

DOI: 10.5846/stxb201307301983

吴桂平, 叶春, 刘元波. 鄱阳湖自然保护区湿地植被生物量空间分布规律. 生态学报, 2015, 35(2): 361-369.

Wu G P, Ye C, Liu Y B. Spatial distribution of wetland vegetation biomass in the Poyang Lake National Nature Reserve, China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(2): 361-369.

鄱阳湖自然保护区湿地植被生物量空间分布规律

吴桂平¹, 叶春², 刘元波^{1,*}

1 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008

2 滁州学院地理信息与旅游学院, 滁州 239000

摘要: 探明区域湿地植被生物量的空间分布规律及其变化趋势, 对于更好地保护候鸟生境、制定合理的湿地保护政策具有重要的意义。以鄱阳湖国家级自然保护区为研究对象, 基于 2000—2011 年研究区 MODIS 植被指数产品和同期的植被生物量调查资料, 建立了湿地植被生物量的遥感估算模型。在此基础上利用 GIS 空间分析方法, 系统分析了保护区近 10 年来湿地植被生物量的空间分布规律及其季节变化特征。研究结果表明: (1) MODIS 增强型植被指数的乘幂模型可以较好地模拟研究区湿地植被生物量的鲜重, 拟合模型总体精度达到 91.7%。(2) 多年平均生物量呈现“岛屿型”空间分布模式: 各子湖泊及洼地中心处, 表现为水生植被群落为主的低生物量区 ($<285 \text{ g/m}^2$); 湖心水体外围 14—15m 的高程区域, 分布着以苔草群落为主的中生物量区 ($285\text{—}830 \text{ g/m}^2$); 高程位于 16—18m 的河口三角洲及天然堤坝区域, 表现为以蒿、荻和芦苇群落为主的高生物量区。(3) 保护区植被群落分布具有特定的季相变化特征, 高、中、低生物量区在不同的月份呈现出不同的空间生消和演进规律, 鄱阳湖水位的周期性涨落是影响其变化的一个重要扰动因子。

关键词: 湿地植被; MODIS; 生物量时间序列; 空间分布规律; 鄱阳湖自然保护区

Spatial distribution of wetland vegetation biomass in the Poyang Lake National Nature Reserve, China

WU Guiping¹, YE Chun², LIU Yuanbo^{1,*}

1 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, China

2 Geographic Information and Tourism College, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China

Abstract: Vegetation is one of the important components of wetland, and vegetation biomass is a key indicator of the health status of the wetland ecosystem. Comprehensive understanding of spatial distribution of vegetation biomass and its temporal variation is a pre-requirement for effective protection of bird habitats and scientific planning of wetland conservation. In this regard, it has been one of central topics in hydro-ecology, wetland ecology and vegetation ecology in past decades. In recent years, vegetation change has become one of major concerns with frequently occurred extreme droughts in the Poyang Lake National Nature Reserve (PLNRR) of China. To investigate the spatial changes of vegetation, MODIS (Moderate resolution Imaging Spectroradiometer) vegetation index products (MOD13Q1) were used to construct a model for retrieval of vegetation biomass with the coincident field data in PLNRR for the period from 2000—2011. GIS spatial analysis techniques were used to analyze the spatial patterns and seasonal variations of wetland vegetation biomass. Our findings can be summarized as follows: (1) the power function best describe the relationship between MODIS-EVI (Enhanced Vegetation Index) and green yield of vegetation in PLNRR, with an overall accuracy of 91.7%. (2) Multi-year average of vegetation biomass displayed an island-like spatial pattern and can be classified into three zones. Vegetation biomass was lower than 285 g/m^2 ,

基金项目: 中国科学院南京地理与湖泊研究所“一三五”战略发展规划项目 (NIGLAS2012135001); 国家自然科学基金项目 (41401506)

收稿日期: 2013-07-30; **修订日期:** 2014-04-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ybliu@niglas.ac.cn

dominant with aquatic vegetation communities, for the bottom areas near the center of lakes. It ranged from 285 to 830 g/m², dominant with sedge communities, for the periphery of the lakes with an elevation of 14—15 m. The biomass was higher than 830 g/m² dominant with wormwood and reed communities, for surrounding delta or dyke areas with an elevation of 16—18 m. (3) Vegetation biomass showed different seasonal variations in each zone, which was jointly affected by multiple factors. Lake stage is the most important factor in regulating the spatial development of the vegetation biomass. Overall, the results should be not only helpful for understanding the change in biodiversity and ecosystem stability, but also provide a scientific basis for effective management and protection of wetland resources in the PLNRR.

Key Words: wetland vegetation; MODIS; biomass time series; spatial pattern; the Poyang Lake National Nature Reserve

湿地植被是在有潜育层或泥滩积累的水成土壤上生长的,以湿生和水生植物为主的植被群类型,是湿地生态系统的重要组成部分,在维持生态系统结构和功能方面起到十分重要的作用^[1-3]。生物量作为衡量植被群落生产力水平高低的重要指标,直接反应了植被的生长状况及周围自然环境的变化情况,对于湿地生态系统的功能、演替规律和特征均具有很好的指示作用^[4-5]。自 20 世纪 60 年代国际生物学计划 (IBP) 实行以来,湿地植被生物量一直是水文生态学、湿地生态学及植被生态学的重要研究方向,并且得到了国内外学者们的广泛关注^[6-8]。

鄱阳湖国家级自然保护区 (Poyang Lake National Natural Reserve, PLNRR) 是我国首批被列入国际重要湿地名录的自然保护区之一,同时也是被世界自然基金会 (WWF) 认定的全球重要生态区^[9]。受长江顶托和五河 (赣江、抚河、信江、饶河和修水) 来水的影响,鄱阳湖自然保护区通常呈现出丰水期和枯水期周期性交替的独特水文节律^[10],从而使得保护区内湿地植被的生境类型多样、结构复杂、空间分异明显,一定程度上形成了其特定的植被生物量空间分布特征和季节变化规律。系统分析和探明保护区内湿地植被生物量的空间分布规律及其变化趋势,可以准确把握特定植物种群的生态适应特征,对于更好地保护珍稀鸟类、制定合理的湿地保护政策和策略等具有重要的现实意义^[11-12]。

传统的生物量测算方法主要是通过样方调查、采集称重等手段进行,不但费时费力,而且很难做到动态、大面积湿地生物量的准确估算^[5]。卫星遥感技术具有宏观、连续、长期的对地观测能力,为大范围湿地植被生物量的动态监测提供了可能^[13-14]。自 20 世纪 90 年代以来,一些学者基于遥感手段相继开展了鄱阳湖湿地植被生物量方面的研究。譬如,李仁东等利用 Landsat ETM+ 数据估算了鄱阳湖湿地植被生物量,建立了样方数据与遥感数据的线性相关模型^[14];李健利用遥感植被指数和实地采样的生物量进行回归统计分析,建立了鄱阳湖自然保护区湿地植被生物量的估算模型^[15];郭国锋等利用 Landsat TM 影像对鄱阳湖自然保护区中大湖池的沉水植被生物量进行了估算,取得了较好的结果^[16]。但是以往的研究大多侧重于生物量遥感估算方法方面的工作,并且由于遥感数据源的限制仅仅局限于某一时点上的生物量监测。到目前为止,有关保护区湿地植被生物量的整体空间格局及其空间连续变化规律的认识却显薄弱。

基于此,本文拟以 2000—2011 年 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 遥感数据和野外实测生物量数据为基础,通过实测生物量与 MODIS 植被指数间的数值拟合关系建立其生物量估算模型,获取研究区 2001—2010 年湿地植被生物量的长时间序列。在此基础上,结合 GIS 空间分析技术,试图对鄱阳湖自然保护区湿地植被生物量的空间分布规律和季节变化特征进行系统研究,以期更好地把握保护区湿地生态环境状况及变化趋势,并为进一步制定相应生态保护对策提供科学支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

鄱阳湖国家级自然保护区位于鄱阳湖西北角,为赣江北支和修水下游复合三角洲前缘的洲滩湿地,地理坐标为 115°52′—116°08′E, 29°02′—29°18′N,地跨九江市永修县、星子县和南昌市新建县 3 县 (图 1)。保护

区以永修县吴城镇为中心,内辖 9 个碟形湖泊(大汉湖、蚌湖、大湖池、沙湖、常湖池、中湖池、象湖、梅西湖、朱市湖)及水道、洲滩、岛屿、港汊等。该区域属于亚热带湿润季风型气候,年平均气温 $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。雨量充沛,多年平均为 1600 mm 左右,但年内分配极不均匀,4—9 月降水约占全年降水量的 75% ^[9]。本文研究区范围为去除保护区内基本不受鄱阳湖水位影响的城镇、林地和人工圩堤等区域后,以保护区缓冲区为边界的子湖盆及其洲滩^[17],实际面积 331 km^2 。

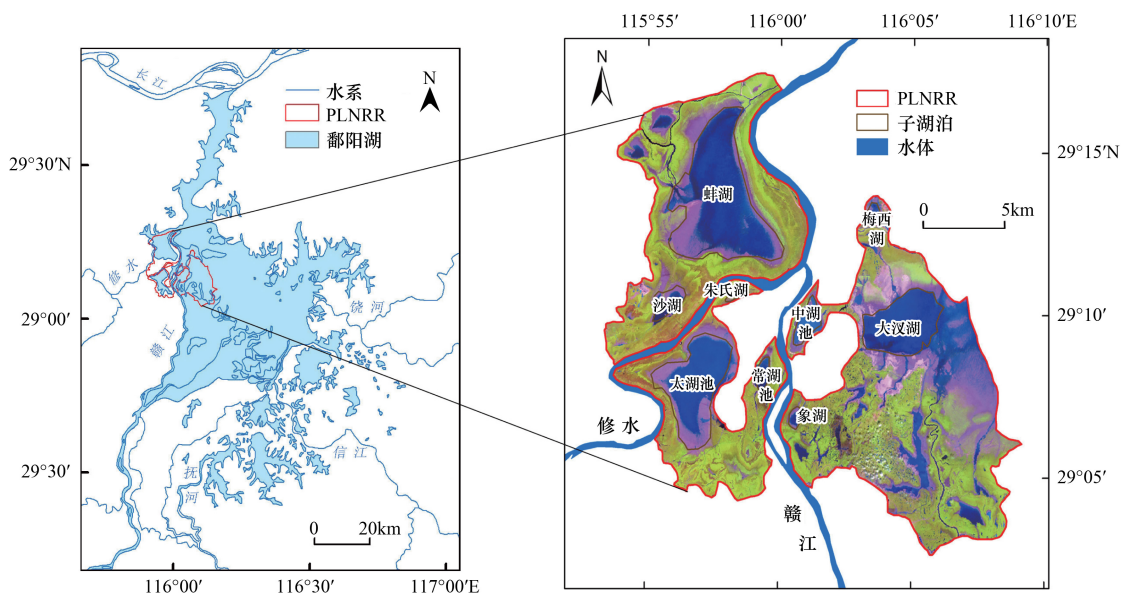


图 1 鄱阳湖国家级自然保护区地理位置

Fig.1 Geographic location of the Poyang Lake National Nature Reserve

由于保护区内河床往返推移与分汊,往往形成扇形冲积,泥沙淤积成沙坝、天然堤、湖沼等独特的地貌特征,海拔高度 $14\text{—}17\text{ m}$,地势低平,略向鄱阳湖倾斜。丰水季节各子湖泊全部被淹,仅有少数的小山头 and 人工修建的堤坝出露,而水位下降到 17 m 时开始出现滩地,此后随水位降低,出露洲滩面积逐步增大^[9]。因此该区域具备典型湿地的特点:即空间上分布在水、陆结合部的过渡带,时间上呈现周期性干湿交替的动态变化,生态上表现为兼有水陆双重特征的独特生态系统,湿地植被群落结构及其空间分异显著。

1.2 数据来源及预处理

(1) 遥感数据

遥感数据来源于美国航空航天局(NASA)免费提供的 MOD13Q1 植被指数 16d 合成产品(<http://reverb.echo.nasa.gov/>),数据格式为 EOS-HDF,空间分辨率为 250 m 。本研究使用了覆盖研究区范围的、空间位置在全球正弦投影系统中编号为 h28v06 的数字图像,其中涵盖了保护区内 2001—2011 共 11a 的 253 景 MOD13Q1 数据。同时,利用 NASA 提供的 MRT 重投影工具,将所有数据统一进行格式和投影转换,并提取 EVI(Enhanced Vegetation Index)植被指数波段,转换后的数据格式为 GeoTiff 格式,投影为 WGS_1984_UTM_Zone_50N。

(2) 野外实测数据

实测生物量数据的采样时间为 2008—2011 年的 9—11 月份,这段时间是湿地植被生长较为旺盛的时期。在保护区内选择地形平坦且出露的草洲,根据不同高程设置采样样地(图 2)。每个样地设置 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 样方 3 个,记录其植被类型、高度、植株数目,取其样方内地上植被齐地面收割,测其鲜重,计算每 3 个样方平均值作为该样地的地上生物量。同时参考地形图,利用 GPS 进行定位,确定样地位置范围,并记录其中心点经纬度坐标。剔除异常值后,共计有效样本数 50 个。

(3) DEM 数据

地形数据来源于江西省水文局提供的 1980 年鄱阳湖湖盆实测数据,研究区的 DEM 通过 ArcGIS 9.3 软件

插值生成。

1.3 主要分析方法

首先,采用线性内插结合时间尺度转换方法,将提取 16d 合成的 EVI 数据转换为月尺度数据,其尺度转换公式为^[18]:

$$\text{EVI}(m) = a \times \text{EVI}_{(i)} + b \times \text{EVI}_{(i+16)} + c \times \text{EVI}_{(i+32)} \quad (1)$$

式中, $\text{EVI}(m)$ 为植被指数的月平均值 ($j=1, 2, \dots, 12$ 月); $\text{EVI}_{(i)}$ 表示包含第 m 月部分天数的 MODIS-EVI 16d 产品; i 为 MODIS EVI 16d 产品的编号, $i=001, 017, \dots, 337, 353$; a, b, c 分别为第 $i, i+16, i+32$ 号 EVI 产品分布在第 j 月的天数与该月总天数的比值。

同时基于 2008—2010 年野外样方实测数据,以采样点实测生物量为因变量,对应坐标位置上同时期的 EVI 值为自变量,建立起保护区湿地植被生物量的最优拟合模型,并利用该模型实现研究区 2001—2010 年各月份湿地植被生物量及生物量密度的有效重建。在此基础上,根据所重建的保护区 2001—2010 年植被生物量时间序列,分别在年尺度和尺度上将各像元对应位置

的生物量密度进行均值运算,并利用具有最优无偏估计的 Kriging 插值方法^[19]将运算结果进行空间插值,从而获得较高分辨率的湿地植被生物量空间分布。

根据生物量多年均值的直方图频率分布,结合保护区湿地植被生长的实际情况,获取频率直方图上的波谷阈值。利用该阈值,在 ArcGIS 软件的支持下,通过“密度分割”处理,将保护区生物量多年均值分布格局划分为不同的生物量分区,并确定对应分区上主要的植被群落类型。同时以该分区为基准,分别生成 2001—2010 年研究区域湿地植被生物量的年均等值线分布图和逐月等值线分布图。以此为基础,最后利用 GIS 空间分析与统计功能,分别探讨鄱阳自然保护区湿地植被生物量的空间分布规律及其季节性变化特征。

2 结果与分析

2.1 生物量时间序列重建

图 3 分别显示了基于实测生物量数据和同时期 MODIS-EVI 数据所建立的线性、指数、乘幂及二次多项式等 4 种回归模型。比较而言,乘幂模型 ($y = 5184.7 x^{1.27}$) 的相关系数最优, R^2 达到 0.823, 且通过 0.05 水平上的 F 检验。此外,采用 2011 年同时期的 EVI 数据和样方生物量调查数据对该模型进行检验 (图 4), 发现估算得到的生物量与样方调查数据相对误差平均值为 8.3%, 总体精度达到 91.7%, 具有一定的可靠性, 可以有效用于研究区湿地植被生物量时间序列的重建。

2.2 生物量多年平均分布规律

图 5 给出基于乘幂模型所生成的保护区 2001—2010 年生物量多年均值分布及其 Kriging 插值之后的结果。为了清晰地展现其空间分布规律, 这里根据生物量多年均值的直方图频率分布, 通过阈值分割的方法将其分布格局划分为高生物量区、中生物量区和低生物量区 (表 1), 并且绘制出了如图 6 所示的保护区湿地植被生物量多年均值分布的等值线图。从图 6 可以看出, 保护区植被生物量多年均值呈现出“岛屿型”空间分布模式, 除了蚌湖沿湖心往四周逐渐升高外, 总体上表现为南高北低的弧状分布格局, 同时伴随着大小不一的斑块状分布特征。具体而言: 在九大子湖泊或洼地中心地带处, 由于常常被水淹没且地下水位相对较高, 因此多年生物量密度均值的低值区大多分布于此处。在该区域范围内, 植被生物量密度总体在 285 g/m^2 以下,

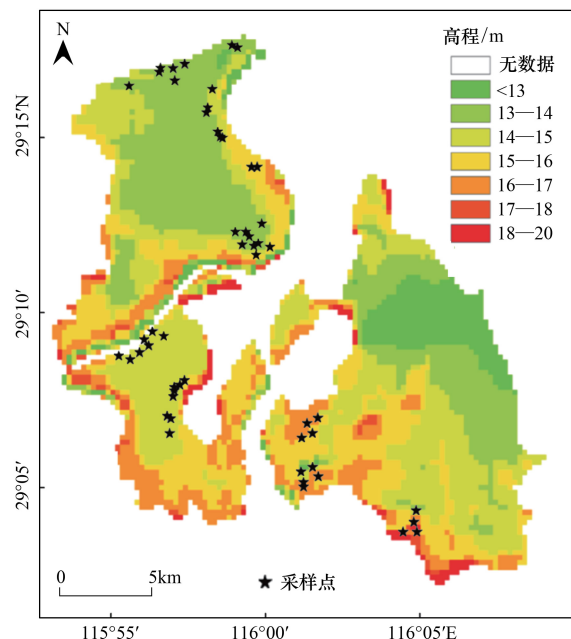


图 2 鄱阳湖自然保护区野外实测生物量采样点分布图

Fig.2 Distribution of sampling locations for wetland vegetation in PLNRR

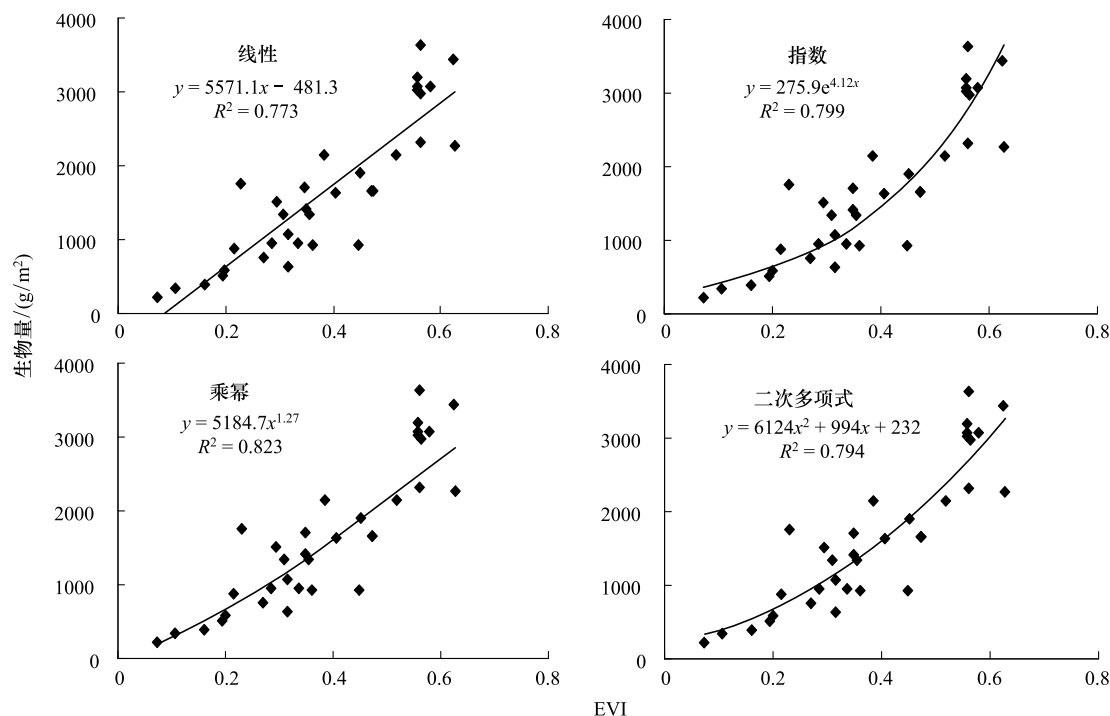


图3 鄱阳湖自然保护区湿地植被生物量-EVI 估算模型建立

Fig.3 The retrieval models of wetland vegetation biomass for PLNRR

平均值为 131.39 g/m^2 , 占整个保护区面积的 30.05%, 对应于表 1 所示的低生物量区, 结合野外调查和相关文献^[20]发现, 聚集于此的多为浮水植物和水生植物群落; 随着距离各子湖泊中心越远, 其生物量密度也呈现逐步增加的趋势。在离湖心水体较近的湖滩区域海拔较低, 水淹时间较长, 保护区多年生物量密度均值的中生物量区主要分布在这个区域, 该区域的植被生物量密度基本上在 $285\text{—}830 \text{ g/m}^2$ 之间, 平均值为 580.73 g/m^2 , 大约占保护区面积的 35.54%, 多为草甸沼泽土覆盖的苔草和藓草群落; 在各子湖泊的外围环湖滩地区域, 由于其接纳修水、赣江北支的泥沙, 形成了一定规模的河口三角洲和条带形天然堤, 大面积的滩地以及良好的光、热条件, 为植被生长提供了基础。该区域连续淹水时间较短, 植被的年均生物量密度均较高, 基本在 830 g/m^2 以上, 平均值为 1020.70 g/m^2 , 约占整个保护区面积的 34.41%, 对应于表 1 所示的高生物量区, 主要的群落类型有蒿群落, 荻与芦苇散布其中。

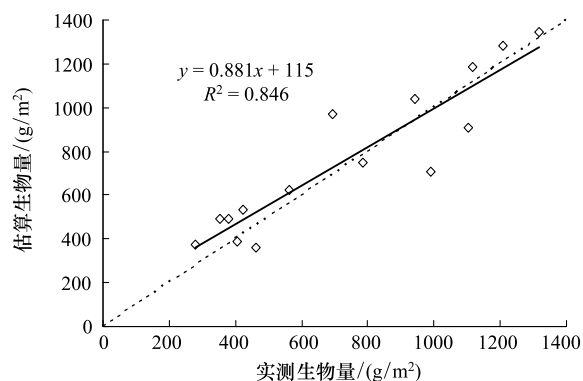


图4 2011年野外实测生物量与估算结果的比较

Fig.4 Comparison of the retrived boimass and measured value in 2011

表1 基于直方图频率分布的鄱阳湖自然保护区生物量密度等级划分

Table 1 Different zones in PLNRR based on histogram of biomass distribution

等级 Class	生物量 Biomass/ (g/m^2)	最小值 Minimum/ (g/m^2)	最大值 Maximum/ (g/m^2)	平均值 Mean/ (g/m^2)	标准差 Standard deviation/ (g/m^2)	面积 Area/ km^2
低生物量区 Low-biomass zone	<285	31.13	284.91	131.39	62.76	97.25
中生物量区 Mid-biomass zone	285—830	285.06	829.73	580.73	160.51	115.00
高生物量区 High-biomass zone	>830	830.22	1402.29	1020.70	122.03	111.37

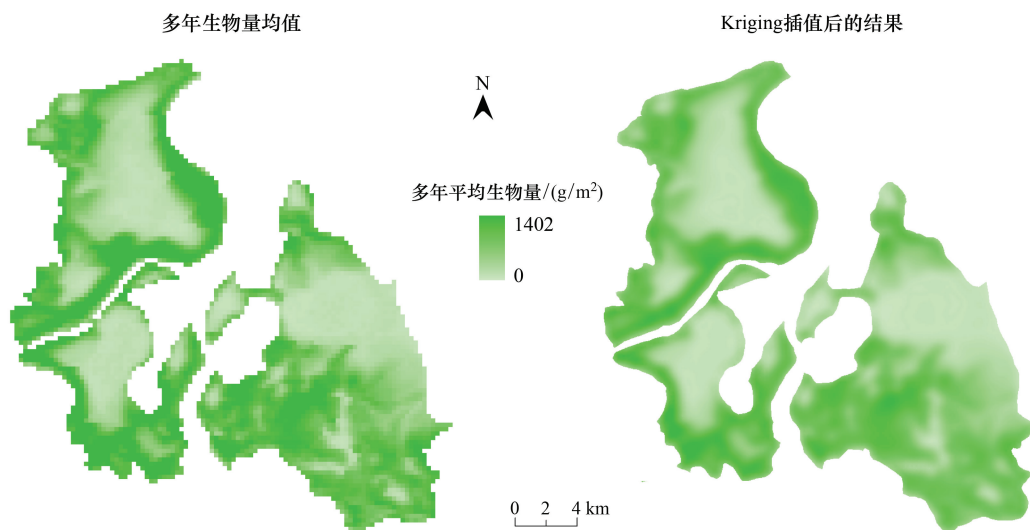


图5 2001—2010年鄱阳湖自然保护区多年生物量平均分布图

Fig.5 The average distribution map of vegetation biomass from 2001—2010

2.3 生物量季节性分布规律

图7显示了2001—2010年鄱阳湖自然保护区植被生物量密度逐月均值等值线分布。从图中可以看出,受到鄱阳湖水位周期性涨落和气候季节变化的影响,鄱阳湖湿地保护区植被群落总体上形成特定的季相变化特征,其生物量密度在不同的月份呈现出不同的空间分布规律。在这一季节性总体分布特征背景下,下面分别以前文所划定的生物量等级分区为标准,分别探讨随着季节性时间的变化,其低生物量区、中生物量区和高生物量区的空间分布规律及演进与消退趋势。

(1) 低生物量区

从图7可以看出,和多年生物量均值的等值线分布图相似,鄱阳湖湿地保护区各月份的低生物量区基本上都是集中分布在各个子湖泊或洼地的中心地带处。但是,随着季节的变化,低生物量区的面积比重及其空间分布也呈现出一定的规律。受水位涨落的影响,低生物量区的分布面积总体上呈现出先增大后减小的变化趋势。特别是从春季5、6月份开始,随着鄱阳湖汛期的来临,其低生物量分布区域的扩大趋势尤为明显,其面积百分比从最初3、4月份的20%—30%逐渐增大至7月份的65%左右(图8)。在空间分布上具体表现为,从6月份开始,除大湖池以外,各个子湖泊(以蚌湖和大汉湖尤为明显)所在的低生物量区均表现出向外围扩大的趋势;秋季(9—11月份),水位逐渐缓慢下降,各种水生植物也开始死亡,各个子湖泊所在的低生物量分布区域又逐渐退缩至30%左右。

(2) 中生物量区

与低生物量区相比,研究区域中生物量区的面积比重和空间分布的变化相对较为明显。具体表现为:1—2月份,保护区中生物量区面积比重较大(接近70%左右),主要分布在各个子湖泊的湖体或洼地中心以外的广大区域(图7);3—5月份,该区域的面积比重迅速退缩至20%左右,仅仅在离主要子湖泊水体较近的湖滩

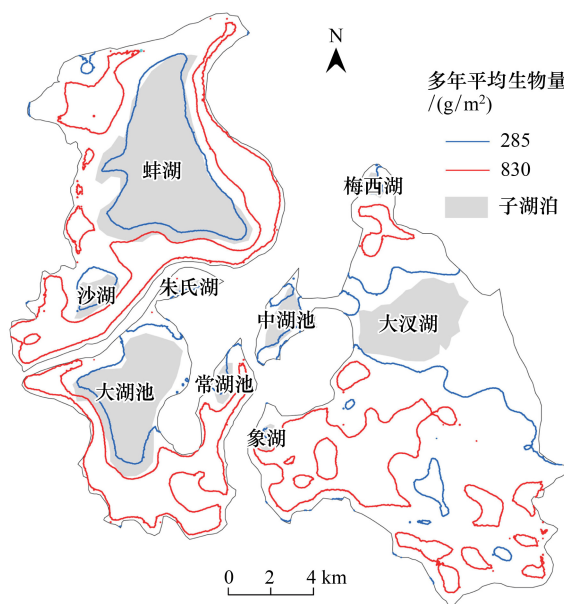


图6 鄱阳湖自然保护区植被生物量多年均值等值线分布图

Fig.6 The annual average contour distribution of vegetation biomass in PLNRR

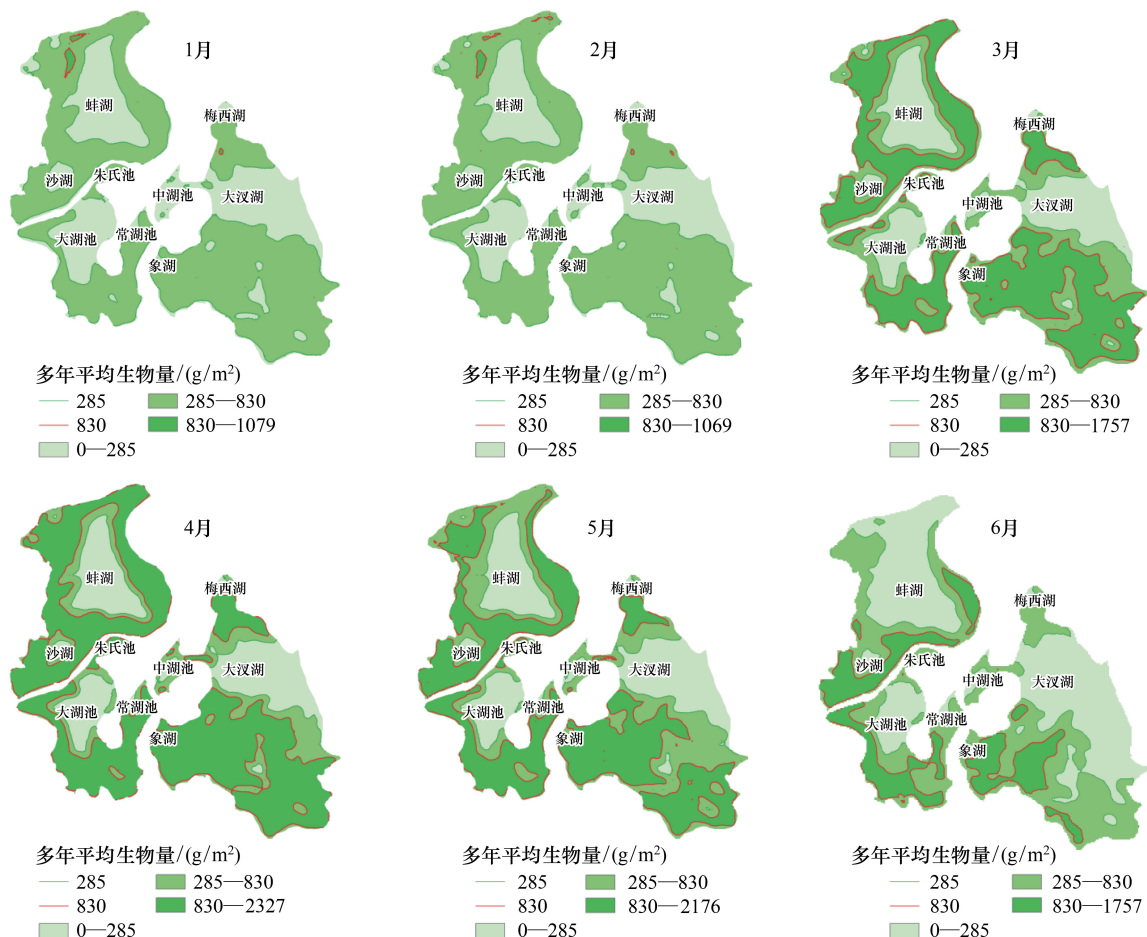
边缘有少量分布;6—9 月份,中生物量区的面积比例基本维持在 25%—30%左右,但是在空间分布上出现了明显的变化,各子湖泊湖滩周围的中生物量区总体上均呈现出北部退缩而南部扩大的趋势,其中以蚌湖尤为明显(图 7);10—12 月份,随着水位的逐渐下落,各子湖泊北部湖滩处的中生物量区又逐渐显露,其面积比重也呈现出逐渐增大的趋势,特别是到 12 月份,整个保护区的中生物量区已增大至 40%左右,其中大汉湖南部扩大较为突出。

(3) 高生物量区

就高生物量区而言,随着季节的变化,该区域的空间分布和面积比重的变化更为突出。主要表现为:1—2 月份,保护区的高生物量区仅在蚌湖西北角和大汉湖的北部三角洲地带带有零星分布,其面积比重仅仅占整个保护区面积的 2%—3%左右;3—5 月份,随着雨水增多,气温变暖,大部分苔草群落和高群落开始萌发生长,高生物量区迅速向各子湖泊的外围环湖滩地区域扩张,其面积比重也陡然增加至 50%—60%左右;6—9 月份,水位急剧快速上升,整个保护区湿地洲滩被洪水所覆盖,出露水面的高生物量植被仅为天然堤上的芦苇等,因此该阶段保护区内的高生物量区又迅速退缩至 10%—20%左右,在空间上主要表现为天然堤坝形状的条带状分布特征;10—12 月份,随着保护区水位的逐渐下降,各种苔草植被逐渐显露,此时芦苇和南荻等植被群落经历着开花、枯萎的阶段,研究区域的高生物量区也呈现出先增大和逐渐减小的趋势(图 7,图 8)。至 12 月份,大湖池、沙湖、象湖以及保护区东南部区域的高生物量区已经鲜有分布。

3 结论与讨论

本文主要利用具有高时间分辨率的 MOD13Q1 影像和实测植被生物量数据,结合 3S 技术,对鄱阳湖国家级自然保护区湿地植被生物量的空间分布规律及其季节性变化特征进行了系统分析。研究结果显示,MODIS 增强型植被指数 EVI 的乘幂模型可以较好地模拟研究区湿地植被生物量的鲜重,模拟的总体精度达到



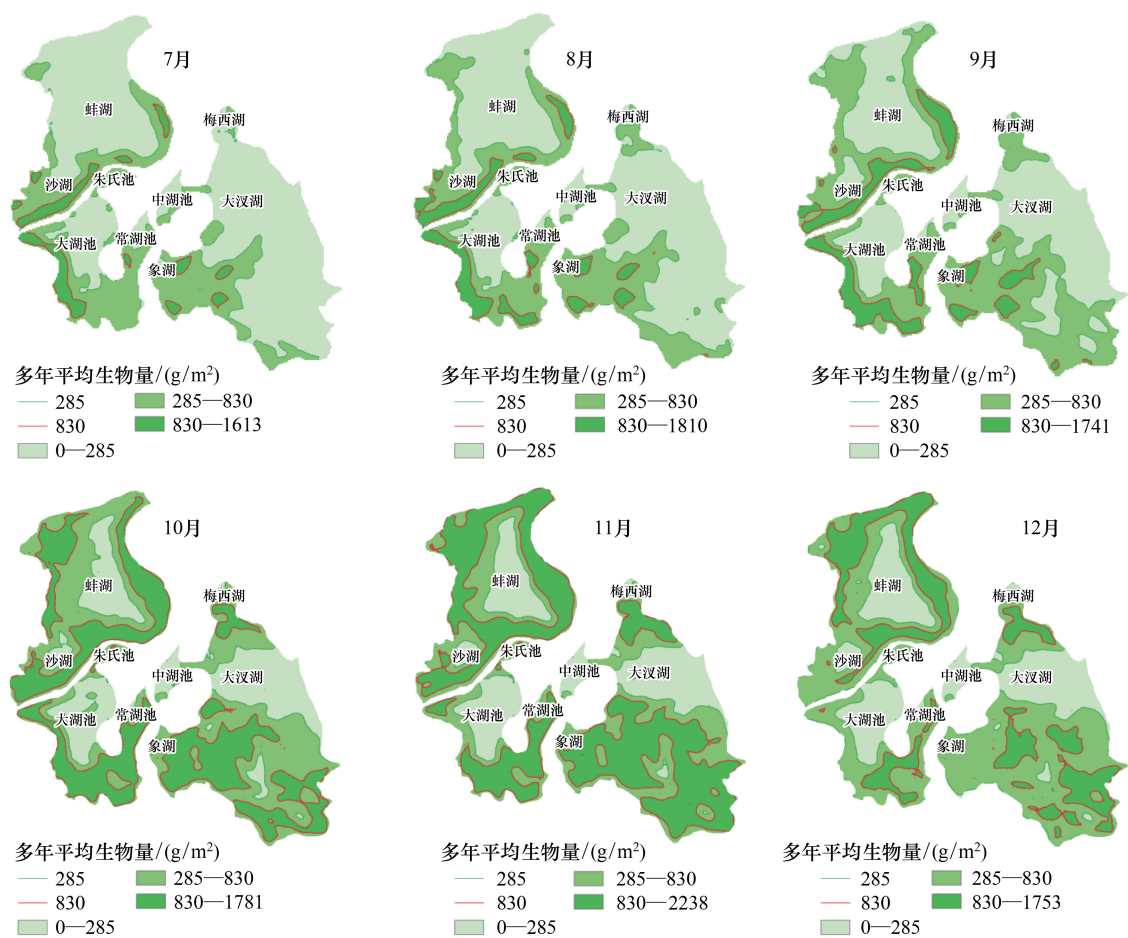


图7 2001—2010年鄱阳湖自然保护区植被生物量密度逐月均值等值线分布图
Fig.7 The monthly average distribution map of vegetation biomass from 2001—2010

91.7%。同时,利用 MODIS-EVI 结合野外生物量采样数据可以有效重建研究区长时间序列的湿地植被生物量,这将突破以往研究中仅仅局限于某一时间点上生物量的估算,从而有助于湿地植被生物量在时间和空间上的连续动态变化过程的刻画与认识,为更好地保护候鸟栖息地、制定合理的湿地保护政策提供科学依据。

从生物量的空间分布格局来看,鄱阳湖自然保护区湿地植被的多年平均生物量总体上呈现出岛屿型弧状空间分布模式。各子湖泊及洼地中心处,表现为水生植被群落为主的低生物量区($<285\text{ g/m}^2$);湖心水体外围14—15 m 的高程区域,分布着以苔草群落为主的中生物量区($285\text{—}830\text{ g/m}^2$);高程位于16—18 m 的河口三角洲及天然堤坝区域,表现为以蒿、荻和芦苇群落为主的高生物量区。这一空间分布格局的形成,很大程度上是湿地植被对生境条件长期适应的结果,也是多种因素共同影响的结果。首先,鄱阳湖自然保护区位于鄱阳湖主湖区的西北部,在赣江和修水支流汇入鄱阳湖冲积而形成的三角洲前缘,同时又处于湖泊和岛屿的水陆交接地带。这种区位环境使得保护区湿地经常处于季节性干湿交替的状态,从而形成了以水域、沼泽、泥滩和草洲等生境下不同生物量梯度的环带状空间分布格

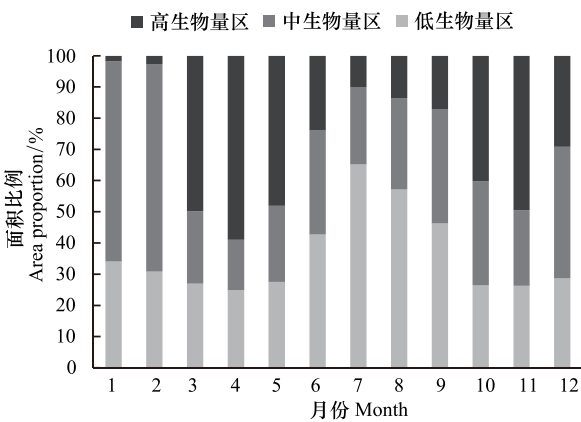


图8 鄱阳湖自然保护区植被生物量分区面积比重逐月变化图
Fig.8 The change of area proportion of vegetation biomass zone in different months

局;其次,鄱阳湖的长期水位波动也会影响到湿地植被群落的生境范围,其影响包括从植物个体的生态适应性到生物量分配,从群落多样性到群落时空分布规律等一系列连续的过程,保护区特殊的水文节律对湿地植被生物量的空间分布格局可能也表现在这些过程中。

就生物量的季节性分布规律而言,保护区范围内其高、中、低生物量分区及植被群落类型随着季节的变化呈现出不同的空间生消和演变规律。已有研究发现,鄱阳自然保护区水位的高低直接影响了洲滩出露时间的早晚,从而控制着不同水位梯度上植被生长和繁殖的时间,存在着明显的时空分异性^[21]。通常情况下,鄱阳湖水位在年内从5、6月份开始上涨,9、10月份又逐渐下落,使得同一区域湖泊洲滩的出露时间和水淹时间存在一定的梯度差异。因此,鄱阳湖水位周期性的涨落,很大程度上是影响保护区湿地植被生物量季相变化的一个重要扰动因子。

参考文献 (References):

- [1] 田迅,卜兆君,杨允菲,郎惠卿. 松嫩平原湿地植被对生境干-湿交替的响应. 湿地科学, 2004, 2(2): 122-127.
- [2] 谭学界,赵欣胜. 水深梯度下湿地植被空间分布与生态适应. 生态学杂志, 2006, 25(12): 1460-1464.
- [3] Todd M J, Muneeppeerakul R, Pumo D, Azale S, Miralles-Wilhelm F, Rinaldo A, Rodriguez-Iturbe I. Hydrological drivers of wetland vegetation community distribution within Everglades National Park, Florida. Advances in Water Resources, 2010, 33(10): 1279-1289.
- [4] 郝文芳,陈存根,梁宗锁,马丽. 植被生物量的研究进展. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(2): 175-182.
- [5] 王树功,黎夏,周永章. 湿地植被生物量测算方法研究进展. 地理与地理信息科学, 2004, 20(5): 104-109.
- [6] Moreau S, Bosseno R, Gu X F, Baret F. Assessing the biomass dynamics of Andean *bofedal* and *titora* high-protein wetland grasses from NOAA/AVHRR. Remote Sensing of Environment, 2003, 85(4): 516-529.
- [7] 李爽,张祖陆,周德民. 湿地植被地上生物量遥感估算模型研究——以洪河湿地自然保护区为例. 地理研究, 2011, 30(2): 278-290.
- [8] 周德民,宫辉力,胡金明,吴丰林. 中国湿地卫星遥感的应用研究. 遥感技术与应用, 2006, 21(6): 577-583.
- [9] 吴英豪,纪伟涛. 江西鄱阳湖国家级自然保护区研究. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [10] 张方方,齐述华,廖富强,张起明. 鄱阳湖湿地出露草洲分布特征的遥感研究. 长江流域资源与环境, 2011, 20(11): 1361-1367.
- [11] Krebs C J. Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance 5th ed. Benjamin Cummings, 2001: 513-536.
- [12] 蓝振江,蔡红霞,曾涛,王硕果,郭海燕,曾宗永. 九寨沟主要植物群落生物量的空间分布. 应用与环境生物学报, 2004, 10(3): 299-306.
- [13] Kasischke E S, Bourgeau-Chavez L L. Monitoring south Florida wetlands using ERS-1 SAR imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63(3): 281-291.
- [14] 李仁东,刘纪远. 应用 Landsat ETM 数据估算鄱阳湖湿生植被生物量. 地理学报, 2001, 56(5): 532-540.
- [15] 李健,舒晓波,陈水森. 基于 Landsat-TM 数据鄱阳湖湿地植被生物量遥感监测模型的建立. 广州大学学报: 自然科学版, 2005, 4(6): 494-498.
- [16] 邬国锋,刘耀林,纪伟涛. 利用 Landsat 5 TM 影像估算沉水植物地上生物量的研究——以江西省鄱阳湖国家自然保护区为例. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(11): 953-957.
- [17] 葛刚,李恩香,吴和平,吴志强. 鄱阳湖国家级自然保护区的外来入侵植物调查. 湖泊科学, 2010, 21(1): 93-97.
- [18] 李加林. 基于 MODIS 的沿海带状植被 NDVI/EVI 季节变化研究——以江苏沿海互花米草盐沼为例. 海洋通报, 2006, 25(6): 91-96.
- [19] 李新,程国栋,卢玲. 青藏高原气温分布的空间插值方法比较. 高原气象, 2003, 22(6): 565-573.
- [20] 张丽丽,殷峻暹,蒋云钟,王浩. 鄱阳湖自然保护区湿地植被群落与水文情势关系. 水科学进展, 2012, 23(6): 769-776.
- [21] 叶春,刘元波,赵晓松,吴桂平. 基于 MODIS 的鄱阳湖湿地植被变化及其对水位的响应研究. 长江流域资源与环境, 2013, 22(6): 705-712.