

文章编号: 0254-0096(2006)05-0484-05

额济纳绿洲沙尘暴天气下光合有效辐射的基本特征

姚济敏, 高晓清, 冯 起, 张小由, 谷良雷

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘 要: 该文所用资料取自内蒙古额济纳旗查干毛道饲草料基地, 采用 ICT 公司的 SKS1110E 型辐射仪和 SKP215E 型光合有效辐射仪观测, 并针对典型天气日——2001 年 4 月 29 日(沙尘暴日)、7 月 22 日(阴天日)和 9 月 4 日(晴天日)进行对比, 分析了晴天日、阴天日和沙尘暴日 PAR 的日总量、日变化及 PAR 在太阳短波辐射中的比例 η_0 的变化, 发现在沙尘暴日 PAR 明显小于阴天日和晴天日下的值, 而 η_0 非常大, 且变化不稳定。

关键词: 额济纳旗; 沙尘暴; 光合有效辐射; 短波辐射

中图分类号: S161.1

文献标识码: A

0 引 言

光合有效辐射(photosynthetically active radiation)是太阳辐射能中可以被绿色植物用来进行光合作用的能量, 波长在 400 ~ 700nm 之间, 简称 PAR。PAR 是植物进行光合作用的重要环境因子之一, 也是植物生长所需的基本能源。在我国, 周允华、王炳忠、季国良等^[1-6]许多科学家对此作过研究, 而国外对 PAR 的研究工作也十分重视^[7-13], PAR 的重要性已经引起了国内外学者的关注, 但对于沙尘暴天气下 PAR 的观测研究目前国内尚未见到。

额济纳绿洲位于黑河末端, 属内蒙古自治区阿拉善盟额济纳旗管辖, 是中国北方沙尘暴的主要源区之一^[14]。该绿洲为开阔平坦的盆地, 总面积 11.5 万 km², 海拔高程在 900 ~ 1100m 之间, 东南部是巴丹吉林沙漠, 区内气候极为干旱, 多年平均降水量仅为 39.8mm, 而多年平均蒸发量为 3537.0mm, 最大蒸发量达 4035.0mm, 空气相对湿度不足 35.0%, 是一个完全靠黑河水滋养的绿洲^[15]。进入本世纪以来, 由于 2000 年和 2001 年正处于 20 世纪最强的一次厄尔尼诺事件以后的拉尼娜事件的高峰期^[16-17], 所以造成中国北方冬春季大风天气频繁出现, 再加上人类活动对土地和水资源的不合理利用造成了大面积植被破坏和荒漠化^[16], 使得近两年来我国北方(包括

额济纳地区)多次遭遇沙尘暴的袭击。就此, 本文研究了沙尘暴天气下 PAR 的变化特征。

1 资料来源和仪器介绍

根据中国沙尘暴网(<http://www.duststorm.com.cn/>)的消息, 2001 年 4 月 28 日 ~ 30 日, 受蒙古气旋和冷空气的共同作用, 在我国甘肃、宁夏、青海北部、内蒙古及山西北部等地出现了扬沙, 其中内蒙古西部(包括额济纳地区)、甘肃中西部出现了沙尘暴和强沙尘暴天气。

本文所用资料为 2001 年 4 月 29 日沙尘暴天气下的 PAR 日总量, 并选取同年 7 月 22 日(典型阴天日)及 9 月 4 日(典型晴天日)的资料进行对比分析。观测时段从每天地方时 7:00 ~ 18:00(以下时间均为地方时), 其间每 2min 观测一次, 沙尘暴日每 1min 观测一次。试验观测地点选取在额济纳旗查干毛道饲草料基地(42°13'N, 101°06'E, 高程 907m), 该基地主要种植苜蓿等植物, 占地约 400 亩, 地势平坦, 基地周围分布着大片的红柳林和胡杨林。

实验所用仪器产自澳大利亚 ICT 公司。太阳短波辐射数据由 SKS1110E 型辐射仪(Solar Radiation Sensor)测定, 测量波段范围为 350 ~ 1100nm。PAR 由 SKP215E 型光合有效辐射仪(PAR Energy Sensor)测定, 测量波段范围为 400 ~ 700nm, 仪器于 2000 年 11 月 5

收稿日期: 2004-11-02

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX1-09-03); 百人计划项目(2003401); 国家重点基础研究发展规划项目(G199904230601)

日根据 UK 国家物理实验室(National Physical Laboratory UK)的参考标准进行校准,校准年限为 2a^①,各项参数如表 1 所示。仪器感应头安置高度均为 1.5m,试验期间群落生长状态良好,所测数据均已进行校正。

仪器光子单位转换原理^[18-19]:

$$W_T \approx 119.8R \times \sum_i N_{\lambda i} / \sum_i \lambda_i N_{\lambda i}$$

其中 R ——仪器内部所读光子数; $N_{\lambda i}$ —— $\Delta\lambda$ 波段内平均波长 λ_i 光子所携带的能量; W_T ——输出结果, W/m^2 。

表 1 仪器的各项参数^①
Table 1 The parameters of the sensors

	电流灵敏度, 电压灵敏度	工作范围	绝对校准误差	余弦误差	方位角误差	长期稳定性	响应时间 ——电压输出
SKP215	1.6μA/ (100μmol·m ⁻² ·sec ⁻¹) 1mV/(100μmol·m ⁻² ·sec ⁻¹)	0~5000 μmol/m ² /sec	Typ. <3% 5% max	3%	<1%	±2%	10ns
SKS1110	5μA/ (100W·m ⁻²) 1mV/(100W·m ⁻²)	0~5000 W/m ²	Typ. <3% 5% max	3%	<1%	±2%	10ns

注:《SINGLE CHANNEL LIGHT SENSORS》,2000,第1—7页。

2 PAR 的基本特征

2.1 PAR 的日总量

本文选取典型天气状况分析 PAR 日总量的变化特征,其中 PAR 的日总量用 P 表示。2001 年 4 月 29 日为沙尘暴天气、同年的 7 月 22 日及 9 月 4 日分别为典型阴天日与晴天日,表 2 列出了这 3 天 PAR 的日总量(P)、太阳短波辐射(均指波段在 350~1100nm 的太阳短波辐射)的日总量(Q)及 P 在 Q 中所占的比例 η_0 。

从表中可以看出:①该绿洲在沙尘暴天气下,无论 P 还是 Q 都明显小于晴天日和阴天日的,这主要是因为沙尘暴天气下空气中的颗粒物大量增加,使其对太阳辐射的吸收和散射作用明显增强,严重削弱了 P 和 Q 的量值;阴天日下的 P 和 Q 虽然大于沙尘暴天气下的,但也明显小于晴天日的,这是因为阴天日的云量和大气中的水汽含量较晴天日多,吸收和反射的太阳辐射也多;比较来看,沙尘暴对太阳辐射的削弱远远大于阴天日下云和水汽的作用;②虽然 P 和 Q 在晴天日下最大,阴天日次之,沙尘暴天气下最小,但是 η_0 却在沙尘暴天气下最大(为 56.5%),晴天日下最小(为 49.3%)。除此之外,在沙尘暴日,该绿洲的平均气温仅为 2.92℃,大气的平均相对湿度为 80.4%,这是由于沙尘暴天气下的冷空气作用使气温骤然降低,并使大气中水汽凝结,相对湿度变大,红外辐射吸收增大,再加上沙尘对太阳辐射各波段的削弱

作用,尤其在近红外波段范围内沙尘的吸收更强,造成沙尘暴天气下 η_0 值较大。阴天日的 η_0 大于晴天日的是因为阴天日的云和水汽较晴天日多,使空气分子和气溶胶粒子对散射的贡献相对减少,并且加大了红外辐射的吸收^[5],而阴天日气温较晴天日高是因为本文所研究的阴天日和晴天日分属夏、秋两季,夏季气温高于秋季所致;③比较来看,额济纳绿洲无论是晴天日还是阴天日, P 要远大于张掖、临泽^[5]和太湖地区^[6],尤其比太湖地区大。而在沙尘暴天气下,该绿洲 P 小于太湖地区的年平均日总量(4.43MJ/m²)^[6],可见沙尘暴对 PAR 的削弱作用是很强的。

表 2 不同天气状况下的 P 、 Q 及比例
 η_0 、平均气温和相对湿度

Table 2 The daily (P), daily short-wave irradiance (Q), the ratio η_0 , average air temperature and relative humidity during the days of different weather

	4月29日 (沙尘暴)	7月22日 (阴天)	9月4日 (晴天)
$P/MJ\cdot m^{-2}$	4.09	12.4	21.4
$Q/MJ\cdot m^{-2}$	7.24	23.9	43.4
$\eta_0/\%$	56.5	51.9	49.3
平均气温/℃	2.92	27.8	22.7
平均相对湿度/%	80.4	30.8	22.5

2.2 PAR 的日变化对比

图 1 为沙尘暴日、典型晴天日和阴天日 P 日变化的对比图。其中, a 为沙尘暴天气, b 为阴天日, c 为晴天日。从图中可以看出:①无论在沙尘暴日、阴天

日还是晴天日, P 与 Q 的日变化趋势基本一致;②该地区晴天日 P 和 Q 都非常大,且与太阳高度角的变化密切相关,变化十分稳定,最大值出现在当地正午时分左右;阴天日和沙尘暴日 P 的变化很不稳定,这主要与各时刻的天气状况、天空云量及大气中水汽含量和沙尘含量等的变化有关,总的来说,晴天日的 P 和 Q 要明显大于阴天日和沙尘暴日的,且沙尘暴日 P 值为最小;③该地区晴天日 P 的日变幅明显大于张掖、临泽及太湖地区的^[5-6];而沙尘暴日 P 的日变幅很小,更进一步说明了沙尘暴天气对 P 的削弱作用非常大。

统计结果发现, P 与 Q 之间存在线性趋势。晴天日下这种线性趋势最明显,这是因为晴天日影响 η_Q 的因子较少,阴天日由于水汽、云等的作用使 P 与 Q 的线性趋势次于晴天日,沙尘暴日由于除了云、水汽之外还有沙尘的影响,致使这种趋势相对最弱,但总体来说, P 和 Q 还是有很好的线性变化关系,如表3所示。

表3 不同天气状况下 P 与 Q 的关系
Table 3 The relationships between P and Q
during the days of different weather

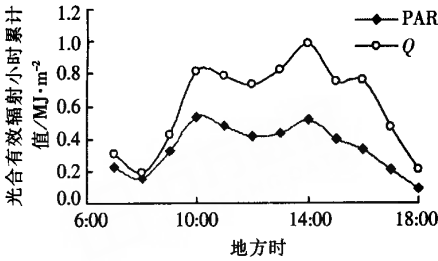
日 期	关 系	R^2
4月29日(沙尘暴)	$P = 0.5005Q + 0.0391$	0.8672
7月22日(阴天)	$P = 0.5353Q - 0.0611$	0.8824
9月4日(晴天)	$P = 0.5709Q - 0.0870$	0.9738

2.3 η_Q 的分析

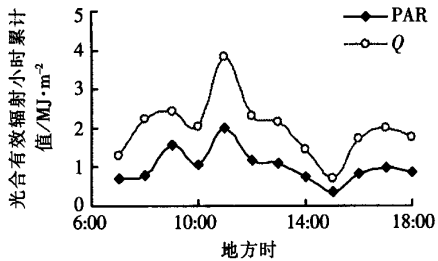
影响 η_Q 的因子有很多,例如沙尘、云、水汽含量及太阳辐射强度等都会影响 η_Q 的变化。从以往的研究^[5-6]可以看出,在晴天日条件下, η_Q 的日变化是有规律性的。而在沙尘暴日 η_Q 变化复杂、不稳定。这是因为在沙尘暴日,各个时刻影响 η_Q 的因子的权重在变化,例如大气中沙尘的含量、水汽含量等由于沙尘暴日的大风及大气不稳定层结的影响会随时空不断地变化。

图2是2001年4月29日沙尘暴天气下小时平均 η_Q 的日变化图。可以看出在沙尘暴天气下 η_Q 总体非常大,且变化不稳定。需要指出的是:试验观测到在早晨7:00、8:00和9:00, η_Q 达到70%以上,比较罕见,可能是由于受4月28日沙尘暴天气影响,致使29日早晨的 Q 和 P 极为偏小,造成 η_Q 较偏大,当然也与仪器的灵敏度等因素有关。但从理

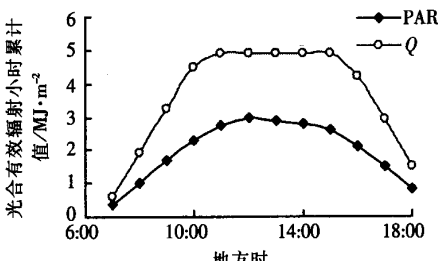
论分析来看, η_Q 在沙尘暴天气下应该比较大,主要是因为:①沙尘暴天气下,太阳辐射强度很小(季国良等^[5]研究得到,在临泽 η_Q 与太阳辐射强度大致呈对数关系变化, C. M. Britton等^[7]也指出在Texas站



a.2001年4月29日, 沙尘暴



b.2001年7月22日, 阴天



c.2001年9月4日, 晴天

图1 不同天气状况下 PAR 的日变化

Fig.1 The diurnal variations of PAR during the days of different weather

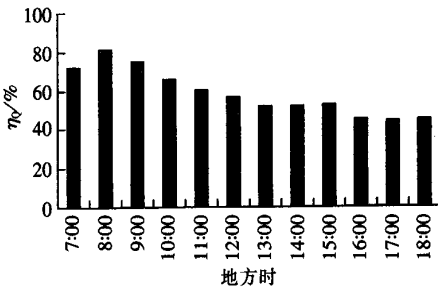


图2 沙尘暴日小时平均 η_Q 的日变化

Fig.2 The daily variations of hourly average η_Q in dust storm day

η_0 随太阳辐射的增大而减小);②如前所述,沙尘暴天气下大气沙尘含量较高,虽然沙尘在 $0.3 \sim 0.7\mu\text{m}$ 光谱范围内的吸收很强,但是在 $0.7 \sim 2.0\mu\text{m}$ (或 $4.0\mu\text{m}$) 的粗光谱范围内沙尘的吸收更加强烈,也会造成 η_0 的偏大;③沙尘暴天气下,由于冷空气作用,大气水汽凝结,湿度增大,也可能造成 η_0 变大。

表 4 2001 年 4 月 29 日(沙尘暴日) P 、 Q 及 η_0 的小时累计值

Table 4 The cumulative values in an hour of P , Q and η_0 on April 29 of 2001(dust storm day)

	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
$P/\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$	0.22	0.15	0.32	0.53	0.48	0.42	0.43	0.51	0.40	0.34	0.20	0.09
$Q/\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$	0.31	0.19	0.43	0.81	0.79	0.73	0.82	0.98	0.75	0.75	0.47	0.21
$\eta_0/\%$	71.8	81.6	75.1	66.1	60.2	56.7	52.0	51.8	53.0	44.7	44.0	44.6

3 结 论

通过对内蒙古额济纳旗查干毛道饲草料基地沙尘暴日、典型晴天日和阴天日辐射数据资料的对比分析,大致得到以下几个初步结论:

1)该绿洲在沙尘暴天气下,PAR 的日总量(P)为 $4.09\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$,明显小于典型晴天日和阴天日下的值,甚至小于太湖地区的年平均日总量,可见沙尘暴对 PAR 有很强的削弱作用,这种作用要远大于阴天日下云和水汽对 PAR 的削弱作用;

2)沙尘暴日 P 和 Q 的变化趋势基本一致,有很好的线性变化关系,但相比晴天日和阴天日,由于在沙尘暴日影响 P 和 Q 的因素较多,这种线性关系相对最弱;

3)沙尘暴日 P 的变化很不稳定,这主要与各时刻的天气状况、大气中的沙尘含量等的变化有关,而且其日变幅很小,明显小于晴天日和阴天日的,甚至比太湖地区阴天日的日变幅还小;

4)在沙尘暴天气下 η_0 总体非常大,且变化不稳定。这是因为沙尘暴天气下太阳总辐射强度很小,大气沙尘含量较高,再加上冷空气作用,使得大气降温,湿度变大等造成 η_0 偏大。而且由于沙尘暴日的大风及大气不稳定层结的影响,使得大气沙尘含量、水汽含量等随时空不断的变化,造成 η_0 的变化不稳定,不如晴天日有规律性。

需要指出的是,本文所用沙尘暴天气的辐射资料仅有 1d,所得结果也是很初步的,但对我们定性认识沙尘暴天气对 PAR 的影响还是有益的。

致谢:本文在完成和修改期间,得到季国良、杨文两位老师的指导和帮助,作者在此深表感谢!

从表 5 可以看出沙尘暴日 7:00~11:00 期间 η_0 的值均大于 60.0%。McCree^[20] 曾报告在布满浓云的阴天里,PAR 的瞬间比例会高达 58.0~59.0%,可见在沙尘暴天气下,大气中的大量沙尘及水汽等因素对 η_0 的影响很可能大于浓云的影响。

[参考文献]

[1] 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,1984,42:387—397.

[2] 王炳忠,税亚欣.华北平原光合有效辐射的气候学计算方法[J].气象,1987,13:20—22.

[3] 王炳忠,税亚欣.关于光合有效辐射的气候学计算问题[J].太阳能学报,1998,(9):59—65.

[4] 王炳忠,税亚欣.关于光合有效辐射的新实验结果[J].应用气象学报,1990,(1):185—190.

[5] 季国良,马晓燕,等.张掖地区的光合有效辐射特征[J].高原气象,1993,12(2):141—146.

[6] 张运林,秦伯强.太湖地区光合有效辐射(PAR)的基本特征及其气候学计算[J].太阳能学报,2002,23(1):118—123.

[7] Britton C M, Dodd J D. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance[J]. Agricultural Meteorology, 1976,(17):1—7.

[8] Sivakumar M V K, Virmani S M. Crop productivity in relation to interception of photosynthetically active radiation[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1984,(31):131—141.

[9] Sinclair T R, Lemon E R. Penetration of photosynthetically active radiation in corn canopies[J]. Agronomy Journal, 1974,(66):201—205.

[10] Sinclair T R, Knoerr K R. Distribution of photosynthetically active radiation in the canopy of a loblolly pine plantation[J]. Journal of Applied Ecology, 1982,(19):183—191.

[11] Alados I, Olmo F J, et al. Estimation of photosynthetically active radiation under cloudy conditions[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000,(102):39—50.

[12] Yann Nouvellon, Agnes Begue, et al. PAR extinction in shortgrass ecosystems: effects of clumping, sky conditions

- and soil albedo[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, (105):21—41.
- [13] Zhang Xianzhou, Zhang Yiguang, et al. Measuring and modeling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during April-October[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, (102):207—212.
- [14] 王 涛,陈广庭,等.中国北方沙尘暴现状及对策[J]. *中国科学院院刊*,2001,(5):343—348.
- [15] 钟华平,刘 恒,等.西北干旱区额济纳绿洲水资源与生态环境保护对策[J]. *水利水电科技进展*,2002,22(4):9—11.
- [16] 张仁健,韩志伟,等.中国沙尘暴天气的新特征及成因分析[J]. *第四纪研究*,2002,22(4):374—380.
- [17] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于中国华北地区沙尘天气的成因与治理对策[J]. *地理学报*,2000,55(5):513—521.
- [18] 董振国.光量子、光照度与总辐射的关系[J]. *农田生态系统能量物质交换*,1987,115—122.
- [19] 周允华,项月琴.太阳直接辐射光量子通量的气候学计算方法[J]. *农业生态环境研究*,1989,149—162.
- [20] McCree K J. A solarimeter for measuring photosynthetically active radiation[J]. *Agric Meteorol*,1966, (3):353—366.

THE PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION DURING DUST STORM DAY IN EJINA OASIS

Yao Jimin, Gao Xiaoqing, Feng Qi, Zhang Xiaoyou, Gu Lianglei

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The experiments were made using SKS1110E solar radiation sensor and SKP215E PAR energy sensor produced from ICT Company, Australia, at Cha Gan Mao Dao Fodder Basis in Ejina. We respectively observed on April 29 (dust storm day), on July 22 (cloudy day) and on September 4 (clear day) in 2001, and analyzed the daily grosses of PAR, the diurnal variations of PAR and the ratios (η_Q) of PAR in short-wave solar irradiance. The results showed that the values of PAR in dust storm day is obviously smaller than the values in clear day and in cloud day, however, η_Q in dust storm day is large, and variation.

Keywords: Ejina; dust storm day; photosynthetically active radiation; short-wave solar irradiance

联系人 E-mail: yjm@ns.lzb.ac.cn