

加工番茄光合日变化及影响因子的研究

李英才¹, 薛琳², 孙福荣¹, 田丽萍³

(1. 石河子大学 生命科学院, 新疆 石河子, 832000; 2. 石河子蔬菜研究所, 新疆 石河子 832000; 3. 石河子大学 药学院, 新疆 石河子 832000)

摘要: 用 Li-6400 和同化箱对加工番茄 G-2 单叶和群体光合日变化进行测定并对输出数据加以研究分析。结果表明: G-2 光合日变化曲线呈双峰型并具有“午睡”现象; 与日变化显著相关的影响因子有气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率和大气 CO₂ 浓度, 最主要的影响因子是气孔导度, 气孔导度大净光合速率就高, 可为田间栽培和高光效育种提供理论依据。

关键词: 加工番茄; 净光合速率; 日变化; 群体光合; 气孔导度; 相关分析

中图分类号: S 641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)04-0004-04

加工番茄色泽鲜艳, 被美誉为蔬菜中的红宝石, 富含大量人体所需的维生素、氨基酸、微量元素以及多种矿物质, 还有含量很高的番茄红素, 番茄烃、谷胱甘肽、β-胡萝卜素等生物活性物质, 因此被视为天然的维生素蔬菜, 越来越受消费者的青睐。但相对于鲜食番茄, 加工番茄的研究起步较晚, 尤其对加工番茄的田间光合特性研究较少。该研究拟对加工番茄品种的光合日变化进行分析, 以期找出加工番茄光合日变化的特征及其影响因子, 便于采取适当的栽培措施, 提高光合能力和产量, 同时为选育高光效优质品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种 G-2 来自石河子蔬菜研究所, 试验场地设在石河子蔬菜研究所实验地。

1.2 田间试验设计

3 月底用营养钵温室育苗, 5 月初移栽田间, 行间距 1.2 m, 覆膜双行种植, 行内间距 25 cm, 行内株距 30 cm, 常规管理。

1.3 测定方法

1.3.1 单叶光合日变化的测定 采用美国 Li2cor 公司生产的 Li-6400 型便携式光合作用测定系统, 利用开放式气路法在盛花期选择晴好天气对从顶部数第 3 或第 4 完全展开功能叶片的净光合速率 P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度 G_s ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、细胞间隙 CO₂ 浓度 C_i ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、蒸腾速率 T_r ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot$

$\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、叶片水气压亏缺 V_{pd} (kPa)、叶温 T_l ($^{\circ}\text{C}$) 以及周围环境因子光合有效辐射 PAR ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、大气相对湿度 RH (%) 和叶周围 CO₂ 浓度 C_a ($\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$) 等数据进行自动测定, 测定从 8:30~19:30, 每 30 min 左右测定 1 次, 每次测定不同的 3 片叶取其平均值。

1.3.2 群体光合日变化的测定 利用自制同化箱 (长 0.9 m, 宽 0.7 m, 高 1 m) 与单叶光合日变化同时测定, 测定从 8:30~19:30, 每 2 h 测定 1 次, 每次测定不同的 3 处取其平均值。群体光合 CAP 单位 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

1.4 数据统计分析

应用 Excel 2003、SPSS 12.0 统计分析软件对数据进行作图、方差分析、相关分析与回归分析。

2 结果与分析

2.1 光合速率日变化

净光合速率 P_n (Net photosynthesis rate) 又称表观光合作用, 是指真正光合作用所同化的 CO₂ 量减去因呼吸作用而释放的 CO₂ 量。通常所说的光合速率就是净光合速率, 单位是 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。图 1 是单叶净光合速率日变化。从图 1 可以看出 G-2 单叶净光合速率从第一个测试点 8:30 的 18.7 开始几乎成直线上升, 直到 13:43 达到第一个高峰值 34.5 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 是第一个测试点的 243%, 随后迅速下降, 到 15:23 达到谷值 15.3 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 仅为第一个高峰值的 44%, “午睡”现象特别明显。随后缓慢上升, 到 17:51 达到第 2 个峰值 21.3 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 之后再次缓慢下降, 直到 19:48 的最后一个测试点为 17.1 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。图 5 是群体光合速率的日变化, 其变化趋势和单叶的变化趋势基本吻合: 都是典型的“双峰型”, 都有“午睡”现象。这和人研究的结果是一致的。但其到达峰值、谷值和“午睡”的时间有出入, 前人研究的第 1 个最大值出现在 11:00 左右, “午睡”现象

第一作者简介: 李英才(1967-), 男, 硕士, 中教高级, 研究方向为植物生理生态。E-mail: gysflyc@sina.com.

通讯作者: 田丽萍(1965-), 女, 硕士, 教授, 主要从事植物营养生态研究工作。

基金资助: 国家支撑计划资助项目 (2006BAD01A7-3-093)

收稿日期: 2008-12-27

出现在 13:00 左右^[3],而该研究第一峰值和“午睡”现象分别出现在 14:00 和 15:30 左右。石河子加工番茄经过多年的选育很能适应当地的地理环境,石河子属典型的温带大陆性气候,夏季短而干旱炎热,光照强,年降雨量 180~270 mm,年蒸发量 1 000~1 500 mm,即高温、干旱、高光强。加工番茄光谱利用可塑范围很广,在 140~1 800 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间;适宜温度为 24~34 $^{\circ}\text{C}$,最适温度为 26~32 $^{\circ}\text{C}$,番茄在 7~50 $^{\circ}\text{C}$ 之间均有净光合^[3]。达到第一个峰值 34.5 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时间是 13:43,此时的光强是 1 648 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,温度是 33.94 $^{\circ}\text{C}$,都是高且很适宜的环境条件,所以达到光合速率最大值。在 15:23 时是谷值,与第一个峰值相比,光强相近;温度 38.35 $^{\circ}\text{C}$ 已经超出适宜范围;气孔导度、

胞间 CO_2 浓度、空气 CO_2 浓度、蒸腾速率和空气相对湿度都严重下降,生理生态因子综合影响才使加工番茄进入“午睡”状态。光合“午睡”是植物对逆境的自我保护性响应,是自然界普遍存在的现象,不同学者对此有不同的解释,但大多数认为,光合作用的午间降低主要是外界生态因子的影响而引起的。殷工、徐立等认为,在晴天中午,气温高达 38 $^{\circ}\text{C}$ 以上,空气相对湿度下降到 15% 左右,导致叶面水气压亏缺增大,为减少水分过度消耗,气孔随之收缩,蒸腾强度下降,蒸腾速率的下降又导致叶面温度的升高,过高的叶温又影响光合作用酶活性的发挥,从而导致光合速率的下降。在实际农业生产中应当因地制宜,采取适当措施^[4],如夏季中午遮荫,改善光合作用,减少光合“午睡”带来的影响^[5]。

表 1 各因子相关分析

Table 1		Each factor correlation analysis									
		Pn	PAR	Gs	Ci	Tr	Vpd	Tl	Ca	Rh	
Pn	1										
PAR	r	0.472									
	p	0.076	1								
Gs	r	0.910 **	0.338								
	p	0.000	0.217	1							
Ci	r	0.563 *	-0.236	0.766 **							
	p	0.029	0.396	0.001	1						
Tr	r	0.528 *	0.867 **	0.549 *	-0.014						
	p	0.043	0.00	0.034	0.096	1					
Vpd	r	-0.35	0.568 *	-0.502	0.874 **	0.383					
	p	0.2	0.027	0.057	0.00	0.158	1				
Tl	r	-0.38	0.493	-0.596 *	-0.937 **	0.249	0.940 **				
	p	0.157	0.061	0.019	0.00	0.371	0.000	1			
Ca	r	0.693 **	-0.116	0.836 **	0.974 **	0.061	-0.809 **	-0.888 **			
	p	0.004	0.068	0.000	0.000	0.828	0.00	0.000	1		
Rh	r	-0.12	0.832 **	0.015	0.514	-0.709 **	-0.755 **	-0.733 **	0.441		
	p	0.655	0.00	0.0957	0.05	0.003	0.001	0.002	0.	1	

注 *表示显著相关($p<0.05$), **表示极显著相关($p<0.01$)。
Note: * mean significant correlation ($p<0.05$), ** mean very significant correlation ($p<0.01$).



图 1 净光合速率、蒸腾速率、叶温、空气相对湿度日变化
Fig. 1 Pn Tr, Tl, Rh diurnal changes

2.2 生理生态因子的日变化和光合速率及与其影响因子的相关分析

2.2.1 光合速率和光合有效辐射及叶温 图 1 和图 2 是叶温、光合有效辐射日变化。由图 1 和图 2 可见光合有效辐射日变化和叶温日变化都是单峰。光强从开始测试到 10:30 左右逐渐上升,到 11:00 后达到 1 600



图 2 净光合速率、光合有效辐射日变化
Fig. 2 Pn PAR diurnal changes

$\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,以后一直维持在很高的水平,直到 18:30 左右才缓慢下降.这是新疆夏季光照的特点。从图 2 可以看出,从开始测试到 14:00 左右随着光强的增大净光合速率也增加,随后光强维持在很高的水平,而净光合速率却几乎直线下降,植物进入“午睡”状态。18:00 后光强下降净光合速率也随之下下降。因为新

疆的夏季光照强度很强,只有在早晚,光强才是光合速率的限制因子。从表1的相关性分析也证明了这一点,两者

的相关性很弱,没有达到显著水平。从图1中可看出叶温日变化趋势和对光合速率的影响基本与光强一致。

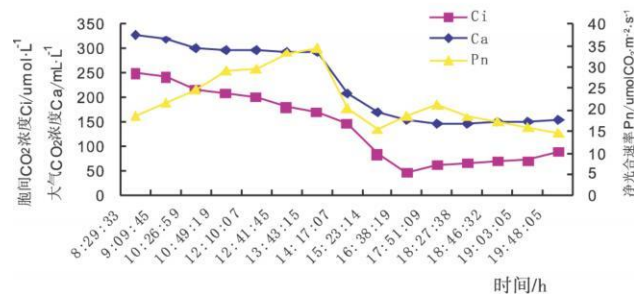


图3 净光合速率、胞间CO₂浓度、大气CO₂浓度日变化

Fig. 3 Pn, Ci, Ca diurnal changes

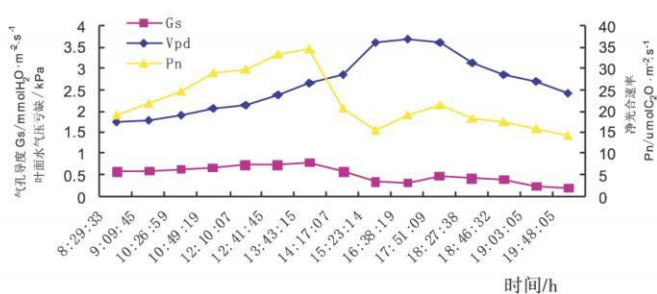


图4 净光合速率、气孔导度、叶片水气压亏缺日变化

Fig. 4 Pn Gs Vpd diurnal changes

2.2.2 光合速率和蒸腾速率、空气相对湿度及叶面水气压亏缺 图1、图4是蒸腾速率、空气相对湿度和叶片水气压亏缺日变化。如图1,加工番茄蒸腾速率日变化曲线呈双峰型,蒸腾速率在中午降低的现象称为“蒸腾午休”。从8:30~14:20时蒸腾速率逐渐增大,在14:20时达到最高值 $15.2 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,但当中午、光照强度加强,气温升高,相对湿度降低,蒸腾速率减小到 $12 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,进入“蒸腾午休”状态,直至16:30才逐渐增大,到18:00达到第二峰值 $14.6 \text{ H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,然后下降。图1显示空气相对湿度日变化曲线呈“V”字型,随着光强的增强和温度升高空气相对湿度日变化逐渐下降,到14:30左右到达谷值,随后随着光强的减弱和温度的降低又逐渐上升。图4显示叶片水气压亏缺日变化曲线呈“几”字型,8:30~15:00形成“几”字的一撇,15:00~18:00形成“几”字的一横,18:00~20:00形成“几”字的竖折勾。图1显示净光合速率与蒸腾速率基本呈同步变化趋势^[6],表1相关性分析表明净光合速率与蒸腾速率呈显著相关($r=0.528$, $p<0.05$),而蒸腾速率又与光强呈极显著正相关($r=0.867$, $p<0.01$),与空气相对湿度呈极显著负相关($r=-0.709$, $p<0.05$),与气孔导度呈显著相关($r=0.528$, $p<0.05$)。图4表明在13:30~16:30净光合速率与水气压亏缺走势相反,与13:30~16:30两尾变化趋势相一致。图1显示净光合速率与空气相对湿度呈相反趋势。1d中随着大气温度和光照强度的增加,叶片温度与大气温度出现同步变化的趋势。空气相对湿度降低,叶片水气压亏缺逐渐加大,叶片水气压亏缺的峰值对应着气孔导度和蒸腾速率的谷值,这表明高温低湿意味着更多的蒸腾失水进而引起脱水的威胁^[7],此时光合机构启动保护机制,气孔阻力逐渐增大,气孔导度变小,部分气孔已关闭,致使蒸腾速率下降以减少蒸腾过量失水,导致光合速率持

续降低,出现光合“午休”现象。

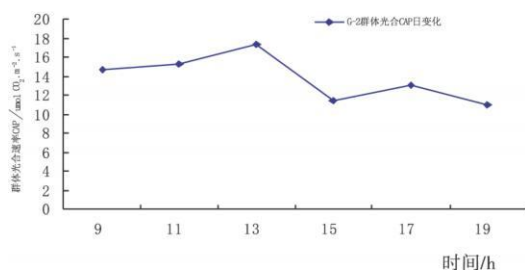


图5 群体光合速率日变化

Fig. 5 GAP diurnal change

2.2.3 光合速率和大气CO₂浓度、胞间CO₂浓度及气孔导度 图3显示,大气CO₂浓度、胞间CO₂浓度日变化呈平行变化趋势,都是逐渐降低到谷值后再缓慢回升。胞间CO₂浓度日变化显著受大气CO₂浓度的影响。其日变化曲线与净光合速率、蒸腾速率、气孔导度的曲线呈现相反趋势。随着大气温度和光照强度的增加胞间CO₂浓度迅速下降,即较高的光合速率对应较低的胞间CO₂浓度。胞间CO₂浓度的降低,与气孔活动状态密切相关。CO₂的扩散直接受控于气孔导度,胞间CO₂浓度低说明CO₂在细胞内扩散较快,利用率高,这和较大的气孔导度是密不可分的。该试验数据也表明在较高的净光合速率水平下,相应的气孔导度也较大,而胞间CO₂浓度却较低。图4显示的是气孔导度的日变化曲线。由图3可以看出,叶片气孔导度的日变化曲线为“双峰”型,14:00左右出现第1个峰值 $0.791 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,17:00左右出现低谷 $0.327 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,18:00左右出现第2个峰值 $0.488 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,远低于第1个峰值。气孔导度在14:30~17:00的变化幅度并不大($0.34 \sim 0.488 \text{ mmol}$

H₂O · m⁻² · s⁻¹), 17 时以后气孔导度的日变化曲线呈缓慢现上升趋势。结果表明气孔在早晨打开后, 1 d 中处于开放状态, 上午的气孔导度值较高, 午后气孔导度下降幅度很大。气孔导度反映了植物叶片气孔的开放程度, 是 CO₂ 进入和水分散失的门户, 气孔导度的变化直接影响胞间 CO₂ 浓度和蒸腾作用进而影响光合速率。在逆境条件下, 植物可通过气孔调节保持高光合速率的同时, 防止水分的过度散失, 这是植物对逆境的一种适应性反应^[8]。由图 1、图 4 可知不同条件下气孔导度的日变化曲线与光合速率、蒸腾速率的日变化曲线呈现比较一致的趋势, 证明了气孔导度的增高, 有利于光合速率的提高和蒸腾速率的加快。在晴好条件下气孔导度在最大值时, 光合速率也最大, 气孔导度在最小值时, 光合速率也最小。由表 1 的相关性分析也可看出光合速率与气孔导度呈极显著相关($r=0.910, p<0.01$)。对光合速率及其相关因子作逐步多元回归分析, 结果表明其他因子都没有通过检验, 只有气孔导度通过检验, 回归方程为: $P_n=31.765G_s+5.609(t=7.930, p<0.01)$ 。可见在石河子地区光合速率与气孔导度关系最为密切, 在当天的气候条件下气孔导度是对光合速率影响最大的因子, 光合“午睡”现象主要是由气孔导度下降引起的, 判断依据是在光合“午睡”时气孔导度降低同时胞间 CO₂ 浓度也降低^[9], 说明在石河子光照充足、高温低湿的环境条件下为避免蒸腾失水而部分关闭的气孔导致气孔导度的下降, 同时降低了植物的蒸腾速率进而影响叶片的生理机能是导致光合速率下降的主要原因。基于此认识, 通过改善气孔导度来提高光合速率也许是行之有效的, 但由于影响气孔导度的因素很多, 除自身遗传因素外还与环境因子休戚相关, 从表 1 也足见其间错综复杂的关系, 其机理有待进一步研究。

3 结论

加工番茄 G-2 净光合速率的日变化曲线呈双峰型有明显的“午休”现象, 光合速率受多种生理生态因子的影响且各因子之间又相互影响关系非常复杂, 但主要受气孔导度的影响, 气孔导度的降低是导致净光合速率降低的主要原因, 而影响气孔导度的因素又复杂多变。早晚光照温度可能是净光合速率的主要限制因子; 中午光强和温度很高引起叶温升高, 大气相对湿度降低, 蒸腾速率增强, 叶片水气压亏缺增大, 为减少水分散失, 气孔部分关闭, 气孔导度下降, 进而引起光合速率下降, 气孔部分关闭减少水分散失又会使叶温升高可能导致光合机构破坏, 此时气孔导度成为光合速率的主要限制因子, 这样错中复杂、环环相扣的因子综合作用于光合作用, 使光合速率充满变数。尽管有基因工程等现代生物技术作后盾, 但由于植物具有稳定的遗传机制, 高光效育种还有漫长的历程。

参考文献

[1] 陈润政, 黄上志, 宋松泉, 等. 植物生理学[M]. 广州: 中山大学出版社, 1998: 65, 91.
[2] 李玉巧, 桑艳鹏, 姜红, 等. 加工番茄光合特性与研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(15): 4436-4437, 4412.
[3] 郭泳, 李天来, 黄广学, 须晖. 环境因素对番茄单叶净光合速率的影响. 沈阳农业大学学报[J]. 1998, 29(2): 127-131.
[4] 邓仲虎. 水稻光合日变化与生理节奏的关系[J]. 中国水稻科学, 1994, 8(1): 9-14.
[5] 许大全. 光合速率、光合效率与作物产量[J]. 生物学报, 1999, 34(8): 8-9.
[6] 彭方仁, 杨小虎. 银杏幼苗光合特性的研究[J]. 江苏林业科技, 1998, 25(2): 12-15.
[7] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 2001.
[8] 李六林, 季兰. 杂种榛子不同方位叶片光合作用的日变化[J]. 林业科学, 2006(12): 42-53.
[9] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海科学技术出版社, 2002: 94-95.

Studies on the Diurnal Changes of Net Photosynthetic Rate and its Correlation Factors of Processing Tomato

LI Ying-cai¹, XUE Lin², SUN Fu-rong¹, TIAN Li-ping³

(1. College of Life Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000 China; 2. Vegetable Research Institute of Shihezi, Shihezi, Xinjiang 832000 China; 3. College of Pharmacy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000 China)

Abstract: The Diurnal changes of net photosynthetic rate of Leaf Blade and canonv annarent photosynthetic rate of G-2 were measured with Li-6400 and Assimilation box. The results studied on the datas indicated that the photosynthetic rate of G-2 took on a double-peak curve and “noonbreak” phenomenon. Stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration, transpiration rate and atmospheric CO₂ concentration were significant correlation factors with photosynthetic rate, especially stomatal conductance. The net photosynthetic rate was big with increesing of stomatal conductance. It can provide theoretical basis for the cultivation and high photosynthetic rate breeding.

Key words: Processing tomato; Net photosynthetic rate; The Diurnal change; Canonv annarent photosynthetic rate; Stomatal conductance to H₂O; Correlation analysis