

甘肃中东部地区小黑麦茬后复种 青贮玉米品种的产量研究

张银霞¹, 宋 谦², 刘 翠¹, 郭 蕊¹, 赵方媛¹, 杜文华¹

(1. 甘肃农业大学草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省平凉市农业科学院, 甘肃 平凉 744000)

摘 要: 于 2020 年和 2021 年连续 2 年以 9 个青贮玉米品种(‘大京九 26’, G1; ‘利合 228’, G2; ‘西蒙青贮 707’, G3; ‘武科青贮 107’, G4; ‘利单 656’, G5; ‘蒙青贮 1812’, G6; ‘京科青贮 932’, G7; ‘豫青贮 23’, G8; ‘华美 2 号’, G9) 为材料, 分别在临洮县和泾川县研究了秋播小黑麦茬后复种青贮玉米的鲜草产量。结果表明: 除 2020 年 G4 和 2021 年 G3 在泾川点未能达到最佳收获期外, 其余品种在“两年两点”试验中均能达到青贮玉米收获标准, 且所有青贮玉米的干物质含量介于 22.74%~41.74%, 满足青贮要求。其中鲜草产量的单因素分析结果为 2020 年平均鲜草产量($77.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 显著高于 2021 年($49.57 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$); 临洮点的平均鲜草产量($73.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 显著高于泾川点($52.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$); 品种 G8 的平均鲜草产量($74.51 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 最高。二因素交互作用下, 同一年份临洮点 9 个品种的平均鲜草产量均高于泾川点, 同一试验点间 2020 年 9 个品种的平均鲜草产量均高于 2021 年。三因素交互作用下 2020 年和 2021 年临洮点 G8 的鲜草产量均最高($109.36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $63.79 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), 泾川点 G6 的鲜草产量均最高($80.73 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $59.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)。GGE 双标图对青贮玉米生产性能及试验点区分力的综合评价表明: ‘大京九 26’、‘豫青贮 23’、‘京科青贮 932’ 和 ‘蒙青贮 1812’ 品种兼具丰产性和稳定性, 适宜作为复种品种在甘肃中东部地区推广种植; 泾川点因青贮玉米品种年际间产量较稳定, 可作理想鉴定试点进行品种筛选。

关键词: 青贮玉米; 小黑麦茬后; 产量稳定性; 区域适应性; 甘肃中东部

中图分类号: S513; S816.5⁺3; S344.3; S32 **文献标志码:** A

Yield study of silage maize varieties after triticale stubble in central and eastern Gansu

ZHANG Yinxia¹, SONG Qian², LIU Cui¹, GUO Rui¹, ZHAO Fangyuan¹, DU Wenhua¹

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Gansu Agricultural University, Ministry of Education, Sino-U.S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Pingliang Academy of Agricultural Sciences, Pingliang, Gansu 744000, China)

Abstract: This experiment was conducted in 2020 and 2021 for two consecutive years with nine silage maize genotypes(‘Dajingjiu 26’, G1; ‘Lihe 228’, G2; ‘Ximeng silage 707’, G3; ‘Wuke silage 107’, G4; ‘Lidan 656’, G5; ‘Meng silage 1812’, G6; ‘Jingke silage 932’, G7; ‘Yu silage 23’, G8; ‘Huamei No.2’, G9) as the material to study the fresh yield of multiple cropping silage maize after cutting stubble at the flowering stage of autumn sowing triticale in Lintao and Jingchuan. The results showed that except G4 in 2020 and G3 in 2021 failed to achieve the best harvest period in Jingchuan, the other genotypes reached the silage maize harvest standard in two test points in two years. The dry matter content of all silage corn was 22.74%~41.74%, which met the silage requirements. The single factor analysis results showed that the average fresh yield in 2020 ($77.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) was significantly higher than that in 2021 ($49.57 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), the average fresh yield of Lintao ($73.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) was sig-

收稿日期:2024-07-22

修回日期:2024-12-13

基金项目: 国家自然科学基金(32260339); 农业农村部科技创新 2030 生物育种重大专项(2023ZD0402605-02); 甘肃省高等学校产业支撑计划项目(2022CYZC-49)

作者简介: 张银霞(1999-), 女, 甘肃泾川人, 硕士研究生, 研究方向为草种质资源及育种栽培。E-mail: 1990872961@qq.com

通信作者: 杜文华(1968-), 女, 甘肃临洮人, 教授, 博士生导师, 主要从事草种质资源及育种栽培研究。E-mail: duwh@gsau.edu.cn

nificantly higher than that of Jingchuan ($52.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), and the average fresh yield of G8 ($74.51 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) was the highest among the genotypes. Under the interaction of two factors, the average fresh yield of nine genotypes in Lintao was higher than in Jingchuan in the same year, and the average fresh yield of nine genotypes in 2020 was higher than in 2021 in the same test site. Under the interaction of three factors, the fresh yield of G8 was the highest in Lintao in 2020 ($109.36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) and 2021 ($63.79 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), and G6 was the highest in Jingchuan in 2020 ($80.73 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) and 2021 ($59.75 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$). A comprehensive GGE biplot evaluation of the production performance and site discrimination of silage maize revealed that ‘Dajingjiu 26’, ‘Yu silage 23’, ‘Jingke silage 932’, and ‘Meng silage 1812’ demonstrated both high yield and stability, making them suitable for use as multiple cropping genotypes in the central and eastern regions of Gansu. Additionally, Jingchuan can serve as an ideal pilot site for screening silage maize genotypes due to the stable yields of varieties across years.

Keywords: silage maize; after triticale stubble; yield stability; regional adaptability; central and eastern Gansu

甘肃省中东部是我国重要的畜牧业基地。受黄土高原丘陵沟壑区独特地形和半干旱、半湿润大陆性气候的影响, 大多地区是以玉米为传统种植作物的“一年一熟”种植制度, 因而存在土地利用不充分, 饲草供应季节差异明显等问题^[1]。研究表明, 复种可以有效增加地表植被覆盖, 提升地力。如果利用冬闲田复种牧草饲料作物, 则可以在很大程度上改善我国北方地区饲草短缺的问题^[2]。殷芳等^[3]研究发现, 小麦(*Triticum aestivum*) 茬后复种箭筈豌豆(*Vicia sativa*) 对小麦的产量有补偿作用; 王丹英等^[4]研究指出, 油菜(*Brassica napus*) 盛花期还田后复种水稻(*Oryza sativa*), 可有效提高水稻产量; 常丹丹等^[5]研究表明, 甘肃中部地区秋播小黑麦($\times$ *Triticosecale* Wittmack) 茬后复种甜高粱(*Sorghum bicolor*) 能充分利用冬闲田, 提高土地利用效率, 获得较高草产量。

小黑麦越冬性强, 可充分利用冬闲田, 弥补我国饲草产量劣势^[6]。但小黑麦生育期较短, 次年 5 月底即可刈割, 因此单一秋播种植小黑麦, 土地休闲期过长且草产量提升空间较小^[1]。随着“粮改饲”政策的推行, 青贮玉米(*Zea mays*) 以易贮藏、易消化、低成本、高营养等特点成为重要粗饲料, 种植面积逐渐扩大^[7]。甘肃大部分地区在 6—9 月水热条件较为充足, 可满足植物生长需求^[8]。早熟中熟青贮玉米品种的生育期较短(120 d 左右), 适合填补单一秋播小黑麦的土地休闲期, 在提升土地利用效率的同时, 进行合理轮作倒茬以保持土壤肥力, 对提高甘肃中东部地区的饲草产量及经济效益意义重大^[9]。然而, 不同青贮玉米品种在不同地区的适应性、生产性能及品质等方面存在差异^[10], 加之临洮和泾川作为甘肃省中东部两个典型的旱作农业区, 灌溉条件有限, 对青贮玉米品种的抗旱性要求更高^[11], 因此, 本试验于 2020 年和 2021 年在临洮

县和泾川县研究了小黑麦茬后复种青贮玉米的鲜草产量, 以期筛选出甘肃中东部地区生产性能表现良好的复种青贮玉米品种, 为该地区秋播‘甘农 2 号’小黑麦茬后复种青贮玉米技术的推广种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年和 2021 年分别在定西市临洮农业学校和平凉市农业科学院高平试验站(泾川县)进行, 2 个试验点的试验地概况见表 1。2020 年和 2021 年临洮点年降水量分别为 697.1 mm 和 268.6 mm; 泾川点的年降水量分别为 707.6 mm 和 467.7 mm(数据来源于国家气象信息中心——中国气象数据网: <https://data.cma.cn>)。2 个试验点土壤肥力均匀, 0~20 cm 的土壤养分含量分别为: 临洮点, 有机质含量 $16.12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效氮 $56.31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $28.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $228.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 泾川点, 有机质含量 $6.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效氮 $104.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $20.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $91.47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。2 个试验点均无灌溉条件, 且前茬作物均为‘甘农 2 号’小黑麦。

1.2 试验材料

试验以 9 个青贮玉米品种为材料, 品种简介与来源见表 2。

1.3 试验设计

本文参考宁海龙^[12]主编的《田间试验与统计方法》中品种区域试验资料的统计分析方法, 采用三因素再裂区设计。其中主区为年份, 分别为 2020 年(Y1)和 2021 年(Y2); 副区为试验点, 分别为临洮点(E1)和泾川点(E2); 副副区为青贮玉米品种(G1~G9)。小区面积 12 m^2 ($2.4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$); 每个处理 3 次重复。

表 1 试验地概况

Table 1 Overview of experiment site

试验点 Experiment site	地理位置 Geographical location	海拔 Altitude/m	年均无霜期 Average annual frost-freedays/d	>10℃有效积温 Effective accumulated temperature>10℃/℃	年日照时数 Annual sunshine hours/h	土壤类型 Soil type
临洮点 Lintao	103°87'E 35°37'N	1892	153	2400	2224.9	黑麻土 Haplic kastanzens soil
泾川点 Jingchuan	107°32'E 35°18'N	1328	170	2800	2209.3	黑垆土 Black loessial soil

表 2 参试青贮玉米品种

Table 2 Tested silage maize varieties

代码 Code	品种 Variety	生育期 Growth period/d	育种单位 Breeding unit
G1	大京九 26 Dajingjiu 26	123~134	河南省大京九种业有限公司 Henan Dajingjiu Seed Industry Co., Ltd.
G2	利合 228 Lihe 228	119.5~121	山西利马格兰特种谷物研发有限公司 Shanxi Lima Glan Special Grain R & D Co., Ltd.
G3	西蒙青贮 707 Ximeng silage 707	120~126	内蒙古西蒙种业有限公司 Inner Mongolia Ximeng Seed Industry Co., Ltd.
G4	武科青贮 107 Wuke silage 107	134~149	武威市农业科学研究院,甘肃武科种业科技有限责任公司 Wuwei Academy of Agricultural Sciences, Gansu Wuke Seed Technology Co., Ltd.
G5	利单 656 Lidan 656	122	山西利马格兰特种谷物研发有限公司 Shanxi Lima Glan Special Grain R & D Co., Ltd.
G6	蒙青贮 1812 Meng silage 1812	120~127	内蒙古蒙青草种业科技有限公司 Inner Mongolia Mengqing Grass Seed Technology Co., Ltd.
G7	京科青贮 932 Jingke silage 932	102	北京市农林科学院玉米研究中心 Maize Research Center of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences
G8	豫青贮 23 Yu silage 23	117	河南省大京九种业有限公司 Henan Dajingjiu Seed Industry Co., Ltd.
G9	华美 2 号 Huamei 2	118	恒基利马格兰种业有限公司 Hengji Limagrain Seeds Co., Ltd.

本文中试验地于 6 月上旬(小黑麦收获后)施入基肥(磷酸二铵 225 kg·hm⁻²,N+P₂O₅≥60.0%和尿素 300 kg·hm⁻²,N≥46.4%)并完成整地、覆膜及种植。为增加有效光照量采用宽窄行(80 cm+40 cm)平作种植方式,每穴 1~2 粒,播种深度 3~4 cm,株距 30 cm,密度 6×10⁴ 株·hm⁻²。出苗后及时进行补苗、间苗工作,保证每穴有 1 株正常生长的玉米植株。其中临洮点的播种日期分别为 2020 年 6 月 9 日和 2021 年 6 月 6 日,收获时间分别为 2020 年 9 月 28 日和 2021 年 10 月 2 日;泾川点的播种日期分别为 2020 年 6 月 10 日和 2021 年 6 月 15 日,收获时间分别为 2020 年 10 月 11 日和 2021 年 10 月 15 日。

1.4 测定指标及方法

物候期:区别于籽粒玉米,分别在 2020 年 10 月 11 日和 2021 年 10 月 15 日刈割青贮玉米前,剥开果穗调查其籽粒的胚乳蜡质程度以及乳线位置,判断其刈割时所处的生育时期是否符合 1/2 乳线期(乳熟期至蜡熟期)的青贮要求^[13]。

干物质含量:各处理随机选取 6 株生长良好的

植株,留茬 5 cm 左右,称其鲜质量带回实验室后,采用烘干法测定干物质质量(dry matter mass,DMM)。

鲜草产量:收割各小区的所有植株,含测定干物质含量所选取的青贮玉米(留茬 5 cm 左右),称其鲜质量。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 整理数据和作图,SPSS 25.0 完成方差分析,对年份间和试验点间的各指标进行 *T* 检验,并利用 Duncan 法对其余变异来源间的指标进行多重比较,数据均以“平均值±标准误”表示;利用 Genstat 软件中 GGE-Biplot 完成参试青贮玉米品种的鲜草产量表现评价以及理想试验点的筛选。

GGE 双标图的具体分析过程如下^[14-16]:

性状分解:利用线性统计模型可将各处理的鲜草产量分解,即 *P*(表现型值,基因型在环境中的产量)=*M*(产量总体平均值)+*G*(基因型主效应)+*E*(环境主效应)+*GE*(基因型与环境互作效应)。

数据环境中心化:利用每个环境下的数据减去该

环境的平均值,去除 M 和 E ,将解释变异最多的 2 个主成分(PC1 和 PC2)进行构图,得到可以有效解释基因型主效应(G)和基因型与环境互作效应(GE)的 GGE 双标图:

$$Y_{ij} - Y_j = \xi_{i1}\eta_{j1} + \xi_{i2}\eta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

式中, Y_{ij} 为基因型 i 在环境 j 中的产量; Y_j 为所有参试基因型在环境 j 中的产量; ξ_{i1} 和 η_{j1} 分别表示基因型 i 和环境 j 在 PC1 的得分; ξ_{i2} 和 η_{j2} 则分别为基因型 i 和环境 j 在 PC2 的得分; ε_{ij} 为总体误差。

功能图制作:通过在 GGE 双标图中添加不同辅助线以获得分析品种丰产性和稳定性的排名双标图,品种综合排序和环境区分力的比较双标图以及品种适应性的散点图。

2 结果与分析

2.1 生育时期及干物质含量

由表 3 可知,收获时大部分参试青贮玉米品种的生育时期均介于乳熟前期至蜡熟末期,达到了最佳收获期(乳线 1/2 期),但泾川点 2020 年的品种 G4 和 2021 年的 G3 收获时处于灌浆期。此外,品种 G9 在两年 2 个试验点均能达到蜡熟末期,生育期较短,为参试青贮玉米品种中最早熟的品种。说明除泾川点 2020 年的品种 G4 和 2021 年的品种 G3 籽粒成熟度不够外,其余青贮玉米品种在两年 2 个试验点间均能达到较适宜的青贮生育期。

由图 1 可知,同一青贮玉米品种在不同试验点间 DMM 差异不显著,且品种 G3 和 G4 在两年 2 个

试验点间的 DMM 均较低。2020 年和 2021 年临洮点参试青贮玉米品种的 DMM 分别介于 22.74%~33.19%和 24.30%~38.98%之间,泾川点参试青贮玉米品种的 DMM 分别介于 22.78%~36.78%和 23.79%~41.47%之间,基本满足青贮需求(DMM 为 30%左右)。说明秋播小黑麦茬后复种的青贮玉米也可在青贮过程中接近理想发酵和储存条件。

2.2 青贮玉米品种草产量差异

表 4 表明年份间、品种间、试验点间和二因素、三因素交互作用间青贮玉米的鲜草产量均存在极显著差异($P<0.01$)。

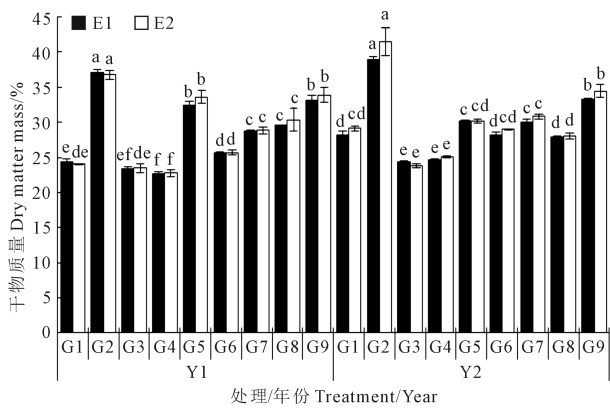
2.2.1 单因素间青贮玉米品种草产量差异 年份间:2020 年 2 个试验点 9 个青贮玉米的平均鲜草产量($77.01\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)显著高于 2021 年($49.57\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)($P<0.05$),说明年份间的气候差异是影响青贮玉米产量的重要因素。

试验点间:临洮点两年 9 个青贮玉米品种的平均鲜草产量($73.75\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)显著高于泾川点($52.82\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)($P<0.05$),表明青贮玉米对种植环境的适应程度不同,临洮点相较泾川点更有利于青贮玉米生长。

品种间:由图 2 可知,两年 2 个试验点间 G8 的平均鲜草产量最高($74.51\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$),G2($44.94\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)和 G9($42.14\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)的平均鲜草产量较低且显著低于除 G5 外的其余参试品种($P<0.05$)。这一结果表明,相较其他品种 G8 在不同气候及土壤环境下的适应能力更强,G2 和 G9 则适应能力较弱。

表 3 不同青贮玉米品种刈割时的生育时期
Table 3 Growth period of different silage maize varieties

品种 Variety	Y1		Y2	
	E1	E2	E1	E2
G1	乳熟末期 Late milk stage	乳熟期 Milk-ripe stage	乳熟末期 Late milk stage	乳熟末期 Late milk stage
G2	蜡熟末期 Late wax ripening stage	乳熟末期 Late milk stage	乳熟末期 Late milk stage	蜡熟前期 Early wax ripening stage
G3	乳熟末期 Late milk stage	乳熟期 Milk-ripe stage	乳熟末期 Late milk stage	灌浆期 Filling stage
G4	乳熟末期 Late milk stage	灌浆期 Filling stage	乳熟前期 Early milk stage	乳熟期 Milk-ripe stage
G5	蜡熟期 Wax ripeness stage	蜡熟前期 Early wax ripening stage	乳熟末期 Late milk stage	乳熟末期 Late milk stage
G6	乳熟末期 Late milk stage	乳熟前期 Early milk stage	乳熟前期 Early milk stage	乳熟末期 Late milk stage
G7	乳熟前期 Early milk stage	蜡熟末期 Late wax ripening stage	乳熟前期 Early milk stage	蜡熟末期 Late wax ripening stage
G8	蜡熟前期 Early wax ripening stage	乳熟期 Milk-ripe stage	乳熟末期 Late milk stage	乳熟末期 Late milk stage
G9	蜡熟末期 Late wax ripening stage	蜡熟末期 Late wax ripening stage	蜡熟末期 Late wax ripening stage	蜡熟末期 Late wax ripening stage



注:柱形图上标记的不同小写字母表示同一指标不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters marked on the bar graphs indicate that the differences between treatments is significant of the same index ($P<0.05$). The same as below.

图 1 不同青贮玉米品种的干物质含量

Fig.1 Dry matter content of different silage maize varieties

表 4 青贮玉米鲜草产量的方差分析							
Table 4 Variance analysis of silage maize yield							
变异来源	年份	试验点	品种	年份×品种	试验点×品种	年份×试验点	年份×品种×试验点
Source of variation	Year	Experimental site	Variety	Year×Variety	Experimental site×Variety	Year×Experimental site	Year×Variety×Experimental site
F 值 F value	59.941 **	28.208 **	4.376 **	9.462 **	5.626 **	54.734 **	35.448 **

注: ** 和 * 分别表示显著性水平为 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 。

Note: ** and * represent significance levels of $P<0.01$ and $P<0.05$, respectively.

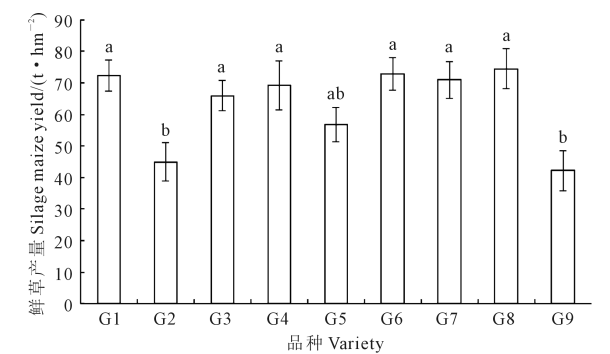


图 2 青贮玉米品种间鲜草产量差异

Fig.2 Differences in silage maize yield among varieties

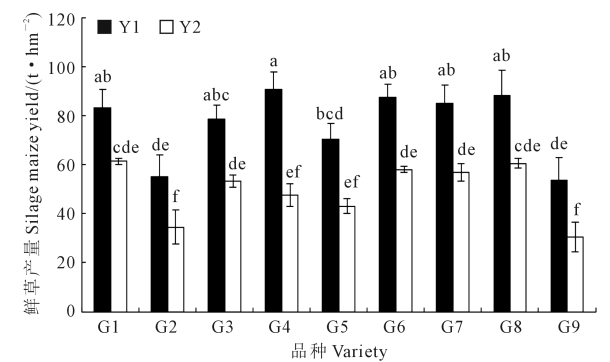


图 3 青贮玉米年份×品种间鲜草产量差异

Fig.3 Differences in silage maize yield between interactions of years and varieties

2.2.2 二因素交互作用间青贮玉米品种草产量差异 年份×品种:比较 2020 年和 2021 年 9 个青贮玉米品种间的平均鲜草产量差异(图 3),发现所有青贮玉米品种的平均鲜草产量均表现为 2020 年显著高于 2021 年($P<0.05$);G8 在两年间的平均鲜草产量均较高。说明 2020 年的气候环境更适宜参试青贮玉米生长,且 G8 的综合表现较好。

试验点×品种:由图 4 可知,所有参试青贮玉米品种在临洮点的平均鲜草产量均高于泾川点。比较 2 个试验点各品种的平均鲜草产量差异,发现临洮点品种 G8 的平均鲜草产量最高且显著高于 G2 和 G9($P<0.05$);泾川点的平均鲜草产量品种排序依次为 $G6>G1>G3>G8>G7>G4>G5>G2>G9$,其中品种 G6 除与 G2 和 G9 呈显著性差异外($P<0.05$),与其余品种均差异不显著($P>0.05$)。由此说明青贮玉米品种的产量潜力在不同种植环境下表现程度不同。

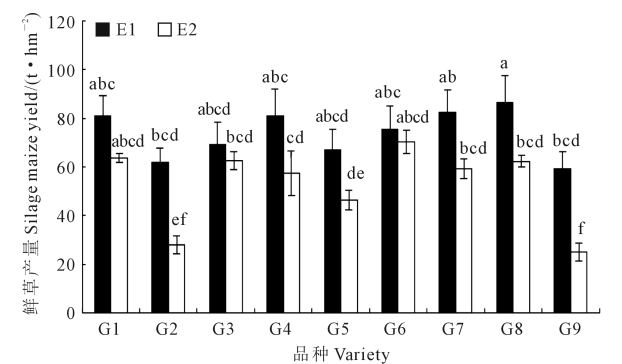


图 4 青贮玉米试验点×品种间鲜草产量差异

Fig.4 Differences in silage maize yield between interactions of experimental sites and varieties

年份×试验点:如图 5 所示,同一年份临洮点 9 个青贮玉米品种的平均鲜草产量均显著高于泾川点($P<0.05$),同一试验点 9 个青贮玉米品种在 2020 年的平均鲜草产量显著高于 2021 年($P<0.05$)。这一现象源于两年间的气候差异和 2 个试验点间的种植环境差异较大。

2.2.3 年份×试验点×品种间青贮玉米品种草产量差异 如表 5 所示,2020 年(Y1)临洮点(E1)品种 G8 的鲜草产量最高,显著高于除 G7、G4 和 G1 外的其余品种($P<0.05$);泾川点(E2)品种 G6 的鲜草产

量最高,显著高于除 G4 和 G3 外的其余品种 ($P<0.05$)。2021 年(Y2)临洮点(E1)品种 G8 的鲜草产量最高,显著高于 G2、G5 和 G9 ($P<0.05$);涪川点(E2)品种 G6 的鲜草产量最高,其次为 G1,显著高于 G4、G5、G2 和 G9 ($P<0.05$)。由此说明,两年中临洮点品种 G8 的鲜草产量均最高,涪川点品种 G6 的鲜草产量均最高,即 G8 和 G6 分别更适宜在临洮点和涪川点种植。

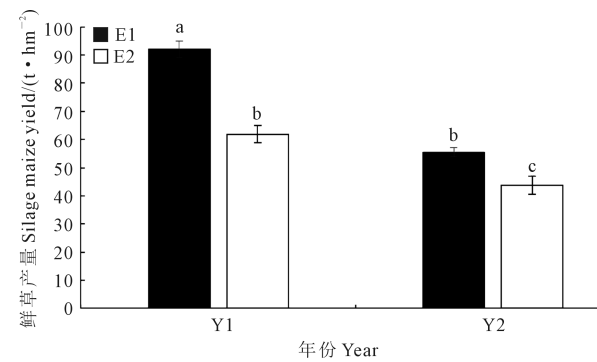


图 5 青贮玉米年份×试验点间鲜草产量差异
Fig.5 Differences in silage maize yield between interactions of years and experimental sites

表 5 青贮玉米年份×试验点×品种间鲜草产量差异/(t·hm⁻²)

Table 5 Differences in silage maize yield between interactions of years, experimental sites and varieties

品种 Variety	Y1		Y2	
	E1	E2	E1	E2
G1	98.80±5.40ab	67.74±0.12ghij	63.15±1.6hijkl	59.65±1.28ijklm
G2	74.10±4.60efgh	36.48±0.36p	49.47±3.44mn	19.73±1.37q
G3	86.71±9.60cd	70.45±1.20fghi	51.99±5.12klmn	54.75±1klmn
G4	103.78±9.08ab	77.75±1.32defg	58.00±2.09ijklm	37.24±0.96p
G5	85.07±2.45cde	55.58±1.37jklmn	48.99±3.79mn	37.38±0.61p
G6	94.45±9.74bc	80.73±0.97def	56.31±2.14jklmn	59.75±0.85ijklm
G7	102.18±1.12ab	67.95±0.96ghij	63.07±4.62hijkl	50.52±1.11lmn
G8	109.36±8.10a	67.53±0.67ghij	63.79±2.24hijk	57.34±1.64klm
G9	74.32±2.28efgh	33.14±0.60p	44.02±2.67op	17.09±0.84q

注:表中不同小写字母表示所有处理间青贮玉米的鲜草产量差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the table indicate significant differences in fresh yield of silage maize among all treatments ($P<0.05$).

2.3 青贮玉米品种草产量评价

利用 GGE 双标图对参试青贮玉米品种的丰产性和稳产性(图 6)及品种适应性和试验点区分力(图 7)进行评价,解释率为 93.99%,即该分析方法对参试青贮玉米品种的评价具有一定可靠性。其中 X 轴表示青贮玉米品种的平均鲜草产量效益(PC1),占 86.49%,Y 轴代表青贮玉米品种的稳定效应(PC2),为 7.50%。图中 G1~G9 所处位置为参试品种位点,20E1、21E1、20E2 和 21E2 分别为 2020 年和 2021 年的临洮点及 2020 年和 2021 年涪川点的试验环境。

2.3.1 青贮玉米品种的丰产性和稳产性及其综合评价 青贮玉米品种丰产性和稳产性评价中(图 6a),带箭头的蓝色直线为平均环境轴,箭头位置为平均环境值,箭头所指方向代表青贮玉米品种在参试环境下的平均鲜草产量走向,越靠近箭头位置的品种产量越高,丰产性能越好。图中过原点与平均环境轴垂直的线为参试品种与试验点互作的倾向性,由品种位点到平均环境轴的垂线(红色虚线)长短则表明了该品种的产量稳定性强弱,垂线越长,稳定性越差,反之则越好。因此,G8、G6、G1、G7 和 G4 在参试品种中丰产性表现较好,而品种 G2、G9、G1 的产量稳定性则更高。

在 GGE 双标图中,以平均环境点为圆心作红色同心圆,青贮玉米品种越理想(兼具丰产性和稳定性),越靠近圆心。如图 6b 所示,本试验所有参试青贮玉米品种的综合排名依次为:G1>G8>G7>G6>G4>G3>G5>G2>G9,即 G1、G8、G7 和 G6 综合表现优于其他参试品种。

2.3.2 青贮玉米品种的适应性及试验点的代表性和区分能力 在青贮玉米品种的适应性功能图(图 7a)中,原点向外散出的 5 条射线(绿色射线)将由最外侧的青贮玉米品种围成的多边形(红色多边形)划分成了 5 个不同的扇形区域。图中共有 2 个扇区有试验点分布,临洮点为 1 个扇区(20E1 和 21E1),涪川点为 1 个扇区(20E2 和 21E2)。G8 和 G6 分别是最靠近临洮扇区和涪川扇区的 2 个品种,即临洮点和涪川点鲜草产量最高的品种分别是 G8 和 G6。而距离原点越近的品种,其鲜草产量表现对环境变化越不敏感,如 G5。

以平均环境点为圆心画圆(蓝色圆圈),试验点所处的圆越小,则该试验点的代表性和区分能力更强。如图 7b,涪川点的代表性和区分能力优于临洮点,即涪川点因其较为稳定的品种适应性更适合作为筛选青贮玉米品种的鉴定试点。

3 讨 论

3.1 青贮玉米的收获时期及干物质含量要求

收获时期和 DMM 是衡量青贮玉米青贮成败与品质的决定因素^[17]。马金慧等^[18]研究表明,延长青贮玉米籽粒收获时期会造成其生产性能降低。本研究中,临洮和涪川基本处于同一纬度带,日照时数相差不大,使得 2 个试验点间各参试青贮玉米品种的生育时期接近,这与陈波等^[19]研究结果相近。本文 2 个试验点的秋播小黑麦通常于 10 月初播种,次年 5 月底收获,而我国北方大多玉米品种的

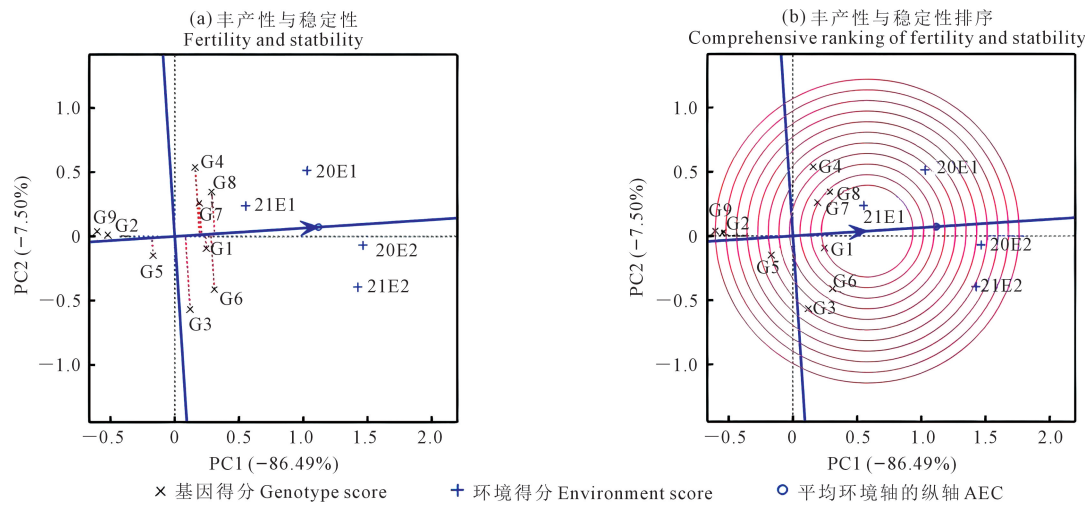


图 6 参试青贮玉米品种的丰产性与稳定性及综合排序

Fig.6 Feitility, stability, and their comprehensive ranking of tested silage maize varieties

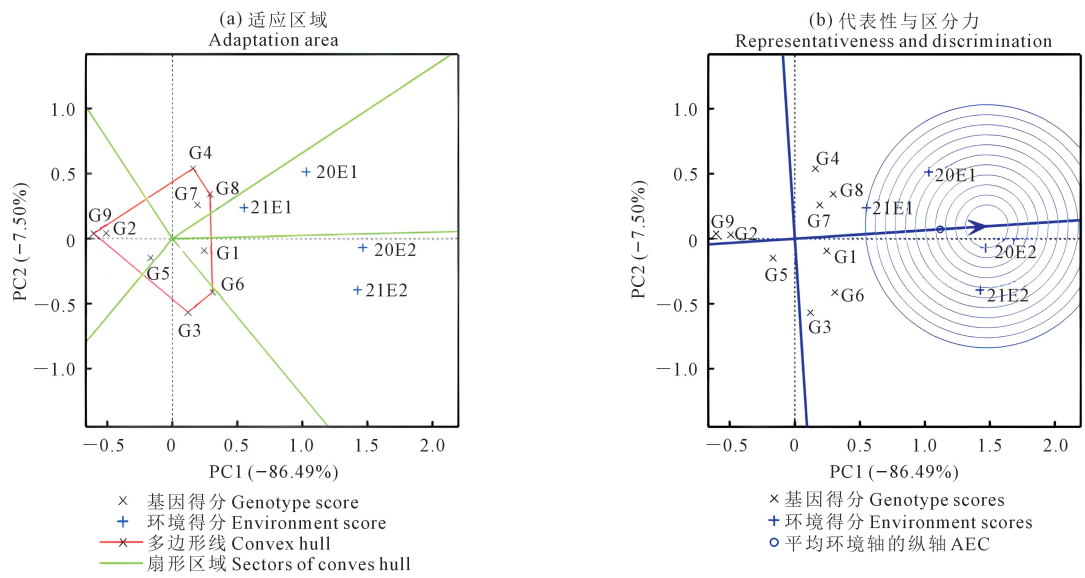


图 7 参试青贮玉米品种的适应区域及试验点的代表性和区分力

Fig.7 Adaptation area of silage maize varieties and the representativeness and discrimination of the experimental sites

生育期为 80~150 d^[20],因此在秋播小黑麦收获后及时翻耕复种青贮玉米,基本能够保证其在 10 月初达到乳熟期或者蜡熟期,以获得更高生物产量^[13]。此外大量研究表明,青贮玉米在乳熟期至蜡熟期,含水量为 60%~70%(即 DMM 为 30%~40%)时,为最佳青贮时期^[21-22]。本试验所采用的 9 个青贮玉米品种的全生育期为 102~149 d,除 2020 年品种 G4 和 2021 年品种 G3 在泾川点收获时处于灌浆期,且这 2 个青贮品种在两年 2 个试验点的 DMM 较低外,其余品种在收获时均处于乳熟期至蜡熟期,DMM 也在 30%左右,符合青贮玉米的理想刈割时间和干物质含量标准^[23]。换言之,青贮玉米的收获时期过早,会使其 DMM 累积过低,进而影响其青贮品质及对牲畜的营养供给^[24]。

3.2 不同青贮玉米品种草产量的差异及原因

青贮玉米生长期间的气候条件是影响其生产性能的主要环境因素^[25]。本试验中,由于 2020 年的降水相对充足,使其青贮玉米的平均鲜草产量高于 2021 年。而造成临洮点参试青贮玉米品种两年的平均草产量均显著高于泾川点的原因可能是临洮点的降水量虽然低于泾川点,但光照时间充足,加之临洮点的土壤类型为黑麻土,有机质含量较高且播种日期较早,更有利于青贮玉米的营养生长^[26-27]。青贮玉米品种的遗传特性是影响自身生产性能的关键因素,与产量相关基因表达量的高低决定其是否为高产品种^[28]。相较于其他参试材料,G8,G6,G1 和 G7 的平均鲜草产量较高,品种适应性较强。受气候变化和极端天气影响,同一青贮玉米

品种的生产性能在不同年份间也会出现较大波动^[29]。本研究发现,2020 年所有参试青贮玉米品种的平均鲜草产量均显著高于 2021 年,说明应根据气候变化及时调整田间管理措施,保证青贮玉米草产量的稳定和提高。除气候因素外,种植地的地理环境和土壤条件也是影响青贮玉米草产量的重要因素^[30]。两年间临洮点均为 G8 的鲜草产量最高,泾川点均为 G6 的鲜草产量最高,说明 G8 和 G6 分别在临洮点和泾川点的环境适应能力较强。因而在进行引种或区域试验时,需进行多年多点试验,对不同青贮玉米品种的生产性能进行全面对比分析,才能准确得出结论。本试验中大多青贮玉米品种虽已达到最佳收割时期,但收获时所处的生育时期有所差异也是影响鲜草产量的因素之一,后期试验需注意保证青贮玉米在同一生育时期收割,以规避因生育时期差异产生的鲜草产量差距。

3.3 不同青贮玉米品种的生产性能评价

青贮玉米品种的丰产性与稳定性分析是其大面积推广种植前的必备环节及品种优良性的检验依据,一般将不同环境中均能高产的品种视为“理想品种”^[31-32]。参考柴继宽、孙瑞和黄大明等^[14-16]利用 GGE 双标图分析燕麦品种和油菜品种产量及品种适应性的评价方法,本文利用 GGE 双标图对参试青贮玉米品种的鲜草产量进行综合评价,发现品种 G1,G8,G7 和 G6 兼具‘高产性’和‘稳定性’,综合表现能力强。除基因优势如株高、茎粗、叶片数较突出外,青贮玉米对种植环境的适应能力也尤为重要^[33]。有研究指出,较差的环境条件更易于对参试青贮玉米品种的优异性进行区分,从而方便复种青贮玉米品种的选择工作^[34]。本试验以临洮点和泾川点分别代表甘肃中部地区和东部地区,进行年际间不同种植生态区的青贮玉米产量稳定性研究,发现泾川点对品种的区分能力更强,可作为青贮玉米品种筛选的理想环境。只有充分了解品种特性和种植地种植条件,因地制宜才能选择更适合种植地的青贮玉米品种,获得更高生产性能。因此后续甘肃中东部地区青贮玉米的筛选和引种研究可进一步增设代表性试验点和青贮玉米种质资源,以利于精准筛选适宜区域性小黑麦茬后复种的青贮玉米品种。

4 结 论

除 2020 年的‘武科青贮 107’和 2021 年的‘西蒙青贮 707’外,其余参试青贮玉米品种在“两年两点”试验中均达到最佳刈割期且所有参试材料的干

物质含量满足基本青贮需求。生产性能方面:‘豫青贮 23’、‘蒙青贮 1812’,‘大京九 26’和‘京科青贮 932’鲜草产量均较高,GGE 双标图的综合评价结果也验证了这 4 个品种兼具丰产性和稳定性,在 2 个参试环境中均表现较好,可作为甘肃省中东部地区小黑麦茬后复种青贮玉米的优秀种质。同时,泾川点对青贮玉米品种的筛选能力更强,可作为理想试点用于选择高产青贮玉米品种进行应用推广。

参 考 文 献:

[1] 景芳,任生兰,边芳,等. 16 个燕麦品种在甘肃陇中地区的适应性评价与筛选[J]. 中国草地学报, 2023, 45(1): 68-76.
JING F, REN S L, BIAN F, et al. Adaptability evaluation and screening of 16 oat varieties in Longzhong area of Gansu[J]. Chinese Journal of Grassland, 2023, 45(1): 68-76.

[2] 刘露露,刘根红,买晓凤,等. 宁夏引黄灌区春小麦复种牧草模式的综合效益评价[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(1): 50-60, 103.
LIU L L, LIU G H, MAI X F, et al. Comprehensive benefits evaluation of spring wheat multiple cropping forage grass in Ningxia Yellow River irrigation area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2022, 40(1): 50-60, 103.

[3] 殷芳,何小七,樊志龙,等. 复种绿肥补偿减量施氮导致的小麦光合效能和产量损失[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(11): 1990-2000.
YIN F, HE X Q, FAN Z L, et al. Compensation of photosynthesis indexes and yield loss of wheat caused by nitrogen reduction with multiple cropping green manures[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2022, 28(11): 1990-2000.

[4] 王丹英,彭建,徐春梅,等. 油菜作绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(1): 85-91.
WANG D Y, PENG J, XU C M, et al. Effects of rape straw manuring on soil fertility and rice growth[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2012, 26(1): 85-91.

[5] 常丹丹,王旭,田新会,等. 甘肃中部地区秋播小黑麦套作式复种甜高粱的效应及品质研究[J]. 草业学报, 2021, 30(11): 212-220.
CHANG D D, WANG X, TIAN X H, et al. Studies on multiple intercropping effects and quality of autumn sown triticale and sweet sorghum in central Gansu Province[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2021, 30(11): 212-220.

[6] 宋谦,马淑梅,张兰,等. 陇东地区秋播小黑麦茬后复种青贮玉米品种的筛选[J]. 中国饲料, 2024, (7): 140-145.
SONG Q, MA S M, ZHANG L, et al. Selection of multiple cropping silage maize varieties after autumn-sown triticale in the eastern area of Gansu Province[J]. China Feed, 2024, (7): 140-145.

[7] 庄克章,吴荣华,张春艳,等. 种植密度对不同类型玉米青贮产量和营养价值的影响[J]. 作物杂志, 2019, (6): 140-144.
ZHUANG K Z, WU R H, ZHANG C Y, et al. Effects of density on yield and nutritional value of different types of silage maize[J]. Crops, 2019, (6): 140-144.

[8] 何帅达. 基于广义极值分布的气象数据分类与聚类算法研究[D].

兰州: 兰州大学, 2020.

HE S D. GEV-based algorithms for meteorological data classification and clustering[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2020.

[9] 刘翠, 杜文华, 田新会. 甘肃陇中地区中熟早熟青贮玉米品种生产性能研究[J]. 草原与草坪, 2024, 44(3): 195-202.

LIU C, DU W H, TIAN X H. Screening of middle and early maturing silage maize varieties in central Gansu[J]. Grassland and Turf, 2024, 44(3): 195-202.

[10] SIMION T, MARKOS S, SAMUEL T. Evaluation of midland maize (*Zea mays* L.) varieties in selected districts of southern Ethiopia[J]. Cogent Food & Agriculture, 2019, 5(1): 1704136.

[11] 张晓艳, 陈光荣, 王立明, 等. 不同熟期大豆品种与青贮玉米带状复合种植对饲草产量及蛋白含量的影响[J]. 饲料研究, 2023, 46(11): 99-105.

ZHANG X Y, CHEN G R, WANG L M, et al. Effect of different soybean varieties and silage maize strip compound planting system on forage yield and crude protein[J]. Feed Research, 2023, 46(11): 99-105.

[12] 宁海龙. 田间试验与统计方法[M]. 北京: 科学出版社, 2020: 149-157.

NING H L. Field experiments and statistical methods[M]. Beijing: Science Press, 2020: 149-157.

[13] 潘金豹, 张秋芝, 郝玉兰, 等. 我国青贮玉米育种的策略与目标[J]. 玉米科学, 2002, 10(4): 3-4.

PAN J B, ZHANG Q Z, HAO Y L, et al. The breeding strategy and objective of silage maize in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2002, 10(4): 3-4.

[14] 柴继宽, 慕平, 赵桂琴. 8 个燕麦品种在甘肃的产量稳定性及试点代表性研究[J]. 草地学报, 2016, 24(5): 1100-1107.

CHAI J K, MU P, ZHAO G Q. Study on yield stability and test site representativeness of eight oat varieties in Gansu Province[J]. Acta Agrestia Sinica, 2016, 24(5): 1100-1107.

[15] 孙瑞, 杨刚, 张华, 等. 基于 GGE 双标图的北方旱寒区冬油菜适应性分析[J]. 干旱地区农业研究, 2023, 41(5): 12-21.

SUN R, YANG G, ZHANG H, et al. Adaptability analysis of winter rapeseed (*Brassica rapa* L.) in drought-cold regions of northern China based on GGE biplot[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2023, 41(5): 12-21.

[16] 黄大明, 谢雄泽, 白桂萍, 等. AMMI 模型和 GGE 双标图在湖北省油菜区域试验中的应用[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(12): 24-29.

HUANG D M, XIE X Z, BAI G P, et al. Application of AMMI model and GGE biplot in rape regional trial of Hubei[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(12): 24-29.

[17] 鲁珊, 肖荷霞, 徐玉鹏, 等. 青贮玉米发展现状及高产高效栽培技术[J]. 作物研究, 2019, 33(6): 590-591.

LU S, XIAO H X, XU Y P, et al. Development status of silage maize and high yield and high efficiency cultivation techniques[J]. Crop Research, 2019, 33(6): 590-591.

[18] 马金慧, 范富, 包呼格吉乐图, 等. 不同收获时期的玉米饲用生物学产量和营养价值的比较研究[J]. 饲料研究, 2022, 45(19): 104-108.

MA J H, FAN F, Bao Hu Ge Ji LeTu, et al. Comparative study on feeding biological yield and nutritional value of maize in different harvest periods[J]. Feed Research, 2022, 45(19): 104-108.

[19] 陈波, 周年兵, 郭保卫, 等. 江西双季晚稻不同纬度产量、生育期及温光资源利用的差异[J]. 中国农业科学, 2017, 50(8): 1403-1415.

CHEN B, ZHOU N B, GUO B W, et al. Differences of double-cropping late rice in yield, growth stage and utilization of temperature and illumination in different latitudes of Jiangxi province[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(8): 1403-1415.

[20] 董扬, 李旭业, 闫锋, 等. 齐齐哈尔地区 12 个青贮玉米品种综合评价[J]. 种子, 2023, 42(9): 68-72.

DONG Y, LI X Y, YAN F, et al. Comprehensive evaluation of 12 silage maize varieties in Qiqihar area[J]. Seed, 2023, 42(9): 68-72.

[21] 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.

[22] 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.

[23] 张仲鹃, 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 Prataculturae Sinica, 2024, 33(11): 228-240.

[24] 苏日娜, 吐日根白乙拉. 不同收获期青贮玉米品种农艺性状和生物学产量的研究[J]. 畜牧与饲料科学, 2022, 43(1): 23-30.

SU R N, Tu Ri Gen Bai YiLa. Agronomic traits and biological yields of two maize varieties in different harvest periods[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2022, 43(1): 23-30.

[25] 袁福锦, 王安奎, 欧阳青, 等. 寻甸县烤烟套种青贮玉米适宜套种时间的研究[J]. 草学, 2023, (6): 40-43.

YUAN F J, WANG A K, OU YANG Q, et al. Study on suitable sowing time of silage maize interplanted with flue-cured tobacco in Xundian county[J]. Journal of Grassland and Forage Science, 2023, (6): 40-43.

[26] SRIVASTAVA A K, SAXEN D R, SAABALE P R, et al. Delineation of genotype-by-environment interactions for identification and validation of resistant genotypes in chickpea to *fusarium* wilt using GGE biplot[J]. Crop Protection, 2021, 144(1): 105571.

[27] 余小亮, 宋谦, 马淑梅, 等. 13 个青贮玉米品种在陇东地区的农艺性状及草产量研究[J]. 甘肃畜牧兽医, 2022, 52(4): 31-34.

YU X L, SONG Q, MA S M, et al. Study on agronomic traits and grass yield of 13 silage maize varieties in Longdong area[J]. Gansu Animal and Veterinary Sciences, 2022, 52(4): 31-34.