

# 三种苹果属植物光合-蒸腾日变化耦合关系研究

杨更强<sup>1,2</sup>, 严成<sup>1</sup>, 陈军纪<sup>1,2</sup>, 辛慧慧<sup>3</sup>, 何鹏<sup>4</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 干旱区生物地理与生物资源重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 石河子大学, 新疆 石河子 832000; 4. 新疆兵团农十二师五一农场, 新疆 乌鲁木齐 830088)

**摘要:**以五一农场3年生移栽苹果属苗木“白眉海棠”、“红叶海棠”、“直立苹果”为研究对象,运用LC-Pro<sup>+</sup>便携式光合测定仪,选择典型晴天进行叶片光合蒸腾日变化观测,对光合-蒸腾耦合进行全面分析。结果表明:在日变化过程中,受太阳高度角的影响,PAR、Tl、Gs发生趋向相同的变化,Ci相反,这种变化使光合-蒸腾保持良好的线性耦合关系;光合速率和蒸腾速率光合日变化趋势相同,“白眉海棠”、“红叶海棠”、“直立苹果”Er-An均呈现显著的线性正相关关系,体现出明显的线性耦合特性;蒸腾速率和光合速率与各因子之间相关性均达到极显著水平,Er-Tl、An-Ci的相关性最大;通径分析表明Ci与光合速率直接关系最大,Tl最小,Tl对蒸腾速率直接作用最大,Gs次之,各因子之间相互作用共同影响植物新陈代谢;分析者根据相关分析和通径分析结果认为,光照增强使光合有效辐射增强、光合速率增大、胞间CO<sub>2</sub>浓度减小、气孔导度增大、蒸腾速率增强,而大气CO<sub>2</sub>浓度和水汽通过气孔为光合作用提供原料;光照增强,叶片温度升高,水蒸汽压差增大,然后通过气孔加速蒸腾速率。

**关键词:**光合作用;蒸腾作用;气孔导度;光合有效辐射;碳循环

**中图分类号:**S 685.99 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)08-0024-06

光合作用作为复杂的生物化学物理过程,受到外界环境及内部因素的影响,已经成为科研工作者研究全球碳循环的重要环节<sup>[1]</sup>。目前,陆地生态系统的碳、水循环研究<sup>[2-4]</sup>及植物的光合生理生态特性研究<sup>[5-8]</sup>较多,而光合-蒸腾之间关联直接影响植被-大气的碳-水耦合过程<sup>[9]</sup>,许多科研者认为,叶片光合-蒸腾耦合关系形成的原因是气孔对水汽和CO<sub>2</sub>进出叶片的控制作用<sup>[10]</sup>。但是光照强度、水分等环境条件对植物的光合特性<sup>[11-13]</sup>具有显著影响,仅用气孔的控制作用来解释光合-蒸腾耦合机制并不全面。在日变化中,植物的蒸腾速率和光合速率依照环境变化而改变,而研究主要集中在不同处理对同种植物光合日变化的影响<sup>[14]</sup>及不同植物之间光合日变化的差异<sup>[15]</sup>,并且对气孔导度的机理研究进展较快<sup>[16-17]</sup>,而对光合蒸腾机理研究较少。已有研究表明,光合有效辐射、气孔导度、叶片温度、水蒸汽压亏缺、胞

间二氧化碳浓度之间具有一定的相关性,蒸腾速率和光合速率同时受诸多因素的影响<sup>[18-19]</sup>。相关性代表2个因子之间的关系,通径分析在降低自变量相互作用的基础上上来研究自变量对应变量的直接作用具有重大作用,鉴于光合-蒸腾与各因子之间的复杂性,这2种方法目前已经应用到对不同处理、不同范围条件下植物光合特性的研究<sup>[20-21]</sup>。该研究通过对3种苹果属植物进行光合特性的测定,采用相关分析和通径分析2种分析方法对生长环境适宜的秋季植物光合-蒸腾日变化耦合进行初步探讨,为一些生理生态科研者提供参考,也为进一步研究植被-大气的碳-水耦合过程提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

五一农场位于乌鲁木齐市乌鲁木齐县,距昌吉市8 km,地处东经87°19'52"~87°27'23",北纬43°55'52"~44°03'10"。属大陆性干旱气候,昼夜温差大,年平均降水量在200 mm左右。气候特点是:温差大,寒暑变化剧烈;降水少,且随高度垂直递增;冬季寒冷漫长,四季分配不均,冬季有逆温层出现。

### 1.2 试验材料

供试材料“白眉海棠”、“红叶海棠”、“直立苹果”均来源于新疆兵团农十二师五一农场种苗基地。

**第一作者简介:**杨更强(1992-),男,新疆博乐人,硕士研究生,研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail:1435769972@qq.com.

**责任作者:**严成(1965-),男,本科,副研究员,现主要从事植物多样性迁地保护和植物生态学特性等研究工作。E-mail:yancheng@ms.xjb.ac.cn.

**基金项目:**克拉玛依市科技计划资助项目(SK-2012-15)。

**收稿日期:**2014-12-22

1.3 试验方法

该试验在乌鲁木齐五一农场苗圃地(东经 87°20′10″,北纬 43°57′52″,海拔 550 m)进行,随机区组试验设计,2013 年 3—10 月每株每月用水桶灌水 100 kg,选用 LC-Pro<sup>+</sup> 便携式光合测定仪观测叶片光合-蒸腾日变化,选择 2013 年 9 月 28 日到 2013 年 10 月 6 日晴天进行测定,每个区组每种植物测量 3 株,重复 3 次,测量时,叶室与阳光垂直,“白眉海棠”从 8:00—20:00 进行观测,“红叶海棠”、“直立苹果”从 9:00—21:00 进行观测,每 2 h 观测 1 次。

1.4 项目测定

LC-Pro<sup>+</sup> 便携式光合测定仪除可观测净光合速率(An)和蒸腾速率(Er)外,还可同时观测了叶片表面光合有效辐射(PAR),叶面温度(Tl),气孔导度(Gs),胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci),大气温度(Ta),大气 CO<sub>2</sub> 浓度(Ca)等指标。

2 结果与分析

2.1 光合-蒸腾相关因子日变化

PAR 是光合作用的能量来源,Tl 是叶片能量平衡

里的感热组分,二者都和太阳辐射密切相关<sup>[10]</sup>,气孔导度是气体交换的主要通道,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度对光合速率和蒸腾速率起到重要作用。“白眉海棠”、“红叶海棠”、“直立苹果”气孔导度均呈现先增大后减小的趋势(图 1),分别在 10:00、11:00、13:00 达到全天中的最大值 0.1422、0.1533、0.1377 μmol/mol,最小值出现在最晚观测时间段,3 种植物气孔导度曲线变化幅度略有不同,主要是气孔导度除受环境条件、生长季节的影响之外,还受植物种类自身的影响。随着太阳高度角的变化,光合有效辐射、叶片温度表现为明显的单峰日变化特征,最大值出现在 14:00、15:00、15:00,为 1 381.11、1 341.33、1 140.77 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>和 38.04、37.82、32.92℃,以最大值为界点,之前和之后近似为直线上升和直线下降,说明光合有效辐射、叶片温度对光照灵敏度较高。胞间 CO<sub>2</sub> 浓度变化与 Gs、Tl、PAR 变化趋势相反,最大值均出现在最晚观测点,从 10:00—18:00 变化幅度较小,近似趋于稳定状态,维持在 230 μmol/mol 左右。表 1 相关分析表明,3 种植物 Ci 与 Gs、Tl、PAR 具有显著的负相关关系,“红叶海棠”4 个因子之间均达到极显著水平,

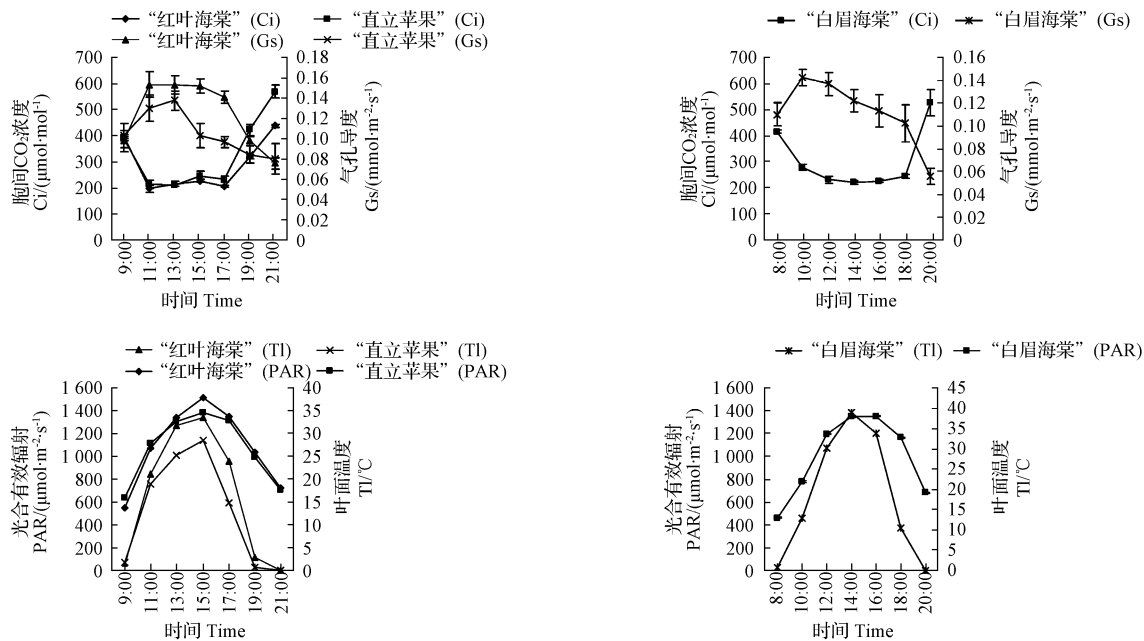


图 1 光合-蒸腾相关因子日变化

Fig. 1 Daily variation of photosynthesis,transpiration related factors

表 1

光合-蒸腾相关参数的相关系数

Table 1 The correlation coefficient of related parameters of photosynthesis and transpiration

“白眉海棠”“Baimei Haitang”					“红叶海棠”“Hongye Haitang”				“直立苹果”“Zhili Pingguo”			
	Ci	Gs	Tl	PAR	Ci	Gs	Tl	PAR	Ci	Gs	Tl	PAR
Ci	1				1				1			
Gs	-0.327 **	1			-0.64 **	1			-0.404 **	1		
Tl	-0.723 **	0.204	1		-0.83 **	0.638 **	1		-0.777 **	0.238	1	
PAR	-0.703 **	0.313 *	0.857 **	1	-0.82 **	0.757 **	0.86 **	1	-0.723 **	0.38 **	0.78 **	1

注: \* 代表达到显著水平, P<0.05, \*\* 代表达到极显著水平, P<0.01。

Note: \* represents significant difference at P<0.05 level, \*\* represents significant difference at P<0.01 level.

“白眉海棠”和“直立苹果”除 Gs 与 Tl 相关性不显著之外,其它各因子之间均达到显著水平,Ci-Gs、Ci-Tl、Ci-PAR、Gs-Tl、Gs-PAR、Tl-PAR 最大相关系数分别为-0.64\*\*、-0.83\*\*、-0.82\*\*、0.64\*\*、0.76\*\*、0.86\*\*。

2.2 光合速率和蒸腾速率日变化

蒸腾作用是植物水分生理特征之一,是植物体内水分平衡的主要环节<sup>[22]</sup>。光合速率是反映植物光合作用的重要指标,也是决定生物量的重要因素。植物叶片的光合和蒸腾也是 2 个相互协调的过程,二者对环境因子的变化具有一致性的变化特性。图 2 表明,3 种植物叶片 An 的日变化曲线呈现先增大后减小趋势,在 11:00 之前,An 呈直线上升,16:00 之后,An 下降幅度较大,“白眉

海棠”、“红叶海棠”、“直立苹果”An 最大值出现在 12:00、11:00、11:00,其值为 12.26、15.63、14.06  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,Er 的日变化曲线表现为典型的“单峰”特征,最大值出现在 14:00、15:00、13:00,其值为 5.4122、5.7911、4.0755  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。图 3 表明,“白眉海棠”、“红叶海棠”、“直立苹果”的 An-Er 呈现极显著的相关关系,相关系数分别为 0.7126\*\*、0.7543\*\*、0.8101\*\*,其线性回归方程斜率为 1.7905、2.3363、3.9781。这表明在日变化过程中 3 种植物光合蒸腾具有良好的线性耦合关系,但是耦合关系特征有所区别,直线的斜率代表水分利用效率,“直立苹果”的水分利用效率最高,“红叶海棠”次之,“白眉海棠”最小。

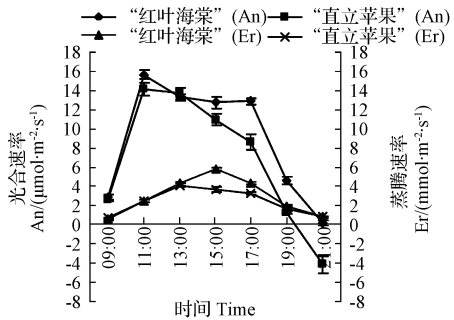


图 2 光合速率和蒸腾速率日变化

Fig. 2 Daily variations of photosynthesis rate and transpiration rate

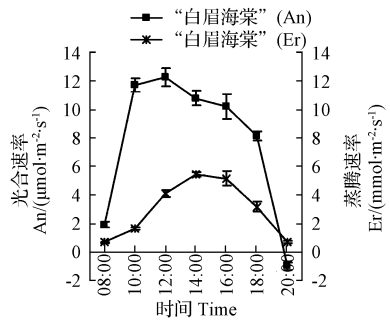


图 3 An-Er 的耦合关系

Fig. 3 The linear coupling relationships between An and Er

2.3 光合、蒸腾及相关因子日变化的关系

“白眉海棠”、“红叶海棠”、“直立苹果”Er、An 与环境因子相关分析和通径分析见表 2 和表 3。3 种植物 Er 与 Ci、Gs、Tl、PAR 均达到极显著水平,相关系数最高达到-0.76、0.74、0.95、0.88,相关性顺序为 Er-Tl>Er-PAR>Er-Ci>Er-Gs,An 与 4 个因子也达到极显著水

平,相关系数最高达到-0.95、0.79、0.78、0.87,相关性顺序为 Ar-Ci>Ar-PAR>Ar-Tl>Ar-Gs,3 种植物 Er、An 与各因子的相关系数有所差别,可能由于植物种类的差异造成的。通径结果表明对 Er 起到直接作用最大的因子是 Tl,最大高达 0.8968,其次是 Gs,最小的是 Ci,最小值仅为 0.0981,对 An 具有直接作用的相关因子顺序为 An-Ci>An-Gs>An-PAR>An-Tl。通过相关分析和通径分析可以看出,环境因子与 Er、An 的相关系数与环境因子对 Er、An 的直接作用大小顺序不同,这说明仅用相关系数来分析光合-蒸腾耦合机理的做法存在缺陷,同样也反映出各因子之间相互作用,共同维持植物的新陈代谢。从表 3 可以看出,通过 Ci 对 An 起作用的环境因子 Tl 和 PAR,通过其它因子对 An 起作用最小的环境因子为 Gs。从表 4 可以看出,通过其它因子对蒸腾速率起作用的环境因子大小顺序为 PAR>Ci>Tl>Gs,通过 Tl 对蒸腾速率作用最大的为 PAR 和 Ci。

表 2 光合速率、蒸腾速率与各因子的相关性

Table 2 The correlation of the rate of photosynthetic and transpiration and other factors

	“白眉海棠”“Baimei Haitang”				“红叶海棠”“Hongye Haitang”				“直立苹果”“Zhili Pingguo”			
	Ci	Gs	Tl	PAR	Ci	Gs	Tl	PAR	Ci	Gs	Tl	PAR
Er	-0.65	0.48	0.90	0.86	-0.74	0.74	0.95	0.88	-0.76	0.53	0.91	0.82
An	-0.82	0.63	0.69	0.74	-0.95	0.79	0.78	0.87	-0.92	0.55	0.76	0.77

表 3 环境因子对光合作用通径系数

Table 3 The path coefficient of environmental factors for the photosynthesis

植物物种 Plant species	环境因子 Environmental factor	直接作用 Direct effect	通过 Ci Through Ci	通过 Gs Through Gs	通过 TI Through TI	通过 PAR Through PAR
“白眉海棠” ‘Baimei Haitang’	Ci	-0.4974		-0.1273	-0.0589	-0.1389
	Gs	0.3883	0.163		0.0166	0.0619
	TI	0.0813	0.36	0.0793		0.1691
“红叶海棠” ‘Hongye Haitang’	PAR	0.1973	0.3501	0.1219	0.0698	
	Ci	-0.7866		-0.1752	0.1828	-0.1678
	Gs	0.2747	0.5016		-0.1412	0.1557
	TI	0.000	0.6503	0.1754		0.1761
	PAR	0.2055	0.6421	0.2081	-0.1894	
“直立苹果” ‘Zhili Pingguo’	Ci	-0.6772		-0.0825	-0.0558	-0.1026
	Gs	0.2041	0.2737		0.017	0.0541
	TI	0.0717	0.5269	0.0486		0.1099
	PAR	0.1417	0.49	0.078	0.0556	

表 4 环境因子对蒸腾作用通径系数

Table 4 The path coefficient of environmental factors for the transpiration

植物物种 Plant species	环境因子 Environmental factor	直接作用 Direct effect	通过 Ci Through Ci	通过 Gs Through Gs	通过 TI Through TI	通过 PAR Through PAR
“白眉海棠” ‘Baimei Haitang’	Ci	0.1590		-0.1006	-0.5554	-0.151
	Gs	0.3068	-0.0521		0.1566	0.0673
	TI	0.7673	-0.1151	0.0626		0.1839
“红叶海棠” ‘Hongye Haitang’	PAR	0.2145	-0.1120	0.0962	0.6578	
	Ci	0.1092		-0.1301	-0.7413	-0.174
	Gs	0.3040	-0.1971		0.5727	0.1615
	TI	0.8968	-0.2556	0.1303		0.1825
	PAR	0.2131	-0.2524	0.1545	0.7682	
“直立苹果” ‘Zhili Pingguo’	Ci	0.0981		-0.1317	-0.6071	-0.1154
	Gs	0.3258	-0.0397		0.186	0.0610
	TI	0.7804	-0.0764	0.0776		0.1237
	PAR	0.1595	-0.0710	0.1245	0.605	

### 3 讨论

从以上 An、Er 和相关因子的相关性及各因子对 Er、An 的直接作用和间接作用中可以看出,在光合-蒸腾相关因子中,TI 和 PAR 具有极显著的相关关系,主要因为光照不仅是光合作用的能源,同时也影响叶片的能量平衡<sup>[23]</sup>,Gs 与 PAR 和 Ci 的相关性要远大于 Gs 和 TI 的相关性,表明二者相互调控能力较差,Ci 和 Gs、PAR、TI 都呈现显著的负相关关系,从光合速率、蒸腾速率与各因子的相关关系中可以看出,Er 和 An 与 4 个因子都呈现极显著的相关关系,Er-TI、An-Ci 的相关性较大,相关性的 大小在一定程度上决定直接影响能力。从光合速率和蒸腾速率直接作用中可以看出,Ci 对 An 的直接作用最大,TI 最小,TI 对 Er 的直接作用最大,Gs 次之,Ci 通过 Gs 对 An、Er 呈现负作用,所以胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的减少,对 An、Er 具有抑制作用,由于胞间 CO<sub>2</sub> 浓度受大气 CO<sub>2</sub> 浓度的影响<sup>[24]</sup>,大气 CO<sub>2</sub> 浓度的增大,会增加植物的光合作用。所以 An 受 PAR、Ci、Gs 的共同影响,Er

受 TI、Gs 的影响。根据以上研究分析,推断出以太阳辐射(Rs)为起点的 PAR、Gs、Ci、TI 等环境和光合蒸腾生理参数的协同变化过程,以及 An-Er 耦合关系形成的机理机制(图 4)。即:一,随着光照增强,光合有效辐射增

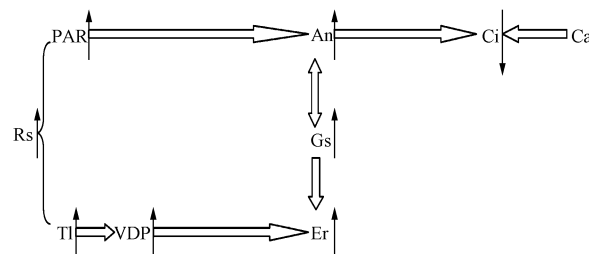


图 4 光合-蒸腾耦合机制

Fig. 4 The coupling mechanism of photosynthesis and transpiration

加,光合速率增加,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度减小,气孔导度增大,蒸腾速率增大,大气 CO<sub>2</sub> 通过气孔进入叶片,来增加胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,为光合作用提供原料。二,随着光照增强,叶片温度升高,蒸腾速率增大。相关研究表明,叶片温度和蒸汽压亏缺具有极显著的相关关系<sup>[25]</sup>,蒸汽压亏缺值增大,可以通过气孔加速蒸腾作用,导致蒸腾速率增大<sup>[26]</sup>。但是有研究证实,蒸腾速率升高到一定程度会使叶水势降低,引起气孔导度减小,光合速率降低<sup>[9]</sup>,综合来看,各相关因子之间存在复杂的关联,但在日变化过程中,相关因子对 An-Er 的同方向调控作用使得 An 和 Tr 的变化方向和形态较为一致,因此 An-Er 表现出较为稳定的线性耦合关系,这就是光合蒸腾日变化耦合关系形成的基本机理机制。根据数据和分析结果,证实了光合-蒸腾耦合机理的一般机制,但各因子之间还存在复杂的反馈作用,要彻底搞清还需从不同方向进一步的深入研究。该试验又以果实成熟后即将凋零的“红宝石海棠”、“玉族海棠”树叶为研究对象,进行了光合参数的测定,得出的结论为气孔导度与蒸腾速率、光合速率相关性不显著,其它相关因子与蒸腾作用、光合作用具有显著的差异,可能由于对光合速率和蒸腾速率起作用的是非气孔限制因素,即叶肉细胞的光合活性<sup>[26]</sup>,气孔的限制已不像夏季那样起到决定性作用,并且同种植物气孔导度值在不同季节也不相同<sup>[27]</sup>。在光照较强的情况下,蒸腾速率增加,叶片水势降低,脱落酸增加,导致气孔部分关闭,蒸腾速率下降<sup>[28]</sup>。该研究仅以生长环境优异的绿化植物为研究对象,对光合-蒸腾耦合机理做了研究,而植物体内部是否存在其它因子对光合蒸腾耦合具有显著影响,各个因子之间信号如何传导,通过什么方式,受体是什么,在不同的条件下,各因子对光合速率和蒸腾速率的影响所起到的直接作用和间接作用是否发生变化,是否存在其它途径解释光合蒸腾耦合,在胁迫条



件下、不同时空状况下,光合蒸腾耦合机理是否发生改变,光合作用和蒸腾作用在植被-大气的碳-水耦合过程中的角色是什么,这些问题还需进一步探讨和分析。

#### 4 结论

在日变化过程中,受太阳高度角的影响,PAR、Tl、Gs 发生趋向相同的变化,Ci 相反,这种变化使光合-蒸腾保持良好的线性耦合关系。

光合速率和蒸腾速率光合日变化趋势相同,“白眉海棠”、“红叶海棠”、“直立苹果”Er-An 均呈现显著的线性正相关关系,体现出明显的线性耦合特性。

蒸腾速率和光合速率与各因子之间相关性均达到极显著水平,Er-Tl、An-Ci 的相关性最大。

通径分析表明 Ci 与光合速率直接关系最大,Tl 最小,Tl 对蒸腾速率直接作用最大,Gs 次之,各因子之间相互作用共同影响植物新陈代谢。

#### 参考文献

- [1] 尚海琳,李方民,林玥,等. 桃儿七光合生理特性的地理差异研究[J]. 西北植物学报,2008,28(7):1400-1447.
- [2] 彭琴,董云社,齐玉春. 氮输入对陆地生态系统碳循环关键过程的影响[J]. 地球科学进展,2008,23(8):874-883.
- [3] 周广胜,王玉辉,蒋延玲,等. 陆地生态系统类型转变与碳循环[J]. 植物生态学报,2002,26(2):250-254.
- [4] 徐红霞. 缺磷胁迫下水稻叶片光合特性以及水水循环功能的研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [5] 季慧颖. 北京四种引进植物光合特性及生态效益研究[D]. 北京:北京林业大学,2010.
- [6] 朱军涛,李向义,张希明,等. 昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性[J]. 生态学报,2011,31(3):611-619.
- [7] 崔洪霞. 长期驯化环境下丁香属植物的光合生理生态学研究[D]. 北京:中国科学院研究生院(植物研究所),2005.
- [8] 徐猛. 广州帽峰山常绿阔叶林 2 个优势种光合特征的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2009.
- [9] 赵风华,于贵瑞. 陆地生态系统碳-水耦合机制初探[J]. 地理科学进展,2008,27(1):32-38.
- [10] 赵风华,王秋凤,王建林,等. 小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合

机理[J]. 生态学报,2011,31(24):7526-7532.

- [11] 刘柿良,马明东,潘远智,等. 不同光环境对柃木幼苗生长和光合特性的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(2):351-358.
- [12] 邵玺文,韩梅,韩忠明,等. 水分供给量对黄芩生长与光合特性的影响[J]. 生态学报,2006,26(10):3214-3220.
- [13] 高丽,杨劼,刘瑞香. 不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J]. 生态学报,2009,29(11):6025-6034.
- [14] 刘建锋,赵秀莲,江泽平. 不同年龄沙地柏生理生态特性差异研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(3):17-20.
- [15] 刘慧民,马艳丽,王柏臣,等. 两种绣线菊耐弱光能力的光合适应性[J]. 生态学报,2012,32(23):7519-7531.
- [16] 叶子飘,于强. 植物气孔导度的机理模型[J]. 植物生态学报,2009,33(4):772-782.
- [17] 赵平,饶兴权,马玲,等. 马占相思林冠层气孔导度对环境驱动因子的响应[J]. 应用生态学报,2006,17(7):1149-1156.
- [18] 韩瑞锋,李建明,胡晓辉,等. 甜瓜幼苗叶片光合变化特性[J]. 生态学报,2012,32(5):1471-1480.
- [19] 邵玺文,韩梅,韩忠明,等. 不同生境条件下黄芩光合日变化与环境因子的关系[J]. 生态学报,2009,29(3):1470-1477.
- [20] 赵丹,李锋,宋英石,等. 城市不同地表覆盖类型下银杏光合日变化及与环境因子的关系[J]. 城市环境与城市生态,2012,25(6):6-9.
- [21] 靳甜甜,傅伯杰,刘国华,等. 不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子[J]. 生态学报,2011,31(7):1783-1793.
- [22] 韩永伟,王堃,张汝民,等. 吉林泰地区退化梭梭蒸腾生态生理学特性[J]. 草地学报,2002,10(1):40-44.
- [23] 于贵瑞,庄杰,胡中民,等. 植物蒸腾作用的生理生态学基础 // 于贵瑞,王秋凤. 植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学[M]. 北京:北京科学出版社,2010:119-122.
- [24] 高春娟,夏晓剑,师恺,等. 植物气孔对全球环境变化的响应及其调控防御机制[J]. 植物生理学报,2012,48(1):19-28.
- [25] 苏培基,赵爱芬,张立新,等. 荒漠植物梭梭和沙拐枣光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J]. 西北植物学报,2003,23(1):11-17.
- [26] 李清河,刘建锋,张景波,等. 乌兰布和沙漠东北部 8 种沙生灌木生长季末期的光合生理特性[J]. 西北植物学报,2006,26(11):2318-2323.
- [27] 司建华,常宗强,苏永红,等. 胡杨叶片气孔导度特征及其对环境因子的响应[J]. 西北植物学报,2008,28(1):125-130.
- [28] 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态、生理与生化[J]. 植物生理学通讯,1990,26(6):5-10.

## Study on Photosynthetic Characteristics and the Daily Variation of Coupling Mechanism Photosynthesis and Transpiration of Three Kinds of Malus Plant

YANG Geng-qiang<sup>1,2</sup>, YAN Cheng<sup>1</sup>, CHEN Jun-ji<sup>1,2</sup>, XIN Hui-hui<sup>3</sup>, HE Peng<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Biogeography and Bioresource in Arid Land, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000; 4. Wuyi Farm, Agricultural Division 12, Xinjiang Production and Construction Corps, Urumqi, Xinjiang 830088)

**Abstract:** With 3-year-old seedling malus of ‘Baimei Haitang’, ‘Hongye Haitang’ and ‘Zhili pingguo’ in Wuyi farm as materials, a comprehensive analysis of the coupling relationship between photosynthesis and transpiration, daily variations of photosynthesis rate (An) and transpiration (Tr) were measured by portable photosynthesis system (LC, Pro) in sunny days. The results showed that, during daily variation, account for solar altitude, PAR, Tl, Gs showed similar daily variations, Ci behaved in an opposite way, those variations ultimately results in the linear coupling of photosynthesis and

# 南丰蜜桔优株‘ZZL-03’不同部位果实主要品质分析

郎彬彬, 陈楚佳, 朱 博, 曲雪艳, 黄春辉, 徐小彪

(江西农业大学 农学院, 江西 南昌 330045)

**摘 要:**以江西省南城县百子亭果园南丰蜜桔优株‘ZZL-03’为试材,对其植株不同部位的果实主要品质进行分析,旨在为南丰蜜桔栽培管理及新品种推广提供参考。结果表明:不同部位果实主要品质存在较明显的差异,不同方位和高度的交互作用对南丰蜜桔果实可滴定酸、固酸比、可溶性固形物及维生素 C 有极显著影响;供试材料果实可滴定酸含量范围为 1.290%~1.800%,其中含量最高的部位是内膛,达到 1.800%;维生素 C 含量为 0.389~0.537 mg/g,其下北部位维生素 C 含量最高,达到 0.537 mg/g;可溶性固形物含量为 20.30%~22.37%,其上东部位可溶性固形物含量最高,达到 22.37%;固酸比为 11.95~16.72,其中下东部位固酸比最高,达到 16.72;可溶性糖含量为 17.40%~19.66%,其中在中西、下西及内膛部位可溶性糖含量相对较高,分别达到 19.29%、19.23%及 19.66%。

**关键词:**南丰蜜桔;交互作用;方位;高度;果实品质

**中图分类号:**S 666.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)08-0029-03

南丰蜜桔(*Citrus reticulata* Blanco cv Nanfeng tangerine)属芸香科柑桔属植物,源出乳桔,是我国优良的宽皮柑桔良种之一,江西省南丰县是其原产地和主产区,栽培历史已超过 1 300 年。南丰蜜桔以其皮薄肉嫩、香味浓郁、甜酸适口、无核或少核而驰名中外,广受人们的青睐,享有“桔中之王”美称<sup>[1]</sup>。植株营养元素、水分、光照等微域环境会随着枝梢和叶片的数量、比例、空间分

布以及角度的不同而发生改变,这种变化使得树冠内不同部位的花、果实的发育规律不一致,进而引起树体不同部位的果实产量和品质的差异<sup>[2-3]</sup>。近年来,在江西省南城县百子亭果园发现了一个南丰蜜桔优良单株‘ZZL-03’,其果实品质明显优于同园的其他植株<sup>[4]</sup>。该试验以该优株‘ZZL-03’为试材,分析其不同部位果实品质果实品质的差异,旨在为南丰蜜桔栽培管理及新品种推广提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为江西省南城县百子亭果园南丰蜜桔变异优株‘ZZL-03’不同部位的果实。

**第一作者简介:**郎彬彬(1990-),男,硕士研究生,研究方向为果树种质资源与生物技术。E-mail:1048619975@qq.com.

**责任作者:**徐小彪(1963-),男,教授,博士生导师,现主要从事果树种质资源等研究工作。E-mail:xiaobiaoxu@hotmail.com.

**基金项目:**江西省科技厅星火计划资助项目(20123BBF61120)。

**收稿日期:**2014-11-11

transpiration. Peak of those parameters occurred at different time of the three plants. Except Gs of ‘Baimei Haitang’, others parameters appeared a significantly linearly with each other in each plant. An and Tr showed similar daily trend, Er was significantly linearly positive correlated with an proved a significantly coupling relationship in these three kind of plants. But WUE(water use efficiency) of them was different; ‘Zhili Pingguo’ > ‘Hongye Haitang’ > ‘Baimei Haitang’. An and Tr showed a significantly linearly with other parameters, path analysis identified that Ci had the greatest effect on An, TI had least influence on An. TI had greater effect on Tr than that of Gs, all of these factors interaction each other to conduct metabolism of plants together. Analysis got the conclusions base on correlate analysis and path analysis as follow, PAR increased as light increase, resulted in the increase of an stomatal conductance, Tr and decrease of intercellular CO<sub>2</sub> concentration. Photosynthesis process was achieved by CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O in the air which participate in through stomata. Light increased lead to the increase of leaf temperature and vapor presser deficit, resulted in the increase of Tr.

**Keywords:** photosynthesis; transpiration; stomatal conductance; PAR; carbon cycling