辽宁省 2010－2019 年海水养殖贝藻类碳汇能力评估

尹钰文[1,2]，车鉴[3]，魏海峰[1,2]，罗传辉[1,2]

（1. 大连海洋大学海洋科技与环境学院　大连　116023；2. 辽宁省近岸海洋环境科学与技术重点实验室　大连　116023；
3. 大连鑫玉龙海洋生物种业科技股份有限公司　大连　116222）

摘要：为减缓全球变暖趋势，海洋碳汇逐渐进入人们的视野，在此基础上我国提出了碳汇渔业的发展理念，可直接或间接实现降低大气中 CO_2 浓度。本研究以辽宁省海水养殖贝藻类主要品种（海带、裙带菜、牡蛎、贻贝、扇贝、蛤、蛏和蚶）为碳汇研究对象，依据《中国渔业统计年鉴》中 2010—2019 年辽宁省海水养殖贝藻类碳汇的相关数据对辽宁贝藻海洋碳汇能力进行了定量评估。结果表明，辽宁省通过养殖海藻和贝类的方式，10 年间总计碳移出量约为 267.73 万 t，相当于减排了 982.57 万 t CO_2。有效地证明了海水养殖贝藻类碳汇具有巨大的生态效益，也对辽宁渔业发展有着很可观的经济效益，同时对我国达成碳达峰和碳中和目标具有一定程度的推动性。

关键词：辽宁省；渔业碳汇；海水养殖贝藻类碳汇；中国渔业统计年鉴

中图分类号：S931.1；P76　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005－9857(2022)09－0017－07

Carbon Sink Capacity Assessment of Mariculture Shellfish and Algae in Liaoning Province from 2010 to 2019

YIN Yuwen[1,2]，CHE Jian[3]，WEI Haifeng[1,2]，LUO Chuanhui[1,2]

（1. College of marine technology and environment of Dalian Ocean University，Dalian 116023，China；2. Liaoning Key Laboratory of Offshore Marine Environmental Science and Technology，Dalian 116023，China；3. Dalian Xinyulong Marine Biological Seed Technology Co. Ltd.，Dalian 116222，China）

Abstract：In order to slow down the global warming trend，marine carbon sink gradually comes into people′s view，based on which the development concept of carbon sink fisheries has been proposed in China，which can directly or indirectly achieve the reduction of CO_2 concentration in the atmosphere.In this paper，the main species of marine aquaculture shellfish and algae in Liaoning Province（*Saccharina japonica*，*Undaria pinnatifuda*，*Crassostrea gigas*，*Mytilus galloprovincialis*，*Placopecta magellanicus*，*Ruditapes philippinarum*，*Sinonovacula constricta* and *Scapharca subcrenata*）were used as carbon sink research objects，and the capacity of marine car-

收稿日期：2022-01-21；**修订日期**：2022-07-27

基金项目：大连市科技重大专项（2020ZD23SN009）；国家重点研发计划项目（2019YFC1407703）；辽宁省教育厅服务地方项目（DL201804）；国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室开放基金（201309、201809）；国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室（201013）.

作者简介：尹钰文，硕士研究生，研究方向为海洋科学

通信作者：魏海峰，副教授，硕士，研究方向为海洋环境

bon sink of shellfish and algae in Liaoning Province was quantitatively assessed based on the data related to carbon sink of marine aquaculture shellfish and algae in Liaoning Province from 2010 to 2019 in the China Fisheries Statistical Yearbook. The results showed that the total amount of carbon removed by seaweed and shellfish farming in Liaoning Province during the ten-year period was about 2,677,300 t, which was equivalent to the reduction of 9,825,700 t CO_2 for Liaoning Province. It also had a certain degree of promotion for China to reach the carbon peak and carbon neutral goal.

Keywords: Liaoning Province, Fisheries carbon sink, Mariculture shellfish and algae carbon sinks, China Fisheries Statistical Yearbook

0 引言

海洋封存了 20%～35%的二氧化碳人为排放量[1]，基于这个数据，研究者们在减排温室气体的过程中发现了渔业碳汇的固碳能力。唐启升等[2]在第四届中国生物产业大会上第一次较为系统地阐述了渔业碳汇的概念，渔业碳汇是指渔业生产活动促进水生生物吸收水体中的 CO_2，并通过收获水生生物产品，把这些碳移出水体的过程和机制。渔业碳汇逐渐趋向于贝藻类养殖碳汇潜力探究的方向，藻类的栽培具有可控性、产量高等优点，且收获的藻可以生产琼胶或制成饵料，还可用于药品和食品等原料中[3]。贝类碳汇主要通过摄食活动，大量去除海水中的颗粒有机碳(POC)，并且通过生物矿化形成贝壳[4-5]。

张继红等[3]探讨了渔业碳汇中贝藻类养殖对海洋碳循环的贡献，有效证明了贝藻类养殖使用了大量的海洋碳，提高了浅海生态系统吸收大气 CO_2 的能力。自唐启升提出渔业碳汇的理念之后，齐占会等[6]基于广东省 2009 年贝藻类海水养殖的碳汇量进行估算，有效证明渔业碳汇的巨大经济效益。李昂等[7]整理相关文献及数据，采用系统综合法对河北省 2010 年养殖贝藻类碳汇能力进行一系列估算。可见海水养殖贝藻类碳汇的发展前景十分乐观。

辽宁省地处我国东北地区南部，渔业资源丰富且海水养殖的综合水质环境达到了标准水平。辽宁省作为中国海洋渔业大省，在海水养殖占有较大比重，研究中对辽宁省海水养殖藻类碳汇能力进行了评估，以辽宁省海水养殖贝藻类主要品种(海带、裙带菜、牡蛎、贻贝、扇贝、蛤、蛏和蚶)作为渔业碳汇能力研究对象。旨在科学评价碳汇渔业发展空间及发展方向，为辽宁省大力发展碳汇渔业奠定理论基础。

1 海水养殖贝类与藻类产量

1.1 数据来源

笔者在《中国渔业统计年鉴》[8-17]中查找，对海洋渔业产量数据进行了初步整理，藻类及贝类的碳汇计算公式从不同文献中查找。

1.2 全国海水养殖藻类及贝类产量

2010—2019 年我国海水养殖藻类及贝类的总产量整体呈上升趋势(图 1)，可以看出我国海水养殖业一直在稳步发展。2010 年全国藻类产量最低，为 154.13 万 t；2019 年全国藻类产量达到峰值，为 253.84 万 t。经过计算，我国年均海水养殖藻类产量为 201.38 万 t。而我国 2010—2019 年海水养殖贝类的产量则在 2010 年出现最低值，为 1 108.23 万 t；2019 年出现产量峰值，为 1 443.93 万 t，年均海水养殖贝类产量为 1 315.95 万 t，10 年间海水养殖贝类同藻类产量变化趋势一致。

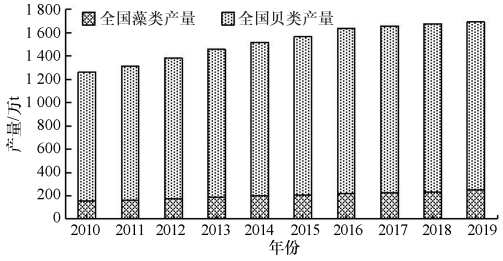

图 1 全国 2010—2019 年海水养殖藻类及贝类总产量变化趋势

1.3 辽宁省藻类及贝类养殖总产量

2010—2019 年辽宁省海水养殖藻类和贝类的

产量整体均呈现上升趋势（图 2 和图 3）。2018—2019 年，藻类产量极速攀升，表明辽宁省近年来海藻养殖业处于飞速发展阶段。2010 年辽宁省养殖藻类产量最低，为 26.49 万 t；2019 年辽宁省养殖藻类产量达到峰值，为 46.75 万 t；经计算，2010—2019 年辽宁省海水养殖藻类年均产量约为 33.86 万 t。而辽宁省海水养殖贝类产量一直保持缓慢且平稳的上升趋势，其在 2010 年产量最低，为 178.50 万 t；在 2016 年达到产量峰值，为 251.91 万 t；经计算，辽宁海水养殖贝类年均产量约为 223.12 万 t。

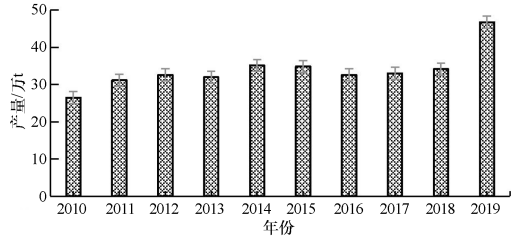

图 2　辽宁省 2010—2019 年海水养殖藻类总产量

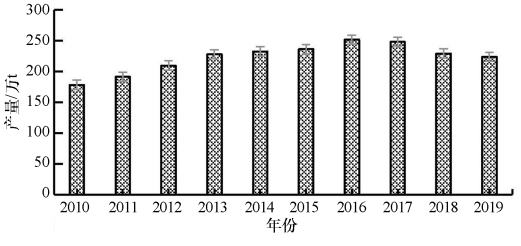

图 3　辽宁省 2010—2019 年海水养殖贝类总产量

1.4　辽宁省贝类与藻类产量占全国比例

基于以上数据，可以计算出辽宁省海水养殖贝藻类产量占全国海水养殖藻类产量的百分比（图 4 和图 5）。

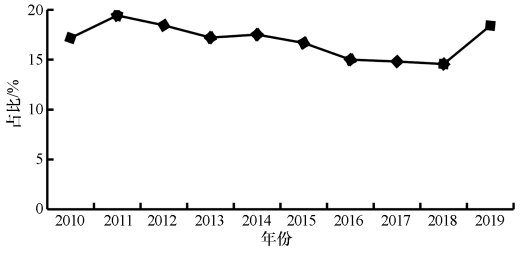

图 4　辽宁省 2010—2019 年海水养殖藻类总产量占全国比值

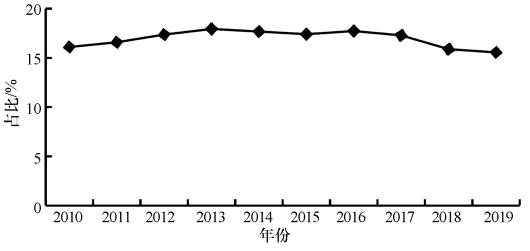

图 5　辽宁省 2010—2019 年海水养殖贝类总产量占全国比值

辽宁省养殖海藻产量在全国范围内占比很高，虽然近 10 年的占比有下降趋势，但基本维持在 14% 以上。其中，2018 年所占份额最低，为 14.57%；2011 年所占份额最高，达 19.44%；期间，年均占比约为 16.93%。

此外，辽宁省海水养殖贝类产量占全国海水养殖贝类比例很大，10 年间一直保持平稳的趋势。其中，2019 年所占份额最低，为 15.56%；2013 年所占份额最高，达 17.94%；期间，年均占比约为 16.96%，与养殖藻类年均占比几乎相同。

数据表明，辽宁在全国渔业大省中，海水养殖贝藻类的产量较为突出，为辽宁省渔业碳汇能力奠定深厚基础。

1.5　辽宁省贝类与藻类养殖结构

辽宁省拥有众多沿海城市，渔业资源与沿海省（自治区、直辖市）相比较为发达，其海水养殖海藻主要品种分为 2 类，分别是海带与裙带菜；海水养殖贝类主要品种分为 6 类，分别是牡蛎、扇贝、贻贝、蛤、蛏及蚶。

2010—2019 年，辽宁省海水养殖贝类与藻类的产量整体呈递增趋势（表 1），养殖海带、裙带菜、牡蛎、扇贝、贻贝、蛤、蛏及蚶的产量峰值分别出现在 2019 年、2014 年、2019 年、2017 年、2016 年、2016 年、2017 年、2019 年。按上述顺序，经计算，各类养殖品种的年均产量约为 21.09 万 t、12.59 万 t、19.91 万 t、40.26 万 t、4.65 万 t、119.38 万 t、3.84 万 t、4.64 万 t。

根据（表 1）数据可计算得出，2010－2019 年辽宁省海水养殖贝藻类各品种产量年均占养殖总量的比例（表 2）：海带（62.22%）、裙带菜（37.14%）、牡蛎（8.72%）、扇贝（18.07%）、贻贝（2.09%）、蛤（53.80%）、蛏（1.70%）、蚶（2.13%）。

表 1 辽宁省 2010—2019 年贝类与藻类主要养殖品种产量 万 t

种类	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
海带	17.30	20.18	19.57	18.02	18.95	19.61	21.87	21.40	22.59	31.45
裙带菜	8.21	10.96	12.99	13.10	16.19	15.22	10.69	11.63	11.57	15.30
牡蛎	16.23	13.34	14.66	20.14	17.05	18.50	22.35	22.61	26.81	27.39
扇贝	36.30	31.98	35.27	40.31	40.59	41.52	43.91	47.22	43.12	42.39
贻贝	5.11	3.99	4.09	3.51	3.64	4.68	6.66	6.40	4.77	3.63
蛤	110.32	98.33	112.00	117.08	124.73	124.58	128.79	128.67	126.40	122.90
蛏	2.65	2.80	2.49	2.88	5.08	4.91	4.84	5.09	3.82	3.84
蚶	6.95	4.48	2.67	3.36	3.01	4.64	4.57	3.70	6.06	6.99

注:上表中海带与裙带菜的产量数据均为干质量。

表 2 2010—2019 年辽宁省海水养殖贝类与藻类产量占养殖总量的比例 %

种类	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
海带	65.33	64.80	60.11	56.35	53.93	56.30	67.18	64.79	66.12	67.27
裙带菜	30.98	35.20	39.89	40.98	46.07	43.69	32.82	35.21	33.88	32.71
牡蛎	9.10	6.97	6.98	8.82	7.33	7.82	8.87	9.10	9.94	12.23
扇贝	20.34	16.69	16.80	17.66	17.44	17.56	17.43	19.01	18.79	18.93
贻贝	2.86	2.09	1.95	1.54	1.56	1.98	2.64	2.57	2.08	1.62
蛤	62.80	51.34	53.34	51.29	53.60	52.69	51.13	51.79	55.09	54.89
蛏	1.48	1.46	1.18	1.26	2.19	2.07	1.92	2.05	1.67	1.71
蚶	3.90	2.34	1.27	1.47	1.29	1.96	1.81	1.49	2.64	3.12

1.6 辽宁省贝类与藻类养殖碳汇能力与其他沿海省(自治区、直辖市)比较分析

碳汇渔业是每个渔业大省减排的优选,利用渔业碳汇可以节省大量减排成本。邵桂兰等[18]计算了 2010 年、2012 年、2014 年我国主要沿海省(自治区、直辖市)海水养殖贝藻类碳汇能力,碳汇能力由大到小排序依次为:山东省、福建省、辽宁省、广东省。辽宁省海水养殖贝藻类碳汇能力在所有地区碳汇平均值之上,但碳汇效率较低。2015 年我国海水养殖碳汇总量约 143 万 t,其中山东、福建、广东、辽宁的年碳汇量达到 20 万 t 以上,是我国海水养殖碳汇能力贡献较大的 4 个沿海省份。

2 海水养殖贝类与藻类碳汇量估算

2.1 藻类碳汇量计算方式

基于以上数据,辽宁省 2010—2019 年海水养殖海带和裙带菜的碳汇总量可以通过式(1)[5]估算。

$$C_{藻类固碳}=\sum_{i=1}^{n}W_i\lambda_{ci} \tag{1}$$

式中:$C_{藻类固碳}$ 为海水养殖藻类的全部固碳量;W_i 为不同海水养殖藻类的产量;λ_{ci} 为该种藻体内的碳含量,其参数见表 3[3]。

表 3 不同藻类碳含量 %

品种	碳	氮	磷
海带	31.2	1.63	3.38
裙带菜	27.9	2.23	0.40

2.2 贝类碳汇量计算方式

根据查阅文献得知,海水养殖贝类的碳汇计算公式(2),由此可计算出海水养殖牡蛎、扇贝、贻贝及蛤的碳汇量[5]。

$$C_{贝类固碳量}=C_{软体组织固碳量}+C_{贝壳固碳量} \tag{2}$$

$$C_{软体组织固碳量}=Q_t\times R_{st}\times\omega_{st}$$

$$C_{贝壳固碳量}=Q_t\times R_s\times\omega_s$$

式中:$C_{贝类固碳量}$ 为海水养殖藻类的全部固碳量;Q_t 为海水养殖贝类总产量;R_{st} 为贝类软组织干质量在贝类总质量中的比例;ω_{st} 为碳在贝类软组织干质量

中的占比；R_s 为贝类贝壳干质量在贝类总质量中的比例；ω_s 为碳在贝类贝壳的干质量中的占比，具体参数见表 4[19－22]。

表 4　不同品种贝类相关参数　　%

种类	R_{st}	R_s	ω_{st}	ω_s
牡蛎	1.30	63.80	44.90	11.50
贻贝	4.63	70.64	46.00	12.70
扇贝	7.32	56.58	43.90	11.40
蛤	7.67	44.65	42.80	11.40
蛏	6.62	64.78	44.99	13.24
蚶	3.66	34.33	45.86	11.29

2.3　养殖贝类及藻类总碳汇量

通过以上数据及参数，可计算出 2010—2019 年辽宁省海水养殖贝类与藻类的碳移出量，如表 5 所示。

2010—2019 年，养殖海带的碳汇量稳步上升，2019 年出现碳汇量峰值，为 9.81 万 t；养殖裙带菜的碳汇量虽有波动，但依然能看出增长的趋势，2014 年出现碳汇量峰值，为 4.52 万 t；养殖牡蛎在 2019 年碳汇能力达到峰值，碳汇量为 2.17 万 t；养殖贻贝在 2016 年碳汇量达到峰值，为 0.74 万 t；养殖扇贝在 2017 年碳汇量达到峰值，为 4.56 万 t；养殖蛤在 2016 年达到碳汇量峰值，为 10.78 万 t；养殖蛏在 2017 年碳汇量达到峰值，为 0.59 万 t；养殖蚶在 2010 年及 2019 年碳汇量达到峰值，为 0.39 万 t。

表 5　2010—2019 年辽宁省不同品种海水养殖贝类与藻类碳汇量　　万 t

种类	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
海带	5.40	6.30	6.11	5.62	5.91	6.12	6.82	6.68	7.05	9.81
裙带菜	2.29	3.06	3.62	3.65	4.52	4.25	2.98	3.24	3.23	4.27
牡蛎	1.29	1.06	1.16	1.59	1.35	1.47	1.77	1.79	2.12	2.17
贻贝	0.57	0.44	0.45	0.39	0.40	0.52	0.74	0.71	0.53	0.40
扇贝	3.51	3.09	3.41	3.90	3.92	4.01	4.24	4.56	4.17	4.10
蛤	9.24	8.23	9.38	9.80	10.44	10.43	10.78	10.77	10.58	10.29
蛏	0.31	0.32	0.29	0.33	0.59	0.57	0.56	0.59	0.44	0.44
蚶	0.39	0.25	0.15	0.19	0.17	0.26	0.25	0.21	0.34	0.39
总计	23.00	22.75	24.57	25.47	27.30	27.63	28.14	28.55	28.46	31.87

通过各个品种碳汇量的加和可以计算出辽宁省海水养殖贝藻类每年的碳汇量，通过表 5 可以看出辽宁省 2010—2019 年海水养殖贝类与藻类的碳汇能力正在稳步上升。

根据以上辽宁省贝类与藻类的主要品种计算出的碳汇量可得知，贝类中属海水养殖蛤的碳汇能力较强，藻类中属养殖海带碳汇能力较强。基于数据推测出，海水养殖贝类与藻类的碳汇量与产量之间有着密切的关系。

将表 5 逐年的碳汇量进行加和可计算出辽宁省近 10 年海水养殖贝类与藻类的碳汇总量，约为 267.74 万 t。辽宁省海水养殖海带在 10 年内总计碳移出量约为 65.82 万 t；其中，海水养殖裙带菜在 10 年内总计碳移出量约为 35.11 万 t；辽宁省海水养殖藻类 10 年间总计碳移出量约为 100.93 万 t，年均汇碳量约为 10.10 万 t。辽宁省海水养殖牡蛎、贻贝、扇贝、蛤、蛏及蚶 10 年内碳移出总量分别约为：15.77 万 t、5.15 万 t、38.91 万 t、99.94 万 t、4.44 万 t、2.60 万 t。辽宁省海水养殖贝类在近 10 年总计碳移出量约为 166.81 万 t，年均碳移出量约为 16.68 万 t。

基于上述数据可计算出，辽宁省海水养殖藻类 10 年内移出 100.93 万 t 的碳相当于 370.38 万 t CO_2；同理，辽宁省海水养殖贝类近 10 年移出 166.81 万 t 的碳相当于 612.19 万 t CO_2。根据文献中提供的数据可知，辽宁省每减排 1t 的 CO_2 就需要花费 157 元[23]，由此可见渔业碳汇对辽宁省具有相当可观的经济效益。

2.4　海水养殖贝类碳汇相关争议

海水养殖贝类主要通过直接与海水中的

HCO_3^- 反应形成 $CaCO_3$（即贝壳的主要成分）来进行碳汇，而贝类的软体组织是通过滤食海水中的微藻及有机物颗粒来满足自身生长，该过程有固碳的效果，通过收获养殖贝类直接大量移出海水中的碳。在上述反应中，贝类的呼吸和钙化会释放 CO_2，这使其遭到质疑，认为养殖贝类不应该纳入海洋碳汇范围内。但在研究进展中，诸多学者认为贝类是可以进行碳汇的，需要从贝类整个生命过程来看待其在生态系统中的碳汇功能，国内研究者也相继对贝类碳汇的数据进行计算。研究表明，一个贝类在其生长周期内释放的 CO_2 仅占 30%，其余 70% 中有 30% 被移出海水，40% 被封存在海水中[24]，从宏观来看并不影响它的碳汇能力。

3 结论

滤食性贝类固碳通过摄食活动大量去除海水中的颗粒有机碳，并且通过生物矿化形成贝壳[4-5]。2010—2019 年辽宁省海水养殖贝类固碳量约为 1.67×10^6 t，其中贝壳的固碳量占大部分。在养殖条件下，贝类的产量与贝类实际利用的颗粒有机碳的比例约为 25%，据此可推算出辽宁省 2010—2019 年养殖贝类摄食的颗粒有机碳，约为 7.71×10^7 t。

因贝壳固定的碳通过生物地球化学循环才会再回到大气中，但其过程需要很长时间，所以贝类的碳汇优势显而易见，不仅可以将其从海水中移出，还能长久储存。同时，海水养殖藻类碳汇优势也极为明显。其研究价值具有广阔的前景，并且收获的藻类可以生产琼胶或制成饵料，还可用于药品、化工、食品等原料中。海水养殖藻类固碳原理是通过光合作用将海水中的溶解无机碳（DIC）和 CO_2 转化为溶解有机碳（DOC）[25]，同时还能溶解海水中的硝酸盐、磷酸盐等营养物质，使海水 pH 值上升，降低了海水中 CO_2 分压，进而促进海水对空气中 CO_2 的吸收，对扩增海洋碳汇效应以及减缓全球变暖趋势都有重要意义。

贝类与藻类是辽宁省海水养殖的主要品种，二者中贝类的产量较为突出，其中，贝类作为经济型水产品，蛤的产量每年占比最高。为研究贝类碳汇能力，在产量相同的情况下选取贝类 6 个品种进行碳汇量计算。结果表明，碳汇能力由大到小排序依次为：蛏、贻贝、扇贝、蛤、牡蛎和蚶，而辽宁省 2010—2019 年的贝类产量由高到低排序依次为：蛤、扇贝、牡蛎、贻贝、蚶和蛏。所以若想快速提升辽宁省渔业碳汇水平，首先需要适当调整贝类养殖结构；藻类的碳汇能力与产量高低一致，无须调整。

本研究辽宁省海水养殖贝类与藻类碳汇能力，计算了 8 个贝类与藻类海水养殖品种在 2010—2019 年期间的碳移出量，约为 267.74 万 t，通过直观的数据来展示辽宁省海水养殖贝藻类的碳汇能力，提高人们对养殖贝藻的重视度，将对海水养殖产业的发展产生深远的影响，也能够有效地缓解温室气体排放危机，同时会对今后碳汇渔业理论以及国内碳交易机制的建立和发展具有一定的理论意义。数据有助于辽宁省大力发展碳汇渔业奠定基础，相关结果可为辽宁省的养殖行业提供一定的参考。

参考文献

[1] KHATIWALA S, PRIMEAU F, HALL T. Reconstruction of the history of anthropogenic CO_2 concentrations in the ocean. [J]. Nature, 2009, 462(7271): 346－349.

[2] 唐启升，刘慧. 海洋渔业碳汇及其扩增战略[J]. 中国工程科学，2016，18(3)：68－73.

[3] 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.

[4] 何培民，刘媛媛，张建伟，等. 大型海藻碳汇效应研究进展[J]. 中国水产科学，2015，22(3)：588－595.

[5] CHAUVAUD L, THOMPSON J K, CLOERN J E, et al. Clams as CO_2 generators: The *Potamocorbula amurensis* example in San Francisco Bay[J]. Limnology and Oceanography, 2003, 48(6): 2086－2092.

[6] 齐占会，王珺，黄洪辉，等. 广东省海水养殖贝藻类碳汇潜力评估[J]. 南方水产科学，2012，8(1)：30－35.

[7] 李昂，刘存歧，董梦荟，等. 河北省海水养殖贝类与藻类碳汇能力评估[J]. 南方农业学报，2013，44(7)：1201－1204.

[8] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴 2010[M]. 北京：中国农业出版社，2010.

[9] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴 2011[M]. 北京：中国农业出版社，2011.

[10] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴 2012[M]. 北京：中国农业出版社，2012.

[11] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴 2013[M]. 北京：中国农业出版社，2013.

[12] 农业部渔业渔政管理局.中国渔业年鉴 2014[M].北京：中国农业出版社，2014.

[13] 农业部渔业渔政管理局.中国渔业年鉴 2015[M].北京：中国农业出版社，2015.

[14] 农业部渔业渔政管理局.中国渔业年鉴 2016[M].北京：中国农业出版社，2016.

[15] 农业部渔业渔政管理局.中国渔业年鉴 2017[M].北京：中国农业出版社，2017.

[16] 农业农村部渔业渔政管理局.中国渔业年鉴 2018[M].北京：中国农业出版社，2018.

[17] 农业农村部渔业渔政管理局.中国渔业年鉴 2019[M].北京：中国农业出版社，2019.

[18] 邵桂兰，刘冰，李晨.我国主要海域海水养殖碳汇能力评估及其影响效应：基于我国 9 个沿海省份面板数据[J].生态学报，2019，39(7)：2614－2625.

[19] TANG Q S，ZHANG J H，FANG J G.Shellfish and seaweed mariculture increase atmospheric CO_2 absorption by coastal ecosystems[J].Marine ecology progress series，2011，424(1)：97－104.

[20] 吕昊泽，刘健，陈锦辉，等.长江口 3 种贝类碳、氮收支的研究[J].海洋科学，2014，38(6)：37－42.

[21] 柯爱英，罗振玲，薛峰，等.2004－2014 年温州市养殖贝类碳汇强度研究[J].水产科技情报，2016，43(3)：155－159.

[22] 周毅，杨红生，刘石林，等.烟台四十里湾浅海养殖生物及附着生物的化学组成、有机净生产量及其生态效应[J].水产学报，2002，26(1)：21－27.

[23] 曹庆仁，刘书玲，郑卫.中国省域二氧化碳减排目标与成本分担研究[J].统计与信息论坛，2019，34(4)：114－120.

[24] 任黎华.桑沟湾筏式养殖长牡蛎及其主要滤食性附着生物固碳功能研究[D].青岛：中国科学院研究生院(海洋研究所)，2014.

[25] 张永雨，张继红，梁彦韬，等.中国近海养殖环境碳汇形成过程与机制[J].中国科学：地球科学，2017，47(12)：1414－1424.