

文章编号: 1008 - 2786 - (2017)6 - 919 - 07

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000294

三种时序 NDVI 重建方法的对比研究

——以重庆为例

朱 慧, 李 军^{1, 2*}

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047; 2. 重庆市高校 GIS 应用研究重点实验室, 重庆 400047)

摘 要: 时序 NDVI 数据由于受到云 覆盖、大气扰动、传感器角度等因素的影响, 存在诸多噪声, 在其应用之前需要进行必要的重建, 特别是在常年多云雾的重庆地区。本文在 QA (Quality Assessment) 数据分析的基础上, 利用 WS 法、S-G 法和 HANTS 法对重庆 2010—2014 年 MODIS 逐月 1 km NDVI (MOD13A3) 数据集进行了重建, 对整体保真性水平和不同土地覆被类型 (分常绿阔叶林、常绿针叶林、落叶阔叶林、常绿阔叶灌木林、水田、旱地和草丛等 7 种) 的保真性进行了对比分析。研究结果表明: WS 法不论在总体上还是在不同土地覆被类型下, 其重建前后的保真性均好于 HANTS 法和 S-G 法, 同时, 对草丛和常绿阔叶灌木林重建后的数据保真性最高, R 值分别为 0. 8977 和 0. 8624, RMSE 值分别为 0. 0589 和 0. 0669; 对水田和落叶阔叶林的保真性较差, R 值分别为 0. 8343 和 0. 8260, RMSE 均为 0. 0766。

关键词: MODIS NDVI; 时序重建; 保真性; 重庆

中图分类号: TP79

文献标志码: A

NDVI 是目前应用最广泛的植被指数之一, 它是植被生长状态的指示器^[1]。时序 NDVI 数据能够反映植物的生长过程, 其在植被动态变化监测、宏观植被覆盖分类和植物生物物理参数反演等许多方面已经得到了广泛应用^[2, 3]。但是, 受到云雾遮挡、传感器衰退、太阳角度变化等外界因素的影响, 时序 NDVI 数据常常存在较多噪声。为提高数据质量、消除噪声的影响, 国内外学者进行了大量的时序 NDVI 数据重建研究, 主要包括不同重建方法的提出、应用以及它们之间的对比研究。目前, 时序 NDVI 数据的重建方法主要有阈值法^[4]、滤波法^[5]、曲线拟合法^[6, 7]、综合算法^[8]以及其它算法^[9, 10]共 5 大类约 20 余种, 这些方法均有各自的假设条件、优

劣之处和适用性等。目前, 还不存在一种被大多数学者所认可的应用效果较好的普适性的重建方法, 大多数研究主要集中在对不同重建方法的比较和适用性的分析等方面: 李天祺^[11]等认为 A-G 和 D-L 法适合重建植被地物, HANTS 适合重建非植被地物, S-G 法重建效果最差。Geng^[12]等认为 S-G、CW 和 WS 法重建效果对不同数据源的 NDVI 效果均较好, S-G 法稳定性较好, CW 和 WS 法重建效果更佳。梁守真^[13]等认为 SPLINE 插值法重建效果受质量控制数据影响严重, HANTS 法和 S-G 法重建曲线较为平滑。

WS 法在时序遥感数据的重建方面有很高的潜力^[14], 具有所需参数少、普适性良好的优点, 而目前

收稿日期 (Received date): 2017 - 02 - 19; 改回日期 (Accepted date): 2017 - 05 - 11

基金项目 (Foundation item): 中国科学院重点部署项目 (KZZD - EW - TZ - 18); 国家自然科学基金项目 (51308575); 重庆市气象局开放式研究资助项目 (Kfj - 201303) [Special Fund from Chinese Academy of Sciences (KZZD - EW - TZ - 18); National Natural Science Foundation of China (51308575); Open Foundation of Chongqing Meteorological Bureau (Kfj - 201303)]

作者简介 (Biography): 朱慧 (1991 -), 女, 河北邯郸人, 硕士, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究 [Zhu Hui (1990 -), female, born in Handan, Hebei province, M. Sc. candidate, research on remote sensing and GIS application] E-mail: pzbpw@foxmail.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 李军 (1974 -), 男, 天津人, 博士, 副研究员, 主要从事农业遥感应用研究 [Li Jun (1974 -), male, Ph. D., associate professor, research on application of remote sensing in agriculture] E-mail: junli@cqu.edu.cn

国内将其与其他重建方法对比研究较为缺乏。研究采用 WS 法对云雾众多的重庆地区 NDVI 时序数据进行重建,同时选用滤波法中稳定性较好的 S-G 以及重建曲线平滑度较好的 HANTS 法对重建保真性加以对比。首先,利用 2010—2014 年 MODIS 逐月 1 km NDVI (MOD13A3) 数据进行数据质量分析,然后结合土地利用/覆盖数据,对不同土地覆盖类型的重建保真性进行系统分析。

1 研究区概况

重庆位于我国西南部、长江上游,地跨东经 105°11' ~ 110°11'E、北纬 28°10' ~ 32°13'N 之间的青藏高原与长江中下游平原的过渡地带,东西长 470 km,南北宽 450 km,面积 8.24 万 km²。地貌以丘陵、山地为主,山地面积约占总面积的 70%。气候属亚热带季风性湿润气候,由于地处四川盆地东部,四周高山阻挡,水系发达,因此湿度较大、云雾多、日照较少。年日照时数 1000 ~ 1400 小时,日照百分率仅为 25% ~ 35%,为我国年时数日照最少的地区之一,冬、春季日照时数更少,仅占全年的 35% 左右。土地覆被类型以林地、农田和灌丛为主,其中,林地以常绿针叶林、常绿阔叶林和落叶阔叶林为主,农田以耕地(水田和旱地)为主,灌丛以阔叶灌丛为主。

2 数据及其预处理

本研究采用 2010—2014 年 MODIS 的 MOD13A3 数据,空间分辨率为 1 km,时间分辨率为逐月,选择 h27v05 和 h27v06 的 5 年共 120 景影像。利用 MRT (MODIS Reprojection Tool) 软件,提取 NDVI 和 QA (Quality Assessment) 两层数据,对其进行批量拼接、投影转换、重采样和裁剪等,得到了重庆 2010—2014 年期间历年各月 1 km 的 MODIS NDVI 和 QA 数据集。将重庆 2000 年、2005 年和 2010 年三期的 1:10 万的土地利用/覆被数据,通过 ArcGIS 软件对其进行处理,选取 10 年内未转移的土地覆被类型进行不同覆被类型保真性分析。

3 研究方法

3.1 重建方法

WS 法 (Whittaker Smoother) 由 Paul H. C.

Eilers^[10] 在 2003 年将 Whittaker 算法引入到遥感影像的时间序列重建研究中,通过保真度和粗糙度进行时间序列的重建,其参数较简单且容易实现。其基本公式为:

$$Q = S + \lambda R \quad (1)$$

$$S = \sum_i (y_i - z_i)^2 \quad (2)$$

$$R = \sum_i (z_i - 3z_{i-2} - z_{i-3})^2 = (Dz)^2 \quad (3)$$

式中, Q 为重建后数据; S 为保真度是最大值与最小值差的平方和, y_i 为该序列中最大值, z_i 为该序列中的最小值, R 为粗糙度, λ 为粗糙度的系数,可通过交叉验证获得, Dz 为 R 的一个对角矩阵,值为多项式的系数。Atzberger^[15] 认为 $\lambda = 2$ 适合一年两熟区,15 适合所有情况,本文经交叉验证,最终选取 $\lambda = 2$ 重建重庆地区 NDVI。此处主要介绍了 WS 法,不再对 HANTS 和 S-G 重建方法进行赘述。

3.2 分析方法

1) 低质量数据频率

根据 MODIS NDVI 标准产品中的质量评估数据 (QA),对其不同标记进行识别,将受“云污染”的像元认为是低质量数据,统计其占有所有像元的百分比,分析 NDVI 低质量数据时空分布情况:

$$P_i = \frac{N_i}{N_{all}} \times 100\% \quad (4)$$

其中, P_i 为低质量像元 i 占有所有像元的百分比, N_i 为低质量像元 i 的出现次数, N_{all} 为所有像元的数量。

2) 保真性的分析

为体现重建前后 NDVI 数据之间的保真性,运用相关系数 (R) 来体现 60 幅影像重建前后各像元间的线性相关程度,运用均方根误差 (RMSE) 来衡量重建前后影像各像元间偏差,以分析重建后 NDVI 数据的保真性。其中,R 值越大,表明重建后 NDVI 数据的保真性越好,否则,保真性越差;此外,RMSE 值越小,表明重建后 NDVI 数据的保真性越好,否则保真性越差。

4 结果与分析

4.1 数据质量分析

为了分析重庆 MODIS NDVI 数据受“云污染”的时空分布状况,利用 ArcGIS 的空间分析功能,对 MODIS NDVI 标准产品中的质量评估数据 (QA) 进行统计分析,得到重庆 5 年 (2010—2014 年) 间

NDVI 数据低质频率图(图 1)和各月低质频率情况图(图 2)。

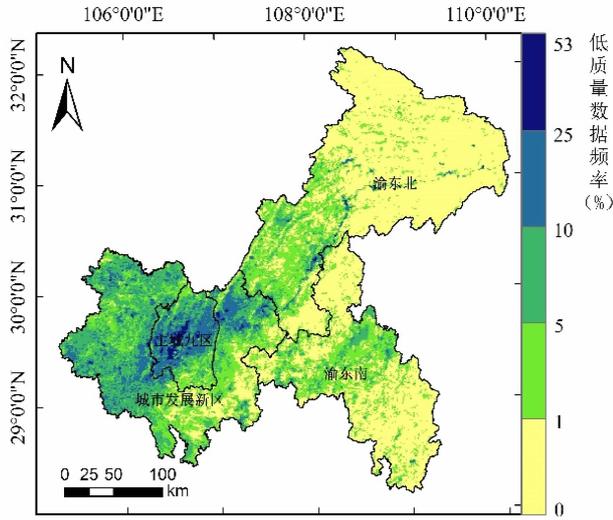


图 1 低质量数据频率的空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of low quality data frequency

由图 1 可以看出:重庆 5 年间低质数据出现频率呈现渝西地区高于渝东北、渝东南的空间格局。其中主城区的中梁山与明月山相间地区低质数据出现频率最高,在 25% 以上,表明该区域的 NDVI 遥感数据质量最差;其次是周围的平行陵谷区域,低质数据频率普遍大于 10%;而低质数据频率在 5% ~ 10% 之间的值主要分布于城市发展新区及其与渝东北、渝东南相邻地区;渝东北和渝东南的大片区域低质数据出现频率小于 1%,表明该区域 NDVI 遥感影像质量较好。

由图 2 可以看出,重庆市 5 年间从 1 月到 12 月的 NDVI 数据质量均受到不同程度的影响,月平均低质频率呈“高-低-高”波动下降的趋势,其中 1、2、6、11 和 12 月的 NDVI 数据质量受影响较大,低质量数据分布区域均占总面积的 5.5% 以上,其中 1 月

份由于 2011 年 1 月低质频率达 45.4%, 导致其 NDVI 质量最差,平均低质量数据占总面积的 14.20%, 而 6 月份平均低质频率情况较为严重是由于 2012 年低质频率较高,约为 15%;其余 3、4、5、7、8、9、10 月的平均低质频率低于 2%。

4.2 保真性分析结果

1) 保真性水平分析

利用 ArcGIS 软件对 WS 法、S-G 法和 HANTS 法重建后与原始数据之间的相关系数及均方根误差进行分析,空间分布情况及统计图如下:

由图 3 可知,总体上重庆地区 WS、S-G 和 HANTS 法重建前后数据保真性分布情况与受污染像元的频率空间分布情况相互对应:呈现低质频率越高的地区 R 值越低、RMSE 值越高的特点。同时 R 值均普遍大于 0.5, 主要呈高度相关及显著相关,且大部分区域的 RMSE 小于 0.1, 表明重建前后数据差距较小。其中渝东北与渝东南大部分区域 R 值较高,均在 0.8 以上呈高度相关, RMSE 值较低,小于 0.075。R 值在 0.7 到 0.8 之间, RMSE 值大于 0.1 的主要分布在渝西地区。对比统计结果可知,在 R 值小于 0.7 的范围内 S-G 法, 占总面积的 22.3%, 大于 HANTS 和 WS 的 17.91% 和 4.35%; 而 R 值在 0.7 到 0.8 之间, HANTS 法所占面积最广, 为 27.36%, 其次为 S-G 法 25.6%; 在 R 值大于 0.8 呈显著相关范围内, WS 法所占面积更为广泛, 在 0.8 ~ 0.9 和 > 0.9 范围内所占面积百分比为 72.76%, 大于 HANTS 法的 54.72% 和 S-G 法的 52.09。WS 法的 RMSE 评价结果在 > 0.1 范围内所占面积比均小于 HANTS 法和 S-G 法, 其中 S-G 法所占面积最大; 而在 0.075 ~ 0.1 和 0.05 ~ 0.075 的范围内, WS 法的面积百分比分别为 40.33% 和 31.14%, 均比 HANTS 法的 28.24% 和 27.6% 以及

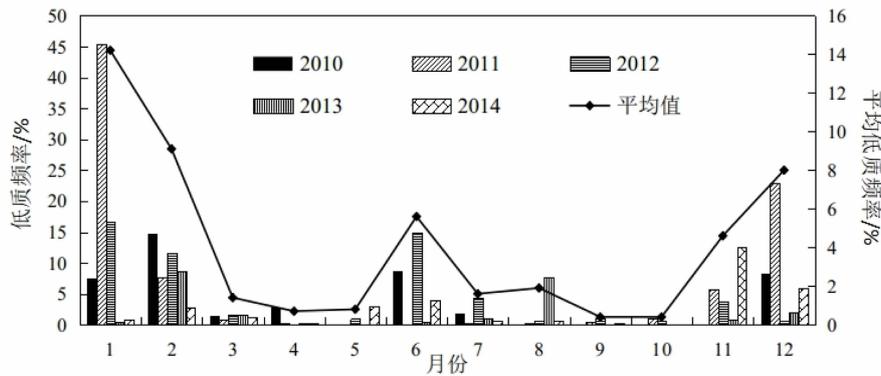


图 2 各月低质量频率对比图

Fig. 2 Comparisons of monthly low quality frequency

S-G 法的 32.39% 和 28.15% 更为广泛; 同时在 < 0.05 范围内 HANTS 和 WS 法的评价结果分别为 22.02% 和 19.04%, 面积广泛于 S-G 法的 8.64%。经 R 和 RMSE 分析表明 WS 法对原始数据的保真性最佳, 其次为 HANTS 法, S-G 法保真性最差。

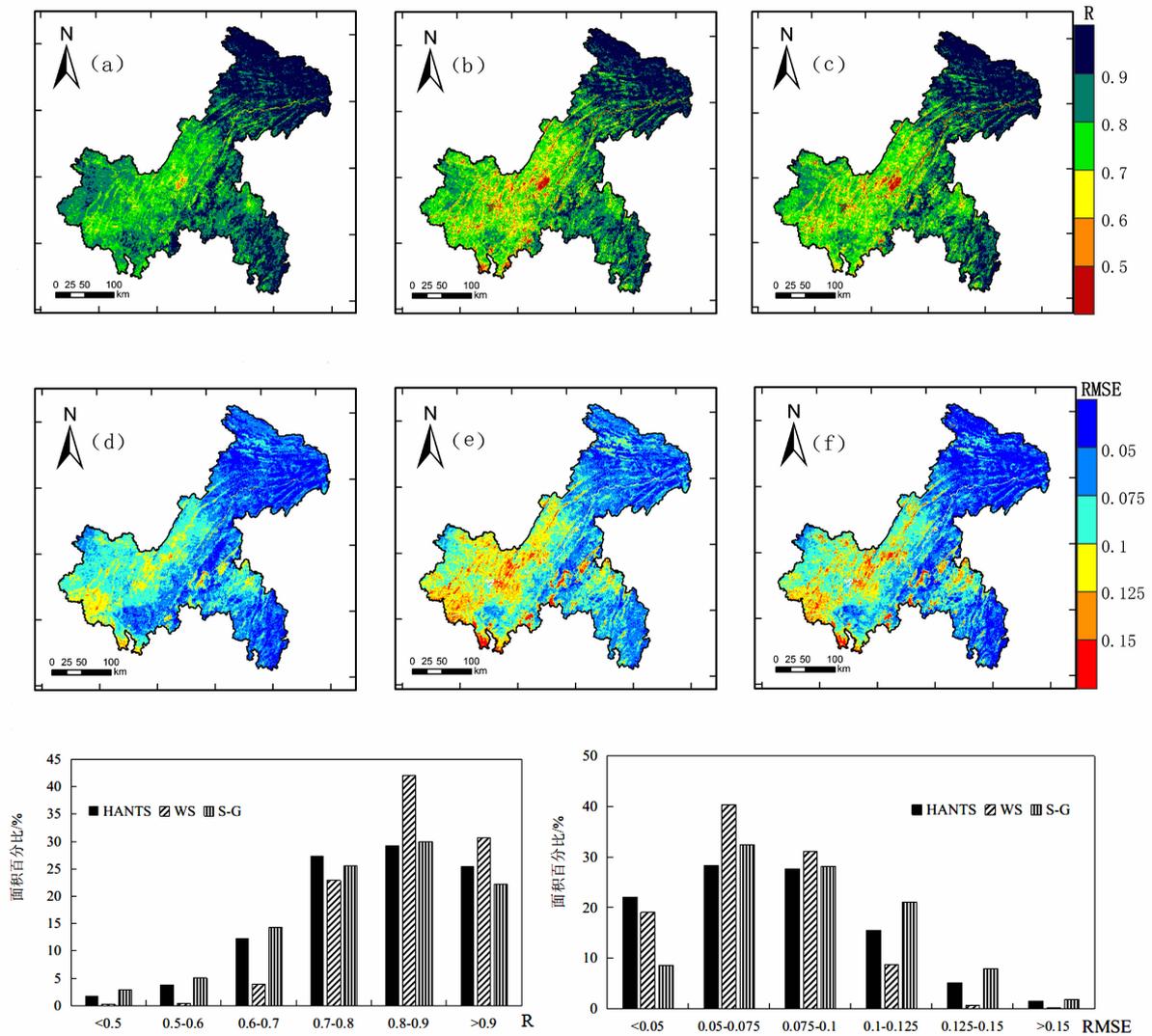
2) 不同覆被类型下的保真性分析

选取 2000—2010 年未转移的土地利用类型中占总面积 5% 以上的 7 类具有植被意义的土地覆盖类型: 常绿阔叶林(占总面积的 10.04%)、落叶阔叶林(6.15%)、常绿针叶林(23.34%)、常绿阔叶灌木林(10.37%)、草丛(7.36%)、水田(8.59%) 和旱地(20.61%), 统计其 R 值和 RMSE 值以分析 WS、

HANTS 和 S-G 法在不同覆被类型下的保真性, 统计结果见表 1~3。

如表 1 所示, WS 法重建后各种植被类型的保真性结果均较好, 其中草丛的保真性最好, R 值和 RMSE 平均值分别为 0.8977 和 0.0589; 落叶阔叶林的 R 平均值为 0.826, 相关性较其他植被类型较差, 常绿阔叶林、落叶阔叶林和水田的 RMSE 的评价结果相当, 因此 WS 法重建后落叶阔叶林保真性较差。

表 2 中面积百分比为对应数值范围内面积占该植被类型总面积的百分比, HANTS 重建后草丛的 R 和 RMSE 结果均较好, 表明其保真性最好: R 值大于 0.9 的面积比为 53.37%, 小于 0.8 的面积比为



(a. WS 法 R, b. S-G 法 R, c. HANTS 法 R, d. WS 法 RMSE, e. S-G 法 RMSE, f. HANTS 法 RMSE)

图 3 NDVI 时序数据重建前后的 R (a~c) 和 RMSE (d~f) 值空间分布及统计图

Fig.3 Spatial distribution of the correlation coefficients (R) between reproduced NDVI and original NDVI (a~c); Root mean square error (RMSE) (d~f); Corresponding statistics.

表 1 重庆 7 种主要土地覆被类型 NDVI 数据 WS 重建后的保真性分析

Tab. 1 Fidelity analysis of our reproduced NDVI by Whittaker Smoother (WS) method and reference datasets for seven major land cover types in Chongqing

植被类型	R 值占面积比 (%)			R 平均值	RMSE 值占面积比 (%)			RMSE 平均值
	<0.8	0.8-0.9	>0.9		<0.06	0.06-0.07	>0.07	
常绿阔叶林	28.68	45.92	25.38	0.8409	13.18	71.48	<u>15.34</u>	0.0763
落叶阔叶林	<u>33.98</u>	47.61	<u>18.35</u>	<u>0.8260</u>	<u>10.50</u>	75.89	13.61	0.0766
常绿针叶林	25.59	39.75	34.65	0.8529	20.59	70.84	8.57	0.0680
常绿阔叶灌木林	23.32	36.73	39.92	0.8624	25.12	65.93	8.96	0.0669
草丛	8.62	31.18	60.19	0.8977	37.78	59.72	2.50	0.0589
水田	29.33	52.25	18.41	0.8343	12.21	77.11	10.68	<u>0.0766</u>
旱地	30.97	44.74	24.21	0.8368	16.24	74.63	9.13	0.0725

注:表 1~3 中,加粗数据表示最优值,加下划线数据表示最劣值

表 2 重庆 7 种主要土地覆被类型 NDVI 数据 HANTS 重建后的保真性分析

Tab. 2 Fidelity analysis of our reproduced NDVI by HANTS method and reference datasets for seven major land cover types in Chongqing

植被类型	R 值占面积比 (%)			R 平均值	RMSE 值占面积比 (%)			RMSE 平均值
	<0.8	0.8-0.9	>0.9		<0.06	0.06-0.07	>0.07	
常绿阔叶林	49.19	28.87	20.27	0.7904	16.25	53.56	30.19	0.0846
落叶阔叶林	<u>52.85</u>	32.36	<u>13.03</u>	<u>0.7776</u>	11.97	60.83	27.20	0.0844
常绿针叶林	39.70	29.66	28.68	0.8083	24.46	56.62	18.92	0.0739
常绿阔叶灌木林	36.62	28.20	33.99	0.8245	29.46	52.15	18.39	0.0717
草丛	17.93	28.36	53.37	0.8759	43.89	47.83	8.28	0.0603
水田	52.05	32.99	13.71	0.7867	<u>1.48</u>	64.61	<u>33.91</u>	<u>0.0855</u>
旱地	49.67	28.75	19.86	0.7914	18.04	58.02	23.93	0.0798

表 3 重庆 7 种主要土地覆被类型 NDVI 数据 S-G 重建后的保真性分析

Tab. 3 Fidelity analysis of our reproduced NDVI by Savitzky-Golay filtering (SG) method and reference datasets for seven major land cover types in Chongqing

植被类型	R 值占面积比 (%)			R 平均值	RMSE 值占面积比 (%)			RMSE 平均值
	<0.8	0.8-0.9	>0.9		<0.06	0.06-0.07	>0.07	
常绿阔叶林	53.79	28.77	17.44	0.7760	5.87	53.83	40.29	0.0932
落叶阔叶林	57.09	32.10	<u>10.81</u>	<u>0.7638</u>	<u>3.53</u>	57.97	38.50	0.0926
常绿针叶林	42.55	32.79	24.66	0.7975	9.20	66.21	24.59	0.0825
常绿阔叶灌木林	40.28	28.18	31.54	0.8124	12.41	63.32	24.27	0.0805
草丛	18.93	32.11	48.96	0.8659	19.74	68.20	12.06	0.0696
水田	<u>57.11</u>	31.69	11.20	0.7714	4.99	50.62	<u>44.40</u>	<u>0.0938</u>
旱地	55.23	27.74	17.03	0.7759	7.25	57.96	34.79	0.0882

17.93%, 平均 R 值为 0.8759。RMSE 值平均值最小为 0.0603, 大于 0.06 区域占总面积的 43.89%, 小于 0.07 的区域占总面积的 8.28%, 评价结果好于其他土地覆被类型。落叶阔叶林的 R 平均值较低为 0.7776, 水田的 RMSE 平均值较高为 0.0855, 表明 HANTS 重建后落叶阔叶林和水田的保真性效果

相对较差。

如表 3 所示, S-G 法重建后, 草丛的 R 值和 RMSE 平均值分别为 0.8659 和 0.0696; 落叶阔叶林和水田的保真性较差, 其中落叶阔叶林的 R 平均值为 0.7638, 水田的平均 RMSE 值最大, 为 0.0938。综合表 1~3 的各植被类型的评价结果可以看出, 各

植被类型中 WS 法的评价结果均好于 HANTS 法, S-G 法保真性最差, 其中 3 种重建方法均对草丛的保真性最好, 对落叶阔叶林和水田的保真性较差。

5 讨论

重庆地区日照百分率小, 研究从质量分析的角度出发, 在综合质量控制文件 QA 的低质频率分析的基础上, 采用 WS、S-G 法和 HANTS 法对重庆地区 NDVI 进行重建, 系统地分析三种重建方法对重庆地区 MODIS NDVI 保真性: (1) 重庆 5 年间低质数据频率呈现渝西地区高于渝东北、渝东南的空间格局。主城区的中梁山与明月山相间地区低质数据频率最高, 其次是周围的平行岭谷区域, 渝东北和渝东南的大片区域 NDVI 数据质量较好。(2) WS、HANTS 和 S-G 法对数据重建前后的保真性分布情况为 WS 法 > HANTS 法 > S-G 法, 表明 S-G 法对重庆地区 NDVI 时序数据的重建保真性较低, 并没有表现出在其他研究区域中稳定性高的特点。其次, 具体的空间布局与质量分布情况相对应: 渝东北与渝东南大部分区域保真性较好, 其 R 值均在 0.8 以上呈高度相关, RMSE 值普遍小于 0.075, 渝西地区保真性较差, R 值在 0.7 到 0.8 之间, RMSE 值大于 0.1。(3) 在 7 种不同覆被类型下 WS 法的保真性评价结果均好于 HANTS 法和 S-G 法, 其中草丛和常绿阔叶灌木林数据的保真性最高, 平均 R 值分别为 0.8977 和 0.8624, 平均 RMSE 分别为 0.0589 和 0.0669, 而水田和落叶阔叶林的保真性较低, 平均 R 值约为 0.8343 和 0.8260, 平均 RMSE 均为 0.0766。

MODIS/QA 不同于云量数据, 其与 MODIS/NDVI 时空匹配度更高, 研究首次将 MODIS/QA 数据的低质量频率引入重建保真性的研究, 具有一定的意义, 对于 QA 数据的辅助功能可进行进一步的研究; 同时, WS 法作为一种具有潜力的 NDVI 重建方法, 在今后的相关研究中值得深入应用; 本研究虽然通过对比不同土地覆被类型重建前后数据保真性, 分析了重建方法对不同土地覆被类型的适用性, 但是, 不同空间分辨率的 NDVI 数据对土地覆被类型的敏感度不同, 今后可结合 NDVI 的不同空间尺度进行相关研究。

参考文献 (References)

- [1] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 4(13): 327 - 333. [TIAN Qingjiu, MIN Xiangjun. Advances in study on vegetation indices[J]. Advance in Earth Sciences, 1998, 4(13): 327 - 333.]
- [2] 张晓克, 鲁旭阳, 王小丹. 2000—2010 年藏北申扎县植被 NDVI 时空变化与气候因子的关系[J]. 山地学报, 2014, 32(4): 475 - 480. [ZHANG Xiaoke, LU Xuyang, WANG Xiaodan. The spatial and temporal variation of NDVI and its relationships to climatic factors in northern Tibet over the period of 2000 - 2010 — take Shantsa for example[J]. Mountain Research, 2014, 32(4): 475 - 480.]
- [3] 刘倩楠, 岳彩荣, 欧阳志云, 等. 基于 MODIS_NDVI 时序数据的重庆市植被变化研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(3): 99 - 102. [LIU Qiannan, YUE Cairong, OUYANG Zhiyun, et al. Study on vegetation changes of Chongqing city based on MODIS_NDVI sequential Data [J]. Geomatics and Spatial Information Technology, 2012, 35(3): 99 - 102.]
- [4] LOVELL J L, GRAETZ R D. Filtering Pathfinder AVH RR Land NDVI Data for Australia [J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(13): 2649 - 2654.
- [5] 马明国, 宋怡, 王旭峰, 等. AVHRR, VEGETATION 和 MODIS 时间系列遥感数据产品现状与应用研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(5): 663 - 670. [MA Mingguo, SONG Yi, WANG Xufeng et al. Development status and application research of the time series remote sensing data products based on AVHRR, VEGETATION and MODIS. [J] Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(5): 663 - 670.]
- [6] 耿丽英, 马明国. 长时间序列 NDVI 数据重建方法比较研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(2): 362 - 368. [GENG Liying, MA Mingguo. Advance in method comparison of reconstructing remote sensing time series data sets[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2014, 29(2): 362 - 368.]
- [7] ZHOU Jie, JIA Li, MENENTI M. Reconstruction of global MODIS NDVI time series: performance of harmonic analysis of time series (HANTS)[J]. Remote Sensing of Environment, 2015(163): 217 - 228.
- [8] 李杭燕, 马明国, 谭俊磊. 时序 NDVI 数据集重建综合方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(6): 891 - 896. [LI Hangyan, MA Mingguo, TAN Junlei. Integrated reconstruction method of time series NDVI dataset [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25(6): 891 - 896.]
- [9] 张晗, 任志远. 多种时序 NDVI 重建方法比较与应用分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(15): 2998 - 3008. [ZHANG Han, REN Zhiyuan. Comparison and application analysis of several NDVI time-series reconstruction methods [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(15): 2998 - 3008.]
- [10] EILERS P H C. A Perfect Smoother [J]. Analytical Chemistry, 2003, 75(14): 3631 - 3636.
- [11] 李天祺, 朱秀芳, 潘耀忠, 等. 环境星 NDVI 时间序列重构方法研究[J]. 遥感信息, 2015, 1(30): 58 - 65. [LI Tianqi, ZHU Xiufang, PAN Yaozhong et al. NDVI Time-series reconstruction methods of China's HJ satellite imagery [J]. Remote Sensing Information, 2015, 1(30): 58 - 65.]
- [12] GENG Liying, MA Mingguo, WANG Xufeng, et al. Comparison of eight techniques for reconstructing multi-satellite sensor time-series NDVI data sets in the Heihe River Basin, China [J]. Remote

- Sens, 2014(6): 2024 – 2049.
- [13] 梁守真, 施平, 邢前国. MODIS NDVI 时间序列数据的去云算法比较[J]. 国土资源遥感, 2011, 1(88): 33 – 36. [LIANG Shouzhen, SHI Ping, XING Qianguo. A comparison between the algorithms for removing cloud pixel from MODIS NDVI time series data[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2011, 1(88): 33 – 36.]
- [14] ATKINSON PM., JEGANATHAN C., DASH J., et al. Inter-comparison of four models for smoothing satellite sensor time-series data to estimate vegetation phenology [J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 123(8): 400 – 417.
- [15] ATZBERGER C., EILERS P. Evaluating the effectiveness of smoothing algorithms in the absence of ground reference measurements[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 3(13): 3689 – 3709.

Three Timed-Series NDVI Reconstruction Methods: A Case Study of Chongqing

ZHU Hui¹, LI Jun^{1,2*}

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China;

2. Key Laboratory of GIS Application of Chongqing, Chongqing 400047, China)

Abstract: Due to the influence of cloud cover, atmospheric disturbance and sensor position, time-dependent NDVI data contain many noises and need to be reconstructed before application. Typically in Chongqing, it is a city featured by perennial cloudy weather. Based on the QA (Quality Assessment) data analysis of MODIS product (MOD13A3), the data set of monthly NDVI collected in Chongqing from 2010 to 2014 was reconstructed by WS method, SG method and HANTS method separately for verification. The data fidelity level of the city in its entirety was compared with those of varied land cover types (evergreen broad-leaved forest, evergreen coniferous forest, deciduous broad-leaved forest, evergreen broad-leaved shrub, paddy field, dry land and grass). Results showed that, no matter how the data fidelity level were evaluated from before or after the data reconstruction, from a view of whole city or from different types of land covers, WS method was better than HANTS method and SG method. There existed the highest data fidelity for grassland and evergreen broad-leaved shrub, with R value 0.8977 and 0.8624 respectively, and the RMSE values were 0.0589 and 0.0669, respectively. The data fidelity of paddy field and deciduous broad-leaved forest were poor with R values of 0.8343 and 0.8260 respectively, and RMSE 0.0766.

Key words: MODIS NDVI; time-series reconstruction; fidelity; Chongqing