

DOI:10.11686/cyxb2024345

http://cyxb.magtech.com.cn

王红林, 文斌, 左艳春, 等. 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔肠道形态、血液生化指标、肌肉中氨基酸含量及经济效益的影响. 草业学报, 2025, 34(8): 199—210.

WANG Hong-lin, WEN Bin, ZUO Yan-chun, *et al.* Effect of adding dietary whole-plant forage mulberry on the intestinal morphology, blood biochemical indicators, muscle amino acid content and economic return when raising Chuanbai rex rabbits. *Acta Prataculturae Sinica*, 2025, 34(8): 199—210.

全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔肠道形态、血液生化指标、肌肉中氨基酸含量及经济效益的影响

王红林^{1,2}, 文斌³, 左艳春^{1,2}, 张凯³, 吴子周^{1,2}, 严旭^{1,2}, 袁正才^{1,2}, 邓榆川⁴, 肖蕊⁵, 陈慧⁵, 寇晶^{1,2}, 傅祥超^{3*}, 杜周和^{1,2*}

(1. 四川省农业科学院特种经济动植物研究所, 四川南充 637000; 2. 四川省农业科学院蚕业研究所饲用作物种质创新与利用南充市重点实验室, 四川南充 637000; 3. 四川省草原科学研究院, 四川成都 611430; 4. 四川省草业技术研究推广中心, 四川成都 610041; 5. 南充市农业农村局, 四川南充 637000)

摘要:为探究添加不同比例全株饲料桑对川白獭兔肠道形态、血液生化指标、肌肉中氨基酸含量及经济效益的影响, 试验选用35日龄、体重相近[(1132.80±54.73)g]、健康状况良好的川白獭兔幼兔150只(公母各半), 随机分为5组, 每组30个重复, 每个重复1只试兔。分别饲喂对应5种全价饲料, 即饲料中分别添加0(对照)、6%、12%、18%和24%饲料桑。结果表明: 添加12%组回肠及十二指肠绒毛高度最高, 添加6%组回肠绒毛隐比显著高于对照组及添加24%组($P<0.05$); 添加12%组川白獭兔血液中单核细胞数目显著提高, 添加18%组淋巴细胞数目显著提高($P<0.05$); 添加24%组总胆固醇浓度显著低于对照及添加6%组, 添加24%组甘油三酯浓度显著低于对照及其他处理组($P<0.05$); 添加全株饲料桑对肌肉中氨基酸含量无显著影响($P>0.05$), 但随着添加比例的增加肌肉中肌苷酸含量显著增加($P<0.05$); 随着添加比例的增加饲料总成本逐渐降低, 毛利润逐渐提高。综上, 饲料中添加全株饲料桑可增加川白獭兔幼兔肠道绒毛高度, 降低血液中总胆固醇及甘油三酯浓度, 增加肌肉中肌苷酸含量, 提高经济效益。本试验条件下全株饲料桑用作川白獭兔幼兔的饲料原料时适宜添加量为24%。

关键词:全株饲料桑; 川白獭兔幼兔; 肠道形态; 血液生化指标; 氨基酸; 经济效益

Effect of adding dietary whole-plant forage mulberry on the intestinal morphology, blood biochemical indicators, muscle amino acid content and economic return when raising Chuanbai rex rabbits

WANG Hong-lin^{1,2}, WEN Bin³, ZUO Yan-chun^{1,2}, ZHANG Kai³, WU Zi-zhou^{1,2}, YAN Xu^{1,2}, YUAN Zheng-cai^{1,2}, DENG Yu-chuan⁴, XIAO Lian⁵, CHEN Hui⁵, KOU Jing^{1,2}, FU Xiang-chao^{3*}, DU Zhou-he^{1,2*}

1. Institute of Special Economic Animals and Plants, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Nanchong 637000, China; 2. Forage Crops Germplasm Innovation and Production Management Key Laboratory of Nanchong City, Sericulture Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Nanchong 637000, China; 3. Sichuan Academy of Grassland Science, Chengdu 611430, China; 4. Sichuan Grass Industry Technology Research and Promotion Center, Chengdu 610041, China; 5. Nanchong Bureau of Agricultural and Rural Affairs, Nanchong 637000, China

收稿日期: 2024-09-09; 改回日期: 2024-10-31

基金项目: 四川省财政自主创新专项(2022ZZCX086), 南充市推进乡村振兴项目(23XCZX0025), 四川省农业科学院“1+9”揭榜挂帅科技攻关项目(1+9KJGG004), 四川省“十四·五”育种攻关项目(2021YFYZ0024-2, 2021YFYZ0033)资助。

作者简介: 王红林(1989—), 男, 甘肃临洮人, 助理研究员, 硕士。E-mail: honglwsaas@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: 1912288481@qq.com, duzhouhe@126.com

Abstract: This experiment aimed to investigate the effects of adding dietary whole-plant forage mulberry (*Morus alba*) on the intestinal morphology, blood biochemical indicators, muscle amino acid content and economic return when raising Chuanbai rex rabbits. In all, 150 young Chuanbai rex rabbits (35 days old; half male and half female) with good health, and similar body weights (1132.80 ± 54.73 g) were selected and randomly divided into five groups with 30 replicates per group and 1 rabbit per replicate. The rabbits were fed with a complete feed combination with whole plant forage mulberry added to the basic diet at a ratio of 0, 6%, 12%, 18% and 24%. The results were as follows: The villus height in the ileum and duodenum of the 12%-addition-group was highest. The villus height/crypt depth in the 6% addition group was significantly higher than that in the control- and 24%-addition groups ($P < 0.05$). The addition of 12% whole-plant forage mulberry significantly increased the number of monocytes ($P < 0.05$), the addition of 18% whole-plant forage mulberry significantly increased the number of lymphocyte ($P < 0.05$). The total cholesterol concentration in the blood of the 24%-addition group was significantly lower than that of the control- and 6%-addition groups, and the triglyceride concentration in the 24%-addition group was significantly lower than that of the control and other treatment groups ($P < 0.05$). The addition of whole-plant forage mulberry had no significant effect on the amino acid content in muscle ($P > 0.05$), but the concentration of inosine monophosphate in muscle increased significantly with increase in the addition ratio of whole-plant mulberry ($P < 0.05$). Additionally, as the proportion of whole-plant forage mulberry increased, the total feed cost incrementally decreased, and the gross profit increased. In conclusion, the addition of whole-plant forage mulberry to the diet of young Chuanbai rex rabbits increased intestinal villus height, reduced blood total cholesterol and triglyceride levels, enhanced muscle inosine monophosphate content, and improved economic return. Under the experimental conditions, up to 24% whole-plant forage mulberry could be added without evident side effects.

Key words: dietary whole-plant forage mulberry; Chuanbai rex rabbit; intestinal morphology; blood biochemical indicators; amino acid; economic benefit

蛋白饲料短缺一直以来制约着我国畜牧业发展。2023年我国进口大豆(*Glycine max*)9941万t^[1],苜蓿(*Medicago Sativa*)干草100万t,优质蛋白饲草料缺口巨大。积极探索与开发新的蛋白饲料来源,是有效应对蛋白质资源紧缺挑战的关键策略。饲料桑(*Morus alba*)作为潜在的高蛋白饲用作物资源,近年来在畜禽饲料领域的应用引起人们广泛关注。2018年《饲料原料目录》^[2]确认桑可作为饲料原料,随后,农业农村部将饲料桑列为重点非粮蛋白饲料资源进行示范开发。2020年《关于促进畜牧业高质量发展的意见》中提出,因地制宜开发利用杂交构树(*Broussonetia papyrifera*)、饲料桑等区域特色饲草资源。饲料桑营养丰富,富含多种生理活性组分,对提高机体健康、改善肉品质有显著作用^[3-5]。侯启瑞等^[6]研究表明桑叶可以作为獭兔的部分替代饲料,仔獭兔饲料中桑叶粉的添加量以 $\leq 15\%$ 为宜,添加10%的桑叶粉可改善兔肉的风味品质。王崇洲等^[7]指出,饲料中添加10%~15%饲料桑茎叶粉能提高兔肌肉中风味物质的含量,改善肉品质。郭志强等^[8]研究表明,肉兔饲喂鲜桑叶辅以精料补充可显著提高日增重,增加兔肉风味物质,提高兔肉品质。饲料桑在蛋鸡、猪、牛等多种畜禽上的应用也得出类似的结论^[4,9-11]。然而,饲料桑在动物饲料添加方面虽然取得了一定进展,但是由于桑树品种、栽培措施、加工方式及畜禽种类等的不同导致所得结果有所差异,同时全株饲料桑在川白獭兔饲料中作为苜蓿及豆粕的替代效果还不清楚。鉴于此,本试验研究全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔肠道形态、血液生化指标、肌肉中氨基酸含量以及经济效益的影响,为全株饲料桑在家兔日粮配制中的添加量选择提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

饲料桑品种为川饲桑1号,于株高90cm左右时全株刈割后经烘干粉碎制成草粉。主要营养成分为(风干基

础):干物质(dry matter, DM)88.78%、粗蛋白(crude protein, CP)18.31%、中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)40.04%、酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)22.93%、粗脂肪(ether extract, EE)1.47%、粗灰分(crude ash, Ash)10.65%。

1.2 试验设计及饲养管理

试验于2022年12月在成都市大邑县四川省草原科学研究院草食家畜研究所进行。选择35日龄、健康状况良好、体重相近[(1132.80±54.73)g]、遗传背景相似的川白獭兔幼兔150只(公母各半),随机分为5组分别添加饲料桑,即对照组(无添加)、添加6%组、添加12%组、添加18%组和添加24%组,每组30只,每只为1个重复。对饲料中的原料进行常规营养成分测定后,参照《肉兔营养需要量》^[12](NY/T 4049-2021)设计饲料,饲料组成及营养水平如表1所示。试验兔专人饲养,自由采食、饮水,自然采光和通风,预试期7d,正试期32d。

表1 试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (dry matter basis)

原料 Ingredients (%)	对照 Control	6%	12%	18%	24%	²⁾ 营养成分 ²⁾ Nutrient level	对照 Control	6%	12%	18%	24%
玉米 Corn	18.00	18.00	20.00	20.00	23.00	消化能 Digestive energy (DE, MJ·kg ⁻¹)	9.49	9.45	9.47	9.49	9.51
麸皮 Wheat bran	13.00	11.00	8.00	8.00	4.00	粗蛋白质 CP (%)	15.95	15.79	15.80	15.74	15.96
豆粕 Soybean meal	17.00	16.00	16.00	15.00	16.00	淀粉 Starch (%)	14.93	14.63	15.33	15.26	16.35
苜蓿 Alfalfa	45.00	44.00	39.00	36.00	28.00	粗纤维 CF (%)	19.06	19.30	19.35	19.18	19.32
麸糠 Rice bran	6.00	4.00	4.00	2.00	4.00	中性洗涤纤维 NDF (%)	33.22	33.48	32.91	33.06	32.04
饲料桑 Forage mulberry	0.00	6.00	12.00	18.00	24.00	酸性洗涤纤维 ADF (%)	22.10	22.80	22.92	23.13	23.00
¹⁾ 预混料 ¹⁾ Premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	半纤维 Hemicellulose (%)	11.12	10.68	10.00	9.93	9.04
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	粗灰分 Ash (%)	7.09	7.24	7.22	7.26	7.17
						粗脂肪 EE (%)	2.34	2.82	3.28	3.78	4.23
						钙 Ca (%)	1.03	1.04	1.06	1.05	1.06
						总磷 TP (%)	0.50	0.49	0.49	0.49	0.52
						赖氨酸 Lys (%)	0.84	0.85	0.83	0.86	0.85
						蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys (%)	0.65	0.64	0.63	0.65	0.64

CP: Crude protein; CF: Crude fiber; NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber; Ash: Crude ash; EE: Ether extract; TP: Total phosphorus; Lys: Lysine; Met: Methionine; Cys: Cystine; ¹⁾预混料可为每kg饲料提供 The premix provides the following per kg of the diet: Fe (FeSO₄) 40 mg, Cu (CuSO₄) 30 mg, Zn (ZnSO₄) 20 mg, Mn (MnSO₄) 10 mg, Mg (MgSO₄) 20 mg, NaCl 4000 mg, V_A 900 IU, V_D 3600 IU, V_E 60 IU, 地克珠利 Diclazuril 10 mg. ²⁾消化能、赖氨酸和蛋氨酸+半胱氨酸为计算值,其余为实测值 Digestive energy, lysine and methionine+cystine were calculated values, while the others were measured values.

1.3 测定指标及方法

1.3.1 营养成分测定 分别参照 GB/T 6435-2014^[13]、GB/T 6438-2018^[14]、GB/T 6433-2006^[15]、GB/T 6438-2007^[16]、GB/T 20806-2022^[17]、NY/T 1459-2022^[18]、GB/T 6434-2022^[19]、GB/T 20194-2018^[20]和 NY/T 3494-2019^[21]测定 DM、CP、EE、Ash、NDF、ADF、粗纤维(crude fiber, CF)、淀粉(starch)和半纤维(hemicellulose)含量。

1.3.2 血样采集和指标测定 试验结束时,每组选8只试兔(公母各半),每只采集血液样本两份。1份采集于含有 EDTA-K₂的紫色采血管(河北翔远医疗器械股份有限公司),并于3h内完成血常规检测;另1份采集于促凝真空采血管,室温下静置20min,之后以3500 r·min⁻¹离心5min取血清,-20℃保存待测。

采用动物用全自动血液细胞分析仪(BC-2800vet,深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司)对血常规相关指标进行测定。检测项目包括白细胞数目(white blood cell count, WBC)、淋巴细胞数目(lymphocyte count, LYMPH)、单核细胞数目(number of monocytes, MONO)、中性粒细胞数目(number of neutrophils, GRAN)、淋巴细胞百分比(lymphocyte percentage, LYM, %)、单核细胞百分比(percentage of monocytes, MON)、中性粒细

胞百分比(neutrophil percentage, GRA)、血红蛋白含量(hemoglobin content, HGC)、红细胞数目(red blood cell count, RBC)、红细胞积压(erythrocytosis, HCT)、平均红细胞体积(average red blood cell volume, MCV)、平均红细胞血红蛋白含量(average hemoglobin content of red blood cells, MCH)、平均红细胞血红蛋白浓度(mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC)、红细胞分布宽度标准差值(red blood cell distribution width standard deviation value, RDWSD)、红细胞分布宽度变异系数(coefficient of variation of red blood cell distribution width, RDWCV)、血小板数目(platelet count, PLT)、血小板压积(platelet hematocrit, PCT)、平均血小板体积(average platelet volume, MPV)、血小板分布宽度(platelet distribution width, PDW)、大血小板比例(large platelet ratio, PLCR)。

采用全自动生化分析仪(Chemray 240/800,深圳雷杜生命科学股份有限公司)及长春汇力生物技术有限公司试剂盒测定血浆总蛋白(total protein, TP)、白蛋白(albumin, ALB)、球蛋白(globulin, GLB)、甘油三酯(triglyceride, TG)、尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)、谷丙转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)、天门冬氨酸氨基转移酶(aspartate aminotransferase, AST)、 γ -谷氨酰基转移酶(γ -glutamyltransferase, GGT)。采用美康生物科技股份有限公司试剂盒测定总胆固醇(total cholesterol, TC)。

1.3.3 消化器官形态 各组均选取8只接近平均体重的试验兔,屠宰后分离回肠和十二指肠,剪取肠段中部2~3 cm,用生理盐水将肠道内容物冲洗干净,于70%的FAA固定液(甲醛-乙酸-乙醇固定液 formalin-acetic acid-ethanol fixative)中常温固定48 h。后将固定好的组织按常规石蜡切片法^[22]制成石蜡切片,光学显微镜(Olympus-BX53,日本)下观察(倍数 4×10 ,标尺 $500\ \mu\text{m}$),测定回肠和十二指肠绒毛高度、隐窝深度值,并计算绒隐比(绒毛高度/隐窝深度)。

1.3.4 肌肉中氨基酸及肌苷酸含量测定 试验兔屠宰后,用手术刀取约20 g的腿肌肉,迅速装入自封袋内,4℃保存备测。参照GB 5009.124-2016^[23]测定氨基酸含量,参照T/NAIA 003-2020^[24]测定肌苷酸含量。

1.3.5 经济效益 试验所用玉米(*Zea mays*)单价为 $2.40\ \text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$,麸皮为 $1.50\ \text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$,豆粕为 $3.50\ \text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$,紫花苜蓿为 $3.5\ \text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$,苜蓿为 $0.50\ \text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$ (到场价格),饲料桑粉折合 $1.80\ \text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$,獭兔出售单价为 $26\ \text{元}\cdot\text{kg}^{-1}$ (参考2023年15周獭兔活兔价格),经济效益相关指标计算公式如下:

$$\text{饲料总成本}(\text{元}\cdot\text{只}^{-1}) = \text{饲料消耗量}(\text{kg}) \times \text{饲料单价}(\text{元})$$

$$\text{增重收入}(\text{元}\cdot\text{只}^{-1}) = \text{平均增重}(\text{g}) \times \text{活兔价格}(\text{元}\cdot\text{只}^{-1}) / 1000$$

$$\text{毛利润}(\text{元}\cdot\text{只}^{-1}) = \text{增重收入}(\text{元}\cdot\text{只}^{-1}) - \text{饲料总成本}(\text{元}\cdot\text{只}^{-1}) - \text{其他成本}(\text{元}\cdot\text{只}^{-1})$$

1.4 数据处理与分析

对试验数据用Microsoft Excel 2019进行初步分析,采用IBM SPSS Statistics 22.0软件进行单因素方差分析(one-way analysis of variance),Duncan氏法进行多重比较,以 $P < 0.05$ 表示具有显著性差异, $P > 0.05$ 表示差异不显著,结果用“平均值 \pm 标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔肠道形态的影响

随着全株饲料桑添加量的增加,回肠绒毛高度表现为先升高后降低的趋势(表2,图1),对照组绒毛高度为 $472.99\ \mu\text{m}$,添加24%组绒毛高度与对照组差异不显著($P > 0.05$),其余各添加组绒毛高度均显著($P < 0.05$)高于对照组。各组间隐窝深度差异不显著($P > 0.05$),对照组为 $98.10\ \mu\text{m}$,各添加组为 $96.59\sim 107.74\ \mu\text{m}$ 。绒隐比与绒毛高度的变化趋势基本一致,添加6%组绒隐比(5.78)显著($P < 0.05$)高于对照组(4.82)和添加24%组(4.26)。随着饲料桑添加量的增加,十二指肠绒毛高度表现为先升高后降低的趋势,对照组绒毛高度为 $1120.07\ \mu\text{m}$,添加12%组绒毛高度($1206.32\ \mu\text{m}$)显著($P < 0.05$)高于6%、18%和24%添加组,各添加组与对照组之间差异不显著($P > 0.05$)。添加12%和24%组隐窝深显著高于对照及其余添加组($P < 0.05$),对照组隐窝深度为 $95.47\ \mu\text{m}$,各添加组间隐窝深度为 $89.34\sim 106.19\ \mu\text{m}$ 。绒隐比与绒毛高度的变化趋势基本一致,各组间差异均不显著($P > 0.05$),添加12%组最高,为12.04,添加24%组绒隐比最低,为11.01。

表2 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔回肠和十二指肠形态的影响

Table 2 Effect of whole-plant forage mulberry addition on the morphology of the ileum and duodenum in young Chuanbai rex rabbit (μm)

组织 Tissue	项目 Item	对照 Control	6%	12%	18%	24%
回肠 Ileum	绒毛高度 Villus height (V)	472.99±21.33b	544.80±16.88a	556.50±19.72a	525.76±13.15a	432.84±24.76b
	隐窝深度 Crypt depth (C)	98.10±3.94a	96.59±4.04a	100.83±4.96a	107.47±8.07a	107.74±6.36a
	V/C	4.82±0.23bc	5.78±0.23a	5.73±0.37ab	5.06±0.34abc	4.26±0.28c
十二指肠 Duodenum	绒毛高度 Villus height	1120.07±32.86ab	1030.86±24.33b	1206.32±29.28a	1086.62±30.36b	1086.58±20.64b
	隐窝深度 Crypt depth	95.47±8.64b	89.34±6.02c	100.20±5.05a	93.14±4.62b	106.19±6.85a
	V/C	11.73±0.41a	11.54±0.69a	12.04±0.93a	11.67±0.83a	11.01±0.66a

注：同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)，下同。

Note: Different lowercase letters within the same row indicate significant differences at 0.05 level, the same below.

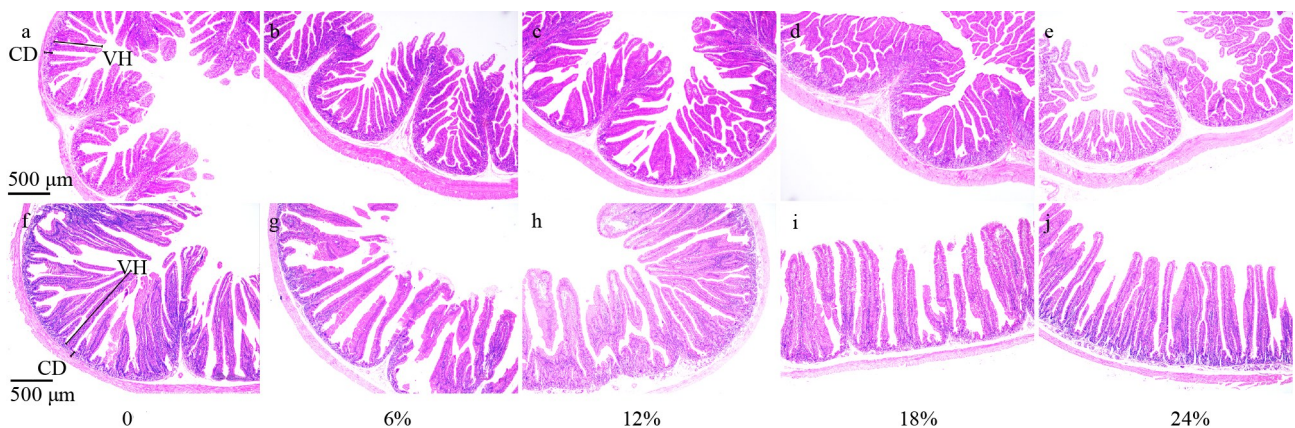


图1 添加不同比例全株饲料桑条件下川白獭兔幼兔回肠及十二指肠石蜡切片(4×10)

Fig. 1 Paraffin sections of the ileum and duodenum of young Chuanbai rex rabbit under different proportions of whole-plant forage mulberry conditions (4×10)

a~e: 回肠 Ileum; f~j: 十二指肠 Duodenum; VH: 绒毛高度 Villus height; CD: 隐窝深度 Crypt depth.

2.2 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔血常规指标的影响

添加12%组白细胞数目最多,为 11.03×10^9 个 $\cdot\text{L}^{-1}$,显著($P < 0.05$)高于对照及其他处理组(表3),其余各组间无显著差异($P > 0.05$)。添加18%组淋巴细胞数目及淋巴细胞百分比变化趋势相同,均显著($P < 0.05$)高于对照及各处理组。添加12%组单核细胞数目最高,为 1.23×10^9 个 $\cdot\text{L}^{-1}$,显著($P < 0.05$)高于对照及其余各处理组,对照组最低,为 0.35×10^9 个 $\cdot\text{L}^{-1}$ 。单核细胞百分比变化趋势与其数目变化趋势相同,添加12%组最高,为10.90%,显著($P < 0.05$)高于对照及各处理组。对照组红细胞分布宽度标准差值最高,为40.50 fL,显著($P < 0.05$)高于添加12%和18%组,其中添加12%组最低,为37.00 fL。其余各血常规指标均无显著($P > 0.05$)差异。

2.3 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔血液生化指标的影响

各组间白蛋白含量无显著差异($P > 0.05$,表4)。添加24%组球蛋白含量($36.56 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)最高,显著高于添加6%组($P < 0.05$),添加6%组最低($32.98 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$),对照组与所有添加组差异不显著($P > 0.05$)。24%添加组总蛋白含量($59.06 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)显著($P < 0.05$)高于6%和18%组,对照组与所有添加组差异不显著($P > 0.05$),添加18%组最低($56.02 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)。添加全株饲料桑可显著($P < 0.05$)降低獭兔血液中总胆固醇浓度,且随添加比例的升高血液中总胆固醇浓度逐渐降低,对照组总胆固醇浓度($1.83 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)显著($P < 0.05$)高于各添加组,添加24%组含量最低($0.84 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)。各处理组甘油三酯浓度均低于对照组($1.09 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$),且随着添加比例的

表3 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔血常规指标的影响

Table 3 Effects of whole-plant forage mulberry addition on blood routine parameters of young Chuanbai rex rabbits

项目 Items	对照 Control	6%	12%	18%	24%
白细胞数目 White blood cell count ($\times 10^9 \cdot L^{-1}$)	7.30 \pm 0.65b	7.88 \pm 1.95b	11.03 \pm 1.10a	9.00 \pm 1.23b	9.63 \pm 1.31b
淋巴细胞数目 Lymphocyte count ($\times 10^9 \cdot L^{-1}$)	0.55 \pm 0.02c	1.73 \pm 0.06b	1.90 \pm 0.06b	3.08 \pm 0.08a	1.70 \pm 0.07b
淋巴细胞百分比 Lymphocyte percentage (%)	7.70 \pm 0.90c	21.00 \pm 2.83b	17.20 \pm 1.33b	32.12 \pm 3.07a	6.57 \pm 1.12c
单核细胞数目 Number of monocytes ($\times 10^9 \cdot L^{-1}$)	0.35 \pm 0.02d	0.65 \pm 0.01c	1.23 \pm 0.17a	0.68 \pm 0.23c	0.83 \pm 0.17b
单核细胞百分比 Percentage of monocytes (%)	4.15 \pm 0.61c	8.10 \pm 3.39b	10.90 \pm 0.79a	7.24 \pm 1.76b	8.97 \pm 2.93b
中性粒细胞数目 Number of neutrophils ($\times 10^9 \cdot L^{-1}$)	6.35 \pm 0.45a	5.45 \pm 0.47a	7.87 \pm 0.01a	5.18 \pm 0.36a	8.03 \pm 0.84a
中性粒细胞百分比 Percentage of neutrophils (%)	88.15 \pm 1.51a	70.90 \pm 4.24a	71.90 \pm 8.22a	60.64 \pm 2.67a	84.47 \pm 2.96a
血红蛋白含量 Hemoglobin content ($g \cdot dL^{-1}$)	111.55 \pm 4.53a	111.28 \pm 10.19a	103.23 \pm 8.24a	110.54 \pm 4.82a	101.07 \pm 6.66a
红细胞数目 Red blood cell count ($\times 10^{12} \cdot L^{-1}$)	5.39 \pm 0.17a	5.62 \pm 0.52a	5.15 \pm 0.72a	5.47 \pm 0.31a	5.21 \pm 0.41a
红细胞积压 Erythrocytosis (%)	42.30 \pm 1.80a	42.50 \pm 3.68a	38.80 \pm 4.65a	42.14 \pm 2.07a	39.10 \pm 2.49a
平均红细胞体积 Average red blood cell volume (fL)	78.55 \pm 0.78a	75.83 \pm 0.82a	75.70 \pm 2.54a	77.10 \pm 1.62a	75.23 \pm 2.73a
平均红细胞血红蛋白含量 MCH (pg)	20.65 \pm 0.20a	19.78 \pm 0.91a	20.20 \pm 1.42a	20.18 \pm 0.84a	19.40 \pm 0.99a
平均红细胞血红蛋白浓度 MCHC ($g \cdot dL^{-1}$)	263.50 \pm 5.41a	261.50 \pm 6.29a	266.67 \pm 11.32a	262.20 \pm 10.34a	258.00 \pm 3.74a
红细胞分布宽度标准差 RDWSD (fL)	40.50 \pm 0.41a	38.00 \pm 0.71ab	37.00 \pm 1.63b	37.40 \pm 1.74b	38.00 \pm 1.63ab
红细胞分布宽度变异系数 RDWCV	12.85 \pm 0.29a	12.48 \pm 0.25a	12.13 \pm 0.12a	12.08 \pm 0.44a	12.57 \pm 0.29a
血小板数目 Platelet count ($\times 10^9 \cdot L^{-1}$)	181.50 \pm 9.49a	194.25 \pm 17.76a	115.67 \pm 7.38a	123.40 \pm 12.38a	171.67 \pm 16.18a
血小板积压 Platelet hematocrit (%)	0.19 \pm 0.10a	0.18 \pm 0.17a	0.12 \pm 0.04a	0.12 \pm 0.05a	0.17 \pm 0.12a
平均血小板体积 Average platelet volume (fL)	10.35 \pm 0.04a	9.80 \pm 0.63a	10.60 \pm 0.50a	9.94 \pm 0.45a	9.83 \pm 0.29a
血小板分布宽度 Platelet distribution width (%)	15.15 \pm 1.12a	13.70 \pm 2.88a	16.27 \pm 2.41a	15.06 \pm 2.88a	13.83 \pm 1.98a
大血小板比例 Large platelet ratio	23.25 \pm 1.10a	22.75 \pm 4.41a	24.90 \pm 4.46a	23.00 \pm 1.74a	22.27 \pm 2.99a

增加呈降低趋势,添加24%组最低(0.67 mmol \cdot L⁻¹)。各组间尿素氮浓度无显著差异($P>0.05$)。谷丙转氨酶活性以对照组最高(75.86 U \cdot L⁻¹),显著($P<0.05$)高于添加12%、18%和24%组,与添加6%组差异不显著($P>0.05$)。对照组碱性磷酸酶活性最高(166.35 U \cdot L⁻¹),显著($P<0.05$)高于添加12%、18%和24%组,添加12%组最低(134.57 U \cdot L⁻¹)。6%和24%添加组 γ -谷氨酰基转移酶活性显著($P<0.05$)高于对照及其余添加组,添加18%组活性最低(1.77 U \cdot L⁻¹)。天门冬氨酸氨基转移酶活性随添加比例的升高呈上升趋势,其中以18%添加组活性最高(34.65 U \cdot L⁻¹),显著($P<0.05$)高于对照及添加6%和12%组,与添加24%组差异不显著($P>0.05$)。

2.4 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔肌肉中氨基酸及肌苷酸含量的影响

添加全株饲料桑对川白獭兔幼兔肌肉中氨基酸含量及氨基酸总量无显著影响($P>0.05$,表5)。添加全株饲料桑可显著提高肌肉中肌苷酸含量($P<0.05$),随着添加比例的增加肌苷酸含量逐渐增加,添加24%组肌苷酸含量最高,为1.38 mg \cdot g⁻¹,显著高于对照及其他添加组($P<0.05$)。

2.5 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔经济效益的影响

随着全株饲料桑添加比例的增加饲料消耗量、饲料单价和饲料总成本整体呈降低趋势,毛利润整体呈上升趋势,添加24%组毛利润最高,为9.57元 \cdot 只⁻¹(表6)。

3 讨论

3.1 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔肠道组织形态的影响

绒隐比可综合反映肠道消化吸收能力的强弱,绒毛高度越高隐窝越浅,肠道的消化吸收能力越强,生长速度越快^[25]。黄静等^[9]研究表明,使用发酵桑枝叶粉可明显提高蛋鸡回肠绒毛高度及绒隐比。本试验结果与其相似,

表4 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔血液生化指标的影响

Table 4 Effects of whole-plant forage mulberry addition on blood biochemical parameters of young Chuanbai rex rabbits

项目 Item	对照 Control	6%	12%	18%	24%
白蛋白 Albumin ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	23.20±0.69a	23.27±0.62a	22.95±0.48a	22.29±0.55a	23.50±0.62a
球蛋白 Globulin ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	34.80±0.85ab	32.98±0.92b	35.16±0.73ab	33.73±0.82ab	36.56±0.76a
总蛋白 Total protein ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	58.00±1.48ab	56.25±1.88b	58.11±1.38ab	56.02±1.27b	59.06±1.72a
总胆固醇 Total cholesterol ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.83±0.07a	1.39±0.09b	1.19±0.09bc	0.94±0.06bc	0.84±0.08c
甘油三酯 Triglyceride ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.09±0.06a	1.00±0.03ab	0.87±0.05b	0.76±0.04b	0.67±0.04c
尿素氮 Urea nitrogen ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	6.97±0.26a	6.78±0.27a	6.66±0.15a	6.78±0.22a	6.56±0.26a
谷丙转氨酶 Alanine aminotransferase ($\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$)	75.86±2.87a	73.73±1.35a	69.68±2.46b	69.97±1.42b	67.76±2.77c
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase ($\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$)	166.35±2.05a	162.22±3.09ab	134.57±4.58e	140.29±3.39d	152.68±2.77c
γ -谷氨酰基转移酶 γ -glutamyltransferase ($\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.86±0.06b	2.13±0.09a	1.92±0.09b	1.77±0.13b	2.27±0.13a
天门冬氨酸氨基转移酶 Aspartate aminotransferase ($\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$)	23.61±0.71c	26.91±0.60b	26.01±0.80b	34.65±0.67a	31.30±0.48a

表5 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔腿肌中氨基酸及肌苷酸含量的影响

Table 5 Effects of whole-plant forage mulberry addition on amino acids and inosine contents in young Chuanbai rex rabbits leg muscles

氨基酸 Amino acid	对照 Control	6%	12%	18%	24%
天门冬氨酸 Aspartate ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	1.86±0.02a	1.83±0.01a	1.88±0.02a	1.87±0.03a	1.86±0.02a
苏氨酸 Threonine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	0.86±0.01a	0.85±0.03a	0.88±0.02a	0.86±0.01a	0.87±0.01a
丝氨酸 Serine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	0.75±0.01a	0.74±0.03a	0.77±0.01a	0.76±0.02a	0.74±0.01a
谷氨酸 Glutamate ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	3.04±0.01a	2.99±0.09a	3.05±0.04a	3.00±0.06a	3.04±0.01a
甘氨酸 Glycine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	0.91±0.02a	0.89±0.02a	0.94±0.03a	0.94±0.04a	0.90±0.03a
丙氨酸 Alanine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	1.10±0.00a	1.08±0.02a	1.11±0.01a	1.09±0.03a	1.09±0.01a
缬氨酸 Valine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	0.98±0.01a	0.96±0.02a	0.97±0.01a	0.95±0.02a	0.98±0.01a
蛋氨酸 Methionine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	0.36±0.01a	0.36±0.03a	0.35±0.02a	0.34±0.04a	0.34±0.02a
异亮氨酸 Isoleucine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	0.94±0.01a	0.92±0.03a	0.93±0.01a	0.91±0.02a	0.95±0.01a
亮氨酸 Leucine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	1.57±0.01a	1.54±0.05a	1.57±0.01a	1.55±0.04a	1.57±0.01a
酪氨酸 Tyrosine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	0.62±0.01a	0.61±0.01a	0.61±0.01a	0.61±0.03a	0.60±0.01a
苯丙氨酸 Phenylalanine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	0.78±0.01a	0.77±0.02a	0.77±0.01a	0.78±0.04a	0.78±0.00a
组氨酸 Histidine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	0.88±0.01a	0.86±0.02a	0.88±0.01a	0.90±0.02a	0.89±0.02a
赖氨酸 Lysine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	1.76±0.01a	1.73±0.05a	1.75±0.02a	1.72±0.04a	1.75±0.01a
精氨酸 Arginine ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	1.27±0.01a	1.23±0.03a	1.27±0.01a	1.25±0.04a	1.25±0.01a
脯氨酸 Proline ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	0.85±0.12a	0.77±0.05a	0.79±0.03a	0.81±0.02a	0.76±0.02a
氨基酸总量 Total amount of amino acids ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	18.50±0.00a	18.10±0.40a	18.50±0.10a	18.30±0.40a	18.37±0.06a
肌苷酸含量 Inosine acid content ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	1.09±0.01d	1.15±0.06c	1.17±0.03c	1.22±0.04b	1.38±0.06a

当添加比例不超过18%时可不同程度地提高回肠绒毛高度、隐窝深度及绒隐比,推测添加一定量的全株饲料桑可以增加肠道吸收面积,改善川白獭兔肠道的消化吸收能力。当动物获得充足的营养时,肠道绒毛可能会更加发达,以提高营养物质的吸收效率,此时绒隐比可能会升高。然而,如果营养摄入不平衡,肠道绒毛可能会受损或发育不良,导致绒隐比降低^[26]。本研究中当添加量达到24%时绒隐比较对照组降低,推测可能是随着添加量的增加饲料中抗营养因子增加使营养摄入不平衡而引起绒隐比降低。十二指肠在消化过程中起着至关重要的作用。王永昌^[27]研究表明,桑叶粉添加量对清远鹅十二指肠绒毛高度无显著影响,但各试验组空肠、回肠的绒毛高度及空肠隐窝深度均有一定程度的提高。本试验中添加全株饲料桑后川白獭兔幼兔十二指肠绒毛高度大体表现为降低趋势,其中添加12%组十二指肠绒毛高度最大,但与对照组差异不显著,隐窝深度在添加24%组最高,绒隐比

表6 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔经济效益的影响

Table 6 Effects of whole-plant forage mulberry addition on the economic benefits of young Chuanbai rex rabbits

项目 Item	对照 Control	6%	12%	18%	24%
饲料消耗量 Feed consumption (kg·rabbit ⁻¹)	4.76	4.48	4.27	4.40	4.37
饲料单价 Feed unit price (CNY·kg ⁻¹)	2.89	2.89	2.82	2.78	2.60
饲料总成本 Feed total price (CNY·rabbit ⁻¹)	13.75	12.91	12.04	12.23	11.37
其他成本 Other costs (CNY·rabbit ⁻¹)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
平均增重 Average weight gain (g·rabbit ⁻¹)	1209.00	1193.00	1167.00	1183.00	1190.00
增重收入 Weight gain income (CNY·rabbit ⁻¹)	31.43	31.02	30.34	30.76	30.94
毛利润 Gross margin (CNY·rabbit ⁻¹)	7.68	8.10	8.31	8.53	9.57

各组间无显著差异。综合表明添加全株饲料桑对川白獭兔幼兔肠道形态有一定影响,且对十二指肠的影响强于回肠。

3.2 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔血常规指标的影响

血常规指标是评估动物机体生理状态的重要指标,其不仅可提供关于机体代谢活动的直接线索,还能有效揭示动物是否处于应激状态^[28]。白细胞是动物机体重要的免疫细胞。尹福泉等^[29]在研究不同精粗饲料比对雷州山羊血常规指标影响时发现,白细胞数量随饲料精料比例的提高而显著降低。与之相反,本试验中各添加组白细胞数目均高于对照组,但仍处于正常范围内 $[(7.88\sim 11.03)\times 10^9\text{个}\cdot\text{L}^{-1}]$,这可能与全株饲料桑中的黄酮类化合物、生物碱等活性物质促进骨髓中白细胞的生成,从而增加血液中白细胞的数量有关^[30]。淋巴细胞数目是评估免疫系统功能的重要指标之一,数量越高表明宿主免疫机能越强^[31]。冯星等^[28]研究表明,添加富硒酵母可刺激机体产生淋巴细胞,从而使淋巴细胞维持正常水平。本试验中各处理组淋巴细胞数目均显著高于对照组,说明添加饲料桑可能具有促进淋巴细胞增殖的能力,从而有助于增强机体的免疫功能。单核细胞是机体防御系统的一个重要组成部分,它们能吞噬异物并产生抗体,在机体损伤治愈、抵御病原的入侵和对疾病的免疫方面起着重要的作用^[32]。Zhang等^[33]研究表明,在限饲妊娠母羊饲料中添加 $2.5\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ 的N-氨甲酰谷氨酸可显著提高血液中单核细胞数量。本试验结果与其类似,各处理组单核细胞数目均显著高于对照组,推测添加全株饲料桑可能会促进单核细胞的增殖、分化,具体作用机理需进一步研究。

3.3 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔血液生化指标的影响

球蛋白具有免疫调节、抗感染和保护机体的作用,可以与抗原结合,形成抗原-抗体复合物,从而消除体内的病原体。本研究中当添加量为24%时,獭兔血液中球蛋白含量最高,表明饲料中添加全株饲料桑可能促进了獭兔血液蛋白代谢。胆固醇和甘油三酯是反映机体脂代谢情况的重要指标,本研究中随着添加量的增加二者均呈逐渐降低的趋势。这与王道营等^[34]在蛋鸡中的报道类似。其原因可能是桑叶中的生物碱参与了调控机体中碳水化合物、脂肪、蛋白质的代谢^[35]。血液中谷丙转氨酶、碱性磷酸酶对于评估肝脏健康状况具有重要作用。本试验中随着添加量的增加谷丙转氨酶活性呈下降趋势,推测添加饲料桑对肝脏健康有一定的促进作用。另外,肝脏是脂质代谢的关键器官,结合本试验甘油三酯等的变化趋势来看,全株饲料桑对脂质代谢的调节可能是其肝脏保护功能的另一种表现形式^[36]。谷丙转氨酶可促进机体的蛋白质合成,王乐乐等^[37]利用发酵木屑菌糠饲喂绵羊,结果表明添加组谷丙转氨酶活性均低于对照组,说明利用不同水平木屑菌糠饲喂绵羊对绵羊肝脏和心脏均无不利影响。本试验结果与其类似,随着添加量的增加谷丙转氨酶活性逐渐降低。天门冬氨酸氨基转移酶参与蛋白质代谢和能量生成。本研究中各添加组活性均高于对照组但仍在参考范围内 $(26.91\sim 34.65\text{U}\cdot\text{L}^{-1})$,表明全株饲料桑在蛋白质和脂肪代谢方面具有重要作用。这与唐艾嘉^[38]的研究结果类似。

3.4 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔肌肉中氨基酸及肌苷酸含量的影响

肉类蛋白的营养价值及其风味特征均与其氨基酸的组成和人体对其的消化能力紧密相关。本试验表明,全株饲料桑添加组獭兔肌肉中的氨基酸组成和氨基酸总量与对照组间无显著差异,这与侯启瑞等^[6]利用桑叶饲喂

獭兔的研究结果相似。肌苷酸是一种天然存在的芳香族化合物,又称为次黄嘌呤核苷酸或次黄苷酸。目前,众多国家已将肌苷酸视为评价肉类品质、风味鲜美度及新鲜程度的关键指标之一。郭志强等^[8]研究表明,兔饲料中添加鲜桑叶后兔肉中的风味物质肌苷酸含量显著增加。兰翠英等^[39]和李伟玲^[40]在肉鸡和肉羊中的研究也表明,饲料中添加桑叶粉能显著增加肌肉中肌苷酸的含量,改善肉的风味品质。本研究结果与以上研究一致。

3.5 全株饲料桑添加量对川白獭兔幼兔经济效益的影响

苜蓿作为优质的纤维和蛋白来源,一直以来都是獭兔日粮中的主要原料。但我国南方地区夏季高温多湿,苜蓿产量和品质大受影响,大宗的苜蓿需求均依赖于北方采购,远距离运输显著增加了养殖成本,寻找新的可替代优质草粉资源对于獭兔业发展迫在眉睫^[41]。饲料桑经草本化栽培后连枝带叶收获,具有生物产量高、营养丰富特点,是我国南方地区优质植物蛋白饲料来源之一^[42]。本研究表明,添加全株饲料桑可降低饲料成本、增加毛利润,与对照组相比添加组饲料单价降低,降幅为0~10.03%,添加量越高饲料单价越低。饲料总成本也随添加量的增加而降低,降幅为6.11%~17.31%,添加量越高降幅越大。毛利润随添加量增加而增加,增量分别为5.47%、8.20%、11.07%和24.61%。该结果与王瑶等^[43]用蛋白桑青贮替代全株玉米青贮饲喂育肥湖羊的研究结果相类似。

4 结论

1) 饲料中添加不同比例的全株饲料桑可在一定程度增加川白獭兔幼兔肠道绒毛高度,提高肠道消化吸收能力。2) 饲料中添加不同比例的全株饲料桑可降低川白獭兔幼兔血液中胆固醇及甘油三酯浓度,增加淋巴细胞和单核细胞数目。3) 饲料中添加不同比例的全株饲料桑对川白獭兔幼兔肌肉中氨基酸总量无显著影响,但可增加其肌肉中肌苷酸含量,改善肌肉风味。4) 添加24%组饲料成本最低,经济效益最高。

参考文献 References:

- [1] Zheng Z T. Review of domestic and international soybean markets in 2023 and outlook for 2024. *Heilongjiang Grain*, 2024(2): 23–26.
郑祖庭. 2023年国内外大豆市场回顾及2024年展望. *黑龙江粮食*, 2024(2): 23–26.
- [2] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Feed ingredient directory (revised in 2018). Beijing: Issued by the 22nd Announcement of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2018.
中华人民共和国农业农村部. 饲料原料目录(2018年修订). 北京: 中华人民共和国农业农村部公告第22号, 2018.
- [3] Du Z H, Zuo Y C, Yan X, *et al.* Physiological activation and feed value of mulberry for livestock and poultry. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 26(10): 227–236.
杜周和, 左艳春, 严旭, 等. 饲料桑生理活性物质及其饲用价值. *草业学报*, 2017, 26(10): 227–236.
- [4] Liu D, Ding Z Z, Hu L, *et al.* Effect of fermented mulberry leaves replacing basic diet on growth performance, serum biochemical indexes, nutrient apparent digestibility and meat quality of finishing pigs. *Feed Research*, 2023, 46(15): 17–22.
刘冬, 丁兆忠, 胡蕾, 等. 发酵桑叶替代基础日粮对育肥猪生长性能、血清生化指标、养分表观消化率及肉品质的影响. *饲料研究*, 2023, 46(15): 17–22.
- [5] Wen P, Hu T G, Linhardt R J. Mulberry: a review of bioactive compounds and advanced processing technology. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 83: 138–158.
- [6] Hou Q R, Tao L L, Zhao W G, *et al.* Production performance of rex rabbit feeding on diets containing different proportions of mulberry leaf powder. *Science of Sericulture*, 2016, 42(3): 500–506.
侯启瑞, 陶璐璐, 赵卫国, 等. 饲料中桑叶粉添加量对獭兔生产性能的影响. *蚕业科学*, 2016, 42(3): 500–506.
- [7] Wang C Z, Chen B J, Li Z H, *et al.* Effect of stem and leaf feed of mulberry on performance, serum biochemical indexes and meat quality of meat rabbits. *Feed Research*, 2021, 44(4): 51–55.
王崇洲, 陈宝剑, 李正欢, 等. 饲用桑茎叶粉对肉兔生产性能、生化指标及肉品质的影响. *饲料研究*, 2021, 44(4): 51–55.
- [8] Guo Z Q, Mei X L, Lei M, *et al.* Fresh mulberry leaves-supplemented diets on performance and meat quality of rabbit. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 30(1): 215–221.
郭志强, 梅秀丽, 雷岷, 等. 饲料补充鲜桑叶对肉兔生产性能和肉品质的影响. *西南农业学报*, 2017, 30(1): 215–221.
- [9] Huang J, Zhao N, Guo W Z, *et al.* Effects of fermented mulberry branch and leaf meal on production performance, egg quality

and intestinal tissue morphology of laying hens. *Acta Agrestia Sinica*, 2024, 32(4): 1259—1266.

黄静, 赵娜, 郭万正, 等. 发酵桑枝叶粉对蛋鸡生产性能、蛋品质、肠道组织形态的影响. *草地学报*, 2024, 32(4): 1259—1266.

- [10] Ye T M, Li X, Xiao J Z, *et al.* Effects of fermented mulberry leaf powder supplementation in diets on growth performance, serum biochemistry, and antioxidant status of growing pigs. *China Sericulture*, 2023, 44(1): 39—43.
叶添梅, 李霞, 肖建中, 等. 生长猪饲料中添加发酵桑叶粉对生长性能和血清生化及抗氧化性能的影响. *中国蚕业*, 2023, 44(1): 39—43.
- [11] Luo Y, Li H B, Xiao J Z, *et al.* Effects of fermented mulberry leaves on serum biochemical, antioxidant and immune indexes of Xiangxi yellow cattle×Limousin hybrid F₁ fattening bulls. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(10): 4914—4921.
罗阳, 李昊帮, 肖建中, 等. 发酵桑叶对湘西黄牛×利木赞杂交F₁代育肥牛血清生化、抗氧化及免疫指标的影响. *动物营养学报*, 2020, 32(10): 4914—4921.
- [12] Li F C, Xie X H, Liu L, *et al.* Nutrient requirements of meat rabbit: NY/T 4049-2021. Beijing: China Standard Press, 2021.
李福昌, 谢晓红, 刘磊, 等. 肉兔营养需要量: NY/T 4049-2021. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [13] Meng F S, Zhang S, Liang M, *et al.* Determination of moisture in feedstuffs: GB/T 6435-2014. Beijing: China Standard Press, 2014.
孟凡胜, 张苏, 梁萌, 等. 饲料中水分的测定: GB/T 6435-2014. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [14] Xiao Z M, Fan X, Ma D X, *et al.* Determination of crude protein in feed: GB/T 6432-2018. Beijing: China Standard Press, 2018.
肖志明, 樊霞, 马东霞, 等. 饲料中粗蛋白的测定: GB/T 6432-2018. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [15] Zhang S, Li L P, Su X O, *et al.* Determination of crude fat in feeds: GB/T 6433-2006. Beijing: China Standard Press, 2006.
张苏, 李丽蓓, 苏晓鸥, 等. 饲料中粗脂肪的测定: GB/T 6433-2006. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [16] Wu R X, Yang L, He Y F, *et al.* Determination of crude ash content in feed: GB/T 6438-2007. Beijing: China Standard Press, 2007.
武润仙, 杨林, 何一帆, 等. 饲料中粗灰分的测定: GB/T 6438-2007. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [17] Zhang F P, Zhang Y, Zhang R, *et al.* Determination of neutral detergent fiber(NDF) in feeds: GB/T 20806-2022. Beijing: China Standard Press, 2022.
张凤枰, 张芸, 张茹, 等. 饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定: GB/T 20806-2022. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [18] Yang F S, Song J, Zhang F P, *et al.* Determination of acid detergent fiber in feed: NY/T 1459-2022. Beijing: China Standard Press, 2022.
杨发树, 宋军, 张凤枰, 等. 饲料中酸性洗涤纤维的测定: NY/T 1459-2022. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [19] Zhang W, Zhang F P, Du Y X, *et al.* Determination of crude fiber in feed: GB/T 6434-2022. Beijing: China Standard Press, 2022.
张玮, 张凤枰, 杜亚欣, 等. 饲料中粗纤维的含量测定: GB/T 6434-2022. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [20] Huang T, Wang S S, Gao J F, *et al.* Determination of starch in feeds—polarimetry: GB/T 20194-2018. Beijing: China Standard Press, 2018.
黄婷, 王思思, 高俊峰, 等. 动物饲料中淀粉含量的测定—旋光法: GB/T 20194-2018. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [21] Han L J, Xiao W H, Liu X, *et al.* Agricultural biomass raw materials-determination of cellulose, hemicellulose, and lignin: NY/T 3494-2019. Beijing: China Standard Press, 2019.
韩鲁佳, 肖卫华, 刘贤, 等. 农业生物质原料纤维素、半纤维素、木质素测定: NY/T 3494-2019. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [22] Li Y Q, Song Y Z, Shi H T, *et al.* Effects of fermented astragalus on the number of epithelial goblet cells and expression of MUC2 gene in small intestinal mucosa of broilers. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2024, 45(7): 35—40.
李月勤, 宋予震, 史洪涛, 等. 发酵黄芪对肉鸡小肠黏膜上皮杯状细胞数量及MUC2基因表达的影响. *家畜生态学报*, 2024, 45(7): 35—40.
- [23] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National standard for food safety determination of amino acids in food, GB 5009.124-2016. Beijing: National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration, 2016.
中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定, GB 5009.124-2016. 北京: 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局, 2016.

- [24] Xin G S, Bu J J, Liu H, *et al.* Determination of inosine and inosinic acid in muscle high performance liquid chromatography: T/NAIA 003-2020. Yinchuan: Ningxia Analytical and Testing Association of Chemistry, 2020.
辛国省, 卜姣姣, 刘辉, 等. 肌肉中肌苷 肌苷酸的测定高效液相色谱法: T/NAIA 003-2020. 银川: 宁夏化学分析测试协会, 2020.
- [25] Wang M, Yang C, Wang Q Y, *et al.* The growth performance, intestinal digestive and absorptive capabilities in piglets with different lengths of small intestines. *Animal*, 2020, 14(6): 1196–1203.
- [26] Zhou W T. The application effects of nanoselenium in hen production and the mechanism. Hangzhou: Zhejiang University, 2021.
周雯婷. 纳米硒在蛋鸡生产中的应用效果及机理研究. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [27] Wang Y C. Study on the feeding values of mulberry leaves power in geese diets. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.
王永昌. 桑叶粉对鹅饲用价值的研究. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [28] Feng X, He S J, Liu D Y. Effects of dietary adding selenium-rich yeast on weight, blood routine, serum biochemical indexes and antioxidant function of Wandong cattle in summer. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(8): 5116–5125.
冯星, 贺绍君, 刘德义. 夏季饲料中添加富硒酵母对皖东黄牛体重、血常规、血清生化指标和抗氧化功能的影响. *动物营养学报*, 2022, 34(8): 5116–5125.
- [29] Yin F Q, Wu Z M, Wang Z J, *et al.* Effects of different concentrate to forage ratio on growth performance, blood biochemistry and rumen microbial diversity of Leizhou goats. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2018, 38(1): 80–86.
尹福泉, 吴征敏, 王志敬, 等. 不同精粗比饲料对雷州山羊生长性能、血液生化指标和瘤胃微生物多样性的影响. *广东海洋大学学报*, 2018, 38(1): 80–86.
- [30] Zhang P, Yang J, Gao X, *et al.* Research progress on the anti-inflammatory effects and mechanisms of flavonoids. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2018, 50(2): 134–137.
张鹏, 杨杰, 高翔, 等. 黄酮类化合物抗炎作用及其作用机制研究进展. *畜牧与兽医*, 2018, 50(2): 134–137.
- [31] Raycoquard I, Cropet C, Van G M, *et al.* Lymphopenia as a prognostic factor for overall survival in advanced carcinomas, sarcomas and lymphomas. *Cancer Research*, 2009, 69(13): 5383–5391.
- [32] Yang X L, Ding C G, Li J X, *et al.* Effects of N-carbamylglutamic on growth performance, blood routine indexes and plasma antioxidant and immune indexes of female Hu sheep at different physiological stages. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2024, 36(7): 4473–4485.
杨兴林, 丁常根, 李金昕, 等. N-羧基谷氨酸对不同生理阶段湖羊母羊生长性能、血常规指标及血浆抗氧化、免疫指标的影响. *动物营养学报*, 2024, 36(7): 4473–4485.
- [33] Zhang H, Zhao F F, Nie H T, *et al.* Dietary N-carbamylglutamate and rumen-protected L-arginine supplementation during intrauterine growth restriction in undernourished ewes improve fetal thymus development and immune function. *Reproduction, Fertility, and Development*, 2018, 30(11): 1522–1531.
- [34] Wang D Y, Bian H, Zhu Y Z, *et al.* Effects of mulberry leaf powder on cholesterol content and fatty acid composition of egg yolk. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2011, 23(8): 139–143.
王道营, 卞欢, 诸永志, 等. 桑叶粉对鸡蛋蛋黄胆固醇含量和脂肪酸组成的影响. *江西农业学报*, 2011, 23(8): 139–143.
- [35] Li Y G, Zhong S, Lv Z Q, *et al.* Inhibitory kinetics of α -sucrase by 1-deoxynojirimycin from mulberry leaves. *Science of Sericulture*, 2010, 36(6): 885–888.
李有贵, 钟石, 吕志强, 等. 桑叶1-脱氧野尻霉素(DNJ)对 α -蔗糖酶的抑制动力学研究. *蚕业科学*, 2010, 36(6): 885–888.
- [36] Fan Q W, Guo W Z, Zhao N, *et al.* Effects of different proportions of basal diet replaced by fermented feed mulberry on growth performance, nutrient apparent digestibility, blood physiological and biochemical indexes and serum antioxidant indexes of beef cattle. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2023, 35(11): 7235–7246.
樊启文, 郭万正, 赵娜, 等. 不同比例发酵饲料桑替代基础饲料对肉牛生长性能、养分表观消化率、血液生理生化指标、血清抗氧化指标的影响. *动物营养学报*, 2023, 35(11): 7235–7246.
- [37] Wang L L, Chen X Y, Qin R Y, *et al.* Effects of fermented sawdust mushroom bran on growth performance, serum biochemical indexes, rumen fermentation parameters and nutrient apparent digestibility of sheep. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2023, 35(8): 5271–5283.
王乐乐, 陈翔宇, 秦荣艳, 等. 发酵木屑菌糠对绵羊生长性能、血清生化指标、瘤胃发酵参数及营养物质表观消化率的影响. *动物营养学报*, 2023, 35(8): 5271–5283.

- [38] Tang A J. Effects of corn silage supplemented with *Eucommia ulmoides* leaves on growth performance, blood indexes and meat quality of sheep. Kaifeng: Henan University, 2020.
唐艾嘉. 添加杜仲叶的玉米青贮对绵羊生长性能、血液指标和肉品质的影响. 开封: 河南大学, 2020.
- [39] Lan C Y, Dong G Z, Huang X Z, *et al.* Effect of ground mulberry leaf on growth, slaughter performance and meat quality of broilers. Chinese Journal of Animal Science, 2012, 48(13): 27–31.
兰翠英, 董国忠, 黄先智, 等. 桑叶粉对肉鸡生长性能和屠宰性能及肉质的影响. 中国畜牧杂志, 2012, 48(13): 27–31.
- [40] Li W L. Effects of mulberry leaves on performance, serum biochemical parameters, immune function, antioxidation and meat quality in meat sheep. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.
李伟玲. 桑叶对肉羊生产性能、血液生化指标、免疫抗氧化功能和肉品质的影响. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [41] Fu X C, Wang L H, Liu H Z, *et al.* Study on the optimal addition level of kiwifruit branch powder in the diet of young rex rabbits. Heilongjiang Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2022, 645(9): 124–135.
傅祥超, 王丽焕, 刘汉中, 等. 猕猴桃枝条粉适宜添加量的研究. 黑龙江畜牧兽医, 2022, 645(9): 124–135.
- [42] Wang H L, Zuo Y C, Zhou X K, *et al.* Influence of high planting density herbal cultivating on yield and quality of whole-plant mulberry (*Morus alba*). Pratacultural Science, 2020, 37(5): 952–962.
王红林, 左艳春, 周晓康, 等. 高密度草本化栽培对饲料桑全株产量及品质的影响. 草业科学, 2020, 37(5): 952–962.
- [43] Wang Y, Zhang Y, Han J J, *et al.* Effects of replacing whole corn silage with *Morus alba* silage on growth performance and nutrient digestion and metabolism of fattening Hu sheep. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(6): 3822–3831.
王瑶, 张雨, 韩佳佳, 等. 蛋白桑青贮替代全株玉米青贮对育肥湖羊生长性能和营养物质消化代谢的影响. 动物营养学报, 2023, 35(6): 3822–3831.