

# 添加乳酸菌对营养期菊芋茎叶青贮发酵品质动态变化的影响

刘巧玲,赵芳芳,马晓蕾,孙红先,李杰,何兆华,梁雪,王小凤,李少斌

(甘肃农业大学动物科学技术学院,甘肃农业大学甘肃省草食动物生物技术

重点实验室,甘肃 兰州 730070)

**摘要:**为研究乳酸菌对菊芋茎叶青贮品质和发酵特性的影响,以菊芋茎叶为试验材料,利用青贮发酵罐调制青贮饲料。以添加 0.2% 乳酸菌(T)为试验组,不添加乳酸菌(C)为对照组,分别在发酵 1、7、15、30、60 d 开封,分析添加乳酸菌对菊芋茎叶营养品质、发酵特性及体外产气量和干物质消化率(IVDMD)的影响。结果表明:1)盛花期菊芋茎叶 DM 含量为 320.7 g/kg(鲜样基础),可溶性糖(WSC)含量为 22.60%(DM 基础),缓冲能值为 50.62 mEq/kg(DM 基础),较适合制作青贮饲料。2)添加乳酸菌可降低菊芋茎叶青贮饲料 pH 值、乙酸、丁酸和  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量( $P < 0.05$ ),增加乳酸含量、DM 含量、WSC 含量,提高感官品质( $P < 0.05$ ),而对中性洗涤纤维(NDF)及酸性洗涤纤维(ADF)无显著影响( $P > 0.05$ )。3)随着发酵时间的延长,两处理青贮菊芋的 pH 值、DM 和 WSC 含量均表现出逐渐下降的趋势,而乙酸、丁酸、 $\text{NH}_3\text{-N}$  和乳酸含量则在第 7 天显著增加,之后趋缓,第 60 天最高。4)添加乳酸菌可以增加青贮菊芋体外 24 h 总产气量和 IVDMD( $P < 0.05$ );降低  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量( $P < 0.05$ );还可以降低体外发酵 12 和 24 h 的瘤胃液 pH 值( $P < 0.05$ )。综上所述,添加乳酸菌可以提高菊芋茎叶青贮饲料的发酵品质和营养价值。

**关键词:**青贮菊芋茎叶;乳酸菌;发酵品质;营养价值;动态变化

**中图分类号:**S816.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)02-0034-08

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyep.2022.02.005



随着我国草食畜牧业的快速发展,粗饲料资源缺乏的问题日益突出。合理开发和高效利用农作物副产品,有助于农业生产的“节本增效”及产业结构的优化升级。菊芋(*Helianthus tuberosus*)是一种菊科向日葵属多年生草本植物,具有易种植、再生能力强、产量高等特点<sup>[1]</sup>。块茎中富含菊芋多糖(约占干物质的 70%),是当前提取菊粉的最佳原料<sup>[2]</sup>;茎叶富含碳水

化合物、粗蛋白质(Crude protein, CP)和矿物质,是一种较为优质的粗饲料,可以用来饲喂牛、羊等动物<sup>[3-5]</sup>。但由于菊芋茎叶表面覆盖白色短糙毛(或刚毛),直接饲喂适口性较差,且不易储存,使得菊芋茎叶的饲料化利用程度较低,多被焚烧,造成资源浪费和环境污染。有研究发现青贮可以改善菊芋茎叶的饲喂价值,但受到品种、刈割时期和晾晒时间等的影响<sup>[6]</sup>。添加玉米秸秆和乳酸菌可以提高菊芋茎叶的青贮品质<sup>[7-8]</sup>。然而截至目前,添加乳酸菌对青贮菊芋茎叶发酵品质的动态影响规律及对养分消化率的影响报道较少。本研究以甘肃省种植范围较广且营养价值较高的定芋 1 号为试验材料,采集不同营养期菊芋茎叶,测定干物质(Dry matter, DM)含量、水溶性碳水化合物(Water soluble carbohydrates, WSC)含量和缓冲能值(Buffer capacity, BC),及常规营养成分,从中选取适合青贮的营养期菊芋茎叶原料,研究添加乳酸菌后不

**收稿日期:**2021-02-25; **修回日期:**2021-05-09

**基金项目:**甘肃省自然科学基金(20JR10RA536);甘肃省高等学校创新基金(2020B-124);甘肃农业大学伏羲青年英才项目(Gaufx-03Y04);甘肃省重大专项(18YF1WA082)

**作者简介:**刘巧玲(1993-),女,甘肃榆中人,硕士研究生。

E-mail:1902903380@qq.com

李少斌为通信作者。E-mail:lisb@gasu.edu.cn

同发酵时期青贮菊芋茎叶的发酵品质和营养成分动态变化,以及乳酸菌对体外发酵和养分消化率的影响,掌握菊芋茎叶青贮发酵的动态规律及饲用价值,为合理开发利用菊芋茎叶资源及非常规饲料资源的饲料化利用提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

菊芋茎叶(定芋 1 号)购自兰州市榆中县,地理位置 E 104°12', N 35°49'; 乳酸菌(乳酸菌活菌数  $\geq 3 \times 10^9$  cfu/mL)购自大庄仕合源乳业有限公司。

### 1.2 试验设计

分别采集现蕾期、盛花期和成熟期菊芋茎叶,测定WSC、BC和DM含量,筛选出适合制作青贮的营养期,采用单因素试验设计,设2个处理组,分别为添加0.2%乳酸菌组(T)和不添加乳酸菌组(C),每个处理15个重复。采用青贮发酵罐调制菊芋茎叶青贮饲料,分别在发酵1、7、15、30和60 d开封,每次各开封3个发酵罐,测定其发酵品质和营养成分。再筛选优质青贮菊芋茎叶,采用体外产气法评定菊芋茎叶青贮饲料的营养价值。

### 1.3 青贮菊芋茎叶的调制

选取新鲜菊芋茎叶,距离地面3 cm处刈割(约80 kg),迅速带回实验室,剪至1~2 cm,混匀,称重,按照比例加入乳酸菌,装入2 L发酵罐中,压实,密封,置于室温下(25~28 °C)避光发酵。

### 1.4 体外产气培养体系

根据Menke等<sup>[9]</sup>的方法配置人工唾液,将新鲜采集的瘤胃液(用瘤胃液采集器从口腔采集3只健康成年小尾寒羊瘤胃液,混合,4层纱布过滤至39 °C预热过的厌氧保温瓶中,并通入CO<sub>2</sub>)与人工唾液按照1:2

体积混合,作为体外产气培养液。准确称取200 mg饲料样品,加入体外产气管中,边通入CO<sub>2</sub>边加入30 mL制备好的培养液,排出多余的气体,密封,置于39 °C恒温水浴摇床上培养。

### 1.5 测定指标及方法

青贮发酵品质测定方法:青贮感官品质评定参照德国农业协会评分法(DLG),即对气味、结构、色泽等3项分别进行评分,然后将得分相加,总得分按优、可、中、下进行感官评分(表1);WSC含量测定:称取1 g样品,放入试管中,加15 mL的蒸馏水。水浴20 min,冷却至室温后,用漏斗过滤到25 mL的容量瓶中,最后冲洗残渣数次并定容,采用蒽酮-硫酸比色法测定<sup>[10]</sup>;BC含量测定:于250 mL烧杯中加入2 g样品(鲜样20 g),100 mL蒸馏水。边搅拌(JB-3型磁力搅拌器,上海雷磁新泾仪器有限公司)边测定pH值,记录用0.1 mol/L NaOH调节溶液pH值从4.0至6.0所用毫升数,用蒸馏水做空白处理<sup>[11]</sup>;DM含量的测定参考杨胜<sup>[12]</sup>的方法;中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF)采用Van Soest法<sup>[13]</sup>测定;pH测定方法<sup>[14]</sup>:取鲜样20 g,加入180 mL蒸馏水,高速匀浆机搅碎1 min,四层纱布和定性滤纸分别过滤后,制备为浸提液,用酸度计测定pH值,用冯宗慈<sup>[15]</sup>改进方法测定NH<sub>3</sub>-N含量,用气相色谱仪测定VFA含量,用试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定乳酸(Lactic acid, LA)含量。

营养成分和瘤胃发酵体外产气测定方法:体外产气结束后,取下注射器,立即用酸度计(pHS-3C,上海雷磁仪器厂)测定pH值,离心,制备上清液,采用上述方法测定NH<sub>3</sub>-N含量,参考曹雨莉<sup>[16]</sup>等方法用气相色谱仪(6890N, Agilent)测定挥发性脂肪酸(Volatile fatty acid, VFA)含量。

表 1 青贮饲料感官评定标准(DLG)

Table 1 Sensory evaluation standard for silage (DLG)

指标	评分标准	分数
气味	无丁酸臭味,有芳香果味或明显的面包香味	14
	有微弱的丁酸臭味,较强的酸味、芳香味弱	10
	丁酸味颇重,或有刺鼻的焦糊臭味或霉味	4
	有很强的丁酸臭味或氨味,或几乎无酸味	2
结构	茎叶结构保持良好	4
	叶子结构保持较差	2
	茎叶结构保存极差或轻度污染	1
	茎叶腐烂或污染严重	0

续表 1

指标	评分标准				分数
色泽	与原料相似,烘干后呈淡褐色				2
	略有变色,呈淡黄色或带褐色				1
	变色严重,墨绿色或褪色呈黄色,有较强的霉味				0
总分等级	20-16	15-10	9-5	4-0	
	优良,1级	尚好,2级	中等,3级	腐败,4级	

## 1.6 数据分析

试验数据采用 Excel 进行初步整理统计,采用 SPSS 26.0 进行独立样本  $T$  检验分析,对组间发酵品质、常规营养成分、IVDMD 等指标进行比较,分析结果用平均数±标准差表示, $P<0.05$  作为差异显著的判断标准。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同营养期菊芋茎叶的营养成分

菊芋茎叶原料从现蕾期、盛花期到成熟期 DM、

WSC、NDF 和 ADF 含量以及 BC 均显著增加( $P<0.05$ ),而 CP 含量显著降低( $P<0.05$ )(表 2)。在保证块茎产量的基础上,本试验选取盛花期菊芋茎叶制备青贮饲料。

### 2.2 添加乳酸菌对青贮菊芋茎叶感官品质的影响

C 组第 30 天和第 60 天感官品质总评分 13 分,为 2 级;T 组第 30 天和第 60 天感官品质总评分 19 分,为 1 级。添加乳酸菌可以提高菊芋茎叶青贮饲料的感官品质(表 3)。

表 2 不同营养期菊芋茎叶营养成分(干物质基础)

Table 2 Nutritional characteristics of *Helianthus tuberosus* herbage in different growth period(DM basis)

指标	营养期		
	现蕾期	盛花期	成熟期
OM(鲜样基础)/%	30.56±0.02 <sup>c</sup>	32.07±0.04 <sup>b</sup>	33.05±0.02 <sup>a</sup>
BC/(mEq·kg <sup>-1</sup> )	49.28±0.04 <sup>c</sup>	50.62±0.05 <sup>b</sup>	52.47±0.06 <sup>a</sup>
CP/%	12.83±0.04 <sup>a</sup>	10.07±0.02 <sup>b</sup>	7.91±0.05 <sup>c</sup>
NDF/%	44.90±0.01 <sup>c</sup>	46.50±0.10 <sup>b</sup>	48.74±0.03 <sup>a</sup>
ADF/%	20.01±0.03 <sup>c</sup>	21.55±0.01 <sup>b</sup>	23.07±0.02 <sup>a</sup>

注:同行不相同字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同

表 3 添加乳酸菌对菊芋茎叶青贮饲料感官品质的影响

Table 2 Effects of addition of lactic acid bacteria on sensory quality traits of *Helianthus tuberosus* herbage silage

青贮时间/d	处理	评定指标			
		质地	气味	色泽	总评分
30	C	1	11	1	13
	T	3	14	2	19
60	C	1	11	1	13
	T	3	14	2	19

### 2.3 添加乳酸菌对菊芋茎叶青贮饲料发酵特性的影响

2.3.1 对 pH 和乳酸含量动态变化的影响 随着发酵时间的延长,两处理组 pH 值呈现下降趋势,且除第

1 天 T 组显著低于 C 组外( $P<0.05$ ),其他天数内 T 组均极显著低于 C 组( $P<0.01$ )(图 1-A)。两处理组的乳酸含量则随发酵时间的延长呈现上升趋势,且 T 组均极显著高于 C 组( $P<0.01$ ),发酵第 60 天时,T 组较 C 组显著提高了 13.65%(图 1-B)。

2.3.2 对 VFA 含量动态变化的影响 C 组和 T 组的乙酸、丁酸含量的动态变化趋势均相似,随着发酵时间的延长呈现上升趋势。C 组乙酸含量均极显著高于 T 组( $P<0.01$ ),且发酵 60 d 时,T 组较 C 组降低了 35.02%(图 2-A);除第 1 天两处理组丁酸含量差异不显著外,其他时间 C 组丁酸含量均极显著高于 T 组( $P<0.01$ ),且发酵 60 d 时,T 组较 C 组降低了 30.00%(图 2-B)。

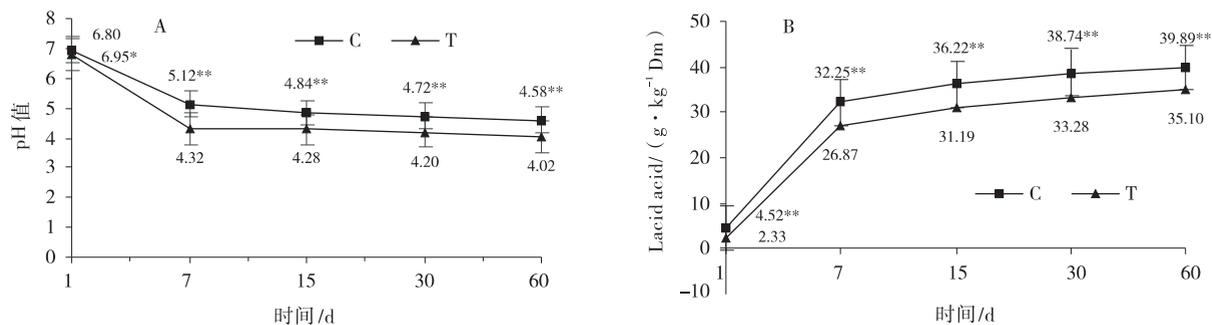


图 1 菊芋茎叶青贮饲料 pH 值动态

Fig. 1 Dynamic effect of lactic acid bacteria on pH value of *Helianthus tuberosus* herbage silage

注:同一天各处理组 \* 表示差异显著( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著( $P < 0.01$ ),下同

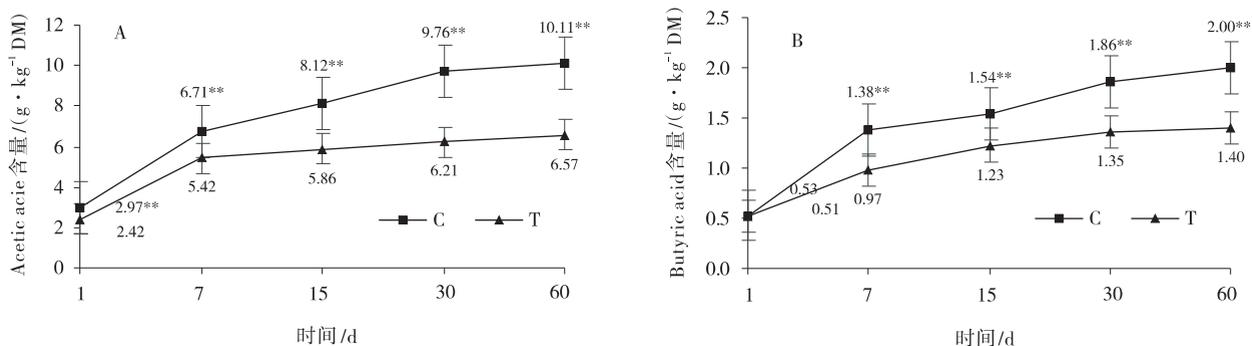
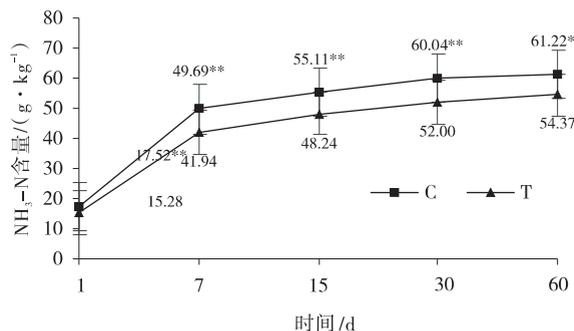


图 2 菊芋茎叶青贮饲料有机酸含量动态

Fig. 2 Dynamic effect of lactic acid bacteria on organic acid content of *Helianthus tuberosus* herbage silage

2.3.3 对  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量动态变化的影响 C 组和 T 组的  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量动态变化趋势相似,随着发酵时间的延长呈现上升趋势。C 组  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量均极显著高于 T 组( $P < 0.01$ ),且发酵 60 d 时,T 组较 C 组降低了 11.19%;(图 3)。

图 3 菊芋茎叶青贮饲料  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量动态Fig. 3 Dynamic effect of lactic acid bacteria on  $\text{NH}_3\text{-N}$  content of *Helianthus tuberosus* herbage silage

## 2.4 添加乳酸菌对青贮菊芋茎叶营养成分的影响

2.4.1 对 DM 和 WSC 含量动态变化的影响 C 组和 T 组的 DM 及 WSC 含量动态变化趋势相似,随着发酵

时间的延长呈现下降趋势。T 组 DM 含量均极显著高于 C 组( $P < 0.01$ ),且发酵 60 d 时,T 组较 C 组增加了 17.80%;T 组 WSC 含量均极显著高于 C 组( $P < 0.01$ ),且发酵 60 d 时,T 组较 C 组增加了 17.78%(图 4)。

2.4.2 对 NDF 和 ADF 含量动态变化的影响 C 组和 T 组的 NDF 和 ADF 含量动态变化趋势相似,随着发酵时间的延长无显著性变化( $P > 0.05$ )。除第 1 天 T 组 ADF 含量极显著高于 C 组外,其他时间内均极显著低于 C 组( $P < 0.01$ );除第 1 天、30 天 T 组 ADF 含量极显著低于 C 组外,其他时间内均极显著高于 C 组( $P < 0.01$ )(图 5)。

## 2.5 菊芋茎叶青贮饲料中添加乳酸菌对外体发酵和干物质消化率的影响

与 C 组发酵(60 d)相比,T 组发酵(60 d)可以显著增加 24 h 总产气量和干物质消化率( $P < 0.05$ ),显著降低 24 h  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量( $P < 0.05$ ),显著降低 12 h 和 24 h 的 pH 值( $P < 0.05$ ),对其他时间点总产气量、pH 值、 $\text{NH}_3\text{-N}$  含量和干物质消化率均无显著影响( $P > 0.05$ )(表 4)。

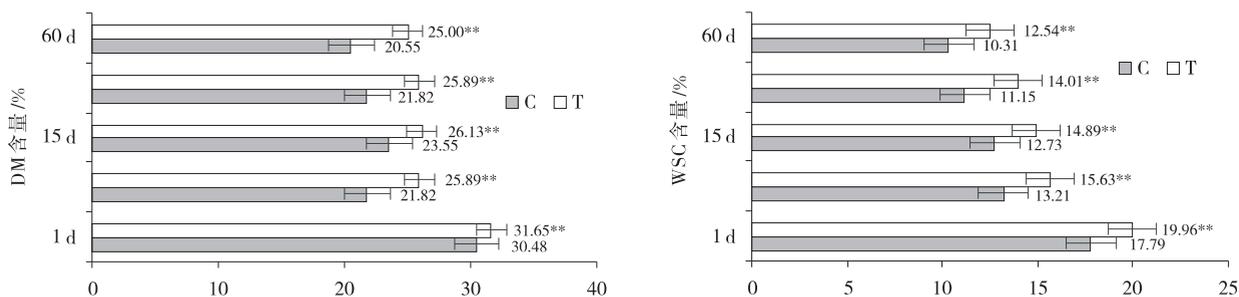


图4 菊芋茎叶青贮饲料DM和WSC含量动态

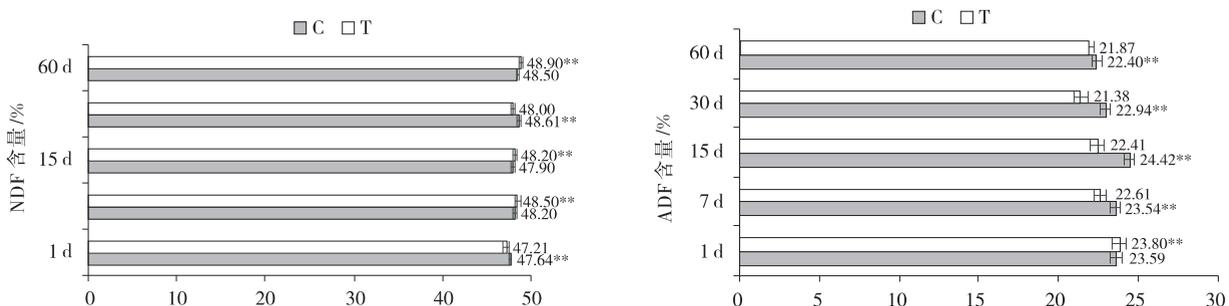
Fig. 4 Dynamic effect of lactic acid bacteria on DM and WSC contents of *Helianthus tuberosus* herbage silage

图5 菊芋茎叶青贮饲料NDF和ADF含量动态

Fig. 5 Dynamic effect of lactic acid bacteria on NDF and ADF contents of *Helianthus tuberosus* herbage silage

表4 绵羊瘤胃发酵和养分表观消化率

Table 4 Effect of lactic acid bacteria on rumen fermentation and apparent nutrient digestibility in vitro

项目	处理	发酵时间/h					
		3	6	9	12	24	48
总产气量/(mL · g <sup>-1</sup> )	C	4.97 ± 0.12	13.00 ± 0.12	23.88 ± 0.13	34.04 ± 0.15	48.22 ± 0.12	51.40 ± 0.19
	T	5.63 ± 0.10	19.94 ± 0.11	29.19 ± 0.12	40.38 ± 0.13	55.04 ± 0.13	57.64 ± 0.12
	P 值	0.125	0.084	0.091	0.082	0.011	0.070
pH 值	C	6.82 ± 0.01	6.80 ± 0.02	6.77 ± 0.01	6.74 ± 0.01	6.70 ± 0.01	6.71 ± 0.01
	T	6.79 ± 0.01	6.76 ± 0.02	6.73 ± 0.00	6.69 ± 0.01	6.65 ± 0.01	6.69 ± 0.00
	P 值	0.062	0.057	0.055	0.035	0.036	0.068
氨态氮/(mg · mL <sup>-1</sup> )	C	0.52 ± 0.03	0.52 ± 0.02	0.49 ± 0.02	0.48 ± 0.01	0.75 ± 0.02	0.77 ± 0.00
	T	0.51 ± 0.01	0.49 ± 0.03	0.50 ± 0.02	0.48 ± 0.03	0.65 ± 0.01	0.71 ± 0.01
	P 值	0.068	0.060	0.065	0.074	0.041	0.056
干物质消化率/%	C	35.25 ± 1.54	39.11 ± 1.50	42.38 ± 1.36	45.14 ± 1.23	49.86 ± 1.57	54.25 ± 1.43
	T	37.73 ± 1.27	42.74 ± 1.44	46.13 ± 1.62	50.27 ± 1.59	56.19 ± 1.11	59.50 ± 1.09
	P 值	0.073	0.069	0.064	0.054	0.042	0.051

注：表中  $P < 0.05$  表示差异显著

### 3 讨论

水分含量、可溶性碳水化合物含量和缓冲能值是粗饲料青贮的关键指标。水分含量过高会导致养分随水分渗出而流失，以及霉菌等有害菌的大量繁殖；过低则

不利于压实，使得好氧菌大量繁殖，降低青贮品质<sup>[17-18]</sup>。Buxton 等<sup>[19]</sup>认为优质的青贮原料 DM 含量为 250~400 g/kg(鲜样基础)，WSC 含量高于 30 g/kg(DM 基础)，缓冲能值低于 350 mEq/kg(DM 基础)。本试验采集的盛花期菊芋茎叶 DM 含量为 320.7 g/kg

(鲜样基础),WSC 含量为 22.60 g/kg(DM 基础),缓冲能值为 50.62 mEq BC/kg(DM 基础),较适合制作青贮饲料。

添加乳酸菌可以提高青贮饲料的发酵品质。本研究发现添加乳酸菌可以显著降低菊芋茎叶青贮饲料 pH 值、乙酸、丁酸、NH<sub>3</sub>-N 含量,显著增加乳酸含量、DM 含量、WSC 含量,表明添加乳酸菌可以提高菊芋茎叶青贮饲料品质。Xie 等<sup>[20]</sup>等研究发现在苜蓿青贮饲料中添加乳酸菌可以显著降低 pH 值、NH<sub>3</sub>-N 含量和非蛋白氮含量,增加真蛋白氮含量。另外有研究发现添加乳酸菌可显著增加青贮构树叶的乳酸含量,降低乙酸含量<sup>[21]</sup>;还可以显著增加辣木叶青贮饲料乳酸含量,降低乙酸和丙酸含量<sup>[22]</sup>。这些研究均与本试验结果一致。此外,本研究还发现,添加乳酸菌对菊芋茎叶青贮饲料 NDF 含量和 ADF 含量无显著影响。苗芳等<sup>[23]</sup>研究发现,添加异质性布氏乳酸菌可以显著增加全株玉米青贮饲料 NDF 含量,对 ADF 含量无显著影响;而添加复合(同质性+异质性)乳酸菌显著降低 NDF 含量和 ADF 含量。这说明乳酸菌菌株类型影响微生物分解利用饲料中 NDF 和 ADF。

青贮发酵是微生物生长繁殖和生物化学变化的过程。本研究发现,对照组和试验组 pH 值、DM 和 WSC 含量的动态变化趋势相似,均表现出随着发酵时间的延长,第 7 天显著下降,之后趋缓,第 60 天最低;乙酸、丁酸、NH<sub>3</sub>-N 和乳糖含量表现出随着发酵时间的延长,第 7 天显著增加,之后趋缓,第 60 天最高。本试验结果与在多花黑麦草青贮饲料中添加不同浓度丙酸对 VFA、乳酸和 WSC 以及 pH 的动态变化的影响<sup>[24]</sup>及华北驼绒藜青贮饲料中添加乳酸菌对 pH、乙酸、丁酸、NH<sub>3</sub>-N 和乳糖动态变化影响<sup>[25]</sup>,结果基本一致。此外,本研究发现,与对照组相比,添加乳酸菌第 7、15、30 和 60 天的 pH 值、NH<sub>3</sub>-N、乙酸、丁酸、含量均显著降低,DM 和 WSC 和乳糖含量显著增加。这是由于添加乳酸菌可以使青贮饲料中的乳酸菌快速大量增值,降低 pH 值,抑制有害菌的生长繁殖,缩短好氧发酵过程,既减少营养物质的损失,又提高了菊芋茎叶的青贮品质<sup>[26-28]</sup>。

体外产气法是评价饲料营养价值的常用方法,操作简单,与动物试验结果有较强的相关性<sup>[29]</sup>。本研究发现,添加乳酸菌可以显著增加体外 24 h 总产气量和干物质消化率,并显著降低 pH 值和 NH<sub>3</sub>-N 含量,对

48 h 总产气量、pH 值、NH<sub>3</sub>-N 和干物质消化率无显著影响。Xie 等<sup>[20]</sup>研究发现添加乳酸菌可以显著增加 24 h 总产气量,对 48 h 干物质消化率和 NH<sub>3</sub>-N 含量影响不显著,与本试验结果一致。

## 4 结论

添加乳酸菌可显著降低菊芋茎叶青贮饲料 pH 值、乙酸、丁酸、NH<sub>3</sub>-N 含量以及体外发酵 NH<sub>3</sub>-N 含量、12 和 24 h 的瘤胃液 pH 值,显著增加乳酸含量、DM 含量、WSC 含量以及体外 24 h 总产气量和 IVDMD,提高感官品质,而对 NDF、ADF 含量无显著影响,即添加乳酸菌可以提高菊芋茎叶青贮饲料的发酵品质和营养价值。

### 参考文献:

- [1] Schneider K R. Review of Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke; *Helianthus tuberosus* L. [J]. Journal of Agricultural and Food Information, 2009, 10(4): 352-353.
- [2] Nildo S D, Jorge F S, Liu X, et al. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*, L.) maintains high inulin, tuber yield, and antioxidant capacity under moderately-saline irrigation waters[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 94(30): 1009-1024.
- [3] Papi N, Kafilzadeh F, Fazaeli H. Use of Jerusalem artichoke aerial parts as forage in fat-tailed sheep diet[J]. Small Ruminant Research, 2019, 174: 1-6.
- [4] Ersahince A, Kara K. Nutrient composition and in vitro digestion parameters of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) herbage at different maturity stages in horse and ruminant[J]. Journal of Animal and Feed Sciences, 2017, 26(3): 213-225.
- [5] Wang Y, Zhao Y G, Xue F G, et al. Nutritional value, bioactivity, and application potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a neotype feed resource[J]. Animal Nutrition, 2020, 6(4): 429-437.
- [6] 张天俊,高凯,李威,等. 盐碱胁迫对苗期菊芋叶绿素,脯氨酸及 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> 含量的影响[J]. 草原与草坪, 2021, 41(1): 132-138.
- [7] 闫琦,王宪举,魏海燕,等. 乳酸菌添加剂对不同生育期菊芋茎叶青贮发酵品质的影响[J]. 草业科学, 2019, 36(2): 540-547.
- [8] 刘海燕,王秀飞,王彦靖,等. 玉米秸秆和菊芋秸秆混合青贮的研究[J]. 中国奶牛, 2017(12): 15-18.

- [9] Menke K H, Steingass H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid[J]. *Animal Research and Development*, 1998, 28: 7—55.
- [10] 李雅斐. 玉米和紫花苜蓿混合青贮对营养价值和品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [11] 何玉鹏. 不同添加剂对马铃薯茎叶青贮特性和发酵品质的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.
- [12] 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- [13] Van Soest P J, Lewis B A. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition [J]. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74(10): 3583—3597.
- [14] 冯宗慈, 高民. 通过比色测定瘤胃液氨氮含量方法的改进[J]. *内蒙古畜牧科学*, 1993(4): 40—41.
- [15] 曹雨莉, 刘瑞芳, 苏利红. 应用高效液相色谱法测定青贮饲料中有机酸含量的研究[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2013(21): 86—87+91.
- [16] 玉柱. 牧草青贮技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2002.
- [17] McEniry J, O Kiely P, Clipson N J W, *et al.* Assessing the impact of various ensilage factors on the fermentation of grass silage using conventional culture and bacterial community analysis techniques[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2010, 108(5): 1584—1593.
- [18] Borreani G, Tabacco E, Schmidt R J, *et al.* Silage review: factors affecting dry matter and quality losses in silages [J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(5): 3952—3979.
- [19] Buxton D R, Kiely P. Preharvest plant factors affecting ensiling[M]// *Silage science and technology*, 2003: 199—250.
- [20] Xie Y X, Bao J Z, Li W Q, *et al.* Effects of applying lactic acid bacteria and molasses on the fermentation quality, protein fractions and in vitro digestibility of baled alfalfa silage[J]. *Agronomy*, 2021, 11(1): 91—91.
- [21] 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.
- [22] 王成, 王益, 周玮等. 植物乳杆菌和含水量对辣木叶青贮品质和单宁含量的影响[J]. *草业学报*, 2019, 28(6): 109—118.
- [23] 苗芳, 张凡凡, 唐开婷等. 同/异质型乳酸菌添加对全株玉米青贮发酵特性、营养品质及有氧稳定性的影响[J]. *草业学报*, 2017, 26(9): 167—175.
- [24] 张增欣, 邵涛. 丙酸对多花黑麦草青贮发酵动态变化的影响[J]. *草业学报*, 2009, 18(2): 102—107.
- [25] 陶莲, 玉柱. 华北驼绒藜青贮贮藏过程中发酵品质的动态变化[J]. *草业学报*, 2009, 18(6): 122—127.
- [26] Coblenz W K, Akins M S. Silage review: recent advances and future technologies for baled silages[J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(5): 4075—4092.
- [27] Wang Y, He L, Xing Y, *et al.* Dynamics of bacterial community and fermentation quality during ensiling of wilted and unwilted *Moringa oleifera* leaf silage with or without lactic acid bacterial inoculants[J]. *mSphere*, 2019, 4(4). <http://doi.org/10.1128/mSphere.00341-19>.
- [28] Ferraretto L F, Shaver R D, Luck B D. Silage review: recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting [J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(5): 3937—3951.
- [29] Menke K H, Raab L, Salewski A, *et al.* The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro[J]. *The Journal of Agricultural Science*, 1979, 93(1): 217—222.

# Effects of additon of lactic acid bacteria on dynamic changes of fermentation quality of jerusalem artichoke stem and leaf silage during vegetative period

LIU Qiao-ling, ZHAO Fang-fang, MA Xiao-lei, SUN Hong-xian, LI Jie, HE Zhao-hua, LIANG Xue, WANG Xiao-fen, LI Shao-bin

(College of Animal Science and Technology/Gansu Key Laboratory of Herbivorous Animal Biotechnology, Lanzhou, China, 730070)

**Abstract:** In order to study the effect of lactic acid bacteria on the silage quality and fermentation characteristics of jerusalem artichoke stems and leaves, jerusalem artichoke stems and leaves were used as experimental materials in the experiment, and silage was prepared by silage fermentation tank. 0.2% lactic acid bacteria (T) was added in the experimental group, and no lactic acid bacteria (C) was added in the control group. The effects of additon of lactic acid bacteria on the nutritional quality, fermentation characteristics, in vitro gas production and IVDMD of jerusalem artichoke stems and leaves were analyzed after fermentation for 1 d, 7 d, 15 d, 30 d and 60 d. The results showed that :1) The dry matter (DM) content in stems and leaves of jerusalem artichoke at full flowering stage was 320.7 g/kg (fresh sample basis), the water soluble carbohydrate (WSC) content was 22.60/% (DM basis), and the buffer energy value was 50.62 mEqBC/kg (DM basis), which made jerusalem artichoke stems and leaves at this stage more suitable for silage. 2) Addition of lactic acid bacteria could reduce pH, acetic acid, butyric acid and NH<sub>3</sub>-N content of jerusalem artichoke silage ( $P < 0.05$ ), increase lactic acid content, DM content, WSC content and improve its sensory quality ( $P < 0.05$ ), but had no significant effect on neutral detergent fibre (NDF) and acid detergent fibre (ADF) ( $P > 0.05$ ). 3) With the extension of fermentation time, the pH, DM and WSC contents of silage jerusalem artichoke in both the experimental and control group showed a gradual downward trend, while the contents of acetic acid, butyric acid, NH<sub>3</sub>-N and lactic acid increased significantly on the 7th day, then slowed down, and reached the highest value on the 60th day. 4) The addition of lactic acid bacteria could increase the total gas production and IVDMD of jerusalem artichoke in vitro for 24 h ( $P < 0.05$ ) and reduce NH<sub>3</sub>-N content ( $P < 0.05$ ). Moreover, rumen fluid pH value of 12 and 24 h in vitro fermentation was decreased. In summary, the addition of lactic acid bacteria can improve the fermentation quality and nutritional value of jerusalem artichoke silage.

**Key words:** silage jerusalem artichoke stems and leaves; lactic acid bacteria; fermentation quality; nutritional value; dynamic changes