

网络出版时间:2018-09-27 09:46

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.04.002

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180927.0945.004.html>

饲料 n-6/n-3 PUFA 比例对育成生长长期雄性北极狐与银狐血清生化指标的影响

钟 伟,张 婷,罗 婧,王 卓,岳志刚,刘学庆,李光玉

(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实验室,吉林 长春 130112)

【摘 要】【目的】研究饲料 n-6/n-3 多不饱和脂肪酸(PUFA)配比对育成生长长期雄性北极狐和银狐血液生化指标的影响,为其饲料的配制提供参考。【方法】采用双因素随机设计,以品种(北极狐和银狐)和 n-6/n-3 PUFA 比例(3,6,9 和 18)为试验因素,选取 102 日龄健康雄性北极狐和银狐各 48 只,预饲 7 d 后均随机分成 4 组,每组 12 个重复,每重复 1 只狐,分别饲喂不同 n-6/n-3 PUFA 配比的试验饲料 46 d,试验结束后采集血清样品,测定血清葡萄糖(GLU)、甘油三酯(TG)、胆固醇(CHO)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、免疫球蛋白 IgG 和 IgM、白介素-2(IL-2)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)含量,并计算球蛋白(GLOB)质量浓度和白蛋白/球蛋白(A/G)值。【结果】1)北极狐血清 TG、CHO、HDL-C 浓度极显著高于银狐($P<0.01$),银狐血清 LDL-C 浓度显著高于北极狐($P<0.05$);n-6/n-3 PUFA 比例单一作用对血清 CHO、LDL-C 和 GLU 浓度有显著影响,对 TG、HDL-C 浓度无显著影响;品种和 n-6/n-3 PUFA 比例交互作用对 GLU 浓度有显著影响,对 LDL-C 浓度有极显著影响,对 TG、CHO、HDL-C 浓度无显著影响。2)北极狐血清 IL-2 质量浓度极显著高于银狐($P<0.01$);n-6/n-3 PUFA 比例单一作用对血清 IL-2 质量浓度有显著影响,对 IgM 和 IgG 质量浓度无显著影响;品种和 n-6/n-3 PUFA 比例交互作用对 IL-2、IgM 质量浓度有显著影响,对 IgG 质量浓度无显著影响。3)银狐血清 TP、ALB、GLOB 质量浓度显著或极显著高于北极狐;n-6/n-3 PUFA 比例单一作用及与品种交互作用对血清 TP、ALB、GLOB、A/G 质量浓度无显著影响。【结论】北极狐和银狐生理代谢存在差异,北极狐血清脂类指标(除血清 LDL-C 外)含量均高于银狐,银狐血清蛋白类指标均高于北极狐,n-6/n-3 PUFA 比例为 18 的饲料可降低北极狐和银狐血清糖脂指标,维持机体糖脂平衡;n-6/n-3 PUFA 比例为 3 的饲料可使北极狐和银狐机体处于较好的免疫状态。

【关键词】 饲料配比; n-6/n-3 PUFA; 北极狐; 银狐; 血清生化指标

【中图分类号】 S865.2⁺34

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)04-0007-09

Effects of dietary n-6/n-3 PUFA ratio on serum biochemical parameters in male arctic foxes and silver foxes during growing period

ZHONG Wei,ZHANG Ting,LUO Jing,WANG Zhuo,
YUE Zhigang,LIU Xueqing,LI Guangyu

(State Key Laboratory of Special Economic Animal Molecular Biology,Institute of Special Animal and Plant Science,
Chinese Academy of Agriculture Sciences,Changchun,Jilin 130112,China)

Abstract:【Objective】This experiment was conducted to study the effect of dietary n-6/n-3 PUFA ratio on serum biochemical parameters of male arctic foxes and silver foxes during growing period.【Method】The double factor design was used with one factor of breed including arctic fox and silver fox and the other

【收稿日期】 2018-02-02

【基金项目】 中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2018-ISAPS);吉林省重点科技成果转化项目(20160307022NY)

【作者简介】 钟 伟(1980—),女,吉林永吉人,副研究员,在读博士,主要从事特种经济动物营养代谢研究。

E-mail:zhongwei8015@163.com

【通信作者】 李光玉(1971—),男,湖北应城人,研究员,博士,主要从事经济动物营养代谢研究。E-mail:tcslyg@126.com

factor of n-6/n-3 PUFA ratios including 3,6,9 and 18. Forty-eight male arctic foxes and silver foxes at the age of 102 days were randomly divided into 4 groups after 7 days adaption, with 12 replicates per group and 1 fox per replicate. The foxes were fed on experimental diets with different n-6/n-3 PUFA ratios for 46 days. After the experiment, serum samples were collected for the determination of glucose (GLU), triglyceride (TG), cholesterol (CHO), low density lipoprotein cholesterol (LDL-C), high density lipoprotein cholesterol (HDL-C), immunoglobulin G (IgG) and immunoglobulin M (IgM), interleukin 2 (IL-2), total protein (TP), albumin (ALB) contents. Both globulin (GLOB) content and albumin/globulin (A/G) ratio were calculated. 【Result】 1) Serum contents of TG, CHO and HDL-C of arctic fox were extremely significantly higher than that in silver fox ($P<0.01$), while LDL-C content of silver fox was significantly higher than that in arctic fox ($P<0.05$). The n-6/n-3 PUFA ratio had significant effect on serum CHO, LDL-C and GLU contents, while had no significant effect on TG and HDL-C contents. Interaction of n-6/n-3 PUFA ratio and breed significantly affected serum GLU content and extremely significantly affected serum LDL-C content, while did not significantly affect serum TG, CHO and HDL-C contents. 2) Serum IL-2 content in arctic fox was significantly higher than that in silver fox ($P<0.01$). The n-6/n-3 PUFA ratio significantly affected serum IL-2 content, while did not significantly affect serum IgM and IgG contents. Interaction of n-6/n-3 PUFA ratio and breed significantly affected serum IL-2 and IgM contents, while did not significantly affect serum IgG content. 3) Serum TP, ALB and GLOB contents in silver fox were significantly or extremely significantly higher than that in arctic fox. The n-6/n-3 PUFA ratio and interaction of n-6/n-3 PUFA ratio and breed did not significantly influence serum TP, ALB, GLOB and A/G contents. 【Conclusion】 There were differences in physiological metabolism between arctic foxes and silver foxes. Except for LDL-C, serum lipid indexes of arctic foxes were higher than that of silver foxes, while serum protein parameters of silver foxes were higher than that of arctic foxes. When the dietary ratio of n-6/n-3 PUFA ratio was 18, serum glycolipid parameters of foxes were reduced and glycolipid balance in body was maintained. When the n-6/n-3 PUFA ratio was 3, foxes were in good immune status.

Key words: feed proportion; n-6/n-3 PUFA; arctic fox; silver fox; serum biochemical parameters

多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acids, PUFAs)属 18~22 碳脂肪酸家族,其脂肪酸链中含有 2 个或 2 个以上的双键。哺乳动物细胞缺乏从 19 碳之后脂肪酸引入双键的酶,因此哺乳动物自身不能合成 n-3 PUFAs,只能从日粮中摄入此类 PUFAs。研究表明,PUFAs 能调节机体的血脂水平,影响机体的免疫功能,摄入适当的 PUFAs 能降低患心血管及动脉粥样硬化的风险,提高免疫力,抑制肿瘤和肥胖^[1-3]。适当 n-6/n-3 PUFA 比例的饲料能降低北极狐血清中高密度脂蛋白(HDL-C)和低密度脂蛋白(LDL-C)的水平,影响血清中的免疫指标^[4]。喻礼怀^[5]研究发现,饲料 n-6/n-3 PUFA 比例可显著影响扬州鹅的血脂代谢,适宜 n-6/n-3 PUFA 比例对其血糖和血脂有一定改善作用。另有研究表明,适宜 n-6/n-3 PUFA 比例能提高动物机体的免疫性能^[6-7]。北极狐(*Alopex lagopus*)、银狐(*Vulpes vulpes*)是世界珍贵的毛皮动物,北极狐又称蓝狐,原产于亚洲、欧洲、北美洲北部和接近北冰

洋地带,属于哺乳纲食肉目犬科北极狐属;银狐又称银黑狐,原产于北美的北部和西伯利亚的东部,属于哺乳纲食肉目犬科狐属。北极狐与银狐属于同科不同属动物,体型上存在差异,目前有关 PUFAs 对银狐与北极狐血清糖脂代谢及免疫性能影响的研究尚未见报道。因此,本试验研究了饲料 n-6/n-3 PUFA 比例对育成期北极狐和银狐血液生化指标的影响,以期对北极狐和银狐血脂代谢研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

试验动物为当地产芬兰系北极狐和银狐,即芬兰种狐经过多年繁育所形成的地方品种。

1.2 试验日粮

通过改变油脂配比来调配饲料 n-6/n-3 PUFA 比例,试验所用 4 组饲料的成分、营养水平及脂肪酸组成(除特别注明单位外,其余均为质量分数)见表 1 和表 2。表 1 中,粗蛋白质含量参照 GB/T 6432—

1994 方法,采用凯氏定氮法测定;粗脂肪含量参照 GB/T 6433—1994 方法,采用索氏抽提法测定;粗灰分含量参照 GB/T 6438—1992 方法,采用 550 ℃ 灼烧法测定;钙含量参照 GB/T 6436—1992 方法,采用乙二胺四乙酸(EDTA)络合滴定法测定;磷含量参照 GB/T 6437—1992 方法,采用钒钼酸铵比色法测定;赖氨酸和蛋氨酸含量,参照 GB/T 18246—2000 的方法,采用酸提取法提取,用全自动氨基酸分析仪(HITACHI,L-8900,日本)测定。表 2 中饲料脂肪酸的测定,参照 GB/T 21514—2008 方法,用甲酯化方法前处理后,采用外标法用气质联用仪(Agilent 7890A-7000B)测定^[8]。

表 1 供试饲料粮组成及其营养水平(风干基础)
Table 1 Composition and nutrient levels of the diet (air-dry basis)

项目 Item	成分/指标 Component/Index	组别 Group			
		I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
原料 Ingredients	膨化玉米/% Extrusion corn	35.75	35.75	35.75	35.75
	豆粕/% Soybean meal	12.00	12.00	12.00	12.00
	玉米蛋白粉/% Corn protein meal	9.00	9.00	9.00	9.00
	干酒糟及其可溶物 Distillers dried grains with solubles	3.55	3.55	3.55	3.55
	鱼粉/% Fish meal	16.00	16.00	16.00	16.00
	肉粉/% Meat meal	10.00	10.00	10.00	10.00
	赖氨酸/% Lys	0.80	0.80	0.80	0.80
	蛋氨酸/% Met	0.40	0.40	0.40	0.40
	预混料/% Premix	1.00	1.00	1.00	1.00
	鱼油/% Fish oil	6.85	6.77	6.11	0.00
	玉米油/% Corn oil	0.00	1.23	1.89	5.36
	豆油/% Soybean oil	1.15	0.00	0.00	2.64
	磷酸氢钙/% CaHPO ₄	3.00	3.00	3.00	3.00
	食盐/% Salt	0.50	0.50	0.50	0.50
养分 Nutrient	代谢能/(MJ·kg ⁻¹) ME	14.12	14.00	14.16	14.04
	粗蛋白/% CP	30.13	29.13	30.47	29.67
	粗脂肪/% EE	10.11	10.07	10.42	10.36
	粗灰分/% ASH	8.63	9.28	8.88	9.49
	碳水化合物/% CC	43.13	43.52	42.23	42.48
	赖氨酸/% Lys	1.09	1.09	1.09	1.09
	蛋氨酸/% Met	0.76	0.76	0.76	0.76
	钙/% Ca	1.58	1.67	1.81	1.82
	磷/% P	1.05	1.05	1.17	1.18

注:每千克预混料含有:V_A 300 000 IU,V_{D₃} 200 000 IU,V_E 4 000 mg,V_{K₃} 50 mg,V_{B₁} 400 mg,V_{B₂} 500 mg,V_{B₆} 200 mg,V_{B₁₂} 4.2 mg,叶酸 50 mg,泛酸 2 200 mg,生物素 1 600 mg,氯化胆碱 120 mg,V_C 12 000 mg,Fe 4 000 mg,Zn 3 200 mg,Mn 1 600 mg,I 80 mg,Se 12 mg,Cu 500 mg。粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、赖氨酸和蛋氨酸、钙、磷均为测定值,其他为计算值。
Note:One kilogram of premix contains:V_A 300 000 IU,V_{D₃} 200 000 IU,V_E 4 000 mg,V_{K₃} 50 mg,V_{B₁} 400 mg,V_{B₂} 500 mg,V_{B₆} 200 mg,V_{B₁₂} 4.2 mg,folic acid 50 mg,pantothenic acid 2 200 mg,biotin 1 600 mg,choline chloride 120 mg,V_C 12 000 mg,Fe 4 000 mg,Zn 3 200 mg,Mn 1 600 mg,I 80 mg,Se 12 mg and Cu 500 mg. CP,EE,Ash,Lys and Met,Ca,P were measured,while the other nutrient levels were calculated.

表 2 试验饲料的脂肪酸组成
Table 2 Fatty acid composition of experimental diet %

脂肪酸 Fatty acid	组别 Groups			
	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
C12 : 0	0.00	0.00	0.00	0.00
C14 : 0	0.83	0.82	0.74	0.01
C14 : 1	0.00	0.00	0.00	0.00
C15 : 0	0.03	0.03	0.03	0.00
C15 : 1	0.00	0.00	0.00	0.00
C16 : 0	4.89	4.53	4.24	2.35
C16 : 1	2.37	2.34	2.11	0.01
C17 : 0	0.03	0.03	0.03	0.02
C17 : 1	0.00	0.00	0.00	0.00

表 2(续) Continued table 2

脂肪酸 Fatty acid	组别 Groups			
	I	II	III	IV
C18 : 0	1.02	0.87	0.81	0.63
C18 : 1n9t	0.00	0.00	0.00	0.00
C18 : 1n9c	17.59	17.07	16.58	13.06
C18 : 2n6t	0.00	0.00	0.00	0.00
C18 : 2n6c	7.66	9.46	12.92	41.83
C20 : 0	0.03	0.03	0.03	0.08
C18 : 3n6	0.00	0.00	0.00	0.00
C20 : 1	0.10	0.10	0.10	0.05
C18 : 3n3	1.11	0.14	0.14	2.32
C21 : 0	0.00	0.00	0.00	0.00
C20 : 2n6	0.00	0.00	0.00	0.00
C22 : 0	0.01	0.00	0.00	0.03
C22 : 1n9	0.00	0.00	0.00	0.00
C20 : 3n3	0.00	0.00	0.00	0.00
C23 : 0	0.00	0.00	0.00	0.00
C20 : 4n6	0.05	0.05	0.04	0.00
C22 : 2n6	0.00	0.00	0.00	0.00
C24 : 0	0.00	0.00	0.00	0.01
C20 : 5n3	1.10	1.09	0.98	0.00
C24 : 1	0.01	0.01	0.01	0.00
C22 : 6n3	0.36	0.35	0.32	0.00
SFA	6.80	6.25	5.83	3.10
MUFA	20.08	19.52	18.79	13.11
PUFA	10.27	11.09	14.40	44.16
n-6 PUFA _s	7.71	9.51	12.97	41.84
n-3 PUFA _s	2.56	1.58	1.44	2.32
n-6/n-3 PUFA	3.01	6.01	9.02	18.03

注:SFA 为饱和性脂肪酸,MUFA 为单不饱和性脂肪酸,PUFA 为多不饱和脂肪酸。
Note:SFA. Saturated fatty acids;MUFA. Monounsaturated fatty acids;PUFA. Polyunsaturated fatty acids.

1.3 试验设计

本试验在中国农业科学院特产研究所毛皮动物试验基地完成。采用双因素随机试验设计,其中一个因素是品种(北极狐和银狐),另一个因素为饲料 n-6/n-3 PUFA 配比(本试验配比分别设定为 3,6,9 和 18)。选取 102 日龄健康生长期雄性北极狐(体质量为(2 370±24) g/只)和雄性银狐(体质量为(3 770±48) g/只)各 48 只,均随机分成 4 组,每组 12 个重复,每重复 1 只狐。北极狐饲料 n-6/n-3 PUFA 配比为 3,6,9 和 18 时分别记为 1~4 组,银狐饲料 n-6/n-3 PUFA 配比为 3,6,9 和 18 时分别记为 5~8 组,试验动物均单笼饲养。试验从 2014 年 8 月 12 日开始至 2014 年 9 月 26 日结束,预饲期 7 d,正式试验期 46 d,每天 08:00 和 15:00 各饲喂 1 次,自由饮水。

1.4 血样采集及血液生化指标测定

试验结束后(第 54 天),随机选取北极狐和银狐各 8 只,早晨空腹采集后肢静脉血 5 mL 于促凝采血管中,离心取上清(血清),用于血液生化指标检测。

糖脂类生化指标和免疫生化指标均通过罗氏试剂盒分析检测。葡萄糖(GLU)浓度采用己糖激酶法测定,甘油三酯(TG)浓度采用酶法测定,胆固醇(CHO)浓度采用胆固醇氧化酶法测定,高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)浓度采用酶法测定,低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)浓度采用遮蔽法测定。免疫球蛋白 IgG、IgM 质量浓度采用酶联免疫吸附法测定,白介素-2(IL-2)质量浓度采用化学发光法测定。总蛋白(TP)质量浓度采用双缩脲法测定,白蛋白(ALB)质量浓度采用溴甲酚绿法测定,球蛋白(GLOB)质量浓度由 TP 与 ALB 差值计算而得,A/G 由 ALB 与 GLOB 的比值计算而得。蛋白类生化指标通过中生北控生物科技有限公司试剂盒分析检测。

1.5 数据整理与统计分析

试验数据采用 EXCEL 2010 进行整理,采用 SAS 8.0 软件中的 GLM 程序进行统计与分析,多重比较采用 Duncan 氏法进行,以 $P<0.01$ 为差异极显著, $P<0.05$ 为差异显著, $P>0.05$ 为差异不显著。结果均以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 饲粮 n-6 /n-3 PUFA 比例对育成期北极狐和银狐血清糖脂指标的影响

由表 3 可知,不同 n-6/n-3 PUFA 比例饲粮对试狐血清 TG、CHO、HDL-C、LDL-C 和 GLU 浓度有极显著影响 ($P<0.01$),但北极狐血清 TG、CHO、HDL-C 浓度极显著高于银狐 ($P<0.01$),银狐血清 LDL-C 浓度显著高于北极狐 ($P<0.05$); n-6/n-3 PUFA 比例单一作用显著影响试狐血清 CHO、LDL-C 和 GLU 浓度 ($P<0.05$),饲喂 n-6/n-3 PUFA 比例为 18 的饲粮后,试狐血清的 CHO、LDL-C 和 GLU 浓度显著低于 n-6/n-3 PU-

FA 比例为 3 的饲粮 ($P<0.05$); n-6/n-3 PUFA 比例和品种交互作用极显著或显著影响试狐血清 LDL-C 和 GLU 浓度,饲喂 n-6/n-3 PUFA 比例为 18 的饲粮后,北极狐血清 GLU 浓度显著或极显著低于 n-6/n-3 PUFA 比例为 3 的饲粮 ($P<0.05$),银狐血清 LDL-C 和 GLU 浓度显著或极显著低于 n-6/n-3 PUFA 比例为 3 的饲粮。n-6/n-3 PUFA 比例单一作用对试狐血清 TG 和 HDL-C 浓度无显著影响 ($P>0.05$),而 n-6/n-3 PUFA 比例和品种交互作用对试狐血清 TG、CHO、HDL-C 浓度无显著影响 ($P>0.05$)。当 n-6/n-3 PUFA 为 18 时,试狐血清的各项糖脂类指标均较低,有利于机体糖脂代谢的正常进行。

表 3 饲粮 n-6/n-3 PUFA 比例对育成期北极狐和银狐血清糖脂指标的影响

Table 3 Effects of dietary n-6/n-3 PUFA ratio on serum glycolipid parameters contents of arctic foxes and silver foxes during growing period

		mmol/L				
项目 Items		甘油三酯 TG content	胆固醇 CHO content	高密度脂蛋白 HDL-C content	低密度脂蛋白 LDL-C content	葡萄糖 GLU content
组别 Group	1	0.58±0.07 aA	4.09±0.52 abAB	4.13±0.27 abAB	0.07±0.02 bB	4.99±0.49 aA
	2	0.58±0.13 aA	4.38±0.87 aA	4.40±0.82 aA	0.09±0.03 bB	4.23±0.92 bcdAB
	3	0.60±0.10 aA	3.78±0.25 bcABC	3.85±0.27 abABC	0.08±0.02 bB	3.83±0.96 dB
	4	0.54±0.02 aA	3.83±0.57 abcABC	3.92±0.63 abABC	0.08±0.02 bB	3.98±0.61 cdB
	5	0.42±0.06 bB	3.49±0.31 cdBCD	3.59±0.27 bcBCD	0.15±0.04 aA	4.56±0.43 abcAB
	6	0.33±0.07 bB	3.09±0.48 deCD	3.24±0.48 cdCD	0.09±0.03 bB	4.41±0.20 abcdAB
	7	0.39±0.06 bB	3.01±0.32 deD	3.12±0.30 cdD	0.09±0.03 bB	4.67±0.36 abAB
	8	0.40±0.04 bB	2.90±0.63 eD	3.02±0.67 dD	0.07±0.03 bB	4.35±0.48 abcdAB
品种效应 Breed effect	北极狐(A)	0.575±0.09 aA	4.02±0.61 aA	4.08±0.56 aA	0.08±0.03 b	4.26±0.86
	银狐(S)	0.384±0.06 bB	3.12±0.49 bB	3.24±0.49 bB	0.10±0.04 a	4.50±0.39
n-6/n-3 PUFA 比例效应 n-6/n-3 PUFA ratio effect	R1(3)	0.454±0.13	3.79±0.51 a	3.86±0.38	0.11±0.05 a	4.78±0.49 a
	R2(6)	0.498±0.14	3.73±0.95 ab	3.82±0.88	0.089±0.04 ab	4.32±0.64 b
	R3(9)	0.496±0.13	3.39±0.48 b	3.49±0.46	0.086±0.02 b	4.25±0.82 b
	R4(18)	0.468±0.08	3.36±0.59 b	3.47±0.61	0.076±0.02 b	4.17±0.56 b
P 值 P value	组别 Group	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.000 5	0.009 1
	品种 Breed	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.030 5	0.116 4
	比例 Ratio	0.313 0	0.047 3	0.053 6	0.046 6	0.030 2
	品种×比例 Breed×Ratio	0.278 9	0.305 2	0.366 9	0.002 3	0.037 6

注:同一项目同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。
Note:In each column, different capital letters mean significant difference ($P<0.01$) and different small letters mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 饲粮 n-6/n-3 PUFA 比例对育成期北极狐和银狐血清免疫指标的影响

由表 4 可知,不同 n-6/n-3 PUFA 比例饲粮对试狐血清 IgM 和 IL-2 质量浓度有显著或极显著影响;北极狐血清 IL-2 质量浓度极显著高于银狐 ($P<0.01$); n-6/n-3 PUFA 比例单一作用及与品种交互作用对血清 IL-2 质量浓度有显著或极显著影响。饲喂 n-6/n-3 PUFA 比例为 3 的饲粮后,试狐血清 IL-2 质量浓度显著高于 n-6/n-3 PUFA 比例为 18 的饲粮 ($P<0.05$),但与其他 n-6/n-3 PUFA 比例的

饲粮差异不显著 ($P>0.05$)。饲喂 n-6/n-3 PUFA 比例为 3 的饲粮后,北极狐血清 IL-2 质量浓度极显著高于其他 n-6/n-3 PUFA 比例的饲粮 ($P<0.01$);饲喂 n-6/n-3 PUFA 比例为 9 的饲粮后,银狐血清 IgM、IL-2 质量浓度均相对较高,但与其他 n-6/n-3 PUFA 比例的饲粮差异不显著 ($P>0.05$);饲喂 n-6/n-3 PUFA 比例为 6 的饲粮后,北极狐血清 IgM 质量浓度显著高于 n-6/n-3 PUFA 比例为 9 或 18 的饲粮 ($P<0.05$),与 n-6/n-3 PUFA 比例为 3 的饲粮差异不显著 ($P>0.05$)。品种、n-6/n-3 PUFA 比

例单一作用及其交互作用对血清 IgG 质量浓度均无显著影响($P>0.05$)。当饲料 n-6/n-3 PUFA 比

例为 3 时,试狐血清各项免疫指标较高,机体处于较好的免疫状态。

表 4 饲料 n-6/n-3 PUFA 比例对育成期北极狐和银狐血清免疫指标的影响

Table 4 Effects of dietary n-6/n-3 PUFA ratio on serum immune parameters contents of arctic foxes and silver foxes during growing period		ng/mL		
项目 Item		免疫球蛋白 M IgM content	免疫球蛋白 G IgG content	白介素-2 IL-2 content
组别 Group	1	7.11±0.18 abc	12.78±0.49	4.20±0.57 aA
	2	8.23±0.26 a	13.10±0.47	2.98±0.42 bB
	3	5.74±0.20 c	13.41±1.11	3.10±0.49 bB
	4	6.08±0.22 bc	13.27±1.05	2.86±0.65 bB
	5	7.85±0.16 ab	13.72±0.55	2.71±0.51 bB
	6	6.96±0.13 abc	13.15±0.42	2.92±0.80 bB
	7	8.31±0.09 a	13.67±0.48	3.03±0.42 bB
	8	6.33±0.18 abc	13.28±0.61	2.46±0.61 bB
品种效应 Breed effect	北极狐(A)	6.76±0.23	13.14±0.80	3.22±0.71 bB
	银狐(S)	7.32±0.16	13.47±0.55	2.86±0.61 bB
n-6/n-3 PUFA 比例效应 n-6/n-3 PUFA ratio effect	R1(3)	7.45±0.17	13.31±0.67	3.39±0.93 a
	R2(6)	7.54±0.21	13.13±0.43	2.95±0.63 ab
	R3(9)	7.01±0.20	13.56±0.78	3.06±0.44 ab
	R4(18)	6.16±0.19	13.28±0.82	2.65±0.63 b
P 值 P value	组别 Groups	0.033 9	0.201 3	0.001 8
	品种 Breed	0.229 9	0.091 7	0.001 7
	比例 Ratio	0.151 5	0.432 4	0.043 5
	品种×比例 Breed×Ratio	0.029 7	0.251 4	0.019 9

2.3 饲料 n-6/n-3 PUFA 比例对育成期北极狐和银狐血清蛋白指标的影响

或极显著高于蓝狐,品种对血清 A/G 无显著影响($P>0.05$),n-6/n-3 PUFA 比例单一作用及与品种交互作用对血清 TP、ALB、GLOB 质量浓度和 A/G 也无显著影响($P>0.05$)。

由表 5 可知,不同 n-6/n-3 PUFA 比例的饲料对狐血清 TP 和 ALB 质量浓度有极显著影响($P<0.01$),银狐血清 TP、ALB 和 GLOB 质量浓度显著

表 5 饲料 n-6 /n-3 PUFA 比例对育成期北极狐和银狐血清蛋白指标的影响

Table 5 Effects of dietary n-6 /n-3 PUFA ratio on serum protein parameters contents of arctic foxes and silver foxes during growing period					
项目 Item		总蛋白/ (g·L ⁻¹) TP content	白蛋白/ (g·L ⁻¹) ALB content	球蛋白/ (g·L ⁻¹) GLOB content	白蛋白/球蛋白 A/G
组别 Group	1	53.11±2.78 cdBC	32.68±2.13 aAB	20.44±3.56	1.65±0.35
	2	51.68±3.74 dC	29.70±2.48 bB	21.98±3.22	1.38±0.26
	3	52.86±2.42 cdBC	32.61±2.57 aAB	20.25±4.40	1.70±0.47
	4	54.28±4.69 bcdABC	33.28±3.13 aAB	21.00±4.16	1.65±0.38
	5	57.66±2.81 abAB	33.73±2.09 aA	23.94±2.09	1.42±0.15
	6	55.53±2.53 abcABC	33.75±2.39 aA	21.78±1.25	1.55±0.15
	7	58.35±1.69 aA	34.83±1.91 aA	23.53±1.58	1.49±0.16
	8	54.98±4.93 abcdABC	34.16±3.08 aA	20.81±2.72	1.66±0.21
品种效应 Breed effect	北极狐(A)	52.98±3.47 bB	32.07±2.84 bB	20.92±3.73 b	1.59±0.37
	银狐(S)	56.63±3.38 aA	34.12±2.33 aA	22.51±2.29 a	1.53±0.18
n-6/n-3 PUFA 比例效应 n-6/n-3 PUFA ratio effect	R1(3)	55.39±3.57	33.72±2.10	21.89±3.35	1.54±0.28
	R2(6)	53.60±3.67	33.20±3.14	22.19±2.36	1.47±0.22
	R3(9)	55.61±3.47	31.73±2.46	21.88±3.61	1.59±0.35
	R4(18)	54.63±4.66	33.72±3.03	20.91±3.39	1.65±0.29
P 值 P value	组别 Group	0.001 9	0.008 1	0.148 9	0.229 3
	品种 Breed	<0.000 1	0.001 8	0.042 3	0.393 4
	比例 Ratio	0.334 9	0.090 9	0.665 9	0.316 2
	品种×比例 Breed×Ratio	0.220 7	0.266 0	0.155 2	0.161 0

3 讨论

3.1 饲料 n-6/n-3 PUFA 比例对育成期北极狐和银狐血清糖脂指标的影响

血脂是机体赖以生存的重要基本物质,其水平的高低能间接反映机体所处的生理或病理状态^[9]。研究表明,饲料中一定水平的 n-3 PUFAs 能降低血清 TG 水平^[10-11],还能够抑制胆固醇合成关键酶即 HMG-CoA 还原酶的活性,减少胆固醇的吸收和增加胆固醇的排泄,从而降低 CHO 的水平^[12-14]。喻礼怀^[5]研究表明,饲喂 n-6/n-3 PUFA 比例 6:1 的饲料具有降低血清 CHO、TG、LDL-C 和升高 HDL-C 的作用,但对 LDL-C 和 HDL-C 变化影响不大。钟伟等^[4]研究表明,饲料 n-6/n-3 PUFA 配比升高时,冬毛期北极狐血清 LDL-C 和 HDL-C 含量有降低趋势,TG、CHO 和 GLU 含量无明显变化。本试验结果显示,饲料 n-6/n-3 PUFA 比例单一作用对北极狐和银狐血清 TG 和 HDL-C 浓度均无明显影响,但对血清 CHO、LDL-C 和 GLU 浓度影响显著,当饲料 n-6/n-3 PUFA 比例为 18 时(4 组和 8 组),北极狐和银狐血清 TG、CHO、HDL-C、LDL-C 和 GLU 浓度相对较低,说明 n-6/n-3 PUFA 比例较高的饲料更有利于育成期北极狐和银狐血脂的正常代谢,与上述文献报道结果不尽相同,这可能与试验动物品种及其所处生长阶段的生理基础和试验处理有关,本试验各组间的 n-3 PUFAs 含量相近,n-6 PUFAs 含量逐渐递增,因此 n-6/n-3 PUFA 比例的不同主要表现为 n-6 PUFAs 对 n-3 PUFAs 竞争性抑制作用的差异。本试验结果显示,北极狐血清脂类指标含量总体高于银狐,可能是由于物种的进化决定了北极狐需具备较强的脂肪沉积能力来满足自身的能量供应,从而适应高寒环境^[15]。因此,北极狐在脂类代谢机能方面优于银狐,这与 Rouvinen^[16]的研究结果相一致。虽然北极狐属于单胃动物,但有研究证明北极狐在脂肪代谢方面不同于其他单胃动物^[17-19],其具体机制还有待于深入研究。

3.2 饲料 n-6/n-3 PUFA 比例对育成期北极狐和银狐血清免疫指标的影响

n-3 PUFAs 是细胞膜磷脂的主要结构成分,能够调节细胞膜上免疫受体和相关基因的表达,从而影响细胞的免疫反应;n-6 PUFAs 在机体内代谢合成类二十烷酸,具有较强的促血管收缩、血小板聚集和细胞趋化等作用,进而产生一定的免疫抑制作用^[12,20-21]。饲料 n-6/n-3 PUFA 供应不平衡则可能

成为机体免疫抑制剂^[22]。英永^[6]和夏兆刚等^[7]的研究均表明,肉鸡和蛋鸡血清 IgG 水平随着饲料 n-6/n-3 PUFA 比例的上升而下降。喻礼怀^[5]研究表明,饲料 n-6/n-3 PUFA 比例较低(6:1)时,42 日龄扬州鹅血清 IgA、IgM、IgG 含量相对较高。钟伟等^[4]研究表明,不同 n-6/n-3 PUFA 比例的饲料对冬毛期北极狐血清 IgM、IgG 和 IL-2 含量无显著影响。本试验结果显示,饲料 n-6/n-3 PUFA 比例单一作用对育成期北极狐和银狐血清 IgM 和 IgG 质量浓度无显著影响,这与 Sabrina 等^[23]的研究结果一致,n-6 PUFAs 和 n-3 PUFAs 间存在竞争性复杂代谢过程,其中 n-3 PUFAs 代谢受到较高比例 n-6 PUFAs 的竞争性抑制,使其免疫功能有所增强^[24]。然而品种与 n-6/n-3 PUFA 比例交互作用对狐血清 IgM 质量浓度有显著影响,n-6/n-3 PUFA 比例单一作用及与品种交互作用对血清 IL-2 质量浓度也有显著影响,当 n-6/n-3 PUFA 比例为 3 时,北极狐血清 IgM 和 IL-2 质量浓度较高,而 n-6/n-3 PUFA 比例为 9 时,银狐血清 IgM 和 IL-2 质量浓度相对较高,但与其他比例的饲料差异并不显著,这与英永^[6]的研究结果相一致,n-6/n-3 PUFA 比例适宜的饲料可使机体保持较好的免疫状态。

3.3 饲料 n-6/n-3 PUFA 比例对育成期北极狐和银狐血清蛋白指标的影响

血清 ALB 具有运输血液中无机离子和小分子有机物、能较好地维持血液胶体渗透压和保护 GLOB 等作用。一般情况下,免疫器官中的血清 GLOB 含量会在注射病毒或细菌病原体的情况下有所增加,而且血清 A/G 比例会保持在一定范围内,A/G 比例的变动预示着机体内免疫性能的变化。正常情况下,机体能够保证血液中血清蛋白的平衡从而维持正常的生理功能。喻礼怀^[5]研究表明,饲喂 n-6/n-3 PUFA 比例较低的饲料可提高扬州鹅血清 ALB 和 TP 含量,对其免疫功能和健康状态的维持具有积极意义。英永^[6]研究指出,AA 肉鸡血清 ALB 含量随 n-6/n-3 PUFA 比例的降低呈先升高后降低趋势,但对血清 TP 含量无显著影响。本试验结果显示,饲料 n-6/n-3 PUFA 比例对试狐血清 TP、ALB、GLOB 质量浓度及 A/G 无显著影响,这与上述文献报道不尽相同,可能与试验动物品种及其所处生长阶段的生理基础和试验处理不同有关。血清蛋白含量与动物对饲料蛋白质的摄取量有关,也受内源蛋白质分解代谢等诸多因素的影响^[25]。血清总蛋白是机体蛋白质的一个来源,用于修补组

织和提供能量,在一定程度上也代表了饲料蛋白质水平以及动物对蛋白质的消化吸收程度。余红心等^[26]研究表明,血清总蛋白、白蛋白水平随着饲料蛋白质水平的增加而增加。本试验各组饲料蛋白质水平一致,可能是造成试狐血清蛋白指标含量无显著变化的主要原因。本试验结果显示,银狐血清蛋白类指标含量总体高于北极狐。Työppönen^[27]研究表明,血清生化指标具有种属特异性。但也有研究表明,同科动物血清生化指标相近^[28-29],故其具体机制还需进一步研究。

[参考文献]

- [1] Cohuet G, Struijker-boudier H. Mechanisms of target organ damage caused by hypertension: therapeutic potential [J]. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 2006, 111 (1): 81-98.
- [2] Hulver M W, Berggren J R, Cortright R N, et al. Skeletal muscle lipid metabolism with obesity [J]. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 2003, 284 (4): 741-747.
- [3] 王新颖, 黎介寿. ω -3 多不饱和脂肪酸在不同疾病中的应用研究 [J]. *肠外与肠内营养*, 2007, 14 (3): 177-181.
Wang X Y, Li J S. The clinical study of ω -3 polyunsaturated fatty acids on different diseases [J]. *Parenteral & Enteral Nutrition*, 2007, 14 (3): 177-182.
- [4] 钟 伟, 张 婷, 罗 婧, 等. 饲料 n-6/n-3 多不饱和脂肪酸配比对北极狐冬毛期体脂沉积、体脂脂肪酸组成及血液生化指标的影响 [J]. *畜牧兽医学报*, 2017, 48 (6): 1054-1065.
Zhong W, Zhang T, Luo J, et al. Effects of dietary n-6/n-3 PUFA ratio on the body fat deposition, body fatty acid composition and serum biochemical parameters in male arctic foxes during the winter fur-growing period [J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2017, 48 (6): 1054-1065.
- [5] 喻礼怀. 饲料脂肪酸对鹅脂肪代谢影响及其分子机制的研究 [D]. 江苏扬州: 扬州大学, 2012: 34-43.
Yu L H. The study of influence for dietary n-6/n-3 fatty acid regulation of fatty metabolism and its molecular mechanism in goose [D]. Yangzhou, Jiangsu: Yangzhou University, 2012: 34-43.
- [6] 英 永. 不同比例 n-6/n-3 不饱和脂肪酸对鸡免疫功能的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008: 20-32.
Ying Y. Effects of different dietary ratios of n-6/n-3 PUFA on the immune functions in chicken [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2008: 20-32.
- [7] 夏兆刚, 冯于明, 陈士勇, 等. 不同 n-3/n-6 多不饱和脂肪酸对产蛋鸡免疫功能的影响 [J]. *中国兽医杂志*, 2004, 40 (7): 6-9.
Xia Z G, Guo Y M, Chen S Y, et al. Effect of dietary polyunsaturated fatty acids ratios on immune response of laying hens [J]. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 2004, 40 (7): 6-9.
- [8] 陈小燕, 王友升, 李丽萍. 3 种色谱柱对 37 种脂肪酸的分离性能比较及鱼油脂肪酸检测 [J]. *食品科学*, 2011, 32 (22): 156-162.
- [9] Chen X Y, Wang Y S, Li L P. Comparison of three chromatographic columns in separation and analysis of 37 fatty acids in fish oil [J]. *Food Science*, 2011, 32 (22): 156-162.
- [9] 周顺伍. 动物生物化学 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 144-146.
- [10] Zhou S W. *Animal Biochemistry* [M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Publishing Company, 2000: 144-146.
- [10] 张 弛, 肖俊霞, 席守民, 等. NO-1886 降低脂负荷新西兰兔血清甘油三酯和游离脂肪酸 [J]. *中国药理学通报*, 2005, 21 (3): 280-283.
Zhang C, Xiao J X, Xi S M, et al. No-1886 decrease postprandial triglyceride and free fatty acids in New Zealand rabbits [J]. *Chinese Pharmacological Bulletin*, 2005, 21 (3): 280-283.
- [11] 麻丽坤, 尹兆正, 谭利伟, 等. 日粮不同水平 ω -3 多不饱和脂肪酸对蛋鸡脂质代谢和免疫功能的影响 [J]. *中国兽医学报*, 2007, 27 (5): 760-764.
Ma L K, Yin Z Z, Tan L W, et al. Effects of dietary ω -3 polyunsaturated fatty acids level on lipid metabolism and immunity function in laying hens [J]. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2007, 27 (5): 760-764.
- [12] 汪 鲲, 高占峰. 富含 n-3 PUFA 蛋黄保健作用的研究 [J]. *饲料工业*, 2000, 21 (8): 14.
Wang K, Gao Z F. Study of health care function of rich in n-3 PUFA yolk [J]. *Feed Industry*, 2000, 21 (8): 14.
- [13] 时皎皎, 糜漫天, 韦 娜, 等. 不同脂肪酸构成比对大鼠血脂影响的研究 [J]. *第三军医大学学报*, 2007, 29 (9): 824-827.
Shi J J, Mi M T, Wei N, et al. Effect of different fatty acid compositions on blood lipid of rats [J]. *Acta Academiae Medicinae Militaris Tertiae*, 2007, 29 (9): 824-827.
- [14] Nakanishi T, Oikawa D, Koutoku T, et al. Gamma linolenic acid prevents conjugated linoleic acid induced fatty liver in mice [J]. *Nutrition*, 2004, 20: 390-393.
- [15] Nelson G J, Ackman R G. Absorption and transport of fat in mammals with emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids [J]. *Lipids*, 1988, 23: 1005-1014.
- [16] Rouvinen K. Dietary effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids on body fat composition and health status of farm-raised blue and silver foxes [J]. *Acta Agriculture Scandinavica*, 1991, 41: 401-414.
- [17] Lassen T M, Tauson A H, Watt K R, et al. Energy and main nutrients in feed for mink and foxes [M]. 2nd ed. Finland: Nordic Association of Agricultural, 2012: 82-84.
- [18] Harris W S. n-3 Fatty acids and lipoproteins: comparison of results measured in an increase in urine TBARS and an increase from human and animal studies [J]. *Lipids*, 1996, 31: 243-252.
- [19] Rosemary C W, Jean A H, Joseph L G, et al. The ratio of dietary (n-6) to (n-3) fatty acids influences immune system function, eicosanoid metabolism, lipid peroxidation and vitamin E status in aged dogs [J]. *The Journal of nutrition*, 1997, 22:

1198-1205.

[20] 高士争,雷 风. 饲料脂肪来源对肉鸡免疫功能的影响 [J]. 中国家禽,1999,21(3):4-6.

Gao S Z,Lei F. Effect of dietary fats on immune function of the chicks [J]. China Poultry,1999,21(3):4-6.

[21] 陈士勇,冯于明,夏兆刚,等. 不同类型多不饱和脂肪酸对产蛋鸡免疫功能及肝脏脂质过氧化的影响 [J]. 营养学报,2003,25(4):383-388.

Chen S Y,Guo Y M,Xia Z G,et al. Effects of different types of polyunsaturated fatty acids on humoral immune function and hepatic lipid peroxidation of laying hens [J]. Acta Nutrimenta Sinica,2003,25((4):383-388.

[22] Grimm H,Tibell A,Norrlind B. Immunoregulation by parenteral lipids;impact of the n-3 to n-6 fatty acid ratio [J]. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition,1994,18(5):417-421.

[23] Sabrina P S L,Anthony M D,Karen Z W,et al. Effect of altering dietary n-6 : n-3 PUFA ratio on cardiovascular risk measures in patients treated with statins;a pilot study [J]. British Journal of Nutrition,2012,108:1280-1285.

[24] Reilly M,Fitzgerald G A. Cellular activation by thromboxane A2 and other eicosanoids [J]. European Heart Journal,1993,14:88-93.

[25] 李 辉,刁其玉,张乃锋,等. 不同蛋白质来源对早期断奶犊牛消化及血清生化指标的影响: I [J]. 动物营养学报,2009,21(1):47-52.

Li H,Diao Q Y,Zhang N F,et al. Effects of different protein source on nutrients digestibility and biochemical parameters in early-weaning calves : I [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition,2009,21(1):47-52.

[26] 余红心,贾俊静,李琦华,等. 不同蛋白质水平饲料对云南武定鸡生长性能及血液生化指标的影响 [J]. 中国饲料,2009(5):24-26.

Yu H X,Jia J J,Li Q H,et al. Effects of dietary protein levels on performance and serum traits of Yunnan Wuding chicks [J]. China Feed,2009(5):24-26.

[27] Työppönen J. Activities of some enzymes in the tissues of the blue fox (*Alopex lagopus*) [J]. Research in Veterinary Science,1982,33:295-297.

[28] Zhan Y M,Yasuda J,Too K. Reference data on the anatomy and serum biochemistry of the silver fox [J]. Japan Journal of Veterinary Research,1991,39:39-50.

[29] Choi S Y,Hwang J S,Kim I H,et al. Basic data on the hematology, serum biochemistry, urology, and organ weights of Beagle dogs [J]. Laboratory Animal Research,2011,27:283-291.

(上接第 6 页)

[13] 董 杰. 细菌获得性抗生素耐药基因研究进展 [J]. 中国预防医学杂志,2015(1):71-74.

Dong J. Research progress on antibiotic resistant gene of bacterial acquired antibiotics [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine,2015(1):71-74.

[14] 戴秀美,常维山. 2012 年我国部分地区猪源大肠杆菌耐药性分析 [J]. 畜禽业,2013(1):50-52.

Dai X M,Chang W S. Analysis of resistance of *Escherichia coli* in pig sources in some areas of China in 2012 [J]. Livestock and Poultry Industry,2013(1):50-52.

[15] 朱力军. 动物大肠杆菌耐药性的变化趋势 [J]. 中国兽医杂志,2001,35(2):16-18.

Zhu L J. The trend of resistance to *Escherichia coli* in animals [J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine,2001,35(2):16-18.

[16] Yan J J,Ko W C,Tsai S H,et al. Dissemination of CTX-M-3 and CMY-2 beta-lactamaases among clinical isolat es of *Escherichia coli* in southern Taiwan [J]. J Clin Microbiol,2000,38:4320-4325.

[17] Kozak G K,Boerlin P,Janecko N,et al. Antimicrobial resistance in *Escherichia coli* isolates from swine and wild small mammals in the proximity of swine farms and in natural environments in Ontario, Canada [J]. Appl Environ Microbiol,2009,75(3):559-566.

[18] Holzel C S,Harms K S,Bauer J,et al. Diversity of antimicrobial resistance genes and class-1-integrins in phylogenetically related porcine and human *Escherichia coli* [J]. Vet Microbiol,2012,160(3/4):403-412.

[19] 汤景元,王红宁,张鹏举,等. 95 个猪场大肠杆菌耐药表型及氨基糖苷类药物耐药基因型调查 [J]. 畜牧兽医学报,2008,39(4):472-477.

Tang J Y,Wang H N,Zhang P J,et al. Investigation of drug resistance phenotypes of *Escherichia coli* and aminoglycoside resistant genotypes in 95 pig farms [J]. Chinese Journal of Animaland Veterinary Sciences,2008,39(4):472-477.

[20] 邱 军,张子威,樊瑞峰,等. 呼伦贝尔地区猪源大肠杆菌血清型鉴定与耐药基因检测 [J]. 东北农业大学学报,2015,46(7):50-56.

Qiu J,Zhang Z W,Fan R F,et al. Identification of *Escherichia coli* in swine origin and detection of drug resistance gene in Hulunbeier Region [J]. Journal of Northeast Agricultural University,2015,46(7):50-56.