

文章编号:1001—7380(2023)02—0001—07

间作对安吉白茶生长与叶绿素 荧光动力学特性的影响

窦全琴¹,朱树林^{2*},田梦阳³,季艳红³

(1. 江苏省林业科学研究院,江苏 南京 2111153; 2. 句容市磨盘山林场,江苏 句容 212445;
3. 南京林业大学生物与环境学院,江苏 南京 210037)

摘要:探讨薄壳山核桃与茶间作后安吉白茶生长和叶绿素荧光动力学特性差异,为构建薄壳山核桃和安吉白茶高效复合栽培提供理论依据。薄壳山核桃与安吉白茶间作分别以乔木树冠下(T1)、树冠缘(T2)、树冠外(T3)和纯安吉白茶园(T0)等4个测定点,测定10年生安吉白茶茶树新芽数、新梢生长量和单位面积产量等生长指标,结合茶树速生期(7—9月)叶绿素荧光动力学参数指标,分析探讨林茶间作不同光照条件下安吉白茶生长与叶绿素荧光动力学特征。结果表明(1)林茶间作茶树的新芽数、新梢长度等生长指标均显著高于纯茶园,其中乔木冠缘茶树生长指标较优;间作茶园茶树的百芽鲜(干)质量显著高于纯茶园,单位面积茶树新芽鲜质量以冠缘、冠外显著高于冠下和纯茶园,茶树新芽干质量为冠缘处最高,其次为冠外,冠下与纯茶园较低;(2)通过各测定点叶绿素荧光动力学 OJIP 曲线分析,7—8月高温强光下薄壳山核桃冠缘处茶树的荧光信号强度较强,8月纯茶园茶树的荧光点位显著低于间作茶树,9月各测定点茶树荧光曲线重合度较高。薄壳山核桃冠缘、冠外茶树相对可变荧光差异曲线(ΔV_i)波动较小,冠下茶树荧光的J相在7月快速下降但在9月却陡然升高,表明此时茶树叶片PSⅡ反应中心电子传递受阻,电子传递的能量配额减少。(3)间作茶园中茶树 S_m 、 N 、 ϕP_o 均高于纯茶园茶树,7—8月高温强光时期,纯茶园的茶树 M_o 升高受到了光抑制,林茶间作茶树吸收(ABS/CS_m)、捕获(TR_o/CS_m)、传递(ET_o/CS_m)的能量均高于纯茶园,纯茶园茶树反应中心量子效率(ABS/RC)和热耗散(DI_o/CS_m)显著升高,致使PSⅡ电子传递和能量转化异常。薄壳山核桃冠缘附近茶树的光合能力(PI_{abs})较高。表明林茶间作冠缘下散射光有利于安吉白茶生长和光合同化作用,冠外次之,冠下和纯茶园较差。强光对安吉白茶产生了明显的光抑制,过度遮阴也不利于茶树的光合与生长。

关键词:林茶间作;安吉白茶;生长;叶绿素荧光动力学;薄壳山核桃

中图分类号:F326.24;Q945.11;S571.1;S792.13 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2023.02.001

Growth and chlorophyll fluorescence kinetics of *Camellia sinensis* (L.) under forest tea intercropping

Dou Quanqin¹, Zhu Shulin^{2*}, Tian Mengyang³, Ji Yanhong³

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China; 2. Jurong City Mopanshan Forestry Farm, Jurong 212445, China;
3. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, College of Biology and the Environment, Nanjing 210037, China)

Abstract: To learn the growth and photosynthesis-environment relationship of tea (*Camellia sinensis* L.) under different shade of hickory pecan-tea plantation intercropping, and to provide theoretical basis for the construction of efficient compound cultivation, four tests under the crown (T1), at the crown margin (T2), outside the crown (T3) of hickory pecan and single tea cropping (T0) were carried out. Such growth indexes as the number of new buds, the amount of new growth and the yield per unit area of 10-year-old tea were determined, and the chlorophyll fluorescence kinetic characteristics analyzed in the rapid growth from July to September. The results showed that (1) the number and length of new shoots of intercropping were significantly higher than those of single tea cropping, and the growth indexes of the tea trees sited at crown

收稿日期:2022-02-25;修回日期:2022-03-11

基金项目:江苏省重点研发计划(现代农业)项目“薄壳山核桃绿色高效复合栽培技术研究”(BE2019397)

作者简介:窦全琴(1965—),女,河南沈丘人,研究员。主要从事林木栽培研究。E-mail:douqq2008@163.com

*通信作者:朱树林(1967—),男,江苏句容人,工程师。主要从事林业推广、茶树栽培研究。

margin were better than those of single tea cropping. The fresh (dry) weight of 100 tea buds in intercropping was significantly higher than that in single tea cropping, and the fresh weight of new shoots per unit area at the margin of and outside the crown significantly higher than that under the crown and in single tea cropping. The dry weight of tea bud was the highest at the crown margin, followed by that outside the crown, lowest under the crown and single cropping. (2) The analysis of the OJIP curves of chlorophyll fluorescence kinetics showed that the fluorescence signal intensity of the tea tree at the crown margin was stronger from July to August under high temperature and strong light, the fluorescence point location of the tea tree in single cropping in August was significantly lower than that of the intercropping tea tree, and the coincidence degree of the fluorescence curve of the tea tree at each measured point in September was higher. The relative variable fluorescence difference curve (ΔV_i) at the crown margin and outside the crown fluctuated little. The J phase of fluorescence in tea trees under the crown decreased rapidly in July but increased sharply in September, indicating that electron transfer was blocked in the PS II reaction center of tea leaves at this time, and the energy allocation of electron transfer was reduced. (3) S_m , N , and ϕP_o of intercropped tea plantations were all higher than those of single tea cropping. In the period of high temperature and strong light from July to August, the increase of Mo of singly-cropped tea trees was inhibited by light. The energy absorption (ABS/CS_m), capture (TR_o/CS_m) and transfer (ET_o/CS_m) of interplanted tea trees were all higher than those of singly-cropped tea trees, and the quantum efficiency (ABS/RC) and heat dissipation (DI_o/CS_m) of reaction center were significantly increased, resulting in abnormal electron transfer and energy conversion of PS II. The photosynthetic capacity (PI_{abs}) of tea tree near the crown margin was higher. It was concluded that the light scattered under the crown margin was beneficial to the growth and photosynthetic assimilation of tea tree, followed by outside the crown, and poor under the crown and single cropping. Strong light had obvious photo-inhibition on tea tree, and excessive shading was not conducive to the photosynthesis and growth.

Key words: Plantation-tea intercropping; *Camellia sinensis* L; Grow; Chlorophyll fluorescence kinetics; *Carya illinoensis*

林茶间作有利于改善茶园生态环境,促进茶树光合作用,提高茶叶产量和品质等。近年来许多学者研究了林茶间作茶园光照等生态因子对茶叶产量和品质的影响,多数学者认为林茶间作散射、漫射光可提高茶树叶片光合作用,促进芽叶萌发和生长,调节茶树叶片的碳氮代谢,有利于茶叶氨基酸的合成与积累,减少茶多酚含量,可显著提高茶叶产量和品质^[1-4]。王婉通过测定林茶(南酸枣-茶树)复合系统和纯茶园条件下茶树光合特性的差异,得出在上层林分郁闭度 0.3 的林茶复合系统茶树的净光合速率、PS II 最大光化学效率等指标与纯茶园茶树没有显著差异,南酸枣-茶复合系统未显著影响茶树对光能的利用效率^[5]。江新风等研究表明,以遮光率为 70% 的黑色遮阳网遮阴处理改善了黄化茶树资源——黄金菊的生长状况,使得黄化新梢返绿,改变了处理茶树微环境及光合作用,促进茶树光合作用的进行,利于茶树有机物的积累,提高了茶树氨基酸含量和夏、秋茶品质^[6]。安吉白茶为浙江安吉科技人员育成独有特色的无性系绿茶品种,因其“叶白、脉绿、香郁、味醇”特点和营养保健价值高,成为我国主要茶产区广泛种植和发展的名优绿茶^[7-8]。方敏瑜等对白玉兰+安吉白茶等 4 种林-茶模式林中安吉白茶嫩芽的冻伤和

灼伤程度进行抽样调查,认为桂花宜作为安吉白茶林的间种树种,虽然可能影响安吉白茶新芽萌发和嫩枝生长,但能有效减少安吉白茶新芽遭受春寒和日灼伤害,有利于提高安吉白茶总产量和质量^[9]。薄壳山核桃(*Carya illinoensis*)为落叶大乔木,原产美国,是世界著名的经济树种和优质用材树种,我国引种有百余年历史,是长江以南等地适宜栽培的优良木本油料树种。薄壳山核桃早期生长慢,结实晚,初植密度小,林间空地栽植茶树等耐荫植物,对提高土地和光能等资源的利用率,实现以短养长,提高林业产业综合效益等具有重要意义。

由于叶绿素荧光动力学方法能够快速、灵敏、无损地探测到环境因素对植物光合作用的影响,因此被视为研究植物光合作用与环境关系的内在探针^[10-11]。有关林茶复合栽培对茶树的叶绿素荧光诱导动力学曲线的影响尚未见研究报道。因此,本文以薄壳山核桃与安吉白茶间作安吉白茶茶树新芽数、新梢生长量和单位面积产量等生长指标的测定,结合茶树速生期 7—9 月叶绿素荧光动力学参数测定指标,探讨研究林茶间作不同光照条件下安吉白茶生长特性与叶绿素荧光动力学特征,为薄壳山核桃和安吉白茶复合栽培的技术措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江苏省常州市溧阳市天目湖镇横涧村(119°51′05.97″E, 31°22′18.95″N)低山丘陵,坡度8°左右;属北亚热带季风气候,干湿冷暖,四季分明,雨量充沛,无霜期长,全年平均气温17.5℃,年平均降水量1149.7 mm。土壤为石英砂砾岩与岩浆岩风化残积形成的薄黄棕壤,pH 5.5左右,肥力中等。

1.2 供试材料

供试林茶间作林分营建于2016年,间作树种为薄壳山核桃‘波尼’‘马罕’3年生嫁接苗,株行距6 m×8 m。2020年试验测定时7年生薄壳山核桃平均树高5.1 m,平均胸径7.2 cm,枝下高1.7 m,冠幅3.4 m,林分郁闭度0.3;茶树为‘安吉白茶’栽培4 a 2年生扦插苗,株行距为0.33 m×1.5 m,每穴种植苗2—3株,平均高80 cm左右。

1.3 试验设计

试验测定采用薄壳山核桃与茶树间作坡面对角线5点取样法,每点分别设置薄壳山核桃冠下(树冠垂直投影圆半径的1/2,离树干0.50 m)、冠缘(树冠垂直投影圆半径附近,离树干1.60 m)、冠外(树冠垂直投影圆外侧1 m,离树干2.6 m)3种不同处理^[3],分别以T1、T2、T3表示,纯茶园(T0)为对照。

1.4 安吉白茶生长量指标测定

2020年9月28日,在薄壳山核桃树冠下、冠缘、冠外以及纯茶园测定点的东南西北4个方向茶树上放置0.1 m²的样框,测定春茶采摘修剪后生长的新梢数量、新梢生长量、新梢、新芽数、百芽质量等指标,取平均值,重复5次。

1.5 叶绿素快相荧光动力学参数的测定

分别于2020年7月26日、8月29日、9月28日起连续3个晴天,用连续激发式荧光测定仪Handy PEA(Hansatech,英国),选择茶树自顶芽向下第4片功能叶片进行充分的暗适应30 min后测定,测定时叶片需完整夹于叶夹内,探头的方向与角度也要保持一致,光照、温度、CO₂浓度等同自然环境。在饱和红闪光3000 μmol/(m²·s)照射2 s下以10 μs的间隔记录荧光信号,重复10次。PEA可以产生以时间为横坐标,原始荧光值(从最小荧光 F_0 至最大荧光 F_m)为纵坐标的叶绿素快相荧光(OJIP)曲线。为对比处理间差异,克服原始OJIP曲线变异性较大的缺点,对原始曲线用 $F_m - F_0$ 进行了标准化。标准化的荧光信号数据用相对可变荧光(V_i)表示, $V_i = (F_i - F_0)/(F_m - F_0)$,用 V_i 绘制的OJIP曲线O相的荧光强度均为0,P相的荧光强度均为1。解析从OJIP曲线中得到的主要荧光参数的生理意义,相关参数的推导、运算及生理意义参见文献[12—13](见表1)。

表1 快速叶绿素荧光诱导动力学曲线(OJIP)分析中提取的参数和定义

参数	定义	参数	定义
F_0	初始荧光	φP_0	PS II 的最大光化学效率
F_m	最大荧光	Ψ_0	PS II 捕获的能量从 Q_A 传递到 Q_B 的效率
F_v/F_m	PS II 的最大量子产额	M_0	原初光化学反应速率
F_v/F_0	PS II 的潜在活性	ABS/CS_m	单位面积吸收的能量
S_m	质体醌库	DI_0/CS_m	单位面积的热耗散
V_i	在 i 时的相对可变荧光强度	TR_0/CS_m	单位面积捕获的光能
V_j	在 j 时的相对可变荧光强度	ET_0/CS_m	单位面积电子传递的量子产额
N	从开始照光至 F_m 的时间段内 Q_A 被还原的次数	ABS/RC	单位反应中心的量子效率
φE_0	用于电子传递的量子产额	PI_{abs}	光合性能指数

1.6 数据分析

采用Excel2016和SPSS22.0进行数据处理分析并作图,显著性检验采Duncan法多重比较。

2 结果与分析

2.1 安吉白茶生长和产量指标

2.1.1 茶树生长指标 由表2可知,林茶间作薄壳

山核桃冠下不同测定点与纯茶园茶树新梢数量、长度、节间长及新芽数均达到显著性差异 ($P<0.05$)。与纯茶园相比,间作茶树的新梢长度和节间长均显著高于纯茶园,其中 T2 测点较 T0 分别增加了

58.041%,79.681%, T1,T3 间差异不显著;各处理间新梢数量、新芽数差异变化较为一致,均以 T2 处理显著高于其他处理,较 T0 分别增加 42.504%与 35.132%,但 T1 与 T0 间差异不显著。

表 2 不同测定点下安吉白茶的生长指标

测定点	0.1 m ² 新梢数量	新梢长度/cm	第 2 分枝节间长/cm	0.1m ² 新芽数/个
T1	14.333±0.333 c	65.600±0.436 b	5.967±0.067 b	24.333±0.333 c
T2	19.000±0.577 a	85.500±1.617 a	7.667±0.145 a	33.333±1.453 a
T3	16.667±0.667 b	66.500±0.907 b	5.833±0.067 b	29.667±1.202 b
T0	13.333±0.333 c	54.100±0.173 c	4.267±0.088 c	24.667±0.333 c

注:表中数据为平均值±标准误,同列数据后不同的字母表示不同品种间差异显著 ($P<0.05$)。

2.1.2 茶树产量指标 4 个不同测定点茶树百芽质量、单位面积产量等指标存在显著性差异。间作茶园 3 个测定点茶树的百芽鲜(干)质量显著高于纯茶园,各测定点以 T2 最高,T0 最低,由高至低为 T2>T3>T1>T0。单位面积茶树新芽鲜质量以 T2 与

T3 显著高于 T1 与 T0,T2 与 T3、T1 与 T0 间差异不显著;但单位面积茶树新芽干质量为 T2 与其他测定点存在显著差异,T2 最高,T3 次之,T1 与 T0 较低,T1 与 T0 间差异不显著;T1,T2,T3 较 T0 分别增加了 4.116%,42.312%,28.870%(见表 3)。

表 3 不同测定点下安吉白茶的产量

测定点	百芽鲜质量/g	百芽干质量/g	单产鲜质量/(kg/hm ²)	单产干质量/(kg/hm ²)
T1	20.338±0.371 c	5.693±0.039 c	477.320±36.733 b	135.553±5.679 c
T2	24.677±0.124 a	6.863±0.041 a	658.110±32.779 a	185.280±7.391 a
T3	21.694±0.133 b	6.147±0.067 b	601.090±2.823 a	167.780±1.536 b
T0	19.499±0.123 d	5.387±0.073 d	426.917±3.356 b	130.193±1.181 c

注:表中数据为平均值±标准误,同列数据后不同的字母表示不同品种间差异显著 ($P<0.05$)。

2.2 7—9 月各测定点茶树光系统Ⅱ(PSⅡ)荧光诱导特性

2.2.1 茶树叶绿素荧光诱导动力学曲线 植物快速叶绿素荧光诱导动力学曲线可以反映 PSII(供体侧)的原初光化学反应及(受体侧)光合机构电子传递状态等过程的变化。不同环境条件下,叶绿素荧光的变化可以反映环境因子对植物光合机构的 PSII 的影响以及光合体对环境的适应机制^[14]。图 1 为 7—9 月 4 个测定点茶树叶绿素荧光诱导动力学 OJIP 曲线,其中图 1-A 为原始数据绘制的 OJIP 曲线,在 7,8 月高温强光下,各测定点下曲线偏离程度较大,特别是 7 月 T2 的荧光信号强度在 J,I,P 相显著 ($P<0.05$) 高于其他处理;8 月纯茶园茶树 T0 的荧光点位显著低于间作茶树。针对叶片荧光测定 OJIP 曲线变异较大的问题,需要将荧光信号数据标准化处理,使所有曲线具有相同的起点、中点或终点,这样不同处理间差异可准确地比较,图 1B 为标准化处理后的 OJIP 曲线(V_i),O 相的荧光强度为 0,P 相的荧光强度为 1,7—9 月各测定点茶树的

OJIP 曲线主要区别在 J 相,7 月 T2,T0 的 J 相略高于 T3,T1;8 月茶树 T2 的 J 相明显高于其他测定点;9 月又以 T3 的 J 相高于其他处理。相对可变荧光的差异可以分析出叶片放氧复合物(OEC)和 PSII 复合物单元的变化^[14]。为了更清楚地观察不同测定点间茶树荧光动力学的差异,图 1C 是以 T0 作为对照绘制的相对可变荧光差异曲线(ΔV_i),7 月 T2 茶树的标准化荧光值在 J 相、I 相在 T0 之上,T1,T3 的 J 相在 T0 之下显著低于 T2;8 月 T2,T1 的 J 相、I 相均高于 T0,2 者荧光信号相差不大,T3 的 J 相在 T0 之下,J 相、I 相均偏离 T2,T1,9 月 T1 的 J 相急剧升高,与 T2,T3 偏离程度加大。T3 的 J 相、I 相在 T0 附近呈波动状态。相关研究表明,PSII 的供体侧受到伤害时,经过极短的时间(在 J 点之前),叶绿素荧光强度就会上升, Q_A 受体侧部分被抑制,导致放氧复合体受伤害^[15]。

2.2.2 茶树 PSII 荧光活性参数特征 图 2 以纯茶园和间作茶园不同测定点白茶的荧光参数绘制成的雷达图, S_m , N , M_o , φE_o , φP_o , ψ_o 等参数反映植物

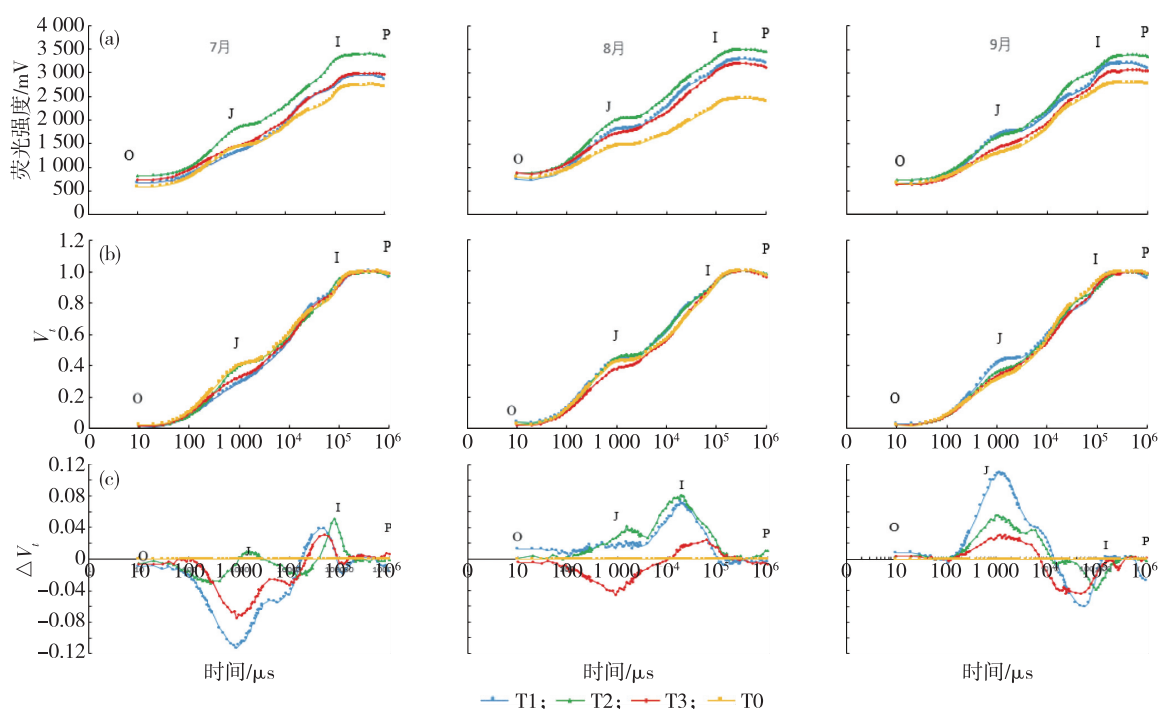


图1 7—9月4个测定点安吉白茶叶片快速叶绿素荧光诱导动力学曲线

PSII 受体侧的响应。 S_m , N 反映了 PSII 反应中心受体侧库的大小和 Q_A 被还原的次数, 电子进入电子传递链越多, S_m , N 值也越大; PSII 结构受到破坏时, 造成受体库容量 (S_m) 的减小和次数 (N) 减少; M_0 反映了初级醌受体 (Q_A) 被还原的最大速率, 即 O—J 过程中 Q_A 被还原的速率, 当反应中心活性下降时, Q_A 被还原速率加快, 即 M_0 增加^[16]。7—9 月间作茶园中茶树 S_m , N , ϕP_0 均高于纯茶园茶树, 其中以 T2 较高, 表明茶园散射光有利于 PS II 捕获的能量传递效率。7 月高温强光时期, 茶树不同测定点原初光化学活性 (M_0) 随着上层树冠遮荫度减少呈现增加趋势, T3 与 T0 的 M_0 显著 ($P < 0.05$) 大于 T1, T2, 此时 Q_A 被还原得越快, Q_B 向下传递电子的能力则受到抑制, 同时降低电子传递的量子产额 (ϕE_0) 和 PS II 捕获的能量从 Q_A 传递到 Q_B 的效率 (ψ_0)。有研究表明低温胁迫也导致 ϕE_0 , ψ_0 下降^[16]。8—9 月各测定点 M_0 相差不大。

通过快速叶绿素荧光诱导动力学曲线测定的活性参数, 即单位反应中心 (RC) 单位面积 (CS_m) 的各种量子效率, 如 ABS/CS_m , DI_0/CS_m , TR_0/CS_m , ET_0/CS_m , ABS/RC 等参数, 可以分析 PSII 反应中心的活性, 这些参数可以更确切地反映植物的光合器官对光能的吸收、转化和耗散等状况。7—9 月茶树

均以复合间种的 T2 测点 ABS/CS_m , TR_0/CS_m , ET_0/CS_m 为高, T1, T3 下各参数变化不显著, 但 T0 较低; 7, 8 月纯茶园 T0 的 ABS/RC 和 DI_0/CS_m 显著 ($P < 0.05$) 高于间作茶园的各测点, 9 月各处理间 ABS/RC 和 DI_0/CS_m 无显著差异。高温强光致使茶树单个反应中心失活, 从而加重了剩余有活性反应中心的负担, 减少单位面积有活性的反应中心数目 (RC/CS_m)。迫使有活性的反应中心效率提高, 从而更好地耗散电子传递中的能量^[17]。

2.2.3 茶树 PSII 光化学性能指标 光合性能指数 PI_{abs} 综合单位面积反应中心的数量 (RC/ABS), ϕP_0 和 ψ_0 3 个独立的参数因素, 表示以吸收光能为基础的性能指数, 可以更准确地反映植物光合机构的状态^[18-19]。图 4 显示, 7—9 月各测定点的 PI_{abs} 呈逐渐下降趋势, 各处理中 T2 的光合性能指数显著高于其他测定点, 其次为 T3, 7—8 月 T0 与 T1 差异不显著, 9 月 T1 显著低于 T0。由此可知, 高温强光和过度遮阴均可引起光合组织的光氧化损伤, 从而导致光合能力的下降, 影响了茶树光合作用和效率。

3 讨论

适度遮阴改善了茶园小气候、优化生长条件进而促进茶树生长, 春茶和夏茶进行遮阴处理后百芽

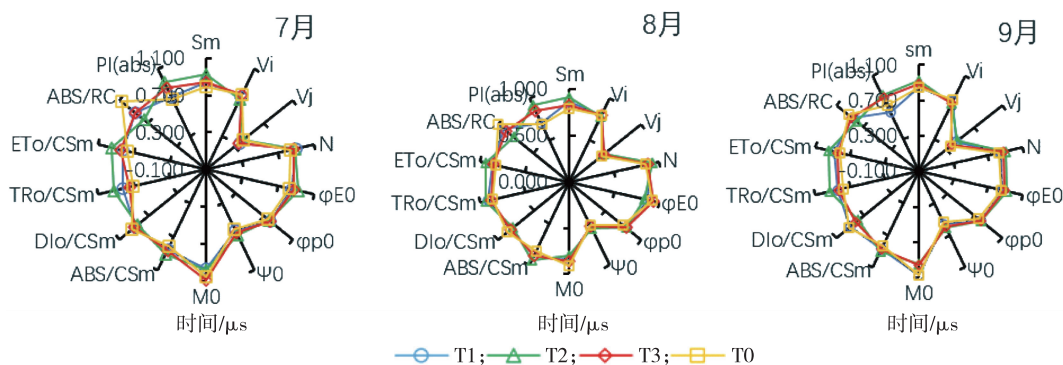


图 2 7—9 月 4 个测定点安吉白茶叶片荧光参数雷达图

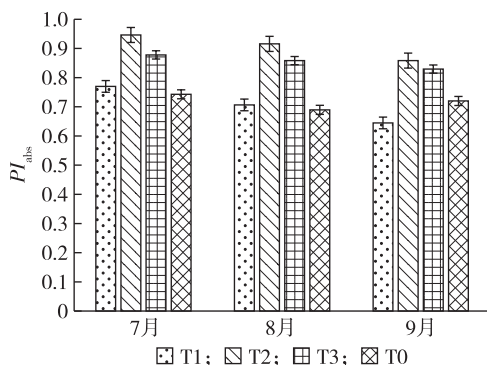


图 3 7—9 月 4 个测定点安吉白茶叶片光合性能参数

质量和芽密度都显著提高^[20]。但也有研究发现,长期遮阴和重度遮阴会引起茶叶减产,表现为新梢鲜质量、干质量及百芽质量降低,叶片变薄等^[21]。本项研究中,薄壳山核桃复合栽培茶树的新芽数、新梢长度等生长指标均显著高于纯茶园,其中冠缘茶树生长指标较优;间作茶园茶树的百芽鲜(干)质量显著高于纯茶园,单位面积茶树新芽鲜质量为冠缘、冠外显著高于冠下和纯茶园,茶树新芽干质量为冠缘处最高,其次为冠外,冠下与纯茶园较低。林茶间作散射、漫射光有利于茶树芽叶萌发和生长,但是过度遮荫则影响茶树的正常生长。因此遮荫时期及遮荫程度均可影响茶树的生长。

光合作用是植物生长发育的基础,植物体内的干物质 90% 来自于植物的光合作用^[22]。叶绿素荧光参数作为光合作用的内探针,通过对植物叶片 PS II 的荧光动力学测定,可以进一步探讨植物和光合细菌将光能转化为化学能过程的内在机制,分析植物光合机构对环境因子的响应^[23]。本试验通过 7—9 月茶树不同光照环境条件下荧光动力学 OJIP 曲线分析,7—8 月高温强光下薄壳山核桃冠缘茶树

的荧光信号强度较强,8 月纯茶园茶树的荧光点位显著低于间作茶树,9 月各测定点茶树荧光曲线重合度较高。光合机构捕获光能发生电子传递的同时,还有一部分能量以热和荧光的形式耗散掉^[10]。由相对可变荧光差异曲线(ΔV_i)看出,薄壳山核桃冠缘、冠外茶树荧光曲线波动较小,冠下茶树荧光的 J 相在 7 月快速下降但在 9 月却陡然升高,表明此时茶树叶片 PS II 反应中心电子传递受阻,分别由于荧光损耗和热耗散能量的配额增加,用于电子传递的能量配额减少所致。

茶树 PSII 荧光活性参数特征反映了茶树叶片对光能的吸收、转化和耗散等状况^[23]。间作茶园中茶树 S_m , N , ϕP_o 均高于纯茶园茶树,其中以冠缘处茶树较高,表明茶园散射光有利于 PS II 捕获光能与传递。高温强光时期,纯茶园的茶树受到了光抑制,表现在冠外和纯茶树的 M_o 升高,光电子传递能力受阻,降低电子传递的量子产额(ϕE_o)和 PS II 捕获的能量从 Q_A 传递到 Q_B 的效率(ψ_o),过量的光会抑制光合作用的进行。光抑制不仅是 PS II 伤害的一种表现形式,同时也是一种光保护过程^[24]。由光合结构单位反应中心(RC)单位面积(CS_m)的 ABS/CS_m , DI_o/CS_m , TR_o/CS_m , ET_o/CS_m , ABS/RC 等比活性参数可知,7—8 月复合间种茶树吸收(ABS/CS_m)、捕获(TR_o/CS_m)、传递(ET_o/CS_m)的能量均高于纯园茶树,林间散射光提高了茶树利用弱光的能力,能有效提升茶树的光合效率。与此同时,纯茶园茶树反应中心量子效率(ABS/RC)和热耗散(DI_o/CS_m)较间作显著升高,显示高温强光致使茶树单个反应中心效率增强,同时减少单位面积有活性的反应中心数目(RC/CS_m)。茶树 PS II 电子传递和能量转化异常,能量的传递受阻进而影响电子的传递,表明反应中心吸收和捕获的光能仅传递了部分电子,大部

分都以热量的形式耗散^[15]。 PI_{ABS} 能够准确反映电子在PSII和PSI之间的传递及光合系统的状态,间作下特别是在薄壳山核桃冠缘附近茶树的光合能力较高。

综上所述,林茶间作林下散射、漫射光有利于安吉白茶茶树芽叶萌发和生长。间作下茶树的叶绿素荧光动力学特性优于纯茶园,反映茶树PSII的光合性能的 PI_{abs} 指数显示冠缘下茶树的光合能力较好。高温强光下纯茶园茶树OJIP曲线、PSII受体侧、性能指标和比活性参数等均受到影响。林茶间作是一复杂的复合生态系统,本文测定研究的林茶间作模式薄壳山核桃尚处于幼龄期,林分郁闭度较低。随着上层树冠的生长,尚需要长期跟踪研究间作遮阴对于茶叶品质的提升作用和对于茶叶产量影响的不确定性,以明确上层林木密度配置、整形修剪等复合生态系统调控措施,达到复合栽培前期茶叶“增产提质”与后期薄壳山核桃“材果兼收”的目标,为薄壳山核桃与安吉白茶复合经营提质增效提供理论支撑。

参考文献:

- [1] 巩雪峰,余有本,肖斌,等.不同栽培模式对茶园生态环境及茶叶品质的影响[J].西北植物学报,2008,28(12):2485-2491.
- [2] 阮旭,张玥,杨忠星,等.果茶间作模式下茶树光合特征参数的日变化[J].南京农业大学学报,2011,34(5):53-57.
- [3] 唐荣南,汤兴陆.湿地松与茶树间作生态效应的研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),1987(2):35-44.
- [4] 杨清平,毛清黎.猕猴桃与茶间作对茶园生态环境及夏秋茶产量和品质的影响[J].湖北农业科学,2013,52(11):2566-2568.
- [5] 王婉,沈汉,舒骏,等.林茶复合条件下茶树光合特性与荧光参数的研究[J].湖南农业科学,2013(5):101-104.
- [6] 江新风,李琛,蔡翔,等.遮阴对“黄金菊”茶树生长与茶叶品质的影响[J].茶叶通讯,2019,46(4):424-428.
- [7] 谢文钢,邵济波,韩楠,等.安吉白茶的研究进展及发展前景[J].蚕桑茶叶通讯,2011(5):22-25.
- [8] 邓静,王远兴,丁建.白茶与安吉白茶的研究进展[J].食品工业科技,2013,34(4):368-371,377.
- [9] 方敏瑜,傅懋毅,谢锦忠,等.林-茶间种模式对安吉白茶生长的防护功能分析[J].林业科学研究,1999,12(4):433-437.
- [10] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1991, 42: 313-349.
- [11] 张守仁.叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J].植物学通报,1999,16(4):444-448.
- [12] SRIVASTAVA A, GUISSSE B, GREPPIN H, et al. Regulation of antenna structure and electron transport in Photosystem II of *Pisum sativum* under elevated temperature probed by the fast polyphasic chlorophyll a fluorescence transient: OKJIP[J]. Biochimic Biophysic Acta,1997,1320(1):95-106.
- [13] MAXWELL K, JOHNSON G N. Chlorophyll fluorescence a practical guide[J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51: 659-66.
- [14] 赵和丽,杨再强,王明田,等.高温高湿胁迫及恢复对番茄快速荧光诱导动力学的影响[J].生态学杂志,2019,38(8):2405-2413.
- [15] STRASSER R J, TSIMILL-MICHAEL M, SRIVASTAVA A. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient [M]. PAPA-GEORGIOU G, GOVINDJEE. Advances in Photosynthesis and Respiration. Netherlands: KAP Press,2004:1-42.
- [16] VAN HEERDEN P D R, TSIMILL-MICHAEL M, KRUGER G H J, et al. Dark chilling effects on soybean genotypes during vegetative development: parallel studies of CO₂ assimilation, chlorophyll a fluorescence kinetics O-J-I-P and nitrogen fixation [J]. Physiologia Plantarum,2003,117(4):476-491.
- [17] 李鹏民,高辉远,STRASSER R J. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[J].植物生理与分子生物学报,2005,31(6):559-566.
- [18] CRAFTS-BRANDNER S J, SALVUCCI M E. Sensitivity of photosynthesis in a C₄ plant, maize, to heat stress [J]. Plant Physiology, 2002,129:1773-1780.
- [19] WEN X, QIU N, LU Q, et al. Enhanced thermo-tolerance of Photosystem II in salt-adapted plants of the halophyte *Artemisia anethifolia* [J]. Planta, 2005,220:486-947.
- [20] 秦志敏,TANUI J,冯卫英,等.遮光对丘陵茶园茶叶产量指标和内含生化成分的影响[J].南京农业大学学报,2011,34(5):47-52.
- [21] SANO T, HORIE H, MATSUNAGA A, et al. Effect of shading intensity on morphological and color traits and on chemical components of new tea (*Camellia sinensis* L.) shoots under direct covering cultivation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 98: 5666-5676.
- [22] 孙君,朱留刚,林志坤,等.茶树光合作用研究进展[J].福建农业学报,2015,30(12):1231-1237.
- [23] STRASSER R J. Donor side capacity of Photosystem II probed by chlorophyll a fluorescence transients[J]. Photosynthesis Research, 1997,52:147-155.
- [24] 付晓青,陈佩,秦志敏,等.遮荫处理对丘陵茶园生态环境及茶树气体交换的影响[J].中国农学通报,2011,27(8):40-46.