



# 谷子杂交种与亲本性状的遗传相关性

李会霞, 田岗, 王玉文, 刘鑫, 刘红

(山西省农业科学院谷子研究所, 山西长治 046011)

**摘要:** 【目的】探讨谷子杂交种与亲本性状的遗传相关性, 为筛选亲本材料、组配优异杂交种提供理论依据。【方法】用 6 个谷子高度雄性不育系和 10 个抗拿捕净除草剂恢复系组配 60 个组合, 2017 年种植 60 个杂交组合及其亲本, 通过农艺性状和产量的初步鉴定和统计分析, 从中筛选出用 4 个母本(谷 3A、晋 29A、51A 和 910A)、7 个父本(K34、M22、K650、K154、K410、K391 和 K47)组配的 7 个优势组合。2018 年种植 7 个优势组合及其亲本, 测定其 10 个农艺和产量性状(分蘖数、株高、穗茎长、穗长、穗粗、穗重、粒重、千粒重、出苗至抽穗的天数和小区产量), 对杂交种与亲本在相同性状上进行遗传相关分析, 并对父母本各性状与杂交种产量性状(穗重、穗粒重)进行遗传相关分析。【结果】杂交种在穗茎长、抽穗期上有超亲优势, 在穗长上超亲优势明显; 杂交种与亲本的相关分析表明, 杂交种与母本在株高、抽穗期、穗长等性状上存在显著的正相关关系, 据 2018 年分析遗传相关系数分别为 0.8841、0.9117 和 0.8263, 前两项达极显著水平; 杂交种与父本在分蘖数、株高、穗茎长、穗粗、千粒重等性状上存在显著的正相关关系, 据 2018 年分析遗传相关系数分别为 0.8267、0.9618、0.8234、0.7770 和 0.8404, 其中在株高上达极显著水平; 母本的分蘖数、株高、抽穗期与杂交种的单株穗重、穗粒重存在显著的正相关关系, 其中与单株穗重的相关系数分别为 0.3327、0.5439 和 0.4436, 与单株穗粒重的相关系数分别为 0.4238、0.4642 和 0.3487, 母本的穗长与杂交种的单株穗粒重存在显著的相关关系, 相关系数为 0.3698; 父本的分蘖数、株高、抽穗期和穗粗与杂交种的单株穗重、穗粒重存在显著的正相关关系, 其中与单株穗重的相关系数分别为 0.4986、0.4598、0.3367 和 0.5348, 与单株穗粒重的相关系数分别为 0.5568、0.4253、0.3659 和 0.4236, 父本分蘖数与杂交种单株穗重、穗粒重的相关性达极显著水平。【结论】父母本与杂交种在分蘖数、株高、穗茎长、穗粗、千粒重等性状上均存在一定的正相关关系, 可以通过对亲本这些性状的选择来间接选择杂交组合的优良农艺性状和产量性状, 从而选育出优异高产杂交种。

**关键词:** 谷子; 亲本; 杂交种; 遗传相关性

## Genetic Correlation Coefficients of Foxtail Millet Traits Between Parents and Hybrids

LI HuiXia, TIAN Gang, WANG YuWen, LIU Xin, LIU Hong

(Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Changzhi 046011, Shanxi)

**Abstract:** 【Objective】 Genetic correlation of millet traits between hybrids and parents was studied in order to select parental materials on purpose and provide theoretical basis for optimizing the grouping of hybrid. 【Method】 Six highly-male-sterile lines were hybridized with ten sethoxydim resistant restorer lines, and sixty hybrids were obtained. These hybrids were planted with their parents in 2017. By evaluating their agronomic traits through statistical analysis, 7 advantageous combinations with their 4 female

收稿日期: 2019-04-22; 接受日期: 2019-05-29

基金项目: 山西省重点研发计划重点项目(201703D211002-6, 201703D211008, 201803D221019-3)、山西省农业科学院育种工程项目(17yzgc026-1)、国家谷子高粱产业技术体系(CARS-06-13.5-A23)、山西省农业科学院创新项目(YCX2018414, YCX2019T05)、山西省农业科学院农业科技创新工程(YGC2019KQ01)

联系方式: 李会霞, Tel: 15303452448; E-mail: nkygzslhx@163.com. 通信作者田岗, E-mail: gzstg@126.com

parents (Gu 3A, Jin 29A, 51A and 910A) and 7 male parents (K34, M22, K650, K154, K410, K391 and K47) were screened to plant in 2018. 10 agronomic and yield traits of them were surveyed. They were tiller number, plant height, panicle stem length, panicle length, panicle diameter, panicle weight, panicle grain weight, thousand seed weight, days to heading and plot yield. Genetic correlation had been analyzed between millet parents and hybrids in the same traits. And genetic correlation between parents traits and hybrids yield traits (panicle weight and panicle grain weight) had also been analyzed. 【Result】 The hybrids had some heterobeltiosis in two traits of panicle stem length and heading period, and had distinctly heterobeltiosis in trait of panicle length. Correlation analysis of hybrids and parents in two years indicated the following results. There were significant positive correlations in terms of plant height, heading period and panicle length between hybrids and their females. According to the analysis in 2018, the genetic correlation coefficients were 0.8841, 0.9117 and 0.8263, respectively. The first two items reached extremely significant level. There were significantly positive correlations between hybrids and their males in tiller number, plant height, panicle stem length, panicle diameter and thousand seed weight. According to the analysis in 2018, the genetic correlation coefficients were 0.8267, 0.9618, 0.8234, 0.7770 and 0.8404. Among them, the correlation of plant height was extremely significant. Tiller number, plant height, heading period of females were positively correlated with panicle weight and panicle grain weight of hybrids. The correlation coefficients of panicle weight were 0.3327, 0.5439 and 0.4436, respectively. The correlation coefficients of panicle grain weight were 0.4238, 0.4642 and 0.3487, respectively. Panicle length of females were positively correlated with panicle grain weight of hybrids with the correlation coefficient of 0.3698. Tiller number, plant height, heading period and panicle diameter of males were positively correlated with panicle weight and panicle grain weight of hybrids. The correlation coefficients of panicle weight were 0.4986, 0.4598, 0.3367 and 0.5348, respectively. The correlation coefficients of panicle grain weight were 0.5568, 0.4253, 0.3659 and 0.4236, respectively. The correlations between tiller number of males and panicle weight and panicle grain weight of hybrid reached extremely significant levels. 【Conclusion】 There were positive correlations between parents and hybrids in tiller number, plant height, panicle stem length, panicle diameter, thousand seed weight and so on. Good agronomic traits and yield traits of hybrids can be indirectly selected based on the traits of the parents. Excellent high yield hybrids can be selected by this method.

**Key words:** foxtail millet; parents; hybrid; genetic correlation

## 0 引言

【研究意义】谷子是中国的特色作物，其面积和产量占世界 80% 以上。谷子去壳后为小米，其营养丰富、均衡，是中国北方农民喜食的主粮之一，也是城镇居民主要的调剂食粮。与其他作物相比，谷子耐旱性好，是干旱、半干旱地区持续农业发展的支柱作物之一。目前，山西谷子年播种面积约 20 万  $\text{hm}^2$ ，谷子已成为山西的主要经济作物之一，在山西小杂粮发展战略中占有重要位置。但近年来山西省生产上的推广的品种比较单一，且产量较低，若想大幅度提高谷子产量，推广适宜山西省种植的谷子杂交种是主要途径之一。为此，山西省农业科学院谷子杂优协作组已艰苦攻关 30 年，现已选育出 4 个杂交种用于生产，但因其产量优势和品质性状还有待进一步提高，在生产上推广面积不大。谷子的产量性状遗传基础较为复杂，优良杂交种的选育依赖于亲本的优良基因积累和重组，因此，分析亲本性状的杂交种性状的相关性，以及亲本农艺性状与杂交种产量性状的相关性很有必要。【前人研究进展】栾素荣等<sup>[1]</sup>通过对 12 个谷子品

种的研究表明，穗粒重、单穗重、出谷率及穗粗对产量影响较大；田伯红等<sup>[2]</sup>通过分析谷子的农艺性状，表明谷子成穗率受株高影响，株高越低，成穗率越高；孙殿生等<sup>[3]</sup>通过对谷子农艺性状进行通径分析，表明与单株穗重相关关系最大的是单株粒重，其次是单株秆重；王丹丹等<sup>[4]</sup>对 53 份谷子的农艺性状进行相关分析，表明穗粗、穗重、千粒重均与产量呈极显著正相关，株高与产量显著正相关。在水稻上，杂交后代与亲本的性状有显著的相关性<sup>[5-9]</sup>；牟凤娟等<sup>[10]</sup>研究表明，水稻杂交后代的农艺表现与母本有很大程度的相似性。【本研究切入点】目前，谷子在山西的机械化生产程度较低，一方面是由于山西谷子多种于丘陵山坡的小型地块，不利用机械化作业；另一方面是山西谷子品种缺乏适宜于机械化收割的品种。山西谷子品种多为高秆大穗类型，重心较高，易倒伏；另外谷子穗茎较长，机械收获时因谷穗间互相缠绕，植株易被拖倒。这些问题都会造成机收时漏穗、掉粒严重，影响产量。提高谷子产量最为行之有效的方法是利用谷子的杂种优势，同时，为了适应未来谷子机械化生产需要，选育抗性好、较矮秆、穗茎短、高产优质谷子

杂交种迫在眉睫。作物的产量性状及株高、穗长、穗粗、抽穗天数等均属于数量性状, 是由许多微效基因控制的性状, 而相关分析是人们研究数量性状之间、亲本与子代间一种行之有效的方法。谷子各性状间存在不同程度的相关性<sup>[11-12]</sup>, 如果 2 个性状的遗传相关关系密切, 则在谷子的杂交种选育中 (包括常规品种选育), 可通过较易选择的性状间接选择目标性状, 所以, 研究性状间的相关关系是非常必要的。前人对作物性状的遗传力进行了较多的研究<sup>[13-16]</sup>, 但关于谷子亲本与杂交种之间的性状相关关系研究较少。【拟解决的关键问题】本研究利用谷子高度雄性不育系和抗除草剂恢复系配置谷子杂交种, 通过分析亲本与杂交种各性状间的相关关系, 以期选育优良杂交种提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料和试验设计

2016 年用 6 个谷子高度雄性不育系 (谷 3A、晋 29A、51A、910A、95A 和 56A) 作母本, 10 个抗拿捕净除草剂材料 (K34、M22、K650、K154、K410、K391、K47、K95、K172 和 K861) 作父本, 组配组合 60 个。2017 年 60 个组合的杂交种田间间比排列, 一次重复, 通过农艺性状和产量的初步鉴定与统计分析, 在此基础上, 从中筛选出用 4 个不同类型母本 (谷 3A、晋 29A、51A 和 910A) 组配的 7 个优势组合。2018 年种植 7 个优势组合以及配套的 7 个父本 (K34、M22、K650、K154、K410、K391 和 K47)、4 个母本, 共 18 个材料进行品比试验, 随机区组设计, 3 次重复, 小区面积 13.3 m<sup>2</sup>, 4 行区, 行距 0.33 m, 行长 10 m。试验田管理同常规大田。

所用杂交种是通过“两系法”选育而来, 其母本均为高度雄性不育系, 靠自身少量结实来繁殖不育系种子, 没有保持系, 因不育系本身自交结实很低, 其穗部产量性状不能进行调查。父本为抗拿捕净除草剂材料, 其抗性为显性遗传, 杂交种具有抗除草剂特性, 可通过苗期喷施除草剂去除杂交种中的假杂种 (母本自交结实种子)。

### 1.2 性状测定

参试材料种植于山西省农业科学院谷子研究所试验田。2017 年对 6 个谷子不育系、10 个恢复系及其组配的 60 个杂交种, 田间调查了分蘖数、株高、穗茎长、穗长、穗粗、穗重、粒重和千粒重, 对杂交种与亲本在相同性状上进行简单相关性分析和遗传相关分

析。2018 年对 18 份材料同样调查了分蘖数、株高、穗茎长、穗长、穗粗、穗重、粒重和千粒重, 同时增加了出苗至抽穗的天数 (d) 和小区产量的调查。试验严格记载各生育时期, 拔节期调查每个材料的分蘖情况, 成熟时每个小区随机选取生长正常的 10 个植株作为样本, 调查其农艺性状和产量性状, 收获后小区计产。并对杂交种与亲本在相同性状上进行了遗传相关分析。

在作物育种实践中, 各个性状间存在不同性质及不同程度的相关关系。杂交种的性状是由父母本的基因决定的, 父母本的性状与杂交种的性状存在一定程度的相关关系。为了给高产杂交种选育工作提供一定的理论依据, 还进行了父母本各性状与杂交种的产量性状 (穗重、穗粒重) 遗传相关分析。

### 1.3 统计分析

以小区平均数为计算单位, 采用 EXCEL 对调查数据进行简单相关系数统计, 参考孔繁玲<sup>[17]</sup>的分析方法计算遗传相关系数, 在方差-协方法的基础上计算遗传相关系数, 并对各相关系数 ( $r$ ) 进行  $t$  检测, 显著水平分为  $\alpha=0.05$  (显著) 和  $\alpha=0.01$  (极显著)。

## 2 结果

### 2.1 $F_1$ 与亲本的遗传相关分析

**2.1.1 2017 年  $F_1$  与亲本性状的遗传相关分析** 2017 年通过对 60 个杂交组合与亲本性状的遗传相关性分析 (表 1)。发现谷子杂交种与亲本的遗传相关和简单相关的方向和趋势基本一致。在分蘖数、株高、千粒重性状上, 杂交种与父母本均存在显著相关性; 另外, 杂交种与父本在穗茎长、穗粗性状上有显著的相关性, 杂交种与母本在穗长上有显著相关性, 杂交种与父母本均值在分蘖数、株高、穗茎长、穗长、穗粗、千粒重 5 个性状上均存在显著的相关性。因母本为不育系, 产量性状无法评估, 所以杂交种 ( $F_1$ ) 与母本的穗重、穗粒重没有分析相关性。

**2.1.2 2018 年 7 个杂交种与亲本性状的遗传相关分析** 2018 年通过对 7 个谷子杂交种及亲本性状进行调查 (表 2), 与父本相比, 母本的分蘖数较多, 抽穗期较早, 株高较矮, 穗子较粗, 千粒重较高; 杂交种的抽穗期除 910A×K47 有超亲优势以外, 其余均处于双亲之间且明显偏向于母本; 7 个杂交种的株高、穗粗均处于双亲之间; 在穗长上, 除 51A×K410 处于双亲之间以外, 其余杂交种均有超亲优势。

表 1 2017 年 F<sub>1</sub> 与亲本相同性状上的相关系数

Table 1 Correlation coefficients on the same traits between F<sub>1</sub> and parents in 2017

项目	相关系数	分蘖数	株高	穗茎长	穗长	穗粗	穗重	穗粒重	千粒重
Item	Correlation coefficient	Tiller number	Plant height	Panicle stem length	Panicle length	Panicle diameter	Panicle weight	Panicle grain weight	Thousand seed weight
F <sub>1</sub> 与父本	rg	0.5610**	0.5516**	0.5889**	0.2051	0.3427*	0.0356	-0.1348	0.4093*
F <sub>1</sub> and their males	r	0.5418**	0.5459**	0.5389**	0.2031	0.3328*	0.0288	-0.1139	0.3997*
F <sub>1</sub> 与母本	rg	0.3829*	0.5998**	-0.05888	0.3946*	0.246	-	-	0.7469**
F <sub>1</sub> and their females	r	0.3546*	0.5915**	0.0515	0.3465*	0.2234	-	-	0.6988**
F <sub>1</sub> 与亲本均值	rg	0.6824**	0.8032**	0.3765*	0.4267*	0.4213*	-	-	0.8035**
F <sub>1</sub> and parental average value	r	0.6487**	0.7829**	0.3530*	0.4247*	0.4122*	-	-	0.7989**

\*, \*\*分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。rg: 遗传相关系数; r: 简单相关系数。下同

\* and \*\* mean significant differences at the 0.05 and 0.01 level. rg: Genetic correlation coefficient; r: Simple correlation coefficient. The same as below

表 2 2018 年 7 个谷子杂交种及亲本性状调查

Table 2 Traits investigation of 7 millet hybrids and their parents in 2018

名称		分蘖数 (个)	抽穗天数 Days to heading(d)	株高 Plant height (cm)	穗茎长 Panicle stem length (cm)	穗长 Panicle length (cm)	穗粗 Panicle diameter(cm)	穗重 Panicle weight(g)	穗粒重 Panicle grain weight (g)	千粒重 Thousand seed weight (g)	小区产量 Plot yield (kg)
F <sub>1</sub>	谷 3A×K34	1.50	65.33	141.25	26.2	30.40	3.24	39.21	27.12	2.880	12.97
	Gu3A×K34										
	晋 29A×M22	1.20	59.33	116.33	30.1	26.16	2.88	32.56	29.91	3.291	12.22
	Jin29A×M22										
	谷 3A×K650	2.70	66.50	139.33	24.5	28.96	3.24	81.72	42.89	2.885	11.89
	Gu3A×K650										
	51A×K154	2.80	65.00	140.19	32.0	25.77	3.24	58.13	44.51	2.673	12.65
	51A×K410	2.90	64.00	145.40	30.0	27.75	3.21	63.67	43.54	2.972	15.43
	51A×K391	1.70	64.00	146.35	25.5	27.4	3.17	44.32	34.85	2.877	15.82
910A×K47	2.67	71.00	139.78	28.0	27.59	3.28	44.74	26.60	2.876	12.13	
母本 Female parent	谷 3A Gu3A	3.30	64.00	95.08	26.6	26.52	3.47			3.377	
	晋 29A Jin29A	3.20	57.00	71.55	17.7	22.80	3.32			3.483	
	51A	2.30	62.00	111.70	24.8	21.95	3.30			3.433	
	910A	2.60	65.00	92.00	19.3	23.95	3.42			3.307	
父本 Male parent	K34	1.00	74.00	158.45	24.8	23.55	2.99	32.68	24.07	2.926	9.58
	M22	1.10	64.00	125.45	24.8	24.49	2.34	34.03	24.98	3.159	9.10
	K650	2.10	74.50	156.18	19.5	24.61	2.67	29.74	21.45	2.718	8.92
	K154	1.78	74.00	157.00	32.5	24.14	2.71	32.87	24.42	2.329	11.23
	K410	1.60	71.67	167.90	28.0	29.25	3.01	42.38	33.40	2.944	10.05
	K391	1.30	68.67	174.60	26.5	26.69	2.96	30.18	23.48	2.958	9.22
	K47	2.30	65.67	151.10	28.8	22.02	2.98	36.58	28.63	2.840	10.53

表 3 为 7 个杂交种与亲本的遗传相关性分析结果。可以看出, 相关系数的方向和显著性与 2017 年相关分析结果基本一致, 在株高性状上, 杂交种与父母本及亲本均值的相关性均达极显著水平; 杂交

种与父本在分蘖数、穗茎长、穗粗、千粒重性状上的相关性均达显著水平；杂交种与母本在抽穗天数上的相关性达极显著水平，在穗长性状上的相关性达显著水平。杂交种与亲本均值在穗茎长性状上的相关性达极显著水平，在穗粗和千粒重性状上的相关性达显著水平。4 个母本的千粒重值均较大（表 2，为 3.307—3.483 g），所以杂交种的千粒重与母本相关性不显著。

2.2 亲本各性状与杂交种产量性状的遗传相关分析

根据 2018 年品比试验结果，对父母本各性状与杂交种的产量性状（穗重、穗粒重）进行遗传相关分析（表

4），可以看出，父母本的分蘖数、株高和抽穗天数与杂交种的单株穗重、穗粒重存在显著相关关系；父本穗粗与杂交种的单株穗重、穗粒重存在显著相关关系；母本的穗长与杂交种的单株穗粒重存在显著相关关系。

根据分析结果，选育分蘖成穗能力强的父母本可筛选出单株产量潜力高的杂交种；抽穗期较晚的亲本，其杂交种单株产量较高，可能抽穗期晚的品种穗子较大，籽粒数较多，所以单株产量较高；杂交种的产量性状（穗重、粒重、千粒重）与亲本的产量性状相关性均不显著，说明杂交种的高产主要是来自于亲本间较高的特殊配合力（specific combining ability）。

表 3 2018 年 7 个杂交种与亲本相同性状上的遗传相关系数

Table 3 Correlation coefficients on the same traits between F<sub>1</sub> and parents in 2018

项目 Item	相关系数 Correlation coefficient	分蘖数 Tiller number	抽穗天数 Days to heading	株高 Plant height	穗茎长 Panicle stem length	穗长 Panicle length	穗粗 Panicle diameter	千粒重 Thousand seed weight	穗重 Panicle weight	穗粒重 Panicle grain weight	小区产量 Plot yield
F <sub>1</sub> 与父本 F <sub>1</sub> and their males	rg	0.8267*	0.1752	0.9618**	0.8234*	-0.0864	0.7770*	0.8404*	-0.0199	0.0629	-0.0770
F <sub>1</sub> 与母本 F <sub>1</sub> and their females	rg	-0.4725	0.9117**	0.8841**	0.4325	0.8263*	0.3954	0.7261	-	-	-
F <sub>1</sub> 与亲本均值 F <sub>1</sub> and parental average value	rg	0.2910	0.5214	0.9445**	0.9299**	0.6753	0.8253*	0.8545*	-	-	-

表 4 亲本性状与杂交种产量性状的遗传相关系数

Table 4 Genetic correlation coefficients between parental traits and hybrid yield traits

项目 Item	性状 Trait	分蘖数 Tiller number	抽穗天数 Days to heading	株高 Plant height	穗茎长 Panicle stem length	穗长 Panicle length	穗粗 Panicle diameter	千粒重 g Thousand seed weight	穗重 Panicle weight	穗粒重 Panicle grain weight
母本与 F <sub>1</sub> (rg) Female parent and F <sub>1</sub>	单株穗重 Panicle weight	0.3327*	0.4436**	0.5439**	0.2265	0.2576	0.2376	0.0742	-	-
	单株穗粒重 Panicle grain weight	0.4238*	0.3487**	0.4642**	0.2376	0.3698*	0.1659	0.1357	-	-
	父本与 F <sub>1</sub> (rg) Male parent and F <sub>1</sub>	0.4986**	0.3367*	0.4598**	0.1689	0.3005	0.5348**	0.2168	0.0356	0.2794
	单株穗粒重 Panicle grain weight	0.5568**	0.3659*	0.4253*	0.2875	0.1163	0.4326*	0.2938	0.2459	0.2573

3 讨论

3.1 筛选优异农艺性状杂交种对亲本的要求

本研究父母本株高与杂交种的株高有显著正相关性，亲本株高与杂交种单株产量也有一定的正相关性，但谷子株高与倒伏有一定的正相关关系<sup>[18-19]</sup>，有研究表明，中等高度植株抗倒性最强，同时也能带来较高的生物量，有利于获得高产<sup>[20-22]</sup>，又因为较矮秆谷子品种有利于机械化收割，所以育种研究上不能用提高

株高的方式来提高单株产量，株高筛选只能适可而止。

本研究中，7 个组合中有 1 个组合（晋 29A×M22）的穗茎长超过双亲，有超亲优势，其余均处于双亲之间，但均值偏向于父本；杂交种穗茎长与母本的穗茎长无显著相关性，但与父本显著相关，在相同的母本组合中，通过选育穗茎短的父本可能会缩短杂交种的穗茎长。

有研究表明，生育期与产量有正相关关系<sup>[23-25]</sup>，抽穗期和生育期长短直接相关，本研究谷子杂交种的

抽穗期大都介于父母本 2 个亲本之间(组合 910A×K47 除外)。遗传相关表明, 杂交种的抽穗天数与母本的抽穗天数存在极显著相关性, 说明杂交种的熟期可能受母本影响较大, 所以在选育中晚熟优势杂交种的过程中, 注重较晚熟母本选育, 可能会提高目标杂交种的筛选概率。

### 3.2 筛选高产杂交种对亲本的要求

秦岭等<sup>[26]</sup>研究认为谷子品种的单株穗重、穗粗与产量的相关性大, 赵禹凯等<sup>[27]</sup>认为谷子的穗长与产量有正相关关系。本研究杂交种的穗长、穗粗与亲本比较, 穗长有超亲现象, 7 个组合中 6 个组合均有超亲优势, 显示非加性基因作用明显, 特殊配合力方差占主要地位; 杂交种穗粗则介于 2 个亲本之间, 与父本穗粗有显著相关关系, 显示加性基因作用明显, 以一般配合力为主。由于加性效应能稳定遗传, 杂交种育种直接利用  $F_1$ , 遗传效应中的加性效应和非加性效应都是可以利用的, 所以选育粗穗型父本与母本杂交, 可能筛选出大穗型杂交种, 从而提高谷子杂交种产量。

黄学芳等<sup>[28]</sup>研究表明, 有一定分蘖成穗能力的品种, 其自身调节能力强, 丰产性稳产性好。本研究母本的分蘖成穗能力均较高, 而父本除 K650 和 K47 外, 分蘖力均较弱。7 个杂交组合中, 有 3 个组合分蘖力有超亲现象, 其余 4 个组合分蘖力均介于双亲之间。杂交种的分蘖力与父母本均有显著相关关系, 筛选的 7 个杂交种分蘖力只与父本相关性显著, 可能是因材料较少, 影响了分析结果; 亲本性状的杂交种产量性状的遗传相关分析表明, 杂交种的单株产量与亲本的分蘖数有一定的正相关关系, 说明选择具有一定分蘖力的亲本, 特别是能分蘖成穗的父本, 可以提高杂交种的分蘖成穗能力, 从而提高杂交种的高产性和稳产性。

本研究杂交种的千粒重与父母本千粒重均有显著相关关系, 7 个杂交种与父本和亲本均值在千粒重上也达显著水平, 但与母本相关性不显著, 可能因为 4 个母本的千粒重值均较大, 母本千粒重大的原因可能是母本不育系结粒少, 养分充足, 最终导致千粒重较大。

在优良品种的选育过程中, 不仅要注重优良农艺性状和高产特性的选择, 同时应考虑其品质性状<sup>[29-30]</sup>。谷子的品质性状也是谷子育种者高度关注的性状。本研究中, 所欠缺的是谷子品质性状与谷子农艺性状、产量性状的相关关系研究, 今后应该加强品质方面的

研究, 为选育高产优质谷子杂交种提供更多更全面的理论指导。

## 4 结 论

父母本与杂交种在分蘖力、株高、穗茎长、穗粗、千粒重等性状上均存在一定的正相关关系, 可以通过对亲本分蘖力、株高、穗茎长等性状选择来间接选择杂交种的优良农艺性状和产量性状, 通过亲代与子代的相关性, 可提高杂交种选育的可控性, 从而选育出优异高产杂交种。

## References

- [1] 栾素荣, 王占廷, 李青松. 谷子产量与主要农艺性状的灰色关联度分析. 河北农业科学, 2010, 14(11): 115-116, 118.  
LUAN S R, WANG Z T, LI Q S. Grey relational grade analysis on yield and main agronomic characters of foxtail millet. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2010, 14(11): 115-116, 118. (in Chinese)
- [2] 田伯红, 徐玉鹏, 李桂荣, 张立新, 李雅静, 赵忠祥, 刘全凤. 谷子品种的农艺性状演变分析. 河北农业科学, 2004, 8(3): 50-52.  
TIAN B H, XU Y P, LI G R, ZHANG L X, LI Y J, ZHAO Z X, LIU Q F. Studies on grey correlative analysis for the evolution of agronomic characters of millet. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2004, 8(3): 50-52. (in Chinese)
- [3] 孙殿生, 赵志立, 周乃建. 春谷主要农艺性状相关遗传力分析. 山西农业大学学报, 1990, 10(1): 34-37.  
Sun D S, ZHAO Z L, ZHOU N J. Correlative heritability analysis of main agronomic characters of millet. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 1990, 10(1): 34-37. (in Chinese)
- [4] 王丹丹, 希日格乐, 孙宇燕, 金砾, 郭世华. 谷子农艺性状相关性与食味品质分析. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2015, 36(4): 29-37.  
WANG D D, XIRI G L, SUN Y Y, JIN L, GUO S H. Analysis on correlation of agronomic traits and eating quality in foxtail millet. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University(Natural Science Edition)*, 2015, 36(4): 29-37. (in Chinese)
- [5] 肖经鸿, 孟秋成, 曹克勤, 刘建丰. 杂交稻及其亲本千粒重与产量的关系研究. 湖南农业科学, 2009(3): 7-8, 9.  
XIAO J H, MENG Q C, CAO K Q, LIU J F. A study on the relationship between 1000 - grain weight and yield in hybrid rice. *Hunan Agricultural Sciences*, 2009(3): 7-8, 9. (in Chinese)
- [6] 刘建丰, 陈光辉, 何强, 李春庚. 不同产量水平杂交稻产量构成因素的分析. 云南农业大学学报, 2006, 21(6): 707-710.  
LIU J F, CHEN G H, HE Q, LI C G. A study on yield components of

- hybrid rice with big panicle. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2006, 21(6): 707-710. (in Chinese)
- [7] 张颖慧, 谢永楚, 董少玲, 张亚东, 陈涛, 赵庆勇, 朱镇, 周丽慧, 姚姝, 赵凌, 王才林. 利用水稻籼粳重组自交系群体研究粒型性状与千粒重的相关性. *江苏农业学报*, 2012, 28(2): 231-235.
- ZHANG Y H, XIE Y C, DONG S L, ZHANG Y D, CHEN T, ZHAO Q Y, ZHU Z, ZHOU L H, YAO Z, ZHAO L, WANG C L. Correlations between grain shape traits and 1000-grain weight using *Indica/Japonica* rice recombinant inbred lines. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28(2): 231-235. (in Chinese)
- [8] 陈光辉, 周清明, 王建龙, 杨冬萍. 两系杂交水稻千粒重的遗传研究. *热带作物学报*, 2007, 28(4): 57-61.
- CHEN G H, ZHOU Q M, WANG J L, YANG D P. Genetic studies on 1000- Grain weight of rice hybrids by two- line method. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2007, 28(4): 57-61. (in Chinese)
- [9] 邹小云, 盛国清, 傅军如, 胡标林, 贺浩华. 籼型杂交水稻主要品质性状与产量性状的关系研究. *江西农业大学学报*, 2006, 28(1): 7-11.
- ZOU X Y, SHENG G Q, FU J R, HU B L, HE H H. The studies on the relation between the main grain quality traits and the yield traits in *indica* hybrid rice. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2006, 28(1): 7-11. (in Chinese)
- [10] 牟凤娟, 徐琼华. 滇型杂交水稻亲本与杂交后代的性状遗传相关分析. *中国农学通报*, 2006, 22(2): 176-178.
- MOU F J, XU Q H. Analysis of the genetic correlation of traits between the parents and  $F_1$  in Dian- type hybrid rice. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(2): 176-178. (in Chinese)
- [11] 刘斌, 李书田, 王显瑞, 柴晓娇. 谷子主要农艺性状的分析. *种子*, 2014, 33(5): 88-90.
- LIU B, LI S T, WANG X R, CHAI X J. Analysis on the agronomic traits of millet. *Seed*, 2014, 33(5): 88-90. (in Chinese)
- [12] 杨慧卿, 王军, 袁峰, 郭二虎. 西北春谷区中晚熟组谷子主要农艺性状的相关和通径分析. *河北农业科学*, 2010, 14(11): 105-106, 111.
- YANG H Q, WANG J, YUAN F, GUO E H. Correlation analysis and path analysis on major agronomic traits of middle and late mature group of regional test in spring millet area of northwest China. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2010, 14(11): 105-106, 111. (in Chinese)
- [13] 袁凯, 逯腊虎, 杨斌, 张婷, 张伟, 史晓芳. 不同粒重小麦品种主要农艺性状的配合力和遗传力分析. *麦类作物学报*, 2018, 38(6): 661-667.
- YUAN K, LU L H, YANG B, ZHANG T, ZHANG W, SHI X F. Combining ability and heritability analysis of main agronomic characters of wheat cultivars with different grain weigh. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(6): 661-667. (in Chinese)
- [14] 尹学伟, 王培华, 张晓春, 李泽碧, 张志良, 唐生佑, 马强, 谭平. 14 个糯高粱亲本主要农艺性状配合力及遗传力分析. *西南农业学报*, 2014, 27(4): 1363.
- YIN X W, WANG P H, ZHANG X C, LI Z B, ZHANG Z L, TANG S Y, MA Q, TAN P. Analysis of 14 parents glutinous sorghum's main agronomic characteristics combining ability and heritability. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 27(4): 1363. (in Chinese)
- [15] 林鑫, 吴林宣, 王慧, 刘永柱, 陈志强, 黄明. 水稻两系不育系 'M20S' 穗部性状配合力和遗传力分析. *华南农业大学学报*, 2019, 40(1): 8-14.
- LIN X, WU L X, WANG H, LIU Y Z, CHEN Z Q, HUANG M. Analysis on panicle trait combining ability and heritability of rice two-line sterile line 'M20S'. *Journal of South China Agricultural University*, 2019, 40(1): 8-14. (in Chinese)
- [16] 逯腊虎, 武计萍, 张婷, 王玉斌. 冬小麦穗部性状的配合力及遗传性分析. *农学学报*, 2014, 4(11): 9.
- LU L H, WU J P, ZHANG T, WANG Y B. Combining ability and heritability analysis of spike characters in winter wheat. *Journal of Agricultural*, 2014, 4(11): 9. (in Chinese)
- [17] 孔繁玲. 植物数量遗传学. 北京: 中国农业大学出版社, 2006: 224-236.
- KONG F L. *Quantitative Genetics in Plants*. Beijing: China Agricultural University Press, 2006: 224-236. (in Chinese)
- [18] 刘艳丽, 田伯红, 张立新, 宋淑贤, 王建广. 谷子育成品种的抗倒性评价. *河北农业科学*, 2014, 18(4): 8-12.
- LIU Y L, TIAN B H, ZHANG L X, SONG S X, WANG J G. The evaluation on lodging resistance of foxtail millet bred varieties. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2014, 18(4): 8-12. (in Chinese)
- [19] 田保明, 杨光圣, 曹刚强, 舒海燕. 农作物倒伏及其影响因素分析. *中国农学通报*, 2006, 22(4): 163-167.
- TIAN B M, YANG G S, CAO G Q, SHU H Y. The perform of lodging and root cause analysis for lodging resistance in crops. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(4): 163-167. (in Chinese)
- [20] DUAN C R, WANG B C, WANG P Q, WANG D H, CAI S X. Relationship between the minute structure and the lodging resistance of rice stems. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2004, 35(3): 155-158.
- [21] ISLAM M S, PWNG S, VISPERAS R M, WREFUL N, BHUIYA M S

- U, JULFIQUAR A W. Lodging-related morphological traits of hybrid rice in a tropical irrigated ecosystem. *Field Crops Research*, 2007, 101(2): 240-248.
- [22] CROOK M J, ENNOS A R. Stem and root characteristics associated with lodging resistance in four winter wheat cultivars. *The Journal of Agricultural Science*, 1994, 123(2): 167-174.
- [23] 胡时开, 苏岩, 叶卫军, 郭龙彪. 水稻抽穗期遗传与分子调控机理研究进展. *中国水稻科学*, 2012, 26(3): 373-382.
- HU S K, SU Y, YE W J, GUO L B. Advances in genetic analysis and molecular regulation mechanism of heading date in rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2012, 26(3): 373-382. (in Chinese)
- [24] 李卫明. 不同品种谷子生育期、品质性状、光合特性与产量的关系研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2016.
- LI W M. Study on the relationship between growth period, quality characters, photosynthetic characteristics and yield of different foxtail millet cultivars[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [25] 元旭朝, 张耀元, 苏彦冰, 刘晓东, 刘龙龙, 杜婧婧 邓楠, 韩渊怀. 谷子生育期与茎秆以及穗部性状的关系. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2016, 36(6): 391-394, 399.
- YUAN X Z, ZHANG Y Y, SU Y B, LIU X D, LIU L L, DU J J, DENG N, HAN Y H. The relationship between growth period and traits of stem and panicle in foxtail millet. *Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition)*, 2016, 36(6): 391-394, 399. (in Chinese)
- [26] 秦岭, 管延安, 杨延兵, 张华文. 不同生态区谷子创新种质主要农艺性状与产量相关性分析. *山东农业科学*, 2008(9): 10-13.
- QIN L, GUAN Y A, YANG Y B, ZHANG H W. Correlation and path analysis between yield and main agronomic characters of foxtail millet germplasms from different ecological regions. *Shandong Agricultural Sciences*, 2008(9): 10-13. (in Chinese)
- [27] 赵禹凯, 王显瑞, 陈高勋, 赵敏, 李书田. 谷子主要农艺性状的相关和通径分析. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2014, 2: 35-38.
- ZHAO Y K, WANG X R, CHEN G X, ZHAO M, LI S T. Correlation and path analysis of main agronomic traits in foxtail millet. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University(Natural Science Edition)*, 2014, 2: 35-38. (in Chinese)
- [28] 黄学芳, 黄明镜, 刘化涛, 赵聪, 王娟玲. 覆膜穴播条件下降水年型和群体密度对张杂谷 5 号分蘖成穗及产量的影响. *作物杂志*, 2018(4): 106-113.
- HUANG X F, HUANG M J, LIU H T, ZHAO C, WANG J L. Effects of annual precipitation and population density on tiller-earing and yield of Zhangzagu 5 under film mulching and hole sowing. *Crops*, 2018(4): 106-113. (in Chinese)
- [29] 陈燕华, 罗高玲, 李经成, 蔡庆生. 13 个小豆新品系在广西地区的引种试验. *南方农业学报*, 2016, 47(11): 1844-1848.
- CHEN Y H, LUO G L, LI J C, CAI Q S. Introduction trial of thirteen new adzuki bean lines in Guangxi. *Journal of Southern Agriculture*, 2016, 47(11): 1844-1848. (in Chinese)
- [30] 付颖, 沈轶男, 刘艳春, 柴晓娇, 王显瑞, 白晓雷, 李书田. 不同春谷品种支链淀粉含量与营养品质指标及农艺性状的相关性分析. *作物杂志*, 2019(2): 90-93.
- FU Y, SHEN Y N, LIU Y C, CHAI X Y, WANG X R, BAI X L, LI S T. Correlation analysis of amylopectin content, nutritional quality and agronomic traits in spring millet varieties. *Crops*, 2019(2): 90-93. (in Chinese)

(责任编辑 李莉)