

莫莫格湿地主要生态服务功能动态评价

肖红叶, 张明祥*, 肖蓉

(北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083)

摘要:以地处吉林省西部的莫莫格国家级自然保护区为研究区,选择白鹤(*Grus leucogeranus*)栖息地承载力、蓄洪和固碳3个湿地主要生态服务功能,对该保护区湿地在2002年、2008年和2013年的主要生态服务功能动态变化进行评价。利用研究区土壤、植被、水文以及白鹤分布等图文数据,结合室内土壤有机碳含量和持水量测试结果,利用Neu法、热量法、蓄洪和固碳等公式对3个湿地生态服务功能进行定量计算。研究表明,2002年、2008年和2013年,该保护区白鹤栖息地容纳白鹤的数量为28 400只、2 468只和4904只;食物容纳白鹤的数量分别为 24×10^4 只、 2.1×10^4 只和 4.3×10^4 只;水体蓄洪量分别为 $12.35 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $11.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $8.62 \times 10^8 \text{ m}^3$;植物固碳量分别为 $30 \times 10^4 \text{ t}$ 、 $17 \times 10^4 \text{ t}$ 和 $20 \times 10^4 \text{ t}$ 。2002~2008年间,莫莫格国家级自然保护区湿地生态系统的3个主要生态服务功能随湿地的退化而逐渐减弱;2008~2013年间,其3个主要生态服务功能有所恢复,说明湿地保护工作开展得当,湿地退化速度减缓。

关键词:湿地生态服务功能;栖息地承载力;蓄洪量;固碳量;莫莫格国家级自然保护区

中图分类号:F062.2

文献标识码:A

文章编号:1672-5948(2012)04-451-08

1970年,在联合国大学发表的《人类对全球环境的影响报告》中,首次提出生态系统服务功能的概念;1997年,Robert Costanza将生态系统提供的人类生活必须的生态产品和保证人类生活质量的生态功能统称为生态系统服务^[1]。而在千年生态系统评估(MA)中,进一步将湿地生态系统服务功能定义为“人们从生态系统中获取的各种惠益”^[2]。20世纪90年代末期,日本、欧洲国家和美国陆续开展湿地评价项目,建立了一系列评价湿地生态系统服务功能的指标体系^[3]。近年来,国内湿地生态系统评价领域发展较快,当前生态系统服务的价值评估主要以瞬时价值评估作为时间尺度特征^[4]。由于湿地生态系统是一个不断发展的、动态的、复杂的系统,其生态服务功能具有动态性的特征,它随着湿地生态系统的变化而变化,受自然因素和人为干扰的制约。因此,未来连续动态价值评价及价值量变化的驱动力分析将成为研究热点。

1 材料与方法

1.1 研究区

莫莫格国家级自然保护区($45^{\circ}45'N \sim 46^{\circ}10'N$, $122^{\circ}27'E \sim 124^{\circ}4'E$)位于吉林省西部白城市镇赉县境内,总面积 $14.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中,湿地面积占该保护区总面积的80%以上。该保护区是吉林省最大的湿地类型保护区,是松嫩平原西部边缘的重要碳储地,植物固碳和土壤储碳能力较强;该保护区有鸟类218种,其中30多种属珍稀保护鸟类,停歇数量尤以白鹤(*Grus leucogeranus*)居多,体现了莫莫格湿地作为珍稀濒危水禽栖息地的重要生态功能^[5,6]。该保护区年降水量仅为300 mm,降水主要集中在6~8月,占全年降水量的76.6%,且呈雨热同季的特征^①。莫莫格湿地主要接纳和承载嫩江、洮儿河和二龙涛河汛期行洪,具有蓄洪、滞洪的作用,可有效减缓洪水对下游松花江流域的威胁和侵害,流域内的泡沼、湖泊尤以月亮泡、鹅头泡和哈尔挠水库面积较大。因此,该保护区以水

收稿日期:2013-12-21;修订日期:2014-04-25

基金项目:国家国际科技合作专项项目(2012DFA91530)资助。

作者简介:肖红叶(1987-),女,吉林省白城人,硕士研究生,主要从事湿地评价方向的研究。E-mail: kaolakaola1987@163.com

*通讯作者:张明祥,教授。E-mail: zmx1972@126.com

^①于国海,孙孝维,邹畅林.莫莫格保护区野生动植物及水文本底调查报告[R].吉林莫莫格国家级自然保护区管理局,2009.

禽栖息地、蓄洪和固碳为主要生态服务功能。其中,栖息地功能以停歇数量最多的水禽白鹤的栖息地功能展开研究。本文中,蓄洪量指湿地土壤或湖泊、泡沼等水体可蓄纳洪水的总量,有的文献将其定义为均化洪水量^[7]。由于湿地生态系统的服务功能具有动态特性,本研究选取2002年、2008年和2013年作为研究时期,进行对比研究。

1.2 采样及测试方法

于2013年5月,采集土壤样品。这个季节比较干燥,避开了雨季对土壤性质的影响。由于湿地土壤中的碳主要富集于地下0~20 cm深度的土层中^[8],因此,本研究只计算地下0~20 cm处土壤的储碳量。参考文献[7]的研究结果,本研究在计算土壤蓄洪能力时,仅计算0~60 cm厚土层的含水量。根据2012年莫莫格保护区土壤类型图中土壤分布和样点间距等因素,确定采样位置,在野外利用GPS定位选取12个采样点(图1),用100 cm³环刀,分别于每个土壤剖面的地下0 cm、20 cm、40 cm和60 cm深度处取土样,设3个重复,共采集144个土壤样品。测定的土样参数包括土壤自然含水率、饱和含水率和容重。利用环刀法测量土壤自然含水率和容重。将在野外采集的环刀土壤样品浸在水中8 h后,称质量,然后计算土壤饱和含水率^[7]。将野外采集到的土壤样品置于105 °C烘箱内,烘干6~8 h至恒质量,研磨并过60目筛,若通过筛网的样品过多,则采用四分法取样,直至最后取样40 mg,用燃烧舟送入TOC仪(Multi N/C 3100,德国耶拿)测其全碳含量^[9]。

1.3 计算方法

1.3.1 白鹤栖息地功能

Neu方法是一种确定野生动物对生境选择性的统计方法^[11]。“利用程度”为一种生境中白鹤数量占总白鹤数量的百分比;“可获得程度”指该生境面积占各种生境总面积的百分比。白鹤对某一种生境的利用程度大于、等于或小于该生境的可获得程度,分别表示它们对这种生境的正选择性、无选择性或负选择性。

白鹤栖息地容纳量 C_h (只)的计算公式^[10]为:

$$C_h = S_h / S_i \quad (1)$$

公式(1)中, S_h (m²)为白鹤偏爱生境总面积; S_i (m²)为单只白鹤所需空间面积。

白鹤食物容纳量 C_f (只)的计算公式^[10]为:

$$C_f = E_i / E_1 \quad (2)$$

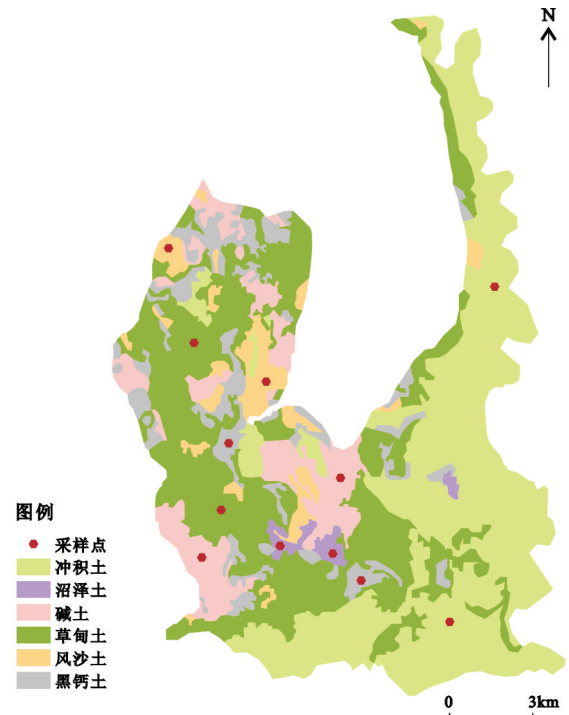


图1 采样点分布图

Fig.1 The locations of soil sampling sites

公式(2)中, E_i (kJ)为莫莫格白鹤食物能量总和; E_1 (kJ)为停留期单只白鹤年需能量值。

1.3.2 蓄洪功能

土壤蓄洪总量 W_{\pm} (m³)的计算公式^[7]为:

$$W_{\pm} = (P - A) \times (100 \times D \times H \times S) / \rho \quad (3)$$

公式(3)中, P (%)为土壤饱和含水率; A (%)为土壤自然含水率; D (g/cm)为土壤容重;100为单位转换系数; H (cm)为土层厚度, $H = 60$ cm; S (m²)为某种土壤分布面积; ρ (kg/m³)为水的密度, $\rho = 1 \times 10^3$ kg/m³。

水体蓄洪总量 W_w (m³)的计算公式^[11]为:

$$W_w = W_{\max} - W_h \quad (4)$$

公式(4)中, W_{\max} (m³)为水体极限库容; W_h (m³)为水体当年最大蓄水量。

1.3.3 固碳功能

根据光合作用反应式,植物固定CO₂量 Q_1 (t)的计算公式^[11]为:

$$Q_1 = 1.63B \quad (5)$$

公式(5)中, B (t)为植物初级净生产力。

稻田CH₄排放量 Q_d (t)的计算公式^[12]为:

$$Q_d = 2.4 \times 10^{-8} \times S_d \times D_d \times Q_2 \quad (6)$$

公式(6)中, S_d (m²)为水稻收割面积; D_d (d)为水稻生长期; Q_2 [mg/(m²·h)]为稻田CH₄排放通量; 2.4×10^{-8} 为单位转换系数。

芦苇(*Phragmites australis*)CH₄排放量 $Q_L(t)$ 的计算公式^[13]为:

$$Q_L = 2.4 \times 10^{-8} \times S_L \times D_L \times Q_3 \quad (7)$$

公式(7)中, $S_L(m^2)$ 为芦苇—碱蓬面积; $D_L(d)$ 为芦苇生长期; $Q_3[mg/(m^2 \cdot h)]$ 为芦苇CH₄排放通量; 2.4×10^{-8} 为单位转换系数。

植物固碳总量 $C_T(t)$ 的计算公式^[13]为:

$$C_T = Q_4 - Q_5 \quad (8)$$

公式(8)中, $Q_4(t)$ 为植物固定CO₂中的碳含量; $Q_5(t)$ 为植物排放CH₄中的碳含量。

土壤总碳储量 $SOC(t)$ 的计算公式^[8]为:

$$SOC = 1 \times 10^{-7} \times C \times D \times H \times S \quad (9)$$

公式(9)中, $C(g/kg)$ 为土壤全碳含量; $D(g/cm^3)$ 为土壤容重; $H(cm)$ 为土层厚度, $H = 20 cm$; $S(m^2)$ 为某种类型土壤分布面积; 1×10^{-7} 为单位转换系数。

2 结果与讨论

2.1 白鹤栖息地功能

白鹤是世界上15种鹤类中最濒危的三种之一,其种群数量为3 500~4 000只^[14],吉林省莫莫格湿地是白鹤东部迁徙路线上的重要的中途停歇地^[6]。水禽栖息地的限制因子一般为食物、水和隐蔽物^[15]。莫莫格湿地泡沼密布,水资源供给充足,因此不考虑水对白鹤的限制,只计算白鹤栖息地容纳量和食物容纳量两个分量^[10]。根据2008年莫莫格土地利用图和植被类型图,将白鹤生境划分为碱蓬(*Suaeda glauca*)草甸、稻田、扁秆蔗草(*Scirpus planiculmis*)—芦苇沼泽、苔草(*Carex sp.*)—小叶章(*Calamagrostis angustifolia*)沼泽、盐碱地和湖泊、泡沼6种类型。利用CAD软件,计算2002年、2008年和2013年莫莫格白鹤6种生境类型的面积(表1)。由于2002年和2013年莫莫格保护区白鹤监测数据都未按生境类型划分,因此只考虑2008

年白鹤偏爱生境类型。结合莫莫格保护区提供的2008年莫莫格白鹤监测数据和2008年莫莫格白鹤分布网格图,统计各生境类型中白鹤的数量,并利用Neu方法进行分析,得其偏爱生境类型为扁秆蔗草—芦苇沼泽(表2)。

表1 2002年、2008年和2013年莫莫格国家级自然保护区6种白鹤生境的面积

Table1 The areas of 6 habitats of *Grus leucogeranus* in Momoge National Nature Reserve in 2002, 2008 and 2013

生境类型	面积(hm ²)		
	2002年	2008年	2013年
碱蓬草甸	32 310.49	36 822.19	32 381.22
稻田	10 374.03	15 795.54	16 392.6
扁秆蔗草—芦苇沼泽	14 200.80	1 234.17	2 452.03
苔草—小叶章沼泽	35 445.25	22 415.80	29 760.21
盐碱地	9 190.60	699.75	853.56
湖泊、泡沼	10 336.43	19 921.92	11 373.24

白鹤只选择面积较大、植物稀疏、相对隔离且干扰少的湿地进行停歇^[6]。2007年至今,白鹤在莫莫格湿地的主要停歇地为鹅头泡。根据莫莫格保护区管理局白鹤监测数据(表3)可知,2010年莫莫格自然保护区管理局实际监测到白鹤3 045只,2010年鹅头泡面积为1 941 hm²^[14],按白鹤主要分布在鹅头泡的情况估算,鹅头泡地区每只白鹤栖息占地面积约为0.6 hm²,栖息密度约为1.6只/hm²。大中型鸟类,如鹤形目、鹳形目、雁形目鸟类,鸟类个体越大,要求的警戒距离越大,栖息占地面积越大。白鹤与丹顶鹤(*Grus japonensis*)个体大小相近,已知丹顶鹤平均每只占地约0.4~1.25 hm²^[10],白鹤栖息密度参考丹顶鹤以2只/hm²估算。根据公式(1),计算得到2002年、2008年和2013年白鹤适宜生境面积分别为14 200 hm²、1 234 hm²和2 452 hm²,可容纳白鹤约28 400只、2 468只和4 904只。

表2 2008年莫莫格国家级自然保护区白鹤生境选择性

Table 2 Habitat selectivity of *Grus leucogeranus* in Momoge National Nature Reserve in 2008

生境类型	数量(只)	面积(hm ²)	利用程度(%)	可获得程度(%)	生境选择性
碱蓬草甸	257	36 822.19	11.773	38.004	-
稻田	14	15 795.54	0.641	16.303	-
扁秆蔗草—芦苇沼泽	1 891	1 234.17	86.624	1.274	+
苔草—小叶章沼泽	0	22 415.80	0.000	23.135	-
盐碱地	8	699.75	0.366	0.722	-
湖泊、泡沼	13	19 921.92	0.596	20.562	-
总计	2 183	96 889.37	100.000	100.000	

许多学者提出过生境容纳量的估算模型,大都假定其量只与生境的营养供应量有关,如霍布斯(Hobbs)的模型公式^[10][如公式(2)]。本研究采用热量法,计算莫莫格保护区白鹤栖息地食物容纳量,由圈养白鹤单只日食物量代谢能(表4)可知,莫莫格保护区圈养白鹤每只每天需获取4 006.94 kJ能量。博尔特(Boerte)认为,同种类的野生动物比圈养动物的能耗支出多20%^[10]。按白鹤在莫莫格保护区停留期为120 d计算,每只白鹤平均全年所需食物代谢能为 5.8×10^5 kJ。在莫莫格保护区,白鹤以扁秆蔗草和三江蔗草(*Scirpus nipponicus*)的地下球茎为主要食物。在莫莫格湿地白鹤集中区,刘春悦等测得扁秆蔗草球茎密度为(46.0 ±

44.3) 个/m²^[4];吴竞伦等测得地下0~5 cm、5~10 cm和10~15 cm处扁秆蔗草球茎重量分别为0.9 g、1.1 g和1.1 g^[6];从分布规律的角度,郑志华认为莫莫格湿地扁秆蔗草球茎主要集中在0~10 cm的土层范围^[7]。因此,扁秆蔗草球茎质量按照1 g/个计算,扁秆蔗草球茎热值按22 kJ/g计算^[18]。2002年、2008年和2013年莫莫格湿地扁秆蔗草—芦苇生境面积为14 200.8 hm²、1 234.17 hm²和2 452.03 hm²(见表1),分别能为白鹤提供 14×10^{10} kJ、 1.2×10^{10} kJ和 2.5×10^{10} kJ的蔗草球茎。由公式(2),得到2002年、2008年和2013年莫莫格湿地的白鹤食物容纳量分别为 24×10^4 只、 2.1×10^4 只和 4.3×10^4 只。

由表5可知,自2002年以来莫莫格湿地的食

表3 2002年、2008年、2010年和2012年莫莫格国家级自然保护区白鹤监测数据

Table 3 Monitoring data of *Grus leucogeranus* in Momoge National Nature Reserve in 2002, 2008, 2010 and 2012

时 间	春季迁到至迁离日期	秋季迁到至迁离日期	停歇时间(d)	数量(只)	主要分布地
2002年	3月22日~5月10日	9月11日~11月3日	104	583	五棵树、嘎什根、少力东
2008年	3月17日~5月20日	9月3日~11月7日	131	2 074	鹅头泡、东乜、苏克马、代头、咕噜台、局址、创业
2010年	3月29日~5月27日	9月6日~11月11日	127	3 045	鹅头泡、苏克马、代头、少力东、咕噜台、局址
2012年	3月14日~5月3日	9月1日~11月14日	125	3 351	鹅头泡、都鲁巴、苏克马、米太、谢太庙

表4 莫莫格国家级自然保护区圈养白鹤单只日食物量代谢能

Table 4 Metabolizable energy of daily food amount for single captive *Grus leucogeranus* in Momoge National Nature Reserve

项 目	饲料配方							总 计	
	颗粒饲料 125 g							小杂鱼 200 g	玉米面 200 g
	玉米面	豆粕粉	鱼粉	麦麸	骨粉	盐	维生素		
	73.25 g	25 g	12.5 g	12.5 g	0.25 g	1.25 g	0.25 g		
代谢能(kJ)	782.31	261.75	143.88	55	—	—	—	628	2 136
									4 006.94

表5 2002年、2008年和2013年莫莫格国家级自然保护区栖息地和食物容纳白鹤的数量及实际监测的白鹤数量

Table 5 Habitat carrying capacity and food capacity of number of *Grus leucogeranus* and monitoring data in Momoge National Nature Reserve in 2002, 2008 and 2013

项 目	2002年	2008年	2013年
栖息地容纳白鹤的数量(只)	28 400	2 468	4 904
食物容纳白鹤的数量(只)	24×10^4	2.1×10^4	4.3×10^4
实际监测到的白鹤数量(只)	583	2 183	3 351

物容纳和栖息地容纳白鹤的数量都大幅减少,这与2000~2002年位于莫莫格保护区境内的吉林油田实施第二次大规模开发有关,工程钻井施工期对保护区野生动物生境造成极大破坏。2013年,莫莫格湿地容纳白鹤的数量与实际监测数量都有

小幅增加,这主要与莫莫格保护区管理局对石油开采区实施生态恢复工程和自2005年起每年从嫩江干流引水 40×10^4 m³向哈拉塔碱草甸白鹤保护核心区补水有关。2002年至今,莫莫格湿地白鹤实际监测数量持续增加,这不仅说明近年来保护区管理局保护工作开展得当,使白鹤生境恢复良好,部分原因可能是其他白鹤迁徙停歇地由于干旱或人类活动被破坏,导致这些白鹤迁徙至莫莫格湿地。黑龙江省的扎龙湿地、吉林省的莫莫格湿地和哈拉海湿地都是白鹤东部迁徙的中途停歇地^[6]。白鹤在这两个地区的数量逐年减少,尤其是扎龙湿地近年来面积萎缩近一半,水资源短缺、水质污染、生境破碎化现象严重,致使白鹤种群数量急剧减少,到目前已不足500只^[19]。比较莫莫格湿

地和扎龙湿地白鹤日间活动规律,莫莫格湿地白鹤的游走时间仅为扎龙湿地白鹤的1/6,觅食时间却为其2倍,这也说明了扎龙湿地白鹤的食物资源匮乏,导致其迁徙种群数量显著下降^[14]。

2.2 蓄洪功能

莫莫格国家级自然保护区6种土壤的自然含水率、饱和含水率和容重详见表6。

利用CAD软件,得到2013年莫莫格国家级自然保护区沼泽土、草甸土、黑钙土、冲积土、风沙土和碱土的面积,分别为2 919.90 hm²、46 738.75 hm²、11 705.35 hm²、60 196.58 hm²、9 632.15 hm²和12 807.27 hm²;它们在2002年的面积分别为658.82 hm²、77 567.82 hm²、5 157.04 hm²、42 942.84 hm²、5 278.77 hm²和7 091.64 hm²。根据公式(3),计算得到2013年莫莫格保护区沼泽土、草甸土、黑

钙土、冲积土、风沙土和碱土可能的蓄洪总量分别为 $5.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、 $3.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $2.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $3.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $1.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,则莫莫格保护区土壤蓄洪总量为 $13 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。参考文献[7]的研究结果显示,2002年莫莫格保护区土壤蓄洪总量为 $257 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

莫莫格保护区水体蓄洪部分主要计算3个主要水体(月亮泡、哈尔挠水库和鹅头泡等核心区泡沼)的蓄洪能力。根据白城市水利局提供的数据,按照公式(4)计算2002年、2008年和2013年莫莫格保护区三大水体的蓄洪量(表7)。2002年、2008年和2013年莫莫格国家级自然保护区水体蓄洪总量分别为 $12.35 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $11.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $8.62 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于湿地蓄洪总量包括土壤蓄洪总量和水体蓄洪总量两部分,2002年莫莫格湿地蓄洪总量为

表6 2013年莫莫格国家级自然保护区6种土壤的容重和含水率

Table 6 The bulk densities and moisture contents of 6 kinds of soil in Momoge National Nature Reserve in 2013

项目	沼泽土	草甸土	黑钙土	冲积土	风沙土	碱土
自然含水率(%)	21.75 ± 4.09	11.68 ± 4.13	3.65 ± 0.61	17.25 ± 4.13	5.60 ± 1.08	7.86 ± 1.43
饱和含水率(%)	24.22 ± 3.71	19.27 ± 2.63	33.63 ± 4.08	24.02 ± 6.79	27.22 ± 1.51	17.64 ± 1.72
容重(g/cm)	1.54 ± 0.11	1.70 ± 0.06	1.35 ± 0.06	1.51 ± 0.22	1.43 ± 0.04	1.61 ± 0.04

$270 \times 10^8 \text{ m}^3$,2013年的蓄洪总量为 $22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表7 2002年、2008年和2013年莫莫格国家级自然保护区三大水体的蓄洪量

Table 7 Storage capacity of the 3 waters in Momoge National Nature Reserve in 2002, 2008 and 2013

水体名称	蓄洪总量(m ³)		
	2002年	2008年	2013年
月亮泡	11.00×10^8	10.00×10^8	8.10×10^8
鹅头泡等核心区泡沼	1.20×10^8	1.00×10^8	0.45×10^8
哈尔淖水库	0.15×10^8	0.12×10^8	0.07×10^8
总计	12.35×10^8	11.12×10^8	8.62×10^8

比较2002年、2008年和2013年莫莫格湿地的蓄洪能力,其水体蓄洪量、土壤蓄洪量和蓄洪总量都持续减少。影响湿地蓄洪功能的主要因素是湿地容积和降水量^[20],由于保护区总面积未变,可知莫莫格湿地蓄洪能力的变化与降水量变化有关。2001~2012年莫莫格地区降水量在波动增加(图2),导致水体水位在波动上升,在水体极限库容不变的前提下,水体蓄洪量必然波动减少。降水量的增加还使土壤自然含水量增加,土壤蓄洪能力也相应减弱。

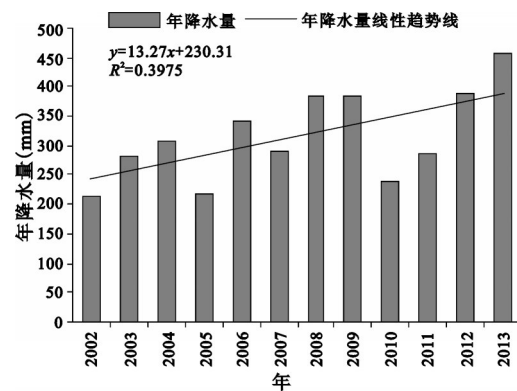


图2 2001~2012年莫莫格地区的年降水量
Fig.2 Annual precipitation in Momoge region from 2001 to 2012

由表7可知,莫莫格湿地水体平均蓄洪总量为 $10.70 \times 10^8 \text{ m}^3$,远小于同为洮儿河流域下游的吉林省向海湿地($163 \times 10^8 \text{ m}^3$)^[11]和位于长江三角洲南缘的太湖湿地($44 \times 10^8 \text{ m}^3$)^[21],大于黑龙江扎龙湿地($2.395 \times 10^8 \text{ m}^3$)^[19]、上海崇明东滩湿地($3.78 \times 10^8 \text{ m}^3$)^[22]和天津七里海湿地($0.8 \times 10^8 \text{ m}^3$)^[23],说明莫莫格湿地水体蓄洪能力处于国内湿地中等水平。2013年莫莫格湿地土壤蓄洪能力平均值为 $9 028 \text{ t/hm}^2$,远大于森林土壤蓄洪能力平均值(779 t/hm^2)^[24],说明湿

地土壤持水能力显著高于森林土壤,这是湿地土壤在厌氧条件下形成的高粘土矿物含量和高有机质含量所决定的^[19]。湿地调蓄洪水的价值为 850 美元/(hm²·a)^[1],利用影子工程法逆推得到全球单位面积湿地平均蓄洪量为 8 246 m³/(hm²·a);单位面积沼泽的调蓄水量为 1×10⁴ m³/(hm²·a)^[25];本研究得到的莫莫格湿地单位面积蓄洪量平均值为 10.14×10⁴ m³/(hm²·a),远大于前二者,说明莫莫格湿地蓄洪能力显著大于国内外湿地蓄洪平均水平。

2.3 固碳功能

湿地固碳总量为土壤储碳量和植物固碳量之和^[26]。莫莫格湿地按照植物类型主要分为苔草—小叶章沼泽、扁秆蔗草—芦苇沼泽、水稻田和林地,其中苔草—小叶章沼泽、扁秆蔗草—芦苇沼泽和水稻田的面积详见表 1,林地的面积为 5 600 hm²、2 463 hm²和 2 187 hm²。扁秆蔗草—芦苇的生物量为 1.466 kg/m²,苔草—小叶章的生物量为 0.621 kg/m²^[13],水稻的平均生产力为 1 393 g/m²^[12],针阔叶混交林的年平均生产力为 13.9 t/(hm²·a)^[27],则莫莫格保护区的 2002 年、2008 年和 2013 年的植物初级生产力总量分别为 6.5×10⁵ t、4.1×10⁵ t 和 4.8×10⁵ t,根据公式(5),得到莫莫格湿地植物固定 CO₂的总量分别为 1.1×10⁶ t、0.67×10⁶ t 和 0.78×10⁶ t,其中固定碳元素的总量分别为 30×10⁴ t、18×10⁴ t 和 21×10⁴ t。

莫莫格湿地主要是芦苇沼泽、苔草沼泽和稻田排放 CH₄^[13]。芦苇沼泽的平均 CH₄排放通量为 0.52 mg/(m²·h)^[13],苔草沼泽平均 CH₄排放通量为 11.15 mg/(m²·h)^[28],稻田的平均 CH₄排放通量为 16.1 mg/(m²·h)^[12]。若将当地水稻、苔草和芦苇的生长期以 150 d 估算,根据公式(6)和(7)计算,得到 2002 年、2008 年和 2013 年水稻 CH₄排放量分别为 6 012 t、9 155 t 和 9 500 t;苔草 CH₄排放量分别为 14 232 t、807 t 和 11 946 t;芦苇 CH₄排放量分别为 265.8 t、23.1 t 和 45.9 t。根据以上结果,2002 年、2008 年和 2013 年莫莫格湿地的 CH₄排放总量为 20 510 t、9 985 t 和 21 492 t,其中排放碳元素的总量为 15 383 t、7 489 t 和 16 119 t。用公式(8)计算,得到 2002 年、2008 年和 2013 年莫莫格湿地植物固碳总量分别为 28×10⁴ t、17×10⁴ t 和 19×10⁴ t。

将野外采集的土壤样品在实验室测定,得到莫莫格湿地碱土、风沙土、冲积土、黑钙土、草甸土和沼泽土的全碳含量分别为 15.545 g/kg、6.508 g/kg、

8.685 g/kg、8.377 g/kg、12.328 g/kg 和 13.047 g/kg。根据公式(9)和 2013 年莫莫格不同土壤类型分布面积,计算得到 2013 年莫莫格境内 6 种土壤的储碳总量为 4.5×10⁴ t,其中碱土、风沙土、冲积土、黑钙土、草甸土、沼泽土储碳量分别为 5 299 t、1 783 t、15 982 t、2 781 t、17 120 t 和 1 181 t。由植物固碳量和土壤储碳量总和得到 2013 年莫莫格湿地的固碳总量为 24×10⁴ t。

2002 年至今,莫莫格保护区植物固碳量在大幅下降,其中植物固定 CO₂总量持续降低,CH₄排放总量持续增高,这与莫莫格湿地植被遭到破坏,草甸面积大幅减少,稻田面积增加,土壤沙化、盐碱化现象日益严重有关。与 2008 年相比,2013 年的植物固碳量出现小幅增长,这是近几年来保护区管理局开展了湿地保护工作,使莫莫格湿地植被覆盖率增加,植物初级净生产力增加有关。由于文献[26]评价甘肃张掖黑河湿地固碳功能的方法与本研究相近,对比二者研究结果可知,2013 年莫莫格湿地植物固碳量(2.1×10⁵ t)和土壤储碳量(4.5×10⁴ t)都低于黑河湿地植物固碳量(2.9×10⁵ t)和土壤储碳量(3.1×10⁵ t)。莫莫格自然保护区面积约为张掖黑河自然保护区的 4 倍,固碳总量却不到其 1/2。而与全国内陆沼泽的平均固碳速率[41.46 g/(m²·a)]^[29]相比,2013 年莫莫格湿地固碳速率[173.61 g/(m²·a)]相对较高。

3 结 论

2002 年、2008 年和 2013 年,莫莫格国家级自然保护区白鹤栖息地能容纳白鹤的数量为 28 400 只、2 468 只和 4 904 只;食物能容纳白鹤的数量分别为 24×10⁴ 只、2.1×10⁴ 只和 4.3×10⁴ 只;实际监测到的白鹤数量为 583 只、2 183 只和 3 351 只。2002 年、2008 年和 2013 年,该保护区水体的蓄洪量分别为 12.35×10⁸ m³、11.12×10⁸ m³ 和 8.62×10⁸ m³;2002 年和 2013 年的土壤蓄洪量分别为 2.57×10¹⁰ m³ 和 1.3×10⁹ m³;莫莫格湿地 2002 年和 2013 年的蓄洪总量分别为 270×10⁸ m³ 和 22×10⁸ m³。2002 年、2008 年和 2013 年,该保护区植物的固碳量分别为 30×10⁴ t、17×10⁴ t 和 20×10⁴ t;2013 年土壤储碳量为 4.5×10⁴ t;2013 年莫莫格湿地的固碳总量为 24×10⁴ t。

2002~2008 年间,莫莫格国家级自然保护区湿地生态系统的白鹤栖息地承载力、蓄洪和固碳

功能逐渐减弱,莫莫格湿地水资源短缺、水质污染、生境破碎化现象日益严重对湿地功能的有效发挥造成了影响。2008~2013年间,这3个主要生态服务功能有所恢复。

参考文献

- [1] Robert Costanza, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, **387**: 253-260.
- [2] 赵士洞, 赖鹏飞, 译. 生态系统与人类福祉: 湿地与水综合报告[M]. 北京: 中国环境出版社, 2005.
- [3] 殷书柏, 吕宪国. 湿地功能快速评价中的若干理论问题[J]. *湿地科学*, 2006, **4**(1): 1~6.
- [4] 武海涛, 吕宪国. 中国湿地评价研究进展与展望[J]. *世界林业研究*, 2005, **18**(4): 49~53.
- [5] 范巍巍. 莫莫格国家级自然保护区白鹤迁徙期栖息地觅食生境选择研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.
- [6] 何春光, 宋榆钧, 郎惠卿, 等. 白鹤迁徙动态及其停歇地环境条件研究[J]. *生物多样性*, 2002, **10**(3): 286~290.
- [7] 许林书, 姜明. 莫莫格保护区湿地土壤均化洪水效益研究[J]. *土壤学报*, 2005, **42**(1): 159~162.
- [8] 王摇玮. 内蒙古典型草原土壤固碳潜力及其不确定性的估算[J]. *应用生态学报*, 2012, **23**(1): 29~37.
- [9] 李小涵, 李富翠, 王朝辉. 影响 TOC 有机碳分析仪测定土壤碳含量的因素[J]. *分析仪器*, 2011, (5): 8~12.
- [10] 董科, 吕士成, Terry Healy. 江苏盐城国家级珍禽自然保护区丹顶鹤的承载力[J]. *生态学报*, 2005, **25**(10): 2 608~2 615.
- [11] 郝运, 赵妍, 刘颖, 等. 向海湿地自然保护区生态系统服务效益价值估算[J]. *吉林林业科技*, 2004, **33**(4): 25~34.
- [12] 童健. 长沙市湿地生态系统服务功能价值分析[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
- [13] 杨成玉. 莫莫格国家级自然保护区湿地生态系统服务功能价值评估[D]. 长春: 东北师范大学, 2008.
- [14] 刘春悦, 江红星, 孙效维, 等. 白鹤中途停歇地主要食物蕹草球茎密度的空间插值方法研究[J]. *动物学杂志*, 2013, **48**(3): 382~390.
- [15] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [16] 吴竞仑, 周恒昌. 稻田土壤多年生杂草种子库研究[J]. *中国水稻科学*, 2006, **20**(1): 89~96.
- [17] 郑志华. 莫莫格湿地扁秆蕹草繁育特性与生态特性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [18] 葛振鸣, 周晓, 施文彧, 等. 九段沙湿地鸕形目鸟类迁徙季节环境容纳量[J]. *生态学报*, 2007, **27**(1): 90~96.
- [19] 吕玉哲. 扎龙湿地生态功能研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
- [20] 韩永伟, 高馨婷, 高吉喜, 等. 重要生态功能区典型生态服务及其评估指标体系的构建[J]. *生态环境学报*, 2010, **19**(12): 2 986~2 992.
- [21] 许妍, 高俊峰, 黄佳聪. 太湖湿地生态系统服务功能价值评估[J]. *长江流域资源与环境*, 2010, **19**(6): 646~652.
- [22] 吉丽娜, 温艳萍. 崇明东滩湿地生态系统服务功能价值评估[J]. *中国农学通报*, 2013, **29**(5): 160~166.
- [23] 胡蓓蓓, 徐利淼, 李兆江, 等. 天津市七里海湿地价值评估[J]. *安徽农业科学*, 2012, **40**(21): 11 001~11 004.
- [24] 刘明. 凤凰山林场小流域试验场森林土壤涵养水源效益研究[J]. *林业资源管理*, 1998, (6): 51~54.
- [25] 王浩, 陈敏建, 唐克旺. 水生态环境价值和保护对策[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [26] 孔东升, 张灏. 张掖黑河湿地国家级自然保护区固碳价值评估[J]. *湿地科学*, 2014, **12**(1): 29~34.
- [27] 王建华, 吕宪国, 姜明. 长春市南湖公园生态服务价值评估[J]. *湿地科学*, 2007, **5**(2): 159~165.
- [28] 王毅勇, 赵志春, 宋长春. 三江平原毛果苔草湿地 CH₄ 排放研究[J]. *湿地科学*, 2005, **3**(1): 37~41.
- [29] 段晓男, 王效科, 逯非, 等. 中国湿地生态系统固碳现状和潜力[J]. *生态学报*, 2008, **28**(2): 463~469.

Dynamic Evaluation of Main Ecological Service Functions in Momoge Wetlands

XIAO Hong-ye, ZHANG Ming-xiang, XIAO Rong

(College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, P.R.China)

Abstract: The bearing capacity of the habitat of Siberian Crane (*Grus leucogeranus*), storage capacity and carbon assimilation were selected as main three ecological service functions of the wetlands in Momoge National Nature Reserve in the west of Jilin province to evaluate the dynamic changes of these functions in 2002, 2008 and 2012. Based on the data of soil, vegetation, hydrology and Siberian crane distribution in the wetlands, combined with the organic carbon content and water holding capacity in indoor soils, the main ecological service functions were calculated quantitatively by formula of Neu method, heat quantity method, flood storage and carbon sequestration in this paper. The results showed the habitat carrying capacity for amount of Siberian Crane in the wetlands were 28 400 individuals, 2 468 individuals and 4 904 individuals; food capacity for that were 24×10^4 individuals, 2.1×10^4 individuals and 4.3×10^4 individuals; water's storage capacity for that was $12.35 \times 10^8 \text{ m}^3$, $11.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $8.62 \times 10^8 \text{ m}^3$; total quantity of carbon assimilation of plants was $30 \times 10^4 \text{ t}$, $17 \times 10^4 \text{ t}$ and $20 \times 10^4 \text{ t}$ in 2002, 2008 and 2013 respectively. From 2002 to 2008, the main ecological service functions of Momoge National Nature Reserve gradually weakened along with the degradation of the wetlands. Due to the protection, the main ecological service functions of the wetlands in Momoge National Nature Reserve were gradually restored during 2008-2013.

Keywords: ecological service functions of the wetlands; bearing capacity of the habitat; storage capacity; carbon assimilation; Momoge National Nature Reserve