

甘蓝型油菜正反交后代叶片净光合速率和 叶绿素含量的比较

张耀文¹,赵小光¹,田建华¹,王 辉²,王学芳¹,李殿荣¹,侯君利¹,关周博¹,韦世豪¹

(1. 陕西省杂交油菜研究中心,陕西 杨凌 712100;2. 咸阳市土壤肥料工作站,陕西 咸阳 712000)

摘要:为了揭示甘蓝型油菜正反交后代两者间光合特性差异的规律,为进行油菜高光效育种提供依据,以 19 对不同基因型的甘蓝型油菜正交、反交组合及其亲本为试验材料,对正、反交组合间叶片的净光合速率值、叶绿素含量、杂种优势、亲子相关性等进行了比较,结果表明:正交组合的叶片净光合速率、叶绿素含量分别比对应反交组合高 $-8.93\% \sim 25.33\%$, $-7.37\% \sim 8.70\%$,平均分别高 2.34,1.26 个百分点,分别有 10,11 个正交组合高于对应反交组合;19 对组合中分别有 10,11 个正交组合的净光合速率、叶绿素含量的超标优势、中亲优势和超亲优势高于对应反交组合;正、反交组合叶片净光合速率、叶绿素含量均与母本、父本、中亲值、高亲值、低亲值呈极显著或显著正相关,且与高亲的相关性大于与低亲的相关性;母本对正交组合叶片净光合速率、叶绿素含量的直接作用(0.622 和 0.579)大于对反交组合的直接作用(0.463 和 0.325)。

关键词:甘蓝型油菜;正、反交杂交组合;净光合速率;叶绿素含量;杂种优势;比较

中图分类号:S635.01 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2015)05-0135-06

doi:10.7668/hbxb.2015.05.023

Comparison of Net Photosynthetic Rate and Chlorophyll Content of *Brassica napus* Between Orthogonal and Reciprocal Combinations

ZHANG Yao-wen¹, ZHAO Xiao-guang¹, TIAN Jian-hua¹, WANG Hui², WANG Xue-fang¹,
LI Dian-rong¹, HOU Jun-li¹, GUAN Zhou-bo¹, WEI Shi-hao¹

(1. Hybrid Rapeseed Research Center of Shaanxi Province, Yangling 712100, China;

2. Soil and Fertilizer Workstation of Xianyang City, Xianyang 712000, China)

Abstract: In order to reveal the difference rules of photosynthetic traits between orthogonal and reciprocal combinations of *Brassica napus* and provide theoretical basis for high photosynthetic efficiency breeding of rapeseed, 19 pairs of orthogonal and reciprocal combinations which had the different genotype and their parents were chosen as test materials to compare the net photosynthetic rate, chlorophyll content, heterosis and parent-offspring correlation. Results showed that: The net photosynthetic rate and chlorophyll content of orthogonal combinations were higher than that of reciprocal combinations with same genotype by $-8.93\% - 25.33\%$ and $-7.37\% - 8.70\%$ respectively and the average value was 2.34 and 1.26 percent, respectively. There were 10, 11 orthogonal combinations of which were higher than reciprocal combinations; The over-stand heterosis, mid-parents heterosis and over-parent heterosis of net photosynthetic rate of 10 orthogonal combinations and chlorophyll content of 11 orthogonal combinations were higher than corresponding reciprocal combinations; The net photosynthetic rate and chlorophyll content of orthogonal and reciprocal combination hybrids F_1 all had significant or extremely significant positive correlation with their female parent, male parent, mid-parent value, high parent value and low parent value and the correlation with high parent was higher than that of low parent. The correlation of net photosynthetic rate, chlorophyll content between F_1 and their female parent were higher than that of male parent in orthogonal combinations and the result was opposite in reciprocal combinations; The direct active affection that female parent had on net photosynthetic rate and

收稿日期:2015-04-01

基金项目:陕西省重点科技创新团队(2015KCT-21);杨凌示范区科技计划项目(2015NY-17);陕西省科技统筹创新工程计划项目(2014KTCQ02-01;2015KTCQ02-20);渭南市重大科技专项(2013TCZX-1);国家油菜现代产业技术体系建设专项(CARS-13)

作者简介:张耀文(1972-),男,陕西蓝田人,副研究员,主要从事油菜光合生理和高光效育种研究。

chlorophyll content of orthogonal combination hybrids F_1 which were 0.622 and 0.579 respectively were higher than that of orthogonal combination hybrids F_1 which were 0.463 and 0.325 respectively. The values of net photosynthetic rate and chlorophyll content, mean of heterosis and appearance probability of strong superiority crosses in orthogonal combinations were higher than that in reciprocal combinations.

Key words: *Basic napus*; Orthogonal and reciprocal combinations; Net photosynthetic rate; Chlorophyll content; Heterosis; Comparison

作物干物质的 90% ~ 95% 来自光合作用, 研究和提高作物的光合效率一直都是作物研究中的热点问题^[1-3]。近年来“高光效生理育种”日益引起关注, 国内外众多的育种家寄希望通过“高光效 + 杂种优势”的途径来解决作物产量水平徘徊不前的问题^[3-5]。目前, 我国食用植物油 60% 左右依赖进口, 供需矛盾日益突出^[6], 然而作为第一大油料作物——油菜的产量水平却近 30 年来一直徘徊在 3 000 ~ 3 750 kg/hm² 未有大的突破, 产量水平较低已成为制约我国油菜生产发展的重要因素^[6-9], 因此, 寻找、创造高光效种质, 进行高光效育种研究应当是目前和今后油菜超高产育种的主要方向^[7-9]。叶绿素是植物进行光合作用的光合色素, 叶片净光合速率 (Net photosynthetic rate, Pn) 能够直接反映植物瞬时光合能力的大小^[5,10], 因此, 叶片净光合速率和叶绿素含量 (Leaf chlorophyll content, LCC) 是衡量植物光合能力大小的 2 个重要指标, 也是比较、筛选和鉴定作物光合能力的常用指标^[3-5,11]。前人对大豆、水稻、小麦等作物的净光合速率、叶绿素含量的遗传规律进行了研究^[11-14], 其研究成果促进了大豆等作物高光效育种的进程。目前, 国内对油菜的研究主要集中在杂优利用、种质资源创新、甘蓝型黄籽研究、品质改良、高油分研究等方面^[15-17], 对油菜光合特性的研究也仅是着眼于生理特性的变化^[18], 尚未对油菜的光合生理特性的遗传和高光效育种开展系统研究, 因此对油菜叶片净光合速率、叶绿素含量遗传规律的研究, 将有助于油菜高光效种质的筛选和高光效育种的开展。本试验以 19 对甘蓝型油菜正、反杂交组合为试材, 对两者间的净光合速率、叶绿素含量、杂种优势和亲子相关性进行了比较, 以期能够揭示两者间差异的规律, 为进行油菜高光效育种提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料和方法

根据 2007 - 2009 年连续测定结果表明, 在 2009 年花期挑选叶片净光合速率相差 10% 以上、叶绿素相对含量 (Chlorophyll relative content, CRC) 相

差 15% 以上, 且基因型不同的 2 个高代稳定材料作为 1 组亲本, 手工制作正反杂交组合 (以高值为母本的组合为正交组合, 反之则为反交组合), 共用 18 个高代稳定材料做 19 对正反杂交组合, 试验材料和杂交组合见表 1。试验于 2010 - 2011 年在陕西省杂交油菜研究中心大荔基地实验田进行, 以秦优 7 号为对照 (CK), 将父母本互换的正、反交组合和对应 2 个亲本作为一个处理, 共 19 个处理, 处理之间随机排列; 每个处理内部的 4 个材料 (即同组合的正、反交组合和对应 2 个亲本) 间也按随机方式排列, 每材料种植 2 行, 面积为 7.6 m², 重复 3 次; 在 3 ~ 5 叶期按照 22.5 万株/hm² 的密度定苗, 田间管理按本中心统一要求进行。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 叶片叶绿素相对含量测定 在初花期每材料选择连续 12 个单株, 每株选取倒 2 叶位的短柄叶; 用 SPAD502 叶绿素测定仪在每片叶子的不同部位测定 8 ~ 10 次, 取平均数进行统计分析。

1.2.2 叶片净光合速率的测定 在初花期每材料选择连续 12 个单株, 每株选择倒 1 或倒 2 叶位短柄叶进行测定标记。选择标准为无遮挡, 全叶都能够直接接受太阳光照, 生长健壮、无病斑、虫眼和缺刻。用 Li-6400 光合作用测定系统在晴朗无风的日子, 于上午 9:00 - 11:30 进行测定, 为便于比较, 测定时将正、反交组合及对应亲本和对照 (秦优 7 号) 同时进行测定。采用材料间轮测的方法来缩小由于测定时间不同导致的差异; 每个材料每次测定 2 片叶子, 在 30 min 内将所用材料测定一次, 共测定 6 次。测定时选用 6400-02B LED 红蓝光源叶室, 控制叶室内温度为 25 °C (T Block), CO₂ 浓度为 400 μmol/mL, 光照为 1 300 μmol/(m²·s), 每隔 30 min 至少匹配 2 次, 取平均值进行统计分析。

1.2.3 数据处理 所有数据用 Excel 2003 整理, 用 SPSS 软件 (19.0 版本) 进行分析。杂种优势计算采用: 超标优势 (Over-stand heterosis, OSH) = (F_1 - CK)/CK × 100%, 中亲优势 (Mid-parents heterosis, MPH) = (F_1 - 双亲均值)/双亲均值 × 100%, 超亲优势 (Over-parent heterosis, OPH) = (F_1 - 高亲值)/高

亲值 ×100%。用直接相关系数表示亲子相关性^[19]。

表 1 试验材料

Tab.1 Experimental material in this paper

亲本材料 Parent materials			杂交组合材料 Hybrid combination materials				
编号 SN	田间代号 CF	系谱 Pedigree	编号 SN	正交组合 OC		反交组合 RC	
				田间代号	杂交组合	田间代号	杂交组合
				CF	HC	CF	HC
P ₁	09GH3	7792-95/772//772	F ₁	F ₁ O	P ₁ × P ₆	F ₁ R	P ₆ × P ₁
P ₂	09GH7	7792-95/772//772	F ₂	F ₂ O	P ₁ × P ₇	F ₂ R	P ₇ × P ₁
P ₃	09GH22	7399-8/A74	F ₃	F ₃ O	P ₁ × P ₁₈	F ₃ R	P ₁₈ × P ₁
P ₄	09GH27	7399-8/A74	F ₄	F ₄ O	P ₁₄ × P ₁₅	F ₄ R	P ₁₅ × P ₁₄
P ₅	09GH34	7399-8/A74	F ₅	F ₅ O	P ₄ × P ₁₀	F ₅ R	P ₁₀ × P ₄
P ₆	09GH40	Marnoon/1721-1B	F ₆	F ₆ O	P ₄ × P ₁₁	F ₆ R	P ₁₁ × P ₄
P ₇	09GH42	Marnoon/1721-1B	F ₇	F ₇ O	P ₁₁ × P ₁₂	F ₇ R	P ₁₂ × P ₁₁
P ₈	09GH51	2002/7842	F ₈	F ₈ O	P ₁₇ × P ₂	F ₈ R	P ₂ × P ₁₇
P ₉	09GH67	1721-1B/start/955	F ₉	F ₉ O	P ₃ × P ₂	F ₉ R	P ₂ × P ₃
P ₁₀	09GH71	7399-8/A74	F ₁₀	F ₁₀ O	P ₈ × P ₅	F ₁₀ R	P ₅ × P ₈
P ₁₁	09GH86	加蔓 25/7842B	F ₁₁	F ₁₁ O	P ₁₃ × P ₈	F ₁₁ R	P ₈ × P ₁₃
P ₁₂	09GH90	春垦 C1	F ₁₂	F ₁₂ O	P ₁₁ × P ₇	F ₁₂ R	P ₇ × P ₁₁
P ₁₃	09GH100	陕 3B/发蓝 9811/7842 * 杂 59	F ₁₃	F ₁₃ O	P ₄ × P ₇	F ₁₃ R	P ₇ × P ₄
P ₁₄	09GH116	7399-8/89092/955B//陕 3B	F ₁₄	F ₁₄ O	P ₄ × P ₁	F ₁₄ R	P ₁ × P ₄
P ₁₅	09GH126	7794-2/Marnoon/垦 C1 黄/3/7399-8/772	F ₁₅	F ₁₅ O	P ₃ × P ₁	F ₁₅ R	P ₁ × P ₃
P ₁₆	09GH150	8906A/RU6/Z57 单杂 875/5/kosa/82077//7618	F ₁₆	F ₁₆ O	P ₁₆ × P ₁	F ₁₆ R	P ₁ × P ₁₆
P ₁₇	09GH209	1721-1B/start/955/垦 C1 黄	F ₁₇	F ₁₇ O	P ₅ × P ₆	F ₁₇ R	P ₆ × P ₅
P ₁₈	09GH86	加蔓 25/7842B	F ₁₈	F ₁₈ O	P ₁₃ × P ₆	F ₁₈ R	P ₆ × P ₁₃
			F ₁₉	F ₁₉ O	P ₁₄ × P ₁₂	F ₁₉ × R	P ₁₂ × P ₁₄

注：OC. 正交组合；RC. 反交组合；SN. 编号；CF. 田间代号；HC. 杂交组合。
Note: OC. Orthogonal combinations; RC. Reciprocal combinations; SN. Serial number; CF. Code in the field; HC. Hybridized combination.

2 结果与分析

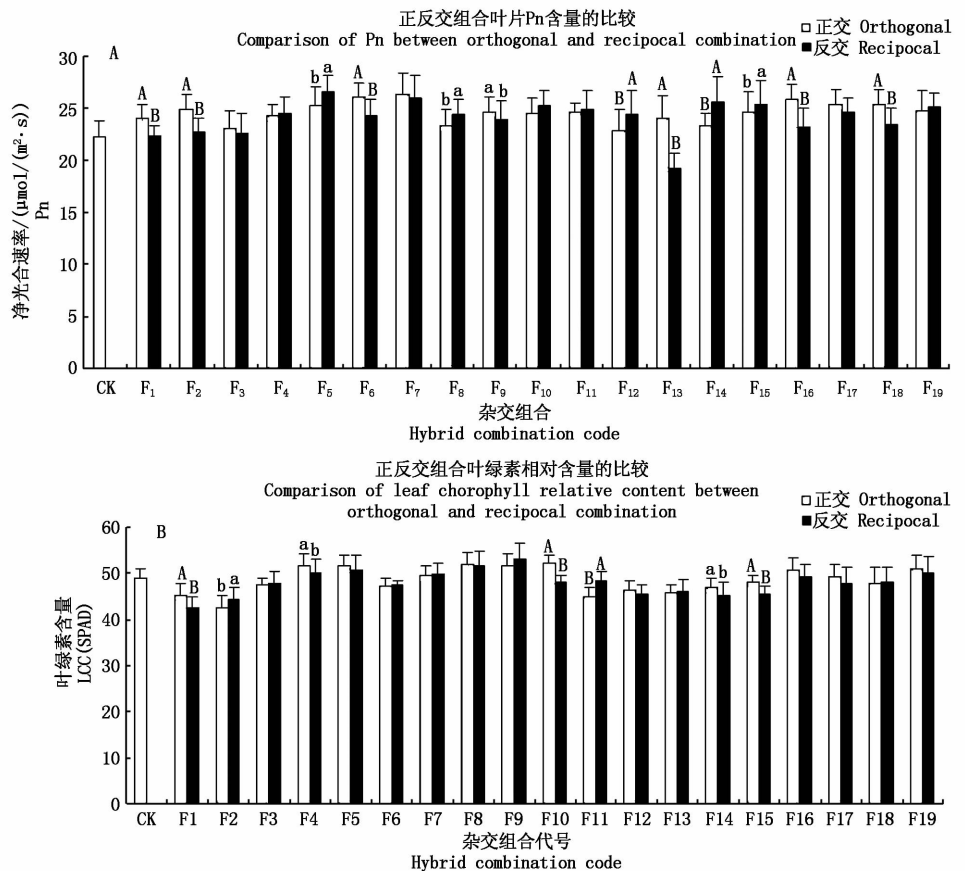
2.1 正、反交后代间叶片净光合速率和叶绿素相对含量的比较

如图 1-A 所示,19 个正、反杂交组合的叶片净光合速率(Pn) 分别为 22. 89 ~ 26. 40, 19. 22 ~ 26. 60 μmol/(m² · s), 平均值分别为 24. 63, 24. 17 μmol/(m² · s), 正、反杂交组合品种间的变异系数分别为 4. 01% , 6. 72% ; 正、反杂交组合间叶片 Pn 的相关系数为 0. 468^{*} , 以上说明不同基因型杂交组合间的 Pn 有较大差异; 正交组合与反交组合间相差 - 8. 93% ~ 25. 33% , 平均高 2. 34 个百分点, 其中有 8 对组合间的差异达极显著水平(0. 01) , 4 对组合间的差异达显著水平(0. 05) ; 19 个正交组合中有 10 个高于反交组合, 高 5% 以上有 6 个组合。正、反交组合间比较结果说明, 虽然不同基因型间的正、反交组合的 Pn 不同, 但总体而言正交组合的叶片 Pn 高于反交组合。从图 1-B 可看出, 19 个正、反杂交组合的叶片叶绿素相对含量(CRC) 分别为 42. 58 ~ 53. 07, 42. 50 ~ 52. 12 SPAD, 平均值分别为 48. 49, 47. 91 SPAD, 正、反杂交组合间变异系数分别为 5. 70% , 5. 49% ; 19 对正、反杂交组合间 LCC 的相关

系数为 0. 798^{**} , 说明不同基因型杂交组合间的 CRC 不同。19 个正交组合与反交组合间 LCC 相差 - 7. 37% ~ 8. 70% , 平均高 1. 26 个百分点, 其中有 4 对组合间的差异达极显著水平(0. 01) , 3 对组合间的差异达显著水平(0. 05) 。19 个正交组合中有 11 个高于反交组合, 高 5% 以上有 3 个组合, 同样表明正交组合的 LCC 高于反交组合。

2.2 正、反交后代间叶片净光合速率、叶绿素相对含量杂种优势的比较

从表 2 可看出, 正、反交组合叶片净光合速率(Pn) 、叶绿素相对含量(CRC) 均表现出明显的杂种优势。尽管 3 种杂种优势指标的变幅各有不同, 但正交组合叶片 Pn 的超标优势(OSH) 、中亲优势(MPH) 和超亲优势(OPH) 的均值、正向组合数、大于 3% 的组合数均高于反交组合; 对同基因型的正、反交组合间杂种优势的比较结果表明, 19 个正交组合中有 10 个组合的 OSH、MPH 和 OPH 高于对应的反交组合, 分别有 8, 8, 7 个组合的 OSH、MPH 和 OPH 比反交组合高 3 个百分点以上; 同样正交组合叶片 LCC 的 OSH、MPH 和 OPH 的均值、正向组合数、大于 3% 的组合数也高于反交组合; 对同基因型的正、反交组合间比较表明: 19 个正交组合中有 11



a/b、A/B 分别表示差异达显著水平(0.05)、极显著水平(0.01)。
The letter a/b, A/B respectively indicate the difference was significant level(0.05) and extremely significant level(0.01).

图 1 正、反杂交组合叶片净光合速率(A)、叶绿素相对含量(B) 的比较
Fig.1 Comparison of Pn and CRC between orthogonal and reciprocal combinations

表 2 正反杂交组合间叶片净光合速率、叶绿素相对含量杂种优势的比较
Tab.2 Comparison heterosis of Pn and CRC between orthogonal and reciprocal combinations

性状 Traits				杂种优势 Heterosis				正、反组合间的比较 Comparison of heterosis between OC and RC			
				变幅/%	平均/%	正向组合数	>3% 组合数	变幅/%	平均/%	正向组合数	>3% 组合数
				Ran.	Av.	NCPH	NCHO 3%	Ran.	Av.	NCPH	NCHO 3%
净光合 速率 Pn	超标优势	全部组合	THC	-19.32 ~ 11.76	2.51	28	20	-9.61 ~ 20.46	1.92	10	8
		正交组合	OC	-3.82 ~ 10.91	3.74	15	11				
	中亲优势	全部组合	THC	-14.97 ~ 11.64	2.39	25	17	-9.71 ~ 21.54	2.03	10	8
		正交组合	OC	-3.15 ~ 11.64	3.49	14	9				
	超亲优势	全部组合	THC	-15.92 ~ 10.56	0.47	21	12	-9.43 ~ 21.29	1.98	10	7
		正交组合	OC	-3.94 ~ 10.56	1.46	11	7				
	超亲优势	全部组合	THC	-15.92 ~ 10.56	0.47	21	12	-9.43 ~ 21.29	1.98	10	7
		正交组合	OC	-3.94 ~ 10.56	1.46	11	7				
叶绿素 相对含 量 CRC	超标优势	全部组合	THC	-13.19 ~ 8.39	-1.55	16	10	-7.27 ~ 8.52	1.18	11	9
		正交组合	OC	-13.03 ~ 6.45	-0.95	9	7				
	中亲优势	全部组合	THC	-8.12 ~ 7.73	1.02	24	10	-7.83 ~ 8.22	1.17	11	8
		正交组合	OC	-3.28 ~ 6.43	1.60	13	7				
	超亲优势	全部组合	THC	-13.45 ~ 3.60	-3.84	9	1	-7.18 ~ 7.53	1.12	11	9
		正交组合	OC	-9.65 ~ 3.60	-3.07	6	1				
	超亲优势	全部组合	THC	-13.45 ~ 3.60	-3.07	6	1				
		正交组合	OC	-9.65 ~ 3.60	-3.07	6	1				

注:THC. 全部杂交组合;NCPH. 正向组合数;NCHO 3% . >3% 组合数。
Note:THC. Total hybrid combination;NCPH. Number of crosses with positive heterosis;NCHO 3% . Number of crosses with heterosis over 3% .

个组合的 OSH、MPH 和 OPH 高于反交组合, 分别有 9, 8, 9 个组合的 OSH、MPH 和 OPH 比反交组合高 3 个百分点以上。上述比较说明, 相同基因型正交组合叶片净光合速率、叶绿素含量的 3 种杂种优势指标的大小、出现正向组合数、大于 3% 的组合数均高于反交组合。

2.3 正、反交后代间叶片净光合速率、叶绿素相对含量的亲子相关性和通径分析结果的比较

亲子相关性的 大小能够反映亲本对杂种 F_1 的影响程度^[19-20], 从表 3 可看出, 无论所有杂交组合 (共 38 个), 还是正、反交组合 F_1 的叶片净光合速率、叶绿素相对含量均与母本、父本、高亲值、低亲值和中亲值呈极显著或显著正相关; 对正、反杂交组合的亲子相关性大小进行比较发现: 正、反交组合均表现出杂种 F_1 与高亲的相关系数 > 与低亲的相关系数; 正交组合 F_1 叶片净光合速率、叶绿素相对含量的亲子相关性均是 与母本的相关系数 > 与父本的相关系数, 而反交组合则表现为与父本的相关系数 >

与母本的相关系数; 正、反交组合均表现出与中亲优势的相关性 > 与超亲优势的相关性, 以上比较表明亲本的叶片净光合速率、叶绿素相对含量值与杂种 F_1 密切相关, 即亲本值在一定程度上决定 F_1 的大小; 19 个正、反交组合均表现出与高亲值的相关性 > 与低亲值的相关性, 表明无论正交还是反交组合受高亲值的影响程度高于受低亲值的影响程度。

从表 4 可以发现, 无论全部 38 个杂交组合, 还是正、反交组合 F_1 的叶片净光合速率、叶绿素相对含量均表现出: 母本对杂交种的直接作用 > 父本的直接作用, 且母本通过父本对杂交种的间接作用 > 父本通过母本的间接作用, 由此可见, 母本对杂交种 F_1 的叶片净光合速率、叶绿素相对含量的作用效果高于父本; 对正、反杂交种进行比较发现, 母本对正交组合叶片净光合速率、叶绿素相对含量的直接作用 (分别为 0.622, 0.579) > 对反交杂种的直接作用 (0.463, 0.325)。表明油菜母本净光合速率、叶绿素相对含量对杂种的影响程度大于父本。

表 3 杂交组间叶片净光合速率、叶绿素相对含量的亲子相关性分析

Tab. 3 Analysis on correlation coefficient of Pn and CRC between parents and offspring combinations

性状 Traits		母本 FP	父本 MP	中亲值 MPV	高亲值 HPV	低亲值 LPV	高-低亲差值 HPV-LPV	中亲优势 MPH	超亲优势 OPH
净光合速率 Pn	全部组合 THC	0.46 **	0.36 *	0.54 **	0.60 *	0.51 *	-0.05	0.54 **	0.28
	正交组合 OC	0.65 **	0.35 *	0.60 *	0.65 **	0.35 *	0.05	0.70 **	0.26
	反交组合 RC	0.45 *	0.60 **	0.66 *	0.60 *	0.45 *	-0.12	0.48 **	0.31
叶绿素相对 含量 CRC	全部组合 THC	0.58 **	0.43 **	0.79 **	0.75 **	0.64 **	0.29	0.61 **	0.43 **
	正交组合 OC	0.81 **	0.73 **	0.87 **	0.81 **	0.73 **	0.28	0.64 **	0.41
	反交组合 RC	0.55 *	0.69 **	0.71 **	0.69 **	0.55 *	0.31	0.59 **	0.44

注: *, **. 0.05, 0.01 水平。FP. 母本; MP. 父本; MPV. 中亲值; HPV. 高亲值; LPV. 低亲值; HPV-LPV. 高-低亲差值。
Note: *, **. Significance at 0.05, 0.01 levels respectively. FP. Female parent; MP. Male parent; MPV. Mid-parents value; HPV. High parent value; LPV. Low parent value; HPV-LPV. High-low parent value.

表 4 杂交组间叶片净光合速率、叶绿素含量的通径分析

Tab. 4 Path coefficient analysis of Pn and LCC between parents and offspring combinations

			间接作用 IAE				回归方程 RE	决定系数 DC (R^2)
			直接作用 DAE	父本通过母本	母本通过父本	剩余通径 系数 RSC		
				MP through FP	FP through MP			
净光合 速率 Pn	全部组合	母本 FP(X_1)	0.495	0.227	0.062	0.822	$Y = 4.511 + 0.506X_1 + 0.328X_2$	0.311
	THC	父本 MP(X_2)	0.135					
叶绿素相对 含量 CRC	正交组合	母本 FP(X_1)	0.622	0.255	0.076	0.916	$Y = 14.256 + 0.236X_1 + 0.198X_2$	0.458
	OC	父本 MP (X_2)	0.096					
	反交组合	母本 FP(X_1)	0.463	0.367	0.187	0.746	$Y = -4.235 + 0.605X_1 + 0.587X_2$	0.440
	RC	父本 MP(X_2)	0.236					
	全部组合	母本 FP(X_1)	0.675	0.122	-0.099	0.610	$Y = 1.484 + 0.559X_1 + 0.420X_2$	0.756
	THC	父本 MP(X_2)	0.554					
	正交组合	母本 FP(X_1)	0.579	0.339	0.232	0.490	$Y = -4.926 + 0.521X_1 + 0.602X_2$	0.501
	OC	父本 MP(X_2)	0.396					
	反交组合	母本 FP(X_1)	0.325	0.132	0.229	0.698	$Y = 6.819 + 0.434X_1 + 0.427X_2$	0.626
	RC	父本 MP(X_2)	0.261					

注: DAE. 直接作用; RSC. 剩余通径系数; RE. 回归方程; DC. 决定系数。
Note: DAE. Direct action effect; RSC. Remaining size coefficient; RE. Regression equation; DC. Determination coefficient.

3 讨论与结论

叶片净光合速率和叶绿素含量是衡量植物光合能力的2个重要指标,也是比较、筛选和鉴定作物光合能力的重要指标^[3-5,11-13],前人对大豆、水稻、小麦等作物的净光合速率、叶绿素含量的遗传规律的研究成果促进了大豆等作物高光效品种的选育进程^[11-14],因此,开展油菜叶片净光合速率、叶绿素含量遗传规律的研究,对油菜高光效种质的筛选和高光效育种具有重要意义。本试验的结果显示,19对由不同亲本配制的杂交组合间叶片的净光合速率、叶绿素含量的变异系数(CV,%)为4.01%~6.72%,5.70%~5.49%,说明不同基因型组合间有明显差异,但由同一组亲本配制的正、反杂交后代间的相关系数为0.468*,0.798**,则说明相同基因型组合间显著正相关,表明油菜叶片净光合速率、叶绿素含量主要受核基因型的控制,这与前人对大豆、水稻、小麦、油菜的研究结果基本相同^[8,11-14]。本试验对同基因型的油菜正、反杂交后代的比较结果显示,油菜正、反交后代间叶片的净光合速率、叶绿素含量、杂种优势存在显著差异,正交组合大于反交组合,及油菜杂交组合 F_1 与母本的相关性高于与父本的相关性,母本对杂交种 F_1 的直接作用和通过父本对杂交种的间接作用,均高于父本对杂交种 F_1 的直接作用和父本通过母本的间接作用,表明杂种 F_1 性状的受母本的影响程度高于父本,以上结果说明油菜叶片的净光合速率、叶绿素含量除受核基因控制外,还受母体细胞质基因的影响,究其原因可能在于控制叶绿素含量、影响净光合速率大小的叶绿体、线粒体位于细胞质中,同时这2个细胞器均具有“半自主遗传”的特性,因此在杂交后代中表现出“细胞质效应”(即出母性遗传)。

近年来,越来越多的育种家认为“高光效+杂种优势”是解决油菜产量水平长期徘徊不前的有效途径^[3-5,8-9],而油菜光合性状杂种优势的有无和大小是能不能利用杂优途径进行高光效育种的基础^[9,20],本试验结果显示,由19对由不同亲本配制的杂交组合间叶片净光合速率、叶绿素相对含量杂种优势的大小不同,且正、反交组合中均有强优势组合出现,则表明通过选配杂交组合,利用杂种优势能够筛选到叶片净光合速率、叶绿素含量具有强优势表现的杂交组合;杂交组合 F_1 叶片净光合速率、叶绿素含量与母本、父本、中亲值、高亲值、低亲值间呈现极显著或显著正相关性,则表明油菜杂种 F_1 的光合性状受亲本性状影响较大,也说明通过改良亲本

的光合性状来提高杂种 F_1 叶片的净光合速率、叶绿素含量具有可能性。油菜杂交组合 F_1 与高值亲本的相关程度高于与低亲值的相关程度,母本对杂种 F_1 性状的影响程度高于父本,则说明在育种中应加强对于母本性状的选择,通过提高母本的性质来提高杂种的性状,即在配制油菜的高光效杂交组合时应尽量以高值亲本做母本,即配制正交组合,利用杂种优势来提高杂种 F_1 的光合性状。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 程建峰, 沈允钢. 作物高光效之管见[J]. 作物学报, 2010, 36(8): 1235-1247.
- [3] 匡廷云. 作物光能利用效率与调控[M]. 济南: 山东科技出版社, 2004: 288-311.
- [4] 崔继林. 光合作用与生产力[M]. 南京: 江苏科技出版社, 1997: 275-355.
- [5] 杜维广, 郝廼斌, 满为群. 大豆高光效育种[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 174-247.
- [6] 王汉中, 殷艳. 我国油料产业形势分析与发展对策建议[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(3): 414-421.
- [7] 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.
- [8] 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与其保持系的光合特性[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(3): 249-255.
- [9] 张耀文, 赵小光, 田建华, 等. 甘蓝型油菜光合性状的杂种优势研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013, 41(8): 49-57.
- [10] 张继澍. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012: 104-148.
- [11] 杜维广, 桂桂茹, 满为群, 等. 大豆高光效品种(种质)选育及高光效育种再探讨[J]. 大豆科学, 2001, 20(2): 110-115.
- [12] 曹永强, 谢甫锦, 张惠君, 等. 大豆不同亲本正反交后代开花期叶片叶绿素含量遗传研究[J]. 大豆科学, 2007, 26(3): 431-434.
- [13] 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(2): 154-160.
- [14] 程建峰, 马为民, 陈根云, 等. 小偃54和京411及其杂交后代稳定优选株系光合特性的动态变化[J]. 作物学报, 2009, 35(6): 1051-1058.
- [15] 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): 5-9.
- [16] 严明理, 刘忠松, 官春云, 等. 甘蓝型油菜黄籽育种研究进展[J]. 湖南农业科学, 2008(5): 8-10, 14.
- [17] 李殿荣, 田建华, 陈文杰, 等. 甘蓝型油菜特高含油量育种技术与资源创新[J]. 西北农业学报, 2011, 20(12): 83-87.
- [18] 李凤阳, 何激光, 官春云. 油菜叶片和角果光合作用研究进展[J]. 作物研究, 2011, 25(4): 405-409.
- [19] 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, 1995: 467-602.
- [20] 张斌斌, 姜卫兵, 韩健, 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.