

DOI: 10.11686/cyxb2025120

http://cyxb.magtech.com.cn

李国聪, 尹福泉, 劳蔼鸿, 等. 留茬高度与收获期对渝青玉3号青贮玉米营养成分、霉菌毒素含量及肉牛瘤胃体外发酵参数的影响. 草业学报, 2026, 35(2): 155-166.

LI Guo-cong, YIN Fu-quan, LAO Ai-hong, et al. Effects of stubble height and harvest period on the nutritional components and mycotoxin content of the silage maize cultivar 'Yu Qingyu No. 3' and *in vitro* rumen fermentation parameters for beef cattle. Acta Prataculturae Sinica, 2026, 35(2): 155-166.

留茬高度与收获期对渝青玉3号青贮玉米营养成分、霉菌毒素含量及肉牛瘤胃体外发酵参数的影响

李国聪, 尹福泉, 劳蔼鸿, 白雨鑫, 王胜男, 卢艳丽*

(广东海洋大学滨海农业学院, 广东 湛江 524088)

摘要: 本试验旨在研究留茬高度与收获期对青贮玉米营养成分、霉菌毒素含量及肉牛瘤胃体外发酵参数的影响, 为提高青贮玉米的饲用价值提供理论支持。以渝青玉3号青贮玉米为材料, 留茬高度分别选取20、30、40、50和60 cm, 收获期分别选取1/4、1/2、3/4乳线期和蜡熟期, 共20个处理, 每个处理3次重复。按照5点取样法分别在相同的收获期内取10株不同留茬高度的青贮玉米, 揉丝剪其长度为1 cm左右放入青贮罐内青贮90 d, 青贮过后测定其营养成分、霉菌毒素含量及肉牛瘤胃体外发酵参数。结果表明: 1) 在不同留茬高度与收获期的处理下, 粗蛋白质(CP)、粗灰分(Ash)、酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)和总能(GE)均差异显著($P < 0.05$); 当留茬高度在40 cm时, GE含量随着收获期的延迟呈现先上升后下降的趋势, 在3/4乳线期达到最大值。2) 留茬高度与收获期对玉米赤霉烯酮(ZEN)、黄曲霉毒素(AFs)含量均影响显著($P < 0.05$); 当留茬高度在50 cm时, ZEN含量随着收获期延迟呈现先下降后上升的趋势, 在3/4乳线期达到最小值。3) 在不同留茬高度与收获期的处理下, 乙酸、丙酸、丁酸在肉牛瘤胃体外发酵时长为24及48 h均差异显著($P < 0.05$); 当留茬高度在30 cm且收获期为3/4乳线期时, 肉牛瘤胃体外发酵48 h的丙酸浓度达到最大值, 24 h的丁酸浓度则与此相反, 且24 h的丁酸浓度随着收获期延迟呈现先下降后上升的趋势。综上所述, 渝青玉3号青贮玉米留茬高度应在30~50 cm且3/4乳线期收获较为适宜。

关键词: 留茬高度; 收获期; 肉牛; 营养成分; 霉菌毒素; 发酵参数

Effects of stubble height and harvest period on the nutritional components and mycotoxin content of the silage maize cultivar 'Yu Qingyu No. 3' and *in vitro* rumen fermentation parameters for beef cattle

LI Guo-cong, YIN Fu-quan, LAO Ai-hong, BAI Yu-xin, WANG Sheng-nan, LU Yan-li*

College of Coastal Agricultural Sciences, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

Abstract: The aim of this experiment was to study the effects of stubble height and harvest time on the nutritional components and mycotoxin content of silage made from maize (*Zea mays* 'Yu Qingyu No. 3') as well as *in vitro* rumen fermentation parameters for beef cattle. The overall aim of this research is to provide a theoretical support for

收稿日期: 2025-04-07; 改回日期: 2025-05-06

基金项目: 2025年广东省普通高校服务“百千万工程”重点领域项目; 依托省级保种场创制雷州山羊高繁殖高生长新品系及健康养殖系统集成(2025ZDZX4021); 广东海洋大学研究生教育创新计划资助项目; 雷州山羊科技小院(202406)和广东省科学技术厅农村科技特派员专项; 畜禽健康养殖与种养循环(KTP20240547)资助。

作者简介: 李国聪(2000-), 男, 广东湛江人, 在读硕士。E-mail: 2655088819@qq.com。

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: luyanli73@sina.com

improving the feed value of silage maize. The silage maize cultivar ‘Yu Qingyu No. 3’ was cut to five different stubble heights (20, 30, 40, 50, and 60 cm) and harvested at four different stages (1/4, 1/2 and 3/4 milk line stage, and dough stage), a total of 20 treatments were tested, each replicated three times. According to the five-point sampling method, 10 silage maize plants in each stubble height treatment group were harvested at each harvest period. The harvested plants were crushed and then the fibers were cut to about 1 cm in length, and ensiled in a silage tank for 90 days. After ensiling, samples were analyzed for nutritional components, mycotoxin content, and *in vitro* rumen fermentation parameters for beef cattle. The results showed that: 1) The crude protein (CP), crude ash (Ash), acid detergent fiber (ADF), and neutral detergent fiber (NDF) contents and gross energy (GE) all differed significantly among the stubble height treatments and among the harvest period treatments ($P < 0.05$). At a stubble height of 40 cm, the gross energy content showed a trend of initial increase and then decrease with the delay of the harvest time, reaching the maximum value at the 3/4 milk line stage. 2) The zearalenone (ZEN) and aflatoxin (AFs) contents in the maize differed significantly among the stubble height and harvest period treatments ($P < 0.05$). At a stubble height of 50 cm, the zearalenone content showed a trend of initial decrease and then increase with the delay of the harvest date, reaching the minimum value at the 3/4 milk line stage. 3) In the *in vitro* fermentation analyses, the concentrations of acetic acid, propionic acid, and butyric acid at 24 and 48 hours differed significantly between the stubble height and the harvest time treatments ($P < 0.05$). At the stubble height of 30 cm and harvest at the 3/4 milk line stage, the concentration of propionic acid reached the maximum value after 48 hours of *in vitro* fermentation, while the concentration of butyric acid was lowest at 24 hours and showed a pattern of initial decrease followed by an increase with delayed harvest. In summary, to produce high-quality silage, the maize cultivar ‘Yu Qingyu No. 3’ should be cut to a stubble height of 30–50 cm and harvested at the 3/4 milk line stage.

Key words: stubble height; harvest period; beef cattle; nutritional components; mycotoxin; fermentation parameters

渝青玉3号是一种专门用于制作青贮的玉米(*Zea mays*)品种,其特点是生物产量高、营养丰富、适口性好等^[1]。青贮玉米通过厌氧发酵,大部分蛋白质、维生素和能量物质得以保留,更易被动物吸收。同时,青贮玉米保存时间较长,有助于缓解玉米饲料的季节性短缺问题,从而保障对动物全年的玉米饲料供应。研究表明,为保证青贮玉米营养成分的提高,一般要求留茬高度不低于25 cm^[2]。因为留茬高度过低,青贮玉米底部泥土会夹带过多,泥土中通常包含一些有害菌,如梭状芽孢杆菌在肉牛瘤胃体外发酵时会代谢生成戊酸(valeric acid, VA)、丁酸(butanoic acid, BA)等有害物质,易造成肉牛瘤胃体外发酵品质的下降。同时,青贮玉米收获期改变,其营养成分的含量也会随之发生变化^[3]。霉菌毒素是由特定霉菌产生的有毒化合物,会与青贮玉米中的营养成分相互作用,从而影响其在动物体内的消化率。如玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)与蛋白质营养物质结合,形成复合物,使得这些营养物质难以被动物的消化酶分解和吸收,从而降低对青贮玉米的整体消化率,影响动物对营养成分的有效利用。同时,反刍动物采食过量的霉菌毒素会导致胃肠道发生病变,甚至会引起癌变等现象^[4]。在农业管理中,收获期是影响青贮玉米霉菌毒素污染的重要因素。有研究表明,中期收获的玉米通常具有较高的干物质含量和适宜的糖分,有利于青贮并抑制霉菌生长^[5]。因此,选择适宜的留茬高度与收获期有助于提高青贮玉米营养价值及其在动物体内的消化率。

肉牛瘤胃体外发酵是指通过模拟青贮饲料在肉牛瘤胃内的消化过程,将青贮饲料样品与瘤胃体外发酵培养液混合,在特定的温度条件下进行体外培养,观察其发酵过程中产生的pH、氨态氮(ammoniacal nitrogen, $\text{NH}_3\text{-N}$)浓度等指标,以此评估青贮饲料的发酵参数。随着肉牛瘤胃体外发酵时长的增加,肉牛瘤胃体外发酵 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度也会适当增加,适量的氨态氮可为瘤胃微生物提供氮源,有助于维持瘤胃内微生物群落的稳定,进而提高动物对青贮玉米的消化率^[6]。另外,Georg等^[7]研究玉米品种和收获期对瘤胃体外发酵品质的影响,发现青贮玉米

NH₃-N浓度主要受青贮玉米收获期的影响,与品种的关系不大。因此,本试验在粤西地区研究留茬高度与收获期对青贮玉米营养成分、霉菌毒素含量及肉牛瘤胃体外发酵参数的影响,并确定其最佳留茬高度与收获期,为青贮玉米的深入研究奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料、地点

选用渝青玉3号为种子材料,购自重庆帮豪种业股份有限公司。本试验于2021年3月开展,基地位于广东省湛江市,地处北回归线以南,属于亚热带季风气候,月平均气温为28.9℃,7月最高,年平均降水量1567.3 mm,多集中在5—9月。在播种之前,对试验田进行除草、松土、施肥等。种植总面积为240 m²,设置成3个小区,每个小区有5行,各小区的行间距为40 cm。播种方式采用条播,深度为2 cm,播种密度为6.75万株·hm⁻²,播种后进行轻轻按压并滴灌浇水。在苗期和拔节期除草2次,并适时统一进行施肥灌溉。

1.2 试验设计

本试验采用4×5双因素完全随机设计,2个因素为留茬高度与收获期,留茬高度分别是20、30、40、50和60 cm,收获期分别为1/4、1/2、3/4乳线期和蜡熟期。采样时按照5点取样法随机取样,在相同的收获期内取10株不同留茬高度的青贮玉米,揉丝剪其长度为1 cm左右^[8],装入聚乙烯真空袋中,每个处理设置3次重复,然后置于青贮罐内青贮90 d。青贮过后拿出样本先用烘干机在105℃中烘干2 h,再调回65℃烘干至恒重,等常温回潮后,用于指标测定。

1.3 营养成分及霉菌毒素测定

营养成分中按《饲料中水分的测定》(GB/T6435-2014)定量干物质(dry matter, DM);按照《饲料中粗蛋白的测定》(GB/T 6432-2018)定量粗蛋白质(crude protein, CP);按照《饲料中粗脂肪的测定》(GB/T6433-2006)定量粗脂肪(ether extract, EE);按照《饲料中粗灰分的测定》(GB/T 6438-2007)定量粗灰分(crude ash, Ash);按照《饲料中酸性洗涤纤维的测定》(NY/T1459-2007)定量中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)及酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF);按照《饲料中钙的测定》(GB/T 6436-2018)定量钙(calcium, Ca);按照《饲料中总磷的测定》(GB/T 6437-2018)定量磷(phosphorus, P);使用氧弹式总能仪(5E-1C,长沙开元仪器有限公司)定量总能(gross energy, GE)。

霉菌毒素测定使用酶联免疫吸附(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)试剂盒,购自ROMER国际贸易北京有限公司,运用标准曲线方法统计样品中玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)、黄曲霉毒素(aflatoxins, AFs)及呕吐毒素(deoxynivalenol, DON)的含量。霉菌毒素含量的测定以《饲料卫生标准》(GB 13078-2017)为参照。

1.4 试验动物与饲养管理

体外瘤胃液的供体动物是4头肉牛,供体动物的日龄选择在360 d且体重(395±25) kg。每日饲喂2次(7:00和18:00),自由饮水。肉牛的基础饲粮组成和营养水平参照表1。

1.5 肉牛瘤胃体外发酵缓冲液配制

肉牛瘤胃体外发酵缓冲液的配制参考Mcdougall^[10]的方法,具体配制试剂与浓度如表2所示。

1.6 肉牛瘤胃体外发酵

早上饲喂前1 h用瘤胃液采集器(科立博 A1164K,武汉科立博牧业科技有限公司)经肉牛口腔采集瘤胃液共1 L,迅速倒入充满CO₂的密闭容器中并保持在39℃的温度带回操作室。到操作室后将取得的肉牛瘤胃液经过4层纱布过滤,得到的过滤肉牛瘤胃液与缓冲液以1:4的体积比均匀混合成肉牛瘤胃体外发酵培养液,肉牛瘤胃体外发酵培养液持续通入CO₂直至其颜色变为无色,再放置于39℃水浴锅中备用。准确称量青贮样品(0.50±0.02)g放入250 mL产气瓶中,加入50 mL肉牛瘤胃体外发酵培养液并持续通入CO₂,使其排出发酵瓶中的空气后密封,放置于恒温培养箱中保持(39.0±0.5)℃进行体外培养,组内设置3次重复,1次空白作为对照。发酵时长分别设置为3、6、12、24和48 h,发酵结束后,置于4℃环境终止产气瓶微生物活动再测定其NH₃-N、pH和挥发性脂肪酸(volatile fatty acid, VFA)中的乙酸、丙酸、丁酸。

采用苯酚一次氯酸比色法(KY3224,杭州齐威仪器有限公司)测定 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度;采用S220-K型酸度计(梅特勒-托利多公司)测定pH;乙酸、丙酸和丁酸浓度则通过高效气相色谱分析仪(GC128,上海仪电分析仪器有限公司)测定。

1.7 数据统计与分析

试验数据先用Excel进行综合整理,再使用SPSS 22.0软件的two-way ANOVA模型进行双因素方差分析,同时采用Duncan氏方法进行多重比较。分析结果采用“平均值±标准差”表示, $P<0.05$ 表示数据有显著差异。

2 结果与分析

2.1 留茬高度与收获期对渝青玉3号青贮玉米营养成分的影响

由表3可知,留茬高度与收获期对EE、Ca、P含量影响均不显著($P>0.05$),且没有交互影响。当留茬高度在20 cm时,ADF、Ash含量随着收获期延迟呈先下降后上升的趋势,收获期为3/4乳线期时,ADF含量显著低于其他3个收获期($P<0.05$)。留茬高度在30 cm且收获期为1/4乳线期时,ADF含量显著高于3/4乳线期($P<0.05$),且ADF含量随着收获期延迟呈先下降后上升的趋势。当收获期为3/4乳线期时,GE含量随着留茬高度增加呈先上升后下降的趋势,且在40 cm时达到最大值,显著高于60 cm留茬高度($P<0.05$)。留茬高度在50 cm且收获期为3/4乳线期时,CP、GE含量达到最大值,显著高于其他3个收获期($P<0.05$),且NDF、Ash含量随着收获期延迟呈先下降后上升的趋势。留茬高度在60 cm且收获期为3/4乳线期时,NDF含量达到最大值,显著高于1/4乳线期($P<0.05$),且NDF含量随着收获期延迟呈先上升后下降的趋势。当留茬高度相同时,DM含量随着收获期延迟呈逐渐上升的趋势。

2.2 留茬高度与收获期对渝青玉3号青贮玉米霉菌毒素含量的影响

由表4可知,留茬高度与收获期对DON含量无显著影响($P>0.05$),且没有交互影响。当留茬高度在20、40 cm且收获期为蜡熟期时,ZEN含量达到最大值,显著高于其他3个收获期($P<0.05$)。留茬高度在50 cm且收获期为3/4乳线期时,ZEN含量达到最小值,显著低于其他3个收获期($P<0.05$),且ZEN含量随着收获期延迟呈先下降后上升的趋势。当收获期为1/4乳线期时,AFs含量在40 cm达到最大值,显著高于其他4个留茬高度($P<0.05$)。留茬高度在60 cm时,AFs含量随着收获期延迟呈逐渐上升的趋势,在收获期为蜡熟期时含量达到最高。

表1 肉牛的基础饲粮组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Basal diet composition and nutrient level of beef cattle (dry matter basis)

原料组成 Ingredients	含量 Content
青贮玉米 Silage corn (%)	40.89
象草 Grassy grass (%)	35.00
豆粕 Soybean meal (%)	13.98
麸皮 Bran (%)	7.15
食盐 NaCl (%)	0.65
碳酸氢钠 NaHCO_3 (%)	0.84
预混料 Premix (%)	1.50
合计 Total (%)	100.00
营养水平 Nutrient level	
干物质 Dry matter (%)	53.86
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (%)	50.06
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (%)	26.39
代谢能 Metabolizable energy ($\text{MJ}\cdot\text{Kg}^{-1}$)	15.43
粗蛋白质 Crude protein (%)	12.06
钙 Calcium (%)	0.76
磷 Phosphorus (%)	0.54

1. 预混料为每kg饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: V_A 8000 IU, V_D 2000 IU, V_E 40 IU, Cu 12 mg, Fe 70 mg, Mn 50 mg, Zn 80 mg, I 1.0 mg, Se 0.27 mg, Co 0.3 mg. 营养水平中的代谢能为计算值,其余均为实测值,代谢能计算方法参照《肉牛饲养标准》^[9]。The metabolizable energy in nutrient level was calculated value, and the rest are measured values, the calculation method of metabolizable energy is referred to the *Beef Cattle Feeding Standard*^[9].

表2 缓冲液试剂与浓度配制

Table 2 Preparation of buffer reagent and concentration ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)

试剂 Reagent	浓度 Concentration
碳酸氢钠 NaHCO_3	39.800
氯化镁 MgCl_2	20.060
十二水合磷酸氢二钠 $\text{Na}_2\text{HPO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$	9.300
氯化钾 KCl	0.570
氯化钠 NaCl	0.470
L-半胱氨酸盐酸盐 L-cysteine hydrochloride	0.250
氯化钙 CaCl_2	0.040
刃天青钠盐 $\text{C}_{12}\text{H}_6\text{NNaO}_4$	0.001

表 3 留茬高度与收获期对渝青玉 3 号青贮玉米营养成分的影响

Table 3 Effects of stubble height and harvest period on nutritional components of 'Yu Qingyu No. 3' silage maize

留茬高度 Stubble height (cm)	营养成分 Nutrient composition										
	收获期 Harvest period		干物质 Dry matter (%)	粗脂肪 Ether extract (%)	粗蛋白 Crude protein (%)	粗灰分 Crude ash (%)	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (%)	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (%)	钙 Calcium (%)	磷 Phosphorus (%)	总能 Gross energy (kJ·g ⁻¹)
20	1/4 乳线期	1/4 乳线期	22.43±2.32B	2.64±1.35	9.54±0.16aB	4.29±0.58aBC	39.40±0.14aA	68.69±2.77bB	0.32±0.08	0.19±0.01	17.00±0.25bBC
	1/2 乳线期	1/2 乳线期	28.98±5.35B	1.71±0.72	7.65±0.11cB	3.55±0.10bcB	37.74±1.05aA	69.70±0.40abB	0.34±0.05	0.18±0.01	16.88±0.49cC
	3/4 乳线期	3/4 乳线期	45.19±1.27A	2.60±1.34	8.70±0.31bB	3.13±0.05cB	27.04±1.71cC	67.26±1.57bB	0.34±0.09	0.18±0.01	17.31±0.79aCD
	蜡熟期	Dough stage	48.08±3.50A	1.27±0.73	7.07±0.27cC	4.81±0.65aA	30.93±2.00bB	72.78±2.69aA	0.35±0.02	0.19±0.01	17.12±0.71bD
30	1/4 乳线期	1/4 乳线期	22.72±2.26D	2.46±0.58	8.97±0.30abC	3.94±0.13aC	37.67±0.18aB	68.22±0.63bB	0.33±0.10	0.19±0.01	16.75±0.39cC
	1/2 乳线期	1/2 乳线期	33.43±4.18C	2.34±0.83	8.50±0.18bAB	3.46±0.29bB	34.71±1.61bB	72.10±1.29aA	0.34±0.09	0.19±0.01	17.40±0.58bA
	3/4 乳线期	3/4 乳线期	47.35±1.05B	3.25±2.11	9.09±0.46aB	3.45±0.56bB	31.55±1.69cB	64.87±2.24cB	0.34±0.03	0.18±0.04	17.37±0.18bC
	蜡熟期	Dough stage	54.03±2.01A	2.43±1.32	7.50±0.21cC	3.46±0.38bC	34.28±0.91bA	65.10±0.87cC	0.34±0.02	0.19±0.02	17.48±0.24aA
40	1/4 乳线期	1/4 乳线期	17.11±2.39B	2.88±0.85	9.24±0.21aBC	5.08±0.16aA	33.69±1.12aD	76.83±0.56aA	0.33±0.07	0.19±0.01	16.19±0.39dD
	1/2 乳线期	1/2 乳线期	46.95±5.24A	3.39±0.95	7.60±0.19bB	2.70±1.41bB	28.26±0.42cC	61.98±0.54cD	0.34±0.15	0.18±0.01	17.05±0.83bB
	3/4 乳线期	3/4 乳线期	41.62±9.26A	1.49±0.95	9.22±0.79aB	3.10±0.17bB	34.86±0.92bA	67.81±2.65bB	0.34±0.09	0.18±0.00	17.60±1.04aA
	蜡熟期	Dough stage	47.66±1.50A	2.91±1.22	8.69±0.37aB	3.82±0.04bBC	28.55±0.09cC	68.84±1.19bB	0.34±0.02	0.19±0.02	17.51±0.33aA
50	1/4 乳线期	1/4 乳线期	23.02±8.30	3.21±1.64	9.32±0.22bBC	4.53±0.25aB	34.15±0.57aC	64.74±1.64cD	0.32±0.08	0.19±0.01	16.81±0.23dBC
	1/2 乳线期	1/2 乳线期	44.13±8.50	2.39±1.29	8.78±1.60bAB	3.04±0.46cB	34.93±0.61aB	69.57±1.35bB	0.34±0.05	0.18±0.00	17.36±0.35bA
	3/4 乳线期	3/4 乳线期	48.83±1.55	2.70±0.92	10.70±0.01aA	4.49±0.20aA	35.70±0.86aA	73.17±2.35aA	0.41±0.05	0.18±0.01	17.47±0.38aA
	蜡熟期	Dough stage	49.13±0.84	2.11±1.21	10.11±1.25bA	4.89±0.27aA	30.85±2.39bB	66.88±0.57cBC	0.34±0.02	0.19±0.04	17.22±0.28cC
60	1/4 乳线期	1/4 乳线期	27.53±7.40B	2.62±0.81	9.96±0.28aA	3.58±0.20cCD	33.63±1.01aD	58.89±3.38bC	0.33±0.05	0.19±0.01	17.11±0.04cA
	1/2 乳线期	1/2 乳线期	45.45±0.81A	2.71±1.51	9.39±0.62aA	4.61±0.21aA	33.49±1.58aB	64.31±0.74cC	0.35±0.05	0.19±0.01	16.86±0.02dC
	3/4 乳线期	3/4 乳线期	50.12±2.71A	2.18±1.71	8.72±0.29bB	4.13±0.03bA	34.43±1.95aA	66.51±4.05aB	0.34±0.03	0.19±0.02	17.24±0.15bD
	蜡熟期	Dough stage	53.52±0.95A	3.05±1.43	8.52±0.14bB	4.11±0.23bB	27.42±0.16bC	64.95±0.48aC	0.34±0.03	0.19±0.02	17.38±0.12aB
双因素方差分析 P 值 P-value of two-way analysis of variance											
留茬高度	Stubble height		0.10	0.72	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.92	0.73	<0.01
收获期	Harvest period		<0.01	0.96	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.90	0.45	<0.01
留茬高度×收获期	Stubble height×harvest period		0.22	0.54	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.99	0.99	<0.01

注：留茬高度相同，同列不同收获期数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)；收获期相同，同列不同留茬高度数据后不同大写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

Note: When the stubble height is the same, data in the same column with different lowercase letters at different harvest periods indicate significant difference ($P<0.05$); when the harvest period is the same, data in the same column with different uppercase letters at different stubble heights indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

表4 留茬高度与收获期对渝青玉3号青贮玉米霉菌毒素含量的影响

Table 4 Effects of stubble height and harvest period on mycotoxin content of 'Yu Qingyu No. 3' silage maize ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)

留茬高度 Stubble height (cm)	收获期 Harvest period	霉菌毒素 Mycotoxin		
		玉米赤霉烯酮 Zearalenone	黄曲霉毒素 Aflatoxin	呕吐毒素 Deoxynivalenol
20	1/4乳线期 1/4 milk line stage	0.82±0.02cD	0.13±0.00cD	0.21±0.00
	1/2乳线期 1/2 milk line stage	0.92±0.02bB	0.15±0.00bC	0.21±0.00
	3/4乳线期 3/4 milk line stage	0.87±0.02cC	0.16±0.00aB	0.19±0.00
	蜡熟期 Dough stage	1.04±0.01aA	0.16±0.00abA	0.15±0.00
30	1/4乳线期 1/4 milk line stage	0.72±0.01cD	0.12±0.00cD	0.22±0.00
	1/2乳线期 1/2 milk line stage	0.96±0.02aB	0.14±0.00bC	0.18±0.00
	3/4乳线期 3/4 milk line stage	0.90±0.01bC	0.16±0.00aA	0.21±0.00
	蜡熟期 Dough stage	1.03±0.02aA	0.16±0.00aB	0.16±0.00
40	1/4乳线期 1/4 milk line stage	0.87±0.02bB	0.15±0.00aB	0.20±0.00
	1/2乳线期 1/2 milk line stage	0.82±0.02cC	0.13±0.00bD	0.16±0.00
	3/4乳线期 3/4 milk line stage	0.77±0.02dD	0.19±0.01aA	0.20±0.00
	蜡熟期 Dough stage	1.04±0.03aA	0.17±0.00aA	0.18±0.00
50	1/4乳线期 1/4 milk line stage	0.98±0.02aA	0.13±0.00bD	0.22±0.00
	1/2乳线期 1/2 milk line stage	0.91±0.02bB	0.15±0.00aB	0.20±0.00
	3/4乳线期 3/4 milk line stage	0.76±0.02cD	0.14±0.00bC	0.21±0.00
	蜡熟期 Dough stage	0.90±0.09bC	0.16±0.01aA	0.18±0.00
60	1/4乳线期 1/4 milk line stage	0.90±0.02bB	0.12±0.00dD	0.22±0.00
	1/2乳线期 1/2 milk line stage	0.90±0.02bB	0.13±0.00cC	0.22±0.00
	3/4乳线期 3/4 milk line stage	0.99±0.02aA	0.15±0.00bB	0.19±0.00
	蜡熟期 Dough stage	0.92±0.05aB	0.16±0.00aA	0.18±0.00
双因素方差分析 P 值 P-value of two-way analysis of variance				
留茬高度 Stubble height		<0.05	<0.05	0.25
收获期 Harvest period		<0.05	<0.05	0.08
留茬高度×收获期 Stubble height×harvest period		<0.05	<0.05	0.09

2.3 渝青玉3号青贮玉米留茬高度与收获期对肉牛瘤胃体外发酵pH的影响

由表5可知,在不同留茬高度与收获期的处理下,pH在不同肉牛瘤胃体外发酵时长3、6、12、24以及48 h中均差异不显著($P>0.05$),且没有交互影响。收获期在3/4乳线期且留茬高度为30 cm时,pH低于蜡熟期;在留茬高度为50 cm且3/4乳线期时,肉牛瘤胃体外发酵时长为48 h的pH高于其他3个收获期。在肉牛瘤胃体外发酵过程中,pH在12 h前数值总体稳定,在12~24 h期间出现下降趋势。

2.4 渝青玉3号青贮玉米留茬高度与收获期对肉牛瘤胃体外发酵 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度的影响

由表6可知,在不同留茬高度与收获期的处理下, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度在不同肉牛瘤胃体外发酵时长3、6、24以及48 h中均差异不显著($P>0.05$),且没有交互影响,但留茬高度在20、30、40 cm时, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度在肉牛瘤胃体外发酵时长12 h的收获期显示差异显著($P<0.05$)。收获期在1/2乳线期且留茬高度为30 cm时, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度达到最大值,显著高于20和40 cm留茬高度($P<0.05$)。在肉牛瘤胃体外发酵过程中, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度在12 h前总体稳定,12~24 h期间出现小幅度上升,24~48 h期间上升幅度较大。

表 5 渝青玉 3 号青贮玉米留茬高度与收获期对肉牛瘤胃体外发酵 pH 的影响

Table 5 Effects of stubble height and harvest period on pH of *in vitro* rumen fermentation of 'Yu Qingyu No. 3' silage corn beef cattle

留茬高度 Stubble height (cm)	收获期 Harvest period	发酵时长 Fermentation time				
		3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
20	1/4 乳线期 1/4 milk line stage	6.87±0.01	7.02±0.16	7.02±0.01	6.77±0.01	6.61±0.06
	1/2 乳线期 1/2 milk line stage	6.88±0.01	7.03±0.13	6.98±0.01	6.80±0.01	6.73±0.03
	3/4 乳线期 3/4 milk line stage	6.99±0.10	7.25±0.13	7.00±0.01	6.71±0.00	6.67±0.00
	蜡熟期 Dough stage	7.02±0.13	6.97±0.12	7.01±0.03	6.79±0.02	6.71±0.02
30	1/4 乳线期 1/4 milk line stage	7.03±0.13	7.24±0.19	6.95±0.00	6.85±0.10	6.70±0.04
	1/2 乳线期 1/2 milk line stage	6.90±0.03	7.09±0.01	7.11±0.01	6.74±0.01	6.67±0.05
	3/4 乳线期 3/4 milk line stage	6.96±0.10	6.93±0.13	7.00±0.05	6.70±0.01	6.65±0.00
	蜡熟期 Dough stage	7.18±0.07	7.08±0.03	7.06±0.02	6.79±0.01	6.67±0.05
40	1/4 乳线期 1/4 milk line stage	7.00±0.01	7.14±0.01	7.07±0.01	6.80±0.02	6.76±0.00
	1/2 乳线期 1/2 milk line stage	6.89±0.01	6.86±0.10	7.07±0.06	6.73±0.01	6.64±0.04
	3/4 乳线期 3/4 milk line stage	6.88±0.02	7.07±0.07	7.06±0.04	6.76±0.01	6.64±0.01
	蜡熟期 Dough stage	7.10±0.12	7.02±0.01	6.99±0.06	6.72±0.03	6.68±0.01
50	1/4 乳线期 1/4 milk line stage	6.99±0.07	7.10±0.05	6.98±0.01	6.83±0.06	6.71±0.04
	1/2 乳线期 1/2 milk line stage	7.03±0.10	7.13±0.12	6.97±0.05	6.78±0.03	6.62±0.06
	3/4 乳线期 3/4 milk line stage	7.06±0.14	7.00±0.12	7.11±0.02	6.75±0.03	6.75±0.03
	蜡熟期 Dough stage	6.91±0.03	7.07±0.04	7.02±0.01	6.72±0.01	6.65±0.04
60	1/4 乳线期 1/4 milk line stage	6.90±0.03	7.26±0.04	6.98±0.01	6.73±0.06	6.71±0.01
	1/2 乳线期 1/2 milk line stage	6.99±0.10	7.25±0.13	7.00±0.01	6.71±0.00	6.67±0.00
	3/4 乳线期 3/4 milk line stage	7.13±0.13	7.02±0.01	6.98±0.04	6.76±0.05	6.65±0.07
	蜡熟期 Dough stage	7.09±0.21	6.89±0.09	7.02±0.01	6.76±0.01	6.70±0.02
双因素方差分析 P 值 P-value of two-way analysis of variance						
留茬高度 Stubble height		0.36	0.35	0.37	0.37	0.94
收获期 Harvest period		0.07	0.15	0.14	0.06	0.22
留茬高度×收获期 Stubble height×harvest period		0.14	0.05	0.06	0.06	0.05

2.5 渝青玉 3 号青贮玉米留茬高度与收获期对肉牛瘤胃体外发酵 VFA 浓度的影响

由表 7 可知,在不同留茬高度与收获期的处理下,挥发性脂肪酸中乙酸、丙酸和丁酸的浓度在肉牛瘤胃体外发酵 24 及 48 h 均差异显著 ($P < 0.05$),且都具有交互影响。留茬高度在 20 cm 且收获期为 1/4 乳线期时,肉牛瘤胃体外发酵 24 h 的乙酸、丙酸和丁酸浓度显著高于其他 3 个收获期 ($P < 0.05$),丁酸浓度随着收获期延迟呈先下降后上升的趋势。留茬高度在 30 cm 时,24 h 的丁酸浓度随着收获期延迟呈先下降后上升的趋势,在收获期为 3/4 乳线期时肉牛瘤胃体外发酵丁酸浓度显著低于其他 3 个收获期 ($P < 0.05$)。在留茬高度为 40 cm 时,肉牛瘤胃体外发酵 24 h 乙酸浓度随着收获期延迟呈先下降后上升的趋势;在收获期为 1/2 乳线期时,肉牛瘤胃体外发酵 48 h 的丙酸和丁酸浓度显著高于其他 3 个收获期 ($P < 0.05$),且丁酸浓度随着收获期延迟呈先上升后下降的趋势。留茬高度在 50 cm 且收获期为 3/4 乳线期时,肉牛瘤胃体外发酵 48 h 的丁酸浓度显著低于 1/2 乳线期和蜡熟期 ($P < 0.05$),乙酸浓度随着收获期延迟呈先上升后下降的趋势。在留茬高度为 60 cm 时,肉牛瘤胃体外发酵 24 h 的丙酸浓度随着收获期延迟呈先上升后下降的趋势;在收获期为 3/4 乳线期时,肉牛瘤胃体外发酵 24 h 的丙酸浓度显著高于其他 3 个收获期 ($P < 0.05$)。当收获期为 1/4 乳线期时,48 h 的丁酸浓度在 40 cm 达到最大值,显著高于其他 4 个留茬高度 ($P < 0.05$)。

表6 渝青玉3号青贮玉米留茬高度与收获期对肉牛瘤胃体外发酵NH₃-N浓度的影响Table 6 Effects of stubble height and harvest period on the *in vitro* fermentation NH₃-N concentration in the rumen of 'Yu Qingyu No. 3' silage corn beef cattle (mmol·L⁻¹)

留茬高度 Stubble height (cm)	收获期 Harvest period	发酵时长 Fermentation time				
		3 h	6 h	12 h	24 h	48 h
20	1/4乳线期 1/4 milk line stage	0.70±0.15	0.60±0.23	1.34±0.21A	8.19±6.87	31.25±0.45
	1/2乳线期 1/2 milk line stage	2.94±2.66	5.04±3.62	0.76±0.03B	1.72±1.02	24.50±0.62
	3/4乳线期 3/4 milk line stage	0.68±0.08	0.10±0.01	0.38±0.32B	0.54±0.35	28.80±0.30
	蜡熟期 Dough stage	3.72±0.58	0.13±0.01	0.32±0.24B	6.10±5.29	10.23±0.83
30	1/4乳线期 1/4 milk line stage	1.46±1.08	1.78±1.19	1.06±0.21B	3.86±1.87	29.01±0.16
	1/2乳线期 1/2 milk line stage	2.10±0.02	3.70±3.68	3.98±2.81A	3.88±1.78	29.68±1.58
	3/4乳线期 3/4 milk line stage	1.34±1.01	0.31±0.12	0.21±0.12B	4.29±1.29	22.35±2.72
	蜡熟期 Dough stage	2.50±0.52	0.37±0.19	0.19±0.12B	5.84±1.08	24.15±0.54
40	1/4乳线期 1/4 milk line stage	0.77±0.59	8.49±4.41	0.99±0.58A	4.21±0.55	25.59±11.71
	1/2乳线期 1/2 milk line stage	1.92±1.52	1.88±1.12	0.04±0.01B	3.32±1.43	24.42±2.17
	3/4乳线期 3/4 milk line stage	0.66±0.59	0.80±0.22	0.13±0.08B	4.65±1.00	25.64±1.84
	蜡熟期 Dough stage	0.91±0.38	0.47±0.27	0.71±0.10A	1.49±0.92	28.08±3.66
50	1/4乳线期 1/4 milk line stage	2.20±0.17	0.29±0.10	1.77±0.62	13.73±6.00	33.13±3.28
	1/2乳线期 1/2 milk line stage	3.73±0.50	6.35±3.07	1.23±0.47	3.63±1.01	27.78±1.92
	3/4乳线期 3/4 milk line stage	2.57±1.58	1.02±0.72	1.04±0.14	4.80±1.39	30.18±3.75
	蜡熟期 Dough stage	3.11±1.17	1.77±1.20	0.77±0.68	13.45±3.44	33.07±7.54
60	1/4乳线期 1/4 milk line stage	1.68±0.61	2.82±2.01	0.99±0.71	8.39±0.04	27.90±5.35
	1/2乳线期 1/2 milk line stage	2.24±1.53	3.24±2.96	0.42±0.05	5.70±0.35	21.91±7.74
	3/4乳线期 3/4 milk line stage	1.82±0.14	1.79±0.28	0.09±0.01	3.85±0.78	23.58±5.46
	蜡熟期 Dough stage	0.98±0.41	0.05±0.01	0.23±0.04	5.68±5.32	28.76±0.56
双因素方差分析P值 P-value of two-way analysis of variance						
留茬高度 Stubble height		0.12	0.88	0.11	0.05	0.12
收获期 Harvest period		0.12	0.06	<0.05	0.05	0.27
留茬高度×收获期 Stubble height×harvest period		0.85	0.54	0.07	0.44	0.12

3 讨论

3.1 留茬高度与收获期对渝青玉3号青贮玉米营养成分的影响

随着“粮改饲”政策推进以及畜牧业规模化发展,青贮玉米的种植技术、加工工艺及贮存管理不断优化,但其营养成分的含量变化机制仍需系统探讨^[11]。营养成分的含量决定动物能量及养分摄入,从而影响着畜产品的品质。有关研究表明,青贮玉米DM含量随着留茬高度的提高而逐渐增加^[12]。另外,青贮玉米收获过早会导致植株生长尚未充分,许多营养物质还未完全积累和转化,从而使DM的含量下降,含水量增加,青贮玉米易发生腐烂^[13]。在本次试验中,DM含量随着收获期的延迟而逐渐增加。与杨克泽等^[14]试验结果一致。CP含量是反映青贮玉米营养成分的重要指标^[15],同时也是供给动物必需的营养物质,能够刺激动物的生长和繁殖,被称为一切生物的营养基础。研究表明,随着收获期的延迟青贮玉米CP含量呈逐步下降的趋势^[16]。一般来说,随着收获期延迟,青贮玉米的叶片会逐渐衰老,叶绿素含量降低,光合作用相关的酶活性也可能减弱,从而导致CP含量有所降低。ADF含量与其饲料消化率、NDF含量与其饲料适口性呈负相关趋势^[17],因为ADF主要由纤维素、木质素等组成,其含量越高,说明青贮玉米中难以被动物消化的纤维成分就越多,饲料消化率也就越低。在本试验中,随着收获期的延迟,ADF和NDF含量呈先下降后上升的趋势,与徐灿等^[18]研究结果一致。

粗脂肪(EE)是动物体内储存能量的重要物质,能够供给动物体内必要的脂肪酸。李文才等^[19]试验结果表明,留茬高度对青贮玉米EE含量影响较小。可能因为留茬高度主要影响的是植株底部的部分,对中上部叶片和茎秆的影响相对较小,光合作用主要依赖叶片,当叶片大部分保留完整时,植株就能通过光合作用合成足够的碳水化合物,并进一步转化为EE。EE含量在本次试验中显示差异不显著,与朱建国^[20]的试验结果一致。Ca、P对畜体骨骼的发育、能量的代谢必不可少。在本次试验中,青贮玉米在不同留茬高度与收获期的处理下,Ca、P含量未出现显著变化,与熊积鹏等^[21]的试验结果一致。研究发现,青贮玉米在生产过程中Ca、P含量变化不大^[22],但会出现Ca、P比例的失衡,本次试验结果与其相同,比例失衡可能是由于施肥过程的不合理导致。GE是动物一切生命活动的能量来源,动物的生长、繁殖、维持体温等生理过程都依赖于饲料中的能量。王伟等^[23]试验表明,随着留茬高度的提高,饲料中的GE会有所增加。本试验中,青贮玉米随着留茬高度的提高,营养成分中的GE也逐步增加,与王伟等^[23]的试验结果一致。

3.2 留茬高度与收获期对渝青玉3号青贮玉米霉菌毒素含量的影响

玉米在生长、收获、青贮过程中易受多种真菌污染并产生霉菌毒素,如AFs、DON和ZEN等。据报道,玉米中ZEN的阳性检出率为45%,含毒量高达 $2909\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[24],远远超过了《饲料卫生标准》(GB 13078-2017)^[25]的植物性饲料原料含毒量标准:AFs、DON、ZEN最高含毒量分别不得高于30、1000、5000 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。在本试验中,AFs、DON、ZEN的最高含毒量均在该标准的范围之内,可能是渝青玉3号玉米品种具有较强的抗霉菌特性,其基因决定了自身能够抵御霉菌的侵染,或者在受到一定程度的霉菌侵染后,能够限制霉菌在体内的生长和繁殖,进而减少毒素的合成。本试验在不同留茬高度与收获期的处理下,ZEN、AFs含量均显示差异显著,与梁宇成等^[26]试验结果一致。DON含量显示差异不显著,可能是因为DON的主要产毒菌为镰刀菌属,其最适产毒温度为5~25℃,当留茬高度或收获期的调整未显著改变青贮玉米温湿度等核心产毒条件时,毒素水平差异不明显。

3.3 渝青玉3号青贮玉米留茬高度与收获期对肉牛瘤胃体外发酵参数的影响

pH、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和挥发性脂肪酸是评估瘤胃体外发酵参数的重要指标^[27]。pH能够反映瘤胃环境稳态的监测,动物瘤胃pH通常在5.0~7.5^[28]。本次试验中,随着留茬高度与收获期的不同,pH也会随之发生变化。在不同肉牛瘤胃体外发酵时长的处理下,肉牛瘤胃体外发酵pH未出现显著差异。但随着发酵时间的增加,pH会有所下降,与Hatew等^[29]、方彦昊等^[30]试验结果一致。研究表明,留茬高度与收获期对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度影响不明显^[19]。在本试验中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度随着肉牛瘤胃体外发酵时长的改变而变化,肉牛瘤胃体外发酵时间增加, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度不断上升,特别是在肉牛瘤胃体外发酵24~48 h,与郁万瑞^[31]、张霞等^[32]的试验结果一致。挥发性脂肪酸(VFA)中乙酸、丙酸和丁酸是反映瘤胃体外发酵及微生物活力的重要参数之一^[33]。当乙酸与丙酸浓度越高且丁酸浓度越低时,说明青贮玉米的肉牛瘤胃体外发酵品质就越好。在本试验中,肉牛瘤胃体外发酵48 h的乙酸、丙酸浓度明显高于24 h,可能是由于肉牛瘤胃体外发酵24 h所产生的乙酸、丙酸无法被瘤胃壁吸收,导致肉牛瘤胃体外发酵48 h的乙酸、丙酸浓度上升,与张善超等^[34]的试验结果一致。

4 结论

随着留茬高度与收获期的改变,渝青玉3号青贮玉米营养成分中各物质的含量也发生变化,其中DM含量随着收获期的延迟呈逐渐上升的趋势;霉菌毒素中AFs、DON、ZEN的含量在本次试验中均在《饲料卫生标准》(GB 13078-2017)的安全范围之内。当留茬高度在30 cm且收获期为3/4乳线期时,肉牛瘤胃体外发酵24 h的丙酸浓度达到最高,丁酸浓度达到最低。总体而言,渝青玉3号青贮玉米留茬高度应在30~50 cm且收获期为3/4乳线期较为适宜,这对于青贮玉米营养价值及肉牛瘤胃体外发酵品质的提高都有着积极作用。

参考文献 References:

- [1] Zuo Y Z, Wei X H, Liu R G, *et al.* Effect of different silage fermentation promoters on nutrient composition of whole plant silage maize. *Gansu Animal Husbandry and Veterinary*, 2024, 54(4): 70—73.
左愈臻,魏旭辉,刘瑞刚,等.不同青贮发酵促进剂对全株青贮玉米营养成分的影响. *甘肃畜牧兽医*, 2024, 54(4): 70—73.

- [2] Shi Y D. Silage technology of corn stalk. *Today Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2024, 40(11): 47–49.
石彦东. 玉米秸秆青贮技术. *今日畜牧兽医*, 2024, 40(11): 47–49.
- [3] Yang D S, Wang S P, He X Q, *et al.* Effect of harvest time on silage quality and *in vitro* fermentation characteristics of silage maize. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2019, 50(11): 2264–2272.
杨大盛, 汪水平, 贺喜全, 等. 收获期对青贮玉米青贮品质及体外发酵特性的影响. *畜牧兽医学报*, 2019, 50(11): 2264–2272.
- [4] Zain E M. Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*, 2011, 15(2): 129–144.
- [5] Wang X Z. Effects of compactness and harvest time on silage quality and mycotoxin of whole maize. Shihezi: Shihezi University, 2019.
王旭哲. 紧实度及收获期对全株玉米青贮品质及霉菌毒素的影响研究. 石河子: 石河子大学, 2019.
- [6] Wang S N, Wang J L, Wu P X, *et al.* Effect of different stubble height on quality of Yayu silage No. 8. *Feed Research*, 2023, 46(2): 100–104.
王胜男, 王嘉麟, 吴鹏鑫, 等. 不同留茬高度对雅玉青贮8号品质的影响. *饲料研究*, 2023, 46(2): 100–104.
- [7] Georg T, Leonhard G, Friedrich W K. Effect of variety and harvest date on nutritive value and ruminal degrad ability of ensiled maize ears. *Archives of Animal Nutrition*, 2017, 71(5): 333–346.
- [8] Liu J J, Ma L, Zhou W, *et al.* The effects of different cutting methods and different silage time on the quality of silage for feeding ramie. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2019, 41(4): 773–780.
刘佳杰, 马兰, 周韦, 等. 不同切碎方式及不同青贮时间对饲用苧麻青贮品质影响. *江西农业大学学报*, 2019, 41(4): 773–780.
- [9] The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Feeding standard of beef cattle, NY/T 815-2004. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
中华人民共和国农业部. 肉牛饲养标准, NY/T 815-2004. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [10] McDougall E I. Studies on ruminant saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. *Bio-chemical Journal*, 1948, 43(1): 99–109.
- [11] Shi Z Z, Hu X D. Effects of planting structure adjustment on feed grain supply and demand and livestock and poultry breeding in China. *Resources Science*, 2022, 44(12): 2567–2579.
石自忠, 胡向东. 种植结构调整对中国饲料粮供需及畜禽养殖的影响. *资源科学*, 2022, 44(12): 2567–2579.
- [12] Irshad A, Zhengang Y, Muhammad K, *et al.* Nitrogen management and supplemental irrigation affected greenhouse gas emissions, yield and nutritional quality of fodder maize in an arid region. *Agricultural Water Management*, 2022, 1(1) 269–270.
- [13] Wang C, Zhao H W, Fan Q P, *et al.* Effects of harvest time and stubble height on quality and nutrient composition of whole-plant corn silage. *Modern Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2023, 1(6): 24–27.
王诚, 赵洪伟, 范秋苹, 等. 收获时间和留茬高度对全株玉米青贮品质及营养成分的影响. *现代畜牧兽医*, 2023, 1(6): 24–27.
- [14] Yang K Z, Wang L M, Wang L F, *et al.* Research progress and development countermeasures of silage corn in China. *Cold and Arid Agricultural Sciences*, 2024, 3(9): 796–803.
杨克泽, 王丽梅, 汪亮芳, 等. 我国青贮玉米研究进展及发展对策. *寒旱农业科学*, 2024, 3(9): 796–803.
- [15] Liu N, Wang J, Tu Y, *et al.* Quality assessment of corn silage and establishment of a method for rapid detection of nutrient components. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2019, 40(10): 1–7.
刘娜, 王俊, 屠焰, 等. 玉米青贮饲料质量评定及其营养成分快速检测方法的建立. *家畜生态学报*, 2019, 40(10): 1–7.
- [16] Hu C H, Zhang J Z, Meng W D, *et al.* Effects of different cultivation practices on yield and nutritional quality of silage maize. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2015, 36(5): 847–853.
胡春花, 张吉贞, 孟卫东, 等. 不同栽培措施对青贮玉米产量和营养品质的影响. *热带作物学报*, 2015, 36(5): 847–853.
- [17] Allen S M. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 2000, 83(7): 1598–1624.
- [18] Xu C, Chen Y W, Zhang M, *et al.* Effects of harvest period on biological yield and quality of different varieties of maize. *Agriculture and Technology*, 2023, 43(2): 1–5.
徐灿, 陈永伟, 张敏, 等. 收获期对不同品种玉米生物产量和品质的影响. *农业与技术*, 2023, 43(2): 1–5.
- [19] Li W C, Dong Q F. Effect of stubble height on productive quantities and qualities of corn silage. *China Dairy Cattle*, 2018, 1(1): 57–60.
李文才, 董起飞. 留茬高度对青贮玉米产量和品质的影响. *中国奶牛*, 2018, 1(1): 57–60.

- [20] Zhu J G. Study on material production characteristics and nutritional quality of silage maize. Beijing: China Agricultural University, 2005.
朱建国. 青贮玉米物质生产特性与营养品质的研究. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [21] Xiong J P, Cui Y. Different nutrition ingredient analysis of whole plant corn silage harvest. Gansu Animal Husbandry and Veterinary, 2015, 45(9): 27–29.
熊积鹏, 崔燕. 不同收获期全株玉米青贮的营养成分分析. 甘肃畜牧兽医, 2015, 45(9): 27–29.
- [22] Alipour D, Abyaneh M M. Effect of different moisture absorbents on silage fermentation quality of wet potato pulp. Iranian Journal of Animal Science Research, 2016, 2(1): 248–257.
- [23] Wang W, Zhou T R, Xiao Y Z, *et al.* Effects of harvest time and stubble height on nutrient content and digestibility of natural forage. Chinese Journal of Grassland, 2021, 43(12): 66–71.
王伟, 周天荣, 肖燕子, 等. 收获时间和留茬高度对天然牧草营养物质含量和消化率的影响. 中国草地学报, 2021, 43(12): 66–71.
- [24] Wang Z F, Sun X L, Ji J, *et al.* Development and application of high sensitivity zearalenone time-resolved fluorescence rapid quantitative detection card. Feed Processing, 2024, 49(4): 111–116.
王振芳, 孙秀兰, 纪剑, 等. 高灵敏度玉米赤霉烯酮时间分辨荧光快速定量检测卡的研发和应用. 粮食加工, 2024, 49(4): 111–116.
- [25] Wang J, Liang H J, Li F H, *et al.* Investigation and analysis of aflatoxins B₁ in feed products and feed raw materials in China from 2010 to 2021. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2025, 37(1): 682–700.
王京, 梁海军, 李复煌, 等. 2010–2021年我国饲料产品与饲料原料黄曲霉毒素B₁调查分析. 动物营养学报, 2025, 37(1): 682–700.
- [26] Liang Y C, Wang W B, Yuan X J, *et al.* The influence of lactic acid bacteria inoculation on the aerobic stability and mycotoxin content of whole-plant corn silage. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2024, 36(11): 7383–7393.
梁宇成, 王文博, 原现军, 等. 接种乳酸菌对全株玉米青贮饲料有氧稳定性和霉菌毒素含量的影响. 动物营养学报, 2024, 36(11): 7383–7393.
- [27] Liu J T, Ma H, Qu Y L, *et al.* Fuzzy comprehensive evaluation of nutrients and *in vitro* fermentation indexes of sesbania silage. Chinese Journal of Animal Science, 2025, 61(3): 269–275.
刘锦涛, 马慧, 曲永利, 等. 田菁青贮的营养成分及体外发酵指标的模糊综合评价. 中国畜牧杂志, 2025, 61(3): 269–275.
- [28] Dijkstra J, Gastelen V S, Dieho K, *et al.* Review: Rumen sensors: data and interpretation for key rumen metabolic processes. Animal, 2020, 14(S1): S176–S186.
- [29] Hatew B, Bannink A, Laar V H, *et al.* Increasing harvest maturity of whole-plant corn silage reduces methane emission of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 2016, 99(1): 354–368.
- [30] Fang Y H, Wang X X, Wei Y Q. The study on the effect of corn straw pretreated with fermentation broth from co-culture of rumen anaerobic fungi and methanogens of yak cattle on the quality of its yellow silage. China Feed, 2024, 1(10): 5–10.
方彦昊, 王霄霄, 魏亚琴. 犏牛瘤胃厌氧真菌和甲烷菌共培养物发酵液预处理玉米秸秆对其黄贮品质的功效研究. 中国饲料, 2024, 1(10): 5–10.
- [31] Yu W R. Quality evaluation of mixed silage of residual Xiang pears and reed straw and its effect on *in vitro* fermentation as a substitute for whole corn silage. Alaer: Tarim University, 2024.
郁万瑞. 残次香梨与芦苇秸秆混合青贮品质及其替代全株玉米青贮体外发酵效果评价. 阿拉尔: 塔里木大学, 2024.
- [32] Zhang X, Jiao T, Ma S M, *et al.* Evaluation of the co-silage effect of corn straw and stevia straw at different proportions by *in vitro* gas production method. Grassland and Turf, 2023, 43(4): 43–50.
张霞, 焦婷, 马淑敏, 等. 体外产气法评价不同比例玉米秸秆和甜叶菊秆混贮效果. 草原与草坪, 2023, 43(4): 43–50.
- [33] Yin F Q, Wu Z M, Wang Z J, *et al.* The influence of the mixture of imperial bamboo grass and spray-coated corn husk on the rumen fermentation characteristics. Pratacultural Science, 2018, 12(7): 1797–1804.
尹福泉, 吴征敏, 王志敬, 等. 皇竹草和喷浆玉米皮混合对瘤胃发酵特性的影响. 草业科学, 2018, 12(7): 1797–1804.
- [34] Zhang S C, Liu Y C. The effects of whole corn silage at different levels on the growth performance, apparent nutrient digestibility and rumen fermentation parameters of beef cattle. China Feed, 2023, 1(24): 114–117.
张善超, 刘迎春. 不同水平全株玉米青贮饲料对肉牛生长性能、养分表观消化率及瘤胃发酵参数的影响. 中国饲料, 2023, 1(24): 114–117.