

基于 MODIS 和 AMSR-E 遥感数据的 土壤水分降尺度研究

曹永攀^{1,2}, 晋锐¹, 韩旭军¹, 李新¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃兰州 730000;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:微波传感器获得的土壤水分产品空间分辨率一般都很粗,而流域尺度上的研究需要中高分辨率的土壤水分数据。用 MODIS 逐日地表温度产品 MOD11A1 和逐日地表反射率产品 MOD09GA 构建温度—植被指数特征空间,并计算得到 TVDI(Temperature Vegetation Dryness Index)指数,它与土壤水分呈负相关关系,能够反映土壤水分的空间分布模式,但并不是真实的土壤水分值。在 AMSR-E 像元尺度上求得 TVDI 与土壤水分的负相关系数,进而对 VUA AMSR-E 土壤水分产品进行降尺度计算得到 0.01°分辨率的真实土壤水分值。经 NAFE06(The National Airborne Field Experiment 2006)试验地面采样数据验证,降尺度后的土壤水分均方根误差平均值为 6.1%。

关键词:土壤水分;降尺度;MODIS;AMSR-E

中图分类号:TP 79;S 152.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2011)05-0590-08

引用格式:Cao Yongpan, Jin Rui, Han Xujun, *et al.* A Downscaling Method for AMSR-E Soil Moisture Using MODIS Derived Dryness Index[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(5): 590-597. [曹永攀, 晋锐, 韩旭军, 等. 基于 MODIS 和 AMSR-E 遥感数据的土壤水分降尺度研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(5): 590-597.]

1 引言

地表土壤水分作为一个重要的水文参数影响着陆气相互作用过程,强烈控制着显热和潜热通量之间的能量再分配。土壤水分是气候模型、陆面过程模型和水文模型的一个重要变量。在全球气候模型中提高对土壤水分的估计有助于天气和气候预报的准确性^[1]。而包括气象、水文、水资源管理和气候学在内的一系列流域尺度上的研究也都要求中高分辨率的土壤水分观测数据。

传统的地面采样方式费时费力,而且难以捕捉土壤水分的时空异质性,遥感可以提供一定时间间隔的地表土壤水分空间分布信息。利用微波波段反演土壤水分是目前最广泛和主流的技术方法^[2],但是被动微波传感器,(例如 SSM/I, Special Sensor Microwave/ Imager, AMSR-E, Advanced Micro-

wave Scanning Radiometer for the Earth Observing System)空间分辨率很粗(25 km),因此获得的微波亮温数据只能用来反演估算大范围的土壤水分,很难在流域尺度上应用^[3-4]。而主动微波传感器重访周期要 16~25 d,而且 SAR 对地表粗糙度、地形和植被覆盖非常敏感。

光学遥感监测土壤水分主要是建立在地表温度 LST(Land Surface Temperature)或植被指数 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)基础上。而利用 NDVI 作为水胁迫指标有一定滞后性^[5],研究表明联合使用 LST 和 NDVI 信息可以更好地提供植被和地表土壤水分信息^[6-8]。Goetz^[9]基于遥感数据分析发现在地表土壤水分变化不太大的情况下,地表温度 LST 与 NDVI 存在明显的负相关关系,即以地表温度(LST)和植被指数(NDVI)为坐标轴形成的散点图呈一条斜线。当研究区域的植被覆

收稿日期:2011-05-11;修订日期:2011-09-07

基金项目:国家 973 计划项目“北半球冰冻圈变化及其对气候环境的影响与适应对策”(2010CB951403),国家自然科学基金项目(41071226),国家自然科学基金项目(40901160)资助。

作者简介:曹永攀(1982—),男,甘肃兰州人,硕士研究生,主要从事定量遥感研究。E-mail:caoyongpan_2002@163.com。

盖度和土壤水分变化范围较大时,不同斜率的直线形成了一个三角形空间^[10-11],一般称作温度-植被指数特征空间(LST-NDVI Space)。许多研究试图从中提取土壤水分信息^[6-7,9,12-14]。Sandholt 等^[6]基于表面温度和植被指数的经验关系,提出了温度植被干旱指数 TVDI(Temperature Vegetation Dryness Index)。齐述华等^[5]利用 TVDI 进行全国旱情监测研究。杨曦等^[15]用增强植被指数 EVI(Enhanced Vegetation Index)替代 NDVI,取得了较理想的结果。李红军等^[16]分纬度计算了 TVDI,其与土壤水分相关关系的决定系数均高于整体计算结果。范辽生^[17]用 DEM 对 LST 做了订正,一定程度上降低了 TVDI 在山区的误差。

本文为了解决被动微波土壤水分产品分辨率粗的问题,用 MODIS 逐日地表温度产品(MOD11A1)和逐日地表反射率产品(MOD09GA)构建温度-植被指数特征空间,并计算得到 TVDI 指数,通过引入 VUA AMSR-E 土壤水分产品求得 TVDI 与土壤水分负相关参数,进而计算得到土壤水分体积含水量值,最终生成可靠的中分辨率土壤水分产品。

2 研究区与数据

2.1 研究区

NAFE06(The National Airborne Field Experiment 2006)试验^[8]是于 2006 年 11 月在澳大利亚东南部 Murrumbidgee 河流域进行的一次为期 3 周的试验,试验获取了 1 km 分辨率的 L 波段航空微波亮温数据,以及多分辨率、多角度和多光谱的航空遥感数据(包括地表温度、地表反射率、激光雷达和航空相片数据),为发展土壤水分降尺度算法和土壤水分反演算法提供了航空地面同步的数据集。与航空飞行同步,在 8 个采样区开展了地表土壤水分密集观测。本文研究区包括了 NAFE06 试验区之一的 Yanco 区。

Yanco 区位于 Murrumbidgee 河流域的西部平原,占地 3 600 km²,地形平坦,约 1/3 是农业灌溉区,其中包括 500 多个农场。夏季主要作物包括稻米、玉米和苜蓿;冬季作物包括小麦、大麦、燕麦和蓖麻。水田、旱地和牧场是最主要的 3 种土地利用类型。

2.2 数据

本文所使用的数据包括逐日 MODIS 地表温度和地表反射率数据产品、AMSR-E 土壤水分产品及 NAFE06 试验中的土壤水分地面采样数据。其中 Terra MODIS 逐日地表温度产品(MOD11A1)^[19]和逐日地表反射率产品(MOD09GA)^[20],来自 NASA 的地球科

学数据(<https://wist.echo.nasa.gov/api/>),投影为 Sinusoidal,分辨率为 1 km,重新投影到地理坐标,分辨率 0.01°,再由地表反射率产品计算得到 NDVI。

AMSR-E 土壤水分数据^[21]采用 VUA(Vrije Universiteit Amsterdam)与 NASA(National Aeronautics and Space Administration)合作反演的全球土壤水分产品(<http://geoservices.falw.vu.nl/>),每天有升轨(当地时间下午 13:30)和降轨(当地时间凌晨 1:30)两景数据,分别对应于白天和夜间,地理坐标投影,空间分辨率 0.25°。本文使用其升轨数据,即白天过境数据,与地面采样试验时间相一致。

图 1 给出了本文研究区的 Google Earth 影像,NAFE06 试验中的 Yanco 区包含在其中,3 个蓝色网格为地表土壤水分采样区。另外研究区内包含 12 个 AMSR-E 数据网格(黑实线),灰色细小的背景网格则是 MODIS 网格。

在 Yanco 区,用 HDAS(Hydraprobe Data Acquisition)观测了 0~5 cm 土壤水分体积含水量,采样方案包括 3 个 3 km×3 km 采样区,采样间距 250 m。试验从 2006 年 10 月 30 日开始至 2006 年 11 月 19 日结束。本文选取其中的 10 月 31 日、11 月 07 日、11 月 09 日、11 月 14 日及 11 月 16 日共 5 d 数据进行了分析,在这些天当中同时拥有地面采样数据、MODIS 数据和 AMSR-E 数据。

3 方法

3.1 土壤水分干旱指数 TVDI

如图 2 所示,随着 NDVI 的增大,地表温度的最大值逐渐减小。每一条斜线代表了不同的土壤水分状况。对于其中某一点,线段 A 与线段 B 的比值即是 TVDI,其计算公式为:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{\min}}}{T_{s_{\max}} - T_{s_{\min}}} \quad (1)$$

其中: T_s 为某点的地表温度, $T_{s_{\min}}$ 为最小的地表温度,对应于图 1 中的下边界,定义为湿边, $TVDI = 0$,即土壤水分最大的地方; $T_{s_{\max}}$ 为给定 NDVI 时对应的地表温度最大值,定义为干边, $TVDI = 1$,即土壤水分最小的地方。干边可由线性方程 $T_{s_{\max}} = a + b \cdot NDVI$ 表示,这里 a 和 b 为干边回归直线方程的参数。

3.2 降尺度算法

研究表明 TVDI 与气象站表层水分相关性更高,并且与表层水分显著线性负相关^[22],姚春生等^[23]研究发现 TVDI 与实测水分数据显著线性负相关。TVDI 与土壤水分在 0.01°(MODIS 空间分

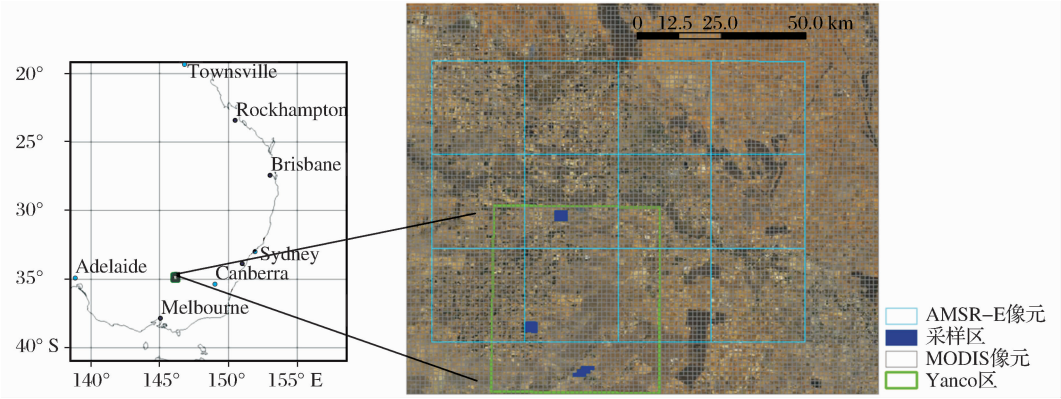


图 1 研究区内 AMSR-E、MODIS 及地面采样区网格分布

Fig. 1 AMSR-E、MODIS and sample area grids in study region

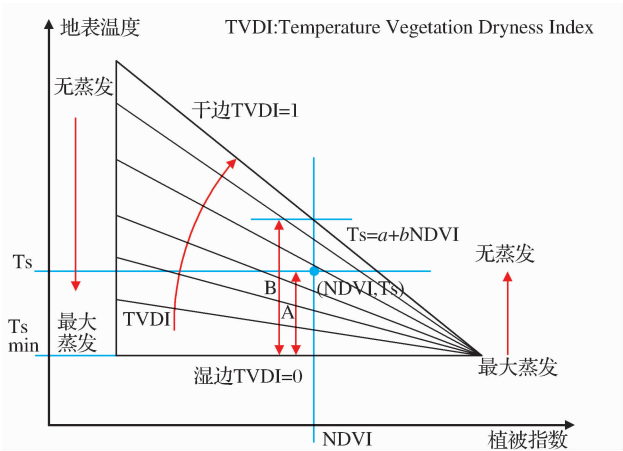


图 2 TVDI 的定义

Fig. 2 Definition of TVDI^[6]

分辨率) 网格上呈负相关关系, 如图 3 中式(2)所示, 若能求得负相关线性参数 a 和 b , 即可由公式(2)计算得到土壤水分值。一个 0.25° (AMSR-E 空间分辨率) 网格由 25×25 个 0.01° 网格组合而成, 假设一个 0.25° 网格的土壤水分值等于其中所有 0.01° 网格土壤水分值的平均值, 如式(3)所示, 这里 AMSR-E 的土壤水分值即 0.25° 网格的土壤水分值 $\theta_{\text{AMSR-E}}$, f 为取平均。式(2)和式(3)均为线性关系式, 将式(2)代入式(3), 即得到式(4), 式(4)建立了 0.25° AMSR-E 土壤水分值与每个 0.01° 网格上 TVDI 值的关系, 并且两者均为已知, 线性关系参数 a 、 b 为未知量。式(4)基于一个 AMSR-E 网格上, 而当研究区在空间上包含有若干个相邻的 AMSR-E 网格时,

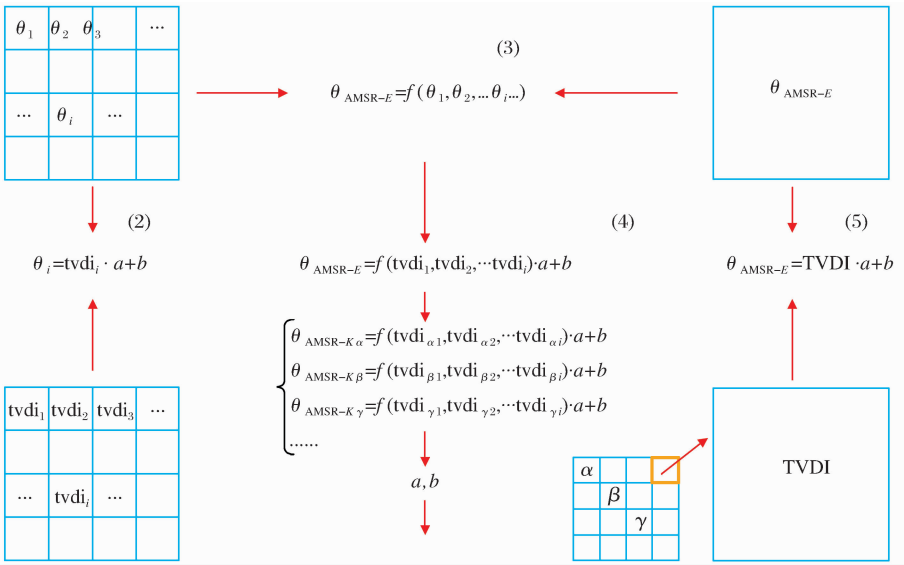


图 3 降尺度算法

Fig. 3 The downscaling method

即可通过最小二乘法求得线性参数 a 和 b , 进而由式(2)计算得到每个 0.01° 网格上的土壤水分值。

式(4)中, 0.01° 网格的 TVDI 取平均后假设看作是一个 0.25° 网格的 TVDI 值, 所以式(5)是式

(4)的变形。另外式(5)与式(2)有相同的形式,表明 TVDI 与土壤水分在 0.25° 网格上同样呈负相关线性关系,并且与在 0.01° 网格上的负相关线性关系(式(2))有着相同的参数 a 和 b 。即 TVDI 与土壤水分的线性关系,在两种网格尺度上均成立,并且有相同的线性参数,可以在 0.25° 网格尺度上求得线性参数,再代入到 0.01° 网格尺度上求解土壤水分。

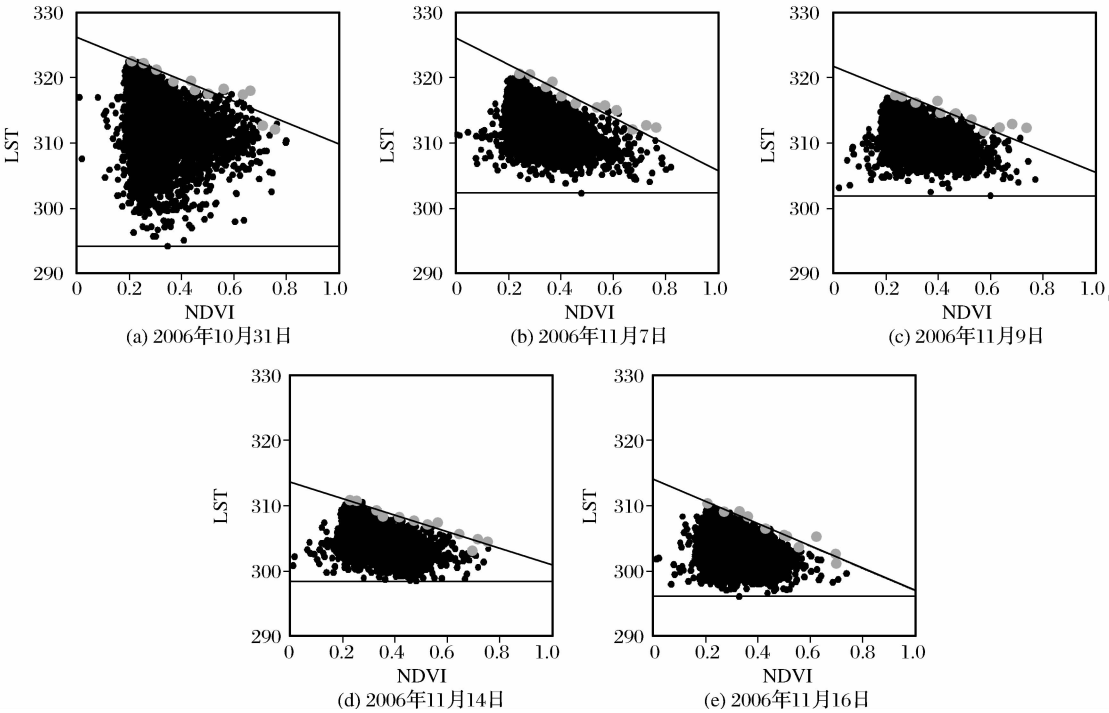


图 4 LST-NDVI 散点图
Fig. 4 Scatterplots of LST and NDVI

土壤水分都包含较大的范围,才能形成完整的 LST-NDVI 特征空间三角形。红色点是以 0.05 为步长的 NDVI 间隔对应的温度最大值,通过最小二乘法线性拟合作为上边界。下边界按最小温度做水平直线。

10 月 31 日下边显著倾斜,因为局部地区灌溉,土壤水分接近饱和,裸地蒸发阻力接近于 0,以潜在蒸发的量蒸发,而叶孔的蒸腾阻力始终存在,导致裸地温度小于叶面温度,植被覆盖度越大,平均温度越高。

如表 1 所示,因为灌溉,10 月 31 日温度差值最大,为 28.34 K。气象站观测资料显示 12 日、13 日以及 16 日均有降雨,受降雨影响,温度差最小值为 12.26 K,出现在 11 月 14 日,其次是 11 月 16 日,为 14.16 K,因为降雨后地表温度趋于一致,温度差减小。

4.2 土壤水分的计算与验证

图 5 是 TVDI 与土壤水分在两种尺度上的散点回归拟合。红色点是 MODIS 网格 (0.01°) 尺度上 TVDI 与土壤水分关系,即图 3 中所示的式(2),这里

4 结果与讨论

4.1 LST-NDVI 散点图

图 4 是基于 MODIS 的 LST 和 NDVI 产品生成的 LST-NDVI 特征空间散点图。分别以空间上每个位置对应的 NDVI 与 LST 作为横坐标与纵坐标,形成如图 4 所示的三角形。研究区植被覆盖和

表 1 各日的温度最大值与温度差			
Table 1 Max and min temperature in each day			
Date	T_{\max}/K	T_{\min}/K	$T_{\max}-T_{\min}/\text{K}$
10-31	322.46	294.12	28.34
11-7	320.62	302.28	18.34
11-9	317.28	301.88	15.40
11-14	310.52	298.26	12.26
11-16	310.04	295.88	14.16

土壤水分值是实测水分值。蓝色点是 AMSR-E 网格 (0.25°) 尺度上的 TVDI 与土壤水分关系,即图 3 中所示的式(5),这里土壤水分值是 AMSR-E 土壤水分产品的数值。如图 3 中式(2)和式(5)所示,两种尺度上 TVDI 与土壤水分都呈线性关系,并且有相同的线性参数,所以图 6 中红色蓝色两条线理论上应该重合,即有相同的斜率和截距。而事实上并非如此,因为如图 3 中公式(3),一个 AMSR-E 网格

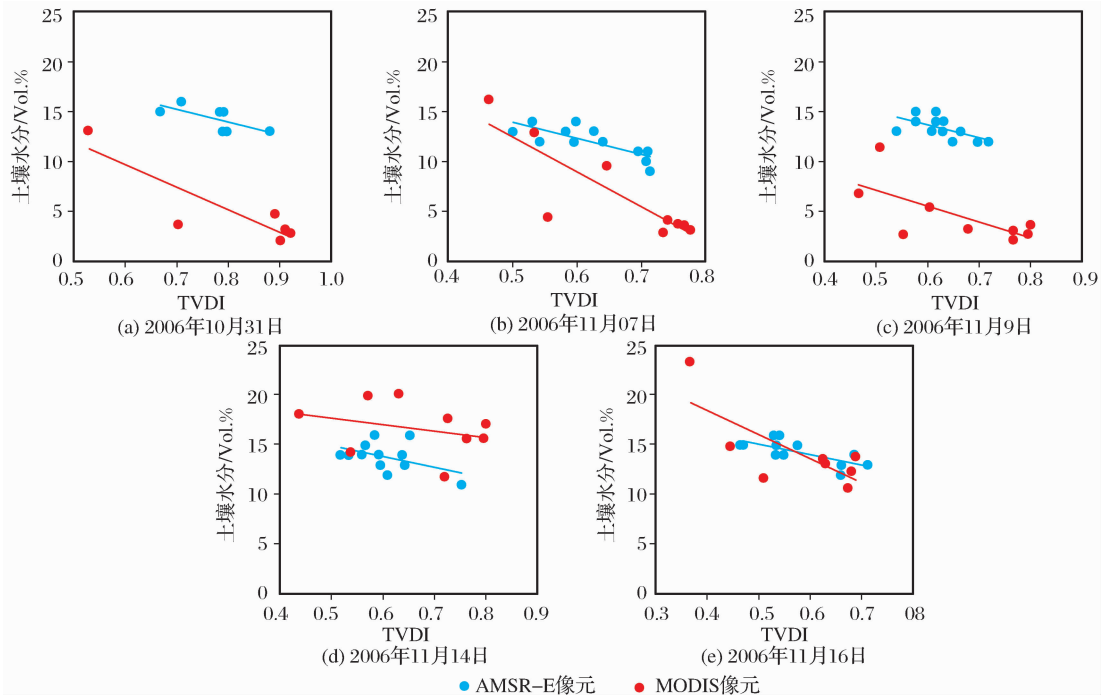


图 5 土壤水分与 TVDI 的回归拟合

Fig. 5 The linear regression between soil moisture and TVDI

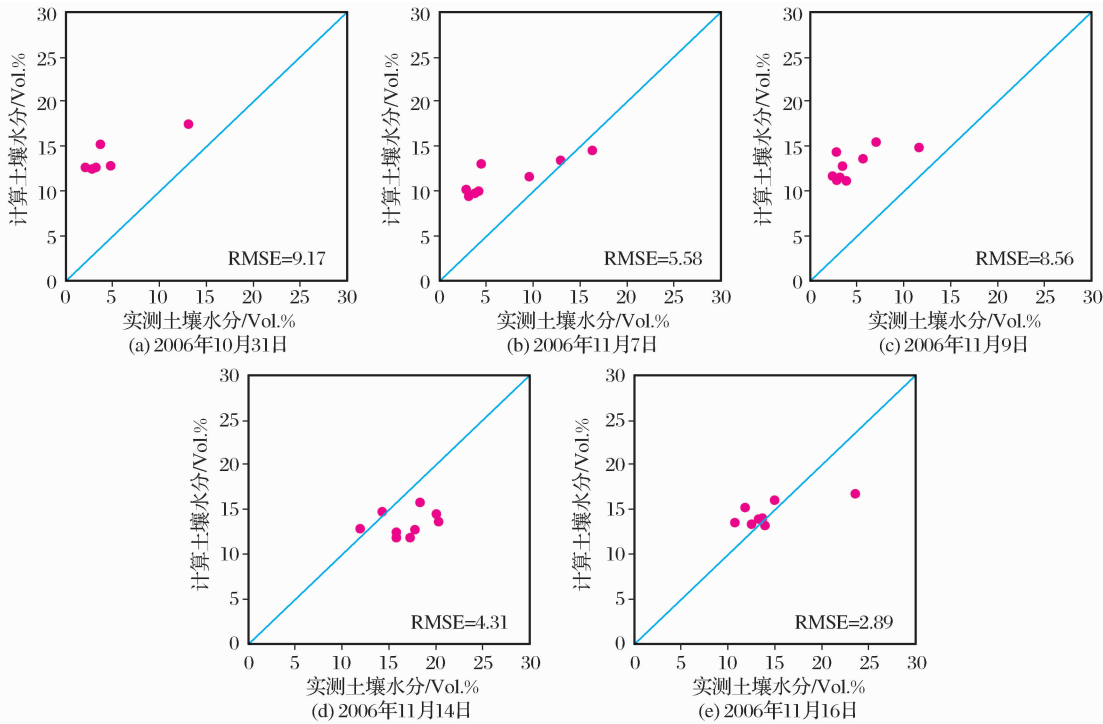


图 6 计算所得土壤水分的验证

Fig. 6 Validation of calculated soil moisture with in situ measurements

中所有 MODIS 网格土壤水分的平均值不一定等于 AMSR-E 亮温数据反演得到的土壤水分值。AMSR-E 网格的亮温值等于其中所有 MODIS 网格亮温值的平均值,但是由 AMSR-E 亮温数据反演得到的土壤水分值却不一定等于其中所有 MODIS 网格

土壤水分的平均值。因为反演模型没有考虑到网格内的异质性,那么取平均值的关系会带来显著的不确定性,这也是误差的主要来源。

因为红色点是实测土壤水分值,那么对于同一个 TVDI 值,红色线段与蓝色线段分别对应土壤水

分的理论真实值与计算值。蓝线在上,说明土壤水分值高估,蓝线斜率绝对值小于红线,说明 TVDI 高值区误差大于 TVDI 低值区,即干燥地方较湿润地方误差大。斜率越大,说明研究区内土壤水分最大值与最小值之差越大。

另外,红色点回归拟合的判定系数 R^2 ,说明了由 LST-NDVI 特征空间计算所得的 TVDI 的精度。表 2 给出了图 5 中每条拟合回归线的参数, R^2 最大值为 0.75,出现在 10 月 31 日,最小值为 0.10,出现在 11 月 14 日。图 6 给出了土壤水分验证的 1:1 图,均方根误差平均值为 6.10%。最大值为 9.17%,出现在 10 月 31 日,最小值 2.89%,出现在 11 月 16 日,11 月 14 日为 4.31%,仅次于最小值。这是因为降水使得地表异质性减小,因而算法中尺度关系转换过程中误差减小。

表 2 土壤水分与 TVDI 的回归拟合的参数
Table 2 The linear regression coefficients between soil moisture and TVDI

		<i>a</i>	<i>b</i>	R^2
10-31	AMSR-E	-12.73	24.13	0.48
	MODIS	-22.28	22.98	0.75
11-07	AMSR-E	-16.19	22.03	0.62
	MODIS	-35.29	30.16	0.72
11-09	AMSR-E	-12.68	21.29	0.36
	MODIS	-15.69	14.97	0.48
11-14	AMSR-E	-10.67	20.27	0.21
	MODIS	-6.47	21.01	0.10
11-16	AMSR-E	-10.66	20.47	0.52
	MODIS	-24.23	28.18	0.56

这里的每个验证点由间距 250 m 的 16 个采样点平均计算得来,代表了 $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$ 网格的平均土壤水分。但是地表异质性强烈,特别是在灌溉区,单点上的测量值平均后代表网格面上的值存在不确定性,使得验证本身存在误差。而因为降水使得地表异质性减小,验证数据的精度更高,代表性更强。所以均方根误差最小值依次出现在 11 月 16 日和 11 月 14 日。而 10 月 31 日正好相反,因为局部灌溉使得地表异质性增强,导致均方根误差最大。

4.3 空间分布与时间序列分析

图 7 是 Yanco 地区的土地覆盖分类图,蓖麻、小麦、牧草和大麦是主要类型。图 8 是通过本文方法计算所得的土壤水分空间分布图。可以看到蓖麻和小麦的土壤水分值明显高于牧草和大麦,左边扇形的蓖麻和小麦种植区域轮廓清晰可见。森林与灌

木区也有较高的土壤水分值。蓖麻和小麦区、牧草和大麦区各自内部土壤水分又有差异。

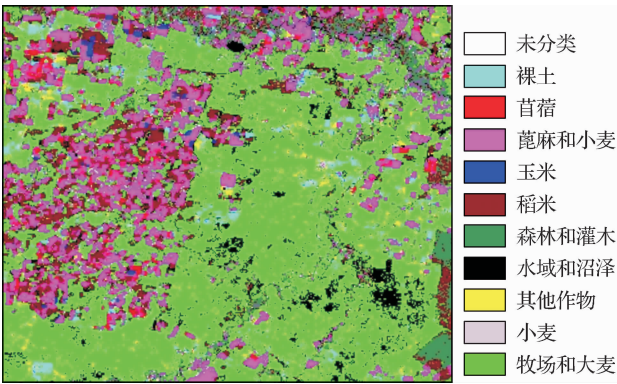


图 7 土地覆盖分类图
Fig. 7 Land cover map

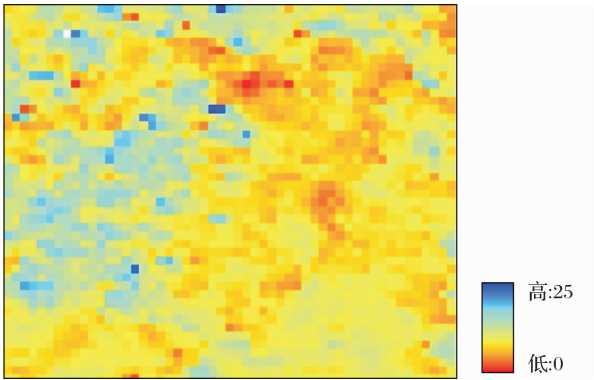


图 8 土壤水分空间分布
Fig. 8 Spatial distribution of calculated soil moisture

图 9 分析了图 5 中 TVDI 与土壤水分的斜率在两种尺度上随时间的变化趋势,TVDI 与土壤水分的斜率代表了研究区内最大与最小土壤水分的差值。前 3 日斜率均先减小后增大,因为前两天有降水,第 4 日,即 11 月 14 日斜率达到最大。第 5 日,即 11 月 16 日当天有降雨,地表土壤水分趋向均一,土壤水分差值减小,斜率在 MODIS 尺度上显著下降,在 AMSR-E 网格尺度上无明显变化。

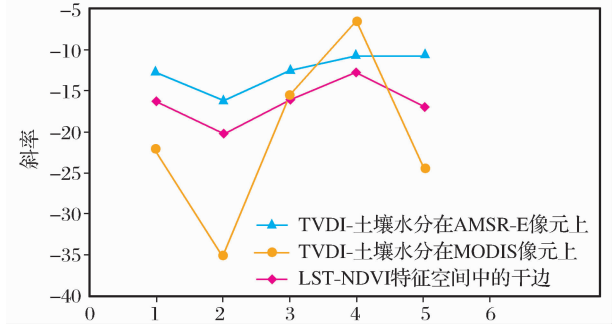


图 9 斜率变化趋势
Fig. 9 Temporal variation of slope

图 9 同时给出了图 4 中 LST-NDVI 特征空间上边斜率的变化趋势,与图 10 中土壤水分最小值有相同的趋势,说明斜率在在一定程度上能够代表土壤水分状况,即斜率绝对值越小,上边越平缓,土壤水分最小值越大。TVDI 在干边上值都为 1,但是它们土壤水分值不同,说明 TVDI 逐日间不可以比较,反倒是斜率可以比较,但这里只是趋势相同,是否斜率相同土壤水分就相同,还需要进一步的验证。图 10 显示土壤水分最小值变化较最大值强烈。土壤水分差值的变化趋势与图 9 中 MODIS 尺度上 TVDI 与土壤水分斜率的变化趋势正好相反,因为 TVDI 与土壤水分斜率代表了研究区内土壤水分最大值与最小值之差。

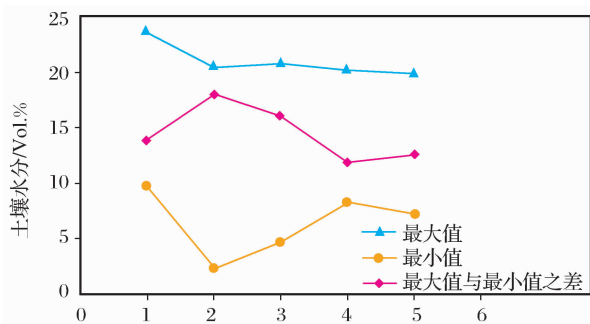


图 10 土壤水分最值和差值的变化趋势

Fig. 10 Temporal variation of the maximum, minimum value and varying range of soil moisture

5 结 语

本文用 MODIS 数据构建 LST-NDVI 特征空间,并计算反映土壤水分相对情况的 TVDI,通过 AMSR-E 土壤水分产品计算得到 TVDI 与土壤水分负相关线性参数,进而将 TVDI 转换成真实的土壤水分值。经 NAFE06 试验地面采样数据验证,均方根误差平均值为 6.10%。算法中尺度关系的平均值处理、TVDI 的计算以及地面验证数据的可靠性都是误差来源。

计算所得土壤水分与土地覆盖类型图做了空间比较,蓖麻和小麦区有较高的土壤水分,牧草和大麦区土壤水分较低。另外每天的土壤水分最大值和最小值都在变化,TVDI 仅在一天内可比,而在逐日间不具有可比性。散点图上边界的斜率与土壤水分最小值在时间序列上有较一致的变化趋势,同一斜率直线上的点有相同的土壤水分,斜率似乎可以作为另一土壤水分指数,并在逐日之间做比较,但事实上斜率除了受土壤水分影响外还受辐射等因素影响。

本文算法涉及到的尺度转换关系事实上有两个:一个是用 MODIS 网格上土壤水分的平均值来代表 AMSR-E 网格上的土壤水分值,另一个是验证数据用单点上的测量值的平均值代表 MODIS 网格上的土壤水分值。灌溉以及降水过程改变了地表异质性,对最终结果影响显著。另外所选择的日序在时间上不连续,给时间序列分析带来了一定困难。

本方法计算得到空间分辨率为 0.01° ,时间分辨率为 1 d 的地表土壤水分数据,方法简单,适用性强,数据容易获取,有巨大的应用潜力。

参考文献 (References):

- [1] Mallick K, Bhattacharya B K, Patel N K. Estimating Volumetric Surface Moisture Content for Cropped Soils using A Soil Wetness Index Based on Surface Temperature and NDVI[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149: 1327-1342.
- [2] Wang Shuguo, Li Xin, Han Xujun, *et al.* Derivation of Surface Soil Moisture in the Middle Stream of Heihe River Basin using Multi-temporal ASAR Images[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, 24(5): 582-587. [王树果, 李新, 韩旭军, 等. 利用多时相 ASAR 数据反演黑河流域中游地表土壤水分[J]. *遥感技术与应用*, 2009, 24(5): 582-587.]
- [3] Njoku E G, Jackson T, Lakshmi V, *et al.* Soil Moisture Retrieval from AMSR-E[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, 41: 215-229.
- [4] Koike T, Nakamura Y, Kaihotsu I, *et al.* Development of An Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) Algorithm of Soil Moisture and Vegetation Water Content[J]. *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, 2004, 48: 217-222.
- [5] Qi Shuhua, Wang Changyao, Niu Zheng. Evaluating Soil Moisture Status in China using The Temperature/Vegetation Dryness Index (TVDD)[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(5): 420-427. [齐述华, 王长耀, 牛铮. 利用温度植被旱情指数 (TVDD) 进行全国旱情监测研究[J]. *遥感学报*, 2003, 7(5): 420-427.]
- [6] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A Simple Interpretation of the Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79(2-3): 213-224.
- [7] Carlson T N. Review: An Overview of the "Triangle Method" for Estimating Surface Evapotranspiration and Soil Moisture from Satellite Imagery[J]. *Sensors*, 2007, 7: 1612-1629.
- [8] Nemani R R, Pierce L, Running S W, *et al.* Developing Satellite Derived Estimates of Surface Moisture Status[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1993, 32: 548-557.
- [9] Goetz S J. Multisensor Analysis of NDVI, Surface Temperature and Biophysical Variables at A Mixed Grassland site[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18(15): 71-94.
- [10] Price J C. Using Spatial Context in Satellite Data to Infer Regional Scale Evapotranspiration[J]. *IEEE Transactions on*

- Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28: 940-948.
- [11] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A Method to Make Use of Thermal Infrared Temperature and NDVI Measurement to Infer Surface Soil Water Content and Fractional Vegetation Cover[J]. Remote Sensing Reviews, 1994, 52: 45-49.
- [12] Carlson T N, Gillies R R, Schmugge T J. An Interpretation of Methodologies for Indirect Measurement of Soil Water Content[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1995, 77: 191-205.
- [13] Gillies R R, Carlson T N. The Thermal Remote Sensing of Surface Soil Water Content with Partial Vegetation Cover for Incorporation into Climate Models[J]. Journal of Applied Meteorology, 1995, 34: 745-756.
- [14] Smith R C G, Choudhury B J. Analysis of Normalized Difference and Surface Temperature Observations over Southeastern Australia[J]. International Journal of Remote Sensing, 1991, 12(10): 2021-2044.
- [15] Yang Xi, Wu Jianjun, Yan Feng, *et al.* Assessment of Regional Soil Moisture Status based on Characteristics of Surface Temperature/Vegetation Index Space[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1205-1216. [杨曦, 武建军, 闫峰, 等. 基于地表温度-植被指数特征空间的区域土壤干湿状况[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1205-1216.]
- [16] Li Hongjun, Li Chunqiang, Zheng Li, *et al.* Zonal Calculation of Drought Inspection using Remote Sensing in Large-Scale[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(2): 137-141. [李红军, 李春强, 郑力, 等. 大范围旱情遥感监测的分带计算[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(2): 137-141.]
- [17] Fan Liaosheng, Jiang Jihong, Sheng Hui, *et al.* Reverse of Soil Moisture for Summer Drought Period in Hangzhou by using TVDI Method[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(2): 230-234. [范辽生, 姜纪红, 盛晖, 等. 利用温度植被干旱指数(TVDI)方法反演杭州伏旱期土壤水分[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 230-234.]
- [18] Merlin O, Walker J P, Kalma J D. The NAFE, 06 Data Set: Towards Soil Moisture Retrieval at Intermediate Resolution[J]. Advances in Water Resources, 2008, 31: 1444-1455.
- [19] MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide. Institute for Computational Earth System Science[EB/OL]. <http://www.ices.ucs.edu/modis/LstUsrGuide/usrguide.html>.
- [20] MOD09 (Surface Reflectance) User's Guide. International Scientific Data Service Platform[EB/OL]. http://datamirror.csdn.cn/modis/resource/doc/MOD09_UserGuide.pdf.
- [21] AMSR LPRMSM L3 Soilmoisture. Vrije Universiteit Amsterdam[EB/OL]. http://geoservices.falw.vu.nl/amsl_soil_moisture_description.html.
- [22] Yan Feng, Wang Yanjiao, Wu Jianjun. Application of Ts-EVI Character Space to Monitor Spring Drought-A Case Study in Hebei China[J]. Arid Land Geography, 2009, 32(5): 769-775. [闫峰, 王艳姣, 武建军. 基于 Ts-EVI 特征空间的春旱遥感监测——以河北省为例[J]. 干旱区地理, 2009, 32(5): 769-775.]
- [23] Yao Chunsheng, Zhang Zengxiang, Wang Xiao. Evaluating Soil Moisture Status in XinJiang using The Temperature Vegetation Dryness Index(TVDI)[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2004, 19(6): 473-478. [姚春生, 张增祥, 汪潇. 使用温度植被干旱指数法(TVDI)反演新疆土壤湿度[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(6): 473-478.]

A Downscaling Method for AMSR-E Soil Moisture Using MODIS Derived Dryness Index

Cao Yongpan^{1,2}, Jin Rui¹, Han Xujun¹, Li Xin¹

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The near-surface soil moisture data retrieved from passive microwave sensors has the coarse resolution, while the study in a river basin need soil moisture data in high spatial resolution. LST-NDVI space is generated by MODIS Land Surface Temperature Products(MOD11A1) and MODIS Surface Reflectance Products(MOD09GA) and Temperature Vegetation Dryness Index is calculated based on that. The index indicate spatial pattern of soil moisture and which is linear regressions with soil moisture. We calculate the linear regression coefficients between TVDI and near-surface soil moisture at the passive microwave scale, and then calculate soil moisture data at MODIS scale. The root mean square error between 0.01 resolution and ground-measured soil moisture collected during the National Airborne Field Experiment 2006 is 6.1%.

Key words: Soil moisture; Downscaling; MODIS; AMSR-E