

过量维生素 A 对育成期雄性水貂生长性能及血清生化指标的影响

南韦肖^{1,2}, 张海华¹, 司华哲^{1,2}, 穆琳琳¹, 娄玉杰^{2*}, 李光玉^{1*}

(1. 中国农业科学院特产研究所, 特种经济动物分子生物学重点实验室, 长春 130112;

2. 吉林农业大学动物科学技术学院, 长春 130118)

摘要: 旨在讨论饲料中过量维生素 A 对育成期水貂生长性能、营养物质代谢及血清生化指标的影响。本研究采用单因素随机试验设计, 选择雄性水貂 90 只, 随机分成 6 组, 每组 15 个重复, 维生素 A 添加水平分别为 0(对照组)、5 000(I 组)、20 000(II 组)、80 000(III 组)、320 000(IV 组)及 1 280 000 IU·kg⁻¹(V 组)(干物质基础)。预饲期 7 d, 正式试验期 60 d。正式期开始第 30 天每组随机选取 8 只水貂进行为期 3 d 的消化代谢试验, 采用全收粪法收集粪便及尿样, 测定各样品中的干物质(DM)、蛋白质(CP)及脂肪(EE)的含量, 计算水貂的营养物质消化率。试验结束时, 采集血清样本进行血糖(GLU)、三酰甘油(TG)、胆固醇(CHO)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL)、碱性磷酸酶(ALP)、天门冬氨酸氨基转移酶(AST)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)及乳糖脱氢酶(LDH)的测定。结果表明: 1) 添加维生素 A 对水貂的末重、平均日增重均有显著影响, 其中 II 组与 V 组间差异显著($P < 0.05$)。2) 对照组营养物质消化率较其他组显著降低($P < 0.05$), 其中 II 组的营养物质消化率最高。3) 维生素 A 对水貂血清中 GLU、CHO 含量的影响均不显著($P > 0.05$), II 组血清中 TG 含量最低, 与 V 组差异显著($P < 0.05$)。对照组、I 组、II 组、III 组血清中的 HDL 含量同 IV 组与 V 组差异显著($P < 0.05$)。I 组的 LDL 含量最低, 显著低于 IV 组与 V 组($P < 0.05$), 其余组差异不显著($P > 0.05$)。4) 维生素 A 对水貂血清中的 ALP、AST、ALT 及 LDH 水平均有显著影响($P < 0.05$), 其中对照、III、IV 组同 V 组血清中的 ALP 含量差异显著($P < 0.05$)。II 组血清中 AST 的含量最低, 显著低于对照组、IV 组及 V 组($P < 0.05$)。II 组血清中的 ALT 含量最低, 显著低于其余各组($P < 0.05$), V 组显著高于对照组、I、II 组($P < 0.05$)。V 组 LDH 的含量最低, 且显著低于 I、II、III 组($P < 0.05$), 对照组同 IV 组差异不显著($P > 0.05$)。在本试验条件下, 在水貂饲料中添加 5 000~80 000 IU·kg⁻¹ 维生素 A 均可以优化水貂的生长潜力。然而过量添加维生素 A 会造成水貂生长缓慢, 脂类代谢能力下降等不良影响, 过量添加维生素 A 对水貂生长造成的不良影响的机制仍需进一步研究。

关键词: 水貂; 维生素 A; 生长性能; 血清生化指标

中图分类号: S816.11; S829.9

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2018)11-2425-10

The Effects of Excessive Vitamin A Supplementation on Growth Performance and Serum Biochemical Indices in Growing Male Minks

NAN Wei-xiao^{1,2}, ZHANG Hai-hua¹, SI Hua-zhe^{1,2}, MU Lin-lin¹, LOU Yu-jie^{2*}, LI Guang-yu^{1*}

(1. State Key Laboratory for Molecular Biology of Special Economic Animals, Institute of Special Animal and Plant Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130112, China; 2. College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: The aim of this study was to investigate the effects of excessive vitamin A (VA) supplementation on growth performance, nutrient digestibility and serum biochemical indexes of growing male

收稿日期: 2018-05-15

基金项目: 中国农业科学院基本科研业务费(CAAS-ASTIP-2018-ISAPS); 吉林省重点科技转化项目(20160307022NY)

作者简介: 南韦肖(1990-), 女, 吉林白山人, 博士生, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: nanwx2015@126.com

* 通信作者: 李光玉, 研究员, E-mail: teslgy@126.com; 娄玉杰, 教授, E-mail: lyjjlau@163.com

minks. Using a single factor randomized trial design, ninety healthy male minks were randomly assigned to 6 treatment groups with 15 animals in each group and fed a diet supplemented with 0(Control), 5 000 (I), 20 000(II), 80 000(III), 320 000(IV) and 1 280 000 IU · kg⁻¹(V) VA (based on dry matter), respectively, the pretest period lasted for 7 days and the formal test period lasted for 60 days. On the 30th day of the trail, 8 minks from each group were selected randomly for the digestion and metabolism test for 3 days, the feces and urine samples were collected by total feces collection method, the contents of dry matter (DM), crude protein (CP) and crude fat (EE) were measured, and the nutrient digestibility was calculated. Blood samples were collected at the end of the test and the contents of blood glucose(GLU), triglyceride(TG), cholesterol(CHO), high density lipoprotein cholesterol(HDL), low density lipoprotein cholesterol(LDL), alkaline phosphatase (ALP), aspartate aminotransferase(AST), alanine aminotransferase(ALT) and lactic dehydrogenase(LDH) were measured. The results showed that: 1) Final weight and average daily gain in group II was significantly higher than that in group V ($P < 0.05$). 2) Compared with control group, VA could improve the digestibility of nutrients ($P < 0.05$), group II was all the best. 3) VA had no significant effects on GLU and CHO ($P > 0.05$), TG content in group V was significantly higher than that in group II ($P < 0.05$). HDL content in group IV and V were significantly lower than that in the other groups ($P < 0.05$). LDL content in group I was the lowest, which was significantly lower than that in group IV and V ($P < 0.05$). 4) Serum ALP, AST, ALT and LDH levels were significantly affected by dietary VA ($P < 0.05$). ALP content had a significant difference between group V and control, group III, IV ($P < 0.05$). Concentration of serum AST was significantly decreased in group II, which was significantly lower than that in control, group IV, V ($P < 0.05$). VA induced a significantly lower concentration of ALT in group II ($P < 0.05$), group V was higher than control, I, II groups ($P < 0.05$). Concentration of LDH in group V was significantly lower than that in group I, II, III ($P < 0.05$), whereas there was no significant differences between the control group and group IV ($P > 0.05$). Under the experimental conditions, the supplementation of VA with 5 000-80 000 IU · kg⁻¹ in diet could improve growth potentials. However, excessive vitamin A supplementation could negatively affects growth and lipid metabolism. Further research is needed to determine the effect mechanism of excessive vitamin A supplementation on the growth of minks.

Key words: mink; vitamin A; growth performance; serum biochemical indices

维生素 A(vitamin A, VA)是动物体内必需的一种脂溶性维生素,在维持上皮细胞的完整性、正常视觉、动物繁殖、基因调节、免疫功能、抗氧化作用等方面都是必不可少的^[1-2]。近年来研究发现,维生素 A 还具有增强动物机体抗感染能力,参与蛋白质的合成,维持骨骼的正常生长代谢,促进毛囊发育等功能^[3-6];维生素 A 的缺乏将引起动物机体代谢的异常、生产性能及免疫机能的下降^[7],超量添加也会对动物产生不同程度的负面影响,加重了机体代谢负担,导致某些营养代谢疾病的发生^[8]。当维生素 A 含量为 2 000 000 IU · kg⁻¹时,水貂厌食、神情紧张、骨骼脱钙、骨折、脱毛、皮肤角质化等现象极为明

显^[9]。已有文献证明,过度添加维生素 A 会增加肝损伤的风险,并在鸡、牛等动物上证实了过量的维生素 A 会使机体对维生素 D₃ 和维生素 E 的生物学利用造成负面影响,并且发现过量的维生素 A 对于动物存在潜在的致畸性^[10-13]。

虽然人们对水貂生长各阶段所需维生素的添加量正逐步开展研究,但目前还缺乏公认的标准,在水貂的实际生产中存在饲料中大剂量的添加维生素的现象,使维生素间的相互比例关系发生严重失调,造成营养物质利用率降低。NRC(1982)中建议维生素 A 摄入量为每日每千克体重 100~400 IU^[14], Abernathy^[15]建议维生素 A 添加量为每日每千克

体重 200 IU。佟煜人^[16]推荐育成期雄性水貂每日维生素 A 需要量为 300~400 IU;目前较少报道过量维生素 A 对貂生长性能的影响。

本试验在前人研究的基础上,进一步探讨日粮添加过量维生素 A 对水貂生长性能的影响,并结合营养物质消化率及血液生化指标探讨其影响的可能机理,为研究过量维生素 A 对水貂造成不良影响的机制提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

选取 90 只(60±3)日龄的健康雄性美国短毛黑水貂,随机分成 6 组,每组 15 个重复,每个重复 1 只水貂,单笼饲养,各组间初始体重差异不显著($P > 0.05$)。各组水貂分别饲喂不同水平的维生素 A,即 0(对照组)、5 000(I 组)、20 000(II 组)、80 000(III 组)、320 000(IV 组)及 1 280 000 IU·kg⁻¹(V 组)(干物质基础)。维生素 A 的添加形式为维生素 A 醋酸酯(1 IU 维生素 A=0.344 μg 维生素 A 醋酸酯)。试验期间每天 07:00 和 15:00 各饲喂 1 次,自由饮水。预试期 7 d,正试期为 60 d。

1.2 试验饲料

根据 NRC(1982)水貂营养需要量及国内相关报道^[14,17-20],配制水貂育成期试验饲料,其组成及营养水平见表 1。

1.3 消化代谢试验

试验 30 d 后,每组随机选择 8 只水貂进行消化代谢试验,采用全收粪法,连续收集 3 d 的粪便和尿液,消化代谢试验期间饲养管理与日常饲养管理相同。每天收集的粪便称重后,每 100 g 鲜粪加入 10%硫酸溶液 10 mL,以避免粪氮的损失,并加入少量甲苯防腐。每天收集的尿液中每 100 mL 加入 10 mL 的 10%硫酸溶液,避免尿氮的损失。试验结束后分别将试验期间收集的粪便及尿样混合均匀后取样,尿样保存于一 20 °C 中,粪便在 80 °C 下杀菌 2 h,降至 65 °C 烘干至恒重,磨碎过 40 目筛,制成风干样本,以备实验室分析测定各营养物质含量。

1.4 水貂血清的制备

饲养试验结束后,从每个试验组中随机选择 8 只水貂,每只空腹趾尖采血 5 mL,置于促凝固管中,当血液凝固后,3 500 r·min⁻¹ 4 °C 离心 10 min,以制备血清,置于一 80 °C 保存备用。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

| 项目 Item | 含量 Content | % |
|-----------------------------------|------------|---|
| 原料 Ingredient | | |
| 膨化玉米粉 Extruded corn | 34.5 | |
| 豆粕 Soybean meal | 2.0 | |
| 肉粉 Meat meal | 7.0 | |
| 玉米蛋白粉 Corn gluten meal | 2.0 | |
| 鸡肉粉 Chicken meal | 16.0 | |
| 鱼粉 Fish meal | 26.0 | |
| 豆油 Soybean oil | 8.5 | |
| 食盐 NaCl | 0.3 | |
| DL-蛋氨酸 DL-methionine | 0.4 | |
| L-赖氨酸 L-lysine | 0.3 | |
| 磷酸氢钙 CaHPO ₄ | 2.0 | |
| 预混料 Premix ¹⁾ | 1.0 | |
| 总计 Total | 100.0 | |
| 营养水平 Nutrient level ²⁾ | | |
| 代谢能/(MJ·kg ⁻¹) ME | 16.46 | |
| 粗蛋白质 CP | 36.58 | |
| 粗脂肪 EE | 15.06 | |
| 碳水化合物 Carbohydrate | 35.09 | |
| 钙 Ca | 2.06 | |
| 磷 P | 1.04 | |
| 维生素 A/(IU·kg ⁻¹) VA | 1 507 | |

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供:VD₃ 2 000 IU;VE 150 mg;VK₃ 1 mg;VB₁ 20 mg;VB₂ 10 mg;VB₆ 10 mg;VB₁₂ 0.1 mg;烟酸 40 mg;泛酸 22 mg;叶酸 1 mg;生物素 1 mg;氯化胆碱 400 mg;VC 120 mg;Cu 20 mg;Fe 80 mg;Zn 32 mg;Mn 16 mg;I 0.5 mg;Se 0.12 mg;Co 0.2 mg。²⁾ 代谢能为计算值,其余指标为实测值

¹⁾ Premix provided the following per kilogram of diet: VD₃ 2 000 IU;VE 150 mg;VK₃ 1 mg;VB₁ 20 mg;VB₂ 10 mg;VB₆ 10 mg;VB₁₂ 0.1 mg;nicotinic acid 40 mg;pantothenate 22 mg;folic acid 1 mg;biotin 1 mg;choline chloride 400 mg;VC 120 mg;Cu 20 mg;Fe 80 mg;Zn 32 mg;Mn 16 mg;I 0.5 mg;Se 0.12 mg;Co 0.2 mg. ²⁾ ME is a calculated value, while the others are measured values

1.5 测定指标及方法

1.5.1 生长性能的测定 利用电子天平(Mettler Toledo ME2002E)称量并记录每只水貂每天的给料量和残余剩料量,计算水貂的采食量及每组平均采食量(ADFI)。正式试验开始时的体重记为初重,每间隔 2 周于早晨空腹称重并记录,试验结束后的体重记为末重,计算每只水貂的日增重及平均日增重(ADG)。根据每天的平均日增重和平均日采食量计算料重比(F/G)。

1.5.2 消化代谢试验 采用 105 °C 烘干法测定干物质的含量(参考 GB/T 6435-2006);采用凯氏定氮法测定粗蛋白质含量(参考 GB/T 6432-1994);采用索氏浸提法测定粗脂肪含量(参考 GB/T 6433-2006)。钙含量采用乙二胺四乙酸(EDTA)络合滴定法测定(参考 GB/T 6436-2002);钒钼酸铵比色法测定磷含量(参考 GB/T 6437-2002)。维生素 A 含量的测定采用高效液相色谱法检测(参考 GB/T 17817-2010)。

某种营养物质消化率(%) = ((某种营养物质摄入量 - 粪中某种营养物质总量) / 某种营养物质摄入量) × 100。

表 2 维生素 A 对育成期水貂生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary VA levels on growth performance of minks during growing period

| 项目 Item | 对照 Control | I | II |
|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 初重/g Initial weight | 1 023.33 ± 79.90 | 1 026.67 ± 100.12 | 1 049.33 ± 50.44 |
| 末重/g Final weight | 1 941.68 ± 140.30 ^{ab} | 2 031.26 ± 169.39 ^{ab} | 2 077.00 ± 144.22 ^b |
| 平均日增重/(g · d ⁻¹) ADG | 14.50 ± 1.79 ^{ab} | 15.65 ± 2.26 ^{ab} | 16.71 ± 3.39 ^b |
| 干物质采食量/(g · d ⁻¹) ADFI | 123.47 ± 9.61 | 146.37 ± 8.42 | 141.94 ± 9.68 |
| 料重比 F/G | 8.71 ± 0.73 | 8.79 ± 1.15 | 8.35 ± 1.29 |
| 项目 Item | III | IV | V |
| 初重/g Initial weight | 1 038.18 ± 67.09 | 1 033.92 ± 93.78 | 1 001.43 ± 58.43 |
| 末重/g Final weight | 2 004.55 ± 133.29 ^{ab} | 1 977.09 ± 121.90 ^{ab} | 1 880.71 ± 157.54 ^a |
| 平均日增重/(g · d ⁻¹) ADG | 15.23 ± 2.04 ^{ab} | 15.14 ± 1.84 ^{ab} | 13.73 ± 2.08 ^a |
| 干物质采食量/(g · d ⁻¹) ADFI | 131.75 ± 11.17 | 123.05 ± 9.09 | 125.13 ± 6.91 |
| 料重比 F/G | 8.86 ± 1.14 | 8.12 ± 1.21 | 9.46 ± 1.46 |

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同

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

2.2 维生素 A 对水貂营养物质消化率的影响

根据表 3 可知,对照组的干物质消化率与 I、II、III 组差异显著($P < 0.05$),同 IV、V 组差异不显著

1.5.3 血清生化指标的测定 血清血糖(GLU)、三酰甘油(TG)、胆固醇(CHO)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL)、碱性磷酸酶(ALP)、天冬氨酸氨基转移酶(AST)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)及乳糖脱氢酶(LDH)的含量均采用试剂盒测定(购自中生北控有限公司),分别按照试剂盒说明书操作,使用 VITALIB-E 型全自动生化分析仪测定。

1.6 数据分析

试验数据先以 Excel 初步处理后,利用 SPSS Statistics 22.0 中的 One-way ANOVA 进行单因素方差分析和 Duncan 氏多重比较。结果以“平均值 ± 标准差”表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 维生素 A 对水貂生长性能的影响

如表 2 所示,在初重差异不显著的情况下($P > 0.05$),添加维生素 A 对水貂的末重、平均日增重均有显著影响,其中 II 组与 V 组差异显著($P < 0.05$),其余组差异不显著,除料重比外,各组数据均呈现了一种先升高后降低的趋势,其中 II 组末重、平均日增重最高。

($P > 0.05$),其余各组间差异不显著($P > 0.05$)。对于蛋白质消化率而言,对照组显著低于 I、II、III、IV 组($P < 0.05$),I、II、III、IV 组间差异不显著($P > 0.05$),但

II组的蛋白质消化率最高。I、II组的脂肪消化率与V组间差异显著($P < 0.05$),其中II组的脂肪消化率最高,其余各组间差异不显著($P > 0.05$)。

表 3 维生素 A 对育成期水貂营养物质消化率的影响

| 项目 Item | 对照 Control | I | II | III | IV | V |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 干物质消化率 DM digestibility | 86.07±0.61 ^a | 89.57±1.57 ^b | 89.71±0.68 ^b | 88.83±1.16 ^b | 87.89±1.12 ^{ab} | 87.81±1.26 ^{ab} |
| 蛋白质消化率 Protein digestibility | 85.08±0.50 ^a | 88.71±2.16 ^b | 89.90±0.7 ^b | 88.36±2.12 ^b | 87.20±1.30 ^b | 85.26±0.67 ^a |
| 脂肪消化率 Fat digestibility | 77.22±1.32 ^{ab} | 80.74±1.36 ^b | 83.65±1.66 ^b | 76.11±1.00 ^{ab} | 74.58±1.69 ^{ab} | 67.64±1.38 ^a |

2.3 维生素 A 对水貂血清中血糖及相关脂类代谢指标的影响

由表 4 可知, GLU、CHO 各组间差异均不显著($P > 0.05$)。II组血清中 TG 含量最低,与V组差异显

著($P < 0.05$),其余组间差异不显著($P > 0.05$)。对照组、I组、II组、III组血清中的 HDL 同IV组与V组差异显著($P < 0.05$)。I组的 LDL 最低,显著低于IV组与V组($P < 0.05$),其余各组间差异不显著($P > 0.05$)。

表 4 维生素 A 对于水貂血清中血糖及脂类代谢相关指标的影响

| 项目 Item | 对照 Control | I | II | III | IV | V |
|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 血糖 GLU | 5.07±0.39 | 5.16±0.54 | 5.40±0.44 | 5.09±0.93 | 5.01±0.78 | 4.66±0.67 |
| 三酰甘油 TG | 1.58±0.51 ^{ab} | 1.44±0.22 ^{ab} | 1.30±0.63 ^a | 1.46±0.26 ^{ab} | 1.67±0.062 ^{ab} | 1.75±0.121 ^b |
| 胆固醇 CHO | 6.39±0.47 | 6.10±0.55 | 6.04±0.14 | 6.20±0.26 | 6.09±0.40 | 6.55±0.27 |
| 高密度脂蛋白胆固醇 HDL | 5.17±0.25 ^b | 5.22±0.67 ^b | 5.41±0.35 ^b | 5.14±0.56 ^b | 4.57±0.45 ^a | 4.27±0.52 ^a |
| 低密度脂蛋白胆固醇 LDL | 0.45±0.08 ^{ab} | 0.37±0.04 ^a | 0.40±0.07 ^{ab} | 0.39±0.06 ^{ab} | 0.49±0.09 ^b | 0.49±0.08 ^b |

2.4 维生素 A 对水貂血清中相关酶类的影响

由表 5 可知,维生素 A 对水貂血清中的 ALP、LDH、AST 及 ALT 活性均有显著影响,其中对照组、III、IV组同V组血清中的 ALP 差异显著($P < 0.05$),与I、II组差异不显著($P > 0.05$)。AST 在II组最低,显著低于对照组、IV组及V组($P < 0.05$),III组与其

他组差异不显著($P > 0.05$)。II组血清中的 ALT 最低,显著低于其余各组($P < 0.05$),V组显著高于对照组、I、II组($P < 0.05$),对照组、I组与III组、IV组差异不显著($P > 0.05$)。血清中 LDH 的含量V组最低,且显著低于对照组、I、II、III、IV组($P < 0.05$)。

表 5 维生素 A 对水貂血清中相关酶活性的影响

| 项目 Item | 对照 Control | I | II | III | IV | V |
|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 碱性磷酸酶 ALP | 209.64±27.47 ^a | 221.92±16.05 ^{ab} | 226.16±35.00 ^{ab} | 198.89±13.87 ^a | 204.84±12.23 ^a | 250.53±25.12 ^b |
| 天冬氨酸氨基转移酶 AST | 139.99±13.14 ^b | 113.25±10.00 ^a | 103.35±14.76 ^a | 116.90±15.37 ^{ab} | 138.31±30.50 ^b | 141.30±6.63 ^b |
| 丙氨酸氨基转移酶 ALT | 181.43±7.64 ^b | 180.44±13.07 ^b | 157.89±12.25 ^a | 191.02±7.87 ^{bc} | 187.99±7.68 ^{bc} | 200.62±17.85 ^c |
| 乳酸脱氢酶 LDH | 805.42±61.59 ^{bc} | 849.36±98.43 ^b | 845.16±97.28 ^b | 701.01±76.78 ^b | 799.56±92.80 ^{bc} | 571.29±60.05 ^a |

3 讨论

3.1 维生素 A 对水貂生长性能的影响

NRC(1982)建议的水貂维生素 A 摄入量为每日每千克体重 $100\sim 400\text{ IU}^{[14]}$,这是满足水貂生长的最低添加量,并且目前有较少的报道探讨过量添加维生素 A 对水貂生长性能的影响机制。维生素 A 是一种重要的脂溶性营养素,参与机体生理过程的各种代谢及营养吸收^[21],对视力、胚胎发育、婴儿的正常生长发育等方面是必不可少的^[22-24]。Ching 等^[25]研究表明,断奶仔猪日粮中添加 $2\ 200\sim 26\ 400\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的维生素 A 对仔猪的生长性能无显著影响。Ayuso 等^[26]发现,在日粮中添加 $10\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的维生素 A 对保育、生长育肥阶段的伊比利亚猪的增重、日采食量、饲料转化率及胴体性状均无显著影响。同样,本试验结果表明,在水貂日粮中添加 $0\sim 320\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的维生素 A 对水貂末重、日增重、采食量虽无显著影响,但存在先升高后降低的趋势。摄入过量维生素 A 可导致动物生长速度减慢,体重下降等^[8]。饲料中添加 $110\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的维生素 A 对会显著降低断奶仔猪的生长性能^[27]。谢登玉和李福昌^[28]发现,过量摄入维生素 A 会使獭兔生产性能下降。Crampton^[29]发现,水貂饲料中添加 $300\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 维生素 A,会出现生产力下降,皮张质量下降等现象。本试验中,添加维生素 A 水平为 $1\ 280\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 V 组与 $20\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 II 组的末重、日增重差异显著,且 II 组末重、平均日增重及日采食量最高,料重比最低,这说明适量的维生素 A 在一定程度上可以促进水貂生长,而一旦食入过量的维生素 A,则会加重机体的代谢负担,引起体重、日增重下降,料重比增高等现象,造成这一系列现象的原因之一可能是因为过量的维生素 A 使血液和外围组织之间的视黄醇异常分布,引起维甲酸水平升高,并激活细胞色素 P450 家族 (cytochrome P450, CYP)^[30]。CYP 酶中 1、2、3 亚族,为外源性物质的重要代谢酶,其他 CYP 酶则主要参与内源性物质如激素、胆酸和脂肪酸的形成和消除^[31],它既可减少外源性化合物的毒性,也可催化某些化合物生成毒性更强的代谢产物,从而导致肿瘤、出生缺陷和其他不良反应等^[32]。综上所述,本试验条件下,在饲料中添加过量维生素 A 会造成机体负担加重,引起水貂体重及日增重的下降。

3.2 维生素 A 对水貂营养物质消化率的影响

蛋白质消化率是反映食物被消化酶分解的程度及消化后的氨基酸和肽被吸收程度的重要指标^[33]。本试验中,添加量为 $20\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 维生素 A 组的蛋白质消化率最高,与对照组差异显著,这说明缺乏维生素 A 在一定程度上影响了蛋白质在体内的代谢。同 Esteban-Pretel 等^[34]的研究结果一致,这可能是饲料中维生素 A 的缺乏会引起动物小肠上皮损伤^[35-38],从而影响了水貂对蛋白质的吸收。脂类是机体重要的能量来源,维生素 A 可抑制动物体内的脂肪合成,促进脂肪酸的氧化分解^[39],且许多研究报道了维生素 A 及其衍生物对调控动物脂肪代谢的重要作用,并发现维生素 A 及其主要活性代谢物维甲酸对细胞生长和分化的影响,以及在脂肪组织生物学、肥胖症和 II 型糖尿病中的重要作用^[36, 40]。本试验中,维生素 A 添加量为 $1\ 280\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 V 组的脂肪消化率显著低于添加量为 $5\ 000\sim 20\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 II、III 组,这说明动物食入过量的维生素 A 会引起机体脂肪代谢异常,适量的维生素 A 可以增加组织内的脂肪动员和有效氧化脂类分解产生的脂肪酸,进而增加能量消耗。本试验中,添加 $20\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 维生素 A 的水貂干物质、蛋白质及脂肪消化率均最高,这说明维生素 A 通过促进水貂对营养物质的消化,从而促进水貂生长,而过量添加维生素 A 则会引起动物营养物质代谢异常,从而影响水貂生长。

3.3 维生素 A 对水貂血清中血糖及脂类代谢相关指标的影响

血糖,即血液中的葡萄糖,可增强肝的解毒能力,提高肝细胞内肝糖原的含量,维持肝的正常功能^[41]。本试验中,虽然维生素 A 对水貂血清中的血糖含量影响并不显著,但存在着先上升后降低的趋势,其中,添加维生素 A 含量为 $20\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的水貂血糖含量最高,添加量为 $1\ 280\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的水貂血糖含量最低,且低于对照组,这说明维生素 A 可以促进水貂生长,保护肝,并提高对营养物质的吸收能力。肝是储存脂肪的主要场所,长期超剂量添加维生素 A 会造成动物机体中毒,影响生产性能和健康状况^[4],并在维持机体脂类代谢平衡过程发挥重要作用,是脂肪酸从头合成的重要场所,可将日粮中过量的碳水化合物转化成脂肪酸^[39]。游离的维生素 A 在小肠中被酯化后吸收,经肠道淋巴系统转运的大部分维生素 A 以含长链脂

肪酸的视黄醇形式在肝中贮存,当机体组织需要时,便水解成游离的视黄醇后通过与视黄醇结合蛋白结合,通过血液转运到达靶器官。许多研究表明,维生素 A 或者类维生素 A 能促进肝内脂肪酸分解或抑制脂肪的生成^[42-44]。本试验中,添加维生素 A 的量为 50 000 和 20 000 IU · kg⁻¹时,可以降低水貂血清中 TG 和 LDL 的含量,而超过 320 000 IU · kg⁻¹后,水貂血清中 TG 和 LDL 含量明显增高。这同 Yehya 等^[45]通过观察服用过量维生素 A 的人群引起高三酰甘油血症,并导致血低密度脂蛋白含量升高的研究结果一致。维生素 A 的缺乏会引起鼠血清三酰甘油、高密度脂蛋白及体脂肪含量降低^[46]。本试验中同样发现,对照组血清中的 TG 及 HDL 均较其他组低,这说明维生素 A 可以具有调控脂肪合成与氧化的能力。但关于维生素 A 对水貂脂类代谢的影响机制尚不明确,仍需开展深入研究。

3.4 维生素 A 对水貂血清中相关酶类的影响

血清中转氨酶的活性可反映机体肝细胞损伤程度,因此检测转氨酶的活性可以判断肝损害程度。当肝细胞遭受破坏或细胞膜通透性增加时,天冬氨酸氨基转移酶、丙氨酸氨基转移酶、碱性磷酸酶等渗入血液,最终导致血液中这些酶的活性显著升高。所以,这 3 种酶是研究脂肪代谢和胆固醇合成及肝损害的 3 个重要指标^[47],碱性磷酸酶和乳酸脱氢酶活性可以反映肝和肾的功能状况,天冬氨酸氨基转移酶和丙氨酸氨基转移酶活性可以反映蛋白质代谢和氨基酸利用水平^[48]。本研究发现,维生素 A 对水貂血清中的 ALP 影响显著,但添加维生素 A 水平为 1 280 000 IU · kg⁻¹组的血清 ALP 含量最高,这可能是由于过量添加维生素 A 会使肝负担过重,从而造成血清中的 ALP 升高。Karar 等^[49]在小鼠饲料中添加 4 000 和 40 000 IU · kg⁻¹的维生素 A,结果发现,添加维生素 A 水平为 40 000 IU · kg⁻¹组血清中的 AST 及 ALT 明显较 4 000 IU · kg⁻¹组高。本试验同样发现,AST 及 ALT 随着维生素 A 添加水平的提高存在着先降低后升高的趋势,I、II 组血清中 AST 及 ALT 的含量较低说明适量的维生素 A 可促进水貂对营养物质的利用,添加维生素 A 水平为 1 280 000 IU · kg⁻¹组血清中的 AST 含量最高,这可能是因为过量的维生素 A 是具有肝毒性^[50],导致肝细胞破坏、细胞膜通透性增加,从而 ALP、AST、ALT 的活性显著升高,造成肝损伤。LDH 是参与糖无氧酵解和糖异生的重要酶,本试验中,乳酸脱氢

酶活性随着维生素 A 添加水平的增加先升高后降低,结合血糖试验数据,证明了维生素 A 的添加可以影响水貂机体的糖代谢过程。

4 结 论

在本试验条件下,结合日增重、料肉比、营养物质代谢率及相关血清指标等发现,在水貂日粮中添加 5 000~20 000 IU · kg⁻¹维生素 A 均可以优化水貂的生长潜力。然而过量添加维生素 A 会对水貂造成生长缓慢,脂类代谢能力下降等不良影响,过量添加维生素 A 对水貂生长造成不良影响的机制仍需进一步研究。

参考文献(References):

- [1] OMENN G S, GOODMAN G E, THORNQUIST M D, et al. Effects of a combination of beta carotene and vitamin A on lung cancer and cardiovascular disease [J]. *N Engl J Med*, 1996, 334(18): 1150-1155.
- [2] DOLARA P, BIGAGLI E, COLLINS A. Antioxidant vitamins and mineral supplementation, life span expansion and cancer incidence: a critical commentary [J]. *Eur J Nutr*, 2012, 51(7): 769-781.
- [3] GREEN A C, MARTIN T J, PURTON L E. The role of vitamin A and retinoic acid receptor signaling in post-natal maintenance of bone [J]. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 2016, 155: 135-146.
- [4] 朱晓强. 日粮不同维生素 A 添加水平对生长獭兔生产性能、VA 沉积、血液生化指标、抗氧化能力、免疫和 RBP4 表达量的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
ZHU X Q. Effects of different dietary vitamin A level on growth performance, Vitamin A deposition, serum biochemical indices and antioxidant function of growing rex rabbits [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [5] SUO L, SUNDBERG J P, EVERTS H B. Dietary vitamin A regulates wingless-related MMTV integration site signaling to alter the hair cycle [J]. *Exp Biol Med*, 2015, 240(5): 618-623.
- [6] NALLAMSHETTY S, WANG H, RHEE E J, et al. Deficiency of retinaldehyde dehydrogenase 1 induces BMP2 and increases bone mass *in vivo* [J]. *PLoS One*, 2013, 8(8): e71307.
- [7] 何生虎, 曹晓真, 姚占江. 动物维生素 A 缺乏的研究进展 [J]. *农业科学研究*, 2005, 26(1): 63-66.
HE S H, CAO X Z, YAO Z J. Progress on vitamin A

- deficiency in the animal[J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2005, 26(1):63-66. (in Chinese).
- [8] 张子仪. 中国饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
ZHANG Z Y. China feed science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000. (in Chinese)
- [9] HELGEBOSTAD A. Experimental excess of vitamin A in fur animals [J]. *Nordisk Veterinaermedicin*, 1955, 7: 297-308.
- [10] ABURTO A, BRITTON W M. Effects of different levels of vitamins A and E on the utilization of cholecalciferol by broiler chickens [J]. *Poult Sci*, 1998, 77(4):570-577.
- [11] AMETAJ B N, NONNECKE B J, FRANKLIN S T, et al. Dietary vitamin A modulates the concentrations of RRR- α -tocopherol in plasma lipoproteins from calves fed milk replacer[J]. *J Nutr*, 2000, 130(3): 629-636.
- [12] LINDAY L A, UMHAU J C, SHINDLEDECKER R D, et al. Cod liver oil, the ratio of vitamins A and D, frequent respiratory tract infections, and vitamin D deficiency in young children in the United States[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2010, 119(1):64-70.
- [13] ROTHMAN K J, MOORE L L, SINGER M R, et al. Teratogenicity of high vitamin A intake[J]. *N Engl J Med*, 1995, 333(21):1369-1373.
- [14] Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture, National Research Council, et al. Nutrient requirements of mink and foxes[M]. 2nd ed. Washington: National Academies Press, 1982.
- [15] ABERNATHY R P. Studies on the nutrient requirements of mink[M]. New York: Cornell University, 1960.
- [16] 佟煜人. 水貂的饲养管理[J]. 特种经济动植物, 2002(4):3-4.
TONG Y R. The feeding and management of mink [J]. *Special Economic Animal and Plant*, 2002(4):3-4. (in Chinese)
- [17] 杨颖, 张铁涛, 岳志刚, 等. 饲料脂肪源对育成期水貂生长性能和营养物质消化代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(2):380-388.
YANG Y, ZHANG T T, YUE Z G, et al. Effects of dietary fat sources on growth performance and nutrient digestion and metabolism of minks (*Mustelidae vison*) in late growing period[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(2): 380-388. (in Chinese)
- [18] 张铁涛, 张志强, 任二军, 等. 不同蛋白质水平日粮对不同日龄育成期公貂 (*Mustela vison*) 生长性能与消化代谢规律的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2011, 42(10): 1387-1395.
ZHANG T T, ZHANG Z Q, REN E J, et al. Effect of dietary protein on the growth performance and the regularity of digestibility and metabolism in mink at the period of development[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2011, 42(10): 1387-1395. (in Chinese)
- [19] 吴学壮, 杨颖, 刘汇涛, 等. 饲料铜水平对育成期雄性水貂铜元素代谢和血清生化指标的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2018, 49(4): 746-753.
WU X Z, YANG Y, LIU H T, et al. Effects of dietary copper levels on copper metabolism and serum biochemical indices in late growing male mink[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2018, 49(4): 746-753. (in Chinese)
- [20] 万春孟, 张铁涛, 吴学壮, 等. 饲料 L-精氨酸添加水平对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(8):2607-2613.
WAN C M, ZHANG T T, WU X Z, et al. Effects of dietary L-arginine supplemental level on growth performance, nutrient digestibility and nitrogen metabolism of mink during growing period[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(8):2607-2613. (in Chinese)
- [21] AL TANOURY Z, PISKUNOV A, ROCHETTE-EGLY C. Vitamin A and retinoid signaling: genomic and nongenomic effects thematic review series; Fat-soluble vitamins: Vitamin A[J]. *J Lipid Res*, 2013, 54(7): 1761-1775.
- [22] JI Z H, REN W Z, GAO W, et al. Analyzing the innate immunity of NIH hairless mice and the impact of gut microbial polymorphisms on *Listeria monocytogenes* infection [J]. *Oncotarget*, 2017, 8(63): 106222-106232.
- [23] CA ETE A, CANO E, MU-OZ-CHÁPULI R, et al. Role of vitamin A/retinoic acid in regulation of embryonic and adult hematopoiesis[J]. *Nutrients*, 2017, 9(2):159.
- [24] SHANNON S R, MOISE A R, TRAINOR P A. New insights and changing paradigms in the regulation of vitamin A metabolism in development[J]. *Wiley Interdiscip Rev Dev Biol*, 2017, 6(3):e264.
- [25] CHING S, MAHAN D C, WISEMAN T G, et al. Evaluating the antioxidant status of weanling pigs fed

- dietary vitamins A and E[J]. *J Anim Sci*, 2002, 80(9):2396-2401.
- [26] AYUSO M, FERNÁNDEZ A, ISABEL B, et al. Long term vitamin A restriction improves meat quality parameters and modifies gene expression in Iberian pigs [J]. *J Anim Sci*, 2015, 93(6):2730-2744.
- [27] 林映才, 蒋宗勇, 刘炎和, 等. 维生素 A 水平对早期断奶仔猪生长性能和免疫功能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2003, 39(6):14-16.
LIN Y C, JIANG Z Y, LIU Y H, et al. Effects of vitamin A levels on performance and immune function of early-weanling piglets[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2003, 39(6):14-16. (in Chinese)
- [28] 谢登玉, 李福昌. 日粮不同维生素 A 添加水平对生长肉兔生产性能、免疫、VA 沉积和脂质过氧化反应的影响[J]. 西南农业学报, 2007, 20(6):1338-1342.
XIE D Y, LI F C. Effect of dietary vitamin A supplement levels on the production performances, immunity indexes, vitamin retention and serum lipid peroxidation of growing rabbits[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 20(6):1338-1342.
- [29] CRAMPTON E W. Nutrient-to-calorie ratios in applied nutrition[J]. *J Nutr*, 1964, 82(3):353-365.
- [30] LIU L M, GUDAS L J. Disruption of the lecithin:retinol acyltransferase gene makes mice more susceptible to vitamin A deficiency[J]. *J Biol Chem*, 2005, 280(48):40226-40234.
- [31] SHIOI T, KANG P M, DOUGLAS P S, et al. The conserved phosphoinositide 3-kinase pathway determines heart size in mice[J]. *EMBO J*, 2000, 19(11):2537-2548.
- [32] 任 彭, 刘兆平. 细胞色素 P450 研究概况及其应用[J]. 食品与药品, 2006, 8(10):8-13.
REN PLIU Z P. The research and application status of cytochrome P450 [J]. *Food and Drug*, 2006, 8(10):8-13. (in Chinese)
- [33] 杨 凤. 动物营养学[M]. 2 版. 北京:中国农业出版社, 2001.
YANG F. *Animal nutrition*[M]. 2nd ed. Beijing:China Agriculture Press, 2001. (in Chinese)
- [34] ESTEBAN-PRETEL G, MARÍN M P, CABEZUELO F, et al. Vitamin A deficiency increases protein catabolism and induces urea cycle enzymes in rats[J]. *J Nutr*, 2010, 140(4):792-798.
- [35] ZHANG L, FENG L, JIANG W D, et al. Vitamin A deficiency suppresses fish immune function with differences in different intestinal segments; the role of transcriptional factor NF- κ B and p38 mitogen-activated protein kinase signalling pathways[J]. *Br J Nutr*, 2017, 117(1):67-82.
- [36] BLANER W S, LI Y, BRUN P J, et al. Vitamin A absorption, storage and mobilization[J]. *Subcell Biochem*, 2016, 81:95-125.
- [37] PENNY H L, PRESTWOOD T R, BHATTACHARYA N, et al. Restoring retinoic acid attenuates intestinal inflammation and tumorigenesis in APC^{Min/+} mice[J]. *Cancer Immunol Res*, 2016, 4(11):917-926.
- [38] DODGE J, STEPHANS A, LAI J P, et al. Effects of donor vitamin A deficiency and pharmacologic modulation of donor T cell retinoic acid pathway on the severity of experimental graft-versus-host disease[J]. *Biol Blood Marrow Transplant*, 2016, 22(12):2141-2148.
- [39] 王 雪, 闫素梅. 维生素 A 对动物脂类代谢的调节作用与机制[J]. 动物营养学报, 2017, 29(5):1462-1468.
WANG X, YAN S M. Regulatory effects of vitamin A on lipid metabolism of animals and its mechanism[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(5):1462-1468. (in Chinese).
- [40] SAEED A, DULLAART R P F, SCHREUDER T C M A, et al. Disturbed vitamin A metabolism in non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) [J]. *Nutrients*, 2018, 10(1):29.
- [41] 林楠. 血糖, 生命的保障[J]. 糖尿病新世界, 2012(8):20.
LIN N. Blood sugar, life guarantee[J]. *Diabetes New World*, 2012(8):20. (in Chinese)
- [42] SIWAMOGSATHAM O, DONG W, BINONGO J N, et al. Relationship between fat-soluble vitamin supplementation and blood concentrations in adolescent and adult patients with cystic fibrosis [J]. *Nutr Clin Pract*, 2014, 29(4):491-497.
- [43] ABD ELDAIM M A, MATSUOKA S, OKAMATSU-OGURA Y, et al. Retinoic acid modulates lipid accumulation glucose concentration dependently through inverse regulation of SREBP-1 expression in 3T3L1 adipocytes[J]. *Genes Cells*, 2017, 22(6):568-582.
- [44] SANDHU H S, BHANWER A J, PURI S. Retinoic acid exacerbates chlorpyrifos action in ensuing adipogenic differentiation of C3H10T1/2 cells in a GSK3 β dependent pathway [J]. *PLoS One*, 2017, 12(3):e0173031.
- [45] YEHYA A, BAER J T, SMILEY W, et al. Hypervita-

- minosis A altering the lipid profile in a hypercholesterolemic patient [J]. *J Clin Lipidol*, 2009, 3 (3): 205-207.
- [46] REDDY T S, KHANNA A. Effect of undernutrition and vitamin A deficiency on the phospholipid composition of rat tissues at 21 days of age. --II. Lung, heart and testes[J]. *Int J Vitam Nutr Res*, 1983, 53 (1): 9-12.
- [47] KRÓLICZEWSKA B, ZAWADZKI W, BARTKOWIAK A, et al. The level of selected blood indicators of laying hens fed with addition of amaranth grain[J]. *Electron J Pol Agric Univ*, 2008, 11(2): 18.
- [48] 应诗家, 聂海涛, 张国敏, 等. 不同营养水平对湖羊黄体期血液理化指标及卵泡发育的影响[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(8): 1606-1612.
- YING S J, NIE H T, ZHANG G M, et al. Effects of different levels of diet on plasma physiochemical indexes and folliculogenesis in Hu Sheep during the luteal phase[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(8): 1606-1612. (in Chinese)
- [49] KARAR P K, AGARWAL G, AGARWAL S, et al. Effect of dietary protein against excess vitamin A induced hepatotoxicity in rats[J]. *Am J Adv Drug Deliv*, 2017, 5(2): 59-63
- [50] LEO M A, LIEBER C S. Hypervitaminosis a: A liver lover's lament[J]. *Hepatology*, 1988, 8(2): 412-417.
- (编辑 郭云雁)