

温州蜜柑和甜橙叶片光合生产的适宜生态条件

OPTIMUM ECOLOGICAL CONDITIONS FOR LEAF PHOTOSYNTHETIC PRODUCTION OF CITRUS

UNSHIU TANAKA AND CITRUS
SINENSIS OSBECK

光照、温度和水分直接影响植物光合生产能力。本研究通过田间试验和实验室检测等手段,探讨适合我国柑桔生产中发展的温州蜜柑和甜橙主栽良种叶片光合作用对这些生态因素的要求和临界指标,为深入开展光合生态生理与适应性研究积累基础资料,给生产中制订适宜的栽培措施提供科学依据。

一、试材和方法

试验于1988—1989年在武汉华中农业大学柑桔研究室进行。试材为9—10年生枳(*Poncirus trifoliata* Raf.)砧嫁接树。其中,国庆1号,龟井和尾张分别属于极早熟、早熟和中熟温州蜜柑(*Citrus unshiu* Tanaka);朋娜脐橙、锦橙和卡特夏橙依次为中熟、中晚熟和晚熟甜橙(*Citrus sinensis* Osbeck)。它们都是我国生产中推广的良种。桔园为黄棕壤低丘岗地,属北亚热带生态环境。试验期间按常规栽培管理,小气候环境、桔园肥水条件和植株生长状态等都保持一致。除不同处理外,其余内外条件的影响可以忽略不计。

在枝梢旺盛生长的后期选择晴天以树冠南侧中部春梢第3—5片功能叶测定光合作用速率等生理指标。其中,叶片光合速率的光强曲线在实验室调控空气温度 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $75 \pm 5\%$,光照强度任意可调的条件下,用日本产ASSA-1610型植物同化作用红外线 CO_2 分析仪,在光照由弱到强的顺序下测定,据此确定叶片光合作用的光补偿点和光饱和点。光照指标采用光合有效辐射(Photosynthetically active radiation, $\lambda = 400\text{—}700\text{nm}$, 以下简称为PAR)光子量子计量系统,用美国产LI-COR 185B光子量子计检测。叶片温度对光合作用的影响用国产CD-1型便携式大气采样器(经自行改装气路,调控气泵抽气流速 $1.2\text{dm}\cdot\text{min}^{-1}$)和市售塑料玩具气球,收集经过在不同温度条件下叶片光合作用前、后的气体,立即回实验室用同上红外线 CO_2 分析仪在上述相同的气流速度下检测气体中 CO_2 含量的变化,据此计算叶片光合速率等指标。叶片温度共设8个等阶梯度进行处理,用国产ZHT-Ⅱ型植物体温计插入光合作用叶室,与叶面直接接触进行测量,土壤相对持水率对柑桔树叶片光合作用的影响,在人工调控桔园土壤水分的自然生境下用中国科学院上海植物生理研究所推出的改良半叶干重法测定。经平行比较试验证明,以上两种方法测定柑桔叶片光合速率的结果无显著性差异($p > 0.05$),为统一起见,本文将后者的单位统一换算成 $\text{mg CO}_2\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 的形式。土壤水分在分设8个等阶梯度的条件下,进行人工地面灌溉预处理3d,等土壤水分含量处于稳定状态后,测定光合作用等指标。用日本产寺田式土壤水分张力计检测柑桔树吸收根密集分布区(0.2—0.3m深)的土壤pH值,再根据该仪器使用说明书中提供的标准换算公式转换成土壤相对持水率。各试验均重复3次,所有仪器在使用前都统一校正。所得数据按生物统计方法处理和分析。

二、结果与分析

1. PAR临界指标

实验结果(图1)表明,当PAR = 0时,6个供试柑桔良种的叶片净光合速率均为负值(即暗呼吸速率);并且,彼此之间差异不明显。当PAR从0开始增大时,叶片净光合速率都随之上升,其数值逐渐接近正值,相互之间的差异逐步显示出来。供试柑桔良种叶片的净光合速率由负值转变成正值的PAR临界指标(即光合作用光补偿点)存在显著的差异。其大小顺序为:国庆1号 $80-90\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、朋娜脐橙 $70-80\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、龟井65— $75\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、锦橙60— $70\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、尾张50— $60\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、卡特夏橙 $40-45\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 。当PAR超过各试材叶片光合作用的光补偿点并继续增强时,净光合速率都进一步显著增大。而且,在开始阶段以光补偿点较低的卡特夏橙和尾张的叶片净光合速率上升较快,光补偿点较高的国庆1号和朋娜脐橙的叶片净光合速率在这时则上升较慢,龟井和锦橙恰好介于上述两种情况之间。因此,供试柑桔良种叶片的光合作用光饱和点临界PAR指标相差更大;并且,光补偿点较低者先达到光饱和点。供试柑桔良种的叶片光合作用对PAR需求的上限指标(即光饱和点)从大到小顺序是:朋娜脐橙 $930-950\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、国庆1号 $920-950\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、龟井 $780-820\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、锦橙 $720-760\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、尾张 $650-700\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 、卡特夏橙 $610-640\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 。大于这些柑桔良种叶片光合作用光饱和点的PAR才是树体进行高效率光合生产的适宜光照指标。

从图1还可以看出,供试柑桔良种之间的叶片光合作用光饱和点差异显著大于光补偿点,因此,前者是较好地反映柑桔树光能利用潜力的客观指标。另外,在PAR达到叶片光合作用光饱和点的条件下,供试柑桔良种的叶片净光合速率是温州蜜柑>甜橙,这说明前者有较强的光合生产能力,并表现出国庆1号>龟井>尾张的规律;后者中叶片光合生产的能力则出现朋娜脐橙>锦橙>卡特夏橙的趋势。

2. 叶片温度

与空气温度相比,叶片温度对柑桔树体光合生产的影响更加直接和显著。因此,我们把后者当作检测

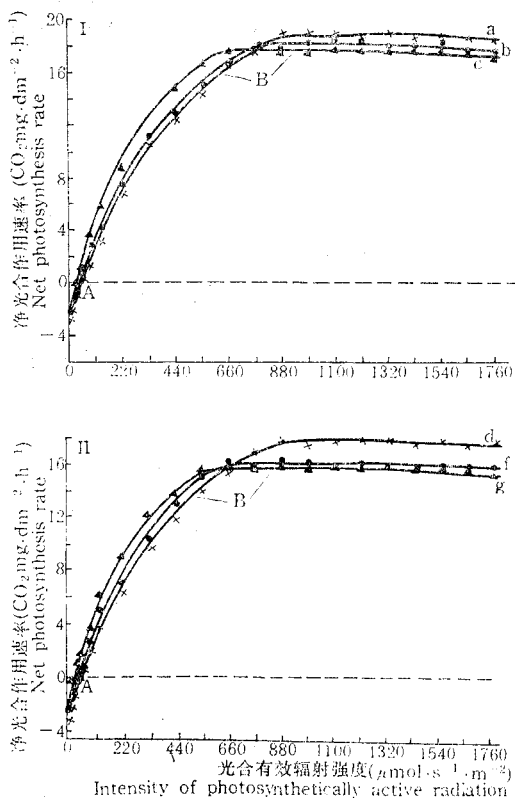


图1 温州蜜柑和甜橙不同良种叶片光合作用需光曲线

I—温州蜜柑 II—甜橙

A 叶片光合作用光补偿点,

B 叶片光合作用光饱和点

a 国庆1号, b 龟井, c 尾张,

d 朋娜脐橙, f 锦橙, g 卡特夏橙

Fig.1 Curves of requirement for photosynthetically active radiation to leaf photosynthesis of different superior cultivars in *Citrus unshiu* Tanaka and *Citrus sinensis* Osbeck

I—*Citrus unshiu* Tanaka,

II—*Citrus sinensis* Osbeck

A Light compensation point of leaf photosynthesis

B Light saturation point of leaf photosynthesis

a Guoqin No.1, b Kamei, c Owari,

d Skaggs Bonanz anavel, f Jincheng

g Cutter valencia

指标。在 10 至 45℃ 范围内分设 8 个等阶梯度(表 1)检测的结果表明,当叶片温度低达 10℃ 时,各供试品种(品系)叶片的净光合速率和暗呼吸速率都较低,随着叶片温度逐步升高,净光合速率迅速增加,暗呼吸速率也相应增大,但当叶片温度上升到 20℃ 以后,净光合速率增加趋缓,与此同时,暗呼吸速率出现较大幅度的上升。叶片净光合速率达到最大值后,则随叶片温度的进一步升高而急剧下降。暗呼吸速率则在净光合速率发生转折的前后阶段快速增大,并出现随着叶片温度继续升高而不断加大的趋势。供试桔桔叶片总光合作用的变化规律与净光合作用相似,但在较高的叶片温度条件下,因其暗呼吸作用增强而使叶片总光合速率下降的幅度比净光合作用相应减小。

根据表 1 提供的资料,供试柑桔树进行光合作用生产的适宜叶片温度指标是:朋娜脐橙和卡特夏橙 25—35℃、国庆 1 号、龟井和锦橙 25—30℃、尾张 25℃ 左右,据此可以推断这些柑桔良种叶片光合生产对于

表 1 叶片温度对温州蜜柑和甜橙不同良种叶片光合能力的影响

Table 1 Effect of leaf temperature on photosynthetic capacity of different superior cultivars in *Citrus unshiu* Tanaka and *Citrus sinensis* Osbeck (mg CO₂·dm⁻²·h⁻¹, X±S)

种 类 Species	品 种 Cultivar	叶片光合能力 Leaf photo- synthetic capacity	叶片温度 Leaf temperature (°C)							
			10	15	20	25	30	35	40	45
温州蜜柑 <i>Citrus unshiu</i> Tanaka	国庆 1 号 Guoqin No.1	净光合速率 ¹	11.23± 0.48	16.00± 0.17	17.43± 0.11	18.95± 0.45	18.81± 0.10	16.52± 0.28	13.06± 0.34	10.22± 0.15
		暗呼吸速率 ²	3.62± 0.34	3.73± 0.25	4.25± 0.60	4.50± 0.79	4.76± 0.28	4.96± 0.26	7.10± 0.27	7.25± 0.28
		总光合速率 ³	14.85± 0.69	19.73± 0.41	21.68± 0.77	23.45± 1.01	23.57± 0.30	21.48± 0.16	20.16± 0.11	17.47± 0.13
	龟 井 Kamei	净光合速率	10.51± 0.55	14.18± 0.29	17.52± 0.74	18.40± 0.42	18.25± 0.36	15.75± 0.20	12.94± 0.61	9.78± 0.15
		暗呼吸速率	3.17± 0.35	3.49± 0.26	3.98± 0.24	4.19± 0.46	4.49± 0.16	4.93± 0.62	6.44± 0.27	6.81± 0.26
		总光合速率	13.68± 0.65	17.67± 0.26	21.50± 1.48	22.59± 0.48	22.74± 0.23	20.68± 0.75	19.38± 0.37	16.59± 0.40
	尾 张 Owari	净光合速率	9.49± 0.14	13.02± 0.28	16.55± 0.66	17.77± 0.54	16.26± 0.61	15.26± 0.26	11.71± 0.46	5.30± 0.10
		暗呼吸速率	2.89± 0.26	3.31± 0.31	3.59± 0.22	4.05± 0.20	4.51± 0.21	4.92± 0.24	6.00± 0.15	8.99± 0.12
		总光合速率	12.38± 0.38	16.33± 0.29	20.14± 0.50	21.82± 0.71	20.77± 0.75	20.18± 0.23	17.71± 0.40	14.29± 0.09
甜 橙 <i>Citrus sinensis</i> Osbeck	朋娜脐橙 Skaggs Bonanza navel	净光合速率	9.49± 0.31	13.49± 0.34	16.48± 0.45	17.95± 0.58	18.01± 0.20	17.60± 0.27	15.22± 0.94	9.00± 0.34
		暗呼吸速率	3.25± 0.51	3.51± 0.21	3.76± 0.54	3.99± 0.35	4.17± 0.29	4.47± 0.25	6.26± 0.16	10.51± 0.27
		总光合速率	12.73± 0.33	17.00± 0.36	20.24± 0.41	21.94± 0.57	22.18± 0.20	22.07± 0.47	21.48± 1.67	19.51± 0.23
	锦 橙 Jincheng	净光合速率	8.80± 0.19	12.82± 0.20	15.45± 0.28	16.25± 0.08	16.20± 0.98	15.25± 0.16	12.01± 0.41	9.19± 0.11
		暗呼吸速率	2.90± 0.29	3.07± 0.18	3.52± 0.12	3.72± 0.21	4.00± 0.15	4.25± 0.31	6.00± 0.18	7.26± 0.10
		总光合速率	11.70± 0.46	15.89± 0.11	18.97± 0.32	19.97± 0.36	20.20± 1.08	19.50± 0.25	18.01± 0.49	16.45± 0.20
	卡特夏橙 Cutter valencia	净光合速率	7.89± 0.05	12.01± 0.14	14.75± 0.24	15.74± 0.53	16.01± 0.49	15.48± 0.15	13.00± 0.13	6.49± 0.18
		暗呼吸速率	2.96± 0.15	3.25± 0.11	3.44± 0.21	3.76± 0.16	4.00± 0.16	4.34± 0.28	5.74± 0.19	8.60± 0.08
		总光合速率	10.95± 0.14	15.26± 0.19	18.19± 0.10	19.50± 0.65	20.01± 0.31	19.82± 0.22	18.74± 0.11	15.09± 0.12

1 Net photosynthesis rate, 2 Dark respiration rate, 3 Total photosynthesis rate

环境温度变化及高温条件的生态生理适应能力是：朋娜脐橙和卡特夏橙>国庆1号、龟井和锦橙>尾张。

3. 土壤相对持水率

由于柑桔树盘根际的土壤相对持水率能较好地代表桔园生态系统中的水分供应状况；并且，它比桔园空气相对湿度便于人为调控，容易进行人工处理，又比叶片水势检测方便，所以，我们选择在桔园自然干旱的季节，通过人工灌水的方式，按不同程度的土壤含水标准进行处理试验。结果表明(表2)，供试柑桔树叶片光合生产最适宜的桔园土壤相对持水率指标是60%—80%。当土壤相对持水率大于90%或小于40%时，不仅使柑桔树叶片净光合速率迅速下降，而且还使其暗呼吸速率大幅度增强，总光合速率则相应下降。

根据本试验结果，对于柑桔树冠叶片进行高效率的光合生产来说，根际土壤相对持水率40%和90%宜分别作为需要及时对柑桔园进行灌水和排水的土壤水分含量临界指标。另外，从供试的两个柑桔品系来看，国庆1号对土壤水分逆境胁迫的忍耐能力比龟井强，其生理机制有待进一步深入研究。

表2 土壤相对持水率对温州蜜柑不同良种叶片光合能力的影响

Table 2 Effect of soil relative moisture percentage on leaf photosynthetic capacity of different superior cultivars in *Citrus unshiu* Tanaka (mg CO₂dm⁻²·h⁻¹, X±S)

品 种 Cultivar	叶片光合能力 Leaf photosynthetic capacity	土壤相对持水率 Soil relative moisture percentage (%)							
		30	40	50	60	70	80	90	100
国庆1号 Guoqin No.1	净光合速率 ¹	7.49±0.13	12.12±0.37	16.58±0.47	18.30±0.32	18.56±0.13	18.41±0.24	15.21±0.45	10.14±0.16
	暗呼吸速率 ²	7.63±0.26	5.63±0.27	5.26±0.31	4.68±0.37	4.66±0.24	5.03±0.27	5.92±0.34	6.85±0.23
	总光合速率 ³	15.12±0.32	17.75±0.35	21.84±0.46	22.98±0.39	23.22±0.31	23.27±0.34	21.13±0.29	16.99±0.25
龟 井 Kamei	净光合速率	6.22±0.16	11.89±0.29	15.13±0.36	16.43±0.45	16.90±0.38	16.85±0.41	13.92±0.30	8.61±0.13
	暗呼吸速率	7.02±0.11	6.03±0.13	4.98±0.24	4.59±0.33	4.32±0.21	4.84±0.13	5.78±0.25	6.46±0.16
	总光合速率	13.24±0.22	17.92±0.31	20.11±0.38	21.02±0.34	21.22±0.39	21.69±0.52	19.70±0.41	15.07±0.19

1 Net photosynthesis rate, 2 Dark respiration rate, 3 Total photosynthesis rate.

三、讨论与建议

本研究确定的6个温州蜜柑和甜橙良种叶片光合作用的光补偿点和光饱和点指标，可作为生产中进行合理密植、计划间移和整枝修剪的科学依据。根据本研究所揭示的叶片光合速率的光强曲线特征，可以看出它们光合需光的生态生理适应性差异很大。这些柑桔树利用PAR的潜力以国庆1号和朋娜脐橙较大，龟井和锦橙其次，尾张和卡特夏橙较小，它们利用较弱的PAR(小于光补偿点指标)进行光合生产的能力，及其耐荫性则出现相反的规律。根据这些需光特性，在不同受光条件的地区发展柑桔生产时，应首先因地制宜地搞好品种规划，做到合理布局、适地适栽，才能地尽其用，树尽其材。

在桔园生态系统中，光照、温度和水分等环境因素变化复杂，难以人为控制。这些因素在柑桔高产优质栽培中往往起着重要的作用。由于上述因素在各地的表现和对柑，叶片光合作用都有一定的规律可循，加之柑桔树对其变化也有相应的适应能力，这就为生产中制订适宜的技术措施提供了可能。我们观测到，在柑桔树生长季节中，尤其是盛夏伏旱期，桔园生态系统中普遍出现的情况是：PAR大于柑桔叶片光合作用的光饱和点，这对树体光合生产来说固然有利；但同时存在柑桔叶片温度和根际土壤相对持水率分别超过和低于叶片光合作用适宜指标的现象。可见，高温干旱常成为在生长期中限制柑桔树光合生产能力的主要障碍因素。由于桔园土壤水分比温度容易人工调控，桔园灌水能直接增加土壤和空气湿度，使土壤的热

容量和导热率增大,同时使表土颜色变深,在白天能吸收较多的太阳辐射而降低地表气温,但由于热量贮存和向下传导都较多,使柑桔树根际土温并不太高,到了夜间,灌水的桔园地表有效辐射较小,并且热量由下层向上层传送较快,使根际土温日较差较小;同时,桔园灌水后能直接增加空气中水汽含量,在白天蒸发散热快,使桔园空气乱流热交换量减少而显著减缓温度的上升,可以降低叶片温度,如能进行树冠喷灌,则能起到更显著的增湿降温双重效果。另外,水是植物光合作用的原料和生理生化代谢必需的媒介。因此,在生产中可以在高温干旱期及时供水来改善桔园的微生态条件,增强树体的光合生产能力。在新建桔园时,应注意选择光照、温度和水分等生态条件优越的地方,同时加强桔园配套的水利设施建设。这些都是增强柑桔树体光合生产能力,实现高产优质栽培的必要条件。

陈 凯

Chen Kai

(南京农业大学科研处, 210014)

(Division of Scientific Research, Nanjing Agricultural University, 210014)

章文才

刘道宏

王本宣

骆炳山

Zhang Wen-Cai, Liu Dao-Hong, Wang Beng-Xuan, Luo Bing-Shan

(华中农业大学, 武汉)

(Huazhong Agricultural University, Wuhan)

Discussion

A preliminary analysis for the relationship between the history of *Panax ginseng* population moving northtowards and the human population pressure during the past 2000 years
..... wang Zhen-Tang, Liu Jing-Ling et al (282)

Scientific Note

Optimum ecological conditions for leaf photosynthetic production of *Citrus unshiu* tanaka and *Citrus sinensis* osbeck
.....Chen Kai, Zhang Wen-Cai et al (291)