

# 基于生态环境需水量的莫莫格国家级自然保护区 湿地生态服务功能评价

倪鹤珊<sup>1</sup>, 李鸿雁<sup>1\*</sup>, 佟守正<sup>2</sup>, 崔庚<sup>2</sup>, 张洺也<sup>2</sup>

(1. 吉林大学新能源与环境学院, 吉林大学地下水资源与环境教育部重点实验室, 吉林省水资源与水环境重点实验室, 吉林 长春 130021; 2. 中国科学院湿地生态与环境重点实验室, 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102)

**摘要:**湿地生态服务功能是湿地生态系统安全的重要表现形式, 对服务功能进行评价能直观地反映湿地破坏情况或修复效果、量化分析其变化的影响因素。生态环境需水量是区域水资源供需状况和空间格局变化的表征, 对湿地生态服务功能起到支撑作用。利用生态环境需水量, 对湿地生态服务功能进行评价, 能够阐明区域生态环境特征变化的原因, 进而明确生态服务功能的变化。以莫莫格国家级自然保护区为研究区, 利用土地利用、植被和水文数据, 根据各项生态服务功能的组成及权重, 对气候调节、资源供给和保障生态系统完整性3个重要的湿地生态服务功能指标进行定量计算。研究结果表明, 1988年至1999年期间, 莫莫格国家级自然保护区生态服务功能运行情况较好, 2000年至2010年期间, 生态系统服务功能整体随湿地的退化而逐渐减弱, 2011年之后生态服务功能有所回升, 说明保护工作开展有效, 减缓了湿地退化速度, 湿地生态服务功能逐步得到恢复。研究结果可以从生态环境需水量的角度服务于研究区的生态系统服务功能评价, 结合降水量、气温等气候条件可以实现对湿地生态服务功能变化趋势的预测。

**关键词:**生态服务功能; 综合赋权法; 生态环境需水量; 分级评价; 莫莫格国家级自然保护区

**中图分类号:** X821 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-5948(2024)03-437-08

生态服务功能指生态系统与生态过程中所形成的, 维持人类赖以生存的自然环境条件和效用<sup>[1]</sup>。2000年, 世界环境日启动的“千年生态系统评估”将生态服务功能划分为供给功能、调节功能、支持功能和文化功能四大类<sup>[2]</sup>。21世纪以来, 生态系统服务功能的研究进入了快速发展阶段<sup>[3]</sup>, 研究方向由简单的价值量评估<sup>[4-5]</sup>逐渐转向生态系统服务功能实现机制、功能维持和评价方法等综合研究, 研究尺度逐步由大尺度<sup>[6]</sup>向中小尺度<sup>[7-8]</sup>转变, 探索对于生态系统服务功能区的划分方式<sup>[9]</sup>, 促进生态系统政策的制定和管理。

湿地是处于水陆过渡地带的生态系统类型<sup>[10]</sup>, 其独特的水文特性及生物地球化学循环过程使得利用现有模型评价湿地生态系统服务功能的适用性不高<sup>[11]</sup>。近年来, 中国已有学者开展了湿地生

物多样性评价<sup>[12]</sup>、湿地生态质量评价<sup>[13]</sup>、区域生态风险评价<sup>[14]</sup>等评价研究, 但是, 生态指标通常以生物指标为主, 大多随湿地水文状况的季节性变化而改变。考虑到监测数据的稳定性、规避模型的局限性, 从水文条件变化对湿地生态服务功能影响的角度切入将更为简洁和直观。因此, 本研究引入湿地生态环境需水量指标, 对湿地生态服务功能进行评价。

湿地生态环境需水量是指湿地为了维持自身存在和发展以及发挥湿地应有的环境效益所需要的水量, 包括湿地给生态环境所应提供的功能、用途和属性需要的水量<sup>[15]</sup>。随着对其计算方法的深入研究, 如水量平衡法、最小水位法等<sup>[16-17]</sup>计算方法日趋成熟, 此后生态需水的相关概念和原理又被融入到流域管理和水资源规划等领域<sup>[18-19]</sup>。近

收稿日期: 2023-07-31; 修订日期: 2023-09-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFF1300903-1)和吉林省重大科技专项项目(20230303005SF)资助。

作者简介: 倪鹤珊(1999—), 女, 辽宁省盘锦人, 硕士研究生, 从事生态水文学研究。E-mail: nihs21@mails.jlu.edu.cn

\*通讯作者: 李鸿雁, 教授。E-mail: lihongyan@jlu.edu.cn

年来,中国学者根据维持生态环境质量<sup>[20]</sup>、改善水量水质<sup>[21]</sup>等不同的目标,对区域生态环境需水量进行估算,提出指引区域水资源优化配置和可持续发展是生态环境需水量未来的研究方向<sup>[22]</sup>。水文过程、植物群落<sup>[23]</sup>与地质地貌条件相互影响<sup>[24-25]</sup>,生态环境需水量利用水文条件、植被条件和土地利用情况计算<sup>[26]</sup>,与湿地生态服务功能的有效发挥密切相关<sup>[27]</sup>。通过确定不同生态环境需水量指标对各项生态服务功能正常运行的贡献,掌握湿地发挥生态服务功能需要的水量,可以有效开展生态用水的科学配置,进而保障湿地生态服务功能的持续发挥。

本研究通过计算莫莫格国家级自然保护区生态环境需水量,采用AHP-熵权综合赋权法,构建基于湿地生态环境需水量的生态服务功能评价方法,对其湿地生态服务功能进行定量分析。有助于水资源的精准调控以及对湿地资源科学合理的管理和保护,该评价体系可以为当地湿地保护政策的制定和湿地修复决策提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区

莫莫格国家级自然保护区(45°42′25″N至46°18′0″N,123°27′0″E至124°4′33″E)位于吉林省镇赉县境内,东与黑龙江省杜尔伯特县、泰来县隔嫩江相望;南以洮儿河为界与吉林省大安市相邻;西北部与镇赉县的丹岱乡、五棵树镇、哈吐气蒙古族乡、东屏镇、岔台乡的部分地域接壤,主要水源为

嫩江、洮儿河和二龙涛河。保护区总面积为14.4×10<sup>4</sup>hm<sup>2</sup>,动植物资源丰富,孕育和储藏丰富的生物资源,具有较高的生产力,重点保护对象是以白鹤(*Grus leucogeranus*)、东方白鹳(*Ciconia boyciana*)为代表的珍稀水鸟及其赖以栖息的湿地生态系统。该区年平均气温为4.6℃,年平均风速为3.7m/s,最大风速为40.0m/s,最大风速发生在3月和4月;年平均日照时数为2924.5h,太阳辐射年均总量为124.71kC/m<sup>2</sup>;年无霜日数约为160d<sup>[28]</sup>;年降水量为400mm,在年内分配极不均匀,主要集中在6月至9月,年蒸发量约为1000mm<sup>[29]</sup>。

为了明确莫莫格国家级自然保护区格局分布特征,以2020年度全国国土变更调查数据为基础,作出莫莫格国家级自然保护区土地利用图(图1)。保护区分布有沼泽、盐碱地和耕地等,可以看出,在东部嫩江沿岸,沼泽湿地分布最为集中。

根据1980年至2020年实测年降水量系列计算可知(图2),丰水年份降水量为497.2mm,平水年份降水量为399.47mm,枯水年份降水量为321.38mm,特枯水年份降水量为209.4mm。由多年差积曲线看出,1988年至1994年,保护区降水量相对较大且波动增长,1995年至2011年,降水量偏小,差积曲线负增长,2011年后降水量又小幅增长。

### 1.2 数据和方法

本研究的土地利用数据来源于TM美国资源卫星1988年至2020年的卫星遥感照片解译结果。降水量数据来自白沙滩站、五棵树站、岔台站

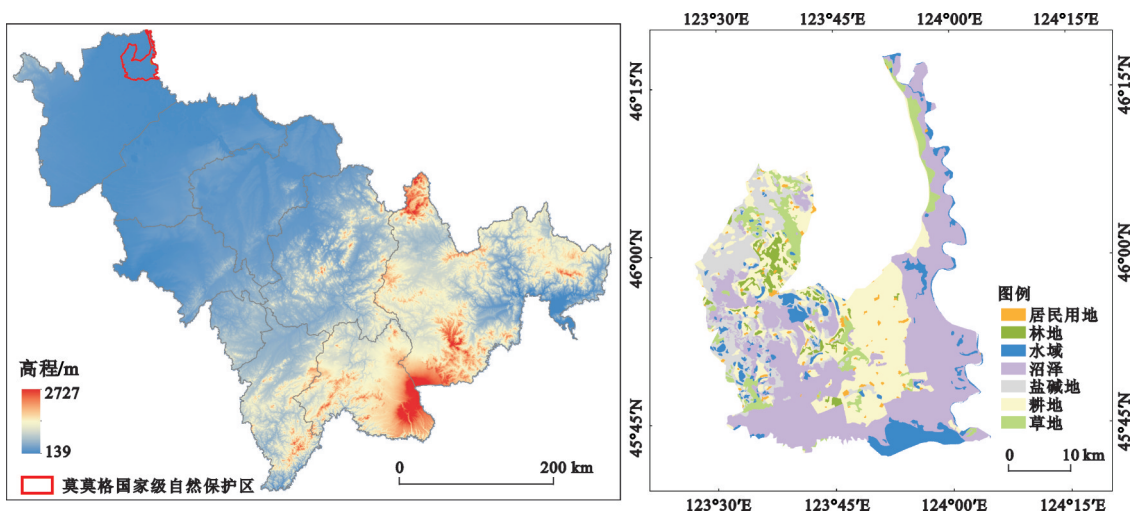


图1 研究区位置和2020年莫莫格国家级自然保护区土地利用图

Fig.1 Sketch map of location of the study area and land use map of Momoge National Natural Reserve in 2020

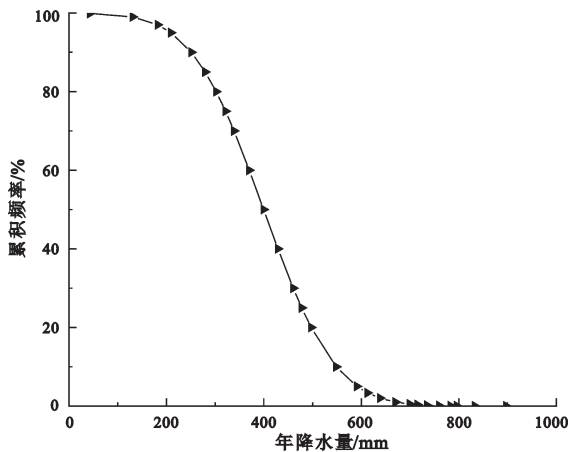


图2 莫莫格国家级自然保护区降水量-降水频率拟合曲线  
Fig.2 Precipitation-Cumulative frequency fitting curve of Momoge National Natural Reserve

和月亮泡站的观测资料;蒸发量数据来自镇赉县气象站、月亮泡水库雨量站和白城市水利局的观测资料;芦苇(*Phragmites australis*)蒸散发量数据来自2008年莫莫格国家级自然保护区水资源管理计划报告。

湿地水资源的存储量和消耗量支撑着不同的生态系统服务功能。部分湿地水体通过植物蒸腾和水面蒸发作用散到大气中,起到降温增湿的气候调节作用。植物蒸腾是芦苇等水生植物生长所必须消耗的水量,大面积的苇田、滩涂和水域为野生动物尤其是一些珍稀或濒危的野生动物提供了良好的栖息地,因此植物蒸腾和栖息地需水都对生物资源供给功能起到支撑作用。由于在湿地生态系统的正常运行过程中,植物蒸散、水面蒸发和渗漏对于湿地水体的消耗是必然的,因此可以认为三者对于维持生态系统完整性功能具有支撑作用<sup>[8]</sup>。本研究先对莫莫格国家级自然保护区各项生态环境需水量进行计算,然后赋予组成各项生

态服务功能的生态环境需水量的贡献系数,计算生态服务功能需水量,并建立分级标准,最终对莫莫格湿地生态服务功能进行评价。

### 1.2.1 生态环境需水量计算

将生态环境需水量划分为水面蒸发需水量、植物需水量、栖息地需水量和渗漏需水量。由于目的是计算莫莫格国家级自然保护区各生态服务功能对应的需水量,而非进行最小生态环境需水量分析,因此,以上划分方式导致重复计算的部分,本部分不予考虑,将在生态服务功能评价中加以分析。计算方法详见表1。

### 1.2.2 生态服务功能评价指标体系建立

生态环境需水量与生态服务功能的关系有一对一和多对一两种类型。本研究选取气候调节、资源供给和维持生态系统完整性共3种主要的生态服务功能,每项生态服务功能由2~3种生态环境需水量支撑。采用AHP-熵权综合赋权法,确定各项需水量对生态服务功能的贡献系数权重,从而获取生态服务功能的需水量。

由于采用层次分析法建立的层次结构模型指标较多,对其产生影响的湿地生态环境需水指标要素较多且关系复杂,经过综合考虑莫莫格研究区的特点以及支撑生态服务功能实现的需水量类型,选取了生物资源供给、气候调节、生态系统完整性3个由多种生态环境需水量支撑的生态服务功能指标进行研究。分析各种生态环境需水类型对其影响所占的权重,并进行一致性检验,得到层次分析权重 $W_c$ (表2);再采用熵权法,计算得到熵权 $W_{si}$ ;最后依据最小鉴别信息原理<sup>[30]</sup>,确定AHP-熵权综合权重 $W$ (表3)。

按照湿地生态服务功能的组成结构,将其需水量划分为5个级别:最大、最优、优等、中等和最小需水量。最大需水量是生态系统服务功能正常

表1 生态环境需水量计算方法

Table 1 Calculation method of water requirement for ecological environment

类别	计算方法	含义
水面蒸发需水量	$W_w = \sum A(E-P) \times 10^{-3}$	$A(m^2)$ 为实测湖泊水库面积; $E(mm)$ 为相应水面蒸发量; $P(mm)$ 为相应水面降水量
植物需水量	$W_p = E_p \times A \times 10^{-3}$	$E_p(mm)$ 为蒸散发量; $A(m^2)$ 为沼泽湿地面积
栖息地需水量	$W_h = cA_h \times H_h$	$A_h(m^2)$ 为湿地面积; $H_h(m)$ 为湿地地表水平平均水深; $c$ 为湿地水面面积百分比,根据不同分区和湿地特征确定
渗漏需水量	$W_{河渗} = K_1 \times A$ $W_{库渗} = K_2 \times W_{蓄}$	$K_1$ 和 $K_2$ 为渗透系数; $A(m^2)$ 为河段水面面积; $W_{蓄}(m^3)$ 为水库平均蓄水量

表2 各生态需水类型的层次分析权重

Table 2 Weight proportion of various ecological water requirements in hierarchical analysis

指标	层次分析权重 $W_{ij}$				一致性检验
	水面蒸发量	植物蒸散量	渗漏需水量	栖息地需水量	
气候调节	0.70	0.30			
资源供给		0.22		0.78	
生态系统完整性	0.43	0.37	0.20		$CR=0.005 < 0.1$

注:表中没有数据的表示该项指标对生态需水类型无支撑作用,不予考虑。

运行能够承受的最大水量,超过这一水量,系统便会产生突变;最优需水量是生态系统服务功能正常发挥所需的最佳水量,此时系统处于最理想状态;最小需水量是维持生态系统服务功能运行所需的最小水量,低于这一水量,系统便会很快萎缩、退化甚至消失。中间各等级根据当地管理方式和环境条件向两极变化。

表3 莫莫格国家级自然保护区AHP-熵权综合权重

Table 3 The comprehensive weight of AHP-entropy weight in Momoge National Natural Reserve

指标	AHP-熵权综合权重 $W_i$			
	水面蒸发量	植物蒸散量	渗漏需水量	栖息地需水量
气候调节	0.72	0.28		
资源供给		0.18		0.82
生态系统完整性	0.47	0.25	0.28	

注:表中没有数据的表示该指标对生态需水类型无支撑作用,不参与权重计算。

本研究中生态环境需水量级别的划分依据降水量和文献[31]对生态环境需水量的分级确定(表4)。

在各级别阈值中生成随机数组计算熵权,结合AHP权重,确定评价等级综合权重,确定各级别下各项生态服务功能需水量阈值计算生态服务功能需水量的分级标准(表5)。

## 2 结果与分析

### 2.1 生态环境需水量

由表6可以看出,1988年至1999年期间,莫莫格国家级自然保护区渗漏需水量的变化幅度最小,植物需水量变化幅度最大。其中,2000年以前,除植物需水量外,各项需水量逐渐上升;2001年至2010年间,植物需水量上升,栖息地需水量和水面蒸发需水量下降;2011年至2020年期间,植物需水量、栖息地需水量和水面蒸发需水量上升。总体而言,1988年至2020年期间,植物需水

表4 生态环境需水量级别划分

Table 4 Classification of water requirements for ecological environment

级别	水面蒸发需水量	植物需水量	渗漏需水量	栖息地需水量
最小	$[(E-P_{5\%}) \sim (E-P_{20\%})] \times 10A$	$(0.8 \sim 1) \times 10^4 A$	$0.9(0.1 \sim 0.15) \times 10^4 A$	$(0.1 \sim 0.15)(0.3 \sim 0.5) \times 10^4 A$
中等	$[(E-P_{20\%}) \sim (E-P_{50\%})] \times 10A$	$(1 \sim 1.2) \times 10^4 A$	$0.9(0.15 \sim 0.25) \times 10^4 A$	$(0.15 \sim 0.25)(0.5 \sim 0.7) \times 10^4 A$
优等	$[(E-P_{50\%}) \sim (E-P_{75\%})] \times 10A$	$(1.2 \sim 1.4) \times 10^4 A$	$0.9(0.25 \sim 0.45) \times 10^4 A$	$(0.25 \sim 0.45)(0.7 \sim 1.0) \times 10^4 A$
最优	$[(E-P_{75\%}) \sim (E-P_{95\%})] \times 10A$	$(1.4 \sim 1.6) \times 10^4 A$	$0.9(0.45 \sim 0.65) \times 10^4 A$	$(0.45 \sim 0.65)(1.0 \sim 1.5) \times 10^4 A$
最大	$[(E-P_{95\%}) \sim (E-P_{99\%})] \times 10A$	$(1.6 \sim 1.9) \times 10^4 A$	$0.9(0.9 \sim 1.0) \times 10^4 A$	$(0.9 \sim 1.0)(2.0) \times 10^4 A$

注:表中的 $E(\text{mm})$ 为水面蒸发量; $P_{n\%}(\text{mm})$ 为降水频率为 $n\%$ 下的水面降水量; $A(\text{hm}^2)$ 为各部分需水量计算对应的面积。

表5 莫莫格国家级自然保护区生态服务功能需水量分级标准

Table 5 Classification standard of water requirement for ecological services in Momoge National Natural Reserve

指标	最小需水量( $10^8 \text{ m}^3$ )	中等需水量( $10^8 \text{ m}^3$ )	优等需水量( $10^8 \text{ m}^3$ )	最优需水量( $10^8 \text{ m}^3$ )	最大需水量( $10^8 \text{ m}^3$ )
气候调节	1.71~1.97	>1.97~2.32	>2.32~2.92	>2.92~3.44	>3.44~4.01
资源供给	2.64~2.92	>2.92~3.07	>3.07~3.53	>3.53~4.23	>4.23~4.96
生态系统完整性	1.83~2.12	>2.12~2.54	>2.54~3.29	>3.29~3.97	>3.97~4.87

量先下降再上升,栖息地需水量、水面蒸发需水量波动变化。

表6 1988年至2020年间18个年份莫莫格国家级自然保护区的生态环境需水量

年份	水面蒸发需水量( $10^4\text{m}^3$ )	植物需水量( $10^4\text{m}^3$ )	渗漏需水量( $10^4\text{m}^3$ )	栖息地需水量( $10^4\text{m}^3$ )
1988年	8 736	53 531	16 068	21 852
1990年	7 606	61 026	16 170	24 650
1992年	16 982	72 461	17 058	37 056
1994年	12 602	57 394	16 874	28 233
1996年	15 306	40 697	17 098	31 666
1999年	29 385	54 066	18 470	61 643
2001年	15 054	54 569	14 865	21 442
2003年	13 888	33 937	14 893	25 292
2005年	10 513	38 069	14 513	22 390
2007年	12 272	52 798	15 185	24 091
2009年	9 143	51 003	15 128	21 789
2011年	8 959	50 937	15 037	22 306
2013年	6 855	52 993	15 117	23 165
2015年	8 074	54 951	15 172	23 179
2016年	7 632	52 857	15 037	23 350
2017年	12 107	42 348	14 716	21 428
2019年	8 048	50 577	14 810	20 520
2020年	8 297	69 212	15 283	25 356

根据生态环境需水量,结合综合权重,计算出莫莫格国家级自然保护区的生态服务功能需水量(表7)。可以看出,1988年至1999年及2011年至2020年,各项生态服务功能需水量都上升;2001年至2010年,除资源供给服务外,其他各项生态服务功能需水量下降。总体而言,1988年至2020年期间,各项生态服务功能需水量先上升后下降,然后又缓慢上升。

## 2.2 生态服务功能评价

### 2.2.1 生态服务功能需水量与环境因子的关系

降水量和蒸发量是影响莫莫格国家级自然保护区水资源变化的重要影响因素,对沼泽和水域面积变化影响显著。由图3可以看出,降水作用于保护区内沼泽和水域面积时存在滞后效应,水域面积对降水的响应更快速更明显。

通过分析沼泽、水域面积与生态服务功能需水量的相关关系发现,气候调节功能需水量与沼泽面积显著相关( $p<0.5$ ),与水域面积显著相关( $p<0.000 1$ )(图4);资源供给功能需水量与水域面

积显著相关( $p<0.000 1$ );生态系统完整性功能需水量分别与沼泽面积( $p<0.001$ )、水域面积( $p<0.000 5$ )显著相关。同时,各项生态服务功能需水量之间都显著相关( $p<0.000 1$ )。

表7 1988年至2020年间18个年份莫莫格国家级自然保护区的生态服务功能需水量

年份	气候调节( $10^8\text{m}^3$ )	资源供给( $10^8\text{m}^3$ )	生态系统完整性( $10^8\text{m}^3$ )
1988年	2.12	2.77	2.21
1990年	2.24	3.14	2.35
1992年	3.24	4.36	3.11
1994年	2.50	3.36	2.51
1996年	2.23	3.33	2.22
1999年	3.62	6.02	3.26
2001年	2.60	2.76	2.50
2003年	1.94	2.69	1.92
2005年	1.82	2.53	1.86
2007年	2.35	2.94	2.34
2009年	2.08	2.72	2.14
2011年	2.06	2.76	2.13
2013年	1.97	2.87	2.09
2015年	2.11	2.91	2.19
2016年	2.02	2.88	2.12
2017年	2.05	2.53	2.05
2019年	1.98	2.61	2.07
2020年	2.52	3.35	2.57

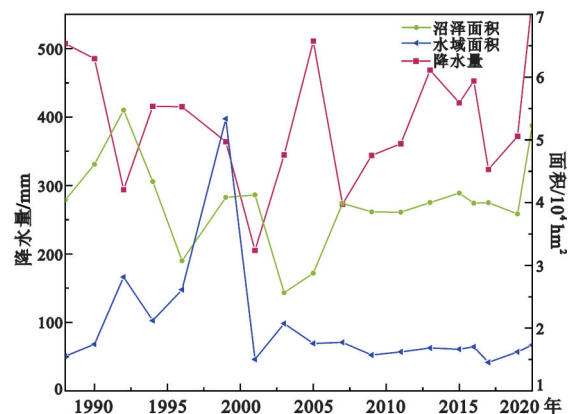
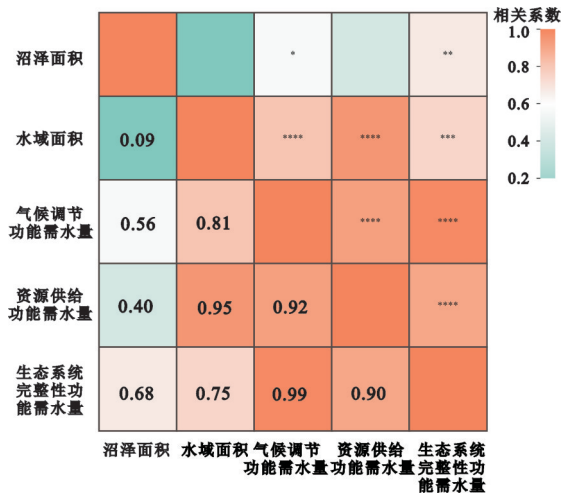


图3 降水量与水域、沼泽面积的关系图

Fig.3 The relationship between precipitation, water area and marsh area

### 2.2.2 湿地生态服务功能评价

图5为莫莫格国家级自然保护区生态服务功



注：\*、\*\*、\*\*\*、\*\*\*\*分别表示数据之际在  $p < 0.5$ 、 $p < 0.001$ 、 $p < 0.0005$ 、 $p < 0.0001$  水平上显著相关。

图4 沼泽面积、水域面积与生态服务功能的相关关系图

Fig.4 Correlation map of marsh and water area with ecological service function

能需水量分级图。图中折线为各生态服务功能需水量分级线，上轴数字为生态服务功能需水量级别，由于每个级别对应需水量数值为区间范围，因此，0~1之间表示最小需水量级别，1~2之间表示中等需水量级别，以此类推。

由图5可以看出，1988年至1999年期间，莫莫格国家级自然保护区生态系统完整性需水量经历中等-最优，资源供给需水量经历中等-最优，气候

调节需水量经历中等-最优。其中，1994年处于生态系统发挥生态服务功能最优年，其气候调节和资源供给需水量处于优等，生态系统完整性需水量处于中等，无最大或最小需水量水平，各项指标均衡、整体水平较高；另外，由于1998年特大洪水的影响，大量积水留存于湿地中，导致1999年部分服务功能需水量达到最大值，生态系统完整性好，之后开始恶化<sup>[32]</sup>。

2000年至2010年期间，生态系统完整性需水量经历优等-最小，气候调节需水量经历优等-最小-中等，资源供给需水量处于最小状态。其中，2007年处于生态功能发挥服务功能最优年，其气候调节和生态系统完整性需水量都处于优等，资源供给需水量处于中等水平，其他年份都有部分或全部需水量处于最小状态。

2011年至2020年期间，气候调节、资源供给和生态系统完整性需水量都稳定处于中等接近优等水平，服务功能发挥程度缓慢提升，2020年各项需水量都处于优等水平，达到各项生态服务功能发挥的最优状态。

根据计算结果可以看出，2000年之前，莫莫格国家级自然保护区生态服务功能发挥较好，2000年之后，生态系统服务功能明显减弱，至2007年稍有恢复，2010年以后生态系统服务功能平稳恢复，这与1988年至2007年保护区湿地的生物多样性指数减小，破碎度指数增大，生物多样性减少的研

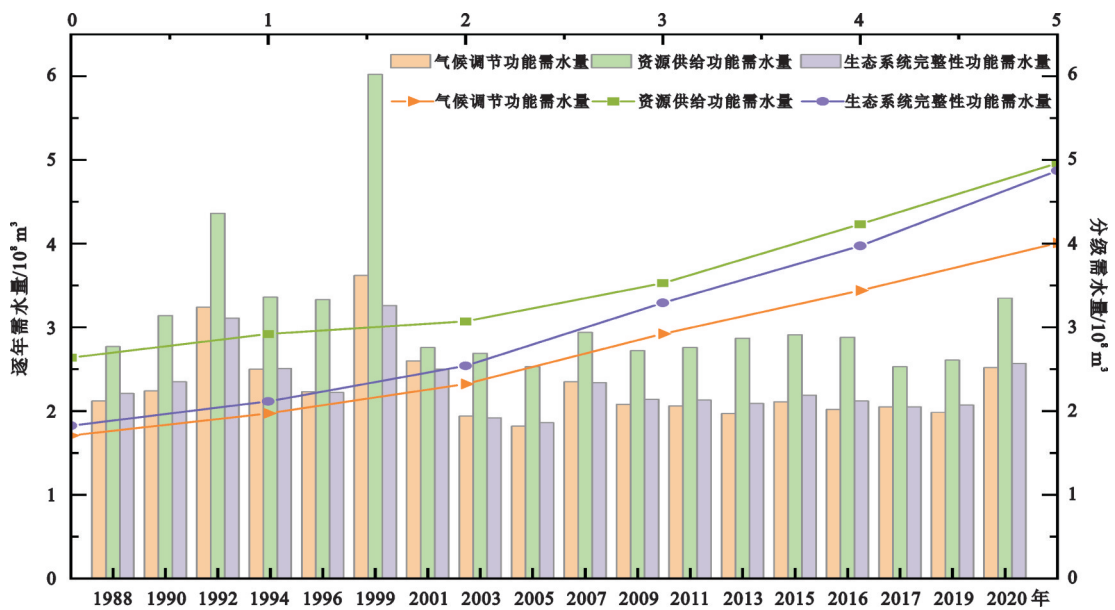


图5 莫莫格国家级自然保护区生态服务功能需水量分级图

Fig.5 Water demand classification map for ecological service functions in Momoge National Natural Reserve

究结论相对应<sup>[33-34]</sup>。分析其变化原因,1998年以后的连续干旱和上游断水使流经莫莫格湿地的河流出现干涸甚至断流现象,湿地面积逐渐萎缩<sup>[35]</sup>,加上2002年后,吉林省英台油田实施大规模开发扩建,破坏了保护区的原有植被<sup>[36]</sup>,保护区湿地生态服务功能逐步退化。2006年,石油进入定产期,吉林莫莫格国家级自然保护区管理局对石油开采区实施生态恢复工程,随着退耕还湿和湿地修复技术的完善,近10 a来,莫莫格国家级自然保护区核心区的整体生境质量状况得到改善<sup>[37]</sup>。2007年之后,研究区的降水量总体波动上升,2011年“引嫩入白”工程发挥效益,大大缓解了湿地干涸的现象,退化的湿地得以逐步恢复,湿地生态服务功能得到小幅提升。对莫莫格国家级自然保护区栖息地、蓄洪量和固碳量的定量分析也表明,2002年至2008年期间生态系统服务功能整体随湿地的退化而逐渐减弱,2008年至2013年有所回升<sup>[38]</sup>,说明近年来保护工作开展得当,湿地退化速度减缓、生态系统服务功能逐渐恢复,验证了本研究的结果。

### 3 结论

1988年至1999年期间,莫莫格国家级自然保护区生态服务功能有所波动但总体运行较好;2000年至2010年期间,生态服务功能运行较差,原因是连续高温干旱导致的湿地干涸萎缩及人类活动的影响;2010年之后,由于降水量的回升以及“引嫩入白”工程的投入使用,更充分的水源补给使生态系统服务功能得到缓慢提升。

当有区域的未来降水量和蒸发量预测数据时,可以依据地表覆盖情况变化,预测区域的生态服务功能走向,据此决定是否通过补水扩张湿地面积,或者适当改变区域土地分配情况,达到提升湿地生态服务功能的目的。

### 参考文献

- [1] 欧阳志云, 郑华, 高吉喜, 等. 区域生态环境质量评价与生态功能区划[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [2] ASSESSMENT M E. Ecosystems and human well-being: Wetlands and water synthesis[M]. Washington: World Resources Institute, 2005.
- [3] 肖涛, 石强胜, 闻熠, 等. 湿地生态系统服务研究进展[J]. 生态学报, 2022, 41(6): 1205-1212.
- [4] 辛琨. 生态系统服务功能价值估算: 以辽宁省盘锦地区为例

- [D]. 沈阳: 中国科学院应用生态研究所, 2001.
- [5] 齐丽, 边振兴, 刘思琪, 等. 一种半干旱区生态系统服务功能评价方法: 114331015A [P]. 2022-04-12.
- [6] 宋庆丰, 牛香, 殷彤, 等. 黑龙江省湿地生态系统服务功能评估[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(6): 149-152.
- [7] 李永涛, 杜振宇, 王霞, 等. 黄河三角洲自然保护区湿地生态服务功能价值评估[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(5): 761-768.
- [8] 张美琪. 吉林省西部湿地生态系统服务功能价值评估[D]. 长春: 吉林农业大学, 2021.
- [9] 赵筱青, 石小倩, 李驭豪, 等. 滇东南喀斯特山区生态系统服务时空格局及功能分区[J]. 地理学报, 2022, 77(3): 736-756.
- [10] 崔保山, 刘兴土. 湿地恢复研究综述[J]. 地球科学进展, 1999, 14(4): 358-364.
- [11] 徐昔保, 杨桂山, 江波. 湖泊湿地生态系统服务研究进展[J]. 生态学报, 2018, 38(20): 7149-7158.
- [12] 严承高, 张明祥, 王建春. 湿地生物多样性价值评价指标及方法研究[J]. 林业资源管理, 2000(1): 41-46.
- [13] 许健民. 黄河三角洲(东营市)湿地评价与可持续利用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2001.
- [14] 许学工, 林辉平, 付在毅, 等. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(1): 111-120.
- [15] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲, 等. 生态环境需水量理论、方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [16] 侯婷娟, 高耶. 资水河道内生态需水量研究[J]. 水文, 2019, 39(5): 40-44, 60.
- [17] 马东方. 三门峡库区湿地生态环境需水量估算及水资源利用效用评价[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2020.
- [18] 布恩. 河流保护与管理[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1997.
- [19] SOHMA A, SEKIGUCHI Y, YAMADA H, *et al.* A new coastal marine ecosystem model study coupled with hydrodynamic and tidal flat ecosystem effect[J]. Marine pollution bulletin, 2001, 43(7): 187-208.
- [20] 贾宝全, 慈龙骏. 新疆生态用水量的初步估算[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 243-250.
- [21] 王效科, 赵同谦, 欧阳志云, 等. 乌梁素海保护的生态需水量评估[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2124-2129.
- [22] 汤洁, 余孝云, 林年丰, 等. 生态环境需水的理论和方法研究进展[J]. 地理科学, 2005, 25(3): 3367-3373.
- [23] 李中恺, 李小雁, 周沙, 等. 土壤-植被-水文耦合过程与机制研究进展[J]. 中国科学: 地球科学, 2022, 52(11): 2105-2138.
- [24] HOLLIS G E, THOMPSON J R. Hydrological data for wetland management[J]. Journal of the chartered institution of water and environmental management, 1998, 12(1): 9-17.
- [25] 邓伟, 潘响亮, 栾兆擎. 湿地水文学研究进展[J]. 水科学进展, 2003, 14(4): 521-527.
- [26] 赵洪喜, 黄荣. 小流域河湖生态环境需水量计算方法初探[J]. 水利发展研究, 2020, 20(1): 67-71.
- [27] 郭跃东, 何岩, 邓伟, 等. 扎龙国家自然湿地生态环境需水量研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 163-166, 174.
- [28] 张洺也. 莫莫格白鹤湖湖滨湿地扁秆藨草群落分布格局及水文驱动机制研究[D]. 延边: 延边大学, 2021.

- [29]崔桢, 沈红, 章光新. 3个时期莫莫格国家级自然保护区景观格局和湿地水文连通性变化及其驱动因素分析[J]. 湿地科学, 2016, **14**(6): 866-873.
- [30]赵书强, 汤善发. 基于改进层次分析法、CRITIC法与逼近理想解排序法的输电网规划方案综合评价[J]. 电力自动化设备, 2019, **39**(3): 143-148.
- [31]崔保山, 杨志峰. 湿地生态环境需水量等级划分与实例分析[J]. 资源科学, 2003, **25**(1): 21-28.
- [32]关晓睿. 莫莫格湿地生态完整性变化与景观动态研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2007.
- [33]史文杰. 莫莫格湿地空间格局变化及生态需水调控研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2016.
- [34]郎宏磊. 莫莫格湿地水资源管理与保护[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [35]胥名楼, 孙晓梅. 莫莫格湿地水资源现状及可持续开发利用研究[J]. 吉林水利, 2002(7): 7-8.
- [36]王小雨, 冯江, 王静. 莫莫格湿地油田开采区土壤石油烃污染及对土壤性质的影响[J]. 环境科学, 2009, **30**(8): 2394-2401.
- [37]邓万权. 莫莫格湿地越冬白鹤栖息地景观动态与生境评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [38]肖红叶. 莫莫格湿地生态服务动态评价及驱动力分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.

## Evaluation of Wetland Ecological Service Function in Momoge National Nature Reserve Based on Ecological Water Demand

NI Heshan<sup>1</sup>, LI Hongyan<sup>1</sup>, TONG Shouzheng<sup>2</sup>, CUI Geng<sup>2</sup>, ZHANG Mingye<sup>2</sup>

(1. College of New Energy and Environment, Key Laboratory of Groundwater Resources and Environment (Jilin University), Ministry of Education, Jilin Provincial Key Laboratory of Water Resources and Water Environment, Jilin University, Changchun 130021, Jilin, P.R.China; 2. Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, Jilin, P.R.China)

**Abstract:** Wetland ecological service function is an important manifestation of wetland ecosystem security. The evaluation of wetland service function can directly reflect the damage situation or restoration effect of wetland, and quantitatively analyze the influencing factors of its change. Ecological environmental water requirement is the representation of regional water resource supply and demand and spatial pattern changes, and plays a supporting role in wetland ecological service function. The evaluation of wetland ecological service function based on ecological and environmental water demand can clarify the causes of changes in regional ecological and environmental characteristics from the root, and then clarify the changes of ecological service function. Taken Momoge National Natural Reserve as the study area, this study uses land use, vegetation and hydrological data to quantitatively calculate three important wetland ecological service functions, namely climate regulation, resource supply and ecosystem integrity protection, based on the composition and weight of each ecological service function. The results showed that the ecosystem service function ran well from 1988 to 1999, and then gradually weakened with the degradation of the wetland from 2000 to 2010, finally it rebounded after 2011, indicating that the wetland conservation work was effective and the degradation rate of the wetland was slowed down and the ecological service function of wetland is gradually restored. The research results will serve the evaluation of ecosystem service function in the study area from the perspective of ecological environmental water demand, and the prediction of wetland change trend will be realized in combination with climatic conditions such as rainfall and temperature, which is of great significance for wetland protection and management.

**Keywords:** ecological service function; comprehensive weighting method; water demand for ecological environment; grading evaluation; Momoge National Natural Reserve