

CMIP5 多模式集合对黄土高原地表辐射的模拟^{*}

郑志远¹, 韦志刚¹, 李振朝², 刘慧^{2,3}, 魏红^{2,3}, 赵威¹

(1. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室 北京 100875;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室 兰州 730000; 3. 中国科学院研究生院 北京 100049)

提 要: 利用 WCRP CMIP5 提供的 20 个全球气候模式的模拟结果, 采用多模式集合分析方法, 分析了我国黄土高原地区 1861-2005 年地表辐射的变化特征。结果表明: 黄土高原地区地表短波辐射和净辐射呈减小趋势, 长波辐射呈增大趋势。向下短波和向上短波辐射下降幅度分别约为 $6.73 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$ 和 $1.69 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$, 向下长波和向上长波辐射增加幅度分别约为 $5.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$ 和 $2.53 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$, 地表净辐射下降幅度大约为 $2.26 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$ 。地表净辐射变化主要以向下短波辐射的影响为主。全球变暖, 温度升高, 引起了天空总云量增加、降水增加、蒸发增强、表层土壤湿度降低、LAI 增大、积雪覆盖面积缩小等变化, 这些变化共同作用引起地表辐射变化, 最终反馈给气候系统, 导致气候进一步变化。

关键词: CMIP5; 黄土高原; 地表辐射; 变化趋势; 影响因子

中图分类号: P422

文献标识码: A

太阳辐射是地球气候系统形成的能量之源, 是气候系统中的各种物理过程、生命活动和地气相互作用的原动力, 是影响地表能量与物质交换与变化的基本特征因子。在地球气候系统长期演化过程中, 由于地球轨道变化所引起的到达地面太阳辐射量的变化可能起着“原始驱动力”的作用。但是, 在地球气候某一时期的变化过程中, 大气层以下的各种因素(如云量、水汽、气溶胶和大气分子等的反散射及吸收作用)则有可能起着重要的作用。因此, 不同地区所接收到的太阳辐射有很大差别, 并最终对天气气候的形成与发展产生重要影响。同时, 这些因子的时空分布变化也会在不同程度上引起到达地面的太阳辐射发生变化, 进而可能对地表温度、蒸发和水循环等以及人类的生活环境和地球生态系统等带来多方面的影响, 产生较为深远的气候效应^[1]。因此, 研究太阳辐射变化特征及其相关的气候因子, 对于了解过去和当前的气候状态以及对未来的气候变化的预估都具有重要的意义^[2-4]。

黄土高原位于我国大陆北方的中北部, 位于 $33^{\circ}43' \sim 41^{\circ}16' \text{N}$, $100^{\circ}54' \sim 114^{\circ}33' \text{E}$, 属于黄河中游流域, 地处半干旱、半湿润地区, 由黄土塬、川、沟壑、山、梁、峁、坪等地貌组成, 下垫面情况十分复杂, 是全球天气、气候变化非常敏感的关键区, 干旱、冰雹、局地暴雨等重大气象灾害及由此引发的山洪及泥石流等自然灾害时常发生, 对当地人民生命财产构成了严重威胁, 制约了国民经济的可持续和协调发展^[5]。在全球变暖背景下, 黄土高原地表净辐射四分量是如何响应与变化的, 同时它又是如何反作用于该地区的陆面过程进而影响区域乃至全球的天气气候, 是一个值得我们深入研究的问题。目前, 针对黄土高原地表辐射已开展了一些研究工作^[6-14]。但是, 以往研究均主要集中在黄土高原某一个特定区域, 且观测资料相对较短, 不能从整体上反映黄土高原地表辐射的变化情况。此外, 黄土高原的研究长久以来侧重于观测资料的分析, 但是由于自然条件的限制, 观测资料相对比较匮乏, 更缺少长时间尺度的观测资料。在对天气气候变化和自然环境演变过程的研究中, 气候系统模式是一个非常有效的、可靠的、重要的工具。文中利用

* 收稿日期: 2013-7-8; 修回日期: 2013-10-7。

基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2010CB950503); 国家自然科学基金项目(41275011; 41005009; 41175009) 资助。

作者简介: 郑志远(1986-), 男, 天津市蓟县人, 博士研究生, 主要从事陆气相互作用与地球系统数值模拟方面的研究。

E-mail: OvilaNobel@gmail.com

通讯作者: 韦志刚(1966-), 男, 甘肃省武山县人, 教授, 博士生导师, 主要从事陆气相互作用、气候动力学和地球系统模拟研究。

E-mail: wzg@bnu.edu.cn

耦合模式比较计划第五阶段(CMIP5) 中的 20 个气候模式提供的最新的气候系统模拟试验数据,采用多模式集合分析方法,初步分析了黄土高原地表净辐射四分量的变化特征,同时也探究了影响该地区地表辐射变化原因。

1 材料与研究方法

1.1 数据资料

文中所选取的黄土高原区域范围为 34° ~ 40°N, 103° ~ 114°E, 包括黄土高原主体和周边地区,选取 CMIP5 中的 20 个模式(表 1),选取历史时段 1861 - 2005 年的资料,具体包括地表净辐射四分量(rlds、rsus、rlds 和 rlus,单位为 $W \cdot m^{-2}$)、2m 处空气温度(tas,单位为 $^{\circ}C$)、降水(pr,单位为 mm)、叶面积指数(lai)、积雪面积(sne,单位为%)、天空总云量(clt,单位为%) 和 10cm 深土壤湿度(mrsos,单位为 $kg \cdot m^{-2}$) 模式输出资料为各变量的月平均值。

表 1 20 个 CMIP5 气候模式概况
Tab. 1 Information of 20 CMIP5 climate models

模式名称	单位及所属国家	模式分辨率
bcc - csm1 - 1	国家气候中心,中国气象局,中国	64 × 128
bcc - csm1 - 1 - m	国家气候中心,中国气象局,中国	160 × 320
BNU - ESM	全球变化与地球系统科学研究,北京师范大学,中国	64 × 128
CanESM2	加拿大气候模式与分析中心,加拿大	64 × 128
CNRM - CM5	国家气象研究中心及欧洲高级培训与科学计算研究中心,法国	128 × 256
GFDL - CM3	地球物理流体动力学实验室,美国国家海洋和大气管理局(美国)/海洋与大气研究办公室,美国	90 × 144
FGOALS - G2	大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室,中国科学院大气物理研究所,中国	60 × 128
FGOALS - S2	大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室,中国科学院大气物理研究所,中国	108 × 128
GFDL - ESM2G	地球物理流体动力学实验室,美国国家海洋和大气管理局(美国)/的海洋与大气研究办公室,美国	90 × 144
GFDL - ESM2M	地球物理流体动力学实验室,美国国家海洋和大气管理局(美国)/的海洋与大气研究办公室,美国	90 × 144
GISS - E2 - H	美国国家航空航天局哥达德太空研究所,美国	90 × 144
GISS - E2 - H - CC	美国国家航空航天局哥达德太空研究所,美国	90 × 144
GISS - E2 - R	美国国家航空航天局哥达德太空研究所,美国	90 × 144
GISS - E2 - R - CC	美国国家航空航天局哥达德太空研究所,美国	90 × 144
INMCM4	数值计算研究所,俄罗斯	120 × 180
ipsl - cm5a - lr	皮埃尔西蒙拉普拉斯研究所,法国	96 × 96
MIROC - ESM	大气和海洋研究所(东京大学),国立环境研究所,日本海洋 - 地球科学与技术机构,日本	64 × 128
MRI - CGCM3	日本气象厅气象研究所,日本	160 × 320
NorESM1 - M	挪威气候中心,挪威	96 × 144
NorESM1 - ME	挪威气候中心,挪威	96 × 144

1.2 研究方法

采用多模式集合的方法,探究黄土高原 1861 - 2005 年地表辐射及可能影响因子的变化特征,模式集合结果由各模式对应时间求算术平均值得到,具体计算过程如下:

$$X_{t,N} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r X_{i,j,t,N} \tag{1}$$

式中: N 为模式个数, $X_{i,j,t,N}$ 为某变量 X,第 N 个模式,某个格点(第 i 个经度,第 j 纬度)处,第 t 个时间处的月平均值,其中 $r = i \times j$, r 为研究区域内的格点数, $t = m \times n$, m 为所选研究时段的年数, n 为一年中的月数, $n = 12$, $X_{t,N}$ 为某变量,第 N 个模式,第 t 个时间的月平均值。

$$X_{m,N} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} X_{12,i,m,N} \tag{2}$$

式中: $X_{12,i,m,N}$ 为第 N 个模式,第 m 年的年平均值。

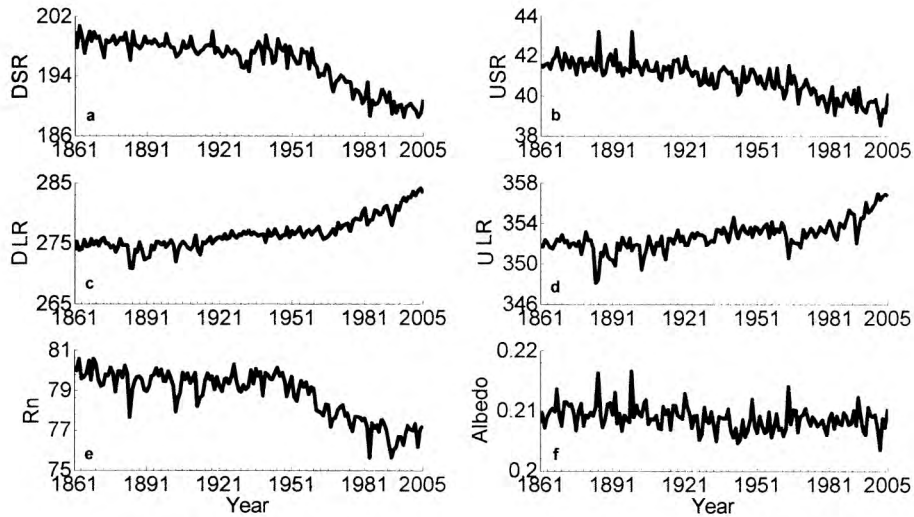
$$X_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{m,N} \tag{3}$$

式中: X_m 为 N 个模式第 m 年的多模式平均值,即为分析研究所需的多模式集合平均值。

2 结果与分析

2.1 黄土高原地表辐射的变化特征

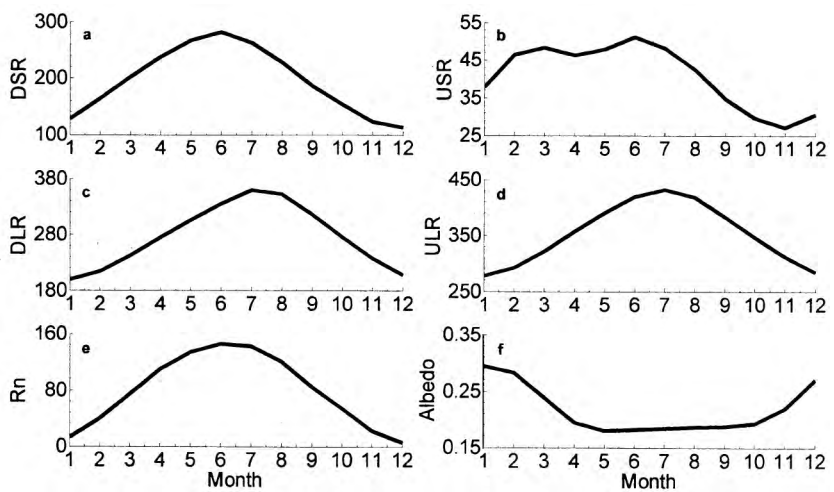
图 1 为 1861 - 2005 年黄土高原地表辐射和反照率的变化特征图。与东亚地区地表向下短波辐射变化特征基本一致^[13],黄土高原地区 1861 - 2005 年间地表向下短波辐射逐渐减小(图 1a)。其中向下短波辐射在 1861 - 1941 年变化较为平缓,1941 年后突然骤降,且幅度较大,约为 $6.73 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$ 。与向下短波辐射变化特征相一致,向上短波辐射整体呈逐渐减小趋势(图 1b),降幅约为 $1.69 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$ 。长波辐射与短波辐射变化趋势相反,呈增大趋势(图 1c 和 1d),向上和向下长波增幅分别约为 $5.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$ 和 $2.53 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$ 。地表净辐射同样呈逐渐减小趋势(图 1e),减幅约为 $2.26 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$ 。地表净辐射与短波辐射变化相一致,说明黄土高原地表净辐射的变化主要受短波辐射的影响。地表反照率呈微弱的减小趋势(图 1f),变化不大。由图 1a、图 1b、图 1c 和图 1d 可知 20 世纪地表短波(长波)辐射减小(增加)幅度明显高于 19 世纪,这可能与全球变暖有关。



a. 向下短波 b. 向上短波 c. 向下长波 d. 向上长波 e. 净辐射 f. 反照率
图 1 1861 - 2005 年黄土高原地表辐射和反照率年际变化特征

Fig. 1 Interannual variation characteristics of surface radiation and albedo in the Loess Plateau during 1861 ~ 2005

图 2 为黄土高原 1861 - 2005 年地表辐射和反照率平均年变化图。地表长波辐射在年内变化比较规则,1 月最小,7 月最大(图 2c 和 2d)。向上和向下短波辐射最大值均在 6 月,而最小值则不尽相同。向下短波辐射年内变化较为规则,最小值在 12 月。而向上短波辐射变化不规则,在 11 月达到年内最低值。向上短波辐射的这种年内分布形势是由向下短波辐射和地表反照率共同作用造成的,后文将会对此进行深入的讨论。地表净辐射年内变化特征(图 2e)和向下短波辐射的变化特征一致,最大也出现在 6 月,最小值出现在 12 月。地表反照率的变化趋势为冬季最大,春季最小(图 2f)。



a. 向下短波 b. 向上短波 c. 向下长波 d. 向上长波 e. 净辐射 f. 反照率
图 2 1861 - 2005 年黄土高原地表辐射和反照率年变化特征

Fig. 2 Annual variation characteristics of surface radiation and albedo in the Loess Plateau during 1861 ~ 2005

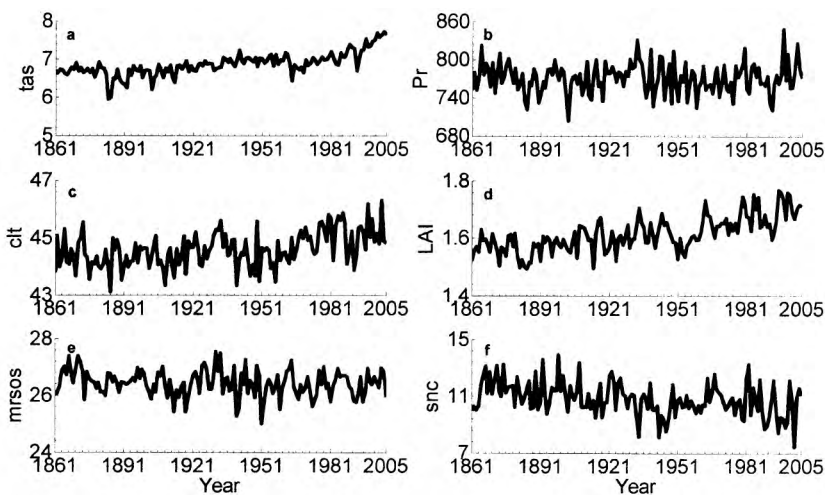
2.2 影响地表辐射变化的可能因子和机制

全球气候变化会引起气温、降水、云量、水汽含量、地表植被、土壤含水(冰)量、积雪面积等一系列因子的变化,从而导致下垫面类型和地表反照率的改变,进而影响地表辐射的变化。图 3 为黄土高原 1861

-2005 年各气候因子的变化特征图。与全球变暖这一事实相一致,黄土高原地区气温(图 3a)呈明显的上升趋势,升幅大约为 $0.52^{\circ}\text{C} \cdot 100\text{a}^{-1}$ 。地表温度与空气温度变化特征基本一致(图略),升幅大约为 $0.53^{\circ}\text{C} \cdot 100\text{a}^{-1}$ 。1861-2005 年黄土高原地表短(长)波辐射呈降低(增加)趋势(图 1a,1b,1c 和 1d),特别是在 20 世纪 60 年代以后气温迅速上升期,下降(增加)趋势更为明显。温度升高可能是导致该地区地表辐射变化的一个重要因子。向下和向上短波辐射与气温和地表温度之间的相关系数分别为 -0.63 、 -0.71 、 -0.64 和 -0.73 ,向下和向上长波辐射与气温和地表温度之间的相关系数分别为 0.91 、 0.99 、 0.90 和 0.99 ,均通过了 99% 的显著性检验,其中样本数为 145,99% 显著性检验的临界值为 0.21。全球变暖,温度升高,导致了大气和地表发射长波能力增强,故长波辐射呈增加趋势。1882、1902、1962 和 1986 年气温下降,此时长波辐射同时出现降低,二者具有良好的对应关系,这进一步说明了温度是引起地表长波辐射变化的重要因子。

1861-2005 年黄土高原天空总云量逐渐增加(图 3c),特别是 20 世纪 60 年代以后,增加幅度明显变大。温度升高,蒸发增强,有更多的水汽到达空气中,形成了更多的云。天空总云量增多,阻挡了更多的向下短波辐射,进而导致到达地表的短波辐射减少。总云量与向下短波辐射之间的相关系数为 -0.65 。向上短波辐射受向下短波辐射和地表反照率二者共同影响。地表反照率的变化主要由太阳高度角和下垫面状况决定。太阳高度角主要影响地表反照率的日变化特征,对反照率的年际变化特征影响较小,此处可暂不予以考虑。表层土壤含水(冰)量、地表植被覆盖度及类型和积雪等因子是地表反照率的主要决定因素。叶面积指数(LAI)是表征植被冠层特征的重要参数,在一定程度上可以代表植被的生长状况。黄土高原区域的叶面积指数随着气温的升高而增大,二者之间的相关系数为 0.62 ,如图 3d 所示。因气温升高导致的植被生长状况的改变是进一步导致其他气候因子改变的重要原因。1861-2005 年黄土高原地区降水微弱增加(图 3b),表层土壤湿度(图 3e)和积雪面积(图 3f)均呈现逐渐减小趋势。反照率与叶面积指数和积雪面积之间的相关系数分别为 -0.23 和 0.58 ,均通过了 99% 的显著性检验,而反照率与表层土壤湿度之间的相关系数为 0.16 ,未能通过显著性检验。这表明 1861-2005 年黄土高原地表反照率主要受叶面积指数和积雪的影响。叶面积指数增加、积雪面积缩小和表层土壤湿度减小等多因素共同作用引起了地表反照率的减小。最终,向下短波辐射和地表反照率双重作用导致了向上短波辐射减小。

黄土高原 7 月气温最高,1 月气温最低(图 4a),故地表长波辐射也呈相同变化特征,1 月最小,7 月最大。天空总云量在 8 月份达到最大值,1 月份云量最小值(图 4c)。云量总体变化趋势为从 1 月份开始逐渐增大,到 8 月份达到年内最大值,然后逐渐减小,但在 6 月份云量有一个突然降低的过程。黄土高原总云量的分布形势可能与大气环流和季风等的影响有关,尚待进一步研究。6 月太阳直射北半球,北半球的向下短波辐射达到年内最大值,再加上 6 月云量较低,二者共同作用导致了 6 月向下短波辐射达到年内最大值。年内最大降水量在 8 月,最小降水量在 12 月(图 4b)。如图



a. 空气温度 b. 降水量 c. 天空总云量 d. 叶面积指数 e. 土壤湿度 f. 积雪面积

图 3 1861-2005 年黄土高原各气候因子的年际变化特征

Fig. 3 Interannual variation characteristics of climate factors in the Loess Plateau during 1861~2005

4d 所示,叶面积指数 LAI 在 8 月份达到年内最大值,2 月份最小。叶面积指数 LAI 和降水量的最大值同步出现,均在 8 月份,而对气温的响应大约滞后一个月。叶面积指数 LAI 和降水量的相关系数为 0.89 ,这说明在黄土高原降水对植被生长的影响相对气温来说更加重要。表层土壤湿度最大值出现在 3 月,最低值出现在 6 月(图 4e)。3 月和 9 月是表层土壤湿度较大的 2 个月,其他月份相对较小。随着气温和地表温度的升高,积雪和土壤中冰的融化,有更多的液态水进入到土壤中,使得地表表层土壤湿度逐渐增大。气温和地表温度的继续升高,积雪完全融化,蒸发增强,将会有更多的水汽从土壤蒸发到大气中,再有黄土高

原地表农作物生长耗水量增大,而此时降水量虽有增大,但仍不能满足蒸发的需求,故使得表层土壤湿度将逐渐减小,到6月份土壤湿度达到年内最低值。7月温度达到年内最高值之后,开始下降,而降水量逐渐增加,植被成熟待收,耗水减少,表层土壤湿度逐渐增大。8月降水量达到最大值,在温度和降水的共同作用下,表层土壤湿度在9月份达到了年内第二次峰值。之后,温度持续走低,降水减少,降水会以雪和冰的形式存在于地表面和土壤中,使得土壤中液态水含量减小,土壤湿度逐渐降低,土壤含冰量逐渐增大(图略)。地表雪覆盖面积增大(图4f)。黄土高原冬季积雪覆盖面积大是冬季地表反照率相对较高的主要原因。气温、降水、叶面积指数、表层土壤湿度和积雪覆盖面积等因子共同作用决定了地表反照率的年内变化特征。向下短波辐射与反照率二者共同作用,决定了向上短波辐射的变化。

3 讨论

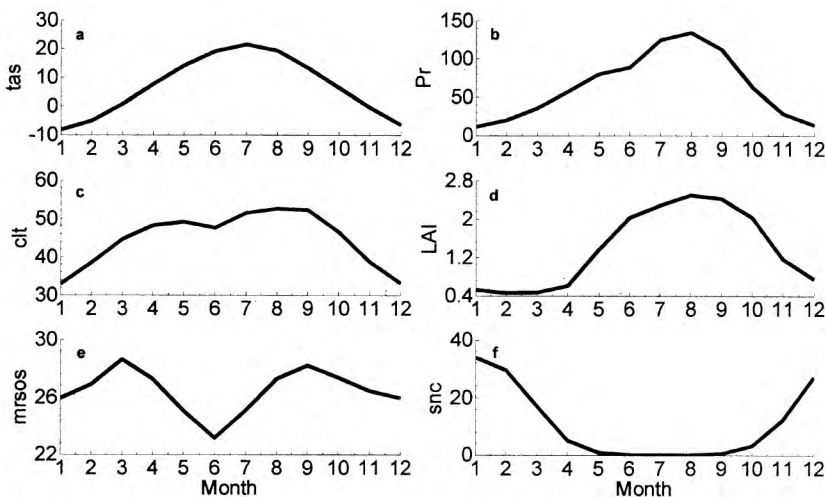
文中以 CMIP5 提供的气候模式为工具,分析了 1861 - 2005 年黄土高原地表辐射的年际和年变化特征,同时也分析了可能影响其变化的因子。结果表明,地表短波辐射和净辐射呈减小趋势,地表长波辐射呈增大趋势。探究其原因,进一步分析研究发现该地区温度呈明显上升趋势,导致了地表长波辐射增加。天空总云量增多导致了地表向下短波辐射的减少。气温升高导致降水增加、蒸发增强、土壤含冰量减小、表层土壤湿度微弱降低、叶面积指数 LAI 增大、积雪覆盖面积缩小等一系列变化,这些因子的共同作用导致了地表反照率减小,进而引起了向上短波辐射减小。地表反照率减小,地表将会吸收更多的太阳辐射,温度将会继续升高,向下和向上长波辐射将会继续增大,进而引起降水、天空总云量、冰雪和土壤湿度等气候因子的变化。这些变化反馈给气候系统,导致气候进一步变化。

需要指出的是,尽管全球气候模式较过去已有较大程度的发展,但仍存在不确定性,在模拟局部区域仍会有很大的不确定性,这需要在未来的研究中加以改进。同时,我们需要应用降尺度和更加准确合理的集合方法更好地对中国特定区域的气候进行准确地模拟和预估。如何应用气候模式对基于温室气体不同排放情景下的未来做出准确地预估也是将来工作的重点。

4 结论

利用 WCRP CMIP5 多模式集合比较计划中的 20 个气候模式,采用多模式集合分析方法,初步分析了黄土高原地区地表净辐射四分量对全球变暖的响应及其可能影响机制,得到以下结论:

- (1) 1861 - 2005 年黄土高原地区地表短波辐射和净辐射呈减小趋势,地表长波辐射呈增大趋势。短波辐射最大值均出现在 6 月,向下短波辐射最小值出现在 12 月,向上短波辐射有两次极小值分别在 4 月和 11 月,在 11 月达到年内最小值。长波辐射在 1 月最小,7 月最大。
- (2) 净辐射的变化特征和趋势与向下短波辐射基本一致,其变化主要受向下短波辐射影响。
- (3) 温度和天空总云量呈明显的上升趋势。温度升高导致长波辐射增加,天空总云量增多是向下短波辐射减少主要原因。
- (4) 温度升高,导致降水增加、蒸发增强、表层土壤湿度降低、叶面积指数 LAI 增大、积雪覆盖面积减小等,这些因子共同作用导致了地表反照率减小,进而引起了向上短波辐射减小。地表吸收更多的太阳辐射,温度继续升高,长波辐射继续增大,引起降水、天空总云量、冰雪和土壤湿度等气候因子的变化,最终又会反馈给气候系统,导致气候进一步变化。



a. 空气温度 b. 降水量 c. 天空总云量 d. 叶面积指数 e. 土壤湿度 f. 积雪面积

图 4 1861 - 2005 年黄土高原各气候因子的年变化特征

Fig. 4 Annual variation characteristics of climate factors

in the Loess Plateau during 1861 to 2005

参 考 文 献

- [1]石广玉. 大气辐射学[M]. 北京: 科学出版社 2007: 249 - 327.
- [2]Kalma J, Perera H, Wooldridge S, Stanhill G. Seasonal changes in the fraction of global radiation retained as net all - wave radiation and their hydrological implications[J]. Hydrological Sciences Journal, 2000, 45(5) : 653 - 674.
- [3]Berbet M L C, Costa M H. Climate change after tropical deforestation: seasonal variability of surface albedo and its effects on precipitation change [J]. Journal of Climate, 2003, 16(12) : 2099 - 2104.
- [4]Schaeffer M, Eickhout B, Hoogwijk M, Strengers B, Van Vuuren D, Leemans R, Opsteegh T. CO₂ and albedo climate impacts of extratropical carbon and biomass plantations[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2006, 20(2) : GB2020.
- [5]李振朝, 韦志刚, 文军等. 近 50 年黄土高原气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境 2008, 22(3) : 57 - 62.
- [6]韦志刚, 文军, 吕世华等. 黄土高原陆 - 气相互作用预试验及其晴天地表能量特征分析[J]. 高原气象 2005, 24(4) : 545 - 555.
- [7]杨兴国, 马鹏里, 王润元等. 陇中黄土高原夏季地表辐射特征分析[J]. 中国沙漠 2005, 25(1) : 55 - 62.
- [8]杨启国, 杨兴国, 马鹏里等. 陇中黄土高原冬季地表辐射和能量平衡特征[J]. 地球科学进展 2008, 20(9) : 1013 - 1021.
- [9]刘远永, 文军, 韦志刚等. 黄土高原塬区地表辐射和热量平衡观测与分析[J]. 高原气象 2007, 26(5) : 928 - 937.
- [10]李振朝, 韦志刚, 文军等. 黄土高原典型塬区冬小麦田地地表辐射平衡各分量特征分析[J]. 太阳能学报 2009, 30(1) : 12 - 18.
- [11]韩虹, 任国玉, 王文等. 黄土高原地区太阳辐射时空演变特征[J]. 气候与环境研究 2008, 13(1) : 61 - 66.
- [12]闭建荣, 黄建平, 刘玉芝等. 黄土高原半干旱区地表辐射特征[J]. 兰州大学学报(自然科学版) 2008, 44(3) : 33 - 38.
- [13]赵军, 李旺平, 李飞. 黄土高原太阳总辐射气候学计算及其特征分析[J]. 干旱区研究 2008, 25(1) : 53 - 58.
- [14]汪方, 丁一汇. 全球气候模式对东亚地区地表短波辐射的模拟检验[J]. 应用气象学报 2008, 19(6) : 750 - 759.

Simulation of the surfa radiation in the Loess Plateau on CMIP5 multimodel ensemeele

ZHENG Zhiyuan¹, WEI Zhigang¹, LI Zhenchao², LIU Hui^{2, 3}, WEI Hong^{2, 3}, ZHAO Wei¹

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875 P. R. China;

2. Key Laboratory of Land Surface Process and Climate Change in Cold and Arid Regions, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000 P. R. China;

3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049 P. R. China)

Abstract: Using the 20 global climate model simulation results provided by WCRP CMIP5 and multi model ensemble analysis method, the simulating surface radiation in the Loess Plateau in China from 1861 to 2005 were analyzed. The results show the surface short - wave radiation and net surface radiation had been decreasing, but the long - wave radiation had been increasing from 1861 to 2005. The decreasing value of surface downwelling and upwelling solar radiation were about $6.73 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$ and $1.69 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$, respectively. The increasing value of surface downwelling and upwelling long - wave radiation were about $5.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$ and $2.53 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$, respectively. The decreasing of surface net radiation was about $2.26 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 100\text{a}^{-1}$. The surface downwelling short - wave solar radiation was the main factor causing the net surface radiation change. Global warming and temperature rising have caused many climate factors changed, including cloud area fraction increasing, precipitation increasing, evaporation enhancing, surface soil moisture reducing, leaf area index increasing and snow cover area reducing, et al. With the surface radiation changing by these factors, climate system will be changed.

Key words: CMIP5; Loess Plateau; surface radiation; variation trend; effect factors