

文章编号: 1000-0615(2016)06-0925-08

DOI: 10.11964/jfc.20151010126

刺参围堰养殖中大叶藻的生态功能

高亚平¹, 蒋增杰¹, 房景辉¹, 杜美荣¹, 刘毅¹,
姜妮妮², 邹健¹, 方建光^{1*}

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部可持续发展重点开放实验室, 山东青岛 266071;
2. 中国科学院海洋研究所, 山东青岛 266071)

摘要: 为阐明围堰池塘内海草——大叶藻的生态功能并为将其引入刺参池塘养殖提供理论基础, 对大叶藻区和裸露砂质底质区的温度、溶氧进行了比较测定, 对刺参及其食物组成的同位素进行了分析, 并与邻近自然海域草场系统进行对比。结果显示, 春夏季大叶藻区底部温度比裸露砂质底质区温度低约0~0.33 °C; 0~25%的低大叶藻盖度下, 海草区和裸露底质区溶氧差异不显著, 50%~100%的中高盖度下, 海草区表层溶氧显著高于裸露底质区, 高约0.12~0.62 mg/L, 底层溶氧低于裸露底质区, 约0~0.38 mg/L; 春季末, 该海草环境下的刺参 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 比值分别为-15.27‰和8.11‰, 具有与相邻自然草场系统中刺参明显不同的同位素特征值(-20.12‰和10.95‰)。混合模型的分析表明, 其食物组成中来自大叶藻的贡献约为13%~52%, 高于底栖硅藻(4%~49%)、悬浮颗粒有机物POM(23%~39%)以及附着生物(0~22%)。而邻近的自然草场中, 来自POM和褐藻海蒿子的食物贡献最大, 0.95置信水平下的置信区间(CI)分别为24%~54%和1%~53%, 而海草丛生大叶藻的贡献为0~27%。本研究表明, 大叶藻可以在一定程度上降低夏季池塘底部水温, 增加水体溶氧, 同时为刺参提供重要的食物来源, 这在池塘组成相对简单的环境下是尤为重要的。

关键词: 刺参; 大叶藻; 围堰池塘; 溶氧; 温度; 同位素; 食物来源

中图分类号: S 968.4

文献标志码: A

近年来, 刺参(*Apostichopus japonicus*)养殖迅速发展, 已成为我国水产养殖业的重要支柱之一。在我国北方, 池塘养殖在面积和产量上均是占绝对优势的养殖模式, 但是养殖池塘的生态组成单一, 自我调控性较差。尽管目前在改善池塘环境方面做了诸多努力, 如布设遮阳网降低水温^[1]、利用增氧机增氧、投石或造礁为刺参提供隐蔽环境^[2]、利用微生物制剂等改善池塘水质等^[3], 以上措施取得了一定成效, 但是生态系统的稳定性与其复杂性息息相关, 养殖池塘单一的组成影响其稳定性。系统的稳定性与其

复杂性息息相关。因此, 模拟刺参在自然海域栖息的海藻或海草环境, 以寻求自然、友好且稳定的生态系统是值得尝试的途径之一。

海草是浅海生态系统中常见的大型植物, 是刺参的重要生存环境。自然海域茂密的海草区素来有大量的海参分布, 如Pomory等^[4]的调查表明糙海参(*Holothuria scabra*)常常在茂密的海草斑块附近被发现; 在所罗门群岛, 稚参总是在海草内附着, 进行群体补充^[5]; 相对于砂、粗石及人工海草, 糙海参稚参更倾向于选择附着在海草泰来藻(*Thalassia hemprichii*)的叶子上^[6]。以上

收稿日期: 2015-10-22 修回日期: 2016-03-08

资助项目: 国家自然科学基金(41306117); 中国水产科学研究院基本科研业务费专项(20603022013020; 2060302201517105-2); 山东省科技计划(2010G002050)

通信作者: 方建光, E-mail: fangjg@ysfri.ac.cn

研究表明了海草在海参自然生活环境下的重要性。我国自然海域海草场内亦曾有大量刺参分布,只不过由于近年来随着海草资源的大量衰退、刺参自然资源的过度捕捞和养殖池塘的发展,海草系统的作用逐渐被忽视。

近年来,在山东和辽宁沿海的部分地区,由于刺参围堰池塘对水流的减缓及对海草繁殖体的滞留,使得海草——大叶藻逐渐在该环境中生长并成为该系统的重要组成部分。为评价海草系统对刺参养殖的重要作用,本研究在山东荣成一处刺参池塘内,对大叶藻在降低环境温度、增加溶氧及为刺参提供食物组成等方面进行了初步探究,旨在探究池塘养殖中大叶藻的生态作用,并为将海草系统引入刺参池塘养殖提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验地点

实验地点选择在山东荣成桑沟湾南岸一处围堰池塘(37°02'06"N, 122°32'46"E),水深0.8 m~1.8 m,经进排水口每天与外部海域进行纳潮水交换,其内为泥砂底质,同时有建池初所投石块,约覆盖池塘10%~20%的面积。自然生长起来的大叶藻覆盖池塘的大部分面积,形成草场,据Norris等^[7]及陈祖刚等^[8]的方法,利用拍摄数码照片,与图像处理软件进行自动或半自动的植被盖度测量,计算得到该围堰池塘内大叶藻平均覆盖度约60%。

同时选取池塘外自然海域分布的草场,对比两环境下刺参同位素组成及食物来源。该处自然草场位于池塘东北方向的潮下带(37°2'46"N, 122°33'25"E),主要海草种类为与大叶藻同属的丛生大叶藻,水深3 m~5 m,周围为少量岩礁与泥砂相间分布的底质类型,丛生大叶藻在泥砂底质处生长茂盛,形成草场,平均覆盖度约50%~60%,岩礁周围生长大型藻类,在夏季主要为海蒿子等。

1.2 实验方法

大叶藻区与周围对照点环境因子的测定

2013年5—9月,利用Star-Oddi温度记录仪对大叶藻区(大叶藻盖度75%~100%)和周围紧邻的对照区(无大叶藻分布的裸露泥砂底质区)的底部进行温度的持续记录,记录2个区域底部每天14:00时

的水温。此外,在云量均匀的中低风力(陆地风力≤5级)天气,利用Pro Plus(YSI 美国)对高(75%~100%)、中(~50%)、低(0~25%)3个盖度下的大叶藻区和周围对照区的溶氧进行测定,所选择的大叶藻区和紧邻的周围对照区(距离<10 m)处于相同深度,相对同一位置,每一盖度测量3处。

主要初级生产者与刺参的同位素分析 于围堰池塘中取得刺参及主要初级生产者(大叶藻、底栖硅藻)和水体悬浮颗粒有机物POM,作为对比,同时还对池塘外自然海域海草场内的刺参及主要初级生产者进行取样。该处草场内主要海草种类为大叶藻同属的丛生大叶藻,处于围堰池塘外的潮下带,水深3 m~5 m,周围为少量岩礁与泥砂相间分布的底质类型,丛生大叶藻在泥砂底质处生长茂盛,形成草场,岩礁周围生长大型藻类。刺参取体壁,剪除石灰环后纯水冲洗,60 °C烘干,玛瑙研钵研磨过筛(180目),经浓HCl熏蒸,再次烘干保存待测;大叶藻等取整个植株,包括地上部分和地下部分,纯水冲洗,后续处理方法同上;POM由GF/F玻璃纤维素膜抽滤2 L表层水所得;附着生物为小心刮取海草表面所得;底栖硅藻取得方法为刮取表层底质,按照Riera等^[9]及Herlory等^[10]的方法提纯提取后,在显微镜下检验纯度,离心(10 min, 1000 g)、烘干、盐酸熏蒸。以上所制备的样品进入连接元素分析仪(Elementar 美国)的同位素质谱仪ISOprime 100(Isoprime 英国)进行 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的碳、氮同位素比值以 δ 值的形式表达,定义为

$$\delta X(\text{‰}) = \left[\left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} \right) - 1 \right] \times 1000$$

式中, X表示 ^{13}C 或 ^{15}N ; R_{sample} 是样本的同位素比值($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$; $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$), R_{standard} 是标样的同位素比值。碳、氮稳定同位素测定的标准物质分别为PDB(美洲拟箭石)和空气中的 N_2 。

1.3 统计分析

应用SPSS13.0软件对大叶藻区及周围对照区溶氧的调查数据进行F检验,显著水平设置为0.05;两草场环境中各主要初级生产者对海参食物贡献的分析用混合模型在R程序包SIAR (Stable Isotope Analysis in R)下进行^[11]。根据周围生物分布与生物量大小,大叶藻、附着生物、POM和底栖微藻被认为是围堰池塘刺参的食物源;丛生大叶藻、海蒿子、POM、底栖微藻和附着生

物被认为是自然草场海参的食物来源。软件运行50 000次, 计算各食物源0.95、0.75和0.25的置信水平下的置信区间(credibility intervals, CI), 其中0.95下的置信区间在文中详述。

2 结果

2.1 大叶藻区与周围裸露泥砂区底层温度的比较

在6月—9月间大叶藻区底层温度变化范围为16.6~29.9 °C, 较邻近裸露泥砂区较低, 差值的变化范围为-0.04~0.33 °C, 平均差值为0.10 °C

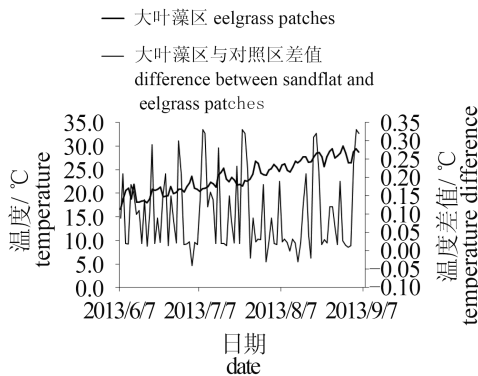


图1 大叶藻区与周围泥砂区底层温度

Fig. 1 The bottom temperature of eelgrass patch and adjacent sandflat

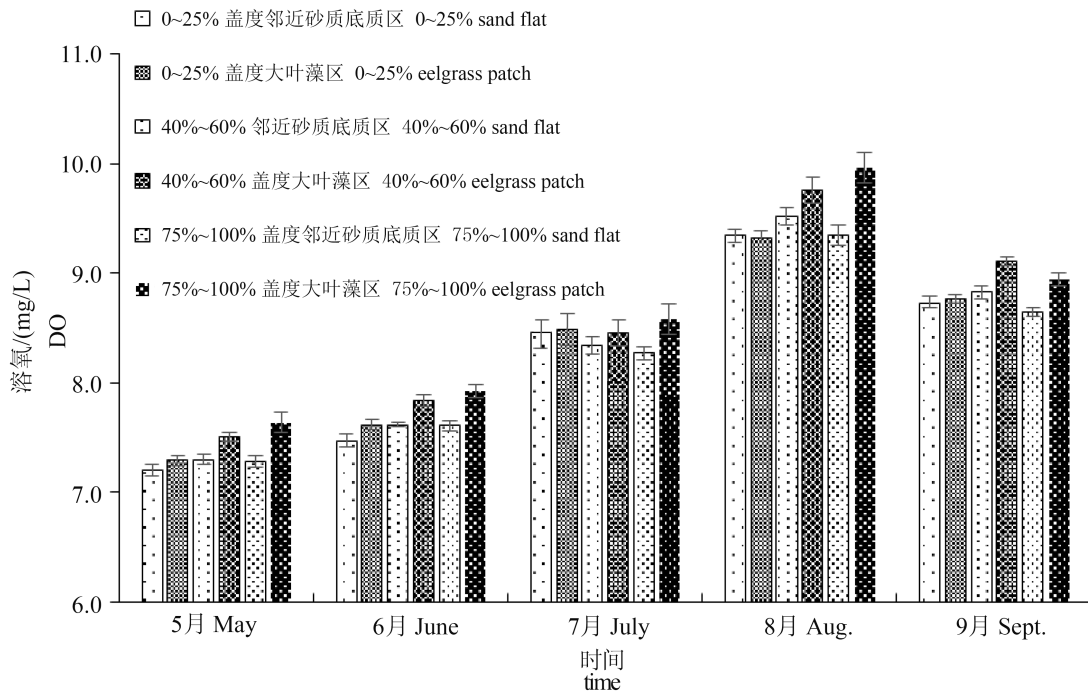


图2 不同(低、中、高)盖度大叶藻区与邻近砂质底质区表层溶氧

Fig. 2 The surface water dissolved oxygen of different eelgrass coverage and adjacent sand flat

(图1)。

2.2 大叶藻区与周围裸露泥砂区表、底层溶氧的比较

低盖度下大叶藻区较泥砂区高0.06, 但统计分析表明, 该差异并不显著(图2)。两区底层溶氧值的结果亦显示两区相近。但在中等盖度下, 大叶藻区的表层溶氧高于泥砂区, 差别显著, 尤其在高盖度下, 最大差值达0.62 mg/L(图3)。底层溶氧值表明, 在中盖度下, 大叶藻区略低于裸露泥砂区, 在高盖度下, 除6月份外, 两区差异显著, 大叶藻区低于裸露泥砂区, 差值约0.13~0.38 mg/L。

2.3 围堰池塘与周围自然草场中刺参和潜在食源的同位素比值的比较

围堰池塘内消费者刺参的 $\delta^{13}C$ 与 $\delta^{15}N$ 同位素值分别为-15.27‰和8.11‰(表1), 与相邻自然草场系统中刺参明显不同(图4), 自然草场 $\delta^{15}N$ 同位素均较为富集, 其比值为10.95‰, 而 $\delta^{13}C$ 则较轻, 为-20.12‰(图5)。底栖微藻的比值则是在围堰池塘内 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{15}N$ 较自然草场富集。自然草场内的主要大型藻类海蒿子的 $\delta^{13}C$ 比值为-18.83‰, $\delta^{15}N$ 为6.59‰。两处环境中水体

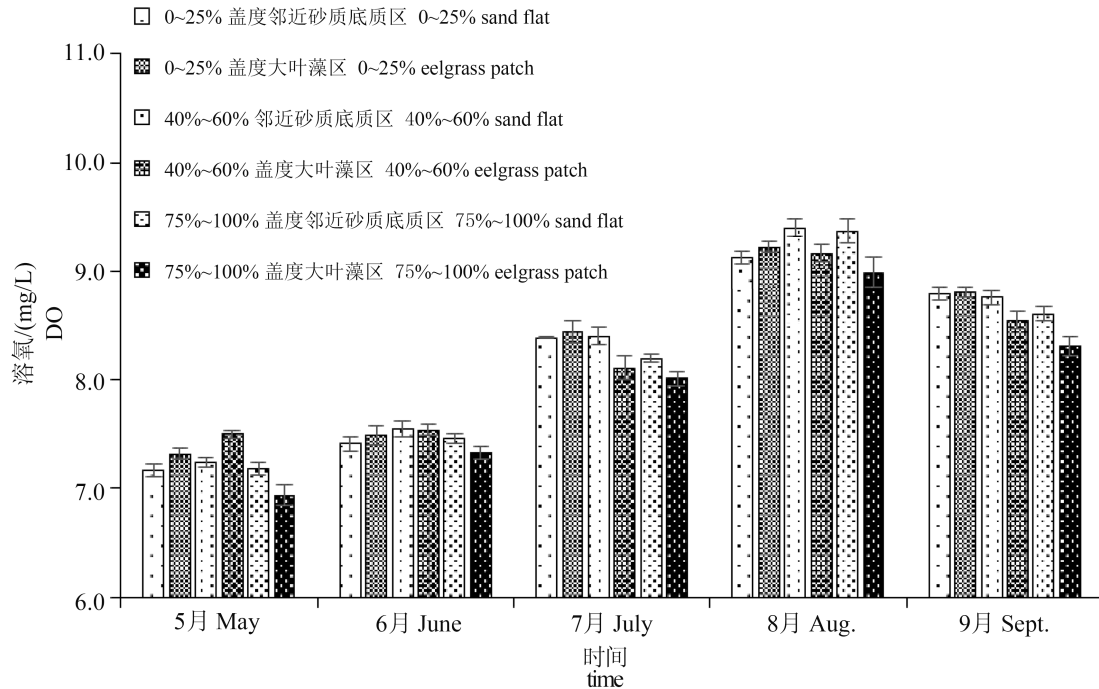


图3 不同(低、中、高)盖度大叶藻区与邻近砂质底质区底层溶氧
Fig. 3 The bottom dissolved oxygen of different eelgrass coverage and adjacent sand flat

表1 两种草场环境中刺参和潜在食源的同位素比值 (mean ± SD)及样品数量(n)

Tab. 1 Stable isotope ratios (mean ± SD) of *A. japonicus* and potential food sources in sea cucumber pond and adjacent coastal seagrass habitat

	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$	n
刺参池塘			
刺参 <i>A. japonicus</i>	-15.27±0.86	8.11±0.51	7
大叶藻 <i>Z. marina</i>	-9.27±0.65	6.58±0.56	4
附着生物 epiphytes	-18.17±1.53	10.11±0.30	3
底栖微藻 microphytobenthos	-11.24±0.87	6.93±0.49	3
颗粒有机物 POM	-25.01±0.29	4.36±0.45	3
自然海草场			
刺参 <i>A. japonicus</i>	-20.12±0.54	10.95±0.40	6
丛生大叶藻 <i>Z. caespitosa</i>	-12.76±0.27	7.16±0.38	4
海蒿子 <i>S. pallidum</i>	-18.83±0.31	6.59±0.57	3
附着生物 epiphyte	-17.87±0.95	8.57±0.11	3
底栖微藻 microphytobenthos	-15.20±1.24	6.33±0.55	3
颗粒有机物 POM	-25.54±0.44	4.34±0.45	3

POM的同位素值相近, 分别为-25.54‰与4.34‰和-25.01‰与4.36‰。

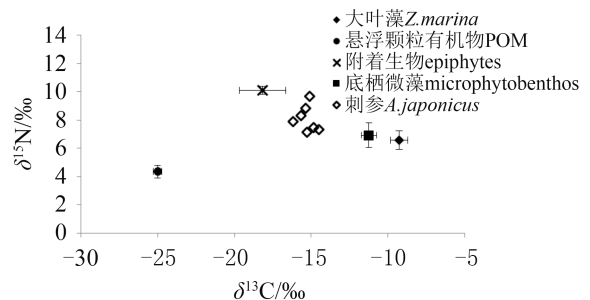


图4 围堰池塘内刺参及潜在食源的同位素组成
Fig. 4 Stable isotope ratio of sea cucumber *A. japonicus* and food source in sea cucumber pond

2.4 围堰池塘与周围自然草场中刺参食物组成的分析

混合模型的分析结果显示(图6), 围堰池塘中大叶藻对刺参的食物贡献较高, 其0.95水平的置信区间为13%~52%, 高于POM的23%~39%, 以及两初级生产者附着生物的0~22%和底栖硅藻的4%~49%。在自然草场的初级生产者及POM中, 以海蒿子和POM对刺参食物贡献的比例最高, 其海蒿子0.95 CI为1%~53%, POM的为24%~54%。其次为底栖微藻, 其0.95 CI为0%~33%, 丛生大叶藻的贡献仅为0~27%, 附着生物的贡献最小, 为0~22%。

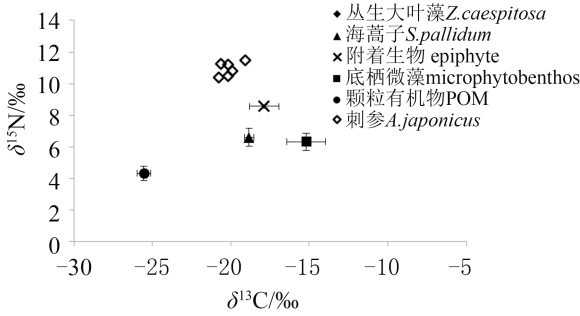


图5 围堰池塘邻近自然草场内刺参及潜在食源的同位素组成

Fig. 5 Stable isotope ratio of sea cucumber *A. japonicus* and food source in seagrass bed

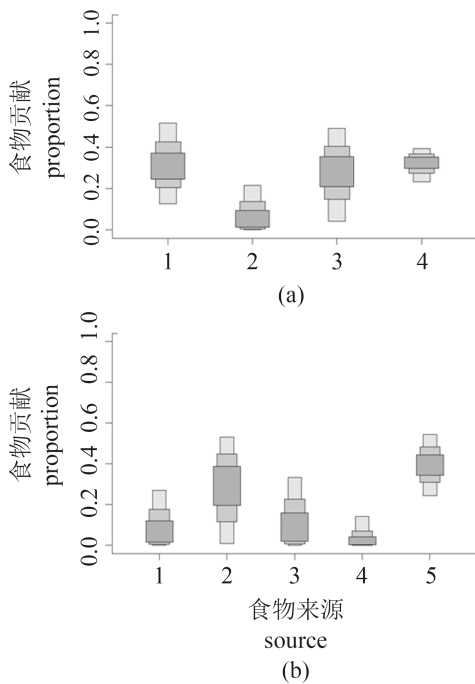


图6 混合模型所得围堰池塘(a)与周围自然海草场(b)中食物源对刺参的食物贡献

深灰、浅灰和白色分别代表0.25、0.75和0.95的置信区间。(a): 1. 大叶藻; 2. 附着生物; 3. 底栖微藻; 4. 颗粒有机物。(b): 1. 大叶藻; 2. 海蒿子; 3. 底栖微藻; 4. 附着生物; 5. 颗粒有机物

Fig. 6 Comparison of contributions (%) of food source to *A. japonicus* resulting from the mixing model SIAR in sea cucumber pond (a) and adjacent coastal seagrass bed (b)

0.25, 0.75, 0.95 credibility intervals are in dark gray, light gray and white, respectively. (a): 1. *Z. marina*; 2. epiphytes; 3. MicB; 4. POM; (b): 1. *Z. marina*; 2. *S. pallidum*; 3. MicB; 4. epiphytes; 5. POM

3 讨论

作为最重要的生态因子之一, 水温对刺参生长和生理生态特征起到非常重要的作用^[12]。本研究的监测数据表明大叶藻可以略降低池塘底部

水温, 降低幅度约0~0.33 °C, 其降低的幅度应与天气及风引起的池塘表层水流动状况相关。在自然生长过程中, 随着环境温度的变化, 刺参机体的生理免疫等反应会发生一定的变化。温度升高, 会导致刺参代谢水平的变化, 增加活性氧的形成^[13]。夏季水温升高时, 刺参为适应高温环境会进入夏眠, 停止摄食。尽管监测到的数据表明, 大叶藻区底层温度降低幅度并非特别大, 但是在夏季高温期间对于池塘水温的调控亦有一定的积极意义。

溶氧亦是刺参养殖中的重要环境因子, 对刺参的生长发育和免疫机能有着重要的影响, 高溶氧水平可以在一定程度上提高刺参免疫力^[14], 本研究测得大叶藻区的表层溶氧显著高于无大叶藻的裸露砂质底质区, 表明大叶藻可以显著提高池塘表层溶氧, 这对于提高池塘整体氧含量大有裨益。相对于无大叶藻的砂质底质区, 高盖度大叶藻区底层溶氧稍有偏低, 这应是与大叶藻遮阴作用使得底部的底栖藻类等的光合作用减弱有关。尽管溶氧偏低, 但是在大叶藻等海草场内, 海草可以通过通气组织向根区沉积物释放氧气, 构造根际氧化—还原异质微生态系统^[15], 其扩散层为好氧、厌氧微生物提供了良好生境并促进其代谢活动^[16], 使根际有机物降解及物质循环活动强烈^[17], 这对于保持刺参池塘底部环境的健康亦是非常重要的。

$\delta^{13}C$ 和 $\delta^{15}N$ 同位素比值很好地区分了围堰池塘和自然草场内刺参的各潜在食源。在围堰池塘内, 海草——大叶藻对刺参的食物贡献最大, 约13%~52%, 高于底栖微藻和POM, 而在周围自然海区环境下, 刺参食物组成中很大一部分是来自于POM以及褐藻类的海蒿子, 海草的贡献较低, 这与自然海区藻类丰富的生物量及开放的环境相关。池塘环境相对封闭, 海草生物量相对较高, 这在刺参同位素比值上得到了明显的体现, 同时也说明在池塘组成相对简单的环境下^[18], 大叶藻作为刺参食物源的重要意义。Liu等^[18]曾用大叶藻碎屑和海底泥质沉积物作为饵料投喂刺参, 其研究表明, 刺参可以用腐烂的大叶藻碎屑为食物来源; 当大叶藻碎屑和沉积物的混合物的有机质含量达19.6%时, 刺参有较高的特定生长率和排粪率。在我们的实验中, 由于附近没有相似条件的池塘, 所以未能对有大叶藻分布和无大叶藻分布的池塘中刺参

生长速率做对比分析,但是从本研究及Liu等^[18]的研究来看大叶藻对刺参食物贡献的重要作用

是显而易见的。
自然界极少植食性和非植食性的动物直接摄食海草,大部分海草都被分解为有机碎屑,成为了细菌的基质,此处亦成为生命和代谢活动旺盛的场所^[19]。虽然由于同位素方法不能区分细菌与其底质,从而无法得知细菌对于刺参的食物贡献,但是高菲等^[20]对山东胶南典型的围堰池塘内刺参食物来源的研究表明,硅藻是刺参的主要食物来源,3月份硅藻、鞭毛藻或原生动物、大型绿藻的食物贡献较大;6月份大型绿藻在刺参的食物来源中占据较大比重。本研究在春季末进行,冬季及春季以来池塘其他初级生产者及生长相对较为缓慢,而上年冬季大叶藻脱落的叶子是春季初池塘重要的有机组成部分,因此池塘内大叶藻的食物贡献率大于底栖藻类,虽细菌等的作用未能得知,但是根据高菲等^[20]的研究结果,可以推断大叶藻在该环境条件下的食物贡献作用应是高于细菌的。且细菌的基质为海草碎屑,同时多数原生动物又以细菌为食,故作为该环境下的主要初级生产者,海草对周围食物链具有非常重要的作用。

鉴于大叶藻的重要生态功能,我国部分学者在将大叶藻引入水产动物养殖方面进行了研究及尝试。任国忠等^[21]曾用移植的方法在虾池内栽培大叶藻。结果表明大叶藻可以净化虾池水质,促进对虾生长。刘元刚等^[22]从自然海区移植大叶藻,进行生态养殖仿刺参试验,跟踪观察两年,发现仿刺参夏眠时间缩短1个月,成活率提高至35%,大大高于未移植大叶藻的养殖池。邢坤等^[23]也曾在实验室条件下对冬季大叶藻与刺参当年生幼苗的生态混养效果进行了研究,亦表明大叶藻可为幼参提供附着基。从以上研究以及本研究的结果可以看出,海草床可以提供刺参等养殖生物的栖息地及食物来源、实现刺参的健康与生态养殖,亦表明了将海草引入刺参养殖的必要性和可行性。

参考文献:

- [1] 徐惠章, 黄华, 史文凯, 等. 刺参池塘养殖夏季水质管理技术[J]. 海洋与渔业, 2014(4): 70–72.
Xu H Z, Huang H, Shi W K, *et al.* Water quality management of sea cucumber aquaculture pond in summer[J]. Marine and Fishery Technology, 2014(4): 70–72(in Chinese).
- [2] 周玮, 王平, 郭曙光, 等. 软泥底质池塘中两种养殖仿刺参方式的对比试验[J]. 大连水产学院海洋大学学报, 2009, 24(增1): 153–156.
Zhou W, Wang P, Guo S G, *et al.* Two culture patterns of sea cucumber *Apostichopus japonicus* in a silt bottom pond[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(suppl.1): 153–156(in Chinese).
- [3] 王吉桥, 张凯, 袁成玉, 等. 不同比例微藻和微生物制剂对仿刺参幼参生长的影响[J]. 水产科学, 2013, 32(9): 524–530.
Wang J Q, Zhang K, Yuan C Y, *et al.* The effects of various ratios of microalgae to probiotics on growth of juvenile sea cucumber (*Apostichopus japonicus*)[J]. Fisheries Science, 2013, 32(9): 524–530(in Chinese).
- [4] Pomory C M, Foret T W, Hill S K, *et al.* Characteristics of a population of *Holothuria floridana* from Florida[M]//Mooi R, Telford M. Echinoderms: San Francisco. Rotterdam: Balkema A A, 1998: 507–511.
- [5] Mercier A, Battaglene S C, Hamel J F. Periodic movement, recruitment and size-related distribution of the sea cucumber *Holothuria scabra* in Solomon Islands[J]. Hydrobiologia, 2000, 440(1–3): 81–100.
- [6] Mercier A, Battaglene S C, Hamel J F. Settlement preferences and early migration of the tropical sea cucumber *Holothuria scabra*[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2000, 249(1): 89–110.
- [7] Norris J G, Wyllie-Echeverria S, Mumford T, *et al.* Estimating basal area coverage of subtidal seagrass beds using underwater videography[J]. Aquatic Botany, 1997, 58(3): 269–287.
- [8] 陈祖刚, 徐芝英, 胡云锋. 基于数码相机的草地植被盖度测量方法对比研究[J]. 草业学报, 2014, 23(6): 20–27.
Chen Z G, Xu Z Y, Hu Y F. Measuring grass and vegetation cover using digital camera image[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(6): 20–27.
- [9] Riera P, Richard P. Isotopic determination of food sources of *Crassostrea gigas* along a trophic gradient in the estuarine bay of Marennes-Oléron[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1996, 42(3): 347–360.
- [10] Herlory O, Richard P, Blanchard G F. Methodology of light response curves: application of chlorophyll

- fluorescence to microphytobenthic biofilms[J]. *Marine Biology*, 2007, 153(1): 91–101.
- [11] Parnell A C, Inger R, Bearhop S, *et al.* Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation[J]. *PLoS One*, 2010, 5(3): e9672.
- [12] 董云伟, 董双林. 刺参对温度适应的生理生态学研究进展[J]. *中国海洋大学学报*, 2009, 39(5): 908–912.
- Dong Y W, Dong S L. Advances of ecological physiology in sea cucumber, *Apostichopus japonicus selenka*[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39(5): 908–912(in Chinese).
- [13] 曹学顺, 丁君, 白雪秋, 等. 升温对“水院1号”和大连养殖刺参非特异性免疫影响的研究[J]. *农学学报*, 2015, 5(1): 80–85.
- Cao X S, Ding J, Bai X Q, *et al.* The study of rising temperature on serum non-specific immune in Shuiyuan No.1 sea cucumber populations and the cultured sea cucumber populations[J]. *Journal of Agriculture*, 2015, 5(1): 80–85(in Chinese).
- [14] 郑慧, 李彬, 荣小军, 等. 盐度和溶解氧对刺参非特异性免疫酶活性的影响[J]. *渔业科学进展*, 2014, 35(1): 118–124.
- Zheng H, Li B, Rong X J, *et al.* Effects of salinity and dissolved oxygen variation on the non-specific immune response of *Apostichopus japonicas*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(1): 118–124(in Chinese).
- [15] Caffrey J M, Kemp W M. Seasonal and spatial patterns of oxygen production, respiration and root-rhizome release in *Potamogeton perfoliatus* L. and *Zostera marina* L.[J]. *Aquatic Botany*, 1991, 40(2): 109–128.
- [16] Eldridge P M, Morse J W. A diagenetic model for sediment-seagrass interactions[J]. *Marine Chemistry*, 2000, 70(1–3): 89–103.
- [17] Lee K S, Dunton K H. Diurnal changes in pore water sulfide concentrations in the seagrass *Thalassia testudinum* beds: the effects of seagrasses on sulfide dynamics[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2000, 255(2): 201–214.
- [18] Liu X J, Zhou Y, Yang H S, *et al.* Eelgrass detritus as a food source for the sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) in coastal waters of north China: an experimental study in flow-through systems[J]. *PLoS One*, 2013, 8(3): e58293.
- [19] Jose P A, Sundari I S, Sivakala K K, *et al.* Molecular phylogeny and plant growth promoting traits of endophytic bacteria isolated from roots of seagrass *Cymodocea serrulata*[J]. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 2014, 43(4): 571–579.
- [20] 高菲, 许强, 杨红生. 运用脂肪酸标志法分析刺参食物来源的季节变化[J]. *水产学报*, 2010, 34(5): 760–767.
- Gao F, Xu Q, Yang H S. Seasonal variations of food sources in *Apostichopus japonicus* indicated by fatty acid biomarkers analysis[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(5): 760–767(in Chinese).
- [21] 任国忠, 张起信, 王继成, 等. 移植大叶藻提高池养对虾产量的研究[J]. *海洋科学*, 1991(1): 52–57.
- Ren G Z, Zhang Q X, Wang J C, *et al.* Transplant eelgrasses in shrimp ponds to increase products of *Penaeus chinensis* o'sbeck[J]. *Marine Science*, 1991(1): 52–57(in Chinese).
- [22] 刘元刚, 王光辉. 大叶藻移植在海参养殖中的应用[J]. *齐鲁渔业*, 2006, 23(4): 12.
- Liu Y G, Wang G H. Eelgrass transplant in sea cucumber culture[J]. *Shandong Fisheries*, 2006, 23(4): 12(in Chinese).
- [23] 邢坤, 李耕, 杨贵福, 等. 冬季大叶藻与幼参混养效果的模拟研究[J]. *大连海洋大学学报*, 2012, 27(3): 260–264.
- Xing K, Li G, Yang G F, *et al.* The co-culture of eelgrass *Zostera marina* and juvenile sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, in winter[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2012, 27(3): 260–264(in Chinese).

Ecological function of seagrass *Zostera marina* L. bed in sea cucumber pond

GAO Yaping¹, JIANG Zengjie¹, FANG Jinghui¹, DU Meirong¹,
LIU Yi¹, JIANG Weiwei², ZOU Jian¹, FANG Jianguang^{1*}

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Eco-Environment,
Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: In order to determine the ecological function of seagrass *Zostera marina* L. in sea cucumber culture, water temperature and dissolved oxygen in the eelgrass bed of a sea cucumber pond were determined and compared with the adjacent sandflat. Food sources used by sea cucumber *Apostichopus japonicus* were determined by comparing their stable isotope signatures ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) with those of food source. Proportions of different carbon sources were estimated using the SIAR mixing model on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values. The results showed that water temperature at eelgrass patch bottom was 0 to 0.33 °C lower than the naked sandflat. Surface and bottom dissolved oxygen showed no differences between low eelgrass coverage (0 to 25%) area and sandflat, while in area with mid-to-high eelgrass coverage, resolved oxygen was 0.12 mg/L~0.62 mg/L higher in surface water. Bottom dissolved oxygen was lower in mid-to-high eelgrass coverage (0 to 0.38 mg/L). Stable isotope signatures $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of sea cucumbers *A. japonicus* was -15.27‰ and 8.11‰, which differed from those in adjacent coastal seagrass habitat (-20.12‰ and 10.95‰). A strong role of *Z. marina* matter as food sources was indicated from the estimation of SIAR mixing model. The model gave higher upper and lower limits of 0.95 credibility interval (CI) (from 13% to 52%) for *Z. marina* relative to microphytobenthos, particle organic matter POM and epiphyte, for which 0.95 CI ranged from 4% to 49%, 23% to 39% and 0 to 22%, respectively. However in adjacent coastal seagrass bed *A. japonicus* showed different stable isotope signatures with -20.12‰ and 10.95‰ for $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, respectively. 0.95 CI of SPOM and brown seaweed ranged from 24% to 54% and 1% to 53% while seagrass *Z. caespitosa* matter only contributed to 0~27%. These results demonstrate that *Z. marina* could reduce the bottom temperature in the pond and increase surface dissolved oxygen. Cultured *A. japonicus* consume relatively higher amounts of *Z. marina* than other organic sources in this pond. This implied the importance of seagrass habitat in the pond environment. The importance of seagrass habitats in sea cucumber pond was discussed and the necessity and feasibility to transplant seagrass to sea cucumber pond was highlighted.

Key words: *Apostichopus japonicus*; *Zostera marina* L.; sea cucumber pond; dissolved oxygen; temperature; stable isotope; food source

Corresponding author: FANG Jianguang. E-mail: fangjg@ysfri.ac.cn

Funding projects: National Natural Sciences Foundation of China (41306117); Special Scientific Research Funds for Central Non-profit Institutes, Yellow Sea Fisheries Research Institutes (20603022013020, 2060302201517105-2); Shandong science and technology research program (2010G002050)