

# 桑沟湾大叶藻海草床生态系统碳汇扩增力的估算

高亚平<sup>1</sup> 方建光<sup>1\*</sup> 唐望<sup>2</sup> 张继红<sup>1</sup> 任黎华<sup>1</sup> 杜美荣<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 碳汇渔业实验室, 青岛 266071)

(<sup>2</sup>华东理工大学生物工程学院, 上海 200237)

**摘要** 2010~2011年对桑沟湾楮岛海区大叶藻床的调查研究显示,其生物量年度变化为313.5~769.3 g DW/m<sup>2</sup>,在夏季达到最高值;初级生产力年度内为2.0~6.4 g DW/m<sup>2</sup>·d;总组织含碳量为35.5%;来自海草初级生产力的固碳贡献约为543.5 g C/m<sup>2</sup>·yr。大叶藻附着植物生物量较小,年平均约为21.2 g/m<sup>2</sup>,固碳贡献约30 g C/m<sup>2</sup>·yr;作为菲律宾蛤仔增殖场,来自蛤仔的固碳贡献约63.15 g C/m<sup>2</sup>·yr,此外,参照已有研究的数据,将来自草床捕获颗粒的碳贡献等计算在内,桑沟湾大叶藻床扩增固碳量为1 180 g C/m<sup>2</sup>·yr,总量达290 Mg C/yr。

**关键词** 碳汇 海草床 大叶藻 桑沟湾

中图分类号 Q954.4 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2013)01-0017-05

## Seagrass meadow carbon sink and amplification of the carbon sink for eelgrass bed in Sanggou Bay

GAO Ya-ping<sup>1</sup> FANG Jian-guang<sup>1\*</sup> TANG Wang<sup>2</sup>  
ZHANG Ji-hong<sup>1</sup> REN Li-hua<sup>1</sup> DU Mei-rong<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea

Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Carbon-Sink Fisheries Laboratory, Qingdao 266071)

(<sup>2</sup>School of Biotechnology, East China University of Science & Technology, Shanghai 200237)

**ABSTRACT** Seagrass meadows occupy less than 0.2% of the area of the world's oceans but are estimated to contribute 10% of the yearly estimated organic carbon burial. Globally, seagrass ecosystems could store as much as 19.9 Pg organic carbon. The high carbon storage capacity in seagrass meadows may result from the high primary production of seagrass meadows and their capacity to filter out particles from the water column and store them in soils. Eelgrass, *Zostera marina* is one of the common seagrass species in the northern hemisphere. Investigation in Sanggou Bay showed that the biomass of eelgrass varied between 313.5 and 769.3 g DW/m<sup>2</sup> from 2011 to 2012, with the maximum of 738.1 g DW/m<sup>2</sup> in summer. Primary production was about 2.0~6.4 g DW/m<sup>2</sup>·d and tissue carbon content was 35.5% in the plant. Stored carbon in the eelgrass meadow from primary production was about 543.5 g C/m<sup>2</sup>·yr. Biomass of algal epiphyte was small, with a wet weight of 21.2 g/m<sup>2</sup> and contributed 30 g C/m<sup>2</sup>·yr carbon storage. As a *Ruditapes philippinarum* stock enhancement area, the carbon sink contribution from the clam was 63.15 g C/m<sup>2</sup>·yr. In addition, when other carbon

国家973课题(2011CB409805)、山东省科技攻关计划项目(2010G0020505)和国家自然科学基金(41276172)共同资助

\* 通讯作者。E-mail: fangjg@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85822957

收稿日期:2012-10-10;接受日期:2012-11-28

作者简介:高亚平(1983-),女,研究实习生,主要从事海洋生物生态研究。E-mail: gaoyaping8640@163.com

source, such as stripped particles was considered, the carbon pool capacity was  $1\ 180\ \text{g C/m}^2 \cdot \text{yr}$  and the whole of the bed can reach  $290\ \text{Mg C/yr}$ .

**KEY WORDS** Carbon sink Seagrass meadow *Zostera marina* Sanggou Bay

尽管海草分布不足海洋总面积的 0.2%, 但它们在浅海生态系统中却发挥着重要的作用, 密集生长的海草构成的海草床不仅可起到减弱水流(Koch *et al.* 1999)和稳固底质(Heiss *et al.* 2000)的作用, 还可为系统内的生物提供隐蔽和栖息场所, 增加系统生物多样性(Heck *et al.* 2003), 并构成碎屑食物链的基础(Mateo *et al.* 1997)。长期以来, 海草床卓越的生态功能下, 其碳汇功能或被忽略。但近年来相关研究逐渐增多, 海草床巨大的碳汇能力被逐渐揭示: 海草以不足 0.2% 的覆盖面积, 占到了海洋每年总碳埋藏量的 10%~18% (Duarte *et al.* 2005); 海草床生态系统内的碳主要以现存生物量固定碳和底质沉积有机碳两种方式存在; 海草床碳积累速率为每平方米每年约  $83\ \text{gC}$ (Duarte *et al.* 2005), 高于多数陆地系统(Pidgeon 2009); 全球海草总的碳埋藏速率达  $27\sim 44\ \text{Tg C/yr}$ , 海草生态系统高碳储量的主要原因为其初级生产力高, 总有机碳储量达  $19.9\ \text{Pg}$ , 可捕获水体的颗粒将其储存在底质中(Kennedy *et al.* 2010)及缺氧环境下碳分解速率低(Duarte *et al.* 2011)。本研究对目前海草床碳汇研究进行了总结, 并结合我国桑沟湾海草——大叶藻的调查固碳潜力的估算, 以期为我国在海草固碳方面研究提供初步探索。

## 1 海草床碳来源

海草床生态系统具有高而多样的初级生产力和次级生产, 加之对水体外源碳颗粒的捕获, 因而碳储量尤其可观。

### 1.1 海草床碳来源——初级生产固碳

#### 1.1.1 海草本身初级生产力与现存生物量碳储量

海草床具有巨大碳汇量的主要原因在于其具有巨大的初级生产力, 据 Duarte 等(1999)的分析研究表明, 海草地上部分的初级生产力约  $0.003\sim 15\ \text{gDW/m}^2 \cdot \text{d}$ , 以碳计约  $0.1\sim 18.7\ \text{g C/m}^2 \cdot \text{d}$ , 平均  $0.5\sim 2.0\ \text{g C/m}^2 \cdot \text{d}$ 。尽管由于海草种类多样、环境多样、初级生产变化较大, 导致其初级生产力范围跨度较大, 但依然超过许多陆地和海洋系统(表 1)。

表 1 海草和其他海洋、陆地生态系统的净生产力比较(自 Larkum 等(eds.) 2006)

Table 1 Comparison of NPP between average seagrass and other marine and terrestrial ecosystems(from Larkum *et al.* (eds.) 2006)

生态系统类型 System	覆盖面积 Area ( $10^6\ \text{km}^2$ )	生产力 Production ( $\text{g C/m}^2 \cdot \text{yr}$ )	总生产力 Total production ( $\text{Pg C/m}^2 \cdot \text{yr}$ )
海洋浮游植物 Marine phytoplankton			
大洋水体 Oceanic waters	332	130	43
浅海水体 Coastal waters	27	167	4.5
浅海大型植物 Coastal macrophytes			
红树林 Mangroves	1.1	1000	1.1
海草 Seagrasses	0.6	817	0.48
大型海藻 Macroalgae	6.8	375	2.55
微型底生植物 Microphytobenthos	6.8	50	0.34
陆地生态系统 Terrestrial ecosystems			
森林 Forests	41	400	16.4
农田 Crops	15	350	5.25
荒漠 Deserts	40	50	2
陆地生态系统 Terrestrial ecosystems	148	200	29.6
内陆水体 Continental waters	1.9	100	0.19
海洋 Oceans	359	132	47.5

据 Fourqurean 等(2012)的统计和计算,世界范围海草现存生物量的碳储量为  $2.52 \pm 0.48 \text{ Mg C/hm}^2$ ,其中,2/3 以根与地下茎的形式储存,只是不同地区、不同海草种类的碳储量亦差别非常大。最大的海草有机碳库为地中海 *Posidonia oceanica* 草床,该海草具有非常长的地下茎部分,总现存生物量高达  $7.29 \pm 1.52 \text{ Mg C/hm}^2$  (Fourqurean *et al.* 2012)。

### 1.1.2 附着藻类及其他初级生产者的碳贡献

海草附着藻类及其他初级生产者(漂浮大型藻类、底栖大型藻类、底栖微藻及浮游植物等)不仅是构成海草生态系统生物多样性的主要部分,亦是该生态系统初级生产力的主要贡献者。这一点正在被近年来的一些研究所证实,如 Moncreiff 等(1992)在 Mississippi Sound 的研究发现,藻类(包括附着藻类、底栖硅藻和浮游植物)的初级生产力高达整个海草系统总初级生产的 87%。而 Kaldy 等(2002)的调查发现,该海草生态系统中底栖大型藻类的初级生产占总初级生产的 33%~42%,其次为海草和其他微藻,分别占 33%~38%和 23%~56%。

## 1.2 草床碳来源——海草床捕获的其他来源碳

海草生态系统沉积的碳,除来自其自身组织外,还有外源碳的沉积。因海草茂密的冠层可减弱水流和捕获颗粒物,从而使得外源水颗粒沉积在草床中,成为了另一重要碳来源。Kennedy 等(2010)应用同位素分析,对全球海草研究统计发现,海草床沉积碳中约有 50% 的贡献来自海草,其余则来自草床捕获的其他颗粒碳,如浮游植物和陆源碳等。

## 2 桑沟湾大叶藻场系统碳汇扩增力

大叶藻是北半球分布最为广泛的海草之一,也是我国山东、河北和辽宁浅海海草群落的优势种,其中以山东荣成桑沟湾大叶藻分布最为集中(郭 栋等 2010)。密集分布的大叶藻形成的海草场,聚集了众多生物,维持着周围环境的健康稳定,同时也形成了密集的碳库。

### 2.1 实验地点与方法

2010~2011 年对桑沟湾主要海草分布区——楮岛海域的大叶藻初级生产力、生物量、附着生物量、大叶藻组织碳含量和草场内主要经济贝类——菲律宾蛤仔生物量进行了测定。大叶藻初级生产力采用打孔标记法进行(Zieman 1974; Kentula *et al.* 1986; Lee *et al.* 1996),同时随机选取 3 个  $0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$  样方内的所有枝条,将附着生物由刀片刮取,测定附着生物生物量,并将大叶藻枝条分为地上部分(叶片+叶鞘)和地下部分(根+地下茎),随机取 30 棵测定枝条高度。枝条密度由样方内枝条数与样方面积求得,地上和地下部分  $60^\circ\text{C}$  烘干至恒重,求得单位面积生物量。并取地上和地下组织研磨,由 CHN 元素分析仪测定组织碳含量,总组织碳含量由地上和地下部分生物量的比值与碳含量求得。

### 2.2 实验结果与讨论

#### 2.2.1 桑沟湾大叶藻初级生产固碳

所测的桑沟湾大叶藻场枝条密度为  $821 \sim 996 \text{ 株/m}^2$ ,以夏季最高,冬季最低(表 1);生物量变化存在相同的趋势,但地下生物量以春季最低,这应与其冬季和初春地下存储的营养物质的不断消耗有关。总生物量年度内的变化为  $313.5 \sim 769.3 \text{ g DW/m}^2$ ,年平均值为  $304.5 \text{ g DW/m}^2$ 。大叶藻的生长在夏季达到顶峰,因此所测得的初级生产力在夏季为  $6.44 \text{ g DW/m}^2 \cdot \text{d}$ ,初级生产力年度内为  $2.0 \sim 6.4 \text{ g DW/m}^2 \cdot \text{d}$ ,全年平均为  $3.15 \text{ g DW/m}^2 \cdot \text{d}$ 。由于标记法未能将地下部分生产力计算在内,海草平均地下部分生产力约为地上部分的 35% (Park *et al.* 2010),按照该值对桑沟湾大叶藻修正,则其初级生产力为  $1530.9 \text{ g DW/m}^2 \cdot \text{yr}$ 。由于其全组织含碳量为 35.5%,因此若暂时不考虑时间尺度上碳的去向,则桑沟湾大叶藻初级生产力的固碳贡献为  $543.5 \text{ g C/m}^2 \cdot \text{yr}$ 。

#### 2.2.2 桑沟湾大叶藻床生态系统中其他初级生产者固碳

海草床的固碳除了来自其本身的光合作用外,还有来自其草床系统中附着生物初级生产的贡献。海草巨大的附着表面,使得其上的附着藻生物量和初级生产力亦相当大,尤其在热带和亚热带海域的海草种类,该比重甚

至可达海草自身的50%~126%。在桑沟湾大叶藻场,附着藻密度总体偏低,其中以春季的附着量最大,约70 g/m<sup>2</sup>,以褐藻类为主,夏秋季约6.8g/m<sup>2</sup>,以红藻为主,全年平均约21.2g/m<sup>2</sup>,参照毛兴华等(1993)对桑沟湾大型藻类生物量、初级生产力和碳生产量研究计算,初步估算得到附着藻类的碳贡献约为30 g C/m<sup>2</sup> yr。

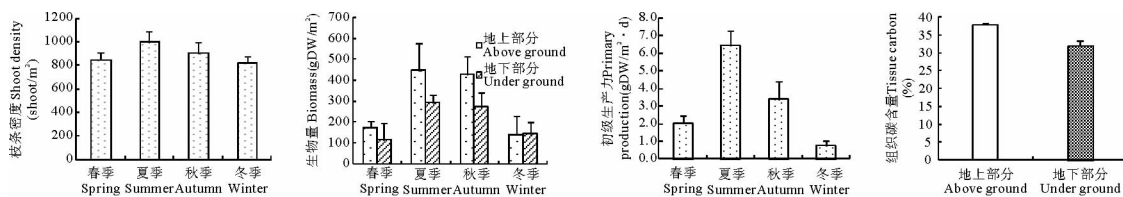


图1 大叶藻枝条密度、生物量、初级生产力与碳含量

Fig. 1 Shoot density, biomass, primary production and tissue carbon of eelgrass in Sanggou Bay

### 2.2.3 海草生态系统中的渔业增殖碳贡献

海草床在渔业生产中的重要作用主要在于它可以为多种经济物种提供栖息摄食和躲避敌害生物的场所,提高鱼和蛤、扇贝的存活率及蛤类的生长速度(Bell *et al.* 2001; Irlandi *et al.* 1999; Irlandi 1997)。桑沟湾大叶藻分布区内蛤仔量较大,可收获生物量约700g/m<sup>2</sup>·yr。参照张继红等(2005)对蛤仔贝壳固碳量的计算,可得到桑沟湾草床内蛤仔固碳量为63.15g C/m<sup>2</sup>·yr。

### 2.2.4 其他部分的潜在固碳贡献

尽管尚未对桑沟湾大叶藻床的沉积碳来源做相关研究,但是依然不可忽视该系统中除海草外的其他碳来源的固碳贡献,若按照 Kennedy 等(2010)海草贡献50%的值来计算,草床捕获的其他颗粒碳等还将贡献50%的碳,约544 g C/m<sup>2</sup>·yr,这或许可以从大叶藻平均56~117cm的冠层高度和821~996株/m<sup>2</sup>的枝条密度,对捕获的碳等做出解释。

近年来的研究显示,底栖大型藻类、微藻等是海草床中一直以来被忽略和低估的重要的初级生产和固碳的贡献者,但之前的工作中发现桑沟湾大叶藻场中底栖大型藻类生物量较小,应为大叶藻对光的竞争,使得大型藻类生长量受限制的原因,因此底栖大型藻类的固碳贡献在计算中忽略。由于缺少底栖微藻的相关研究和数据,因此也不再计算。

综合大叶藻初级生产固碳、附着藻类固碳、渔业增殖碳和其他来源碳,初步估计桑沟湾大叶藻场的固碳量约1180g C/m<sup>2</sup>·yr,据初步调查,大叶藻草床总面积约25hm<sup>2</sup>,因此该系统总固碳量约290Mg C/yr。该工作为初步的研究和估计,碳的沉积形式、沉积碳的不同组分来源和时间尺度碳的去向将会在今后的工作中深入开展。

## 3 总结与展望

海草场是浅海生态系的重要组成部分,尤其是其巨大的固碳能力,在全球海洋系统中亦起着不可忽视的作用。但是近年来全球海草分布总体在不断衰退之中,其中来自人类活动的影响占重要因素。丧失该系统后,浅海将犹如荒漠,因此对海草的保护和恢复工作需要持续的开展和努力。在我国该项工作刚刚起步,更需要更多的关注和投入。桑沟湾大叶藻床每年约贡献1180g C/m<sup>2</sup>·yr的碳固定量,该部分的研究中诸如碳的沉积形式、沉积碳的不同组分来源和时间尺度碳的去向等尚有较多工作需要深入开展。

## 参 考 文 献

- 毛兴华,朱明远,杨小龙. 1993. 桑沟湾大型底栖植物的光合作用和生产力的初步研究. 生态学报,13(1):25-29  
 张继红,方建光,唐启升. 2005. 中国浅海贝藻养殖对海洋碳循环的贡献. 地球科学进展,20(3):359-365  
 郭 栋,张沛东,张秀梅,李文涛,张新军,原永党. 2010. 山东近岸海域海草种类的初步调查研究. 海洋湖沼通报 2:17-21

- Bell SS, Brooks RA, Robbins BD, Fonseca MS, Hall MO. 2001. Faunal response to fragmentation in seagrass habitats; Implications for seagrass conservation. *Biol Conserv* 100:115-123
- Duarte CM, Chiscano CL. 1999. Seagrass biomass and production; A reassessment. *Aquat Bot* 65:159-174
- Duarte CM, Middelburg JJ, Caraco N. 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences* 2 (1):1-8
- Duarte CM, Kennedy H, Marb N, Hendriks I. 2011. Assessing the capacity of seagrass meadows for carbon burial; Current limitations and future strategies. *Ocean Coast Manage* 51:671-688
- Fourqurean JW, Duarte CM, Kennedy H and 8 others. 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience* 5: 505-509
- Heck KL, Hays G, Orth RJ. 2003. Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Mar Ecol Prog Ser* 253: 123-136
- Heiss WM, Smith AM, Keith PP. 2000. Influence of the small intertidal seagrass *Zostera novazelandica* on linear water flow and sediment texture. *N Z J Mar Freshwater Res* 34:689-69
- Irlandi EA. 1997. Seagrass patch size and survivorship of an infaunal bivalve. *Oikos* 78:511-518
- Irlandi EA, Orlando BA, Ambrose WG. 1999. Influence of seagrass habitat patch size on growth and survival of juvenile bay scallops, *Argopecten irradians concentricus*(Say). *J Exp Mar Biol Ecol* 235:21-43
- Kaldy JE, Onuf CP, Eldridge PM, Cifuentes LA. 2002. Carbon budget for a subtropical dominated coastal lagoon; How important are seagrasses to total ecosystem net primary production? *Estuaries* 25: 528-539
- Kennedy H, Beggins J, Duarte CM and 4 others. 2010. Seagrass sediments as a global carbon sink; Isotopic constraints. *Global. Biogeochem Cycles* 24, GB4026
- Kentula ME, McIntire CD. 1986. The autecology and production dynamics of eelgrass (*Zostera marina* L.) in Netarts Bay, Oregon. *Estuaries* 9: 188-199
- Koch EW, Gust G. 1999. Water flow in tide-and wavedominated beds of the seagrass *Thalassia testudinum*. *Marine Ecology Progress Series* 184: 63-72
- Lee KS, Dunton KH. 1996. Effects of in situ light reduction on the maintenance, growth and partitioning of carbon resources in *Thalassia testudinum*. *J Exp Mar Biol Ecol* 210:53-73
- Mateo MA, Romero J. 1997. Detritus dynamics in the seagrass *Posidonia oceanica*: elements for an ecosystem carbon and nutrient budget. *Marine Ecology Progress Series* 151: 43-53
- Moncreiff CA, Sullivan MJ, Daehnick AE. 1992. Primary production dynamics in seagrass beds of Mississippi Sound; The contributions of seagrasses, epiphytic algae, sand microflora and phytoplankton. *Mar Ecol Prog Ser* 87: 161-171
- Moore KA, Short FT. 2006. *Zostera*: biology, ecology, and management. In: Larkum A. W. D, Orth R. J, Duarte C. M. (eds). *Seagrasses: biology, ecology and conservation*. Springer, Dordrecht, 361-386
- Park SR, Li WT, Kim SH and 2 others. 2010. A comparison of methods for estimating the productivity of *Zostera marina*. *J Ecol Field Biol* 33 (1): 59-65
- Pidgeon E. 2009. Carbon sequestration by coastal marine habitats; Missing sinks, in *The Management of Natural Coastal Carbon Sinks* edited by D. d'A Laffoley and G. Grimsditch, pp. 47-51. IUCN, Gland, Switzerland
- Zieman JC. 1974. Methods for the study of the growth and production of turtle grass, *Thalassia testudinum*. *Aquaculture* 4:139-143