

穗上多叶玉米自交系LY-1的遗传特性研究

李浩川, 崔丽洋, 曲彦志, 毛熙岚, 张朝林, 刘宗华

(河南农业大学农学院/河南省粮食作物协同创新中心/小麦玉米作物学国家重点实验室, 郑州 450002)

摘要: 利用外引玉米杂交种通过多年连续自交获得1份穗上叶片数为7~10片的自交系LY-1。研究该材料穗上叶片数的遗传特性, 分别将其与3个不同穗上叶片数材料L583、LS-1和昌7-2不同遗传背景的自交系杂交, 获得3个衍生的后代分离群体。通过穗上叶片数、株高、穗位高和穗高系数的分析, 结果表明, F_1 的穗上叶片数介于双亲之间, 偏高亲值, 没有明显杂种优势, 表现出不完全显性遗传特性。株高、穗位高以及穗高系数均表现超高值亲本, 具有极强的杂种优势。相关分析结果表明, 穗上叶片数与穗高系数呈极显著的负相关, 株高与穗上叶片数、穗位高以及穗位高与穗高系数均呈极显著正相关。从各性状的遗传力来看, 3个群体株高和穗位高的平均遗传力较高, 均在75%以上; 其次是穗高系数; 穗上叶片数的遗传力仅为62.43%。因此, 利用LY-1作为多叶资源进行种质改良和新品种选育, 可降低穗位相对高度, 提高植株的抗倒伏能力。

关键词: 玉米; 穗上叶片数; 株型; 遗传分析

中图分类号: S513.035.1

文献标识码: A

Study on Genetic Characteristic of an Inbred Line LY-1 with Multiple Leaves above Ear in Maize

LI Hao-chuan, CUI Li-yang, QU Yan-zhi, MAO Xi-lan, ZHANG Chao-lin, LIU Zong-hua

(Agronomy College of Henan Agricultural University / Collaborative Innovation Center of Henan Grain Crops / National Key Laboratory of Wheat and Maize Crop Science, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: An inbred line LY-1 with 7-10 leaves above the ear was developed from an introduced maize hybrid by continuous selfing. In order to study the genetic characteristic of the number of leaves above ear, the line LY-1 as the male was respectively crossed with three different inbred lines L583, LS-1 and Chang7-2 as the females to obtain their progenies and segregation populations. Four traits with leaves above the ear, plant height, ear height and the coefficient of ear height were analyzed. The results showed that the number of leaves above ear in F_1 was between the corresponding parents and close to the high parents, and has no obvious heterosis. It appeared incomplete dominant inheritance for the number of leaves above ear, but the plant height, ear height and coefficient of ear height in F_1 were higher than those of the high parents and existed extremely strong heterosis. The analysis of correlation illustrated that significantly negative relations existed between the number of leaves above ear and coefficient of ear height, but the relations between plant height and the number of leaves above ear, and ear height, between ear height and coefficient of ear height, are highly positive. According to the heritability of each trait, the average heritability of plant height and ear height were higher with over 75%, the following was the coefficient of ear height, but the heritability for the number of leaves above ear was the lowest with only 62.43%. Therefore, leafy inbred lines LY-1 could be used as a resource with multiple leaves above ear to improve germplasms and develop new varieties, and enhance the lodging resistance of plants by reducing the relative ear height in maize.

Key words: Maize; Leaf number above ear; Plant architecture; Genetic analysis

录用日期: 2018-09-11

基金项目: 国家重点研发计划项目“黄淮海玉米种质改良及强优势杂交种创制”(2016YFD0101205)

作者简介: 李浩川(1978-), 河南舞钢人, 副教授, 博士, 主要从事玉米遗传育种研究。Tel: 15136176256 E-mail: lihaochuan1220@163.com

崔丽洋为并列第一作者。

刘宗华为本文通讯作者。

玉米不仅是重要的粮食作物,在能源和饲料等工业领域中也发挥着重要作用。叶片作为截获光能进行光合作用的主要器官,是玉米株型结构的重要组成部分,尤其是穗上叶片不仅是玉米后期生长发育和子粒灌浆所需有机物的主要合成部位,而且其数量对玉米穗位的相对高度起着重要的决定作用^[1]。前人研究表明,穗上叶片数越多,叶面积就越大,能延长光合时间,增加穗粒数和子粒干物质重,具有提高产量的潜力^[2-5]。穗上多叶自交系和非多叶自交系组配的杂交组合由于株高、产量和碳水化合物的含量均较高^[6,7],因此也适宜作青贮玉米。

为了揭示穗上多叶性状的遗传特性和分子基础,Du等^[8]利用引进的玉米多叶突变体CO412与B73、郑58和许178构建了3个分离群体,结果表明,该性状呈现不完全显性遗传的特性,将控制该材料穗上多叶性状的基因定位在第3染色体上,与Oishi等^[9]研究结果一致;并利用该突变材料与B73构建的大群体将该基因精细定位在第3染色体的55 kb区域,发现该区域内有两个候选基因。Cui等^[10]利用正常自交系郑58与穗上多叶自交系Y915为亲本构建的分离群体以及由437个自交系构成的关联群体进行穗上叶片数的分析,分别得到10个QTL和17个显著的SNP与穗上叶片数相关,并且第3、7染色体上各有1个QTL在不同环境条件下均能检测到,其中,位于第3染色体的*qLA3-4*贡献率最大,在3个不同的环境中可解释表型变异的38%~59%。Li等^[11]利用玉米与大刍草构建的866份BC₂S₃重组自交系群体为材料,检测到了15个与穗上叶片数有关的QTL,除第7染色体外,在其他染色体上均有分布,共解释表型变异的65.4%,其中,贡献率最大的*qLA1-1*位于第1染色体上,可解释表型变异的21.5%,呈现出一个主效基因与多个微效基因共同控制的遗传模式。陈梨辉^[12]等利用一个穗上叶片数为16片的多叶自交系Y53(16L)和1个具有相似遗传

背景穗上为4叶的自交系Y53(4L)构建的分离群体,将多叶性状*Lfy*基因定位在第1染色体上,位于标记umc1363和umc2012之间,通过生物信息学的方法,在水稻第3染色体上找到了共线性的区域,有4个QTL影响水稻叶片的发育,由此推测,该基因不仅能影响穗上叶片数,在植株高度和延迟叶片衰老方面也有重要的调控作用。王益军等^[13]利用一个192个F₂单株的分离群体,共检测到11个QTL位点,除了第2、8、9染色体外,在其他7条染色体上均有分布。李贤唐等^[14]在第1、2、4、5、9染色体上检测到了5个与穗上叶片数相关的QTL位点。由此可知,玉米穗上叶片数是受多基因控制的数量性状。因此,发掘控制穗上叶片数的优良等位基因,对改良株型结构有着重要意义。本研究对发现的1份玉米穗上多叶自交系LY-1进行株型相关性状的遗传分析,为选择理想株型,提高玉米优良新品种的抗倒能力提供有益种质资源和理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

利用外引杂交种通过连续多代自交与选择,培育出1个穗上叶片数为7~10片的多叶自交系,命名为LY-1。该自交系花期正常,穗位低。以该自交系为父本,以自交系L583、LS-1和昌7-2为母本分别进行杂交获得F₁及其衍生分离群体。自交系L583是以Reid群的代表骨干系郑58与外引种质杂交获得F₁,再与郑58进行一代回交后通过连续自交选育而成,其穗上叶4~5片,花期正常,穗位较低;LS-1,来源于外引杂交种,在分离世代发现穗上3片叶的单株,通过连续自交和选择,育成了穗上只有3~4片叶、植株矮化、花期较早的自交系;昌7-2是优良玉米杂交种郑单958的父本,也是黄淮海区玉米育种的骨干自交系,该系穗上叶5片,花期正常,穗位较高(表1)。

表1 群体来源及大小

Table 1 The source and size of three populations

代号 Code	来源(F ₁) Source	F ₂ 群体大小 F ₂ population size	F _{2,3} 家系 F _{2,3} family line
群体1	L583 × LY-1	264	195
群体2	LS-1 × LY-1	256	130
群体3	昌7-2 × LY-1	286	

1.2 试验方法

试验于2017年夏在河南农业大学原阳科教园

区进行,种植3个群体的F₂、F₁及其亲本,F₁及亲本自交系每个材料种植3行。F₂自交获得F_{2,3}家系,于

2017年冬在河南农业大学海南试验基地种植群体1和群体2两个群体的F_{2:3}家系及其亲本,两次重复,随机区组设计。小区行长4 m,株距20 cm,行距67 cm,密度75 000株/hm²,授粉后20 d调查穗上叶片数、株高和穗位高,根据公式1计算穗高系数。利用公式2加权法估算环境方差(*V_E*),按公式3估算广义遗传力(*H_B²*)。采用SPSS19.0软件进行统计分析。

株高系数= $\frac{\text{穗位高}}{\text{株高}} \times 100\%$ (1)

$V_E = \frac{1}{4}V_{p_1} + \frac{1}{2}V_{F_1} + \frac{1}{4}V_{p_2}$ (2)

$H_B^2 = \frac{V_{F_2} - V_E}{V_{F_2}} \times 100\%$ (3)

式中, *V_{p₁}* 为亲本1表型方差; *V_{p₂}* 为亲本2表型方差; *V_{F₁}* 为F₁表型方差; *V_{F₂}* 为F₂表型方差。

2 结果与分析

2.1 LY-1 及其后代株型相关性状的表现

从表2可知,各群体中F₁的穗上叶片数均介于双亲之间,与F₂和F_{2:3}的平均表现相近,在群体1与群体3中,F₁的穗上叶片数均值与其中亲值接近;群体2材料中,F₁的穗上叶片数均值为6.20,略高于中亲值5.75,呈现不完全显性的遗传特性。株高、穗位高以及穗高系数在F₁代均表现超高亲遗传,株高和穗位高F₁优势突出,且有随着世代的增加优势逐渐降低的趋势,但3个群体F₂的穗高系数均值为37.11%,略低于F₁均值,群体1和群体2中,各自F_{2:3}的穗高系数均高于其F₁和F₂。由此可知,随着自交世代的增加,株高比穗位高降低的幅度更大。

表2 穗上多叶自交系LY-1及其后代群体株型相关性状表现
Table 2 The performance of traits related to plant architecture of leafy inbred LY-1 and its generations

性状 Trait	群体 Population	母本 Female	父本 Male	F ₁	F ₂	F _{2:3}	中亲值 Mid-parent value
穗上叶片数(片)	群体1	4.10	8.40	6.30	6.49	6.26	6.25
	群体2	3.10	8.40	6.20	6.33	6.46	5.75
	群体3	4.90	8.40	6.60	6.17		6.65
	均值	4.03	8.40	6.37	6.33	6.36	6.22
株高(cm)	群体1	156.14	153.50	223.90	196.54	146.81	154.82
	群体2	105.32	153.50	191.48	189.33	156.70	129.41
	群体3	143.62	153.50	208.30	192.77		148.56
	均值	135.03	153.50	207.89	192.88	151.75	144.26
穗位高(cm)	群体1	52.48	37.73	82.70	72.23	62.00	45.11
	群体2	40.61	37.73	77.20	65.38	64.78	39.17
	群体3	49.80	37.73	88.70	77.30		43.77
	均值	47.63	37.73	82.87	71.64	63.39	42.68
穗高系数(%)	群体1	33.69	24.67	36.92	36.72	42.14	29.18
	群体2	38.50	24.67	40.03	34.63	41.25	31.59
	群体3	34.82	24.67	42.60	40.11		29.74
	均值	35.67	24.67	39.85	37.11	41.69	30.17

2.2 株型相关性状杂种优势分析

对3个群体材料F₁的穗上叶数、株高、穗位高及穗高系数进行杂种优势分析的结果表明(表3),所有性状均表现出超低亲优势,其中,穗位高的平均超低亲优势率最大,达119.63%;株高的超低亲优势率最小,仅为57.92%;穗上叶片数和穗高系数的超低亲优势率约为62%,居于中间位置。平均优势率以穗上叶片数最小,仅为2.62%;穗位高的最大,达94.37%,株高和穗高系数居中,平均优势率分别为32.16%和44.55%。穗上叶片数在3个群体材料中均表现出负向的超高亲优势,株高、穗位高和穗高系数3个性状均表现出正向的超高亲优势率,其中,穗

位高的最大,为75.27%;其次是株高和穗高系数,超高亲优势率分别为34.86%和11.97%。在3个群体中各群体穗上叶片数的杂种优势表现也不尽相同,群体2的平均优势率和超低亲优势率最大,分别为7.83%和100%;其次是群体1,平均优势率和超低亲优势率,分别为0.80%和53.66%;群体3的超低亲优势率最小,仅34.69%,还出现了负向平均优势率(-0.75%)。由此可见,株高、穗位高和穗高系数均表现出较强的杂种优势,穗上叶片数的杂种优势并不明显,但均出现了超低亲优势,因此,选择穗上叶片数较多的材料为亲本是增加其杂交种穗上叶片数的前提。

表 3 不同群体F₁代株型相关性状杂种优势分析

Table 3 The heterosis of traits related to plant architecture in different populations %

性 状 Trait	群 体 Population	平均优势率 Mean heterosis	超低亲优势率 Over-low parent heterosis	超高亲优势率 Over high parent heterosis
穗上叶片数	群体1	0.80	53.66	-25.00
	群体2	7.83	100.00	-26.19
	群体3	-0.75	34.69	-21.43
	均值	2.62	62.78	-24.21
株 高	群体1	44.62	45.86	43.40
	群体2	47.96	81.81	24.74
	群体3	40.21	45.04	35.70
	均值	44.55	57.92	34.86
穗位高	群体1	83.35	119.19	57.58
	群体2	97.09	104.61	90.10
	群体3	102.67	135.09	78.11
	均值	94.37	119.63	75.27
穗高系数	群体1	26.53	49.65	9.59
	群体2	26.74	62.28	3.97
	群体3	43.22	72.69	22.34
	均值	32.16	61.54	11.97

2.3 LY-1 及其后代株型相关性状的变异性分析

表 4 亲本及后代株型相关性状的变异性分析

Table 4 The variance of traits related to plant architecture for parents and their generations

性 状 Trait	群 体 Population	母本 Female		父本 Male		F ₁		F ₂	
		变 幅 Range	变异系数(%) CV	变 幅 Range	变异系数(%) CV	变 幅 Range	变异系数(%) CV	变 幅 Range	变异系数(%) CV
穗上叶片数	群体1	4 ~ 5	7.71	7 ~ 10	8.98	6 ~ 7	7.67	4 ~ 9	12.39
	群体2	3 ~ 4	10.20	7 ~ 10	8.98	6 ~ 7	6.80	3 ~ 9	16.69
	群体3	4 ~ 5	6.45	7 ~ 10	8.98	6 ~ 7	7.82	4 ~ 9	13.11
	均值		8.12		8.98		7.43		14.06
株高	群体1	138.30 ~ 166.60	6.04	116.20 ~ 176.30	9.28	218.00 ~ 229.00	1.72	113.70 ~ 241.40	10.15
	群体2	94.40 ~ 114.30	5.97	116.20 ~ 176.30	9.28	175.00 ~ 207.00	4.47	75.70 ~ 243.30	13.33
	群体3	130.70 ~ 153.10	5.13	123.10 ~ 175.80	9.28	193.00 ~ 226.00	5.12	129.20 ~ 248.40	9.84
	均值		5.71		9.28		3.77		11.11
穗位高	群体1	45.20 ~ 60.70	10.71	30.00 ~ 47.00	11.62	74.00 ~ 92.00	6.87	34.50 ~ 102.80	16.54
	群体2	31.20 ~ 47.50	13.11	30.00 ~ 47.00	11.62	68.00 ~ 88.00	8.84	27.00 ~ 96.20	18.81
	群体3	42.00 ~ 58.70	10.98	30.00 ~ 47.00	11.62	81.00 ~ 99.00	7.19	42.10 ~ 111.50	15.63
	均值		11.60		11.62		7.63		16.99
穗高系数	群体1	28.66 ~ 38.62	11.25	18.94 ~ 32.33	11.23	33.94 ~ 40.89	5.81	22.77 ~ 53.99	12.94
	群体2	33.05 ~ 44.09	10.32	18.94 ~ 32.33	11.23	36.96 ~ 42.71	5.48	17.93 ~ 55.71	15.45
	群体3	27.43 ~ 42.23	13.54	18.94 ~ 32.33	11.23	40.30 ~ 49.01	6.03	23.70 ~ 52.78	12.62
	均值		11.70		11.23		5.77		13.67

穗上多叶自交系 LY-1 穗上叶片数变幅为 7 ~ 10 片,变异系数为 8.98%,与 L583、LS-1 和昌 7-2 等 3 个自交系相比,除株高比其他自交系的平均变异系数高出 3.57%外,其他性状的变异系数均相近,这表明 LY-1 的株型相关性状表现比较稳定。F₁代表现出较高的整齐度,4 个性状的平均变异系数均在

8%以下,最小的为株高,其平均变异系数仅为3.77%;穗上叶片数的变幅最小,3个群体的变异范围均为6~7片。 F_2 代由于基因的分离和重组,呈现严重的变异,变异系数均高于对应的亲本和 F_1 代,其中,穗位高的变异系数最大,为16.99%;最小的平均变异系数为株高,也高出 F_1 代7个百分点(表4)。为

了进一步评价群体变异的真实性,将群体1和群体2的 $F_{2.3}$ 不同家系做进一步分析,方差分析结果表明(表5),除群体1的株高与穗位高外,区组间差异均不显著;两个群体的所有性状在不同基因型间均存在极显著差异。

表5 $F_{2.3}$ 群体株型相关性状方差分析
Table 5 The variance analysis of plant architecture related traits in $F_{2.3}$ populations

群 体 Population	变异来源 Variance	穗上叶片数 LAE		株 高 PH		穗位高 EH		穗高系数 COEH	
		均 方	<i>F</i> 值	均 方	<i>F</i> 值	均 方	<i>F</i> 值	均 方	<i>F</i> 值
		MS	<i>F</i> value	MS	<i>F</i> value	MS	<i>F</i> value	MS	<i>F</i> value
群体1	区组间	0.31	2.27	549.14	12.78**	138.89	7.56**	0.00	0.01
	基因型	0.54	3.94**	307.14	7.15**	186.87	10.17**	0.00	7.01**
群体2	区组间	0.08	0.44	162.69	1.74	23.04	0.47	0.00	0.21
	基因型	0.81	4.31**	512.73	5.48**	210.25	4.24**	0.00	3.98**

注: *、**分别表示0.05、0.01水平下差异显著。下表同。
Note: * and ** indicated the significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below.

2.4 分离群体株型相关性状的正态性检验

根据3个群体不同分离世代的正态性检验结果(表6),只有株高在群体1的 F_2 和 $F_{2.3}$ 的峰度系数均大于1,群体2的 F_2 代偏度系数和峰度系数均大于1,不符合正态分布的特征。除此之外,其他性状在不同

群体的不同世代中偏度系数和峰度系数的绝对值均小于1,符合正态分布。穗上叶片数在 F_2 分离世代的分布(图1)及正态Q-Q图也表明了该性状在不同群体中均符合正态分布。由此可知,玉米穗上叶片数是受多基因控制的数量性状。

表6 不同群体分离世代各性状的正态性检验
Table 6 The normal test of each trait for segregation generations of different populations

群 体 Population	世 代 Generation	穗上叶片数 LAE		株 高 PH		穗位高 EH		穗高系数 COEH	
		偏度系数	峰度系数	偏度系数	峰度系数	偏度系数	峰度系数	偏度系数	峰度系数
		Skewness	Kurtosis	Skewness	Kurtosis	Skewness	Kurtosis	Skewness	Kurtosis
群体1	F_2	0.04	-0.01	-0.73	1.10	-0.37	0.56	-0.16	0.83
群体2	F_2	-0.24	0.32	-1.28	3.00	-0.50	0.12	-0.25	1.18
群体3	F_2	-0.16	0.19	-0.22	0.20	-0.13	0.15	-0.23	0.23
群体1	$F_{2.3}$	0.22	0.32	-0.92	2.14	0.02	0.27	0.30	-0.07
群体2	$F_{2.3}$	0.21	0.43	-0.87	0.80	-0.33	-0.01	0.06	-0.22

2.5 株型相关性状的相关分析与遗传力估算

对3个群体材料的不同分离世代分别进行株型性状相关分析(表7),结果表明,穗位高与株高和穗高系数均呈极显著正相关,株高与穗高系数在不同群体的不同世代中相关性不尽一致,在群体2的 F_2 中呈显著负相关($r=-0.13$),在群体1的 $F_{2.3}$ 中为显著的正相关($r=0.29$),在其他群体中相关性均不显著,表明株高与穗位高存在同伸关系,但二者的同伸幅度不存在必然联系。穗上叶片数与株高表现出极显著的正相关,与穗高系数为极显著的负相关,与穗位高在群体1和群体3中均表现出显著或极显著的负

相关,在群体2中却表现出正相关。由此可知,随着穗上叶片数的增加,株高会随之增加,穗位高在不同遗传背景材料中表现不尽相同,但穗高系数均会降低。因此,通过增加穗上叶片数会减低整个植株的重心,有利于提高植株的抗倒伏能力。
从各性状的遗传力来看(表8),穗位高的平均遗传力最高,达78.05%;其次是株高和穗高系数,遗传力平均值分别为76.96%和69.74%;穗上叶片数的遗传力仅为62.43%,由此可知穗上叶片数易受环境因素的影响,宜在分离的较晚世代选择更为有效。

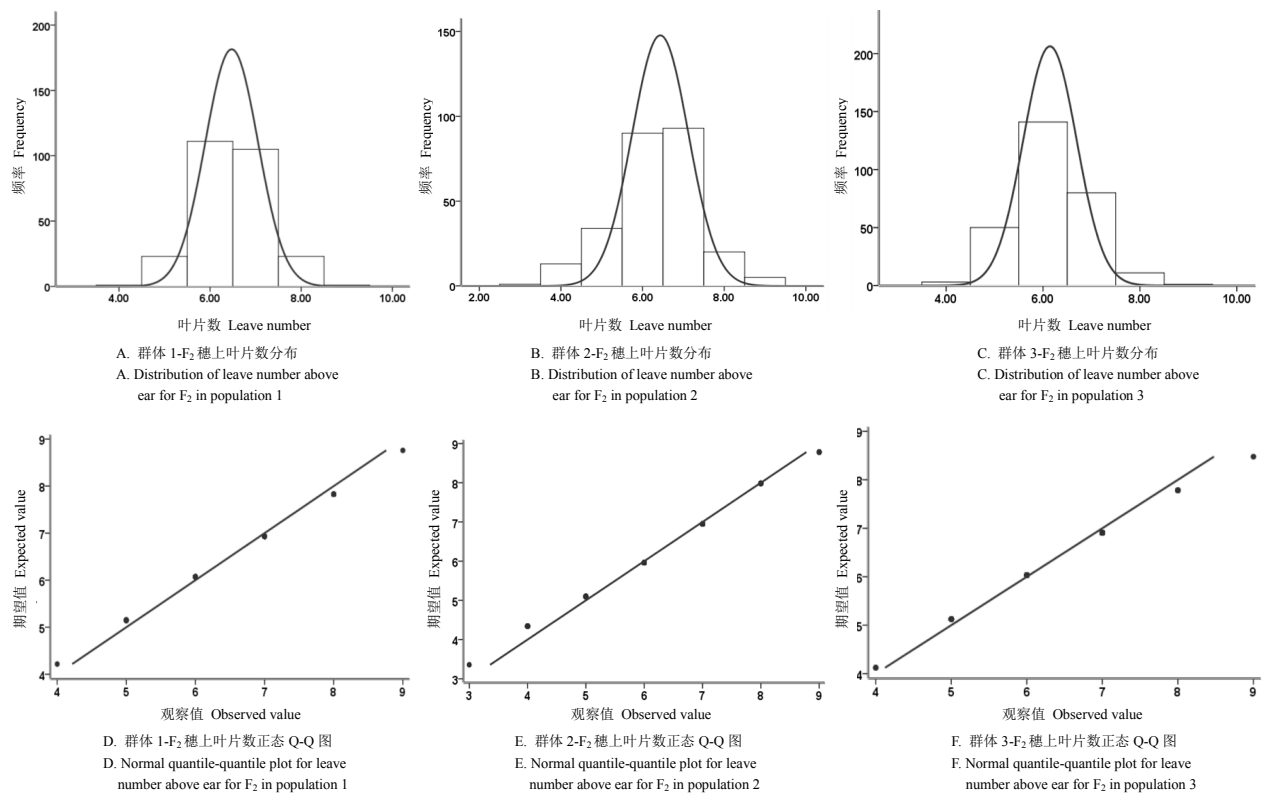


图1 不同分离群体穗上叶片数分布及正态Q-Q图

Fig.1 The distribution and Q-Q plot of leaves number above ear in different segregation populations

表7 各群体不同世代性状相关性分析

Table 7 The correlation analysis between traits of generations in different population

群 体 Population	世 代 Generation	性 状 Trait	穗上叶片数 LAE	株 高 PH	穗位高 EH	穗高系数 COEH
群体1	F ₂	穗上叶片数	1			
		株高	0.18**	1		
		穗位高	-0.23**	0.65**	1	
		穗高系数	-0.44**	0.06	0.79**	1
群体2	F ₂	穗上叶片数	1			
		株高	0.52**	1		
		穗位高	0.22**	0.66**	1	
		穗高系数	-0.18**	-0.13*	0.64**	1
群体3	F ₂	穗上叶片数	1			
		株高	0.23**	1		
		穗位高	-0.13*	0.61**	1	
		穗高系数	-0.34**	-0.04	0.77**	1
群体1	F _{2.3}	穗上叶片数	1			
		株高	0.26**	1		
		穗位高	-0.17*	0.73**	1	
		穗高系数	-0.43**	0.29**	0.86**	1
群体2	F _{2.3}	穗上叶片数	1			
		株高	0.62**	1		
		穗位高	0.12	0.70**	1	
		穗高系数	-0.35**	0.12	0.79**	1

表8 各群体性状的广义遗传力
Table 8 The heritability in board sense of traits in different population

性状 Trait	群体 Popolation	V_{P_1}	V_{P_2}	V_{F_1}	V_{F_2}	$V_{F_2} - V_E$	V_E	$H_B^2(\%)$
穗上叶片数	群体1	0.10	0.57	0.23	0.65	0.36	0.28	56.09
	群体2	0.10	0.57	0.18	1.12	0.86	0.26	77.08
	群体3	0.10	0.57	0.27	0.65	0.35	0.30	54.11
	均值	0.10	0.57	0.23	0.81	0.53	0.28	62.43
株高	群体1	88.89	202.74	14.77	398.08	317.79	80.29	79.83
	群体2	39.54	202.74	74.04	636.98	539.39	97.59	84.68
	群体3	54.30	202.74	113.79	360.17	239.01	121.15	66.36
	均值	60.91	202.74	67.53	465.08	365.40	99.68	76.96
穗位高	群体1	31.61	19.24	32.23	142.74	113.91	28.83	79.80
	群体2	28.36	19.24	46.62	151.20	115.99	35.21	76.71
	群体3	29.91	19.24	40.68	145.91	113.28	32.63	77.64
	均值	29.96	19.24	39.84	146.62	114.40	32.22	78.05
穗高系数	群体1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.17
	群体2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70.51
	群体3	20.30	67.58	22.51	155.03	121.80	33.23	71.55
	均值	6.77	22.53	7.50	51.68	40.60	11.08	69.74

3 结论与讨论

自 Shaver 于 1983 年最早提出显性基因 *Lfy* 可增加玉米穗上叶片数以来,国内外学者对该性状进行了相关研究,大多数研究结果表明,该性状由多个基因控制,且呈现偏高亲遗传,并利用多叶自交系组配出了生物学产量较高的杂交种^[15-17]。本研究通过发现穗上多叶性状的材料,以之为亲本组配了3个不同的遗传群体,不同世代的分析结果表明,杂种F₁的穗上叶片数介于双亲之间,整体略高于中亲值,无明显杂种优势,呈现不完全显性遗传;株高、穗位高和穗高系数均呈现超高亲遗传,表现出较强的杂种优势;在后代分离群体中,穗上叶片数符合正态分布,表现典型的数量性状遗传特征,这与前人研究结果相似。因此,自交系LY-1可作为玉米株型改良和穗上多叶型品种选育的种质资源。

为了评价玉米的抗倒伏能力,有学者提出了以穗高系数作为一个重要的衡量指标。一些研究表明,穗高系数与产量和抗倒伏能力呈显著的相关性^[18-22]。因此,对于同一材料而言,增加穗上叶片数,可降低穗位相对高度和植株的重心,有利于提高抗倒伏能力。本研究表明,3个群体材料不同世代穗上叶片数与穗高系数呈极显著的负相关,株高与穗上叶片数、穗位高以及穗位高与穗高系数均呈极显著正相关。但穗上叶片数与穗位高在3个群体中

表现不尽一致,在群体1和群体3中均呈现出显著的负相关,在群体2的F₂和F_{2.3}中却表现出显著或不显著的正相关,这表明增加穗上叶片数只能降低穗位高的相对值而不是绝对值,在不同材料中降低的程度不尽一致。Tang^[23]研究结果表明,节间长度比节间数对玉米株高的贡献更大。也有研究认为,节间数与株高、穗位高和穗高系数并没有显著的相关性^[24]。因此,在育种过程中除了进行穗上叶片数和节间数选择外,还要注重节间长的选择。

本研究对3个群体后代的穗上叶片数、株高、穗位高以及穗高系数等4个性状的研究结果表明,株高和穗位高的遗传力较高,平均值均在75%以上;其次是穗高系数;穗上叶片数的遗传力较低,仅为62.43%,说明该性状受环境影响较大,尤其是在玉米由营养生长阶段向生殖生长阶段转化过程中遇到高温干旱等异常气候条件,将会影响到雌穗的形成和生长发育,从而影响穗上叶片数,严重时甚至引起植株空秆。关于穗上叶片数的分子机制,张勇等^[26]研究发现,在穗上多叶自交系Y53(14L)中有13 bp的重复序列造成ORF的改变,从而引起转录因子结合靶基因的功能失活,造成玉米营养阶段延迟,从而引起穗上叶片数增多。本研究中所利用的穗上多叶突变体的遗传机制尚有待于进一步研究。

参考文献:

[1] Muirhead R C J, Shaver D L. Genetic factor capable of altering leaf

- number and distribution in maize: US, 4513532[P]. 1985-04-30.
- [2] Subedi K D, Ma B L. Ear position, leaf area, and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids[J]. *Crop Science*, 2005, 45: 2246-2257.
 - [3] 李长文, 刘秀荣, 杨 粤. 多叶型玉米选育进展[J]. *玉米科学*, 1993, 1(3): 4-6.
Li C W, Liu X Y, Yang Y. Progress of leafy maize breeding[J]. *Journal of Maize Sciences*, 1993, 1(3): 4-6. (in Chinese)
 - [4] Modarres A M, Hamilton R I, Dwyer L M, et al. leafy reduced-stature maize for short-season environments: Yield and yield components of inbred lines[J]. *Euphytica*, 1997, 97: 129-138.
 - [5] Begna S H, Hamilton R I, Dwyer D W, et al. Effects of population density on the vegetative growth of leafy reduced stature maize in short season areas[J]. *J. Agronomy and Crop Science*, 1999, 182: 49-55.
 - [6] 柯德玉, 张亚田, 刘晓广. 玉米多叶基因的遗传规律及其利用价值初探[J]. *现代农业*, 1996(7): 21-22.
Ke D Y, Zhang Y T, Liu X G. Primary discussion of genetic law of leafy gene and its utilization value in maize[J]. *Modern Agriculture*, 1996(7): 21-22. (in Chinese)
 - [7] Andrews C J, Dwyer L M, Stewart D W, et al. Distribution of carbohydrate during grainfill in Leafy and normal maize hybrids[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2000, 80(1): 87-95.
 - [8] Du X M, Linghu J J, Shang H J, et al. Fine mapping of leafy, a dominant mutant conferring extra leaves above the ear in maize[J]. *Euphytica*, 2015, 206: 49-56.
 - [9] Oishi H, Cai H W, Saruwatari Y. Effect of *lfy1* gene on some characteristics of an inbred line and hybrids[C]. 51st Maize genetics conference, 2009.
 - [10] Cui M, Jia B, Liu H H, et al. Genetic mapping of the leaf number above the primary ear and its relationship with plant height and flowering time in maize[J]. *Front. Plant Sci.*, 2017, 8: 1437, doi: 10.3389/fpls.2017.01437.
 - [11] Li D, Wang X F, Zhang X B, et al. The genetic architecture of leaf number and its genetic relationship to flowering time in maize[J]. *The New Phytologist*, 2016, 210(1): 256-268.
 - [12] 陈梨辉. 玉米多叶性状基因 *Lfy* 的定位研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2007.
 - [13] 王益军, 邓德祥, 卞云龙. 多叶型玉米研究进展[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(16): 129-133.
Wang Y J, Deng D X, Bian Y L. Progress in leafy maize research[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(16): 129-133. (in Chinese)
 - [14] 李贤唐, 丁俊强, 王瑞霞, 等. 玉米株型相关性状的QTL定位与分析[J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(2): 21-25.
Li X T, Ding J Q, Wang R X, et al. QTL mapping and analysis of maize plant type-related traits[J]. *Jiangsu Agriculture Science*, 2011, 39(2): 21-25. (in Chinese)
 - [15] Shaver D L. genetics and breeding of maize with extra leaves above the ear[C]. Proceedings of the 38th Annual Corn and Sorghum Research Conference, 1983: 161-180.
 - [16] 许 诚, 王 彬, 毛克举, 等. 利用单片段代换系群体定位玉米株型性状QTL[J]. *玉米科学*, 2014, 22(2): 28-34.
Xu C, Wang B, Mao K J, et al. QTL mapping for plant-type related traits using single segment substitution lines in maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2014, 22(2): 28-34. (in Chinese)
 - [17] 蒋守华, 邓德祥, 刘葛山, 等. 多叶玉米主要性状杂种优势及配合力分析[J]. *天津农学院学报*, 2009, 16(4): 21-26.
Jiang S H, Deng D X, Liu G S, et al. Study on heterosis and combining ability for major characters of leafy maize[J]. *Journal of Tianjin Agricultural University*, 2009, 16(4): 21-26. (in Chinese)
 - [18] 付志远, 邵可可, 陈德芝, 等. 穗上节间数与玉米抗倒伏能力的相关性分析[J]. *河南农业大学学报*, 2011, 45(2): 149-154.
Fu Z Y, Shao K K, Chen D Z, et al. Correlation analysis of the internode number above ear and lodging resistance in maize[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2011, 45(2): 149-154. (in Chinese)
 - [19] 汤国民, 龙丽萍, 夏德君, 等. 玉米穗高系数对产量性状的影响[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2002, 19(2): 95-97.
Tang G M, Long L P, Xia D J, et al. Effect of the spike position height coefficient on yield characteristics in maize[J]. *Journal of Qingdao Agricultural University*, 2002, 19(2): 95-97. (in Chinese)
 - [20] 闫洪奎, 李 娜, 郭志友, 等. 玉米株高及叶片的相关性[J]. *延边大学农学学报*, 2002, 24(4): 254-256.
Yan H K, Li N, Guo Z Y, et al. The correlation of plant height and leave number in maize[J]. *Agricultural Science Journal of Yanbian University*, 2002, 24(4): 254-256. (in Chinese)
 - [21] 李 宁, 李建民, 翟志席, 等. 化控技术对玉米植株抗倒伏性状、农艺性状及产量的影响[J]. *玉米科学*, 2010, 18(6): 38-42.
Li N, Li J M, Zhai Z X, et al. Effects of chemical regulator on the lodging resistance traits, agricultural characters and yield of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2010, 18(6): 38-42. (in Chinese)
 - [22] 刘 鑫, 谢瑞芝, 牛兴奎, 等. 种植密度对东北地区不同年代玉米生产主推品种抗倒伏性能的影响[J]. *作物杂志*, 2012(5): 126-130.
Liu X, Xie R Z, Niu X K, et al. Effects of planting density on lodging resistance performance of maize varieties of different eras in north-east China[J]. *Crops*, 2012(5): 126-130. (in Chinese)
 - [23] Tang J H, Teng W T, Yan J B, et al. Genetic dissection of plant height by molecular markers using a population of recombinant inbred lines in maize[J]. *Euphytica*, 2007, 155: 117-124.
 - [24] 司书丽, 刘晓萍, 谢 虹, 等. 玉米杂交组合及其亲本的株型性状分析[J]. *华北农学报*, 2009, 24(增刊): 57-61.
Si S L, Liu X P, Xie H, et al. Plant-type traits analysis of maize hybrids and their parents[J]. *Aata Agriculturae Boreali Sinica*, 2009, 24(S): 57-61. (in Chinese)
 - [25] 宋凤斌, 戴俊英, 黄国坤. 水分胁迫对玉米雌穗的伤害作用[J]. *吉林农业大学学报*, 1996, 18(4): 1-6.
Song F B, Dai J Y, Huang G K. The damage effect of water stress at booming stage on female inflorescence of maize[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1996, 18(4): 1-6. (in Chinese)
 - [26] 张 勇, 邓德祥, 陈梨辉, 等. 玉米 *LFY* 同源基因 *ZFLI* 与多叶性状的相关性[J]. *江苏农业学报*, 2006, 22(4): 362-368.
Zhang Y, Deng D X, Chen L H, et al. The correlation between leafy trait and homologous gene *ZFLI* of *LFY* in maize (*Zea mays* L.)[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2006, 22(4): 362-368. (in Chinese)

(责任编辑: 朴红梅)