



张京磊, 吴波, 王国良, 柴士名, 周圆. 黄河三角洲盐碱地不同青贮玉米品种的适宜性评价[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(09): 15-23.
ZHANG Jinglei, WU Bo, WANG Guoliang, CHAI Shiming, ZHOU Yuan. Suitability evaluation of different silage maize varieties in saline-alkali land of the Yellow River Delta[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(09): 15-23.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.09.02

黄河三角洲盐碱地不同青贮玉米品种的适宜性评价

张京磊^{1,2,3} 吴波¹ 王国良^{1*} 柴士名⁴ 周圆⁵

- (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/生态园艺植物育种
山东省工程研究中心, 济南 250100;
2. 山东省农业科学院 黄河三角洲现代农业研究院, 山东 东营 257091;
3. 国家盐碱地综合利用技术创新中心, 山东 东营 257347;
4. 山东省畜牧总站, 济南 250100;
5. 初心(东营)现代农业有限公司, 山东 东营 257300)

摘要 为筛选适宜在黄河三角洲盐碱地种植的青贮玉米品种, 以10个粮饲兼用或青贮专用玉米品种为研究对象, 测定各品种的产量、农艺性状以及全株养分含量等指标, 并采用主成分分析方法进行综合评价。结果表明: 1) 供试的10个玉米品种的鲜草产量在黄河三角洲盐碱地无显著差异, 但各品种的干草产量(10.2~20.1 t/hm²)存在显著差异($P < 0.05$), 以‘来玉721’为最高, 其他依次为‘大京九4059’‘登海605’‘粒隆915’‘登海652’‘郑单958’‘鲁单211’‘中航611’‘豫青贮23’和‘鲁单256’; 穗产量(3.7~12.2 t/hm²)呈现类似规律。2) 各品种之间的株高等农艺性状均存在显著差异, 株高以‘大京九4059’最高, 为246.4 cm, ‘登海605’最低, 为185.6 cm; 叶片持绿性以‘豫青贮23’最高, 为97.2%, ‘中航611’最低, 为87.1%; 叶长和叶宽均以‘郑单958’最高, 分别为69.1 cm和9.0 cm, ‘鲁单211’最低, 分别为49.8 cm和5.3 cm。3) 各品种养分含量的差异均达到显著水平, 淀粉含量在25~36 g/100 g, 粗蛋白含量在7.01~8.95 g/100 g, 中性洗涤纤维(NDF)在32~47 g/100 g, 酸性洗涤纤维(ADF)在16~23 g/100 g, 除了‘豫青贮23’外, 其他玉米品种均达到青贮玉米一级标准。4) 通过主成分分析提取了4个主成分, 累积贡献率为88.99%, ‘粒隆915’等6个玉米品种的综合得分为正数, 其他4个玉米品种的综合得分为负数。综上, ‘粒隆915’‘登海652’‘豫青贮23’‘来玉721’‘郑单958’和‘大京九4059’适宜在黄河三角洲盐碱地种植。

关键词 盐碱地; 青贮玉米; 产量; 营养品质; 淀粉; 粗蛋白

中图分类号 S326

文章编号 1007-4333(2024)09-0015-09

文献标志码 A

Suitability evaluation of different silage maize varieties in saline-alkali land of the Yellow River Delta

ZHANG Jinglei^{1,2,3}, WU Bo¹, WANG Guoliang^{1*}, CHAI Shiming⁴, ZHOU Yuan⁵

- (1. Institute of Leisure Agriculture/Key Laboratory of East China Urban Agriculture of Ministry of Agriculture and Rural Affairs/
Shandong Engineering Research Centre for Ecological Horticultural Plant Breeding, Shandong Academy of Agricultural
Sciences, Jinan 250100, China;
2. Yellow River Delta Modern Agriculture Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Dongying
257091, China;

收稿日期: 2024-04-26

基金项目: 国家牧草产业技术体系(CRAS-34); 山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目(2023TSGC0046); 东营市盐碱地综合利用专项(2023YJDZX06); 山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2023F12)

第一作者: 张京磊(ORCID: 0000-0002-4725-7909), 助理研究员, 主要从事草地生态学研究, E-mail: zhangjinglei910524@163.com

通讯作者: 王国良(ORCID: 0009-0001-8338-549X), 研究员, 主要从事牧草栽培与生态研究, E-mail: wangguoliang@126.com

3. National Center of Technology Innovation for Comprehensive Utilization of Saline-Alkali Land, Dongying 257347, China;

4. Shandong Provincial Animal Husbandry General Station, Jinan 250100, China;

5. Chuxin (Dongying) Modern Agriculture Co. Ltd., Dongying 257300, China)

Abstract To select suitable silage maize varieties in the saline-alkali land of Yellow River Delta, the yield, agronomic traits and nutrition contents of 10 maize varieties for both grain and forage/special silage were analyzed, and a comprehensive evaluation was conducted by the principal component analysis. The results showed that: 1) There were no significant differences in fresh yield of the 10 maize varieties, but there were significant differences in dry yield ($10.2\text{--}20.1\text{ t/hm}^2$), and ‘Laiyu 721’ was the highest, following with ‘Dajingjiu 4059’ ‘Denghai 605’ ‘Lilong 915’ ‘Denghai 652’ ‘Zhengdan 958’ ‘Ludan 211’ ‘Zhonghang 611’ ‘Yuqingzhu 23’ and ‘Ludan 256’; and ear yield ($3.7\text{--}12.2\text{ t/hm}^2$) showed a similar pattern. 2) There were significant differences in agronomic traits among the varieties, and the plant height of ‘Dajingjiu 4059’ (246.4 cm) was highest, and that of ‘Denghai 605’ (185.6 cm) was the lowest. The leaf greenness of ‘Yuqingzhu 23’ (97.2%) was the highest, and that of ‘Zhonghang 611’ (87.1%) was the lowest. The leaf length and width of ‘Zhengdan 958’ (69.1 cm, 9 cm) were the highest, and those of ‘Ludan 211’ (49.8 cm, 5.3 cm) were the lowest. 3) There were significant differences in nutrition contents among all varieties, and the starch content ranged from 25 to 36 g/100 g, the crude protein content ranged from 7.01 to 8.95 g/100 g, the neutral detergent fiber (NDF) content ranged from 32 to 47 g/100 g, and the acid detergent fiber (ADF) content ranged from 16 to 23 g/100 g. Except ‘Yuqingzhu 23’, other maize varieties reached the first-grade standard of silage maize. 4) Four principal components were extracted by principal component analysis, the cumulative contribution rate was 88.99%, and the composite scores of 6 maize varieties such as ‘Lilong 915’ ‘Denghai 652’ ‘Yuqingzhu 23’ ‘Laiyu 721’ ‘Zhengdan 958’ and ‘Dajingjiu 4059’ were positive, while the other 4 maize varieties were negative. In summary, ‘Lilong 915’ ‘Denghai 652’ ‘Yuqingzhu 23’ ‘Laiyu 721’ ‘Zhengdan 958’ and ‘Dajingjiu 4059’ are suitable for planting in the saline-alkali land of the Yellow River Delta.

Keywords saline-alkali land; silage maize; yield; nutritional quality; starch; crude protein

黄河三角洲是我国最年轻的新生陆地,也是典型的滨海盐碱地分布区^[1]。由于地下水位高、土壤贫瘠,种植粮食作物面临着产量低、效益不高和水资源消耗过大等问题^[2]。相对于粮食作物,牧草种植以收获茎叶等营养体为主,对生长期内的资源环境要求相对不严,能更充分挖掘盐碱地综合利用潜力^[3]。

玉米是饲料的重要来源,根据利用方式,可将玉米分为籽粒玉米、粮饲兼用玉米和青贮专用玉米三种类型,其中粮饲兼用和青贮专用玉米,已被广泛应用到青贮加工,成为牛羊养殖业重要的基础饲料之一^[4-5]。针对玉米品种的耐盐性筛选及鉴定已开展了很多研究。陶英等^[6]在甘肃景泰县盐碱地对8个玉米品种进行评价发现,‘JS 1’产量显著高于‘JS 6’和‘JS 8’。田娜^[7]在宁夏回族自治区引黄灌区盐碱地对10个青贮玉米品种进行综合评价发现,‘JK 929’表现最好。此外,张海燕等^[8]在东营盐碱地对41个玉米品种的苗期耐盐性进行了初步研究发现,‘连胜 188’‘济玉 1号’和‘青农 8号’等品种适

宜在东营盐碱地种植。目前,针对玉米品种的耐盐性评价取得了一系列进展^[9-12],但大部分研究多集中于内陆盐碱地区^[13]或者针对玉米苗期的耐盐性评价^[14],而关于黄河三角洲盐碱地的青贮玉米综合性评价鲜有报道。本研究采用主成分分析方法对黄河三角洲盐碱地10个粮饲兼用或青贮专用玉米品种的生产性能及营养品质进行综合评价,旨在筛选出适宜黄河三角洲盐碱地种植的青贮玉米品种,以期为黄河三角洲盐碱地青贮玉米生产的高质量发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点位于山东省农业科学院东营综合试验基地($118^{\circ}36'E$, $37^{\circ}17'N$),属暖温带半湿润大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季高温多雨,秋季凉爽易旱涝,冬季寒冷干燥,年均温 $12.5^{\circ}C$,年降水量543 mm,试验区土壤为滨海盐化潮土^[15]。2023年6月初(播种前),土壤pH为8.5,土壤含盐量为0.4 g/100 g。

1.2 试验设计

参试玉米品种共10个,分别为‘鲁单256’‘鲁单211’‘豫青贮23’‘大京九4059’‘登海605’‘登海652’‘粒隆915’‘来玉721’‘中航611’和‘郑单958’,均采购于当地农资市场。采用随机区组试验设计,3次重复,小区面积5 m×6 m,条播,行距60 cm,播种密度为75 000株/hm²。播种前,施用N:P₂O₅:K₂O质量比为26:12:12的玉米专用复合肥525 kg/hm²。根据降雨和土壤情况,统一灌溉量和次数。

1.3 指标测定

在玉米乳线1/2位置时,每个小区随机选择5株,测定玉米株高,cm。每个小区随机选取1个取样点,人工收割样方(2.0 m×1.8 m)内的所有玉米,统一留茬20 cm,并当场称重,随机选取2~3株于65℃烘干至恒重,根据干鲜比换算成干重,最后统一换算为单位面积产量,t/hm²。

测产的同时,从每个样方收获的全株玉米中随机选取3株,测定叶长、叶宽、绿叶数、黄叶数、穗长、茎粗等农艺性状,其中叶长、叶宽为每株所有叶片的平均值,cm。叶片持绿性为绿叶数与总叶数的比值,%。为了表征玉米生长状况,测定了玉米茎粗,本研究中,茎粗为玉米穗下方,紧邻玉米穗的茎秆直径,mm。

粗蛋白含量采用凯氏定氮法^[4]测定,中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维含量(ADF)采用滤袋法^[16]测定,淀粉采用蒽酮比色法^[17]测定。

1.4 数据统计

不同品种之间的产量、品质和农艺性状等指标数据进行方差齐性和正态性检验后,再应用单因素方差分析进行检验,并采用LSD和邓肯法进行多重比较;不同玉米品种的综合评价采用主成分分析进行评价,共纳入14个变量,包括鲜重、干重、穗重、株高、叶片持绿性、叶长、叶宽、穗位、茎粗、穗长以及粗蛋白、NDF、ADF和淀粉含量,以上所有参数统计均采用SPSS 24.0软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同玉米品种的产量

由图1可知,不同品种间玉米鲜草产量差异不显著,不同品种间玉米干草产量差异显著,其中‘来玉721’为最高,显著高于‘鲁单256’‘豫青贮23’以

及‘中航611’($P<0.05$)。不同品种的玉米穗产量差异显著,其中‘来玉721’为最高,并显著高于‘豫青贮23’‘鲁单256’‘中航611’以及‘郑单958’($P<0.05$)。不同品种玉米干鲜比之间表现出显著差异,‘来玉721’为最高,显著高于‘登海605’‘粒隆915’‘登海652’‘鲁单256’‘中航611’‘豫青贮23’和‘郑单958’($P<0.05$)。

2.2 不同玉米品种的农艺性状

由表1可知,株高由高到低为‘大京九4059’‘豫青贮23’‘中航611’‘粒隆915’‘鲁单211’‘登海652’‘郑单958’和‘登海605’。叶片持绿性以‘豫青贮23’为最高,依次为‘登海605’‘郑单958’‘来玉721’‘鲁单256’‘中航611’‘粒隆915’‘登海652’‘鲁单211’和‘大京九4059’。叶长以‘郑单958’最高,‘鲁单211’最低。叶宽以‘登海652’和‘郑单958’最高,‘鲁单211’最低。茎粗以‘鲁单256’为最高,‘鲁单211’和‘豫青贮23’都较低。穗位高和穗长均以‘粒隆915’最高,其中‘鲁单211’穗位高最低,‘鲁单211’和‘郑单958’穗长均较低。

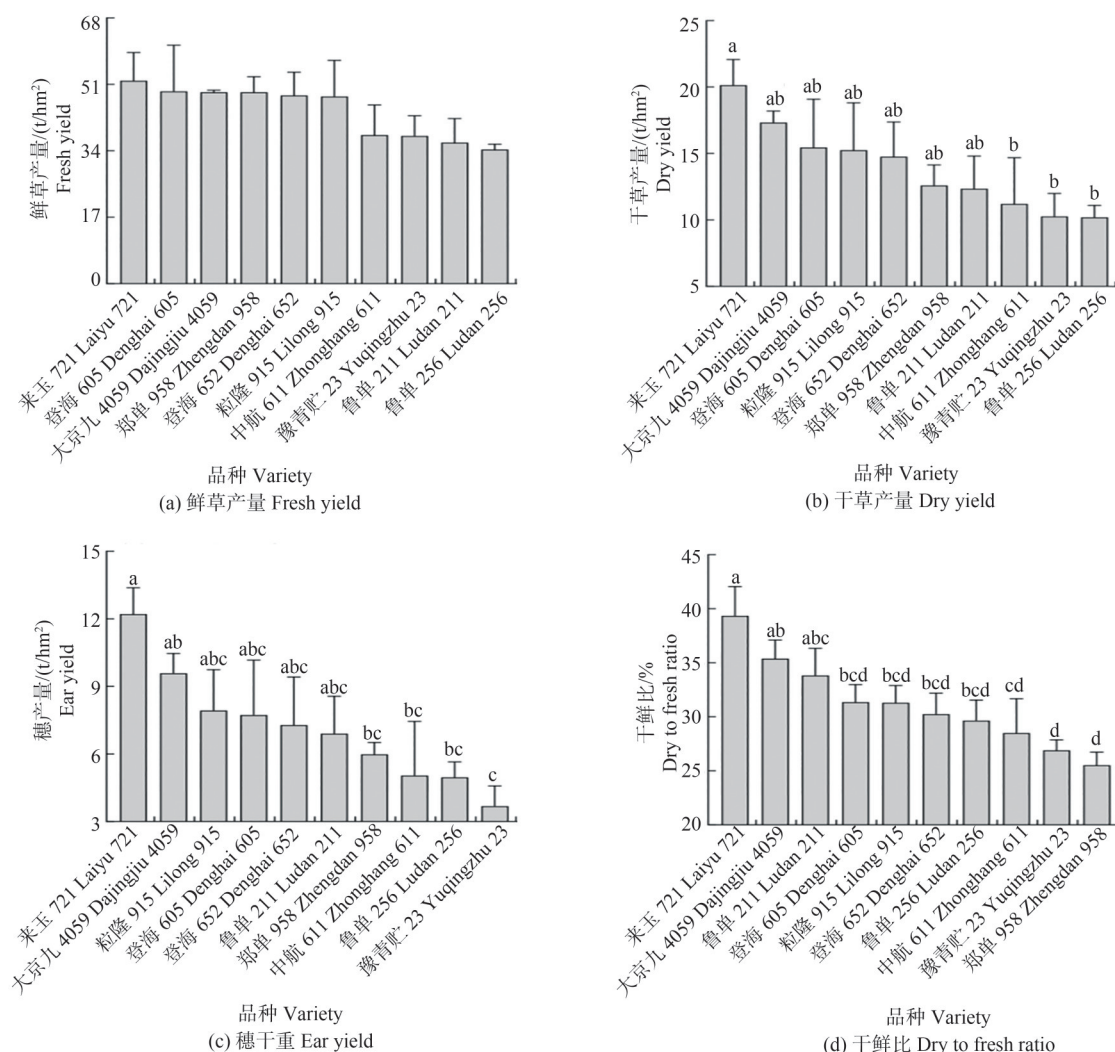
2.3 不同玉米品种的品质指标

由图2可知,不同玉米品种之间的粗蛋白含量表现出显著差异,以‘豫青贮23’(8.95 g/100 g)和‘郑单958’(8.90 g/100 g)粗蛋白含量居前,显著高于‘鲁单211’(7.40 g/100 g)和‘大京九4059’(7.01 g/100 g)。中性洗涤纤维(NDF)在不同玉米品种之间表现出显著的差异,以‘豫青贮23’(47.0 g/100 g)为最高,显著高于其他玉米品种,酸性洗涤纤维含量(ADF)表现出类似的规律(图2)。淀粉含量以‘来玉721’(36.0 g/100 g)和‘粒隆915’(35.6 g/100 g)数值居前,显著高于‘郑单958’(25 g/100 g)。

2.4 不同玉米品种的综合分析

主成分分析结果显示,前4项指标特征根均>1,累积贡献率>85%,因此,选取前4项指标进行主成分分析(表2)。

主成分得分系数代表了各个指标在每个主成分中所占的权重,根据主成分计算公式及主成分得分系数(表3),可得到前4个主成分(P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4)与14项指标的线性关系,然后分别乘以各个主成分的权重,最后将4个主成分的分相加,得到综合得分(表4)。参试品种中有6个品种的综合主成分得分为正数,依次为‘粒隆915’‘登海652’‘豫青贮23’‘来玉721’‘郑单958’和‘大京九4059’,代表其



不同小写字母代表不同玉米品种之间的差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate a significant difference at $P < 0.05$.

图1 不同玉米品种的产量及其相关性状

Fig. 1 Yields and related traits of different maize varieties

综合表现高于平均水平,其余4个品种综合得分为负数,代表综合表现低于平均水平(表4)。

3 讨论

优良的青贮玉米品种需同时具备较高的产量和优良的品质^[18]。而玉米的产量和品质不仅受遗传因素(品种)的影响,还与栽培环境有关,因此,在某一特定区域开展品种筛选至关重要^[19]。本研究在黄河三角洲盐碱地开展青贮玉米产量和营养品质综合性评价,对盐碱地草业发展具有重要意义。

本研究10个参试玉米品种全株干重在10~20 t/hm²,低于同地区非盐碱地玉米的产量(16~

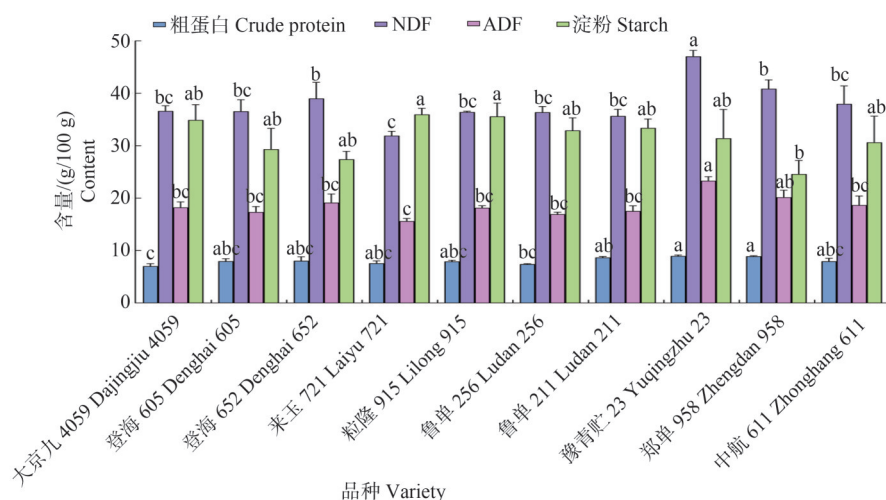
21 t/hm²)^[20],说明土壤盐渍化限制了玉米的生长。尽管如此,本研究发现,参试的玉米品种,在土壤盐分含量高达0.4 g/100 g时,仍有至少1/2的品种产量超过15 t/hm²,甚至有的品种,例如‘来玉721’能够接近正常耕地青贮玉米产量水平^[20]。黄河三角洲有>50万hm²盐碱地^[21],如果一半用来发展青贮玉米,这对畜牧业发达、但饲草料严重不足的山东省来讲是很好的补充^[22]。

株高、叶长、叶宽、叶片持绿性以及穗长等农艺性状不仅能够反映青贮玉米的产量,还能够反映青贮玉米的营养品质^[23]。本研究发现,各品种之间的株高表现出显著差异,总体上,青贮专用品种的株

表 1 不同玉米品种的农艺性状

Table 1 Agronomic traits of different maize varieties

品种 Variety	株高/cm Plant height	叶片持绿 性/% Leaf greenness	叶长/cm Leaf length	叶宽/cm Leaf width	穗位高/cm Ear height	茎粗/mm Stem diameter	穗长/cm Ear length
大京九 4059 Dajingjiu 4059	246.11±1.47 a	87.40±0.06 f	63.25±0.13 e	6.48±0.04 d	80.21±0.11 e	14.54±0.15 g	14.33±1.33 abc
登海 605 Denghai 605	185.56±11.28 b	96.46±0.25 b	65.38±0.09 d	8.13±0.04 b	64.97±0.03 g	16.56±0.12 c	13.00±1.53 bc
登海 652 Denghai 652	196.11±11.15 ab	89.26±0.14 e	67.27±0.09 c	9.00±0.06 a	83.78±0.4 d	15.62±0.08 e	14.67±1.76 abc
来玉 721 Laiyu 721	197.22±14.48 ab	92.33±0.2 d	58.21±0.12 h	7.39±0.05 c	74.67±0.2 f	15.01±0.07 f	17.50±0.29 ab
粒隆 915 Lilong 915	202.22±20.58 ab	89.83±0.43 e	68.69±0.10 ab	7.15±0.08 c	93.50±0.29 a	16.18±0.1 d	18.00±0.58 a
鲁单 211 Ludan 211	200.89±2.12 ab	89.19±0.14 e	49.78±0.39 i	5.25±0.13 f	53.67±0.33 j	11.93±0.04 h	12.33±1.20 c
鲁单 256 Ludan 256	191.67±13.02 b	91.77±0.39 d	62.41±0.16 f	7.35±0.1 c	60.73±0.15 i	18.18±0.09 a	13.33±0.88 bc
豫青贮 23 Yuqingzhu 23	206.11±27.66 ab	97.21±0.13 a	59.58±0.29 g	5.49±0.1 e	61.69±0.23 h	11.81±0.06 h	13.00±2.08 bc
郑单 958 Zhengdan 958	188.89±21.89 b	94.35±0.2 c	69.12±0.06 a	8.96±0.08 a	84.54±0.33 c	16.88±0.04 b	12.00±0.07 c
中航 611 Zhonghang 611	205.56±15.56 ab	90.46±0.06 f	68.35±0.13 b	6.54±0.1 d	87.87±0.19 b	16.90±0.06 b	14.33±2.33 abc



NDF, 中性洗涤纤维; ADF, 酸性洗涤纤维含量。下同。

NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber. The same below.

图 2 不同玉米品种的品质指标

Fig. 2 Quality index of different maize varieties

表 2 特征根及贡献率
Table 2 latent root and contribution rate

主成分 Principal component	特征根 Latent root	贡献率/% Contribution rate	累积贡献率/% Cumulative contribution rate
P ₁	5.45	38.93	38.93
P ₂	3.68	26.26	65.19
P ₃	1.84	13.17	78.35
P ₄	1.49	10.64	88.99
P ₅	0.92	6.59	95.58
P ₆	0.40	2.87	98.45
P ₇	0.13	0.94	99.39
P ₈	0.07	0.46	99.85
P ₉	0.02	0.15	100.00

表 3 主成分得分系数
Table 3 Score coefficients of principal components

指标 Index	主成分 Principal component			
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
全株鲜重 Fresh weight of whole plant	0.19	−0.14	0.72	−0.14
全株干重 Dry weight of whole plant	0.15	−0.08	0.52	−0.12
穗干重 Ear dry weight	0.00	0.00	0.18	−0.04
株高 Plant height	−0.21	0.19	−0.19	−0.14
叶片持绿性 Leaf greenness	−0.27	0.19	−0.21	0.07
叶长 Leaf length	−0.09	0.55	−0.15	0.02
叶宽 Leaf width	0.02	0.14	−0.05	0.07
穗位高 Ear height	−0.03	0.15	−0.03	−0.05
茎粗 Stem diameter	0.01	0.44	−0.06	0.02
穗长 Ear length	0.14	−0.01	−0.12	0.87
粗蛋白 Crude protein	0.04	−0.06	0.07	0.01
NDF	0.63	−0.03	0.20	0.16
ADF	0.70	−0.06	0.21	0.17
淀粉 Starch	0.10	0.04	−0.07	0.56

高要高于粮饲兼用或籽粒玉米品种,例如青贮专用品种‘大京九 4059’和‘豫青贮 23’株高比粮饲兼用品种‘郑单 958’以及‘登海 605’等品种的株型要高。叶片大小以及叶片持绿性与营养品质密切相关^[24],特别是粗蛋白含量。本研究发现,‘郑单 958’和‘登海 652’具有较大的叶片,‘豫青贮 23’具有较高的叶片持绿性,同时这 3 个玉米品种也具有较高的粗蛋白含量。穗长大小,与青贮玉米淀粉含量密切相关。本研究发现‘粒隆 915’和‘来玉 721’具有较高

的穗长,同时也具有较高的淀粉含量。

淀粉、粗蛋白、中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)是评价青贮玉米营养品质的 4 个重要指标^[25]。本研究发现,10 个参试玉米品种淀粉含量在 25~36 g/100 g,粗蛋白含量在 7.01~8.95 g/100 g,都达到了青贮玉米一级标准(淀粉>25 g/100 g,粗蛋白>7 g/100 g)^[26],具有较高的营养价值。10 个参试玉米品种,NDF 含量在 32~47 g/100 g,ADF 含量在 16~23 g/100 g,除了‘豫青贮 23’之外(NDF 为

表 4 供试品种的主成分得分以及综合得分

Table 4 Principal component score and composite score of tested maize varieties

品种 Variety	主成分得分 Principal component score				综合得分 Composite score	排名 Rank
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄		
粒隆 915 Lilong 915	0.18	0.74	0.18	1.89	2.99	1
登海 652 Denghai 652	0.66	0.36	0.75	−0.39	1.37	2
豫青贮 23 Yuqingzhu 23	2.23	−1.10	−0.49	0.51	1.15	3
来玉 721 Laiyu 721	−1.03	−0.64	1.41	1.15	0.89	4
郑单 958 Zhengdan 958	0.68	0.88	0.44	−1.51	0.49	5
大京九 4059 Dajingjiu 4059	−0.23	0.05	0.76	−0.33	0.25	6
中航 611 Zhonghang 611	−0.07	0.87	−1.14	−0.01	−0.35	7
登海 605 Denghai 605	−0.69	0.40	0.57	−0.85	−0.57	8
鲁单 256 Ludan 256	−0.93	0.60	−1.83	0.27	−1.89	9
鲁单 211 Ludan 211	−0.80	−2.16	−0.65	−0.73	−4.33	10

47 g/100 g), 都满足青贮玉米一级标准(NDF<45%, ADF<23%)^[21]。因此, 10 个参试玉米品种均具有较高的饲用价值。

4 结 论

通过对盐碱地 10 个青贮玉米品种的产量和品质等进行评价, 发现 10 个玉米品种的干草产量存在显著差异, 其变化范围在 10~20 t/hm²。除了‘豫青贮 23’之外, 其他参试玉米的营养品质均达到了青贮玉米一级标准。对玉米的 14 个性状进行综合评价, ‘粒隆 915’ ‘登海 652’ ‘豫青贮 23’ ‘来玉 721’ ‘郑单 958’ 和 ‘大京九 4059’ 的综合表现高于平均水平, 因此, 这 6 个青贮玉米品种适宜在黄河三角洲盐碱地种植。

参考文献 References

[1] 杨劲松, 姚荣江, 王相平, 谢文萍, 张新, 朱伟, 张璐, 孙瑞娟. 中国盐渍土研究: 历程、现状与展望[J]. 土壤学报, 2022, 59(1): 10-27
Yang J S, Yao R J, Wang X P, Xie W P, Zhang X, Zhu W, Zhang L,

Sun R J. Research on salt-affected soils in China: History, status quo and prospect [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2022, 59 (1): 10-27 (in Chinese)
[2] 侯瑞星, 欧阳竹, 刘振, 来剑斌, 孙志刚, 李永华, 李宏伟, 李振声, 李静. 环渤海“滨海草带”建设与生态草牧业发展路径[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(6): 652-659
Hou R X, Ouyang Z, Liu Z, Lai J B, Sun Z G, Li Y H, Li H W, Li Z S, Li J. “Coastal grass belt” as paradigm for grass-based livestock husbandry around Bohai Bay[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36 (6): 652-659 (in Chinese)
[3] 负旭疆. 发展营养体农业的理论基础和实践意义[J]. 草业学报, 2002, 11 (1): 65-69
Yun X J. Theoretical basis and practical significance of vegetative agriculture [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11 (1): 65-69 (in Chinese)
[4] 李想, 张业猛, 朱丽丽, 杨贵贵, 李文军, 王元兰, 徐慧君, 祁琪, 陈志国. 青海高原地区不同玉米品种青贮性能及营养品质评价[J]. 草业科学, 2021, 38(6): 1194-1208
Li X, Zhang Y M, Zhu L L, Yang X G, Li W J, Wang Y L, Xu H J, Qi Q, Chen Z G. Evaluation of silage performance and nutritional quality of different corn cultivars in Qinghai Plateau [J]. *Pratacultural Science*, 2021, 38(6): 1194-1208 (in Chinese)
[5] 朱丽丽, 张业猛, 李万才, 赵亚利, 李想, 陈志国. 39 个我国不同生态区培育的青贮玉米品种在青海高原适应性研究[J]. 草业学报, 2023, 32(4): 68-78

- Zhu L L, Zhang Y M, Li W C, Zhao Y L, Li X, Chen Z G. Adaption to the plateau climate in Qinghai of 39 silage maize varieties cultivated in different ecological regions of China [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2023, 32(4): 68-78 (in Chinese)
- [6] 陶英, 寇俊德, 张立勤, 崔云玲. 轻度盐碱地耐盐玉米品种引选试验[J]. 农业科技通讯, 2022, 6: 53-56
- Tao Y, Kou J D, Zhang L Q, Cui Y L. Introduction and selection of salt-tolerant maize varieties in mild saline-alkali soil [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2022, 6: 53-56 (in Chinese)
- [7] 田娜. 宁夏引黄灌区盐碱种植条件下不同青贮玉米品种生长与生理特征研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2023
- Tian N. Study on the growth and physiological characteristics of different silage maize varieties under salinealkali planting conditions in the Yellow River irrigation area of Ningxia[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2023 (in Chinese)
- [8] 张海艳, 万连步, 李宗新, 赵海军, 刘文龙. 东营盐碱地适宜玉米品种的苗期筛选研究[J]. 种子, 2018, 37(4): 99-101
- Zhang H Y, Wan L B, Li Z X, Zhao H J, Liu W L. Seedling screening study on the suitable maize varieties in Dongying saline-alkali soil [J]. *Seed*, 2018, 37(4): 99-101 (in Chinese)
- [9] 姜万礼, 杨思存, 王成宝, 霍琳. 10个玉米品种对甘肃引黄灌区盐碱地的适应性分析[J]. 甘肃农业科技, 2017, (9): 24-26
- Jiang W L, Yang S C, Wang C B, Huo L. Adaptability analysis of 10 corn cultivars to saline alkali soil in Gansu Yellow River irrigation area [J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2017, (9): 24-26 (in Chinese)
- [10] 刘鸿, 张富来, 田慧娟, 胡梦婷, 李瑞峰, 杨旭东, 张丹. 不同玉米品种萌发期及苗期的耐盐性研究[J]. 种子, 2023, 42(3): 56-62, 69
- Liu H, Zhang F L, Tian H J, Hu M T, Li R F, Yang X D, Zhang D. Study on salt tolerance of different maize varieties at germination and seedling stages[J]. *Seed*, 2023, 42(3): 56-62, 69 (in Chinese)
- [11] 张会丽, 袁闯, 朱林, 许兴. 利用隶属函数值法对玉米成熟期耐盐性的综合评价[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2018, 46(2): 47-55
- Zhang H L, Yuan C, Zhu L, Xu X. Comprehensive evaluation of salt-tolerance of maize at mature period using subordinate function value analysis [J]. *Journal of Northwest A&F University: Nature Science Edition*, 2018, 46(2): 47-55 (in Chinese)
- [12] 韩小伟, 刘国利, 张峰, 张国顺, 冯玉在, 张会光, 李宗新, 张慧, 韩文亮, 高英波. 夏玉米品种田间耐盐性综合评价及鉴定[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(18): 194-200
- Han X W, Liu G L, Zhang F, Zhang G S, Feng Y Z, Zhang H G, Li Z X, Zhang H, Han W L, Gao Y B. Comprehensive evaluation and selection of field salt-tolerance of summer maize cultivars [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(18): 194-200 (in Chinese)
- [13] 解艳玲, 马文礼, 鲍举文, 陈萍. 宁夏农垦灌区盐碱条件下不同玉米品种筛选试验[J]. 乡村科技, 2020(18): 99-100
- Xie Y L, Ma W L, Bao J W, Chen P. Screening experiment of different maize varieties under saline-alkali conditions in Ningxia Agricultural Reclamation Irrigation Area [J]. *Rural Science and Technology*, 2020(18): 99-100 (in Chinese)
- [14] 谷思玉, 周连仁, 王佳佳. 不同品种玉米萌发期耐盐性的比较[J]. 中国农学通报, 2011, 27(33): 34-39
- Gu S Y, Zhou L R, Wang J J. Relatives of salt tolerance of different kinds inbred lines of maize in embryoism [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(33): 34-39 (in Chinese)
- [15] 王国良, 吴波, 张进红, 姜慧新, 孙启忠. 黄河三角洲地区不同品种燕麦生产性能比较[J]. 中国草地学报, 2020, 42(6): 141-148
- Wang G L, Wu B, Zhang J H, Jiang H X, Sun Q Z. The comparison of productivity of different oat varieties in the Yellow River Delta [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2020, 42(6): 141-148 (in Chinese)
- [16] 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993
- Yang S. *Feed Analysis and Feed Quality Testing Technology* [M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993 (in Chinese)
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- Gao J F. *Experimental Guidance of Plant Physiology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006 (in Chinese)
- [18] 孙志强, 徐芳, 张元庆, 海鸽, 杨春艳, 吴哲, 王炳, 玉柱. 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[J]. 草地学报, 2019, 27(1): 250-256
- Sun Z Q, Xu F, Zhang Y Q, Hai G, Yang C Y, Wu Z, Wang B, Yu Z. Comparison and correlation of agronomic characteristics and fermentation quality of different types of hybrid corn [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(1): 250-256 (in Chinese)
- [19] 高英波, 张慧, 薛艳芳, 匡朴, 钱欣, 代红翠, 李源方, 王竹, 韩小伟, 李宗新. 不同夏玉米品种耐盐性综合评价与耐盐品种筛选[J]. 玉米科学, 2020, 28(2): 33-40
- Gao Y B, Zhang H, Xue Y F, Kuang P, Qian X, Dai H C, Li Y F, Wang Z, Han X W, Li Z X. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerance accessions of different summer maize varieties [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2020, 28(2): 33-40 (in Chinese)
- [20] 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(3): 11-24
- Zhang J H, Wu B, Bai S S, Wang G L, Jiang H X. Comprehensive evaluation of whole-plant yield and silage quality of 16 maize varieties in the Huang-Huai-Hai Area [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(3): 11-24 (in Chinese)
- [21] 白春礼. 科技创新引领黄河三角洲农业高质量发展[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(2): 138-144
- Bai C L. Scientific and technological innovation leads high-quality development of agriculture in the Yellow River Delta [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2020, 35(2): 138-144 (in Chinese)
- [22] 高树琴, 王屹晟, 段瑞, 景海春, 方精云. 关于加大在中低产田发展草牧业的思考[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(2): 166-174
- Gao S Q, Wang H S, Duan R, Jing H C, Fang J Y. How to develop grass-based livestock husbandry in areas of low-and middle-yield fields [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2020, 35(2): 166-174 (in Chinese)
- [23] 马学军, 左愈臻, 刘瑞刚, 陈平, 谢建鹏, 王斐, 何振富. 20个青贮玉米品种在陇东南地区的生产性能和营养价值评价[J/OL]. 草地学报, (2024-04-10). <https://link.cnki.net/urlid/11.3362.S.20240408.1608.007>
- Ma X J, Zuo Y Z, Liu R G, Chen P, Xie J P, Wang F, He Z F. Evaluation of productive performance and nutritional value of 20 silage maize varieties in Southeastern Gansu [J/OL]. *Acta Agrestia Sinica*, (2024-04-10). <https://link.cnki.net/urlid/11.3362.S.20240408.1608.007> (in Chinese)
- [24] 郭松, 周子军, 刘东瑶, 曾祥忠, 喻华, 陈尚洪, 何明江, 陈琨, 上官宇先, 涂仕华, 秦鱼生. 氮肥形态对不同持绿性玉米品种产量及叶片光合氮素的影响[J]. 玉米科学, 2022, 30(6): 131-137
- Guo S, Zhou Z J, Liu D Y, Zeng X Z, Yu H, Chen S H, He M J, Chen K, Shangguan Y X, Tu S H, Qin Y S. Effects of nitrogen forms on yield and photosynthetic nitrogen in different stay-green maize cultivars [J].

Journal of Maize Sciences, 2022, 30(6): 131-137 (in Chinese)

96 (in Chinese)

[25] 王晓春, 王转莉, 田慧英, 梁小军. 宁夏中部干旱带青贮玉米品种综合评价[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2024, (6): 90-96

[26] GB/T 25882—2010. 青贮玉米品质分级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010

Wang X C, Wang Z L, Tian H Y, Liang X J. Comprehensive evaluation of silage maize varieties in the central arid zone of Ningxia [J].

GB/T 25882—2010. Quality grading for silage maize[S]. Beijing: China Standard Press, 2010 (in Chinese)

Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2024, (6): 90-

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 张京磊, 博士, 山东省农业科学院休闲农业研究所助理研究员。主要从事草地生态学研究, 先后主持山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目(2023TSGC0046)、黄三角国家农高区省级科技创新发展专项(2022SZX47)等项目, 以第一作者身份发表论文5篇。



通讯作者简介: 王国良, 博士, 山东省农业科学院休闲农业研究所研究员。主要从事牧草育种与栽培工作, 现任国家牧草产业技术体系东营综合试验站站长, 国家草品种区域试验站(济南)技术负责人, 山东省科技特派员。先后主持和参加农业农村部公益性行业科研专项、山东省自然科学基金、山东省农业良种工程牧草项目、山东省农业重大应用技术创新项目、山东省重点研发计划、国家重点研发计划等国家和省部级科研项目10余项, 累计发表论文30余篇, 育成草品种6个, 获得国家发明专利5件, 制定地方标准2项, 获得山东省科技进步奖、神农中华农业科技奖, 中国草业科技奖等省部级奖励5项。