

施肥结构对茶树 (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) 光合作用及其生态生理因子日变化的影响

彭晚霞^{1,2}, 王克林^{1,*}, 宋同清¹, 曾馥平¹, 王久荣¹, 肖孔操¹

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; 2. 湖南农业大学生物科学技术学院生态研究所, 长沙 410128)

摘要:以福云早毫品种为材料, 在新开茶园连续 5a 进行了 7 种施肥结构的大田对比试验, 研究了茶树净光合速率 (P_n)、生态生理因子的日变化及施肥结构对它们的影响, 结果表明: 茶树晴天 P_n 的日变化呈典型的双峰曲线, 有明显的“午休”现象, 且受生态生理因子的影响, 光合有效辐射、气温和空气 CO_2 浓度是茶园生态系统的主导因子, 蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度是生理主导因子, 进一步进行回归和通径分析发现, 生态因子特别是光温因子对 P_n 的影响最大。施肥结构对茶树的光合有效辐射、叶面温度、空气温度和湿度等相对稳定的气候因子影响不大, 但与纯施化肥、间作白三叶草 + 不施肥和完全不施肥相比, 100%、75%、50% 和 25% 施用有机肥 4 种处理明显增加了蒸腾速率和气孔导度, 显著提高了日净光合速率, 吸收和消耗了更多的 CO_2 。以 P_n 和其他 8 个主要生态生理因子为指标进行聚类分析, 7 种施肥结构茶树光合作用系统分为 100% 和 75% 施用有机肥、50% 和 25% 施用有机肥、纯施化肥和间作白三叶草 + 不施肥、完全不施肥 4 类, 其中 100% 和 75% 施用有机肥的效果最好。

关键词: 茶树; 施肥结构; 光合作用; 日变化

文章编号: 1000-0933(2008)01-0084-08 中图分类号: Q142, Q945, Q948 文献标识码: A

Effects of the fertilization applications on tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) photosynthesis and the diurnal variation of the eco-physiological factors

PENG Wan-Xia^{1,2}, WANG Ke-Lin^{1,*}, SONG Tong-Qing¹, ZENG Fu-Ping¹, WANG Jiu-Rong¹, XIAO Kong-Cao¹

1 Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

2 Institute of Ecology, College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0084 ~ 0091.

Abstract: Tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) is one type of important cash plants and widely cultivated in the hilly areas of subtropical region of south China. The diurnal variations of net photosynthetic rate (P_n) of tea and its eco-physiological factors were studied with Fuyunzaohao (a tea cultivar) as well as the effects of 7 different fertilization applications on them by using a set of field experiments in Dongxishan tea farm in Baili Chalang (113°19'E, 28°33'N at an elevation of 135m). The diurnal variation of P_n showed two peaks under fine weather conditions, which indicated that there was an obvious phenomenon of midday-depression while the eco-physiological factors exhibited some influence on it. Photosynthetic active radiation (PAR), air temperature (T_l) and concentration of CO_2 of air (C_a) were dominant factors in field ecosystem, while transpiration rate (Tr), stomatal conductance (G_s) and concentration of CO_2 in cells (C_i) were dominant

基金项目: 中国科学院西部行动计划资助项目 (KZCX2-XB2-08); 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 课题资助项目 (2006CB403208)

收稿日期: 2006-11-01; **修订日期:** 2007-10-16

作者简介: 彭晚霞 (1980 ~), 女, 湖南双峰人, 博士生, 主要从事生态学研究. E-mail: pengwanxia@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kelin@isa.ac.cn

Foundation item: This work was financially supported by the Western Plan of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-XB2-08); National Basic Research Program of China (973) (No. 2006CB403208)

Received date: 2006-11-01; **Accepted date:** 2007-10-16

Biography: PENG Wan-Xia, Ph. D. candidate, mainly engaged in agricultural ecology. E-mail: pengwanxia@yahoo.com.cn

physiological factors. The regression and path coefficient indicated that ecological factors, especially light and temperature, had the greatest influence on P_n , however, the fertilization applications had little effects on those relatively stable climate factors such as PAR , TL , Ta and RH . Application organic fertilizer including 100%, 75%, 50% and 25% of full amount of organic material resulted in obvious increase of TrI , G_s and diurnal P_n , the tea plants absorbed and consumed more CO_2 in comparison with the application of chemical fertilizer, intercropping white clover without fertilization and no fertilization treatments. The clustering analysis of P_n and its 8 main eco-physiological factors suggested that the capability of photosynthesis among the treatments could be divided into 4 groups, e. g. application of 100% and 75% organic fertilizer were on the top class with strongest ability followed by 50% and 25% organic fertilizer treatments, chemical fertilizer and intercropping white clover without fertilization were the next group, and no fertilization was the lowest.

Key Words: tea; fertilization application; photosynthesis; diurnal variation

茶树(*Camellia sinensis* (L.) Kuntze)的生物产量与其他作物一样,90%~95%是叶片利用 CO_2 和 H_2O ,通过光合作用合成的碳水化合物而构成的^[1~3]。近年来,广大科研人员在茶树品种、年龄、叶位、光合碳同化途径、叶绿素含量、比叶重等方面研究了茶树光合作用的内部因素^[4~6];从光合适温、光饱和点、光质、有效辐射、水分、蒸汽压、遮荫、高层间作(桔茶、松茶、杉茶等)方面研究了茶树光合作用对生理生态因子的响应^[7~11],同时也研究了茶树叶片光合日变化和季节变化、茶树光合产物运输、分配和积累,茶树的光能利用率^[12~14],诸如此类的研究均局限于茶树生长的本身,在采取合理管理措施、改善作物生长的生理生态条件,提高田间作物光合利用率方面的研究很多^[15~19],但在茶树特别是茶树施肥方面的报道甚少。本文从茶树幼苗定植开始,连续进行了5a的大田对比试验,研究了7种不同施肥结构对茶树生理生态因子及其光合作用日变化的影响,旨在为提高茶树光合利用效率、大幅度挖掘茶树增产潜力、提升茶叶品质及茶树光合生态生理基础研究提供科学的理论依据。

1 研究地区概况与研究方法

1.1 自然概况

试验地点位于湖南省长沙县百里茶廊的湘丰茶厂东西山设施茶园(113°19'E, 28°33'N, 海拔135m),属于中亚热带南缘季风气候,年平均气温16.5~20.5℃,1月份平均气温11.9℃,极端最低气温-5.2℃,7月份平均气温27.9℃,极端最高气温39.1℃,≥10℃年积温6539℃,年平均降雨量1389mm,降雨多集中在4~6月份,占全年降雨的47.6%。土壤为花岗岩母质发育而成的红壤。

1.2 试验设计

试验茶树品种为福云早毫,2000年2月份种植,种植行为南北向,行间距为160cm。同期选择茶园开垦、茶树定植及生态条件完全一致的集中连片的茶园,在其它管理水平相同的前提下,设计布置7种不同施肥结构的大型小区田间对比、长期定位观测试验,小区面积为1200m²,顺序排列,7个处理分别为 T_1 :100%有机肥, T_2 :75%有机肥+25%化肥, T_3 :50%有机肥+50%化肥, T_4 :25%有机肥+75%化肥, T_5 :100%化肥, T_6 :茶园间种白三叶草+不施肥, T_7 :不施肥。其中有机肥为当地晚稻稻草和菜枯,稻草每年2月份覆盖一次,覆盖量为1000kg/666.7m²,稻草的元素含量测定为: N 8.26 g/kg, P_2O_5 2.73 g/kg, K_2O 20.58 g/kg; 菜枯为: N 52.7 g/kg, P_2O_5 6.9 g/kg, K_2O 6.1 g/kg; 化肥分别为尿素、过磷酸钙和氯化钾。 T_1 ~ T_5 5个处理纯N量相同, N、 P_2O_5 、 K_2O 的比例为3:1:2, 每年施肥量在茶树幼龄期(≤5a)根据茶树的生长状况逐年增加,基肥、早春肥、晚春肥和秋肥的施用比例为4:3:2:1。

1.3 光合特性测定

2005年春、秋(4月份和9月份)两季选择晴天进行,时间为8:00~18:00,间隔期1次/h,重复3次,每次测定时在7个不同处理小区按蛇行法各选择5株代表性强的茶树,统一取树冠外围新梢鱼叶以上第二片成熟

真叶,采用美国 CID 公司生产的 CID-310 光合测定系统(简称 CID-310PS)测定,每个数据测记 3 次,叶室面积为 6.25cm^2 ,其直接输出的数据有:叶面积,气温 $T_a(^{\circ}\text{C})$,叶温 $T_l(^{\circ}\text{C})$,光合有效辐射 $PAR(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$,空气相对湿度 $RH(\%)$,空气 CO_2 浓度 $Ca(\mu\text{l}\cdot\text{L}^{-1})$,胞间 CO_2 浓度 $Ci(\mu\text{l}\cdot\text{L}^{-1})$,净光合速率 $Pn(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$,蒸腾速率 $Trl(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$,气孔导度 G_s 。

1.4 数据处理

所有数据使用 Excel-2003 进行数据处理、绘图,并运用 DPS 软件进行统计、方差、主成分、回归、通径、聚类等一系列分析。

2 结果与分析

2.1 影响茶树叶片净光合速率日变化的生理生态因子分析

2.1.1 主成分分析

以 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 和 x_5 分别代表 PAR 、 T_a 、 T_l 、 Ca 和 RH 等茶树光合作用的生态因子,进行主成分分析,得 3 个主分量,累积贡献率为 95.58%;以 x_1 、 x_2 、 x_3 和 x_4 分别代表茶树光合作用的生理因子 T_l 、 G_s 、 Trl 和 Ci ,进行主成分分析,得 2 个主分量,累积贡献率为 95.54%。分析结果见表 1,从中可看出,茶树光合系统生态因子日变化第 1 主成分的特征向量以 PAR 最大,其次为 T_a 和 Ca ,表明 PAR 、 T_a 和 Ca 是主导因子, Ca 是限制因子,称第 1 主成分为光照、温度和 CO_2 因子,它们在影响茶树光合作用日变化的生态因子中处于主导地位,第 2 主成分 RH 特征向量最大,第 3 主成分 T_l 的特征向量最大,表明空气湿度和叶面温度在影响茶树光合作用日变化的生态因子中处于次要地位;茶树生理因子中第 1 主成分 Trl 的特征向量最大,其次为 G_s 和 Ci ,表明蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度是茶树生理因子的主导因子(胞间 CO_2 浓度是限制因子),称它们为第 1 主成分,第 2 主成分 T_l 的特征向量最大,即在影响茶树光合作用日变化的生理因子中,蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度起主导作用,叶面温度处于次要地位。

表 1 茶树光合作用日变化的生态和生理因子主成分分析

Table 1 Analysis with the principal components of eco-physiological factors in diurnal variation of tea photosynthesis

项目 Item	生态因子 Ecological factors				生理因子 Physiological factors		
	第 1 主成分 1st principal component	第 2 主成分 2nd principal component	第 3 主成分 3rd principal component	分量来源 Resources	第 1 主成分 1st principal component	第 2 主成分 2nd principal component	分量来源 Resources
特征值 Eigenvalue(λ)	3.1176	1.1246	0.5367		2.9229	0.8587	
积累 Cumulant(λ)	62.35	84.84	95.58		73.07	94.54	
特征向量 Eigenvector	0.5278	0.2836	0.0842	PAR	0.2975	0.9283	T_l
	0.5217	0.0979	-0.3507	T_a	0.5435	-0.3513	G_s
	0.3933	-0.3847	0.8061	T_l	0.5699	-0.0410	Trl
	-0.5196	-0.1634	0.2182	Ca	-0.5398	0.1147	Ci
	-0.1567	0.8575	0.4154	RH			

2.1.2 相关性分析

以 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 、 x_7 和 x_8 分别代表 PAR 、 RH 、 Ca 、 Trl 、 G_s 、 Ci 、 T_a 和 T_l 等 8 个光合生态生理因子,以 y 代表 Pn 进行多元线性回归,结果表明, T_l 、 Trl 、 T_a 、 PAR 与 Pn 直接线性关系密切(表 2),其相关系数分别为 0.7546、0.7528、0.7146 和 0.7467,与主成分分析的结果基本一致(T_l 既是生态因子,又是生理因子,在主成分分析中代表了两个方面,其地位受到了影响),它们相互之间的线性关系也很紧密,相关系数高,其中 PAR 、 T_a 和 T_l 均属光温因子, Trl 是 PAR 、 T_a 和 T_l 三者共同作用的结果,表明光温因子对茶树的日净光合速率影响最大。进一步进行通径分析,结果表明(见表 3),对茶树日净光合速率直接作用最大的为 RH 、 T_l 和 T_a ,均属生态因子,其中有两个温度因子,且 RH 是通过 T_l (0.6157)和 T_a (0.4060)的间接作用而直接作用于 Pn , T_a 、 T_l 相互之间的间接作用也最大,且与 PAR 的相关系数高达 0.7954 和 0.9194(见表 2),关系密切。可见,在影响

茶树净光合速率日变化的诸多因子中,生态因子特别是光温因子的作用最大。由表 2 还可看出,*PAR* 和 *Tl*、*Ta* 和 *Trl* 关系非常密切外,对其它因子的影响较小,*Ta* 只受 *PAR* 的影响,*Tl* 既受 *PAR* 的影响,又受 *Ta* 的影响,*Trl* 除 *CO₂* 浓度因子外,与其它 6 个因子的关系均密切,*RH* 与所有的因子均呈负相关,其中与 *Ta*、*Tl*、*Trl* 最密切,*Gs* 只与 *Trl*、*Ca* 只与 *Ci* 之间的关系密切,它们与其他因子之间的关系不大。

表 2 茶树日净光合速率与各生理生态因子相关系数
Table 2 Correlative coefficients of diurnal *Pn* and its eco-physiological factors of tea

	<i>x</i> ₁	<i>x</i> ₂	<i>x</i> ₃	<i>x</i> ₄	<i>x</i> ₅	<i>x</i> ₆	<i>x</i> ₇	<i>x</i> ₈	<i>y</i>
<i>x</i> ₁	1.0000	0.0000	0.0348	0.0000	0.0002	0.0053	0.0000	0.0000	0.0000
<i>x</i> ₂	-0.6405	1.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000
<i>x</i> ₃	0.2827	-0.4519	1.0000	0.0138	0.0275	0.0000	0.0048	0.0353	0.0036
<i>x</i> ₄	0.7927	-0.8431	0.3274	1.0000	0.0000	0.0019	0.0000	0.0000	0.0000
<i>x</i> ₅	0.4747	-0.6470	0.2947	0.8281	1.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000
<i>x</i> ₆	0.3674	-0.4471	0.7852	0.4055	0.4575	1.0000	0.0011	0.0052	0.0002
<i>x</i> ₇	0.7954	-0.9401	0.3719	0.9169	0.6843	0.4257	1.0000	0.0000	0.0000
<i>x</i> ₈	0.9194	-0.8187	0.2820	0.8864	0.5666	0.3683	0.9414	1.0000	0.0000
<i>y</i>	0.7467	-0.5596	0.3826	0.7528	0.6577	0.4861	0.7146	0.7546	1.0000

左下角为相关系数,右上角为显著水平 The foot left corner represented correlative coefficients and the top right corner represented significant levels

表 3 茶树日净光合速率生理生态因子通径系数分析
Table 3 Path coefficient analysis of eco-physiological factors of tea diurnal *Pn*

作用因子 Factors	直接作用 Direct action	通过 <i>x</i> ₁ Through <i>x</i> ₁	通过 <i>x</i> ₂ Through <i>x</i> ₂	通过 <i>x</i> ₃ Through <i>x</i> ₃	通过 <i>x</i> ₄ Through <i>x</i> ₄	通过 <i>x</i> ₅ Through <i>x</i> ₅	通过 <i>x</i> ₆ Through <i>x</i> ₆	通过 <i>x</i> ₇ Through <i>x</i> ₇	通过 <i>x</i> ₈ Through <i>x</i> ₈
<i>x</i> ₁	0.0855		-0.5000	0.0733	-0.1659	0.2337	-0.0015	0.4060	0.6157
<i>x</i> ₂	0.7806	-0.0547		-0.1172	0.1765	-0.3185	0.0019	-0.4798	-0.5482
<i>x</i> ₃	0.2593	0.0242	-0.3528		-0.0685	0.1451	-0.0033	0.1898	0.1888
<i>x</i> ₄	-0.2093	0.0678	-0.6581	0.0849		0.4077	-0.0017	0.4680	0.5936
<i>x</i> ₅	0.4923	0.0406	-0.5050	0.0764	-0.1733		-0.0019	0.3493	0.3794
<i>x</i> ₆	-0.0042	0.0314	-0.3490	0.2036	-0.0849	0.2252		0.2173	0.2466
<i>x</i> ₇	0.5104	0.0680	-0.7338	0.0964	-0.1919	0.3369	-0.0018		0.6304
<i>x</i> ₈	0.6696	0.0786	-0.6391	0.0731	-0.1855	0.2789	-0.0015	0.4805	

2.2 施肥结构对茶树净光合速率日变化的影响

由图 1 可知,秋季晴天(9 月份),7 种不同施肥结构茶树日净光合速率的曲线相似,呈高一低一次高的双峰状况,基本趋势为:8:00 ~ 11:00 净光合速率上升,11:00 达全天最高,然后下降,12:00 出现第一个低谷,具有明显的“午休”现象,然后又逐步上升,13:00 出现第二个高峰,之后又逐步下降,18:00 出现 0 或负值现象。7 种不同施肥结构净光合速率日变化的总体表现趋势为 *T*₂ > *T*₁ > *T*₄ > *T*₃ > *T*₅ > *T*₆ > *T*₇,由 Duncan's 多重比较分析可知(表 4),与纯施化肥和两种不施肥结构(*T*₅、*T*₆和 *T*₇)相比,75%和 100%施用有机肥茶树的日净光合速率极显著增加,25%施用有机肥显著增加,50%施用有机肥与纯施化肥的差异不显著,但显著高于两种不施肥结构,纯施化肥和间作白三叶草 + 不施肥的差异不显著,但显著高于不施肥茶树,所有施肥处理(*T*₁ ~ *T*₅)的日净光合速率都极显著高于不施肥茶树。

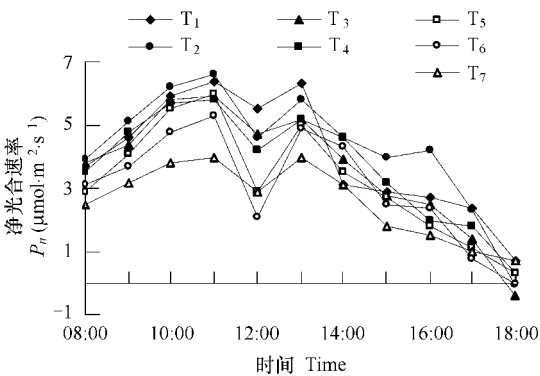


图 1 不同施肥结构茶树净光合速率日变化

Fig. 1 Diurnal variation of tea *Pn* under different treatments
*T*₁: 100% 有机肥; *T*₂: 75% 有机肥; *T*₃: 50% 有机肥; *T*₄: 25% 有机肥; *T*₅: 纯化肥; *T*₆: 三叶草 + 不施肥; *T*₇: 不施肥。下同 *T*₁: Application of 100% organic fertilizer; *T*₂: Application of 75% organic fertilizer; *T*₃: Application of 50% organic fertilizer; *T*₄: Application of 25% organic fertilizer; *T*₅: Application of pure chemical fertilizer; *T*₆: Application of no fertilizer and intercropping white clover between tea bushes rows; *T*₇: Application no fertilizer; the same below

可见,施肥对茶树日净光合速率具有明显的影响,有机肥配施的效果比纯施化肥好,其中以 75% 和 100% 施用有机肥的效果最佳。春季(4 月份)施肥结构对茶树日净光合速率的影响与秋季基本一致,但日变化总量略高于秋季。

2.3 施肥结构对茶树光合作用生理生态因子日变化的影响

茶树光合作用春、秋两季生理生态因子的日变化基本一致,秋季的 PAR 、 T_a 、 T_l 、 Ca 、 Ci 均略大于春季, RH 、 Trl 、 G_s 略小于春季(秋季茶树的干旱问题严重导致^[20]),本文以秋季的光合特性测定为主。光合有效辐射、叶面温度、空气温度和湿度等气候因子相对稳定,受施肥结构的影响很小(表 4),因此用处于平均水平的 50% 施用有机肥作代表即可分析其日变化状况,由图 2 可知,光合有效辐射与空气温度、叶面温度密切相关,三者的日变化曲线基本一致,从 8:00 起逐渐上升,12:00 达到最大后逐渐下降,呈不规则的抛物线。茶园空气湿度的日变化规律与 PAR 相反,呈典型的“V”字型曲线(图 2),8:00 最高,随着 PAR 和 T_a 的升高急剧下降,12:00 最小,之后随着 PAR 和 T_a 的下降而逐步升高。由图 3 可知,茶树蒸腾速率和气孔导度的日变化曲线与净光合速率基本一致,7 种施肥结构的蒸腾速率呈 $T_2 > T_4 > T_1 > T_6 > T_3 > T_5 > T_7$ 的变化趋势, $T_1 \sim T_6$ 的日蒸腾速率均显著高于不施肥茶树(表 4), T_1 、 $T_3 \sim T_6$ 之间的差异不显著,但 T_2 显著高于纯施化肥和两种不施肥茶树,极显著高于两种不施肥茶树;7 种施肥结构的气孔导度呈 $T_4 > T_2 > T_1 > T_3 > T_6 > T_5 > T_7$ 的总体趋势,其中 4 种有机肥配施结构均显著高于纯施化肥和不施肥茶树, T_4 、 T_2 、 T_1 达到了极显著水平,同时也显著高于间作白三叶草 + 不施肥茶树。茶树在进行光合作用时吸收 CO_2 , 光合作用越大, CO_2 消耗得越多,其浓度越低,因此茶树 CO_2 浓度的日变化曲线基本与 P_n 相反(图 4), 10:00 净光合速率大, CO_2 浓度最低, 12:00 净光合速率小,呼吸强度大, CO_2 浓度最高, 15:00 后,光合速率和呼吸强度均减小,两者呈平衡状态, CO_2 浓度曲线趋于平缓,空气 CO_2 浓度(Ca)略大于胞间 CO_2 浓度,二者日变化曲线基本一致。由于不施肥茶树的光合作用小,两种 CO_2 浓度均最高,均极显著高于其他 6 种施肥结构。100% 和 75% 施用有机肥的 CO_2 浓度(Ca 和 Ci)显著低于其他施肥结构,极显著低于纯施化肥和 2 种不施肥结构, $T_3 \sim T_6$ 之间差异不显著(见表 4)

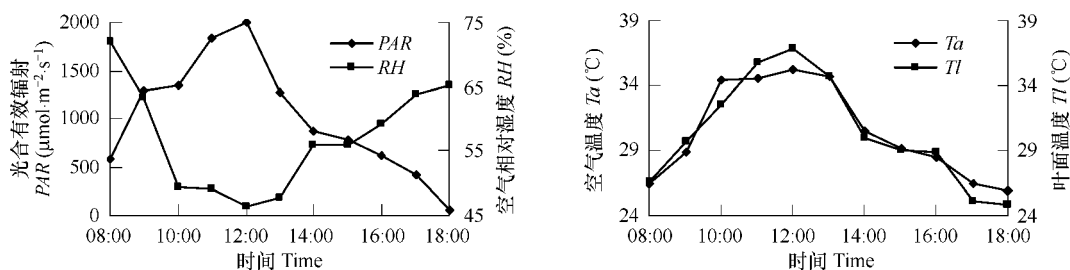


图 2 施用 50% 有机肥光合有效辐射、空气湿度、空气温度和叶面温度日变化

Fig. 2 Diurnal variation of PAR , RH , T_a and T_l in the treatment of application of 50% organic fertilizer

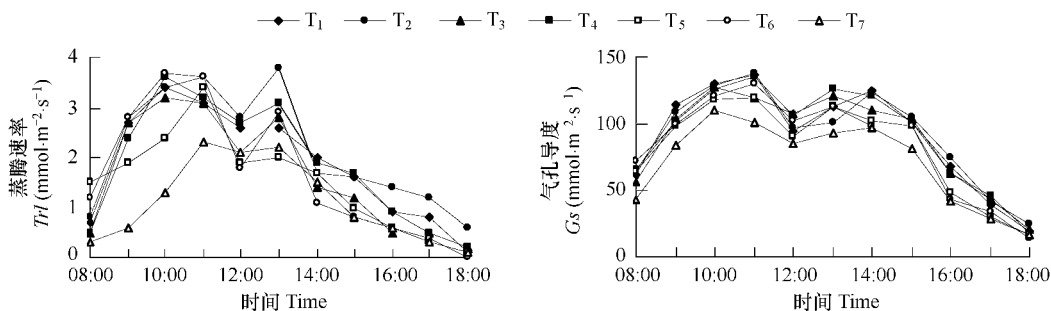


图 3 不同施肥处理茶树蒸腾速率和气孔导度日变化

Fig. 3 Diurnal variation of tea Trl and G_s under different treatments

表 4 不同施肥结构茶树日净光合速率及生理生态因子 Duncan's 多重比较分析

Table 4 Duncan's range test of diurnal P_n and its eco-physiological factors of tea under different treatments

	P_n	PAR	T_a	T_l	Trl	G_s	RH	Ca	C_i
T_1	4.02ABab	1005.7 Aa	30.4Aa	30.9Aa	1.86ABab	91.3Aa	57.9Aa	324.3Dc	321.7Dd
T_2	4.29Aa	1002.4Aa	30.6Aa	30.6Aa	2.15Aa	91.8Aa	57.2Aa	327.1CDc	325.1CDc
T_3	3.64BCDbc	1008.8 Aa	30.4Aa	30.3Aa	1.65Bb	88.9ABab	57.1Aa	330.5BCb	328.7BCb
T_4	3.74ABCb	1027.7 Aa	30.1Aa	30.3Aa	1.88ABab	92.1Aa	57.2Aa	331.3BCb	328.9BCb
T_5	3.25CDcd	981.5 Aa	30.0Aa	30.5Aa	1.53BCb	81.9Bc	57.2Aa	332.4Bb	330.5Bb
T_6	3.08DEd	1006.6 Aa	30.2Aa	30.4Aa	1.72ABb	84.4ABbc	56.5Aa	330.3BCb	330.1Bb
T_7	2.59Ee	981.3 Aa	29.9Aa	30.4Aa	1.10Cc	71.3Cd	58.2Aa	336.6Aa	335.2Aa

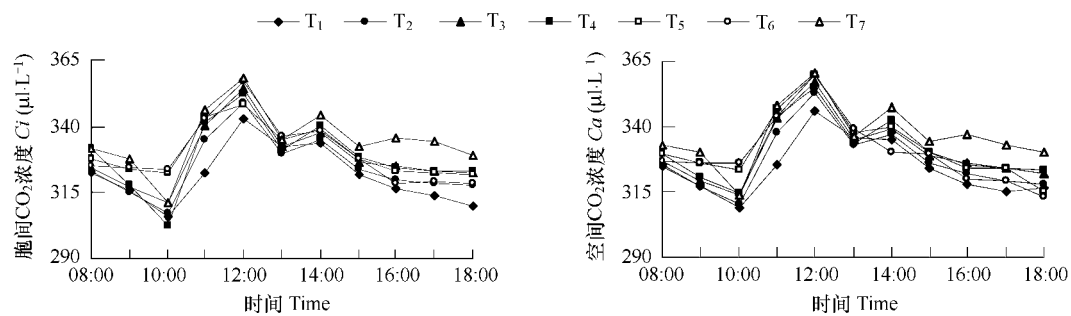


图 4 不同施肥处理茶树胞间和空气 CO_2 浓度日变化

Fig. 4 Diurnal variation of tea C_i and C_a under different treatments

2.4 7 种施肥结构茶树光合系统聚类分析

以 P_n 和 PAR 、 RH 、 Ca 、 Trl 、 G_s 、 C_i 、 T_a 、 T_l 等 8 个生理生态因子为指标进行规格化数据处理,采用离差平方和法进行聚类得图 5 所示的树状图,从中可看出 7 种不同施肥结构茶树的光合作用可分为 4 类:第一类为 100% 和 75% 施用有机肥;第二类为 50% 和 25% 施用有机肥;第三类为纯施化肥和间作白三叶草 + 不施肥;第四类为不施肥茶树。

3 结论与讨论

3.1 光合有效辐射、空气温度和空气 CO_2 浓度是茶园生态系统的主导因子,蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度是生理系统的主导因子,叶温既是生理因子也是生态因子,回归分析表明,光合有效辐射、空气温度、叶温和蒸腾速率与茶树日净光合速率的关系最密切,相关系数达到 0.7146 ~ 0.7546,进一步进行通径分析发现, T_a 、 T_l 和 RH 在茶树光合作用日变化的诸多生态生理因子中处于主要地位,尽管茶树是耐荫植物,但发展茶叶生产,开垦新茶园,应优先考虑光合有效辐射和温度 2 项重要的因子,选择通风向阳的立地环境,保证光合有效辐射和环境温度,从而提高其净光合速率,这与林金科等人的研究一致^[8]。空气 CO_2 浓度和胞间 CO_2 浓度是限制茶树光合的 2 项重要的生态生理因子,其中胞间 CO_2 浓度取决于空气 CO_2 浓度,提升空气 CO_2 浓度对茶树光合能产生积极的作用,茶园覆盖稻草、间作豆科植物和增施有机肥有助于提高产量和品质,是因为它既能有效地改善了土壤结构、增加土壤养分^[21,22],又能提高茶园的 CO_2 浓度^[7]。

3.2 茶树净光合速率日变化为高一低一次高的双峰曲线,具有明显的“午休”现象。茶树光合作用的 8 个生

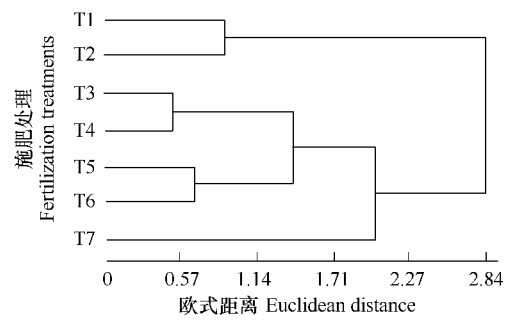


图 5 不同施肥结构茶树光合系统聚类分析图

Fig. 5 Clustering analysis of tea photosynthesis under different treatments

理生态因子中相关系数高、关系密切的因子日变化趋势相同,其中光合有效辐射、空气温度和叶面温度的日变化曲线呈不规则的抛物线,12:00 达到最大,空气相对湿度正好相反,呈不规则的“V”型曲线,且与其它因子均呈负相关,蒸腾速率和气孔导度的日变化与净光合速率相似,空气和胞间 CO_2 浓度的日变化正好相反,不过在 15:00 以后,光合作用和呼吸强度处于相对平衡状况, CO_2 浓度日变化曲线趋于平缓。

3.3 7 种施肥结构及茶树净光合速率日变化的趋势基本一致,总量却不同,其大小排列顺序为 $T_2 > T_1 > T_4 > T_3 > T_5 > T_6 > T_7$,4 种有机肥配施茶树的日净光合速率明显大于纯施化肥和 2 种不施肥结构,其中 100% 和 75% 施用有机肥达到了显著水平。与纯施化肥和 2 种不施肥结构相比,4 种有机肥配施对光合有效辐射、叶面温度、空气温度和湿度等气候因子影响较小、差异不显著,显著或极显著提高了蒸腾速率和气孔导度。理论上增施有机肥能提高 CO_2 浓度^[7],可能是由于 4 种有机肥配施茶树的光合作用增加,消耗的 CO_2 增量大于增施有机肥释放的 CO_2 增量,其空气和胞间 CO_2 浓度均小于纯施化肥和 2 种不施肥茶树,部分达到了显著水平,其机制有待于深入研究。进一步以日净光合速率和茶树光合作用的 8 个主要生态生理因子为指标进行聚类分析,可将 7 种施肥结构茶树的光合作用系统分为 4 类,总体趋势是 4 种有机肥配施茶树强于纯施化肥和间作白三叶草 + 不施肥,纯施化肥和间作白三叶草 + 不施肥强于完全不施肥茶树,其中 100% 和 75% 施用有机肥的效果最好,可以在茶树栽培管理中进行大面积推广。

References:

- [1] Kuang T Y, Lu C M, Li L M. Photosynthetic efficiency of crops and its regulations. Jinan: Shandong Scientific and Technological Press, 2004. 58—89.
- [2] Jiang G M, Han N B, Bai K Z, et al. Chain of correlation between variables of gas exchange and yield potential in different winter wheat cultivars. *Photosynthetica*, 2000, 38:227—232.
- [3] Richards R A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *J. Exp Bot*, 2000, 51:447—458.
- [4] Luo Y P, Pan G S. Photosynthetic characters of seven new tea plant varieties under different soil moisture levels, *J. Zhejiang For. Coll.*, 1996, 13 (2):130—135.
- [5] Tao H Z, Yan Z F. Studies on transpiration rate, stomatal conductance and water use efficiency of tea plant. *J. Anhui Agri. Coll.*, 1992, 19(1):33—38.
- [6] Chen X T, Ke S X. Analysis on causes of photosynthetic midday-depress in *Camellia sinensis* leaves. *J. Zhejiang For. Sci. Tech.*, 2002, 22 (3):80—83.
- [7] Lin J K, Lai M Z, Zhan Z J. Response of net photosynthetic rate to ecological factors in tea leaves. *Acta Ecol. Sini.*, 2000, 20(3):404—408.
- [8] Lin J K, Lai M Z. Preliminary analysis for the relationship between eco-physiological factors and net photosynthetic rate of tea leaves. *Acta Agro. Sini.*, 2000, 26(1):110—115.
- [9] Xiao R L, Wang J R, Tang Y, et al. Effects of covering with outer shading screens during hot-dry season in tea plantation. *Chin. J. Ecol.*, 2005, 24 (3):251—255.
- [10] Yang S Y, Zhang Q G, Li W, et al. Effect of CO_2 concentration increasing on the photosynthetic rate of *Camellia sinensis*. *Chin. J. Agromete.*, 2005, 26(2):90—94.
- [11] Guo S Y, Duan J Z. Light characteristics in tea-fruit or forest complex garden. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1996, 7(4):359—363.
- [12] Wei C L, Jiang C J, Tao H Z, et al. Photoinhibition and recovery of photosynthesis in leaves of *Camellia Sinensis*. *J. Anhui Agri. Univ.*, 2003, 30 (2):157—162.
- [13] Tao H Z, Wang Z H. Progress and tendency of the photosynthesis researches on tea plants in China. *J. Tea Sci.*, 1995, 15 (1):1—8.
- [14] Lin J K. Diurnal variations of net photosynthetic rate and its eco-physiological factors of tea in the field. *J. Fujian Agri. Univ.*, 1999, 28 (3):294—299.
- [15] Huang C L, Wu Z M, Yao Y K, et al. Photosynthetic characteristics of *Gynostemma pentaphyllum* under shade. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2004, 15 (11):2099—2103.
- [16] Zhang J G, Liu Y F, Sun J S, et al. Effect of solar radiation on fruit surface temperature in apples. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6):1306—1310.
- [17] Liu Y H, Jia Z K, Shi J A, et al. Daily dynamics of photosynthesis in alfalfa varieties under dry farming conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (5):1468—1477.

- [18] Sun G C, Zhao P, Peng S L, *et al.* Response of photosynthesis to water stress in four saplings from subtropical forests under elevated atmospheric CO₂ concentration. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(5): 738—746.
- [19] Su P X, YAN Q D. Photosynthetic characteristics of C₄ desert species *Haloxylon ammodendron* and *Calligonum mongolicum* under different moisture conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 75—82.
- [20] Song T Q, Peng W X, Yi W M, *et al.* Defensive effects of three representative biological measures on seasonal drought in tea plantation in subtropical red soil hilly region. *J. Soil. Water Cons.*, 2006, 20(4): 191—194, 198.
- [21] Peng W X, Song T Q, Xiao R L, *et al.* Effects of straw mulching and intercropping white clover in tea plantation on soil moisture in subtropical hilly region. *J. Soil. Water Cons.*, 2005, 19(6): 97—101, 125.
- [22] Peng W X, Song T Q, Xiao R L, *et al.* Effects of mulching and intercropping on temporal-spatial variation of soil temperature in tea plantation in subtropical hilly region. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(5): 778—782.

参考文献:

- [1] 匡廷云, 卢从明, 李良璧. 作物光能利用效率与调控. 济南: 山东科学技术出版社, 2004. 58~89.
- [4] 骆耀平, 潘根生. 7个茶树新品种不同供水水平的光合特性比较. *浙江林学院学报*, 1996, 13(2): 130~135.
- [5] 陶汉之, 严子范. 茶树叶片蒸腾速率、气孔导度和水分利用率的研究. *安徽农学院学报*, 1992, 19(1): 33~38.
- [6] 陈贤田, 柯世省. 茶树光合“午休”的原因分析. *浙江林业科技*, 2002, 22(5): 80~83.
- [7] 林金科, 赖明志, 詹梓金. 茶树叶片净光合速率对生态因子的响应. *生态学报*, 2000, 20(3): 404~408.
- [8] 林金科, 赖明志. 影响茶树叶片净光合速率的生态生理因子的初步分析. *作物学报*, 2000, 26(1): 110~115.
- [9] 肖润林, 王久荣, 汤宇, 等. 高温干旱季节遮阳网覆盖对茶园温湿度和茶树生理的影响. *生态学杂志*, 2005, 24(3): 251~255.
- [10] 杨书远, 张庆国, 李伟, 等. CO₂浓度升高对茶树光合速率影响的初步研究. *中国农业气象*, 2005, 26(2): 90~94.
- [11] 郭素英, 段建真. 茶果(林)复合园的光特征研究. *应用生态学报*, 1996, 7(4): 359~363.
- [12] 韦朝领, 江昌俊, 陶汉之, 等. 茶树叶片光合作用的光抑制及其恢复研究. *安徽农业大学学报*, 2003, 30(2): 157~162.
- [13] 陶汉之, 王镇恒. 我国茶树光合作用研究进展及发展趋势. *茶叶科学*, 1995, 15(1): 1~8.
- [14] 林金科. 田间茶树净光合速率及其生态生理因子的日变化. *福建农业大学学报*, 1999, 28(3): 294~299.
- [15] 黄成林, 吴泽民, 姚永康, 等. 遮荫条件下绞股蓝光合作用特点的研究. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2099~2103.
- [16] 张建光, 刘玉芳, 孙建设, 等. 光照强度对苹果果实表面温度变化的影响. *生态学报*, 2004, 24(6): 1306~1310.
- [17] 刘玉华, 贾志宽, 史纪安, 等. 旱作条件下不同苜蓿品种光合作用的日变化. *生态学报*, 2006, 26(5): 1468~1477.
- [18] 孙谷畴, 赵平, 彭少麟, 等. 在高 CO₂浓度下四种亚热带幼树光合作用对水分胁迫的响应. *生态学报*, 2001, 21(5): 738~746.
- [19] 苏培玺, 严巧娣. C₄荒漠植物梭梭和沙拐枣在不同水分条件下的光合作用特征. *生态学报*, 2006, 26(1): 75~82.
- [20] 宋同清, 彭晚霞, 易文明, 等. 3种典型生物措施对亚热带红壤丘陵茶园季节性干旱的防御效果. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 191~194, 198.
- [21] 彭晚霞, 宋同清, 肖润林, 等. 覆盖与间作对亚热带丘陵茶园土壤水分供应的调控效果. *水土保持学报* 2005, 19(6): 97~101, 125.
- [22] 彭晚霞, 宋同清, 肖润林, 等. 覆盖与间作对亚热带丘陵茶园地温时空变化的影响. *应用生态学报*, 2006, 17(5): 778~782.