

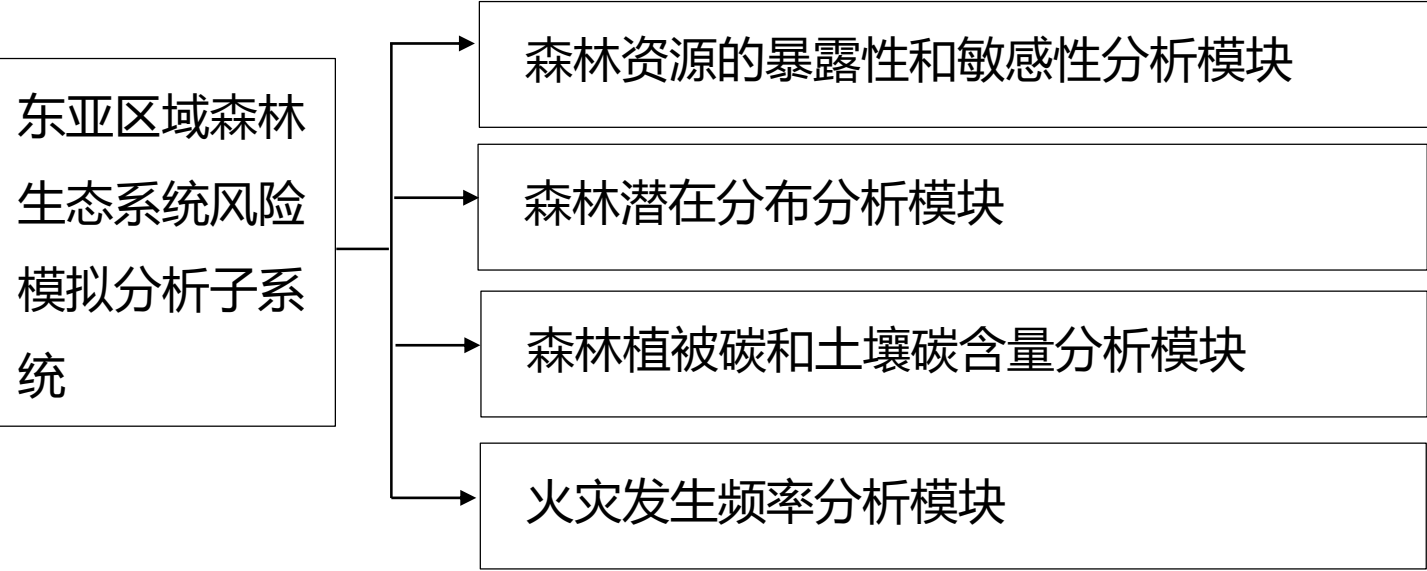


清华大学
Tsinghua University

东亚区域森林生态系统风险模拟分析子系统

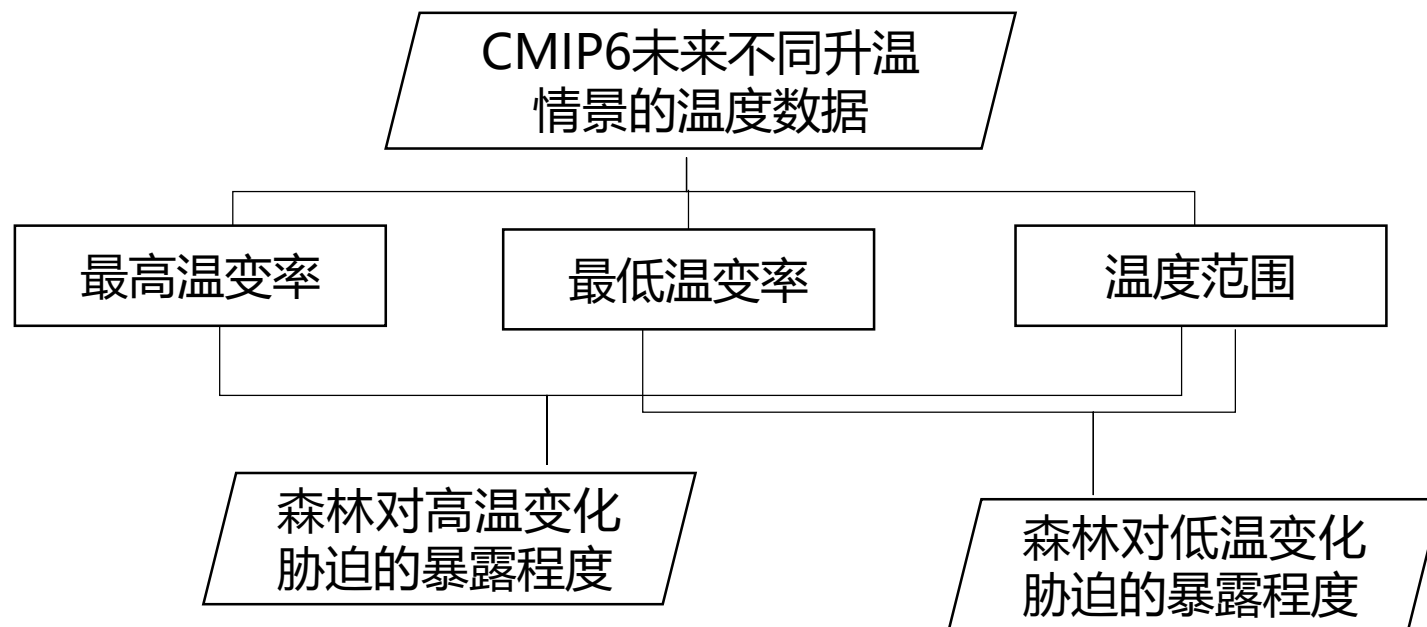
子系统设计

共四个子模块



模块一：东亚森林气候暴露性分析

模块流程图



模块一：东亚森林气候暴露性分析

CMIP6 多模型气象数据展示

5个模型 × 3个共享经济路径

GFDL-ESM4

SSP1-2.6

IPSL-
CM6A-LR

SSP3-7.0

MPI-ESM1-
2-HR

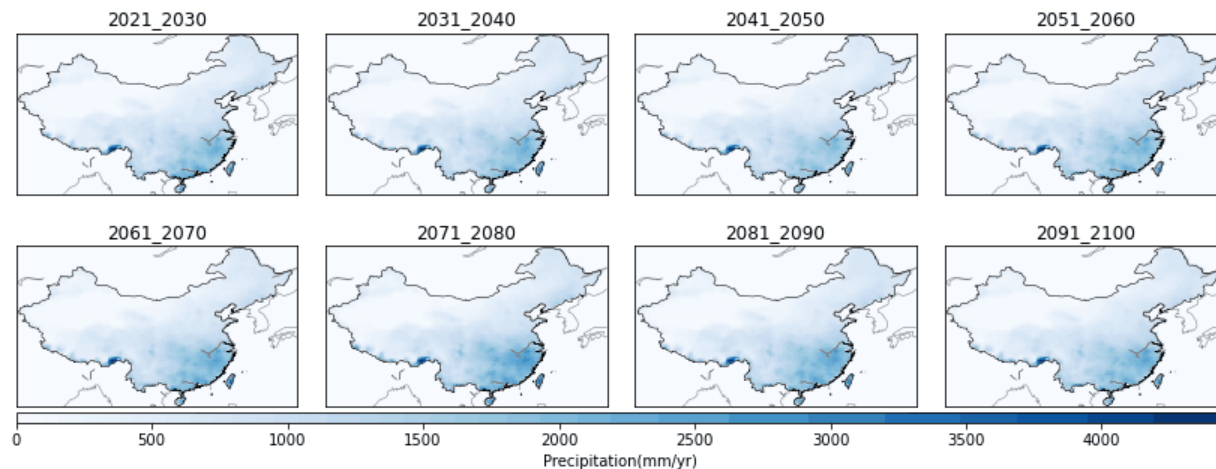
SSP5-8.5

MRI-ESM2-
0

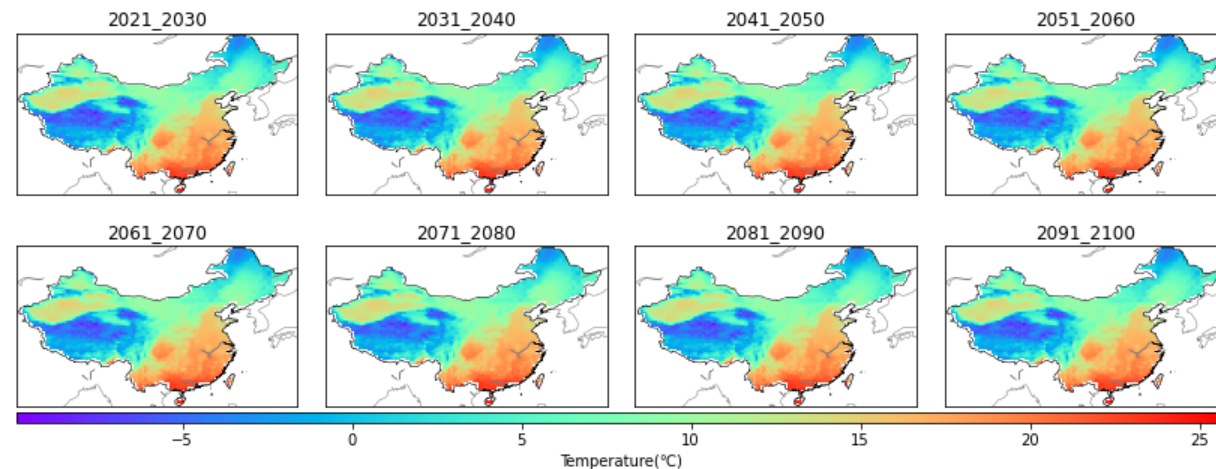
空间分辨率：0.5度
时间分辨率：逐日
时间范围：2020-2100
数据大小：2.88 TB

UKESM1-0-
LL

例：GFDL-ESM4模拟的2020-2100每十年平均降水



GFDL-ESM4模拟的2020-2100每十年平均温度



模块一：东亚森林气候暴露性分析

模块具体算法

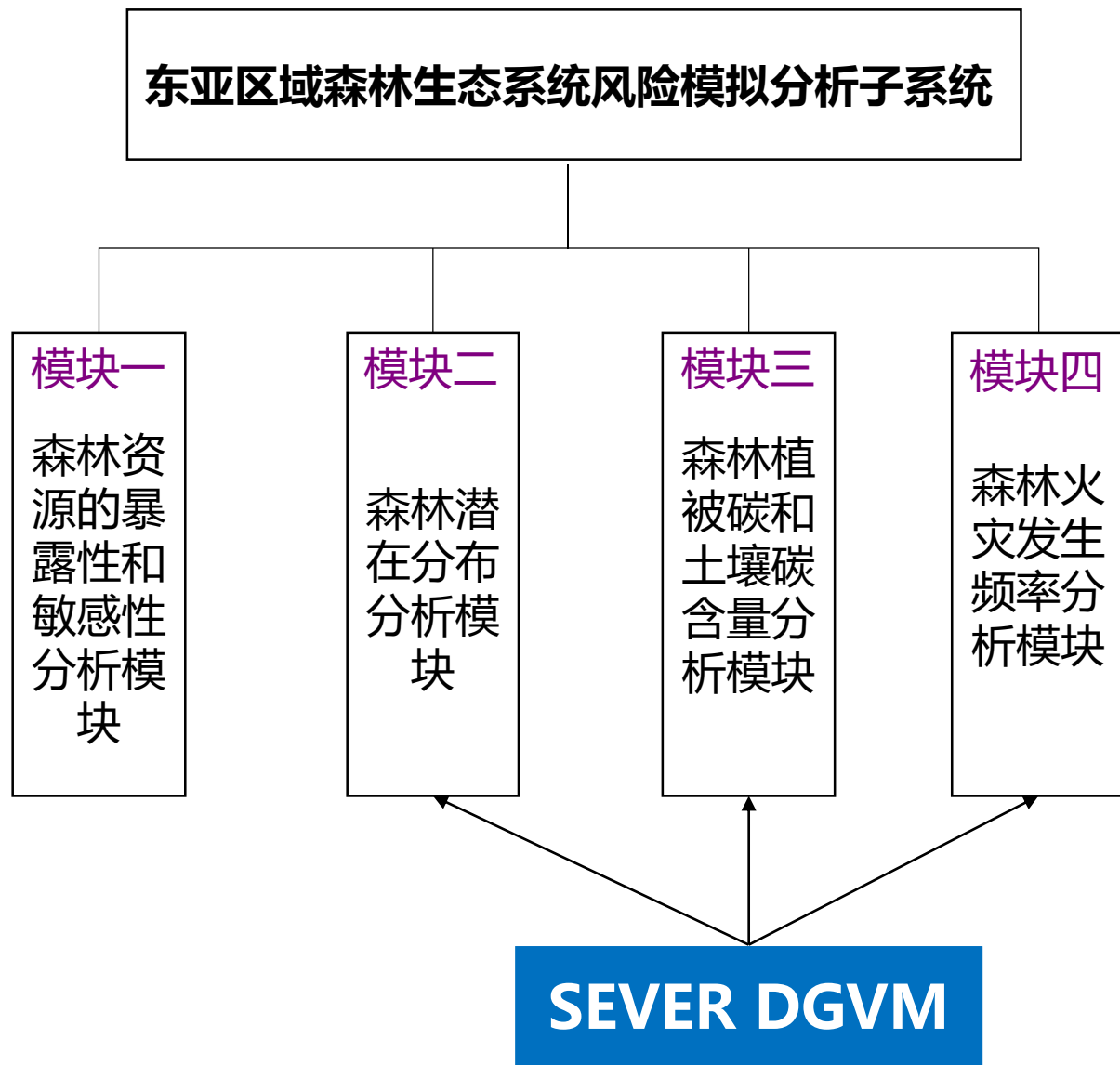
一个森林类型的气候变化暴露度表示为森林对高温变化胁迫的暴露程度 ($E_{i_{max}}$)和森林对低温变化胁迫的暴露程度($E_{i_{min}}$)两个指标, 其计算公式如下:

$$E_{i_{min}} = \frac{\text{JanTV}_i}{\text{Range}_{i_{min}}}$$

$$E_{i_{max}} = \frac{\text{JulTV}_i}{\text{Range}_{i_{max}}}$$

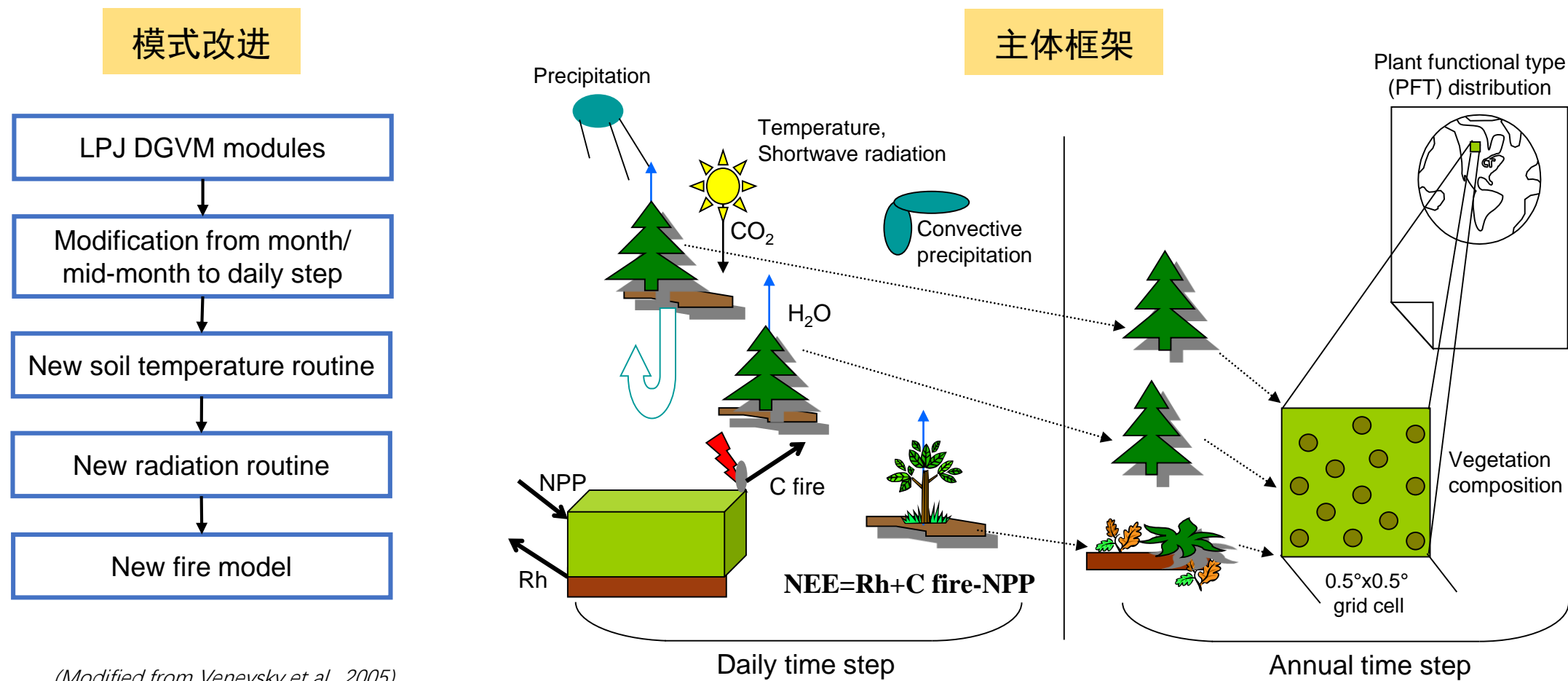
JanTV_i 和 JulTV_i 分别是一种森林类型的最低温的时间变率和最高温的时间变率, $\text{Range}_{i_{min}}$ 和 $\text{Range}_{i_{max}}$ 是该森林类型的热生态位的宽度。 $E_{i_{max}}$ 和 $E_{i_{min}}$ 的值越高代表该森林类型受到温度变化的影响越大。

基于SEVER模型的模块



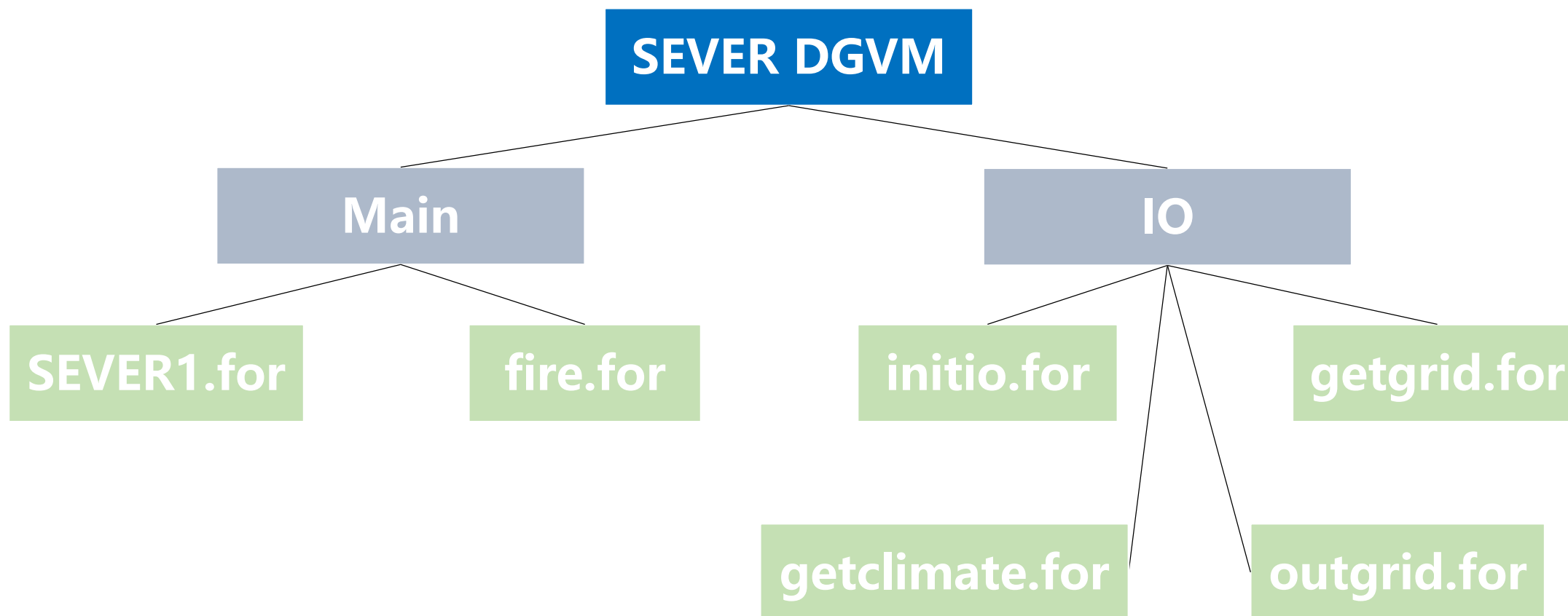
SEVER模式基本架构

- 基于Lund-Potsdam-Jena (LPJ) 模式的动态全球植被模型 (Venevsky & Maksyutov, 2007)



SEVER模式基本架构

○ 模式架构图



SEVER-DGVM架构

SEVER1.for

- 模式考虑10类植被功能类型 (plant functional type, PFT) (Venevsky & Maksyutov, 2007)
- 对每一个grid cell进行每年循环模拟动态植被过程

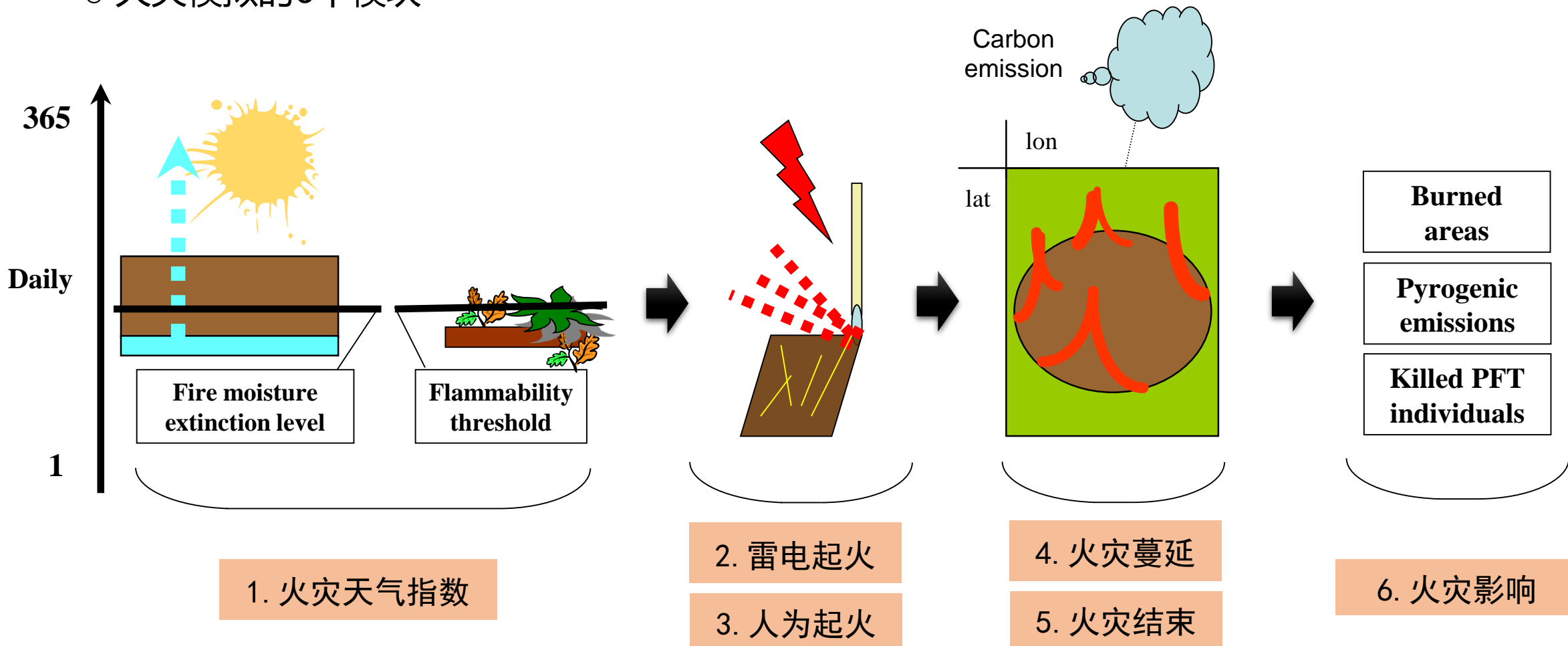
代码	植被功能类型 (PFT)
1	热带常绿阔叶林
2	热带落叶阔叶林
3	温带常绿针叶林
4	温带常绿阔叶林
5	温带落叶阔叶林
6	寒带常绿针叶林
7	寒带落叶针叶林
8	寒带落叶阔叶林
9	多年生C3草地
10	多年生C4草地

子程序	主要功能
allocation	对每年的碳排放增量进行分配
bioclim	根据生物气候条件限制植被功能类型的存活和生长
establishment	模拟各植被类型的新增和减少
gpp	计算总初级生产力
kill	移除每年碳负增长的植被功能类型
light	模拟不同植被功能类型的光竞争过程
littersom	模拟凋落物和土壤的分解过程
morality	计算森林死亡率
npp	计算净初级生产力
pftparameters	获取并计算主要植被功能类型的相关参数
parpet	计算光合有效辐射通量和蒸散量
reproduction	计算各植被类型的繁殖成本
snow	计算积雪融雪并调整日均降水
soilparameters	获取土壤类型对应的土壤参数
soiltemp	估算土壤温度
turnover	计算植被功能类型的碳周转率

SEVER-FIRE火灾模式

fire.for

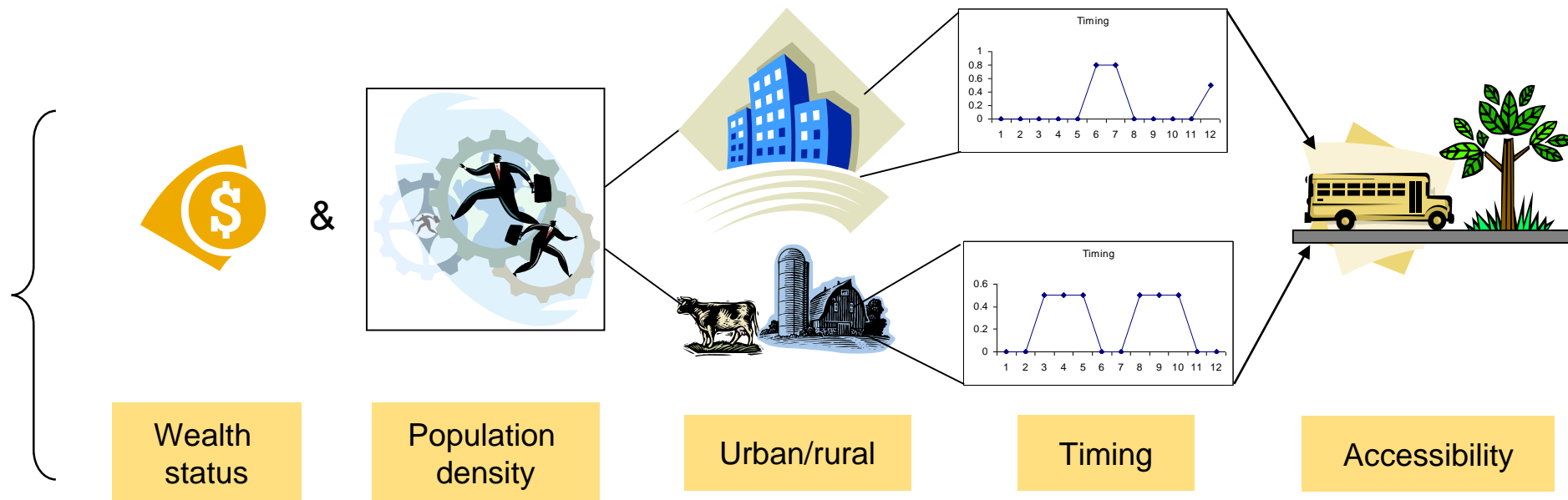
○ 火灾模拟的6个模块



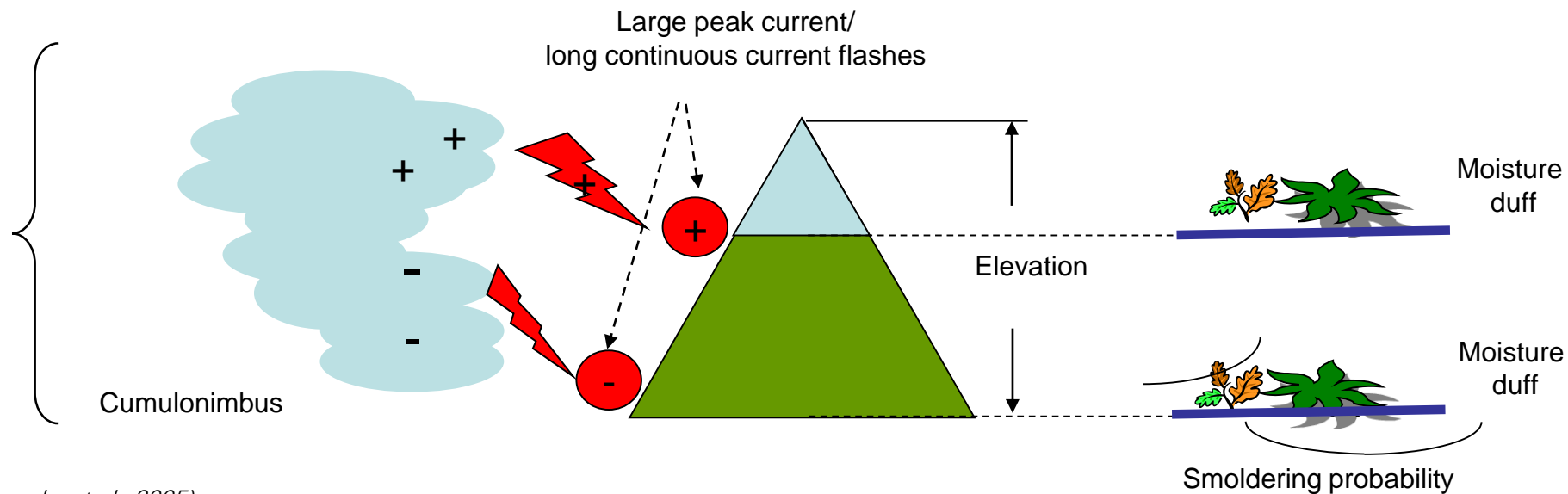
子程序	主要功能
firedanger	计算火灾危险指数Fire Danger Index (FDI)
natignition	估算雷电引起的着火数目
humignition	估算人为引起的着火数目

(Modified from Venevsky et al., 2005)

人为引起的火灾



雷电引起的火灾



(Modified from Venevsky et al., 2005)

模型编译及运行

1

```
cd /your_folderpath/m01_server1.0/
```

切换文件路径到模式文件夹

2

```
ifort -o your_exe *.for
```

以Intel Fortran (ifort) compiler为例
编译所有Fortran代码生成可执行文件

3

```
./your_exe
```

运行可执行文件——终端运行

```
nohup ./your_exe > your_output_file  
&
```

运行可执行文件——后台不挂断运行

模型运行

- 运行区域
 - 中国: 0.5°x 0.5°格网
- 输入数据

环境数据

- CO₂浓度
- 高程
- 土壤类型(9 classes)
- 高程
- 风速

社会经济数据

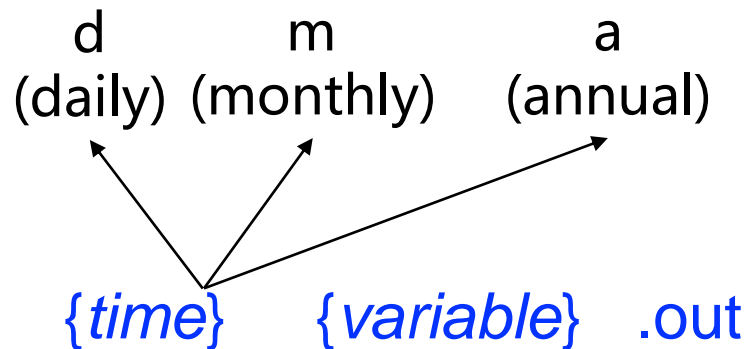
- 人口密度
- 城市距离
- 财富指数
- 农村人口比例

气象数据

- 温度
- 降水
- 对流降水
- 短波辐射

模式输出文件处理

文件名:



例如, 输出文件 “avegc.out”
代表年均植被碳储量。

模块	变量名	具体输出变量	单位
DGVM	vegc	植被碳储量 (vegetation carbon)	kgC/m ²
	soilc	土壤碳储量 (soil carbon)	kgC/m ²
	littc	凋落物碳储量 (litter carbon)	kgC/m ²
	npp	净初级生产力 (net primary productivity)	gC/m ²
	nee	净生态系统碳交换量 (net ecosystem exchange)	gC/m ²
	aet	实际蒸散量 (actual evapotranspiration)	mm
	fpc{PFT}	各PFT的叶投影覆盖率 (foliar projective cover)	% per cell
	rh	土壤异养呼吸 (heterothrofic respiration)	gC/m ²
	runoff	地表径流 (runoff)	mm
FIRE	firec	火灾碳排放 (fire carbon emission)	gC/m ²
	firefrac	火烧面积 (burned area fraction)	% per cell
	nflashes	雷电数目 (number of flashes)	1
	numfires	火灾数目 (number of fires)	1

模式输出文件处理

文件格式:

○ 年文件

(每行记录每个grid中心坐标的经度(lon)、纬度(lat)以及逐年变量结果)

```
lon lat var_outyear1 ... var_outyearend
```

○ 月文件

(对每个grid cell, 先记录其经纬度坐标值, 再逐年记录其1-12月的各月平均值)

```
lon lat  
var_outyear1_m1 var_outyear1_m2 ... var_outyear1_m12  
var_outyear2_m1 var_outyear2_m2 ... var_outyear2_m12  
...  
var_outyearend_m1 var_outyearend_m2 ... var_outyearend_m12
```

○ 日文件

(对每个grid cell, 先记录其经纬度坐标值, 再逐年记录其日平均值)

```
lon lat  
var_outyear1_d1 var_outyear1_d2 ... var_outyear1_d365  
var_outyear2_d1 var_outyear1_d2 ... var_outyear1_d365  
...  
var_outyearend_d1 var_outyearend_d2 ...  
var_outyearend_d365
```

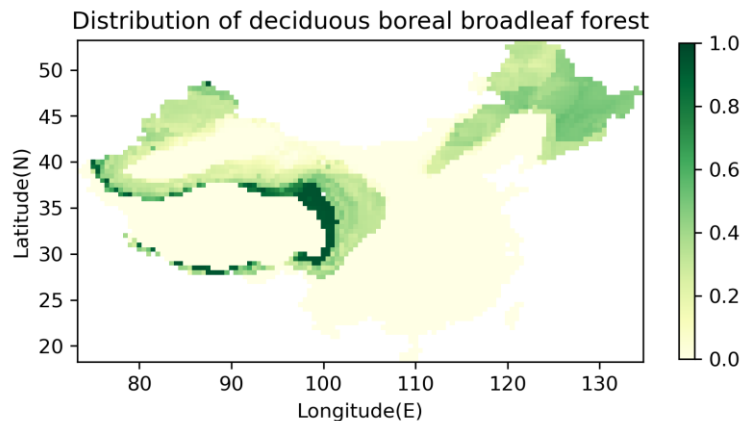
Outyear1: 起始年份; m1: 1月份; d1: 第一天

Outyearend: 终止年份; m12: 12月; d365: 最后一天

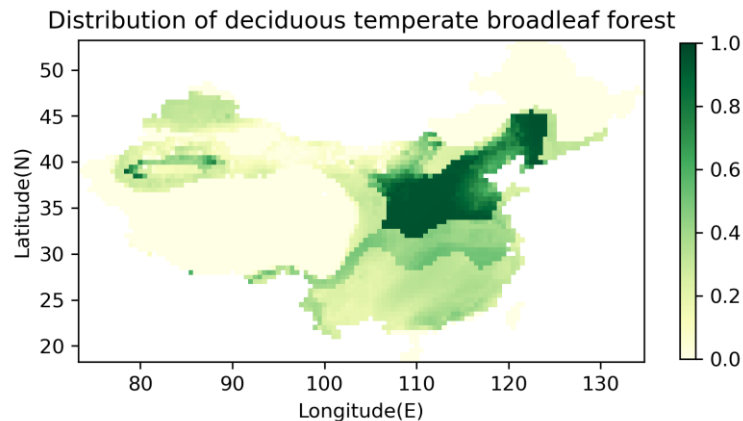
模型输出

模块二：森林潜在分布分析模块

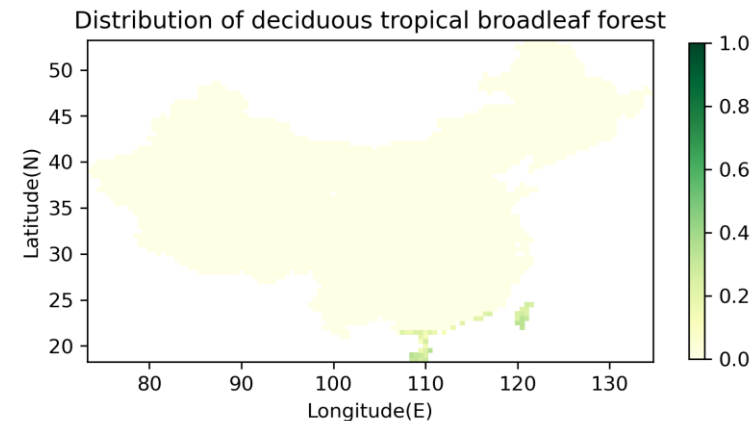
寒带落叶阔叶林



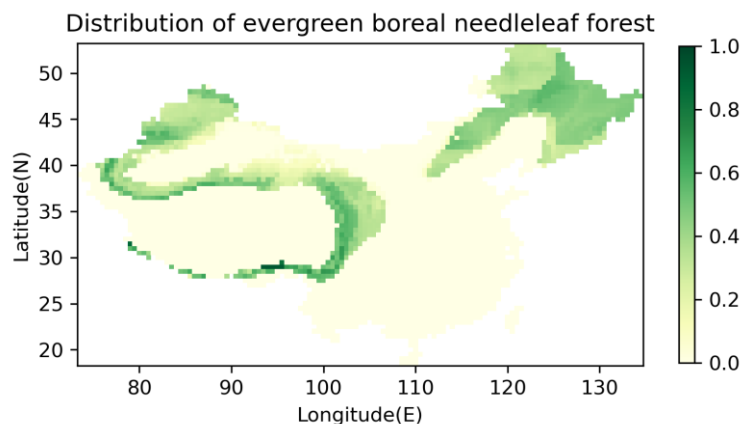
温带落叶阔叶林



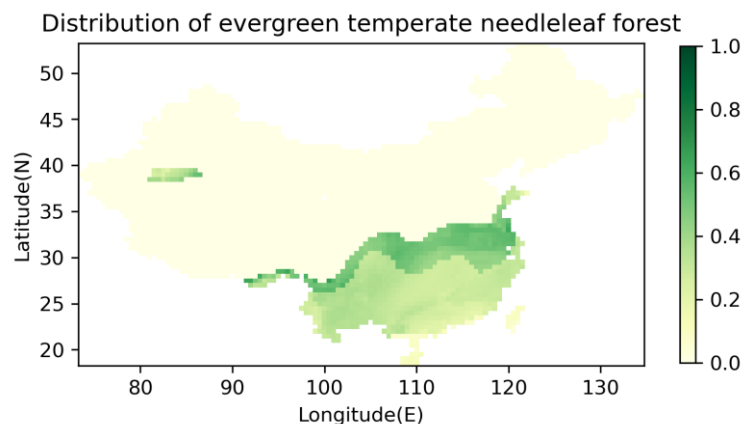
热带落叶阔叶林



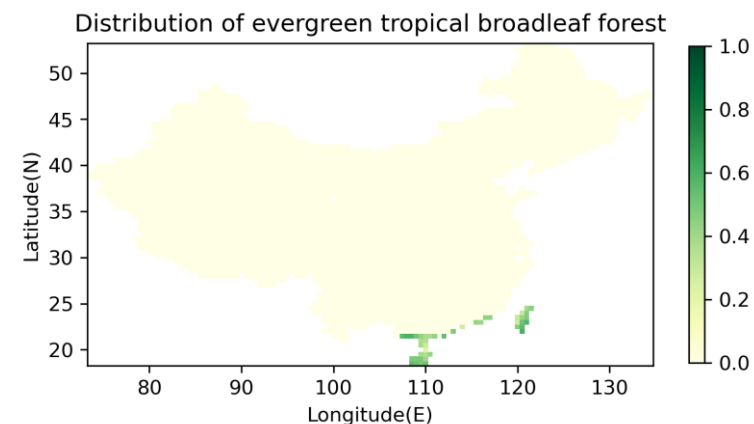
寒带常绿针叶林



温带常绿针叶林

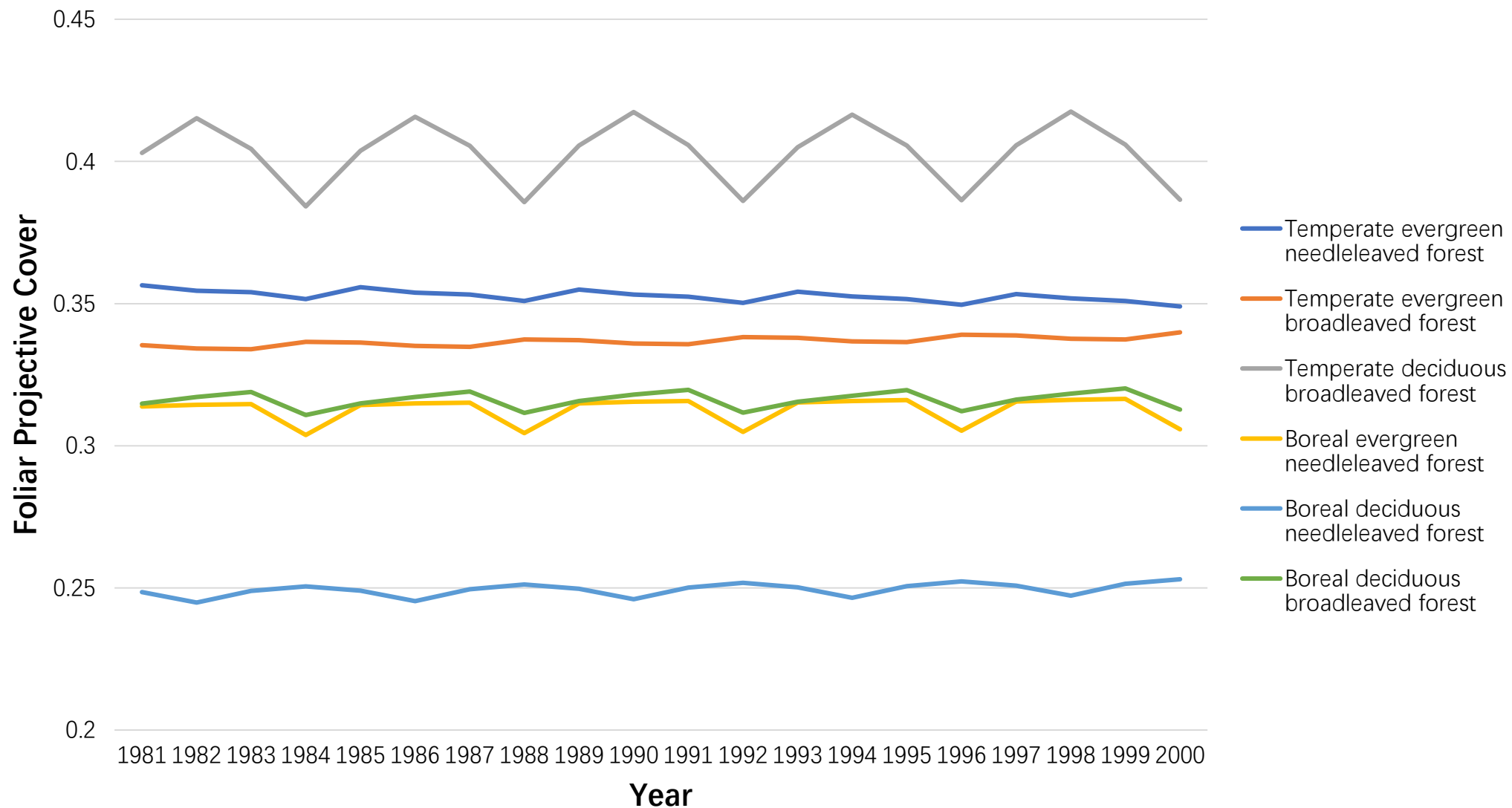


热带常绿阔叶林



模型输出

模块二：森林潜在分布分析模块

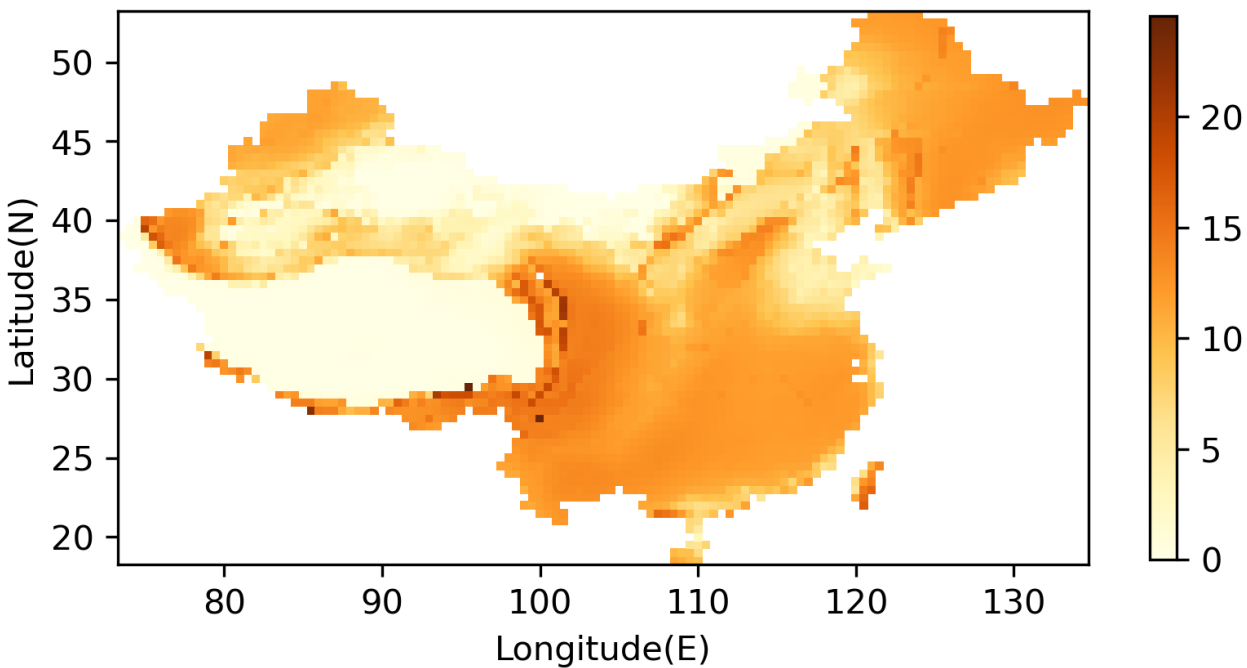


模型输出

模块三：森林植被碳和土壤碳含量分析模块

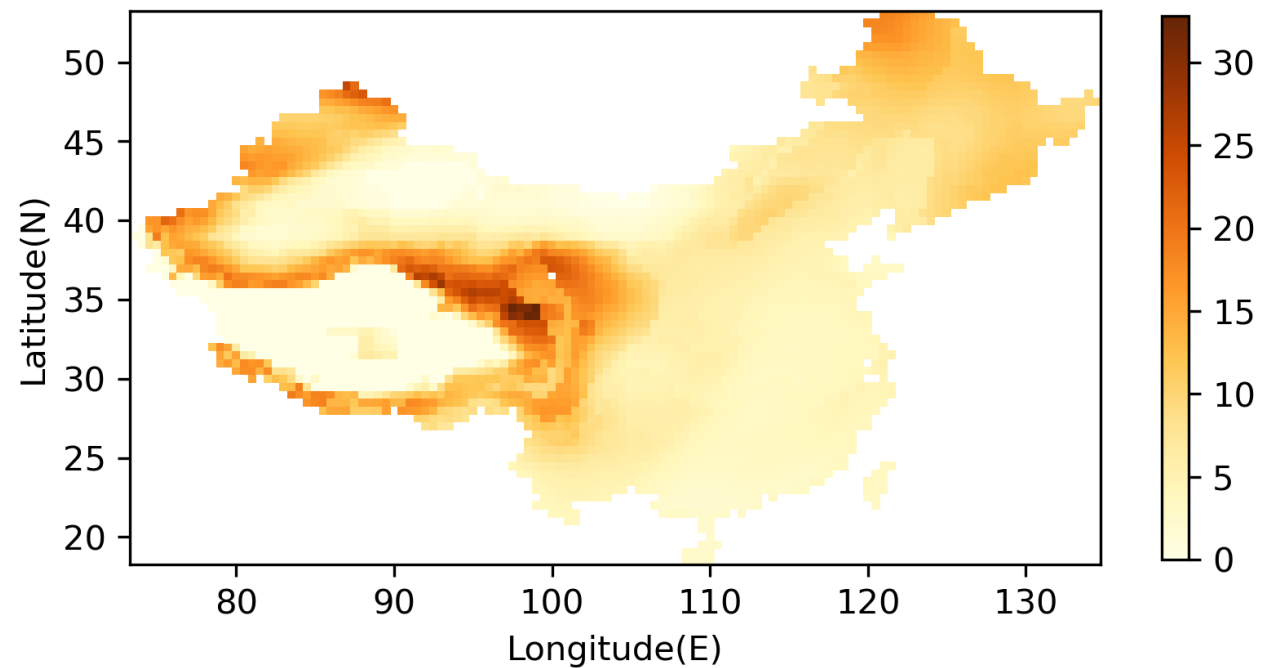
植被碳

Distribution of annual vegetation carbon (kg/m²)



土壤碳

Distribution of annual soil carbon (kg/m²)

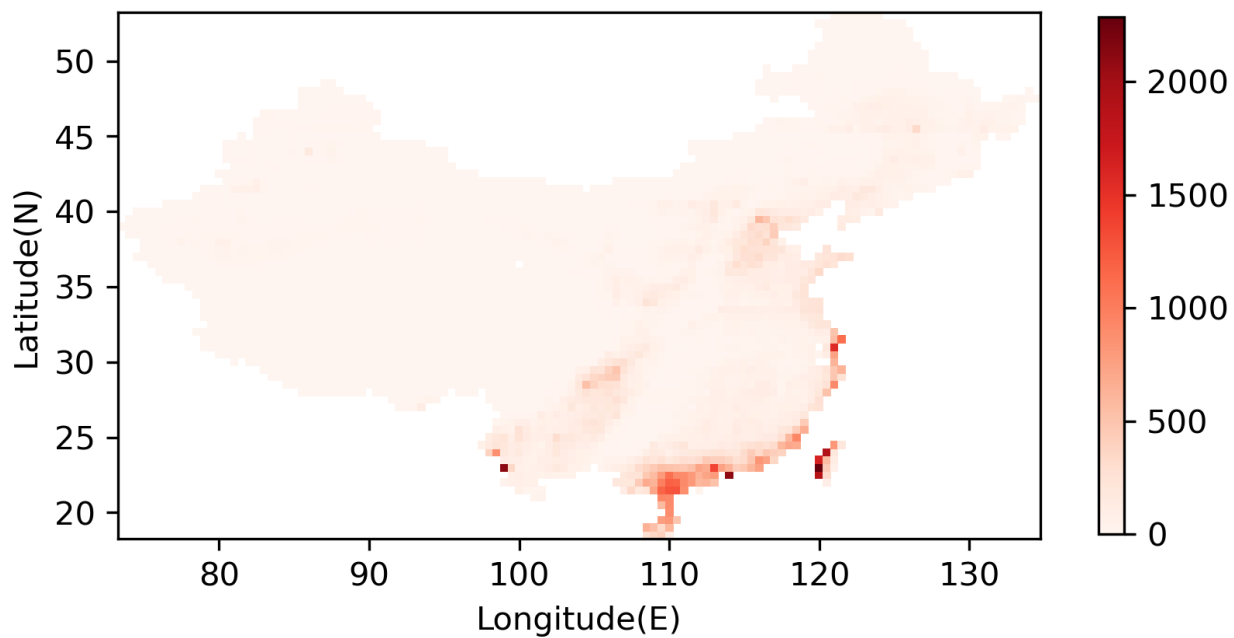


模型输出

模块四：森林火灾发生频率分析模块

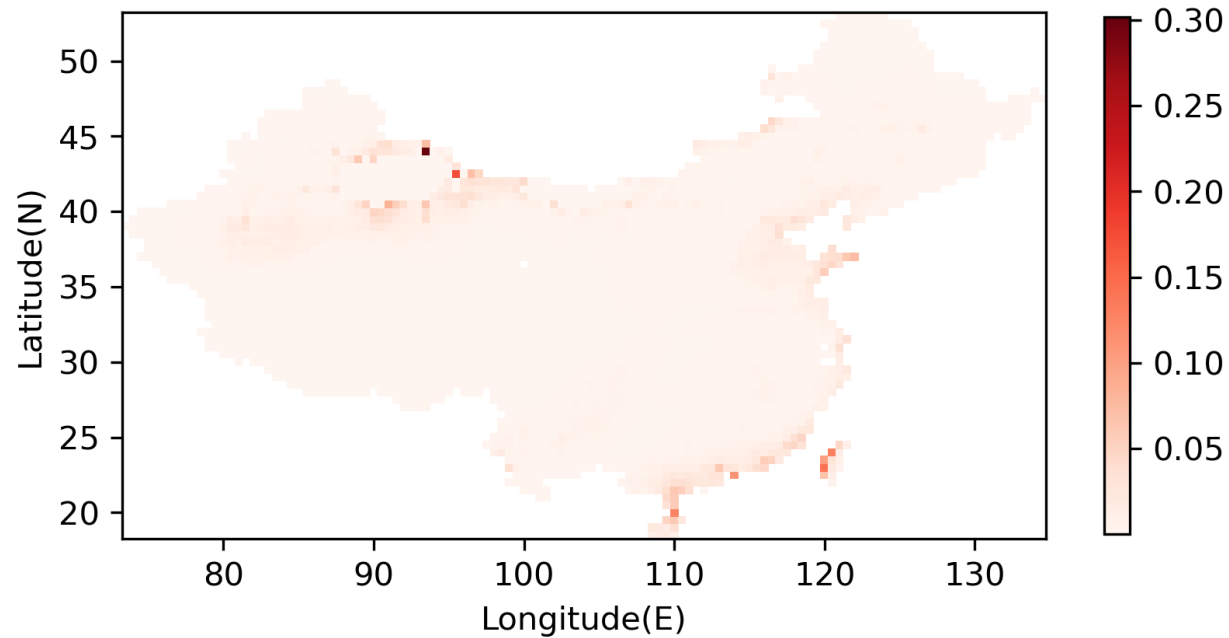
火灾数

Distribution of fire numbers



着火面积比例

Distribution of burned fraction





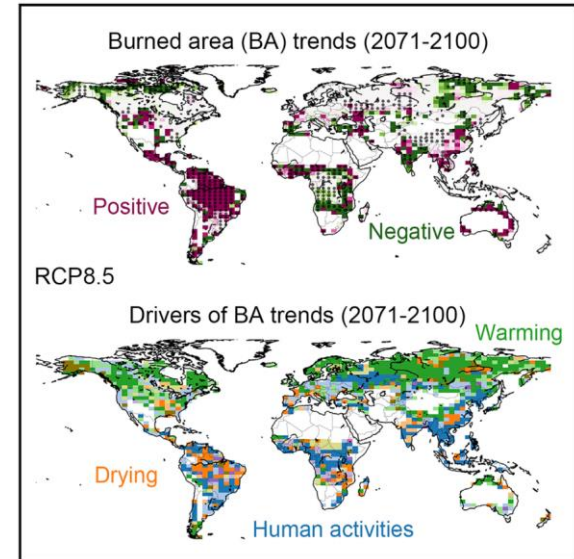
Article

Historical and future global burned area with changing climate and human demography

Chao Wu,^{1,2,4,5,*} Sergey Venevsky,^{1,*} Stephen Sitch,² Lina M. Mercado,^{2,3} Chris Huntingford,³ and A. Carla Staver⁴

¹Ministry of Education Key Laboratory for Earth System Modeling, Department of Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China

○ 历史火灾和未来的火灾动态趋势和归因

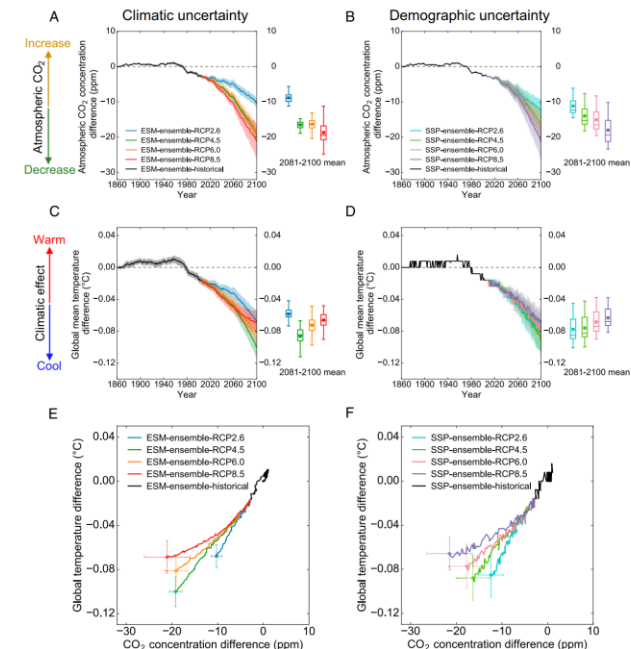


Reduced global fire activity due to human demography slows global warming by enhanced land carbon uptake

Chao Wu^{a,b,c,1}, Stephen Sitch^b, Chris Huntingford^d, Lina M. Mercado^{b,d}, Sergey Venevsky^{a,e}, Gitta Lasslop^f, Sally Archibald^g, and A. Carla Staver^h

Edited by William Bond, University of Cape Town, Cape Town, South Africa; received January 19, 2021; accepted March 23, 2022

○ 未来火灾动态变化对全球气候-碳循环的反馈作用



命令行操作流程

东亚区域森林生态系统风险模拟分析子系统

分系统目录: /data/luoyong/H03

子系统目录:

算法脚本目录: /data/luoyong/H03/algorithm/SLST

输入数据目录: /data/luoyong/H03/inputdata/SLST

输出结果目录: /data/luoyong/H03/product/SLST

模块目录:

算法脚本目录: /data/luoyong/H03/algorithm/SLST/\${模块缩写}

输入数据目录: /data/luoyong/H03/inputdata/SLST/\${模块缩写}

输出结果目录: /data/luoyong/H03/product/SLST/\${模块缩写}

目录结构

脚本文件

参数设置

命令提交

运行过程

结果查看

模块	缩写
森林资源的暴露性和敏感性分析模块	BLMG
森林潜在分布分析模块	QZFB
森林植被碳和土壤碳含量分析模块	ZBTR
森林火灾发生频率分析模块	SLHZ

东亚区域森林生态系统风险模拟分析子系统

模式运行脚本: run_model.py

目录结构

脚本文件

参数设置

命令提交

运行过程

结果查看

```
import shutil,os,sys
import numpy as np
import time
import json

def main(jsonin):

    with open(jsonin, 'r', encoding='utf-8') as f:
        info = json.load(f)

        StartYear = info.get("analyseStrtYear")
        EndYear = info.get("analyseEndYear")
        srcDir = info.get("algorithmDir")
        exename = info.get("exeName")
        os.environ['SRCDIR'] = str(srcDir)

        start = time.time()

        os.chdir(srcDir + 'm01_sever1.0')
        os.system('rm -f ' + exename)
        os.system('ifort -o ' + exename + ' *.for')

        os.chdir(srcDir)
        os.system('sbatch run.slurm')

        end = time.time()
        print ("Total Elapsed:" + str((end - start)/60) + " Minutes...")

if __name__ == "__main__":

    json_in = sys.argv[1]
    main(json_in)
```

```
#!/bin/bash
#SBATCH -J SLST
#SBATCH -p normal
#SBATCH -N 1
#SBATCH -o %j.log
#SBATCH -e %j.err

config="/data/luoyong/H03/algorithm/SLST/SEVER/userconfig.json"

exename=$(cat ${config} | jq .exeName -r)

module purge
#module load compiler/intel/2017.5.239
#module load mpi/intelmpi/2017.4.239
#module load mathlib/netcdf/intel/4.4.1
#module load mpi/hpcx/2.7.4/gcc-7.3.1
#module load mpi/hpcx/2.7.4/intel-2017.5.239

cd /data/luoyong/H03/algorithm/SLST/SEVER/m01_sever1.0
NP=$SLURM_NPROCS
echo "Numbers of Processors: $NP"
echo "-----"

#srun -np ${NP} -p normal ./SLST
srun -N 1 -n 1 -p normal ./${exename}
```


东亚区域森林生态系统风险模拟分析子系统

各模块运行脚本:

提交脚本: run_\${模块缩写}.sh

主程序脚本: main_\${模块缩写}.py

目录结构

脚本文件

参数设置

命令提交

运行过程

结果查看

```
#程序初始化部分
#SYSTEMPATH="/data/qhbh01/H03"
ALGPATH="${SYSTEMPATH}/algorithm/SLST/SLHZ"
LOG "主程序初始化"
strtyear=$(cat $1 | jq .analyseStrtYear -r)
lastyear=$(cat $1 | jq .analyseEndYear -r)
OBSINPUTPATH=$(cat $1 | jq .obsDataDir -r)
OBSOUTPUTPATH=$(cat $1 | jq .productDir -r)
export OBSINPUTPATH=${OBSINPUTPATH}
export OBSOUTPUTPATH=${OBSOUTPUTPATH}
export STARTYEAR=${strtyear}
export LASTYEAR=${lastyear}
LOG "完成参数解析"
jq -n '{"product":"${MODULE}"}' > $flow_file

TIMEF=$(date +%Y-%m-%d %H:%M:%S)
jq '.step[.step] length' |> . + {"stepname": "解析输入参数", "stepnum": "1", "status": "成功"}
message: "解析输入参数--成功", "opertime": $TIMEF' \
--arg TIMEF "$TIMEF" $flow_file > tmp.json && mv tmp.json $flow_file

#####
LOG "执行算法 main_SLHZ.py"
run_python main_SLHZ ${1} 2
#####
LOG "输出产品路径 $OBSOUTPUTPATH"
LOG "输出json路径 $json_file"
LOG "输出日志路径 $log_file"
LOG "输出算法执行流程路径 $flow_file"
```

```
#####
import os,sys,json
import numpy as np
import imageio
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib import gridspec

def main(jsonin):

    with open(jsonin, 'r', encoding='utf-8') as f:
        info = json.load(f)

        StartYear = info.get("analyseStrtYear")
        EndYear = info.get("analyseEndYear")
        ModName = info.get("modelName")
        ModExp = info.get("modelExp")
        srcDir = info.get("algorithmDir")
        diri = srcDir + "/OUTPUT_M_00/"
        diro = info.get("productDir")

        numcol = int(EndYear) - int(StartYear) + 1

        for i in range(numcol):
            plotmap(diro, ModName, ModExp, "afirefrac.out", StartYear, i+2, diro+"/SLHZ/afirefrac/afirefrac_%.2d.png" % (i+2))
            plotmap(diro, ModName, ModExp, "anumfires.out", StartYear, i+2, diro+"/SLHZ/anumfires/anumfires_%.2d.png" % (i+2))

        creat_gif(diro+"/", ModName, ModExp, "afirefrac", 0.5)
        creat_gif(diro+"/", ModName, ModExp, "anumfires", 0.5)
```

东亚区域森林生态系统风险模拟分析子系统

参数文件: useconfig.json

目录结构

脚本文件

参数设置

命令提交

运行过程

结果查看

```
"analyseStrtYear": 1981,  
"analyseEndYear": 2002,  
"modelNum": 1,  
"modelName": "CAS-ESM2-0",  
"modelProject": "CMIP6",  
"modelMip": "day",  
"modelExp": "historical",  
"modelEnsemble": "r1i1p1f1",  
"algorithmDir": "/data/luoyong/H03/algorithm/SLST/SEVER/",  
"obsDataDir": "/data/luoyong/H03/inputdata/SLST/SEVER/",  
"modelDataDir": "/data/luoyong/H03/inputdata/SLST/SEVER/",  
"productDir": "/data/luoyong/H03/product/SLST/SLHZ",  
"resultJsonFile": "/data/luoyong/H03/product/SLST/output.json",  
"algorithmLogFile": "/data/luoyong/H03/product/SLST/output.log",  
"algorithmFlowFile": "/data/luoyong/H03/product/SLST/outputFlow.json"
```

参数名称	参数描述
analyseStrtYear	分析起始年
analyseEndYear	分析终止年
modelName	输入模式数据集名
modelProject	耦合模式计划类型
modelMip	模式时间频率
modelExp	耦合模式比较计划试验
modelEnsemble	耦合模式比较计划集合
modelGrid	耦合模式比较格点标签
algorithmDir	算法目录
obsDataDir	观测数据目录
modelDataDir	模式数据目录
productDir	输出目录
resultJsonFile	输出结果json
algorithmLogFile	输出日志json
algorithmFlowFile	输出流程json

东亚区域森林生态系统风险模拟分析子系统

目录结构

脚本文件

参数设置

命令提交

运行过程

结果查看

模式运行提交:

```
bash run_SEVER.sh useconfig.json
```

分析模块运行提交:

```
bash run_${模块缩写}.sh useconfig.json
```

东亚区域森林生态系统风险模拟分析子系统

模式运行:

作业查看: `queue`

日志文件查看: `cat ${jobID}.log` `cat ${jobID}.err`

分析模块运行:

屏幕实时打印结果

目录结构

脚本文件

参数设置

命令提交

运行过程

结果查看

```
(base) [luoyong@login01 ZBTR]$ ./run_ZBTR.sh userconfig.json
2022-05-26 07:39:00 : 主程序初始化
2022-05-26 07:39:00 : 完成参数解析
2022-05-26 07:39:01 : 执行算法 main_ZBTR.py
2022-05-26 07:39:55 : 主程序算法 main_ZBTR.py 执行完毕,耗时0m53.948s
2022-05-26 07:39:55 : 输出产品路径 /data/luoyong/H03/product/SLST/ZBTR/
2022-05-26 07:39:55 : 输出json路径 /data/luoyong/H03/product/SLST/ZBTR/output.json
2022-05-26 07:39:55 : 输出日志路径 /data/luoyong/H03/product/SLST/ZBTR/output.log
2022-05-26 07:39:55 : 输出算法执行流程路径 /data/luoyong/H03/product/SLST/ZBTR/outputFlow.json
```

```
2022-05-26 07:26:45 : 主程序初始化
2022-05-26 07:26:45 : 完成参数解析
2022-05-26 07:26:45 : 执行算法 main_ZBTR.py
2022-05-26 07:27:37 : 主程序算法 main_ZBTR.py 执行失败,错误详见/data/luoyong/H03/algorithm/SLST/ZBTR/main_ZBTR.log
```

东亚区域森林生态系统风险模拟分析子系统

分析模块运行结果:

专题图直接查看

目录结构

脚本文件

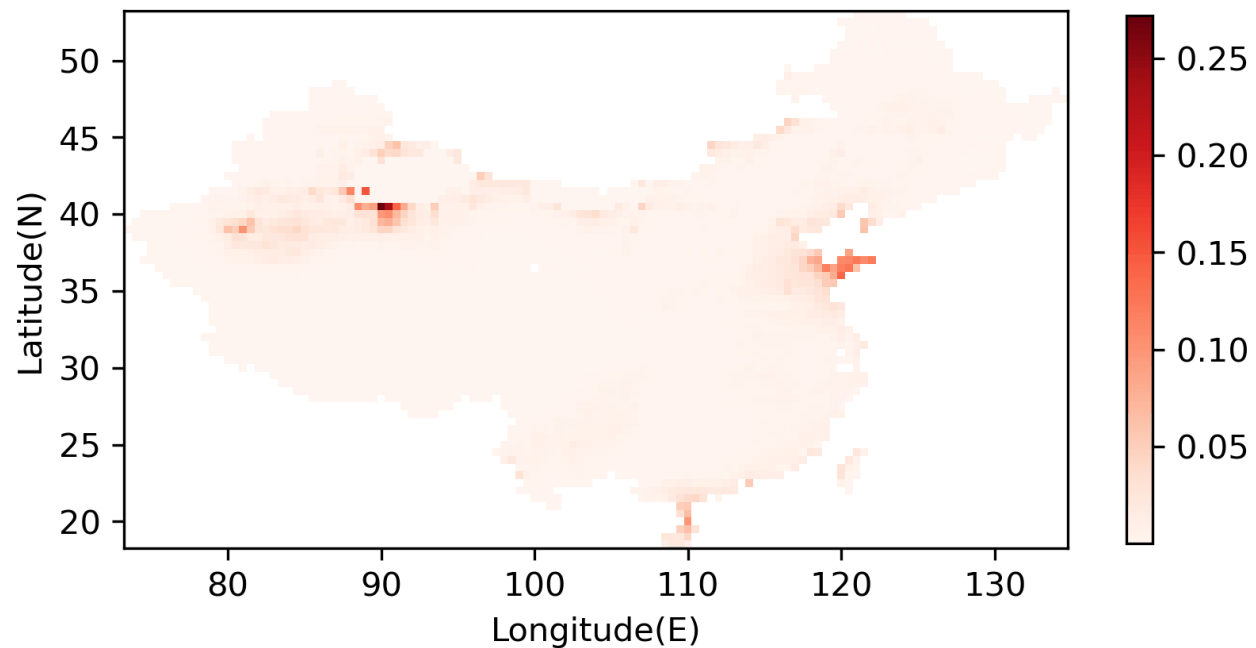
参数设置

命令提交

运行过程

结果查看

1984 CAS-ESM2-0 historical Distribution of burned fraction



谢谢!