



张进红, 吴波, 柏杉杉, 王国良, 姜慧新. 16个玉米品种在黄淮海地区的全株产量与青贮效果综合评价[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(03): 11-24.  
ZHANG Jinhong, WU Bo, BAI Shanshan, WANG Guoliang, JIANG Huixin. Comprehensive evaluation of whole-plant yield and silage quality of 16 maize varieties in the Huang-Huai-Hai area of China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(03): 11-24.  
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2023.03.02

## 16个玉米品种在黄淮海地区的全株产量与青贮效果综合评价

张进红<sup>1</sup> 吴波<sup>1</sup> 柏杉杉<sup>2</sup> 王国良<sup>1</sup> 姜慧新<sup>2\*</sup>

(1. 山东省农业科学院 休闲农业研究所/农业农村部华东都市农业重点实验室, 济南 250100;  
2. 山东省畜牧总站, 济南 250102)

**摘要** 为筛选黄淮海地区全株青贮玉米适栽品种,以16个玉米品种为试材,测定分析各品种农艺性状、生物产量、全株青贮养分含量和发酵品质等指标,并采用灰色关联度法进行综合评价。结果表明,除倒伏率外,参试品种间株高、叶片总数、绿叶数、黄叶数、穗位高、茎粗、植株各部分占比等农艺性状差异均显著( $P < 0.05$ )。玉米全株产量与叶、茎比重均呈显著正相关( $P < 0.05$ );淀粉含量与籽粒比重呈显著正相关( $P < 0.05$ );中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)与株高和叶片数均极显著正相关( $P < 0.01$ ),且与籽粒比重均呈极显著负相关( $P < 0.01$ )。‘大京九26’、‘京九青贮16’、‘京科青贮932’和‘雅玉8号’等青贮专用玉米品种植株比较高,叶、茎比重高,较粮饲兼用玉米品种具有明显的产量优势,而粮饲兼用玉米品种‘登海605’等籽粒比重大、淀粉含量高,纤维含量低,较青贮专用玉米品种营养价值高。各参试品种均能调制成为优质全株青贮饲料,差异主要表现在淀粉、乙酸含量及氨态氮与总氮比值。全株干产量、籽粒产量、养分含量和发酵品质的综合评价结果表明,‘登海605’、‘德单5号’、‘郑单958’、‘先玉045’、‘YF3240’和‘农大372’的关联度值较高,适宜作为全株青贮玉米品种在黄淮海地区推广种植。

**关键词** 青贮玉米; 产量; 农艺性状; 营养价值; 青贮品质

中图分类号 S816 文章编号 1007-4333(2023)03-0011-14 文献标志码 A

## Comprehensive evaluation of whole-plant yield and silage quality of 16 maize varieties in the Huang-Huai-Hai area

ZHANG Jinhong<sup>1</sup>, WU Bo<sup>1</sup>, BAI Shanshan<sup>2</sup>, WANG Guoliang<sup>1</sup>, JIANG Huixin<sup>2\*</sup>

(1. Institute of Leisure Agriculture/East China Key Laboratory of Urban Agriculture of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China;  
2. Shandong Provincial Animal Husbandry General Station, Jinan 250102, China)

**Abstract** To select silage maize varieties suitable for cultivation in the Huang-Huai-Hai area, the agronomic traits, biological yield, nutritive value and fermentation quality of whole-plant maize silage of 16 maize varieties were measured and comprehensive evaluation was conducted by using grey relational analysis. The results showed that: There were significant differences in the plant height, leaf numbers, number of green leaves, number of yellow leaves, ear height, stem diameter and proportion of plant parts ( $P < 0.05$ ). The whole-plant yield was significantly and positively correlated with the ratio of leaf and ratio of stem ( $P < 0.05$ ). There was a significantly positive correlation between starch content and ratio of grain ( $P < 0.05$ ), but significantly negative correlations between neutral detergent fiber, acid detergent fiber and ratio of grain ( $P < 0.01$ ). Compared with the grain and forage maize varieties, the

收稿日期: 2022-05-16

基金项目: 国家牧草产业技术体系(CARS-34); 山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019XM001); 山东省驴产业创新团队(SDAIT-27); 山东省农业科学院创新工程(CXGC2021A06 和 GXGC2022A22)

第一作者: 张进红(ORCID:0000-0002-3622-8512), 助理研究员, 主要从事牧草育种与栽培技术研究, E-mail: 87283625@163.com

通讯作者: 姜慧新(ORCID:0000-0001-6996-2302), 正高级畜牧师, 主要从事饲草生产与养畜利用技术与推广, E-mail: jhx232@sina.com

silage maize varieties including ‘Dajingjiu 26’, ‘Jingjiu silage 16’, ‘Jingke silage 932’ and ‘Yayu No. 8’ had the yield advantages because of their taller plant height and higher proportions of leaf and stem. However, the grain and forage maize varieties, such as ‘Denghai 605’, contained higher nutritive value including higher starch content and lower fiber content due to higher proportion of grain. All varieties performed excellent silage quality and the differences were mainly shown in the contents of starch, acetic acid and ammonia nitrogen/total nitrogen. Considering the dry matter yield, grain yield, nutrient content and fermentation quality, ‘Denghai 605’, ‘Dedan No. 5’, ‘Zhengdan 958’, ‘Xianyu 045’, ‘YF 3240’ and ‘Nongda 372’ displayed high correlation degree and were suitable to be popularized as whole plant silage corn varieties in the Huang-Huai-Hai region.

**Keywords** silage maize; yield; agronomic traits; nutritive value; silage quality

山东省位于黄淮海夏玉米区的核心位置<sup>[1]</sup>,自2016年以来连续5年开展国家“粮改饲”试点工作,全省每年示范推广玉米全株青贮近17万hm<sup>2</sup>,生产优质青贮饲料700多万t,玉米全株青贮作为重要的饲草料来源,全力助推我省草牧业快速发展。研究显示,玉米全株青贮的产量高低与营养品质优劣除了与栽培技术和收获时期密切相关外,主要取决于品种本身的遗传特性<sup>[2-3]</sup>,不同类型玉米品种由于育种目标不同,单位面积生物产量及青贮效果差异较大<sup>[4-5]</sup>。同时,由于各地光热条件不同,同一品种在不同区域的生长表现迥异<sup>[6]</sup>。调查显示<sup>[7]</sup>,山东省用于调制全株青贮的玉米品种繁多,产量和品质参差不齐。品种的多样性给种植企业和广大农户提供了广阔的选择空间,同时也带来了严重的选择困惑,高产优质全株青贮适栽玉米品种筛选工作亟待深入开展。本研究以来自全国16个玉米品种为研究对象,在国家草品种区域试验站(济南)开展小区试验,观测其全株产量、生长指标及青贮前后养分含量与发酵指标,并运用灰色关联度分析方法对参试品种进行综合评价,旨在筛选出黄淮海地区适栽的青贮玉米品种,以期为该地区全株青贮玉米丰产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验设在国家草品种区域济南试验站(36°59' N, 116°59' E),海拔19 m,属暖温带半湿润、半干旱季风区,四季分明,雨热同季。年均日照时数2 617.6 h;无霜期平均196 d;降水量为583.3 mm,平均气温12.8 °C,≥0 °C积温4 902.9 °C。试验地土壤类型为典型潮土,质地为壤土,pH 7.2,有机质含量15.1 g/kg,碱解氮83.31 mg/kg,速效磷3.5 mg/kg,速效钾254.0 mg/kg。试验地前茬作物为燕麦,2020年气温和降水量,见表1。

**表1 试验地2020年气温与降水量**

Table 1 Average air temperature and total rainfall per month in experiment field in 2020

月份 Month	年均气温/°C Average temperature	年均降水量/mm Rainfall
1	1.1	29.0
2	5.6	36.9
3	11.2	7.7
4	14.8	36.0
5	21.0	43.2
6	26.3	80.7
7	25.1	75.7
8	26.4	248.5
9	22.4	35.5
10	14.9	46.4
11	9.4	29.8
12	0.7	10.7

### 1.2 试验设计及管理

参试品种16个,品种来源情况见表2。采用随机区组试验设计,小区面积5 m×3 m,重复3次。于2020年6月20日播种,穴播,行株距为60 cm×22 cm。出苗后常规田间管理,于9月底—10月初,达到乳熟中期至蜡熟期刈割测产,并取样观测。测产后取全株,用铡草机铡短至2 cm左右,装入5 L青贮罐中,压实,密度至750 kg/m<sup>3</sup>,密封,实验室内静置60 d后观测。

### 1.3 测定项目及方法

#### 1.3.1 农艺性状

刈割前每小区随机选取10个单株,直尺测量株高、穗位高,游标卡尺测量茎粗,计绿叶数和黄叶数,统计倒伏率。

表2 参试品种来源

Table 2 Sources of maize variety

品种 Variety	类型 Type	审定情况 Variety approval	育种单位(者) Breeding institution (breeder)
大京九 26 Dajingjiu 26	青贮专用	国审玉 20180176	河南省大京九种业有限公司
京九青贮 16 Jingjiu silage 16	青贮专用	国审玉 20190400	北京大京九农业开发有限公司
京科青贮 932 Jingke silage 932	青贮专用	国审玉 20180174	北京顺鑫农科种业科技有限公司等
雅玉 8 号 Yayu No. 8	青贮专用	国审玉 2005034	四川雅玉科技开发有限公司
登海 605 Denghai 605	粮饲兼用	国审玉 2010009	山东登海种业
郑单 958 Zhengdan 958	粮饲兼用	国审玉 20000009	河南省农科院粮作所
先玉 335 Xianyu 335	粮饲兼用	国审玉 2004017	先锋公司
来玉 721 Laiyu 721	粮饲兼用	鲁审玉 20180011	山东登海华玉种业有限公司
德单 5 号 Dedan No. 5	粮饲兼用	豫审玉 2010021	北京德农种业有限公司
奥玉 405 Aoyu 405	粮饲兼用	国审玉 20176053	北京奥瑞金种业股份有限公司
农大 372 Nongda 372	粮饲兼用	国审玉 2015014	北京华奥农科玉育种开发有限公司
中金 368 Zhongjin 368	粮饲兼用	2001 年通过北京市审定	北京金粒特用玉米研究开发中心
先玉 1266 Xianyu 1266	粮饲兼用	冀审玉 2016020 号	铁岭先锋种子研究有限公司
先玉 045 Xianyu 045	粮饲兼用	鲁农审 2013005	铁岭先锋种子研究有限公司
鑫玉 16 Liyu 16	粮饲兼用	鲁农审 2013014 号	青岛西农种业有限公司
YF 3240	粮饲兼用	国审玉 20180073	许启凤

### 1.3.2 产量和组成

每小区去除 2 个边行,其余全部留茬 20 cm 刈割,称鲜重,取 2 株,剪短,103 °C 杀青 30 min,65 °C 烘干至恒重,计算干物质含量(Dry matter,DM),折算成干重。取 5 株,进行茎、叶、果穗分离,65 °C 烘干至恒重,称重,果穗再分离棒芯和籽粒,计算各部分占整株的比重。

### 1.3.3 青贮前、后养分含量

对全株干样进行粉碎,过 0.45 mm 筛,用于测定养分含量,结果以干物质计。采用凯氏定氮法测定粗蛋白(Crude protein,CP)、滤袋法测定中性洗涤纤维(neutral detergent fiber,NDF)、酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber,ADF)含量<sup>[8-9]</sup>,用 Solarbio 淀粉含量检测试剂盒,分光光度计测定淀粉含量(Starch,ST)。

### 1.3.4 青贮饲料发酵指标

对青贮饲料进行浸泡和过滤,收集提取液用于测定 pH 和有机酸含量,结果以干物质计。采用 pH

计测定青贮饲料提取液的 pH;采用高效液相色谱法<sup>[10]</sup>测定青贮饲料中乳酸(Lactic acid,LA)、乙酸(Acetic acid,AA)和丁酸(Butyric acid,BA)含量;采用比色法<sup>[11]</sup>测定青贮饲料中氨态氮含量,计算氨态氮与总氮比值(Ammonia nitrogen/total nitrogen,AN/TN)。

### 1.4 统计分析

采用 SPSS(IBM SPSS Statistics 19)软件进行方差分析,多重比较采用 Duncan 法。

灰色关联度分析参照姜慧新等<sup>[12]</sup>的方法。以不同玉米品种为评价对象,每个品种的指标测定值构成数据列,16 个品种的数据列构成数据矩阵。以单项指标的最优值组成灰色关联分析的参考数列,记为  $\{x_0(k)\}$  ( $k=1,2,3,\dots,n$ ),  $n$  为选取的测定指标数。评价对象的比较数列记为  $\{x_i(k)\}$  ( $i=1,2,3,\dots,m$ ),  $m$  为玉米品种数。用极值化方法对原始数据进行无量纲化处理。关联系数计算公式为:

$$\epsilon_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

式中： $\epsilon_i(k)$ ，关联系数； $|x_o(k) - x_i(k)|$ ， $x_o(k)$  数列与  $x_i(k)$  数列在  $k$  点的绝对值差； $\min_i, \min_k |x_o(k) - x_i(k)|$ ，二级最小差； $\max_i, \max_k |x_o(k) - x_i(k)|$ ，二级最大差； $\rho$ ，分辨系数，本研究取 0.5。

关联度计算公式为：

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \epsilon_i(k) \quad (2)$$

$$\gamma'_i = \sum_{k=1}^n \epsilon_i(k) \omega(k) \quad (3)$$

$$\omega(k) = \frac{\gamma_i}{\sum \gamma_i} \quad (4)$$

式中： $\gamma_i$ ，等权关联度； $\gamma'_i$ ，加权关联度； $\omega(k)$ ，权重系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 植株农艺性状

由表 3 可知，除倒伏率外，参试品种间株高、叶片总数、绿叶数、黄叶数、穗位高、茎粗、植株各部分比重等农艺性状差异均达到显著水平 ( $P < 0.05$ )；各参试品种平均株高、叶片总数、绿叶数、黄叶数、穗位高、茎粗、倒伏率分别为 267.66 cm、12.1 片/株、10.8 片/株、1.3 片/株、102.46 cm、17.97 cm 和 0.21%，茎、叶、果穗和籽粒分别占单株干重的 26.81%、12.21%、60.98% 和 45.92%。从离散程度看，黄叶数、茎比重、穗位高、茎粗、籽粒比重与绿叶数变异系数均超过 10%，表明各参试品种在乳熟至腊熟期叶、茎和籽粒生长差异均较大。

### 2.2 产量及全株养分含量

由表 4 可知，各参试品种全株鲜、干产量及籽粒产量差异显著 ( $P < 0.05$ )，平均全株鲜、干产量及籽粒产量分别为 50.51、19.09 和 8.71 t/hm<sup>2</sup>。全株鲜产量以‘雅玉 8 号’最高，其次是‘大京九 26’、‘京科青贮 932’、‘郑单 958’和‘农大 372’ ( $P > 0.05$ )，显著高于‘登海 605’、‘来玉 721’和‘先玉 1266’ ( $P < 0.05$ )。全株干产量以‘雅玉 8 号’和‘农大 372’最高，与‘奥玉 405’、‘先玉 335’、‘先玉 1266’等 9 个品种差异显著 ( $P < 0.05$ )。‘登海 605’和‘农大 372’籽粒产量都在 10 t/hm<sup>2</sup> 以上，显著高于‘雅玉 8 号’、‘大京九 26’、‘京九青贮 16’等 11 个品种 ( $P < 0.05$ )。从离散程度来看，籽粒产量变异系数相对较大，即各参试品种间籽粒产量的差异表现更显著。

青贮前，各参试品种平均干物质含量(DM)、淀

粉含量、CP、NDF 和 ADF 含量分别为 37.88、23.53、7.06、43.32 和 19.79 g/100 g(表 4)。「登海 605」、「来玉 721」和「德单 5 号」淀粉含量最高，与「京科青贮 932」、「奥玉 405」、「先玉 1266」等 10 个品种差异显著 ( $P < 0.05$ )。「德单 5 号」CP 含量在 8.0% 以上，显著高于「雅玉 8 号」、「大京九 26」、「京九青贮 16」等 9 个品种 ( $P < 0.05$ )；NDF 含量均以「登海 605」最低，其次为「郑单 958」、「来玉 721」和「先玉 045」，显著低于 4 个青贮专用品种和「中金 368」、「鑫玉 16」、「先玉 1266」、「德单 5 号」 ( $P < 0.05$ )。品种间 ADF 变化规律与 NDF 基本一致。参照《GB/T 25882—2010》<sup>[13]</sup>，淀粉、NDF 和 ADF 含量均达到三级及以上质量标准，9 个品种的 CP 含量达到三级及以上质量等级标准，其中「登海 605」的 4 项指标均达到一级标准，青贮前品质最佳。从各参数的离散程度来看，淀粉、NDF 和 ADF 含量变异系数  $> 10\%$ ，表明参试品种青贮前品质差异主要体现在淀粉、纤维含量 2 个指标。

### 2.3 植株农艺性状与产量、全株养分含量的相关分析

由表 5 可知，全株鲜产量与株高、穗位高、叶片总数、绿叶数均呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ )，与茎比重和叶比重也均呈显著正相关 ( $P < 0.05$ )，而与果穗比重和籽粒比重均呈显著负相关 ( $P < 0.05$ )。全株干产量与穗位高和茎比重均呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ )，与黄叶数和叶比重均呈显著正相关 ( $P < 0.05$ )，与茎粗和果穗比重则均呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )。籽粒产量与果穗比重和籽粒比重均呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ )，而与株高、穗位高、叶片总数、茎比重、叶比重均呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )，与绿叶数呈显著负相关 ( $P < 0.05$ )。表明玉米全株青贮产量主要与叶和茎生长相关，而籽粒产量主要与果穗和籽粒生长相关。CP 含量与株高极显著负相关 ( $P < 0.01$ )，与其他性状相关性均未达到显著水平 ( $P > 0.05$ )。淀粉含量与籽粒比重显著正相关 ( $P < 0.05$ )，与株高、叶片数、绿叶数和叶比重均呈极显著 ( $P < 0.01$ ) 或显著 ( $P < 0.05$ ) 负相关。中性洗涤纤维(NDF)与株高、穗位高、叶片数、绿叶数、茎比重、叶比重均呈极显著 ( $P < 0.01$ ) 或显著 ( $P < 0.05$ ) 正相关，与果穗和籽粒比重均呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )，酸性洗涤纤维(ADF)相关性与 NDF 基本一致。

### 2.4 全株青贮品质

由表 6 可知，各参试品种青贮后全株养分含量

表3 参试品种植株农艺性状指标

Table 3 Agronomic characters of 16 maize varieties

品种 Variety	株型 Plant type	株高/cm Plant height	叶片 总数 No. of leaves	绿叶数 No. of green leaves	黄叶数 No. of yellow leaves	穗位高/cm Ear height	茎粗/mm Stem diameter	倒伏率/% Lodging ratio	各部位占比/% (DM) Ratio of each part			
									茎 Stem	叶 Leaf	果穗 Ear	籽粒 Grain
京九26 Dajingju 26	半紧凑型	279.30 cd	13.3 ab	12.6 a	0.7 abc	115.47 b	17.07 cde	0.00 a	24.99 cde	12.36 bcd	62.66 bc	43.71 de
京九青贮16 Jingjiu silage 16	紧凑/半紧凑型	284.00 bc	11.5 def	9.7 ef	1.9 abc	113.87 bc	15.95 def	0.33 a	32.92 b	12.57 a-d	54.50 e	40.37 ef
京科青贮932 Jingke silage 932	半紧凑型	288.50 b	13.2 abc	12.2 ab	1.0 abc	106.13 bcd	18.12 b-e	0.00 a	27.34 cd	13.83 a	58.83 d	41.87 e
雅玉8号 Yayu No.8	半紧凑型	305.97 a	13.7 a	11.8 abc	1.9 ab	135.53 a	17.10 cde	0.00 a	34.75 ab	13.81 a	51.44 e	36.97 f
登海605 Denghai 605	紧凑型	250.50 g	10.4 f	9.7 ef	0.7 abc	83.00 g	17.53 b-e	0.00 a	19.78 f	11.25 de	68.97 a	54.63 a
郑单958 Zhengdan 958	紧凑型	241.57 h	12.5 a-d	10.7 b-e	1.9 abc	103.07 b-e	16.82 def	0.00 a	25.13 cde	11.94 bcd	62.94 bc	50.46 bc
先玉335 Xianyu 335	紧凑型	285.33 bc	12.4 a-e	11.1 a-e	1.3 abc	102.53 c-f	19.77 abc	0.00 a	27.00 cd	12.86 ab	60.14 cd	43.48 de
来玉721 Laiyu 721	紧凑型	244.13 gh	10.4 f	8.3 f	2.1 a	91.33 efg	16.50 def	0.67 a	20.02 f	10.60 e	69.38 a	54.92 a
德单5号 Dedan No.5	半紧凑型	248.27 gh	11.5 def	10.2 cde	1.3 abc	114.80 bc	14.07 f	0.33 a	36.22 a	12.64 abc	51.14 e	42.40 e
奥玉405 Aoyu 405	半紧凑型	271.27 e	12.0 b-e	11.5 a-d	0.5 bc	89.93 fg	22.39 a	0.00 a	25.79 cde	11.31 cde	62.91 bc	46.54 cd
农大372 Nongda 372	半紧凑型	269.13 e	11.1 ef	10.5 cde	0.5 bc	91.40 efg	18.42 bcd	0.33 a	26.37 cd	11.81 b-e	61.82 bcd	48.83 bc
中金368 Zhongjin 368	紧凑型	258.80 f	11.7 def	10.1 de	1.6 abc	98.33 def	20.11 ab	1.00 a	27.83 c	12.07 bcd	60.10 cd	42.41 e

表3(续)

品种 Variety	株型 Plant type	株高/cm Plant height	叶片 总数 No. of leaves	绿叶数 No. of green leaves	黄叶数 No. of yellow leaves	穗位高/cm Ear height	茎粗/mm Stem diameter	倒伏率/% Lodging ratio	各部位占比/% (DM) Ratio of each part			
									茎 Stem	叶 Leaf	果穗 Ear	籽粒 Grain
先玉 1266 Xianyu 1266	半紧凑型	274.60 de	12.6 a-d	10.9 b-e	1.7 abc	93.03 efg	21.33 a	0.67 a	27.70 c	12.25 bcd	60.05 cd	47.5 bcd
先玉 045 Xianyu 045	半紧凑型	273.10 de	11.9 cde	10.7 b-e	1.2 abc	100.33 def	16.85 def	0.00 a	22.78 ef	12.39 bcd	64.83 b	50.95 b
鑫玉 16 Liyu 16	半紧凑型	248.30 gh	12.1 b-e	10.3 cde	1.8 abc	107.20 bcd	15.38 ef	0.00 a	26.17 cd	12.35 bcd	61.49 bcd	42.16 e
YF 3240	半紧凑型	259.80 f	12.6 a-d	12.2 ab	0.4 c	93.40 efg	20.05 ab	0.00 a	24.19 de	11.37 cde	64.44 b	47.46 bcd
标准差 SD		18.49	0.97	1.11	0.57	13.05	2.25	0.32	4.60	0.87	5.22	5.12
变异系数 CV		6.91	8.03	10.34	44.80	12.74	12.50	153.19	17.16	7.11	8.57	11.15

注:同列数据间不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平上品种间差异显著。下同。

Note: The different lowercase letters in the same column mean significant differences at  $P < 0.05$ . The same below.

表4 参试品种产量与全株养分含量

Table 4 Yield and nutritive composition of whole-plant maize with 16 varieties

品种 Variety	产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Yield				干物质含量/ (g/100 g) DM	淀粉含量/ (g/100 g) ST	粗蛋白含量/ (g/100 g) CP	中性洗涤 纤维含量/ (g/100 g) NDF	酸性洗涤 纤维含量/ (g/100 g) ADF
	鲜全株 Fresh whole-plant	干全株 Dry whole-plant	干籽粒 Dry grain	产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Yield					
大京九 26 Dajingjiu 26	53.85 ab	18.51 b-e	8.09 e	34.39 fg	23.5 bcd	6.30 fg	49.24 a	26.89 a	
京九青贮 16 Jingjiu silage 16	49.04 bcd	20.08 abc	8.08 e	40.89 a	22.44 cd	6.42 fg	46.14 abc	20.76 bcd	
京科青贮 932 Jingke silage 932	52.76 abc	19.99 abc	8.37 de	37.88 b-e	19.84 d	7.01 b-g	48.25 a	21.8 bc	

表4(续)

品种 Variety	产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Yield		干籽粒 Dry grain	干物质含量/ (g/100 g) DM	淀粉含量/ (g/100 g) ST	粗蛋白含量/ (g/100 g) CP	中性洗涤 纤维含量/ (g/100 g) NDF	酸性洗涤 纤维含量/ (g/100 g) ADF
	鲜全株 Fresh whole-plant	干全株 Dry whole-plant						
雅玉8号	57.50 a	21.06 a	7.83 e	36.56 c-f	21.98 cd	6.20 g	49.30 a	22.72 b
Yayu No.8								
登海605	47.41 d	18.86 b-e	10.31 a	39.83 ab	27.43 a	7.37 a-e	33.91 g	16.23 g
Denghai 605								
郑单958	53.61 ab	19.43 a-d	9.81 ab	36.26 def	25.10 abc	6.48 efg	37.37 fg	16.92 efg
Zhengdan 958								
先玉335	47.96 cd	17.54 de	7.63 e	36.61 c-f	22.41 cd	7.21 a-f	40.09 def	18.26 d-g
Xianyu 335								
来玉721	46.11 d	18.44 b-e	9.52 abc	40.00 ab	27.35 a	6.62 d-g	39.46 efg	16.44 fg
Laiyu 721								
德单5号	50.53 bcd	20.54 ab	8.71 b-e	40.65 ab	27.05 a	8.10 a	46.46 ab	17.38 efg
Dedan No.5								
奥玉405	50.50 bcd	16.84 e	7.83 e	33.48 g	20.33 d	7.51 a-d	40.26c-f	18.91 def
Aoyu 405								
农大372	53.57 ab	21.03 a	10.27 a	39.24 abc	22.52 cd	6.98 b-g	40.66 b-f	19.27 cde
Nongda 372								
中金368	48.41 cd	18.88 b-e	8.01 e	39.00 a-d	26.72 ab	7.48 a-d	46.07 abc	22.66 b
Zhongjin 368								
先玉1266	46.37 d	18.42 cde	8.75 b-e	39.76 ab	20.97 d	6.83 c-g	45.58 a-d	19.04 def
Xianyu 1266								
先玉045	50.61 bcd	18.48 b-e	9.40 a-d	36.49 c-f	20.24 d	7.03 b-g	36.51 fg	17.42 efg
Xianyu 045								
鑫玉16	49.07 bcd	19.14 a-d	8.07 e	39.00 a-d	23.18 cd	7.65 abc	48.65 a	20.28 bcd
Liyu 16								
YF3240	50.85 bcd	18.28 cde	8.67 cde	36.03 efg	25.39 abc	7.79 ab	45.14 a-e	21.73 bc
标准差 SD	3.11	1.19	0.89	2.25	2.65	0.56	4.96	2.87
变异系数 CV	6.17	6.26	10.21	5.93	11.27	7.99	11.46	14.51

表5 植株农艺性状与产量和养分含量的相关系数  
Table 5 Correlation coefficients between agronomics characteristics and yield and nutritive composition of whole-plant maize

指标 Index	株高 Plant height	穗位高 Ear height	茎粗 Stem diameter	叶片总数 Leaf numbers	绿叶数 Numbers of green leaf	黄叶数 Numbers of yellow leaf	倒伏率 Lodging ratio	茎比重 Stem ratio	叶比重 Leaf ratio	果穗比重 Ear ratio	籽粒比重 Grain ratio
全株鲜产量 Fresh whole-plant yield	0.415**	0.461**	-0.181	0.531**	0.411**	0.073	-0.257	0.303*	0.364*	-0.332*	-0.302*
全株干产量 Dry whole-plant yield	0.217	0.382**	-0.370**	0.138	-0.066	0.285*	-0.068	0.423**	0.318*	-0.429**	-0.256
籽粒干产量 Dry grain yield	-0.389**	-0.477**	-0.155	-0.384**	-0.344*	0.020	-0.052	-0.458**	-0.410**	0.484**	0.741**
粗蛋白 CP	-0.380**	-0.248	0.007	-0.245	-0.071	-0.217	0.096	0.035	-0.218	0.01	0.021
淀粉 ST	-0.571**	-0.087	-0.249	-0.348*	-0.449**	0.229	0.124	-0.162	-0.414**	0.222	0.321*
中性洗涤纤维 NDF	0.373**	0.575**	-0.088	0.464**	0.287*	0.176	0.128	0.488**	0.427**	-0.512**	-0.648**
酸性洗涤纤维 ADF	0.477**	0.504**	0.086	0.571**	0.497**	-0.006	0.013	0.210	0.338*	-0.250	-0.556**

注: \*和\*\*表示差异达到显著( $P<0.05$ )和极显著( $P<0.01$ )水平。

Note: \* and \*\* mean the significant correlations at 0.05 and 0.01 level, respectively.

表6 参试品种全株青贮后品质

Table 6 Silage quality of whole-plant maize with 16 varieties

品种 Variety	干物质含量/ (g/100 g)	DM	淀粉含量/ (g/100 g)	ST	粗蛋白含量/ (g/100 g)	CP	中性洗涤纤维含量/ (g/100 g)	NDF	酸性洗涤纤维含量/ (g/100 g)	ADF	pH	乳酸含量/ (g/100 g)	LA	乙酸含量/ (g/100 g)	AA	AN/TN/%
大京九 26 Dajingjiu 26	32.54 ef	16.93 cd	6.71 fg	48.64 abc	22.51 bc	3.88 a	4.39 a	0.57 cde	4.45 de							
京九青贮 16 Jingjiu silage 16	35.73 bc	15.97 d	6.82 efg	44.97 b-e	20.59 c-f	3.70 a	5.25 a	0.94 ab	6.13 ab							
京科青贮 932 Jingke silage 932	31.88 f	16.82 cd	6.83 efg	51.21 a	24.84 a	3.83 a	4.35 a	0.52 cde	4.42 de							
雅玉 8 号 Yayu No. 8	31.43 f	15.82 d	6.70 g	49.00 ab	23.46 ab	3.84 a	4.34 a	0.44 e	3.69 e							



表6(续)

品种 Variety	干物质含量/ (g/100 g) DM	淀粉含量/ (g/100 g) ST	粗蛋白含量/ (g/100 g) CP	中性洗涤纤维含量/ (g/100 g) NDF	酸性洗涤纤维含量/ (g/100 g) ADF	pH	乳酸含量/ (g/100 g) LA	乙酸含量/ (g/100 g) AA	AN/TN/%
登海605	38.00 a	22.17 a	7.10 de	41.92 de	19.55 d-g	3.86 a	4.50 a	0.78 abc	6.97 a
Denghai 605									
郑单958	33.78 de	20.40 abc	7.09 def	41.99 de	19.24 d-g	3.84 a	4.31 a	0.45 e	4.13 e
Zhengdan 958									
先玉335	35.84 bc	22.05 a	6.99 d-g	44.25 cde	20.70 cde	3.74 a	4.48 a	0.78 abc	6.00 ab
Xianyu 335									
来玉721	36.42 ab	18.25 a-d	7.08 d-g	42.62 de	19.89 d-g	3.83 a	4.73 a	0.65 b-e	5.23 bcd
Laiyu 721									
德单5号	36.67 ab	21.67 ab	7.38 cd	41.31 e	18.56 fg	3.75 a	4.70 a	1.01 a	5.74 bc
De dan No. 5									
奥玉405	35.49 bc	20.48 abc	7.89 ab	45.17 b-e	20.65 c-f	3.70 a	4.46 a	0.63 b-e	5.32 bcd
Aoyu 405									
农大372	36.38 ab	20.61 abc	6.85 efg	41.02 e	18.98 efg	3.76 a	4.63 a	0.66 b-e	6.24 ab
Nongda 372									
中金368	34.59 cd	19.43 a-d	7.17 de	49.15 ab	23.52 ab	3.85 a	4.53 a	0.66 b-e	4.76 cde
Zhongjin 368									
先玉1266	37.97 a	17.37 bcd	7.26 cd	41.43 e	19.22 d-g	3.68 a	4.97 a	0.77 a-d	5.3 bcd
Xianyu 1266									
先玉045	36.71 ab	20.70 abc	7.26 cd	42.05 de	18.47 g	3.77 a	4.92 a	0.46 de	5.31 bcd
Xianyu 045									
鑫玉16	36.07 bc	16.58 cd	8.11 a	45.56 b-e	20.33 d-g	3.77 a	5.24 a	0.40 e	4.48 de
Liyu 16									
YF 3240	36.52 ab	20.47 abc	7.62 bc	46.32 bcd	21.15 cd	3.81 a	4.83 a	0.39 e	3.95 e
均值 Mean	35.38	19.11	7.18	44.79	20.73	3.79	4.66	0.63	5.13
标准差 SD	2.01	2.25	0.41	3.29	1.92	0.06	0.31	0.19	0.93
极差 Range	6.57	6.35	1.41	10.19	6.37	0.20	0.94	0.62	3.28
变异系数 CV	5.67	11.76	5.67	7.34	9.25	1.66	6.53	29.68	18.01

注:各样品均未检出丁酸。AN/TN, 氨态氮与总氮比值。

Note: BA is not detected in all samples. AN/TN, ammonia nitrogen/total nitrogen.

差异显著( $P < 0.05$ ), DM、ST、CP、NDF 和 ADF 分别为 35.38、19.11、7.18、44.79 和 20.73 g/100 g。青贮后‘登海 605’和‘先玉 335’淀粉含量最高,但 CP 以‘蠡玉 16’最高,NDF 和 ADF 以‘德单 5 号’、‘农大 372’、‘先玉 1266’、‘登海 605’、‘先玉 045’等品种含量较低,表明青贮前后养分含量具有一定的相关性,但由于微生物发酵过程的复杂性,变化趋势并不完全一致。

各参试品种全株青贮提取液 pH、乳酸和乙酸含量和氨态氮与总氮比值分别为 3.79、4.66%、0.63%和 5.13%,各样品均未检出丁酸。其中,pH 和乳酸含量差异不显著( $P > 0.05$ ),乙酸含量和氨态氮与总氮比值差异达到显著水平( $P < 0.05$ ),均以‘郑单 958’、‘YF3240’、‘雅玉 8 号’含量最低。从各参数的离散程度来看,淀粉、乙酸含量和氨态氮与总氮比值变异系数均  $> 10\%$ ,即全株青贮后品质的差异主要表现在淀粉、乙酸含量和氨态氮与总氮比值上。

## 2.5 综合评价

由表 7 可知,参试品种的等权关联度从高到低依次为‘登海 605’>‘德单 5 号’>‘郑单 958’>‘先玉 045’>‘YF3240’>‘农大 372’>‘来玉 721’>‘蠡玉 16’>‘先玉 335’>‘先玉 1266’>‘奥玉 405’>‘中金 368’>‘京九青贮 16’>‘雅玉 8 号’>‘京科青贮 932’>‘大京九 26’,排名前五的分别是‘登海 605’、‘德单 5 号’、‘郑单 958’、‘先玉 045’和‘YF3240’。加权关联度从高到低依次为‘登海 605’>‘德单 5 号’>‘郑单 958’>‘农大 372’>‘先玉 045’>‘来玉 721’>‘YF3240’>‘蠡玉 16’>‘先玉 335’>‘先玉 1266’>‘奥玉 405’>‘中金 368’>‘京九青贮 16’>‘雅玉 8 号’>‘京科青贮 932’>‘大京九 26’,排名前五的为‘登海 605’、‘德单 5 号’、‘郑单 958’、‘农大 372’和‘先玉 045’。综上,‘登海 605’、‘德单 5 号’、‘郑单 958’、‘先玉 045’、‘YF3240’和‘农大 372’是本试验条件下参试玉米品种中综合评价较高的品种,而 4 个青贮专用玉米品种‘大京九 26’、‘京九青贮 16’、‘京科青贮 932’和‘雅玉 8 号’的综合评价靠后。

## 3 讨论

### 3.1 植株农艺性状对全株产量和品质的影响

玉米从营养生长进入生殖生长后,果穗生长迅速,因而茎、叶和果穗三部分构成了全株产量的三要

素。本研究显示,全株鲜、干产量均与茎比重和叶比重均呈极显著( $P < 0.01$ )或显著( $P < 0.05$ )正相关,表明参试玉米植株通过增加茎叶比重达到增加全株产量的目标,这与赵昇等<sup>[14]</sup>和孙继颖等<sup>[15]</sup>对青贮玉米不同器官与产量相关性研究结果一致。参试品种中,‘雅玉 8 号’在参试品种中茎比重(34.75%)和叶比重(13.81%)均较大,全株鲜产量和干产量最高,4 个青贮玉米品种的茎比重(30.00%)和叶比重(13.14%)均高于其他品种(25.75%和 11.90%),因而全株鲜、干产量(53.29 和 19.91 t/hm<sup>2</sup>)高于其他参试品种(49.58 和 18.82 t/hm<sup>2</sup>),这与刘建宁<sup>[16]</sup>和于德花<sup>[17]</sup>等的研究结果一致。

玉米植株的茎、叶、籽粒养分含量差异大,因而植株各部分比重上的差异会影响全株养分含量<sup>[18]</sup>。已有研究显示,植株茎叶繁茂,尤其是茎优势生长,茎(或茎叶)占全株的比重增加,将提高 NDF 和 ADF<sup>[19-20]</sup>,而随着玉米的成熟,淀粉含量近 70 g/100 g 的籽粒占全株的比重,直接影响玉米全株淀粉含量<sup>[21]</sup>。本研究显示,CP 与株高显著负相关( $P < 0.05$ ),NDF 和 ADF 与茎叶生长正相关,淀粉含量与籽粒比重显著正相关( $P < 0.05$ ),参试品种中‘雅玉 8 号’植株最高、茎叶比重较大,其全株 CP 最低、NDF 和 ADF 最高,而‘登海 605’籽粒比重最大,其全株淀粉含量最高,这与柳斌辉等<sup>[22]</sup>、刘月等<sup>[23]</sup>的研究结果基本一致。

值得注意的是,本试验中全株产量与茎、叶比重显著正相关,与果穗比重和籽粒比重显著负相关或负相关,而籽粒产量正好相反,表明玉米植株进入生殖生长期后,营养生长会与籽粒生长竞争养分,如营养生长旺盛,则光合产物多贮存于茎、叶中,将抑制籽粒生长。这一点在赵昇等<sup>[14]</sup>和李德锋<sup>[24]</sup>等研究中得到了证实,在水稻<sup>[25]</sup>和谷子<sup>[26]</sup>等其他作物的研究中也发现。而果穗与籽粒比重下降,则淀粉含量下降,从而影响玉米全株青贮品质,这一点需要引起青贮专用玉米育种者的重视。

### 3.2 不同品种对全株青贮效果的影响

玉米秸秆青贮不仅能有效保存玉米秸秆的营养成分,还能很大程度上提高经济效益,而玉米全株因拥有籽粒使其青贮效果和效益更佳<sup>[27]</sup>。本试验结果显示,各参试品种的全株中淀粉含量为 19.84~27.43 g/100 g, NDF 33.91~49.30 g/100 g, ADF 16.23~26.89 g/100 g,均达到《GB/T 25882—2010》<sup>[13]</sup>三级及以上标准,其全株青贮提取液的 pH、氨态氮

表7 参试玉米品种的灰色关联度与排序  
Table 7 Grey correlative degree and order of 16 maize varieties

品种 Variety	等权关联度 Equal weight correlation degree	等权关联度排序 Order of equal weight correlation degree	加权关联度 Weighted correlation degree	加权关联度排序 Order of weighted correlation degree
登海 605 Denghai 605	0.828 6	1	0.852 9	1
德单 5 号 Dedan No. 5	0.809 9	2	0.829 1	2
郑单 958 Zhengdan 958	0.781 6	3	0.788 6	3
农大 372 Nongda 372	0.763 9	6	0.786 1	4
先玉 045 Xianyu 045	0.771 8	4	0.777 3	5
来玉 721 Laiyu 721	0.748 1	7	0.760 1	6
YF3240	0.765 7	5	0.755 5	7
蠡玉 16 Liyu 16	0.746 8	8	0.737 0	8
先玉 335 Xianyu 335	0.708 8	9	0.718 9	9
先玉 1266 Xianyu 1266	0.703 0	10	0.710 2	10
奥玉 405 Aoyu 405	0.694 7	11	0.701 1	11
中金 368 Zhongjin 368	0.683 2	12	0.690 0	12
京九青贮 16 Jingjiu silage 16	0.674 1	13	0.680 3	13
雅玉 8 号 Yayu No. 8	0.667 3	14	0.661 2	14
京科青贮 932 Jingke silage 932	0.638 3	15	0.642 3	15
大京九 26 Dajingjiu 26	0.615 9	16	0.617 6	16

与总氮比值、丁酸含量均已达到中国畜牧业协会的T/CAAA 005-2018<sup>[28]</sup>一级质量标准,NDF、ADF和淀粉含量也均满足四级及以上标准,表明黄淮海地区各参试品种均能调制成品质上佳的全株青贮饲料。本试验结果表明,与青贮前相比,青贮后DM和淀粉含量稍有下降,而CP、NDF和ADF略有增高,这与青贮过程中微生物发酵消耗了部分淀粉等有机质、增加菌体蛋白有关<sup>[29-30]</sup>。玉米全株青贮品质指标中淀粉、乙酸含量及氨态氮与总氮比值变异较大,对青贮品质影响大,而青贮前后淀粉含量与籽粒比重均显著正相关( $R^2$ 分别为0.321和0.332),表明不同玉米品种因全株中籽粒比重差异,导致其全株青贮饲料中淀粉含量不同,从而显著影响青贮饲料的能值<sup>[31-32]</sup>。乙酸是异型乳酸菌主导时微生物分解糖类的产物,对真菌有很好的抑制作用,可以提高玉米全株青贮饲料的有氧稳定性<sup>[33]</sup>,但也会因刺鼻气味而影响家畜采食量,优质青贮饲料中该指标应控制在较小范围内;氨态氮是微生物分解蛋白质的产物,青贮发酵过程由双酶梭菌和生孢梭菌等梭菌主导,易引起氨态氮与总氮比值上升,导致青贮饲料品质下降<sup>[34]</sup>。本研究中,不同品种全株青贮饲料间乙酸及氨态氮与总氮比值的差异可能与收获时植株携带的微生物种类和数量有关,这有待进一步深入研究。

### 3.3 不同玉米品种的综合评价

目前,灰色关联度分析被广泛用于作物综合评价<sup>[12]</sup>。卢家顶等<sup>[35]</sup>认为在青贮玉米品种筛选中应用是一种客观可行的方法。本试验将所有的参试玉米品种看成一个灰色系统,每一个品种都是系统中的一个因素,通过分析系统中各因素的相关程度来对其进行综合评价。结果表明,‘登海605’、‘德单5号’、‘郑单958’、‘先玉045’、‘YF3240’和‘农大372’综合评价较高,是黄淮海地区全株青贮玉米适栽品种,但生产应用中应特别关注倒伏情况,避免造成较大损失。4个青贮专用玉米品种‘大京九26’、‘京九青贮16’、‘京科青贮932’和‘雅玉8号’,尽管全株产量较高,但其淀粉含量低、纤维含量高,在综合评价中排名靠后,有待对其进一步开展饲用价值评价。

## 4 结论

玉米全株青贮产量与叶、茎生长密切相关,与叶、茎比重呈显著正相关,植株高大,叶、茎比重高,

则全株青贮产量高。淀粉含量与籽粒比重呈显著正相关,NDF和ADF与籽粒比重呈极显著负相关,籽粒比重大,则淀粉含量高、纤维含量低,青贮品质好。采用灰色关联度方法,对产量和品质指标进行综合评价,‘登海605’、‘德单5号’、‘郑单958’、‘先玉045’、‘YF3240’和‘农大372’关联度值较高,是黄淮海地区全株青贮玉米适栽品种,但在田间管理中要注意防止植株倒伏。

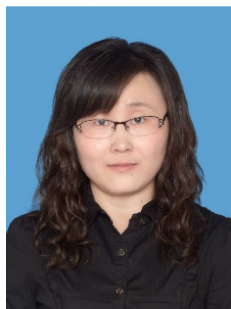
## 参考文献 References

- [1] 郭延景,肖海峰. 基于比较优势的中国玉米生产布局变迁及优化研究[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(3): 58-68  
Guo Y J, Xiao H F. Research on changes and optimization of China's maize production distribution based on comparative advantage[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(3): 58-68 (in Chinese)
- [2] Ballard C S, Thomas E D, Tsang D S, Mandebvu P, Sniffen C J, Endres M I, Carter M P. Effect of corn silage hybrid on dry matter yield, nutrient composition, in vitro digestion, intake by dairy heifers, and milk production by dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2001, 84(2): 442-452
- [3] 冯鹏. 品种与栽培技术对玉米产量及青贮质量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011  
Feng P. Effects of varieties and cultivation techniques on maize yield and silage quality[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011 (in Chinese)
- [4] 丁成龙, 许能祥, 程云辉, 顾洪如. 不同饲用玉米品种的生产性能及饲用价值比较[J]. 江苏农业科学, 2009, 37(6): 270-272  
Ding C L, Xu N X, Cheng Y H, Gu H R. Comparison of production performance and feeding value of feed corn varieties [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2009, 37(6): 270-272 (in Chinese)
- [5] 张吉旺, 胡昌浩, 王空军, 董树亭, 刘鹏. 不同类型玉米品种饲用营养价值比较[J]. 作物学报, 2003, 29(6): 951-954  
Zhang J W, Hu C H, Wang K J, Dong S T, Liu P. Forage nutritive value of different type maize cultivars [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 29(6): 951-954 (in Chinese)
- [6] 王晶晶, 李凤海, 史振声, 王宏伟, 王志斌, 吕香玲, 朱敏. 辽宁省不同生态区玉米品种适应性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(4): 59-63  
Wang J J, Li F H, Shi Z S, Wang H W, Wang Z B, Lv X L, Zhu M. Adaptation of different maize hybrids in different ecological regions in Liaoning Province [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(4): 59-63 (in Chinese)
- [7] 姜慧新, 刘栋, 张德敏, 王玉霞, 翟桂玉, 王本廷. 山东省全株玉米青贮生产情况调查与分析[J]. 中国草食动物科学, 2020, 40(6): 63-66, 74  
Jiang H X, Liu D, Zhang D M, Wang Y X, Zhai G Y, Wang B T. Investigation and analysis of whole corn silage production in Shandong Province [J]. *China Herbivore Science*, 2020, 40(6): 63-66, 74 (in Chinese)
- [8] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 第3版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007  
Zhang L Y. *Feed Analysis and Feed Quality Detection Technology* [M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2007 (in Chinese)
- [9] 姜慧新, 柏杉杉, 王兆凤, 翟桂玉, 宋继成. 粉碎细度与滤袋对饲草

- NDF与ADF含量的影响[J]. 草地学报, 2018, 26(2): 467-473
- Jiang H X, Bai S S, Wang Z F, Zhai G Y, Song J C. Effect of fineness and filter bag on NDF and ADF contents of forage[J]. *Acta Agraria Sinica*, 2018, 26(2): 467-473 (in Chinese)
- [10] 万学瑞, 豆思远, 李玉, 何铁群, 王川, 张小丽, 雷赵民. 复合乳酸菌对全株玉米青贮及有氧暴露后微生物及饲料品质的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(11): 83-90
- Wan X R, Dou S Y, Li Y, He Y Q, Wang C, Zhang X L, Lei Z M. Effect of lactic acid bacteria preparations on microbial population counts and silage quality in maize silage during fermentation and on aerobic exposure[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(11): 83-90 (in Chinese)
- [11] Broderick G A, Kang J H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and *in vitro* media[J]. *Journal of Dairy Science*, 1980, 63(1): 64-75
- [12] 姜慧新, 柏杉杉, 吴波, 宋静怡, 王国良. 22个燕麦品种在黄淮海地区的农艺性状与饲草品质综合评价[J]. 草业学报, 2021, 30(1): 140-149
- Jiang H X, Bai S S, Wu B, Song J Y, Wang G L. A multivariate evaluation of agronomic traits and forage quality of 22 oat varieties in the Huang-Huai-Hai area of China[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(1): 140-149 (in Chinese)
- [13] 青贮玉米品质分级: GB/T 25882—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011
- Quality grading for silage maize: GB/T 25882—2010 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011 (in Chinese)
- [14] 赵昇, 王晔, 南张杰, 潘金豹, 张秋芝. 青贮玉米不同器官与产量和品质的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(15): 22-27
- Zhao S, Wang Y, Nan Z J, Pan J B, Zhang Q Z. Study on the correlation of different organs and the yield and quality in silage maize[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(15): 22-27 (in Chinese)
- [15] 孙继颖, 高聚林, 王志刚, 于晓芳, 包海柱, 胡树平, 刘剑, 白云龙, 闫东. 青贮玉米不同器官产量贡献率对密度调控的响应[J]. 华北农学报, 2020, 35(1): 96-105
- Sun J L, Gao J L, Wang Z G, Yu X F, Bao H Z, Hu S P, Liu J, Bai Y L, Yan D. Response by planting density on yield contribution of different organ to the whole plant in silage maize[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2020, 35(1): 96-105 (in Chinese)
- [16] 刘建宁, 石永红, 吴欣明, 方志红, 贾会丽, 王运琦, 张燕, 郭璞, 池惠武, 李莲芬. 晋中盆地15个青贮玉米品种生产性能及营养价值评价[J]. 草地学报, 2020, 28(4): 1043-1049
- Liu J N, Shi Y H, Wu X M, Fang Z H, Jia H L, Wang Y Q, Zhang Y, Guo P, Chi H W, Li L F. Comprehensive evaluation and analysis of the performance and nutritional value of 15 silage maize varieties in Jinzhong Basin[J]. *Acta Agraria Sinica*, 2020, 28(4): 1043-1049 (in Chinese)
- [17] 于德花, 陈小芳, 毕云霞, 邵秋玲. 种植密度对不同株型青贮玉米产量及相关性状的影响[J]. 草业科学, 2018, 35(6): 1465-1471
- Yu D H, Chen X F, Bi Y X, Shao Q L. Effect of planting density on yield and related traits of silage maize with different plant types[J]. *Pratacultural Science*, 2018, 35(6): 1465-1471 (in Chinese)
- [18] 唐德富, 陈志刚, 李飞, 郭涛, 潘发明, 郝生燕, 徐琳娜. 青贮玉米不同部位(组织)养分含量近红外预测模型的构建[J]. 草业科学, 2021, 38(9): 1753-1761
- Tang D F, Chen Z G, Li F, Guo T, Pan F M, Hao S Y, Xu L N. Construction of a near-infrared prediction model for nutrient content in different parts (tissues) of corn silage[J]. *Pratacultural Science*, 2021, 38(9): 1753-1761 (in Chinese)
- [19] 雷志刚, 梁晓玲, 王业建, 郝浩江, 李铭东, 李召锋, 赵海菊, 韩登旭, 杨杰, 阿布来提·阿布拉, 梁晓玲. 不同青贮玉米品种品质性状与农艺性状的相关分析[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(4): 694-699
- Lei Z G, Liang X L, Wang Y J, Xi H J, Li M D, Li Z F, Zhao H J, Han D X, Yang J, Abulaiti Abula, Liang X L. Correlation analysis of agronomic characteristics and quality traits of different silage maize varieties[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, 54(4): 694-699 (in Chinese)
- [20] 廖长见, 王颖姝, 林建新, 卢和顶, 陈山虎. 影响青贮玉米生物产量及品质关键农艺性状的初步分析[J]. 福建农业学报, 2011, 26(4): 572-576
- Liao C J, Wang Y H, Lin J X, Lu H D, Chen S H. Preliminary analysis on key agronomic traits relating to biomass and quality of silage maize[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 26(4): 572-576 (in Chinese)
- [21] 陈艳霞, 南张杰, 潘金豹, 王晔. 青贮玉米不同器官对产量和品质的影响[J]. 北京农学院学报, 2016, 31(3): 16-22
- Chen Y X, Nan Z J, Pan J B, Wang Y. The influence of different organs on yield and quality for whole plant of silage maize[J]. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 2016, 31(3): 16-22 (in Chinese)
- [22] 柳斌辉, 赵海明, 游永亮, 李源, 刘贵波, 张文英, 翟兰菊. 海河平原区引进青贮玉米品种的生产性能及适应性评价[J]. 草地学报, 2016, 24(3): 632-641
- Liu B H, Zhao H M, You Y L, Li Y, Liu G B, Zhang W Y, Zhai L J. The production performance and adaptability of silage corn varieties introduced in Haihe Plain[J]. *Acta Agraria Sinica*, 2016, 24(3): 632-641 (in Chinese)
- [23] 刘月, 王国良, 吴浩, 孟庆翔, 宋恩亮, 成海建, 周振明. 全株青贮玉米品种对其发酵品质及营养价值的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(6): 148-156
- Liu Y, Wang G G, Wu H, Meng Q X, Song E L, Cheng H J, Zhou Z M. Variety effects on fermentation quality and nutritive value of whole-plant maize silage[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(6): 148-156 (in Chinese)
- [24] 李德锋, 姜义宝, 付楠, 郭玉霞, 王成章, 严学兵. 青贮玉米品种比较试验[J]. 草地学报, 2013, 21(3): 612-617
- Li D F, Jiang Y B, Fu N, Guo Y X, Wang C Z, Yan X B. Comparison of silage yield and quality among corn varieties[J]. *Acta Agraria Sinica*, 2013, 21(3): 612-617 (in Chinese)
- [25] 黄丽芬, 全晓艳, 张蓉, 袁毅, 赵伟, 姜玲玲, 施金琦, 庄恒扬. 光氮及其互作对水稻干物质积累与分配的影响[J]. 中国水稻科学, 2014, 28(2): 167-176
- Huang L F, Quan X Y, Zhang R, Yuan Y, Zhao W, Jiang L L, Shi J Q, Zhuang H Y. Interactive effects of light intensity and nitrogen supply on dry matter production and distribution of rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2014, 28(2): 167-176 (in Chinese)
- [26] 任月梅, 杨忠, 郭瑞峰, 张绶, 冯婧. 不同施肥水平对大同34号谷子产量的影响[J]. 北方农业学报, 2016, 44(4): 27-30
- Ren Y M, Yang Z, Guo R F, Zhang S, Feng J. Effects of different fertilization levels on yield of Datong 34 millet[J]. *Journal of Northern Agriculture*, 2016, 44(4): 27-30 (in Chinese)
- [27] 张志恒, 王玉琴, 任国艳, 李元晓, 赵凌平, 吴秋珏, 张子军. 基于主成分分析和隶属函数分析评价不同添加剂处理的玉米秸秆青贮的发酵品质[J]. 动物营养学报, 2022, 34(4): 2677-2688
- Zhang Z H, Wang Y Q, Ren G Y, Li Y X, Zhao L P, Wu Q J, Zhang Z J. Evaluation of fermentation quality of corn straw silage treated with different additives based on principal component analysis and membership function analysis[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(4): 2677-2688 (in Chinese)
- [28] 青贮饲料, 全株玉米: T/CAAA 005—2018[S]. 北京: 中国畜牧业协会, 2018
- Silage, whole crop corn: T/CAAA 005—2018 [S]. Beijing: China Animal Agriculture Association, 2018 (in Chinese)
- [29] 杨浩哲, 杨西光, 程广伟, 王跃卿, 蔡海霞. 不同收获期玉米青贮前后

- 营养变化规律的研究[J]. 中国草食动物科学, 2013, 33(2): 36-39  
 Yang H Z, Yang X G, Cheng G W, Wang Y Q, Cai H X. Effects of silage on the nutrient preservation of corn harvested in different periods[J]. *China Herbivore Science*, 2013, 33(2): 36-39 (in Chinese)
- [30] 刘美华, 王栋, 席琳乔, 景春梅, 马春晖. 不同生育期的青贮玉米青贮前后的养分比较[J]. 粮食与饲料工业, 2014(6): 48-52  
 Liu M H, Wang D, Xi L Q, Jing C M, Ma C H. Contrastive analysis of silage corn nutrient in different growth period before and after silage[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2014(6): 48-52 (in Chinese)
- [31] Sinclair L A, Wilkinson R G, Ferguson D M R. Effects of crop maturity and cutting height on the nutritive value of fermented whole crop wheat and milk production in dairy cows[J]. *Livestock Production Science*, 2003, 81(2/3): 257-269
- [32] 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[J]. 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 stages on nutritional value, fermentation quality and rumen degradability of whole corn silage[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(6): 2807-2815 (in Chinese)
- [33] 吕文龙, 刁其玉, 闫贵龙. 布氏乳杆菌对青玉米秸青贮发酵品质和有氧稳定性的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(3): 143-148  
 Lv W L, Diao Q Y, Yan G L. Effect of *Lactobacillus buchneri* on the quality and aerobic stability of green corn-stalk silages [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(3): 143-148 (in Chinese)
- [34] 玉柱, 孙启忠. 饲草青贮技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011  
 Yu Z, Sun Q Z. *Forage Silage Technology* [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2011 (in Chinese)
- [35] 卢家顶, 杨旭, 朱晓艳, 崔亚垒, 王成章, 李德锋, 史莹华. 河南地区 21 个粮饲兼用型青贮玉米品种综合评价[J]. 草地学报, 2021, 29(9): 1950-1958  
 Lu J D, Yang X, Zhu X Y, Cui Y L, Wang C Z, Li D F, Shi Y H. Comprehensive evaluation of 21 corn silage varieties with both grain and forage in Henan Province[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(9): 1950-1958 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



**第一作者简介:** 张进红, 博士, 助理研究员, 主要从事牧草栽培技术研究, 先后主持山东省自然科学基金、国家重点研发计划课题、山东省中央引导地方科技发展资金项目、山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目等, 累计发表论文 10 余篇, 获得山东省农牧渔丰收奖、神农中华农业科技奖, 中国草业科技奖、齐鲁农业科技奖等各类成果奖励 8 项。



**通讯作者简介:** 姜慧新, 博士, 正高级畜牧师, 山东省有突出贡献的中青年专家, 山东省驴产业体系省综合试验站站长。多年从事优质饲草新品种培育、生产及养畜利用技术与示范推广工作, 在农区饲草新品种选育、高产栽培及精准饲养方面获得多项成果, 已培育饲草新品种 2 个, 获得省部级科技奖等奖项 10 多项, 发表学术论文 20 多篇, 撰写专著 5 部。