

栽培模式对茶树叶片光合生理及茶叶品质的影响

赵康¹, 肖正东², 余诚棋³, 季琳琳², 傅松玲^{1*}

(1. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036; 2. 安徽省林业科学研究院, 合肥 230031;

3. 安徽省林业科技推广总站, 合肥 230001)

摘要: 研究了栽培模式对茶树叶片光合特性、光响应曲线及茶叶品质的影响。结果表明, 模式 I (茶园内板栗株行距 4 m × 4 m 的栽培模式, 遮光度为 50% ~ 60%) 的茶树叶片净光合速率变化呈现单峰型曲线, 而模式 III (纯茶园, 遮光度为 0) 和模式 II (茶园内板栗株行距 4 m × 8 m 的栽培模式, 遮光度为 30 ~ 40%) 茶树叶片净光合速率变化呈双峰曲线, 有明显的“午休”现象。不同模式内茶树叶片净光合速率的峰值和日均值随着遮光度的增大而降低。模式 II 和模式 I 内茶树叶片光补偿点比模式 III 全光照条件下分别降低了 11.95% 和 27.41%, 表明茶树叶片在弱光下可以降低其光补偿点来提高对弱光的利用, 用于其自身的正常生长。不同模式内茶芽长、百芽质量均表现为模式 I > 模式 II > 模式 III; 模式 I 和模式 II 内茶树叶片氨基酸含量显著高于模式 III, 分别提高了 58.14% 和 36.04%, 模式 I 与模式 II 咖啡碱含量分别比模式 III 高 31.18% 和 29.83%; 氨基酸、儿茶素及咖啡碱含量均为春季高于夏季。

关键词: 栽培模式; 遮光; 光合特性; 光响应曲线; 茶叶品质

中图分类号: S571.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2012)06-0934-06

Effects of plantation patterns on photosynthetic characteristics and quality of tea

ZHAO Kang¹, XIAO Zheng-dong², SHE Cheng-qi³, JI Lin-lin², FU Song-ling¹

(1. Anhui Agricultural University, Hefei 230036; 2. Forestry Research Institute of Anhui Province, Hefei 230031;

3. Extension General Station of Forestry Science and Technology, Hefei 230001)

Abstract: In this paper, we studied the photosynthetic characteristics and quality of tea tree under different plantation patterns. The net photosynthetic rate curve showed single peak under the pattern I (Chestnut cultivation density of 4 m × 4 m under intercropping tea, shading degree 50%-60%), and it showed double peaks in the pattern III (pure tea plantation, shading degree 0) and pattern II (Chestnut cultivation density of 4 m × 8 m under intercropping tea, shade degree 30%-40%), which is an obvious "midday depression" phenomenon. The net photosynthetic rate and peak value dropped with the shading rising under different patterns. The light compensation point of tea tree under pattern I and pattern II respectively reduced by 11.95% and 27.41% compared to pattern III. It showed that tea tree can reduce the light compensation point, light saturation point under the weak light so as to improve weak light utilization for its growth. Tea bud length, 100-bud weight, water content of tea all present pattern I > pattern II > pattern III. In spring, it was significantly higher under pattern I and pattern II than pattern III by 58.14% and 36.04%. The catechin content was lower under pattern I and pattern II than pattern III by 12.97% and 6.4% in spring, 31.57% and 36.84% in summer. The caffeine content was higher under pattern I and pattern II than pattern III by 31.18% and 29.83%. The contents of amino acid, catechin and caffeine were higher in spring than in summer.

Key words: cultivation modes; shading; photosynthesis; light response curve; quality of tea

收稿日期: 2012-06-11

基金项目: 安徽省科技攻关计划项目 (09010304023) 和安徽省林业重点科研项目 (皖 LZ200815) 共同资助。

作者简介: 赵康, 男, 硕士研究生。E-mail: 303078483@qq.com

* 通讯作者: 傅松玲, 女, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: fusongl001@163.com

茶树 (*Camellia sinensis* L.) 原产于中国云贵高原及其边缘地区云雾弥漫的原始森林中, 为 C_3 叶用经济植物, 具有对空气湿度要求高、喜漫射光的生态习性。但是, 在很多的产茶区, 为了栽培及采茶方便往往形成纯茶园, 由于光照强度过大, 空气湿度过低, 导致茶叶产量低、品质差^[1]。一些产茶区通过茶园种植遮光树和遮光栽培等措施, 对丘陵地区茶树生态环境、海拔高度与茶叶品质的关系进行了研究, 总结出适宜丘陵地区的“胶茶间种”、“茶林间种”、“茶果间种”等生态模式^[2-4]。作者对不同栽培模式内茶树叶片光合生理特性及茶叶品质进行了研究, 旨在找出茶园内合理的板栗种植密度和在不同季节适合茶树生长发育的栽培管理措施, 为栗茶持续、高效复合经营提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地是在金寨县油坊店乡朱堂村, 其位于北纬 $31^{\circ}01'$, 东经 $115^{\circ}53'$, 海拔 $400\sim 600$ m, 年平均气温 $11.6\sim 13.5^{\circ}\text{C}$, 极端最低气温 -22.5°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温 $4\ 095.2\sim 3\ 455.7^{\circ}\text{C}$, 年降雨量 $1\ 500$ mm, 无霜期 $161\sim 176$ d。土壤为山地黄棕壤, 母岩花岗岩, 坡度为 25° 左右, 土层厚度为 100 cm, 质地轻壤至轻沙壤, 容重为 $1.05\sim 1.5\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, pH 值约为 4.5 。

1.2 供试材料及试验设计

以 1996 年营造的板栗 (*Castanea mollissima* Blume) 与茶树复合模式、纯茶模式内的茶树为研究对象, 共设计 3 种栽培模式: 茶园内板栗株行距 $4\ \text{m}\times 4\ \text{m}$ 的栽培模式为模式 I, 其遮光度为 $50\sim 60\%$; 茶园内板栗株行距 $4\ \text{m}\times 8\ \text{m}$ 的栽培模式为模式 II, 其遮光度为 $30\sim 40\%$; 纯茶模式为模式 III, 其遮光度为 0 。每种模式设 3 个样地, 样地大小为 $20\ \text{m}\times 20\ \text{m}$ 。模式 I 内板栗树冠幅 $4.01\ \text{m}\times 4.29\ \text{m}$ 、地径 $14.08\ \text{cm}$ 、树高 $4.1\sim 5.7\ \text{m}$, 茶蓬高 $70\sim 95\ \text{cm}$ 、宽 $80\sim 128\ \text{cm}$; 模式 II 内板栗树冠幅 $3.43\ \text{m}\times 3.75\ \text{m}$ 、地径 $11.95\ \text{cm}$ 、树高 $4.1\sim 6.2\ \text{m}$, 茶蓬高 $60\sim 82\ \text{cm}$ 、宽 $75\sim 120\ \text{cm}$; 模式 III 内茶蓬高 $65\sim 100\ \text{cm}$ 、宽 $90\sim 125\ \text{cm}$ 。各模式内水肥管理基本一致。

1.3 测定方法

1.3.1 板栗与茶叶光合参数的测定 2011 年 7 月 28 日至 7 月 29 日, 自然条件下用 Li-6400 便携式光合分析仪 (Li-cor Inc, USA) 从 $7:00\sim 17:00$ 每隔 $2\ \text{h}$ 测定不同模式内茶树功能叶的光合特性, 所测指标包括: 光合有效辐射 (PAR)、空气相对湿度 (RH)、

净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i)、蒸腾速率 (T_r)。每个样地测 3 片茶叶, 同一模式、 $2\ \text{d}$ 内相同时间段的均值作为该模式指标值。

1.3.2 光响应曲线测定 2011 年 7 月 29 日至 7 月 30 日, 利用 LED 红蓝光源测定梯度光照强度下不同处理模式的响应曲线。光响应曲线用 Light Curve 自动程序测定, 叶片温度设置为 $(30\pm 1)^{\circ}\text{C}$, CO_2 浓度为 $400\ \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 光强梯度为 $1\ 800$ 、 $1\ 500$ 、 $1\ 200$ 、 $1\ 000$ 、 700 、 500 、 300 、 200 、 150 、 120 、 90 、 60 、 40 、 20 、 $0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 每隔 $120\ \text{s}$ 记录 1 个数。每种模式测 3 片茶叶, 其均值作为该模式指标值。

1.3.3 茶叶品质的分析 茶叶品质分春茶和夏茶测定, 采摘 1 芽 2 叶, 测其长度, 为茶芽长; 随机摘采 100 个 1 芽 2 叶的芽, 称其质量, 为百芽质量 (g); 在各个不同模式中统计 $900\ \text{cm}^2$ 茶蓬的茶芽头数, 换算成每 m^2 的茶芽头数, 即茶芽密度 ($\text{个}\cdot\text{m}^{-2}$)。

2011 年 5 月和 7 月, 在各模式内随机摘 1 芽 2 叶的芽, 按 GB/T8303-2002 规定制备试样, 用于测定其品质, 氨基酸含量测定采用高效液相色谱法 (GB/T8314-87) 测定; 儿茶素含量采用分光光度法/高效液相色谱法 (GB/T8313-87) 测定; 咖啡碱采用紫外分光光度法/高效液相色谱法 (GB/T8312-87) 测定。

用 EXCELL2003、SPSS13.0 和 DPS 统计软件对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式内空气相对湿度日变化

3 种模式内空气相对湿度 (RH) 的日变化都是先下降然后上升的 (图 1), 随着光照强度和气温的升高, 空气的相对湿度逐渐下降, 均在 $14:00$ 降至最低。随着光照强度的降低, 空气湿度又逐渐升高。但模式 I 空气相对湿度显著大于模式 III, 说明上层板栗的遮光可以增加空气相对湿度。

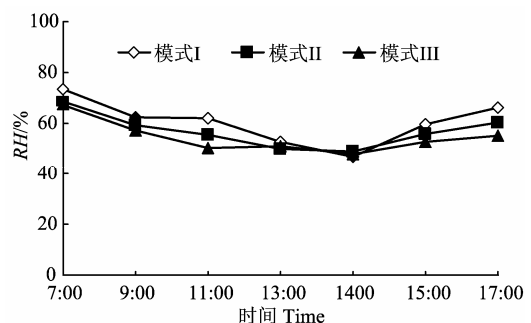


图 1 不同栽培模式内空气相对湿度的日变化
Figure 1 Daily changes of air radiation humidity under different plantation patterns

2.2 栽培模式对茶树叶片光合特性的影响

2.2.1 遮光对茶树叶片净光合速率日变化的影响

不同模式内光合有效辐射强度 (PAR) 的日变化都呈现先升高后下降的变化趋势 (图 2-a), 但其到最高点均不相同, 模式 III 在 11:00 到达到峰值, 而模式 I 和模式 II 均是在 13:00 到达最高; 茶树日净光合速率变化的测定则显示, 模式 I 内茶树叶片净光合速率变化呈现单峰型曲线, 而模式 III (纯茶园) 处理和模式 II 内茶树叶片净光合速率变化呈双峰曲线 (图 2-b)。但不同模式内茶树叶片净光合速率曲线峰值大小程度有差异。在上午 7:00~11:00 时间

里, 模式 III 内茶树叶片净光合速率均高于其它模式。这是由于纯茶园中的茶叶没有栗树的遮荫, 在早晨能接受较多的光照。上午随着光照强度和气温的升高, 净光合速率也逐渐上升, 在 11:00 时达到第 1 个峰值 ($12.21 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 随后净光速率下降, 在 14:00 时降到低谷, 出现“午休”现象, 以后又快速上升, 在 15:00 时出现第 2 个高峰值 ($9.58 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 第 2 高峰仅为第 1 高峰的 78.4%, 随后净光速率开始下降。与其他模式茶园相比, 第 1 峰值比其他模式茶树叶片净光合速率峰值早 2 h, 而且茶园“午休”现象程度比模式 II 大。

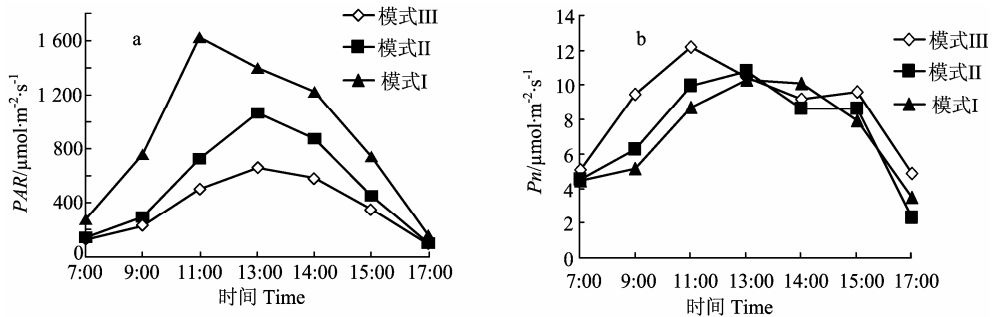


图 2 不同栽培模式内光有效辐射 (a) 和茶树叶片净光合速率 (b) 的日变化

Figure 2 Daily changes of photo active radiation (a) and net photosynthesis of tea leaf (b) under different plantation patterns

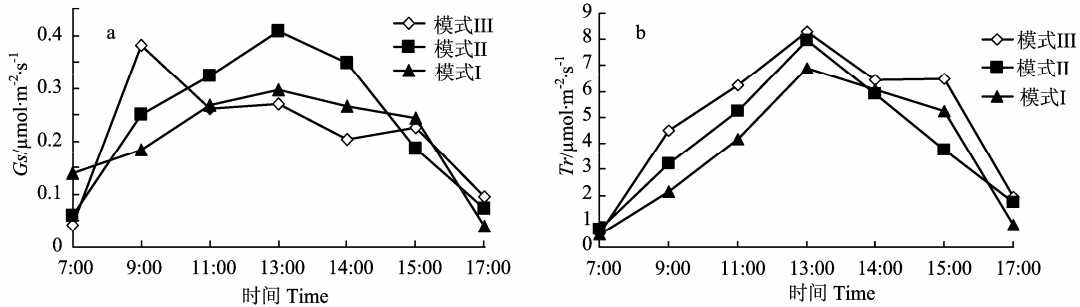


图 3 不同栽培模式内茶树叶片气孔导度 (a) 蒸腾速率 (b) 的日变化

Figure 3 Daily changes of stoma conductivity (a) and transpiration rate (b) of tea leaf under different plantation patterns

模式 II 内茶树叶片净光合速率也呈双峰曲线, 第 1 峰值 ($10.78 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 出现在 13:00, 次峰值 ($8.63 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 出现在 15:00; 而模式 I 内茶树叶片净光合速率为单峰曲线, 峰值 ($10.33 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 出现在 13:00, 而在 13:00~14:00 时, 模式 I 内茶树叶片净光合速率大于模式 III 与模式 II, 没有产生光“午休”现象, 这可能由于上层板栗树的遮光作用, 使茶园光照强度减弱, 而没有产生光“午休”现象。不同模式内茶树叶片净光合速率的高峰值和日平均光合速率随着遮光程度的提高而下降, 模式 III 内茶树叶片净光合速率日均值最高 ($8.71 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 模式 II 和模式 I 的日均值则分别降低

了 16.19% 和 17.80%。

2.2.2 不同栽培模式内茶树叶片蒸腾速率、气孔导度的日变化 气孔是植物光合作用和呼吸作用过程中与外界进行气体交换的主要结构, 气孔导度控制内外气体交换的速率^[5]。3 种模式中, 模式 II 和模式 I 内茶树叶片气孔导度和蒸腾速率日变化呈现正相关 (图 3a、3b), 均为单峰曲线, 13:00 时出现高峰; 而模式 III 茶树叶片气孔导度日变化和蒸腾速率日变化为双峰曲线, 气孔导度第 1 峰值出现在上午 9:00, 第 2 峰值出现在下午 15:00, 蒸腾速率日变化第 1 峰值出现在 13:00, 第 2 峰值出现在 15:00, 二者之间峰值不同步。统计结果表明, 模式 III 茶树

叶片净光合速率和蒸腾速率、气孔导度没有明显的相关性, 和肖润林对不同遮荫水平茶树光合特性研究的结果相一致^[6]。

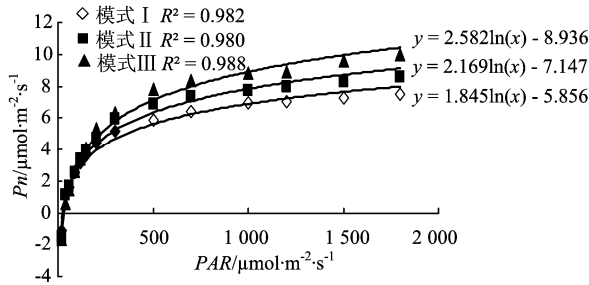


图 4 不同栽培模式下茶树叶片光响应曲线

Figure 4 Net photosynthetic rate-light response curves in tea leaf under different plantation patterns

2.2.3 不同栽培模式下茶树叶片光响应曲线的影响
植物的光补偿点和光饱和点反映植物对光照条件的要求, 但光饱和点和光补偿点不是固定值, 它们会随着外界的环境变化而变化^[7]。模式 I、模式 II 内茶树叶片对光强的响应与模式 III 全光照基本一致, 光合速率随着光照强度的上升而升高, 超过一定范围后, 均有降低的趋势, 这表明茶树叶片产生光抑制现象。应用对数模型拟合光响应数据, 趋势线如图 4 所示。所有模式下的处理均随着遮光程度的增

加而整个趋势线依次比对照低, 其净光合速率均低于模式 III。

茶叶的光补偿点和光饱和点均较高, 不同模式下的光补偿点、光饱和点、最大净光合速率均不同 (图 4, 表 1)。随着遮光程度的增加, 茶叶的光饱和点和、光补偿点、最大净光合速率均依次降低。

由表 1 可知, 模式 II 和模式 I 的光补偿点比模式 III 分别降低了 11.95% 和 27.41%, 这表明茶叶在弱光下可以降低其光补偿点、光饱和点来提高对弱光的利用, 用于其自身的正常生长。同时, 茶叶光饱和点在 500~900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间, 因此, 应将茶园的光强保持在 500~900 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右, 才能使茶园得到最大量的净光合产物。

2.3 不同栽培模式下茶叶品质的差异

2.3.1 茶芽性状的差异 不同模式和不同季节茶树的茶芽长、百芽质量、茶芽密度均存在显著和极显著的差异 (表 2)。不同模式内茶芽长、百芽质量均表现为模式 I > 模式 II > 模式 III, 春季模式 I 与模式 II 的茶芽长均比模式 III 纯茶园提高了 40% 和 10%, 百芽质量也分别提高了 83.33% 和 33.33%; 同一模式内, 春季茶芽长和茶芽密度均比夏季高, 但模式 II 与模式 III 内春季百芽质量比夏季低, 这可能是由于春茶采完后, 茶农将模式 II 与模式 III 的茶叶重剪。这说明遮光明显改善了茶树的茶芽性状。

表 1 不同栽培模式下茶树叶片光响应曲线回归方程

Table 1 Photosynthetic characteristics and regression equation of net photosynthetic rate and light response of tea leaf under different plantation patterns

模式 Pattern	最大净光合速率 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Maximum net photosynthetic rate MNPR	光补偿点 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Photosynthetic light compensation point LCP	光饱和点 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Light saturation point LSP	回归方程 Regression equation	R^2
III	8.79	32	900	$y = 2.582\ln(x) - 8.936$	0.982
II	7.74	25	700	$y = 2.169\ln(x) - 7.147$	0.980
I	6.38	23	500	$y = 1.845\ln(x) - 5.856$	0.988

表 2 不同栽培模式下茶树茶芽性状

Table 2 Bud characters of tea in different plantation patterns

模式 Pattern	茶芽长/cm Tea bud length		百芽质量/g 100-bud weight		茶芽密度/个· m^{-2} Tea bud density	
	春季 Spring	夏季 Summer	春季 Spring	夏季 Summer	春季 Spring	夏季 Summer
I	2.8±0.1 ^a	2.09±0.02 ^a	11±0.8 ^a	10±0.3 ^a	307.4±14.815	296±16.7 ^a
II	2.2±0.1 ^b	1.83±0.01 ^b	8±1.0 ^b	9.5±0.1 ^a	355.6±12.830	315±22.3 ^b
III	2.0±0.05 ^c	1.68±0.01 ^c	6±0.5 ^c	8.3±0.1 ^b	407.4±93.036	387±16.5 ^c
F-value	52*	1290.9**	28*	6.735*	196.8**	80.59**

注: 同列不同小写字母表示差异显著, * 表示 0.05 水平显著, ** 表示 0.01 水平显著。下同。

Note: different small letters in the same column mean significant difference. *, significant difference at the 0.05 level; **, at the 0.01 level. The same below.

表 3 不同栽培模式内茶叶内含物质的含量
Table 3 Degrees on the tea ingredients in different plantation patterns

模式 Pattern	氨基酸含量/% Amino acid content		儿茶素含量/% Catechin content		咖啡碱含量/% Theanine content	
	春季 Spring	夏季 Summer	春季 Spring	夏季 Summer	春季 Spring	夏季 Summer
	I	2.72±0.16 ^a	1.88±0.01 ^a	5.30±0.03 ^a	4.3±0.02 ^a	4.34±0.11 ^a
II	2.34±0.15 ^a	1.78±0.01 ^b	5.70±0.01 ^b	4.9±0.08 ^b	3.94±0.08 ^b	3.83±0.07 ^a
III	1.72±0.42 ^b	1.49±0.01 ^c	6.09±0.03 ^c	4.2±0.05 ^a	4.24±0.06 ^a	2.95±0.05 ^b
F-value	10.086 [*]	2692 ^{**}	613 ^{**}	124.38 [*]	16.3 ^{**}	159.4 [*]

2.3.2 茶叶内含物的差异 茶叶内含物成分分析结果(表 3)表明,氨基酸、儿茶素、咖啡碱的含量均为春季高于夏季,但分别在两个季节中表现又不相同。遮光能够显著提高茶叶中茶氨酸的含量,使茶味更加爽口^[8-9]。春季不同模式内茶叶氨基酸含量表现为模式 I > 模式 II > 模式 III,且模式 I 与模式 II 处理下茶树氨基酸含量显著高于对照组模式 III,分别提高了 58.14%和 36.04%,但是不同遮光程度(模式 I 与模式 II)处理间的差异不显著。夏季模式 I 茶树氨基酸含量显著高于模式 II 和模式 III,分别提高了 5.60%和 26.17%。

从表 3 可以看出,春季不同模式内儿茶素含量与对照间差异性均达显著水平,夏季模式 I 和模式 II 间差异性不显著。但春季与夏季模式 I 和模式 II 儿茶素含量均比对照模式 III 的低,分别低了 12.97%和 6.4%、31.57%和 36.84%。由上述分析可知,不同遮光度的处理对茶叶儿茶素含量影响为:模式 I < 模式 II < 模式 III,说明遮光减少了几茶素的合成。与模式 III 相比,夏季模式 I 和模式 II 的咖啡碱含量均高于模式 III,且随着遮光程度的增加而升高,且与模式 III 相比,各模式咖啡碱含量差异达到显著水平,模式 I 与模式 II 咖啡碱含量分别比对照模式 III 高 31.18%和 29.83%。

3 讨论

自然光照条件下,植物的光合作用日变化一般有单峰型和双峰型^[10-11]。遮光处理会降低一些植物的净光合速率:异株荨麻各遮光处理的净光合峰值和日平均光合速率均随着遮光程度的提高而下降;刺龙牙在遮光度超过 30%时,随着光照强度的减少,光合速率降低^[12-13]。适度的遮光能明显的改善茶园小气候,降低茶树冠层温度,增加空气湿度,土壤温度与水分状况,从而改善茶园水热条件。植物光合作用随气候、生长环境、品种及生育期的不同会呈现不同的变化。因此即使是同一种植物也会出现截然不同的结果,这在其他植物方面也有过报

道^[14]。本研究表明,茶树叶片光合作用的日变化为单峰和双峰两种曲线类型。这与陶汉之^[15]研究的结果一致。复合茶园模式 I 茶树叶片净光合速率日变化为单峰曲线,而纯茶园模式 III 与复合茶园模式 II 其净光合日变化为双峰曲线,说明茶树的光合和水分生理活动受到影响,所以适当的遮光能够避免茶树“午休”现象。不同模式下其净光合速率不同,随着遮光程度的增加,其净光合速率降低,其原因在于上层板栗树遮光降低了林分内光照强度^[16-17]。植物光饱和点和光补偿点的高低直接反映了植物对光的利用能力,是植物耐荫性评价的重要指标^[18]。本研究表明,在一定的遮光处理下,遮光 50%~60%和遮光 30%~40%分别能够使植物的光补偿点降低 11.95%和 27.41%,这说明茶叶对弱光的利用能力较强。

与纯茶模式相比,复合茶园模式 I 和模式 II 能有效提高茶叶百芽质量、芽长、茶叶含水量;春季氨基酸含量分别提高了 58.14%和 36.04%,咖啡碱含量分别提高 31.18%和 29.83%,这与王玉花等遮光水平对氨基酸、咖啡碱含量的影响结果是一致的^[19]。由此可见,茶园间种板栗的复合经营有利于提高茶叶品质。由于复合经营为茶树提供了优越的生长环境,改变了光谱组成比例,也提高了大气相对湿度及土壤含水量,有利于调节茶树的生长代谢,从而改善鲜叶的持嫩度、增加叶片含水量和化学成分等^[20]。但是,板栗种植密度的不同导致茶园内光照度、空气温度、空气相对湿度、土壤温度及含水量等小气候因子发生了改变,这必然影响茶树产量及其茶叶化学成分含量的提升,可通过调整板栗的种植密度来实现树冠遮光对茶叶品质产生积极作用。本研究表明,模式 I(茶园内板栗株行距 4 m×4 m、遮光度 50~60%的栽培模式)茶叶品质略优于模式 II(茶园内板栗株行距 4 m×8 m、遮光度 30%~40%的栽培模式)。因此,结合本研究结果及他人的研究结果^[20-21],建议在现有茶园推广茶树与其他树种复合种植模式,并根据经营目的选择伴生

树种。当茶树作为主要经营目的树种时, 最好选择落叶阔叶树种进行复合种植并确定合理的间种密度, 不但能实现提高茶叶品质的经营目的, 还能提高林地的复种指数和整体效益^[22]。

参考文献:

- [1] 肖润林, 五久荣, 陈正法, 等. 亚热带丘陵茶园面临生态问题与对策[J]. 农业现代化研究, 2004, 25(5): 360-363.
- [2] 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[J]. 应用生态学报, 2006, 17(5): 778-782.
- [3] 汪春园. 生态茶园建设的理论基础、目标及模式[J]. 中国茶叶, 2000(1): 15-17.
- [4] 史云峰. 建立生态茶园的理论依据及其效益评价[J]. 茶叶通讯, 2000(4): 39-43.
- [5] 许大全. 光合作用速率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
- [6] 肖润林, 王久荣, 单武雄. 不同遮荫水平对茶树光合环境及茶叶品质的研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(6): 6-11.
- [7] 蒋跃林, 张仕定, 张庆国. 大气 CO₂ 浓度升高对茶树光合生理特性的影响[J]. 茶叶科学, 2005, 25(1): 43-48.
- [8] 田永辉, 梁远发. 人工生态茶园生态效应研究[J]. 茶叶科学, 2001, 21(2): 170-174.
- [9] 欧阳规香, 郭则之. 遮荫对绿茶品质的影响[J]. 茶叶通讯, 1998(2): 35-38.
- [10] 傅松玲, 黄成林, 曹恒生, 等. 黄山松更新特性与光因子关系的研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(6): 801-804.
- [11] Farquhar S P, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Ann Rev Plant Physi, 1982, 33: 317-345.
- [12] 刘悦秋, 孙向阳, 王勇, 等. 遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3457-3464.
- [13] 胡万良, 谭学仁, 孔祥文, 等. 遮荫对刺龙牙生长及光合特性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(1): 23-25.
- [14] 高辉远, 邹琦. 大豆光合日变化的不同类型及其影响因素[J]. 大豆科学, 1992, 11(3): 219-225.
- [15] 陶汉之. 茶树光合日变化的研究[J]. 作物学报, 1991, 17(16): 444-452.
- [16] 张文锦, 陈常颂, 张应根, 等. 遮荫对夏暑乌龙茶品质的影响及其机理研究报告[J]. 茶叶科学技术, 2004, (1): 8-11.
- [17] 陈贤田, 柯世省. 茶树光合“午休”的原因分析[J]. 浙江林业科技, 2002, 22(3): 80-83.
- [18] 杨兴洪, 邹琦, 赵世杰. 遮荫和全光下生长的棉花光合作用和叶绿素荧光特征植物[J]. 生态学报, 2005, 29(1): 8-15.
- [19] 王玉花, 秦志敏, 肖润林, 等. 遮光水平对丘陵茶园茶叶生长指标和品质影响[J]. 经济林研究, 2011, 29(2): 48-53.
- [20] 肖正东, 程鹏, 马永春, 等. 不同种植模式下茶树光合特性、茶芽性状及茶叶化学成分的比较[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(2): 15-19.
- [21] Fang S, Xu X, Yu X, et al. Polar in wetland agroforestry: a case study of ecological benefits, site productivity and economics[J]. Wetlands Ecology and Management, 2005, 13: 93-104.
- [22] 程鹏, 马永春, 肖正东, 等. 不同种植模式内茶树光合特性及其影响因子和小气候因子分析[J]. 植物资源与环境学报, 2012, 21(2): 79-83.