10	3.11, 3.05, 3.07	3.08

2.2 木瓜蛋白酶添加量的确定

分别使用不同添加量的木瓜蛋白酶, 对风味发酵乳样品按照 1.3 方法处理, 脂肪含量测定结果见图 1a。由图 1a 可知, 随着木瓜蛋白酶添加量的提高, 样品脂肪含量测定值随之升高, 最后趋向于稳定, 这可能是随着木瓜蛋白酶添加量的增加, 木瓜蛋白酶与酪蛋白接触面积增加, 提高了酪蛋白的水解效率, 当木瓜蛋白酶的添加量大于 0.5 g 时, 脂肪含量测定值变小了, 可能是由于酶量超过酪蛋白的承载能力, 多余的酶无法结合底物, 导致单位酶活性下降。因此选取木瓜蛋白酶添加量为 0.5 g。

2.3 加热时间的确定

在酶添加量为 0.5 g 时, 分别加热 5、10、15、20、25、

30 min, 图 1b 考查了加热时间对脂肪测定结果的影响, 从图 1b 中可以看出, 加热 5~20 min 时, 脂肪含量测定值逐渐变大, 这可能是由于随着加热时间的增加, 木瓜蛋白酶水解酪蛋白的量变大, 脂肪提取率变高。当加热时间超过 20 min 时, 木瓜蛋白酶的活性降低, 水解酪蛋白能力变小, 由此得出最佳加热时间为 20 min。

2.4 加热温度的确定

由于木瓜蛋白酶的水解活性受温度影响较大, 图 1c 考查了加热温度对脂肪含量测定值的影响, 从图 1c 中可以看出, 当加热温度为 60~65 $^{\circ}\text{C}$ 时, 脂肪含量测定值基本不变, 这与以往研究^[23-24]基本一致, 考虑到酶水解效率, 参照 GB 5009.6—2016 第三法中使用水解温度为 65 $^{\circ}\text{C}$, 故选取加热温度为 65 $^{\circ}\text{C}$ 。

2.5 混合醚比例的确定

脂肪水解物提取过程中, 使用乙醚提取时, 提取效率高, 但容易导致提取过程中出现乳化现象, 有机相与水相分层不明显, 很难直接提取乙醚提取物。石油醚可降低乙醚的极性, 使乙醚与水不混溶, 页面分层明显, 因此需要对无水乙醚和石油醚的使用体积进行优化^[25-28]。

如图 1d 所示, 当乙醚:石油醚的体积比例为 25:25 (V:V) 时, 脂肪含量测定值最高, 该比例提取溶剂能有效提取脂肪。因此最终确定混合醚比例为 25:25 (V:V)。

2.6 提取次数的确定

按照 1.3 方法对同一样品酶水解物分别提取 1~5 次, 其脂肪含量测定值见图 1e。结果表明, 当提取 2 次以上时, 样品中脂肪含量测定值保持稳定, 表明 2 次提取后, 脂肪基本被提出, 这主要是由于实验称取样品量少和单次提取溶剂体积比 GB 5009.6—2016 第三法多, 在保证实验结果准确前提下, 尽量节省时间, 最终选择提取次数为 2 次。

2.7 精密度实验

按照所建立的脂肪测定方法平行测定 12 次, 计算其平均值和相对标准偏差, 测定结果列于表 2。由表 2 可知, 本方法测定结果的相对标准偏差为 0.40%, 小于 5.0%, 满足 GB 5009.295—2023《食品安全国家标准 化学分析方法验证通则》对重复性相对标准偏差的要求。王瑜等^[29]研究过发酵乳脂肪测定的扩展不确定度为 0.2 g/100 g。本方法的最大偏差为 0.05 g/100 g, 与杨爱君等^[30]、孙婷婷等^[31]研究基本一致, 均满足 GB 5009.6—2016 第三法中两次独立测定结果之差不大于 0.1 g/100 g 的精密度要求, 从表 2 可以看出 GB 5009.6—2016 第三法脂肪检测结果分散, 最大偏差为 0.30 g/100 g, 脂肪测定平均值也小于本方法, 相对标准偏差大于本方法, 表明本方法精密度良好。

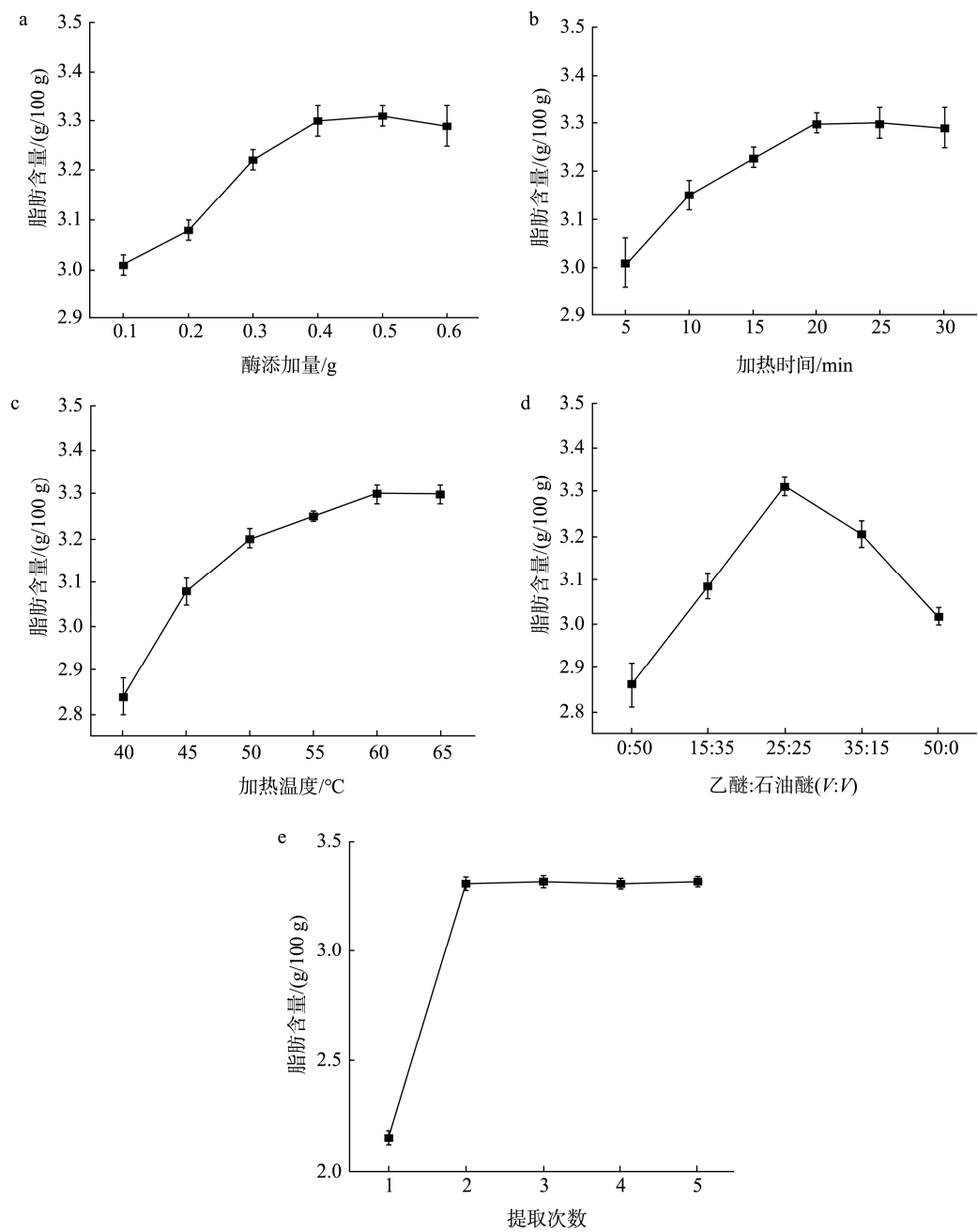


图1 木瓜蛋白酶添加量对脂肪含量测定结果的影响
Fig.1 Effects of amounts of papain added on the determination results of fat content

表 2 精密度试验脂肪含量测定结果
Table 2 Precision test results of fat content determination

本方法			GB 5009.6—2016 第三法		
脂肪含量/(g/100 g)	平均值/(g/100 g)	相对标准偏差/%	脂肪含量/(g/100 g)	平均值/(g/100 g)	相对标准偏差/%
3.30, 3.32, 3.34	3.31	0.40	2.81, 2.95, 2.75	2.79	2.90
3.30, 3.31, 3.30			2.85, 2.76, 2.65		
3.30, 3.32, 3.31			2.75, 2.86, 2.77		
3.29, 3.30, 3.31			2.85, 2.79, 2.69		

2.8 实际样品检测

采购市售风味发酵乳样品，按照本方法进行脂肪含量的检测，如表 3 所示，结果表明以上各种样品脂肪含量均符合 GB 19302—2010《食品安全国家标准 发酵乳》要求，且和标签明示值一致。

表 3 市售样品脂肪含量测定值(g/100 g)
Table 3 Fat content determination values of commercial samples (g/100 g)

样品编号	脂肪含量	平均值	标签值
1	3.30, 3.32, 3.31	3.31	3.3
2	3.59, 3.60, 3.58	3.59	3.6
3	3.95, 4.00, 3.90	3.95	4.0
4	3.43, 3.38, 3.41	3.41	3.4
5	2.91, 2.88, 2.90	2.90	2.9

3 结 论

本研究通过优化条件建立了含增稠剂风味发酵乳中脂肪含量检测方法，其优化后的前处理方法为样品中加入 0.5 g 木瓜蛋白酶，65 ℃水解 20 min，采用等比例乙醚/石油醚混合液提取酶水解物 2 次。经过验证，本方法测定结果的相对标准偏差为 0.40%，最大偏差为 0.05 g/100 g，重复性相对偏差符合 GB 5009.295—2023 的要求，通过对市售样品的检测，满足实际应用需求，弥补了相关检测方法的不足，为相应标准的修订提供了技术支持。

参考文献

[1] RASHWAN AK, OSMAN AI, CHEN W. Natural nutraceuticals for enhancing yogurt properties: A review [J]. *Environmental Chemistry Letters*, 2023, 21(3): 1907–1931.

[2] HASEGAWA YU, BOLLING BW. Yogurt consumption for improving immune health [J]. *Current Opinion in Food Science*, 2023, 51. DOI: 10.1016/J.COFS.2023.101017

[3] RANJBAR RY, NASROLLAHZADEH J. Comparison of the impact of saturated fat from full-fat yogurt or low-fat yogurt and butter on cardiometabolic factors: A randomized cross-over trial [J]. *European journal of nutrition*, 2024, 63(4): 1213–1224.

[4] ALSALEEM AK, HAMOUDAA EM. Optimizing probiotic low-fat yogurt: The benefits of incorporating defatted rice bran for enhanced quality and functionality [J]. *Food Science & Nutrition*, 2024, 12(12): 10242–10254.

[5] ZHAO YG, HODA K, HE J, *et al.* Application of different hydrocolloids as fat replacer in low-fat dairy products: Ice cream, yogurt and cheese [J]. *Food Hydrocolloids*, 2023, 138. DOI: 10.1016/J.FOODHYD.2023.108493

[6] 谢立梅, 陈静, 郑慧新, 等. Iota 卡拉胶对酸奶的影响[J]. *中国乳品工业*, 2024, 52(7): 73–80.

XIE LM, CHEN J, ZHENG HX, *et al.* The effect of Iota carrageenan on

yogurt [J]. *China Dairy Industry*, 2024, 52(7): 73–80.

[7] ZULEWSKA J, BARANOWSKA M, BIELECKA MM, *et al.* Effect of fortification with high milk protein preparations on yogurt quality [J]. *Foods*, 2025, 14(1): 80–80.

[8] 陶有洁, 肖益东, 钟瑞, 等. 山药黏蛋白与卡拉胶对低脂发酵乳品质的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2025, 36(3): 157–164.

TAO YJ, XIAO YD, ZHONG R, *et al.* The effect of yam mucin and carrageenan on the quality of low-fat fermented milk [J]. *China Food Additives*, 2025, 36(3): 157–164.

[9] MUHAMMAD S, MUHAMMAD A, FARHANA N, *et al.* Functional exploration of taro starch (*Colocasia esculenta*) supplemented yogurt [J]. *Food Science & Nutrition*, 2023, 11(6): 2697–2707.

[10] THONG LB, MAI SD, LIEN LP, *et al.* A review of processing techniques and rheological properties of yogurts [J]. *Journal of Texture Studies*, 2025, 56(1): e70006.

[11] YANG TT, LIU DS, TANG J, *et al.* Formation of casein micelles simulating human milk casein composition from bovine caseins: Micellar structure and in vitro infant gastrointestinal digestion [J]. *Food Hydrocolloids*, 2024, 149109610. DOI: 10.1016/J.FOODHYD.2023.109610

[12] 刘芳芳, 彭程程, 吴倩, 等. 羧甲基纤维素钠对风味发酵乳中脂肪测定的影响[J]. *中国乳业*, 2022(6): 87–93.

LIU FF, PENG CC, WU Q, *et al.* The effect of sodium carboxymethyl cellulose on the determination of fat in flavored fermented milk [J]. *China Dairy*, 2022(6): 87–93.

[13] 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): 2146–2152.

SONG YM, LIU YY, XIA ZY, *et al.* Study on the influencing factors of differences in fat content detection in yogurt [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, 12(6): 2146–2152.

[14] 刘芳芳, 薛敏敏, 吴倩, 等. 含羧甲基纤维素钠的发酵乳中脂肪检测技术[J]. *食品与机械*, 2022, 38(5): 37–42.

LIU FF, XUE MM, WU Q, *et al.* Fat detection technology in fermented milk containing sodium carboxymethyl cellulose [J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(5): 37–42.

[15] 宋艳梅, 夏忠悦, 刘丽平, 等. 凝乳酶在风味发酵乳脂肪含量测定中的应用[J]. *食品科技*, 2024, 49(9): 291–296.

SONG YM, XIA ZY, LIU LP, *et al.* Application of rennet in the determination of fat content in flavor fermented milk [J]. *Food Science and Technology*, 2024, 49(9): 291–296.

[16] YIN CP, ZHANG XY, XU BL, *et al.* Effect of limited hydrolysis on the structure and gel properties of soybean isolate proteins: A comparative study of papain or/and trypsin [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 282(6): 137398.

[17] TACIAS VG, ROBERTO MS, DANIEL CV, *et al.* Immobilization of papain: A review [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 188: 94–113.

[18] 胡霄, 黄业传, 管思彤, 等. 分子动力学模拟 NaCl 对木瓜蛋白酶活性的影响[J]. *中国酿造*, 2025, 44(1): 163–168.

HU X, HUANG YC, GUAN ST, *et al.* Molecular dynamics simulation of the effect of NaCl on papain activity [J]. *China Brewing*, 2025, 44(1): 163–168.

[19] 韩佳钰, 黄业传, 代雯, 等. 蔗糖对木瓜蛋白酶活性影响及其分子机制[J]. *粮食与油脂*, 2025, 38(1): 151–156.

- HAN JY, HUANG YC, DAI W, *et al.* The effect of sucrose on papain activity and its molecular mechanism [J]. *Cereals & Oils*, 2025, 38(1): 151–156.
- [20] 代雯, 黄业传, 韩佳钰, 等. 不同 pH 值对木瓜蛋白酶活性的影响及分子机制[J]. *肉类研究*, 2024, 38(10): 9–14.
- DAI W, HUANG YC, HAN JY, *et al.* The effect and molecular mechanism of different pH values on papain activity [J]. *Meat Research*, 2024, 38(10): 9–14.
- [21] 李有花. 木瓜蛋白酶的定向固定化研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
- LI YH. Study on directed immobilization of papain [J]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [22] 徐瑾钰, 张雨萌, 王筠钠, 等. 基于荧光法快速判定巴氏杀菌乳和超高温灭菌乳[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(12): 158–164.
- XU JY, ZHANG YM, WANG YN, *et al.* Rapid determination of pasteurized milk and ultra high temperature milk by fluorescence method [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2024, 15(12): 158–164.
- [23] 张海德, 王伟涛, 蒋欣欣. 木瓜蛋白酶在亲和双水相系统中的分配行为及机制研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2013, 4(2): 328–332.
- ZHANG HD, WANG WT, JIANG XX. Research progress on the distribution behavior and mechanism of papain in affinity biphasic systems [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2013, 4(2): 328–332.
- [24] 刘亚文. 基于木瓜酶的纯化及结合双水相法制备脱细胞真皮基质及其性能表征[D]. 海口: 海南大学, 2021.
- LIU YW. Purification and characterization of decellularized dermal matrix based on papain and combined with aqueous two-phase method [D]. Haikou: Hainan University, 2021.
- [25] 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 K, LIU XT, LIU Y, *et al.* Determination of fat content in milk and dairy products by alkaline hydrolysis method [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(1): 82–85.
- [26] 张晓婷, 潘建君, 王知, 等. 食品中脂肪测定国家标准的分析与探讨[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(20): 348–351.
- ZHANG XT, PAN JJ, WANG Z, *et al.* Analysis and exploration of national standards for fat determination in food [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(20): 348–351.
- [27] 吴晓静. 碱水解法测定乳粉中脂肪含量[J]. *食品安全导刊*, 2018(15): 63–64.
- WU XJ. Determination of fat content in milk powder by alkaline hydrolysis method [J]. *China Food Safety Magazine*, 2018(15): 63–64.
- [28] 陈建勇, 姜秀敏, 黄丽俊, 等. 乳脂肪分析仪检测乳及乳制品中脂肪含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(3): 665–669.
- CHENG JY, JIANG XM, HUANG LJ, *et al.* Milk fat analyzer for detecting fat content in milk and dairy products [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(3): 665–669.
- [29] 王瑜, 郭爱娟. 发酵乳脂肪测定的不确定度评定[J]. *食品安全导刊*, 2021(14): 55–56.
- WANG Y, GUO AIJ. Uncertainty evaluation of fat determination in fermented milk [J]. *China Food Safety Magazine*, 2021(14): 55–56.
- [30] 杨爱君, 罗少杰, 曹学思, 等. 碱水解法测定乳脂肪方法的改良应用[J]. *中国乳业*, 2021(7): 72–76.
- YANG AIJ, LUO SJ, CAO XS, *et al.* Improved application of alkaline hydrolysis method for determining milk fat [J]. *China Dairy*, 2021(7): 72–76.
- [31] 孙婷婷, 王琦, 孙福涛, 等. 近红外光谱法与碱水解法测定牛奶中脂肪含量的不确定度分析[J]. *中国检验检疫*, 2024, 32(4): 81–84, 59.
- SUN TT, WANG Q, SUN FT, *et al.* Uncertainty analysis of fat content in milk by near infrared spectroscopy and alkaline hydrolysis method [J]. *China Inspection Body & Laboratory*, 2024, 32(4): 81–84, 59.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)