

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.02.033

引用格式:罗宏杰,肖启银,补星月,等.中药渣对全株玉米青贮品质及黄曲霉毒素含量的影响[J].草地学报,2026,34(2):713—722
LUO Hong-jie, XIAO Qi-yin, BU Xing-yue, et al. Effects of Herbal Dregs on the Quality and Aflatoxin Content of Corn Silage[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(2):713—722

中药渣对全株玉米青贮品质及黄曲霉毒素含量的影响

罗宏杰¹, 肖启银², 补星月¹, 张祯勇², 赵艳妮², 练景龙², 何凯², 李旭旭³, 闫艳红^{1*}

(1. 四川农业大学草业科技学院, 四川 成都 611130; 2. 甘孜藏族自治州农业科学研究所, 四川 康定 626000;
3. 甘孜藏族自治州畜牧业科学研究所, 四川 康定 626000)

摘要:为了探究中药渣对全株玉米青贮品质和安全性的影响,本研究以全株玉米单贮为对照,将杜仲(*Eucommia ulmoides*)、留兰香(*Mentha spicata*)和党参(*Codonopsis pilosula*)三种药渣分别按照5%, 7%, 10%的鲜重比例与全株玉米(*Zea mays*)混贮,测定其对玉米青贮品质及黄曲霉毒素B1含量的影响。结果显示:青贮60 d时,除10%杜仲、5%留兰香处理外,其他处理组可溶性碳水化合物含量显著高于对照($P < 0.05$),其中10%党参药渣处理的可溶性碳水化合物含量最高。留兰香药渣处理组及10%杜仲药渣处理的酸性洗涤纤维含量均显著低于对照($P < 0.05$)。此外,5%留兰香药渣以及5%杜仲药渣处理的乳酸含量均高于100 g·kg⁻¹ DM,且显著高于其他处理组($P < 0.05$)。除10%党参药渣处理外,各处理组的黄曲霉毒素B1含量均小于对照,其中10%杜仲药渣和5%留兰香药渣处理显著低于其他各组($P < 0.05$)。有氧暴露9 d时,各处理的粗蛋白含量均下降,但中药渣处理组的粗蛋白损失率均显著低于对照($P < 0.05$);5%留兰香药渣处理的黄曲霉毒素B1含量最少,显著低于其他各处理($P < 0.05$)。综合考虑青贮玉米营养品质 and 安全性,建议全株玉米与5%留兰香药渣或10%杜仲药渣混合青贮。

关键词:玉米青贮;中药渣;发酵品质;营养成分;黄曲霉毒素B1

中图分类号:S816.53

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)02-0713-10

Effects of Herbal Dregs on the Quality and Aflatoxin Content of Corn Silage

LUO Hong-jie¹, XIAO Qi-yin², BU Xing-yue¹, ZHANG Zhen-yong², ZHAO Yan-ni², LIAN Jing-long²,
HE Kai², LI Xu-xu³, YAN Yan-hong^{1*}

(1. College of Grassland Science and Technology, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan Province 611130, China; 2. Agricultural Science Research Institute of Ganzi District, Kangding, Sichuan Province 626000, China; 3. Sichuan Ganzi Tibetan Autonomous Prefecture, Institute of Animal Husbandry Science, Kangding, Sichuan Province 626000, China)

Abstract: To investigate the effects of Chinese herbal residues on the quality and safety of whole-plant corn silage, this study compared the effects of *Eucommia ulmoides*, *Mentha spicata*, and *Codonopsis pilosula* residues mixed with whole-plant corn (*Zea mays*) at fresh weight ratios of 5%, 7%, and 10%, respectively, with that of whole-plant corn silage alone. The impacts of these treatments on the quality of corn silage and aflatoxin B1 content were assessed. The results showed that at 60 days of ensiling, except for the 10% *Eucommia ulmoides* and 5% *Mentha spicata* treatments, the water soluble carbohydrate (WSC) content of other treatments was significantly higher than that of the control ($P < 0.05$). The 10% *Codonopsis pilosula* residue treatment had the highest WSC content. The acidic detergent fiber content in both the *Mentha spicata* residue treated groups and 10% *Eucommia ulmoides* residue treatment was significantly lower than that in the control ($P < 0.05$). Additionally, the lactic acid content in both the 5% *Mentha spicata* residue and 5% *Eucommia ulmoides* residue treatments was higher than 100 g·kg⁻¹ DM and significantly higher than that of other treatments ($P < 0.05$). Except for the 10% *Codonopsis pilosula* residue treatment, the aflatoxin B1 (AFB1) content of all treatments

收稿日期:2025-01-13;修回日期:2025-04-18

基金项目:国家自然科学基金面上项目(32271766);国家现代农业产业技术体系四川大豆创新团队(SCCXTD-2024-21)资助

作者简介:罗宏杰(2001-),男,汉族,四川宜宾人,硕士研究生,主要从事牧草栽培加工利用研究, E-mail:lhj19980823650@163.com; *通信作者 Author for correspondence, E-mail:yanyanhong3588284@126.com

was lower than that of the control, and that of the 10% *Eucommia ulmoides* residue and 5% *Mentha spicata* residue treatments was significantly lower than other groups ($P<0.05$). After 9 days of aerobic exposure, the crude protein (CP) content in all treatments decreased, but the CP loss rate of the Chinese herbal residue treatment groups was significantly lower than that of the control ($P<0.05$); the AFB1 content of the 5% *Mentha spicata* residue treatment was the lowest, and significantly lower than that of other treatments ($P<0.05$). Considering the nutritional quality and safety of the whole-plant corn silage, mixing the whole-plant corn with either 5% *Mentha spicata* residue or 10% *Eucommia ulmoides* residue for ensiling is recommended.

Key words: Corn silage; Traditional chinese medicine residues; Fermentation quality; Nutrient composition; Aflatoxin B1

近年来,我国畜牧业飞速发展,饲草需求增大,但饲草生产的季节性较明显,生长旺季时节供大于需,而淡季缺少青绿饲草。青贮是将牧草或饲料作物得以长期保存的一种方法,可以做到常年均衡供应,从而能够有效解决饲草供应与畜牧生产的矛盾^[1]。玉米青贮作为我国的饲料之王,其营养丰富、适口性好,是奶牛、肉牛的主要饲粮组分^[2],然而在西南湿热的气候环境下,玉米青贮制作以及有氧暴露的饲喂过程中易受到霉菌侵染,进而产生有毒有害物质,影响家畜正常的生长发育。

黄曲霉毒素被认为是自然界中广泛存在的毒素之一,尤其是玉米青贮饲料及其原料中^[3],我国6个地区的平均玉米污染率为75.63%,其中黄曲霉毒素B1(Aflatoxin B1, AFB1)污染最为严重,阳性率74.55%^[4]。机体摄入AFB1后,毒素被细胞色素代谢成环氧化合物,该分子毒性极强,具有强致畸、致癌性^[5]。1~10 mg的AFB1即可引起大型家畜出现病症反应,反刍动物因具有瘤胃结构,对AFB1毒性敏感度相对较低,但长期饲喂含较高浓度的AFB1青贮饲料仍然会对牛羊等家畜本身及其所生产的肉、奶的生产品质造成影响^[6]。人类在摄入此类农副产品时依然会出现腹泻,甚至死亡等问题^[7]。可见,受黄曲霉污染的玉米青贮饲料对畜牧生产以及人类健康造成了巨大危害。研究如何减少全株玉米青贮饲料中黄曲霉毒素的积累成为当务之急^[8]。

中草药是我国传统产业之一,每年生产大量中成药的同时也产生了相当数量的药渣,其年产生量已经超过3000万吨,如今并未找到适合的利用方式^[9]。中草药渣多是提取了原料中的部分有效成分后剩余的物质,其中除含有大量粗纤维外,还含有较多的粗蛋白、粗脂肪、矿物质等营养素和中药活性物质^[10]。蒋苏苏等^[11]将牛蒡等中药渣按5%,7%,10%的比例添加制作青贮,发现能有效改善青贮营养及发酵品质。留兰香药渣中存在大量挥发性油类物质,对于霉菌生长以及霉菌毒素的产生具有明显的抑制作用^[12-13]。可见,一些芳香类中药具有抑制霉菌

生长的特性。此外,中药渣在饲喂试验中被证明具有促生长、提高免疫力、无药残等特点^[14]。杜仲、党参、留兰香是常见的几种重要原料,含有多糖、挥发油等成分,具有清热解毒、抗氧化杀菌的作用^[15-17],且其药渣产量大。然而,杜仲(*Eucommia ulmoides*)、留兰香(*Mentha spicata*)、党参(*Codonopsis pilosula*)等芳香类中药渣对于玉米青贮在有氧暴露期间黄曲霉毒素含量影响的研究仍存在空白。

因此,本试验通过将杜仲、党参和留兰香药渣以不同比例添加至全株玉米青贮中,探究其对全株玉米青贮品质及有氧暴露后AFB1含量的影响,研究结果可为中药渣在优质安全青贮饲料生产中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

(1)玉米:材料品种为‘仲玉3号’(生育期118 d,来源于南充市农业科学研究院),于2022年5月29日种植在四川农业大学崇州现代农业研发基地(30°33′23.98″N,103°38′42.61″E),于蜡熟期(2/3乳线期)收获,原料化学成分和微生物计数见表1。

表1 青贮原料化学成分

Table 1 Chemical composition of silage raw materials

项目 Project	玉米 [#] Corn
化学成分 Chemical composition	
干物质 Dry matter/(% DM)	34.58±0.36
粗蛋白 Crude protein/(% DM)	9.18±0.43
可溶性碳水化合物 Soluble carbohydrates/(% DM)	12.11±0.18
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber/(% DM)	37.42±0.57
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber/(% DM)	18.76±0.21
微生物 Microorganism/(lg cfu·g ⁻¹ FM)	
乳酸菌 Lactic acid bacteria	4.17±0.10
大肠杆菌 Escherichia	5.28±0.03
霉菌 Mould	4.50±0.27
酵母菌 Yeast	4.29±0.03

注:FM,鲜样;cfu·g⁻¹,菌落形成单位;DM,干样。#因本实验与课题组何亚灵^[18]实验为同一批,故原料全株玉米数据与其一致

Note: FM, fresh materials; cfu·g⁻¹, colony forming unit; DM, dry materials. # The data of the raw whole plant maize were consistent with the article of He Yaling duo to this experiment was conducted in the same batch as the experiment conducted by He Yaling^[18]

(2)中药渣:杜仲、党参、留兰香药渣原料由中药房获取,将各单一药渣含水量调节至40%左右,备用。

1.2 试验设计

采用双因素试验设计,一个因素为中药渣种类,设3个水平,分别为杜仲药渣、留兰香药渣、党参药渣,另一个因素为药渣添加比例,设4个水平,分别以青贮全株玉米鲜重的0%(对照,CK)、5%、7%、10%进行添加。将收获的全株玉米切成1~2 cm的小段,按设计比例添加中药渣混匀后装入聚乙烯袋,每个袋中装500 g的青贮料,每个组3次重复,压实后真空封袋,在常温下青贮60 d以及有氧暴露9 d后进行取样,并测定相关指标。

1.3 项目测定与方法

1.3.1 青贮营养品质测定 青贮60 d开袋后及有氧暴露9 d时,将原料混合均匀后按照四分法随机称取3份200 g样品,置于65℃烘箱中,待样品烘至恒重,测定其干物质(Dry matter, DM)含量,将烘干样品用便携式植物粉碎机粉碎过1.0 mm筛网,用于测定下列营养成分。采用凯氏定氮法测定粗蛋白(Crude protein, CP)含量^[19]。采用纤维袋法测定酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF)、中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber, NDF)含量^[20];可溶性碳水化合物(Water soluble carbohydrates, WSC)含量采用苯酚-硫酸比色法测定^[21]。

1.3.2 青贮发酵品质测定 青贮60 d及有氧暴露9 d时,将青贮原料进行充分的混匀,利用四分法取青贮料20 g,加入180 mL水后放入4℃冰箱中浸提24 h,然后用4层纱布和定性滤纸过滤,得到浸提液保存于-20℃冰箱中,用于发酵品质相关指标的测定:pH值采用pH计测定;有机酸含量测定使用高效液相色谱仪(High performance liquid chromatograph, HPLC),待测液在12 000 r·min⁻¹下离心3 min后取上清液,在0.22 μm微孔滤膜过滤后上机测试,流动相为3 mmol·L⁻¹的高氯酸溶液,流速1 mL·min⁻¹,柱温为50℃,检测波长210 nm;采用苯酚-次氯酸钠法测定氨态氮含量(Ammonia nitrogen, AN)^[22]。

1.3.3 微生物测定 利用平板计数法进行微生物计数。在超净台的无菌环境中准确称取新鲜青贮样品20 g加入180 mL灭菌生理盐水(0.85%),4℃震荡1 h。然后用无菌水进行10⁻¹到10⁻⁵梯度稀释,选三个适宜稀释度,每个稀释度取0.2 mL分别涂

布计数培养基上。肠杆菌在紫红色胆汁琼脂(Difco, Hopebil, Qingdao, China)上培养,并在37℃有氧生长24 h后计数。乳酸菌(Lactic Acid Bacteria, LAB)在De Man、Rogosa和Sharpe琼脂(Difco, Hopebil, Qingdao, China)上培养,并在37℃厌氧生长48 h后计数。霉菌和酵母通过马铃薯葡萄糖琼脂(Difco, Hopebil, Qingdao, China)测定,并在28℃有氧生长72 h后计数^[22]。

1.3.4 黄曲霉毒素B1含量测定 分别于有氧暴露0 d(青贮60 d)和9 d取样,采用酶联免疫试剂盒对玉米青贮饲料中的AFB1含量进行测定^[23]。

1.4 数据处理

试验数据利用Excel进行记录和整理,利用SPSS 2.0软件对数据进行方差分析。采用Turkey多重比较检验进行显著性分析, $P<0.05$ 代表差异显著,利用OriginLab 2019软件进行图表制作。

2 结果与分析

2.1 中药渣对玉米青贮营养成分的影响

2.1.1 中药渣对全株玉米青贮干物质含量的影响 图1(a)表明,青贮60 d时,各处理与对照相比,DM无显著差异,其中7%杜仲药渣处理的DM含量最高,为38.2%。图1(b)表明,有氧暴露9 d时,10%杜仲药渣处理的DM含量显著高于对照($P<0.05$),为38.9%。

2.1.2 中药渣对全株玉米青贮可溶性碳水化合物含量的影响 不同种类及比例中药渣对全株玉米青贮WSC的影响显著(图2)。由图2(a)所示,青贮60 d时,除10%杜仲药渣和5%留兰香药渣处理外,其余添加剂处理的WSC含量均显著高于对照($P<0.05$),其中10%党参药渣处理的WSC含量最高,为6.49%。此外,杜仲药渣处理组的WSC含量随着中药渣添加比例增加而减少,党参药渣处理组则相反。由图2(b)所示,有氧暴露9 d时,除7%、10%杜仲药渣以及5%留兰香药渣处理外,其余中药渣处理的WSC含量均显著高于对照($P<0.05$),其中7%党参药渣处理组WSC含量最高,为5.11%。

2.1.3 中药渣对全株玉米青贮粗蛋白含量的影响 不同种类及比例中药渣对全株玉米青贮CP含量的影响显著,由图3(a)可知,在青贮60 d时,玉米单贮的CP含量最高,显著高于其他处理($P<0.05$)。各

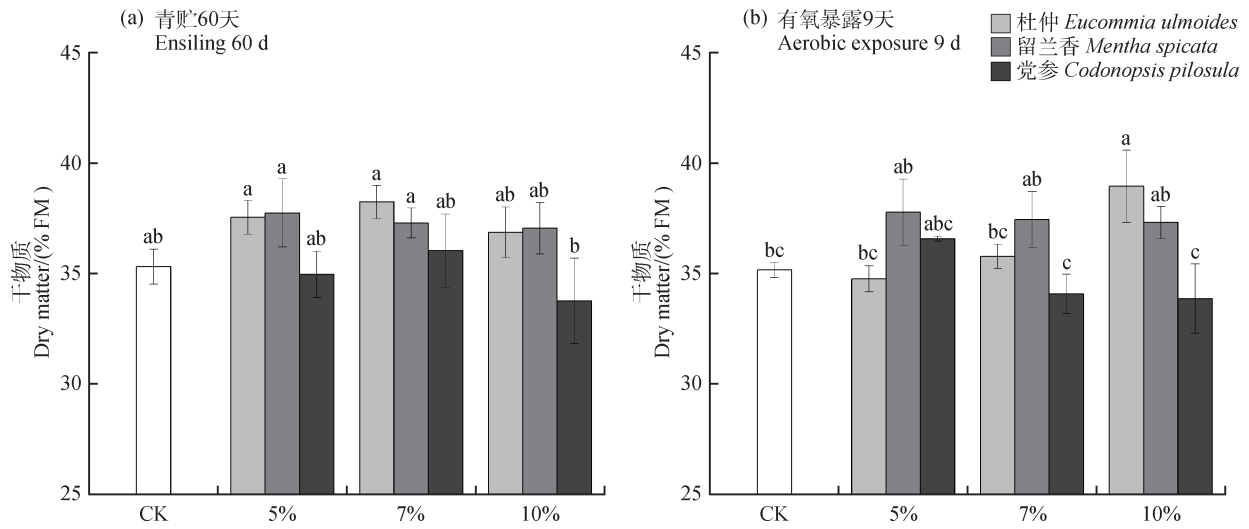


图1 添加不同种类及比例中药渣的全株玉米青贮干物质含量

Fig. 1 Dry matter content of whole plant corn silage with different types and ratios of traditional Chinese medicine residue addition
 注:数据柱形标注不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。CK表示对照组玉米单独青贮,5%,7%,10%表示中药渣添加的比例。下同
 Note: Value columns with different small letters mean significant difference ($P<0.05$). CK represents the corn silage alone in the control group, and 5%, 7%, and 10% represent the proportion of traditional Chinese medicine residue added. The same as below

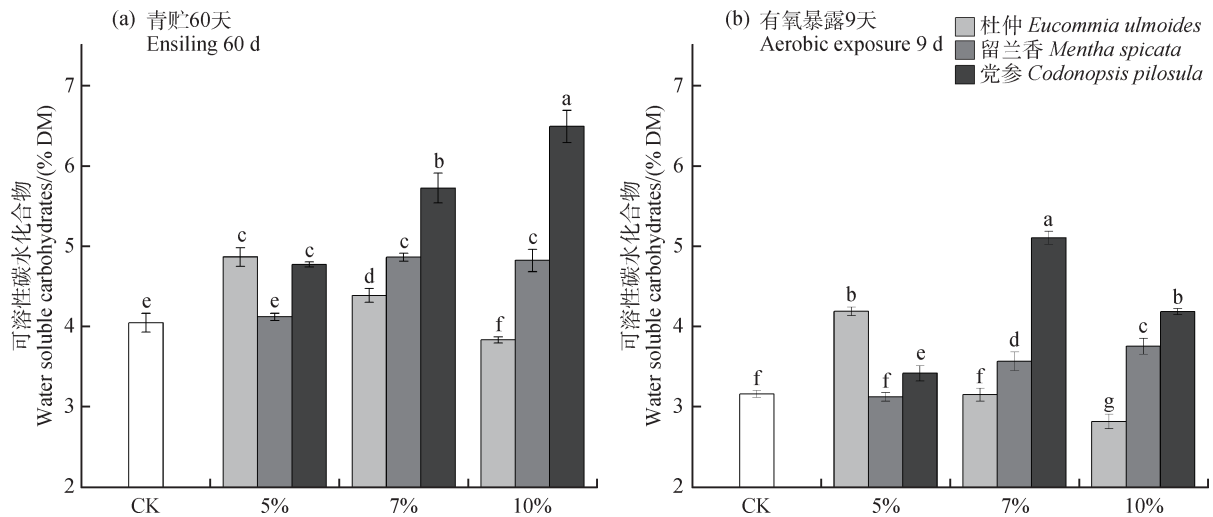


图2 添加不同种类及比例中药渣的全株玉米青贮可溶性碳水化合物含量

Fig. 2 Content of water soluble carbohydrates in whole plant corn silage with different types and ratios of traditional Chinese medicine residue addition

中药渣处理的CP含量随着中药渣比例的增加而减小,其中10%留兰香药渣处理的CP含量最低,为6.26%。由图3(b)可知,有氧暴露9d时,各组的CP含量均下降。且由图4可知,与青贮60d相比,在有氧暴露9d条件下,中药渣混贮处理组的CP损失程度均显著小于对照($P<0.05$),且随中药渣添加比例的上升而下降。其中对照的CP损失率最高,达到29.20%,其余处理的CP损失率均小于25%。

2.1.4 中药渣对全株玉米青贮粗纤维含量的影响
 不同种类及比例中药渣对全株玉米青贮粗纤维

(ADF、NDF)的影响显著(图5、6)。由图5(a)可知青贮60d时,留兰香药渣处理组的ADF含量均显著低于其他处理;此外,10%杜仲药渣处理的ADF含量也显著低于对照($P<0.05$)。由图5(b)可知,有氧暴露9d时,各组的ADF含量均上升,但均与对照无显著性差异(除5%党参药渣处理外)。由图6(a)可知,青贮60d时,除7%留兰香药渣处理外,其余处理的NDF含量与对照差异不显著。由图6(b)可知,有氧暴露9d时,5%和7%杜仲药渣处理及10%党参药渣处理的NDF含量均显著低于对照组($P<0.05$)。

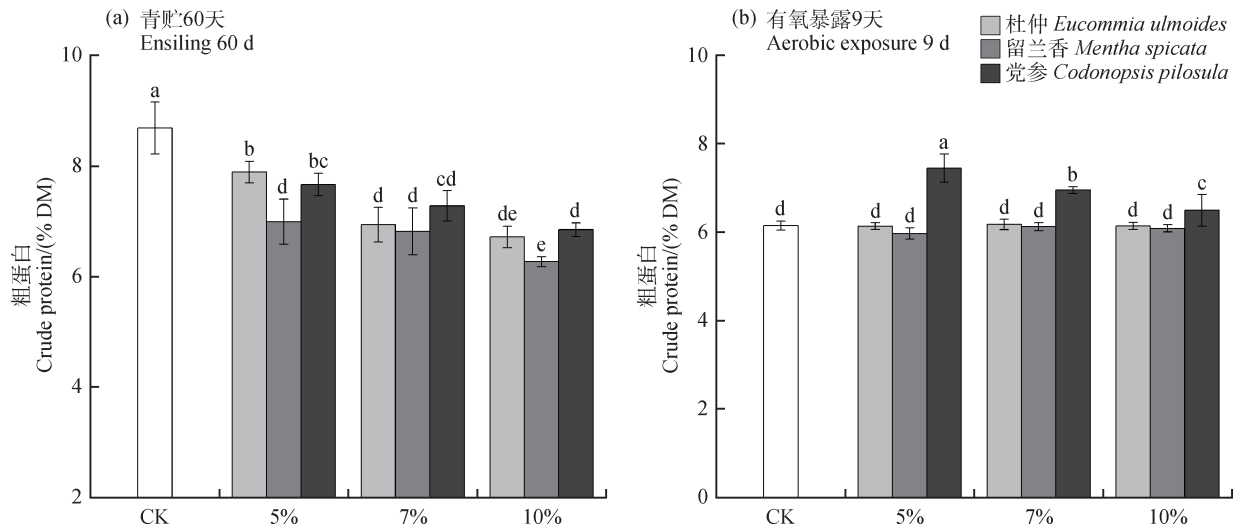


图3 添加不同种类及比例中药渣的全株玉米青贮粗蛋白含量

Fig. 3 Content of crude protein in whole plant corn silage with different types and ratios of traditional Chinese medicine residue addition

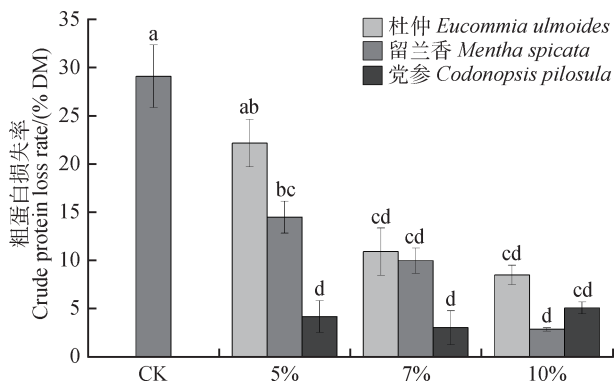


图4 添加不同种类及比例中药渣的全株玉米青贮粗蛋白损失率

Fig. 4 Crude protein loss rate of whole plant corn silage with different types and ratios of Chinese herbal residue addition

2.2 中药渣对玉米青贮发酵品质及乳酸菌数量的影响

全株玉米青贮饲料的发酵品质及LAB数量如表2所示。青贮60 d时,所有处理组的pH值均低于4.2。除党参药渣处理组以及7%留兰香药渣处理外,其余处理组的LA含量均显著高于对照($P < 0.05$)。除杜仲药渣处理组的AN:TN显著低于对照组以外,其他处理与对照无显著差异。5%杜仲药渣以及5%、10%留兰香药渣处理的LAB含量均显著高于对照组($P < 0.05$)。

有氧暴露9 d时,各组的pH值均上升。留兰香药渣处理组的pH值均显著低于对照组(均 < 4.0),其中7%留兰香药渣处理组的pH值最低,为3.83。各组AA的含量均降低,其中5%留兰香药渣处理的AA含量最高,为 $39.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,10%留兰香药渣处理AA含量最低,为 $6.31 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。中药渣处理组的LAB数量均显著高于对照($P < 0.05$),其中,留兰香药渣处理组的LAB数量均超过 $9 \text{ lg cfu} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FM}$ 。

2.3 中药渣对玉米青贮中黄曲霉毒素B1含量的影响

由图7(a)所示,青贮60 d时,中药渣处理对AFB1含量有显著影响。对照组的AFB1含量最高,为 $21.56 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,5%留兰香药渣处理的AFB1含量最低,为 $4.76 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。其中,杜仲药渣处理组以及5%留兰香药渣、7%党参药渣处理均低于饲料中所要求的 $12 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的AFB1标准;且除10%党参处理以外,其他中药渣处理组的AFB1含量均显著小于对照组($P < 0.05$)。图7(b)所示,在有氧暴露9 d时,AFB1的含量均上升,但杜仲和留兰香药渣处理组的AFB1含量显著小于对照($P < 0.05$),其中5%留兰香药渣处理的AFB1含量最低,为 $21.31 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

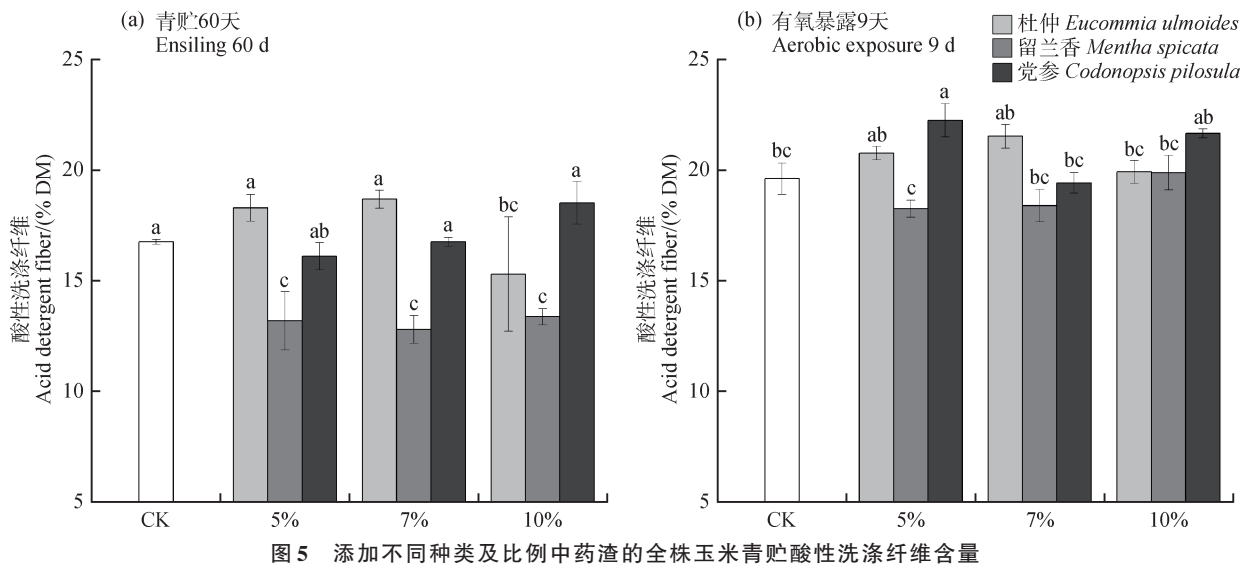


图5 添加不同种类及比例中药渣的全株玉米青贮酸性洗涤纤维含量

Fig. 5 Acid detergent fiber content of whole plant corn silage with different types and ratios of traditional Chinese medicine residue addition

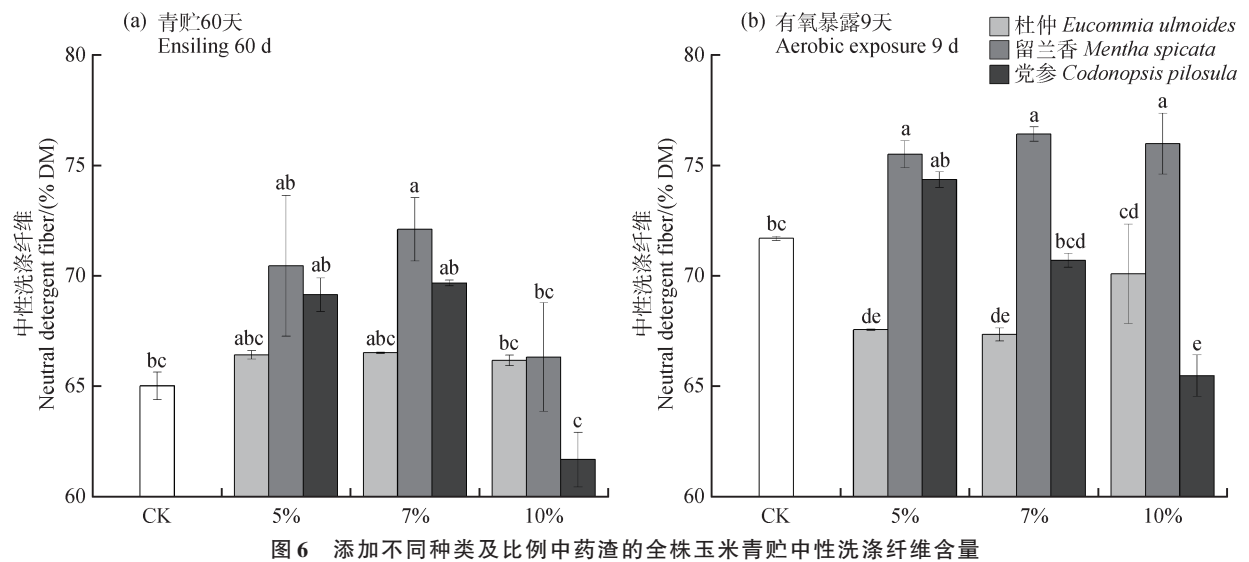


图6 添加不同种类及比例中药渣的全株玉米青贮中性洗涤纤维含量

Fig. 6 Neutral detergent fiber content of whole plant corn silage with different types and ratios of traditional Chinese medicine residue addition

3 讨论

干物质是衡量青贮饲料营养成分多少的一个重要指标,根据优质青贮行动GEAF计划推荐标准,优质玉米青贮DM含量为30%~35%。该试验中,各组DM含量均高于33%,达到优质饲料的标准。大量研究表明,中药渣中含有多糖、挥发油等物质,具有抗真菌、营养成分高等特点。本次试验发现,有氧暴露9 d时,10%杜仲药渣处理的DM含量显著大于对照,与蒋苏苏等^[11]的研究结果一致,说明对于添加一定比例杜仲后能有效缓解全株玉米青贮DM损失。全株玉米中含有丰富的WSC,在青贮发酵过程

中能够为LAB的繁殖提供营养物质^[24]。青贮60 d时,除10%杜仲药渣以及5%留兰香药渣处理外,中药渣的处理组的WSC含量显著高于玉米单独青贮,可能是由于中药渣中含有较多的多糖类物质^[25],添加之后提高了青贮中的WSC含量。

粗蛋白是评价青贮饲料品质好坏的重要的指标。中药渣的处理组的CP含量显著低于对照,这可能是由于混合中药渣后,在青贮发酵过程中,促进了微生物对蛋白质的利用水平^[26-27]。但在有氧暴露9 d时,中药渣处理组的CP的降解速率减弱,由于中药渣处理组维持一个较好的酸性环境,使得在有氧条件下CP的损失减少^[28]。ADF、NDF含量与

表 2 乳酸菌数量及发酵品质

Table 2 Quantity and fermentation quality of lactic acid bacteria

有氧暴露天数 Aerobic exposure day	混贮组合 Mixed storage combination	测量项目				
		乳酸菌 Lactic acid bacteria/ (lg cfu·g ⁻¹ FM)	pH	乳酸 Lactic acid/ (g·kg ⁻¹ DM)	乙酸 Acetic acid/ (g·kg ⁻¹ DM)	氨态氮:总氮 Ammonia nitrogen:total nitrogen/%
0 d	对照	8.62±0.03 ^{bc}	3.74±0.01 ^a	30.41±1.51 ^f	48.42±0.89 ^{cde}	4.51±0.29 ^a
	5% 杜仲	8.87±0.10 ^a	3.61±0.01 ^{bc}	122.15±1.50 ^a	54.81±3.01 ^{bc}	3.23±0.36 ^{bc}
	7% 杜仲	8.70±0.06 ^{ab}	3.61±0.02 ^{bc}	52.21±1.42 ^e	29.04±1.39 ^f	2.91±0.33 ^c
	10% 杜仲	8.51±0.01 ^{cde}	3.68±0.02 ^{de}	57.74±0.78 ^d	49.16±2.11 ^{cde}	3.25±0.31 ^{bc}
	5% 留兰香	8.78±0.07 ^a	3.73±0.01 ^{ab}	115.05±2.13 ^b	48.53±2.47 ^{cde}	4.14±0.21 ^{ab}
	7% 留兰香	8.60±0.02 ^{bc}	3.69±0.01 ^{cd}	21.65±0.36 ^f	51.39±3.46 ^{cd}	4.16±0.11 ^{ab}
	10% 留兰香	8.77±0.07 ^a	3.70±0.03 ^c	95.81±1.41 ^c	43.43±0.42 ^e	3.82±1.33 ^{abc}
	5% 党参	8.44±0.05 ^{de}	3.71±0.01 ^{bc}	31.00±0.93 ^f	60.79±2.84 ^{ab}	4.41±0.42 ^a
	7% 党参	8.37±0.09 ^e	3.70±0.01 ^{bc}	28.35±0.87 ^f	52.65±2.40 ^{cd}	4.23±0.27 ^{ab}
	10% 党参	8.52±0.07 ^{cd}	3.67±0.01 ^e	30.67±0.88 ^f	63.47±0.57 ^{cd}	4.63±0.63 ^a
9 d	对照	7.83±0.07 ^f	6.36±0.02 ^b	6.21±0.23 ^e	25.73±1.76 ^b	0.55±0.19 ^d
	5% 杜仲	8.36±0.45 ^{de}	6.41±0.03 ^{ab}	6.54±0.42 ^e	19.02±0.38 ^c	0.11±0.17 ^d
	7% 杜仲	8.26±0.10 ^e	5.08±0.22 ^c	10.39±0.56 ^d	18.28±0.79 ^c	4.57±0.18 ^c
	10% 杜仲	8.79±0.04 ^{bc}	6.39±0.03 ^{ab}	6.34±0.39 ^e	20.29±0.69 ^c	0.47±0.32 ^d
	5% 留兰香	9.22±0.03 ^a	3.84±0.02 ^d	25.68±1.04 ^a	39.54±1.23 ^a	5.26±0.88 ^{bc}
	7% 留兰香	9.33±0.03 ^a	3.83±0.03 ^d	18.78±0.74 ^b	36.08±3.66 ^a	6.17±0.55 ^b
	10% 留兰香	9.48±0.01 ^a	3.97±0.13 ^d	19.38±0.70 ^b	6.31±0.88 ^c	7.72±1.13 ^a
	5% 党参	8.30±0.01 ^e	5.01±0.10 ^c	12.82±1.02 ^c	7.43±0.42 ^{de}	5.56±1.44 ^{bc}
	7% 党参	9.12±0.13 ^{ab}	6.54±0.07 ^a	6.78±0.43 ^e	11.59±1.17 ^d	0.82±0.33 ^d
	10% 党参	8.38±0.05 ^{cd}	6.33±0.05 ^b	6.82±0.53 ^e	7.56±1.01 ^{de}	0.09±0.10 ^d

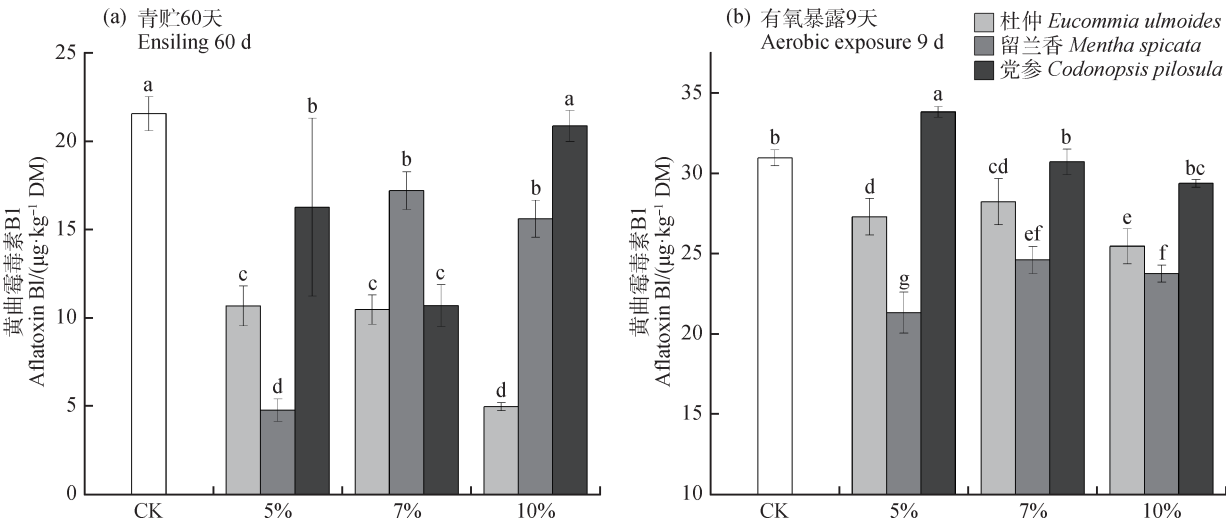


图 7 添加不同种类及比例中药渣的全株玉米青贮黄曲霉毒素 B1 含量

Fig. 7 The content of aflatoxin B1 in whole plant corn silage with different types and ratios of traditional Chinese medicine residue addition

家畜的采食量和消化率呈负相关,青贮饲料中 ADF 和 NDF 的含量越高,家畜的采食量和消化率越低,营养价值也就越低^[29-30]。添加党参以及杜仲药渣后的青贮处理组的粗纤维含量显著高于添加留兰香的处理组以及玉米单独青贮的对照组,是因为杜仲以及党参为木本植物树皮以及根部,纤维含量较高^[31]。

乳酸菌作为青贮发酵过程中的最关键菌种^[32],快速生长为优势菌群,其数量反映了青贮过程中 LAB 的活动情况,保证了青贮品质。pH 值是评价青贮饲料品质的重要指标之一,前人研究表明,优质的青贮饲料 pH 值在 4.2 以下^[33]。留兰香药渣处理组在有氧暴露 9 d 时,pH 值仍小于 4.0,且显著低于其余处理组,说明添加中药渣可以使青贮饲料在

有氧暴露后的保持较低的 pH 值稳定。乳酸是维持青贮饲料酸性环境的重要成分,添加中药渣的青贮饲料的 LA 含量高于玉米单独青贮(除 7% 留兰香药渣、5% 和 7% 的党参药渣外),这可能是中药渣中的抗真菌成分抑制了杂菌对乳酸菌的竞争,且添加中药渣后 WSC 含量有所升高,为 LAB 发酵提供了充足的底物,这与赵苗苗等^[34]的研究结果相似。青贮 60 d 时,除 7% 杜仲药渣以及 10% 留兰香药渣处理外,其余组 AA 含量均高于对照组。在有氧暴露 9 d 后,5% 和 7% 的留兰香药渣处理仍能保持较高的 AA 含量。这可能是由于在霉菌等真菌被抑制后,乳酸菌、布氏乳杆菌等杆菌受到杂菌的竞争减小,使得 AA 含量较高。Driehuis 等^[35]的研究也表明,乳酸能够被布氏乳杆菌等异化为乙酸从而提高有氧稳定性。AN:TN 是衡量青贮中杂菌对蛋白质分解的重要营养指标,本研究所有处理 AN:TN 含量均低于 10% DM,符合 GEAF 对优质青贮的评判标准。青贮 60 d 时,中药渣处理组(除 10% 党参药渣处理)的 AN:TN 含量均低于对照,这可能是由于药渣对植物蛋白酶以及降解蛋白细菌的抑制使得 AN 含量降低^[36]。添加中药渣后,在青贮 60 d 时,除 10% 党参药渣处理外各处理组的 AFB1 含量均显著低于对照组,可能是由于药渣中的有效成分抑制了黄曲霉菌的生长,减少了毒素的产生。隋明等^[37]的研究也表明,中药水提物对黄曲霉菌的产毒具有抑制效应,能够间接佐证本试验中的结果。

4 结论

综上,在青贮 60 d 及有氧暴露 9 d,杜仲和留兰香药渣处理组均较好地抑制了黄曲霉毒素 B1 的产生。其中,5% 留兰香以及 10% 杜仲药渣处理在抑制产毒的能力较强,且 5% 留兰香以及 10% 杜仲药渣处理发酵指标均较好,在有氧暴露条件下也能维持更好的青贮品质。因此,推荐全株玉米与 5% 留兰香药渣或 10% 杜仲药渣混合青贮,效果较好。

参考文献

- [1] MUCK R E, 安宅一夫. Science and technology in silage making[J]. 酪農ゾセーナル, 2012, 65(1): 62-68
MUCK R E, ATAKA K. Science and technology in silage making[J]. Rakuno Journal, 2012, 65(1): 62-68
- [2] 徐海东. 饲草青贮技术在牛羊养殖中的应用[J]. 农村科学实验, 2022(19): 194-196
- [3] 杜艳平, 朱惠莲. 黄曲霉毒素 B1 致癌机制及植物性化学物防治的研究进展[J]. 现代食品与药品杂志, 2006, 16(1): 3-8
DU Y P, ZHU H L. The possible mechanism of Aflatoxin B1 hepatocarcinogenesis and preventive effects of phytochemicals[J]. Journal of Modern Food and Medicine, 2006, 16(1): 3-8
- [4] 高秀芬, 蒯士安, 张宏元, 等. 中国部分地区玉米中 4 种黄曲霉毒素污染调查[J]. 卫生研究, 2011, 40(1): 46-49
GAO X F, YIN S A, ZHANG H Y, et al. Aflatoxin contamination of corn samples collected from six regions of China[J]. Journal of Hygiene Research, 2011, 40(1): 46-49
- [5] 乔宏兴, 姜亚乐, 王永芬, 等. 黄曲霉毒素的危害及其脱毒方法研究进展[J]. 动物医学进展, 2017, 38(1): 89-93
QIAO H X, JIANG Y L, WANG Y F, et al. Progress on harm and detoxification methods of Aflatoxin[J]. Progress in Veterinary Medicine, 2017, 38(1): 89-93
- [6] 李瑞芳, 韩北忠, 陈晶瑜, 等. 黄曲霉生长预测模型的建立及其在玉米储藏中的应用[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(3): 144-147
LI R F, HAN B Z, CHEN J Y, et al. Establishment of predictive model for growth of *Aspergillus flavus* and its application in maize storage[J]. Cereals and Oils Association, 2008, 23(3): 144-147
- [7] 王晓艳. 畜禽饲料中黄曲霉毒素 B1 的危害及检测[J]. 中国动物保健, 2021, 23(5): 120-121
WANG X Y. The hazards and detection of Aflatoxin B1 in live-stock and poultry feed[J]. China Animal Health, 2021, 23(5): 120-121
- [8] 张艺兵, 鲍蕾, 褚庆华. 农产品中真菌毒素的检测分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 122-124
ZHANG Y B, BAO L, CHU Q H. Detection and analysis of fungal toxins in agricultural products[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 122-124
- [9] 陈缤, 贾天柱. 中药渣的综合利用[J]. 中成药杂志, 2005, 27(10): 1203-1205
CHEN B, JIA T Z. Comprehensive utilization of traditional Chinese medicine residue[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2005, 27(10): 1203-1205
- [10] 马逊风, 马宏军, 唐占辉, 等. 中药渣剩余成分分析及利用途径研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2004, (2): 108-111
MA X F, MA H J, TANG Z H, et al. The analyze of the ingredients left in the herb residue and the study of the reuse of the herb residue[J]. Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition), 2004(2): 108-111
- [11] 蒋苏苏, 金丽娜, 敬淑燕, 等. 添加中药渣对全株玉米青贮感官和发酵品质及营养成分的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(9), 1947-1954
JIANG S S, JIN L N, JING S Y, et al. Effect of herbal medicine residues addition on the sensory evaluation, fermentation quality, and nutritional composition of whole corn silage[J].

- Pratacultural Science, 2017, 34(9), 1947-1954
- [12] 邹正耀, 张红英, 王学兵, 等. 留兰香挥发油提取及其体外抗植物真菌研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(7): 262-265
ZOU Z Y, ZHANG H Y, WANG X B, et al. Extraction and antimicrobial activity of spearmint oil on plant eumycete in vitro[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(7): 262-265
- [13] SOKOVIĆ M, GRIENSVEN J L. Antimicrobial activity of essential oils and their components against the three major pathogens of the cultivated button mushroom, *Agaricus bisporus*[J]. European Journal of Plant Pathology, 2006, 116(3): 211-224
- [14] 冯智茂, 袁勇, 张云飞, 等. 中草药药渣在动物生产中的应用[J]. 饲料工业, 2020, 41(10): 16-18
FENG Z M, YUAN Y, ZHANG Y F, et al. Application of Chinese herbal medicine residue in animal production [J]. Feed Industry, 2020, 41(10): 16-18
- [15] 杨尚霖, 罗巧慧, 周胜杰, 等. 日粮中添加杜仲叶对育肥肉牛血清生化指标和瘤胃发酵参数的影响[J]. 饲料工业, 2024, 18(34): 1-8
YANG S L, LUO Q H, ZHOU S J, et al. Effects of eucommia ulmoides leaves in diet on serum biochemical indices and rumen fermentation parameters of beef cattle[J]. Feed Industry, 2024, 18(34): 1-8
- [16] 蔡春静, 李璇, 王莹, 等. 不同乳酸菌发酵留兰香纯露的抗氧化活性比较[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(4): 81-88
CAI C J, LI X, WANG Y, et al. Comparison on the antioxidant activities of spearmint hydrolates fermented by different lactic acid bacteria [J]. Food Research and Development, 2024, 45(4): 81-88
- [17] 王海娟, 倪琳, 宋平顺, 等. 不同产地党参体外抗氧化活性研究[J]. 中国现代中药, 2024, 26(6): 997-1004
WANG H J, NI L, SONG P S, et al. Antioxidant activity of codonopsis radix in vitro from different origins[J]. Modern Chinese Medicine, 2024, 26(6): 997-1004
- [18] 何亚灵. 鼠李糖乳杆菌对全株玉米青贮发酵品质、霉菌毒素及微生物群落的影响[D]. 成都: 四川农业大学, 2024: 31
HE Y L. Effect of lactobacillus rhamnosus on the fermentation quality, mycotoxins and microbial community of whole plant corn silage [D]. Chendu, Sichuan Agricultural University, 2024: 31
- [19] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 53-56
ZHANG L Y. Feed analysis and feed quality testing technology[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2002: 53-56
- [20] 侯建建, 白春生, 张庆, 等. 单一和复合乳酸菌添加水平对苜蓿青贮营养品质及蛋白组分的影响[J]. 草业科学, 2016, 33(10): 2119-2125
HOU J J, BAI C S, ZHANG Q, et al. Effects of different additive amount of single and multiple lactic acid bacteria on the silage quality and protein fractions of alfalfa [J]. Pratacultural Science, 2016, 33(10): 2119-2125
- [21] 张子仪. 中国饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 885-886
ZHANG Z Y. Chinese feed science[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2000: 885-886
- [22] CANBOLAT O, KAMALAK A, KARA H. The effects of urea supplementation on pomegranate pulp (*Punica granatum* L.) silage fermentation, aerobic stability and in vitro gas production [J]. Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi, 2014, 61(3): 217-223
- [23] 李秀芳, 刘兴玠, 胡霞, 等. 酶联免疫吸附法(ELISA)测定玉米中黄曲霉毒素B1的研究[J]. 卫生研究, 1987(1): 29-31
LI X F, LIU X J, HU X, et al. Study on the determination of aflatoxin b1 in corn by Enzyme-linked Immunosorbent Assay (ELISA)[J]. Journal of Hygiene Research, 1987(1): 29-31
- [24] 郁冯艳, 华金玲, 郭亮, 等. 不同青贮添加剂对甜高粱青贮品质的影响[J]. 安徽科技学院学报, 2018, 32(6): 1-6
YU F Y, HUA J L, GUO L, et al. Effects of different silage additives on quality of sweet sorghum silage [J]. Journal of Anhui Science and Technology University, 2018, 32(6): 1-6
- [25] 詹佳琦, 陈丹丹, 郭田心, 等. 不同添加剂对中药渣青贮品质的影响[J]. 草地学报, 2023, 31(12): 3851-3857
ZHAN J Q, CHEN D D, GUO T X, et al. Effects of differebt additives on silage quality of Chinese medicine residue [J]. Acta Agrectir Sinica, 2023, 31(12): 3851-3857
- [26] 史晨迪, 赵晓雅, 田沛知, 等. 断奶期内不同饲料对羔羊生长、营养物质表观消化率和瘤胃发酵参数的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(8): 5219-5233
SHI C D, ZHAO X Y, TIAN P Z, et al. Effects of different diets on growth, nutrient apparent digestibility and rumen fermentation parameters of lambs during weaning period[J]. Acta Zoonutrimenta Sinica, 2022, 34(8): 5219-5233
- [27] 王园, 王文文, 杨毅, 等. 复合植物营养素对育肥小尾寒羊瘤胃发酵参数、瘤胃菌群及背最长肌脂肪酸组成的影响[J]. 动物营养学报, 2023, 35(1): 380-390
WANG Y, WANG W W, YANG Y, et al. Effects of compound plant nutrients on rumen fermentation parameters, rumen microbiota and fatty acid composition of longissimus dorsi muscle in finishing small tail han sheep[J]. Acta Zoonutrimenta Sinica, 2023, 35(1): 380-390
- [28] 刘明健. 苜蓿青贮饲料蛋白质降解及调控机理研究[D]. 呼和浩特, 内蒙古农业大学, 2024: 22
LIU M J. Study on protein degradation and regulation mechanism of alfalfa silage[D]. Hohhot, Inner Mongolia Agricultural University, 2024: 22
- [29] 葛剑, 杨翠军, 杨志敏, 等. 萎蔫处理和添加剂对裸燕麦青贮饲料品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(9): 18-23
GE J, YANG C J, YANG Z M, et al. The effects of wilting and additives on silage quality of naked oats (*Avena nuda*) [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(9): 18-23
- [30] 张静. 动物饲料与畜产品安全关系研究[J]. 畜牧兽医科学, 2019(13): 25-26
ZHANG J. Research on the relationship between animal feed and livestock product safety[J]. Graziery Veterinary Sciences,

- 2019(13):25-26
- [31] 化雪艳,李硕,唐克华,等. 3种食用菌固态发酵降解杜仲半纤维素、纤维素和木质素[J]. 食品与发酵工业,2014,40(7):67-71
- HUA X Y, LI S, TANG K H, et al. The degradation of hemi-cellulose, cellulose and lignin in *eucommia ulmoides* oliver with solid fermentation of three edible fungi[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(7):67-71
- [32] 梁宇成,张晓雯,邵涛,等. 乳酸菌对全株玉米青贮发酵品质和霉菌毒素含量的影响[J]. 草业学报,2025,34(3):123-133
- LIANG Y C, ZHANG X W, SHAO T, et al. Effects of different lactic acid bacteria strains on fermentation quality and mycotoxin contents of whole-plant corn silage[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2025, 34(3):123-133
- [33] 陈光吉,吴佳海,尚以顺,等. 外源纤维素酶对发酵全混合日粮营养价值、发酵品质和酶活性的动态影响[J]. 草业学报,2019,28(9):123-134
- CHEN G J, WU J H, SHANG Y S, et al. Dynamic effects of exogenous fibrolytic enzyme supplementation on nutritive value, fermentation quality and enzyme activities of fermentation total mixed ration [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2019, 28 (9) : 123-134
- [34] 赵苗苗,王显国,玉柱. 苜蓿与全株玉米的混合青贮[J]. 中国畜牧杂志,2015,51(21):20-24
- ZHAO M M, WANG X G, YU Z. Silage scoring of mixed alfalfa and corn silages[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2015, 51(21):20-24
- [35] DRIEHUIS F, ELFERINK S J, SPOELSTRA S F. Anaerobic lactic acid degradation during ensilage of whole crop maize inoculated with lactobacillus buchneri inhibits yeast growth and improves aerobic stability[J]. Journal of Applied Microbiology, 1999, 87(4):583-594
- [36] 刘同祥,牛建昭,杜旭东,等. 具有蛋白酶抑制剂活性成分中药的筛选[J]. 中国中药杂志,2007(7):643-646
- LIU T X, NIU J Z, DU X D, et al. Screening of Chinese herbal medicines with proteinase inhibitor active components [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2007, (07):643-646.
- [37] 隋明,朱克永,张崇军,等. 10种中药水提物对黄曲霉菌体外生长特性的影响[J]. 动物医学进展,2018,39(12):100-103
- SUI M, ZHU K Y, ZHANG C J, et al. Effects of water extracts from 10 kinds of antipyretic antidotes on growth characteristics of *Aspergillus flavus* in vitro[J]. Progress in Veterinary Medicine, 2018, 39(12):100-103

(责任编辑 付 宸)