

国家食品安全与营养健康综合试验区专栏

2021年湖北省部分地市液态乳微生物污染状况调查

吴云¹,邵祥威¹,杨大进²,杨舒然²,彭子欣²

(1. 恩施土家族苗族自治州疾病预防控制中心,湖北恩施 445000;2. 国家食品安全风险评估中心,国家卫生健康委员会食品安全风险评估重点实验室,中国医学科学院创新单元(2019RU014号),北京 100021)

摘要:目的 掌握2021年湖北省部分地市液态乳微生物污染状况。方法 采集生产、批发、零售等环节的生乳、巴氏杀菌乳、灭菌乳共101份,检测样品中菌落总数、需氧芽孢总数、嗜热需氧芽孢总数、碱性磷酸酶4项指标。结果 生乳、巴氏杀菌乳、灭菌乳总体超标率(4项指标任意一项超标)分别为52.94%、8.70%、1.64%。生乳、巴氏杀菌乳、灭菌乳的需氧芽孢总数检出率分别为52.94%、4.35%、1.64%。1份零售环节的全脂巴氏杀菌乳碱性磷酸酶检测值为409 mU/L。巴氏杀菌乳上架天数与碱性磷酸酶结果无相关性($r=0.10, P=0.65$)。生产加工环节和流通过程阳性样品检出率分别为52.94%、3.57%,差异有统计学意义($\chi^2=32.92, P<0.001$),零售环节中批发市场、便利店与商场、超市阳性样品检出率差异无统计学意义($P>0.05$)。结论 湖北省生乳中需氧芽孢总数污染较为普遍,巴氏杀菌乳和灭菌乳存在微生物污染超标问题。建议进一步调查超标原因,分析污染来源,为采取针对性措施提供依据,并加大对液态乳中需氧芽孢总数、碱性磷酸酶等指标的监测,为制定相应限量标准提供基线数据。

关键词:液态乳;微生物污染;卫生指标检测

中图分类号:R155

文献标识码:A

文章编号:1004-8456(2022)05-1083-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2022.05.035

Investigation on microbial contamination of liquid milk in some municipalities in Hubei Province in 2021

WU Yun¹, SHAO Xiangwei¹, YANG Dajin², YANG Shuran², PENG Zixin²

(1. The Center for Disease Control and Prevention of Enshi Tujia&Miao Autonomous Prefecture, Hubei Enshi 445000, China;2. National Center for Food Safety Risk Assessment, Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment, National Health Commission Innovation Unit, Chinese Academy of Medical Sciences (No. 2019RU014), Beijing 100021, China)

Abstract: Objective To investigate the microbial contamination of liquid milk in some municipalities in Hubei Province in 2021. **Methods** A total of 101 raw milk, pasteurized milk and sterilized milk from production, wholesale and retail were collected. The total number of bacterial colonies, aerobic *Bacillus* and thermophilic aerobic *Bacillus*, alkaline phosphatase of the samples were detected. **Results** The overall exceeding rates of raw milk, pasteurized milk and sterilized milk (any one of the four indicators exceeded the standard) were 52.94%, 8.70% and 1.64%, respectively. The detection rates of aerobic *Bacillus* were 52.94%, 4.35% and 1.64%, respectively. The value of alkaline phosphatase in one retail whole fat pasteurized milk sample was 409 mU/L. The shelf days of pasteurized milk had no correlation with the value of alkaline phosphatase ($r=0.10, P=0.65$). The detection rates of samples exceeding the standard in production and processing sector and circulation were 52.94% and 3.57%, respectively, with statistically significant differences ($\chi^2=32.92, P<0.001$). There was no significant difference in the exceeding rate of samples between convenience stores/whole sale markets and shopping mall/supermarkets ($P>0.05$). **Conclusion** The pollution of aerobic *Bacillus* in raw milk was common in Hubei Province. Pasteurized milk and sterilized milk had the problem of microbial contamination which violated the standard. It is recommended to further investigate the causes, analyze the sources of contamination, provide the basis for targeted measures, and strengthen the monitoring of the total number of aerobic *Bacillus*, alkaline phosphatase and other indicators in liquid milk, which can provide baseline data for establishing appropriate limit standards.

收稿日期:2022-09-01

基金项目:国家食品安全和营养健康试验区项目和中国食品安全技术支撑人才培养项目(CFSTP)

作者简介:吴云 男 副主任医师 研究方向为传染病预防与控制 E-mail:360053062@qq.com

通信作者:彭子欣 女 研究员 研究方向为食品微生物 E-mail:pengzixin@cfssa.net.cn

Key words: Liquid milk; microbial contamination; hygienic indicators detection

生鲜乳含有丰富的蛋白质、脂肪、维生素、矿物质等营养素,其较高的水分活度和接近中性的 pH 值适合各种微生物生长繁殖^[1],因此存在着复杂的菌群,且生鲜乳在生产、加工、运输和储藏过程中都存在微生物污染的风险^[2-3]。常见污染液态乳的微生物包括沙门菌、阪崎肠杆菌、志贺菌、霍乱弧菌等可损害人体健康的致病菌,以及耐热菌、嗜冷菌等腐败微生物^[1]。李莹等^[4]研究发现我国市售的巴氏杀菌乳存在不同程度的菌落总数、大肠菌群、金黄色葡萄球菌超标问题。周国君等^[5]对巴氏杀菌乳中微生物污染进行了溯源,发现挤乳、杀菌后加工管道和包装环节容易发生污染,并鉴定了生乳和热处理后的乳制品中污染细菌的种类。以上研究显示乳品中存在微生物污染,是引发乳品质量安全问题的主要原因。

芽孢杆菌污染是现代乳制品生产加工过程中常见的污染之一^[6],研究表明污染生乳的耐热芽孢杆菌包括枯草芽孢杆菌、蜡样芽孢杆菌、短小芽孢杆菌、环状芽孢杆菌等^[7]。芽孢杆菌具有耐热性强的特点,不易被杀灭。王建等^[8]研究了耐热芽孢菌对乳制品的危害,发现灭菌乳中未被杀灭的芽孢菌在储输、销售等过程中,遇到适宜的条件会被激活并生长繁殖,影响乳品质量,危害人体健康^[7]。目前国内外文献对乳品中致病菌等微生物污染研究报道较多,但对需氧芽孢总数、嗜热需氧芽孢总数等研究报道较少。

市售乳品均需经过热处理,降低微生物数量,减少致病风险,延长货架期。根据不同的热加工工艺,生乳可加工为巴氏杀菌乳和灭菌乳。巴氏杀菌旨在杀灭乳品中的大部分微生物,延长保存时间,减少营养物质损失^[9]。巴氏杀菌乳的热加工工艺主要有 3 种^[10]:63℃持续 30 min 的低温长时间杀菌法;72℃持续 15 s 的高温短时间杀菌法;120℃~135℃持续 1~4 s 的超巴氏灭菌法。因碱性磷酸酶热稳定性高于多数非芽孢致病微生物^[11],多个国家和地区将其作为检验巴氏杀菌效果的指标^[12]。灭菌乳的工艺目标是实现商业无菌,可分为保持灭菌乳(In-container sterilization)和超高温灭菌乳(Ultra-high temperature treated, UHT)。保持灭菌即热处理 110℃~121℃持续 10~20 min, UHT 工艺是先经预热,再升温至 130℃~140℃持续 3~5 s^[10,13]。这些热处理方式可以杀灭绝大多数细菌,但仍会有一些微生物残留而引起乳品的质量变化。

由于缺少液态乳风险监测数据,湖北省 2021 年

在 2 个地市开展了液态乳中菌落总数、需氧芽孢总数、嗜热需氧芽孢总数以及碱性磷酸酶等微生物指标的监测,为掌握湖北省液态乳微生物污染状况和乳制品热处理效果提供风险数据。

1 材料与方法

1.1 材料

在湖北省东部和西部各选择 1 个城市作为监测点。2021 年 4~8 月以随机抽样的方式,在生产加工、零售、批发等环节采集 101 份液态乳样品,其中生乳 17 份,16 份采自生产加工环节、1 份采自养殖环节;巴氏杀菌乳 23 份,全部采自超市;灭菌乳 61 份,采自零售超市 50 份、便利店 5 份、批发市场、百货商场和小餐馆各 2 份。样品生产日期为 2020 年 7 月—2021 年 8 月,其中春季(3~5 月)生产 16 份、夏季(6~8 月)生产 66 份、秋季(9~11 月)7 份、冬季(12~2 月)12 份。

1.2 方法

1.2.1 检验方法

样品按照 GB 4789.26—2013^[14]规定的方法对所有样品进行菌落总数测定,按照 NY/T 1331—2007^[15]规定的方法对所有样品进行需氧芽孢总数和嗜热需氧芽孢总数测定,按照 NY/T 3799—2020^[16]规定的方法对巴氏杀菌乳和生乳进行碱性磷酸酶测定。

1.2.2 检验指标

对生乳和巴氏杀菌乳进行菌落总数、需氧芽孢总数、嗜热需氧芽孢总数和碱性磷酸酶 4 项指标检测;对灭菌乳进行菌落总数、需氧芽孢总数、嗜热需氧芽孢总数 3 项指标检测。

1.3 评价标准

《食品安全国家标准 生乳》(GB 19301—2010)^[17]规定生乳中微生物的限量标准为菌落总数 $<2 \times 10^6$ CFU/mL。《食品安全国家标准 巴氏杀菌乳》(GB 19645—2010)^[18]规定巴氏杀菌乳微生物限量中,菌落总数为 $n=5, c=2, m=5 \times 10^4$ CFU/mL、 $M=1 \times 10^5$ CFU/mL。灭菌乳微生物的限量按照《食品安全国家标准 灭菌乳》(GB 25190—2010)^[19]要求达到商业无菌。

《乳与乳制品中嗜冷菌、需氧芽孢及嗜热需氧芽孢数的测定》(NY/T 1331—2007)^[15]对需氧芽孢总数和嗜热需氧芽孢总数指标均为培养皿中菌落数少于 10 个,检测结果报告为 <10 CFU/mL。本次调查规定检测结果 >10 CFU/mL 的样品为需氧芽孢总数检出。

根据中华人民共和国农业行业标准《生乳及其制品中碱性磷酸酶活性的测定 发光法》(NY/T 3799—2020)^[16],巴氏杀菌乳样品中碱性磷酸酶活性应<350 mU/L,本次调查中对>350 mU/L的样品定为碱性磷酸酶检出。生乳暂无碱性磷酸酶限值。

1.4 统计学分析

运用 Excel 2010 软件收集、整理数据,运用 SPSS 20.0 软件进行统计分析,运用 χ^2 检验对不同类别的产品卫生指示菌污染情况进行检验,运用 Spearman 相关系数对卫生指标的定量数据进行相关性分析,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 总体调查情况

如表 1 所示,17 份生乳中,需氧芽孢总数检出 9 份,检出率 52.94%。23 份巴氏杀菌乳中,需氧芽孢总数和碱性磷酸酶活性 2 个指标各有 1 份全脂巴氏杀菌乳样品检出,检出率均为 4.35%。61 份灭菌乳中 1 份保持灭菌乳需氧芽孢总数检出,检出率 1.64%。所有样品菌落总数和嗜热需氧芽孢数均未

检出。生乳、巴氏杀菌乳、灭菌乳三类乳品 4 项指标的总超标率分别为 52.94%(9/17)、8.70%(2/23)、1.64%(1/61)。巴氏杀菌乳和灭菌乳超标率差异无统计学意义($\chi^2=2.41, P<0.05$)。

2.2 不同卫生指标污染状况

2.2.1 菌落总数

所有样品进行菌落总数检测结果均未超标,17 份生乳样品中,菌落总数结果最高值为 1.1×10^6 CFU/mL,最低值为 4.1×10^3 CFU/mL,平均值为 4.1×10^5 CFU/mL, P_{50} 为 4.6×10^5 CFU/mL;23 份巴氏杀菌乳中,20 份样品菌落总数计数<10 CFU/mL,最高值为 110 CFU/mL;61 份灭菌乳菌落总数均为阴性。

2.2.2 需氧芽孢总数检测情况

17 份生乳样品中,8 份需氧芽孢总数<10 CFU/mL,9 份>10 CFU/mL,其中最高值为 2 200 CFU/mL,最低值为 30 CFU/mL,平均值为 650 CFU/mL, P_{50} 为 310 CFU/mL。23 份巴氏杀菌乳中 1 份全脂巴氏杀菌乳检测结果为 20 CFU/mL;61 份灭菌乳中 1 份保持灭菌乳检测结果为 22 CFU/mL(表 2)。

表 1 3 种液态乳总体污染情况

Table 1 General contamination of three kind of liquid milk

乳品类型	样品数	需氧芽孢		碱性磷酸酶		菌落总数 超标数	嗜热需氧芽孢总 数检出数	超标样品 总数	总体超标率/%
		检出数	检出率/%	检出数	检出率/%				
生乳	17	9	52.94	—	—	0	0	9	52.94
巴氏杀菌乳	23	1	4.35	1	4.35	0	0	2	8.70
灭菌乳	61	1	1.64	—	—	0	0	1	1.64
总计	101	11	10.89	1	4.35	0	0	12	11.88

注:—表示生乳无碱性磷酸酶限值,无法计算超标数、超标率,—表示灭菌乳未进行碱性磷酸酶检测

表 2 不同乳品类型中需氧芽孢检测

Table 2 Detection of aerobic *Bacillus* in different milk production

乳品类型	样品数量/份	<10 CFU/mL		10 ~ 10 ² CFU/mL		10 ² ~ 10 ³ CFU/mL		>10 ³ CFU/mL	
		样品数量/份	样品占比/%	样品数量/份	样品占比/%	样品数量/份	样品占比/%	样品数量/份	样品占比/%
生乳	17	8	29.41	1	5.88	6	35.29	2	11.76
巴氏杀菌乳	23	22	95.65	1	4.35	0	0	0	0
灭菌乳	61	60	98.36	1	1.64	0	0	0	0
合计	101	90	89.11	3	2.97	6	5.94	2	1.98

2.2.3 碱性磷酸酶活性

17 份生乳检测值均> 5×10^5 mU/L,其中最高值为 1.57×10^6 mU/L,最低值为 5.69×10^5 mU/L,平均值为 9.44×10^5 mU/L, P_{50} 为 9.30×10^5 mU/L。23 份巴氏杀菌乳中,1 份全脂巴氏杀菌乳样品检测结果为 409 mU/L,其余均<350 mU/L,巴氏杀菌乳中碱性磷酸酶检测最高值为 409 mU/L,最低值 2 mU/L,平均值为 109.34 mU/L, P_{50} 为 99 mU/L。

2.3 不同生产季节、采样环节和采样场所污染情况

根据不同生产季节,全部 12 份检测值超标的样品均为夏季生产,超标率为 18.18%(12/66)。其

他季节生产的样品无检测值超标情况(0/35)。

不同的采样环节检测中,生产加工环节样品超标 9 份,超标率 52.94%(9/17),均为需氧芽孢检出;流通环节样品超标率为 3.57%(3/84),其中需氧芽孢总数检出 2 份,碱性磷酸酶检出 1 份。生产加工环节和流通环节超标率差异有统计学意义($\chi^2=32.92, P<0.001$)。

84 份流通环节样品中,根据售卖场所不同,批发市场、小餐饮店和便利店共 9 份,未检出超标样品,商场超市共 75 份,超标样品共 3 份,超标率为 4.00%。不同售卖场所超标样品检出率差异无统计学意义($\chi^2=0.12, P=0.73$)(表 3)。

表3 夏季生产的样品按不同采样类型和采样地点的4项指标检测情况

Table 3 Four detected indexes based on different sampling type and location of samples produced in summer

采样类型和采样地点	样品数	需氧芽孢总数 检出数	碱性磷酸酶 检出数	菌落总数超标数	嗜热需氧芽孢 总数检出数	超标样品总数
生产加工环节	17	9	0	0	0	9
流通环节-商场、超市	75	2	1	0	0	3
流通环节-批发市场、便利店、小餐饮店	9	0	0	0	0	0
总数	101	11	1	0	0	12

2.4 不同液态乳产品的货架期分析

84份巴氏杀菌乳和灭菌乳样品,生产日期到采样日期的时间间隔最小为0 d,最大303 d,平均78 d, P_{50} 为49 d。巴氏杀菌乳保质期较短,23份巴氏杀菌乳生产日期到采样日期间隔最短0 d,最长7 d,平均3 d。巴氏杀菌乳中检出碱性磷酸酶的样品(409 mU/L)时间间隔7 d,检出需氧芽孢总数的样品(20 CFU/mL)时间间隔0 d,2份样品均采自超市。对巴氏杀菌乳生产到采样时间间隔,和碱性磷酸酶检测结果进行 Spearman 相关性分析,结果无统计学意义($r=0.10, P=0.65$)。61份灭菌乳,生产日期到采样日期间隔最短1 d,最长303 d,平均107 d。1份采自超市流通环节的保持灭菌乳检出需氧芽孢总数(22 CFU/mL),其生产日期到采样日期的时间间隔为79 d。

2.5 定量指标相关关系情况

对40份生乳和巴氏杀菌乳样品中的碱性磷酸酶,所有样品中的需氧芽孢总数、菌落总数等指标检出的定量结果进行相关性分析。经 Spearman 检验,碱性磷酸酶和菌落总数相关性分析结果为 $r=0.04, P=0.86$;碱性磷酸酶和需氧芽孢相关分析结果为 $r=0.43, P=0.17$;需氧芽孢和菌落总数相关分析结果为 $r=0.17, P=0.59$,差异均无统计学意义。

3 讨论

本次调查在生乳、巴氏杀菌乳、灭菌乳中均检出了需氧芽孢,尤其是在生乳样品中的检出率为52.94%,说明需氧芽孢污染较为普遍;1份全脂巴氏杀菌乳检出需氧芽孢,且生产日期到采样日期为0 d,提示该产品巴氏杀菌效果未达标;1份保持灭菌乳检出需氧芽孢,生产到采样日期间隔79 d,可能的原因是原料乳或者其他辅料中存在芽孢杆菌,这些芽孢杆菌在储运和销售过程中生长繁殖,会造成产品在货架期内出现质量问题。林莹莹等^[20]研究发现原料乳体细胞数对超高温灭菌乳贮藏期间品质有影响。有文献提出了芽孢杆菌超标的原料乳不能用于生产灭菌乳,并建议生产灭菌乳时对于芽孢杆菌 $>1 \times 10^3$ CFU/mL的生乳应考虑拒收^[8]。目前我国的食品安全国家标准中,生乳、巴氏杀菌乳等

均尚未制定需氧芽孢、嗜热需氧芽孢的相关限量,主要参考的是《乳与乳制品中嗜冷菌、需氧芽孢及嗜热需氧芽孢数的测定》(NY/T 1331—2007)^[15]。国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)现行的产品标准也没有对相关的指标设定具体的限值,但强调了在乳制品在生产、加工(包括标识)、批发、销售、制备和食用过程中应用的卫生规范和 HACCP 系统的过程控制,确保乳制品的安全性^[21]。我国的食品安全国家标准对巴氏杀菌乳的微生物限量,规定了菌落总数、大肠菌群2个卫生指示菌指标,以及金黄色葡萄球菌和沙门菌2个致病菌指标,对生乳的微生物限量仅规定了菌落总数一个指标。菌落总数能够说明乳品中微生物数量,但不能体现微生物的种类,本研究未发现样品中菌落总数和需氧芽孢总数检测结果之间的相关关系,提示现行指标对于评价生乳及巴氏杀菌乳的品质仍显不够,尤其是具有耐热性的芽孢杆菌。

碱性磷酸酶在乳品中大量存在,由于其热稳定性高于乳制品中大部分致病微生物,因此通常将碱性磷酸酶作为巴氏杀菌热处理效果的快速评价指标^[22]。我国的食品安全国家标准未对乳品碱性磷酸酶制定限值,主要参考《生乳及其制品中碱性磷酸酶活性的测定 发光法》(NY/T 3799—2020)^[16],部分企业团体标准中明确了巴氏杀菌乳中碱性磷酸酶活性限值为350 mU/L^[22]。这与美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)在A级巴氏杀菌乳条例附录G中对碱性磷酸酶限值(350 mU/L)一致^[12,23]。有文献^[24]报道因碱性磷酸酶容易被脂肪球吸收,乳品中的脂肪含量越高,碱性磷酸酶检测水平越高,而脱脂后的乳品碱性磷酸酶水平显著低于全脂乳品。另外 WRIGHT 等^[25]发现初始检测阴性的巴氏杀菌乳在经过22℃~37℃保存后,重新检测出碱性磷酸酶,并对乳制品巴氏杀菌过程的温度、时间、储存、运输温度等与碱性磷酸酶分析未发现明显的线性关系,与乳品中脂肪含量等因素也没发现特定关系。

本次调查中,1份全脂巴氏杀菌乳碱性磷酸酶检测超标,从生产日期到采样日期时间间隔7 d,提示可能是巴氏杀菌效果不佳造成的碱性磷酸酶残

留,或者耐热型微生物残留,产生了碱性磷酸酶。这一结果与文献[22]报道的全脂巴氏杀菌乳检出碱性磷酸酶风险更大一致。目前巴氏杀菌乳中碱性磷酸酶检测采用的荧光法快速检测^[22,26],与食品安全国家标准对巴氏杀菌乳中细菌总数、大肠菌群和金黄色葡萄球菌、沙门菌进行细菌培养相比,缩短了检测时间,提升了检测效率。

本文研究提示应加强对生乳及巴氏杀菌乳中需氧芽孢总数的监测,并制定相应限值,纳入食品安全国家标准作为乳品质量的参考指标。同时还应加强对巴氏杀菌乳中碱性磷酸酶的监测,并进一步分析全脂巴氏杀菌乳和脱脂巴氏杀菌乳中碱性磷酸酶活性分布,制定相应限值,提高对巴氏杀菌乳杀菌效果的评价效率。

参考文献

- [1] 剧柠,夏淑鸿.原料乳中微生物的多样性[J].食品与发酵工业,2013,39(2):150-155.
JU N, XIA S H. The microbial diversity in raw milk [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(2): 150-155.
- [2] 苏传友,郑楠,李松励,等.生乳中体细胞数对乳品质量安全的影响研究进展[J].食品科学,2018,39(23):299-305.
SU C Y, ZHENG N, LI S L, et al. A review of the literature on the effect of somatic cell count in raw milk on the quality and safety of milk [J]. Food Science, 2018, 39(23): 299-305.
- [3] 王宁,刘守钦,杨丽,等.一起由巴氏杀菌乳污染引起的济南市多家幼儿园食源性疾病暴发事件的流行病学分析[J].中国食品卫生杂志,2021,33(3):369-373.
WANG N, LIU S Q, YANG L, et al. Epidemiological analysis of a foodborne disease emergency in several kindergartens in Ji'nan caused by contamination in pasteurized milk [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2021, 33(3): 369-373.
- [4] 李莹,裴晓燕,闫琳,等.市售巴氏杀菌乳中微生物污染状况调查[J].中国卫生检验杂志,2017,27(5):639-641.
LI Y, PEI X Y, YAN L, et al. Investigation on the microbial contamination of pasteurized milk in retail market [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2017, 27(5): 639-641.
- [5] 周国君,唐玲,胡萍,等.应用PCR-DGGE对巴氏消毒乳中腐败细菌的污染溯源研究[J].食品工业科技,2015,36(16):49-52,57.
ZHOU G J, TANG L, HU P, et al. Research on pollution sources of spoilage bacteria in pasteurized milk by PCR-DGGE [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(16): 49-52, 57.
- [6] 任俊琦,贺稚非,赵季,等.乳品中芽胞杆菌[J].肉类研究,2009,23(7):70-73.
REN J Q, HE Z F, ZHAO J, et al. The *Bacillus* in milk [J]. Meat Research, 2009, 23(7): 70-73.
- [7] 倪晓宇.巴氏杀菌乳和灭菌乳在不同温度条件下品质变化的差异[J].中国乳业,2014,148(4):48-50.
NI X Y. Differences in quality changes of pasteurized and sterilized milk under different temperature conditions [J]. China Dairy, 2014, 148(4): 48-50.
- [8] 王建,罗红霞,黄彦芳.耐热菌对牛乳的危害及其控制现状[J].食品工业科技,2011,32(9):458-460.
WANG J, LUO H X, HUANG Y F. The damage of thermophilic bacteria to milk and methods of prevention [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(9): 458-460.
- [9] 吕加平,张书文,刘鹭,等.巴氏杀菌奶加工技术及质量控制现状[J].食品科学技术学报,2016,34(1):9-15.
LYU J P, ZHANG S W, LIU L, et al. Processing technology and quality control of pasteurized milk [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 34(1): 9-15.
- [10] 杨晋辉,李松励,郑楠,等.热处理对牛乳成分的影响以及热敏感指标的变化研究进展[J].食品科学,2017,38(7):302-308.
YANG J H, LI S L, ZHENG N, et al. Effect of heat treatment on milk components and changes in heat-sensitive components: a review [J]. Food Science, 2017, 38(7): 302-308.
- [11] 张昊.乳及乳制品中碱性磷酸酶和乳过氧化物酶活性检测方法的评估及应用[D].兰州:兰州大学,2019.
ZHANG H. Evaluation and application of methods in detecting the activity of alkaline phosphatase and lactoperoxidase in dairy products [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2019.
- [12] U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Food and Drug Administration. Grade "A" pasteurized milk ordinance [EB/OL]. (2018-10-08) [2022-05-28]. <https://www.fda.gov/media/114169/download>.
- [13] 杨怀谷,郑楠,王加启.巴氏杀菌乳和超高温灭菌乳营养价值及卫生安全对比研究[J].中国乳业,2016,175(7):62-67.
YANG H G, ZHENG N, WANG J Q. Comparative study on the nutritional value and health and safety of pasteurized milk and ultra-high temperature sterilized milk [J]. China Dairy, 2016, 175(7): 62-67.
- [14] 国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品微生物学检验 商业无菌检验:GB 4789.26—2013[S].北京:中国标准出版社,2014.
National Health and Family Planning Commission. National food safety standard-Microbiological examination of food hygiene-Examination of commercial sterilization: GB 4789.26—2013 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [15] 中华人民共和国农业部.乳与乳制品中嗜冷菌、需氧芽孢及嗜热需氧芽孢数的测定:NY/T 1331—2007[S].北京:中国农业出版社,2007.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Enumeration of colony of psychrotrophic microorganisms total aerobic bacterial spores and thermophilic aerobic bacterial spores in milk and dairy products: NY/T 1331—2007 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [16] 中华人民共和国农业农村部.生乳及其制品中碱性磷酸酶活性的测定发光法:NY/T 3799—2020[S].北京:中国农业出版社,2020.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Determination of alkaline phosphatase activity in raw milk and milk products—Enzymatic photo-activated system method: NY/T 3799—2020 [S]. Beijing:

- China Agriculture Press, 2020.
- [17] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 生乳: GB 19301—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
Ministry of Health of the People's Republic of China. National food safety standard Raw milk: GB 19301—2010[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.
- [18] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 巴氏杀菌乳: GB 19645—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
Ministry of Health of the People's Republic of China. National food safety standard-Pasteurized milk: GB 19645—2010[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.
- [19] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 灭菌乳: GB 25190—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
Ministry of Health of the People's Republic of China. National food safety standard-Sterilized milk: GB 25190—2010[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.
- [20] 林莹莹, 任发政, 王紫薇, 等. 原料乳体细胞数对UHT乳贮藏期间品质的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(4): 209-216.
LIN Y Y, REN F Z, WANG Z W, et al. Effect of somatic cell count on UHT milk's quality during storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(4): 209-216.
- [21] 高珊, 薛丹, 欧阳一非, 等. 食品法典标准与我国乳制品标准的比较分析[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 701-704.
GAO S, XUE D, OUYANG Y F, et al. Comparative analysis between China's dairy products standards and counterparts in Codex Alimentarius Commission standards[J]. Food Science, 2008, 29(11): 701-704.
- [22] 周玲, 徐广新. 乳制品中碱性磷酸酶检测的影响因素及控制措施[J]. 中国乳业, 2021(9): 102-105.
ZHOU L, XU G X. Influencing factors and control measures of the determination of alkaline phosphatase in dairy products[J]. China Dairy, 2021(9): 102-105.
- [23] 许秀丽, 姚桂红, 聂雪梅, 等. 中外乳及乳制品法规与主要检测指标的比较分析[J]. 食品科学, 2021, 42(11): 304-312.
XU X L, YAO G H, NIE X M, et al. Comparative analysis of regulations and standards for milk and dairy products in China and abroad with respect to main quality indices[J]. Food Science, 2021, 42(11): 304-312.
- [24] SARVER R, HIGBEE C, BISWAS P, et al. A portable chemiluminescence assay of alkaline phosphatase activity to monitor pasteurization of milk products[J]. Journal of Food Protection, 2019, 82(12): 2119-2125.
- [25] WRIGHT R, TRAMER J. Reactivation of milk phosphatase following heat treatment. III[J]. Journal of Dairy Research, 1954, 21(1): 37-49.
- [26] 李晓双, 张浩, 娄大伟. 碱性磷酸酶检测方法研究进展[J]. 吉林化工学院学报, 2019, 36(5): 6-11.
LI X S, ZHANG H, LOU D W. Progress in alkaline phosphatase detection[J]. Journal of Jilin Institute of Chemical Technology, 2019, 36(5): 6-11.