不同杀菌温度对巴氏杀菌乳品质的影响

张加稳，张联琴，刘羽晏，左 诚，王 蕊，刁玉华*

昆明市食品药品检验所，云南昆明 650000

摘 要：[目的]以牛乳中的乳清蛋白为研究对象，探究不同杀菌温度（72 ℃/15 s、75 ℃/15 s、80 ℃/15 s、85 ℃/15 s、90 ℃/15 s、95 ℃/15 s）对巴氏杀菌乳中乳铁蛋白、α–乳白蛋白、β–乳球蛋白含量影响。[方法]利用高效液相色谱法测定3 种乳清蛋白含量变化，结合菌落总数、大肠菌群、嗜冷菌数量评价最适宜热处理工艺。[结果]随杀菌温度升高，乳清蛋白含量和微生物指标数量均逐渐降低，但75 ℃/15 s能使乳铁蛋白、α–乳白蛋白、β–乳球蛋白等活性成分含量保持相对较高水平，分别为（66.77±0.34）mg/L、（1 679.89±1.95）mg/L、（5 844.96±49.03）mg/L，且菌落总数仅为（104±8.49）CFU/mL，嗜冷菌和大肠菌群均未检出。[结论]杀菌温度对乳清蛋白影响较大，75 ℃/15 s在保证尽可能杀灭细菌污染前提下能保留更多乳清蛋白成分，该试验结果可为巴氏杀菌乳实际生产工艺提供理论指导。

关键词：巴氏杀菌乳；乳铁蛋白；α–乳白蛋白；β–乳球蛋白；高效液相色谱法；细菌污染

文章编号：1671–4393（2025）03–0071–06 DOI:10.12377/1671–4393.25.03.12

0 引言

巴氏杀菌乳是指仅以生牛（羊）乳为原料，经62～65 ℃加热30 min，或经72～76℃加热15 s，80～85 ℃加热10～15 s后制成液体产品，能减少细菌总数的90%～95%、最大限度保留生牛（羊）乳中的活性物质[1]，但低温长时杀菌与高温短时杀菌相比，巴氏杀菌乳的风味更好[2]。由于巴氏杀菌乳高比例营养成分保留度，欧美等发达国家和地区90%以上的液体乳为巴氏杀菌乳[3]。随着国民消费观念转变，我国近年大力推行巴氏杀菌乳，预示我国乳品行业将逐渐步入巴氏杀菌乳时代[4]。热处理会造成牛乳中蛋白质变性、乳糖异构化、美拉德反应等化学反应[5]，

基金项目：2022年云南省市场监督管理局科技计划项目（2022YSJK12，NO.2022YSJK18）

作者简介：张加稳（1989–），男，云南昆明人，硕士，工程师，研究方向为食品安全检测分析；
张联琴（1991–），女，云南大理人，本科，助理工程师，研究方向为食品安全检测分析；
刘羽晏（1995–），女，云南德宏人，本科，助理工程师，研究方向为食品安全检测分析；
左 诚（1996–），男，云南临沧人，本科，助理工程师，研究方向为食品安全检测分析；
王 蕊（1988–），女，云南昆明人，硕士，工程师，研究方向为食品安全检测分析。
*通信作者：刁玉华（1985–），男，河南商丘人，硕士，副高级工程师，研究方向为食品安全检测分析。

中国乳业编辑部录用

乳清蛋白约占牛乳蛋白质含量的20%，乳铁蛋白、α-乳白蛋白、β-乳球蛋白和牛血清白蛋白是其主要活性成分，杀菌温度越高，乳清蛋白含量保留值越低[6, 7]。研究表明，乳清蛋白经过长时间热处理会导致变性、微观结构变化，在85 ℃、热处理30 min时观察到其完全变性，变性后的乳清蛋白丧失免疫调节和抑菌等生理功能，影响人体对牛乳中钙吸收[8]。为避免牛乳过度加工，最大程度保留其活性成分，本试验探究72～95 ℃不同杀菌温度加热15 s对巴氏杀菌乳中乳铁蛋白、α-乳白蛋白、β-乳球蛋白含量的影响，结合微生物指标分析得出最佳热处理工艺参数，为企业生产高品质巴氏杀菌乳提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

生牛乳，昆明优牧品原乳业有限公司；乙腈（色谱纯），默克股份两合公司；乳铁蛋白标准品（N2310190092，纯度≥85%）、α-乳白蛋白标准品（N2310210079，纯度≥85%）、β-乳球蛋白标准品（N2310190092，纯度≥90%），南京都莱生物技术有限公司；氯化钠（20221213）、二水合磷酸二氢钠（20221207），国药集团化学试剂有限公司；三氟乙酸（R220201，色谱纯），坛墨质检科技股份有限公司；十二水合磷酸氢二钠（A1705108），阿拉丁；肝素亲和柱（380-00930-02），岛津公司；平板计数琼脂培养基（2306204）、结晶紫中性红胆盐琼脂（230805K10）、一次性无菌培养皿（20231115），广东环凯生物科技有限公司；0.22 μm微孔滤膜，美国安捷伦科技公司。

1.2 仪器与设备

AL104电子天平，梅特勒-托利多仪器；MLS-3781L-PC高压蒸汽灭菌器，日本松下集团；恒温培养箱，上海跃进医疗器械；Synergy 超纯水仪，美国密理博公司；ShimNex WP C4-S（250 mm×4.6 mm，5 μm），岛津公司；SorvaLL ST16高速离心机、ULtimate3000高效液相色谱仪，赛默飞世尔科技公司。

1.3 试剂配制

0.1%三氟乙酸：三氟乙酸：纯水（1∶1 000）。

0.1%三氟乙酸乙腈：三氟乙酸：乙腈（1∶1 000）。

乳铁蛋白结合液：用纯水将30.083 g十二水合磷酸氢二钠、2.496 g二水合磷酸二氢钠溶解，定容至1 L。

肝素亲和柱淋洗液：用纯水将5.84 g氯化钠、1.248 g二水合磷酸二氢钠、15.04 g十二水合磷酸氢二钠溶解、定容至1 L。

乳铁蛋白洗脱液：用纯水将58.4 g氯化钠、1.248 g二水合磷酸二氢钠、15.04 g十二水合磷酸氢二钠溶解、定容至1 L。

1.4 方法

1.4.1 巴氏杀菌乳的制备

样品由昆明优牧品原乳业有限公司提供，使用不同杀菌温度对生牛乳进行杀菌，条件分别为72 ℃/15 s、75 ℃/15 s、80 ℃/15 s、85 ℃/15 s、90 ℃/15 s、95 ℃/15 s。

1.4.2 巴氏杀菌乳中微生物的检测

巴氏杀菌乳中菌落总数、大肠菌群、嗜冷菌检测分别依据《GB 4789.2—2022 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》[9]《GB 4789.3—2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群测定》第二法[10]、《NY/T 1331—2007 乳与乳制品中嗜冷菌、需氧芽孢及嗜热需氧芽孢数的测定》[11]。

1.4.3 巴氏杀菌乳中乳铁蛋白的检测

（1）乳铁蛋白标准系列溶液的配制

称取乳铁蛋白标准品→纯水定容至10 mL→约5 mg/mL储备液浓度→吸取1 mL→纯水定容至10 mL→500 mg/L中间液→洗脱液稀释成标准系列工作溶液：5.0 mg/L、10.0 mg/L、50.0 mg/L、100.0 mg/

中国乳业线上阅读

L、200.0 mg/L、300.0 mg/L。

（2）乳铁蛋白样品前处理

称取巴氏杀菌乳约20 g，用肝素亲和柱结合液定容至50 mL。放入高速离心机，于4 ℃，10 000 r/min离心10 min，避开上层杂质，吸取中间澄清液体10 mL待净化。肝素亲和柱上样前先用5 mL结合缓冲液使亲和柱活化；将上述待净化液缓慢通过免疫亲和柱，严格控制流速不超过1 mL/min（1滴/2 s），避免柱体堵塞，等待样品完全流过亲和柱；按照肝素亲和柱说明书淋洗、洗脱，收集洗脱液，涡旋混匀，过0.22 μm微孔滤膜后待测。

（3）乳铁蛋白色谱条件

色谱柱：ShimNex WP C4-S（250 mm×4.6 mm，5 μm）。流动相A：0.1%三氟乙酸，流动相B：0.1%三氟乙酸乙腈。洗脱程序：0～2.0 min 85% A；2.0～12.0 min 15% A；12.0～14.0 min 15% A；14.0～15.0 min 85% A；15.0～18.0 min 85% A。流速：1.5 mL/min，进样量：30 μL，柱温：35 ℃，波长：280 nm。

1.4.4 巴氏杀菌乳中α-乳白蛋白及β-乳球蛋白的检测

（1）α-乳白蛋白、β-乳球蛋白标准系列溶液的配制

称取α-乳白蛋白、β-乳球蛋白标准品→纯水定容至10 mL→约10 mg/mL的储备液→吸取200 μL→纯水定容至10 mL→约200 mg/L中间液→洗脱液稀释成标准系列工作溶液：40.0 mg/L、80.0 mg/L、120.0 mg/L、160.0 mg/L和200.0 mg/L。

（2）α-乳白蛋白、β-乳球蛋白样品前处理

称取巴氏杀菌乳约5 g，纯水定容至25.0 mL，使用乙酸调节pH值为4.60，摇匀放置1 h，于4 ℃高速离心机中12 000 r/min离心15 min。吸取上清液，过0.22 μm微孔滤膜后待测。

（3）α-乳白蛋白、β-乳球蛋白色谱条件

色谱柱：ShimNex WP C4-S柱（250 mm×4.6 mm，5 μm）。流动相A：0.1%三氟乙酸水溶液，流动相B：0.1%三氟乙酸乙腈溶液；洗脱程序：0～6.5 min 80% A；6.5～10.0 min 62% A；10.0～12.0 min 40% A；12.0～15.0 min 40% A；15.5～20.0 min 80% A。流速：1.5 mL/min，进样量：30 μL，柱温：60 ℃，波长：210nm。

1.5 数据处理

用SPSS 27.0软件分析处理检测数据，$P<0.05$表示差异显著，数据以“平均值±标准差”表示，用Origin 8.0软件作图。

2 结果与分析

2.1 杀菌温度对微生物指标的影响

由表1可知，杀菌前生牛乳菌落总数为1 665 CFU/mL，72 ℃杀菌后降至227.5 CFU/mL。随着杀菌温度升高，菌落总数不断降低。80 ℃/15 s和85 ℃/15 s杀菌仍能检出少量菌落总数，原因可能是杀菌后乳中仍存在少量耐热性芽孢杆菌和孢子，这些菌对巴氏杀菌乳货架期、口味产生重要影响。陈泊韬等[12]研究发现巴氏杀菌对耐热性细菌和孢子等杀菌效果较弱，但可把污染菌含量控制在99%以内。90 ℃/15 s和95 ℃/15 s杀菌后，菌落总数为0 CFU/mL。菌落总数是卫生指示性指标，反映食品生产过程的卫生状况，可预测食品耐保藏性。杀菌前生牛乳的嗜冷菌数为203 CFU/ mL，经72 ℃/15 s以上杀菌后嗜冷菌数均为0 CFU/mL。雷鸣等[13]研究发现嗜冷菌在低温条件下仍可增殖，4 ℃保存1 天后，嗜冷菌变成原料乳中的优势菌群，其相对含量超过90%。研究显示，巴氏杀菌乳中嗜冷菌以荧光假单胞菌为主，会产生蛋白水解酶、脂肪水解酶和孢子，热处理后仍保持活性，这是巴氏杀菌乳容易腐

表 1 杀菌温度对微生物指标的影响 单位：CFU/mL

生牛乳	菌落总数	嗜冷菌	大肠菌群
无热处理工艺	1 665.0±63.64	203±5.89	18±1.48
72 ℃/15 s	227.5±6.36	0	0
75 ℃/15 s	104.0±8.49	0	0
80 ℃/15 s	18.5±2.12	0	0
85 ℃/15 s	1.0±1.41	0	0
90 ℃/15 s	0	0	0
95 ℃/15 s	0	0	0

中国乳业线上阅读

败和货架期较短的主要原因[14~16]。杀菌前生牛乳的大肠菌群数18 CFU/mL，经72 ℃/15 s以上杀菌后大肠菌群数均为0 CFU/mL。大肠菌群是肠道致病菌指示性指标，超标提示巴氏杀菌乳被致病菌污染可能性较大，对人体健康有潜在危害。由上可知，72～95 ℃杀菌温度满足《GB 19645—2010食品安全国家标准 巴氏杀菌乳》[17]对菌落总数和大肠菌群的限量要求，该试验结果与邹旸[18]、王新妍[19]的一致。

2.2 杀菌温度对理化指标的影响

将不同浓度乳铁蛋白、α-乳白蛋白、β-乳球蛋白标准品溶液进行高效液相分析，线性回归方程分别为：y=20.210 7x−0.053 903 3，R^2=0.999 99；y=0.202 163x−0.150 619，R^2=0.999 77；y=0.042 816 6x−0.428 024，R^2=0.999 23。结果表明3 种活性成分峰面积（mAU）、浓度（mg/mL）呈良好线性关系。

2.2.1 杀菌温度对乳铁蛋白含量的影响

不同杀菌温度对巴氏杀菌乳中乳铁蛋白含量的影响见图1。生牛乳中乳铁蛋白含量为（95.13±1.52）mg/L，随着巴氏杀菌温度升高，乳铁蛋白含量下降呈显著差异（P<0.05），经72～95 ℃杀菌15s后，牛乳中的乳铁蛋白含量分别下降20.62%、29.81%、41.42%、66.70%、77.54%、87.35%，与潘永胜[20]试验结果一致。研究发现[21, 22]，乳铁蛋白是一种含有约700 个氨基酸的糖基化蛋白质，对热较敏感，由哺乳动物黏膜上皮细胞分泌，属于非血红素铁结合蛋白，对Fe^{2+}和Fe^{3+}有较强亲和力，约为人体中转铁蛋白能力的260 倍，同时还能结合Cu^{2+}、Zn^{2+}和Mn^{2+}，具有抗菌、抗病毒、抗肿瘤等免疫活性功能。鲜牛乳中含量一般为20～200 mg/L，杀菌温度90 ℃以上保持15 s后，其含量均小于5 mg/L。研究表明，高温处理下乳铁蛋白发生变性、构象改变、降解，铁结合能力和抗菌活性等功能特性下降，72 ℃/15 min对乳铁蛋白结构和抑菌没有影响，而超高温灭菌使乳铁蛋白抑菌活性显著下降[23]。

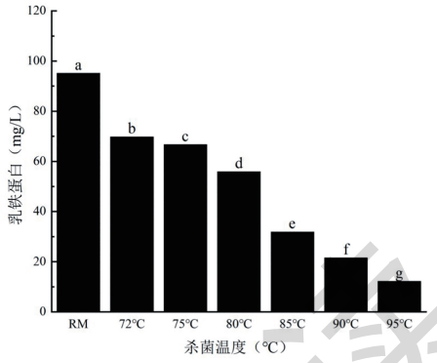


图 1 杀菌温度对乳铁蛋白含量的影响

注：柱状图上不同字母表示差异显著（P<0.05），下同

2.2.2 杀菌温度对α-乳白蛋白含量的影响

不同杀菌温度对巴氏杀菌乳中α-乳白蛋白含量的影响见图2。生牛乳中α-乳白蛋白含量为（2 150.43±7.27）mg/kg，随着巴氏杀菌温度升高，α-乳白蛋白含量下降呈显著差异（P<0.05），与刘燕珺等[24]试验结果一致。α-乳白蛋白占乳清蛋白的27%左右，是乳清蛋白中唯一能结合钙的活性成分，对婴幼儿成长发育起关键作用[25]。热处理会破坏α-乳白蛋白的三级结构，使二硫键从分子内部暴露形成改性单体蛋白[26]。经过72～95 ℃杀菌后，牛乳中α-乳白蛋白含量分别下降14.82%、21.88%、43.48%、49.77%、54.07%、62.28%。李梦凡等[27]研究发现，72 ℃/15 s杀菌后巴氏杀菌乳中α-乳白蛋白含量下降12.64%，与本试验结果一致。

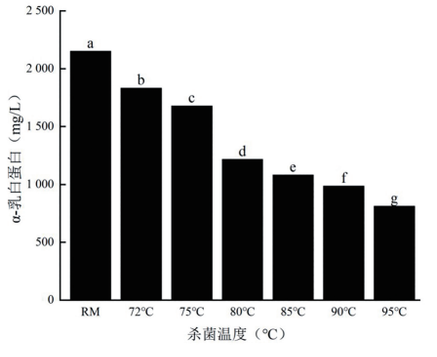


图 2 杀菌温度对 α-乳白蛋白含量的影响

2.2.3 杀菌温度对β-乳球蛋白含量的影响

不同杀菌温度对巴氏杀菌乳中乳铁蛋白

中国乳业线上阅读

含量的影响见图3，生牛乳中β－乳球蛋白含量为（6 642.93±38.29）mg/kg，随着巴氏杀菌温度升高，β－乳球蛋白含量下降呈显著差异（P＜0.05）。经过72～95 ℃保持15 s后，牛乳中β－乳球蛋白含量分别下降10.37%、12.01%、15.15%、27.49%、36.94%、49.15%。刘燕珺等[24]研究发现，牛乳中β－乳球蛋白含量为3 727 mg/kg，经过70～78 ℃保持15 s，其含量维持在3 318～3 509 mg/kg，但经过80 ℃以上杀菌温度保持15 s，其含量快速下降到3 121 mg/kg以下，与本试验结果总体变化趋势一致。β－乳球蛋白占乳清蛋白的50%左右，其水解产物在降低胆固醇和抗氧化方面能发挥较强生理活性[28]。研究发现，80 ℃为β－乳球蛋白变性温度，主要原因是热处理温度在80 ℃以上时会发生蛋白聚集现象[29]。因此，在85 ℃/15 s杀菌条件下，β－乳球蛋白含量显著下降。另有研究发现[30]，β－乳球蛋白解链温度为77 ℃，75 ℃/15 s可保留其76%的活性，85 ℃/15 s保留其46%的活性，以上两项研究结果与本试验结果相似。

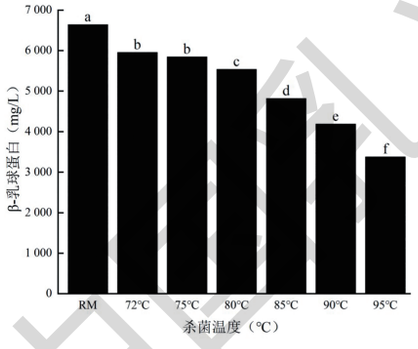


图3 杀菌温度对β－乳球蛋白含量的影响

3 结论

本试验研究不同杀菌温度对巴氏杀菌乳中乳清蛋白活性成分含量和微生物指标影响，结果表明两者均与温度成反比，75 ℃/15 s是一个较为理想的巴氏杀菌热处理工艺，该条件下能使巴氏杀菌乳中乳铁蛋白、α－乳白蛋白和β－乳球蛋白等含量保持在较高水平，还能使菌落总数含量较低，大肠菌群和嗜冷菌均未检出，符合优质巴氏杀菌乳中生物活性成分含量和微生物限量指标要求[31]，可为乳品生产企业同类产品的热处理工艺提供理论参考[32]。

参考文献

[1] 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.
[2] 杨姗姗，丁瑞雪，史海粟，等.热处理条件对巴氏杀菌乳风味品质的影响[J].食品科学，2020，41（24）：131–136.
[3] 陆东林，陈贺，徐敏，等.开展优质乳工程，提升巴氏乳消费[J].新疆畜牧业，2017（6）：6–9.
[4] 李庆，杨广超.鲜奶产业发展模式、现状与对策研究[J].乳品与人类，2024（1）：3–7.
[5] 王象欣，张秋梅，魏雪冬，等.不同类型热处理方式对牛乳品质的影响[J].中国乳品工业，2019，47（4）：20–23.
[6] 田志琴.乳清蛋白的特性及在乳制品生产中的应用[J].中国食品工业，2022（23）：86–88.
[7] 王蓓，唐艳斌，张炎，等.牛乳中乳清蛋白质的功能活性研究进展[J].中国食品学报，2021，21（9）：366–373.
[8] Zhao Xuan，Cheng Ming，Zhang Xuexi，et al.The effect of heat treatment on the microstructure and functional properties of whey protein from goat milk[J].Journal of Dairy Science，2020，103（2）：1289–1302.
[9] 国家卫生健康委员会，国家市场监督管理总局.食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定：GB 4789.2—2022[S].
[10] 国家卫生健康委员会，国家市场监督管理总局.食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群测定：GB 4789.38—2016[S].
[11] 中华人民共和国农业部.中华人民共和国农业行业标准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].
[12] 陈泊韬，卢剑娴.热处理对乳制品加工品质的影响[J].农产品加工（创新版），2011（8）：70–75.
[13] 雷鸣，胡楠，王远一飞，等.低温储存条件对原料乳嗜冷菌及细菌多样性的影响[J].中国乳品工业，2019，47（7）：14–18.
[14] 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.
[15] Mario V N，Claudia B，Manuel K，et al.Biodiversity of refrigerated raw milk microbiota and their enzymatic spoilage potential[J].International Journal of Food Microbiology，2015，211：57–65.
[16] Gl ü ck C，Rentschler E，Krewinkel M，et al.Thermostability of peptidases secreted by microorganisms associated with raw milk[J].International Dairy Journal，2016，56：186–197.

中国乳业杂志阅读

[17] 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].
[18] 邹旸.优质巴氏杀菌乳关键工艺的研究[J].现代食品，2023，29（14）：89–92.
[19] 王新妍.巴氏杀菌乳品质影响因素的研究[D].沈阳：沈阳农业大学，2020.
[20] 潘永胜.杀菌温度对优质巴氏杀菌乳中热敏感和生物活性物质的影响[J].中国乳业，2022（2）：70–74.
[21] 陈晓弘，张博恒.乳铁蛋白在肿瘤治疗中的作用机制[J].复旦学报（医学版），2010，37（1）：119–121.
[22] 陈美霞.不同热处理条件下牛奶中热敏指标与功能性蛋白变化规律研究[D].北京：中国农业科学院，2017.
[23] 刘海燕.液态乳热处理和贮藏对乳蛋白的稳定性及氧化作用研究[D].哈尔滨：哈尔滨工业大学，2020.
[24] 刘燕珺，王琼，沈易霖，等.巴氏杀菌乳最佳热处理工艺的分析研究[J].农业科技与信息，2022（9）：125–128.
[25] 陈文亮，苏米亚，贾宏信，等.α–乳白蛋白的功能特性及其在婴儿配方乳粉中的应用[J].乳业科学与技术，2019，42（1）：33–38.
[26] 盛雪.巴氏杀菌α–乳白蛋白的免疫调节作用[D].哈尔滨：东北农业大学，2019.
[27] 李梦凡，陈小红，朱立民，等.不同热处理工艺对巴氏杀菌乳中乳清蛋白的影响[J].食品研究与开发，2023，44（24）：78–80.
[28] 王枭鹏，江虹锐，刘小玲，等.以β–乳球蛋白为载体的复合物的应用进展[J].中国乳品工业，2016，44（3）：32–36.
[29] 王立枫，马莺，李琳，等.牦牛乳清中α–乳白蛋白与β–乳球蛋白的热聚合反应[J].中国乳品工业，2017，45（8）：11–13.
[30] Korhonen H，Pihlanto–Leppäla A，Rantamäki P，et al.Impact of processing on bioactive proteins and peptides[J].Trends in Food Science & Technology，1998，9（8/9）：307–319.
[31] 天津市奶业科技创新协会.食品安全团体标准 优质巴氏杀菌乳：T/TDSTIA 004–2019[S].
[32] 杜凯钰.乳制品行业高质量发展的机制研究[J].中国乳业，2024（5）：40–43，48.

Effect of Different Bactericidal Temperatures on Pasteurized Milk Quality

ZHANG Jiawen，ZHANG Lianqin，LIU Yuyan，ZUO Cheng，WANG Rui，DIAO Yuhua*
Kunming Institute for Food and Drug Control，Yunnan Kunming 650000

Abstract：[Objective]In the study of whey protein in milk，the effects of different bactericidal temperatures（72 ℃/15 s、75 ℃/15 s、80 ℃/15 s、85 ℃/15 s、90 ℃/15 s、95 ℃/15 s） on the content of lactoferrin，alpha-lactalbumin and beta-lactoglobulin in pasteurized milk were explored.[Method]Determination of three whey protein content changes by high performance liquid chromatography（HPLC），the most suitable heat treatment process was evaluated by combining the total number of colonies, coliform group, and psychroophilic bacteria.[Result]With the increase of bactericidal temperature，the content of whey protein and microbial index gradually decreased，but 75 ℃/15 s could keep the content of active components such as lactoferrin，alpha-lactalbumin and beta-lactoglobulin at a relatively high level，respectively（66.77±0.34）mg/L、（1 679.89±1.95）mg/L、（5 844.96±49.03）mg/L，and the total number of bacterial colonies was only （104±8.49）CFU/mL，and the content of psychrophilus bacteria and coliform was not detected.[Conclusion]The bactericidal temperature has a great impact on whey protein，75 ℃/15 s can retain more whey protein components on the premise of ensuring the bacterial contamination as far as possible. The test results can provide theoretical guidance for the actual production process of pasteurized milk.

Keywords：pasteurized milk；lactoferrin；alpha-lactalbumin ；beta-lactoglobulin；high performance liquid chromatography；bacterial contamination

中国乳业线上阅读