开放科学（资源服务）
标识码（OSID）
扫一扫，了解文章更多内容

奶牛胚胎早期死亡的多因素分析与综合防控技术研究

刘明胜[1]，赵　平[2*]

1 沂南县铜井畜牧兽医站，山东临沂 276000
2 沂南县依汶畜牧兽医站，山东临沂 276000

摘　要：奶牛胚胎早期死亡是制约牧场繁殖效率的关键问题，我国牧场发生率普遍达20%~30%，年均经济损失超过千万元。本文系统分析了导致胚胎早期死亡的多因素交互作用机制，包括生理性因素、营养性因素、病原性因素以及管理性因素。针对这些原因，研究提出了一套综合防控方案：通过精准营养调控、优化繁殖管理、强化疾病防控（以及应用新技术。某规模化牧场的实践案例表明，综合措施可使胚胎死亡率下降，经济效益显著提升。本研究为牧场降低繁殖成本、提升生产效率提供了科学依据和实用技术，对推动奶业可持续发展具有重要意义。

关键词：奶牛胚胎早期死亡；繁殖效率；多因素交互作用；精准营养调控；孕酮监测；热应激管理；BVDV防控；基因编辑；综合防控措施

文章编号：1671–4393（2025）07–0018–06　　DOI:10.12377/1671–4393.25.07.04

中国乳业线上阅读

0 引言

奶牛胚胎早期死亡通常是指在配种后≤42 天内发生的胚胎死亡现象[1]。国外研究显示，全球奶牛胚胎早期死亡率平均维持在20%~25%[2]，我国奶牛胚胎早期死亡率普遍更高，部分牧场甚至高达30%。如此高的胚胎早期死亡率，不但降低了牧场的繁殖率、延长了产犊间隔[3]，也给牧场造成了巨大的经济损失，据统计，每发生一例胚胎早期死亡，牧场平均损失3 000~5 000 元，规模化牧场每年因此造成的损失可达数百万元。因此，深入研究奶牛胚胎早期死亡的原因并制定有效应对措施，已成为奶牛养殖行业亟待解决的重要问题。本文通过对奶牛胚胎早期死亡原因的深入分析，明确关键诱因。在此基础上，结合牧场实际生产情况，提出一系列可操作的解决方案，帮助牧场有效降低胚胎早期死亡率，提高繁殖效率，缩短产犊间隔，最终实现降本增效的目标，为奶牛养殖行业的健康发展提供有力支持。

作者简介：刘明胜（1984–），男，山东临沂人，本科，高级兽医师，研究方向为动物医学。
*通信作者：赵　平（1987–），男，山东临沂人，本科，兽医师，研究方向为动物医学。

1 胚胎死亡的早期原因分析

1.1 生理性因素

1.1.1 母体因素

在母体因素中，激素失衡是导致胚胎早期死亡的重要原因之一，其中孕酮不足尤为关键。孕酮作为维持妊娠的重要激素，能够抑制子宫收缩，为胚胎着床和发育创造良好的环境。当母体孕酮分泌不足时，子宫收缩增强，胚胎难以在子宫内稳定着床，容易导致胚胎死亡。研究发现，30%~40%的胚胎早期死亡案例与孕酮分泌异常有关[4]。此外，子宫内环境异常也会对胚胎发育产生不利影响。子宫内环境的pH值失衡、存在炎症等问题，都会破坏胚胎发育所需的适宜环境，影响胚胎的正常生长和发育。例如，子宫内膜炎是奶牛常见的生殖系统疾病，患有子宫内膜炎的奶牛，其胚胎早期死亡率比健康奶牛高出2~3 倍[5]，而且炎症反应也会导致子宫内产生大量的炎性细胞因子，这些细胞因子会干扰胚胎与子宫内膜之间的信号传递，阻碍胚胎的正常发育进程[6]。

1.1.2 遗传因素

造成胚胎早期死亡的遗传因素包括两大方面，一是染色体异常和基因缺陷的公/母牛。染色体数目或结构的异常的母牛会导致胚胎发育过程中出现严重的遗传障碍，使胚胎无法正常发育，最终死亡。如发生染色体1/29罗伯逊易位的母牛，配种后90 天的反情率明显高于正常牛。二是胚胎本身的遗传物质异常。胚胎自身携带了遗传缺陷，降低了胚胎的活力和生存能力。如乌苷酸合成酶缺陷症（DUMPS）是常染色体隐形遗传疾病，患该病的胎牛会在妊娠2 个月时死亡。荷斯坦牛和夏洛来牛的胚胎早期死亡比例要高于其他品种[7]。此外，人工精液频繁使用导致的近期繁殖，以及胚胎在发育过程中受到外界不良环境因素如高温、辐射等影响，也可能引发基因突变，增加胚胎早期死亡风险[8]。

1.2 营养与管理因素

1.2.1 营养因素

能量负平衡是奶牛在围产期常见的营养问题。当围产期奶牛体况评分（BCS）＜3.0时，奶牛处于能量负平衡状态，此时机体为了维持自身基本生命活动，会优先满足自身需求，从而减少对胚胎发育的营养供给。能量负平衡会影响奶牛的生殖激素分泌，降低子宫内膜的营养储备和功能，使胚胎无法获得足够的营养支持，导致胚胎发育迟缓甚至死亡[9]。此外，维生素（如VE、硒）缺乏也会对胚胎发育产生不良影响。VE具有抗氧化作用，能够保护胚胎免受氧化应激的损伤；硒是谷胱甘肽过氧化物酶的重要组成成分，参与体内抗氧化防御系统。当奶牛缺乏VE和硒时，胚胎容易受到氧化应激的侵害，影响胚胎的正常发育和存活。有研究表明，在围产期给奶牛补充富含VE和硒的饲料添加剂，可使胚胎早期死亡率降低[10]。同时，蛋白质和氨基酸的不平衡也会影响胚胎发育，例如蛋氨酸、赖氨酸等必需氨基酸的缺乏，会导致胚胎蛋白质合成受阻，影响胚胎细胞的增殖和分化。

1.2.2 管理因素

应激是影响奶牛胚胎早期存活的重要管理因素。热应激在夏季尤为突出，当温湿度指数（THI）＞72时，奶牛会出现热应激反应[11]。热应激会导致奶牛采食量下降、体温升高、内分泌紊乱，影响卵泡发育和排卵，降低卵子质量[12]。同时，热应激还会影响子宫内环境，使子宫内温度升高，不利于胚胎的着床和发育[13]。除了热应激，运输或转群应激也会对奶牛产生不良影响。运输或转群过程中的颠簸、环境变化等因素，会使奶牛产生紧张、焦虑等情绪，导致机体应激激素分泌增加，干扰生殖激素的正常分泌和调节，进而影响胚胎的发育和存活。在实际养殖中，长途运输后的奶牛，其胚胎早期死亡率会显著升高，这是因为运输过程中的应激导致奶牛血液中皮质醇等应激激素水平大幅上升，抑制了促性腺激素的分泌，影响了卵巢功能[14]。此外，

中国乳业杂志社版权所有

圈舍拥挤、通风不良等环境因素，也会增加奶牛的应激水平，间接影响胚胎的存活。

1.3 病原性因素

1.3.1 细菌性因素

细菌性感染是导致奶牛胚胎早期死亡的重要病原性因素之一。布氏杆菌等细菌感染奶牛后，会引发生殖道炎症，破坏子宫内环境的平衡。布氏杆菌感染可导致奶牛流产、胎衣不下等繁殖障碍，严重影响胚胎的存活，且能够侵入胎盘组织，在胎盘细胞内大量繁殖，破坏胎盘的正常结构和功能，导致胚胎无法获取足够的营养和氧气，最终死亡。此外，大肠杆菌、葡萄球菌等常见细菌感染，若未得到及时治疗，也可能扩散至生殖道，引发炎症，威胁胚胎的存活[15]。

1.3.2 病毒性因素

病毒性感染同样对奶牛胚胎早期发育构成严重威胁。牛病毒性腹泻病毒（BVDV）和牛传染性鼻气管炎病毒（IBR）是常见的致病病毒。BVDV感染奶牛后，可通过胎盘感染胚胎，干扰胚胎细胞的正常代谢和分裂过程，导致胚胎发育异常、死亡或流产[16]。IBR感染奶牛后，会在生殖道上皮细胞内大量复制，会引起奶牛生殖道炎症，导致生殖道黏膜损伤，影响精子的运行，进而影响胚胎的着床和发育，导致胎儿畸形[17]。近年来，随着奶牛养殖规模的扩大和集约化程度的提高，病毒的传播速度加快，感染风险增加，给胚胎早期存活带来更大挑战。

1.3.3 寄生虫性因素

寄生虫感染也是导致胚胎早期死亡的原因之一。新孢子虫是较为常见的寄生虫，可通过胎盘垂直传播感染胚胎，在胚胎组织内大量繁殖，进而破坏胚胎细胞的结构和功能，导致胚胎组织坏死引起胚胎死亡、流产或早产。研究表明，感染新孢子虫的奶牛，其胚胎早期死亡率显著高于未感染奶牛[18]。此外，弓形虫等其他寄生虫感染，也可能对胚胎发育产生不良影响，它们会消耗胚胎的营养物质，引发免疫反应，干扰胚胎的正常发育进程[19]。在一些卫生条件较差的牧场，由于粪便处理不当、水源污染等问题，寄生虫感染率较高，进一步加剧了胚胎早期死亡的情况。

1.4 其他因素

输精技术不当和冻精质量差也是导致胚胎早期死亡的重要原因。输精时间误差会使精子和卵子无

表 1 奶牛胚胎早期死亡的病原性因素

病原类型	代表病原	致病机制	临床影响	参考文献
细菌性因素	布氏杆菌（*Brucella*）	引发生殖道炎症，破坏子宫内环境；侵入胎盘细胞繁殖，破坏胎盘结构和功能。	流产、胎衣不下、胚胎营养 / 氧气供给不足导致死亡。	[15]
	大肠杆菌（*E.coli*）	感染后扩散至生殖道，引发子宫内膜炎。	胚胎着床失败或早期死亡。	[15]
	葡萄球菌（*Staphylococcus*）	通过生殖道感染导致慢性炎症，影响胚胎发育环境。	胚胎吸收或隐性流产。	[15]
病毒性因素	牛病毒性腹泻病毒（BVDV）	经胎盘感染胚胎，干扰细胞代谢和分裂；抑制胎儿免疫系统。	胚胎发育异常、死亡或流产；持续性感染犊牛。	[16]
	牛传染性鼻气管炎病毒（IBR）	在生殖道上皮细胞复制，引发黏膜损伤和炎症。	胚胎着床障碍、胎儿畸形或流产。	[17]
寄生虫因素	新孢子虫（Neospora）	胎盘垂直传播，在胚胎组织内繁殖，破坏细胞结构。	胚胎坏死、流产或早产；重复性流产。	[18]
	弓形虫（Toxoplasma）	消耗胚胎营养，引发母体免疫反应攻击胚胎。	胚胎发育迟缓或死亡（常见于卫生条件差的牧场）。	[19]

中国乳业线上阅读

法在最佳时间相遇，降低受精率。操作污染可能会将细菌、病毒等病原体带入生殖道，引发感染，影响胚胎的发育和存活。冻精质量差，如精子DNA碎片率过高，会影响精子的活力和受精能力，即使受精成功，胚胎的质量也会受到影响，容易导致胚胎早期死亡。此外，输精器具的清洁消毒不彻底、操作人员技术不熟练等问题，都可能增加输精过程中的感染风险。同时，冻精在保存和运输过程中，若温度控制不当，也会导致精子活力下降，影响受精效果和胚胎质量[20, 21]。

2 应对措施

2.1 精准营养调控

在围产期，对日粮进行优化是提高胚胎存活率的重要措施。添加过瘤胃胆碱可以提高奶牛肝脏的脂肪代谢能力，减少围产期能量负平衡的发生，为胚胎发育提供充足的能量。β-胡萝卜素是维生素A的前体物质，具有抗氧化和调节生殖激素的作用，能够改善奶牛的生殖性能，提高胚胎的存活率。在热应激期，补充电解质可以维持奶牛体内的酸碱平衡和渗透压平衡，缓解热应激对奶牛的影响；酵母培养物可以改善奶牛的瘤胃发酵功能，提高饲料利用率，增强奶牛的免疫力，有助于胚胎的正常发育。此外，根据奶牛不同生理阶段的营养需求，合理调整日粮中蛋白质、氨基酸、矿物质等营养成分的比例，确保营养均衡[22, 23]。例如，在围产期适当增加蛋氨酸、赖氨酸等必需氨基酸的供给，可促进胚胎蛋白质合成，提高胚胎质量。同时，在日粮中添加适量的有机微量元素，如有机锌、有机硒等，比无机微量元素具有更高的生物利用率，能够更好地满足奶牛和胚胎的营养需求。

2.2 繁殖管理优化

升级发情鉴定技术对于提高配种准确性至关重要。将计步器与AI系统结合，能够实时监测奶牛的活动量和行为变化，准确判断奶牛的发情时间，提高配种成功率。孕酮监测是繁殖管理中的重要环节，在配种后7 天进行血清P4检测，可以及时发现孕酮分泌不足的情况，并通过注射hCG进行黄体支持，提高孕酮水平，为胚胎着床和发育创造良好的环境[24]。此外，建立完善的繁殖记录档案，详细记录奶牛的发情、配种、妊娠等信息，通过数据分析及时发现繁殖过程中存在的问题，并采取针对性措施加以解决。加强对配种人员的技术培训，提高输精操作的规范性和准确性，减少因输精技术不当导致的胚胎早期死亡。同时，定期对冻精质量进行检测，确保冻精的活力、密度、DNA完整性等指标符合要求，从源头上保障胚胎质量。

2.3 疾病综合防控

制定科学合理的疫苗程序是预防病原性感染的关键。针对BVDV和IBR等病毒，按照疫苗免疫计划进行接种，可以有效提高奶牛的免疫力，降低病毒感染的风险。定期对流产组织进行PCR检测，能够及时准确地筛查出导致胚胎死亡的病原微生物，为疾病防控提供科学依据，以便采取针对性的治疗和防控措施。加强牧场的生物安全管理，严格执行人员、车辆、物资的消毒和隔离制度，防止病原体的传入和传播。对感染布氏杆菌、支原体等细菌的奶牛，及时进行隔离治疗，避免疾病的扩散。同时，做好牧场的环境卫生工作，定期清理粪便、污水，保持圈舍清洁干燥，减少寄生虫的滋生和传播。此外，定期对奶牛进行健康检查，及时发现和治疗潜在的疾病，提高奶牛的整体健康水平，为胚胎发育创造良好的机体环境。

2.4 新技术应用

胚胎移植技术结合体外受精（IVF）和抗病性筛选，可优先移植具有优良遗传特性（如耐热性）的胚胎，显著提高胚胎存活率。表观遗传调控通过添加组蛋白去乙酰化酶抑制剂等小分子化合物，优化胚胎基因表达谱，改善发育潜能。近年来，CRISPR-Cas9等基因编辑技术为防控胚胎早期

中国乳业线上阅读

死亡提供了新工具。例如，编辑SLICK1等位基因（PRLR突变）可增强奶牛散热能力，而PMEL基因编辑通过淡化毛色减少热辐射吸收。此外，基因组选择（GS）结合耐热性相关SNP标记（如HSP70、ATP1A1），可精准预测胚胎抗热应激潜力。大数据与人工智能技术整合繁殖、健康及环境数据，构建预测模型（如随机回归分析气象记录与产奶量），可提前预警胚胎死亡风险，为制定干预措施提供依据[25]。

3 案例分享

国内山东省某规模化牧场，在未采取有效防控措施前，奶牛胚胎早期死亡率高达15%。为解决这一问题，该牧场实施了“孕酮监测+热应激管理”的综合防控方案。在孕酮监测方面，严格按照配种后7 天进行血清P4检测的标准执行，对于孕酮水平不足的奶牛及时注射hCG进行黄体支持。在热应激管理方面，夏季通过安装水帘、风扇等降温设备，将牛舍内的温湿度指数控制在合理范围内，并为奶牛提供充足的清凉饮水和电解质补充。经过一段时间的实施，该牧场的胚胎早期死亡率显著降低，繁殖效率得到明显提高。该案例表明，综合运用多种防控措施，能够有效降低奶牛胚胎早期死亡率，提高牧场的经济效益。

4 结论与展望

奶牛胚胎早期死亡是影响牧场繁殖效率和经济收益的关键问题，其成因复杂，涉及生理、营养、管理、病原等多因素的交互作用。本文系统分析了这些因素的作用机制，并提出了综合防控策略，包括精准营养调控、优化繁殖管理、强化疾病防控以及应用前沿技术。实践表明，通过多措并举，胚胎早期死亡率可显著降低，牧场繁殖效率和经济收益将得到有效提升。

未来，随着生物技术和智能养殖的快速发展，奶牛胚胎早期死亡的防控将迎来更多突破。基因编辑、表观遗传调控等技术的应用有望从根本上提升胚胎的抗逆性；大数据和人工智能的深度整合将助力牧场实现更精准的风险预测与管理。

参考文献

[1] 利光辉，靳亚平，林炜明，等. 奶牛早期胚胎死亡的因素分析及防制措施[J]. 西北农业学报，2003（3）：24–28.

[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] Diskin M G，Morris D G. Embryonic and early foetal losses in cattle and other ruminants[J]. Reproduction in Domestic Animals，2010，43（s2）：260–267.

[4] Santos J E P，Bisinotto R S，Ribeiro E S. Mechanisms underlying reduced fertility in anovular dairy cows[J]. Theriogenology，2016，86（1）：254–262.

[5] Gilbert R O. The effects of endometritis on the establishment of pregnancy in cattle[J]. Reproduction Fertility & Development，2011，24（1）：252–257.

[6] 侯秀贤，朱化彬，郝海生，等. 热应激对奶牛繁殖性能的影响及其防治措施[J]. 中国奶牛，2010（11）：25–28.

[7] 王文忠. 导致妊娠母牛胚胎早期死亡的三大原因[J]. 黑龙江动物繁殖，2016，24（2）：34–35.

[8] Bjelland D W，Weigel K A，Vukasinovic N，et al. Evaluation of inbreeding depression in Holstein cattle using whole–genome SNP markers and alternative measures of genomic inbreeding[J]. Journal of Dairy Science，2013，96（7）：4697–4706.

[9] 张克春. 奶牛繁殖障碍疾病的影响因素及防治措施[J]. 中国奶牛，2012（21）：39–43.

[10] 吕开龙，韩文锋. 矿物质和维生素对奶牛繁殖的影响[J]. 畜牧兽医科技信息，2010（5）：67–68.

[11] Armstrong D V. Heat stress interaction with shade and cooling[J]. Journal of Dairy Science，1994，77（7）：2044–2250.

[12] Wolfenson D，Roth Z，Meidan R. Impaired reproduction in heat–stressed cattle：basic and applied aspects[J]. Animal Reproduction Science，2000，60–61：535–547.

[13] Hansen P J. Effects of heat stress on mammalian reproduction[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B，2009，364（1534）：3341–3350.

[14] 刘广振. 奶牛胚胎体内死亡的因素分析及预防措施[J]. 乳业科学与技术，2005（5）：225–228.

[15] 胡智辉，谷栗琨，魏玉东，等. 常见传染性疾病对奶牛繁殖

中国乳业线上阅读

性能的影响及其研究进展[J]. 中国乳业，2023（9）：3–11.
[16] 刘娣琴. 牛病毒性腹泻病的危害及防制[J]. 畜牧兽医杂志，2011，30（6）：94–95.
[17] 雷丽霞，戴莎莎，李继东. 牛传染性鼻气管炎的诊断和预防研究进展[J]. 宁夏大学学报（自然科学版），2022，43（3）：282–287.
[18] 刘景翠. 奶牛新孢子虫病的防治措施分析[J]. 中国动物保健，2021，23（6）：37–38.
[19] 夏青，王文丹，苏衍菁，等. 奶牛弓形虫病的流行病学及防控研究进展[J]. 中国奶牛，2022（5）：38–42.
[20] Nebel R L，Dransfield M G，Jobst S M，et al. Automated electronic systems for the detection of oestrus and timing of AI in cattle[J]. Animal Reproduction Science，2000，60（2）：713–723.
[21] Sed ó C A，Bilinski M，Lorenzi D，et al. Effect of sperm DNA fragmentation on embryo development：clinical and biological aspects[J]. JBRA Assisted Reproduction，2017，21（4）：343–350.
[22] 余昊天，王少华，王华南，等. 牛早期胚胎丢失原因及干预措施研究进展[J]. 中国畜牧杂志，2025，61（3）：9–20.
[23] 徐红莲，廖兴柱. 奶牛胚胎死亡的原因分析及其防治措施[J]. 北京农业，2015（26）：124–125.
[24] R.H.Foote，罗汝棉. 牛奶孕酮测定是奶牛繁殖计划的一部分[J]. 草食家畜，1981（1）：45–47.
[25] 王子晨，卢徐斌，朱立科，等. 奶牛抗热应激性能选育技术的研究与应用[J]. 中国畜禽种业，2025，21（1）：7–12.

Multifactorial Analysis and Integrated Prevention Techniques for Early Embryonic Death in Dairy Cows

LIU Mingsheng[1]，ZHAO Ping[2*]
[1]Tongjing Animal Husbandry and Veterinary Station，Yinan County，Linyi Shandong 276000
[2]Yiwen Animal Husbandry and Veterinary Station，Yinan County，Linyi Shandong 276000

Abstract：Early embryonic death in dairy cows is a critical issue constraining reproductive efficiency on farms，with a prevalence rate of 20%~30% in Chinese dairy herds and annual economic losses exceeding tens of millions of yuan. This paper systematically analyzed the multifactorial interaction mechanisms leading to early embryonic death，including physiological，nutritional，pathogenic，and management-related factors. To address these causes，the study proposes an integrated prevention strategy comprising precision nutritional regulation，optimized reproductive management，enhanced disease control，and the application of new technologies.Practical implementation at a large-scale dairy farm demonstrated that these comprehensive measures significantly reduced embryonic mortality and improved economic outcomes. The research provided scientific evidence and practical techniques for reducing reproductive costs and enhancing production efficiency，offering significant implications for promoting sustainable development in the dairy industry.

Keywords：early embryonic death in dairy cows；reproductive efficiency；multifactorial interactions；precision nutritional regulation；progesterone monitoring；heat stress management；BVDV control；gene editing；integrated prevention measures

中国乳业线上阅读