

基于变分订正技术与遥感资料监测天津地区土壤湿度的分布

郭玉娣

天津海洋中心气象台

2017.04

一、研究内容与方法

二、技术难点与创新点

三、研究结果

四、存在的问题

一、研究内容与方法

基于变分订正技术与历史数据、地面观测数据、卫星遥感数据得到天津地区土壤湿度（10cm、20cm、50cm）的分布场，判定土壤墒情，为农业生产提供建议。

►变分订正分析方法与原理

根据变分原理，依赖于多个自变量的泛函：

$$J[U(x, y)] = \iint_G F \left(x, y, U, \frac{\partial U}{\partial x}, \frac{\partial U}{\partial y} \right) dx dy$$

$U(x, y)$ 必须满足下列欧拉方程：

$$Fu - \left(\frac{\partial}{\partial x} Fu_x + \frac{\partial}{\partial y} Fu_y \right) = 0$$

设卫星反演资料的要素场为 $\check{T}^*(x, y)$ ，与之相对应的有限点实测资料的要素场为 $R_a(x, y)$ ，在实测点坐标 (I, J) 上，上述两者的差值场，即为误差场 $\check{C}_r(I, J)$ ：

$$\check{C}_r(I, J) = R_a(x, y) - \check{T}^*(x, y)$$

实际上，由于实测资料站点坐标 (I, J) 点数有限，因此需要构造出全场更广义的订正因子场函数 $C_R(x, y)$ ，利用变分方法，寻求 $C_R(x, y)$ 函数。需满足如下条件：

$$J^* = \iint_D (C_r - \check{C}_r)^2 dx dy \rightarrow \min$$

即 $\sum_i \sum_j (C_r - \check{C}_r)^2$ 达到最下值。

对于上述变分问题，可假设为构造泛函 J^*

$$J^* = \iint \left[(C_r - \tilde{C}_r)^2 + \lambda \left[\left(\frac{\partial C_r}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial C_r}{\partial y} \right)^2 \right] \right] dx dy$$

其中 λ 为约束系数。

上式可改写为：

$$\delta J^* = \delta \sum \sum \left[(C_r - \tilde{C}_r)^2 + \lambda \left[\left(\frac{\partial C_r}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial C_r}{\partial y} \right)^2 \right] \right] = 0$$

对应的Euler方程为：

$$(C_r - \tilde{C}_r) - \tilde{\lambda} \left(\frac{\partial^2 C_r}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_r}{\partial y^2} \right) = 0$$

其中 $\tilde{\lambda}$ 为形变约束系数。用迭代法求解上述方程的数值解，得到新的变分订正因子场 $C_r(x, y)$ ，于是得到变分后的遥感反演资料要素场为：

$$T(x, y) = \tilde{T}^*(x, y) + C_r(x, y)$$

二、技术创新点与难点

创新点：使用变分技术，有效的将实测数据与遥感数据结合起来，根据建立的变分订正因子将点数据拓展到面数据，将遥感资料的高分辨率与地面观测资料的准确度融合成可用的地面-卫星遥感数据。

难点：

- 1)日常业务中没有较为成熟的土壤湿度遥感产品，反演精度较高的卫星遥感的土壤湿度产品比较少；**
- 2)建立不同时次的变分订正因子；**

三、研究结果

第一部分：[历史观测数据分析](#)

第二部分：[变分分析](#)

第三部分：[结论](#)

四、存在的问题

土壤湿度的反演较为简单，收集历史旬植被指数，依据地表温度植被指数法（TVDI）建立天津地区不同季节的土壤湿度反演模型；

遥感数据受云雾影响无法确保每天及时提供土壤墒情，考虑到土壤墒情加重过程是逐渐变化的，可利用某段时间尺度内遥感数据的平均值作为变分对象，得到该时段内土壤墒情的分布。

谢谢
请批评指正

(1) 利用1991-2013年中国农业气象台站上报的农业气象旬月报报文资料（一部分资料来自国家气候中心农气室，一部分资料来自国家气象中心9210要素库）中的不同土壤深度深度的土壤湿度(10cm、20cm、50cm)与中国地面气候资料日值数据集SURF_CLI_CHN_MUL_DAY中1951-2013年观测数据中的土壤温度（0cm、5cm、10cm、15cm、20cm、40cm、80cm、160cm）随土壤深度的变化模型；

(2) 利用1991-2013年旬观测的不同土壤深度的土壤温度与土壤湿度，对两者的相关性进行分析；

(3) 将土壤湿度与土壤温度的相关性与土壤湿度随土壤深度的变化模型相结合，得到不同土壤深度（10cm、20cm、50cm）的土壤湿度反演模型；

(4) 利用MODIS提供的MOD11数据，筛选出春夏季无云覆盖时段的地面温度反演产品；

(5) 结合实测数据，使用变分订正技术，建立变分订正因子，订正遥感反演资料，得到变分订正后的天津地区地面温度分布场，根据土壤温度与土壤湿度随土壤深度的变化特征以及两者的相关性得到天津地区不同深度（10cm、20cm、50cm）的土壤湿度分布；

第一部分：

- ◆ 土壤温度随土壤深度变化的特征分析
- ◆ 土壤湿度随土壤深度变化的特征分析
- ◆ 土壤温度与土壤湿度的相关性分析（春季与夏季）
- ◆ 各层土壤深度的历年平均土壤湿度与土壤温度

春夏季不同土壤温度随土壤深度的变化曲线

采用中国地面气候资料日值数据集

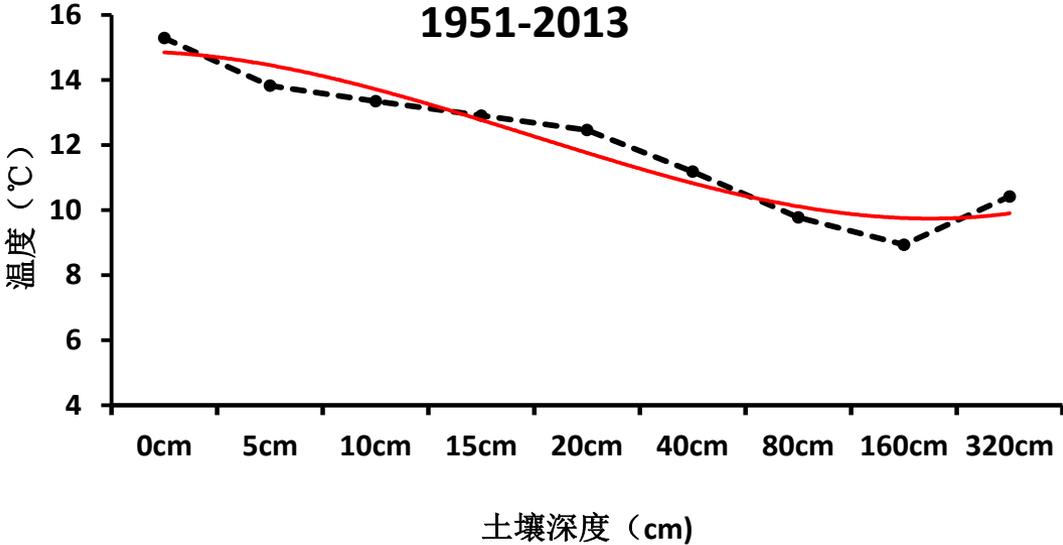
SURF_CLI_CHN_MUL_DAY

1951-2013年观测数据

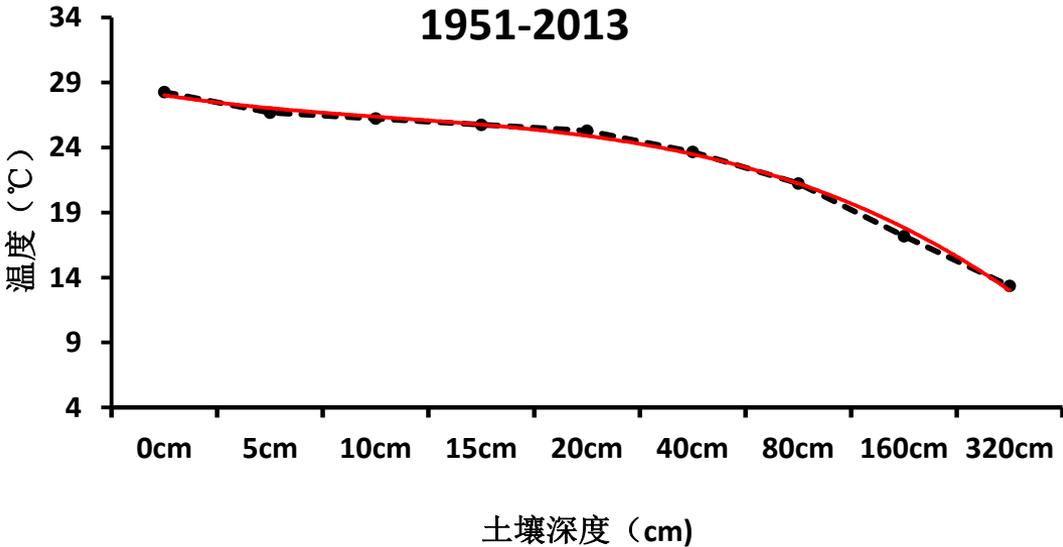
土壤观测层数:

- 0cm
- 5cm
- 10cm
- 15cm
- 20cm
- 40cm
- 80cm
- 160cm
- 320cm

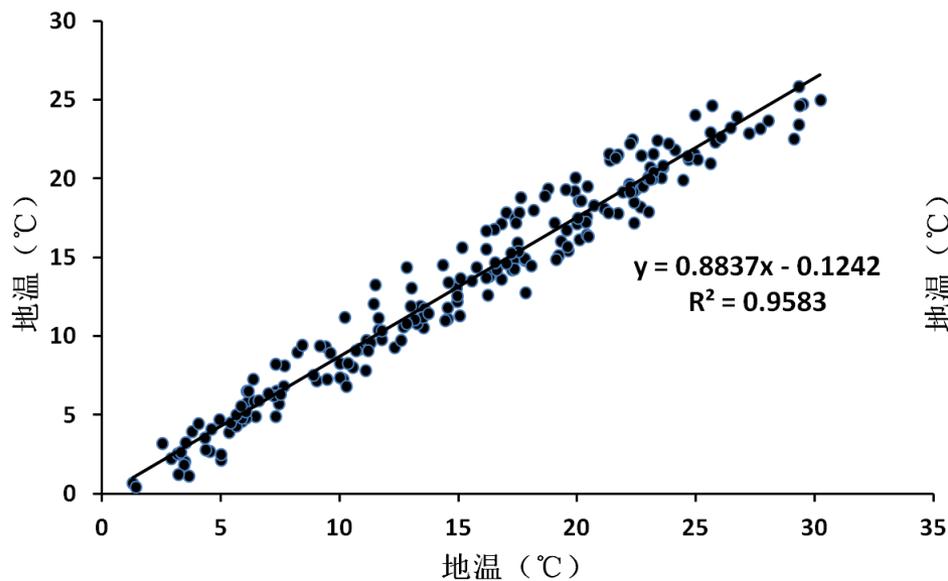
春季土壤温度随土壤深度的变化曲线



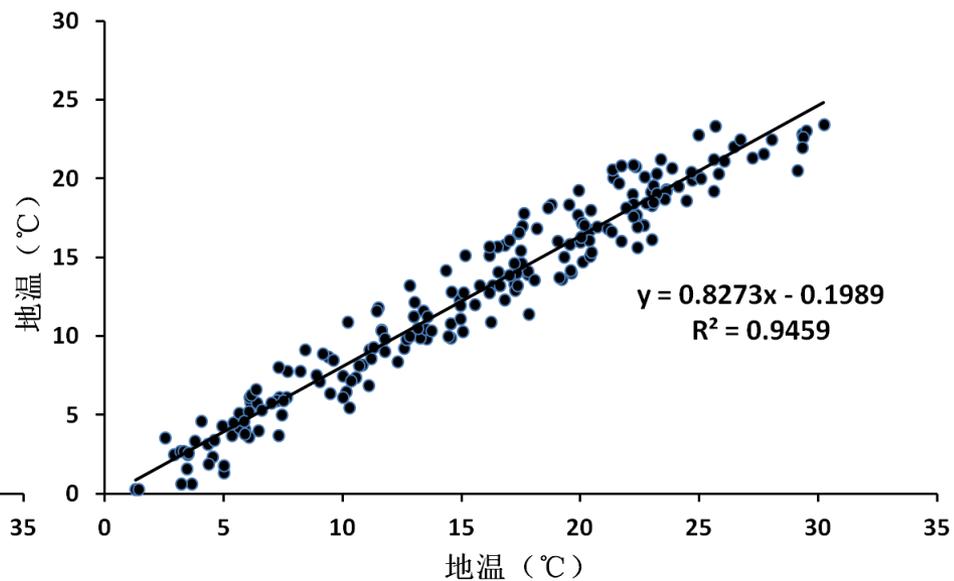
夏季土壤温度随土壤深度的变化曲线



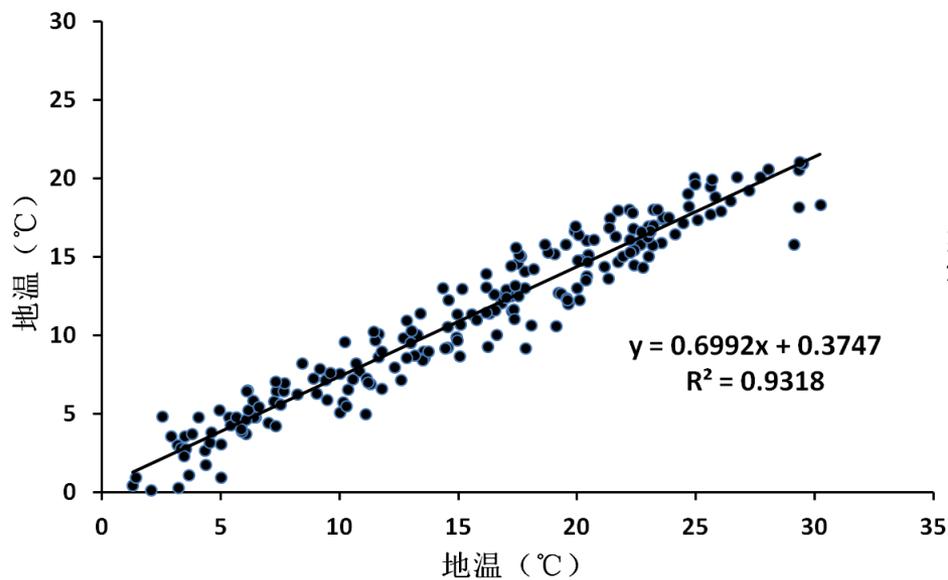
1991-2013年春季0cm旬地温与10cm地温相关性



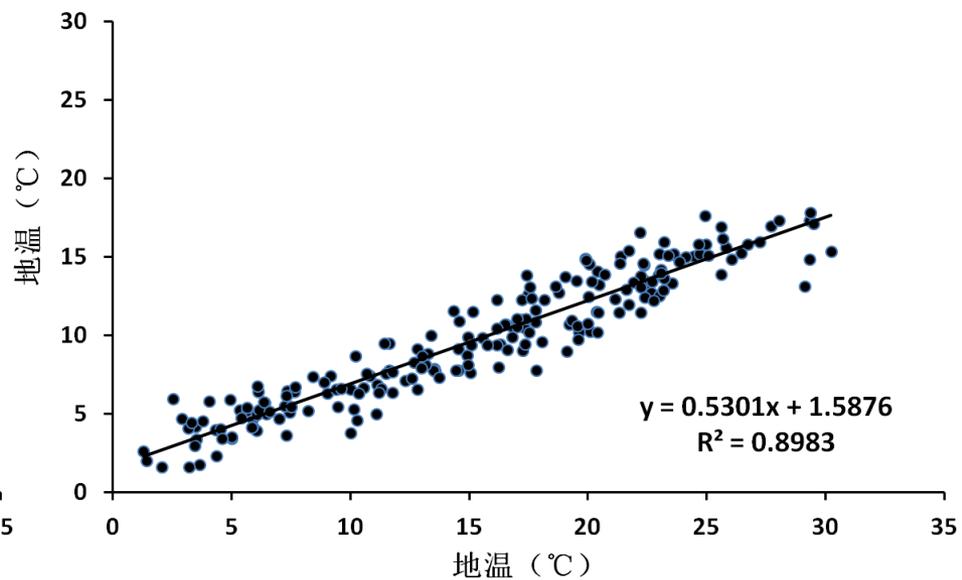
1991-2013年春季0cm旬地温与20cm地温相关性



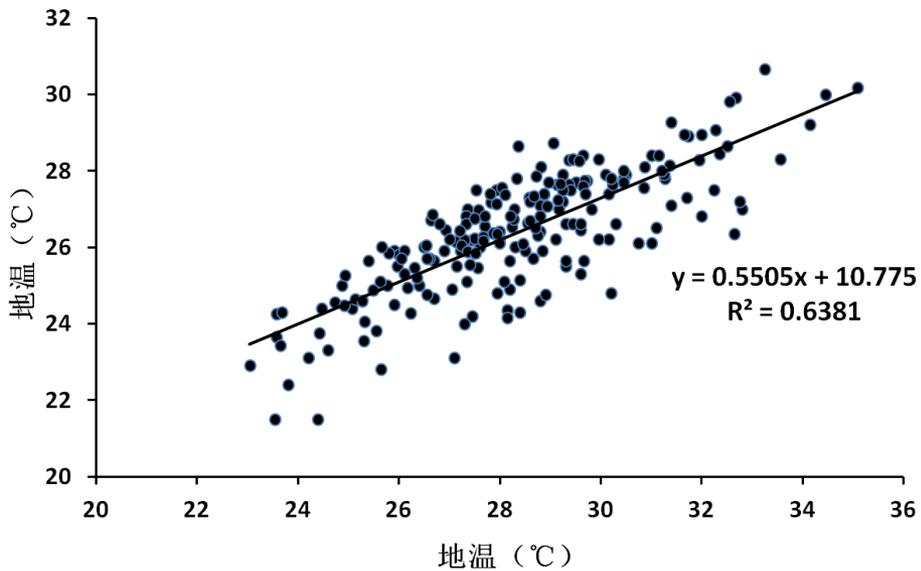
1991-2013年春季0cm旬地温与40cm地温相关性



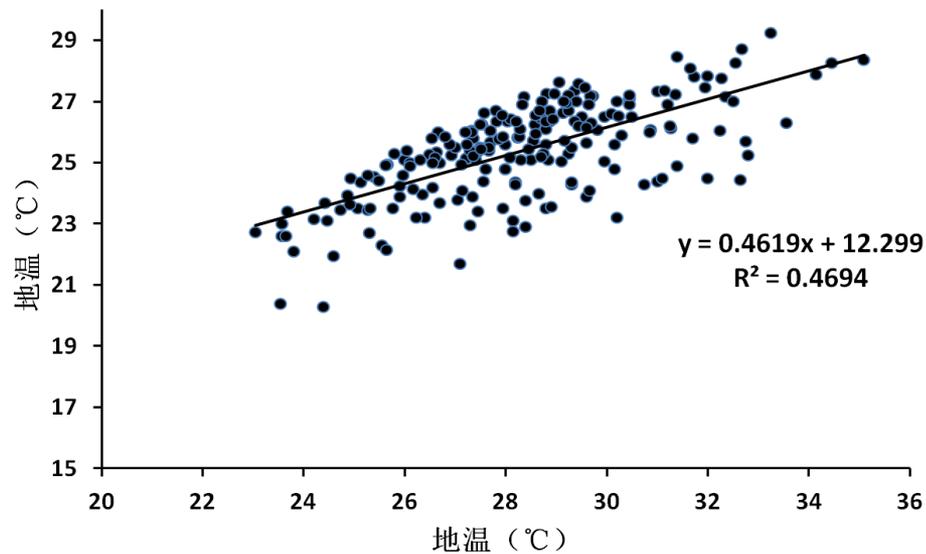
1991-2013年春季0cm旬地温与80cm地温相关性



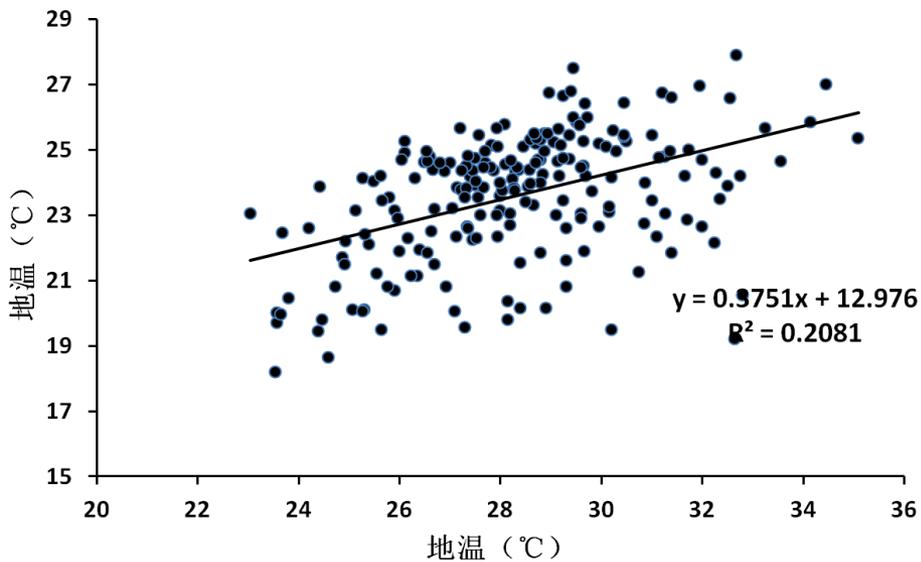
1991-2013年夏季0cm旬地温与10cm地温相关性



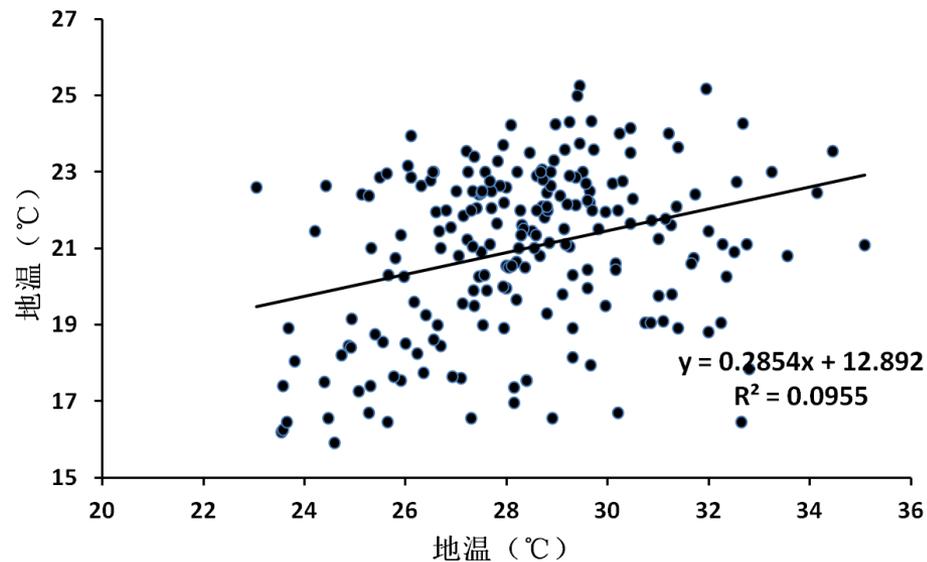
1991-2013年夏季0cm旬地温与20cm地温相关性



1991-2013年夏季0cm旬地温与40cm地温相关性



1991-2013年夏季0cm旬地温与80cm地温相关性



春夏季不同土壤湿度随土壤深度的变化曲线

采用中国农作物生长发育状况资料数据集

AGME_AB2_CHN_TEN

数据来源：根据1991-2013年中国农业气象台站上报的农业气象旬月报报文资料整理而得，其中一部分资料来自国家气候中心农气室，一部分资料来自国家气象中心9210要素库。

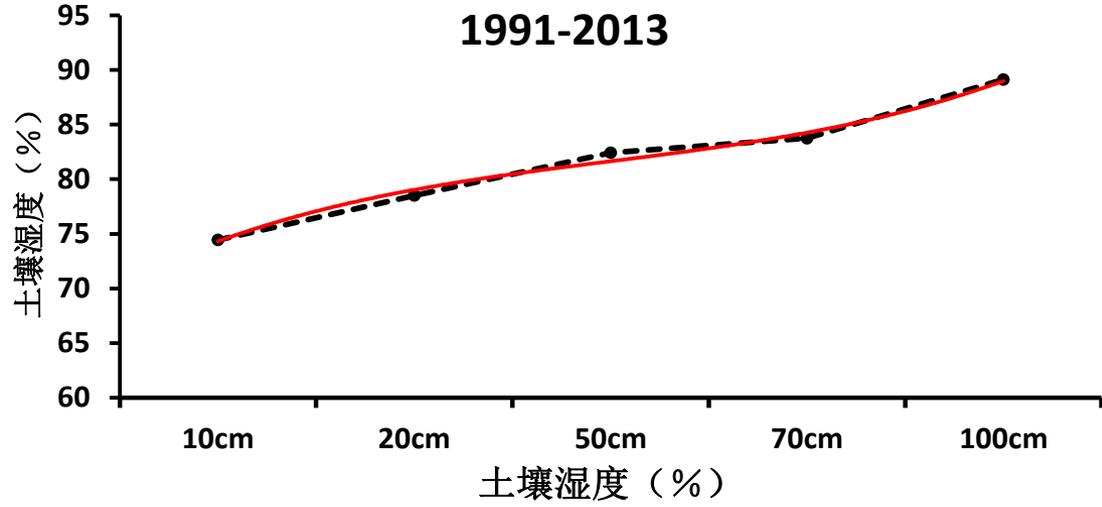
1991-2013年观测数据

土壤观测层数：

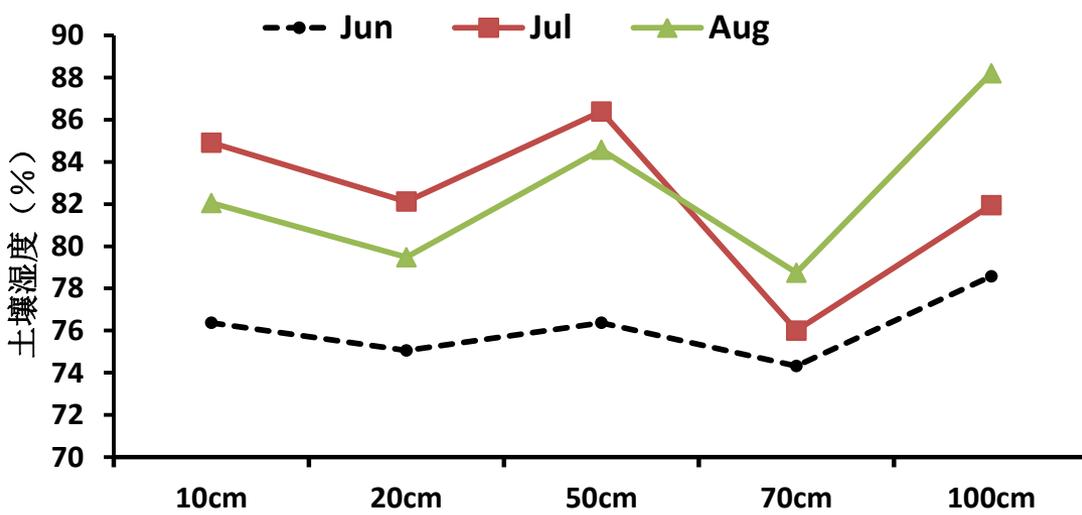
- 10cm
- 20cm
- 50cm
- 70cm
- 100cm

春季土壤湿度随土壤深度的变化曲线

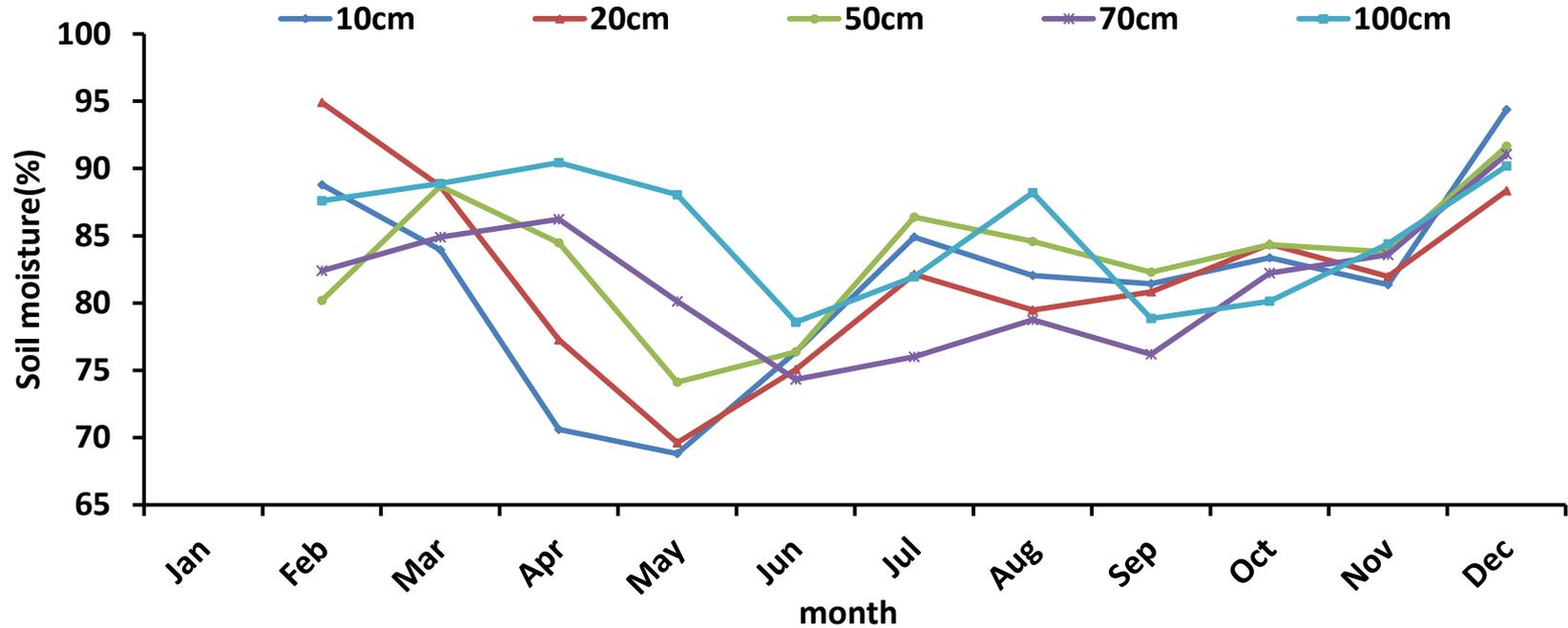
1991-2013



夏季土壤湿度随土壤深度的变化曲线 1991-2013

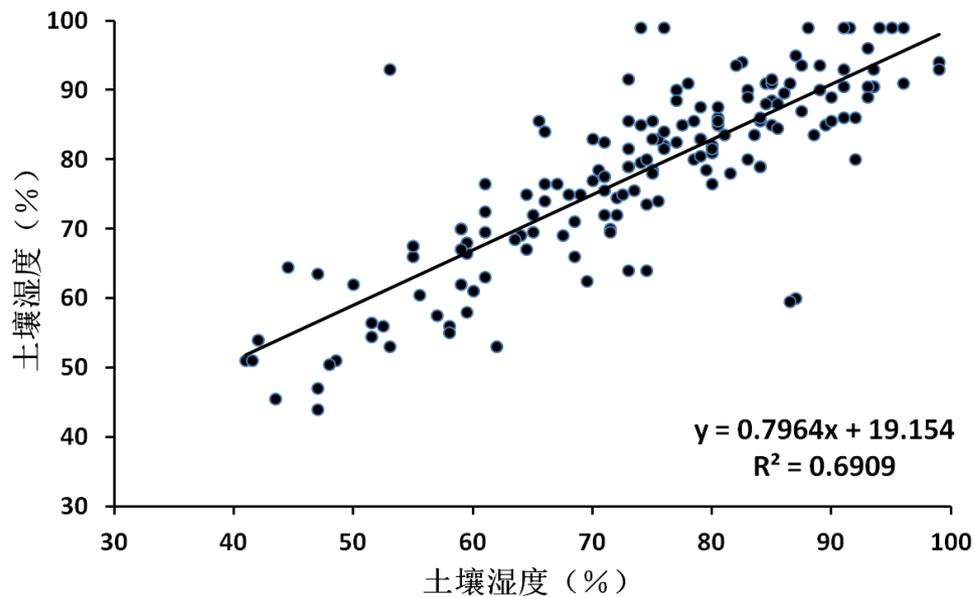


不同土壤深度的土壤湿度逐月变化特征 1991-2013

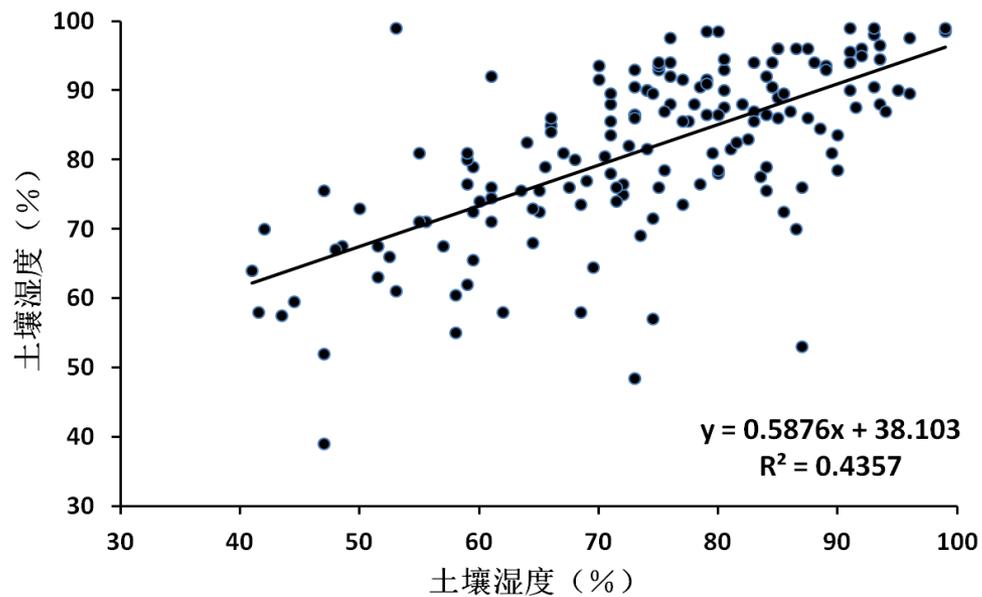


土壤10cm-50cm 土壤湿度由2月份-5月份逐月降低，最低值出现在5月份；
土壤70cm-100cm土壤湿度由2月份-6月份逐月降低，最低值出现在6月份；
深层土壤湿度变化较浅层土壤湿度变化滞后一个月

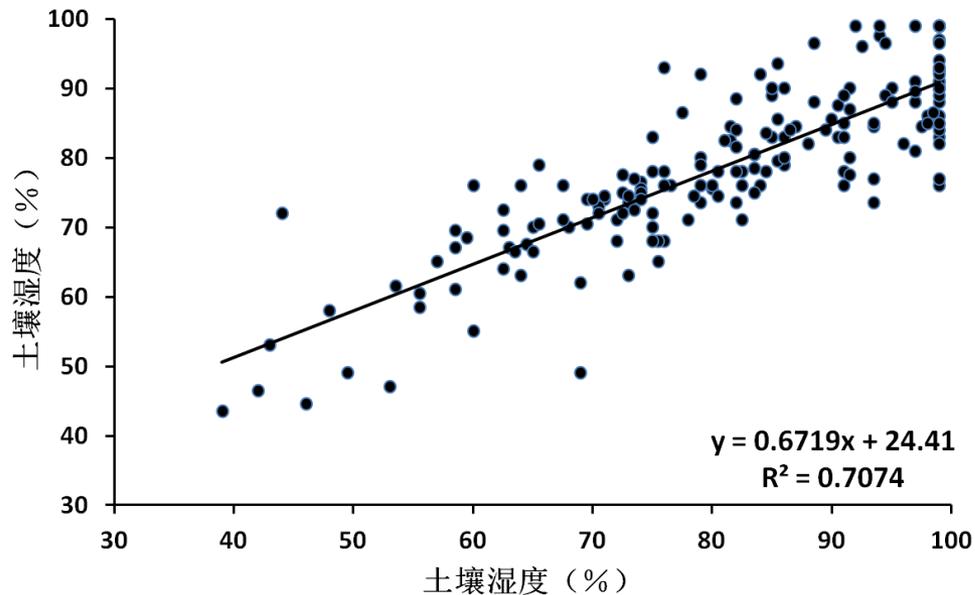
1991-2013年春季10cm旬土壤湿度与20cm土壤湿度相关性



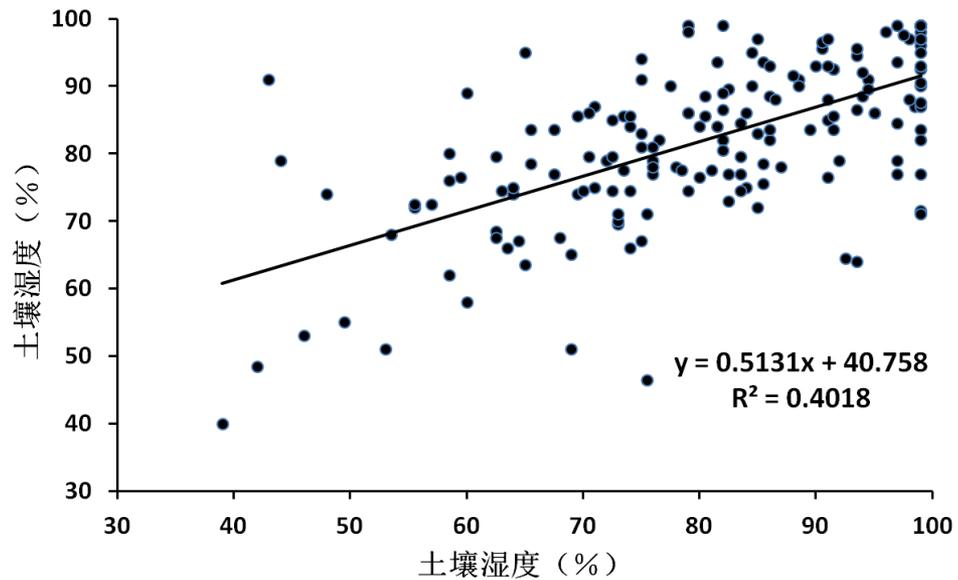
1991-2013年春季10cm旬土壤湿度与50cm土壤湿度相关性



1991-2013年夏季10cm旬土壤湿度与20cm土壤湿度相关性

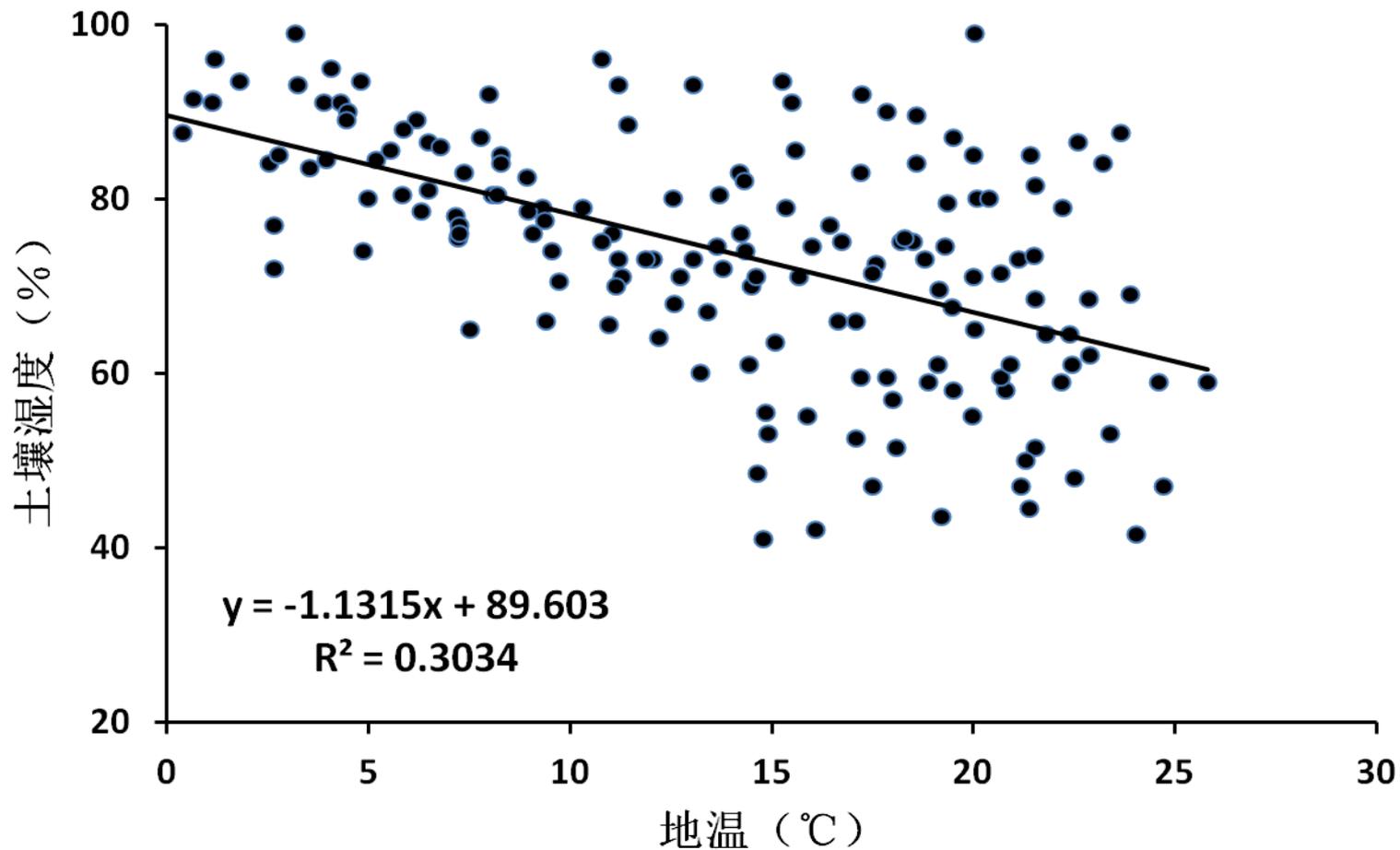


1991-2013年夏季10cm旬土壤湿度与50cm土壤湿度相关性

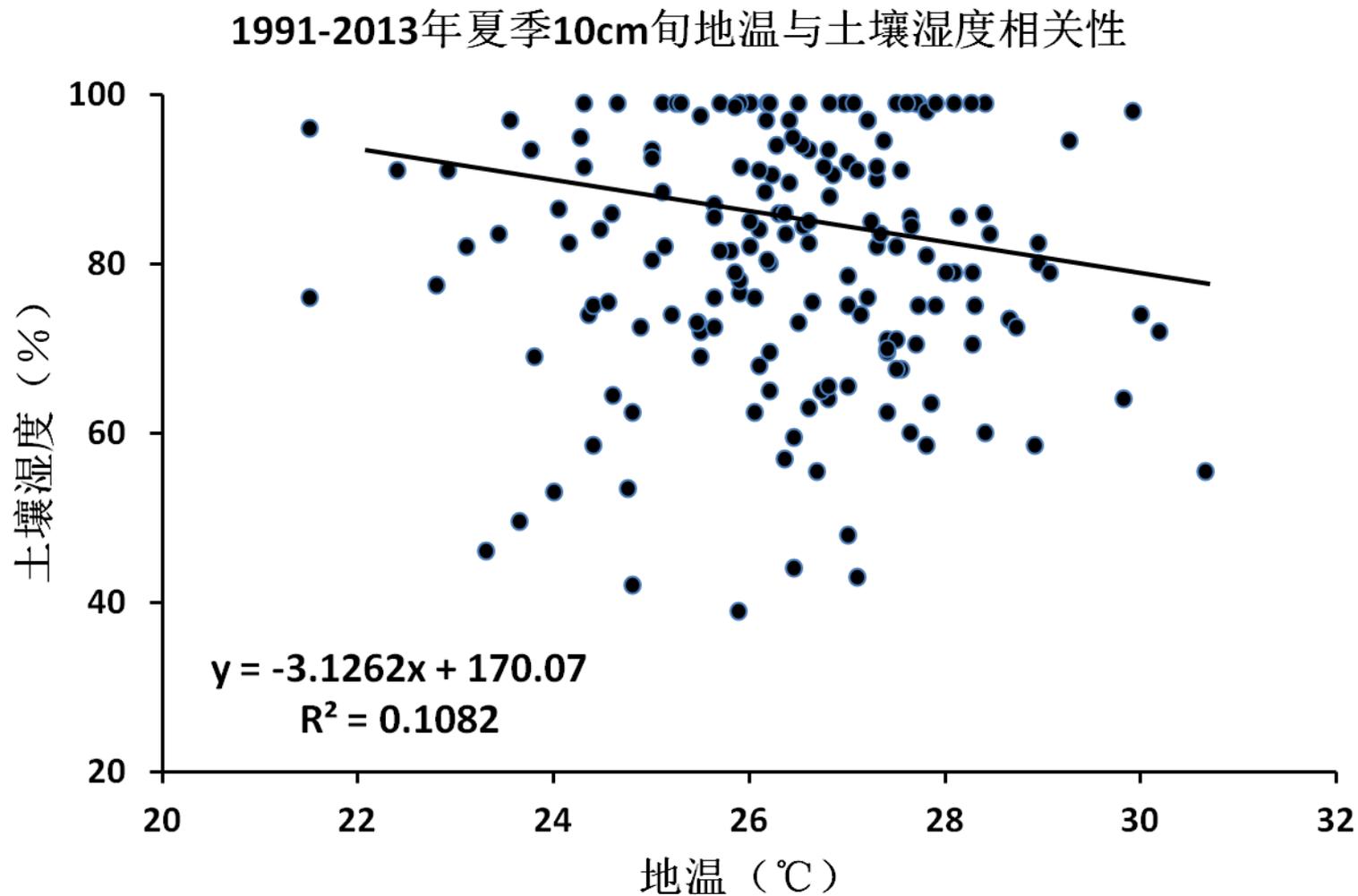


➤土壤温度与土壤湿度的相关性分析（春季）

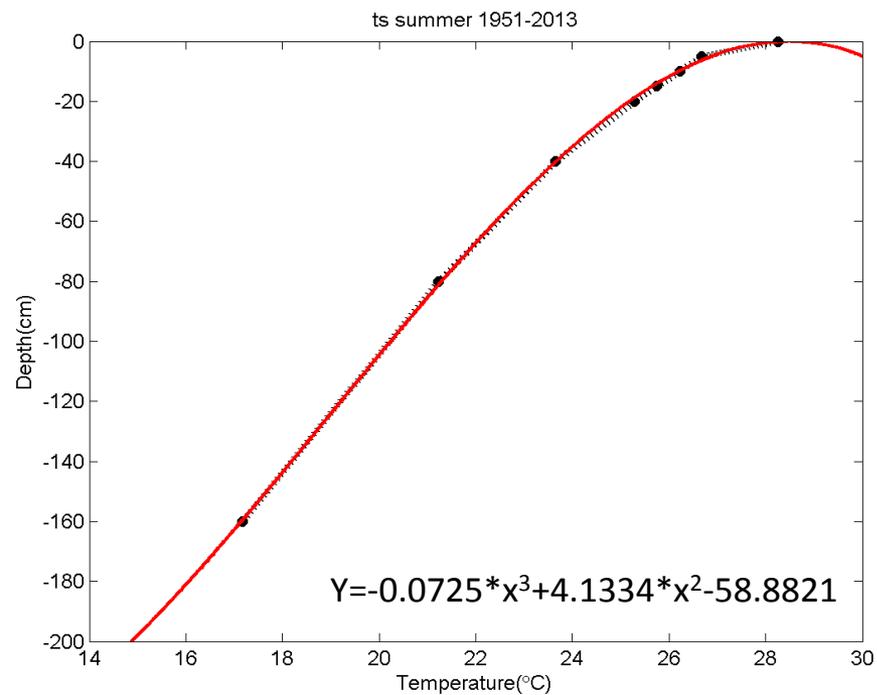
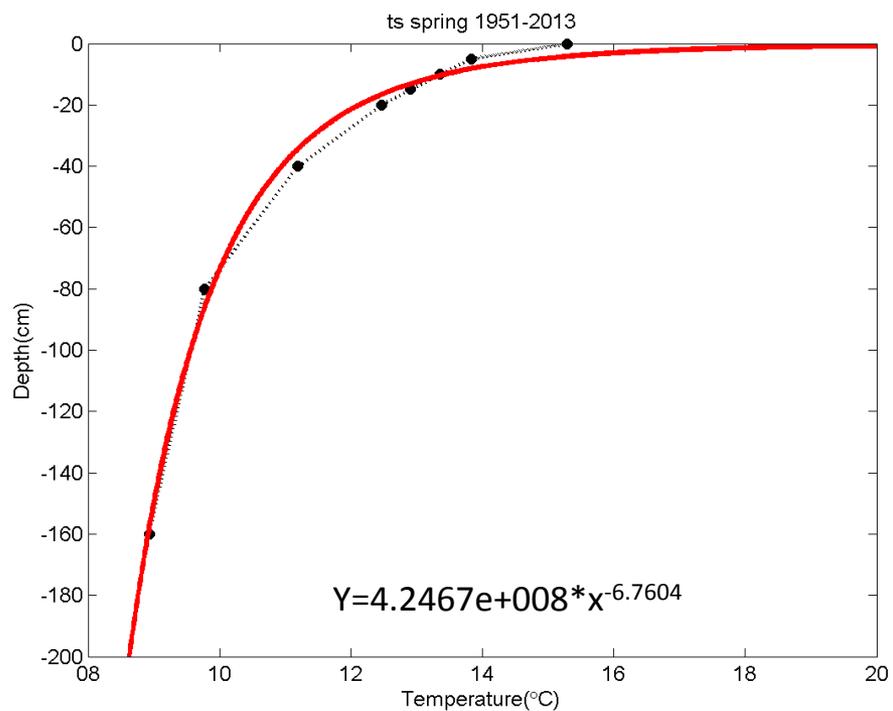
1991-2013年春季10cm旬地温与土壤湿度相关性



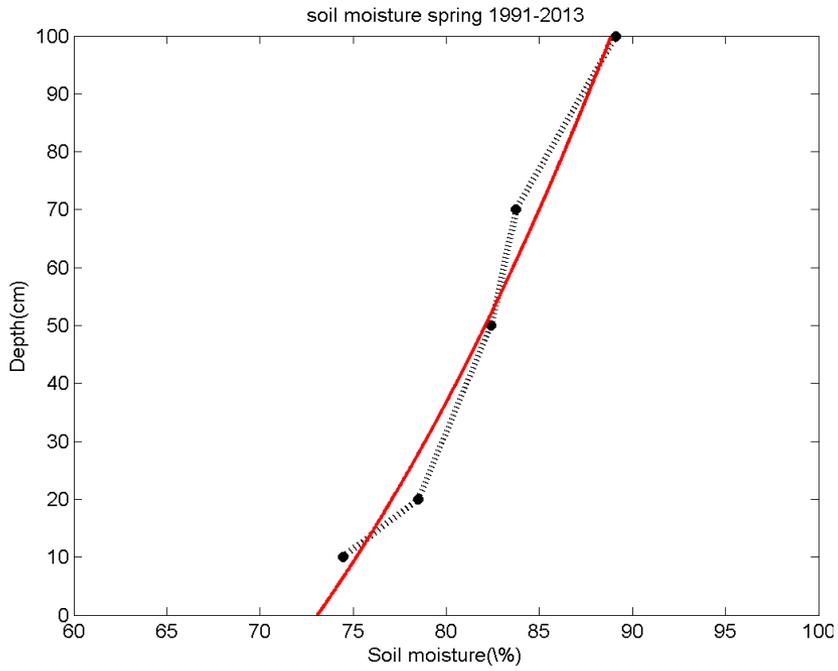
➤土壤温度与土壤湿度的相关性分析（夏季）



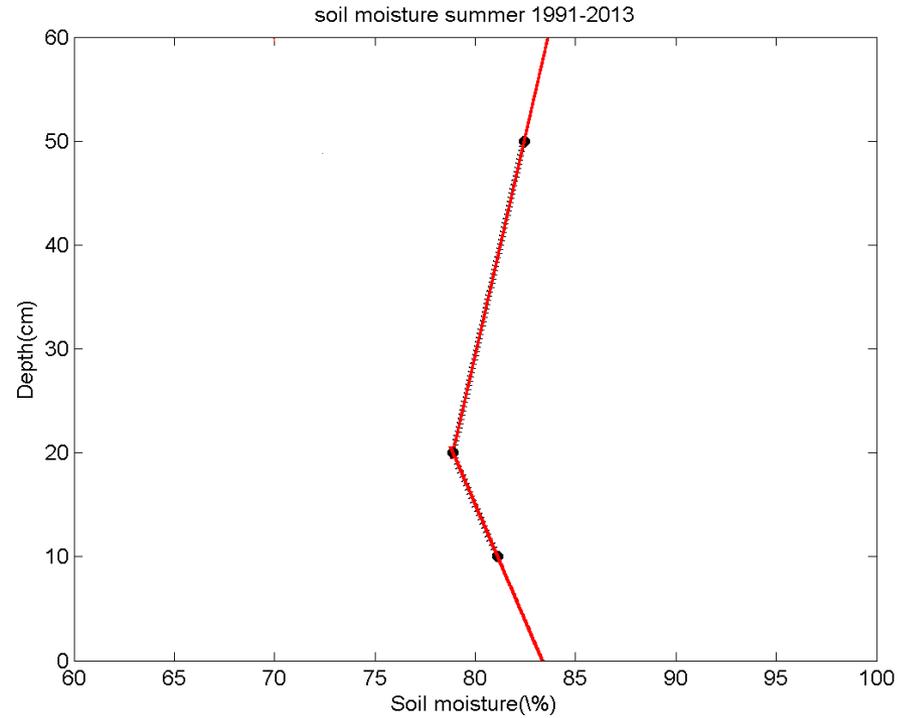
➤ 各层土壤深度的历年平均土壤温度



► 各层土壤深度的历年平均土壤湿度



$$Y=5.4177e-004x^3-0.0163*x^2-1.7012*x$$



$$Y=-4.4974*x+374.7878(x<20\text{cm})$$
$$Y=8.4315*x-645.1371(20\text{cm}<x<50\text{cm})$$

➤ 各层土壤深度的历年平均土壤湿度与土壤温度

变量		0cm	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
季节							
土壤湿度	春季	73.24	74.45	77.23	78.53	80.69	82.42
	夏季	83.33	81.11	78.88	80.07	81.25	82.45
土壤温度	春季	15.29	13.35	12.46	11.16	11.03	10.67
	夏季	28.26	26.22	25.29	24.34	23.65	23.04



第二部分：

◆个例订正分析（春季与夏季）

个例-春季:

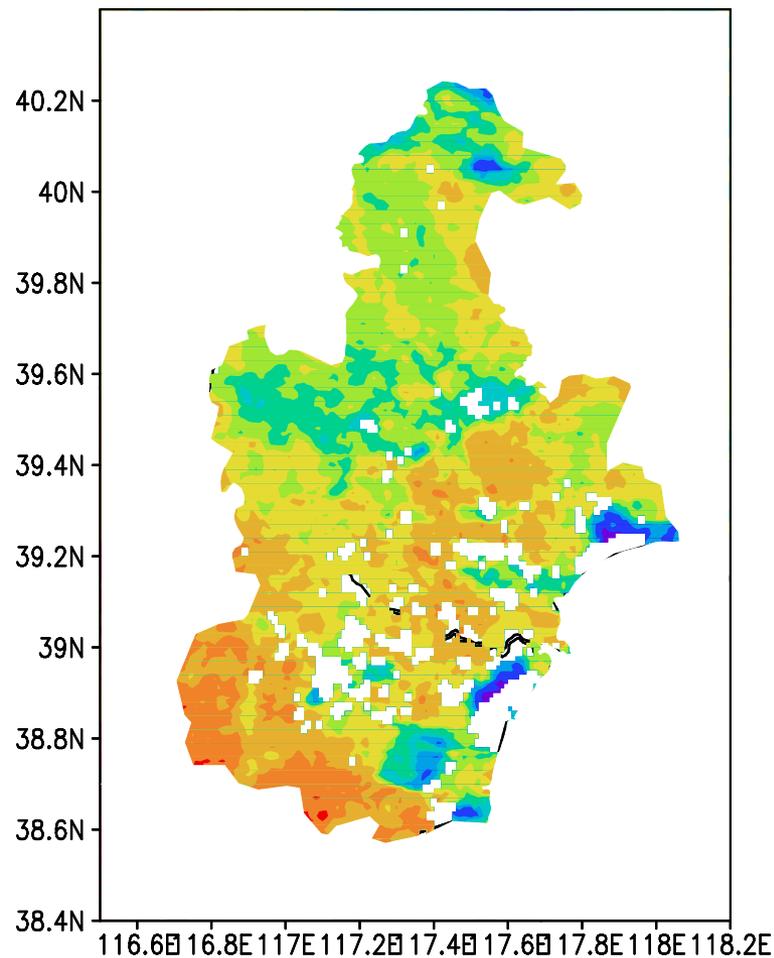
**遥感数据: MOD11 2014093 4月3日 地表温度
过境时间: 10:03**

**观测数据: 天津13个观测站逐时地表温度
观测时间: 10:00**

地面温度

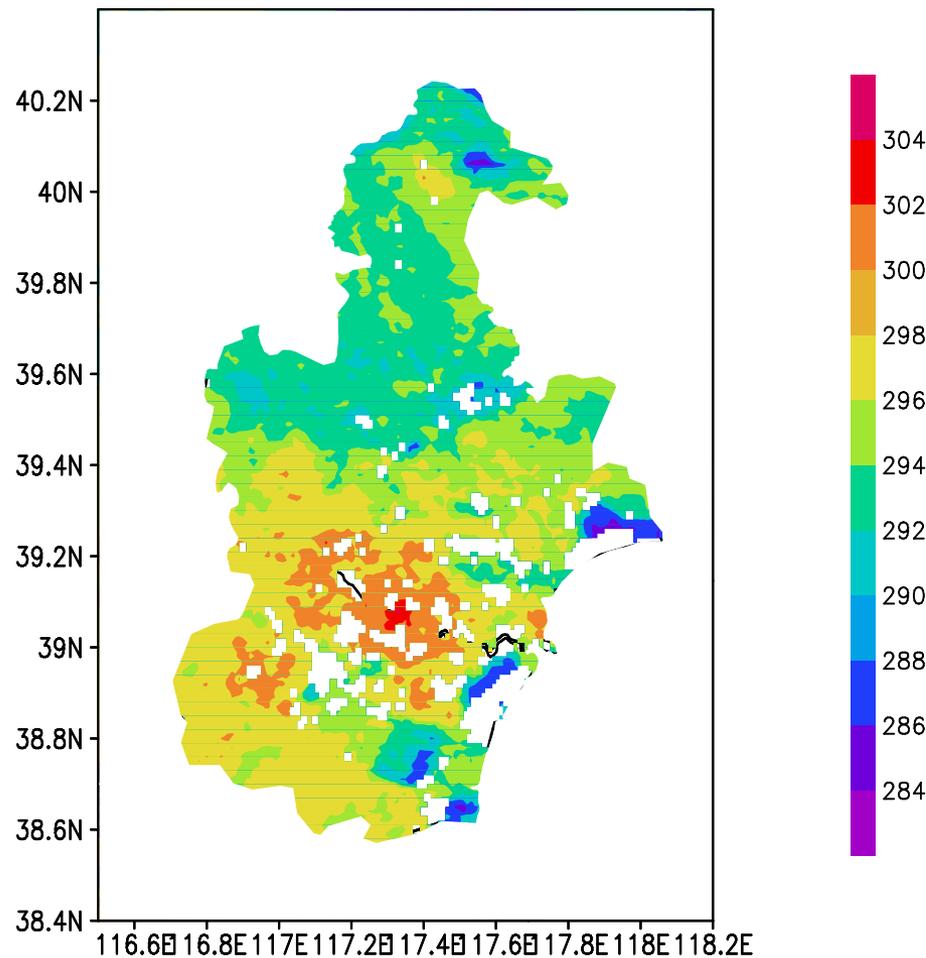
变分前

MOD11A1_A2014093_tianjin



变分后

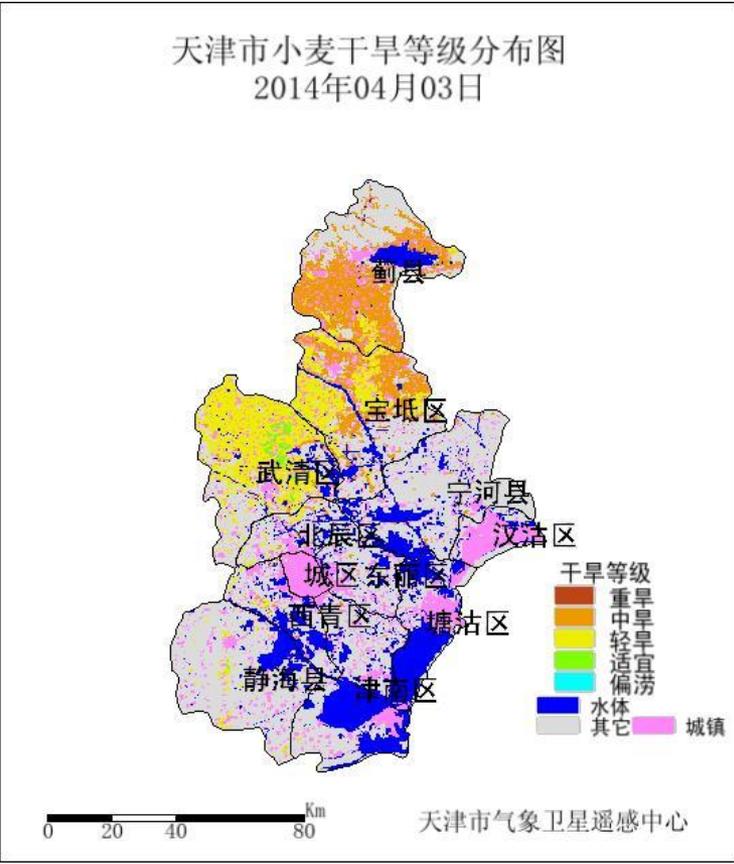
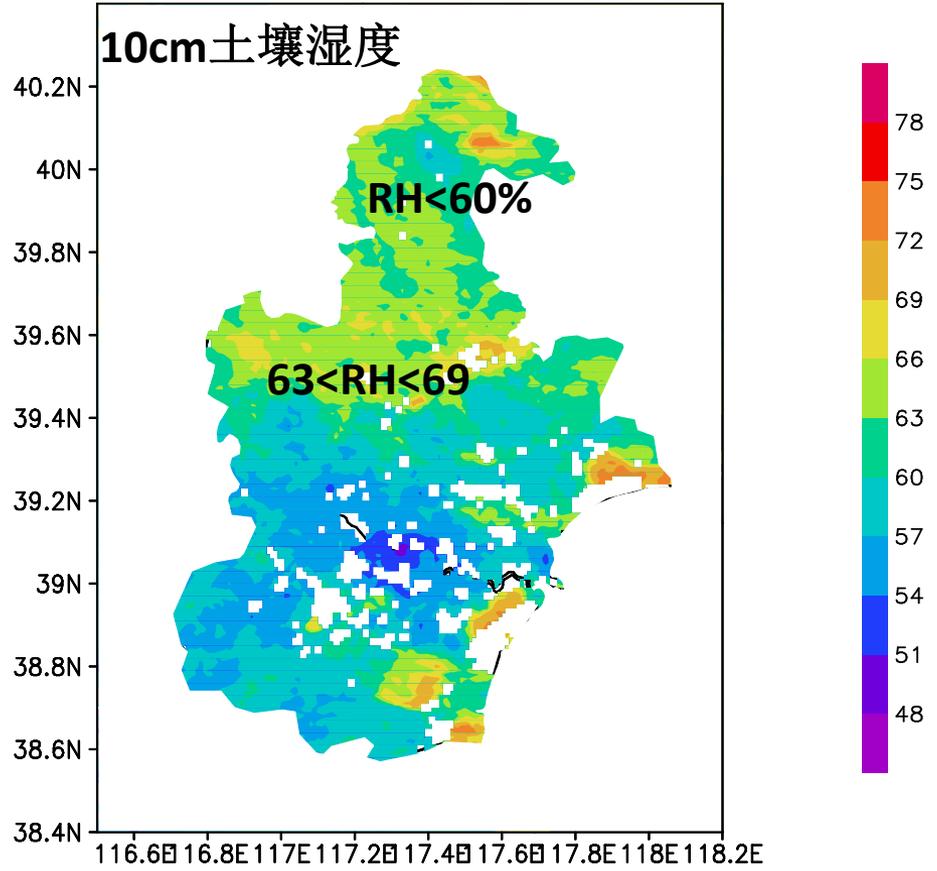
varify_MOD11A1_A2014093_tianjin



站点	实际观测	变分结果	相对误差
54525	303.95	299.26	1.54%
54528	308.35	304.07	1.39%
54530	308.35	301.62	2.18%

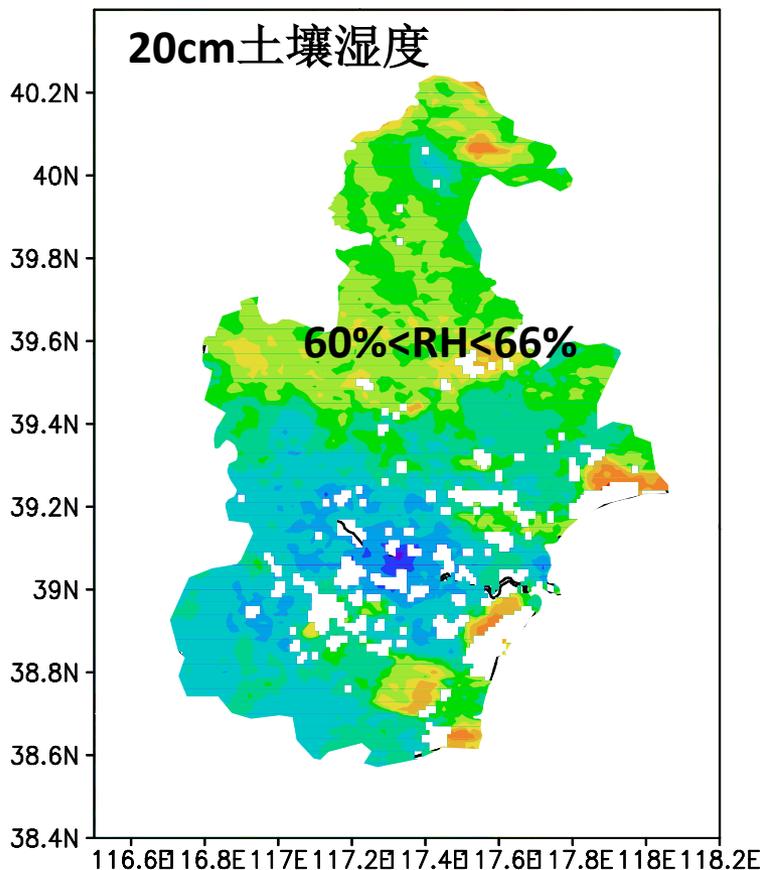
土壤湿度

varify_MOD11A1_A2014093_soil_water_10cm

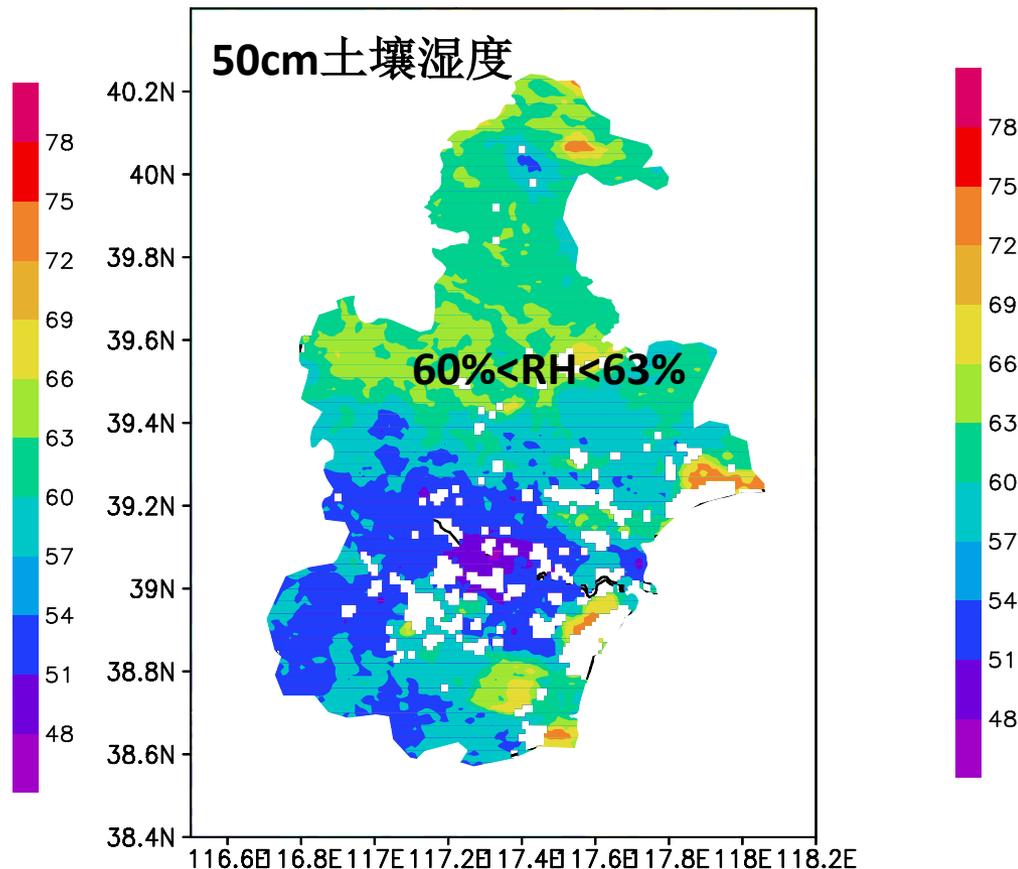


变量		0cm	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
季节							
土壤湿度	春季	73.24	74.45	77.23	78.53	80.69	82.42
	夏季	83.33	81.11	78.88	80.07	81.25	82.45

varify_MOD11A1_A2014093_soil_water_20cm



varify_MOD11A1_A2014093_soil_water_50cm



土壤深度	10cm	20cm	50cm
历史平均值	74.45%	77.23%	82.42%
实际	60%-69%	60%-66%	60%-63%

10cm-50cm 土壤湿度随土壤深度变化逐层降低，且均低于历史平均值，土壤墒情不利于农业生产，建议适当灌溉。

个例-夏季:

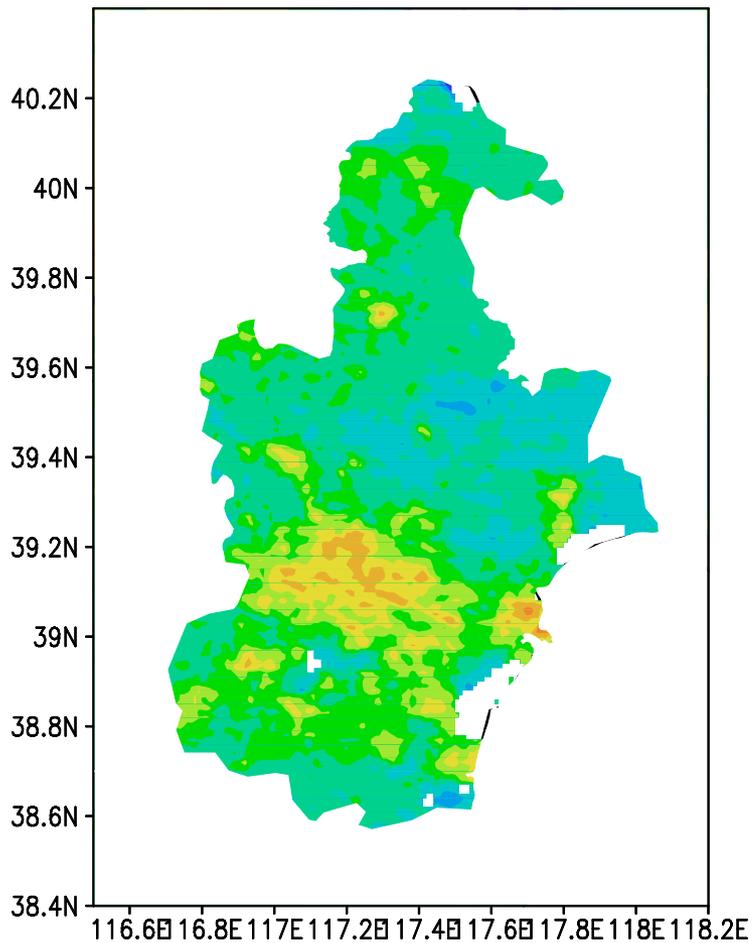
遥感数据: MOD11 2014219 8月9日 地表温度
过境时间: 10:09

观测数据: 天津13个观测站逐时地表温度
观测时间: 10:00

地面温度

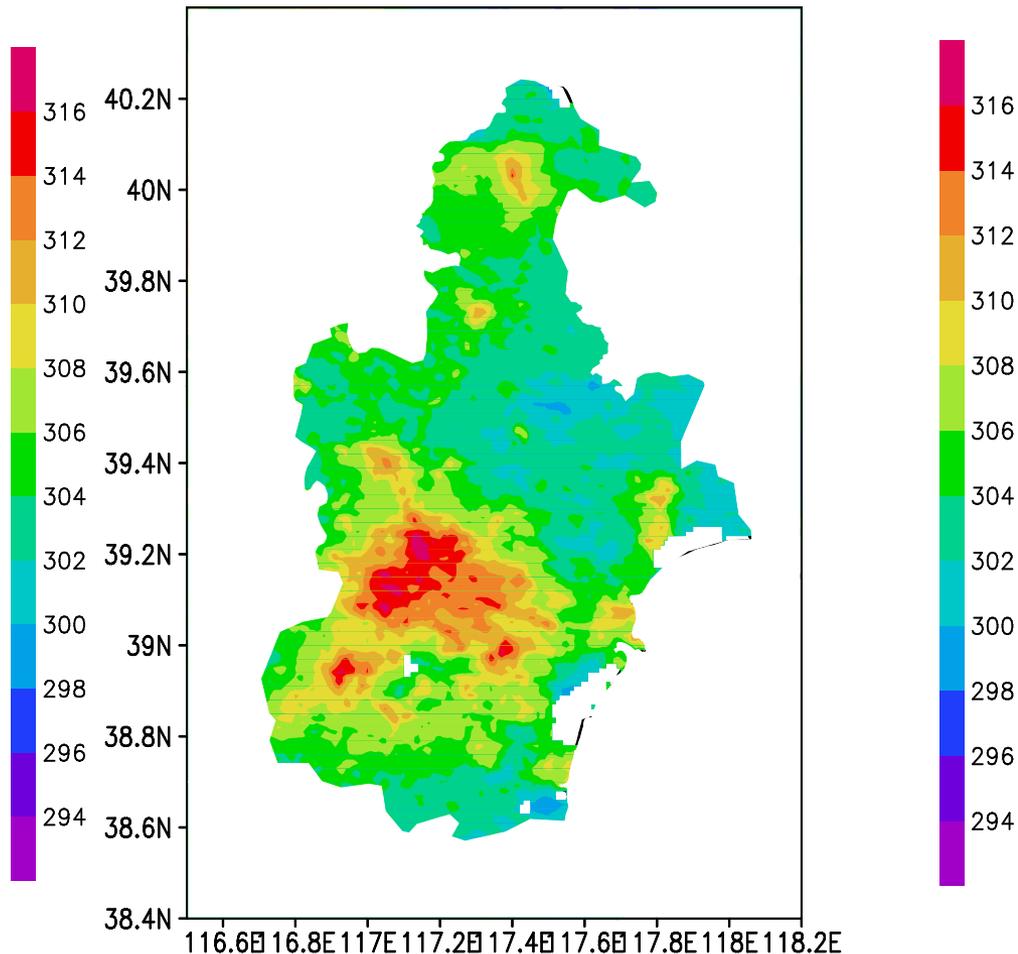
变分前

MOD11A1_A2014219_tianjin



变分后

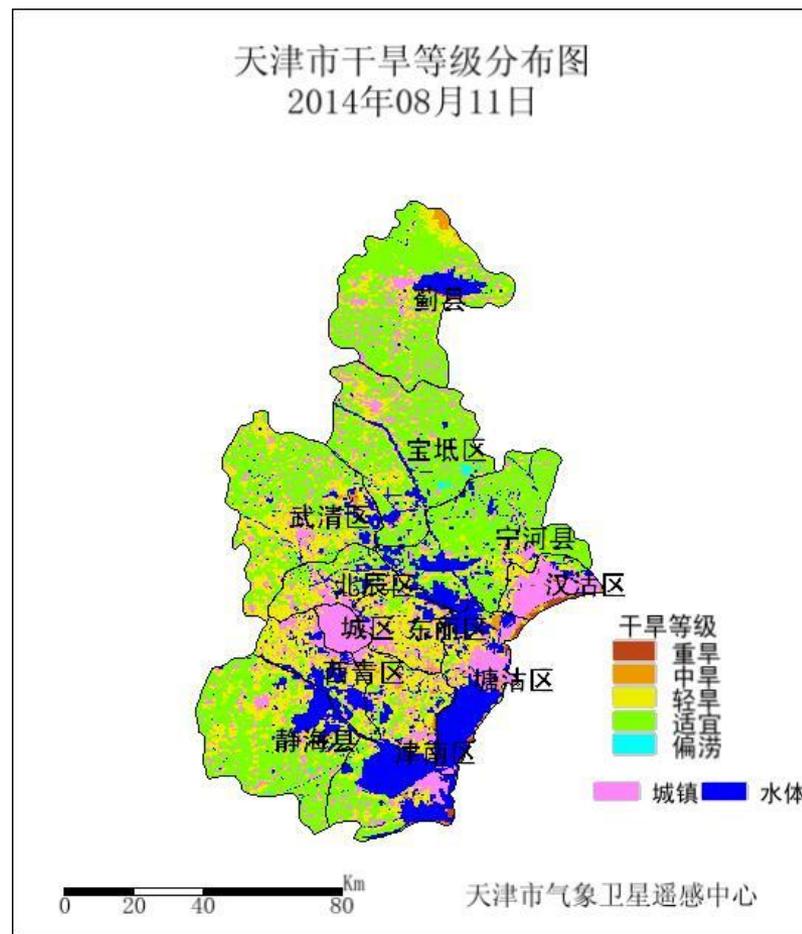
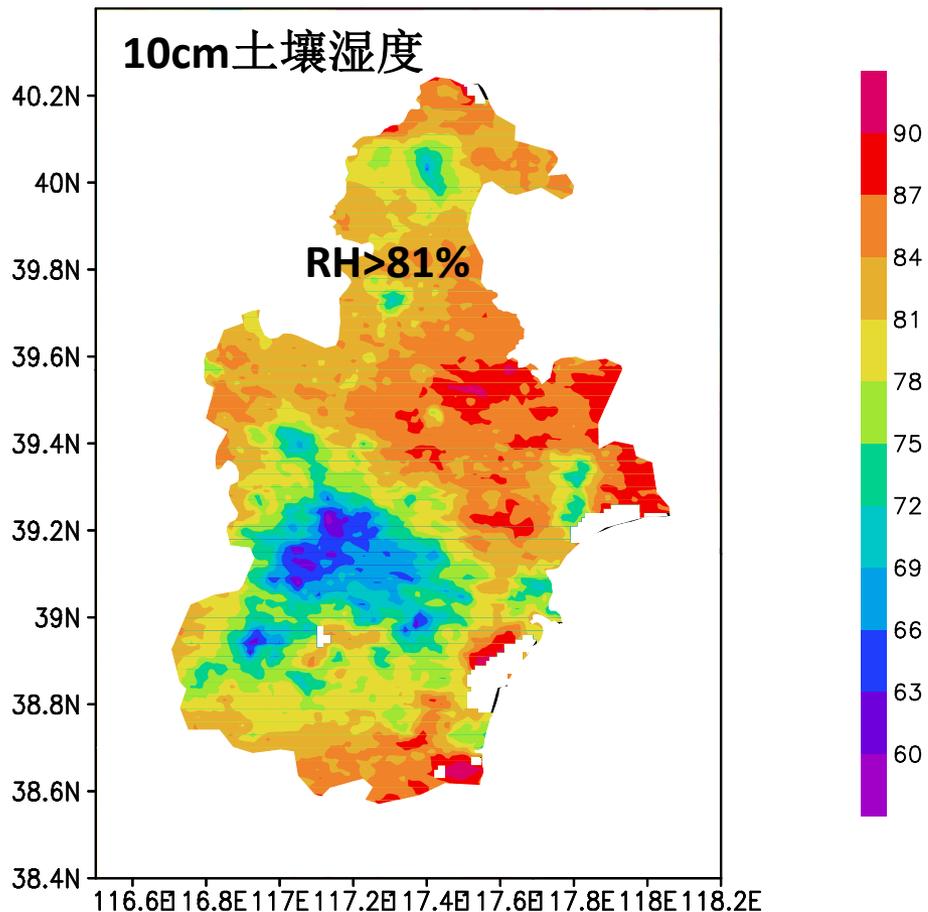
varify_MOD11A1_A2014219_tianjin



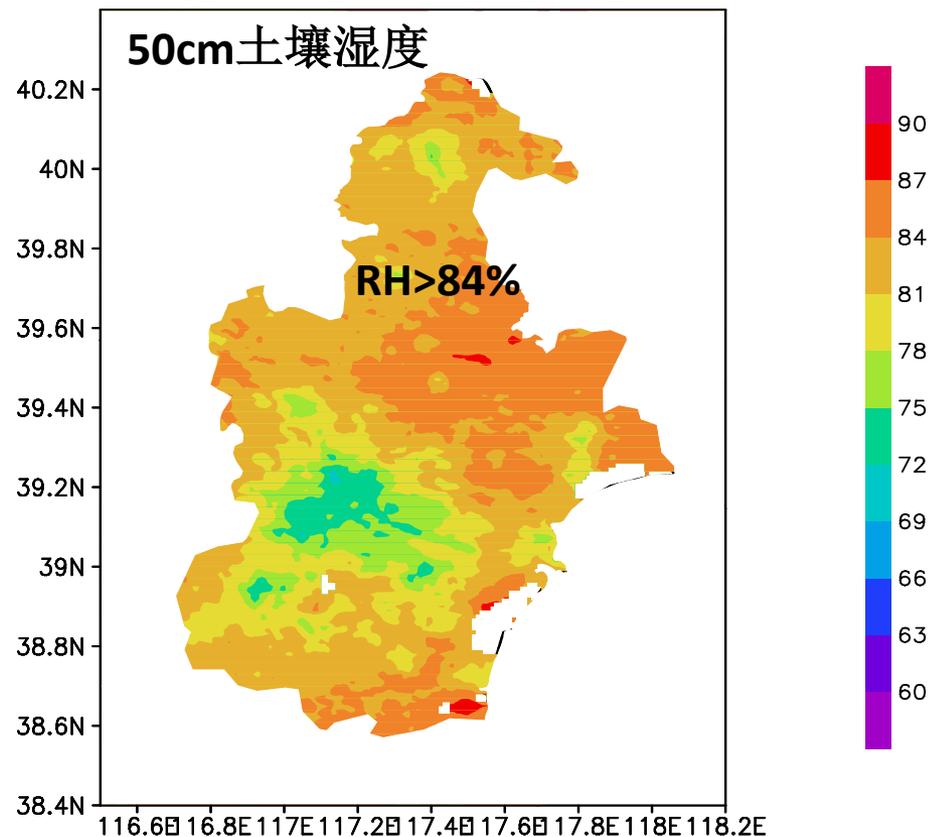
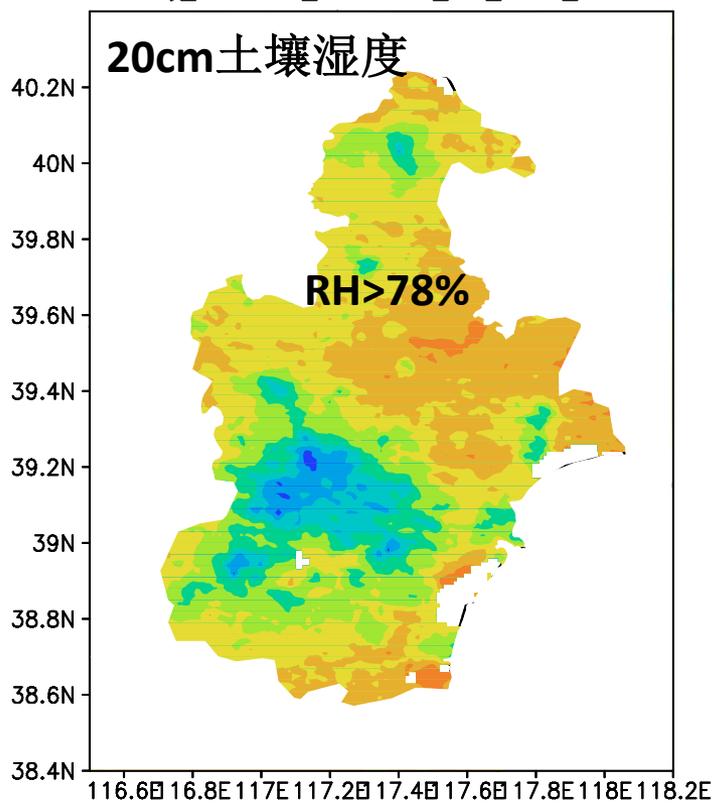
站点	实际观测	变分结果	相对误差
54525	309.55	304.84	1.52%
54528	308.85	305.24	1.17%
54530	317.35	311.53	1.83%

土壤湿度

varify_MOD11A1_A2014219_soil_water_10cm



变量		季节					
		0cm	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
土壤湿度	春季	73.24	74.45	77.23	78.53	80.69	82.42
	夏季	83.33	81.11	78.88	80.07	81.25	82.45



土壤深度	10cm	20cm	50cm
历史平均值	81.11%	78.88%	82.45%
实际	>81%	>78%	>84%

10cm-20cm 土壤湿度随土壤深度变化略有降低，20cm-50cm土壤湿度随土壤深度变化逐渐增加，各层土壤湿度均大于历史平均值，判定土壤墒情有利于农业生产，无需灌溉。



第三部分：结论分析

- 地表温度与土壤湿度呈显著负相关，春季相关度高于夏季相关度；
- 土壤湿度随土壤深度的增加先降低（0cm-20cm)后升高(20cm-50cm)，整体呈升高的变化趋势；
- 深层土壤湿度（50cm以下）较浅层土壤湿度（地表至50cm)在夏季变化中滞后一个月；
- 在墒情监测与预估方面，根据变分得到的逐层土壤湿度的变化特征，结合未来的天气预报（尤其是降水）得出土壤现有墒情与预估结论；

