



青贮发酵促进剂和收获期对全株青贮玉米营养品质的影响

范凯利 苏亚军 吴建平 李玉 豆思远 张瑞 李泽民 贾莉 雷赵民

Effects of silage fermentation promoter and harvest stage on nutrient quality of whole silage maize

FAN Kaili, SU Yajun, WU Jianping, LI Yu, DOU Siyuan, ZHANG Rui, LI Zemin, JIA Li, LEI Zhaomin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0095>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同青贮添加剂对混播苜蓿营养品质和发酵特性的影响

Effects of different silage additives on the nutritional quality and fermentation characteristics of mixed alfalfa

草业科学. 2020, 37(12): 2603 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0068>

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

Effect of herbal medicine residues addition on the sensory evaluation, fermentation quality, and nutritional composition of whole corn silage

草业科学. 2017, 11(9): 1947 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0542>

不同种类有机肥对全株玉米青贮营养品质的影响

Effect of the application of different organic fertilizers on the quality of whole corn silage

草业科学. 2019, 36(8): 2112 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0600>

花生秧、全株玉米不同混合比例及添加剂对青贮发酵品质和营养价值的影响

Mixed ratios and additives affect the quality of peanut vines and whole-plant corn in mixed silages

草业科学. 2019, 36(9): 2413 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0567>

收获期对玉米籽粒产量和秸秆青贮品质的影响

Effect of different harvesting periods on grain yield and stalk silage quality of maize

草业科学. 2018, 12(6): 1574 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0410>

不同添加剂发酵处理对汽爆玉米秸秆发酵品质及微生物数量的影响

Effects of different additives on fermentation quality and microbial population of steam-exploded corn straw

草业科学. 2021, 38(1): 192 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0114>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0095

范凯利, 苏亚军, 吴建平, 李玉, 豆思远, 张瑞, 李泽民, 贾莉, 雷赵民. 青贮发酵促进剂和收获期对全株青贮玉米营养品质的影响. 草业科学, 2022, 39(3): 586-596.

FAN K L, SU Y J, WU J P, LI Y, DOU S Y, ZHANG R, LI Z M, JIA L, LEI Z M. Effects of silage fermentation promoter and harvest stage on nutrient quality of whole silage maize. Pratacultural Science, 2022, 39(3): 586-596.



青贮发酵促进剂和收获期对全株青贮玉米营养品质的影响

范凯利¹, 苏亚军¹, 吴建平², 李 玉³, 豆思远⁴,
张 瑞¹, 李泽民¹, 贾 莉¹, 雷赵民¹

(1. 甘肃农业大学动物科学技术学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070;
3. 甘肃省畜牧技术推广总站, 甘肃 兰州 730030; 4. 甘肃省动物疫病预防控制中心, 甘肃 兰州 730046)

摘要: 于 2018 年以‘豫青贮 23’青贮玉米 (*Zea mays*) 为试验材料, 分别在其 1/2、2/3、3/4 乳线期收割, 然后分别添加不同的青贮发酵促进剂, 青贮 60 d 后开袋进行感官评定并取样检测青贮玉米营养品质, 旨在研究青贮发酵促进剂宜生贮宝 (Sila-Max)、宜生贮康 (Sila-Mix) 对不同收获期全株玉米青贮营养品质的影响。结果表明: 与不添加对照相比, 青贮发酵促进剂对全株青贮玉米感官评价无显著影响 ($P > 0.05$), 对氨态氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$)、乳酸 (LA)、乙酸 (AA)、干物质回收率 (DMR)、干物质 (DM)、粗蛋白 (CP) 及水溶性碳水化合物 (WSC) 含量有极显著影响 ($P < 0.01$), 对 pH、丁酸 (BA) 及淀粉 (ST) 含量有显著影响 ($P < 0.05$)。延迟收获期对全株青贮玉米 LA、AA、BA、DMR、DM、CP、粗脂肪 (EE)、粗灰分 (Ash)、中性洗涤纤维 (NDF)、酸性洗涤纤维 (ADF)、ST、WSC、48 h 干物质体外消化率 (IVDMD_{48h})、48 h 中性洗涤纤维消化率 (IVNDFD_{48h}) 及总可消化养分 (TDN) 有极显著影响 ($P < 0.01$), 对 pH 有显著影响 ($P < 0.05$)。灰色关联度分析结果表明, 在 2/3 乳线期适宜收获, 青贮发酵促进剂宜生贮康适于在生产实践中推广使用。

关键词: 全株玉米; 青贮发酵促进剂; 收获时间; 发酵品质; 营养品质; 消化率

文献标志码: A **文章编号:** 1001-0629(2022)03-0586-11

Effects of silage fermentation promoter and harvest stage on nutrient quality of whole silage maize

FAN Kaili¹, SU Yajun¹, WU Jianping², LI Yu³, DOU Siyuan⁴, ZHANG Rui¹, LI Zemin¹, JIA Li¹, LEI Zhaomin¹

(1. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China;

2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China;

3. Animal Husbandry Technology Promotion Station of Gansu Province, Lanzhou 730030, Gansu, China;

4. Gansu Center for Animal Disease Control and Prevention, Lanzhou 730046, Gansu, China)

Abstract: This study aimed to investigate the effects of silage fermentation promoters on the nutritional quality of whole-plant corn silage at different harvest stages. In 2018, ‘Yu silage 23’ was used as the test material, and three treatments (control, Sila-Max, and Sila-Mix) were set at 1/2, 2/3, and 3/4 milk-line periods, respectively. After 60 days of silage, openbag

收稿日期: 2021-02-14 接受日期: 2021-05-12

基金项目: 甘肃省高等学校产业支撑计划“平凉红牛种养殖结合高效循环生产体系建设技术应用”(2020C-08); 甘肃省农业农村厅现代丝路寒旱农业“草食畜种养殖结合循环生产体系建设技术研究与应用”专项 (GSSLCSX-2020-1); 甘肃省科技重大专项计划“肉牛高效生态营养技术体系研究与示范”(17ZD2NC020); 甘肃省现代农业 (草食畜) 产业技术体系专项 (GARS-CSX-1)

第一作者: 范凯利 (1996-), 男, 甘肃通渭人, 在读硕士生, 研究方向为家畜生产。E-mail: 1727059820@qq.com

通信作者: 雷赵民 (1967-), 男, 甘肃正宁人, 教授, 博士, 研究方向为草食家畜健康高效养殖。E-mail: leizm@gsau.edu.cn

sensory evaluation and sampling were conducted to determine nutritional quality. The results showed that the silage fermentation promoter had no significant effect on the sensory evaluation of the whole plant silage corn ($P > 0.05$), which significantly affected ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), lactic acid (LA), acetic acid (AA), dry matter recovery (DMR), dry matter (DM), crude protein (CP), and water-soluble carbohydrate (WSC) content ($P < 0.01$), as well as the pH, butyric acid (BA), and starch (ST) content ($P < 0.05$). The delayed harvest period had a significant impact on the whole plant corn silage LA, AA, BA, DMR, DM, CP, ether extract (EE), crude ash (Ash), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), ST, WSC, 48 h in vitro dry matter digestibility (IVDMD_{48 h}), 48 h in vitro neutral detergent fiber digestibility (IVNDFD_{48 h}), and total digestible nutrients (TDN) ($P < 0.01$), as well as the pH ($P < 0.05$). The gray correlation results show that the stage when the milk-line is at 2/3 is suitable for harvesting, and the silage fermentation promoter Sila-MIX is suitable for promotion and use in production practice.

Keywords: the whole corn; silage fermentation promoter; harvest time; fermentation quality; nutritional quality; digestibility

Corresponding author: LEI Zhaomin E-mail: leizm@gsau.edu.cn

随着我国农业供给侧结构性改革和“粮改饲”政策的实施,大力推广青贮玉米的生产利用,降低动物饲喂成本,提高生产性能,减轻秸秆处理的环境压力,已成为形成种养结合生态循环生产模式的有效途径^[1]。青贮玉米 (*Zea mays*) 是发展节粮型畜牧业的有效手段,具有生物量高、适口性好、养分消化率高和贮藏时间长等特点^[2],是公认的优质粗饲料。青贮前的鲜料中含有一些有害好氧菌,随着氧气消耗,有害菌减少。青贮玉米中加入青贮发酵促进剂,可使乳酸菌迅速成为优势菌群,形成酸性环境并抑制好氧微生物的生长繁殖^[3];保证青贮初期发酵所需的乳酸菌数量,使 pH 迅速下降,蛋白水解受到抑制,青贮料中氨态氮、乙酸 (acetic acid, AA) 和丁酸 (butyric acid, BA) 浓度降低,乳酸 (lactic acid, LA) 浓度增加^[4]。研究表明,去穗玉米秸秆青贮中添加发酵促进剂宜生贮宝 (Sila-Max) 和宜生贮康 (Sila-Mix) 均可提高发酵产物的干物质 (dry matter, DM) 含量^[5];代寒凌等^[6]研究指出, Sila-Max 和 Sila-Mix 处理组的 LA 含量显著高于未添加对照组, pH 和氨态氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 显著低于对照组,青贮营养品质和发酵品质均优于对照组。青贮玉米时添加 Sila-Max 可提高粗蛋白 (crude protein, CP)、总可消化养分 (total digestible nutrients, TDN)、DM 含量,降低中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF) 含量,有效提高青贮饲料品质^[7]。

玉米植株的营养成分含量在其成熟过程中不断变化,适宜收获期对青贮营养品质及其发酵品质起决定性作用^[8]。收获期过晚使纤维消化率降低,造成青贮营养价值降低^[9]。选择适宜的收获期对青贮营养品质把控具有重要的作用,有研究表明,全株

玉米随着收获期延迟 CP、AA 和 LA 含量逐渐递减,粗脂肪 (ether extract, EE) 和水溶性碳水化合物 (water soluble carbohydrates, WSC) 含量先上升后下降^[10]。在多花黑麦草 (*Lolium multiflorum*) 研究中发现,随着收获期的延迟,DM、酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF)、NDF 含量呈增长趋势,CP 含量和 48 h 干物质体外消化率 (48 h in vitro dry matter digestibility, IVDMD_{48 h}) 呈下降趋势, WSC 含量呈先上升后下降^[11]。在全株玉米中,随着收获期的延迟,DM、淀粉 (starch, ST) 含量显著增加^[12]。目前已有大量关于 Sila-Max 和 Sila-Mix 分别对全株玉米营养品质影响的研究,但有关 Sila-Max 和 Sila-Mix 作用效果对比的研究很少。为此,本研究对添加 Sila-Max 和 Sila-Mix 及不同收获期下全株玉米营养品质进行综合比较,以期筛选出最优青贮发酵促进剂和收获期,为进一步提高玉米青贮饲料营养品质和适宜收获期提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省庆阳市环县木钵镇胡家湾村 (36°22' N, 107°27' E), 海拔 1 180 m, 年平均气温 9.2 °C, 年平均降水量 300 mm 左右, 属温带大陆性半干旱气候。0–10 cm 土层土壤有机质含量为 11.10 g·kg⁻¹, 全氮含量为 0.81 g·kg⁻¹, 速效磷含量为 7.30 mg·kg⁻¹, 速效钾含量为 194.00 mg·kg⁻¹, pH 8.1。

1.2 试验材料

1.2.1 青贮原料

选用‘豫青贮 23’专用青贮玉米品种为试验材

料, 该品种由河南省大京九种业有限公司选育而成, 适宜在北京、天津武清、河北北部(张家口除外)、辽宁东部、吉林中南部和黑龙江第一积温带春播区种植。试验用玉米于 2018 年 5 月 1 日种植, 田间管理同当地大田, 分别在 1/2、2/3、3/4 乳线期收割, 然后称取 500 g 粉碎后的全株玉米装入 30 cm × 20 cm 的聚乙烯青贮袋中进行青贮。

1.2.2 青贮发酵促进剂

所用青贮发酵促进剂宜生贮宝(贮宝)、宜生贮康(贮康)由美国农业部与甘肃农业大学共同研发。其中贮宝含有植物乳酸菌、丙酸杆菌、纯化纤维素酶, 乳酸菌 $\geq 2 \times 10^{11}$ cfu·g⁻¹; 贮康含有乳酸菌、碳酸钙、黑曲霉, 乳酸菌 $\geq 1.8 \times 10^6$ cfu·g⁻¹。此外, 贮宝和贮康含有同型发酵乳酸菌、异型发酵乳酸菌和枯草芽孢杆菌(α -淀粉酶)。

1.3 试验方法

试验采用收获期和促进剂双因子交互设计, 对不同收获期(1/2、2/3、3/4 乳线期)全株青贮玉米进行两种促进剂(贮宝和贮康)处理下的青贮试验, 不添加任何青贮发酵促进剂作为对照组(CK)。试验每个收获期分为 3 个处理, 3 个收获期共 9 个处理, 每个处理 3 次重复。

不同收获期的全株玉米粉碎后, 两种促进剂的添加量按照产品说明添加(贮宝粉末按 2.5 mg·kg⁻¹ 均匀加入, 贮康颗粒按 500 mg·kg⁻¹ 均匀加入)。均匀喷洒添加剂后称取 500 g 粉碎后的全株玉米装入同样的聚乙烯青贮袋中, 用真空包装机抽真空后密封, 在暗处恒温(20 ℃)贮藏 60 d 后测定各指标。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 感官评定

根据德国农业协会(DLG)青贮感官评分标准^[13]对青贮进行感官鉴定, 对青贮的气味(14分)、质地(4分)、色泽(2分)进行评分, 根据总分把青贮分为Ⅰ级(优良, 16~20分)、Ⅱ级(尚好, 10~15分)、Ⅲ级(中等, 5~9分)及Ⅳ级(腐败, 0~4分)4个等级。

1.4.2 营养指标的测定

采用张丽英^[14]的方法测定 DM、CP、EE 及 Ash 含量; 按照范氏(Van Soest)洗涤纤维法^[15]测定 NDF 和 ADF 含量; WSC 含量测定按照蒽酮-硫酸比色法^[16]测定; ST 含量采用 AOAC^[17]的方法测定; 采用雷磁 PHS-3C 精密 pH 计测定 pH; 氨态氮含量采用苯酚次氧

酸钠比色法^[18]测定, LA、AA 及丁酸(butyric acid, BA)含量使用安捷伦(Agilent1100)液相色谱仪测定^[19]。

DM回收率 =

$$1 - \frac{\text{青贮前袋中样品DM量} - \text{青贮后袋中样品DM量}}{\text{青贮前袋中样品DM量}} \times 100\%。$$

IVDMD_{48 h} 和 48 h 中性洗涤纤维消化率(48 h in vitro neutral detergent fiber digestibility, IVNDFD_{48 h})采用活体外人工瘤胃法测定^[20]。

干物质体外消化率(IVDMD) =

$$\frac{(\text{消化前样品DM重} - \text{消化后样品DM重})}{\text{消化前样品DM重}} \times 100\%;$$

中性洗涤纤维消化率(IVNDFD) =

$$\frac{(\text{消化前样品NDF重} - \text{消化后样品NDF重})}{\text{消化前样品NDF重}} \times 100\%;$$

TDN = DCP + DCF + 2.25DEE + DNFE。

式中:TDN 为总可消化养分, DCP(digestible crude protein)为可消化粗蛋白, DCF (digestible compensating fiber)为可消化粗纤维, DEE (digestible ether extract)为可消化粗脂肪及 DNFE (digestible nitrogen free extract)为可消化无氮浸出物的百分含量^[21]。

1.5 数据统计分析

采用 Excel 2016 软件对数据进行初步处理, 用 SPSS 24.0 完成数据分析, 数据均以“平均值 ± 标准误”表示, 对促进剂和收获期进行双因素方差分析(Two-way ANOVA), 对同一促进剂不同收获期处理、同一收获期不同促进剂处理进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 并用 Duncan 法对各项指标进行多重比较($P < 0.05$)。采用灰色关联度法^[22]对青贮玉米营养品质进行综合分析。

2 结果分析

2.1 青贮原料的化学成分

随着收获期延迟, 全株青贮玉米 3/4 乳线期的 DM、EE、Ash、NDF、ADF、ST 显著高于 1/2 乳线期($P < 0.05$), 1/2 乳线期的 CP、IVDMD_{48 h}、IVNDFD_{48 h}、TDN 显著高于 3/4 乳线期($P < 0.05$), 2/3 乳线期的 WSC 显著高于其他两个时期($P < 0.05$)(表 1)。

2.2 青贮发酵促进剂和收获期对全株玉米青贮质量感官评分的影响

各处理组均有较强的芳香味, 色泽均为黄绿

表 1 不同收获期青贮原料的化学成分
Table 1 Chemical composition of silage materials in different harvest stages

指标 Parameter	收获期 Harvest stage		
	1/2乳线期 1/2 milk line period	2/3乳线期 2/3 milk line period	3/4乳线期 3/4 milk line period
干物质 Dry matter (DM)/%	27.77 ± 0.26c	30.43 ± 0.12b	31.93 ± 0.13a
粗蛋白 Crude protein (CP)/%	8.25 ± 0.12a	6.45 ± 0.47b	5.51 ± 0.17c
粗脂肪 Ether extract (EE)/%	4.44 ± 0.36b	7.29 ± 0.25b	8.97 ± 0.72a
粗灰分 Ash/%	6.19 ± 0.37b	8.71 ± 0.46b	15.29 ± 1.21a
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (NDF)/%	44.13 ± 0.17b	44.80 ± 0.57b	53.09 ± 0.97a
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (ADF)/%	26.68 ± 0.11b	30.19 ± 0.90b	42.69 ± 2.00a
淀粉 Starch (ST)/%	7.35 ± 1.42c	18.95 ± 1.04b	25.48 ± 0.15a
水溶性碳水化合物 Water soluble carbohydrate (WSC)/%	6.47 ± 0.26b	9.51 ± 0.58a	8.29 ± 0.54b
48 h干物质体外消化率 48 h in vitro dry matter digestibility (IVDMD _{48 h})/%	90.33 ± 0.33a	89.33 ± 0.88a	84.67 ± 0.33b
48 h中性洗涤纤维消化率 48 h in vitro neutral detergent fiber digestibility (IVNDFD _{48 h})/%	72.33 ± 0.67a	68.00 ± 0.00b	63.67 ± 1.67c
总可消化养分 Total digestible nutrients (TDN)/%	70.00 ± 0.00a	69.67 ± 0.33a	62.67 ± 0.67b

同行不同小写字母表示不同收获期差异显著($P < 0.05$)。
Different lowercase letters within the same row indicate significant differences between different harvest stages at the 0.05 level.

色, 接近全株青贮玉米原料原色, 茎叶分明, 结构保存良好, 在聚乙烯青贮袋中未发现成块现象, 综合评价等级均为 I 级 (表 2)。

2.3 青贮发酵促进剂和收获期对全株青贮玉米发酵品质的影响

方差分析 (表 3) 表明, 青贮发酵促进剂和收获期的交互作用对所有指标均无显著影响 ($P > 0.05$)。收获期对 LA、AA、BA 及 DMR 的影响极显著 ($P < 0.01$), 对 pH 影响显著 ($P < 0.05$), 而对氨态氮含量的影响不显著 ($P > 0.05$)。青贮发酵促进剂对氨态氮、LA、AA 及 DMR 的影响极显著 ($P < 0.01$), 而对 pH、BA 含量的影响不显著 ($P > 0.05$)。

相同收获期不同促进剂间, 3/4 乳线期 CK 组 pH 显著高于其他组 ($P < 0.05$)。1/2、2/3 乳线期贮康组氨态氮含量显著低于其他组。1/2、2/3 乳线期的 CK 组 LA 含量显著低于其他组, 3/4 乳线期贮宝组 LA 含量显著高于其他组。1/2 乳线期贮康组 AA 含量显著低于其他组, 2/3 乳线期 CK 组 AA 含量显著高于其他组。1/2 乳线期 CK 组 BA 含量显著高于贮宝组, 贮宝组 DMR 显著高于其他组。

相同促进剂不同收获期之间, 对于 CK 组, 1/2

表 2 不同处理下玉米青贮感官评价得分
Table 2 Sensory evaluation score of corn silage under different treatments

收获期 Harvest stage	项目 Item	对照 Control	宜生贮宝 Sila-Max	宜生贮康 Sila-Mix
1/2乳线期 1/2 milk line period	气味 Odor	13	14	14
	质地 Texture	3	3	3
	色泽 Color	1	1	1
	总分 Total score	17	18	18
2/3乳线期 2/3 milk line period	气味 Odor	13	14	14
	质地 Texture	3	3	3
	色泽 Color	1	2	1
	总分 Total score	17	19	18
3/4乳线期 3/4 milk line period	气味 Odor	13	14	14
	质地 Texture	3	3	3
	色泽 Color	1	1	2
	总分 Total score	17	18	19

乳线期 AA 含量显著高于其他时期 ($P < 0.05$), 3/4 乳线期 DMR 显著高于其他时期。对于贮宝组, 3/4 乳线期氨态氮含量显著低于其他时期, 1/2 乳线期 AA 含量显著高于其他时期, 2/3 乳线期 DMR 显著低于其他时期。对于贮康组, 3/4 乳线期氨态氮含量显著高于其他时期, 3/4 乳线期 LA 含量显著低于 1/2

表 3 不同处理对全株青贮玉米发酵品质的影响
Table 3 Effects of different treatments on fermentation quality of whole silage maize

收获期 Harvest stage	处理 Treatment	pH	氨态氮 NH ₃ -N/%	乳酸 Lactic acid (LA)/%	乙酸 Acetic acid (AA)/%	丁酸 Butyric acid (BA)/%	干物质回收率 Dry matter recovery (DMR)/%
1/2乳线期 1/2 milk line period	对照 Control	3.81 ± 0.52	0.39 ± 0.27A	4.91 ± 0.72B	3.06 ± 0.48Aa	0.04 ± 0.03A	90.97 ± 0.00Bb
	宜生贮宝 Sila-Max	3.78 ± 0.52	0.37 ± 0.21Aa	5.50 ± 0.28A	3.05 ± 0.88Aa	0.04 ± 0.00B	97.46 ± 0.01Aa
	宜生贮康 Sila-Mix	3.81 ± 0.06	0.21 ± 0.02Bb	5.63 ± 0.37Aa	2.30 ± 0.21Ba	0.04 ± 0.00AB	92.46 ± 0.00Bb
2/3乳线期 2/3 milk line period	对照 Control	3.86 ± 0.01	0.41 ± 0.06A	4.52 ± 0.15B	2.57 ± 0.12Ab	0.05 ± 0.00	91.00 ± 0.01b
	宜生贮宝 Sila-Max	3.83 ± 0.01	0.37 ± 0.36Aa	5.38 ± 0.11A	2.16 ± 0.77Bb	0.04 ± 0.00	93.35 ± 0.01b
	宜生贮康 Sila-Mix	3.85 ± 0.70	0.23 ± 0.04Bb	5.27 ± 0.09Aab	1.89 ± 0.05Ca	0.04 ± 0.00	91.44 ± 0.01b
3/4乳线期 3/4 milk line period	对照 Control	3.94 ± 0.20A	0.36 ± 0.26	4.35 ± 0.22B	1.50 ± 0.19c	0.05 ± 0.00	95.90 ± 0.01a
	宜生贮宝 Sila-Max	3.85 ± 0.01B	0.22 ± 0.87b	5.17 ± 0.24A	1.36 ± 0.32c	0.05 ± 0.01	96.70 ± 0.00a
	宜生贮康 Sila-Mix	3.86 ± 0.02B	0.31 ± 0.03a	4.56 ± 0.24Bb	1.08 ± 0.05b	0.05 ± 0.01	96.30 ± 0.01a
收获期 Harvest stages (H)		*	NS	**	**	**	**
促进剂 Promoter (P)		NS	**	**	**	NS	**
P × H		NS	NS	NS	NS	NS	NS

同列不同大写字母表示相同收获期不同促进剂之间差异显著($P < 0.05$), 同列不同小写字母表示相同促进剂不同收获期差异显著($P < 0.05$), 无字母表示无显著差异, *表示差异显著($P < 0.05$), **表示差异极显著($P < 0.01$), NS表示差异不显著($P > 0.05$); 下表同。

Different capital letters within the same column for the same harvest stages indicate significant difference between different promoters at the 0.05 level, different lowercase letters within the same column for the same promoter indicate significant difference between different harvest stages at the 0.05 level, No letters means no significant difference, *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; NS, $P > 0.05$; this is applicable for the following tables as well.

乳线期, 3/4 乳线期 AA 含量显著低于其他时期, 3/4 乳线期 DMR 显著高于其他时期。

2.4 青贮发酵促进剂和收获期对全株玉米青贮的营养成分含量的影响

方差分析(表 4)表明, 收获期对 DM、CP、EE、Ash、NDF、ADF、ST、WSC 含量影响极显著 ($P < 0.01$), 青贮发酵促进剂对 DM、CP、WSC 含量影响极显著 ($P < 0.01$), 对 ST 含量影响显著 ($P < 0.05$), 对其他营养指标均无显著影响 ($P > 0.05$)。

相同收获期不同促进剂间, 1/2 乳线期贮宝组 DM 含量显著高于其他组 ($P < 0.05$), CK 组 CP 含量显著低于其他组。2/3 乳线期贮康组 EE 含量显著高于其他组, 贮康组 Ash 含量显著高于其他组。3/4 乳线期贮宝和贮康组 NDF 含量显著低于 CK 组, 贮宝和贮康组 DMR 显著高于 CK 组。

相同促进剂不同收获期间, 对于 CK 组, 3/4 乳线期 DM、EE、Ash、ADF 及 ST 含量显著高于其他时期 ($P < 0.05$), CP 含量显著低于其他时期, 1/2 乳线期 NDF 含量显著低于其他时期, 2/3 乳线期 WSC 含量显著高于其他时期。对于贮宝组, 3/4 乳线期 DM、EE、Ash、NDF、ADF 及 ST 含量显著高于其他收获

期, CP 含量显著低于其他时期, 2/3 乳线期 WSC 含量显著高于其他时期。对于贮康组, 3/4 乳线期 DM、EE、Ash、NDF、ADF 及 ST 含量显著高于其他时期, CP 含量显著低于其他时期, 2/3 乳线期 WSC 含量显著高于其他收获期。

2.5 青贮发酵促进剂和收获期对全株青贮玉米消化率及总可消化养分的影响

方差分析(表 5)表明, 青贮发酵促进剂和收获期的交互作用对消化率及总可消化养分不显著 ($P > 0.05$), 收获期对 IVDMD_{48 h}、IVNDFD_{48 h}、TDN 影响极显著 ($P < 0.01$), 青贮发酵促进剂对 IVDMD_{48 h}、IVNDFD_{48 h} 及 TDN 影响不显著 ($P > 0.05$)。

相同收获时期不同促进剂间, 1/2 乳线期贮宝组 IVDMD_{48 h} 显著高于其他组 ($P < 0.05$), 3/4 乳线期贮康组 IVNDFD_{48 h} 显著高于其他组。

相同促进剂不同收获期间, 对于 CK 组, 1/2 乳线期 IVDMD_{48 h} 显著高于 3/4 乳线期 ($P < 0.05$), TDN 显著高于其他时期, 3/4 乳线期 IVNDFD_{48 h} 显著低于其他时期。对于贮宝组, 1/2 乳线期 IVDMD_{48 h}、TDN 显著高于其他时期, 3/4 乳线期 IVNDFD_{48 h} 显著低于其他收获期。对于贮康组, 1/2 乳线期 IVDMD_{48 h}、

表 4 不同处理对全株青贮玉米营养成分的影响
Table 4 Effects of different treatments on nutrient components of whole silage maize

收获期 Harvest stage	处理 Treatment	干物质 Dry matter (DM)/%	粗蛋白 Crude protein (CP)/%	粗脂肪 Ether extract (EE)/%	粗灰分 Ash/%	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (NDF)/%	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (ADF)/%	淀粉 Starch (ST)/%	水溶性碳水化合物 Water soluble carbohydrate (WSC)/%
1/2乳线期 1/2 milk line period	对照 Control	25.26 ± 0.25Bc	8.20 ± 0.03Ba	2.31 ± 0.11c	5.48 ± 0.23c	38.10 ± 0.90c	24.50 ± 0.35c	14.27 ± 0.70c	3.02 ± 0.15b
	宜生贮宝 Sila-Max	27.06 ± 0.14Ac	9.25 ± 0.07Aa	2.57 ± 0.12b	5.44 ± 0.04c	36.88 ± 0.36b	23.87 ± 0.60c	15.65 ± 0.60c	3.36 ± 0.24b
	宜生贮康 Sila-Mix	25.68 ± 0.36Bc	9.13 ± 0.07Aa	2.34 ± 0.20b	5.56 ± 0.33b	37.38 ± 0.54c	24.21 ± 0.31c	15.89 ± 1.16c	3.34 ± 0.05b
2/3乳线期 2/3 milk line period	对照 Control	27.69 ± 0.10b	8.30 ± 0.09a	3.20 ± 0.11Bb	7.86 ± 0.12Bb	42.93 ± 1.47b	32.56 ± 0.11b	18.60 ± 0.24b	4.02 ± 0.18a
	宜生贮宝 Sila-Max	28.41 ± 0.34b	8.53 ± 0.04b	3.21 ± 0.07Bb	7.90 ± 0.20Bb	42.46 ± 1.73a	30.40 ± 0.88b	22.33 ± 1.73b	4.29 ± 0.06a
	宜生贮康 Sila-Mix	27.82 ± 0.18b	8.41 ± 0.08b	4.90 ± 0.30Aa	8.89 ± 0.23Aa	42.51 ± 0.40b	31.05 ± 0.94b	22.51 ± 1.92b	4.68 ± 0.62a
3/4乳线期 3/4 milk line period	对照 Control	30.61 ± 0.02a	5.36 ± 0.63b	5.26 ± 0.31a	9.54 ± 0.21a	47.55 ± 0.50Aa	37.11 ± 1.05a	27.53 ± 1.07a	1.40 ± 0.07Bc
	宜生贮宝 Sila-Max	30.87 ± 0.26a	6.13 ± 0.26c	5.65 ± 0.37a	9.54 ± 0.21a	46.09 ± 0.60Ba	35.85 ± 0.33a	28.70 ± 1.05a	2.56 ± 0.17Ac
	宜生贮康 Sila-Mix	30.74 ± 0.24a	6.13 ± 0.43c	5.63 ± 0.73a	10.01 ± 0.84a	46.36 ± 0.50Ba	36.24 ± 0.95a	29.69 ± 0.07a	2.66 ± 0.17Ac
收获期 Harvest stages (H)		**	**	**	**	**	**	**	**
促进剂 Promoter (P)		**	**	NS	NS	NS	NS	*	**
P × H		*	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS

表 5 不同处理对全株青贮玉米消化率和总可消化养分的影响
Table 5 Effects of different treatments on the digestibility and total digestible nutrients of whole silage maize

收获期 Harvest stage	处理 Treatment	48 h 干物质体外消化率 (IVDMD _{48h}) 48 h in vitro dry matter digestibility/%	48 h 中性洗涤纤维消化率 (IVNDFD _{48h}) 48 h in vitro neutral detergent fiber digestibility/%	总可消化养分 (TDN) Total digestible nutrients /%
1/2乳线期 1/2 milk line period	对照 Control	88.33 ± 0.67Ba	65.67 ± 0.33a	71.00 ± 0.58a
	宜生贮宝 Sila-Max	89.67 ± 0.33Aa	66.00 ± 0.33a	71.67 ± 0.33a
	宜生贮康 Sila-Mix	88.67 ± 0.33Ba	66.33 ± 0.33	71.67 ± 0.33a
2/3乳线期 2/3 milk line period	对照组 Control	86.00 ± 1.52ab	65.33 ± 0.33a	67.67 ± 0.33b
	宜生贮宝 Sila-Max	86.33 ± 1.20b	65.33 ± 0.67a	68.33 ± 0.88b
	宜生贮康 Sila-Mix	86.67 ± 1.37b	65.67 ± 1.03	68.67 ± 1.37b
3/4乳线期 3/4 milk line period	对照 Control	84.00 ± 0.58b	64.00 ± 0.00Bb	65.00 ± 0.58c
	宜生贮宝 Sila-Max	84.33 ± 0.33b	64.00 ± 0.00Bb	65.33 ± 0.33c
	宜生贮康 Sila-Mix	84.33 ± 0.33c	65.00 ± 0.58A	65.67 ± 0.33c
收获期 Harvest stages (H)		**	**	**
促进剂 Promoter (P)		NS	NS	NS
P × H		NS	NS	NS

TDN 显著高于其他时期。

2.6 各营养品质的灰色关联度分析

根据加权值筛选出的适宜收获期和青贮发酵促进剂为 2/3 乳线期添加贮康 (表 6)。

表 6 各营养品质灰色关联度分析
Table 6 Gray correlation analysis of each nutritional quality

收获期 Harvest stage	处理 Treatment	加权关联值 Weighted correlation	排序 Sort
1/2乳线期 1/2 milk line period	对照 Control	0.041 19	VIII
	宜生贮宝 Sila-Max	0.050 66	V
	宜生贮康 Sila-Mix	0.052 49	III
2/3乳线期 2/3 milk line period	对照 Control	0.040 56	IX
	宜生贮宝 Sila-Max	0.047 81	VI
	宜生贮康 Sila-Mix	0.056 57	I
3/4乳线期 3/4 milk line period	对照 Control	0.042 38	VII
	宜生贮宝 Sila-Max	0.051 55	IV
	宜生贮康 Sila-Mix	0.055 50	II

3 讨论与分析

3.1 青贮发酵促进剂对全株青贮玉米感官鉴定的影响

对青贮发酵产物进行直接的感官评价,可快速的从质地、色泽、气味方面判断青贮品质的优劣,从而判断青贮是否成功。张相伦等^[23]研究乳酸菌制剂对全株玉米的感官鉴定发现,试验各组青贮感官评价综合评分均在 16~20 分,达到优级标准,青贮效果均较好。袁仕改等^[24]研究不同添加剂对青贮玉米的感官鉴定发现,所有试验组感官评价均为 I 级优良。本研究中添加青贮发酵促进剂与未添加组全株青贮玉米感官评价均为 I 级优良,且贮宝和贮康组均高于 CK 组。这表明全株玉米青贮时,不使用添加剂也能得到感官较好的青贮饲料,与上述结果一致。

3.2 青贮发酵促进剂和收获期对全株青贮玉米发酵品质的影响

pH、氨态氮和乳酸含量是衡量饲料发酵品质的重要指标。优质青贮饲料具有较高的 LA 含量和较低 pH、BA 含量^[25],高 LA 含量和低 pH 能够抑制有害菌生长,降低蛋白质降解^[26]。通常优质青贮饲料的 pH 在 3.8~4.2^[27]。本研究中各处理组 pH 都低于 4.0,达到了优质青贮饲料的要求,而且试验组 pH 显

著低于 CK 组,贮康组高于贮宝组,这是因为贮康除了含有贮宝所含有的菌类之外还含有 25.0%~29.5% 的 CaCO₃, CaCO₃ 可以通过提高青贮发酵产物的有机酸含量及 pH,提高饲料的适口性,中和酸环境中的一些氢离子^[4]。氨态氮是反映青贮过程中蛋白质降解程度的指标,其含量越高表明蛋白氮降解越多,青贮发酵品质越差。张适等^[28]研究指出,添加促进剂的各处理组中氨态氮含量均显著降低,蛋白分解较少。本研究中贮宝和贮康组的氨态氮含量显著低于 CK 组,与张适等^[28]研究结果一致。有研究发现,添加青贮发酵促进剂可显著降低青贮 pH,提高 LA 含量^[4, 29]。本研究中,试验组 LA 含量显著高于 CK 组,表明青贮发酵促进剂可以使青贮玉米产生大量 LA。王旭哲等^[30]发现,青贮中加入同型发酵乳酸菌,LA 含量较高,所产生的 AA 含量较少,本研究中试验组 AA 含量显著低于 CK 组,原因是青贮发酵促进剂贮宝和贮康属于同型乳酸菌,在发酵过程中抑制了 AA 的产生,此结果与王旭哲等^[30]报道一致。刘辉等^[31]研究表明,试验中添加青贮发酵促进剂在两种凋萎青贮中获得了积极的效果,DMR 均有不同程度提高,本研究试验组 DMR 显著高于 CK 组,表明两种青贮发酵促进剂有助于提高全株青贮玉米的发酵品质。

pH 与青贮原料中的 WSC 含量有关,通常来说较高的 WSC 为乳酸菌发酵提供了大量营养物质,促进乳酸菌活动,进而产生大量的乳酸来降低 pH^[32]。本研究中随着收获期延迟 WSC 含量降低, pH 在 CK 组显著升高,试验组有相对升高的趋势,这表明收获期延迟会使全株青贮玉米中 pH 升高。有研究表明青贮中 LA 含量随着收获期延迟降低^[7]。本研究贮康组 3/4 乳线期 LA 含量显著低于 1/2 乳线期,CK 和贮宝组也逐渐降低,其原因是在收获早期,青贮中水分含量多,微生物活动频繁,但随着收获期延迟水分含量下降,微生物活动减弱,进而会使全株青贮玉米中乳酸含量降低。收获期延迟减少了全株青贮玉米中蛋白质降解,从而降低了氨态氮含量^[33],本研究也得出相同结论。因为其中氨主要由梭状芽胞杆菌产生^[34],青贮玉米中水分含量的降低能够抑制梭状芽胞杆菌的生长,进而会减缓蛋白质的降解与氨的产生^[1]。焉石^[35]报道指出全株青贮玉米在蜡熟期末期 BA 含量显著升高,本研究中 3/4 乳线期 BA 含量也有升高的趋势,原因是贮宝和贮康中含

有相同的乳酸菌,收获期延迟导致 LA 含量降低且 pH 升高,产生大量 BA,青贮品质变差。

3.3 青贮发酵促进剂和收获期对全株青贮玉米营养品质的影响

全株青贮玉米的营养品质是评价青贮好坏的一项重要指标。青贮时添加发酵促进剂可以提高 CP 含量^[28]。研究表明,在全株青贮玉米中添加青贮发酵促进剂可显著提高 DM、CP、ST 含量^[25]。本研究试验组 DM、CP、ST 含量显著高于 CK 组,与前人研究结果一致^[24, 28],原因是青贮过程中添加促进剂可快速启动乳酸菌发酵并产生大量 LA,快速降低 pH,抑制有害菌产生,从而减少 DM、CP 等营养物质的损耗^[36-37]。ADF 通常与动物消化率负相关,其含量越低,饲草消化率越高,饲用价值越大^[38]。有研究表明,在全株青贮玉米、大麦中添加不同发酵类型的青贮发酵促进剂,使 ADF 和 NDF 含量显著下降^[39-40],本研究中贮宝和贮康组的 ADF 和 NDF 含量显著低于 CK 组,其原因是贮宝和贮康中含有纤维素酶,可降解植物细胞壁,与 Jones 等^[39]和 Kung 等^[40]研究结果一致。青贮玉米中含有丰富的 WSC,青贮发酵促进剂可抑制有害微生物的产生,促进 LA 发酵,从而减少了 WSC 含量的损失,而且青贮发酵促进剂为同质型乳酸菌,乳酸的积累导致部分纤维素和半纤维素通过酸解作用被降解为 WSC^[4,41],本研究中试验组 WSC 显著高于 CK 组,也证实了这一点。受粗饲料中纤维素含量程度的影响,IVDMD_{48h} 越高,粗饲料品质越好。本研究中添加促进剂对 IVDMD_{48h}、IVNDFD_{48h} 及 TDN 均有促进作用,可以有效降解青贮玉米中的粗纤维,进而提高消化率。

收获期延迟导致青贮玉米的生物量积累,养分浓度都相对增加,纤维化程度增加,消化率降低。朱慧森等^[42]指出,从籽粒形成期到完熟期 DM、ST 含量显著增加。本研究发现 3/4 乳线期的 DM、ST 含量显著高于其他两个时期,与其研究结果相一致。植

株在衰老过程中叶绿素、维生素等蛋白类物质会降低^[43],籽粒形成期玉米青贮饲料 CP 含量极显著高于完熟期。本研究中 3/4 乳线期的 CP 含量显著低于其他时期,收获期延迟 CP 含量降低。WSC 含量与发酵品质显著正相关^[44],WSC 等有机物的消耗会改变青贮玉米化学成分的比例,可能是导致青贮后化学成分发生变化的主要原因。杨大盛等^[45]发现从乳熟中期到蜡熟中期,WSC 含量先上升后降低,本研究中 WSC 含量在 2/3 乳线期达到最高,在 3/4 乳线期显著降低,其原因可能与玉米生长过程中营养物质积累和转化有关。陶春卫等^[46]指出,TDN 与 NDF 含量显著负相关,随着收获期延迟,纤维化程度增加,IVDMD_{48h} 和 IVNDFD_{48h} 降低,本研究中 3/4 乳线期 IVDMD_{48h}、IVNDFD_{48h} 及 TDN 显著低于其他两个时期,其原因是随着生育期的推进,细胞内容物逐渐减少,细胞壁成分增加,这是植物衰老的普遍规律^[11]。因此,收获期延迟会导致青贮饲料品质变差,及时在最佳收获期进行收割,可保证青贮营养物质的最大利用。

3.4 各营养成分的灰色关联度分析

灰色关联法可以对系统中的各组要素进行全面的分析,得出参考数列与各比较数列之间的灰色关联度,其比较数列与参考数列的相关性越大,其发展方向和速越接近参考数列,与参考数列的关系越密切,说明整体效果越好^[47]。本研究结果显示 2/3 乳线期贮康综合评价最好。

4 结论

青贮发酵促进剂对全株青贮玉米的感官质量评价无显著影响,等级均为 I 级。青贮发酵促进剂可提高全株青贮玉米营养品质,收获期延迟会降低营养品质,根据灰色关联度分析得出,2/3 乳线期最适宜收获,并且青贮发酵促进剂宜生贮康 (Sila-Mix) 可在生产实践中推广使用。

参考文献 References:

- [1] 和立文. 全株玉米青贮品质评价及其对肉牛育肥性能和牛肉品质的影响. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2017.
HE L W. Quality evaluation of whole corn silage and its effect on fattening performance and beef quality of beef cattle. PhD Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [2] 赵亚星, 张兴夫, 敖长金, 刘永斌, 张如刚. 全株玉米青贮在反刍动物生产中的应用与发展前景. 饲料工业, 2019, 40(2): 17-20.

- ZHAO Y X, ZHANG X F, AO C J, LIU Y B, ZHANG R G. Application and development prospect of whole plant corn silage in ruminant production. *Feed Industry*, 2019, 40(2): 17-20.
- [3] 张增欣, 邵涛. 青贮添加剂研究进展. *草业科学*, 2006, 23(9): 56-63.
- ZHANG Z X, SHAO T. Research progress in silage additive. *Pratacultural Science*, 2006, 23(9): 56-63.
- [4] 王昆昆, 玉柱, 邵涛, 刘平督. 乳酸菌制剂对不同比例苜蓿和披碱草混贮发酵品质的影响. *草业学报*, 2010, 19(4): 94-100.
- WANG K K, YU Z, SHAO T, LIU P D. Effects of lactic acid bacteria preparation on fermentation quality of mixed silage of alfalfa and *Elymus chinensis*. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(4): 94-100.
- [5] 王建福, 雷赵民, 成述儒, 焦婷, 李洁, 吴建平. 添加乳酸菌制剂和麸皮对去穗玉米秸秆青贮质量的影响. *草业学报*, 2018, 27(4): 162-169.
- WANG J F, LEI Z M, CHENG S R, JIAO T, LI J, WU J P. Effects of lactic acid bacteria preparation and bran on silage quality of deearling corn straw. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27(4): 162-169.
- [6] 代寒凌, 田新会, 杜文华, 吴建平. 不同添加剂处理对小黑麦和黑麦青贮营养品质和发酵品质的影响. *草业学报*, 2019, 28(12): 211-219.
- DAI H L, TIAN X H, DU W H, WU J P. Effects of different additives on nutrient quality and fermentation quality of triticale and rye silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(12): 211-219.
- [7] 李发杰, 杨植, 李飞. 微生物添加剂益生贮宝对全株玉米青贮营养成分影响的研究. *畜牧兽医杂志*, 2016, 35(6): 15-17.
- LI F J, YANG Z, LI F. Study on the effect of microbial additives on the nutrient composition of whole corn silage. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2016, 35(6): 15-17.
- [8] NEYLON J M, KUNG L J. Effects of cutting height and maturity on the nutritive value of corn silage for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(6): 2163-2169.
- [9] 王洋. 不同品种玉米植株在成熟过程中营养价值变化规律及青贮利用价值的研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2005.
- WANG Y. Study on the variation of nutrient value and silage value of different maize varieties during the process of maturity. Master Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- [10] 王运涛, 杨志敏, 刘建成, 王春杰, 黄金山, 姚剑坤, 阎淑英, 吴占军. 品种和收获期对全株玉米生物产量和青贮品质的影响. *草地学报*, 2018, 26(1): 261-263.
- WANG Y T, YANG Z M, LIU J C, WANG C J, HUANG J S, YAO J K, YAN S Y, WU Z J. Effects of variety and harvest date on biological yield and silage quality of whole maize. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(1): 261-263.
- [11] 张文洁, 董臣飞, 丁成龙, 许能祥, 程云辉. 收获期对多花黑麦草营养成分和青贮品质的影响. *中国草地学报*, 2016, 38(5): 32-37.
- ZHANG W J, DONG C F, DING C L, XU N X, CHENG Y H. Effects of harvest date on nutrient composition and silage quality of *Lolium multiflorum*. *Chinese Journal of Grassland*, 2016, 38(5): 32-37.
- [12] 姜富贵, 成海建, 刘栋, 胡明, 苏文政, 安文娟, 孔淑慧, 王亚芳, 刘方圆, 宋恩亮. 不同收获期对全株玉米青贮营养价值、发酵品质和瘤胃降解率的影响. *动物营养学报*, 2019, 31(6): 2807-2815.
- JIANG F G, CHENG H J, LIU D, HU M, SU W Z, AN W J, KONG S H, WANG Y F, LIU F Y, SONG E L. Effects of different harvest time on nutrient value, fermentation quality and rumen degradation rate of whole corn silage. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(6): 2807-2815.
- [13] 郭文, 熊康宁, 闵小莹, 杨苏茂, 张锦华, 刘凯旋, 许留兴. 乡土灌草青贮与牛羊健康饲喂研究进展与展望. *草地学报*, 2017, 25(5): 927-938.
- GUO W, XIONG K N, MIN X Y, YANG S M, ZHANG J H, LIU K X, XU L X. Research progress and prospect of silage and healthy feeding of cattle and sheep. *Acta Agrestia Sinica*, 2017, 25(5): 927-938.
- [14] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- ZHANG L Y. Feed Analysis and Feed Quality Detection Technology. Beijing: China Agricultural University Press, 2003.
- [15] VAN SOEST P J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*, 1963, 46(5): 829-835.
- [16] OWENS V N, ALBRECHT K A, MUCK R E, DUKE S H. Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels of total nonstructural carbohydrates. *Crop Science*, 1999, 39(6): 1873-1880.
- [17] CUNNIFF P A, CUNNIFF P A, CUNNIFF P, CUNNIFF P A. Official methods of analysis of AOAC international. AOAC Official Method, 1995, 6(11): 382-382.
- [18] BRODERICK G A, KANG J H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and in

- vitro media. *Journal of Dairy Science*, 1980, 63(1): 64.
- [19] 琚泽亮, 赵桂琴, 覃方铨, 焦婷. 青贮时间及添加剂对高寒牧区燕麦-箭筈豌豆混播捆裹青贮发酵品质的影响. *草业学报*, 2016, 25(6): 148-157.
- JU Z L, ZHAO G Q, QIN F C, JIAO T. Effects of time of silage on fermentation quality of oat-common vetch baled silage in alpine pastures. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(6): 148-157.
- [20] 李德勇, 孟庆翔, 崔振亮, 和立文, 任丽萍. 产气量法研究不同植物提取物对瘤胃体外发酵的影响. *中国农业大学学报*, 2014, 19(2): 143-149.
- LI D Y, MENG Q X, CUI Z L, HE L W, REN L P. Effects of different plant extracts on rumen fermentation in vitro by using gas Production technique. *Journal of China Agricultural University*, 2014, 19(2): 143-149.
- [21] 丰骁, 王晶, 施丽娟, 蒲小鹏, 孟帆. 金强河流域不同退化草地牧草营养成分研究. *湖南农业科学*, 2010(1): 116-118.
- FENG X, WANG J, SHI L J, PU X P, MENG F. Study on nutrient components of different degraded grassland in Jinjiang River Basin. *Hunan Agricultural Science*, 2010(1): 116-118.
- [22] 叶开梅, 陈泽辉, 祝云芳, 王安贵, 宋碧. 基于主成分分析与灰色关联度分析的玉米自交系综合评价. *种子*, 2019, 38(10): 87-92, 96.
- YE K M, CHEN Z H, ZHU Y F, WANG A G, SONG B. Comprehensive evaluation of maize inbred lines based on principal component analysis and grey relational degree analysis. *Seed*, 2019, 38(10): 87-92, 96.
- [23] 张相伦, 游伟, 赵红波, 王星凌, 万发春. 乳酸菌制剂对全株玉米青贮品质及营养成分的影响. *动物营养学报*, 2018, 30(1): 336-342.
- ZHANG X L, YOU W, ZHAO H B, WANG X L, WAN F C. Effects of lactic acid bacteria preparation on quality and nutrient composition of whole corn silage. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(1): 336-342.
- [24] 袁仕改, 陈超, 张明均, 杨丰, 申露露, 张滔滔, 郝俊. 添加剂对温湿生境青贮玉米发酵品质及有氧稳定性的影响. *草地学报*, 2018, 26(4): 942-947.
- YUAN S G, CHEN C, ZHANG M J, YANG F, SHEN L L, ZHANG T T, HAO J. Effects of additives on fermentation quality and aerobic stability of silage maize in warm and humid environment. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(4): 942-947.
- [25] FILYA I. The effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(11): 3575-3581.
- [26] 毛翠, 刘方圆, 宋恩亮, 王亚芳, 王永军, 战翔, 李原, 成海建, 姜富贵. 不同乳酸菌添加量和发酵时间对全株玉米青贮营养价值及发酵品质的影响. *草业学报*, 2020, 29(10): 172-181.
- MAO C, LIU F Y, SONG EN L, WANG Y F, WANG Y J, ZHAN X, LI Y, CHENG H J, JIANG F G. Effects of lactic acid bacteria supplemental amount and fermentation time on nutrient value and fermentation quality of whole corn silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(10): 172-181.
- [27] 荣辉, 余成群, 李志华, 下条雅敬, 邵涛. 添加糖蜜和尿素对象草青贮发酵品质的影响. *草地学报*, 2012, 20(5): 940-946.
- RONG H, YU C Q, LI Z H, SHIMOJO M, SHAO T. Effects of adding molasses and urea on fermentation quality of grass silage. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(5): 940-946.
- [28] 张适, 吴琼, 尤欢, 杨浩, 胡宗福, 王思珍, 牛化欣. 添加不同酶制剂对全株玉米青贮发酵品质的影响. *中国畜牧兽医*, 2019, 46(4): 1045-1052.
- ZHANG S, WU Q, YOU H, YANG H, HU Z F, WANG S Z, NIU H X. Effects of different enzyme preparation on fermentation quality of whole corn silage. *China Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2019, 46(4): 1045-1052.
- [29] HRISTOV A N, MCALLISTER T A. Effect of inoculants on whole-crop barley silage fermentation and dry matter disappearance in situ. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(2): 510-516.
- [30] 王旭哲, 张凡凡, 马春晖, 苗芳, 贾舒安, 李菲菲. 添加乳酸菌对开窖后玉米青贮品质及有氧稳定性的影响. *中国草地学报*, 2019, 41(3): 115-123.
- WANG X Z, ZHANG F F, MA C H, MIAO F, JIA S A, LI F F. Effects of lactobacillus on the quality and aerobic stability of corn silage after pit opening. *Chinese Journal of Grassland*, 2019, 41(3): 115-123.
- [31] 刘辉, 卜登攀, 吕中旺, 李发弟, 刘士杰, 张开展, 王加启. 凋萎和不同添加剂对紫花苜蓿青贮品质的影响. *草业学报*, 2015, 24(5): 126-133.
- LIU H, BU D P, LYU Z W, LI F D, LIU S J, ZHANG K Z, WANG J Q. Effects of wilting and different additives on the quality of alfalfa silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(5): 126-133.
- [32] 王红, 关皓, 陈明, 彭安琪, 李小梅, 李昌华, 李小铃, 刘卫国, 方萍, 闫艳红. 收获期对玉米籽粒产量和秸秆青贮品质的影响. *草业科学*, 2018, 35(6): 1574-1581.

- WANG H, GUAN H, CHEN M, PENG A Q, LI X M, LI C H, LI X L, LIU W G, FANG P, YAN Y H. Effects of harvest date on grain yield and straw silage quality of maize. *Pratacultural Science*, 2018, 35(6): 1574-1581.
- [33] 刘祯. 青贮添加剂对全株玉米青贮品质的影响. 乌鲁木齐: 新疆农业大学硕士学位论文, 2012.
LIU Z. Effects of silage additives on quality of whole corn silage. Master Thesis. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2012.
- [34] 陶莲, 刁其玉. 青贮发酵对玉米秸秆品质及菌群构成的影响. *动物营养学报*, 2016, 28(1): 198-207.
TAO L, DIAO Q Y. Effects of silage fermentation on corn stalk quality and flora composition. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(1): 198-207.
- [35] 焉石. 碳水化合物添加剂和不同收获期对青贮玉米青贮品质的影响. 哈尔滨: 东北农业大学硕士学位论文, 2010.
YAN S. Effects of carbohydrate additives and different harvest time on the quality of corn silage. Master Thesis. Harbin: Northeast Agricultural University, 2010.
- [36] 郭艳萍, 邓波, 娜日苏, 玉柱, 顾雪莹, 朝克图. 添加剂 Siloguard 对全株玉米青贮饲料品质及有氧稳定性的影响. *吉林农业大学学报*, 2011, 33(4): 424-428.
GUO Y P, DENG B, Narisu, YU Z, GU X Y, CHAO K T. Effects of Siloguard additive on the quality and aerobic stability of whole corn silage. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2011, 33(4): 424-428.
- [37] HERRMANN C, HEIERMANN M, IDLER C. Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. *Bioresource Technology*, 2011, 102(8): 5153-5161.
- [38] KUNG L U, TAYLOR C C, LYNCH M P. The effect of treating alfalfa with *Lactobacillus bunchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(1): 336-343.
- [39] JONES B A, MUCK R E, RICKE S C. Selection and application of *Streptococcus bovis* as a silage inoculant. *Applied and Environmental Microbiology*, 1991, 57(10): 3000-3005.
- [40] KUNG L, CARMEAN B R, TUNG R S. Microbial inoculation or cellulase enzyme treatment of barley and vetch silage harvested at three maturities. *Journal of Dairy Science*, 1990, 73(5): 1304-1311.
- [41] 赵金鹏, 赵杰, 李君凤, 董志浩, 陈雷, 白云峰, 贾玉山, 邵涛. 不同添加剂对水稻秸秆青贮发酵品质和结构性碳水化合物组分的影响. *南京农业大学学报*, 2019, 42(1): 152-159.
ZHAO J P, ZHAO J, LI J F, DONG Z H, CHEN L, BAI Y F, JIA Y S, SHAO T. Effects of different additives on fermentation quality and structural carbohydrate components of rice straw silage. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2019, 42(1): 152-159.
- [42] 朱慧森, 邹新平, 玉柱, 高文俊, 王永新, 佟莉蓉, 许庆方. 青贮玉米生产性能对收获期的响应及收获指数的探讨. *畜牧兽医学报*, 2015, 46(8): 1375-1382.
ZHU H S, ZOU X P, YU Z, GAO W J, WANG Y X, TONG L R, XU Q F. Response of silage maize performance to harvest time and harvest index. *Acta Veterinaria et Zootinaria Sinica*, 2015, 46(8): 1375-1382.
- [43] 董臣飞, 丁成龙, 许能祥, 张文洁, 程云辉, 顾洪如. 不同生育期和凋萎时间对多花黑麦草饲用和发酵品质的影响. *草业学报*, 2015, 24(6): 125-132.
DONG C F, DING C L, XU N X, ZHANG W J, CHENG Y H, GU H R. Effects of different growth stages and withering time on feeding and fermentation quality of ryegrass. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(6): 125-132.
- [44] 秦梦臻, 沈益新. 生育期对小麦全株青贮发酵品质的影响. *中国农业科学*, 2012, 45(8): 1661-1666.
QIN M Z, SHEN Y X. Effects of growth period on fermentation quality of wheat silage. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(8): 1661-1666.
- [45] 杨大盛, 汪水平, 贺喜全, 李海强, 汤少勋, 卢琦, 范定坤, 杨鑫. 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.
YANG D S, WANG S P, HE X Q, LI H Q, TANG S X, LU Q, FAN D K, YANG X. Effects of harvest date on quality and in vitro fermentation characteristics of corn silage. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2019, 50(11): 2264-2272.
- [46] 陶春卫, 张爱忠, 姜宁, 熊本海. 用 CNCPS 评定反刍动物几种常用粗饲料营养价值的研究. *中国草食动物*, 2009, 29(5): 14-18.
TAO C W, ZHANG A Z, JIANG N, XIONG B H. Evaluation of nutritional value of several common rouge forages for ruminants by CNCPS. *Chinese Herbivores*, 2009, 29(5): 14-18.
- [47] 邓聚龙. 灰色系统与农业. *山西农业科学*, 1985(5): 34-37.
DENG J L. Grey system and agriculture. *Shanxi Agricultural Science*, 1985(5): 34-37.

(责任编辑 王芳)