

程善俊,黄建平,季明霞,等. 中国华北暖季土壤湿度的变化特征[J]. 干旱气象,2015,33(5):723-731, [CHENG Shanjun, HUANG Jianping, Ji Mingxia, et al. Variation Feature of Soil Moisture in Warm Season over North China[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(5):723-731], doi: 10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-05-0723

中国华北暖季土壤湿度的变化特征

程善俊,黄建平,季明霞,管晓丹,郭瑞霞

(半干旱气候变化教育部重点实验室,兰州大学大气科学学院,甘肃 兰州 730000)

摘要:通过与土壤湿度观测资料比较验证发现,GLDAS 同化数据能够较好地反映中国地区暖季土壤湿度的时空分布和变化特征,特别是在华北地区,两者显著相关。在此基础上,为研究中国区域干旱化特征,利用 1948~2010 年的 GLDAS 数据分析了中国华北地区暖季土壤湿度的周期信号和长期变化,并初步探讨了气温和降水对土壤湿度的影响。结果表明:1948~2010 年华北地区暖季 4 个不同深度层土壤湿度的变化特征基本一致,主要存在 3 a、5~7 a 和 15 a 周期信号,其中以 5~7 a 周期最为显著;长期变化均呈现减小趋势,且中间 2 层土壤湿度的减小比表层和最深层更为迅速。不同深度的土壤湿度和降水呈正相关关系,且相关性随土壤深度的增加而逐渐减小,与气温呈负相关关系,且中间 2 层的相关性大于表层和最深层。

关键词:土壤湿度;华北;暖季;GLDAS

文章编号:1006-7639(2015)-05-0723-09 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-05-0723

中图分类号:P468.0⁺23

文献标识码:A

引言

在气候系统中,土壤湿度是一个关键的物理量,它不仅调控着陆气相互作用过程中物质和能量交换的收支平衡过程,同时也是自然生态系统最直接的水分来源,植被的生长发育对土壤湿度的变化非常敏感^[1]。土壤湿度的变化会通过影响地表反照率、土壤热参量以及蒸发和蒸腾来改变陆气之间的水分和能量平衡^[2-4],改变大气边界层结构^[5-6],从而引起气候变化。相关研究表明,干土壤可使未来气温升高,湿土壤可使后期降水持续^[7],这种作用具有一个季度的时间尺度^[8]。

此外,相比于干湿变化指数^[9-10],土壤湿度也是衡量气候干湿变化的一个重要变量。目前,通过对土壤湿度的定点连续观测^[11]发现,我国北方地区发生了不同程度的土壤干化现象^[12]。这种前期土壤湿度的异常会对后期气温和降水等气候因子产生重要影响^[13],而气候变化反过来又影响土壤湿度,从而构成“土壤湿度—气候”的反馈作用。通过对农业试验站的资料分析发现西北西部土壤湿度与气

温存在负相关^[14],甘肃旱作农业区耕作层土壤湿度与降水量有极显著的正相关关系^[15]。相关研究指出,不同地区的气温和降水等气候因子对土壤湿度的作用存在显著性差异^[2,16],马柱国等^[18]通过分析中国东部土壤湿度变化及其与气候变率的关系,发现不同地区的土壤湿度与降水和气温之间关系差异显著^[17];王丹等^[19]在黑龙江地区也发现了类似的现象。我国华北地区是土壤湿度气候敏感区,也是我国干旱化最严重的地区。关于华北地区土壤湿度变化及其与气候因子的相互作用,已开展了大量的观测研究^[20-21]。

但由于缺乏长时间尺度和较大空间尺度上的观测数据,以往的观测研究多集中在单点研究和短期分析上,区域尺度和年际尺度上土壤湿度的相关研究主要依赖于遥感观测^[22-23],陆面模式和同化数据,由于模拟和同化结果仍存在较大的不确定性,数据的准确性还需检验。因此,本文利用观测的土壤湿度对 GLDAS (Global Land Data Assimilation System) 同化数据的准确性进行了验证。在此基础上,利用 1948~2010 年的 GLDAS 同化数据研究了中国

收稿日期:2015-07-06;改回日期:2015-08-16

基金项目:国家重大科学研究计划项目(2012CB955301)、高等学校学科创新引智计划(No. B13045)共同资助

作者简介:程善俊(1990-),男,山东省蒙阴人,博士研究生,主要从事陆面过程和土壤湿度变化研究. E-mail:chengshj08@lzu.edu.cn

通讯作者:黄建平(1962-),男,福建省漳平人,教授,博导,主要从事大气遥感和气候变化的研究. E-mail:hjp@lzu.edu.cn

华北地区暖季土壤湿度的变化特征,并初步探讨了气温和降水等气候因子对土壤湿度的影响,以期进一步加深对中国区域干旱化特征的理解,为合理利用气候资源、调整农业生态布局提供科学参考。

1 资料及方法

使用的同化资料来源于 GLDAS, GLDAS 是美国航空航天局(NASA)戈达德空间飞行中心(GSFC)和美国海洋和大气局(NOAA)国家环境预报中心(NCEP)联合发展的全球高分辨率陆面数据同化系统,它利用卫星和地面观测数据产品,采用先进的陆面模式和数据同化技术,提供最优化近实时的地面状态变量和通量场^[24]。这些高质量的全球陆面数据,被广泛应用于天气和气候预报、水循环和水资源应用等方面的研究^[25-27]。降水、气温和土壤湿度的同化数据取自 GLDAS-2 数据集,是 1948~2010 年的月资料,该数据的空间分辨率为 $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ 。其中,降水量由降雨率和降雪率求得,土壤湿度用平均层土壤含水量(研究层内单位面积的含水量,单位为 kg/m^2)表示,包括 4 个深度层,分别为 0~10 cm、10~40 cm、40~100 cm 和 100~200 cm,为了不同层土壤湿度的研究具有比较性,分别以 1、1/3、1/6、1/10 作为订正因子,消除 4 层土壤厚度不同造成的影响。

土壤湿度观测数据是由中国农业气象试验站观测的 756 个站点的土壤相对湿度(土壤含水量占干土重量的百分比,单位为%),时间为 1992~2010 年。观测站点多分布于中国东部地区,观测起始于 20 世纪 80 年代,每月的 8 日、18 日、28 日进行观测,大部分站点观测深度为 0~1 m。尽管观测数据的空间分辨率较低,但该资料是目前我国观测时间最长、区域覆盖最广的土壤湿度观测资料。其中部分资料被 Robock 等^[28]纳入全球土壤湿度数据库,是陆面模式等模拟结果检验的重要观测数据。由于站点观测数据和 GLDAS 土壤湿度的分层不一致,本文选取了 20 cm 层观测土壤湿度与 10~40 cm 同化数据进行对比分析。

采用的主要分析方法包括线性回归分析、相关分析、小波分析和相对贡献率的计算。相对贡献率^[29]是用来计算气温和降水对土壤湿度的定量化影响,首先利用气温和降水对土壤湿度做线性回归,然后根据公式(1)计算相对贡献率:

$$R_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [T_{ij}^2 / (\sum_{j=1}^a T_{ij}^2)] \quad (1)$$

其中 $T_{ij} = b_j x_{ij}$, x_{ij} 为回归方程中的各自变量, b_j 为对应的系数, m 为资料的时间长度, a 为回归方程

中自变量的个数。

2 结果分析

2.1 GLDAS 土壤湿度与观测值的对比

由于站点观测数据在冷季缺测较多,所以只比较暖季(5~9月)观测和 GLDAS 土壤湿度的时空分布。图 1a、图 1b 分别为 1992~2010 年暖季 GLDAS 和观测土壤湿度的平均值,可以看出中国区域 GLDAS 与观测土壤湿度平均值的空间分布基本一致,土壤湿度均表现为从东南向西北逐渐减小,其中内蒙古西部和新疆塔里木盆地的戈壁、沙漠地区为土壤湿度的低值区,长江中下游地区为土壤湿度的高值区,中间贯穿从东北向西南的干湿过渡带。图 1c、图 1d 分别为 GLDAS 和观测土壤湿度的标准差,标准差反映了土壤湿度的气候敏感性,标准差大的地区土壤湿度变化剧烈,对气候变化的响应敏感。GLDAS 与观测土壤湿度标准差的空间分布也基本一致。其中,中国西部和南部地区属于标准差的低值区,东北和华北地区标准差较大,特别是华北和内蒙古的东部地区,是标准差的极大值中心,而这些区域主要为我国的半干旱地区^[30],说明在这些中等湿润地区土壤湿度的变化最为剧烈,这与 Lawrence 等^[31]的研究结论基本一致。因此,GLDAS 土壤湿度能够较为准确地描述中国区域土壤湿度空间分布的总体特征。

中国东部地区土壤湿度的站点相对密集,观测资料比较完整。因此,对中国 100°E 以东地区的 GLDAS 区域平均土壤湿度与观测值进行了相关性分析。根据观测站点的分布和土壤湿度标准差的大小,将中国 100°E 以东的地区分成 3 个区域, 122°E 以东的东北地区, 33°N 以南的南方地区和中间的华北地区(图 1),其中华北地区为土壤湿度变化最剧烈的地区(图 1d),也是观测站点最密集的地区。图 2 为 1992~2010 年中国东部地区暖季 GLDAS 土壤湿度和站点观测土壤湿度区域平均值的时间序列,为了消除 2 种数据单位不同的影响,便于相互比较,已对 2 种数据做标准化处理。可以看出,南方地区 GLDAS 数据与观测值的相关性最差(相关系数没有通过 90% 的显著性检验),华北地区相关性最好,99% 的信度时两者显著相关,相关系数为 0.719。GLDAS 土壤湿度的振荡幅度及振幅的变化与观测值基本一致。这表明 GLDAS 土壤湿度也能够较为准确地描述中国区域土壤湿度的时间变化特征,特别是对于华北地区。因此,利用 1948~2010 年的 GLDAS 同化数据研究中国华北地区暖季土壤湿度的长期变化特征。

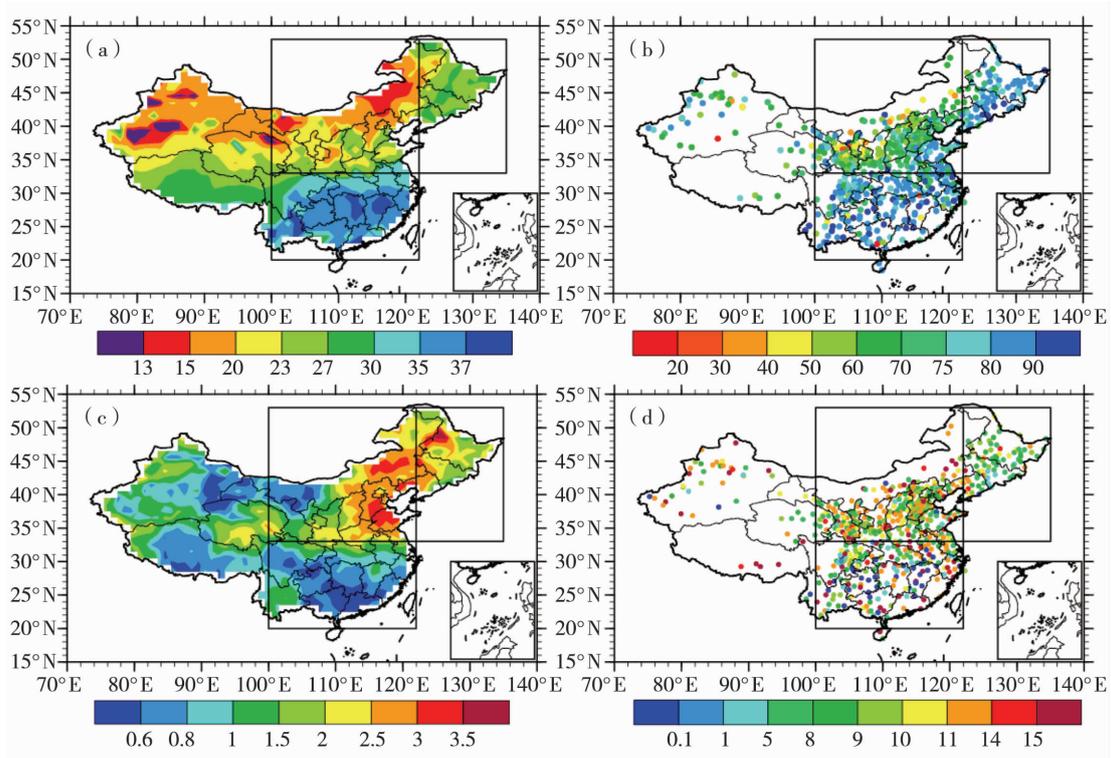


图 1 1992 ~ 2010 年暖季(5 ~ 9 月)GLDAS 和观测的土壤湿度
 平均值(单位:kg/m²)和标准差(单位:%)的空间分布
 (a) GLDAS 平均值;(b) 观测平均值;(c)GLDAS 标准差;(d) 观测标准差
 Fig.1 Spatial distribution of mean soil moisture of GLDAS (a), observation
 values (b) and standard deviation of GLDAS (c) and observation (d)
 in warm season (from May to September) in the period of 1992 – 2010

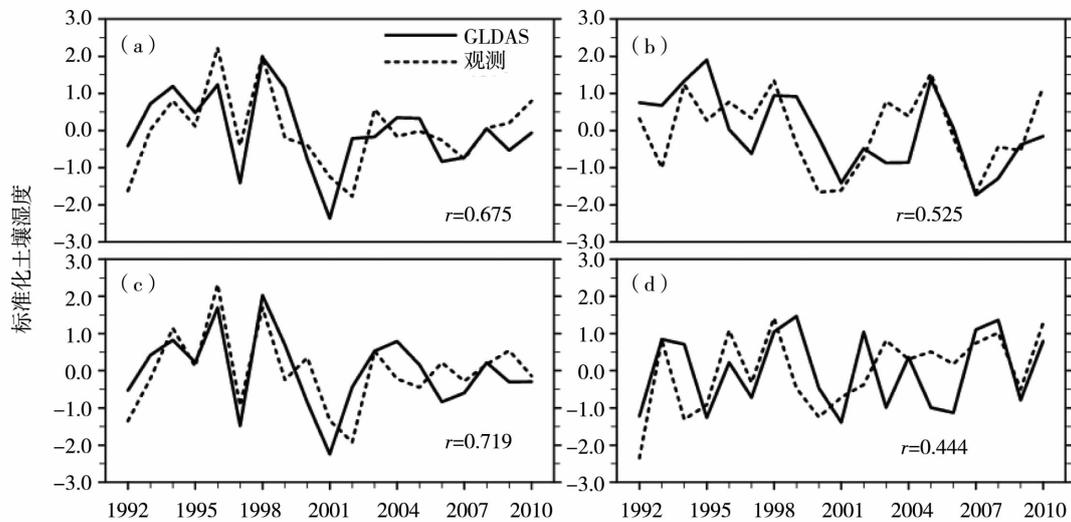


图 2 1992 ~ 2010 年暖季(5 ~ 9 月)GLDAS 和观测的土壤湿度标准化时间序列
 (a) 100°E 以东,(b) 东北地区,(c) 华北地区,(d) 南方地区
 Fig.2 Comparison of time series of standardized soil moisture in warm season (from May
 to September) in the period of 1992 – 2010 in area from 100°E to the east of China (a),
 Northeast China (b), North China (c) and Southern China (d) for GLDAS and observation data

2.2 中国华北地区干旱化特征

图3是0~10 cm、10~40 cm、40~100 cm、100~200 cm层暖季土壤湿度距平的长期趋势。可以看出,1948~2010年华北地区4层土壤湿度均呈减小趋势,且存在明显的年际间变化。20世纪60年代之前,华北地区发生土壤变湿现象,变化趋势由浅层到深层分别为1.50,1.89,2.72,1.40 kg/m²/10 a,1964年左右达到最大值,之后土壤湿度明显下

降,土壤由湿润状态向干旱化态势发展。对比4层土壤湿度的变化趋势发现,中间2层土壤湿度的减小比表层和深层更为迅速,特别是40~100 cm层土壤湿度,减小速率为0.46 kg/m²/10 a。这主要是因为表层土壤湿度受天气条件的影响较为显著,表现为年际波动为主,长期变化趋势不明显;而100~200 cm层土壤湿度较为稳定,也不会出现明显的变化趋势。

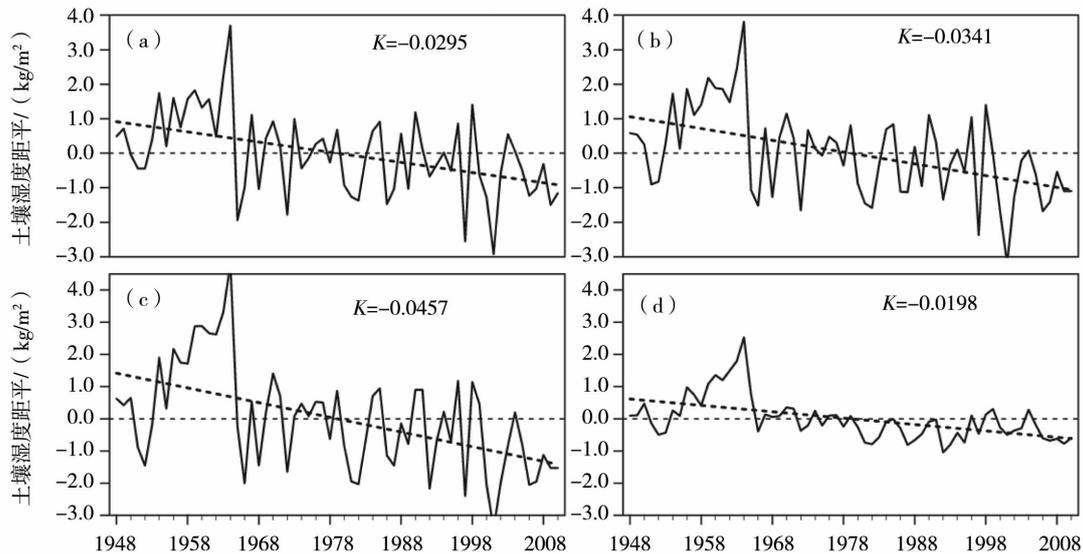


图3 华北地区暖季(5~9月)4层土壤湿度距平的时间序列
(虚线为线性趋势线, K 为趋势值,4层都通过了99.9%的显著性检验)
(a)0~10 cm,(b)10~40 cm,(c)40~100 cm,(d)100~200 cm

Fig. 3 Time series of soil moisture anomaly in North China in warm season
(from May to September) in the period of 1948–2010 for 0–10 cm (a), 10–40 cm (b),
40–100 cm (c) and 100–200 cm (d) soil depth
(Dashed lines for the trend lines; K represents the slope of the trend lines,
all the linear trends are significant at the 99.9% confidence level)

图3表明,1948~2010年华北地区4层土壤湿度存在明显的年际变化和周期波动,为了研究土壤湿度变化的周期振荡特征,对中国华北地区的暖季土壤湿度进行小波分析。小波分析是一种信号的时间尺度分析方法,具有多分辨率分析的特点,在时域和频域都具有表征信号局部特征的能力,可以对信号进行多尺度细化分析,得到各个频率随时间的变化特征和不同频率之间的关系^[32]。对于土壤湿度等气候因子的变化而言,并不存在真正意义上的周期性,而是在时域中存在多时间尺度的嵌套结构和局部化特征。因为小波分析在时域和频域中都具有良好的局部化特性,不仅可以给出气候序列变化的尺度,还可以显示出变化的时间位置,所以它是分析气候因子变化的必要工具^[33-34]。因此,采用 Morlet

小波函数对中国华北地区的暖季土壤湿度进行研究。

由1948~2010年中国华北地区暖季土壤湿度的小波分析(图4)可以看出,4层土壤湿度的周期信息基本一致,主要存在3 a,5~7 a和15 a周期信号,其中5~7 a的周期持续时间最长,是整个时间域中最主要的周期信号。另外,随深度增加,主要周期逐渐增长。表层主要周期为3 a,10~40 cm层为5~7 a,深层为15 a。不同深度土壤湿度变化周期的差异也表明在不同深度土壤湿度变化的主导因子不同,各因子作用的强度也存在差异。表层土壤湿度受降水等高频天气信号的影响较大,高频振荡更显著;深层土壤湿度较为稳定,主要受气温等低频信号的影响,表现为长时间尺度的周期变化。

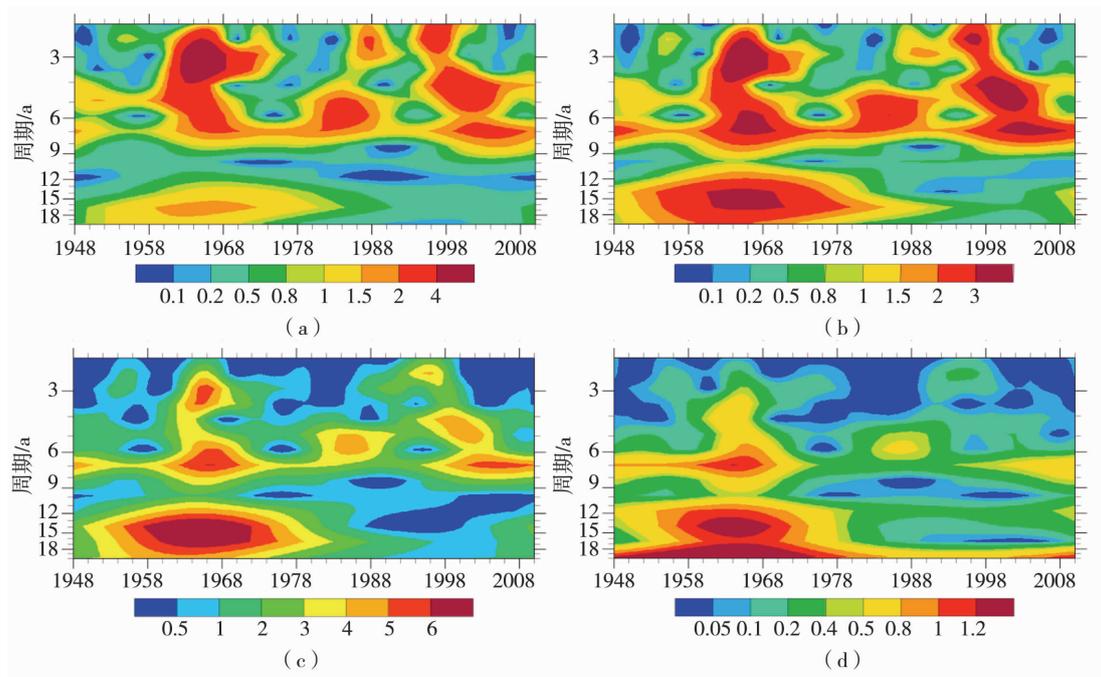


图 4 华北地区暖季(5~9月)4层土壤湿度的小波分析
(a)0~10 cm,(b)10~40 cm,(c)40~100 cm,(d)100~200 cm

Fig. 4 Wavelet analysis of soil moisture in North China in warm season (from May to September) for 0-10 cm (a), 10-40 cm (b), 40-100 cm (c) and 100-200 cm (d) soil depth

土壤湿度的变化是受多种因素共同作用造成的,一方面受土壤特性、地形、植被^[35]和土地利用方式等小尺度白噪音的影响,另一方面又受降水、蒸散、气温和太阳辐射等大尺度红噪音的影响^[36-37]。各种影响因素对土壤湿度变化的影响程度随研究地点和季节的变化而存在差异。程善俊等^[38]的研究结果表明,在黄土高原半干旱区,降水对浅层土壤湿度有显著作用,气温对深层土壤湿度的作用更明显,并且存在明显的季节性差异。对于华北地区,气温和降水也是影响该地区土壤湿度变化的重要气象要素,降水是土壤水分最主要的来源,而气温对土壤水分消耗的主要方式——蒸散有非常重要的影响。计算华北地区暖季平均气温和降水距平的时间序列发现,华北地区暖季存在气温增加显著和降水微弱减小的特点。暖季平均气温倾向率为0.167℃/10 a,通过了99%的显著性检验,远高于近百年全球平均的0.104℃/10 a的增温速率^[39]。降水量的长期变化趋势不明显,以年际波动为主,气候倾向率为-4.294 mm/10 a,但没有通过90%显著性检验。

对1948~2010年华北地区暖季平均土壤湿度和降水量、气温进行对比分析,由其时间演变曲线(图3和图5)可以看出,不同层土壤湿度与降水量均呈下降趋势,二者振荡趋势基本一致,说明土壤湿

度对降水量具有一定的依赖关系;气温的变化趋势则与土壤湿度相反。初步认为63 a来土壤湿度显著减小与暖干化有明显的关系。为了验证这一推断,分别给出63 a 4层土壤湿度距平、降水距平和气温距平的散点图(图6,图7),并利用相关分析研究土壤湿度与气温和降水量的关系,华北地区气温、降水与不同层土壤湿度的相关系数见表1。结果表明,不同层的土壤湿度和降水均存在显著的正相关关系,相关系数随深度增加而逐渐减小,从表层(0~10 cm)的0.87下降到深层(100~200 cm)的0.433,可见表层土壤湿度对降水信号的响应比深层强烈。

表 1 华北地区气温、降水与不同层土壤湿度的相关系数
Tab. 1 Correlation coefficients between air temperature, precipitation and soil moisture for different soil depth in North China

	气温与土壤湿度	降水与土壤湿度
0~10 cm	-0.439	0.870
10~40 cm	-0.484	0.799
40~100 cm	-0.477	0.683
100~200 cm	-0.323	0.433
0~200 cm	-0.446	0.663

注:相关系数均在0.01水平(双侧)上显著相关

华北地区土壤表层(0~10 cm)水分直接来源于自然降水,其它层土壤水分是降水通过该层逐步渗透而获得,该地区降水量较小,除去植株截流和表面蒸发,实际进入土壤深层而引起土壤湿度变化的有效降水较少,导致深层土壤湿度与降水的相关性较弱。通过分析气温距平与土壤湿度距平的关系发现,华北地区的气温与不同层土壤湿度之间均存在显著负相关关系,4层的相关系数分别为-0.439, -0.484, -0.477, -0.323,且通过了99%的显著性检验。气温和降水与土壤湿度的关系与黄土高原

半干旱地区的结果基本一致。

通过以上研究发现,气温和降水在土壤湿度变化过程中都发挥了重要的作用,为了定量分析两者对土壤湿度的影响大小,利用Huang等的方法^[29]分别计算了气温和降水对土壤湿度的相对贡献大小,结果表明,在不同深度,气温和降水对土壤湿度的作用并不完全一致。浅层降水贡献率远远大于气温,而深层正好相反。其中,降水对4层土壤湿度的相对贡献率分别为74.9%,69.5%,65.1%,63.0%,这与我们上述的定性分析结果一致。

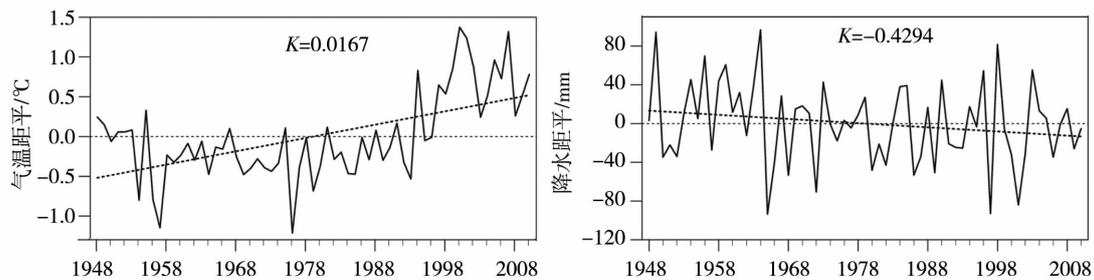


图5 1948~2010年华北地区暖季(5~9月)平均气温(左)和降水(右)距平的时间序列(虚线为线性趋势线, K 为趋势值)

Fig. 5 Time series of mean air temperature (the left) and precipitation (the right) anomaly in warm season (from May to September) in the period of 1948-2010 in North China (Dashed lines for the trend lines; K is the slope of the trend lines)

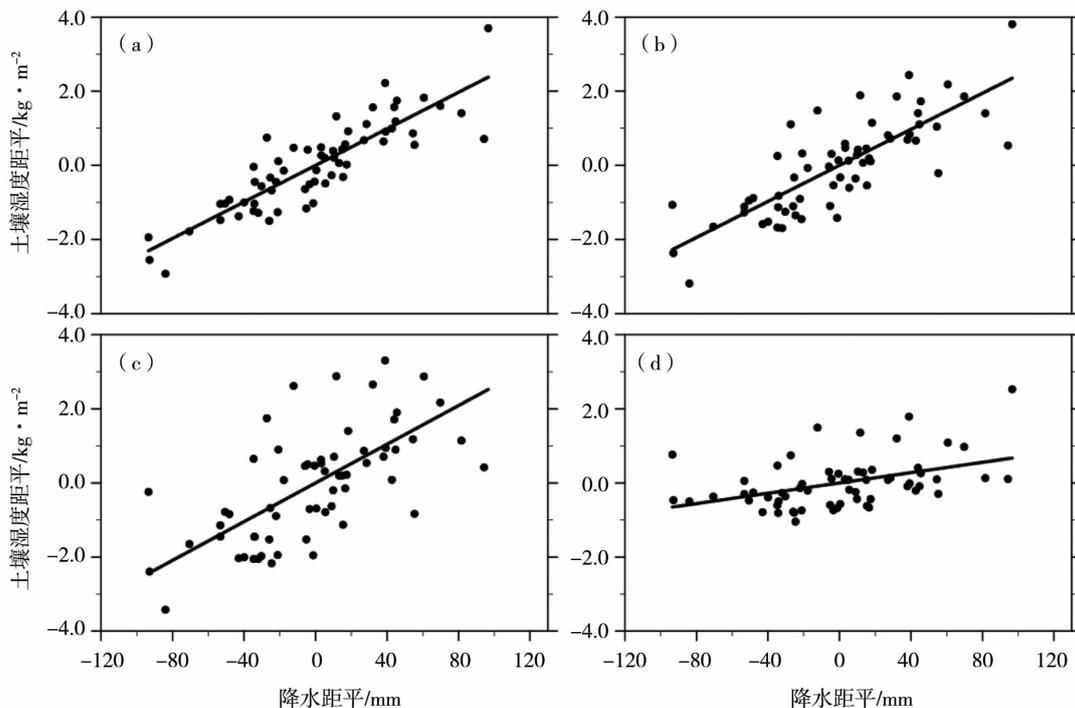


图6 1948~2010年华北地区暖季降水距平与土壤湿度距平的关系
(a)0~10 cm, (b)10~40 cm, (c)40~100 cm, (d)100~200 cm

Fig. 6 The relationship between precipitation and soil moisture anomaly in North China in the period of 1948-2010 for 0-10 cm (a), 10-40 cm (b), 40-100 cm (c) and 100-200 cm (d) soil depth

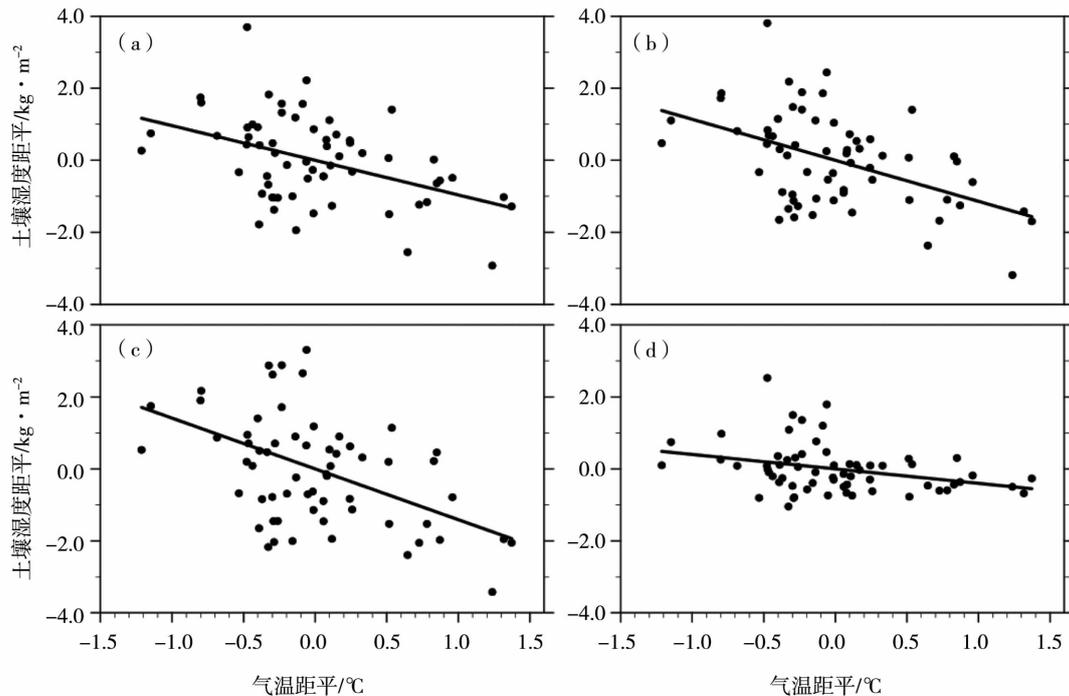


图7 1948~2010年华北地区暖季气温距平与土壤湿度距平的关系

(a) 0~10 cm, (b) 10~40 cm, (c) 40~100 cm, (d) 100~200 cm

Fig. 7 The relationship between air temperature and soil moisture anomaly in North China in the period of 1948–2010 for 0–10 cm (a), 10–40 cm (b), 40–100 cm (c) and 100–200 cm (d) soil depth

3 结论

对比中国地区暖季土壤湿度的观测资料和 GLDAS 同化数据的结果表明, GLDAS 资料能够较好地反映中国地区土壤湿度的空间分布特征, 其中内蒙古西部和新疆塔里木盆地的戈壁、沙漠地区为土壤湿度的低值区, 长江中下游地区为土壤湿度的高值区, 中间贯穿从东北向西南的干湿过渡带。观测和 GLDAS 资料都表明, 中国东部中纬度地区是土壤湿度变率最大的区域。同时, GLDAS 资料也能较好地描述中国 100°E 以东地区的土壤湿度的年际变化特征, 特别是对于华北地区, 两者显著相关, 相关系数为 0.719, 通过了 99% 的显著性检验。在对 GLDAS 土壤湿度数据进行准确性分析的基础上, 利用 63 a 的 GLDAS 同化数据研究了中国华北地区暖季土壤湿度的变化特征, 并初步探讨了气温和降水等气候因子对土壤湿度的影响, 得出以下几点结论:

(1) 1948~2010 年华北地区暖季 4 层土壤湿度的长期变化存在较好的一致性, 均呈减小趋势, 其中, 中间 2 层土壤湿度的减小比表层和深层更为迅速;

(2) 4 层土壤湿度的周期信息基本一致。主要存在 3 a, 5~7 a 和 15 a 周期信号, 其中 5~7 a 的周

期持续时间最长, 是整个时间域中最主要的周期信号。

(3) 63 a 来华北地区暖季整体呈现暖干化趋势。气温倾向率为 0.167 °C/10 a。降水量表现为微弱的减小趋势, 但是并不显著, 主要以年际波动为主。

(4) 土壤湿度和气候要素的相关分析指出, 土壤湿度和降水呈正相关关系, 且相关性随深度增加而逐渐减小; 与气温呈负相关关系, 中间 2 层的相关性大于表层和最深层。

致谢: 美国航空航天局 (NASA) 戈达德空间飞行中心 (GSFC) 和美国海洋和大气局 (NOAA) 国家环境预报中心 (NCEP) 提供宝贵的 GLDAS 数据。

参考文献:

- [1] 管晓丹, 程善俊, 郭瑞霞, 等. 干旱半干旱区土壤湿度数值模拟研究进展[J]. 干旱气象, 2014, 32(1): 135–141.
- [2] Guan X D, Huang J P, Guo N, et al. Variability of soil moisture and its relationship with surface albedo and soil thermal parameters over the Loess Plateau [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2009, 26(4): 692–700.
- [3] Wang G Y, Huang J P, Guo W D, et al. Observation analysis of land–atmosphere interactions over the Loess Plateau of Northwest China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2010, 115, doi: 10.

- 1029/2009JD013372.
- [4] 张强,曾剑,张立阳. 夏季风盛行期中国北方典型区域陆面水、热过程特征研究[J]. 中国科学,2012,42(9):1385-1393.
- [5] 吕世华,罗斯琼. 敦煌绿洲夏季边界层特征的数值模拟[J]. 高原气象,2004,23(2):147-154.
- [6] 吕世华,罗斯琼. 沙漠-绿洲大气边界层结构的数值模拟[J]. 高原气象,2005,24(4):465-470.
- [7] Walker J, Rowntree P R. The effect of soil moisture on circulation and rainfall in a tropical model[J]. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 1977,103(435):29-46.
- [8] 左志燕,张人禾. 中国东部春季土壤湿度的时空变化特征[J]. 中国科学,2008,38(11):1428-1437.
- [9] 郭锐,管晓丹. 植被状况指数的改进及在西北干旱监测中的应用[J]. 地球科学进展,2007,22(11):1160-1168.
- [10] 张杰,张强,赵建华,等. 作物干旱指标对西北半干旱区春小麦缺水特征的反映[J]. 生态学报,2008,28(4):1646-1654.
- [11] Huang J P, Zhang W, Zuo J Q, et al. An overview of the semi-arid climate and environment research observatory over the Loess Plateau[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2008,25(6):906-921.
- [12] 郭维栋,马柱国,姚永红. 近50年中国北方土壤湿度的区域演变特征[J]. 地理学报,2003,58(增刊):83-90.
- [13] Kanae S, Hirabayashi Y, Yamada T, et al. Influence of "realistic" land surface wetness on predictability of seasonal precipitation in Boreal summer[J]. Journal of Climate, 2006,19:1450-1460.
- [14] 王磊,文军,韦志刚,等. 中国西北区西部土壤湿度及其气候响应[J]. 高原气象,2008,27(6):1257-1266.
- [15] 陈少勇,郭玉珍,郑延祥,等. 甘肃旱作农业区降水对土壤水分的影响[J]. 中国沙漠,2012,32(1):155-162.
- [16] 张强,王胜,卫国安. 西北地区戈壁局地陆面物理参数的研究[J]. 地球物理学报,2003,46(5):616-623.
- [17] 马柱国,魏和林,符淙斌. 中国东部区域土壤湿度的变化及其与气候变率的关系[J]. 气象学报,2000,58(3):278-287.
- [18] 王丹,南瑞,韩俊杰,等. 黑龙江省土壤湿度及其对气温和降水的敏感性分析[J]. 气象与环境学报,2012,28(2):49-53.
- [19] Koster R D, Dimmeyer P A, Guo Z C, et al. Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation[J]. Science, 2004,305(5687):1138-1140.
- [20] 孙丞虎,李维京,张祖强,等. 淮河流域土壤湿度异常的时空分布特征及其与气候异常关系的初步研究[J]. 应用气象学报,2005,16(2):129-138.
- [21] 王晓婷,郭维栋,钟中,等. 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.
- [22] 张强,肖风劲,牛海山,等. 我国北方植被指数对土壤湿度的敏感性分析[J]. 生态学杂志,2005,24(7):715-718.
- [23] 郭锐,雷建勤,雷建勤,等. 用 NOAA 卫星可见光和红外资料估算甘肃省东部农田区土壤湿度[J]. 应用气象学报,1997,8(2):212-218.
- [24] Rodell M, Houser P R, Jambor U, et al. The global land data assimilation system[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2004,85(3):381-394.
- [25] 张强,张良,黄菁,等. 我国黄土高原地区陆面能量的空间分布规律及其与气候环境的关系[J]. 中国科学,2014,44(9):2062-2076.
- [26] 张强,黄菁,张良,等. 黄土高原区域气候暖干化对地表能量交换特征的影响[J]. 物理学报,2013,62(13):139202.
- [27] Chen Y Y, Ynag K, Qin J, et al. Evaluation of AMSR-E retrievals and GLDAS simulations against observations of a soil moisture network on the central Tibetan Plateau[J]. Journal of Geophysical Research, 2013,118(10):4466-4475.
- [28] Robock A, Vinnikov K Y, Srinivasan G, et al. The global soil moisture data bank[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2000,81(6):1281-1299.
- [29] Huang J P, Yi Y H. Inversion of a nonlinear dynamical model from the observation[J]. Science in China(Series B), 1991,34(10):1246-1251.
- [30] Huang J, Ji M, Xie Y, et al. Global semi-arid climate change over last 60 years[J]. Climate Dynamics, 2015, doi:10.1007/s00382-015-2636-8.
- [31] Lawrence J E, Hornberger G M. Soil moisture variability across climate zones[J]. Geophysical Research Letters, 2007,34(20), doi:10.1029/2007GL031382.
- [32] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998,79(1):61-78.
- [33] Huang J P, Higuchi K, Trivett N. Multiresolution Fourier Transform and its application to analysis of CO₂ fluctuations over Alert[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 1997,75:701-715.
- [34] Huang J P, Ji M X, Higuchi K, et al. Temporal structures of the North Atlantic Oscillation and its impacts on the regional climate variability[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2006,23(1):23-32.
- [35] 吕世华,陈玉春. 西北植被覆盖对我国区域气候变化影响的数值模拟[J]. 高原气象,1999,18(3):416-424.
- [36] Vinnikov K Y, Robock A, Speranskaya N A, et al. Scales of temporal and spatial variability of mid latitude soil moisture[J]. Journal of Geophysical Research, 1996,101:7163-7174.
- [37] Pan Y X, Wang X P. Factors controlling the spatial variability of surface soil moisture within revegetated-stabilized desert ecosystems of the Tengger Desert, Northern China[J]. Hydrological Processes, 2009,23(11):1591-601.
- [38] 程善俊,管晓丹,黄建平,等. 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.
- [39] Huang J P, Guan X D, Ji F. Enhanced cold-season warming in semi-arid regions[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2012,12:5391-5398.

Variation Feature of Soil Moisture in Warm Season over North China

CHENG Shanjun, HUANG Jianping, JI Mingxia, GUAN Xiaodan, GUO Ruixia

(Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change of the Ministry of Education,
College of Atmosphere Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The soil moisture data from observation over China were used to test the accuracy of assimilation data from GLDAS, results show that assimilated soil moisture can efficiently describe its spatial and temporal distribution and its variation over China in warm season, especially in North China, where the observation and GLDAS data are correlated significantly. As its efficiency, to study the characteristic of regional drought, GLDAS soil moisture data was used to access the long-term variation feature of soil moisture over North China in warm season in the period of 1948–2010, and also the impacts of temperature and precipitation on soil moisture were explored. Results show that soil moisture of all the four depth layers decreased similarly in the past 63 years and that of the middle two layers had aggravative decrease. The basic cyclic soil moisture was carried out by wavelet analysis and it concluded that for all the four depth layers, soil moisture had almost the consistent cycle with 3 years, 5 to 7 years and 15 years, and the 5 to 7 years cycle was the main cycle. For all the four layers, there was positive correlation between precipitation and soil moisture, but negative correlation between temperature and soil moisture, and the correlation with precipitation was weakened in the deeper soil layer while it was more obvious in the middle two layers with temperature.

Key words: soil moisture; North China; warm season; GLDAS

“干旱陆面过程与气候变化”学术交流会 在天津召开

2015年10月16日,由中国气象学会干旱气象学委员会、甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室、中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室、甘肃省气象学会、中国气象局兰州干旱气象研究所、兰州大学大气科学学院、中国科学院大气物理研究所、中国气象科学研究院联合主办的“干旱陆面过程与气候变化”学术交流会在天津召开。

作为第32届中国气象学会年会的第五分会场,会议共有24个学术报告及7个墙报参加交流,其中6个特邀报告分别为:“对非均匀下垫面陆—气相互问题的若干思考”(甘肃省气象局张强研究员)、“黄土高原退耕还林及其区域气候效应”(中国科学院大气物理研究所马柱国研究员)、“陆—气反馈相互作用对干旱化的影响”(兰州大学黄建平教授)、“北半球干旱区大尺度水汽输送特征”(兰州大学王澄海教授)、“1960—2010年我国西南地区区域性干旱事件的变化特征”(中国气象科学研究院任福民研究员)、“西北干旱区复杂地形条件下大气边界层结构和湍流输送特征的实验研究”(北京大学张宏升教授)。

本次会议以“干旱陆面过程与气候变化”为主题,从干旱陆面过程边界层研究及其应用、干旱气候变化及其影响与适应、干旱指数区域适应性及干旱监测技术研究、区域性干旱事件信息分离及其预测关键技术、干旱陆面过程模式和干旱半干旱区域天气/气候模式研究等方面展开了热烈交流,为全国干旱陆面过程与气候变化相关领域的科研人员搭建了交流平台,展示了我国干旱陆面过程与气候变化方面的研究进展,促进了该领域的深入交流与合作。