

引用格式:隋玉正, 陈小璇, 李淑娟, 等. 海岸带蓝碳时空演变及其服务价值评估: 以胶州湾为例[J]. 资源科学, 2019, 41(11): 2119-2130. [Sui Y Z, Chen X X, Li S J, et al. Spatiotemporal change of coastal blue carbon and its service value evaluation: A case study of Jiaozhou Bay[J]. Resources Science, 2019, 41(11): 2119-2130.] DOI: 10.18402/resci.2019.11.14

海岸带蓝碳时空演变及其服务价值评估 ——以胶州湾为例

隋玉正¹, 陈小璇¹, 李淑娟², 孙大鹏¹, 马歆宁¹, 周涛³

(1. 青岛理工大学建筑与城乡规划学院, 青岛 266033; 2. 中国海洋大学管理学院, 青岛 266100;

3. 青岛理工大学环境与市政工程学院, 青岛 266033)

摘要:海岸带蓝碳是介于海洋蓝碳和陆地绿碳之间的一种碳库, 拥有巨大的碳汇潜能, 对其固碳能力的研究具有重要的现实意义。本文选取1997年、2007年和2017年3个时间点的胶州湾遥感数据, 在ArcGIS中解译获取胶州湾海岸带湿地数据, 基于InVEST模型, 对胶州湾海岸带蓝碳分布的时空格局演变及其服务价值进行评估。研究结果显示: ①从时间上来看: 1997—2007年和2007—2017年蓝碳总量分别是3.49亿t和2.32亿t, 呈减少趋势。②从空间上来看: 1997—2007年间蓝碳最大值主要分布在潮下带区域和河套、上马、棘洪滩、九龙街道的芦苇、碱蓬、大米草和养殖池区域, 2007—2017年间主要分布在九龙、流亭、棘洪滩、上马街道的养殖池和芦苇区域。③1997—2017年20年间胶州湾蓝碳总价值为8522.13亿元, 海岸带拥有巨大的碳汇潜能, 保护海岸带生态系统刻不容缓。本文结果可为海岸带生态系统服务价值评估提供有益参考。

关键词:蓝碳; 海岸带; 生态系统服务; InVEST模型; 时空演变; 价值评估; 胶州湾

DOI: 10.18402/resci.2019.11.14

1 引言

IPCC第五次报告^[1]指出, 人类化石能源使用和土地利用方式的不断变化导致碳排放呈现上升的趋势, 因此对碳的固定和储存研究就变得至关重要。据估计, 全球除4.0 Pg C/a停留在大气中外, 其余的大约2.3 Pg C/a被海洋吸收, 1.5 Pg C/a被陆地吸收(含2.6 Pg C/a陆地生态系统净吸收和1.1 Pg C/a土地利用变化的排放)^[2], 其中被海洋吸收的碳叫海洋蓝碳, 被陆地吸收的碳叫陆地绿碳。海岸带作为连接陆地和海洋的特殊区域, 拥有巨大的碳汇潜能, 海岸带面积虽仅占全球海洋的0.2%, 但固碳量约占全部海洋碳储量的一半^[3]。海岸带蓝碳是介于海洋蓝碳和陆地绿碳之间的一种碳库, 目前许多国内外研究文献仅将海岸带盐沼湿地、红树林和海草床3类植物固定的碳归为蓝碳^[4-7], 唐剑武^[8]在以上3

类植物的基础上又加入了海岸带浮游植物、藻类和贝类生物等海洋生物的固碳作用。不同类型湿地植物的固碳能力是不同的, 红树林最强, 盐沼湿地次之, 海草床相对较弱^[9-11]。不同区域盐沼湿地的固碳能力也各不相同, 随着纬度的降低固碳能力不断增强^[12-15]。目前国内的研究大多是通过测量区域的生物量以及土壤剖面数据等方法来计算碳储量^[16-19], 研究结果通常是静态的, 所以本文选用能够反映研究区域碳储存时空动态变化的InVEST模型作为研究方法。

InVEST模型(Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs)是广泛应用于区域尺度生态系统服务功能评估的模型软件, 包括生境质量、陆地碳储存和固定、蓝碳、水质净化、作物授粉等多种模块, 此模型可与3S技术紧密结合, 对空间

收稿日期: 2018-10-31; 修订日期: 2019-03-26

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(16ZDA049); 国家自然科学基金项目(51808305); 山东社科规划项目(18CLYJ59)。

作者简介: 隋玉正, 男, 辽宁大连人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为资源环境与城乡规划。E-mail: suiyuzheng_qd@163.com

尺度有更强的包容性,能够体现生态系统服务功能的时空异质性特征。在碳储存方面,目前国内外的学者仅将此模型的陆地碳部分与RS、GIS技术相结合进行空间化动态评估^[20-23],而利用其蓝碳模块对海岸带蓝碳作可视化分析的研究尚未见。

近年来胶州湾地区开发剧烈,随着人类活动(围海造田,滩涂围垦,盐沼扩散被道路拦截等)的干扰和自然环境(海平面上升等)的变化,海岸带正在遭受严重的破坏,势必影响到海岸带蓝碳的分布和变化。鉴于此,本文根据胶州湾海岸带的实际情况,应用GIS的空间分析技术和InVEST模型,开展区域蓝碳储量估算及时空变化规律分析,从而明确胶州湾海岸带的碳汇区与碳源区,以及人类活动对胶州湾海岸带生态系统造成的影响。本文研究结果可为科学保护海岸带生态系统的结构与功能完整性提供借鉴,为滨海盐沼湿地的保护和修复以及蓝色碳汇评估体系提供依据。

2 研究地区概况

胶州湾地处山东半岛南部,濒临南黄海,是一个半封闭的浅海湾,是仅次于莱州湾的山东省第二大海湾,面积473 km²,平均水深约7 m,最大水深64 m。

全国海岸带和海涂资源综合调查曾将海岸带界定为海岸线向陆侧延伸10 km,向海到15 m水深线,根据20世纪80年代全国海岸带综合调查的土地利用调查原则和胶州湾的实际情况,将胶州湾海岸带的宽度定义为在海岸线10 km内的乡镇和0 m海岸线向海到-6 m水深线之间,包括城阳区的棘洪滩街道、城阳街道、上马街道、流亭街道、河套街道、红岛街道;胶州市的九龙街道;黄岛区的红石崖街道、王台镇。

由于研究对象是海岸带蓝碳,本文以胶州湾的海岸带湿地(图1)为主,不包括胶州湾海岸带内的城市区域。按国际湿地公约的定义,海岸带湿地的下限为低潮时海面以下6 m处(习惯上常把下限定在大型海藻的生长区外缘),上限为大潮线之上与河流相连的淡水或半咸水湖沼以及海水上溯未能抵达的入海河的河段。因此,本文仅选取注入胶州湾的大沽河、墨水河、白沙河及洋河4条主要河流所在(从最东端的白沙河至最西端的洋河之间)的海

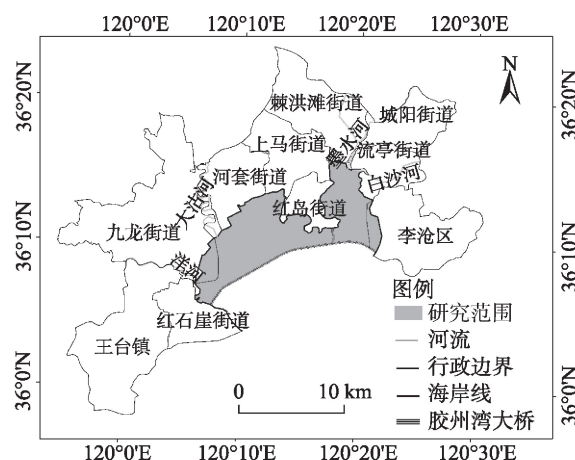


图1 研究区域示意图

Figure 1 The study area

岸带湿地以及-6 m等深线为基础的胶州湾大桥以北地区为研究区域。

3 研究方法

3.1 不同时期海岸带湿地类型信息的获取及研究对象确定

考虑遥感影像的清晰性和数据的可获取性,选取1997年、2007年和2017年的10月份遥感数据,利用ENVI软件,对各年的遥感数据进行几何校正、图像处理。参照谷歌地球的历史影像和本课题组的野外调研数据,并参考Ramsar湿地公约中提到的湿地类型划分方案、中国湿地调查纲要以及国内有关海岸湿地分类的文献,在ArcGIS中采用人工目视解译方法,获取不同时期胶州湾海岸带湿地数据,本文将胶州湾海岸带湿地分为潮下带湿地(-6 m以上浅水域)、潮间带湿地(沙质海滩、岩石滩、泥滩)、潮上带湿地(海滨咸水沼泽、微咸水沼泽)、河口湿地(河口和三角洲)以及人工湿地(港池、养殖池、盐田)^[24,25]。由于胶州湾没有红树林和海草床,本文以芦苇、碱蓬、大米草等盐沼湿地植物作为主要研究对象(主要分布在大沽河河口湿地和洋河河口湿地)。近些年,渔业碳汇因被作为“遗漏的碳汇”而广受关注,因此海洋渔业碳汇是海洋生物“蓝色碳汇”的重要组成部分^[26-28],同时胶州湾是中国著名的贝类养殖基地,因此本文也将养殖区域作为研究对象。目前胶州湾菲律宾蛤仔养殖水域占胶州湾总面积的1/2以上,主要包括潮间带湿地(滩涂)、潮下带湿地和人工湿地(养殖池)^[29]。最终,本文以芦苇、碱蓬、大

2019年11月

米草和养殖区域(包括养殖池、滩涂和潮下带)这4种典型海岸带湿地作为蓝碳研究对象,其他海岸带湿地类型在文中不作考虑。

3.2 海岸带蓝碳估算

本文利用InVEST蓝碳模型估算海岸带植物的碳储存与固碳能力。InVEST模型中的蓝碳模块,不仅可以用来估算海岸带植被的碳储存与固碳能力,也可以估算海岸带湿地类型变化导致碳储存变化和碳固定净现值,InVEST中蓝碳模块如图2^[30]所示。

3.2.1 碳储存

湿地植物或动物吸收大气中的CO₂,通过光合作用合成有机物,即生物量碳储存(包括地上和地下碳储存);植物或动物死亡后的残体经腐殖化作用和泥炭化作用形成腐殖质和泥炭,即土壤碳储存,因凋落物数据不好获得,所以本文不作研究。本文的总碳储存量即生物量碳储存与土壤碳储存的和,估算方法如下:

$$C_{xt} = \sum_{j=1}^J A_{xjt} [C_{aj} + C_{bj} + (C_{sj} \times d_j)] \quad (1)$$

式中: C_{xt} 表示 t 时间点储存在栅格单元 x 中的碳储存量; A_{xjt} 表示 j 滨海湿地类型的栅格单元 x 在 t 时间点的植物或动物覆盖面积; d_j 表示 j 滨海湿地类型的土壤碳沉积深度; C_{aj} 、 C_{bj} 、 C_{sj} 分别代表 j 滨海湿地类型的地上、地下、土壤各个碳库每 hm^2 储存的 tCO_2 当量。此模型中的沉积深度默认为 1 m 。

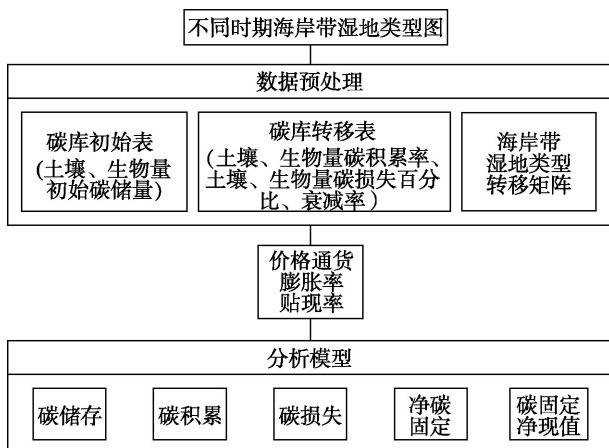


图2 InVEST蓝碳模型概念框架^[30]

Figure 2 Conceptual framework of the InVEST blue carbon model^[30]

3.2.2 碳积累

碳积累是指土壤经过一年时间的分解作用,以有机体形式贮存的碳,碳积累有助于未被干扰的、实质性的、永久的碳库发育。因此,即使海岸带湿地类型没有发生变化,碳积累也总是自然持续进行^[30],估算方法如下:

$$ACC_{xt_0} = \sum_{j=1}^J A_{xjt_0} (ACC_{xjt_0}) \quad (2)$$

式中: ACC_{xt_0} 表示在 t_0 时间段内栅格单元 x 中的碳积累量,用每年按 t 计的 CO_2 当量表示; ACC_{xjt_0} 表示 t_0 时间段内土壤沉积物中碳积累率; A_{xjt_0} 表示 j 滨海湿地类型在 t_0 时间段内栅格单元 x 中植物或动物覆盖面积。

3.2.3 碳损失

当滨海生态系统受人类活动影响而退化时,贮存在活体植物或动物体内的生物量(地上部分和地下部分)和土壤中的碳可能排放到大气中,CO₂排放量取决于受干扰的植物或动物类型和干扰程度,干扰程度取决于损失的地上生物量和受到干扰的土层深度,土层深度越深,暴露在氧气中、被氧化后以CO₂形式排放的土壤碳越多。为估算不同扰动对生境的影响程度,将干扰分成3个影响程度:高度、中度和低度。高度干扰即高固碳植物芦苇、大米草和碱蓬向没有固碳能力的其他用地转化;中度干扰即高固碳植物向固碳能力不强的养殖区域转化;低度干扰即固碳能力不强的养殖区域向没有固碳能力的其他用地转化。

(1)碳损失幅度。模型将生物量和土壤碳库分别作为碳损失的2个步骤(表1)。第一,估算生物量的碳损失,生物量的碳损失取决于生境影响类型、干扰程度以及植物类型。第二,估算土壤碳库的碳损失,取决于干扰影响程度,以及受干扰的土壤

表1 盐沼湿地碳库的碳损失百分比和半衰期

Table 1 Carbon loss percentage and vegetation specific attenuation rate of salt marsh

生物量碳损失 百分比	土壤碳损失 百分比	半衰期(10年间)
L1/M1:50%	L1:30%	生物量半衰期:3个月
H1:100%	M1/H1:100%	土壤半衰期:3.5年

注:L1、M1、H1分别表示低、中、高度,数据参考文献[31]。

深度(本文中假设土壤深度1 m),估算方法如下:

$$E_z = \sum_{j=1}^J A_{zjt} [b_1(C_{aj} + C_{bj}) + b_2(C_{sj} \times d_j)] \quad (3)$$

式中: E_z 表示栅格单元 z 中的碳损失量; A_{zjt} 表示 j 滨海湿地类型的栅格单元 z 在 t 时间点的植物或动物覆盖面积; b_1 表示生物量碳损失百分比; b_2 表示土壤碳损失百分比; 其余变量含义同上。

(2) 碳损失的时间变化。碳会以不同速率从碳库中流失。大部分生物量碳将在第一年排放,而土壤碳的释放可能需要更长时间,估算方法如下:

$$E_p = D_p \left[0.5^{\frac{t-(r+1)}{H_p}} - 0.5^{\frac{t-r}{H_p}} \right] \quad (4)$$

式中: E_p 表示在一定时间段内从总扰动的碳储存中损失的碳; D_p 表示随着时间接近无穷大而受到干扰的碳储量; r 表示受干扰的时长; H_p 代表扰动事件的半衰期,式(4)中每种生物类型的生物量碳和土壤碳的损失百分比及其相关半衰期都来自 Murray 的研究^[31]。

3.2.4 净碳固定

海岸带湿地碳循环的基本模式为:在基年碳储存的基础上,累加上一定时间的碳积累,再减掉一定时间的碳损失,最后留下来的长期封存在土壤里的碳就是净碳固定,即蓝碳(图3)。净碳固定计算方法如下:

$$\text{净碳固定} = \text{碳储存} + \text{碳积累} - \text{碳损失} \quad (5)$$

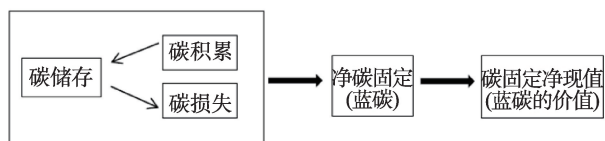


图3 碳循环示意图

Figure 3 The Carbon cycle diagram

3.2.5 碳固定净现值

碳固定净现值指的是净碳固定的生态系统服务价值,即蓝碳的价值,具体估算方法如下:

$$V_x = \sum_{t=0}^T \frac{P_t(C_{t,x} - C_{t-1,x})}{(1+d)^t} \quad (6)$$

式中: V_x 表示栅格单元 x 内的蓝碳价值; T 表示从开始到生境变化结束之间的年数; P_t 表示 t 时间点单位质量碳价格; $C_{t,x}$ 表示 t 时间点栅格单元 x 内的碳储量; d 表示贴现率。可以选择使用价格明细表模拟碳固定价值,或者提供基期碳排放价格和年通货膨胀率,本文选择后者。

4 模型参数来源

InVEST 蓝碳模型以海岸带湿地类型为评估单元,利用海岸带土地利用覆盖信息、各碳库碳密度数据,通过空间叠加计算得到海岸带碳储存、碳积累、碳损失和净碳固定价值及其空间分布特征等信息,本文为模型计算建立一个碳库。将地上与地下生物量合并为生物量碳库,凋落物碳库因数据缺失不易获取在本文中不作研究。碳库表中的数据见表2,其定义与数据来源如下:

4.1 海岸带湿地植物的土壤碳库

土壤初始碳储量,即基年(本文为1997年)单位面积土壤有机碳碳储量 T_i (kg/m^2),计算公式如下:

$$T_i = C_i \times H_i \quad (7)$$

式中: C_i 为相应土层有机碳密度 (kg/m^3),根据崂山等^[12]土壤剖面有机碳密度平均值大小,光滩 ($10.04 \text{ kg}/\text{m}^3$) > 芦苇 ($8.52 \text{ kg}/\text{m}^3$) > 碱蓬 ($8.42 \text{ kg}/\text{m}^3$); H_i 为该土层深度 (m),InVEST 蓝碳模型默认土壤深度1 m,所以 $H_i = 1$ 。但本文因为大米草湿地长期存在积水,土壤容重采集不准确,因此未研究胶州湾大米草的有机碳密度,采用了20世纪中期北美学者关于乔治亚州海岸湿地生态系统中互花米草的数据

表2 胶州湾海岸带植物和动物类型碳库表

Table 2 Carbon pool of different plants and animals types in the study area

代码	海岸带生物类型	土壤初始碳储量/(t/hm^2)	土壤碳积累率/($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$)	生物量初始碳储量/(t/hm^2)	生物量碳积累率/($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$)
1	芦苇	85.20	7.00	23.40	17.70
2	碱蓬	84.20	3.20	3.20	7.80
3	大米草	76.20	5.30	16.40	14.86
4	菲律宾蛤仔	13.34	0.39	8.89	1.10

2019年11月

替代^[32,33]。

土壤碳积累率,即单位年份单位面积土壤有机碳积累量。胶州湾与黄河三角洲地区纬度情况相似,土壤碳积累率借鉴的是黄河三角洲的相关数据^[9]。

4.2 海岸带湿地植物的生物量碳库

生物量初始碳储量,即基年单位面积生物有机碳碳储量。生物碳储量借鉴的是黄河三角洲的相关数据^[9],原因同上。

生物量碳积累率,即单位年份单位面积生物量有机碳积累量。胶州湾的芦苇和碱蓬生物量与辽河三角洲数值较为接近,所以本文胶州湾的芦苇和碱蓬的生物量碳积累率采用辽河三角洲的数据^[12]。胶州湾互花米草的生物量碳积累率借鉴闽江口互花米草的生物量碳积累率^[9,14,34],闽江河口互花米草总生物量年积累范围在 $(3379.01 \pm 223.6) \sim (5451.6 \pm 271.01) \text{ g/m}^2$,根据光合作用反应过程中植物每形成1 g干有机物质需同化1.62 gCO₂,固定0.44 g碳,即碳转换系数为0.44,计算公式如下:

$$C_i = P A_i Q_i \quad (8)$$

式中: C_i 为第 i 类湿地植物的生物量碳库; P 为碳转换系数0.44; A_i 是第 i 类湿地植被面积; Q_i 是第 i 类湿地植被的生物量。

4.3 海岸带动物的土壤和生物量碳库

通过渔业生产活动促进水生生物吸收水体中的CO₂,并通过收获把这些已经转化为生物产品的碳移出水体的过程和机制叫做渔业碳汇^[35]。贝类养殖通过两种形式吸收碳,第一种是通过吸收碳酸氢根,形成碳酸钙,即贝类的躯壳,少量随有机碳从表面海水垂直输送到海洋深部,绝大部分通过收获从海水中移出;第二种方式是通过滤食摄取水体中的悬浮颗粒有机碳(包括浮游植物和颗粒有机碎屑等)促进贝类个体软组织的生长^[36],这两种方式吸收的碳的总和在本文中即为生物量碳储量。

胶州湾内的贝类养殖面积占总养殖面积的71.6%,而在贝类养殖面积中,菲律宾蛤仔的养殖面积占比为93.2%^[29,37],所以养殖区域的数据统一采用的是菲律宾蛤仔的相关数据(表2)。从文献^[38]中可知生物量密度,冬春季蛤仔生物量较低,而夏秋季较高,本文不分季节,取一个中间值大约3000 g/m²,

然后从文献中获取蛤的碳汇核算参数^[39],可以计算养殖区域的生物量碳储量。根据张继红^[36]的研究,生物量碳库和土壤碳库的比是2:3,由此根据已知的生物量碳库可以推算出土壤碳库。菲律宾蛤仔的土壤碳积累率来自李海晏等的研究^[28],生物量碳积累率采用桑沟湾栉孔扇贝浅海区域的固碳速率^[36]。

4.4 海岸带蓝碳价值系数

(1)基期碳排放价格。根据京都议定书中的规定,CO₂减排费用为150~160美元/t;中国的碳固定计算方法是以1990年的不变价格(约为32.6美元/t)计算的造林成本费用;美国的碳税为15美元/t;挪威政府的碳税为227美元/t;本文采用相关文献中经常采用的瑞典碳税率,其数值为150美元/t(以1997年1美元兑换人民币8.27元计)^[40],即1240.5元/t。

(2)通货膨胀率。1997—2017年的通货膨胀率来自中国国家统计局网站,取20年来的平均值2.36%,即单位质量碳固定价值随时间发生变化。

(3)贴现率 d (Discount-rate)。碳排放贴现率反映了相比远期利益,对近期利益的时间偏好。如果贴现率取值为0%,碳汇价值即为原计算值。从气候变化经济学中查到相关贴现率问题,高贴现率会将未来的灾难损失贴现为一个较小的现值,从而趋向于未来减排;而低贴现率则相反,会使未来的损失看上去非常大,从而趋向于当前大幅度减排^[41]。中国一直倡导可持续发展理论以及生态文明建设,而且气候变化存在一定的不可逆性,所以本文认为中国的政策更偏向于低贴现率。但中国人口众多,GDP总量大,选择过低的贴现率要求政策上立即采取大力度的减排行为,这不符合中国的实际。基于目前的文献资料整理,贴现率的范围在1.95%~6%之间^[41],所以本文的贴现率取中间值4%。

5 结果与分析

5.1 不同类型湿地面积的变化

1997—2017年胶州湾湿地时空格局发生巨大变化(表3、图4),其中养殖池的面积在不断减少,变化最明显的是位于研究区东部的城阳棘洪滩街道,这与国家的“蓝色海湾整治行动”有关,拆除养殖池,保护生态环境;芦苇面积呈减少趋势,在1997—2007年减少了331.77 hm²,而在2007—2017年又增加了115.92 hm²;碱蓬面积总体呈上升趋势;其中大

表3 胶州湾不同类型湿地面积及其变化

Table 3 Area of different wetland types area in the Jiaozhou Bay coastal zone (hm ²)					
	1997年	2007年	1997—2007年	2017年	2007—2017年
芦苇	463.42	131.65	-331.77	247.57	+115.92
碱蓬	59.61	99.80	+40.19	88.68	-11.12
大米草	27.99	36.23	+8.24	208.22	+171.99
养殖池	7546.80	5245.22	-2301.58	3971.00	-1274.22
滩涂	5836.58	5858.02	+21.44	4808.02	-1050.00
潮下带	8632.88	8516.65	-116.23	8512.22	-4.43
湿地总面积	22378.25	19888.35	-2489.90	17839.91	-2048.44

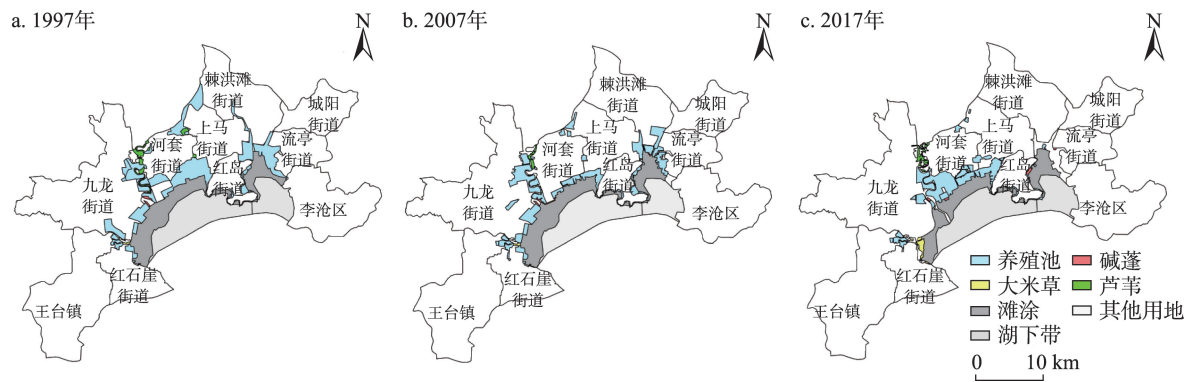


图4 1997、2007和2017年胶州湾海岸带湿地类型图

Figure 4 Wetland types in the Jiaozhou Bay coastal zone, 1997, 2007, and 2017

米草因其强大的繁殖能力,近些年呈持续上升状态,且上升幅度不小。这3类高固碳盐沼湿地植物呈现上升趋势主要是因为青岛市2006年新的土地规划出台以后加大生态城市建设力度,使得这3类用地的面积得到一定幅度的提升,例如建设胶州少海湿地公园,大范围地增加了芦苇的面积。但从总体上来看,胶州湾海岸带湿地面积是呈现下降趋势的,20年间湿地总面积下降了4538.34 hm²,年平均下降226.92 hm²,年平均下降率为1.1%。说明胶州湾近些年海岸带湿地遭到破坏,胶州湾湿地保护迫在眉睫。

表4中的数据表明,1997—2007年间土地利用类型转移强烈,胶州湾分别有83.6%的芦苇、56.7%的碱蓬、8.1%的大米草、45.4%的养殖池、4.7%的滩涂、1.4%的潮下带、1.5%的其他用地发生了转移,其中芦苇、碱蓬和养殖池发生转移最多,且大部分转化为没有固碳能力的其他用地。

表5中的数据表明,2007—2017年间,胶州湾分别有84.5%的芦苇、87.9%的碱蓬、93.7%的大米草、

63.2%的养殖池、20.1%的滩涂、2.4%的其他用地发生了土地利用类型的转移,同上个十年相比有更大比例的高固碳类型(芦苇、大米草、碱蓬)向低固碳类型(养殖池、滩涂等)和其他用地转化,说明胶州湾湿地的碳正在不断流失。

5.2 碳储存时空演变分析

通过对1997—2017年碳储存分析可知,20年间各类湿地的碳储存量在不断上升(图5),原因是随着时间推移碳积累在不断地进行,有助于未被干扰的实质性永久碳库的发育,即使海岸带湿地类型没有发生变化,碳固定总是在自然持续地进行。从时间上看,1997—2017年间总碳储存呈不断上升的趋势,从1997年的1.71亿t上升至2007年的5.18亿t,再上升至2017年的7.50亿t。单位hm²碳储存最大值也在持续上升,从1997年的108.60 t/hm²上升至2007年的355.60 t/hm²和2017年的602.60 t/hm²。从空间上来看,1997年、2007年和2017年碳储存量高值区皆分布在河套、上马、棘洪滩和九龙街道,主要原因是此区域分布了芦苇、碱蓬、大米草等高固碳

2019年11月

表4 1997—2007年胶州湾不同类型湿地转移面积和转移比率矩阵

Table 4 Transfer area and transfer ratio matrix of wetland types in the Jiaozhou Bay, 1997-2007

土地利用类型	转移面积/hm ² (转移比率/%)						
	芦苇	碱蓬	大米草	养殖池	滩涂	潮下带	其他用地
芦苇	76.07(16.38)	0.00(0.00)	0.00(0.00)	79.15(17.05)	0.00(0.00)	0.00(0.00)	309.08(66.57)
碱蓬	0.17(0.29)	25.90(43.31)	0.00(0.00)	31.89(53.33)	0.62(1.04)	0.00(0.00)	1.22(2.04)
大米草	0.00(0.00)	0.00(0.00)	25.77(91.88)	1.04(3.69)	1.18(4.19)	0.00(0.00)	0.06(0.23)
养殖池	18.31(0.24)	21.76(0.29)	9.40(0.12)	4121.06(54.61)	247.26(3.28)	0.01(0.00)	3128.76(41.46)
滩涂	0.00(0.00)	17.45(0.30)	1.14(0.02)	92.12(1.58)	5565.35(95.32)	0.67(0.01)	161.65(2.77)
潮下带	0.00(0.00)	0.00(0.00)	0.00(0.00)	0.00(0.00)	0.46(0.01)	8516.31(98.62)	118.65(1.37)
其他用地	37.29(0.05)	34.78(0.04)	0.00(0.00)	1075.11(1.37)	44.52(0.06)	1.03(0.00)	77455.55(98.48)

表5 2007—2017胶州湾年不同类型湿地转移面积和转移比率矩阵

Table 5 Transfer area and transfer ratio matrix of wetland types in the Jiaozhou Bay, 2007-2017

土地利用类型	转移面积/hm ² (转移比率/%)						
	芦苇	碱蓬	大米草	养殖池	滩涂	潮下带	其他用地
芦苇	20.37(15.47)	0.00(0.00)	0.00(0.00)	10.33(7.84)	0.00(0.00)	0.00(0.00)	100.95(76.68)
碱蓬	0.00(0.00)	12.07(12.09)	0.00(0.00)	45.59(45.68)	15.71(15.74)	0.00(0.00)	26.44(26.49)
大米草	0.00(0.00)	0.00(0.00)	2.30(6.34)	10.59(29.22)	0.00(0.00)	0.00(0.00)	23.35(64.44)
养殖池	115.71(2.21)	39.04(0.74)	1.66(0.03)	1930.72(36.80)	99.16(1.89)	0.00(0.00)	3059.74(58.32)
滩涂	0.00(0.00)	16.76(0.29)	198.71(3.39)	168.62(2.88)	4678.61(79.86)	0.59(0.01)	749.94(13.57)
潮下带	0.00(0.00)	0.00(0.00)	0.00(0.00)	0.00(0.00)	0.00(0.00)	8516.65(100.00)	0.00(0.00)
其他用地	111.59(0.14)	21.00(0.03)	5.59(0.01)	1810.48(2.23)	15.21(0.02)	2.08(0.00)	79114.00(97.58)

植物。

5.3 碳积累时空演变分析

碳积累空间分布如图6所示。从时间上来看, 1997—2007年和2007—2017年的单位面积碳积累最大值都是246.03 t/hm²,单位面积碳积累平均值分别为141.5 t/hm²和94.3 t/hm²,碳积累总值分别是3.52亿t和2.34亿t,都呈现下降趋势。从空间上看, 1997—2007年的碳积累主要发生在红岛街道南部

的潮下带区域和河套、上马街道南部的养殖池区域;2007—2017年的碳积累主要发生在九龙、河套街道交界处大沽河流域的芦苇区域和九龙街道以及流亭街道附近的部分养殖池区域,主要原因是潮下带面积广大且人类活动较少,碳可以得到有效积累,芦苇等高固碳植物土壤和生物碳积累率高,另外1997—2017年,有大量高固碳湿地转化为养殖池,使养殖池区域产生大量的碳积累。

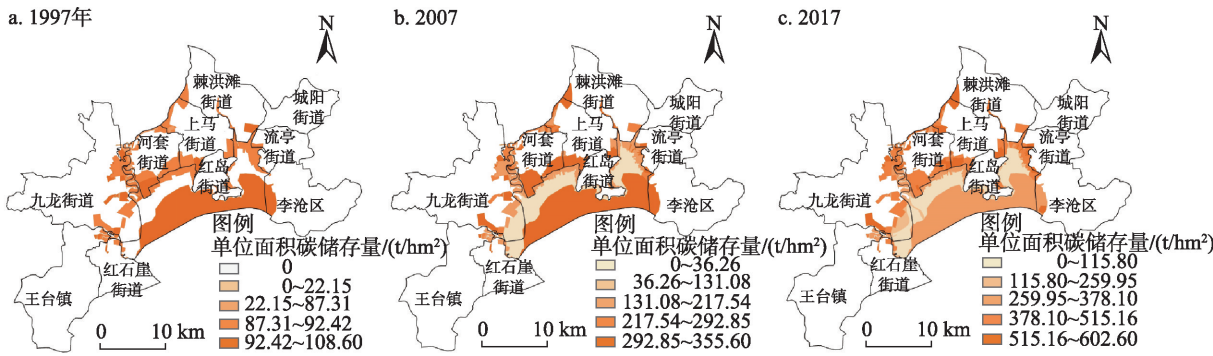


图5 1997、2007和2017年单位面积碳储存空间分布图

Figure 5 Spatial distribution of carbon stock per unit area, 1997, 2007, and 2017

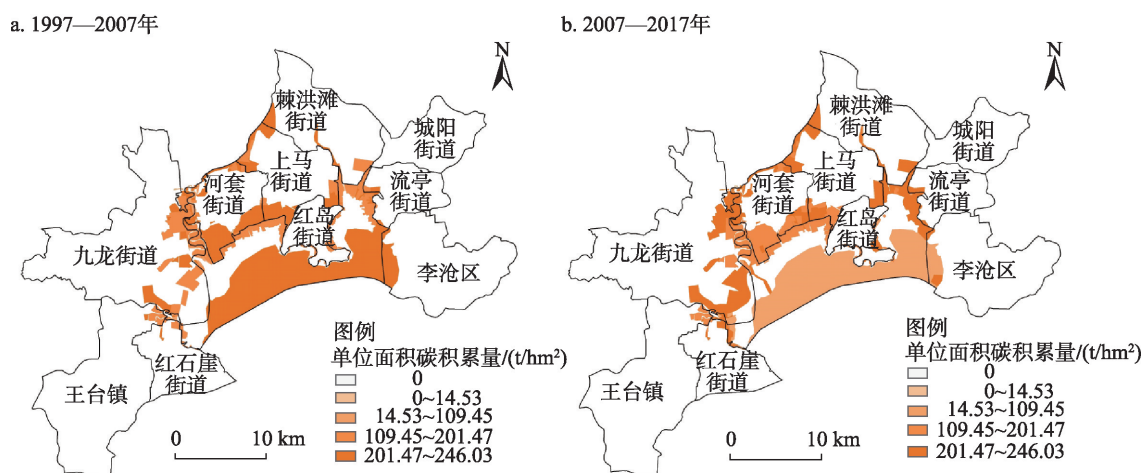


图6 1997—2007年和2007—2017年单位面积碳积累空间分布图

Figure 6 Spatial distribution map of carbon accumulation per unit area, 1997-2007 and 2007-2017

5.4 碳损失时空演变分析

碳损失空间分布如图7所示。从时间上看, 1997—2017年胶州湾的单位面积碳损失最大值可达355 t/hm², 碳排放总量为474.77万t。从空间上看, 碳储量的损失主要发生在九龙、河套街道交界处大沽河流域的芦苇区和养殖池区域, 主要原因是芦苇被占用。另外此处位于芦苇、养殖池和其他用地的交汇处, 海岸带湿地类型复杂, 而芦苇转化为其他用地和养殖区域分别是高度和低度干扰, 再加上芦苇自身为胶州湾固碳能力最强的植物, 如果受到破坏对总碳损失的影响也最大。近些年随着人口压力增大、城市不断扩建等人为因素, 导致湿地不断地被围垦和破坏, 所以出现了大面积碳损失。

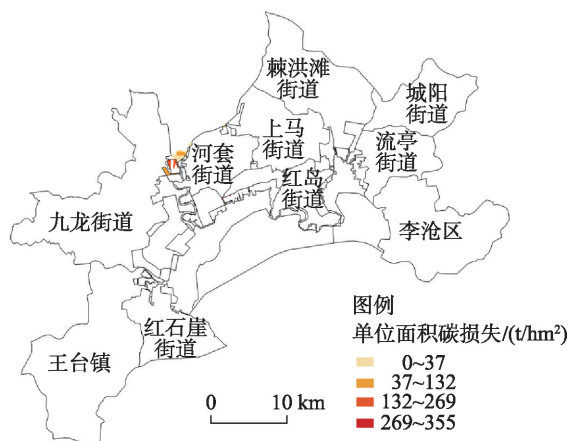


图7 1997—2017年单位面积碳损失空间分布图

Figure 7 Spatial distribution of carbon emissions per unit area, 1997-2007

养殖区域的碳损失主要由于养殖池转为没有碳固定能力的其他用地。

5.5 净碳固定时空演变分析

净碳固定空间分布如图8所示。从时间上看, 1997—2007年各类湿地类型的净碳固定都呈现一定的下降趋势, 主要原因是湿地类型多从高固碳湿地转化为低固碳湿地。1997—2007年和2007—2017年间单位面积净碳固定量最大值都是247 t/hm², 最小值分别为-108.49 t/hm²和-334.07 t/hm², 净碳固定总量分别为3.49亿t和2.32亿t, 呈现减少趋势。从空间上看, 1997—2007年间, 净碳固定最大值主要分布在潮下带区域和河套、上马、棘洪滩、九龙街道的芦苇、碱蓬、大米草和养殖池区域; 2007—2017年间, 最大值主要分布在九龙、流亭、棘洪滩、上马街道的养殖池和芦苇区域, 2007—2017年与1997—2007年相比少了潮下带区域, 原因是2007—2017年潮下带的碳积累量比1997—2007年的碳积累量少。

5.6 碳固定净现值评估

碳固定净现值空间分布如图9所示。碳固定净现值最高区域主要分布在河套街道和九龙街道交界处的芦苇湿地, 和河套街道、九龙街道和上马街道南部养殖池所在的区域, 原因是芦苇等湿地植物碳固定能力强, 而养殖池虽单位面积碳固定能力不如湿地植物强, 但因其面积广大, 总碳固定能力还是很强的; 1997—2017年单位面积碳固定净现值最

2019年11月

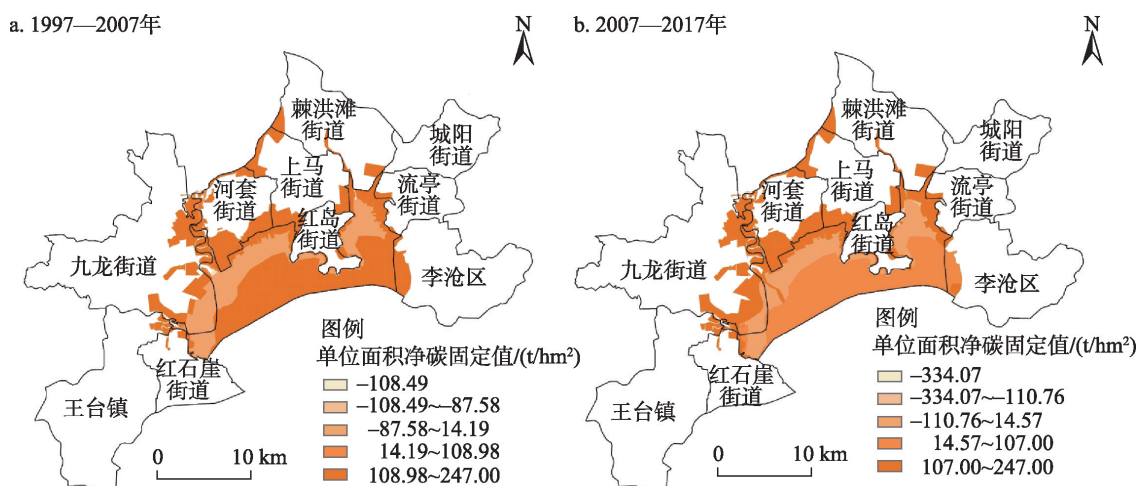


图8 1997—2007年和2007—2017年单位面积净碳固定空间分布图

Figure 8 Spatial distribution map of net carbon sequestration per unit area, 1997-2007 and 2007-2017

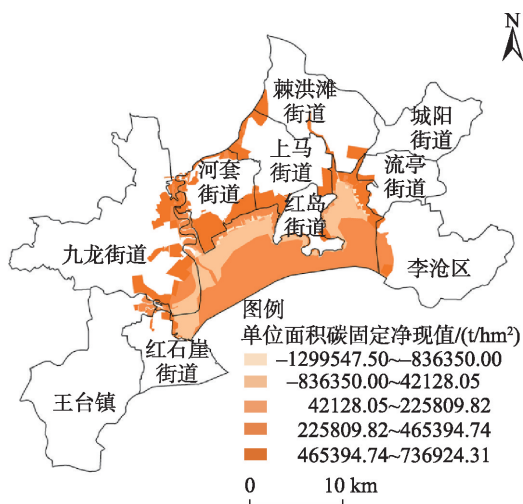


图9 1997—2017年单位面积碳固定净现值空间分布图

Figure 9 Spatial distribution of net present value per unit area, 1997-2017

大值 73.70 万元/hm², 20 年间胶州湾区域总净碳固定价值为 8522.13 亿元。

6 结论

(1) 1997—2017 年胶州湾海岸带湿地类型发生了巨大变化, 有 4000 hm² 以上的湿地转变为其他用地, 湿地面积下降。1997—2007 年间, 66.57% 芦苇和 41.46% 的养殖池转化为没有固碳能力的其他用地; 2007—2017 年同上个十年相比, 更大比例的高固碳类型(芦苇、大米草、碱蓬)向低固碳类型(养殖池、滩涂等)和其他用地转化, 表明胶州湾湿地的碳

正在不断流失。

(2) 1997—2017 年间, 胶州湾海岸带总碳储存和单位面积碳储存最大值虽呈现上升趋势, 但单位年份碳储存量和碳积累、净碳固定的单位面积 hm² 平均值和总值都呈下降趋势, 表明胶州湾海岸带碳固定能力在逐渐衰弱。

(3) 1997—2017 年胶州湾海岸带的碳积累量总量为 5.86 亿 t, 碳排放量总量为 474.77 万 t, 净碳固定值总量为 5.81 亿 t, 表明胶州湾海岸带湿地既是碳汇也是碳源, 但碳汇作用要远远大于碳源。1997—2007 年间胶州湾土地利用活动剧烈, 但对胶州湾海岸带蓝碳的整体扰动并不大, 胶州湾海岸带的固碳量依然巨大。

(4) 1997—2017 年胶州湾区域总的净碳固定价值高达 8522.13 亿元, 可见海洋湿地虽面积不大, 蕴含的生态价值不容小觑, 拥有巨大的碳汇潜能, 因此保护海岸带蓝碳生态系统刻不容缓。

为防止人类活动对胶州湾海岸带蓝碳的破坏以及进一步提高碳固定能力, 应优化胶州湾海岸带土地利用结构。对易受干扰的芦苇区域建立保护区; 已经遭到破坏的海岸地湿地尽快进行生态修复, 在海岸带敏感区应引进种植湿地植物; 而作为人工湿地的养殖池虽占用和破坏了不少自然湿地, 但其面积广大且可以提供一定的供给服务, 固碳能力也很强, 应根据实际情况合理发展碳汇渔业, 因

地适宜地采取措施,从而提高胶州湾湿地的固碳潜力,促进中国蓝碳计划进一步实施。

参考文献(References):

- [1] IPCC. IPCC WGI Fifth Assessment Report, Final Draft[EB/OL]. (2013-06-07) [2018-11-15]. <https://max.book118.com/html/2018/0120/149786288.shtm>.
- [2] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Climate change 2013: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers[EB/OL]. (2013-10-28) [2018-10-31]. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5SPM_Aproved27Sep2013.pdf.
- [3] Duarte C M, Losada I J, Hendriks I E, et al. The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation[J]. *Nature Climate Change*, 2013, 3(11): 961-968.
- [4] 章海波, 骆永明, 刘兴华, 等. 海岸带蓝碳研究及其展望[J]. *中国科学: 地球科学*, 2015, 45(11): 1641-1648. [Zhang H B, Luo Y M, Liu X H, et al. Current researches and prospects on the coastal blue carbon[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2015, 45(11): 1641-1648.]
- [5] Mcleod E, Chmura G L, Bouillon S, et al. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2011, 9(10): 552-560.
- [6] Howard J, Sutton-Grier A, Herr D, et al. Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2017, 15: 42-50.
- [7] Buyantuev A, Wu J. Urbanization alters spatiotemporal patterns of ecosystem primary production: A case study of the Phoenix metropolitan region, USA[J]. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73(4-5): 512-520.
- [8] 唐剑武, 叶属峰, 陈雪初, 等. 海岸带蓝碳的科学概念、研究方法以及在生态恢复中的应用[J]. *中国科学: 地球科学*, 2018, 48(6): 661-670. [Tang J W, Ye S F, Chen X C, et al. Coastal blue carbon: Concept, study method, and the application to ecological restoration[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2018, 48(6): 661-670.]
- [9] 张绪良, 张朝晖, 徐宗军, 等. 黄河三角洲滨海湿地植被的碳储量和固碳能力[J]. *安全与环境学报*, 2012, 12(6): 145-149. [Zhang X L, Zhang Z H, Xu Z J, et al. On the relation between carbon storage and reinforced fixation of the coastal wetland vegetation in the Yellow River Delta Area[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2012, 12(6): 145-149.]
- [10] 张莉, 郭志华, 李志勇. 红树林湿地碳储量及碳汇研究进展[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(4): 1153-1159. [Zhang L, Guo Z H, Li Z Y, Carbon storage and carbon sink of mangrove wetland: Research progress[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(4): 1153-1159.]
- [11] 邱广龙, 林幸助, 李宗善, 等. 海草生态系统的固碳机理及贡献[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(6): 1825-1832. [Qiu G L, Lin H-J, Li Z S, et al. Seagrass ecosystems: Contributions to and mechanisms of carbon sequestration[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(6): 1825-1832.]
- [12] 曹磊, 宋金明, 李学刚, 等. 滨海盐沼湿地有机碳的沉积与埋藏研究进展[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(7): 2040-2048. [Cao L, Song J M, Li X G, et al. Deposition and burial of organic carbon in coastal salt marsh: Research progress[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(7): 2040-2048.]
- [13] 訾园园, 郝敏. 胶州湾滨海湿地土壤有机碳时空分布及储量[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(7): 2075-2083. [Zi Y Y, Xi M. Temporal and spatial distribution of soil organic carbon and its storage in the coastal wetlands of Jiaozhou Bay, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(7): 2075-2083.]
- [14] 贾瑞霞, 全川, 王维奇, 等. 闽江河口盐沼湿地沉积物有机碳含量及储量特征[J]. *湿地科学*, 2008, 6(4): 492-499. [Jia R X, Tong C, Wang W Q, et al. Organic carbon contents and storages in the saltmarsh sediments in the Min River Estuary[J]. *Wetland Science*, 2008, 6(4): 492-499.]
- [15] 池源, 石洪华, 孙景宽, 等. 近30年来黄河三角洲植被净初级生产力时空特征及主要影响因素[J]. *生态学报*, 2018, 38(8): 2683-2697. [Chi Y, Shi H H, Sun J K, et al. Spatio-temporal characteristics and main influencing factors of vegetation net primary productivity in the Yellow River Delta in recent 30 years[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(8): 2683-2697.]
- [16] Donato D C, Kauffman J B, Murdiyarso D, et al. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics[J]. *Nature Geoscience*, 2011, 4(5): 293-297.
- [17] Pendleton L, Donato D C, Murray B C, et al. Estimating global "blue carbon" emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems[J]. *Plos One*, 2012, 7(9): e43542.
- [18] 王绍强, 周成虎, 李克让, 等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. *地理学报*, 2000, 67(5): 533-544. [Wang S Q, Zhou C H, Li K R, et al. Analysis on spatial distribution characteristics of soil organic carbon reservoir in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 67(5): 533-544.]
- [19] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J]. *土壤学报*, 2004, 41(1): 35-43. [Xie X L, Sun B, Zhou H Z, et al. Organic carbon density and storage in soils of China and spatial analysis[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(1): 35-43.]
- [20] Polasky S, Nelson E, Pennington D, et al. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to land

2019年11月

- owners: A case study in the State of Minnesota[J]. *Environmental & Resource Economics*, 2011, 48(2): 219–242.
- [21] 荣月静, 张慧, 赵显富. 基于 InVEST 模型近 10 年太湖流域土地利用变化下碳储量功能[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(6): 447–451. [Rong Y J, Zhang H, Zhao X F. Carbon storage function under land use change in Taihu Lake Basin in recent 10 years based on InVEST model[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2016, 44(6): 447–451.]
- [22] 丛文翠, 孙小银. 基于 GIS 和 InVEST 模型的日照市固碳能力研究[J]. *水土保持通报*, 2018, 38(5): 200–205. [Cong W C, Sun X Y. A study on carbon sequestration capacity based on GIS and InVEST model in Rizhao City[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018, 38(5): 200–205.]
- [23] 张影, 谢余初, 齐姗姗, 等. 基于 InVEST 模型的甘肃白龙江流域生态系统碳储量及空间格局特征[J]. *资源科学*, 2016, 38(8): 1585–1593. [Zhang Y, Xie Y C, Qi S S, et al. Carbon storage and spatial distribution characteristics in the Bailongjiang Watershed in Gansu based on InVEST model[J]. *Resources Science*, 2016, 38(8): 1585–1593.]
- [24] 山东省科学技术委员会. 山东省海岸带和海涂资源综合调查报告集: 综合调查报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990. [Shandong Provincial Science and Technology Commission. Report Collection of Comprehensive Survey on Coastal Zone and Coastal Resources in Shandong Province: Comprehensive Survey Report[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1990.]
- [25] 马妍妍. 基于遥感的胶州湾湿地动态变化及质量评价[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006. [Ma Y Y. Monitoring Dynamic Changes of Wetlands of Jiaozhou Bay and Quality Evaluation Based on Remote Sensing[D]. Qingdao: Ocean University of China.]
- [26] 徐敬俊, 覃恬恬, 韩立民. 海洋“碳汇渔业”研究述评[J]. *资源科学*, 2018, 40(1): 161–172. [Xu J J, Qin T T, Han L M. A review of research on marine carbon sink fisheries[J]. *Resources Science*, 2018, 40(1): 161–172.]
- [27] 张继红, 方建光, 唐启升. 中国浅海贝藻养殖对海洋碳循环的贡献[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(3): 359–365. [Zhang J H, Fang J G, Tang Q S. The contribution of shellfish and seaweed mariculture in china to the carbon cycle of coastal ecosystem[J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(3): 359–365.]
- [28] 李海晏, 陈涛, 张海燕, 等. 中国贝类养殖对海洋碳循环的贡献评估[J]. *海洋科学*, 2014, 38(5): 39–45. [Li H Y, Chen T, Zhang H Y, et al. Evaluation of contribution of shellfish culture to ocean carbon cycle in China[J]. *Marine Sciences*, 2014, 38(5): 39–45.]
- [29] 张明亮. 胶州湾贝类养殖容量研究与分析[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2008. [Zhang M L. The Research of Carrying Capacity of Shellfish in the Jiaozhou Bay[D]. Qingdao: The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2008.]
- [30] Sharp R, Chaplin–Kramer R, Wood S, 等. 生态系统服务评估与权衡(InVEST)模型(3. 2. 0 版本)使用手册: 自然资本项目组开发、用于支持环境决策的模型系统[EB/OL]. 郑华, 傅斌, 肖洋, 等. 译. (2017– 10) [2019– 06]. <https://www.docin.com/p-2129732985.html?qq-pf-to=pcqq.c2c>. [Sharp R, Chaplin–Kramer R, Wood S, et al. Ecosystem Services Assessment and Trade-off (InVEST) Model (Version 3. 2. 0) Manual: Model System Developed by the Natural Capital Project Team to Support Environmental Decision– Making[EB/OL]. Zheng H, Fu B, Xiao Y, et al. Trans. (2017– 10) [2019– 06]. <https://www.docin.com/p-2129732985.html?qq-pf-to=pcqq.c2c>.]
- [31] Murray B C, Pendleton L, Jenkins W A, et al. Green payments for blue carbon: Economic incentives for protecting threatened coastal habitats[R]. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. Report NI, 2011.
- [32] Gallagher J L, Pfeiffer W. Aerial production, mortality, and mineral accumulation–export dynamics in *Spartina alterniflora* and *Juncus roemerianus* plant stands in a Georgia salt marsh[J]. *Ecology*, 1980, 61(2): 303–312.
- [33] Odum E P, Fanning M E. Comparison of productivity of *Spartina alterniflora* and *Spartina cynosuroides* in Georgia coastal marshes [J]. *Bulletin of the Georgian Academy of Science*, 1973, 31(2): 1–12.
- [34] 张林海, 曾从盛, 仝川. 闽江河口湿地芦苇和互花米草生物量季节动态研究[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2008, 6(3): 25–33. [Zhang L H, Zeng C S, Tong C. Study on biomass dynamics of *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora* in the wetlands of Minjiang River Estuary[J]. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2008, 6(3): 25–33.]
- [35] 唐启升. 碳汇渔业与又好又快发展现代渔业[J]. *江西水产科技*, 2011, (2): 5–7. [Tang Q S. Carbon sink fisheries and fast and healthy development of modern fisheries[J]. *Jiangxi Fishery Sciences and Technology*, 2011, (2): 5–7.]
- [36] 张继红, 方建光, 唐启升, 等. 桑沟湾不同区域养殖栉孔扇贝的固碳速率[J]. *渔业科学进展*, 2013, 34(1): 12–16. [Zhang J H, Fang J G, Tang Q S, et al. Carbon sequestration rate of the scallop *Chlamys farreri* cultivated in different areas of Sanggou Bay[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(1): 12–16.]
- [37] 田胜艳, 张文亮, 于子山, 等. 胶州湾大型底栖动物的丰度、生物量和生产量研究[J]. *海洋科学*, 2010, 34(6): 81–87. [Tian S Y, Zhang W L, Yu Z S, et al. Abundance, biomass and secondary production of macro–benthos in the Jiaozhou Bay, China[J]. *Marine Sciences*, 2010, 34(6): 81–87.]
- [38] 咎肖肖. 胶州湾湿地菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)和芦苇(*Phragmites australis*)生物学与生态化学计量学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013. [Zan X X. The Research of Bbiology and Ecological Stoichiometry of *Ruditapes philippinarum* and *Phragmites australis* and Ecological Restoration in Jiaozhou Bay

- wetland[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.]
- [39] 岳冬冬, 王鲁民. 基于直接碳汇核算的长三角地区海水贝类养殖发展分析[J]. 山东农业科学, 2012, 44(8): 133-136. [Yue D D, Wang L M. Development analysis of shellfish aquaculture in the Yangtze River Delta region based on the principle of direct carbon sinks accounting[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2012, 44(8): 133-136.]
- [40] Editorial Committee of State Report on Biodiversity of China Committee. State Report on Biodiversity of China[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1997.
- [41] 刘昌义. 气候变化经济学中贴现率问题的最新研究进展[J]. 经济动态, 2012, (3): 123-129. [Liu C Y. The latest research progress of discount rate in climate change economics[J]. Economic Perspectives, 2012, (3): 123-129.]

Spatiotemporal change of coastal blue carbon and its service value evaluation :

A case study of Jiaozhou Bay

SUI Yuzheng¹, CHEN Xiaoxuan¹, LI Shujuan², SUN Dapeng¹, MA Xinning¹, ZHOU Tao³

(1. College of Architecture and Urban Planning of Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, China; 2. School of Management, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. School of Environmental and Municipal Engineering of Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, China)

Abstract: Coastal blue carbon is a carbon pool similar to marine blue carbon and terrestrial green carbon, which has huge carbon sink potential and it is of important practical significance to study its carbon sequestration capacity. In this study, remote sensing data of the Jiaozhou Bay in 1997, 2007, and 2017, were used for interpretation and acquisition of coastal wetland data in the Jiaozhou Bay area by ArcGIS. Based on the Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs (InVEST) model, this study evaluated the change of spatial and temporal patterns of blue carbon distribution and its service value in the Jiaozhou Bay coastal zone. The results show that: (1) In terms of time: the total blue carbon in 1997-2007 and 2007-2017 was 3.49×10^8 and 2.32×10^8 tons respectively, showing a decreasing trend. (2) Spatially, from 1997 to 2007, the maximum blue carbon was mainly distributed in the sub-tidal zone and the areas of reed, *Suaeda salsa*, *Spartina* and aquaculture ponds in Hetao, Shangma, Jiuhongtan, Jiulong Street, and in the areas of aquaculture ponds and reeds in Jiulong, Liuting, Jinghongtan and Shangma Street from 2007 to 2017. (3) The total value of blue carbon in the Jiaozhou Bay in recent 20 years is 8522.13×10^8 CNY, it is urgent to protect the coastal blue carbon ecosystem because of its huge carbon sink potential.

Key words: blue carbon; coastal zone; ecosystem service; InVEST model; spatiotemporal evolution; value evaluation; Jiaozhou Bay