

饲料营养成分对水貂、狐肠道健康及血清生化指标的影响

张铁涛¹ 杨福合¹ 李光玉¹ 高秀华^{2*}

(1.中国农业科学院特产研究所,长春 130112;2.中国农业科学院饲料研究所,北京 100081)

摘要: 水貂、蓝狐、银狐是珍贵的毛皮动物,也是我国特种畜禽的重要组成部分。由于水貂、蓝狐、银狐独特的消化道结构及消化生理特性,食糜通过胃肠道的的时间非常短,维持它们的肠道健康对于提高其生产性能和毛皮品质尤为重要。大量研究表明,通过调整饲料中氨基酸、脂肪酸、维生素、矿物质添加量,能够提高毛皮动物免疫力,改善肠道健康,对于水貂、狐产业的可持续发展具有重要的实践意义。

关键词: 水貂;狐;肠道健康;免疫

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)10-4779-06

水貂、蓝狐、银狐是珍贵的毛皮动物,目前,我国养殖数量已超越了丹麦、芬兰等北欧国家,位居世界首位。水貂、狐是肉食性动物,消化道比杂食动物和草食动物短,水貂的小肠长度为 110~147 cm,盲肠退化,结肠和直肠长度约为 20 cm;蓝狐小肠长度约为 193 cm,银狐小肠长度约为 176 cm,狐的盲肠退化,结肠和直肠总长度为 40~42 cm。肠道是机体最大的营养消化、吸收器官,更是机体最大的免疫器官,良好的肠道环境不仅有利于饲料的转化,更有利于维持机体良好的免疫状态,增强动物机体的抗病能力^[1]。对于仔猪的研究表明,谷氨酰胺、精氨酸、黄芪多糖、益生菌等能促进肠道发育,增加肠道绒毛长度,显著促进肠道免疫球蛋白 A (immunoglobulin A, IgA) 的分泌,维持肠道健康^[2]。饲料中单独添加果寡糖或与短小芽孢杆菌、三丁酸甘油酯和谷氨酰胺联合使用时,能够提高石斑鱼的生产性能和免疫功能,改善肠道健康^[3]。水貂、狐在集约化饲养模式下,饲料中适宜的营养水平可以提高其生产性能,调节免疫系统和健康状态^[4-6]。近年来,我国科研工

作者在水貂、狐肠道健康和免疫调节方面做了大量研究,本文对氨基酸、脂肪酸、维生素和矿物质对水貂、狐肠道健康和血清生化指标影响的研究现状进行综述。

1 氨基酸及其衍生物

赖氨酸、蛋氨酸、精氨酸和色氨酸等是毛皮动物的限制性氨基酸,饲料中添加适量的外源性氨基酸,可调节水貂、狐肠道的形态结构,进而改善水貂、狐肠道的吸收功能,有利于水貂、狐的生长发育^[7-9]。精氨酸、色氨酸与动物的免疫息息相关,能够有效地调节水貂、狐的免疫机能,但过量的色氨酸会引起母貂免疫机能紊乱,可能是色氨酸能够调节水貂的生物钟,过量的色氨酸引起生物钟昼夜行为失调进而影响免疫机能,这部分内容还有待于进一步研究证明^[9]。张铁涛^[7]研究水貂蛋白质、赖氨酸和蛋氨酸需要量时发现,饲料粗蛋白质水平为 34%、36%时,水貂的空肠绒毛高度、隐窝深度、黏膜厚度显著高于饲料粗蛋白质水平为 32%、38%、40%时,表明饲料粗蛋白质水平能

收稿日期:2020-08-03

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1610342019038);中国农业科学院创新工程经费(CAAS-ASTIP-2020-ISAPS)

作者简介:张铁涛(1984—),男,河北保定人,副研究员,博士,研究方向为特种畜禽营养。E-mail: zhangtietao@caas.cn

* 通信作者:高秀华,研究员,博士生导师, E-mail: xiuhuagao@126.com

够改变水貂的肠道结构;饲料中添加0.3%和0.6%蛋氨酸时,能够提高水貂胃蛋白酶活性;饲料中添加0.3%蛋氨酸以及同时添加0.3%~0.6%赖氨酸时,水貂的空肠吸收面积最大^[8]。饲料中精氨酸水平为1.85%组与对照组(饲料中精氨酸水平为1.45%)相比,育成期水貂血清免疫球蛋白M(immunoglobulin M, IgM)含量显著提高,饲料中精氨酸水平为1.65%、1.85%、2.05%组血清补体3(complement 3, C3)含量均显著提高,饲料精氨酸含量对水貂血清IgA、免疫球蛋白G(immunoglobulin G, IgG)和补体4(complement 4, C4)含量无显著影响^[9]。对于冬毛期水貂,饲料中添加精氨酸能够提高血清IgM、IgG和C4含量;饲料中精氨酸和赖氨酸互作能够显著影响血清白蛋白(albumin, ALB)、IgA和IgM含量^[10]。张雪蕾等^[11]研究指出,水貂饲料中色氨酸水平从0.1%增加到0.7%时,公貂血清IgA和IgG含量逐渐降低;饲料中色氨酸水平为0.44%时,公貂的免疫功能较好。母貂对色氨酸相对敏感,提高饲料中色氨酸水平,母貂肝功能异常,免疫调节紊乱^[12];通过空肠转录组分析和荧光定量PCR验证,饲料色氨酸水平显著影响了视黄醇结合蛋白4(retinol-binding protein, RBP4)和人基质/内质网钙ATP酶(ATP2A)表达量^[13]。

樊燕燕^[14]研究了饲料中添加半胱胺对育成期水貂血清免疫指标的影响,结果表明,饲料中添加60~120 mg/kg 半胱胺提高了育成期水貂血清三碘甲状腺原氨酸(triiodothyronine, T₃)和甲状腺素(tetraiodothyronine, T₄)含量,降低了血清生长抑素(somatostatin, SS)含量,提高了促生长激素类的激素活性。此外,研究发现饲料中添加0.4%~0.8%的谷氨酰胺能够提高水貂的脾脏重量,显著降低血清丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量,提高了血清谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活性^[15-16]。

郭俊刚等^[17]对于蓝狐的研究表明,饲料中添加0.26%~1.04%蛋氨酸能够提高准备配种期母狐血清球蛋白(globulin, GLOB)和总蛋白(total protein, TP)含量,饲料蛋氨酸水平与精氨酸消化利用率呈正相关,支链氨基酸异亮氨酸、亮氨酸和缬氨酸的消化率也随着饲料蛋氨酸水平升高而增加。哺乳期蓝狐基础饲料中添加0.2%蛋氨酸,血清ALB和TP含量显著提高,精氨酸、支链氨基酸

利用率也较高,有利于机体蛋白质的合成^[18]。孙皓然^[19]研究表明,育成期蓝狐饲料中添加0.8%的精氨酸,血清IgM含量降低,血清IgA、IgG和白细胞介素(interleukin, IL)等免疫因子含量无显著变化,但蓝狐体内一氧化氮(nitric oxide, NO)含量和一氧化氮合酶(nitric oxide synthase, NOS)、诱导型一氧化氮合酶(inducible nitric oxide synthase, iNOS)活性显著提高。在冬毛期蓝狐饲料中添加0.8%~1.0%的精氨酸,蓝狐血清IgM含量低于添加0.2%精氨酸组和没有添加精氨酸组(基础饲料组),而0.2%精氨酸组的血清IL-2和IL-4含量显著高于基础饲料组,饲料中添加精氨酸对血清C3和C4含量没有显著影响;脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)诱导基础饲料组蓝狐的免疫应激,降低蓝狐小肠绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度(V/C)值,脾脏内Toll样受体4(Toll like receptor 4, TLR4)mRNA表达上调,肠系膜淋巴结内核转录因子-κB(nuclear factor-κB, NF-κB)表达上调,过氧化物酶体增殖物激活受体-γ(peroxisome proliferator-activated receptor-γ, PPAR-γ) mRNA的表达在肝脏和淋巴结均下调,试验组蓝狐通过饲喂高剂量的精氨酸(饲料添加0.8%~1.0%精氨酸)可以缓解LPS对肠道形态结构和功能造成的损伤,体内炎症反应相关基因的过度表达得到抑制,而抗炎性反应相关基因表达上调^[20]。

2 脂肪酸

多不饱和脂肪酸能够调节免疫功能,影响淋巴细胞增殖、细胞因子合成和分泌以及抗体合成等。通过在蓝狐和银狐饲料中添加亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸等,能够显著提高动物的免疫指标及生产性能^[21-24]。钟伟等^[21]在研究饲料不同油脂比例对银黑狐血清免疫指标和肠道形态结构影响时发现,饲料中添加9.38%玉米油和4.62%豆油时能够影响血清C4含量,但对血清IgA、IgM、IgG、C3、IL-2等免疫指标含量均无显著影响。饲料脂肪水平为16%、脂肪中亚油酸含量为73.21 mg/g、多不饱和脂肪酸n-6/n-3为18时,能够显著影响蓝狐空肠绒毛高度、隐窝深度和V/C值^[22]。张婷等^[23]研究表明,冬毛期银狐饲料脂肪水平从12%提高到26%,银狐肝脏重量随之显著升高,肝体指数增加;银狐空肠胰脂肪酶活性与饲料脂肪含量呈正相关,但饲料脂肪水平对胰蛋白

酶和胰淀粉酶的活性未产生影响。邢敬亚^[24]研究表明, 育成期蓝狐饲料亚油酸水平为 3.36% 时, 饲料亚油酸对蓝狐血清 TP 和 ALB 含量影响显著; 冬毛期蓝狐饲料中亚油酸水平为 2.13% 时, 空肠食糜中的淀粉酶活性最强。

3 维生素

水貂、狐属于严格性的肉食动物, 维生素尤其是水溶性维生素极易发生缺乏, 通过在饲料中添加肝脏等动物性饲料能够在一定程度上缓解脂溶性维生素缺乏症, 但也需要额外补充。水溶性维生素中的硫胺素、核黄素、泛酸等具有调节毛皮动物的采食量、维持肠道健康、加快季节性换毛等生理功能^[25-26]。脂溶性维生素如维生素 D、维生素 E 等对于维持水貂、狐的快速生长发育、预防尿结石发生、提高机体免疫力等方面具有重要作用^[4, 27-32]。穆琳琳等^[25]研究发现, 饲料中添加 5~40 mg/kg 核黄素能够显著提高血清 IgA 含量, 但对血清 IgG 和 IgM 含量影响不显著。王卓等^[26]在研究水貂泛酸需要量时发现, 饲料泛酸水平对育成期水貂血清 TP 和 GLOB 含量没有显著影响, 但 80 mg/kg 饲料泛酸水平能够显著提高血清 ALB 含量和碱性磷酸酶 (alkaline phosphatase, ALP) 活性。20 mg/kg 饲料泛酸水平能显著提高冬毛期水貂血清 GLOB 含量, 机体内褪黑激素含量也显著增加, 进而调节水貂毛皮发育, 促进毛皮提前成熟^[27]。南韦肖等^[28]研究表明, 饲料中维生素 A 水平为 320~1 280 kIU/kg 时, 育成期雄性水貂血清 ALP 活性升高而乳酸脱氢酶 (lactate dehydrogenase, LDH) 活性降低。Wang 等^[29]研究水貂维生素 D 营养需要量时发现, 饲料中维生素 D 水平对血清 ALP 活性没有影响, 饲料中维生素 D 水平为 4 100 IU/kg 时能显著提高血清促甲状腺激素和 25-羟钙化醇含量, 但血清对降钙素含量没有影响。Zhang 等^[4]研究表明, 育成期水貂饲料中添加 200~400 mg/kg 维生素 E 显著提高了血清 IgM、IL-2 含量和 T-淋巴细胞 CD4/CD8, 但血清 CD8 含量显著降低。

杨雅涵等^[30]研究表明, 饲料中维生素 A 水平为 5 000~25 000 IU/kg 时, 对蓝狐维生素 D 吸收没有协同作用, 饲料中添加 25 000 IU/kg 维生素 A 能显著提高血清维生素 A 含量, 但对血清谷草转氨酶 (alanine transaminase, AST) 和谷丙转氨酶

(aspartate aminotransferase, ALT) 活性没有显著影响。刘可园等^[31]研究指出, 育成期蓝狐饲料中添加 50~200 mg/kg 维生素 E 能够显著影响血清 IgG、TP、ALB 和 GLOB 含量, 饲料中添加 100~150 mg/kg 维生素 E 能够提高机体的抗氧化能力。

4 矿物质

矿物质营养在水貂、狐生产中不容忽视, 大量研究表明, 有机微量元素能有效提高矿物质的生物学效价、减少环境中的排放, 有利于毛皮动物的健康可持续发展^[5-6, 32-40]。铜、锌等元素在维持正常生理机能外, 还能够影响毛皮动物的毛色、毛皮品质^[32-35]。吴学壮^[5]研究表明, 育成期水貂血清 ALB 含量随着饲料铜水平 (7.63~256.00 mg/kg) 增加呈线性和二次曲线降低, 血清 TP 含量则呈线性增加; 饲料铜水平为 128.00 mg/kg 时, 水貂血清 AST/ALT<1, 肝脏生理功能正常; 饲料铜水平为 256.00 mg/kg 时, 水貂血清 AST/ALT>1, 肝脏表现炎症反应, 凝血时间延长。冬毛期时, 公貂血清 TP 和 ALB 含量随着饲料铜水平的增加呈线性和二次曲线降低, 而母貂血清 TP 含量没有显著变化, 饲料铜水平低于 96.00 mg/kg 时, 水貂血清 AST/ALT<1; 饲料铜水平为 192.00 mg/kg 时, 水貂血清 AST/ALT>1; 饲料铜水平与胆汁铜含量呈正相关, 而与胆汁锰、铁含量呈负相关; 饲料铜水平对空肠、回肠的淀粉酶、胰蛋白酶和胰脂肪酶活性没有显著影响^[32-33]; 铜源、铜水平及铜源与铜水平互作对水貂血清生化指标未见显著影响, 但母貂血清 TP 和 ALB 含量显著或极显著低于公貂^[34]。Cui 等^[35-36]评价了果胶寡糖螯合锌、甘氨酸锌对水貂的生物学效价, 结果表明, 饲料中添加 900 mg/kg 锌能显著提高血清中 ALP 活性; 以铜锌超氧化物歧化酶的活性为指标, 以硫酸锌为参比标准物 (100%), 果胶寡糖螯合锌的相对生物学利用率为 173%; 饲料中添加果胶寡糖螯合锌显著提高了血清中 5'-核苷酸酶活性和血清免疫球蛋白含量。饲料果胶寡糖螯合锌上调了肝脏部分与碳水化合物代谢、氨基酸代谢和脂类代谢相关的差异基因, 与脂肪代谢相关的差异基因得到显著富集^[6]。周宁^[37]研究指出, 育成期水貂饲料锌水平为 100 mg/kg 时, 水貂血清 ALB、TP、GLOB、IgA 含量显著增加, 血清 IgG 含量与饲料锌水平呈正相关。对于冬毛期水貂, 饲料锌水平为 100~

300 mg/kg时,水貂血清 IgA 和 IgM 含量显著高于未添加锌组;饲料锌水平对血清 IgG 含量没有显著影响^[38]。

刘志等^[39]研究表明,育成期蓝狐饲料铜水平为 7.89、20、40、80、160 mg/kg 时,饲料铜水平对血清 ALT、AST 和 ALP 活性未产生显著影响,而血清 TP、ALB 和 GLOB 含量则与饲料铜水平呈正相关,尤以饲料铜水平为 160 mg/kg 时最为显著。冬毛期蓝狐饲料铜水平升高能够促进血清 TP 和 ALB 含量增加^[40]。饲料铜、锌水平及铜锌互作效应对蓝狐血清 TP、ALB 含量未产生显著影响,高锌有提高血清 ALP 活性的趋势^[41-42]。

5 小 结

目前,国家农业农村部已将水貂、蓝狐、银狐列入《中华人民共和国畜牧法》的管理范畴,明确了水貂、蓝狐、银狐的家养特种畜禽定位,为这些珍贵毛皮动物养殖的蓬勃发展迎来一个新的契机。随着水貂、蓝狐、银狐饲养标准化、集约化发展,为获得高品质的毛皮产品,提高养殖效益及国际竞争力,对维持水貂、狐肠道健康和正常免疫力提出了更高的要求。功能性氨基酸添加剂、维生素与矿物质添加剂等能够明显改善水貂、蓝狐、银狐肠道形态结构及免疫调节能力,但多种营养成分联合使用的作用效果和作用机制还有待进一步的研究。

参考文献:

[1] 赵勤辉,殷颖珊.肠道的免疫功能及有机酸对肠道健康的影响[J].猪业科学,2020,37(5):56-57.

[2] 邹知明,梁龙华,崔涵,等.功能性氨基酸与黄芪多糖、益生菌的互作对仔猪肠道微生态环境和肠道健康的影响[J].饲料工业,2016,37(21):35-39.

[3] 赵芸.果寡糖和复合添加剂对斜带石斑鱼生长性能、免疫功能和肠道健康的影响[D].硕士学位论文.厦门:集美大学,2015.

[4] ZHANG T, SUN W L, LI G Y, et al. Effects of dietary vitamin E on the growth performance, antioxidative status, and some immunological blood parameters in growing mink (*Mustela vison*) fed dry feed[J]. Canadian Journal of Animal Science, 2019, 99(5): 772-780.

[5] 吴学壮.水貂饲料适宜铜源及铜水平研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2015.

[6] 崔虎.果胶寡糖螯合锌对水貂生产性能、营养物质消化代谢的影响及其机理研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2018.

[7] 张铁涛.饲料蛋白质、赖氨酸、蛋氨酸水平对生长期水貂生产性能、消化代谢和肠道形态结构的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.

[8] 张铁涛,张志强,高秀华,等.不同蛋白质水平饲料对育成期雄性水貂生产性能与消化代谢规律的影响[J].畜牧兽医学报,2011,42(10):1387-1395.

[9] 万春孟,张铁涛,吴学壮,等.饲料 L-精氨酸水平对育成期水貂氨基酸消化率、血清氨基酸含量及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3789-3796.

[10] 万春孟.水貂育成期及冬毛期饲料适宜精氨酸水平研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2016.

[11] 张雪蕾,张铁涛,王峰,等.饲料色氨酸添加水平冬毛期期白水貂生长性能、营养物质消化率及血清免疫指标的影响[J].动物营养学报,2018,30(1):147-155.

[12] 张雪蕾,王峰,张铁涛,等.色氨酸对动物生理功能调节的研究进展[J].特产研究,2019(1):104-108.

[13] 张雪蕾.不同色氨酸水平对生长期水貂消化代谢、生产性能及空肠组织转录组学的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2018.

[14] 樊燕燕.半胱胺对水貂生产性能、血清生化指标及相关基因表达量的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2016.

[15] 张甜甜,纪君波,李文立,等.谷氨酰胺对育成期水貂饲料营养物质消化率和脏器重量的影响[J].中国畜牧杂志,2019,55(7):137-141.

[16] 纪君波,任慧英,李文立,等.谷氨酰胺对夏季水貂生长性能、血清生化指标和抗氧化能力的影响[J].动物营养学报 2018, 30(4):1415-1422.

[17] 郭俊刚,张铁涛,高秀华,等.饲料蛋氨酸水平对配种前期雌性蓝狐营养物质消化率、氮代谢及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(9):2970-2976.

[18] 郭俊刚.饲料蛋氨酸水平对雌性蓝狐繁殖性能和营养物质消化代谢影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2016.

[19] 孙皓然.饲料精氨酸水平对蓝狐生长性能和免疫功能的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2016.

[20] 孙皓然,张铁涛,王晓旭,等.饲料精氨酸添加水平对冬毛期期母狐生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响[J].动物营养学报,2016,28(4):1267-

- 1273.
- [21] 钟伟, 罗婧, 李光玉, 等. 饲料不同油脂比例对冬毛期雄性银黑狐生长性能、血清生化指标及肠道形态结构的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(12): 5210-5220.
- [22] ZHONG W, MU L L, HAN F F, et al. Estimation of the net energy and protein requirements for maintenance of male arctic foxes (*Alopex lagopus*) during the growth period [J]. Journal of Animal Science, 2019, 97(11): 4579-4587.
- [23] 张婷, 钟伟, 李光玉, 等. 饲料脂肪水平对冬毛期银狐生长性能、体脂肪酸组成及空肠中小肠型脂肪酸结合蛋白表达的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(7): 2300-2308.
- [24] 邢敬亚. 饲料亚油酸水平对蓝狐生产性能和脂质代谢的影响研究[D]. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [25] 穆琳琳, 钟伟, 李光玉, 等. 饲料维生素 B₂ 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, 2018, 30(10): 4005-4011.
- [26] 王卓, 李光玉, 刘晗璐, 等. 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[J]. 动物营养学报, 2020, 32(1): 463-471.
- [27] 王卓, 刘晗璐, 李光玉, 等. 饲料泛酸添加水平对冬毛生长期水貂生产性能、血清生化指标及毛囊发育的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(4): 1850-1858.
- [28] 南韦肖, 张海华, 李光玉, 等. 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[J]. 畜牧兽医学报, 2018, 49(11): 2425-2434.
- [29] WANG J, ZHANG H H, LI G Y, et al. Effects of calcium, phosphorus, and vitamin D on growing mink (*Mustela vison*) [J]. Canadian Journal of Animal Science, 2018, 98(4): 769-777.
- [30] 杨雅涵, 张婷, 李光玉, 等. 饲料维生素 A 添加水平对育成期雄性蓝狐生长性能、营养物质消化率、氮代谢及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(12): 5655-5663.
- [31] 刘可园, 刘晗璐, 李光玉, 等. 饲料中维生素 E 添加水平对育成期蓝狐生长性能、营养物质消化率、氮代谢和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(9): 4170-4178.
- [32] WU X Z, ZHANG T T, GAO X H, et al. Copper bioavailability, blood parameters, and nutrient balance in mink [J]. Journal of Animal Science, 2015, 93(1): 176-184.
- [33] WU X Z, YANG Y, GAO X H, et al. Effects of dietary copper supplementation on nutrient digestibility, serum biochemical indices and growth rate of young female mink (*Neovison vison*) [J]. Czech Journal of Animal Science, 2014, 59(11): 529-537.
- [34] WU X Z, LIU Z, GUO J G, et al. Influence of dietary zinc and copper on apparent mineral retention and serum biochemical indicators in young male mink (*Mustela vison*) [J]. Biological Trace Element Research, 2015, 165(1): 59-66.
- [35] CUI H, ZHANG T T, NIE H, et al. Effects of sources and concentrations of zinc on growth performance, nutrient digestibility, and fur quality of growing-furring female mink (*Mustela vison*) [J]. Journal of Animal Science, 2017, 95(12): 5420-5429.
- [36] CUI H, ZHANG T T, NIE H, et al. Effects of different sources and levels of zinc on growth performance, nutrient digestibility, and fur quality of growing-furring male mink (*Mustela vison*) [J]. Biological Trace Element Research, 2018, 182(2): 257-264.
- [37] 周宁. 锌对水貂毛色基因表达及生产性能的影响[D]. 博士学位论文. 延边: 延边大学, 2015.
- [38] 周宁, 张海华, 严昌国, 等. 饲料锌水平对冬毛期水貂血清生化指标和脏器指数的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2014, 45(12): 1988-1994.
- [39] 刘志, 吴学壮, 郭强, 等. 饲料铜水平对冬毛期雌性蓝狐生长性能、营养物质消化率、血清生化指标及毛皮品质的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(6): 1841-1849.
- [40] LIU Z, WU X, ZHANG T, et al. Influence of dietary copper concentrations on growth performance, serum lipid profiles, antioxidant defenses, and fur quality in growing-furring male blue foxes (*Vulpes lagopus*) [J]. Journal of Animal Science, 2016, 94(3): 1095-1104.
- [41] LIU Z, WU X Z, ZHANG T T, et al. Effects of dietary copper and zinc supplementation on growth performance, tissue mineral retention, antioxidant status, and fur quality in growing-furring blue foxes (*Alopex lagopus*) [J]. Biological Trace Element Research, 2015, 168(5): 401-410.
- [42] 刘志. 生长期蓝狐饲料适宜铜水平和铜源的研究[D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2016.

Effects of Dietary Nutrients on Intestinal Health and Serum Biochemical Indexes of Minks and Foxes

ZHANG Tietao¹ YANG Fuhe¹ LI Guangyu¹ GAO Xiuhua^{2*}

(1. Institute of Special Animal and Plant Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130112, China;

2. Institute of Feed Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Minks, blue foxes and silver foxes were precious fur animals, also an important part of special livestock and poultry in China. Minks, blue foxes and silver foxes had the unique digestive tract structure and digestive and physiological characteristics, the time for chyme to pass through the gastrointestinal tract was very short, so maintaining their intestinal health was particularly important for improving growth performance and fur quality. Many studies have shown that adjusting the addition of amino acids, fatty acids, vitamins and minerals in the diet can improve the immunity and intestinal health of fur animals, which has important practical significance for the sustainable development of fur animal industry. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(10):4779-4784]

Key words: minks; foxes; gut health; immunity