

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201101280145

陈浩, 曾晓东. 植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究. 生态学报, 2013, 33(14): 4343-4353.

Chen H, Zeng X D. Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4343-4353.

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究

陈 浩^{1,2,3}, 曾晓东^{1,*}

(1. 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心, 北京 100029; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

摘要: 利用通用陆面模式 (CLM3.0) 及其植被动力学模式 (DGVM) 研究植被覆盖度 (FC) 和叶面积指数 (LAI) 的年际变化对全球蒸散发的影响。设计两套实验方案, 其植被的 FC 和 LAI 的气候态相同, 但一套实验中植被的 FC 和 LAI 有年际变化, 而对照实验中则没有。结果表明: (1) 在草、灌木、树占优势的地区植被 FC 年际变化依次减小; LAI 年际变化较大的地区集中在草和灌木覆盖的地区, 在落叶林地区, 春秋两季植被 LAI 的年际变化也较大。 (2) 全球树占优势的大部分地区, 植被的年际变化使得年平均蒸散发和地表蒸发增加, 冠层蒸发和蒸腾减少; 而在灌木和草覆盖区, 变化则大致相反。 (3) 低纬度地区蒸散发季节循环变化比较明显, 而北半球中纬度地区, 蒸散发变化明显区随着纬度增加而在时间上向后推延。 (4) FC 和 LAI 年际变化较大时, 蒸散发及地表蒸发降低, 而蒸腾增加; 这些差异随 FC 和 LAI 年际变化的增加而增加。单点分析进一步表明植被年际变化不仅改变蒸散发的多年平均值, 同时改变其分量间的相对比例。

关键词: 全球植被动力学模式; 植被年际变化; 蒸散发

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration

CHEN Hao^{1,2,3}, ZENG Xiaodong^{1,*}

1 International Center for Climate and Environment Sciences, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Public Weather Service Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

Abstract: This paper uses the Community Land Model (CLM3.0) coupled with a modified Dynamic Global Vegetation Model (DGVM) to investigate the impact of vegetation interannual variability on global annual evapotranspiration. Two sets of off-line numerical experiments are designed. In the default experiment, the modified CLM-DGVM is run 600 years, cycling driven by the observed atmospheric forcing data of 1950–1999. In this simulation, vegetation has interannual variation. It is denoted as DGVM simulation, and the results from the last 50 years are analyzed. For comparison, a 50-year CLM only simulation (i. e., without coupling to DGVM) is performed, initiated by the states at 550th year of the DGVM simulation and forced by the same atmospheric forcing data. The vegetation parameters such as fractional coverage (FC) and daily leaf area index (LAI) are taken from the climatology values derived from the last 50 years of DGVM simulation, and hence they have no interannual variations. It is denoted as the CLM simulation. Results show that: (1) FC interannual variability is largest over grassland and is smallest over forest regions. The grassland and shrubland have relatively large LAI interannual variability. Over regions dominated by deciduous trees, LAI interannual variability is greater in spring and autumn than other seasons due to the emergence and senescence of leaves. (2) Over most forest regions, e. g., the Amazon region, central of Africa, southeast of the United States, Europe, and southeast of China, vegetation interannual variabilities lead to the increasing in total evapotranspiration, which is resulted from changes of its three components, that

基金项目: 国家“十一五”863 计划重点项目 (2009AA122100); 973 计划 (2009CB421406)

收稿日期: 2011-01-28; 修订日期: 2013-04-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xdzeng@mail.iap.ac.cn

is, increasing in ground evaporation and decreasing in the canopy evaporation and transpiration. Over shrubland and grassland, changes in evapotranspiration and its components are roughly opposite as in the forest regions. (3) Over low latitude, interannual variabilities of LAI in different seasons lead to strongly seasonal variations of evapotranspiration as well as its components. Over mid-latitude of North Hemisphere, the timing of largest changes of evapotranspiration shift from March to June as the latitude increases. All three components of evapotranspiration exhibit the same spatial and temporal variability. (4) Larger interannual variability of FC and LAI lead to larger differences in both evapotranspiration and its components. Particularly, when FC interannual variability is over 30% or LAI interannual variability is over $1.6\text{m}^2/\text{m}^2$, the differences in ground evaporation and canopy evaporation are negative, while the difference in transpiration is positive, and as a result, the total evapotranspiration decreases.

For a case study, 50 year variation of the evapotranspiration and its components in a single grid cell (71°W , 18°N) are analyzed. During the years when this area is dominated by grass, ground evaporation decreases and canopy evaporation and transpiration increase, while in other years when it is dominated by bare soil, the three components of evapotranspiration change oppositely as the former one. These results imply that vegetation interannual variabilities induce different responses among the partitions of evapotranspirations, which then alter the total evapotranspiration. This conclusion is especially important in the semiarid grassland and shrubland areas where climate interannual variability is relative large, and the ecosystem is fragile, which is easily affected by climate change and environment.

Key Words: dynamic global vegetation model; vegetation interannual variability; evapotranspiration

植被与气候之间具有复杂的相互作用。一方面,如果不考虑人为因素的影响,陆地生态系统的结构及演变主要由气候决定;大尺度上气候的长期平均状态决定了全球植被的分布格局^[1-3],气候变迁也常伴随着局地植被的演变甚至突变^[2,4-5];同时,气候的年际变化也会引起植被状态^[6-8],甚至改变植被分布的平均状态^[9-10]。另一方面,植被通过改变陆表的物理特征,调节陆-气间的水分和能量循环,对气候具有反馈作用^[11-14]。例如,植被的反照率小于裸土,可以吸收更多能量;冠层高低改变陆表面的粗糙度,影响陆气间能量与动量传输;叶片通过直接蒸发截留的降水或者蒸腾根部吸收的水分,增加了陆面蒸发的途径。植被变化具有不同的时间尺度,如季节变化、年际变化、年代际变化等。植被每年会呈现出的不同特征(如:覆盖度、叶面积指数、冠层高度等),但目前大多数工作仅限于研究给定且不变的植被或者改变已有土地覆盖类型对气候的影响,并且这些变化都不包含动力学过程,很少有工作研究植被特征^[15]的年际变化对陆表物理过程乃至区域或全球气候状态的影响^[15]。

陆面过程模式主要用于模拟和研究在给定气候条件下或者与大气环流模式耦合中,陆表面状态(土壤温度、土壤含水量等)的变化以及陆-气之间能量与水分的交换过程。为了模拟植被随时间的变化及其对陆面和陆-气间的各种物理过程的响应,则需要在陆面模式中耦合植被动力学模式。本研究应用通用陆面模式 CLM3.0 及其植被动力学模式(DGVM),研究植被覆盖度(FC)和叶面积指数(LAI)的年际变化对全球蒸散发的影响。

1 模式及方法

1.1 模式介绍

CLM3.0^[16]是由3个陆面模式——BATS^[17]、NCAR LSM^[18-19]和 IAP94^[20-21]发展而来的。它主要包含4个部分:生物地球物理过程、水分循环过程、生物地球化学过程和植被动力学过程。CLM3.0作为通用气候系统模型(CCSM)的陆面部分,参加IPCC第四次评估,对未来气候模拟和预测。从模式发布至今,已有许多研究对CLM3.0的离线和耦合模拟能力进行了评估和验证,结果表明CLM3.0能够较好地模拟出陆表面变量:利用观测的气候数据驱动CLM3.0,可以较好地模拟全球几大河流的径流量的长年平均、季节循环、年际变化和年代际变化^[22];模式能较好地反映出中国地区土壤温度的年际变化^[23]、揭示中国地区土壤湿度的空间分布

型^[24];CLM3.0 耦合到 CCSM 中可以很好的模拟陆表面变量的平均值,并且模拟得到的全球年平均降水和温度在观测不确定范围内^[25];CLM3.0 模拟的地表径流等变量随纬度的变化与观测吻合较好^[26]。

CLM3.0 包含植被动力学模式(DGVM)^[27],本文所利用的是 Zeng^[28-29]修改后的 CLM-DGVM,修改包括引入灌木子模块、修改双大叶光合作用方案等,其中部分修改方案已被最新发布的 CLM4 所采纳^[30]。改进后的模式可以模拟全球自然植被(森林、草原、灌木和荒漠)的大致分布及植被与气候之间的对应关系^[29],以及全球生态系统净初级生产力(NPP),并且模拟的北方森林、热带雨林、热带稀疏草原等生态系统动态变化与观测一致^[31]。

在运行 CLM3.0 时,通常不与 DGVM 耦合,而是使用卫星遥感反演得到的陆面植被资料(AVHRR),或者(MODIS)。这些资料一般为植被特征的多年平均,包括 FC、LAI、茎面积指数(SAI)、冠层顶高度、冠层底高度,因而只有季节变化而无年际变化。若将 DGVM 耦合到 CLM3.0,则可研究自然植被的主要分布^[30-31]以及植被特征的逐年变化及其对陆表过程的响应。由于在 CLM-DGVM 中,SAI=0.05×LAI,而冠层顶高度和冠层底高度主要影响陆面粗糙度,对蒸散发影响很小,因此本文用 FC 和 LAI 来表征植被的年际变化。

1.2 蒸散发的计算

陆面蒸散发(ET)是陆-气间水循环的重要过程,它由 3 部分组成,即 $ET = E_s + E_c + Tr$,其中 E_s 、 E_c 、 Tr 分别为地表蒸发、冠层蒸发和蒸腾。CLM3.0 中每个格点上可包含多种植被功能型(PFT),每种 PFT 上的地表蒸发、冠层蒸发和蒸腾的计算(Oleson 等^[16])分别如下:

$$E_s = -\rho_{\text{atm}} \frac{(q_{\text{atm}} - q_g)}{r_{\text{aw}}} \quad (1)$$

$$E_c = -\rho_{\text{atm}} f_{\text{wet}} (L + S) \frac{(q_s - q_{\text{sat}}^{T_v})}{r_b} \quad (2)$$

$$Tr = E_v^{\text{pot}} r_{\text{dry}} \quad (3)$$

式中, ρ_{atm} 为空气密度, q_{atm} 为参考高度的比湿, q_g 为地表面的比湿, r_{aw} 为地表和参考高度间的水汽传输空气动力学阻抗, L 和 S 别为植被叶面积指数和茎面积指数, f_{wet} 为植被潮湿叶片和潮湿茎秆的比例, q_s 为冠层的比湿, $q_{\text{sat}}^{T_v}$ 为植被叶片温度所对应的饱和水汽比湿, r_b 为水汽由叶片边界向空气传输的空气动力学阻抗, E_v^{pot} 为潜在蒸腾, r_{dry} 为潜在蒸腾百分比。 E_v^{pot} 和 r_{dry} 计算如下:

$$E_v^{\text{pot}} = -\frac{\rho_{\text{atm}} (q_s - q_{\text{sat}}^{T_v})}{r_b} \quad (4)$$

$$r_{\text{dry}} = \frac{f_{\text{dry}} r_b}{L} \left(\frac{L^{\text{sun}}}{r_b + r_s^{\text{sun}}} + \frac{L^{\text{sha}}}{r_b + r_s^{\text{sha}}} \right) \quad (5)$$

式中, f_{dry} 为植被干燥叶片的比例, L^{sun} 和 L^{sha} 分别是光照和遮阴下的叶面积指数, r_s^{sun} 和 r_s^{sha} 分别是光照和遮阴叶片的气孔阻抗。

由(2)、(3)、(5)式可以看出,LAI 直接影响冠层蒸发和蒸腾。此外,LAI 决定植被冠层对降水截留的大小,因而影响穿透冠层到达土壤表面可供地表蒸发的水分;同时,LAI 还改变了到达地表的太阳辐射,从而影响地表蒸发。另一方面,LAI 直接决定可发生蒸腾的叶片数量,并通过影响光合作用来改变气孔导度,从而影响单位叶片面积的蒸腾强度。

格点上的蒸散发是对该格点不同 PFT 上的量进行面积加权平均,即:

$$E_{i,\text{grid}} = \sum_n FC_n E_{i,n} \quad (6)$$

式中,grid 及 n 分别表示格点及各 PFT 水平上的量, E_i 代表 E_s 、 E_c 或 Tr , FC_n 为第 n 种 PFT 的覆盖度。

1.3 实验设计

为了研究植被 FC 和 LAI 的年际变化对蒸散发产生的影响,设计了如下实验方案:(1)使用修改后的 CLM3.0-DGVM 模式^[28],利用 Qian 等^[23]提供的 1950—1999 年共 50a 的气候资料(水平分辨率为 T62、时间分

辨率为 3 h,包括降水、温度、气压、比湿、风速、辐射)作为驱动场循环驱动,进行 600 年离线的数值模拟,简称 DGVM 模拟。其中前 550a 作为系统的起转,用后 50a 的模拟结果进行分析;(2)将 DGVM 模拟得到的后 50a 植被的 FC 和 LAI 等作平均,替代 CLM3.0 陆面资料中的相应变量,并以 DGVM 积分 550a 后得到的陆面状态为初始场,用 1950—1999 年的气候资料,驱动 CLM3.0(即不耦合 DGVM)运行 50a,简称 CLM 模拟。两组实验具有相同的气候驱动、初始场以及 50a 内植被的平均状态,不同点仅在于植被是否有年际变化(表 1)。二者模拟结果的差异体现了植被年际变化对陆面过程的影响。

表 1 CLM 与 DGVM 实验的差异比较
Table 1 Comparison of simulation differences between CLM and DGVM

		初始化 Initializing	FC 年际变化 FC interannual variation	FC 季节变化 FC seasonal variation	LAI 年际变化 LAI interannual variation	LAI 季节变化 LAI seasonal variation
CLM 试验 ^[23]	1950—1999	CLM-DGVM 积分 550a	无	无	无	有
DGVM 试验 ^[23]	1950—1999	CLM-DGVM 积分 550a	有	无	有	有

FC: 覆盖度和叶面积指数 Fractional coverage; LAI: Leaf area index

1.4 年际变化计算方法

格点不同 PFT 上的 FC 年际变化加权平均得到格点上的年际变化,权重为各 PFT 所对应的 FC 年平均。PFT 水平上的 FC 年际变化可以用标准差表示,具体计算如下:

$$\text{std} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\text{var}_i - \overline{\text{var}})^2}$$

(7)

式中, n 是用于计算的数值模拟时间长度(a),在这里 $n = 50\text{a}$ 。由于 LAI 已经整合到格点水平上,因此其年际变化可用(7)式直接计算得到。

本文中,用两组实验得到的蒸散发及其各分量的绝对差值(λ)表示植被年际变化对蒸散发的影响,即 $\lambda = E_{i,\text{DGVM}} - E_{i,\text{CLM}}$, $E_{i,\text{DGVM}}$ 和 $E_{i,\text{CLM}}$ 分别表示 DGVM 和 CLM 实验中的蒸散发各个分量。由于两组实验的气候条件相同,这样可以简单地排除两组实验中相同温度和降水等气候因素的作用。下文中关于蒸散发增加或减小的描述均指 λ 的变化,即相对于 CLM 实验,蒸散发在 DGVM 实验中量值的增加或减小。

2 模拟结果

2.1 DGVM 实验中植被的年际变化

CLM 和 DGVM 两组实验的差异在于植被有无年际变化。因此,首先考察 DGVM 实验中植被 FC 与 LAI 年际变化的全球分布。

2.1.1 FC 的年际变化

在 DGVM 实验中全球植被 FC 的年际变化分布如图 1 所示。FC 变化幅度超过 10% 的区域约占全球陆地总面积的 10% (图中红色区域),与主导植被类型的全球分布图(图 1)比较之后可以看出,FC 年际变化较大的区域主要分布在美国中部、南美东部和西南部、非洲南部和中部、澳大利亚东部以及印度半岛等主导植被类型为草的地区。在主导植被为树的地区,尤其是常绿树覆盖区(如亚马逊流域和非洲中部),FC 的年际变化较小;而在灌木占优势的地区(美国西部、加拿大北部、中亚和亚洲东北部),FC 的年际变化居中。

2.1.2 LAI 的年际变化

图 1 给出 DGVM 实验中年平均 LAI 的年际变化,其中全球 54% 陆地的 LAI 年际变化幅度超过 $0.1\text{m}^2/\text{m}^2$ 。比较图 1 植被覆盖度和叶面积指数,在植被 FC 年际变化较大的地区,LAI 的年际变化也相应较大(如美国中部草原、南美东部、非洲南部和澳大利亚东部等草为主导植被的地区);另外,在纬度较高的中西伯利亚地区,温度是制约植被生长的主要因素,草只有在 5—10 月才生长,在其萌发阶段(5—6 月)和枯萎阶

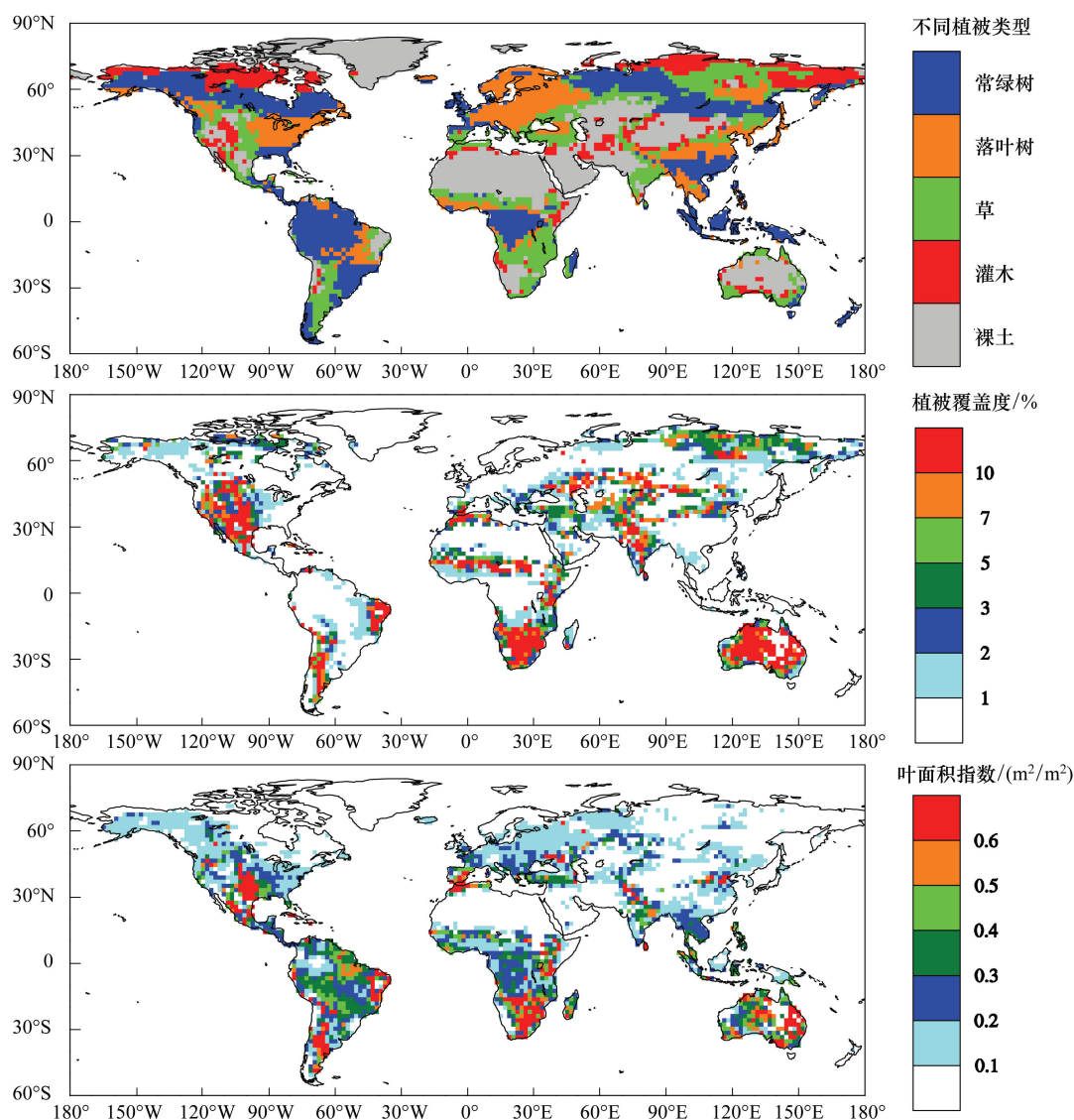


图1 DGVM 实验中全球不同主导植被类型(常绿树(Tree(E))、落叶树(Tree(D))、草、灌木和裸土)分布、植被覆盖度(fractional coverage, FC)的年际变化和叶面积指数(leaf area index, LAI)的年际变化

Fig. 1 Distribution of global dominant vegetation type (evergreen tree, deciduous tree, grass, shrub and bare soil), interannual variabilities of vegetation fractional coverage (FC) and leaf area index (LAI) simulated by DGVM

段(9—10月)年际变化较明显。除此之外,在落叶林地区(例如,亚马逊流域东南边缘、美国东部以及欧洲),植物每年长叶与落叶导致 LAI 年际变化较大,可以达到 $0.4\text{--}0.5\text{ m}^2/\text{m}^2$ 。这也可以从这些地区不同季节 LAI 的年际变化情况(图略)看出来:在这些地区 3—5 月和 9—11 月 LAI 的年际变化较大,主要原因是 3—5 月是长叶期,9—11 月为落叶期, DGVM 实验能够模拟植被对季节变化的响应,在气候条件适宜的情况下长叶多或落叶少;反之,在气候条件不适宜的情况下长叶少或落叶多,因此这两段时期 LAI 的年际变化较明显。

2.2 植被年际变化对蒸散发的影响

2.2.1 全球陆面年平均蒸散发变化

与 2.1 节植被 FC 与 LAI 年际变化的全球分布相对应,比较 CLM 与 DGVM 两组实验年平均蒸散发绝对差异(λ)的全球分布(图 2),可以直接得到植被年际变化对蒸散发的影响。考虑了植被年际变化后,全球 65% 的地区年平均蒸散发增加,并且增加的幅度大于减小的幅度。蒸散发的变化主要和 FC 年际变化的空间分布相关,相关系数达到 -0.54 ,在 FC 和 LAI 年际变化均较大(分别达到 10% 和 $0.5\text{ m}^2/\text{m}^2$)的草和灌木覆盖

区,蒸散发减小比较明显(图2中绿色和蓝色区域)。而在美国东南部、亚马逊流域及其东南部、非洲中部、欧洲以及中国东南部(图2中黄色和红色区域),蒸散发增加比较明显,这是由地表蒸发增加、冠层蒸发和蒸腾减少得到的结果(图2),不过后两者的减少量小于前者的增加量。对照图1可知,落叶树和常绿树是这些地区主要的植被覆盖类型。虽然植被的FC和LAI年际变化较小(图1),但是这些地区的年平均降水(500mm/a以上)和降水年际变化(超过50mm/a)均比全球其他地区强烈(图略),从而引起蒸散发及其分量较大的变化。地表蒸发变化的全球分布(图2)与蒸散发一致,但变化幅度更大:在FC和LAI年际变化最大(大于0.5 m^2/m^2)的地区,地表蒸发明显减小;在LAI年际变化次之(0.2—0.5 m^2/m^2)的地区,地表蒸发增加,并且增加量较为明显,最大达到62mm/a。冠层蒸发与蒸腾变化(图2)则与地表蒸发大致相反。在LAI年际变化较大(大于0.5 m^2/m^2)地区,冠层蒸发和蒸腾均增加;而在LAI年际变化次之(0.2—0.5 m^2/m^2)的地区,冠层蒸发和蒸腾减小。在全球超过70%的区域,地表蒸发变化的幅度大于冠层蒸发和蒸腾。比较各个格点蒸散发的3个分量的变化可以看出,地表蒸发变化最大、冠层蒸发变化最小。因此,植被年际变化对3个分量的影响从大到小依次是地表蒸发、蒸腾、冠层蒸发。

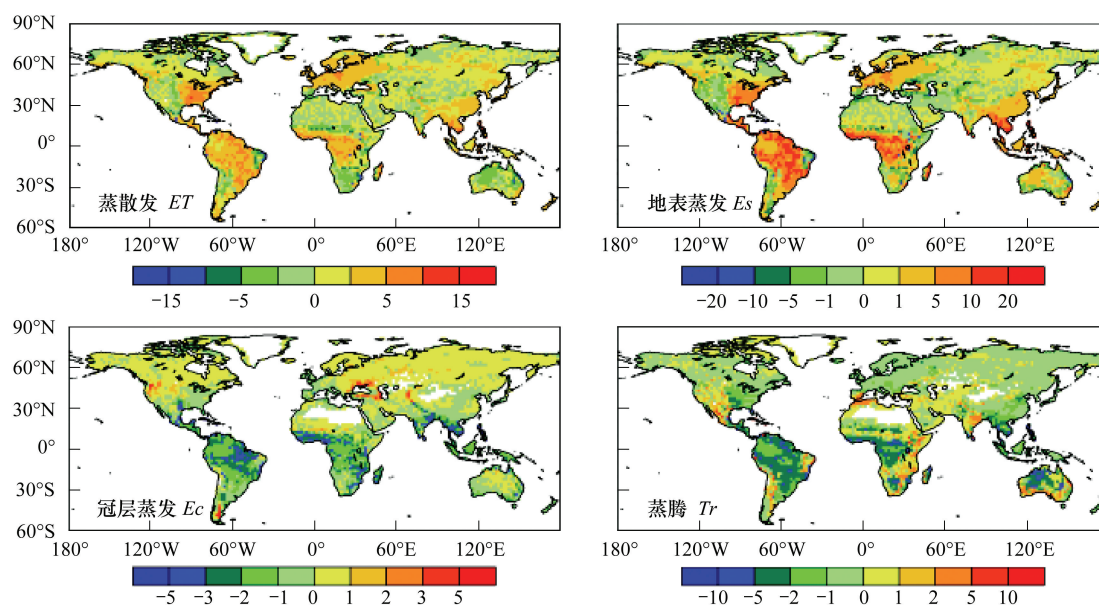


图2 DGVM与CLM模拟的年平均蒸散发及其各分量差异(DGVM-CLM)(mm/a)

Fig. 2 Differences between global annual averaged ET and its components distribution simulated by DGVM and CLM during 1950—1999 (DGVM-CLM).

ET, Es, Ec and Tr denote total evapotranspiration, soil evaporation, canopy evaporation and canopy transpiration respectively (mm/a)

2.2.2 蒸散发季节变化的纬度分布

LAI有季节变化,因此不同季节LAI的年际变化会影响蒸散发的季节变化。比较CLM和DGVM两组实验不同季节蒸散发绝对差异(λ)随纬度分布的特点(图3)可以看出,考虑了植被的年际变化之后,在低纬地区,蒸散发和3个分量在春、秋两季的变化较大。由2.1.2节分析可知,落叶植物在春、秋两个季节长叶和落叶,LAI年际变化较大,因此对蒸散发和3个分量的影响较大。在落叶树集中的北半球中纬度地区(30°—60°N),随着纬度增加,蒸散发和3个分量变化大值区从1月逐渐向后推移到6月(图3中虚线表示的区域),这主要是受不同季节LAI年际变化的影响:随着纬度增加,温度降低,落叶植物长叶的时间推迟、落叶时间提前。而LAI受长叶、落叶影响较大,因此其年际变化的大值区在时间上向后延迟、在空间上向高纬发展,也就是说LAI年际变化的季节循环影响两组实验蒸散发及3个分量的季节变化的差异。南半球50°附近分布着一定数量的草,在草的整个生长季节,蒸散发、地表蒸发和冠层蒸发都有一定变化,其中蒸散发和冠层蒸发增加、地表蒸发减少。

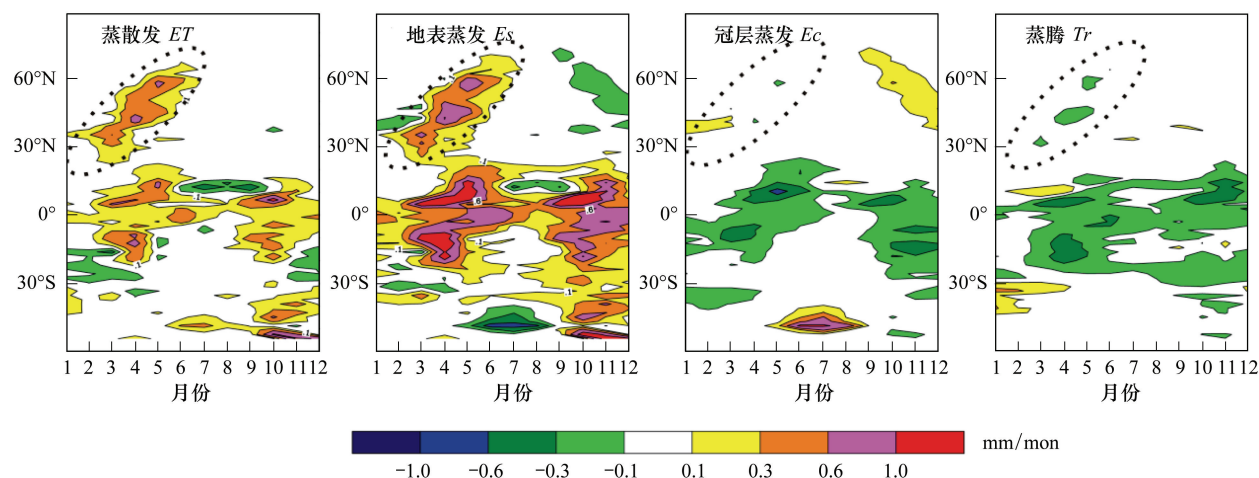


图3 DGVM 与 CLM 模拟的蒸散发及其分量 50 年平均的季节差异 (DGVM-CLM) 的纬度分布 (mm/month)

Fig. 3 Zonal mean seasonal cycles of annual averaged differences of ET and its components between DGVM and CLM during 1950—1999 (DGVM-CLM)

ET, Es, Ec and Tr denote total evapotranspiration, soil evaporation, canopy evaporation and canopy transpiration respectively/(mm/month)

2.2.3 年平均蒸散发与植被年际变化的关系

由前面分析可知,全球不同格点上 FC 和 LAI 的年际变化不同,所造成的蒸散发及其 3 个分量的差异也不尽相同。就地表蒸发而言,在东南亚岛屿上增加 61.6mm/a,而在墨西哥湾减少 56.7mm/a。对于蒸散发其他分量也存在同样的情况,即不同格点上植被的年际变化引起的蒸散发分量变化不同。因此,对全球 4501 个陆面格点进行相应的平均,得到两组实验年平均蒸散发及 3 个分量的绝对差异 (λ) 与植被 FC 和 LAI 年际变化之间的关系(图 4)。可以看出,当 FC 年际变化大于 10% 时,蒸散发各分量有一定变化,其中蒸散发和地表蒸发减少,且减少量随 FC 和 LAI 的年际变化的增加而缓慢增加;当 FC 年际变化大于 30% 时,蒸散发和地表蒸发减少、蒸腾增加,并且它们的变化都达到极大,分别为 25、32、11mm/a,而冠层蒸发的变化则不明显。LAI 的变化比较复杂,当 LAI 年际变化小于 0.6 时,蒸散发和地表蒸发增加,而冠层蒸发和蒸腾减小;当 LAI 年际变化大于 0.6 m^2/m^2 时,除蒸腾外,其他蒸散发变量都减小,并且当 LAI 年际变化大于 1.5 m^2/m^2 时,蒸散发、地表蒸发随 LAI 年际变化增加而急剧减小而蒸腾则急剧增加。

FC 的年际变化小于 10% 或者 LAI 的年际变化小于 0.6 m^2/m^2 ,蒸散发及 3 个分量全球平均的变化都不明显,这主要是不同格点上的变化相互抵消的结果(图 4)。图 4 给出了两组实验各格点地表蒸发差异随 FC 及 LAI 年际变化的分布,其中每个格点按其主导植被类型分成树、草、灌木或荒漠三类。在树占优势的地区,年降水量较大,虽然植被年际变化较小(FC 小于 10%, LAI 小于 0.6 m^2/m^2),但是地表蒸发变化的幅度很大,即使植被变化很小,也会引起地表蒸发不同程度的增加,这与 2.2.1 的分析一致。另一方面,大部分草和灌木集中在植被 FC 年际变化小于 20% 或者 LAI 年际变化小于 1.0 m^2/m^2 的地区,这些地区地表蒸发的变化相对较小。同时,小部分草和灌木分布的地区,植被年际变化较大(其中 FC 年际变化可以达到 30% 甚至 40%, LAI 年际变化达到 1.5 m^2/m^2),两组实验中地表蒸发的差异较大,可以达到 $\pm 40\text{mm/a}$,甚至是 -60mm/a 。蒸散发、冠层蒸发和蒸腾的全球格点统计的结果也类似(图略)。因此,尽管年际变化较大的草和灌木所占的格点较少,但也不能忽略,因为这些是全球变化中植被的脆弱区域。

2.3 单点分析

由 2.2.3 节分析知道,植被年际变化越大,对蒸散发影响越大,因此,选择植被年际变化较大的一个点,详细分析蒸散发及 3 个分量的变化情况。图 5 显示了格点(71°W, 18°N) 1950—1999 年降水、温度、植被和蒸散发随时间变化的情况。该地区降水为(1209 $\pm$ 199)mm/a,年平均温度为(25.7 $\pm$ 0.3)°C(图 4)。主要的植被类型是 C4 草(占 62%),此外裸地占 30%、热带落叶阔叶树(BDM)占 6%,而热带常绿阔叶树和温带灌木各约占

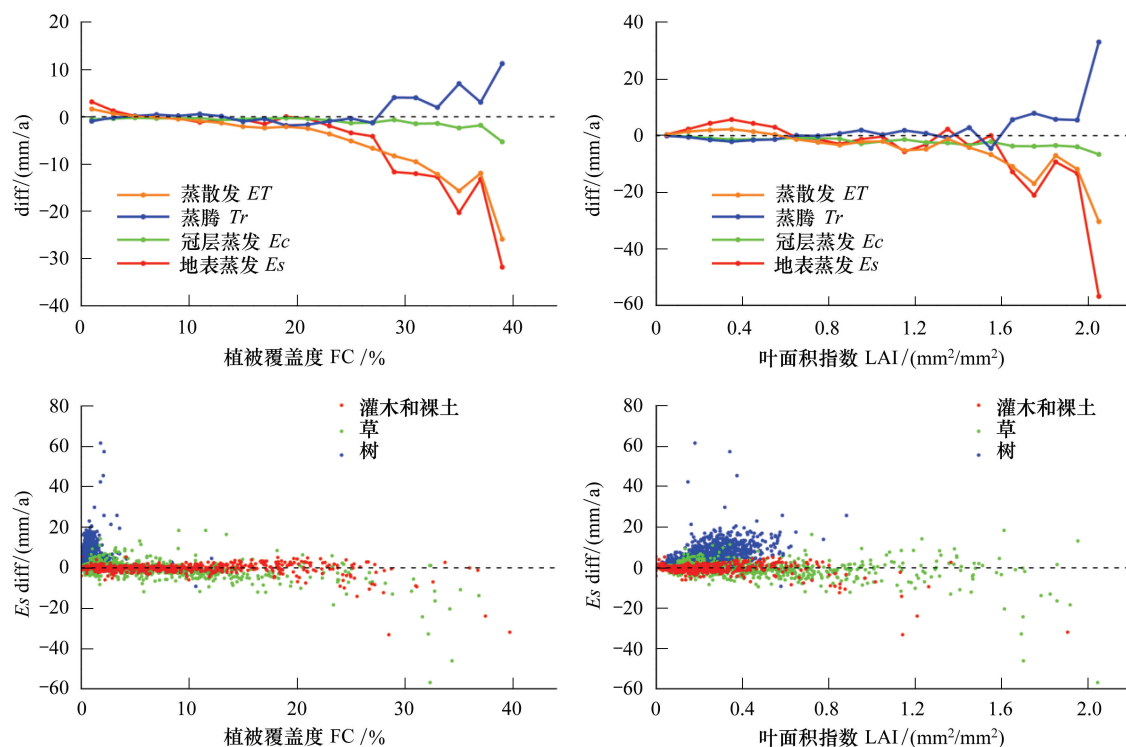


图4 蒸散发和各个组成部分平均差异(DGVM-CLM)的格点平均随FC和LAI年际变化的分布以及各个格点上地表蒸发的差异(DGVM-CLM)随FC和LAI年际变化的分布

Fig. 4 Grid averaged differences of total evapotranspiration and its components (DGVM-CLM) with respect to FC and LAI interannual variations, and differences of them in all grid cells with respect to FC and LAI interannual variations

1%。图4显示C4草FC变化相当剧烈,在整个50a内FC年际变化达到34%,而BDM的FC变化较小。1950—1966年间C4草占有绝对优势,FC在80%以上。随着1967年降水由1211mm/a锐减至825mm/a,C4草的FC在1968年骤减到55%,并在1969年完全消失,使该地区绝大部分变为裸地。直到1972年C4草才逐渐恢复,并在之后的20多年内其FC波动较大。由于C4草的FC较大且年际变化很大,该地区LAI在50a内变化也较大(图4),最大达到 $6.5\text{m}^2/\text{m}^2$,最小为 $0.2\text{m}^2/\text{m}^2$,年际变化为 $2.1\text{m}^2/\text{m}^2$ 。

由于FC与LAI具有强烈的年际变化,两组实验中蒸散发及其分量具有不同的年际变化特点。当不考虑植被的年际变化时(CLM实验),蒸散发及其分量的年际变化主要与降水相关。当植被具有年际变化时(DGVM实验),蒸散发的3个分量主要与FC和LAI相关,相关系数均在0.9左右。一方面,地表蒸发与FC和LAI为负相关(图5):当草长势良好时(即FC及LAI大于多年平均值时,如1950—1967年),裸土面积很小,地表蒸发降低较多;而当草的FC及LAI接近于0时(如1969—1979年),地表蒸发增加,但变化不如草偏多时地表蒸发的降低明显;植被年际变化的总体效果使得地表蒸发从 $681.2\text{mm}/\text{a}$ 减少到 $624.4\text{mm}/\text{a}$ 。另一方面,冠层蒸发和蒸腾均与FC和LAI正相关。其中LAI增加对叶面截留降水的影响小于LAI降低时的影响,而冠层蒸发主要决定于叶面截留降水,使得冠层蒸发从CLM实验的 $167.6\text{mm}/\text{a}$ 减少到DGVM实验的 $160.9\text{mm}/\text{a}$ (图5)。与之相反,由于FC及LAI较大时地表蒸发较弱,使得有相对较多的降水可到达土壤深层,因而蒸腾增加较为明显(图5),蒸腾的年平均差异从 $144.9\text{mm}/\text{a}$ 增加到 $178.0\text{mm}/\text{a}$,增加了23%。作为整体,蒸散发依然主要与降水相关(图5),但多年平均值从 $993.7\text{mm}/\text{a}$ 减少到 $963.3\text{mm}/\text{a}$ 。

3 结论与讨论

本文利用改进的植被动力学模型CLM3.0-DGVM,设计两组区别仅在于植被有无年际变化的实验,首先考察植被有年际变化实验中的植被年际变化的全球分布;其次研究植被年际变化对蒸散发的全球分布及季节变化的影响,并得出了蒸散发与植被年际变化的关系;最后在一个植被年际变化显著的格点上,具体考察植被

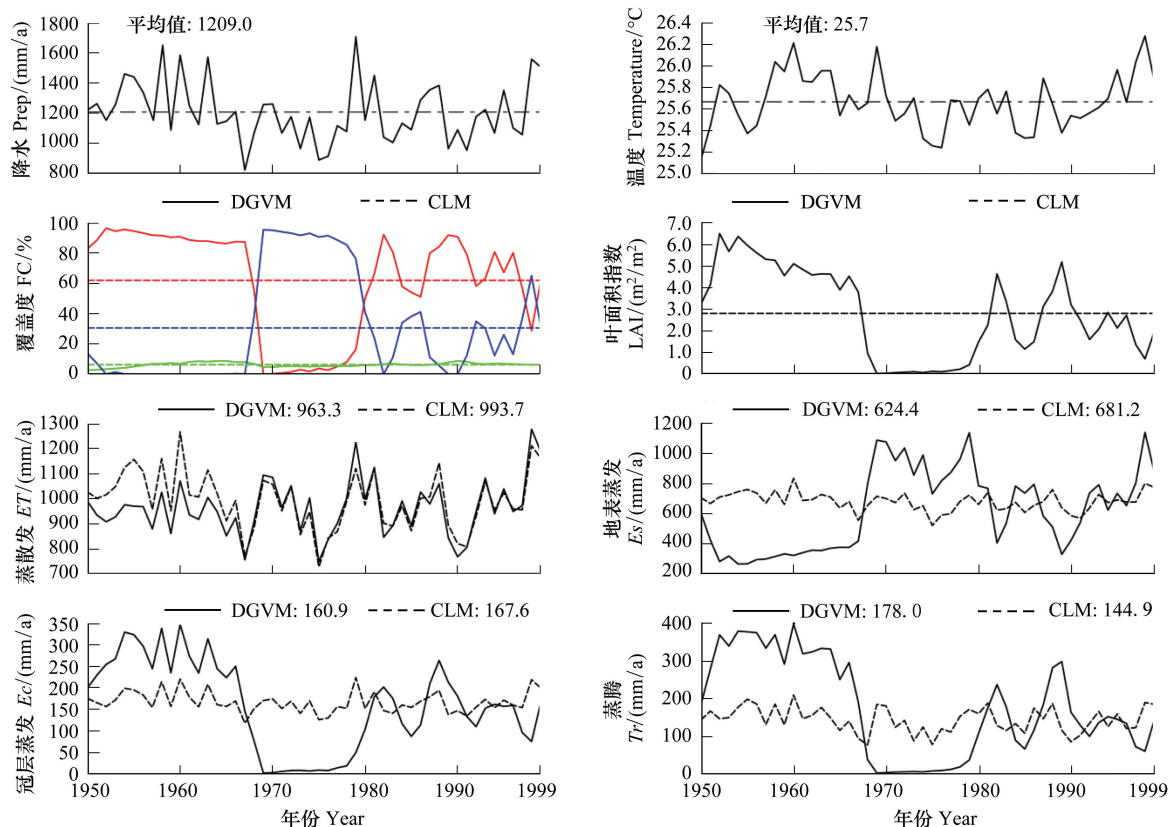


图5 单点(71W,18N)植被及蒸散发年际变化

Fig. 5 Interannual variabilities of climate, vegetation and evapotranspiration in a grid cell (71°W, 18°N) during 1950–1999

红色为 C4 草, 蓝色为裸土, 绿色为温带阔叶落叶树; DGVM: 植被动力学模型; GLM: 通用陆面模式

年际变化对蒸散发的影响。本研究结论如下:

(1) 在草、灌木、树占优势的地区植被 FC 年际变化依次减小。而 LAI 年际变化较大的地区集中在草和灌木覆盖的地区, 在落叶林地区, LAI 春秋两季的年际变化也较大。这些都与植被动力学模式中不同植被类型的参数和属性相关。(2) 大部分树占优势的地区, 植被年际变化较小, 年平均蒸散发和地表蒸发增加、冠层蒸发和蒸腾减少; 在灌木和草覆盖区, 植被年际变化明显, 蒸散发及其分量变化则大致相反。(3) 由于受 LAI 各季节年际变化的影响, 低纬度地区蒸散发季节循环的变化比较明显, 而在北半球中纬度蒸散发变化明显区随着纬度增加而在时间上向后推延。(4) 年平均蒸散发与植被年际变化的关系表明, FC 年际变化大于 30%、LAI 年际变化超过 $1.6 \text{ m}^2/\text{m}^2$ 时, 蒸散发及其分量变化较大。

本研究表明, 植被年际变化不仅可改变蒸散发的多年平均值, 同时改变其分量间的相对比例。当植被年际变化较小时, 地表蒸发所占的比例上升; 而当植被年际变化较大时, 地表蒸发所占的比例下降, 而蒸腾所占比例上升。由于地表蒸发主要来自浅层土壤水分, 而蒸腾则来自深层土壤水分, 这表明植被年际变化对土壤水分的垂直分布也有一定影响。进一步工作表明, 植被的年际变化还显著增加了蒸散发的 3 个分量的年际变化(图 5), 其中全球许多区域的冠层蒸发和蒸腾年际变化(相对植被无年际变化时)增大 50% 甚至 100% 以上。

本文采用的是“离线”模拟, 并未考虑植被对大气的反馈作用。事实上, 植被通过蒸散发(及其它陆-气相互作用)可对气候的时空特性产生影响(如调节局地降水格局等); 而大气状况的改变, 又可进一步引起植被及陆表过程的变化。下一步工作将利用大气-陆表-植被耦合模式, 研究植被状态与降水及蒸散发等的年际变化特点。

致谢: 感谢王爱慧博士对文章写作给予的帮助, 邵璞博士在模式运行上提供的帮助。

References:

- [1] Chapin F S III, Matson P A, Mooney H A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. New York: Springer, 2002: 281-331.
- [2] Adams J. Vegetation-Climate Interaction: How Vegetation makes the Global Environment. New York: Springer, 2007: 35-45.
- [3] Ricklefs R E. The Economy of Nature. 6th ed. New York: W H Freeman & Co. , 2008: 60-79.
- [4] Claussen M, Kubatzki C, Brovkin V, Ganopolski A, Hoelzmann P, Pachur H J. Simulation of an abrupt change in Saharan vegetation in the mid-Holocene. Geophysical Research Letters, 1999, 26(14): 2037-2040.
- [5] Scheffer M, Carpenter S, Foley J A, Folke C, Walker B. Catastrophic shifts in ecosystems. Nature, 2001, 413(6856): 591-596.
- [6] Knapp A K, Smith M D. Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production. Science, 2001, 291(5503): 481-484.
- [7] Fang J Y, Piao S L, Tang Z Y, Peng C H, Wei J. Interannual variability in net primary production and precipitation. Science, 2001, 293(5536): U1-U2.
- [8] Zhou D W, Fan G Z, Huang R H, Fang Z F, Liu Y Q, Li H Q. Interannual variability of the normalized difference vegetation index on the Tibetan Plateau and its relationship with climate change. Advances in Atmospheric Sciences, 2007, 24(3): 474-484.
- [9] Notaro M. Response of the mean global vegetation distribution to interannual climate variability. Climate Dynamics, 2008, 30(7/8): 845-854.
- [10] Shao P, Zeng X D. The impact of interannual climate variability on the mean global vegetation distribution. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(6): 1494-1505.
- [11] Pielke R A, Avissar R, Raupach M, Dolman A J, Zeng X B, Denning A S. Interactions between the atmosphere and terrestrial ecosystems: influence on weather and climate. Global Change Biology, 1998, 4(5): 461-475.
- [12] Fitzjarrald, D R, Acevedo O C, Moore K E. Climatic consequences of leaf presence in the eastern United States. Journal of Climate, 2001, 14(4): 598-614.
- [13] Friend A D, Kiang N Y. Land surface model development for the GISS GCM: Effects of improved canopy physiology on simulated climate. Journal of Climate, 2005, 18(15): 2883-2902.
- [14] Bonan G B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. Science, 2008, 320(5882): 1444-1449.
- [15] Zhi H, Wang P X, Dan L, Yu Y Q, Xu Y F, Zheng W P. Climate-vegetation interannual variability in a coupled atmosphere-ocean-land model. Advances in Atmospheric Sciences, 2009, 26(3): 599-612.
- [16] Oleson K, Dai Y, Bonan G, Bosilovich M, Dirmeyer P, Hoffman F, Houser P, Levis S, Niu G Y, Thornton P, Vertenstein M, Yang Z L, Zeng X B. Technical description of the community land model (CLM) // NCAR Tech. Note NCAR/TN-461+STR. Boulder, Colorado: National Center for Atmospheric Research, 2004: 177.
- [17] Dickinson R E, Henderson-Sellers A, Kennedy P J. Biosphere Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model. NCAR Technical Note, TN-387 + STR, 1993: 72.
- [18] Bonan G B. A land surface model (LSM version 1.0) for ecological, hydrological, and atmospheric studies: Technical description and user's guide NCAR Technical Note, TN-417+STR, 1996: 150.
- [19] Bonan G B, Oleson K W, Vertenstein M, Levis S, Zeng X B, Dai Y J, Dickinson R E, Yang Z L. The land surface climatology of the NCAR Land Surface Model coupled to the NCAR Community Climate Model. Journal of Climate, 1998, 11(6): 1307-1326.
- [20] Dai Y J, Zeng Q C. A land surface model (IAP94) for climate studies Part I: formulation and validation in off-line experiments. Advances in Atmospheric Sciences, 1997, 14(4): 433-460.
- [21] Dai Y J, Zeng X B, Dickinson R E. The common land model (CLM). Bulletin of the American Meteorological Society, 2003, 84(8): 1013-1023.
- [22] Qian T, Dai A, Trenberth K, Oleson K W. Simulation of global land surface conditions from 1948 to 2004. Part I: forcing data and evaluations. Journal of Hydrometeorology, 2006, 7(5): 953-975.
- [23] Chen H, Xiong M M, Sha W Y. Simulation of land surface processes over China and its validation Part I: Soil temperature, 2011, 30(5): 621-630.
- [24] Xiong M M, Chen H, Yu M. Simulation of land surface processes over China and its validation. Part II: Soil moisture, 2011, 31(1): 1-10.
- [25] Dickinson R E, Oleson K W, Bonan G, Hoffman F, Thornton P, Vertenstein M, Yang Z L, Zeng X B. The Community Land Model and its climate statistics as a component of the Community Climate System Model. Journal of Climate, 2006, 19(11): 2302-2324.

- [26] Hack J J, Julie M C, Stephen G Y, Keith W O, Marika M H, John E T, Philip J R. Simulation of the Global Hydrological Cycle in the CCSM Community Atmosphere Model Version 3 (CAM3): Mean Features. *Journal of Climate*, 2006, 19(11): 2199-2221.
- [27] Levis S, Bonan G, Vertenstein M, Oleson K W. The Community Land Model's dynamic global vegetation model (CLM-DGVM): technical description and user's guide. // NCAR Technical Note NCAR/TN-459+ IA. Boulder, Colorado: National Center for Atmospheric Research, 2004: 54.
- [28] Zeng X D, Zeng X B, Barlage M. Growing temperate shrubs over arid and semiarid regions in the Community Land Model-Dynamic Global Vegetation Model. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(3): GB3003.
- [29] Zeng X D. Evaluating the dependence of vegetation on climate in an improved dynamic global vegetation model. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2010, 27(5): 977-991.
- [30] Bonan G B, Levis S, Sitch S, Vertenstein M, Oleson K W. A dynamic global vegetation model for use with climate models: concepts and description of simulated vegetation dynamics. *Global Change Biology*, 2003, 9(11):1543-1566.
- [31] Oleson K W, Lawrence D M, Bonan G, Flanner M, Kluzek E, Lawrence P, Levis S, Swenson S, Thornton P. Technical Description of version 4.0 of the Community Land Model (CLM)// NCAR/TN-478+STR. Boulder, Colorado: National Center for Atmospheric Research, 2010: 257.

参考文献:

- [7] 邵璞,曾晓东. 气候年际变率对全球植被平均分布的影响. *生态学报*,2011, 31(6): 1494-1505.
- [25] 陈海山,熊明明,沙文钰. CLM3.0 对中国区域陆面过程的模拟试验及评估 I:土壤温度. *气象科学*,2010,30(5): 621-630.
- [26] 熊明明,陈海山,俞淼. CLM3.0 对中国区域陆面过程的模拟试验及评估 II:土壤湿度. *气象科学*,2011,31(1): 1-10.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora* SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)
- Resource and Industrial Ecology**
- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)
- Research Notes**
- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 骆世明

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元