

饲料泛酸水平对育成期水貂生长性能、营养物质消化率、氮代谢和血清生化指标的影响

王卓¹ 李光玉¹ 刘可园¹ 张海华² 南韦肖¹ 张新宇¹ 韩菲菲¹ 刘哈璐^{1*}

(1.中国农业科学院特产研究所,吉林省特种经济动物分子生物学省部共建国家重点实验室,长春 130112;

2.河北科技师范学院动物科技学院,秦皇岛 066004)

摘要: 本试验旨在研究饲料泛酸水平对育成期水貂生长性能、营养物质消化率、氮代谢和血清生化指标的影响。试验选用(80±5)日龄、平均体重(1.16±0.06) kg的健康雄性短毛黑水貂90只,随机分成6组,每组15个重复,每个重复1只。泛酸添加形式为D-泛酸钙,基础饲料中泛酸水平为9 mg/kg,各组泛酸添加水平分别为0(I组,对照组)、10(II组)、20(III组)、30(IV组)、40(V组)、80 mg/kg(VI组)。预试期7 d,正试期62 d。结果表明:1) II、IV和V组的平均日增重显著高于I组($P<0.05$), II、IV组的平均日采食量显著高于I组($P<0.05$)。2) VI组的泛酸摄入量、粪便泛酸排泄量和泛酸沉积量极显著高于其他各组($P<0.01$); VI组的尿液泛酸排泄量显著或极显著高于I~V组($P<0.05$ 或 $P<0.01$); IV、V组的泛酸利用率显著或极显著高于I组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。3) 各组之间干物质消化率、氮消化率、脂肪消化率和碳水化合物消化率差异不显著($P>0.05$)。4) II、III和VI组的尿氮含量显著低于I组($P<0.05$), II和VI组的净蛋白质利用率显著高于I组($P<0.05$), II和VI组的蛋白质生物学价值极显著高于I组($P<0.01$)。5) VI组的血清白蛋白含量显著高于I和V组($P<0.05$), I组的血清葡萄糖含量显著或极显著低于II~VI组($P<0.05$ 或 $P<0.01$), VI组的血清碱性磷酸酶活性极显著高于I~V组($P<0.01$), VI组的血清胆固醇和高密度脂蛋白胆固醇含量显著或极显著高于I、III和V组($P<0.05$ 或 $P<0.01$), VI组的血清低密度脂蛋白胆固醇含量显著高于I和III组($P<0.05$)。综上所述,适宜的饲料泛酸水平可提高育成期水貂的生长性能、泛酸利用率、净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值,影响血清生化指标。综合生长性能和养殖成本,育成期水貂饲料中适宜的饲料泛酸添加水平为10 mg/kg,即饲料中泛酸水平为19 mg/kg。

关键词: 泛酸;水貂;生长性能;营养物质消化率;血清生化指标

中图分类号:S865.2⁺²

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)01-0463-09

泛酸(维生素B₅),也称遍多酸,属于B族维生素。泛酸是2种重要辅酶——辅酶A(CoA)和酰基载体蛋白(ACP)的组成成分,在三羧酸循环、脂肪酸合成与分解等一些代谢和调节过程中起重要作用^[1]。缺乏泛酸会导致严重的临床症状,如生长迟缓、厌食、皮肤病以及毛皮发生变化、胃肠

道问题、免疫功能受损、脂质和碳水化合物代谢障碍等^[2]。在对小鼠^[3-6]、鸡^[7-10]、猪^[11]等动物的研究中,泛酸缺乏均会产生毛色改变、脱发、皮肤缺陷,表明泛酸对于毛发或皮肤正常生长发育具有重要作用^[12]。

尽管泛酸广泛存在于动植物组织中,鲜有泛

收稿日期:2019-07-09

基金项目:中国农业科学院创新工程经费资助(CAAS-ASTIP-2018-ISAPS);河北省青年拔尖人才项目;河北省高校百名优秀创新人才项目

作者简介:王卓(1986—),女,吉林吉林人,硕士,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail:wangzhuo6321@126.com

*通信作者:刘哈璐,副研究员,硕士生导师,E-mail:liuhanlu2003@163.com

酸缺乏,但人工饲养的水貂以膨化玉米粉、鱼等作为水貂的主要饲料,限制了水貂的食物种类,NRC (1982)^[13]建议水貂泛酸的需要量为每 100 kcal (1 kcal=4.184 kJ)代谢能(ME) 0.2 mg。因国内外水貂品种及饲料组成等均有差异,该推荐的泛酸需要量是否适用于我国养殖的水貂品种,常规基础饲料中泛酸水平是否满足于水貂的需要以及饲料中添加泛酸是否会使水貂产生更好的生长性能,仍需要我们探究。本试验旨在研究饲料泛酸水平对育成期水貂生长性能、营养物质消化率、氮代谢和血清生化指标的影响,以期筛选出水貂饲料中泛酸的适宜添加水平,为我国水貂饲养行业维生素营养需要提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与基础饲料

泛酸添加形式为 *D*-泛酸钙,购自于山东华辰生物化学有限公司,纯度 $\geq 98\%$ 。基础饲料以膨化玉米粉、鱼粉、肉骨粉等为主要原料,同时添加水貂生长发育所需的矿物质和维生素(不含泛酸),根据 NRC(1982)^[13]水貂饲养标准,并结合我国养殖实际情况进行配制,基础饲料组成及营养水平见表 1。

1.2 试验设计与饲养管理

试验选用 90 只(80 \pm 5)日龄的健康雄性短毛黑水貂,平均体重为(1.16 \pm 0.06) kg,采用单因子试验设计,随机分成 6 组,每组 15 个重复,每个重复 1 只。基础饲料中泛酸水平为 9 mg/kg, *D*-泛酸钙于每次饲喂时按比例添加于饲料中, *D*-泛酸添加水平分别为 0(I 组,对照组)、10(II 组)、20(III 组)、30(IV 组)、40(V 组)、80 mg/kg(VI 组),即 I ~ VI 组饲料中的泛酸水平分别为 9、19、29、39、49、89 mg/kg。预试期 7 d,正试期 62 d。每天 08:00 和 15:00 各饲喂 1 次,自由采食和饮水,单笼饲养。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。

1.3 样品采集与处理

1.3.1 泛酸消化利用试验

试验第 44 天,每组随机挑选 7 只水貂,采用全收粪法进行泛酸消化利用试验,为期 2 d,其他日常饲养管理程序不变。试验期间每日准确称量给料量和剩料量,计算每日采食量;收集的粪样称重后充分混合,留存 50 g 于-80 °C 保存待测;收集的

尿样准确量取所有尿样体积后,留存 20 mL 于-80 °C 保存待测。

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		
膨化玉米粉 Extruded corn meal		33.00
鱼粉 Fish meal		24.00
肉骨粉 Bone meat meal		14.50
玉米蛋白粉 Corn gluten meal		6.00
鸡肉粉 Chicken meal		6.00
玉米胚芽粕 Corn germ meal		4.70
磷酸氢钙 CaHPO ₄		0.50
预混料 Premix ¹⁾		1.00
蛋氨酸 Met		0.50
赖氨酸 Lys		0.30
食盐 NaCl		0.50
豆油 Soybean oil		9.00
合计 Total		100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾		
代谢能 ME/(MJ/kg)		15.28
粗蛋白质 CP		32.69
粗脂肪 EE		15.08
钙 Ca		2.93
磷 P		1.78
泛酸 Pantothenic acid/(mg/kg)		9.00

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 12 500 IU, VD₃ 2 500 IU, VE 125 mg, VB₁ 50 mg, VB₂ 15 mg, VB₆ 12 mg, VB₁₂ 0.1 mg, VK₃ 1.6 mg, VC 190 mg, 烟酸 nicotinic acid 30 mg, 生物素 biotin 0.2 mg, 叶酸 folic acid 1 mg, 胆碱 choline 900 mg, Fe 80 mg, Cu 10 mg, Mn 40 mg, Zn 80 mg, I 1.0 mg, Se 0.25 mg, Co 0.4 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.

1.3.2 消化代谢试验

试验第 47 天,每组随机挑选 8 只水貂,采用全收粪法进行消化代谢试验,为期 3 d,其他日常饲养管理程序不变。试验期间每日采集饲料样品,充分混合,检测营养物质含量;试验期间每日准确称量给料量和剩料量,计算每日采食量;收集的粪样称重后按鲜重的 5% 加入 10% 硫酸,65 °C 烘干,准确称重并记录,粉碎后过 40 目筛,备测粪中营养物质含量;收集尿样前,在容器中预先加入 10%

硫酸 10 mL,准确量取所有尿样体积,混匀过滤后取 20 mL, -20 °C 保存,备测尿中氮含量。

1.3.3 血清样品

饲养试验结束后,每只水貂指甲采血 2 mL,采集到的血样装在促凝管中,立即混合摇匀,3 500 r/min、4 °C 离心 10 min 分离血样,取上清后置于 -20 °C 保存,备测血清生化指标。

1.4 检测指标与方法

1.4.1 生长性能

试验开始和结束时 07:00 空腹称重,每天记录给料量和剩料量,计算水貂平均日增重(ADG)和平均日采食量(ADFI),并计算料重比(F/G)。

1.4.2 泛酸消化利用

利用微生物法检测饲料、尿液、粪便中泛酸的含量,测定方法按照试剂盒的说明书(中检葆泰生物技术有限公司)进行。并计算泛酸沉积量和泛酸利用率,计算公式为:

$$\text{泛酸沉积量 (mg/d)} = \text{泛酸摄入量} - \text{粪便泛酸排出量} - \text{尿液泛酸排出量};$$

$$\text{泛酸利用率 (\%)} = 100 \times (\text{泛酸沉积量} / \text{泛酸摄入量})。$$

1.4.2 营养物质消化率和氮代谢

营养物质消化率和氮代谢相关计算公式为:

$$\text{某营养物质消化率 (\%)} = 100 \times (\text{该营养物质摄入量} - \text{粪中该营养物质排出量}) / \text{该营养物质摄入量};$$

$$\text{氮沉积 (\%)} = \text{食入氮} - \text{粪氮排出量} - \text{尿氮排出量};$$

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

$$\text{蛋白质生物学价值 (\%)} = 100 \times \text{氮沉积} / (\text{食入氮} - \text{粪氮排出量})。$$

1.4.3 血清生化指标

样品于 4 °C 解冻后,测定血清白蛋白(ALB)、总蛋白(TP)、葡萄糖(GLU)、胆固醇(CHO)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)含量及碱性磷酸酶(ALP)活性,测定方法按照试剂盒说明书(中生北控生物科技股份有限公司)进行,使用全自动生化分析仪(VITALIB SELECTRA-E, 荷兰)测定。球蛋白(GLOB)含量由 TP 和 ALB 含量差值计算获得。

1.5 数据统计

试验结果以“平均值±标准差”表示,数据用 SPSS 21.0 软件中的 ANOVA 程序进行方差分析,多重比较采用 Duncan 氏法进行, $P < 0.01$ 为差异极显著, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 饲料泛酸水平对育成期水貂生长性能的影响

由表 2 可知,饲料添加泛酸后 ADG 和 ADFI 均增加,其中 II、IV 和 V 组的 ADG 显著高于 I 组 ($P < 0.05$), II 和 IV 组的 ADFI 显著高于 I 组 ($P < 0.05$)。饲料添加泛酸后 F/G 均降低,但各组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 饲料泛酸水平对育成期水貂生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary pantothenic acid level on growth performance of growing minks

项目 Items	组别 Groups					
	I	II	III	IV	V	VI
平均日增重 ADG/(g/d)	6.88±2.33 ^b	8.95±2.17 ^a	7.45±2.05 ^{ab}	9.24±2.39 ^a	8.82±1.61 ^a	7.62±2.26 ^{ab}
平均日采食量 ADFI/(g/d)	75.29±14.66 ^b	89.94±17.79 ^a	81.81±17.08 ^{ab}	92.10±13.11 ^a	86.45±14.47 ^{ab}	83.55±18.88 ^{ab}
料重比 F/G	11.55±2.20	10.45±2.42	11.24±1.69	10.37±2.15	10.09±2.54	11.09±2.14

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$), 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 small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P < 0.01$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

2.2 饲料泛酸水平对育成期水貂泛酸消化利用的影响

由表3可知,随着泛酸添加水平的增加,泛酸摄入量逐渐增加,IV组极显著高于I组($P<0.01$),V组极显著高于I、II和III组($P<0.01$),VI组极显著高于I~V组($P<0.01$),I、II、III组之间差异不显著($P>0.05$)。VI组的粪便泛酸排出量极显著高于I~V组($P<0.01$),V组显著高于I组($P<0.05$),I、II、III、IV组之间差异不显著($P>0.05$)。

VI组的尿液泛酸排出量显著高于II、III、V组($P<0.05$),且极显著高于I组($P<0.01$)。随着泛酸添加水平的增加,泛酸沉积量逐渐增加,但I、II、III组之间差异不显著($P>0.05$),IV组极显著高于I、II组($P<0.01$),且显著高于III组($P<0.05$);VI组极显著高于I~V组($P<0.01$)。IV组的泛酸利用率显著高于I组($P<0.05$),V组极显著高于I和II组($P<0.01$)。

表3 饲料泛酸水平对育成期水貂泛酸消化利用的影响

Table 3 Effects of dietary pantothenic acid level on pantothenic acid digestion and utilization of growing minks

项目 Items	组别 Groups					
	I	II	III	IV	V	VI
泛酸摄入量 Pantothenic acid intake/(mg/d)	0.97±0.33 ^{Dc}	2.00±0.36 ^{CDc}	2.29±0.77 ^{CDc}	3.77±0.46 ^{BCb}	4.90±1.73 ^{Bb}	9.62±1.43 ^{Aa}
粪便泛酸排出量 Fecal pantothenic acid excretion/(mg/d)	0.19±0.15 ^{Bc}	0.40±0.37 ^{Bbc}	0.29±0.12 ^{Bbc}	0.36±0.23 ^{Bbc}	0.81±0.42 ^{Bb}	2.57±0.61 ^{Aa}
尿液泛酸排出量 Urine pantothenic acid excretion/(mg/d)	0.34±0.32 ^{Bb}	0.69±0.31 ^{ABb}	0.69±0.61 ^{ABb}	0.81±0.35 ^{ABab}	0.66±0.32 ^{ABb}	1.37±0.45 ^{Aa}
泛酸沉积量 Pantothenic acid retention/(mg/d)	0.44±0.14 ^{Dc}	0.91±0.17 ^{Dc}	1.31±0.17 ^{CDc}	2.59±0.33 ^{BCb}	3.42±1.30 ^{Bb}	5.69±1.10 ^{Aa}
泛酸利用率 Pantothenic acid utilization/%	47.50±713.10 ^{BCb}	46.25±9.39 ^{Cb}	61.15±15.30 ^{ABCab}	69.19±7.24 ^{ABa}	70.00±7.73 ^{Aa}	58.85±3.21 ^{ABCab}

2.3 饲料泛酸水平对育成期水貂营养物质消化率的影响

率、脂肪消化率和碳水化合物消化率差异不显著($P>0.05$)。

由表4可知,各组之间干物质消化率、氮消化

表4 饲料泛酸水平对育成期水貂营养物质消化率的影响

Table 4 Effects of dietary pantothenic acid level on nutrient digestibility of growing minks

项目 Items	组别 Groups					
	I	II	III	IV	V	VI
干物质消化率 DM digestibility	69.75±1.46	70.04±3.37	70.22±3.75	70.27±2.33	71.53±1.79	72.27±2.87
氮消化率 Nitrogen digestibility	73.59±2.81	74.77±4.25	73.89±3.39	73.01±2.46	74.04±1.07	74.08±5.37
脂肪消化率 Fat digestibility	83.25±11.89	82.05±10.46	84.57±11.70	83.42±4.01	83.92±7.05	87.17±3.22
碳水化合物消化率 Carbohydrate digestibility	75.82±3.03	75.43±2.58	75.91±2.21	76.10±2.85	76.76±3.04	78.20±2.38

2.4 饲料泛酸水平对育成期水貂氮代谢的影响

由表 4 可知,饲料添加泛酸后水貂的尿氮排出量含量降低,Ⅱ、Ⅲ和Ⅵ组的尿氮排出量显著低于Ⅰ组($P<0.05$)。饲料添加泛酸后水貂的净蛋白

质利用率和蛋白质生物学价值提高,Ⅱ和Ⅵ组的净蛋白质利用率显著高于Ⅰ组($P<0.05$),Ⅱ和Ⅵ组的蛋白质生物学价值极显著高于Ⅰ组($P<0.01$)。

表 5 饲料泛酸水平对育成期水貂氮代谢的影响

Table 5 Effects of dietary pantothenic acid level on nitrogen metabolism of growing minks

项目 Items	组别 Groups					
	I	II	III	IV	V	VI
食入氮 Nitrogen intake/(g/d)	5.64±1.03	5.19±0.59	5.12±0.77	5.67±1.02	5.16±0.07	5.42±0.82
粪氮排出量 Fecal nitrogen excretion/(g/d)	1.50±0.41	1.33±0.22	1.43±0.36	1.54±0.38	1.37±0.09	1.45±0.43
尿氮排出量 Urine nitrogen excretion/(g/d)	3.17±0.61 ^a	2.33±0.40 ^b	2.36±0.49 ^b	2.82±0.56 ^{ab}	2.58±0.25 ^{ab}	2.39±0.63 ^b
氮沉积 Nitrogen retention/(g/d)	0.97±0.42	1.53±0.41	1.33±0.63	1.32±0.31	1.21±0.22	1.58±0.56
净蛋白质利用率 Net protein utilization/%	17.23±7.17 ^b	29.36±7.17 ^a	22.64±3.78 ^{ab}	23.35±4.93 ^{ab}	23.44±4.59 ^{ab}	29.52±10.61 ^a
蛋白质生物学价值 Biological value of protein/%	23.21±9.03 ^{Bb}	39.47±9.00 ^{Aa}	30.38±3.84 ^{ABab}	31.89±6.00 ^{ABab}	31.92±6.17 ^{ABab}	39.76±13.21 ^{Aa}

2.5 饲料泛酸水平对育成期水貂血清生化指标的影响

由表 5 可知,各组之间血清 TP、GLOB 和 TG 含量差异不显著($P>0.05$)。Ⅵ组的血清 ALB 含量显著高于Ⅰ和Ⅴ组($P<0.05$)。Ⅰ组的血清 GLU 含量显著低于Ⅱ组($P<0.05$),且极显著低于

Ⅲ~Ⅵ组($P<0.01$)。Ⅵ组的血清 ALP 活性极显著高于Ⅰ~Ⅴ组($P<0.01$),Ⅰ~Ⅴ组之间差异不显著($P>0.05$)。Ⅵ组的血清 CHO 和 HDL-C 含量极显著高于Ⅲ组($P<0.01$),且显著高于Ⅰ和Ⅴ组($P<0.05$)。Ⅵ组的血清 LDL-C 含量显著高于Ⅰ和Ⅲ组($P<0.05$)。

表 6 饲料泛酸水平对育成期水貂血清生化指标的影响

Table 6 Effects of dietary pantothenic acid level on serum biochemical indices of growing minks

项目 Items	组别 Groups					
	I	II	III	IV	V	VI
白蛋白 ALB/(g/L)	24.34±4.31 ^b	27.52±4.56 ^{ab}	25.17±3.14 ^{ab}	25.00±3.02 ^{ab}	24.18±3.82 ^b	28.24±3.44 ^a
球蛋白 GLOB/(g/L)	39.95±9.13	35.64±6.49	40.97±8.70	40.69±7.18	42.36±8.24	43.16±8.25
总蛋白 TP/(g/L)	64.30±9.91	63.16±8.58	66.14±9.77	65.70±7.54	66.54±7.96	71.40±10.93
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	6.10±0.78 ^{Bb}	6.95±0.74 ^{ABa}	7.12±0.79 ^{Aa}	7.13±0.92 ^{Aa}	7.22±0.77 ^{Aa}	7.11±0.88 ^{Aa}
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	112.69±24.84 ^{Bb}	125.41±28.62 ^{Bb}	111.08±11.69 ^{Bb}	108.82±19.21 ^{Bb}	117.17±23.93 ^{Bb}	152.24±26.26 ^{Aa}
胆固醇 CHO/(mmol/L)	6.48±1.04 ^{ABbc}	7.37±1.16 ^{ABab}	6.02±0.80 ^{Bc}	7.00±1.16 ^{ABabc}	6.51±0.89 ^{ABbc}	7.75±1.67 ^{Aa}

续表6

项目 Items	组别 Groups					
	I	II	III	IV	V	VI
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.56±0.48	1.48±0.30	1.54±0.42	1.41±0.41	1.58±0.38	1.79±0.53
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	2.26±0.39 ^{ABbc}	2.56±0.41 ^{ABab}	2.15±0.26 ^{Bc}	2.43±0.31 ^{ABabc}	2.23±0.33 ^{ABbc}	2.65±0.40 ^{Aa}
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	0.64±0.13 ^b	0.82±0.20 ^{ab}	0.63±0.17 ^b	0.81±0.32 ^{ab}	0.71±0.15 ^{ab}	0.91±0.39 ^a

3 讨论

3.1 饲料泛酸水平对育成期水貂生长性能的影响

泛酸作为B族维生素的一种,是动物生长过程所必须的,缺乏泛酸后,不同种类动物表现不一样。Smith等^[14]研究发现,泛酸缺乏会导致动物生长速度降低,采食量下降,皮肤出现病斑以及毛皮发生变化,脂类和碳水化合物代谢改变,甚至死亡。祁树彬^[15]报道,育成貉泛酸缺乏时,生长明显受阻。Sheppard等^[16]给小牛喂养不含泛酸的合成乳,使小牛泛酸缺乏,小牛表现出毛发粗糙、下颌皮炎、鼻黏膜过多、食欲不振、生长速度降低,最终体重减轻以至死亡。水貂泛酸缺乏的早期迹象是食欲不振和血清CHO含量降低,出现出血性粪便,8或9d后死亡,同时临床发现腹泻、虚弱、消瘦、脱水现象,在本试验条件下,饲料代谢能为15.28 MJ/kg,即7.31 mg/kg泛酸满足基本需求量,本试验基础饲料泛酸水平为9 mg/kg,各组水貂未出现水貂泛酸缺乏后的症状,基础饲料中泛酸水平可以满足水貂的基本生存需求。生长试验结果也表明饲料中添加泛酸可提高水貂的ADFI和ADG,而饲料中未额外添加泛酸,即饲料中泛酸水平为9 mg/kg时,水貂的生长性能不能得到最大的发挥。

3.2 饲料泛酸水平对育成期水貂泛酸消化利用的影响

本试验结果表明,随着饲料泛酸水平的增加,水貂的泛酸摄入量也逐渐增加,过量的泛酸会从粪便和尿液中排出,泛酸沉积量随饲料泛酸水平增加而逐渐增加。在饲料泛酸水平为9~29 mg/kg时,水貂的粪便泛酸排出量、尿液泛酸排出量以及泛酸沉积量增加并不显著;当饲料泛酸水平为39 mg/kg时,泛酸沉积量显著增加;而当

饲料泛酸水平为89 mg/kg时,水貂粪便泛酸排出量和尿液泛酸排出量显著或极显著增加,泛酸沉积量极显著高于饲料泛酸水平为19~49 mg/kg时。泛酸在体内分布于肝脏、肾脏、大脑、心脏、肾上腺、睾丸等组织中,虽然肝脏、肾脏等器官中的泛酸含量稍高一些,但动物和人似乎不能贮存泛酸^[1],沉积的泛酸有可能被机体用于代谢利用,而发挥更好的生长性能。

3.3 饲料泛酸水平对育成期水貂营养物质消化率和氮平衡的影响

泛酸是CoA和ACP的组成部分,CoA的主要作用是酰基和乙酰基的转移和缩合,是碳水化合物、脂肪酸和氮化合物代谢中多种乙酰化反应的重要辅酶。ACP参与脂肪酸的从头合成和酰基链的修饰,是脂肪酸合成酶的一部分,对脂肪酸碳链合成作用至关重要^[14]。本试验结果表明,饲料泛酸水平在9~89 mg/kg时,随着泛酸水平的增加,水貂干物质消化率、氮消化率、脂肪消化率和碳水化合物消化率并未受到显著影响;但当饲料中添加泛酸后,尿氮含量降低,净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值提高。泛酸通过提供乙酰和脂肪酰基修饰基团参与调节蛋白质,这些修饰基团可以改变酰基化蛋白的位置和活性,可能因此提高了蛋白质的利用率。饲料泛酸水平在9~49 mg/kg时,净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值先升高后降低,在泛酸对五龙鹅^[17]的研究中也发现这一现象,而当泛酸水平达到89 mg/kg时,净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值又显著增加,造成这一现象的原因还需要进一步探究。

3.4 饲料泛酸水平对育成期水貂血清生化指标的影响

CoA是泛酸在细胞内的主要存在形式,能够与酰基碳形成硫酯键,参与机体内超过70种酶促

反应,是糖、脂肪转化能量时必需的物质。CoA 存在于多种途径中,如脂肪酸氧化、CHO 合成、血红素合成、氨基酸分解代谢、乙酰胆碱合成等^[18-19]。本试验结果显示,水貂血清 GLU、ALB、CHO、HDL-C、LDL-C 含量以及 ALP 活性均与饲料泛酸水平有关。当饲料未添加泛酸,即饲料泛酸水平为 9 mg/kg 时,水貂血清 GLU 含量显著低于饲料泛酸水平为 19 mg/kg 时,极显著低于饲料泛酸水平为 29~89 mg/kg 时;饲料泛酸水平为 89 mg/kg 时,水貂血清 ALB 含量显著高于饲料泛酸水平为 9 和 49 mg/kg 时;饲料泛酸水平为 89 mg/kg 时,水貂血清 CHO、HDL-C 含量与饲料泛酸水平为 9、29 和 49 mg/kg 时相比显著增高,血清 LDL-C 含量与饲料泛酸水平为 29 mg/kg 时显著增高;饲料泛酸水平为 89 mg/kg 时,水貂血清 ALP 活性极显著增高。血清中的生化指标与机体营养状况、健康状况直接相关。血清中蛋白质与机体蛋白质的吸收、合成、分解等代谢状况相关,血清 GLU 含量与机体糖代谢和能量代谢相关,血清中脂质水平反映脂质代谢情况,ALP 活性升高被认为是和阻塞性黄疸、肝癌、肝炎、肾病、骨骼疾病相关,由于水貂血清生化指标正常范围值还未知,当饲料泛酸水平为 89 mg/kg 时,这些检测指标是否超出健康水貂正常范围,是否引发动物疾病仍需要做进一步检查。尽管一般认为泛酸作为一种水溶性维生素以及自身结构特点几乎不存在过量病症,但泛酸过量可能引起其他维生素的吸收利用,例如泛酸和生物素共用一个细胞转运载体,泛酸的过量摄入可引起生物素的竞争性转运障碍,因此不宜过量添加。

水貂的育成期是水貂快速生长期,因为没有可靠和敏感的泛酸营养状况评估标准,不同物种的泛酸需求量常被设定在使动物获得最大的增长的那个水平上^[14],血清生化指标和消化代谢指标不足以判断饲料泛酸的适宜水平,因此还需要进一步对冬毛生长期时水貂进行毛皮品质、组织学的分析。因此,水貂育成期从生长性能和养殖成本的角度来评判,饲料泛酸的适宜添加水平为 10 mg/kg,即饲料中泛酸水平为 19 mg/kg。

4 结 论

适宜的饲料泛酸水平可提高育成期水貂的生长性能、泛酸利用率、净蛋白质利用率和蛋白质生

物学价值。综合生长性能和养殖成本,育成期水貂饲料中适宜的饲料泛酸添加水平为 10 mg/kg,即饲料中泛酸水平为 19 mg/kg。

参考文献:

- [1] BROWN G M. The metabolism of pantothenic acid [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1959, 234 (2) : 370-378.
- [2] TAHILIANI A G, BEINLICH C J. Pantothenic acid in health and disease [J]. *Vitamins & Hormones*, 1991, 46: 165-228.
- [3] MORGAN A F, SIMMS H D. Greying of fur and other disturbances in several species due to a vitamin deficiency: three figures [J]. *The Journal of Nutrition*, 1940, 19 (3) : 233-250.
- [4] PETERSON W H, PETERSON M S. Relation of bacteria to vitamins and the other growth factor [J]. *Bacteriological Reviews*, 1945, 9 (2) : 49-109.
- [5] SANDZA J G, CERECEDO L R. Requirement of the mouse for pantothenic acid and for a new factor of the vitamin B complex: two figures [J]. *The Journal of Nutrition*, 1941, 21 (6) : 609-615.
- [6] FENTON P F, COWGILL G R, STONE M A, et al. The nutrition of the mouse. VIII. Studies on pantothenic acid, biotin, inositol and *p*-aminobenzoic acid [J]. *The Journal of Nutrition*, 1950, 42 (2) : 257-269.
- [7] BEER A E, SCOTT M L, NESHEIM M C. The effects of graded levels of pantothenic acid on the breeding performance of white leghorn pullets [J]. *British Poultry Science*, 1963, 4 (3) : 243-253.
- [8] GRIES C L, SCOTT M L. The pathology of thiamin, riboflavin, pantothenic acid and niacin deficiencies in the chick [J]. *The Journal of Nutrition*, 1972, 102 (10) : 1269-1285.
- [9] KRATZER F H, WILLIAMS D. The pantothenic acid requirement of poults for early growth [J]. *Poultry Science*, 1948, 27 (4) : 518-523.
- [10] RAM T. A histopathologic study of chicks deficient in pantothenic acid [J]. *Poultry Science*, 1949, 28 (3) : 425-430.
- [11] WINTROBE M M, FOLLIS R H, ALCAYAGA R, et al. Pantothenic acid deficiency in swine [J]. *Bulletin of the Johns Hopkins Hospital*, 1943, 73: 313-342.
- [12] JUKES T H. Pantothenic acid and the filtrate (chick anti-dermatitis) factor [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 1939, 61 (4) : 975-976.
- [13] NRC. Nutrient requirements of mink and foxes [S].

- 2nd ed. Washington, D. C. : National Academy Press, 1982.
- [14] SMITH C M, SONG W O. Comparative nutrition of pantothenic acid [J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 1996, 7(6) : 312-321.
- [15] 祁树彬. 貉维生素缺乏的临床症状及其防治 [J]. 养殖技术顾问, 2009(1) : 123.
- [16] SHEPPARD A J, JOHNSON B C. Pantothenic acid deficiency in the growing calf [J]. The Journal of Nutrition, 1957, 61(2) : 195-205.
- [17] 张肖, 王宝维, 岳斌, 等. 泛酸对 5~16 周龄五龙鹅生长性能、屠宰性能、肌肉品质、营养物质利用率及血清生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2015, 27(11) : 3411-3419.
- [18] ROBISHAW J D, NEELY J R. Coenzyme A metabolism [J]. American Journal of Physiology, 1985, 248(1) : E1-E9.
- [19] SHIMIZU S, YAMADA H. Pantothenic acid (vitamin B₅), coenzyme A and related compounds [M]// VANDAMME E J. Biotechnology of vitamins, pigments and growth factors. Dordrecht : Springer, 1989.

Effects of Dietary Pantothenic Acid Level on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Nitrogen Metabolism and Serum Biochemical Indices of Growing Minks

WANG Zhuo¹ LI Guangyu¹ LIU Keyuan¹ ZHANG Haihua² NAN Weixiao¹
ZHANG Xinyu¹ HAN Feifei¹ LIU Hanlu^{1*}

(1. State Key Laboratory of Special Economic Animal Molecular Biology, Institute of Special Animal and Plant Science, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Changchun 130112, China; 2. Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: The experiment was conducted to evaluate the effects of dietary pantothenic acid level on growth performance, nutrient digestibility, nitrogen metabolism and serum biochemical indices of growing minks. Ninety male short-haired black minks at the age of (80±5) days and with similar body weight of (1.16±0.06) kg were randomly divided into 6 groups with 15 replicates per group and 1 mink per replicate. Pantothenic acid was added in the form of *D*-calcium pantothenic acid, and the level of pantothenic acid in basic feed was 9 mg/kg. Pantothenic acid supplemental levels of 6 groups were 0 (group I, control group), 10 (group II), 20 (group III), 30 (group IV), 40 (group V) and 80 mg/kg (group VI), respectively. The experiment was 7 days for adaptation and 62 days for trial period. The results showed as follows: 1) the average daily gain of groups II, IV and V was significantly higher than that of group I ($P<0.05$), and the average daily feed intake of groups II and IV was significantly higher than that of group I ($P<0.05$). 2) The pantothenic acid intake, fecal pantothenic acid excretion and pantothenic acid retention of group VI were significantly higher than those of other groups ($P<0.01$); the urine pantothenic acid excretion of group VI was significantly higher than that of groups I to V ($P<0.05$ or $P<0.01$); the pantothenic acid utilization of groups IV and V was significantly higher than that of group I ($P<0.05$ or $P<0.01$). 3) No significant differences were found in dry matter digestibility, nitrogen digestibility, fat digestibility and carbohydrate digestibility among all groups ($P>0.05$). 4) The urine nitrogen content of groups II, III and VI was significantly lower than that of group I ($P<0.05$), the net protein utilization of groups II and VI was significantly higher than that of group I ($P<0.05$), and the biological value of protein of groups II and VI was significantly higher than that of group I ($P<0.01$). 5) The serum albumin content of group VI was significantly higher than that of groups I and

V ($P < 0.05$), the serum glucose content of group I was significantly lower than that of groups II to VI ($P < 0.05$ or $P < 0.01$), the serum alkaline phosphatase activity of group VI was significantly higher than that of groups I to V ($P < 0.01$), the contents of cholesterol and high density lipoprotein cholesterol in serum of group VI were significantly higher than that of groups I, III and V ($P < 0.05$ or $P < 0.01$), and the serum low density lipoprotein cholesterol content of group VI was significantly higher than that of groups I and III ($P < 0.05$). In summary, the appropriate dietary pantothenic acid level can improve the growth performance, pantothenic acid utilization, net protein utilization and biological value of protein of growing minks, and affect the serum biochemical indices. Comprehensive growth performance and breeding cost, the appropriate dietary pantothenic acid supplemental level for growing minks is 10 mg/kg, that is, the dietary pantothenic acid level is 19 mg/kg. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(1):463-471]

Key words: pantothenic acid; minks; growth performance; nutrient digestibility; serum biochemical indices