



10个糯玉米自交系穗部性状配合力及其遗传特性分析

宋旭东, 黄小兰, 张振良, 冒宇翔, 陆虎华, 周广飞, 陈国清, 郝德荣, 胡加如, 石明亮*

(江苏沿江地区农业科学研究所, 江苏如皋 226541)

摘要:【目的】分析10个糯玉米自交系的穗部性状配合力及其遗传特性,为高效利用亲本材料选育穗部性状优良的糯玉米品种提供理论依据。【方法】按不完全双列杂交设计(NC II),以10个糯玉米自交系为被测系(A1~A10)与5个测验种(B1~B5)组配50个杂交组合,通过春播和秋播2次试验,调查F₁代穗部性状(穗长、穗粗、秃尖长、穗行数和行粒数)的一般配合力(GCA)、特殊配合力(SCA)、广义遗传力和狭义遗传力。【结果】50个杂交组合穗部性状春播平均值均大于秋播平均值。秋播穗部性状(除穗行数外)的变异系数大于春播,春播和秋播中秃尖长的变异系数均最大,约50.0%,而其余性状的变异系数均在10.0%左右。综合春播和秋播2次试验,A3(T2)、A4(JS0381)和A6(S181)穗长、穗粗、行粒数和穗行数的GCA表现为较高正向效应,秃尖长表现为负向效应,综合表现较好,以其组配的杂交组合A6×B3(S181×JN2-8)、A6×B5(S181×RJ)、A6×B2(S181×W150)、A4×B5(JS0381×RJ)和A3×B5(T2×RJ)的多数穗部性状SCA也较高,且SCA效应值排名前10位,是强优势组合。春播和秋播中穗长和穗粗GCA方差均较高(>80.0%),且远高于SCA方差,秃尖长和行粒数GCA和SCA方差相近;穗长、秃尖长和穗行数的广义遗传力和狭义遗传力均较大(>54.0%),穗粗和行粒数的广义遗传力和狭义遗传力均较小(<45.0%)。【结论】S181、T2和JS0381综合表现较好,具有较大的育种潜力,易组配出穗部性状优良的杂交组合,可在育种实践中重点利用。穗长、秃尖长和穗行数可进行早代选择,而穗粗和行粒数宜晚代选择。

关键词: 糯玉米; 自交系; 穗部性状; 配合力; 遗传特性

中图分类号: S513.035.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2020)10-2447-07

Combining ability for ear traits of ten waxy maize inbred lines

SONG Xu-dong, HUANG Xiao-lan, ZHANG Zhen-liang, MAO Yu-xiang, LU Hu-hua, ZHOU Guang-fei, CHEN Guo-qing, HAO De-rong, HU Jia-ru, SHI Ming-liang*

(Yanjiang Institute of Agricultural Science, Rugao, Jiangsu 226541, China)

Abstract: 【Objective】 Estimation of combining ability and genetic characteristics for ear traits of ten waxy maize could help to use parent materials efficiently and provide theoretical guidance for selecting waxy maize varieties with good ear traits. 【Method】 Ten elite tested waxy lines (A1-A10) were tested lines, and they were hybridized following incomplete diallel cross experiment design (NC II) with five inbred lines as testers (B1-B5). The fifty hybrid combinations were sown in spring and autumn to evaluate their general combining ability (GCA), special combining ability (SCA), broad-sense heritability (BSH) and narrow-sense heritability (NSH) of ear length (EL), ear width (EW), tip-barren length (TBL), kernel row number (KRN) and kernel number per row (KNR) of F₁ generation ear traits. 【Result】 The means of ear traits in spring sowing (SS) for 50 combinations were higher than in autumn sowing (AS). The coefficient of variation of ear traits (except KRN) were higher in AS than in SS, and the highest value (nearly 50.0%) was in TBL but the others were about 10.0%. According to the results in spring sowing (SS) and autumn sowing (AS), the GCA of EL, EW, KRN and KNR for inbred lines A3 (T2), A4 (JS0381) and A6 (S181) had high positive effects, and ETL had negative effects, which suggested that they had better performance than others. The SCA for most of ear parameters in cross combinations using these elite inbred lines were higher, such as A6×B3 (S181×JN2-8), A6×B5 (S181×RJ), A6×B2 (S181×W150), A4×B5 (JS0381×RJ) and A3×B5 (T2×RJ), which ranked among the top 10 in all combinations and were considered as strong

收稿日期: 2020-01-03

基金项目: 江苏省重点研发计划项目(BE2018325);南通市基础科学研究计划项目(JC2019149);南通市科技计划项目(JC2018155);江苏沿江地区农业科学研究所青年科技发展基金项目(YG2019002)

作者简介: *为通讯作者,石明亮(1965-),博士,研究员,主要从事玉米育种研究工作, E-mail: 1354638517@qq.com。宋旭东(1992-),主要从事玉米育种研究工作, E-mail: Xudong.song@foxmail.com

dominance combinations. The GCA variance of EL and EW (>80.0%) were high in spring sowing (SS) and autumn sowing, and were greatly higher than SCA variance, and the GCA variance of TBL and KNR were similar with the values of SCA variance. Based on genetic characteristics, EL, TBL and KRN showed high BSH and NSH (>54.0%), and EW and KNR showed lower BSH and NSH (<45.0%). 【Conclusion】The inbred lines S181, T2 and JS0381 performance is fine, and they have strong breeding potential, which can easily produce hybridized combination with good ear traits, and can be utilize in breeding practices. EL, TBL and KRN should be selected in early generation and EW and KNR should be selected in late generation.

Key word: waxy maize; inbred lines; ear characteristics; combining ability; genetic characters

Foundation item: Jiangsu Key Research and Development Project (BE2018325); Nantong Basic Science Project (JC2019149); Nantong Science and Technology Project (JC2018155); Youth Foundation of Yanjiang Institute of Agricultural Science (YG2019002)

0 引言

【研究意义】糯玉米(*Zea mays* L. *certina kulesht*) 又称蜡质玉米或粘玉米,因受隐性wx基因控制,其籽粒由支链淀粉组成(张欣等,2000)。糯玉米营养丰富、风味独特、适口性好,深受消费者青睐,市场需求激增,产业发展前景广阔,种植面积逐年扩大(赵文明等,2016)。目前,糯玉米作为鲜食型玉米直接上市,除追求高产之外,其外观品质即穗部性状也是决定糯玉米经济价值的重要因素之一,故育种工作应特别注重这些关键性状的选择。优良自交系是组配优异糯玉米杂交种的基础,能否选育出优良自交系是糯玉米新品种选育所面临的最重要问题(王婵,2016;卢秉生等,2017;张振良等2019)。配合力测试是指导玉米杂交组合选配必不可少的手段(栾天宇等,2018),因此,开展糯玉米自交系穗部性状配合力分析及评价研究,对高效选育穗部性状优良的自交系及强优势组合具有重要意义。【前人研究进展】目前,有关普通玉米自交系株型、产量性状及抗病性等方面配合力的研究较多(欧杨虹等,2016;吴雯雯等,2016;Aslam等,2017;蒙成和吴雅芳,2018;姚文华等,2019),但对于糯玉米,主要集中在产量和食味性状等方面(童川拉等,2001;田树云等,2012;张振良等,2017),对其穗部性状配合力的研究相对较少。翟广谦等(2003)采用不完全双列杂交设计(NC II)对糯玉米自交系的产量性状进行配合力分析,结果发现一般配合力(GCA)高的自交系不一定组配出特殊配合力(SCA)高的杂交组合,而SCA高的杂交组合一定有GCA高的亲本。段明禹等(2016)对9个不同来源的糯玉米自交系进行配合力分析,结果发现其中5个糯玉米自交系产量配合力较高,利用其组配出产量较高的杂交组合可能性较大。张振良等(2017)研究发现,不同糯玉米自交系同性状的GCA效应值差异很大,同一自交系不同性状的GCA效应值也有明显差异。【本研究切入点】综上所述,通过自交系配合力分析可筛选出配合力高、目标性状

优良的自交系,以其组配出高产优质杂交品种,但目前有关糯玉米穗部性状配合力及其遗传特性的研究鲜见报道。【拟解决的关键问题】对10个糯玉米自交系的穗部性状配合力及其遗传特性进行分析,评价其育种潜力,以期为高效利用这些亲本材料选育出穗部性状优良的自交系及强优势组合提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试材料为15个糯玉米自交系,其中包括10个被测系(A1~A10)和5个测验种(B1~B5),其系谱来源见表1。

1.2 试验设计及性状调查

2014年冬季在海南利用10个被测系与5个测验种按NC II 遗传交配设计组配50个杂交组合,2015年春季和秋季将其种植于江苏沿江地区农业科学研究所,按照随机区组设计种植6行,行距0.6 m,种植密度为52500株/ha,设2次重复,田周边设保护行。试验地为砂壤土,田间管理和施肥水平同当地常规管理,春播与秋播试验设计相同。糯玉米鲜穗收获时间为授粉后22~25 d,授粉后28 d在各小区取中间2行果穗,测定其穗长、穗粗、秃尖长、穗行数和行粒数。

1.3 统计分析

以小区平均数为基础,利用DPS 7.05对试验数据进行方差分析。对组间差异显著的性状利用不完全双列杂交模型进行配合力分析。

2 结果与分析

2.1 杂交组合的穗部性状分析结果

对50个杂交组合春播和秋播穗部性状进行统计分析,结果(表2)显示,5个穗部性状的春播平均值均大于秋播平均值,说明穗部性状春播优于秋播;秋播穗部性状(除穗行数外)的变异系数均大于春播,说明春播穗部性状的稳定性较秋播强;在5个穗部性状中,春播和秋播中秃尖长的变异系数均最大,约50.0%,而其余性状的变异系数均在10.0%左右,说明秃尖长易

表 1 供试材料名称及来源

Table 1 Tested materials and source

| 材料 Material | 编号 No. | 名称 Name | 系谱来源 Pedigree source | 来源 Source |
|--------------------------------------|-----------|------------|-------------------------|---------------|
| 被测系(A) Tested inbred lines | A1 | JS0601 | 苏科糯5号父本 | 江苏省农业科学院 |
| | A2 | S81301F | 苏科糯10号父本 | 江苏省农业科学院 |
| | A3 | T2 | 泰国热带种质为主体小群体材料 | 江苏沿江地区农业科学研究所 |
| | A4 | JS0381 | 苏科糯2号母本 | 江苏省农业科学院 |
| | A5 | 京糯8 | 京甜紫花糯2号父本 | 中国农业科学院 |
| | A6 | S181 | 渝糯系列品种父本 | 重庆市农业科学院 |
| | A7 | JS0581 | 苏科糯3号母本 | 江苏省农业科学院 |
| | A8 | S81301M | 苏科糯10号母本 | 江苏省农业科学院 |
| | A9 | H9822 | 京甜紫花糯2号母本 | 中国农业科学院 |
| | A10 | ZHW | 南通地方品种 | 江苏沿江地区农业科学研究所 |
| 测验种(B) Commonly used inbred lines | B1 | W448 | 菲律宾甜玉米杂交选系和衡白522杂交选系 | 江苏沿江地区农业科学研究所 |
| | B2 | W150 | 苏玉糯10号母本 | 江苏省农业科学院 |
| | B3 | JN2-8 | 选自含湖北神农架种质的综合种的高配合力种质 | 江苏沿江地区农业科学研究所 |
| | B4 | BN2RH | 京科糯2000父本和热带甜玉米与衡白522选系 | 江苏沿江地区农业科学研究所 |
| | B5 | RJ | 选自金城花糯及其他糯玉米杂交种的混粉材料 | 江苏沿江地区农业科学研究所 |

表 2 50个糯玉米杂交组合的穗部性状测定结果

Table 2 Basic statistics of ear traits for 50 waxy maize cross combinations in spring sowing(SS) and autumn sowing(AS)

| 性状 Trait | 春播 Spring sowing | | | | 秋播 Autumn sowing | | | |
|---------------------------|------------------------------|------------|-----------|---------------|------------------------------|------------|-----------|---------------|
| | 变幅 Amplitude of variation | 均值 Mean | 标准差 SD | 变异系数(%) CV | 变幅 Amplitude of variation | 均值 Mean | 标准差 SD | 变异系数(%) CV |
| 穗长 Ear length | 11.3~18.5 | 15.4 | 1.47 | 9.3 | 10.1~17.6 | 13.6 | 1.26 | 10.0 |
| 穗粗 Ear width | 3.5~4.9 | 4.33 | 0.24 | 4.6 | 3.5~4.8 | 4.31 | 0.20 | 5.5 |
| 秃尖长 Tip-barren length | 0~2.6 | 1.15 | 0.60 | 48.4 | 0~2.7 | 1.22 | 0.59 | 51.7 |
| 穗行数 Ear row number | 19.4~43.0 | 32.2 | 3.82 | 10.1 | 18.4~42.7 | 31.6 | 3.21 | 11.8 |
| 行粒数 Kernel number per row | 10.0~17.0 | 13.5 | 1.10 | 10.0 | 9.3~15.5 | 12.7 | 1.31 | 8.1 |

受环境影响,遗传改良潜力最大;穗粗的变异系数均最小,说明其受环境影响较小,遗传改良潜力最小。

2.2 配合力方差分析结果

对50个杂交组合穗部性状进行配合力方差分析,结果如表3所示。5个穗部性状区组间差异均不显著($P>0.05$,下同),说明试验设计合理,田间地块肥力均匀;组合间差异达极显著水平($P<0.01$,下同),表明5个穗部性状在杂交组合间遗传差异真实存在;除A(被测系)的秃尖长GCA(春播和秋播)和穗行数GCA(秋播)及A×B(被测系×测验种)的穗长SCA(春播)差异未达显著水平外,其他性状的GCA

和SCA差异均达显著($P<0.05$)或极显著水平,表明多数穗部性状的GCA和SCA在亲本和杂交组合间存在真实差异。

2.3 GCA效应分析结果

GCA是指某一亲本自交系与其他若干个亲本杂交后,杂交后代在某个数量性状上的平均值,取决于基因的加性效应,可遗传给后代。从表4可知,同一性状不同亲本间的GCA效应值差异较大。对穗长来说,自交系A3、A4和A6在春播和秋播中表现出较高正向效应,表明利用其易组配出果穗较长的杂交组合,而自交系A1、A8和A9在春播和秋播中表现出

表 3 糯玉米穗部性状配合力分析结果

Table 3 Combining ability for ear traits in waxy maize

| 播种期 Sowing date | 变异来源 Variation source | 自由度 df | 穗长 Ear length | 穗粗 Ear weight | 秃尖长 Tip-barren length | 穗行数 Ear row number | 行粒数 Kernel number per row |
|---------------------|--------------------------|-----------|------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 春播 Spring sowing | 区组间 | 1 | 33.5 | 7.30 | 1.79 | 0.27 | 19.9 |
| | 组合间 | 49 | 3.99** | 3.34** | 3.37** | 4.16** | 2.56** |
| | GCA(A) | 4 | 10.71** | 1.79** | 0.89 | 7.31** | 3.70* |
| | GCA(B) | 9 | 7.72** | 10.70** | 4.39** | 7.82** | 2.01* |
| | SCA(A×B) | 36 | 1.32 | 1.18* | 2.09** | 1.50* | 1.82* |
| 秋播 Autumn sowing | 区组 | 1 | 35.82 | 72.11 | 0.58 | 4.79 | 7.79 |
| | 组合 | 49 | 5.63** | 1.78* | 6.92** | 3.07** | 4.39** |
| | GCA(A) | 4 | 12.33** | 33.72** | 0.33 | 0.69 | 5.04** |
| | GCA(B) | 9 | 6.90** | 1.97* | 3.73** | 2.38* | 1.39* |
| | SCA(A×B) | 36 | 1.87* | 0.46* | 4.78** | 2.50** | 3.14** |

*和**分别表示差异显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)

* indicated significant difference($P<0.05$), and ** indicated extremely significant difference($P<0.01$)

表4 10个被测系穗部性状GCA效应值

Table 4 Analysis of general combining ability(GCA) effect for ear traits of ten tested lines

| 被测系 Tested line | 春播 Spring sowing | | | | | 秋播 Autumn sowing | | | | |
|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| | 穗长 Ear length | 穗粗 Ear length | 秃尖长 Tip-barren length | 穗行数 Ear row number | 行粒数 Kernel number per row | 穗长 Ear length | 穗粗 Ear length | 秃尖长 Tip-barren length | 穗行数 Ear row number | 行粒数 Kernel number per row |
| A1 | -6.88 | 0.61 | -27.72 | 6.78 | 0.09 | -7.63 | -2.11 | -25.08 | 4.42 | 0.36 |
| A2 | -1.31 | -2.62 | -28.33 | -3.43 | -2.62 | -0.40 | -0.97 | -20.81 | -2.28 | -4.58 |
| A3 | 9.99 | 4.60 | 17.63 | -0.03 | 3.45 | 2.78 | -0.18 | -31.08 | -0.47 | 3.01 |
| A4 | 5.89 | 3.45 | -22.36 | 0.03 | 7.06 | 6.10 | 0.74 | -14.36 | -0.08 | 4.37 |
| A5 | -1.30 | 1.21 | 25.51 | -0.91 | 2.80 | -0.68 | 0.33 | 23.59 | 0.24 | 1.46 |
| A6 | 7.70 | 6.61 | -1.84 | 9.63 | 4.01 | 10.69 | 1.10 | 7.06 | 4.89 | 4.32 |
| A7 | -2.68 | -2.92 | 46.02 | -7.80 | -11.86 | -1.15 | 0.37 | 50.35 | -5.38 | -8.73 |
| A8 | -3.63 | -0.54 | -15.78 | 3.62 | 0.07 | -3.20 | 0.39 | -8.97 | 2.62 | 0.77 |
| A9 | -8.12 | -3.36 | -45.64 | -0.77 | -1.33 | -7.44 | 0.73 | -34.69 | -0.08 | -0.39 |
| A10 | 0.33 | -7.03 | 52.51 | -7.12 | -1.66 | 0.92 | -0.39 | 54.00 | -3.89 | -0.59 |

较高负向效应,表明利用其易组配出果穗较短的杂交组合。秃尖长是玉米果穗穗部性状的不良性状,其GCA为负向效应的自交系优于GCA为正向效应的自交系,究其原因是负向效应可能会降低后代秃尖长,而正向效应可能会增加后代秃尖长,从而降低果穗外观品质和商品品质。由于自交系A1、A2和A9秃尖长在春播和秋播中均表现出较高负向效应,因此,利用其配制杂交组合可能会不同程度地缩短后代的秃尖长。自交系A4、A5和A6的穗粗在春播和秋播均表现出正向效应,利用其易组配出果穗较粗的杂交组合。对于穗行数和行粒数,A1、A6和A8在春播和秋播均表现出正向效应,可利用其易组配出穗行数和行粒数较多的杂交组合。

2.4 SCA效应分析结果

SCA是指杂交组合F₁代性状表现与亲本的GCA预测值之差,由基因的非加性效应(显性和上位性效应)决定,受环境影响较大,不能稳定遗传给下一代,但可为杂交组合的选配提供依据。由于除秃尖长与果穗外观品质呈负相关外,其他4个穗部性状均与果穗外观品质呈正相关,因此穗长、穗粗、穗行数和行粒数SCA效应值越大,秃尖长SCA效应值越小,即杂交组合穗部性状表现优良。从50个杂交组合中选取至少有1个性状在春播和秋播中SCA效应排名前10位的杂交组合(表5),分析其穗部性状的SCA效应值,结果发现,同一性状在不同杂交组合间的SCA效应差异较大,同一杂交组合不同性状间SCA效应差异也较大,如A1×B1杂交组合秃尖长SCA效应值为负值,但其穗长和穗粗SCA效应值较小,说明该杂交组合果穗较短、较细,但秃尖较短;A4×B5杂交组合穗长、穗粗和行粒数SCA效应值均较大,秃尖长SCA效应值较小,位居前10位,但穗行数SCA效应值较小,说明该杂交组合果穗较长、较粗,秃尖较短,穗行数较少。

由表5可知,对于穗长,在春播和秋播中其SCA效应值均排名前10位的杂交组合为:A3×B5、A4×B5、A4×B3、A6×B5、A6×B3和A7×B4,其他部分杂交组合春播和秋播表现差异较明显,如A3×B2春播表现较好(效应值为10.3,排名第7位),但秋播较差(效应值为-4.5,排名第37位);A9×B3和A1×B1穗长SCA效应值均为负,表明这2个杂交组合果穗较短。对于穗粗,在春播和秋播中其SCA效应值均排名前10位的杂交组合为A6×B5和A6×B3,其他部分杂交组合春播和秋播表现差异较明显,A3×B5和A3×B2在春播中表现较好(效应值分别为5.0和6.1,排第9和6位),而在秋播中表现较差(效应值分别为-1.4和-2.2,排第33和36位)。对于秃尖长,秃尖长是玉米果穗穗部性状的不良性状,SCA负向效应越大,果穗的秃尖越短,SCA在春播和秋播负向效应排名前10位的组合为:A4×B5、A6×B3、A6×B2、A9×B3和A1×B1,说明这些杂交组合秃尖较短。对于穗行数,在春播和秋播中其SCA效应值均排名前10位的杂交组合为:A6×B5和A6×B2,在春播和秋播中SCA效应值均为正,分别位列第3和4,第5和10位,表明这2个组合的穗行数较多。对于行粒数,在春播和秋播中其SCA效应值均排名前10位且SCA效应值为正的杂交组合为:A4×B5、A7×B4和A3×B5,其他组合春播和秋播行粒数均排在10名以后。综上所述,A4×B5和A6×B3有4个穗部性状SCA效应值排名前10位,A3×B5、A6×B5和A6×B2有3个穗部性状SCA效应值排名前10位。

2.5 遗传参数分析结果

为进一步了解穗部性状的遗传特性,根据方差分析结果估算各性状的遗传参数。由表6可知,春播和秋播中穗长和穗粗GCA方差均较高(>80.0%),且远高于SCA方差,说明这2个性状在杂交后代中的表现主要受加性效应的影响,在组配杂交组合时,应选

表 5 50个糯玉米杂交组合穗部性状SCA效应值

Table 5 Analysis of special combining ability(SCA) effect for ear traits of 50 waxy maize cross combinations(CC)

| 杂交组合 CC | 春播 Spring sowing | | | | | | | | | |
|------------|------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| | 穗长 Ear length | | 穗粗 Ear width | | 秃尖长 Tip-barren length | | 穗行数 Ear row number | | 行粒数 Kernel number per row | |
| | 排名 Rank | 效应值 Effect size | 排名 Rank | 效应值 Effect size | 排名 Rank | 效应值 Effect size | 排名 Rank | 效应值 Effect size | 排名 Rank | 效应值 Effect size |
| A3×B5 | 1 | 20.7 | 9 | 5.0 | 34 | 21.6 | 44 | -7.9 | 10 | 8.8 |
| A4×B5 | 2 | 17.6 | 2 | 8.5 | 6 | -65.4 | 48 | -11.2 | 1 | 19.5 |
| A4×B3 | 4 | 14.9 | 20 | 1.3 | 27 | 0.0 | 18 | 2.4 | 5 | 11.6 |
| A6×B5 | 3 | 15.9 | 3 | 8.5 | 49 | 90.4 | 3 | 12.1 | 28 | -1.6 |
| A6×B3 | 5 | 11.9 | 5 | 6.2 | 8 | -37.7 | 2 | 12.5 | 19 | 3.1 |
| A3×B2 | 7 | 10.3 | 6 | 6.1 | 16 | -21.7 | 14 | 4.7 | 24 | 0.1 |
| A7×B4 | 8 | 9.6 | 34 | -2.1 | 42 | 47.1 | 50 | -23.0 | 4 | 11.8 |
| A5×B3 | 12 | 4.5 | 16 | 2.9 | 31 | 16.0 | 24 | 0.6 | 38 | -4.7 |
| A6×B2 | 22 | 2.2 | 1 | 11.0 | 9 | -33.4 | 5 | 9.5 | 8 | 9.6 |
| A9×B3 | 49 | -14.3 | 43 | -4.7 | 2 | -87.0 | 20 | 2.1 | 48 | -16.8 |
| A1×B1 | 47 | -13.7 | 27 | -1.2 | 1 | -100.0 | 8 | 6.6 | 29 | -2.2 |
| 杂交组合 CC | 秋播 Autumn sowing | | | | | | | | | |
| | 穗长 Ear length | | 穗粗 Ear width | | 秃尖长 Tip-barren length | | 穗行数 Ear row number | | 行粒数 Kernel number per row | |
| | 排名 Rank | 效应值 Effect size | 排名 Rank | 效应值 Effect size | 排名 Rank | 效应值 Effect size | 排名 Rank | 效应值 Effect size | 排名 Rank | 效应值 Effect size |
| A3×B5 | 6 | 10.8 | 33 | -1.4 | 2 | -91.8 | 7 | 3.8 | 10 | 7.1 |
| A4×B5 | 2 | 16.7 | 47 | -5.4 | 6 | -59.1 | 3 | 4.5 | 2 | 15.3 |
| A4×B3 | 3 | 16.3 | 30 | -1.4 | 28 | 2.7 | 30 | -0.4 | 11 | 6.8 |
| A6×B5 | 1 | 19.3 | 2 | 10.0 | 49 | 88.2 | 4 | 4.5 | 23 | 1.8 |
| A6×B3 | 5 | 13.1 | 4 | 6.5 | 9 | -28.8 | 27 | 0.0 | 24 | 1.4 |
| A3×B2 | 37 | -4.5 | 36 | -2.2 | 8 | -45.2 | 39 | -2.5 | 25 | 1.1 |
| A7×B4 | 7 | 10.6 | 50 | -20.7 | 42 | 43.2 | 13 | 1.6 | 1 | 19.6 |
| A5×B3 | 9 | 6.2 | 37 | -2.6 | 32 | 9.7 | 29 | -0.1 | 42 | -7.4 |
| A6×B2 | 17 | 3.4 | 13 | 2.9 | 10 | -24.7 | 10 | 2.2 | 13 | 5.7 |
| A9×B3 | 47 | -11.4 | 28 | -0.6 | 7 | -50.9 | 22 | 0.3 | 47 | -13.7 |
| A1×B1 | 50 | -18.2 | 24 | 0.2 | 1 | -100.0 | 50 | -6.6 | 33 | -2.9 |

表 6 糯玉米穗部性状的遗传参数

Table 6 Analysis of genetic parameters for waxy maize ear traits

| 性状 Trait | 春播 Spring sowing | | | | 秋播 Autumn sowing | | | |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|
| | GCA方差 GCA variance | SCA方差 SCA variance | 广义遗传力 (%) BSH | 狭义遗传力 (%) NSH | GCA方差 GCA variance | SCA方差 SCA variance | 广义遗传力 (%) BSH | 狭义遗传力 (%) NSH |
| | 穗长 Ear length | 90.5 | 9.5 | 62.8 | 56.9 | 83.2 | 18.8 | 72.2 |
| 穗粗 Ear width | 93.1 | 6.9 | 40.9 | 39.1 | 100.0 | 0 | 44.5 | 44.5 |
| 秃尖长 Tip-barren length | 56.6 | 43.4 | 56.6 | 55.5 | 40.8 | 59.1 | 59.2 | 56.1 |
| 穗行数 Ear row number | 85.6 | 14.4 | 63.7 | 54.4 | 31.4 | 68.6 | 62.3 | 56.5 |
| 行粒数 Kernel number per row | 51.1 | 48.9 | 35.7 | 23.3 | 41.3 | 58.7 | 44.6 | 26.7 |

用这些性状表现优良的自交系进行组配,以充分发挥其加性效应;秃尖长和行粒数GCA和SCA方差相近,表明这2个性状受加性基因和非加性基因共同作用;春播中穗行数GCA方差和SCA方差的差异较大,但秋播中GCA方差和SCA方差的差异较小,需进一步试验验证。此外,春播和秋播中,穗长、秃尖长和穗行数的广义遗传力和狭义遗传力较高(>54.0%),说明在选育和改良自交系时,这3个性状宜进行早代选择;穗粗和行粒数的广义遗传力和狭义遗传力均较小(<45.0%),说明二者受环境因素影响较大,在选育和改良自交系时宜进行晚代选择。

3 讨论

作物杂种优势普遍存在,其中玉米是最早利用杂种优势提高产量和改进品质的大田作物之一(李顺富,2011)。在玉米育种实践中,自交系配合力的测定已成为组配杂交组合必不可少的手段,其高低也是衡量玉米自交系优劣的重要指标之一(卢秉生等,2017;栾天宇等,2018)。其中,GCA反映自交系遗传传递能力的强弱。本研究对10个引自我国西南和华北地区的糯玉米自交系穗部性状配合力及遗传特性进行分析评价,结果发现穗部性状在不同季节表现略有差异,春播略优于秋播,其原因可能是供试

材料更适合本地春季气候;10个糯玉米自交系GCA存在明显差异,其中,A3(T2)、A4(JS0381)和A6(S181)的GCA效应值较高,综合表现较好,表明这3个自交系存在有利基因位点的频率高,是组配穗部性状优良杂交组合的理想亲本材料,其中,T2的穗长、穗粗和行粒数表现为较高的正向效应,而穗行数表现为负向效应,表明T2作为亲本可增加后代果穗穗长、穗粗和行粒数,但会小幅度降低穗行数;JS0381的穗长、穗粗和行粒数表现为正向效应,秃尖长表现为负向效应,表明JS0381可增加穗长、穗粗和行粒数,降低果穗秃尖长度;S181穗长、穗粗、穗行数和行粒数表现出较高的正向效应,表明S181作为亲本可增加后代果穗穗长、穗粗、穗行数和行粒数。A9(H9822)和A2(S81301F)综合表现最差,穗长、秃尖长、穗粗、穗行数和行粒数的GCA效应值均为负值,表明H9822和S81301F作为亲本虽然能降低秃尖长,但会减少后代果穗的穗长、穗粗、穗行数和行粒数,影响果穗穗部性状和外观品质。可见,没有一个自交系是完美的,在某个性状或某些性状上配合力较高,但在某些性状上的配合力较低,在育种实践中应根据育种目标进行合理组配以获得优异的杂交组合(于培洋,2013;贺囡囡等,2018)。本研究结果表明,相同亲本不同性状GCA效应差异明显,同一性状不同亲本GCA差异也很大,与李顺富(2011)、张振良等(2017)的研究结果一致。此外,有研究证实GCA较高的亲本,所组配的杂交组合SCA也较高(翟广谦等,2003)。本研究也发现,S181、T2和JS0381自交系的穗部性状GCA效应值较高,所配制的杂交组合A6×B3(S181×JN2-8)、A6×B5(S181×RJ)、A6×B2(S181×W150)、A4×B5(JS0381×RJ)和A3×B5(T2×RJ)的多数穗部性状SCA也较高,且SCA效应值排名前10位,表明这些杂交组合主要受基因的显性效应和上位性效应的影响,推测这3个自交系有利基因位点多,加性效应较强,优良性状传递能力也较强,组配的杂交组合是强优势组合,可在育种实践中重点利用。

变异系数是样本标准差和平均数的百分比,可用来比较样本的变异程度。孙祎振(2005)在研究糯玉米自交系农艺性状中发现,除穗粗和穗行数的变异系数较小外,其他性状变异系数较大,选择空间较大。本研究发现,在5个穗部性状中,春播和秋播秃尖长的变异系数均最大,约50.0%,其次是行粒数,说明二者的遗传改良潜力较大,有利于糯玉米外观和商品品质的改良,在以后的育种工作中应不断改良并培育优良重组类型。

在育种实践中,可根据遗传力确定育种过程中性状的选择世代(李顺富,2011;石明亮等,2016;张振良等,2017)。本研究中,穗长、秃尖长和穗行数的广义遗传力较大,以加性效应为主,遗传能力强,即这些性状可在早代进行选择,与李顺富(2011)在鲜食糯玉米自交系配合力及遗传参数分析的研究结果(即穗长和穗行数遗传以加性效应为主)基本一致。本研究还发现,穗粗和行粒数其广义遗传力和狭义遗传力相近,说明受加性效应和非加性效应共同作用,在选育自交系时,宜进行晚代选择。本研究在种植试验中发现部分性状遗传力较低的原因可能是受环境影响,也可能由供试材料引起,其原因是目前国内糯玉米种质资源相对匮乏,大多数自交系遗传背景相似,遗传基础狭窄,亲缘关系较近,致使遗传力效应偏低。遗传力反映性状遗传能力的高低,遗传力越高的性状,后代稳定遗传的可能性就越大,反之就越小。随着分子育种技术的进步,今后应分析糯玉米表型变异的遗传多样性,揭示其重要农艺性状形成的分子基础,可更有效地提高育种效率及产量和品质改良。

4 结论

S181、T2和JS0381综合表现较好,具有较大的育种潜力,易组配出穗部性状优良的杂交组合,可在育种实践中重点利用。穗长、秃尖长和穗行数可进行早代选择,而穗粗和行粒数宜晚代选择。

参考文献:

- 段明禹,舒中兵,罗希榕,陈浪,宋成孝. 2016. 9个糯玉米自交系产量及其主要产量性状的配合力分析[J]. 湖南农业科学, (9): 12-16. [Duan M Y, Shu Z B, Luo X R, Chen L, Song C X. 2016. Analysis on combining ability of yield and main yield characters of 9 waxy corn inbred lines[J]. Hunan Agricultural Sciences, (9): 12-16.]
- 贺囡囡,蒙云飞,韦桂旺,冯云敢,韦爱娟,张述宽. 2018. 8个糯玉米自交系11个农艺性状的配合力分析及其评价[J]. 江苏农业科学, 46(16): 76-80. [He N N, Meng Y F, Wei G W, Feng Y G, Wei A J, Zhang S K. 2018. Analysis and evaluation of combining ability of 11 agronomic traits of 8 waxy corn inbred lines[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 46(16): 76-80.]
- 李顺富. 2011. 鲜食糯玉米主要性状遗传与杂种优势利用研究[D]. 长春:吉林农业大学 [Li S F. 2011. Study on the inheritance of main traits and heterosis using in waxy corn [D]. Changchun: Jilin Agriculture University.]
- 卢秉生,高洪敏,姚永祥,白向历,陈增齐. 2017. 10个玉米自交系穗部性状的配合力和遗传参数分析[J]. 作物杂志, (2): 23-28. [Lu B S, Gao H M, Yao Y X, Bai X L, Chen Z Q. 2017. Combining ability and genetic parameters of

- ear characters of ten maize inbred lines[J]. *Crops*, (2): 23-28.]
- 栾天宇, 李春雷, 苏桂华, 栾天浩, 梁晓斐, 姜媛媛. 2018. 13份玉米自交系品质性状及种子活力的配合力分析[J]. *玉米科学*, 26(6): 14-20. [Luan T Y, Li C L, Su G H, Luan T H, Liang X F, Jiang Y Y. 2018. Combining ability analysis of seed quality and seed vigor for 13 maize inbred lines[J]. *Journal of Maize Sciences*, 26(6): 14-20.]
- 蒙成, 吴雅芳. 2018. 早熟玉米自交系主要农艺性状配合力分析[J]. *南方农业学报*, 49(3): 424-430. [Meng C, Wu Y F. 2018. Combining ability of main agronomic traits in early-maturing maize inbred lines[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 49(3): 424-430.]
- 欧杨虹, 吴雯雯, 邵元健, 吴永升. 2016. 新选玉米自交系产量及主要农艺性状配合力分析[J]. *南方农业学报*, 47(2): 180-184. [Ou Y H, Wu W W, Shao Y J, Wu Y S. 2016. Combining ability for grain yield and other agronomic traits of new maize inbred lines[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 47(2): 180-184.]
- 石明亮, 郝德荣, 黄小兰, 赵浚宇, 张振良, 周广飞, 陆虎华, 冒宇翔, 陈国清, 胡加如, 孙权星, 薛林, 袁建华. 2016. 糯玉米种质鲜食品质构成性状的育种潜力测试与评价[J]. *华北农学报*, 31(S1): 242-251. [Shi M L, Hao D R, Huang X L, Zhao J Y, Zhang Z L, Zhou G F, Lu H H, Mao Y X, Chen G Q, Hu J R, Sun Q X, Xue L, Yuan J H. 2016. Test and evaluation of the breeding potential for constituting traits of fresh edible quality in waxy maize (*Zea mays* L. *sinensis* Kulesh) [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 31(S1): 242-251.]
- 孙祎振. 2005. 糯玉米自交系主要农艺性状的综合评价[J]. *北京农学院学报*, (3): 11-14. [Sun Y Z. 2005. Correlation analysis of main agronomic characteristics in waxy maize's inbred lines[J]. *Journal of Beijing University of Agriculture*, (3): 11-14.]
- 田树云, 文仁来, 苏月贵, 何雪银, 刘亚利, 程伟东, Pichet Grudloyma. 2012. 12个泰国玉米群体的产量配合力效应分析及其杂种优势类群的划分[J]. *玉米科学*, 20(5): 1-6. [Tian S Y, Wen R L, Su Y G, He X Y, Liu Y L, Cheng W D, Grudloyma P. 2012. Combining ability of 12 Thai corn populations and their heterotic grouping[J]. *Journal of Maize Sciences*, 20(5): 1-6.]
- 童川拉, 陈山虎, 卢和顶, 林建新. 2001. 8个白糯玉米自交系主要性状配合力的分析[J]. *福建农业学报*, 16(4): 9-12. [Tong C L, Chen S H, Lu H D, Lin J X. 2001. Combining ability of main characters in 8 inbred lines of white waxy corn[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 16(4): 9-12.]
- 王婵. 2016. 14个玉米自交系的配合力及杂种优势群分析[D]. 兰州: 甘肃农业大学. [Wang C. 2016. Analysis of combining ability and heterotic groups of 14 inbred lines in maize (*Zea mays* L.) [D]. Lanzhou: Gansu Agriculture University.]
- 吴雯雯, 欧杨虹, 张振良, 吴永升. 2016. 玉米自交系灰斑病抗性配合力及遗传分析[J]. *南方农业学报*, 47(8): 1313-1317. [Wu W W, Ou Y H, Zhang Z L, Wu Y S. 2016. Analysis on combining ability and genetics of resistance to grey leaf spot of maize inbred lines[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 47(8): 1313-1317.]
- 姚文华, 黄云霄, 蒋辅燕, 陈秀华, 汪燕芬, 罗黎明, 张培高, 尹兴福, 何羊涛. 2019. 温热带玉米种质改良系配合力分析及杂种优势群划分[J]. *西南农业学报*, 32(4): 706-712. [Yao W H, Huang Y X, Jiang F Y, Chen X H, Wang Y F, Luo L M, Zhang P G, Yin X F, He Y T. 2019. Study on combining ability and heterotic grouping of improved temperate-tropical inbred lines[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 32(4): 706-712.]
- 于培洋. 2013. 玉米新自交系的选育与利用的研究[D]. 长春: 吉林大学. [Yu P Y. 2013. Study on the analysis of selection and application of new corn inbred lines [D]. Changchun: Jilin University.]
- 翟广谦, 郭耀东, 郑联寿, 韩永明, 董立红. 2003. 几个糯玉米自交系主要性状的配合力及遗传参数分析[J]. *山西农业科学*, (1): 11-15. [Zhai G Q, Guo Y D, Zheng L S, Han Y M, Dong L H. 2003. Analysis of combining ability and genetic parameter of major characters in several waxy-corn inbred[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, (1): 11-15.]
- 张欣, 张喜华, 江丹, 江敏, 刘丽贤. 2000. 我国玉米品质育种研究进展[J]. *杂粮作物*, 20(5): 13-17. [Zhang X, Zhang X H, Jiang D, Jiang M, Liu L X. 2000. Research progress of breeding in quality in maize[J]. *Journal of Coarse Grain Crops*, 20(5): 13-17.]
- 张振良, 黄小兰, 薛林, 陈国清, 郝德荣, 陆虎华, 冒宇翔, 周广飞, 石明亮. 2019. 基于主成分分析和聚类分析的甜糯玉米新组合育种潜力评价[J]. *江西农业学报*, 31(2): 19-25. [Zhang Z L, Huang X L, Xue L, Chen G Q, Hao D R, Lu H H, Mao Y X, Zhou G F, Shi M L. 2019. Evaluation of breeding potential of sweet waxy maize new combinations based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 31(2): 19-25.]
- 张振良, 薛林, 黄小兰, 赵俊宇, 陆虎华, 陈国清, 郝德荣, 冒宇翔, 周广飞, 石明亮. 2017. 10个糯玉米自己系育种潜力分析[J]. *南方农业学报*, 48(9): 1560-1567. [Zhang Z L, Xue L, Huang X L, Zhao J Y, Lu H H, Chen G Q, Hao D R, Mao Y X, Zhou G F, Shi M L. 2017. Evaluation on breeding potential of 10 waxy maize inbred lines[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 48(9): 1560-1567.]
- 赵文明, 孔令杰, 陈艳萍, 管晓春, 陆大雷, 袁建华. 2016. 江苏省鲜食糯玉米品质性状育种分析[J]. *江西农业学报*, 28(2): 31-34. [Zhao W M, Kong L J, Chen Y P, Guan X C, Lu D L, Yuan J H. 2016. Analysis of breeding on quality traits of fresh eating waxy corn in Jiangsu Province[J]. *Acta Agriculture Jiangxi*, 28(2): 31-34.]
- Aslam M, Sohail Q, Maqbool M A. 2017. Combining ability analysis for yield traits in diallel crosses of maize[J]. *Journal of animal and plant sciences*, 27: 136-143.