

饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐生长性能、营养物质消化率、氮代谢和血清生化指标的影响

刘可园 刘晗璐 钟 伟 张新宇 史鸿鹏 李光玉*

(中国农业科学院特产研究所, 长春 130112)

摘要: 本试验旨在研究饲料中添加不同水平维生素 E 对育成期蓝狐生长性能、营养物质消化率、氮代谢和血清生化指标的影响。选取 65 日龄体重相近的健康雄性蓝狐 75 只, 随机分为 5 组, 每组 15 个重复, 每个重复 1 只。6 组蓝狐分别饲喂在基础饲料(本底维生素 E 含量为 19.34 mg/kg)基础上添加 0(对照组)、50、100、150 和 200 mg/kg 维生素 E(添加形式为 50% α -生育酚醋酸酯)的饲料。预试期 10 d, 正试期 60 d。在试验第 30 天从每组选出 8 只蓝狐, 进行连续 4 d 的消化代谢试验。结果显示: 饲料中维生素 E 添加水平对第 56 天体重以及第 29~56 天平日均增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)和料重比(F/G)有显著影响($P < 0.05$)。随饲料中维生素 E 添加水平的升高, 第 29~56 天 ADG 持续升高, 而 F/G 持续降低, 且上述 2 个指标在添加 100、200、300 mg/kg 维生素 E 组与对照组之间均存在显著差异($P < 0.05$)。饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐脂肪消化率有显著影响($P < 0.05$)。添加 200 mg/kg 维生素 E 组蓝狐的脂肪消化率显著高于其他各组($P < 0.05$)。饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐血清超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性有显著的影响($P < 0.05$)。添加 100 和 150 mg/kg 维生素 E 组蓝狐血清 SOD 活性显著高于添加 50 mg/kg 维生素 E 组($P < 0.05$); 添加 100、150、200 mg/kg 维生素 E 组蓝狐血清 GSH-Px 活性显著高于对照组和添加 50 mg/kg 维生素 E 组($P < 0.05$)。饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐血清免疫球蛋白 G(IgG)含量有显著影响($P < 0.05$)。添加 100、150、200 mg/kg 维生素 E 组血清 IgG 含量显著高于对照组($P < 0.05$)。饲料中维生素 E 添加水平对育成期对蓝狐血清总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)和甘油三酯(TG)含量有显著影响($P < 0.05$)。添加 100、150 和 200 mg/kg 维生素 E 组血清 TG 含量显著低于对照组($P < 0.05$), 血清 GLB 含量显著高于对照组($P < 0.05$)。由此得出, 饲料中添加维生素 E 可提高育成期蓝狐的生长性能, 促进脂肪消化, 提高机体抗氧化能力, 同时降低血清 TG 含量。在本试验条件下, 综合考虑养殖成本和蓝狐生长性能, 推荐育成期蓝狐饲料中维生素 E 的添加水平为 100~150 mg/kg。

关键词: 维生素 E; 蓝狐; 生长性能; 营养物质消化率; 抗氧化能力; 免疫球蛋白

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)09-4170-09

维生素 E 是 1922 年美国加州大学 Evan 和 Bishop 在研究大鼠繁殖所需的脂溶性因子时发现

的^[1], 是动物机体健康生长重要的营养素。维生素 E 是一种生物抗氧化剂, 在防止脂质过氧化、维

收稿日期: 2019-03-05

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-2018-ISAPS)

作者简介: 刘可园(1985—), 吉林长春人, 博士研究生, 从事特种经济动物营养调控研究。E-mail: liuke yuan0212@163.com

* 通信作者: 李光玉, 研究员, 博士生导师, E-mail: tcslgy@126.com

持细胞膜稳定性方面具有重要作用^[2-3]。许多研究表明, 维生素 E 在提高家养动物生产性能、机体抗氧化能力和健康方面有重要的作用。张婷等^[4]研究发现, 在水貂饲料中添加维生素 E 可显著提高水貂的平均日增重 (ADG) 和脂肪消化率, 降低血清中活性氧的水平。Ebeid 等^[5]在处于生长阶段的家兔饲料中添加维生素 E, 发现添加维生素 E 可显著提高家兔的生长性能和抗氧化能力。张敏等^[6]将维生素 E 添加到肉鸡饲料中, 发现血清甘油三酯 (TG)、总胆固醇 (TC) 和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 含量都有不同程度地降低。石宝明等^[7]研究发现, 在母猪饲料中添加维生素 E 可显著提高仔猪断奶重和 ADG。

由于毛皮动物的特殊生理特点, 饲料中多不饱和脂肪酸含量较高^[8]。但狐狸或是水貂摄入过多的不饱和脂肪酸或是腐败的脂肪, 会导致黄脂肪病的发生^[8]。有研究发现在不饱和脂肪酸含量较高的水貂饲料中添加足够的维生素 E 可有效避免生长期水貂黄脂肪病的发生^[9-10]。Ender 等^[11]指出维生素 E 缺乏可导致狐狸发生黄脂肪病。不过维生素 E 添加水平过高, 会使维生素间相互比例关系严重失调, 导致某些代谢疾病的发生^[12]。Aburto 等^[13]研究发现, 当肉鸡饲料中维生素 D 含量处于临界状态时, 维生素 E 会影响机体维生素 D 的利用。王丹莉等^[14]研究发现, 当饲料中维生素 E 含量大于 1 400 mg/kg 时, 肉仔鸡会出现类似维生素 A 缺乏症。

目前还没有关于育成期蓝狐维生素 E 需要量方面的研究报道, 基于维生素 E 对于蓝狐的特殊生理作用。本试验拟研究饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐生长性能、营养物质消化率、氮代谢和血清生化指标的影响, 为育成期蓝狐饲料中维生素 E 的应用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验动物

试验动物为体重相近的健康雄性蓝狐, 来源于吉林省中特农业科技有限公司。

1.2 基础饲料

基础饲料参考 NRC (1982)^[15] 和《中国饲料成分与营养价值表 (2017 年第 28 版)》^[16] 进行配制, 基础饲料组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲料组成及营养水平 (风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)

项目 Items	含量 Content	%
原料 Ingredients		
膨化玉米 Extrusion corn	40.00	
豆粕 Soybean meal	16.45	
膨化大豆 Extruded soybean	5.00	
玉米胚芽饼 Corn germ meal	7.80	
干酒糟及其可溶物 DDGS	7.00	
鱼粉 Fish meal	5.00	
肉骨粉 Meat and bone meal	4.50	
鸡肉粉 Chicken meal	4.00	
血清蛋白粉 Serum protein meal	2.50	
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.30	
食盐 NaCl	0.35	
鸡油 Chicken oil	5.00	
预混料 Premix ¹⁾	1.00	
蛋氨酸 Met	0.30	
赖氨酸 Lys	0.71	
苏氨酸 Thr	0.09	
合计 Total	100.00	
营养水平 Nutrient levels ²⁾		
代谢能 ME/(MJ/kg)	15.13	
粗蛋白质 CP	27.12	
粗脂肪 EE	10.22	
粗灰分 Ash	5.83	
钙 Ca	1.15	
总磷 P	0.94	
维生素 E Vitamin E/(mg/kg)	19.34	

¹⁾ 每千克预混料含有 One kilogram of premix contained the following: VA 500 000 IU, VD₃ 100 000 IU, VK₃ 200 mg, VB₁ 1 250 mg, VB₂ 290 mg, VB₆ 750 mg, VB₁₂ 2.25 mg, 生物素 biotin 10 mg, 叶酸 folic acid 50 mg, 烟酸 nicotinic acid 2 500 mg, D-泛酸 D-pantothenic acid 1 750 mg, VC 200 000 mg, 胆碱 choline 900 000 mg, Fe 9 600 mg, Cu 1 200 mg, Zn 9 600 mg, Mn 4 800 mg, I 120 mg, Co 0.48 mg。

²⁾ 代谢能为计算值, 其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.3 试验设计

将 75 只 65 日龄、平均体重为 (2.30±0.27) kg 的健康雄性蓝狐随机分为 5 组, 每组 15 个重复, 每个重复 1 只。6 组蓝狐分别饲喂基础饲料 (对照组)、基础饲料+50 mg/kg 维生素 E、基础饲料+100 mg/kg 维生素 E、基础饲料+150 mg/kg 维生素 E 和基础饲料+200 mg/kg 维生素 E, 维生素 E

以 50% α -生育酚醋酸酯形式添加。动物饲养试验在农业部长白山野生生物资源重点野外科学观测站开展,从 2018 年 6 月末持续到 2018 年 9 月中旬。试验动物单笼饲养于带有遮阳棚的室外笼舍内,笼舍规格 1.0 m \times 0.8 m \times 0.8 m,整个试验在室外自然光条件下进行。试验开始前对试验动物笼舍、料盒和水盒进行清洗消毒,按照常规接种疫苗。预试期 10 d,正试期 60 d。将干粉末状的试验饲料按照一定比例与水混合,每天 07:00 和 15:00 各饲喂 1 次,自由饮水。

1.4 测定指标和方法

1.4.1 生长性能指标测定

试验第 1、28 和 56 天,早晨称量空腹体重,用于计算第 1~28 天和第 29~56 天的 ADG;记录每只动物每天的采食量,计算试验第 1~28 天和第 29~56 天的平均日采食量(ADFI);计算各阶段 ADFI 与 ADG 的比值,该结果表示为料重比(F/G)。

1.4.2 营养物质消化率和氮代谢指标测定

在试验第 28 天,从每组选出 8 只采食和排粪正常的蓝狐作为试验动物。采用全收粪的方法连续收集 4 d 的粪便和尿液样本,尿液在收集前在收集桶内加入 10 mL 10% 的硫酸,将收集的尿液混合均匀过滤后取 10 mL 于离心管中,-20 $^{\circ}$ C 保存。将每天收集的粪便称重后,按照鲜重的 5% 加入 10% 的硫酸溶液和少量的甲苯防腐,保存于-20 $^{\circ}$ C 备用。将 4 d 收集的粪便样本混合均匀后,先在 80 $^{\circ}$ C 下杀菌 2 h,然后降到 65 $^{\circ}$ C 烘干至恒重,粉碎后过 40 目筛,用于营养成分含量的测定。

饲料和粪便样本的干物质、氮、粗脂肪、粗灰分、钙和总磷含量的测定参照 AOAC(2003)^[17] 的方法,粗蛋白质含量按照氮 \times 6.25 计算得出,碳水化合物含量由干物质总量减去粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分总量求得。各营养物质消化率及氮代谢相关指标公式如下:

$$\text{干物质消化率}(\%) = \left[\frac{\text{干物质采食量} - \text{粪中干物质总量}}{\text{干物质采食量}} \right] \times 100;$$

$$\text{某种营养物质消化率}(\%) = \left[\frac{\text{该种营养物质摄入量} - \text{粪中该种营养物质总量}}{\text{该种营养物质摄入量}} \right] \times 100;$$

$$\text{氮沉积}(\text{g/d}) = \text{食入氮} - \text{粪氮} - \text{尿氮};$$

$$\text{净蛋白质利用率}(\%) = (\text{氮沉积} / \text{食入氮}) \times 100;$$

$$\text{蛋白质生物学价值}(\%) = \left[\frac{\text{氮沉积}}{\text{食入氮} - \text{粪氮}} \right] \times 100。$$

1.4.3 血清生化指标测定

在养殖试验结束后次日早晨,从每组健康动物中随机选取 8 只,使用装有促凝剂的真空采血管从后腿静脉采血 5 mL,3 000 r/min 离心 15 min,取上清装于 1.5 mL 离心管中,-20 $^{\circ}$ C 保存。血清葡萄糖(GLU)、TG、胆固醇(CHO)、LDL-C、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、总蛋白(TP)和白蛋白(ALB)含量根据相应试剂盒(中生北控生物科技股份有限公司产品)的说明书,使用全自动生化分析仪(Hitachi 7020, Hitachi High Technologies, Inc., 日本)测定,血清球蛋白(GLB)含量为血清 TP 和 ALB 含量的差值。血清总抗氧化能力(T-AOC)、丙二醛(MDA)含量、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和超氧化物歧化酶(SOD)活性使用相应试剂盒(南京建成生物工程研究所产品),利用可见分光光度计(Specord 50, Analytik Jena AG, 德国)测定。依据相应的商品试剂盒(犬酶联免疫吸附测定试剂盒,上海朗顿生物科技有限公司)的说明,使用全波长酶标仪(Epoch, Biotek Inc., 美国)测定血清免疫球蛋白 G(IgG)、免疫球蛋白 A(IgA)和免疫球蛋白 M(IgM)含量。

1.5 数据统计与分析

试验数据利用 SAS 9.2 统计软件的一般线性模型(GLM)过程进行单因素方差分析,试验结果以平均值 \pm 标准差的形式表示。多重比较采用 Duncan 氏法进行, $P < 0.05$ 为差异显著, $P > 0.05$ 为差异不显著。

2 结果

2.1 饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐生长性能的影响

由表 2 可知,饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐第 56 天体重以及第 29~56 天 ADG、ADFI 和 F/G 均有显著影响($P < 0.05$)。第 56 天体重,除添加 100 mg/kg 维生素 E 组与对照组差异不显著($P > 0.05$)外,其他添加维生素 E 组均显著高于对照组($P < 0.05$);随饲料中维生素 E 添加水平的升高,第 29~56 天 ADG 持续升高,添加 100、200、300 mg/kg 维生素 E 组之间差异不显著($P > 0.05$),但均显著高于对照组($P < 0.05$);第 29~56 天 F/G 则随饲料中维生素 E 添加水平的升高而持

续降低, 添加 100、200、300 mg/kg 维生素 E 组之间差异不显著 ($P>0.05$), 但均显著低于对照组 ($P<0.05$)。

表 2 饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary vitamin supplemental level on growth performance of blue foxes during growing period ($n=15$)

项目 Items	维生素 E 添加水平 Vitamin supplemental levels/(mg/kg)					P 值 P-value
	0	50	100	150	200	
体重 BW/kg						
第 1 天 Day 1	2.29±0.31	2.31±0.24	2.31±0.21	2.30±0.28	2.28±0.31	0.995
第 28 天 Day 28	3.79±0.27	3.95±0.25	3.84±0.23	3.94±0.31	3.92±0.28	0.432
第 56 天 Day 56	4.78±0.43 ^b	5.08±0.32 ^a	5.01±0.34 ^{ab}	5.15±0.31 ^a	5.25±0.38 ^a	0.015
平均日增重 ADG/(g/d)						
第 1~28 天 Day 1 to 28	51.72±6.27	56.53±5.58	52.71±5.31	56.40±6.50	56.65±10.32	0.182
第 29~56 天 Day 29 to 56	41.37±9.28 ^c	46.88±7.95 ^{bc}	48.81±9.16 ^{ab}	50.45±5.11 ^{ab}	55.36±9.38 ^a	0.001
平均日采食量 ADFI/(g/d)						
第 1~28 天 Day 1 to 28	171.43±23.51	173.57±18.22	173.30±15.85	172.50±20.91	170.63±23.24	0.995
第 29~56 天 Day 29 to 56	218.40±17.16 ^c	229.77±14.00 ^{ab}	221.81±14.20 ^{bc}	233.24±11.53 ^a	230.47±12.03 ^{ab}	0.030
料重比 F/G						
第 1~28 天 Day 1 to 28	3.38±0.70	3.11±0.50	3.33±0.48	3.10±0.57	3.18±1.12	0.778
第 29~56 天 Day 29 to 56	5.49±1.10 ^a	5.02±0.83 ^{ab}	4.68±0.84 ^{bc}	4.68±0.58 ^{bc}	4.24±0.49 ^c	0.002

同行数据肩标不同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P>0.05$)。下表同。

In the same row, values with different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐营养物质消化率和氮代谢的影响

由表 3 可知, 饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐的干物质消化率、蛋白质消化率、碳水化

合物消化率、氮沉积、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值均没有显著影响 ($P>0.05$), 仅对脂肪消化率有显著的影响 ($P<0.05$)。添加 200 mg/kg 维生素 E 组蓝狐的脂肪消化率显著高于其他各组 ($P<0.05$)。

表 3 饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐营养物质消化率及氮代谢的影响

Table 3 Effects of dietary vitamin supplemental level on nutrient digestibility and nitrogen metabolism of blue foxes during growing period ($n=8$)

项目 Items	维生素 E 添加水平 Vitamin supplemental levels/(mg/kg)					P 值 P-value
	0	50	100	150	200	
干物质消化率 DM digestibility/%	67.78±1.99	66.28±3.57	66.84±1.64	66.33±3.30	67.07±3.10	0.822
蛋白质消化率 Protein digestibility/%	67.61±2.47	67.37±3.26	64.76±2.15	65.50±3.83	66.27±3.09	0.293
脂肪消化率 Fat digestibility/%	92.79±0.76 ^b	92.50±1.12 ^b	92.53±1.93 ^b	92.53±2.47 ^b	94.60±0.57 ^a	0.044
碳水化合物消化率 Carbohydrate digestibility/%	68.40±2.09	66.47±3.76	68.81±1.59	67.33±4.09	67.29±3.98	0.626
氮沉积 Nitrogen retention/(g/d)	8.59±2.35	9.61±1.63	8.43±2.58	9.43±2.34	8.47±2.73	0.761
净蛋白质利用率 NPU/%	28.97±7.93	30.20±5.39	28.39±8.42	30.21±7.10	28.13±8.99	0.921
蛋白质生物学价值 BV of protein/%	42.87±11.70	46.12±6.48	44.10±14.02	45.79±9.44	42.39±13.41	0.951

2.3 饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐血清抗氧化指标和免疫球蛋白含量的影响

由表 4 可知,饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐血清 T-AOC 和 MDA 含量无显著影响 ($P>0.05$),对血清 SOD 和 GSH-Px 活性有显著的影响 ($P<0.05$)。添加 100 和 150 mg/kg 维生素 E 组蓝狐血清 SOD 活性显著高于添加 50 mg/kg 维生素 E 组 ($P<0.05$),其他组之间差异不显著 ($P>0.05$);添加 100、150、200 mg/kg 维生素 E 组蓝狐血清 GSH-Px 活性显著高于对照组和添加

50 mg/kg 维生素 E 组 ($P<0.05$),其他组之间差异不显著 ($P>0.05$)。蓝狐血清 IgG 含量受饲料中维生素 E 添加水平的显著影响 ($P<0.05$),且随着饲料中维生素 E 添加水平的升高先增加后降低,以添加 100 mg/kg 维生素 E 组最高,同时 100、150、200 mg/kg 维生素 E 组显著高于对照组 ($P<0.05$)。但是,血清中 IgA 和 IgM 含量随着饲料中维生素 E 添加水平的升高没有产生显著的变化 ($P>0.05$)。

表 4 饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐血清抗氧化指标和免疫球蛋白含量的影响

Table 4 Effects of dietary vitamin supplemental level on serum antioxidant indices and immunoglobulin contents of blue foxes during growing period ($n=8$)

项目 Items	维生素 E 添加水平 Vitamin supplemental levels/(mg/kg)					P 值 P-value
	0	50	100	150	200	
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	0.17±0.09	0.21±0.04	0.16±0.05	0.15±0.07	0.18±0.07	0.506
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	10.73±1.92 ^{ab}	9.56±1.01 ^b	11.22±1.48 ^a	11.73±1.74 ^a	10.15±0.65 ^{ab}	0.039
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	952.7±127.90 ^b	912.79±62.63 ^b	1 096.25±122.40 ^a	1 126.71±106.32 ^a	1 186.65±53.21 ^a	<0.001
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	14.95±2.58	15.14±3.89	14.27±2.22	16.47±3.86	13.38±1.10	0.321
免疫球蛋白 G IgG/(mg/mL)	10.72±2.19 ^b	14.82±2.41 ^{ab}	19.35±6.90 ^a	17.94±4.93 ^a	17.89±2.43 ^a	0.012
免疫球蛋白 A IgA/(mg/mL)	4.86±1.97	5.07±0.69	5.86±1.61	6.40±1.75	5.26±0.89	0.473
免疫球蛋白 M IgM/(μg/mL)	97.93±34.82	99.61±21.65	108.50±16.88	154.07±16.03	161.04±55.80	0.096

2.4 饲料中维生素 E 添加水平对育成期对蓝狐血清营养物质代谢指标的影响

由表 5 可知,饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐血清 TP、ALB、GLB 和 TG 含量有显著影响 ($P<0.05$),对血清 GLU、CHO、LDL-C 和 HDL-C 含量无显著影响 ($P>0.05$)。添加 150 mg/kg 维生素 E 组血清 TP 含量显著高于对照组 ($P<0.05$);添加 150 和 200 mg/kg 维生素 E 组血清 ALB 含量显著低于对照组和添加 50 mg/kg 维生素 E 组 ($P<0.05$);饲料中维生素 E 添加水平为 100~200 mg/kg 时,蓝狐血清 GLB 含量显著高于对照组 ($P<0.05$);添加 100、150 和 200 mg/kg 维生素 E 组血清 TG 含量显著低于对照组和 50 mg/kg 维生素 E 组 ($P<0.05$)。

3 讨论

本试验结果表明,饲料中添加维生素 E 有利于育成期蓝狐体重的增加,同时还可提高饲料转化效率。Liu 等^[18]研究发现,当饲料中硒含量适宜时冬毛期蓝狐体重和饲料转化效率随着饲料中维生素 E 添加水平的升高而增加。张婷等^[4]研究发现,在水貂的饲料中添加维生素 E 可提高育成期水貂的末体重,降低 F/G。另外,还有研究发现,在育成期家兔饲料中添加维生素 E 有助于家兔体重的增加,并可提高饲料转化效率^[5,19]。Työppönen 等^[20]研究发现,成期水貂对饲料中维生素 E 的需要量是 60~80 mg/kg,而且当饲料中含有较高的易被氧化的海鱼时,还需要提高饲料

中维生素 E 的含量^[21]。蓝狐作为犬科动物,脂肪是重要的能量来源,饲料中多不饱和脂肪酸含量较高。维生素 E 是一种天然的抗氧化剂,可以直接作为电子供体,防止饲料氧化变性,保持饲料的氧化稳定性。动物机体代谢产生的自由基会破坏

细胞膜中的多不饱和脂肪酸,维生素 E 可以清除这些自由基,从而保护细胞膜的完整性^[2-3]。此外,维生素 E 还可以增强肠道黏膜细胞抵抗氧化损伤和病原体感染的能力,提高营养物质的消化利用效率^[22]。

表 5 饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐血清营养物质代谢指标的影响
Table 5 Effects of dietary vitamin supplemental level on serum nutrient metabolism indices of blue foxes during growing period ($n=8$)

项目 Items	维生素 E 添加水平 Vitamin supplemental levels/(mg/kg)					P 值 P-value
	0	50	100	150	200	
总蛋白 TP/(g/L)	48.87±2.42 ^b	51.80±4.00 ^{ab}	52.27±3.09 ^{ab}	53.59±4.13 ^a	53.26±5.19 ^{ab}	0.194
白蛋白 ALB/(g/L)	30.07±0.96 ^a	30.89±3.25 ^a	28.09±4.95 ^{ab}	25.25±2.15 ^b	25.47±4.48 ^b	0.001
球蛋白 GLB/(g/L)	18.80±2.57 ^c	20.91±3.15 ^{bc}	24.19±5.58 ^{ab}	28.34±2.72 ^a	27.78±6.73 ^a	<0.001
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	5.27±0.35	5.45±0.73	5.80±0.70	5.88±0.81	5.75±0.41	0.200
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.30±0.90 ^a	1.24±0.66 ^a	0.53±0.12 ^b	0.67±0.15 ^b	0.54±0.14 ^b	<0.001
胆固醇 CHO/(mmol/L)	4.40±0.51	4.31±0.59	4.23±0.55	4.57±0.40	4.37±0.76	0.818
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	0.24±0.05	0.22±0.04	0.23±0.04	0.23±0.03	0.24±0.04	0.861
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	3.40±0.35	3.30±0.48	3.56±0.60	3.58±0.37	3.61±0.50	0.624

在本试验中,饲料中添加 200 mg/kg 维生素 E 可以显著提高育成期蓝狐对脂肪的消化率。Adkins 等^[23]和 Nuijten 等^[24]均发现,在猪饲料中添加维生素 E 可以显著提高营养物质的消化率。Liu 等^[18]在冬毛期雄性蓝狐和张婷等^[4]在育成期水貂的饲料中添加维生素 E 的研究结果显示,动物对脂肪的消化率显著提高。一方面,维生素 E 作为细胞信号转导因子,可以直接或间接对肌肉或是脂肪组织内相关基因或是转录因子产生影响,进而实现对动物脂肪代谢的调控^[25-26];另一方面,维生素 E 也可通过抗氧化功能提高脂肪组织中多不饱和脂肪酸的含量,促进脂肪吸收^[27],而高含量的多不饱和脂肪酸可调控脂肪代谢相关基因的表达,影响动物体脂的沉积^[28]。

本研究发现,饲料中维生素 E 添加水平为 100 和 150 mg/kg 时,育成期蓝狐血清中 GSH-Px 和 SOD 的活性较高。SOD 和 GSH-Px 是重要的自由基清除酶,其活性可客观地反映出机体抗氧化能力的高低。张婷等^[4]用添加维生素 E 的饲料饲喂育成期水貂,结果发现血清 SOD 活性显著高于不添加维生素 E 组。Akiyama 等^[29]指出 SOD 的活化可能是活性氧代谢产物(ROM)产生的一个标

志。维生素 E 作为一种有效的 ROM 清除剂,可降低 SOD 的活性^[30]。Liu 等^[18]的研究发现,饲料添加高水平的维生素 E 可降低冬毛期蓝狐血清中 SOD 的活性。本试验也得出相似的结果,饲料中维生素 E 添加水平为 200 mg/kg 时,蓝狐血清 SOD 活性略低于维生素 E 添加水平为 100 和 150 mg/kg 时。GSH-Px 以硒代半胱氨酸为活性中心,是机体抗氧化系统的主要组成部分^[31]。在动物体内维生素 E 与硒常协同作用,共同发挥抗氧化功能^[32]。Ebeid 等^[5]发现在家兔饲料中添加维生素 E 和硒能够显著提高血清中 GSH-Px 的活性。本试验发现,添加 100 mg/kg 维生素 E 组蓝狐血清中 IgG 含量显著高于其他各组。维生素 E 与淋巴细胞细胞膜的流动性有关,参与 IgG 的合成^[33-34]。研究发现,维生素 E 添加到奶牛^[35]、家禽^[36-37]和兔^[38]饲料中都不同程度地提高了血清 IgG 含量。

在本研究中,育成期蓝狐血清 GLB 含量显著受到饲料中维生素 E 添加水平的影响。胡志萍等^[37]添加微囊化的维生素 E 到肉鸡饲料中,在第 21 天时血清中 TP 和 GLB 含量显著高于未添加维生素 E 饲料组。武江利^[36]研究表明育成鸭血清

TP、GLB 和 ALB 含量随着饲料中维生素 E 添加水平的升高有增加趋势。血清 TP 含量是反映机体蛋白质营养的一个重要指标,血清 TP 是机体的主要营养源,在维持体内的渗透压方面有重要作用,其中血清 GLB 与机体免疫功能密切相关^[36]。由此可见,在饲料中添加适当的维生素 E 可促进机体对蛋白质的消化吸收,提高机体的免疫能力。此外,维生素 E 还可以改善线粒体的功能,促进氧化磷酸化,加速脂肪氧化,从而维持体内血脂稳定^[39]。本试验中,饲料中维生素 E 添加水平为 100~200 mg/kg 时,蓝狐血清中 TG 含量显著降低,这与张敏等^[6]研究饲料维生素 E 添加水平对肉鸡屠宰性能和血脂代谢的影响时得到的结果相一致。

4 结 论

饲料中添加维生素 E 可促进育成期蓝狐的生长,提高饲料转化效率,促进饲料中脂肪的消化,提高机体的抗氧化能力,降低血清中 TG 的含量。在本试验条件下,综合考虑养殖成本和蓝狐生长性能,推荐育成期蓝狐饲料中维生素 E 的添加水平为 100~150 mg/kg。

参考文献:

- [1] EVANS H M, BISHOP K S. On the existence of a hitherto unrecognized dietary factor essential for reproduction[J]. Science, 1922, 56(1458): 650-651.
- [2] HORWITT M K. Interpretations of requirements for thiamin, riboflavin, niacin-tryptophan, and vitamin E plus comments on balance studies and vitamin B-6 [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1986, 44(6): 973-785.
- [3] VAN GOSSUM A, KURIAN R, WHITWELL J, et al. Decrease in lipid peroxidation measured by breath pentane output in normals after oral supplementation with vitamin E [J]. Clinical Nutrition, 1988, 7(1): 53-57.
- [4] 张婷, 杨雅涵, 李仁德, 等. 饲料添加维生素 E 和硒对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及血清生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2018, 30(10): 4012-4019.
- [5] EBEID T A, ZEWEIL H S, BASYONY M M, et al. Fortification of rabbit diets with vitamin E or selenium affects growth performance, lipid peroxidation, oxidative status and immune response in growing rabbits [J]. Livestock Science, 2013, 155(2/3): 323-331.
- [6] 张敏, 黄藏宇, 孙艳发, 等. 日粮维生素 E 水平对肉鸡屠宰性能和血脂代谢的影响 [J]. 湖北农业科学, 2016, 55(8): 2049-2052.
- [7] 石宝明, 田美丽, 陈孝龙, 等. 母猪饲料中添加维生素 E 和不同脂肪类型对仔猪生长性能和脂肪酸组成的影响 [J]. 饲料工业, 2016, 37(9): 24-28.
- [8] NRC. Nutrient requirements of mink and foxes [S]. 2nd ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 1982.
- [9] ENDER F, HELGEBOSTAD A. Unsaturated dietary fat and lipoperoxides as etiological factors in vitamin E deficiency in mink. The prophylactic effect of vitamin E and iron compounds [J]. Acta Veterinaria Scandinavica, 1975, 16(55): 1-25.
- [10] ENGBERG R M, JAKOBSEN K, BØRSTING C F, et al. On the utilization, retention and status of vitamin E in mink (*Mustela vison*) under dietary oxidative stress [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 1993, 69(1/2/3/4/5): 66-78.
- [11] ENDER F, HELGEBOSTAD A. Yellow fat disease in fur bearing animals [C]//Proceedings of the XV International Veterinary. Cong Stockholm; ISVEE, 1953: 636.
- [12] 张艳玲. 维生素 A、维生素 D 和维生素 E 在动物体内的相互作用 [J]. 中国畜牧杂志, 2006, 42(5): 44-46.
- [13] ABURTO A, BRITTON W M. Effects of different levels of vitamins A and E on the utilization of cholecalciferol by broiler chickens [J]. Poultry Science, 1998, 77(4): 570-577.
- [14] 王丹莉, 罗兰. 不同水平维生素 A、D、E 日粮对肉仔鸡生长性能、胫骨软骨症及免疫机能的影响 [J]. 中国饲料, 1996(17): 17-18.
- [15] NRC. Nutrient requirements of mink and foxes [S]. 2nd ed. Washington, DC: National Academy Press, 1982.
- [16] 熊本海, 罗清尧, 周正奎, 等. 中国饲料成分及营养价值表(2017 年第 28 版)制定说明 [J]. 中国饲料, 2017(21): 31-42.
- [17] AOAC. Official methods of analysis of AOAC International [S]. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists Inc, 2003.
- [18] LIU K Y, LIU H L, ZHANG T, et al. Effects of vitamin E and selenium on growth performance, antioxidant capacity, and metabolic parameters in growing furring blue foxes (*Alopex lagopus*) [J]. Biological

- Trace Element Research, 2019, doi:10.1007/s12011-019-1655-4.
- [19] EIBEN C, VÉGI B, VIRÁG G, et al. Effect of level and source of vitamin E addition of a diet enriched with sunflower and linseed oils on growth and slaughter traits of rabbits [J]. *Livestock Science*, 2011, 139(3):196-205.
- [20] TYÖPPÖNEN J, HAKKARAINEN J, JUOKSLAHTI T, et al. Vitamin E requirement of mink with special reference to tocopherol composition in plasma, liver, and adipose tissue [J]. *American Journal of Veterinary Research*, 1984, 45(9):1790-1794.
- [21] ENGBERG R M, JAKOBSEN K, BØRSTING C F, et al. On the utilization, retention and status of vitamin E in mink (*Mustela vison*) under dietary oxidative stress [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1993, 69(1/2/3/4/5):66-78.
- [22] BRIGELIUS-FLOHÉ R. Vitamin E; the shrew waiting to be tamed [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2009, 46(5):543-554.
- [23] ADKINS R S, EWAN R C. Effect of supplemental selenium on pancreatic function and nutrient digestibility in the pig [J]. *Journal of Animal Science*, 1984, 58(2):351-355.
- [24] NUIJTEN W G M, MOREL P C H, PURCHAS R W. Effect of lipid type, selenium and vitamin E on total tract nutrient digestibility in growing pigs [J]. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 2010, 70:266-268.
- [25] 孙艳发, 张敏, 李焰, 等. 维生素 E 对动物脂肪代谢调控的研究进展 [J]. *中国畜牧杂志*, 2015, 51(13):82-85.
- [26] GONZÁLEZ-CALVO L, JOY M, ALBERTI C, et al. Effect of finishing period length with α -tocopherol supplementation on the expression of vitamin E-related genes in the muscle and subcutaneous fat of light lambs [J]. *Gene*, 2014, 552(2):225-233.
- [27] WANG H, WANG L S, SHI B M, et al. Effects of dietary corn dried distillers grains with solubles and vitamin E on growth performance, meat quality, fatty acid profiles, and pork shelf life of finishing pigs [J]. *Livestock Science*, 2012, 149(1/2):155-166.
- [28] MORINE M J, TIERNEYA C, VAN OMMEN B, et al. Transcriptomic coordination in the human metabolic network reveals links between n-3 fat intake, adipose tissue gene expression and metabolic health [J]. *PLoS Computational Biology*, 2011, 7(11):e1002223.
- [29] AKIYAMA S, INAGAKI M, TSUJI M, et al. Comparison of effect of vitamin E-coated dialyzer and oral vitamin E on hemodialysis-induced Cu/Zn-superoxide dismutase [J]. *American Journal of Nephrology*, 2005, 25(5):500-506.
- [30] ZIAIE S, JAMAATI H, HAJIMAHMOODI M, et al. The relationship between vitamin E plasma and BAL concentrations, SOD activity and ventilatory support measures in critically ill patients [J]. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 2011, 10(4):953-960.
- [31] PATCHING S G, GARDINER R H E. Recent developments in selenium metabolism and chemical speciation; a review [J]. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 1999, 13(4):193-214.
- [32] FINCH J M, TURNER R J. Effects of selenium and vitamin E on the immune responses of domestic animals [J]. *Research in Veterinary Science*, 1996, 60(2):97-106.
- [33] 薛志成. 维生素 E 对提高鸡免疫反应的作用 [J]. *动物保健*, 2005(7):37.
- [34] 王传蓉, 王加启, 周振峰, 等. 维生素 E 的免疫研究进展 [J]. *中国畜牧兽医*, 2008, 35(8):24-28.
- [35] 王传蓉. 维生素 E 和硒对荷斯坦母牛及新生犊牛的影响 [D]. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学, 2008.
- [36] 武江利. 维生素 E 对育成鸭生产性能及机体生化指标的影响 [D]. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009.
- [37] 胡志萍, 寇涛, 张莉莉, 等. 不同剂型维生素 E 对肉鸡生长性能、血清生化和抗氧化功能的影响 [J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(4):118-123.
- [38] 迟玉杨, 何娟, 堵光莹, 等. 维生素 E 不同添加量对吉戎兔免疫指标的影响 [J]. *饲料研究*, 2012(9):13-15.
- [39] 肖萍, 王宏星. 维生素 E 和硒对血脂代谢的影响 [J]. *山西医药杂志*, 2013, 42(8):865-866.

Effects of Vitamin E Supplemental Level on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Nitrogen Metabolism and Serum Biochemical Indices of Blue Foxes during Growing Period

LIU Keyuan LIU Hanlu ZHONG Wei ZHANG Xinyu SHI Hongpeng LI Guangyu*

(Institute of Special Economic Animal and Plant Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130112, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of vitamin E supplemental level on growth performance, nutrient digestibility, nitrogen metabolism and serum biochemical indices of blue foxes (*Alopex lagopus*) during growing period. Seventy-five male blue foxes at 65 days of age with the similar body weight were randomly assigned to 5 groups with 15 replicates per group and 1 fox per replicate. The foxes in 5 groups were fed diets with 5 supplemental levels [0 (control), 50, 100, 150 and 200 mg/kg] of vitamin E from α -tocopherol acetate (effective substance concentration of 50%) based on a basal diet (background vitamin E content was 19.34 mg/kg). The trial lasted for 60 days after 10 days adaption. Eight foxes were selected from each group, a digestion metabolism experiment was conducted for 4 days starting at the 30th day of the trial. The results showed as follows: 1) dietary vitamin E supplemental level significantly affected the body weight of day 56, and the average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI) and feed/gain (F/G) of day 29 to 56 ($P < 0.05$). With the dietary vitamin E supplemental level increasing, the ADG of day 29 to 56 was improved continually, however, the F/G of day 29 to 56 was decreased continually. As well as, the two indicators of the groups supplemented with 100, 200 and 300 mg/kg vitamin E had significant difference with the control group ($P < 0.05$). Dietary vitamin E supplemental level significantly affected the fat digestibility ($P < 0.05$), and the fat digestibility of the group supplemented with 200 mg/kg vitamin E was significantly higher than that of other groups ($P < 0.05$). The activities of superoxide dismutase (SOD) and glutathione peroxidase (GSH-Px) in serum were significantly affected by dietary vitamin E supplemental level ($P < 0.05$). The activity of SOD in serum of groups supplemented with 100 and 150 mg/kg vitamin E was significantly higher than that of group supplemented with 50 mg/kg vitamin E ($P < 0.05$). The activity of GSH-Px in serum of groups supplemented with 100, 150 and 200 mg/kg vitamin E were significantly higher than that of group supplemented with 50 mg/kg vitamin E and control group ($P < 0.05$). The content of immunoglobulin G (IgG) in serum was affected by dietary vitamin E supplemental level ($P < 0.05$). The contents of IgG in serum of groups supplemented with 100, 150 and 200 mg/kg vitamin E were significantly higher than that of control group ($P < 0.05$). Dietary vitamin E supplemental level significantly influenced the contents of total protein (TP), albumin (ALB), globulin (GLB) and triglycerides (TG) in serum ($P < 0.05$). The contents of TG in serum of groups supplemented with 100, 150 and 200 mg/kg vitamin E was significantly lower than that of control group ($P < 0.05$), while the content of GLB in serum was significantly higher than that of control group ($P < 0.05$). These results indicate that adding vitamin E to the diet can increase the growth performance, fat digestibility and antioxidant ability, as well as reduce the content of TG in serum of blue foxes during growing period. Under the conditions of this experiment, considering the cost of breeding and the growing performance of blue foxes, the supplemental level of vitamin E in the diet of blue foxes during growing period is recommended to be 100 to 150 mg/kg. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(9):4170-4178]

Key words: vitamin E; blue foxes; growth performance; nutrient digestibility; antioxidant capacity; immunoglobulin