doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.07.038

基于 Landsat 数据的条件植被温度指数升尺度转换方法*

王鹏新^{1,2} 吴高峰^{1,2} 白雪娇^{1,2} 刘峻明^{1,2}

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院,北京 100083; 2. 农业部农业信息获取技术重点实验室,北京 100083)

摘要:以陕西省关中平原为研究区域,应用点扩散函数、混合像素面积权重法和中值像素变异权重法将基于 Landsat 卫星遥感数据反演的分辨率为 30 m 的条件植被温度指数(VTCI)干旱监测结果上推至 930 m 的干旱监测结 果,并与 Aqua MODIS 数据反演的分辨率为 930 m 的 VTCI 干旱监测结果进行对比分析,以期为两种空间尺度的干 旱监测结果的综合应用提供技术支持。以 MODIS 数据反演的 VTCI 为参考,应用相关系数、均方根误差、半变异函 数的估计值和图像纹理特征等对尺度上推的 VTCI 进行评价。结果表明,点扩散函数和混合像素面积权重法的尺 度上推效果均较好,而中值像素变异权重法的尺度上推效果较差,说明点扩散函数和混合像素面积权重法均适用 于研究区域 VTCI 干旱监测结果的尺度转换,且点扩散函数的数据处理过程更为简单。典型样点 VTCI 的尺度上推 结果表明,空间异质性越小,尺度上推的结果越好。

关键词:条件植被温度指数 尺度上推 Landsat 数据 点扩散函数 混合像素面积权重法 中图分类号: \$165⁺.27; \$512.1⁺1 文献标识码:A 文章编号: 1000-1298(2015)07-0264-08

Up-scaling Transformation Methods for Vegetation Temperature Condition Index Retrieved from Landsat Data

Wang Pengxin^{1,2} Wu Gaofeng^{1,2} Bai Xuejiao^{1,2} Liu Junming^{1,2}

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology, Ministry of Agriculture, Beijing 100083, China)

Abstract: Vegetation temperature condition index (VTCI) drought monitoring results retrieved from Landsat remotely sensed data (30 m) in Guanzhong Plain, China were spatially transformed to a scale of the Aqua MODIS resolution (930 m) by using point spread function, mixed pixel area weighting method and median pixel variability weighting method. The transformed VTCIs were compared with the ones retrieved from Aqua MODIS data for agreement analysis of the two drought monitoring results. Taking MODIS VTCIs as the 'real' droughts, correlation coefficients and root mean square errors between the up-scaled Landsat VTCIs and MODIS VTCIs, and the texture and semi-variances of the two VTCIs were applied to select the best transformation method. The results showed that the transformed VTCIs from the point spread function and the mixed pixel area weighting method were better than those from the median pixel variability weighting method, which indicates that the point spread function and the mixed pixel area weighting method were both suitable for transforming the retrieved VTCI drought monitoring results from Landsat remotely sensed data, and the data processing procedure of the point spread function was relatively simple. The transformed VTCIs in the selected sampling sites covered by winter wheat showed that the smaller the spatial heterogeneity, the higher the transformed accuracy.

Key words: Vegetation temperature condition index Up-scaling Landsat data Point spread function Mixed pixel area weighting method

收稿日期:2014-10-11 修回日期:2014-11-02

^{* &}quot;十二五" 国家科技支撑计划资助项目(2012BAD20B0103)和国家自然科学基金资助项目(41371390、41071235)

作者简介: 王鹏新,教授,博士生导师,主要从事定量遥感及其在农业中的应用研究, E-mail: wangpx@ cau. edu. cn

引言

干旱对我国农业生产有严重的影响,在各种自 然灾害造成粮食作物减产的损失中,旱灾造成的损 失占一半以上^[1]。传统的基于气象和水文数据的 干旱监测方法,由于气象站点较少,区域代表性不 强。遥感技术具有实时、快速和大范围获取旱情信 息的优势,能够实现一个区域实时的、动态的干旱监 测,从而得到了广泛的应用。目前国内外主要应用 归一化植被指数(NDVI)、地表温度(LST)等参数进 行农业干旱遥感监测,其中有基于 NDVI 的条件植 被指数(VCI)、基于 LST 的条件温度指数(TCI)^[2] 以及基于 NDVI 和 LST 特征空间的干旱监测方法 等^[3]。王鹏新等^[4]基于 NDVI 和 LST 的散点图呈三 角形区域分布的条件,提出了条件植被温度指数 (VTCI)的干旱监测方法,并在干旱预测和影响评估 研究中得到了应用^[5-6]。

地表格局和过程具有尺度依赖性,因此应用多 源遥感数据地表现象的多尺度特征时,需要将不同 时、空尺度的遥感数据进行整合和尺度转换。20世 纪90年代,Meentemeyer等^[7]和Goodchild等^[8]提出 了尺度科学(Scale of science)的概念。Aman等^[9] 运用数量统计方法,发现高空间尺度的 NDVI 平均 值与低空间尺度的相应位置的 NDVI 值基本呈线性 关系。王璐等^[10]利用块状克里格法研究了地面实 测样点数据到 7.5 m分辨率面数据的升尺度转换。 刘学军等^[11]利用点扩散函数进行数字高程模型尺 度转换,实现了不同尺度 DEM 的尺度上推。李小文 等^[12]提出了利用归纳法结合自上而下的演绎和自 下而上的归纳方法研究尺度综合的思路。

本文应用点扩散函数、混合像素面积权重法和 中值像素变异权重法等空间尺度上推方法,将基于 Landsat 卫星遥感数据反演的分辨率为 30 m 的 VTCI 上推至 930 m 的 VTCI,并与基于 MODIS 遥感数据 反演的 VTCI 进行对比分析,选择适合于关中平原 的 VTCI 尺度上推方法,以期为基于多源卫星遥感 数据的区域地表干旱监测提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

关中平原位于陕西省中部,总面积约为5.55× 10⁴ km²,包括西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南5市及杨 凌示范区。关中平原地势南北高、中间低,西部高、 东部低,中部地势平坦,土质肥沃,是陕西省最重要 的农耕区。关中平原地处暖温带半湿润季风气候 区,是气候变化的敏感区,年降水量500~600 mm, 连续最大4个月(6—9月份)降水量约占全年总降水量的60%,连续最小4个月(11月份—次年2月份)降水量约占全年总降水量的10%,降水主要集中于夏秋季节,因此冬春发生干旱的可能性相对较大^[13-14]。

1.2 数据来源与处理

1.2.1 数据来源

选用关中平原9景 Landsat 5 TM 数据(126/036 轨道,2006年5月30日、2007年5月17日、2007年 6月2日;127/036轨道,2004年6月16日、2008年 6月11日和2010年6月17日;128/036轨道,2008年 5月1日、2009年5月20日和2010年5月23日) 和1景 Landsat 8 OLI/TIRS 数据(126/036轨道, 2013 年 6 月 2 日),以及与这些数据成像时间所在 旬的 Aqua MODIS 数据产品,包括日反射率产品 (MYD09GA)和日LST产品(MYD11A1)。Landsat 8 和 Landsat 5 过境周期为 16 d, 成像幅宽为 185 km × 185 km。Landsat 8 有 2 个主要载荷:运营性陆地成 像仪(OLI, Operational land imager)和热红外传感器 (TIRS, Thermal infrared sensor)。OLI 传感器有9个 波段,其中包括一个15m的全色波段,其余波段的 空间分辨率为 30 m; TIRS 有 2 个热红外波段, 空间 分辨率为 100 m。Landsat 5 的载荷 TM 有 7 个波段, 其中第6波段为热红外波段,空间分辨率为120m, 其余波段的空间分辨率为 30 m。Aqua MODIS 有 36个波段,空间分辨率分别为250、500、1000m(提 供的日反射率和日 LST 产品为 926.6 m),每1~2 d 提供1次地球表面观测数据。

1.2.2 数据处理

首先应用最新的定标系数和 ENVI 4.7 软件的 FLAASH 模块对研究区域的 Landsat 卫星遥感数据 进行辐射定标和大气校正,再进行几何精校正。同 时应用 ENVI 4.7 软件裁剪覆盖关中平原的 Landsat 遥感数据,利用裁剪后的数据计算 NDVI 和反演 LST。

1.2.2.1 Landsat 数据的处理

Landsat 5(L5)数据的处理过程与 Landsat 8(L8)数据的处理过程相似,本文以 L8数据的处理 为例阐述数据处理的基本过程。有关 L5数据的处 理,可参照文献[15-16]。

(1)反射率的计算。第*i*波段的辐射亮度 *L_{i-ts}*的计算方法为

$$\begin{split} L_{i-18} = M_{i-18} Q_{cali} + A_{i-18} & (i = 1, 2, \dots, 11) \quad (1) \\ \texttt{式} + Q_{cali} \longrightarrow \hat{\texttt{f}} i$$
 波段的 DN 值,即灰度

M_{i-18}——第*i*波段用于辐射亮度定标时的相 乘改变因子

(6)

第*i*波段反射率 ρ_{i-18} 的计算方法为

$$\rho_{i-L8} = \frac{M_{\rho i-L8} Q_{cali} + A_{\rho i-L8}}{\cos \theta}$$
(*i* = 1, 2, ..., 9) (2)

式中 *M_{ρi-L8}*——第*i*波段用于反射率定标时的相 乘改变因子

θ——太阳天顶角,可从数据头文件中获得 第*i*波段亮度温度 *T_{i-18}*的计算方法为

$$T_{i-LS} = \frac{K_2}{\ln\left(1 + \frac{K_1}{L_{i-LS}}\right)} \quad (i = 10, 11) \quad (3)$$

式中 K1、K2——发射前预设的常量

 K₁和K₂随选取波段不同而异,可从数据的头 文件中获得。对于第10波段,K₂=1321.08K,K₁=
 774.89 MW/(m²·sr·μm)。

(2) NDVI的计算。应用 Landsat 数据近红外波段和红光波段(L8 是第5 波段和第4 波段,L5 是第4 波段和第3 波段)反射率,根据 NDVI 的定义计算 NDVI 的值 *R*_{NDVI}^[15-16]。

(3) LST 的反演。应用 L8 第 10 波段(L5 第 6 波段)亮度温度反演 LST 的方法为

$$L = \frac{a(b - C - D) + [b(1 - C - D) + C + D]T_{10 - L8} - DT_{c}}{C}$$

式中 a、b——系数,分别取-67.35535和0.458608 C、D——中间变量

$$T_a$$
——大气等效温度(大气平均作用温度)
 ε ——地表辐射率

- τ ——大气透过率,主要取决于大气含水率 ω
- *T*₀——卫星过境时地面附近(大约2m高度) 的实时气温
- D_{RH}——卫星过境时地面附近(大约2m高度)的相对湿度
- 1.2.2.2 MODIS 数据的处理

选用 Landsat 卫星数据过境日期所在旬的 Aqua

MODIS 遥感数据产品,包括日反射率产品 (MYD09GA)和日LST产品(MYD11A1)。应用日 反射率产品计算日NDVI。基于日NDVI和LST,应 用最大值合成技术分别生成旬NDVI和LST最大值 合成产品^[4,17]。

1.2.2.3 条件植被温度指数的生成

条件植被温度指数(VTCI)的计算方法为^[4,17]

$$V = \frac{L_{\max}(N_i) - L(N_i)}{L_{\max}(N_i) - L_{\min}(N_i)}$$
(5)

其中
$$L_{\max}(N_i) = \alpha + \beta N_i$$

$$L_{\min}(N_i) = \alpha' + \beta' N_i \tag{7}$$

式中 *L*_{max}(*N_i*) — 研究区域内当 *N_i* 值等于某一 特定值时的 LST 的最大值

- L_{min}(N_i)——研究区域内当N_i值等于某一 特定值时的LST的最小值
- *L*(*N_i*) —— 某一像素的 NDVI 值为 *N_i* 时的 LST 值
- α、β、α'、β'——待定系数,由研究区域内
 NDVI和 LST 散点图近似获
 得

1.2.3 坐标转换

MODIS 数据的投影方式为 Lambert 投影,而 Landsat 数据的投影方式为 UTM 投影,对 2 种遥感 数据进行空间尺度转换时,必须先对这 2 种投影进 行坐标转换。具体方法为:通过 Lambert 反解算法 先将 MODIS 数据的平面坐标转换成经纬度坐标,将 经纬度坐标作为中间变量,再通过 UTM 正解算法将 经纬度坐标转换成 Landsat 数据下的平面坐标,以此 实现 2 种投影的坐标转换。

1.3 空间尺度上推方法

本研究采用分布式的尺度上推步骤,应用尺度 上推方法将 Landsat 数据反演的分辨率为 30 m 的 VTCI上推至 MODIS 数据分辨率(930 m)的 VTCI (应用 MODIS 数据所生成的数据产品的空间分辨率 为 926.6 m)。具体方法为:选取时间范围相对应的 MODIS 和 Landsat 影像数据,裁剪出研究区域,通过 上文的坐标转换方法,配准 Landsat 数据平面坐标。 以此 Landsat 平面坐标所在的像素为中心,向上、下、 左、右 4 个方向分别扩展 15 个像素,形成 31 像素 × 31 像素的局部窗口,最后利用尺度转换方法对该局 部窗口内的 VTCI 进行尺度上推。

1.3.1 点扩散函数

利用点扩散函数(PSF)对 Landsat 数据反演的 VTCI 进行卷积^[11]

$$V(x,y) = \iint PSF(x-u,y-w)v(u,w) \,\mathrm{d} u \,\mathrm{d} w \quad (8)$$

为了运算简便,对 PSF 用二维高斯函数进行近 似模拟,即

$$PSF(x,y) = k \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$
(9)

式中 σ——PSF 的半径

k——传感器系统的增益,由于数据预处理过 程中考虑了系统的增益,取 k = 1

1.3.2 混合像素面积权重法

MODIS 遥感数据的一个像素可以认为是 Landsat 遥感数据中多个像素的混合像素矩阵,而该 混合像素矩阵融合了多种地表覆盖信息。因此,尺 度转换后的 VTCI 值是 Landsat 混合像素矩阵中每 个像素的 VTCI 值共同作用的结果,其作用大小与 某类地物所占面积比例呈线性相关关系^[18]。混合 像素面积权重法(MPAW)为

$$V(x,y) = \sum_{i=1}^{c} f_i v_i(u,w)$$
 (10)

式中 c——地物类型的总数

 $\sum_{i=1}^{n} f_i = 1 \quad (f_i \ge 0)$

f_i—31 像素×31 像素中第 *i* 类像素所占百分比

v_i(u,w)——第*i* 类像素的 VTCI 平均值

本研究利用最大似然法对 Landsat 遥感影像进行分类^[19],分为植被(小麦地、林地和园地)、建设用地、水体和其他用地(如裸地等)4 类,即 *c* = 4。

1.3.3 中值像素变异权重法

中值像素变异权重法(MPVW)是将 31 像素 × 31 像素的 VTCI 值的中间值作为尺度转换后的 VTCI 值。具体方法为:将 31 像素 × 31 像素的 VTCI 值进行排序(如 VTCI 值相等,则只选其一参与排序),若像素的 VTCI 值的总个数为奇数,取其中间 值作为尺度转换后的 VTCI 值;若像素的 VTCI 值的 总数为偶数,取其中间 2 个值的平均值作为尺度转换后的 VTCI 值。

1.4 尺度上推结果的精度评价方法

1.4.1 均方根误差

均方根误差(RMSE)常用于衡量待评价数据与 参考数据之间的偏差,计算式为

$$D_{\rm RMSE} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i}^{m} (V(x,y) - V_M(x,y))^2}$$
(11)

式中
$$m$$
——待评价数据的总数
 $V_M(x, y)$ ——MODIS – VTCI 值

1.4.2 半变异函数

半变异函数(SVF)是度量空间依赖性和空间异 质性的一个综合型指标^[20]。半变异函数的估计值 被定义为

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{j=1}^{N(h)-1} (V_j - V_{j+h})^2 \qquad (12)$$

式中 N(h)——滞后距离等于 h 时的点对数,即尺

度上推后的 VTCI 的总数,取h = 1 $V_{j}, V_{j+h} \longrightarrow V(x, y)$ 或 $V_{M}(x, y)$ 相邻两个像

素的 VTCI 值

通过比较 V(x,y)和 $V_M(x,y)$ 间的相关系数、 RMSE 和半变异函数的估计值评价尺度转换的效 果。两者间的相关系数越大、RMSE 越小、 $\gamma(h)$ 的 值越接近,表明尺度转换的效果越好。

2 结果与分析

2.1 尺度上推 VTCI 与 MODIS – VTCI 间的相关 性分析

对1景 Landsat 8 - VTCI和9景 Landsat 5 -VTCI 利用 PSF、MPAW 和 MPVW 进行尺度上推(上 推后的 VTCI 分别简写为 L8 - VTCI 和 L5 - VTCI), 并与同一区域范围的 MODIS - VTCI 进行线性回归 分析,结果如表1。以L8-VTCI的上推结果为例, 2种 VTCI 间的散点图和回归分析结果如图 1,可见 应用 PSF、MPAW 和 MPVW 法尺度上推后的 L8-VTCI和 MODIS-VTCI 的散点图的分布趋于一 条直线,两者间的相关系数分别为 0.795 9、0.801 5 和 0.737 5。L8 - VTCI 尺度上推结果的值域范围比 MODIS-VTCI的值域范围略小些,且前者的大多数 VTCI 均落在后者的值域之内,表明 MODIS - VTCI 值比 L8 - VTCI 上推后的值要大些。结合表 1,可以 看出 10 景 Landsat - VTCI 上推结果与相对应的 MODIS - VTCI 间的相关系数变化范围为 0.424 1~ 0.8015,其中2013年6月2日、2009年5月20日和 2010 年 5 月 23 日的 L5 - VTCI 与 MODIS - VTCI 间 的相关系数较大,而2007年5月17日和2004年 6月16日的L5-VTCI与MODIS-VTCI间的相关 系数相对较小,但两者间的相关性均达到显著水平。 从整体上看,3种方法中,MPAW 所得的相关系数最 大,PSF 次之, MPVW 所得的相关系数最小,说明 MPAW 方法的尺度上推效果最好。

2.2 应用均方根误差和半变异函数评价尺度上推 VTCI

尺度上推后的 L8 - VTCI、L5 - VTCI 与 MODIS -

表 1 Landsat – VTCI和 MODIS – VTCI间的相关系数、均方根误差和半变异函数的估计值

Tab.1 Correlation coefficients and root mean square errors between up-scaled Landsat - VTCI and

MODIS - VTCI and semi-variance

日期	数据源	上推方法	相关系数	均方根误差	半变异函数的估计值
2004年6月16日	MODIS – VTCI				0.0014
	L5 – VTCI	PSF	0. 503 1	0. 123 2	0.002 5
		MPAW	0.5190	0. 135 1	0.0010
		MPVW	0. 509 7	0. 142 7	0.000 9
2006年5月30日	MODIS – VTCI				0.0017
	L5 – VTCI	PSF	0. 716 7	0.0743	0.004 2
		MPAW	0.7010	0.0683	0.003 8
		MPVW	0.6054	0.0800	0.004 0
2007年5月17日	MODIS – VTCI				0.0011
	L5 – VTCI	PSF	0. 424 1	0. 103 2	0.0051
		MPAW	0. 438 8	0.0986	0.004 1
		MPVW	0.4453	0.0967	0.0016
2007年6月2日	MODIS – VTCI				0.0019
	L5 – VTCI	PSF	0.6786	0.2105	0.0024
		MPAW	0.6828	0. 199 9	0.0023
		MPVW	0.6463	0. 212 2	0.0010
2008年5月1日	MODIS – VTCI				0.004 5
	L5 – VTCI	PSF	0. 574 1	0. 163 5	0.0073
		MPAW	0. 593 3	0.1708	0.008 5
		MPVW	0. 532 7	0.2156	0.0119
2008年6月11日	MODIS – VTCI				0.0059
	L5 – VTCI	PSF	0.6971	0. 286 7	0.0037
		MPAW	0.7197	0.2692	0.0036
		MPVW	0.7081	0. 281 8	0.003 1
2009年5月20日	MODIS – VTCI				0.005 2
	L5 – VTCI	PSF	0.7146	0. 163 7	0.0047
		MPAW	0.7201	0. 132 4	0.004 2
		MPVW	0.6676	0. 180 3	0.004 1
2010年5月23日	MODIS – VTCI				0.0054
	L5 – VTCI	PSF	0. 738 7	0.0763	0.0061
		MPAW	0.7429	0.0598	0.0056
		MPVW	0.7186	0.0927	0.0077
2010年6月17日	MODIS – VTCI				0.0011
	L5 – VTCI	PSF	0.6842	0. 148 3	0.004 3
		MPAW	0.6766	0.1400	0.004 9
		MPVW	0.6570	0. 170 0	0.0053
2013 年 6 月 2 日	MODIS – VTCI				0.0040
	L8 – VTCI	PSF	0. 795 9	0.2588	0.003 3
		MPAW	0.8015	0.2444	0.003 2
		MPVW	0.7375	0.2802	0.0018



(a) PSF (b) MPAW (c) MPVW

VTCI间的均方根误差(RMSE)和半变异函数(SVF)的估计值的计算结果如表1。从RMSE来看,3种方法得到的RMSE都较小,也较接近,说明3种方法尺度上推结果与MODIS - VTCI间的差异较小。利用MPAW法,其中有7景影像上推的VTCI的RMSE略小于利用其他2种方法所得的RMSE,且MPVW法上推结果最好,应用MPVW法上推结果最差。从SVF的估计值看,3种方法空间尺度上推结果所得的SVF的估计值无较接近,其中利用PSF、MPAW法和MPVW法,分别有5景、4景和1景所得的SVF的估计值更接近MODIS - VTCI的SVF的估计值,说明PSF法和MPAW法的上推效果较好,MPVW的上推效果较差。

2.3 尺度上推 VTCI 的空间分布特征分析

根据尺度上推后的 Landsat - VTCI 和 MODIS - VTCI 图像的纹理特征分析尺度转换的效果。总的来说,应用 3 种尺度上推方法,10 景 Landsat 数据尺度上推后的 VTCI 与相对应的 MODIS - VTCI 的纹理特征基本相似。以 L8 - VTCI 上推结果为例(图 2,除 MODIS - VTCI 和 L8 - VTCI 外,其他图像命名方式为传感器-指数_尺度上推方法),首先尺度上推结

果与上推前的 VTCI(图 2b)的区域分布特征、明暗 程度、纹理特征均表现一致,表明3种上推方法对 VTCI 的尺度上推是可行的。从图像纹理的渐变性 来看,3种方法上推的Landsat-VTCI的纹理特征与 相对应 MODIS - VTCI 的纹理特征基本一致,其中 PSF 和 MPAW 所得结果均能较明显地识别出最东 边的黄河,而 MPVW 所得结果河流水体呈点状,不 易识别为河流。从干旱发生程度和区域分布来看, 3 种方法上推的 Landsat - VTCI 与 MODIS - VTCI 表 现一致,图像上半部分和下半部中间区域较暗,说明 这些区域 VTCI 值较小, 地表比较干旱; 其他区域较 亮,说明 VTCI 值较大,地表比较湿润。通过分析 10景 Landsat - VTCI 的尺度上推结果,发现关中平 原地区东部的 Landsat - VTCI 上推结果比较暗,说 明 VTCI 较小,地表较干旱,与之相应区域的 MODIS -VTCI 也较小。关中平原地区西部的 Landsat - VTCI 上推结果呈现的比较亮,说明 VTCI 较大,地表较湿 润,与之相应区域的 MODIS - VTCI 也较大。这些结 果均与相应时间范围的 MODIS - VTCI 的干旱监测 结果一致,表明 Landsat - VTCI 和 MODIS - VTCI 之 间具有可比性。从整体上看, MPAW 和 PSF 的上推 效果较好且接近,MPVW 的上推效果较差。



图 2 MODIS - VTCI和L8 - VTCI干旱监测结果 Fig. 2 Drought monitoring results of L8 - VTCI, up-scaled L8 - VTCI and MODIS - VTCI (a) MODIS - VTCI (b) L8 - VTCI (c) L8 - VTCI_MPAW (d) L8 - VTCI_PSF (e) L8 - VTCI_MPVW

2.4 典型样点尺度上推 VTCI 的分析

由于地表的空间异质性,同一尺度上推方法对 不同地表 VTCI 的空间尺度转换所带来的误差是不 一样的。为此在关中平原东、中、西部选取了 13 个 典型样点,进一步分析空间异质性对尺度转换结果 的影响。这些样点 3 km × 3 km 范围内均以冬小麦 为主,地表覆盖物单一,空间异质性较小,具有较强 的代表性。10 景 Landsat 影像中 13 个典型灌溉样 点所对应的 VTCI 尺度上推结果与 MODIS – VTCI 散 点图如图 3。可以看出,3 种尺度上推方法对所有样 点 VTCI 上推结果的整体分布趋势一致,趋于一条 直线。PSF 的 VTCI 上推结果(图 3a)中,除 2008 年 6 月 11 日、2009 年 5 月 20 日 2 景影像各有一个样 点与各自影像中其余样点散点图的分布趋势不一致 外,其余各景样点结果均趋于一条直线。MPAW的 VTCI上推结果(图 3b)中,除 2008 年 6 月 11 日影 像的一个样点与本景数据其余样点散点图的分布趋 势不一致,以及 2009 年 5 月 20 日中的一个样点与 本景数据其余样点散点图的分布趋势稍有偏差外, 其余各景样点结果也均趋于一条直线。而在 MPVW的 VTCI上推结果(图 3c)中,2008 年 5 月 1 日、2008 年 6 月 11 日、2009 年 5 月 20 日和 2010 年 5 月 23 日 4 景中各有一个样点与各自影像中其 余样点散点图的分布趋势不一致,说明 MPVW 法对 每景所选样点 VTCI 的上推结果的效果比 PSF 和 MPAW 法的效果差。由表 1 可知,2004 年 6 月 16 日和 2007 年 5 月 17 日 2 景所得上推结果与相应 MODIS - VTCI 之间的相关性较差。图 3 中, PSF 和 MPAW 法对这 2 景所选典型样点 VTCI 的上推结 果均趋于一条直线,说明相关性较好。其余 8 景所选典型样点 VTCI 的上推结果也均好于每景研究区域中所有地面点 VTCI 的上推结果。以上分析表明,所选典型样点 VTCI 的上推结果要比研究区域

中大多数像素点 VTCI 的上推结果好,这是由于所 选典型样点地表覆盖物单一,空间异质性较小,而研 究区域中其余大多数点地表覆盖物多样,空间异质 性较大。说明尺度转换效果与地表空间异质性有 关,即像素的空间异质性小对于尺度转换的影响较 小,其尺度转换结果要好于空间异质性较大的像素 的尺度转换结果。





3 讨论

从整体上看,点扩散函数和混合像素面积权重 法的尺度上推效果均较好,而中值像素变异权重法 的尺度上推效果较差,表明点扩散函数和混合像素 面积权重法均适用于关中平原 VTCI 干旱监测结果 的尺度转换。这是由于点扩散函数是将邻近像素对 中心像素的 VTCI 的影响作为尺度转换的主要因 子;混合像素面积权重法是在对研究区域的地物进 行分类的基础上,将不同地物类型的面积作为权重 进行尺度上推;而中值像素变异权重法仅考虑了中 间一个或两个像素本身,没有考虑其余像素的影响。 因此在尺度转换的研究中应尽可能地选用涉及分类 等的尺度转换方法。

从尺度上推方法的适用性看,点扩散函数的数 据处理过程较为简单,且所得上推结果与混合像素 面积权重法的结果也较接近,因此点扩散函数可能 更适用于关中平原干旱监测结果的尺度上推。

通过典型样点分析,验证了点扩散函数和混合 像素面积权重法的尺度上推效果好于中值像素变异 权重法的尺度上推效果。同时说明空间异质性是导 致尺度转换结果误差的主要原因之一。空间异质性 小的像素尺度转换后的结果较好,因此今后在研究 尺度转换模型以及转换的效果评价上应重点考虑空间异质性。

4 结论

(1)应用点扩散函数、混合像素面积权重法和 中值像素变异权重法对关中平原 10 景 Landsat -VTCI 尺度上推后的结果均与上推前的结果和 MODIS - VTCI 的结果在影像纹理特征、空间分布特 征等方面表现一致,且与关中平原东、中、西部的实 际干旱监测结果相吻合。与其他2种尺度上推方法 相比,点扩散函数是 Landsat - VTCI 干旱监测结果 的最佳尺度上推方法。

(2)应用 MODIS 数据求得的 VTCI 是一种定量 化的干旱监测结果,即不同年份某一时段(如旬)的 监测结果间具有绝对可比性;而应用的 Landsat 数据 得到的 VTCI 是一种相对干湿的干旱监测结果,即 不同年份某一时段某一天的监测结果间具有相对可 比性,而无绝对可比性。基于本文升尺度转换研究 的成果,未来的另一研究重点是:利用 Landsat 升尺 度转换后的 VTCI 与 MODIS VTCI 间的相关性进行 基于 Landsat 数据的 VTCI 定量化研究,即通过降尺 度转换或其他方法使得基于 Landsat 数据的 VTCI 干旱监测结果具有绝对可比性。

参考文献

1 田苗, 王鹏新, 韩萍, 等. 基于 SARIMA 模型和条件植被温度指数的干旱预测[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 109-116.

Tian Miao, Wang Pengxin, Han Ping, et al. Drought forecasts based on SARIMA models and vegetation temperature condition index[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(2): 109-116. (in Chinese)

- 2 Kogan F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection [J]. Advances in Space Research, 1995, 15(11): 91-100.
- 3 王鹏新, Wan Zhengming, 龚健雅, 等. 基于植被指数和土地表面温度的干旱监测模型[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4):

527 - 533.

Wang Pengxin, Wan Zhengming, Gong Jianya, et al. Advances in drought monitoring by using remotely sensed normalized difference vegetation index and land surface temperature products [J]. Advance in Earth Science, 2003, 18(4): 527 - 533. (in Chinese)

4 王鹏新,龚健雅,李小文.条件植被温度指数及其在干旱监测中的应用[J].武汉大学学报:信息科学版,2001,26(5): 412-418.

Wang Pengxin, Gong Jianya, Li Xiaowen. Vegetation temperature condition index and its application for drought monitoring [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2001, 26(5): 412-418. (in Chinese)

5 田苗, 王鹏新, 严泰来, 等. Kappa 系数的修正及在干旱预测精度及一致性评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 1-7.

Tian Miao, Wang Pengxin, Yan Tailai, et al. Adjustment of Kappa coefficient and its application in precision and agreement evaluation of drought forecasting models[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(24): 1-7. (in Chinese)

- 6 李艳, 王鹏新, 刘峻明, 等. 基于条件植被温度指数的冬小麦主要生育时期干旱监测效果评价: I. 因子权重排序法和熵 值法组合赋权[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(6): 159-163.
- 7 Meenrenmeyer V, Box E O. Scale effects in landscape studies [M] // Turner M G. Landscape Heterogeneity and Disturbance, Ecological Studies. New York: Springer-Verlag, 1987,64: 15-34.
- 8 Goodchild M F, Quattrochi D A. Scale, multiscale, remote sensing and GIS[M] // Quattrochi D A, Goodchild M F. Scale in Remote Sensing and GIS. Boca Raton: Lewis Publishers, 1997: 1-11.
- 9 Aman A, Randriamanantena H P, Podaire A, et al. Upscale integration of normalized difference vegetation index: the problem of spatial heterogeneity[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30(2): 326-338.
- 10 王璐,胡月明,赵英时,等. 克里格法的土壤水分遥感尺度转换[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(4): 465 473.
 Wang Lu, Hu Yueming, Zhao Yingshi, et al. Remote sensing scale transformation of soil moisture based on block Kriging[J].
 Journal of Geo-information Science, 2012, 14(4): 465 473. (in Chinese)
- 11 刘学军,王彦芳,晋蓓.利用点扩散函数进行 DEM 尺度转换[J].武汉大学学报:信息科学版,2009,34(12):1458-1462. Liu Xuejun, Wang Yanfang, Jin Bei. A upscaling method of digital elevation model with point spread function[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2009, 34(12):1458-1462. (in Chinese)
- 12 李小文,王炜婷.定量遥感尺度效应刍议[J].地理学报,2013,68(9):1163-1169.
 Li Xiaowen, Wang Yiting. Prospects on future developments of quantitative remote sensing[J]. ACTA Geographica Sinica, 2013, 68(9):1163-1169. (in Chinese)
- 13 窦睿音,延军平.关中平原太阳黑子活动周期与旱涝灾害的相关性分析[J].干旱区资源与环境,2013,27(8):76-82. Dou Ruiyin, Yan Junping. Relationships between drought and flood disasters in Guanzhong Plain and the activities of sunspot[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(8): 76-82. (in Chinese)
- 14 杨文峰,李星敏,卢玲.基于能量平衡的蒸散遥感估算模型的应用研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(2):46-52.

Yang Wenfeng, Li Xingmin, Lu Ling. Application of remote sensing model based on energy balance to estimate evapotranspiration [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2013, 41(2): 46-52. (in Chinese)

- 15 覃志豪,张明华,Karnieli A,等.用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J].地理学报,2001,56(4):456-466. Qin Zhihao, Zhang Minghua, Karnieli A, et al. Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM6 data[J]. ACTA Geographica Sinica, 2001, 56(4):456-466. (in Chinese)
- 16 Chander G, Markham B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(11): 2674 - 2677.
- 17 孙威,王鹏新,韩丽娟,等.条件植被温度指数干旱监测方法的完善[J].农业工程学报,2006,22(2):22-26. Sun Wei, Wang Pengxin, Han Lijuan, et al. Further improvement of the approach to monitoring drought using vegetation and temperature condition indexes from multi-years' remotely sensed data[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(2): 22-26. (in Chinese)
- 18 Wang G, Gertner G, Anderson A B. Up-scaling methods based on variability-weighting and simulation for inferring spatial information across scales [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(22): 4961-4979.
- 19 刘炜, 王聪华, 赵尔平, 等. 基于面向对象分类的细小河流水体提取方法研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 237-244. Liu Wei, Wang Conghua, Zhao Erping, et al. Extraction of small river information based on object-oriented classification[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7): 237-244. (in Chinese)
- 20 何亚娟,潘学标,裴志远,等. 县域尺度玉米产量信息空间变异性研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 214-217, 231.
 He Yajuan, Pan Xuebiao, Pei Zhiyuan, et al. Spatial variability of corn yield at county-scale[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(2): 214-217, 231. (in Chinese)