DOI:10.13300/j.cnki.cn42-1648/s.2026.10.019

线粒体稳态调控下高产鹌鹑精准营养与健康养殖配套技术研究

王联军

武陟县鹌鹑产业协会/焦作美博士饲料有限公司，河南武陟 454950

摘要 集约化养殖模式下高产鹌鹑繁育负荷极高，生产中普遍存在产蛋高峰维持时间短、群体死淘率偏高、蛋壳品质不稳定等突出问题，其核心诱因是长期高强度产蛋诱发细胞线粒体损伤、肠道黏膜屏障功能衰退。本文以维持线粒体稳态为核心研究思路，构建低聚木糖、丁酸梭菌、三丁酸甘油酯协同增效的复合肠道修复方案，同步优化日粮能量原料配比、三层梯度抗氧化营养体系与分阶段精准饲喂策略，并配套标准化舍内环境管控措施。该成套技术已在豫北多家规模化鹌鹑养殖场开展为期12个月的生产示范应用，结果表明：应用该技术后，鹌鹑产蛋率≥90%的持续周期可达5.4个月，全生产周期群体死淘率降至6.4%；全程总产蛋重量提升8%～10%，兽药使用成本下降60%。结合同期本地鹌鹑蛋、淘汰鹌鹑市场售价测算，单只鹌鹑完整生产周期可新增纯收益2.7元，投入产出比达1∶4.2。从产业适配性层面分析，该技术可适配国内不同存栏规模的鹌鹑养殖主体；存栏50万～200万只大型养殖企业可依托原料集中采购等方式摊薄功能性添加剂单位使用成本，利润提升空间更为可观。整套日粮配方参数与标准化饲养规程均经过一线规模化生产验证，可为国内蛋鹌鹑标准化健康养殖提供参考。

关键词 高产鹌鹑；线粒体稳态；肠道黏膜屏障；丁酸梭菌；三丁酸甘油酯；精准营养

蛋鹌鹑耗料少、产蛋多、见效快，单只年产蛋潜力可达350枚，是节粮高效的特色养殖品类，近年来在全国发展很快，饲养量持续增长。现阶段行业通用传统日粮仅围绕代谢能、粗蛋白质等宏观指标设计，缺少针对鹌鹑持续排卵带来的氧化应激、肠道慢性炎症的靶向调控手段，长期养殖易出现产蛋持续性差、脂肪肝出血综合征高发等问题，这类代谢病在蛋鸡上研究较多[1-2]；鹌鹑代谢强度更高、肝脏负荷更大，发生风险也更大。

鹌鹑体型小、相对体表面积大、散热快，为维持体温，基础代谢水平显著高于商品蛋鸡，全年无生理性休产期；肝脏、生殖细胞和线粒体长期处于高负荷运转状态，体内活性氧持续大量蓄积，从繁殖、代谢、免疫3个方面制约鹌鹑生产性能的发挥[3-4]。现有鹌鹑养殖技术多侧重日粮蛋白能量配比或环境管理，缺少从细胞线粒体稳态、肠道屏障修复双维度协同调控的成套解决方案。高产鹌鹑精准营养与健康养殖配套技术体系以维持机体线粒体稳态为出发点，综合采取缓释碳水日粮优化[5-6]、三层梯度抗氧化营养[7-8]、益生元+丁酸复合肠道修复[9-11]、分阶段差异化精准饲喂[12]、标准化舍内环境管控[13]5项措施，按鹌鹑0日龄至淘汰的全饲养周期分阶段供给营养[12]，从根源上缓解高产鹌鹑持续繁殖带来的氧化损伤与全身慢性炎症[4,7]，解决产蛋周期短、死淘率偏高、代谢病多发等常见问题[1-2]。近年来，有关家禽线粒体靶向营养调控、丁酸类物质修复肠黏膜的研究较多，这为建立本技术体系提供了依据[4,8-9,11]。

高产鹌鹑精准营养与健康养殖配套技术体系的田间验证地点位于豫北焦作，当地鹌鹑养殖主体存栏以2万～10万只为主，大型龙头场存栏可达50万～200万只，行业养殖规模特征具备国内普适参考价值。本文结合一线养殖实操经验，整合线粒体靶向营养、微生态调控、标准化环境管理手段，划

收稿日期：2026-07-04

作者简介：王联军，男，1972年生，硕士。

分四阶段差异化饲喂方案，汇总多家养殖场应用成效，客观分析技术优势与适用条件，为国内鹌鹑规模化高效养殖提供标准化参考。

1 高产鹌鹑高代谢生理特征与机体损伤机制

1.1 生理特征

从生理参数来看，鹌鹑自排卵到产蛋约需 24 h，连产性能好；现在的高产配套系商品代年平均产蛋率在 85% 以上[14]，基本全年不停产，没有明显的休产期；鹌鹑肝脏需持续合成卵黄所需的极低密度脂蛋白（very low density lipoprotein, VLDL），输卵管上皮细胞始终维持高速更新状态；蛋鸡肝脏合成和向外转运极低密度脂蛋白的效率直接决定卵黄前体物的供应，脂代谢一旦失衡就会诱发脂肪肝出血综合征[1-2]。长期高能耗生理状态下，细胞线粒体持续超负荷运转，活性氧不断累积，打破机体氧化还原平衡；高温、高密度等环境应激会进一步加重氧化失衡，现场表现就是产蛋率下滑、代谢病增多[3-4]。

1.2 线粒体功能损伤影响生产性能的作用路径

线粒体是细胞合成三磷酸腺苷（adenosine triphosphate, ATP）的核心细胞器，遭受应激后线粒体膜电势下降，氧化磷酸化效率降低，机体能量供给不足会同步损伤生殖、肝脏、免疫三大系统生理机能；已有蛋鸡试验证实，环境应激可直接造成肝细胞线粒体超微结构损伤和抗氧化功能下降[3]。

卵泡能量供给不足会降低卵泡发育均匀度，造成产蛋高峰后期产能快速下跌；肝细胞代谢通路受阻，脂肪大量沉积于肝脏并诱发脂肪肝出血综合征，这是养殖中后期鹌鹑零星猝死的主要诱因；免疫细胞能量供给匮乏，导致细胞吞噬、抗体合成能力同步下降，群体抗应激、抗感染能力明显减弱[3]。此外，肝脏脂代谢紊乱与氧化损伤也互为因果，形成了“多重打击”效应[2]。

有研究[1-2]表明，家禽脂肪肝出血综合征的典型剖检病变是肝脏肿大、质脆、呈土黄色，包膜下有出血点或血肿，严重时肝包膜破裂、腹腔积血。养殖中后期鹌鹑零星猝死与这一病理过程直接相关：线粒体功能受损引起肝脂代谢紊乱，脂肪大量沉积后肝脏变脆，最终可因肝破裂出血急性死亡。

1.3 高玉米型日粮对胰岛素抵抗的影响

鸡存在天然的胰岛素抵抗特征，其糖脂代谢调控机制与哺乳动物存在显著差异[5]；以玉米为主要能量源的传统日粮淀粉消化速率快，易造成鹌鹑餐后血糖剧烈波动，长期饲喂会进一步加重机体糖脂代谢与胰岛素调控负担[5-6]。该生理状态下外周组织葡萄糖利用率下降，肝脏代偿性合成大量脂肪，从而加重机体氧化应激负担。长期饲喂此类日粮的鹌鹑，饲料转化效率持续走低，摄入的大量营养用于机体损伤修复，无法转化为产蛋产出，饲料成本增加；氧化应激时机体维持和修复耗能增加，也是饲料转化效率下降的一个原因[4]。

1.4 肠道屏障破损对全身慢性低度炎症的影响

肠道既管消化吸收，又是一道重要的免疫屏障。高密度笼养、夏季热应激、饲料霉菌毒素等因素会抑制肠上皮正常增殖，导致绒毛萎缩、隐窝加深、肠道通透性上升，即养殖中常见的“肠漏”现象[9-10]。肠道革兰氏阴性菌释放的脂多糖进入血液后引起全身性慢性炎症，这种情况不会造成大批死亡，但会持续消耗营养、影响生殖激素分泌，仅靠抗生素无法解决，还需通过营养手段修复肠黏膜屏障、调节肠道菌群[9-10,15]。

2 基于线粒体稳态的精准日粮配方体系构建

本文中功能性添加剂的剂量区间均经过多梯度田间饲喂筛选试验确定，兼顾规模化饲料生产成本与机体生理调控效果，适配大型饲料厂集中加工与养殖场现场自配料 2 种使用场景。

2.1 优化日粮能量原料，缓解线粒体代谢压力

摒弃单一玉米高能配方，搭配大麦、燕麦、小麦次粉等淀粉消化速率较低的原料，减慢小肠葡萄糖释放速度，餐后血糖波动小[6]，减轻糖脂代谢和胰岛素调控的负担[5]。日粮添加中链脂肪酸替代部分玉米油脂并配合大豆卵磷脂，既能供给高密度可利用能量，又可参与细胞膜修复；已有研究证实，中链脂肪酸可改善家禽肠道形态并提高机体抗氧化能力[16]，有助于缓解长期高产带来的氧化损伤。

从 2023—2024 年豫北多家养殖场的对比情况来看，采用缓释碳水复配功能性油脂的日粮，高温季节鹌鹑产蛋率下滑幅度明显低于传统玉米日粮

组，这与高温下家禽肝脏线粒体抗氧化功能下降、脂质代谢受损等研究一致[3]。

2.2　搭建三层梯度抗氧化防护体系

针对氧化应激损伤畜禽肝脏的机制[4]，本方案分3层设置抗氧化措施。具体如下：

1）基础清除层。每吨饲料中添加包被维生素C 100～200 g、维生素E 150～200 g，有机硒添加量0.3～0.5 mg/kg（本技术田间筛选推荐量，下同）。维生素C、维生素E和有机硒协同清除血液、细胞质中的自由基，是抗氧化防御的基础[4]。

2）线粒体靶向层。复配姜黄素、白藜芦醇天然植物提取物，减轻氧化产物对线粒体膜的破坏作用[7-8]。

3）内源激活层。补充有机锌、有机锰复合微量元素，锌、锰是超氧化物歧化酶（superoxide dismutase, SOD）的重要辅因子，可强化鹌鹑自身内源抗氧化能力[4]。这套方案不用高价原料，吨料成本增加不多，养殖场可以长期使用。

2.3　平衡可消化氨基酸，降低肝脏代谢负荷

依据家禽理想蛋白模式精准配比赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、色氨酸四类限制性氨基酸，产蛋期日粮粗蛋白质含量控制在20%～21%，通过晶体氨基酸补齐鹌鹑生长、产蛋阶段营养缺口，避免粗蛋白过量。粗蛋白质超标会加重肝脏脱氨代谢负担，生成大量尿酸与自由基，加剧氧化损伤。2023—2024年田间应用发现，采用精准氨基酸配比后，日粮粗蛋白降低，粪氮排出和舍内氨气随之减少，有肝脏病变的个体也明显减少。这与氨基酸代谢紊乱会诱发脂肪肝出血综合征的结论一致[1-2]。

2.4　低聚木糖、丁酸梭菌、三丁酸甘油酯复合肠道调控模块

该模块为本技术核心调控方案，三类组分协同作用优化肠道微生态、修复肠上皮紧密连接，复合添加的应用效果优于单一添加剂单独使用，已有肉鸡试验对比了丁酸梭菌与低聚木糖单独及联合添加的效果差异[11]。

具体组分：低聚木糖添加量 50～100 g/t，育雏、育成阶段统一采用100 g/t上限添加，定向增殖双歧杆菌等有益菌群，改善肠道微生态环境[10-11]；丁酸梭菌选用活菌≥5×10^9 CFU/g菌粉，添加量500～1 000 g/t，保障成品饲料有效活菌5×10^8～1×10^9 CFU/kg，在鹌鹑肠道原位生成内源丁酸；三丁酸甘油酯添加量100～300 g/t，外源补充丁酸，下调白细胞介素-6（interleukin-6, IL-6）、肿瘤坏死因子-α（tumor necrosis factor-α, TNF-α）促炎因子表达水平，缓解肠道慢性炎症反应[15]。

2.5　复配保肝组分，防控肝脏脂肪蓄积

针对高产鹌鹑脂肪肝高发问题，日粮配套添加氯化胆碱 1 500～2 000 mg/kg、甜菜碱 1 000～1 500 mg/kg、大豆卵磷脂1%～2%。三类物质作为甲基供体与脂肪转运载体，促进肝脏极低密度脂蛋白合成与向外转运，减少肝细胞脂肪沉积，降低由此引发的中后期猝死隐患，稳定卵黄合成原料供给[1-2]。

3　配套标准化饲养与环境管控技术

3.1　舍内环境关键管控指标

产蛋阶段鹌鹑适宜饲养环境温度20～28 ℃；夏季配套湿帘、纵向通风设备防控热应激；冬季做好保温密封，昼夜温差控制在5 ℃以内，防止鹌鹑出现应激换羽、暂时性停产。以上环境参数和设施配置参考我国规模化养鸡环境控制的研究结果[13]。

3.2　饮水与饲养密度标准化管理

水线内壁生物膜是肠道病害反复发生的重要诱因，建议养殖场每周采用酸化剂或过氧化氢清洗管线1～2次；育雏水线加装小型过滤器，减少水体杂质入侵肠道。饲养密度实施分阶段管控，笼养产蛋阶段饲养密度不高于120只/m^2。前期适度密养，育成、预产阶段逐步分群，高密度易诱发啄癖、输卵管炎，养殖场可依据自有笼具规格合理调整分群方案。

4　分阶段精准营养落地应用方案与规模化应用成效

该技术划分育雏、育成、预产过渡、产蛋高峰4个完整饲养阶段，差异化配套营养方案。2023年6月—2024年6月在武陟县完成全周期落地应用，主验证场为一处存栏10万只的规模化蛋鹌鹑场，同时汇总当地多家存栏2万～10万只养殖场的应用记录，以当地行业通用传统饲喂模式作为常规生产基准开展对比统计。

文中各项生产数据均来自上述养殖场的逐日生产台账（产蛋数、软壳蛋数、死淘及剖检记录），对

照为同区域、同存栏规模养殖场同期常规饲喂模式的生产记录，属于田间生产验证数据。

4.1 育雏期（0～21 日龄）：筑牢肠道与免疫基础

育雏日粮添加 100 g/t 低聚木糖，搭配复合微生态制剂，配合高含量多维与有机微量元素，重点是保证雏鹑消化道发育和菌群定植[10-11]。

应用观测结果：雏鹑整体成活率稳定高于 98.5%；21 日龄个体体重均匀度提高 8.2 百分点，肠道发育良好，弱雏占比、幼禽消化道病害数量均明显低于传统饲喂组。育雏期弱雏主要表现为羽毛蓬松、肛门黏粪，应用该方案后此类弱雏比例从 12.3% 降至 3.1%。

4.2 育成期（22～35 日龄）：完善消化道发育，平稳调控体况

日粮维持 100 g/t 低聚木糖添加量。微调日粮能量与氨基酸配比，保障鹌鹑群体长势均匀，避免个体过肥或发育滞后问题，这与蛋鸡精准饲养中按阶段动态匹配营养供给的研究思路一致[12]。

应用观测结果：对比区域常规饲喂模式，35 日龄体重均匀度≥85%，胫长发育全部达标，肠道发育良好，为平稳开产奠定良好生理基础。

4.3 预产过渡期（36～45 日龄）：平稳完成生殖代谢转型

该阶段鹌鹑一边换料、一边性成熟，应激叠加，在日粮中添加丁酸梭菌 500～1 000 g/t（活菌含量≥5×10^9 CFU/g）、三丁酸甘油酯 100～300 g/t，同步提升 B 族维生素与有机铬的添加水平，缓解应激诱发的机体氧化损伤[4]。

应用观测结果：该阶段群体开产时间整齐，产蛋率爬坡平稳，没有出现因换料和性成熟应激叠加造成的产蛋波动。

4.4 产蛋高峰期（46 日龄至淘汰）：持续维持细胞稳态，延长高产维持周期

全产蛋周期持续使用三位一体肠道调控组合，根据日常产蛋波动小幅微调亚油酸、维生素 D_3 添加量，长期保护线粒体功能、稳定肝脏脂代谢通路[2]，并通过持续维护肠道屏障功能减轻内毒素易位诱发的肝脏负担[9-10]。

应用观测数据表明，应用该成套技术，鹌鹑产蛋率≥90% 的持续周期可达 5.4 个月，而采用传统饲喂模式，仅能维持 3 个月高产。

蛋壳品质方面，应用该技术后群体软壳蛋率稳定控制在 0.5% 以下，传统日粮组为 2.8%。全周期群体死淘方面，传统饲喂模式养殖场死淘率为 10.5%，应用该技术养殖场鹌鹑死淘率降至 6.4%，降低 4.1 百分点；其中，脱肛诱发死淘比例由对照组的 1.5% 降至 0.8%，降低 0.7 百分点。这与霍文颖等[17]的研究结果一致，即调节肠道菌群可以改善机体健康和生产性能、降低死淘率。夏季高温环境下，鹌鹑蛋壳厚度、蛋壳色泽保持稳定，破蛋率无明显上升。蛋壳品质与钙磷代谢效率直接相关。肖圆圆等[18]研究结果表明，饲粮中添加胆汁酸可极显著提高钙表观代谢率，并同步提高蛋壳强度和蛋壳钙含量。

我国蛋鹌鹑高产配套系商品代平均产蛋率已达 85% 以上[14]，按 365 d 产蛋期折算，单只年产蛋量在 310 枚以上。本技术体系产蛋期营养参数即按单只年产 350 枚的高产水平预留营养余量，以支撑产蛋潜力充分发挥。

5 技术应用综合效益分析

综合测算本技术体系的投入成本与产出收益，客观阐述该技术的应用优势，分析不同存栏规模养殖主体的适配效果。

1）生产性能。鹌鹑完整产蛋周期总产蛋重量提升 8%～10%，2 种饲养模式的产蛋高峰维持时长差距明显。

2）群体健康水平。脂肪肝、不明原因猝死病例大幅下降，养殖场兽药采购成本降低 60%。

3）经济效益。叠加各类功能性添加剂，每吨饲料成本增加 50～80 元；结合试验周期本地鹌鹑蛋 8.6 元/kg、淘汰鹌鹑 1.2 元/只的市场行情测算，单只鹌鹑完整生产周期可新增纯收益 2.7 元，按单只鹌鹑全周期耗料量 7.58 kg 计算，投入产出比 1∶4.2。经济效益测算数据基于 2023—2024 年豫北本地原料、鹌鹑蛋市场行情，原料、禽蛋市场价格波动会小幅改变实际养殖收益水平。

从产业适配角度分析，存栏鹌鹑 2 万～10 万只的区域主流中小型养殖场，新增产蛋收益可完全抵消饲料额外增加成本；存栏 50 万～200 万只的大型养殖企业依托原料集中批量采购，可进一步摊薄功能性添加剂单位使用成本。大、中、小型养殖场均能实现稳定增收，其中规模化大型养殖企业的收益

提升潜力更为突出。

6 结　语

本套以线粒体稳态为核心的高产鹌鹑精准营养配套养殖技术体系，已在武陟县完成12个月的实地生产验证，其中主验证场存栏10万只，并汇总当地多家存栏2万～10万只规模化鹌鹑场的应用成效。整套技术按育雏、育成、预产过渡、产蛋高峰4个阶段差异化设计营养方案，从细胞代谢损伤根源切入，通过益生元调节菌群、丁酸类物质修复肠黏膜屏障，搭配三层梯度抗氧化营养、保肝功能性营养与标准化舍内环境管控，针对性地改善产蛋周期短、群体死淘率高、代谢疾病多发等常见问题，适配国内各类规模化鹌鹑场推广应用。

参 考 文 献

[1] 陈璎，简华锋，董信阳.蛋鸡脂肪肝出血综合征及其营养调控的研究进展[J].动物营养学报，2024，36(11)：6841-6852.

[2] 张弥，涂闻君，张奇，等.影响鸡脂肪肝出血综合征的因素及“多重打击”学说[J].畜牧兽医学报，2022，53(8)：2453-2469.

[3] 刘凤丹，张蓉，陈光吉，等.环境温度和饲粮金荞麦提取物对蛋鸡肝脏超微结构及线粒体抗氧化功能的影响[J].中国饲料，2024(9)：26-33.

[4] 苗启翔，谢彦娇，唐湘方，等.氧化应激的产生及其对畜禽肝脏功能的影响与机制[J].动物营养学报，2019，31(8)：3496-3504.

[5] 娄明，罗昊玉，牟芳，等.鸡胰岛素信号通路的研究进展[J].畜牧兽医学报，2024，55(8)：3288-3296.

[6] Weurding R E，Veldman A，Veen W A，et al.Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs [J].The journal of nutrition，2001，131(9)：2329-2335.

[7] 高阳，杜鑫，马雪，等.白藜芦醇对Nrf2、NF-κB和Wnt信号通路的调控及其在动物生产中的应用[J].中国畜牧兽医，2023，50(2)：512-518.

[8] 周婉婷，杨晨，彭翠甜，等.白藜芦醇对急性热应激条件下鸭肝抗氧化能力和细胞凋亡的影响[J].畜牧兽医学报，2023，54(1)：239-251.

[9] 王宗伟，付建中，李洪涛，等.丁酸梭菌对肠道屏障的影响机制及其在畜禽养殖中应用的研究进展[J].动物营养学报，2022，34(6)：3519-3528.

[10] 王晶，许丽，齐广海，等.家禽肠道健康及其营养调控措施[J].动物营养学报，2019，31(6)：2479-2486.

[11] 邓文，焦玉萍，徐彬，等.丁酸梭菌和低聚木糖对肉鸡生产性能、屠宰性能和肉品质的影响[J].中国家禽，2017，39(7)：24-28.

[12] 常心雨，王继光，王晶，等.商品蛋鸡精准饲养技术研究进展[J].畜牧兽医学报，2023，54(5)：1815-1823.

[13] 李保明，王阳，郑炜超，等.中国规模化养鸡环境控制关键技术与设施设备研究进展[J].农业工程学报，2020，36(16)：212-221.

[14] 王晓峰，顾华兵，何洋，等.我国鹌鹑产业现状、存在问题及未来发展建议[J].中国畜牧杂志，2026，62(3)：425-429.

[15] 薛永强，马永喜，赵虎，等.三丁酸甘油酯的生理调控机制及在动物生产中的应用[J].动物营养学报，2020，32(12)：5547-5555.

[16] 颜安，江皓天，任艳，等.中链脂肪酸对肉鸡生长性能、屠宰性能、肠道形态和抗氧化能力的影响[J].动物营养学报，2025，37(11)：7480-7491.

[17] 霍文颖，李梦云，车龙，等.β-甘露聚糖酶对鹌鹑生产性能、血浆生化指标及肠道微生物区系的影响[J].动物营养学报，2023，35(12)：7839-7851.

[18] 肖圆圆，袁琪，袁剑华，等.饲粮添加胆汁酸对16～23周龄日本鹌鹑生产性能、蛋壳品质和钙磷表观代谢率的影响[J].动物营养学报，2022，34(11)：7158-7165.

【责任编辑：胡　敏】