

冬小麦杂种 F₁ 及其亲本光合特性的研究初报*

张其德^{1,**} 朱新广¹ 王 强¹ 卢从明¹ 匡廷云¹ 张文祥²
张建华³

(¹中国科学院植物研究所光合作用基础研究开放实验室, 北京 100093; ²中国农业科学院作物育种栽培研究所, 北京 100081; ³香港浸会大学生物系, 香港九龙塘)

提 要 研究了 10 个冬小麦(*Triticum aestivum* L.) 杂交组合的子一代(F₁)及其亲本的光合特性。结果表明, 在这 10 个杂交组合中, 虽然只各有 4 个杂交组合的 F₁ 的 PS II 总的光化学量子产额(Yield)和光化学荧光猝灭系数(qP)有超亲现象, 但绝大多数组合的 F₁ 光合功能都与母本十分相近, 正反交组合的结果进一步证明这种相关性。可见, 母系遗传对于 F₁ 光合功能的优劣有着十分重要的作用。根据所得的实验结果, 认为在配置冬小麦杂交组合时, 选择具有优良光合功能的品种作母本, 可为进一步筛选光合功能好的稳定品种创造条件, 是加速小麦育种进程的重要途径之一。

关键词 冬小麦; 杂交育种; 荧光诱导动力学参数

Photosynthetic Characters of F₁ Hybrids in Winter Wheat and Their Parents

ZHANG QiDe¹ ZHU Xin-Guang¹ WANG Qiang¹ LU Cong-Ming¹ KUANG Ting-Yun¹

ZHANG Wen-Xiang² ZHANG Jian-Hua³

(¹Laboratory of Photosynthesis Basic Research, Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093;

²Institute of Crop Breeding and Cultivation, CAA S, Beijing 100081; ³Department of Biology, Hong Kong Baptist University, Hong Kong Kowloon Tong, China)

Abstract The photosynthetic characteristics of 10 F₁ hybrids in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and their parents were studied. The result showed that overall photochemical quantum yield of PS II (Yield) and the coefficient of photochemical fluorescence quenching (qP) of only each 4 F₁ hybrids winter wheat surpassed their parents in 10 cross combinations, but the photosynthetic functions, such as Yield, qP, PS II activity (F_v/F_o), the efficiency of primary conversion of light energy of PS II (F_v/F_m) and the coefficient of non-photochemical fluorescence quenching (qN) of F₁ hybrids in most cross combinations were similar with their female parents. The experimental results of reciprocal cross F₁ hybrids further proved this interrelationship. It is obvious that the excellence or poorness of most photosyn-

* 国家重点基础研究发展规划项目(G1998010100), 中科院“九五”特别支持项目(KZ95T-02)和光合作用基础研究开放实验室创新基金资助。

** 通讯联系人。 Corresponding author

收稿日期: 2000-07-31, 接受日期: 2000-12-16

Received on: 2000-07-31, Accepted on: 2000-12-16

thetic functions depends on matrilineal inheritance. According to the experimental results, we consider that the variety possessing excellent photosynthetic functions should be chosen as female parent when cross combinations are made in winter wheat crossbreeding. It might create the favorable conditions for further sifting stable cultivars of winter wheat possessing excellent photosynthesis functions. It is one of the ways that accelerates the process of crossbreeding in wheat.

Key words Winter wheat; Crossbreeding; Fluorescence induction kinetic parameters

我们在进行杂交稻及其亲本的光合功能的比较研究时,发现杂交稻子一代光合功能的优劣与母本的光合功能有明显的相关性,即许多光合功能参数受母本的左右,表现出母系遗传^[1-3]。那么,这种规律性在小麦中是否存在?我们以 10 个冬小麦杂交组合的子一代(F_1)及其亲本为实验材料,比较研究它们的光合特性,以探索 F_1 与亲本之间光合功能的相关性,以便为冬小麦常规育种对亲本的选择提供理论依据,加速育种进程。同时,从光合作用的角度研究 F_1 与亲本之间的相关性尚未见报道。因此,进行这方面的研究,这不仅在理论上而且在生产实践上都有重要意义。

1 材料与方法

实验材料于 1998 年 9 月 26 日播种于中国农业科学院试验地,出苗后按一般大田的管理措施进行管理。由于杂交冬小麦 F_1 代种子得之不易,受实验材料的限制,加上考虑到要进一步收获它们的种子,若待旗叶全展后,再取样进行测定,会对籽粒产量造成不利影响,因此我们于 1999 年春季选择其生长旺盛的拔节期,取长势一致的第 3 片全展叶(从主茎顶部下数第 3 片叶)为材料,测定其光合功能参数。每个实验数据至少是重复测定 6 次的平均值。

按卢从明等^[4]所采用的方法,用便携式荧光仪(PAM-2000, Walz, Germany)和带探测软件(DA-2000, Heinz, Walz)的计算机测定经暗适应 30 min 后的叶片荧光诱导动力学参数。

2 结果与讨论

2.1 冬小麦杂种 F_1 及其亲本 PS II 活性和原初光能转化效率的比较

在荧光诱导动力学的测定中, F_v 代表可变荧光,它反映可参与 PS II (光系统 II) 光化学反应的光能辐射部分; F_o 为固定荧光,代表不参与 PS II 光化学反应的光能辐射部分; $F_m = F_v + F_o$ 为最大荧光, F_v/F_o 代表 PS II 活性,而 F_v/F_m 代表 PS II 光化学最大效率^[5]或 PS II 原初光能转化效率^[6, 7]。从表 1 可以看出,在 10 个杂交组合中 F_1 的 PS II 活性和原初光能转化效率,除 CA 9613 × 中优 9507 的 F_1 外,其余的 F_1 均无超亲现象。此外,除 H5207 × CA 954 和 H3017 × CA 9613 的 F_1 这两个光合参数与其各自的父本接近外,其余 8 个杂交组合的 F_1 均与其各自的母本十分接近,即凡是母本的这两种光合功能高者,其 F_1 也高,反之亦然。表明在这些杂交组合中绝大多数组合 F_1 的 PS II 活性和原初光能转化效率取决于母本。这一点可以从正交中优 9507 × CA 9613 和反交 CA 9613 × 中优 9507 F_1 的实验结果得到进一步证实,不论以中优 9507 还是 CA 9613 为母本,其 F_1 的上述两种参数都与其母本非常接近,这充分说明这两种光合功能是由母本所遗传的。

2.2 冬小麦杂种 F_1 及其亲本光化学量子产额(Yield),光化学荧光猝灭系数(qP)和非光化学荧光猝灭系数(qN)的比较

Yield 代表 PS II 总的光化学量子产额,是表示在光合作用进程中,PS II 获得一个光子

表 1 冬小麦杂种 F₁ 及其亲本 F_v/F_o 和 F_v/F_m 比值的比较Table 1 The comparison of F_v/F_o and F_v/F_m ratios of leaves among F₁ hybrids in winter wheat and their parents

实验材料 Experiment material	F _v /F _o		F _v /F _m	
	比值	相对百分数	比值	相对百分数
	Ratio	Relative percentage	Ratio	Relative percentage
81 鉴(Jian) 82	5.348 ± 0.139	98.8	0.843 ± 0.005	99.9
CA 954	5.573 ± 0.094	103.0	0.848 ± 0.002	100.5
81 鉴(Jian) 82/CA 954	5.413 ± 0.096	100	0.844 ± 0.009	100
鉴(Jian) 69	5.457 ± 0.073	100.5	0.845 ± 0.002	100
CA 954	5.573 ± 0.094	102.7	0.848 ± 0.002	100.4
鉴(Jian) 69/CA 954	5.428 ± 0.038	100	0.845 ± 0.002	100
H 1488	5.162 ± 0.014	97.6	0.837 ± 0.004	99.6
CA 954	5.573 ± 0.094	105.4	0.848 ± 0.002	101.0
H 1488/CA 954	5.288 ± 0.070	100	0.840 ± 0.002	100
H 3017	5.164 ± 0.127	97.8	0.838 ± 0.003	99.6
CA 954	5.573 ± 0.094	105.6	0.848 ± 0.002	100.8
H 3017/CA 954	5.278 ± 0.120	100	0.841 ± 0.003	100
H 5207	5.202 ± 0.020	94.8	0.839 ± 0.001	99.2
CA 954	5.573 ± 0.094	101.6	0.848 ± 0.002	100.2
H 5207/CA 954	5.487 ± 0.154	100	0.846 ± 0.004	100
H 96-4181	5.334 ± 0.049	101.0	0.841 ± 0.002	100
CA 954	5.573 ± 0.094	105.5	0.848 ± 0.002	100.8
H 96-4181/CA 954	5.281 ± 0.054	100	0.841 ± 0.003	100
H 3017	5.164 ± 0.127	96.0	0.838 ± 0.003	99.4
CA 9613	5.382 ± 0.055	100.1	0.843 ± 0.001	100
H 3017/CA 9613	5.378 ± 0.081	100	0.843 ± 0.002	100
中优(Zhongyou) 9507	5.309 ± 0.240	101.4	0.841 ± 0.006	100.1
CA 9613	5.382 ± 0.055	102.7	0.843 ± 0.001	100.4
中优(Zhongyou) 9507/CA 9613	5.234 ± 0.121	100	0.840 ± 0.003	100
CA 9613	5.382 ± 0.055	99.6	0.843 ± 0.001	99.9
中优(Zhongyou) 9507	5.309 ± 0.240	93.2	0.841 ± 0.006	99.6
CA 9613/中优(Zhongyou) 9507	5.406 ± 0.176	100	0.844 ± 0.004	100
CA 9553	5.554 ± 0.110	100.6	0.848 ± 0.003	100.1
CA 9613	5.382 ± 0.055	97.5	0.843 ± 0.001	99.5
CA 9553/CA 9613	5.522 ± 0.102	100	0.847 ± 0.002	100

后所引起的总的光化学反应。因此, 高的 Yield 值有利于提高作物的光能转化效率, 为暗反应的碳同化积累所需的更多能量。从表 2 可以看出, 有 4 个杂交组合: H 1488 × CA 954, H 5207 × CA 954, H 96-4181 × CA 954 和 H 3017 × CA 9613 F₁ 的 Yield 有超亲现象, 说明这 4 个组合 F₁ 的 PS II 总光化学量子产额比各自父、母本高, 而其余的 6 个杂交组合的 F₁ 无超亲现象。在这 10 个杂交组合中, 只有 H 3017 × CA 9613 F₁ 的 Yield 与其父本相近, 而其他 9 个杂交组合 F₁ 的 Yield 都与其母本相近, 同样是 F₁ 的 Yield 值随各自母本的变化而变化。两组正、反交的实验结果也进一步说明这一点, 不论以 Yield 值较低的中优 9507 还是以 Yield 值较高的 CA 9613 为母本, 它们 F₁ 的 Yield 均在亲本之间, 且更接近于各自母本。

qP 值代表光化学荧光猝灭系数, 是对 PS II 原初电子受体 Q_A 氧化态的一种量度, 代表 PS II 反应中心开放部分的比例^[8, 9], 反映 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学反应的份额^[10]。从表 2 可以看出, 有 4 个杂交组合: H 1488 × CA 954, H 3017 × CA 954, H 5207 × CA 954

表 2 冬小麦杂种 F₁ 及其亲本 Yield, qP 和 qN 值的比较Table 2 The comparison of Yield, qP and qN values of leaves among F₁ hybrids in winter wheat and their parents

实验材料 Experiment material	Yield		qP		qN	
	相对值	相对百分数	相对值	相对百分数	相对值	相对百分数
	Relative value	Relative percentage	Relative value	Relative percentage	Relative value	Relative percentage
81 鉴(Jian) 82	0.587 ± 0.020	100.5	0.757 ± 0.023	100.4	0.324 ± 0.009	97.3
CA 954	0.557 ± 0.023	95.4	0.717 ± 0.035	95.1	0.354 ± 0.008	106.3
81 鉴(Jian) 82/CA 954	0.584 ± 0.009	100	0.754 ± 0.044	100	0.333 ± 0.007	100
鉴(Jian) 69	0.598 ± 0.010	101.7	0.768 ± 0.011	101.3	0.333 ± 0.015	100
CA 954	0.557 ± 0.023	94.7	0.717 ± 0.035	94.6	0.354 ± 0.008	106.3
鉴(Jian) 69/CA 954	0.588 ± 0.018	100	0.758 ± 0.033	100	0.333 ± 0.018	100
H 1488	0.587 ± 0.023	98.9	0.753 ± 0.032	98.0	0.358 ± 0.009	101.1
CA 954	0.557 ± 0.023	93.9	0.717 ± 0.035	93.5	0.354 ± 0.008	100
H 1488/CA 954	0.593 ± 0.018	100	0.768 ± 0.026	100	0.354 ± 0.014	100
H 3017	0.540 ± 0.034	100.9	0.707 ± 0.005	92.8	0.377 ± 0.028	102.2
CA 954	0.557 ± 0.023	104.1	0.717 ± 0.035	94.1	0.354 ± 0.008	95.9
H 3017/CA 954	0.535 ± 0.027	100	0.762 ± 0.032	100	0.369 ± 0.030	100
H 5207	0.575 ± 0.037	99.3	0.722 ± 0.051	96.7	0.322 ± 0.009	92.5
CA 954	0.557 ± 0.023	96.2	0.717 ± 0.722	95.6	0.354 ± 0.008	101.7
H 5207/CA 954	0.579 ± 0.012	100	0.747 ± 0.017	100	0.348 ± 0.007	100
H 96-4181	0.567 ± 0.026	99.3	0.567 ± 0.026	99.3	0.333 ± 0.018	100.6
CA 954	0.557 ± 0.023	97.5	0.717 ± 0.023	125.6	0.354 ± 0.008	106.9
H 96-4181/CA 954	0.571 ± 0.022	100	0.571 ± 0.022	100	0.331 ± 0.007	100
H 3017	0.540 ± 0.034	91.7	0.707 ± 0.005	92.8	0.377 ± 0.028	110.9
CA 9613	0.578 ± 0.022	98.1	0.746 ± 0.029	97.9	0.349 ± 0.011	102.6
H 3017/CA 9613	0.589 ± 0.004	100	0.762 ± 0.010	100	0.340 ± 0.007	100
中优(Zhongyou) 9507	0.536 ± 0.041	97.8	0.699 ± 0.046	97.5	0.377 ± 0.020	101.3
CA 9613	0.578 ± 0.022	105.5	0.746 ± 0.029	104.0	0.349 ± 0.011	93.8
中优(Zhongyou) 9507/CA 9613	0.548 ± 0.012	100	0.717 ± 0.015	100	0.372 ± 0.009	100
CA 9613	0.578 ± 0.022	102.8	0.746 ± 0.029	101.2	0.349 ± 0.011	106.1
中优(Zhongyou) 9507	0.536 ± 0.041	95.4	0.699 ± 0.046	94.8	0.377 ± 0.002	114.6
CA 9613/中优(Zhongyou) 9507	0.562 ± 0.017	100	0.737 ± 0.025	100	0.329 ± 0.007	100
CA 9553	0.561 ± 0.029	103.9	0.720 ± 0.046	104.3	0.3465 ± 0.014	100.8
CA 9613	0.578 ± 0.022	107.0	0.746 ± 0.029	108.1	0.349 ± 0.011	101.5
CA 9553/CA 9613	0.540 ± 0.005	100	0.690 ± 0.009	100	0.344 ± 0.010	100

和 H 3017 × CA 9613 F₁ 的 qP 值有超亲现象, 说明这些子一代的 PS II 反应中心开放部分的比例高于各自的亲本, 从而有利于降低不能进行稳定电荷分离、不能参与光合电子线性传递的 PS II 反应中心关闭部分的比例, 使天线色素所捕获的光能以更高比例用于推动光合电子传递, 促进电子传递能力的提高^[11]。光合作用的电子传递总是与形成 ATP 的光合磷酸化相耦联的, 而且全链电子传递又以 NADP⁺ 为最终电子受体, 因此这 4 个 F₁ 有较高的光合电子传递能力, 有助于形成更多的 ATP 和 NADPH 供碳同化利用。

在这 10 个杂交组合中, 除 H 3017 × CA 954 和 H 3017 × CA 9613 F₁ 的 qP 值与它们各自的父本相近外, 其余 8 个杂交组合 F₁ 的 qP 值均更接近于母本, 同样表现出随母本的变化而变化, 与 F₁ 和母本之间的 F_v/F_c、F_v/F_m 和 Yield 的变化规律相一致。正、反交的实验结果进一步说明了这一点, 不论以中优 9507 还是以 CA 9613 为母本, 其 F₁ 的 qP 值都随母本而变化。

非光化学荧光猝灭系数(q_N)则反映 PS II 反应中心非辐射能量耗散能力的大小, 也就是说它代表 PS II 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递, 而以热的形式耗散掉的光能部分^[10]。从表 2 可以看出, 除 H1488 × CA 954, H5207 × CA 954 和 H3017 × CA 9613 3 个杂交组合 F_1 的 q_N 值与其各自的父本相近外, 其它 7 个杂交组合 F_1 的 q_N 值均与其各自的母本十分接近, 正反交的结果也一样, 说明 F_1 的热耗散能力主要也取决于母本。在正常光照条件下, 热耗散能力低有利于把捕光色素蛋白复合物所捕获的光能有效地用于进行光合作用, 因此绝大多数杂交组合 F_1 的热耗散能力由母本所决定, 说明它们在有效利用光能方面主要取决于其母本。

从上述实验结果可以看出, 尽管所测定的光合参数 F_v/F_o 和 F_v/F_m 在 F_1 与亲本之间的差异不显著, 这是因为在正常生长条件下, 这两个参数不仅在同种植物的不同品种中, 甚至在不同植物之间的差异都不大, 其差异只有在逆境条件下才易于表现出, 然而这并不影响对 F_1 与其亲本之间的这两个参数相关性的分析。对 10 个杂交组合的 F_1 所检测的共 50 个光合参数, 有 40 个参数随其各自的母本的变化而变化, 其中 PS II 活性(F_v/F_o)、PS II 原初光能转化效率(F_v/F_m)和光化学荧光猝灭系数(q_P)各 8 个, PS II 总的光化学量子产额(Yield)9 个, 非光化学荧光猝灭系数(q_N)7 个, 共占 80%, 而仅有 10 个参数随父本变化, 其中 F_v/F_o 、 F_v/F_m 和 q_P 各 2 个, Yield 和 q_N 分别为 1 个和 3 个, 共占 20%, 说明冬小麦杂种 F_1 的光合特性的优劣主要取决于母本的光合特性, 表明母系遗传在决定 F_1 光合功能方面有着十分重要的作用, 这可能与光合作用中对光能的吸收、传递、分配和转化均由叶绿体类囊体膜上的不同色素蛋白复合物所承担, 而叶绿体膜上的 PS II 和 PS I 进行光能转化的反应中心 Chl a 蛋白复合物, 以及 PS II 内周天线色素蛋白复合物, 是由叶绿体 DNA 所编码^[12]密切相关。

因此, 在冬小麦的常规育种中, 除应选择遗传差异大, 性状互补好和配合力高的亲本外, 还应特别重视选择具有优良光合功能的品种作母本, 以便获得具有较强光合能力的 F_1 , 为它们积累更多的干物质和产量的提高创造条件, 同时为进一步选育高光效的稳定品系或品种奠定基础, 这对于尽快获得在生产上有应用价值、具有优良光合功能和高产的品种将会有重要作用。

参 考 文 献

- 1 许大全, 沈允钢 见: 邹琦, 王学臣主编, 作物高产高效生理学研究进展, 农作物高产高效抗逆生理基础研究文集 北京: 科学出版社, 1996, 17~ 24
- 2 张其德, 卢从明, 张启峰等 生物物理学报, 1996, 12(3): 511~ 516
- 3 张其德, 卢从明, 张世平等 植物学通报, 1998, 15(1): 50~ 55
- 4 Lu Congming, Zhang Jianhua *Aust. J. Plant Physiol.*, 1998, 25: 317~ 324
- 5 Kitajima M, W L Butler *Biochim. Biophys. Acta*, 1975, 376: 105~ 115
- 6 张其德, 张世平, 张启峰 植物学报, 1998, 30(1): 54~ 61
- 7 林世青, 许春辉, 张其德等 植物学通报, 1992, 9(1): 1~ 16
- 8 Genty B E, M J Briantais, N R Baker *Biochim. Biophys. Acta*, 1989, 990: 87~ 92
- 9 Van Kooten O, J F H. Snel *Photosyn. Res.*, 1990, 25: 147~ 150
- 10 张其德, 张建华, 刘合芹等 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 24~ 29
- 11 张其德, 卢从明, 冯丽洁等 植物学报, 1996, 38(1): 77~ 82
- 12 娄世庆, 马建忠, 匡廷云等 见: 荆玉祥, 匡廷云, 李德葆主编, 植物分子生物学——成就与前景 北京: 科学出版社, 1995, 102~ 113