

鄱阳湖洲滩植被健康状况评价 及其典型不健康年水文条件分析

戴雪 杨桂山 万荣荣 李冰 王晓龙

(1. 中国科学院流域地理学重点实验室, 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏南京 210008;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

【摘要】在气候变化、人类活动的共同影响下,湿地生态系统退化的形势日益严峻。因此,开展浅水湖泊洲滩植被健康状况评价,探索导致湖泊洲滩植被结构和功能退化的原因具有重要意义。通过构建逐层聚合的指标体系,运用综合健康指数法对鄱阳湖洲滩植被健康状况进行评价;并通过不健康年份湖泊水情与多年平均湖泊水情的对比,揭示对洲滩植物健康状况影响最为显著的湖泊水情。主要结论如下:(1)1989~2010年春季,鄱阳湖洲滩植被处于健康和亚健康状态的年份约占总体的80%,不健康年份约占总体的20%;同时段的秋季,鄱阳湖洲滩植被在健康和亚健康状态的年份约占总体的85%,不健康年份约占总体的15%。1989~2010年,鄱阳湖年均洲滩植被健康状况均在健康与亚健康之间,无不健康年份。鄱阳湖洲滩植被健康状况在年尺度上表现出比单-季节更好的稳定性。(2)涨水期水情是影响鄱阳湖春季洲滩植被健康状况的主要水文要素。1989~2010年,鄱阳湖洲滩植被不健康年份发生在典型的春旱年份2005年和典型的春涝年份2010年。丰水期水情是影响鄱阳湖秋季洲滩植被健康状况的主要水文要素。1989~2010年秋,鄱阳湖洲滩植被不健康年份出现在典型的丰水期高水情年份1999年和典型的丰水期低水情年份2001年。就鄱阳湖年均水位波动状况而言,其具有比单一季节水位波动更好的稳定性,因此导致鄱阳湖洲滩植被全年的总体健康状况比单一季节具有更好的稳定性。本研究结果对科学认识鄱阳湖洲滩植被现状及其变化原因具有重要的现实意义,也为鄱阳湖洲滩湿地管理、生态修复及工程决策提供了重要的科学依据。

【关键词】鄱阳湖;洲滩植被;综合健康指数法;水文影响

【中图分类号】S423 **【文献标识码】**A

【文章编号】1004-8227(2016)09-1395-08

【DOI】10.11870/cjlyzyyhj201609010

在浅水湖泊生态系统中,洲滩植被是水域生态系统与陆域生态系统的过渡地带,具有极其丰富的植被资源与生物多样性,在涵养水源、调蓄洪水、维持营养物质循环以及为生物提供栖息地等方面发挥着巨大的生态服务功能。水是洲滩植被存在的基础,水文情势变化主导着洲滩植被生态演替的相关过程,制约着浅水湖泊生态系统中的一切生命现象。鄱阳湖洲滩植被面积约2700km²,生物资源极其丰

富，对调节长江中下游地区水量平衡与生物地球化学循环发挥着重要作用。同时，鄱阳湖洲滩植被也为国际重要的白鹤、东方白鹳等珍稀水禽提供了优良的越冬场所。近年来，鄱阳湖水文条件的变化显著影响了其洲滩植物的萌发和生长，进而改变了珍稀候鸟栖息地生境和湖泊生态系统的完整性和稳定性，许多植被调查均已揭示出湖泊洲滩植被结构和功能的退化迹象。因此，开展鄱阳湖洲滩植被健康状态评价，探索其与水文条件的关系，是维护鄱阳湖区生态系统健康的紧迫需求，具有重要的现实和理论意义。

目前学术界对于洲滩植被的评价主要分为四类：洲滩植被系统功能评价、洲滩植被环境影响评价、洲滩植被区域生态风险评价以及洲滩植被健康状态评价。其中，洲滩植被系统功能评价主要包括对洲滩植被产品质量和产量的评价，对洲滩植被调节径流、储蓄洪水、减少侵蚀、净化水质、提供生境等功能的评价，对洲滩植被美学价值、休闲旅游、教育科研等功能的评价。洲滩植被环境影响评价主要通过研究各环境因子与洲滩植被的耦合关系来揭示洲滩植被对整个河湖生态系统的影响。而洲滩植被区域生态风险评价主要研究胁迫因子带来的不利环境影响及其可能性的过程，包括风险源分析、风险受体分析、暴露评价、危害性评价和风险评价等。洲滩植被健康状态评价，主要包括洲滩植被健康的基本理论研究，即健康诊断指标研究。北美大湖湿地生物多样性监测项目中，以植物种类、物种盖度 2 个指标指示洲滩植被的现状和变化趋势（

<http://glc.org/files/docs/Great-Lakes-Coastal-Wetlands-Monitoring-Plan-FINAL-March-2008.pdf>），并结合其他四大生物类群（底栖无脊椎动物、鱼类、两栖类和鸟类）构建生物完整性指数（index of biotic integrity, IBI），综合评价大湖湿地生态系统的健康状况。向丽雄等以植物种类、初级生产力 and 植被覆盖度 3 个指标衡量洲滩植被健康状态，并结合经济、社会等其他指标构建压力-状态-响应模型（Pressure-State-Response, PSR），综合评价鄱阳湖湿地生态系统的健康状况。由此可见，以往的洲滩植被健康研究通常是作为湿地生态系统整体健康研究的一部分，而针对洲滩植被本身的研究较少。此外，以往洲滩植被健康研究选取的指标多基于野外调查数据，而其在面积较大且植物群落结构鲜明的鄱阳湖湿地适用性较弱，因此，现阶段的鄱阳湖洲滩植被健康状态监测和评价均存在明显的不足。基于此，本文利用 1989~2010 年多期 Landsat TM 遥感影像解译的鄱阳湖洲滩植被分布图，采用综合健康指数法（Ecological Health Comprehensive Index, EHCI），在景观尺度，综合考虑植被总体分布状况以及植被内部结构状况两个方面，对鄱阳湖洲滩植被春季、秋季以及全年的健康状态进行评价，并通过对洲滩植被典型不健康年份的水文情况分析，探索洲滩植被健康状态与鄱阳湖水文条件的关系。

1 鄱阳湖洲滩植被生长现状

在水位波动主导的生境异质性条件下，于鄱阳湖洲滩，即湖岸线草本植物生长区，植被沿水位梯度呈现明显的带状分布 [IU21]。综合考虑植被盖度、植被高度等指标，鄱阳湖洲滩植被主要分为 2 种差异显著的植物群落带，即平均分布高程为 12~15m 的苔草群落带以及平均分布高程为 13~16m 的南荻-芦苇群落带，中间混合裸地、泥滩以及水域等其他非生物景观类型（图 1）。近年来，鄱阳湖洲滩植被面临着结构和功能退化、生态系统弹性降低、脆弱性提高等一系列问题，进而影响了整个湖泊生态系统

的健康发展和其各种生态服务功能的提供。

2 鄱阳湖洲滩植被健康状态评价方法

2.1 评价方法的选择

生态系统健康评价方法主要分为两类，其一为指示物种法，以对特定物种多样性、丰富度、生物量等生态特性的监测结果，指示整个生态系统的健康状态。指示物种法的应用广泛，如 Albert 等在美国五大湖区以香蒲在潮湿草甸带的总面积指示水位波动干扰导致的湿地退化，其理论依据为五大湖区自然水位波动的减缓导致物种多样性降低，单一物种香蒲成为湿地植被的最终主导植物。Niemeier 等认为芦苇分布面积随着营养元素的大量增加而扩展，建议以芦苇作为洲滩土壤氮素沉降以及水质状况的指示物种。另一类为指标体系法，根据生态系统的特征及其服务功能构建指标体系，采用数学方法以多种指标构建评价模型来确定生态系统的健康状况。因为生态系统结构复杂，单一敏感物种的涵盖面较窄，因此，相对于指示物种法而言，指标体系法在生态系统评价中的应用更为广泛。因此，本文选择综合健康指数法 (EHCI) 对鄱阳湖洲滩植被健康状况进行评价。

2.2 洲滩植被健康的定义及综合健康指数分级

从生态系统的结构和功能出发，costanze 等提出了普适的生态系统健康概念，即健康的生态系统表现为物质循环、能量和信息流动未受到损害，关键生态组分和有机组织完整且没有受到损害，在突发的自然或人为扰动后能恢复或保持原有的功能和结构，整体功能表现出多样性、复杂性和活力。就鄱阳湖洲滩植被而言，健康的洲滩植被系统应在整体上具有一定的分布面积、在结构上具有较完整的物种组成。参照其他类似生态系统的健康评价方法，设立鄱阳湖洲滩植被健康综合指数 (EHCI)，其值越小指示洲滩植被的健康状态越好，并以 EHCI 值的区段划分将鄱阳湖洲滩植被健康状态分为健康、亚健康、不健康 3 等级。综合健康指数法 (EHCI) 在确定健康指数分级阈值时，可采用较为客观的自然间断点分级法、分位数间隔法或标准差间隔法 (<http://www.spatialanalysisonline.com>)，但具有一定主观性的相等间隔法或自定义间隔法在实际评价中更为常用，因其原理简单，实用性强，且易于与先验知识对比。因此，本文在考虑 EHCI 值的统计分布后，采用自定义间隔跨度的相等间隔法划定健康级别阈值，其具体结果详见表 1。

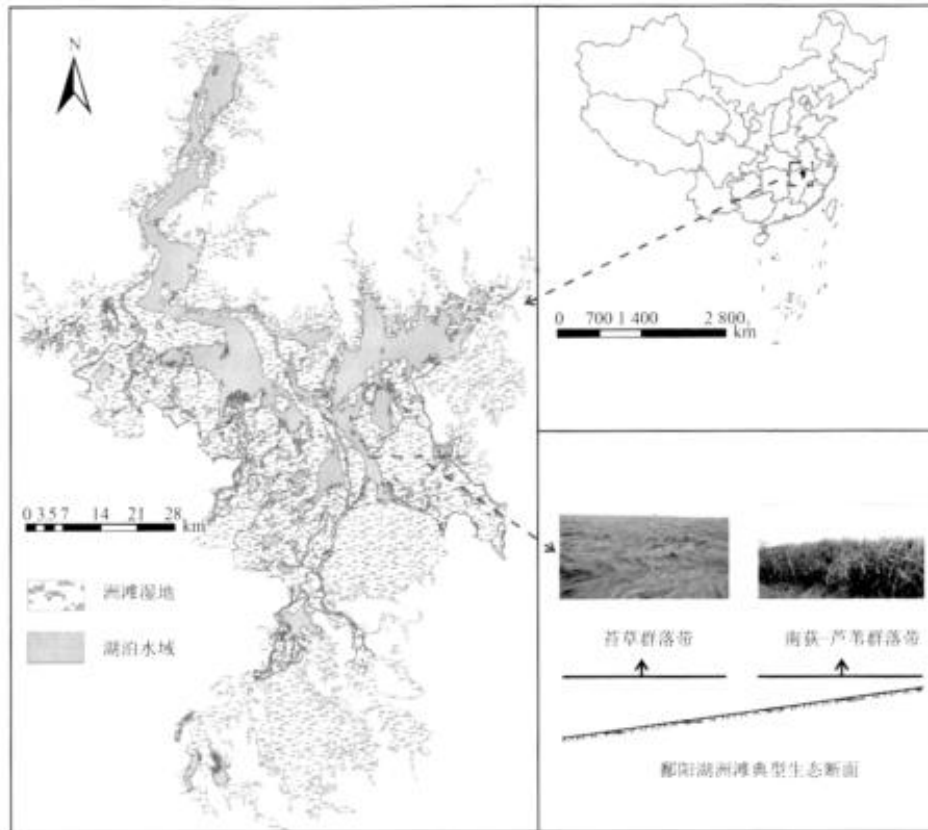


图1 鄱阳湖及其洲滩概况(A鄱阳湖位置概况; B鄱阳湖区概况; C鄱阳湖洲滩植被典型断面概况)

Fig.1 Poyang Lake and the Surrounding Wetland

表1 鄱阳湖洲滩植被健康综合指数分级

Tab.1 Classification of EHCI for Poyang Lake Wetland

分级	健康综合指数	健康状态	洲滩植被状态
I	0-20	健康	洲滩植被总体面积稳定, 内部结构合理
II	20-40	亚健康	洲滩植被总体面积较稳定, 内部结构较合理
III	>40	不健康	洲滩植被总体面积不稳定, 内部结构欠合理

2.3 评价指标体系的构建

借鉴其他类似生态系统的健康评价方法, 将鄱阳湖洲滩植被健康评价指标设计为包含3个递阶层次的评价指标体系, 即包含目标层、准则层和指标层的逐层聚合指标体系。

目标层用以反映洲滩植被健康状况的总体水平, 用健康综合指数(EHCI)表示, 其值由准则层与指标层逐层计算得到。

准则层用以从不同侧面反映目标层, 即洲滩植被健康状况的属性和水平, 同时也是选择指标层构成要素的关键层次。在鄱阳湖洲滩, 因季风气候下水热组合良好、周期性洪泛又可保证土壤具有丰富

的养分，所以在植被生长季，光照、热量、土壤养分等环境要素均不构成鄱阳湖洲滩植物生长的限制因子，而极端水位波动下的淹没和出露则构成洲滩植物生长的主要威胁。此环境效应具体表现为，鄱阳湖洲滩各植被类型生物量的年际变化较小，洲滩植被的年际变化主要变现为水分梯度影响下的各植被类型空间分布变化。基于此，本研究最终确定①植被总体分布状况以及②植被内部结构状况两个准则层作为评价鄱阳湖洲滩植被健康状态的准则层。

指标层是在准则层的指导下选择的若干指标。按照准则层设定的 2 个方面，本研究分别确定①鄱阳湖洲滩植被总面积以及②南荻-芦苇群落与苔草群落的面积比 2 个指标来反映鄱阳湖洲滩植被健康情况。

本研究中各评价指标权重的确定综合考虑了其携带的信息量以及重要性两个方面。首先，草洲总面积的标准差在春、秋两季及全年分别为 186、112 和 156km²，相对于其 671、728 和 746km² 的平均值而言，携带较大的信息量。南荻-芦苇群落与苔草群落面积比的标准差在春、秋两季及全年分别为 0.60，0.17 和 0.48，相对于其 1.16、0.79 和 0.30 的平均值而言，也携带较大的信息量。其次，通过对洲滩植被健康研究成果的文献调研得出，植被总体状况与植被结构状况均为洲滩植被健康评价的重要因素。因此，综合考虑两指标的信息量及重要性，本研究中采用平权法确定准则层和指标层的权重，即对各准则层的各个指标赋予相同的权重，并保证其加和为 1。最终的洲滩植被健康评价指标体系及权重分配结果如表 2 所示。

表 2 鄱阳湖洲滩植被健康评价指标体系及权重分配

Tab.2 Hierarchy Composition of EHCI for Wetland Healthy Assessment and Factor Weights of Indexes

目标层	准则层	指标层	权重(春, %)	权重(秋, %)	权重(年, %)
综合健康指数EHCI	植被总体状况	春季草洲总面积	50	0	25
		秋季草洲总面积	0	50	25
	植被结构状况	春季南荻-芦苇群落带与苔草群落带面积比	50	0	25
		秋季南荻-芦苇群落带与苔草群落带面积比	0	50	25

表 3 解译鄱阳湖洲滩植被分布图所需遥感影像采集时间

Tab.3 Timing of Remote Sensing Images Used in the Current Research

年份	日期	年份	日期	年份	日期	年份	日期
1989	11月20日	2000	4月16日	2004	11月29日	2008	5月16日
1991	12月10日	2001	5月2日	2005	4月14日	2008	12月10日
1993	5月12日	2001	11月21日	2005	10月31日	2009	4月9日
1995	12月17日	2003	3月8日	2006	11月3日	2009	12月6日
1996	11月23日	2003	11月3日	2007	5月6日	2010	5月11日
1999	12月10日	2004	4月19日	2007	11月30日		

2.4 数据的收集和处理

基于中科院南京地理与湖泊研究所解译的 30m 分辨率鄱阳湖洲滩植被分布图集，选择 1989~2010 年春、秋植被生长季末期的遥感影像解译结果(表 3)进行鄱阳湖洲滩典型植被群落面积数据的提取。最

终共计选取出 10 幅春季末期、13 幅秋季末期以及 7 幅全年植被类型分布图(表 3)，作为鄱阳湖洲滩植被健康评价的基础数据。

由于草洲总面积数据、南荻-芦苇群落与苔草群落面积比两个数据在量级上有很大差别，在计算洲滩植被综合健康指数 EHCI 之前，本研究采用矫正的比值法对数据进行无量纲化处理，以保证综合分析时结果的可比性。其计算公式为：

$$r_{ij} = \left| \frac{x_{ij}}{s_{ij}} - 1 \right| \quad (1)$$

式中： x_{ij} 是*i*指标在*j*年份的实测值； s_{ij} 是该指标因子的参考标准。所谓参考标准，是指在洲滩植被健康评价中作为相对健康的植被状态与其他观测样本值进行对比的基准，因此，特定指标参考标准 s_{ij} 的确定十分重要。根据正态分布的原理，本研

究以鄱阳湖1989~2010年对应季节对应指标累积概率50%的值作为该指标在该季节的参照值，即在理论上认为洲滩植被分布的历史平均状况即为健康的洲滩植被状况。

各指标的无量纲化值和指标权重确定后，代入下式，即可求得鄱阳湖洲滩植被综合健康指数 EHCI:

$$EHCI = \sum_{j=1}^m [W(CA)_i \times r_{ij}] \times 100 \quad (2)$$

式中： $W(CA)_i$ 则为指标*i*的权重值。当EHCI值越接近0，表明洲滩植被健康程度越高。

3 评价结果及洲滩植被典型不健康年的水文条件分析

3.1 鄱阳湖洲滩植被健康状态评价结果

根据表 2 中构建的£7/a 评价指标体系，采用公式(2)分别对 1989~2009 年鄱阳湖秋季、春季以及全年平均的洲滩植被健康状态进行计算，得到结果如图 2 所示。1993~2010 年春季，在样本总数为 10 的情况下，鄱阳湖洲滩植被达到健康标准的年份有 4 个，约占总体的 40%；呈亚健康状态的年份亦有 4

个, 约占总体的 40%。其中, 春季鄱阳湖洲滩植被呈现不健康状态的年份有 2 个, 分别出现在 2005 和 2010 年, 呈不健康状态的春季洲滩植被年份约占总体的 20%。1989~2009 年秋季, 在样本总体数为 13 的情况下, 鄱阳湖洲滩植被达到健康标准的年份达到 5 个, 约占总体的 38%, 呈亚健康状态的年份有 6 个, 约占总体的 46%。其中, 鄱阳湖秋季洲滩植被呈现不健康状态的年份有 2 个, 约占总体的 15%, 不健康状态的洲滩植被分别出现在 1999 和 2001 年。就鄱阳湖洲滩植被全年的平均健康综合指数来看, 2001~2009 年间, 在总体样本数为 7 的情况下, 达到健康标准的年份约占 57%, 达到亚健康标准的年份约占 43%, 无不健康年份。总体看来, 鄱阳湖洲滩植被无论在其春季生长期还是秋季生长期, 其健康水平的年际波动均较大, 由此可见, 在高变幅的水位季节波动影响下, 鄱阳湖洲滩植被系统的弹性和脆弱性均较大。而就全年洲滩植被的平均健康状况来看, 鄱阳湖洲滩植被生态系统又具有较好的稳定性, 平均健康水平较高。

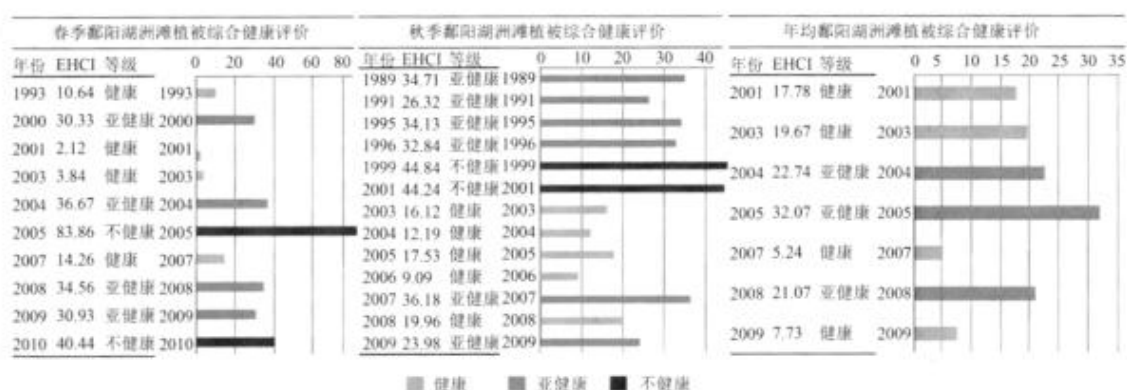


图 2 鄱阳湖洲滩植被 1993~2010 年春季、1989~2009 年秋季以及 2001~2009 年全年平均的健康综合指数(EHCI)得分以及等级划分
 Fig.2 Ecological Health Comprehensive Index (EHCI) of Spring Wetland Surrounding Poyang Lake during 1989~2010, EHCI of Autumn Wetland Surrounding Poyang Lake and Annual EHCI of the Poyang Lake Wetland during 1989~2010

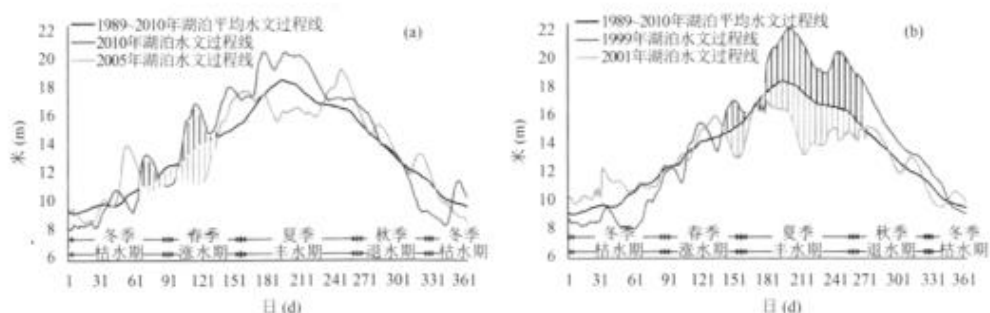


图 3 鄱阳湖春季洲滩植被不健康年份(2005、2010)(a)与秋季洲滩植被不健康年份(1999、2001)(b)水文日过程线
 Fig.3 Comparison of Hydrological Regime in 1989~2010 and That of the Years with 'ill' Poyang Lake Wetland

3.2 鄱阳湖洲滩植被不健康年份的具体表现及其水文条件

如前文所述, 鄱阳湖洲滩具有水热组合良好、土壤养分丰富等环境特点, 光照、热量、土壤养分等要素在植被生长季均不构成洲滩植物生长的限制因子, 而极端水位波动下的淹没和出露则构成洲滩植物生长的主要威胁, 即湿地植被的年际变化主要表现为水分梯度影响下的各植被类型空间分布的变化。基于此, 本研究忽略其他环境因子的综合作用, 仅从水文条件出发, 揭示水位波动变化对鄱阳湖

洲滩植被健康状况的影响。

2005年春和2010年春,鄱阳湖洲滩植被均呈现不健康状态,而其具体表现有很大差别:2005年春,鄱阳湖洲滩植被总体分布状况与多年平均状态无显著差异,而植被内部结构状况严重失衡,具体表现为南荻-芦苇群落分布面积的膨胀(面积524.5km²,为多年平均值的152.6%)和苔草群落分布面积的萎缩(面积197.8km²,仅为多年平均值的61.3%)。2010年春,鄱阳湖洲滩植被内部结构状况与多年平均状态无显著差异,而草洲总面积有显著萎缩,仅为384.6km²,约是多年平均值的50.8%。图3(a)的水文过程线对比显示,在2005和2010年的春季植被遥感制图之前(表3),湖泊水位日过程线与鄱阳湖1989~2010年的多年平均状态相比,最为显著的差异出现在春季涨水期。2005年鄱阳湖春季涨水期的平均水位为12.65m,低于1989~2010年平均值的幅度达0.94m。2010年鄱阳湖涨水季节的平均水位为14.97m,高于1989~2010年的多年平均值1.37m。由此可见,春季涨水期的水情对鄱阳湖春季洲滩植被健康状态影响显著,偏高的涨水期水情会导致鄱阳湖洲滩草洲总面积的萎缩;反之,偏枯的涨水期水情则会导致南荻-芦苇群落分布面积的膨胀而抑制苔草群落的分布。

1999年秋与2001年秋,鄱阳湖洲滩植被均呈现不健康状态,但其具体表现也有很大差别:1999年秋,就植被总体分布状况而言,鄱阳湖洲滩的草洲总面积有显著减少(553.8km²),仅为多年平均值的75.9%;就植被内部结构状况而言,南荻-芦苇群落与苔草群落面积的比例严重失衡,具体表现为苔草群落分布面积膨胀(面积431.0km²,为多年平均值的102.7%)而南荻-芦苇群落分布面积萎缩(面积122.8km²,仅为多年平均值的40.7%)。2001年秋,鄱阳湖洲滩植被总体分布状况与多年平均状态无显著差异,而植被内部结构状况则与1999年相反,呈现出南荻-芦苇群落分布膨胀(面积422.6km²,为多年平均值的140.2%)而苔草群落分布面积萎缩(面积277.1km²,仅为多年平均值的67.4%)的特点。图3(b)的水文过程线对比显示,在1999和2001年秋季植被遥感制图之前(表3),湖泊水位日过程线与鄱阳湖1989~2010年平均状况相比最为显著的差异出现在夏季,即丰水期。1999年鄱阳湖丰水期的平均和最高水位分别为19.15m和21.97m,高于1989~2010年平均值的幅度分别达2.46m和3.68m。而2001年鄱阳湖丰水期的平均和最高水位分别为16.43m和18.12m,分别低于1989~2010年平均值0.26m和0.17m。由此可见,夏季丰水期水情对秋季鄱阳湖洲滩植被内部结构的影响十分显著,偏高的丰水期水情会导致苔草群落分布面积的膨胀而抑制南荻-芦苇群落的分布;反之,偏枯的丰水期水情则会导致南荻-芦苇群落分布面积的膨胀而抑制苔草群落的分布。

4 结论

鄱阳湖洲滩植被健康状态受湖泊水位波动的影响较大,从而具有较大的弹性以及较强的脆弱性。本文在对鄱阳湖洲滩植被综合健康状态进行评价的基础上,通过对洲滩植被不健康年份水文情况的分析,初步揭示了影响鄱阳湖洲滩植被不同生长季健康状态的主要水文条件。

对1989~2010年春季鄱阳湖洲滩植被健康状态的综合评价结果显示,鄱阳湖春季洲滩植被处于健康和亚健康状态的年份约占总体的80%,不健康年份约占总体的20%,分别出现在典型的春旱年份2005年和典型的春涝年份2010年。由此可见,春季涨水期水情是影响鄱阳湖春季洲滩植被健康状态的主要

水文因素，其具体作用方式为：偏高的春季涨水期水情会导致草洲总面积的萎缩；反之，偏枯的涨水期水情则会导致南荻·芦苇群落分布面积的膨胀和苔草群落分布面积的萎缩。

对 1989~2010 年秋季鄱阳湖洲滩植被健康状态的综合评价结果显示，鄱阳湖秋季洲滩植被处于健康和亚健康状态的年份约占总体的 85%，不健康年份约占总体的 15%，分别出现在典型的丰水期高水情年份 1999 年和典型的丰水期低水情年份 2001 年。由此可见，夏季丰水期水情是影响鄱阳湖秋季洲滩植被健康状态的主要水文因素，其具体影响方式为：偏高的丰水期水情会导致苔草群落分布面积的膨胀而抑制南荻-芦苇群落分布面积的拓展；反之，偏枯的丰水期水情则会导致南荻-芦苇群落分布面积的膨胀而抑制苔草群落分布面积的拓展。

就鄱阳湖洲滩植被全年的总体健康状态而言，1989~2010 年间，鄱阳湖洲滩植被健康状态均在健康与亚健康之间，无不健康年份。因鄱阳湖年际水位波动相比其单一季节水位波动更为稳定，所以鄱阳湖洲滩植被全年的总体健康状态表现出比单一季节更好的稳定性。

参考文献:

[1]ZEDLER J B, KERCHER S. Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability[J]. Annual Review of Environment and Resources, 2005, 30(1): 39-74.

[2]陈宜喻, 吕宪 W. 湿地功能与湿地科学的研究方向[J]. 湿地科学, 2003, 1(1): 7-11.

[3]刘青, 鄢帮有, 葛刚, 等. 鄱阳湖湿地生态修复理论与实践[M]. 北京:科学出版社, 2012.

[4]崔丽娟, 赵欣胜. 鄱阳湖湿地生态能值分析研究[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1480-1485.

[5]崔丽娟. 鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(4): 47-51.

[6]谢冬明, 郑鹏, 邓红兵, 等. 鄱阳湖湿地水位变化的景观响应 m. 生态学报, 2011, 31(5): 1269-1276.

[7]齐述华, 张起明, 江丰, 等. 水位对鄱阳湖湿地越冬候鸟生境景观格局的影响研究[J]. 自然资源学报, 2014, 29(8): 1345-1355.

[8]武海涛, H 宪 W. 中 W 湿地评价研究进展与展望[J]. 世界林业研究, 2005, 18(4): 49-53.

[9]吴燕弔, 阳文静. 湿地生物多样性监测的指标体系和实施方法: 以北美大湖湿地为例[J]. 生物

多样性, 2015, 23(4): 527-535.

[10]向明维, 谢正晶, 杜泽兵, 等. 基于 PSR 模型的鄱阳湖湿地生态系统健全评价指标系统研究[J]. 安徽农业科学, 2015. 43(35): 105-107.

[11]张全军, 于秀波, 钱建鑫, 等. 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征[J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3656-3669.

[12]葛刚, 赵安娜, 钟义史, 等. 鄱阳湖洲滩优势植物种群的分布格局 [J]. 湿地科学, 2011, 9(1): 19-25.

[13]余莉, 何隆华, 张奇, 等. 三峡工程水运行对鄱阳湖典型湿地植被的影响[J]. 地理研究, 2011, 30(1): 134-144.

[14]余莉, 何隆华, 张奇, 等. 基于 Landsat-TM 影像的鄱阳湖典型湿地动态变化研究[J]. 遥感信息, 2010(6): 48-54.

[15]官少飞, 郎张本. 鄱阳湖水生植被[J]. 水生生物学报, 1987, 11(1): 9-21.

[16]胡振鹏, 刘成林, 等. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水位对 K 影响研究(1). 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 597-605.

[17]ALBERT D A, MINC L D. Plants as regional indicators of Great Lakes coastal wetland health[J]. Aquatic Ecosystem Health & Management, 2004, 7(2): 233-247.

[18]NIEMEIER P E, HUBERT W A. The 85-Year History of the aquatic macrophyte species composition in a Eutrophic Prairie Lake (United States) [J]. Aquatic Botany, 1986, 25: 83-89.

[19]张绝会, 杨桂山, 万荣荣. 湖泊水生态系统健康评价指标研究[J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1306-1315.

[20]COSTANZA R, NORTON B G, HASKELL B D. Ecosystem health: new goals for environmental management[J]. Washington. D. C.: Island Press, 1992.

[21]李冰, 杨桂山, 万荣荣. 湖泊生态系统健康评价方法研究进展. 水利水电科技进展, 2014, 34(6): 98-106.

[22]尤洋, 许志兰, 王培京, 等. 温渝河生态量流健康评价研究[J]. 水资源与水工程学报, 2009,

20(3): 19-24.

[23] 乍华, 叶存, 赵晓峰, 等. 太湖湖滨带生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3806-3815.

[24] 戴甬. 鄱阳湖水位波动变化及其对洲滩湿地典型植被景观带空间分布的影响[D]. 南京: 中国科学院南京地理与湖泊研究所硕士学位论文, 2015.