

多环境试验下的青贮玉米产量及品质分析

李若楠, 李响, 刘霄, 王敬, 吴元奇

(四川农业大学玉米研究所, 成都 611130)

摘要: 以骨干自交系 ZNC442 和 SCML0849 为亲本构建 $F_{2.3}$ 家系, 分别在雅安、宜宾、南充、绵阳等试点播种, 针对多个环境的青贮玉米干物质产量和青贮品质进行评价和分析。结果表明, 随着播期的推迟, 雅安试点青贮玉米生育期缩短且干物质产量减少。绵阳、南充和雅安早春播种试点的酸性洗涤纤维含量和中性洗涤纤维含量较低, 粗蛋白含量和淀粉含量较高, 青贮品质较好, 干物质产量较高; 宜宾试点的酸性洗涤纤维含量和中性洗涤纤维含量较高, 淀粉含量和粗脂肪含量较低, 青贮品质较差。5 个环境下, $F_{2.3}$ 家系的酸性洗涤纤维含量和中性洗涤纤维含量均达到极显著正相关水平, 相关系数在 0.56 ~ 0.88; 大多数青贮品质性状在雅安晚春播种试点与宜宾试点间的相关性较高。

关键词: 青贮玉米; 多环境试验; 干物质产量; 青贮品质

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Analysis of Yield and Quality Traits of Silage Maize in Multi-Environment Trials

LI Ruo-nan, LI Xiang, LIU Xiao, WANG Jing, WU Yuan-qi

(Maize Research Institute, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: To evaluate and analyze the dry matter yield and silage quality of silage maize in multiple-environment trials, the inbred lines ZNC442 and SCML0849 were used as parents to construct $F_{2.3}$ families, which were sown in Ya'an, Yibin, Nanchong and Mianyang, respectively. The results showed that with the delay of sowing date, the growth period of silage maize in Ya'an was shortened and the dry matter yield decreased. Early spring sowing in Ya'an, Mianyang, and Nanchong resulted in lower acid detergent fiber(ADF) and neutral detergent fiber(NDF) content, while crude protein and starch contents were higher, leading to better the silage quality and higher dry matter yield. The acid detergent fiber and neutral detergent fiber content in Yibin were relatively high, while the starch content and crude fat content were low, and the silage quality was poor. The acid detergent fiber and neutral detergent fiber content of the $F_{2.3}$ family in 5 environments showed a highly significant positive correlation level, with correlation coefficient between 0.56 and 0.88. Most silage quality traits showed high correlations between late spring sowing pilot in Ya'an and Yibin.

Key words: Silage maize; Multi-environment trial; Dry matter yield; Silage quality

青贮玉米是一种可以将地上部分全部收获制作为饲养家畜的优质青贮饲料, 是世界主要的饲料产物之一^[1], 也已经成为畜牧业发展不可缺少的基本饲料^[2-3]。青贮玉米作为“粮改饲”政策的主推饲草作物^[4], 近年来种植面积和产量不断增加。随着畜

牧业的不断发展, 以及食品安全和营养健康要求的不断提高^[5], 我国饲料玉米需求量高达饲料总量的 90% 以上。产量和青贮品质是选育优质青贮玉米的重要指标。有研究表明, 同一青贮玉米品种在不同环境种植, 其生育期、产量及青贮品质都表现出较为明显的差异。袁慧敏^[6]认为, 温度和水分是影响青贮玉米产量和品质的重要因素。我国饲料玉米需求量较高, 青贮玉米种植面积有限, 因此, 在有限的条件下提高青贮玉米产量和品质, 是青贮玉米产业目前仍需解决的问题^[7]。因此, 提高青贮玉米育种效率, 对选育高产优质的青贮玉米品种具有重要的意

录用日期: 2024-06-06

基金项目: 四川省“十四五”农作物育种攻关项目(2021YFY0017)

作者简介: 李若楠(1999-), 女, 硕士, 从事玉米遗传育种研究。

E-mail: 11131998365@163.com

吴元奇为本文通信作者。E-mail: wuyuanqi@hotmail.com

义,多环境试验能够提高青贮玉米的选育效率。

本试验以ZNC442和SCML0849为亲本构建的500个F_{2.3}家系在多个环境种植,对青贮玉米主要品质性状和株高、穗位高、单株干物质产量等性状进行分析,为多环境条件下青贮玉米品质分析提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

供试材料ZNC442、SCML0849及川单99均由四

川农业大学提供。

1.2 试验方法

以骨干自交系ZNC442和SCML0849为亲本构建500个F_{2.3}家系。2023年春,分别在四川宜宾(YB)、南充(NC)、绵阳(MY)、雅安等试点种植500个F_{2.3}家系,其中,雅安分早春播种(YA)和晚春播种(YW)。每个地点均采用完全随机区组设计,两次重复,单行区,行长5 m,行距60 cm,每行10穴,每穴2株,种植密度约67 500株/hm²,常规田间管理。各试验地点的概况见表1。

表1 试验地点概况

Table 1 General situation of testing location

地点 Location	四川绵阳 Mianyang	四川南充 Nanchong	四川雅安 Ya'an	四川宜宾 Yibin
海拔(m)	437	325	602	660
经度(°)	104.73	106.13	103.00	104.60
纬度(°)	31.45	30.75	29.98	28.80
种植家系数	139	324	335(YA) 330(YW)	309

1.3 玉米青贮品质性状的测定

在玉米子粒达到1/2~3/4乳线期时进行青贮收获,每个家系选取连续10株进行收获,收获前测量株高和穗位高,之后进行全株收获,称量鲜重。全株粉碎后在105℃条件下杀青2 h,之后在60℃条件下烘干至恒重,称量其干重,用以计算干物质含量。烘干称重后,用高速粉碎机粉碎至粉末,将10株青贮玉米的样品混匀,将其中的300 g装入纸袋,用于后续的品质性状测定。

利用多功能近红外分析仪光谱扫描检测青贮品质指标^[8],每个样品做3次生物学重复,测定粗蛋白(CP)、粗脂肪(EE)、淀粉(ST)、酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)、可溶性碳水化合物(WSC)、干物

质含量(DM)这7个指标。

1.4 数据处理与分析

利用Excel 2019对于获得的5个环境的青贮品质性状数据进行整理,采用统计软件IBM SPSS Statistics 26.0分别对每个环境各青贮品质性状和农艺性状进行统计分析。广义遗传力的计算公式: $H^2 = \sigma^2_g / (\sigma^2_g + \sigma^2_{gxe}/n + \sigma^2_e/nr)$,式中, σ^2_g 为遗传变异; σ^2_{gxe} 为基因型与环境互作方差; σ^2_e 为误差方差; n 表示环境个数; r 表示地点内的重复数^[9]。

2 结果与分析

2.1 气候因素对青贮玉米生育期及产量的影响

对绵阳、南充、雅安和宜宾等地点2023年的气

表2 5个环境的气候因子、生育期及干物质产量

Table 2 Meteorological data, growth period and dry matter yield in 5 environments

环境 Environment	降水量(mm) Precipitation	有效积温(°C·d) Effective accumulative temperature	日照时数(h) Sunshine duration	生育期(d) Growth period	单株干物质产量(g) Dry matter yield of single plant
MY	192.83	1 418	614.1	113	264.96
NC	365.50	1 176	608.9	112	222.18
YA	881.50	1 408	411.3	130	239.67
YB	437.10	1 187	561.4	107	238.04
YW	1035.52	1 293	349.1	115	167.58

注:生育期及干物质产量均为家系的平均生育期和平均产量;气候数据为2023年青贮玉米生育期内的数据。

Note: Growth period and dry matter yield are the average growth period and yield of families. The meteorological data is the data in the growth period of silage maize in 2023.

候因素(表2)和F_{2.3}家系的生育期进行调查(图2),结果表明,雅安早春播种和宜宾、南充、绵阳试点均比雅安晚春播种试点出苗慢,这与试点苗期降雨较少且温度过低有关。从出苗期至抽雄期,雅安早春播种试点抽雄较晚,这与雅安早春温度较低有直接的影响。在玉米生长后期,从吐丝期至成熟期,南充试点与绵阳试点较雅安试点与宜宾试点晚熟7~9 d,这与南充和绵阳试点在玉米生长后期降水量较少有

关。绵阳试点的单株干物质产量最高,有效积温和日照时数最高;雅安试点晚春播种的降水量最多,日照时数最短,单株干物质产量最低。从雅安试点早春播种和晚春播种的气象因素来看,播种期对生育期的天数和干物质产量有着一定的影响。雅安试点生育期的天数随着播种期的推迟而缩短,干物质产量随着播期的推迟而减少。

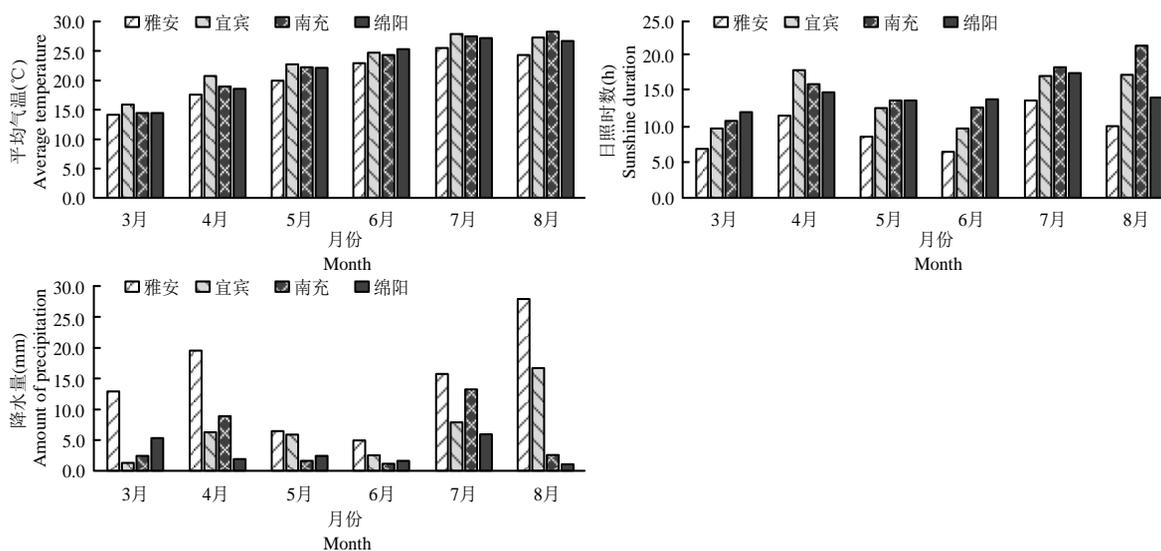
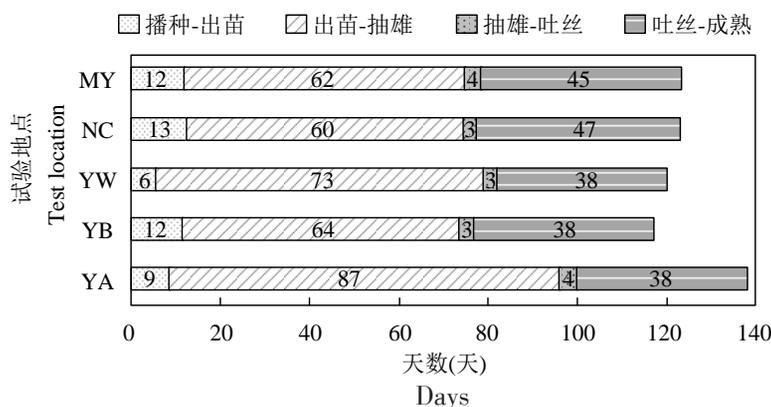


图1 2023年青贮玉米生育期内气象图

Fig.1 Meteorological data during silage maize growth in 2023



注:YA播种期,2023-03-04;YB播种期,2023-03-28;YW播种期,2023-04-27;NC播种期,2023-04-03;MY播种期,2023-04-06。

Note: Sowing date in YA, March 4th, 2023; sowing date in YB, March 28th, 2023; Sowing date in YW, April 27th, 2023; Sowing date in NC, April 3rd, 2023; Sowing date in MY, April 6th, 2023.

图2 不同环境下F_{2.3}家系的生育时期

Fig.2 Growth period of F_{2.3} families in different environments

不同环境条件下的青贮品质含量如图3所示。结果发现,随着播种期的推迟,雅安试点晚春播种的酸性洗涤纤维含量与中性洗涤纤维含量增加,提升幅度分别为3.56%和4.33%;淀粉含量和粗脂肪含量显著降低,降低幅度分别为17.64%和12.50%;粗蛋

白和干物质含量变化较小。宜宾试点的粗蛋白、酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量均较其他试点高,分别高5.59%、12.50%和7.63%;淀粉和粗脂肪含量比其他试点分别低13.15%和12.50%。绵阳试点、南充试点和雅安早春播种试点的酸性洗涤纤维含量和

中性洗涤纤维含量较低,粗蛋白含量和淀粉含量较高,青贮品质较好,且干物质产量较高;宜宾试点的干物质产量较高,但酸性洗涤纤维含量和中性洗涤

纤维含量较高,淀粉含量和粗脂肪含量较低,青贮品质较差。

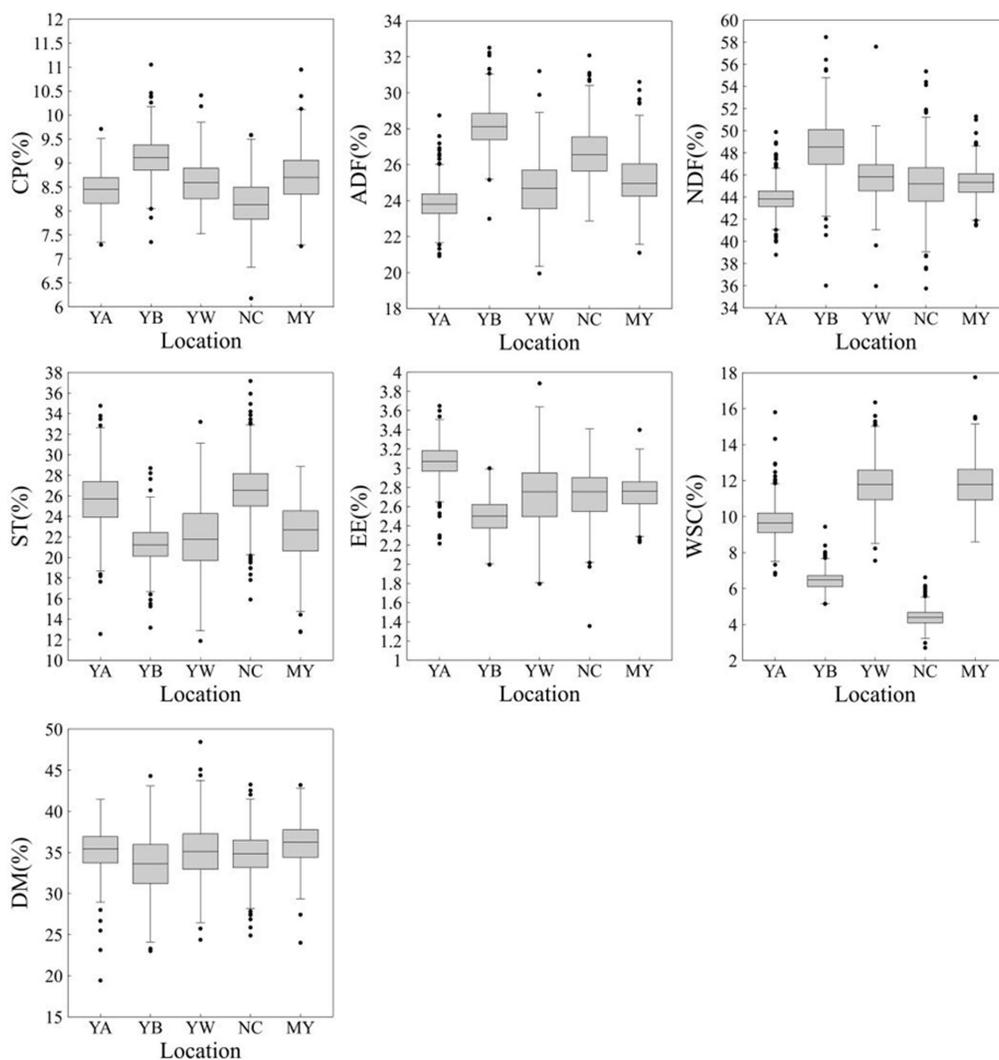


图3 不同环境下青贮玉米品质的比较

Fig.3 Comparison of silage maize quality in different environments

2.2 $F_{2.3}$ 群体青贮品质性状的联合方差分析及遗传率估算

由于MY试点作为验证环境,其样本数据与其他4个环境存在显著差异,为确保分析结果的准确性和可靠性,研究仅对NC、YA、YB和YW环境下80个 $F_{2.3}$ 家系的农艺性状和品质性状进行联合方差分析(表3)及遗传率估算(表4)。结果表明,穗位高(EH)的环境与家系间互作未达显著水平,株高(PH)和干物质产量(DMY)的环境、家系和环境与家系互作间均达极显著水平。CP、ADF、NDF、ST、EE、WSC和DM含量在不同环境间差异均达极显著水平。除CP、ADF、NDF和DM含量在环境与家系互作间差异不显著外,其他品质性状在环境与家系互作间均达

极显著水平。对NC、YA和YW环境下167个 $F_{2.3}$ 家系的相关性状进行联合方差分析及遗传率估算,结果发现,PH、EH和DMY的环境、家系以及环境与家系间互作均达极显著水平。除ADF含量、NDF含量、EE含量和DM含量的环境与家系间互作未达显著水平,EE含量的家系间未达显著水平外,其余青贮品质性状的环境、家系以及环境与家系间均达极显著水平。对NC、YA和YB环境下的228个 $F_{2.3}$ 家系的相关性状进行联合方差分析及遗传率估算,结果发现,PH的环境与家系间互作未达显著性水平,环境和家系间均达极显著水平,EH和DMY的环境、家系及环境与家系间互作均达极显著水平,CP、ADF、NDF、ST、EE和DM含量的环境与家系间互作

均未达显著水平。青贮品质性状的遗传率在0.45 ~ 较高的遗传力。
0.87, PH、EH 和 DMY 的遗传率在0.73 ~ 0.92, 具有

表3 F_{2.3}群体农艺性状及青贮品质性状的联合方差分析

Table 3 Combined analysis of variances of agronomic traits and silage quality traits for F_{2.3} population

试点 Pilot	性状 Trait	株高 PH	穗位高 EH	干物质产量 DMY	粗蛋白 CP	酸性洗涤纤维 ADF
NC、YA、YB、YW	环境	313.82**	88.77**	85.38**	106.60**	10.86**
	家系	7.24**	5.13**	2.45**	1.66**	1.08
	环境×家系	1.48**	0.98	1.29*	1.15	1.00
NC、YA、YW	环境	795.87**	214.16**	208.39**	63.60**	180.30**
	家系	4.57**	4.08**	2.03**	1.70**	2.03**
	环境×家系	1.42**	1.29**	1.32**	1.30**	1.06
NC、YA、YB	环境	42.41**	58.19**	25.15**	370.68**	1027.95**
	家系	1.47**	4.53**	2.74**	2.60**	1.97**
	环境×家系	1.09	1.31**	1.47**	0.68**	0.92
NC、YA、YB、YW	环境	40.63**	63.87**	81.89**	1171.19**	34.22**
	家系	1.88**	3.26**	2.32**	1.79**	1.44*
	环境×家系	1.04	1.46**	1.49**	1.79**	1.07
NC、YA、YW	环境	32.67**	105.70**	17.07**	3098.42**	7.33**
	家系	1.63**	2.24**	1.01	1.84**	1.25*
	环境×家系	1.01	1.27**	1.00	1.58**	1.02
NC、YA、YB	环境	374.23**	291.35**	409.59**	3577.72**	34.89**
	家系	2.28**	2.25**	1.56**	1.71**	34.89**
	环境×家系	1.00	1.07	1.12	1.39**	1.10

注:*表示显著性达0.05水平;**表示显著性达0.01水平。下同。

Note: * indicates that the significance reaches 0.05 level; ** indicates a significance of 0.01. The same below.

表4 F_{2.3}群体农艺性状及青贮品质性状的遗传力估算

Table 4 Estimation of heritability of agronomic traits and silage quality traits in F_{2.3} population

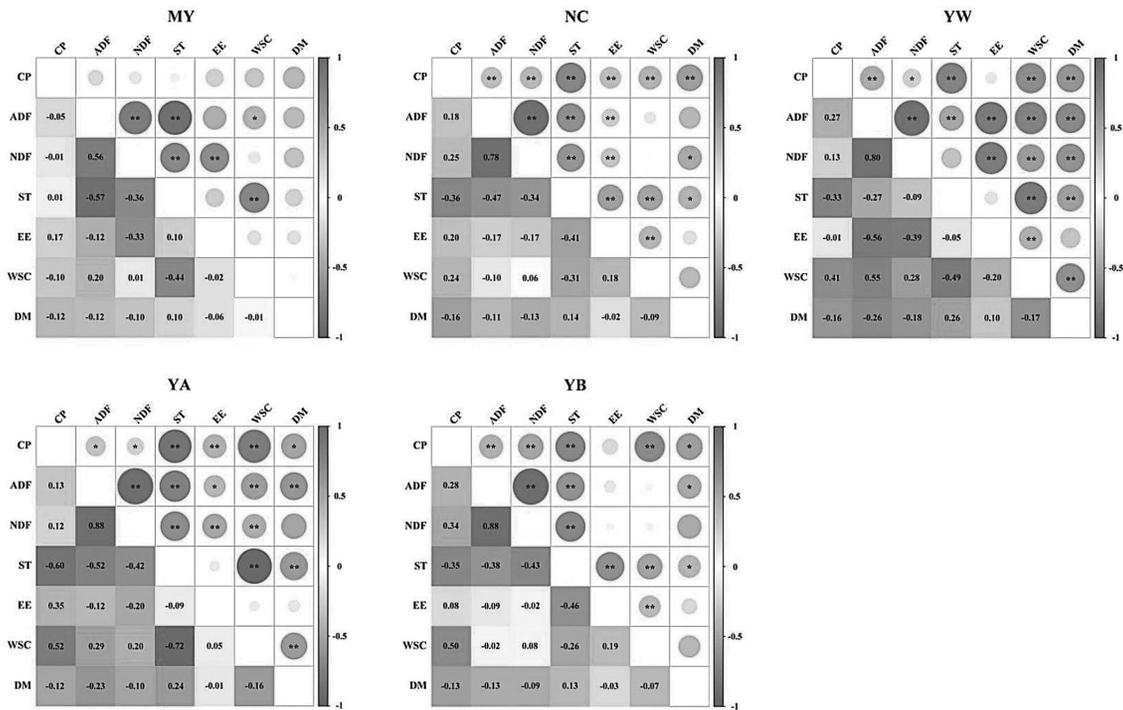
试点 Pilot	株高 PH	穗位高 EH	干物质 产量 DMY	粗蛋白 CP	酸性洗涤 纤维 ADF	中性洗涤 纤维 NDF	淀粉 ST	粗脂肪 EE	可溶性碳 水化合物 WSC	干物质 含量 DM
NC、YA、YB、YW	0.92	0.91	0.80	0.45	0.74	0.83	0.87	0.82	0.76	0.73
NC、YA、YW	0.88	0.87	0.77	0.74	0.80	0.76	0.79	0.67	0.73	0.71
NC、YA、YB	0.73	0.88	0.81	0.87	0.81	0.82	0.81	0.74	0.73	0.76

2.3 F_{2.3}群体青贮品质性状的相关性分析

5个环境下各青贮品质性状间的相关分析如图4。结果发现,5个环境下的ADF含量和NDF含量间呈极显著正相关,相关系数在0.56 ~ 0.88,说明F_{2.3}家系的ADF含量和NDF含量在5个环境下的相关性均较高。NC、YA、YB和YW试点的CP含量与ADF含量、NDF含量和WSC含量间呈极显著正相关,YA试点和YW试点的ADF含量和NDF含量与WSC含量间呈极显著正相关。5个试点的ST含量与ADF含量和NDF含量间均呈极显著负相关,除MY试点外,其余4个试点的CP含量与ST含量间均

呈极显著负相关。

F_{2.3}群体各青贮品质性状在YA、YW、NC和YB间的相关性分析和表型分布如图5。结果表明,ADF含量、NDF含量、ST含量和EE含量在YW试点和YB试点间呈极显著正相关或显著相关,相关系数在0.45 ~ 0.73,CP含量在YW试点与YB试点间呈显著相关,NDF含量、ST含量、EE含量和DM含量在YA试点与NC试点间呈极显著正相关或显著相关,说明F_{2.3}家系大多数青贮品质性状在雅安试点晚春播种与宜宾试点间的相关性较高。

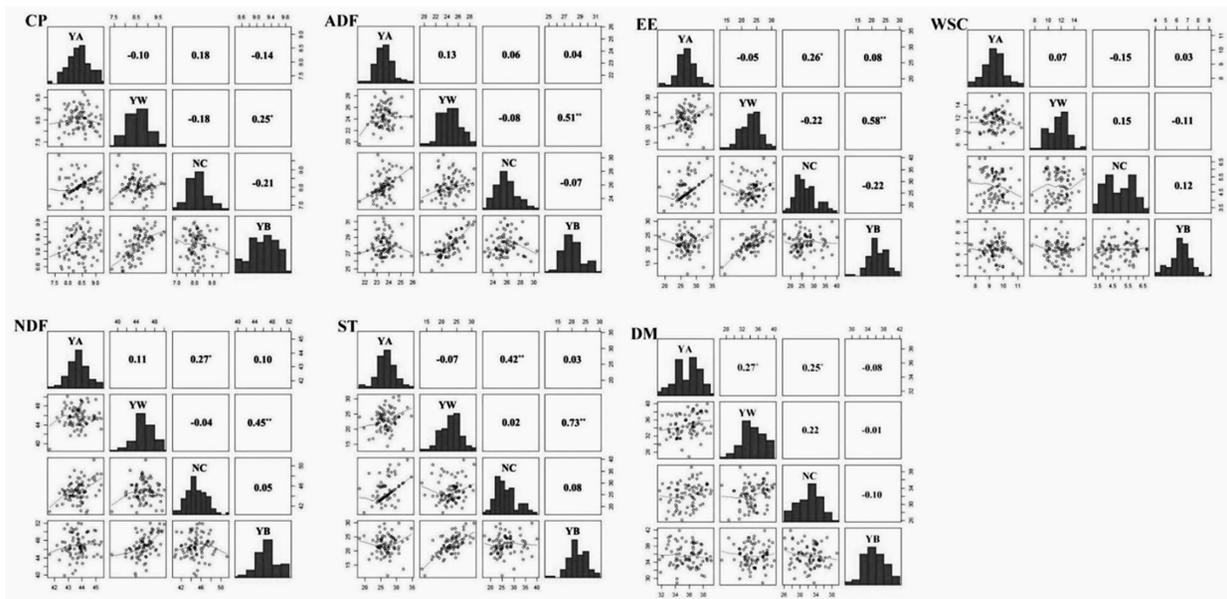


注:左下角的数字代表两个性状间的相关系数,右上角的*代表显著性。

Note: The number in the lower left represents the correlation coefficient between the two traits, and the * in the upper right represents significance.

图4 5个环境下F_{2:3}群体各青贮品质性状间的相关性分析

Fig.4 Correlation analysis of silage quality traits of F_{2:3} populations in 5 environments



注:图中散点图表示数据的大致相关趋势,黑色线条代表整体数据的趋势,柱形分布图表示各青贮品质性状的分布情况。

Note: The scatter plot in the figure represents the general correlation trend of the data, the black line represents the trend of the overall data, the histogram represents the distribution of each silage quality character.

图5 F_{2:3}群体各青贮品质性状在YA、YW、NC和YB间的相关性分析和表型分布

Fig.5 Correlation analysis and phenotypic distribution of silage quality traits in YA, YW, NC and YB of F_{2:3} population

3 结论与讨论

产量和品质是评价青贮玉米品种的两个重要指

标。同一玉米品种在不同环境种植,其生育期和产量都会表现出明显的差异。许东梅^[10]研究发现,全株青贮玉米在不同气候区的差异主要受气候因子中

的海拔和生育期降水量的影响。本研究发现,雅安试点晚春播种由于播种期较晚,苗期温度过高,生育后期降水量较多,干物质产量明显降低;绵阳试点青贮玉米的拔节期至成熟期气温偏低且降水量充足,是5个环境中产量最高的试点。袁慧敏发现,温度和水分是影响青贮玉米的关键因素,过早或过晚播种都会影响青贮玉米的产量和品质。本研究发现,播种期推迟对青贮玉米的株高与穗位高有显著的影响,随着播种期的延迟,雅安试点株高与穗位高显著降低,产量下降。

青贮玉米品质性状在不同环境下的表现有所不同。有研究表明,不同环境对青贮玉米的酸性洗涤纤维影响较大,中性洗涤纤维含量次之^[11]。本研究中粗脂肪含量在不同环境间的变化最小,表明粗脂肪含量受环境影响较小,可能受遗传作用的影响。宜宾试点的粗蛋白含量较高,酸性洗涤纤维含量和中性洗涤纤维含量较高,可能与试点的海拔有关。张建辉^[12]利用回归方程对青贮玉米的生物产量和品质进行预测,研究表明,青贮玉米的生物产量和淀粉含量与日照时数和降水量的回归方程在统计学上具有显著性。本研究发现,随着播种期的推迟,雅安晚春播种试点的生育期缩短,日照时数减少,酸性洗涤纤维含量和中性洗涤纤维含量增加,淀粉含量和粗脂肪含量显著降低,干物质产量降低。

本研究综合分析可知, $F_{2,3}$ 家系的株高、穗位高和干物质产量的遗传率均较高;各青贮品质性状在不同环境间差异均达极显著水平,且遗传率在0.45~0.87。绵阳、南充和雅安早春播种试点的酸性洗涤纤维含量和中性洗涤纤维含量较低,粗蛋白含量和淀粉含量较高,青贮品质较好,且干物质产量较高;宜宾试点的干物质产量较高,但酸性洗涤纤维含量和中性洗涤纤维含量较高,淀粉含量和粗脂肪含量较低,青贮品质较差。 $F_{2,3}$ 家系的酸性洗涤纤维含量和中性洗涤纤维含量在5个环境下的相关性均较高,大多数青贮品质性状在雅安试点晚春播种与宜宾试点间的相关性较高。

参考文献:

[1] KAPLAN M, BARAN O, UNLUKARA A, et al. The effects of differ-

ent nitrogen doses and irrigation levels on yield, nutritive value, fermentation and gas production of corn silage[J]. Turkish Journal of Field Crops, 2016, 21(1): 100.

[2] SALAMA H S A. Yield and nutritive value of maize(*Zea mays* L.) forage as affected by plant density, sowing date and age at harvest[J]. Italian Journal of Agronomy, 2019(2): 14.

[3] GUYADER J, BARON V, BEAUCHEMIN K. Corn forage yield and quality for silage in short growing season areas of the canadian prairies[J]. Agronomy, 2018, 8(9): 2-25.

[4] 王伟,赵丽,邱贵兰,等. 施氮量与密度对西南地区主栽青贮玉米品种产量和品质的影响[J]. 玉米科学, 2022, 30(5): 99-107.

WANG W, ZHAO L, QIU G L, et al. Effect of nitrogen application and density on yield and quality of mainly planted maize varieties in southwest China[J]. Journal of Maize Sciences, 2022, 30(5): 99-107. (in Chinese)

[5] 王晓光,史桂清,刘春阁,等. 中国青贮玉米产业现状及发展趋势[J]. 农学学报, 2023, 13(7): 20-24.

WANG X G, SHI G Q, LIU C G, et al. Present situation and development trend of silage corn industry in China[J]. Journal of Agriculture, 2023, 13(7): 20-24. (in Chinese)

[6] 袁慧敏. 不同播期和密度对冀西北地区青贮玉米产量及品质的影响[D]. 张家口:河北北方学院, 2019.

[7] 丁光省. 美国青贮玉米种植情况的调研报告[J]. 中国乳业, 2019(1): 17-22.

DING G S. Investigation report on silage corn planting in the United States[J]. China Dairy, 2019(1): 17-22. (in Chinese)

[8] 褚小立,陆婉珍. 近五年我国近红外光谱分析技术研究与应用进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(10): 2595-2605.

CHU X L, LU W Z. Research and application progress of near infrared spectroscopy analytical technology in China in the past five years [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2014, 34(10): 2595-2605. (in Chinese)

[9] HOLLAND J B, NYQUIST W E, CERVANTES- MARTINEZ C T. Estimating and interpreting heritability for plant breeding: Anupdate [J]. Plant Breeding Reviews, 2003, 22: 99-112.

[10] 许冬梅. 不同气候区及乳酸菌影响玉米青贮发酵的微生物组与代谢组学机制研究[D]. 兰州:兰州大学, 2021.

[11] 廖正巧. 基于GGE双标图的青贮玉米主要性状分析[D]. 雅安:四川农业大学, 2015.

[12] 张建辉. 播期对青贮玉米生物产量和品质的影响[J]. 农业科技与信息, 2024(3): 33-35.

ZHANG J H. Effect of sowing date on biological yield and quality of silage maize[J]. Agricultural Science Technology and Information, 2024(3): 33-35. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)