

木本饲料青贮研究进展

张颖超¹ 尹守亮¹ 王一炜¹ 王学凯² 杨富裕²

(1. 华北理工大学生命科学学院, 唐山 063210; 2. 中国农业大学草业科学与技术学院, 北京 100193)

摘要: 随着我国畜牧业迅速发展, 对优质粗饲料的需求日渐增加, 使饲草的供应越来越紧缺, 因而寻求可缓解传统饲料不足的新型饲料变得尤为重要。木本饲料是一种新型饲料, 具有资源丰富、产量高、粗蛋白含量高特点, 合理开发利用可缓解我国畜多草少的压力。青贮可高质量保存和保全饲草营养成分, 是木本饲料重要的贮藏方式。近年来, 与木本饲料青贮相关的研究逐渐增多。本文总结了木本饲料营养特点及其影响因素、自然青贮发酵特性及其影响因素及木本饲料青贮在畜禽生产中的应用, 并对后续研究方向做出建议, 以期为木本饲料青贮利用和发展提供参考依据。

关键词: 木本饲料; 青贮品质; 微生物多样性; 研究进展

DOI: 10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2021-0913

Research Progress in Woody Forage Silage

ZHANG Ying-chao¹ YIN Shou-liang¹ WANG Yi-wei¹ WANG Xue-kai² YANG Fu-yu²

(1. College of Life Sciences, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210; 2. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193)

Abstract: With the rapid development of animal husbandry in China, the demand for high-quality roughage is growingly increasing, and the supply of forage is more and more scarce. Therefore, it is important to exploit new forage which can alleviate the shortage of traditional forage. Woody forage is a new type of forage that is characterized by abundant resources, high yield and high crude protein content. Reasonable development and utilization of woody forage may alleviate the shortage of forage resources. Silage is an important storage method of woody forage, which can preserve forage nutrients with high quality. In recent years, more and more researches have been focused on woody forage silages. This paper summarized the nutritional characteristics, quality of natural ensiling, improvement methods of woody forage silages, application of woody forage silages in livestock production and brought out suggestions for future research, aiming at providing reference for the utilization and development of woody forage silages.

Key words: woody forage; silage quality; microbial diversity; research progress

目前, 我国对畜产品需求量大幅增长, 饲料不足是畜牧业发展的主要限制因素^[1]。2020年我国大豆的进口量为10 032.82万t^[2], 玉米的进口量为1 130万t^[3], 呈逐年上升趋势, 且进口大豆的70%、玉米的50%均用作饲料。我国粗饲料、蛋白质饲料、绿色饲料缺口严重^[4]。因此, 开发新型饲料资源具有重要意义, 是满足我国对动物产品日益增长需求的当务之急。

木本饲料(woody forage)是指具有饲用价值的木本植物幼嫩枝叶、花、果实、种子及其副产品, 也可指像种草一样种植出来的木本植物。我国木本饲料分布广泛、产量高、青绿期长, 预计到2030年, 我国每年可提供的木本饲料资源将突破10亿t; 除此之外, 部分木本植物还具有粗蛋白含量高、纤维含量适中、适口性好的特点, 合理利用非粮木本植物资源, 调整饲料产业结构, 可有效缓解我国饲料

收稿日期: 2021-07-16

基金项目: 唐山市科技局项目(20130208b)

作者简介: 张颖超, 女, 博士, 讲师, 研究方向: 草产品加工与利用; E-mail: zhangyc@ncst.edu.cn

通讯作者: 杨富裕, 男, 博士, 教授, 研究方向: 草生产与加工利用; E-mail: yfuyu@cau.edu.cn

资源短缺的紧迫局面^[5]。现今，国内大力开发利用的木本植物主要有构树、饲料桑、银合欢、刺槐、辣木、胡枝子、黄梁木等。青贮饲料因具有营养丰富、柔软多汁、消化率高、适口性好、受天气影响小、并且利于长期保存等优良特点，是木本饲料的主要贮藏方式。近几年关于上述典型木本饲料青贮的营养特点、自然青贮品质特性、微生物多样性、青贮改善方式及其在动物生产中应用的研究越来越多，系统性总结对木本饲料发展和利用具有重要意义。

1 木本饲料营养特性概述及其影响因素

1.1 木本饲料常规营养品质及其影响因素

饲料营养价值一般取决于其蛋白质、可溶性糖、纤维素、矿物质以及维生素的含量^[6]，其中可溶性糖含量对成功青贮有非常重要的决定性作用。大量研究表明，与饲草之王——苜蓿相比较，大部分木本饲料蛋白质含量与苜蓿相当（粗蛋白含量为160.0–200.0 g/kg DM^[7]）或高于苜蓿；资料显示，优质青贮的发酵需原料可溶性糖含量至少为60–70 g/kg DM，但银合欢、构树、刺槐和胡枝子可溶性糖含量低于60–70 g/kg DM，是其自然青贮品质较差的原因之一；与苜蓿中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）含量相比（NDF, 374.3–400.3 g/kg DM; ADF, 290.5–312.8 g/kg DM^[8-9]），构树、刺槐叶、黄梁木叶和青贮桑叶纤维含量低于苜蓿或与苜蓿相当；银合欢和胡枝子纤维含量较高，因此，可加强对木本饲料纤维降解的研究，如利用纤维素酶或筛选产阿魏酸酯酶的乳酸菌（阿魏酸酯酶能够催化植物细胞壁中半纤维素的多糖侧链，对降解纤维素有一定作用，且研究表明有产阿魏酸酯酶的植物乳杆菌菌株^[10]）。

研究表明，银合欢青贮前粗蛋白、粗脂肪、可溶性糖、NDF和ADF分别为218.3 g/kg DM、27.4 g/kg DM、14.8 g/kg DM、566.5 g/kg DM和441.9 g/kg DM；构树青贮前粗蛋白、粗脂肪、可溶性糖、NDF和ADF含量分别为164.4 g/kg DM、34.0 g/kg DM、18.7 g/kg DM、402.5 g/kg DM、和357.1 g/kg DM；青贮后银合欢和构树的粗蛋白含量分别增加了7.51%和11.80%^[11]。刺槐叶蛋白中均含有18种氨基酸，种类齐全，含量丰富，属完全蛋白质^[12]，粗蛋白、

可溶性糖、NDF和ADF含量分别为213.9 g/kg DM、53.2 g/kg DM、313.4 g/kg DM和182.4 g/kg DM^[13]。王益等^[14]报道称黄梁木叶粗蛋白含量为228.9 g/kg DM、NDF为328.4 g/kg DM、ADF为249.1 g/kg DM。另有研究结果显示，常规青贮桑叶粗蛋白质含量为231.0 g/kg DM、粗脂肪是52.1 g/kg DM、可溶性糖、NDF和ADF含量分别为25.32 g/kg DM、266.3 g/kg DM、178.8 g/kg DM^[16]。尖叶胡枝子青贮饲料的粗蛋白、粗脂肪、NDF和ADF含量分别为139.0 g/kg DM、190.0 g/kg DM、604.3 g/kg DM和510.8 g/kg DM^[17]。

实际生产过程中，多种因素会影响木本饲料营养价值，如：饲料采集的部位、刈割茬次、留茬高度、青贮时的贮藏温度等；通过查阅文献材料可知，综合考虑木本饲料营养价值和青贮品质，留茬高度为30–35 cm时较好，贮藏时尽量选择低温环境。资料显示，杂交构树枝条上1/3部的叶片较下部叶片粗蛋白、钙及磷含量高^[18]；河北等华北地区，构树一年可刈割3茬，构树的3茬刈割中，青贮的粗蛋白、可溶性蛋白、水溶性碳水化合物含量由高到低依次为第3、1、2茬；青贮品质由优到劣依次为第3、2、1茬，总体来说第3茬的常规养分价值和青贮品质均较好^[19]。研究表明，留茬高度对饲料营养价值有显著影响，郝阳毅等^[20]研究发现随着留茬高度的提高，构树NDF、ADF含量显著下降，但是总单宁含量显著上升，最佳留茬高度为35 cm；另有研究表明，辣木刈割时，留茬高度为30 cm时生物量最大、叶片中可溶性糖含量最高、地径生长量和株高生长量最旺盛，因此辣木最佳留茬高度为30 cm^[21]。除此之外，吕竑建等^[22]研究了贮藏温度对辣木叶青贮品质的影响，结果表明，与30℃贮藏相比，15℃贮藏显著提高乳酸菌数量和真蛋白含量，对辣木叶青贮品质有明显改善作用。

1.2 木本饲料中的活性成分

木本饲料中含有多种次生代谢物，构树、辣木和黄梁木中主要是单宁，辣木还含有皂甙等；饲料桑含有甾醇、异槲皮苷等黄酮类物质以及植物中独有的1-脱氧野尻霉素（DNJ）的生物碱，同时含有一定量的单宁酸；总体来说，木本饲料最常见的活

性成分(或称为抗营养因子)是单宁,其也是限制木本饲料作为基础日粮的主要原因之一。因此,学者可增加对木本饲料活性成分种类、含量、青贮过程中微生物代谢以及不同畜禽对活性成分响应的研究;针对抗营养因子单宁,可筛选降解单宁的乳酸菌,并研究其在青贮过程中的降解机制及降解产物对动物的影响。

于明等^[18]研究发现,构树主要抗营养因子为单宁,构树7月中旬刈割,单宁含量为0.95%;8月中旬,单宁含量为1.34%;9月中旬为2.36%;植株上1/3单宁含量为0.75%,下1/3为1.97%;表明刈割时间和植株的不同部位均对单宁含量有影响。孙双印等^[23]报道桑叶中含有大量活性物质,100g干物质含黄酮46mg(比绿茶高3-4倍)、含有异槲皮苷200-500mg、槲皮苷30mg、槲皮苦素100mg等能抑制脂质氧化作用的黄酮类物质、含有多种氨基酸神经传递物质,降血压物质 γ -氨基丁酸,生物碱(1-脱氧野尻霉素(DNJ))。辣木叶中的抗营养成分有皂苷、单宁酸、凝集素、胰蛋白酶抑制剂、肌醇六磷酸等^[24],其叶粉添加量超过10%对罗非鱼的生长造成负面影响,但未发现其在畜禽饲喂试验中对动物生长有负面影响。Pandey等^[25]报道,黄梁木叶中含有高浓度绿原酸、单宁酸、卡丹宾酸、奎诺酸、正十六烷酸和十八烷酸,这些酸类物质有一定的抑菌作用。

2 木本饲料青贮品质概述及其影响因素

2.1 木本饲料自然青贮品质

成功的青贮可减少饲料贮藏期间营养损失,青贮饲料发酵质量好坏往往由pH值、有机酸含量、氨态氮含量和微生物多样性来评价。良好的青贮饲料,pH值约为3.8-4.2,含有较多乳酸(1/2-1/3)和少量乙酸(1/3),几乎不含丙酸和丁酸^[26];氨态氮(NH_3)占总氮(TN)10%以下^[27];青贮后主要优势细菌应为乳杆菌,若为肠杆菌,则常出现青贮pH值高、乳酸含量低和氨态氮含量高的现象^[28]。

刺槐、杂交构树和银合欢自然青贮品质较差,青贮pH值往往在5.0左右,与其可溶性糖含量低有关;其中杂交构树青贮后,细菌多样性结果显示肠杆菌属 *Enterobacter* 占比最高。饲料桑自然青贮

品质较差,主要因其缓冲能值高且所附着乳酸菌产酸能力差,青贮后肠杆菌 *Enterobacter* (55.24%)和乳杆菌 *Lactobacillus* (28.80%)为主要优势菌种。辣木和黄梁木自然青贮品质较好,pH值均在4.0以下;辣木青贮后优势菌由乳杆菌 *Lactobacillus* (70.33%)和肠杆菌 *Enterobacter* (22.68%)组成;黄梁木青贮后优势菌由乳杆菌 *Lactobacillus* 或少杆菌 *Exiguobacterium* 组成。因此,对于刺槐、杂交构树和银合欢,可通过添加发酵底物或高效乳酸菌剂改善青贮品质;饲料桑则可单独添加产酸及生长快的乳酸菌来提高发酵品质。

研究表明刺槐青贮60d后的pH值为5.42^[13],杂交构树青贮60d后pH值为5.36^[11],银合欢厌氧发酵30d后pH值为4.97^[29],均未达到优质青贮饲料所需的pH值。有报道显示,刺槐、杂交构树和银合欢自然青贮pH值高,可能是由于其可溶性糖含量低,乳酸菌无法产生足够的乳酸。赵娜等^[30]研究了添加植物乳杆菌对构树叶青贮品质的影响,结果发现添加量越高乳酸含量越高,但添加量达 6.25×10^7 CFU/g时,乳酸含量仅为14.55 g/kg DM,丙酸和丁酸含量极低;自然发酵乳酸含量则更少(7.47 g/kg DM)。朱春娟等^[31]利用不同添加剂对刺槐的青贮过程进行研究,结果表明刺槐发酵过程中乳酸含量上升缓慢,直至青贮结束时,乳酸含量仍较低(3.32-18.39 g/kg DM),乙酸含量较高(16.78-28.55 g/kg DM),检测到极微量的丙酸和丁酸, NH_3 -N/TN为6.05%。有报道称,饲料桑自然青贮乳酸含量为41.6 g/kg DM,乙酸含量为10.7 g/kg DM,但pH仍高达4.60,可能是因其原料缓冲能值较高^[32]且所附着的乳酸菌活性较低所致^[33]。

资料显示,辣木叶自然青贮30d后pH值为3.89,乳酸含量为24.8 g/kg DM,乙酸含量为4.7 g/kg DM,乳酸/乙酸较高,氨态氮含量为0.61%TN^[34];黄梁木自然青贮30d后pH值为3.95-4.06,但其乳酸含量并不高(10.9 g/kg DM),乙酸含量为1.9 g/kg DM,未检测到丙酸和丁酸, NH_3 -N/TN为9.21%,因此其pH值低可能是由于原料的缓冲能值较低^[35]。

近年来,越来越多的研究学者关注微生物多样性与青贮品质之间的关系。Du等^[36]研究晾晒对杂交构树微生物多样性的影响,结果表明,自

然青贮杂交构树优势菌为乳酸杆菌 *Lactobacillales bacterium* (16.76%)、牛痘乳杆菌 *Lactobacillus vaccinostrercus* (16.40%) 和植物乳杆菌 *Lactobacillus plantarum* (15.93%)，pH 值为 4.67；晾晒后为肠杆菌 *Enterobacter* 和乳杆菌 *Lactobacillus*，pH 值为 4.90。另有研究表明，构树青贮 60 d 后，肠杆菌 *Enterobacter* 占比最高，超过 50%，肠球菌 *Enterococcus*、乳球菌 *Lactococcus*、片球菌 *Pediococcus* 次之；饲料桑青贮 60 d 后，肠杆菌 *Enterobacter* (55.24%)，乳杆菌 *Lactobacillus* (28.80%) 和肠球菌 *Enterococcus* (6.92%) 为优势菌群，pH 值为 4.80；辣木优势菌由乳杆菌 *Lactobacillus* (70.33%) 和肠杆菌 *Enterobacter* (22.68%) 组成，pH 值为 3.98；黄梁木青贮后乳杆菌 *Lactobacillus* (84.86%) 为优势菌种，pH 值为 3.98^[37]；pH 值与乳杆菌相对丰度呈倒数关系。与常规结果不同的是，He 等^[38] 研究显示少杆菌 *Exiguobacterium* 为黄梁木青贮后的优势菌种，并指出少杆菌 *Exiguobacterium* 是一种革兰氏阳性厌氧菌，过氧化氢酶阳性，能将葡萄糖发酵成乳酸、乙酸和甲酸，是青贮饲料中理想的细菌。

2.2 木本饲料青贮品质的影响因素

青贮饲料的发酵品质受饲料原料、水分含量、发酵温度及有益发酵菌的影响。因此，木本饲料原料营养成分的变化会影响其青贮品质，如 1.1 中提到饲料采集的时间、留茬高度、刈割茬次和贮藏温度均可能影响木本饲料青贮品质。除此之外，青贮时的含水量、青贮添加剂的使用和混贮等也会对木本饲料青贮品质产生影响，合理利用均可提高木本饲料青贮品质。

2.2.1 含水量对木本饲料青贮品质的影响

青贮时，水分过高不利于乳酸菌发酵，且压实过程中汁液流失，造成营养损失；水分过低则会减少可溶性糖含量，使乳酸菌可利用的底物变少，pH 值降速减慢，不利于营养保存^[39]；因此，适宜的含水量对成功青贮至关重要。研究显示，杂交构树、辣木和黄梁木正常刈割水分含量均较高，上述 3 种木本饲料青贮的最适含水量为 60%–65%，实际生产过程中，刈割后可适度晾晒或与水分含量低的饲料混贮后再行青贮。

晾晒对杂交构树青贮品质和微生物群落组成均

有影响，晾晒显著降低青贮 pH 值，提高乳酸含量，乳酸菌和鼠李糖乳杆菌 *Lctobacillus rhamnosus* 相对丰富增加^[40]。类似的研究还有刘凯丽^[41] 研究了不同含水量（鲜样 68.67%、晾晒至 60.27% 和 45.54%）对杂交构树青贮品质的影响发现，60.27% 含水量下可溶性糖含量显著提高、NDF 和 ADF 显著降低，含水量为 60.27% 的杂交构树青贮品质最好。资料表明，晾晒对辣木叶青贮品质也有正向影响，晾晒至含水量为 60% 时，辣木叶青贮非蛋白氮含量最低、真蛋白含量最高^[42]。王益等^[14] 探讨了含水量对黄梁木叶青贮品质的影响，结果表明，随着含水量的降低（80%–70%），黄梁木叶青贮饲料 pH 值降低，可溶性碳水化合物含量增加。由此可见，适度晾晒有助于提升木本饲料青贮品质。

2.2.2 青贮添加剂对木本饲料青贮品质的影响

同型发酵乳酸菌可快速降低青贮 pH 值、提高乳酸相对含量，因此常被用作青贮添加剂，且有研究显示其可提高奶生产奶量，但机理尚不明确^[43]。构树、饲料桑、胡枝子和刺槐自然青贮品质均较差，多名学者利用同型发酵乳酸菌改善上述饲料青贮品质，均有明显效果。除此之外，纤维分解类酶制剂可在青贮时分解植物细胞壁，使多糖水解为单糖，间接为乳酸菌提供底物，改善乳酸发酵并提高饲料营养价值；糖蜜则可直接为乳酸菌发酵提供底物；上述两种添加剂也常被用于自然青贮品质差的木本饲料中。除利用青贮添加剂，本实验室研究人员发现利用揉丝技术处理木本饲料，可更高效暴露发酵底物，使构树、饲料桑等木本饲料青贮品质在无添加剂的情况下得到改善。

研究表明，不同来源的乳酸菌分别添加到饲料桑、刺槐和杂交构树中进行青贮，均可降低 3 种木本饲料 pH 值^[44–45]。胡枝子自然青贮 pH 值为 4.47，刘晓婧等添加不同乳酸菌菌剂于胡枝子中^[46]，显著降低了胡枝子青贮后 pH 值和氨态氮含量，提高了粗蛋白含量。He 等^[38] 研究了甲酸和粉乳杆菌 *Lactobacillus farciminis* 添加对黄梁木青贮品质的影响，发现添加甲酸可以降低黄梁木 pH 值和肠杆菌数量、添加粉乳杆菌可以提高乳酸菌数量和乳酸含量。研究发现，饲料桑叶表面的附生乳酸菌数量达 6.73 log₁₀ CFU/g FW，但青贮前 7 d 未见大量乳酸生

成^[33]；添加乳酸菌后，pH 值显著下降^[34]。文献报道，添加 8% 植物乳杆菌和产朊假丝酵母（1 : 1）可提高全株构树青贮品质，获得优质全株构树青贮饲料^[47]。除乳酸菌外，其他添加剂也可提高木本饲料青贮品质。资料显示，在添加 4% 糖蜜的基础上混合添加乳酸菌（0.02 g/kg）和纤维素酶（1 g/kg），能改善构树青贮饲料发酵品质、同时引起微生物群落结构发生变化、减少有害微生物的数量^[48]。利用纤维素酶和干酪乳杆菌 *Lactobacillus casei* 均可提高干物质回收率、乳酸、真蛋白、总黄酮含量、抗氧化活性和微生物蛋白产量，降低 pH 值和氨态氮含量^[32]。

因此，青贮时添加乳酸菌、纤维素酶或糖蜜，可在木本饲料青贮过程中帮助乳酸菌快速成为优势菌群，提高乳酸含量，降低青贮 pH 值，有效提高木本饲料青贮品质并改善营养价值。

2.2.3 混贮对木本饲料青贮品质的影响 混贮可使饲料营养成分互补，解决某些饲料因可溶性碳水化合物（WSC）含量少、或水分含量过高导致单一青贮不成功的问题。据前文所述，杂交构树含水量较高、且可溶性糖含量低，因此利用可溶性糖含量高的燕麦或含水量低的稻草与之混贮，均可提高其青贮品质。郑玉龙等将燕麦与构树混贮，有效弥补了构树发酵底物，使青贮 pH 值显著降低^[49]。王芬等^[50]将稻草与构树混合青贮发现，构树：稻草比例为 9 : 1 时，青贮品质最优，降低了青贮 pH 值、乙酸、丙酸和丁酸含量，提高了乳酸含量和青贮品质，与付锦涛等研究结果相似^[51]。

前文提到，木本饲料中黄梁木和辣木自然青贮品质好，且黄梁木具有天然抗菌性。因此有学者将黄梁木和辣木与自然青贮品质较差的饲料进行混贮，表明二者均可降低青贮 pH 值、提高乳酸含量和青贮品质。如 Wang 等^[52]将黄梁木与苜蓿和柱花草进行混贮，结果表明添加黄梁木可降低 pH 值（苜蓿由 4.88 降至 4.32、柱花草由 4.71 降至 4.26）、提高乳酸含量和真蛋白含量。除此之外，Wang 等^[53]研究了玉米秸秆中添加黄梁木对青贮品质的影响，试验结果显示，添加黄梁木有助于保存玉米秸秆中的蛋白（因黄梁木单宁含量较高）、抑制有害细菌和霉菌的生长、在一定程度上提高饲料品质。Mendieta-

Araica 等^[54]将辣木和象草混贮，发现添加辣木可以降低青贮 pH 值（-0.8）、提高乳酸含量（+16 g/kg DM）和有氧稳定性（67 h）。

3 木本饲料青贮利用进展

大量研究表明，木本饲料蛋白质含量较高，可作为蛋白质饲料用于畜禽日粮，且木本饲料具有药食同源特性、含有大量酚类和黄酮类物质，可增强畜禽免疫力和抗氧化能力^[55-57]。在国家禁止饲料中添加抗生素后，研发纯天然替代产品提高畜禽抗病能力成为畜牧业研究热点，而木本饲料得到了人们越来越多的关注。但需要注意的是，单胃动物对单宁酸和纤维素的利用能力和承受能力有限，因而需注意木本饲料用量^[58]。

3.1 木本饲料青贮在单胃动物中的应用

有关木本饲料青贮在单胃动物中利用的资料表明，利用青贮构树枝叶替换 25% 稻糠对鹅群蛋重、死淘率、产蛋率、孵化率哈夫单位影响不显著，蛋黄颜色显著提高，说明青贮构树枝叶可作为冬春季种鹅的饲料原料^[59]。饲料桑青贮可有效改善猪肉品质、提高猪肉风味、提高猪只抗病力、降低抗生素使用量，符合消费者对高品质猪肉产品的需要；但适宜的收割时期、青贮含水量，饲料的质量、安全性评估以及饲养的标准还需进一步研究确定^[60]。资料显示，在三黄鸡基础日粮中添加 15% 辣木和象草混合青贮饲料，提高平均日增重、降低料重比和死亡率，对屠宰性能和肉质方面无显著差异^[61]。另有研究表明，麻黄鸡基础日粮中添加 5% 青贮黄梁木叶，可降低麻黄鸡肌间脂肪宽度、血清葡萄糖和总胆固醇含量，提高十二指肠和回肠肠绒毛高度以及绒毛高度 / 隐窝深度值，以 5% 浓度接种乳酸菌的青贮黄梁木有助于提高麻黄鸡的屠宰性能^[62]。

3.2 木本饲料青贮在反刍动物中的应用

有关反刍动物的结果显示，全株辣木燕麦混合青贮替代 50% 以下苜蓿干草对泌乳奶牛生产性能没有显著负面影响，替代量达到 50% 或以上，则会显著降低奶牛干物质表观消化率，因此建议全株辣木燕麦混合青贮替代苜蓿干草应控制在 50% 以下^[63]。另一项研究探索了青贮黄梁木对黑山羊肝脏代谢谱的影响，结果表明黄梁木青贮替代基础日粮中 50%

青贮玉米,可提高葡萄糖酸、甘油、反式-9-十八烯酸、棕榈酸、硬脂酸、尸胺、油酸和9-十八烯酸乙酯,并推测青贮黄梁木可能通过调控脂肪代谢相关途径发挥生物学功能,可能与其提高黑山羊采食量、平均日增重、肩宽和眼肌面积有关^[64]。有报道称,将饲料桑粉碎后按15%比例与玉米秸秆共同发酵制成混合发酵饲料加入肉羊基础日粮中,NDF、ADF、钙和磷表观消化率差异显著,可提高肉羊采食量和饲料转化率^[65]。青贮杂交构树在反刍动物中的利用表明,青贮杂交构树对肉羊生长性能无显著影响,但能提高肉羊免疫力、改善肌肉营养成分、氨基酸和脂肪酸的组成,添加量为12%效果最好^[66];日粮中添加8%和12%杂交构树发酵饲料可提高奶牛生产性能,乳成分和乳清抗氧化指标均有所改善^[67]。由此可见,木本饲料饲喂牲畜安全、营养,还可提高畜禽机体免疫力和抗病能力,一定程度上改善畜禽生产性能。

4 总结和展望

4.1 木本饲料青贮营养品质控制

我国木本饲料来源广泛,具有较高的营养价值和经济价值,可作为蛋白饲料加以利用。但部分木本饲料纤维或单宁含量高,后续可针对性的筛选产阿魏酸酯酶或降解单宁的乳酸菌,或将木本饲料与抗营养因子含量少的饲草混合青贮,也可进行基因改良,改善栽培品种,优选纤维含量低或抗营养因子含量少的品种。

4.2 木本饲料青贮加工工艺优化

自然青贮条件下,杂交构树、饲料桑、刺槐、银合欢等木本饲料因其可溶性糖含量低或附着乳酸菌活性低,不能获得优质青贮品质,可利用乳酸菌等添加剂进行改善;但目前市面上木本饲料专用的微生物添加剂产品较少,未来可进行木本饲料专用添加剂的研制。除此之外,也应研发适用于木本饲料收获、切割及青贮的专用机械,优化木本饲料青贮加工技术。

4.3 木本饲料青贮改善畜产品品质机理研究

适量木本饲料青贮应用于畜禽养殖,往往可改善畜产品品质,但应完善木本饲料青贮质量评价体系,并针对不同畜禽的各生长阶段,确定适宜添加量。

后续可深层次关注木本饲料药食同源特性,结合代谢组、微生物组等方面探讨木本饲料改善畜禽生产性能的作用机制。

参考文献

- [1] Zhang YC, Wang XK, Li DX, et al. Impact of wilting and additives on fermentation quality and carbohydrate composition of mulberry silage [J]. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2019: 254-263.
- [2] 韩彦明. 全球大豆市场趋势及饲料蛋白的选择与利用 [J]. *兽医导刊*, 2020 (5): 5-6.
Han YM. Global soybean market trend and the selection or utilization of feed protein [J]. *Vet Orientat*, 2020 (5): 5-6.
- [3] 王辽卫. 2019年饲料粮市场供需形势回顾及2020年展望 [J]. *广东饲料*, 2020, 29 (1): 21-23.
Wang LW. Review of supply and demand situation of feed grain market in 2019 and prospect in 2020 [J]. *Guangdong Feed*, 2020, 29 (1): 21-23.
- [4] 王丽. 构树的饲用价值及在反刍动物上的应用研究进展 [J]. *中国奶牛*, 2019 (12): 25-28.
Wang L. Advances in research on the feeding value of paper mulberry and their application in ruminants [J]. *China Dairy Cattle*, 2019 (12): 25-28.
- [5] 王梓贞, 李相全. 适于北方高寒地区种植的11种木本饲料树种饲用营养成分评定 [J]. *畜牧产业*, 2020 (8): 65-68.
Wang ZZ, Li XQ. Evaluation of nutrients of 11 woody forage species suitable for planting in northern Alpine Region [J]. *Animal Agric*, 2020 (8): 65-68.
- [6] 于晨晨, 汪佑佑, 李文清, 等. 青贮饲料技术研究进展与问题展望 [J]. *饲料研究*, 2021, 44 (12): 145-148.
Yu CC, Wang YY, Li WQ, et al. Research progress and problems prospect of silage technology [J]. *Feed Res*, 2021, 44 (12): 145-148.
- [7] 武晓宏, 杨风宝, 刘旭. 饲料苜蓿中粗蛋白含量的测定及分析——谈宁夏中卫市的饲料监管措施 [J]. *中国动物保健*, 2009, 11 (8): 98-99.
Wu XH, Yang FB, Liu X. Determination and analysis of crude protein content in forage alfalfa—discussion on feed supervision measures in Zhongwei city of Ningxia [J]. *China Animal Heal*, 2009, 11 (8): 98-99.
- [8] Silva VP, Pereira OG, Leandro ES, et al. Effects of lactic acid

- bacteria with bacteriocinogenic potential on the fermentation profile and chemical composition of alfalfa silage in tropical conditions [J]. *J Dairy Sci*, 2016, 99 (3): 1895-1902.
- [9] Tao L, Zhou H, Zhang N, et al. Effects of different source additives and wilt conditions on the pH value, aerobic stability, and carbohydrate and protein fractions of alfalfa silage [J]. *Anim Sci J*, 2017, 88 (1): 99-106.
- [10] 张浩雯. 植物乳杆菌阿魏酸酯酶 LP₀796 底物识别与催化机制 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- Zhang HW. Substrate recognition and catalytic mechanisms of feruloyl esterase LP₀796 from *Lactobacillus plantarum* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021.
- [11] 李乔仙, 薛世明, 黄必志, 等. 两种野生木本植物饲用价值研究 [J]. *中国草食动物科学*, 2020, 40 (5): 37-41.
- Li QX, Xue SM, Huang BZ, et al. Study on feeding value of two species of wild woody plants [J]. *China Herbiv Sci*, 2020, 40 (5): 37-41.
- [12] 刘芳, 敖常伟. 刺槐叶蛋白的营养价值评价 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2007, 27 (6): 53-57, 62.
- Liu F, Ao CW. Evaluation of the nutritive value of leaf proteins from *Robinia pseudoacacia* [J]. *J Central South Univ For Technol*, 2007, 27 (6): 53-57, 62.
- [13] 张颖超, 李东霞, 庞帝琼, 等. 四倍体刺槐青贮营养成分动态变化及发酵特性 [J]. *草学*, 2018 (S1): 41-42.
- Zhang YC, Li DX, Pang DQ, et al. Nutritional dynamics and fermentation characteristics of *Robinia pseudoacacia* silage [J]. *J Grassland Forage Sci*, 2018 (S1): 41-42.
- [14] 王益, 王学凯, 周玮, 等. 含水量及添加剂对黄梁木叶青贮品质的影响 [J]. *华南农业大学学报*, 2018, 39 (4): 80-86.
- Wang Y, Wang XK, Zhou W, et al. Effects of moisture content and additive on silage quality of *Neolamarckia cadamba* leaves [J]. *J South China Agric Univ*, 2018, 39 (4): 80-86.
- [15] 邓凯东, 陈玉华, 茅慧华, 等. 调制方法对桑叶青贮营养成分和活性物质含量的影响 [J]. *饲料研究*, 2021, 44 (11): 90-93.
- Deng KD, Chen YH, Mao HH, et al. Effect of ensiling methods on the content of nutrients and biologically active substances of mulberry leaf silage [J]. *Feed Res*, 2021, 44 (11): 90-93.
- [16] Zhang YC, Li DX, Wang XK, et al. Fermentation quality and aerobic stability of mulberry silage prepared with lactic acid bacteria and propionic acid [J]. *Anim Sci J*, 2019, 90 (4): 513-522.
- [17] 司丙文, 王宗礼, 孙启忠, 等. 尖叶胡枝子青贮微生物数量变化及发酵特性 [J]. *草业科学*, 2012, 29 (4): 650-657.
- Si BW, Wang ZL, Sun QZ, et al. Fermentation characteristics and changes of lactic acid bacteria isolated from ensiling *Lespedeza hedysaroides* [J]. *Pratacultural Sci*, 2012, 29 (4): 650-657.
- [18] 于明, 刘素杰, 程波, 等. 构树叶的营养成分分析及与刺槐树叶的营养比较 [J]. *辽宁农业职业技术学院学报*, 2012, 14 (4): 15-16.
- Yu M, Liu SJ, Cheng B, et al. Comparison of nutritional components in *Broussonetia papyrifera* leaves and *Robinia pseudoacacia* leaves [J]. *J Liaoning Agric Coll*, 2012, 14 (4): 15-16.
- [19] 李美如, 陈攀亮, 赵文康, 等. 刈割茬次对杂交构树青贮发酵品质和营养价值的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2021, 53 (1): 43-47.
- Li MR, Chen PL, Zhao WK, et al. Effect of clipping stubbles on fermentation quality and nutrient components of hybrid *Broussonetia papyrifera* silage [J]. *Animal Husb Vet Med*, 2021, 53 (1): 43-47.
- [20] 郝阳毅, 何雅琴, 刘高坤, 等. 不同留茬高度对构树产量、营养成分及其青贮品质和体外发酵的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32 (5): 2387-2396.
- Hao YY, He YQ, Liu GK, et al. Effects of different cutting heights on yield, nutritional composition, silage fermentation quality and *in vitro* fermentation of hybrid paper mulberry [J]. *Chin J Animal Nutr*, 2020, 32 (5): 2387-2396.
- [21] 宿爱芝. 辣木栽培技术与生物量关系的研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
- Su AZ. The study of output compose physiology of *Morinda oleifera* cultivated for leaves [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2012.
- [22] 吕竑建, 郭香, 陈德奎, 等. 植物乳酸菌和贮藏温度对辣木叶青贮品质的影响 [J]. *草业学报*, 2021, 30 (3): 121-128.
- Lv HJ, Guo X, Chen DK, et al. Effect of lactic acid bacteria and storage temperature on the quality of *Moringa oleifera* leaf silage [J]. *Acta Prataculturae Sin*, 2021, 30 (3): 121-128.
- [23] 孙双印, 侯向阳, 卢欣石. 二十一世纪的绿色神奇功能饲料植物——饲料桑 [J]. *中国奶牛*, 2007 (2): 53-54.
- Sun SY, Hou XY, Lu XS. A green and magic functional feed plant

- in the 21st century --mulberry [J]. *China Dairy Cattle*, 2007 (2): 53-54.
- [24] 吴頔, 蔡志华, 魏焯昕, 等. 辣木作为新型植物性蛋白质饲料的研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2013, 25 (3): 503-511.
- Wu D, Cai ZH, Wei YX, et al. Research advances in *Moringa* as a new plant protein feed [J]. *Chin J Animal Nutr*, 2013, 25 (3): 503-511.
- [25] Pandey A, Negi PS. Traditional uses, phytochemistry and pharmacological properties of *Neolamarckia cadamba*: a review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 181: 118-135.
- [26] 何立贵. 青贮饲料品质鉴定及影响关键因素 [J]. *中国畜禽种业*, 2018, 14 (3): 26-27.
- He LG. Quality identification and key factors of silage [J]. *Chin Livest Poult Breed*, 2018, 14 (3): 26-27.
- [27] 潘艺伟, 宦海琳, 许能祥, 等. 不同糖蜜及添加量对稻草饲料发酵品质的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2020, 48 (1): 155-159.
- Pan YW, Huan HL, Xu NX, et al. Impact of different molasses and adding amounts on fermentation quality of rice straw [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2020, 48 (1): 155-159.
- [28] Zhang Q, Li X, Zhao M, et al. Lactic acid bacteria strains for enhancing the fermentation quality and aerobic stability of *Leymus chinensis* silage [J]. *Grass Forage Sci*, 2016, 71 (3): 472-481.
- [29] 付锦涛, 林炎丽, 吴迪, 等. 四种木本饲料发酵质量研究 [J]. *草学*, 2018 (S1): 35-36.
- Fu JT, Lin YL, Wu D, et al. Study on the fermentation quality of four kinds of woody feeds [J]. *J Grassland Forage Sci*, 2018 (S1): 35-36.
- [30] 赵娜, 樊启文, 魏金涛, 等. 植物乳杆菌添加量对构树叶青贮品质的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32 (5): 2298-2305.
- Zhao N, Fan QW, Wei JT, et al. Effects of addition amount of *Lactobacillus plantarum* on quality of *Broussonetia papyrifera* leaves silage [J]. *Chin J Animal Nutr*, 2020, 32 (5): 2298-2305.
- [31] 朱春娟, 原现军, 董志浩, 等. 添加剂对饲料型四倍体刺槐青贮发酵品质和体外消化率的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 2017, 40 (4): 725-731.
- Zhu CJ, Yuan XJ, Dong ZH, et al. Effect of additives on fermentation quality and *in vitro* digestibility of tetraploid black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) silage [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2017, 40 (4): 725-731.
- [32] He L, Zhou W, Wang C, et al. Effect of cellulase and *Lactobacillus casei* on ensiling characteristics, chemical composition, antioxidant activity, and digestibility of mulberry leaf silage [J]. *J Dairy Sci*, 2019, 102 (11): 9919-9931.
- [33] 左艳春, 杜周和, 严旭, 等. 饲料桑青贮技术 [J]. *现代农业科技*, 2018 (4): 225, 228.
- Zuo YC, Du ZH, Yan X, et al. Silage technique of mulberry forage [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2018 (4): 225, 228.
- [34] He LW, Lv H, Chen N, et al. Improving fermentation, protein preservation and antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaves silage with Gallic acid and tannin acid [J]. *Bioresour Technol*, 2020, 297: 122390.
- [35] He LW, Lv H, Xing YQ, et al. Intrinsic tannins affect ensiling characteristics and proteolysis of *Neolamarckia cadamba* leaf silage by largely altering bacterial community [J]. *Bioresour Technol*, 2020, 311: 123496.
- [36] Du Z, Sun L, Chen C, et al. Exploring microbial community structure and metabolic gene clusters during silage fermentation of paper mulberry, a high-protein woody plant [J]. *Animal Feed Sci Technol*, 2021, 275: 114766.
- [37] Zhang YC, Li DX, Wang XK, et al. Fermentation dynamics and diversity of bacterial community in four typical woody forages [J]. *Ann Microbiol*, 2019, 69 (3): 233-240.
- [38] He L, Wang C, Xing Y, et al. Dynamics of proteolysis, protease activity and bacterial community of *Neolamarckia cadamba* leaves silage and the effects of formic acid and *Lactobacillus farciminis* [J]. *Bioresour Technol*, 2019, 294: 122127.
- [39] 周昕, 黄秋连, 王健, 等. 添加乳酸菌剂和糖蜜对不同含水量食叶草青贮发酵品质及体外干物质消失率的影响 [J]. *动物营养学报*, 2021, 33 (3): 1594-1606.
- Zhou X, Huang QL, Wang J, et al. Effects of adding lactic acid bacteria and molasses on fermentation quality and *in vitro* dry matter disappearance rate of *Rumex hanus* by. Silage with different moisture contents [J]. *Chin J Animal Nutr*, 2021, 33 (3): 1594-1606.
- [40] Guo LN, Wang XK, Lin YL, et al. Microorganisms that are critical for the fermentation quality of paper mulberry silage [J]. *Food Energy Secur*, 2021. DOI: 10.1002/fes3.304.
- [41] 刘凯丽. 不同含水量及添加剂对杂交构树青贮饲料品质的影

- 响 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2019.
- Liu KL. Effects of different water content and additives on quality of hybrid paper mulberry silage [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2019.
- [42] 王成, 周玮, 王学凯, 等. 晾晒处理对辣木叶青贮品质的影响 [J]. 草学, 2018 (S1): 39-40.
- Wang C, Zhou W, Wang XK, et al. Effect of wilting on the quality of *Moringa oleifera* leaves silage [J]. J Grassland Forage Sci, 2018 (S1): 39-40.
- [43] Muck RE, Nadeau EMG, McAllister TA, et al. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives [J]. J Dairy Sci, 2018, 101 (5): 3980-4000.
- [44] 刘晓婧, 张颖超, 杨富裕. 乳酸菌添加剂对 3 种典型木本饲料青贮效果的影响 [J]. 饲料工业, 2019, 40 (2): 16-21.
- Liu XJ, Zhang YC, Yang FY. Effects of lactic acid bacteria additives on the fermentation quality of three woody forages [J]. Feed Ind, 2019, 40 (2): 16-21.
- [45] 李平, 肖冰雪, 郑群英, 等. 乳酸菌及丙酸对老芒麦青贮品质的影响 [J]. 草学, 2017 (2): 28-32.
- Li P, Xiao BX, Zheng QY, et al. Effects of lactic acid bacteria and propionic acid as additives on the quality of *Elymus sibiricus* L. silage [J]. J Grassland Forage Sci, 2017 (2): 28-32.
- [46] 刘晓婧, 张颖超, 郭琳娜, 等. 乳酸菌添加剂对尖叶胡枝子发酵品质的影响 [J]. 草学, 2018 (S1): 82-83, 86.
- Liu XJ, Zhang YC, Guo LN, et al. The effects of lactic acid bacteria additives on the fermentation quality of *Lespedeza hedysaroides* [J]. J Grassland Forage Sci, 2018 (S1): 82-83, 86.
- [47] 王洋, 高正龙, 吕文竹, 等. 不同菌制剂对全株构树青贮饲料品质的影响 [J]. 饲料研究, 2021, 44 (6): 105-108.
- Wang Y, Gao ZL, Lü WZ, et al. Effect of different bacterial preparations on the quality of whole *Broussonetia papyrifera* silage [J]. Feed Res, 2021, 44 (6): 105-108.
- [48] 黄媛, 代胜, 梁龙飞, 等. 不同添加剂对构树青贮饲料发酵品质及微生物多样性的影响 [J]. 动物营养学报, 2021, 33 (3): 1607-1617.
- Huang Y, Dai S, Liang LF, et al. Effects of different additives on fermentation quality and microbial diversity of paper mulberry silage [J]. Chin J Animal Nutr, 2021, 33 (3): 1607-1617.
- [49] 郑玉龙, 李东霞, 杨富裕, 等. 木本饲料与燕麦混合青贮发酵品质的研究 [J]. 草学, 2018 (S1): 1-2, 13.
- Zheng YL, Li DX, Yang FY, et al. Study on fermentation quality of mixture silage of wood grass and oats [J]. J Grassland Forage Sci, 2018 (S1): 1-2, 13.
- [50] 王芬, 赵腊梅. 稻草与构树混合青贮对青贮营养成分和发酵品质的影响 [J]. 饲料研究, 2021, 44 (9): 114-117.
- Wang F, Zhao LM. Effect of mixed silage of rice straw and *Broussonetia papyrifera* on nutrient composition and fermentation quality of silage [J]. Feed Res, 2021, 44 (9): 114-117.
- [51] 付锦涛, 王学凯, 倪奎奎, 等. 添加乳酸菌和糖蜜对全株构树和稻草混合青贮的影响 [J]. 草业学报, 2020, 29 (4): 121-128.
- Fu JT, Wang XK, Ni KK, et al. The effects of adding lactic acid bacteria and molasses on fermentation of *Broussonetia papyrifera* and rice straw mixed silage [J]. Acta Prataculturae Sin, 2020, 29 (4): 121-128.
- [52] Wang C, He L, Xing Y, et al. Effects of mixing *Neolamarckia cadamba* leaves on fermentation quality, microbial community of high moisture alfalfa and stylo silage [J]. Microb Biotechnol, 2019, 12 (5): 869-878.
- [53] Wang Y, Zhou W, Wang C, et al. Effect on the ensilage performance and microbial community of adding *Neolamarckia cadamba* leaves to corn stalks [J]. Microb Biotechnol, 2020, 13 (5): 1502-1514.
- [54] Mendieta-Araica B, Spöndly E, Reyes-Sánchez N, et al. Silage quality when *Moringa oleifera* is ensiled in mixtures with Elephant grass, sugar cane and molasses [J]. Grass Forage Sci, 2009, 64 (4): 364-373.
- [55] 王春明, 穆春雨, 焦莉, 等. 单宁酸对北京鸭生长性能、屠宰性能、抗氧化指标和免疫器官指数的影响 [J]. 中国家禽, 2021, 43 (6): 41-45.
- Wang CM, Mu CY, Jiao L, et al. Effects of tannic acid on growth performance, slaughter performance, antioxidant index and immune organ index of Peking duck [J]. China Poult, 2021, 43 (6): 41-45.
- [56] 王春明, 王洪芳, 焦莉, 等. 单宁酸对北京鸭生长性能、肠道发育和盲肠菌群的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2021. DOI: 10.19556/j.0258-7033.20210113-01.
- Wang CM, Wang HF, Jiao L, et al. Effects of tannic acid on growth performance, intestinal development and cecal flora of Peking

- fuck [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2021. DOI : 10.19556/j.0258-7033.20210113-01.
- [57] 徐婷婷, 杨智仁, 曹沛文, 等. 包膜单宁酸对断奶仔猪生长性能、肠道形态及抗氧化能力的影响 [J]. 中国畜牧杂志 2021. DOI : 10.19556/j.0258-7033.20201229-05.
- Xu TT, Yang ZR, Cao PW, et al. Effects of coated tannic acid on growth performance, intestinal morphology and antioxidant capacity of Weaned piglets [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2021. DOI : 10.19556/j.0258-7033.20201229-05.
- [58] 马莹, 陈星平, 习欠云. 构树在畜禽养殖业上的应用 [J]. 广东饲料, 2019, 28 (12): 36-38.
- Ma Y, Chen X Y, Xi Q Y. Application of *Broussonetia papyrifera* in animal husbandry [J]. Guangdong Feed, 2019, 28 (12): 36-38.
- [59] 黄炎坤, 李杨, 徐思源, 等. 青贮构树枝叶替代稻糠对皖西白鹅繁殖性能的影响 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020 (15): 125-128.
- Huang YK, Li Y, Xu SY, et al. Effects of *Broussonetia papyrifera* silage replacing rice bran on reproductive performance of Wanxi White Geese [J]. Heilongjiang Animal Sci Vet Med, 2020 (15): 125-128.
- [60] 王诚, 王彦平, 崔太昌, 等. 猪用青贮饲料桑饲喂技术产业化开发的重要意义和亟待解决的几个技术问题 [J]. 猪业科学, 2019, 36 (4): 120-123, 4.
- Wang C, Wang YP, Cui TC, et al. Significance of industrialization development of mulberry silage for pig and several technical problems to be solved [J]. Swine Ind Sci, 2019, 36 (4): 120-123, 4.
- [61] 宋晶晶, 王腾蛟, 王田田, 等. 辣木、象草混合青贮饲料对三黄鸡生长性能、屠宰性能、肉品质及血液生化指标的影响 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020 (8): 87-92.
- Song JJ, Wang TJ, Wang TT, et al. Effects of *Moringa* and Elephant Grass mixed silage on growth performance, slaughter performance, meat quality and blood biochemical indexes of Three Yellow chicken [J]. Heilongjiang Animal Sci Vet Med, 2020 (8): 87-92.
- [62] 陈娜, 周玮, 和立文, 等. 黄梁木叶对麻黄鸡屠宰性能、小肠形态和血清生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2021, 33 (7): 3833-3841.
- Chen N, Zhou W, He LW, et al. Effects of *Neolamarckia cadamba* leaves on slaughter performance, small intestine morphology and serum biochemical indices of partridge chicken [J]. Chin J Animal Nutr, 2021, 33 (7): 3833-3841.
- [63] 曾斌, 习欠云, 孙加节, 等. 中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十二次动物营养学术研讨会论文集 [C]. 武汉: 中国农业大学出版社, 2016.
- Zeng B, Xi QY, Sun JJ, et al. Proceedings of the 12th Symposium on animal nutrition of animal nutrition branch of Chinese society of animal husbandry and veterinary [C]. Wuhan: China Agricultural University Press, 2016.
- [64] 温芷莹, 田汉晨, 吴龙飞, 等. 青贮黄梁木替代青贮玉米对川中黑山羊肝脏代谢谱的影响 [J]. 饲料工业, 2021, 42 (7): 27-33.
- Wen ZY, Tian HC, Wu LF, et al. Effects of silage *Neolamarckia cadamba* substitute silage corn on liver metabolic profile of Chuazhong black goats [J]. Feed Ind, 2021, 42 (7): 27-33.
- [65] 鲁志平, 郭莉, 李建臻, 等. 玉米秸秆与饲料桑混合发酵饲料对肉羊生长性能的影响 [J]. 畜牧与饲料科学, 2020, 41 (3): 11-15.
- Lu ZP, Guo L, Li JZ, et al. Effects of fermented mixed feed of corn stalk and forage mulberry on growth performance of mutton sheep [J]. Animal Husb Feed Sci, 2020, 41 (3): 11-15.
- [66] 张生伟, 王小平, 张展海, 等. 青贮杂交构树对杜湖杂交肉羊生长性能、血清生化指标和肉品质的影响 [J]. 草业学报, 2021, 30 (3): 89-99.
- Zhang SW, Wang XP, Zhang ZH, et al. Effects of *Broussonetia papyrifera* silage on growth performance, serum biochemical indexes and meat quality of Dorper × Hu crossbred sheep [J]. Acta Prataculturae Sin, 2021, 30 (3): 89-99.
- [67] 宋柏颀, 陶振阳, 任洪涛, 等. 杂交构树发酵饲料对奶牛生产性能、乳清抗氧化及生化指标的影响 [J]. 家畜生态学报, 2020, 41 (8): 45-50.
- Song BY, Tao ZY, Ren HT, et al. Effects of *B. kazinoki* × *B. papyrifera* silage on production performance, whey antioxidant and biochemical indexes capacity in dairy cows [J]. J Domestic Animal Ecol, 2020, 41 (8): 45-50.