

DOI:10.19462/j.cnki.zgzy.20240823005

# 玉米抽雄至吐丝间隔时间(ASI)性状的遗传研究

陈香香<sup>1</sup> 王越人<sup>1</sup> 武子茜<sup>1</sup> 曲海涛<sup>1</sup> 李志博<sup>2</sup> 王洪野<sup>1</sup> 孟令媛<sup>1</sup> 吴金凤<sup>1</sup>( <sup>1</sup>吉林省通化市农业科学研究院,梅河口 135007; <sup>2</sup>吉林省农业技术推广总站,长春 130033 )

**摘要:**为研究玉米抽雄至吐丝间隔时间(ASI)性状的遗传配合力,选育优良杂交组合,对6份母本系和18份父本系组配的108个杂交组合进行增广NCII设计,调查抽雄至吐丝间隔时间,并进行遗传分析。结果表明:玉米ASI遗传为加性模型,狭义遗传力为29.24%,应加强整个分离世代选择;F<sub>1</sub>呈负向杂种优势;亲本ASI一般配合力与表型平均值的线性方程为:  $y = -163.2337 + 59.3577x$ 。因此,母本自交系ASI < 3d、父本自交系ASI ≤ 4d可作为吉林省区域内育种选择的指标。

**关键词:**玉米;ASI;遗传模型;配合力

## Genetic Study on Anthesis–Silking Interval ( ASI ) Traits of Maize

CHEN Xiangxiang<sup>1</sup>, WANG Yueren<sup>1</sup>, WU Zixi<sup>1</sup>, QU Haitao<sup>1</sup>, LI Zhibo<sup>2</sup>,  
WANG Hongye<sup>1</sup>, MENG Lingyuan<sup>1</sup>, WU Jinfeng<sup>1</sup>( <sup>1</sup>Tonghua Academy of Agricultural Sciences, Meihekou 135007, Jilin;<sup>2</sup>Jilin Agricultural and Technology Extension Station, Changchun 130033 )

近年来,由于全球气候变暖、耕地面积逐渐减少等问题,保证玉米高产稳产成为亟需解决的问题<sup>[1-2]</sup>。玉米抽雄至吐丝间隔时间(ASI, Anthesis–silking interval)是影响玉米产量的重要基础因素,常态化干旱会使抽雄至吐丝间隔时间增大,导致玉米开花期雌雄不调,降低玉米单株穗粒数,进而造成减产<sup>[3-5]</sup>。过去国内品种吐丝晚于抽雄3~5d,玉米抽雄后3~5d才开始散粉,花粉量虽然大但散粉持续时间短,近年来国外品种吐丝早于或与抽雄同步,抽雄即开始散粉,散粉持续时间长,促使授粉时间提前3d以上,不仅有效提高了玉米授粉能力及结实率,还有效增加了授粉至成熟的时间,一定程度上提高了籽粒容重和百粒重,从而使产量提高。目前,对玉米ASI性状的遗传研究报道相对较少。

增广NCII设计能够对玉米ASI性状合适遗传模型作出统计选择<sup>[6]</sup>。本研究选用6份母本系和18份父本系组配成108个杂交组合,进行了增广

NCII设计,对玉米ASI性状进行遗传研究,旨在为玉米育种工作奠定理论基础。

### 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 试验材料为6份Reid系母本(1份DH系和5份自交系),18份父本(14份DH系和4份自交系),按照NCII设计,组配成108个杂交组合(表1)。

**1.2 试验方法** 2022年在通化市农业科学研究院试验基地,按照NCII设计,选用6份母本系分别与18份父本系,组配杂交组合共计108个,每个组合3~4穗。2023年对108个杂交组合及24份亲本分别进行随机区组试验,4行区,行长5m,株距25cm,2次重复。田间管理同常规大田。7月初每天9:00开始调查抽雄期和吐丝期,以小区中间2行、半数以上为准(除边行2株),计算ASI。

**1.3 数据处理** 采用Excel和DPS 17.10系统<sup>[7]</sup>,统计分析参考孔繁玲<sup>[8]</sup>的方法进行,其中F<sub>1</sub>平均优势(%) =  $[F_1 - (P_1 + P_2) / 2] / (P_1 + P_2) / 2$ ,式中P<sub>1</sub>为第1个亲本的平均值、P<sub>2</sub>为第2个亲本的平均值。

表 1 自交系的血缘

自交系	血缘系谱	来源
PH1CPS	未知	自交系,Reid,美国
15D1252-1	PH6WC/PH6JM	DH系,Reid,中国(自育)
PH6JM	未知	自交系,Reid,美国
1213-4	1128/PH6WC	自交系,Reid,中国(自育)
430-2	465/P1W2	自交系,Reid,中国(自育)
PH43D0	未知	自交系,Reid,美国
15D353	PH4CV/A6	DH系,Lancaster × 旅系,中国(自育)
15D752	PH4CV/A6	DH系,Lancaster × 旅系,中国(自育)
15D956	A6/PHB1M	DH系,旅系 × Lancaster,中国(自育)
15D1075-1	PH4CV/127 (13D)	DH系,Lancaster × (黄旅系/Lancaster),中国(自育)
15D1156-2	A6/127 (13D)	DH系,旅系 × (黄旅系/Lancaster),中国(自育)
17D766	B20/PHB1M	DH系,黄旅系/Lancaster,中国(自育)
18D478	D969/PHB1M	DH系,(旅系/Lancaster) × Lancaster,中国(自育)
18D516	PHB1M/D969	DH系,Lancaster × (旅系/Lancaster),中国(自育)
18D595-1	D969/A6	DH系,(旅系/Lancaster) × 旅系,中国(自育)
29396	PH4CV/BS1133	自交系,Lancaster × 黄早四,中国(自育)
1258-6	B20/丹 598	自交系,黄旅系 × 旅系,中国(自育)
19D210	PH12TB/D1279	DH系,Lancaster × (黄旅系/Lancaster),中国(自育)
19D270-2	PH12TB/D1279	DH系,Lancaster × (黄旅系/Lancaster),中国(自育)
19D395-1	PHB1M/D1279	DH系,Lancaster × (黄旅系/Lancaster),中国(自育)
19D522-2	D969/D1279	DH系,(旅系/Lancaster) × (黄旅系/Lancaster),中国(自育)
19D578-1	PH48SZ/D1279	DH系,Lancaster × (黄旅系/Lancaster),中国(自育)
776-3	吉 853/PH4CV	自交系,黄早四 × Lancaster,中国(自育)
763-1	BS1133/昌 7-2	自交系,黄早四,中国(自育)

## 2 结果与分析

**2.1 不完全双列杂交方差及遗传参数分析** 按 NCII 进行 ASI 配合力方差分析,由表 2 可以看出,区组间差异不显著,组合差异达显著水平,说明不同父母本组合存在遗传差异;P1 和 P2 均差异极显著,

但 P1 × P2 差异不显著,说明 ASI 以加性效应为主,组合间差异由双亲累加效应导致。由表 3 可以看出,一般配合力方差为 100%,特殊配合力方差为 0,表明 ASI 主要受基因加性效应控制,狭义遗传力为 29.24%,应在自交系选育中全分离世代进行选择。

表 2 配合力方差分析结果

变异来源	DF	SS	MS	F	P
区组	1	2.04	2.04	2.31	0.1313
组合	107	148.13	1.38	1.57	0.0104
P1	17	72.38	4.26	6.04	0.0000
P2	5	15.88	3.18	4.51	0.0011
P1 × P2	85	59.88	0.70	0.80	0.8604
误差	107	94.46	0.88		
合计	215	244.63			

P<0.05、P<0.01 分别表示差异达显著、极显著水平,下同

表3 配合力基因型方差和遗传参数估计

项目	DSI
P1 一般配合力方差	0.2961
P2 一般配合力方差	0.0686
P1 × P2 特殊配合力方差	0.0000
一般配合力方差(%)	100
特殊配合力方差(%)	0
广义遗传力(%)	29.24
狭义遗传力(%)	29.24
环境方差	0.8828

2.2 增广 NCII 方差及协方差分析 按照增广 NCII 进行方差分析,由表 4 可以看出,基因型达极显著水平,其中亲本、父本均达极显著水平,母本达显著水平,母本对父本不显著;杂交种达显著水平,其中母本、父本均达极显著水平、母本 × 父本不显著;亲本对杂交种达极显著水平。上述结果表明,亲本 ASI 对杂交种具有重要影响。

由表 5 可以看出,  $pq=uv$  不显著,表明 ASI 符合加性-显性模型。由表 6 可以看出,  $W_r+V_r$  的所有亲本之间、雌亲对雄亲、雌亲 + 雄亲均不显著,表明

表4 方差分析结果

变异来源	DF	SS	MS	F	P
区组	1	2.00	2.00		
基因型	131	453.31	3.46	3.70	0.0000
亲本	23	86.00	3.74	4.00	0.0000
母本	5	14.42	2.88	3.08	0.0115
父本	17	69.81	4.11	4.39	0.0000
母本对父本	1	1.78	1.78	1.90	0.1703
杂交种	107	138.83	1.30	1.39	0.0371
母本	5	17.69	3.54	3.78	0.0031
父本	17	61.41	3.61	3.86	0.0000
母本 × 父本	85	59.73	0.70	0.75	0.9217
亲本对杂交种	1	228.49	228.49	244.35	0.0000
误差	131	122.50	0.94		
总计	263	577.81			

表5 协方差分析结果

变异来源	DF	SSX	SSY	SP	离回归分析				
					DF	SSr	MSr	F	P
所有亲本之间	23	15.59	45.16	9.49	22	39.38	1.79		
雌亲对雄亲	1	1.93	3.89	2.74					
雌亲 + 雄亲	22	13.66	41.27	6.75	21	37.93	1.81		
检验 $H_0: pq=uv$					1	1.45	1.45	0.80	0.3807

表6  $W_r+V_r$  和  $W_r-V_r$  的方差分析结果

变异来源	DF	$W_r+V_r$				$W_r-V_r$			
		SS	MS	F	P	SS	MS	F	P
区组	1	0.28	0.28			0.28	0.28		
所有亲本	23	18.94	0.82	0.71	0.7864	7.85	0.34	0.70	0.7979
雌亲对雄亲	1	1.81	1.81	1.57	0.2225	0.00	0.00	0.00	0.9746
雌亲 + 雄亲	22	17.13	0.78	0.68	0.8188	7.85	0.36	0.73	0.7634
误差	23	26.49	1.15			11.16	0.49		
合计	47	45.71					19.29		

ASI 不存在显性效应;  $W_r-V_r$  的所有亲本之间、雌亲对雄亲、雌亲+雄亲均不显著,表明 ASI 不存在上位性效应。以上结果表明,ASI 为加性效应遗传。

**2.3 ASI 杂种优势及 GCA 与杂交种、自交系平均值分析** 108 个杂交种 ASI 杂种优势分析结果表明,杂种优势最大值为 0,最小值为 -233.33%,平均杂种优势为 -92.50%,因此  $F_1$  的 ASI 为负向优势,应该是  $F_1$  植株杂种优势导致。

对 24 份亲本一般配合力(GCA, General combining ability)进行 ASI 大小排序,由表 7 可以看出,GCA>0 的亲本 12 份,其中母本 3 份,依次为 1213-4、PH43D0、PH1CPS,父本有 9 份;GCA<0 的亲本 12 份,其中母本 3 份,依次为 PH6JM、15D1252-1、430-2,父本有 9 份。GCA>0 的 9 份父本其 54 个杂交种 ASI 平均值为 0.8d (-0.5~2.0d),杂交种 ASI 平均值  $\leq 0$  的组合共计 15 个,占比 27.78%;母本 15D1252-1 有 5 个,占比 9.26%;430-2 有 5 个,占比 9.26%;PH6JM 有 3 个,占比 5.56%;1213-4 有 2 个,占比 3.70%。GCA<0 的 9 份父本其 54 个杂交种 ASI 平均值为 -0.2d (-1.5~1.5d),其中杂交种

ASI 平均值  $\leq 0$  的组合共计 43 个,占比 79.63%;母本 15D1252-1 有 8 个、430-2 有 8 个、PH6JM 有 8 个、PH1CPS 有 8 个,均占比 14.81%;PH43D0 有 6 个,占比 11.11%;1213-4 有 5 个,占比 9.26%。以上结果说明,ASI 一般配合力负向相对效应值越大的母本和父本,其杂交种更容易实现 ASI  $\leq 0$  的育种目标。如父本 19D395-1 一般配合力负向效应值最大,其与 6 个母本的杂交种均 ASI<0,平均值为 -1.0d (-0.5~1.5d);其次是父本 15D752、18D516、15D956 的 6 个杂交种,均只有 1 个 ASI,为 0.5d,其余 5 个均 ASI  $\leq 0$ 。

由表 7 还可以看出,24 个亲本平均 ASI>0,平均值为 2.8d,其中最小值 18D516 为 0.5d,最大值 18D595-1 为 6.0d,试验材料中没有 ASI=0 的自交系。将 ASI 的 GCA 与对应平均值进行简单相关分析。结果表明:相关系数  $r=0.4462$ , $P=0.0288$ ,达显著正相关水平。线性回归分析表明, $b_0=-163.2337$ , $P=0.0471$ ; $b_1=59.3577$ , $P=0.0288$ ,均达显著水平。自交系 ASI 的 GCA 与平均值线性方程为: $y=-163.2337+59.3577x$ 。

表 7 玉米自交系 ASI 的一般配合力效应值和平均值

自交系	ASI		自交系	ASI	
	一般配合力 GCA	平均天数(d)		一般配合力 GCA	平均天数(d)
15D1156-2	385.7143	3.0	PH6JM	-71.4286	1.5
18D595-1	357.1429	6.0	17D766	-71.4286	5.0
19D270-2	185.7143	2.5	29396	-71.4286	2.0
776-3	185.7143	2.5	1258-6	-71.4286	4.0
1213-4	147.6190	4.5	15D1252-1	-80.9524	2.5
15D1075-1	128.5714	4.5	430-2	-100.0000	2.5
19D522-2	100.0000	3.0	763-1	-128.5714	1.5
PH43D0	90.4762	2.5	19D210	-157.1429	2.0
15D353	71.4286	3.5	15D956	-185.7143	2.0
19D578-1	71.4286	3.5	18D516	-185.7143	0.5
PH1CPS	14.2857	1.0	15D752	-271.4286	1.5
18D478	14.2857	1.0	19D395-1	-357.1429	3.5

### 3 讨论与结论

在过去玉米育种和生产实践中,国内玉米杂交种基本上是抽雄 3~5d 后散粉且吐丝,国外品种尤其是先玉 335 引入后,发现抽雄、散粉和吐丝同步或吐丝早于抽雄,即授粉时间相对提前 3~5d。这类杂交种亲本的雌穗尚未露头即吐丝,给套袋带来困难,

但相较于以往自交系雌穗长 3cm 以上才吐丝,这种性状是有益的,能大概率获得杂交种 ASI  $\leq 0$ d 的育种预期,这一优良性状被广泛研究,迄今为止,对自交系 ASI 的选择标准尚未有明确量化指标。

本试验所用 6 份母本系为 Reid 系统,其中  
(下转第 97 页)

- [10] 徐佳慧,王萌,张润,吴玲玲. 土壤镉污染的生物毒性研究进展. 生态毒理学报,2020,15(5): 82-91
- [11] 熊敏先,吴迪,许向宁,郑明阳,邢涛. 土壤重金属镉对高等植物的毒性效应研究进展. 生态毒理学报,2021,16(6): 133-149
- [12] 李明辉,周玉玺,周林,杨洁,王盈桦. 中国小麦生产区域优势度演变及驱动因素分析. 中国农业资源与区划,2015,36(5): 7-15
- [13] 魏益民. 中国小麦的起源、传播及进化. 麦类作物学报,2021,41(3): 305-309
- [14] 宋伟,陈百明,刘琳. 中国耕地土壤重金属污染概况. 水土保持研究,2013,20(2): 293-298
- [15] 胡琼,吴文斌,项铭涛,陈迪,龙禹桥,宋茜,刘逸竹,陆苗,余强毅. 全球耕地利用格局时空变化分析. 中国农业科学,2018,51(6): 1091-1105
- [16] 詹杰,魏树和,牛荣成. 我国稻田土壤镉污染现状及安全生产新措施. 农业环境科学学报,2012,31(7): 1257-1263
- [17] 冯亚娟,黄议漫,余海英,张锡洲. 籽粒镉低积累小麦材料的筛选及稳定性分析. 麦类作物学报,2021,41(7): 842-850
- [18] 张琦,李仁英,徐向华,谢晓金,Chambe E A. 土壤镉污染对小麦生长及镉吸收的影响. 农业资源与环境学报,2019,36(4): 522-527
- [19] 易超,史高玲,陈恒强,姚澄,潘云俊,石月红,李标,高岩. 长江中下游麦区不同小麦品种镉积累差异研究. 农业环境科学学报,2022,41(6): 1164-1174
- [20] 胡铁柱,冯素伟,丁位华,姜小琴,于红彩,孙海燕,杨靖,张自阳,茹振钢. 镉对不同镉积累类型小麦幼苗的影响. 江苏农业科学,2018,46(19): 46-49
- [21] 潘建清,陆敏,杨肖娥. 不同小麦品种灌浆期生长和镉积累的差异研究. 农业环境科学学报,2021,40(4): 756-765
- [22] 王世玉,吴文勇,刘菲,赵漫,邱建强,仵军军. 典型污灌区土壤与作物中重金属健康风险评估. 中国环境科学,2018,38(4): 1550-1560
- [23] 秦普丰,刘丽,侯红,雷鸣,陈娅娜,李细红,贺琳. 工业城市不同功能区土壤和蔬菜中重金属污染及其健康风险评估. 生态环境学报,2010,19(7): 1668-1674
- [24] 张浩,王辉,汤红妍,温嘉伟,徐仁扣. 铅锌尾矿库土壤和蔬菜重金属污染特征及健康风险评估. 环境科学学报,2020,40(3): 1085-1094
- [25] Cao C, Chen X P, Ma Z B, Jia H H, Wang J J. Greenhouse cultivation mitigates metal-ingestion-associated health risks from vegetables in wastewater-irrigated agroecosystems. Science of the total environment, 2016,560-561: 204-211
- [26] 王成尘,田稳,向萍,徐武美,管冬兴,马奇英. 土壤-水稻/小麦重金属吸收机制与安全调控. 中国环境科学,2022,42(2): 794-807
- [27] 陈京都,戴其根,许学宏,仲晓春,郭保卫,郑超,张洪程,许轲,霍中洋,魏海燕. 江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价. 生态学报,2012,32(11): 3487-3496
- [28] 张红振,骆永明,章海波,宋静,夏家淇,赵其国. 土壤环境质量指导值与标准研究 V. 镉在土壤-作物系统中的富集规律与农产品质量安全. 土壤学报,2010,47(4): 628-638
- [29] 明毅,张锡洲,余海英. 小麦籽粒镉积累差异评价. 中国农业科学,2018,51(22): 4219-4229
- [30] 陈雅丽,翁莉萍,马杰,武晓娟,李永涛. 近十年中国土壤重金属污染源解析研究进展. 农业环境科学学报,2019,38(10): 2219-2238
- [31] 胡含秀,周晓天,张慧敏,鲍广灵,曹迟,胡宏祥,马友华. 重金属污染耕地安全利用钝化材料作用机制及效果研究进展. 江苏农业科学,2023,51(8): 26-33 (收稿日期: 2024-08-30)

(上接第 92 页)

15D1252-1、1213-4、430-2 均为改良系;而 18 份父本系均为涵盖黄早四、旅大红骨和 Lancaster 系统相互改良育成的自交系,遗传基础丰富。其中多个父本系所配组合正处于省级区域试验和生产试验中,从而使本研究为育种提供参考奠定了一定遗传基础。

本研究结果表明,ASI 为加性遗传模型,亲本 GCA 对杂交种有显著影响,亲本一般配合力负向相对效应值越大,其杂交种越具有较大概率  $ASI \leq 0d$ ;亲本 ASI 的 GCA 与表型平均值线性方程为:  $y = -163.2337 + 59.3577x$ ;建议母本系  $ASI < 3d$ 、父本系  $ASI \leq 4d$  作为吉林省区域内育种选择指标。由于 ASI 遗传力较低,应加强整个分离世代选择,并强化对一般配合力负向相对效应值最大的 4 份父本系(19D395-1、15D752、18D516、15D956)及 3 份母本系(15D1252-1、430-2、PH6JM)继续进行改良,从而提高育种效率。

## 参考文献

- [1] 寇新玲. 高产玉米的育种与遗传改良技术研究. 黑龙江粮食,2024(1): 36-38
- [2] 张道磊,甘雨军,乐亮,普莉. 玉米产量性状的表观遗传调控机制和育种应用. 生物技术通报,2023,39(8): 31-42
- [3] 王艺焯,王瑞莲,李成,张春,王兆娟,康洪彪,杨毅成. 玉米自交系雌雄穗开花间隔与产量及抗旱性的相关性. 作物研究,2020,34(5): 427-430,434
- [4] 张风路, Bolanos J. 玉米的雌雄穗开花间隔研究进展. 河北农业大学学报,2002,25(S1): 24-25,37
- [5] 李争光,梁晓玲,雷志刚,阿布来提·阿布拉,邵红雨,韩登旭,李铭东,曹连蕾. 28 个玉米自交系主要农艺性状耐旱性研究. 新疆农业科学,2010,47(3): 449-456
- [6] 莫惠栋,李志民. 增产 NCII 设计和遗传模型测验. 作物学报,1991,17(1): 1-9
- [7] 唐启义. DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社,2007
- [8] 孔繁玲. 植物数量遗传学. 北京: 中国农业大学出版社,2006

(收稿日期: 2024-08-23)