中国农业大学学报 2024,29(5):92-102
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

段宏凯,程永钢,孙崇凤,郑普山,王玉,金辉,郑焘. 豆科牧草-全株玉米混贮比例对青贮饲用价值的影响[J]. 中国农业大学学报,2024,29(05):92-102.
DUAN Hongkai, CHENG Yonggang, SUN Chongfeng, ZHENG Pushan, WANG Yu, JIN Hui, ZHENG Tao. Effect of mixing ratio of legume forage and whole plant maize on feeding value of mixed silage[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(05): 92-102.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.05.09

豆科牧草-全株玉米混贮比例对青贮饲用价值的影响

段宏凯[1] 程永钢[2*] 孙崇凤[2] 郑普山[2] 王 玉[2] 金 辉[3] 郑 焘[4]

(1. 山西农业大学 农学院,山西 太谷 030801;
2. 山西农业大学 资源环境学院,太原 030031;
3. 山西农业大学 农业经济管理学院,太原 030031;
4. 山西立德佳检测科技有限公司,太原 030045)

摘 要 为探究不同豆科牧草与全株玉米不同混贮比例对提高青贮饲用价值的影响大小,本研究以2个豆科牧草品种('汾豆牧绿2号'和拉巴豆(*Dolichos lablab*))为主因素,以豆科牧草与全株玉米4种混贮比例(90%全株玉米+10%豆科牧草;80%全株玉米+20%豆科牧草;70%全株玉米+30%豆科牧草;100%豆科牧草)为副因素,对照组为100%全株玉米青贮(CK),共9个混贮处理,3次重复。青贮发酵完成后对其进行营养品质、发酵品质、瘤胃发酵参数、体外干物质降解率及产气量等指标的测定。结果表明:1)营养品质方面:100%'汾豆牧绿2号'青贮的干物质(DM)最低,酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)和粗蛋白(CP)含量最高;拉巴豆青贮的粗脂肪(EE)显著高于'汾豆牧绿2号'($P<0.05$);100%全株玉米青贮的NDF、ADF和CP最低,EE最高。2)发酵品质方面:100%'汾豆牧绿2号'处理下青贮的pH和氨氮(AN)显著高于其他处理($P<0.05$);100%拉巴豆处理下青贮乙酸(AA)最低;100%全株玉米青贮的pH和AN显著低于其他比例($P<0.05$),AA显著高于其他比例($P<0.05$)。3)瘤胃发酵参数方面:90%全株玉米+10%'汾豆牧绿2号'处理下青贮在瘤胃发酵中AN、AA、丙酸以及体内干物质降解率最高;拉巴豆青贮的体内干物质降解率显著高于'汾豆牧绿2号'($P<0.05$);100%豆科牧草的青贮在瘤胃发酵中pH最高,乙酸和体内干物质降解率最低。4)体外干物质降解率和产气量方面:从48 h开始,70%全株玉米+30%'汾豆牧绿2号'青贮的体外干物质降解率一直显著高于其他处理($P<0.05$);'汾豆牧绿2号'较拉巴豆的青贮在体外产气量更多;提高豆科牧草的混贮比例可显著降低青贮72 h的产气量($P<0.05$)。综上,一定比例的混合青贮较全株玉米青贮更有利于提高青贮营养品质,改善青贮发酵品质,促进青贮的消化吸收,降低畜牧业的温室效应。70%全株玉米+30%'汾豆牧绿2号'混贮模式为推荐混贮模式,为进一步在山西北部镰刀湾地区推广玉米-豆科牧草混贮技术及带状轮作技术提供数据支撑。

关键词 豆科牧草; 全株玉米; 青贮; 营养价值; 发酵特性

中图分类号 S542 **文章编号** 1007-4333(2024)05-0092-11 **文献标志码** A

Effect of mixing ratio of legume forage and whole plant maize on feeding value of mixed silage

DUAN Hongkai[1], CHENG Yonggang[2*], SUN Chongfeng[2], ZHENG Pushan[2], WANG Yu[2], JIN Hui[3], ZHENG Tao[4]

(1. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;
2. College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China;
3. College of Agricultural Economics and Management, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China;
4. Shanxi Lidejia Testing Technology Co., Taiyuan 030045, China)

收稿日期: 2023-11-15
基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2020BFH03008-3)
第一作者: 段宏凯(ORCID:0009-0007-8724-6730),硕士研究生,E-mail:13403664793@163.com
通讯作者: 程永钢(ORCID:0009-0006-5020-7706),副研究员,主要从事绿肥应用技术研究及推广,E-mail: cygh2609@163.com

Abstract The purpose of this study was to explore the effects of different mixing ratios of legume forage and whole plant maize on the improvement of mixed silage feeding value. In this study, two legume grasses (´Fendoumulv 2´ and *Dolichos lablab*) were used as the main factors, and the mixing ratio of legume forage and whole plant maize as control group (90% whole plant maize +10% legume forage; 80% whole plant maize+20% leguminous forage; 70% whole plant maize +30% leguminous forage; 100% legume grass) as a secondary factor, 100% whole plant maize silage (CK), with a total of 9 mixed storage treatments and 3 replicates The nutritional quality, fermentation quality, rumen fermentation parameters, *in vitro* dry matter degradation rate and gas production of mixed silage were determined after fermentation. The results showed that: 1) In terms of nutritional quality, the dry matter of 100% ´Fendoumulv 2´ silage was the lowest in all treatments , and the contents of acid detergent fiber, neutral detergent fiber and crude protein were the highest in all treatments. The crude fat of *Dolichos lablab* silage was significantly higher than that of ´Fendoumulv 2´(P<0.05). The NDF, ADF and CP of 100% whole plant maize silage were the lowest in all treatments and its EE was the highest in all treatments. 2) In terms of fermentation quality, the pH and ammonia nitrogen of 100% ´Fendoumulv 2´ silage were significantly higher than those of other treatments (P<0.05). The acetic acid of 100% *Dolichos lablab* silage was the lowest in all treatments. The pH and AN of 100% whole plant maize silage were significantly lower than those of other proportions(P<0.05), and its AA was significantly higher than that of other treatments (P<0.05). 3) In terms of rumen fermentation parameters, the AN, AA, propionic acid and dry matter degradation rate in body in rumen fermentation of 90% whole plant maize+10% ´Fendoumulv 2´ were the highest in all treatments. The dry matter degradation rate of *Dolichos lablab* mixed silage was significantly higher than that of ´Fendoumulv 2´. The pH of 100% leguminous forage mixed silage was the highest in all treatments in rumen fermentation(P<0.05), and its acetic acid and dry matter the degradation rate in body were the lowest in all treatments. 4) In terms of dry matter degradation rate and gas production of vitro, since 48 h, the dry matter degradation rate in vitro of 70% whole plant maize +30% ´Fendoumulv 2´ mixed silage has been higher than that of other treatments (P<0.05). The gas production in vitro of ´Fendoumulv 2´ mixed silage was higher than that of *Dolichos lablab* mixed silage. Increasing the mixing ratio of leguminous forage can significantly reduce the gas production at 72 h(P<0.05) . In conclusion, compared with whole plant maize silage, a certain proportion of mixed silage is more beneficial to improve the nutritional quality of mixed silage, improve the fermentation quality of mixed silage, promote the digestion and absorption of mixed silage, and reduce the greenhouse effect of animal husbandry. The mixing model of 70% whole plant maize +30% ´Fendoumulv 2´ is recommended, which can provide data support for the next step to promote the mixing technology and belt rotation technology of plant maize-legume forage in the sickle curvature area in northwest of Shanxi Province.

Keywords legume green manure; whole plant maize; ensiling; nutritional value; fermentation characteristics

随着生活水平的提高,肉、蛋、奶等畜牧产品的需求与日俱增,促进了我国畜牧业的发展,同时带动了青贮技术的需求[1-2]。全株玉米青贮已经占据了青贮市场的主导地位[3],而豆科作物由于能够提供丰富的蛋白质,对土壤水肥条件要求不苛刻,且能够起到培肥养地的效果[4],因此全株玉米与豆科作物混贮成为养殖户首选的粗饲料。根据农业农村部关于“镰刀弯”地区玉米结构调整和北方农牧交错带农业结构调整的指导意见,山西北部即是北方农牧交错带地区,也是镰刀湾地区,还是“粮改饲”试点区之一,更是山西省畜牧业最发达的地区[5],此地区对青贮饲料的需求极为旺盛。因此研究适宜该地区的豆科牧草与全株玉米混贮技术对山西北部镰刀湾地区的畜牧业与种植业发展具有重要意义。

前人在混合青贮方面已经进行了大量研究。混合青贮可将营养价值低、适口性差或难以单独青贮的原料利用微生物的相互作用使其营养均衡、适口性提升,从而避免资源浪费与环境污染且能有效缓解我国饲草资源短缺的压力[6]。多项研究发现豆

科作物与全株玉米混贮，即可解决豆科牧草青贮难的问题，又可有效提高青贮的蛋白质含量[7]。萨如拉[8]在研究全株玉米与大豆混贮时发现加入植物乳杆菌和布氏乳杆菌可减少干物质和粗蛋白的损失，改善混贮饲料的发酵品质，增加乳酸菌的数量，减轻有害菌的污染，延长有氧稳定性。研究表明，豆科牧草的可溶性糖含量较低，蛋白含量高，而禾本科作物含糖相对于豆科牧草来说比较高，但作为粗饲料，其适口性差、消化率低[9-10]。如果将禾本科作物秸秆与豆科牧草通过合适比例混合青贮，能够调整青贮原料的营养品质，提高青贮的饲用价值，减少单一青贮的问题，取得较好的青贮效果[11]。董立红等[12]在研究全株玉米与扁豆混合青贮饲喂奶牛的研究时发现可以提高奶牛养分表观消化率、产奶量和乳蛋白。在豆科牧草与全株玉米混贮方面，史卉玲等[13]研究苜蓿与玉米的不同比例混贮对青贮体外产气量的影响时发现80%苜蓿+20%全株玉米组合最为合适，且能提高粗饲料的利用效率。还有许多学者研究发现全株玉米和拉巴豆混贮能提高酸性洗涤纤维、PH值、乙酸、氨态氮/总氮值以及乳酸菌等有益菌落数[14-15]。前人已经对苜蓿、拉巴豆分别与全株玉米混贮对提高青贮的饲用价值进行了大量研究，但针对山西北部镰刀湾地区，豆科牧草与全株玉米的混贮模式对提高青贮饲用价值的潜力还鲜见研究报道。因此，本研究将采用2个豆科牧草品种，与全株玉米分4个比例混贮，从混贮营养品质、发酵品质、瘤胃发酵参数以及体外干物质降解率和产气量等维度综合评价青贮饲用价值。本研究旨在筛选出山西北部镰刀湾地区最适的豆科牧草品种以及与全株玉米最佳的混贮比例，以期进一步优化大田豆科牧草与玉米种植比例，简化混贮过程，推动混贮技术的推广应用，对促进晋北农牧交错区农牧产业的良性发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验基本概况

试验基地位于山西省朔州市红旗牧场。豆科牧草的品种为‘汾豆牧绿2号’、拉巴豆（*Dolichos lablab*），玉米品种为‘大丰30’。‘汾豆牧绿2号’由山西农业大学经济作物所提供，拉巴豆由陕西西安百绿景观设计有限公司购买，‘大丰30’由山西大丰种业公司购买。2021年5月2号播种，9月10号收获全株玉米及豆科牧草，并进行青贮。‘汾豆牧绿2号’为牧草绿肥大豆，匍匐生长习性，出苗至刈割期106 d，叶圆形，花紫色，茸毛灰色，无限结荚习性，种皮黑色，脐黑色。由于‘汾豆牧绿2号’为山西省主推牧草绿肥品种；拉巴豆是公认较为优良的牧草绿肥品种；‘大丰30’叶片肥大、耐旱，非常受养殖户喜爱，因此本研究的豆科牧草品种选择‘汾豆牧绿2号’和拉巴豆，玉米品种选择‘大丰30’。

1.2 试验设计

试验采用2个豆科牧草：‘汾豆牧绿2号’、拉巴豆；设置4种豆科牧草-全株玉米混贮比例：90%全株玉米+10%豆科牧草；80%全株玉米+20%豆科牧草；70%全株玉米+30%豆科牧草；100%豆科牧草。处理分别为：1）90%全株玉米+10%‘汾豆牧绿2号’（F1）；2）80%全株玉米+20%‘汾豆牧绿2号’（F2）；3）70%全株玉米+30%‘汾豆牧绿2号’（F3）；4）100%‘汾豆牧绿2号’（F4）；5）90%全株玉米+10%拉巴豆（L1）；6）80%全株玉米+20%拉巴豆（L2）；7）70%全株玉米+30%拉巴豆（L3）；8）100%拉巴豆（L4）；9）100%全株玉米为对照处理（CK）。3次重复，共27个处理。

1.3 调查项目

供试的乳熟期全株玉米和豆科牧草于2021年9月收集于试验基地，并将其用破碎机破碎至2 cm。按照试验处理比例将全株玉米与豆科牧草混合均匀，在体积为10 L的塑料桶进行密封发酵，发酵45 d后完成青贮发酵过程。打开桶盖，再次混合均匀后并用四分法取3 kg样品待检，共27个样品。检测其营养成分（干物质、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、粗蛋白及粗脂肪含量）、发酵品质（pH、氨态氮及乙酸）、体外产气量等相关指标。

1.3.1 营养成分与发酵终产物的测定

将样品105 ℃烘10 min后70 ℃烘干，粉碎过1 mm筛。干物质（DM）用烘干重量法测定，中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）用范氏洗涤纤维法测定；粗蛋白（CP）用凯氏定氮法测定；粗纤维（EE）用索氏浸提法（乙醚浸出法）测定；pH用酸度计测定；氨态氮用苯酚-次氯酸钠比色法测定；乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、戊酸和异戊酸用液相色谱法测定[16-17]。

1.3.2 瘤胃发酵参数及体内干物质降解率的测定

称取3 g（精确到0.000 1 g）试样装入尼龙袋

（12 cm×6 cm，50 μm孔径）中，每个样品设置3个重复时间点，然后放入装有永久性瘤胃瘘管的晋南阉牛的瘤胃中，依次在4、8、16、24、36、48和72 h发酵时间将尼龙袋取出，冰水冷却终止反应，自来水冲洗尼龙袋直至水澄清，65 ℃烘干至恒重，测定体内干物质含量，计算体内干物质降解率[18]。

体内干物质降解率的参数计算公式如下：

$P(t)=a+b\times(1-e^{-ct})$；$ED=a+(b\times c)/(c+k)$ （1）

式中：$P(t)$为t时间点DM降解率，%；a为快速降解部分的降解率，%；b为慢速降解部分，%；t为饲料在瘤胃中留滞时间，h；c为慢速降解部分的降解率，%/h；ED为饲料中营养物质有效降解率，%；k为待测饲料的瘤胃流通速率，%/h，$k=0.025\,3/h$[18]。

尼龙袋试验当天晨饲前采集瘤胃液1 000 mL，置于预先通有CO_2的保温瓶中，盖严瓶口后迅速带回实验室[19-22]。将瘤胃液混贮均匀后经4层纱布过滤，置于39 ℃水浴中保存，并持续充入CO_2以确保瘤胃液处于厌氧环境[19]。pH、氨态氮、乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、戊酸和异戊酸含量同上[18]。

1.3.3　体外干物质降解率及产气量测定

称取0.22 g试样送至培养管的前端，加入30 mL人工瘤胃培养液[16]，在水浴恒温振荡器中记录0、1、2、3、4、6、8、10、12、16、20、24、28、32、36、40、48、54、60和72 h等时间的产气量[17]。72 h后，将培养管中发酵液排至50 mL离心管中，离心15 min（4 ℃，5 400 r/min），多次清洗残渣后，65 ℃烘干，测定体外干物质降解率[18]。

采用体外发酵模型$GP=b(1-e^{-c(t-Lag)})$[18]计算产气参数。

式中：GP为t时间点的0.22 g底物的产气量，mL；b为0.22 g底物的理论最大产气量，mL；c为产气速度，mL/h；t为体外培养时间，h；Lag为延滞期，h[18]。

1.4　数据分析

利用Microsoft Excel 2010软件进行数据整理，DPS12软件进行数据分析，差异显著性检验用Duncan新复极差法，$P<0.05$表示差异显著。

2　结果与分析

2.1　豆科牧草-全株玉米混贮对青贮营养成分的影响

2.1.1　不同处理对青贮干物质（DM）的影响

干物质是青贮中除水外的主要成分。不同处理对青贮干物质的影响达到极显著水平（$P<0.01$）（表1）。F3处理下青贮干物质含量最高，L4处理下青贮干物质极显著低于其他处理（$P<0.01$），其较对照低26.92%。‘汾豆牧绿2号’的青贮干物质极显著高于拉巴豆的（$P<0.01$），高8.66%。70%全株玉米+30%豆科牧草的比例下青贮干物质显著高于其他比例（$P<0.05$），100%豆科牧草比例下的青贮干物质最低，较70%全株玉米+30%豆科牧草的青贮干物质低20.07%。

2.1.2　不同处理对青贮中性洗涤纤维（NDF）的影响

中性洗涤纤维对瘤胃消化吸收功能具有重要意义。不同处理对青贮中性洗涤纤维的影响达到极显著水平（$P<0.01$）（表1）。对照处理CK的NDF最低，极显著低于其他处理（$P<0.01$）。100%‘汾豆牧绿2号’的青贮的NDF最高，极显著高于其他处理（$P<0.01$），较CK高31.41%。豆科牧草品种对青贮的NDF的影响未达显著水平。100%豆科牧草处理下青贮的NDF含量最高，极显著高于其他比例（$P<0.01$），100%全株玉米青贮的NDF含量最低，较100%豆科牧草低19.61%。

2.1.3　不同处理对青贮酸性洗涤纤维（ADF）的影响

酸性洗涤纤维为动物难以消化的部分。不同处理对青贮酸性洗涤纤维的影响达到极显著水平（$P<0.01$）（表1）。对照处理CK的ADF最低，极显著低于其他处理（$P<0.01$）。100%‘汾豆牧绿2号’青贮的ADF最高，极显著高于其他处理（$P<0.01$），较CK高95.01%。豆科牧草品种对青贮的ADF的影响未达显著水平。100%豆科牧草处理下青贮的ADF最高，极显著高于其他比例（$P<0.01$），100%全株玉米青贮的ADF含量最低，较100%豆科牧草低45.33%。

2.1.4　不同处理对青贮粗脂肪（EE）的影响

粗脂肪（EE）是青贮中可被动物吸收利用的脂肪。不同处理对青贮的粗脂肪的影响达到显著水平（$P<0.05$）（表1）。80%全株玉米+20%‘汾豆牧绿2号’处理下青贮的粗脂肪最低，极显著低于其他处理（$P<0.01$）。100%拉巴豆青贮的EE含量最高，显著高于F2处理（$P<0.05$），较F2高37.84%。豆科牧草品种对青贮的粗脂肪的影响达到显著水平（$P<0.05$），拉巴豆青贮的粗脂肪含量极显著高于‘汾豆牧绿2号’（$P<0.01$）。不同比例混合下青

表1 不同处理组的豆科牧草-全株玉米混贮对青贮营养成分含量的影响

Table 1 Effects of leguminous forage and maize on nutrient composition content of mixed silage in different treatment groups %

营养成分 Nutrient	CK	F1	F2	F3	F4	L1	L2	L3	L4
干物质DM	27.27±0.09 b	26.30±0.03 c	25.75±0.02 d	27.50±0.05 a	23.03±0.03 g	24.98±0.02 e	22.78±0.01 h	24.31±0.07 f	19.93±0.04 i
中性洗涤纤维NDF	42.38±1.20 i	47.10±1.12 h	47.90±2.02 f	49.53±0.11 e	55.69±0.50 a	50.45±2.08 c	51.86±0.71 b	47.69±0.99 g	49.75±0.77 d
酸性洗涤纤维ADF	18.43±0.64 i	22.34±0.42 h	23.31±1.00 g	24.14±1.16 e	35.94±0.89 a	24.26±0.77 d	26.00±0.91 c	24.04±0.24 f	31.71±1.06 b
粗脂肪EE	2.98±0.14 ab	3.04±0.21 a	2.22±0.08 e	2.89±0.03 b	2.40±0.16 d	2.87±0.26 b	2.64±0.44 c	2.72±0.32 c	3.06±0.11 a
粗蛋白CP	7.24±0.11 i	7.97±0.08 g	8.18±0.04 f	9.14±0.01 c	15.34±0.29 a	7.73±0.05 h	8.23±0.16 e	8.99±0.07 d	12.14±0.23 b

注：1. 同行数据不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。2. CK：100%全株玉米；F1：90%全株玉米+10%‘汾豆牧绿2号’；F2：80%全株玉米+20%‘汾豆牧绿2号’；F3：70%全株玉米+30%‘汾豆牧绿2号’；F4：100%‘汾豆牧绿2号’；L1：90%全株玉米+10%拉巴豆；L2：80%全株玉米+20%拉巴豆；L3：70%全株玉米+30%拉巴豆；L4：100%拉巴豆。下同。

Note: 1. In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). 2. CK: 100% whole plant maize; F1: 90% whole plant maize + 10% 'Fendoumulv 2'; F2: 80% whole plant maize +20% Fendoumulv 2; F3: 70% whole plant maize +30% 'Fendoumulv 2'; F4: 100%'Fendoumulv 2'; L1: 90% whole plant maize +10% *Dolichos lablab*; L2: 80% whole plant maize +20% *Dolichos lablab*; L3: 70% whole plant maize +30% *Dolichos lablab*; L4: 100% *Dolichos lablab*. The same below.

贮的粗脂肪差异达到显著水平（$P<0.05$），100%全株玉米处理下的青贮EE最高，80%全株玉米+20%豆科牧草处理下青贮的EE极显著低于其他比例（$P<0.01$），较100%全株玉米低18.15%。

2.1.5 不同处理对青贮粗蛋白（CP）的影响

粗蛋白是青贮中可被动物吸收利用的蛋白。不同处理对青贮的粗蛋白的影响达到极显著水平（$P<0.01$）（表1）。对照CK处理下青贮的粗蛋白含量最低，极显著低于其他处理（$P<0.01$）。100%‘汾豆牧绿2号’青贮的CP最高，极显著高于其他处理（$P<0.01$），较CK高111.88%。豆科牧草品种对青贮中CP的影响达到极显著水平（$P<0.01$），拉巴豆青贮的粗蛋白极显著低于‘汾豆牧绿2号’（$P<0.01$），低7.40%。不同比例混贮下青贮的粗蛋白差异达到显著水平（$P<0.05$），100%豆科牧草处理下的青贮含量极显著高于其他处理（$P<0.01$），100%全株玉米处理下青贮的CP最低，比100%豆科牧草低47.31%。

2.2 豆科牧草-全株玉米混贮对青贮发酵品质的影响

2.2.1 不同处理对青贮pH的差异性分析

pH是衡量青贮发酵品质的重要标志，过低会严重影响反刍动物瘤胃环境，严重影响消化吸收。本试验中，各处理对青贮pH的影响达到显著水平（$P<0.05$）（表2）。对照组CK青贮的pH最低，显著低于其他处理（$P<0.05$）。F4处理下青贮的pH极显著高于其他处理（$P<0.01$），较CK高20.22%。不同豆科牧草品种对青贮的pH的影响也达到显著水平（$P<0.05$），‘汾豆牧绿2号’青贮的pH显著高于拉巴豆的（$P<0.05$），高2.55%。不同混贮比例对青贮pH的影响也达到显著水平（$P<0.05$），100%豆科牧草处理下青贮的pH显著高于其他处理（$P<0.05$），100%全株玉米青贮的pH显著低于其他处理（$P<0.05$），其他处理之间差异不显著。100%豆科牧草较对照CK高15.16%。

2.2.2 不同处理对青贮氨氮（AN）的差异性分析

氨氮是青贮发酵中主要产生的气体，过多会引起反刍动物胀气。本试验中，各处理对青贮氨氮的影响达到显著水平（$P<0.05$）（表2）。对照组CK青贮的氨氮含量最低，显著低于其他处理（$P<0.05$）。F4处理下青贮的氨氮含量极显著高于其他处理（$P<0.01$），较CK高94.85%。不同豆科牧草品种对青贮的氨氮的影响也达到显著水平，‘汾豆牧绿2号’青贮的氨氮显著高于拉巴豆（$P<0.05$），高8.98%。不同混贮比例对青贮氨氮的影响也达到显著水平，100%豆科牧草青贮的AN显著高于其

表 2　不同处理组的豆科牧草-全株玉米混贮对青贮发酵品质的影响

Table 2　Effects of leguminous forage and maize mixed on fermentation quality of mixed silage in different treatment groups

项目 Item	CK	F1	F2	F3	F4	L1	L2	L3	L4
pH	3.66± 0.03 e	3.73± 0.04 cde	3.75± 0.05 cd	3.78± 0.07 c	4.40± 0.10 a	3.71± 0.04 cde	3.69± 0.04 de	3.75± 0.06 cd	4.03± 0.06 b
氨氮/(mg/100 mL) AN	4.66± 0.21 d	5.24± 030 c	5.54± 0.33 bc	5.70± 0.39 b	9.08± 0.46 a	5.68± 0.55 b	5.56± 0.22 bc	5.19± 0.38 c	6.64± 0.19 a
乙酸/(mmol/L) AA	11.14± 0.42 a	6.21± 0.14 c	7.1± 0.37 bc	7.61± 0.28 bc	8.84± 0.33 ab	6.00± 0.21 c	6.11± 0.19 c	5.93± 0.26 c	5.28± 0.32 c

他处理($P<0.05$)，100% 全株玉米青贮的 AN 显著低于其他处理($P<0.05$)，其他处理之间差异性未达显著水平。100% 豆科牧草青贮的 AN 较对照 CK 的高 68.67%。相较不同豆科牧草品种对青贮的 AN 的影响，不同混贮比例对青贮 AN 的影响更大。

2.2.3　*不同处理对青贮乙酸(AA)的差异性分析*

乙酸是青贮发酵过程中浓度第二高酸，乙酸含量的升高有利于发酵过程的有氧稳定性，可抑制酵母等不良细菌的繁殖。本试验中，各处理对青贮的乙酸的影响达到显著水平($P<0.05$)(表 2)。对照组 CK 青贮的乙酸最高，L4 处理青贮的乙酸最低，较 CK 低 52.60%。不同豆科牧草品种对青贮的乙酸的影响也达到显著水平，'汾豆牧绿 2 号'青贮的乙酸显著高于拉巴豆的($P<0.05$)，高 18.69%。不同混贮比例对青贮的乙酸的影响未达显著水平，100% 全株玉米青贮的 AA 显著高于其他处理($P<0.05$)，其他处理之间差异未达显著水平。90% 全株玉米＋10% 豆科牧草比例下青贮的 AA 最低，较对照比例 CK 低 45.20%。相较不同比例混贮对青贮的 AA 的影响，豆科牧草品种的影响更为明显。

2.3　豆科牧草-全株玉米混贮对青贮的瘤胃发酵参数的影响

2.3.1　*不同处理对青贮在瘤胃发酵中 pH 的差异性分析*

青贮在瘤胃发酵中的 pH 更能代表青贮对反刍动物消化吸收的影响。本试验中各处理对青贮在瘤胃发酵的 pH 的影响达到显著水平($P<0.05$)(表 3)。100% 全株玉米青贮在瘤胃发酵中 pH 最低，F4 处理青贮在瘤胃发酵中的 pH 最高，显著高于其他处理，较 CK 高 3.84%。不同豆科牧草对青贮在瘤胃发酵中的 pH 的影响未到显著水平。不同比例混贮对青贮在瘤胃发酵中的 pH 的影响达到显著水平。100% 豆科牧草的青贮在瘤胃发酵中的 pH 最高，与其他比例的差异性达到显著水平($P<0.05$)，较 100% 全株玉米青贮在瘤胃发酵中的 pH 高 3.22%。

2.3.2　*不同处理对青贮在瘤胃发酵中氨氮(AN)含量的差异性分析*

瘤胃发酵中氨氮最能真实反应青贮氨氮的产生情况。本试验中，各处理对青贮在瘤胃发酵中氨氮的影响达到显著水平($P<0.05$)(表 3)。100% 全株玉米青贮在瘤胃发酵中的 AN 最低，显著低于其他处理($P<0.05$)。F1 处理下青贮在瘤胃发酵中的氨氮最高，较 CK 高 47.26%。不同豆科牧草的青贮在瘤胃发酵中的 AN 的差异达到显著水平($P<0.05$)，但未达极显著水平。'汾豆牧绿 2 号'青贮在瘤胃发酵中的 AN 显著高于拉巴豆的青贮($P<0.05$)，高 5.39%。100% 全株玉米青贮在瘤胃发酵中的 AN 显著低于其他比例($P<0.05$)，较 70% 全株玉米＋30% 豆科牧草比例青贮在瘤胃发酵中的 AN 低 28.32%。

2.3.3　*不同处理对青贮在瘤胃发酵中各种酸含量的差异性分析*

青贮在瘤胃发酵中会产生各种酸，适量乙酸能够抑制酵母细菌呼吸，丁酸会抑制乳酸菌发酵。本试验中不同处理对青贮在瘤胃发酵中的乙酸(AA)含量的影响达到显著水平($P<0.05$)(表 3)。F1 处理下青贮在瘤胃发酵中的乙酸最高，显著高于其他处理($P<0.05$)。F4 处理下青贮在瘤胃发酵中的乙酸最低，较 F1 低 35.12%。不同豆科牧草品种对青贮在瘤胃发酵中的乙酸影响不显著。不同比例混合的青贮在瘤胃发酵中的乙酸差异显著($P<0.05$)，100% 豆科牧草青贮的最低，90% 全株玉米＋10% 豆科牧草青贮在瘤胃发酵中的乙酸最高，较 100% 豆科牧草的高 31.06%。

F1 处理下青贮在瘤胃发酵中的丙酸显著高于其他处理($P<0.05$)，其他处理之间的差异未

表3 不同处理组的豆科牧草-全株玉米混贮对青贮的瘤胃发酵参数的影响

Table 3 Effects of leguminous forage and maize on rumen fermentation parameters of mixed silage in different treatment groups

项目 Item	CK	F1	F2	F3	F4	L1	L2	L3	L4
pH	6.51± 0.05 c	6.59± 0.05 bc	6.58± 0.05 bc	6.60± 0.04 bc	6.76± 0.03 a	6.52± 0.10 c	6.60± 0.02 bc	6.62± 0.03 bc	6.68± 0.02 ab
氨氮/(mg/100 mL) AN	19.91± 1.62 d	29.32± 2.66 a	27.63± 4.02 ab	26.59± 4.81 abc	24.14± 3.20 bc	22.84± 4.78 cd	23.74± 3.82 bcd	28.96± 1.86 a	25.62± 2.11 abc
乙酸/(mmol/L) AA	32.4± 3.27 bc	40.92± 4.08 a	27.57± 2.16 cd	32.1± 3.07 bc	26.55± 2.77 d	32.33± 2.94 bc	32.96± 3.22 b	29.3± 2.61 bcd	29.34± 2.44 bcd
丙酸/(mmol/L) Proptonate	10.45± 1.75 b	13.04± 1.97 a	9.05± 1.94 a	10.34± 1.69 a	8.84± 2.01 b	10.38± 1.44 b	10.54± 1.66 b	9.59± 1.72 b	9.04± 1.58 b
体内干物质降解率/% *In vitro* dry matter degradation rate	70.69± 1.43 a	71.10± 2.52 a	68.26± 0.19 b	61.40± 1.33 c	55.82± 0.12 d	69.24± 0.62 b	68.99± 1.17 b	68.22± 1.61 b	53.16± 0.53 e

达显著水平。各处理之间的青贮在瘤胃发酵中的异丁酸、丁酸、异戊酸、戊酸差异性均不显著。

2.3.4 不同处理对青贮的体内干物质降解率的差异性分析

体内干物质降解率与青贮在瘤胃内消化吸收有密切关系。本试验中,各处理对青贮的体内干物质降解率有显著影响($P<0.05$)(表3)。100%拉巴豆青贮的体内干物质降解率显著低于其他处理($P<0.05$),较F1处理下的青贮体内干物质降解率低25.23%。不同豆科牧草品种对青贮的体内干物质降解率有显著影响($P<0.05$),拉巴豆青贮的体内干物质降解率显著高于'汾豆牧绿2号'($P<0.05$),高9.26%。不同比例混合对青贮的体内干物质降解率有显著影响($P<0.05$),100%全株玉米与90%全株玉米+10%豆科牧草的青贮体内干物质降解率差异未达显著水平,其余比例混合的青贮的体内干物质降解率之间的差异性达到显著水平($P<0.05$)。100%豆科牧草的青贮的体内干物质降解率较CK低22.92%。

2.4 豆科牧草-全株玉米混贮对青贮的体外干物质降解率及产气量的影响

2.4.1 不同处理对青贮的体外干物质降解率的影响

体外干物质降解率随着降解时间的推移,干物质被分解,降解率逐渐升高。本试验中,各处理下青贮的体外干物质降解率的差异性均达到显著水平($P<0.05$)(表4)。在第4、8和16 h时,对照CK青贮的体外干物质降解率显著高于其他处理($P<0.05$),F4处理下的青贮的体外干物质降解率显著低于其他处理($P<0.05$),分别较CK降低23.07%、18.96%和8.35%。在36 h后,F3处理下青贮的体外干物质降解率开始高于其他处理,并在48 h以后,其体外干物质降解率一直显著高于其他处理($P<0.05$)。除72 h外,不同豆科牧草品种对青贮体外干物质降解率均有显著影响($P<0.05$)。在16和24 h时,'汾豆牧绿2号'青贮的体外干物质降解率显著高于拉巴豆($P<0.05$)。其余时间均为拉巴豆的青贮的体外干物质降解率高于'汾豆牧绿2号'的。不同混合比例的青贮的体外干物质降解率差异显著($P<0.05$)。在4和8 h时,100%全株玉米青贮的体外干物质降解率显著高于其他组合($P<0.05$),100%豆科牧草青贮的体外干物质降解率显著低于其他组合($P<0.05$)。随着时间的推移,90%全株玉米+10%豆科牧草的青贮体外干物质降解率最低,与对照CK的差异性达到显著水平($P<0.05$)。

2.4.2 不同处理对青贮的体外产气量的影响

本试验中不同处理对青贮的体外产气量的影响达到显著水平($P<0.05$)。以72 h为例,对照组CK的青贮体外产气量显著高于其他处理($P<0.05$),F4处理下的青贮的体外产气量显著低于其他处理($P<0.05$),较CK降低40.44%。不同豆科牧草品种对青贮体外产气量的影响达到极显著水平($P<0.01$),'汾豆牧绿2号'极显著高于拉巴豆($P<0.01$)。不同混贮比例的体外产气量之间的差异性均达到显著水平($P<0.05$),CK的青贮体外产气量最高,且随着豆科牧草比例的增加,青贮的体外产气量逐渐降低,以至于100%豆科牧草的青贮

表 4　不同处理组的豆科牧草-全株玉米混贮对青贮的体外干物质降解率的影响

Table 4　Effects of different proportions of legume green manure mixed with whole plant maize on in vitro dry matter degradation rate of mixed silage in different treatment groups

降解时间/h Degradation time	CK	F1	F2	F3	F4	L1	L2	L3	L4
4	62.47± 1.35 a	56.98± 2.08 d	57.13± 2.36 cd	57.87± 2.98 cd	48.06± 0.78 f	55.24± 0.85 e	54.45± 1.35 e	58.68± 1.19 c	59.72± 2.62 b
8	64.61± 0.51 a	59.07± 1.16 de	57.82± 1.42 e	62.79± 1.93 ab	52.36± 1.91 f	59.08± 1.56 cd	57.79± 1.65 e	59.91± 1.80 cd	60.05± 2.33 bc
16	65.38± 3.59 a	61.90± 1.51 c	62.01± 1.63 c	63.95± 1.80 b	59.92± 4.10 d	61.14± 0.21 c	58.58± 1.31 e	62.26± 1.87 c	62.13± 0.99 c
24	66.82± 1.23 d	63.99± 1.91 f	69.36± 1.68 c	70.24± 2.70 b	70.10± 2.23 b	64.50± 1.35 ef	64.87± 2.49 e	69.18± 2.06 c	72.14± 2.83 a
36	78.70± 1.69 bc	72.86± 3.28 f	75.74± 2.41 e	79.41± 2.87 a	75.78± 0.71 e	78.10± 3.75 cd	73.37± 2.73 f	77.75± 0.13 d	79.11± 3.27 ab
48	82.41± 1.20 b	74.40± 1.75 f	81.25± 3.14 c	83.82± 0.94 a	77.17± 1.13 e	78.97± 2.50 d	81.62± 1.17 c	78.79± 2.71 d	81.12± 2.23 c
72	84.18± 2.84 bc	82.31± 2.08 bcd	84.95± 1.26 b	89.06± 1.54 a	79.12± 1.10 d	84.72± 1.90 bc	84.20± 0.82 bc	84.85± 1.56 bc	81.44± 0.52 cd

的体外产气量极显著低于其他比例（$P<0.01$），较100%全株玉米的青贮的体外产气量降低38.49%。

随着时间的推移，青贮体外产气量逐渐升高，但产气速率逐渐降低（图1和图2）。

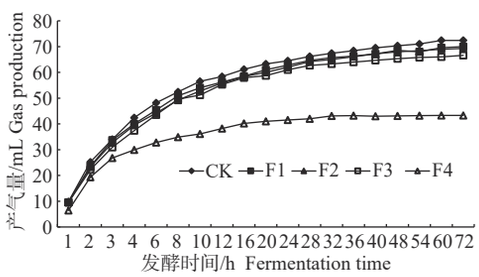

图 1　'汾豆牧绿 2 号'与全株玉米混贮对青贮体外产气量的影响

Fig. 1　Effect of mixing Fendoumulv 2 with whole plant maize on gas production *in vitro* of mixed silage

3　讨　论

3.1　豆科牧草与全株玉米的混贮模式对青贮营养品质的影响

本试验中100%'汾豆牧绿2号'青贮的DM最低，NDF、ADF和CP含量最高。不同豆科牧草品种对青贮的DM、EE和CP的影响达到显著水平（$P<0.05$），'汾豆牧绿2号'青贮的DM和CP显著高于拉巴豆（$P<0.05$）。不同混贮比例中，100%豆科牧草青贮的DM最低，NDF、ADF和CP含量最高；100%全株玉米青贮的NDF、ADF和CP最低。说明豆科牧草与全株玉米混贮能够提高青贮干物质含量，降低青贮的NDF、ADF和CP含量。其中NDF和ADF是反映纤维品质的有效指标，ADF与饲养动物消化率呈负相关关系，ADF含量越低，饲草的消化率越高，饲用价值越大[21]。本研究发现，

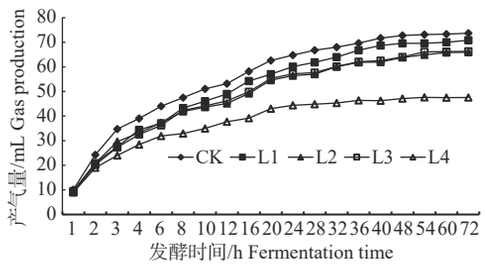

图 2　拉巴豆与全株玉米混贮对青贮体外产气量的影响

Fig. 2　Effect of mixed storage of *Dolichos lablab* and whole plant maize on gas production in vitro of mixed silage

随着‘汾豆牧绿2号’和拉巴豆的比例提高，混合青贮的粗蛋白升高，原因是由于豆科牧草的粗蛋白含量高于全株玉米[22]。反映出豆科牧草与全株玉米的混贮能够起到互补效果，这与梁小玉等[23]研究结果一致。从青贮营养角度分析，70%全株玉米+30%‘汾豆牧绿2号’的混贮模式为最佳混贮比例。

3.2 豆科牧草与全株玉米的混贮模式对青贮发酵品质的影响

对照组CK青贮的pH和AN显著低于其他处理（$P<0.05$），AA高于其他处理。F4处理下青贮的pH和AN显著高于其他处理（$P<0.05$），L4处理下青贮的AA最低。豆科牧草品种对青贮发酵品质的影响达到显著水平（$P<0.05$），‘汾豆牧绿2号’青贮的pH、AN和AA含量均显著高于拉巴豆青贮的（$P<0.05$）。不同混贮比例中，100%豆科牧草青贮的pH和AN显著高于其他比例，而CK青贮的pH和AN显著低于其他比例，AA显著高于其他比例。说明豆科牧草与全株玉米混贮能够降低青贮中AA含量，这与董立红等[12]研究结果类似。氨态氮含量可衡量蛋白质的分解程度。研究表明，氨态氮含量越高，蛋白质分解越多，青贮品质越差[23]，而添加豆科牧草会增加青贮中AN含量，可能是因为‘汾豆牧绿2号’和拉巴豆的蛋白质含量较高，促进了发酵过程，导致氨态氮含量升高。综上所述，70%全株玉米+30%拉巴豆混贮的青贮发酵品质最好。

3.3 豆科牧草与全株玉米的混贮模式对青贮的瘤胃发酵参数的影响

本试验中，100%全株玉米青贮在瘤胃发酵中的pH和AN值最低，与史卉玲等[13]的研究结果一致。瘤胃氨态氮是由瘤胃内微生物分解饲粮中的蛋白质、小肽、氨基酸以及非蛋白氮所产生，其浓度变化可以反映饲粮中的粗蛋白质在瘤胃中的降解程度和微生物利用效率[24]。F1处理下青贮在瘤胃发酵中AN、AA、丙酸以及体内干物质降解率最高，说明F1处理下青贮在瘤胃中消化快，有利于青贮中粗蛋白的分解。豆科牧草品种对青贮在瘤胃发酵中的pH和AA的影响不显著。拉巴豆青贮的体内干物质降解率显著高于‘汾豆牧绿2号’（$P<0.05$），说明拉巴豆更利于瘤胃消化吸收。不同比例混贮对青贮在瘤胃发酵中pH、AN、AA以及体内干物质降解率的影响显著（$P<0.05$），100%豆科牧草的青贮在瘤胃发酵中的pH最高，AA和体内干物质降解率最低，说明豆科牧草与全株玉米混贮能够改善瘤胃消化环境，与张丹丹等[25]研究结果一致。综上，从混贮的瘤胃发酵参数角度分析，90%全株玉米+10%拉巴豆混贮更有利于青贮的消化吸收。

3.4 豆科牧草与全株玉米的混贮模式对青贮体外干物质降解率和产气量的影响

本试验中，对照组在前16 h的体外干物质降解率是最高的，在36 h后F3处理下青贮的体外干物质降解率开始一直高于其他处理。这一研究结果与董立红等[12]研究一致，可能是因为全株玉米-‘汾豆牧绿2号’混合青贮改变了瘤胃微生物群的发酵基质，从而提高了营养降解率[10]。从豆科牧草角度分析，拉巴豆的体外干物质较‘汾豆牧绿2号’更容易被分解，但随着时间的推移，两者的差异在72 h后消失。说明豆科牧草品种在72 h后对青贮的体外干物质降解率的影响消失。从不同混贮比例角度分析，100%豆科牧草的体外干物质降解量最低。72 h时90%全株玉米+10%豆科牧草的青贮的体外干物质最终降解的最少。综上所述，从混贮的体外干物质降解率角度分析，70%全株玉米+30%‘汾豆牧绿2号’混贮为推荐混贮模式。

本试验中，随着发酵时间的推移，产气量逐渐增多，30 h以后产气量趋于平稳，是由于前期瘤胃底物充足，瘤胃微生物活动增强，后期底物减少，产气量随之减少[13]。提高豆科牧草的混贮比例显著降低了瘤胃72 h的产气量，这可能是因为‘汾豆牧绿2号’和拉巴豆等豆科植物的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量较高，产气量较少[26]。综上所述，从混贮的体外产气量角度分析，100%‘汾豆牧绿2号’青贮更有利于降低畜牧业的温室气体排放。

4 结 论

豆科牧草与全株玉米的混贮能够改善青贮的营养品质、发酵品质、瘤胃发酵参数、体外干物质降解率以及产气量等指标。70%全株玉米+30%‘汾豆牧绿2号’青贮能提高青贮的营养品质，有利于瘤胃消化吸收，促进青贮的干物质降解，降低畜牧业的温室效应。本研究为山西北部镰刀湾地区混贮技术的研究及推广提供了一定的理论依据和数据支撑，同时也为该地区玉米-豆科牧草带状轮作种植制度的研究奠定了基础。

参考文献　References

[1] 殷建军，郭庆瑞，郭凤琴，张小娟，王力．晋北高寒冷凉区青贮玉米品种性状评价及筛选[J]．种子，2020，39(12)：138-141
Yin J J，Guo Q R，Guo F Q，Zhang X J，Wang L．Character evaluation and selection of silage maize varieties in high cold region of the northern Shanxi Province[J]．*Seed*，2020，39，(12)：138-141(in Chinese)

[2] 郭庆瑞，王梦飞，郭凤琴，殷建军，张小娟，王力．山西高寒冷凉区粮饲兼用型玉米品种的综合评价[J]．作物杂志，2019(4)：61-68
Guo Q R，Wang M F，Guo F Q，Yin J J，Zhang X J，Wang L．Comprehensive evaluation of grain and forage maize varieties in high latitude and cold area of Shanxi Province[J]．*Crops*，2019 (4)：61-68 (in Chinese)

[3] Khan N A，Yu P Q，Ali M，Cone J W，Hendriks W H．Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality[J]．*Journal of the Science of Food and Agriculture*，2015，95(2)：238-252

[4] 瓮巧云，黄新军，许翰林，刘瑶，袁晓峰，马海莲，袁进成，刘颖慧．玉米/大豆间作模式对青贮玉米产量、品质及土壤营养、根际微生物的影响[J]．核农学报，2021，35(2)：462-470
Weng Q Y，Huang X J，Xu H L，Liu Y，Yuan X F，Ma H L，Yuan J C，Liu Y H．Effects of corn /soybean intercropping model on yield，quality，soil nutrition and rhizosphere microorganisms of silage corn[J]．*Journal of Nuclear Agricultural Sciences*，2021，35(2)：462-470 (in Chinese)

[5] 马雅丽，郭建平，赵俊芳．晋北农牧交错带作物气候生产潜力分布特征及其对气候变化的响应[J]．生态学杂志，2019，38(3)：818-827
Ma Y L，Guo J P，Zhao J F．Spatial distribution of crop climatic potential productivity and its response to climate change in agro-pastural ecotone in northern Shanxi Province[J]．*Chinese Journal of Ecology*，2019，38(3)：818-827 (in Chinese)

[6] Si Q，Wang Z J，Liu W，Liu M J，Ge G T，Jia Y S，Du S．Influence of cellulase or *Lactiplantibacillus plantarum* on the ensiling performance and bacterial community in mixed silage of alfalfa and *Leymus chinensis* [J]．*Microorganisms*，2023，11(2)：426

[7] 郑林峰，任红阳，王红亮，王自立．全株玉米混合青贮对其营养品质的影响[J]．动物营养学报，2023，35 (8)：4827-4839
Zheng L F，Ren H Y，Wang H L，Wang Z L．Effects of mixed ensiling on nutritional luality of whole plant maize silage[J]．*Chinese Journal of Animal Nutrition*，2023，35(8)：4827-4839 (in Chinese)

[8] 萨如拉．乳酸菌对全株玉米大豆混合青贮发酵品质、有氧稳定性及微生物多样性的影响[D]．通辽：内蒙古民族大学，2023
Sa R L．Effects of lactic acid bacteria on fermentation quality，aerobic stability and microbial diversity of whole corn-soybean silage [D]．Tongliao：Inner Mongolia University for the Nationalities，2023 (in Chinese)

[9] 靳超戈．不同添加剂对玉米和苜蓿混合青贮效果的影响[D]．杨凌：西北农林科技大学，2021
Jin C G．Effect of different additives on mixed silage of corn and alfalfa [D]．Yangling：College Of Northwest A & F University，2021 (in Chinese)

[10] Contreras-Govea F E，Muck R E，Armstrong K L，Albrecht K A．Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans[J]．*Animal Feed Science and Technology*，2009，150(1/2)：1-8.

[11] Mupangwa J F，Ngongoni N，Topps J，Hamudikuwanda H．Effects of supplementing a basal diet of Chloris gayana hay with one of three protein-rich legume Hays of Cassia rotundifolia，Lablab purpureus and Macroptilium atropurpureum forage on some nutritional parameters in goats [J]．*Tropical Animal Health and Production*，2000，32 (4)：245-256

[12] 董立红，范瑞，翟广谦，李文和，阮福林，陈永欣．玉米-扁豆型青贮饲料对奶牛生产性能和养分消化的影响[J]．中国饲料，2020 (16)：108-111
Dong L H，Fan R，Zhai G Q，Li W H，Ruan F L，Chen Y X．Effects of corn-lentil silage on performance and nutrient digestion of dairy cows[J]．*China Feed*，2020(16)：108-111 (in Chinese)

[13] 史卉玲，王连群，席琳乔，刘慧，刘美华，景春梅，马春晖．利用体外产气法研究苜蓿青贮与玉米青贮组合效应的瘤胃发酵特征[J]．新疆农业科学，2013，50(7)：1353-1359
Shi H L，Wang L Q，Xi L Q，Liu H，Liu M H，Jing C M，Ma C H．Rumen rermentation characteristics of vitro gas production of alfalfa silage and corn silage combination effect [J]．*Xinjiang Agricultural Sciences*，2013，50(7)：1353-1359 (in Chinese)

[14] 喻佳媛．拉巴豆与几种禾草混合青贮效果的研究[D]．长沙：湖南农业大学，2015
Yu J Y．Studies on mixed silage of *Dolichos Lablab* with different gramineae [D]．Changsha：Hunan Agricultural University，2015 (in Chinese)

[15] 柳茜，傅平，姚明久，高凤芹，刘晓波，孙启忠．玉米与拉巴豆混合青贮的品质研究[J]．四川畜牧兽医，2015，42(5)：21-23
Liu Q，Fu P，Yao M J，Gao F Q，Liu X B，Sun Q Z．Study on the silage quality of mixture of corn and croton[J]．*Sichuan Animal & Veterinary Sciences*，2015，42(5)：21-23 (in Chinese)

[16] 李莉，吴汉葵，解祥学，赵国强，何家俊，胡志超，杨昕涧，吴浩．添加纤维素酶和淀粉对象草青贮发酵品质的影响[J]．动物营养学报，2021，33 (9)：5025-5035
Li L，Wu H K，Xie X X，Zhao G Q，He J J，Hu Z C，Yang X J，Wu H．Effects of adding cellulase and starch on fermentation quality of napier grass silage [J]．*Chinese Journal of Animal Nutrition*，2021，33 (9)：5025-5035 (in Chinese)

[17] 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[J]．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．Effect of harvest time on silage quality and in vitro fermentation characteristics of silage maize [J]．*Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*，2019，50(11)：2264-2272 (in Chinese)

[18] 张丹丹，程 景，靳光，李博，王栋才，孙锐锋，徐芳，梁圆，张元庆．酒糟和醋糟营养成分差异及其瘤胃降解特性分析[J]．中国饲料，2021 (9)：118-123
Zhang D D，Cheng J，Jin G，Li B，Wang D C，Sun R F，Xu F，Liang Y，Zhang Y Q．Evaluation on the nutrient composition of distillers' grains and vinegar grains and its rumen degradation[J]．*China Feed*，2021 (9)：118-123 (in Chinese)

[19] 张元庆，靳光，王栋才，李博，徐芳，程景，张丹丹．体外产气法和尼龙袋法评价5种全株玉米青贮的饲用价值[J]．动物营养学报，2019，31(12)：5682-5687
Zhang Y Q，Jin G，Wang D C，Li B，Xu F，Cheng J，Zhang D D．Evaluation on feeding values of 5 kinds of whole plant corn silage by in vitro gas production and nylon bag methods [J]．*Chinese Journal of Animal Nutrition*，2019，31(12)：5682-5687 (in Chinese)

[20] 邹诗雨，陈思葵，唐启源，陈东，陈元伟，邓攀，黄胥莱，李付强．青贮剂对再生稻头季全株青贮品质和体外瘤胃发酵特性的影响[J]．草业学报，2021，30(7)：122-132

Zou S Y, Chen S K, Tang Q Y, Chen D, Chen Y W, Deng P, Huang X L, Li F Q. Effects of silage additives on quality and *in vitro* rumen fermentation characteristics of first season ratoon rice whole silage[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(7): 122-132 (in Chinese)

[21] 李向林, 张新跃, 唐一国, 何峰, 张坚中. 日粮中精料和牧草比例对舍饲山羊增重的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(2): 85-91
Li X L, Zhang X Y, Tang Y G, He F, Zhang J Z. Effect of concentrate forage ratio in diet on liveweight gain of stall fed goats [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008, 17(2): 85-91 (in Chinese)

[22] 段艳珍, 商振达, 谭占坤, 张辉耀, 刘锁珠. 西藏地区玉米与豌豆混合青贮发酵品质及体外降解效果的研究[J]. 饲料工业, 2022, 43(6): 39-44
Duan Y Z, Shang Z D, Tan Z K, Zhang H Y, Liu S Z. Effects of mixed silage on fermentation quality and degradation *in vitro* of corn and pea in tibet[J]. *Feed Industry*, 2022, 43(6): 39-44 (in Chinese)

[23] 梁小玉, 季杨, 易军, 付茂忠, 胡远彬. 混合比例和添加剂对菊苣与青贮玉米混贮青贮品质的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(2): 173-181
Liang X Y, Ji Y, Yi J, Fu M Z, Hu Y B. Effects of mixing ratio and additives on ensilage efficiency of mixed chicory and silage maize[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27(2): 173-181 (in Chinese)

[24] Owens F N, Bergen W G. Nitrogen metabolism of ruminant animals: historical perspective, current under-standing and future implications[J]. *Journal of Animal Science*, 1983, 57(S2): 498-518

[25] 张丹丹, 张元庆, 程景, 靳光, 李博, 王栋才, 徐芳, 孙锐锋. 不同粗饲料组合对晋南牛瘤胃体外发酵特性的研究[J]. 草业学报, 2021, 30(7): 93-100
Zhang D D, Zhang Y Q, Cheng J, Jin G, Li B, Wang D C, Xu F, Sun R F. Effects of different roughage combinations on in vitro rumen fermentation characteristics of Jinnan cattle [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(7): 93-100 (in Chinese)

[26] 董志晓, 何润濠, 况鉴洋, 聂聪, 杨建, 苟文龙, 马啸. 成都平原青贮玉米间作拉巴豆对混合饲草产量及品质的影响[J]. 草业科学, 2021, 38(8): 1587-1595
Dong Z X, He R H, Kuang J Y, Nie C, Yang J, Gou W L, Ma X. Effects of intercropping *Dolichos lablab* with silage maize on the yield and quality of mixed forage in the Chengdu Plain, China[J]. *Pratacultural Science*, 2021, 38(8): 1587-1595 (in Chinese)

责任编辑: 秦梅

第一作者简介: 段宏凯,硕士研究生,毕业于山西农业大学农学院,主要从事于玉米-豆科绿肥带状栽培技术研究,曾获硕士研究生国家奖学金、一等学业奖学金、优秀研究生以及科技传播奖学金等奖项,以第一作者发表中文核心期刊论文6篇,作为主要参与人参与国家自然科学基金项目、省级科技重点研发项目以及农业综合开发等项目。

通讯作者简介: 程永钢,硕士研究生,山西农业大学副研究员,研究生导师,国家绿肥产业技术体系晋北综合试验站站长,中国植物营养与肥料学会绿肥专业委员会委员,山西省土壤肥料学会副理事长,山西省有机旱作农业专家指导组专家,现主要从事绿肥应用技术研究及推广工作。担任山西农业大学资源环境学院副院长,主持农业农村部农业产业体系、山西省重点研发子项目以及山西省农业科技成果转化等项目,获省科技进步二等奖两项、省农村技术承包集体一等奖一项、省农村技术承包集体二等奖一项。