

浙江天台山茶树光合日变化及光响应^{*}

柯世省^{**} 金则新 李钧敏

(台州师范专科学校 浙江临海 317000)

摘 要 自然条件下使用 LCA-4 型便携式光合测定系统研究了栽培于天台山主峰华顶山的茶树连体叶片的光合日变化及光响应。结果表明:在初夏晴天,上年越冬叶片(下称二年生叶)的光合速率、表观量子效率、羧化效率和饱和光强比展叶约 16 d 的一年生叶高,CO₂ 补偿点和光补偿点比一年生叶低,两者的净光合速率日进程曲线均为"双峰"型,午间胞间 CO₂ 浓度上升表明,此时净光合速率下降主要受非气孔限制因素的影响。一年生叶蒸腾速率高于二年生叶,它们日进程曲线为单峰型,午间最高,而气孔阻力午间最低。不同时段作光响应和 CO₂ 响应试验表明,上午茶树的表观量子效率、饱和光强和羧化效率较高,光补偿点和 CO₂ 补偿点较低。图 3 表 4 参 26

关键词 茶树;净光合速率;表观量子效率;羧化效率;日变化;叶龄

CLC Q948 : Q949.758.4

DIURNAL VARIATIONS OF PHOTOSYNTHESIS AND RESPONSE TO LIGHT OF *CAMELLIA SINENSIS* LEAVES IN Tiantai MOUNTAIN IN ZHEJIANG, CHINA^{*}

KE Shisheng^{**}, JIN Zexin & LI Junmin

(Taizhou Teachers College, Linhai, Zhejiang 317000, China)

Abstract Diurnal variations of photosynthesis and response to light of *Camellia sinensis* leaves in the Tiantai Mountain in Zhejiang were studied under natural conditions. The results indicated that in early summer sunny days, net photosynthetic rates (A), apparent quantum yield (AQY), carboxylation efficiency (CE) and saturated light intensity in the old leaves from last winter (two-year-old leaves) were higher than those in sixteen-day-old leaves (one-year-old leaves), but CO₂ compensation points and light compensation points of two-year-old leaves were lower. The curves of diurnal variations of A in one-year-old leaves and two-year-old leaves had two peaks, which had an obvious phenomenon of "midday-depression" of A . The rising of the internal CO₂ concentration (C_i) at midday indicated that non-stomatal limited elements caused "midday-depression" of A . Transpiration rate (E) in one-year-old leaves was higher than that of two-year-old leaves. The diurnal variations of E had one peak at midday, which was accompanied by the lowest stomatal resistance (r_s). The experiments of response of A to light at different time in one day proved that in the morning, AQY and saturated light intensity were high, but light compensation point was low. The response of A to CO₂ concentration showed a higher CE and lower CO₂ compensation point in the morning. Fig 3, Tab 4, Ref 26

Keywords *Camellia sinensis*; net photosynthetic rate; apparent quantum yield; carboxylation efficiency; diurnal variation; leaf age

CLC Q948 : Q949.758.4

光合作用是植物生长发育的基础和生产力高

低的决定性因素,同时又是一个对环境条件变化很敏感的生理过程,在研究茶树(*Camellia sinensis*)栽培中,光合作用是一个核心问题。生态因子影响茶树光合特性,调节次生物质代谢,从而影响茶叶产量和品质。茶树一年生叶长出后不久即被采摘,二年生叶对光合产物的累积有重要作用。对低海拔或平原地带茶

收稿日期:2001-06-18 修回日期:2001-10-16 接受日期:2001-12-05

^{*}浙江省自然科学基金(399203)和浙江省教育厅科研计划(19990367)项目 Supported by the Provincial Natural Science Foundation (399203) and the research programme (19990367) of the Educational Department of Zhejiang, China

^{**}通讯作者 Corresponding author

树光合的年变化和日变化^[1-3]、茶树光合作用与环境因子的关系^[4-7]、茶树蒸腾特性^[8-9]和茶树栽培管理^[10-14]等已有较多的研究,但对栽培在海拔较高的华顶山茶树的一年生叶、二年生叶光合生理生态特性研究还未见报道.据当地气象部门提供的数据,浙江省天台山主峰华顶山,海拔 1 098 m,山上常年多云雾缭绕,年平均相对湿度达 85% 以上,昼夜温差大.由于其特殊的生长环境,此地出产的华顶云雾茶品质好,有一定的知名度^[15],但产量不高.本文对茶树一年生叶、二年生叶的光合日变化和对光的响应进行了研究,以期深入探讨高山品种茶树的生长发育规律和生产管理提供参考.

1 研究方法

样地设在华顶国家森林公园葛仙名圃附近,海拔 960 m,坡向 SW50°,选择生长状况一致的鸠坑种茶树进行研究.供试材料为去年越冬向阳叶片(本文称二年生叶)和当年生约 16 d 向阳叶片(本文称一年生叶).5 月上旬在晴朗天气下测试,每项指标测试 3 个样叶,测试时每个样叶记录数据 2~4 次,结果取平均值.

自然条件下用英国 ADC 公司生产的 LCA-4 型便携式全自动光合测定系统对茶树叶片进行不离体测试.光合日变化研究指标包括环境光合有效辐射($Q_e/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、叶片表面光合有效辐射($Q_l/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、净光合速率 $[A(\text{CO}_2)/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$ 、蒸腾速率 $[E(\text{H}_2\text{O})/\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$ 、气温($\theta_a/^\circ\text{C}$)、叶温($\theta_l/^\circ\text{C}$)、空气相对湿度($RH/\%$)、空气 CO_2 浓度($C_a(\text{CO}_2)/\mu\text{mol mol}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度($C_i(\text{CO}_2)/\mu\text{mol mol}^{-1}$)和气孔阻力($r_s/\text{m}^2 \text{s mol}^{-1}$).测试光响应时,叶片均匀地用多层纱布逐渐遮光或用黑布完全遮光, Q_l 从自然光强直到 0,强光下每梯度为 $100 \sim 300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、弱光下(小于 $160 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)为 $20 \sim 30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,每梯度遮荫持续时间以 A 读数稳定为准,测得从高到低一系列 Q_l 下叶片的 A 、 E 、 r_s 和 C_i 等.用 A 对光响应曲线低 Q_l 下的直线部分进行线性回归求得表观量子效率(AQY)^[15].用光合测定系统设定不同的进气 CO_2 浓度,以 A 对系列 C_i 进行线性回归求得羧化效率(CE),计算 CO_2 补偿点($C_c/\mu\text{mol mol}^{-1}$)^[16].

2 结果

2.1 净光合速率与蒸腾速率日进程

从 7:00~18:00,每隔 1 h 测定叶片的净光合速

率、蒸腾速率日进程,同时记录胞间 CO_2 浓度、气孔阻力和环境因子的变化.

2.1.1 净光合速率日进程 茶树叶片的净光合速率在晴天中午明显降低,其曲线呈“双峰”型,一年生叶、二年生叶的变化趋势基本一致(图 1 A).二年生叶第 1 峰出现在 10:00,值为 $5.32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,第 2 峰出现在 14:00,值为 $3.71 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,相当于第 1 峰的 69.7%,而波谷出现在 12:00,此时只为第 1 峰值的 47.2%.一年生叶两峰分别出现在 9:00 和 14:00 左右,峰值比较接近,均明显低于二年生叶,波谷出现在 12:00~13:00,下降幅度小于二年生叶.胞间 CO_2 浓度的日进程基本与净光合速率相反(图 1 B),当净光合速率较大时,固定的 CO_2 较多,引起胞间 CO_2 浓度降低.午间出现光合“午休”时,胞间 CO_2 浓度上升,表明此时净光合速率降低受非气孔限制因素的影响.从图 1 A 和表 1 可以看出,日出后,随着时间的推移,光照增强,气温逐渐升高,净光合速率随着增大,到 9:00 左右,出现第 1 峰,随后光照进一步增强,气温继续增高,空气相对湿度逐渐降低,净光合速率减小,出现光合“午休”现象.午后光照减弱,气温下降,空气相对湿度上升,到下午 14:00 左右净光合速率出现第 2 峰.接着光照减弱,气温继续降低,净光合速率随着减小.对比分析环境因子对光合作用的影响,光合有效辐射、空气相对湿度和气温是主要的影响因素.

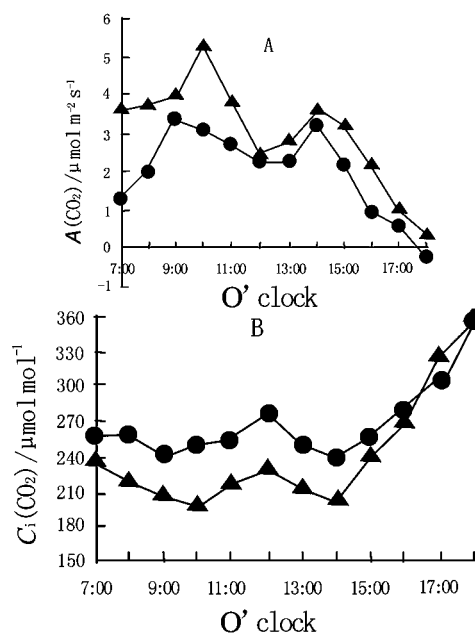


图 1 茶树叶片净光合速率和胞间 CO_2 浓度的日进程

Fig 1 The diurnal variations of $A(\text{CO}_2)$ and

C_i in leaves of *Camellia sinensis*

●一年生叶 one-year-old leaves

▲二年生叶 Two-year-old leaves

表 1 环境因子的日变化

Tab 1 The diurnal variations of environmental factors

点钟 O'clock	环境光合 有效辐射 Photosynthetic active radiation of environment ($Q_e/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	叶片表面光合 有效辐射 Photosynthetic active radiation of leaf surface ($Q_l/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	空气 CO ₂ 浓度 Air CO ₂ concentration ($C_a/\mu\text{mol mol}^{-1}$)	空气相对 湿度 Air relatively humidity (RH / %)	空气温度 Air temperature ($\theta_a/^\circ\text{C}$)	一年生叶 表面温度 Temperature of one-year-old leaf surface ($\theta_{l1}/^\circ\text{C}$)	二年生叶 表面温度 Temperature of two-year-old leaf surface ($\theta_{l2}/^\circ\text{C}$)
7:00	954	840	350.7	40.4	20.9	27.0	28.4
8:00	1022	899	351.5	37.3	27.9	30.6	30.5
9:00	1043	972	350.1	35.1	28.7	32.2	31.8
10:00	1743	1534	349.8	34.6	33.6	36.2	36.0
11:00	1651	1453	348.4	32.4	33.6	37.1	36.7
12:00	1725	1518	347.6	29.8	37.6	39.2	38.7
13:00	1716	1510	347.5	31.7	34.6	37.4	36.7
14:00	1535	1370	346.1	34.2	32.8	35.0	34.2
15:00	1141	1004	345.0	38.0	31.1	33.8	33.2
16:00	1047	935	346.3	48.4	25.5	25.6	25.6
17:00	352	310	348.7	59.0	21.8	21.7	21.8
18:00	67	53	350.9	63.8	19.8	19.5	19.5

2.1.2 蒸腾速率日进程 从图 2 A、B 可以看出, 茶树叶片的蒸腾速率与气孔阻力一天的变化趋势基本上为负相关. 从 7:00 到 9:00, 二年生叶的蒸腾速率高于一年生叶, 二者都呈上升趋势. 二年生叶的蒸腾速率 11:00 达到一天中的最大值, 而一年生叶的蒸腾速率则在 12:00 达到最大值, 以后二者均下降. 一年生叶和二年生叶的蒸腾速率日变化为单峰型, 午间达到顶峰. 从一天的平均蒸腾速率来看, 一年生叶为 $2.16 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 要高于二年生叶的 $1.66 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 这是由于一年生叶没有发育成熟, 角质层较薄, 其含水量(78.2%)比二年生叶(65.4%)高的缘故.

日出后, 随着光合有效辐射的增强, 气孔阻力逐渐降低, 气温也逐渐上升, 空气相对湿度下降, 叶-气饱和蒸汽压差增大, 使得蒸腾速率增大. 二年生叶气孔阻力至上午 11:00 降至最低, 而一年生叶则推迟到 12:00, 此时蒸腾速率到达最大值. 午后强光、高温和低湿的持续作用, 引起叶片失水过多, 促使气孔部分关闭, 气孔阻力逐渐增大, 蒸腾速率减小, 至 15:00 气孔阻力出现一个峰值. 以后光合有效辐射继续减弱, 气温下降, 空气相对湿度上升, 气孔阻力又降低, 但由于气温接着快速下降, 蒸腾速率也随着降低.

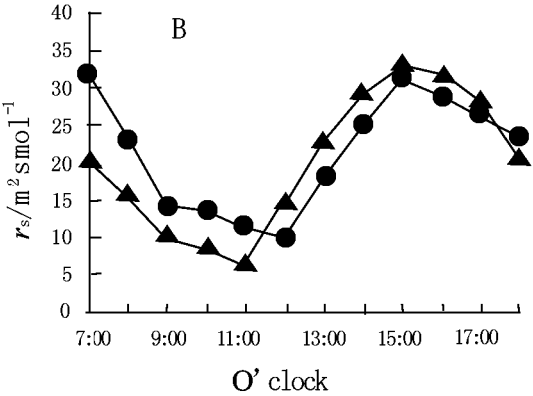
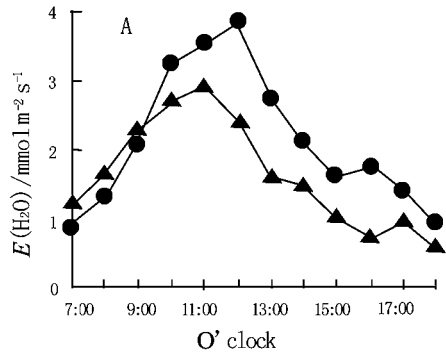


图 2 茶树叶片蒸腾速率和气孔阻力的日进程
Fig 2 The diurnal variations of E and r_s in leaves of *Camellia sinensis*
●一年生叶 One-year-old leaves ▲二年生叶 Two-year-old leaves

2.2 光合作用、蒸腾作用的光响应

2.2.1 光合作用的光响应 进行光合作用的光响应测试可以获知茶树叶片的饱和光强、暗呼吸速率、光补偿点和表观量子效率. 用多层纱布均匀给叶片逐渐遮光, 叶片表面光合有效辐射从自然光强直到 0, 测得从高到低一系列光合有效辐射下叶片的净光合速率, 拟合光响应曲线, 求得表观量子效率, 计算饱和光强和光补偿点. 一年生叶在一天的不同时段受环境因子的影响, 其各种光合参数也是不同的(表 2). 茶树叶片的饱和光强和表观量子效率上午最高, 下午最低, 光补偿点则相反. 在一天的大部分时间里, 自然光强高于茶树一年生叶的饱和光强(表 1). 叶片暗呼吸速率中午最低, 可能是叶片温度过高降低了呼吸酶的活性.

比较二年生叶和一年生叶的光合作用光响应特

性(表 3,15:00 测定数据),发现一年生叶的暗呼吸速率高于二年生叶,进行着较强的分解代谢.二年生叶的饱和光强比一年生叶约高 1/3,光补偿点低于一年生叶,而表观量子效率高于一年生叶.较高的表观量子效率、饱和光强和较低的光补偿点,使得二年生叶的光合能力大于一年生叶.

表 2 茶树一年生叶一天不同时刻光合作用参数
Tab 2 Photosynthetic parameters in one-year-old leaves of *Camellia sinensis* at different time in a day

光合参数 Photosynthetic parameters	点钟 O'clock		
	10:00	13:00	16:00
暗呼吸速率 Dark respiration rate ($R/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1.84	1.72	1.82
饱和光强 Saturated light intensity ($Q_s/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	992	858	695
光补偿点 Light compensation point ($Q_c/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	100	110	122
表观量子效率(AQY) Apparent quantum yield	0.0185	0.0157	0.0150

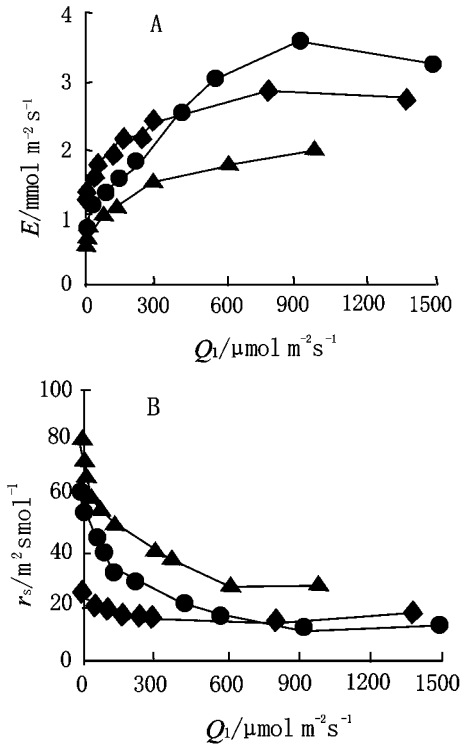
表 3 茶树一年生叶、二年生叶光合作用参数
Tab 3 Photosynthetic parameters in one-year-old leaves and two year-old leaves of *Camellia sinensis*

光合参数 Photosynthetic parameters	一年生叶 One-year-old leaves	二年生叶 Two-year-old leaves
暗呼吸速率 Dark respiration rate ($R/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1.76	0.91
饱和光强 Saturated light intensity ($Q_s/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	700	1025
光补偿点 Light compensation point ($Q_c/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	122	56
表观量子效率(AQY) Apparent quantum yield	0.0145	0.0162

2.2.2 蒸腾作用的光响应 茶树一年生叶蒸腾速率(图 3A)在一天的不同时间里对光的响应不同.在上午(10:00 左右),蒸腾速率从自然光强的 $3.26 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下降到暗中的 $0.63 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,下降了 80.7%,但光合有效辐射从自然光强下降到 $923 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 左右时,蒸腾速率还略有增加.中午(13:00 左右),蒸腾速率下降幅度相对较小,从自然光强的 $2.75 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下降到暗中的 $1.21 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,下降了约 56.2%,这可能与中午较高的叶温对蒸腾速率的影响相对较大有关.下午(16:00 左右)蒸腾速率下降了约 67.7%,从自然光强的 $2.01 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 下降到暗中的 $0.65 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

不同时间光响应试验表明,遮光使茶树一年生叶的气孔阻力升高(图 3B),上午(10:00 左右)气孔阻力从自然光强的 $13.68 \text{ m}^2 \text{s mol}^{-1}$ 升到 $63.02 \text{ m}^2 \text{s mol}^{-1}$,升高了 4.6 倍;中午(13:00)和下午(16:00)遮光分别使气孔阻力从自然光强的 $18.01 \text{ m}^2 \text{s mol}^{-1}$ 和 $28.84 \text{ m}^2 \text{s mol}^{-1}$ 增加到 $26.77 \text{ m}^2 \text{s mol}^{-1}$ 和 $83.99 \text{ m}^2 \text{s mol}^{-1}$,分别增加了约 1.6 倍和 2.9 倍.在光响应试验过程中,因采用开放式气路,遮光过程中叶温接近气温,变化很小,而其它环境因子在短时间内保持恒定,此时蒸腾速率就决定于气孔阻力.但不同时段测试光响应时气温相差较大(表 1),单纯的温度变化对蒸腾速率和气孔阻力造成的影响,有待于进一步研究.图 3A、B 表明,上午光响应试验对气孔阻力影响最大,引起蒸腾速率的变化也最大.遮光促使气孔关闭主要是由于低光合有效辐射和高胞间 CO_2 浓度引起的.

从不同时间叶片的胞间 CO_2 浓度光响应来看(图 3C),由于遮光降低了净光合速率而使胞间 CO_2 浓度升高,以上午(10:00 左右)光响应胞间 CO_2 浓度上升幅度最大,中午(13:00 左右)上升幅度最小,这可能与此时叶片自然光强下净光合速率和暗呼吸速率较低有关.当叶片光合有效辐射高于饱和光强时,净光合速率反而降低,胞间 CO_2 浓度升高,而气孔阻力的变化不明显,表明此时净光合速率的降低不是由于气孔关闭引起 CO_2 供应不足造成的,而是受强光下光抑制的加强等非气孔限制因素的影响.



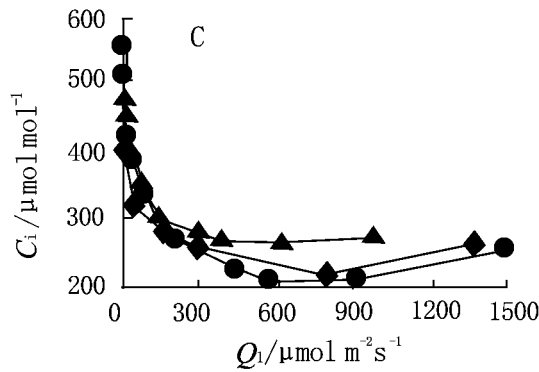


图3 茶树一年生叶蒸腾速率、气孔阻力和胞间CO₂浓度光响应

Fig 3 Responses of E , r_s and C_i to light in one-year-old leaves of *Camellia sinensis*
●10:00 ◆13:00 ▲16:00

2.3 光合作用的CO₂响应

上午10:00和中午12:00左右CO₂浓度对茶树一年生叶、二年生叶净光合速率的影响见表4,二年生叶的羧化效率高于一年生叶,上午的羧化效率高于一生叶,上午的羧化效率高于中午,二年生叶的CO₂补偿点低于一年生叶,上午CO₂补偿点低于中午,这是茶树净光合速率午间降低的一个生理因素.从中可以看出,茶树二年生叶的羧化效率较高,而CO₂补偿点又较低,这是二年生叶净光合速率较高的又一个重要原因.由于华顶山空气CO₂浓度比平原低50 μmol mol⁻¹左右,CO₂浓度也成为华顶山茶树光合作用的一个重要限制因子,造成净光合速率较小,使得茶叶产量较低.

表4 茶树叶片光合作用的CO₂响应
Fig 4 Response of photosynthesis to CO₂ concentration in leaves of *Camellia sinensis*

点钟 O'clock	羧化参数 Carboxylation parameters	一年生叶 One-year-old leaves	二年生叶 Two-year-old leaves
10:00	羧化效率 (CE) Carboxylation efficiency	0.0375	0.0483
	CO ₂ 补偿点 ($C_c/\mu\text{mol mol}^{-1}$) CO ₂ compensation point	142	106
12:00	羧化效率 (CE) Carboxylation efficiency	0.0224	0.0362
	CO ₂ 补偿点 ($C_c/\mu\text{mol mol}^{-1}$) CO ₂ compensation point	197	164

3 讨论

在浙江天台山华顶,鸠坑品种茶树一年生叶、二年生叶的净光合速率日进程曲线均呈“双峰”型,与陶汉之^[1]、林金科^[5]研究结果一致,但净光合速率较低.一年生叶和二年生叶上午净光合速率均高于下午,且有明显的光合“午休”现象.许大全等提出^[17-18],造成

植物叶片净光合速率午间降低的植物自身因素不外乎气孔的部分关闭引起的气孔限制和叶肉细胞自身活性下降引起的非气孔限制两类,前者使 C_i 降低,而后者使 C_i 增高.陶汉之^[1]在测定茶树叶片光合作用的光响应过程中观察到,当光强超过1 200 μmol m⁻² s⁻¹时叶片净光合速率下降,并且归因于光抑制,那么此时 C_i 应该升高,但是由于设备条件的限制,他没有提供 C_i 如何变化的数据,因而不能肯定光抑制就是净光合速率下降的主要原因.我们在进行本试验时观察到了茶树叶片午间净光合速率降低时 C_i 的上升(图1B)和光响应测试中强光下净光合速率降低也伴随着 C_i 的上升(图3C),证实茶树叶片在强光下其净光合速率的降低主要是由光抑制^[19-21]等非气孔限制因素引起的. Genty 等^[22], Berry 和 Downton^[23]认为,光抑制会造成光合效率的下降,本试验上午(10:00)、中午(13:00)与下午(16:00)测到的茶树叶片表观量子效率的变化(表2)与 Genty 等的结论相符.

华顶山茶树二年生叶下午的光补偿点为60 μmol m⁻² s⁻¹,低于一年生叶的120 μmol m⁻² s⁻¹,而饱和光强为1 000 μmol m⁻² s⁻¹,高于一年生叶的700 μmol m⁻² s⁻¹.上午(10:00)、下午(13:00)和下午(16:00)三个时段的光响应试验表明,茶树叶片的饱和光强在上午最高,下午最低,而光补偿点在上午最低,中午最高.茶树饱和光强、光补偿点前人研究结果差异较大.饱和光强有400~600 μmol m⁻² s⁻¹^[24],570~760 μmol m⁻² s⁻¹^[2],1 400~1 800 μmol m⁻² s⁻¹^[25],1 800~2 000 μmol m⁻² s⁻¹(正常成熟叶)和1 100 μmol m⁻² s⁻¹(上年越冬老叶)^[4].光补偿点分别为3~5 μmol m⁻² s⁻¹^[24],20 μmol m⁻² s⁻¹^[2],12~90 μmol m⁻² s⁻¹^[25],50 μmol m⁻² s⁻¹(正常成熟叶)和400~500 μmol m⁻² s⁻¹(上年越冬老叶)^[4].笔者认为,这是由于试验所用仪器、立地光强条件、品种、季节、叶片成熟程度等不同造成的.本文测得二年生叶的CO₂补偿点为110~160 μmol mol⁻¹,一年生叶为140~200 μmol mol⁻¹,高于日本^[24]的39~129 μmol mol⁻¹,但低于林金科等^[4]测得的283 μmol mol⁻¹,而正常成熟叶(30~100 d)的CO₂补偿点有待于进一步研究.林金科等^[26]比较了茶树10 d、30 d叶龄叶片与上年越冬老叶净光合速率的变化,展叶后5~10 d,净光合速率开始转为正值,但低于上年老叶,30~90 d叶龄叶片的净光合速率维持在较高水平,高于上年老叶.本文作者观察的一年生叶的叶龄为16 d,其净光合速率低于上年老叶,从这点来看,二年生叶还具有一定的物

质积累能力,茶树修剪时应注意留足量的老叶,将有利于茶树生长和茶叶产量的提高。

References

- 1 Tao HZ(陶汉之). Studies on the diurnal variations of the photosynthesis of tea plant (*camellia sinensis*). *Acta Agr Sin* (作物学报), 1991, **17**: 444 ~ 452
- 2 Tao HZ(陶汉之), Wang ZH(王镇恒). Progress and tendency of the photosynthesis researches on tea plants in China. *Tea Sci* (茶叶科学), 1995, **15**(1): 1 ~ 8
- 3 Lin JK(林金科). Annual variation of photosynthesis of tea. *Fujian Agr Univ* (福建农业大学学报), 1999, **28**(1): 38 ~ 42
- 4 Lin JK(林金科), Lai MZ(赖明志), Zhan ZJ(詹梓金). Response of net photosynthetic rate to ecological factors in tea leaves. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2000, **20**(3): 404 ~ 408
- 5 Lin JK(林金科). Diurnal variations of net photosynthetic rate and its eco-physiological factors of tea in the field. *Fujian Agr Univ* (福建农业大学学报), 1999, **28**(3): 294 ~ 299
- 6 Lin JK(林金科), Lai MZ(赖明志). Preliminary analysis for the relationship between eco-physiological factors and net photosynthetic rate of tea leaves. *Acta Agr Sin* (作物学报), 2000, **26**(1): 110 ~ 115
- 7 Huang CC(黄承才), Chang J(常杰), Ge Y(葛滢), Liu K(刘柯), Xu QS(徐青山). Studies on the photosynthesis and respiration of *camellia sinensis* in east mid-subtropical zone, China. *Bull Sci & Technol* (科学通报), 1999, **15**(3): 173 ~ 177
- 8 Sandanam S. Leaf water diffusion resistance in clonal tea (*camellia sinensis* L.): effect of water stress, leaf age and clones. *Ann Bot*, 1981, **47**: 339 ~ 349
- 9 Tao HZ(陶汉之), Zhou LL(周良骝), Fang YP(方一平), Cheng ZY(程荣萸), Zhou JJ(周建军). Transpiration characteristics of tea tree. *Chin Appl Ecol* (应用生态学报), 1995, **6**(4): 349 ~ 354
- 10 Gogoi BN. A review of research in shade in tea. *Two and a Bud*, 1976, **23**(2): 67 ~ 73
- 11 Tao HZ(陶汉之), Zhang CH(张承慧). Studies on photosynthetic characteristics of shaded tea plants. *Plant Physiol Commun* (植物生理学通讯), 1986, (6): 42 ~ 46
- 12 Hadfield W. Shade in northeast India tea plantation. *Appl Ecol*, 1974, (11): 151 ~ 199
- 13 Shen Q(沈泉), Tang RN(唐荣南), Xin KL(辛克礼). A study on photosynthesis and transpiration of monoculture and interplanted tea stands. *Nanjing For Univ* (南京林业大学学报), 1995, **19**(2): 19 ~ 22
- 14 Zhou ZX(周志翔). Review on light variation in tea and other woody plants intercropped plantations and eco-physiology of tea plants. *Chin Ecol* (生态学杂志), 1995, **14**(3): 59 ~ 63
- 15 Wang ZH(王镇恒), Wang GZ(王广智). *Annals of China Famous Brand of Tea*. Beijing: Agriculture Press, 2000. 113 ~ 118
- 16 Shanghai Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Science(中国科学院上海植物生理研究所). *Modern Phytophysiology Experimental Instruct*. Beijing: Science Press, 1999. 89 ~ 95
- 17 Xu DQ(许大全). Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis. *Plant Physiol Commun* (植物生理学通讯), 1997, **33**(4): 241 ~ 244
- 18 Xu DQ(许大全), Shen YG(沈允钢). Diurnal variations in the photosynthetic efficiency in plants. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), 1997, **23**(4): 410 ~ 416
- 19 Xu DQ(许大全), Zhang YZ(张玉忠), Zhang RX(张荣铎). Photoinhibition of photosynthesis. *Plant Physiol Commun* (植物生理学通讯), 1992, **28**: 237
- 20 Aro EM, Virgin I, Andersson B. Photoinhibition of photosystem II: inactive, protein damage and turnover. *Biochim Biophys Acta*, 1993, **1143**: 113
- 21 Guo LW(郭连旺), Xu DQ(许大全). Photoinhibition of photosynthesis in sweet *Viburnum* leaves under natural conditions. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), 1994, **20**(1): 46 ~ 54
- 22 Genty B, Briantais JM, Baker NR. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim Biophys Acta*, 1989, **199**: 87
- 23 Berry JA, Downton WJS. *Photosynthesis. Vol II: development, carbon metabolism and plant productivity*. New York: Academic Press, 1982. 263
- 24 Zhuang XL(庄雪岚). Progress of photosynthesis researches on tea plants (*camellia sinensis* L.). *Foreign Agronomy - Tea* (国外农学——茶叶), 1982, (3): 1 ~ 9
- 25 Lai MZ(赖明志). Study on the field photosynthetic characteristics of cultivars suitable to Oolong tea. *Tea Sci* (茶叶科学), 1997, **17**(2): 189 ~ 192
- 26 Lin JK(林金科), Zhan ZJ(詹梓金), Lai MZ(赖明志). Photosynthetic characteristic of Tieguangying tea plant. *Tea Sci* (茶叶科学), 1999, **19**(1): 35 ~ 40