

玉米自交系耐荫性鉴定与评价

王小博¹, 常晓¹, 谢瑞芝², 吴嫚¹, 杨兆生¹,
燕博文³, 杨青华³, 李少昆², 李健¹

(1. 中国农业科学院棉花研究所/棉花生物学国家重点实验室, 河南 安阳 455000;

2. 中国农业科学院作物研究所/农业部作物生理生态重点实验室, 北京 100081;

3. 河南农业大学农学院, 郑州 450000)

摘要: 以41个玉米自交系为材料, 采用大田试验方法, 在植株形态建成期设置15%遮荫和不遮荫两种处理方式, 研究不同处理下玉米自交系植株形态、物质生产、产量等11个指标以及各指标耐荫系数的变化, 并对自交系的耐荫性进行评价。结果表明, 遮荫不仅会增加玉米自交系的株高和穗位高, 延缓生育进程, 而且会降低植株叶面积指数及叶绿素含量, 最终影响玉米物质积累及产量的提升。进一步对各指标的耐荫性进行数学统计分析, 表明茎干物质、叶面积指数和产量的耐荫系数可作为评价玉米自交系耐荫性指标。筛选出M173、豫82、DH382、618B、P6874、昌7-2、8612A、M753、ZY608、豫1122、PH6WC和M109高度耐荫型玉米自交系; ZY602、ZY606、658、HT60、ZY601、C70、外引-2、四-144、KW7M14、NS501和PH4CV是弱光敏感型玉米自交系。

关键词: 玉米; 自交系; 耐荫性; 综合评价; 筛选指标

中图分类号: S513.037

文献标识码: A

Identification and Evaluation of Shade-tolerance to Maize Inbred Line

WANG Xiao-bo¹, CHANG Xiao¹, XIE Rui-zhi², WU Man¹, YANG Zhao-sheng¹,

YAN Bo-wen³, YANG Qing-hua³, LI Shao-kun², LI Jian¹

(1. *Institute of Cotton Research, Chinese Academy of Agricultural Science /*

State Key Laboratory of Cotton Biology, Anyang 455000;

2. *Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/*

Key Laboratory of Crop Physiology Ecology Ministry of Agriculture, P.R. China, Beijing 100081;

3. *Agricultural College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000, China)*

Abstract: Used the filed experimental method, through 41 maize inbred lines as the test materials under shade (15% of ambient sunlight) and control (no shade) in plant morphogenesis stage. Systematic research plant morphology, material production, yield, etc. 11 plant morphology and physical indexes of shade-tolerance index changing rule, cluster analysis in maize silk stage and shade tolerance of inbred lines were evaluated by changing rule. The results showed that shading treatment increased plant height, ear height, delay the growth period and decreased leaf area index(LAI), SPAD value, ultimately affect the material accumulation and yield of maize inbred line. The shade tolerance of each index was further analyzed by mathematical statistics. The results showed that stem dry matter, leaf area index and yield could be used as indexes to evaluate shade tolerance of maize inbred lines. Screen out highly shade tolerance M173, Yu82, DH382, 618B, P6874, Chang7-2, 8612A, M753, ZY608, Yu1122, PH6WC, M109 and shade sensitive ZY602, ZY606, 658, HT60, ZY601, C70, Waiyin-2, Si-144, KW7M14, NS501, PH4CV maize inbred lines.

Key words: Maize; Inbred line; Shade-tolerance; Comprehensive evaluation; Screening index

录用日期: 2019-04-01

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0300302)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(161012018006、1610162016022)

作者简介: 王小博(1988-), 河南漯河人, 研究方向为作物抗逆生理。E-mail: 787930413@qq.com

李健为本文通讯作者。E-mail: lijian84826@163.com

玉米是集粮食、饲料、经济作物于一体的三元作物,在我国粮食生产及国民经济发展中占有重要地位。黄淮海夏玉米区是我国最大的玉米集中产区之一,总产量占全国35.5%左右,大力发展该区玉米生产对稳定我国粮食生产及保障国家粮食安全意义重大。该区玉米生育季节也是连阴雨天气的高发期,每年因极端阴雨天气造成的玉米产量损失高达20%,特殊年份能减产30%~35%,甚至绝收^[1,2]。随着全球气候变化、太阳总辐射不断下降的背景下^[3]以及密植高产种植技术在该区的推广与应用,光成为限制该区玉米产量进一步提升的主要气象因子^[4,5]。因此如何提高玉米的耐荫性,减轻弱光胁迫对玉米产量造成的不利影响是当前黄淮海夏玉米生产中亟需解决的问题。

前人研究表明,筛选或培育耐荫型品种是减轻弱光胁迫对产量造成的不利影响的有效途径,科学的筛选方法及评价方法是耐荫型品种筛选的关键^[6]。付景等^[7]利用主成分分析、隶属函数分析等方

法对玉米杂交种的耐荫型进行评价,并认为雌雄间隔期增长、净光合速率、比叶重、行粒数和地上干物质重可作为玉米耐荫性评价指标。杨芳^[8]认为,形态指标以及酶活性与植物耐荫性相关。陈绍云^[9]认为,叶绿素a/b可以作为耐荫性评定指标之一。尽管前人按照各自的方法筛选出一批耐荫型玉米材料,在玉米耐荫性评价指标上尚未达到共识,在育种目标上,多数育种家仍以高产作为首要育种目标,往往忽视耐荫型玉米材料的选育及应用,大大削弱了通过遗传改良手段来减轻弱光胁迫对玉米产量造成不利影响的效果。本研究以41个玉米自交系为试材,通过大田遮荫模拟弱光胁迫情境,研究耐荫型玉米自交系评价指标及方法,筛选耐荫型玉米自交系,为进一步揭示玉米耐荫机理及耐荫型玉米品种的选育提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

表1 玉米自交系编号及名称
Table 1 The code and name of maize inbred lines

编 号	名 称	编 号	名 称	编 号	名 称	编 号	名 称
Code	Name	Code	Name	Code	Name	Code	Name
Z 01	PH4CV	Z 12	618B	Z 23	京92	Z 34	四-144
Z 02	PH6WC	Z 13	先58	Z 24	58351	Z 35	京2416
Z 03	郑58	Z 14	内141	Z 25	CT3354	Z 36	F0147Z
Z 04	昌7-2	Z 15	DH382	Z 26	HC212	Z 37	HX113
Z 05	M109	Z 16	C70	Z 27	HC141	Z 38	沈137
Z 06	M173	Z 17	ZY606	Z 28	M753	Z 39	KW7M14
Z 07	ZY608	Z 18	豫1122	Z 29	豫82	Z 40	518W
Z 08	ZY16	Z 19	CT3566	Z 30	外引-1	Z 41	658
Z 09	ZY601	Z 20	8612A	Z 31	NS501		
Z 10	HCL645	Z 21	黄早四	Z 32	HT60		
Z 11	ZY602	Z 22	P6874	Z 33	外引-2		

表2 不同遮荫处理对小气候影响
Table 2 Effect of shading treatment on microclimate

年 份	处 理	CO ₂ 浓度(μmol/ mol)	平均光合有效辐射[μmol/(m ² s)]	相对湿度(%)	平均气温(℃)
Year	Treatment	CO ₂ concentration	Average photo-synthetically active radiation	Relative humidity	Average temperature
2017	S15	366.55±2.3 a	1 260.15±32.45 b	63.69±3.52 a	29.17±1.34 a
	CK	365.87±3.6 a	1 492.53±36.29 a	62.56±5.23 a	30.18±0.59 a
2018	S15	365.91±4.7 a	1 252.63±26.58 b	60.68±4.36 a	29.86±0.76 a
	CK	367.02±2.9 a	1 480.35±28.51 a	61.58±3.51 a	30.43±0.88 a

注:S15和CK表示遮荫15%和不遮荫。同一列中不同的字母表示5%水平下差异,相同字母表示无差异。
Note: S15 and CK indicate shading by 15% and no shading, respectively. Values followed by a different letter within a column indicated significantly different at 5% level, and same letter indicated no significantly different.

试验于2017~2018年在中国农业科学院棉花研究所安阳试验站开展。以41个自交系为试验材料,其中有17个来自生产中大面积推广的玉米杂交种的亲本,23个来自外引及自选系(表1)。试验设置拔节期-吐丝期遮荫15%(S15)和不遮荫(自然光照,CK)两种处理方式,遮荫处理采用遮光率为15%的白色遮荫网开展,遮荫网距玉米群体表面保持2.5 m左右,从而保证网内外气候条件一致。本试验条件下,其他环境条件详情见表2。试验采用随机区组设计,3次重复,每个自交系种植3行,行长5 m,行距60 cm,种植密度75 000株/hm²,人工点播,1穴3粒,3叶期间苗,播种后浇灌蒙头水,其他管理措施同一般高产田。

1.2 测定项目与方法

叶绿素含量:在吐丝期,每个小区选取10株,用SPAD-502叶绿素仪测定玉米棒三叶叶绿素含量。叶面积指数(LAI):在吐丝期,每个小区选取5株,分别测量每个叶片的长度和宽度,利用叶面积系数法计算LAI,单叶面积=叶长×叶宽×0.75,LAI=单株叶片面积总和/单株所占土地面积;植株干重积累量测定:在吐丝期,每个小区选取具有代表性植株3株,将植株按不同部位器官分开,105℃杀青30 min,80℃烘至恒重,并称干重;株高和穗位:在成熟期,每个小区选取5株代表性植株测量株高和穗位;产量:收获中间两行全部果穗进行称重计产,测定子粒含水量,折算14%含水量产量。

1.3 数据处理与分析

利用Excel 2013对数据进行初步的整理、简单

的分析和绘制表格,利用Spss 19对数据进行主成分因子分析、逐步回归分析和聚类分析。参考胡标林^[10]的方法进行隶属函数、综合指标权重和综合评价价值进行计算。

耐荫系数 α =处理值/对照值

隶属函数值： $U(x_j)=(x_j-x_{min})/(x_{max}-x_{min})$ ，(j=1,2,……n)

公式中的 x_j 表示的是第j个综合打分值, x_{min} 表示第j个综合打分值的最小值, x_{max} 表示第j个综合打分值的最大值。

权重： $W_j=P_j/\sum_{j=1}^n P_j(j=1,2,\cdots,n)$

公式中 W_j 表示第j个综合指标占总累计贡献率的百分比。

综合耐荫值： $D=\sum_{k=0}^n[U(X_j)\times W_j](j=1,2,\cdots,n)$

D值的大小用于描述玉米自交系的耐荫能力,D值越大说明自交系的耐荫能力越强,越小说明自交系的耐荫能力越弱。

2 结果与分析

2.1 遮荫处理对41个玉米自交系各个生理指标的影响

对各个指标的变幅、平均值、变异系数进行统计分析(表3),结果表明,CK条件下,各玉米自交系的株高、穗位高和拔节到吐丝天数的均值均低于S15处理,其他指标均高于S15处理。从各个指标的变幅可以看出,除了拔节到吐丝期天数、叶面积指数、

表3 遮荫条件下不同生理指标的分布
Table 3 The distribution of physiological indexes under differences shade stress

指 标 Index	CK			S15		
	变 幅 Variation	平均值±标准误差 Average ± SE	变异系数(%) Variation of coefficient	变 幅 Variation	平均值±标准误差 Average ± SE	变异系数(%) Variation of coefficient
拔节-吐丝天数(d, X1)	30.00 ~ 39.00	33.88±0.45	7.43	30.00 ~ 38.00	34.15±0.41	7.71
绿素相对含量(X2)	45.68 ~ 62.95	53.26±0.73	8.81	40.72 ~ 60.78	52.87±0.87	10.52
叶面积指数(X3)	1.65 ~ 4.44	3.09±0.10	18.06	1.47 ~ 4.04	3.04±0.10	20.7
比叶重(mg/cm ² , X4)	4.58 ~ 9.54	6.73±0.18	13.45	4.47 ~ 8.34	6.48±0.16	15.54
茎干物质重(g, X5)	21.66 ~ 50.40	33.96±1.14	21.48	17.88 ~ 52.29	31.44±1.39	28.37
叶干物质重(g, X6)	16.99 ~ 41.29	27.18±0.81	19.12	14.20 ~ 41.26	25.97±0.88	21.69
鞘干物质(g, X7)	8.46 ~ 21.33	14.44±0.44	19.45	5.77 ~ 20.64	13.11±0.49	24.02
总干物重(g, X8)	53.47 ~ 131.11	89.96±2.59	18.43	46.57 ~ 132.50	83.59±3.07	23.53
株高(cm, X9)	143.00 ~ 243.67	201.11±3.11	9.92	148.00 ~ 261.67	210.35±3.88	11.82
穗位高(cm, X10)	42.50 ~ 110.67	82.46±2.23	17.3	46.33 ~ 119.00	83.89±2.46	18.76
产量(kg/hm ² , X11)	2860.05 ~ 7157.40	4463.10±139.95	19.09	2451.30 ~ 6756.45	4145.85±158.70	24.52

比叶重3个指标的变幅低于CK处理变幅外,其他指标均表现出S15处理变幅扩大的现象。从各指标变异系数可以看出,CK处理各指标的变异系数均小于S15处理,说明遮荫处理会加剧植株间的变异。

对两年间不同遮荫处理下玉米自交系各指标进

行方差分析(表4)。结果表明,年份间没有表现出差异,处理间、自交系间、年份×处理、年份×自交系、处理×自交系、年份×处理×自交系在部分指标上表现为显著或极显著性差异,说明本试验处理所出现的差异主要由处理及试验材料造成的,而与年份无关。

表4 两年间不同遮荫处理下玉米自交系各指标间进行方差分析

Table 4 Two year variance analysis of different indexes in differences shading treatment of maize inbred lines

指 标 Index	年 份 Year	处 理 Treatment	自交系 Inbred line	年份×处理 Year×Treatment	年份×自交系 Year×Inbred line	处理×自交系 Treatment× Inbred line	年份×处理×自交系 Year×Treatment× Inbred line
X1	1.60	9.19	416.65**	6.91*	1.04**	326.15**	1.54**
X2	1.45	188.21*	556.18*	1.52	0.06	5.65	0.35
X3	1.08	10.19	8.51	8.75*	2.43*	32.56*	1.12*
X4	1.73	12.01	7.02	17.17**	1.31**	66.29*	1.13*
X5	1.62	321.80**	720.21*	10.47**	11.30**	381.37**	1.90*
X6	2.03	79.93*	79.95**	1.53	0.05	48.92*	1.25**
X7	1.06	109.60**	610.79**	1.72	0.03	6.99	0.20
X8	2.15	7.47	5.77	5.24*	3.23**	36.35*	1.09**
X9	0.94	155.14**	909.28**	6.34*	3.92**	69.69**	1.20*
X10	1.32	77.76*	626.28*	0.11	0.44	5.72	2.54**
X11	1.65	70.32*	86.51**	8.55**	2.66**	288.21*	1.12*

注:ns表示没有显著性差异;*和**分别表示在0.05和0.01水平上显著相关。下表同。
Note: ns meant no significant difference; * and ** indicated significantly correlated at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

2.2 各个指标间的相关性分析

利用公式1计算出41个玉米自交系的11个性状的耐荫系数(α值)并进行相关性分析(表5),由表5可以看出,各个指标间在相关程度和正或负相关性上存在差异性,表明各个指标间在耐荫性的作用上存在重叠现象,这对于自交系的耐荫性评价存在一

定干扰性,影响评价的准确性,可见玉米自交系的耐荫性由单一指标很难进行评价,需利用多个指标对其进行综合性评价。因此本试验对11个指标进行主成分分析、隶属函数分析并计算出耐荫性综合指标D值,使用D值对自交系的耐荫性进行综合评价。

表5 各个生理指标间的相关性

Table 5 The correlation of differences physiological indexes

指 标 Index	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
X1	1										
X2	0.044	1									
X3	-0.449**	0.685**	1								
X4	0.04	-0.28	-0.399**	1							
X5	-0.213	-0.001	0.350*	0.633**	1						
X6	-0.225	-0.115	0.233	0.787**	0.887**	1					
X7	-0.062	-0.068	0.167	0.739**	0.871**	0.887**	1				
X8	-0.066	-0.094	0.228	0.734**	0.923**	0.929**	0.917**	1			
X9	-0.193	0.104	0.596**	0.079	0.609**	0.439**	0.438**	0.487**	1		
X10	-0.161	-0.307	0.147	0.062	0.225	0.147	0.194	0.18	0.312*	1	
X11	-0.081	0.457**	0.243	0.672**	0.877**	0.877**	0.867**	0.940**	0.500**	0.166	1

2.3 主成分分析和隶属函数分析

利用SPSS 19对41个自交系11个指标的耐荫系数进行主成分分析(表6)。经过分析,11个指标被归为3个主成分因子,其中第1主成分贡献率为51.038%;第2主成分贡献率为18.379%;第3主成分贡献率为11.932%。3个主成分的累计贡献率达到81.349%,因此能够代表原始指标的大部分信息,可以将原有的11个指标转换为3个综合性指标,利用这3个综合性指标能够对41个玉米自交系的耐荫性进行可靠性的评价。在利用SPSS计算主成分的过程中对各个自交系对应的主成分进行综合性打分,获得各个自交系在对应的主成分中的综合指标值。各个自交系的耐荫性与这3个综合性指标高度正相关,3个综合性指标在评价自交系耐荫能力中的贡献率不同,在此基础上进行隶属函数分析。

利用可用公式2可以算出每个自交系的综合性指标值对应的隶属函数值。根据每个主成分的贡献率的大小(51.038%、18.379%、11.932%),利用公式3可以算出各个主成分的权重分别为0.627、0.226和0.147。利用公式4计算出各个自交系对应的D值

(表7),并对D值进行排序,D值越大说明其耐荫性越强,反之则越弱

表6 综合指标贡献率、权重及系数
Table 6 Coefficients of comprehensive index, index weight and proportion

指 标 Index	主成分因子 Principal component factor		
	1	2	3
贡献率(%)	51.038	18.379	11.932
累积贡献率(%)	51.038	69.417	81.349
X1	-0.206	-0.513	0.364
X2	-0.108	0.424	0.762
X3	0.286	0.895	0.048
X4	0.733	-0.616	-0.003
X5	0.955	0.103	0.066
X6	0.956	-0.086	0.038
X7	0.935	-0.131	0.083
X8	0.971	-0.093	0.092
X9	0.59	0.564	-0.04
X10	0.265	0.183	-0.75
X11	0.938	-0.053	0.109

表7 各自交系的各综合性指数、隶属函数值、D值及排名
Table 7 The comprehensive index, membership function index, D value and D value rank of inbred lines

名 称 Name	D值 D value	排 名 Rank	名 称 Name	D值 D value	排 名 Rank	名 称 Name	D值 D value	排 名 Rank
Z 1	0.27	34	Z 16	0.25	35	Z 31	0.3	33
Z 2	0.62	6	Z 17	0.19	39	Z 32	0.15	41
Z 3	0.42	21	Z 18	0.6	8	Z 33	0.23	37
Z 4	0.66	1	Z 19	0.35	29	Z 34	0.31	31
Z 5	0.62	7	Z 20	0.66	2	Z 35	0.38	28
Z 6	0.57	11	Z 21	0.42	24	Z 36	0.43	20
Z 7	0.6	9	Z 22	0.65	4	Z 37	0.5	13
Z 8	0.38	26	Z 23	0.38	27	Z 38	0.43	19
Z 9	0.25	36	Z 24	0.4	25	Z 39	0.3	32
Z 10	0.44	17	Z 25	0.35	30	Z 40	0.48	14
Z 11	0.2	38	Z 26	0.42	22	Z 41	0.17	40
Z 12	0.65	3	Z 27	0.42	23			
Z 13	0.43	18	Z 28	0.64	5			
Z 14	0.47	15	Z 29	0.58	10			
Z 15	0.54	12	Z 30	0.45	16			

2.4 回归方程的建立和耐热指标的筛选

以D值为因变量,以11个指标的耐荫系数作为自变量,采用逐步回归法建立最优的线性回归方程,表达式为 $D=-0.381+0.267X_5+0.311X_3+0.261X_{11}$ ($R^2=0.933$, $F=26.985$, 显著性水平 $P=7.718E-06$),其中 X_5 、 X_3 和 X_{11} 分别表示茎干物质重、叶面积指数和产

量,茎干物质重、叶面积指数和产量这3个性状对于玉米自交系吐丝期的耐荫性具有显著性影响,可将其作为玉米自交系吐丝期耐荫性评价的鉴定指标。

2.5 聚类分析

利用表7中的D值,采用系统聚类中的最长距离法进行聚类分析可将41个自交系分为3大类(图1),

第1类为高度耐荫型:Z 6、Z 29、Z 15、Z 12、Z 22、Z 4、Z 20、Z 28、Z 7、Z 18、Z 2、Z 5;第2类为中度耐荫型:Z 11、Z 17、Z 41、Z 32、Z 9、Z 16、Z 33、Z 34、Z 39、Z 31、

Z 1;第3类为弱耐荫型:Z 21、Z 27、Z 3、Z 26、Z 36、Z 38、Z 13、Z 10、Z 30、Z 14、Z 40、Z 37、Z 19、Z 25、Z 23、Z 35、Z 8、Z 24。

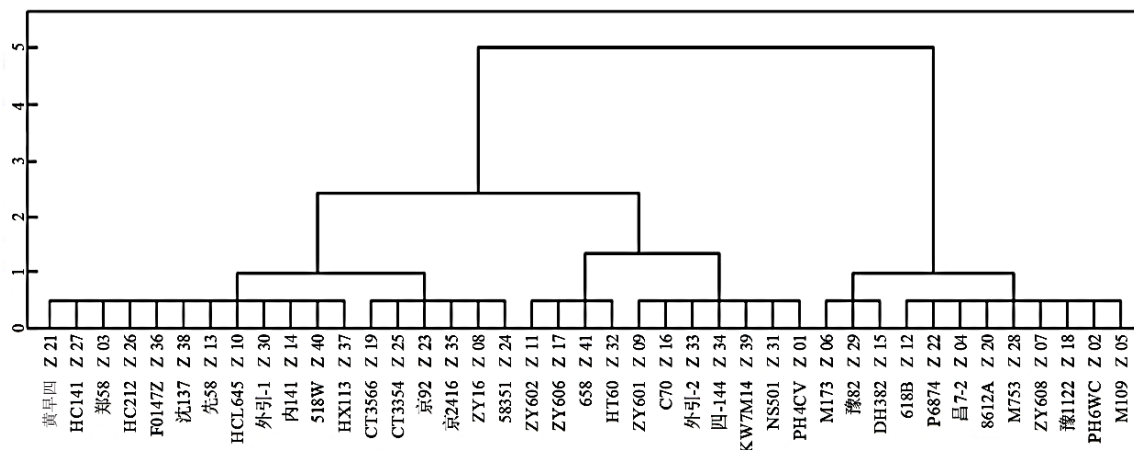


图 1 41个玉米自交系聚类分析图

Fig.1 Cluster analysis of 41 maize inbred lines

3 结论与讨论

光是玉米正常生长发育必不可缺的因素。光照不足影响玉米的生长发育及产量的形成。遮荫处理不仅影响植株的叶面积、叶绿素等生理指标,而且会加剧各指标的变异幅度,不利于群体产量的提升^[11-15]。基于弱光条件下植株形态、生理等指标的变化,筛选出能够反映玉米耐荫性关键指标是利用栽培措施及选育耐荫型品种手段来提高玉米耐荫性的关键。鲁晓民等^[6]在抽雄前5 d,对30个玉米自交系耐荫性进行了综合评价,认为以子粒净重量为主要指标,以ASI为次级指标评价玉米的耐荫性是一种简单可行的方法。尽管前人用不同的方法对玉米的耐荫型进行了评价,但由于遮荫程度变化的影响,玉米不同性状受影响的程度不同,不同自交系间影响也存在差异,评定尺度难以掌握。由此可见,要客观评定一个品种的耐荫能力,必须使用多个性状综合评定玉米的耐荫性。为此,本研究在着重考察遮光后玉米植株形态、生理指标及产量的变化基础上,以各指标的耐荫性指数为基础,利用主成分分析、隶属函数分析、逐步回归分析等统计方法对玉米自交系的耐荫性进行评价,筛选出茎干物质重、叶面积指数和产量可作为玉米耐荫性综合评价指标。与以往的评定法相比,该方法的评定指标增多,且可量化评定,评定尺度简便易行,能全面衡量品种耐荫性能力的强弱,评定结果相对可靠。利用聚类分析对综合耐荫系数进行分类,共筛选出12个耐荫型玉米自交

系(M173,豫82,DH382,618B,P6874,昌7-2,8612A,M753,ZY608,豫1122,PH6WC和M109)和11个敏感型玉米自交系(ZY602,ZY606,658,HT60,ZY601,C70,外引-2,四-144,KW7M14,NS501和PH4CV),为进一步揭示玉米耐荫机理及耐荫型玉米品种的选育提供研究基础。

参考文献:

- [1] 付祥建,杨海鹰. 2003夏季异常天气条件对农作物的影响[J]. 河南气象. 2004(2):36-37.
Fu X J, Yang H Y. Effects of abnormal weather conditions on crops in summer at 2003[J]. Meteorological Journal of Henan, 2004(2): 36-37. (in Chinese)
- [2] 王记芳. 近50年河南降水变化对水资源的影响[J]. 河南气象. 2005(1):17-18.
Wang J F. The impact of precipitation change on water resources in Henan province in recent 50 years[J]. Meteorological Journal of Henan, 2005(1): 17-18. (in Chinese)
- [3] Che H Z, Shi G Y, Zhang X Y, et al. Analysis of 40 years of solar radiation data from China, 1961-2000[J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32(6): 803-1-803-5.
- [4] Liu W D, Tollenaar M. Physiological mechanisms underlying heterosis for shade tolerance in maize[J]. Crop Science, 2009, 49(5): 1817-1826.
- [5] 路海东,薛吉全,马国胜. 夏玉米不同群体的受光态势和光合特性研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(4):100-104.
Lu H D, Xue J Q, Ma G S. Study on different groups receive light posture and photosynthesis character of summer maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(4): 100-104. (in Chinese)
- [6] 张立军,孙旭刚,李盛有,等. 国内外大豆种质耐荫性综合评价及相关鉴定指标的筛选[J]. 大豆科学. 2018, 37(4):493-502.

- Zhang L J, Sun X G, Li S Y, et al. Comprehensive evaluation for shade-tolerant and selection of identification indicators in soybean germplasms from china and abroad[J]. Soybean Science, 2018, 37(4): 493-502. (in Chinese)
- [7] 付 景,李潮海,赵久然,等. 玉米品种耐阴性指标的筛选与评价[J]. 应用生态学报,2009,20(11):2705-2709.
- Fu J, Li C H, Zhao J R, et al. Shade-tolerance indices of maize: Selection and evaluation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(11): 2705-2709. (in Chinese)
- [8] 杨 芳,孙小玲,周 禾. 不同光强对4种草坪草类胡萝卜素的影晌[J]. 草地学报,2011,19(5):776-780.
- Yang F, Sun X L, Zhou H. Influences of wavelength and intensity on carotenoid of four lawn grass[J]. Acta Agrectir Sinica, 2011, 19(5): 776-780. (in Chinese)
- [9] 陈绍云,周国宁. 光照强度对山茶花形态、解剖特征和生长发育的影响[J]. 浙江农业科学,1992(3):144-146.
- Chen S Y, Zhou G N. Effects of light intensity on morphology, anatomical characteristics and growth and development of camellia[J]. Journal of Agricultural Science, 1992(3): 144-146. (in Chinese)
- [10] 胡标林,李 霞,万 勇,等. 东乡野生稻BILs群体耐低氮性表型性状指标筛选及其综合评价[J]. 应用生态学报.2015,26(8): 2346-2352.
- Hu B L, Li X, Wan Y, et al. Index screening and comprehensive evaluation of phenotypic traits of low nitrogen tolerance using BILs population derived from Dongxiang wild rice(*Oryza rufipogon* Griff.) [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(8): 2346-2352. (in Chinese)
- [11] Li J, Xie R Z, Wang K R, et al. Response of canopy structure, light interception and grain yield to plant density in maize[J]. Journal of Agricultural Science, 2018, 156(6): 785-794.
- [12] Fournier C, Andrieu B. Dynamics of the elongation of internodes in maize(*Zea mays* L.). Effects of shade treatment on elongation patterns[J]. Annals of Botany, 2000, 86(6): 1127-1134.
- [13] Reed J A, Singletary G W. Roles of carbohydrate supply and phytohormones in maize kernel abortion[J]. Plant Physiology, 1989, 91(3): 986-992.
- [14] Kobata T, Sugawara M, Takatu S. Shading during the early grain filling period does not affect potential grain dry matter increase in rice[J]. Agronomy Journal, 2000, 92(3): 411-417.
- [15] 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. (in Chinese)
- [16] 鲁晓民,卫晓轶,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. (in Chinese)

(责任编辑:栾天宇)

(上接第17页)

- Liang X L, Wang N, Wang Y J, et al. Drought tolerance evaluation of American maize inbred lines in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(5): 1-6, 13. (in Chinese)
- [22] 陈淑萍,岳海旺,谢俊良,等. 80份美国解禁玉米自交系与先玉335亲本配合力试验分析[J]. 玉米科学,2018,26(2):30-34.
- Chen S P, Yue H W, Xie J L, et al. Analysis of combining ability on 80 declassified American maize inbred lines with Xianyu335 parents in the North of Huang-Huai-Hai region[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(2): 30-34. (in Chinese)
- [23] 石运强,金振国,高 利,等. 25份美国早熟玉米自交系抗病性评价与利用研究[J]. 中国种业,2018(10):56-59.
- Shi Y Q, Jin Z G, Gao L, et al. Disease resistance evaluation and utilization of 25 American early maturing maize inbred lines[J]. China Seed Industry, 2018(10): 56-59. (in Chinese)
- [24] 陈广周,王广福,渠建洲,等. 不同玉米自交系子粒脱水速率及其与主要影响性状的相关分析[J]. 作物杂志,2018(5):33-39.
- Chen G Z, Wang G F, Qu J Z, et al. Study on grain dehydration rate and correlation analysis of major related characters in different maize inbred lines[J]. Crops, 2018(5): 33-39. (in Chinese)
- [25] 师亚琴,李艺博,李亚楠,等. 陕A群、陕B群选育的玉米自交系抗旱性鉴定[J]. 玉米科学,2017,25(4):17-25.
- Shi Y Q, Li Y B, Li Y N, et al. Drought resistance identification of maize inbred lines selected from Shaan A group and Shaan B group [J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(4): 17-25. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)