

引用格式:

童博, 陈种凯, 吕丹, 廖志杰, 郑冉, 刘雨晴, 田丰, 罗红兵. 播种期对光温敏无雄穗系玉米花粉育性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(2): 12–17.

TONG B, CHEN Z K, LYU D, LIAO Z J, ZHENG R, LIU Y Q, TIAN F, LUO H B. The effect of sowing time on pollen fertility of the photo-thermo-sensitive tassel vanishing line in maize[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2024, 50(2): 12–17.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



播种期对光温敏无雄穗系玉米花粉育性的影响

童博¹, 陈种凯¹, 吕丹¹, 廖志杰¹, 郑冉¹, 刘雨晴¹, 田丰³, 罗红兵^{1,2*}

(1.湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省玉米工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128; 3.浏阳市农业发展事务中心, 湖南 浏阳 410300)

摘要: 为确定光温敏无雄穗系玉米育性转换的生态因子, 筛选不育特性稳定的两系材料, 选择合适的播期进行制种, 以光温敏无雄穗系 I17、I478、Pvt3 和 Pvt2 为材料, 以自交系 478、B73 为对照, 在湖南省浏阳市进行田间分期播种试验, 对 9 个播期玉米的雄花育性、雄穗性状、生育期和产量性状等进行分析。结果表明: 玉米光温敏无雄穗系育性转换的主要影响因子是苗期的日均高温; I17 对环境敏感的时期在 V2—V6 期间; I478 对环境敏感的时期在 V2—V4 期间; Pvt3 对环境敏感的时期在 V2—V4 期间; Pvt2 对环境敏感的时期在 V2—V5 期间; I17 适合在播期 1、8、9 播种, 进行自交制种, 在第 1—6 播期播种, 作为两系不育系进行杂交种子生产; I478 适合在播期 1、2、8 播种, 进行自交制种, 在第 5—7 播期播种, 作为两系不育系进行杂交种子生产; Pvt3 适合在播期 1、8、9 播种, 进行自交制种, 在第 2—7 播期播种, 作为两系不育系进行杂交种子生产; Pvt2 适合在播期 1 和播期 2 播种, 进行自交制种, 在第 3—7 播期播种, 作为两系不育系进行杂交种子生产。Pvt3 相比 I17、I478 和 Pvt2 具有繁殖产量高、生育期长等优点, 且不育特性稳定, 适合作为两系不育系进行生产应用。

关键词: 玉米; 光温敏; 无雄穗; 播种期; 花粉育性; 生育期; 产量性状

中图分类号: S513.038

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)02-0012-06

The effect of sowing time on pollen fertility of the photo-thermo-sensitive tassel vanishing line in maize

TONG Bo¹, CHEN Zhongkai¹, LYU Dan¹, LIAO Zhijie¹, ZHENG Ran¹, LIU Yuqing¹, TIAN Feng³, LUO Hongbing^{1,2*}

(1.College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Hunan Maize Engineering Research Center, Changsha, Hunan 410128, China; 3.Liuyang Agricultural Development Affairs Center, Liuyang, Hunan 410300, China)

Abstract: In order to determine the ecological factors for the fertility transition of photo-thermo-sensitive tassel vanishing line in maize, two lines of materials with stable sterility characteristics were used in this study with an optimized sowing date for seed production. Photo-thermo-sensitive tassel vanishing line in maize I17, I478, Pvt3 and Pvt2 were selected as studied materials, and the maize self-inbred lines 478 and B73 as control materials. The field staged sowing experiment was studied in Liuyang City, Hunan Province, to analyze their male flower fertility and male ear traits, fertility and yield traits at nine sowing dates. The results showed that the main influencing factor for the fertility transition of maize photo-thermo-sensitive tassel vanishing line was the average daily high temperature at the seedling stage, and I17 was environmentally sensitive during the V2-V6 period; I478 was environmentally sensitive during the V2-V4

收稿日期: 2023-07-05

修回日期: 2024-03-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(U21A20212、31671709); 湖南省重点研发计划(2022NK2002)

作者简介: 童博(2001—), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事玉米种质创新与利用研究, 2402277692@qq.com; *通信作者, 罗红兵, 博士, 教授, 主要从事玉米新品种选育及配套栽培技术研究, hbluo48@sohu.com

period. Ptv3 was environmentally sensitive during the V2-V4 period and Ptv2 environmentally sensitive period during V2-V5. I17 was suitable for self-crossing for seed production at sowing period 1, 8, 9, and for hybrid seed production as a two-line sterile line from sowing period 1 to 6. The I478 was suitable for self-crossing for seed production at sowing period 1, 2, and 8, and for hybrid seed production as a two-line sterile line from sowing period 5 to 7, while Ptv3 was suitable for self-crossing for seed production at sowing stages 1, 8, and 9, and for hybrid seed production as a two-line sterile line at sowing stages 2 to 7. And Ptv2 was suitable for self-crossing for seed production at sowing stages 1 and 2, and for hybrid seed production as a two-line sterile line at sowing stages 3 to 7. Photo-thermo-sensitive tassel vanishing line in maize Ptv3 had the advantages of high reproductive yield and longer growth period compared with I17, I478 and Ptv2, and Ptv3 had the advantage of stable sterility characteristics, thus Ptv3 was more suitable for production and application as a two-line sterile line.

Keywords: maize; photo-thermo-sensitive; tassel vanishing; sowing date; pollen fertility; growth period; yield traits

玉米是异花授粉作物, 常用人工去雄、机械去雄及细胞质雄性不育系进行杂交制种。与利用细胞质雄性不育系制种相比, 光温敏核雄性不育系制种不受恢复系基因的限制, 可以实现一系两用, 制种程序简单、效率高^[1], 且配出的组合里出现强优势组合的频率也高^[2]。玉米主要是通过人工去雄生产杂交种子, 对两系法的研究较少。目前, 关于玉米生态核不育系的报道非常鲜见。琼 6Qms 是最早被发现的玉米温敏核雄性不育系, 但该材料在不同生态区仍会存在少数可育花粉^[3-4], 在生产应用方面存在一定风险。湖南农业大学通过重离子辐射选育了 2 个依赖于光温条件的玉米无雄穗突变体 I478^[5]和 I17^[6], 与中国农业大学合作对 I17 中控制无雄穗性状基因 *tv1-R* 进行图位克隆和功能分析, 对 I478 中控制无雄穗性状基因 *tv2-R* 进行定位, 利用分子标记筛选出聚合 2 个无雄穗基因的双突变型 Ptv3 和含无雄穗性状基因 *tv2-R* 的新系 Ptv2。本研究中, 以玉米光温敏无雄穗系 I17、I478、Ptv3、Ptv2 为试验材料, 以自交系 478、B73 为对照, 通过分期播种试验, 结合气象数据, 探讨玉米光温敏无雄穗系育性转换的敏感时期和稳定的不育时段, 旨在为其安全利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

4 个光温敏无雄穗系 I17、I478、Ptv3、Ptv2 玉米材料; 以 478、B73 为对照。

1.2 试验设计

试验于 2022 年在湖南省浏阳市国家农作物区域试验基地进行。共分 9 个播期, 分别为 5 月 20

日(播期 1)、5 月 30 日(播期 2)、6 月 9 日(播期 3)、6 月 19 日(播期 4)、6 月 29 日(播期 5)、7 月 9 日(播期 6)、7 月 19 日(播期 7)、7 月 29 日(播期 8)、8 月 8 日(播期 9)。试验采用双行种植, 种植密度为 60 000 株/hm², 行长 4.5 m, 行距 60 cm, 株距 30 cm, 每行种植 15 株, 各材料每期共种植 30 株。其他田间管理同普通大田玉米栽培管理。

1.3 测定指标

按照文献[7]的方法记录 9 个播期各材料的生育期。抽雄扬花期调查各材料无雄穗株数, 采用碘-碘化钾法^[8]检测花粉育性, 无雄穗单株花粉育性记为 0。

9 个播期各材料分别自交 15 株, 成熟期按照文献[9]的方法测定自交果穗的产量性状, 计算产量。

根据气象局数据计算玉米光温敏无雄穗系苗期 V2—V4、V2—V5 和 V2—V6^[10](*V_n* 表示苗期第 *n* 片叶出现的时期)的日均温度和日均高温。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2019 进行数据处理; 采用 Origin 2019b 64Bit 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 播种期对光温敏无雄穗系玉米花粉育性及雄穗性状的影响

由表 1 可知, 播期 2 的 I17 的花粉接近完全不育, 可育度为 1.96%, 播期 3、4、5、6 的花粉可育度为 0.00%, 播期 7、8、9 的花粉育性较高; 播期 5、6 的 I478 的花粉接近完全不育, 可育度分别为 2.35%和 0.23%, 播期 8、9 的育性较高; 播期 2、3、4 的 Ptv3 的花粉接近完全不育, 可育度分别为

4.87%、4.36%和1.58%，播期5、6、7的花粉可育度为0.00%，播期8的育性部分恢复，播期9的育性较高；播期3、4、5、6的Ptv2的花粉接近完全不育，可育度分别为4.61%、3.36%、5.11%和0.25%，播期7的花粉可育度为0.00%，播期8、9的育性得

以恢复；播期4、6的478花粉的可育度较低，分别为12.80%和0.19%，其他播期的花粉正常可育；播期5、6的B73的花粉可育度较低，分别为13.56%和9.79%，其他播期花粉正常可育。可见I17和Ptv3的不育特性较好。

表1 不同播期6个玉米自交系的花粉可育度

Table 1 Pollen fertility of six maize inbred lines at different sowing dates

播期	花粉可育度/%					
	I17	I478	Ptv3	Ptv2	478	B73
1	22.60±4.26	86.49±6.74	65.74±2.13	88.96±2.77	55.70±4.08	94.70±5.00
2	1.96±1.20	12.12±5.77	4.87±2.68	22.23±6.46	64.30±4.70	93.30±1.69
3	0.00	11.38±4.67	4.36±2.88	4.61±2.73	81.90±3.02	96.10±0.95
4	0.00	16.33±6.18	1.58±1.34	3.36±3.03	12.80±3.99	65.90±5.06
5	0.00	2.35±1.37	0.00	5.11±4.17	36.10±1.77	13.50±6.59
6	0.00	0.23±0.02	0.00	0.25±0.05	0.19±0.04	9.79±5.74
7	69.28±0.78	18.40±3.23	0.00	0.00	84.86±2.80	97.16±0.29
8	52.67±3.75	65.52±5.84	34.10±3.89	70.78±3.84	89.83±3.04	90.41±2.49
9	80.60±4.68	76.53±3.96	72.38±2.44	73.69±4.00	95.76±3.21	93.28±2.98

由表2可知：4个光温敏无雄穗系玉米材料均从播期4开始出现无雄穗株。播期4，Ptv3出现10株，I17、I478和Ptv2均出现1株；播期5，Ptv3出现的无雄穗株最多，为23株，Ptv2出现15株，I17和I478分别出现6株和11株；播期6和播期7，I478、Ptv3、Ptv2出现无雄穗株较多；播期9，4

个光温敏无雄穗系玉米材料的无雄穗株数量均大幅度降低。Ptv3出现无雄穗株数量的高峰在播期5，而I17、I478、Ptv2出现无雄穗株数量的高峰在播期7，较Ptv3晚2个播期，并且Ptv3从播期4至播期9均出现较多的无雄穗植株。说明Ptv3出现无雄穗性状的时间更长。

表2 不同播期6个玉米自交系无雄穗株的数量

Table 2 The number of six maize inbred lines with no male ear appearing at different sowing dates

材料	无雄穗株的数量								
	播期1	播期2	播期3	播期4	播期5	播期6	播期7	播期8	播期9
I17	0	0	0	1	6	5	9	1	1
I478	0	0	0	1	11	11	15	12	7
Ptv3	0	0	0	10	23	15	11	9	5
Ptv2	0	0	0	1	15	19	20	6	4
478	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B73	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.2 光温敏无雄穗系玉米温度敏感时期分析

由表3可知，日均温对I17、I478、Ptv3和Ptv2

无雄穗株数量的影响不显著，而日均高温对I17、I478、Ptv3和Ptv2无雄穗株数量的影响极显著，

表3 玉米光温敏无雄穗系苗期不同阶段日均温度和日均高温与无雄穗株的数量的相关性

Table 3 Correlation between daily average temperature and high daily average temperature and the number of stemless plants in different seedling stages of photo-thermo-sensitive stemless line of maize

材料	相关系数					
	V2—V4日均温	V2—V5日均温	V2—V6日均温	V2—V4日均高温	V2—V5日均高温	V2—V6日均高温
I17	0.643	0.670	0.705	0.831**	0.830**	0.849**
I478	0.721	0.686	0.700	0.965**	0.948**	0.917**
Ptv3	0.544	0.547	0.420	0.892**	0.870**	0.817**
Ptv2	0.514	0.577	0.498	0.805**	0.840**	0.805**

***分别示在0.05、0.01水平显著。

日均高温与无雄穗株出现的数量呈极显著正相关。可见,日均高温是玉米光温敏无雄穗系出现无雄穗性状的影响因子。I17 在 V2—V6 时期对高温最敏感,相关系数最高,为 0.849; I478 在 V2—V4 时期对高温最敏感,相关系数最高,为 0.965; Ptv3 在 V2—V4 时期对高温最敏感,相关系数最高,为 0.892; Ptv2 在 V2—V5 时期对高温最敏感,相关系数最高,为 0.840。

2.3 播种期对光温敏无雄穗系玉米生育期的影响

由表 4 可知,6 个材料中,播期 1、播期 3 和

播期 4 中, Ptv3 的生育期较长,分别为 103、102、99 d; 播期 1、2、4、6、8, Ptv2 的生育期较长,分别为 102、100、99、93、112 d。Ptv3 在播期 1、3、4、7、8 的生育期比 I17 的长,在播期 1、2、3、4、6、8 的生育期比 I478 的长,在播期 1、2、3、4 的生育期比 2 个对照的长; Ptv2 在播期 1、4、7、8 的生育期比 I17 的长,在播期 1、2、4、5、6、8 的生育期比 I478 的长,在播期 1、2、4、5、6 的生育期比 2 个对照的长。

表 4 6 个玉米材料不同播期的生育期

Table 4 Growth period of six maize inbred lines with different sowing dates

材料	生育期/d								
	播期 1	播期 2	播期 3	播期 4	播期 5	播期 6	播期 7	播期 8	播期 9
I17	101	100	100	92	94	93	89	107	111
I478	101	92	99	93	91	89	90	92	114
Ptv3	103	97	102	99	91	91	90	110	108
Ptv2	102	100	93	99	93	93	90	112	107
478	91	92	90	92	88	87	99	96	104
B73	92	90	93	97	92	91	86	112	110

2.4 播种期对光温敏无雄穗系玉米产量性状的影响

由表 1 和表 5 可知,播期 1 和播期 8 的 I17 的穗长、穗粗、百粒质量和单株产量均优于其他播期,推测 I17 更适合在播期 1 和播期 8 播种,以进行自交制种,而播期 2—6 的 I17 因花粉不育无法正常结实,在这 5 个播期内播种,可作为两系不育系进行杂交制种。播期 1、2、8 的 I478 的穗行数、行粒数和单株产量均优于其他播期,推测 I478 更适合在播期 1、2、8 播种,以进行自交制种;而播期 5—7 的 I478 因为花粉不育无法正常结实,可在这 3 个播期内播种,作为两系不育系进行杂交制种。播期 1、8、9 的 Ptv3 的穗长、穗粗和单株产量均表现良好,可在播期 1、8、9 播种进行自交制种;而播期 2—7

的 Ptv3 因为花粉不育无法正常结实,可在这 6 个播期内播种,作为两系不育系进行杂交制种。播期 1 和播期 2 的 Ptv2 的单株产量优于其他播期,可在播期 1 和播期 2 播种进行自交制种;播期 3—7 其花粉不育无法正常结实,在这 5 个播期内播种,可作为两系不育系进行杂交制种。播期 1、2、7、8、9 的 478 的穗长、穗粗和单株产量较优,可在这 5 个播期播种进行自交制种。播期 1、2、7、8、9 的 B73 的单株产量均优于其他播期的,可在这 5 个播期播种进行自交制种。Ptv3 在花粉可育的播期 1、8、9,单株产量分别为 47.77、48.10、41.61 g,高于 478 的,在播期 1 和播期 9 的单株产量分别比 B73 的低 0.62、2.70 g,在播期 8 的单株产量高于 B73 的。

表 5 不同播期 6 个玉米自交系的产量构成

Table 5 Yield composition of six maize inbred lines at different sowing dates

材料	播期	穗长/cm	穗粗/cm	穗行数	行粒数	单株产量/g	百粒质量/g
I17	1	16.80±1.23	3.27±0.65	15.55±1.33	11.00±1.14	49.42±2.34	28.32±2.78
	7	11.00±0.57	3.00±0.21	21.00±0.92	12.00±0.76	20.74±1.96	7.73±1.05
	8	15.78±1.28	3.19±0.23	23.00±2.50	11.75±2.28	41.16±2.30	12.64±2.69
	9	15.35±1.79	3.11±0.20	24.50±2.12	12.13±2.26	37.49±2.65	12.52±2.23

表 5(续)

材料	播期	穗长/cm	穗粗/cm	穗行数	行粒数	单株产量/g	百粒质量/g
I478	1	13.21±1.21	3.89±0.36	27.41±2.29	16.21±1.12	55.21±2.21	11.19±1.97
	2	10.42±1.33	3.49±0.29	24.41±2.31	14.49±1.25	37.31±2.29	11.44±2.21
	3	11.50±1.33	2.95±0.65	21.23±2.13	12.25±1.84	31.13±2.76	14.15±2.58
	4	10.79±0.94	1.97±0.49	16.43±1.87	11.42±1.51	21.23±1.85	11.25±2.56
	8	12.20±1.49	2.94±0.28	25.53±2.21	13.60±2.30	39.44±2.44	10.42±2.47
	9	9.19±2.59	2.79±0.25	17.00±2.66	13.43±1.68	21.27±2.72	10.25±2.14
Ptv3	1	16.30±1.28	4.23±0.54	16.98±1.38	11.12±1.89	47.77±3.34	21.18±2.29
	8	14.03±2.08	3.29±0.55	18.70±2.87	10.90±2.84	48.10±2.93	23.71±2.59
	9	11.82±0.70	3.37±0.21	16.50±2.40	12.17±2.41	41.61±2.53	24.47±2.58
Ptv2	1	16.86±1.17	3.21±0.31	13.33±1.76	15.14±1.58	49.65±3.56	31.15±3.62
	2	10.32±0.67	3.15±0.47	11.48±1.35	12.23±1.42	36.63±2.35	17.32±2.06
	8	11.41±1.17	3.17±0.41	10.55±2.68	8.55±2.68	24.31±2.75	18.41±2.59
	9	11.14±1.17	3.46±0.21	14.71±2.55	13.57±2.13	31.58±2.48	13.56±2.67
478	1	18.21±0.14	4.21±0.19	10.30±0.80	11.53±0.76	32.41±2.98	18.17±2.43
	2	13.98±1.16	3.39±0.56	17.43±1.93	10.36±0.91	41.57±2.59	21.73±1.22
	3	11.77±1.32	2.94±0.57	15.53±1.95	10.78±0.88	24.43±2.11	13.12±1.45
	4	13.46±1.25	2.15±0.59	10.45±1.41	6.98±1.21	22.55±2.25	14.39±1.39
	5	12.28	2.78	19.98	11.87	17.45	12.32
	7	12.80±1.40	3.30±0.10	13.00±0.50	30.00±2.00	45.51±2.62	16.45±1.12
	8	17.99±1.86	3.08±0.23	15.50±2.39	10.38±0.86	36.87±2.78	21.92±2.51
	9	13.55±0.14	3.20±0.42	16.50±2.52	10.00±1.67	34.86±2.84	19.23±1.95
	B73	1	15.42±0.43	4.11±0.76	15.40±1.59	10.70±1.44	48.39±3.59
2		14.48±1.04	4.19±0.37	14.43±2.46	13.37±1.25	49.28±2.94	24.59±2.15
3		15.58±2.01	3.76±0.52	14.59±1.46	10.32±1.33	39.41±3.05	21.43±2.89
4		15.83±1.43	2.41±0.43	11.24±1.89	9.65±1.57	29.14±1.59	18.49±1.17
5		11.26	3.07	12.11	10.65	17.55	12.47
7		14.10±1.24	3.90±0.30	16.00±1.48	17.00±2.35	74.20±2.43	28.85±1.04
8		17.60±1.76	3.15±0.45	12.50±2.50	8.00±2.72	42.24±2.74	27.39±2.53
9		16.82±1.81	3.08±0.39	14.75±1.79	11.25±2.34	44.31±2.02	25.98±2.24

播期 2—6 的 I17、播期 5—7 的 I478、播期 2—7 的 Ptv3、播期 3—7 的 Ptv2、播期 6 的 478 和 B73 因为花粉完全不育导致无法正常结实；第 5 播期的 478 和 B73 均只收获 1 株，没有差异值。

3 结论与讨论

高温会抑制花粉活力，当高温为 32~35 °C 时，花粉活力会很快丧失，当温度超过 38 °C 时花粉育性会显著下降^[11-13]。本研究中，所有玉米材料在温度较高的几个播期内花粉育性均显著降低，这与前人的研究结果基本一致。玉米光温敏无雄穗系作为两系不育系制种使用时需要在较高温度的时期播种，以达到花粉完全败育并出现无雄穗性状，但其他普通材料需要避免在较高温下播种，以免影响产量。

朱通通^[14]的研究结果表明，随着播种期推迟，光温敏无雄穗系在苗期经历一定时段的高温，导致

花粉不育和出现无雄穗性状。本研究中，对几个供试材料苗期的日均温和日均高温与无雄穗株出现的数量进行相关性分析，结果表明，日均高温与无雄穗株出现的数量呈极显著正相关。I17 对环境敏感的时期为 V2—V6，Ptv3 对环境敏感的时期为 V2—V4，I478 对环境敏感的时期为 V2—V4，Ptv2 对环境敏感的时期为 V2—V5。两系不育系能否成功制种取决于其不育特性是否稳定^[14]。本研究中，I17 在播期 3—6 播种，表现完全不育；Ptv3 在播期 5—7 播种，花粉完全不育；Ptv2 在播期 7 播种，表现完全不育；I478 在 9 个播期内播种，花粉均有部分可育。可见，I17 和 Ptv3 的不育特性更稳定，更适合作为两系不育系使用。

前人^[15-16]的研究结果表明,选择适宜的播期可以提高玉米的产量。本研究中,I17 在播期 1、8、9 播种,I478 在播期 1、2、8 播种,Ptvt3 在播期 1、8、9 播种,Ptvt2 在播期 1 和播期 2 播种,478 和 B73 在播期 1、2、7、8、9 播种,进行自交制种,可提高玉米的产量。作为两系不育系使用时,I17 适合在播期 2—6 播种,I478 适合在播期 5—7 播种,Ptvt3 适合在播期 2—7 播种,Ptvt2 适合在播期 3—7 播种,以进行杂交种子生产。

比较 4 个玉米光温敏无雄穗系的育性特点和产量性状,Ptvt3、I17 较 Ptvt2、I478 的不育特性更稳定,且 Ptvt3 比 I17、I478 和 Ptvt2 生育期更长,繁殖产量更高,推测 Ptvt3 更适合作为两系不育系进行应用。

参考文献:

- [1] 袁隆平. 两系法杂交水稻研究的进展[J]. 中国农业科学, 1990, 23(3): 1-6.
- [2] LOPEZ M T, VIRMANI S S. Development of TGMS lines for developing two-line rice hybrids for the tropics[J]. *Euphytica*, 2000, 114(3): 211-215.
- [3] 王凯辉, 耿香利, 郭宝生, 等. 光温敏雄性不育系在棉花杂交优势利用中的应用前景[J]. 河北农业科学, 2013, 17(2): 68-71.
- [4] XING Q H, RU Z G, ZHOU C J, et al. Genetic analysis, molecular tagging and mapping of the thermo-sensitive genic male-sterile gene (*wtns1*) in wheat[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2003, 107(8): 1500-1504.
- [5] 温圣贤, 罗红兵, 陈晓阳, 等. 重离子辐射诱导玉米突变体 I478 的特性研究[J]. 激光生物学报, 2010, 19(5): 617-621.
- [6] 丁帅涛, 罗红兵, 程晓梅, 等. 光温敏无雄穗系玉米 I17 雄穗分化发育研究[J]. 玉米科学, 2015, 23(3): 21-27.
- [7] 高会林, 高玮, 杨桂英. 玉米育种试验调查记载项目及标准[J]. 农业与技术, 2003, 23(4): 40-47.
- [8] 王艳哲, 崔彦宏, 张丽华, 等. 玉米花粉活力测定方法的比较研究[J]. 玉米科学, 2010, 18(3): 173-176.
- [9] 龙舟, 杨威, 冯艳飞, 等. 玉米杂交种产量与主要农艺性状的关联分析[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2022, 34(5): 1-5.
- [10] XIE S Y, LUO H B, HUANG Y M, et al. A missense mutation in a large subunit of ribonucleotide reductase confers temperature-gated tassel formation[J]. *Plant Physiology*, 2020, 184(4): 1979-1997.
- [11] 逯明辉, 巩振辉, 陈儒钢, 等. 农作物花粉高温胁迫研究进展[J]. 应用生态学报, 2009, 20(6): 1511-1516.
- [12] 胡炜. 玉米制种田父本花粉量及活力的研究[J]. 种子科技, 2003, 21(1): 33-34.
- [13] 降志兵, 陶洪斌, 吴拓, 等. 高温对玉米花粉活力的影响[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(3): 25-29.
- [14] 朱通通. 玉米光温敏无雄穗系 Ptvt3 生物学特性研究和育种价值评价[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
- [15] ZHOU B Y, YUE Y, SUN X F, et al. Maize kernel weight responses to sowing date-associated variation in weather conditions[J]. *The Crop Journal*, 2017, 5(1): 43-51.
- [16] 周宝元, 马玮, 孙雪芳, 等. 播/收期对冬小麦-夏玉米一年两熟模式周年气候资源分配与利用特征的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(9): 1501-1517.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 柳 正