

黄河中游地区辐射气候特征*

万 正 奎

(黑龙江省气象科学研究所)

一、前 言

在我国,热量平衡和辐射平衡的研究是解放后才开始的。在文献[1—5]中曾分别对我国有关辐射状况、有关计算辐射热总量的经验公式和东部地区不同范围内的热量平衡进行了研究。

本文讨论黄河中游地区辐射平衡各分量的气候学特征。文中所引用的资料除以西安($\varphi = 34^{\circ}15'N$, $\lambda = 108^{\circ}55'E$)、兰州($\varphi = 36^{\circ}03'N$, $\lambda = 103^{\circ}53'E$)、呼和浩特($\varphi = 40^{\circ}49'N$, $\lambda = 111^{\circ}41'E$)三个站1960—1962年3年的观测资料为主外,并搜集了银川($\varphi = 38^{\circ}31'N$, $\lambda = 106^{\circ}16'E$)、扎莎克($\varphi = 39^{\circ}17'N$, $\lambda = 109^{\circ}45'E$)的日射资料。同时为了对比起见,还参考了二连($\varphi = 44^{\circ}13'N$, $\lambda = 111^{\circ}32'E$)、民勤($\varphi = 38^{\circ}43'N$, $\lambda = 103^{\circ}06'E$)、敦煌($\varphi = 40^{\circ}08'$, $\lambda = 94^{\circ}47'$)等站的日射资料。所有资料中除兰州采用了 $Ac_{3 \times 3}$ 型反射率表进行观测外,其余各站均采用了 AT-50 型直接辐射表、 $\Pi_{3 \times 3}$ 型天空辐射表和 ГСА-1 型微安表进行观测的。凡所缺的日总量资料,均按该月份日照时数与有关分量日总量之间的多年平均相关图进行了插补。

二、直接太阳辐射

表1为黄河中游及其毗邻地区水平面上直接太阳辐射的年变化资料。从表中可以看出,最大值是在鄂尔多斯高原(扎莎克),由此向南和西南减少,其减弱的幅度也很显著(相对值可达30%以上),而向北和西北则减弱的较少(相对值一般不到17%)。这一分布状况与本区自然地理特点有密切关系。在南和西南部因受秦岭和六盘山脉对北来气流的阻

表1 黄河中游及其毗邻地区的水平面上直接太阳辐射的年变化(仟卡/厘米²·月)

台 站	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	年
西 安	3.05	3.28	3.80	5.10	7.18	6.02	6.73	5.85	5.60	1.96	2.18	2.97	53.72
兰 州	3.54	4.46	4.85	5.76	6.89	7.27	7.98	7.77	6.84	4.65	3.46	2.63	66.10
呼和浩特	3.74	5.01	6.62	9.24	10.39	10.78	9.58	9.93	8.20	6.59	4.19	3.43	87.72
扎 莎 克	5.63	6.29	7.35	9.50	8.83	11.54	10.68	9.39	8.99	8.01	5.60	4.84	96.64
银 川	4.85	6.53	7.03	8.84	10.60	10.43	10.13	11.15	7.83	6.14	4.45	4.81	92.79
二 连	4.40	6.29	8.71	10.57	11.08	11.48	11.45	10.90	8.81	8.06	4.98	3.95	100.68
民 勤	4.76	5.70	6.22	7.72	8.00	8.73	8.96	9.39	7.13	6.43	5.21	4.54	82.79
敦 煌	4.33	5.34	6.23	8.17	9.51	10.93	12.35	11.78	10.51	8.56	4.29	4.15	95.99

* 本文是在程麟生和董建华同志指导下完成的,王同仁同志协助统计资料,谨致谢意。

挡作用,不仅冷锋前进较慢,更因地形的抬升作用而产生较多的云量和降水,夏半年受东南季风和西南季风影响也较大,从而大气透明度也较北部地区为弱,使得太阳直接辐射量的绝对值和在总辐射中所占百分比均较北部为小。

鄂尔多斯高原地区不仅冬半年受冷高压影响大,天多晴朗,即是夏季阴雨天气也不多,故太阳直接辐射量最大。由此向西,太阳直接辐射的减弱则与风沙天气多、大气含尘量大有关,如巴彦高勒与民勤,全年的风沙日数分别为 84 天和 133 天。在 3—6 月间,民勤地区几乎有一半以上的日子里有风沙。

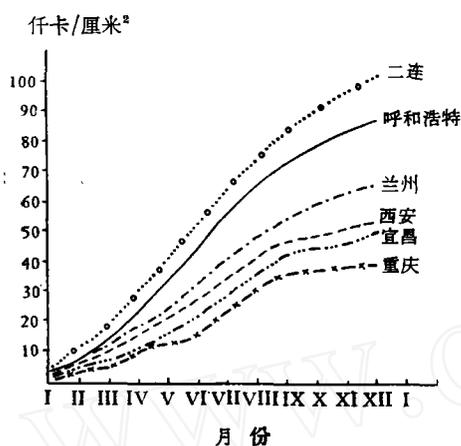


图 1 直接辐射总量逐月累积增长图

本区太阳直接辐射具有明显的年变化。由于 12 月份太阳高度最小,故最小值出现于该月;而最大值在东部和东南部均出现在春末夏初,且在 7 或 8 月份出现次大值,西部和西北部出现在 7、8 月。在西部地区,由于春季冷锋云系和风沙天气影响较多,且夏季风势力较弱,故太阳直接辐射值增加缓慢,最大值的位相落后,同时春季由于风沙天气的影响,往往出现一个次低值(民勤、扎莎克)。而东部地区 7、8 月份的次大值则与锋面位置有关。总的说来,本区太阳直接辐射年变化型式很明显,一般情况下最大值出现在春末夏初,最小值出现在 12 月。图 1 是直接太阳辐射总量的增长过程,从图上可以清楚的看出,其增长速度是很快的,显示出了中纬度大陆性气候的特色,与长江中上游地区有着迥然不同的辐射气候特点^[2]。

图 1 是直接太阳辐射总量的增长过程,从图上可以清楚的看出,其增长速度是很快的,显示出了中纬度大陆性气候的特色,与长江中上游地区有着迥然不同的辐射气候特点^[2]。

表 2 水平面上直接辐射与总辐射的比值(%)

台 站	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	年
西 安	47	46	40	44	51	45	50	50	56	36	42	49	47
兰 州	53	55	47	48	52	52	59	62	63	56	54	48	54
呼和浩特	57	62	56	61	59	61	60	66	67	65	61	59	61
扎 莎 克	69	65	57	60	53	65	64	66	70	71	67	69	64
银 川	65	67	56	57	59	60	61	70	66	64	62	68	62

直接辐射与总辐射的比值也反映了本区辐射气候的特点(表 2)。该比值的地区分布与直接辐射绝对值的分布是一致的。比值年变化最小值出现在春季月份,最大值则出现在秋季月份。这与苏联中亚部分的情况不同^[6,14],在苏联中亚部分的最大值为夏季月份,最小值在冬季里。在本区凡是气候愈干燥的地区比值的季节变化也愈大。即使在同一的天气条件下,本区各地直接辐射的变化也是不一致的。图 2 和图 3 表示晴天条件下直接辐射随时间的变化。此两图表明,呼和浩特和西安直接辐射最大值都出现在中午附近,下午各时刻的年变化均比上午简单,但由于局部地区大气特性的差异,两地等值线的分布形式也不同,呼和浩特最大值出现在夏至附近,且秋季大于春季,西安的最大值则提早在 5

月出现, 而春季大于秋季。同时, 西安上午各时刻直接辐射值的年变化比呼和浩特要复杂得多。

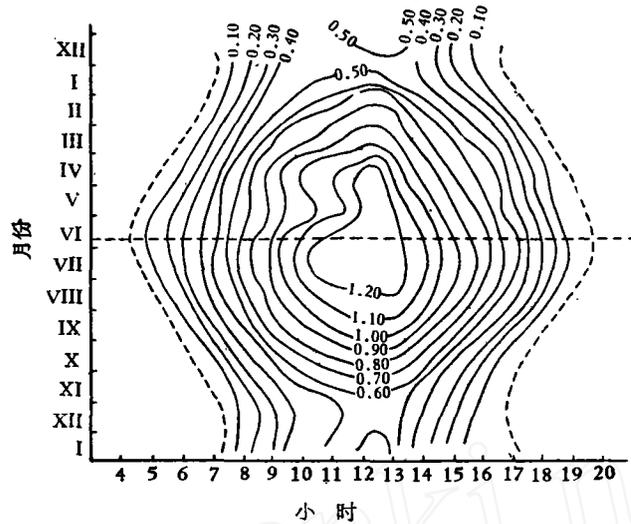


图2 呼和浩特晴空时水平面上直接太阳辐射通量年内各月逐时变化等值线图(卡/厘米²·分, 虚线为日出、日落时刻, 横断线为夏至日子)

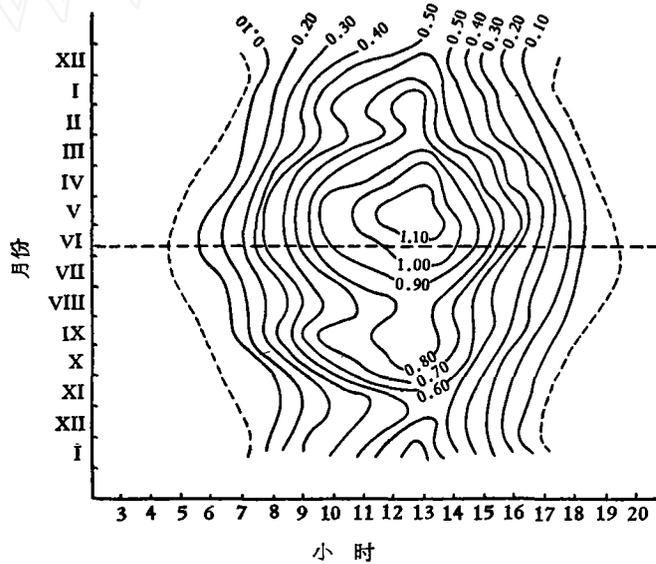


图3 西安晴空时水平面上直接太阳辐射通量年内各月逐时变化等值线图(说明同图2)

三、散射辐射

黄河中游地区的散射辐射年总量为 50—60 仟卡/厘米²·年(表 3), 约占总辐射年总量的 36—53%, 且大部分地区在 50% 以下。这种情况与长江中上游不同^[2], 在那里散射辐射可占总辐射的 55—70%, 甚至更多。散射值的空间分布与太阳直接辐射情况相反, 最大值出现在南部(西安), 最小值则在北部, 但由于北部地区大气含尘量较大, 散射作用增强,

表 3 黄河中游及其毗邻地区散射辐射的年变化(仟卡/厘米²·月)

台 站	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	年
西 安	3.40	3.94	5.64	6.57	6.82	7.28	6.69	5.94	4.40	3.47	3.08	3.11	60.35
兰 州	3.15	3.58	5.41	6.22	6.43	6.87	5.63	4.83	3.99	3.60	3.00	2.89	55.60
呼和浩特	2.83	3.10	5.16	5.89	7.14	6.92	6.43	5.05	4.10	3.54	2.70	2.36	55.23
扎 莎 克	2.56	3.30	5.62	6.23	7.72	6.13	6.07	4.89	3.79	3.29	2.74	2.18	54.52
银 川	2.57	3.15	5.48	6.59	7.45	7.04	6.50	4.85	3.97	3.45	2.71	2.27	56.03
二 连	1.64	1.80	3.27	4.20	4.94	4.80	4.43	3.55	2.85	1.77	1.47	1.25	35.96
民 勤	2.55	3.08	5.57	6.42	7.45	6.94	6.01	4.86	3.28	3.11	2.54	2.12	53.93
敦 煌	3.10	3.59	6.44	7.29	8.29	7.17	6.22	5.53	4.07	3.50	3.13	2.47	60.26

故南北间散射辐射量的差值较之太阳直接辐射的差值要小得多,年总量只相差 6 仟卡/厘米²·年左右,而后的差值则达 42 仟卡/厘米²·年。春季,因北部风沙天气多,散射辐射在南北间的差值更小,甚至 5 月份北部反大于南部。

本区散射辐射也具有明显的年变化,最低值大都出现在 12 月,而最大值的出现时间可分为两类,一类即北部半干旱和干旱地区(呼和浩特、扎莎克、民勤),由于 5 月份太阳高度已很大,同时大气混浊度和地面反射率也大,故散射辐射最大值在 5 月份出现;另一类即南部半湿润与半干旱地区(西安、兰州),最大值出现于太阳高度最大的 6 月份。本区散射辐射最大值可比长江中上游最大值的出现月份(7 月)提前 1—2 个月。就年变化的趋势来看,春季增长的都很快,自最大值出现后至 9 月递减速度也很迅速,而 9 月以后至 2 月以前则变化甚缓慢,年变幅也是愈向干旱荒漠地区愈大。

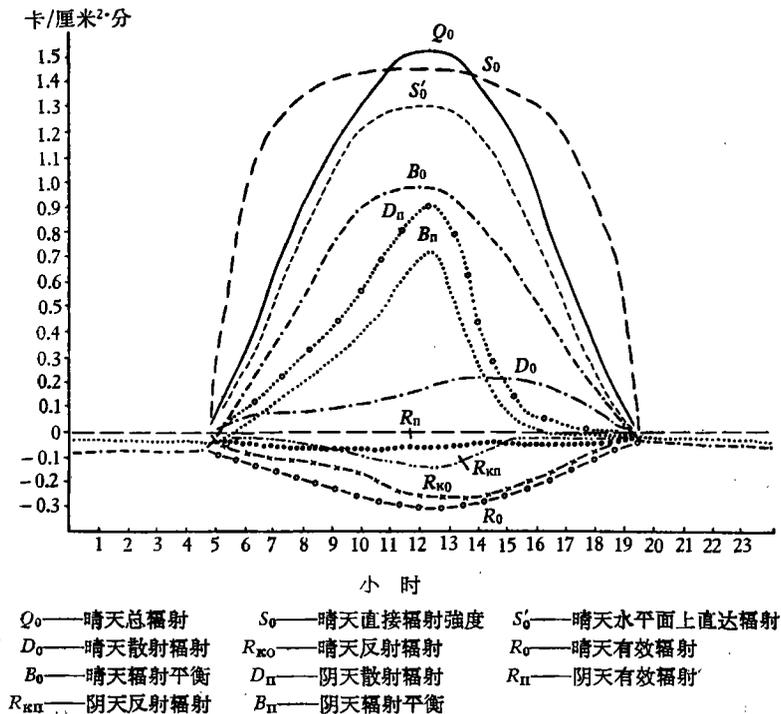


图 4 呼和浩特晴天(1962 年 7 月 2, 11 日平均)与阴天(1962 年 7 月 12 日)辐射平衡各分量日变化图

为了说明不同天气条件对辐射平衡各分量日变化的影响,我们绘制了呼和浩特和西安两地晴、阴天条件下辐射平衡各分量的日变化对比图(图4,5)。其中图4代表本区北部的情况,图5代表本区南部的情况。

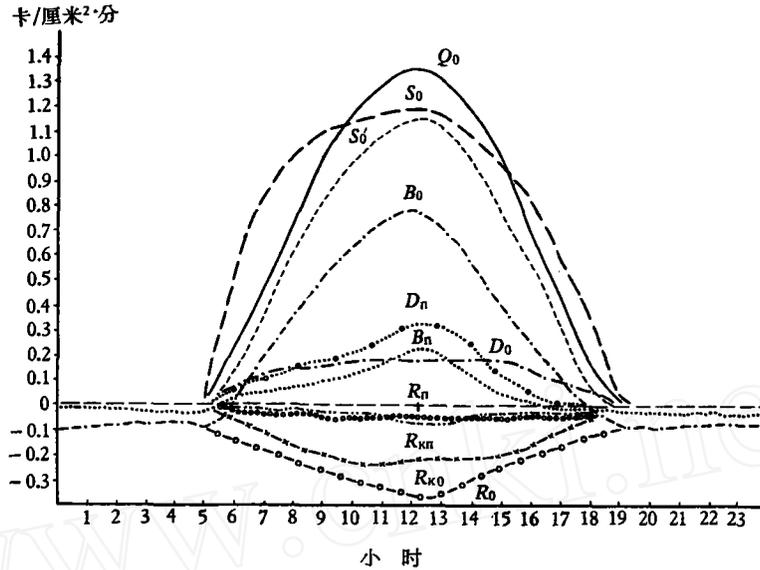


图5 西安晴天(1961年7月12日)和阴天(1961年7月24日)辐射平衡各分量日变化图(图例同图4)

由图4、5可知散射辐射的最大值并不出现在太阳高度最大的正午时刻,而午前、午后其变化曲线也是不对称的。在晴天时,由于对流作用和风速在午后的增大,使大气混浊度增加,所以散射值午后也偏大;而阴天时,大气层结稳定,近地面空气层中尘粒较多,对流作用微弱,散射作用在正午前后的差值也很小。

四、总辐射

1. 晴天条件下的总辐射

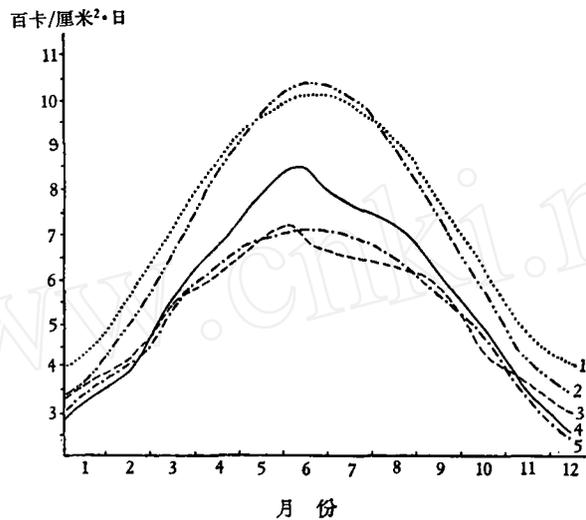
本文根据 B. H. 乌克兰英采夫(Украинцев)的方法求得了黄河中游地区的碧空总辐射量,与用同一方法求得同纬度的碧空辐射相比较(表4),可以看出,本区碧空总辐射是由南向北增加的,这与文献[1]的结论是一致的,而与文献[7]中所引用的北半球碧空总辐射的纬度分布情况则相反,这与本区的季风气候特点有关。同时还可看出,文献[1]所得的北纬 40° 的平均值较呼和浩特地区偏小了些,且以5、6月和8、9、10月差值为最大;北半球北纬 40° 的平均值也是偏小的,而我国西安、兰州与我国平原地区北纬 35° 的平均值比较接近,但比起北半球北纬 35° 的平均值要小一些。上述情况,可能与选用的测站及资料年代的不同有关。

若以碧空条件下的总辐射与大气上界辐射量的比值来看,本区北部的大气透光性能较南部要好得多,如呼和浩特的比值均达80%以上,较西安、兰州要大10%左右。

图6表示碧空条件下总辐射日总量与大气上界辐射日总量的年变化。由图上可以看

表 4 碧空条件下总辐射的年变化(仟卡/厘米²·月)

地 区	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	年
我国呼和浩特	10.5	12.3	17.4	20.1	24.7	25.0	23.6	22.5	18.9	15.2	10.5	7.8	208.5
我国西安	11.3	12.4	17.3	18.4	21.6	20.7	20.2	19.6	17.5	13.8	11.2	9.5	193.5
我国兰州	10.8	12.5	17.0	18.9	21.6	21.3	21.7	20.2	17.1	14.4	9.8	7.9	190.9
我国北纬 40° 平均值	9.4	11.9	16.0	19.5	22.6	23.6	23.2	20.7	16.9	13.5	10.2	8.2	195.7
我国北纬 35° 平均值	10.1	12.1	15.9	19.0	21.7	22.3	22.0	20.1	16.8	13.9	10.8	9.3	194.0
北半球北纬 40° 平均值	8.7	11.5	17.0	20.0	22.9	23.5	23.2	21.1	17.6	13.4	9.7	7.7	196.3
北半球北纬 35° 平均值	10.8	13.6	18.5	21.0	23.0	23.5	23.3	21.8	18.8	15.1	11.8	9.6	210.8

1. 北纬 35° Q_A 2. 北纬 40° Q_A 3. 西安 Q_0 4. 呼和浩特 Q_0 5. 兰州 Q_0 图 6 碧空条件下总辐射日总量 (Q_0) 与大气上界辐射日总量 (Q_A) 年变化图

出,在碧空条件下地面总辐射日总量的年变化情况与大气上界水平面上的情况显然不同。这里碧空条件下西安、兰州与呼和浩特之间的差异以夏半年为最大,冬半年最小,由 2 月末至 11 月初,后者均较前者为大,比之大气上界的偏离情况要显著得多,而冬季则不如大气上界明显。可见,本区辐射状况的纬度变化中,大气特性的影响要比太阳高度的影响大得多。

2. 平均条件下的总辐射

在黄河中游地区,直接辐射在总辐射中占着主要成分,故总辐射的时间变化与空间分布的特征也与直接辐射的情况相似。本区总辐射的年、月总量见表 5。其年变化最低值出现在 12 月份(西安因在观测年代里秋雨较多,最低值为 11 月),而最大值除敦煌以外,均出现在春末夏初。本区总辐射具有由南向北,由东向西,其年变化形式亦随之由复杂向简单,年变幅由小向大而过渡的特点,与同纬度地区相比,这种过渡性特点表现得更明显。本区总辐射年变化幅度与塔什干地区的相比要小得多^[6]。以多年平均总辐射的实测值与大气上界辐射量的比值可以反映出各种因子对总辐射的综合影响(表 6),如呼和浩特两者的比值大于 50%,而兰州、西安均不到 50%,且该比值之季节变化亦不同。

表 5 黄河中游及其毗邻地区总辐射的年变化(仟卡/厘米²·月)

台 站	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	年
西 安	6.45	7.22	9.45	11.67	13.99	13.30	13.42	11.79	10.00	5.44	5.27	6.08	114.07
兰 州	6.69	8.04	10.25	11.98	13.33	14.14	13.61	12.60	10.83	8.25	6.45	5.52	121.70
呼和浩特	6.57	8.11	11.78	15.14	17.54	17.70	16.01	14.98	12.30	10.13	6.89	5.79	142.95
扎 莎 克	8.19	9.59	12.97	15.73	16.55	17.68	16.75	14.27	12.78	11.31	8.34	7.02	151.16
银 川	7.42	9.68	12.51	15.43	18.05	17.47	16.63	16.00	11.80	9.59	7.16	7.08	148.82
二 连	6.04	8.08	11.97	14.77	16.01	16.28	15.87	14.46	11.66	9.83	6.45	5.20	136.64
民 勤	7.30	8.78	11.79	14.14	15.45	15.67	14.97	14.25	10.41	9.54	7.74	6.67	136.71
敦 煌	7.43	8.93	12.67	15.46	17.80	18.10	18.57	17.31	14.58	12.06	7.42	6.62	156.25

表 6 实测总辐射 Q 与大气上界水平面上辐射量 Q_A 之比值表(%) Q/Q_A

站 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
西 安	47	45	42	44	47	44	44	41	43	28	37	48	43
兰 州	49	51	46	46	44	47	44	44	46	42	45	44	47
呼和浩特	57	56	58	59	58	57	52	54	55	56	55	57	56

3. 总辐射量的空间分布

本区总辐射的实测资料不多,且记录年代也短,不能完善地反映各地的辐射气候特点,为此,本文引用了文献[1]提出的计算总辐射的经验公式,即:

$$(Q + q) = (Q + q)_0 (0.248 + 0.752 S/S_0),$$

式中: $(Q + q)$ 为平均条件下的总辐射; $(Q + q)_0$ 为碧空条件下的总辐射;

S 为实际日照时数; S_0 为纬度可能日照时数。

用上述公式计算了黄河中游及毗邻地区共 61 个测站的总辐射年、月总量,并绘制了 1、4、7、10 月及全年的总辐射分布图(图 7—11)。表 7 列出了与实测值年代相同的部分观测站计算值的误差范围,其中绝对误差以仟卡/厘米²·月表示。从表中可以看出,计算值一般是偏大的,但对于旱或荒漠地区(扎莎克、银川等地表中未列出)计算结果一般偏小。贺兰山和六盘山以东的广大地区,年总量的计算误差皆在 4% 以下,除 12 月外,月总量的计算误差也都在 10% 以下,唯六盘山以西的兰州地区误差较大。由此可见,上述公式对本区大部分地区的计算结果还是令人满意的。本文用以计算总辐射的资料多为 1952

表 7 总辐射计算误差(实测值-计算值)和相对误差(绝对误差/实测值×100%)

台 站	项 目	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	年
西 安	绝对误差	-0.01	-0.28	0.70	0.46	-0.12	-0.30	-0.66	-1.28	-0.08	-0.54	-0.78	0.03	-0.27
	相对误差	-0.2	-3.9	7.4	4.0	-0.9	-2.2	-4.9	-10.9	-0.8	-9.9	-14.8	0.4	-0.2
兰 州	绝对误差	-1.19	-1.64	-1.04	-1.13	-2.29	-1.47	-1.13	-2.07	-1.10	-1.06	-0.89	-1.36	-16.47
	相对误差	-17.8	-20.4	-10.3	-9.4	-16.2	-12.1	-8.3	-16.2	-10.2	-12.8	-14.2	-24.5	-13.6
呼和浩特	绝对误差	-0.67	-0.46	-0.22	-0.07	0.59	0.00	-1.39	-0.34	0.13	-0.40	-0.96	-0.52	-4.26
	相对误差	-11.0	-5.6	-1.8	-0.50	3.4	0.0	-8.7	-2.3	1.1	-3.9	-13.9	-9.0	-3.0

—1960年间的平均值,其中年代最短的也在5年以上。

黄河中游地区年总辐射量在110—150千卡/厘米²·年之间。最大值出现在北部的鄂尔多斯高原和河套平原(北纬40°附近),南部由于大气透光性较差,使总辐射也随之减小,年总辐射最小值出现在秦岭山地附近。由于地形对气候条件的影响,年辐射总量的分布也比较复杂,山地地区总辐射随高度而减少,故秦岭和祁连山地区等值线大致沿等高线方向,而呈南北向的六盘山地区等值线也顺山势而向北弯曲,在起伏比较不大的高原和宽阔的河谷平原,等值线接近纬圈方向,且南北差异也小(图7)。

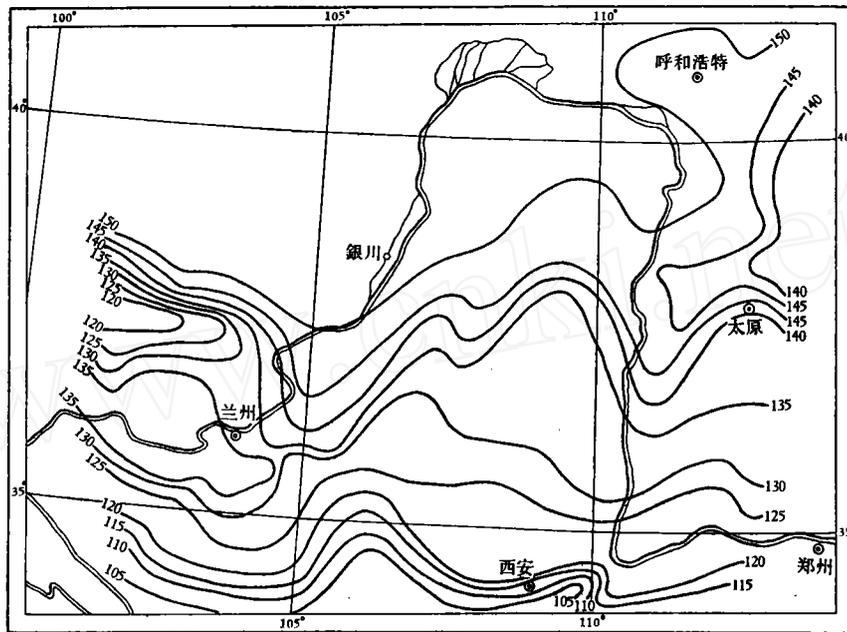


图7 黄河中游地区年总辐射分布图(单位:千卡/厘米²·年)

1月本区总辐射为6—7.5千卡/厘米²·月,南北之间的差别不大,等值线分布形势也很简单(图8)。这与冬季全区受大陆气团控制而各地区天气条件比较相似有关。这时,山脉对总辐射地区分布的影响范围也大为缩小,总的分布趋势是西北部大,东南部小。

4月总辐射在11—15千卡/厘米²·月之间。总的分布形势与年总量的分布相似,但由于这时西部冷锋天气多,而南部山脉纵横对天气系统的影响亦颇为复杂,故总辐射分布的南北梯度加大,山脉的影响范围也日见扩大,同纬度上的山地地区的低值和平原地区的高值表现得很明显,不过祁连山的影响范围仍不大(图9)。

7月,月总辐射量为13—17千卡/厘米²·月。这时等值线的曲折程度较4月大见减少,南北之间差值虽也不小,但随纬度的变化却较均匀,山地与平原的差异也不如4月突出(图10)。

10月,总辐射是在8—11千卡/厘米²·月之间。这时南北之间的差异已大为减小,分布形势也接近冬季,山地的影响范围日益缩小(图11)。

总之,本区总辐射的空间分布除受地理位置、气候条件的影响外,也深受地形特点的

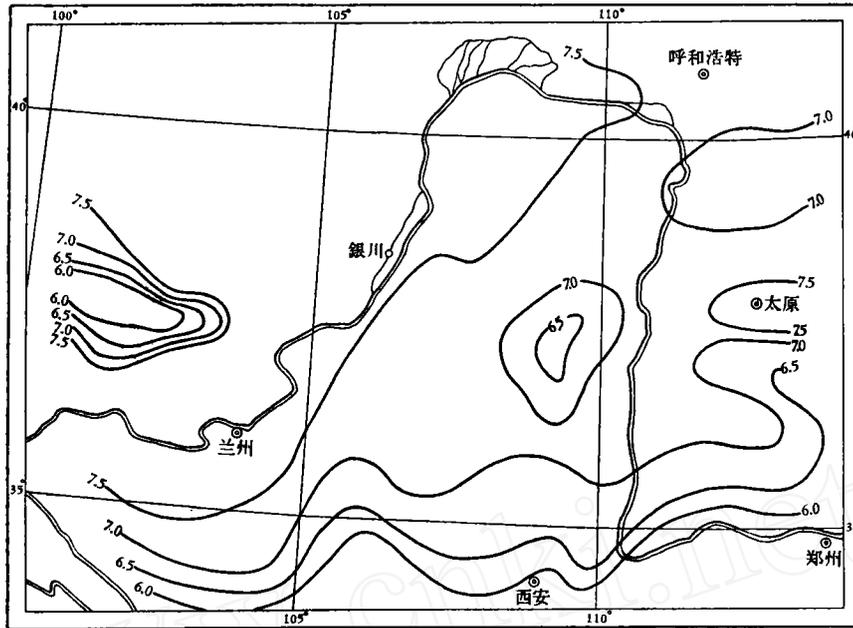


图 8 黄河中游地区 1 月份总辐射分布图(单位: 仟卡/厘米²·月)

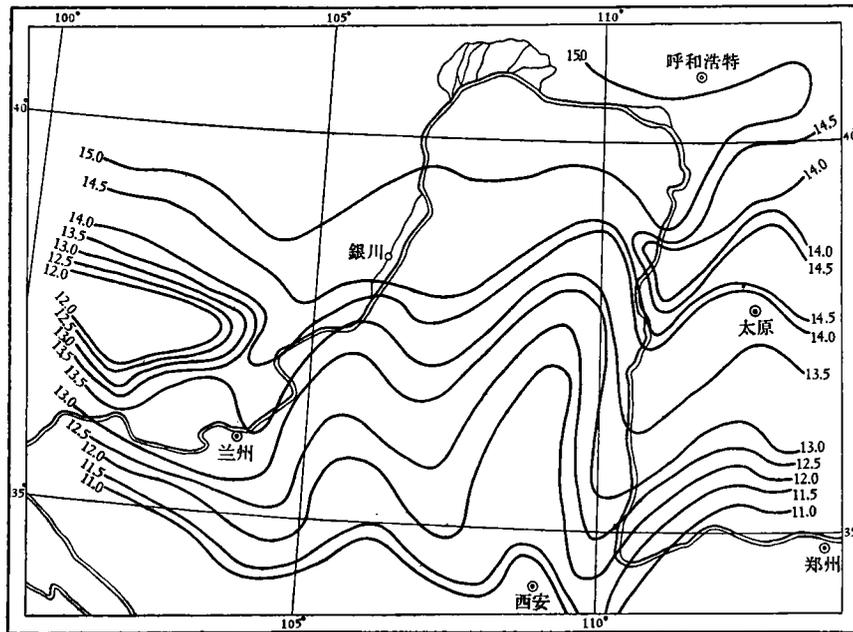


图 9 黄河中游地区 4 月份总辐射分布图(单位: 仟卡/厘米²·月)

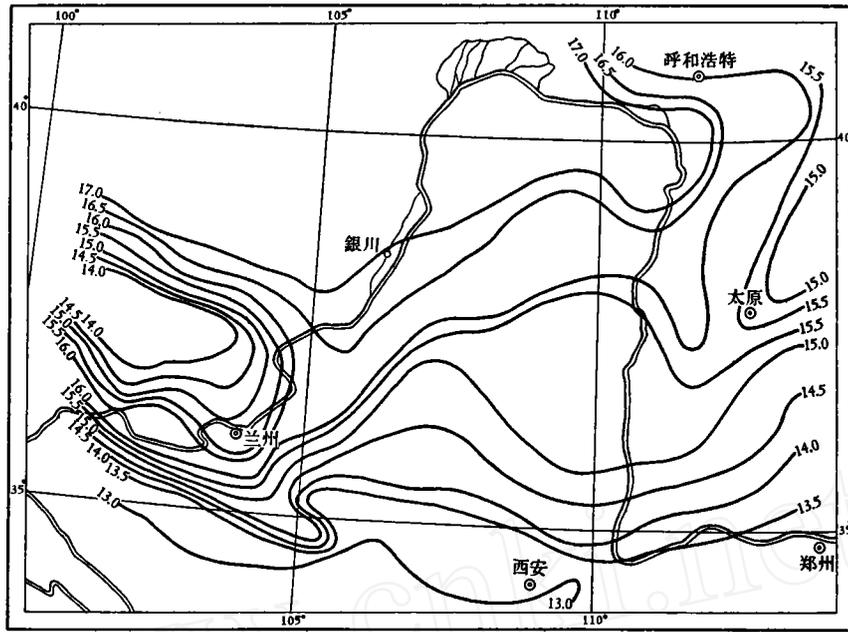


图 10 黄河中游地区 7 月份总辐射分布图(单位: 仟卡/厘米²·月)

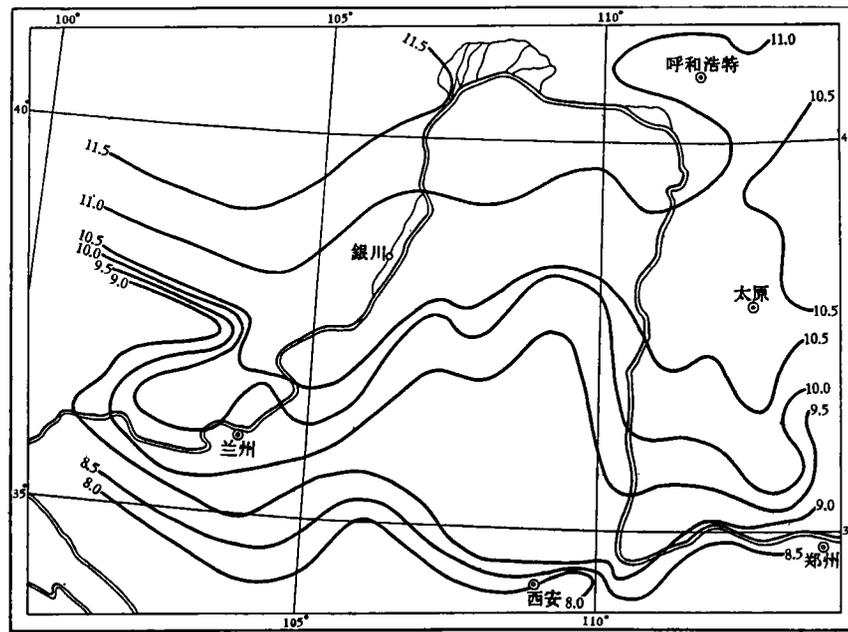


图 11 黄河中游地区 10 月份总辐射分布图(单位: 仟卡/厘米²·月)

制约,如果考虑到不同地貌形态上所特有的辐射特点,则情况要更为复杂。在辐射资料的具体应用时,必须考虑到这一特点。

五、反射辐射

反射率主要决定于下垫面状况、太阳高度和天气条件等因素。反射率的大小直接影响着下垫面对太阳能的吸收,也是影响辐射平衡过程的主要因素。

黄河中游地区的反射率年平均值为 21—22%(表 8),比北京地区略小一些^[3],比苏联塔什干地区约小 6%^[6,9]。这种差别多是冬、秋两季本区积雪少、反射率小所造成的。春季,本区反射率与同纬度地区相近,甚至比塔什干还要大一些,因这时正是土壤解冻期,下垫面湿润情况差不多,反射能力亦差别不大。此外,本区下垫面多为较暗的黑灰色和浅黄色壤土及砂壤土,更由于气候干燥,风沙过后,地表为灰尘和细土粒所覆盖,因而下垫面粗糙,地表物质疏松等,这些也是本区反射率年平均值比同纬度偏小的原因。

表 8 黄河中游地区反射率(%)

台 站	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	年
西 安	23.8	23.3	19.7	21.9	22.3	21.2	22.0	21.7	22.0	19.5	23.5	23.6	22.0
兰 州	21.3	21.8	23.4	21.8	22.5	22.4	20.7	21.3	20.0	20.0	20.3	22.5	21.5
呼和浩特	29.1	23.5	18.9	18.6	20.5	20.8	19.3	17.5	19.6	19.6	23.3	23.6	21.1

本区反射率年变化规律是冬季月份出现最大值,这与冬季太阳高度低,地面干燥,而且间或有雪被形成等有关。夏、秋由于地表湿润程度增加,因而反射率也相对的减小。成为年变化的低值出现月份。

反射率的日变化最小值一般出现在正午附近,但不同季节反射率的日变化形式和不同时刻反射率的年变化形式也相当复杂(图 12、13)。一般在湿润季节里,日出后不久和日没前的一段时间内变化最剧烈,而干燥季节中,地面反射率较大,其日变化较均匀。

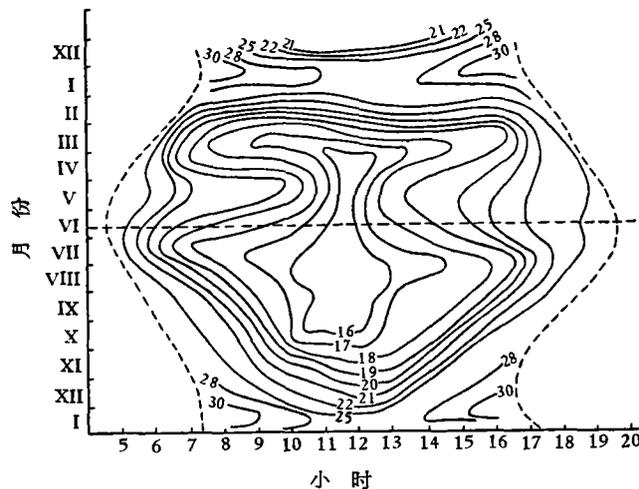


图 12 呼和浩特反射率逐月逐时变化等值线图
(%,虚线为日出、日没时间,横线为夏至的日子)

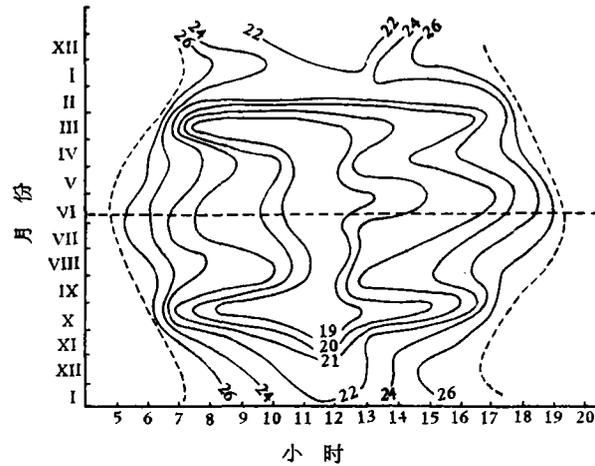


图 13 西安反射率逐月逐时变化等值线图(说明同图 12)

本区反射辐射年总量为 25—30 仟卡/厘米²·年, 占总辐射的 20—22%, 最大值出现在春末夏初, 最小值则为 12 月。在空间分布上是北部大于南部。

六、下垫面的有效辐射

下垫面有效辐射即下垫面长波辐射与大气逆辐射之差, 是辐射平衡重要组成部分之一。它主要决定于温度、湿度的空间分布状况以及云量、云状、云的物理特性等因素。

由于本区缺乏直接观测资料, 故引用了 M. E. 别尔梁德 (Берлянд) 计算有效辐射的近似公式^[10,11]:

$$R_0 = \delta \sigma T^4 (0.39 - 0.058 \sqrt{e})$$

这里 R_0 为晴天有效辐射; $\delta = 0.90$, 表示下垫面与黑体在辐射方面的差异, $\sigma = 8.14 \times 10^{-11}$ 为斯蒂芬-波尔兹曼常数; T 为以绝对温标表示的 2 米高处的气温; e 为以毫米数表示的空气绝对湿度。

为了考虑云对有效辐射的巨大影响, 以及近地层大气温度层结不稳定时所引起的误差, 在求平均天气条件下的有效辐射时, 我们采用了下面的订正公式:

$$R = R_0 (1 - CN^2) + 4\delta\sigma T^3 (T_0 - T)$$

且

$$C = (C_H n_H + C_{CP} n_{CP} + C_B n_B) / N$$

式中 R 为平均条件下的有效辐射; T_0 为下垫面温度; N 为总云量, 以小数表示; C_H , C_{CP} , C_B 分别为低、中、高云有关的系数; n_H , n_{CP} , n_B 分别为低、中、高之云量; C 为与总云量有关的系数。公式表明, 平均 C 值主要决定于各层云的 C 值和各层云的频率 n/N 。不同作者所求得同一类云的 C 值一般差别比较小 (表 9)^[7,10,12,13], 而本区不同云的云量频率的季节变化和地区差异却很大。因此, 我们根据长江中上游地区所求得的而又比较适合我国季风气候特点的低、中、高云的 C 值^[2], 和本区低、中、高云的频率资料¹⁾, 按公式计算

1) 低云之频率系根据日射观测时的低云量观测记录统计而得, 高云与中云的频率根据历次观测的高、中云云量之和 (即总云量与低云量之差值) 的多年平均值, 及高云和中云在历次观测中出现的机率, 先近似求得高云量和中云量, 然后再求其占总云量之百分比而获得。

了黄河中游地区的平均 C 值 (表 10)。从表上可以看出, 本区 C 值的空间分布是由东向西, 由南向北递减的, 在时间变化上从夏至冬变小, 这与 M. E. 别尔梁德所求得的 C 值由低纬向高纬和由夏至冬而变大的情况正好相反^[11], 此乃因本区高云量占比率大以及高云频率由冬至夏显著减少所致。

表 9 不同作者求得云对有效辐射影响的系数

作者	地区	季节	C_H	C_{CP}	C_B	平均 C 值
Евфимов, Н. Г.	一般情况下		0.7—0.8	0.5—0.6	0.15—0.20	—
Asklöf, S.	瑞典	春季	0.83	0.75	0.20	—
Dorno, C.	瑞士	全年	0.85	0.63	0.31	—
Лютерштейн, И. Г.	中亚地区		0.8—0.9	0.6—0.7	0.20	—
Берлянд, М. Е.	北纬 50°—40°	暖季	0.78	0.65	0.19	0.69
Берлянд, М. Е.	北纬 50°—40°	冷季	0.82	0.69	0.24	0.71
Ångström, A.			—	—	—	0.75
Берлянд, М. Е.	北纬 40° 平均		—	—	—	0.68
Берлянд, М. Е.	北纬 35° 平均		—	—	—	0.65
Берлянд, М. Е.	苏联欧洲部分南部		0.80	0.65	0.25	—
潘守文	长江中上游地区		0.94	0.80	0.35	0.69

表 10 黄河中游地区云量频率及平均 C 值

项目	云量频率(占总云量之百分比)%									平均 C 值			
	西安			兰州			呼和浩特			台站	西安	兰州	呼和浩特
台站										年平均	0.66	0.62	0.60
云类	n_H	n_{CP}	n_B	n_H	n_{CP}	n_B	n_H	n_{CP}	n_B				
1 月	5	37	58	7	23	70	14	13	73	夏半年	0.78	0.75	0.71
7 月	38	46	16	36	42	22	43	23	34	冬半年	0.55	0.50	0.49

表 11 黄河中游地区有效辐射的年变化(仟卡/厘米²·月)

台站	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	年
西安	4.76	4.08	4.10	4.18	3.77	5.09	3.64	3.39	3.46	4.43	4.38	4.50	49.78
兰州	4.85	4.76	4.15	4.40	5.44	4.90	4.58	5.02	4.28	3.93	4.49	4.91	55.71
呼和浩特	5.47	4.62	5.51	6.50	7.24	6.51	4.48	5.44	4.87	5.37	4.85	4.80	65.66

表 11 为按上述方法求得的有效辐射总量。本区有效辐射年总量为 49—66 仟卡/厘米²·年, 比同纬度的北京大 8—25 仟卡/厘米²·年, 比塔什干大 5—15 仟卡/厘米² (除西安外), 比纬度较低的长江中上游要大 12—28 仟卡/厘米²·年。本区这种有效辐射偏大现象, 与大陆气团控制的时间长有关, 因在这种气团控制下, 不仅大气中水汽含量少, 且多晴天, 因而有利于有效辐射的进行。同时, 愈向北水汽含量愈少, 高云愈占优势, 故有效辐射是由南向北增加。

本区有效辐射年变化是愈向北愈显著, 但各地最大、最小值的出现时间也不一致, 如呼和浩特最大值出现在 5 月, 最小值则为 7 月; 兰州虽最大值也在 5 月, 但最小值或次小值却在 3、4 月或 9、10 月。这种年变化特征的形式与前述天气条件下云量、大气中含水

汽量以及地表温度与气温之差值的年变化过程有关。

本区有效辐射年变化与苏联中亚部分不同,那里最大值是在 8 月,最小值是在 12 月,变化形式也较简单,与长江中上游地区也不同,因那里有效辐射的年变化比本区小得多。

七、辐射平衡

根据前述辐射平衡各分量的特征及其互相间的数量关系,我们对黄河中游地区的辐射平衡数值进行了计算和探讨。表 12 即本区辐射平衡年变化资料。可以看出,其地区分布仍以北部为大。年总量一般为 39—48 仟卡/厘米²·年。呼和浩特比北京少 13 仟卡/厘米²·年,比塔什干少 3.9 仟卡/厘米²·年,比第比利斯要少 7.8 仟卡/厘米²·年。就是与长江中上游地区比较,本区也要比宜昌偏少些。这种偏少主要是本区的有效辐射较大所致。

表 12 黄河中游地区辐射平衡年变化(仟卡/厘米²·月)

台 站	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	年
西 安	0.14	1.48	3.45	4.92	7.14	5.42	6.83	5.81	4.34	-0.08	-0.37	0.12	39.20
兰 州	10.1	1.52	3.70	4.97	4.89	6.08	6.21	4.89	4.38	2.68	0.66	-0.63	40.36
呼和浩特	-0.80	1.55	4.03	5.76	6.79	7.47	8.49	7.00	4.97	2.74	0.40	-0.46	48.06

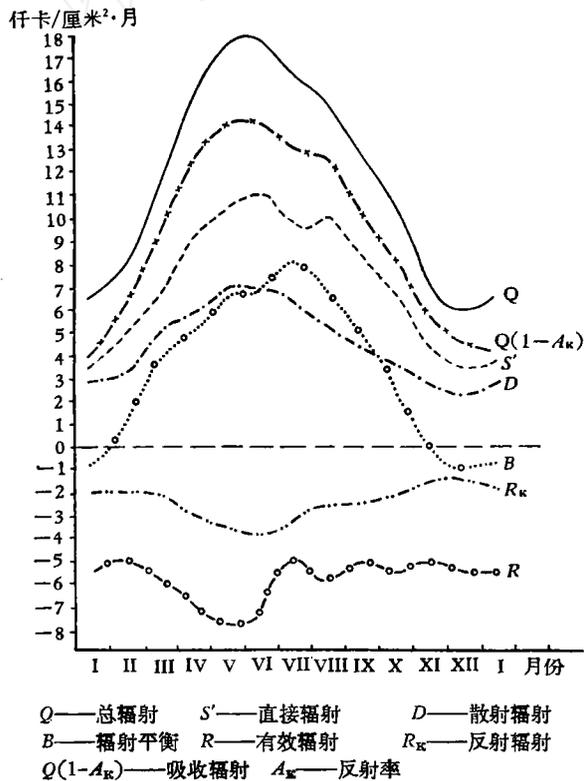


图 14 呼和浩特辐射平衡各分量的年变化

关于辐射平衡年变化的特征,从表中可以明显地看出,除冷季里部分月份以外,绝大多数月份的辐射平衡值都为正值,最大值出现于春季(西安为 5 月)、夏季(兰州、呼和浩特为 7 月),而最小值为 11 月或 12 月。从春至夏和由夏至秋的增减趋势都极迅速,而且年变程也较第比利斯和塔什干复杂得多^[6]。为了对辐射平衡各分量变化趋势之间的关系有明确的了解,我们在图 14、15、16 上同时绘制了各分量的年变化曲线。从图上可以清楚地看出本区辐射平衡各分量年变化的特点,及其相互间的制约关系。

辐射平衡日变化各地的形式大致相似,都是夜间最小,日出后开始迅速增大,日没后又很快降至最低值附近,但由于有效辐射在下午一般较大,且总辐射也比上午为小,故辐射平衡也以下午为小,最大值出现于午前时刻。

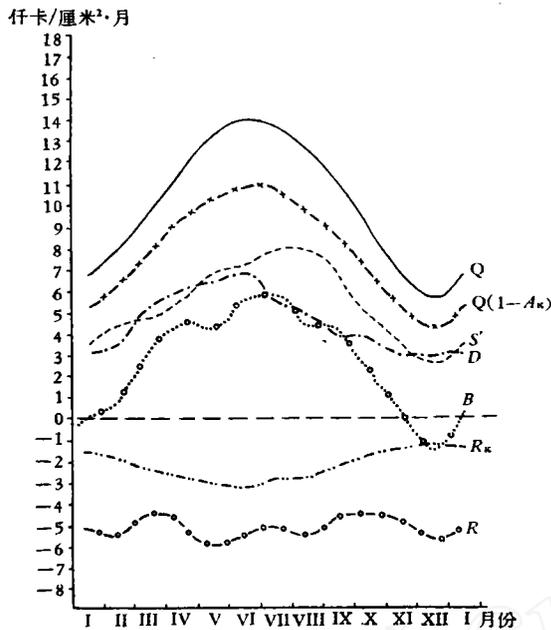


图 15 兰州辐射平衡各分量的年变化图
(说明同图 14)

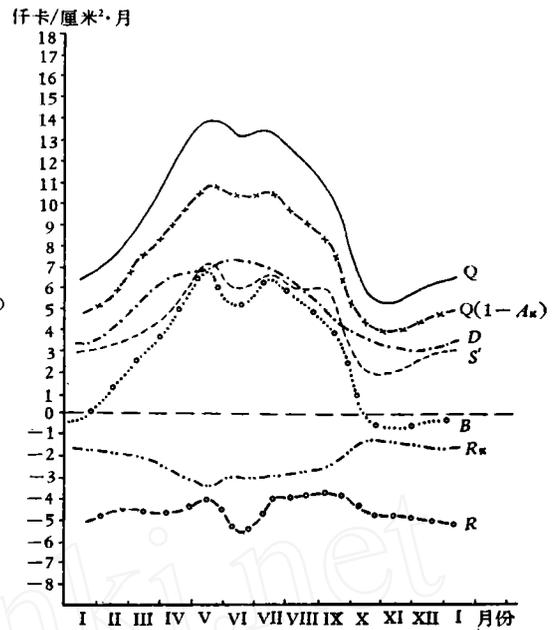


图 16 西安辐射平衡各分量年变化图
(说明同图 14)

辐射平衡零值在日变化中出现的时刻,对霜冻和低温的预告具有实际的意义。黄河中游地区辐射平衡零值出现时刻一般在日出后 20—50 分和日落前 30—120 分(表 13)。

表 13 黄河中游地区不同天气条件下辐射平衡零值在日变程中出现的时刻

台 站	1 月平均天气条件下		7 月平均天气条件下		7 月晴天条件下		7 月阴天条件下	
	日出后 (分钟)	日落前 (分钟)	日出后 (分钟)	日落前 (分钟)	日出后 (分钟)	日落前 (分钟)	日出后 (分钟)	日落前 (分钟)
西 安	45'	85'	45'	10'	50'	90'	20'	110'
兰 州	50'	90'	40'	60'	—	—	—	—
呼和浩特	35'	120'	35'	30'	20'	30'	50'	120'

但在不同季节和不同地区内,零值出现时刻也不一致,冬季月份零值转变时刻在日出后比夏季推迟,而在日落前则比夏季提前很多。阴天时日落前的零值时刻比晴天时要提前得多。就地区来看,晴天条件下,日出后的零值时刻在呼和浩特要比西安提前得多(约提前 30 分钟),傍晚则推迟约 60 分钟,这种地区差别与各地天气条件和下垫面状况的不同有关。

八、结 论

从本文的分析,对黄河中游地区辐射气候特征得出以下几点事实。

1. 黄河中游气候地区性差异大,辐射状况也显得比较复杂。在本区东北部的辐射状况与华北平原北部相似;东南部与长江中、上游地区比较接近;西北部则与河西走廊等干

燥地区相类似。本区直接辐射在总辐射中占着主要地位,除部分地区外,均占总辐射的50%以上,北部地区还可占60%以上。年总量在本区南部不足60千卡/厘米²·年,而在北部则达95千卡/厘米²·年以上。散射辐射不到总辐射的一半,这种情况与长江中上游地区以散射辐射占主要地位的特征不同,也不同于苏联中亚部分直接辐射占总辐射70%之多的情况。本区最热月的直接辐射为6—10千卡/厘米²·月,但最大值出现在春末夏初,最小值则为冬季月份。

2. 本区南部地区总辐射不到120千卡/厘米²·年,而北部则在140千卡/厘米²·年以上,其年变程的最大值出现在6月(西安、银川为5月),最小值出现在12月(西安为11月)。

3. 本区辐射平衡各分量的年变化和日变化一般愈向西、向北振幅愈大,但其变化形式则是南部比北部复杂一些。除散射辐射外,辐射平衡各分量的空间分布都是由南向北、由东向西递增的。

4. 本区各地反射率的年变化均不大,地区差异也小,年平均值为21—22%,北部反射率年变化中有两高(1、5月)、两低(4、8月);南部则有三高(1月,4、5月和8、9月)、三低(3月,6、7月和10月)。

5. 虽然本区总辐射很丰富,但由于气候干燥,云量少而稀薄,有利于有效辐射的进行,所以本区辐射平衡热总量比同纬度的北京和苏联中亚部分均少,比长江中上游某些地区也要偏少些。

综合以上的情况,可以看出,在农业生产中,如何影响辐射平衡的各个分量,从而充分利用本区丰富的辐射资源,为农业生产服务,是一个很重要的课题。

(收稿日期:1964年2月)

参 考 文 献

- [1] 左大康,王懿贤,陈建绥:中国地区太阳总辐射的空间分布特征,气象学报,33(1963),78—96页。
- [2] 潘守文:长江中上游地区的辐射气候特征,气象学报,32(1962),199—214页。
- [3] 左大康,弓冉:北京的辐射状况,地理,1962,95—98页。
- [4] 左大康,弓冉:中国太阳直接辐射、散射辐射和太阳总辐射间的关系,地理学报,28(1962),175—186页。
- [5] 萧文俊:中国总辐射的年分布与季分布,气象学报,30(1959),186—190。
- [6] Барашкова, Е. П., Гаевский В. Л., Дьяченко Л. Н., Лугина К. М., Пивоварова З. И., Радиационный режим территории СССР, Гидрометеоздат, Л., 1961.
- [7] М. И. 布德科:地表面热量平衡,科学出版社,1960。
- [8] Б. П. 阿里索夫等:气候学教程,第一分册,高等教育出版社,1957,18—20页。
- [9] К. Я. 康德拉契耶夫:太阳辐射能,科学出版社,1962,第467页。
- [10] Берлянд, М. Е., Предсказание и регулирование теплового режима приземного слоя атмосферы, Гидрометеоздат, Л., 1956.
- [11] М. Е. 别尔梁德和 Т. Г. 别尔梁德:地表面有效辐射的测定与云对其影响的计算,气象译报,3(1956),265—276页。
- [12] Кондратьев, К. Я., Лучистый теплообмен в атмосфере, Гидрометеоздат, Л., 1956.
- [13] 么枕生编著:气候学原理,科学出版社,1959,56—59页。
- [14] Айзенштат, Б. А., Радиационный баланс и температура поверхности почвы в Ташкенте Тр. ГГО, вып. 13, 1957.

CHARACTERISTICS OF THE RADIATION-CLIMATE IN THE MIDDLE PART OF THE YELLOW RIVER VALLEY

WAN ZHENG-KUI

(Institute of Meteorological Research of Amur Province)

ABSTRACT

Based on the data observed from 1960 to 1962 in the middle region of the Yellow River, the experimental formula of the acta (1) is verified, we find that this formula is capable to be used in our studied region, and so the annual and monthly total radiation of the 61 stations is calculated. Following a simple analysis of this result, we obtain the principal following conclusions:

1. The straight radiation, being beyond per 50% plays a principal role in the total radiation.
2. The annual total radiation is about 110—150 kcal/cm². The maximum of annual variation occurs in June, and the minimum in December.
3. Both the annual variation and the diurnal variation of the radiation in the north-western part of the region are larger than those in the southeastern part.
4. The annual radiation balance is (39—48 kcal/cm²), which is less than the annual radiation balance in the places of the same latitude.