

# 新疆野苹果光合和叶绿素荧光参数季节变化

左力辉<sup>1</sup>, 段龙飞<sup>2</sup>, 张 军<sup>1</sup>, 杨敏生<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 河北农业大学 园艺学院, 河北 保定 071000)

**摘 要:**以天山地区收集的 600 个无性系中优选得到的 18 个新疆野苹果无性系为试材, 在生长季节采用 Li-6400XT 光合仪和 Porek PEA 高速连续激发式荧光仪对各无性系光合和叶绿素荧光参数进行了动态变化测定和分析。结果表明: 不同月份影响光合的主导因素存在差异, 6 月份影响净光合速率( $P_n$ )的主导因素为气孔导度( $G_s$ ), 7、8 月份均为胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ ), 9 月份影响  $P_n$  的主导因子为蒸腾速率( $T_r$ )、 $G_s$ , 10 月份  $T_r$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  对  $P_n$  的影响因差异不明显; 叶绿素荧光年动态分析表明, 初始荧光( $F_0$ )、最大荧光( $F_m$ )、最大荧光发出时间( $T_{fm}$ )、单位面积的热耗散( $DI_0/CS_0$ )、单位面积反应中心的数量( $RC/CS_0$ )、单位面积为基础的性能指数( $PI_{cs}$ )、荧光诱导曲线和  $F=F_m$  之间的面积( $Area$ )均与  $P_n$  达到极显著相关水平, 说明光化学反应对  $P_n$  的影响较大。不同月份间光合速率差异不显著; 无性系间存在显著差异, 1 号无性系年平均光合速率显著高于其它无性系。

**关键词:**新疆野苹果; 无性系; 光合速率; 叶绿素荧光; 通径分析

**中图分类号:**S 661.1(245) **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)01-0017-06

苹果属(*Malus* Mill.)种质资源丰富, 品种类型多样, 包括大量的野生种、半野生种及栽培品种, 在果树栽培、生产和育种上经济价值很高<sup>[1-2]</sup>。苹果的各类种质, 如野生、半野生、栽培品种以及抗源材料十分丰富, 在研究苹果的起源及种质资源亲缘演化等方面居重要地位。新疆天山西部是我国被世界公认的 14 个生物多样性热点地区之一, 也是世界野生果树的集中分布区和栽培果树的起源中心之一。新疆野苹果(*Malus sieversii* (Ldb.) Roem.)是我国栽培苹果的祖先之一, 是珍贵的种质资源, 具有抗寒、耐虫、耐病和耐旱等优良性状。新疆野苹果适宜做栽培苹果的砧木, 亲和力强, 种源丰富, 已成为西北地区及其它产区苹果主要砧木之一, 为我国果树生产做出了重要贡献<sup>[3-6]</sup>。

光合作用是植物的重要生理生态学特性之一<sup>[7-8]</sup>, 它是植物生长发育的基础, 也是植物长势优劣的决定性因素, 同时又是植物对环境条件变化敏感的生理过程<sup>[9-11]</sup>。目前对新疆野苹果光合年动态的研究比较少, 该试验旨在探讨新疆野苹果生长期光合作用的季节变

化特征及影响因子, 揭示其基本生理生态学特征和规律, 分析其适宜生长的生态条件, 以期新疆野苹果保育和科学管理以及进一步管理、利用提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为从新疆天山地区收集的 600 个无性系中优选得到的 18 个新疆野苹果无性系, 2012 年嫁接在 2 年生海棠砧木上, 每个无性系 21 株, 栽培于河北农业大学标本园内, 随机区组, 3 次重复。第 2 年定干 80 cm, 用于光合速率、叶绿素荧光等参数的测定。

### 1.2 试验方法

1.2.1 光合参数动态测定 选取晴朗、无风的天气, 9:00—11:00 进行光合速率等各项指标测定。采用美国拉哥公司生产的 Li-6400XT 便携式光合作用测量系统。测定时每个无性系随机选取 3 株生长健壮且一致的植株, 选取向阳健康完全展开的功能叶片(植株新梢自上而下第 8 片叶)作为测定叶片, 每个叶片记录 1 次数据。从 6 月份开始, 每月上旬进行 1 次测定。为保证对比分析的可靠性及测定条件的一致性, 测量时从每个重复中随机测定各无性系光合指标, 全部测定完后, 再测定下个重复。

1.2.2 叶绿素荧光参数动态测定 采用英国 Bioscientific 有限公司生产的 Porek PEA 高速连续激发式荧光仪对植物光合机构的光化学活性、光能的吸收和转化效率等进行测定, 对不同新疆野苹果的叶绿素荧光诱导动

**第一作者简介:**左力辉(1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为林木遗传育种。E-mail: zuolihui001@163.com

**责任作者:**杨敏生(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 现主要从事林木遗传育种等研究工作。E-mail: yangms100@aliyun.com

**基金项目:**林业公益性行业科研专项资助项目(201104039); 河北农业大学青年科学基金资助项目(QT201212)。

**收稿日期:**2014-09-15

力学曲线进行对比分析。为保证试验结果可控性和准确性,叶绿素荧光的测定与光合同时进行,对相同的样本进行测定。测定前用夹子夹住叶片进行 20 min 的暗处理再进行测定。

### 1.3 数据分析

用 DPS v 7.05 和 SPSS 17 对各项参数进行方差分析,对比不同品系间差异及各项指标间的差异。探究影响新疆野苹果光合作用的年动态变化规律,并对各参数进行相关性分析,探究各因素与光合作用的关系。通过构建叶绿素荧光诱导动力学曲线(O-J-I-P 曲线),由 O-J-I-P 曲线可计算出各项荧光动力学参数: $F_0$  (Initial fluorescence, O 相):初始荧光值; $F_M$  (Maximum fluorescence, P 相):最大荧光值; $T_{jm}$ :从 O 相照光到达 P 相所需时间;Area:荧光诱导曲线和  $F=F_M$  之间的面积。

另按照 Strasser 的方法,经计算可以获得如下荧光参数<sup>[12-13]</sup>:1)光合机构比活性参数: $ABS/RC=M_0 \times (1/V_J) \times (1/\varphi P_0)$ :单位反应中心吸收的光能; $TR_0/RC=M_0 \times (1/V_J)$ :单位反应中心捕获的光能; $DI_0/RC=ABS/RC-TR_0/RC$ :单位反应中心捕获后耗散掉的量子产额。2)反应中心的密度参数: $RC/CS_0=\varphi P_0 \times (V_J/M_0) \times (ABS/CS_0)$ :单位面积反应中心数量。3)性能指数: $PI_{ABS}=(RC/ABS) \times [\varphi P_0/(1-\varphi P_0)] \times [\varphi O/(1-\varphi O)]$ :以吸收光能为基础的性能指数; $PI_{CS}=RC/CS_0 \times [\varphi P_0/(1-\varphi P_0)] \times [\varphi O/(1-\varphi O)]$ :以单位面积为基础

的性能指数。

## 2 结果与分析

### 2.1 净光合速率及相关指标年变化

由图 1 综合 18 个新疆野苹果无性系的生长季动态数据分析可知,新疆野苹果的光合速率( $P_n$ )年变化波动范围较小,不同月份间差异较小,年变化呈双峰模式,于 6 月份和 9 月份达到最高值,分别为  $19.06 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $18.99 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,并在 10 月份达到最低值  $17.99 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。不同无性系之间在 9 月份变异幅度最大,变异系数达到 0.154。蒸腾速率( $Tr$ )的年变化呈双峰模式,分别于 7 月份( $8.44 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )和 9 月份( $6.36 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )达到峰值,6 月份光照、温度等均比较适宜,植物蒸腾速率较小;7 月份温度、湿度等进一步上升,蒸腾速率达到最大值;8 月份由于温度过高,植物为保持自身水分气孔关闭,进而导致蒸腾速率下降;9 月份温度等条件降低,蒸腾速率缓慢升高,达到第 2 次峰值;10 月份受自身代谢产物及温度、光照降低的影响,蒸腾速率下降到最低值。气孔导度( $G_s$ )和胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )的变化趋势基本相同,分别在 6 月份和 9 月份达到峰值,6 月份气候条件比较适宜气孔导度( $G_s$ )和胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )均较高,随后 7、8 月份光照、温度等较高, $G_s$ 、 $C_i$  均较低,并在 9 月份缓慢升高,达到第 2 次峰值,之后 10 月份又降到最低。

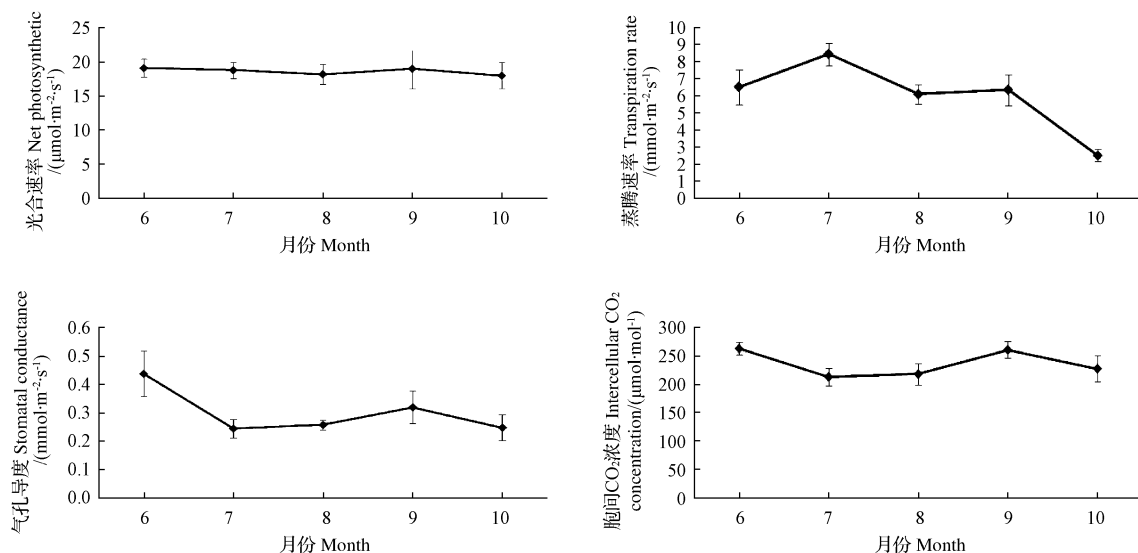


图 1 新疆野苹果光合相关指标年动态变化

Fig. 1 Dynamic change of photosynthetic and index of correlation

### 2.2 净光合速率及相关生理指标通径分析

植物叶片光合作用中, $\text{CO}_2$  通过气孔等从大气进入植物光合作用器官,其过程受到诸多因素的影响。通过应用通径分析、多元回归分析及偏相关分析研究蒸腾速率( $Tr$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )与净光合速

率( $P_n$ )的关系,探究各生理指标对  $P_n$  的影响及作用方式。

由表 1 分析可知,不同月份影响  $P_n$  的主导因子各不同。6 月份对  $P_n$  的主导因子为  $G_s$ ,简单相关系数为  $G_s$ ,简单相关系数和偏相关系数分别为 0.7018 和 0.7667,均

达到极显著水平,  $G_s$  对  $P_n$  的主要是直接作用, 直接通径系数达到 0.9754。  $Tr$  与  $P_n$  的简单相关也达到极显著相关水平, 但其直接作用比较小, 只有 -0.0302, 主要是  $Tr$  通过  $G_s$  对  $P_n$  的间接作用起作用, 间接通径系数为 0.3188。 通过偏相关分析可知,  $G_s$ 、 $C_i$  均与  $P_n$  达到极显著相关水平, 而  $C_i$  与  $P_n$  的降低相关不显著, 结合通径分析可知,  $C_i$  主要是通过对  $P_n$  的直接作用和  $C_i$  通过  $G_s$  对  $P_n$  的间接作用来对  $P_n$  产生影响的。 7 月份各生理指标对  $P_n$  的主导因子为  $C_i$ , 其简单相关系数和偏相关系数分别为 -0.7015 和 -0.9710, 均达到极显著相关水平, 主要是通过直接作用对  $P_n$  产生影响, 直接通径系数达到 -1.1155, 其次是  $C_i$  通过  $G_s$  对  $P_n$  的间接作用, 其间接通径系数为 0.4226。 偏相关分析显示  $G_s$ 、 $C_i$  均与  $P_n$  达到极显著相关水平, 其中  $G_s$  与  $P_n$  的简单相关

仅为 0.1560, 结合通径分析可知,  $G_s$  主要是直接对  $P_n$  产生正向作用, 其次是通过  $C_i$  对  $P_n$  产生负向作用。 8 月份影响  $P_n$  的主导因子仍为  $C_i$ , 与  $P_n$  简单相关系数和偏相关系数均达到极显著相关, 其作用方式为直接作用。 偏相关分析显示  $G_s$ 、 $C_i$  与  $P_n$  达到极显著相关水平,  $Tr$  与  $P_n$  达到显著相关水平。  $G_s$ 、 $Tr$  的简单相关均较低,  $Tr$  主要是通过  $G_s$  的间接作用来影响,  $G_s$  则是通过直接作用对  $P_n$  产生作用。 9 月份影响  $P_n$  的主导因子为  $Tr$ 、 $G_s$ ,  $Tr$  主要是通过直接作用影响  $P_n$ ,  $G_s$  则是  $G_s$  通过  $Tr$  的间接作用来对  $P_n$  产生影响。 10 月份  $Tr$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  对  $P_n$  的影响较均一, 主导因子作用不明显。  $C_i$  对  $P_n$  的直接作用最大, 直接通径系数达到 -1.1361; 其次是  $Tr$  通过  $G_s$  对  $P_n$  的间接作用和  $G_s$  对  $P_n$  的直接作用, 通径系数分别为 0.8515 和 0.8441。

表 1 部分生理指标与净光合速率的通径分析

Table 1 Path analysis between physiological indices and net photosynthetic

月份 Month	因素 Factor	$Tr \rightarrow P_n$	$G_s \rightarrow P_n$	$C_i \rightarrow P_n$	简单相关 Simple correlation	偏相关 Partail correlation	多元相关 Multiple correlation
6	$Tr$	-0.0302	0.3188	0.1279	0.4049 **	-0.0454	0.8001 **
	$G_s$	-0.0099	0.9754	-0.2124	0.7018 **	0.7667 **	
	$C_i$	0.0082	0.4007	-0.4953	-0.0899	-0.5435 **	
7	$Tr$	0.0906	0.6521	-0.6431	0.0998	0.0828	0.8980 **
	$G_s$	0.0801	0.7086	-0.6668	0.1560	0.5738 **	
	$C_i$	0.0517	0.4226	-1.1155	-0.7015 **	-0.9710 **	
8	$Tr$	-0.2966	0.5584	-0.2670	-0.0310	-0.2931 *	0.8410 **
	$G_s$	-0.2470	0.6778	-0.3000	0.0909	0.5492 **	
	$C_i$	-0.0908	0.2231	-0.8883	-0.7616 **	-0.8590 **	
9	$Tr$	0.5289	0.2813	-0.1347	0.7196 **	0.2948 *	0.8443 **
	$G_s$	0.5305	0.2927	-0.1958	0.6262 **	0.1743	
	$C_i$	0.1309	0.1012	-0.5977	-0.3439 *	-0.7405 **	
10	$Tr$	0.3304	0.8515	-0.7395	0.4191 **	0.1747	0.8966 **
	$G_s$	0.3287	0.8441	-0.7497	0.4233 **	0.4056 **	
	$C_i$	0.2182	0.5685	-1.1361	-0.3153 *	-0.9244 **	

注:带下划线的为各指标对  $P_n$  直接通径系数, \* 和 \*\* 分别表示 0.05 和 0.01 水平。

Note: Index with underline is the direct path coefficient with  $P_n$ , \* and \*\* stand for 0.05 and 0.01 levels.

2.3 野苹果叶绿素荧光的年变化

叶片经过 20 min 的遮光处理后, 植物的 PS II 受体醌  $Q_A$ 、 $Q_B$  及受体侧库  $P_Q$  被完全氧化, 此时荧光值最低, 处于 O 相; 光照使受体醌  $Q_A$  逐步还原, 荧光值迅速上升, 2 ms 时出现 J 相; 继续受光, 1 s 内  $Q_A$  和  $P_Q$  达到饱和, 此时荧光值最大, 曲线到达 P 相。 由图 2 分析可知, 不同月份的 O-J-I-P 曲线变化趋势一致, 都在 J 相和 I 相附近出现较大幅度的增长, 上升至 P 相, 达到可变荧光的最大值。 从 O 相到 I 相均为 7 月份的荧光值最大, 从 I 相到 P 相区间 9 月份荧光值均高于其它月份, 10 月份曲线明显低于其它月份。

由图 3 可知, 不同月份叶绿素各荧光参数有较大变化,  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $Tfm$ 、 $ABS/RC$ 、 $TR_o/RC$ 、 $ABS/RC$ 、 $DI_o/CS_o$  年动态模式均为单峰模式,  $Area$ 、 $RC/CS_o$ 、 $PIcs$  年动态模式均为双峰模式。 各参数在无性系间均存在较大

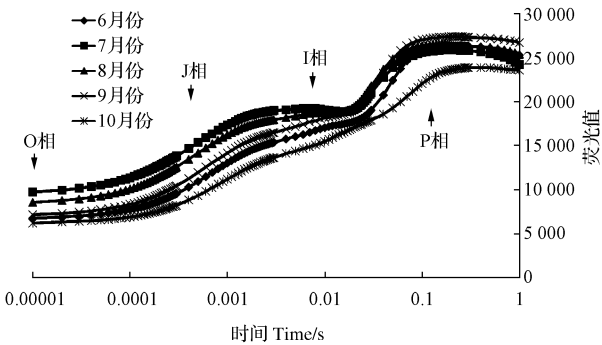


图 2 荧光动力学 O-J-I-P 曲线年动态

Fig. 2 Fluorescence kinetics O-J-I-P curve of different months

变异。 通过相关分析  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $Tfm$ 、 $DI_o/CS_o$ 、 $RC/CS_o$ 、 $PIcs$  均与  $P_n$  达到极显著相关水平,  $Area$  与  $P_n$  达到极显著负相关水平, 其余指标不显著(表 2)。

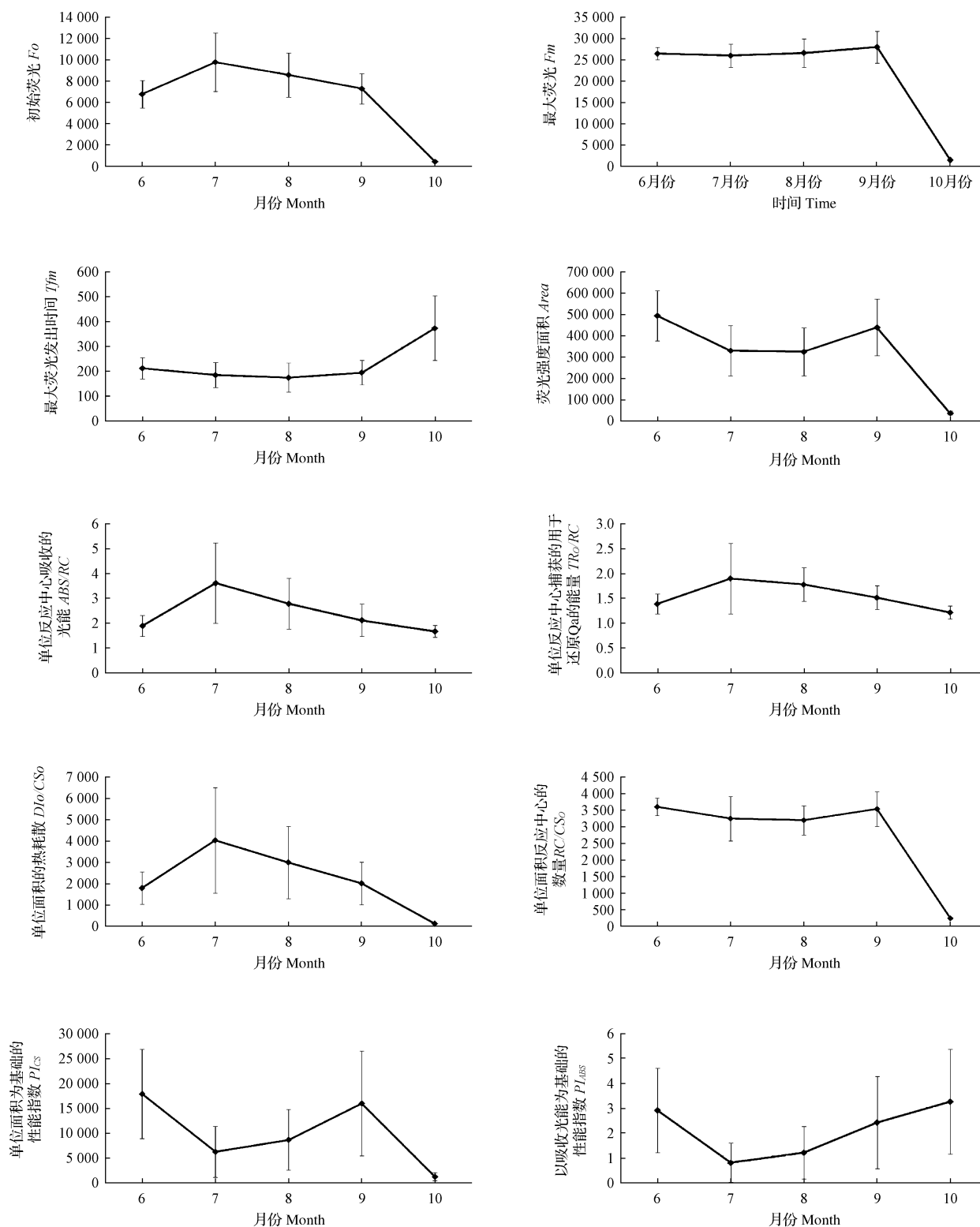


图3 部分叶绿素荧光指标年动态变化

Fig. 3 The dynamic change of chlorophyll fluorescence parameters

## 2.4 新疆野苹果无性系对比分析

由表3可知,不同月份野苹果的净光合速率差异不显著,说明新疆野苹果对环境的适应能力强。无性系间

1号无性系年平均光合速率显著高于其它无性系,14号无性系显著低于其它无性系,其它无性系间差异不显著。



表 2 叶绿素荧光与净光合速率年动态相关性

Table 2 Correlation between chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic

荧光参数 Fluorescence parameter	相关系数 Correlation coefficient
初始荧光 $F_o$	0.542 * *
最大荧光 $F_m$	0.712 * *
最大荧光发出时间 $T_{fm}$	0.586 * *
荧光强度面积 $Area$	-0.875 * *
单位反应中心吸收的光能 $ABS/RC$	0.093
单位反应中心捕获的用于还原 $Q_A$ 的能量 $TR_O/RC$	0.141
单位面积的热耗散 $DI_O/CS_O$	0.347 * *
单位面积反应中心的数量 $RC/CS_O$	0.772 * *
单位面积为基础的性能指数 $PI_{CS}$	0.841 * *
以吸收光能为基础的性能指数 $PI_{ABS}$	-0.025

表 3 18 个新疆野苹果净光合速率年动态

Table 3 Dynamic change of net photosynthetic of 18 Xinjiang wild apple clones

$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

系号 Clones	6 月份	7 月份	8 月份	9 月份	10 月份	平均
1	20.34±3.76	19.04±0.75	19.33±2.65	22.19±0.49	20.76±3.28	20.33 <sup>a</sup>
2	17.05±0.70	18.13±1.84	19.63±1.03	21.88±0.65	19.02±1.37	19.14 <sup>ab</sup>
3	18.55±1.33	17.07±0.56	18.42±1.91	22.44±2.15	15.94±1.27	18.48 <sup>ab</sup>
4	19.68±1.74	18.25±2.54	17.24±1.67	18.86±1.62	15.51±1.62	17.91 <sup>ab</sup>
5	18.45±1.78	17.74±1.91	17.57±0.92	17.82±4.41	16.84±2.79	17.68 <sup>ab</sup>
6	21.68±0.51	19.60±2.43	15.80±2.81	22.30±0.77	20.36±1.30	19.95 <sup>ab</sup>
7	16.68±2.11	17.18±2.40	15.94±0.35	22.72±1.01	17.46±1.42	18.00 <sup>ab</sup>
8	18.89±2.82	19.76±0.45	17.92±0.72	21.88±1.47	16.23±2.00	18.94 <sup>ab</sup>
9	19.48±1.07	19.41±1.57	17.57±1.90	19.59±3.25	18.69±1.03	18.95 <sup>ab</sup>
10	19.70±1.78	20.08±1.11	19.63±1.63	16.28±1.11	18.50±0.71	18.84 <sup>ab</sup>
11	18.10±1.49	18.01±0.54	20.20±0.98	16.45±0.25	15.37±3.25	17.63 <sup>ab</sup>
12	18.74±0.28	18.51±2.30	20.70±1.37	17.41±0.50	20.46±0.85	19.16 <sup>ab</sup>
13	21.32±0.57	17.78±0.46	19.47±2.84	18.26±1.80	18.88±0.61	19.14 <sup>ab</sup>
14	19.17±3.16	19.16±1.33	17.26±2.31	13.58±2.03	16.61±0.93	17.16 <sup>b</sup>
15	18.54±0.53	20.72±1.11	17.08±0.93	18.26±0.78	15.58±1.65	18.04 <sup>ab</sup>
16	20.01±1.53	20.97±1.00	19.54±2.65	16.16±2.19	20.07±0.30	19.35 <sup>ab</sup>
17	19.04±1.73	18.79±0.60	17.80±2.71	14.46±1.17	20.76±0.18	18.17 <sup>ab</sup>
18	17.71±1.25	17.57±2.14	16.15±1.47	21.26±0.20	16.72±0.13	17.88 <sup>ab</sup>
平均	19.06 <sup>a</sup>	18.77 <sup>a</sup>	18.18 <sup>a</sup>	18.99 <sup>a</sup>	17.99 <sup>a</sup>	

3 讨论

苹果在我国已有 2 000 多年的栽培历史,中外学者普遍认为新疆伊犁为栽培苹果的起源地,并在距今 2 000 万年前达到鼎盛期,受第四纪冰川的影响,大部分喜暖的针叶树和阔叶数中大部分灭绝,或被迫迁移到低山地带的谷底和盆地中,且在间冰期在沙漠地带干热条件影响下,大部分中生代树种被摧毁。而新疆的伊犁谷地、霍城盆地等地则成为新疆野苹果的庇护所,使其延续至今并形成今日的野苹果群落。在漫长的进化过程中,受环境条件影响,野苹果群落与外界基因交流很少,野苹果内部各类型品种间相互杂交,产生了多样化的杂种后代,且地环境多变的影响,在漫长的进化过程中,极大的丰富了野苹果的多样性。

该研究以从天山地区收集的 600 个无性系中优选得到的 18 个新疆野苹果为材料,其光合速率不同月份间差异较小,说明新疆野苹果对环境的适应能力强。其总体变化规律表现为双峰模式,分别于 6 月份、9 月份达到峰值。究其原因可能是,6 月份外界条件比较适宜,有利于植物光合反应的进行,7、8 月份温度、光照逐渐增强,植物的部分生理指标及酶活性等发生一系列变化,

导致光合速率降低。到 9 月份外界条件有所缓解,光合速率升高,达到第二次峰值。10 月份植物叶片衰老,色素含量降低,导致光化学反应活性降低,且产生大量刺激代谢产物影响光合反应,导致光合速率降低。

通过光合速率和其它生理指标的通径分析,探究其它生理指标与光合速率的具体影响及作用方式。分析表明不同月份影响  $P_n$  的主导因子各不同。6 月份影响  $P_n$  的主导因素为  $G_s$ ,其原因可能是此时的温度、光照等气候条件各方面均比较适宜,植物气孔开放,与外界气体、能量交换比较频繁;7、8 月份温度、光照等逐渐升高,影响  $P_n$  的主导因素变为  $C_i$ ,且均为  $C_i$  的直接作用影响  $P_n$ , $C_i$  越低表示叶片细胞内外的浓度差越大,叶片固定  $\text{CO}_2$  的速度越快,进而促进  $P_n$ ;9 月份影响  $P_n$  的主导因子为  $Tr$ 、 $G_s$ , $Tr$  主要是通过直接作用影响  $P_n$ , $G_s$  则是通过  $Tr$  的间接作用来对  $P_n$  产生影响。10 月份  $Tr$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  对  $P_n$  的影响因子作用差异不明显,其原因可能是植物此时产生大量次级代谢产物,次级代谢产物积累对植物的生理生化反应造成影响,且叶片衰老等一系列因素共同作用对光合速率产生影响<sup>[14-15]</sup>。

叶绿素是光合作用最重要的色素,在光合作用中起着接受和转换能量的作用。高能叶片的基本特征之一

就是含有较多的叶绿素,能够吸收、同化更多的  $\text{CO}_2$  和截获较多的有效光合辐射。1931年,Kautsky和Hirsh最先发现到光合原初反应和叶绿素荧光存在着密切关系,并首次进行报导。发现叶片经过暗适应处理并经光照后,叶绿素荧光先迅速上升到一个最大值,然后逐渐下降,最后达到一个稳定值。通过对叶绿素荧光参数分析,不同月份叶绿素各荧光参数有较大变化, $F_o$ 、 $F_m$ 、 $Tfm$ 、 $ABS/RC$ 、 $TR_o/RC$ 、 $ABS/RC$ 、 $DI_o/CS_o$ 年动态模式均为单峰模式, $Area$ 、 $RC/CS_o$ 、 $PIcs$ 年动态模式均为双峰模式。通过相关分析  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $Tfm$ 、 $Area$ 、 $DI_o/CS_o$ 、 $RC/CS_o$ 、 $PIcs$  均与  $Pn$  达到极显著相关水平,其余指标不显著,表明光合反应受叶绿素单位反应中心捕获的光能、单位面积反应中心数量及单位面积为基础的性能指数等影响较大。这些指标主要反应了光合反应的光反应过程,光反应的正常进行可为光合磷酸化提供足够的能量,保证了暗反应的顺利进行。

通过对18个新疆野苹果无性系年动态光合速率分析表明,不同无性系间光合速率存在显著差异,1号无性系显著高于其它无性系。究其原因可能有以下几点:一是新疆野苹果自身遗传资源比较丰富,出现多种基因型;二是新疆野苹果移栽后对当地气候条件适应性不同,对其光合反应等一系列生理指标产生影响;三是植物本身某些光合反应相关的酶含量和活性比较高,进而影响光合速率。苹果光合作用的研究虽已取得了较大进展,但在生产中仍有许多问题尚未得到解决。在研究深度上,应加强光合作用的机理研究,尤其是与光合作用关系密切的光合酶体系、光合电子传递体系和光合磷酸化的研究,在提高单位面积群体光合能力外,研究苹果光合产物的转化机理,探索提高经济系数的新途径。

## The Dynamic Change of Photosynthetic and Chlorophyll Fluorescence of *Malus sieversii* (Ldb.) Roem. Clones

ZUO Li-hui<sup>1</sup>, DUAN Long-fei<sup>2</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>, YANG Min-sheng<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Hebei of Agricultural University, Baoding, Hebei 071000; 2. College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000)

**Abstract:** 18 Xinjing wild apple clones which were selected from 600 clones of Tianshan area were used as materials to measure the changing of photosynthesis rate ( $Pn$ ) and chlorophyll fluorescence in different month by Li-6400XT and Porek PEA. The results showed that, the dominant factors affecting the photosynthetic were different, the dominant factor was  $G_s$  in June while in July and August the dominant factor was both  $C_i$ . In September  $Tr$  and  $G_s$  were turned into the dominant factor. There was no obvious difference on the influence of photosynthesis from  $Tr$ ,  $G_s$  and  $C_i$  in October. The dynamic change of chlorophyll fluorescence showed that,  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $Tfm$ ,  $DI_o/CS_o$ ,  $RC/CS_o$ ,  $PIcs$  and  $Area$  were all reached significant correlation level with  $Pn$  and photochemical reaction had great influence to  $Pn$ . Photosynthetic rate was not significant difference among different months. There was a significant difference between clones, the annual average photosynthetic rate of No. 1 was significantly higher than other clones.

**Keywords:** *Malus sieversii* (Ldb.) Roem.; clones; photosynthesis rate; chlorophyll fluorescence; path analysis

## 参考文献

- [1] 钱关泽, 汤庚国. 苹果属植物分类学研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2005, 29(3): 94-98.
- [2] 钱关泽. 苹果属(*Malus* Mill.)分类学研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [3] 束怀瑞. 苹果学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 1-2.
- [4] 俞德浚. 中国果树分类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1979.
- [5] 李育农. 苹果属植物种质资源研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [6] 刘凤之, 王昆, 曹玉芬, 等. 我国苹果种质资源研究现状与展望[J]. 果树学报, 2006, 23(6): 865-870.
- [7] 赵明德, 王有年, 谷继成. 水分亏缺对苹果幼树日光合效率的影响[J]. 北京农学院学报, 2004, 19(3): 35-37.
- [8] 郭献平, 王燕凌, 廖康, 等. 水分胁迫对新疆野苹果净光合速率和水分利用率日变化的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2009, 32(3): 17-21.
- [9] 王孝威, 段艳红, 曹慧, 等. 水分胁迫对短枝型果树光合作用的非气孔限制[J]. 西北植物学报, 2003, 23(9): 1609-1613.
- [10] 杨建民, 中英. 水分胁迫对新疆红苹果幼树光合作用的影响[J]. 河北林学院学报, 1993, 8(2): 103-106.
- [11] 曹慧, 兰彦平, 王孝威, 等. 水分胁迫对短枝型果树光合速率日变化的影响[J]. 山西农业科学, 2000, 28(3): 53-55.
- [12] Strasser R J, Srivastava A, Tsimilli-Michael M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples[C]//Yunus M, Pathre U, Mohanty P. Probing photosynthesis: mechanism, regulation and adaptation. Taylor and Francis Press, 2000: 445-483.
- [13] 田明爽, 宋美珍, 范术丽. 棉花早熟芽黄突变体叶绿素荧光动力学特性研究[J]. 棉花学报, 2011, 23(5): 414-421.
- [14] 赵玲珍. 水肥对树莓和黑莓光合作用影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [15] 梁宗锁. 节水灌溉条件下玉米气孔导度与光合速度的关系[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(2): 101-105.