

DOI: 10.5846/stxb201806111303

闫小莉,王德炉.不同类型土壤栽培对苦丁茶树叶片生长和光合特性的影响.生态学报,2019,39(19): - .

Yan X L, Wang D L. Effects of different soil types on growth and photosynthetic characteristics of *Ligustrum robustum*. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(19): - .

不同类型土壤栽培对苦丁茶树叶片生长和光合特性的影响

闫小莉¹, 王德炉^{2,*}

1 福建农林大学林学院, 福州 350002

2 贵州大学林学院, 贵阳 550025

摘要:研究苦丁茶树叶片生长与光合特性对不同类型土壤栽培的响应特征,确定最适苦丁茶栽培的土壤类型,可为高产优质化的苦丁茶种植业及其规模化生产基地的建立提供科学依据。通过土壤栽培实验研究了不同类型的土壤对苦丁茶树叶片生长、叶片解剖结构、叶绿素含量和光合特性的影响。结果表明:石灰岩土壤栽培条件下,苦丁茶叶长和叶面积比其他 6 种土壤栽培下的显著提高了 34%—57% 和 43%—68%,叶绿素总量显著增加 9%—33%,叶片、上下表皮、海绵组织和栅栏组织的厚度均显著高于其他 6 种土壤栽培。不同类型土壤栽培下苦丁茶净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和饱和蒸气压亏缺(V_{pdl})的日变化趋势均呈单峰型,日均 P_n 和 T_r 值大小依次为:石灰岩>石英砂岩>玄武岩>长石石英砂岩>第四纪红色黏土>变余砂岩>煤系砂页岩,其中石灰岩土壤栽培下的日均 P_n 值相比其他 6 种土壤下的显著提高了 13%—45%,且叶片最大净光合速率、表观量子效率、暗呼吸速率、光补偿点(LCP)和光饱和点(LSP)也最大,而煤系砂页岩栽培时最低,其 LSP 和 LCP 较石灰岩栽培的分别显著下降了 40% 和 46%。综上,在 7 种类型的土壤中,石灰岩土壤栽培最有利于苦丁茶树叶片的生长发育、并促进叶绿素的合成和加强对光能的吸收利用,最终提高其叶片光合能力,其次为玄武岩土壤,而煤系砂页岩土壤是最不利于苦丁茶树叶片生长发育和光合作用。故建议在苦丁茶种植业的发展和规模化生产基地建立时因选择由石灰岩性母岩发育的土壤进行栽培,从而提高苦丁茶的产量和品质。

关键词:苦丁茶;不同土壤类型;叶片生长;叶片解剖结构;光合特性

Effects of different soil types on growth and photosynthetic characteristics of *Ligustrum robustum*

YAN Xiaoli¹, WANG Delu^{2,*}

1 College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

2 College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China

Abstract: In this study, we investigated the effects of seven types of cultivation soil on leaf growth and photosynthetic characteristics of *Ligustrum robustum* (kuding tea) seedlings, aiming to provide scientific advices for cultivation and management of the species for cultivation and management of the species. We measured leaf length, width, area, spongy tissue thickness, palisade tissue thickness, layer of palisade tissue, chlorophyll content, and photosynthetic parameters of the seedlings grown in different soil types. The results showed that cultivation in limestone soil increased the length and area of the leaves by 34%—57% and 43%—68%, respectively, when compared with the other six soil types. In addition, leaf thickness, spongy tissue, and palisade tissue were significantly higher, and total chlorophyll content was 9%—33% higher

基金项目:贵州省科技攻关项目(黔科合 NY 字[2007]3040 号)

收稿日期:2018-06-11; 网络出版日期:2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dlwang@gzu.edu.cn

in the limestone soil than in the other six soil types. The soil types did not affect the diurnal variation in net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (Tr), and vapor pressure deficit (V_{pdl}). The daily average of P_n and Tr values in the seven soil types in descending order were as follows: limestone>quartz sandstone>basalt>feldspathic quartz sandstone>quaternary red clay>blastopsammite>coal sand shale. The daily average of P_n value was 13%—45% higher in limestone soil than in the other six soil types. P_n , G_s , and Tr were positively correlated, but they were negatively correlated with V_{pdl} . The maximum net photosynthetic rate, light saturation (LSP), light compensation (LCP), dark respiration rate, and apparent quantum yield were observed in limestone soil. LSP and LCP were significantly lower in coal sand shale soil (40% and 46%, respectively) than in the limestone soil. In summary, limestone soil is most beneficial for the growth and development of leaves. It can promote the production of chlorophyll and thus enhance the absorption and utilization of light energy and improve leaf growth and photosynthetic capacity. The second appropriate soil type is basalt. In contrast, coal sand shale soil is most unfavorable for the growth and development of leaves and photosynthesis. Therefore, limestone soil should be used for the large-scale plantation of *L. robustum* and improvement of the yield and quality of kuding tea.

Key Words: *Ligustrum robustum* (Roxb.) BL; different soil types; leaf growth; anatomical structure; photosynthetic characteristics

苦丁茶树为木犀科女贞属植物,即粗壮女贞(*Ligustrum robustum* (Roxb.) BL),其鲜叶加工后可作为代茶饮料,称为苦丁茶,冲泡后叶片舒展鲜活,汤色翠绿,滋味先苦后甘,且具有清热解毒、杀菌消炎、降脂减肥和利尿降压等多种药理保健功效^[1-4],享有“绿色黄金”的美誉^[5]。近年来,其种植区域在我国四川和贵州等西南地区快速扩展,多处建立了规模化的苦丁茶种植产业基地^[6]。目前,有关苦丁茶的研究主要集中在其药理作用^[1-3]和茶叶成分提取^[5,7]方面,另在其繁殖与栽培技术^[4,8]、微量元素的影响^[9]、有机肥施肥技术^[10]、遮荫措施下的光合特性等方面也有一些研究^[6,11]。有研究发现苦丁茶树虽然在多数地区可正常生长,但部分地区栽植的苦丁茶叶面出现裂纹,叶片两侧向中间闭合呈卷曲状,严重影响了茶叶产量和品质^[4]。另外,随着苦丁茶规模化生产基地的大力建设,民众和茶商在建设茶园过程中并未考虑适宜其栽培和有利于茶叶高产优质的土壤类型,导致许多茶叶种植园茶叶产量和品质明显下降。因此,有关苦丁茶合理栽培和抚育管技术的研究迫在眉睫,尤其是确定最适栽培土壤类型对提高苦丁茶产量和品质尤为重要。

土壤是一切植物赖以生存的基础,不同类型的土壤因黏粒、砂粒和粉粒等颗粒含量的不同,形成具有不同机械阻力、孔隙度的土壤质地和土壤环境,从而影响土壤与植物之间的水、气和养分的交换,最终会对植物的生长发育和产量产生影响^[12-17]。我国西南山区的土壤理化性质受其发育母岩岩性的影响很大,如黄壤、红壤、紫色土和潮砂土这4种不同类型土壤下的茶园土壤腐殖质含量和组成、土壤团聚体组成和稳定性均存在显著差异^[18-19],故不同岩性发育的土壤上栽培的植物生长情况不尽相同。有研究表明,不同海拔地区栽植的苦丁茶因土壤类型不同其叶片生长发育和形态解剖结构也不尽相同,而随着叶片组织结构的变化植株光合特性也发生相应变^[20],又如夏贵菊等研究发现,生长在不同类型土壤中的芦苇叶片生长和光合特性具有显著差异^[21]。植物叶片生长、解剖结构、光合特性是植物生理功能的重要体现^[22-23],直接关系到植物生长发育和生产力。不同类型的土壤水、气、热等因子是影响植物生长发育的重要生态因子,均对植物的光合、蒸腾及有机物运输等生理过程产生作用,从而影响植物对水养资源和光能的利用效率^[24],研究植物光合生理参数对不同类型土壤栽培的响应特征对于探讨最适其生长发育的土壤类型具有重要的意义。另外,目前有关不同类型土壤栽培对植物生长发育、光合特性、产量和品质等方面的研究多集中在农作物和果树上,但有关茶树在不同类型土壤条件下的生长发育、产量和品质及其光合生理特性的研究尚未见报道。因此,本研究采用实验生态学的研究方法,苦丁茶树在不同母岩发育的土壤类型下栽培2年后,对苦丁茶叶片生长和光合特性进行系统研究,目的是(1)揭示不同类型土壤栽培对苦丁茶叶片生长和光合特性的影响;(2)明确能够促进苦丁茶叶片生

长和提高光合能力的适宜土壤类型,从而为苦丁茶树高产、优质的合理栽培技术提供理论依据,最终促进苦丁茶种植业和规模化生产基地的发展,充分发挥其经济效和生态效益,带动地区经济发展。

1 材料与方法

1.1 试验区概况与研究对象

试验在贵州大学林学院苗圃进行,地处贵阳市花溪区,东经 104°34′、北纬 26°34′,年均温度 15.8℃;年降水量为 1229 mm;年平均相对湿度 79%,年生长期为 271 d。供试材料为生长状况一致的 3 年生苦丁茶树实生苗,供试苗木在自然光照条件下栽植(8:00—18:00 的光合有效辐射均值为:1145 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$),栽植期间无遮荫措施^[6]。

1.2 试验设计

选取西南地区常见的 7 种土壤类型进行栽培试验。各土壤类型及其来源分别是:玄武岩(清镇甘沟林场)、石英砂岩(龙里林场)、长石石英砂岩(花溪黔陶乡)、变余砂岩(清镇云归乡)、第四纪红色黏土(贵州大学农学院分场)、煤系砂页岩(花溪彭官)和石灰岩(花溪公园),不同类型土壤的基本理化性质见表 1。将以上 7 种不同类型土壤去掉腐殖质层和表土层后分别装入长 5.0 m,宽 1.2 m,深 0.8 m 的石框内,每种土壤 3 个重复,每个重复种植 3 年生实生苗 9 株,7 种土壤栽培处理共计 189 株,处理时间为 2 年。

表 1 不同类型土壤的基本理化性质
Table 1 The basic physicochemical properties of different soil types

岩性名称 Soil types	全氮 Total nitrogen/%	全磷 Total phosphorus/%	全钾 Total potassium/%	有机质 Organic matter/%	pH
石英砂岩 Quartz sandstone	0.118	0.23	2.00	0.46	5.17
煤系砂页岩 Coal sand shale	0.107	0.22	1.81	0.41	4.90
长石石英砂岩 Feldspathic quartz sandstone	0.105	0.24	1.98	0.40	4.94
第四纪红色黏土 Quaternary red clay	0.107	0.21	1.86	0.49	4.54
石灰岩 Limestone	0.125	0.25	2.05	0.55	6.24
变余砂岩 Blastopsammite	0.096	0.21	1.90	0.43	5.34
玄武岩 Basalt	0.128	0.22	1.97	0.56	5.00

1.3 试验指标测定方法

1.3.1 叶片生长与内部解剖结构特征

苦丁茶树在不同类型土壤中栽培 2 年后,即栽植第三年 6 月初开始观测叶片、枝条、新梢、叶片色泽等形态特征,月末在各处理中摘取 20 片成熟叶进行叶长、叶宽和叶面积测定。沿着叶主脉两侧切取 0.5 cm—1 cm 的小片,用 FAA 液固定、梯度酒精脱水、番红染色、二甲苯透明处理制成石蜡切片(厚度为 10 μm),脱蜡后固绿染色剂进行复染,在 Motic 型光学显微镜下,用 Images Advaced3.0 软件进行观测。

1.3.2 叶绿素含量

在光合特性指标测定完成后,摘取各处理 5 片叶片,精确称取 0.300 g 鲜叶片,采用 95%乙醇提取比色法测定,每个样品重复 3 次^[25]。

1.3.3 光合速率

于 6 月中旬选择晴朗无云天用 LI- 6400 进行光合日进程的测定。测定指标有:净光合速率(Net photosynthetic rate, Pn)、气孔导度(Stomatal conductance, Gs)、蒸腾速率(Transpiration rate, Tr)、蒸汽压亏缺(Vapor pressure deficit, Vpdl)等。测定时间为 8:00—18:00 时,每 2 h 测一次,每个处理测定 3 株,每株测定 3—5 片叶子,重复记录 10 个观测值。

1.3.4 光响应曲线

于 6 月中旬选择晴朗无云天气,在 9:00—11:00 或 14:00—16:00 进行光合响应曲线的测定。光合光响

应曲线的测定用 LI-6400-02B 红蓝光源设定叶室中光合有效辐射强度分别为: 2000、1800、1600、1500、1400、1300、1200、1000、800、600、400、200、100、50、20、0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 测定观测过程中, 将叶室温度控制在 $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, 相对湿度控制在 $(40 \pm 5)\%$, 大气中 CO_2 浓度为 400 $\mu\text{mol/mol}$ 。

1.4 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件对试验数据进行 One-way ANOVA 分析, Duncan 新复极差法进行多重比较。对光响应测定结果, 按非直角双曲线方程对光响应参数进行估算: 不同土壤栽培下的 P_n - PAR 响应曲线采用非直角双曲线模型进行拟合, 并通过直线回归得光补偿点 (LCP)、光饱和点 (LSP)、最大净光合速率 ($P_{n_{\max}}$)、表观量子效率 (AQY)、暗呼吸速率 (R_d) 等^[26]。

2 结果与分析

2.1 不同类型土壤栽培对苦丁茶树叶片大小的影响

不同类型土壤栽培下苦丁茶树叶长、叶宽、叶面积存在显著差异 ($P < 0.01$) (表 2)。石灰岩土壤上栽培的苦丁茶树叶长和叶面积显著大于其他 6 种土壤, 其叶长和叶面积比其他 6 种土壤栽培下的分别提高了 34%—57% 和 43%—68%, 玄武岩土壤上栽培的苦丁茶树叶片宽度显著高于其他 6 种土壤, 提高幅度为: 11%—38% ($P < 0.01$)。由此, 说明石灰岩土壤栽培有利于苦丁茶树叶片的生长发育, 使其枝叶茂盛, 其次为玄武岩土壤。

表 2 不同类型土壤栽培对苦丁茶树叶片大小的影响

Table 2 Effect of different soil types cultivation on leaf size of *Ligustrum robustum*

土壤类型 Soil types	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶面积 Leaf area/cm ²
石灰岩 Limestone	8.07±0.08A	2.62±0.05B	12.74±0.06A
煤系砂页岩 Coal sand shale	5.14±0.07D	2.11±0.03C	7.55±0.08C
第四纪红色黏土 Quaternary red clay	5.40±0.08CD	2.47±0.04B	7.62±0.04C
变余砂岩 Blastopsammite	5.44±0.13CD	2.59±0.19B	8.73±0.34B
长石石英砂岩 Feldspathic quartz sandstone	5.74±0.11BC	2.61±0.02B	8.78±0.14B
石英砂岩 Quartz sandstone	5.86±0.18B	2.36±0.06B	7.74±0.08C
玄武岩 Basalt	5.99±0.17B	2.92±0.06A	8.87±0.07B

每列不同的大写字母代表不同土壤类型之间存在显著性差异 ($P < 0.01$)

2.2 不同类型土壤栽培对苦丁茶树叶片解剖结构的影响

不同类型土壤栽培条件下的苦丁茶树叶片解剖结构的性状进行观测 (表 3), 得出苦丁茶树叶片上下表皮厚度分别为 14.76—23.45 μm 和 9.55—16.75 μm ; 海绵组织厚度为 66.38—94.42 μm , 海绵细胞排列疏松, 有较大的空隙; 栅栏组织 1—2 层, 厚度为 7.59—77.92 μm 。由方差分析得出, 不同类型土壤栽培下苦丁茶树叶片、上下表皮、海绵组织和栅栏组织厚度均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。石灰岩土壤栽培下的苦丁茶树叶片解剖结构的各项指标均显著高于其他 6 种土壤栽培, 其叶片、上下表皮、海绵组织和栅栏组织的厚度, 相比其他 6 个类型的土壤分别提高 16%—50%、21%—58%、31%—70%、16%—42% 和 12%—35% ($P < 0.05$)。另外, 由石灰岩、变余砂岩和石英砂岩这 3 种类型的土壤栽培下, 苦丁茶树叶片栅栏组织层数为 2 层。

2.3 不同类型土壤栽培对苦丁茶树叶片叶绿素含量的影响

由表 4 可见, 不同类型土壤栽培条件下苦丁茶树叶片 Chl a、Chl b Chl 总量 Chl a/b 含量存在一定的差异性 ($P < 0.05$)。具体表现为: 石灰岩、石英砂岩和玄武岩这 3 种土壤栽培下苦丁茶树叶片叶绿素含量显著高于其他 4 种类型的土壤栽培, 其中石灰岩土壤栽培下的叶绿素总量分别比煤系砂页岩、第四纪红色黏土、变余砂岩和长石石英砂岩土壤栽培下的显著高出 33%、22%、18% 和 9% ($P < 0.05$)。说明石灰岩土壤栽培有利于苦丁茶树叶片叶绿素的生成, 相反煤系砂页岩土壤栽培最不利于苦丁茶树叶绿素的生成。

表 3 不同类型土壤栽培对苦丁茶树叶片解剖结构的影响

Table 3 Effect of different soil types cultivation on anatomical structure of *Ligustrum robustum*

土壤类型 Soil types	叶片厚度 Leaf thickness/ μm	上表皮厚度 Upper epidermis thickness/ μm	下表皮厚度 Under epidermis thickness/ μm	海绵组织厚度 Spongy tissue thickness/ μm	栅栏组织厚度 Palisade tissue thickness/ μm	栅栏组织层数 Layer of palisade tissue
石灰岩 Limestone	217.65 $\pm$ 15.76a	23.45 $\pm$ 4.15a	16.75 $\pm$ 0.82a	94.42 $\pm$ 0.76a	77.92 $\pm$ 2.83a	2
煤系砂页岩 Coal sand shale	144.72 $\pm$ 10.29c	14.76 $\pm$ 1.74c	9.85 $\pm$ 1.33c	66.38 $\pm$ 1.99c	57.59 $\pm$ 3.05d	1
第四纪红色黏土 Quaternary red clay	146.74 $\pm$ 4.59c	16.64 $\pm$ 2.39b	10.13 $\pm$ 1.33bc	78.44 $\pm$ 2.65bc	59.19 $\pm$ 0.91d	1
变余砂岩 Blastopsammite	174.53 $\pm$ 5.69b	16.79 $\pm$ 1.81b	9.55 $\pm$ 0.87c	77.28 $\pm$ 2.79bc	60.92 $\pm$ 2.15cd	2
长石石英砂岩 Feldspathic quartz sandstone	179.74 $\pm$ 7.96b	15.63 $\pm$ 3.47bc	11.87 $\pm$ 2.01bc	80.45 $\pm$ 3.07b	68.88 $\pm$ 0.68b	1
石英砂岩 Quartz sandstone	186.39 $\pm$ 10.36b	19.26 $\pm$ 1.39b	12.72 $\pm$ 1.82b	78.40 $\pm$ 2.87bc	66.34 $\pm$ 2.59c	2
玄武岩 Basalt	175.40 $\pm$ 3.98b	18.35 $\pm$ 2.61b	12.16 $\pm$ 2.29b	81.30 $\pm$ 0.94b	69.45 $\pm$ 1.26b	1

每列不同的小写字母代表不同土壤类型之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)

表 4 不同类型土壤栽培处理对苦丁茶树叶绿素含量的影响

Table 4 Effect of different soil types cultivation on chlorophyll contents of *Ligustrum robustum*

土壤类型 Soil types	叶绿素 a Chl a / (mg/g)	叶绿素 b Chl b / (mg/g)	叶绿素总量 Total chl content / (mg/g)	叶绿素 a/b Chl a /Chl b
石灰岩 Limestone	8.72 $\pm$ 0.36a	3.79 $\pm$ 0.46a	12.51 $\pm$ 0.50a	2.30 $\pm$ 0.14b
煤系砂页岩 Coal sand shale	6.28 $\pm$ 0.84c	3.08 $\pm$ 0.12b	9.36 $\pm$ 0.42d	1.92 $\pm$ 0.05c
第四纪红色黏土 Quaternary red clay	7.18 $\pm$ 0.55bc	3.06 $\pm$ 0.09b	10.24 $\pm$ 0.58c	2.35 $\pm$ 0.39b
变余砂岩 Blastopsammite	7.35 $\pm$ 0.58b	3.21 $\pm$ 0.67ab	10.56 $\pm$ 0.56c	2.29 $\pm$ 0.54b
长石石英砂岩 Feldspathic quartz sandstone	8.24 $\pm$ 0.51a	3.20 $\pm$ 0.17ab	11.44 $\pm$ 0.33b	2.58 $\pm$ 0.26a
石英砂岩 Quartz sandstone	8.02 $\pm$ 0.62ab	3.57 $\pm$ 0.32a	11.59 $\pm$ 0.41b	2.25 $\pm$ 0.18b
玄武岩 Basalt	8.51 $\pm$ 0.94a	3.28 $\pm$ 0.27ab	11.79 $\pm$ 0.39ab	2.59 $\pm$ 0.77a

每列不同的小写字母代表不同土壤类型之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)

2.4 不同类型土壤栽培对苦丁茶树叶片光合特性的影响

2.4.1 苦丁茶树叶片 Pn、Gs、Tr 和 Vpdl 日变化

不同类型土壤栽培下苦丁茶树叶片在晴天 Pn 和 Gs 日变化变化趋势大致相同,均呈典型的“单峰”型曲线,没有出现“光合午休”现象(图 1)。Pn 和 Gs 从 08:00 开始上升,12:00 左右达到最高峰,然后持续下降,

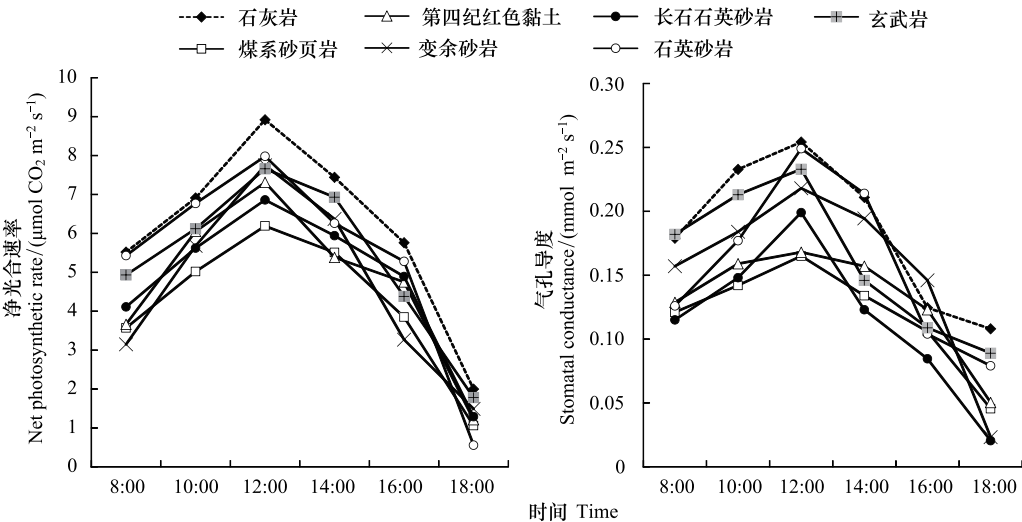


图 1 不同类型土壤栽培对苦丁茶树净光合速率 (Pn) 和气孔导度 (Gs) 的影响

Fig.1 The effects of different soil cultivation on diurnal net photosynthetic rate (Pn) and stomatal conductance (Gs) of *Ligustrum robustum*

至 18:00 左右降至最低点。12:00 左右达到高峰,至 18:00 左右降至最低点。在 6 个时间段由石灰岩和石英砂岩土壤栽培的苦丁茶叶片 P_n 值和下降幅度较其他 5 种土壤大,煤系砂页岩土壤栽培的苦丁茶叶片 P_n 值和下降幅度最小。不同类型土壤栽培下苦丁茶叶片 Tr 和 V_{pdl} 日变化趋势均为“单峰”型曲线(图 2),但 Tr 的峰值出现在 14:00,相比 P_n 晚了 2 个小时, V_{pdl} 的峰值出现在 16:00,相比 P_n 晚了 4 个小时。

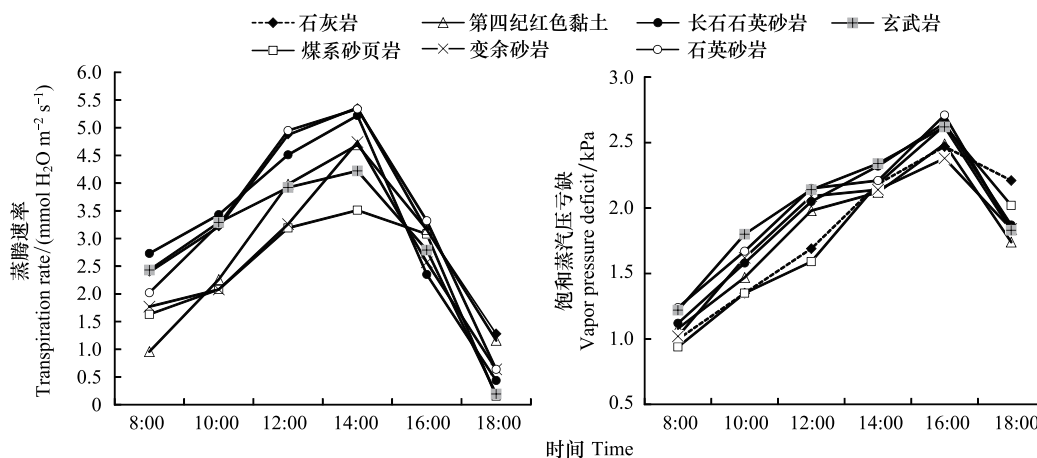


图 2 不同类型土壤栽培对苦丁茶树蒸腾速率(Tr)和饱和蒸汽压亏缺(V_{pdl})的影响

Fig.2 The effects of different soil types cultivation on transpiration rate (Tr) and vapor pressure deficit (V_{pdl}) of *Ligustrum robustum*

2.4.2 苦丁茶叶片 P_n 、 G_s 、 Tr 和 V_{pdl} 日均值差异和环境因子相关性

不同类型土壤栽培条件下苦丁茶叶片日均 P_n 值大小依次为:石灰岩>石英砂岩>玄武岩>长石石英砂岩>第四纪红色黏土>变余砂岩>煤系砂页岩(图 3),其中石灰岩土壤栽培条件下日均 P_n 值相比其他 6 种土壤下的 P_n 值显著提高 13%—45% ($P < 0.05$)。叶片日均 G_s 值大小为:石灰岩>玄武岩>石英砂岩>变余砂岩>第四纪红色黏土>长石石英砂岩>煤系砂页岩,其中石灰岩土壤栽培下日均 G_s 值相比其他 5 种土壤下的 G_s 值显著提高 17%—56% ($P < 0.05$),与玄武岩栽培下的 G_s 值之间无显著差异 ($P > 0.05$)。表明石灰岩土壤栽培的苦丁茶光合能力强于其他 6 种土壤,尤其是与煤系砂页岩土壤之间差异明显 ($P < 0.05$)。

经方差分析得出(图 3),不同类型土壤栽培条件下苦丁茶叶片日均 Tr 值大小依次为:石灰岩>石英砂岩>长石石英砂岩>玄武岩>第四纪红色黏土>变余砂岩>煤系砂页岩,其中石灰岩土壤栽培条件下叶片日均 Tr 值相比煤系砂页岩、第四纪红色黏土、变余砂岩和玄武岩下的 Tr 值分别显著提高了 49%、259%、35% 和 20% ($P < 0.05$),与长石石英砂岩和石英砂岩之间差异不显著 ($P > 0.05$)。苦丁茶叶片日均 V_{pdl} 值在 7 种土壤栽培之间差异不显著。

不同类型土壤栽培条件下苦丁茶叶片 P_n 值与各光合因子之间的关系不完全相同(表 5)。 P_n 值都与 G_s 呈正相关关系,但这种相关性仅在煤系砂页岩、第四纪红色黏土和石英砂岩栽培下达到显著水平 ($P < 0.05$)。 P_n 值都与 Tr 呈显著正相关关系,其中石灰岩、长石石英砂岩和石英砂岩栽培下的正相关性达到极显著水平 ($P < 0.01$)。 P_n 值都与 V_{pdl} 呈负相关关系,其中煤系砂页岩和第四纪红色黏土栽培下的负相关关系达到显著水平 ($P < 0.05$)。

2.4.3 不同类型土壤栽培下苦丁茶叶片对光强变化的响应

不同类型土壤栽培条件下苦丁茶叶片 $P_{n_{max}}$ 、 AQY 、 LCP 、 LSP 、 R_d 的变化见表 6,结果表明:苦丁茶叶片在石灰岩土壤栽培下 $P_{n_{max}}$ 、 LCP 、 LSP 和 R_d 均最大,而煤系砂页岩栽培时最低,方差分析显示石灰岩土壤栽培下的 $P_{n_{max}}$ 相比煤系砂页岩、第四纪红色黏土、变余砂岩和长石石英砂岩分别显著提高了 113%、12%、22% 和 10% ($P < 0.05$),与石英砂岩和玄武岩之间差异不显著 ($P > 0.05$)。煤系砂页岩栽培下叶片 LSP 和 LCP 值相比石灰岩栽培下的叶片 LSP 和 LCP 值分别降低了 40% 和 46% ($P < 0.05$),且 7 种类型的土壤栽培下,石灰岩栽培的苦丁茶 AQY 值最大,由此说明石灰岩栽培条件下苦丁茶对光能的利用能力最强。

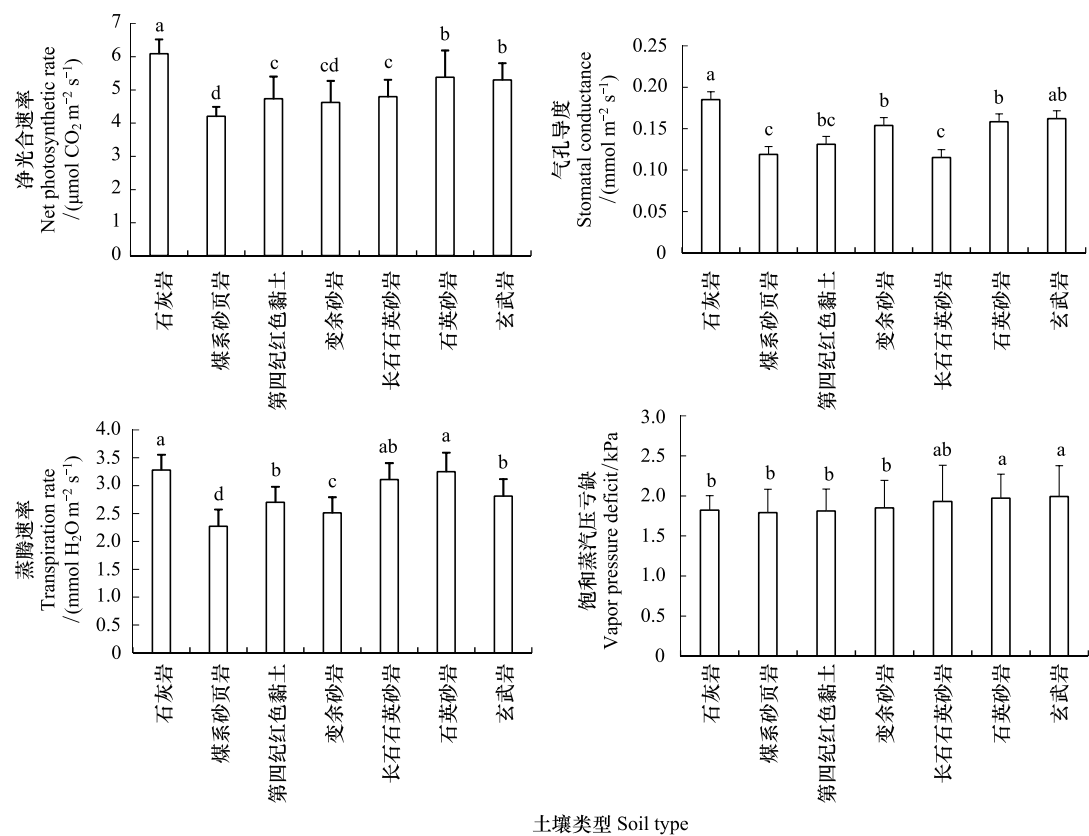


图 3 不同类型土壤栽培对苦丁茶树叶片光合特性的影响

Fig.3 Effect of different soil types cultivation on the photosynthetic characteristics of *Ligustrum robustum*

每列不同的小写字母代表不同土壤类型之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)

表 5 不同类型土壤栽培处理下苦丁茶树叶片 Pn 与其他光合参数间的相关性

Table 5 The correlation among photosynthetic parameter in leaves of <i>Ligustrum robustum</i> in different soil type cultivation				
不同土壤 Soil types	净光合速率 Net photosynthetic rate /Pn	气孔导度 Stomatal conductance /Gs	蒸腾速率 Transpiration rate /Tr	蒸汽压亏缺 The vapor pressure deficit/Vpdl
石灰岩土 Limestone	1	0.518	0.937 **	-0.160
煤系砂页岩 Coal sand shale	1	0.836 *	0.802 *	-0.750 *
第四纪红色黏土 Quaternary red clay	1	0.877 *	0.910 *	-0.695 *
变余砂岩土 Blastosammite	1	0.687	0.825 *	-0.279
长石石英砂岩 Feldspathic quartz sandstone	1	0.782	0.972 **	-0.321
石英砂岩 Quartz sandstone	1	0.814 *	0.939 **	-0.348
玄武岩 Basalt	1	0.663	0.878 *	-0.334

** 极显著相关 ($P < 0.01$), * 显著相关 ($P < 0.05$)

3 结论与讨论

3.1 讨论

植物的叶片是对生长环境变化最敏感、且变异性和可塑性较大的组织器官^[27]。苦丁茶树的叶片不仅是茶叶收获的主要部分,同时也是植株进行光合和呼吸等生理代谢活动的重要器官^[20,28]。本研究通过对苦丁茶树进行不同类型土壤的栽培试验,测定并分析其叶片生长与光合特性对不同类型土壤的响应特征,研究表明:在 7 种类型的土壤中,石灰岩土壤上栽培的苦丁茶叶长和叶面积比其他 6 种土壤栽培下的分别提高了 34%—57%和 43%—68%,且叶片、上下表皮、海绵组织和栅栏组织的厚度均显著高于其他 6 种土壤栽培的处

理。叶片解剖结构常作为评价茶树生理活性、抗逆性、产量、品质等指标的重要依据^[7, 28], 叶片解剖结构特征又可作为间接鉴定植株光合作用的能力, 如栅栏组织厚度越大表明叶片生产力指数越大^[29-31]。由此, 可以得出石灰岩土壤栽培最有利于苦丁茶树叶片的生长发育, 使其叶片生产力指数最大, 其次为玄武岩土壤, 煤系砂页岩土壤最不利于苦丁茶树叶片的生长发育。叶片叶绿素含量是植物生长和光合作用能力的重要表征之一^[32], 本研究发现石灰岩、石英砂岩和玄武岩这 3 种土壤栽培下苦丁茶树叶片叶绿素含量显著高于其他 4 种类型的土壤栽培, 其中石灰岩土壤栽培下的叶绿素总量分别比煤系砂页岩、第四纪红色黏土、变余砂岩和长石石英砂岩土壤栽培下的显著高出 33%、22%、18% 和 9%。说明石灰岩土壤栽培有利于苦丁茶树叶片叶绿素的生成, 相反煤系砂页岩土壤栽培最不利于苦丁茶树叶绿素的生成。

表 6 不同类型土壤栽培下苦丁茶树叶片光响应参数

Table 6 Photoresponse parameters of *Ligustrum robustum* under different soil type cultivation

土壤类型 Soil types	最大净光合 速率 $P_{n_{max}}$ Maximum net photosynthetic rate/ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	光饱和点 LSP Light Saturation/ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	光补偿点 LCP Light Compensation/ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	暗呼吸速率 R_d Dark respiration rate/ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	表观量子效率 AQY Apparent quantum yield/ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
石灰岩 Limestone	9.71±0.081a	891±2.343a	35.26±0.371a	0.946±0.039a	0.0491±0.012a
煤系砂页岩 Coal sand shale	4.55±0.056d	636±2.871e	24.12±0.452c	0.478±0.041cd	0.0269±0.028d
第四纪红色黏土 Quaternary red clay	8.66±0.072b	782±2.924c	27.41±0.603bc	0.686±0.072c	0.0340±0.053cd
变余砂岩 Blastopsammite	7.96±0.055c	708±2.808d	31.83±0.693b	0.533±0.081d	0.0298±0.011d
长石石英砂岩 Feldspathic quartz sandstone	8.84±0.079b	697±2.917d	25.82±0.772c	0.933±0.084a	0.0414±0.084b
石英砂岩 Quartz sandstone	9.30±0.079ab	804±2.077b	24.15±0.548c	0.921±0.076a	0.0382±0.065c
玄武岩 Basalt	9.58±0.048a	791±2.003c	28.41±0.667b	0.833±0.092b	0.0394±0.087bc

每列不同的小写字母代表不同土壤类型之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)

光合作用被称为是地球上最重要的化学反应, 同时也是全球碳循环和其他物质循环最重要的环节, 是植物将光能转换为化学能并进行有机物合成的生物过程^[33-34]。本研究发现不同类型土壤栽培下苦丁茶树叶片主要光合因子 (P_n 、 G_s 、 Tr 和 V_{pdl}) 日变化趋势大致相同, 均呈典型的“单峰”型曲线, 且没有出现“光合午休”现象。说明苦丁茶树光合因子的日变化趋势不受土壤类型栽培的影响, 这也与前期研究发现不同强度的遮荫栽培措施下, 苦丁茶树叶片光合因子日变化趋势也在各处理之间结果一致^[6], 说明影响苦丁茶树光合因子日变化趋势的主导因子为基因型, 而环境因子 (如土壤和光照) 对其无明显影响。植物叶片 P_n 、 G_s 、 Tr 和 V_{pdl} 是表征光合作用的重要指标, 其大小可直接反应该植物的光合能力, 进而决定植物生长发育和生产力^[30, 35]。本研究发现, 7 种类型的土壤栽培条件下苦丁茶树叶片日均 P_n 和 Tr 值大小依次为: 石灰岩 > 石英砂岩 > 玄武岩 > 长石石英砂岩 > 第四纪红色黏土 > 变余砂岩 > 煤系砂页岩, 其中石灰岩土壤栽培条件下日均 P_n 值相比其他 6 种土壤下的显著提高了 13%—45%, 表明石灰岩土壤栽培条件下苦丁茶树光合能力强于其他 6 种土壤, 尤其是与煤系砂页岩土壤之间差异十分明显。由叶片生长和解剖结构的数据分析其原因, 因石灰岩土壤栽培条件下苦丁茶树叶片生长和内部解剖结构相关指标均优于其他 6 种土壤栽培下的, 说明苦丁茶树在石灰岩土壤栽培时可通过增加叶片长度、宽度和厚度, 促进叶片吸收更多的光, 从而提高叶片的光能利用率^[27, 31]。另外, 苦丁茶树在石灰岩土壤栽培下增加了叶绿素含量, 尤其是叶绿素 b, 因叶绿素 b 在蓝紫光部分的吸收带较宽, 故苦丁茶茶树可利用蓝紫光在低光照时进行一定的生长发育^[32-33]。

不同类型土壤栽培条件下苦丁茶树叶片 P_n 值都与 $Cond$ 和 Tr 呈显著正相关关系、都与 V_{pdl} 呈负相关关系, 这是因为当蒸汽压亏缺增大时, 植株大量失水导致细胞水势下降, 蒸腾速率降低^[34], 蒸腾速率的降低影响矿质元素和水分的吸收, 进而影响光合作用的进行。同时, 蒸腾速率降低使得光合产物输出变慢, 产生反馈抑制, 又会降低光合速率^[35]。表观量子效率是光合作用中光能转化效率的一种量度, 可以正确地反映光合机构

的机能变化,也可以反映叶片对弱光的利用能^[6,26]。本研究中苦丁茶树叶片在石灰岩土壤栽培下 Pn_{max} 、LCP、LSP 和 R_d 均最大,其 AQY 最大为 0.0491,而煤系砂页岩栽培时最低,表观量子效率越大,植物吸收与转换光能的色素蛋白复合体可能越多,利用弱光能力越强^[36],说明石灰岩土壤栽培使得苦丁茶树叶片吸收与转换光能的色素蛋白复合体增加,从而有效增强其利用弱光的能力,并提高光合速率。另外,不同岩性发育的土壤由于理化性质上的差异,所提供植物的营养物质在质和量上明显不同,故不同类型土壤上栽培的植物生长发育状况也各不相同^[21]。本研究得出,苦丁茶茶树生长在石灰岩性土壤时,叶片生长发育和光合能力相对其他类型的土壤高。从土壤理化性质上来分析,由于石灰岩形成土壤速度慢,矿质元素丰富,团粒结构较少,土层较薄,土壤 pH 值为 6.24,属于中性土壤,适宜植物的生长发育^[37]。从表 1 分析得出,石灰岩土壤具有相对较高的氮、磷、钾和有机质含量,故石灰岩土壤中栽培的苦丁茶树受到的养分等环境胁迫性相对较小,更适宜其生长发育和光合作用。但是,煤系砂页岩土壤磷、钾和有机质含量相对较低,土壤养分贫瘠,pH 值为 4.90 偏酸性,且多为粘性土壤,土壤透气性不好,故造成该土壤类型栽培下的苦丁茶叶片生长发育和光合能力均最低,这与夏贵菊等研究发现土壤磷素亏缺会限制芦苇光合作用的结果相符合^[21]。

3.2 结论

随着苦丁茶种植业的大力发展以及其对西南地区经济带动的趋势下,苦丁茶栽培和抚育管理中,应将栽培管理措施与其生长发育及生理特性结合起来,通过创造苦丁茶最佳生长环境来有效提高苦丁茶的产量和品质。本研究表明:在石英砂岩、石英砂岩、玄武岩、长石石英砂岩、第四纪红色黏土、变余砂岩和煤系砂页岩这 7 种不同类型的土壤中,石灰岩性发育的土壤栽培最有利于苦丁茶树叶片生长发育、并促进叶绿素的生成和加强对光能的吸收利用,进而有效提高其叶片光合能力,最终实现苦丁茶的高产和优质,其次为玄武岩土壤,而煤系砂页岩性发育的土壤是最不利于苦丁茶树叶片的生长发育和光合作用。故建议在苦丁茶种植业的发展和建立规模化生产基地时因选择由石灰岩性母岩发育的土壤进行栽培。

参考文献 (References):

- [1] 曹芳,陈明,冯文静,邓先扩,陈金秀,谭辉. 贵州粗壮女贞降血糖作用初探. 四川中医, 2008, 26(12): 57-58.
- [2] 曹芳,谭辉. 粗壮女贞的化学成分与药理研究进展. 医药导报, 2007, 26(7): 756-758.
- [3] 陈一,何兴全,谢唐贵,李翠红. 粗壮女贞的降压作用. 中草药, 1995, 26(7): 360-361.
- [4] 杨礼旦,王安文. 粗壮女贞繁殖与栽培技术研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 181-182.
- [5] 舒任庚,姚敏娜,闵雷. 不同植物来源苦丁茶的化学成分及药理作用研究进展. 江西中医学院学报, 2008, 20(6): 91-94.
- [6] 闫小莉,王德炉. 遮荫对苦丁茶树叶片特征及光合特性的影响. 生态学报, 2014, 34(13): 3538-3547.
- [7] 叶善蓉,唐茜,杜晓. 四川粗壮女贞苦丁茶中黄酮的提取、分离与初步鉴定. 四川农业大学学报, 2004, 22(2): 157-160, 164-164.
- [8] 罗睿. 粗壮女贞的组织培养与快速繁殖. 植物生理学通讯, 2001, 37(5): 422-422.
- [9] 丁波,王德炉. 硒对粗壮女贞生理特性及叶绿素荧光参数的调控效应. 河南农业科学, 2012, 41(7): 58-61.
- [10] 何滔,周运超. 有机肥对粗壮女贞(苦丁茶)品质的影响. 河南农业科学, 2011, 40(2): 86-89.
- [11] 闫小莉,王德炉. 光强对粗壮女贞光合及生理生化特性的影响. 林业实用技术, 2011, (4): 3-5.
- [12] Bauhus J, Paré D, Côté L. Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a southern boreal forest. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30(8/9): 1077-1089.
- [13] Berg G, Smalla K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. FEMS Microbiology Ecology, 2009, 68(1): 1-13.
- [14] Wang G M, Stribley D P, Tinker P B, Walker C. Effects of pH on Arbuscular Mycorrhiza. I. field observations on the long-term liming experiments at Rothamsted and Woburn. New Phytologist, 1993, 124(3): 465-472.
- [15] 邹俊亮,邵明安,龚时慧. 不同植被和土壤类型下土壤水分剖面的分异. 水土保持研究, 2011, 18(6): 12-17.
- [16] Bechtold J S, Naiman R J. Soil texture and nitrogen mineralization potential across a riparian toposequence in a semi-arid savanna. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(6): 1325-1333.
- [17] 熊淑萍,张娟娟,杨阳,刘娟,王晓航,吴延鹏,马新明. 不同冬小麦品种在 3 种质地土壤中氮代谢特征及利用效率分析. 植物生态学报, 2013, 37(7): 601-610.
- [18] 王峰,陈玉真,尤志明,吴志丹,江福英,翁伯琦,张文锦. 不同类型茶园土壤腐殖质剖面分布特征研究. 茶叶科学, 2015, 35(3):

263-270.

- [19] 王峰, 陈玉真, 尤志明, 吴志丹, 江福英, 陈芝芝, 翁伯琦. 不同类型茶园土壤团聚体组成特征及稳定性研究. 茶叶科学, 2014, 34(2): 129-136.
- [20] 屠兴祖. 不同海拔高度茶树叶片的解剖结构. 中国茶叶, 1986, (6): 16-16, 17-17.
- [21] 夏贵菊, 何彤慧, 赵永全, 邓鑫, 郭宏玲, 段志刚. 不同土壤类型对芦苇生长及光合特征的影响. 西北植物学报, 2014, 34(6): 1252-1258.
- [22] 黄绢, 陈存, 张伟溪, 丁昌俊, 苏晓华, 黄秦军. 干旱胁迫对转 *JERF36* 银中杨苗木叶片解剖结构及光合特性的影响. 林业科学, 2017, 53(5): 8-15.
- [23] 王海珍, 韩路, 徐雅丽, 牛建龙. 胡杨异形叶光合作用对光强与 CO₂ 浓度的响应. 植物生态学报, 2014, 38(10): 1099-1109.
- [24] 张淑勇, 周泽福, 夏江宝, 张光灿. 不同土壤水分条件下小叶扶芳藤叶片光合作用对光的响应. 西北植物学报, 2007, 27(12): 2514-2521.
- [25] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 1949, 24(1): 1-15.
- [26] 王荣荣, 夏江宝, 杨吉华, 赵艳云, 刘京涛, 孙景宽. 贝壳砂生境干旱胁迫下杠柳叶片光合光响应模型比较. 植物生态学报, 2013, 37(2): 111-121.
- [27] 吕晋慧, 王玄, 冯雁梦, 李艳锋, 赵红霞, 王媛. 遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响. 生态学报, 2012, 32(19): 6033-6043.
- [28] 束际林. 茶树叶片解剖结构鉴定的原理与技术. 中国茶叶, 1995, (1): 2-4.
- [29] 刘世彪, 胡正海. 遮荫处理对绞股蓝叶形态结构及光合特性的影响. 武汉植物学研究, 2004, 22(4): 339-344.
- [30] Tartachnyk I I, Blanke M M. Effect of delayed fruit harvest on photosynthesis, transpiration and nutrient remobilization of apple leaves. New Phytologist, 2004, 164(3): 441-450.
- [31] 董如磊, 喻方圆, 欧阳献. 遮荫对东京野茉莉幼苗叶片形态和解剖结构的影响. 江西农业大学学报, 2010, 32(5): 974-981.
- [32] Boardman N K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. Annual Review of Plant Physiology, 1977, 28: 355-377.
- [33] 张淑勇, 张光灿, 陈建, 刘刚, 李小磊, 刘霞. 土壤水分对五叶爬山虎光合与蒸腾作用的影响. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 62-66.
- [34] 李西文, 陈士林. 遮荫下高原濒危药用植物川贝母 (*Fritillaria cirrhosa*) 光合作用和叶绿素荧光特征. 生态学报, 2008, 28(7): 3438-3447.
- [35] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33: 317-345.
- [36] Richardson A D, Berlyn G P. Spectral reflectance and photosynthetic properties of *Betula papyrifera* (Betulaceae) leaves along an elevational gradient on Mt. Mansfield, Vermont, USA. American Journal of Botany, 2002, 89(1): 88-94.
- [37] 杜雪莲, 王世杰, 罗绪强. 黔中喀斯特石漠化区不同土壤类型对常见植物叶片 $\delta^{13}C$ 值的影响. 环境科学, 2014, 35(9): 3587-3594.