

# Characters of Soil Temperature and Soil Moisture and Precipitation Based on HRADC High Resolution Data in Chinese Area from 2005 to 2012

Wangjie Zhu

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan  
Email: zhuwangjiecuit@outlook.com

Received: Oct. 28<sup>th</sup>, 2019; accepted: Nov. 12<sup>th</sup>, 2019; published: Nov. 19<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In this paper, using the HRADC assimilation data from 2005 to 2012, the spatial distribution and temporal variation characteristics of soil temperature, humidity and precipitation in China were analyzed by regional average method, and the soil temperature and humidity in northwest, north-east and south China and comparison of changes in precipitation were further studied. The results show that the soil moisture in China has a three-level cascade from southeast to northwest, and the soil moisture is decreasing. The distribution of precipitation is increasing from the northwest to the southeast, and the precipitation is the most in the coastal areas of southern China. The soil temperature of the layer changes very much, the temperature of the deep soil changes little, and the temperature change of the deep soil lags behind the change of the shallow soil. Changes in soil moisture and precipitation vary in different regions. In northwestern China, precipitation has a greater impact on soil moisture at 0 - 40 cm depth and has little effect on soil moisture at 100 cm depth; in northeastern China, precipitation has a rapid effect on soil moisture of 0 - 20 cm depth, but it has a slow effect on soil moisture of 40 - 100 cm depth. In the Jiangnan area of China, the change of precipitation is synchronized with the change of soil moisture of 0 - 100 cm depth.

## Keywords

Soil Temperature, Soil Moisture, Precipitation, China Region

---

# 2005~2012年中国区域基于HRADC高分辨率资料同化数据的土壤温湿度和降水特征研究

朱王杰

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都  
Email: zhuwangjiecuit@outlook.com

收稿日期：2019年10月28日；录用日期：2019年11月12日；发布日期：2019年11月19日

## 摘要

本文利用2005~2012年HRADC同化资料，采用区域平均的方法，对我国土壤温湿度与降水量的空间分布和随时间变化特征进行了分析，并进一步研究了西北、东北、江南的土壤温湿度与降水量的变化特征对比。研究表明：中国区域的土壤湿度从东南到西北呈三级梯级分布，土壤湿度不断减少；降水量的分布情况是从西北往东南方向不断增加，华南沿海地区降水最多；随着季节变化，浅层土壤温度变化非常大，深层土壤温度变化较小，深层土壤温度变化落后于浅层土壤的变化。土壤湿度与降水量的变化在不同区域体现各不相同，在中国西北区域，降水量对0~40 cm深的土壤湿度影响较大，对100 cm深的土壤湿度几乎没影响；在中国东北区域，降水量对0~20 cm深的土壤湿度影响很快，但是对40~100 cm深的土壤湿度影响很缓慢；在中国江南区域，降水量的变化与0~100 cm深的土壤湿度的变化同步。

## 关键词

土壤温度，土壤湿度，降水量，中国区域

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

土壤温湿度和降水量是研究区域和全球气候变化的基本要素之一，并且土壤温湿度作为一个很重要的土壤物理性质，其区域分异和季节性变化直接影响着土壤生物的生长发育、繁殖和分布，与农业的生产活动和生态环境紧密相连[1]。而且土壤湿度可以通过改变地表反照率、热容量和向大气输送的感热、潜热等影响气候[2]。降水量的异常变化会直接影响人们的生活，过多或过少的降水都会带来严重的灾害，例如洪涝、干旱等。政府间气候变化委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)也指出了异常的气候变化对人类系统产生影响[3] [4]：第一，气候变化对粮食产量主要造成不利影响，据统计在气候变化下，小麦和玉米每十年分别减产 1.9%和 1.2%；第二，因为气候变化，对淡水资源造成的风险越发明显；第三，气候变化会通过加剧已存在的健康问题来影响人类健康。而土壤温湿度和降水量是影响农业生产的重要气象因素，同时降水量也影响着淡水资源，所以研究降水量和土壤温湿度之间的关系特征具有非常重要的意义。

土壤温湿度是地面的重要物理参数，在气候系统中，土壤温湿度与大气相互作用，尤其是近地层大气。这意味着土壤温湿度对降水量有一定的影响，同时降水量也会对土壤温湿度产生反馈过程。本文旨在研究土壤温湿度和降水量的空间分布和时间分布特征，以了解土壤温湿度与降水量之间的关系。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 资料

采用了 2015 年 1 月 1 日 00:00:00 至 2012 年 12 月 31 日 18:00:00 的空间分辨率为  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  的中国区域高分辨率能量水循环资料同化数据集(HRADC 同化数据)。

## 2.2. 方法

本文中对数据的基本处理:

1) 各个要素的中国区域的区域平均计算:

$$\bar{A}_n = \frac{1}{229} \sum_{x=1}^{229} \left( \frac{1}{159} \sum_{y=1}^{159} A_{x,y,a} \right) \quad (1)$$

2) 中国区域的区域平均下各个要素的月平均值的计算:

$$MA_j = \sum_{n=sum+1}^{sum+a_i} \bar{A}_n, (j=1,2,3 \dots 12, i=1,2,3) \quad (2)$$

其中  $sum = \sum_{j=1}^{12} j \cdot a_i, (a_1 = 31, a_2 = 30, a_3 = 29)$ ; 且当  $j=1,3,5,7,8,10,12$  时,  $i=1$ ;  $j=4,6,9,11$  时,  $i=2$ ; 当  $j=2$  时,  $i=3$ 。

## 3. 土壤温湿度和降水量的研究

### 3.1. 全国范围土壤温湿度与降水量的对比分析

从 8 年平均下的中国区域的总降水量图(图 1)来看, 全国的降水分布, 首要体现为: 从东南沿海到西北内陆递减。从地理位置分析, 降水量受到海陆位置影响, 从东南沿海到西北内陆, 距离海洋越远, 受来自海洋的夏季风影响越小, 来自海洋的水汽也越少, 降水量也越少。

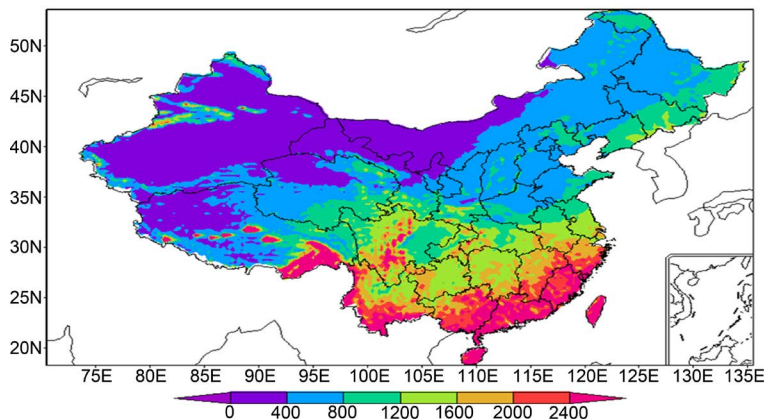
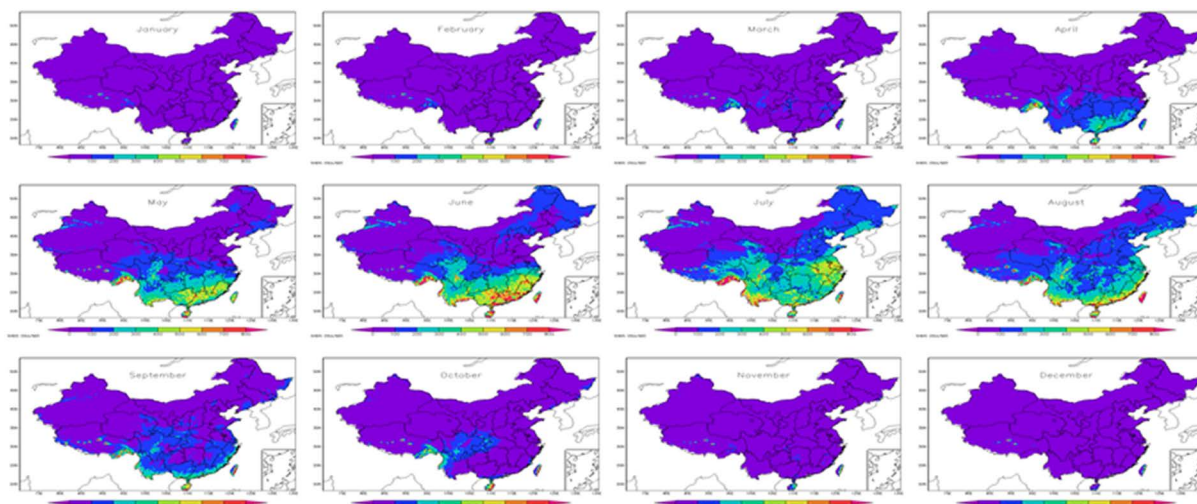


Figure 1. Total precipitation in China in an 8-year average

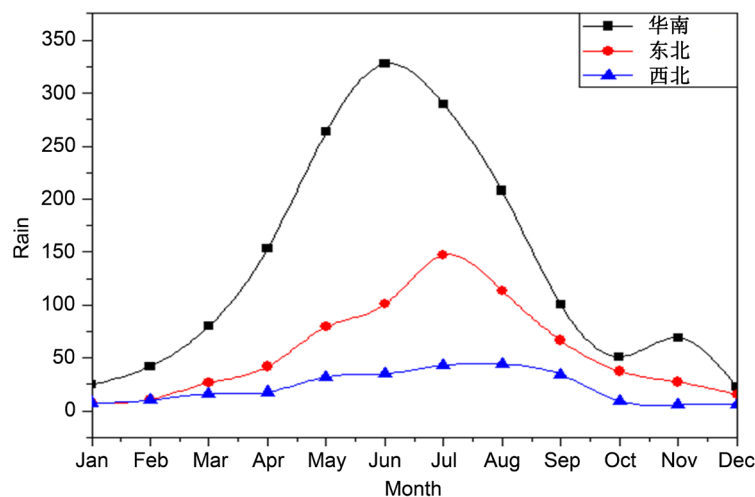
图 1. 8 年平均下的中国区域的总降水量图

对全国区域进行 8 年平均后的月累计降水量(如图 2)分析, 来观察分析中国各地区月累计降水量的变化。中国地区的降水变化都是随雨带的移动造成的, 平均而言, 在 1 月、2 月、3 月基本上中国区域的月累计降水量不超过 100 mm。4 月到 5 月, 主要雨带位于江南沿海区域, 并随着季节的转暖缓慢向北移动, 引起江南地区月累计降水量增加。6 月到 7 月, 雨带北移至黄河流域, 江南地区的降雨量可以说是 1 年中最大量。7 月至 8 月, 雨带北移至华北、东北一带达到一年中最北位置, 除了内蒙古、西北地区没有大的降水之外, 其他地区的降水量都超过 100 mm, 从西北向东南呈现月累计降水量不断增加的形势, 降水最多的是江南沿海地区。从 8 月到 9 月开始, 雨带随着北方冷空气的活跃而开始迅速南撤, 华北、东北地区雨季最早结束, 只有江南沿海地区月累计降水量较多; 到了 10 月, 雨带退至江南地区, 随后退出大陆, 结束了一年为周期的雨带推移活动。



**Figure 2.** Monthly cumulative precipitation in the national region after an 8-year average  
**图 2.** 8年平均后的全国区域的月累计降水量

从研究区域的8年平均月累计降水量(图3)上,可以看出:在西北区域,受雨带移动的影响很小,基本一年下来降水量都很小;东北区域中,降水量明显增加是7月~8月,大约在每年的7月,降水量达到最大,有147 mm;受雨带影响最明显的是江南区域,5月开始,降水量急剧增加,月累计降水量超过200 mm,在6月份达到最大降水量,有327 mm,9月之后降水量开始减少,随着雨带退出大陆地区,江南地区的月累计降水量少于100 mm。

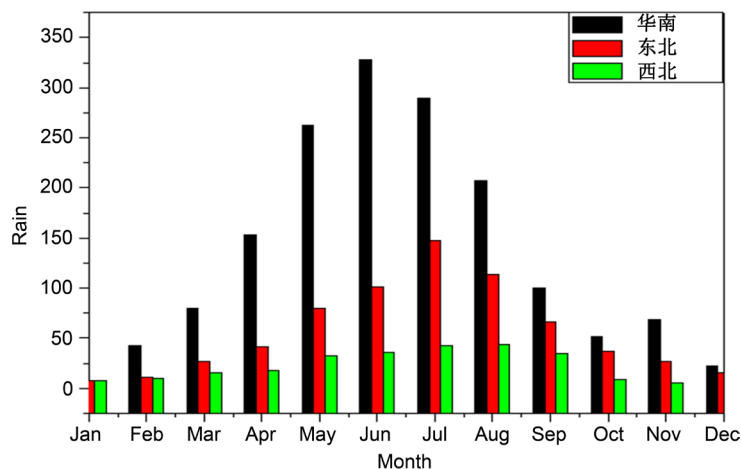


**Figure 3.** Monthly cumulative precipitation in the study area under the 8-year average  
**图 3.** 8年平均下的研究区域的月累计降水量

湿度图中(图4),中国的土壤湿度分布总体呈从东南到西北的三级阶梯级分布,从东南到西北逐渐增加。中国西北、内蒙古西部的土壤湿度最低,不超过0.2;西南地区北部、华中地区北部、华北地区、东北地区 and 内蒙古东部地区的土壤湿度在0.2~0.3之间;江南地区、华东地区、华中地区南部、西南地区南部的土壤湿度则在0.3~0.4之间。和8年平均下的中国区域的总降水量图对照来看,相似水平很高。

还有对于8年平均下的土壤温度特征分析(图4),随着土壤深度的增加,土壤温度变化不明显。西藏、青海、中国东北地区的土壤温度明显比中国其他区域的土壤温度要低,一个是由于西藏、青海地区的高

海拔导致的[5] [6], 另一个是由于东北地区处于中国纬度最高的地区。江南地区的土壤温度是中国区域土壤温度最高的。



**Figure 4.** Monthly cumulative precipitation histogram of the three regions under an 8-year average  
**图 4.** 三个区域在 8 年平均下的月累积降水量柱状图

总之, 中国的降水量从东南往西北不断减少, 土壤湿度也是从东南往西北不断减少。江南沿海地区的土壤温度最高, 由于青藏高原的高海拔和东北地区高纬度的影响, 这两块区域的土壤温度明显比中国其他地区的土壤温度要低。

### 3.2. 三个不同区域的土壤温湿度和降水量的对比分析

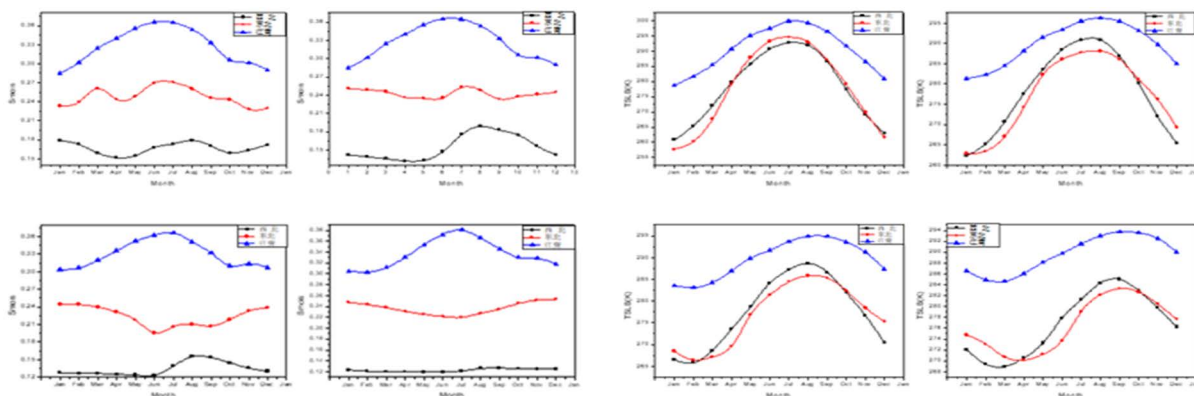
这三个区域有 8 年的降水量数据, 统计出每个月的月累计降水量后, 然后对每年的 1 月、2 月~12 月的月累计降水量进行 8 年平均后, 以此数据画出三个区域在 8 年平均下的月累积降水量(详见图 4)。从图 4 上可以看到, 江南地区的降水量非常高, 远超东北地区和西北地区[7] [8]。江南地区的最大降水量在 6 月, 有 327 mm; 最少降水量在 1 月, 只有 24 mm, 可以说降水随月份改变波动很大。从 4 月开始, 江南地区的降水量急剧增加, 5 月、6 月、7 月、8 月的月累计降水量超过了 200 mm, 而 1 月、2 月、3 月、9 月、10 月、11 月、12 月的降水量不超过 100 mm。东北地区的降水量在数量上没有江南地区那么大, 而且从变化趋势来看, 东北地区的月累计降水量的变化相比于江南地区有滞后现象, 东北地区在 7 月达到最大月累计降水量, 相比于江南地区晚了 1 个月左右。西北地区的降水就非常少了, 最大月累计降水量在 8 月, 有 44 mm, 最少在 11 月, 只有 5 mm。而且从全年来看, 降水变化幅度不大, 可以说西北地区的降水非常少。

用同样的方法处理三个区域的八年土壤湿、温度(图 5)。湿度上可以很明显看出无论哪一层, 都是江南地区的土壤湿度最大, 数值都超过了 0.3; 在 4 个不同深度的土壤湿度图上, 江南地区的土壤湿度从 1 月开始到 6 月逐渐增加, 直到在 6 月达到最大值, 从 6 月开始到 12 月, 土壤湿度开始减少; 东北地区的土壤湿度在 0.21~0.27 之间, 西北地区的土壤湿度最低, 基本不超过 0.2 [9]。温度上, 江南地区普遍高于西北、东北地区, 尤其是在 1、2 月份, 差距非常大, 在 7、8 月份差距最小。东北地区的土壤温度和西北地区的土壤温度相近, 差距不大。江南地区的土壤温度随月份的改变波动不大, 而西北、东北地区的土壤温度随月份的改变波动很大。

综上所述, 江南地区的降水量最多, 其次是东北地区, 西北地区的降水量最少。江南地区雨季来得最早, 接着是东北地区, 而西北地区常年降水很少。三个地区的土壤湿度表现为从东南向西北不断减少, 即



江南地区土壤湿度最大，其次是东北地区，最后是西北地区。土壤温度是江南地区要高于东北地区和西北地区[10]。在 0~20 cm 土壤深度下，东北地区的土壤温度与西北地区的土壤温度相近。在 20~100 cm 土壤深度下，东北地区的土壤温度略微低于西北地区的土壤温度，而且随月份的变化明显滞后于西北地区。



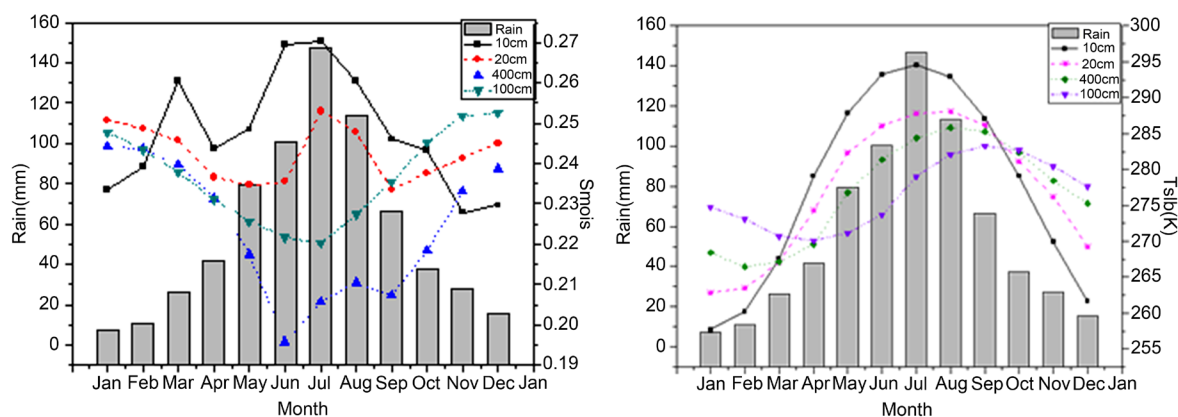
**Figure 5.** Monthly average soil moisture and temperature maps of different regions at the same depth after 8 years ((a) is the monthly average soil moisture and temperature map at 10 cm depth, (b) is the monthly average soil wetness and temperature map at 20 cm depth, (c) is 40 cm Soil wetness and temperature map at depth, (d) is soil wetness and temperature map at 100 cm depth)

**图 5.** 8 年平均后的相同深度下不同区域的月均土壤湿、温度图((a)是 10 cm 深度下月均土壤湿、温度图, (b)是 20 cm 深度下的月均土壤湿、温度图, (c)是 40 cm 深度下的土壤湿、温度图, (d)是 100 cm 深度下的土壤湿、温度图)

### 3.3. 对同一区域进行土壤温湿度和降水量分析

#### 3.3.1. 对东北地区进行土壤温湿度和降水量分析

对 8 年平均下的东北地区月累积降水量和月均土壤温湿度做时间序列(图 6)从图 6 上来看东北地区的月累积降水量最少的是在 1 月份, 只有 7 mm, 从 1 月开始到 7 月份是不断增加的, 从 5 月份开始, 月累积降水量急剧增加, 在 7 月份达到最大值, 有 147 mm。从 7 月份到 12 月份, 月累积降水量开始不断减少[11] [12] [13]。



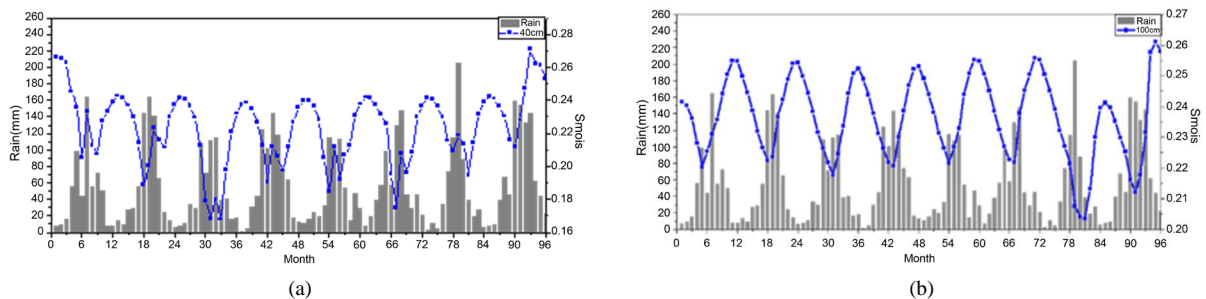
**Figure 6.** Time series of monthly cumulative precipitation and monthly average soil moisture and temperature in the north-east region under an 8-year average

**图 6.** 8 年平均下的东北地区月累积降水量和月均土壤湿、温度的时间序列

对 40 cm、100 cm 土壤深度的月均土壤湿度和月累积降水量做从 2005 年~2012 年的时间序列(如图 6), 在图 6 上, 可以发现月均土壤湿度相比于月累积降水量有着明显的滞后现象, 晚了近 6 个月。可

以说大量的降水后对 40 cm、100 cm 土壤深度下的土壤湿度影响很缓慢，影响时间非常久，这也造成了在图 6 中 40 cm、100 cm 深的土壤湿度与降水量出现负相关。

东北地区的土壤温度的变化很有规律，在图 6 中 10 cm 土壤深度下的月均土壤温度变化与月累积降水量的变化非常相似。在 7 月，10 cm 土壤深度下的土壤温度最高 1 月最低。20 cm 土壤深度下的土壤温度最高在 8 月最低在 1 月。40 cm 土壤深度最高的时候在 8 月，最低在 2 月。100 cm 土壤深度下的土壤温度最高的时候在 9 月，最低在 4 月(图 7)。随着土壤深度的增加，月均土壤温度相较于月累积降水量的滞后现象越来越明显，土壤温度的变化波动也越来越小。



**Figure 7.** Time series of monthly mean soil moisture and monthly cumulative precipitation from 40 cm to 100 cm soil depth from 2005 to 2012 ((a) is a time series chart at a depth of 4 cm, (b) is a time series chart at a depth of 100 cm)

**图 7.** 从 2005 年~2012 年的 40 cm、100 cm 土壤深度下的月均土壤湿度和月累积降水量的时间序列((a)是 4 cm 深度下时间序列图, (b)是 100 cm 深度下的时间序列图)

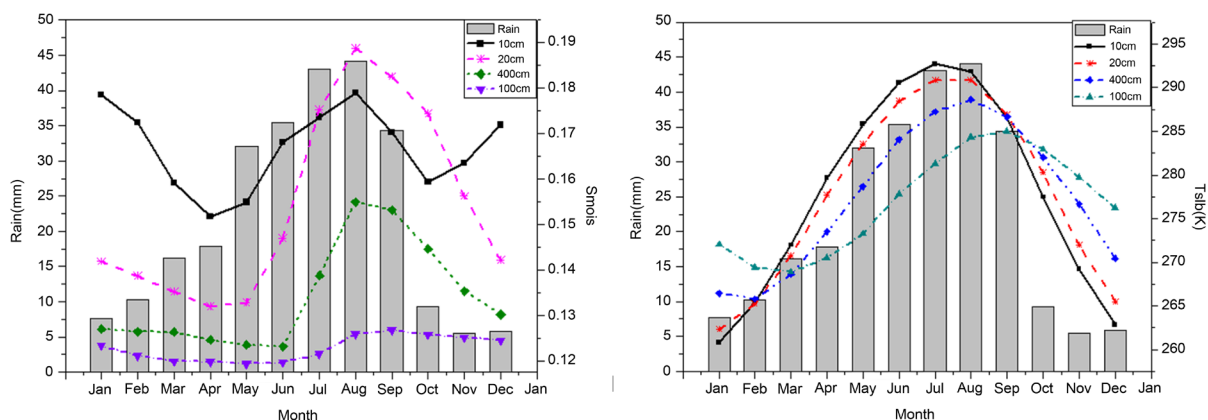
总的来说，在东北地区，土壤湿度与降水量成正相关，降水量对浅层土壤湿度的影响较快；对深层土壤湿度的影响很缓慢。土壤温度与降水量成正相关，随着土壤深度的增加，土壤温度随月季变化变化的波动越来越小，土壤温度越来越趋于稳定。同时随着土壤深度的增加，深层土壤温度的变化要落后于浅层土壤的温度变化[14]。

### 3.3.2. 对西北地区进行土壤温湿度和降水量分析

再对 8 年平均下的西北地区月累积降水量和月均土壤温湿度做时间序列(图 8)，可以看到在西北地区，累积降水量从 5 至 9 月，降水量变多，最多是在 8 月份，比于江南地区少[15]。月均土壤湿度从总的特征来看，随着月累积降水量的增加，土壤湿度也会随之增加。基本上随着土壤的深度增加，土壤湿度越来越小，但是在 7、8、9 月 20 cm 土壤深度的月均土壤湿度急剧增加，并且超过了 10 cm 土壤深度的月均土壤湿度。在 10 cm、20 cm、40 cm 土壤深度下的月均土壤湿度随月变化比较明显。10 cm 土壤深度的月均土壤湿度在 0.15~0.18 之间波动，20 cm 土壤深度的土壤湿度的月变化与月累积降水量的变化非常相似，从 2005 年~2012 年的月均累积降水量和 20 cm 土壤深度下的土壤湿度变化图上(见图 9)，可以看到 20 cm 土壤深度下的月均土壤湿度相比于月均累积降水量有明显的滞后现象，大约滞后 1 个月。40 cm 土壤深度下月均土壤湿度和 20 cm 土壤深度下的月均土壤湿度变化趋势很相似，只是 20 cm 土壤深度下的月均土壤湿度在 0.13~0.19 之间变化，而 40 cm 土壤深度下的月均土壤湿度在 0.12~0.15 之间变化。100 cm 土壤深度下的月均土壤湿度的变化很不明显，可以说稳定在 0.12~0.13 之间。

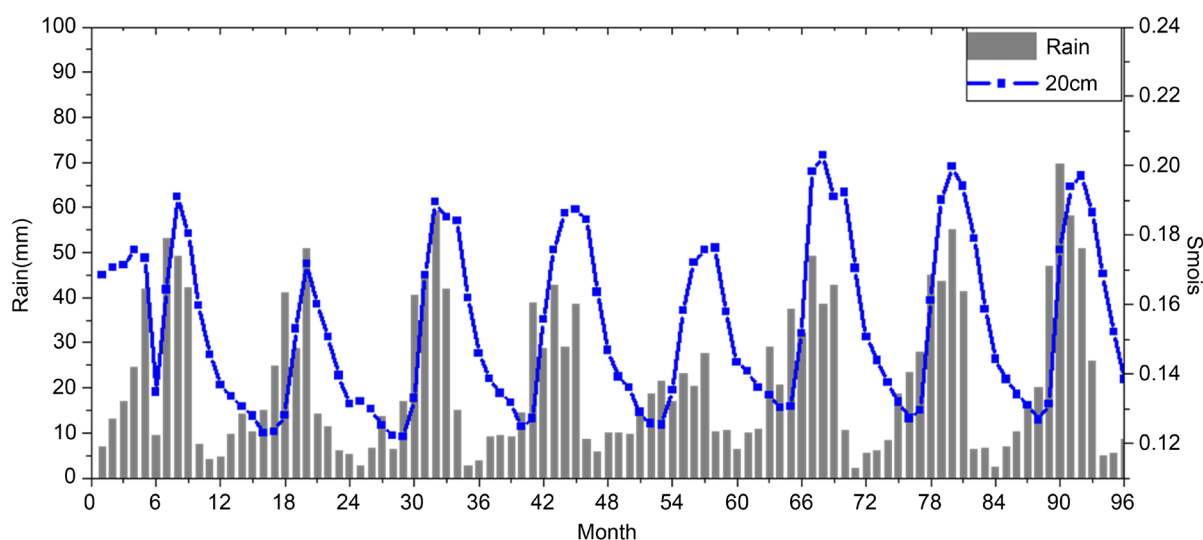
再来看下西北地区的土壤温度与降水量的变化联系，可以说随着土壤深度的不断增加，土壤温度的变化波动越来越小。而且深层土壤温度对于浅层土壤温度的滞后现象越来越明显。

在西北地区，降水量与土壤湿度成正相关，对 0~40 cm 深的土壤湿度影响较大，对 40 cm~100 cm 深的土壤湿度的影响很小。10 cm 土壤温度变化与降水量变化相同步，随着土壤深度的不断增加，深层土壤温度的变化开始落后于浅层土壤温度的变化。



**Figure 8.** Time series of monthly cumulative precipitation and monthly average soil moisture and temperature in the north-west region under an 8-year average

**图 8.** 8 年平均下的西北地区月累积降水量和月均土壤湿、温度的时间序列



**Figure 9.** Monthly average cumulative precipitation from 2005 to 2012 and soil moisture change at 20 cm soil depth

**图 9.** 从 2005 年~2012 年的月均累积降水量和 20 cm 土壤深度下的土壤湿度变化图

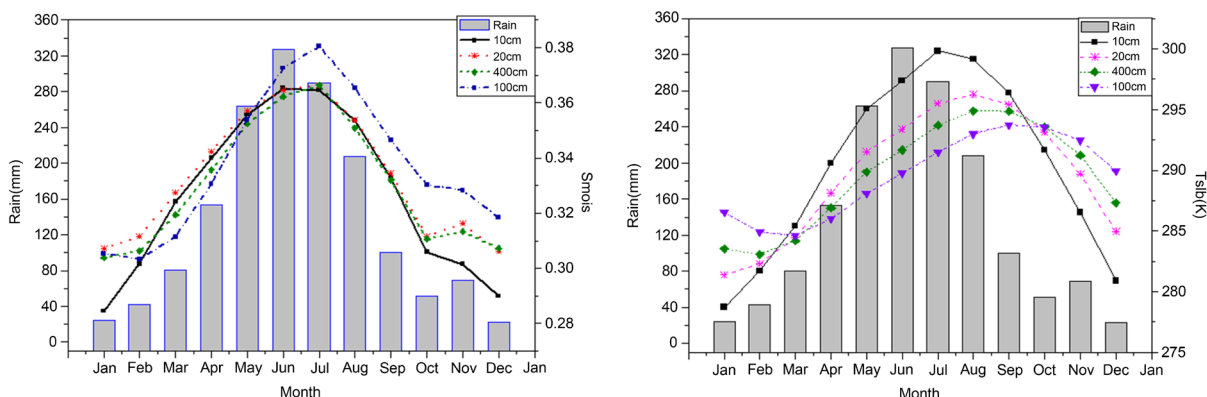
### 3.3.3. 对江南地区进行土壤温湿度和降水量分析

首先对 8 年平均下的江南地区月累积降水量和月均土壤温湿度做时间序列(图 10), 在江南地区降水很充沛, 月累计降水量很大。在 0 cm、20 cm、40 cm 土壤深度的月均土壤湿度相差不大, 只有 10 cm 土壤深度下的月均土壤湿度在 1 月、11 月、12 月时比 20 cm、40 cm 土壤深度下的月均土壤湿度低一些。从 7 月开始到 12 月, 100 cm 土壤深度下的月均土壤湿度明显比其他层的月均土壤湿度高。

从图 10 来分析, 江南地区月均土壤温度与月累积降水量的变化趋势都是正弦函数变化。而从月均土壤温度的月变化来看, 随着土壤深度的不断增加, 土壤温度的变化波动越来越小, 而且浅层土壤温度变化相较于深层土壤温度变化有明显的滞后现象。

总的来说, 江南地区的降水充足, 雨季降水量大。土壤湿度与降水量成正相关, 0~40 cm 的土壤湿度随土壤深度的变化不明显, 而且土壤湿度的月变化与降水量的月变化相同步。土壤温度的变化与降水的变化成正相关。随着土壤深度的增加, 土壤温度的变化波动越来越小, 可以说更加稳定, 深层土壤温度的月变化要落后浅层土壤温度的月变化。





**Figure 10.** Changes in soil moisture and temperature from monthly average precipitation from 2005 to 2012 and soil depth at 20 cm

**图 10.** 从 2005 年~2012 年的月均累积降水量和 20 cm 土壤深度下的土壤湿、温度变化图

#### 4. 结论

1) 我国的土壤湿度在 0.2~0.4 之间, 分布是从西北到东南呈三级梯级分布, 湿度不断增加。降水量的分布也是从西北向东南不断增加。土壤温度则表现为江南地区的土壤温度最高, 青藏高原和东北地区的土壤温度最低。而且深层土壤温度的月变化要落后于浅层土壤的月变化。随雨带的移动, 对各地的降水量有明显的影 响, 而降水量的变化会对土壤温湿度产生重要影响, 每当有大量的降水时, 都会引起土壤温湿度的波动。

2) 在中国西北地区, 土壤湿度低、降水量少, 土壤湿度对于降水量有明显的滞后性, 可以说降水量对土壤湿度的影响长达 1 个月, 主要影响 0~40 cm 深的土壤湿度, 对 40~100 cm 深的土壤湿度影响不大。浅层土壤温度变化与降水量的变化同步。

3) 在中国东北地区, 土壤湿度较高、降水量较多。土壤湿度与降水量成正相关, 降水量对浅层土壤湿度的影响较快; 对深层土壤湿度的影响很缓慢。土壤温度的变化与降水量的变化成正相关, 随着土壤深度的增加, 土壤温度随月变化的波动越来越小, 土壤温度越来越趋于稳定。

4) 在中国江南地区, 土壤湿度高、降水量多。土壤湿度与降水量成正相关, 土壤湿度随土壤深度的变化不明显, 同时 0~100 cm 深的土壤湿度的月变化与降水量的月变化相同步。土壤温度的月变化与降水的月变化成正相关, 随着土壤深度的增加, 土壤温度的变化波动越来越小, 更加稳定。

另外, 由于土壤温湿度不仅受到降水量的影响, 还受到下垫面、气温、人为活动等因素的影响。在本文中只使用了土壤温湿度和降水量的数据资料, 无法判断其他因素的影响, 故对土壤温湿度和降水量的特征研究有待优化和改进。

#### 基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

#### 参考文献

- [1] 张惠智, 史学正, 等. 中国土壤温度的季节性变化及其区域分化研究[J]. 土壤学报, 2009, 46(2): 227-234.
- [2] 马驻国, 符淙斌, 谢力, 等. 土壤湿度和气候变化关系研究中的某些问题[J]. 地球科学进展, 2001, 16(4): 563-566.
- [3] 第五次 IPCC 评估报告[Z].

- [4] 罗喜成, 刘润萍, 王景峰. 从水资源现状看水资源保护的重要性[J]. 内蒙古民族大学学报, 2009, 15(2): 68-69.
- [5] 叶殿秀, 赵珊珊, 王有民, 侯威, 朱晓金, 李莹, 蔡雯悦, 钟海玲, 黄大鹏. 2012 年我国主要气象灾害回顾[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 128-132.
- [6] 吴娴, 黄伟, 陈发虎. 1951-2012 年中国大陆  $0.025^{\circ} \times 0.025^{\circ}$  高分辨率月气温和降水量格点数据集的建立及其初步应用[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014, 50(2): 213-220.
- [7] Hu, Q. and Feng, S. (2003) A Daily Soil Temperature Dataset and Soil Temperature Climatology of the Contiguous United States. *Journal of Applied Meteorology*, **42**, 1139-1156.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2003\)042<1139:ADSTDA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2003)042<1139:ADSTDA>2.0.CO;2)
- [8] Zhang, Y., Chen, W., Smith, S.L., Riseborough, D.W. and Cihlar, J. (2005) Soil Temperature in Canada during the Twentieth Century Complex Responses to Atmospheric Climate Change. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **110**, D03112. <https://doi.org/10.1029/2004JD004910>
- [9] 赖欣, 文军, 岑思弦, 宋海清, 田辉, 史小康, 何媛, 黄曦. CLM4.0 模式对中国区域土壤湿度的数值模拟及评估研究[J]. 大气科学, 2014, 38(3): 499-512.
- [10] 王晓婷, 郭维栋, 钟中, 崔晓燕. 中国东部土壤温度、湿度变化的长期趋势及其与气候背景的联系[J]. 地球科学进展, 2009, 24(2): 181-191.
- [11] 孙倩倩, 刘晶淼, 梁宏. 东北地区土壤湿度的区域性预报模型研究[J]. 自然资源学报, 2014, 29(6): 1000-3037.
- [12] 陈海山, 周晶. 土壤湿度年际变化对中国区域极端气候事件模拟的影响研究 II. 敏感性试验分析[J]. 大气科学, 2013, 37(1): 1-13.
- [13] 程善俊, 管晓丹, 黄建平, 季明霞. 利用 GLDAS 资料分析黄土高原半干旱区土壤湿度对气候变化的响应[J]. 干旱气象, 2013, 31(4): 641-649.
- [14] 张雯, 王磊, 陈权亮. 青藏高原东部土壤湿度变化及其与中国降水的关系[J]. 成都信息工程学院学报, 2015, 30(1): 81-87.
- [15] 赵天保, 符淙斌, 柯宗建, 郭维栋. 全球大气再分析资料的研究现状与进展[J]. 地球科学进展, 2010, 25(3): 242-254.