

扎龙湿地生态水文格局特征及水环境功能分析

郭跃东¹, 何 岩², 邓 伟¹, 严登华¹, 章光新¹

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 中国科学院, 北京 100864)

摘 要: 应用生态水文学理论, 描述了扎龙湿地景观的生态水文格局形成特征, 揭示了水文情势和人为干扰对生态水文格局脆弱性的影响, 指出湿地生态水文格局外在的整体性和内在的脆弱性是扎龙湿地景观的主要特征, 并试举了湿地具有的环境效应, 以说明多种因素影响下的湿地生态水文格局功能和脆弱性表现。

关键词: 扎龙湿地; 生态水文格局; 脆弱性; 水环境功能

中图分类号: P331

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)01-0119-04

Eco-hydrology Characteristics of Zhalong Wetland and Its Function on Water Environment

GUO Yue-dong¹, HE Yan², DEN G Wei¹, YAN Deng-hua¹, ZHANG Guang-xin¹

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Changchun 130012, China;

2. The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China)

Abstract Based on the acknowledgement of eco-hydrology, the authors explain the eco-hydrological pattern's characteristics of Zhalong wetland, and analyze the impact of water resource dynamic and human's disturbance on pattern fragility, meanwhile point out that the external integration and interior fragility is the most important feature, exemplifying wetland environmental response to elucidate eco-hydrological function and fragility feature.

Key words: Zhalong wetland; eco-hydrology regime; fragility; water environmental function

流域下游河滨湿地是连接平原洪泛带和河流水环境的水-陆复合型生态系统, 其独特的地理位置使流域水文过程和生态过程紧密的耦合在一起, 在流域范围内发挥着蓄洪防旱、控制土壤侵蚀、净化水源、维持生物多样性等多种水文及生态功能。然而, 近些年来, 人类的非理性活动导致的流域范围内水资源问题的日益恶化, 限制了流域内水文、生态过程的良性循环, 生态水文格局的迅速改变, 对处于流域下游的河滨湿地产生累积负面影响, 致使湿地水环境恶化, 正常水环境功能急剧丧失, 直接影响水系统内生物地化循环和能量、信息的流动, 严重干扰流域水环境正常演化。

针对河滨湿地水生态系统出现的问题, 从水资源的生态特征来看, 提高湿地水生态系统抵御外界干扰能力并维护其生态水文格局和功能的统一性, 促进生态和水文因素在不同时空尺度上的相互作用, 是实现流域\湿地水系统可持续发展的基础^[1]。本文以国际重要湿地——扎龙湿地为研究靶区, 运用生态水文学概念和理论, 对河滨湿地生态水文特征和功能进行分析, 希望进一步揭示水资源的生态特征和意义。

1 研究区概况

位于松嫩平原西部的扎龙湿地, 地理坐标为东经 123° 47' ~ 124° 37', 北纬 46° 32' ~ 47° 32', 总面积 $21 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是典型的河滨湿地。其地处乌裕尔河、双阳河下游, 本地区地势低洼平坦, 全区平均海拔 144.0 m, 呈东北-西南走向, 比降 9/1 000, 地下水排泄和循环慢, 地表径流也缓慢, 地下水位高, 一般 1.5 m 左右, 是在第四纪早更新世早期乌裕尔河地区大规模沉降, 及以后的平原区整体抬升而形成的, 并主要受到河流和风力的影响, 形成众多的风蚀浅平洼地和风成沙丘^[2], 并逐渐发育成以潜育草甸土和草甸沼泽土及碳酸盐草甸土为主的土壤类型, 同时地表自然植被以沼泽、沼泽草甸、盐化草甸植被为主, 典型的沼泽植被为芦苇、苔草。扎龙湿地属于中温带大陆性季风性气候: 冬寒漫长, 春干风大, 夏热多雨, 秋凉霜早。年平均降水量 420 mm, 最长达 754 mm (1957), 6~8 月份降水量占全年的 67%, 最多降水月是 7 月, 平均降水 138 mm, 年平均蒸发量 1 489 mm。独特的地理位置和典型的湿地生态系统使其成为东北地区重要的鸟类繁殖和栖息地, 是丹顶鹤全球迁徙和繁殖的重要基地, 1987

收稿日期: 2003-09-01

基金项目: 中科院知识创新项目—东北地区百年土地利用/覆被变化\百年水文(KZCXZ-SW-320-2)

作者简介: 郭跃东(1978-), 男, 辽宁法库人, 在读博士生, 主要从事环境与生态方面的研究。

年被批准为国家级自然保护区, 1992 年被列入国际重要湿地名录, 在世界珍稀水禽保护和繁育中占有及其重要地位^[2]。



图 1 扎龙湿地保护区位置及水系示意图

2 扎龙湿地生态水文格局特征

生态水文学(Eco-hydrology)一般科学含义是指研究生态格局和过程下的水文学机制的科学^[3], 就湿地生态系统而言, 生态水文学旨在更好的了解水文因素如何决定生态系统的自然发育及水生态环境特征变化, 实用性含义就是研究多时空尺度上水文与生物格局、过程的耦合特征和相互作用。扎龙湿地作为典型河滨湿地, 水文-生物动力过程耦合特征明显, 以水为主要媒介的物质和能量的传输机制, 决定了湿地生态水文格局和功能的有机结合, 其不仅在微观层面上影响湿地土壤发育、植被组成及水环境的物化性质, 而且在景观尺度上, 相互影响, 协同演化, 形成动态的生态水文格局与景观格局的耦合分布, 并具有外在的时空特征和内在的脆弱性特征^[4,5]。

2.1 时空分异特征

区域地形地貌、植被分布及气候特征, 控制着湿地水生态

系统发育的范围、强度和方向, 就扎龙湿地而言, 受河流水环境特征的影响更为显著, 生态因素和水文因素作用更为强烈, 生态水文格局控制下的湿地景观格局对水分的空间分布变化反应更为敏感, 因此, 用湿地景观来映证生态水文格局的空间分布特征更易于获得表现上的解释和方法上的有效性^[6]。

根据实地考察和扎龙保护局土地利用分类标准, 在此边界内划分三级景观类型, 一级为耕地、居民地、湿地、林地、草地和未利用土地 6 类, 第二级根据水环境的流动性和生态空间分布特征把湿地划分为湖泊、水库、河流、河滨湿地、洼地湿地 5 类, 第三级根据演水程度轻重把河滨湿地和洼地湿地划分为轻沼泽和重沼泽。利用 2002 年 7 月 TM 遥感影像, 在 GIS 软件支持下解译景观分布特征, 并计算各湿地景观的特征指数, 结果如图 2 和表 1^[7,8]。同时, 利用齐齐哈尔、龙安桥、二十棵树、烟筒屯及泰康 1991 年至 2001 年 4~10 月份的总降水量年平均值在 GIS 软件 ArcView 3.3 下进行多项式等权重空间插值计算, 形成扎龙地区空间降水等值线图(图 3), 进行辅助分析。

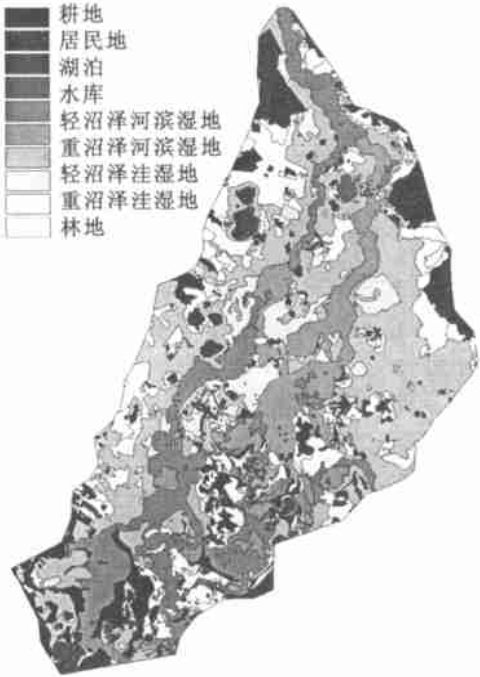


图 2 扎龙湿地景观分布图

表 1 扎龙湿地景观特征指数

景观类型	湖泊	轻沼泽河滨湿地	重沼泽河滨湿地	轻沼泽洼地湿地	重沼泽洼地湿地	草地	耕地
核心区面积/km ²	7.846	32.421	22.001	63.666	14.066	29.200	25.010
缀块密度	0.089	0.009	0.014	0.025	0.036	0.041	0.062
缀块分维数	1.068	1.117	1.083	1.115	1.088	1.100	1.085
平均聚集度	0.909	0.959	0.962	0.951	0.938	0.938	0.916
形状指数	4.505	6.430	4.755	10.935	5.060	8.291	6.834

可以看出, 扎龙湿地以轻沼泽洼湿地和轻沼泽河滨湿地为主, 其核心面积、缀块分维数和聚集度都明显的高于其它景观类型, 构成整个湿地的优势景观, 对生态水文格局的构成起到了主导作用。同时在图 2 中可以直观的看到, 轻沼泽洼湿地、轻沼泽河滨湿地和重沼泽河滨湿地明显受到径流作用的影响, 呈带状与湿地河网耦合分布, 径流量的大小、淹水面积、

淹水频率的水文因素对其分布有决定性的影响, 从植被组成来看, 其中河滨湿地植被主要以耐水性强的芦苇为主, 密度大, 伴生种少, 优势程度明显, 而洼地湿地生物多样性则明显变高, 芦苇、苔草、莎草等都有分布, 且空间种群密度差异较大。上述主要景观类型空间的分布特征形成了湿地生态水文格局的主线, 与其他景观类型一起构成其空间构架基础。

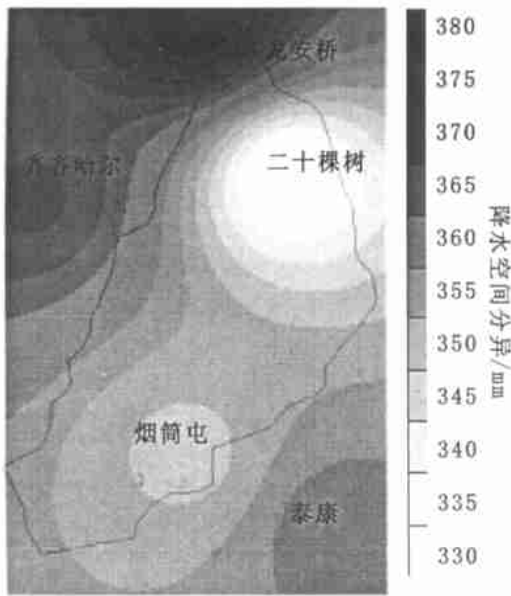


图 3 扎龙地区降水空间分异

除优势景观类型外, 河流、湖泊、草地和耕地的分布特征同样反映出生态水文格局空间属性, 更重要的是, 整体景观水平上它们与优势景观的空间组合变化, 间接的反映出水文因子和生态因子耦合作用的空间差异。从图 3 可以看出, 处于北部龙安桥以下缓冲区, 年平均总降雨量最大, 达 384 mm, 同时此段处于湿地上游, 径流补给充沛, 夏季平均径流量最大可达 $8.0 \text{ m}^3/\text{s}$, 在这样的径流和降水补给的情况下, 生态过程受河流水文因子的控制最为强烈, 植被高度单一, 湿地的河流特明显, 表现出湿地边界植被过渡带狭窄, 对水环境反馈作用较弱的特征; 而对于东升水库以下占湿地总面积 80% 以上的地区, 平均年总降雨量自东北向西南逐渐增加, 东北部二十棵树达 334.5 mm, 西南部的烟筒屯降雨为 353 mm, 对比图 2, 东北部年总降雨量少, 而径流补给较强, 河滨湿地、洼地湿地、草地及为利用土地景观缀块面积大, 连接度高, 形成典型的草地- 沼泽化草甸- 轻沼泽湿地- 重沼泽湿地景观过渡带; 随着地理位置向西南转移, 降水逐渐增加, 径流补给逐渐减少, 夏秋季节烟筒屯二道桥处向下游湿地泄流量不足 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。此区湿地景观缀块面积小, 破碎化程度高, 植被过渡带不明显, 空间结构复杂, 生态水文特征多样化。另外, 耕地景观缀块在此区分布密度和范围有很大程度提高, 说明整体景观破碎化与人为干扰有一定的联系, 因此, 湿地西南部生态水文格局既有基于景观多样性的稳定性特征, 又有人为干扰条件下的不确定因素。

2.2 脆弱性特征

湿地生态水文格局是多尺度生态因子和水文因子相互作用的结果, 脆弱性是其内在固有的属性, 取决于两方面因素相互作用的平衡性、稳定性和连续性, 是生态水文系统开放性的必然表现。脆弱性存在不依赖于是否暴露于干扰之下, 但只有外在干扰条件下才显露出来^[11], 因此扎龙湿地生态水文格局脆弱性可分为: 一是自然脆弱性, 由自然的、系统内部演替引起的脆弱性; 二是外部干扰尤其是人类活动所引起的脆弱性。扎龙湿地处于流域下游, 水源补给的数量和质量稳定性差, 且受到周围大面积垦殖的干扰, 水文过程和生态过程在累积效应的影响下, 相互作用逐渐减弱, 脆弱性特

征在生态系统层次上已经有明显表现^[110]。

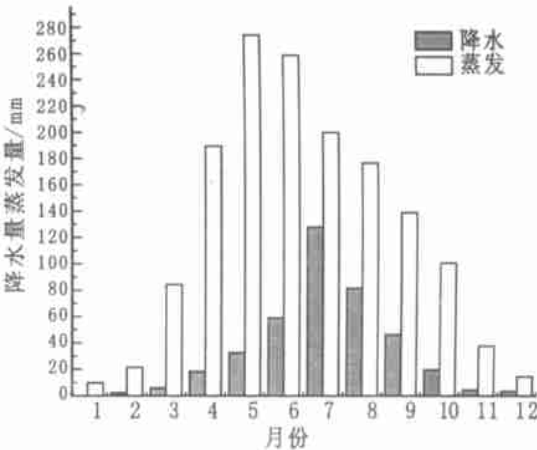


图 4 扎龙湿地多年月平均降水、蒸发量

作为流域下游河滨湿地, 保证径流、地下水 and 大气降水的补给水量和水质, 保证补给的年际均衡性和季节适宜性, 是维系扎龙湿地正常生态水文格局和功能的基础。扎龙湿地地处北方大陆性季风气候控制区, 气候和径流补给变化对生态水文格局稳定性的影响最为明显: 图 4 可以看出, 春季 5~6 月份湿地多年平均蒸发量达到最大 265.0 mm, 而平均降雨量只有 50 mm 左右, 差值在 200 mm 以上, 如此巨大的补水差额, 只有相当充沛的水资源补给, 才能满足生态用水的基本要求。因此, 春季地表径流流量对湿地土壤和植被群落的发育至关重要, 决定生态水文格局和功能稳定, 而实际地表径流受气候变化、流域用水管理的直接影响, 补给湿地的径流变率相当大^[9], 如图 5, 1998 年春季依安站径流量为 $52.48 \text{ m}^3/\text{s}$, 而 2001 年仅有 $1.72 \text{ m}^3/\text{s}$, 10 年流量变差系数为 0.86, 其随机性变化程度显而易见, 径流补给的不规则波动引起土壤水分和植被发育明显的空间差异, 生态水文格局的脆弱性显著增加。

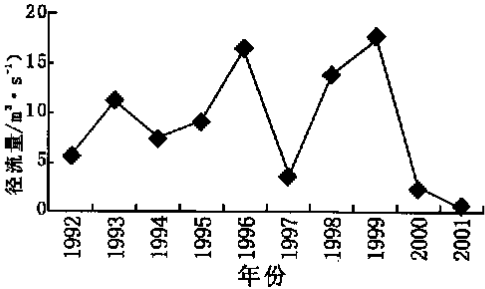


图 5 90 年代扎龙上游依安站春季平均径流量

同时, 随着整个流域人口快速增长和农牧业规模发展, 扎龙湿地几乎被紧紧包含在农田景观和交通、水利基础设施网络之中, 人为因素的干扰已成为湿地生态水文格局脆弱性特征和表现的重要因素。从图 2 可以看到, 人类对土地资源过度掠夺, 现已形成湿地景观沿保护区边界与周围农田紧密对峙的格局, 缓冲区内耕地和牧场蚕食湿地景观的现象越发严重, 统计数字表明, 1998 年缓冲区内总人口已达 25 280 人, 耕地面积达 $98 640 \text{ hm}^2$, 核心区人口达 3 762 人, 耕地 775 hm^2 , 导致湿地景观破碎化程度加大, 草场- 轻沼泽湿地- 重沼泽湿地的缓冲格局很大程度上被打乱, 同时, 水库、引水干渠的大范围修建, 强行割断了地表径流的补给, 湿地“岛屿”化, 水文

情势稳定性降低,生态水文格局脆弱性在周围高强度、长时间人为干扰作用下,近年来表现的越来越明显^[12]。

3 水环境功能分析

3.1 蓄水防洪

扎龙湿地属于典型的芦苇沼泽湿地,其剖面结构至上而下一般为草根层、腐殖质层(泥炭层)、潜育层和母质层(一般为黏土或亚黏土)。草根层、腐殖质层或泥炭层矿质颗粒很少,孔隙较大,具有较强的蓄水性和透水能力(表 2),是沼泽湿地水文调节过程最为活跃的界面区域。由于这种储水能力,洪水被储存在土壤内或以表面水的形式被保存于湿地中,可以调节河水径流量,削减洪峰,均化洪水。扎龙湿地平水期每公顷沼泽可储水 810 m^3 ,按扎龙湿地面积 $21 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、计算,平水期共可蓄水 1.7 亿 m^3 ;90 年代,东升水库下泄的水到滨州铁路,50 km 距离要走近 3 个月;1998 年特大洪水,扎龙湿地的蓄水滞洪总量达 20 多亿 m^3 ,有效消减了洪峰,对缓解大庆市的防洪压力起到了极大的作用。

表 2 苔草沼泽与耕地最大蓄水量对比

深度/cm	沼泽最大蓄 水量/mm	耕地最大蓄 水量/mm	二者之差/mm
0~ 5	46.8	30.8	16.0
5~ 10	45.0	32.1	12.9
10~ 20	71.6	47.0	24.6
20~ 40	97.0	83.9	13.1
40~ 60	99.3	94.9	4.4
60~ 80	102.7	100.3	2.4

3.2 净化水质

湿地的水质净化功能实质上就是把流经湿地的溪水、河流中的悬浮物、营养物、有毒物从湿地水中的移出作用、固定作用和沉积沉淀作用;湿地内水流速度的减慢导致泥沙的沉积;湿地中的许多厌氧性和需氧性的过程(包括硝化作用、脱氮作用、氨化作用和挥发作用)促进水中的一些化学物质的转化和转移发挥;湿地中的大量的分解者和分解过程通过把污染物质转化成无害物质,进一步增加了其改善水质的能力;扎龙湿地植物茂盛,优势物种芦苇根系发达,高生产力导致湿地植被有较高的矿物质吸收率^[13]。表 3 可以看出,丰水期扎龙湿地对无机物、有机物和金属都有较高的去除率,其中金属的去除率最高,重金属的去除率在 80% 以上。

表 3 夏季扎龙湿地多种污染物质去除效果 mg/L

项目	TN	$\text{NO}_3^- \text{ N}$	$\text{NH}_4^+ \text{ N}$	TP	COD_{Cr}	BOD_5	T	Mn	T Fe
乌裕尔河	0.838	0.300	0.930	0.388	4.9	2.500	1.071	1.85	
扎龙湿地	0.424	0.120	0.160	0.152	1.9	0.600	0.028	0.29	
净化率/%	49.4	60.0	82.8	60.8	61.2	76.0	97.4	84.3	

3.3 调节气候

扎龙河滨湿地独特的水文条件和植被分布状况,使研究区地面水热条件明显区别于周围陆地系统。扎龙湿地水面宽阔,夏季水面宽度接近 30 km,植被密度高,初级生产力大,较大的水体比热和水、植被的蒸散发潜力,据测定,中等盖度湿芦苇地植被蒸散发量为 390 mm,水面蒸发量为 810 mm,可有效的调节近地面的水热平衡,形成冷湿效应明显的局地小气候,对周围地区的气候的剧烈变化有一定的缓冲作用。

3.4 水生栖息地环境保育

扎龙湿地独特的生态水文格局为各种湿地水栖生物建造了良好的栖息繁殖场所,包括水位、水温、流速、植被类型、植被密度及光照在内的生态水文因子在空间上的梯度分布,为水栖生物提供了连续、多样的生境,各种生态水文因子的物理、化学和生物过程维持并控制着水生栖息地物流、能流和信息流,是维系栖息地生态过程的最基本保障。连续或间歇的滨水土壤环境为各样底栖生物营造出广阔的生存空间;草甸-轻沼泽湿地-重沼泽湿地水生态环境分布格局满足了多种珍稀水禽对筑巢、觅食、繁殖的水环境多样性和空间范围需要,使扎龙湿地保护区成为国际重要的珍稀水禽类迁徙、繁殖基地。

4 结 论

(1)特殊地理条件下生态和水文因子的相互作用,使扎龙河滨湿地形成了具有外在时空分异特征和内在脆弱性特征的生态水文格局。时空分异特征主要表现为沼泽湿地景观与地表水文情势、植被结构在空间上的耦合和变化,而脆弱性则反映了维系生态水文格局的生态、水文因子在自然和人为干扰下相互作用的平衡性、稳定性、连续性特征。

(2)蓄水防洪、净化水质、调节气候及水生栖息地环境保育是扎龙河滨湿地生态水文格局主要水环境功能,是水资源在生态空间演化的结果,其从不同侧面反映了生态水文格局对水文、生态因子的反馈作用,多种水生态环境功能从较宏观尺度上体现了水资源的生态意义。

参考文献

- [1] 严登华,何岩,邓伟.流域生态水文格局与水环境安全调控[J].资源科学,2001,(9):55-57.
- [2] 吴长申.扎龙国家级自然保护区自然资源研究与管理[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1999:1-20.
- [3] 赵文智,程国栋.生态水文学-揭示生态格局和生态过程水文学机制的科学[J].冰川冻土,2001,23(4):450-457.
- [4] 王根绪,钱鞠,程国栋.生态水文学研究的现状与展望[J].地球科学进展,2001,16(3):314-321.
- [5] 严登华,何岩,邓伟.生态水文学研究进展[J].地理科学,2001,21(5):467-473.
- [6] 武强,董东林.试论生态水文学主要问题及研究方法[J].水文地质工程地质,2001,(2):69-72.
- [7] 肖笃宁,李晓文,王连平.辽东湾海滨湿地资源景观演边与可持续利用[J].资源科学,2001,23(2):31-36.
- [8] 王宪礼,布仁仓,胡远满,等.辽河三角洲湿地的景观破碎化分析[J].应用生态学报,1996,7(3):299-304.
- [9] 李波,苏岐芳,周晏敏,等.扎龙湿地的生态环境评价及防治对策[J].中国环境监测,2002,18(3):33-37.
- [10] 刘振乾,刘红玉,吕宪国.三江平原湿地生态脆弱性研究[J].应用生态学报,2001,12(2):241-244.
- [11] 孙武,侯玉,张勃.生态脆弱带波动性、人口压力、脆弱度之间的关系[J].生态学报,2000,20(3):369-373.
- [12] 孙道玮,俞穆清.扎龙自然保护区生态环境问题及对策[J].东北师大学报,2000,(资源与环境专集):103-107.
- [13] 余国营.湿地研究的若干基本科学问题出探[J].地理科学进展,2001,20(2):177-183.