

卓嘎^{1,2} 陈涛³ 格桑²

青藏高原及其典型区域土壤湿度的分布和变化特征

摘要

基于土壤湿度融合分析产品及气象观测资料,分析了青藏高原及其典型区域的土壤湿度分布特征以及影响因素。结果表明:青藏高原土壤湿度与高原降水季节有较好的对应关系,降水量多的季节对应大的土壤湿度,反之亦然,即夏季土壤湿度最大,春季和秋季次之,冬季最小;高原外围土壤相对较湿,中部较干,夏季土壤高湿度区从藏东南向西北、塔里木盆地、藏东北扩展,冬季土壤高湿度区向藏东南和塔里木盆地收缩;土壤湿度垂直层次呈现出浅层和深层低、中间层高的特点,从浅层到深层土壤湿度的变化幅度逐渐减小;高原典型区域土壤湿度逐日变化规律与高原区域平均的土壤湿度时间演变接近一致,降水量的多少和湿润区、半干旱区土壤湿度高低值有较好的对应关系,湿润区垂直梯度大,干旱区和半干旱区垂直梯度小;蒸发量、风速、气温以及植被状况均会影响土壤湿度的分布特征。

关键词

土壤湿度;垂直结构;影响因素;典型区域

中图分类号 P463.1

文献标志码 A

收稿日期 2016-05-16

资助项目 中国气象局气候变化专项(CCSF201515);国家自然科学基金(41130960)

作者简介

卓嘎,女,高级工程师,从事高原地区气候监测及气候变化研究.zhuoga2013@yahoo.com

0 引言

作为陆面过程研究中的重要参数,土壤湿度对气候所产生的影响,主要在于它能够通过影响地表的反照率、热容量、陆面植被的生长状况以及蒸发和蒸腾来改变陆气之间的感热通量、潜热通量、辐射通量和动量通量,从而使后期大气环流结构发生变化乃至短期气候发生异常变化。土壤湿度的观测对于气候分析、模式发展以及卫星遥感陆面状况都很重要。

由于土壤水分观测资料的匮乏以及其时空分布具有相当大的变率特点,对青藏高原土壤水分大范围时空分布特征的研究工作相对较少。师春香等^[1]认为陆面模式模拟和陆面土壤湿度同化系统结果都能合理地反映出土壤湿度的分布特征;对土壤湿度模拟的分析表明中国区域土壤湿度空间分布具有由东南向西北逐渐减小的总体特征和干湿相间分布的带状结构^[2];吴徐燕^[3]研究认为中国土壤湿度空间分布的高值区在青藏高原东部地区,低值中心为西北沙漠地区;朱晨等^[4]利用FY卫星产品和再分析资料模拟的土壤湿度结果从空间分布和时间变率上均与观测数据有很好的-致性;张泉等^[5]系统分析了祁连山地区以狼毒为优势种的高寒草甸的土壤水分垂直变异特征、水平空间异质性以及分布特征;郭东林等^[6]对青藏高原中部土壤温湿特征进行单点模拟研究发现,模拟的土壤湿度基本上能够再现土壤未冻含水量随时间的实际变化趋势;藏北高原不同下垫面、不同深度湿季土壤湿度显著地受到降水的影响,干季土壤湿度主要受土壤温度的影响^[7-9];不同土地覆盖变化对土壤水分的影响也比较大,比如,高寒草甸生物量、土壤养分含量均比高寒草原高,且对降水响应更为强烈,致使高寒草甸土壤水分变异性弱于高寒草原^[10];李燕等^[11]认为由于不同下垫面状况的影响,藏东南站土壤湿度的模拟比实际观测值整体偏低,纳木错站和珠峰站整体偏高。

以往多数研究讨论了中国区域土壤湿度分布特征及其与降水异常的关系,取得了许多有益的研究成果^[12-13]。对青藏高原土壤湿度时空分布的研究侧重于高原中部,采用资料多为单点观测试验数据和卫星反演产品,很少涉及高原整体区域土壤湿度的时空分布和垂直结构特征。本文采用国家气象信息中心的融合土壤湿度数据,分析了青藏高原区域及其典型区域土壤湿度的时间演变和垂直结构特征,以及影响土壤湿度的气象因素。

1 中国气象局成都高原气象研究所 拉萨分部,拉萨,850000

2 西藏自治区气候中心,拉萨,850000

3 西藏高原大气环境科学研究所,拉萨,850000

1 资料来源和研究区

1.1 土壤湿度融合资料

中国气象局研制的多源土壤温湿度融合分析产品(CLDAS, CMA Land Data Assimilation System)利用数据融合与同化技术,融合了地面观测、卫星观测、数值模式产品等多种来源数据,获取高质量的温度、气压、湿度、风速、降水和辐射等要素的格点数据,进而驱动陆面过程模型(Community Land Model, CLM),以获得土壤温湿度等陆面变量.以往研究^[1,4]表明,利用陆面模式计算获得的中国区域土壤湿度数据集,模拟土壤湿度和实际观测数据具有很好的一致性.将该格点数据与高原中部那曲地区观测数据对比发现,格点数据能较好地反映高原区域土壤湿度的时空分布特征.

选用2009年7月至2010年6月逐日各节点深度土壤体积含水量作为基础数据,数据范围为 $75^{\circ}\sim 135^{\circ}\text{E}$, $15^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$,空间分辨率为 $0.1^{\circ}\times 0.1^{\circ}$.以土层厚度为权重系数,将土壤湿度结果加权平均后得到相应规则层次的土壤体积含水量,代表青藏高原浅层(10、20 cm)、中间层(60、100 cm)和深层(160 cm)土壤湿度,依据青藏高原土壤湿度的空间分布规律,分析高原区域以及典型区域(干旱、半干旱和湿润区)平均的土壤湿度时空分布及其垂直结构特征.

1.2 观测资料

采用逐日观测降水量为中国地面降水值 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 格点数据集(V2.0),该数据集基于国家气象信息中心基础资料专项最新整编的中国地面($72.25^{\circ}\sim 135.75^{\circ}\text{E}$, $18.25^{\circ}\sim 53.75^{\circ}\text{N}$)约2400个台站降水资料,利用ANUSPLIN软件的薄盘样条法(Thin Plate Spline, TPS)进行空间插值,生成1961年至最新时段的水平分辨率 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 的中国降水逐日值格点数据.通过将该格点降水量与高原实际观测降水量进行对比,发现格点降水量与高原地区实测降水量的时空分布具有较好的一致性,因此,文中采用格点数据反映高原区域降水状况.此外,选择与土壤湿度同期的狮泉河、拉萨、察隅等15个气象站(如图1中红点所示)逐日平均气温、风速和蒸发量代表高原典型区域的气象条件,其中蒸发量选用小型蒸发量.

1.3 研究区

研究区为青藏高原范围,选取由中国科学院张镱锂等^[14]制作的青藏高原边界,高原在中国境内部

分为西起帕米尔高原、东至横断山脉、南自喜马拉雅山脉南缘、北迄昆仑-祁连山北侧的区域.依据土壤湿度的干湿程度,选取了3个典型区域,即湿润区、半干旱区和干旱区,分别代表高原林区、农区和牧区,各区域范围如图1所示.

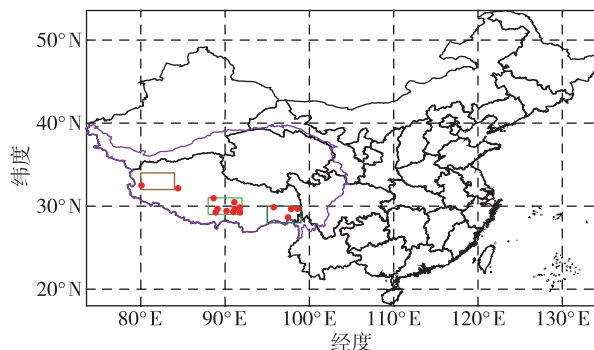


图1 青藏高原典型区域示意
(红点表示典型区域的站点位置、方框代表典型区域)
Fig. 1 Schematic diagram of typical areas over the Tibetan Plateau (TP) (red point represents meteorological stations, and square frame refer to typical areas)

2 结果分析

2.1 青藏高原土壤湿度空间分布

青藏高原逐月土壤湿度的空间分布(图2,以20 cm为例)表明:3月随着积雪和冻土融化,温度回升,高原南部区域土壤湿度可以达到 $0.30\sim 0.40\text{ mm}^3\cdot\text{mm}^{-3}$,但是,高原主体土壤湿度仍然比较小($0.20\text{ mm}^3\cdot\text{mm}^{-3}$ 以下);5月随着印度季风爆发,沿着雅鲁藏布江河谷水汽进入高原,土壤水分高值区开始从东南向西北扩展;由于受到雨季降水影响,7—8月土壤湿度呈现增加趋势,以高原东南部增加最显著,部分地区土壤湿度达到 $0.40\text{ mm}^3\cdot\text{mm}^{-3}$ 以上,而高原北部土壤湿度较小,这可能与高原内部降雨少、地表类型多为荒漠和裸露地表有关^[15];进入9月以后,随着高原多数区域降水减少,气温开始降低,土壤开始回冻,土壤湿度显著减小;10月之后高原温度持续下降,土壤湿度从浅到深层逐渐减小;11月—翌年2月土壤湿度基本处于 $0.10\sim 0.20\text{ mm}^3\cdot\text{mm}^{-3}$ 之间.高原外围土壤相对较湿,中部较干.由此可见,夏季土壤高湿度区从藏东南向西北、塔里木盆地、藏东北扩展,冬季土壤高湿度区向藏东南和塔里木盆地收缩,这可能与高原夏季水汽来源路径有关.高原土壤湿度季节变化和区域分布特点与高原水分输送路径和降水规律接近一

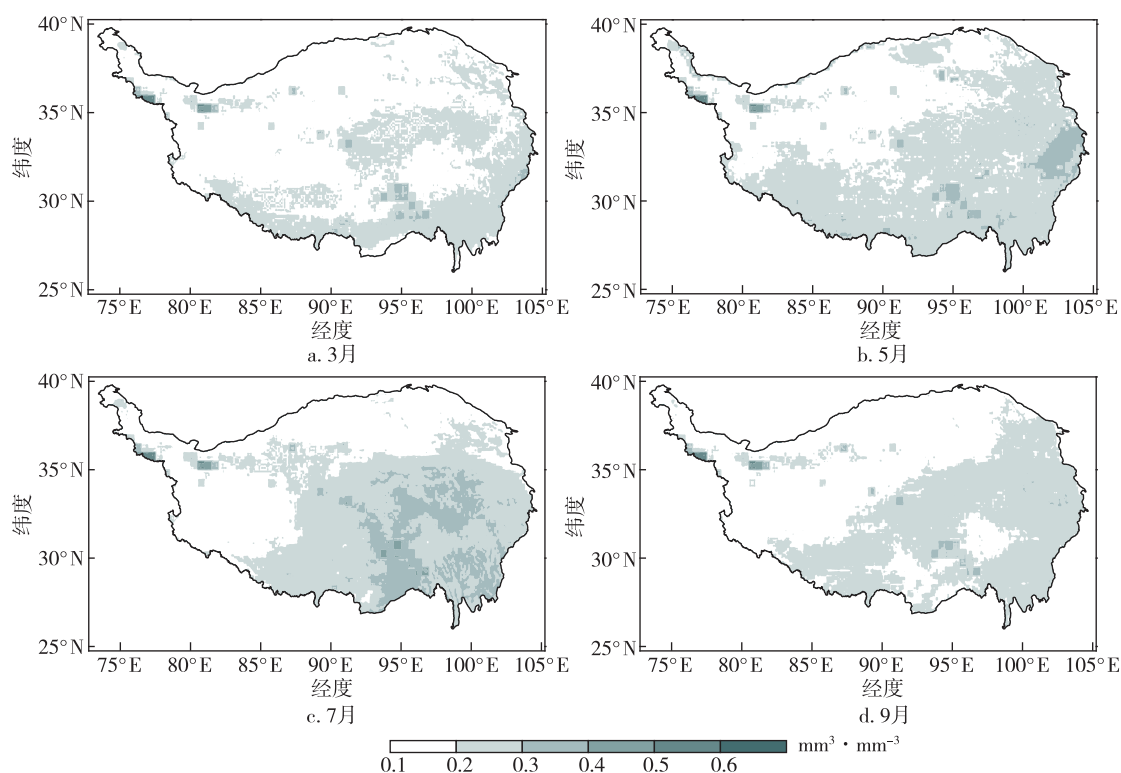


图2 青藏高原逐月土壤湿度的空间分布(以20 cm为例)

Fig. 2 Monthly spatial distribution of soil moisture(units in $\text{mm}^3 \cdot \text{mm}^{-3}$) at 20 cm depth over the TP

致.张文君^[16]利用再分析资料分析了中国东部区域的土壤湿度分布状况,认为观测土壤湿度的基本特征是由西北向东北和东南呈梯度增加的,呈现出东北和华南湿、华北和西北干的分布型.说明高原土壤湿度和中国东部土壤湿度均呈现由西北向东南方向增加的空间分布特征,降水多和植被茂密的区域对应高的土壤湿度,反之亦然^[12].

不同土壤湿度垂直层次表明,青藏高原地区土壤湿度呈现出浅层和深层低、中间层高的特点,这可能是由于高原地区太阳辐射强,植被相对稀少,造成浅层蒸发量较大,土壤湿度较小;中间层土壤层持水能力较强,加之地下水及积雪、冻土融水的补充作用,使得土壤湿度较大;深层土壤欠缺水分的补给,土壤湿度最小.由浅到深土壤湿度极大、极小值的偏差分别为:0.07、0.05、0.04、0.03以及0.02 $\text{mm}^3 \cdot \text{mm}^{-3}$,说明从浅层到深层土壤湿度的变化幅度逐渐减小,无论春季温度升高或秋季温度降低时,土壤从浅层开始融化或者冻结,接着是中间层,深层受外界影响最小,体现了土壤湿度变化与土壤温度的密切关系,这与祁连山高寒草甸地区土壤水分含量的变化速度随深度的增加趋于减少接近一致^[5].地表浅

层是陆气相互作用非常活跃的区域,浅层土壤湿度的变化很大程度上反映了对大气变率的敏感性,从而影响了该区域浅层土壤湿度空间异常的相应变化.深层由于受外界影响比表层弱,并且它对降水的响应也比表层缓慢,所以与表层相比呈现反位相,从而从垂直方向上显示出区域结构的差异变化.

2.2 青藏高原土壤湿度时间演变

土壤湿度分布(图3)具有十分显著的年变化规律.不同层次土壤湿度2—3月开始增加,5—6月达到一年中的次大值,7—8月达到最大值,之后逐渐下降.土壤湿度变化具有峰值和低值段,这与藏北高原土壤湿度4月开始急剧增大,7月达到最大值比较一致,体现了高原整体与高原腹地土壤湿度之间的一致性^[7].夏季土壤湿度(以20 cm为例)为一年中的最大值(0.22 $\text{mm}^3 \cdot \text{mm}^{-3}$),其次是春季(0.20 $\text{mm}^3 \cdot \text{mm}^{-3}$),最小值出现在秋季和冬季(0.19 $\text{mm}^3 \cdot \text{mm}^{-3}$),反映出了土壤湿度显著的季节变化,与高原区域降水时间演变具有较好的一致性,即降水量大的季节对应土壤湿度偏大,反之亦然,体现了土壤湿度和降水呈正相关.

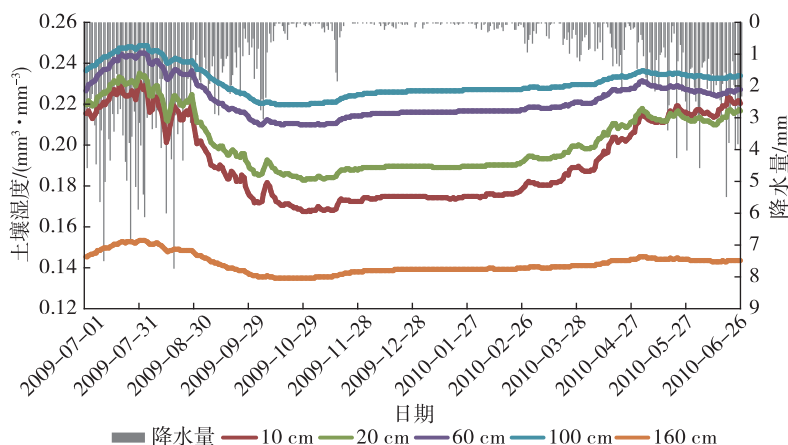


图3 青藏高原不同层次土壤湿度和降水量的逐日变化

Fig. 3 Daily variation of precipitation and soil moisture at various depths over the TP

2.3 典型区域土壤湿度时间演变

湿润区土壤湿度(图4a)逐日变化特征与高原区域平均的土壤湿度时间演变比较一致,即7—8月为土壤湿度高值时期,4—5月初为次高值期,10月—翌年3月为土壤湿度低值期。7—8月为半干旱区土壤湿度高值期,次高值出现在春末夏初,秋、冬和春季为低值期,高低值期与降水多少时段对应。半干旱区土壤湿度(图4b)量级较湿润区偏小,而且低值区持续的时间较长。干旱区土壤湿度(图4c)总体上非常小,各月之间相差不大。其中3—6月为相对高值期,其他时段土壤湿度基本维持在 $0.15 \text{ mm}^3 \cdot \text{mm}^{-3}$ 左右,没有呈现湿润区显著的季节变化,土壤湿度逐日变化幅度不大。虽然干旱区降水量高值期也出现在7—8月,但没有对应较高土壤湿度,与湿润区、半干旱区的分布规律不尽一致。可能是由于干旱区本身降水量很少,降水到达地面,很快被温度较高的荒漠土地吸收和蒸发,对土壤湿度的分布特征不能造成显著影响。这说明了较大降水量一般对应于较高的土壤湿度,但是,对于不同层次不同区域,这种关系存在显著差异。

不论是高原湿润区中间层土壤湿度,还是干旱区、半干旱区中间层土壤湿度,它们均具有基本与浅层比较接近的变化特征,且半干旱、干旱区中间层土壤湿度大于浅层土壤湿度,而湿润区中间层的土壤湿度小于浅层土壤湿度,与整个高原区域平均不同深度土壤湿度变化状况不同。各典型区域深层土壤湿度保持比较稳定的低值,进一步说明深层土壤湿度受降水量等气象因素的影响很小。张秀芝等^[17]分析了中国东部土壤湿度的垂直分布特征,认为土壤

湿度垂直分布具有明显的地域和土壤质地差异,湿度较大层所处的深度存有差别。但是,高原区域或者典型区域不同深度土壤湿度的时间演变具有一致性,基本保持浅层和深层低、中间层湿度大的特征。

2.4 垂直结构

上述研究表明,随着高原下垫面的差异,进而影响到导水率和持水能力,土壤湿度高、低值存在的层次有很大的不同^[9],并且土壤湿度随土壤深度的增加而呈现递减的趋势不同,表明土壤水分含量变化与局地下垫面条件、植被覆盖、海拔高度和距离溪流的远近程度关系密切^[5]。因此,将高原区域依照土壤湿度大小和下垫面植被覆盖的差异,选择高原干旱区、半干旱区和湿润区作为典型区域,探讨不同区域土壤湿度的垂直结构特征及其时间演变规律。土壤湿度垂直梯度是指单位的土壤湿度差值,在各层平均土壤湿度的月际变化上,表现为各层平均曲线相间越小,垂直梯度值越大,反之越小。

无论是整个高原或者是典型区域,土壤湿度垂直变化(图5)均表现为浅层到中间层土壤湿度增加,随着深度继续增加,土壤湿度急剧减小的变化特征。高原区域土壤湿度(图5a)各层土壤湿度月际变化相间较大,不同月份之间变化幅度相差不大,垂直梯度较小;湿润区土壤湿度(图5b)不同月份之间变化幅度相差较大,表现为各层月际变化曲线相间较小,垂直梯度较大;半干旱区土壤湿度(图5c)各层平均曲线相间大,垂直梯度较湿润区小;干旱区土壤湿度(图5d)较湿润区、半干旱区各层平均曲线相间大,垂直梯度最小,说明该区域随着土壤深度的增加,各层土壤湿度之间的变化不大。以往研究^[17]中将

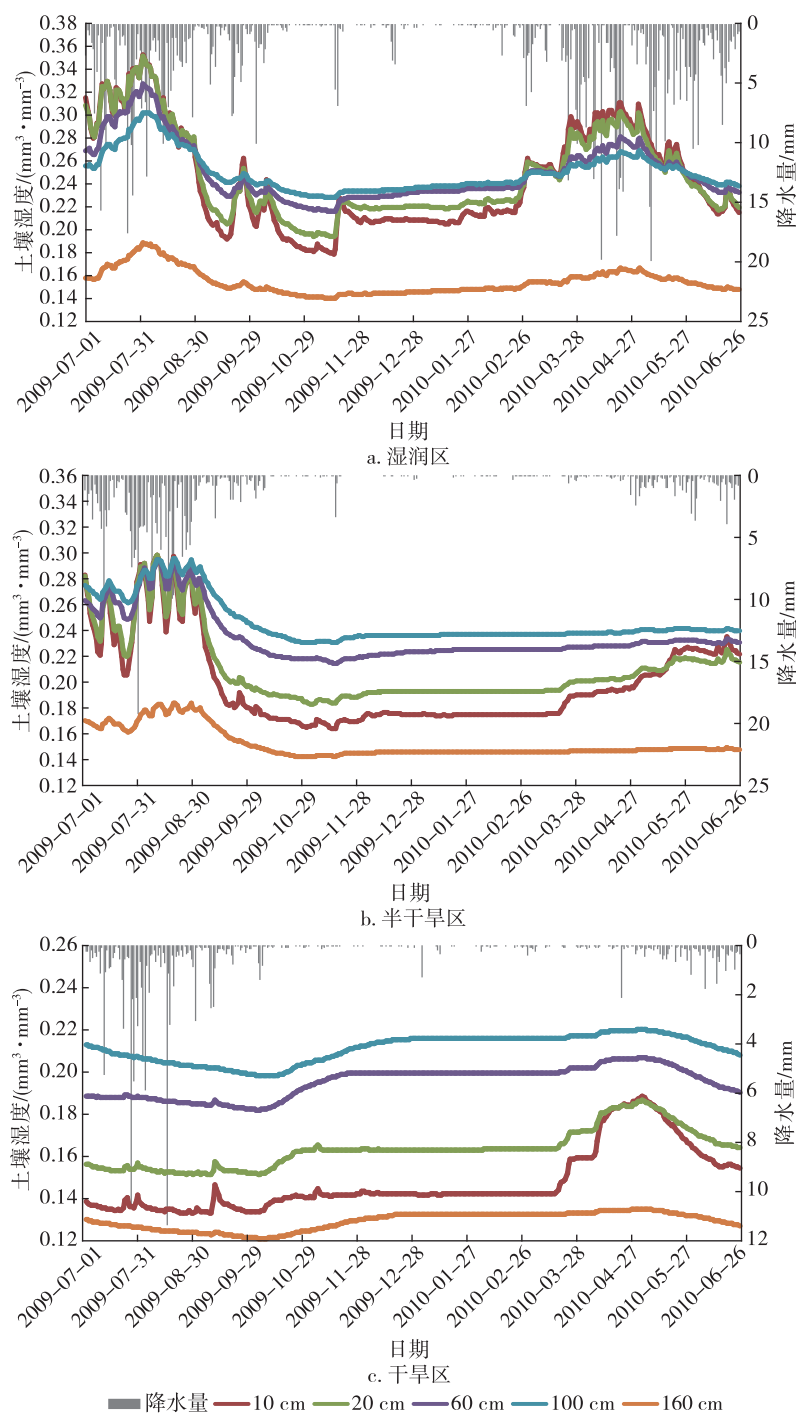


图4 青藏高原典型区域不同层次土壤湿度和降水量的逐日变化

Fig. 4 Daily variation of precipitation and soil moisture at different depths in typical areas (a.humid region;b.semi-arid region;c.arid region) over the TP

土壤湿度的垂直分布形态归纳为夏季均匀型、急剧变化型和季节差异型,并发现湿期减干期的土壤湿度差与降水有很好的对应关系,土壤湿度垂直分布具有明显的地域和土壤质地差异.王磊等^[18]将中国西北区西部土壤湿度垂直分布分为上干下湿型和上

湿下干型.高原地区除湿润区个别月份呈上湿下干型外,土壤湿度基本呈现表层和深层干、中间层湿的结构,土壤湿度各月各层次上的湿度分布都不同程度地存在交错现象,造成这种现象的原因可能是季节降水分布不均以及土壤质地存在差异.

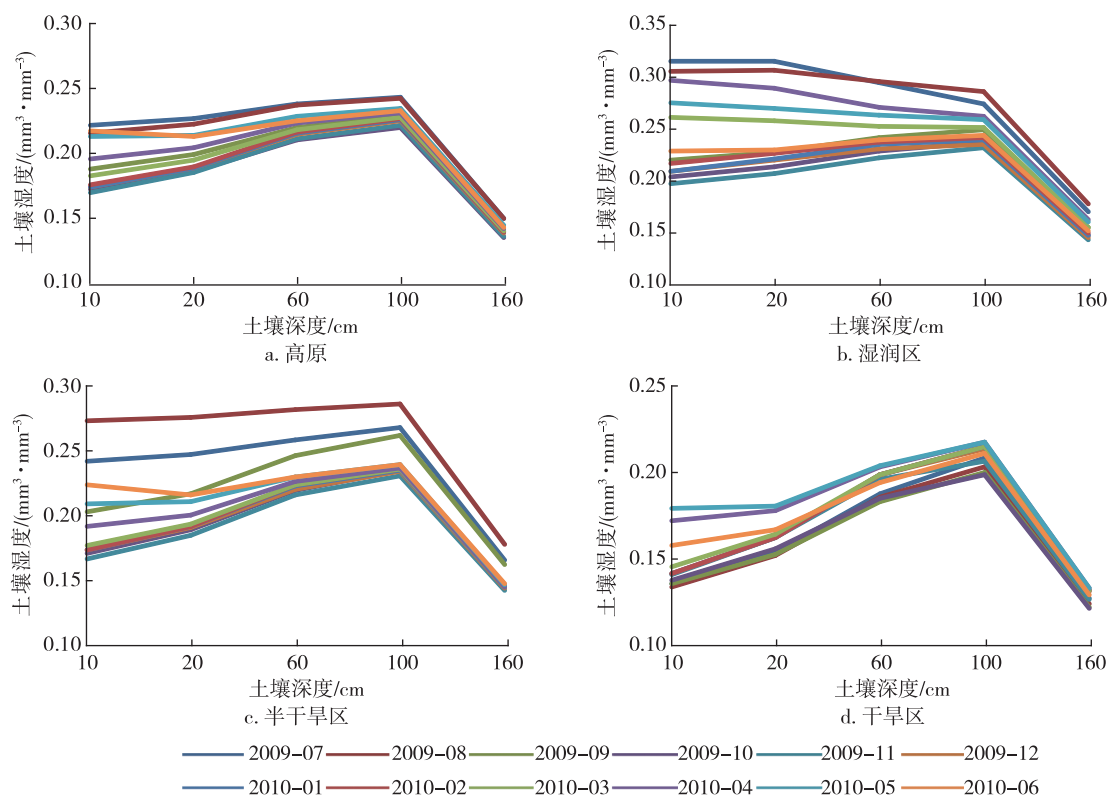


图5 青藏高原及其典型区域的逐月土壤湿度垂直结构特征
Fig. 5 Vertical structure of monthly soil moisture over the entire TP and its typical areas

2.5 影响因素

2.5.1 气象因素

综上所述,高原不同层次土壤湿度分布具有基本相似的变化特征,但是,高原典型区域土壤湿度的时间变化不尽相同.一般而言,影响土壤湿度的主要气象因子有降水、气温、蒸发、空气湿度、地面风速、日照等.因此,选取了典型区域内气象测站的蒸发量等逐日资料,分析了气象要素对土壤湿度时间演变的影响.

由图6可见,无论湿润区还是半干旱区、干旱区,春、夏季的蒸发量(图6a)较大,秋、冬季较小.湿润区蒸发量相对较小,处于0~9.70 mm之间,半干旱区和干旱区蒸发量最大值可以达到12.03以及15.55 mm,尤其以干旱区夏季蒸发量最为突出.风速(图6b)高值主要出现在冬、春季,与湿润区和半干旱区相比较,干旱区整年基本存在较大的风速,风速远大于湿润区和半干旱区,最大风速可以达到 $7.30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,湿润区、半干旱区盛夏至冬初风速大小接近,隆冬至初夏,半干旱区风速大于湿润区风速.平均气温(图6c)在不同典型区域具有基本一致的变化趋势,春季以后气温逐渐升高,盛夏达到最大值,

随后温度降低.湿润区和半干旱区的气温比较接近,而干旱区气温在盛夏与湿润区、半干旱区气温接近,其他时段的气温明显偏低.

结合土壤湿度和降水量的时间变化来看,虽然干旱区夏季降水量大于其他季节,但是,干旱区降水量远小于半干旱区和湿润区,该区域蒸发量大,风速大,夏季气温高,加之干旱区基本为荒漠区,地面植被覆盖很少,不利于水分的储存,导致降水很快被蒸发,使得该区域夏季土壤湿度较小;半干旱区和湿润区的蒸发量、风速呈现与干旱区相反的状况,造成它们的土壤湿度远大于干旱区土壤湿度.

2.5.2 归一化植被指数

为揭示上述典型区域的植被状况,做出了对应时间不同季节植被指数的空间分布(图7).可以看出,春季(图7a)由于高原地区比较干燥,降水少,高原大部分区域植被比较稀疏,尤其以高原西部和北部最为突出,下垫面基本为荒漠和岩石,对应土壤湿度的干旱区.这些区域的植被指数基本小于0.20,仅有高原东南部植被指数尤其是西藏东南部植被指数可以达到0.6以上.随着夏季(图7b)高原雨季来临,高原中部和东北部植被指数处于0.20~0.40之间,

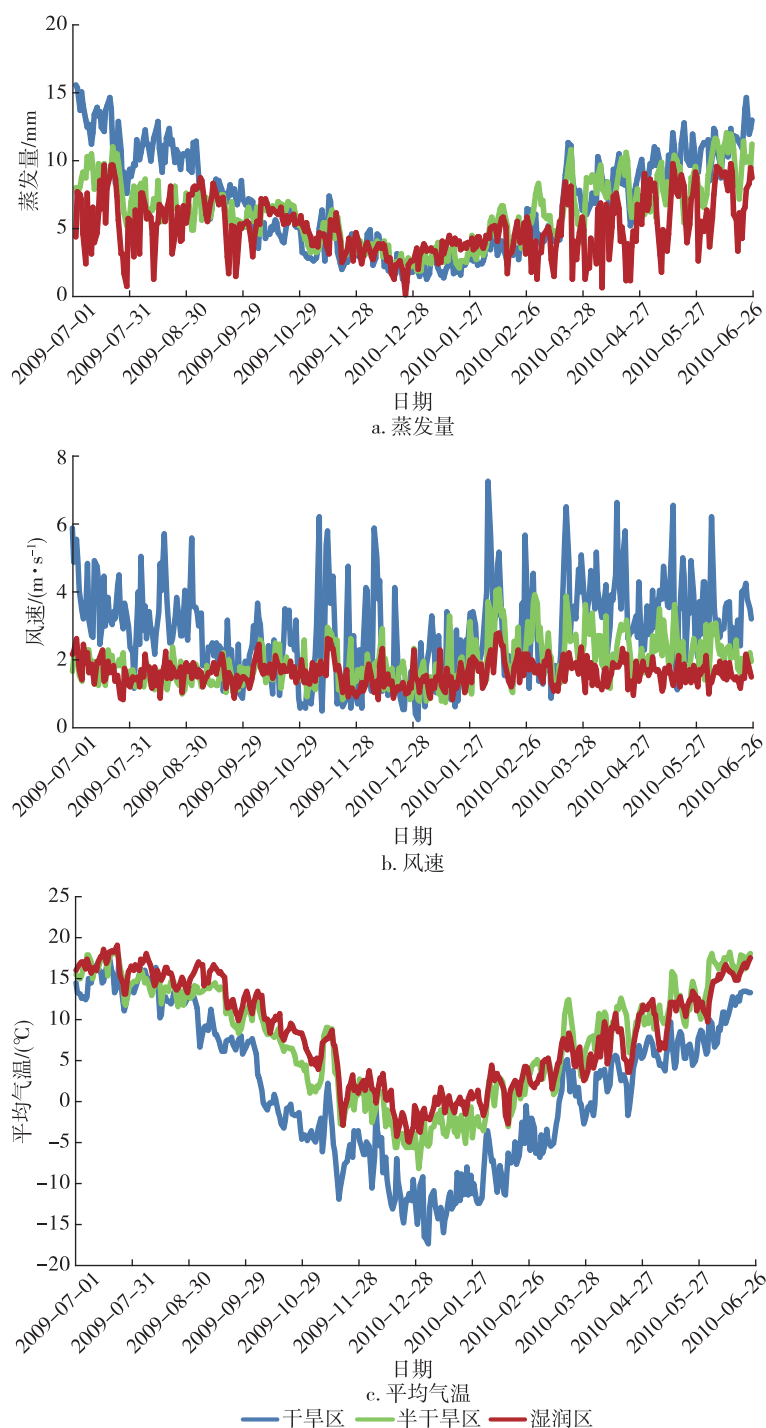


图6 青藏高原典型区域蒸发量、风速和平均气温的逐日变化

Fig. 6 Daily variation of meteorological variables (a.evaporation;b.wind speed;c.air temperature) in typical areas of the TP

属于植被相对较好的区域,对应着土壤湿度的半干旱区.植被覆盖最茂密的区域集中在高原地区东南部,尤其以西藏东南部最明显,植被指数可以达到0.8以上,对应着土壤湿度的湿润区.秋季(图7c)植被指数分布与春季比较一致,不同的是,高原东南部植被指数略高于春季,可能是受高原东南部雨季长

的影响所致.冬季(图7d)高原气温降低,降水更少,植被分布状况与春季比较接近.

由此可见,不同季节植被指数分布状况与土壤湿度空间分布一致,均呈现从东南向西北逐渐减少的分布趋势,具有夏季覆盖状况最好,秋、春季次之,冬季最差的分布.高原东部和南部水分和热量条件

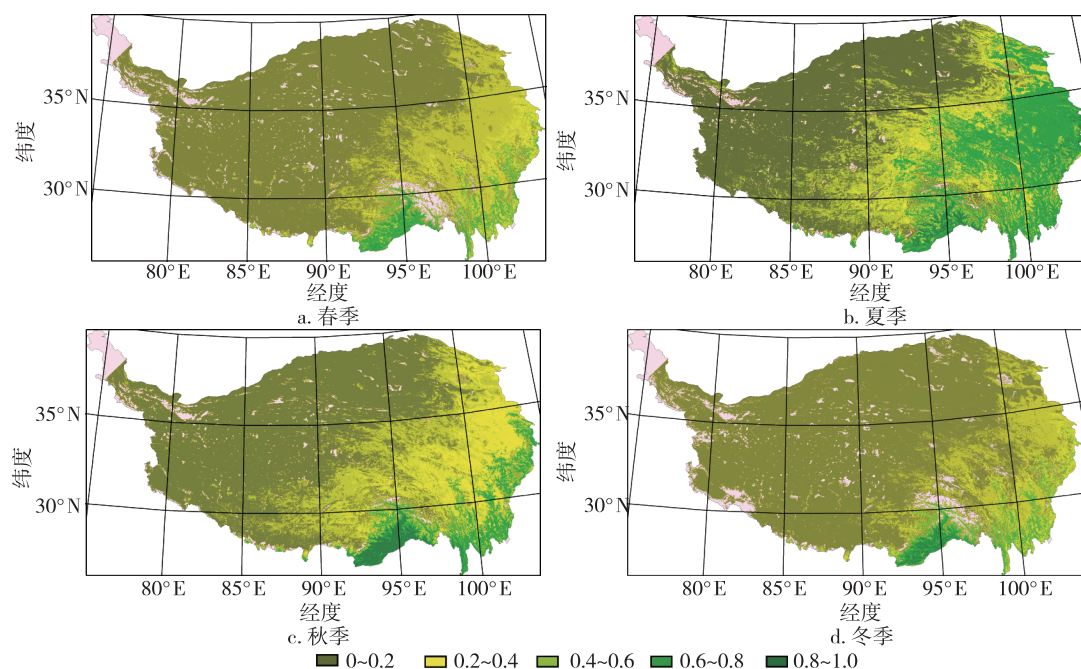


图7 青藏高原不同季节植被指数的空间分布

Fig. 7 Distribution of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in different seasons over the TP

充足,具有较多的植被覆盖,高的植被覆盖具有较强的固水能力,对应着土壤湿度高值区,而高原西部和北部位于干旱半干旱气候带,降水少,且其植被类型多为草原和荒漠,地表固水能力差,该区域的土壤湿度较低,土壤湿度的这种地理分布特征较好地反映了区域气候带和下垫面植被类型特征.由此可见,土壤湿度分布不仅受到蒸发量、降水等气象要素的影响,还跟局地的下垫面条件如植被状况、土壤疏松度等存在密切联系.

3 结论和展望

通过分析青藏高原及其典型区域土壤湿度时空分布和垂直结构特征,得到以下结论:

青藏高原土壤湿度与高原降水季节有较好的对应关系,降水量多的季节对应大的土壤湿度,反之亦然,即夏季土壤湿度最大,春季和秋季次之,冬季最小.高原外围土壤相对较湿,中部较干,夏季土壤高湿度区从藏东南向西北、塔里木盆地、藏东北扩展;冬季土壤高湿度区向藏东南和塔里木盆地收缩.土壤湿度垂直层次呈现出浅层和深层低、中间层高的特点,从浅层到深层土壤湿度的变化幅度逐渐减小.高原典型区域土壤湿度逐日变化规律与高原区域平均的土壤湿度时间演变接近一致,降水量的多少和湿润区、半干旱区土壤湿度高低值有较好的对应关

系.湿润区垂直梯度大,干旱区和半干旱区垂直梯度小.蒸发量、风速、气温以及植被状况均会影响到土壤湿度的分布特征.

本文分析了青藏高原整体及其典型区域土壤湿度的时空分布和垂直结构特征.但是,由于土壤湿度受到多种外界和土壤内部因素的影响,深刻了解土壤湿度的变化特征及其响应是一个比较复杂的问题.马柱国等^[19]认为不同区域土壤湿度具有不同变化趋势,40°N以北(东北)土壤湿度表层变干,深层变湿,降水和气温增加;中纬度地区表层土壤没有明显变化趋势,而深层土壤显著变干,降水减少,气温增加;40°N以南地区深层土壤逐渐干化,降水减少,气温增高.由于资料所限,本文没有涉及高原典型区域土壤湿度的日变化,土壤湿度时空、垂直分布的年际变化,土壤湿度与影响因素的密切程度等问题,还有待于将来土壤湿度观测站点加密和观测频率增多,以开展土壤湿度及其与气候量关系的分析和数值模拟研究.

致谢:数据来源于国家气象信息中心土壤湿度产品数据集、降水格点数据以及西藏信息网络中心气象资料.

参考文献

References

- [1] 师春香,谢正辉,钱辉,等.基于卫星遥感资料的中国区域土壤湿度 EnKF 数据同化[J].中国科学(地球科学),2011,41(3):375-385
SHI Chunxiang, XIE Zhenghui, QIAN Hui, et al. China land soil moisture EnKF data assimilation based on satellite remote sensing data [J]. Science China Earth Sciences, 2011, 41(3): 375-385
- [2] 李明星,马柱国,牛国跃.中国区域土壤湿度变化的时空特征模拟研究[J].科学通报,2011,56(16):1288-1300
LI Mingxing, MA Zhuguo, NIU Guoyue. Modeling spatial and temporal variations in soil moisture in China[J]. Chinese Sci Bull, 2011, 56(16): 1288-1300
- [3] 吴徐燕.基于常规气象资料计算的中国大陆土壤湿度的特征研究[D].兰州:兰州大学大气科学学院,2012
WU Xuyan. A study on characteristics of soil moisture calculated by using routine in weather data in China mainland [D]. Lanzhou: College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, 2012
- [4] 朱晨,师春香,席琳,等.中国区域不同深度土壤湿度模拟和评估[J].气象科技,2013,41(3):529-536
ZHU Chen, SHI Chunxiang, XI Lin, et al. Simulation and assessment of soil moisture at different depths in China area[J]. Meteorological Science and Technology, 2013, 41(3): 529-536
- [5] 张泉,刘咏梅,杨勤科,等.祁连山退化高寒草甸土壤水分空间变异特征分析[J].冰川冻土,2014,36(1):88-94
ZHANG Quan, LIU Yongmei, YANG Qinke, et al. Analysis of the spatial variability of soil moisture in degrading alpine meadow in the Qilian Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(1): 88-94
- [6] 郭东林,杨梅学. SHAW 模式对青藏高原中部季节冻土区土壤温、湿度的模拟[J].高原气象,2010,29(6):1369-1377
GUO Donglin, YANG Meixue. Simulation of soil moisture and moisture in seasonally frozen ground of central Tibetan Plateau by SHAW model [J]. Plateau Meteorology, 2010, 29(6): 1369-1377
- [7] 赵逸舟,马耀明,马伟强,等.藏北高原土壤温湿度变化特征分析[J].冰川冻土,2007,29(4):578-583
ZHAO Yizhou, MA Yaoming, MA Weiqiang, et al. Variations of soil temperature and soil moisture in northern Tibetan Plateau[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(4): 578-583
- [8] 万国宁,杨梅学,王学佳,等.青藏高原中部 BJ 站土壤湿度不同时间尺度的变化[J].土壤通报,2012,43(2):286-293
WAN Guoning, YANG Meixue, WANG Xuejia, et al. Variations in soil moisture at different time scales of BJ site on the central Tibetan Plateau [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43(2): 286-293
- [9] 杨健,马耀明.青藏高原典型下垫面的土壤温湿特征[J].冰川冻土,2012,34(4):813-820
YANG Jian, MA Yaoming. Soil temperature and moisture features of typical underlying surface in the Tibetan Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(4): 813-820
- [10] 高泽永,王一博,刘国华,等.多年冻土区活动层土壤水分对不同高寒生态系统的响应[J].冰川冻土,2014,36(4):1002-1010
GAO Zeyong, WANG Yibo, LIU Guohua, et al. Response of soil moisture within the permafrost active layer to different alpine ecosystems [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(4): 1002-1010
- [11] 李燕,刘新,李伟平.青藏高原地区不同下垫面陆面过程的数值模拟研究[J].高原气象,2012,31(3):581-591
LI Yan, LIU Xin, LI Weiping. Numerical simulation of land surface process at different underlying surfaces in Tibetan Plateau [J]. Plateau Meteorology, 2012, 31(3): 581-591
- [12] 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(地球科学),2008,38(11):1428-1437
ZUO Zhiyan, ZHANG Renhe. Spatial and temporal variations of spring soil moisture in east China [J]. Science China Earth Sciences, 2008, 38(11): 1428-1437
- [13] 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
WANG Xiaoting, GUO Weidong, ZHONG Zhong, et al. Long term trends of soil moisture and temperature change in east China in relationship with climate background [J]. Advances in Earth Science, 2009, 24(2): 181-191
- [14] 张德铤,李炳元,郑度.论青藏高原范围与面积[J].地理研究,2002,21(1):1-8
ZHANG Yili, LI Bingyuan, ZHENG Du. A discussion on the boundary and area of the Tibetan Plateau in China [J]. Geographical Research, 2002, 21(1): 1-8
- [15] 刘强,杜今阳,施建成,等.青藏高原表层土壤湿度遥感反演及其空间分布和多年变化趋势分析[J].中国科学(地球科学),2013,43(10):1677-1690
LIU Qiang, DU Jinyang, SHI Jiancheng, et al. Analysis of spatial distribution and multi-year trend of the remotely sensed soil moisture on the Tibetan Plateau [J]. Science China Earth Sciences, 2013, 43(10): 1677-1690
- [16] 张文君.中国土壤湿度分布和变化的观测与模拟[D].北京:中国科学院研究生院,2006
ZHANG Wenjun. Spatial distribution and temporal variation of the observed and simulated soil moisture over China [D]. Beijing: School of Graduates, Chinese Academy of Sciences, 2006
- [17] 张秀芝,吴迅英,何金海.中国土壤湿度的垂直变化特征[J].气象学报,2004,62(1):51-61
ZHANG Xiuzhi, WU Xunying, HE Jinhai. Vertical character of soil moisture in China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(1): 51-61
- [18] 王磊,文军,韦志刚,等.中国西北部西部土壤湿度及其气候响应[J].高原气象,2008,27(6):1257-1266
WANG Lei, WEN Jun, WEI Zhigang, et al. Soil moisture

- over the west of Northwest China and its response to climate[J]. Plateau Meteorology, 2008, 27(6): 1257-1266
- [19] 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

MA Zhuguo, WEI Helin, FU Congbin. Relationship between regional soil moisture variation and climatic variability over east China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2000, 58(3): 278-287

Distribution and variation of soil moisture over the Tibetan Plateau and its typical areas

ZHUO Ga^{1,2} CHEN Tao³ GE Sang²

1 Lhasa Branch of Chengdu Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Lhasa 850000

2 Tibet Climate Center, Lhasa 850000

3 Tibet Institute of Plateau Atmospheric and Environmental Sciences, Lhasa 850000

Abstract With soil moisture dataset derived from China Land Data Assimilation System of China Meteorological Administration (CLDAS-CMA), the spatiotemporal and vertical distribution of soil moisture over the Tibetan Plateau (TP) and its typical areas with influencing factors have been investigated for period of July 1, 2009 to June 30, 2010. Results show that soil moisture corresponds well to the precipitation over the Tibetan Plateau. Soil tends to be wet during the rainy season with large precipitation and vice versa. Soil moisture persists significant seasonal variation, which is highest in summer, followed by that in spring and autumn, while it is lowest in winter. With the rise of air temperature, March to August has become the period with increasing soil moisture and the areas with high soil moisture has expanded from the southeast part of Tibet to the northwest part of the Plateau, as well as from Tarim Basin to the northeastern of Tibet. As for the vertical distribution, soil moisture tends to be high at interlayer, and low at shallow layer and deep layer, with a gradual decreasing trend in variation magnitude from shallow layer to deep layer. The distribution of soil moisture at typical areas over the TP presents similar temporal variation tendency as the regional average soil moisture for the entire Plateau. Season with large precipitation is corresponding to the season with large soil moisture in humid and semi-arid areas. Humid areas has bigger vertical gradient in soil moisture compared with arid and semi-arid areas. Meteorological variables such as evaporation, wind speed, average air temperature and vegetation coverage have some influence on the distribution of soil moisture.

Key words soil moisture; vertical structure; influencing factors; typical areas