



地球系统数值模拟装置项目-资料同化分系统

陆面资料同化子系统

孙帅 师春香 韩帅 梁宇靖

国家气象信息中心

2022年5月27日



提 纲

- 一、子系统概况**
- 二、子系统关键技术**
- 三、子系统数据集**
- 四、子系统操作介绍**





提 纲

- 一、子系统概况**
- 二、子系统关键技术
- 三、子系统数据集
- 四、子系统操作介绍





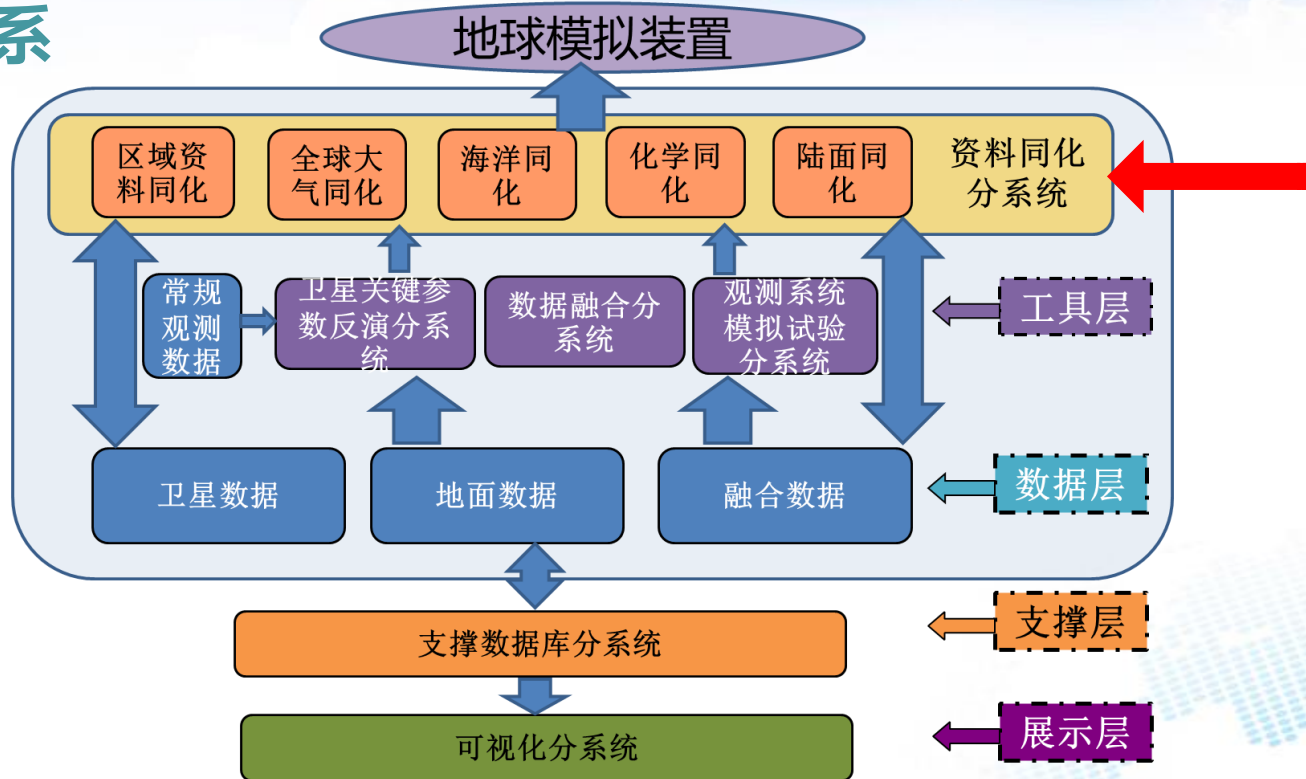
陆面同化子系统概况

概况

6大分系统



相互关系

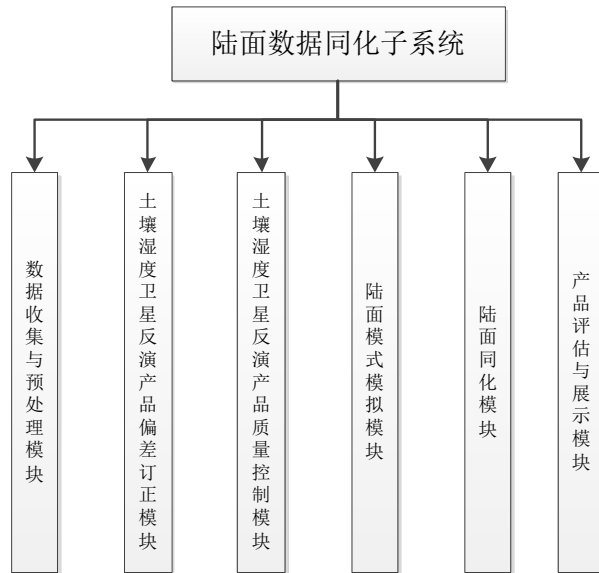


6个分系统：同化分系统，观测系统模拟试验分系统，卫星关键参数反演分系统，数据融合分系统，支撑数据库分系统，可视化分系统



陆面同化子系统概况

通过开展卫星资料陆面同化关键技术研究，使用集合卡尔曼滤波同化方法，将偏差订正与质量控制后的卫星遥感数据同化到陆面模式中，建设和完善基于卫星资料的陆面同化系统，最终能够生成高时空分辨率的中国区域土壤温度、土壤湿度、感热通量、潜热通量、径流等同化分析产品，其中时间分辨率最高为1h、空间分辨率为 0.0625° （局地1km）。



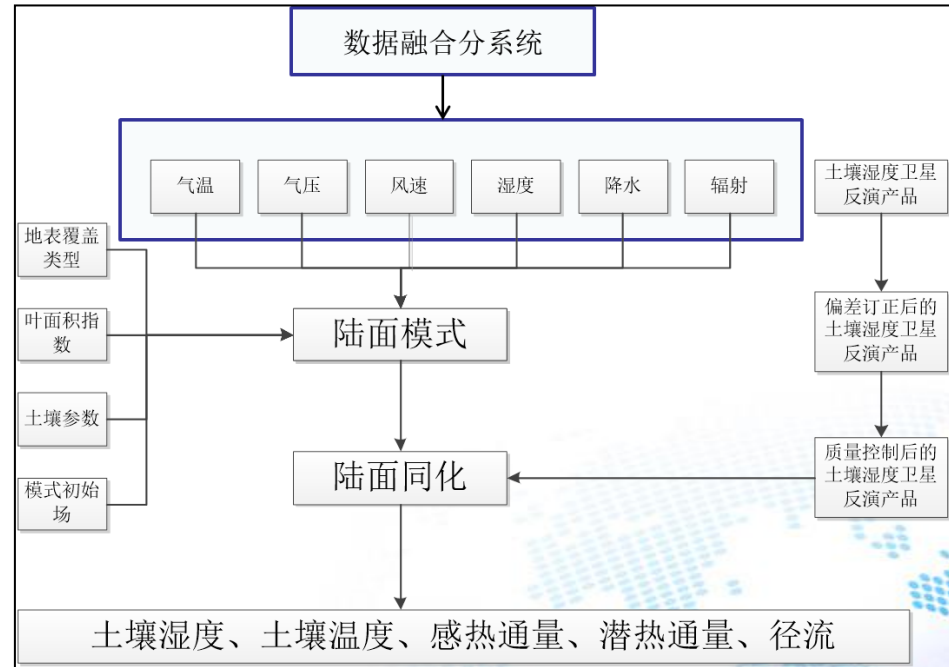


陆面同化子系统概况

与其它子系统及内部的运行协作关系：

数据融合分系统中的降水融合软件子系统、地面入射太阳辐射融合分析子系统和地面气象要素融合分析子系统为陆面同化子系统提供大气驱动数据；

内部主要是陆面模式模拟与卫星反演产品的偏差订正和质量控制之间的协作关系，陆面同化模块将陆面模式模拟产品与卫星反演产品进行同化。





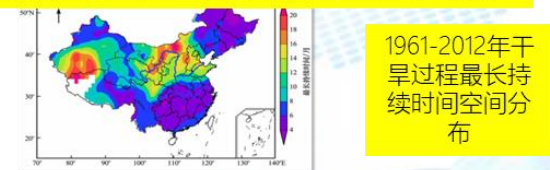
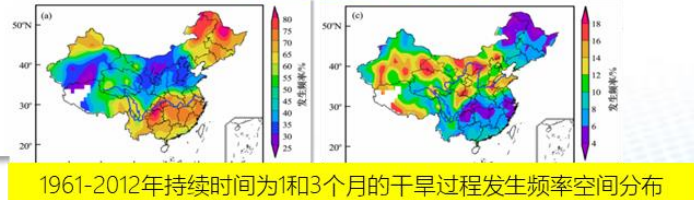
提 纲

- 一、子系统概况
- 二、子系统关键技术**
- 三、子系统数据集
- 四、子系统操作介绍



背景：以国家和社会需求为导向

- 全球气候变化及相关的极端气候事件所造成的经济损失在过去40年平均上升了10倍
- 中国干旱发生的频率增多、强度增大，严重威胁着农业发展和国民生产生活
- 干旱监测迫切需要高精度、格点化的土壤湿度产品
- 气候模式评估、为数值天气预报模式提供初值等也需要时间序列长、空间范围广的格点化土壤温湿度产品。





陆面同化子系统-关键技术

● 背景：国内外现状与发展趋势

系统名称	开发者	陆面模式	同化	输出产品	产品参数特征
GLDAS	NOAA	Mosaic, Noah, CLM, VIC	未同化	土壤温度、土壤湿度等产品	1979-至今, 全球 3h; 1°; 2000年至今, 3h, 0.25°
NLDAS	NOAA	Mosaic, Noah, SAC-SMA, VIC	研制中	土壤温度、土壤湿度等产品	1979-至今, 北美地区 1h; 1/8°
ELDAS	ECMWF	Tessel、ISBA、SWAPS	ASCAT土壤湿度和SMOS微波亮温	雪深、土壤湿度、土壤温度和雪的温度	2009年底业务化, 欧洲 12h、1/5°;
CaLDAS	加拿大	ISBA	SMOS /L波段亮温	土壤湿度、土壤温度等	北美地区
Korea LDAS	韩国	Noah	未同化	土壤湿度, 土壤温度等	10km, 1h
CLDAS	中国气象局	CLM、Noah-MP、CoLM	研制中(同化FY亮温、土壤湿度与积雪、ASCAT土壤湿度等)	土壤湿度、土壤温度地表温度、积雪等产品	2008-至今, 业务化运行 亚洲 1h; 1/16°



陆面同化子系统-关键技术

● 背景：国内外现状与发展趋势

Next Phase of the NCEP Unified Land Data Assimilation System (NULDAS): Vision, Requirements, and Implementation

Michael B. Ek¹, Christa D. Peters-Lidard², Youlong Xia¹, David M. Mocko², Jesse Meng¹, Sujay V. Kumar², Helin Wei¹, Jiarui Dong¹, Augusto Getirana², and Shugong Wang²

¹Environmental Modeling Center (EMC), National Centers for Environmental Prediction (NCEP), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), College Park, MD, USA

²Hydrological Sciences Laboratory, Goddard Space Flight Center (GSFC), National Aeronautics and Space Administration (NASA), Greenbelt, MD, USA

美国下一代陆面数据同化系统 发展白皮书



The requirements of the next phase of NLDAS system are:

- 1) Reduce the 3.5-day latency to real-time, to allow the operational use of NLDAS;
- 2) Upgrade the LSMs to use the latest model physics and ensure consistency with versions within various operational and research models and corresponding land-surface data sets, e.g., land-use type, soil type, near-realtime greenness, upgrading to newer higher-resolution data sets, etc.;
- 3) Enable observational constraints through the assimilation of terrestrial hydrological remote sensing measurements;
- 4) Expand the domain to all of North America – including Alaska, Hawaii, and Puerto Rico

In addition to the advanced LSMs, NLDAS-3.0 under the LIS framework will also include advanced data assimilation of remotely-sensed satellite-based soil moisture, snow, and terrestrial water storage (TWS) products to improve the states and fluxes simulated by the LSMs. Some of the products that will be used for the historical period include: 1) for soil moisture, the ESA CCI product and LPRM (AMSR-E); ASCAT, SMOS, and SMAP retrievals; 2) for snow depth, SMMR, SMM/I, AMSR-E, and AMSR2; 3) for snow cover, IMS, MODIS, and VIIRS; and 4) for TWS anomalies, GRACE. For the operational real-time period, products to be used include: 1) for soil moisture, ASCAT, SMOS, and SMAP retrievals from SMOPS; 2) for snow depth, AFWA SNODEP; and 3) for snow cover, IMS.

The requirements of the next phase of GLDAS system are:

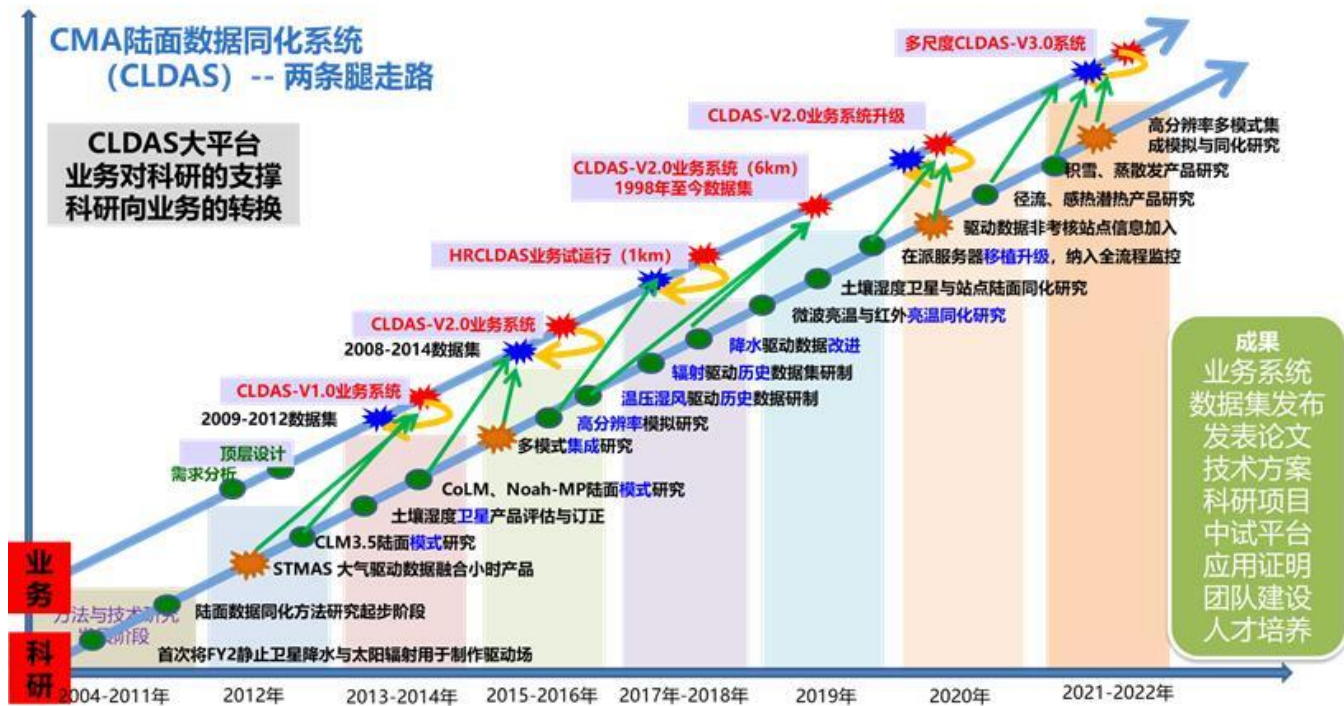
- 1) Upgrade soil texture, vegetation parameter, and albedo data;
- 2) Use NEMS and LIS infrastructure, upgraded Noah model (from version 2.7.1 to 3.x), new CPC 0.25 degree operational precipitation, and finer spatial resolution to match next phase GFS resolution;
- 3) Enable observational constraints through the assimilation of remote sensing measurements (e.g., soil moisture and snowpack data);

In GLDAS3.0, we propose to transition existing land data assimilation capabilities in LIS to NCEP to support assimilation of satellite-based snow depth and soil moisture products, specifically the AFWA SNODEP and NESDIS soil moisture. The NOAA/NESDIS SMOPS has been in operations since 2013 and will be used in the proposed soil moisture assimilation tests,

下一代GLDAS将会同化土壤湿度以及积雪相关数据。

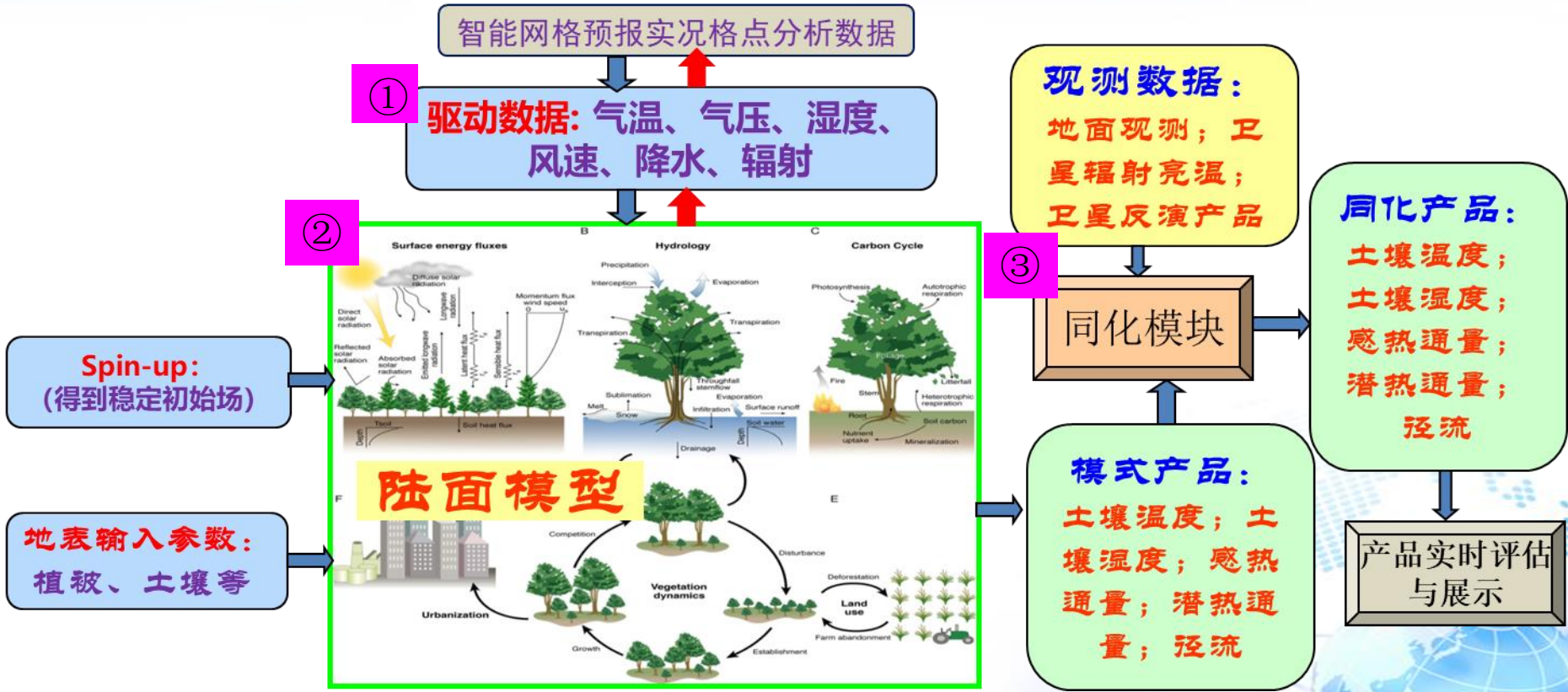
陆面同化子系统-关键技术

- 在CLDAS技术的基础上，进行了地球系统模拟装置-资料同化分系统-陆面同化子系统的建设。



陆面同化子系统-关键技术

总体技术路线：关键技术(质控、反演、融合、模式、同化、评估)



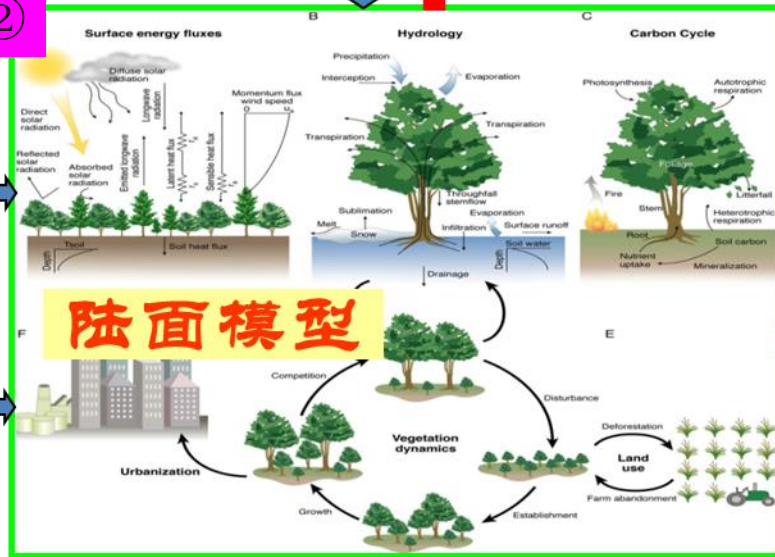
陆面同化子系统-关键技术

总体技术路线：关键技术(质控、反演、融合、模式、同化、评估)

智能网格预报实况格点分析数据

驱动数据: 气温、气压、湿度、
风速、降水、辐射

②



Spin-up:
(得到稳定初始场)

地表输入参数:
植被、土壤等

观测数据:

地面观测; 卫
星辐射亮温;
卫星反演产品

同化模块

模式产品:

土壤温度; 土
壤湿度; 感热
通量; 潜热通
量; 径流

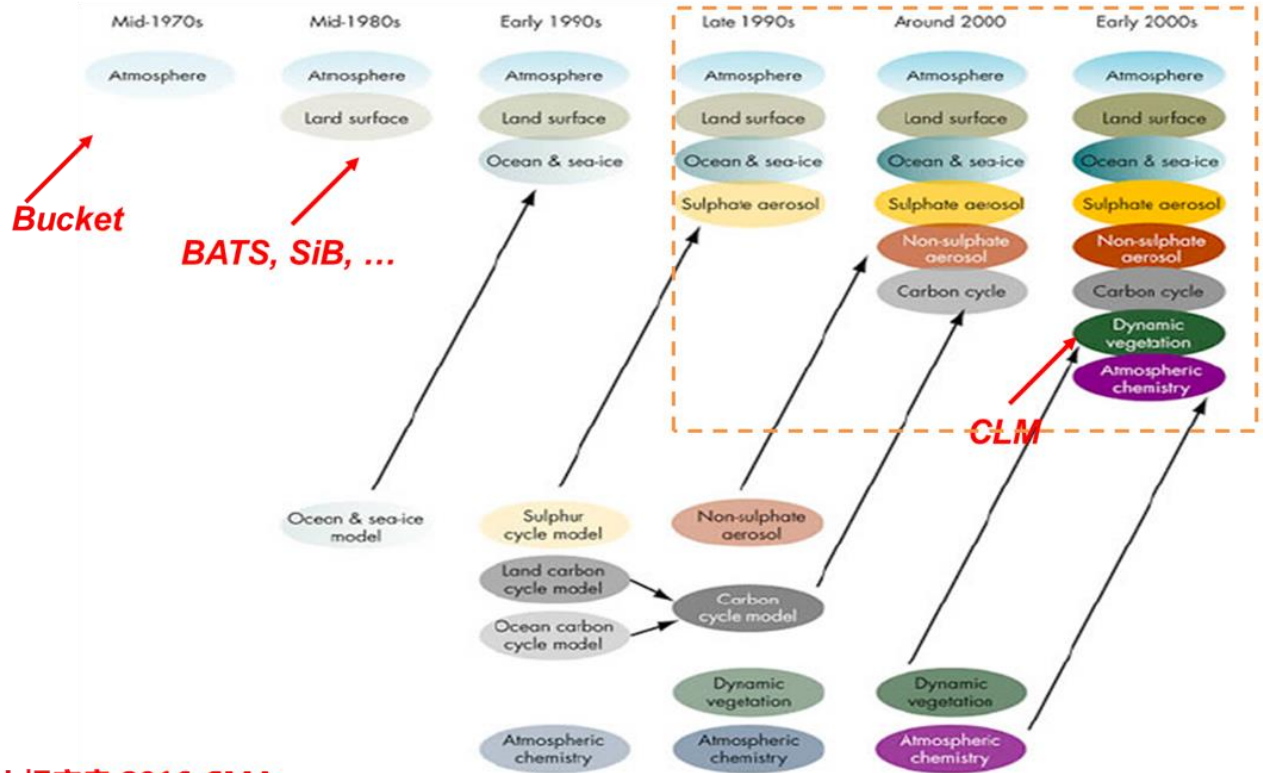
同化产品:

土壤温度;
土壤湿度;
感热通量;
潜热通量;
径流

产品实时评估
与展示

陆面同化子系统-关键技术

迄今为止，陆面模式发展可以分为三个阶段：





陆面同化子系统-关键技术

- ◆ CLM3.5陆面模式
- ◆ Noah陆面模式
- ◆ Noah-MP陆面模式



陆面同化子系统-关键技术

➤ CLM系列 陆面模式发展历程

- CLM: Community Land Model
- 美国国家大气研究中心 (National Center of Atmospheric Research, NCAR) <https://www.cesm.ucar.edu/models/clm/>

CLM不同版本及发展历程:

- 1996, LSM1.0:A Land Surface Model (LSM version 1.0) for ecological, hydrological and Atmospheric studies
- 2002, Community Land Model Version 2.0 (CLM2.0)
- 2003, Community Land Model Version 3.0 (CLM3.0)
- 2007, Community Land Model Version 3.5 (CLM3.5)
- 2010, Community Land Model Version 4.0 (CLM4.0)
- 2014, Community Land Model Version 4.5 (CLM4.5)
- 2018, Community Land Model Version 5.0 (CLM5.0) (正式版本公布时间为2020年8月)





陆面同化子系统-关键技术

➤ CLM3.5 陆面模式

通用陆面模式CLM是NCAR (National Center of Atmospheric Research) 研发的系列模式中的代表成果，是目前国际公认的性能最完善可靠的陆面过程模型之一。由多个科研单位借鉴、吸收了LSM、BATS、IAPS等，不仅重新增添诸如地表径流、植被动力学及生物物理化学过程等陆表过程，同时还涉及到植被、土壤、冻土、湿地和湖泊等参数化过程，其中CLM3.5陆面模式将地表覆盖分为17类，其陆面的空间非均匀性通过嵌套次网格的方法实现。

CLM3.5中土壤分层采用非等间距处理，不同的土壤层厚度不一，界面深度分别为0.018m, 0.045m, 0.091m, 0.17m, 0.29m, 0.49m, 0.83m, 1.38m, 2.30m 和 3.43m。

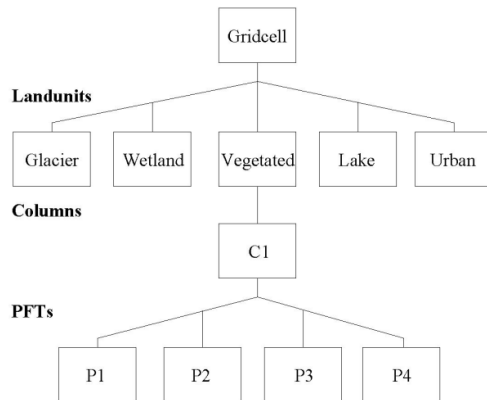




陆面同化子系统-关键技术

➤ CLM—地表覆盖

陆面空间异质性是通过嵌套网格方法实现的，即网格中包含多种陆地个体、雪、土柱和植被功能类型，每个网格有不同数量的陆地个体，每个陆地个体含有不同的网格块，每个网格块也可以有多个植被功能类型。陆地个体作为第一层次网格，是为了描述广义的次网格非均匀性的空间形势的，分冰川、湖泊、湿地、城市及植被。第二级网格是用来描述每一个独立的陆地个体上，土壤和雪的状态变量可能发生的变化。例如，植被陆地个体可以包含多个土块，每个块具有独立的土壤水分和温度的垂直剖面。土壤块代表十层土壤，而雪块可根据积雪的最大深度分为五层。第三层次网格是植被功能型层，但也包括了对裸地的处理。该层目的在于描述多种植被类型的生物化学和生物化学差异，并具有植被的功能特征。



模型中植被类型序号	所对应植被功能类型
0	裸土
1	温带常绿针叶林
2	寒带常绿针叶林
3	寒带落叶针叶林
4	热带常绿阔叶林
5	温带常绿阔叶林
6	热带落叶阔叶林
7	温带落叶阔叶林
8	寒带落叶阔叶林
9	温带常绿阔叶灌木
10	温带落叶阔叶灌木
11	寒带落叶阔叶灌木
12	极地C3草
13	非极地C3草
14	C4草





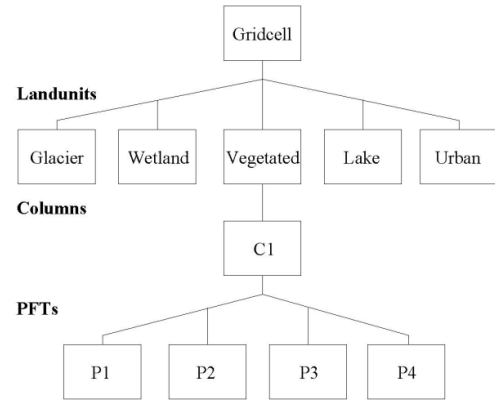
陆面同化子系统-关键技术

➤ CLM—地表覆盖

每个土地网格所需的土地信息，包括每个栅格中的冰川、湖泊和城市部分（其余都是植被）；植被部分中比例最大的四种 PFT 的覆盖率植被功能型，每种PFT 的叶面积和茎面积指数以及冠层的高层高度和底层高度。CLM3.5陆面过程模式中还没有城市的参数化方案，因此城市所占比例设为零。

陆面模式中湿土壤和干土壤的反照率由土壤颜色决定。砂粒和粘粒的百分含量决定土壤的热力参数和水力参数。每个 PFT 的百分比是基于植被块网格中的一部分，各部分总和是 100%。湖泊、湿地、冰川和城市的比例属于网格。每个纬度包含的经向点数，网格的经纬度，地形条件（1 表示陆地，其他用 0 表示），以及每一栅格中的陆地比例（0 - 1）也需要给出。对规则网格点来说，每个纬度的经向点数是相同的。太阳天顶角由经纬度决定。

土壤颜色采用 Zeng 等制作的数据，该资料是在 Dickinson 等[83]在卫星资料的基础上发展得到的。湖泊和湿地比例是源自 Cogley 的 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ 的常年淡水湖泊和沼泽地资料。冰川数据来自于 IGBP 资料及全球信息系统中的 1km 陆表覆盖资料库。植被功能类型及其百分比含量和叶面积指数是根据 Bonan 等对 1km 卫星遥感资料反演得到。茎面积指数及冠层高层和低层高度用的是 Bonan 等的资料。

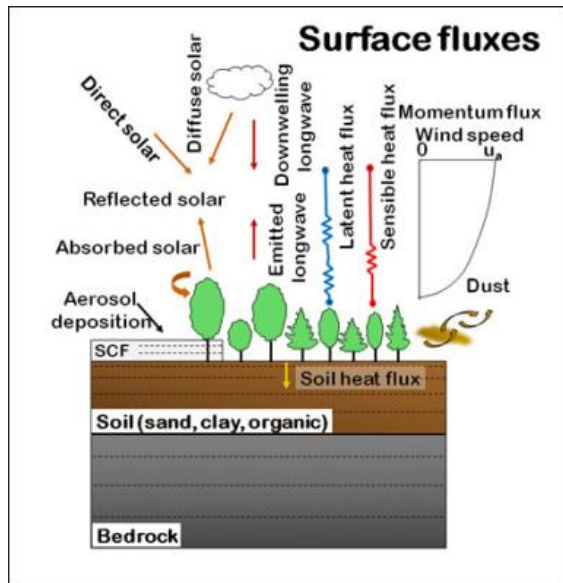




陆面同化子系统-关键技术

➤ CLM—生物地球物理过程

该过程主要描述大气中能量、物质和动量的即时交换，着重考虑了土壤物理过程，地表和冠层物质交换过程，微气象过程和辐射传输等方面。

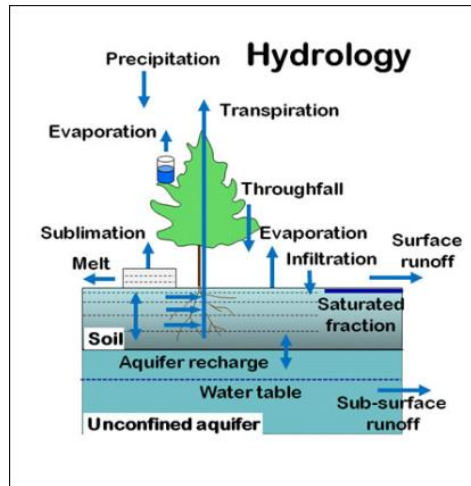




陆面同化子系统-关键技术

➤ CLM—水文循环过程

陆地表面的水文循环过程包括植被叶面截留的雨水、透过冠层降落的雨水及茎流、径流、渗透、土壤水和雪等。水的循环过程直接与地球物理和生化过程，同时也影响着气温、径流和降水。总径流（表层和次表层所排出水分）通过径流模式最终汇流到海洋（目前我们没有加上汇流，只有产流）。

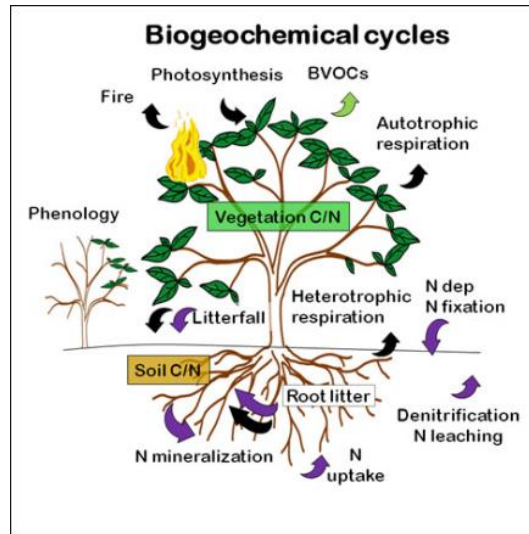




陆面同化子系统-关键技术

➤ CLM—生物地球化学过程

该过程描述近地表大气化学成分的即时循环和交换过程，包括土壤中碳、氮元素与植物的交换、生物挥发性有机化合物、沙尘等。

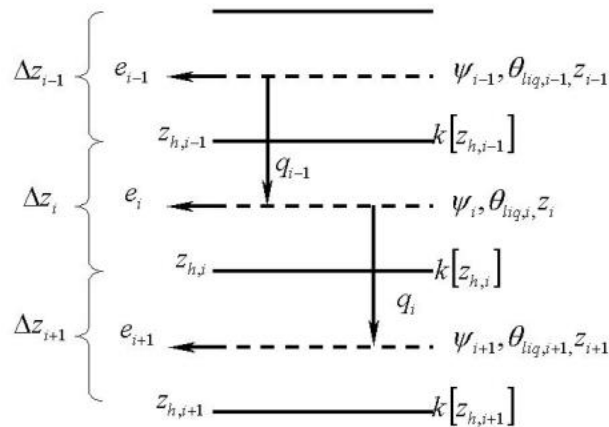




陆面同化子系统-关键技术

➤ CLM—土壤湿度

CLM3.5 中土壤分层采用非等间距处理，不同的土壤层厚度不一，节点深度分别为0.007、0.027、0.062、0.118、0.212、0.366、0.619、1.038、1.727和2.864，单位为m。图2.7示例了*i-1*，*i*，*i+1*三个土壤层，在土层节点 Z_i 处， ψ 表示土壤基质势， θ_{liq} 表示土壤体积含水量， $k[zh]$ 定义在二层土壤的界面的水力传导率。土壤水通量 q_{i-1} 和 q_i 定义为向上为正。





陆面同化子系统-关键技术

➤ CLM—土壤湿度

在陆面模型中，土壤水分在垂直方向上的传输受下渗、地表径流和地下径流、梯度扩散、重力和植物蒸散发引起的根部吸水等因素的影响。用质量守恒公式表示土壤中的垂向水分输送。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} - e$$

这里 θ 表示土壤体积含水量（单位： m^3/m^3 ）， t 代表的是时间（s），而 Z 代表的是土壤柱高度（m）（规定向上为正）， q 代表的是土壤水通量（单位： $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ）（向上为正），而 e 表示土壤水汇源项在单位时间（每秒）的蒸散损失。这个质量守恒方程通过把土壤柱体在垂向上分为十层，并且将每层以入渗到最顶层土壤的通量以及土壤柱底部的重力排水（这里指水力传导率 k ）做为边界条件向下进行积分来求解数值。该质量守恒方程通过将土壤柱垂直划分为十层，并将各层的流量与土层的底部排水量和土壤柱的重力排水量（水力传导系数 k ）相联系，采用向下积分法求解边界条件来求解数值。



陆面同化子系统-关键技术

➤ CLM—土壤温度

CLM 中土壤温度的计算采用了土壤热传导方程，热传导第一定律如下公式所示。

$$F = -\lambda \nabla T$$

式中：F为单位时间内通过单位横截面的热传导， λ 热导率， ∇T 温度空间梯度，热传导第一定律一维形式如下所示

$$F_z = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}$$

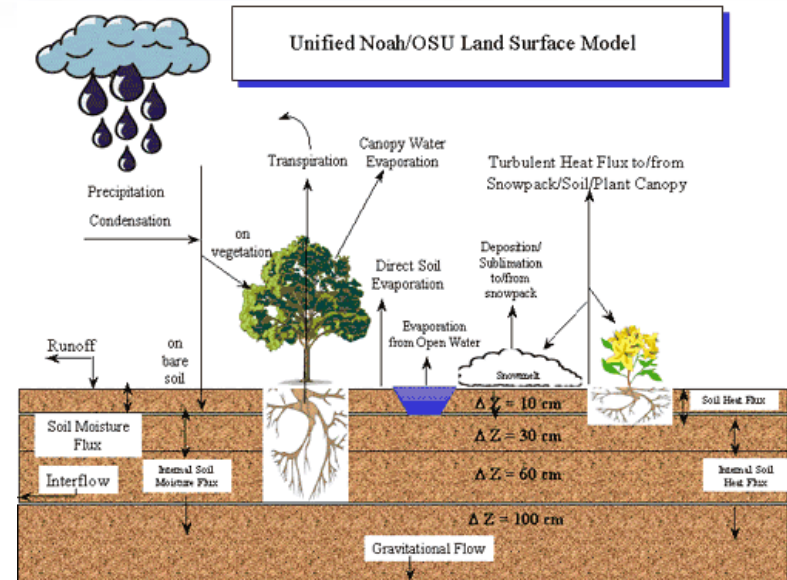
式中： z 为垂直方向深度（m），以向下为正， F_z 以向上为正。

CLM 模式中便是利用该方程来计算土壤层和雪层的温度。在垂直方向是共有十层土壤层和最多五层雪盖。计算温度剖面时起初没有考虑相变，然后重新调整了相变。

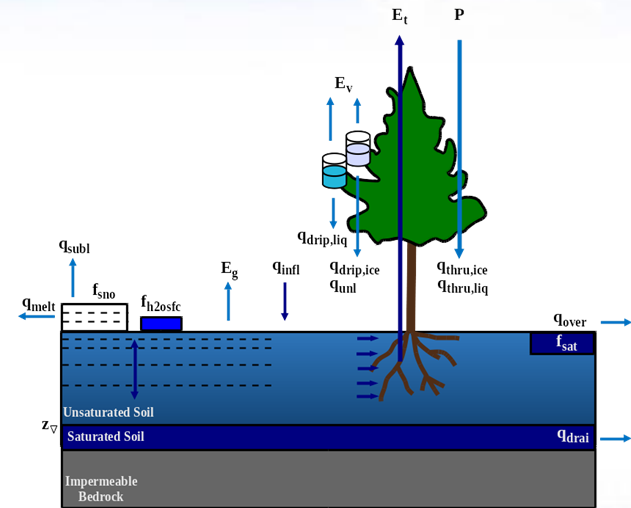


陆面同化子系统-关键技术

Noah 陆面模式由 OSU-LSM(Oregon State University/Land Surface Model) 发展而来，2000 年正式定名为Noah。其相对比较复杂，其中土壤湿度的计算采用 Richard 方程，考虑了4层土壤，深度分别是 0.1m、0.4m、1.0m和2.0m。其中总共土壤层的厚度为2m，上面1m为根，则下面1m相当于一个蓄水池。Noah陆面模式经过多年不断完善，已经被广泛用于陆面过程的综合模拟。



Noah 陆面模式包括了土壤热力和水汽传导两个方程，分别采用常用的热扩散方程和Richards方程计算土壤温度和土壤含水量。利用雷诺数方法确定热量粗糙度与动量粗糙度两者的比率。冠层阻抗的计算考虑了土壤的有效水分和大气条件（即Jarvis方案），而且Noah模式还加入了地表径流方案。



地表水平衡方程:

大气总降水=陆表蒸发 + 总径流+土壤水变化+地下水变化+雪水变化

$$P = E + R + \Delta SW + \Delta GW + \Delta SW$$



陆面同化子系统-关键技术

Noah-MP 陆面模式 (The Community Noah Land Surface Model with Multi-Parameterization Options)是在Noah陆面模式基础上进一步发展起来的，相比Noah模式，Noah-MP将模式中植被与地表分开，对模式整体框架进行了调整，改进了植被覆盖区能量平衡、积雪、冻土与渗透、土壤水分-地下水相互作用等(Niu,et al, 2011)。并且该模式针对动态植被、径流、地下水等多个物理过程选项，可以提供上千种的参数化方案的组合，用户可以根据自己的需求进行参数化方案的配置(Yang,et al,2011)。

大气驱动数据	地表参数	输出数据
气温 气压 风 湿度 降水 向下长波辐射 向下短波辐射	土壤类型 (FAO) 植被种类 (UMD) 地表反照率 (NCEP) 植被覆盖度 (UMD) 高程 (GTOPO30) 坡度 (NCEP)	各层土壤水分 各层土壤温度 潜在蒸发、地表径流 植被蒸腾、土壤蒸发 净辐射、地表显热通量 净短波辐射和净长波辐射 土壤热通量 地表反照率



陆面同化子系统-关键技术

➤ Noah和NoahMP之间的不同

在土壤温度方面，Noah模式将土壤表层和植被看成一个整体，通过常用的热扩散方程计算土壤温度，而Noah-MP则是将植被与地表分开，对土壤热传导率的计算去除了土壤热传导率随植被覆盖率指数较小的关系；其次Noah模式将土壤和冠层看成一个整体，当积雪较厚时，大量能量存储在积雪表面，使得积雪融化，地表温度与土壤温度降低，而Noah-MP针对该问题，采用了一个三层积雪物理模型和雪拦截模型，将雪盖分为了三层，来表示积雪中的渗透、滞留和再冻结以及能量传递等过程。



陆面同化子系统-关键技术

➤ NoahMP-土壤湿度

土壤湿度的计算采用 Richard 方程，考虑了4层土壤的厚度，分别是10cm、40cm、60cm和100cm。其中总共土壤层的厚度为200cm，上面100cm为根，则下面100cm相当于一个蓄水池。其土壤容积含水量 θ 的计算方程如下：

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} + F_{\theta}$$

其中D、K分别为土壤水扩散率 (m^2/s) 和导水率 (m/s)，两者均为土壤容积含水量 θ 的函数，z为深度 (m)，t为时间 (s)， F_{θ} 为土壤水的源与汇 (包括降水、蒸发和径流等)，为边界条件。



陆面同化子系统-关键技术

➤ NoahMP-土壤湿度

其中 d_{zi} 是第*i*层土壤的厚度， P_d 为穿过植被冠层后到达地表的降水， E_{dir} 表层土壤的直接蒸发， E_{ti} 为第*i*层植被根区的冠层蒸腾。在第四层上，对于水的扩散率假定为0，因此土壤水通量仅仅是由重力渗透项 K_{z4} ， R 代表的是地表径流，是没有渗透到土壤中去降水。

$$d_{z1} \frac{\partial \theta_1}{\partial t} = -D \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)_{z1} - K_{z1} + P_d - R - E_{dir} - E_{t1}$$

$$d_{z2} \frac{\partial \theta_2}{\partial t} = D \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)_{z1} - D \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)_{z2} + K_{z1} - K_{z2} - E_{t2}$$

$$d_{z3} \frac{\partial \theta_3}{\partial t} = D \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)_{z2} - D \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)_{z3} + K_{z2} - K_{z3} - E_{t3}$$

$$d_{z4} \frac{\partial \theta_4}{\partial t} = D \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)_{z3} + K_{z3} - K_{z4}$$





陆面同化子系统-关键技术

➤ NoahMP-参数化方案

模式针对动态植被、径流、地下水等多个物理过程选项，可以提供上千种的参数化方案的组合，用户可以根据自己的需求进行参数化方案的配置。

<p>(1) 动态植被</p> <ul style="list-style-type: none">• 利用动态叶片模型计算LAI和GVF• LAI和GVF月平均气候值 <p>(2) 冠层气孔阻力</p> <ul style="list-style-type: none">• Ball-Berry方法 (Ball et al., 1987; Collatz et al., 1992; Sellers et al., 1996; Bonan, 1996)• Jarvis方法(Jarvis, 1976) <p>(3) 土壤湿度对气孔阻力的影响</p> <ul style="list-style-type: none">• Noah方法• CLM方法(Oleson et al., 2004)• SSIb方法(Xue et al., 1991) <p>(4) 径流和地下水</p> <ul style="list-style-type: none">• TOPMODEL + groundwater (Niu et al. 2007)• TOPMODEL + water table (Niu et al. 2005)• Noah (Schaake et al., 1996)• BATS (Yang and Dickinson, 1996) <p>(5) 地表拖曳系数</p> <ul style="list-style-type: none">• Noah version 3.0 (Chen et al., 1997)• Monin-Obukhov (Brutsaert, 1982) <p>(6) 冻土过冷水</p> <ul style="list-style-type: none">• 冰点计算公式 (Niu and Yang, 2006)• 考虑冰对界面的影响 (Koren et al., 1999)	<p>(7) 冻土渗透率</p> <ul style="list-style-type: none">• 考虑所有水分 (Niu and Yang, 2006)• 仅考虑过冷水(Koren et al., 1999) <p>(8) 辐射传输</p> <ul style="list-style-type: none">• 考虑太阳高度角和植被3D结构(Yang and Friedl, 2003; Niu and Yang, 2004)• 整个网格上二流近似• 考虑植被覆盖度 <p>(9) 积雪反照率</p> <ul style="list-style-type: none">• BATS (Yang et al., 1997) VIS IR• CLASS (Verseghy, 1991) Age估算较准确 <p>(10) 降水雨雪分配</p> <ul style="list-style-type: none">• Jordan, 1991• BATS $T_{surf} < T_{frz} + 2.2$• $T_{surf} < T_{frz}$ <p>(11) 土壤温度下边界条件</p> <ul style="list-style-type: none">• 底部土壤热通量为0• Noah方法 <p>(12) 表层雪温/土壤温度时间方案</p> <ul style="list-style-type: none">• 半隐式• 全隐式 (Noah方法)
---	---





陆面同化子系统-关键技术

➤ NoahMP-不同参数化方案组合下对地表温度的模拟效果

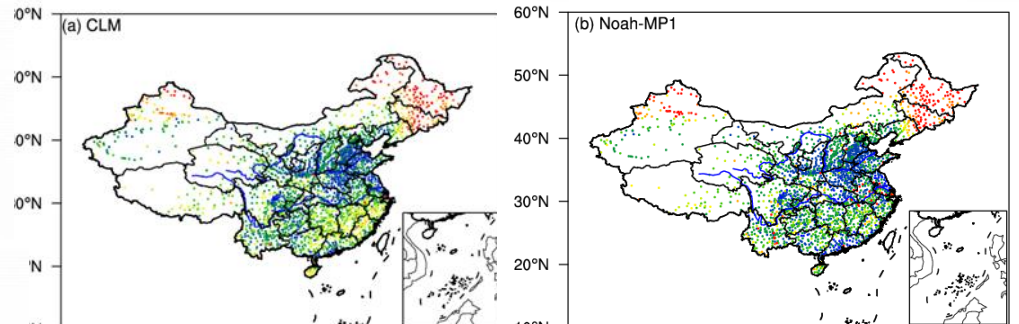
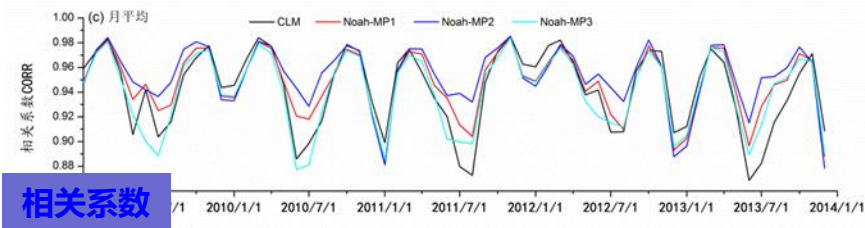
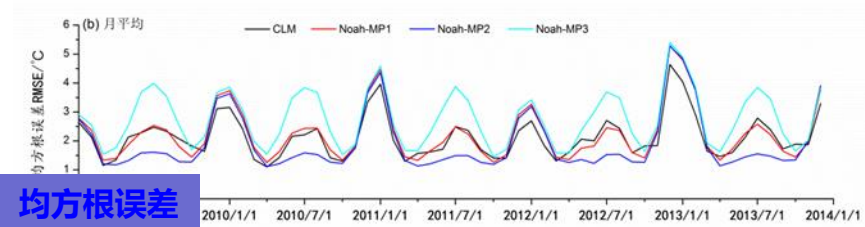
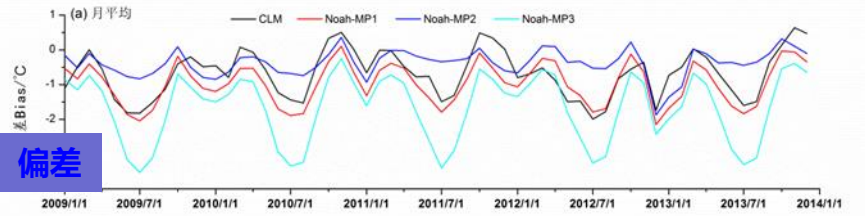
从是否考虑动态植被，以及两种不同的辐射传输方案进行Noah-MP参数化方案的配置：Noah-MP动态植被方案分为非动态植被与动态植被方案，非动态植被方案中选取其中静态的LAI与最大植被覆盖度，即叶面积指数LAI和茎指数SAI不随季节的变化而变化，动态植被方案中的叶面积指数和茎指数随时间变化而变化的，具体变化过程如下图1所示，植被覆盖度的变化是根据叶面积指数LAI和茎指数SAI一起变化，如公式1所示,其中FVEG为植被覆盖度；辐射传输方案选取了其中两套方案，其一是默认方案中考虑太阳高度角和植被3D结构的二流近似辐射传输方案，其二是考虑植被覆盖度的二流近似辐射传输方案。具体参数化方案的配置如表1所示，其中Noah-MP3为Noah-MP默认方案。在三种方案中其他物理过程选择Noah-MP默认方案。

模式(MODEL)	动态植被方案的配置(The Configuration of Dynamic Vegetation)	二流近似辐射传输方案的配置(The Configuration of Two-stream Radiative Transfer)
Noah-MP1	非动态植被	考虑植被覆盖度
Noah-MP2	动态植被	考虑太阳高度角和植被 3D 结构
Noah-MP3	非动态植被	考虑太阳高度角和植被 3D 结构

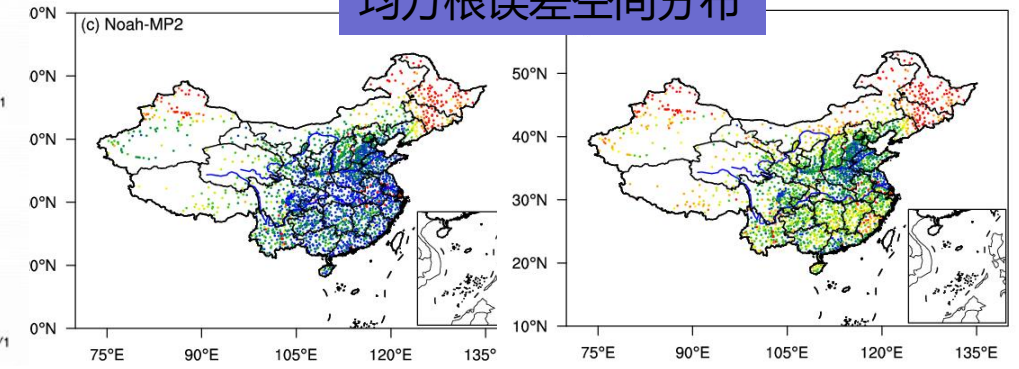


陆面同化子系统-关键技术

➤ NoahMP-不同参数化方案组合下对地表温度的模拟效果



均方根误差空间分布



多陆面模式集合模拟技术实现

关键过程

- ① 陆面模式静态参数优化
- ② 陆面模式初始条件优化
- ③ 多陆面模式模拟
- ④ 多模式集合分析

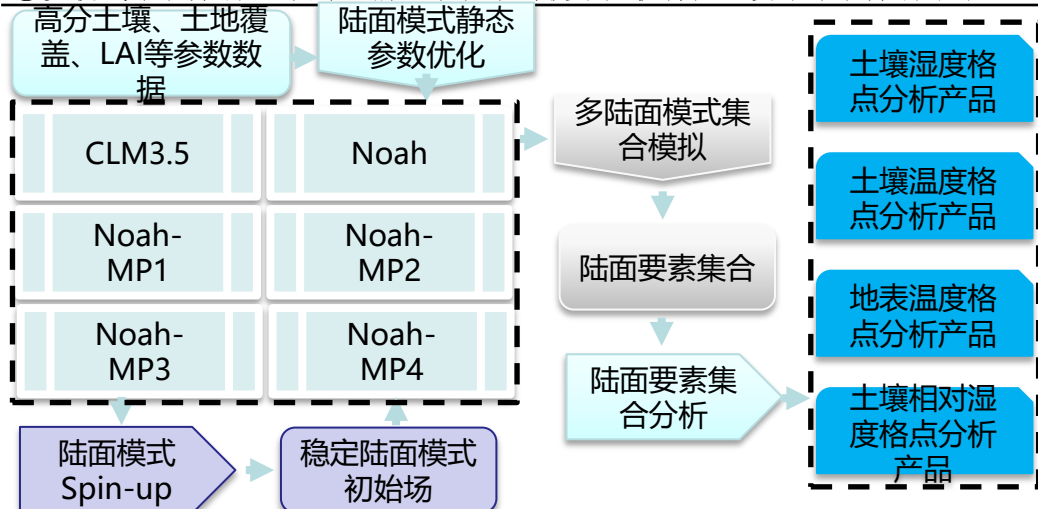
数据与方法

应用北师大30弧度土壤参数数据、寒旱所1km土地覆盖分类、北师大1km LAI数据，替换模式原始参数。

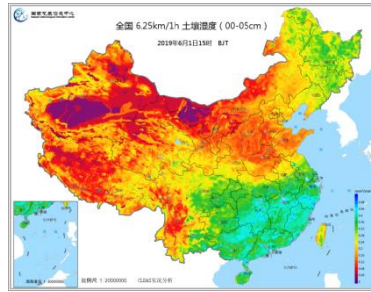
应用多年历史陆面驱动数据运行陆面模式（CLM3.5、CoLM、Noah-MP）spin-up，最终获得稳定的陆面模式初始场。

应用陆面驱动数据，分别驱动6个参数化方案的陆面过程模拟，输出6组模拟结果。

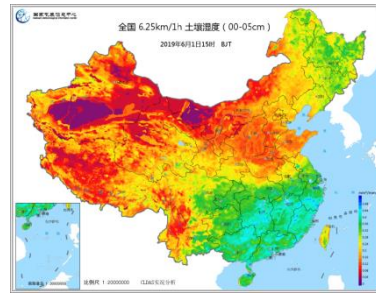
采用去偏差集合平均技术，获得陆面要素集合分析结果。



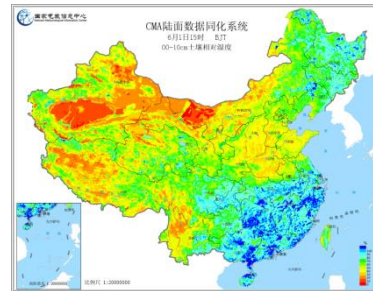
土壤湿度



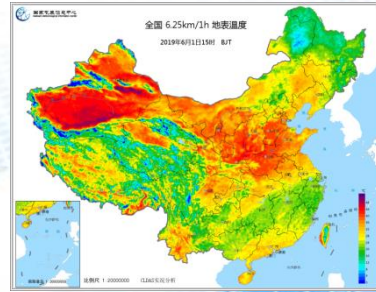
土壤温度



土壤相对湿度



地表温度





陆面同化子系统-关键技术

总体技术路线：关键技术(质控、反演、融合、模式、同化、评估)

智能网格预报实况格点分析数据

驱动数据: 气温、气压、湿度、
风速、降水、辐射

观测数据:

地面观测; 卫
星辐射亮温;
卫星反演产品

同化产品:

土壤温度;
土壤湿度;
感热通量;
潜热通量;
径流

③
同化模块

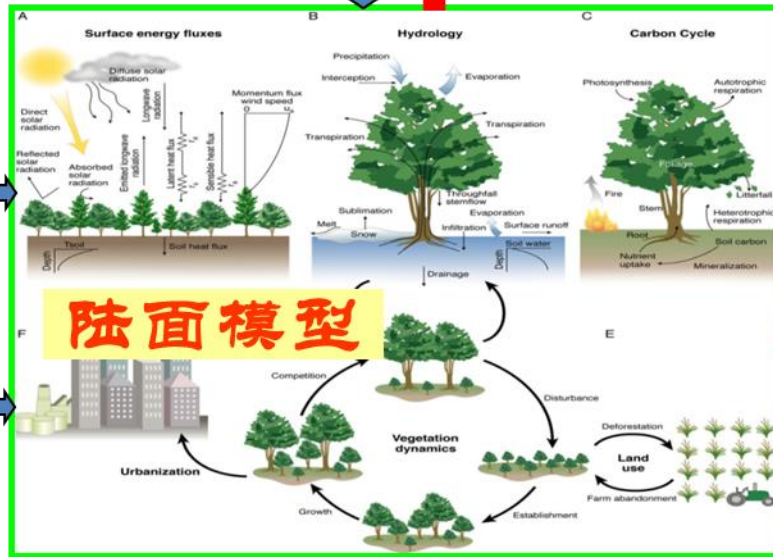
模式产品:

土壤温度; 土
壤湿度; 感热
通量; 潜热通
量; 径流

产品实时评估
与展示

Spin-up:
(得到稳定初始场)

地表输入参数:
植被、土壤等



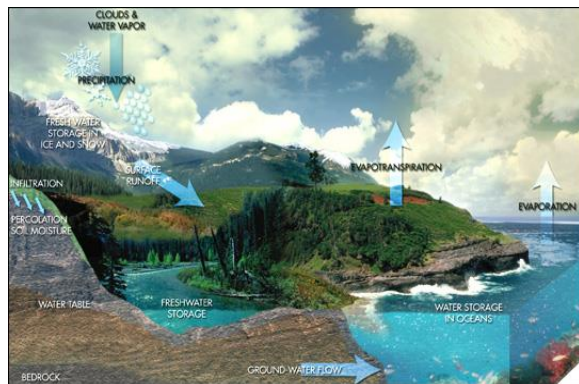
为什么要做陆面同化?

站点观测: 观测的优势在于能得到所测量对象在观测时刻和所代表的空间上的“真值”,但站点观测稀疏;

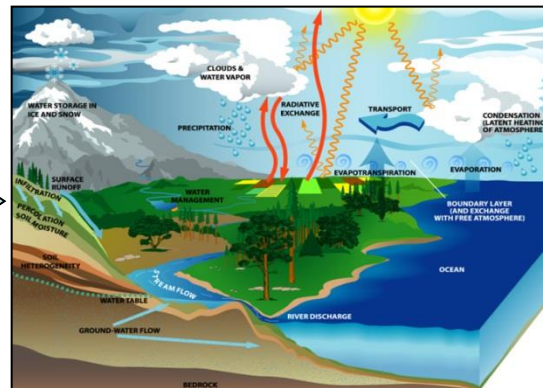
卫星遥感: 弥补站点观测数量的不足,但只能获得**表层**的土壤湿度信息。

陆面过程模拟: 给出**时空连续、深层**的土壤湿度,但陆地表面**较为复杂**,影响陆面过程的**因素太多**,成为了陆面过程研究的**难点**。

现实情况:



现实抽象:

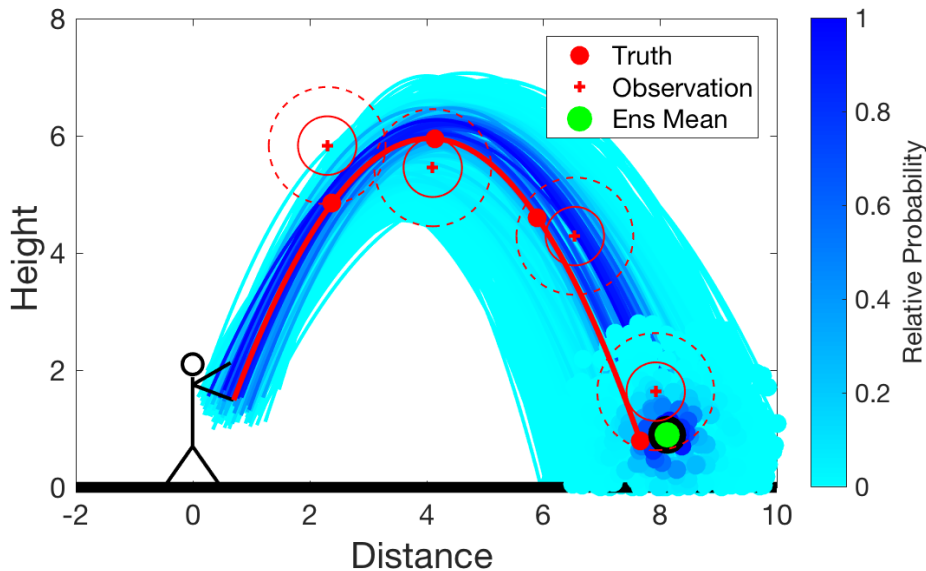




陆面同化子系统-关键技术

陆面同化优势

陆面数据同化的研究主要是利用观测或遥感数据来调整陆面模式的运行轨迹，使模式积累的误差得到“释放”。





陆面同化子系统-关键技术

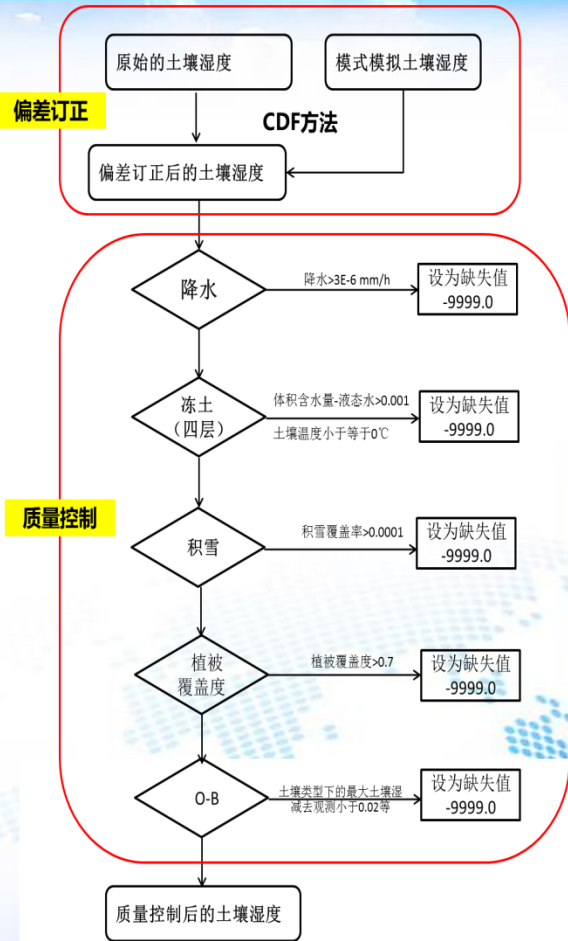
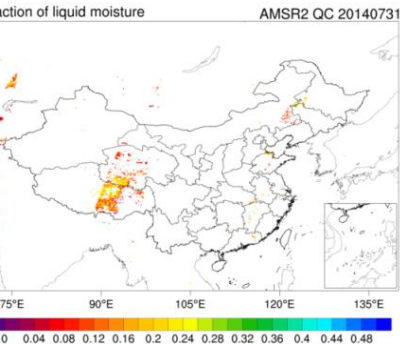
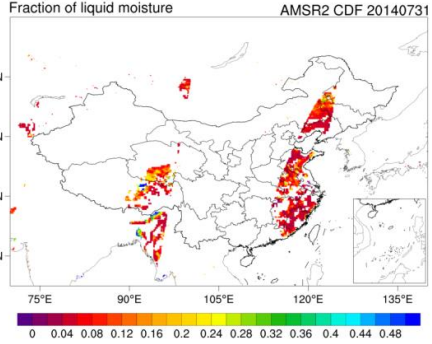
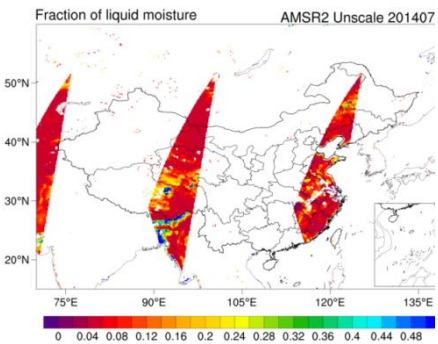
土壤湿度产品的偏差订正与质量控制

陆面同化最关键的因素之一就是同化数据源的质量，因此对于土壤湿度遥感反演产品的偏差订正与质量控制至关重要。因此根据土壤湿度遥感反演产品的特性进行偏差订正与质量控制

原始土壤湿度

偏差订正后的土壤湿度

质控后的土壤湿度

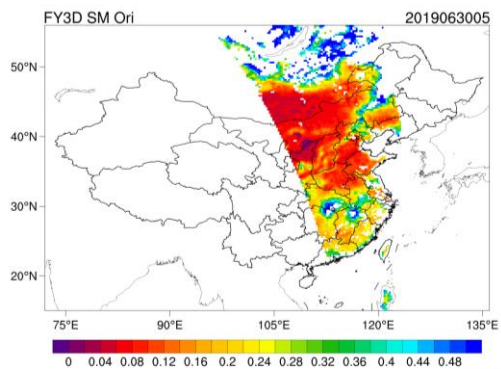
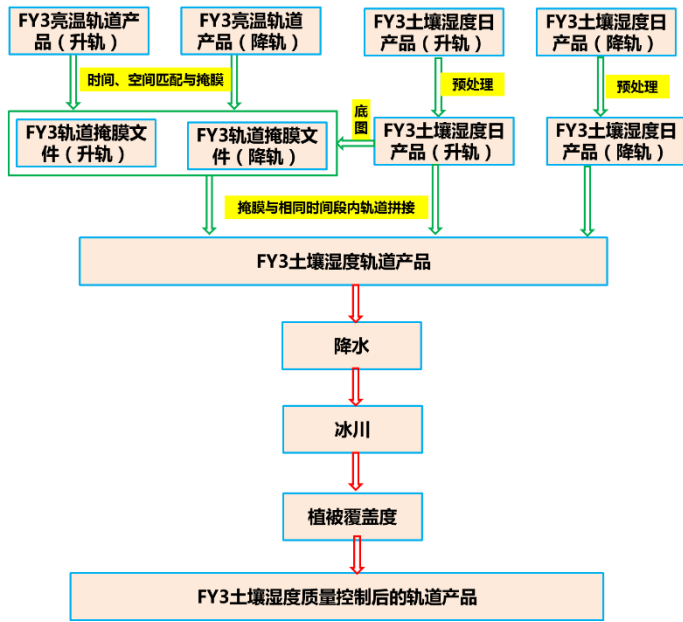




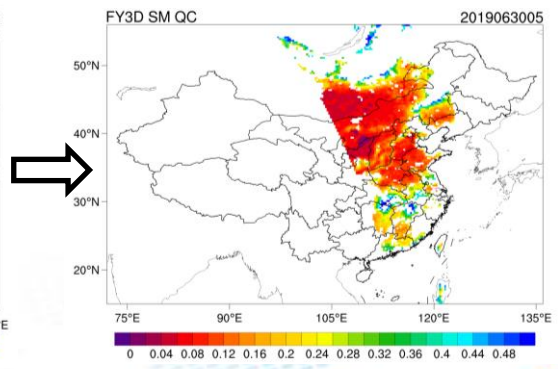
陆面同化子系统-关键技术

土壤湿度产品的质量控制

根据微波遥感对下垫面的敏感性，对降水、冰川、植被覆盖度进行质量控制。



时间匹配后轨道数据



质控后的轨道数据



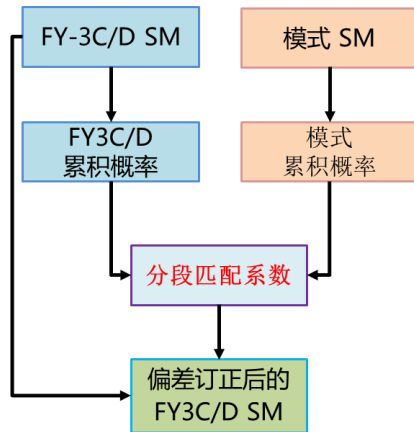


陆面同化子系统-关键技术

土壤湿度产品的偏差订正

累积概率分布函数**CDF**匹配方法一般用于校正数据集的偏差。通过CDF匹配技术，将**遥感反演**的土壤湿度数据可以**匹配到模式模拟**的土壤湿度上，使两套数据具有**相同的取值范围和累积概率分布状况**，**减少**两者之间的**整体性偏差**。

$$cdf_m(x') = cdf_s(x)$$

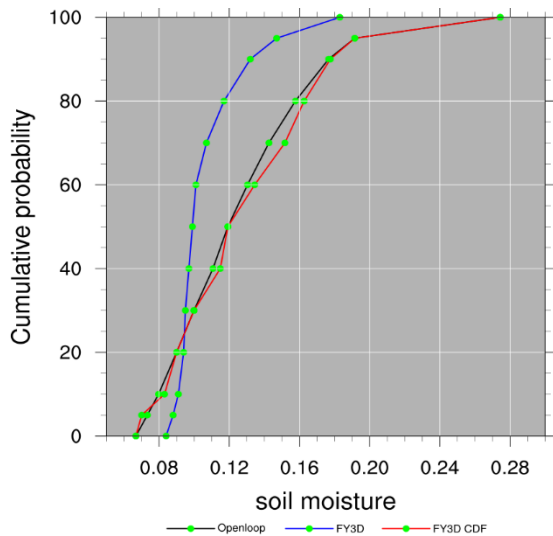




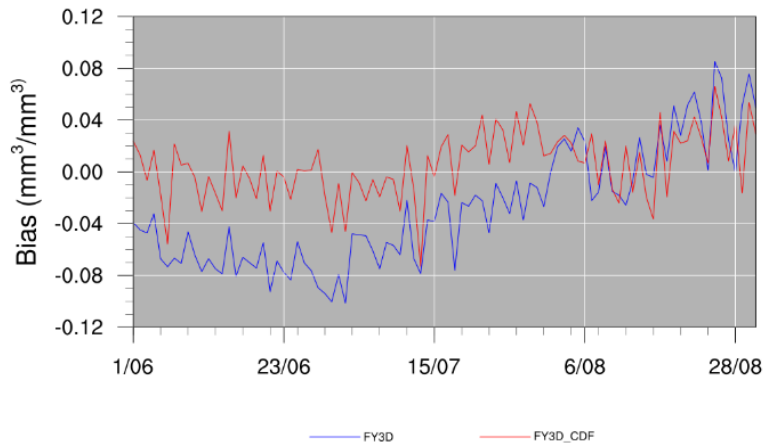
陆面同化子系统-关键技术

土壤湿度产品的偏差订正

基于累积概率分布函数CDF的土壤湿度遥感反演产品与模式模拟产品的偏差订正效果。可以看出CDF订正后的土壤湿度反演产品的偏差明显降低。



张掖站



中国区域偏差订正前后FY3D土壤湿度的偏差



陆面同化子系统-关键技术

➤ 土壤湿度同化—同化方法

集合卡尔曼滤波EnKF以贝叶斯理论为框架，使用蒙特卡罗方法的思想，用符合高斯分布的一组随机变量（设数目为N）去代表随机动态预报中的概率密度函数，通过向前积分，计算下一时刻状态总体的概率密度函数，并得到该时刻的统计特性（如均值与协方差）。其包括了**预测和更新**两个步骤：预测是通过**扰动**或者其他方法产生一个大小为N的**初始场集合**；如果在 t_{i+1} 时刻**有观测值**，则利用观测值对每个集合的状态进行**更新**。

EnKF优点：

- (1) 其**连续同化**结构**便于同化**实时的**遥感观测数据**；
- (2) 能够很好地**给出**同化后的**精确度**的信息；
- (3) 能够计算模式大尺度模拟时可能发生**误差均值**，EnKF由集合尺度控制，均值时**解决**此问题的最好方法。



陆面同化子系统-关键技术

土壤湿度同化—同化方法

$$X^a = X^b + K(Y - HX^b)$$

$$K = BH^T(HBH^T + R)^{-1}$$

$$B = \frac{X'_b \times X'_b{}^T}{N - 1}$$

$$X'_b = [X'_1, X'_2, X'_3, X'_4, \dots, X'_n]$$

$$X'_i = X_i - \sum_{i=1, n} X_i/n$$

局地化技术采用五阶分段有理公式来构建局地化矩阵，根据影响半径d设置不同权重。具体如下：

$$C(i, j) = C_0\left(\frac{d_{i,j}}{d}\right)$$

$$C_0(l) = \begin{cases} -\frac{1}{4}l^5 + \frac{1}{2}l^4 + \frac{5}{8}l^3 - \frac{5}{3}l^2 + 1 & 0 \leq l \leq 1 \\ \frac{1}{12}l^5 - \frac{1}{2}l^4 + \frac{5}{8}l^3 + \frac{5}{3}l^2 - 5l + 4 - \frac{2}{3}l^{-1} & 1 < l \leq 2 \\ 0 & 2 < l \end{cases}$$

$$K = K \times C_0(l)$$

其中 X^a 是分析场， X^b 是背景场， Y 是观测场， H 为观测算子， B 为背景误差协方差矩阵， R 为观测误差协方差。其

中 d 为影响半径， $d_{i,j}$ 为两个点之间的距离， $l = \frac{d_{i,j}}{d}$

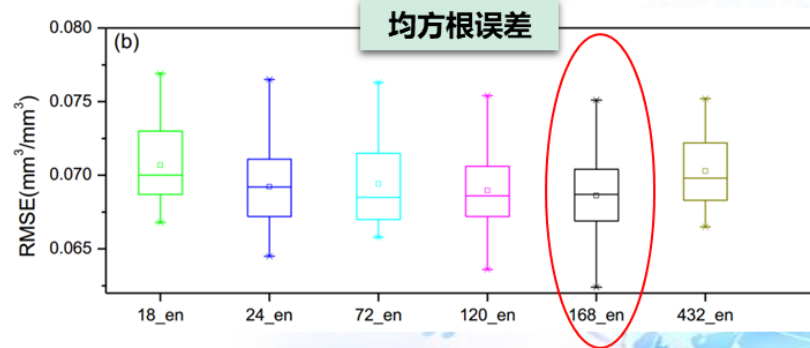
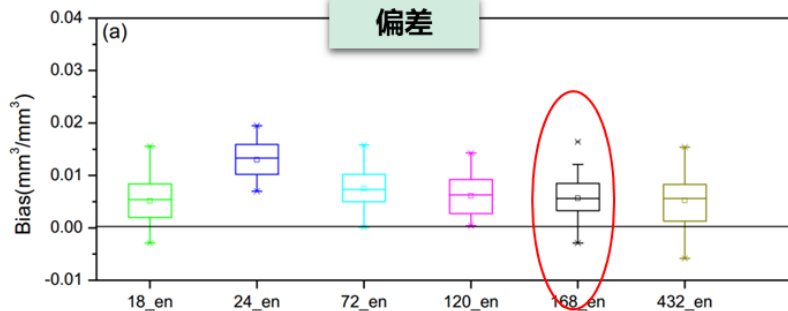


陆面同化子系统-关键技术

土壤湿度同化—同化方法

集合样本的选择

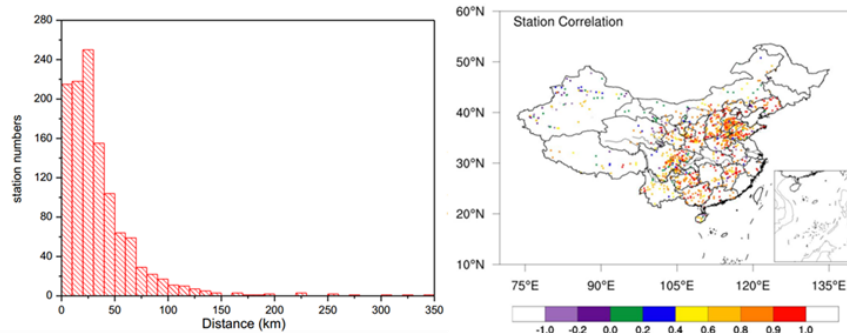
- 1 前7天小时样本 (168个集合)
- 2 前5天小时样本 (120个集合)
- 3 前3天小时样本 (72个集合)
- 4 前1天小时样本 (24个集合)
- 5 1998-2015年历史当天小时样本 (432个集合)
- 6 1998-2015年历史当前时刻 (18个集合)



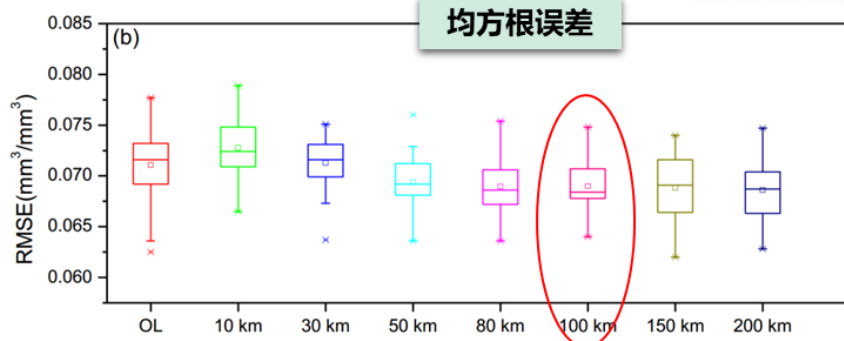
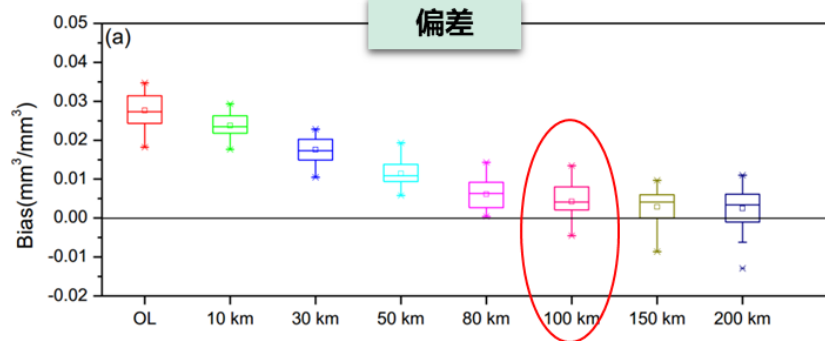


陆面同化子系统-关键技术

土壤湿度同化—同化方法



土壤湿度最邻近站的距离统计及与最邻近相关系数

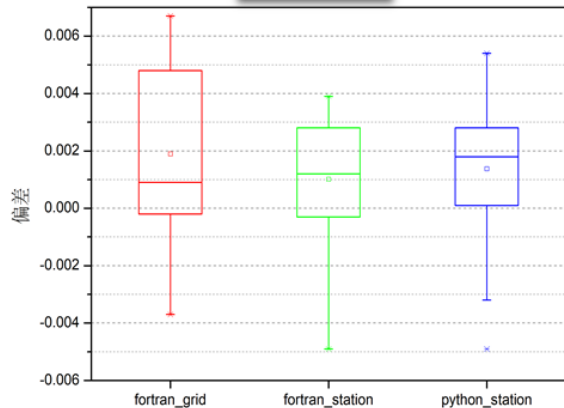


土壤湿度同化—同化方法

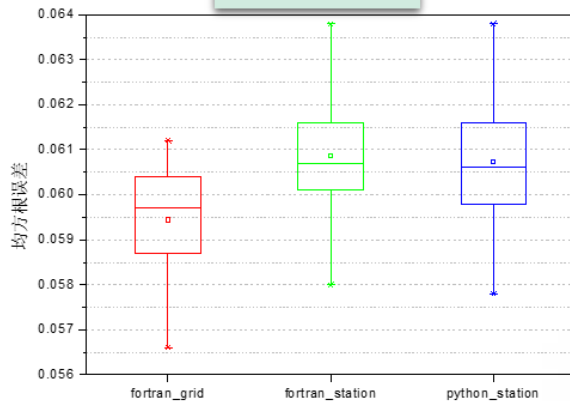
观测算子的选择

试验一	Fortran版double类型	站点所在的格子上
试验二	Fortran版double类型	站点最邻近的格子
试验三	Python版float类型	站点最邻近的格子

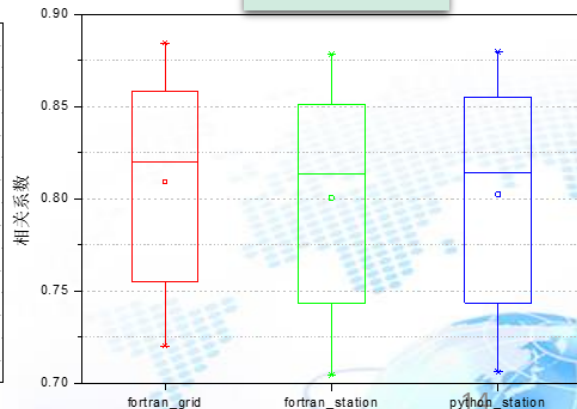
偏差



均方根误差

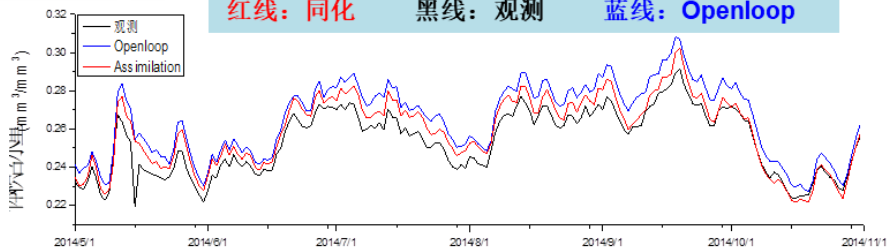


相关系数

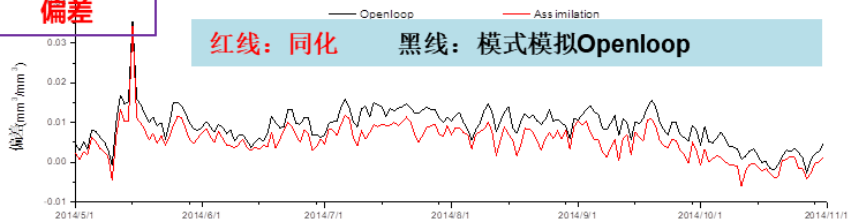


同化效果

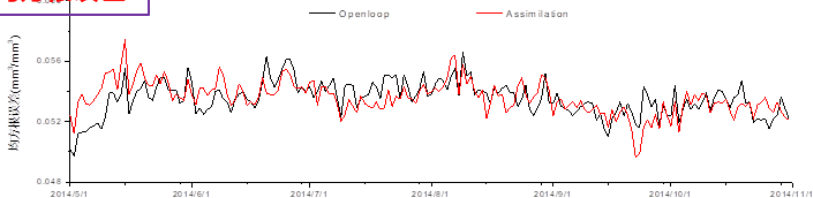
时间序列



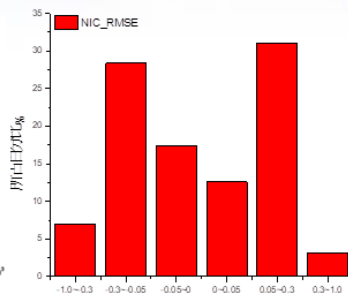
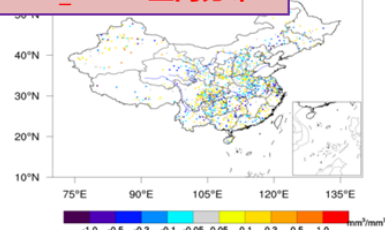
偏差



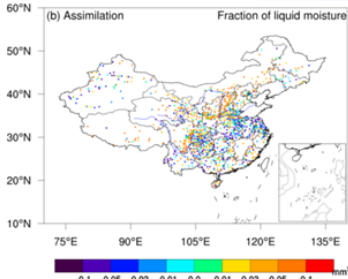
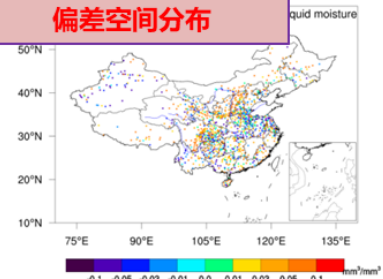
均方根误差



NIC_RMSE空间分布



偏差空间分布



青藏高原	偏差	均方根误差	相关系数
Openloop	0.0253	0.0588	0.7857
Assimilation	0.0315	0.0629	0.6798



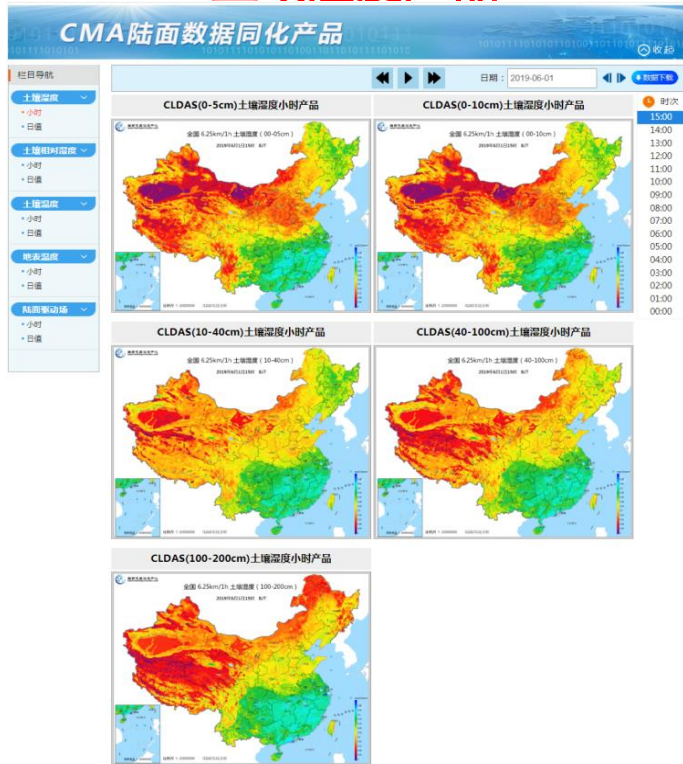
提 纲

- 一、子系统概况
- 二、子系统关键技术
- 三、子系统数据集**
- 四、子系统操作介绍

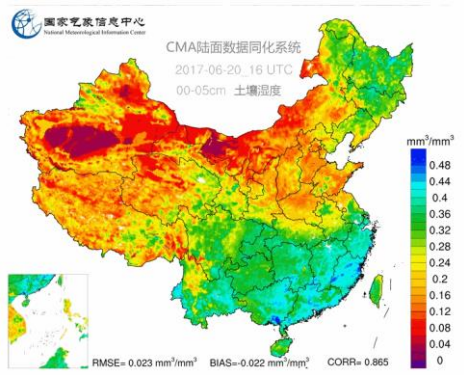


数据集展示

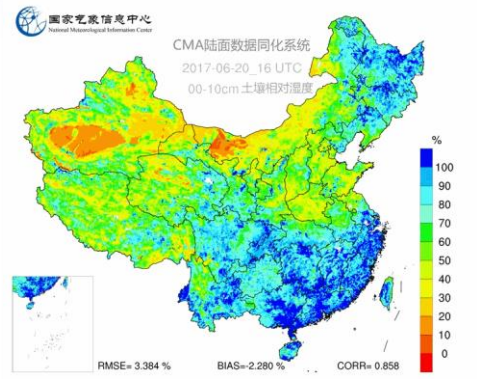
土壤湿度产品



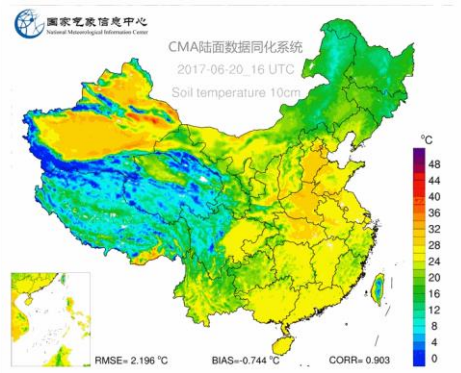
0-5cm土壤湿度时空变化



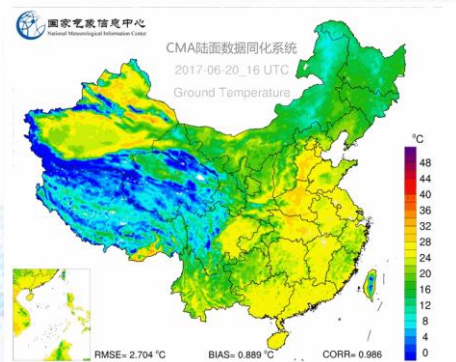
0-10cm土壤相对湿度时空变化



10cm土壤温度时空变化

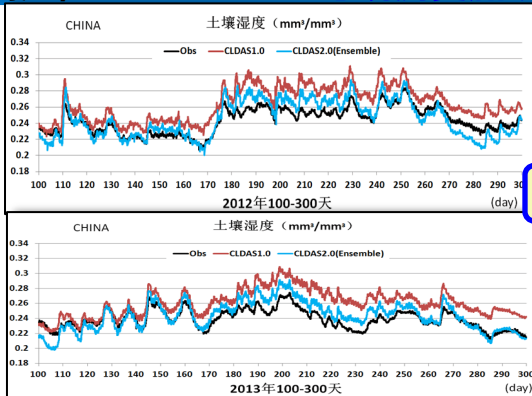


地表温度时空变化

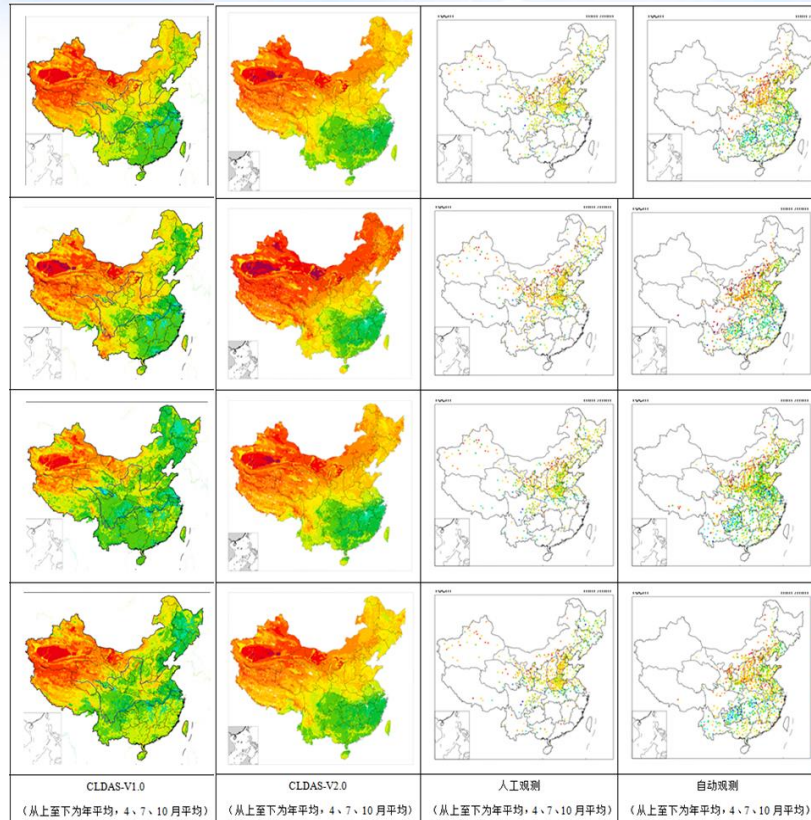


土壤湿度结果评估

- ① 从西北到东南呈现出由干旱向湿润逐渐变化的梯度趋势，与观测一致；新疆地区（塔里木盆地）、内蒙古西部、河套地区等为干值中心。
- ② 夏秋季节的辽宁、山东等东北和华北地区，CLDAS-V2.0比CLDAS-V1.0偏干，观测值介于二者之间。
- ③ 内蒙地区（尤其内蒙东部），CLDAS-V1.0比观测明显偏湿，CLDAS-V2.0与观测更加吻合。



偏差明显改进



CLDAS-V2.0土壤湿度产品与地面观测土壤湿度的比较 (0-10cm)

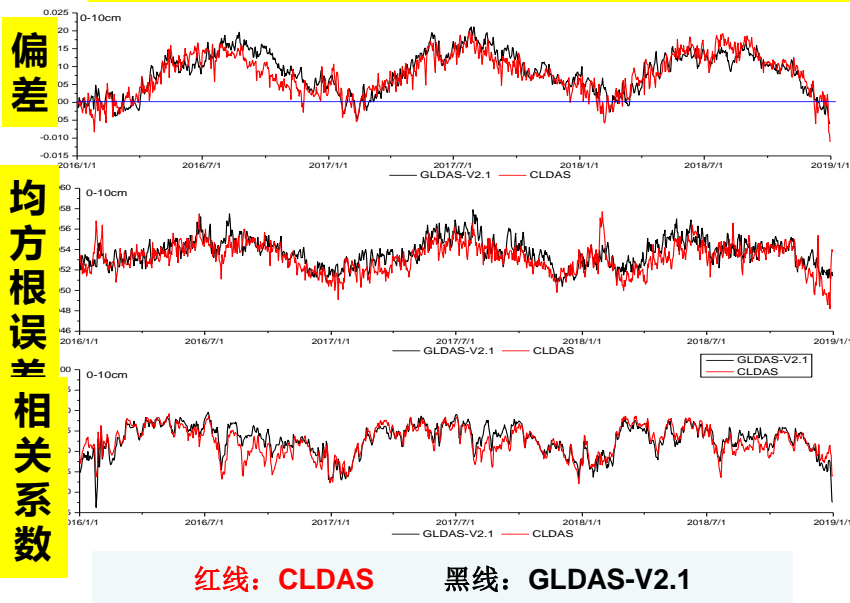


陆面同化子系统-数据集

与国际同类产品

使用中国气象局土壤湿度观测进行评估CLDAS_Noah土壤湿度，并与GLDAS_Noah进行土壤湿度对比。

2016-2018年土壤湿度误差时间序列图 (00-10cm)



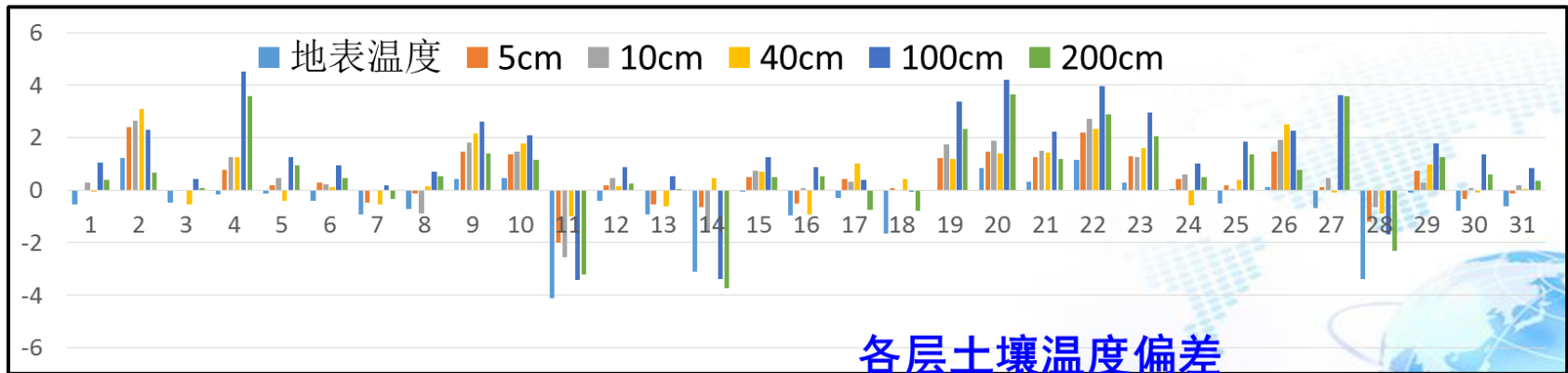
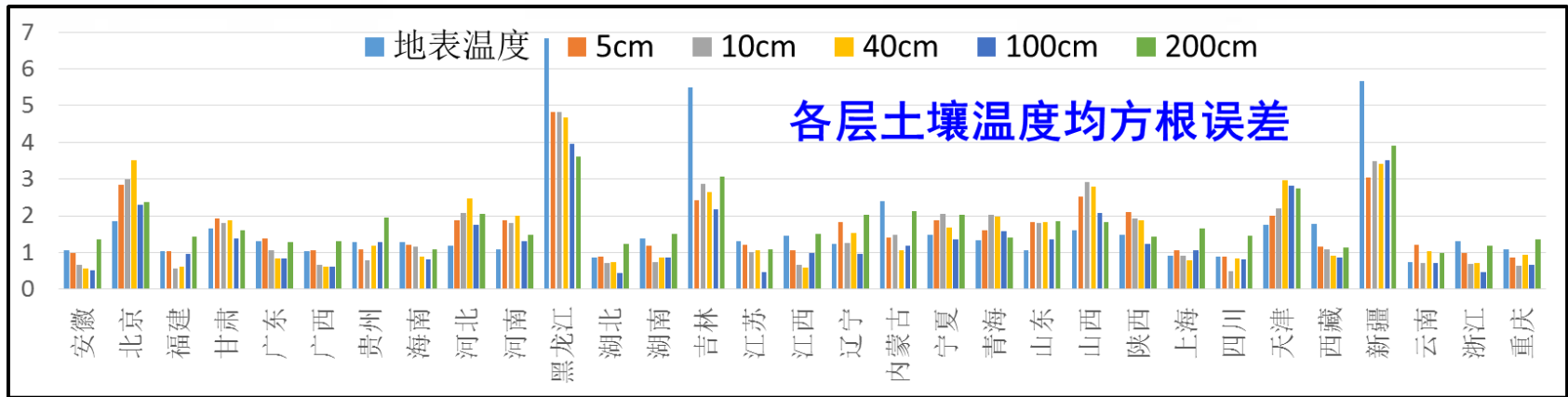
2016-2018年土壤湿度不同分区下误差统计 (0-10cm)

不同分区	偏差 (mm^3/mm^3)		均方根误差 (mm^3/mm^3)		相关系数	
	GLDAS	CLDAS	GLDAS	CLDAS	GLDAS	CLDAS
东北	0.0135	0.0131	0.0528	0.0532	0.7832	0.796
华北	0.0133	0.0149	0.0539	0.0536	0.6285	0.6706
江淮	0.0008	0.0007	0.0516	0.0508	0.792	0.7865
东南	0.0158	0.014	0.0538	0.0529	0.5446	0.6025
西北东	0.0205	0.0178	0.0563	0.0553	0.7106	0.7154
西南	0.0101	0.0087	0.0554	0.0552	0.7535	0.7688
西北西	-0.0056	-0.0039	0.0564	0.0563	0.6035	0.6121
青藏高原	0.0283	0.0255	0.059	0.0574	0.8076	0.7811



陆面同化子系统-数据集

土壤温度结果评估



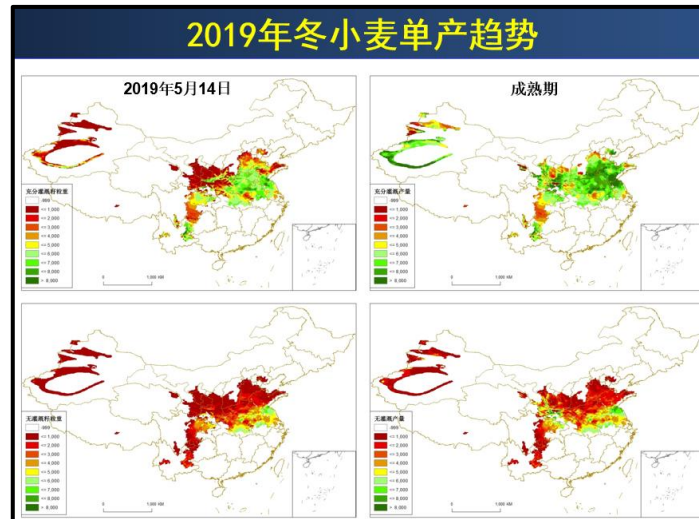
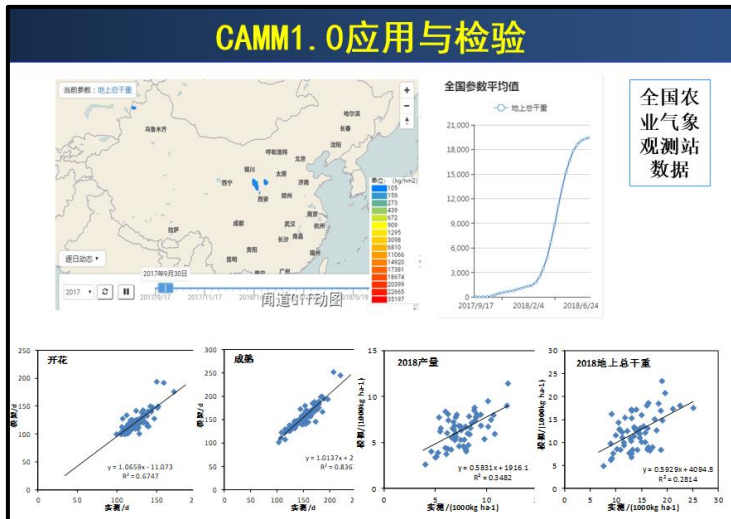
数据集应用——中国农业气象模式CAMM1.0中的应用

需要输入的气象数据包括:

大气驱动场: 2m气温、2m比湿、10m风速、地面气压、降水、短波辐射
 土壤湿度分析产品: 0-5、0-10、10-40、40-100、100-200cm各层土壤湿度

效果作用:

利用实时数据驱动中国农业气象模式 (CAMM1.0) 进行2019年冬小麦产量预估, 并在“2019年全国夏收粮油作物产量预测会商会”进行报告, 取得良好效果。



数据集应用——气候适宜度评价业务

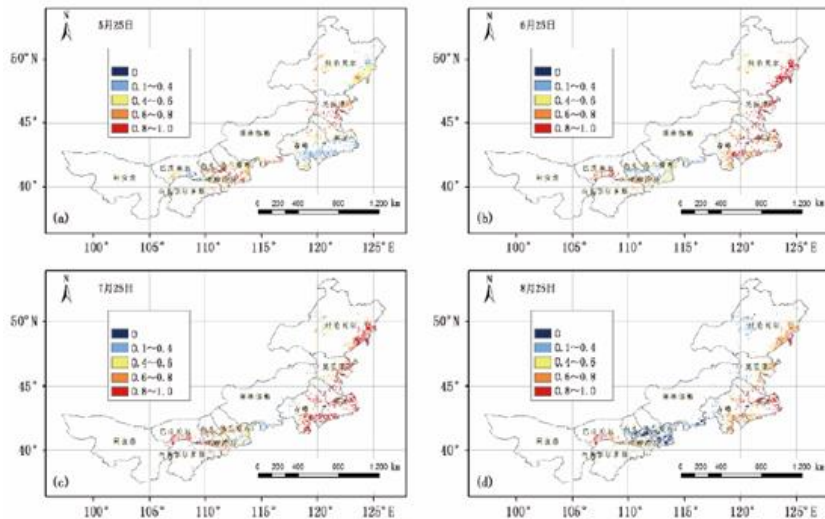
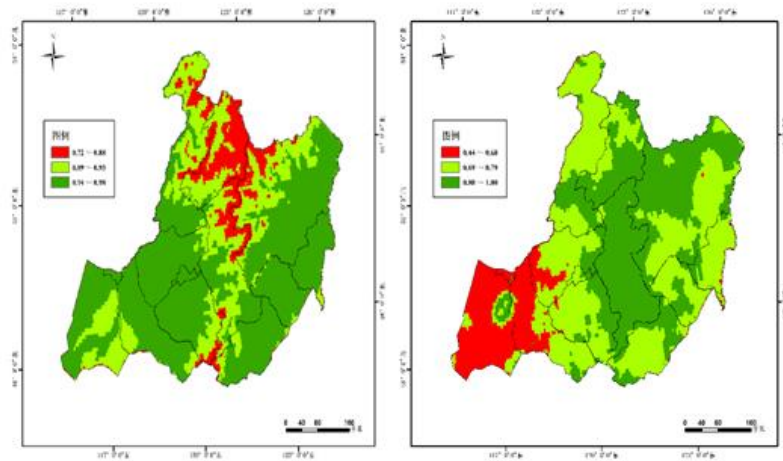


图7 春玉米温度适宜度空间分布:(a)5月25日,(b)6月25日,(c)7月25日,(d)8月25日

基于CLDAS的玉米气温适宜度



呼伦贝尔市春小麦气温 (左) 与降水适宜度 (右)



提 纲

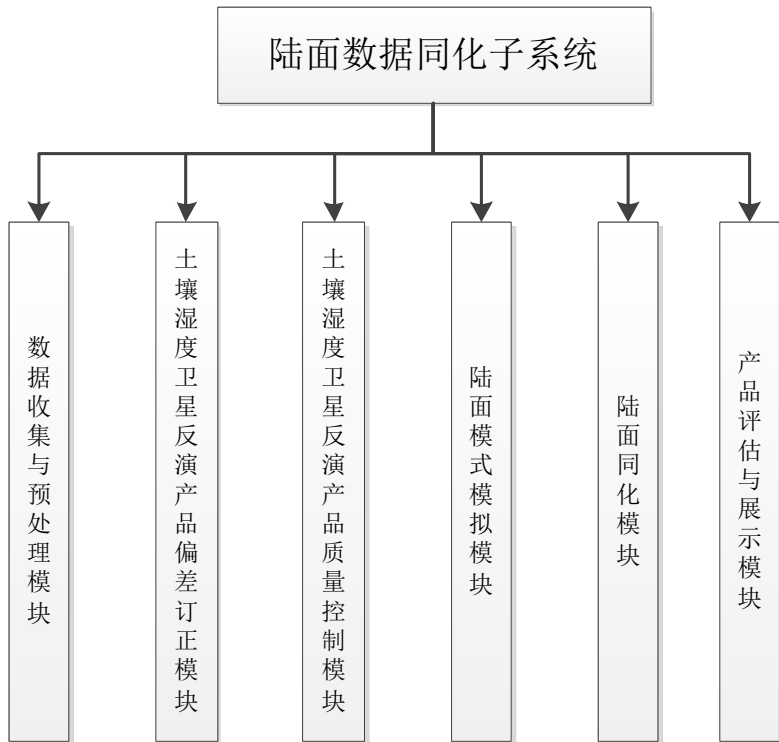
- 一、子系统概况
- 二、子系统关键技术
- 三、子系统数据集
- 四、子系统操作介绍**





陆面同化子系统-操作介绍

操作整体流程



- ❑ 数据收集与预处理模块：收集陆面同化子系统所涉及的土壤参数、地表覆盖、叶面积指数、大气驱动数据、卫星遥感反演土壤湿度以及用来检验评估的观测资料；
- ❑ 偏差订正模块：使用气候态的土壤湿度卫星反演产品和模式模拟的土壤湿度气候态对土壤湿度卫星反演产品进行偏差订正；
- ❑ 质量控制模块：通过针对不同下垫面类型以及背景场与观测场差设置合理地阈值，达到质量控制的目的。
- ❑ 陆面模式模拟模块：基于地表参数数据，使用大气驱动数据对模式进行spin-up得到稳定初始场，基于稳定初始场运行陆面模式，进行陆面模式的模拟；
- ❑ 陆面同化模块：将质量控制后的遥感反演土壤湿度同化到陆面模式模拟的土壤湿度中，最后得到土壤湿度、土壤温度、感热通量、潜热通量等变量。
- ❑ 产品评估与展示模块：使用观测资料对产生的土壤温湿度等变量进行评估并绘图展示。



陆面同化子系统-操作介绍

➤ 数据收集和预处理模块一：大气驱动数据的预处理

数据收集和预处理模块主要用于获取该项目中需要的所有输入数据，包括高分辨率大气驱动数据场（降水、温度、气压、湿度、辐射、风场等）、使用与陆面模式的地表参数、遥感反演土壤湿度，以及土壤湿度和土壤温度等地面观测资料用于验证所构建的同化系统输出结果，如土壤湿度、土壤温度、地表温度等；针对上述获取的各种数据资料，进行解码与质量控制，并通过投影变化方式实现数据结构及文件格式的统一，以供拟发展同化子系统使用。

进入程序目录

```
cd /public/home/suns/Land_DA/EXEs/FORCING/
```

执行大气驱动数据预处理程序

```
./run.sh
```

查看结果是否正确生成

```
cd /public/home/suns/Land_DA/Result/NoahMP_FORCING/2021/152
```

查看文件：

```
P_CLDAS_RE01_EA16_PRE_HOUR_2021060106.nc P_CLDAS_RE01_EA16_PRS_HOUR_2021060106.nc、  
P_CLDAS_RE01_EA16_RHU_HOUR_2021060106.nc、 P_CLDAS_RE01_EA16_SRA_HOUR_2021060106.nc、  
P_CLDAS_RE01_EA16_TMP_HOUR_2021060106.nc、  
P_CLDAS_RE01_EA16_WIN_HOUR_2021060106.nc存在。
```



陆面同化子系统-操作介绍

➤ 数据收集和预处理模块二-FY3D土壤湿度反演产品预处理

FY3D遥感反演土壤湿度进行投影变化方式实现数据结构及文件格式的统一，以供拟发展同化子系统使用。

进入程序测试目录

```
cd /public/home/suns/Land_DA/EXEs/FY3_SM_Pre
```

执行FY3反演产品预处理

```
./run_fy3d_sm.sh
```

查看结果是否正确生成

```
cd /public/home/suns/Land_DA/Result/FY3D_SM_Pre
```

查看文件FY3D_MWRI_GBAL_L1_2021060106_sm.nc存在





陆面同化子系统-操作介绍

➤ 偏差订正

土壤湿度卫星反演产品偏差订正模块主要是通过CDF偏差订正方法实现土壤湿度反演产品的偏差订正。

进入程序测试目录

```
cd /public/home/suns/Land_DA/EXEs/FY3_SM_CDF
```

执行FY3土壤湿度反演产品偏差订正程序

```
./run.sh
```

查看结果是否正确生成

```
cd /public/home/suns/Land_DA/Result/FY3D_SM_CDF
```

查看文件：

```
FY3D_MWRI_GBAL_L1_2021060106_sm_qc_cdf.nc FY3D_MWRI_GBAL_L1_2021060106_sm.txt
```

存在



陆面同化子系统-操作介绍

➤ 质量控制

土壤湿度卫星反演产品偏差订正模块主要是根据微波遥感对下垫面的敏感性实现土壤湿度反演产品的质量控制。

进入程序测试目录

```
cd /public/home/suns/Land_DA/EXEs/FY3_SM_QC
```

执行FY3土壤湿度反演产品质量控制程序

```
ncl sm_qc.ncl
```

查看结果是否正确生成

```
cd /public/home/suns/Land_DA/Result/FY3D_SM_QC,  
查看FY3D_MWRI_GBAL_L1_2021060106_sm_qc.nc文件存在
```



陆面同化子系统-操作介绍

➤ 陆面模式模拟

基于地表参数数据，使用大气驱动数据对模式进行spin-up得到稳定初始场，然后同样使用初始场文件和地表参数数据，使用大气驱动数据运行陆面模式，进行陆面过程模拟

进入程序测试目录

```
cd /public/home/suns/Land_DA/EXEs/NoahMP
```

执行陆面模式模拟程序

```
bash run.sh
```

查看结果是否正确生成

```
cd /public/home/suns/Land_DA/Result/NoahMP
```

查看结果

```
LIS_HIST_202106010600.d01.nc LIS_RST_NOAHMP36_202106010600.d01.nc存在
```




陆面同化子系统-操作介绍

➤ 陆面同化

将质量控制后的遥感反演土壤湿度同化到陆面模式模拟的土壤湿度中，最后得到土壤湿度、土壤温度、感热通量、潜热通量等变量。

进入程序测试目录

```
cd /public/home/suns/Land_DA/EXEs/Assimilation
```

执行土壤湿度同化程序

```
./run.sh
```

查看结果是否正确生成

```
cd /public/home/suns/Land_DA/Result/Assimilation
```

查看文件

```
CLDAS2.RT_MM_SoilMoisture.20210601_06.nc SM_Analysis_Increment_20210601_06.nc存在
```



陆面同化子系统-操作介绍

➤ 陆面同化

对得到的土壤湿度、土壤温度、感热通量、潜热通量等变量进行质量评估，并进行绘图展示。

进入程序测试目录

```
cd /public/home/suns/Land_DA/EXEs/Postprocess
```

执行陆面同化后处理程序

```
bash run.sh
```

查看结果是否正确生成

```
cd /public/home/suns/Land_DA/Result/Postprocess
```

查看文件

CLDAS_CHINA_MM_SM_DA-OL_00-10cm_2021060106.png、

CLDAS_Soil_Temperature_20210601.nc、CLDAS_Latent_Heat_20210601.nc、

CLDAS_Surface_runoff_20210601.nc、CLDAS_Sensible_Heat_20210601.nc、

SM_Assessment_2021060106.txt、CLDAS_Soil_Moisture_20210601.nc、

ST_Assessment_2021060106.txt存在



陆面同化子系统-操作介绍

➤ 局地高分辨率（京津冀1km）陆面结果生成与评估

对京津冀区域1km陆面结果进行生成与评估。

进入程序测试目录

```
cd /public/home/hanshuai/CLM/SCRIPT/RT_Model
```

执行局地高分辨率陆面结果后处理程序

```
sh RT_CLM35_PostProcess.sh
```

查看结果是否正确生成

```
cd /data/hanshuai/CLM351KM/MIDdata/CLM35/product/15
```

查看文件

CLDAS_1km_2021060415.nc(京津冀的后处理结果)是否存在
运行成功



陆面同化子系统-操作介绍

➤ 结果文件读取方式

产品格式为netcdf，可以通过Fortran、NCL、Python、Java、Matlab、IDL等多种工具读取

```
use netcdf↓  
implicitnone↓  
integer::status,ncFileID↓  
character(*)::filename↓  
character(*)::varname↓  
real,dimension(:,:)::data↓  
integer::VarID↓  
↓  
status=nf90_open(path=trim(filename),mode=nf90_nowrite,ncid=ncFileID)↓  
callcheck_netcdf_error("nf90_open",status)↓  
status=nf90_inq_varid(ncid=ncFileID,name=trim(varname),varid=VarID)↓  
callcheck_netcdf_error("nf90_inq_varid",status)↓  
status=nf90_get_var(ncFileID,VarID,data)!,start=(/1,1,1/)↓  
callcheck_netcdf_error("nf90_get_var",status)↓  
status=nf90_close(ncFileID)↓  
callcheck_netcdf_error("nf90_close",status)↓  
end SUBROUTINE↓
```

```
use netcdf↓  
implicitnone↓  
integer,intent(in)::status↓  
character(len=*),intent(in)::routine↓  
if(status/=nf90_noerr)then↓  
write(*,('("Netcdf      routine",lx,A,lx,"terminated      with  
error:",X,A)')&↓  
trim(routine),trim(nf90_strerror(status))↓  
stop"program abnormal stopped"↓  
end if↓  
END SUBROUTINE↓
```

在fortran程序中调用READ_CLDAS函数，给定文件名、变量名、数据数组，就可以返回数据。使用该函数需要安装netcdf。



谢谢!

请批评指正!

孙帅

Email : sunshuai@cma.gov.cn

Tel : 010-68400073

欢迎广大用户进行技术交流反馈

QQ群: CLDAS-陆面数据同化 227822709



QQ群

公众号

