

西安浐灞生态区光合有效辐射变化规律研究及气候学计算

张宏利¹, 张纳伟锐², 魏俊涛¹, 樊婷丽¹, 杨胜利¹

(1. 陕西省西安市气象局, 西安 710016; 2. 中山大学 地球科学系, 广州 510000)

摘要: 使用西安浐灞生态区 2011 年 4—10 月(世园会期间)光合有效辐射 PAR 及邻近气象站观测资料, 应用气候统计方法分析探讨了该地的 PAR、光合有效辐射系数 η_Q 的基本变化特征及形成原因。主要结论有: 4—10 月西安世园会址的 PAR 为 5 095.2 mol/m², 平均月、日总量分别为 727.9 mol/m², 23.8 mol/(m² · d); PAR 总量夏季大于春季, 春季明显大于秋季, 原因为罕见秋霖; PAR 的日变化为中午大, 早晚小, 且春、夏季明显高于秋季, 晴天日多为 500~600 mol/m², 阴天日多为 200~300 mol/m²。 η_Q 具有明显的月份和季节变化特征, 拟合曲线呈双峰型, 7 月和 10 月为峰值月, 5 月和 9 月为谷值月; η_Q 值夏季最大, 秋季次之, 春季最小; η_Q 日变化特点为阴天日明显高于晴天日, 二者平均相差 0.47 mol/MJ。最后提出了适合西安的 η_Q 气候学经验计算公式。

关键词: 西安浐灞; 生态区; 光合有效辐射; 光合有效辐射系数; 气候学计算

中图分类号: TK511

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)01-0260-04

Study of Variation Rules of Effective Photosynthetic Radiation in Chanba Ecological Zone of Xi'an and Relevant Climatology Calculations

ZHANG Hong-li¹, ZHANG Na-wei-rui², WEI Jun-tao¹, FAN Ting-li¹, YANG Sheng-li¹

(1. Xi'an Meteorological Bureau of Shaanxi Province, Xi'an 710016, China;

2. Department of Earth Science, Sun-Yat-Sen University, Guangzhou 510000, China)

Abstract: Using the observation data of Photosynthetically Active Radiation(PAR) and adjacent weather stations of an international horticultural expo address (Chanba) from April to October in 2011, and the application of statistical methods, the basic characteristics and the origins of those PAR and η_Q (Photosynthetic active radiation coefficient) data was analyzed. The results showed that from April to October in 2011, Xi'an international horticultural EXPO address displayed 5 095.2 mol/m² PAR, with a monthly and daily average sum of 727.9 mol/m², 23.8 mol/(m² · d), respectively. PAR sum was higher in summer than in spring, and it is greater in spring than in autumn due to the intensive autumn precipitation; the daily changes of PAR were bigger at noon, and smaller in the morning and evening. PAR in spring and summer were evidently higher than autumn, PAR in sunny days were often 500~600 mol/m², and it was always 200~300 mol/m² in cloudy days; η_Q had obvious monthly and seasonal variation characteristics. The fitted curve showed twin-peak type: July and October for peak months, May and September for valley months. η_Q value was maximum in summer, it ranked the second in autumn, and it was minimum in the spring; Daily-change characteristics of η_Q indicated that cloudy days were clearly higher than sunny days, with an average difference of 0.47 mol/MJ. Finally, the most suitable climatology experience formula for η_Q calculation in Chanba Xi'an was put forward.

Key words: Xi'an international horticultural expo address (Chanba); photosynthetic active radiation; photosynthetic active radiation coefficient; climatology calculation.

光合有效辐射(Photosynthetically Active Radiation, PAR),是指太阳辐射能中可以被绿色植物用

来进行光合作用的能量^[1],是植物生长所需的基本能源,波长 400~700 nm^[2]。PAR 的量度有光学、能量

和量子 3 种系统^[3]。国内外对 PAR 特征的研究主要集中在 PAR 及光合有效辐射系数(PAR 与太阳总辐射 Q 之比, η_Q) 的变化特征及影响因子的分析方面^[4]。目前常规气象台站没有 PAR 的观测项目, 所以对其估算还需借助于气候学计算^[5]。而 PAR 的估算与 η_Q 关系密切, 因此问题的焦点归结于 η_Q 的确定。前人对 PAR 及 η_Q 的区域研究较多, 但对生态区、园林展会等区域的研究较少。西安乃至关中平原至今未见 PAR 的系统观测资料及相应研究。

本研究以西安 2011 年世园会期间浐灞生态区 4—10 月 PAR 的基本观测资料为准, 对该地区主生长期的花卉苗木冠层上部量子 PAR 及 η_Q 变化规律进行研究, 对其日变化、季节变化及其影响因素进行深入分析, 以期总结西安世园会花卉苗木在浐灞良好生长、精彩展示以及以后其它城市举办世园会提供翔实的科学数据, 也为西安生态系统平衡建设及有效发挥生态、气候资源效能提供理论依据。同时对 PAR、 η_Q 数据在西安生态系统模型建立、气候变化监测、生态安全研究与决策等方面的推广与深入应用到一定的作用。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

研究区域位于西安东北角的浐灞国家级生态区, 属“长安八水”中的浐、灞水系区域, 该区成立于 2004 年 9 月, 规划总面积 129 km², 属暖温带半湿润大陆性季风气候, 年均温 13~14℃, 最冷 1 月均温 -2~0℃, 最热 7 月均温 26~27℃; 年降水量 520~720 mm, 主要集中在 4—9 月。2008 年初开始, 全区以“绿色引领时尚”为理念筹办西安世园会, 直至 2011 年 4 月开园。研究区域是我国西北生态建设、园林展会最具代表性的地区, 发育并建设多种类型的生态系统。

1.2 数据来源

在研究区域的东南角后勤入口附近设有一气象塔, 该塔地理位置为 34°18'54"N、109°03'46"E, 海拔高度 385 m。塔上设有 28 个气象要素探测设备, 光合有效辐射表是其中之一, 离地面高度为 2.5 m。使用华创风云集团生产的 FPH-1 型光合有效辐射表进行测定, 光谱范围为 400~700 nm, 灵敏度为 5~50 $\mu\text{V}/\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 响应时间为 1 s, 余弦校正至 80° 入射角, 余弦响应 $\leq 10\%$, 每分钟取样一次; η_Q 研究选用离西安世园会会址 15 km、海拔高度 410 m 的泾河国家基准气候站同期太阳总辐射、水汽压观测资料。

因在规定的范围内, 引用资料不做差异处理^[6]。研究资料时段为 2011 年 4 月 15 日—2011 年 10 月 31 日, 以西安日出—日落为界, 取每日西安浐灞世园会址的光合有效辐射及泾河太阳总辐射、水汽压观测资料, 春、夏、秋三季的界定为 4—5 月、6—8 月、9—10 月。

2 结果与分析

2.1 PAR 变化规律

2.1.1 PAR 季节变化 2011 年 4—10 月西安世园会址的 PAR 为 5 095.2 mol/m², 平均每月、每日总量为 727.9 mol/m²、23.8 mol/(m²·d)。春、夏、秋三季的月平均 PAR 分别为 795.3, 834.7, 500.4 mol/m², PAR 总量夏季大于春季, 春季大于秋季。但夏季与春季只相差 39.4 mol/m², 差异不明显, 这是由 2011 年春旱少雨多晴好天气所造成的。而春夏与秋季相差近 300 mol/m², 原因为 2011 年罕见秋霖, 9 月降水量为 255.8 mm, 较西安站 9 月历史平均降雨量 91.6 mm 偏多 164.2 mm(图 1)。

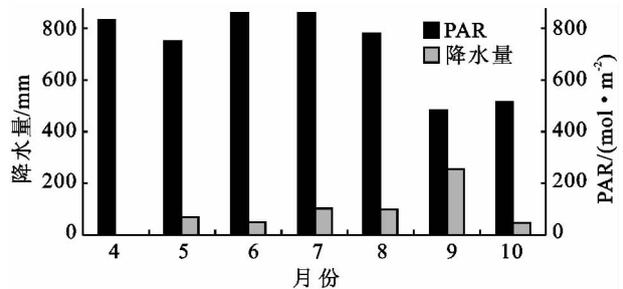


图 1 西安浐灞世园会址逐月 PAR 及降水量分布

2.1.2 PAR 日变化 2011 年 4—10 月浐灞 PAR 日变化分析, 以 4 月、7 月、10 月分别代表春、夏、秋季, 在各季节中选择典型晴天日(总云量 ≤ 3 成)、阴天日(总云量 ≥ 8 成)白天的各时平均瞬间值进行绘图(图 2), 典型晴天日为 4 月 27 日、7 月 8 日、10 月 16 日, 典型阴天日为 4 月 20 日、7 月 3 日、10 月 22 日。由图 2 可见, 晴天和阴天的 PAR 日变化与太阳高度角的日变化趋势是一致的, 这反映了辐射通量与太阳高度的正弦成正比的变化趋势^[7], 说明太阳高度角是影响太阳辐射的首要因子。早晚 PAR 很弱, 随着太阳高度角的升高, 近地面总辐射增大, PAR 亦迅速增大, 在中午时 PAR 达到大值(阴天比晴天早一些或迟一些), 之后又随太阳高度角的减小而迅速减小。尽管晴天和阴天 PAR 总的变化趋势相同, 但它们之间的差异仍很大。显然, 晴天时 PAR 变化是循序渐进的, 曲线很平滑, 在正午时刻达到一天中的最大值; 阴天时, PAR 的波动很大, 极值出现的时间与晴天不一致, 这主要与阴天条件下的各时刻的云量状

况和大气透明度有关;在春、夏季,晴天日和阴天日的 PAR 日变化总量与振幅相当,但春、夏季明显高于秋

季,晴天日为 500~600 mol/m²,阴天日为 200~300 mol/m²。

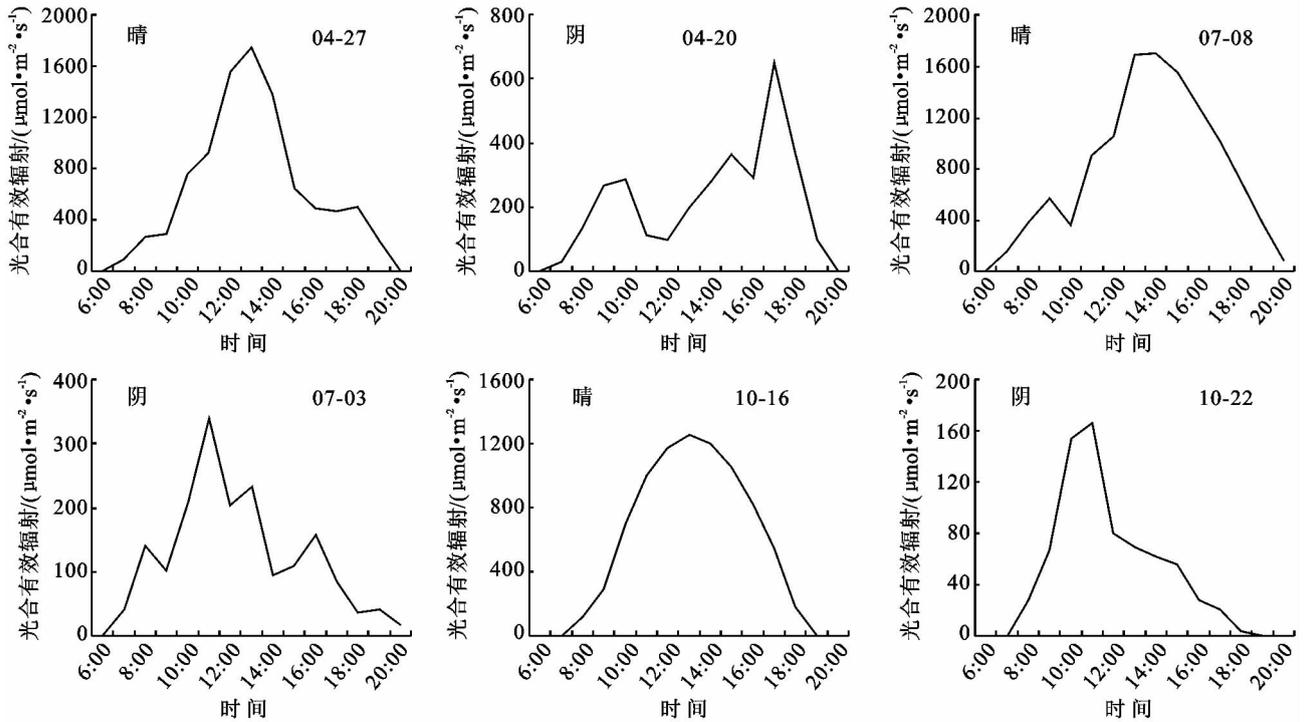


图2 西安浐灞世园会址春、夏、秋典型晴天日、阴天日各时 PAR 变化

2.2 η_Q 变化特点

2.2.1 η_Q 季节变化 图3为世园会址2011年4—10月每日 η_Q 变化散点图,并通过4次多项式进行了拟合。从图3可知, η_Q 具有明显的月份和季节变化特征。拟合曲线呈双峰型,7月和10月为峰值月,5月和9月为谷值月。季节分布上以夏季值为最大,达1.75 mol/MJ;秋季次之,为1.73 mol/MJ;春季最小,为1.56 mol/MJ。4—10月 η_Q 值平均为1.69 mol/MJ,8月最大,4月最小;每日平均 η_Q 最大值为2.48 mol/MJ,出现在7月22日。 η_Q 最小值为1.00 mol/MJ,9月出现次数最多,达6次。

2.2.2 η_Q 日变化 表1说明,阴天日的 η_Q 值明显高于晴天日,两者平均相差0.47 mol/MJ,且在夏天表现得更为明显,阴天日的 η_Q 比晴天日高出0.67 mol/MJ,其次是春、秋,差值分别为0.49、0.27 mol/MJ。这是因为阴天日的空气相对湿度明显高于晴天日(图4),在白天的10时到18时,阴天日的相对湿度

比晴天日平均高出56%,最高差值达62%。而水汽对太阳辐射中波长较长的近红外辐射有很强的吸收作用,对波长较短的太阳辐射的吸收作用较小。PAR属于波长较短的部分,因此水汽的吸收作用使得近红外辐射的衰减量多于PAR的衰减量,使得对 η_Q 的削弱量高于PAR,则 η_Q 增大。此外,随着水汽和云量的增多,吸收的红外辐射增多,空气分子和气溶胶离子对散射的贡献相对减少,则造成 η_Q 随云量的增加而增大^[1,8]。

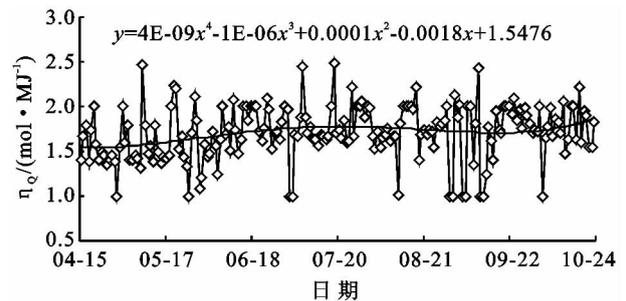


图3 世园会址2011年4—10月每日 η_Q 变化散点图

表1 西安浐灞世园会址晴天日、阴天日的 PAR、Q、 η_Q 比较

日期(月-日)	晴天			平均	阴天			平均
	04-27(春)	07-08(夏)	10-16(秋)		04-20(春)	07-03(夏)	10-22(秋)	
	春	夏	秋		春	夏	秋	
PAR/(mol·m ⁻² ·d ⁻¹)	30.1	44.4	31.3	35.3	6.6	3.7	1.5	3.9
Q/(MJ·m ⁻² ·d ⁻¹)	20.7	26.6	16.7	21.3	3.4	1.6	0.7	1.9
η_Q /(mol·MJ ⁻¹)	1.45	1.67	1.87	1.66	1.94	2.31	2.14	2.13

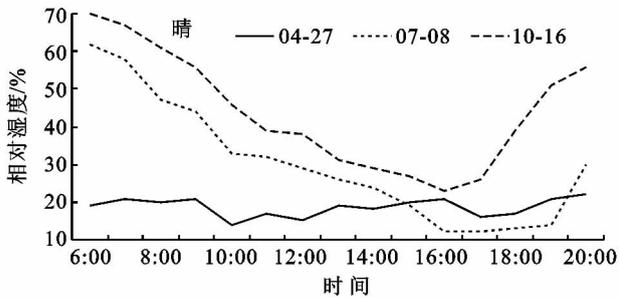


图 4 西安浐灞世园会址晴天日与阴天日相对湿度对比

2.3 PAR 的气候学计算与检验

由于 PAR 与 η_Q 关系密切, PAR 的气候学计算实质就是计算 η_Q 。通过上述分析可知, η_Q 并不是一个常量, η_Q 的变化受当地气候条件、地理特性、水汽、云量及大气气溶胶等因素的影响。相关研究表明, 与 η_Q 许多大气参数(如水汽压、低云量等)呈正相关关系, 与晴空指数、日照百分率、大气浑浊度呈负相关关系^[9]。总结国内外对 η_Q 及 PAR 计算的研究成果^[3] 发现, 影响 PAR 的因素较多, 但 η_Q 的计算方法基本一致(考虑水汽压, 日照百分率、太阳天顶角等因子, 利用观测数据回归拟合经验关系式), 各地的拟合经验系数有差异。

通过对西安世园会址 η_Q 的变化特征的分析可知, 该地区的水汽对 η_Q 具有重要影响, 因此, 进行西安世园会址 η_Q 的计算时只考虑水汽因子。本研究参考季国良等^[8]、周允华等^[10] 的研究中 η_Q 与水汽压 E 的经验关系式来确定量子系统下 η_Q 的关系式, 其函数关系式如下:

$$\eta_Q = a + b \lg E \quad (1)$$

式中: E ——经过气压(高度)订正后的水汽压, $E = P_0 E_0 / P$, P_0 、 P ——海平面及测站的月平均气压; E_0 ——月平均水汽压; a 、 b ——经验系数。

利用(1)式, 以旬为单位, 将 2011 年 4—10 月西安世园会址 η_Q 与径河 E 进行回归分析, 得到 PAR 及 η_Q 的经验公式:

$$\text{PAR} = \eta_Q \cdot Q \quad (2)$$

$$\eta_Q = 1.20 + 0.42 \lg E \quad (3)$$

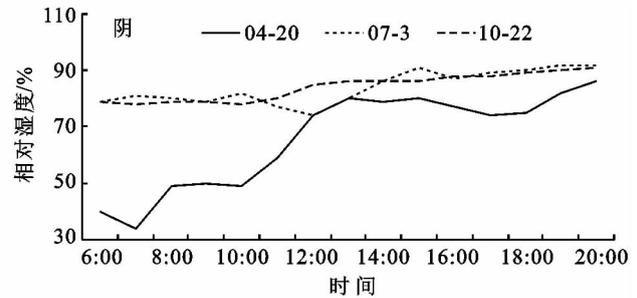
经计算, 式(3)的相关系数 $r \approx 0.47$ 。西安世园会址及泾河旬平均样本只有 20 个, 据统计学大样本定理^[11], 需计算无偏相关系数加以校正:

$$r^* = r \left[1 + \frac{1-r^2}{2(n-4)} \right]$$

$r^* \approx 0.48$ 。用 t 检验来对 r^* 进行显著性检验^[12], 统计量为:

$$t = \sqrt{n-2} \frac{r^*}{\sqrt{1-(r^*)^2}}$$

$t \approx 2.33$ 。给定显著性水平 $\alpha = 0.05$, 查 t 分布表



得 $t_a = 2.10$, 由于 $t > t_a$, 认为西安世园会址 η_Q 与径河 E 之间的相关系数是显著的, 说明式(2), (3)对于计算西安的 PAR 及 η_Q 是可行的。

3 结论

(1) 2011 年 4—10 月西安浐灞的 PAR 为 5 095.2 mol/m², 平均月、日总量分别为 727.9 mol/m², 23.8 mol/(m²·d)。PAR 总量夏季大于春季, 春季大于秋季, 秋季明显小于夏、春季, 原因为罕见秋霖所致。

(2) PAR 的日变化为中午大, 早晚小。晴天的日变化曲线呈单峰型且比较平滑, 阴天的日变化曲线波动比较大。晴天日、阴天日总量与振幅变化特点为春、夏季相当, 春、夏季明显高于秋季, 晴天日多为 500~600 mol/m², 阴天日多为 200~300 mol/m²。

(3) η_Q 具有明显的月份和季节变化特征, 拟合曲线呈双峰型, 7 月和 10 月为峰值月, 5 月和 9 月为谷值月。季节分布上以夏季为最大, 秋季次之, 春季最小。日平均 η_Q 峰值为 2.48 mol/MJ, 出现在 7 月, η_Q 谷值为 1.00 mol/MJ, 9 月出现最多。

(4) η_Q 日变化特点为阴天日的 η_Q 值明显高于晴天日, 两者平均相差 0.47 mol/MJ, 且在夏天表现得更为明显, 阴天日的 η_Q 比晴天日高出 0.67 mol/MJ, 其次是春、秋, 差值分别为 0.49, 0.27 mol/MJ。

(5) η_Q 的气候学计算经验公式为: $\eta_Q = 1.20 + 0.42 \lg E$, 经检验, 该式适应于西安地区。

(6) 由于节会的特殊性, 研究区得到的资料时间较短, 分析结论还有待于进一步验证。

参考文献:

- [1] 姚济敏, 高晓清, 冯起, 等. 额济纳地区苜蓿地光合有效辐射(PAR)的基本特征[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 772-776.
- [2] 阮成江, 李代琼. 半干旱黄土丘陵区沙棘的光合特性及其影响因子[J]. 植物资源与环境学报, 2000, 9(1): 16-21.
- [3] 孙琳婵, 赵林, 李韧, 等. 西大滩地区光合有效辐射的基本特征[J]. 冰川冻土, 2010, 32(6): 1136-1143.

的清水流量 $497 \text{ m}^3/\text{s}$ 与集水面积 106.64 km^2 成5倍关系,其他断面的百年一遇清水流量与面积之比在4~7倍之间浮动,可为计算川滇地区其他构造断陷湖的泥石流沟提供经验估算公式。

参考文献:

- [1] 张永双,曲永新,赵希涛,等. 青藏高原东南缘第四纪工程地质概论[M]. 北京:地质出版社,2010.
- [2] 周静,王苏民,吕静. 洱海地区一万多年以来气候环境演化的湖泊沉积记录[J]. 湖泊科学,2003,15(2):104-111.
- [3] 张振克,沈洁,羊向东,等. 近8ka来云南洱海湖泊沉积记录的气候变化与夏季印度季风强弱变化的关系[J]. 亚热带资源与环境学报,2008,3(3):1-6.
- [4] 张振克,吴瑞金,沈洁,等. 近1800年云南洱海流域气候变化与人类活动的湖泊沉积记录[J]. 湖泊科学,2000,12(4):297-303.
- [5] 姚远,张恩楼,沈洁,等. 云南属都湖流域人类活动的湖泊沉积响应[J]. 海洋地质与第四纪,2007,27(5):115-120.
- [6] 余斌,王士革,章书成,等. 鹅掌河泥石流对四川邛海影响的初步研究[J]. 湖泊科学,2006,18(1):57-62.
- [7] 朱海虹. 云南断陷湖泊的形成和晚新生代的沉积及其演化[J]. 海洋与湖沼,1991,22(6):509-516.
- [8] 朱海虹,姚秉衡. 云南断陷湖泊三角州沉积及其在石油勘探中的意义[J]. 石油与天然气地质,1989,10(2):95-106.
- [9] 王小雷,杨浩,赵其国,等. 云南茈仙湖近现代环境变化的沉积物粒度记录[J]. 沉积学报,2010,28(4):776-782.
- [10] 袁国林,李昌侯,米鸿雁,等. 邛海湖盆形态研究[J]. 海
- 洋湖盆通报,2006(2):18-26.
- [11] Liu Yong, Zhou Feng, Guo Huaicheng, et al. Biotic condition assessment and the implication for lake fish conservation: a case study of Lake Qionghai, China [J]. Water and Environment Journal, 2009, 23(3): 189-199.
- [12] 余斌,章书成,王士革. 四川西昌邛海的浊流沉积初探[J]. 沉积学报,2005,2(4):559-565.
- [13] 蒋树,文宝萍. 国内外泥石流活动关键指标估算方法之比较[J]. 水文地质工程地质,2012,39(3):86-96.
- [14] 闻学泽,吴迪忠. 四川西昌邛海第四纪盆地成因的探讨[J]. 地质评论,1985,31(4):360-366.
- [15] 陈宁生,崔鹏,刘中港,等. 基于黏土颗粒含量的泥石流容重计算[J]. 中国科学: E 辑,2003,33(增刊):164-174.
- [16] 余斌. 根据泥石流沉积物计算泥石流容重的方法研究[J]. 沉积学报,2008,26(5):789-796.
- [17] 崔鹏,庄建琦,陈兴长,等. 汶川地震区震后泥石流活动特征与防治对策[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2010,42(5):10-19.
- [18] 陈宁生,杨成林,周伟,等. 泥石流勘查技术[M]. 北京: 科学出版社,2011.
- [19] 邓虎,陈宁生,胡桂胜,等. 甘肃舟曲三眼峪沟泥石流流体力学特征参数计算[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2011,30(4):833-838.
- [20] 周必凡,李德基,罗德富. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社,1991.
- [21] 何思明,吴永,沈均. 泥石流大块石冲击力的简化计算[J]. 自然灾害学报,2009,18(5):51-56.

(上接第263页)

- [4] 马金玉,刘晶森,李世奎,等. 基于实验观测的光合有效辐射特征分析[J]. 自然资源学报,2007,22(5):673-682.
- [5] 李韧,季国良,杨文,等. 青藏高原北部光合有效辐射的观测研究[J]. 太阳能学报,2007,28(3):241-247.
- [6] 中国气象局,地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2003:120.
- [7] Lu Yurong, Gao Guodong. Physical climatology [M]. Beijing: Meteorology Pre, 1987: 39-56.
- [8] 季国良,马晓燕,邹基玲,等. 张掖地区的光合有效辐射特征[J]. 高原气象,1993,12(2):141-146.
- [9] Li Ren, Zhao Lin, Ding Yongjian, et al. Monthly ratios of PAR to global solar radiation measured at northern Tibetan Plateau, China [J]. Solar Energy, 2010, 84(6): 964-973.
- [10] 周允华,项月琴,单福芝. 光合有效辐射(PAR)的气候学研究[J]. 气象学报,1984,42(4):387-397.
- [11] 王梓坤. 概率论基础及其应用[M]. 北京:科学出版社,1976.
- [12] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.