

巴氏杀菌乳中碱性磷酸酶检测方法的对比分析与应用研究

彭翔，刘超，刘杰，王丹，吴丰吉，康俊巍，卢智华*

[蒙牛乳制品（天津）有限责任公司，天津 301739]

摘要： [目的]探索一种能够准确快速检测巴氏杀菌乳中碱性磷酸酶（ALP）的荧光检测方法。 [方法]运用对比试验的方式，对A、B两厂家的ALP快速检测试剂盒进行试验验证。 [结果]使用B厂家检测试剂盒检测巴氏杀菌乳中碱性磷酸酶，可准确快速完成检测。 [结论]B厂家检测试剂盒精密度、稳定性及操作便捷性，校准符合率等方面均满足检测需求，可作为检测巴氏杀菌乳中碱性磷酸酶的检测方法。

关键词： 碱性磷酸酶；巴氏杀菌乳；荧光检测

文章编号：1671-4393（2026）05-0103-08

DOI:10.12377/1671-4393.26.05.15

Comparative Analysis and Application Research on Detection Methods of Alkaline Phosphatase in Pasteurized Milk

PENG Xiang, LIU Chao, LIU Jie, WANG Dan, WU Fengji, KANG Junwei, LU Zhihua*

[Mengniu Dairy (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin 301739]

Abstract: [Objective]Explore a fluorescence detection method that can accurately and quickly detect alkaline phosphatase (ALP) in pasteurized milk.[Method]The comparative experiment was conducted to verify the ALP rapid detection kits from manufacturer A and B.[Result]Using the detection kit from manufacturer B to test for alkaline phosphatase in pasteurized milk could complete the detection accurately and quickly.[Conclusion]The detection kit from manufacturer B met the requirements in terms of precision, stability, and ease of operation, and could be used as a method for detecting alkaline phosphatase in pasteurized milk.

Keywords: alkaline phosphatase; pasteurized milk; fluorescence detection

作者简介： 彭翔（1984-），女，四川宜宾人，本科，工程师，研究方向为乳品检验分析、乳品质量控制；
刘超（1985-），女，天津人，本科，工程师，研究方向为乳品检验分析、乳品质量控制；
刘杰（1985-），女，天津人，本科，工程师，研究方向为食品安全分析、乳品检验分析；
王丹（1983-），女，内蒙古自治区赤峰市人，硕士研究生，高级工程师，研究方向为乳品生物检测技术；
吴丰吉（1988-），男，内蒙古乌兰浩特人，硕士，研究方向为乳品检验分析、乳品质量控制；
康俊巍（1983-），男，河北省廊坊市人，本科，工程师，研究方向为食品检测技术、计量技术等。

***通信作者：** 卢智华（1983-），女，天津人，硕士，工程师，研究方向为乳品检验分析、乳品质量控制。

巴氏杀菌乳采用低温杀菌处理，与传统灭菌乳相比，能更好地保留生乳的营养价值和口感，逐渐受到消费者的关注与青睐。消费者在关注其营养价值和口感的同时，对产品健康指标的关注度也日益提高。《GB 19645—2010 食品安全国家标准 巴氏杀菌乳》^[1]中对巴氏杀菌乳的感官要求、理化指标、污染限量、真菌毒素限量及微生物限量等具体标准值作出了明确规定。碱性磷酸酶（ALP）是美国、欧盟等常用的卫生安全指标。美国巴氏杀菌乳条例（PMO，2007）中对乳ALP活性值有明确规定^[2]，但我国GB 19645—2010中尚未纳入该指标。由于ALP对温度的稳定性略高于乳中可能存在的病原菌，这一特性使其成为衡量巴氏杀菌是否彻底的理想标志物^[3, 4]。若巴氏杀菌过程未达到规定要求，乳中的ALP可能未被完全灭活，同时意味着病原菌存在的风险增加。因此，通过检测^[5, 6]ALP可有效监控巴氏杀菌乳的杀菌效果，进而判断产品是否符合GB 19645—2010中微生物指标的限量要求，为产品质量安全提供重要保障。

基于ALP检测在巴氏杀菌乳质量控制中的关键作用，各类ALP快速检测试剂盒应运而生^[7]。然而，不同厂家生产的试剂盒在性能上可能存在差异，部分试剂盒甚至可能因性能不足而无法满足实际检测需求。本研究旨在对比分析A、B两个厂家的ALP快速检测试剂盒^[5]的性能，从精密度、稳定性、操作便捷性等专业指标出发，筛选出更适用于巴氏杀菌乳检测的试剂，为巴氏杀菌乳的质量控制提供可靠的检测方法^[7~11]。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

美正ALP快速检测试剂盒，北京美正生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

智能荧光检测仪，北京美正生物科技有限公司；离心管式微型孵育器（37℃），北京美正生物科技有限公司；旋涡混合仪，德国IKA公司；移

液器，美国赛默飞公司，计时器，北京美正生物科技有限公司；具帽混合器，北京美正生物科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 试剂制备

试剂和质控样品，北京美正生物科技有限公司。

1.3.2 质控样品的制备

为确保试验过程中样品对检测结果的干扰降至最低，制备所用的阴性质控样品均严格选用经专业检测确认的巴氏杀菌乳。该巴氏杀菌乳在金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、大肠菌群、菌落总数4项关键微生物指标上，均符合相关标准要求，检测结果均合格。

（1）A厂家试剂盒质控样品的制备

阴性质控样品的制备：取20 mL样品加热至（95±1）℃，保持1 min同时不断搅拌。避免使用微波炉加热样品。如果加热导致蛋白质沉淀，可尝试降低温度、延长加热时间，例如，在（63±1）℃下加热45 min。

阳性质控样品的制备：向具帽混合器中加入一片阳性质控药片，加入100 μL一级水，混合，涡旋打散药片。加入2.5 mL阴性质控样品，涡旋混匀，冷藏10 min，以制备350 mU/L阳性校准样品。

（2）B厂家试剂盒质控样品的制备

阴性质控样品的制备：加热样品体积20 mL（离心管），加热5 min后，及时保存于冰水中，快速冷却，防止ALP复活。一般冷却时间至少需要保证在10 min以上。注意冰沙高度需要完全超过奶样高度，保证温度快速冷却。

阳性质控样品的制备（含350 mU/L的ALP）：移取1.8 mL待测乳制品（全脂巴氏杀菌乳、脱脂巴氏杀菌乳）的阴性质控样品注入ALP阳性对照品瓶。旋紧盖子，于旋涡混合仪上涡旋120 s至完全溶解，即350 mU/L的阳性质控样品。配置好的阳性质控样品需冷藏或冰浴10 min，每次使用前需再次混匀，阳性质控样小瓶可在2~8℃冷藏保存48 h，使用时需要保持冷藏温度。

对比A、B两个厂家的ALP快速检测试剂盒，A

厂家试剂阴性质控样品制备时间和温度控制难度较大，（95±1）℃的加热温度较高，易导致蛋白沉淀，（63±1）℃的加热时间较长，温度范围控制难，可操作性差。阳性质控样品不易溶解，且溶解情况对检测结果影响较大。B厂家试剂阴性质控样品制备需在沸腾的水中加热5 min，温度和时间易把握，样品处理后状态均匀、无蛋白沉淀，阳性质控样品为冻干粉末状、易于溶解。因此，综合试剂盒质控样品的制备情况，B厂家的ALP快速检测试剂盒可操作性更强。

1.3.3 测定

将螺旋微管置于试管架上，吸取500 uL复温后的化学发光底物于螺旋微管中。随后用干净的吸头吸取50 uL待测，并去除吸头外壁的多余样品。

将冷藏或者冰浴的待检乳制品注入螺旋微管中，连接螺旋微管和微管适配器，混匀5 s，迅速放入离心管式微型孵育器中，随即启动计时器进行1 min倒计时。计时结束后立即取出微管适配器插入智能荧光检测仪中，随后即刻点击检测。

经过预设计时间后，屏幕显示检测结果。在智能荧光检测仪上读数的直接报告为mU/L，仪器可以自动保存读数。

2 结果与分析

2.1 仪器校准

2.1.1 阴性质控检测

为验证A厂家ALP快速检测试剂盒检测阴性质控样品的稳定性，采用不同产品类型进行测试，判定标准依据实际厂家提供说明书设定阈值为≤15 mU/L，具体检测数据见表1。

表1显示，不同类型巴氏杀菌乳中ALP检测数值及判定结果的校准符合率（不合格样品数量与总样品数量之比）63%，表明A厂家ALP快速检测试剂盒在阴性质控样品检测中的稳定性欠佳。

为验证B厂家ALP快速检测试剂盒检测阴性质控样品的稳定性，采用6种类型的巴氏杀菌乳，经阴性质控样品制备过程处理后进行检测，判定标准依据实际厂家提供说明书设定阈值为≤20 mU/L，具体数据见表2。不同类型巴氏杀菌乳中ALP检测的校准结果均满足两次检测值≤20 mU/L的要求，校准符合率为100%，表明B厂家试剂在阴性质控样品检测中稳定性良好。

B厂家试剂盒阴性质控10次重复检测：平均值±标准差（Mean±SD）：（0.0±0.0）mU/L，标准误

表 1 A 厂家 ALP 快速检测试剂盒阴性质控样品检测结果

Table 1 Results of Negative Control Sample Testing with A Manufacturer's ALP Rapid Detection Kit

产品类型(基质)	产品名称	样品数量(个)	检测数值(mU/L)	判定标准(mU/L)	判定结果	校准符合率(%)
全脂巴氏杀菌乳	产品 1	2	680、0	≤ 15	不合格、合格	63%
全脂巴氏杀菌乳	产品 2	3	770、0、0	≤ 15	不合格、合格、合格	
全脂巴氏杀菌乳	产品 3	3	1653、3、0	≤ 15	不合格、合格、合格	

表 2 B 厂家 ALP 快速检测试剂盒阴性质控样品检测结果

Table 2 Results of Negative Control Sample Testing with B Manufacturer's ALP Rapid Detection Kit

产品类型(基质)	产品名称	样品数量(个)	检测数值(mU/L)	判定标准(mU/L)	判定结果	校准符合率(%)
全脂巴氏杀菌乳	产品 1	2	0, 0	≤ 20	合格、合格	100%
脱脂巴氏杀菌乳	产品 2	2	0, 0	≤ 20	合格、合格	
全脂巴氏杀菌乳	产品 3	2	0, 0	≤ 20	合格、合格	
脱脂巴氏杀菌乳	产品 4	2	0, 0	≤ 20	合格、合格	
脱脂巴氏杀菌乳	产品 5	2	0, 0	≤ 20	合格、合格	
全脂巴氏杀菌乳	产品 6	2	0, 0	≤ 20	合格、合格	

（SE）：0.0，95%置信区间（95% CI）：0.0~0.0，
变异系数CV=0%

A、B两厂家试剂盒检测数据的对比分析显示，A厂家所提供试剂的检测重复性表现不佳，其符合率仅为63%，在过程中需进行反复检测，从而导致试剂消耗量增加；相比之下，B厂家试剂盒的阴性质控样品检测一次性符合率达标，且校准符合率（不合格样品数量与总样品数量之比）达到100%。基于阴性质控样品的检测结果比较，B厂家试剂盒的稳定性显著优于A厂家。

2.1.2 阳性质控样品检测

本研究采用4种不同品类的巴氏杀菌乳配制阳性质控样本，以评估A厂家试剂盒的检测性能。检测结果见表3。不同品类巴氏杀菌乳中ALP的检测值存在显著波动。在总计16批产品的检测中，有8批样品的检测结果超出预设判定标准范围（该标准依据厂家说明书设定，阈值区间为247~453 mU/L）。据此计算，A厂家试剂盒对阳性质控样本的检测符合率为

50%。
B厂家试剂盒检测仪器采用双模块架构，对全脂巴氏杀菌乳基质中的阳性质控样品进行检测，具体检测数据见表4。依据标准操作规程配制阳性质控样品，经60秒充分混匀后，测得数值为166 mU/L，该结果低于预设判定标准（判定阈值依据厂家说明书设定为245~500 mU/L），判定为不合格。此外，在对产品4进行检测时，连续4次阳性质控检测结果均未达到标准要求，表明该检测模块不适用于当前基质类型。

鉴于巴氏杀菌乳生产工艺的特殊性，产品4在生产过程中实施了部分脱脂处理，其样品脂肪含量测定值为1.4 g/100 mL，该数值可能超出了模块校准曲线的线性响应区间。生产厂家对仪器模块相关参数进行优化升级后，所得检测数据见表5。调整后，产品4对阳性质控样品的检测校准符合率均达100%，表明B厂家试剂盒在完成参数优化后，对复杂基质样品具备更强的检测适应性及更优的检测稳定性。

表 3 A 厂家 ALP 快速检测试剂盒阳性质控样品检测结果

Table 3 Results of Positive Control Sample Testing with A Manufacturer's ALP Rapid Detection Kit

产品类型（基质）	产品名称	样品数量（个）	检测数值（mU/L）	判定标准（mU/L）	判定结果
全脂巴氏杀菌乳	产品 1	6	6 652、536、520、488、7 089、229	247 ~ 453	均不合格
全脂巴氏杀菌乳	产品 2	7	382、244、311、344、383、448、382、		均合格
全脂巴氏杀菌乳	产品 3	1	11 059		不合格
全脂巴氏杀菌乳	产品 4	2	305、385		均合格

表 4 B 厂家 ALP 快速检测试剂盒阳性质控样品检测结果

Table 4 Results of Positive Control Sample Testing with B Manufacturer's ALP Rapid Detection Kit

产品类型（基质）	产品名称	样品数量（个）	检测数值（mU/L）	判定标准（mU/L）	判定结果
全脂巴氏杀菌乳	产品 1	4	166	245 ~ 500	不合格
			246、308、294		均合格
全脂巴氏杀菌乳	产品 2	2	293、312		均合格
脱脂巴氏杀菌乳	产品 3	2	298、326		均合格
脱脂巴氏杀菌乳	产品 4	4	229、194、237、197		均不合格

表 5 B 厂家 ALP 快速检测试剂盒阳性质控样品检测结果

Table 5 Results of Positive Control Sample Testing with B Manufacturer's ALP Rapid Detection Kit

产品类型（基质）	产品名称	样品数量（个）	检测数值（mU/L）	判定标准（mU/L）	判定结果
脱脂巴氏杀菌乳	产品 4	3	294、256、269	245 ~ 500	均合格
脱脂巴氏杀菌乳	产品 4	2	429、439		均合格

通过对A、B两厂家试剂盒检测阳性质控样品的结果进行比较分析，发现A厂家试剂盒在3种样品基质中均存在检测结果不符合标准的情况，其总体符合率为50%。相比之下，B厂家试剂通过优化操作流程并调整仪器参数，最终实现了阳性质控校准符合率达100%。采用Mann-Whitney U非参数检验进行统计学分析，样本量 $n_1=8$ ， $n_2=8$ ，计算得U值为2.50， P 值 <0.001 ，表明两组数据间的差异具有极显著的统计学意义。从阳性质控校准符合率的角度评估，B厂家试剂在完成仪器参数优化后，其阳性质控校准符合率提升至100%，显示出优异的检测稳定性与可靠性。

2.2 样品检测

2.2.1 试剂验证试验结果与分析

为评估B厂家试剂盒在巴氏杀菌乳检测中的适用性，本研究采用实验室间比对方法，于I、II、III 3家实验室开展多维度验证试验，其结果为试剂准入提供参考依据。各实验室依据对应工厂产品特性选取基质，对涵盖全脂、部分脱脂及脱脂三种基质类型的共计16个品类巴氏杀菌乳样品进行检测。所有受试样品均已预先完成金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、大肠菌群及菌落总数4项微生物指标的检测。

试验设计如下：首先，采用已知活性范围（450~550 mU/L）的ALP阳性标准品，对试剂盒进行功能验证，以确认其检测性能符合预期（即对

该阳性标准品的检测结果呈阳性）。在验证试剂盒有效性后，继而开展实际样品的检测分析。针对每个样品，均采用B厂家提供的试剂进行10次重复测定，记录检测结果并进行一致性分析。

2.2.2 整体检测结果

3家实验室共计完成15份样品的150次重复检测（实验室I、II、III各50次），所有检测结果均为阴性，重复性变异系数 $<1.000\ 0\%$ 。不同基质类型样品的检测结果呈现高度一致性，重复检测的变异系数 $<1.000\ 0\%$ ，表明数据围绕均值的波动幅度较小，稳定性良好。这证实了B厂家试剂在不同实验室环境下均能保持稳定的检测性能。

2.2.3 分实验室数据

实验室I：选取5份巴氏杀菌乳样品，每份样品进行10次重复检测，累计获得50个检测结果。所有结果均为阴性，且组内重复检测结果完全一致。5份样品10次重复检测的变异系数均 $<1.000\ 0\%$ ，表明数据围绕均值波动较小，稳定性较高（表6）。

实验室II：对5份巴氏杀菌乳样品进行检测，每份品重复测定10次，共计获得50个检测结果。所有检测结果均呈阴性，且组内重复检测结果呈现完全一致性。5份样品10次重复检测的变异系数均 $<1.000\ 0$ ，表明数据围绕均值波动较小，稳定性较高（表7）。

实验室III：对6份巴氏杀菌乳样品进行了检测，

表 6 实验室 I 检测数据
Table 6 Test Data of Laboratory I

产品类型（基质）	产品名称	样品数量（个）	检测数值（mU/L）	数据分析
全脂巴氏杀菌乳	产品 1	10	3、4、4、4、4、5、6、6、7、7	阴性、检测结果一致，平均值：5.0，标准偏差：1.490 7，变异系数：0.298 1
全脂巴氏杀菌乳	产品 2	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.000 0，变异系数：0.000 0
全脂巴氏杀菌乳	产品 3	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.000 0，变异系数：0.000 0
全脂巴氏杀菌乳	产品 4	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.000 0，变异系数：0.000 0
全脂巴氏杀菌乳	产品 5	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.000 0，变异系数：0.000 0

表 7 实验室 II 检测数据

Table 7 Test Data of Laboratory II

产品类型（基质）	产品名	样品数量（个）	检测数值（mU/L）	数据分析
全脂巴氏杀菌乳	产品 1	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.000 0，变异系数：0.000 0
全脂巴氏杀菌乳	产品 2	10	8、7、8、8、8、8、9、9、8、10	阴性、检测结果一致，平均值：8.3，标准偏差：0.900 0，变异系数：0.108 4
全脂巴氏杀菌乳	产品 3	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.000 0，变异系数：0.000 0
全脂巴氏杀菌乳	产品 4	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.000 0，变异系数：0.000 0
全脂巴氏杀菌乳	产品 5	10	1、7、1、1、1、1、8、6、6、1	阴性、检测结果一致，平均值：3.3，标准偏差：3.021 6，变异系数：0.915 6

每份样品设置10 次重复测定。共计60 个检测结果均呈阴性，且组内重复检测结果表现出完全一致性。6 份样品10 次重复检测的变异系数均<1.000 0，表明数据围绕均值波动幅度较小，具有较高的稳定性（表8）。

3 讨论

3.1 检测方法性能差异的核心原因剖析

在阴性质控样品的制备环节中，A 厂家试剂盒要求样品在（95±1）℃条件下加热1 min或在（63±1）℃条件下加热45 min。高温加热易诱导乳蛋白发生变性并形成沉淀，而长时间的低温加热则难以精确控制温度波动范围。此外，蛋白质沉淀可

能吸附部分试剂组分或干扰荧光检测信号，从而直接影响检测结果的稳定性。相比之下，B 厂家试剂盒采用沸腾水浴加热5 min的制备方案，该温度条件更易于精确控制。加热处理后，样品经冰水浴快速冷却，该步骤可有效抑制复活，同时显著减少蛋白质沉淀的生成，从而为后续检测分析提供了更为稳定的样品基质。此制备工艺的优化是确保其阴性质控样品符合率达到100%的关键性因素。

在阳性质控样品检测过程中，A 厂家试剂盒所配备的阳性质控样品溶解性较差，且未针对不同基质类型（如全脂、脱脂巴氏杀菌乳）进行检测参数的优化，导致检测数值呈现显著波动，反映出试剂配方与检测体系之间的适配性存在不足。相比之

表 8 实验室 III 检测数据

Table 8 Test Data of Laboratory III

产品类型（基质）	产品称	样品数量（个）	检测数值（mU/L）	数据分析
脱脂巴氏杀菌乳	产品 1	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.0，变异系数：0.000 0
全脂巴氏杀菌乳	产品 2	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.0，变异系数：0.000 0
全脂巴氏杀菌乳	产品 3	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.000 0，变异系数：0.000 0
全脂巴氏杀菌乳	产品 4	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.0，变异系数：0.000 0
全脂巴氏杀菌乳	产品 5	10	1、1、1、1、1、1、1、1、1、1	阴性、检测结果一致，平均值：1.0，标准偏差：0.0，变异系数：0.000 0
全脂巴氏杀菌乳	产品 6	10	8、7、8、8、8、8、9、9、8、10	阴性、检测结果一致，平均值：8.3，标准偏差：0.9，变异系数：0.1084

下，B厂家试剂盒在初始检测阶段，由于脱脂模块校准曲线的线性范围未能覆盖低脂样品（脂肪含量为1.4 g/100 mL），曾出现检测结果不合格的情况；然而，通过对仪器模块参数进行调整，该试剂盒成功实现了对复杂基质样品的精准检测，最终符合率提升至100%。这一结果表明，B厂家试剂盒的检测体系具有更强的灵活性与基质适配性，同时也说明检测方法必须与实际样品的基质特性实现深度匹配，方能确保检测结果的准确性^[12-13]。

3.2 研究局限性与未来改进方向

本研究虽经多实验室、多基质验证，证实了B厂家试剂盒的可靠性，但仍存在一定局限性。在样品基质覆盖范围方面，研究主要集中于全脂与脱脂两类常规巴氏杀菌乳，尚未涵盖添加糖、益生菌等特殊配方的巴氏杀菌乳产品。此类样品中的添加成分可能对荧光检测信号产生潜在干扰，因此需进一步验证该试剂盒对特殊配方产品的适用性。

在检测体系优化层面，B厂商试剂盒虽通过参数调整解决了低脂样本的检测难题，但优化过程主要依赖人工经验判断，缺乏标准化的参数调节流程。未来可引入机器学习算法，构建不同基质类型与检测参数之间的映射模型，实现检测参数的自动匹配与优化，从而进一步提升检测效率与准确性。此外，现有检测方法需依赖智能荧光检测仪等专业设备，其较高的购置成本不利于中小型乳品企业的普及应用。后续可着力开发便携式检测装置，简化操作流程、降低设备成本，以促进检测技术在行业内的广泛应用^[14-15]。

3.3 行业应用前景展望

随着消费者对巴氏杀菌乳营养价值与安全品质的认知深化，相关企业对高效、精准的质量控制技术的需求亦将持续增长。B厂家生产的检测试剂盒，凭借其优异的精密性、良好的稳定性及便捷的操作流程，可广泛应用于巴氏杀菌乳生产过程中的原料验收、工艺监控及成品检验等全环节，从而构建覆盖全链条的质量管控体系。此外，该检测方法亦可拓展应用于其他低温乳制品（如低温发酵乳、稀奶

油等）的质量控制环节，为低温乳制品行业提供统一且可靠的ALP检测标准^[16, 17]。同时，通过结合区块链技术，将检测数据实时上传至产品溯源平台，可实现产品质量信息的透明化，有效增强消费者对产品的信任度，并推动低温乳制品行业向高质量与规范化方向持续发展。

4 结论

本研究对A、B两厂家的ALP快速检测试剂盒在阴性质控样本与阳性质控的制备及检测性能方面进行了对比分析。在精密度方面，A厂家试剂盒的检测结果重复性较差，其阴性质控校准符合率为63%，阳性质控校准符合率为50%，此现象可能导致试验需进行重复检测，进而造成试剂耗材的浪费；相比之下，B厂商试剂盒的阴性质控校准符合率达100%，阳性质控样品经参数优化后，其校准符合率亦可达100%，显示出更优的精密性。

在稳定性方面，B厂家试剂盒在不同实验室环境及多种基质类型的样品检测中，均表现出结果的高度一致性与可重复性，其重复检测变异系数 <1 ，且未出现假阳性结果，表明该试剂具备良好的稳定性。相比之下，A厂家试剂盒的检测数值波动较为显著，稳定性相对不足。

在操作便捷性方面，A厂家试剂盒的阴性质控样品制备过程对温度与时间的控制要求较高，操作难度较大；其阳性质控样品溶解性欠佳，导致操作流程较为繁琐。相比之下，B厂家试剂盒的阴性质控样品制备仅需在沸水中加热5 min，温度与时间参数易于控制；其阳性质控样品呈冻干粉未形态，溶解性能良好，更符合实验室常规操作的实际需求。

综上所述，B厂家的ALP快速检测试剂盒在精密性、稳定性及操作便捷性方面均展现出显著优势。其检测时效性（全程耗时低于30 min）准确性均能满足现场快速筛查及实验室批量检测的应用要求。因此，该试剂盒可被视为巴氏杀菌乳中ALP快速检测的优选方案。

参考文献

[1] 中华人民共和国卫生部.GB 19645—2010 食品安全国家标准巴氏杀菌乳[S].

[2] US Food and Drug Administration. Grade A Pasteurized Milk Ordinance (PMO) [S].

[3] Clawin-Rdecker I, Block J D, Egger L, et al.The use of alkaline phosphatase and possible alternative testing to verify pasteurisation of raw milk, colostrum, dairy and colostrum-based products[J].EFSA Journal. European Food Safety Authority, 2021, 19 (4) : e06576.

[4] ISO and IDF 2013.ISO 11816—1: 2013 Milk and milk products—Determination of alkaline phosphatase activity—Part 1: Fluorometric method for milk and milk-based drinks[S].

[5] 申军士,王加启,卜登攀,等.乳中碱性磷酸酶活性测定方法研究进展[J].中国乳品工业, 2009, 37 (6) : 31-34.

[6] 赵丹,马道,李娜,等.碱性磷酸酶活性荧光检测方法研究进展[J].分析化学, 2023, 49 (11) : 1804-1815.

[7] 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.

[8] 贾宝珠,何镇熹,黄心洳,等.基于碳点内滤效应快速检测鲜牛奶中碱性磷酸酶活性的荧光分析方法的构建[J].食品工业科技, 2023, 44 (17) : 334-341.

[9] 姚文馨,李晨曦.碱性磷酸酶小分子荧光探针研究进展[J].广东化工, 2025, 52 (3) : 79-81.

[10] 韩立强,惠永华,朱河水,等.荧光法快速检测乳品中碱性磷酸酶含量[J].湖北农业科学, 2008, 47 (4) : 471-472.

[11] ISO and IDF 2023.ISO/TS 4985: 2023 Milk and milk products—Determination of alkaline phosphatase activity—Fluorimetric microplate method[S].

[12] Licitra G, Marino V M, Mangione G, et al.Effect of cooking temperature on alkaline phosphatase in the production of raw-milk Pecorino cheese[J].Journal of Dairy Science, 2023, 106 (11) : 7515-7529.

[13] Meena K R, Jadhav V J, Badgujar P C.Development of a HPLC fluorescence method for determining efficacy of milk pasteurization[J].Food Analytical Methods, 2021, 14 (7) : 1412-1421.

[14] Rocco R M.Fluorometric Determination of alkaline phosphatase in fluid dairy products: collaborative study[J].Journal-Association of Official Analytical Chemists, 1990, 73 (6) : 842-849.

[15] 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.

[16] Malissiova E, Fotiadou S, Tzereme A, et al.Alkaline phosphatase in non-cow milk and dairy products: A review of current evidence and future trends[J].Ruminants, 2022, 2 (4) : 436-447.

[17] Payne C, Wilbey R A.Alkaline phosphatase activity in pasteurised milk: a quantitative comparison of Fluorophos and colourimetric procedures[J].International Journal of Dairy Technology, 2009, 62 (3) : 308-314.