

网络出版时间:2013-07-18 15:59

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130718.1559.008.html>

甘蓝型油菜光合性状的杂种优势研究

张耀文,赵小光,田建华,王竹云,赵兴忠,陈娜,陈文杰,李殿荣,李敏

(陕西省杂交油菜研究中心,陕西 大荔 715105)

【摘要】 【目的】研究不同生育时期甘蓝型油菜光合性状杂种优势的真实表现,为油菜的高光效育种提供理论依据。【方法】以 4 套在生产中大面积应用的甘蓝型油菜细胞质雄性不育杂种 F_1 (杂油 59、秦优 7 号、秦杂油 3 号、秦杂油 1 号)及其亲本为材料,在不同生育时期比较了其光合面积、主要气体交换参数、群体生长量、群体生长速率、叶绿素含量等光合性状的杂种优势及其亲子相关性。【结果】①在整个生育期内,甘蓝型油菜杂种 F_1 在光合面积、群体生长量方面都有明显的正向杂种优势,主要气体交换参数在一定时期内有明显正向优势,叶绿素含量无明显的杂种优势,群体生长速率则在大多时期表现为明显的负向杂种优势。②甘蓝型油菜各个光合性状之间的杂种优势表现为:光合面积(平均中亲优势(MP) 57.02%,平均超亲优势(HP) 39.46%) > 群体生长量(MP 41.77%, HP 32.39%) > 主要气体交换参数(MP 2.70%, HP -3.72%) > 叶绿素含量(MP 1.75%, HP -0.52%) > 群体生长速率(MP -4.14%, HP -17.47%)。③不同生育时期期间的杂种优势表现:光合面积为蕾薹期 > 角果期 > 花期 > 苗期;主要气体交换参数中的净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)为:蕾薹期 > 花前-花中 > 苗期 > 角果期 > 花后期,气孔限制值(L_s)和水分利用效率(WUE)为:角果期 > 花后期 > 花前-花中 > 蕾薹期 > 苗期;群体生长量为角果期 > 花期 > 蕾薹期 > 苗期;群体生长速率为:花期 > 角果期 > 苗期 > 薹期 > 越冬期;叶绿素含量为:薹期 > 花期 > 苗期 > 角果期 > 终花期。④双亲尤其是母本、双亲中值和高亲的光合性状与 F_1 的光合性状极显著相关。【结论】通过选育高光效亲本,结合杂种优势利用进行油菜的高光效育种具有一定的意义和可行性。

【关键词】 杂种优势;光合特性;亲子相关;高光效育种;甘蓝型油菜

【中图分类号】 S565.403.51

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2013)08-0049-09

Heterosis of photosynthetic characteristics in *Brassica napus* L.

ZHANG Yao-wen, ZHAO Xiao-guang, TIAN Jian-hua, WANG Zhu-yun,

ZHAO Xing-zhong, CHEN Na, CHEN Wen-jie, LI Dian-rong, LI Min

(Hybrid Rapeseed Research Center of Shaanxi Province, Dali, Shaanxi, 715105, China)

Abstract: 【Objective】The objective of this study was to research heterosis of photosynthetic characteristics in *Brassica napus* L. at different growth stages. 【Method】Four cytoplasmic hybrids F_1 (Zayou 59, Qinyou No. 7, Qinzayou No. 3, Qinzayou No. 1) and their parent lines were used as research materials. The heterosis and correlations between the photosynthetic area, main photosynthetic parameters, the net assimilation of total plant, the net population photosynthetic rate and the chlorophyll content of parents and offspring were compared at different growth stages. 【Result】①The photosynthetic area and the net assimilation of total plant of hybrids F_1 had positive heterosis in the whole growth stage; the main photosynthetic parameters had positive heterosis in specific stages; the chlorophyll content had little heterosis and the net population crop growth rate had negative heterosis at most stages. ②Comparing heterosis of photosynthetic

* [收稿日期] 2012-10-19

[基金项目] 国家油菜现代产业技术体系建设项目(nycytx-05 黄淮区品种选育);国家农作物规模化制种关键技术及产业化项目(2008BAD93B04)

[作者简介] 张耀文(1972—),男,陕西蓝田人,助理研究员,主要从事油菜生理和栽培技术研究。

characteristics showed that;the photosynthetic area (MP 57.02% and HP 39.46%)>the net assimilation of total plant (MP 41.77% and HP 32.39%)>the main photosynthetic parameters (MP 2.70% and HP -3.72%)>the chlorophyll contend (MP 1.75% and HP -0.52%)>the net population crop growth rate(MP -4.14% and HP -17.47%). ③The heterosis at different stages were shown as following. Photosynthetic area:bolting stage>podding stage>blooming stage>seedling stage. *Pn,Ci,Tr* and *Gs*:bolting stage>early-full blooming>seedling stage>podding stage>ending blooming. *Ls* and *WUE*:podding stage>ending blooming>early-full blooming>bolting stage>seedling stage. Net population crop growth rate;blooming stage>podding stage>seedling stage>bolting stage. Chlorophyll content:podding stage>blooming stage>seedling stage>podding stage. ④The heterosis of photosynthetic characteristics of different breeds were different and the heterosis of photosynthetic characteristics of different photosynthetic organs (leaf/pod) were also different. ⑤The photosynthetic characteristics of parents,especially female parent,value of mid-parent and high parent were highly correlated with F_1 .【Conclusion】It is possible to breed *Brassica napus* L. with high photosynthetic efficiency.

Key words:heterosis;photosynthetic characteristics;correlations between parents and offspring;breeding for high photosynthetic efficiency;*Brassica napus* L.

杂交种的推广应用对油菜(*Brassica napus* L.)的生产起着举足轻重的作用^[1-4]。据统计,在2001—2010年通过国家审定的212个油菜品种中杂交种为181个,占85.38%^[5]。近20年来我国油菜品质改良取得了巨大成就,然而产量水平却一直徘徊在3 000~3 750 kg/hm²,没有大的突破^[2,6]。相关研究表明“高光效+杂种优势”可能是突破这种产量“瓶颈”的有效方法之一^[2,5-8]。因此进行油菜光合生理的研究,寻找、创造高光效种质,以进行高光效育种,应当是目前和今后油菜高产育种的重要内容^[2,5]。与水稻、玉米等作物相比,有关油菜光合生理的研究较少,仅是在特定时期、特定条件下、对特定部位(叶片)进行研究^[9-16],所得结论难免有很大的局限性,不能准确反映油菜光合生理的实际情况。油菜的生育期长达200多天,历经秋、冬、春3个季节;叶片类型包括长柄叶、短柄叶和无柄叶3种类型,光合功能器官交替变化,尤其在花期以后主要靠绿色角果皮进行光合作用^[17];因此对油菜光合特性的研究,不能仅仅局限在对某个时期的特定部位

(叶片)的研究。本研究以生产上大面积应用的4套甘蓝型油菜细胞质雄性不育杂种 F_1 及其亲本(不育系、保持系和恢复系)为材料,在不同生育时期对其多种光合特性的杂种优势进行比较,同时研究了亲子相关性的大小,以期能够揭示不同生育时期油菜光合性状杂种优势的特征表现,为油菜的高光效育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

4套在生产中大面积应用的甘蓝型油菜细胞质雄性不育杂种 F_1 及其亲本(不育系、保持系和恢复系)详见表1,均由陕西省杂交油菜研究中心油菜育种室提供。试验按随机排列,重复3次,每小区种6行,小区面积为10.8 m²;2007-09-19在陕西省杂交油菜研究中心试验田播种,3~5叶期按22.5万/hm²的留苗密度定苗,田间管理按陕西省杂交油菜研究中心统一要求进行。

表 1 甘蓝型油菜细胞质雄性不育杂种 F_1 及其亲本不育系、保持系和恢复系
Table 1 Experimental materials of *B. napus* at different stages

品种名称 Name of variety	组合 The combination	不育系 Male sterile line	保持系 Maintain line	恢复系 Restorer line
杂油 59 Zayou 59	陕 3A×垦 C8 Shaan 3A×Ken C8	陕 3A Shaan 3A	陕 3B Shaan 3B	垦 C8 Ken C8
秦杂油 3 号 Qinzayou No. 3	陕 3A×春 K101 Shaan 3A×Chun K101	陕 3A Shaan 3A	陕 3B Shaan 3B	春 K101 Chun K101
秦优 7 号 Qinyou No. 7	陕 3A×K407 Shaan 3A×K407	陕 3A Shaan 3A	陕 3B Shaan 3B	K407 K407
秦杂油 1 号 Qinzayou No. 1	陕 5A×K407 Shaan 5A×K407	陕 5A Shaan 5A	陕 5B Shaan 5B	K407 K407

1.2 测定材料的选择

分别于 2007-11-06, 11-14, 11-21, 12-06; 2008-02-29, 03-10, 03-19, 03-28, 04-09, 04-17, 04-22, 04-27, 05-07 和 05-20 在田间选取生长健壮、具有代表性的单株,用于光合面积、群体生长量和群体生长速率的测定,在田间选择不同类型、能完全接受光照的叶片和角果用于光合气体交换参数(净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(Tr)、气孔限制值(L_s)、水分利用效率(WUE))和叶绿素含量的测定。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 光合面积 光合面积为绿叶面积、绿色角果皮面积、绿色茎秆面积之和^[14]。绿叶面积:每材料选取 10 株样品,用 LI-3000A 叶面积仪测定整株绿叶面积。绿色茎秆面积:分别用直尺测量茎秆长 L ,用游标卡尺在茎秆的上下各 1/3 处测量茎秆直径 R_1 、 R_2 ,按照下式计算绿色茎秆面积 $S=3.14 \times (R_1+R_2) \div 2 \times L_{茎}$ 。绿色角果皮面积:对植株样品的角果数进行统计后,从不同部位取 100 个代表角果,用游标卡尺测量角果长,在 1/3 和 2/3 处测量角果的宽和厚,按照下式计算单个角果皮面积 $S=3.14 \times (宽_1+宽_2+厚_1+厚_2) \div 4 \times (0.8+0.2 \div 3) \times L_{果}$ 。绿色角果皮面积=单个角果皮面积 $\times$ 角果数^[5,14]。

1.3.2 光合气体交换参数 叶片:在苗期选择第 6~8 叶位长柄叶,薹期和花期-盛花期选择倒 2~4 叶位短柄叶,终花期选择第 2 叶位无柄叶,用 Li-6400 光合作用测定系统进行活体测定,每材料测定 6 株,每株测 2 片叶子,共测 12 片叶子。

角果:取提前标定的均为 04-09 开花的主序角果,用 Li-6400 光合作用测定系统进行活体测定,每材料测定 14 个角果,光合参数测定计算方法参见文献^[5,14]。

1.3.3 群体生长量和群体生长速率 ① 群体生长量:每材料取 10 株样品,去掉泥土后,按根、茎、叶、角果等部位分别烘干称质量,将所有部位质量相加即为群体生长量。② 群体生长速率:按下式^[14]计算。

$$Q_N = \frac{2 \times (S_{N+1} - S_N)}{M_{N+1} + M_N} \times \frac{1}{D}$$

式中: Q_N 为第 N 次取样时的群体生长速率, S_{N+1} 、 S_N 分别代表第 N 次、 $N+1$ 次的群体生长量, M_N 、 M_{N+1} 分别代表第 N 次、 $N+1$ 次取样时的光合面积, D 为第 N 次与 $N+1$ 次取样间隔时间。

1.3.4 叶绿素含量 ① 叶片:2007-11-06 选择第 7 叶位长柄叶,2008-03-27(薹期)、04-07(初花期)、04-12

(盛花期)分别选择倒 6、倒 4 和倒 2 叶位短柄叶,2008-04-22 选择第 1 叶位无柄叶,用 SPAD502 叶绿素测定仪,沿叶片边缘在不同部位测定 8~10 次,结果取平均值。每材料均测定 12 片叶子。② 角果:每材料取提前标记(2008-04-09 开花)的 30 个角果,从果柄处沿中轴线将果身分开,去掉籽粒后,每个角果留 1/2 角果皮,将中部 1/3 左右的角果皮剪碎混匀,准确称取 1 g 迅速放入丙酮-乙醇(体积比 1:1)混合液中,置黑暗中提取 72 h,稀释定容后用紫外可见分光光度计 Beckman DU640 进行比色测定^[4]。

1.4 数据处理

杂种优势用中亲优势(MP)和超亲优势(HP)表示,其具体计算公式为:

$$MP = \frac{F_1 - \text{双亲均值}}{\text{双亲均值}} \times 100\%;$$

$$HP = \frac{F_1 - \text{高亲值}}{\text{高亲值}} \times 100\%。$$

用相关系数计算亲子相关性^[3-4,17-18]。所有试验数据用 Excel2003 整理后,用 SPSS13.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 甘蓝型油菜光合面积的杂种优势

从图 1 可以看出,除在苗期的前期(11-06)外,4 个甘蓝型油菜杂交种的光合面积均有明显的超亲优势,全生育期内平均中亲优势(MP)为 57.02%,平均超亲优势(HP)为 39.46%。杂油 59、秦杂油 3 号、秦优 7 号和秦杂油 1 号光合面积的中亲优势分别为 5.48%~92.22%, 9.95%~110.42%, 2.25%~104.30% 和 2.71%~91.27%,超亲优势分别为 -11.51%~71.32%, -6.73%~72.14%, -4.72%~82.43% 和 -2.55%~80.27%; 4 个甘蓝型油菜杂交种全生育期光合面积的平均中亲优势依次表现为:秦优 7 号(60.37%)>杂油 59(60.21%)>秦杂油 3 号(51.69%)>秦杂油 1 号(43.24%),平均超亲优势依次表现为:秦杂油 1 号(43.24%)>秦优 7 号(40.16%)>杂油 59(39.28%)>秦杂油 3 号(35.17%)。不同生育时期的 4 个甘蓝型油菜杂交种光合面积的平均中亲、超亲优势依次为:薹期(MP 76.25%, HP 52.00%)>角果期(MP 69.57%, HP 49.61%)>花期(MP 59.95%, HP 44.43%)>苗期(MP 27.24%, HP 15.46%); 4 个甘蓝型油菜杂交种表现出最高 MP、HP 的时间均在 02-29,最低 MP、HP 的时间均在 11-06。

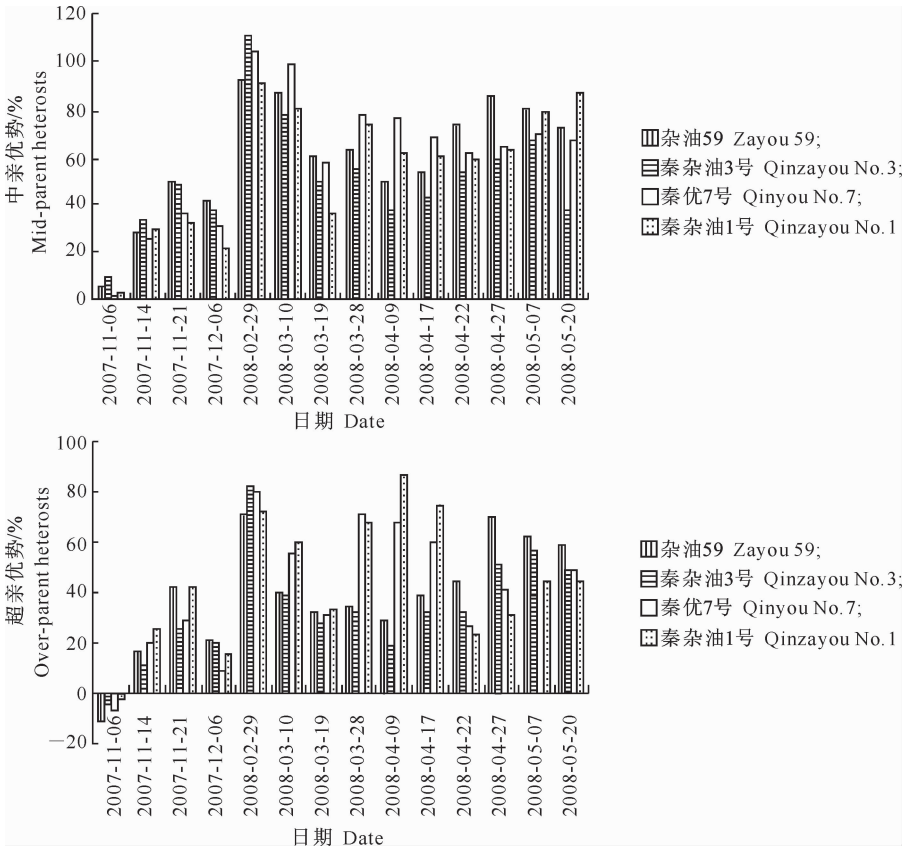


图 1 甘蓝型油菜不同生育时期光合面积的中亲优势和超亲优势

苗期. 11-06—12-06; 薹薹期. 02-29—03-28; 花期. 04-09—04-22; 角果期. 04-27—05-20。下图同

Fig. 1 Mid-parent heterosis and over-parent heterosis of photosynthetic area at different stages of *B. napus*

Seedling stage. 11-06—12-06; Bolting stage. 02-29—03-28; Flowering stage.

04-09—04-22; Podding stage. 04-27—05-20. The same below

2.2 甘蓝型油菜主要气体交换参数的杂种优势

由表 2 可以看出,甘蓝型油菜气体交换参数 P_n 、 G_s 、 Tr 和 C_i 的变化趋势基本相同,平均中亲优势、超亲优势及正向优势组合比例都是:薹薹期>花前-花中期>苗期>角果期>花后期;而 L_s 和

WUE 的中亲优势、超亲优势的比较结果与上述 4 个参数指标不一致,变化较复杂,这可能是由于 L_s 和 WUE 不是直接测量所得,而是通过其他指标计算所得,因而受到其他指标变化的制约。

表 2 甘蓝型油菜不同生育时期主要气体交换参数的杂种优势

Table 2 Heterosis of main photosynthetic parameters at different stages of *B. napus* %

指标 Index	时期 Stage	中亲优势 Mid-parent heterosis			超亲优势 Over-parent heterosis		
		均值 Average	变幅 Range	正向优势 组合比例 No. of crosses with positive heterosis	均值 Average	变幅 Range	正向优势 组合比例 No. of crosses with positive heterosis
P_n	苗期 Seedling stage	0.49	−11.65~12.52	55.88	3.95	−9.81~17.47	67.65
	薹薹期 Bolting stage	3.92	−2.54~10.28	83.33	6.41	−1.07~12.44	96.55
	花前-花中期 Early-full blooming	1.86	−7.39~14.60	70.59	5.15	−5.57~20.95	86.55
	花后期 Ending blooming	−6.89	−18.45~5.73	15	−5.51	−16.54~6.63	20
	角果期 Podding stage	−4.94	−26.69~10.63	18.18	−2.05	−20.32~11.65	36.36
G_s	苗期 Seedling stage	−6.1	−55.20~63.37	29.41	6.25	−32.42~82.65	61.76
	薹薹期 Bolting stage	10.21	−23.25~32.45	70.83	17.24	−10.15~35.59	91.67
	花前-花中期 Early-full blooming	0.33	−43.10~52.55	45.38	10.02	−42.00~89.52	70.59
	花后期 Ending blooming	−17.23	−33.43~3.34	5	−12.06	−27.71~5.97	5
	角果期 Podding stage	−12.72	−26.29~0.04	12.5	6.9	−17.80~7.10	27.78

续表 2 Contiued table 2								%
指标 Index	时期 Stage	中亲优势 Mid-parent heterosis			超亲优势 Over-parent heterosis			正向优势 组合比例 No. of crosses with positive heterosis
		均值 Average	变幅 Range	正向优势 组合比例 No. of crosses with positive heterosis	均值 Average	变幅 Range		
Tr	苗期 Seedling stage	−3.99	−45.12~42.38	26.47	4.58	−22.76~54.66	67.65	
	蕾臺期 Bolting stage	6.09	−13.92~21.48	70.83	9.33	−6.10~22.32	95.83	
	花前-花中期 Early-full blooming	−0.24	−39.14~28.09	48.74	6.2	−36.87~49.07	71.43	
	花后期 Ending blooming	−11.65	−28.73~1.66	5	−7.73	−23.31~6.34	5	
	角果期 Podding stage	−7.19	−24.47~17.49	15.63	−1.49	−21.47~18.30	46.88	
Ci	苗期 Seedling stage	−2.0	−9.20~8.68	26.47	1.38	−5.10~9.91	55.88	
	蕾臺期 Bolting stage	0.44	−8.00~11.25	50	2.44	−4.14~11.74	75	
	花前-花中期 Early-full blooming	−3.37	−30.23~14.87	31.92	0.31	−26.62~28.73	48.74	
	花后期 Ending blooming	−5.35	−10.47~7.14	15	−3.085	−7.36~1.11	30	
	角果期 Podding stage	−4.12	−20.75~0.29	3.13	−1.99	−17.25~2.85	31.25	
Ls	苗期 Seedling stage	−10.88	−48.54~7.78	20.59	−3.30	−41.09~13.30	41.12	
	蕾臺期 Bolting stage	−7.69	−20.13~0.04	45.83	−4.09	−19.42~7.82	70.83	
	花前-花中期 Early-full blooming	−5.51	−33.33~23.60	23.53	−0.16	−25.37~29.50	51.26	
	花后期 Ending blooming	−0.24	−8.83~8.38	40	4.33	−4.20~12.55	65	
	角果期 Podding stage	0.38	−18.55~20.24	50	6.02	−10.08~22.54	68.75	
WUE	苗期 Seedling stage	−9.75	−59.52~8.90	23.53	−2.68	−52.66~17.58	44.12	
	蕾臺期 Bolting stage	−5.57	−20.78~1.12	41.67	−2.6	−19.21~6.53	62.5	
	花前-花中期 Early-full blooming	−4.43	−29.30~13.39	23.53	0.44	−21.07~31.20	51.26	
	花后期 Ending blooming	−1.58	−16.19~8.11	40	2.49	−11.84~12.14	76	
	角果期 Podding stage	−3.73	−20.66~12.74	34.38	4.33	−12.22~24.58	61.11	

2.3 甘蓝型油菜群体生长量的杂种优势

从图 2 可以看出,4 个甘蓝型油菜杂交种 F₁ 在全生育期内的群体生长量均有明显的正向杂种优势,平均中亲优势为 41.77%,平均超亲优势为 32.29%。4 个甘蓝型油菜杂交种杂油 59、秦杂油 3 号、秦优 7 号、秦杂油 1 号群体生长量的中亲优势分别为 19.33%~57.82%,21.39%~65.45%,20.69%~69.86%和 19.20%~53.14%,超亲优势分别为 6.67%~55.51%,14.71%~66.75%,8.37%~64.32%和 8.47%~48.75%;4 个甘蓝型油菜杂交种全生育期群体生长量的平均中亲优势依次表现为:秦优 7 号(47.86%)>秦杂油 3 号(42.97%)>杂油 59(39.09%)>秦杂油 1 号(37.12%),平均超亲优势依次表现为:秦优 7 号(37.13%)>秦杂油 3 号(35.25%)>秦杂油 1 号(30.90%)>杂油 59(32.38%)。不同时期的 4 个甘蓝型油菜杂交种群体生长量的中亲优势、超亲优势均为:角果期(MP 55.07%,HP 47.72%)>花期(MP 42.37%,HP 35.67%)>薹花期(MP 39.53%,HP 25.55%)>苗期(MP 29.57%,HP 18.88%);尽管甘蓝型油菜品种特性不同,各个杂交种出现中亲优势、超亲优势最高与最低的时间不同,

但就发育阶段而言,中亲优势、超亲优势的最低值均出现在苗期,最高值均出现在花期或角果期。

2.4 甘蓝型油菜群体生长速率的杂种优势

从表 3 可以看出,甘蓝型油菜杂交种群体生长速率的杂种优势变化较复杂,4 个品种表现中亲优势和超亲优势最高的时期不尽相同,但所有品种在越冬期(2007-12-06—2008-02-29)、角果前期(2008-04-22—04-27)均为负向杂种优势。就全生育期进行比较,甘蓝型油菜群体生长速率的中亲优势在−8.24%~−0.76%,平均为−4.14%,超亲优势在−22.42%~−13.10%,平均为−17.47%,说明在整个生育期内,与亲本相比杂种 F₁ 的群体生长速率较低。对各个时期比较发现:甘蓝型油菜群体生长速率的中亲优势表现为:花期(6.55%)>角果期(−2.82%)>苗期(−7.82%)>薹期(−13.39%)>越冬期(−72.22%),超亲优势表现为:花期(−9.58%)>苗期(−11.16%)>角果期(−17.39%)>薹期(−31.18%)>越冬期(−83.33%);对不同品种之间的比较发现:平均中亲优势为秦优 7 号(−0.76%)>秦杂油 3 号(−1.89%)>秦杂油 1 号(−5.68%)>杂油 59(−8.24%),平均超亲优势为秦杂油 3 号

(-13.10%)>秦优 7 号(-13.37%)>杂油 59 (-22.07%)>秦杂油 1 号(-22.42%)。

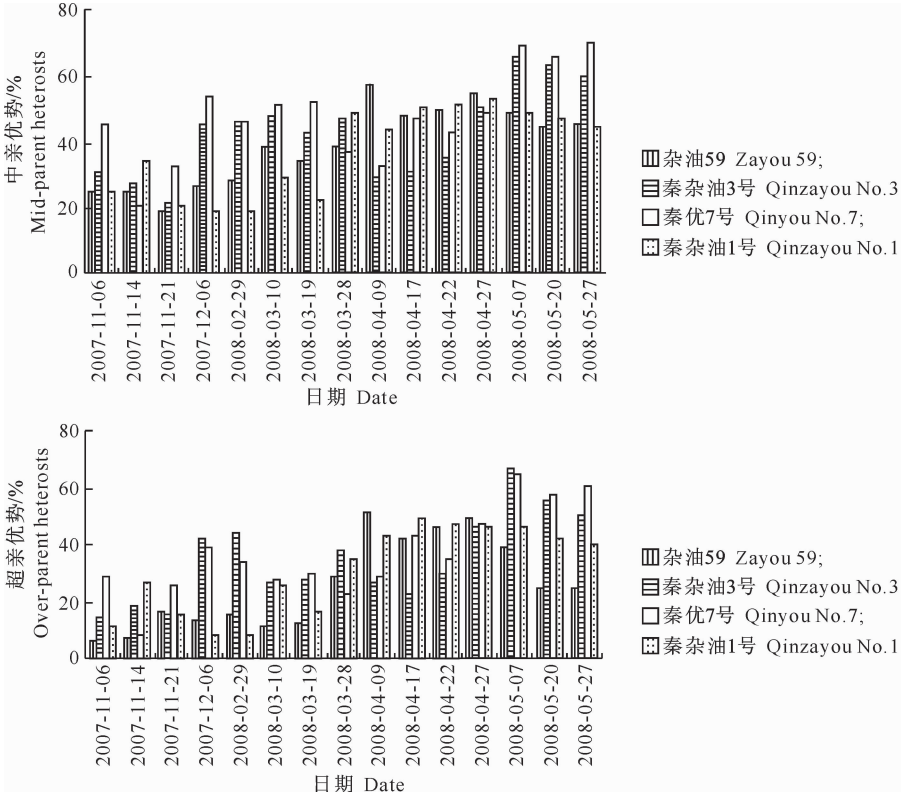


图 2 甘蓝型油菜不同生育时期群体生长量的中亲优势和超亲优势

Fig. 2 Mid-parent heterosis and over-parent heterosis of net assimilation of total plant at different stages of *B. napus*

表 3 甘蓝型油菜不同生育时期群体生长速率的杂种优势

Table 3		Heterosis of net population crop growth rate at different stages of <i>B. napus</i>										%
		中亲优势 Mid-parent heterosis					超亲优势 Over-parent heterosis					
	时期 Stage	杂油 59 Zayou 59	秦杂油 3 号 Qinzayou No. 3	秦优 7 号 Qinyou No. 7	秦杂油 1 号 Qinzayou No. 1	均值 Average	杂油 59 Zayou 59	秦杂油 3 号 Qinzayou No. 3	秦优 7 号 Qinyou No. 7	秦杂油 1 号 Qinzayou No. 1	均值 Average	
苗期 Seeding stage	11-06—11-14	—4.99	—34.02	—6.63	11.48	—8.54	—6.38	—45.65	3.69	19.14	—7.30	
	11-14—11-21	12.96	—25.88	—19.98	—30.41	—15.83	2.75	—30.04	—26.33	—34.28	—21.98	
	11-21—12-06	14.00	—7.42	—6.16	3.19	0.90	8.81	—10.96	—12.26	—2.41	—4.21	
	均值 Average	7.32	—22.44	—10.92	—5.24	—7.82	1.73	—28.88	—11.63	—5.85	—11.16	
越冬期 Over- wintering stage	12-06—02-29	—66.40	—75.70	—68.12	—78.68	—72.22	—81.20	—86.80	—81.45	—85.86	—83.83	
臺期 Bolting stage	02-29—03-10	5.52	6.83	43.05	—2.43	13.24	—17.31	—23.14	14.23	—24.19	—12.60	
	03-10—03-19	—29.04	—25.34	26.09	—21.40	—12.42	—0.66	—12.43	0.37	—30.16	—10.72	
	03-19—03-28	7.77	8.70	23.22	31.76	17.86	—21.81	—18.64	—16.26	—13.58	—17.57	
	均值 Average	—20.54	—21.38	6.06	—17.69	—13.39	—30.25	—35.25	—20.78	—38.45	—31.18	
花期 Flowering stage	03-28—04-09	—0.76	—46.83	—31.09	16.87	—15.45	—24.11	—62.16	—57.64	—21.40	—41.33	
	04-09—04-17	—2.39	—9.56	27.39	9.55	6.25	—4.96	—20.47	30.68	—2.56	0.67	
	04-17—04-22	37.92	77.87	—8.13	7.74	28.85	31.86	73.50	—35.88	—21.86	11.90	
	均值 Average	11.59	7.16	—3.94	11.39	6.55	0.93	—3.04	—20.95	—15.27	—9.58	
角果期 Podding stage	04-22—04-27	—47.09	—47.06	—50.32	—17.76	—40.56	—107.66	—61.38	—8.45	—45.35	—55.71	
	04-27—05-07	—7.28	74.16	99.55	17.39	45.96	—32.33	35.70	52.27	1.07	14.18	
	05-07—05-20	4.06	1.97	—8.90	—27.97	—7.71	—9.72	—8.66	—30.57	—41.85	—22.70	
	05-20—05-27	—59.41	66.77	—27.40	—15.92	—8.99	—69.33	77.66	—12.00	—17.71	—5.35	
	均值 Average	—27.43	23.96	3.23	—11.06	—2.82	—54.76	10.83	0.31	—25.96	—17.39	
全生育期平均 Average of stage		—8.24	—1.89	—0.76	—5.68	—4.14	—22.07	—13.10	—13.37	—22.42	—17.74	

2.5 甘蓝型油菜叶绿素含量的杂种优势

由表 4 可以看出,除终花期(04-22)的无柄叶具有明显的负向杂种优势(中亲优势-11.63%,超亲优势-10.17%)外,在其余生育时期甘蓝型油菜杂种 F₁ 叶绿素含量的杂种优势均不强,全生育期内中亲优势为-0.46%~3.07%,平均为 1.75%,超亲优势为-1.87%~1.29%,平均为-0.52%;各时期

比较表现为:中亲优势,薹期(3.07%)>盛花期(2.38%)>初花期(2.37%)>苗期(1.38%)>角果期(-0.46%)>终花期(-0.46%);超亲优势,薹期(1.29%)>角果期(-0.52%)>盛花期(-0.63%)>苗期(-0.88%)>初花期(-1.87%)>终花期(-10.17%)。各个品种进行比较后发现:尽管甘蓝型油菜品种之间有差别,但相互间均无明显差异。

表 4 甘蓝型油菜不同生育时期叶绿素含量的杂种优势

Table 4 Heterosis of chlorophyll content at different stages of *B. napus* %

指标 Index	品种 Variety	长柄叶 Long- petiole leaf	短柄叶 Short-petiole leaf			角果皮 Green silique shells	无柄叶 Non- petiole leaf	平均 Average
			薹期 Bolting stage	初花期 Early- blooming stage	盛花期 Full- blooming stage			
中亲优势 Mid- parent heterosis	杂油 59 Zayou 59	-0.41	3.47	3.15	1.38	-1.14	-6.32	1.29
	秦杂油 3 号 Qinzayou No. 3	2.42	5.75	3.92	4.21	0.48	-10.15	3.36
	秦优 7 号 Qinyou No. 7	2.04	2.45	2.62	6.64	-1.38	-12.94	2.47
	秦杂油 1 号 Qinzayou No. 1	1.45	0.60	-0.21	-0.93	0.22	-17.12	0.23
	平均 Ave.	1.38	3.07	2.37	2.38	-0.46	-11.63	1.75
超亲优势 Over- parent heterosis	杂油 59 Zayou 59	0.04	4.33	-4.40	-4.31	-1.30	-4.40	-1.13
	秦杂油 3 号 Qinzayou No. 3	-0.82	1.32	0.65	1.52	-5.88	-5.80	0.64
	秦优 7 号 Qinyou No. 7	-0.44	2.16	-0.74	3.70	5.24	-11.45	1.98
	秦杂油 1 号 Qinzayou No. 1	-2.30	-2.65	-2.97	-3.44	-0.13	-19.03	-2.30
	平均 Average	-0.88	1.29	-1.87	-0.63	-0.52	-10.17	-0.52

2.6 甘蓝型油菜光合性状的亲子相关性

亲子相关性的 大小能够反映亲本对杂种 F₁ 的影响程度。从表 5 可以看出,甘蓝型油菜不同品种的光合性状都受到双亲的明显影响,尤其是中亲值的影响最大,而高亲-低亲差值对 F₁ 的光合性状影

响较小;父母本相比较,母本与 F₁ 的相关性明显高于父本,平均高 0.12,可能是由于光合性状(尤其是气体交换参数)进行的场所、控制酶多位于细胞质中,而杂种 F₁ 的细胞质由母本所提供;高亲与低亲相比较,高亲值对 F₁ 的影响明显高于低亲值。

表 5 甘蓝型油菜光合性状的亲子相关系数

Table 5 Correlation coefficients between parents and offspring on photosynthetic characteristics of *B. napus*

性状 Trait	父本 Male parent	母本 Female parent	高亲值 High-parent value(HPV)	低亲值 Low-parent value(LPV)	中亲值 Mid-parent value(MPV)	高亲-低亲差 HPV-MPV
光合面积 Photosynthetic area	0.753**	0.982**	0.985**	0.576*	0.989**	0.585**
群体生长量 Net assimilation of total plant	0.789**	0.990**	0.989**	0.592*	0.995**	0.604**
群体生长速率 Net population crop growth rate	0.882**	0.992**	0.993**	0.80**	0.968**	0.517*
叶绿素含量 Chlorophyll content	0.698**	0.991**	0.999**	0.596*	0.999**	0.742**
<i>P_n</i>	0.864**	0.926**	0.975**	0.672**	0.982**	0.450*
<i>G_s</i>	0.637*	0.932**	0.951**	0.550*	0.964**	0.214
<i>C_i</i>	0.577**	0.831**	0.866**	0.586**	0.899**	0.345*
<i>T_r</i>	0.719**	0.899**	0.923**	0.636**	0.943**	0.436*
<i>L_s</i>	0.772**	0.826**	0.882**	0.663**	0.897**	0.337*
<i>WUE</i>	0.763**	0.947**	0.969**	0.659*	0.974**	0.289*

注:“*”,“**”分别表示 F₁ 与亲本相关的显著性($P<0.05$)和($P<0.01$)水平。
Note:“*” and “**” indicate extremely significant ($P<0.05$) and significant ($P<0.01$) correlation between the parent and F₁ respectively.

3 讨 论

杂种优势的有无和大小是能否利用杂种优势进行作物改良的基础。前人研究认为,油菜在光合面

积方面杂种优势十分明显,在叶绿素含量、气孔数目、光合作用酶等方面也存在一定的杂种优势,但光合速率无明显优势,由此认为油菜在光合性能上的杂种优势主要表现在光合面积增大,叶绿素含量增

加^[17,19-20]。本研究结果表明,甘蓝型油菜杂种 F_1 在全生育期内的光合面积、群体生长量方面都有明显的正向杂种优势,主要气体交换参数在一定时期有明显正向杂种优势,叶绿素含量无明显的杂种优势,群体生长速率则在大多数时期表现为明显的负向杂种优势。油菜历经秋、冬、春 3 个季节,不同时期的主要光合器官不同,同时自身的生长状况、外界生长环境条件也不同,因而不同时期光合器官的光合机能效率会不同,因而光合性状、光合性状杂种优势的大小也不同。本研究中,甘蓝型油菜光合性状,尤其是光合气体交换参数在薹期-盛花期的数值较大,品种间的差异也较大,其原因可能是此期的外界环境条件有利于光合功能器官性能的发挥,因此作者认为,对油菜品种进行光合性状比较时,应以此期的测定结果为基础。

近年来高光效生理育种引起了国内外众多育种家的广泛关注^[5-8,14,18,20-25]。张荣铎等^[20]提出了“外在光能转化效率(合理株型)+内在光能转化效率(高光效)+杂种优势”的作物超高产育种路线,但作者在油菜育种实践中发现,无论是利用细胞质雄性不育(CMS)还是细胞核雄性不育(GMS)途径,进行三系或两系配套,将符合育种目标的各个性状结合到一起,来实现“高光效+杂种优势利用”,至少需经历 5~10 年的选育过程,且各个性状之间会相互影响,因而困难较大。相比之下,利用化学诱导雄性不育的杂交育种方法则更易将各个性状结合于一体,能快速达到预期目标。基于此作者认为,油菜的高光效育种应是,在具有品质优、抗病、抗逆性强、含油量高等特性的优良材料的基础上,通过系选、杂交等手段提高光合速率,降低光合消耗来增加光合物质的合成速率,通过改变分枝角度、冠层结构来增加光合面积、延长光合功能期,进而增加生物学产量;同时通过提高经济系数来增加光合物质向种子中的输送量,最终提高种子产量;然后结合杂种优势利用,特别是化学杂交育种技术,即通过“高油+高光效+杂优”的途径^[14,20],最终达到“高产、优质、高效”的育种目标。

大量的研究表明,油菜杂种 F_1 的性状受亲本的影响很大^[1,3-4,14,25-27]。本试验对甘蓝型油菜杂种 F_1 光合性状亲子相关性的分析也证明了这一点,双亲尤其是母本、双亲的中值、高亲值对 F_1 的影响较大,其原因可能是光合性状多属于“数量+质量”性状^[7,25-26]。因此作者认为,提高亲本的性状,尤其是低值亲本的性状,必将大幅度提高 F_1 的性状^[14]。基于此,在油菜的高光效育种中,应首先提高双亲的

光合性状,通过利用杂种优势来提高 F_1 的性状;在亲本的选择上,应以较高值的亲本作为母本,同时应注意双亲中值的大小。

[参考文献]

- [1] 傅廷栋. 油菜杂种优势利用研究的现状与思考 [J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(10): 1-5.
Fu T D. On research and application of heterosis in rapeseed [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008, 30(10): 1-5. (in Chinese)
- [2] 梅德圣, 李云昌. 中国油菜高产育种研究进展 [J]. 湖北农业科学, 2003(4): 35-39.
Mei D S, Li Y C. Progress on research of high yield of Chinese rapeseed [J]. Hubei J of Agr Sci, 2003(4): 35-39. (in Chinese)
- [3] 张书芬. 甘蓝型油菜农艺及品质性状杂种优势遗传分析 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
Zhang S F. Heterosis and genetic dissection of important agronomic and quality traits in *Brassica napus* L. [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- [4] 沈金雄, 傅廷栋, 杨光圣, 等. 甘蓝型油菜杂种优势及产量性状的遗传改良 [J]. 中国油料作物学报, 2005, 27(1): 46-52.
Shen J X, Fu T D, Yang G S, et al. Analysis of heterosis reveals genetic improvement for yield traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2005, 27(1): 46-52. (in Chinese)
- [5] 张耀文, 王竹云, 田建华, 等. 甘蓝型油菜同质异核细胞质雄性不育系(CMS)与其保持系的光合特性 [J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(3): 249-255.
Zhang Y W, Wang Z Y, Tian J H, et al. Photosynthetic of cytoplasmic male sterility lines with homocytotic and heteronuclear and their maintainers of *Brassica napus* [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(3): 249-255. (in Chinese)
- [6] 张耀文, 王竹云, 李殿荣, 等. 甘蓝型油菜角果光合日变化特性的研究 [J]. 西北农业学报, 2008, 17(5): 174-180.
Zhang Y W, Wang Z Y, Li D R, et al. Study on diurnal changes of photosynthetic characteristics in pods of *Brassica napus* [J]. Acta Agriculture Boreali-Occidentalis Sinica, 2008, 17(5): 174-180. (in Chinese)
- [7] 李云昌, 胡 琼, 梅德圣. 选育含油量双低油菜品种的理论与实践 [J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(1): 92-96.
Li Y C, Hu Q, Mei D S, et al. Theory and practice for the development of canola varieties with high oil content [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2006, 28(1): 92-96. (in Chinese)
- [8] 东 丽. 作物超高产育种途径探析 [J]. 西南农业学报, 2009, 22(5): 1477-1481.
Dong L. Research on ways for super high-yielding breeding of crop [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2009, 22(5): 1477-1481. (in Chinese)
- [9] 程建峰, 沈允钢. 作物高光效之管见 [J]. 作物学报, 2010, 36(8): 1235-1247.
Chen J F, Shen Y G. My humble opinions on high photosyn-

- thetic efficiency of crop [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(8): 1235-1247. (in Chinese)
- [10] 冷索虎, 夏建飞, 胡志忠, 等. 油菜苗期叶片光合特性研究 [J]. *中国油料作物学报*, 2002, 24(4): 10-13.
Leng S H, Xia J F, Hu Z Z, et al. Studies on photosynthetic characteristics of rapeseed leaf [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2002, 24(4): 10-13. (in Chinese)
- [11] 刘德明, 李 强, 蔡湘民, 等. 不同油菜品种光合作用及干物质积累对氮效率的影响 [J]. *湖南农业科学*, 2010(9): 29-31.
Liu D M, Li Q, Cai X M, et al. Influence of photosynthesis and dry matter accumulation of different oilseed rape cultivars on nitrogen use efficiency [J]. *Journal of Hunan Agri Sci*, 2010(9): 29-31. (in Chinese)
- [12] 刘 丹, 张春雷, 李 俊, 等. 外源激素对油菜长柄叶光合特性的影响 [J]. *中国农学通报*, 2008, 24(3): 186-190.
Liu D, Zhang C L, Li J, et al. Effects of exogenous hormones on photosynthetic characteristics of long-petiole leaf in rapeseed [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(3): 186-190. (in Chinese)
- [13] 杨 光, 左青松, 唐 瑶, 等. 不同氮素籽粒生产效率油菜品种苗期叶片光合特性差异 [J]. *中国农学通报*, 2009, 25(24): 218-224.
Yang G, Zuo Q S, Tang Y, et al. Differences of photosynthetic characteristic in rapeseed (*Brassica napus* L.) at seedling stage with different nitrogen utilization efficiency for grain production [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(24): 218-224. (in Chinese)
- [14] 李 玲, 张春雷, 张 树, 等. 渍水对冬油菜苗期生长及生理的影响 [J]. *中国油料作物学报*, 2011, 33(3): 247-252.
Li L, Zhang C L, Zhang S, et al. Effect of water logging on growth and physiological changes of winter rapeseed seedling (*Brassica napus* L.) [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2011, 33(3): 247-252. (in Chinese)
- [15] 成强生, 李庆生. 油菜群体净同化率变化规律的研究 [J]. *安徽农业科学*, 2005, 33(1): 13-14.
Cheng Q S, Li Q S. Research on changing the law of net assimilating rate of oilseed population [J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2005, 33(1): 13-14. (in Chinese)
- [16] 马 霓, 刘 丹, 张春雷, 等. 植物生长调节剂对油菜生长及冻害后光合作用和产量的调控效应 [J]. *作物学报*, 2009, 35(7): 1336-1343.
Ma N, Liu D, Zhang C L, et al. Regulation effects of exogenous hormones on growth and photosynthesis and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) after frozen [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(7): 1336-1343. (in Chinese)
- [17] 傅廷栋. 杂交油菜的育种与利用 [M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2000: 62-118.
Fu T D. Breeding and utilization of rapeseed hybrid [M]. Wuhan: China Hubei Science and Technology Press, 2000: 62-118. (in Chinese)
- [18] 王学芳, 张耀文, 李殿荣, 等. 不结球白菜杂种优势及相关分析 [J]. *西北植物学报*, 2009, 29(10): 1974-1979.
Wang X F, Zhang Y W, Li D R, et al. Heterosis and correlation in con-heading Chinese cabbage [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2009, 29(10): 1974-1979. (in Chinese)
- [19] 冷锁虎. 油菜的光合生理 [C]//江苏农学会. 江苏油作科学. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995: 220-247.
Leng S H. The photosynthetic of rapeseed [C]//Jiangsu Association of Agricultural Science Societies. Oilseed crops science and technology in Jiangsu province. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1995: 220-247. (in Chinese)
- [20] 张荣铤, 陆 巍, 许晓明, 等. 光合作用与高光效生理育种 [C]//匡廷云. 作物光能利用效率与调控. 济南: 山东科技出版社, 2004: 118-192.
Zhang R X, Lu W, Xu X M, et al. Photosynthesis and high photosynthetic efficiency physiological breeding [C]//Kuang T Y. Photosynthetic efficiency of crops and its regulations. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2004: 118-192. (in Chinese)
- [21] Inanaga S, Kumura A, Murata Y. Studies on matter production of rape plant (*Brassica napus* L.): Ⅲ. Photosynthesis, respiration and carbon balance sheet of the single pod [J]. *Jpn J Crop Sci*, 1979, 48: 265-271.
- [22] 蔡耀辉, 李永辉, 邱 箭, 等. 水稻高光效育种研究 [J]. *江西农业学报*, 2009, 21(12): 26-29.
Cai Y H, Li Y H, Qiu J, et al. Research advance and prospects of highly photosynthetic efficient rice breeding [J]. *Acta Agriculture Jiangxi*, 2009, 21(12): 26-29. (in Chinese)
- [23] Khan M N A, Murayama S, Ishimine Y. Physic-morphological studies of F₁ hybrids in rice (*Oryza saliva* L.) [J]. *Plant Production Science*, 1998, 1: 233-239.
- [24] 曹 赛, 张吉贞, 孟卫东. 超级杂交稻光合作用研究进展 [J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(24): 10334-10336.
Cao S, Zhang J Z, Meng W D. Research progresses on photosynthesis of super hybrid rice [J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2008, 36(24): 10334-10336. (in Chinese)
- [25] 翟虎渠, 曹树青, 唐运来, 等. 籼型杂交水稻光合性状的配合力及遗传力分析 [J]. *作物学报*, 2002, 28(1): 154-160.
Zhai H Q, Cao S Q, Tang Y L, et al. Analysis on combining ability and heritability of photosynthetic characters in indica hybrid rice [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(1): 154-160. (in Chinese)
- [26] 张斌斌, 蒋卫兵, 韩 建, 等. 作物光合特性在杂种优势评价中的应用研究进展 [J]. *江西农业学报*, 2009, 21(8): 44-48.
Zhang B B, Jiang W B, Han J, et al. Research progress in application of photosynthetic characters of crops in evaluation of heterosis [J]. *Acta Agriculture Jiangxi*, 2009, 21(8): 44-48. (in Chinese)
- [27] 李云昌, 胡 琼, 梅德圣, 等. 多亲本复合杂交提高油菜杂交种的产量 [J]. *中国油料作物学报*, 2007, 29(4): 377-381.
Li Y C, Hu Q, Mei D S, et al. Yield improvement of hybrid variety through multiple crosses in *Brassica napus* L. [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2007, 29(4): 377-381. (in Chinese)