

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.05.019

引用格式: 韦姗姗, 李成, 蔡雄卫, 等. 低纬高原季风区青贮玉米品种筛选与综合评价—以云南大理为例[J]. 草地学报, 2026, 34(5): 1776–1786

WEI Shan-shan, LI Cheng, CAI Xiong-wei, et al. Screening and Comprehensive Evaluation of Silage Maize Varieties in Low—Latitude Plateau Monsoon Regions: A Case Study of Dali, Yunnan[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(5): 1776–1786

低纬高原季风区青贮玉米品种筛选与综合评价 —以云南大理为例

韦姗姗¹, 李成², 蔡雄卫¹, 赵涵¹, 刘方材¹, 王萍¹,
张晓娟³, 姜华¹, 周凯^{1*}

(1. 云南农业大学动物科学技术学院, 云南昆明 650201; 2. 云南省洱源县草山饲料工作站, 云南大理 671200;
3. 云南省洱源县畜牧工作站, 云南大理 671299)

摘要: 为筛选适应低纬高原季风气候的高产优质青贮玉米(*Zea mays* L.)品种, 缓解云贵高原草畜矛盾、支撑“粮改饲”政策落实, 进而推动区域草牧业可持续发展, 本研究以11个青贮玉米品种为试验材料, 对其农艺性状、产量及营养成分等指标进行分析, 采用灰色关联度分析法进行综合评价。结果表明: 单株干重以‘和玉36’最高, 达0.37 kg, ‘京科932’次之为0.33 kg; ‘曲辰513’鲜草产量最高为187.7 t·hm⁻²; ‘西抗18’粗蛋白含量最高为8.11%, ‘曲辰513’的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量最低, 分别为40.88%和17.47%, 其相对饲喂价值最高为171.52。灰色关联度分析显示, ‘曲辰513’综合评分最高加权关联度0.5668, 其次‘大天1416’为0.5482, ‘和玉36’为0.5382。综上, ‘曲辰513’‘大天1416’和‘和玉36’在鲜草产量、干物质产量、粗蛋白含量及持绿性等方面表现突出, 适宜在低纬高原季风区进行推广种植。

关键词: 青贮玉米; 灰色关联度; 低纬高原季风气候; 农艺性状; 产量性状; 营养品质

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1007-0435(2026)05-1776-11

Screening and Comprehensive Evaluation of Silage Maize Varieties in Low—Latitude Plateau Monsoon Regions: A Case Study of Dali, Yunnan

WEI Shan-shan¹, LI Cheng², CAI Xiong-wei¹, ZHAO Han¹, LIU Fang-cai¹, WANG Ping¹,
ZHANG Xiao-juan³, JIANG Hua¹, ZHOU Kai^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan Province 650201, China; 2. Grassland and Feed Workstation of Eryuan County, Dali, Yunnan Province 671200, China; 3. Animal Husbandry Workstation of Eryuan County, Dali, Yunnan Province 671299, China)

Abstract: This study seeks to identify high-yield and high-quality silage maize varieties that are well-suited to the low-latitude plateau monsoon climate. The objective was to mitigate the imbalance between forage supply and livestock demand on the Yunnan-Guizhou Plateau, support the implementation of the ‘grain-to-feed’ policy, and ultimately to promote the sustainable development of regional grassland animal husbandry. This study analyzed 11 silage maize varieties based on their agronomic traits, yield, and nutritional composition, and conducted a comprehensive evaluation using the grey relational analysis method. The results indicated that ‘Heyu36’ had the highest dry weight per plant at 0.37 kg, followed by ‘Jingke932’ at 0.33 kg. ‘Quchen513’ achieved the highest fresh biomass of 187.7 t·hm⁻². ‘Xikang18’ contained the highest crude protein content at

收稿日期: 2025-09-16; 修回日期: 2025-11-19

基金项目: 洱源县饲草产业科技特派团(202304BI090008)资助

作者简介: 韦姗姗(2000—), 女, 壮族, 广西来宾人, 硕士研究生, 主要从事草类植物逆境生理研究, E-mail: 2256898547@qq.com; *通信作者
Author for correspondence, E-mail: zhokai1988@126.com

8.11%, while ‘Quchen513’ exhibited the lowest neutral detergent fiber and acid detergent fiber contents at 40.88% and 17.47%, respectively, resulting in the highest relative feed value of 171.52. Grey relational analysis revealed that ‘Quchen513’ had the highest comprehensive evaluation score with a weighted relational degree of 0.5668, followed by ‘Datian1416’ at 0.5482 and ‘Heyu36’ at 0.5382. In summary, ‘Quchen513’, ‘Datian1416’, and ‘Heyu36’ demonstrated outstanding performance in terms of fresh grass yield, dry matter yield, crude protein content, and stay-green characteristics, making them suitable for widespread cultivation in low-latitude plateau monsoon regions.

Key words: Silage maize; Gray correlation; Monsoon climate of low-latitude plateaus; Agronomic traits; Yield traits; Nutritional quality

大理地处青藏高原东南缘,年均温15~18℃,干湿季分明,立体气候明显,其作为低纬高原季风气候的典型代表,受青藏高原热力作用与印度-东亚季风交汇影响形成独特的生态梯度,为筛选适合青贮玉米品种提供了天然试验场^[1]。云贵高原具备良好的水热条件和气候条件,适宜发展草牧业^[2],但饲草季节性供应不平衡导致该区域草畜矛盾突出^[3]。全株玉米青贮具有生物产量高、耐贮存、营养品质优良等特点^[4],是缓解草畜季节性供需矛盾的有效途径^[5],对促进畜牧养殖业发展具有重要意义。云南山区耕地分布零散,传统玉米种植效益较低,实施“粮改饲”政策,推广全株青贮玉米种植,有助于缓解饲料短缺并提升土地利用效率,但需有适应本地气候的品种作为支撑^[6]。玉米作为全球重要的粮食和饲料作物,在云南也占据重要地位^[7]。然而云南玉米生产受自然条件限制,产量低且不稳定,规模化和机械化程度低,生产成本较高^[8]。全株玉米青贮具有高营养品质和高转化率,可使土地产出率提高20%左右,减少精料投入,同时提高畜产品产量和品质^[9-10]。此外,青贮玉米的贮存量可灵活调整,能及时弥补饲料供应缺口,是改善草食畜牧业供给的有效方式^[11]。青贮玉米产量和品质受品种遗传特性及自然气候共同影响,因此各地应因地制宜选择适宜品种,以实现最优生物产量和饲用价值^[12-13]。青贮玉米品种类型多样,不同品种在生物产量、农艺性状及营养成分等方面差异较大,亟需科学、系统的综合评价方法筛选适合种植的高产优质品种^[14]。灰色关联度分析法能够量化各性状与理想品种的接近程度,避免传统方法偏重单一性状的局限,适用于多目标综合评价,已成为青贮玉米品种筛选的有效工具,张书兴等^[15]应用灰色关联度分析法在不同地区筛选出适宜种植的品种。有鉴于此,本研究针对大理地区低纬高原季风气候特点—地形复杂、海拔高差大、干湿季分明、气候垂直分异显著,于2024年在大理白族自治州洱源县对11个青

贮玉米品种进行田间试验,测定其农艺性状、生产性能及营养品质等23项指标,运用灰色关联分析法进行综合评价,以筛选适宜当地生态条件的青贮玉米品种,为区域品种优化与畜牧业可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点

试验于2024年6月1日在云南省大理白族自治州洱源县试验田进行,该地区四季温和、年均温为15℃左右、干湿季分明、降雨适中、地域差异明显、光照充足,属于低纬高原季风气候。室内试验于2024年10月进行。

1.2 供试品种

供试材料为11个青贮玉米品种,分别为‘和玉36’‘迪卡625’‘京科932’‘曲辰28’‘曲辰513’‘曲辰9’‘曲辰49’‘曲辰39’‘西抗18’‘罗丹197’和‘大天1416’(表1)。种子均由北京正道生态科技有限公司提供。

表1 青贮玉米品种

Table 1 Varieties of silage maize

序号 Number	品种名称 Variety name	拉丁名 Latin name
1	和玉36	<i>Zea mays</i> ‘Heyu36’
2	迪卡625	<i>Z. mays</i> ‘Dekalb625’
3	京科932	<i>Z. mays</i> ‘Jingke932’
4	曲辰28	<i>Zea mays</i> ‘Quchen28’
5	曲辰513	<i>Zea mays</i> ‘Quchen513’
6	曲辰9	<i>Zea mays</i> ‘Quchen9’
7	曲辰39	<i>Zea mays</i> ‘Quchen39’
8	曲辰49	<i>Zea mays</i> ‘Quchen49’
9	西抗18	<i>Zea mays</i> ‘Xikang18’
10	罗丹197	<i>Zea mays</i> ‘Luodan197’
11	大天1416	<i>Z. mays</i> ‘Datian1416’

1.3 试验设计

该试验于2024年6月1日在云南省大理白族自

治州洱源县进行种植,实验小区采用随机分组设计,小区面积 15 m^2 ,每个品种3个重复,小区间距为 50 cm 。整地前施腐熟厩肥(牛粪) $30\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 作为基肥,对地面进行全垦处理,平整地块,划线分区,起垄。采用穴播的方式进行播种,种植密度为 $66\,700\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$,行距 50 cm ,穴距 30 cm ,播深为 $4\sim 5\text{ cm}$ 。播种期为2024年6月1日,收获期为2024年10月7日。当地土壤为沙壤土,前茬作物为饲用燕麦,全生育期未进行任何追肥或其他肥料投入,其他田间管理与当地生产一致。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 农艺性状、产量测定 依据不同品种的成熟度,在乳熟后期至蜡熟初期进行收获。收获前每个小区随机抽取5株玉米测量株高、穗位高、茎粗、叶长、叶宽、穗粗、穗长、穗行数、行粒数、秃尖长、黄叶数、绿叶数(叶片中绿色部分占比超过50%)等农艺性状^[16]。测产时去除小区两侧各2行后全部刈割,留茬 10 cm ,测定鲜草产量并折合成公顷产量;每小区随机选取5株全株称重测定单株鲜重,利用铡刀切段置于 105°C 烘箱中烘干,烘干后测定单株干重、叶重、茎重、穗重、百粒重,通过计算的干鲜比换算成干草产量并折算成公顷产量。

叶片持绿性计算公式^[17]如下:

$$\text{持绿性} = \frac{\text{绿叶数}}{(\text{绿叶数} + \text{黄叶数})} \times \text{叶长} \times \text{叶宽} \times 0.75/1000;$$

$$\text{干鲜比}(\%) = \frac{\text{干重}}{\text{鲜重}} \times 100.$$

1.4.2 营养品质测定 烘干样用植物粉样机进行粉碎处理,过 2 mm 筛密封保存待测,根据《饲料分析及饲料质量检测技术》^[18]测定粗蛋白(Crude protein, CP)、中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber,

NDF)、酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, NDF)、粗脂肪(Ether extract, EE)、粗灰分(Crude ash, CA),分别用凯氏定氮法、范氏纤维洗涤法、索氏抽提法、灼烧法测定。

1.4.3 相对饲用价值 青贮玉米相对饲用价值(Relative feed value, RFV)^[19]计算公式如下:

$$\text{RFV} = (\text{DMI} \times \text{DDM})/1.29;$$

$$\text{DMI} = \text{NDF}/120;$$

$$\text{DDM} = 88.96 - 0.779 \times \text{ADF}.$$

式中:DMI,DDM,NDF,ADF分别代表干物质采食量(% BW)、可消化干物质含量(% DM)、中性洗涤纤维含量(% DM)和酸性洗涤纤维含量(% DM)。

1.4.4 灰色关联度分析 供试青贮玉米的农艺性状,根据11个品种的农艺性状指标分别设计一个理想的参考品种,分别将农艺性状(株高、茎粗、鲜草产量、干草产量、干鲜比、茎叶比、绿叶数、叶长、叶宽、持绿性、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重、穗重)挑选最大值,分别建立一个“最优”参考序列 X_0 。为了设计一个理想的参考品种,我们根据11个品种的6个营养品质指标,选取了CP,EE,CA,RFV等指标的最大值,以及NDF,ADF指标的最小值,构建了一个“最优”参考序列 X_0 。

各评价指标之间存在数量和量纲级等的差异,要对数据进行无量纲化处理。使用横向各指标值除以各指标的最优值 X_0 ,把数据压缩在 $0\sim 1$ 之间。然后利用公式 $\Psi_0(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$,得出每个指标绝对标准差 $\Psi_i(k)$,算出一级最大标准差和一级最小标准差,再对其求和可得二级最大标准差和二级最小标准差。求得二级最大标准差为0.6,二级最小标准差为0。

将各个绝对标准差代入关联度系数公式计算出关联度系数。计算公式如下^[20]:

$$e_i(k) = \frac{\min(i) \min(k) |X_0(k) - X_i(k)| + r \max(i) \max(k) |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + r \max(i) \max(k) |X_0(k) - X_i(k)|}$$

$$g_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n e_i(k)$$

$$w_i(k) = \frac{g_i}{\sum_{k=1}^n g_i}$$

$$g_i^* = \sum_{k=1}^n e_i(k) w_i(k)$$

式(1)~(4)中: e_i 表示关联系数; X 表示不同青贮玉米品种; k 表示各指标理想值,比较数列 $X_i(k)$ 表示又在 k 点的值,构建的“理想参考品种”用 X_0 表示; $|X_0(k) - X_i(k)|$ 代表 $X_0(k)$ 数列与 $X_i(k)$ 数列在 k 点的绝对值差; $\min(i) \min(k) |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最

小差; r 表示分辨系数,取 0.5 ; $\max(i) \max(k) |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最大差; n 表示样本数; g_i 表示等权关联度; $w_i(k)$ 表示权重系数; g_i^* 表示加权关联度。

1.5 数据分析

数据采用Excel 2019统计整理,用Origin 2021作图。使用SPSS 27进行单因素Anova检验、Duncan's法进行差异显著性比较,数据以“平均值±标准差”表示,用Pearson法做相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同青贮玉米品种单株产量

‘和玉36’和‘京科932’单株干重显著高于其他9个青贮玉米品种($P<0.05$),‘和玉36’和‘京

科932’单株干重分别为0.37 kg和0.33 kg;‘曲辰513’单株鲜草产量显著高于‘迪卡625’‘曲辰39’‘曲辰49’和‘罗单197’($P<0.05$);‘迪卡625’与‘曲辰39’的单株鲜草产量最低,均低于0.80 kg(图1)。

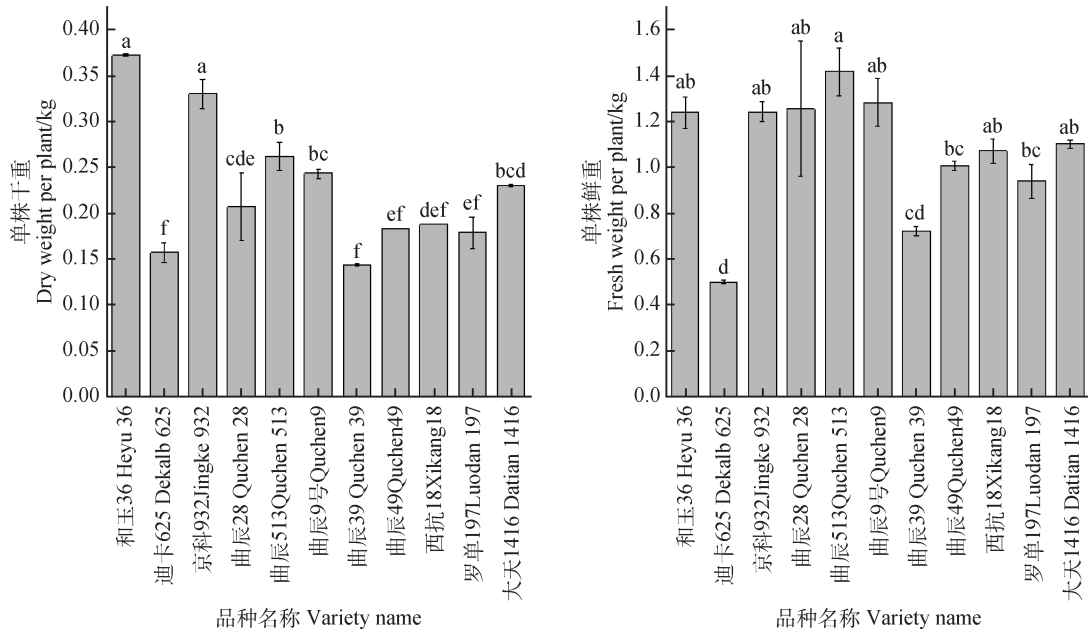


图1 供试11个不同青贮玉米品种单株鲜干重

Fig. 1 Fresh and dry weight per plant of eleven tested silage maize varieties

注:不同小写字母表示不同青贮玉米品种间差异显著($P<0.05$)。下同

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among silage maize varieties at $P<0.05$. The same as below

2.2 不同青贮玉米品种产量分析

‘和玉36’干草产量最高,为 $37.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$;‘曲辰28’干草产量最低,为 $17.81 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。‘曲辰513’鲜草产量最高,为 $187.70 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$;‘迪卡625’和‘和

玉36’干鲜比分别为31.39%,30.18%,‘迪卡625’和‘和玉36’干鲜比显著高于其他9个青贮玉米品种($P<0.05$),‘曲辰28’和‘西抗18’干鲜比较低,分别为17.00%和17.45%(图2)。

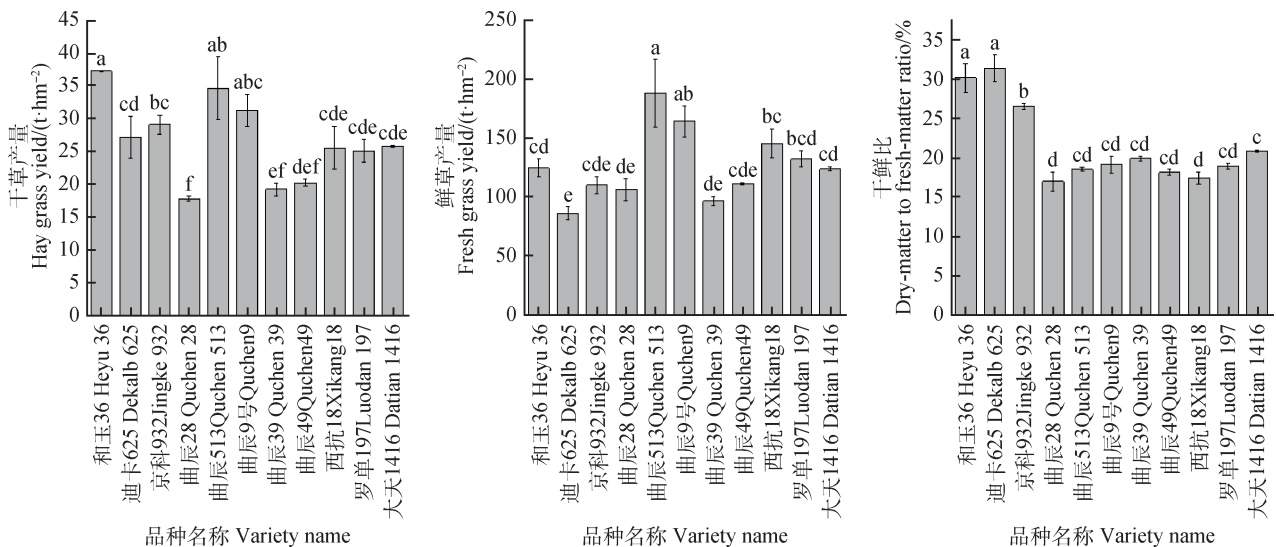


图2 供试11个不同青贮玉米品种干鲜产量及干鲜比

Fig. 2 Fresh and dry biomass yield and dry-matter to fresh-matter ratio of eleven silage maize varieties

2.3 不同青贮玉米品种农艺性状

‘西抗18’株高表现最优,株高为287.14 cm,‘西抗18’株高显著高于‘迪卡625’,‘曲辰28’和‘京科932’($P<0.05$);‘曲辰28’株高最矮,为235.83 cm;‘曲辰513’茎粗最大,为2.75 cm,‘迪卡625’茎粗最小,为1.73 cm。‘曲辰9号’茎重最高,为699.69 g,

显著高于‘迪卡625’‘曲辰28’‘曲辰39’‘西抗18’和‘罗丹197’($P<0.05$);‘曲辰39’穗位高最高,为119.64 cm,‘曲辰39’穗位高显著高于‘迪卡625’‘京科932’和‘曲辰513’;‘曲辰9号’茎叶比最高,为3.47,显著高于‘曲辰28’和‘曲辰39’($P<0.05$)(表2)。

表2 供试11个不同青贮玉米品种茎的农艺性状

Table 2 Stalk agronomic traits of eleven tested silage maize varieties

品种名称 Variety name	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	茎重 Stem weight/g	穗位高 Ear height/cm	茎叶比 Stem leaf ratio
和玉36 Heyu36	256.04±17.92 ^{abcd}	1.94±0.36 ^{de}	637.99±34.51 ^{ab}	100.03±19.08 ^b	3.02±0.52 ^{ab}
迪卡625 Dekalb625	247.20±30.53 ^{cd}	1.73±0.23 ^e	251.23±43.86 ^d	75.28±27.22 ^c	2.05±0.04 ^{bc}
京科932 Jingke932	251.77±22.61 ^{bcd}	1.77±0.43 ^e	531.14±100.54 ^{abc}	64.59±9.61 ^c	2.63±0.28 ^{abc}
曲辰28 Quchen28	235.83±84.71 ^d	2.31±0.52 ^{bcd}	389.35±84.62 ^{bcd}	95.43±13.87 ^b	1.64±0.73 ^c
曲辰513 Quchen513	265.55±14.56 ^{abcd}	2.75±0.60 ^a	644.77±115.02 ^{ab}	68.13±14.88 ^c	2.89±0.15 ^{ab}
曲辰9 Quchen9	275.82±20.25 ^{abc}	2.37±0.28 ^{bc}	699.69±108.75 ^a	110.23±13.98 ^{ab}	3.47±0.13 ^a
曲辰39 Quchen39	279.91±17.03 ^{ab}	2.01±0.37 ^{cde}	334.42±40.00 ^{cd}	119.64±18.66 ^a	1.59±0.37 ^c
曲辰49 Quchen49	265.09±15.36 ^{abcd}	2.20±0.34 ^{bcd}	449.30±7.21 ^{abcd}	102.83±10.61 ^{ab}	2.12±0.50 ^{bc}
西抗18 Xikang18	287.14±27.62 ^a	2.50±0.21 ^{ab}	420.78±164.08 ^{bcd}	119.21±18.28 ^a	2.03±0.86 ^{bc}
罗丹197 Luodan197	281.12±20.83 ^{ab}	2.21±0.23 ^{bcd}	360.06±119.20 ^{cd}	99.07±34.28 ^b	2.00±0.05 ^{bc}
大天1416 Datian1416	276.84±11.47 ^{abc}	2.14±0.48 ^{bcd}	524.47±102.26 ^{abc}	108.19±14.19 ^{ab}	2.55±0.81 ^{abc}

注:不同小写字母表示不同青贮玉米品种间差异显著($P<0.05$)。下同

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among silage maize varieties at $P<0.05$. The same as below

‘罗丹197’黄叶数最高为3.60,11个青贮玉米品种之间黄叶数无显著性差异;‘西抗18’绿叶数最高,为11.70,‘西抗18’的绿叶数显著高于‘大天1416’;‘大天1416’叶长最长,为73.3 cm,相较于其他8个青贮玉米品种,‘和玉36’‘迪卡625’‘京科932’的叶长较短,差异显著($P<0.05$)。‘罗丹197’和‘曲辰513’叶

宽分别为8.7 cm和8.6 cm,‘罗丹197’和‘曲辰513’叶宽显著高于‘和玉36’‘迪卡625’‘京科932’和‘曲辰28’($P<0.05$)。‘迪卡625’叶重最轻,为122.80g。‘和玉36’‘京科932’‘迪卡625’持绿性较低,分别为0.14,0.16,0.18,‘和玉36’‘迪卡625’‘京科932’显著低于其他8个青贮玉米品种($P<0.05$)(表3)。

表3 供试11个不同青贮玉米品种叶的农艺性状

Table 3 Leaf agronomic traits of eleven tested silage maize varieties

品种名称 Variety name	黄叶数 Yellow leaf count per leaf	绿叶数 Green leaf count per leaf	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶重 Dry weight/g	持绿性 Stay-green
和玉36 Heyu36	3.2±2.21 ^a	8.8±1.48 ^{bc}	41.4±10.3 ^d	5.7±1.2 ^e	213.54±25.4 ^a	0.14±0.06 ^d
迪卡625 Dekalb625	2.00±1.16 ^{ab}	8.7±3.06 ^{bc}	44.8±6.1 ^d	6.5±1.1 ^{de}	122.8±19.37 ^b	0.18±0.06 ^{bcd}
京科932 Jingke932	3.2±3.16 ^a	7.1±3.04 ^{cd}	43.0±5.6 ^d	6.7±0.8 ^{de}	201.2±17.1 ^a	0.16±0.07 ^{cd}
曲辰28 Quchen28	1.8±1.03 ^{ab}	10.3±2.16 ^{ab}	56.6±6.7 ^c	6.8±1.2 ^{de}	233.2±23.1 ^a	0.25±0.06 ^{abc}
曲辰513 Quchen513	3.6±2.01 ^a	7.2±2.25 ^{cd}	60.7±9.2 ^{bc}	8.6±1.8 ^a	222.7±28.3 ^a	0.27±0.14 ^{ab}
曲辰9 Quchen9	1.9±1.92 ^{ab}	10.4±1.91 ^{ab}	56.0±19 ^c	8.4±1.6 ^{ab}	216.5±23.3 ^a	0.30±0.13 ^a
曲辰39 Quchen39	3.1±1.45 ^a	7.7±1.34 ^{cd}	61.4±11.7 ^{bc}	7.3±1.2 ^{bcd}	213.4±25.2 ^a	0.25±0.1 ^{abc}
曲辰49 Quchen49	2.0±1.63 ^{ab}	8.3±1.49 ^c	67.2±9.4 ^{ab}	7.8±1.7 ^{abc}	219.1±56.1 ^a	0.32±0.11 ^a
西抗18 Xikang18	0.8±0.92 ^{ab}	11.7±2.60 ^a	60.3±9.2 ^{bc}	7.6±0.9 ^{abcd}	209.2±8.1 ^a	0.33±0.09 ^a
罗丹197 Luodan197	3.6±0.97 ^a	8.4±1.17 ^{bc}	55.7±8.2 ^c	8.7±1.0 ^a	181.4±63.9 ^{ab}	0.26±0.06 ^{ab}
大天1416 Datian1416	2.9±1.73 ^a	6.3±1.25 ^d	73.3±11.4 ^a	8.3±1.1 ^{ab}	210.7±27.3 ^a	0.34±0.14 ^a

‘罗丹197’穗长显著高于‘迪卡625’‘曲辰28’‘曲辰513’‘曲辰9号’‘曲辰39’和‘西抗18’($P<0.05$),‘曲辰513’穗长最短,为22.23 cm。‘曲辰9号’的穗粗显著高于‘京科932’‘曲辰28’和‘曲辰513’,其

中‘京科932’的穗粗最小,仅为5.37 cm。‘曲辰49’穗行数最多,为44.6,‘曲辰513’和‘曲辰39’穗行数最低,分别为28.10,28.30。‘曲辰513’和‘曲辰39’这两个品种行粒数最多,均在26以上;‘和玉36’穗突尖长

显著高于其他 11 个青贮玉米品种($P<0.05$),‘罗丹 197’穗尖突长最短,为 1.01 cm。‘曲辰 513’百粒重显著高于‘迪卡 625’‘曲辰 49’和‘西抗 18’($P<0.05$), ‘曲辰 49’百粒重最少,为 17.01 g;‘和玉 36’和‘京科 932’穗重显著高于其他 9 个青贮玉米品种($P<0.05$),‘和玉 36’穗重最高,为 1007.76 g(表 4)。

表 4 供试 11 个不同青贮玉米品种穗的农艺性状

Table 4 Ear-specific agronomic traits of eleven tested silage maize varieties

品种名称 Variety name	穗长 Ear length/cm	穗粗 Ear diameter/ cm	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernel number per row	穗秃尖长 Ear bald tip length/cm	百粒重 100-Kernel weight/g	穗重 Ear weight/g
和玉 36 Heyu36	31.31±4.54 ^{abc}	6.03±0.57 ^{ab}	36.80±5.75 ^{ab}	18.50±4.33 ^{bc}	6.47±3.50 ^a	25.78±0.21 ^{ab}	1007.76±24.74 ^a
迪卡 625 Dekalb625	28.18±3.52 ^{cd}	5.87±1.09 ^{abc}	37.40±8.00 ^{ab}	14.50±0.97 ^c	4.39±2.72 ^b	19.25±0.44 ^{bc}	411.98±68.26 ^b
京科 932 Jingke932	30.99±1.97 ^{abc}	5.37±0.31 ^c	38.00±3.86 ^{ab}	14.00±1.60 ^c	3.09±2.91 ^{bcd}	26.83±2.15 ^{ab}	917.26±80.62 ^a
曲辰 28 Quchen28	24.09±1.97 ^{de}	5.65±0.23 ^{bc}	43.80±4.24 ^a	15.80±1.75 ^c	2.23±1.54 ^{cde}	24.51±2.00 ^{abc}	410.86±220.65 ^b
曲辰 513 Quchen513	22.23±2.38 ^e	5.57±0.25 ^{bc}	28.10±13.09 ^c	28.00±12.12 ^a	1.2±1.85 ^{de}	28.57±3.14 ^a	443.11±44.56 ^b
曲辰 9 Quchen9	28.81±2.86 ^{bc}	6.27±0.75 ^a	31.71±13.55 ^{bc}	23.43±12.78 ^{ab}	4.1±1.85 ^{bc}	26.6±3.76 ^{ab}	300.17±103.42 ^{bc}
曲辰 39 Quchen39	28.41±2.34 ^c	5.8±0.36 ^{abc}	28.30±12.10 ^c	26.10±12.33 ^a	4.34±1.63 ^b	23.33±0.72 ^{abc}	171.01±4.30 ^c
曲辰 49 Quchen49	33.00±4.89 ^{ab}	5.98±0.49 ^{ab}	44.60±2.99 ^a	14.90±1.91 ^c	2.70±0.63 ^{bcd}	17.10±0.71 ^c	247.00±61.38 ^{bc}
西抗 18 Xikang18	27.91±3.89 ^{cd}	6.00±0.51 ^{ab}	41.60±4.14 ^a	16.60±1.51 ^{bc}	2.98±1.46 ^{bcd}	19.87±8.02 ^{bc}	309.40±152.03 ^{bc}
罗丹 197 Luodan197	34.94±11.20 ^a	5.85±0.27 ^{abc}	41.90±3.54 ^a	18.40±8.36 ^{bc}	1.01±1.27 ^e	24.18±3.64 ^{abc}	351.65±26.66 ^{bc}
大天 1416 Datian1416	31.71±2.64 ^{abc}	6.03±0.50 ^{ab}	42.60±4.22 ^a	14.10±1.91 ^c	2.05±1.16 ^{de}	27.07±1.80 ^{ab}	414.28±96.42 ^b

2.4 不同青贮玉米品种营养品质

参试玉米品种的粗蛋白含量以‘西抗 18’最高为 8.11%,显著高于‘京科 932’‘和玉 36’‘迪卡 625’‘曲辰 28’‘曲辰 39’($P<0.05$),与其余品种差异不显著。‘曲辰 28’粗脂肪含量最高为 4.78%,显著高于其他 10 个青贮玉米品种($P<0.05$),‘和玉 36’‘京科 932’‘曲辰 513’‘曲辰 49’‘罗单 197’‘大天 1416’间差异不显著,‘曲辰 9’粗脂肪含量最低为 1.93%。‘曲辰 513’中性洗涤纤维含量最低为 40.88%,显著低于其他 10 个青贮玉米品种($P<$

0.05),‘大天 1416’和‘曲辰 39’中性洗涤纤维分别为 48.14%,49.15%,两者差异不显著。‘曲辰 513’酸性洗涤纤维含量最低为 17.47%,显著低于其他 10 个青贮玉米品种($P<0.05$),‘西抗 18’和‘曲辰 9’酸性洗涤纤维含量较高分别为 25.59%,25.48%,两者差异不显著。‘和玉 36’粗灰分含量最高为 4.32%,显著高于其他 10 个青贮玉米品种($P<0.05$),‘曲辰 9’‘京科 93’‘罗单 197’粗灰分含量分别为 3.64%,3.51%,3.26%,三者差异不显著(表 5)。

表 5 供试 11 个不同青贮玉米品种营养成分

Table 5 Nutritional composition of eleven tested silage maize varieties

品种名称 Variety name	粗蛋白 Crude protein/%	粗脂肪 Ether extract/%	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber/%	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber/%	灰分 Crude ash/%
和玉 36 Heyu36	7.57±0.18 ^b	3.19±0.59 ^b	53.93±1.10 ^c	21.80±0.32 ^{cde}	4.32±0.41 ^a
迪卡 625 Dekalb625	7.43±0.12 ^{bc}	2.78±0.21 ^{bc}	57.89±1.14 ^{ab}	19.54±1.24 ^f	2.83±0.22 ^c
京科 932 Jingke932	7.33±0.05 ^{bc}	3.38±0.62 ^b	52.65±4.71 ^{cd}	20.40±1.61 ^{def}	3.51±0.18 ^{bc}
曲辰 28 Quchen28	6.98±0.11 ^d	4.78±0.34 ^a	52.68±0.45 ^{cd}	20.62±1.32 ^{def}	1.77±0.03 ^f
曲辰 513 Quchen513	7.96±0.09 ^a	3.48±0.63 ^b	40.88±0.99 ^f	17.47±1.27 ^g	3.22±0.44 ^{cde}
曲辰 9 Quchen9	8.04±0.21 ^a	1.93±0.33 ^d	59.80±2.41 ^a	25.48±1.73 ^a	3.64±0.23 ^b
曲辰 39 Quchen39	7.18±0.21 ^{cd}	2.33±0.56 ^{cd}	49.51±1.46 ^{de}	23.82±0.29 ^b	3.18±0.12 ^{cde}
曲辰 49 Quchen49	7.88±0.18 ^a	3.40±0.43 ^b	56.01±2.16 ^{bc}	23.00±1.51 ^{bc}	3.09±0.05 ^{de}
西抗 18 Xikang18	8.11±0.08 ^a	2.03±0.46 ^{cd}	59.95±2.95 ^a	25.59±0.12 ^a	3.15±0.46 ^{cde}
罗丹 197 Luodan197	7.54±0.11 ^b	3.26±0.72 ^b	55.85±3.15 ^{bc}	22.00±0.95 ^{cd}	3.26±0.03 ^{bcd}
大天 1416 Datian1416	7.34±0.36 ^{bc}	3.45±0.39 ^b	48.14±3.05 ^e	20.06±0.54 ^{ef}	2.96±0.11 ^{de}

2.5 不同青贮玉米品种的相对饲喂价值

‘曲辰 513’相对饲喂价值最高为 171.52,显著高于其他 10 个青贮玉米品种($P<0.05$),其次为‘大

天 1416’相对饲喂价值为 142.17,显著高于其他 9 个青贮玉米品种($P<0.05$),‘和玉 36’‘迪卡 625’‘曲辰 49’‘罗单 197’四者差异不显著,‘西抗 18’和

‘曲辰9’相对饲喂价值分别为107.31, 107.63, 显著低于其他9个青贮玉米品种($P < 0.05$), 两者差异不显著(图3)。

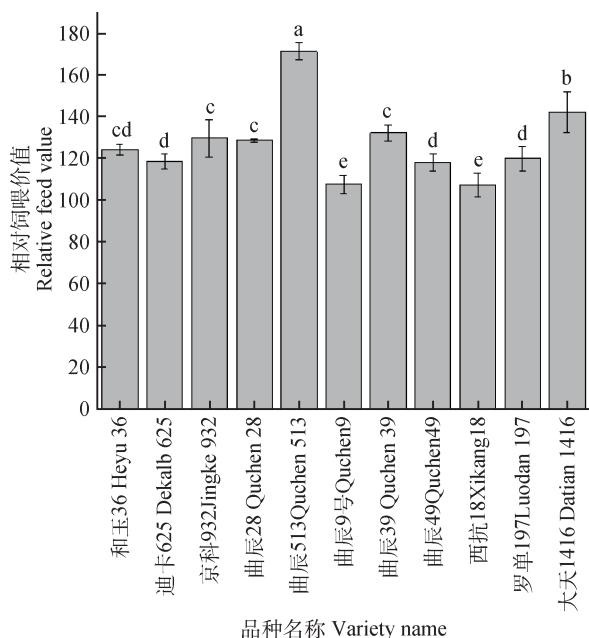


图3 供试11个不同青贮玉米品种相对饲喂价值

Fig. 3 Relative feed value of eleven tested silage maize varieties

2.6 青贮玉米农艺性状、产量与营养品质的相关分析

株高与茎粗、穗位高、叶长、叶宽、持绿性、穗粗、粗蛋白、酸性洗涤纤维呈极显著正相关($P < 0.01$), 排序为粗蛋白>持绿性>穗位高>叶宽>叶长>酸性洗涤纤维>茎粗、穗粗, 与干鲜比、粗脂肪、穗重呈极显著负相关($P < 0.01$)(图4)。茎粗与穗位高、叶长、叶宽、持绿性、行粒数、粗蛋白呈极显著正相关($P < 0.01$), 与干鲜比、穗重呈极显著负相关($P < 0.01$)。穗位高与叶长、叶宽、持绿性、穗粗、粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维呈极显著正相关, 与百粒重、穗重、干草产量、干鲜比、粗脂肪、相对饲喂价值呈极显著负相关($P < 0.01$)。持绿性与粗蛋白呈极显著正相关($P < 0.01$), 与穗凸尖长、穗重、干草产量、干鲜比、粗灰分呈极显著负相关($P < 0.01$)。干草产量与干鲜比、灰分呈极显著正相关($P < 0.01$), 与酸性洗涤纤维呈显著负相关($P < 0.05$)。中性洗涤纤维与酸性洗涤纤维呈极显著正相关, 与相对饲喂价值呈极显著负相关($P < 0.01$), 粗灰分、相对饲喂价值与13个农艺性状均无显著相关性。

2.7 不同青贮玉米品种灰色关联综合分析

等权关联度与权重系数从高到低的排序为粗蛋白、穗行数、穗粗、叶重、行粒数、穗长、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、相对饲喂价值、粗灰分、百粒重、绿叶数、叶宽、茎粗、叶长、穗重、干鲜比和持绿性、干草产量、茎叶比、鲜草产量和粗脂肪、株高(表6)。权重系数越大、排序越靠前, 其越重要。加权关联度越高, 排序越靠前的品种更接近理想品种, 11个品种加权关联度从高到低依次为: ‘曲辰513’>‘大天1416’>‘和玉36’>‘曲辰28’>‘罗单197’>‘曲辰9’>‘西抗18’>‘迪卡625’>‘京科932’>‘曲辰49’>‘曲辰39’(表7)。

3 讨论

3.1 不同青贮玉米品种的农艺性状及产量

随着畜牧业的快速发展, 对高品质青贮玉米品种的需求与日俱增。产量是衡量青贮玉米品种效益的关键指标, 不同品种的产量差异可直观反映青贮玉米的生产性能和适应性^[21]。针对区域特性筛选高产良种对提升总产量具有重大意义。试验结果显示, ‘和玉36’干草产量最高, 达 $37.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; ‘曲辰28’最低, 仅 $17.81 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; ‘曲辰513’鲜草产量最高, 达 $187.7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。高产青贮玉米品种可以满足畜牧业对青贮玉米的大量需求, 作物的产量高低与其自身的农艺性状密切相关^[22]。何文涛等^[23]指出, 株高和穗部性状是影响青贮玉米产量的主要因素之一。张家华等^[24]进一步指出, 在实际生产中通过秸秆产量、籽粒产量和株高这三项指标辅助筛选, 可快速筛选出高产量青贮玉米品种。‘西抗18’‘罗单197’‘曲辰39’株高分别为287.1, 281.1, 279.9 cm, 显著高于其余材料; 株高与鲜草产量呈显著正相关($r=0.52, P < 0.05$), 为生物产量奠定形态基础。穗部性状方面, ‘曲辰九号’穗粗6.27 cm居首, ‘大天1416’与‘和玉36’均为6.03 cm; 但‘和玉36’穗重最高, 达1007.76 g, 提示其籽粒饱满度高, 潜在营养价值优。因此, 高产育种应协同株高与穗部性状, 实现产量与营养同步提升。

闫慧颖等^[25]研究表明, 茎秆和叶片是草产量的两个主要组成部分。植株越高, 叶片越大, 生物产量越高^[26]。植株叶面积受叶长和叶宽影响, 增大叶面积可促进光合作用, 加速植株生长, 提升鲜草产量^[20]。而粗壮的茎秆能够有效避免植株倒伏造成的

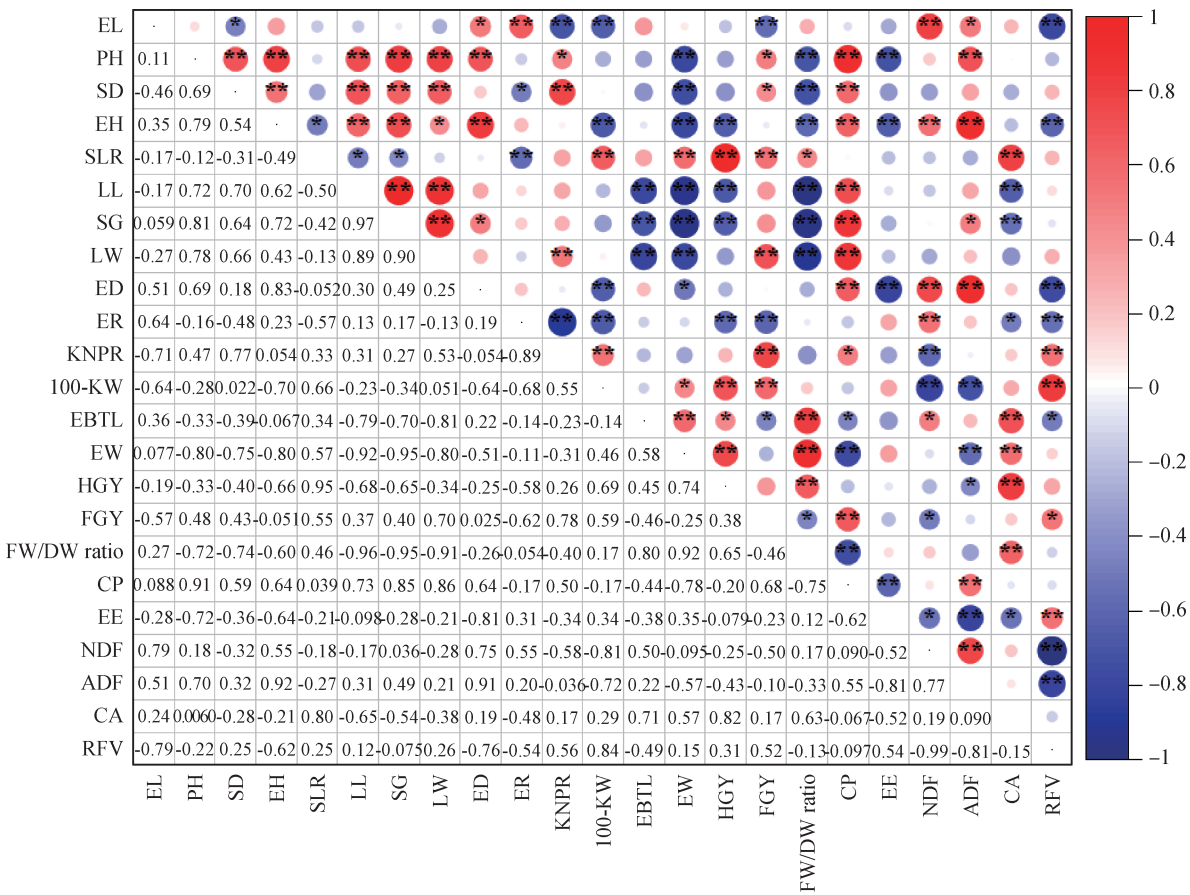


图 4 产量性状与营养品质相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis between yield-related traits and nutritional quality

注:PH,株高;SD,茎粗;EH,穗位高;SLR,茎叶比;LL,叶长;LW,叶宽;SG,持绿性;EL,穗长;ED,穗粗;ER,穗行数;KNPR,行粒数;EBTL,穗凸尖长;100-KW,百粒重;EW,穗重;FGY,鲜草产量;HGY,干草产量;FW/DW ratio,干鲜比;CP,粗蛋白;EE,粗脂肪;NDF,中性洗涤纤维;ADF,酸性洗涤纤维;CA,粗灰分;RFV,相对饲喂价值。对角线左下部分为指标间相关系数,右上部分为指标间显著性水平(*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$)

Note: PH, Plant height; SD, Stem diameter; EH, Ear height; SLR, Stem leaf ratio; LL, Leaf length; LW, Leaf width; SG, Stay-green; EL, Ear length; ED, Ear diameter; ER, Ear rows; KNPR, Kernel number per row; EBTL, Ear bald tip length; 100-KW, 100-Kernel weight; EW, Ear weight; FGY, Fresh grass yield; HGY, Hay grass yield; FW/DW ratio, dry-matter to fresh-matter ratio; CP, Crude protein; EE, Ether extract; NDF, Neutral detergent fiber; ADF, Acid detergent fiber; CA, Crude ash; RFV, Relative feed value. Coefficients below the diagonal represent pairwise correlation coefficients (r), while values above the diagonal indicate significance levels (* $P<0.05$,** $P<0.01$)

减产,草产量也相应较高。‘曲辰 513’茎粗最大,而‘迪卡 625’仅 1.73 cm,可能意味着其在生长过程中需要更多的支撑和保护,以避免倒伏等问题;‘罗单 197’和‘曲辰 513’叶宽为 8.7 cm,8.6 cm,‘大天 1416’叶长 73.3 cm,宽大的叶片显著增加光合面积,促进干物质积累。持绿性和绿叶数作为反映青贮玉米后期抗衰老能力和叶片保持能力的重要指标,对青贮玉米的产量和品质具有重要影响^[27]。‘大天 1416’‘西抗 18’‘曲辰 49’持绿性最优;‘曲辰 9’绿叶数最多,其次为‘和玉 36’和‘迪卡 625’。绿叶数高的品种在灌浆后期仍保持较大光合面积,有利于光合产物向籽粒转运,进而改善青贮品质与适口性^[22]。

3.2 不同青贮玉米品种营养价值分析

优质营养品质是筛选青贮玉米品种的重要因素之一^[28]。筛选优良青贮玉米品种的关键在于青贮玉米营养成分,特别是高粗蛋白含量、低中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量,确保牧草优质适口性。粗蛋白在乳品饲料中占据核心地位,是瘤胃微生物氮源的关键来源,为小肠提供必需的氨基酸,供反刍动物有效吸收和利用^[29]。本试验中所有青贮玉米品种的粗蛋白含量均不低于 7%,满足青贮玉米品质分级对蛋白质的基本要求^[30],其中‘曲辰 513’同时满足一级标准($NDF\leq 45\%$, $ADF\leq 23\%$, $CP\geq 7\%$)。相对饲喂价值(RFV)综合反映采食量

表 6 不同指标的权重系数及排序

Table 6 Weight coefficients and ranking of different indicators

性状 Trait	等权关联度 Equal-weight grey relational grade	权重系数 Weight coefficient	排序 Ranking
粗蛋白 Crude protein/%	0.7734	0.0687	1
粗脂肪 Ether extract/%	0.3312	0.0294	20
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber/%	0.5632	0.0500	7
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber/%	0.5331	0.0474	9
灰分 Crude ash/%	0.5076	0.0451	10
相对饲喂价值 Relative feed value	0.5347	0.0475	8
株高 Plant height/cm	0.2881	0.0256	22
茎粗 Stem diameter/cm	0.4663	0.0414	14
鲜草产量 Fresh grass yield/(t·hm ⁻²)	0.3474	0.0309	21
干草产量 Hay grass yield/(t·hm ⁻²)	0.3620	0.0322	19
干鲜比 Dry-matter to fresh-matter ratio weight/%	0.3887	0.0345	18
茎叶比 Stem leaf ratio	0.3586	0.0319	20
穗长 Ear length/cm	0.5699	0.0506	6
穗粗 Ear diameter/cm	0.6545	0.0582	3
穗行数 Ear rows	0.6724	0.0597	2
行粒数 Kernel number per row	0.5927	0.0527	5
百粒重 100-Kernel weight/g	0.5024	0.0446	11
穗重 Ear weight/g	0.4079	0.0362	16
绿叶数 Green leaf count per leaf	0.4788	0.0425	12
叶长 Leaf Length/cm	0.4404	0.0391	15
叶宽 Leaf width/cm	0.4726	0.0420	13
叶重 Dry weight/g	0.6204	0.0551	4
持绿性 Stay-green	0.3891	0.0346	17

表 7 参试青贮玉米品种加权关联度与排序

Table 7 Weighted grey relational grade and ranking of tested silage maize varieties

品种名称 Variety name	加权关联度 Weighted grey relational grade	排序 Ranking
和玉 36 Heyu 36	0.5382	3
迪卡 625 Dekalb 625	0.5004	8
京科 932 Jingke 932	0.5002	9
曲辰 28 Quchen 28	0.5219	4
曲辰 513 Quchen 513	0.5668	1
曲辰 9 Quchen 9	0.5172	6
曲辰 39 Quchen 39	0.4940	11
曲辰 49 Quchen 49	0.4998	10
西抗 18 Xikang 18	0.5062	7
罗丹 197 Luodan 197	0.5173	5
大天 1416 Datian 1416	0.5482	2

与消化率,其值与 NDF,ADF 呈负相关^[31]。供试品种 RFV 均高于 100,‘曲辰 513’最高,达 171.5,其次为‘大天 1416’为 142.2。低纬高原季风气候干旱季充足光照与昼夜温差利于可溶性碳水化合物积累,从而降低 NDF 比例、提高 RFV^[32]。‘曲辰 513’叶片持绿性长,可延缓叶绿体降解,延长光合碳同化物供应期,使茎秆在花后仍继续积累可溶性碳水化合物;这些可溶性碳水化合物产生的稀释效应,进而降低 ADF 比例^[22]。粗灰分适宜标准为 3%~

5%^[24]。‘迪卡 625’‘曲辰 28’和‘大天 1416’粗灰分略低于适宜标准,但这并不说明它们的营养价值全面较低,饲料的营养价值是由多种成分共同决定的。同时,对于粗灰分含量适宜的品种,也要注意保持其营养成分的平衡,以确保饲料的整体品质。

3.3 不同青贮玉米品种综合评价

理想的青贮玉米品种应兼具生物量高、田间表现佳、营养指标好等优点。通过系统比对不同青贮

玉米品种的农艺与营养异同,筛选出高产优质品种,对高效推广营养价值突出的青贮玉米有重大意义^[33-34]。仅凭农艺性状、产量或营养成分等单一指标来判断青贮玉米的优劣及其适应性,显然不够准确且全面。灰色关联度理论因其不受人为因素干扰,能真实反映被评价对象的排名情况,且排名越靠前表示综合表现越佳^[35],故而在作物评价领域得到了广泛应用。童成昊等^[36]运用灰色关联度综合评价筛选出适宜喀斯特地区推广种植的青贮玉米品种‘金玉818’。本研究根据生产需求对11个参试品种的23个指标进行综合分析,粗蛋白、穗行数、穗粗、叶重、行粒数权重在评价系统中位列前5,说明在洱源地区进行品种引种时,应选择籽粒表现较好、品质优良的品种。蒋丛泽等^[20]对陇东旱塬引种的青贮玉米各性状指标权重排序,位列前4的指标为茎粗、鲜草产量、株高、粗蛋白,本试验结果与其有所不同。或许不同种植地带,各个指标的权重存在差异,在综合评价时,需要结合当地的生态条件及生产目标,选择代表性性状进行测量考察。本研究采用加权关联度方法,对11个青贮玉米品种进行排序,结果表明‘曲辰513’‘大天1416’和‘和玉36’综合性能优异,‘曲辰513’排第一,加权关联度为0.5668。

4 结论

综上,11个青贮玉米品种在大理白族自治州生态环境的适应性存在差异,运用灰色关联度法对供试品种进行综合评估,‘曲辰51’‘大天1416’和‘和玉36’在鲜草产量、干物质产量、粗蛋白含量及持绿性等方面综合性能优良,比较适宜在低纬高原季风区进行推广种植。

参考文献

- [1] 解明恩,姚愚,段玮,等. 低纬高原气候季节变化特征研究——以云南昆明大理为例[J]. 热带气象学报,2023,39(2):171-182
- [2] XIE M E, YAO Y, DUAN W, et al. Study on the characteristics of climatic seasonal variation over the low latitude plateau—taking Kunming and Dali in Yunnan as an example[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2023, 39(2):171-182
- [3] 徐震,吴维群,冉繁军. 云贵高原草地畜牧业可持续发展中的矛盾及其对策[J]. 草业科学,2000,17(S1):1-5
- [4] XU Z, WU W Q, RAN F J. Some contradictions and countermeasures in sustainable agricultural development in the Yunnan-Guizhou plateau[J]. Pratacultural Science, 2000, 17(S1):1-5
- [5] 钟声. 云南省草地肉牛放牧系统中的草畜季节矛盾及对策[J]. 黄牛杂志,2002,28(2):45-47
- [6] ZHONG S. Seasonal contradictions between forage and live-stock in the grassland beef cattle grazing system of Yunnan province and corresponding countermeasures [J]. Journal of Yellow Cattle Science, 2002, 28(2):45-47
- [7] ALI F, KANWAL N, AHSAN M, et al. Multivariate analysis of grain yield and its attributing traits in different maize hybrids grown under heat and drought stress[J]. Scientifica, 2015, 12: 563869
- [8] HRISTOV A, HARPER M, ROTH G, et al. Effects of ensiling time on corn silage neutral detergent fiber degradability and relationship between laboratory fiber analyses and *in vivo* digestibility[J]. Journal of Dairy Science, 2020, 103(3):2333-2346
- [9] 倪印峰,王明利. 中国青贮玉米产业发展时空演变及动因[J]. 草业科学,2019,36(7):1915-1924
- [10] NI Y F, WANG M L. Spatiotemporal evolution of China's silage corn industry and the factors driving its development[J]. Pratacultural Science, 2019, 36(7):1915-1924
- [11] 杨子姗,徐率,赵苑伶,等. 云南玉米产业发展状况与制约因素[J]. 耕作与栽培,2022,42(5):63-67,71
- [12] YANG Z S, XU S, ZHAO Y L, et al. Development status and restrictive factors of corn industry in Yunnan Province[J]. Tillage and Cultivation, 2022, 42(5):63-67,71
- [13] 毕玉芬,马向丽. 云南高原特色草地农业的发展潜力分析[J]. 云南农业大学学报(社会科学版),2013,7(3):11-15
- [14] BI Y F, MA X L. Development potential analysis of Yunnan plateau characteristics of grassland agriculture[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Social Science), 2013, 7(3):11-15
- [15] 杨富裕. 树立“饲草就是粮食”理念,大力发展饲草产业[J]. 草地学报,2023,31(2):311-313
- [16] YANG F Y. New concept “forage is a part of grains” to utmost spurring the development of forage industry[J]. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(2):311-313
- [17] 桑瑞娟,董春阳,张晓霞,等. 豫北地区青贮玉米品种筛选与评价[J]. 草地学报,2024(11):3472-3479
- [18] SANG R J, DONG C Y, ZHANG X X, et al. Selection and evaluation of silage maize varieties in northern Henan province [J]. Acta Agrestia Sinica, 2024(11):3472-3479
- [19] 郑爱荣,张小玲. 河南稳步推进粮改饲助力乡村振兴[J]. 中国畜牧业,2020(19):17
- [20] ZHENG A R, ZHANG X L. Grain-to-forage conversion steadily advanced in Henan province to boost rural revitalization [J]. China Animal Industry, 2020(19):17
- [21] 王茜茜,葛兆鹏,裴玉贺,等. 38个青贮玉米品种的农艺性状及品质比较[J]. 西南农业学报,2020,33(3):487-493
- [22] WANG Q Q, GE Z P, PEI Y H, et al. Comparison of agronomic traits and quality of 38 silage maize varieties [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(3):487-493
- [23] 秦伟娜,焦婷,师尚礼,等. 不同水热资源条件下10个青饲玉米品种的青贮品质评价[J]. 草地学报,2021,29(5):1070-1079
- [24] QIN W N, JIAO T, SHI S L, et al. Evaluation of silage quality of 10 green-fed corn varieties under different hydrothermal resource conditions[J]. Acta Agrestia Sinica, 2021, 29(5):1070-1079
- [25] 王虎宁,秦伟娜,焦婷,等. 甘肃不同青饲玉米品种产量、农艺性状及营养品质评定[J]. 草业科学,2023,40(6):1617-1628
- [26] WANG H N, QIN W N, JIAO T, et al. Evaluation of milk yield, agronomic traits, and nutritional quality of different green-

- feeding maize varieties in Gansu Province[J]. *Pratacultural Science*, 2023, 40(6): 1617-1628
- [15] 张书兴, 王筱, 马琳, 等. 农牧交错带青贮玉米生产性能和饲草品质综合评价[J]. *草地学报*, 2022, 30(6): 1517-1524
ZHANG S X, WANG X, MA L, et al. Comprehensive evaluation of performance and forage quality of silage maize in farming-pastoral ecotone[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(6): 1517-1524
- [16] 曹健, 武志锋, 陈学俊, 等. 酒泉适宜青贮玉米品种综合评价与筛选[J]. *饲料研究*, 2023, 46(16): 121-125
CAO J, WU Z F, CHEN X J, et al. Selection and comprehensive evaluation of suitable silage maize varieties in Jiuquan[J]. *Feed Research*, 2023, 46(16): 121-125
- [17] 石菁, 刘晓静, 贾娟娟, 等. 青贮型玉米品种在河西走廊的适应性研究[J]. *草原与草坪*, 2025(1): 220-226
SHI J, LIU X J, JIA J J, et al. Study on adaptability of silage maize varieties in Hexi Corridor[J]. *Grassland and Turf*, 2025(1): 220-226
- [18] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 4版. 北京: 中国农业大学出版社, 2016: 53-89
ZHANG L Y. Feed analysis and quality test technology[M]. 4th ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2016: 53-89
- [19] 周波, 韩小花, 李小红, 等. 河南省夏播青贮玉米品种筛选与综合评价[J]. *草业科学*, 2021, 38(2): 316-326
ZHOU B, HAN X H, LI X H, et al. Comparison and comprehensive evaluation of summer-planting silage maize varieties in Henan Province[J]. *Pratacultural Science*, 2021, 38(2): 316-326
- [20] 蒋丛泽, 受娜, 高玮, 等. 陇东旱塬区不同青贮玉米品种生产性能和营养品质综合评价[J]. *草业学报*, 2023, 32(7): 216-228
JIANG C Z, SHOU N, GAO W, et al. A multivariate evaluation of production performance and nutritional quality of different varieties of silage maize in the dry plateau area of Longdong[J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 2023, 32(7): 216-228
- [21] 李世平, 张诗慧, 袁福锦, 等. 云贵高原区青贮玉米不同播种方式的饲草产量和效益[J]. *草学*, 2023(6): 44-48
LI S P, ZHANG S H, YUAN F J, et al. Study on the biomass and benefit of silage maize with different sowing patterns in Yunnan-Guizhou plateau[J]. *Journal of Grassland and Forage Science*, 2023(6): 44-48
- [22] 张仲鹏, 郝曦煜, 王雪, 等. 齐齐哈尔地区适宜青贮玉米品种的筛选及综合评价[J]. *草业学报*, 2024, 33(11): 228-240
ZHANG Z J, HAO X Y, WANG X, et al. Selection and multi-trait evaluation of silage maize varieties suitable for cultivation in the Qiqihar area[J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 2024, 33(11): 228-240
- [23] 何文铸, 刘永红, 杨勤, 等. 影响青贮玉米生物产量关键指标的筛选及其遗传研究[J]. *玉米科学*, 2009, 17(2): 29-33
HE W Z, LIU Y H, YANG Q, et al. Screening and genetic research for biology yield key index in silage maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2009, 17(2): 29-33
- [24] 张家华, 王永必, 杨庆然, 等. 龙陵县不同青贮玉米品种农艺性状及营养成分分析[J]. *中国奶牛*, 2019(9): 47-52
ZHANG J H, WANG Y B, YANG Q R, et al. Analysis of agronomic traits and nutritional components of different silage maize varieties in Longling county[J]. *China Dairy Cattle*, 2019(9): 47-52
- [25] 闫慧颖, 李春喜, 唐生华, 等. 青海旱地3个青贮玉米品种的生产性能及品质评价[J]. *草业科学*, 2017, 34(9): 1915-1921
- YAN H Y, LI C X, TANG S H, et al. Production performance and quality evaluation of three silage maize varieties in dryland of Qinghai[J]. *Pratacultural Science*, 2017, 34(9): 1915-1921
- [26] 路婉茹, 袁想红, 刘建忠, 等. 清水地区不同青贮玉米品种的筛选[J]. *饲料研究*, 2024, 47(15): 129-134
LU W R, YUAN X H, LIU J Z, et al. Screening of different silage maize varieties in Qingshui area[J]. *Feed Research*, 2024, 47(15): 129-134
- [27] 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[J]. *草业学报*, 2019, 28(8): 49-60
LIU X, WANG B, ZHU X Y, et al. A comparison of 21 varieties of silage maize in Henan province[J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 2019, 28(8): 49-60
- [28] 王国栋, 郝生燕, 顾娴, 等. 10个饲用玉米品种在甘肃中部的生产性能和营养价值评价[J]. *饲料研究*, 2022, 45(11): 93-96
WANG G D, HAO S Y, GU X, et al. Evaluation of performance and nutritional value of 10 forage maize varieties in central Gansu Province[J]. *Feed Research*, 2022, 45(11): 93-96
- [29] COLEMAN W S, MOORE E J. Feed quality and animal performance[J]. *Field Crops Research*, 2003, 84(1-2): 17-29
- [30] 李想, 张业猛, 朱丽丽, 等. 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, et al. Evaluation of silage performance and nutritional quality of different corn cultivars in Qinghai Plateau[J]. *Pratacultural Science*, 2021, 38(6): 1194-1208
- [31] 韩英东, 熊本海, 潘晓花, 等. 全株青贮玉米的营养价值评价——以北京地区为例[J]. *饲料工业*, 2014, 35(7): 15-19
HAN Y D, XIONG B H, PAN X H, et al. Evaluation of the nutritional value of whole plant silage corn—based on the situation of Beijing area[J]. *Feed Industry*, 2014, 35(7): 15-19
- [32] XUE L Z, SUN M T, WU Z, et al. LncRNA regulates tomato fruit cracking by coordinating gene expression *via* a hormone-redox-cell wall network[J]. *BMC Plant Biology*, 2020, 20(1): 162
- [33] 侯湃, 陈彩锦, 张静妮, 等. 宁夏固原地区不同青贮玉米品种生产性能及营养品质研究[J]. *草地学报*, 2021, 29(10): 2346-2354
HOU P, CHEN C J, ZHANG J N, et al. Study on production performance and nutritional quality of different silage maize in Guyuan area of Ningxia[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(10): 2346-2354
- [34] 梁维维, 张荟荟, 张学洲, 等. 新疆昌吉地区23份青贮玉米品种综合评价[J]. *草业科学*, 2022, 39(10): 2180-2190
LIANG W W, ZHANG H H, ZHANG X Z, et al. Comprehensive evaluation of 23 silage maize varieties in the Changji, Xinjiang[J]. *Pratacultural Science*, 2022, 39(10): 2180-2190
- [35] 张书兴, 王云平, 王筱, 等. 内蒙古半干旱区青贮玉米的适应性[J]. *草业科学*, 2022, 39(6): 1217-1224
ZHANG S X, WANG Y P, WANG X, et al. Adaptability of silage maize in semi-arid area of Inner Mongolia[J]. *Pratacultural Science*, 2022, 39(6): 1217-1224
- [36] 童成昊, 周文章, 莫本田, 等. 喀斯特地区不同青贮玉米品种的综合评价[J]. *草业科学*, 2023, 40(2): 482-490
TONG C H, ZHOU W Z, MO B T, et al. Evaluation of different silage maize varieties in karst regions[J]. *Pratacultural Science*, 2023, 40(2): 482-490