“原生控温活性锁鲜工艺”对乳品中活性成分的影响

潘红艳[1]，郭晓苗[1]，李冬梅[1]，吕佳琦[1]，刘　莉[1]，杜建萍[1]，张志强[2]

1 北京市食品检验研究院（北京市食品安全监控和风险评估中心），国家市场监督管理总局重点实验室（食品安全重大综合保障关键技术），北京 100094
2 内蒙古蒙牛乳业（集团）股份有限公司，内蒙古呼和浩特 010000

摘　要：[目的]针对乳品加工过程中热敏感活性成分易损失的问题，研究开发“原生控温活性锁鲜工艺”，旨在最大限度保留乳品中的活性成分。[方法]对比常规工艺（80 ℃巴氏杀菌+90 ℃浓缩）与原生控温活性锁鲜工艺（72 ℃巴氏杀菌+75 ℃浓缩），系统分析两种工艺下免疫球蛋白、α–乳白蛋白、β–乳球蛋白、乳铁蛋白、β–酪蛋白、乳过氧化物酶及碱性磷酸酶等活性成分的变化。[结果] 新工艺显著提升了乳铁蛋白和免疫球蛋白的保留率，其中巴氏杀菌乳中两者含量均为常规工艺的1.38倍，乳粉中免疫球蛋白含量达常规工艺的3倍，乳铁蛋白保留率约为35%；乳过氧化物酶在乳粉中保留率约为5%；碱性磷酸酶活性符合优质乳标准（≤350 mU/L）；α–乳白蛋白、β–乳球蛋白和β–酪蛋白含量未受工艺影响。[结论] 原生控温活性锁鲜工艺能有效保留热敏感活性成分，同时满足食品安全要求，为高活性乳品的生产提供了可行的技术路径。

关键词：原生控温活性锁鲜工艺；活性成分；免疫球蛋白；乳铁蛋白；乳过氧化物酶；优质乳工程

文章编号：1671–4393（2025）11–0066–06　　DOI:10.12377/1671–4393.25.11.08

0 引言

牛乳是全球消费最广泛的乳制品之一，同时也是乳基婴幼儿配方食品等产品的重要基础原料。作为牛乳中的第三大营养物质，蛋白质在人体生长发育过程中具有重要的生理功能。在乳品加工中，热处理是保障产品安全和延长货架期的

作者简介：潘红艳（1986–），女，山东临沂人，硕士，副高级工程师，研究方向为食品质量与安全；
郭晓苗（1990–），女，河北石家庄人，硕士，中级工程师，研究方向为食品质量与安全；
李冬梅（1987–），女，吉林松原人，硕士，中级工程师，研究方向为食品质量与安全；
吕佳琦（2001–），女，北京人，本科，助理工程师，研究方向为食品质量与安全；
刘　莉（1990–），女，安徽亳州人，硕士，中级工程师，研究方向为食品质量与安全；
杜建萍（1976–），女，天津人，本科，副高级工程师，研究方向为食品质量与安全；
张志强（1984–），男，内蒙古包头人，本科，工程师，研究方向为乳品工艺。

中国乳业线上阅读

关键步骤，能有效杀灭致病菌；然而，该过程也不可避免地引起部分蛋白质结构改变和生物活性损失[1]。以市场上最常见的常温奶为例，通常采用超高温瞬时杀菌工艺，即在约134 ℃下对原奶进行4 s的瞬时处理。该工艺虽能有效灭菌，但也会导致牛奶中多种热敏性活性物质的破坏。为此，国家奶业科技创新联盟于2016年发起实施“优质乳工程”，旨在推动奶业可持续发展。该工程不仅倡导“优质乳产自本土”，还推荐采用科学的低温巴氏杀菌工艺（通常为72~80 ℃、维持15 s），以最大限度保留牛奶中的天然活性营养[2]。在乳品加工过程中，乳蛋白及其他活性物质可能发生蛋白质变性、羰基化、热变性等多种化学变化，进而影响乳品的品质与营养特性。因此，系统研究活性物质在加工过程中的变化规律，对开发新型乳品加工工艺具有重要的指导意义。

当前，国内外乳粉行业在保障食品安全的基础上，正致力于提升产品品质与营养价值。通过紧跟生产工艺与行业发展趋势，加强产学研协同创新，深入开展乳粉稳定性研究，推动乳粉企业实现高质量发展，以满足消费者对高营养、高安全性产品的需求。因此，研究牛乳活性成分在加工过程中的变化规律及其改性机制，具有重要的现实意义。目前，我国乳制品生产中普遍存在鲜牛奶直接进入高温巴氏杀菌环节的现象[3]，导致免疫球蛋白、乳铁蛋白和乳过氧化物酶等关键活性成分因热损伤而失活，不仅降低了产品营养价值，也影响了乳粉的稳定性。为改善这一现状，本研究拟开发一种“原生控温活性锁鲜工艺”，旨在最大限度地保留牛乳中的活性蛋白成分，从而提升乳粉的营养品质。

本研究重点评估不同杀菌与喷粉温度条件下乳品活性成分的变化，选取免疫球蛋白、α－乳白蛋白、β－乳球蛋白、乳铁蛋白、β－酪蛋白、乳过氧化物酶及碱性磷酸酶等指标进行系统对比分析。

1 材料与方法

1.1 试验材料和仪器

本试验中涉及到的试验样品均由蒙牛集团奶粉生产工厂提供，根据生产工艺条件分为：常规生产工艺条件下的原料乳、巴氏杀菌乳（80 ℃）、浓奶（90 ℃）、乳粉（90 ℃）；原生控温活性锁鲜工艺生产条件下的原料乳、巴氏杀菌乳（72 ℃）、浓奶（75 ℃）、乳粉（75 ℃）。每个生产条件下的不同生产阶段各提供6 份样品。

十二水合磷酸氢二钠：分析纯；三氟乙酸：色谱纯；磷酸：分析纯；氯化钠：分析纯；盐酸：分析纯；甲醇：色谱纯；乙腈：色谱纯；水：GB/T 6682—2008 分析实验室用水规格和试验方法规定的实验室一级水。

牛乳铁蛋白标准物质（≥95%），中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所；牛免疫球蛋白标准物质（99.0%），夏禾生物技术有限公司；乳过氧化物酶检测试剂盒、肝素亲和柱，山东美正生物科技有限公司；碱性磷酸酶检测试剂盒，上海美凯纯生物科技有限公司；乳清蛋白检测试剂盒，言熵科技；Bio-Monolith Protein G 液相色谱柱，Agilent Technologies，Inc.。

高效液相色谱仪（Agilent Technologies，Inc.，）；液相色谱质谱联用仪（Agilent Technologies，Inc.，），毛细管电泳色谱仪（Agilent Technologies，Inc.），酶标仪（American Biotek Instruments）。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 试验设计

试验对比了常规杀菌工艺（80 ℃巴氏杀菌，90 ℃浓缩）和原生控温活性锁鲜工艺（72 ℃巴氏杀菌，75 ℃浓缩）两种工艺条件下生产的液体乳和乳粉中活性成分的变化。原生控温活性锁鲜工艺是通过降低巴氏杀菌温度、DSI杀菌温度、浓奶预热温度

中国乳业线上阅读

在有效杀灭有害微生物前提下保留更多活性物质，从而提高奶粉品质。

根据乳粉生产工艺的步骤，试验选择的材料有：原料乳、巴氏杀菌乳、喷粉前的浓缩乳、成品乳粉。选择对比分析的活性成分有：乳铁蛋白、免疫球蛋白、α-乳白蛋白、β-乳球蛋白、β-酪蛋白、乳过氧化物酶、碱性磷酸酶。

1.2.2 试验方法

乳铁蛋白：参照《GB 5009.299—2023食品安全国家标准 食品中乳铁蛋白的测定》[4]；

免疫球蛋白：试样经磷酸缓冲盐提取，肝素亲和柱净化，使用高效液相色谱仪检测[5]。

α-乳白蛋白、β-乳球蛋白：参照牛乳清蛋白试剂盒检测方法；

β-酪蛋白：试样用稀释液稀释，使用毛细管电泳仪进行分离检测。

乳过氧化物酶：参照乳过氧化物酶试剂盒使用说明；

碱性磷酸酶：参照碱性磷酸酶试剂盒使用说明。

2 结果分析

2.1 原生控温活性锁鲜工艺对乳铁蛋白的影响

不同生产工艺的乳铁蛋白对比变化趋势见图1。为了方便液体乳和乳粉之间更直观的数据对比，试验结果均折算为每百克固形物中的含量。

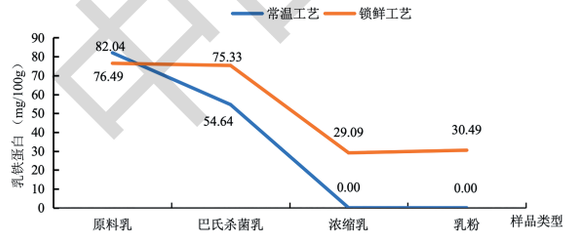


图 1 不同工艺条件下乳铁蛋白变化趋势对比

由数据结果可见，乳铁蛋白在原料乳中含量基本一致，原料乳经过常规80 ℃杀菌后结果为54.64 mg/100g（折算为固形物中的含量），72 ℃中温杀菌后结果为75.33 mg/100g（折算为固形物中的含量），降低杀菌温度后，原生控温活性锁鲜工艺中的乳铁蛋白含量是常规工艺的1.38倍，得到了比较好的保留。常规生产工艺条件下，浓奶、乳粉中乳铁蛋白均未检出，说明乳铁蛋白在喷雾干燥工艺环节被完全破坏，而在原生控温活性锁鲜工艺条件下，乳铁蛋白检出结果分别为29.09 mg/100 g和30.49 mg/100 g（折算为固形物中的含量），原生控温活性锁鲜工艺将生牛乳的原生乳铁蛋白保留了约35%。

2.2 原生控温活性锁鲜工艺对免疫球蛋白的影响

不同生产工艺的免疫球蛋白对比变化趋势见图2。

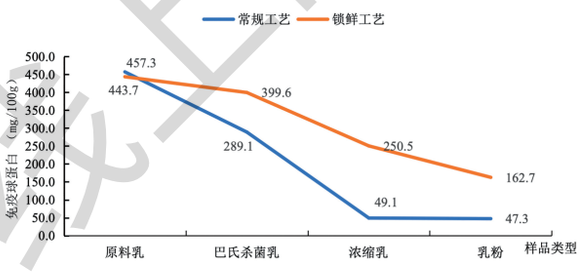


图 2 不同工艺条件下免疫球蛋白变化趋势对比

由数据结果可见，生牛乳中免疫球蛋白在80 ℃杀菌条件下结果为289.1 mg/100 g（折算为固形物中的含量），72 ℃中温杀菌条件下结果为399.6 mg/100 g（折算为固形物中的含量），原生控温活性锁鲜工艺中的免疫球蛋白含量是常规工艺的1.38倍。原生控温活性锁鲜工艺下，浓奶和成品粉中免疫球蛋白含量均高于常规生产工艺。原生控温活性锁鲜工艺将生牛乳的原生免疫球蛋白保留了约35%。

2.3 原生控温活性锁鲜工艺对 α-乳白蛋白的影响

不同生产工艺的α-乳白蛋白对比变化趋势见图3。由数据结果可见，生牛乳中α-乳白蛋白在不同工艺条件以及在工艺过程中均没有显著变化。原生控温活性锁鲜工艺对生牛乳中的原生α-乳白蛋白未造成损失。

中国乳业线上阅读

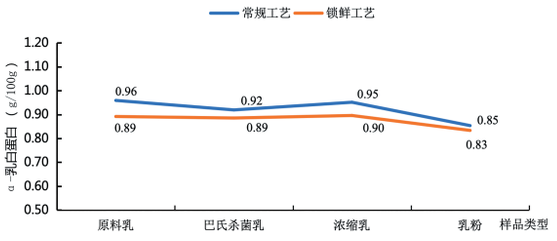


图 3 不同工艺条件下 α－乳白蛋白变化趋势对比

2.4 原生控温活性锁鲜工艺对 β－乳球蛋白的影响

不同生产工艺的β－乳球蛋白对比变化趋势见图4。由数据结果可见，生牛乳中β－乳球蛋白在不同工艺条件以及在工艺过程中均没有显著变化。原生控温活性锁鲜工艺对生牛乳中的原生β－乳球蛋白未造成损失。

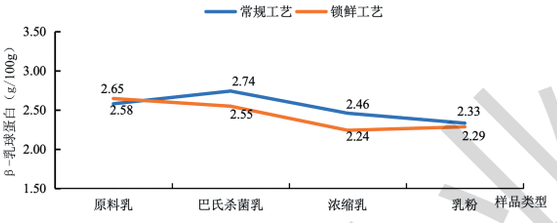


图 4 不同工艺条件下 β－乳球蛋白变化趋势对比图

2.5 原生控温活性锁鲜工艺对 β－酪蛋白的影响

不同生产工艺的β－酪蛋白对比变化趋势见图5。由数据结果可见，生牛乳中β－酪蛋白在不同工艺条件以及在工艺过程中均没有显著变化。原生控温活性锁鲜工艺对生牛乳中的原生β－酪蛋白未造成损失。

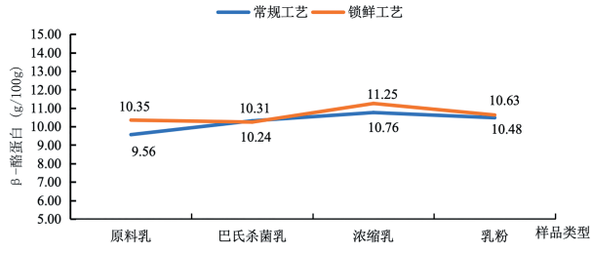


图 5 不同工艺条件下 β－酪蛋白变化趋势对比图

2.6 原生控温活性锁鲜工艺对乳过氧化物酶的影响

不同生产工艺的乳过氧化物酶对比变化趋势见图6。由数据结果可见，原料乳乳过氧化物酶含量在76 346 U/L（折算为固形物中的含量），生牛乳中乳过氧化物酶经过常规工艺条件下，巴氏杀菌乳未检出，活性锁鲜工艺条件下，巴氏杀菌乳得到了较好的保留，但在浓奶环节，损失率在83%左右，随着加工过程增加，损失逐步增加。原生控温活性锁鲜工艺条件下生产的乳粉中乳过氧化物酶含量为3 065 U/L，仅有5%的乳过氧化物酶保留了下来。

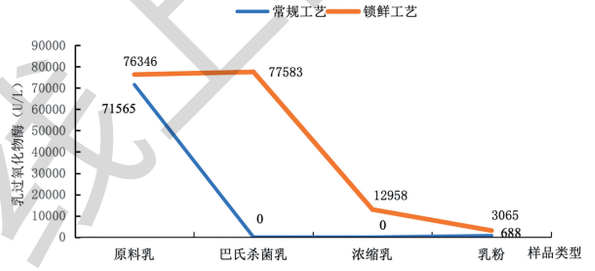


图 6 不同工艺条件下乳过氧化物酶变化趋势对比

2.7 原生控温活性锁鲜工艺对碱性磷酸酶的影响

根据我国《优质乳工程技术体系核心指标研究》中关于优质巴氏杀菌乳中指标的要求，碱性磷酸酶阴性指标为≤350 mU/L[6]。

不同生产工艺的碱性磷酸酶对比变化趋势见图7。由数据结果可见，常规生产工艺和原生控温活性锁鲜工艺两种不同的工艺，生产的乳粉都能将碱性磷酸酶降低到指标要求。

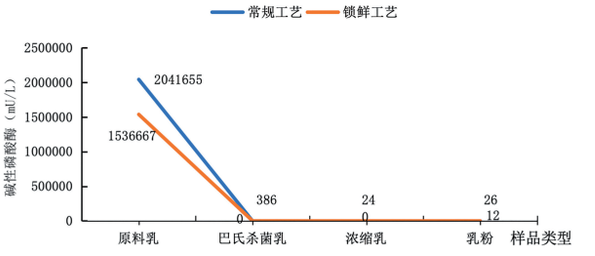


图 7 不同工艺条件下碱性磷酸酶变化趋势对比

中国乳业杂志上网版

3 小结

牛乳中的蛋白质主要由酪蛋白、乳清蛋白和乳脂肪球膜蛋白三大部分构成，牛乳中80%的蛋白均由酪蛋白构成，是乳中含量最高的一类蛋白，乳清蛋白是生牛乳中的第二大类蛋白质，约占牛乳蛋白总数的20%，主要是以α-乳白蛋白和β-乳球蛋白为代表的球状蛋白。另外还有低浓度的乳铁蛋白和免疫球蛋白等，其中乳铁蛋白和免疫球蛋白在初乳中的含量远高于正常乳[1]。乳制品加工过程中采用的热杀菌工艺非常容易导致乳铁蛋白的变性，所以乳铁蛋白的热稳定性以及影响其热稳定性的因素成为了乳制品加工行业关注和研究的热点[7]。碱性磷酸酶和乳过氧化物酶是牛奶中存在的两种天然酶，它们的活性通常用于评估牛奶的热加工处理强度[8]。碱性磷酸酶的热稳定性略高于乳中的大部分致病微生物，当牛奶热处理强度足以使碱性磷酸酶活性的检测结果为阴性时，那说明其他病原微生物也被完全灭活，因此碱性磷酸酶的活性指标是乳品加工工业里非常重要的一个指标，它标志着乳制品巴氏杀菌的成功与否。乳过氧化物酶也是牛乳中具有代表性的一个热敏感酶，其热稳定性要高于其他乳中的内源性酶，但低于碱性磷酸酶。乳过氧化物酶的活性可以标志着巴氏杀菌过程中是否存在过度热加工、热处理等现象，造成牛奶中更多营养物质的损失，它也是乳品加工工业里非常重要的一个指标。

本研究发现，原生控温活性锁鲜工艺（72 ℃巴氏杀菌+75 ℃浓缩）可显著保留热敏感活性物质：乳铁蛋白（保留率35%）、免疫球蛋白（乳粉含量达常规工艺3倍），同时确保碱性磷酸酶完全灭活（≤350 mU/L），为高活性乳粉生产提供新路径。β-酪蛋白、α-乳白蛋白和β-乳球蛋白是对温度不敏感的常规成分，不同的加工工艺条件，不会影响其含量。

参考文献

[1] 刘要卫.牛乳粉加工过程中低丰度蛋白组分损失与控制研究[D].无锡：江南大学，2021.

[2] 徐大江，马占峰，赵丽娟，李波.乳制品中糠氨酸和乳铁蛋白常用检测方法综述[J].中国乳业，2023（1）：52–57.

[3] 贾晓迪.全脂液态乳及乳粉中美拉德反应有害产物生成影响因素研究牛[D].无锡：江南大学，2019.

[4] 中华人民共和国国家卫生健康委员会.GB 5009.299–2024食品安全国家标准食品中乳铁蛋白的测定[S].

[5] 上海市食品学会.TSSFS 0002–2021乳及乳制品中免疫球蛋白IgG的测定 高效液相色谱法[S].

[6] 王加启.优质乳工程技术体系核心指标研究[J].中国乳业，2019（6）：2–6.

[7] 王淑晨，于景华，刘晓，等.乳铁蛋白铁饱和度对其耐热性、抑菌作用及抗氧化性的影响[J].中国乳品工业，2019，49（10）：29–33.

[8] 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.

Impact of Native Temperature–controlled Active Preservation Technology on Bioactive Components in Dairy Products

PAN Hongyan[1]，GUO Xiaomiao[1]，LI Dongmei[1]，LV Jiaqi[1]，LIU Li[1]，DU Jianping[1]，ZHANG Zhiqiang[2]

[1]Beijing Food Inspection Research Institute（Beijing Food Safety Monitoring and Risk Assessment Center），Key Laboratory of Key Technologies of Major Comprehensive Guarantee of Food Safety，State Administration for Market Regulation，Beijing 100094

[2]Inner Mongolia Mengniu Dairy Group.，Hohhot Inner Mongolia 010000

下转81页

中国乳业线上阅读

Abstract：As the significance of dairy diversity and nutritive value garners increased attention，research into bovine milk，camel milk，and donkey milk has progressed with depth. The nutritional profile and characteristic constituents of dairy products are pivotal metrics for dairy quality assessment. This comprehensive review elucidated the distinct nutritional attributes and health implications of bovine milk，camel milk，and donkey milk，examining the proteins，lipids，mineral and vitamin compositions，and bioactive components. Furthermore，it explored the nexus between the characteristic constituents of milk，mechanisms of biological evolution，environmental adaptability，and their potential beneficial effects on the growth and development of offspring. This investigation furnished the dairy sector with novel theoretical insights and holds substantial significance for the innovation of dairy products with enhanced nutritional and functional profiles.

Keywords：milk；nutritional composition；characteristic constituents；adaptive evolution

▲上接70页

Abstract：[Objective] To address the loss of heat-sensitive active components during dairy processing，a "Native Temperature-controlled Active Freshness-locking Technology" was developed to maximize the retention of active ingredients in dairy products.[Method] A comparative analysis was conducted between conventional processing（80 °C pasteurization + 90 °C concentration） and the Native Temperature-controlled Active Freshness-locking Technology （72 °C pasteurization +75 °C concentration）. The changes in active components，including immunoglobulins，α-lactalbumin，β-lactoglobulin，lactoferrin，β-casein，lactoperoxidase，and alkaline phosphatase，were systematically evaluated.[Result] The new technology significantly improved the retention of lactoferrin and immunoglobulins. The content of both components in pasteurized milk was 1.38 times higher than that in conventional processing，while the immunoglobulin content in milk powder reached three times that of conventional processing. The retention rate of lactoferrin was approximately 35%，and lactoperoxidase retention in milk powder was about 5%. The alkaline phosphatase activity met the high-quality milk standard （≤350 mU/L）. The contents of α-lactalbumin，β-lactoglobulin，and β-casein were unaffected by the processing technology.[Conclusion] The Native Temperature-controlled Active Freshness-locking Technology effectively preserves heat-sensitive active components while meeting food safety requirements，providing a feasible technical approach for the production of high-activity dairy products.

Keywords：Native Temperature-controlled Active Freshness-locking Technology；active components；immunoglobulin；lactoferrin；lactoperoxidase；China Excellent Milk Project

中国乳业线上阅读