

兰州南北两山主要水土保持造林树种荧光特性比较

张瑞玲, 单立山, 李 毅, 张正中, 种培芳

(甘肃农业大学 林学院, 兰州 730070)

摘 要:在兰州南北两山,以自然分布的怪柳(*Tamarix chinensis*)、柠条(*Caragana intermedia*)、红砂(*Reaumuria soongorica*)为研究对象,在生长季利用 PAM-2000 便携式叶绿素荧光分析仪对其叶绿素荧光参数及其环境因子进行了测定。结果表明:3 种植物叶片的初始荧光(F_0)、最大光化学转换效率(F_v/F_m)、光化学淬灭系数(qP)、非光化学淬灭系数(qN)、光合有效辐射(PAR)、叶温(TMP)的日变化较明显。其中 F_v/F_m 和 qP 均呈反正态分布曲线日进程,在 13:00 强光下降低至最低值; F_0 , qN , PAR 和 TMP 则呈正态分布曲线日进程,在 13:00 达到最大值。3 种植物的 F_v/F_m 在中午呈降低趋势,在 13:00 左右达到的最低值分别为 0.778(怪柳),0.676(柠条)和 0.65(红砂),表明均发生光抑制现象,但红砂受到的胁迫最大。

关键词:叶绿素荧光; 光合有效辐射; 最大光化学转换效率; 水土保持造林树种

中图分类号:Q945; Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)01-0361-04

Research of Fluorescence Characteristics of Main Afforestation Tree Species for Soil and Water Conservation in Lanzhou Northern and Southern Mountains

ZHANG Ruiling, SHAN Lishan, LI Yi, ZHANG Zhengzhong, CHONG Peifang

(College of Forestry Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The *Tamarix chinensis*, *Caragana intermedia* and *Reaumuria soongorica* naturally distributed in Lanzhou northern and southern mountains were selected as the research objects, a portable Chlorophyll fluorescence analyzer PAM-2000 was used to determine the chlorophyll fluorescence parameters and environmental factors in their growth season. The results showed that the initial fluorescence of three kinds of plant leaves (F_0), maximum photochemical conversion efficiency (F_v/F_m), photochemical quenching coefficient (qP), non-photochemical quenching Ccoefficient (qN), photosynthetically active radiation (PAR), leaf temperature (TMP), diurnal variation were obvious. The processes of F_v/F_m and qP follow the normal distribution curve, anyway, bright light reduces to the minimum at 13:00; the processes of F_0 , qN , PAR and TMP follow the normal distribution curve, which reach the maximum at 13:00. The F_v/F_m of three plants shows the trend of lower at noon, reached the lowest at 13:00, which are 0.778 (*Tamarix chinensis*), 0.676 (*Caragana intermedia*) and 0.65 (*Reaumuria soongorica*), respectively, indicating that both the photo inhibition phenomenon, but the stress on *Reaumuria soongorica* is the greatest.

Keywords: chlorophyll fluorescence; photosynthetically active radiation; maximum photochemical conversion efficiency; afforestation tree species for soil and water conservation.

植物的生长发育离不开光合作用,光合作用是生物界所有物质代谢和能量代谢的物质基础,它包括一系列光物理、光化学和生物化学转变的复杂过程,在光合作用的原初反应,将吸收光能传递、转换为电能的过程

中,有一部分光能损耗是以较长的荧光方式释放的。自然条件下的叶绿素荧光直接反映了植物的光合效率和对光能的利用^[1-3]。叶绿素荧光动态变化包含丰富的光合及生理状态信息,但是原始荧光信号由于受背

收稿日期:2015-10-25

修回日期:2015-12-24

资助项目:国家自然科学基金(41361100,31560135,31360205,41461044);甘肃省科技支撑项目(1604FKCA088);中国博士后科学基金(2014M552514);科技部农业科技成果转化资金项目(2014GB2G100134);甘肃省高等学校科研项目(2015A-067)

第一作者:张瑞玲(1981—),女,甘肃武威人,在读硕士研究生,研究方向为植物生理生态。E-mail:rainbow_zrl@163.com

通信作者:李毅(1962—),男,湖北孝感人,博士生导师,主要从事林木遗传育种研究。E-mail:liyi@gsau.edu.cn

景噪音或生理生化过程等因素的影响,表现不太稳定,为了消除或减轻背景信号的影响,提高对环境响应的敏感度,为此,在实际应用中常以原始荧光参数为基础构造多种高级荧光参数,有利于更加有效地评估植物生长状态。利用植物叶片的初始荧光(F_o)、最大荧光(F_m)、可变荧光(F_v)和光合系统(PS II)最大光能转换效率(F_v/F_m)等叶绿素荧光参数研究植物的抗性,许多学者已应用于经济植物和树木,可以可靠地鉴定植物的抗旱、抗寒等生理指标^[2,4-8]。叶绿素荧光与光合作用中各个反应过程紧密相关,其动力学参数是以植物体内叶绿素为探针的一种快速、灵敏、无损伤的探测逆境对光合作用影响的理想方法,所以通过对植物体内叶绿素含量和叶绿素荧光动力学参数的分析来研究植物体内光合、蒸腾等生理生态过程的发生及任何逆境条件对光合作用各过程产生的影响都可通过体内叶绿素荧光诱导动力学变化反映出来,植物叶绿素荧光参数可以作为逆境条件下植物对逆境条件的响应及抗逆反应的指标之一^[9]。

兰州南北两山属于黄土高原半干旱地区,由于历史上的过度开发,原生植被遭到破坏,逆向演替加剧,气候干燥少雨,植被稀少,自然条件比较恶劣,生态系统极为脆弱。在以林为主的“两山”植被恢复和重建中,为了保证造林树种的成活、成林,对优良树种的选择不仅要考虑抗旱能力的栽培表现,而且必须研究树木的生理适应性^[10]。为此,本文对“两山”主要造林树种怪柳(*Tamarix chinensis*)、柠条(*Caragana intermedia*)、红砂(*Reaumuria soongorica*)的叶片为材料测定相同地理环境条件下其叶绿素荧光参数的日变化。通过对其叶绿素荧光参数进行测定,探讨不同植物光合生理特性及荧光特性的差异性,旨在为这些树种在西北地区的科学种植提供理论根据,并对西北地区退化生态系统的恢复与重建具有理论指导意义。

1 研究区概况与试验方法

1.1 试验区自然概况

试验区位于兰州九州台,该区属典型的黄土崩阶地,年平均日照时数 2 607.6 h,无霜期 185 d 左右,年降水量 349.9 mm,年蒸发量高达 1 664 mm,年均气温 8.9℃,极端最低气温 -23.1℃,极端最高气温 39.3℃,海拔 2 067 m。该区地带性植被为红砂、柠条、怪柳等灌木及少量新疆杨(*Populus alba*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等乔木为主的植被。整个试区植被稀疏,表现为强烈的干旱荒漠特征。

1.2 试验材料和方法

在红砂、柠条、怪柳植物营养生长旺盛期,在试验

区选择自然条件下生长基本一致的成年植株,每株选 3 个大小相似的植物枝条并做标记,选取植物枝条顶端向阳叶片中充分展开的叶片中部用 PAM-2000 便携式叶绿素荧光分析仪(Walz, Effeltrich Germany)进行活体测定,每株植物测定 1 个叶片,每叶片重复 3 次。叶片暗适应 30 min 后测定初始荧光(F_o),最大荧光(F_m)。参照 Genty 等^[11]公式计算如下参数:光系统 II (PSII)最大光能转换效率(F_v/F_m)= $(F_m - F_o)/F_m$,光化学猝灭系数 $qP = (F'_m - F_s)/(F'_m - F'_o)$,非光化学猝灭系数 $qN = (F_m - F'_m)/F'_m$ 。荧光参数的日变化从 8:00—18:00 每隔 2 h 测定 1 次,用 1 d 测定叶绿素荧光参数的平均值来分析日变化。

2 结果与分析

2.1 怪柳、柠条、红砂的生境环境因子日变化比较

由图 1A 可以看出,怪柳、柠条、红砂 3 种植物的叶温(TMP)均呈上升趋势,在 13:00 时分别达到日极值 37.33℃,34.5℃,37℃。3 种植物中怪柳的整体 TMP 最高,日均值高达 32.875℃,柠条次之,日均值高达 32.322℃,红砂的 TMP 最小,日均值为 31.657℃。

由图 1B 可以看出,3 种植物生境的光合有效辐射(PAR)日变化均呈单峰型,中午前后为 615.33~1 190.667 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,13:00 左右达到最大值,怪柳最大值为 732.667 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;柠条为 1 190.667 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;红砂为 1 172.667 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。3 种植物中,柠条的整体 PAR 最强,日均值高达 673.719 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,红砂次之,日均值为 617.575 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;怪柳的 PAR 日均值最低,为 289.727 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

2.2 相同环境条件下怪柳、柠条、红砂的初始荧光日变化比较

F_o 称初始荧光,代表不参与 PS II 光化学反应的光能辐射部分,是 PS II 反应中心处于完全开放时的荧光产量,其大小主要与 PS II 天线色素内的最初激子密度、天线色素到 PS II 反应的激发能传递速率的结构状态及叶绿素浓度有关,而与光合作用光化学无关^[12]。 F_o 的减少表明天线色素的热耗散增加, F_o 的增加则表明 PS II 反应中心破坏或可逆失活^[13]。从图 2 可以看出,3 种植物叶片的 F_o 日变化均表现从早晨开始逐渐上升,13:00—14:00 达到高峰,随之开始下降,到傍晚时恢复到早晨水平。3 种植物叶片的 F_o 在 13:00 时上升到最高,分别为怪柳(0.325),柠条为(0.342)和红砂为(0.342),日均值分别为 0.300,0.304,0.318。可见,在自然干旱条件下 3 种植物叶片的 PS II 反应中心在午间发生可逆失活。

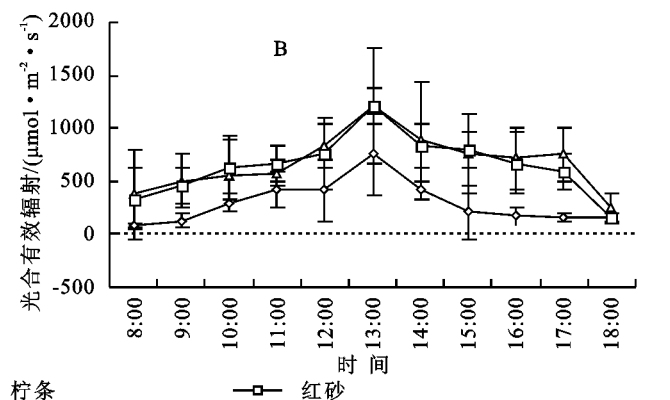
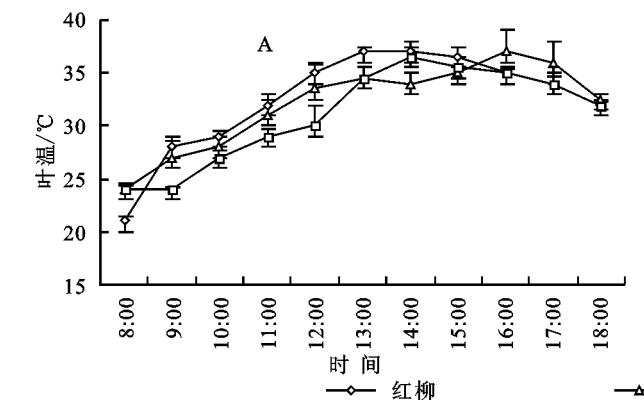


图 1 柽柳、柠条、红砂的叶温日变化、光合有效辐射比较

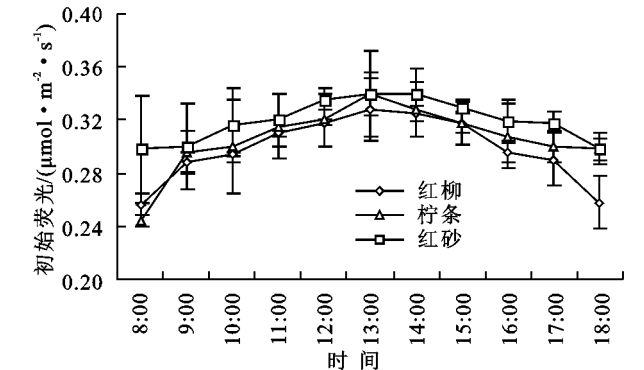


图 2 柽柳、柠条、红砂的初始荧光日变化比较

2.3 相同环境条件下柽柳、柠条、红砂的最大光化学转换效率日变化比较

Fv/Fm 反映了 PS II 最大光化学转换效率,是衡量植物光合性能的重要指标^[11],19 世纪 80 年代人们就发现,正常整理状态下,Fv/Fm 是一个很稳定的值,一般来说,在非胁迫条件下,大多数植物的健康叶片该指标可高达 0.8~0.9^[14],而遭受胁迫的叶片 Fv/Fm 值为 0.3~0.7^[15]。从图 3 中可以看出:柠条、红砂的 Fv/Fm 在 0.8 以下,而柽柳的 Fv/Fm 基本在 0.8 附近。3 种植物叶片的 Fv/Fm 值日变化均呈现午间下降趋势,在中午 13:00 左右达到的最低值分别为 0.778(柽柳),0.676(柠条)和 0.65(红砂),日均值柽柳为 0.803,柠条为 0.750,红砂为 0.733。由此说明,在自然干旱条件下柠条、红砂两种植物叶片均遭受胁迫,而柽柳只在 13:00 时遭受胁迫,其余时间未受胁迫。

2.4 相同环境条件下柽柳、柠条、红砂的光化学淬灭系数日变化比较

光化学淬灭系数(qP)反映的是 PSII 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额,要保持高的光化学淬灭就要使 PSII 反应中心处于“开放”状态,所以光化学淬灭又在一定程度上反映了 PSII 反应中心的开放程度^[16]。qP 愈大,PSII 的电子传递活性愈大。由图 4 可发现,柽柳、柠条、红砂的 qP 值变化较大,说明

3 种植物在 PS II 天线色素吸收的光能所用于光化学电子传递的份额上差异显著。qP 值在 13:00 左右达到一天中的最低值,其中柠条为 0.5,日均值为 0.830;而柽柳的最低值为 0.828,日均值为 0.934;红砂最低值为 0.803,日均值为 0.946。可见,红砂 qP 最大,其 PS II 的电子传递活性最大。

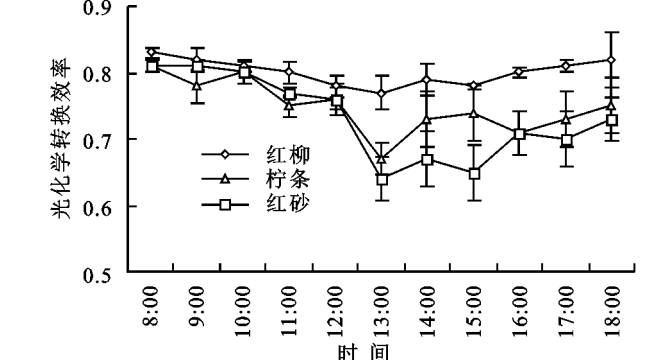


图 3 柽柳、柠条、红砂的光化学转换效率日变化比较

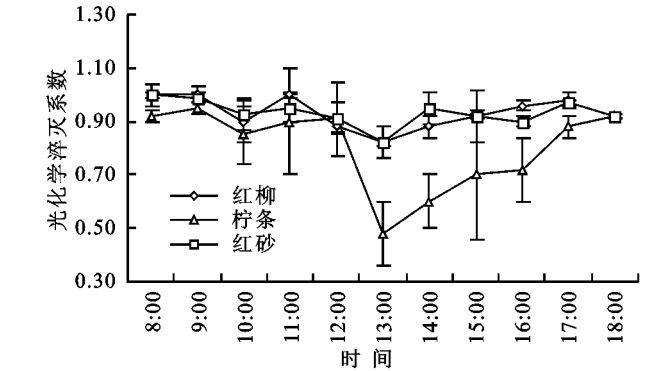


图 4 柽柳、柠条、红砂的光化学淬灭系数日变化比较

2.5 相同环境条件下柽柳、柠条、红砂的非光化学淬灭系数日变化比较

非光化学淬灭系数(qN)反映的是 PS II 天线色素吸收的不能用于光合电子传递而以热形式耗散掉的光能部分,它是一种自我保护机制,对光合机构起一定的保护作用^[17]。从图 5 还可以看出:qN 在中午 13:00 可达到最大,柠条为 0.928,日均值为 0.816;其次是红砂为 0.888,日均值为 0.712;柽柳为 0.832,日均值为 0.692。可见,柠条 PS II 天线色素吸收的

用于光合电子传递的光能部分最小,而桤柳最大。3种植物的叶片的 qN 日变化与 F_v/F_m 变化趋势相反,呈抛物线型。这主要是因为,在光强较弱的早晨及傍晚,叶片吸收的光能最大限度地用在光化学反应上,随着光强的增加及温度的升高,叶片把吸收的光能较多地转化到热耗散;在光强最强、温度最高的中午,转化到热耗散的能量最多,用在光化学反应上的能量比例则最少。

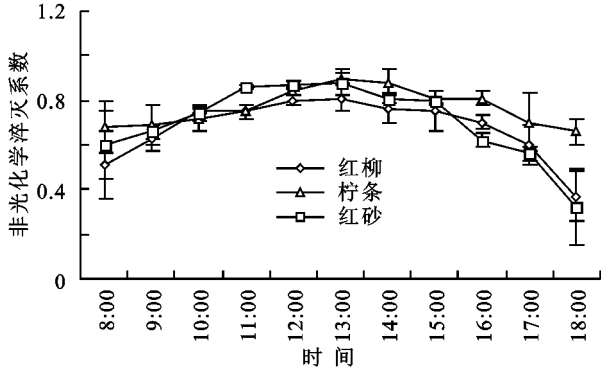


图5 桤柳、柠条、红砂的非光化学淬灭系数日变化比较

3 讨论与结论

3.1 相同环境条件下桤柳、柠条、红砂的初始荧光日变化比较

3种植物叶片 F_o 的日变化均表现从早晨开始逐渐上升,午间 13:00—14:00 达到高峰,随之开始下降,到傍晚时恢复到早晨水平。桤柳、柠条、红砂的日均值分别为 0.300, 0.304, 0.318。它们呈现出红砂 > 柠条 > 桤柳的下降趋势。可见,在自然干旱条件下 3种植物叶片的 F_o 从早晨到中午这段时间增加,说明 PSII 反应中心发生可逆失活;而后 F_o 又开始减小到早晨水平,说明 PSII 天线色素的热耗散增加^[18]。

3.2 相同环境条件下桤柳、柠条、红砂的最大光化学转换效率日变化比较

桤柳、柠条、红砂的 F_v/F_m 值在午间 13:00 左右均为 0.6~0.8,但桤柳的日均值为 0.803,它与柠条和红砂的 F_v/F_m 日均值差异显著,而柠条、红砂的 F_v/F_m 日均值差异不显著,分别为 0.750, 0.733,这说明桤柳的最大 PSII 的光能转化效率较柠条、红砂的高;呈现出桤柳 > 柠条 > 红砂的下降趋势。研究还发现,柠条、红砂两种植物生境的光强在中午高达 615.33~1190.667 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,这种高光强照射使其光合作用的光系统 PSII 最大光化学转换效率下降,并发生了光抑制现象,这一结果和贾荣亮^[19],刘玉冰^[20]等认为的植物在强光低湿条件下会发生光抑制的结论相同。而桤柳日均值为 0.8~0.9,表明它未发生光抑制现象。

3.3 相同环境条件下桤柳、柠条、红砂的光化学淬灭系数日变化比较

3种植物的光化学淬灭系数(qP)在午间 13:00 左右达到一天中的最低值,其中柠条的 qP 值的最低值 0.5,日均值为 0.830;桤柳的最低值为 0.828,日均值为 0.934;红砂最低值为 0.803,日均值为 0.946。呈现出红砂 > 桤柳 > 柠条的下降趋势,表明红砂的 PSII 天线色素吸收的光能所用于光化学电子传递活性最大。

3.4 相同环境条件下桤柳、柠条、红砂的非光化学淬灭系数(qN)日变化比较

柠条叶片 qN 在中午可高达 0.928,日均值为 0.816;其次是红砂为 0.888,日均值为 0.712;桤柳最低为 0.832,日均值为 0.692,呈现出柠条 > 红砂 > 桤柳的下降趋势。3种植物的叶片的非光化学淬灭系数(qN)日变化与 F_v/F_m 变化趋势相反,呈抛物线型。这主要是因为,在光强较弱的早晨及傍晚,叶片吸收的光能最大限度地用在光化学反应上,随着光强的增加及温度的升高,叶片把吸收的光能较多地转化到热耗散;在光强最强、温度最高的中午,转化到热耗散的能量最多,用在光化学反应上的能量比例则最少。说明在受到胁迫时,3种植物叶片光合电子传递活性从早晨到中午时增加,以热的形式耗散的能量比例较少,较多的光能转化为化学能用于光合碳同化,从而使其光合有效效率增加,而从中午之后 3种植物叶片光合电子传递活性降低,以热的形式耗散的能量比例较多,较少的光能转化为化学能用于光合碳同化,从而使其光合有效效率降低,这种在有限的水分条件下将过多的吸收光能通过非光化学的途径耗散是植物在长期干旱环境中表现出的自我保护机制。

参考文献:

- [1] 李晓,冯伟,曾晓春. 叶绿素荧光分析技术及应用进展[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2186-2196.
- [2] 蔡丽敏,董丽. 叶绿素荧光技术在园林植物中的应用[J]. 北方园艺, 2007(3): 75-77.
- [3] 何炎红,郭连生,田有亮. 7种针阔叶树种不同光照强度下叶绿素荧光猝灭特征[J]. 林业科学, 2006, 42(2): 27-31.
- [4] 徐德聪,吕芳德,栗彬,等. 不同立地美国山核桃叶绿素荧光特性及叶性状比较[J]. 经济林研究, 2005, 23(4): 17-20.
- [5] 周蕴薇,刘艳萍,戴思兰. 用叶绿素荧光分析技术鉴定植物抗寒性的剖析[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(5): 945-950.
- [6] 姚庆群,谢贵水,陈海坚. 干旱下保水剂对橡胶苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 热带作物学报, 2006, 27(1): 6-11.
- [7] 綦伟,谭浩,霍衡. 干旱胁迫对不同葡萄砧木光合特性和荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(5): 835-838.

滑坡发生起到了诱发和促使其加速变形的作用。水库蓄水后,大部分滑坡位于库水位之下或远高于库水位,受库水影响而产生滑动的可能性较小,但是如陈旗口南、燕子坪滑坡等15处滑坡,蓄水后在库水位作用下产生复活的可能性较大。

(3) 九甸峡水库蓄水对库区内滑坡的发育影响较大,其影响的表现:古滑坡复活,库岸再造和形成新滑坡,但是水库蓄水对原有泥石流沟发育影响较小。

(4) 水库蓄水对库区内泥石流的发育影响较小,泥石流沟的发育主要由降雨引起。库区内泥石流沟易发程度较高的有23条(约为54%);中等易发程度的有14条(约为33%);低易发程度的有6条(约为13%)。洮河支流泥石流活动微弱,且数量不多,暴发概率较小;但是库区内中等易发程度泥石流暴发规模较大,成灾严重。

致谢:在论文的写作过程中得到兰州大学梁收运教授和王志强教授级高级工程师的指导,同时由于九甸峡公司提供的宝贵监测数据和相关专家的支持才有此文的完成,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

[1] 郭碧云,傅旭东,张正峰. 龙溪河流域震后次生地质灾害分布与地形及河床演变关系[J]. 应用基础与工程科学

学报,2013,21(6):1005-1017.

- [2] 刘传正. 地质灾害勘察指南[M]. 北京:地质大学出版社,2000.
- [3] Deng J, Wei J, Hong M, et al. Response of an old landslide to reservoir filling: A case history[J]. Science in China, 2005,48(1):27-32.
- [4] 陈秀琼,陈永波,孔纪名,等. 二滩库区地质灾害分布规律及发展趋势分析[J]. 山地学报,2007,25(6):737-740.
- [5] 宋丹青,梁收运,王志强. 库水位对库岸边坡稳定性的影响[J]. 人民黄河,2016(7):95-99.
- [6] 白俊光,吕生弟,韩建设. 李家峡水电站坝前水库滑坡蓄水前后稳定性预测[J]. 岩土力学,2008,29(7):1723-1731.
- [7] 刘凤民,张立海,刘海青,等. 中国地震次生地质灾害危险性评价[J]. 地质力学学报,2006,12(2):127-131.
- [8] 甘肃省地质灾害防治工程勘察设计院. 洮河九甸峡水利枢纽灾害危险性评估报告[R]. 兰州:甘肃省地质灾害防治工程勘察设计院,2003.
- [9] Zhi M, Shang Y, Zhao Y, et al. Investigation and monitoring on a rainfall-induced deep-seated landslide[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2016,9(3):1-13.
- [10] 常金源,包含,伍法权,等. 降雨条件下浅层滑坡稳定性探讨[J]. 岩土力学,2015,36(4):995-1001
- [11] 吴琼,唐辉明,王亮清,等. 库水位升降联合降雨作用下库岸边坡中的浸润线研究[J]. 岩土力学,2009,30(10):3025-3031.

(上接第364页)

[8] 温国胜,田海涛,张明如,等. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用[J]. 应用生态学报,2006,17(10):1973-1977.

[9] 秦娟,上官周平. 子午岭林区山杨—辽东栎混交林的生理生态效应[J]. 应用生态学报,2006,17(6):972-976.

[10] 郭明玲,李楠,郭劲玲. 兰州市南北两山4个造林树种抗旱性的初步研究[J]. 甘肃科技,2005,21(7):175-176.

[11] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects, 1989,990(1):87-92.

[12] 卢从明,张其德,匡廷云. 水分胁迫对小麦光系统Ⅱ的影响[J]. 植物学报,1994,36(2):93-98.

[13] Xu C, Li D, Zou Q, et al. Effect of drought on chlorophyll fluorescence and xanthophyll cycle components in winter wheat leaves with different ages[J]. Acta Phytobiologica Sinica, 1998,25(1):29-37.

[14] Odaşz-Albrigtsen A M, Tømmervik H, Murphy P. Decreased photosynthetic efficiency in plant species exposed to multiple airborne pollutants along the Russian-Norwegian border[J].

Canadian Journal of Botany, 2000,78(8):1021-1033.

- [15] Öquist G, Wass R. A portable, microprocessor operated instrument for measuring chlorophyll fluorescence kinetics in stress physiology[J]. Physiologia Plantarum, 1988,73(2):211-217.
- [16] Demmig-Adams B, Adams Iii W W. Photoprotection and other responses of plants to high light stress[J]. Annual Review of Plant Biology, 1992,43(1):599-626.
- [17] Roháček K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships[J]. Photosynthetica, 2002,40(1):13-29.
- [18] 种培芳,李毅,苏世平. 荒漠植物红砂叶绿素荧光参数日变化及其与环境因子的关系[J]. 中国沙漠,2010,30(3):539-545.
- [19] 贾荣亮,周海燕,谭会娟,等. 超旱生植物红砂与珍珠光合生理生态日变化特征初探[J]. 中国沙漠,2006,26(4):631-636.
- [20] 刘玉冰,张腾国,李新荣,等. 红砂(*Reaumuria soongorica*)忍耐极度干旱的保护机制:叶片脱落和茎中蔗糖累积[J]. 中国科学,2006,36(4):328-333.