

不同来源大豆品种光合速率日变化及其影响因子的研究

张瑞朋¹, 杨德忠², 傅连舜², 卢铁钢², 李殿平², 谢甫绶¹

(1. 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110161; 2. 铁岭市农业科学院, 铁岭 112616)

摘要 在田间条件下, 利用 LI-6400 光合测定系统于大豆盛花期和鼓粒期分别测定了 3 个不同来源大豆品种的光合速率日变化。利用相关分析, 探讨了气孔导度、细胞间隙 CO_2 浓度、蒸腾速率、叶温、空气中 CO_2 浓度、空气相对湿度、光合有效辐射和基于叶温的蒸气压亏缺等因子对净光合速率的影响。结果表明: 在盛花期和鼓粒期, 一天内不同时间段 3 个供试大豆品种叶片净光合速率的限制因素有所不同。在大部分时间段内, 叶片的净光合速率与气孔导度、光合有效辐射以及蒸腾速率呈正相关, 而与细胞间隙 CO_2 浓度和蒸气压亏缺呈负相关。

关键词 大豆; 光合速率; 日变化; 影响因子

中图分类号 S565.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2007)04-0490-06

RESEARCH OF PHOTOSYNTHESIS DIURNAL VARIATION AND ITS AFFECTING FACTORS FOR DIFFERENT SOURCE SOYBEANS

ZHANG Rui-peng¹, YANG De-zhong², FU Lian-shun², LU Tie-gang², LI Dian-ping², XIE Fu-ti¹

(1. Agronomy College of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161; 2. Tieling Academy of Agricultural Sciences, Tieling 112616)

Abstract Diurnal variation of photosynthetic rate was determined for three different source soybean cultivars by using LI-6400 portable photosynthesis system at flowering and grain filling in the field condition. The correlation between photosynthetic rate and its affecting factors of Cond, Ci, Tr, T_L , CO_2R , RH_R, PAR and VpdL were analyzed. The results indicated that limiting factors of net photosynthetic rate were different for three soybean cultivars in different time of a day at flowering and grain filling. Net photosynthetic rate of leaf was positively correlated with Cond, PAR and Tr, but negatively correlated with Ci and VpdL in most time of a day.

Key words Soybean; Photosynthetic rate; Diurnal variation; Affecting factors

中午前后, 在饱和光强条件下, 多种 C_3 植物的光合速率明显降低。Hirata 等指出, 大豆在自然光照条件下有光抑制现象。中午前后大豆叶片光合效率降低, 主要原因不是空气中 CO_2 浓度和气孔导度

以及光呼吸的变化造成的, 很可能是光抑制影响所致^[1~3]。高辉远^[4]认为大豆的光合日变化随气候条件、生长环境以及大豆的生育期不同而变化, 不遵循一种固定不变的模式, 概括起来有单峰型、双峰型、

收稿日期: 2007-03-05

基金项目: 辽宁省科学技术计划项目(2006201008); 辽宁省教育厅科技项目(05L378)资助

作者简介: 张瑞朋(1979-), 男, 博士研究生, 主要从事大豆产量生理研究。

通讯作者: 谢甫绶, 教授, 博士生导师。

波动型和平缓型 4 种不同类型。作物生理特性的日变化是研究作物季节生理特性的基础。而作物生育期间的有机物合成及伴随的大量水分消耗主要通过叶片进行。因而探讨作物叶片生理功能的日变化,尤其是这种变化与其生态条件的关系日益受到重视^[5]。在水稻^[6,7],小麦^[8,9],黄瓜^[10]等作物上报较多,在大豆上报还不足够全面^[11]。由于大气因子、生理因子及生化因子相互影响光合速率的日变化,而以往的研究多集中于单一因子与光合速率的相关分析。采用不同来源大豆品种分析了各影响因子对净光合速率的影响,为揭示影响大豆光合日变化的原因,减轻光合“午休”现象,提高大豆的光合生产力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验品种

选用结荚习性(均为亚有限型)相同,但育成年代和地点不同的代表性大豆品种 3 个,分别是美国俄亥俄当代品种 Darby(引自俄亥俄州立大学),中国辽宁当代品种辽豆 11 号,辽宁 20 年代老品种 Mukden(引自美国大豆种质资源库)。

1.2 试验设计

试验于 2006 年在铁岭市农业科学院大豆试验田进行。采用随机区组设计,3 次重复。小区行长 5 m,行距 60 cm,6 行区,小区面积为 18 m²,密度 15 万株/hm²,株距 11 cm。5 月 1 日播种,田间管理按常规进行。

1.3 测定指标及方法

采用美国 LI-6400 光合作用测定系统在盛花期与鼓粒期进行测定,测定指标为大豆叶片的净光合速率(Pn)、气孔导度(Cond)、细胞间隙 CO₂ 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)、叶温(T_L)、空气中 CO₂ 浓度(CO₂R)、空气相对湿度(RH_R)、光合有效辐射(PAR)、基于叶温的蒸气压亏缺(VpdL),盛花期从上午 5:00 至下午 19:00 进行测定,每隔 2 h 测定一次;鼓粒期从上午 6:00 至下午 18:00 进行测定,每隔 2 h 测定一次,其中 13:00 增加测定一次。测定部位为上数第 3 片全展叶,每个处理测定 5 株。

2 结果与分析

2.1 不同来源大豆品种叶片净光合速率及各影响因子的日变化

在大豆盛花期测定了 3 个大豆品种叶片的光合日变化。由图 1 可见,在盛花期,俄亥俄当代品种

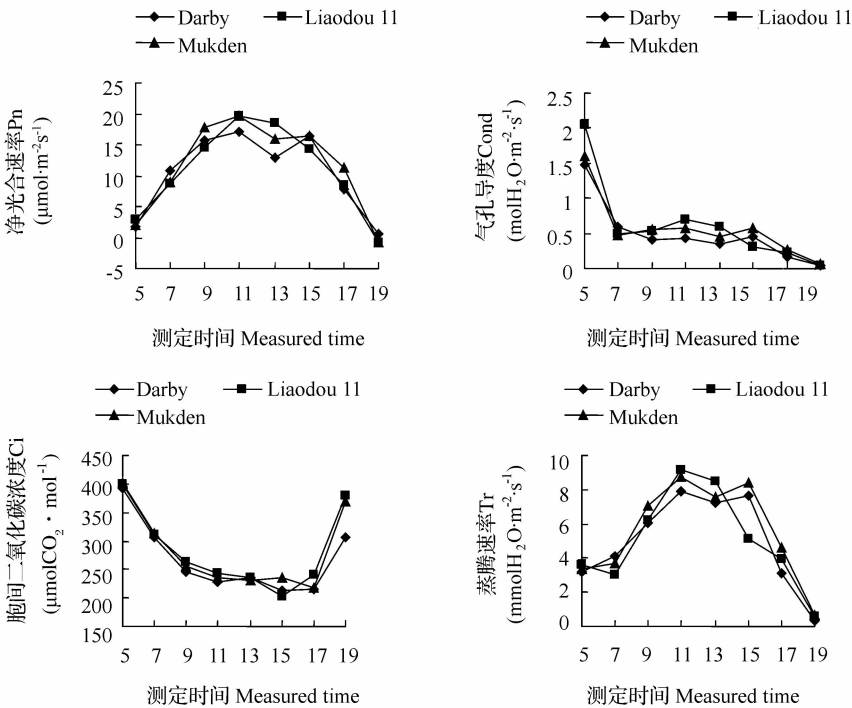


图 1 盛花期净光合速率及各影响因子的日变化
Fig. 1 Diurnal variation of net photosynthetic rate and its affecting factors at flowering

Darby 和辽宁老品种 Mukden 净光合速率日变化为典型的双峰曲线,峰值分别出现在 11:00 和 15:00,而辽宁当代品种辽豆 11 号净光合速率日变化为单峰曲线。在 13:00,辽宁当代品种辽豆 11 号净光合速率高于辽宁老品种 Mukden,辽宁老品种 Mukden 净光合速率高于俄亥俄当代品种 Darby;其它时段 3 个品种的净光合速率差别不大。在 5:00,3 个大豆品种的气孔导度较高,在 7:00 到 15:00,3 个品种的气孔导度变化不大,15:00 以后,各品种的气孔导度开始下降。在各时段 3 个大豆品种叶片中细胞间隙 CO_2 浓度变化趋势是一致的,从 5:00 至 15:00,细胞间隙 CO_2 浓度呈下降趋势,然后又开始升高。蒸腾速率变化趋势与净光合速率的变化趋势一致,俄亥俄当代品种 Darby 和辽宁老品种 Mukden 为典型的双峰曲线,辽宁当代品种辽豆 11 号为单峰曲线。

在大豆鼓粒期测定了 3 个大豆品种叶片的光合日变化,结果见图 2。

由图 2 可见,在鼓粒期,俄亥俄当代品种 Darby 叶片净光合速率日变化为双峰曲线,峰值分别出现在 8:00 和 14:00;辽宁当代品种辽豆 11 号叶片净光合速率日变化为单峰曲线,峰值出现在 14:00;辽宁老品种 Mukden 叶片净光合速率日变化为平缓型,各时段的叶片净光合速率差别不大。3 个大豆品种的气孔导度在 6:00 较大,其它时段的气孔导度都较低,并且 3 个品种间差别不大。3 个品种细胞间隙 CO_2 浓度日变化趋势是一致的,在 6:00 和 18:00,各品种细胞间隙 CO_2 浓度较高,在其它时段差别不大。各时段的蒸腾速率基本上都是俄亥俄当代品种 Darby 大于辽宁当代品种辽豆 11 号,辽宁当代品种辽豆 11 号大于辽宁老品种 Mukden。

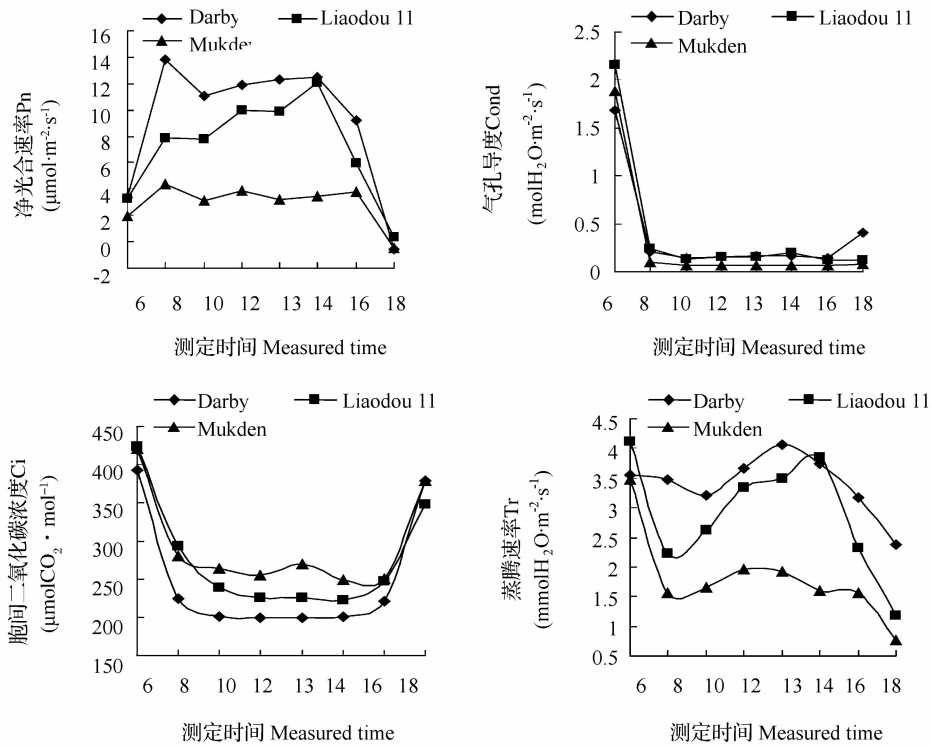


图 2 鼓粒期净光合速率及各影响因子的日变化

Fig. 2 Diurnal variation of net photosynthetic rate and its affecting factors at grain filling

2.2 不同来源大豆品种叶片净光合速率及各影响因子的相关性分析

对大豆盛花期的叶片净光合速率与其影响因子进行了相关分析。从表 1 可知,俄亥俄当代品种 Darby 在 5:00、7:00 和 19:00 叶片的气孔导度与净光合速率呈负相关,但没有达到显著水平,其它时段叶片气孔导度与净光合速率呈正相关,并且在 9:00、

11:00 和 13:00 达到了极显著水平;辽宁当代品种辽豆 11 号在 19:00 叶片的气孔导度与净光合速率呈负相关,其它时段叶片气孔导度与净光合速率呈正相关,并且在 13:00 和 15:00 达到了极显著水平,在 11:00 达到显著水平;辽宁老品种 Mukden 在大部分时间段叶片的气孔导度与净光合速率呈正相关,在 17:00 时达到了显著水平。

3 个大豆品种叶片细胞间隙 CO₂ 浓度基本上与叶片净光合速率呈负相关,在 5:00、7:00 和 19:00, 俄亥俄当代大豆品种叶片细胞间隙 CO₂ 浓度与净光合速率分别呈显著和极显著负相关,辽宁当代品种辽豆 11 号在 5:00 时叶片细胞间隙 CO₂ 浓度与净光合速率极显著负相关,辽宁老品种 Mukden 在 15:00 和 19:00 叶片细胞间隙 CO₂ 浓度与净光合速率分别呈显著和极显著负相关。

总的来看,3 个品种叶片的蒸腾速率与净光合

速率正相关,其中,俄亥俄当代品种 Darby 在 9:00、11:00、13:00 和 15:00,叶片的蒸腾速率与净光合速率极显著正相关;在 13:00 和 15:00,辽宁当代品种辽豆 11 号叶片的蒸腾速率与净光合速率极显著正相关;在 17:00,辽宁老品种 Mukden 叶片的蒸腾速率与净光合速率极显著正相关。从 3 个供试品种来看,叶温与叶片净光合速率相关性不大,只有俄亥俄当代品种 Darby 在 11:00 叶温与叶片净光合速率及

表 1 盛花期大豆叶片净光合速率与各影响因子的相关性

Table 1 The correlation between soybean leaf net photosynthetic rate and its affecting factors at flowering

品种 Cultivars	时间 Time	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
Darby	5:00	−0.082	−0.940 *	0.514	0.172	−0.223	0.067	0.383	0.038
	7:00	−0.837	−0.908 *	−0.791	0.589	−0.752	−0.403	0.943 *	0.815
	9:00	0.947 **	0.229	0.963 **	−0.049	−0.320	0.312	0.252	−0.807
	11:00	0.997 **	−0.785	0.997 **	0.979 **	0.310	0.369	0.339	−0.986 **
	13:00	0.985 **	0.636	0.975 **	−0.564	0.898 *	−0.645	0.772	−0.891 *
	15:00	0.661	−0.427	0.967 **	0.261	0.819	−0.878 *	0.601	−0.056
	17:00	0.572	−0.590	0.631	0.230	−0.373	0.710	0.787	−0.313
	19:00	−0.324	−0.968 **	−0.419	−0.395	−0.494	0.989 **	0.648	−0.326
Liaodou 11	5:00	0.718	−0.993 **	0.404	0.055	−0.721	−0.792	0.715	−0.920 *
	7:00	0.210	−0.191	0.240	−0.139	−0.472	0.390	0.109	−0.203
	9:00	0.228	−0.404	0.545	0.430	0.456	−0.364	0.707	0.070
	11:00	0.975 *	−0.923	0.917	0.086	0.461	−0.687	−0.496	−0.995 **
	13:00	0.996 **	0.033	0.967 **	0.517	0.231	−0.501	0.853	−0.923
	15:00	0.979 **	0.943 *	0.993 **	−0.810	0.901 *	−0.826	−0.362	−0.955 **
	17:00	0.325	−0.289	0.547	0.289	−0.186	0.590	0.830	−0.114
	19:00	−0.659	−0.519	−0.645	−0.152	0.545	0.167	−0.367	−0.020
Mukden	5:00	−0.370	−0.802	0.800	0.665	0.908 *	−0.736	0.577	0.534
	7:00	0.146	−0.663	0.326	0.330	0.724	−0.474	0.710	0.084
	9:00	0.769	−0.475	0.838	0.738	0.634	−0.636	0.836	−0.117
	11:00	0.699	−0.296	0.807	0.215	−0.562	0.721	0.804	−0.440
	13:00	0.525	−0.239	0.491	−0.641	0.235	−0.114	0.472	−0.468
	15:00	−0.400	−0.900 *	−0.220	0.290	0.176	0.501	0.584	0.401
	17:00	0.897 *	0.655	0.956 **	−0.671	0.137	−0.212	0.039	−0.785
	19:00	−0.265	−0.965 **	−0.397	−0.573	0.892 *	0.692	−0.976 **	−0.682

注:表中 X₁、X₂、X₃、X₄、X₅、X₆、X₇、X₈ 分别代表气孔导度(Cond)、细胞间隙 CO₂ 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)、叶温(T_L)、空气中 CO₂ 浓度(CO₂R)、空气相对湿度(RH_R)、光合有效辐射(PAR)、基于叶温的蒸汽压亏缺(VpdL),(以下同)。* 表示 5%显著性差异,** 表示 1%显著性差异。

Notes: X₁、X₂、X₃、X₄、X₅、X₆、X₇、X₈ indicate Cond,Ci,Tr,T_L,CO₂R,RH_R,PAR,VpdL, respectively. The same as follows. * and ** indicate significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

空气中 CO₂ 浓度在大部分时间段都与叶片净光合速率呈正相关,在 13:00, 俄亥俄当代品种 Darby 叶片净光合速率与空气中 CO₂ 浓度显著正相关;在 15:00, 辽宁当代品种辽豆 11 号叶片净光合速率与空气中 CO₂ 浓度显著正相关;在 5:00 和 19:00, 辽宁老品种 Mukden 叶片净光合速率与空气中 CO₂ 浓度显著正相关。光合有效辐射对于 3 个大豆品种来说,大部分时间段都与净光合速率正相关。而蒸气压亏缺在大部分时间段都与叶片净光合速率负相关,其中,俄亥俄当代品种 Darby 在 11:00 和 13:00 时蒸气压亏缺分别与净光合速率极显著和显著负相关;辽宁当代品种辽豆 11 号在 5:00 和 13:00 时,净光合速率与蒸气压亏缺显著负相关,在 11:00 和 15:00 时,两者极显著负相关。

对大豆鼓粒期测定的叶片的净光合速率与影响因子进行了相关分析。从表 2 可知,3 个供试大豆品种的叶片净光合速率在大部分时间段都与气孔导度正相关。其中,俄亥俄当代大豆品种在 10:00 和

12:00, 气孔导度分别与叶片净光合速率显著正相关和极显著正相关;辽宁当代大豆品种叶片气孔导度在 12:00 时与净光合速率显著正相关;在 12:00、13:00 和 16:00 时,辽宁老品种 Mukden 分别与气孔导度显著正相关和极显著正相关。除了 13:00 时外,辽宁当代品种辽豆 11 号和辽宁老品种 Mukden 的叶片净光合速率都与细胞间隙 CO₂ 浓度负相关。在 16:00 时和 18:00 时叶片净光合速率与细胞间隙 CO₂ 浓度极显著负相关;而辽宁老品种 Mukden 除了在 16:00 时和 18:00 时外,叶片净光合速率与细胞间隙 CO₂ 浓度都达到了显著或极显著负相关。蒸腾速率与 3 个供试大豆品种叶片的净光合速率正相关,在 10:00、12:00 和 14:00 时,俄亥俄当代品种 Darby 蒸腾速率与叶片净光合速率极显著正相关;在 12:00 时,辽宁当代品种辽豆 11 号蒸腾速率与叶片净光合速率显著正相关;辽宁老品种 Mukden 在 13:00 和 16:00 时,蒸腾速率与叶片净光合速率显著正相关。

表 2 鼓粒期大豆叶片净光合速率与各影响因子的相关性

Table 2 The correlation of soybean leaf net photosynthetic rate and its affecting factors at grain filling

品种 Cultivars	时间 Time	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
Darby	6:00	−0.329	−0.800	−0.186	0.608	0.320	−0.350	0.415	0.47
	8:00	0.707	0.424	0.809	−0.270	0.181	0.279	−0.119	−0.54
	10:00	0.920 *	−0.065	0.962 **	0.185	0.120	−0.203	−0.046	−0.166
	12:00	0.991 **	0.802	0.979 **	−0.568	−0.456	0.031	−0.692	−0.888 *
	13:00	0.618	−0.408	0.675	0.557	−0.466	0.131	0.345	−0.051
	14:00	0.636	−0.797	0.948 **	0.806	−0.455	−0.091	0.791	0.743
	16:00	−0.016	−0.823	0.188	0.689	−0.594	−0.580	−0.353	0.619
	18:00	−0.155	0.231	−0.245	0.660	0.777	0.710	−0.710	0.260
Liaodou 11	6:00	0.553	−0.575	0.779	0.170	−0.140	0.222	0.702	−0.348
	8:00	0.684	−0.201	0.694	−0.184	0.222	0.540	0.142	−0.525
	10:00	0.282	−0.783	0.595	0.503	−0.705	0.223	0.772	0.261
	12:00	0.911 *	−0.346	0.906 *	−0.297	−0.444	−0.176	−0.608	−0.736
	13:00	0.778	0.001	0.718	−0.782	−0.371	0.613	−0.131	−0.806
	14:00	0.867	−0.670	0.821	0.416	−0.562	−0.294	0.471	−0.524
	16:00	−0.843	−0.985 **	−0.862	0.757	−0.765	0.785	0.622	0.779
	18:00	−0.673	−0.976 **	−0.554	0.563	−0.706	−0.528	0.69	10.694
Mukden	6:00	0.383	−0.937 *	0.852	0.372	−0.579	−0.887 *	0.717	0.130
	8:00	0.720	−0.902 *	0.844	0.487	−0.776	−0.868	−0.381	0.202
	10:00	−0.231	−0.964 **	−0.149	0.487	0.117	0.663	−0.043	0.312
	12:00	0.871 *	−0.897 *	0.757	−0.970 **	0.809	−0.874 *	−0.483	−0.990 **
	13:00	0.907 *	−0.909 *	0.923 *	0.937 *	−0.669	0.504	0.703	0.097
	14:00	0.842	−0.963 **	0.817	−0.817	0.941 *	−0.913 *	−0.417	−0.779
	16:00	0.956 **	−0.864	0.967 **	0.601	0.216	−0.458	0.496	−0.490
	18:00	−0.036	−0.370	−0.320	0.020	0.666	0.924	−0.637	−0.590

3 结论

盛花期与鼓粒期,俄亥俄当代品种 Darby 净光合速率日变化都是双峰曲线;辽宁当代品种辽豆 11 号净光合速率日变化为单峰曲线。辽宁老品种 Mukden 在盛花期,净光合速率日变化为典型的双峰曲线,而在鼓粒期,叶片净光合速率日变化为平缓型。在盛花期,3 个供试大豆品种叶片的净光合速率差别不大,而在鼓粒期,3 个大豆品种叶片净光合速率差别较大,俄亥俄当代品种 Darby>辽宁当代品种辽豆 11 号>辽宁老品种 Mukden。三个大豆品种气孔导度都是在早晨最大,然后降低,到 15:00 以后又升高。盛花期和鼓粒期 3 个供试大豆品种细胞间隙 CO_2 浓度日变化趋势是一致的,在早晨和傍晚,各品种细胞间隙 CO_2 浓度较高,在其它时段细胞间隙 CO_2 浓度变化幅度不大。蒸腾速率变化趋势与净光合速率的变化趋势基本一致。

在盛花期和鼓粒期,不同时间段 3 个供试大豆品种叶片净光合速率的限制因素有所不同。在大部分时间段内,叶片的净光合速率与气孔导度、光合有效辐射以及蒸腾速率正相关,与细胞间隙 CO_2 浓度和蒸气压亏负相关。

参 考 文 献

- [1] 满为群,杜维广,张桂茹. 高光效大豆品种光合作用的日变化

[J]. 中国农业科学,2002,35(7):860—862.

- [2] 许大全. 光合作用的光抑制. 植物生理学通讯[J],1997,33(6):467—467.
- [3] Hirata M, Ishii R, Kumura A, et al. Photoinhibition of photosynthesis in soybean leaves I. Effects of different intensities and durations of light irradiation of light response curve of photosynthesis[J]. Crop Science, 1983, 52(3): 314—318.
- [4] 高辉远, 邹琦, 程炳嵩. 大豆光合日变化的不同类型及其影响因素[J]. 大豆科学, 1992, 1(3): 219—225.
- [5] 邹冬生, 郑丕尧, 王瑞舫. 大豆叶片光合、蒸腾的日变化及其与生态因子的相关性研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(4): 350—357.
- [6] 翁晓燕, 蒋德安. 生态因子对水稻 Rubisco 和光合日变化的调节[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28(4): 387—391.
- [7] 翁晓燕, 蒋德安, 陆庆, 等. 影响水稻叶片光合日变化因素的分析[J]. 中国水稻科学, 1998, 12(2): 105—108.
- [8] 郭天财, 王之杰, 王永华. 不同穗型小麦品种旗叶光合作用日变化的研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(3): 554—560.
- [9] 周竹青, 朱旭彤. 湖北省小麦新品种旗叶光合速率日变化及相关环境因素分析[J]. 孝感师专学报(自然科学版), 1998, 18(4): 75—79.
- [10] 马德华, 庞金安, 霍振荣, 等. 大棚黄瓜光合作用日变化及环境因素对光合作用的影响[J]. 河北农业大学学报, 1998, 21(4): 59—63.
- [11] 唐微, 朱名安, 邓仲麓. 大豆光合日变化及其与生态因子的关系[J]. 湖北农业科学, 2002, 3: 24—25.

欢迎订阅 2008 年《作物学报》

《作物学报》是中国科学技术协会主管、中国作物学会和中国农业科学院作物科学研究所共同主办、科学出版社出版的有关作物科学的全国性学术刊物。主要刊登农作物遗传育种、耕作栽培、生理生化、生态、种质资源、谷物化学、贮藏加工以及与农作物有关的生物技术、生物数学、生物物理、农业气象等领域以第一手资料撰写的学术论文、研究报告、简报以及专题综述、评述等。读者对象是从事农作物科学研究的科技工作者、大专院校师生和具有同等水平的专业人士。

《作物学报》为月刊,2008 年 176 页/期,定价:40 元/册,全年 480 元。可通过全国各地邮局订阅,刊号:ISSN 0496-3490, CN 11-1809/S, 邮发代号:82-336。也可向编辑部直接订购。

编辑部地址:北京市海淀区中关村南大街 12 号 中国农科院作物所《作物学报》编辑部(邮编 100081)

联系电话:010-68918548;传真:010-68975562;E-mail:xbzw@chinajournal.net.cn

网址:http://www.chinacrops.org/zwx