

DOI: 10.5846/stxb201310122456

饶恩明, 肖焱, 欧阳志云, 江波, 严登华. 中国湖泊水量调节能力及其动态变化. 生态学报 2014, 34(21): 6225-6231.

Rao E M, Xiao Y, Ouyang Z Y, Jiang B, Yan D H. Status and dynamics of China's lake water regulation. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(21): 6225-6231.

中国湖泊水量调节能力及其动态变化

饶恩明¹, 肖焱^{1*}, 欧阳志云¹, 江波¹, 严登华²

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国水利水电科学研究院水资源所, 北京 100038)

摘要: 湖泊水量调节是指湖泊生态系统通过洪水蓄积和径流补给实现水资源的再分配, 进而减轻洪旱灾害。在围湖造田、退田还湖和气候变化影响下, 科学评估我国湖泊水量调节能力现状及变化情况, 是实现湖泊洪水调蓄功能和水资源调节功能评价的重要基础。基于全国湖泊调查数据, 将全国划分为 5 个评价区, 探讨了面向全国尺度的湖泊水量调节能力评价方法, 在此基础上对全国湖泊的水量调节能力及其动态变化进行了分析评价。结果表明: (1) 我国湖泊(面积 > 1 km²) 水量调节总量为 1500.02 亿 m³, 其中东部平原区和青藏高原区的调节量最高, 分别占全国总量的 44.46% 和 43.63%; (2) 湖泊调节水量的效能以东部平原区最高(310.19 万 m³/km²), 其次是东北平原与山区(191.19 万 m³/km²), 围湖造田/退田还湖将导致该区湖泊水量调节能力明显削弱/增强; (3) 近几十年来, 我国湖泊水量调节能力呈小幅增长(增长量 9.76 亿 m³, 增幅 0.65%), 5 个评价区仅蒙新高原区湖泊水量调节能力明显削弱, 其余区域均呈不同程度增强, 且以东部平原区增加最多, 东北平原与山区增幅最大。研究可以为评估我国湖泊生态系统水量调节能力、分析土地利用变化对流域洪水调蓄和水资源调节功能的影响提供参考。

关键词: 湖泊; 水量调节; 生态系统服务功能; 可调蓄水量; 评价模型; 中国

Status and dynamics of China's lake water regulation

RAO Enming¹, XIAO Yi^{1*}, OUYANG Zhiyun¹, JIANG Bo¹, YAN Denghua²

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Water Resources Department, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China

Abstract: Lakes provide humans with many different types of ecosystem goods and services that are necessary to sustain human livelihoods. In the past several decades, humanity has substantially increased its efforts to produce desired ecosystem goods from lakes, such as fish, food, and ornaments. However, these efforts have ignored other important ecosystem services from lakes such as water storage and damage mitigation from floods and droughts because lakes are important in regulating the hydrological cycle. The major impacts on the water regulation function of lakes are lake reclamation, returning croplands to lakes, and climate change by impacting the hydrological cycle. Scientific research on measuring the current status and dynamics of lakes in terms of their water regulation capacities can help improve lake ecosystem management in China by filling an important scientific blank. Managers want quick but effective evaluation methods to assess the water regulation capacity of lake ecosystems to clarify the vital role lakes play in supporting human well-being. In this paper, we try to address this scientific need by first conducting a regression analysis to construct a primary water regulation model that connects available water storage capacity to lake area, based on data from the book titled "Records for Chinese Lakes". We then evaluated the biophysical quantity of water regulation across China's five lake zones and the

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201204201); 国家科技支撑计划(2011BAC09B08-02)

收稿日期: 2013-10-12; 修订日期: 2014-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaoyi@cees.ac.cn

temporal changes across the time-series based on the constructed models using regulation capacity and regulation efficiency indicators. From our analysis we had three main findings. First for lakes bigger than 1 km² in area, the water regulation capacity totaled $1500.02 \times 10^8 \text{ m}^3$. The water regulation capacity of the Eastern Plain and the Tibetan Plateau were the highest among the five lake zones identified in this paper. The Eastern Plain and the Tibetan Plateau occupied 44.46% and 43.63% of the total capacity respectively. Second in terms of water regulating efficiency, the Eastern Plain was the highest among all five lake zones with a regulating efficiency of $310.19 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ followed by the Northeast China Plain and Mountain, which was $191.19 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$. Lake reclamation (opposite efforts return croplands to lakes) would significantly weaken (strengthen) the water regulation capacity for lakes in these zones. Third in recent decades, the water regulation capacity for China's lakes displayed a slight increasing trend of an absolute increase of $9.76 \times 10^8 \text{ m}^3$ and a growth rate of 0.65%. Four lake zones (Inner Mongolia-Xinjiang was only zone not applicable) showed an increase in water regulation capacity with the largest absolute increase in the Eastern Plain, and the highest growth rate in the Northeast China Plain and Mountain. This paper lays the groundwork for creating a quick monitoring and assessment method to evaluate the water regulation capacity of China's lakes. Also it is applicable to management by providing a means to assess the influence of land-use change on the water regulation capacity of lakes to buffer against flood and drought disasters. Lastly, this paper provides a basis for analyzing the trade-offs among ecosystem goods and services, thus it has real-world implications for managing lake ecosystems in China.

Key Words: lake; water regulation; ecosystem services; available storage capacity; evaluation model; China

受季风气候和地形地貌影响,我国水资源年际年内变化大,年内约 60%—80% 的径流量集中在汛期,水旱灾害频繁并严重威胁着人民群众的生命财产安全和社会经济的可持续发展。据统计,2010 年全国有 30 个省(自治区、直辖市)发生了洪涝灾害,受灾人口 2.11 亿人,因灾死亡 3222 人,直接经济损失 3745.43 亿元;有 27 个省(自治区、直辖市)发生了干旱灾害,受灾面积 $13258.61 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 3334.52 万人面临饮水困难,直接经济损失 1509.18 亿元^[1]。

水量调节是湖泊生态系统为人类提供的最具价值的调节服务^[2-3],主要表现为蓄洪补枯,即湖泊通过蓄纳入湖洪峰水量,尔后缓慢泄出,从而实现均化洪水,增加河流旱季流量的作用^[4-5]。研究表明,银川市大小湖泊每年蓄洪防旱的价值为 5360 万元,有效削减洪峰的同时还起到了明显的防旱作用^[6];鄱阳湖调节五河(赣江、抚河、信江、饶河、修河)和长江干流水量而减少的洪灾损失高达 159.5 亿元,约占其总服务功能价值的 43.98%^[7]。

湖泊在调节河川径流、减轻流域洪旱灾害方面发挥着重要作用^[8]。但随着人口的急剧增长和经济的快速发展,土地资源日益紧缺,湖泊滩地的垦殖利用规模空前。据不完全统计,自 20 世纪 40 年代末

至今,长江中下游地区(大通以上)有超过 1/3 的湖泊面积被围垦,由此导致湖泊调蓄能力明显降低,洪水频度持续增加^[9-10]。直至 1998 年大水后,随着“平垸行洪,退田还湖”工程的实施,部分湖泊的调蓄能力才逐步得到恢复和增强^[11-14]。

在围湖造田和退田还湖的双重作用下,在气候变化的影响下,科学评估我国湖泊水量调节能力现状以及近几十年来的变化情况,是实现湖泊洪水调蓄功能和水资源调节功能评价的重要基础。本研究基于全国湖泊调查数据,探讨了面向全国尺度的湖泊水量调节能力评价方法,在此基础上对全国湖泊的水量调节能力及其动态变化进行了分析评价。本研究可以为评估我国湖泊生态系统水量调节能力、分析土地利用变化对流域洪水调蓄和水资源调节功能的影响提供参考。

1 材料与方 法

1.1 数据集

以《中国湖泊志》^[8]、《中国湖泊名称代码(SL261-98)》^[15]和第二次全国湖泊调查数据^[16]为基础,结合相关文献资料,对我国湖泊(面积 > 1 km²)相关信息进行收集和整理。主要包括湖泊位

置、面积、平均水深、蓄水量、集水面积、多年平均水位变幅和可调蓄水量等。湖泊水量调节能力及其动态变化的评估即以该数据集为基础展开。

1.2 评价指标

严格来讲,湖泊的水量调节是一个连续的过程,其调节量是汛期出湖流量连续小于入湖流量的时段内湖泊滞留的洪水量与枯水期出湖流量连续大于入湖流量的时段内湖泊对下游河川径流的补给量之和。实时调节量的确定需要非常详尽的水文观测数据,且计算过程极为繁琐,这在我国现有条件下还难以实现。可调蓄水量是湖泊的重要属性,它主要反映了湖泊水位变化引起的蓄水量改变,是湖泊蓄水量中体现其调节作用的部分^[8]。本文以可调蓄水量表征湖泊生态系统的水量调节能力,即湖泊发挥水量调节作用的潜在能力,有别于实际调节量。

1.3 评价方法

湖泊的水量调节作用与湖面面积、蓄水量和集水面积等湖泊属性密切相关^[8,10,17]。考虑到湖泊可调蓄水量数据较少,湖面面积、蓄水量和集水面积等数据相对丰富,首先通过相关分析选取湖面面积、蓄水量和集水面积中与可调蓄水量相关性较大者,基于两者的数量关系,构建湖泊水量调节能力评价模型。在此基础上,以第二次全国湖泊调查数据^[16]代表我国湖泊近况,以《中国湖泊志》^[8]和《中国湖泊名称代码(SL261-98)》^[15]记录的第一次全国湖泊调查数据代表我国20世纪60—80年代的湖泊状况,分析评估我国湖泊水量调节能力现状以及近几十年来的变化情况。

由于不同区域湖泊的背景条件差异较大,将全国湖泊划分为东部平原、蒙新高原、云贵高原、青藏高原和东北平原与山区共5个湖区^[8](图1),并假定湖区内各湖泊水文条件相近。

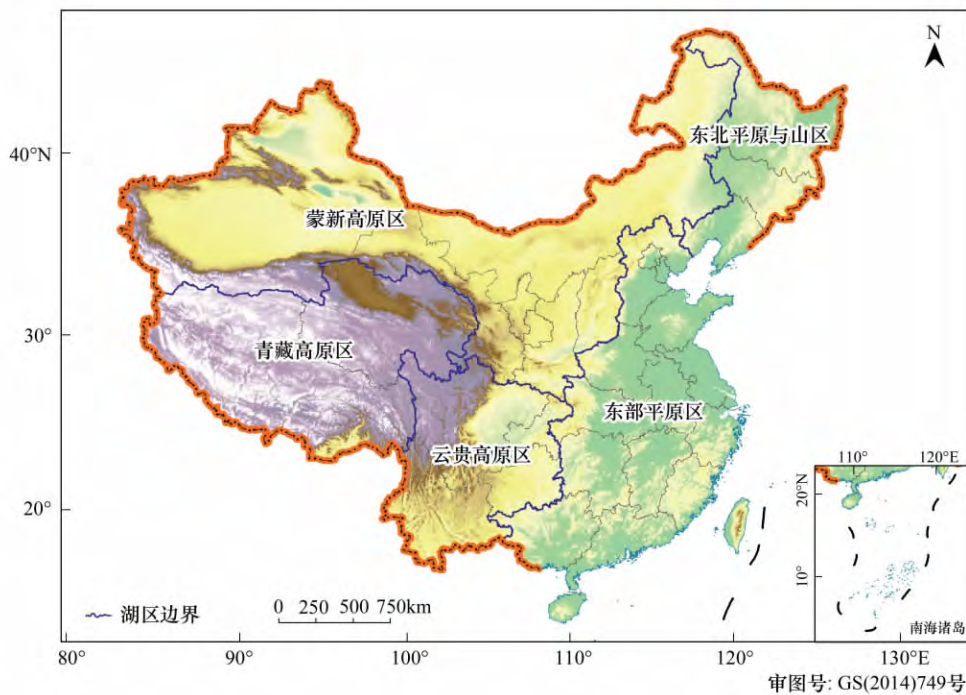


图1 全国五大湖区的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of five lake zones in China

2 结果与分析

2.1 相关性分析

相关分析表明,东部平原区、蒙新高原区和青藏高原区以湖面面积与湖泊可调蓄水量的相关性最大,云贵高原区和东北平原与山区则以集水面积与

湖泊可调蓄水量的相关性最大。各湖区湖面面积与可调蓄水量的相关系数都在 0.85 以上,而云贵高原区和东北平原与山区的蓄水量与可调蓄水量以及青

藏高原区的集水面积与可调蓄水量之间相关系数都较低(表 1)。综合而言,相比蓄水量和集水面积,湖面面积与可调蓄水量具有更好的相关性。

表 1 各湖区湖泊可调蓄水量与湖面面积、蓄水量、集水面积的相关性

Table 1 Correlations between available storage capacity and lake area, lake storage, and catchment area

湖区 Lake zone	与可调蓄水量的相关系数 Correlation coefficients with available storage capacity		
	湖面面积 Lake area	蓄水量 Lake storage	集水面积 Catchment area
东部平原 Eastern Plain	0.941**	0.934**	0.901**
蒙新高原 Inner Mongolia-Xinjiang	0.903**	0.785*	0.814*
云贵高原 Yunnan-Guizhou Plateau	0.878**	0.415	0.962**
青藏高原 Tibetan Plateau	0.981**	0.976**	0.536
东北平原与山区 Northeast China Plain and Mountain	0.863	0.402	0.999**

** 显著性水平为 0.01; * 显著性水平为 0.05

2.2 湖泊水量调节能力评价模型

基于不同湖区湖泊的可调蓄水量和湖面面积数据,建立了各湖区湖泊水量调节能力评价模型:

$$\text{东部平原区: } \ln(Cr) = 1.128 \ln(A) + 4.924 \\ (N = 55, R^2 = 0.885)$$

$$\text{蒙新高原区: } \ln(Cr) = 0.680 \ln(A) + 5.653 \\ (N = 8, R^2 = 0.815)$$

$$\text{云贵高原区: } \ln(Cr) = 0.927 \ln(A) + 4.904 \\ (N = 7, R^2 = 0.769)$$

$$\text{青藏高原区: } \ln(Cr) = 0.678 \ln(A) + 6.636 \\ (N = 6, R^2 = 0.963)$$

$$\text{东北平原与山区: } \ln(Cr) = 0.866 \ln(A) + 5.808 \\ (N = 5, R^2 = 0.744)$$

式中, Cr 为可调蓄水量(万 m^3); A 为湖面面积(km^2)。

各湖泊的可调蓄水量可通过其湖面面积由所属湖区相应经验模型估算得到,兴凯湖等边境湖泊的

可调蓄水量按我国境内面积占总面积的比例折算。

2.3 全国湖泊水量调节能力现状

基于第二次全国湖泊调查数据计算得出,我国湖泊(面积 $> 1 km^2$) 的可调蓄水量为 0.01—123.98 亿 m^3 , 平均为 0.56 亿 m^3 , 总量为 1500.02 亿 m^3 。其中鄱阳湖可调蓄水量最大,约 123.98 亿 m^3 , 洞庭湖次之,约 98.46 亿 m^3 , 太湖和洪泽湖分别为 95.19 亿 m^3 和 59.12 亿 m^3 。按不同量级划分,我国可调蓄水量在 10 亿 m^3 以上的湖泊 12 个,可调蓄水量之和为 530.97 亿 m^3 , 约占全国总量的 35.40%, 主要分布在东部平原区; 介于 1—10 亿 m^3 之间的湖泊 235 个,可调蓄水量之和为 550.41 亿 m^3 , 约占全国总量的 36.69%, 大部分位于青藏高原区; 可调蓄水量在 1 亿 m^3 以下的湖泊多达 2446 个, 占全国湖泊总数的 90.83%, 可调蓄水量之和为 418.64 亿 m^3 , 约占全国总量的 27.91%, 散布于各大湖区(表 2)。

表 2 各湖区具不同量级水量调节能力的湖泊数量(个)

Table 2 Number of lakes with various water regulation capacities in each lake zone

湖区 Lake zone	可调蓄水量 Available storage capacity / $10^8 m^3$			合计 Total
	< 1	1—10	> 10	
东部平原 Eastern Plain	579	42	8	629
蒙新高原 Inner Mongolia-Xinjiang	506	14	0	520
云贵高原 Yunnan-Guizhou Plateau	61	3	0	64
青藏高原 Tibetan Plateau	894	165	3	1062
东北平原与山区 Northeast China Plain and Mountain	406	11	1	418
合计 Total	2446	235	12	2693

气候、地形等自然条件的差异导致不同湖区间水分循环和水文特征明显不同,由此形成了我国湖泊生态系统水量调节能力的区域差异。比较发现,东部平原区湖泊可调蓄水量最高(666.87 亿 m^3) 约占全国总量的 44.46%;其次是青藏高原区,约占 43.63%;东北平原与山区和蒙新高原区的比例分别为 5.93% 和 5.17%;云贵高原区湖泊可调蓄水量最低(12.10 亿 m^3),仅占全国总量的 0.81%(表 3)。

单位湖面面积可调蓄水量可以反映湖泊调节水量的效能以及围湖造田/退田还湖等湖面面积变化对湖泊水量调节能力的影响。结果表明,我国湖泊平均单位湖面面积可调蓄水量为 183.50 万 m^3/km^2 ;不同湖区间,以东部平原区最高(310.19 万 m^3/km^2),其次是东北平原与山区(191.19 万 m^3/km^2),青藏高原区为 157.33 万 m^3/km^2 ,云贵高原区和蒙新高原区较低(表 3)。

表 3 各湖区湖泊水量调节能力的比较

Table 3 Comparison of water regulation capacity for lakes in each lake zone

湖区 Lake zone	可调蓄水量 Available storage capacity/ $10^8 m^3$	百分比 Percentage/%	单位湖面面积可调蓄水量 Available storage capacity per unit water area /($10^4 m^3/km^2$)
东部平原 Eastern Plain	666.87	44.46	310.19
蒙新高原 Inner Mongolia-Xinjiang	77.57	5.17	60.84
云贵高原 Yunnan-Guizhou Plateau	12.10	0.81	97.37
青藏高原 Tibetan Plateau	654.51	43.63	157.33
东北平原与山区 Northeast China Plain and Mountain	88.97	5.93	191.19
合计 Total	1500.02	100.00	183.50

2.4 全国湖泊水量调节能力动态变化

基于前后两次全国湖泊调查数据得出,近几十年来我国湖泊数量共减少 268 个,减幅约 9.05%,湖泊面积共减少 9299.96 km^2 ,减幅约 10.21%,可调蓄水量则增加了 9.76 亿 m^3 ,增幅约 0.65%。其中,东部平原区、蒙新高原区和青藏高原区湖泊数量减少,以蒙新高原区减少最明显,云贵高原区和东北平原

与山区湖泊数量增加;蒙新高原区和青藏高原区湖泊面积减小,东部平原区、云贵高原区和东北平原与山区湖泊面积略有增加;除蒙新高原区湖泊可调蓄水量明显减少(24.91 亿 m^3)外,其余区域均表现为增加,以东部平原区增加最多(15.04 亿 m^3),东北平原与山区增幅最大(10.48%)(图 2)。

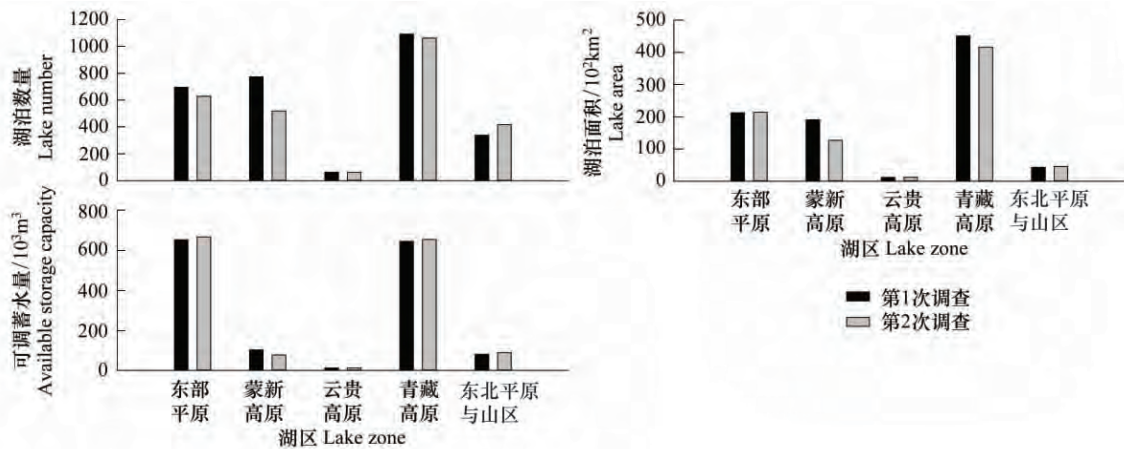


图 2 各湖区湖泊数量、面积、可调蓄水量的动态变化

Fig. 2 Dynamics of lake number, lake area, and available storage capacity in each lake zone

3 讨论

相比湖泊蓄水量和集水面积,湖面面积与湖泊可调蓄水量具有更好的相关性,表现为特定区域内,湖面面积越大,湖泊的调节能力越强^[8,11,18]。同时,湖面面积还具有易于测量,对土地利用变化敏感等特点,且方便与遥感相结合。本研究通过分析湖泊可调蓄水量与湖面面积的数量关系,初步构建了全国尺度湖泊水量调节能力评价模型,可以用于评估我国湖泊水量调节能力,并为评估我国湖泊的洪水调蓄功能提供参考。

研究表明,我国湖泊可调蓄水量总量为 1500.02 亿 m^3 ,对调节我国河川径流,减轻流域洪旱灾害做出了重要贡献^[8]。其中,东部平原区和青藏高原区湖泊可调蓄水量最高,分别占全国总量的 44.46% 和 43.63%。对于水资源丰富且洪水频发的东部平原区(我国 7 个洪水高危险区中,有 6 个位于该区)^[19],尤其是长江中游地区,湖泊生态系统在调节洪峰、滞后洪水方面发挥着极为重要的作用^[11];对于洪水低发的青藏高原区^[19],其水量调节作用更多的是作为一种应对未来气候变化导致降水格局改变的潜在能力。从湖泊调蓄水量的效能来看,我国湖泊平均单位湖面面积可调蓄水量为 183.50 万 m^3/km^2 ,相当于每减少 1 km^2 湖面,平均损失调蓄量 183.50 万 m^3 。不同湖区间以东部平原区最高(310.19 万 m^3/km^2)约为全国平均水平的 1.7 倍,围湖造田/退田还湖将导致该区湖泊水量调节能力明显削弱/增强^[20];其次是东北平原与山区(191.19 万 m^3/km^2),略高于全国平均水平,该区湖泊的开发利用将影响其水量调节能力的发挥。

近几十年来,在自然和人类活动的影响下,我国湖泊数量和面积分别减少了 268 个和 9299.96 km^2 ,减幅分别为 9.05% 和 10.21%,可调蓄水量则呈现小幅增长(0.65%),增长量约 9.76 亿 m^3 。其中,东部平原区湖泊数量减少,面积和可调蓄水量增加,这主要与该区部分湖泊围垦消失^[21],部分湖泊在退田还湖中调节能力逐渐恢复有关;青藏高原区和蒙新高原区主要受气候变化影响^[21],一方面气候趋干化导致部分湖泊萎缩干涸,另一方面融雪增加导致部分湖泊面积、水量增大;东北平原与山区湖泊数量、面积和可调蓄水量的增加主要来自新生湖泊和退田

还湿;云贵高原区湖泊变化相对较小。部分区域出现湖泊面积总量与可调蓄水量总量变化方向不一致的原因在于二者之间并非简单线性关系,一个湖泊面积增大所增加的调节能力并不等于另一个湖泊减小相应面积所丧失的调节能力。以洞庭湖为例,根据两次调查结果,洞庭湖面积增大了 181.86 km^2 ,其可调蓄水量则增加了 7.69 亿 m^3 ,而面积 192.50 km^2 的军山湖可调蓄水量为 5.19 亿 m^3 ,若该湖泊消失将导致区域湖泊面积总量减少 10.64 km^2 ,但可调蓄水量总量却会增加 2.50 亿 m^3 。

4 结论

(1) 相比湖泊蓄水量和集水面积,湖面面积与湖泊水量调节能力具有更好的相关性,表现为特定区域内,湖面面积越大,湖泊调节能力越强。

(2) 我国湖泊水量调节功能总量为 1500.02 亿 m^3 ,在调节河川径流、减轻洪旱灾害方面发挥着重要作用;其中东部平原区和青藏高原区的湖泊调蓄量最高,分别占全国总量的 44.46% 和 43.63%。

(3) 湖泊调节水量的效能以东部平原区最高(310.19 万 m^3/km^2),其次是东北平原与山区(191.19 万 m^3/km^2),围湖造田/退田还湖将导致该区湖泊水量调节能力明显削弱/增强。

(4) 近几十年来,我国湖泊水量调节能力呈现小幅增长(增长量 9.76 亿 m^3 ,增幅 0.65%)。5 个评价区仅蒙新高原区湖泊水量调节能力明显削弱,其余区域均呈不同程度增强,以东部平原区增加最多(15.04 亿 m^3),东北平原与山区增幅最大(10.48%)。

References:

- [1] State Flood Control and Drought Relief Headquarters, The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Bulletin of Flood and Drought Disasters in China 2010.
- [2] Brouwer R, Langford I H, Bateman I J, Turner R K. A meta-analysis of wetland contingent valuation studies. *Regional Environmental Change*, 1999, 1(1): 47-57.
- [3] Ghermandi A, Van den Bergh J C J M, Brander L M, De Groot H L F, Nunes P A L D. The Economic Value of Wetland Conservation and Creation: A Meta-Analysis. *Fondazione Eni Enrico Mattei*, 2008.
- [4] Richardson C J. Ecological functions and human-values in wetlands—a framework for assessing forestry impacts. *Wetlands*, 1994, 14(1): 1-9.

- [5] Barbier E B, Acreman M, Knowler D. Economic valuation of wetlands: a guide for policy makers and planners. Gland: Ramsar Convention Bureau, 1997.
- [6] Shao N P, Liu X P, Qu X Y. Valuation of lake wetland ecosystem services of Yinchuan City. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(9): 1625-1630.
- [7] Cui L J. Evaluation on functions of Poyang Lake ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(4): 47-51.
- [8] Wang S M, Dou H S. Records for Chinese Lakes. Beijing: Science Press, 1998.
- [9] Li J B, Zhong S X, Yang Y, Wang K L. Effects on the functions of ecosystem services of Dongting Lake from silt deposit and land reclamation. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(2): 179-182.
- [10] Yang G S, Ma R H, Zhang L, Jiang J H, Yao S C, Zhang M, Zeng H A. Lake status, major problems and protection strategy in China. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(6): 799-810.
- [11] Ning L, Weng C H. The flood control effect of "remove lakeside embankments for releasing floods and return farmlands to lakes" in Yangtze River Basin. *Yangtze River*, 2000, 31(12): 28-30.
- [12] Jiang J H, Huang Q. Simulation of flood effect in Dongting Lake region by restoring lake area with stopping cultivation. *Journal of Natural Disasters*, 2004, 13(4): 44-48.
- [13] Xiong Y, Wang K L. Eco-compensation effects of the wetland recovery in Dongting Lake area. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(3): 389-405.
- [14] Jiang L G, Feng Z M, Yu X B, Zhen L, Huang H Q. Scenario analysis on the flood regulation service of the Poyang Lake region. *Resources Science*, 2010, 32(5): 817-823.
- [15] The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Code for China Lakes Name (SL261-98). Beijing: China Water Power, 1998.
- [16] Ma R H, Yang G S, Duan H T, Jiang J H, Wang S M, Feng X Z, Li A N, Kong F X, Xue B, Wu J L, Li S J. China's lakes at present: Number, area and spatial distribution. *Science China: Earth Science*, 2011, 41(3): 394-401.
- [17] Han Y W, Gao X T, Gao J X, Xu Y M, Liu C C. Typical ecosystem services and evaluation indicator system of significant eco-function areas. *Ecology and Environment*, 2010, 19(12): 2986-2992.
- [18] De Laney T. Benefits to downstream flood attenuation and water-quality as a result of constructed wetlands in agricultural landscapes. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 50(6): 620-626.
- [19] Zhang X N, Luo J, Chen L, Li H. Zoning of Chinese flood hazard risk. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2000, (3): 3-9.
- [20] Liu J F, Wu H H, Song W. Existing state and evolvement analysis of the Chinese lake water resources. *Journal of Yellow River Conservancy Technical Institute*, 2008, 20(1): 1-4.
- [21] Ma R H, Duan H T, Hu C M, Feng X Z, Li A N, Ju W M, Jiang J H, Yang G S. A half-century of changes in China's lakes: Global warming or human influence? *Geophysical Research Letters*, 2010, 37(24): L24106, doi: 10.1029/2010GL045514.

参考文献:

- [1] 国家防汛抗旱总指挥部, 中华人民共和国水利部. 中国水旱灾害公报 2010.
- [6] 邵宁平, 刘小鹏, 渠晓毅. 银川湖泊湿地生态系统服务价值评估. *生态学杂志*, 2008, 27(9): 1625-1630.
- [7] 崔娟娟. 鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估研究. *生态学杂志*, 2004, 23(4): 47-51.
- [8] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998.
- [9] 李景保, 钟赛香, 杨燕, 王克林. 泥沙沉积与围垦对洞庭湖生态系统服务功能的影响. *中国生态农业学报*, 2005, 13(2): 179-182.
- [10] 杨桂山, 马荣华, 张路, 姜加虎, 姚书春, 张民, 曾海鳌. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略. *湖泊科学*, 2010, 22(6): 799-810.
- [11] 宁磊, 翁朝晖. 长江流域“平垸行洪、退田还湖”的防洪作用. *人民长江*, 2000, 31(12): 28-30.
- [12] 姜加虎, 黄群. 洞庭湖区退田还湖的洪水效应模拟. *自然灾害学报*, 2004, 13(4): 44-48.
- [14] 姜鲁光, 封志明, 于秀波, 甄霖, 黄河清. 退田还湖后鄱阳湖区洪水调蓄功能的多情景模拟. *资源科学*, 2010, 32(5): 817-823.
- [15] 中华人民共和国水利部. 中国湖泊名称代码. 中华人民共和国行业标准 SL261-98. 北京: 中华人民共和国水利部, 1998.
- [16] 马荣华, 杨桂山, 段洪涛, 姜加虎, 王苏民, 冯学智, 李爱农, 孔繁翔, 薛滨, 吴敬禄, 李世杰. 中国湖泊的数量、面积与空间分布. *中国科学: 地球科学*, 2011, 41(3): 394-401.
- [17] 韩永伟, 高馨婷, 高吉喜, 徐永明, 刘成程. 重要生态功能区典型生态服务及其评估指标体系的构建. *生态环境学报*, 2010, 19(12): 2986-2992.
- [19] 张行南, 罗健, 陈雷, 李红. 中国洪水灾害危险程度区划. *水利学报*, 2000, (3): 3-9.
- [20] 刘吉峰, 吴怀河, 宋伟. 中国湖泊水资源现状与演变分析. *黄河水利职业技术学院学报*, 2008, 20(1): 1-4.