

连阴雨对玉米雄穗败育特征的影响

王小星¹, 刘桂海¹, 常俊香¹, 原明月¹, 许培¹, 李建军¹, 张琪¹, 李清峰²

(1. 鹤壁市农业科学院, 河南 鹤壁 458030; 2. 河南黄泛区地神种业, 河南 周口 466632)

摘要: 研究连续阴雨对玉米雄穗发育的影响, 旨在为筛选玉米雄穗耐阴雨种质材料提供理论基础。以 73 份玉米自交系和 14 个玉米杂交组合为试验材料, 测定连阴雨 6 d 后的玉米雄穗长度、主轴长度、主轴败育长度、第 1 侧枝长度、第 1 侧枝败育长度、主轴败育率、第 1 侧枝败育率等与雄穗败育相关的特征, 并进行遗传变异和主成分聚类分析。结果表明, 连续阴雨条件下玉米自交系和杂交组合的雄穗败育特征表现出丰富的变异。自交系和杂交组合雄穗主轴败育率分别为 0~100% 和 18.40%~100%, 平均值分别为 37.15% 和 35.16%; 第 1 侧枝的败育率分别为 0~100% 和 8.59%~100%, 平均值分别为 38.48% 和 46.31%。按雄穗败育特性自交系和杂交组合均可聚为 3 类, 自交系和杂交组合第 I 类分别有 34 份和 4 个材料, 其雄穗、主轴和第 1 侧枝较长, 但主轴败育率、第 1 侧枝败育率较低, 为连续阴雨耐受类型; 自交系和杂交组合第 II 类分别有 24 份和 9 个材料, 其雄穗、主轴和第 1 侧枝较短, 但雄穗主轴败育率、第 1 侧枝败育率较高, 为连续阴雨敏感类型; 自交系和杂交组合第 III 类分别有 15 份和 1 个材料, 其雄穗败育程度中等。研究筛选出 34 份自交系和 4 个杂交组合为雄穗耐连阴雨材料。

关键词: 玉米; 雄穗; 连阴雨; 败育率

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2024)05-0068-07

Effects of Continuous Rain on the Abortive Characteristics of Maize Tassels

WANG Xiaoxing¹, LIU Guihai¹, CHANG Junxiang¹, YUAN Mingyue¹,

XU Pei¹, LI Jianjun¹, ZHANG Qi¹, LI Qingfeng²

(1. Hebi Academy of Agricultural Sciences, Hebi 458030, China;

2. Henan Huangfanqu Dishen Seeds Co., Ltd., Zhoukou 466632, China)

Abstract: This study aims to provide a theoretical basis for screening continuous rain tolerant germplasm materials of maize tassels by studying the effects of continuous rain on the development of maize tassels. In the study, 73 maize inbred lines and 14 maize hybrid combinations were used as experimental materials to determine the characteristics related to maize tassel abortion, including tassel length, main axis length, main axis abortion length, first lateral branch length, first lateral branch abortion length, main axis abortion rate, and first lateral branch abortion rate after 6 days of continuous rain. Genetic variation and principal component clustering analysis were conducted. The results showed that under continuous rain, the tassel abortion characteristics of maize inbred lines and hybrid combinations showed rich variation. The main axis abortion rates of inbred lines and hybrid combinations were 0-100% and 18.40%-100%, respectively, with an average of 37.15% and 35.16%. The abortion rates of the first lateral branch were 0-100% and 8.59%-100%, respectively, with an average of 38.48% and 46.31%. According to the characteristics of tassel abortion, both inbred lines and hybrid combinations could be classified into three categories. The first category of inbred lines and hybrid combinations consisted of 34 and 4 materials, respectively. The tassel, main axis, and first lateral branch were longer, but the main axis abortion rate and first lateral branch abortion rate were lower, indicating a continuous rain tolerance type. There were 24 and 9 materials in the second type of inbred lines and hybrid combinations, respectively. The tassel, main axis, and first lateral branch were shorter, but the tassel main axis abortion rate and first lateral branch abortion rate were higher, indicating a continuous rain sensitive type. There were 15 inbred lines and 1 hybrid combination in type III materials, respectively, with a moderate degree of tassel abortion. 34 inbred lines and 4 hybrid combinations were selected as the continuous rain tolerant materials for tassels.

Key words: maize; tassel; continuous rain; abortion rate

玉米作为我国第一大作物, 加快种业科技自主创新、把握玉米种业发展主动权, 对保障国家粮食

收稿日期: 2023-10-03

基金项目: 鹤壁市重大科技专项(鹤财办预[2021]8号)

作者简介: 王小星(1979-), 男, 河南济源人, 副研究员, 博士, 主要从事玉米育种研究工作。

安全,促进社会经济发展具有举足轻重的作用。气候条件变化对玉米生长发育的影响极大。近年来,黄淮海地区发生的高温、干旱、阴雨等极端天气,会影响玉米生长发育^[1],导致玉米产量减少20%~30%^[2-3],严重时使产量损失达66%~93%^[4]。依据持续时间的长短将3~6 d的连阴雨过程定义为短连阴雨过程,7 d及以上的连阴雨过程定义为长连阴雨过程^[5]。连阴雨的灾损率与连阴雨过程、持续降水量和连阴雨频率存在显著的定量关系^[6],且作物不同生育时期连阴雨区域分布规律不同^[7]。对历史气象资料分析结果表明,连阴雨对于黄淮海地区主要作物小麦、玉米的整体综合风险较高^[8-9]。成林等^[10-11]研究认为,豫北北部、豫东和淮南大部为河南省夏玉米花期连阴雨发生的高风险区,玉米花期和灌浆期遇阴雨减产8.5%~10.4%。

目前,主要通过人工遮光处理研究连阴雨对玉米的影响。周卫霞等^[12]研究发现,遮光处理后不同耐阴型玉米品种花粉显微结构和花粉活力存在差异。REN等^[13]研究认为,遮光处理可降低光合速率和改变叶肉细胞超微结构,同时也发现,花期阴雨对产量的影响大于灌浆期阴雨处理^[13]。已有研究认为,遮阴处理可使玉米减产,主要是由于遮光处理导致穗粒数下降^[14-15]。高祺等^[16]研究发现,弱光+渍水胁迫使玉米干物质积累量减少37.2%~58.1%,导致玉米空秆率高达40%~70%,籽粒产量减少61.8%~75.4%。不同时期的遮光处理对玉米生长的影响存在很大差异。袁刘正等^[17]对拔节期和大喇叭口期的玉米自交系进行遮光处理,结果发现,大部分自交系植株株高降低。鲁小民等^[18]研究表明,对抽雄期玉米自交系遮光处理后,玉米自交系大部分株高均有不同程度的增加。张吉旺等^[19]对夏玉米遮光处理后发现,玉米的雄穗发育时期对弱光照非常敏感,弱光可导致雄穗育性退化。目前,研究遮光处理对玉米产量和花粉等特性的影响报道已有很多,但是研究连阴雨对玉米雄花败育特征影响的报道较少。

本研究以73份玉米自交系和14个玉米组合为研究材料,测定连阴雨对玉米雄穗败育特征的影响,旨在为筛选耐连阴雨的玉米种质提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

以73份稳定玉米自交系和14个玉米杂交组合

为试验材料。玉米自交系为鹤壁市农业科学院特用玉米课题组多年选育的73份稳定材料,编号为自交系1~73。其中,46份选自郑58,为瑞德遗传背景,在育种工作中常作为母本群,27份选自PH4CV/浚92-8,为黄源遗传背景。14个玉米杂交组合是经2020年鉴定筛选出的组合,这些组合是以瑞德背景材料为母本、黄源/兰卡背景材料为父本配置而成。

1.2 试验地概况

试验于2021年在鹤壁市农业科学院试验园区和刘寨示范基地进行,年平均降水量为450~650 mm,降水主要集中在6—8月,年平均气温为14.2~15.5℃,年日照时数1 787.2~2 566.7 h。土壤为壤土,前茬作物为小麦,正常产量为9 750 kg/hm²,灌排水方便,雨后无积水。土壤有机质含量,试验园区为2.0%,刘寨示范基地为1.6%。

1.3 试验设计

试验采取玉米播种机开沟施底肥750 kg/hm²撒可肥复合肥(N:P:K=15:15:15),人工播种。自交系试验采用2行区单重复排列,行长5 m,行距60 cm,株距25 cm,种植密度67 500株/hm²,6月12日播种。杂交组合试验采用大区单重复排列。小区面积为6 m×25 m,行距60 cm,株距25 cm,种植密度为67 500株/hm²,6月15日播种。播种后及时浇水,确保苗全、苗齐,其他管理同常规大田。7月17—23日发生连阴雨,以上的试验材料处于大喇叭期,抽雄后于8月7日调查雄穗败育情况。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 主要农艺性状调查 以单株为单位进行调查,每行从第4株开始选择代表性5株,调查雄穗长、雄穗主轴长、雄穗主轴败育长度、雄穗第1侧枝长度、雄穗第1侧枝败育长度。

1.4.2 气象资料 收集了2021年6月上旬至8月上旬的平均温度、降水量、日照时数等气象数据,2021年7月17—23日平均温度、降水量、日照时数等气象数据。

1.5 统计分析方法

采用Excel 2007数据统计分析,用R软件进行聚类分析。

雄穗主轴败育率=雄穗主轴败育长度/雄穗主轴长度×100% (1)

雄穗第1侧枝败育率=雄穗第1侧枝败育长度/雄穗第1侧枝长度×100% (2)

变异系数=标准偏差/平均值×100% (3)

2 结果与分析

2.1 气象资料分析

表1列出了2021年6月上旬至8月上旬玉米生长期间的气象资料。2021年7月下旬平均温度较历年同期低0.71℃,其他时间均高于历年同期,尤其是6月下旬和7月上旬。7月中旬和下旬的降水量明显增加,分别是历年同期的7.2倍、9.85倍,其他

时段相差不大。6月中旬和7月中旬的日照时数分别较历年减少20.4h和9.3h,其他时段均较历年同期增加5.2~16.6h。结合气象因子和玉米发育阶段考虑,6月中旬是玉米播后苗前阶段,因此,影响玉米生长发育的是7月中旬和下旬。2021年7月17—23日,河南省遭遇罕见特大暴雨,鹤壁市过程累计降雨量最高达1122.6mm。

表1 2021年6月上旬至8月上旬气象资料
Tab.1 Meteorological data from early June to early August in 2021

日期 Date	平均温度/℃ Average temperature			降水量/mm Rainfall			日照时数/h Sunlight hours		
	2021	历年 Over the year	相差 Difference	2021	历年 Over the year	相差 Difference	2021	历年 Over the year	相差 Difference
6月中旬 Mid June	26.84	26.60	0.24	34.60	9.50	25.10	52.20	72.60	-20.40
6月下旬 Late June	29.64	26.80	2.84	0.70	37.30	-36.60	79.10	64.30	14.80
7月上旬 Early July	28.64	26.40	2.24	1.50	52.30	-50.80	65.90	60.70	5.20
7月中旬 Mid July	27.49	26.80	0.69	438.50	53.50	385.00	38.10	47.40	-9.30
7月下旬 Late July	26.49	27.20	-0.71	534.50	49.20	485.30	72.10	63.80	8.30
8月上旬 Early August	27.54	26.90	0.64	64.70	62.10	2.60	75.30	58.70	16.60

表2列出了2021年7月17—23日的气象资料。2021年7月17—23日,连续5d日照时数为0h,7d日照时数累积只有1.5h;7d连续降雨,降水量达

720.3mm,超过年平均降雨量,此次连阴雨过程属于长连阴雨过程,重连阴雨灾害等级。

表2 2021年7月17—23日气象资料
Tab.2 Meteorological data on July 17-23 in 2021

日期/(月-日) Date	平均温度/℃ Average temperature	降水量/mm Rainfall	日照时数/h Sunlight hours	日期/(月-日) Date	平均温度/℃ Average temperature	降水量/mm Rainfall	日照时数/h Sunlight hours
07-17	26.5	8.4	0.4	07-21	24.1	325.5	0
07-18	24.8	64.8	0	07-22	24.2	197.8	0
07-19	24.9	19.8	0	07-23	24.8	8.2	1.1
07-20	24.3	95.8	0				

2.2 自交系雄穗特征分析

73份自交系雄穗特征情况如表3所示。

表3 玉米自交系雄穗特征
Tab.3 Tassel characteristics of maize inbred lines

性状 Trait	平均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum	标准差 SD	变异系数/% CV
雄穗长度/cm Tassel length	24.35	35.50	13.18	5.81	23.88
主轴长度/cm Main axis length	17.80	28.98	5.90	5.15	28.96
主轴败育长度/cm Main axis abortion length	5.61	20.00	0.00	4.36	77.78
第1侧枝长度/cm First lateral branch length	12.33	21.06	5.32	4.10	33.21
第1侧枝败育长度/cm First lateral branch abortion length	3.81	13.92	0.00	3.43	89.88
主轴败育率/% Main axis abortion rate	37.15	100.00	0.00	32.24	86.79
第1侧枝败育率/% First lateral branch abortion rate	38.48	100.00	0.00	36.18	94.04

由表3可知,雄穗平均长度为24.35cm,较雄穗

主轴长6.55cm;第1侧枝平均长度为12.33cm,较

雄穗主轴短5.47 cm。雄穗主轴败育长度为5.61 cm,较第1侧枝败育长1.80 cm;第1侧枝败育率高于雄穗主轴败育率,二者变化范围均为0~100%。从变异系数看,第1侧枝长度>雄穗主轴长度>雄穗长度,败育长度和败育率变化趋势相同,且败育长度和败育率的变异系数高于雄穗、主轴和第1侧枝长度,说明自交系之间雄穗败育表现出丰富的变异。

对73份自交系雄穗特征进行主成分聚类分析,结果如图1所示,其聚为3类,第I、II、III类分别有34、24、15份材料。3类自交系的雄穗特征如表4所示,各类自交系的雄穗长度、雄穗主轴长度和第1侧枝长度大小表现为第I类>第III类>第II类,变异系数大小也表现出同样的趋势。雄穗主

轴败育长度、第1侧枝败育长度、雄穗主轴败育率、第1侧枝败育率的平均值大小表现为第II类>第III类>第I类;但这4项指标的变异系数大小变化趋势不同,整体上表现为第I类>第III类>第II类。第I类的4项指标的变异系数明显高于第II、第III类;第II类的雄穗主轴败育长度变异系数高于第III类,而第1侧枝败育长度、雄穗主轴败育率和第1侧枝败育率均低于第III类。

第I类34份自交系拥有最长的雄穗、主轴和第1侧枝,分别为28.33、21.38、15.48 cm。但雄穗败育程度最少,雄穗主轴败育长度、第1侧枝败育长度分别为3.01 cm和2.06 cm,雄穗主轴败育率、第1侧枝败育率分别只有14.42%和12.91%,说明该类自交系雄穗长度最大,并且败育程度最小。

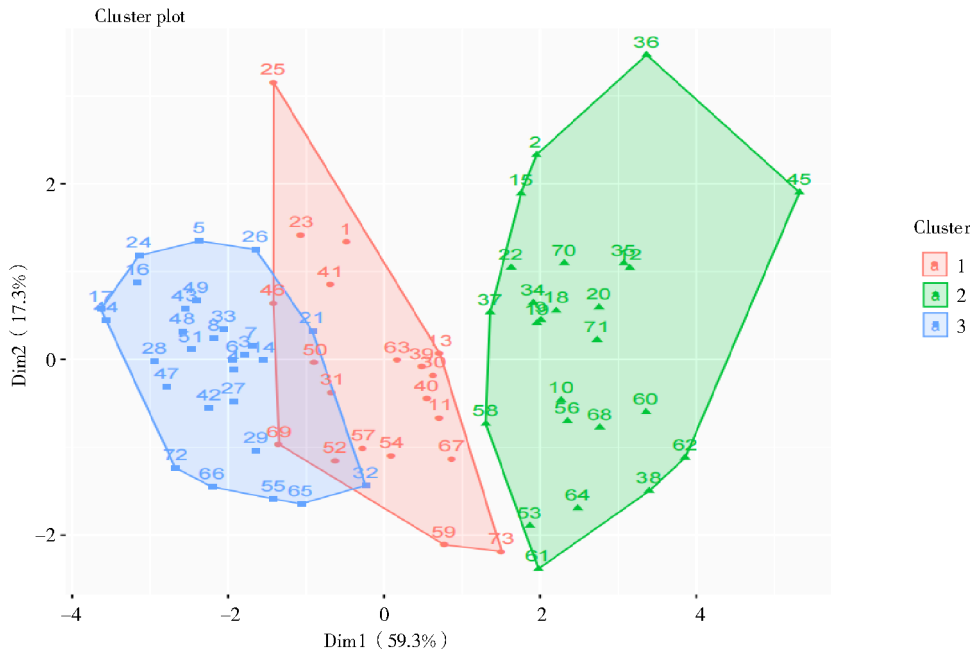


图1 73份自交系雄穗特征的聚类分析
Fig.1 Clustering analysis of tassel characteristics of 73 inbred lines

表4 玉米自交系不同聚类的雄穗特征
Tab.4 Tassel characteristics of different clusters of maize inbred lines

性状 Trait	第I类 Class I		第II类 Class II		第III类 Class III	
	平均值±标准误 Mean±SE	变异系数/% CV	平均值±标准误 Mean±SE	变异系数/% CV	平均值±标准误 Mean±SE	变异系数/% CV
雄穗长度/cm Tassel length	28.33±3.50	12.36	20.19±3.52	17.80	21.61±3.15	15.07
主轴长度/cm Main axis length	21.38±3.06	14.54	14.06±3.42	24.82	15.62±2.83	18.76
主轴败育长度/cm Main axis abortion length	3.01±1.84	62.29	10.18±4.37	43.83	4.67±1.65	36.49
第1侧枝长度/cm First lateral branch length	15.48±2.70	17.72	9.11±1.86	20.81	10.73±2.22	21.41
第1侧枝败育长度/cm First lateral branch abortion length	2.06±2.29	112.96	6.79±2.12	31.21	3.83±1.37	37.04
主轴败育率/% Main axis abortion rate	14.42±9.25	65.09	73.09±28.90	39.54	31.71±13.92	45.45
第1侧枝败育率/% First lateral branch abortion rate	12.91±13.13	103.26	74.24±14.31	19.28	36.21±11.63	33.25

第Ⅱ类自交系有 24 份,拥有最短的雄穗、主轴和第 1 侧枝,分别为 20.19、14.06、9.11 cm。但雄穗败育程度最多,雄穗主轴败育长度、第 1 侧枝败育长度分别为 10.18 cm 和 6.79 cm,雄穗主轴败育率、第 1 侧枝败育率高达 73.09% 和 74.24%,说明该类自交系雄穗长度最小,并且败育程度最大。

第Ⅲ类自交系有 15 份,雄穗、主轴和第 1 侧枝长度较第Ⅱ类自交系稍长,但主雄败育长度、侧枝败育长度却较第Ⅱ类明显降低,雄穗主轴败育率、第 1 侧枝败育率分别为 31.71% 和 36.21%,说明该

类自交系雄穗长度较大,并且败育程度中等。

2.3 杂交组合雄穗特征分析

14 个玉米杂交种的雄穗特征如表 5 所示,雄穗、主轴和第 1 侧枝平均长度分别为 26.27、18.02、14.01 cm,变异系数分别为 11.86%、10.96% 和 17.70%。主轴败育长度和第 1 侧枝败育长度分别为 6.16 cm 和 6.13 cm,变异系数分别为 51.35% 和 58.87%。主轴败育率和第 1 侧枝败育率分别为 35.16% 和 46.31%,变异系数分别为 59.02% 和 61.66%。

表 5 玉米杂交组合雄穗特征
Tab.5 Tassel characteristics of maize hybrid combinations

性状 Trait	平均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum	标准差 SD	变异系数/% CV
雄穗长度/cm Tassel length	26.27	33.60	21.04	3.12	11.86
主轴长度/cm Main axis length	18.02	23.80	15.72	1.98	10.96
主轴败育长度/cm Main axis abortion length	6.16	15.72	3.42	3.16	51.35
第 1 侧枝长度/cm First lateral branch length	14.01	20.06	11.76	2.48	17.70
第 1 侧枝败育长度/cm First lateral branch abortion length	6.13	13.52	1.44	3.61	58.87
主轴败育率/% Main axis abortion rate	35.16	100.00	18.40	20.76	59.02
第 1 侧枝败育率/% First lateral branch abortion rate	46.31	100.00	8.59	28.56	61.66

14 个玉米杂交组合按雄穗特征可聚为 3 类(图 2),第Ⅰ类有 4 个品种,第Ⅱ类有 9 个品种,第Ⅲ类只有 1 个品种。各类品种的雄穗特征如表 6 所示。品种的雄穗、主轴和第 1 侧枝平均长度大小表现为第Ⅰ类>第Ⅱ类>第Ⅲ类,变异系数大小表现为第Ⅰ类品种>第Ⅱ类。而主轴败育长度、第 1 侧枝败育长度、主轴败育率和第 1 侧枝败育率从小到大表现为第Ⅰ类<第Ⅱ类<第Ⅲ类,雄穗、主轴和第 1 侧枝长度和第 1 侧枝败育率变异系数大小表现为第Ⅰ类品种>第Ⅱ类品种,其他 3 个性状主轴败育长度、第 1 侧枝败育长度和主轴败育率的变异系数则表现为第Ⅰ类<第Ⅱ类。

第Ⅰ类品种的雄穗、主轴和第 1 侧枝长度分别

为 29.31、19.4、17.27 cm,主轴败育长度、第 1 侧枝败育长度分别为 3.98 cm 和 2.91 cm,主轴败育率和第 1 侧枝败育率分别为 20.69% 和 17.15%,说明该类品种属于雄穗长、败育程度小。

第Ⅱ类品种雄穗、主轴和第 1 侧枝长度分别为 25.50、17.6、12.64 cm,主轴败育长度、第 1 侧枝败育长度分别为 6.07 cm 和 6.76 cm,主轴败育率和第 1 侧枝败育率分别为 34.39% 和 53.30%。

第Ⅲ类品种雄穗、主轴和第 1 侧枝长度分别为 21.04、15.72、13.24 cm,主轴败育长度、第 1 侧枝败育长度分别为 15.72 cm 和 13.24 cm,主轴败育率和第 1 侧枝败育率均为 100%。

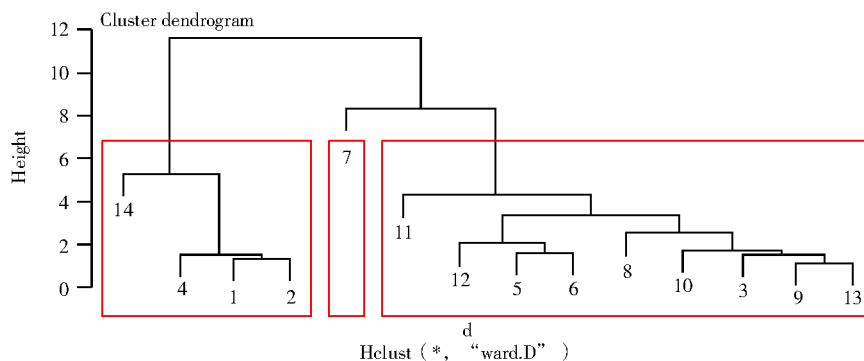


图 2 14 个玉米杂交组合雄穗特征的聚类分析
Fig.2 Clustering analysis of tassel characteristics of 14 maize hybrid combinations

表6 玉米杂交组合不同聚类的雄穗特征
Tab.6 Tassel characteristics of different clusters of maize hybrid combinations

性状 Trait	第Ⅰ类 Class I	第Ⅱ类 Class II	第Ⅲ类 Class III
	平均值±标准误差 Mean±SE	变异系数 CV	平均值±标准误差 Mean±SE
数量/个 Quantities	4	9	1
雄穗长度/cm Tassel length	29.31±2.61	10.27	25.50±1.81
主轴长度/cm Main axis length	19.40±2.57	15.30	17.60±1.06
主轴败育长度/cm Main axis abortion length	3.98±0.35	10.27	6.07±1.46
第1侧枝长度/cm First lateral branch length	17.27±1.86	12.40	12.64±0.84
第1侧枝败育长度/cm First lateral branch abortion length	2.91±1.01	39.91	6.76±2.78
主轴败育率/% Main axis abortion rate	20.69±2.21	12.31	34.39±7.70
第1侧枝败育率/% First lateral branch abortion rate	17.15±6.88	46.31	53.30±20.24

3 结论与讨论

3.1 连阴雨对玉米雄穗的影响

按连阴雨过程分类^[10-11],2021年7月17—23日的连阴雨过程属长连阴雨过程,重连阴雨灾害等级。本次连阴雨发生在玉米播种后35~40 d,属小喇叭口至大喇叭口时期,是雄穗小花原基或雌雄蕊原基形成、药隔形成、花粉母细胞形成、四分体分化阶段,是决定花粉粒形成的关键时期^[3]。人工遮阴研究发现,穗分化期太阳辐射减少50%,导致穗分化进程显著变慢,致使玉米抽雄吐丝日期推迟,吐丝散粉间隔期加大,造成花期不遇^[19-20]。但连阴雨或人工遮阴对玉米雄穗特征的影响研究不足,本研究结果表明,连阴雨对玉米自交系和杂交组合雄穗特征影响明显,导致雄穗主轴和第1侧枝败育,并且第1侧枝败育率高于雄穗主轴败育率。

3.2 连阴雨与玉米耐阴种质的筛选

筛选玉米耐逆性种质是解决由各种逆境条件造成玉米减产的最为简单且有效的途径。近年来,黄淮海夏玉米种植区连阴雨发生频率呈现增加趋势,鉴定筛选耐阴性强的玉米种质变得非常重要。鲁小民等^[18]、乔江方等^[21]研究发现,不同玉米品种和自交系对连阴雨灾害的耐受性存在显著差异,可以筛选出耐阴性强的材料。本研究选择的73份玉米自交系和14个玉米杂交组合试验材料,在连阴雨6 d后发现,其雄穗败育特征表现出较大的差异。73份自交系的雄穗主轴败育率和第1侧枝的败育率均为0~100%。14个杂交组合的雄穗主轴败育率和第1侧枝的败育率分别为18.40%~100%和8.59%~100%。袁刘正^[22]将35个玉米品种依据耐阴性分为强和弱2个类型。本研究按雄穗败育特性将自交系和杂交组合分别分为3类,第Ⅰ类均

为连阴雨耐受类型,表现为其雄穗主轴败育率、第1侧枝败育率小;第Ⅱ类均为连阴雨敏感类型,其雄穗主轴败育率、第1侧枝败育率较高;第Ⅲ类均为连阴雨耐受中间类型,其雄穗败育程度中等。

本试验通过研究连阴雨6 d后玉米自交系和玉米杂交组合的雄穗败育特性,将73份玉米自交系和14个杂交组合分为连阴雨耐受类型、连阴雨敏感类型和连阴雨耐受中间类型,并分析总结了不同类型试验材料雄穗败育特征,筛选出连阴雨耐受类型的34份自交系和4个杂交种。

参考文献:

- [1] 王雅坤,李鸿萍,徐真真,等. 高温干旱复合胁迫对玉米光合生理的影响[J]. 河南农业科学,2023,52(5):17-23.
WANG Y K, LI H P, XU Z Z, et al. Effects of combined stress of high temperature and drought on photosynthetic physiology of maize[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(5): 17-23.
- [2] 张砂,李鸿萍,齐红志,等. 散粉前后高温胁迫对不同玉米杂交组合农艺性状及产量的影响[J]. 河南农业科学,2021,50(4):22-30.
ZHANG M, LI H P, QI H Z, et al. Effect of pre- and post-anthesis high-temperature stress on agronomic traits and yield of different maize hybrid combinations[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2021, 50(4): 22-30.
- [3] 李叶蓓,陶洪斌,王若男,等. 干旱对玉米穗发育及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2015,23(4):383-391.
LI Y B, TAO H B, WANG R N, et al. Effect of drought on ear development and yield of maize[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(4): 383-391.
- [4] 李红伟,江艳平,贾双杰,等. 干旱胁迫影响玉米穗发育的研究进展[J]. 玉米科学,2020,28(2):90-95.
LI H W, JIANG Y P, JIA S J, et al. Research progress on drought stress affecting ear and tassel development of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(2): 90-95.
- [5] 王秀萍,刘荣花,詹静. 连阴雨对玉米的影响研究进展[J]. 气象与环境科学,2016,39(4):121-125.
WANG X P, LIU R H, ZHAN J. Research progress in the ef-

- fects of cloudy-rainy weather for several days on maize[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2016, 39(4): 121-125.
- [6] 刘瑞娜, 杨天明, 陈金华, 等. 安徽省春季连阴雨分布特征及其对油菜产量影响评估[J]. 中国农学通报, 2012, 28(34): 252-256.
- LIU R N, YANG T M, CHEN J H, et al. Study on the distribution characteristics of spring continuous precipitation and assessment of rape yield losses in Anhui province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(34): 252-256.
- [7] 韩沁哲, 罗伯良, 周伟, 等. 湖南省油菜生长期连阴雨气象灾害发生强度的时空特征[J]. 湖南农业科学, 2012(19): 93-96.
- HAN Q Z, LUO B L, ZHOU W, et al. Analysis of spatial-temporal features of occurring intensity of continuous rain in growth period of rape in Hunan province[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2012(19): 93-96.
- [8] 李亚男, 秦耀辰, 谢志祥, 等. 中国冬小麦收期连阴雨灾害风险评价[J]. 自然资源学报, 2018, 33(11): 1926-1939.
- LI Y N, QIN Y C, XIE Z X, et al. Disaster risk assessment of continuous rain during harvest period of winter wheat in China[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(11): 1926-1939.
- [9] 徐虹, 张丽娟, 赵艳霞, 等. 黄淮海地区夏玉米花期阴雨灾害风险区划[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(5): 263-272.
- XU H, ZHANG L J, ZHAO Y X, et al. Risk zoning of continuous overcast rain disaster of summer maize during florescence in Huang-Huai-Hai region[J]. Journal of Natural Disasters, 2014, 23(5): 263-272.
- [10] 成林, 刘荣花. 夏玉米生长中后期连阴雨灾害指标研究[J]. 中国农业气象, 2014, 35(2): 221-227.
- CHENG L, LIU R H. Disaster index of continuous overcast and rainy day during mid and late growth period of summer maize[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2014, 35(2): 221-227.
- [11] 成林, 刘荣花. 河南省夏玉米花期连阴雨灾害风险区划[J]. 生态学报, 2012, 31(12): 3075-3079.
- CHENG L, LIU R H. Disaster risk zoning of continuous rain during florescence of summer maize in Henan province, central China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(12): 3075-3079.
- [12] 周卫霞, 王秀萍, 穆心愿, 等. 弱光胁迫对不同基因型玉米雌雄花发育和授粉结实能力的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(11): 2065-2073.
- ZHOU W X, WANG X P, MU X Y, et al. Effects of low-light stress on male and female flower development and pollination and fructification ability of different maize (*Zea mays* L.) genotypes[J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(11): 2065-2073.
- [13] REN B Z, CUI H Y, CAMBERATO J J, et al. Effects of shading on the photosynthetic characteristics and mesophyll cell ultrastructure of summer maize[J]. Die Naturwissenschaften, 2016, 103(7-8): 67.
- [14] WANG J, SHI K, LU W P, et al. Effects of post-silking shading stress on enzymatic activities and phytohormone contents during grain development in spring maize[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2021, 40(3): 1060-1073.
- [15] 王秀萍, 成林, 刘荣花. 花期弱光胁迫对玉米穗粒数的影响[J]. 江西农业学报, 2014, 26(8): 4-8.
- WANG X P, CHENG L, LIU R H. Effect of low light stress at flowering stage on kernel number per ear of maize[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2014, 26(8): 4-8.
- [16] 高祺, 李明, 朴琳, 等. 拔节期弱光和渍水胁迫对春玉米光合作用、根系生长及产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(6): 1276-1286.
- GAO Q, LI M, PIAO L, et al. Effects of weak light and waterlogging stress at jointing stage on photosynthesis, root growth and yield of spring maize[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2018, 34(6): 1276-1286.
- [17] 袁刘正, 李潮海, 王秀萍, 等. 不同玉米自交系耐荫性比较[J]. 玉米科学, 2008, 16(6): 19-23.
- YUAN L Z, LI C H, WANG X P, et al. Comparison of shade-tolerance among different maize (*Zea mays* L.) inbred lines[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(6): 19-23.
- [18] 鲁晓民, 卫晓铁, 张新, 等. 不同基因型玉米自交系的耐荫性评价[J]. 河南农业科学, 2014, 43(12): 19-23.
- LU X M, WEI X Y, ZHANG X, et al. Shade-tolerance evaluation of different maize inbred lines[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2014, 43(12): 19-23.
- [19] 张吉旺, 董树亭, 王空军, 等. 遮荫对夏玉米产量及生长发育的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 4657-4662.
- ZHANG J W, DONG S T, WANG K J, et al. Effects of shading on the growth, development and grain yield of summer maize[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(4): 4657-4662.
- [20] 李潮海, 栾丽敏, 尹飞, 等. 弱光胁迫对不同基因型玉米生长发育和产量的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 824-830.
- LI C H, LUAN L M, YIN F, et al. Effects of light stress at different stages on the growth and yield of different maize genotypes (*Zea mays* L.) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(4): 824-830.
- [21] 乔江方, 刘京宝, 朱卫红, 等. 黄淮海区域主栽玉米品种耐荫性差异研究[J]. 河南农业科学, 2015, 44(11): 16-20.
- QIAO J F, LIU J B, ZHU W H, et al. Study on difference of shade tolerance for main maize cultivars in Huang-huai region [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2015, 44(11): 16-20.
- [22] 袁刘正, 王秋岭, 王会强, 等. 黄淮海玉米品种耐荫性综合评价及指标筛选[J]. 玉米科学, 2022, 30(5): 27-34.
- YUAN L Z, WANG Q L, WANG H Q, et al. Comprehensive evaluation and index screening of negative tolerance of Huang-huai-hai maize varieties[J]. Journal of Maize Sciences, 2022, 30(5): 27-34.