

林药间作系统石蒜叶绿素及其荧光参数日变化特征

杨志玲¹, 杨旭¹, 谭梓峰¹, 甘光标^{1,2}, 王洁¹, 檀国印¹

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 云南农业大学 资源与环境学院, 云南 昆明 650102)

摘要: 研究了4种林药间作系统下石蒜(*Lycoris radiata*)叶片叶绿素及其荧光参数日变化特征。结果表明:(1) 石蒜叶片叶绿素总量在适宜生长的11月份最大,其值基本稳定在1.84~2.16 mg/g,叶绿素a/b值在1.38~2.05,不同林型培育方式对叶片叶绿素总量及叶绿素a/b值没有影响。(2) 不同林型培育方式下石蒜 F_v/F_m 值日变化曲线呈大V字型,即07:00之后, F_v/F_m 值缓慢下降,13:00 F_v/F_m 达到全天最低值,随后缓慢回升。(3) 林药间作系统下石蒜叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m (0.793)高于全光照下的 F_v/F_m (0.779),两者达到极显著差异,说明遮荫条件下石蒜叶片叶绿素分子的捕获激发能的效率比全光照下的更高。(4) 随着间作树种荫蔽程度加大,石蒜叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 值比全光照下的 F_v/F_m 分别超出1.54~2.48个百分点,证实石蒜对逐渐加大的遮荫具有适应和反馈能力。

关键词: 石蒜; 林药间作; 叶绿素; 叶绿素荧光参数; 日变化

中图分类号: S727.34; Q949.71⁺8.25 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)02-0322-06

Chlorophyll Content and Diurnal Variation Characteristics of Chlorophyll Fluorescence of *Lycoris radiata* under Inter-planting System of Forestry and Medicinal Herb

YANG Zhi-ling¹, YANG Xu¹, TAN Zi-feng¹,
GAN Guang-biao^{1,2}, WANG Jie¹, TAN Guo-yin¹

(1. College of Resources and Environment, Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China; 2. Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: A study of chlorophyll content and diurnal changing characteristics of chlorophyll fluorescence of *Lycoris radiata* under inter-planting system of forestry and medicinal herb was carried out. The following results were obtained: (1) Chlorophyll content of *L. radiata*'s leaf arrived at the peak on Nov. under different inter-planting species, with the values almost keeping stable from 1.84 to 2.16 mg/g, while the ratio of Chlorophyll a/b varied from 1.38 to 2.05. Inter-planting tree species did not influence the leaf chlorophyll content and the ratio of chlorophyll a/b. (2) The curve of diurnal variation of chlorophyll fluorescence showed a V shape, i. e. it slowly went down from 07:00, arrived at the lowest point at 13:00, then gradually rose again. (3) The average value of Chlorophyll fluorescence (F_v/F_m , 0.793) of *L. radiata* cultivated under

收稿日期: 2010-06-18 修回日期: 2011-02-15

基金项目: 科技部林业公益性专项(200704022)、浙江省重点农业项目(2004C22041)和浙江省林业厅财政补助专项(07A03)

作者简介: 杨志玲(1969—),女,副研究员,博士,主要从事经济林培育、药用植物及其生理基础研究, E-mail: zlyan_g0002@126.com。

different inter-planting tree species remarkably surpassed the data ($F_V/F_M, 0.779$) of that cultivated under full-exposure, the results displayed that the difference between the former and the latter reached a significant level. This showed that the efficiency of acquiring excitation energy of the former leaf chlorophyll was stronger than that of the latter. (4) With the elevation of shading, Chlorophyll fluorescence (F_V/F_M) of *L. radiata* leaf was higher than those under full-exposure with range from 1.54% to 2.48%. This results suggests that *L. radiata*'s leaf has the ability to adapt and feedback to the gradual changes of shading.

Key words: *Lycoris radiata*; inter-planting system of forestry and medicinal herb; chlorophyll content; chlorophyll fluorescence; diurnal variation

石蒜 (*Lycoris radiata*) 为典型多用途野生植物^[1-2], 分布于我国长江流域至华东、华南、西南等 16 个省区, 在林缘、水边、潮湿林下可见其自然生长的踪影。近期药理研究^[3]证实, 石蒜中加兰他敏对阿尔兹海默病有特殊疗效。此外, 石蒜还可作为秋冬地被植物和地被花卉开发利用^[4-6]。随着石蒜园艺和药用价值被认可, 其野生资源遭到近乎掠夺式的采挖和开发利用^[2,7-8]。基于生产实践中石蒜资源短缺, 作者认为只有开展野生资源引种驯化研究, 应用集成技术进行规模化培育, 才能在短期内获得较多优质资源和提供生产利用, 保证其资源既能造福人类又不遭受破坏。基于以往对石蒜引种驯化培育报道不多, 该属植物又有耐荫喜湿的生理生态习性, 在引种栽培中还没有遮荫试验, 直接在林区对石蒜进行抚育, 环境条件难以符合要求, 操作可能性不大, 大规模人工栽培在遮荫上投入巨大, 有必要采用合理遮荫管理措施来降低成本, 在林木树冠形成的遮荫条件下培育石蒜应是极好方式。

植物具有对弱光适应性的调节能力, 而阴生植物捕光能力强, 光合效率相对较高^[8-9]。叶绿素是植物吸收和传递光量子的光合色素, 低的叶绿素 a/b 值能提高植物对蓝紫光的吸收, 因而在含蓝紫光较多的弱光条件下, 具有较低的叶绿素 a/b 值及较高叶绿素含量的耐荫植物, 也具有较高的光合活性^[10]。叶绿素荧光信号几乎可以反映所有环境因子对植物生理功能在不同水平上的变化, 被视为植物光合作用与受胁迫环境关系的内在指标和探针^[11-12]。叶绿素、光合速率和叶绿素荧光参数可以共同反映叶片的光合潜能以及光合初级产物水平^[13-15], 常作为评价植物对弱光和耐荫适应性重要生理指标^[10,16-18], 研究认为叶绿素荧光参数 (F_V/F_M) 与植物耐低温弱光性能间存在很好的相关性^[17-19], 近年来逐渐应用到评价耐荫树木、药用植物对光环境的适应性研究^[20-27]。

石蒜科植物光合碳代谢为景天科植物酸代谢 (CAM) 途径^[28-29], 这一特性导致对其光合速率测定非常困难, 故选择叶绿素和叶绿素荧光参数特性作为评价石蒜耐荫强度适应能力的生理指标。本文通过对林药间作模式下石蒜叶绿素和叶绿素荧光日变化特征的研究, 探讨不同林型形成的环境因子对其生理指标影响, 旨在为石蒜人工培育时上层树种选择和抚育管理提供技术支撑。

1 研究地概况

试验地兰溪市位于浙江省中西部, 地处钱塘江中游, 金衢盆地北缘, 地理位置坐标为北纬 29°1'20" ~ 29°27'30", 东经 119°13'30" ~ 119°53'50", 属中亚热带季风气候, 温暖湿润, 四季分明, 热量丰富, 雨量适中, 无霜期长, 夏季高温, 冬春寒潮, 梅雨伏旱显著, 全年平均气温 17.7 °C, 冬季平均 5.4 °C, 历史最低温度 -8.2 °C, 夏季平均 29.8 °C, 历史最高 41.3 °C, 年平均降水量 1 439 mm, 其中 5、6 月梅雨季节雨量集中, 无霜期平均 265 d。试验地为砂壤土, 土壤速效氮、磷、钾含量分别为 5.14 mg/kg、10.30 mg/kg 和 33.58 mg/kg, 土壤肥力中等偏上。因种植地邻近兰溪江, 晚间土壤有个自然回潮过程, 小环境自然湿度在晚间较高。试验地附近有野生石蒜分布。

2 研究方法

2.1 研究材料和试验设计

实验所用石蒜最初来源安徽大别山区的岳西县, 在 2005 年 4 月对石蒜鳞茎进行切割无性繁殖, 获得 1 a 生小鳞茎进行不同林型林分下间作培育, 另设全光照下培育为对照试验。3 种落叶树种为柃木 (*Alnus cremastogyne* Burkill)、重阳木 (*Bischofia poiyarpa*)、栲树 (*Koelreuteria paniculata*), 常绿树种为杜

英(*Elaeocarpus sylvestris* Poir)。几个树种的造林时间在2001年春季,2006年开展石蒜间种时所有林分全部郁闭。每个树种试验林面积在 0.5 hm^2 以上,林下石蒜种植密度均为 $10\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 。在每个林型的林分下设计不同部位的测点,具体分为林分的东部、西部、中部,旨在检测不同林型不同部位因树冠延展、枝条疏密而造成林下荫蔽度的差异及其对石蒜生理指标的影响。

2.2 叶绿素和叶绿素荧光测定

在石蒜叶片生长旺盛期的11月1次年2月,每月测定叶片叶绿素总量、叶绿素a、叶绿素b,每次试验重复测定3次,取其均值用于数据分析,具体测定时选取多个石蒜鳞茎叶片材料,除叶脉外对称将叶片剪取成丝状,用四分法取出 0.2 g 样品,加丙酮与无水乙醇混合提取液(丙酮:无水乙醇:蒸馏水体积比为 $4.5:4.5:1$),于室温下避光、浸提至叶片全白,用721分光光度计在波长 665 nm 和 649 nm 下测定,参照郝建军和刘延吉的方法用Aron法计算叶绿素含量^[30]。

在石蒜叶片生长旺盛期的11月1次年2月,每月选取天气相仿连续3天测定石蒜叶片叶绿素荧光参数日变化值,叶绿素荧光采用OS52-FL调制式叶绿素荧光仪(美国OPTI2Sciences)测定叶片初始荧光(F_0)和PS II光化学效率(F_v/F_m)参数指标;每天测定时间为07:00—19:00,叶片经30 min暗适应后测量,其脉冲光强为 $3\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,重复测定3次,取其均值进行数据分析。

2.3 数据处理

利用DPS7.05软件进行数据分析,用Excel 2003作图。

3 结果和分析

3.1 石蒜叶绿素含量特征

叶绿素是参与光合作用光能吸收、传递和转化的重要色素,并且在植物体内处于不断形成与分解的相对平衡状态中^[31]。植物的叶绿素含量及相对比例可随着植物叶片生长发育水平和不同季节环境条件的变化而变化,其含量和比例是植物适应和利用环境因子的重要指标,与叶片的光合机能具有密切的关系。叶绿素最重要的性质是能选择性地吸收光,高等植物中的叶绿素a和叶绿素b有不同的吸收光谱,阴生植物与喜光植物在叶绿素含量组成方面存在差异。一般来说,阴性植物的叶绿素b含量较阳性植物高(a/b 值小),叶绿素b含量相对提高使阴性植物叶片能够更有效地利用漫射光中的蓝紫光,适应于在遮荫处生长。一般认为阳性植物的叶绿素 a/b 比值约为3,耐荫植物的叶绿素 a/b 比值则约为2.3左右^[23]。

2009年11月到2010年2月连续4个月对石蒜叶片叶绿素总量及叶绿素 a/b 测定,结果如表1及表2。图1、表1数据显示:全光照和不同林药间作系统下培育的石蒜,在适宜生长的11月份叶片叶绿素总量最高,均值基本平稳在 1.84 (重阳木林分东部)~ 2.16 mg/g (桉木林分东部);在气温下降的12月份,叶绿素总量平稳下降到 1.03 (常绿中)~ 1.44 mg/g (桉木林分东部);2009年的1月和2月叶绿素总量差异相对较大,分别在 1.21 (空白)~ 2.10 mg/g (常绿林分东部)和 0.94 (常绿林分中部)~ 1.58 mg/g (栲树林分东部),在这可能与年初气温反复变化有关。

从表1可以看出,无论是在林药间作还是在全光照下培育,石蒜叶片叶绿素 a/b 比值在 1.38 (桉木东)~ 2.05 (重阳东),这一比值均未超出耐荫植物叶绿素 a/b 比值(2.3),这足以说明石蒜为典型耐荫植物。对4种树种林下与全光照下培育的石蒜叶片叶绿素总量与叶绿素 a/b 值进行方差分析,结果发现石蒜叶片叶绿素总量及其比值在培育方式之间并没有显著差异。

3.2 叶绿素荧光参数日变化特征

在林木与石蒜构成的林药生态系统中,由于上层林木树种特性,导致树冠形状、枝条稀疏、叶片稠密度等存在差异,使得林下荫蔽度变化极大,培育在林药生态系统中最低层的石蒜承受不同程度光胁迫,从而表现不同程度胁迫差异。叶绿素荧光参数 F_v/F_m 值是个稳定的研究植物胁迫反应常用的参数^[15,19]。它主要反映PS II反应中心内光能转化效率和开放的PS II反应中心捕获激发能的效率^[18]。

在全光照与林药间作系统下,林下不同测点石蒜叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 值日变化见图1。通过数据分析,发现以下规律性变化:①不同培育方式下 F_v/F_m 值日变化曲线呈大V字型,即07:00 F_v/F_m

表1 不同林药间作系统林下不同测点石蒜叶片叶绿素总量变化

Tab. 1 Variation of chlorophyll content of *L. radiata*'s leaf under different inter-plant species

月份 Month	11月 Nov.	12月 Dec.	1月 Jua.	2月 Feb.
空白 CK	2.058	1.064	1.230	1.325
栾树林分东部 East of K.	2.063	1.216	1.474	1.581
栾树林分中部 Central of K.	2.128	1.147	1.952	1.578
栾树林分西部 West of K.	2.02	1.188	1.657	1.042
常绿林分东部 East of E.	2.019	1.235	2.098	1.080
常绿林分中部 Central of E.	1.962	1.029	1.436	0.942
常绿林分西部 West of E.	2.11	1.35	1.693	1.212
桉树林分东部 East of A.	2.162	1.44	2.090	1.537
桉树林分中部 Central of A.	2.085	1.347	1.932	1.345
桉树林分西部 West of A.	2.008	1.371	1.964	1.330
重阳林分东部 East of B.	1.843	1.277	1.663	1.334
重阳林分中部 Central of B.	1.985	1.212	1.935	0.962
重阳林分西部 West of B.	2.046	1.231	1.542	0.949

K. E. A. B. 分别是 *Koelreuteria paniculata* Laxm、*Elaeocarpus sylvestris* Poir、*Alnus cremastogyne* Burk. *Bischofia polycarpa* (Levl.) Airy Shau 的缩写形式。

K. E. A. B. respectively refer to *Koelreuteria paniculata* Laxm, *Elaeocarpus sylvestris* Poir, *Alnus cremastogyne* Burk, *Bischofia polycarpa* (Levl.) Airy Shau.

表2 不同树种套种林下石蒜叶片叶绿素 a/b 变化

Tab. 2 Variation of Chlorophyll a/b of *L. radiata*'s leaf under different inter-plant species

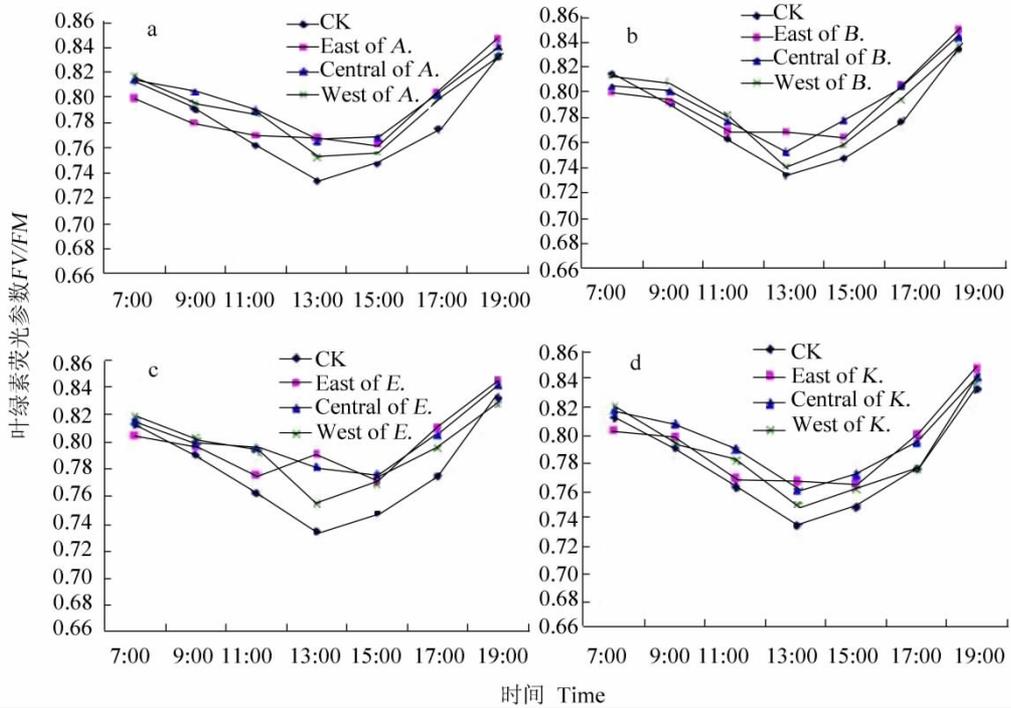
月份 Month	11月 Nov.	12月 Dec.	1月 Jua.	2月 Feb.
空白 CK	1.610	4.714	4.504	4.737
栾树林分东部 East of K.	1.611	4.251	4.694	3.808
栾树林分中部 Central of K.	1.472	4.369	4.598	4.169
栾树林分西部 West of K.	1.765	4.275	5.060	4.612
常绿林分东部 East of E.	1.721	3.718	4.099	4.093
常绿林分中部 Central of E.	1.913	4.127	4.594	4.204
常绿林分西部 West of E.	1.516	3.583	4.537	4.091
桉树林分东部 East of A.	1.425	3.591	3.617	3.960
桉树林分中部 Central of A.	1.571	3.697	4.580	3.972
桉树林分西部 West of A.	1.814	3.625	4.440	3.958
重阳林分东部 East of B.	2.753	3.643	5.617	4.486
重阳林分中部 Central of B.	1.833	4.184	4.558	4.501
重阳林分西部 West of B.	1.723	4.021	4.968	4.359

K. E. A. B. 分别是 *Koelreuteria paniculata* Laxm、*Elaeocarpus sylvestris* Poir、*Alnus cremastogyne* Burk. *Bischofia polycarpa* (Levl.) Airy Shau 的缩写形式。

K. E. A. B. respectively refer to *Koelreuteria paniculata* Laxm, *Elaeocarpus sylvestris* Poir, *Alnus cremastogyne* Burk, *Bischofia polycarpa* (Levl.) Airy Shau.

值缓慢下降,13:00 F_v/F_m 达到全天最低值,随后又缓缓回升,其中09:00与17:00、11:00与15:00的 F_v/F_m 值约对称相等,07:00的 F_v/F_m 值均低于19:00的值。②不同林药间作模式中,林下不同测点石蒜 F_v/F_m 值均高于全光照下的值,重阳林分、栾树林分、桉树林分、杜英(常绿)林分中石蒜 F_v/F_m 分别是对照的101.54%、101.71%、101.71%和102.48%,这些充分说明随着间作树种特性及荫蔽程度加大,石蒜叶片叶绿素分子的捕获激发能效率有所升高,体现其对逐渐加大的树冠遮荫程度具有一定的适应和

反馈能力。经方差分析,表明全光照和林下石蒜 F_v/F_m 值呈现极显著差异 ($p < 0.01$)。③培育在同一树种林分下不同测点在同一时间点内 F_v/F_m 值差异并不特别显著,说明石蒜培育在同一树种林下不会产生剧烈的适应性反应。



a: 桉木林分; b: 重阳木林分; c: 杜英(常绿)林分; d: 栎树林分。

A. stands for *Alnus cremastogyne* Burkill Hand. - Mazz; B. stands for *Bischofia poiyarpa* (Levl.) Airy Shau; E. stands for *Elaeocarpus sylvestris* Poir; K. stands for *Koelreuteria paniculata* Laxm.

图1 不同林下石蒜叶片叶绿素荧光参数(F_v/F_m)日变化

Fig. 1 Daily variation of chlorophyll fluorescence(F_v/F_m) of *L. radiata*'s leaf under inter-planting tree species

4 讨论

本文研究的初步结果表明林型变化并不影响石蒜叶片叶绿素含量。同时,研究发现林药间作系统中适宜石蒜生长的11月份,叶片叶绿素含量最高,其值基本平稳在1.84~2.16 mg/g,叶绿素a/b的比值在1.38~2.05,这一比值正好在耐荫植物叶绿素a/b < 2.3的范围之内,可以佐证石蒜为典型耐荫植物。

林下培育的石蒜叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 日变化曲线呈大V字型。林下石蒜叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m (0.793) 高于全光照下的 F_v/F_m (0.779), 方差检验结果发现两者达到极显著差异。叶绿素荧光参数对土壤水分变化敏感是在一定条件下发生的,大量研究表明只有在水分胁迫条件下植物叶绿素荧光参数才发生显著变化^[32-33]。本文对不同林型对林分土壤含水量影响研究,结果发现:所有树种林分下土壤平均含水量为21.066%,其中杜英(常绿)林分下土壤平均含水量最高(25.004%),栎树林分下、重阳木林分下、桉木林分下和全光照土壤平均含水量依次为20.997%、19.469%、18.796%、14.974%^[34]。可见,间作引起的土壤含水量变化最大值为10.03%,显然这一变化不是叶绿素荧光参数对土壤水分敏感的范围之内。随着重阳木、栎树、桉木、杜英(常绿)林分下荫蔽程度逐渐加大,培育在这些林分下的石蒜叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 值分别比对照高于1.54~2.48个百分点,说明石蒜叶片对逐渐加大的树冠遮荫程度具有一定的适应和反馈能力。这一结论与部分学者^[20,25-26,28-29,32-33]对耐荫林木和药用植物,如青榨槭(*Acer davidii*)、牛膝(*Radix Achyranthis bidentatae*)、密花树(*Rapanea neriifolia*)、肖蒲桃(*Acuminatissima* Merr. et Perry)、川贝母(*Bulbus fritillariae cirrhosae*)、槲蕨(*Rhizoma drynariae fortunei*)和砂仁(*Fructus amomi*)等研究时,发现郁闭度越高叶绿素荧光参数 F_v/F_m 值也越大的结论一致。

综合研究结果认为,石蒜在林分形成的荫蔽中依然保持较高的叶绿素含量、较低的叶绿素a/b比值和较高叶绿素荧光参数 F_v/F_m 值,这些光合生理生态特性决定其适宜林药间作。

参考文献:

- [1] 王仁师. 关于石蒜属的生态地理[J]. 西南林学院学报, 1990, 10(1): 41-48.
- [2] 杨志玲, 谭梓峰, 杨旭, 等. 施肥对红花石蒜干物质积累和分配的影响[J]. 中南林学院学报, 2006, 26(6): 34-38.
- [3] 袁志敏, Erkinjuntti T. 加兰他敏治疗血管性痴呆及阿尔茨海默病疗效分析[J]. 国外医学: 老年医学分册, 2003, 24(6): 287-287.
- [4] 余本琪, 周守标, 罗琦, 等. 石蒜药用和园林应用价值[J]. 中国野生植物资源, 2006, 25(2): 29-32.
- [5] 刘志高, 邵伟丽, 黄华宏. 石蒜属植物的园林应用[J]. 河北农业科学, 2008, 12(3): 52-54.
- [6] 张露, 曹福亮. 石蒜属植物栽培技术研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2001, 23(3): 375-378.
- [7] 杨旭, 杨志玲, 左慧. 石蒜生长对杂草群落组成及物种多样性的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2008, 16(3): 211-218.
- [8] 黄俊, 郭世荣, 吴震, 等. 弱光对不结球白菜光合特性与叶绿体超微结构的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 352-358.
- [9] Thomson V P, Cunningham S A, Ball M C, et al. Compensation for herbivory by *Cucumis sativus* through increased photosynthetic capacity and efficiency[J]. *Oecologia*, 2003, 134: 167-175.
- [10] 李晓, 冯伟, 曾晓春. 叶绿素荧光分析及应用进展[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2186-2196.
- [11] 温国胜, 田海涛, 张明如. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用技术[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1973-1977.
- [12] 蔡永萍, 李玲, 李合生, 等. 霍山石斛叶片光合速率和叶绿素荧光参数的日变化[J]. 园艺学报, 2004, 31(6): 778-783.
- [13] Filella I, Serrano L, Serra J, et al. Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis[J]. *Crop Sci*, 1995, 35: 1400-1405.
- [14] 刘栓桃, 董艳敏, 卢亚楠, 等. 低温弱光对两个西葫芦品种幼苗光合速率及叶绿素荧光参数的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(2): 139-143.
- [15] 张亚杰, 冯玉龙. 喜光榕树和耐荫榕树光适应机制的差异[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(3): 297-340.
- [16] 王雁, 苏雪痕, 彭镇华. 植物耐荫性研究进展[J]. 林业科学研究, 2002, 15(3): 349-355.
- [17] 何明, 张伟春, 张艳玲. 不同耐弱光性茄子品种的叶绿素荧光参数比较[J]. 辽宁农业科学, 2008, 3: 15-17.
- [18] 李国景, 刘永华, 吴晓花, 等. 长豇豆品种耐低温弱光性和叶绿素荧光参数等的关系[J]. 浙江农业科学, 2005, 17(6): 359-362.
- [19] 张晓燕, 胡禅娜, 林霞, 等. 不同光照强度对榭蕨叶绿素荧光参数·色素含量及抗性生理的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(34): 11006-11008.
- [20] 陈屏昭, 王磊. 缺硫对脐橙叶片光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(5): 503-506.
- [21] 冯蕾, 白志英, 路丙社, 等. 氯化钠胁迫对枳椇和皂荚生长、叶绿素荧光及活性氧代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2503-2508.
- [22] 柯世省, 金则新. 水分胁迫和温度对夏蜡梅叶片气体交换和叶绿素荧光特性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 43-49.
- [23] 何炎红, 田有亮, 郭连生. 几种针阔叶树种不同光照强度下叶绿素荧光特性的研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(5): 467-472.
- [24] 邓雄, 韩保新, 蔡楚雄, 等. 生态公益林不同树种光适应特征研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005, 44(2): 240-243.
- [25] 王继永, 王文全, 刘勇林. 药间作系统中药用植物光合生理适应性规律研究[J]. 林业科学, 2003, 16(2): 129-134.
- [26] 马树华, 王庆成, 李亚藏. 汽车尾气对四种北方阔叶树叶叶绿素荧光特性的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(1): 15-20.
- [27] 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[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 3438-3445.
- [28] 孙灵芝, 郑成淑, 王秀峰. 高温胁迫对切花菊“神马”光合作用与叶绿素荧光的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2149-2154.
- [29] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社 2003: 150-210.
- [30] 郝建军, 刘延吉. 植物生理实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科技出版社, 2007, 103-105.
- [31] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002, 45-52.
- [32] 缴丽莉, 路丙社, 周如久, 等. 遮光对青榨槭光合速率及叶绿素荧光参数的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(1): 173-178.
- [33] 张艳丽, 张重义, 李友军, 等. 不同密度下牛膝叶绿素荧光特性比较[J]. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1089-1094.
- [34] 杨志玲, 杨旭, 余文仙, 等. 林药间作系统土壤养分变化及其对药用植物生长影响[C]//首届传统医药国际科技大暨博览会论文集, 2009: 1-6.