

DOI: 10.11686/cyxb2021479

http://cyxb.magtech.com.cn

李影正, 程榆林, 徐璐璐, 等. 不同玉米品种(系)的全株、果穗与秸秆青贮特性比较. 草业学报, 2022, 31(8): 144—156.

LI Ying-zheng, CHENG Yu-lin, XU Lu-lu, *et al.* A comparative study of silage quality characteristics of whole-plant, whole-ear and whole-straw silage of different maize varieties (lines). *Acta Prataculturae Sinica*, 2022, 31(8): 144—156.

不同玉米品种(系)的全株、果穗与秸秆青贮特性比较

李影正¹, 程榆林¹, 徐璐璐¹, 李万松¹, 严旭², 李晓锋¹, 何如钰¹, 周阳¹, 郑军军¹,
汪星宇¹, 张德龙¹, 程明军³, 夏运红⁴, 何建美¹, 唐祈林^{1*}

(1. 四川农业大学玉米研究所, 四川 温江 611130; 2. 四川省农业科学院蚕业研究所, 牧业研究中心, 四川 南充 637000; 3. 四川省草业技术研究推广中心, 四川 成都 640041; 4. 内江市农业科学院, 四川 内江 641000)

摘要:为比较不同玉米品系的全株、果穗及秸秆青贮效能和利用特性,以3个粮饲通用玉米新品系和1个专用青贮玉米为材料,于3/4乳线期测定生物产量及相关农艺性状,制作全株、果穗及秸秆青贮,发酵60 d后测定营养成分和发酵品质。结果表明:4个品种(系)生育期变幅为120~123 d, MTP-080生育期最长且绿叶数及绿叶比最高, MTP-082生育期居中但全株和果穗鲜干产量均最高。全株青贮中雅玉青贮8号的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量最高, MTP-082粗蛋白、淀粉和可溶性碳水化合物含量均最高, MTP-082泌乳净能显著高于雅玉青贮8号和MTP-080。各品种(系)全株及果穗青贮pH为3.53~4.07, 氨态氮/总氮小于10%, 费氏评分均在110分以上, 青贮发酵品质总体评价均为优级。果穗青贮总能、总可消化养分、消化能、代谢能、维持净能、增重净能及泌乳净能显著高于全株青贮和秸秆青贮。果穗青贮相对饲用价值为全株青贮的2.05倍、秸秆青贮的3.37倍。综上,粮饲通用型青贮玉米如MTP-082全株青贮产量高,持绿性适中,营养价值和发酵品质优,而且是制作果穗青贮的优质原料,因地制宜选择粮饲通用玉米发展果穗青贮将有利于种养殖业节本增效。

关键词:青贮玉米;果穗青贮;营养价值;发酵品质

A comparative study of silage quality characteristics of whole-plant, whole-ear and whole-straw silage of different maize varieties (lines)

LI Ying-zheng¹, CHENG Yu-lin¹, XU Lu-lu¹, LI Wan-song¹, YAN Xu², LI Xiao-feng¹, HE Ru-yu¹, ZHOU Yang¹, ZHENG Jun-jun¹, WANG Xing-yu¹, ZHANG De-long¹, CHENG Ming-jun³, XIA Yun-hong⁴, HE Jian-mei¹, TANG Qi-lin^{1*}

1. Maize Research Institute, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, China; 2. Sericulture Research Institute, Animal Husbandry Research Center, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Nanchong 637000, China; 3. Grassland Technology Research and Extension Center of Sichuan Province, Chengdu 640041, China; 4. Neijiang Academy of Agricultural Sciences, Neijiang 641000, China

Abstract: This study investigated the whole-plant, whole-ear and whole-straw silage efficiency and utilization characteristics of different maize lines. Three new strains of dual-purpose grain and fodder maize (MTP-044, MTP-080 and MTP-082; bred by Sichuan Agricultural University Maize Research Institute) and one silage maize strain (Yayu No. 8; Sichuan Yayu Technology Co. Ltd.) were studied. Biological yield and related agronomic characters

收稿日期:2021-12-23;改回日期:2022-03-03

基金项目:四川省“十四五”农作物及畜禽育种攻关(2021YFYZ0013-3),四川省科技计划项目(2021NZZJ0009)和国家现代农业产业技术体系四川玉米创新团队(sccxt-d-2020-02)资助。

作者简介:李影正(1995-),男,甘肃定西人,在读博士。E-mail: yzli95@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: tangqilin71@163.com

were measured at the three-fourths milk line grain development stage, and samples ensiled. Under this criterion the time from planting to harvest of the four varieties or lines was 120 to 123 days. The nutritional value and fermentation quality of whole-plant, whole-ear and whole-straw silages were measured after 60 days of fermentation. The growth stage at harvest, the number of green leaves and the ratio of green leaves were the highest in MTP-080. The fresh and dry yields of whole-plant silage and whole-ear silage of MTP-082 were the highest. Whole plant silage of Yayu No. 8 had the highest neutral and acid detergent fiber contents, and MTP-082 had the highest crude protein, starch and water soluble carbohydrate contents. The net energy for lactation of MTP-082 was significantly higher than that of Yayu No. 8 and MTP-080. In addition, the pH of the whole-plant and whole-ear silages of each variety or line ranged from 3.53–4.07, the ammonia nitrogen/total nitrogen was less than 10%, and the flieg score was above 110 in each variety or line. The overall evaluation of the silage fermentation quality was excellent. The total energy, total digestible nutrients, digestible energy, metabolizable energy, net maintenance energy, net energy for gain and net energy for lactation of whole-ear silage were significantly higher than those of whole-plant silage and whole-straw silage. The relative feeding value of whole-ear silage was 2.05 and 3.37 times that of whole-plant silage and whole-stalk silage, respectively. In general, the dual-purpose grain and forage maize varieties such as MTP-082 exhibited high yield, desirable stay-green characteristics, excellent nutritional value and fermentation quality when used for whole-plant silage, and also provided high-quality raw material for whole-ear silage. The development of whole-ear silage made from dual-purpose grain and fodder silage maize adjusting ensiling measures to local conditions will help the maize planting and breeding industry to save costs and increase efficiency.

Key words: silage maize; whole-ear maize silage; nutritional value; fermentation quality

全株青贮玉米(*Zea mays*)是指收获玉米鲜绿植株,经切碎和发酵,用于牛、羊等草食牲畜饲料的玉米,因其生物量高、品质优、非结构性碳水化合物含量高、木质素含量低、易于栽植和贮藏时间长等特点,是全世界反刍动物生产中被广泛应用的饲草作物^[1]。国外畜牧业发达国家非常重视青贮玉米的选育和种植,如美国2015—2017年平均每年收获青贮玉米面积约266.7万 hm^2 ,在美国高产奶牛的日粮配方中,青贮玉米占粗饲料来源的80%^[2]。研究表明,每吨100%干物质的优质青贮玉米(淀粉含量>30%)的营养价值相当于每t优质苜蓿(*Medicago sativa*)干草(相对饲用价值 ≥ 150)的效能^[3],其在提高反刍动物的生产性能和经济效益等方面具有重要作用^[4-6]。近年来,我国明确提出“粮改饲”战略^[7],根据《全国种植业结构调整规划(2016—2020年)》要求,我国青贮玉米种植面积达到167万 hm^2 以上,才基本保证农区草食家畜优质粗饲料的供应^[8]。因此,要大力开展青贮玉米等饲料作物选育与种养结合,促进草食畜牧业可持续发展。

目前,全果穗青贮是在全株青贮玉米发展过程中衍生的新技术。玉米全果穗青贮是将苞叶、穗柄、穗轴和籽粒制作青贮饲料,可减少烘干、存贮等费用,还可以与全株玉米青贮生产时间错开,缓解人工及设备压力,降低成本。玉米果穗青贮的能量和干物质含量与干玉米果穗相似,而淀粉利用率更高,可替代日粮50%的干籽粒^[9]。研究表明,以高水分玉米籽实青贮饲料代替干玉米可增加淀粉消化率及能量的摄入和用于产奶的能量比例,从而提高饲料的利用效率^[10]。以果穗青贮替代商品配方日粮可降低牛奶尿素水平,使乳成分中脂肪酸比例更加协调,但不会降低产奶量。果穗青贮用作育肥牛日粮,其生长性能、肉品质均不低于配方日粮^[11-12]。果穗青贮用于育肥猪饲料有助于增重和提升抗病性^[13-15]。我国草牧业发展相对比较晚,青贮玉米作为草牧业的重要组成部分,其种质资源评价、品种选育、高效种植及草产品加工贮藏等问题的相关研究还需大力推进^[16]。相对于全株青贮,果穗青贮不需要投入资金购置大型青贮饲料制作机械,并且对青贮时期的选择更加容易,适合我国小农户生产和市场需求^[17]。但目前国内对玉米青贮的研究主要集中在全株青贮,果穗青贮在我国还是一个新事物,目前关于其青贮制作技术、品种选择、产品效能、制作成本与收益方面等研究较少,有必要进行进一步的研究。

为了比较不同类型玉米品系的全株、果穗和秸秆青贮的产量、品质等,以新组配的3个粮饲通用青贮玉米新

品系和青贮专用型雅玉青贮8号为试验材料,在全株青贮、果穗青贮及秸秆青贮的生物产量、青贮营养价值和效价等方面进行了对比研究:1)对比不同应用型玉米在全株青贮、果穗青贮、秸秆青贮和籽粒收获的产量、品质;2)研究农艺性状与青贮营养价值和发酵品质之间的关系;3)研究全株青贮与果穗青贮的营养价值和发酵品质。以期为指导青贮玉米品种选育和开拓玉米果穗青贮新技术提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与 设计

试验地位于四川农业大学现代农业研发基地(N 30°33', E 103°38', 海拔 523 m),年平均气温 15.9 °C,极端高温 38.1 °C,极端低温 -5.5 °C,年平均日照时数 1161.5 h,年平均降水量 1012.4 mm,无霜期 285 d。试验地土壤为沙壤土,含全氮 1.71 g·kg⁻¹,全钾 16.87 g·kg⁻¹,全磷 0.29 g·kg⁻¹,有机质 24.88 g·kg⁻¹。

试验材料 MTP-044、MTP-080、MTP-082 由四川农业大学玉米研究所组配选育,其母本为玉米—摩擦禾 (*Tripsacum dactyloides*)—大刍草 (*Zea perennis*) 异源六倍体 MTP^[18] 与 B73 多次回交得到的渐渗系,父本为玉米自交系 oh43。青贮专用型雅玉青贮 8 号购自四川雅玉科技股份有限公司。所有材料育苗移栽,2020 年 4 月 14 日播种,采用随机区组设计,小区面积 30 m² (3 m×10 m),4 次重复,其中 1 个重复用于测定籽粒产量。株行距 0.4 m×0.9 m,穴留双株,密度为 3600 株·hm⁻²。底肥施用尿素 45 kg·hm⁻²,过磷酸钙 450 kg·hm⁻²,拔节期追施尿素 90 kg·hm⁻²,大喇叭口期追施尿素 150 kg·hm⁻²。浇透定根水,生长期根据实际进行除草和防虫,其他同常规大田管理。

1.2 试验方 法

1.2.1 农艺性状、产量测定及青贮制作 所有材料在乳线期 3/4 时刈割收获,收获前选 10 株有代表性植株测定株高、穗位高、叶长、叶宽、叶片数、绿叶数等农艺性状,其中绿叶数以叶片呈现绿色面积 50% 以上记为绿叶。测产时留茬高度 20 cm,其中 3 个重复去除边行测定小区全株总鲜重及果穗总鲜重,1 个小区测定籽粒产量,最后换算为每 hm² 产量 (kg·hm⁻²)。再随机取 1 kg 样品 65 °C 烘干后用水分含量折算各部分干物质产量。根据刈割面积、鲜重和干物质含量折算鲜、干草产量。测产后将全株和秸秆用粉碎机 (9ZT-0.6, 郑州兴裕公司) 切碎至 1~2 cm,果穗青贮籽粒破碎度 ≥90%,切碎长度 9~10 mm,混匀装 300 g 左右于 30 cm×20 cm 聚乙烯袋中,4 次重复,真空封口机 (V300, 东莞奥德居) 抽真空、封口,青贮调制在 1 d 内完成。(25±5) °C 避光保存 60 d 后开袋,去掉上部 5 cm 样品,其余青贮饲料混匀,用于分析发酵品质和营养成分。

1.2.2 营养品质测定 采用杨胜^[19]的方法测定干物质 (dry matter, DM)、粗蛋白 (crude protein, CP)、中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF)、粗灰分 (crude ash, CA)、粗脂肪 (ether extract, EE)、钙 (calcium, Ca) 和磷 (phosphorus, P) 含量。采用 Van Soest 等^[20]的方法测定酸性洗涤木质素 (acid detergent lignin, ADL) 含量。采用蒽酮—硫酸法^[21]测定可溶性碳水化合物 (water soluble carbohydrate, WSC) 含量。采用高氯酸水解—蒽酮比色法^[22]测定淀粉 (starch) 含量。非中性洗涤纤维性碳水化合物 (non-neutral detergent fiber, Non-NDF) 根据公式 $Non-NDF(\%DM) = 100 - CP - NDF - EE - CA$ 计算^[23]。不可利用中性洗涤纤维 (unavailable neutral detergent fiber, CC) 根据公式 $CC(\%DM) = 2.4 \times ADL$ 计算^[24]。可利用中性洗涤纤维 (available neutral detergent fiber, CB3) 根据公式 $CB3(\%DM) = NDF - CC$ 计算^[23]。相对饲用价值 (relative feeding value, RFV) 根据公式 $RFV = (DDM \times DMI) / 1.29$ 计算,式中,DDM 为消化性干物质 (digestible dry matter, %),DMI 为干物质采食量 (dry matter intake, %)^[25]。

1.2.3 能量价值评估 根据公式 $GE(MJ \cdot kg^{-1}DM) = (CP \times 23.86 + EE \times 39.36 + ADF \times 17.58 + NFE \times 17.58) / 100$ 计算总能 (general energy, GE)^[26],其中 NFE 为无氮浸出物 (nitrogen free extract),根据公式 $NFE(\%) = 100 - CP - EE - CF - CA$ 计算^[27],式中:CF 为粗纤维 (crude fibre, CF)。根据公式 $TDN(\%DM) = 96.447 - 0.110CP + 0.988EE - 0.799CA - 0.361NDF - 0.161ADF - 0.811ADL - 0.083starch$ 计算总可消化养分 (total digestible nutrient, TDN)^[28]。参照 NRC^[23]的公式计算消化能 (digestible energy, DE)、代谢能 (metabolic energy, ME)、维持净能 (net energy for maintenance, NEM)、增重净能 (net energy for gain, NEG),公式如下:DE

(MJ·kg⁻¹ DM)=0.04409×TDN×4.184, ME(MJ·kg⁻¹ DM)=0.82×DE, NEM(MJ·kg⁻¹ DM)=1.37ME-0.138ME²+0.0105ME³-1.12, NEG(MJ·kg⁻¹ DM)=1.42ME-0.174ME²+0.0122ME³-1.65。根据公式 NEL(MJ·kg⁻¹ DM)=[0.9265-(0.00793×ADF)]/0.4536×4.18 计算泌乳净能(net energy for lactation, NEL)^[29]。

1.2.4 青贮发酵品质分析 青贮袋开封后准确称取样品20 g,加入180 mL蒸馏水混合均匀,置于摇床15 min,用4层纱布和定性滤纸过滤,制备青贮浸提液^[30],浸出液经0.45 μm微孔滤膜过滤,-20℃保存待测。采用梅特勒托利多FE20型pH计(瑞士)测定样品pH值,并计算费氏评分(Flieg score, FS),FS=220+(2×DM-15)-(40×pH)^[31]。采用苯酚一次氯酸钠比色法测定氨态氮(ammonia nitrogen, AN)含量,利用粗蛋白测定的全氮来计算氨态氮/总氮(total nitrogen, TN)(AN/TN)^[32]。取另1份滤液于4000 r·min⁻¹冷冻离心机(5810R,美国贝克曼库尔特)中离心15 min,将上清液用0.45 μm的微孔滤膜过滤于5 mL的离心管中,采用高效液相色谱法分析滤液中乳酸(lactic acid, LA)、乙酸(acetic acid, AA)和丁酸(butyric acid, BA)含量^[33]。

1.3 数据处理

使用Excel 2019对数据进行汇总和整理。采用IBM SPSS 27.0进行方差分析,采用Duncan氏进行多重比较,所有数据表示为平均值±标准误。

2 结果与分析

2.1 不同品种(系)玉米重要农艺性状及产量比较

4个品种(系)生育期变幅为120~123 d,均为中熟材料,品种(系)农艺性状见表1。品种(系)间株高、叶长、叶宽、穗行数及穗粗差异显著($P<0.05$),而穗位高、茎粗及行粒数差异不显著($P>0.05$)。叶片数和绿叶数是玉米持绿性鉴定的重要指标,品种(系)间叶片数、绿叶数及绿叶比差异显著($P<0.05$),其中,MTP-080绿叶数及绿叶

表1 不同品种(系)重要农艺性状及产量比较

Table 1 Agronomic and yield traits in different varieties

项目 Item	雅玉青贮8号 Yayu No. 8	MTP-044	MTP-080	MTP-082
生育期 Growing days (d)	120	121	123	120
株高 Plant height (cm)	276.40±2.21b	303.80±3.37a	302.50±2.91a	282.30±2.15b
穗位高 Ear height (cm)	120.80±3.55a	121.10±2.86a	123.90±2.69a	115.10±2.06a
叶长 Leaf length (cm)	97.60±1.01a	88.30±2.44b	94.90±1.23a	93.30±1.11a
叶宽 Leaf width (mm)	11.77±0.25a	9.93±0.21c	10.25±0.16c	10.98±0.22b
叶片数 Number of leaves	18.60±0.22c	19.50±0.22b	20.60±0.27a	20.40±0.22a
绿叶数 Green leaf number	10.80±0.33c	11.20±0.39c	15.70±0.15a	14.10±0.10b
绿叶比 Green leaf proportion (%)	58.10±1.76c	57.32±1.46c	76.31±1.14a	69.20±0.95b
茎粗 Stem diameter (mm)	25.92±0.84a	25.50±0.84a	25.37±1.32a	28.73±0.82a
穗行数 Number of kernel rows (line)	15.60±0.58b	17.80±0.47a	17.40±0.31a	17.40±0.31a
行粒数 Kernel numbers per row (pcs)	39.10±1.66a	39.60±1.15a	38.40±1.18a	41.80±1.36a
穗粗 Ear diameter (mm)	53.08±0.79b	56.80±0.68a	56.88±0.52a	55.74±0.80a
全株鲜产量 Fresh yield of whole plant (t·hm ⁻²)	51.21±0.43c	53.78±0.89b	59.85±0.81a	62.00±0.78a
全株干产量 Dry yield of whole plant (t·hm ⁻²)	18.71±0.16b	19.12±0.32b	17.78±0.24c	20.32±0.26a
果穗鲜产量 Fresh yield of ear (t·hm ⁻²)	16.14±0.22c	18.40±0.18b	18.50±0.36b	20.72±0.31a
果穗干产量 Dry yield of ear (t·hm ⁻²)	8.95±0.06c	9.88±0.27b	9.60±0.07b	10.58±0.10a
果穗收获指数 Ear harvest index (%)	47.85±0.61b	51.75±2.15ab	54.74±0.45a	52.08±1.15ab
籽粒产量 Grain yield (t·hm ⁻²)	7.65±0.06b	7.85±0.23b	7.73±0.22b	8.48±0.11a
籽粒收获指数 Grain harvest index (%)	40.87±0.49b	41.04±0.19b	43.48±0.43a	41.74±0.28b

注:同行不同小写字母表示在0.05水平上差异显著,下同。

Note: Different lowercase letters in the same row were significant differences at 5% levels, the same below.

比最高, MTP-082次之, 雅玉青贮8号和MTP-044较低, 据此将供试4个品种(系)持绿性强弱划分为MTP-080>MTP-082>MTP-044=雅玉青贮8号。生物产量是青贮玉米组配和筛选的重要指标。产量分析表明, 全株鲜产量MTP-082最高, 其次是MTP-080、MTP-044, 3个新品系全株鲜产量均显著高于雅玉青贮8号($P<0.05$)。全株干产量MTP-082最高, 显著高于MTP-044、MTP-080以及雅玉青贮8号($P<0.05$)。MTP-082果穗鲜产量显著高于其他3个品种(系)($P<0.05$), MTP-080与MTP-044无显著差异($P>0.05$); 果穗收获指数变幅为47.85~54.74, 其中MTP-082果穗干产量显著高于其他新品种(系)。籽粒收获指数变幅为40.87~43.48, 其中MTP-082籽粒产量达到 $8.48\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 显著高于MTP-044($7.85\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)、MTP-080($7.73\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)及雅玉青贮8号($7.65\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)。

2.2 不同品种(系)玉米全株和果穗青贮营养价值比较

各品种(系)在3/4乳线期收获, 全株和果穗青贮营养成分见表2, MTP-082全株青贮粗蛋白含量显著高于雅玉青贮8号和MTP-044($P<0.05$), 但与MTP-080差异不显著。品种(系)间粗脂肪和粗灰分含量无显著差异($P>0.05$); 中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量差异显著($P<0.05$), 其中MTP-080和雅玉青贮8号显著高于MTP-044及MTP-082; 品种(系)间酸性洗涤木质素差异不显著($P>0.05$); MTP-044非中性洗涤纤维性碳水化合物显著高于雅玉青贮8号及MTP-080($P<0.05$), 但与MTP-082无显著差异($P>0.05$); 品种(系)间不可利用中性洗涤纤维与可利用中性洗涤纤维含量差异不显著($P>0.05$)。MTP-082淀粉含量显著高于其他3个材料($P<0.05$), 并且MTP-082可溶性碳水化合物含量也高。相对饲用价值是评价青贮营养价值的重要指标, 4个材料间相对饲用价值差异显著($P<0.05$), 其中MTP-082和MTP-044显著高于雅玉青贮8号和MTP-080($P<0.05$)。

品种(系)间果穗青贮干物质含量差异显著($P<0.05$), 雅玉青贮8号显著高于其他品种(系)($P<0.05$), 这可能是由于雅玉青贮8号绿叶数少持绿性相对较差所致。MTP-082粗蛋白含量与雅玉青贮8号差异不显著($P>0.05$), 但显著高于MTP-044和MTP-080($P<0.05$)。品种(系)间粗灰分含量无显著差异($P>0.05$)。MTP-044中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维以及酸性洗涤木质素含量显著高于其他品种(系)($P<0.05$)。MTP-082非中性洗涤纤维性碳水化合物显著高于MTP-044($P<0.05$), 但与雅玉青贮8号和MTP-080无显著差异($P>0.05$)。雅玉青贮8号淀粉含量与MTP-080及MTP-082差异不显著($P>0.05$)。品种(系)间可溶性碳水化合物含量差异不显著($P>0.05$)。MTP-082果穗青贮相对饲用价值显著高于MTP-044和MTP-080($P<0.05$), 但与雅玉青贮8号差异不显著($P>0.05$)。

2.3 不同品种(系)玉米全株和果穗青贮能量价值比较

4个品种(系)间全株青贮总能差异不显著(表3), 但MTP-082单位面积总能和单位面积总可消化养分显著高于其他品种(系)($P<0.05$)。MTP-044的总可消化养分、消化能、代谢能、维持净能及增重净能显著高于雅玉青贮8号和MTP-080($P<0.05$), 但与MTP-082无显著差异($P>0.05$); MTP-082与MTP-044的泌乳净能显著高于雅玉青贮8号和MTP-080($P<0.05$), MTP-082与MTP-044无显著差异($P>0.05$)。

雅玉青贮8号果穗青贮总能显著高于其他3个品系($P<0.05$), 但MTP-082单位面积总能和单位面积总可消化养分显著高于其他3个品种(系)($P<0.05$), 这是由于MTP-082全株、果穗生物产量高所致。MTP-082的总可消化养分、消化能、代谢能、维持净能及增重净能与雅玉青贮8号无显著差异($P>0.05$), 但显著高于MTP-044和MTP-080($P<0.05$)。MTP-082、雅玉青贮8号及MTP-080泌乳净能差异不显著($P>0.05$), 但均显著高于MTP-044($P<0.05$)。

2.4 不同品种(系)玉米全株和果穗青贮发酵品质比较

各品种(系)全株青贮pH为3.53~3.80(表4), 其中MTP-080显著低于其他品种(系)($P<0.05$)。MTP-080乳酸含量显著高于其他3个品种(系)($P<0.05$), 4个品种(系)乳酸:乙酸差异不显著($P>0.05$)。所有品种(系)的氨态氮/总氮均小于10%。此外, 所有品种(系)发酵费氏评分均在110分以上, 青贮发酵品质总体评价均为优级。

表2 不同品种(系)玉米全株和果穗青贮营养成分及饲用价值比较

Table 2 Nutritional quality of whole-plant silage (WPS) and whole-ear silage (WES) in different maize varieties

项目 Item	雅玉青贮8号 Yayu No. 8		MTP-044	
	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES
DM (%FM)	32.21±0.42a	48.57±0.90A	33.22±0.44a	41.93±1.36B
CP (%DM)	8.17±0.15b	7.93±0.39A	8.13±0.03b	6.33±0.44B
EE (%DM)	4.17±0.38a	5.53±0.17A	3.87±0.15a	4.10±0.32B
CA (%DM)	4.73±0.41a	1.33±0.39A	4.39±0.11a	2.24±0.11A
NDF (%DM)	44.20±0.75a	22.73±0.23BC	41.50±0.25b	26.87±0.41A
ADF (%DM)	27.82±1.14a	13.07±0.43B	24.37±0.49b	16.97±0.41A
ADL (%DM)	2.40±0.25a	0.77±0.07B	2.33±0.67a	1.57±0.32A
Non-NDF (%DM)	38.74±1.19b	62.47±0.55AB	42.11±0.20a	60.46±0.75C
CC (%DM)	5.76±0.60a	1.84±0.16B	5.60±0.16a	3.76±0.45A
CB3 (%DM)	38.44±1.35a	20.89±0.39B	35.90±0.37a	23.11±0.62A
Starch (%DM)	28.84±0.42b	57.71±1.27A	26.74±0.63b	49.37±2.62B
WSC (%DM)	2.10±0.06b	0.30±0.00A	1.80±0.18b	0.77±0.26A
Ca (%DM)	0.20±0.02ab	0.02±0.01A	0.18±0.02b	0.03±0.02A
P (%DM)	0.19±0.02b	0.26±0.02A	0.18±0.01b	0.24±0.03A
RFV	141.54±2.05b	322.21±4.60AB	156.73±1.74a	262.18±4.48C

项目 Item	MTP-080		MTP-082	
	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES
DM (%FM)	28.37±0.16c	42.97±1.50B	30.77±0.07b	44.33±0.76B
CP (%DM)	8.83±0.22a	6.67±0.17B	8.97±0.15a	7.40±0.35A
EE (%DM)	3.97±0.15a	4.37±0.20B	3.83±0.19a	4.23±0.19B
CA (%DM)	5.21±0.56a	1.42±0.17A	4.44±0.24a	1.44±0.54A
NDF (%DM)	43.01±0.49a	23.60±0.62B	42.00±0.40b	21.47±0.32C
ADF (%DM)	27.53±0.49a	13.93±0.57B	23.33±0.17b	13.10±0.21B
ADL (%DM)	2.27±0.18a	0.90±0.20B	1.73±0.27a	1.00±0.06B
Non-NDF (%DM)	38.93±0.49b	63.95±0.40AB	40.76±0.94ab	65.46±0.65A
CC (%DM)	5.44±0.42a	2.16±0.28B	4.16±0.65a	2.40±0.14B
CB3 (%DM)	37.63±0.88a	21.44±0.61B	37.84±0.31a	19.07±0.36C
Starch (%DM)	28.66±0.94b	55.51±2.49AB	33.98±1.07a	54.46±1.59AB
WSC (%DM)	2.72±0.18a	0.60±0.25A	2.73±0.23a	0.80±0.25A
Ca (%DM)	0.25±0.02a	0.01±0.00A	0.22±0.01ab	0.02±0.01A
P (%DM)	0.21±0.01ab	0.28±0.04A	0.24±0.01a	0.27±0.04A
RFV	145.71±0.85b	308.00±8.16B	156.67±1.44a	341.18±5.55A

RFV: 相对饲用价值 Relative feeding value; 同行不同小写字母和大写字母分别表示不同玉米品种全株及果穗青贮在0.05水平差异显著,下同。Different lowercase letters and uppercase letters in the same row indicate that of whole-plant silage and whole-ear silage of different maize varieties had significant differences at 0.05 level, respectively, the same below.

各品种(系)果穗青贮pH为3.56~4.07,其中MTP-044显著高于其他品种(系)($P<0.05$),MTP-080、MTP-082与雅玉青贮8号差异不显著($P>0.05$)。雅玉青贮8号乳酸含量显著低于其他3个品种(系)($P<0.05$),MTP-080乳酸:乙酸显著高于其他品种(系)。4个品种(系)果穗青贮的氨态氮/总氮均保持在较低水平。此外,供试品种(系)果穗青贮发酵费氏评分均在120分以上,果穗青贮发酵品质总体评价均为优级,其中MTP-082和雅玉青贮8号费氏评分均超过150,其用于果穗青贮效果优良。

2.5 玉米不同青贮方式的能量价值比较

不同收获器官的青贮能量价值各项指标均存在显著差异($P<0.05$)(表5)。果穗青贮的总能、总可消化养分、消化能、代谢能、维持净能、增重净能及泌乳净能均显著高于全株和秸秆青贮($P<0.05$),说明果穗青贮效能

表3 不同品种(系)玉米全株和果穗青贮能量价值比较

Table 3 Energy value of whole-plant silage (WPS) and whole-ear silage (WES) in different maize varieties

项目 Item	雅玉青贮8号 Yayu No. 8		MTP-044	
	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES
总能 General energy (MJ·kg ⁻¹)	18.17±0.12a	19.05±0.09A	18.16±0.05a	18.47±0.08B
单位面积总能 General energy unit area (×10 ⁵ MJ·hm ⁻²)	3.40±0.03b	1.71±0.02C	3.47±0.06b	1.82±0.05B
总可消化养分 Total digestible nutrient (%)	71.11±0.59b	84.26±0.29A	72.85±0.39a	80.22±0.13C
单位面积总可消化养分 Total digestible nutrient unit area (×10 ⁵ ·hm ⁻²)	13.31±0.11c	7.54±0.05C	13.93±0.23b	7.92±0.22BC
消化能 Digestible energy (MJ·kg ⁻¹)	13.12±0.11b	15.54±0.05A	13.44±0.07a	14.80±0.02C
代谢能 Metabolic energy (MJ·kg ⁻¹)	10.76±0.09b	12.75±0.04A	11.02±0.06a	12.13±0.02C
维持净能 Net energy for maintenance (MJ·kg ⁻¹)	10.72±0.18b	15.66±0.13A	11.27±0.12a	13.94±0.05C
增重净能 Net energy for gain (MJ·kg ⁻¹)	8.68±0.17b	13.44±0.13A	9.19±0.12a	11.76±0.05C
泌乳净能 Net energy for lactation (MJ·kg ⁻¹)	6.05±0.11b	7.59±0.03A	6.36±0.05a	7.30±0.03B
项目 Item	MTP-080		MTP-082	
	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES
总能 General energy (MJ·kg ⁻¹)	18.08±0.11a	18.70±0.08B	18.20±0.02a	18.71±0.11B
单位面积总能 General energy unit area (×10 ⁵ MJ·hm ⁻²)	3.21±0.04c	1.82±0.01B	3.70±0.05a	1.98±0.02A
总可消化养分 Total digestible nutrient (%)	71.04±0.64b	82.80±0.44B	72.56±0.35ab	83.47±0.48AB
单位面积总可消化养分 Total digestible nutrient unit area (×10 ⁵ ·hm ⁻²)	12.63±0.17d	8.06±0.06B	14.74±0.19a	8.83±0.08A
消化能 Digestible energy (MJ·kg ⁻¹)	13.10±0.12b	15.27±0.08B	13.38±0.06ab	15.40±0.09AB
代谢能 Metabolic energy (MJ·kg ⁻¹)	10.75±0.09b	12.52±0.07B	10.98±0.05ab	12.63±0.07AB
维持净能 Net energy for maintenance (MJ·kg ⁻¹)	10.70±0.19b	15.02±0.19B	11.18±0.11ab	15.31±0.21AB
增重净能 Net energy for gain (MJ·kg ⁻¹)	8.66±0.18b	12.81±0.19B	9.11±0.11ab	13.10±0.21AB
泌乳净能 Net energy for lactation (MJ·kg ⁻¹)	6.07±0.04b	7.53±0.04A	6.45±0.01a	7.59±0.02A

表4 不同品种(系)玉米全株和果穗青贮发酵品质比较

Table 4 Fermentation quality of whole-plant silage (WPS) and whole-ear silage (WES) in different maize varieties

项目 Item	雅玉青贮8号 Yayu No. 8		MTP-044	
	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES
pH	3.80±0.06a	3.80±0.05B	3.73±0.07a	4.07±0.03A
乳酸 Lactic acid (LA, %DM)	4.91±0.34b	1.69±0.11B	5.76±0.21b	2.89±0.17A
乙酸 Acetic acid (AA, %DM)	1.36±0.11b	1.29±0.08A	1.80±0.15ab	0.97±0.02B
LA:AA	3.63±0.14a	1.31±0.03C	3.25±0.35a	2.97±0.15B
丁酸 Butyric acid (%DM)	0.06±0.02a	0.11±0.02A	0.07±0.01a	0.04±0.03B
氨态氮/总氮 NH ₃ -N/TN (%)	4.82±0.31a	1.33±0.27A	5.90±1.05a	0.60±0.21AB
费氏评分 Flieg score (FS)	117.42±1.63a	150.13±3.70A	122.11±2.05a	126.20±1.71C
项目 Item	MTP-080		MTP-082	
	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES	全株青贮 WPS	果穗青贮 WES
pH	3.53±0.03b	3.73±0.09B	3.73±0.03a	3.56±0.09B
乳酸 Lactic acid (LA, %DM)	6.98±0.38a	2.96±0.11A	5.26±0.36b	2.84±0.06A
乙酸 Acetic acid (AA, %DM)	2.29±0.04a	0.83±0.07BC	1.63±0.24b	1.11±0.06AB
LA:AA	3.04±0.14a	3.62±0.26A	3.40±0.66a	2.56±0.10B
丁酸 Butyric acid (%DM)	0.11±0.02a	0.01±0.02B	0.10±0.01a	0.06±0.02AB
氨态氮/总氮 NH ₃ -N/TN (%)	6.16±0.26a	0.14±0.10B	6.18±0.59a	0.87±0.27AB
费氏评分 Flieg score (FS)	120.41±1.17a	141.60±0.75AB	117.21±1.40a	151.00±3.62A

好、质量高。但全株青贮单位面积总能、单位面积总可消化养分最高,果穗青贮其次,秸秆青贮最低。相对饲用价值是评价饲草总体质量和定价的一个重要参考指标,果穗青贮相对饲用价值高达308.41,是全株青贮的2.05倍

和秸秆青贮的 3.37 倍,全株青贮相对饲用价值是秸秆青贮的 1.64 倍,而秸秆青贮的相对饲用价值(91.65)低于 100,饲用价值较低。

表 5 不同青贮方式的能量价值比较

Table 5 Comparison of energy value of different silage type

项目 Item	果穗青贮 Whole-ear silage	全株青贮 Whole-plant silage	秸秆青贮 Whole-straw silage
总能 General energy (MJ·kg ⁻¹)	18.74±0.07a	18.15±0.04b	17.26±0.03c
单位面积总能 General energy unit area (×10 ⁵ MJ·hm ⁻²)	1.83±0.01b	3.45±0.01a	1.59±0.00c
总可消化养分 Total digestible nutrient (%)	82.69±0.48a	71.89±0.33b	59.72±0.60c
单位面积总可消化养分 Total digestible nutrient unit area (×10 ⁵ ·hm ⁻²)	8.06±0.05b	13.65±0.06a	5.51±0.06c
消化能 Digestible energy (MJ·kg ⁻¹)	15.25±0.09a	13.26±0.06b	11.01±0.11c
代谢能 Metabolic energy (MJ·kg ⁻¹)	12.50±0.07a	10.87±0.05b	9.03±0.09c
维持净能 Net energy for maintenance (MJ·kg ⁻¹)	14.99±0.21a	10.97±0.10b	7.74±0.14c
增重净能 Net energy for gain (MJ·kg ⁻¹)	12.78±0.20a	8.91±0.10b	5.98±0.12c
泌乳净能 Net energy for lactation (MJ·kg ⁻¹)	7.50±0.04a	6.23±0.06b	5.60±0.05c
相对饲用价值 Relative feeding value	308.41±9.14a	150.17±2.13b	91.65±2.40c

2.6 重要农艺性状与青贮饲料营养价值和发酵品质的相关性

重要农艺性状与青贮饲料营养价值和发酵品质的相关性分析表明(表 6),玉米叶片数与全株鲜产量显著正相关($P<0.05$)。绿叶数与全株鲜产量、粗蛋白以及可溶性碳水化合物含量显著正相关($P<0.05$),与青贮饲料 pH 显著负相关($P<0.05$),青贮饲料乳酸含量与 pH 显著负相关($P<0.05$)。此外,可溶性碳水化合物与全株鲜产量、粗蛋白含量显著正相关($P<0.05$),淀粉含量与果穗鲜、干产量均显著正相关($P<0.05$)。

表 6 重要农艺性状与青贮饲料营养价值和发酵品质之间的相关性

Table 6 Correlation between important agronomic traits, nutritional value and fermentation quality of silage

项目 Item	PH	EH	NL	GLN	SD	FYWP	DYWP	FYE	DYE	pH	CP	ADF	NDF	WSC	Starch
EH	0.40														
NL	0.28	-0.37													
GLN	0.49	-0.11	0.64*												
SD	-0.07	-0.15	0.55	0.02											
FYWP	0.28	-0.31	0.59*	0.81*	0.24										
DYWP	-0.46	-0.38	0.24	-0.15	0.46	0.33									
FYE	-0.16	-0.30	0.34	0.17	0.51	0.53	0.78*								
DYE	0.29	-0.17	0.44	0.52	0.56	0.71*	0.50	0.87*							
pH	-0.75*	-0.16	-0.37	-0.65*	0.20	-0.45	0.47	0.18	-0.18						
CP	0.11	-0.45	0.41	0.81*	-0.17	0.80*	0.13	0.37	0.48	-0.35					
ADF	0.09	0.45	-0.33	0.07	-0.50	-0.41	-0.79*	-0.83*	-0.69*	-0.27	-0.16				
NDF	-0.25	-0.07	-0.16	-0.05	-0.18	-0.27	-0.31	-0.63	-0.61*	0.19	-0.06	0.53			
WSC	1.16	-0.28	0.52	0.77*	-0.20	0.77*	0.09	0.14	0.30	-0.56	0.84*	0.04	-0.21		
Starch	-0.36	-0.47	0.28	0.42	0.51	0.56	0.50	0.64*	0.60*	0.06	0.54	-0.34	0.04	0.48	
LA	0.81*	0.31	0.18	0.60*	-0.34	0.31	-0.60*	-0.25	0.14	-0.73*	0.37	0.35	-0.22	0.40	-0.19

*: $P<0.05$; PH: 株高 Plant height; EH: 穗位高 Ear height; NL: 叶片数 Number of leaves; GLN: 绿叶数 Green leaf number; SD: 茎粗 Stem diameter; FYWP: 全株鲜产量 Fresh yield of whole plant; DYWP: 全株干产量 Dry yield of whole plant; FYE: 果穗鲜产量 Fresh yield of ear; DYE: 果穗干产量 Dry yield of ear; Starch: 淀粉.

3 讨论

3.1 青贮玉米材料的农艺性状和产量评价

优质青贮玉米品种必须具有优良的农艺性状、高的生物产量和青贮发酵质量。全株生物产量是青贮玉米品种选育和生产中最重要的指标,不同生物产量可以反映不同品种的生产性能及适应性。粮饲通用型青贮玉米因具有高的生物产量、籽粒产量及良好的持绿性,使其在收获季节可随市场需求变化情况做出制作青贮或收获籽粒的选择^[34]。本研究中,4个参试青贮玉米品种(系)表现最好的为粮饲通用型新品系 MTP-082,其鲜、干生物产量分别达 62.00 和 20.32 t·hm⁻²,果穗鲜、干产量分别达 20.72 和 10.58 t·hm⁻²,籽粒产量达 8.48 t·hm⁻²,比专用型青贮玉米雅玉青贮 8 号具有显著优势。研究表明,青贮玉米的生物产量与株高、穗位高、茎粗、绿叶数等重要农艺性状显著正相关^[34],但株高和穗位高太高不利于收获期抗倒伏。与其他材料相比,粮饲通用型品系 MTP-082 株高和穗位高适中,有利于抗倒伏,同时 MTP-082 茎粗和行粒数显著高于其他材料,由此侧面验证了选育粮饲通用的玉米品种如 MTP-082 作为青贮利用性价比优。

3.2 全株和果穗青贮玉米的营养成分和发酵品质评价

根据国家青贮玉米品质分级标准规定,一级全株青贮玉米的 NDF≤45%,ADF≤23%,淀粉≥25%,CP≥7%;二级青贮玉米的 NDF≤50%,ADF≤26%,淀粉≥20%,CP≥7%^[35]。本试验中,4个供试材料粗蛋白含量为 8.13%~8.97%,NDF 含量为 41.50%~44.20%,ADF 含量为 23.33%~27.82%,淀粉含量为 26.74%~33.98%。供试品种(系)除 ADF 外,其他指标均达到了国家二级标准。其中,粮饲通用型品系 MTP-082 基本达到了国家一级标准。高的可溶性糖含量是青贮时乳酸菌大量繁殖形成乳酸所必需的^[30,36]。本试验中,粮饲通用型品系 MTP-082 可溶性碳水化合物最高且显著高于青贮专用型品种雅玉青贮 8 号,这为形成良好的发酵品质奠定了基础。pH 是评价青贮饲料发酵品质的重要指标,本试验中 4 个品种(系) pH 均在 4.2 以下,其中 MTP-080 的 pH 值为 3.53,显著低于其他 3 个品种(系),这可能是由于 MTP-080 持绿性太强(收获期绿叶比为 76.31%)导致全株水分太高,进而导致青贮后过酸,说明青贮玉米选择中不宜选择持绿性太强的品种。

本试验 4 个品种(系)果穗青贮的总能、总可消化养分、消化能、代谢能、维持净能、增重净能以及泌乳净能均显著高于全株和秸秆青贮,发酵后其 pH 为 3.56~4.07,氨态氮含量也较低,乳酸含量为 1.69%~2.96%,费氏评分均在 120 分以上,发酵品质较好,表明玉米果穗青贮的效能好、质量高。前人研究表明,果穗青贮的能量和干物质含量与干玉米果穗相似,但淀粉利用率更高^[9]。与蒸汽压片玉米及干玉米粉相比,果穗青贮具有更高的淀粉消化率,在奶牛饲喂时添加果穗青贮制作的全混合日粮(total mixed ration, TMR)能明显促进奶牛高产^[37]。本试验中 4 个品种(系)果穗青贮的淀粉含量在 50% 以上,非纤维性碳水化合物和粗脂肪含量显著高于秸秆和全株青贮,相对饲用价值高达 300 以上,饲喂果穗青贮料不仅可以替代部分日粮淀粉,而且还能提高反刍动物瘤胃对淀粉和纤维素的消化率。

3.3 农艺性状与青贮品质的相关性

全株玉米青贮品质与其农艺性状、产量息息相关。其中持绿性作为青贮玉米选育中重要的目标性状,研究其与青贮品质的关系对指导选育高产优质的青贮玉米品种具有重要意义。玉米持绿性的定量指标前人做了大量研究,常用的指标有保绿度^[38]、成熟期绿叶数、绿叶面积^[39-40]等,本研究以收获期绿叶数来衡量不同品种的持绿性。本试验中绿叶数与全株鲜产量显著正相关,与果穗干产量呈正相关,但没有达到显著性。刘晓等^[34]研究表明,青贮玉米较多的绿叶有利于光合作用和光合产物向籽粒运输。田宏等^[41]、李波等^[42]以及孙志强等^[43]的研究均表明,绿叶数与青贮玉米生物产量呈正相关。因此,选育高产青贮玉米品种需要更多考虑持绿性。持绿性也影响青贮玉米营养价值和发酵品质,前人研究表明,绿叶数越多的品种青贮品质和适口性也较好^[34]。持绿将延缓植株衰老和失水速率,这有利于延长收获时间以满足青贮时所需的最佳干物质含量。

本研究表明,粗蛋白含量与绿叶数显著正相关,这与张亚军等^[44]的研究结果一致,因此在生产中要考虑收获期绿色器官占优势的高产品种青贮。刘晓等^[34]与孙峰成等^[45]研究表明,粗蛋白和淀粉含量之间密切相关,本研究中,粗蛋白与可溶性碳水化合物含量极显著相关,与淀粉含量有一定的正相关性,但不显著,这与前人的结果相

似。持绿性与可溶性碳水化合物含量呈极显著正相关,这可能是由于绿色叶片中含有更多的可溶性碳水化合物成分所致。此外,绿叶数与青贮发酵后pH显著负相关,与乳酸含量极显著正相关,这与孙志强等^[43]的研究结果相似。这可能是由于可溶性碳水化合物作为青贮发酵过程中被乳酸菌直接利用的发酵底物,通常可溶性碳水化合物含量越高,青贮发酵产生的乳酸越多,pH越低。目前在青贮玉米选育中要求植株持绿性适中,有一定的可溶性糖,秸秆成熟及含水率适宜,更会产生优质青贮。本研究中,新品系MTP-082全株和果穗产量均高,且在持绿性好的同时其含水率适宜,是一个优良的粮饲通用型青贮玉米材料。

3.4 果穗青贮的应用价值

果穗青贮是一项颠覆性技术,研究表明,以高水分玉米籽实青贮饲料代替干玉米可增加淀粉消化率和能量的摄入及用于产奶的能量比例,从而提高饲料的利用效率^[9]。Mitani等^[12]研究表明,以果穗青贮替代商品配方日粮可降低牛奶尿素水平,使乳成分中脂肪酸比例更加协调,但不会降低产奶量。果穗青贮用作育肥牛日粮,其生长性能、肉品质均不低于配方日粮^[11]。在本研究中,果穗青贮泌乳净能显著高于全株和秸秆青贮,而果穗青贮的维持净能和增重净能与全株青贮无显著差异。此外,也有研究表明果穗青贮可用于育肥猪饲料,Capraro等^[15]研究表明,果穗青贮料饲喂育肥猪对胃的发育是有益的,育肥猪中添加果穗青贮替代传统配方饲料有助于增重和提高磷元素的摄入^[13]。此外,Mason等^[14]的研究表明饲料中添加果穗青贮降低了育肥猪胃炎的发病率。本研究中果穗青贮相对饲用价值是全株青贮的2.05倍,是秸秆青贮的3.37倍,果穗青贮饲用品质极佳,可以作为精饲料用于肉牛、奶牛及育肥猪养殖。此外,果穗用作青贮相对于收获籽粒可以减少晾晒和烘干的时间及人工成本。果穗青贮加工过程前后衔接比较紧密,在青贮发酵过程中,酸性pH可以抑制酪酸菌、大肠杆菌等有害微生物的生长,避免了营养物质分解流失,有研究指出果穗青贮的黄曲霉毒素、呕吐毒素检出率远低于国家标准^[46]。

经实验室养分测定,每t绝干的青贮玉米(淀粉含量 $\approx 30\%$)的营养价值与相对饲用价值为150的苜蓿干草相当^[3]。赵全刚^[37]的研究表明,以干物质价格、淀粉价格以及淀粉外物质价格分别计算全株青贮和果穗青贮的总购买价格,果穗青贮比全株青贮性价比更高。乔艳辉等^[46]研究表明,如果以籽粒玉米的市场价格确定果穗的价格,种植户每 hm^2 收入将增加约2250~4500元。本研究对不同应用型玉米在全株青贮、果穗青贮、秸秆青贮的生物产量、籽粒产量、青贮营养价值等方面进行了对比研究,从青贮干物质含量看,果穗青贮是全株青贮的1.34倍;从品质和能效上看,果穗青贮的淀粉含量、脂肪含量、总能、总可消化养分、消化能、代谢能、维持净能、增重净能以及泌乳净能均显著高于全株青贮;从相对饲用价值上看,果穗青贮是全株青贮的2.05倍,果穗青贮饲用品质极佳。

在生产应用方面,种植粮饲通用型青贮玉米可以根据实际情况采用全株青贮、果穗青贮或籽粒收获等多种方式。果穗青贮时间最好是在全穗50%~55%干物质收获(即籽粒黑色层刚出现),这时,淀粉累积达到最大(如过熟,不利于压实且苞叶和穗轴消化率快速降低),且利于发酵与压实(理想压实密度 $480\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)。果穗青贮可使用收割机割台脱穗后直接粉碎,或者先摘果穗后集中粉碎储藏于青贮窖或裹包。果穗青贮兼具全株青贮和籽粒收获的优点,例如不需要籽粒脱水的晒场、减少用工和时间成本、储存减少霉变,在淀粉利用率、提升饲喂价值等方面具有一定优势,应用潜力巨大^[9,46]。无论在北方还是南方,因地制宜发展玉米果穗青贮,不仅可增加农民收入也可为畜牧产业提供高价值、高效能的饲料;如北方玉米主产区,可以制作果穗青贮运输西藏、青海及四川等高原牧区,促进饲料品质提升,实现优质饲草料周年供应;在西南山区或丘陵区,在大量坡耕地种植玉米难于开展机械化青贮以及阴雨寡照导致收获籽粒缺乏晾晒条件的情况下,因地制宜发展粮饲通用玉米用于果穗青贮将有利于畜牧业节本、增效与增收。

4 结论

粮饲通用型青贮玉米具有全株青贮产量高、持绿性好、青贮营养价值和发酵品质优等特性,不仅可做全株青贮和籽粒应用,也是制作果穗青贮的优质原料。收获期绿叶比为60%~70%可以作为优质粮饲通用型青贮玉米全株青贮的参考指标。果穗青贮相对全株青贮具有更高的淀粉和非纤维性碳水化合物含量,相对饲用价值极高,同时果穗青贮能量价值更高,因地制宜发展果穗青贮将有利于种养殖业节本增效。

参考文献 References:

- [1] Rabelo C, Rezende A, Rabelo F, *et al.* Chemical composition, digestibility and aerobic stability of corn silages harvested at different maturity stages. *Revista Caatinga*, 2015, 28(2): 107–116.
- [2] Ding G S. Investigation report on silage maize planting in the United States. *China Dairy*, 2019(1): 17–22.
丁光省. 美国青贮玉米种植情况的调研报告. *中国乳业*, 2019(1): 17–22.
- [3] Shi S Q. How to pricing corn silage in China. *China Dairy Cattle*, 2017(8): 7–13.
史枢卿. 青贮玉米的定价机制. *中国奶牛*, 2017(8): 7–13.
- [4] Du X H, Jin S Y, Zhuang H T, *et al.* The effects of different ratio of whole corn silage in roughage on breeding efficiency of beef cows. *Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2017(1): 9–14.
杜学海, 金双勇, 庄洪廷, 等. 日粮粗饲料中不同比例全株玉米青贮对肉牛能繁母牛养殖效益的影响. *现代畜牧兽医*, 2017(1): 9–14.
- [5] Yao S M, Zhuang H T, Cao Z G, *et al.* Effects of whole crop corn silage on the production performance of the beef cattle. *Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2017(1): 15–20.
姚思名, 庄洪廷, 曹治国, 等. 饲喂全株玉米青贮对肉牛育肥性能的影响研究. *现代畜牧兽医*, 2017(1): 15–20.
- [6] Zhang J H, Lu Q F, Mao H M. Influence of feeding benefit whole-plant corn silage and corn straw silage on cow's. *Sichuan Animal & Veterinary Sciences*, 2017, 44(7): 25–26.
张继宏, 鲁琼芬, 毛华明. 饲喂全株玉米青贮与玉米秸秆青贮日粮对奶牛养殖效益的影响对比. *四川畜牧兽医*, 2017, 44(7): 25–26.
- [7] He L W. Quality evaluation of corn silage and its effect on the growth performance and beef quality of finishing cattle. Beijing: China Agricultural University, 2017.
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, 2017.
- [8] Wang T W, Zhong J. Creating modern technological system for grass product processing to guarantee macroscopic food security. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(6): 675–684.
王天威, 钟瑾. 创制现代草产品加工科技体系保障大粮食安全. *中国科学院院刊*, 2021, 36(6): 675–684.
- [9] Zhang H M, Liu T J, Li X, *et al.* Research of the corn ear package silage. *China Dairy Cattle*, 2020(3): 11–13.
张红梅, 刘铁军, 李霞, 等. 玉米果穗裹包青贮饲料研究. *中国奶牛*, 2020(3): 11–13.
- [10] Grant R J, Ferraretto L F. Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(5): 4111–4121.
- [11] Asada M, Sugiyama A, Yamashita C, *et al.* Effect of ear-corn silage feeding on growth and meat productive performances in Japanese black steers. *Nihon Chikusan Gakkaiho*, 2017, 88(2): 121–130.
- [12] Mitani T, Asakuma S, Shinoda Y, *et al.* Effects of ear corn silage supplementation on milk production and milk fatty acid profiles in grazing dairy farms. *Animal Science Journal*, 2020, 91(1): e13454.
- [13] Zanfi C, Spanghero M. Digestibility of diets containing whole ear corn silage for heavy pigs. *Livestock Science*, 2012, 145(1/3): 287–291.
- [14] Mason F, Pascotto E, Zanfi C, *et al.* Effect of dietary inclusion of whole ear corn silage on stomach development and gastric mucosa integrity of heavy pigs at slaughter. *The Veterinary Journal*, 2013, 198(3): 717–719.
- [15] Capraro D, Zanfi C, Bassi M, *et al.* Effect of physical form of whole ear corn silage (coarse vs wet milled) included at high dietary levels (30% vs 40% dry matter) on performance of heavy finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 2014, 198: 271–278.
- [16] Fang J Y, Jing H C, Zhang W H, *et al.* The concept of “Grass-based Livestock Husbandry” and its practice in Hulun Buir, Inner Mongolia. *Chinese Science Bulletin*, 2018, 63(17): 1619–1631.
方精云, 景海春, 张文浩, 等. 论草牧业的理论体系及其实践. *科学通报*, 2018, 63(17): 1619–1631.
- [17] Gong Y X, Li H M, Zhang H X, *et al.* Talking about corn ear silage technology. *China Cattle Science*, 2019, 45(2): 60–61.
宫玉霞, 李红梅, 张红霞, 等. 浅谈玉米果穗青贮技术. *中国牛业科学*, 2019, 45(2): 60–61.
- [18] Iqbal M Z, Cheng M J, Su Y G, *et al.* Allopolyploidization facilitates gene flow and speciation among corn, *Zea perennis* and *Tripsacum dactyloides*. *Planta*, 2019, 249(6): 1949–1962.
- [19] Yang S. Feed analysis and forage quality detection technology. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993.
杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- [20] Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in

- relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74(10): 3583–3597.
- [21] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, *et al.* Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 1956, 28(3): 350–356.
- [22] Guo D S. Influence of associated effects on utilizable crude protein of feeds for ruminants and rumen fermentation *in vitro*. Beijing: China Agricultural University, 2004.
郭冬生. 反刍动物日粮组合效应对瘤胃发酵和可利用粗蛋白的影响研究. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [23] National Reserch Council. Nutrient requirements of beef cattle (8th Version). Washington D C: National Academy Press, 2016.
- [24] Sniffen C J, O'Connor J D, Van soest P J, *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 1992, 70(11): 3562–3577.
- [25] Rohweder D A, Barnes R F, Jorgensen N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science*, 1978, 47(3): 747–759.
- [26] Ren J Z. Research methods of grassland science. Beijing: China Agriculture Press, 1998.
任继周. 草业科学研究方法. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [27] Li X K, Lu J W, Liu X W, *et al.* Effect of fertilization on the yield and forage quality of annual ryegrass. *Pratacultural Science*, 2011, 28(9): 1666–1670.
李小坤, 鲁剑巍, 刘晓伟, 等. 配方施肥对一年生黑麦草产草量及品质的影响. *草业科学*, 2011, 28(9): 1666–1670.
- [28] Wang F. Establishment and evaluation of effective energy prediction model in feeds of beef cattle. Beijing: China Agricultural University, 2016.
王菲. 肉牛饲料有效能值预测模型的建立与评价. 北京: 中国农业大学, 2016.
- [29] Undersander D J, Mertens D R, Thiex N J. Forage analyses procedures. Omaha NE: National Forage Testing Association, 1993.
- [30] Qin F C, Zhao G Q, Jiao T, *et al.* Effects of different moisture contents and additives on the quality of baled oat silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(6): 119–125.
覃方铨, 赵桂琴, 焦婷, 等. 含水量及添加剂对燕麦捆裹青贮品质的影响. *草业学报*, 2014, 23(6): 119–125.
- [31] Wang J, Chen L, Yuan X, *et al.* Effects of molasses on the fermentation characteristics of mixed silage prepared with rice straw, local vegetable by-products and alfalfa in Southeast China. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(3): 664–670.
- [32] 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): 64–75.
- [33] Xu Q F, Yu Z, Han J G, *et al.* Determining organic acid in alfalfa silage by HPLC. *Grassland and Turf*, 2007(2): 63–65.
许庆方, 玉柱, 韩建国, 等. 高效液相色谱法测定紫花苜蓿青贮中的有机酸. *草原与草坪*, 2007(2): 63–65.
- [34] Liu X, Wang B, Zhu X Y, *et al.* A comparison of 21 varieties of silage maize in Henan Province. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(8): 49–60.
刘晓, 王博, 朱晓艳, 等. 21个粮饲兼用型青贮玉米在河南的品种比较试验. *草业学报*, 2019, 28(8): 49–60.
- [35] Yu M, Li C F, Yu Z, *et al.* Quality grading for silage maize, GB/T 25882-2010. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China, 2011.
余鸣, 李存福, 玉柱, 等. 青贮玉米品质分级, GB/T 25882-2010. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2011.
- [36] Li Y Z, Yan X, Wu Z Z, *et al.* Forage maize type and growth stage effects on biomass yield and silage quality. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(7): 82–91.
李影正, 严旭, 吴子周, 等. 饲草玉米不同生育期的产量、品质和青贮利用研究. *草业学报*, 2019, 28(7): 82–91.
- [37] Zhao Q G. Selection and utilization of forage in pasture. *China Dairy*, 2019(4): 53–59.
赵全刚. 牧场粗饲料的选择和利用. *中国乳业*, 2019(4): 53–59.
- [38] Bekavac G, Stojakovic M, Jockovic D, *et al.* Path analysis of stay-green trait in maize. *Cereal Research Communications*, 1998, 26(2): 161–167.
- [39] Howard T, Howarth C J. Five ways to stay green. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51(1): 329–337.
- [40] Mi G H, Liu J A, Chen F J, *et al.* Nitrogen uptake and remobilization in maize hybrids differing in leaf senescence. *Journal of Plant Nutrition*, 2003, 26(1): 237–247.

- [41] Tian H, Xiong H Q, Xiong J B, *et al.* Comprehensive evaluation of the production performance of 14 silage maize varieties by principal component analysis and subordinate function method. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2015, 37(2): 249–259.
田宏, 熊海谦, 熊军波, 等. 采用主成分分析和隶属函数法综合评价 14 份青贮玉米品种的生产性能. *江西农业大学学报*, 2015, 37(2): 249–259.
- [42] Li B, Chen X C, Gao Y, *et al.* Correlation study on the main agronomic characters of plant and organism yield of silage maize. *Journal of Maize Sciences*, 2005, 13(2): 76–78.
李波, 陈喜昌, 高云, 等. 青贮玉米生物产量与植株主要农艺性状相关的研究. *玉米科学*, 2005, 13(2): 76–78.
- [43] Sun Z Q, Xu F, Zhang Y Q, *et al.* Comparison and correlation of agronomic characteristics and fermentation quality of different types of hybrid corn. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(1): 250–256.
孙志强, 徐芳, 张元庆, 等. 不同品种玉米农艺性状及青贮发酵品质的比较及相关性研究. *草地学报*, 2019, 27(1): 250–256.
- [44] Zhang Y J, Wang C Z, Yan X B, *et al.* Introduction experiment of silage maize in Zhengzhou. *Pratacultural Science*, 2009, 26(10): 114–121.
张亚军, 王成章, 严学兵, 等. 郑州地区青贮玉米引种试验. *草业科学*, 2009, 26(10): 114–121.
- [45] Sun F C, Feng Y, Yu Z, *et al.* Grey relativity analysis on main agronomic characters of 12 maize populations with their yields and traits. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2012, 27(1): 102–105.
孙峰成, 冯勇, 于卓, 等. 12 个玉米群体的主要农艺性状与产量、品质的灰色关联度分析. *华北农学报*, 2012, 27(1): 102–105.
- [46] Qiao Y H, Gao X F, Wang H T, *et al.* Technology and application prospect of corn wrapped wet storage. *Xiandai Nongcun Keji*, 2019(6): 105–107.
乔艳辉, 高秀芬, 王洪涛, 等. 玉米裹包湿贮技术及其应用前景. *现代农村科技*, 2019(6): 105–107.