



## 蓖麻 Lm 型雌性系及其杂交组合的杂种优势分析

周伟<sup>1</sup>,余忠浩<sup>1</sup>,刘慧<sup>2</sup>,周亚星<sup>1</sup>

(1. 内蒙古民族大学农学院/科尔沁沙地生态农业国家民委重点实验室,内蒙古通辽 028000;

2. 内蒙古工程项目管理有限公司,呼和浩特 010000)

**摘要** 为了解 Lm 型雌性系蓖麻的配合力遗传基础,以 5 个蓖麻 Lm 型雌性系为母本,3 个蓖麻两性系为父本,根据 NC-II 不完全双列杂交组配 15 个杂交组合,对蓖麻杂交组合的配合力、遗传力以及杂种优势进行分析。结果表明:雌性系 A1 和两性系 B2 的 GCA 和杂交组合 SCA 在蓖麻大部分农艺性状中均表现优秀,可在提高蓖麻产量的亲本选育中作为优异亲本进行杂交组合的构建。对亲本杂种优势研究发现,两性系 B2 参与组配的杂交组合在多个农艺性状上表现为强杂种优势,而 Lm 型雌性系则表现为在单个性状上具有较强的杂种优势。从遗传力分析结果来看,蓖麻的主茎蒴果数、一级分枝蒴果数、主茎穗长、主茎节数、一级分枝百粒质量和产量受加性效应和非加性效应共同影响,且受环境影响较小,适宜在早代进行选择。

**关键词** 蓖麻;Lm 型雌性系;杂种优势;配合力;遗传力

蓖麻是大戟科蓖麻属的一种重要能源油料作物,是世界上含油量最高的作物之一。蓖麻油作为蓖麻油酸的唯一商业来源,用于生产各种工业产品,对全球特种化工业具有持续的重要性<sup>[1-2]</sup>。目前中国蓖麻田间管理水平较为粗放,高端蓖麻油加工水平还有待提高,导致中国蓖麻的发展规模与其利用状况和生产地位不相适应<sup>[3-4]</sup>。近年来,随着对蓖麻油需求的上升,中国已经成为蓖麻籽第一进口国,进口量达 95%<sup>[5]</sup>。因此,大力发展蓖麻产业,提高蓖麻产量是稳定国民经济、调整农业结构和开展农业可持续发展的必要举措。

蓖麻 Lm 型雌性系(即标志雌性系),是在蓖麻品系永 283 上经<sup>60</sup>Co $\gamma$  射线照射后得到的带有标志性状的蓖麻品系<sup>[6]</sup>。即蓖麻植株的各级花序轴上、花梗上着生柳叶状功能叶,这些植株均是无雄花发育的单雌性株,且柳叶状功能叶随花序的生长而生长,直至蒴果成熟前才黄化脱落,此性状在花序现蕾时即可显现,性状表现明显,具有出现早,易识别的特性<sup>[7]</sup>。Lm 型雌性系蓖麻的出现为蓖麻杂交育种提供了极大的便利,推动了蓖麻杂交育种的发展。

杂种优势是指两个遗传组成不同的亲本杂交产生的 F<sub>1</sub> 代在抗逆水平和产量等方面都优于双亲的现象<sup>[8]</sup>,合理利用作物杂种优势可以有效改良作物品质和产量,是目前提升作物产量的重要技术手段<sup>[9]</sup>。李卓然等<sup>[10]</sup>分析了 30 个矮秆蓖麻 F<sub>1</sub> 杂交组合的主要农艺性状的杂种优势,结果表明,蓖麻组合中一级分枝蒴果数、二级及其他分枝蒴果数、单株蒴果数、二级及其他分枝有效穗数、单株产量的超亲优势最高。唐艳梅<sup>[11]</sup>的试验结果表明,蓖麻杂种优势主要表现在单株粒质量、可溶性糖含量、百粒质量等方面。以上试验结果表明,杂种优势会受到亲本性状间的影响<sup>[12]</sup>,选择产量相关性状突出的亲本是构建强杂种优势组合、选育高产新品种的关键因素。本试验通过对以 Lm 型蓖麻雌性系作母本组配的 15 个组合进行主要农艺性状与产量的杂种优势进行分析,旨在探究 Lm 型蓖麻雌性系及其杂交组合的配合力、遗传力和杂种优势,以期对蓖麻遗传育种的杂种优势利用提供指导,以便今后能更好地指导以蓖麻标志雌性系作为母本进行组配杂交组合,更有针对性地进行亲本选择,为标志雌性系种质资

收稿日期:2023-07-13 修回日期:2023-09-05

基金项目:内蒙古民族大学博士科研基金(BS621);2022 年度自治区直属高校基本科研业务费项目(2022182)。

第一作者:周伟,男,讲师,研究方向为作物遗传改良与种质创新。E-mail:maizeseed@163.com

通信作者:周亚星,女,副教授,研究方向为作物遗传改良与种质创新 E-mail:zhouyaxing3@163.com

源研究利用,优良蓖麻品种的育成提供理论与实践指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

供试材料为内蒙古自治区通辽市农科院自主选育和引进的 8 个蓖麻品系,其中有 5 个标志雌性系材料(A1~A5)作为母本,分别为 TH3、TH7、TH9、TH21、TH36。3 个两性系材料(B1~B3)作为父本,分别为 1835、1016、1892(表 1)。按照 NC-II 不完全双列杂交组配 15 个杂交组合。

### 1.2 田间试验设计

试验在内蒙古自治区通辽市农业科学研究

表 1 试验自交系名称及编号

Table 1 Names and numbers of test inbred lines

品系 Strain	编号 Number	品种名 Variety name
标志雌性系 Marker female line	A1	TH7
	A2	TH3
	A3	TH9
	A4	TH21
	A5	TH36
两性系 Amphoteric system	B1	1835
	B2	1016
	B3	1892

表 2 蓖麻品系及其杂交组合农艺性状方差分析

Table 2 Variance analysis of agronomic traits of castor strains and their hybrid combinations

变异来源 Source of variation	自由度 Degree of freedom	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	主茎穗位 Main stem spike	一级分枝 First order branching	一级有效果穗数 Primary effective ear number	主茎蒴果数 Number of main stem capsules	一级分枝蒴果数 Number of first-order branched capsules	主茎穗长 Main stem ear length	主茎节数 Number of main stem segments	主茎百粒质量 The hundred-grain mass of the main stems	一级分枝百粒质量 Mass per hundred grains of primary branches	产量 Yield	生育期 Growth period	结果长 Fruit length	有效果穗数 Effective ear number
区组 Block	2	1.729 0	4.203 9*	1.665 3	2.119 1	1.915 4	0.286 3	3.398 1*	0.130 6	0.568 1	0.331 2	1.533 5	1.193 4	3.193 8	1.869 6	1.915 4
组合 Combination	14	0.824 1	2.538 2*	2.021 7	0.288 4	0.283 5	6.395 3**	12.431 7**	11.764 0**	6.594 7**	3.491 8**	8.759 3**	131.022 6**	2.678 3*	1.100 0	0.283 5
父本 Male parent	2	1.249 5	0.287 9	2.337 7	1.853 7	1.161 3	1.124 3	1.200 0	1.397 9	1.101 3	1.222 2	0.619 4	0.732 6	2.130 8	1.715 5	1.161 3
母本 Female parent	4	0.568 7	1.486 4*	0.807 1	0.341 5	0.516 1	0.874 7	1.879 7	0.694 4	0.299 3	1.486 0	1.758 2	0.965 9	0.705 4	0.317 0	0.516 1
父本×母本 Male parent×Female parent	8	0.903 3	2.447 1*	1.779 7	0.308 8	0.320 4	6.512 8**	9.712 9**	12.133 6**	8.098 8**	2.982 9**	7.536 5**	137.622 1**	2.485 9*	1.212 7	0.320 4

注: \* 表示差异在 0.05 水平显著, \*\* 表示差异在 0.01 水平显著。

Note: \* presents a significant difference at the 0.05 level, \*\* presents a significant difference at the 0.01 level.

### 2.2 相关性分析

提高蓖麻产量是蓖麻品种改良的主要目标之一<sup>[13]</sup>。通过对蓖麻产量与其他 14 个性状进行相关性分析可知(表 3),蓖麻产量与一级有效果穗数、主茎蒴果数、一级分枝蒴果数、主茎百粒质量

院试验基地进行。以 5 个 Lm 型雌性系(标志雌性系)蓖麻为母本,3 个两性系蓖麻为父本,按照随机区组设计,组配 15 个杂交组合,并设置 3 次重复,管理措施同大田。测定双亲与组合 F<sub>1</sub> 代株高、茎粗、生育期、主茎穗位、一级分枝、一级有效果穗数、主茎蒴果数、一级分枝蒴果数、主茎穗长、主茎节数、主茎百粒数、一级分枝百粒质量、结果长、有效果穗数和产量共 15 个蓖麻主要农艺性状。

### 1.3 数据分析

采用 DPS(2015)和 Microsoft Excel 2016 软件对试验数据进行分析处理。

超亲优势 = (F<sub>1</sub> 值 - 高值亲本) / 高值亲本 × 100

## 2 结果与分析

### 2.1 各主要农艺性状方差分析

由表 2 可知,在方差分析中,区组间除茎粗、一级分枝蒴果数外,其余性状均未达到显著水平差异,组合间绝大部分性状均呈现显著性差异,表明蓖麻绝大部分农艺性状的差异主要受到遗传基因的控制。除母本茎粗外,两亲本的各项农艺性状均未达到显著差异,而在父本×母本中,有 9 个性状差异性显著,表明各杂交组合间 SCA 效应值存在显著差异,组合间存在真实的遗传差异,可以对这些材料进行下一步效应值分析。

和一级分枝百粒质量呈极显著正相关,与其他 9 个性状的相关性均不构成显著性关系。可见,较多的果穗数和蒴果数以及较大的百粒质量是提高蓖麻产量形成的重要因素,在蓖麻高产创建中最好选取这些性状优良的蓖麻自交系作为亲本进行选育。

表3 蓖麻产量与其他农艺性状的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between castor yield and other agronomic traits

性状 Character	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	主茎穗位 Main stem spike	一级分枝 First order branching	一级有效果穗数 Primary effective ear number	主茎蒴果数 Number of main stem capsules	一级分枝蒴果数 Number of first-order branched capsules
产量 Yield	0.14	0.18	0.24	0.09	0.93**	0.91**	0.95**

  

性状 Character	主茎穗长 Main stem ear length	主茎节数 Number of main stem segments	主茎百粒质量 The hundred-grain mass of the main stem	一级分枝百粒质量 Mass per hundred grains of primary branches	生育期 Growth period	结果长 Fruit length	有效果穗数 Effective ear number
产量 Yield	0.26	-0.05	0.95**	0.91**	-0.24	0.21	0.03

2.3 一般配合力(GCA)分析

GCA 主要由基因的加性效应控制,是可以稳定遗传的部分,当某个自交系 GCA 越高时,说明该自交系所携带的有益基因位点越多,相对而言就具有深入利用的价值<sup>[14-15]</sup>。通过对 15 个蓖麻自交系的农艺性状 GCA 进行分析,定可以初步确定一个自交系的利用价值,预测后代的表现,使培育新品种更有预见性、目标性<sup>[16]</sup>。由表 4 可知,蓖麻各自交系间 GCA 效应值均有不同体现,在 15 个目标性状间,母本 A1、A3、A5 和父本 B2 均有 10 个以上的性状的 GCA 效应值为正值,而 A4 和 B3 在 15 个性状中只有一个性状的 GCA 效应值为正向效应值,表明 A1、A3、A5 和 B2 4

个自交系中携带较多的有益的基因位点,可做高 GCA 亲本进行蓖麻新品种的选育。在蓖麻自交系中,同一自交系在不同性状上的 GCA 值是不同的,自交系 A1 在主茎穗位、主茎穗长、一级分枝蒴果数、主茎百粒质量、一级分枝百粒质量和产量上的 GCA 效应值是全部自交系中的最大值,表明自交系 A1 可在改良蓖麻穗部性状和高产品种选育中提供极大的作用。自交系 B2 在一级分枝、一级有效果穗数、有效蒴果数、生育期、结果长和有效果穗数上的 GCA 效应值是全部自交系中的最大值,可做亲本用于蓖麻的高产创建和生育期的改良。

表4 蓖麻农艺性状一般配合力效应值

Table 4 Effect values of general combining ability of castor agronomic traits

亲本 Parent	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	主茎穗位 Main stem spike	一级分枝 First order branching	一级有效果穗数 Primary effective ear number	主茎蒴果数 Number of main stem capsules	一级分枝蒴果数 Number of first-order branched capsules	主茎穗长 Main stem ear length	主茎节数 Number of main stem segments	主茎百粒质量 The hundred-grain mass of the main stem	一级分枝百粒质量 Mass per hundred grains of primary branches	产量 Yield	生育期 Growth period	结果长 Fruit length	有效果穗数 Effective ear number	正向效应值 Positive effect size
A1	-2.412 1	0.816 4	6.453 6	0.502 5	1.449 3	15.256 1	21.478 2	2.092 8	3.476 8	4.644 8	2.092 8	15.899 6	4.457 1	-6.269 3	1.449 3	13
A2	-0.362 6	0.508 3	-0.482 5	-2.010 1	-0.966 2	0.222 7	-2.205 0	0.020 7	8.443 7	-0.978 5	0.020 7	-4.836 2	6.400 0	4.881 8	-0.966 2	5
A3	3.657 6	2.164 2	-2.895 1	0.502 5	1.449 3	1.614 7	4.940 8	0.731 2	-3.145 7	0.215 7	0.731 2	4.069 2	-9.485 7	4.213 8	1.449 3	12
A4	-0.126 1	-0.608 4	-1.387 2	3.015 1	-3.381 6	-25.946 5	-27.929 8	-3.879 5	-11.423 8	-4.651 2	-3.879 5	-16.016 6	-0.457 1	-7.451 2	-3.381 6	1
A5	-0.756 7	-2.880 5	-1.688 8	-2.010 1	1.449 3	8.853 0	3.715 8	1.034 8	2.649 0	0.769 3	1.034 8	0.884 0	-0.914 3	4.624 9	1.449 3	10
B1	1.261 2	0.531 4	4.764 8	-0.502 5	-1.449 3	-8.296 2	-10.330 7	-0.884 0	-12.086 1	-1.360 3	-0.884 0	-5.811 2	1.485 7	-0.750 3	-1.449 3	4
B2	1.686 9	0.184 8	0.241 3	4.020 1	2.898 6	15.924 3	11.719 1	1.166 9	1.821 2	2.714 8	1.166 9	9.009 4	7.451 4	11.675 2	2.898 6	15
B3	-2.948 1	-0.716 3	-5.006	-3.517 6	-1.449 3	-7.628 1	-1.388 3	-0.283 0	10.264 9	-1.354 5	-0.283 0	-3.198 1	-8.937 1	-10.925 0	-1.449 3	1

2.4 特殊配合力(SCA)分析

SCA 主要由亲本的非加性效应控制,基于基因互作的多样性和复杂性,不同杂交组合的某一性状和相同杂交组合的不同性状间均体现出很大的差异性,因此,只能通过不同组合的平均效应来推测杂种后代的性状表现<sup>[17]</sup>。由表 5 可知,在 15 个杂交组合中,A1×B1、A1×B2、A2×B1 和 A5×B3、分别有 13、11、10 和 14 个性状的 SCA 效应值呈正值,表明以上 4 个组合的 SCA 表现均较为

优良。从单独性状来看,A3×B3 组合在一级有效果穗数、有效果穗数、主茎蒴果数、一级分枝蒴果数和产量上的 SCA 效应值为 15 个组合中的最大值,但在生育期 SCA 效应值中为全部组合的最小值。组合 A5×B3 在株高、主茎穗长和结果长的 SCA 效应值为全部组合中的最大值。杂交组合 A3×B1 在主茎穗位和主茎节数上的 SCA 效应值在全部组合中为最大值。但是杂交组合 A1×B3 则在茎粗、主茎穗位、一级分枝蒴果数主

茎百粒质量、一级分枝百粒质量、产量和有效果穗数上的 SCA 效应值均为最低值,表现出不好的 SCA 效应,在蓖麻新品种选育是不宜作为杂交组合进行新品种的选育。由此可见,不同杂交组合

在不同性状上均有不一样的 SCA 体现,在生产实践和新品种选育中,要根据实际育种目标来确定相应的杂交组合,才能更精准、更贴切地选育出符合生产需要的蓖麻新品种。

表 5 蓖麻农艺性状特殊配合力效应值

Table 5 Effect values of special combining ability of castor agronomic traits

组合 Assembly	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	主茎 穗位 Main stem spike	一级 分枝 First order branching	一级有效 果穗数 Primary effective ear number	主茎 蒴果数 Number of main stem capsules	一级分枝 蒴果数 Number of first- order branched capsules	主茎穗长 Main stem ear length	主茎节数 Number of main stem segments	主茎百 粒质量 The hundred- grain mass of the main stem	一级分枝 百粒质量 Mass per hundred grains of primary branches	产量 Yield	生育期 Growth period	结果长 Fruit length	有效 果穗数 Effective ear number	正向效 应值 Positive effect size
A1×B1	0.236 5	4.128 2	5.488 5	5.527 6	1.449 3	21.659 2	5.839 1	-2.745 9	15.397 4	0.291 6	1.926 3	7.111 3	-5.828 6	1.212 7	1.449 3	13
A1×B2	4.540 4	-1.417 1	6.393 2	-6.532 7	4.347 8	4.955 5	20.539 0	3.406 3	-5.960 3	6.066 2	1.500 0	19.786 8	-0.822 9	1.120 2	4.347 8	11
A1×B3	-4.776 9	-2.711 0	-11.881 8	1.005 0	-5.797 1	-26.614 7	-26.378 1	-0.660 4	-9.437 1	-6.357 9	-3.426 3	-26.898 1	6.651 4	-2.333 0	-5.797 1	2
A2×B1	-0.630 6	-1.917 7	-3.860 1	0.502 5	3.864 7	34.187 1	25.234 8	9.767 1	-24.337 7	5.567 3	3.698 0	20.436 8	-13.600 0	6.094 6	3.864 7	10
A2×B2	3.436 9	1.663 6	-1.146 0	3.517 6	-0.483 1	-17.594 7	-11.514 9	-2.328 8	8.940 4	-3.799 5	-2.090 3	-9.204 4	10.262 9	7.081 2	-0.483 1	6
A2×B3	-2.806 2	0.254 2	5.006 0	-4.020 1	-3.381 6	-16.592 4	-13.719 9	-7.438 3	15.397 4	-1.767 8	-1.607 6	-11.232 4	3.337 1	-13.175 7	-3.381 6	4
A3×B1	1.734 2	1.971 7	6.694 8	5.527 6	-5.797 1	-34.020 0	-13.760 7	-7.264 5	31.953 6	-3.806 0	-1.736 0	-19.279 8	2.971 4	-10.503 6	-5.797 1	6
A3×B2	1.545 0	-0.223 4	-4.161 6	-6.532 7	-2.898 6	-2.282 9	-14.373 2	21.828 3	-26.655 6	-0.938 0	-1.645 8	-10.504 4	12.777 1	23.936 3	-2.898 6	4
A3×B3	-3.279 2	-1.748 3	-2.533 2	1.005 0	8.695 7	36.302 9	28.133 9	-14.563 8	-5.298 0	4.743 9	3.381 8	29.784 2	-15.748 6	-13.432 7	8.695 7	8
A4×B1	0.078 8	-1.956 3	-3.860 1	-4.522 6	-0.966 2	-12.305 1	-19.477 3	6.117 5	5.463 6	0.027 7	-2.196 1	-5.239 2	2.857 1	6.094 6	-0.966 2	6
A4×B2	-2.711 7	-0.223 4	-2.050 7	6.030 2	1.932 4	23.608 0	15.434 9	-2.328 8	-3.476 8	-0.059 2	2.326 3	7.241 3	-9.622 9	-3.710 2	1.932 4	7
A4×B3	2.632 8	2.179 6	5.910 7	-1.507 5	-0.966 2	-11.302 9	4.042 5	-3.788 7	-1.986 8	0.031 5	-0.130 2	-2.002 1	6.765 7	-2.384 4	-0.966 2	6
A5×B1	-1.418 9	-2.225 8	-4.463 2	-7.035 2	1.449 3	-9.521 2	2.164 1	-5.874 2	-28.476 8	-2.080 7	-1.692 2	-3.029 1	13.600 0	-2.898 3	1.449 3	4
A5×B2	-6.810 7	0.200 2	0.965 0	3.517 6	-2.898 6	-8.686 0	-10.085 7	-20.577 0	27.152 3	-1.269 5	-0.090 1	-7.319 3	-12.594 3	-28.427 5	-2.898 6	4
A5×B3	8.229 5	2.025 6	3.498 2	3.517 6	1.449 3	18.207 1	7.921 6	26.451 2	1.324 5	3.350 2	1.782 3	10.348 4	-1.005 7	31.325 8	1.449 3	14

## 2.5 杂种优势分析

由表 6 可知,蓖麻品系的杂交组合间存在较为广泛的超亲优势。15 个性状中,除株高、茎粗、一级分枝百粒质量和产量外,其余 11 个性状的平均超亲优势均为正值,其中主茎蒴果数、一级有效蒴果数、一级分枝、主茎穗位和有效蒴果数的超亲优势平均值均排在前列。并且在 15 个杂交组合中,主茎穗位、一级分枝、一级有效果穗数、生育期和有效果穗数的正向组合均大于 10 个,表明这批杂交组合的超亲优势主要体现在改良蓖麻的蒴果数量及穗部性状上。

从杂交组合来看,组合 A5×B1 在一级有效果穗数、一级分枝蒴果数、一级分枝百粒质量、有效蒴果数和产量上均有最大的超亲优势,但在主茎穗位、主茎穗长和生育期上的超亲优势是 15 个组合中的最低值。组合 A3×B3 在株高、茎粗、主茎穗长和结果长上的超亲优势是 15 个组合中最大值。组合 A1×B1 在主茎穗位和主茎蒴果数的超亲优势上呈现为最大值。组合 A2×B3、A3×B1、A4×B1 和 A4×B2 分别在主茎百粒质量、生育期、一级分枝和主茎节数上有着最大的超亲优势。由此可知,每个杂交组合在不同性状上均有

不同的超亲优势体现,更适于人为地根据育种目标进行精确定位蓖麻亲本的选择。

## 2.6 遗传力分析

通过对蓖麻组合性状间的遗传力进行分析可知(表 8),蓖麻组合的 15 个性状在 GCA 方差和 SCA 方差中存在明显的分化。在 15 个性状中,株高、一级分枝、一级有效果穗数和有效果穗数的 GCA 方差均大于 SCA 方差,且都为 100%,表明这 4 个性状均由亲本的加性效应控制。而茎粗、产量、生育期等其他 11 个性状的 SCA 方差则大于其 GCA 方差,主要体现为亲本的非加性效应,如果要改良这些目标性状,还应考虑杂交组合间的互相影响。遗传力是反映性状的遗传变异占总变异的百分比<sup>[18]</sup>。在表 7 中,15 个蓖麻农艺性状广义遗传力及狭义遗传力均由配合力方差分析结果得出。遗传力分析表明,主茎蒴果数、一级分枝蒴果数、主茎穗长、主茎节数、一级分枝百粒质量和产量的广义遗传力均大于狭义遗传力,且大于 50%。表明这几个性状受环境影响较小,在杂交选育中,早期世代就可进行选择且有较好的效果。而其他 9 个性状的遗传力均处于较低水平,受环境影响较大,不宜在早期世代进行选择。

表 6 15 份杂交组合主要农艺性状的超亲优势整体表现

Table 6 Overall performance of superparental dominance of main agronomic traits in 15 hybrid combinations

性状 Character	表型平均值 Mean of phenotype	表型变异幅度 Range of phenotype	超亲优势 Heterobeltiosis		
			平均值 Mean value	变异幅度 Range of variation	正向组合数 Number of positive heterosis combination
株高 Plant height	105.72	95~113	-0.45	-0.5~-0.41	0
茎粗 Stem diameter	2.89	2.76~3.03	-0.01	-0.09~0.1	7
主茎穗位 Main stem spike	37.25	33.75~41.75	0.16	0.05~0.29	15
一级分枝 First order branching	3.32	3~3.75	0.21	0~0.4	15
一级有效果穗数 Primary effective ear number	3.45	3.25~3.75	0.26	0.08~0.5	15
主茎蒴果数 Number of main stem capsules	29.93	16~40.75	0.62	-0.58~3	7
一级分枝蒴果数 Number of first-order branched capsules	40.82	17.25~62.75	0.03	-0.41~0.84	5
主茎穗长 Main stem ear length	47.95	37.5~64.25	0.07	-0.23~0.64	8
主茎节数 Number of main stem segments	10.07	6.25~13.5	0.08	-0.28~0.62	9
主茎百粒质量 Hundred-grain mass of the main stem	25.89	24.34~29.37	0.02	-0.07~0.18	8
一级分枝百粒质量 Mass per hundred grains of primary branches	26.62	24.77~27.89	-0.01	-0.07~0.05	6
产量 Yield	2 563.68	1 867.95~3 712.15	-0.13	-0.39~0.26	3
生育期 Growth period	97.22	64~120.67	0.05	-0.33~0.26	11
结果长 Fruit length	43.25	34.27~60.47	0.05	-0.19~0.43	9
有效果穗数 Effective ear number	5.57	4.33~8.07	0.15	-0.15~0.54	12

表 7 超亲优势率分析

Table 7 Analysis of superparent dominance rate

超亲 优势率 Superparent dominance rate	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	主茎 穗位 Main stem spike	一级 分枝 First order branching	一级有效 果穗数 Primary effective ear number	主茎 蒴果数 Number of main stem capsules	一级分枝 蒴果数 Number of first- order branched capsules	主茎穗长 Main stem ear length	主茎节数 Number of main stem segments	主茎百 粒质量 The hundred- grain mass of the main stem	一级分枝 百粒质量 Mass per hundred grains of primary branches	产量 Yield	生育期 Growth period	结果长 Fruit length	有效 果穗数 Effective ear number
A1×B1	-0.448 0	0.016 8	0.294 6	0.400 0	0.400 0	2.948 7	0.632 5	-0.147 8	-0.065 2	0.053 8	0.045 4	0.134 7	0.013 9	0.048 5	0.146 5
A1×B2	-0.444 3	0.043 6	0.233 9	0.181 8	0.166 7	0.217 7	-0.093 6	0.407 6	0.115 4	0.024 7	-0.002 3	-0.055 9	-0.003 6	0.131 5	0.291 3
A1×B3	-0.415 8	-0.044 1	0.210 5	0.166 7	0.181 8	-0.577 4	-0.278 7	-0.038 3	0.093 0	-0.012 4	-0.027 9	-0.388 7	0.037 5	-0.056 3	0.112 6
A2×B1	-0.436 1	-0.072 2	0.170 5	0.300 0	0.300 0	0.641 0	-0.410 3	-0.137 9	-0.282 6	-0.043 4	-0.056 9	-0.294 7	0.052 1	0.089 7	0.388 5
A2×B2	-0.450 9	0.029 7	0.241 9	0.090 9	0.166 7	-0.121 0	-0.231 5	0.159 2	-0.038 5	-0.033 8	-0.044 7	-0.208 8	0.206 5	0.033 7	0.102 4
A2×B3	-0.431 3	-0.060 1	0.255 6	0.083 3	0.363 6	-0.029 8	0.371 6	0.147 5	-0.069 8	0.178 5	0.038 0	0.121 7	0.213 5	0.081 5	-0.099 3
A3×B1	-0.416 3	0.008 4	0.131 8	0.400 0	0.400 0	2.025 6	0.367 5	0.098 5	0.043 5	-0.003 5	0.004 5	-0.080 4	0.256 9	0.376 2	-0.146 5
A3×B2	-0.407 6	0.102 0	0.088 7	0.181 8	0.166 7	0.112 9	-0.177 3	0.636 9	0.115 4	0.012 5	-0.027 3	-0.117 8	0.170 3	0.431 4	0.023 6
A3×B3	-0.458 5	-0.065 8	0.082 7	0.250 0	0.272 7	-0.190 5	-0.114 8	0.005 5	-0.186 0	0.018 3	-0.013 0	-0.223 6	0.063 7	0.020 4	0.059 6
A4×B1	-0.475 6	-0.041 1	0.147 3	0.400 0	0.400 0	2.564 1	0.470 1	-0.118 2	0.152 2	0.040 0	0.035 0	-0.006 9	-0.048 6	-0.021 9	0.248 4
A4×B2	-0.502 0	0.059 4	0.096 8	0.181 8	0.083 3	-0.217 7	-0.246 3	0.089 2	0.615 4	-0.037 8	-0.045 5	-0.262 9	0.079 7	-0.176 2	0.433 1
A4×B3	-0.485 8	-0.070 6	0.067 7	0.000 0	0.181 8	-0.458 3	-0.262 3	-0.005 5	0.255 8	-0.003 6	-0.027 7	-0.374 3	0.101 1	-0.179 9	0.059 6
A5×B1	-0.457 2	-0.038 6	0.054 3	0.300 0	0.500 0	3.000 0	0.837 6	-0.231 5	-0.108 7	0.054 1	0.052 4	0.264 9	-0.333 3	-0.111 1	0.541 4
A5×B2	-0.448 2	0.075 1	0.201 6	0.181 8	0.083 3	-0.467 7	-0.399 0	-0.044 6	0.500 0	-0.066 6	-0.071 4	-0.322 4	0.029 0	-0.188 8	0.165 4
A5×B3	-0.427 5	-0.092 2	0.097 7	0.083 3	0.272 7	-0.148 8	-0.016 4	0.300 5	0.069 8	0.067 7	0.015 9	-0.163 0	-0.026 2	0.269 3	-0.006 6

表 8 遗传参数分析

Table 8 Analysis of genetic parameters

遗传 参数 Genetic parameters	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	主茎 穗位 Main stem spike	一级 分枝 First order branching	一级有效 果穗数 Primary effective ear number	主茎 蒴果数 Number of main stem capsules	一级分枝 蒴果数 Number of first- order branched capsules	主茎穗长 Main stem ear length	主茎节数 Number of main stem segments	主茎百 粒质量 The hundred- grain mass of the main stem	一级分枝 百粒质量 Mass per hundred grains of primary branches	产量 Yield	生育期 Growth period	结果长 Fruit length	有效 果穗数 Effective ear number
一般配合力方差/% Variance of GCA	100	21.52	37.91	100	100	2.85	27.09	7.98	2.26	23.7	22.57	0	27.45	44.93	100
特殊配合力方差/% Variance of SCA	0	78.48	62.09	0	0	97.15	72.91	92.02	97.74	76.3	77.43	100	75.55	55.07	0
广义遗传力/% Broad heritability	1.11	38.07	29.51	1.3	0.26	58.66	74.92	75.15	64.49	39.38	67.85	97.85	40.57	11.41	0.26
狭义遗传力/% Narrow heritability	1.11	8.19	11.19	1.3	0.26	1.67	20.29	6	1.46	9.33	15.31	0	11.14	5.12	0.26
环境方差/% Environmental variance	130.00	0.01	11.70	0.55	0.40	46.57	35.16	20.20	2.89	2.03	0.34	27.20	184.16	172.74	0.40

### 3 讨论

#### 3.1 杂交组合构建原则

杂交育种的原理是基因重组,即将亲本的基因通过分离、组合后将各种优良基因聚集在一起<sup>[19]</sup>。在生产实践中,可根据实际育种目标,人为地将双亲的基因重新组合,并对杂交后代进行筛选与鉴定,选育出优良的新品种<sup>[20]</sup>。因此,选取合适的杂交组合是加大杂交育种成功率的关键因素。杂交组合通常与亲本的配合力有关,因此,在选取蓖麻杂交组合亲本时需要充分明确双亲的 GCA 和 SCA。胡文平等<sup>[21]</sup>通过对西藏玉米地方品种的配合力进行分析,筛选出两份 GCA 高的优质地方品种和一个高产杂交玉米组合。孙帅等<sup>[22]</sup>通过对大豆品种‘中豆 32’的主要农艺性状进行分析,结果表明骨干亲本‘中豆 32’与百粒质量和蛋白含量 GCA 表现突出的亲本组配更容易选育出优异品种。在本研究结果中,自交系 A1 在蓖麻产量、产量性状和穗部性状上具有较大 GCA 效应值,自交系 B2 在生育期、果穗数量和果穗形状上均有较高的 GCA 效应值,二者都直接或间接地在提高蓖麻产量的性状上有最高的 GCA 效应值。在 SCA 分析中,以 A1 和 B2 为亲本组配的组合,其在 15 个农艺性状的 SCA 效应值中,有 11 个为正向效应值,并且在主茎百粒质量上的 SCA 效应值为全部组合中的最大值,该结果表明,自交系 A1 和 B2 的 GCA 和组合 SCA 在蓖麻大部分农艺性状中均表现优秀,可在提高蓖麻产量的亲本选育中作为优异亲本进行杂交组合的构建。但是在本研究结果中,自交系 B3 的 GCA 效应值在全部自交系中表现最差,仅有一个性状为正向效应值,但其作为亲本与其他自交系组配的杂交组合中,有 8 个性状的 SCA 效应值为全部组合的最大值,表现出较好的 SCA 效应。由此可见,在组配蓖麻杂交组合时,不仅需要明确育种目标,而且要兼顾组合双亲的 GCA 和 SCA。

#### 3.2 选取合适的亲本

杂种优势现象是普遍存在于大自然界中的生物特征之一,在作物研究中已经被得到广泛应用<sup>[23]</sup>。在本研究中,除株高、茎粗、一级分枝百粒质量和产量外,其余 11 个性状的平均超亲优势均为正值,且变化幅度较大。而且在 15 个性状中,主茎穗位、一级分枝、一级有效果穗数、生育期和有效果穗数的正向组合均大于 10 个,表明本批杂

交组合在以上 5 个性状上表现为强超亲优势,可针对以上性状进行品种的改良。在杂交组合中,组合 A5×B1、A3×B3、A1×B1、A2×B3、A3×B1、A4×B1 和 A4×B2 均有对应的性状超亲优势为最大值,表明以上 7 个杂交组合具有较强的杂种优势,可在品种改良过程中根据改良性状的不同进行杂交组合的选取。由此可以看出,自交系 B1 参与组配的杂交组合具有较高的杂种优势,而 Lm 型蓖麻雌性系则表现为单个性状上的强杂种优势,因此,在组配杂交组合时一定要根据育种目标来选择合适的亲本,以此来加快育种进程。

#### 3.3 蓖麻主要农艺性状的遗传特点

遗传力是表现某一性状受到遗传控制的程度。广义遗传力是指遗传变异占表现型总变异的百分数,反映遗传性状选择效果优劣,而狭义遗传力指群体内加性遗传方差占表型方差的比率,能更准确地反映选择效果优劣<sup>[24]</sup>。本研究结果中,主茎蒴果数、一级分枝蒴果数、主茎穗长、主茎节数、一级分枝百粒质量和产量的广义遗传力均大于狭义遗传力,且大于 50%,表明这些性状受加性效应和非加性效应共同影响,但非加性遗传作用比较突出,而且受环境影响较小,适宜在早代进行选择。而其他 9 个性状的遗传力均处于较低水平,在生长发育过程中易受环境的影响,表现出不同的发育特征,在高世代选择会有较好的效果。

### 4 结论

蓖麻农艺性状在遗传水平上具有较大的差异性,要求在选种亲本时不仅要选取高 GCA 品系作为组合亲本,还应考虑该杂交组合的 SCA 是否优越,综合提高杂交组合的高产潜力。并且要根据各性状的遗传差异,在合适的世代进行优良性状的选择。本试验通过对以 Lm 型雌性系为母本组成的 15 个蓖麻杂交组合的农艺性状和产量进行分析,筛选出两份高 GCA 自交系(A1 与 B2),二者都直接或间接地在提高蓖麻产量的性状上有较高的 GCA 效应值,并且以上两个为母本组配的杂交组合也具有较高的 SCA 效应值,所以在蓖麻高产创建和品种创新中可使用该自交系进行杂交组合的选配。

#### 参考文献 Reference:

- [1] 顾帅磊,陆建农,杨 婷,等. 蓖麻骨干亲本杂种优势群的划分[J]. 分子植物育种, 2022, 20(22): 7522-7533.  
GU SH L, LU J N, YANG T, *et al.* Division of parental het-

- erosis groups in castor castor backbone [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2022, 20(22): 7522-7533.
- [2] 徐寿军, 王磊, 德木其格, 等. 蓖麻籽粒油分含量预测模型构建[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2021, 36(1): 51-55.  
XU SH J, WANG L, DeMuq ge, et al. Construction of prediction model for oil content in castor seeds [J]. *Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Science Edition)*, 2021, 36(1): 51-55.
- [3] 魏海林, 李绪孟, 王小卉, 等. 蓖麻形态结构与产量之间关系研究进展综述[J]. 湖南林业科技, 2019, 46(2): 65-71.  
WEI H L, LI X M, WANG X H, et al. Review on the relationship between morphology, structure and yield of castor bean [J]. *Hunan Forestry Science and Technology*, 2019, 46(2): 65-71.
- [4] 徐晓龙, 王静华. 白城市蓖麻产业发展探讨[J]. 现代农业科技, 2017, 696(10): 273, 275.  
XU X L, WANG J H. Discussion on the development of castor industry in Baicheng City [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2017, 696(10): 273, 275.
- [5] LIU S, SEVERINO, DICK L, et al. A review on the challenges for increased production of castor [J]. *Agronomy Journal*, 2012, 104(4): 853-880.
- [6] 朱国立, 顾名勋. 蓖麻标志雌性系选育及其遗传性[J]. 中国油料, 1990(3): 25-28.  
ZHU G L, GU M X. Breeding and heritability of castor marker female line [J]. *China Oil Resources*, 1990(3): 25-28.
- [7] 周亚星, 周伟, 朱国立, 等. 蓖麻 Lm 型雌性系 ISSR-PCR 反应体系建立与优化[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2016, 31(1): 45-47, 51.  
ZHOU Y X, ZHOU W, ZHU G L, et al. Establishment and optimization of ISSR-PCR reaction system for female Ricor Lm strain [J]. *Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Science Edition)*, 2016, 31(1): 45-47, 51.
- [8] 陈晓杰, 杨保安, 范家霖, 等. 小麦杂种优势利用研究进展[J]. 种子, 2022, 41(1): 66-73.  
CHEN X J, YANG B A, FAN J L, et al. Research progress on utilization of wheat heterosis [J]. *Seed*, 2022, 41(1): 66-73.
- [9] 逯腊虎, 张婷, 张伟, 等. 黄淮南部和黄淮北部麦区小麦品种间的杂种优势、配合力及遗传特性分析[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(3): 1-8.  
LU L H, ZHANG T, ZHANG W, et al. Analysis on heterosis, combining ability and genetic characteristics of wheat varieties in southern and northern Huanghuai wheat regions [J]. *Journal of Wheat Crops*, 2023, 43(3): 1-8.
- [10] 李卓然, 何智彪, 雷凤燕, 等. 矮秆蓖麻主要农艺性状杂种优势及其遗传参数分析[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2019, 34(1): 62-71.  
LI ZH R, HE ZH B, LEI F Y, et al. Analysis of heterosis and genetic parameters of main agronomic characters of dwarf castor bean [J]. *Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Science Edition)*, 2019, 34(1): 62-71.
- [11] 唐艳梅. 蓖麻农艺性状杂种优势分析[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2015, 30(2): 119-125.  
TANG Y M. Analysis on heterosis of agronomic traits of Castor bean [J]. *Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Science Edition)*, 2015, 30(2): 119-125.
- [12] 石如如, 石凤翎, 徐帆. 二倍体苜蓿主要性状配合力及杂种优势分析[J]. 种子, 2022, 41(10): 120-125.  
SHI R R, SHI F L, XU B. Analysis of combining ability and heterosis of main characters of diploid alfalfa [J]. *Seed*, 2022, 41(10): 120-125.
- [13] 顾帅磊, 陆建农, 黄家祥, 等. 蓖麻杂交组合收获指数评价[J]. 中国油料作物学报, 2022, 44(4): 860-868.  
GU SH L, LU J N, HUANG J X, et al. Evaluation of harvest index of castor hybrid combination [J]. *Chinese Journal of Oil Crops*, 2022, 44(4): 860-868.
- [14] 史秀秀, 毕晓静, 马守才, 等. 黄淮麦区杂交小麦亲本的杂种优势和配合力分析[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(6): 1111-1118.  
SHI X X, BI X J, MA SH C, et al. Heterosis and combining ability analysis of hybrid wheat parents in Huanghuai wheat region [J]. *Journal of Triticum Crops*, 2013, 33(6): 1111-1118.
- [15] 龙风, 李承波, 彭忠华. 6个新选玉米自交系的配合力分析[J]. 种子, 2021, 40(8): 111-115.  
LONG F, LI CH B, PENG ZH H. Combining ability analysis of 6 newly selected maize inbred lines [J]. *Journal of Seeds*, 2019, 40(8): 111-115.
- [16] 吴涛, 董彦琪, 肖艳, 等. 大白菜主要表型性状的配合力评价及遗传力分析[J]. 河南农业科学, 2018, 47(12): 102-109.  
WU T, DONG Y Q, XIAO Y, et al. Combining ability evaluation and heritability analysis of main phenotypic traits of Chinese cabbage [J]. *Henan Agricultural Sciences*, 2018, 47(12): 102-109.
- [17] 余忠浩, 周伟, 李岩, 等. 10个高粱自交系及其杂交组合配合力和遗传力分析[J]. 种子, 2023, 42(1): 116-122.  
YU ZH H, ZHOU W, LI Y, et al. Combining ability and heritability analysis of 10 sorghum inbred lines and their cross combinations [J]. *Seed*, 2019, 42(1): 116-122.
- [18] 曹应江, 游书梅, 张涛, 等. 全香型杂交稻产量性状配合力、遗传力及相关性分析[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(9): 97-103.  
CAO Y J, YOU SH M, ZHANG T, et al. Combining ability, heritability and correlation analysis of yield traits of all-flavor hybrid rice [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2023, 51(9): 97-103.
- [19] 古晓红, 李方舟, 张海生, 等. 大豆常规杂交育种和生物分子育种的优劣对比[J]. 种子科技, 2020, 38(17): 29-30.  
GU X H, LI F ZH, ZHANG H SH, et al. Comparison between conventional cross breeding and biomolecular breeding of soybean [J]. *Seed Science and Technology*, 2019, 38(17): 29-30.
- [20] 王丹, 张志成, 林团荣, 等. 马铃薯杂交育种技术研究[J]. 种子, 2021, 40(4): 139-141, 148.  
WANG D, ZHANG ZH CH, LIN T R, et al. Research on hybrid breeding technology of potato [J]. *Seed*, 2019, 40(4): 139-141, 148.
- [21] 胡文平, 李文海, 候忠祥, 等. 西藏玉米地方品种配合力分析[J]. 黑龙江农业科学, 2023, 348(6): 12-18.

- HU W P, LI W H, HOU ZH X, *et al.* Analysis of combining ability of maize cultivars in Tibet [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2023, 348(6): 12-18.
- [22] 孙 帅, 易志杰, 袁松丽, 等. 大豆骨干亲本中豆 32 主要农艺性状的配合力分析[J]. *大豆科学*, 2023, 42(2): 157-164.
- SUN SH, YI ZH J, YUAN S L, *et al.* Analysis of combining ability of main agronomic traits of soybean backbone parent, soybean 32 [J]. *Soybean Science*, 2019, 42(2): 157-164.
- [23] 吴 珂, 余 渝, 何良荣, 等. 陆地棉品质和产量性状配合力及杂种优势分析[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(6): 67-73.
- WU K, YU Y, HE L R, *et al.* Analysis of combining ability and heterosis of upland cotton quality and yield characters [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2023, 51(6): 67-73.
- [24] 段有厚, 卢 峰, 邹剑秋. 早熟矮秆高粱亲本系配合力和遗传力分析[J]. *辽宁农业科学*, 2017(2): 9-12.
- DUAN Y H, LU F, ZOU J Q. Analysis of combining ability and heritability of parents of early-maturing dwarf sorghum [J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2017(2): 9-12.

## Heterosis Analysis of Castor Lm-type Female Lines and Their Hybrid Combinations

ZHOU Wei<sup>1</sup>, YU Zhonghao<sup>1</sup>, LIU Hui<sup>2</sup> and ZHOU Yaxing<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Ecological Agriculture in Horqin Sandy Land/College of Agriculture, Inner Mongolia Mingzu University, Tongliao Inner Mongolia 028000, China; 2. Inner Mongolia Engineering Project Management Co., Ltd., Hohhot 010000, China)

**Abstract** In order to understand the genetic basis of combining ability of Lm-type female line castor, this study analyzed the combining ability, heritability and heterosis of castor hybrid combinations with five castor Lm-type female lines as the maternal parents and three castor bisexual lines as the male parents. A total of 15 hybrid combinations were formed according to NC-II incomplete diallel cross group. The results showed that the General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) of female line A1 and bisexual line B2 showed excellent performance in most agronomic traits of castor. These lines could be used as excellent parents in constructing the hybrid combinations for parental breeding to increase the yield of castor. The study of parental heterosis found that the hybrid combination of bisexual line B2 exhibited strong heterosis in multiple agronomic traits, while the female line of Lm showed strong heterosis in single traits. Based on the results of heritability analysis, traits such as the number of capsules on the main stem, capsules on the primary branch, spike length of the main stem, the number of nodes on the main stem, hundred-grain mass in primary branch, and yield of castor were affected by both additive and non-additive effects, and these traits were less affected by the environment, making them suitable for selection in the early generation.

**Key words** Castor; Lm type female line; Heterosis; Combining ability; Heritability

**Received** 2023-07-13      **Returned** 2023-09-05

**Foundation item** Doctoral Research Fund Project of Inner Mongolia University for Nationalities (No. BS621); 2022 Basic Research Funds for Universities Directly under the Inner Mongolia Autonomous Region (No. 2022182).

**First author** ZHOU Wei, male, lecturer. Research area: crop genetic improvement and germplasm innovation. E-mail: maizeseed@163.com

**Corresponding author** ZHOU Yaxing, female, associate professor. Research area: crop genetic improvement and germplasm innovation. E-mail: zhouyaxing3@163.com