Soleris微生物快速检测系统在冷冻饮品大肠菌群检测中的应用与优化

陈 晨，张慧萍，靳 伟，李振侠，李瑞雪，金 箫，张景泽

内蒙古蒙牛乳业（集团）股份有限公司，内蒙古呼和浩特 011517

摘 要：[目的]利用Soleris微生物快速检测系统，以大肠菌群传统国标平板计数法的检测结果为校正数据集，优化微生物快速检测方法在冷冻饮品大肠菌群检测中的前处理步骤，并建立大肠菌群回归校正曲线，为冷冻饮品微生物检测提供高效技术支撑。[方法]首先优化并统一含乳与不含乳冷冻饮品的前处理流程：将25 g融化混匀后的样品置于225 mL无菌稀释液中，必要时调节pH值至6.7±0.2；随后采用Soleris微生物快速检测系统与传统国标平板计数法（GB 4789.3—2016）同步检测冷冻饮品中的大肠菌群，通过对比两种方法的检测结果验证Soleris系统的适用性。[结果]Soleris微生物快速检测系统对30 个不同污染水平的样品检出率达100%，无假阳性与假阴性结果；检测结果回归校正曲线为y=–0.405 3x+6.061 9（R^2=0.869 6），表明Soleris检出时间与大肠菌群数量呈显著负相关；重复性验证显示组内最大相对标准偏差仅为3.4%，系统稳定性良好。[结论]优化后的Soleris微生物快速检测系统在维持“阳性预警时间与目标微生物数量负相关”特性的基础上，大幅缩短了检测周期（预警时间7.2~11.9 h），有效减少检测工作量、提升检测效率，可满足冷冻饮品生产过程中快速质量控制的需求。

关键词：冷冻饮品；大肠菌群；Soleris微生物快速检测系统；前处理优化；回归校正曲线

文章编号：1671–4393（2025）10–0088–06 DOI:10.12377/1671–4393.25.10.14

0 引言

近年来，随着国内乳品行业的快速发展和人民生活水平的不断提高，我国已成为世界第三大乳业大国[1]。然而，乳制品安全事件频发，导致消费者对我国乳品企业产生严重信任危机，严重制约我国乳品业的持续健康发展[2]。

作者简介：陈 晨（1998–），女，内蒙古赤峰人，满族，本科，中级工程师，研究方向为食品安全检测；
张慧萍（1980–），女，内蒙古呼和浩特人，硕士，副高级工程师，研究方向为实验室精益管理；
靳 伟（1992–），女，内蒙古呼伦贝尔人，本科，中级工程师，研究方向为乳品检验技术；
李振侠（1997–），女，内蒙古包头人，本科，中级工程师，研究方向为乳品检验技术；
李瑞雪（1991–），女，内蒙古巴彦淖尔人，本科，中级工程师，研究方向为实验室体系运行精益管理；
金 箫（1997–），女，内蒙古通辽人，蒙古族，本科，助理工程师，研究方向为乳品检验技术；
张景泽（1999–），男，内蒙古赤峰人，本科，研究方向为数智化建设。

中国乳业线上阅读

公众通常将农药残留、兽药滥用视为主要食品安全隐患，但实际上，微生物引发的食源性疾病同样是影响食品安全的关键因素[3]。随着食品卫生安全关注度的提升，企业亟需一种操作简便、检测快速、灵敏度高的微生物检测技术，以替代传统检测方法的“长周期”弊端，加快产品市场流通效率[4]。2021年《吉林省市场监督管理厅关于食品不合格情况的通告（2021年第37期）》显示，吉林市马婆食品有限公司生产的3 批次“江城马婆”辣白菜（酱腌菜）（生产日期/批号：2021-06-23、2021-06-24、2021-06-25）均检出大肠菌群超标，该事件进一步凸显了大肠菌群检测在食品质量控制中的重要性。

大肠菌群是评估食品污染程度的核心指标之一[5]：若食品中大肠菌群含量超标，表明其可能受到致病菌污染，易引发消费者腹泻、肠胃感染等健康问题。大肠菌群超标的主要原因包括原料污染、包装材料不洁、生产人员卫生不达标、设备清洁不彻底及生产环境不符合规范等。目前，大肠菌群检测方法除传统平板计数法外，还包括分子生物学方法（如PCR技术[6，7]、基因探针技术[8]、基因芯片技术[9]）、免疫学技术（如酶联免疫法[10]、免疫磁性分离法[11]）及代谢技术（如ATP生物荧光技术[12]、阻抗技术），但这些方法普遍存在检测成本高的问题，难以适用于基层食品检测工作。

Soleris微生物快速检测系统作为新兴的微生物自动检测技术，简化了传统检测流程，大幅缩短检测时间[13~16]，可检测细菌总数、大肠菌群、大肠杆菌、乳酸菌等多种微生物，广泛应用于食品饮料、乳制品、保健品等企业的环境检测、卫生监控及无菌验证、挑战实验、保质期实验。该系统因适用范围广、检测项目全、高效快速等优势，已被全球40 多个国家的600 余家客户采用[17]。

为确保Soleris微生物快速检测系统结果与国标方法或已确认非标准方法的一致性，本研究以《GB 4789.3—2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》[18]中的传统平板计数法为参照，对比验证Soleris微生物快速检测系统检测冷冻饮品大肠菌群的准确性，建立“检测时间-微生物数量”函数关系曲线；同时优化前处理步骤，减少重复机械操作，提升快速检测结果的准确性与可靠性，为乳及乳制品中大肠埃希氏菌菌群检测提供技术参考。

1 材料与仪器

1.1 试剂与材料

胰蛋白胨大豆肉汤（TSB），北京陆桥技术股份有限公司；0.85%无菌生理盐水（均按照GB 4789.3—2016附录A[19]要求配制）；1 mol/L NaOH和1 mol/L HCl溶液；Soleris试剂瓶：Coliform Medium 5 mL（CC-102）；精密pH试纸；1、5、10 mL移液器及无菌吸头；大肠埃希氏菌（*Escherichia coli*），来源：中国工业微生物菌种保藏管理中心（菌种编号-CICC 10305）；含乳和不含乳冷冻饮品，内蒙古蒙牛乳业（集团）股份有限公司。

1.2 仪器与设备

DHP-9272电热恒温培养箱，上海一恒科学仪器有限公司；HVA-85高压灭菌器，日本HIRAYAMA平山制作所株式会社；T-500电子天平（0.1 g），梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；tape A2生物安全柜，美国Labconco公司；SVE-6A1超净工作台，新加坡艺思高科技有限公司；S128型Soleris检测仪，纽勤生物科技（上海）有限公司；Masticator无菌均质器，西班牙IUL公司；MS3 BASIC振荡器，广州仪科实验室技术有限公司。

2 方法与分析

2.1 基本原理

Soleris试剂基于传统的微生物培养理论与染色技术，在预制试剂瓶中添加特异性的培养基与专有指示剂；当微生物在瓶内生长繁殖时，其代谢产物会改变培养基的pH值，引起指示剂颜色变化。

Soleris微生物快速检测系统通过光电检测仪器，

中国乳业线上阅读

每6 min监测试剂瓶底部胶体栓颜色变化引起的光度值差异[19]，根据“检出时间”判断样品中的菌落含量，可实现定性、定量、半定量检测[20]。

2.2 试验方法

2.2.1 加标菌悬液的制备

取1 环大肠埃希氏菌标准菌株，加入9 mL TSB肉汤内，在36 ℃电热恒温培养箱过夜培养（培养后菌含量约10^8 CFU/mL）；将培养物置于−20 ℃冰箱冷冻至少1 天，待其自然化冻后进行梯度稀释并计数浓度（剩余菌悬液4 ℃保存），即完成加标菌悬液制备，后续加标试验均采用该浓度菌悬液。

2.2.2 样品处理及上机检测

本文在样品前处理过程中不再区分含乳和不含乳冷冻饮品，而是将其进行统一优化，即待冷冻饮品融化混匀后取25 g至225 mL 0.85%灭菌生理盐水中，充分混匀；必要时用1 mol/L NaOH或HCL溶液调节pH值至6.7±0.2。

选取样品集3 组，分别设置高、中、低3 种污染水平，移取5 mL处理后的待测样品加入Soleris试剂瓶中，每个污染水平平行检测5 个样品；按照Soleris微生物快速检测系统参数设置（表1）进行上机检测[21]。

2.2.3 Soleris微生物快速检测系统方法试验检出率

由表2可知，30 个试验样品均被检出，Soleris系统预警时间范围为7.2~11.9 h，且检出时间与大肠菌群污染水平呈显著负相关：污染水平越高，检出时间越短；污染水平越低，检出时间越长。

所有样品的检测时间均小于16 h（系统截止时间），表明样品中大肠菌群数量均高于产品限量值（10 CFU/g），证明Soleris系统对不同污染水平样品的阳性检出率均为100%，且无假阳性、假阴性结果。此外，阴性对照与空白对照组经Soleris系统检测均显示“未检出”，国标平板计数法验证结果亦为“<10 CFU/g”，进一步证实了Soleris系统的准确性与可信度。

2.2.4 Soleris微生物快速检测系统方法稳定性分析

将表2中的3 组样品集的国标平板计数法检测结果对数值为纵坐标和Soleris检出时间为横坐标，绘制回归校正曲线：y=−0.405 3x+6.061 9（R^2=0.869 6）（图1）。曲线分析显示，Soleris检出时间随大肠菌群数量的减少而增加，呈显著负相关趋势；且R^2=0.869 6，趋近于1，表明污染水平对检出时间的影响具有较强的解释性，充分证明Soleris微生物快速检测系统检测结果的稳定性与可靠性。

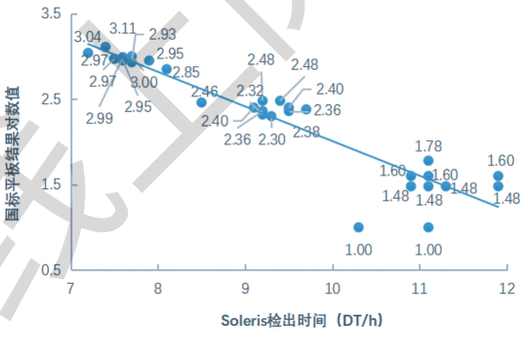


图 1 Soleris 微生物快速检测系统方法曲线

为进一步验证系统重复性，选取高、中、低污染水平样品各3 份，每份样品平行检测6 次，计算组内相对标准偏差（RSD）。结果显示，高水平污染样品RSD为1.8%~2.5%，中水平组为2.1%~3.0%，低水平组为2.7%~3.4%，组内最大RSD仅3.4%，远低于微生物检测领域5%的允许误差范围[22]，进一步证实Soleris微生物快速检测系统在冷冻饮品大肠菌群检测中的稳定性与重复性。

2.2.5 Soleris微生物快速检测系统方法重复性验证

选取不同污染水平的样本集3 组，每组样本进行5 次重复检测，结果见表3。汇总分析数据显示，组内最大的相对标准偏差为3.4%，相对标准偏差越

表 1 Soleris 微生物快速检测系统参数设置

产品类型	项目	阈值	Skip	ShutEye	检测时间（h）	截止时间（h）	温度（℃）
冷冻饮品	大肠菌群	10	1	25	17	16	35

注：（1）Skip−跳过，间接调节仪器灵敏度；（2）ShutEye−闭眼时间，避免出现基质干扰，导致的错误报警

中国乳业线上阅读

表 2 样品检测结果

样品编号	污染水平	Soleris 微生物快速检测系统方法检出时间（h）	国标平板计数法检测结果（CFU/mL）	平板计数法结果对数值
含乳样品 1	高水平	7.7	860	2.93
不含乳样品 1		7.4	1 300	3.11
含乳样品 2		7.9	900	2.95
不含乳样品 2		7.2	1 100	3.04
含乳样品 3		7.5	930	2.97
不含乳样品 3		7.6	890	2.95
含乳样品 4		7.7	1 000	3.00
不含乳样品 4		7.6	970	2.99
含乳样品 5		8.1	700	2.85
不含乳样品 5		7.5	940	2.97
含乳样品 6	中水平	9.7	240	2.38
不含乳样品 6		9.3	200	2.30
含乳样品 7		9.5	250	2.40
不含乳样品 7		8.5	290	2.46
含乳样品 8		9.2	210	2.32
不含乳样品 8		9.2	230	2.36
含乳样品 9		9.5	230	2.36
不含乳样品 9		9.2	300	2.48
含乳样品 10		9.1	250	2.40
不含乳样品 10		9.4	300	2.48
含乳样品 11	低水平	11.1	30	1.48
不含乳样品 11		11.1	60	1.78
含乳样品 12		10.3	10	1.00
不含乳样品 12		11.3	30	1.48
含乳样品 13		10.9	40	1.60
不含乳样品 13		11.9	40	1.60
含乳样品 14		11.1	40	1.60
不含乳样品 14		11.1	10	1.00
含乳样品 15		10.9	30	1.48
不含乳样品 15		11.9	30	1.48
阴性对照	/	未检出	< 10	/
空白对照	/	未检出	< 10	/

小，表示结果准确性越高，重复性越好。

2.2.6 Soleris微生物快速检测系统方法检测结果谱图详解

Soleris微生物快速检测系统方法检测结果为阳性时，其图谱曲线前期平直，后呈现拟似躺下的S形态且图谱上曲线会出现明显转折点（图2）。由于大肠菌群生长代谢产酸，导致Soleris试剂瓶内的pH值发生变化，使其上部液体和底部的胶体栓颜色变成黄色具体见图3。

表 3 Soleris 微生物快速检测系统方法重复性验证结果

样品编号	Soleris 微生物快速检测系统检出时间平均值（h）	标准偏差（%）	相对标准偏差（%）	极差
含乳样品高水平	7.780	0.203	0.026	0.40
含乳样品中水平	9.400	0.219	0.023	0.60
含乳样品低水平	10.860	0.293	0.027	0.80
不含乳样品高水平	7.460	0.149	0.020	0.40
不含乳样品中水平	9.120	0.318	0.034	0.90
不含乳样品低水平	11.460	0.366	0.031	0.80

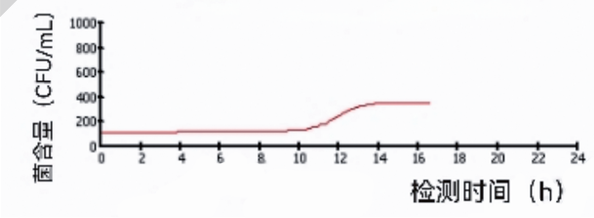


图 2 Soleris 微生物快速检测系统方法检测阳性样品典型图谱



图 3 Soleris 微生物快速检测系统阳性检测结果颜色

Soleris微生物快速检测系统方法检测结果为阴性时，图谱曲线表现为近似直线，无显著波动（图4）。试剂瓶上部液体及底部胶体栓保持紫色

中国乳业线上阅读

（图5）。

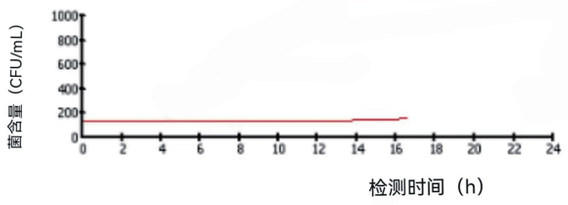


图 4 Soleris 微生物快速检测系统检测阴性样品典型图谱



图 5 Soleris 微生物快速检测系统阴性检测结果颜色

3 讨论和结论

针对微生物检测复现性差、以及因前处理方式不同导致的Soleris微生物快速检测系统在冷冻饮品检测中的应用局限，本研究通过统一前处理步骤，成功优化了该系统的检测方法。优化后的方法在确保准确度、稳定性、灵敏度及阳性预警时间与微生物数量负相关关系的前提下，有效减少了人为误差与工作量，提升了检测效率。本试验表明，当国标法有检出时，Soleris微生物快速检测系统预警时间为7.7~11.9 h，且后续研究有望将其缩短至13 h以内。本研究不仅为Soleris微生物快速检测系统的后续研究扩展提供了数据支撑，更增强了企业依靠快速检测实现产品放行的信心，为快速发货流程提供了科学依据。

参考文献

[1] 李丽，刘瑶，韩亚娟.发达国家乳业发展经验及对中国的启示[J].食品科学技术学报，2017，35（2）：84–88.

[2] 唐铭.基于钻石模型的中国乳业现状分析[J].商情，2017（19）：58.

[3] 熊强，史纯珍，刘钊.食品微生物快速检测技术的研究进展[J].食品与机械，2009，25（5）：133（184.

[4] 樊蕴秀，李敏，郑隽，等.实时光电微生物检测技术在乳品质控中的应用[J].乳业科学与技术，2013，36（5）：25–28.

[5] 邹泽宇，隋青，王凤丽，等.果蔬类食品货架期的预测方法及研究进展[J].中国果菜，2025，45（2）：9–17.

[6] 贺晨，孙鸿燕，邵丽筠，等.多重PCR结合基因芯片技术检测11 种致病菌方法的建立[J].中国实验诊断学，2011，15（4）：587–591.

[7] 王晓宏，熊正英.多重PCR–质谱联用技术在病原体检测中的应用及比较[J].微生物学免疫学进展，2011，39（4）：81–83.

[8] Park Y，Cho Y H，Jee Y，et al. Immunomagnetic separation combined with real–time reverse transcriptase PCR assays for detection of norovirus in contaminated food[J].Applied & Environmental Microbiology，2008，74（13）：4226–4230.

[9] 金慧英，陶开华，李越希，等.大肠菌群O157菌体抗原基因检测芯片的制备[J].生物技术通讯，2003，14（6）：279–283.

[10] 鲍俊杰，杨红玲，郭彩娇，等.酶联免疫吸附测定法与化学发光微粒子免疫分析法检测广州地区儿童HBsAb结果分析[J].中西医结合肝病杂志，2009，19（1）：44–46.

[11] 谭秀山，俞雅琼，赵兴.食品微生物检测技术的研究进展[J].中国食品工业，2012（3）：51–53.

[12] Cunha A F，Lage A D，Pereira e Ará jo M M，et al.Evaluation of microbiological quality of UHT milk drink and UHT milk cream by ATP–Bioluminescence[J].Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia，2013，65（2）：595–600.

[13] 易敏英，李志勇.电阻抗法快速检测鲜牛奶中细菌总数[J].中国乳品工业，2001，29（3）：30–31.

[14] 李春艳，霍贵成，王德国，等.ATP生物发光法快速测定生乳中微生物总数的研究[J].食品工业科技，2008，39（7）：103–106.

[15] 王宁，刘宁.流式细胞术快速检测生乳中细菌总数[J].食品工业科技，2007，28（9）：197–200.

[16] 孔丽娜，李祖明，吴聪明，等.生乳微生物快速检测技术研究进展[J].食品研究与开发，2013（24）：268–271.

[17] 北京安普生化科技有限公司，Soleris系统在乳制品微生物快速检测领域的应用[J].食品安全导刊，2012（7）：34–35.

[18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会，国家食品药品监督管理总局.GB 4789.3—2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验大肠菌群计数[S].

[19] 萨日那，康俊巍，李玉英，等.快速微生物法与国标法对比实验研究[J].中国食品工业，2013（9）：58–59.

[20 邢益俊，何瑛，林木娣，等.Soleris微生物快速检测系统在巴氏杀菌乳中的应用验证[J].中国乳业，2022（11）：85–88，93.

中国乳业线上阅读

[21] 张雪苍，周国磊，傅科涵，等.Soleris检测技术在焙烤食品微生物检测中的应用研究[J].食品科技，2020，45（4）：321-326.

Application and Optimization of Soleris Microbiological Rapid Detection System Coliform Group Detection of Frozen Desserts

CHEN Chen，ZHANG Huiping，JIN Wei，LI Zhenxia，LI Ruixue，JIN Xiao，ZHANG Jingze

Inner Mongolia Mengniu Dairy Industrial Co.，Ltd.，Hohhot Inner Mongolia 011517

Abstract：[Objective] This study aimed to optimize the pretreatment steps of the microbiological rapid detection method for coliforms in frozen desserts using the Soleris microbiological rapid detection system，with the results of the traditional national standard plate counting method for coliforms as the calibration dataset，and to establish a regression calibration curve for coliforms，providing efficient technical support for microbiological detection of frozen desserts.[Method] First，the pretreatment processes for dairy-containing and non-dairy frozen desserts were optimized and unified: 25 g of melted and mixed samples were placed in 225 mL of sterile diluent，and the pH was adjusted to 6.7±0.2 if necessary.Then，the Soleris microbiological rapid detection system and the traditional national standard plate counting method （GB 4789.3—2016） were used to simultaneously detect coliforms in frozen desserts，and the applicability of the Soleris system was verified by comparing the detection results of the two methods.[Result] The detection rate of the Soleris microbiological rapid detection system for 30 samples with different pollution levels reached 100%，with no false positive or false negative results. The regression calibration curve of the detection results was y=-0.405 3x+6.061 9 （R^2=0.869 6），indicating a significant negative correlation between the Soleris detection time and the number of coliforms. Repeatability verification showed that the maximum intra-group relative standard deviation was only 3.4%，indicating good system stability.[Conclusion] On the basis of maintaining the characteristic of "negative correlation between positive warning time and the number of target microorganisms"，the optimized Soleris microbiological rapid detection system significantly shortens the detection cycle （warning time 7.2~11.9 h），effectively reduces the detection workload and improves the detection efficiency，which can meet the needs of rapid quality control in the production process of frozen desserts.

Keywords：frozen desserts；coliforms；Soleris microbiological rapid detection system；pretreatment optimization；regression calibration curve

中国乳业线上阅读