

文章编号:1006 - 7639(2003) - 03 - 0029 - 05

# 黑河地区绿洲和沙漠地面辐射收支的若干特征

季国良,马晓燕,邹基玲,吕兰芝

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000)

**摘要:**利用 HEIFE 中在绿洲和沙漠两个测站所取得的资料,分析了两种不同下垫面辐射收支及其季节变化特征。结果表明:绿洲区地表反射率明显小于沙漠区,季节变化明显;地面向上长波辐射绿洲小于沙漠,地面有效辐射绿洲小于沙漠,且季节变化明显;地表净辐射绿洲大于沙漠,其能量以潜热为主输入大气;干旱地区的绿洲光合有效辐射年总量大于河北、山东等地,光合有效辐射资源极为丰富。

**关键词:**干旱地区;地表反射率;地面有效辐射;光合有效辐射;辐射收支

**中图分类号:** P422.9

**文献标识码:** A

在我国辽阔的地域中,干旱和半干旱地区的面积约占全国总面积的 47%,是世界上干旱较为严重的国家之一。因此研究干旱、半干旱区的气候形成,干旱地区的地-气相互作用,对于进行未来的气候变化及气候预测有着极为重要的意义。

为了研究干旱地区的气候特征,从 20 世纪 60 年代开始,原中科院兰州高原大气研究物理所就在甘肃河西走廊地区,对绿洲和沙漠下垫面进行了多年的观测研究<sup>[1]</sup>,并就沙漠表面与绿洲和湖泊的巨大热力差异提出了绿洲“冷岛效应”的概念<sup>[2]</sup>,特别是在 20 世纪 80 年代,在我国著名气象学家叶笃正教授倡议下,有中、日两国诸多科学家参与的国家自然科学基金和中国科学院重大项目、中日合作科技项目“黑河地区地气相互作用的观测实验研究”(HEIFE),在河西走廊黑河流域不同下垫面设立了 5 个微气象站,进行了较长时间的辐射收支和近地层气象要素的观测,为进一步弄清沙漠-绿洲之间的能量交换和地-气相互作用研究提供了有利条件,在“国际地圈-生物圈研究计划(IGBP)”中作出了应有的贡献。本文拟根据 HEIFE 观测资料的分析研究为基础,结合其他有关资料,通过绿洲与沙漠地区的对比阐述绿洲的辐射收支气候特征,为研究绿洲地区的气候形成提供依据。

## 1 黑河实验概况

黑河实验是一个多学科交叉的综合研究项目,它由 6 个子课题组成。实验区选择在河西走廊黑河流域中段一个(70 × 90) km<sup>2</sup> 的范围内,观测网包括了 5 个微气象基本站和 5 个自动天气站。5 个微气象基本站分布在绿洲、戈壁、沙漠以及沙漠与绿洲交界区的不同下垫面上,5 个自动天气站则主要分布在戈壁和沙漠区域。整个实验的野外观测从 1990 年 6 月正式开始,1992 年 10 月全部结束。观测时段包括了:1988 年 9 月 4 ~ 19 日先行性实验(POP);1990 年 6 月 ~ 1991 年 12 月的基本观测实验(FOP);1991 年 4 月 10 日 ~ 5 月 2 日,8 月 6 ~ 20 日,10 月 4 ~ 12 日和 12 月 6 ~ 12 日 4 次加强观测(IOP);1992 年 4 ~ 7 月的生物气象观测(BOP);1992 年 7 月的干旱地区降水机制观测(IOP-R);1992 年 8 月 7 ~ 17 日的湍流对比观测(IOPC)和 1992 年 6 月 5 ~ 17 日的远离绿洲的沙漠行动(IOP-DA);另外还在 1988 ~ 1992 年期间每年 3 ~ 9 月进行了节水灌溉技术实验的田间试验。整个实验期间的观测项目和一些主要研究成果等详见文献[3]。

收稿日期:2003 - 07 - 08;改回日期:2003 - 09 - 04

基金项目:本文在 HEIFE 实验基础上完成。国家重点基础研究发展规划项目“青藏高原形成演化及其环境资源效应”(G1998040803)和中国科学院青藏高原研究项目(KZ951 - A1 - 204, KZ95T - 06)共同资助

作者简介:季国良(1942 -),男,江苏省张家港市人,研究员,博士生导师,主要从事青藏高原和干旱地区辐射气候学及气候研究。

## 2 绿洲地区的辐射收支特征

为了较系统的叙述绿洲地区的辐射气候特征,这里利用了绿洲和沙漠地区的观测资料进行对比分析。绿洲选择了张掖站,该站在实验区的东南方,观测场地设在麦地中,有极好的绿洲代表性;沙漠站在张掖的西北方向,两地直线距离超过60km。该两站装备相同的观测仪器并实施相同的观测方法,因此具有较好的可比性。

根据对几年来观测资料的分析研究,干旱地区绿洲的辐射收支特征大致有以下几个方面。

### 2.1 地表反射率

表1 张掖与沙漠地表反射的季节变化

Table 1 The annual variation of surface albedo at Zhangye and Desert stations

测站	9/2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	92/1
张掖		0.185	0.162	0.174	0.163	0.144	0.133	0.182	0.175	0.150	0.277	0.299
沙漠	0.309	0.288	0.269	0.268	0.255	0.256	0.257	0.279	0.298	0.327	0.369	0.339

绿洲与沙漠地区具有两类性质明显不同的下垫面,因此他们的地表反射率有着明显的差异。表1<sup>[4]</sup>给出了张掖与沙漠地表反射率的年变化情况,由表1可知:

(1) 绿洲地表反射率明显低于沙漠,夏季尤为明显。夏季绿洲地表反射率仅为沙漠的1/2,该值比1982~1983年在甘孜、拉萨农田地表反射率小<sup>[5]</sup>,而且比内蒙科尔沁地区<sup>[6]</sup>所测得的麦田和沙漠地表反射率小8%。

(2) 绿洲地表反射率有较明显的季节变化。绿洲地表反射率在8月出现最小值,此时正值张掖地

区的雨季,土壤湿润,地表反射率最低;11月初,由于进行农田冬灌,致使土壤湿度加大,地表反射率出现了次低值;12月和1月,土壤冻结,地表反射率急剧增大。沙漠地区地表反射率在整个夏季(6、7、8月)均为最低值,该季节沙层中水分较多,水汽从沙层向大气输送<sup>[7]</sup>。地表反射率的最大值,张掖在1月出现,沙漠则出现在12月,这与冬天的局地天气气候条件有关。

(3) 就年平均而言,绿洲地表反射率为0.176,沙漠则较高为0.282,与高原地区相比<sup>[5]</sup>,绿洲地表反射率小于高原东部的甘孜,而沙漠则比高原西部改则的要大。值得指出的是,在绿洲地区,春、夏季由于地表植被覆盖,因此地表反射率较低,8月份仅为沙漠下垫面的1/2;对各月一些晴天地表反射率的分析还发现,从3月份开始地表有植被覆盖后,绿洲和沙漠两地的差异均在13%左右,中午差异稍小,早晚太阳高度角小时差异较大。进入冬季以后,由于作物收割完毕,土壤裸露,因此其地表反射率增至0.28以上,此时绿洲与沙漠地表反射率之差<0.10,1月仅为0.04。这是干旱地区绿洲地表反射率的一个明显特征。

### 2.2 地面有效辐射

干旱地区由于地表温度变化剧烈,日较差大,因此造成该地区有效辐射,特别是地面向上长波辐射有明显的日变化和季节变化。图1给出了晴天两种不同下垫面地表有效辐射的日变化<sup>[4]</sup>,表2给出了两种不同下垫面地表有效辐射的季节变化。由图1和表2可见:

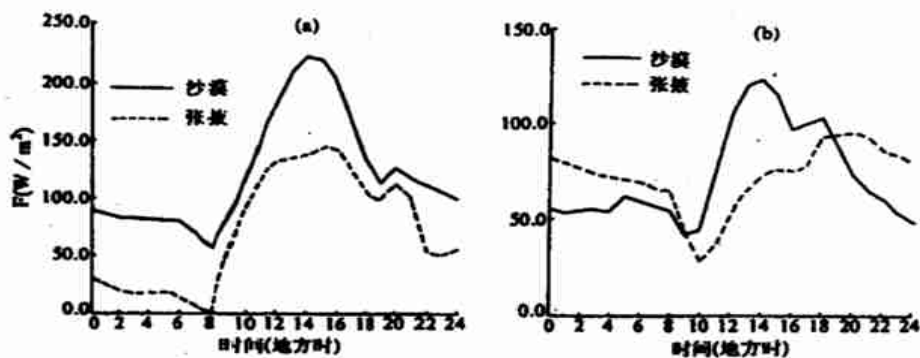


图1 晴天张掖和沙漠有效辐射的日变化

(a. 1991年8月14日, b. 1991年12月3日)

Fig. 1 The diurnal variation of monthly total ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) of effective radiation in clear at Zhangye and Desert stations (a August 14, 1991, b December 3, 1991)

(1) 绿洲区由于春、夏季有植被覆盖,使得地面向上长波辐射明显小于沙漠地区,沙漠地区5、6、7、

8月地面向上长波辐射月总量之和可达 $1000\text{MJ}/\text{m}^2$ ,比绿洲区约大 $100\text{MJ}/\text{m}^2$ ;冬季则由于绿洲区

地表也呈裸露状态,从而使得两类不同下垫面地面向上长波辐射相近,它们之间的差异仅由局地气候条件所致。

(2) 就日变化而言,晴天夏季绿洲地面有效辐射全天小于沙漠,但冬季晴天白天的有效辐射绿洲小于沙漠,晚上则是绿洲大于沙漠。

(3) 沙漠地区地面有效辐射有明显的季节变化,7月最大,12月最小;绿洲区则季节变化不明显,有效辐射值随地表植被覆盖程度及天空总云量而变化,6月,由于天空总云量较多且存在较多的低云,加上此时春小麦正值乳前期<sup>[8]</sup>,覆盖密度大,造成6月地表有效辐射较小;11月天空总云量极少,地表有效辐射较大;12月和1月地表裸露,使得有效辐射出现低值,且与沙漠地区的差异较小。

表2 张掖和沙漠地表有效辐射月总量的季节变化(MJ/m<sup>2</sup>)

Table 2 The annual variation of monthly total (MJ/m<sup>2</sup>) of effective radiation at Zhangye and Desert stations

测站	1991/2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1992/1
张掖	170.44	200.27	170.09	127.34	156.07	164.55	163.34	145.30	170.62	127.00	135.06	
沙漠	158.78	198.83	245.38	291.82	285.93	320.86	256.16	288.43	222.28	194.38	146.22	148.84

为了讨论绿洲和沙漠地表有效辐射的差异,我们计算了地表有效辐射(F)与地表吸收辐射(Q<sub>n</sub>)之比,即地表放射的净长波能量与净吸收的太阳短波辐射之比(图2)。由图2可以明显看出:

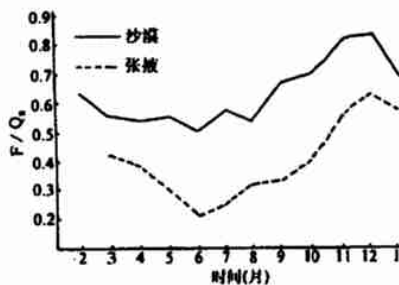


图2 张掖和沙漠地面有效辐射与地面吸收辐射之比的年变化

Fig. 2 The annual variation curves of the ratio of surface effective radiation to surface absorptive radiation at Zhangye and Desert stations

(1) 绿洲区地表放射的净长波辐射与短波吸收辐射之比全年各月均小于沙漠地区,夏季约为20%~30%,冬季稍大,可达50%~60%,季节变化明显。说明夏季由于植被覆盖,地表所吸收的净能量有20%~30%以长波形式放出,冬季地表裸露,则长波放射部分增至50%~60%,全年平均长波放射部分约为吸收辐射的39%。

(2) 沙漠地区各月地表长波净放射可占地表净

短波吸收辐射的50%~60%,冬季甚至可达80%以上,全年平均为63%。可见,对于沙漠地区来说,地表所吸收的能量有一半多以长波形式放出,用于加热土壤和空气。

(3) 两种不同类型的下垫面其比值之差春末夏初稍大,5、6月达25%~29%,秋季(9、10月)达30%以上,夏季(7、8月)为22%,冬季则差异较小,仅为12%~14%。

### 2.3 地表净辐射

由以上分析可以看出,对于绿洲和沙漠两类不同的下垫面来说,其辐射收支的差异主要表现在地表反射率和地面向上长波辐射两个分量上,从而影响了它们的地表净辐射。

由于两类不同下垫面地表反射率的差异,使得两地地面吸收短波辐射相差很大,就晴天看,绿洲地面吸收的短波辐射夏季约比沙漠要大16%,冬季约比沙漠大29%<sup>[9]</sup>。对于地面向上长波辐射则与上面相反,夏季沙漠地面向上长波辐射的日总量要比绿洲大,约大28%,且这样大的差异主要发生在白天。白天,沙漠地区极高的地面温度使得地面向上长波辐射要比绿洲高40%,夜间由于沙漠地面迅速冷却,地面温度与绿洲接近,其向上长波辐射仅比绿洲高8%<sup>[9]</sup>;冬季,两站向上的长波辐射无论是日总量,或是白天和夜间的总量都十分接近,绿洲略高于沙漠,其中日总量张掖约高3%,夜间总量约高5%<sup>[9]</sup>。

由此可见,对于不同下垫面地表净辐射之差随季节而有显著差异,其中尤以夏季为最大。由于地表反射率的不同导致净短波辐射差异的贡献为32%,由于地面热力性质不同而导致的地面向上长波辐射差异的贡献为68%<sup>[9]</sup>,地表净辐射的月总量冬季则由于绿洲土壤也呈裸露状态,与沙漠下垫面大致相近,故地表净辐射的差异就较小。

图3为张掖和沙漠各月的地表净辐射的季节变化,从中可以看到:绿洲地表向大气所输送的能量明显大于沙漠地区,而且主要是以潜热方式输送给大气,全年绿洲向大气输送的能量要比沙漠地区大1~2倍,个别月份甚至将近要大3倍,可见绿洲地区对于向大气的能量输送有较大的贡献。对于沙漠地区来说,虽然地表所获得的能量明显小于绿洲,但由于土壤十分干燥,其上空大气中的含水量也少,几乎所有的净辐射都用于加热土壤和空气,造成它与绿洲之间明显的热力差异,两种不同下垫面之间这种

巨大的热力差异也就形成了绿州的“冷岛效应”<sup>[21]</sup>,出现了由沙漠向绿洲的热量平流输送。

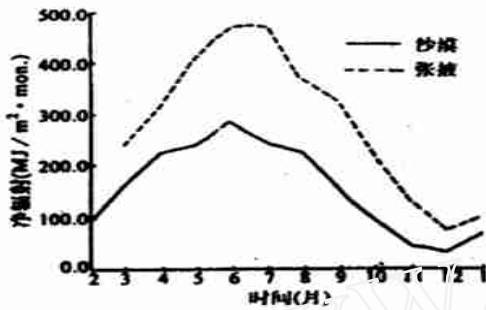


图3 张掖和沙漠地表净辐射的年变化

Fig. 3 The annual variation curves of the surface net radiation at Zhangye and Desert stations

2.4 绿洲地区的光合有效辐射

光合有效辐射 (PAR) 是植物进行光合作用的主要能量来源。通常把绿色植物用来进行光合作用的那一部分 (400 ~ 700nm) 能量称为光合有效辐射。这里利用 HEIFE 期间 1990 ~ 1991 年 FOP 中在临泽和 1992 年 5、6 月 BOP 中在张掖获得的 PAR 观测资料, 分析研究干旱地区绿洲的光合有效辐射特征。

表3 张掖地区 PAR 在太阳总辐射中所占的比例

Table 3 The ratio of PAR to global radiation over Zhangye region

天空状况	(年) 1990 (月) 12	1991 4	1991 5	1992 5	1992 6	1992 7
晴天	0.426		0.419	0.423	0.421	
多云天	0.420	0.429	0.424	0.448	0.455	0.431

表3给出了张掖地区 PAR 在总辐射中所占的比例  $q$ <sup>[10]</sup>。由表3可以看出: (1) 在晴天条件下, 临泽和张掖光合有效辐射在总辐射中所占的比例基本相近, 5月和6月  $q$  均在 0.420 左右; (2) 晴天情况下  $q$  的季节变化不明显, 冬、夏季  $q$  的变化范围在 0.426 ~ 0.419 之间; (3) 在多云的情况下,  $q$  值大于晴天。这是由于随着天空云量增多, 空气分子和气溶胶粒子对散射的贡献相对减少,  $q$  随云量增加而增大。 (4) 多云情况下,  $q$  冬季较小, 春季次之, 夏季较大, 似有较明显的季节变化, 这与周允华<sup>[11]</sup>的结果相一致。 (5) 张掖地区的  $q$  值与河北栾城的观测结果<sup>[12]</sup>相比略小, 这显然是由于张掖地区大气中水汽含量较少, 使得红外辐射吸收较少, 造成 PAR 在太阳总辐射中的比例较小。若将张掖地区的  $q$  值与高原地区拉萨<sup>[11]</sup>的计算结果相比, 两地冬季的  $q$  相近, 表明  $q$  随海拔高度的变化不明

显。 (6) 临泽 1991 年 4、5 月份的  $q$  比张掖 1992 年 5 月的  $q$  略低, 这也许是由于临泽测站较靠近城市, 大气中气溶胶含量略高于张掖, 致使红外辐射有所增加的缘故。

PAR 在太阳总辐射中所占的比例还与太阳总辐射的强弱有密切关系。图4给出了  $q$  随太阳总辐射强度的变化。由图可以看出, 太阳总辐射愈强,  $q$  的平均值愈小, 在太阳总辐射日总量 > 25.0 MJ/m<sup>2</sup>·d 时,  $q$  仅为 0.419, 减小了 10%, 两者的关系大致呈对数关系, 相关系数可达 - 0.881。

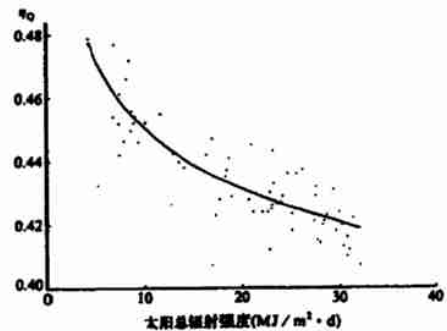


图4  $q$  随太阳总辐射强度的分布

Fig 4 The variation of  $q$  with the intensity of global radiation

为了弄清干旱地区绿洲的 PAR 分布, 我们根据周允华等<sup>[10]</sup>的思路, 利用 1990 ~ 1991 年在临泽所取得的 PAR 资料并结合 1992 年 5、6 月 BOP 期间张掖的资料, 拟合得到了张掖地区光合有效辐射的经验计算公式

$$Q_{PAR} = q \cdot Q \tag{1}$$

$$q = 0.404 + 0.051 \lg E^* \tag{2}$$

式中  $Q_{PAR}$  为月平均的光合有效辐射日总量,  $Q$  为月平均的太阳总辐射日总量,  $E^*$  为经过气压 (高度) 订正后的水汽压,  $E^* = (P/P_0) * E$ ,  $P_0$  和  $P$  分别为海平面和测站月平均气压,  $E$  为月平均水汽压, 于是得到:

$$Q_{PAR} = Q (0.404 + 0.051 \lg E^*) \tag{3}$$

利用 (3) 式可以计算得到张掖地区光合有效辐射的平均月总量, 结果表明:

(1) 张掖 PAR 的年变化为: 7 月 PAR 最大, 1 月最小, 其变化趋势大致与总辐射一致。

(2) 计算得到张掖 PAR 的年总量为 2 804.38 MJ/m<sup>2</sup>·a, 临泽为 2 588.25 MJ/m<sup>2</sup>·a, 结果大致与李世奎等<sup>[12]</sup>的结果相同, 与山东禹城<sup>[14]</sup>等地结果相比, 河西地区的 PAR 明显大于山东等地。

### 3 结 论

3.1 绿洲地区地表反射率与沙漠地区有明显差异,尤其是在夏季。绿洲区地表反射率低于沙漠地区,夏季甚至仅为沙漠地表的 1/2,冬季地表反射率的差异较小。就年平均看,绿洲地区仅为 0.176,沙漠则可达 0.282。

3.2 地面向上长波辐射绿洲地区小于沙漠地区。就晴天平均日总量而言,绿洲区夏季地面向上长波辐射比沙漠小 28%,而且差异主要发生在白天,绿洲白天地面向上长波辐射比沙漠小 40%,晚间则仅小 8%左右;冬季由于绿洲地表裸露,故两者差异较小。

3.3 绿洲有效辐射小于沙漠地区,且季节变化明显。沙漠地区在地面吸收的短波辐射中全年约有 63%以长波放射形式放出,而绿洲年平均仅为 39%,夏季为 20%~30%,冬季由于地表裸露,两者差异不大。

3.4 绿洲区地面净辐射大于沙漠地区,两地差异夏季较大,冬季稍小;就地面向大气的热量输送看,绿洲向大气输送的能量比沙漠大 1~2 倍,冬季甚至可达 3 倍,其能量主要以潜热方式输入大气。

3.5 绿洲区的光合有效辐射(PAR)在太阳总辐射中所占比例晴天为 0.419~0.426,多云天气为 0.420~0.455。多云情况下其比值的变化较明显,冬季小,夏季大。PAR 在太阳总辐射中的比例随太阳高度角的增大而减小,随着太阳总辐射强度的增加而减小。

3.6 对于干旱地区来说,虽然绿洲区 PAR 在总辐射

中的比例小于河北、山东等东部地区,但由于该地区太阳总辐射较强,因此该地区的光合有效辐射年总量大于河北、山东等地,光合有效辐射资源极为丰富。

#### 参考文献

- [1] 胡隐樵,王介民. 干旱地区边界层物理和我所边界层物理研究的回顾[J]. 高原气象,1989,8(2):133-138.
- [2] 苏从先,胡隐樵. 河西地区绿洲小气候特征和冷岛效应[J]. 大气科学,1987,11:390-396.
- [3] 胡隐樵,高由禧,王介民,等. 黑河实验(HEIFE)的一些研究成果[J]. 高原气象,1994,13(3):225-236.
- [4] 季国良,邹基玲. 干旱地区绿洲和沙漠辐射收支的季节变化[J]. 高原气象,1994,13(3):323-329.
- [5] 季国良,钟强,沈志宝. 青藏高原地面热源观测研究的进展[J]. 高原气象,1989,8(2):127-132.
- [6] 李胜功. 内蒙古奈曼麦田和沙丘微气象特征研究[J]. 高原气象,1993,12(4):400-408.
- [7] 胡隐樵,王俊勤,左洪超. 临近绿洲的沙漠上空近地面层内水汽输送特征[J]. 高原气象,1993,12(2):125-132.
- [8] 邹基玲,季国良,侯旭宏. 张掖地区春小麦生长期的辐射平衡观测[J]. 高原气象,1994,13(3):353-358.
- [9] 沈志宝,邹基玲. 黑河地区沙漠和绿洲的地面辐射能收支[J]. 高原气象,1994,13(3):314-322.
- [10] 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.
- [11] 周允华,项月琴,单福芝. 光合有效辐射(PAR)的气候学研究,农田生态环境研究[M]. 北京:气象出版社,1989.133-144.
- [12] 董振国,于沪宁. 农田光合有效辐射观测和分析,农田生态环境研究[M]. 北京:气象出版社,1989.145-148.
- [13] 李世奎. 中国农业气候资源和农业气候区划[M]. 北京:气象出版社,1988.16-20.
- [14] 谢贤群. 黄淮海平原冬小麦生育期的光合有效辐射分布特征[M]. 黄淮海平原治理和开发(第一集),1985.

### Characteristics of the Radiation Budget over Oases in Arid Region

Ji Guo-liang, MA Xiao-yan, ZOU Ji-ling, LU Lan-zhi

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

**Abstract:** In this paper, the characteristics of the radiation budget over two types underlying surface are analyzed by using the data observed in oases (Zhangye) and desert in HEIFE. The results show that: in the arid region, the surface albedo is smaller in oases than in desert and its seasonal variation is obvious. The surface upward longwave radiation is also smaller in oases than in desert, the effective radiation is smaller in oases than in desert and its seasonal variation is obvious, too. The surface net radiation is larger in oases than in desert and the energy from surface to atmosphere is latent heat mainly. The annual total of Photosynthetically Active Radiation (PAR) is larger over oases in arid region than that in Hebei and Shandong. In arid region the PAR resource is very rich.

**Key words:** Arid region; Surface albedo; Surface effective radiation; Photosynthetically active radiation; Radiation budget