开放科学（资源服务）
标识码（OSID）
扫一扫，了解文章更多内容

奶牛早期胚胎死亡的综合研究与精准防控策略

张廷青，乔　治[1]，吕宏伟[2]

1 西北农林科技大学，陕西咸阳 712000
2 宁夏大学，宁夏银川 750000

摘　要：奶牛早期胚胎死亡（EED）是制约奶牛养殖业繁殖效率的核心问题，其发生率高达20%~30%，严重影响情期受胎率。本文系统阐述了EED的定义、分类及发生机制，从胚胎自身、母体、父本和环境等多角度分析了影响因素，并详细介绍了妊娠诊断技术与各阶段胚胎丢失特征。研究提出了一系列精准防控策略，包括优化饲养管理、提升繁殖技术、强化健康管理和建立监测体系，旨在降低胚胎丢失率，提升奶牛繁殖效率。本文为奶牛养殖业的实践提供了理论依据和技术指导。

关键词：奶牛；早期胚胎死亡；繁殖效率；影响因素；防控策略

文章编号：1671-4393（2025）07-0006-06　　DOI:10.12377/1671-4393.25.07.02

中国乳业线上阅读

1 早期胚胎死亡的基本概念与分类

1.1 定义界定

牛早期胚胎死亡（Bovine Early Embryonic Death，EED）特指妊娠42 天之前的胚胎丢失现象，是奶牛繁殖过程中最主要的妊娠失败类型。尽管奶牛的受精率普遍可达90%以上，但在配种后60 天的常规妊娠检查中，实际妊娠率远低于受精率，大量实践数据证实，20%~30%的受精卵会在妊娠早期阶段丧失，而泌乳牛的胚胎总丢失率甚至可达到40%~50%，这一现象严重制约了奶牛养殖的经济效益。

1.2 分类标准

根据胚胎发育的时间节点，EED可进一步细分为两种类型：真正的早期胚胎死亡：指胚胎在受精后尚未完全着床前发生的丢失，时间主要集中在配种后第7至24天，此阶段涵盖胚胎基因组激活、囊胚形成与孵化等关键发育过程，任何环节的异常都可能导致胚胎死亡。晚期胚胎死亡：指25~42 天之间发生的胚胎丢失，该阶段涉及母体妊娠识别的巩固与

作者简介：张廷青，美国明尼苏达大学兽医学院兽医产科学博士，奶牛养殖业咨询师，专注现代化奶牛养殖业经营技术；
乔　治（1985-），男，陕西临潼人，专科，研究方向为临床兽医、遗传育种、牧场管理；
吕宏伟，男，宁夏固原人，本科，研究方向为犊牛管理，临床兽医，牧场管理。

胎盘初步形成，胚胎与母体间的物质交换和信号传递机制若出现异常，极易引发胚胎丢失。

需要特别注意的是，妊娠42 天之后的孕胎丢失通常被称为胎儿死亡，不属于早期胚胎死亡范畴，其发生机制与影响因素均与EED存在显著差异。

2 胚胎死亡的多因素协同作用机制

2.1 胚胎自身因素

胚胎自身的发育潜能是决定其存活的内在核心因素，在妊娠第一周即表现出极高的淘汰率。对12项相关研究的荟萃分析显示，肉牛胚胎在妊娠第7天前的损失率高达28.4%，其中第4天前的丢失率为23%；在奶牛中，仅约70%的排卵卵母细胞能在配种后第6至8 天形成具备发育潜力的可存活胚胎。具体影响因素如表1所示。

由表1可知，胚胎自身因素主要包括：一是受精错误：如染色体异常或配子融合缺陷，可直接导致受精卵无法正常分裂发育。二是胚胎基因组激活（EGA）异常：EGA发生于胚胎8至16细胞阶段，是胚胎从依赖母源mRNA 和蛋白质向自主转录翻译自身基因组转换的关键过程，若此转换失败，胚胎发育将终止于16细胞阶段前。研究表明，4细胞阶段或之前约7 400 个早期胚胎转录组基因需被完全激活，与RNA加工、转运及mRNA 翻译密切相关，任何环节的紊乱都会影响EGA进程。三是胚胎延伸不足与信号分子分泌异常：胚胎孵化后需迅速延伸以完成母体妊娠识别，滋养层细胞分泌的干扰素－τ（IFNT）是阻止黄体溶解的关键信号分子，若分泌量不足或时机延误，会导致母体无法识别妊娠，引发黄体退化。此外，妊娠相关糖蛋白（PAG）水平过低也会影响胎盘功能建立，增加胚胎丢失风险。

2.2 母体因素

母体的生理状态与内环境稳定是胚胎存活的重要保障，其影响贯穿从卵母细胞成熟到胎盘形成的全过程：**一是激素水平异常**：孕酮（P_4）水平不足会导致子宫环境不稳定，影响胚胎着床与发育；前列腺素（PG）分泌异常，尤其是PGF2α 脉冲频率增加，会诱发黄体溶解，终止妊娠。研究显示，间情期循环孕酮水平较高的母牛，1~2 级胚胎率可达86.5%，显著高于孕酮水平较低组的61.5%。**二是子宫内环境紊乱**：子宫内膜分泌的组织营养液（Histotroph）富含蛋白质、葡萄糖、脂类及信号分子，是胚胎早期发育的主要营养来源。人为干扰组织营养液组成（如发情后第4天或第7天冲洗子宫腔），可使胚胎移植妊娠成功率分别下降33.1%和30.6%。此外，子宫内膜对IFNT的反应不足，会影响母体妊娠识别机制的启动。**三是代谢与健康状况**：泌乳早期体膘丢失过多、严重能量负平衡及循环非酯化脂肪酸（NEFAs）含量过高，会显著增加早期胚胎退化风险；产后代谢性疾病（如酮病）、子宫内膜炎症等，可通过影响激素分泌与免疫平衡，间

表 1 胚胎丢失的潜在影响因素

胚胎因素	母体因素	父体因素	环境因素
受精错误	孕酮（P_4）水平不足	精子形态异常及活力差	营养摄入不足
胚胎基因组激活（EGA）异常	子宫分泌液（histotroph）成分异常	精子内聚体（Aggresome）形成异常	暴露于高环境温度
胚胎基因表达调控紊乱	对胚胎干扰素（IFNT）反应不足	公牛精子对低 PAG 表达的潜在影响	流产相关病原感染
胚胎延伸不足	前列腺素（PG）分泌异常		各类应激
干扰素－τ（IFNT）分泌不足	胎盘功能异常		
无法有效诱导母体识别妊娠（MRP）			
妊娠相关糖蛋白（PAG）水平过低			

中国乳业线上阅读

接导致胚胎死亡。

2.3 父本因素

传统观点认为父本仅提供一半遗传物质，但近年研究证实父本在胚胎发育中发挥着不可忽视的作用：精子质量缺陷：精子形态异常、活力差及精子内聚体（Aggresome）形成异常，会影响受精效率及胚胎早期发育。计算机辅助精子分析系统（CASA）显示，低生育力公牛精子头部聚集体数量显著高于高生育力公牛，且这种差异在精子纯化前更为明显。

父本受孕率（SCR）影响：SCR定义为一剂精液促成妊娠的概率，低SCR公牛产生的囊胚数量明显少于高SCR公牛，且卵母细胞未受精率及胚胎退化率显著上升，提示其可能存在影响受精效率及早期胚胎发育支持能力的生理或分子缺陷。

胎盘发育调控作用：父源基因在滋养层及胎盘发育中具有关键作用，孤雌胚胎（不含父源基因组）虽能通过母体妊娠识别阶段，但在着床与胎盘形成方面效能不足。研究发现，不同父本后代的母体验证妊娠相关糖蛋白（PAG）浓度存在显著差异，PAG水平低的群体胚胎丢失率更高，表明父本可能通过调控胎盘信号分泌影响妊娠维持。

2.4 环境因素

环境应激是诱发胚胎死亡的重要外部因素，主要包括：**一是营养应激**：营养摄入不足或失衡（如赖氨酸、蛋氨酸、组氨酸缺乏）会影响子宫分泌物组成，妊娠8~27日期间，子宫腔分泌物中这三种氨基酸的浓度需较空怀期分别增加14.39、12.39和11.48倍，否则会导致早期胚胎/孕体死亡；高能量日粮则可能通过升高胰岛素水平和扰乱氨基酸平衡，间接影响胚胎发育。**二是物理与气候应激**：高环境温度可显著降低受精成功率，热应激条件下自然发情配种未受精率达31%，显著高于正常气温组的16%；运输、调群、频繁调整日粮配方等管理应激，会干扰下丘脑–垂体–卵巢轴功能，导致激素分泌紊乱，影响卵泡发育与胚胎着床。**三是病原感染**：牛病毒性腹泻病毒（BVDV）、传染性牛鼻气管炎病毒（IBR）等可直接感染生殖组织，破坏子宫内环境或干扰妊娠信号传导，如 BVDV 可导致黄体功能障碍和孕酮水平下降，IBR可干扰IFNT信号传递，诱发胚胎死亡。

3 妊娠诊断技术与胚胎存活评估方法

3.1 直肠触诊

直肠触诊是最传统的妊娠诊断方法，通常在配种后29~35 天进行，由专业人员通过触摸子宫内胚胎及其附属膜判断妊娠状态。其优势在于无需昂贵设备，成本较低，能初步判断子宫内是否存在胚胎；但诊断准确性高度依赖操作者经验，妊娠35 天前因胎膜滑动感不明显、羊膜囊较小，判断准确性受限，且无法评估胚胎活性。

3.2 超声检查

超声检查技术在规模化牧场中应用广泛，可在配种后28 天左右开始检测，通过7.5~10 MHz直肠探头直观观察胎膜囊、胚胎心跳，并测量胚胎“头尾长度”（CRL）判断发育阶段。该技术具备早期识别异常妊娠或胚胎死亡的能力，尤其在妊娠25~40 天可通过监测胎儿心率评估存活性：正常胎儿心率为（130±15 ）次/min，低于100 次/min提示发育迟缓，超过200 次/min可能存在应激或异常。尽管设备成本和操作门槛较高，但其高准确性使其成为评估胚胎存活的重要手段。

3.3 血液与乳样检测

基于妊娠相关糖蛋白（PAG）的检测技术是近年来的新兴方法，可在配种后28 天通过检测母体血液或乳样中PAG 浓度判断妊娠状态。PAG 仅在妊娠或刚发生流产时出现于循环系统，适用于大批量快速检测，现场胶体金法20 min内可出结果，实验室检测则需数日内反馈。目前市售产品阳性预测值为

中国乳业线上阅读

93%~98%，假阳性率为1%~7%，但局限性在于无法判断胚胎活性，难以识别早期胚胎死亡个体。

4 妊娠早期各阶段胚胎丢失特征与成因

4.1 各阶段划分及总体特征

为系统分析妊娠早期胚胎丢失规律，可将其细分为五个功能阶段，各阶段的丢失率及主要成因如表2所示。

4.2 各阶段详细解析

4.2.1 受精阶段（0~1 天）

此阶段正常丢失率约10%，异常情况下可达50%。主要成因包括应激、配种前孕酮水平较高及子宫内膜炎症等。应激会造成外周血和卵泡液中FSH、LH 等激素及营养因子水平失衡，损伤卵母细胞成熟或排卵过程；子宫内膜炎症则会导致多核细胞增多，攻击卵子或吞噬受精卵。监测重点为冻精质量、人工授精操作规范性及子宫健康状况。

4.2.2 妊娠第1周（2~7 天）

该阶段胚胎在输卵管分泌液和子宫角前端分泌液中发育，依赖母源mRNA和蛋白质，胚胎基因组激活是关键节点。正常丢失率10%，异常丢失率50%，主要成因包括卵子质量差、配种前孕酮水平较高及产后代谢性疾病等。大卵泡（直径>1.5~1.6 cm）排卵或排卵延迟会影响胚胎发育，如排卵延迟时，胚胎发育至16细胞的成功率仅14%，显著低于正常排卵组的86%。

4.2.3 妊娠8~27 日

此阶段是母体妊娠识别的关键时期，正常丢失率20%，是早期胚胎丢失的高发阶段。胚胎需分泌足量IFNT以阻断PGF2α释放，维持黄体功能。主要成因包括孕体延伸与母体内环境不同步、孕酮水平低及子宫营养不足等。同期排卵处理流程对妊娠率影响显著，双同期排卵处理的输精后19日妊娠率达76.1%，显著高于单同期排卵组的51.5%。此外，泌乳牛子宫环境对胚胎发育的支持能力不及育成牛，13 日龄孕体长度仅0.30 mm，远低于育成牛的1.15 mm。

4.2.4 妊娠28~60 日

该阶段胚胎完成着床并开始胎盘发育，营养供给从子宫乳向胎盘营养转换，正常丢失率5%，异常丢失率20%。主要成因包括胎盘形成缺陷、血管发育不全及营养转换失败等。经产牛损失率（17.2%）显著高于头胎牛（8.7%）；产后体膘丢失≥1分的母牛损失率达20.5%，显著高于体膘无变化组的10.7%。

4.2.5 妊娠61~90 日

此阶段胎儿快速生长，胎膜与胎盘同步发育，正常丢失率约2%，主要成因是单侧子宫角双胎导致空间拥挤。胎儿重量从10 g增至166 g（增加17倍），子叶数量从40 个增至80 个，需确保胎盘功能足以支撑胎儿生长。

表 2 妊娠早期 5 个阶段的胚胎丢失情况

类别	受精阶段	妊娠第 1 周	妊娠 8~27 日	妊娠 28~60 日	妊娠 61~90 日
正常损失率（%）	10	10	20	5	2
异常损失率（%）	50	50		20	
异常损失主要成因	应激、配种前孕酮水平较高、子宫内膜炎症等	卵子质量差、配种前孕酮水平较高、产后各种代谢性疾病等	孕体延伸与母体内环境未精准同步、配种后孕酮水平较低和子宫分泌液营养不足等	胎盘形成过早和血管发育不全等	单侧子宫角双胎
需重点监测内容	冻精质量、人工授精流程、外界环境、外周血激素水平和子宫状况等	各种应激反应和配子质量等	滋养层质量	胎儿继续发育存活力和胎盘供应营养能力等	子宫角是否拥挤

中国乳业线上调查

5 精准防控策略与实践应用

5.1 优化饲养管理，降低应激影响

5.1.1 减少管理应激

避免频繁调群、混群及日粮突变，配种前后7 日内严禁实施疫苗注射、检疫等操作，防止干扰胚胎发育或母体妊娠识别。云南曲靖某奶牛场的案例显示，密集的应激事件（如频繁调群、配方调整）会导致情期受胎率显著波动。

5.1.2 改善环境条件

控制饲养密度（泌乳牛≤100%），保证充足采食与休息空间；夏季防暑降温，冬季防范贼风，减少热应激对受精率的影响（热应激时自然发情配种未受精率达31%）。

5.1.3 营养精准供给

根据不同阶段需求调整日粮，妊娠8~27 日重点补充赖氨酸、蛋氨酸和组氨酸（其在子宫分泌物中浓度增加倍数最高，见表3）；分娩前三周每周注射维生素E 1000IU，可将28~60 日损失率从20.5%降至12.5%。

5.2 提升繁殖技术，优化配种流程

一是精准同期排卵：选择发情周期第6或7天启动处理，首次注射GnRH促使优势卵泡排卵，形成双黄体以提升孕酮水平，此流程胚胎退化率仅8.2%，显著低于非该时段处理组的50.0%。二是父本科学选择：利用CASA系统评估精子质量，优先选用高SCR公牛；结合PAG 水平监测，筛选对胎盘发育有利的父本，降低后代胚胎丢失率。三是胚胎质量评估：借助机器学习模型，通过CHSY1、GSTO1等关键基因的表达模式，早期预测胚胎发育能力，提升移植成功率。

5.3 强化健康管理，防控疾病感染

一是产后保健：及时诊疗生殖道疾病，监测产后60 日内死淘率（控制在5%~6%）；通过体况评分（围产牛3.25~3.50）预防能量负平衡。二是病原防控：定期检测BVDV、IBR抗体，阳性牛群及时隔离；胚胎移植前后45 天内避免注射布病疫苗，八零同创的案例显示，移植前两周注射布病疫苗会导致OPU/IVF胚胎移植成功率显著下降。三是子宫健康监测：通过超声与分泌物分析评估子宫内膜状态，对炎症及时干预，减少多核细胞对卵子和受精卵的攻击。

5.4 建立监测体系，早期干预风险

一是妊娠诊断结合：综合运用直肠触诊、超声检查与PAG检测，25~40 天通过超声监测胎儿心率，动态跟踪胚胎发育。二是关键指标监控：定期检测孕酮、IFNT、PAG等水平，结合胚胎心跳、孕体长度等参数，早期识别高风险个体。三是记录与分析：完善繁殖记录，统计各阶段丢失率，针对性优化防控方案。

6 结论与展望

奶牛早期胚胎死亡是多因素协同作用的结果，涉及胚胎自身、母体、父本及环境等多个层面，各妊娠阶段具有独特特征与成因。通过精准诊断技术

表 3 奶牛 18 日龄孕体伸长期间子宫分泌物氨基酸浓度增加倍数

氨基酸	丙氨酸	精氨酸	天冬酰胺	天冬氨酸	谷氨酰胺	谷氨酸	甘氨酸	组氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	蛋氨酸	苯丙氨酸	丝氨酸	牛磺酸	苏氨酸	色氨酸	络氨酸	缬氨酸
增加倍数	2.87	7.58	5.5	4.93	4.06	3.45	1.24	11.48	7.06	4.41	14.39	12.39	7.31	2.52	1.09	3.29	4.99	5.3	4.63

中国乳业线上阅读

早期识别胚胎状态，结合营养调控、应激管理、技术优化及疾病防控等综合措施，可显著降低丢失率。未来应进一步探索分子机制，开发基于生物标志物的预警系统与智能化管理模型，推动奶牛繁殖效率的精准提升，为我国奶牛养殖业的可持续发展提供有力支撑。

参考文献

[1] Reese S T，Franco G A，Poole R K，et al. Pregnancy loss in beef cattle：a meta-analysis[J]. Animal Reproduction Science，2020，212：106251.

[2] Wiltbank M C，Baez G M，Garcia-Guerra A，et al. Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows[J]. Theriogenology，2016，86（1）：239-253.

[3] Lonergan P，Fair T，Forde N，et al. Embryo development in dairy cattle[J]. Theriogenology，2016，86（1）：270-277.

[4] Ealy A D. Pregnancy losses in livestock：an overview of the physiology and endocrinology symposium for the 2020 ASAS-CSAS WSASAS virtual meeting[J]. Journal of Animal Science，2020，98（8）：skaa277.

[5] Whittier W D. Pregnancy determination in cattle：A review of available alternatives[C]//Proceedings of Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle，2013：15-16.

[6] Romano J E，Thompson J A，Kraemer D C，et al. Early pregnancy diagnosis by palpation per rectum：influence on embryo/fetal viability in dairy cattle[J]. Theriogenology，2007，67（3）：486-493.

[7] Fricke P M，Ricci A，Giordano J O，et al. Methods for and implementation of pregnancy diagnosis in dairy cows[J]. Veterinary Clinics of North America：Food Animal Practice，2016，32（1）：165-180.

[8] Caraviello D，Weigel K，Fricke P，et al. Survey of management practices on reproductive performance of dairy cattle on large US commercial farms[J]. Journal of Dairy Science，2006，89（12）：4723-4735.

[9] Northrop E J，Rich J J，Rhoades J R，et al. Comparison of two bovine serum pregnancy tests in detection of artificial insemination pregnancies and pregnancy loss in beef cattle[J]. PLoS One，2019，14（3）：e0211179.

[10] Mayo L，Moore S，Poock S，et al. Validation of a chemical pregnancy test in dairy cows that uses whole blood，shortened incubation times，and visual readout[J]. Journal of Dairy Science，2016.

Comprehensive Research and Precision Prevention Strategies for Early Embryonic Death in Dairy Cows

ZHANG Tingqing，QIAO Zhi[1]，LV Hongwei[2]

[1]Northwest A&F University，Xianyang Shaanxi 712000

[2]Ningxia University，Yinchuan Ningxia 750000

Abstract：Early Embryonic Death （EED） in dairy cows is a critical issue limiting reproductive efficiency in the dairy industry，with an incidence rate as high as 20%~30%，significantly affecting conception rates. This paper systematically elaborated on the definition，classification，and mechanisms of EED，analyzing influencing factors from multiple perspectives，including the embryo itself，maternal factors，paternal contributions，and environmental conditions. It also detailed pregnancy diagnosis techniques and characteristics of embryonic loss at various stages. A series of precise prevention and control strategies are proposed，such as optimizing feeding management，improving reproductive technologies，enhancing health management，and establishing monitoring systems，aiming to reduce embryonic loss and improve reproductive efficiency. This study provided theoretical and practical guidance for the dairy farming industry.

Keywords：dairy cows；early embryonic death；reproductive efficiency；influencing factors；prevention and control strategies

中国乳业线上阅读