

李栩, 郭艳昭, 洪道辉, 等. 表儿茶素对多浪羊精液常温保存效果的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (2): 9-13.

LI X, GUO Y Z, HONG D H, et al. Effect of epicatechin on the preservation effect of Duolang sheep semen at room temperature [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (2): 9-13.

## 表儿茶素对多浪羊精液常温保存效果的影响

李栩, 郭艳昭, 洪道辉, 石荣华, 赵玉坤, 曾维斌\*

(石河子大学动物科技学院, 新疆 石河子 832000)

**摘要:** 为了研究表儿茶素 (EC) 对新疆地方绵羊品种多浪羊精液常温 (17 °C) 保存效果的影响, 将不同浓度的 EC (0、250、300、375、450、600  $\mu\text{mol/L}$ ) 添加到绵羊精液稀释液中, 常温保存 0~72 h, 检测精子活力、活率、质膜完整率、顶体完整率、超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性。结果: 随着保存时间的延长, 精子活力、活率、顶体完整率和酶活性均降低, 其中, 保存 24 h 后 375  $\mu\text{mol/L}$  试验组的精子活力和活率均显著高于除 60 h 300  $\mu\text{mol/L}$  的其余各组 ( $P<0.05$ ), 精子质膜完整率和顶体完整率均显著高于其余各组 ( $P<0.05$ ); 保存 24、48 和 72 h, 375  $\mu\text{mol/L}$  试验组 CAT 活性显著高于除 450  $\mu\text{mol/L}$  之外的其余各组 ( $P<0.05$ ), SOD 活性显著高于其余各组 ( $P<0.05$ )。综上, 在绵羊精液常温稀释液中添加 375  $\mu\text{mol/L}$  EC 可提高精液常温保存效果。

**关键词:** 绵羊; 精液; 表儿茶素; 常温保存; 活性氧

中图分类号: S826.3 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2025)02-0009-05

## Effect of epicatechin on the preservation effect of Duolang sheep semen at room temperature

LI Xu, GUO Yanzhao, HONG Daohui, SHI Ronghua, ZHAO Yukun, ZENG Weibin\*

(College of Animal Science and Technology, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** To determine the effect of epicatechin (EC) on the preservation of semen from Duolang sheep, a local breed in Xinjiang, at room temperature (17 °C), different concentrations of EC (0, 250, 300, 375, 450, 600  $\mu\text{mol/L}$ ) were added to the extender of the semen collected from the sheep. After being stored at room temperature for 0-72 hours, the sperm motility, viability, plasma membrane integrity, acrosome integrity, superoxide dismutase (SOD), and catalase (CAT) activities in the semen were measured. The results showed that, with prolonged storage time, the sperm motility, viability, acrosome integrity, and enzyme activities in the semen decreased. After 24 hours of storage, the sperm motility and viability of the 375  $\mu\text{mol/L}$  experimental group were significantly higher than those of all the other groups, except the 300  $\mu\text{mol/L}$  group at 60 hours ( $P<0.05$ ); and the plasma membrane integrity and acrosome integrity were also significantly higher than those of the other groups. At 24, 48 and 72 hours of storage, the CAT activity in the 375  $\mu\text{mol/L}$  experimental group was significantly higher than that in all the other groups, except the 450  $\mu\text{mol/L}$  group ( $P<0.05$ ); the SOD activity was also significantly higher than that in all the other groups ( $P<0.05$ ). In conclusion, adding 375  $\mu\text{mol/L}$  EC to the semen extender improved the preservation of Duolang sheep semen at room temperature.

**Keywords:** sheep; sperm; epicatechin; room temperature preservation; ROS

精液保存质量是影响人工授精的重要因素, 保存方式有液态保存和固态保存, 而液态保存又分为常温保存和低温保存<sup>[1]</sup>。常温保存温度为 15~25 °C, 相较于低温和冷冻保存, 具有操作简单、条件要求低、便于运输、精液品质高和授精效果好等优势<sup>[2]</sup>。常

温保存的精液随着时间延长会产生大量的活性氧 (ROS), 当 ROS 超过精子自身抗氧化能力时, 不仅使精子产生脂质过氧化反应 (LPO), 还可降低其活力和质膜完整率, 导致精液品质下降<sup>[3-4]</sup>。因此在精液保存过程中有必要添加一定量的抗氧化剂以降低精子产生的 ROS, 减缓氧化反应, 提高精液常温保存质量<sup>[5]</sup>。

表儿茶素 (EC) 是一种黄烷醇类化合物。白色晶体, 易溶于水, 在茶叶、浆果等植物中含量较为丰富, 其抗氧化性能主要通过两种机制发挥作用, 一是直接与金属离子发生反应; 二是通过促进抗氧化酶活

收稿日期: 2024-03-21; 修回日期: 2024-12-12

基金项目: 兵团财政科技计划项目-重点领域科技攻关计划 (2021AB014)

第一作者: 李栩, 男, 硕士研究生

\* 通信作者: 曾维斌, 教授, 主要从事动物遗传育种与繁殖工作,

E-mail: zwbdky@126.com。

性增强其对自由基的清除能力,间接发挥抗氧化性能<sup>[6]</sup>。已有研究表明,添加 50~100  $\mu\text{mol/L}$  EC 到牛精液稀释液中有助于更好地保持精子活力,并显著提高精液的抗氧化能力<sup>[7]</sup>。另外,在猪精液稀释液中添加不同浓度的 EC 能够改善精子质量,并可缓解精液中的 LPO 反应<sup>[8]</sup>;此外,EC 衍生物已被证实能够提高小鼠胚胎的受精率<sup>[9]</sup>,但其在绵羊精液常温保存方面的影响尚未有相关报道。本试验以多浪羊精液作为试验对象,探讨在常温保存下添加不同浓度 EC 并分析其对精液常温保存效果的影响,为提高良种公羊在精液保存方面的研究提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物及精液采集

试验在新疆芳草湖万只肉羊繁育场进行,选择年龄 3 岁、体况中等、性欲旺盛并无生殖疾病的 3 只多浪公羊,假阴道法采集精液,取精子活力 75% 以上,精子密度  $1 \times 10^9$  个/mL 以上的精液进行混合,共 3 mL,置于室温保存,以备在保存 0、12、24、36、48、60 和 72 h 后检测绵羊精液品质,同时在保存 24、48、72 h 后检验精子超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性的变化,对精液品质进行评定。

### 1.2 试剂与设备

EC 购自源叶生物公司;4%多聚甲醛、吉姆萨原液、柠檬酸三钠、乳糖、三羟甲基氨基甲烷(Tris)均购自北京索莱宝生物科技有限公司;CAT 与 SOD 试剂盒购自北京盒子生工科技有限公司;迈朗精子全自动分析系统 CASA 购自松景天伦有限公司(型号为 ML-210LZ)。

### 1.3 稀释液的配制以及精液的稀释和保存

在 15~25  $^{\circ}\text{C}$  室温环境下,准确称取 Tris 3.07 g,柠檬酸 1.63 g,葡萄糖 1.00 g,乳糖 1.00 g 溶解于 100 mL 灭菌超纯水中。新鲜鸡蛋剥开外壳,去除卵黄表面的蛋清,注射器针头挑破卵黄,用无针头注射器吸取卵黄液,按照 10% 的比例注入溶液中,再加入青霉素和链霉素各 10 000 U,最后使用搅拌器搅拌 30 min 充分混匀,配制成稀释液,然后在稀释液的基础上每组分别添加不同浓度 EC,配制成 0~600  $\mu\text{mol/L}$  的常温保存稀释液,经过预试验最终确定试验浓度为 0、250、300、375、450、600  $\mu\text{mol/L}$  的 EC 抗氧化剂作为常温保存稀释液。

将已配制好的常温稀释液水浴升温至 37  $^{\circ}\text{C}$ 。采用 9:1 的比例,缓慢地将稀释液加入等温的精液中,边加入边搅拌均匀,稀释后总体积为 30 mL。然后迅速将混合物分装至 1.5 mL 的离心管中,并使其冷却

至室温。试验分为 6 组,每组使用 5 份样品,每份样品体积为 0.5 mL,每个试验重复 3 次。检测精液品质和抗氧化指标分别使用 15 mL。随后,将离心管用多层棉花包裹,放置于温度为 17  $^{\circ}\text{C}$  的恒温箱中。为了避免精子的聚沉,每隔 12 h 需缓慢地摇动离心管。

### 1.4 精液品质检测指标及方法

精子活率、活力使用计算机辅助精子分析(CASA)检测:取适量稀释后的精液于 1.5 mL 离心管中,37  $^{\circ}\text{C}$  水浴 5 min,在显微镜下随机观察 5 个视野,且每次计数不少于 200 个精子,重复 3 次。精子活率=存活精子数/总精子数 $\times 100\%$ ,精子活力=向前直线运动的精子数/总精子数 $\times 100\%$ 。

精子质膜完整率采用低渗肿胀试验<sup>[10]</sup>进行测试:取 1 mL HOST 液和离心管,37  $^{\circ}\text{C}$  预热 5 min,预热好的精液 10  $\mu\text{L}$  放入离心管,再加入 100  $\mu\text{L}$  HOST 液混匀。37  $^{\circ}\text{C}$  水浴锅孵育 45 min。倒置荧光显微镜下随机观察 5 个视野,计数 200 个以上,记录弯尾精子数。质膜完整率=弯尾精子数/总精子数 $\times 100\%$ 。

精子顶体完整率测定:将 10  $\mu\text{L}$  预热好的精液样品滴加在载玻片上,等待玻片干燥后使用多聚甲醛固定 10 min,后使用吉姆萨染液染色 80 min,用 1 $\times$ PBS 液缓慢冲洗玻片,尽量洗去浮色,后置于黑暗试验台上待其自然干燥,盖好盖玻片,在荧光倒置显微镜下镜检至少 200 个精子进行随机计数,且重复 5 次以上,以确定精子顶体的完整率。顶体完整率=顶体完整的精子数/总精子数 $\times 100\%$ 。

抗氧化能力测定:采用相应的试剂盒分别在保存 24、48 和 72 h 后对精液中 CAT 和 SOD 活性进行检测。

### 1.5 数据统计与分析

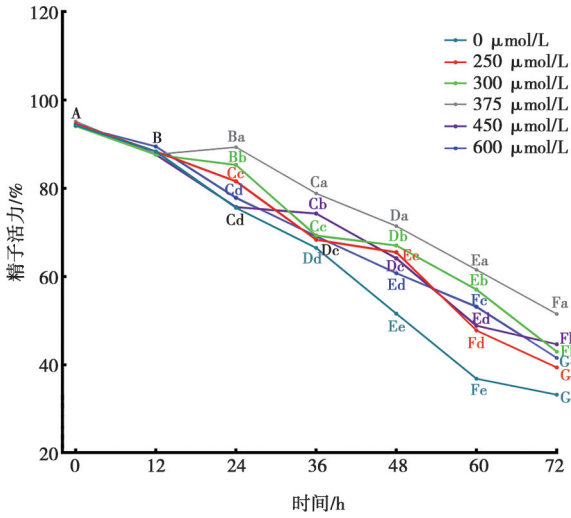
使用 Excel 2021 软件统计整理数据,然后使用 SPSS 19.0 软件对试验所得各指标数据进行双因素方差分析和 Duncan 多重检验。结果以“平均值 $\pm$ 标准差”表示, $P < 0.05$  代表差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度 EC 对常温保存的精子活力的影响

由图 1 所示,通过添加不同浓度的 EC,可以改善常温保存 24 h 以上的精子活力。在精子保存 24 h 时,375  $\mu\text{mol/L}$  试验组的精子活力显著高于其他各组( $P < 0.05$ ),300  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于对照组和 250、450 和 600  $\mu\text{mol/L}$  试验组( $P < 0.05$ );36 h 时,375  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于其他各组( $P < 0.05$ ),450  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于对照组和 250、300、600  $\mu\text{mol/L}$  试验组( $P < 0.05$ );48 h 时,375  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于其他各组( $P < 0.05$ ),300

$\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于对照组和 250、450、600  $\mu\text{mol/L}$  试验组 ( $P < 0.05$ )；60 h 时，375  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ )；72 h 时，375  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ )。



同时间数据之间比较，标注不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )；同组数据之间比较，标注不同大写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。彩色字母对应相应组别标注，黑色字母为其余组共同标注。下同。

图 1 不同浓度 EC 对绵羊精子活力的影响

### 2.2 不同浓度 EC 对常温保存的精子活率的影响

由图 2 所示，精子保存 24 h 时，375  $\mu\text{mol/L}$  试验组精子活率显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ )，300  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于对照组、450 和 600  $\mu\text{mol/L}$  试验组 ( $P < 0.05$ )；36 和 48 h 时，375  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ )；60 h 时，375  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于对照组、250、450 和 600  $\mu\text{mol/L}$  试验组 ( $P < 0.05$ )；72 h 时，375  $\mu\text{mol/L}$  试验组精子活率为 64.68%，显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 不同浓度 EC 对常温保存的精子质膜完整率的影响

由图 3 所示，精子保存 24~72 h 时，含有 375  $\mu\text{mol/L}$  EC 的试验组质膜完整率显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ )；48 h 时，300  $\mu\text{mol/L}$  试验组质膜完整率为 63.20%，显著高于对照组和 250、450、600  $\mu\text{mol/L}$  试验组 ( $P < 0.05$ )；72 h 时，300  $\mu\text{mol/L}$  试验组质膜完整率为 62.20%，显著高于 250、450 和 600  $\mu\text{mol/L}$  试验组 ( $P < 0.05$ )。

### 2.4 不同浓度 EC 对常温保存的精子顶体完整率的影响

由图 4 所示，精子保存在 24~72 h 时，375

$\mu\text{mol/L}$  试验组顶体完整率显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ )；48 h 时，250、300 和 450  $\mu\text{mol/L}$  试验组顶体完整率显著高于对照组和 600  $\mu\text{mol/L}$  试验组 ( $P < 0.05$ )；72 h 时，300 和 450  $\mu\text{mol/L}$  试验组顶体完整率显著高于对照组和 250、600  $\mu\text{mol/L}$  试验组 ( $P > 0.05$ )。

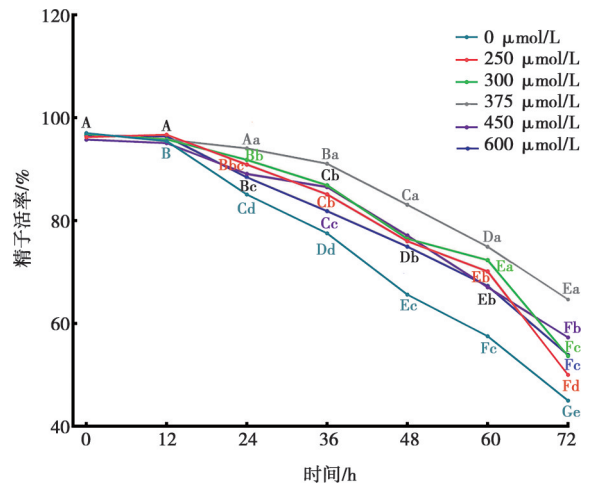


图 2 不同浓度 EC 对绵羊精子活率的影响

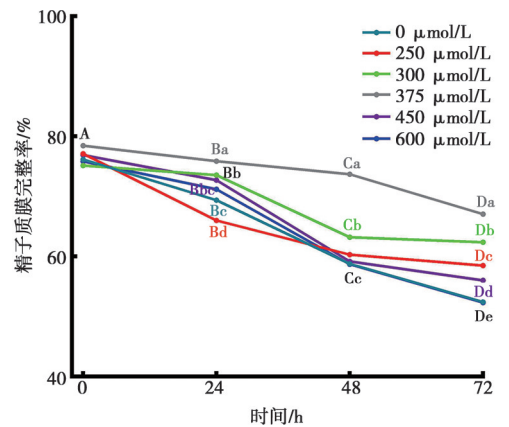


图 3 不同浓度 EC 对绵羊精子质膜完整率的影响

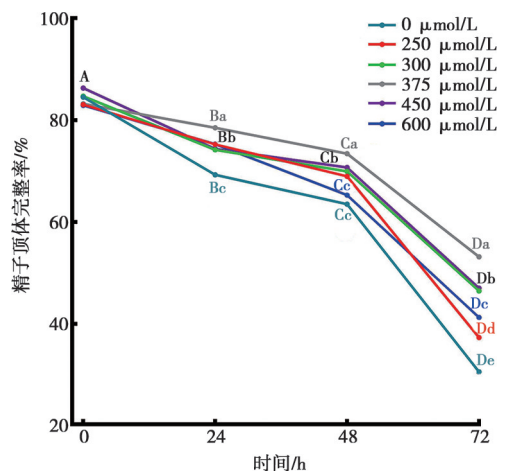


图 4 不同浓度 EC 对绵羊精子顶体完整率的影响

## 2.5 不同浓度 EC 对常温保存的绵羊精子 CAT 活性的影响

由图 5 所示, 精子保存 24 和 48 h 时, 375  $\mu\text{mol/L}$  试验组的 CAT 活性显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ ), 保存 72 h 时对照组显著低于各试验组 ( $P < 0.05$ )。除此, 在保存 24 h 时, 对照组显著低于 250、300 和 450  $\mu\text{mol/L}$  试验组 ( $P < 0.05$ ); 48 h 时, 450  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ) 而与 250、300 和 600  $\mu\text{mol/L}$  差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 72 h 时, 375  $\mu\text{mol/L}$  试验组 CAT 活性最高, 375 和 450  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于其他各组 ( $P < 0.05$ ), 250、300 和 600  $\mu\text{mol/L}$  试验组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

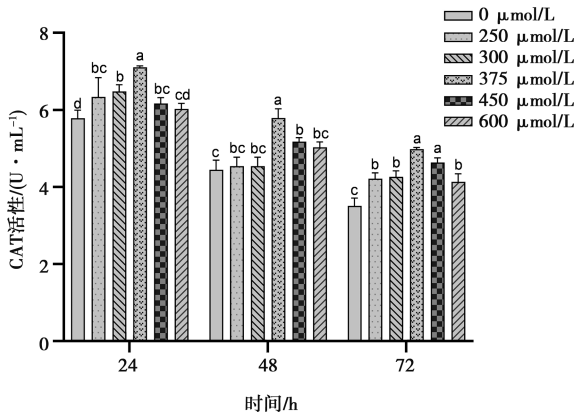


图 5 不同浓度 EC 对常温保存绵羊精子 CAT 酶活性的影响

## 2.6 不同浓度 EC 对常温保存的绵羊精子 SOD 活性的影响

由图 6 所示, 精子保存 72 h 内, 375  $\mu\text{mol/L}$  试验组的 SOD 活性显著高于其他各组, 保存 48 和 72 h 时对照组显著低于各试验组 ( $P < 0.05$ )。

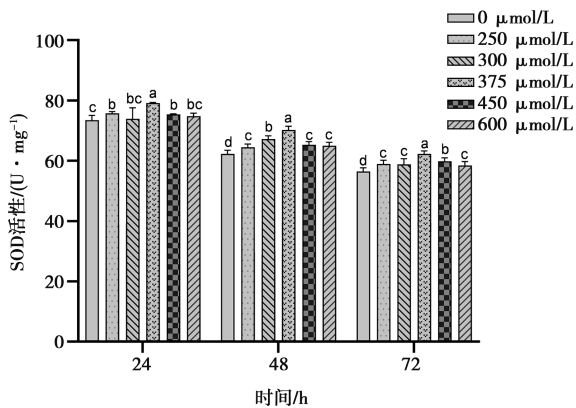


图 6 不同浓度 EC 对常温保存绵羊精子 SOD 酶活性的影响

除此, 在进行保存 24 h 时, 对照组显著低于 250 和 450  $\mu\text{mol/L}$  试验组 ( $P < 0.05$ ), 与 300 和 600  $\mu\text{mol/L}$  试验组差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 保存 48 h

时, 300  $\mu\text{mol/L}$  试验组显著高于对照组和 250、450、600  $\mu\text{mol/L}$  试验组 ( $P < 0.05$ ); 保存 72 h 时, 450  $\mu\text{mol/L}$  试验组 SOD 酶活性显著高于对照组和 250、300、600  $\mu\text{mol/L}$  试验组 ( $P < 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 EC 对常温保存绵羊精液品质的影响

精液的品质在受精过程中发挥着重要的作用, 不仅可预测精子的受精能力, 还是精子成功穿卵完成受精的前提<sup>[11]</sup>。而在精液保存过程中, 不可避免会受到 ROS 的影响, 使精液受精能力下降。本研究中添加适宜浓度的 EC 可缓解绵羊精液常温保存过程中的氧化损伤, 提升精液保存质量, 这一结果与 Tvrdá 等<sup>[7]</sup>在牛冷冻精液的研究结果一致。本试验结果显示, 在绵羊精液常温保存稀释液中添加 EC, 在 12 h 后各试验组的精子品质均有显著提升, 其中 375  $\mu\text{mol/L}$  试验组的效果最佳, 保存 24 h 时精子活力达到 89.33%, 与张凤等<sup>[12]</sup>在稀释液中添加白藜芦醇的结果相似 (90.07%), 而精子活率为 94.07%, 与郝文等<sup>[13]</sup>的试验结果相似, 且显著高于李智星等<sup>[14]</sup>所得出的研究成果。另外, 根据褚长江等<sup>[15]</sup>的研究发现, 在保存 24 h 时精子活力、活率分别达到 93.39% 和 96.64%, 显著高于本试验相同时间下的研究成果 (89.33%、94.07%), 分析原因主要是添加剂的成分、浓度不同而导致的。375  $\mu\text{mol/L}$  试验组的质膜完整率和顶体完整率也有显著提升, 其中质膜完整率在保存 24 h 时, 375  $\mu\text{mol/L}$  试验组达到 75.87%, 显著高于在稀释液中添加 2% 的甘油 (65.48%) 的结果<sup>[16]</sup>。在相同保存时间内 375  $\mu\text{mol/L}$  试验组顶体完整率与张凌蛟等<sup>[17]</sup>所得出的研究成果相似。以上结果都表明, 在常温保存稀释液中添加 EC 对精子结构完整性有显著提升, 且质量浓度为 375  $\mu\text{mol/L}$  效果最佳。

### 3.2 EC 对常温保存精液抗氧化能力的影响

精液在常温保存期间产生的 ROS 会诱导精子细胞膜发生 LPO, 这改变了细胞膜的通透性和流动性, 并对精子产生不良反应<sup>[18]</sup>, 故必须加入外源抗氧化剂来降低精子所受到的损伤。哺乳动物精浆抗氧化系统中 SOD 和 CAT 是重要组成部分, 两者相互配合可清除 ROS, 抑制自由基, 防止 LPO 堆积<sup>[19]</sup>, 因此精子的抗氧化能力与 SOD 与 CAT 的活性有密不可分的关系, 研究发现通过在绵羊稀释液中添加 SOD (800  $\text{U}/\text{mL}^{-1}$ ) 和 CAT (200  $\text{U}/\text{mL}^{-1}$ ), 可以有效增强精子的抗氧化能力, 使得体外受精率增长 15%, 精液储存率提高 25%, 有效减缓 ROS 生成及精子结构的氧化损伤<sup>[20-21]</sup>。本试验在 24、48、72 h 分别测定 SOD

与CAT活性,结果表明,在精液稀释液中添加EC能够显著提高精液抗氧化酶CAT与SOD的活性,这与Venkatakishnan等<sup>[22]</sup>在人类研究中的结果一致。抗氧化酶活性都随着EC浓度的提高表现为先上升再下降的趋势,与张柳明<sup>[23]</sup>、贺巾津<sup>[24]</sup>所研究结果相一致,这可能是由于添加剂浓度过高导致ROS含量过低引起,因为适当的ROS含量是精子代谢所必需的,它对于维持胞膜的流动性具有关键作用,添加剂浓度过高可能会抑制ROS的生成,从而影响精子的代谢过程和细胞膜的流动性。在375 μmol/L的添加浓度下,SOD与CAT活力均为最高,提升最显著,可能是因为添加375 μmol/L的EC时,对抗LPO的能力最强,其增强抗氧化酶活力的程度最高,另一方面,由于精子质膜上富含PUFA,其质膜的结构可能会随着EC浓度的提高而发生变化,从而降低了质膜通透性,使各指标降低<sup>[25]</sup>。另外,EC还能够通过抑制还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADPH)氧化酶等的活性来间接地清除自由基,提高精子的总抗氧化能力<sup>[26]</sup>。因此,本研究发现在精液常温保存中添加375 μmol/L EC能够显著提升精液抗氧化能力。

综上,在常温保存绵羊精液中加入375 μmol/L EC可以更好改善精子活力、活率、精子质膜完整率和顶体完整率,同时还提高了精子SOD、CAT的活性,改善了精液抗氧化能力。

## 参考文献:

- MAXWELL W M, WATSON P F. Recent progress in the preservation of ram semen [J]. *Anim Reprod Sci*, 1996, 42 (1): 55–65.
- 张柳明, 褚长江, SOHAIL T, 等. 茶多酚和花青素在湖羊精液常温保存中的应用效果 [J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2020 (17): 69–73.
- ENDRES L, BEGLEY U, CLARK R, et al. Alkbh8 regulates selenocysteine-protein expression to protect against reactive oxygen species damage [J]. *PLoS One*, 2015, 10 (7): e0131335.
- MO H Z, CHEN Y, HUANG L Y, et al. Neuroprotective effect of tea polyphenols on oxyhemoglobin induced subarachnoid hemorrhage in mice [J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2013, 2013: 1–7.
- 高飞, 岳奎忠, 杨增明. 猪精液液态保存的研究进展 [J]. *中国畜牧杂志*, 2004, 40 (6): 46–49.
- BERNATONIENE J, KOPUSTINSKIENE D M. The role of catechins in cellular responses to oxidative stress [J]. *Molecules*, 2018, 23: 965.
- TVRDA E, STRAKA P, GALBVAY D, et al. Epicatechin provides antioxidant protection to bovine spermatozoa subjected to induced oxidative stress [J]. *Molecules*, 2019, 24: 3226.
- BOONSORN T, KONGBUNTAD W, NARKKONG N, et al. Effects of catechin addition to extender on sperm quality and lipid peroxidation in boar sperm [J]. *AEJSA*, 2010, 7: 283–288.
- AWONYIYI D O, ABOUA Y G, MARNEWICK J, et al. The effects of rooibos (*Aspalathus linearis*), green tea (*Camellia sinensis*) and commercial rooibos and green tea supplements on epididymal sperm in oxidative stress-induced rats [J]. *Phytother Res*, 2012, 26: 1231–1239.
- 王俊琴. 奶绵羊精液冷冻程序的探索与研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- AHMED H, ANDRABI S M H, JAHAN S. Semen quality parameters as fertility predictors of water buffalo bull spermatozoa during low-breeding season [J]. *Theriogenology*, 2016, 86: 1516–1522.
- 张凤, 韩世昌, 张年, 等. 白藜芦醇对山羊精液常温保存效果的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2023, 59 (9): 250–253.
- 郝文, 晏航, 吴启辉, 等. 葡萄籽原花青素对多浪羊精液常温保存效果的研究 [J]. *中国畜牧杂志*, 2022, 58 (11): 170–175.
- 李智星, 曹少奇, 陈岩, 等. 添加益母草碱对绵羊精液常温保存效果的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2023, 59 (2): 176–180.
- 褚长江, 张柳明, 王彦虎, 等. 辅酶 Q<sub>10</sub>对湖羊精液常温保存效果的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2021, 57 (5): 131–136.
- 张柳明, 马金亮, 冯奎奎, 等. 甘油在湖羊精液常温保存中作用效果研究 [J]. *扬州大学学报 (农业与生命科学版)*, 2020, 41 (5): 69–74.
- 张凌蛟, 张眉, 吕东良, 等. 表没食子儿茶素没食子酸酯对猪精液常温保存效果的影响 [J]. *家畜生态学报*, 2022, 43 (2): 41–47.
- REDDY V S, YADAV B, YADAV C L, et al. Effect of sericin supplementation on heat shock protein 70 (HSP70) expression, redox status and post thaw sperm quality in goat [J]. *Cryobiology*, 2018, 84: 33–39.
- AITKEN R J, WINGATE J K, DE LULIIS G N, et al. Cis-unsaturated fatty acids stimulate reactive oxygen species generation and lipid peroxidation in human spermatozoa [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2006, 91 (10): 4154–4163.
- MAXWELL W M, STOJANOV T. Liquid storage of ram sperm in the absence or presence of some antioxidants [J]. *Reprod Fert Develop*, 1996, 8: 1013–1020.
- AHMADI S, BASHIRI R, GHADIRI-ANARI A, et al. Antioxidant supplements and sperm parameters: an evidence based review [J]. *Int J Reprod Biomed*, 2016, 14: 729–736.
- VENKATAKRISHNAN K, CHIU H F, CHENG J C, et al. Comparative studies on the hypolipidemic, antioxidant and hepatoprotective activities of catechin-enriched green and oolong tea in a double-blind clinical trial [J]. *Food Funct*, 2018, 9: 1205–1213.
- 张柳明. 牛磺酸对湖羊精液常温保存效果的研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2021.
- 贺巾津. 表儿茶素对猪精液冷冻保存效果的影响 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021.
- AWDA B J, MACKENZIE-BELL M, BUHR M M. Reactive oxygen species and boar sperm function [J]. *Biol Reprod*, 2009, 81 (3): 553–561.
- FAN F Y, SANG L X, JIANG M. Catechins and their therapeutic benefits to inflammatory bowel disease [J]. *Molecules*, 2017, 22: 484.