

湖泊重要入湖河流稳定水像元提取技术

吕美婷, 赵德华, 杨棠武, 安树青

(南京大学生命科学院, 江苏 南京 210093)

摘要: 利用2010年ALOS影像研究了归一化水体指数(*NDWI*)在两种极端情况下,即像元四边与河岸线最小夹角分别为 0° 和 45° ,与离岸距离之间的关系,提出了获得稳定水像元的最小河宽,并以太湖6条重要入湖河流(西苕溪、望虞河、太浦河、乌溪港、梁溪-东清河、武进港)为例,研究了稳定水像元的分布。结果表明,*NDWI*与离岸距离之间的关系可用Logistic方程进行拟合,两种极端情况的 p 值均小于0.01;最小夹角为 0° 和 45° 的情况下,获得稳定水像元的最小河宽分别为96 m和88 m,即当河宽大于96 m时,可在ALOS影像上获得稳定的水像元;6条入湖河流可获得稳定水像元的长度占总长的4.59%~100%,难以获取稳定水像元的最长距离为0~18.55 km。

关键词: 遥感;太湖;水质;河流;水像元

中图分类号: X87

文献标识码: A

文章编号: 1674-6732(2013)-05-0006-04

The Extraction Technology of Stable Water Pixels for the Important Influent Rivers of Lakes

LU Mei-ting, ZHAO De-hua, YANG Tang-wu, AN Shu-qing

(School of Life Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

ABSTRACT: The objectives was to identify the relationship between normalized water index(*NDWI*) of river pixels and their distance to river bank using ALOS image in 2010 (in cases that the smallest angles of pixel sides and river bank line were 0° and 45° , respectively), and determine the least river width for the rivers including stable water pixels, and also quantify the distribution of the stable water pixels in six key rivers, i. e. Xitiaoqi, Wangyu River, Taipu River, Wuxigang, Liangxi-Dongqing River and Wujingang. Results suggested that the relation between *NDWI* and the distance to river bank could be well modeled by Logistic equation, with p -values lower than 0.01 and the thresholds of river width were 96 m and 88 m at both of the two extreme cases (i. e., the two cases with the smallest angles of pixel sides and river bank line were 0° and 45° , respectively). In other word, there are stable water pixels for the river wider than 96 m. For the six rivers, we could obtain stable water pixels in 4.59% ~ 100% cross-section, and the longest distance of the continual cross-sections in which we couldn't obtain stable water pixels were between 0 ~ 18.55 km.

KEY WORDS: remote sensing; Taihu Lake; water quality; river; water pixels

与传统方法相比,遥感方法具有极大的优势^[1,2],是环保、水利、湖泊和海洋等管理部门进行水质常规监测必不可少的工具^[3]。但是,目前有关水质遥感监测的研究和应用主要是针对海洋、湖泊、水库和河口,有关河流水质遥感监测的研究和应用仍相对较少,特别是针对河宽较小(<100 m)水质的遥感监测方面鲜见报道。大量的研究表明,经由河流的外源污染输入是许多富营养化湖泊、水库污染物质的最重要来源之一^[4-7],因此,从事河流水质的实时遥感监测对湖泊、水库的管理具有重要的意义。

太湖是中国第三大淡水湖泊,太湖的生态环境问题备受关注^[8]。研究认为,太湖水环境的主要

问题是内外源负荷的共同作用下导致的富营养化问题^[9],其中,外源部分约占总量的80%^[10],而经由河道的入湖量占入湖总量的90%以上^[11,12]。因此,对太湖重要入湖河流水质进行实时监测显得尤其重要。

笔者利用2010年ALOS影像数据,获取代表性断面,研究归一化水体指数(*NDWI*)和像元离河岸距离间的回归模型;计算归一化水体指数*NDWI*趋于稳定时像元中心离岸距离,进而提出获取稳定水像元的最小河宽;以太湖6条重要入湖河流为

收稿日期: 2012-11-19;修订日期: 2013-07-26

基金项目: 江苏省环境监测科研基金(1014)。

作者简介: 吕美婷(1987—),女,硕士,从事水环境遥感研究。

例,研究了纯水像元的分布特征,以期为河流的水质监测提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

太湖流域是全国人口最稠密,经济最发达和城市化程度最高的地区之一。但随着经济快速发展,流域污染严重,导致湖泊富营养化程度日益严重,水华出现的频率越来越高,严重影响湖区工农业生产的发展和湖区人民饮用水的安全^[13]。太湖水质污染是内源污染和外源污染共同作用的结果,其中外源污染占很大比例,而外源污染主要通过入湖河流进入湖泊水体^[14]。

太湖流域地形以平原为主,河道众多,与太湖相通的河(港)达224条,其中入湖河流70多条^[15]。考虑到太湖入湖河流的空间差异较大,为了提高研究的代表性,笔者选取了太湖西岸的西苕溪、武进港和乌溪港,太湖东岸的望虞河、梁溪-东清河和太浦河共6条河流作为研究对象(图1)。其中望虞河和太浦河平均宽度大于300 m,西苕溪平均宽度约116 m,武进港、乌溪港和梁溪-东清河宽度小于100 m,6条河流的宽度呈梯度分布,这主要是考虑到能否取到稳定水像元与河流宽度有直接关系。6条河流地跨江苏、浙江、上海3个省市,以太湖为中心东北方向连接长江,西南方向延伸至浙江省安吉县。

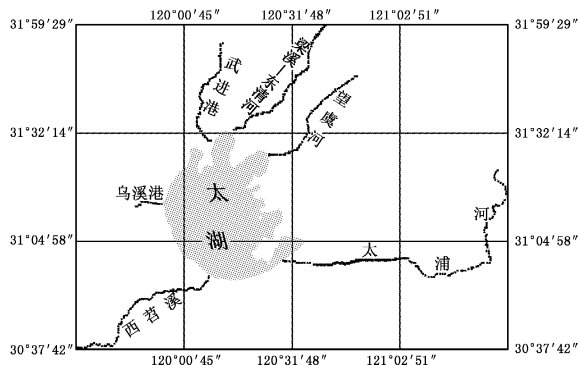


图1 研究区与太湖的位置关系

1.2 影像处理

选择了2010年8月17日的ALOS遥感影像,首先利用ERDAS对遥感影像进行几何校正和利用ENVI的FLAASH模块进行大气校正;然后选取代表不同河岸土地利用类型的河流断面,提取像元的反射率,计算NDWI:

$$NDWI = \frac{GRN - NIR}{GRN + NIR} \quad (1)$$

式中:GRN和NIR——绿光波段和近红外波段的反射率。考虑到河流走向的可能影响,分析了两种极端情况下像元NDWI与像元中心离岸距离的关系,即像元四边与河岸线最小夹角分别为0°和45°(其他所有像元的四边与河岸线最小夹角介于0°和45°之间)。最终选取了47个河流走向与像元边界夹角为0°的河流断面,43个河流走向与像元边界夹角为45°的河流断面。

1.3 数据处理

首先,对同一断面上的所有像元NDWI值进行归一化处理,以排除中心离岸距离相同的水像元由于水质不同对NDWI造成的影响。然后,采用如下Logistic函数形式拟合NDWI与像元中心离岸距离之间的关系:

$$y(x) = \frac{c}{1 + e^{a+bx}} + d \quad (2)$$

式中: x ——像元中心离岸距离, $y(x)$ 为像元的NDWI值; a 和 b ——拟合参数; c ——归一化NDWI的潜在最大值; d ——归一化NDWI的潜在最小值^[16]。归一化处理的像元NDWI值处于0~1之间,因此,方程(2)可转变为:

$$y = \frac{1}{1 + e^{a+bx}} \quad (3)$$

当 $y = 1$ 时,该像元是理想状态下的稳定水像元,但是,由于受水质波动的影响,稳定水像元的NDWI值会在一定范围内波动,因此,笔者对模拟的Logistic方程进行二次求导(k'),获得NDWI变化的拐点:

$$k' = b^3 cz \left\{ \frac{3z(1-z)(1+z)^3[2(1+z)^3 + b^2 c^2 z]}{[(1+z)^4 + (bcz)^2]^{\frac{5}{2}}} - \frac{(1+z)^2(1+2z-5z^2)}{[(1+z)^4 + (bcz)^2]^{\frac{3}{2}}} \right\} \quad (4)$$

式中: k' ——NDWI对离岸距离的二阶导数; b ——拟合参数; c ——潜在最大值与潜在最小值之差; z —— e^{a+bx} 。典型的 k' 随着离岸距离的变化曲线将出现3个拐点,依次为NDWI值随着离岸距离增加而增加的起点、最大速率和终点,第3个拐点也即出现稳定水像元的起点位置。以此为依据确定稳定

水像元中心离岸的最短距离,进而确定能够取到稳定水像元的最小河宽,对于10 m分辨率的ALOS影像,可获取稳定水像元的最小河宽($W_{\min}$)为:

$$W_{\min} = 2d \quad (5)$$

式中: d ——稳定水像元中心离岸的最短距离(即NDWI变化拐点处的 x 值)。由于笔者选择了两种极端情况(即像元四边与河岸线最小夹角分别为 0° 和 45°),其他所有像元的NDWI受河岸影响的大小必然介于这两种极端情况之间,因此,如果两种极端情况获得稳定水像元对河宽度要求不同,笔者以要求更高的那种情况作为获得稳定水像元的最小河宽。

2 结果与分析

2.1 归一化NDWI与像元中心离岸距离的关系

归一化NDWI与像元中心离岸距离关系(图2)显示,随着离岸距离逐渐增大,无论河流走向与像元边界最小夹角为 0° 还是 45° ,NDWI均表现为先增大后趋于稳定的趋势。两种情况下,NDWI与像元中心离岸距离之间的关系均可用Logistic方程模拟(R^2 分别为0.65和0.71,达到极显著水平),因此,NDWI可作为反映水像元稳定性的指标。

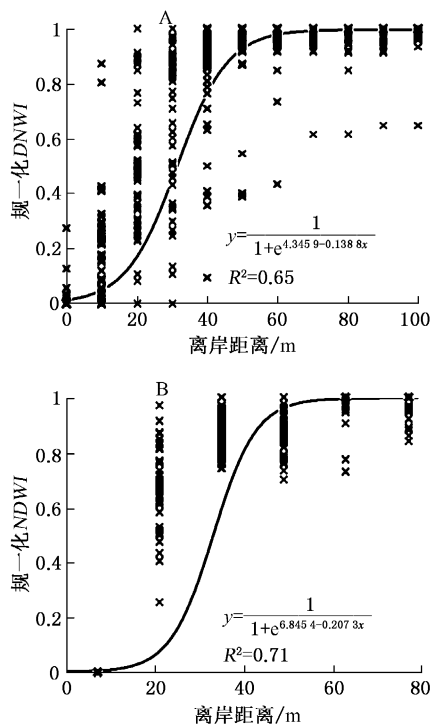


图2 归一化NDWI与离岸距离间的关系(A和B分别表示像元四边与河岸线最小夹角为 0° 和 45°)

2.2 稳定水像元中心离岸最小距离的确定

模拟NDWI曲线两个拐点对应横坐标分别表示第一个水和岸混合像元和第一个稳定水像元中心点离岸距离(图3)。对NDWI的Logistic函数求二阶导数 k' , k' 随像元中心离岸距离的变化趋势表明:当河流走向与像元边界最小夹角为 0° 时,第一个稳定水像元中心离岸距离为48 m,当河流走向与像元边界最小夹角为 45° 时,第一个稳定水像元中心离岸距离为44 m。由式(3)知:这两种极端情况下能够获得稳定水像元的最小河宽分别为96 m和88 m。因此,当河宽大于96 m时,即可在10 m分辨率的ALOS影像上获得稳定的水像元。

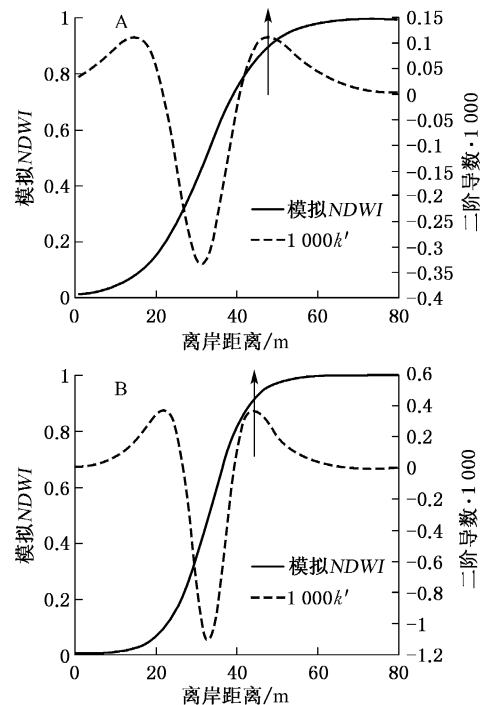


图3 模拟NDWI曲线及其拐点分布图(A和B分别表示像元四边与河岸线最小夹角为 0° 和 45°)

2.3 太湖6条河流稳定水像元分布特征

以河宽大于96 m作为能够从10 m空间分辨率遥感影像获得稳定水像元的阈值,统计了太湖流域6条重要入湖河流(望虞河、太浦河、西苕溪、乌溪港、武进港和梁溪-东清河)的长度(其中西苕溪包括支流长度,其余5条河流是干流总长度)、平均宽度、有效长度(指宽度大于遥感可监测最小宽度的河段总长度)及其占总长度的百分比、最大无效长度(指宽度小于遥感可监测最小宽度的最大连续河段长度)5项指标(表1)。

表1 10 m分辨率遥感影像的6条主要河流信息统计

河流名称	长度/km	平均宽度/m	有效长度/km	有效长度比例/%	最大无效长度/km
西苕溪	142.3	116.4	51.51	36.20	9.82
望虞河	61.4	340.1	61.40	100.00	0.00
太浦河	160.2	370.2	160.20	100.00	0.00
乌溪港	14.6	39.9	0.98	6.69	10.36
梁溪-东清河	44.3	61.8	5.10	11.53	23.43
武进港	54	51.3	2.48	4.59	21.53

注:有效长度指宽度大于96 m的河段总长度;有效长度比例指有效长度占该河流总长度的百分比;最大无效长度指宽度小于96 m的最大连续河段长度。

结果显示:6条河流中,望虞河和太浦河整条河流任意断面宽度都远大于96 m,因此10 m空间分辨率遥感影像上能获取到足够的稳定水像元,以便进行水质遥感监测。乌溪港、梁溪-东清河、武进港3条河流平均宽度均小于获取稳定水像元的河宽阈值,有效长度所占比例较小,10 m空间分辨率影像上,最大的有效长度所占比例也只有11.53%,因此,这3条河的河宽会限制水质遥感监测技术的应用。西苕溪平均宽度116.4 m,10 m空间分辨率遥感影像上,能够获取稳定水像元的长度为51.51 km,占全长的36.20%,而且干流上最大无效长度仅为9.82 km,因此,西苕溪10 m空间分辨率影像上能够获取足够多的稳定水像元。

3 结论

(1) NDWI与像元中心离岸距离之间的关系可用Logistic方程进行模拟,说明随着离岸距离的增加,河岸对于水像元的干扰逐步降低。

(2) 河流走向与像元边界最小夹角分别是0°和45°时,能够提取稳定水像元的最小河宽分别是96 m和88 m;那么当河流走向与像元边界呈任意夹角时,能够提取到稳定水像元的河宽阈值应处于两者之间。

(3) 望虞河和太浦河整个干流宽度都大于96 m,因此10 m空间分辨率影像上稳定水像元连续分布于整个干流水体中,对实地采样点的选取没有限制。西苕溪平均宽度116.4 m(大于96 m),宽度大于河宽阈值的河段在整个干流上间断分布,只要采样点选择合适,结合遥感影像数据,完全可以

实现水质遥感监测。乌溪港、武进港和梁溪-东清河3条河流的平均宽度均小于河宽阈值,且有效河段所占比例较小,影响10 m空间分辨率遥感影像上稳定水像元的选取,会对水质遥感监测精度造成一定的影响。

[参考文献]

- [1] LIU Y, ISLAM M, GAO J. Quantification of shallow water quality parameters by means of remote sensing[J]. Progress in Physical Geography, 2003, 27(1): 24-43.
- [2] GOETZ S, GARDINER N, VIERS J. Monitoring freshwater, estuarine and near-shore benthic ecosystems with multi-sensor remote sensing: An introduction to the special issue[J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(11): 3993-3995.
- [3] 张宁红. 太湖流域生态安全监测体系的构建[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(3): 1-5.
- [4] 阚灵佳, 万红友, 武燕杰. 太湖富营养化的外源污染及其控制[J]. 江苏环境科技, 2007, 20(2): 136-139.
- [5] 朱广伟. 太湖水质的时空分异特征及其与水华的关系[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(5): 439-445.
- [6] 李文奇, 蔡金榜, 逢勇, 等. 洋水水库富营养化评价及防治对策[J]. 水资源保护, 2007, 23(2): 16-19.
- [7] 李一平, 逢勇, 吕俊, 等. 外源性污染对太湖梅梁湾水质影响的量化[J]. 城市环境与城市生态, 2004, 17(1): 5-8.
- [8] GUO L. Doing battle with the green monster of Taihu Lake[J]. Science, 2007, 317(5842): 1166.
- [9] DOKULIL M, CHEN M, CAI Q. Anthropogenic impacts to large lakes in China: the Taihu example[J]. Aquatic Ecosystem Health and Management, 2000, 3(1): 81-94.
- [10] 逢勇, 颜润润, 李一平, 等. 内外源共同作用对太湖营养盐贡献量研究[J]. 水利学报, 2008, 39(9): 1051-1059.
- [11] 安树青, 何伟. 江苏太湖地区农业生态系统中氮磷钾转化的特征分析[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1993, 29(1): 157-163.
- [12] 李一平, 逢勇, 李勇. 水动力作用下太湖底泥的再悬浮通量[J]. 水利学报, 2007, 38(5): 558-564.
- [13] 张利民, 王水, 韩敏, 等. 太湖流域望虞河西岸地区氮磷污染来源解析及控制对策[J]. 湖泊科学, 2010, 22(3): 315-320.
- [14] 崔云霞, 颜润润, 程伟, 等. 太湖主要入湖河流排污控制量研究[J]. 环境监控与预警, 2010, 2(5): 34-39.
- [15] 许梅, 任瑞丽, 刘茂松. 太湖入湖河流水质指标的年变化规律[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, 31(6): 121-124.
- [16] ZHANG X Y, MARK A F, CRYSTAL B. Monitoring vegetation phenology using MODIS[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84: 471-475.