

钙和维生素 D₃ 水平对冬毛期蓝狐(公狐) 生产性能、胫骨发育和脏器指数的影响

徐逸男¹, 张海华¹, 王 静¹, 霍自双², 许 愿², 温 彬², 白秀娟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. 东北农业大学 动物科学技术学院, 哈尔滨 150030)

摘 要: 旨在探讨饲料钙和维生素 D₃ 水平在钙磷比固定为 1.4/1 时对冬毛期蓝狐生产性能、胫骨发育及脏器指数的影响。135 只 120 日龄的蓝狐公狐随机分成 9 组, 每组 15 个重复, 每个重复 1 只。试验采用 3×3 双因素试验设计, 9 组饲料分别包含 3 个钙水平 0%、0.4% 和 0.8%, 3 个维生素 D₃ 水平 1 000、2 000 和 4 000 IU·kg⁻¹。基础日粮中钙与维生素 D₃ 水平分别为 0.8% 与 327 IU·kg⁻¹。9 种饲料的钙与维生素 D₃ 水平分别为 0.8% 与 1 327 IU·kg⁻¹、0.8% 与 2 327 IU·kg⁻¹、0.8% 与 4 327 IU·kg⁻¹、1.2% 与 1 327 IU·kg⁻¹、1.2% 与 2 327 IU·kg⁻¹、1.2% 与 4 327 IU·kg⁻¹、1.6% 与 1 327 IU·kg⁻¹、1.6% 与 2 327 IU·kg⁻¹、1.6% 与 4 327 IU·kg⁻¹。试验期为 87 d, 分别测定蓝狐生长性能指标、胫骨的各组分含量及脏器质量, 计算胫骨发育指标及脏器指数。结果表明: 1) 随着饲料钙添加水平的增加, 蓝狐末重和体长显著降低 ($P < 0.05$), 饲料钙添加水平为 0% 时, 蓝狐末重和体长最大。维生素 D₃ 水平对蓝狐末重、体长和皮长均无显著影响 ($P > 0.05$)。2) 随着饲料钙添加水平的增加, 蓝狐胫骨钙含量显著提高 ($P < 0.05$), 饲料钙添加水平为 0.8% 时, 蓝狐胫骨钙含量最高。维生素 D₃ 水平对蓝狐胫骨灰分含量有显著影响 ($P < 0.05$)。3) 饲料钙的添加显著降低了心脏和肝脏指数 ($P < 0.05$)。综合以上指标, 在本试验条件下, 蓝狐饲料中添加 0% 钙、1 000 IU·kg⁻¹ 维生素 D₃, 饲料中总钙含量为 0.8%, 总维生素 D₃ 含量为 1 327 IU·kg⁻¹ 时, 能够改善蓝狐的生产性能、增加蓝狐的体长、调节胫骨发育和脏器指数。

关键词: 钙; 维生素 D₃; 蓝狐; 生产性能; 胫骨; 脏器指数

中图分类号: S816.11

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2018)07-1416-07

Effects of Dietary Calcium and Vitamin D₃ Levels on Growth Performance, Tibia Development and Viscera Indices of Growing-furring Blue Foxes(male)

XU Yi-nan¹, ZHANG Hai-hua¹, WANG Jing¹, HUO Zi-shuang²,

XU Yuan², WEN Bin², BAI Xiu-juan², LI Guang-yu^{1*}

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

Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: The aim of this study was to investigate the effects of dietary Ca and vitamin D₃ levels on growth performance, tibia development and viscera indices of growing-furring blue foxes under the condition of a fixed 1.4/1 ratio of Ca to P. One hundred and thirty-five male blue foxes of 120-day-old were randomly allocated into 9 groups, with 15 blue foxes per group. The 9 treatment diets were supplemented with 0%, 0.4% and 0.8% Ca, and they were supplemented with 1 000, 2 000 and 4 000 IU·kg⁻¹

收稿日期: 2017-11-10

基金项目: 中国农业科学院基本科研业务费(CAAS-ASTIP-2017-ISAPS)

作者简介: 徐逸男(1978-), 女, 黑龙江人, 博士, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: 13332407819@163.com

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

VD₃. The experiment was conducted with a 3×3 factorial design using a basic diet that contained 0.8% Ca and 327 IU·kg⁻¹ VD₃. The treatment diets contained 0.8%Ca and 1 327 IU·kg⁻¹ VD₃, 0.8% Ca and 2 327 IU·kg⁻¹ VD₃, 0.8%Ca and 4 327 IU·kg⁻¹ VD₃, 1.2%Ca and 1 327 IU·kg⁻¹ VD₃, 1.2% Ca and 2 327 IU·kg⁻¹ VD₃, 1.2% Ca and 4 327 IU·kg⁻¹ VD₃, 1.6% Ca and 1 327 IU·kg⁻¹ VD₃, 1.6%Ca and 2 327 IU·kg⁻¹ VD₃, 1.6%Ca and 4 327 IU·kg⁻¹ VD₃. The test period lasted for 87 days. The growth performance, ingredient percent of tibia and viscera weight were measured, respectively and then we calculated the tibia development parameters and viscera indices of growing-furring blue foxes. The results showed that: 1) The final BW and body length of blue foxes significantly decreased with increasing Ca levels ($P<0.05$). The maximum final BW and body length were in 0%-Ca group. There was no significant difference in final BW, body length and pelt length of blue foxes among different VD₃ levels ($P>0.05$). 2) The Ca dosage added had a linear effect on Ca percent of the tibia($P<0.05$). The maximum Ca percent of tibia was in 0.8%-Ca group. The dietary VD₃ level had a significant effect on ash percent of tibia ($P<0.05$). 3) The heart and liver indices of blue foxes linearly decreased with increasing Ca levels ($P<0.05$). In conclusion, the results of this research indicated that the diet supplementation with 0%Ca and 1 000 IU·kg⁻¹ VD₃ (the diet contained 0.8% Ca and 1 327 IU·kg⁻¹ VD₃) could improve the growth performance, body length, and regulate the tibia development and viscera indices of growing-furring blue foxes.

Key words: calcium; vitamin D₃; blue fox; growth performance; tibia; viscera index

蓝狐(*alopex lagopus*)因其皮张品质的优势在国际毛皮行业享有盛誉。矿物质元素对毛皮动物的健康生长和生产起着重要的作用,但应用中过量和缺乏都会影响毛皮动物的生长发育、毛皮的品质及引起环境的污染等^[1]。钙的主要功能是促进骨的形成、肌肉收缩和激素分泌^[2-4]。维生素 D₃ 的生理功能是促进肠道钙吸收,诱导骨质钙磷沉着,维持血浆和骨骼中钙的内稳态和防止佝偻病和骨质疏松症等^[5-7]。7~37 周龄蓝狐的饲料风干基础钙的需要量是 0.5%~0.6%^[8]。饲料中钙磷比例会影响钙磷的吸收,研究表明,当水貂每天每只采食 100 IU VD₃,适宜的钙磷比为 0.75~1.7^[9]。由于蓝狐近年来养殖水平的不断提高和品种的改善,体型逐渐变大,营养需求也随之改变^[10-11]。而目前,我们配制饲料只有 NRC 这个比较早期的研究数据做参考^[12]。因此,探究蓝狐饲料精准的钙和维生素 D₃ 需要量对提高养殖经济效益尤为迫切。

本试验通过固定饲料钙磷比,研究饲料不同钙和维生素 D₃ 水平对冬毛期蓝狐生产性能、胫骨发育和脏器指数的影响,以确定适宜的冬毛期蓝狐饲料钙和维生素 D₃ 的适宜添加范围,为蓝狐生产实践提供理论指导,降低排放物对环境的压力。

1 材料与方法

1.1 试验动物与试验方法

饲养试验地点为农业部长白山野生生物资源重点野外科学观测试验站。试验从 2016 年 9 月 12 日开始至 12 月 8 日结束。135 只 120 日龄的蓝狐公狐((4.03±0.25) kg)随机分成 9 组,每组 15 个重复,每个重复 1 只。采用 3×3 双因素试验设计,9 组饲料分别包含 3 个钙水平 0%、0.4%和 0.8%,3 个维生素 D₃ 水平 1 000、2 000 和 4 000 IU·kg⁻¹。基础日粮中钙与维生素 D₃ 水平分别为 0.8%与 327 IU·kg⁻¹。所以 9 种饲料的钙与维生素 D₃ 水平分别为 0.8%与 1 327 IU·kg⁻¹、0.8%与 2 327 IU·kg⁻¹、0.8%与 4 327 IU·kg⁻¹、1.2%与 1 327 IU·kg⁻¹、1.2%与 2 327 IU·kg⁻¹、1.2%与 4 327 IU·kg⁻¹、1.6%与 1 327 IU·kg⁻¹、1.6%与 2 327 IU·kg⁻¹、1.6%与 4 327 IU·kg⁻¹。饲料根据 NRC^[9]中关于蓝狐冬毛期营养物质需要量,以膨化玉米、鱼粉等为主要原料配制,饲料组成及营养水平如表 1 所示。钙磷比固定为 1.4/1.0。试验预饲期 1 周,试验期 87 d。所有蓝狐均在南面单笼饲养,以消除日照不均对试验的影响。每日 08:00 和 15:00 点各饲喂 1 次,自由饮水。

粗蛋白质含量根据 GB/T6432,采用凯氏定氮法测定;粗脂肪含量根据 GB/T6433,采用索氏浸提法测定。

1.2 生产性能测定

蓝狐末体重为试验结束时早上空腹活体重,每组随机选择 8 只蓝狐取皮,蓝狐的体长为将蓝狐放于水平地面上,鼻尖至尾根的距离。皮长为取皮刮油烘干后在檀板上鼻尖至尾根的距离。

1.3 胫骨的测定

将胫骨剔除肉等组织后,测量胫骨长度,粉碎

后测定胫骨的粗灰分、钙和磷的含量。饲料样品和胫骨样中的灰分含量、钙和磷含量测定分别用灰化法(GB6438-2007)、EDTA-2Na 络合滴定法(GB6436-2002)、钒钼酸铵法(GB6437-2002)进行测定。

1.4 脏器指数的测定

蓝狐取皮后迅速取出心、肝、脾和肾,用滤纸吸干脏器表面的血液后进行称重记录,然后计算各脏器指数:脏器指数=器官重量÷体重×100%。

表 1 冬毛期蓝狐试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets in growing-furring blue foxes (air-dry basis)

%

项目 Item	组别 Group								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
原料 Ingredient									
膨化玉米粉 Extruded corn	39.84	39.84	39.84	38.16	38.16	38.16	36.26	36.26	36.26
豆粕 Soybean meal	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
DDGS	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
玉米蛋白粉 Corn protein meal	11.30	11.30	11.30	11.54	11.54	11.54	12.04	12.04	12.04
鱼粉 Fish meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
鸡肉粉 Chicken meal	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.00	0.00	0.00	1.40	1.40	1.40	2.80	2.80	2.80
石粉 Limestone	0.86	0.86	0.86	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
豆油 Soybean oil	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
预混料 Premix ¹⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient level ²⁾									
代谢能/(MJ·kg ⁻¹)ME	14.07	14.07	14.07	13.98	13.98	13.98	14.01	14.01	14.01
粗蛋白质 CP	30.24	30.24	30.24	30.20	30.20	30.20	30.32	30.32	30.32
粗脂肪 EE	10.75	10.75	10.75	10.64	10.64	10.64	10.73	10.73	10.73
钙 Ca	0.84	0.84	0.84	1.21	1.21	1.21	1.59	1.59	1.59
总磷 TP	0.60	0.60	0.60	0.89	0.89	0.89	1.14	1.14	1.14
钙磷比 Ca/P	1.40	1.40	1.40	1.36	1.36	1.36	1.39	1.39	1.39
维生素 D ₃ /(IU·kg ⁻¹)VD ₃	1 327	2 327	4 327	1 327	2 327	4 327	1 327	2 327	4 327

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供:维生素 A 10 000 IU;维生素 E 60 mg;铁 80 mg;锌 60 mg;锰 15 mg;铜 10 mg;碘 0.5 mg;硒 0.2 mg;钴 0.3 mg;维生素 K₃ 1.6 mg;维生素 B₁ 20 mg;维生素 B₂ 10 mg;维生素 B₆ 10 mg;维生素 B₁₂ 0.1 mg;烟酸 40 mg;泛酸 20 mg;叶酸 1 mg;生物素 0.5 mg;VC 120 mg;胆碱 400 mg。²⁾ 代谢能为计算值,其余为实测值

¹⁾ Premix provided per kilogram of diet: vitamin A 10 000 IU; vitamin E 60 mg; Fe 80 mg; Zn 60 mg; Mn 15 mg; Cu 10 mg; I 0.5 mg; Se 0.2 mg; Co 0.3 mg; vitamin K₃ 1.6 mg; vitamin B₁ 20 mg; vitamin B₂ 10 mg; vitamin B₆ 10 mg; vitamin B₁₂ 0.1 mg; niacin 40 mg; pantothenic acid 20 mg; folic acid 1 mg; biotin 0.5 mg; vitamin C 120 mg; choline 400 mg. ²⁾ ME was a calculated value, the others were measured values

1.5 数据处理

数据用 Excel 2017 进行整理,并用 SAS 9.4 软件中的一般线性模型(GLM)程序进行有交互作用的双因素方差分析(two-way ANOVA),并采用 Duncan 氏法进行多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 饲料钙和维生素 D₃ 水平对蓝狐生产性能和皮张长度的影响

如表 2 所示,随着饲料钙添加水平的增加,蓝狐末重和体长显著降低($P < 0.05$),饲料钙添加水平

为 0% 时,蓝狐末重和体长最大。维生素 D₃ 水平对蓝狐末重、体长和皮长均无显著影响($P > 0.05$)。

2.2 饲料钙和维生素 D₃ 水平对蓝狐胫骨发育的影响

如表 3 所示,随着饲料钙添加水平的增加,蓝狐胫骨钙含量显著提高($P < 0.05$),饲料钙添加水平为 0.8% 时,蓝狐胫骨钙含量最高。维生素 D₃ 水平对蓝狐胫骨灰分含量有显著影响($P < 0.05$)。

2.3 饲料钙和维生素 D₃ 水平对蓝狐脏器指数的影响

如表 4 所示,饲料钙的添加显著降低了心脏和肝脏指数,对脾脏和肾脏指数的影响不显著($P < 0.05$)。

表 2 饲料钙和维生素 D₃ 水平对冬毛期蓝狐生产性能和皮张长度的影响

Table 2 Effects of dietary Ca and VD₃ supplemental levels on the growth performance and pelt length of growing-furring male blue foxes

项目 Item	钙/%			维生素 D ₃ /(IU · kg ⁻¹)			SEM	P 值		
	Ca level			VD ₃ level				P-value		
	0	0.4	0.8	1 000	2 000	4 000		Ca	VD ₃	Ca × VD ₃
末重/kg Final BW	6.24 ^a	6.03 ^b	6.03 ^b	6.17	6.10	6.06	0.130	0.046	0.540	0.241
体长/cm Body length	72.58 ^a	71.54 ^a	70.08 ^b	70.92	71.25	72.04	4.450	0.001	0.174	0.189
皮长/cm Pelt length	95.91	95.22	96.73	96.19	95.74	96.05	13.127	0.427	0.932	0.227

同行数据后所标字母相异表示处理间差异显著($P < 0.05$),所标字母相同或无字母表示处理间差异不显著($P > 0.05$)。下同
In the same row, values with different letter superscripts indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$), values with the same or no letter superscripts indicate no significant difference between treatments ($P > 0.05$). The same as below

表 3 饲料钙和维生素 D₃ 水平对冬毛期蓝狐胫骨发育的影响

Table 3 Effects of dietary Ca and VD₃ supplemental levels on the tibia development of growing-furring male blue foxes

项目 Item	钙/%			维生素 D ₃ /(IU · kg ⁻¹)			SEM	P 值		
	Ca level			VD ₃ level				P-value		
	0	0.4	0.8	1 000	2 000	4 000		Ca	VD ₃	Ca × VD ₃
胫骨长度/cm Tibia length	13.36	13.27	13.47	13.25	13.40	13.45	0.247	0.370	0.349	0.612
钙含量/% Ca	22.37 ^c	23.93 ^b	25.07 ^a	23.67	23.84	24.06	0.813	<0.001	0.100	<0.001
磷含量/% P	8.99	8.82	9.36	9.10	9.24	8.73	0.583	0.146	0.260	0.020
灰分含量/% Ash	60.92	60.54	61.17	61.33 ^a	60.56 ^b	60.69 ^{ab}	1.166	0.134	0.049	<0.001

表 4 饲料钙和维生素 D₃ 水平对冬毛期蓝狐脏器指数的影响

Table 4 Effects of dietary Ca and VD₃ supplemental levels on viscera indices of growing-furring male blue foxes

项目 Item	钙/%			维生素 D ₃ /(IU · kg ⁻¹)			SEM	P 值		
	Ca level			VD ₃ level				P-value		
	0	0.4	0.8	1 000	2 000	4 000		Ca	VD ₃	Ca × VD ₃
心脏指数 Heart index	0.60 ^a	0.56 ^{ab}	0.54 ^b	0.56	0.56	0.58	0.005	0.036	0.643	0.942
肝脏指数 Liver index	3.36 ^a	3.01 ^b	2.99 ^b	3.09	3.13	3.11	0.281	0.040	0.938	0.907
脾脏指数 Spleen index	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	<0.001	0.072	0.437	0.229
肾脏指数 Kidney index	0.22	0.22	0.22	0.23	0.21	0.21	<0.001	0.906	0.232	0.237

3 讨论

3.1 饲料钙和维生素 D₃ 水平对蓝狐生产性能和皮张长度的影响

本研究表明,饲料钙的水平显著影响蓝狐的末重,最高的末重出现在 0% 的钙试验组。推测可能是在冬毛期的钙的需要量较少。在生长期,蓝狐表现快速增长,到 10 月末,蓝狐处于毛的生长高峰期,增加钙的添加量反而会抑制蓝狐的生长^[13]。Gautier 等^[14]的试验中,用玉米豆粕型饲料(饲料钙的水平为 0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4% 和 1.6%)饲喂 2~23 日龄的肉鸡,研究饲料钙水平对肉鸡的影响,研究发现,增加钙的浓度会降低肉鸡的生产性能,与本试验的研究结果一致。Rao 等^[15]研究表明,14、28 和 42 日龄的商品肉鸡增重和采食量随着钙水平的增加而下降(NPP 为 3 和 3.5 g·kg⁻¹ 饲料),这些负面的影响会随着钙水平的降低而减轻。饲料维生素 D₃ 对蓝狐末重影响不显著,但是有随着维生素 D₃ 的升高而降低的趋势,我们推测,在冬毛期,维生素 D₃ 1 000 IU·kg⁻¹ 已经满足蓝狐的营养需要,而并非越高越好。

关于饲料钙和维生素 D₃ 对蓝狐毛皮的影响报道相对较少。本试验研究发现,蓝狐饲喂钙 0% 组饲料的蓝狐体长显著高于 0.4% 和 0.8% 组的体长。蓝狐饲喂钙 0% 组饲料的蓝狐体重也是显著高于 0.4% 和 0.8% 组的体重,与体长的结果一致,可以推测体长与体重呈正相关。衡量毛皮动物皮张价值的两个重要因素就是尺码和品质,而在动物打皮时的体重和体长与皮张的尺码显著相关^[16-17],一般体重和体长越大,皮张的尺码就越大。有报道称,在 11 月份皮毛动物的体重和毛皮长度间有特殊的线性关系^[18]。皮长也会受到加工过程中从取皮到烘干的各个环节的影响^[19]。综上可知,当添加 0% 的钙,1 000 IU·kg⁻¹ 维生素 D₃,饲料中总钙为 0.8%,维生素为 1 327 IU·kg⁻¹ 时就可满足冬毛期蓝狐的需要。

3.2 饲料钙和维生素 D₃ 水平对蓝狐胫骨发育的影响

常见胫骨性能评价指标主要有胫骨钙含量、磷含量、灰分含量等。胫骨灰分含量与骨骼发育成正相关,是骨骼矿物质元素储备状况的主要反映参数^[20]。本试验中,随着钙含量的增加胫骨钙含量逐渐增加,说明饲料中的钙有一部分沉积到骨骼中。

饲料中的钙越高,沉积到骨骼中的钙就越多。Dhandu 和 Angel^[21] 研究表明,在骨骼指标中灰分重和灰分含量是最敏感的指标。本试验中,灰分也随着饲料钙含量的增加略有增加,但变化不显著。推测可能是蓝狐在冬毛期生长缓慢,所以虽然胫骨的钙含量随着钙的添加量增加而增加,但灰分含量增加不显著。洪平等^[22] 研究得出,不同饲料钙水平对 22~42 日龄黄羽肉鸡胫骨钙磷含量具有显著的影响。Varley 等^[23] 的试验表明,试验饲料的钙磷比为 1.6/1,随着膳食磷水平的提高,饮食钙水平也随着增高,30 kg 猪的高磷饲料组的骨灰分含量高于中、低磷组,也就是高钙组的骨灰分含量会高于其他组。综上所述,如果动物处于生长阶段,胫骨的灰分含量显著增加,表明骨骼生长发育迅速,而过了生长阶段,即使有钙沉积,灰分含量增加也不明显,骨骼发育减缓。从本试验得出,蓝狐的灰分含量无明显增加,说明冬毛期骨骼发育减缓。维生素 D₃ 对蓝狐胫骨灰分的影响显著,随着维生素 D₃ 的升高灰分含量降低,可以推测维生素 D₃ 较适宜的添加量为 1 000 IU·kg⁻¹。

3.3 饲料钙和维生素 D₃ 水平对蓝狐脏器指数的影响

本研究主要测定了心、肝、脾和肾的重量。动物的脏器指数是其重要的生物学特性指标之一,脏器指数的相对大小,从一定程度上可说明其功能的强弱^[24-25]。肝是体内重要的代谢器官和消化器官,脾是重要的免疫器官。自身细胞生长发育和分裂导致免疫器官的重量增加,意味着机体免疫系统成熟较快,免疫功能较强;免疫器官相对重量减少意味着机体免疫系统萎缩或成熟较慢,免疫功能较差^[26-28]。本试验中,饲料中添加钙对心脏和肝脏指数影响显著,随着钙含量的增加,心和肝的重量显著降低。这可能是由于蓝狐在钙含量适宜的情况下,发育完善,钙促进体内器官细胞的发育和增殖,使得重量增加,而钙含量过高,会造成代谢负担,降低脏器指数。张淑云^[29] 的研究结果表明,增加维生素 D₃ 添加量有利于肉鸡细胞和体液免疫功能的增强,而高水平钙则不利于肉鸡体液免疫功能增强,对免疫器官的指数有影响。综上所述,本试验中 0% 的钙添加量对蓝狐的心脏和肝脏指数有益,钙含量增加对脏器造成负担,而维生素 D₃ 对脏器指数没有显著影响。

4 结论

综合以上指标,在本试验条件下,蓝狐饲料中添

加 0% 钙、1 000 IU · kg⁻¹ 维生素 D₃, 饲料中总钙含量为 0.8%, 总维生素 D₃ 含量为 1 327 IU · kg⁻¹ 时, 能够改善蓝狐的生产性能、增加蓝狐的体长、调节胫骨发育和脏器指数。

参考文献 (References):

- [1] 陈冠华, 张金龙, 王建国, 等. 含 25-羟基维生素 D₃ 日粮中植酸酶对 21~42 日龄肉鸡生长性能、骨骼矿化和钙磷利用的影响[J]. 中国饲料, 2016(9):26-30. CHEN G H, ZHANG J L, WANG J G, et al. Effect of phytase in the diet of containing 25-OH-D₃ on growth performance, bone mineralization, and calcium (Ca) and phosphorus (P) utilization in 21 - 42-day-old broiler chickens[J]. *China Feed*, 2016(9):26-30. (in Chinese)
- [2] BERRIDGE M J, BOOTMAN M D, RODERICK H L. Calcium: Calcium signalling: Dynamics, homeostasis and remodeling[J]. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 2003, 4(7):517-529.
- [3] 解俊美. 饲料维生素 D 对蛋雏鸭生长性能及生化指标的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013. XIE J M. Effects of dietary vitamin D on growth performance and biochemical indexes of egg-type ducklings[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [4] 张佳佳, 罗兰, 陈继莉. 维生素 D 联合锌铁钙复合制剂治疗佝偻病患儿的疗效观察[J]. 实用临床医药杂志, 2017, 21(17):197-199. ZHANG J J, LUO L, CHEN J L. The curative effect of vitamin D combined with zinc, iron, calcium treatment child patient with rickets [J]. *Journal of Clinical Medicine in Practice*, 2017, 21(17):197-199. (in Chinese)
- [5] FLEET J C, SCHOCH R D. Molecular mechanisms for regulation of intestinal calcium absorption by vitamin D and other factors[J]. *Crit Rev Clin Lab Sci*, 2010, 47(4):181-195.
- [6] 陈冠华, 张金龙, 张宁, 等. 不同水平 25-羟基维生素 D₃ 对肉仔鸡生长性能和骨骼矿化的影响[J]. 饲料研究, 2017(20):1-5. CHEN G H, ZHANG J L, ZHANG N, et al. Effects of 25-hydroxyl vitamin D₃ on growth performance and bone mineralization of broiler chickens[J]. *Feed Research*, 2017(20):1-5. (in Chinese)
- [7] 陈小香, 谭新, 邓伟民. 骨质疏松症患者骨密度与血清 25 羟维生素 D 的相关性研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2017, 23(7):851-855. CHENG X X, TAN X, DENG W M. The study of the relationship between BMD and the serum level of 25-OH vitamin D in patients with osteoporosis[J]. *Chinese Journal of Osteoporosis*, 2017, 23(7):851-855. (in Chinese)
- [8] HARRIS L E, BASSETT C F, SMITH S E, et al. The calcium requirement of growing foxes [J]. *Cornell Vet*, 1945.
- [9] JØRGENSEN G, HANSEN N G. Forsøg med forskellige proteinmaengder Til mink[M]. Dansk Pelsdyravl, 1972:15-20.
- [10] 王静, 张海华, 李光玉. 毛皮动物钙、磷代谢与维生素 D 的研究进展[J]. 饲料工业, 2017, 38(13):61-64. WANG J, ZHANG H H, LI G Y. Recent progress in research on the effects of calcium, phosphorus and vitamin D in fur animals[J]. *Feed Industry*, 2017, 38(13):61-64. (in Chinese)
- [11] 李光玉, 鲍坤, 高秀华, 等. 特种动物营养研究进展[C]//中国畜牧兽医学动物营养学分会第十二次动物营养学术研讨会. 武汉: 中国畜牧兽医学动物营养学分会, 2016:1. LI G Y, BAO K, GAO X H, et al. Recent progress in research on special animal nutrition[C]//Animal Nutrition Branch of Chinese Association of Animal Science and Veterinary Medicine. No. 12 Animal Nutrition Seminar Memoir. Wuhan: Animal Nutrition Branch of Chinese Association of Animal Science and Veterinary Medicine, 2016:1. (in Chinese)
- [12] 徐良梅, 王超, 陈盈霖, 等. 蓝狐营养需要量研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2016, 47(8):67-74. XU L M, WANG C, CHEN Y L, et al. Research progress on nutrient requirements of blue fox [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2016, 47(8):67-74. (in Chinese)
- [13] BLOMSTEDT L. Pelage cycle in blue fox (*Alopex lagopus*): A comparison between animals born early and late in the season[J]. *Acta Agr Scand*, 1998, 48(2):122-128.
- [14] GAUTIER A E, WALK C L, DILGER R N. Influence of dietary calcium concentrations and the calcium-to-non-phytate phosphorus ratio on growth performance, bone characteristics, and digestibility in broilers[J]. *Poult Sci*, 2017, 96(8):2795-2803.
- [15] RAO S V R, RAJU M V L N, REDDY M R, et al. Interaction between dietary calcium and non-phytate phosphorus levels on growth, bone mineralization and mineral excretion in commercial broilers [J]. *Anim*

- Feed Sci Technol*, 2006, 131(1-2): 135-150.
- [16] 张海华. 日粮蛋白质和蛋氨酸水平对水貂生产性能及毛皮发育的影响[D]. 长春: 中国农业科学院特产研究所, 2011.
ZHANG H H. Effects of dietary protein and methionine levels on production performance, fur and skin development of minks[D]. Changchun: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011. (in Chinese)
- [17] 刘 志. 生长期蓝狐饲料铜水平和铜源的研究[D]. 长春: 中国农业科学院特产研究所, 2016.
LIU Z. Optimum copper levels and sources in growing and furring blue foxes[D]. Changchun: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016. (in Chinese)
- [18] LOESCHKE W L, MICHELS M. Body length and pelt length relationship [C]//Proceeding of the VII International Congress in Fur Animal Production, 2000: 78-81.
- [19] DAHLMAN T, VALAJA J, JALAVA T, et al. Growth and fur characteristics of blue foxes (*Alopex lagopus*) fed diets with different protein levels and with or without DL-methionine supplementation in the growing-furring period [J]. *Can J Anim Sci*, 2003, 83(2): 239-245.
- [20] LEWIS P D, DANISMAN R, GOUS R M. Photoperiodic responses of broilers. III. Tibial breaking strength and ash content [J]. *Br Poult Sci*, 2009, 50(6): 673-679.
- [21] DHANDU A S, ANGEL R. Broiler nonphytin phosphorus requirement in the finisher and withdrawal phases of a commercial four-phase feeding system[J]. *Poult Sci*, 2003, 82(8): 1257-1265.
- [22] 洪 平, 蒋守群, 周桂莲, 等. 22~42 日龄黄羽肉鸡钙需要量研究[J]. 动物营养学报, 2012, 24(1): 62-68.
HONG P, JIANG S Q, ZHOU G L, et al. Calcium requirement of yellow-feathered broilers aged 22 to 42 days[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(1): 62-68. (in Chinese)
- [23] VARLEY P F, CALLAN J J, O'DOHERTY J V. Effect of dietary phosphorus and calcium level and phytase addition on performance, bone parameters, apparent nutrient digestibility, mineral and nitrogen utilization of weaner pigs and the subsequent effect on finisher pig bone parameters [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2011, 165(3-4): 201-209.
- [24] 多 乐. 日粮维生素 A 水平对肉鸡生产性能、免疫器官及骨骼钙磷代谢的影响[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2010.
DUO L. Effects of vitamin A on growth performance and immune organs and metabolism of calcium and phosphorous in broilers [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2010. (in Chinese)
- [25] 祁秋霞, 祝大丽. 维生素 D 对免疫系统影响的研究进展[J]. 中国现代医生, 2015, 53(22): 157-160.
QI Q X, ZHU D L. Research progress of vitamin D effect on the immune system[J]. *China Modern Doctor*, 2015, 53(22): 157-160. (in Chinese)
- [26] 程郁昕, 张金亮, 邱晨伟, 等. AA 肉鸡生长期免疫器官生长规律的探讨[J]. 畜牧与兽医, 2006, 38(4): 44-46.
CHENG Y X, ZHANG J L, QIU C W, et al. The growth regularity of immune organs of AA broilers in growing period[J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2006, 38(4): 44-46. (in Chinese)
- [27] 靳二辉, 陈耀星, 周金星, 等. 黄芪、枸杞、金银花等中草药复方制剂对肉鸡免疫器官发育及免疫功能的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2017, 48(6): 1128-1139.
JIN E H, CHEN Y X, ZHOU J X, et al. The effect of compound Chinese herbal medicine preparation of astragalus, wolfberry and honeysuckle flower on immune organ development and immune functions of broiler[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2017, 48(6): 1128-1139. (in Chinese)
- [28] 魏炳栋, 于 维, 陶 浩, 等. 黄芪多糖对 1~14 日龄肉仔鸡生长性能、脏器指数及抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2011, 23(3): 486-491.
WEI B D, YU W, TAO H, et al. Effects of *Astragalus* polysaccharides on growth performance, viscera indices and antioxidant capacity of broilers aged 1 to 14 days[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(3): 486-491. (in Chinese)
- [29] 张淑云. 钙和维生素 D 对肉鸡免疫和抗氧化功能的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.
ZHANG S Y. Effects of calcium and vitamin D on immune and antioxidant functions in broilers[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2011. (in Chinese)