基于实践与科学分析的优质乳时效性与品质关联探究

吴炜俊，陈绮萍，张金玉，李梦成，孙克龙，张婉莹，林思怡，吴泽鹏*

广州风行乳业股份有限公司，广东广州 510610

摘　要：随着经济发展与公众健康意识提升，消费者对优质乳的品质和新鲜度要求日益提高。时效性是衡量优质乳从原奶到消费终端所需时间跨度的关键指标，其长短直接关系到产品品质、市场表现及乳品企业竞争力。本文结合乳品企业实践与科学分析，剖析其时效品质关联机制，揭示微生物增殖与乳品成分变化规律，并探讨基于动力学模型的乳品品质预测方法。同时，对行业未来在极限时效、智能溯源、精准预测及可持续发展等方向的研究与实践进行了展望。本研究旨在为乳品行业的品质升级、供应链优化及消费者教育提供坚实的理论依据与实践参考。

关键词：优质乳；时效性；品质预测；动力学模型；乳品企业实践

文章编号：1671–4393（2025）11–0103–10　　DOI:10.12377/1671–4393.25.11.12

0 引言

随着我国居民生活品质提高与健康观念强化，消费者对乳制品的需求已从“数量达标”转为“品质提升”，优质乳市场正快速扩容。中国奶业协会《中国奶业质量报告（2025）》显示，国内奶业产业综合素质持续增强：全国存栏百头以上规模养殖比例升至78%，同比提高2 个百分点；奶牛平均单产达9.9 吨，较2023年提升0.5 吨；规模以上乳制品加工企业主营业务收入达5 104.8 亿元，同比增长9.6%[1]。2016年，国家奶业科技创新联盟启动“优质乳工程”，目标是为消费者提供营养鲜活、低碳绿色且健康安全的优质乳制品。其中，营养鲜活的核

作者简介：吴炜俊（1995–），男，广东江门人，硕士，助理工程师，研究方向为食品加工与安全；
陈绮萍（1992–），女，广东广州人，本科，助理工程师，研究方向为食品质量安全；
张金玉（1980–），男，黑龙江安达人，大专，研究方向为乳品质量管控；
李梦成（1993–），男，湖北松滋人，本科，研究方向为食品质量安全；
孙克龙（1983–），男，黑龙江肇东人，本科，研究方向为食品质量安全
张婉莹（1992–），女，广东云浮人，本科，研究方向为食品质量安全；
林思怡（1994–），女，广东肇庆人，本科，研究方向为食品质量安全。
*通信作者：吴泽鹏（1991–），男，广东揭阳人，本科，助理工程师，研究方向为食品质量安全。

中国乳业线上阅读

心在于营养活性物质的保存率与时效把控。当前，乳品行业的竞争已由传统的价格、营养、口感3 个维度，进一步延伸至时效性这一第4个维度。

优质乳已成为全球乳制品行业发展核心方向和消费升级的重要趋势。然而，优质的定义并非固定不变的单一概念：它不仅与奶源的内在特质相关——如蛋白质、脂肪含量等，更属于动态的过程性概念，这与供应链全环节的时效性管理紧密相连。时效性不仅指时间长短，更是涵盖时间、温度、环境调控等多因素的综合指标；自牛乳挤出开始，其品质就对最终产品的质量产生着不可逆的影响[2]。从生乳的快速降温、冷链运输的时间限制，到加工环节的效率把控，再到货架期的全流程时间范围，每个环节的时效管理都是决定乳品是否优质的关键，其本质是时间维度对乳品质的动态作用。因此，作为影响优质乳品质的关键要素，时效性正逐渐成为学术界与产业界共同关注的焦点。

从科学角度分析，生牛乳作为一种优质乳原料，属于复杂的胶体分散系统，富含蛋白质、脂肪、乳糖、维生素等多种营养成分，同时也为微生物的生长繁殖提供了理想环境。牛乳中的微生物随贮藏时间延长会持续繁殖，同时脂肪发生氧化，蛋白质出现变性现象，上述变化会共同导致牛乳风味劣变、营养价值下降和安全性降低。从产业实践角度分析，乳品企业需在时效性和成本控制之间寻求平衡——缩短生产运输时间周期需投入更高的冷链物流成本，而延长周期则可能面临产品品质劣化的风险。因此，系统研究优质乳时效性与品质的关联机制，对完善乳品货架期理论、指导乳品企业优化供应链管理有重要价值。

1 优质乳品质劣变的科学机制与动力学

优质乳品质并非静态概念，而是随时间动态改变的，产业实践的核心目标是确保终端产品的品质稳定。其劣变过程主要由微生物、蛋白质、脂肪和维生素等组分的变化引发，与时效性产生了深刻的科学关联，这些变化均遵循特定的化学和生物学动力学规律。

1.1 微生物增殖动力学：低温环境下的潜在风险因素

微生物管控是乳品安全的核心保障。生牛乳中天然含有的或挤奶时带入的微生物，其繁殖速度与时间、温度呈指数关联。巴氏杀菌乳采用较温和的热处理工艺（如72~85 ℃，15 s），从而成为实现优质乳理念的理想载体。这种杀菌方式旨在消除牛乳中的致病菌和绝大多数腐败菌，但无法达到商业无菌状态。残留的耐热细菌以及可能在后续环节中引发的二次污染菌（尤其是嗜冷菌），构成制约巴氏杀菌乳货架期的首要因素[3]。

依据微生物生长的动力学模型，嗜冷菌在4 ℃仍可缓慢繁殖，并分泌耐热蛋白酶与脂肪酶[4]，这类酶在超高温瞬时灭菌（UHT）后仍能保留部分活性，于产品货架期内持续分解牛乳中的蛋白质和脂肪，从而引发苦味、絮凝、脂肪上浮等问题。嗜冷菌在巴氏杀菌乳中的活性更强。微生物增殖常用经典生长曲线（如Gompertz模型、Logistic模型）描述，其生长速度与温度、时间密切相关[5]。研究显示，在不同冷藏温度下，巴氏杀菌乳中菌落总数随时间呈指数增长，尤其在6 ℃以上环境中增速更显著[6]。因此，挤奶至加工环节耗时越长，即便全程处于冷链环境，微生物及其代谢产物的累积风险也会上升。基于此，头部乳品企业不惜成本将生乳运输时长严控在24 h内，其科学依据在于赶在微生物进入对数增长期前完成加工处理，从源头保障产品的安全与稳定。本质上，严格控制“温度×时间”的累积效应是抑制微生物增殖、延长产品货架期的关键措施。

1.2 关键营养成分的降解动力学

1.2.1 蛋白质变性：活性营养成分的潜在损耗机制

优质乳的核心价值在于其富含的天然活性蛋白，如β-乳球蛋白（β-LG）和α-乳白蛋白（α-LA），此类蛋白质在维持其特定三维空间结

中国乳业杂志社版权

构时方可具有生物活性。然而，在加工过程中的热处理环节或长期储存条件下，均会诱导蛋白质发生变性，具体表现为空间结构首先发生解折叠，继而出现聚集的变化[7]。

蛋白质热变性过程符合化学反应动力学规律，其反应速率系数（k）与温度的关联，通常可用阿伦尼乌斯方程描述[2]。这表明即使在冷藏环境中，蛋白质变性反应虽极为缓慢，却在持续发生。近年来，多项研究聚焦乳清蛋白变性动力学模型的构建：如有研究通过差示扫描量热法（DSC）分析不同条件下的乳清蛋白变性，推导出相关数学模型[8]；另有研究深入探究牛乳中β-LG和α-LA的热诱导不可逆变性规律，发现其反应速率系数随温度升高而增大[9]；近期还有研究开始关注加工奶酪等特定食品基质中乳清蛋白的变性动力学[10]。上述研究结果表明，蛋白质变性过程可预测、可量化。缩短从加工至消费的每个环节时间，本质上是与蛋白质变性过程竞争，旨在最大程度保留其原生结构与生物活性。

1.2.2 脂肪氧化：风味劣变的主要诱因

乳脂肪中含有不饱和脂肪酸，在氧气、光照、热量及金属离子的作用下易发生氧化，生成氢过氧化物，进而分解成醛、酮等小分子物质[11]。这类物质不仅会使牛乳产生不良的哈败味，还可能降低产品的营养价值。

衡量脂肪氧化程度的常用指标包括过氧化值、硫代巴比妥酸反应物值等，其中时间是关键影响因素。一项关于巴氏杀菌乳脂质变化的研究表明，即使在冷藏条件下，随储存时间延长，其过氧化值也会显著上升：经延迟冷却处理的原料乳制成的巴氏杀菌乳，在储存3~6 d期间，过氧化值从0.88 MeqO_2/kg升至1.56 MeqO_2/kg，而不当的预处理会进一步加剧这一进程[12]。尽管巴氏杀菌乳在零售期间的过氧化值变化尚缺乏充分的实验数据支持，但该变化趋势已获得学术界的广泛认同。由此可见，缩短产品货架期和销售周期是有效避免消费者感知氧化风味的关键措施。

1.2.3 维生素降解：光解与时效的双重影响机制

牛乳是B族维生素的优质来源，特别是维生素B_2（核黄素）。这类维生素具有对光和热敏感的固有特性，理论上易在加工、储存过程中降解，但实际损失程度与环境条件密切相关。巴氏杀菌过程本身温度温和，对B族维生素的破坏相对有限；而后续储存中，若包装避光性不佳，光照会进一步促进B族维生素降解，若能保证避光、冷藏条件，其降解则会显著放缓。研究发现，巴氏杀菌乳在规范冷藏（避光、2~6 ℃）过程中，维生素B_1、B_2、B_{12}及叶酸的损失程度较少[13]，表明在适宜条件下这些成分相对稳定。但值得注意的是，这种“相对稳定”并非绝对不损失，微小损失仍会随储存时间缓慢累积。因此，缩短流通周期并采用避光包装是保留产品中维生素的关键措施。

2 时效性与核心品质指标的定量关联

基于上述理论基础，可将“时效性”这一宏观概念，拆解至供应链各环节，并分析其对具体品质指标的量化影响。

2.1 供应链全链条的时效关键控制点

优质乳的品质由全链条中最薄弱的环节决定，整个链条可划分为4 个关键时效阶段：

（1）生乳黄金2 h/36 h时效窗口（第一公里）：刚挤出的生乳温度约37 ℃，是微生物理想的繁殖环境，必须在极短时间内（如2 h内）通过板式换热等方式快速降温至4 ℃以下；之后需在严格冷链环境（如0~6 ℃）中于规定时限内（如36 h内甚至更短）运输至加工厂[14]。这一阶段的时效控制，直接影响原奶的初始微生物数量和品质基础。

（2）加工生产的“即时响应”：生乳到达加工厂后，从卸奶、预处理、巴氏杀菌至无菌灌装的全流程时间需严格把控。储奶罐在长时间储存过程中可能为嗜冷菌提供适宜的繁殖空间[15]，而高效连续的生产线是实现“即时加工”的核心保障。

（3）成品出厂后的“冷链竞速”：该环节为时

中国乳业线上阅读

效性挑战最大的环节。产品从工厂仓库经干线运输、城市分拨中心到零售终端，每一步都需无缝衔接的冷链支持和高效的物流运作，运输半径、配送频率、订单处理速度共同决定了这一阶段的时效水平。

（4）零售终端的“保鲜竞争”：产品上架后的周转效率至关重要。长时间滞留在货架上，即便仍在保质期内，风味和营养也已开始衰减[16]。消费者的家庭冰箱成了“最后一公里”的延伸。

2.2 时效性对关键品质指标的影响机制

时效性对乳品品质的影响最终会体现为一系列可检测和量化的指标变化。

2.2.1 酸度与pH值

酸度是评估牛乳新鲜度的传统指标。在储存过程中，微生物分解乳糖生成乳酸，使产品酸度升高、pH值降低。已有部分研究将酸度作为构建鲜牛乳货架期预测模型的关键参数之一[2]。付小军等[17]发现，在6 ℃环境中，巴氏杀菌乳储存7 d，酸度会缓慢上升1.0~1.5 °T；在10 ℃条件下，上升趋势更加明显；若置于15 ℃储存，酸度则可能在3~4 d后急剧攀升。

2.2.2 菌落总数

菌落总数是最直观体现时效与冷链控制效果的指标。研究表明，即使在2 ℃的理想冷藏环境中，菌落总数在24 h后也会开始增长；而在8 ℃或10 ℃条件下，增长更为显著[18]。因此，菌落总数的动态变化，是预测产品剩余货架期的重要依据。

2.2.3 糠氨酸与乳铁蛋白活性

糠氨酸作为美拉德反应的早期产物，其含量高低能体现牛乳加工与储存过程中的受热情况。较短的加工时长和较低强度的热处理，可有效减少糠氨酸的生成。而乳铁蛋白等活性成分的保留率与热处理总时长及储存时间呈反比[19]。这两类物质正是“优质乳工程”的核心评价指标，代表着对“原生营养”的终极追求。

2.2.4 感官品质

随着储存时间的延长，脂肪氧化产生的哈败味、蛋白质水解产生的苦味会逐渐显现。尽管感官评价属于主观评价指标，其仍是消费者对产品品质最直接的感知提现。吴达雄等[20]研究显示，在理想冷藏条件下，巴氏杀菌乳可在5 d内维持可接受的感官品质，超过该时限后，其风味劣变风险将显著增高。

2.3 品质预测模型的构建与前沿探索

为更精准量化时效性与品质的关联，学术界与工业界正积极探索品质预测模型的构建。

2.3.1 基于动力学方程的模型

如前所述，阿伦尼乌斯方程可描述温度对品质变化速率的影响，因此可在此基础上构建货架期预测模型[2]。通过测定关键品质指标（如酸度或微生物数量）在不同恒温条件下的变化速率，计算反应活化能，可预测产品在任意变温储存条件下的品质变化及剩余货架期。殷献华等[2]研究即为典型案例，该研究系统分析了鲜牛乳中蛋白质、脂肪、酸度及pH值的动力学特征，成功构建了基于酸度的货架期模型。

2.3.2 基于人工智能的模型

随着大数据技术发展，更复杂的预测模型得以实现。习鸿杰等[21]借助BP神经网络，输入初始蛋白/脂肪含量、环境温度及贮藏天数等变量，可预测UHT乳的褐变指数和蛋白水解度，进而推断其货架期。这类模型可处理更复杂的非线性关系，预测精度更高。

2.3.3 研究的空白与挑战

尽管品质预测模型研究已取得一定进展，当前仍面临诸多挑战。现有模型多依赖总蛋白、酸度等宏观指标，而将乳清蛋白变性速率常数、反应级数等微观分子动力学参数作为独立变量，整合至牛乳冷链储运品质预测模型中的实证研究仍较为有限。因此，从分子动力学层面精准预测活性营养物质在实际储运中的变化，是未来研究亟需突破的关键方向。

中国乳业线上阅读

3 优质乳时效性管理的挑战

时效性管理既是连接生产与消费的关键纽带，也是兑现优质承诺的核心环节。然而，从成本控制、物流执行到市场认知，整个流程仍存在诸多复杂制约与待解难题。

3.1 成本与品质的平衡：难以两全的商业抉择

在乳品行业，尤其是保质期极短的优质乳领域，时效性与产品品质几乎等价。但追求极致时效性必然伴随高昂成本，这与当下企业普遍面临的降本增效压力形成尖锐冲突。

维持高品质时效性管理的投入规模很大。企业不仅需要引进先进的自动化生产线和超瞬时杀菌技术以保障出品质量[22]，更需要在全供应链中搭建并维护无缝精准的冷链系统。该系统需实时温湿度监控、智能传感器、物联网技术等高科技支撑，确保原奶从牧场到加工厂、产品从仓库到消费者手中始终处于最佳温控状态。蒙牛等头部乳品企业通过建立完整的冷链物流管理体系并优化供应链模式，在保障优质乳品质和减少损耗上发挥关键作用[23]，但这类投资对利润本就承压的中小企业来说，构成了沉重财务负担。

市场环境压力进一步加剧了成本控制与品质保障之间的矛盾。近年来，中国乳业进入理性消费阶段，原奶阶段性过剩与终端价格战同时出现[24]。部分进口品牌甚至通过降价争夺市场份额，主打质价比理念，致使全行业面临成本控制压力[25]。乳品企业的销售及管理费用率是衡量运营效率的关键指标，在此背景下，任何额外成本投入均需经过严格的投资回报评估。因此，企业管理者必须在保证品质与控制成本之间寻求平衡：一方面，品质是品牌的核心竞争力，一旦管理疏漏可能引发安全问题和声誉危机；另一方面，过高的运营成本会削弱产品竞争力，甚至造成亏损。这种两难局面迫使部分企业采取成本领先战略[26]，倾向于在非核心环节（如物流外包、仓储管理）压缩成本，但这些环节恰为时效性管理中最易出现漏洞的关键环节。例如，为节省成本采用普通常温货车替代专业冷藏车的做法，在类业内较为常见，其隐患直接威胁产品品质。在激烈的市场竞争与成本压力下，如何在保障产品品质和时效性方面维持高标准的资源投入，是所有乳品企业，尤其是定位于高端市场的优质乳品牌必须面对的首要核心挑战。

3.2 中小乳品企业的冷链短板：力不从心的现实困境

若头部乳品企业尚可在成本控制与品质保障之间权衡，那么数量众多的中小型乳品企业所面临的冷链环节薄弱问题，构成更为严峻甚至关乎企业生存的结构性挑战。优质乳的时效性高度依赖完善的冷链物流体系，而该环节恰好是中小乳品企业供应链中的关键短板。

冷链基建投资门槛高，中小乳品企业资金实力有限。完整的冷链物流体系属于重资产投入，包含预冷设备、冷藏仓库、专业冷藏运输车辆、末端配送保温工具等。目前国内冷链基础设施整体仍较薄弱，人均冷库容量和冷藏车保有量与发达国家差距明显[27]。对资金有限的中小乳品企业而言，自建覆盖全流程的完善冷链体系几乎难以实现[28]。这导致该类企业的冷链设施普遍存在陈旧老化、技术落后、分布不均等问题，难以满足优质乳严苛的温控要求[29]。

冷链物流环节存在显著的“断链”风险，质量控制面临严峻挑战。受限于资源约束，中小乳品企业大多选择将物流业务外包给第三方服务商。然而，第三方冷链市场存在诸多不规范现象，服务水准参差不齐，实际操作中“断链”现象频发——例如，运输途中温控不精准，或装卸货、末端配送等环节出现长时间脱冷状态[30]。尤其在“最后一公里”配送阶段，往往处于监管盲区，这对以天计算保质期的优质乳来说具有致命性影响。任何环节的疏忽都会导致产品微生物超标、感官品质下降，甚

中国乳业在线阅读

至引发食品安全问题[31]。

3.3 跨区域物流的时效性与空间冲突问题

对布局全国市场的乳品企业来说，如何将时效性有严苛要求的优质乳安全准时送达更广泛区域，是一大挑战。跨区域物流的复杂性与不确定性，使时效性管理的难点被进一步放大。

物理距离是天然障碍。优质乳保质期短，对运输时长要求严苛。长距离运输不仅显著延长在途时间，还大幅增加途中的意外风险，如交通堵塞、车辆故障、极端天气等。运输时长每增加一天，产品货架期就相应减少一天，这对拉动销售和损耗控制提出了更高要求[32]。部分拥有优质奶源但地处偏远地区的乳品企业，其地理位置本身形成了市场扩张的制约因素，即便仓储网络布局科学，仍难以完全抵消长距离运输对产品新鲜度的损耗。

全程温控的维持难度呈指数级增加。跨区域物流涵盖干线运输、区域分拨、城市配送等多个环节，链条越长，需协调的节点和合作方就越多[33]。确保不同承运商、仓库交接时冷链接力无缝衔接、温控标准一致，是极为复杂的管理工作；而物流信息系统不完善，使企业难以及时透明监控运输全程，一旦温度异常往往无法及时干预，导致整批产品损失[34]。这种全链路数字化监控的缺失，是行业核心痛点之一。

成本与效率的双重压力同样突出。跨区域物流成本远高于区域内配送，涵盖更高的燃油费、路桥费、司机薪资及复杂的仓储网络维护费用。为控制运营成本，企业可能采用“统仓共配”等模式提高车辆装载率[35]，然而该策略可能因需协调多品牌货物的集货与分发流程而牺牲部分时效性。此外，复杂的路线规划、车辆调度和库存管理，对企业信息化与智能化水平要求极高[36]，传统人工调度模式已难以适应当前需求，常导致效率低下与成本攀升。

3.4 消费者认知局限：价值传递的终端瓶颈

企业在时效性管理上的大量投入，需最终被消费者理解、认可才能转化为市场价值。然而，当前普遍存在的消费者认知教育不足问题，使时效性管理的价值传递在“最后一公里”遇阻。

消费者对保质期与日期标签的认知普遍存在偏差。部分消费者对食品标签上“保质期”的含义理解模糊[37]，常将其等同于“最后食用期限”，对临期产品抱有强烈排斥态度，即使这些产品在品质和安全上并无问题。该认知偏差不仅导致严重的食品浪费，亦使企业为延长产品货架期所投入的保鲜技术和冷链管理成本难以获得相应的回报。更突出的是，不同品牌优质乳保质期差异极大，短则数日，长则20 余天[38]，该差异易使消费者在选购过程中易产生困惑，甚至需计算日期，从而削弱其对产品内在价值的关注。

消费者对时效性管理的深层价值认知存在显著不足。普通消费者通常仅关注产品的生产日期，难以感知从牧场到餐桌的全程冷链控制、物流优化、库存管理等复杂后台操作。他们未能充分意识到，产品呈现的新鲜状态背后是企业大量的技术与管理投入。因此，面对同样标注新鲜的牛乳，消费者往往无法辨识卓越时效性管理带来的更高品质保障，进而缺乏为此支付品牌溢价的意愿。研究表明，信息干预虽能提升消费者对临期产品的接受度[37]，但要系统性提升其对整个时效性管理价值链的认知，仍需依靠长期持续的教育与沟通[39]。

消费者认知的欠缺，形成了市场需求的盲区。企业在时效性管理上的成本投入难以通过产品价格有效传导，市场竞争焦点被迫集中在简单的日期比拼上，而非全方位的品质与安全保障。这既挫伤了企业长期投入的积极性，也阻碍了优质乳产业向更高质量、更高透明度方向健康发展。

4 标杆乳品企业实践案例

理论的意义在于指导实践，国内外领先乳品企业已将对时效性的极致追求内化为企业核心竞争力与品牌承诺的重要组成部分。

中国乳业线上阅读

4.1 恒天然集团：全球化运营下的严苛冷链标准

作为全球乳业巨头，恒天然集团的成功很大程度上依托于对供应链，尤其是冷链时效的精细化管控。

4.1.1 时效控制标准

恒天然集团制定了全球统一的严格规范标准，如运用先进快速冷却技术，可在数秒内将刚挤出的生乳降温至4 ℃，从源头遏制微生物繁殖；在运输环节中，生乳须在36 h内送达加工厂[14]，且全程需将温度严格控制在0~4 ℃或2~6 ℃的限定区间内。

4.1.2 品质验证机制

恒天然集团实施全流程质量监控体系。在新西兰，所有牧场均需接受定期独立检测；收奶车驾驶员需对每批牛乳做初步查验，并将样品送至第三方实验室进行全面分析。生乳运抵加工厂后，需经过严格的入厂检验，不合格产品将予以退回。

4.1.3 技术赋能

恒天然集团加大了数字化技术领域的投入，通过部署电子追踪系统实现从牧场到消费者的全链条可追溯性；同时应用SAP等企业资源规划系统整合供应链数据，提升了决策效率与食品追踪精度。这种“技术+标准”的双重驱动，构成了该集团全球产品品质稳定的核心基础。

4.2 伊利集团：“三条线”质量管控下的时效革新

作为中国龙头乳品企业，伊利集团凭借著名的“三条线”质量管控体系，将时效管理提升至战略层面。

4.2.1 时效控制标准

伊利集团持续突破物流时效边界，通过与京东物流等伙伴深度协作，其物流配送标准从早年的全国12 d逐步压缩至7 d，这背后是企业对仓储布局、运输网络和订单处理流程的不断优化。

4.2.2 品质验证体系

伊利集团的“三条线”——国标线、企标线、内控线层层升级，构筑起坚实的质量屏障。据其2023年发布的《2022年可持续发展报告》显示，企业在产品质量把控上，将内部标准线大幅提升至国家标准之上，对影响乳品品质的核心指标设定了更严格的要求，通过全生产流程强化标准管理，为消费者提供更优质的乳制品。以生鲜乳为例，伊利在国标外新增5 项卫生指标，其生乳的蛋白质、脂肪含量标准显著高于欧盟标准，菌落总数和体细胞数限量显著低于欧盟标准，这些都是严格时效管理与源头控制的直接体现。

4.2.3 技术赋能

伊利集团构建了覆盖全流程的监控与追溯体系。在冷链运输环节，使用温度监控仪，每15~20 min自动记录温度变化曲线，确保产品全程处于设定温度区间[40]。同时，企业对承运商实行严格的考核与淘汰机制，以保障标准落地执行。

4.3 蒙牛集团：“原生锁鲜”的时效极限突破

蒙牛集团在高端优质乳领域积极布局，其“每日鲜语”等产品线，致力于构建以极致时效为核心的价值标杆。

4.3.1 时效控制标准

蒙牛集团为不同产品线制定了差异化且同等严苛的时效标准。对于高端优质乳，实施挤奶至罐装全程不超过2 h的“原生锁鲜”要求[41]；对于普通巴氏杀菌乳，规定原奶需在6 h内送达生产车间。同时，强调自奶源、奶站、运输至销售终端实施全程2~6 ℃的低温闭环管控。

4.3.2 微生物控制与时效的关联验证

蒙牛集团将微生物控制水平作为评估时效管理效果的核心指标，借助全程冷链管控与数字化布局实现了全产业链的智慧管理[23, 42]。通过缩短原奶周转时间、提升环节转换效率，其原奶菌落总数显著低于国家标准限值，该结果充分表明严格的时效与温度协同控制（时温整合）是有效控制微生物数量的根本保障。

中国乳业线上阅读

4.3.3 系统化源头管理

蒙牛集团推行牧场标准化建设，对供应商采取严格的准入与评估机制，从供应链源头强化品质控制[43]。该前馈控制策略显著降低了后续环节的质量风险，为全流程时效管理筑牢了基础。

5 总结与展望

本文通过梳理科学原理并分析标杆企业实践案例，深入阐明了优质乳品质与时效性的紧密关联。时效性是优质乳的核心保障，时间作为影响微生物繁殖、蛋白质变性、脂肪氧化及维生素分解的关键因素，缩短供应链各环节耗时是保留牛乳原生营养与天然风味的核心途径；品质劣变呈现可量化、可预测的特点，依托微生物与化学反应动力学构建的数学模型，为货架期预测和动态质量管理提供了科学工具；而先进冷链技术（如快速预冷、全程温控）与精细化管理体系（如严格标准、全程追溯、高效物流）的结合，正是将时效理念转化为品质保障的核心支撑。

展望未来，围绕时效性的竞争与创新将持续引领优质乳市场发展。一是极限时效的追求将推动本地化生产模式回归，“24 h鲜奶”“当日奶”等概念的普及会促使乳品企业优化供应链布局，通过建设城市型牧场与缩短加工厂之间的物理距离，挑战时效极限；二是智能透明的溯源体系将成为行业常态，物联网传感器、区块链及大数据技术的深度应用使消费者可通过二维码获取从挤奶到上架的完整“时效履历”，实现消费透明度升级；三是精准动态的品质预测加速突破，多维度动力学参数整合的统一模型将实现对产品品质与剩余货架期的动态评估，为动态定价和智能补货奠定基础；四是可持续时效管理成为新课题，通过路径优化、绿色制冷技术及循环包装等方式平衡时效保障与低碳减排，将成为行业发展的重要方向。

综上，对时效性的科学探索与产业实践，不仅是提升牛乳品质的技术问课题，更是推动整个乳品行业向更健康、更透明、更可持续方向发展的核心议题。这场与时间的赛跑，将持续定义未来优质乳的价值新高度。

参考文献

[1] 孟刚.《中国奶业质量报告（2025）》发布[N].中国消费者报，2025-07-25（004）.

[2] 殷献华，殷诚，钱静，等.鲜牛奶品质参数的动力学特性研究及货架期预测[J].包装工程，2024，45（3）：55-61.

[3] 高岩，卞永霞，庄姣，等.冷藏过程中原料乳脂质代谢变化的靶向脂质组学分析[J].农业工程学报，2023，39（24）：306-315.

[4] Wei Q，Wang X，Sun D，et al. Rapid detection and control of psychrotrophic microorganisms in cold storage foods：A review[J]. Trends in Food Science & Technology，2019（86）：453-464.

[5] Giannuzzi L，Pinotti A，Zaritzky N. Mathematical modelling of microbial growth in packaged refrigerated beef stored at different temperatures[J]. International Journal of Food Microbiology，1998，39（1）：101-110.

[6] Ziyaina M，Govindan B N，Rasco B，et al. Monitoring shelf life of pasteurized whole milk under refrigerated storage conditions：Predictive models for quality loss[J]. Journal of Food Science，2018，83（2）：409-418.

[7] 刘晶，韩清波.乳清蛋白的特性及应用[J].食品科学，2007，28（7）：535-537.

[8] Atuonwu J C，Ray J，Stapley A G F.A kinetic model for whey protein denaturation at different moisture contents and temperatures[J]. International Dairy Journal，2017（75）：41-50.

[9] Halabi A，Deglaire A，Hamon P，et al. Kinetics of heat-induced denaturation of proteins in model infant milk formulas as a function of whey protein composition[J]. Food Chemistry，2020（302）：125296.

[10] Lee S K，Klostermeyer H，Anema S G. The denaturation of whey proteins in a processed cheese environment[J]. International Dairy Journal，2024（153）：105897.

[11] Waraho T，Mcclements D J，Decker E A. Mechanisms of lipid oxidation in food dispersions[J]. Trends in Food Science & Technology，2011，22（1）：3-13.

[12] Ajmal M，Nadeem M，Imran M，et al. Impact of immediate and delayed chilling of raw milk on chemical changes in lipid fraction of pasteurized milk[J]. Lipids in health and disease，2018，17（1）：190.

[13] Ceribeli C，Otte J，Walkling-Ribeiro M，et al. Impact of non-thermal pasteurization technologies on vitamin B12 content in

中国乳业线上阅读

milk[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies，2023（84）：103303.
[14] 天津市奶业科技创新协会. T/TDSTIA 013—2019 生乳中菌落总数控制技术规范[S].
[15] O'Connell A，Ruegg P L，Jordan K，et al. The effect of storage temperature and duration on the microbial quality of bulk tank milk[J]. Journal of Dairy Science，2016，99（5）：3367–3374.
[16] Allen J C，Joseph G. Subject：Flavour problems in stored milk and cream: Chemical causes of flavour deterioration in pasteurized milk[J]. International Journal of Dairy Technology，2010，36（1）：21–26.
[17] 付小军，许应萍，吴开富，等.贮藏温度及时间对巴氏杀菌乳保质期的影响研究[J].中国乳业，2022（12）：82–94.
[18] 邹毅峰，林朝朋，傅伟.巴氏杀菌乳冷藏配送期间的温度及品质变化[J].食品工业科技，2009（2）：97–98，101.
[19] Czank C，Prime D K，Hartmann B，et al. Retention of the immunological proteins of pasteurized human milk in relation to pasteurizer design and practice[J]. Pediatric research，2009，66（4）：374–379.
[20] 吴达雄，李冬梅，李颂群,等.巴氏杀菌乳门店冰箱冷藏贮存售卖期间的温度及品质变化[J].现代食品科技，2017，33（12）：99–103.
[21] 习鸿杰，宋利君，邓玉明,等.基于BP神经网络的UHT纯牛奶包装货架期预测[J].食品工业科技，2024，45（4）：205–210.
[22] 郁李.君乐宝“保鲜技”搅局？[J].农经，2019（12）：30–33.
[23] 孙亚宁.生鲜冷链物流发展现状与问题——以蒙牛企业冷链运输体系为视角[J].产业创新研究，2022（8）：10–12.
[24] 孟刚.《中国奶业质量报告（2025）》发布[N].中国消费者报，2025–07–25（004）.
[25] 王海琳.进口牛奶低价涌入 消费者需理性选购[J].消费指南，2016（11）：28–29.
[26] Paul G K，Stephen M M，Elishiba M M .Nexus between cost leadership strategy and performance：fact or fallacy in milk processing firms in Kenya[J].International Business Research，2020，13（10）：1–1.
[27] 谢晶，邱伟强.我国食品冷藏链的现状及展望[J].中国食品学报，2013，13（3）：1–7.
[28] 蒲静.我国乳制品冷链物流研究[J].长三角，2010，4（4）：54–55.
[29] 李姝蓉，刘佳佳.我国冷链物流行业设备更新面临的挑战及对策建议[J].中国经贸导刊，2025（13）：78–80.
[30] 曹淑雯，廖吉林.基于FAHP模型的乳制品冷链物流服务质量评价研究[J].中国林业经济，2021（4）：25–28，43.
[31] 刘元庆.基于生态系统理论的乳制品供应链脆弱性评价研究[D].淄博：山东理工大学，2023.
[32] 丁丽鑫.乳制品冷链物流配送问题研究[J].中国储运，2024（9）：133.
[33] 徐爽，韩拓，杨颖,等.传统巴氏乳业发展O2O电商模式研究——以徐州“LJ乳业”为例[J].科技经济市场，2015（4）：27–29.
[34] 王新华，段小红.低温发酵乳冷链物流存在问题及对策展望——以MN公司为例[J].物流科技，2024，47（2）：146–149.
[35] 李嘉林.统仓共配模式,横向供应链互补与流通企业效率提升研究[J].商业经济研究，2024（11）：172–175.
[36] 李曼，马铭阳.鼓励乳品企业创新，做好数字化转型[J].科技创新与品牌，2021（3）：47.
[37] Cheng S，Shi X，Ren Y，et al.Improving the public's willingness to purchase near–expired food to reduce food waste：The case of milk products in China[J].Agricultural Economics（Zemědělská Ekonomika），2025，71（2）：86–98.
[38] 邵蓝洁.凶狠的鲜奶战[J].财经天下，2020（18）：62–65.
[39] Paterson M，Clark S .Use of auctions to assess consumer value for fresh and end–of–code milk – ScienceDirect[J].Journal of Dairy Science，2020，103（5）：4138–4150.
[40] 刘俊华，石永波.内蒙古乳制品冷链物流发展策略研究[J].中国乳品工业，2015，43（8）：36–39.
[41] 李宁，冯策.2020年中国乳业发展新趋势新低温+大数据时代[J].乳品与人类，2019（6）：18–26.
[42] 杨志刚，宋晓东，贺永强，等.蒙牛“智慧质量”建设，全产业链数字化升级[J].中国质量，2023（9）：39–42.
[43] 鞠然.蒙牛宁夏超级工厂：从牧场到舌尖的科技接力[J].中国食品工业，2024（14）：10–11.

An Exploration of the Correlation between the Timeliness and Quality of High–quality Milk Based on the Practice of Dairy Enterprises and Scientific Analysis

WU Weijun，CHEN Qiping，ZHANG Jinyu，LI Mengcheng，SUN Kelong，ZHANG Wanying，LIN Siyi，WU Zepeng*

中国乳业线上阅读

Guangzhou Fengxing Dairy Co.，Ltd.，Guangzhou Guangdong 510610

Abstract：With economic development and the improvement of public health awareness，consumers' demands for the quality and freshness of high-quality milk are increasing day by day. Timeliness is a key indicator for measuring the time span required for high-quality milk to travel from raw milk to the consumer end. Its length directly affects product quality，market performance and the competitiveness of dairy enterprises. Based on the practical experience of dairy enterprises and scientific analysis，this paper dissected the correlation mechanism between their aging and quality，revealed the impacts of microbial proliferation and changes in dairy product components，and explored the dairy product quality prediction methods based on kinetic models. Furthermore，it looked forward to the industry's future research and practice in directions such as extreme timeliness，intelligent traceability，precise prediction and sustainable development. This study aims to provide a solid theoretical basis and practical reference for quality upgrade，supply chain optimization and consumer education in the dairy industry.

Keywords：high-quality milk；timeliness；quality prediction；kinetic models；dairy industry practices

中国乳业线上阅读