

生血宝合剂药渣抗营养因子特征分析及其对新西兰兔生产性能的影响

贺宇¹, 唐志书^{1,2}, 宋忠兴¹,
于金高^{1*}, 朱华旭^{1,3*}, 刘红娜⁴, 周建平⁴, 曹兆军⁴

¹陕西中医药大学 陕西中药资源产业化省部共建协同创新中心 秦药特色资源研究开发国家重点实验室(培育), 咸阳 712046;

²中国中医科学院, 北京 100700; ³南京中医药大学 江苏省植物药深加工工程研究中心 江苏省中药资源产业化过程协同创新中心, 南京 2100223; ⁴清华德人西安幸福制药有限公司, 西安 710043

摘要:本研究旨在探讨生血宝合剂药渣(Shengxuebao Mixture drug residue, SXBR)的抗营养特征及其对新西兰兔生长性能的影响, 为其饲料化开发提供基础数据。首先, 对 SXBR、生血宝合剂组方中的单味药材以及市面上常用饲料原料, 进行木质素、木聚糖、果胶、单宁和植酸等抗营养因子的含量测定和对比分析。然后, 分别将不同比例 SXBR 添加至新西兰兔日粮中测定其营养水平, 连续饲喂 30 d 后, 对新西兰兔各营养物质表观消化率等生产性能指标进行测定。最后, 采用 UPLC-TOF-MS 技术检测 SXBR 入血毒性成分, 并观察各组肝脏、回肠病理切片。研究结果表明, SXBR 木质素含量(9.64%) 高于大部分常见饲料原料, 仅次于米糠。SXBR 中的木质素主要来源于狗脊、女贞子、制何首乌等质地较为坚硬的药材。随着 SXBR 的添加, 饲料营养水平逐步提升。体内实验结果表明 SXBR 对新西兰兔体重增长无影响, 但当兔日粮中添加 20% 的 SXBR 后, 粗蛋白的表观消化率显著降低($P = 0.003$)。SXBR 血清样品未检出毒性物质, 对肝脏和肠道无毒害作用。综上, SXBR 作为饲料添加剂安全性良好, 但其木质素水平较为突出, 对新西兰兔粗蛋白的表观消化率产生较大负面影响, 可将减少木质素含量增加饲料蛋白可消化率作为解决该问题的主要方向。

关键词:中药渣; 饲料添加剂; 抗营养因子; 表观消化率; 成分分析

中图分类号: R285.1; S859.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2022)11-1939-09

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2022.11.015

Analysis on the characteristics of anti-nutritional factors of Shengxuebao mixture drug residue and its effect on the production performance of New Zealand rabbits

HE Yu¹, TANG Zhi-shu^{1,2}, SONG Zhong-xing¹,
YU Jin-gao^{1*}, ZHU Hua-xu^{1,3*}, LIU Hong-na⁴, ZHOU Jian-ping⁴, CAO Zhao-jun⁴

¹State Key Laboratory of Research & Development of Characteristic Qin Medicine Resources (Cultivation), Co-construction Collaborative Innovation Center for Chinese Medicine Resources Industrialization by Shaanxi & Education Ministry, Shaanxi University of Chinese Medicine, Xi'an 712046, China; ²China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China; ³Jiangsu Provincial Engineering Research Center for Deep Processing of Plant Medicines, Jiangsu Province Collaborative Innovation Center for Industrialization of Traditional Chinese Medicine Resources, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China;

⁴Tsing Hua De Ren Xi'an Happiness Pharmaceutical Co., Ltd., Xi'an 710043, China

Abstract: The purpose of this study was to explore the anti-nutritional characteristics of Shengxuebao mixture drug residue

收稿日期: 2022-07-19 接受日期: 2022-10-08

基金项目: 中央本级重大增减支项目“名贵中药资源可持续利用能力建设”项目(2060302); 中药大品种品牌价值提升示范研究(202190025)

* 通信作者 E-mail: jingao_yu@sina.cn, Huaxu72@126.com

(SXBR) and its effect on the growth performance of New Zealand rabbits, so as to provide a basis for its feed development. Firstly, the contents of anti-nutritional factors such as lignin, xylan, pectin, tannin and phytic acid in the SXBR, the single traditional Chinese medicines in Shengxuebao mixture and common feed materials were determined. Then, different proportions of SXBR were added to the diet of New Zealand rabbits to determine their nutritional level. After continuous feeding for 30 days, the apparent digestibility of various nutrients and other production performance indicators of New Zealand rabbits were measured. Finally, the UPLC-TOF-MS technology was used to detect the toxic components of SXBR into the blood, and the pathological sections of liver and ileum in each group were observed. The results showed that the lignin content of SXBR (9.64%) was higher than most common feed materials, second only to rice bran. The lignin in SXBR mainly came from the hard medicinal materials such as Cibotii Rhizoma, Ligustri Lucidi Fructus and Polygoni Multiflori Radix Praeparata. With the addition of SXBR, the nutritional level of feed was gradually improved. The results of *in vivo* experiments showed that SXBR had no effect on the weight growth of New Zealand rabbits, but when 20% SXBR was added to the diet of rabbits, the apparent digestibility of crude protein decreased significantly ($P=0.003$). No toxic substances were detected in SXBR serum samples, and there was no toxic effect on liver and intestine. To sum up, the SXBR as a feed additive has good safety, but its lignin level is relatively prominent, which has a great negative impact on the apparent digestibility of crude protein of New Zealand rabbits. Therefore, reducing the lignin content and increasing digestibility of feed protein can be taken as the main direction to solve this problem.

Key words: traditional Chinese medicine residue; feed additive; anti-nutritional factor; apparent digestibility; component analysis

随着我国社会经济发展,人们对畜牧产品需求逐渐增大,畜牧业也进入了快速发展阶段。饲料中所含的营养物质影响着畜禽的生存、生长和繁衍性能。抗营养因子(anti-nutritional factors, ANFs)又称“毒性因子”或“营养抑制因子”,指的是饲料来源植物在进化过程中产生的能够抵御外界不利因素,并能够对动物消化吸收产生不利作用的特殊因子^[1]。ANFs 主要包含木质素、木聚糖、果胶、单宁和植酸等,其通过不同的作用机制使动物对饲料中的营养成分产生不耐受性,使饲料本身遗失一部分营养价值。目前研究发现,饲料中过多的抗营养因子能使机体发育延缓,同时还会引发机体消化代谢功能紊乱、免疫力下降和疾病的发生等一系列问题,从而使禽畜的健康受到威胁^[2]。因此,ANFs 是饲料成分检测的一项关键指标。

生血宝合剂是由制何首乌 Polygoni Multiflori Radix Praeparata、女贞子 Ligustri Lucidi Fructus、桑椹 Mori Fructus、墨旱莲 Ecliptae Herba、白芍 Paeoniae Radix Alba、黄芪 Astragali Radix、狗脊 Cibotii Rhizoma 七味中药材制成的补益类中成药,中医用于滋养肝肾、补益气血,临床上用来治疗各类贫血性疾病^[3]。药企在制药过程中会产生大量生血宝药渣(Shengxuebao mixture drug residue, SXBR),其资源化利用途径主要是用于栽培基质、废水处理、催化裂解制取燃油、酶解发酵产生乙醇以及禽畜的饲料生

产^[4]。生血宝合剂的七种单味药中以黄芪和女贞子药渣作为饲料添加剂的研究较多,而将该复方药渣进行饲料化开发的研究较少,对其进行饲料资源化开发不但能够解决制药企业药渣堆放污染问题,减少中药资源浪费,还能发展新型饲料资源,实现中药行业和畜牧业协调可持续性发展。

经过前期相关实验,SXBR 含有丰富的萜类、黄酮类和氨基酸类等活性成分,可提高动物抗氧化应激能力。为加快其饲料化开发进程,本研究着重探讨其抗营养短板,根据 SXBR 的性状,首先测定了 SXBR 可能含有的五种抗营养因子含量,并与常见饲料原料进行对比,其次表征了 SXBR 添加饲料营养水平,并探讨了 SXBR 对新西兰兔营养物质表观消化率等生产性能的影响,最后对 SXBR 高比例饲喂新西兰兔入血毒性成分进行鉴定。本研究旨在为后续实现其产业化生产提供参考,进一步推动中药资源绿色循环利用。

1 材料与方法

1.1 仪器与材料

紫外分光光度计(UV-2600, SHIMADZU CORPORATION);水纯化系统(Milli-Q, 美国 Millipore 公司);饲料颗粒机(YZ-160, 安徽扬子工业科技有限公司);超高效液相色谱串联三重四级杆飞行时间质谱仪(Waters ACQUITY UPLC H-Class, Triple TOFTM 5600, 美国 AB SCIEX 公司)。

SXBR(批号09,清华德人西安幸福制药有限公司);黄芪(20210202,陕西兴盛德药业有限责任公司);白芍(20210401,陕西兴盛德药业有限责任公司);狗脊(20210502,陕西兴盛德药业有限责任公司);制何首乌(20200801,陕西兴盛德药业有限责任公司);女贞子(20210518,陕西兴盛德药业有限责任公司);桑椹(202104060,陕西兴盛德药业有限责任公司);墨旱莲(20210307,陕西兴盛德药业有限责任公司);乙二胺四乙酸二钠(20210511,天津市科密欧化学试剂有限公司);木糖(D17N9S74410,上海源叶生物科技有限公司);DNS试剂(F22HR10761A,上海源叶生物科技有限公司);二水合钨酸钠(20170110,天津市科密欧化学试剂有限公司);钼酸钠(20220118,天津市科密欧化学试剂有限公司);没食子酸(1100831-201605,中国食品药品检定研究所);植酸钠(X19O10Y100753,上海源叶生物科技有限公司)。

1.2 抗营养因子含量测定

对SXBR、生血宝合剂七种单味药(白芍、黄芪、何首乌、女贞子、桑椹、狗脊、墨旱莲)及十三种常规饲料(米糠、苜蓿草、提摩西草、豆粕、棉粕、麦麸、甘薯干、甘薯藤、玉米、玉米秸秆、小麦、小麦秸秆和水稻秸秆)进行大分子抗营养因子测定,每样平行测定三次。

采用范氏(Van Soest)洗涤法^[5],测定各样品酸不溶性灰分、木质素、纤维素和半纤维素含量;参照Chen等^[6]的方法测定各样品植酸含量;采用DNS还原糖比色法测定样品木聚糖含量^[7];采用乙醇沉淀法测定样品中果胶含量^[8];采用钨酸钠-磷钼酸分光光度比色法测定样品单宁含量^[9]。

1.3 动物实验设计

将预混浓缩饲料、苜蓿草、SXBR分别打成粗粉,按比例混合后用全自动饲料颗粒机制成4 mm直径的圆柱形颗粒料,晾干备用。将12只180日龄新西兰兔随机分为4组,分别为对照组(Con,饲喂70%浓缩饲料,30%苜蓿草)、低比例添加组(SXBR-L,饲喂70%浓缩饲料、25%苜蓿草和5% SXBR)、中比例添加组(SXBR-M,饲喂70%浓缩饲料、20%苜蓿草和10% SXBR)及高比例添加组(SXBR-H,饲喂70%浓缩饲料、10%苜蓿草和20% SXBR)。每组3只动物,经过7 d的适应期,正式开始饲喂实验,每

只每天定量饲喂90 g饲料,分四次喂完,自由饮水。每天记录每只兔子的体重,30 d后计算每组平均日增重和料重比,取粪便用于营养物质消化率的测定,饲养结束后取肝脏、回肠进行病理切片观察,取血用于血清毒性代谢产物鉴定。

1.4 各组SXBR添加饲料营养物质测定

依照《中国药典》(2020版)对各样品水分和灰分进行测定,并计算干物质和有机物含量;饲料中粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、总碳水和能量的含量依照中华人民共和国国家标准进行测定和计算;依照康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系(CNCPS)中碳水化合物分类和Sniffen等^[10]的方法计算净碳水(非结构性碳水)含量。

1.5 营养物质表观消化率测定

在30 d饲养期后采用全粪法连续6 d收集每只兔子的全部粪便,以体积分数为10%盐酸固氮、-20℃保存,合并6 d粪便置65℃烘干至恒重,粪便中干物质、有机物、总碳水、净碳水、粗蛋白、粗脂肪和粗纤维含量测定方法同饲料,根据Li等^[11]报道的方法计算新西兰兔对各营养物质的表观消化率。

1.6 血清毒性代谢产物鉴定

血清供试样品制备:饲养结束后对Con和SXBR-H新西兰兔进行腹主动脉采血,离心得血清,于-80℃保存备用。配制80%甲醇溶液作为萃取液并在-80℃预冻30 min,取200 μL血清加入600 μL萃取液,涡旋15 s,在4℃环境中静置4 h后,12 000 r/min转速下离心10 min,取600 μL上清液低温浓缩至干,加入300 μL 50%乙腈水,涡旋1 min,12 000 r/min转速下离心10 min,取上清液即得血清供试样品。

液相条件:使用ACQUITY UPLC HSS T3色谱柱,流动相为0.1%甲酸水(A)-乙腈(B),按梯度条件进行洗脱:0~1.5 min,1% B;1.5~23 min,1%→60% B;23~24 min,60%→98% B;24~27 min,98% B;27~27.1 min,98%→1% B;27.1~33 min,1% B。进样量为5 μL,流速为0.3 mL/min。

质谱条件:使用AB SCIEX5600+QTOF超高效液相-三重四级杆高分辨液质联用仪,采用电喷雾离子源(ESI)、正负离子模式、信息依赖采集(IDA)、动态背景扣除(DBS,间隔30 s)和高灵敏度模式采集数据。使用PeakView 2.2软件,将AB SCIEX master view 1.1.0.0中药成分数据库作为血清成分匹配

库^[12],以 Con 血清样本数据为参照,寻找 SXBR-H 血清样本中的特异代谢产物。

1.7 数据统计

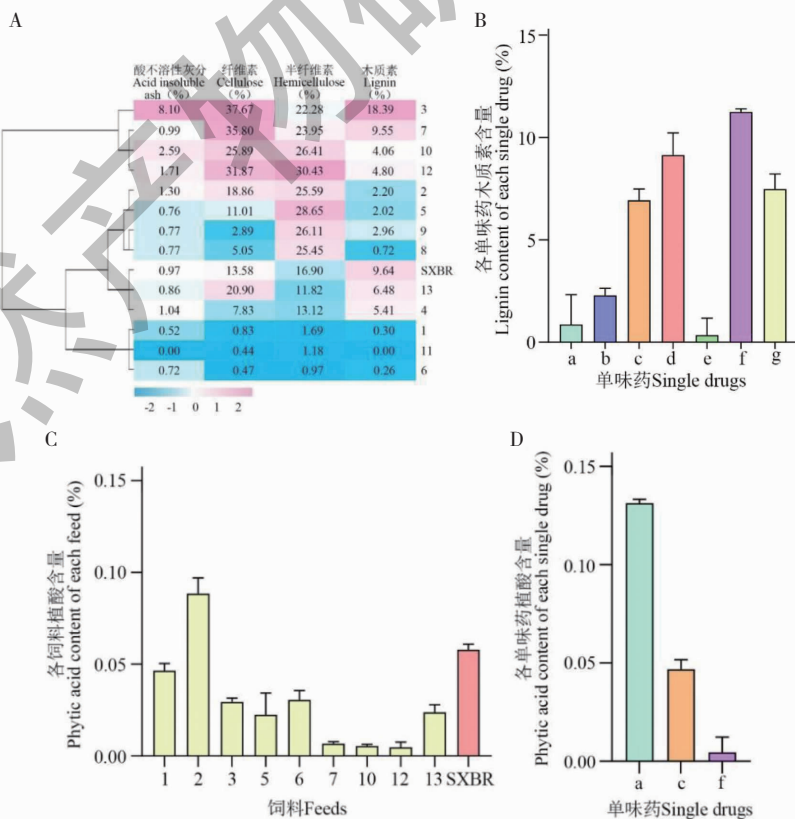
柱形图使用 GraphPad Prism 9.0 制作,聚类分析热图使用 Microsoft Excel 2019 制作。平均日增重、料重比和营养成分表观消化率数据使用 SPSS 26 软件中克鲁斯卡尔-沃里斯检验(K-W 检验)进行组间比较,显著性阈值设置为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 SXBR 抗营养因子含量特征

SXBR 抗营养因子表征结果表明,其木质素和植酸水平较为突出。由纤维类含量聚类分析热图(见图 1A)可知,SXBR 总体与甘薯藤相似,但其中的木质素含量高达 9.64%,高于大部分饲料原料,仅低于米糠。SXBR 纤维素、半纤维素和酸不溶性灰分含量较常见饲料原料均处于中等水平。通过对单味药材进行测定,发现 SXBR 中的木质素主要来源于配方中的狗脊、女贞子、墨旱莲和何首乌等质地均较为坚硬的药材(见图 1B)。比较 SXBR 和常见饲料原料中的植酸含量发现,SXBR 植酸含量与常规饲料相比也处于较高水平,为 0.06%,仅低于提

摩西草,其他样品中植酸含量均低于 0.05% (见图 1C)。单味药材中仅白芍、何首乌和狗脊中存在植酸,白芍中含量最高,是 SXBR 中植酸的主要来源(见图 1D)。SXBR 果胶和单宁含量与常规饲料相当。其中,果胶含量测定结果表明小麦的果胶含量最高,达到约 30%,其余大多数饲料原料中果胶含量基本在 10% 左右,SXBR 果胶含量与苜蓿草和玉米相近,为 11.56% (见图 1E)。生血宝合剂单味药中狗脊果胶含量最高,可判断其为 SXBR 中果胶的主要来源(见图 1F)。单宁含量测定结果显示,常见饲料原料中提摩西草的单宁含量最高,其余饲料单宁含量基本都在 0.50% 左右。SXBR 单宁含量为 0.70%,与玉米秸秆相近(见图 1G)。生血宝合剂各单味药中均含有单宁,桑椹、女贞子、狗脊、何首乌及墨旱莲单宁水平相当,是 SXBR 中单宁的主要来源(见图 1H)。此外,木聚糖测定结果表明,SXBR 和大部分常见饲料原料中都未检测出木聚糖,仅提摩西草、麦麸和甘薯藤中可测出小于 0.4% 的木聚糖(见图 1I)。单味药材中桑椹木聚糖含量最高,达到约 1.5%,其余药材所含木聚糖都低于 0.4% (见图 1J)。图中编号所代表的含义如表 1 所示。



续图 1 (Continued Fig. 1)

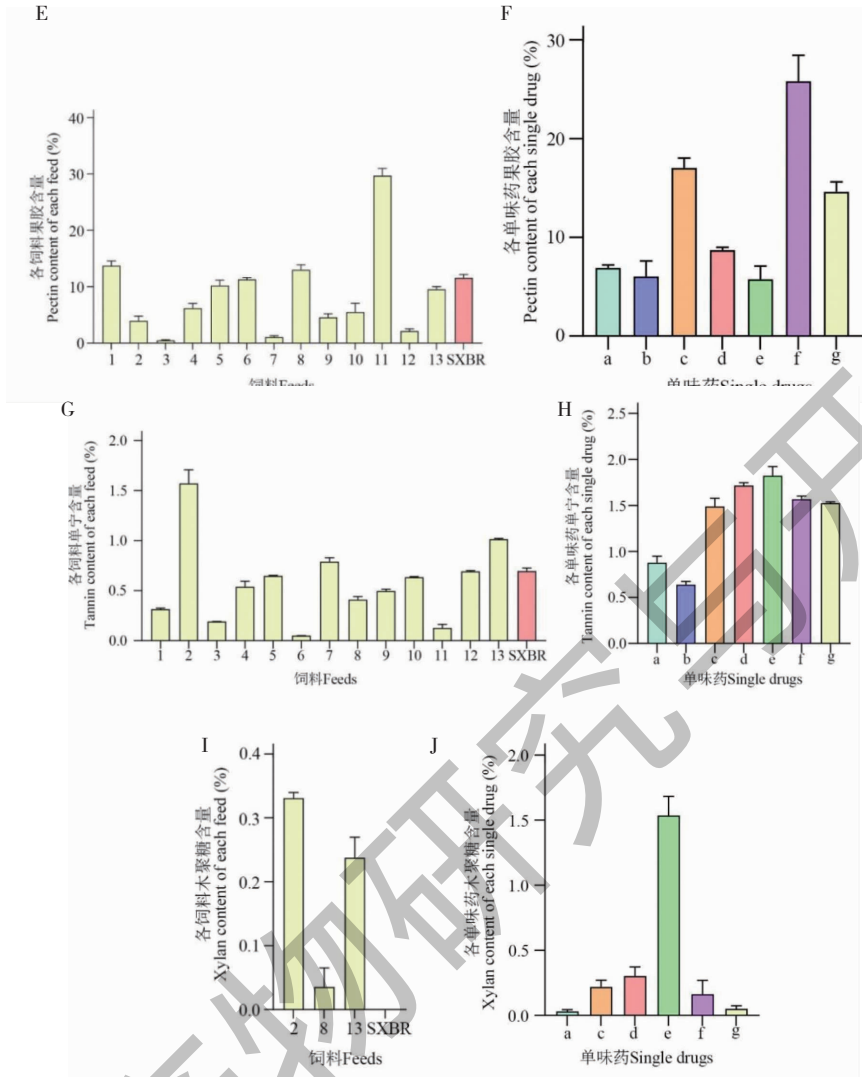


图1 SXBR 抗营养因子含量特征

Fig. 1 Content characteristics of SXBR anti nutritional factors

表1 图1中编号所代表的含义

Table 1 Meanings of the numbers in Fig. 1

编号 No.	含义 Meaning	编号 No.	含义 Meaning
1	甘薯干 Dried sweet potato	11	小麦 Wheat
2	提摩西草 Timothy hay	12	小麦秸秆 Wheat straw
3	米糠 Rice bran	13	甘薯藤 Sweet potato vine
4	棉粕 Cottonseed meal	a	白芍 Paeoniae Radix Alba
5	苜蓿草 Alfalfa	b	黄芪 Astragali Radix
6	玉米 Corn	c	制何首乌 Polygoni Multiflori Radix Praeparata
7	玉米秸秆 Corn straw	d	女贞子 Ligustri Lucidi Fructus
8	麦麸 Wheat bran	e	桑椹 Mori Fructus
9	豆粕 Soybean meal	f	狗脊 Cibotii Rhizoma
10	水稻秸秆 Rice straw	g	墨旱莲 Ecliptae Herba

2.2 各组 SXBR 添加饲料营养水平

对各组饲料营养成分进行测定,结果如表 2 所示,SXBR 添加饲料干物质、有机物、总碳水、净碳

水、粗脂肪和能量含量随 SXBR 的增加而增大,粗蛋白随 SXBR 的增加而减少;各组饲料粗纤维水平相当。

表 2 各组饲料营养水平

Table 2 Feed nutrition level of each group

饲料营养成分 Feed nutrient	Con	SXBR-L	SXBR-M	SXBR-H
干物质 Dry matter(%)	87.72	88.01	90.16	90.20
有机物 Organic matter(%)	81.49	82.10	84.42	84.78
总碳水 Total Carbohydrate(%)	63.43	64.24	66.99	67.61
净碳水 Net carbohydrate(%)	44.73	45.54	48.29	49.31
粗纤维 Crude fiber(%)	18.70	18.70	18.70	18.30
粗蛋白 Crude protein(%)	14.26	13.86	13.33	12.67
粗脂肪 Crude fat(%)	3.80	4.00	4.10	4.50
能量 Energy(kJ/100 g)	1 461.33	1 475.70	1 517.14	1 531.26

2.3 SXBR 对新西兰兔生产性能的影响

30 d 后各组新西兰兔平均日增重和料重比如表 3 所示,随着 SXBR 的增加,各组新西兰兔平均日增重和料重比均无显著差异,且 SXBR-H 和 SXBR-L 平均日增重大于 Con,料重比小于 Con。可见,新西兰兔对 SXBR 添加饲料适口性良好,尽管 SXBR 抗营养因子水平较为突出,但并未阻碍新西兰兔生长。各组兔子粪便含水量无显著差异($P > 0.05$),可见 SXBR 不会造成动物腹泻。

营养物质表观消化率是饲料资源开发中表征饲料生产性能的重要指标,反应动物对饲料中营养物质的消化程度。对各组动物营养物质表观消化率的测定如表 4 所示,SXBR-H 粗蛋白的表观消化率显著低于 Con($P = 0.003$),SXBR 各处理组粗蛋白的表观消化率无显著差异($P > 0.05$)。其余营养物质表观消化率各组间无显著差异($P > 0.05$),但随着 SXBR 添加比例的增加,粗纤维和粗脂肪表观消化率随之变低。

表 3 各实验组新西兰兔平均日增重、料重比和粪便含水率($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 3 Average daily gain, feed conversion ratio and fecal moisture content of New Zealand rabbits in each experimental group($\bar{x} \pm s, n = 3$)

指标 Index	Con	SXBR-L	SXBR-M	SXBR-H
平均日增重 Average daily gain(g/d)	5.29 ± 1.49	6.29 ± 1.40	4.45 ± 1.07	8.88 ± 1.58
料重比 Feed conversion ratio(g/g)	17.91 ± 4.82	14.84 ± 3.60	21.13 ± 5.83	10.33 ± 1.67
粪便含水率 Fecal moisture content(%)	5.30 ± 0.82	5.83 ± 2.02	5.68 ± 0.69	5.13 ± 0.83

表 4 新西兰兔对 SXBR 添加饲料中各营养物质的表观消化率($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 4 Apparent digestibility of nutrients in SXBR added feed for New Zealand rabbits($\bar{x} \pm s, n = 3$)

营养物质 Nutrient	Con	SXBR-L	SXBR-M	SXBR-H
干物质 Dry matter(%)	67.69 ± 2.29	65.34 ± 0.72	66.36 ± 1.74	62.28 ± 0.45
有机物 Organic matter(%)	67.85 ± 2.19	65.71 ± 0.77	66.80 ± 1.66	62.68 ± 0.50
总碳水 Total Carbohydrate(%)	65.36 ± 2.30	63.61 ± 1.58	65.65 ± 1.65	61.32 ± 0.75
净碳水 Net carbohydrate(%)	76.59 ± 1.51	76.22 ± 1.56	79.96 ± 2.99	74.95 ± 1.05
粗纤维 Crude fiber(%)	38.48 ± 4.28	32.91 ± 3.58	28.70 ± 6.68	24.61 ± 2.87
粗蛋白 Crude protein(%)	73.97 ± 2.08	69.60 ± 3.25	66.90 ± 2.08	61.99 ± 0.72**
粗脂肪 Crude fat(%)	86.47 ± 1.61	85.95 ± 1.28	85.28 ± 0.93	84.91 ± 0.67

注:与 Con 比较,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$,*** $P < 0.001$ 。

Note:Compared with Con,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$,*** $P < 0.001$.

2.4 SXBR 不含入血小分子抗营养成分,对肝脏无毒害作用

为确定 SXBR 中可能残留的毒性成分是否入血并对新西兰兔肝脏造成损伤,本研究使用 UPLC-TOF-MS 技术,对比 SXBR-H 和 Con 新西兰兔血清

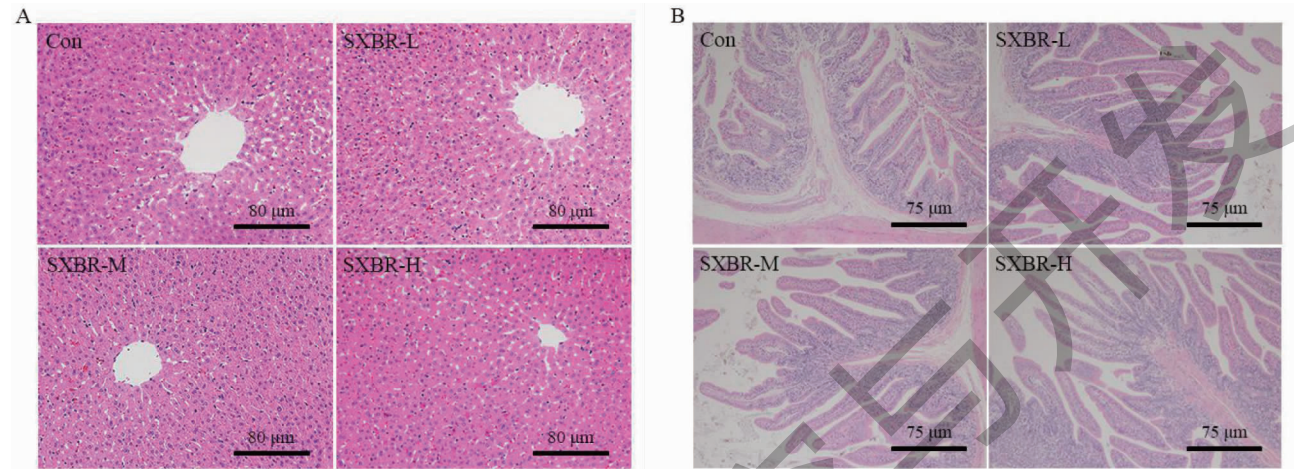


图2 各组新西兰兔肝脏、回肠切片

Fig. 2 Sections of liver and ileum of New Zealand rabbits in each group

3 讨论与结论

3.1 SXBR 抗营养因子水平及特征分析

常规饲料抗营养因子的种类、分类、理化性质、作用机制及测定方法已有学者进行了较为详细的研究和报道。总纤维素是由纤维素、半纤维素、木质素组成的,其中木质素是一种难以降解且阻碍其他营养物质消化吸收的抗营养因子,它与纤维素、半纤维素的特殊交联结构减少了消化酶与营养物质的接触^[13];植酸是一种强络合剂,它能结合蛋白质和矿物元素等营养物质从而阻碍营养物质的消化吸收^[14];尽管有研究证实果胶具有抗氧化、抗菌、抗炎、降血脂和促进肠道益生菌生长等多种生物活性,但过多的果胶会增加饱腹感,吸水后也会导致肠道黏度增大,从而降低动物采食量及蛋白质和矿物质等营养物质的表观消化率^[15];单宁是一种酚类物质,几乎存在于所有植物中,具有抗病毒、抗炎、抗菌、促进伤口愈合等多种药理作用,在一定限度内可作为饲料添加剂,但单宁味涩,过多时影响饲料适口性,它还能通过抑制酶活性、与蛋白质等生成难溶物及螯合维生素和矿物离子等方式降低营养物质表观消化率^[16];木聚糖是一种非淀粉多糖,广泛存在于植物细胞壁中,Qin 等^[17]的研究表明当饲料中木聚糖含量在 10% 以下时不会引起动物不良反应,但过

多木聚糖可通过增加肠道黏性,降低消化酶活性,破坏肠道菌群等方式阻碍动物对营养物质的吸收。此外,观察各组肝脏病理切片均无异常(图 2A)。回肠是营养物质吸收的主要场所,从各组回肠切片可见 SXBR 不影响肠道结构(图 2B)。总的来说,SXBR 作为饲料添加剂安全性良好。

多的木聚糖可通过增加肠道黏性,降低消化酶活性,破坏肠道菌群等方式阻碍动物对营养物质的吸收。目前对于中药渣饲料的营养成分及抗营养因子分析研究较少,本研究对 SXBR 在抗营养因子方面进行表征,并与 13 种常见饲料原料进行比较。研究表明,在抗营养因子方面,SXBR 中单宁处于中等水平,但 Liu 等^[18]的研究表明,饲料中单宁含量为 0.5% 时对家兔无不良影响,因此认为单宁是 SXBR 中的功能性有机物,其抗营养属性在 SXBR 的添加比例为 20% 以内表现不明显。SXBR 中木质素和植酸含量偏高,可作为解决其抗营养问题的主要方向。此外,本研究还对生血宝合剂的七种单味药的抗营养因子含量进行了测定,从而分析药渣中主要的抗营养因素来源药材,为后续进一步降低 SXBR 的抗营养作用提供参考。本研究确立了 SXBR 的抗营养因子表征方法,为其他中药渣饲料化开发的抗营养因子表征提供参考。

3.2 SXBR 对新西兰兔生产性能的影响及解决方案

药企在生产生血宝合剂的过程中会产生大量药渣,进行废物处理会消耗大量成本,并造成严重的环境污染和资源浪费。将生血宝合剂药渣进行饲料化开发,对解决药企资金消耗,开发新产业链,实现中

药资源绿色循环利用,解决饲料短缺问题具有现实意义。本研究基于此前得出的 SXBR 可提高动物抗氧化应激功能的结果上,进一步探索其饲料化开发短板,发现尽管 SXBR 添加饲料具有可观的营养价值,但随着 SXBR 比例的增加,其木质素抗营养性凸显,尽管对兔子的体重增长无较大影响,但新西兰兔对粗蛋白的表观消化率呈显著下降趋势,该问题的解决方法主要有:(1)控制 SXBR 添加比例,以 10% 为宜;(2)将狗脊、女贞子、何首乌等木质素含量较高的药材挑出;(3)在饲料中添加木质素酶以减弱木质素对营养物质吸收的阻碍作用;(4)在饲料中添加易消化的优质蛋白类饲料添加剂。

3.3 SXBR 毒性检测及其对肝脏、肠道的影响

已有研究表明,何首乌中的蒽醌类和二苯乙烯苷类成分可通过氧化应激、致线粒体功能障碍、诱导细胞凋亡等多种途径造成肝脏损伤^[19]。由于生血宝合剂单味药中含有何首乌,考虑其对肝脏的毒副作用,本研究以 Con 组血清 TOF 采集数据为参照,发现 SXBR-H 组血清未见入血毒性物质,肝脏病理切片未见异常,并且此前有学者报道以临床用药剂量的 225 倍生血宝合剂浓溶液灌胃小鼠仍求不出 LD50^[20],提示本研究用量安全性可靠。

综上,本研究通过表征 SXBR 抗营养因子,发现其抗营养因子中木质素水平较为突出,可对新西兰兔粗蛋白的表观消化率产生较大影响。因此,可将减少木质素含量、增加饲料蛋白消化率作为解决 SXBR 抗营养问题的主要研究方向。本研究揭示了生血宝药渣的抗营养特征,对推动其饲料化开发进程和实现其绿色循环利用具有积极意义。

参考文献

- Lakshmi R, Kumari K, Adegbeye M, et al. Anti-nutritional factors in Indian leguminous top feeds: a review on their feeding management[J]. Int J Livest Res, 2020, 10:12-23.
- Chen L, Wang Z. The effects of fermentation on anti-nutritional factors in feed materials[J]. J China Feed(中国饲料), 2022:14-18.
- Wang F, Liang J, Wang Mm, et al. Effect of Shengxuebao mixture for adjuvant treating pregnant women with iron deficiency anemia and its influence on their levels of mean red blood cell volume and serum ferritin and pregnancy outcomes[J]. Chin J Family Plan(中国计划生育学杂志), 2020, 28:1053-1055.
- Tao W, Jin J, Zheng Y, et al. Current advances of resource u-

- tilization of herbal extraction residues in China[J]. Waste Biomass Valori, 2021, 12:5853-5868.
- Soest PJV, Wine RH. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents[J]. J Assoc Off Anal Chem, 1967, 50:50-55.
- Chen B, Sheng Q. Preliminary analysis of phytic acid extraction and content determination from *Setaria italic* brans[J]. Sci Technol Food Ind(食品工业科技), 2013, 34:202-205.
- He X, Liu N, An X, et al. Research progress of fermented corn cob in ruminants feeding[J]. Feed Res(饲料研究), 2019, 42:74-78.
- Liu J. Effects of dietary pectin on microbial structure and microbial protein synthesis in the rumen[D]. Hangzhou: Zhejiang University(浙江大学), 2014.
- Pan J, Shang J, Huang S. Determination of tannin in feed using spectrophotometric method with sodium tungstate-phosphomolybdic acid[J]. Feed Ind(饲料工业), 2012, 33:51-55.
- Sniffen C, Oconnor J, Soest PJV, et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability[J]. J Anim Sci, 1992, 70:3562-3577.
- Li Y, Gu Z, Liu Y, et al. Effects of traditional Chinese medicine residues on production performance and nutritional digestibility of rex rabbits[J]. Feed Res(饲料研究), 2010:39-40.
- Yang X, Liu Y, Tang Z, et al. Study on the differential changes of primary and secondary metabolites between green and ripe *Zizyphus jujuba* var. *spinosa* fruits based on principal component analysis[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2022, 34:824-835.
- Tao J, Li S, Ye F, et al. Lignin-an underutilized, renewable and valuable material for food industry[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2020, 60:2011-2033.
- Feizollahi E, Mirmahdi RS, Zoghi A, et al. Review of the beneficial and anti-nutritional qualities of phytic acid, and procedures for removing it from food products[J]. Food Res Int, 2021, 143:110284.
- Wang X, Dai Q, Jiang G, et al. Biological activities and anti-nutritional characteristics of pectin in ramie (*Boehmeria nivea* (L.) Gaudich.) and its elimination[J]. J Domestic Anim(家畜生态学报), 2016, 37:80-83.
- Yang J, Zhao X, Feng T, et al. Nutritional and anti-nutrition effects of plant tannin and its application in healthy husbandry of ruminants[J]. Genomics Appl Biol(基因组学与应用生物学), 2022, 41:274-286.