DOI: 10.3969/j.issn.0488-5368.2025.04.006

52 个青贮玉米组合一年多点试验分析

崔婧婧[1],于玲玲[2],王春勇[1],张全国[3,4],郭 强[1]

(1.唐山市农业科学研究院,河北 唐山 063000;2.唐山市农作物种子站,河北 唐山 063000;
3.河北省农林科学院 粮油作物研究所,河北 石家庄 050035;4.河北省作物遗传育种重点实验室,河北 石家庄 050035)

摘 要:为探索青贮玉米产量与农艺性状间的联系,将 52 个青贮玉米组合分别种植于唐山、承德、平泉和张家口,进行一年多点的品种试验。结果表明,在组合的丰产性以及稳定性综合评价中,6 个组合被评为很好。其中组合 V38 的丰产性效应值最高,为 1.037 2;组合 V29 在不同地点的产量变异度最低,为 3.781 2。通过组合农艺性状的相关分析与逐步线性回归分析,穗位对产量有直接的反向作用,锈病对产量有正向作用,二者可解释 14%的产量变异。对产量及产量影响因素进行聚类分析,以欧式距离 13.6 为标准,可将玉米组合划分为 6 个组群。

关键词:青贮玉米;农艺性状;聚类分析

中图分类号:S326 **文献标识码**:A **文章编号**:0488-5368(2025)04-0024-06

One Year and Multi-Site Evaluation of 52 Silage Maize Combinations

CUI Jingjing[1], YU Lingling[2], WANG Chunyong[1], ZHANG Quanguo[3,4], GUO Qiang[1]

(1. *Tangshan Academy of Agricultural Science, Tangshan, Hebei* 063000, *China*; 2. *Tangshan Crop Seed Station, Tangshan, Hebei* 063000, *China*;
3. *Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei* 050035, *China*;
4. *Hebei Key Laboratory of Crop Genetics and Breeding, Shijiazhuang, Hebei* 050035, *China*)

Abstract: To explore the relationship between maize yield and agronomic traits, a multi-site variety experiment was conducted over one growing season, with 52 silage maize combinations planted in Tangshan, Chengde, Pingquan, and Zhangjiakou. The results showed that, based on a comprehensive assessment of yield potential and stability, six combinations were rated as excellent. Among them, combination V38 exhibited the highest yield effect value (1.0372), while combination V29 demonstrated the lowest yield variability across locations (3.781 2). Correlation analysis and stepwise linear regression analysis of agronomic traits indicated that ear height had a direct negative effect on yield, whereas rust resistance exhibited a positive effect. Together, these two factors accounted for 14% of the total yield variation. Based on a Euclidean distance of 13.6, cluster analysis of yield and its influencing factors classified the maize combinations into six distinct groups.

Key words: Silage maize; Agronomic characters; Cluster analysis

玉米是我国第一大粮食作物[1],其籽粒、果穗和茎秆在工业与畜牧业中有广泛用途[2],我国的玉米进口量排名世界首位[3]。青贮玉米是饲料之王,是发展养畜牧业不可缺少的优质饲料,也是最经济的饲料[4]。自 2015 年以来,青贮玉米作为“粮改饲”的主推作物,种植面积不断扩大[5]。我国青贮玉米产业起步较晚,产业规模小,地区之间发展不平衡[6]。东北、华北和西北等地区发展奶

收稿日期:2024-06-14 **修回日期**:2024-08-25
基金项目:河北省现代农业产业技术体系建设专项资金(HBCT2024020411);省-市农科院合作项目“适合春播区玉米种质创新及新品种选育”(2023KJCXZX-LYS-22);河北省农业科技成果推广项目(冀农科 24082)。
第一作者简介:崔婧婧(1993-),女,硕士,助理研究员,主要从事玉米育种研究。
通信作者:郭 强,张全国。

牛养殖业需要大量的青贮饲料,但这些地区缺乏适应当地气候、可大面积推广的青贮玉米品种[7]。华北平原占据了我国 18.6%的耕地[8],玉米的产量占据全国总产量的三成以上[9],是我国重要的玉米生产基地。因此,选育适宜华北地区种植的青贮玉米品种,对保障饲料产量、缓解牧草压力有重要意义。

产量是选择青贮玉米品种的首要指标[10],青贮玉米的产量又受环境影响颇深[11]。因此,本试验在华北地区的 4 个地点分别种植 52 个青贮玉米组合,采用一年多点[12]的品种试验提升品种比较结果的精确度,探索直接影响产量的相关性状。以期在增产的前提下,能加快筛选杂交组合的进度,推进青贮玉米育种创新。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验所用的 52 个玉米组合的编号、名称和来源如表 1 所示。

表 1 供试材料

序号	组合名称	组合来源	序号	组合名称	组合来源	序号	组合名称	组合来源
V1	承德-1	承德市农林科学院	V19	冀 7121	河北省农林科学院粮油作物研究所	V37	冀玉 516	河北省农林科学院粮油作物研究所
V2	承德-2		V20	冀 7128		V38	冀玉 520	
V3	承德-3		V21	冀 7146		V39	冀玉 530	
V4	承德-4		V22	冀 7172		V40	冀玉 533	
V5	高 1	河北省农林科学院粮油作物研究所	V23	冀 7249		V41	冀玉 536	
V6	高 2		V24	冀 7264		V42	冀玉 538	
V7	高 3		V25	冀 7301		V43	冀玉 539	
V8	高 4		V26	冀 7316		V44	冀玉 540	
V9	高 6		V27	冀 7406		V45	冀玉 545	
V10	高 7		V28	冀 7408		V46	唐研 5136	唐山市农业科学研究院
V11	高 8		V29	冀 9005		V47	唐研 6883	
V12	高 9		V30	冀 9006		V48	唐研 762	
V13	高 10		V31	冀 W1		V49	唐研 932	
V14	冀 7057		V32	冀 W2		V50	唐研 S22	
V15	冀 7080		V33	冀 W3		V51	北农青贮 208	北京农学院
V16	冀 7090		V34	冀 W4		V52	京科青贮 516	北京市农林科学院玉米研究中心
V17	冀 7104		V35	冀 W5				
V18	冀 7108		V36	冀玉 512				

1.2 试验方法

于 2023 年分别在唐山市农业科学研究院试验基地(39.36°N、118.11°E,E1)、承德市农林科学院试验基地(40.97°N、117.94° E,E2)、平泉市黄土梁子镇(41.00°N、118.41° E,E3)和张家口市农业科学院试验基地(40.82°N、114.89 °E,E4)进行田间试验。采用随机区组设计,3 行区,行距 60 cm,行长 6 m,重复两次。

调查统计各试验点组合的株高、穗位、大斑病、小斑病、弯孢霉叶斑病、锈病、倒折率、倒伏率和产量等农艺性状。根据《玉米抗病虫性鉴定技术规范》(NY/T1248),统计大斑病、小斑病和弯孢霉叶斑病的发生情况,病情分级与抗病性见表 2。

表 2 玉米品种病情分级与抗病性

病情分级	1	3	5	7	9
抗病性	高抗	抗	中抗	感	高感

1.3 数据分析

采用 WPS Office 和 DPS V7.5 软件,进行一年多点品种区域试验分析、品种稳定性和丰产性分析、农艺性状相关分析、逐步线性回归分析和聚类分析,采用 Duncan′s 进行处理间差异性检验。

2 结果与分析

2.1 2023 年产量方差分析

产量方差分析(表 3)发现,不同地点、不同组

合间存在极显著差异($P<0.01$),不同地点与组合间显著差异。

52 个组合在不同地点、不同组合间存在极显著差异($P<0.01$),不同地点与组合间不存在显著差异。如表 4 所示,在 4 个试点地点中,承德的玉米产量显著高于唐山,张家口的玉米产量极显著高于唐山。玉米产量在 4 个试验地点的差异,可能与全球气候变化相关。

所以,下一步有必要对各个组合在多点的稳定性以及组合的丰产性做出评判。

表 3 产量方差分析

变异来源	df	SS	MS	F	P 值
地点内区组	4	202.612 5	50.653 1	27.266 5	0.000 1
地 点	3	114.320 4	38.106 8	20.512 8	0.000 1
组合	51	163.078 7	3.197 6	1.721 3	0.006 1
组合×地点	153	284.229 4	1.857 7	0.456 5	0.999 9
试验误差	204	830.148 1	4.069 4		
总 和	415	1 594.389 1			

表 4 试验地点的产量方差分析

试验地点	产量均值/kg	5%显著水平	1%显著水平
张家口	7.78	a	A
承德	7.04	b	AB
平泉	6.90	bc	B
唐山	6.31	c	B

2.2 组合丰产性及其稳定性

由表 5 可知,组合 V38 的丰产性效应值最高,为 1.037 2;V46 的丰产性效应值最低,为-1.928 5;组合 V29 在不同地区的产量变异度最低,为 3.781 2,因此该组合产量受试验地点的影响较小,组合稳产性好;组合 V18 的产量变异度最高,为 28.110 1,该组合产量受试验地点的影响较大,组合稳产性差。

对各个组合的丰产性以及稳定性进行综合评价。被评为很好的组合有 6 个,分别是:V22、V29、V37、V38、V47 和 V52,其中 V52 为对照品种京科青贮 516。被评为好和较好的组合各 12 个,被评为一般的组合有 16 个,被评为较差的组合有 6 个。

表 5 组合丰产性及其稳定性分析

组合	丰产性参数		稳定性参数		适应地区	综合评价
	产量	效应	方差	变异度		
V38	8.047 3	1.037 2	0.343	7.278 3	E1~E4,	很好
V37	8.038 5	1.028 5	0.115	4.209 8	E1~E4,	很好
V11	7.905	0.895	0.866	11.772 8	E2,E4,	好
V22	7.799	0.789	0.153	5.019 2	E1~E4,	很好
V29	7.700 8	0.690 7	0.085	3.781 2	E1~E4,	很好
V47	7.69	0.68	0.087	3.837	E1~E4,	很好
V52	7.66	0.65	0.269	6.776	E1~E4,	很好
V42	7.642 5	0.632 5	0.436	8.643	E4,	较好
V39	7.620 3	0.610 2	0.091	3.955 3	E1~E4,	好
V9	7.617 5	0.607 5	1.49	16.022	E2,E3,	较好
V31	7.516	0.506	0.625	10.519 7	E1~E4,	好
V16	7.481 5	0.471 5	1.702	17.438 7	E4,	较好
V43	7.475 3	0.465 2	2.688	21.933 5	E3,E4,	较好
V36	7.43	0.42	0.129	4.828 7	E1~E4,	好
V40	7.429	0.419	0.476	9.283	E1~E4,	好
V2	7.41	0.4	1.733	17.766 5	E3,	较好
V26	7.328 8	0.318 7	0.847	12.556 2	E2,	一般
V25	7.312 3	0.302 2	0.142	5.153 2	E1~E4,	好
V10	7.307 5	0.297 5	0.566	10.299 7	E1,E2,	较好
V12	7.297 5	0.287 5	0.52	9.881 8	E1~E4,	好

续表 5 组合丰产性及其稳定性分析

组合	丰产性参数		稳定性参数		适应地区	综合评价
	产量	效应	方差	变异度		
V44	7.269 8	0.259 7	0.179	5.812 1	E1~E4,	好
V51	7.24	0.23	0.088	4.091 5	E1~E4,	好
V6	7.232 5	0.222 5	0.769	12.128 1	E4,	一般
V45	7.225 3	0.215 2	1.418	16.481 5	E3,	一般
V15	7.224 8	0.214 7	0.529	10.064 7	E3,	一般
V13	7.217 5	0.207 5	0.762	12.095 7	E2,E4,	较好
V4	7.215	0.205	0.152	5.410 9	E1~E4,	好
V17	7.178 3	0.168 2	0.129	5.010 7	E1~E4,	好
V1	7	−0.01	1.397	16.885 5	E3,	一般
V5	6.992 5	−0.017 5	0.39	8.927 8	E1~E4,	好
V3	6.975	−0.035	2.741	23.735 3	E3,	一般
V19	6.894 3	−0.115 8	0.569	10.936 9	E1~E4,	较好
V48	6.876 5	−0.133 5	0.872	13.580 6	E1,E4,	一般
V33	6.843 3	−0.166 8	0.372	8.914 1	E1~E4,	较好
V23	6.76	−0.25	0.726	12.604 1	E1,	一般
V41	6.750 3	−0.259 8	0.226	7.039 3	E1~E4,	较好
V20	6.726 8	−0.283 3	0.487	10.379	E2,E4,	一般
V35	6.608 5	−0.401 5	1.052	15.519 3	E4,	一般
V34	6.604 5	−0.405 5	1.738	19.959 5	E2,E4,	一般
V18	6.588 8	−0.421 3	3.43	28.110 1	E1,E2,	一般
V14	6.580 5	−0.429 5	0.385	9.424 8	E1~E4,	较好
V49	6.566	−0.444	0.616	11.952 7	E2,E4,	一般
V24	6.446	−0.564	1.614	19.711 1	E2,E4,	一般
V7	6.43	−0.58	2.99	26.893 8	E3,	较差
V27	6.307	−0.703	0.653	12.810 4	E1~E4,	较好
V30	6.197 5	−0.812 5	1.043	16.478 2	E1~E4,	一般
V21	6.177	−0.833	2.717	26.683 6	E1,E2,E4,	一般
V28	6.072	−0.938	1.35	19.135 9	E1,E4,	较差
V50	6.022 3	−0.987 8	2.067	23.875 1	E3,E4,	较差
V32	5.902 5	−1.107 5	0.734	14.513 2	E2,	较差
V8	5.607 5	−1.402 5	2.06	25.593	E1,E3,	较差
V46	5.081 5	−1.928 5	0.153	7.688 6	E1~E4,	较差

2.3 组合农艺性状的相关分析

由表 6 可知,穗位与株高呈显著正相关,弯孢霉叶斑病与倒折率呈显著正相关,锈病与产量呈显著正相关,大斑病与倒伏率呈极显著正相关,穗位与锈病呈显著负相关,穗位与产量呈显著负相关,穗位与大斑病呈极显著负相关,株高与弯孢霉叶斑病则没有关系。说明穗位制约玉米品种的大斑病、锈病和产量,株高随着穗位的升高而增加;倒折率随弯孢霉叶斑病的发生而增加,倒伏率随大斑病的发生而升高。

表 6 组合农艺性状相关分析

农艺性状	株高	穗位	大斑病	小斑病	弯孢霉叶斑病	锈病	倒折率	倒伏率	产量
株高	1.00								
穗位	0.32*	1.00							
大斑病	−0.23	−0.36**	1.00						
小斑病	0.11	0.18	−0.12	1.00					
弯孢霉叶斑病	0	−0.12	0.2	−0.1	1.00				
锈病	−0.05	−0.27*	−0.09	−0.02	0.14	1.00			
倒折率	0.07	0.06	0.15	−0.15	0.33*	0.03	1.00		
倒伏率	0.18	0.03	0.39**	0.05	0.18	0.05	0.27	1.00	
产量	0.03	−0.30*	0.18	0.12	−0.07	0.30*	−0.08	0.08	1.00

注:* $p<0.05$ ** $p<0.01$。

2.4 逐步线性回归分析

对 52 个玉米组合的株高(X_1)、穗位(X_2)、大斑病(X_3)、小斑病(X_4)、弯孢霉叶斑病(X_5)、锈病(X_6)、倒折率(X_7)、倒伏率(X_8)等农艺性状与产量(Y)进行逐步线性回归分析。结果表明,可用 X_2 与 X_6 的线性回归方程估测 Y,回归方程如下:

$$Y=8.277-0.013X_2+0.015X_6$$

其中,相关系数 $R=0.37$,决定系数 $R^2=0.14$。说明穗位对产量有直接的反向作用,锈病对产量有正向作用,穗位与锈病可解释 14%的产量变异。

2.5 组合聚类分析

对 52 个玉米组合的 9 个农艺性状进行聚类分析,聚类图详见图 1。欧式距离为 13.6 时,可将玉米组合划分为 6 个组群。第 I 组群有 5 个组合,株高较高,锈病较多,产量较高。第 II 组群有 1 个组合,穗位较低,锈病较多,倒折率较高。第 III 组群有 43 个组合,各种性状差异较小,抗病、抗倒性中等。第 IV 组群有 1 个组合,株高较低,没有锈病。第 V 组群有 1 个组合,高抗大斑病、小斑病和弯孢霉叶斑病,锈病较多。第 VI 组群有 1 个组合,株高、穗位均为最大值,产量较低。

对 6 个组群的农艺性状的均值进行分析,结果如表 7。第 I 组群的产量最高,同时其小斑病、锈病最严重,倒伏率最高。第 VI 组群产量最低,株高和穗位最高。该结果与逐步线性回归方程相符,穗位与锈病对产量有影响。

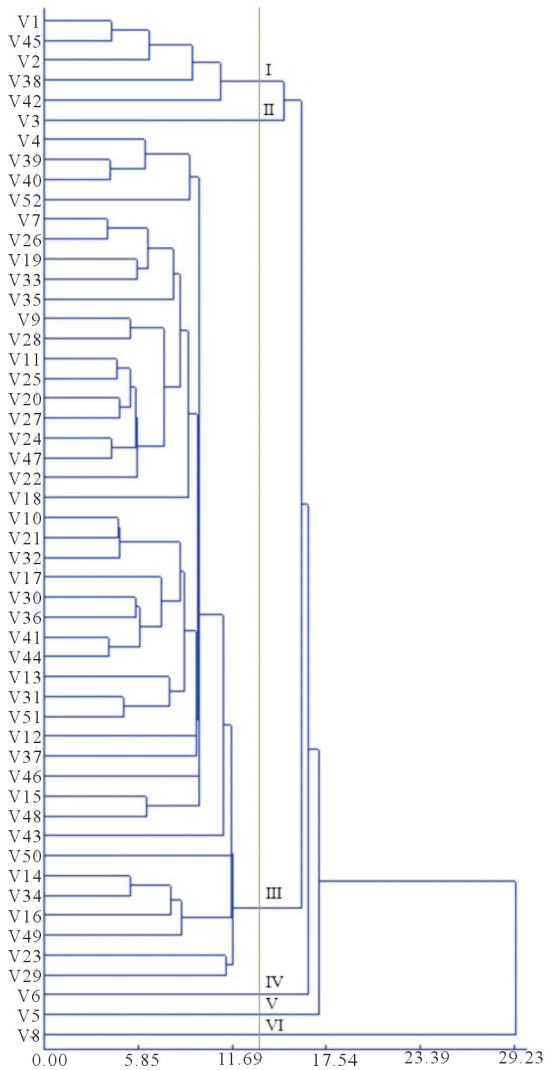

图 1 52 个青贮玉米组合的聚类结果

表 7 组群农艺性状的均值分析

农艺性状	I	II	III	IV	V	VI
株高/cm	284.30	266.25	271.13	247.33	290.50	321.00
穗位/cm	96.65	92.50	108.95	121.33	122.30	130.50
大斑病/级	3.40	3.00	3.79	3.00	1.00	1.00
小斑病/级	1.80	1.00	1.65	1.00	1.00	1.00
弯孢霉叶斑病/级	2.20	3.00	1.40	1.00	1.00	1.00
锈病/%	24.68	20.00	6.23	0	23.30	5.00
倒折率/%	0	5	0.36	0	0	0
倒伏率/%	0.91	0	0.17	0	0	0
产量/kg	7.47	6.98	6.99	6.97	6.99	5.61

3 讨论

3.1 气候变化对玉米产生影响

作为全球气候变暖的敏感地区,中国正在经历 20 世纪以来的最暖时期[13]。气候要素的改变,会影响农作物种植格局[14]。随着温度升高,我国玉米种植边界逐渐北移[15]。20 a 以来,张家口地区的日照时数波动上升,生育期的年降水量也显示上升趋势,玉米单位面积产量随平均温度的升高而增加[16]。唐山地区处于渤海湾中心地带,气候变化导致夏季高温多暴雨。玉米大喇叭口期是决定粒数的时期,对产量有重要作用[17],唐山地区的高温多雨也集中在该时期。降水过多会影响雄穗发育,易发生病害。因此,唐山地区种植的夏玉米对抗性有更高要求。

3.2 玉米锈病与产量

通过组合农艺性状的相关分析与逐步线性回归分析,组合的产量与穗位和锈病相关,穗位与锈病可解释 14%的产量变异。在本试验中,锈病对产量有正向作用。在随后的聚类分析中,也印证了该结论。欧式距离为 13.6 时,可将 52 个玉米组合划分为 6 个组群。第 I 组群的 5 个组合共同点为,株高较高,有锈病发生,产量较高。丰产性最好的组合 V38 也在第 I 组群,该组合对锈病的抗性为 5 级(中抗),对大斑病、小斑病、弯孢霉叶斑病以及茎腐病的抗性为 1 级(高抗)。该组合虽在丰产性和稳产性方面较好,但由于其对锈病的抗性表现为 5 级,而作为青贮饲料的玉米品种对锈病的抗性应在 1~3 级[18],感锈病的玉米会感染牛羊的肠胃,所以该组合不宜作为青贮。下一步育种工作,可以通过杂交、回交等传统育种手段或通过分子辅助育种手段,将玉米抗锈病基因导入到易感锈病的亲本自交系当中,进而提高杂交种后代抗锈病能力。

4 结论

在组合的丰产性以及稳定性进行综合评价中,被评为很好的组合有 6 个。其中组合 V38 的丰产性效应值最高,为 1.037 2;组合 V29 在不同地区的产量变异度最低,为 3.781 2。通过农艺性状的相关分析与逐步线性回归分析,穗位制约玉米品种的大斑病、锈病和产量,弯孢霉叶斑病和大斑病分别增加了倒折率与倒伏率,而穗位与锈病可解释 14%的产量变异。欧式距离为 13.6 时,可将玉米组合划分为 6 个组群。

参 考 文 献:

[1] 李少昆,赵久然,董树亭,等. 中国玉米栽培研究进展与展望[J]. 中国农业科学,2017,50(11):1 941-1 959.

[2] 杨学贵,张业猛,王秀娟,等. 间作对青贮玉米、藜麦生物量和饲用品质的影响[J]. 中国农业文摘-农业工程,2024,36(2):50-54.

[3] Jian-Zhai W U ,Zhang J ,Zhang-Ming G E ,*et al*. Impact of climate change on maize yield in China from 1979 to 2016[J]. Journal of Integrative Agriculture,2021,20(1):289-299.

[4] 徐启凤. 青贮玉米经济效益及种植技术分析[J]. 世界热带农业信息,2023(06):92-94.

[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.

[6] 于玲玲,李俊鹏,甄志华,等. 青贮玉米品质影响因素分析[J]. 中国饲料,2021(21):127-129.

[7] 郭江,瓮巧云,林红,等. 不同纬度地区青贮玉米生长性状、适应性研究[J]. 饲料研究,2022,45(6):118-122.

[8] 吴丹咏,王秀君,雷慧闽. 华北平原冬小麦-夏玉米农田生态系统土壤自养和异养呼吸模型构建[J]. 生态学报,2024(6):1-15.

[9] 任三学,周广胜,赵花荣,等. 华北北部夏玉米适期早播的增产效果[J]. 华北农学报,2023,38(6):81-93.

[10] 于彩梅. 青贮饲料实现产业化的难点分析及对策思考[J]. 中国动物保健,2024,26(3):78-79+87.

[11] 王晓春,王转莉,田慧英,等. 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.

[12] 孔繁玲,张群远,杨付新,等. 棉花品种区域试验的精确度探讨[J]. 作物学报,1998(5):601-607.

[13] 中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书(2021)[M]. 北京:科学出版社,2022.

[14] 潘志华. 新阶段农业气象学发展面临的形势与研究展望[J]. 中国农业气象,2023,44(4):327-332.

[15] 何奇瑾. 我国玉米种植分布与气候关系研究[D]. 北京:中国气象科学研究院,2012.

[16] 李雅琦. 近 20 年张家口市气候变化特征及其对主要作物产量的影响[D]. 银川:宁夏大学,2022.

[17] 胡洵瑀,王靖. 华北平原夏玉米各生育阶段农业气候要素变化特征[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(4):251-258+267.

[18] 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.