

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2016.04.004

吉林省湿地调蓄洪水功能分析及其价值评估

赵欣胜^{1,2}, 崔丽娟^{1,2}, 李伟^{1,2}, 康晓明^{1,2}, 雷茵茹^{1,2},
李惠^{1,2}, 梁兆瑞^{1,2}, 程兆鹏^{1,2}

(1. 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091; 2. 湿地生态功能与恢复北京市重点实验室, 北京 100091)

摘要: 湿地通过调节流量、减缓流速和蓄积水资源, 在调节河川径流、补给地下水和维持区域水平衡中发挥着重要作用, 吉林省湿地面积较大, 分布较广, 在调蓄洪水中具有重要价值。笔者通过核算吉林省湿地调蓄洪水价值及其在各区县的空间分配规律, 阐明了吉林省湿地调蓄洪水价值整体特征。结果显示, 吉林省调蓄洪水突出区域主要分布于中部和北部, 其中中部突出区域面积为0.7万km², 北部为1.2万km²。吉林省湿地调蓄洪水总价值为2910.1亿元, 排序为人工湿地(1218.72亿元) > 湖泊湿地(815.28亿元) > 沼泽湿地(510.97亿元) > 河流湿地(365.13亿元)。各区县调蓄洪水价值排序为白城市(798.52亿元) > 松原市(768.19亿元) > 长春市(413.46亿元) > 吉林市(302.08亿元) > 延边市(214.94亿元) > 通化市(175.06亿元) > 四平市(112.60亿元) > 辽源市(68.93亿元) > 白山市(56.32亿元)。另外, 各区县单位面积调蓄洪水价值以松原市最大, 白山市最小; 人均占有调蓄洪水价值白城市最高, 四平市最低。各种湿地类型其单位面积和人均调蓄洪水价值空间分布, 各区县差异明显。

关键词: 水资源; 调蓄洪水; 湿地价值; 生态系统服务; 吉林省

中图分类号: TV212

文献标志码: A

文章编号: 1004-6933(2016)04-0027-07

Flood storage function analysis and value assessment of wetlands in Jilin Province

ZHAO Xinsheng^{1,2}, CUI Lijuan^{1,2}, LI Wei^{1,2}, KANG Xiaoming^{1,2}, LEI Yinru^{1,2},
LI Hui^{1,2}, LIANG Zhaorui^{1,2}, CHENG Zhaopeng^{1,2}

(1. Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Beijing Key Laboratory of Wetland Services and Restoration, Beijing 100091, China)

Abstract: Wetlands play essential roles in regulating runoff, recharging groundwater, and maintaining the regional water balance, through functions like adjusting the flow rate, slowing the flow velocity, and accumulating water resources. The wetlands in Jilin Province cover a large area and are widely distributed, and have a large impact on flood storage. This paper illustrates the entire feature of the flood storage function of wetlands in Jilin Province by calculating their values and spatial allocations in different regions. The research results show that the flood storage mainly occurs in the central and western regions of Jilin Province, which cover an area of 7000 km² and an area of 12000 km², respectively. The total value of wetland flood storage is 291.01 billion yuan, The wetlands can be ranked by flood storage value in the following descending order: constructed wetlands (121.872 billion yuan), lake wetlands (81.528 billion yuan), marsh wetlands (51.097 billion yuan), and river wetlands (36.513 billion yuan). The cities of Jilin Province can be ranked by flood storage value in the following descending order: Baicheng City (79.852 billion yuan), Songyuan City (76.819 billion yuan), Changchun City (41.346 billion yuan), Jilin City (30.208 billion yuan), Yanbian City (21.494 billion yuan), Tonghua City (17.506 billion

基金项目: 国家自然科学基金(50809005); 吉林省林业厅项目(2013-020)

作者简介: 赵欣胜(1973—), 男, 博士, 主要从事湿地生态学研究。E-mail: surezx4@163.com

通信作者: 崔丽娟, 研究员, 博士。E-mail: lkyclj@126.com

yuan), Siping City (11.260 billion yuan), Liaoyuan City (6.893 billion yuan), and Baishan City (5.632 billion yuan). In addition, the wetlands in Songyuan City have the largest flood storage value per unit area while those in Biashan City have the smallest value. Baicheng City has the largest flood storage value per capita while Siping City has the smallest value. The spatial allocations of flood storage values per unit area and per capita of different wetland types show significant differences in these cities.

Key words: water resources; flood storage; wetland value; ecosystem service; Jilin Province

作为全球三大生态系统之一的湿地具有重要的生态系统服务功能,如调蓄洪水、供给水资源、涵养水资源、调节气候、维持生物多样性等^[1-2]。湿地生态系统服务功能一般被定义为发生在湿地中的各种过程及其表现形式和作用结果^[3-4],湿地具有强大的调蓄洪水能力,汛期可以通过调节河流径流量削减洪峰、均化洪水、减少洪水灾害^[5-6]。特别是沼泽湿地,因其土壤具有较强的蓄水和透水能力,不仅具有削减洪峰和均化洪水能力,还能借助湿地植被减缓洪水流速,延长泄洪时间,进而削弱对下游的影响^[7-8]。另外湖泊和水库湿地具有较大的容积,可以在汛期大量蓄积洪水,既能满足削减洪水的目的,也能在旱季发挥供给水资源,缓解旱情的作用^[9]。可以说湿地的调蓄洪水能力对区域防洪和水资源配置具有重要的作用。

目前关于湿地生态系统服务价值评价已有很多成熟的技术方法,且多种尺度上的价值评价都有研究者涉及,获得很多宝贵的研究结论。然而目前的湿地生态系统服务价值评价多从整体服务角度出发,缺少一定程度上针对湿地生态系统关键功能的评价和深入分析,特别是关于湿地在调蓄洪水价值评价空间分布格局等方面的研究,较少有人关注^[10-13]。

吉林省湿地资源较为丰富,据2009年全省第二次湿地资源调查统计,全省共有湿地面积172.8万hm²。丰富的湿地资源对维持吉林省生态系统功能具有重要价值。目前关于吉林湿地价值评价多从整体上考虑,缺乏对吉林省湿地调蓄洪水价值的单独分析,特别是对价值空间分布特征等的研究还不够深入。因此,笔者通过对吉林省湿地调蓄洪水价值的科学评估,为吉林生态安全和水利工程建设等提供科学依据。

1 研究区概况与计算模型

1.1 研究区概况

吉林省位于我国东北地区中部,地处北纬40°52'~46°18',东经121°38'~131°19',东西最长约750 km,南北最宽约600 km,总面积187 400 km²,属于中温带亚湿润季风气候类型,西部远离海洋而接近干燥的蒙古高原,气候干燥,全省形成了显著的温带大陆性季风气候,并有明显的四季更替。大部分地区年平均气温为3~5℃,全年日照2 200~

3 000 h,年活动积温平均在2 700~3 600℃,年降水量在550~910 mm,无霜期120~160 d,具有雨热同季特点,对各种农作物生长十分有利。初霜期在9月下旬,终霜在4月末5月初。吉林省湿地总面积1 728 465.4 hm²,包括河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地和人工湿地4类。其中,河流湿地面积251 109.9 hm²,占湿地总面积的15%;湖泊湿地面积112 135.6 hm²,占湿地总面积的6%;沼泽湿地面积527 086.2 hm²,占总面积的30%;人工湿地面积838 133.7 hm²,占湿地总面积的49%^[14-15]。

1.2 计算模型

1.2.1 数据来源

本文数据主要来自2013年吉林省水资源公报、2013年吉林省气象数据、吉林省土壤类型数据、遥感反演、DEM提取的水体指数和野外实测的水深数据。用水价格来自2013年吉林省统计年鉴。湿地调蓄洪水贡献率空间布局采用的网格划分距离为70 000 km。具体计算选择情况见表1。

1.2.2 调蓄洪水价值计算模型

调蓄洪水价值主要是通过统计数据得到再蓄水总量,或通过遥感数据提取获得的水体指数和野外实测的再蓄水深度计算获得再蓄水总量,利用机会成本法计算获得蓄水调节价值,评估技术流程见图1。

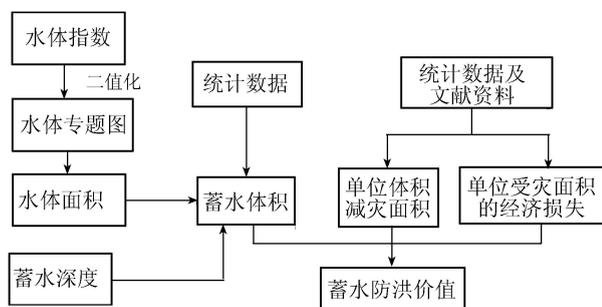


图1 吉林省调蓄洪水价值评估技术流程

吉林省湿地的调蓄洪水价值计算模型^[16-19]可表述为

$$V_{ws} = CAV_{unit} = \left(\sum_{i=1}^n S_i H_i \right) AV_{unit} \quad (1)$$

式中: V_{ws} 为湿地调蓄洪水价值量; C 为湿地再蓄水总容量; A 为单位体积库容减少的受灾面积; V_{unit} 为单位受灾面积的经济损失; S_i 为湿地*i*的面积; H_i 为湿地*i*的再蓄水深度。

表1 吉林省湿地调蓄洪水价值计算选择情况

一级类型	二级类型	是否计算	说明
河流湿地	永久性河流	✓	自然河流湿地遇到小规模洪水一般不会发生漫溢现象,因此河流湿地具有一定的调洪价值。计算方法采用河流的历史最高水位与当年丰水期水位之差作为调水防洪深度进行核算
	季节性或间歇性河流	✓	
	洪泛平原湿地	✓	
湖泊湿地	永久性淡水湖	✓	湖泊是重要的蓄水湿地类型,能够拦蓄洪水,削弱进入下游河道的洪峰流量,达到减免洪水灾害的目的。计算方法采用以历史最高水位与岸之间的部分作为蓄水体积
	永久性咸水湖	✓	
	季节性咸水湖	✓	
沼泽湿地	草本沼泽	✓	沼泽因其土壤具有特殊的水文物理性质而具有较强的蓄水能力。沼泽作为一个巨大的生物蓄水库,能保持大于其土壤本身重量较高的蓄水量。由于沼泽湿地的实际调蓄洪水量很难获得,计算方法采用结合实际调查的再蓄水深度(0.2 m)与水面面积的乘积作为蓄水体积
	灌丛沼泽	✓	
	森林沼泽	✓	
	内陆盐沼	✓	
	季节性咸水沼泽	✓	
	沼泽化草甸	✓	
人工湿地	库塘	✓	水库是我国防洪广泛采用的工程措施之一,在防洪区上游河道适当位置兴建能调蓄洪水的综合利用水库,利用水库库容拦蓄洪水,削弱进入下游河道的洪峰流量,达到减免洪水灾害的目的,因此,水库湿地具有重要的调洪价值。计算方法采用水库历史最大蓄水量减去当年丰水期蓄水量作为蓄水体积,对于淤积严重的水库,计算中还应将淤积所占的部分库容去除
	水产养殖场	✓	水产养殖场一般水深超过1.5 m,在调蓄洪水功能上与湖泊湿地类似,因此该类型的湿地的调洪价值的计算方法同湖泊
	输水渠	✓	水渠作为水的输送渠道,本身有一定的蓄水体积,可在洪水来临是储存一定的洪水,因此具有一定的调蓄洪水价值。计算方法采用以水渠的体积作为蓄水体积
	稻田	✓	尽管稻田丰水期水位较浅,但在一定程度上仍然能够起到调蓄洪水的作用,特别是稻田在吉林省分布面积较大,总体上调蓄洪水量客观,因此在核算湿地调蓄洪水价值时不能忽略。其计算方法以平均灌溉深度为准核算,计算时常以水稻淹水期为准

各个参数的计算如下:①单位体积库容减少的受灾面积。2010年朝阳水库承载了4.46亿m³洪水,使得下游永吉县2625 km²的国土面积免于水灾,计算得到朝阳水库平均每年减免灾害面积2625 km²[20]。根据水库总库容可计算出单位体积库容减少的受灾面积为5.8856×10⁻⁴ hm²/m³。②单位受灾面积的经济损失。由于受到可获得的官方统计数据约束,同时考虑机会成本法计算要求,关于单位受灾面积的经济损失只能参考已公开的研究区范围内的文献资料,并以此作为湿地调蓄洪水价值计算依据。根据2010年吉林省统计分析,2010年水灾造成全省直接经济损失168.00亿元,洪水灾害主要影响农业和工业,受灾面积20.40万hm²[21],推算2010年单位受灾面积的经济损失为82352.94元/hm²。

2 计算结果

2.1 吉林省湿地调蓄洪水功能空间分布

图2表明,吉林省调蓄洪水突出区域主要分布于中部和北部,其中,中部突出区域面积为0.7万km²,北部为1.2万km²。吉林省东南部以山地地貌为主,调蓄洪水能力较弱,多是集水区;北部和中部在核算湿地调蓄洪水价值后,形成了湿地调蓄洪水价值的“贡献突出区域”,北部突出区域的形成与该区域有较大的国际重要湿地分布有关,是莫莫格湿地保护区和向海湿地保护区所在地,且有较多的河流分布,而中部突出区域分布有吉林省较多的人工湿

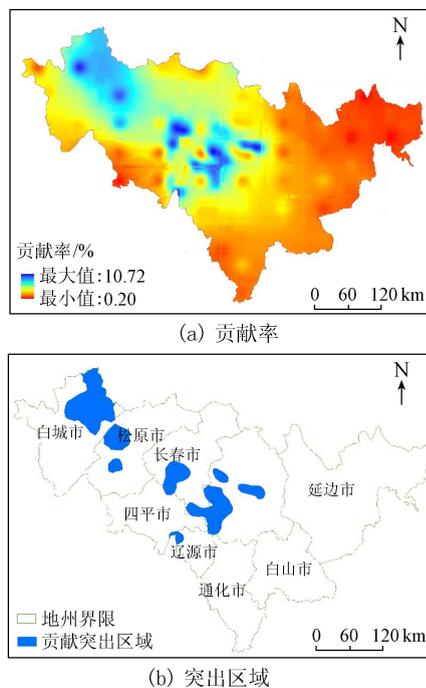


图2 吉林省湿地调蓄洪水价值贡献率及突出区域分布地(库塘湿地为主)和湖泊湿地。

2.2 湿地调蓄洪水价值总体分析

根据前文的计算方法,得出吉林省湿地的调蓄洪水总价值为2910.1亿元(表2),其中人工湿地价值为1218.72亿元(占总价值的41.88%),为调蓄洪水最大类型湿地;河流湿地最小,价值为365.13亿元(占总价值的12.55%);湖泊湿地价值为815.25亿元(占总价值的28.2%);沼泽湿地价值

为 510.97 亿元(占总价值的 17.56%);具体排序为人工湿地>湖泊湿地>沼泽湿地>河流湿地;各区县调蓄洪水价值排序为白城市(798.52 亿元)>松原市(768.19 亿元)>长春市(413.46 亿元)>吉林市(302.08 亿元)>延边市(214.94 亿元)>通化市(175.06 亿元)>四平市(112.60 亿元)>辽源市(68.93 亿元)>白山市(56.32 亿元),其中白城市占了总价值的 27.44%,而白山市仅占 1.94%。从图 3 可以看出,各区县单位面积调蓄洪水价值以松原市最大,而白山市最小;从图 4 可以看出,白城市人均占有调蓄洪水价值最高,而四平市最低。

表 2 吉林省湿地调蓄洪水价值统计

城市	人工湿地/亿元	湖泊湿地/亿元	河流湿地/亿元	沼泽湿地/亿元	合计/亿元	各市占总价值百分比/%
白城市	165.77	314.27	64.16	254.32	798.52	27.44
白山市	8.75	2.35	38.38	6.84	56.32	1.94
吉林市	278.84	0.00	19.05	4.19	302.08	10.38
辽源市	41.79	0.00	27.14	0.00	68.93	2.37
四平市	92.73	7.07	6.39	6.41	112.60	3.87
松原市	137.33	437.90	56.55	136.41	768.19	26.40
通化市	135.22	1.69	33.98	4.17	175.06	6.02
延边市	77.14	5.02	42.10	90.68	214.94	7.39
长春市	281.15	46.98	77.38	7.95	413.46	14.21
合计	1218.72	815.28	365.13	510.97	2910.10	100

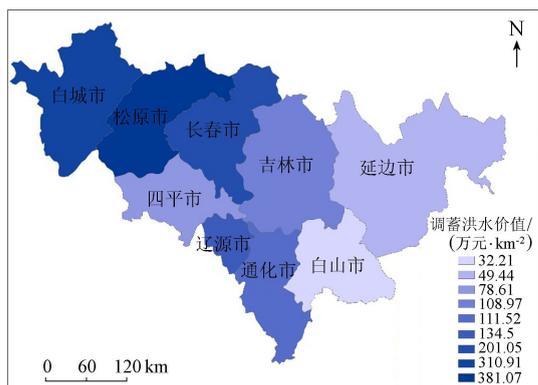


图 3 吉林省区县单位面积湿地调蓄洪水价值分布

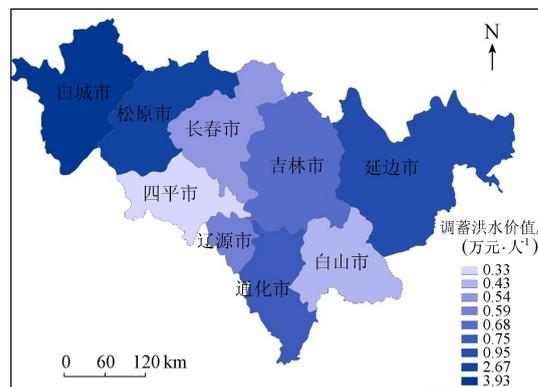


图 4 吉林省区县人均湿地调蓄洪水价值分布

2.3 各区县不同湿地类型调蓄洪水价值分析

2.3.1 河流湿地调蓄洪水价值

根据各区县计算结果显示(图 5~6),各区县单位面积河流湿地调蓄洪水价值以白城市(24.98 万元/km²)最高,而辽源市(12.47 万元/km²)最低;人均占有河流湿地调蓄洪水价值以延边市(0.34 万元/人)最高,而长春市(0.04 万元/人)最低。

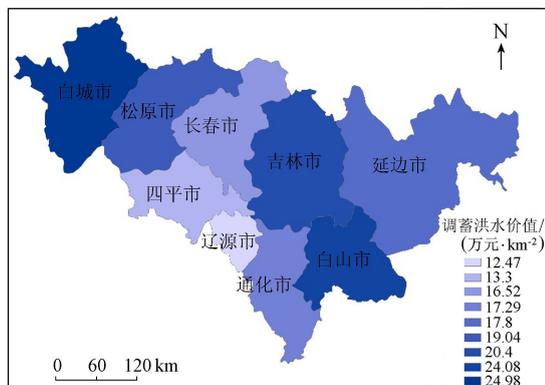


图 5 吉林省区县单位面积河流调蓄洪水价值分布

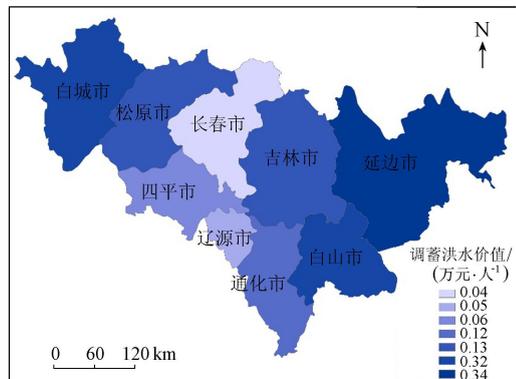


图 6 吉林省区县人均河流调蓄洪水价值分布

2.3.2 湖泊湿地调蓄洪水价值

根据各区县计算结果显示(图 7~8),各区县单位面积湖泊湿地调蓄洪水价值以松原市(217.22 万元/km²)最高,而吉林市和辽源市最低(1.07 万元/km²);人均占有湖泊湿地调蓄洪水价值以白城市(1.55 万元/人)最高,其次是松原市(1.52

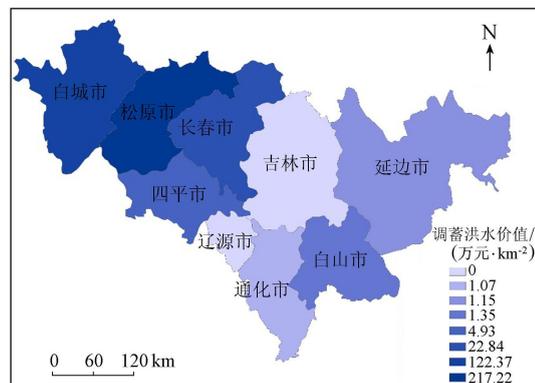


图 7 吉林省区县单位面积湖泊调蓄洪水价值分布

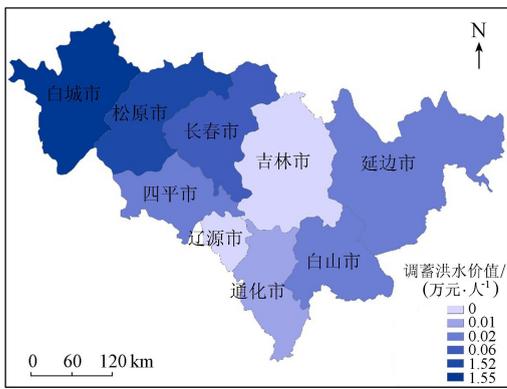


图 8 吉林省区县人均湖泊调蓄洪水价值分布

万元/人),而吉林市和松原市不足 0.01 万元/人。

2.3.3 沼泽湿地调蓄洪水价值

根据各区县计算结果显示(图 9~10),各区县单位面积沼泽湿地调蓄洪水价值以白城市(99.02 万元/km²)最高,而辽源市最低,不足 1.00 万元/km²;人均占有沼泽调蓄洪水价值以白城市(1.25 万元/人)最高,而辽源市最低,不足 0.01 万元/人。

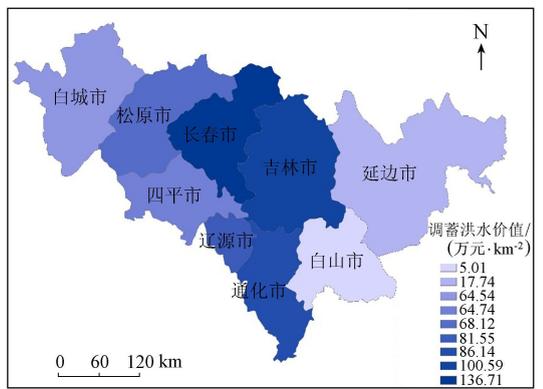


图 11 吉林省区县单位面积人工湿地调蓄洪水价值分布

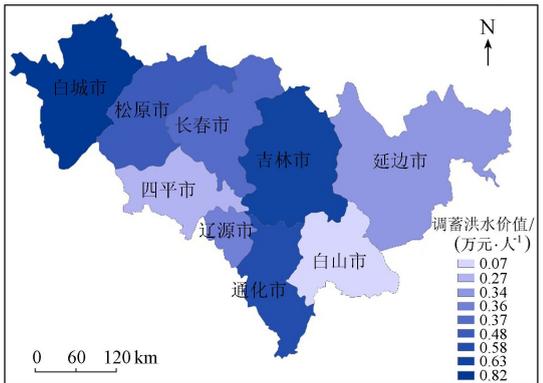


图 12 吉林省区县人均人工湿地调蓄洪水价值分布

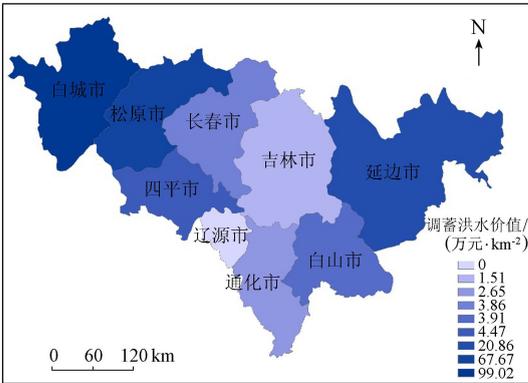


图 9 吉林省区县单位面积沼泽调蓄洪水价值分布

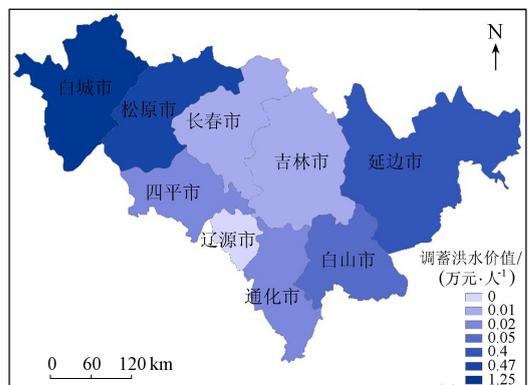


图 10 吉林省区县人均沼泽调蓄洪水价值分布

2.3.4 人工湿地调蓄洪水价值

根据各区县计算结果显示(图 11~12),各区县单位面积人工湿地调蓄洪水价值以长春市(136.71 万元/km²)最高,而白山市(5.01 万元/km²)最低;人均占有人工湿地调蓄洪水价值以白城市(0.82 万元/人)最高,而白山市(0.07 万元/人)最低。

3 讨论

湿地是调蓄洪水的天然“海绵”,通过调节流量、减缓流速和蓄积水资源,在蓄水、调节河川径流、补给地下水和维持区域水平衡中发挥着重要作用^[9,18]。洪水储存在土壤内或以表面水的形式保存于水库、湖泊和沼泽中,可以有效减少下游的洪水量,其中一部分水量在洪水过后可逐渐从储存地排出,满足当地和下游用水;另一部分则在储存的过程中通过蒸散发和下渗补给地下水而被削减^[9,18,22-27]。

本文研究结果显示,吉林省调蓄洪水突出区域主要分布于中部和北部,是该区域湿地调蓄洪水价值较高的原因。其中北部突出区域的形成与该区域分布有大面积沼泽湿地有关,是莫莫格湿地和向海湿地所在地。沼泽湿地调蓄洪水主要依靠沼泽土壤的蓄积储存、下渗补给地下水、蒸散发以及流出水。陈刚起等^[23]研究证实,沼泽湿地能保持大于其土壤本身质量 3~9 倍,甚至更高的蓄水量。Keddy^[24]认为洪水的持续时间取决于湿地植被情况,另外湿地的发育程度、自然干扰程度、沼泽土壤厚度以及泥炭层累积厚度也是沼泽湿地调蓄洪水能力重要影响因素。如东北三江平原沼泽和沼泽化土壤的草根层和泥炭层,其最大持水量能够达到 400%~600%,是该区域沼泽湿地蓄水量高达 $38.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的重要原

因^[23, 25-26]。另外本文研究结果显示,沼泽湿地调蓄洪水价值低于人工湿地和湖泊湿地,这与研究区沼泽湿地总面积较小以及水库库容较大有一定关系,但沼泽湿地在减缓洪水流速等方面是人工湿地和湖泊湿地无法比拟的。闫敏华等^[25]研究结果显示,近70年,三江平原沼泽湿地面积减少和功能退化导致整个区域的年降水量和年径流量都有减少的趋势,长期观测也表明随着沼泽湿地不断减少,沼泽湿地调蓄洪水作用发生了明显变化。这些研究成果都证实了沼泽湿地在调蓄洪水中具有重要的价值。

吉林省中部湿地调蓄洪水价值突出区域形成主要因为分布有较多的人工湿地(库塘湿地为主)和湖泊湿地。水库和湖泊湿地具有重要的调蓄洪水能力已经被广泛证实,特别是在中国的南方地区,其作用尤为显著。如鄱阳湖,经其调节后,一般可削减洪峰流量15%~30%,从而减轻对长江下游的洪水灾害威胁。特别是1954年特大洪水,鄱阳湖湿地调蓄洪水的消减率高达53%,有效地控制了洪水灾害给人们带来的巨大损失,是湿地调蓄洪水重要例证^[9]。Bucher等^[18]研究庞特纳(Pantanel)湿地调蓄洪水功能时发现,湿地有效减缓了来自拉普拉塔盆地(位于玻利维亚、巴拉圭、巴西以及乌拉圭等国)的洪水,避免对下游区域带来洪水灾害。文豪等^[20-21]研究证实,2010年吉林省特大洪水发生时,朝阳水库承载了4.46亿m³的洪水,使得下游永吉县2625km²的土地面积免于水灾。这些研究说明水库和湖泊湿地在调蓄洪水方面同沼泽湿地一样具有重要价值,这与本文研究结果一致。人类活动的影响对河流湿地调蓄洪水能力有重要影响的,如混凝土修建的河床使得河道原有的河漫滩丧失,进而加速了洪水下泄的速度,威胁下游安全,此时修建以水库为主的人工湿地就显得非常重要^[28-30]。然而,有研究认为,修建水库等水利工程,将水选择性地汇集在一个区域容易在大坝发生决堤时,引起更大灾害^[31]。典型案例是飓风导致美国密西西比河大坝决堤引起数百人死亡^[29-31],这也告诉我们如何利用好湿地调蓄洪水功能,科学的规划水利工程是需要充分的科学论证^[30-34]。

Maltby^[27]在研究美国麻省查尔斯河湿地时,发现如果40%的湿地被排干,每年因洪水灾害可造成的经济损失至少增加300万美元,说明湿地在减少洪水灾害上具有重要经济价值。吴秀芹等^[22]研究结果显示,江汉平原洪涝灾害的发生与湿地面积的减少及其功能退化存在密切关系,这说明湿地的丧失和功能的退化是导致其调蓄洪水能力降低的重要驱动力,也是区域发生水旱灾害的关键因素之一。

这些研究证实了湿地在调蓄洪水功能上具有重要价值,与本文的核算结果和研究得到的结论基本一致。

4 结 论

吉林省调蓄洪水突出区域主要分布于中部和北部,其中,中部突出区域面积为0.7万km²,北部为1.2万km²;东南部以山地地貌为主,调蓄洪水能力较弱,多是集水区,其调蓄洪水价值较低。根据笔者提出的计算方法,得出吉林省湿地的调蓄洪水总价值为2910.1亿元,其中人工湿地价值为1218.72亿元(占总价值的41.88%),为调蓄洪水最大类型湿地;而河流湿地最小,价值为365.13亿元(占总价值的12.55%),具体排序为人工湿地(1218.72亿元)>湖泊湿地(815.28亿元)>沼泽湿地(510.97亿元)>河流湿地(365.13亿元)。各区县调蓄洪水价值排序为白城市(798.52亿元)>松原市(768.19亿元)>长春市(413.46亿元)>吉林市(302.08亿元)>延边市(214.94亿元)>通化市(175.06亿元)>四平市(112.60亿元)>辽源市(68.93亿元)>白山市(56.32亿元),其中白城市占了总价值的27.44%,而白山市仅占1.94%。另外,各区县单位面积调蓄洪水价值以松原市最大,而白山市最小;从人均占有调蓄洪水价值来看,白城市最高,而四平市最低,其次是白山市。各种湿地类型其单位面积和人均调蓄洪水价值空间部分呈明显的地域性,各区县差异明显。

参考文献:

- [1] 陈仲新,张新时.中国生态系统效益的价值[J].科学通报,2000,45(1):17-22.(CHEN Zhongxin,ZHANG Xinshi.The value of the ecosystem benefit in China[J].Chinese Science Bulletin,2000,45(1):17-22.(in Chinese))
- [2] BOLUND P,HUNHAMMAR S.Ecosystem services in urban areas[J].Ecological Economics,1999,29(2):293-301.
- [3] COSTANZA R,d'ARCE R,de GROOT R,et al.The value of the world's ecosystem services and natural capital[J].Nature,1997,387(1996):253-260.
- [4] 赵士洞,张永民.生态系统评估的概念、内涵及挑战-介绍生态系统与人类福利:评估框架[J].地球科学进展,2004,19(4):650-657.(ZHAO Shidong,ZHANG Yongmin.Concepts,contents and challenges of ecosystem assessment-introduction to "ecosystems and human well-being: a framework for assessment"[J].Advances in Earth Sciences,2004,19(4):650-657.(in Chinese))
- [5] 肖建红,施国庆,毛春梅,等.河流生态系统服务功能及水坝对其影响[J].生态学杂志,2006,25(8):969-978.(XIAO Jianhong,SHI Guoqing,MAO Chunmei,et al.River ecosystem service function and dam-construction

- [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25 (8): 969-978. (in Chinese))
- [6] 崔丽娟,张岩,张曼胤,等. 湿地水文过程效应及其调控技术[J]. 世界林业研究, 2011, 24 (2): 10-14. (CUI Lijuan, ZHANG Yan, ZHANG Manyin, et al. A study of effect of wetland hydrology process and its regulation techniques[J]. World Forestry Research, 2011, 24 (2): 10-14. (in Chinese))
- [7] 陈丹,陈菁,罗朝晖. 天然水资源价值评估的能值方法及应用[J]. 水利学报, 2006, 37 (10), 1188-1192. (CHEN Dan, CHEN Jing, LUO Zhaohui. Evaluation method of natural water resources based on emergy theory and its application[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37 (10), 1188-1192. (in Chinese))
- [8] 车巧慧,陶月赞,周蜜,等. 皮山河下游沙漠区洪水资源化成效分析[J]. 水资源保护, 2014, 30 (4): 57-60. (CHE Qiaohui, TAO Yuezan, ZHOU Mi, et al. Analysis of flood resources in desert area downstream of Pishan River [J]. Water Resources Protection, 2014, 30 (4): 57-60. (in Chinese))
- [9] 赵同谦,欧阳志云,王效科,等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报, 2003, 18 (4): 443-452. (ZHAO Tongqian, OUYANG Zhiyun, WANG Xiaoke, et al. Ecosystem services and their valuation of terrestrial surface water system in China[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18 (4): 443-452. (in Chinese))
- [10] 黄涛珍,陈思媛,宋胜帮. 对我国绿色 GDP 核算试点实践的思考[J]. 水资源保护, 2014, 30 (3): 90-94. (HUANG Taozhen, CHEN Siyuan, SONG Shengbang. Research on pilot projects of green GDP accounting in China[J]. Water Resources Protection, 2014, 30 (3): 90-94. (in Chinese))
- [11] 甘泓,秦长海,汪林,等. 水资源定价方法与实践研究 I: 水资源价值内涵浅析[J]. 水利学报, 2012, 43 (3): 289-296. (GAN Hong, QIN Changhai, WANG Lin, et al. Study on water pricing method and practice I: discussion on the connotation of water resources value[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43 (3): 289-296. (in Chinese))
- [12] 唐占辉,盛连喜,马逊风,等. 浅谈湿地生态及环境功能: 探讨吉林省湿地的保护策略[J]. 林业建设, 2004 (6): 36-39. (TANG Zhanhui, SHENG Lianxi, MA Xunfeng, et al. Discussion on wetland ecological and environmental functions: discussion Jilin wetlands protection policy [J]. Forestry Construction, 2004 (6): 36-39. (in Chinese))
- [13] 王全波,杜明广. 我国东北湿地恢复的现状与前景展望[J]. 林业勘察设计, 2006 (4): 25-27. (WANG Quanbo, DU Mingguang. Current situation and prospect of wetland restoration in Northeast China [J]. Forestry Prospect and Design, 2006 (4): 25-27. (in Chinese))
- [14] 沈范珠,赵大生. 吉林省湿地生态服务功能分析[J]. 吉林林业科技, 2013, 42 (3): 21-24. (SHEN Fanzhu, ZHAO Dasheng. Analysis on the ecological service function of wetland in Jilin Province [J]. Journal of Jilin Forestry Science and Technology, 2013, 42 (3): 21-24. (in Chinese))
- [15] 于晓光,李春华,孙传生,等. 吉林湿地生态环境保护措施研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12 (6): 226-227. (YU Xiaohua, LI Chunhua, SUN Chuansheng, et al. Study on protection measures for eco-environment of wetlands in Jilin [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12 (6): 226-227. (in Chinese))
- [16] 宋文娟,熊黑钢. 新疆开垦河流域径流变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2008, 15 (4): 224-227. (SONG Wenjuan, XIONG Heigang. Analysis on runoff variation characteristics of Kaiken River Basin in Xinjiang [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15 (4): 224-227. (in Chinese))
- [17] 刘新春,杨金龙,杨青. 三工河流域 40 年来气温、降水变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12 (6): 54-58. (LIU Xinchun, YANG Jinlong, YANG Qing. Analysis on the variations characteristics of air temperature, precipitation in the Sangong River Basin in the past 40 years [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12 (6): 54-58. (in Chinese))
- [18] BUCHER E H, BONETTO A, BOYLE T, et al. Hidrovía: an initial environmental examination of the Paraguay-Paraná Waterway, wetlands for the Americas, Manomet [EB/OL]. [2015-06-15]. <https://www.fort.usgs.gov/thesaurus-topic/paraguay-parana-waterway>.
- [19] 陈云浩,蒋卫国,赵文吉,等. 基于多源信息的北京城市湿地价值评价与功能分区[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 96-132.
- [20] 文豪,李鹤,耿郁,等. 吉林省朝阳水库“2010·7·28”洪水调查分析[J]. 中国防汛抗旱, 2011, 21 (2): 62-66. (WEN Hao, LI He, GENG Yu, et al. Jilin Province “2010·7·28” Chaoyang Reservoir flood investigation and analysis [J]. China Flood & Drought Management, 2011, 21 (2): 62-66. (in Chinese))
- [21] 孟翔鲲. 吉林市洪灾造成涉农金融机构贷款损失亟待关注[J]. 吉林金融研究, 2010 (10): 73-74. (MENG Xiangkun. Jilin City flood caused by agricultural financial institutions loan losses to be attention [J]. Jilin Finance Research, 2010 (10): 73-74. (in Chinese))
- [22] 吴秀芹,龙花楼,高吉喜,等. 江汉平原湿地功能下降与洪涝灾害关系分析[J]. 生态环境, 2005, 14 (6): 884-889. (WU Xiuqin, LONG Hualou, GAO Jixi, et al. Analysis of the relationship between declining functions of wetland and increasing frequency of flood and waterlog in Jianghan Plain [J]. Ecology and Environment, 2005, 14 (6): 884-889. (in Chinese))

(下转第 66 页)

- based on coefficient variation method [J]. Environmental Science, 2013, 34(4): 1277-1283. (in Chinese)
- [14] 黄新焕, 王文平, 蔡彬清. 我国能源-经济-环境系统协调发展评价 [J]. 统计与决策, 2015(9): 68-70. (HUANG Xinhuan, WANG Wenping, CAI Binqing, et al. Energy-economy-environment system evaluation of coordinated development in China [J]. Statistics and Decision, 2015(9): 68-70. (in Chinese))
- [15] 王延梅, 曹升乐, 于翠松, 等. 水资源系统与社会经济生态系统协调性评价 [J]. 中国农村水利水电, 2015(3): 110-113. (WANG Yanmei, CAO Shengle, YU Cuisong, et al. The harmony evaluation of water resources system and the social economic ecological system [J]. China Rural Water and Hydropower, 2015(3): 110-113. (in Chinese))
- [16] 何玉春, 谢明勇, 龙德江. 基于变异系数法的灰色关联模型在水电工程投资方案优选中的应用 [J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(2): 127-129. (HE Yuchun, XIE Mingyong, LONG Dejiang. Application of gray correlation model for the optimization of hydro-power project investment based on the variation coefficient method [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2009, 20(2): 127-129. (in Chinese))
- [17] 储莎, 陈来. 基于变异系数法的安徽省节能减排评价研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(3): 512-516. (CHU Sha, CHEN Lai. Evaluation of energy saving and emission reduction of Anhui based on variation coefficient approach [J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(3): 512-516. (in Chinese))
- [18] 汤钊, 李建平, 余乐安, 等. 基于距离协调度模型的系统协调发展定量评价方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(4): 594-602. (TANG Ling, LI Jianping, YU Le'an, et al. Quantitative evaluation methodology for system coordination development based on distance coordination degree model [J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2010, 30(4): 594-602. (in Chinese))
- [19] 新疆水利厅. 新疆水资源公报. [EB/OL]. [2016-04-05]. <http://www.xjslt.gov.cn/szygb/index.htm>. (收稿日期: 2015-07-21 编辑: 王芳)
-
- (上接第 33 页)
- [23] 陈刚起, 张文芬. 三江平原沼泽对河川径流影响的初步探讨 [J]. 地理科学, 1982, 2(3): 254-263. (CHEN Gangqi, ZHANG Wenfen. A preliminary approach to the influence of the swamps in the Sanjiang Plain on river runoff [J]. Scientia Geographica Sinica, 1982, 2(3): 254-263. in Chinese)
- [24] KEDDY, P. A. Wetland ecology: principles and conservation [M]. 2nd. New York: Cambridge University Press. 2010: 497.
- [25] 闫敏华, 邓伟, 陈洋勤. 三江平原沼泽性河流域降水、径流变化及影响因素研究 [J]. 湿地科学, 2004, 2(4): 268-275. (YAN Minhua, DENG Wei, CHEN Panqin. Precipitation and runoff changes and their influence factors of Marshy River in the Sanjiang Plain, China [J]. Wetland Science, 2004, 2(4): 268-275. (in Chinese))
- [26] 刘兴土. 三江平原沼泽湿地的蓄水与调洪功能 [J]. 湿地科学, 2007, 5(1): 64-68. (LIU Xingtu. Water storage and flood regulation functions of marsh wetland in the Sanjiang Plain [J]. Wetland Science, 2007, 5(1): 64-68. (in Chinese))
- [27] MALTBY E. Waterlogged wealth: why waste the world's wet places? [R]. London: International Institute for Environment and Development, 1986.
- [28] Wetland Ecosystem Services. Ramsar convention ecosystem services benefit factsheets [EB/OL]. [2015-06-13]. http://archive.ramsar.org/cda/en/ramsar-pubs-info-ecosystem-services/main/ramsar/1-30-103%5E24258_4000_0.
- [29] BEDFORD B L. The need to define hydrologic equivalence at the landscape scale for freshwater wetland mitigation [J]. Ecological Applications, 1996, 6(1): 57-68.
- [30] NELSON M L, RHOADES C C, DWIRE, K A. Influences of bedrock geology on water chemistry of slope wetlands and headwaters streams in the southern Rocky Mountains [J]. Wetlands, 2011, 31(2): 251-261.
- [31] BROOKS R T. A review of basin morphology and pool hydrology of isolated ponded wetlands: implications for seasonal forest pools of the northeastern United States [J]. Wetlands Ecology and Management, 2011, 13(3): 335-348.
- [32] 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. (CUI Lijuan. Evaluation on functions of Poyang Lake ecosystem [J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(4): 47-51. (in Chinese))
- [33] 张灏, 王立, 孔东升. 黑河湿地自然保护区调蓄洪水与提供水源功能价值评估 [J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(10): 152-156. (ZHANG Hao, WANG Li, KONG Dongsheng. Evaluation on the value of flood adjust function and water supply function of the Heihe Wetland National Nature Reserve in Zhangye [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(10): 152-156. (in Chinese))
- [34] 高标, 崔凤午. 吉林省生态足迹与生态承载力动态变化分析与预测研究 [J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 105-110. (GAO Biao, CUI Fengwu. Research on dynamic change analysis and prediction of ecological footprint and ecological capacity in Jilin Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(6): 105-110. (in Chinese)) (收稿日期: 2015-08-05 编辑: 王芳)