生牛乳高体细胞数的成因分析及综合防控策略

袁文焕[1]，陈静怡[2]，张天琦[2]，贾春涛[2*]

1 天津市武清区农业发展服务中心，天津 301700
2 国家奶牛产业技术体系武清综合试验站，天津 301718

摘　要：[目的]体细胞是奶牛乳腺免疫系统的核心组成部分，其数量变化是衡量奶牛健康状况和生牛乳质量的关键指标。[方法]本文基于天津市某奶牛牧场2024年1月至2025年3月的生产性能测定数据，系统分析了体细胞数（SCC）与泌乳阶段、胎次、季节等因素的关联规律。[结果]体细胞数随奶牛胎次增加呈显著上升趋势，三胎及以上奶牛体细胞数超过50 万/mL的比例达46.2%；泌乳后期（121~150 天）体细胞数均值（29.6 万/mL）显著高于泌乳初期（30 天内，19.2 万mL）；夏季体细胞数（如2024年8月达41 万/mL）较春秋季高10%~30%，且高体细胞数与奶产量呈显著负相关（经t检验，p=0.0024<0.05）。[结论]本文结合国际国内体细胞数限值标准，深入剖析高体细胞数的成因与危害，并提出涵盖疾病防控、环境优化、饲养管理、挤奶规范等多维度的综合防控策略，为提升生牛乳质量与奶牛健康水平提供技术支撑。

关键词：生牛乳；体细胞数；成因分析；防控策略；奶业质量

文章编号：1671–4393（2025）08–0075–07　　DOI:10.12377/1671–4393.25.08.12

0 引言

牛乳体细胞是反映奶牛乳腺健康状态的“生物标志物”，生乳中体细胞主要是白细胞（淋巴细胞、巨噬细胞、多形核嗜中性白细胞），约占99%，还含有少量乳腺组织脱落的上皮细胞，约占1%[1, 2]。其中，白细胞包括中性粒细胞、巨噬细胞、淋巴细胞等，是机体抵御乳腺感染的第一道防线——当乳腺受病原体侵袭或外界刺激时，白细胞会迅速聚集至感染部位，通过吞噬病原体、修复损伤组织等方式发挥免疫作用，导致体细胞数（SCC）急剧升高。在正常生理状态下，

基金项目：国家奶牛产业技术体系项目（CARS–36–37）
作者简介：袁文焕（1972–），女，天津人，本科，高级兽医师，研究方向为畜牧兽医技术；
陈静怡（1997–），女，湖南人，硕士，研究方向为经济管理；
张天琦（1997–），男，天津人，硕士，研究方向为经济管理。
*通信作者：贾春涛（1964–），男，天津人，大专，研究方向为奶牛养殖及牧场管理。

中国乳业线上阅读

健康奶牛的体细胞数通常维持在20 万/mL以下；当SCC超过50 万/mL时，往往提示乳腺存在炎症（如乳房炎）或潜在健康风险[3]。随着全球奶业竞争加剧和消费升级，体细胞数已成为衡量生牛乳质量的核心指标，更是乳品国际贸易的“通行证”。例如，欧盟、新西兰等发达国家将SCC限值定为40 万/mL，中国大型乳品企业的内控标准已收紧至20 万/mL，凸显出控制高体细胞数对产业升级的重要性。本文以天津某规模化牧场的生产实践数据为基础，系统梳理体细胞数的影响因素、危害及防控技术，旨在为牧场精准管理提供科学依据。

1 生牛乳体细胞数限值标准

体细胞数限值是衡量生牛乳质量的法定或行业基准，不同国家和地区因奶业发展阶段、产业政策差异，标准存在显著分化，但整体呈现“趋严化、统一化”趋势（表1）。

1.1 主要奶业发达地区的标准体系

1.1.1 欧盟

作为全球奶业标准化的标杆，欧盟通过《欧盟理事会指令92/46/EEC》（1992年）和《欧盟委员会法规（EC）No 853/2004》（2004年）构建了完善的体细胞数管控体系，明确规定生牛乳SCC≤40 万/mL，同时要求菌落总数≤10 万CFU/mL[4]。此外，欧盟对乳成分（蛋白率≥2.9%、乳脂率≥3.5%）的推荐值也间接推动了体细胞数的控制——健康奶牛的乳成分更稳定，而高体细胞数常伴随蛋白、脂肪含量下降[4]。

1.1.2 美国

采用“联邦–州”两级标准体系，FDA在《联邦食品、药品和化妆品法案》中规定，SCC≤75 万/mL，而USDA推荐行业执行50 万/mL（优质奶源为30 万/mL）[4]。这种“弹性标准”兼顾了不同规模牧场的实际能力，但也导致区域间质量差异——例如，威斯康星州（乳业强州）的平均SCC为25 万/mL，而部分南部州仍达60 万/mL。

1.1.3 大洋洲

澳大利亚和新西兰作为全球重要乳制品出口国，执行与国际食品法典接轨的标准：常规生牛乳SCC≤40 万/mL，出口欧盟的优质奶源需≤20 万/mL。澳大利亚乳业局（Dairy Australia）在《澳大利亚乳业标准》（2018修订版）中强调，SCC<25 万/mL为“良好水平”，<15 万/mL 为“优秀水平”，通过行业自律推动质量提升。

1.2 中国标准演进

我国生牛乳体细胞数标准经历了从“无规定”到“分层细化”的过程：国家标准：《食品安全国家标准 生乳》（GB 19301—2010）[5]未对SCC作出规定，仅要求菌落总数≤200 万CFU/mL，难以满足产业升级需求。团体标准：为对标国际，中国奶业协会等组织制定了更严格的团体标准：《中国农垦乳业联盟产品标准 生鲜乳》（T/SFLA 001—2019）规定SCC≤30 万/mL[6]，《中国奶业D20标准 生牛乳》（T/DACS001—2021）[7]和《学生饮用奶 生牛乳》（T/DAC003—2017）均为40 万/mL，且蛋白率≥3.0%、乳脂率≥3.4%，与欧盟水平接轨。企业标准：伊利、蒙牛等头部乳品企业为保障高端产品质量，将收购标准提升至SCC≤20 万/mL，较团体标准严格50%，倒逼牧场改进管理。表1为主要国家/地区生牛乳体细胞数及关联指标标准对比。

表 1 主要国家 / 地区生牛乳体细胞数及关联指标标准对比

标准类别	标准名称	体细胞数（万 /mL）	蛋白率（%）	乳脂率（%）	菌落总数（CFU/mL）	抗生素残留
欧盟	（EC）No 853/2004	≤ 40	≥ 2.9（参考）	≥ 3.5（参考）	≤ 10 万	≤ 4 μg/kg
美国	行业推荐标准	≤ 50（优质≤ 30）	≥ 3.0	≥ 3.25	≤ 50 万	≤ 0.006IU/mL
中国（团体）	T/SFLA 001–2019	≤ 30	≥ 3.0	≥ 3.4	≤ 10 万	不得检出
中国（企业）	大型乳品企业内控标准	≤ 20	≥ 3.2	≥ 3.6	≤ 10 万	不得检出

中国乳业线上阅读

从表1可见，标准严苛程度与奶业竞争力呈正相关——标准越严的地区，乳制品附加值越高。例如，欧盟生乳因SCC控制严格，其奶酪、黄油等产品在国际市场的溢价可达30%以上。

2 高体细胞数的成因分析

天津市某牧场（存栏420~445 头）2024年1月至2025年3月的监测数据显示：全群平均SCC为29.3 万/mL，其中夏季（8月）最高（41万/mL），冬季（2月）最低（18.7 万/mL）；泌乳后期（121~150 天）SCC达29.6 万/mL，显著高于泌乳初期（30 天内，19.2 万/mL）。结合生产实践，高体细胞数的成因可归纳为以下六类。

2.1 病原体感染

病原体感染是导致SCC升高的最主要因素，占牧场高体细胞数案例的70%以上。常见病原体包括以下几种：一是金黄色葡萄球菌：可通过挤奶设备、人员接触传播，感染后引发慢性乳房炎，使SCC长期维持在100 万/mL以上，且难以根治。天津牧场数据显示，该菌感染牛的SCC平均达168 万/mL，日奶损失5.73 kg。二是链球菌：主要寄生在乳头孔周围，挤奶时侵入乳腺，导致SCC在2~3 天内升至50 万~80 万/mL，常伴随乳区红肿、产奶量骤降。三是支原体：通过空气或接触传播，感染后SCC可飙升至1 000 万/mL 以上，且抗生素治疗效果差，需及时淘汰病牛。此外，奶牛泌乳期感冒、消化不良、乳头外伤等也会间接诱发乳腺应激，导致SCC升高10%~20%。

2.2 外界应激

奶牛是应激敏感动物，运输、转群、冷热等刺激会通过神经–内分泌系统影响免疫功能。

一是热应激。当环境温度超过25 ℃时，奶牛会发生热应激，导致呼吸频率加快，皮质醇水平升高，抑制中性粒细胞吞噬能力，导致乳房抗感染能力下降[8]。天津牧场数据显示，夏季（6—8月）SCC较春秋季高10%~30%，其中8月SCC达41 万/mL，为全年峰值。二是冷应激。当冬季温度低于0 ℃时，若牛舍通风不良，湿度>80%，奶牛代谢能耗增加，免疫力降低，SCC波动幅度可达20%（如1月SCC 25.6 万/mL，2月降至18.7 万/mL）。三是管理应激。转群、接种疫苗等操作会导致奶牛紧张，24 h内SCC可暂时升高10%~15%，但通常3~5 天恢复正常。

2.3 环境卫生恶化

肮脏的环境是病原体滋生的“温床”，天津牧场监测发现：一是垫料污染：卧床垫料（如锯末、沙子）含水量>15%时，大肠杆菌、葡萄球菌繁殖速度提升2~3 倍，乳头污染率增加，SCC超标的风险增加。二是粪便清理不及时：牛舍粪便堆积超过24 h，氨气浓度升至20 ppm以上，会刺激奶牛呼吸道和乳腺黏膜，间接导致SCC升高。三是挤奶厅卫生：奶管、奶罐清洗不彻底（残留奶渍）会滋生细菌，使挤奶过程中的交叉感染率增加，尤其在夏季高温环境下更明显。

2.4 饲养管理粗放

营养失衡和管理不当会削弱奶牛免疫力，成为高SCC的“隐形推手”：一是能量负平衡：泌乳初期（产后30 天内）奶牛产奶需求高，若日粮能量不足，会导致游离脂肪酸升高，损伤乳腺细胞，SCC水平升高。二是粗饲料不足：粗饲料中中性洗涤纤维（NDF）<25%时，瘤胃发酵异常，内毒素释放增加，诱发乳腺炎症。天津牧场某批次奶牛因NDF仅22%，SCC达62.5 万/mL（11月121~150 天泌乳阶段）。三是矿物质缺乏：维生素E（<100 IU/kg）、硒（<0.3 mg/kg）不足会降低抗氧化能力，导致乳腺细胞易受自由基损伤，SCC升高。

2.5 挤奶操作不规范

挤奶环节直接接触乳腺，操作不当是SCC升高

中国乳业线上阅读

的“直接诱因”：一是设备参数异常：挤奶机真空度偏离38~46 kPa（如过高达50 kPa）会损伤乳头黏膜，导致细菌侵入；脉动频率<50 次/min则会使奶管内残留乳汁，滋生细菌，SCC升高。二是消毒不彻底：挤奶前未药浴乳头（或药浴时间< 30 s）、未丢弃前三把奶（含大量细菌），会导致病原体进入乳腺，使SCC超标的风险增加50%。三是奶杯内衬老化：使用超过6 个月的奶杯内衬弹性下降，会摩擦乳头，导致SCC升高，天津牧场更换新内衬后，SCC平均下降8%。

2.6 胎次与泌乳阶段

奶牛生理状态随胎次和泌乳阶段变化，直接影响SCC：一是胎次增加：三胎及以上奶牛乳腺组织退化，修复能力下降，SCC超50 万/mL 的比例达46.2%，显著高于一胎（27.7%）和二胎（26.1%）（表2）。例如，天津牧场3胎牛在2024年4月的SCC达167.1 万/mL，奶损失5.36 kg/天。二是泌乳后期：泌乳121~150天的奶牛乳腺闭合不全，感染风险增加，SCC达29.6万/mL，较泌乳初期（5.4 万/mL）高448%（表2），这与乳腺上皮细胞脱落增加、免疫力下降有关。

表 2 天津某牧场 2024 年 1 月至 2025 年 3 月不同胎次奶牛 SCC 超标（>50 万 /mL）比例

胎次	超标比例范围（%）	平均超标比例（%）	日奶损失（kg）
一胎	17.5~42.9	27.7	3.5~4.0
二胎	22.4~35.2	26.1	3.8~4.5
三胎及以上	26.8~55.6	46.2	4.5~5.5

3 高体细胞数的不良影响

体细胞数与牛乳质量、奶牛健康呈显著负相关，天津牧场数据显示，SCC>50 万/mL的奶牛，日奶损失达0.7~1.4 kg，且乳品质明显下降。

3.1 降低生乳品质

高SCC会通过“直接破坏”和“酶解作用”影响乳成分：一是营养成分下降：SCC每升高10 万/mL，乳蛋白下降0.02%~0.03%，乳脂下降0.03%~0.05%，乳糖下降0.04%~0.06%，而盐分（如钠、氯）升高0.01%~0.02%。例如，天津牧场SCC 62.5 万/mL的奶牛（11月121~150 天），乳蛋白率3.36%，较SCC 18.7 万/mL的奶牛（2月）低0.12%。二是酶解变质：体细胞破裂释放的脂肪酶、蛋白酶会水解乳成分——脂肪酶分解脂肪产生游离脂肪酸（酸味），蛋白酶破坏酪蛋白结构（产生苦味和凝胶），导致生乳货架期缩短30%~50%。对乳制品加工而言，高SCC的危害更显著（表3）[9]。

表 3 高 SCC 对乳制品的影响

乳制品类型	高 SCC（>50 万 /mL）的影响
超高温灭菌乳	热稳定性下降，易出现老化凝胶，保质期缩短 20%~30%
巴氏奶	货架期从 7 天缩至 5 天，口感出现涩味
奶酪	凝乳时间延长 20%~30%，质地松散，风味异常（苦味）
奶粉	喷雾干燥效率下降 10%，溶解性变差，易结块

3.2 损害奶牛健康与生产性能

高SCC是奶牛健康的“预警信号”，天津牧场数据显示影响有三大方面：一是产奶量下降：SCC>50 万/mL时，日奶损失0.7~1.4 kg，年单产减少5%~8%（如三胎牛SCC超标时，月奶损失达5.73 kg）。经t检验，SCC与奶损失的相关系数p=0.0024（p<0.05），表明二者存在显著负相关。二是繁殖力降低：乳房炎引发的炎症会干扰生殖激素分泌，使受胎率下降，空怀天数增加。天津牧场SCC>100 万/mL的奶牛，第一情期受胎率仅45%，较健康牛（65%）低20%。三是淘汰率升高：慢性高SCC（持续>100 万/mL）的奶牛，因治疗成本高、产奶量低，淘汰风险是健康牛的3 倍，三胎及以上牛淘汰率达25%。

4 体细胞数检测方法

准确检测SCC是防控的前提，目前常用方法可分为直接计数和间接检测两类，各有适用场景[10]。

中国乳业线上研讨会

4.1 直接计数法

4.1.1 显微镜计数法

将生乳样本涂片、染色后，在显微镜下人工计数（视野面积已知），换算成每毫升体细胞数。优点是成本低（仅需显微镜和染色剂），可区分白细胞和上皮细胞；缺点是耗时（每样本30 min），误差大（±20%），适合小型牧场快速筛查。

4.1.2 体细胞计数器法

基于电学（电阻抗）或光学原理（激光计数），自动计数体细胞。例如，丹麦Foss体细胞计数器可在1 min内出结果，误差<5%，但设备成本较高（约10 万元），适合中型牧场日常检测。

4.2 间接检测法

4.2.1 加州乳房炎试验（CMT）

通过化学试剂（如烷基硫酸钠）与体细胞中的核酸反应，形成凝胶，根据凝胶强度半定量判断SCC（“+++”表示SCC>50 万/mL）。优点是操作简单（5 min/样本）、成本低（每头次0.5 元），适合牧场现场筛查，但无法精准计数。

4.2.2 流式细胞仪法

用荧光染料标记体细胞，通过流式细胞仪识别并计数，精度达99%，可区分活细胞和死细胞。缺点是设备昂贵（>50 万元），需专业人员操作，多用于科研或大型乳企实验室。

4.2.3 近红外光谱法（NIRS）

通过生乳的近红外光谱特征建立模型，预测SCC，适合乳品企业收购环节批量检测（每小时>100样本），但需大量样本校准模型，误差5%~10%。

牧场可根据规模选择方法：小型牧场用CMT筛查，中型牧场用体细胞计数器，大型牧场或乳品企业采用流式细胞仪或NIRS。

5 高体细胞数的综合防控策略

防控高SCC需“多管齐下”，结合天津牧场的实践经验，核心策略包括以下四方面。

5.1 强化疾病防控与健康管理

定期监测：每月全群检测SCC（用体细胞计数器），高风险牛（三胎及以上、泌乳后期）每2 周1次；对SCC>50 万/mL的牛，进行细菌分离鉴定（如葡萄球菌、链球菌），针对性用药。干奶期管理：干奶前10 天检测SCC，>50 万/mL时延长干奶期至60 天，采用“长效抗生素+乳头封闭剂”双重防护，促进乳腺修复。淘汰机制：对慢性感染（SCC持续>100 万/mL、治疗3 个疗程无效）的牛及时淘汰，天津牧场通过该措施使高SCC牛比例从46.2%降至35%。

5.2 优化饲养环境与营养

环境管控：卧床垫料每日更换，保持含水量<15%、厚度>10 cm，每周用生石灰消毒1 次；夏季启用喷淋+风扇系统（温度>25 ℃时），控制温湿度指数（THI）<70；冬季牛舍温度保持5~15℃，氨气浓度< 5 ppm；挤奶厅每班次清洗消毒（85 ℃热水循环30 min），奶管、奶杯内衬每周拆洗1 次。精准营养：泌乳期日粮能量≥1.75 Mcal/kg，粗饲料NDF 28%~32%，ADF>19%，避免能量负平衡；夏季添加碳酸氢钠（精料的1.5%）和氯化钾（日粮的0.6%）缓解热应激；补充维生素E（100~150 IU/kg）、硒（0.3~0.5 mg/kg），增强抗氧化能力。

5.3 规范挤奶流程

定期进行设备维护，每周检测挤奶机真空度（38~46 kPa）和脉动频率（50~60 次/min），奶杯内衬每6 个月更换1 次，避免老化损伤乳头。严格操作规范，挤奶前：用温水清洗乳头，药浴（含氯消毒剂）30 s，擦干后丢弃前三把奶（约50 mL，含大量细菌）；挤奶中：轻柔操作，避免拉扯乳头，单次挤奶时间≤8 min，间隔8~12 h；挤奶后：立即用碘制剂药浴乳头，确保药液覆盖整个乳头，停留30 s以上。

中国乳业线上阅读

5.4 动态数据跟踪与改进

首先是建立档案，记录每头牛的SCC、胎次、泌乳阶段、用药情况等，形成“牛只健康卡”。其次进行数据分析，每月统计SCC超标率、胎次分布、季节变化等，识别关键影响因素（如夏季热应激、三胎牛管理），针对性调整措施。例如，天津牧场发现夏季SCC偏高后，增设喷淋系统，使2025年夏季SCC较2024年下降15%。

6 结论

体细胞数是衡量生牛乳质量和奶牛健康的“金标准”，其升高与病原体感染、环境应激、管理粗放等密切相关，不仅导致乳品质下降、乳制品加工性能恶化，还会降低奶牛产奶量和繁殖力，增加养殖成本。天津某牧场的实践表明，通过“疾病精准防控+环境优化+规范挤奶 + 数据跟踪”的综合策略，可有效控制SCC——全群平均SCC维持在50 万/mL以下，夏季峰值从41 万/mL 降至35 万/mL，三胎牛超标比例从46.2%降至38%，显著提升了生产效益。

未来，随着中国奶业与国际接轨，体细胞数标准将进一步收紧，牧场需从“被动达标” 转向“主动管理”，通过智能化监测（如在线体细胞传感器）、个性化营养等技术，推动生牛乳质量向“优质奶”（SCC<20 万/mL）升级，为产业高质量发展奠定基础。

参考文献

[1] 杨爱君，阮征，曾庆孝. 控制体细胞数在优质生鲜奶生产中的应用[J].中国乳品工业，2005，33（1）：53–56.

[2] Shook G E，Schutz M M. Selection on somatic cell score to improve resistance to mastitis in the United States[J]. Journal of Dairy Science，1994，77（2）：648–658.

[3] 程广龙，江喜春，赵辉玲，等. 牛奶中高体细胞数的危害及调控措施[J].畜牧与饲料科学，2009，30（4）：65–66.

[4] 王娟. 生牛乳国内外法规与标准及相关技术要求质量安全指标比对分析研究[J].中国标准化，2021（19）：179–185.

[5] 中华人民共和国卫生部.GB19301–2010 食品安全国家标准 生乳[S].

[6] 中国农垦乳业联盟. T/SFLA 001–2019 中国农垦乳业联盟产品标准 生鲜乳[S].

[7] 中国奶业协会.T/DACS 001–2021 中国奶业D20标准 生牛乳[S].

[8] 黎益图，邓菊芬，覃芳娇，等. 牛热应激的危害及防控措施[J]. 山东畜牧兽医，2025，46（5）：64–66.

[9] 王益，吕加平，张柏林. 体细胞数对乳制品加工品质的影响及其快速检测方法[J]. 食品与发酵工业，2006（12）：114–118.

[10] 韦婧，程智，陈锋，等. 生鲜牛乳体细胞数检测技术进展[J]. 医疗卫生装备，2016，37（10）：117–120.

Analysis of Causes and Comprehensive Prevention Strategies for High Somatic Cell Count in Raw Milk

YUAN Wenhuan[1]，CHEN Jingyi[2]，ZHANG Tianqi[2]，JIA Chuntao[2*]

[1]Agricultural Development Service Center of Wuqing District，Tianjin 301700

[2]Wuqing Comprehensive Experimental Station，National Dairy Industry Technology System，Tianjin 301718

Abstract：[Objective] Somatic cells are a core component of the dairy cow mammary gland immune system，and their quantity variation serves as a key indicator for assessing cow health status and raw milk quality. [Method]

下转87页

中国乳业线上阅读