

# 东楮岛海草组织碳氮含量特征及环境影响因素\*

陈玉<sup>1,2</sup>, 韩秋影<sup>1\*\*</sup>, 郑凤英<sup>2</sup>, 韩庆喜<sup>3</sup>, 张永<sup>1</sup>, 刘东艳<sup>1</sup>

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 中国科学院牟平海岸带环境综合试验站, 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 山东 烟台 264003;  
2. 山东大学(威海)海洋学院, 山东 威海 264209; 3. 宁波大学海洋学院, 浙江 宁波 315211)

**摘要:** 海草组织碳氮含量可快速响应外界环境影响,已经广泛用于海草生态系统健康评估的指示因子。2011—2012年对东楮岛大叶藻海草床进行4次采样调查,研究了不同季节海草组织碳氮含量特征,分析了环境因素对大叶藻组织碳氮含量的影响。结果表明:海草组织碳、氮含量有明显季节性变化。海草叶碳含量最大值出现在5月,为36.4%,最小值出现在12月,为30.8%;而海草叶氮含量最大值和最小值分别出现在2和5月,为2.73%和2.02%。环境因素的相关性分析表明,海水温度对海草叶碳含量和根氮含量具有显著影响,海水及沉积物间隙水中的氮营养盐对海草茎、叶中的碳含量和根、叶中的氮含量有显著影响。调查表明东楮岛海域海草组织氮含量高于世界平均水平,营养盐增加可能对大叶藻产生负面影响,为了保护东楮岛海草床,应严格控制该海域养殖海带过程中营养盐的使用,加强对海草床健康状况的野外监测以及环境因素对海草影响的室内模拟实验研究。

**关键词:** 海草; 大叶藻; 碳含量; 氮含量; 环境因子

中图分类号: Q143 文献标志码: A 文章编号: 1672-5174(2016)05-056-09

DOI: 10.16441/j.cnki.hdxh.20150137

引用格式: 陈玉, 韩秋影, 郑凤英, 等. 东楮岛海草组织碳氮含量特征及环境影响因素[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2016, 46(5): 56-64.

CHEN Yu, HAN Qiu-Ying, ZHENG Feng-Ying, et al. Carbon and nitrogen content characteristics in seagrass tissues and environmental effects in Dongchu Island, Weihai, China [J]. Periodical of Ocean University of China, 2016, 46(5): 56-64.

碳、氮元素是植物生长必不可少的营养元素,作为海洋生态系统物质循环的基础,其含量与存在形式是初级生产力的重要表征<sup>[1-3]</sup>。海草是生活在潮间带和潮下带浅水区的海洋被子植物<sup>[4]</sup>,不仅是重要的初级生产者,而且为多种海洋生物提供栖息地<sup>[5-7]</sup>。近年来由于自然和人为因素干扰,世界范围内海草床衰退严重<sup>[8-9]</sup>,水体中氮营养盐的富集被认为是海草消失的重要因素之一<sup>[10-11]</sup>。目前,国外学者在海草组织氮来源及同化<sup>[8,12]</sup>、碳固定及分配<sup>[13-14]</sup>以及外界环境因素对海草组织内碳氮含量的影响<sup>[15-17]</sup>等领域已经进行了很多研究,发现海草主要通过根和叶吸收环境中的营养物质<sup>[18]</sup>,再经过光合作用、氮代谢等一系列新陈代谢过程转化为自身需要的营养成分,输送到其他组织<sup>[19-20]</sup>。因此,海草组织内氮碳含量可作为环境因素对海草影响的指示因子,用于海草生态系统健康评估<sup>[3,21]</sup>。

国内海草研究主要集中在海草床现状及环境胁迫

方面,而对海草床生态系统健康状况研究涉及不多。刘炳舰等<sup>[32]</sup>对桑沟湾东楮岛大叶藻生物量以及组织碳、氮、磷含量等指标进行了周年调查,发现大叶藻株高与地上部分生物量与水温变化趋势一致,组织碳、氮、磷含量存在夏季到秋季升高、春季到夏季降低的趋势。这些研究并未对海草根氮含量进行研究,缺乏与环境因子(如:溶解氧、海水和沉积物间隙水营养盐)的综合关系分析;而根在海草生长以及营养盐吸收和碳利用中可能起重要作用<sup>[33-34]</sup>;环境中营养盐浓度对海草组织氮含量会产生显著影响<sup>[35]</sup>。因此,本研究通过对东楮岛大叶藻海草床野外调查采样,对不同季节和环境条件下海草根、茎、叶组织碳氮含量进行研究,探究外界环境因素(温度、盐度、溶解氧、海水和沉积物间隙水营养盐)与海草组织碳氮含量之间的关系,可为海草生态系统健康评估提供基础数据,并为保护和恢复

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目(41576117; 41106099; 41306108; 41406128); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14); 科技部基础性调查专项(2014FY210600)资助

Supported by the National Natural Science Foundation of China (41576117; 41106099; 41306108; 41406128); The Key Research Program of the Chinese Academy of Sciences (KZZD-EW-14); Basic Research Project of Ministry of Science and Technology (2014FY210600)

收稿日期: 2015-04-08; 修订日期: 2016-01-29

作者简介: 陈玉(1989-), 女, 硕士生。

\*\* 通讯作者: E-mail: qyhan@yic.ac.cn

受损海草床提供理论依据,以期推动我国海草生态学的发展。

### 1 材料与方

#### 1.1 研究区概况

东楮岛位于山东省荣成市宁津街道办事处最东端,桑沟湾南岸,北、东、南三面环海(见图 1),潮汐为不规则混合半日潮,属于暖温带海洋气候,东楮岛自然环境良好,水产资源丰富,是重要的养殖海区,主要养殖品种为海带,主要海草种类为大叶藻(*Zostera marina* L.)<sup>[32]</sup>。

#### 1.2 采样与测定方法

分别于 2011 年 8 月 30 日、12 月 30 日、2012 年 2 月 29 日、5 月 21 日对东楮岛大叶藻海草床(N37°02'28",E122°34'11";见图 1)进行了 4 次采样调查,现场随机采集 3 个 1 m×1 m 样方的大叶藻海草样品,现场用 YSI 30 便携式多参数水质测试仪测定海水温度、盐度和溶解氧(DO),同时采集海水和沉积物间隙水,通过醋酸纤维滤膜(Whatman,0.45 μm)过滤后,放入冰盒带回实验室冷冻,采用连续流动分析仪(AA3, Bran+Luebbe)分析营养盐,包括氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮和溶解性磷酸盐(SRP)的含量。溶解性无机氮(DIN)为氨氮、亚硝酸氮和硝酸氮的总和。现场采集的大叶藻带回实验室清洗后,将根、茎、叶分开、冷冻干燥,研磨后采用大进样元素分析仪(Vario MACRO cube,德国 Elementar)测定根、茎、叶组织的碳(C)和氮(N)含量,并计算海草组织 C/N 比值。

#### 1.3 数据处理

采用 Excel 2010 软件分别对海水温度、盐度、DO、海水和沉积物间隙水的营养盐、海草组织 C、N 含量等数据进行处理。用 SPSS 软件进行统计分析<sup>[36]</sup>,采用

单因素方差分析检验组织 C、N 含量以及各环境因素组内差异( $p < 0.05$ ),采用双变量相关分析对各环境因素与海草组织中 C、N 含量的相关性进行统计分析。

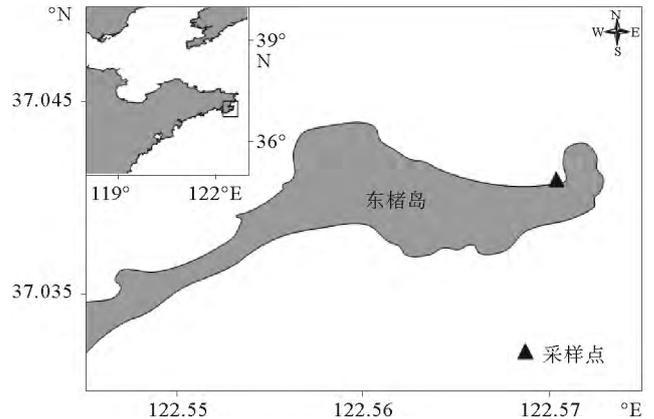


图 1 东楮岛采样站位图

Fig. 1 Sampling site in Dongchudao island

## 2 结果与分析

### 2.1 东楮岛海水温度、盐度和溶解氧季节变化

东楮岛是典型的暖温带海洋性气候,温度具有显著季节变化特征( $F=18\ 611.506, p=0.000$ ),8 月海水温度最高( $T_{max}=(24.3 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ ,见图 2A),12 月最低( $T_{min}=(3.9 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ ,见图 2(A))。盐度具有显著季节性差异( $F=10.922, p=0.003$ ),12 月盐度最高,为  $31.5 \pm 0.4$ (见图 2(B)),8 月最低,为  $30.7 \pm 0.1$ (见图 2(B))。DO 含量四季差异显著( $F=198.594, p=0.000$ ),最大值和最小值分别出现在 2 和 12 月,分别为  $(6.6 \pm 0.4)$ 和  $(1.9 \pm 0.3)\text{mg/L}$ (见图 2(C)),其中 12 月溶解氧最低,可能是因为采样期间海水有结冰现象,导致溶解氧含量偏低。

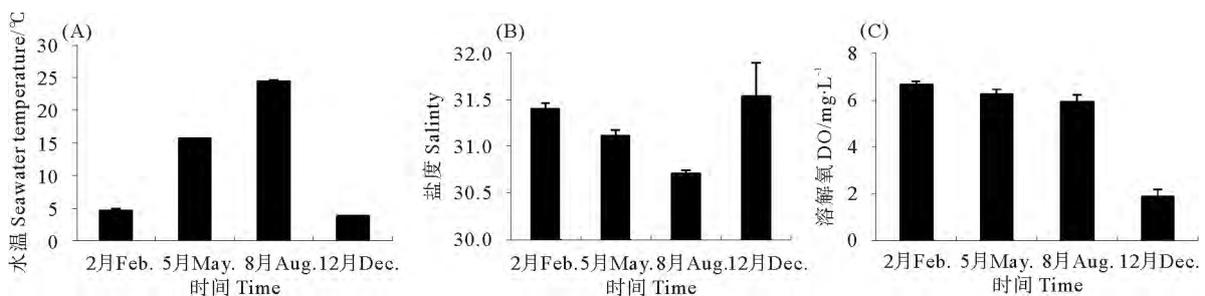


图 2 海水温度 (A)、盐度 (B)、溶解氧 (C)

Fig. 2 Variations of seawater temperature (A), salinity (B) and DO (C)

### 2.2 海水营养盐含量季节变化

海水中溶解性无机氮最高值出现在 12 月,为  $(46.9 \pm 0.5) \mu\text{mol/L}$ (见图 3(A)),最低值出现在 8

月,为  $(8.9 \pm 0.1) \mu\text{mol/L}$ (见图 3(A))。氨氮季节性差异显著( $F=1\ 581.689, p=0.000$ ),最高值和最低值分别出现在 2 和 8 月,为  $(18.1 \pm 0.1)$ 和  $(5.2 \pm 0.3)$

$\mu\text{mol/L}$ (见图 3(B))。硝酸氮季节间差异显著( $F=5442.894, p=0.000$ ),12月最高,为( $28.2 \pm 0.5$ )  $\mu\text{mol/L}$ (见图 3(B)),5月最低,为( $2.7 \pm 0.3$ )  $\mu\text{mol/L}$ (见图 3(C))。由此可见,海水中溶解性无机氮、铵氮和硝酸氮值均呈现春冬季高,夏秋季低的特点。海水中溶解性磷酸盐季节性差异显著( $F=175.127, p=0.000$ ),5月最高,为( $2.8 \pm 0.3$ )  $\mu\text{mol/L}$ (见图 3(D)),8月最低,为( $0.2 \pm 0.01$ )  $\mu\text{mol/L}$ (见图 3(D))。

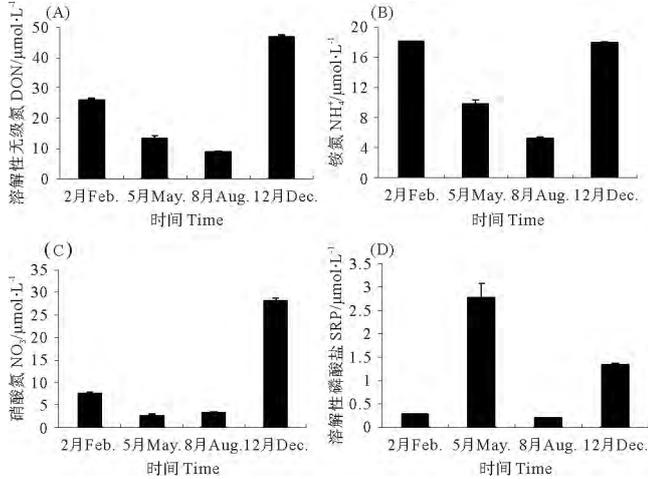


图3 海水中溶解性无机氮(A)、铵氮(B)、硝酸氮(C)、溶解性磷酸盐(D)

Fig. 3 Variations of DIN (A), ammonium (B), nitrate (C) and SRP (D) in seawater

2.3 沉积物间隙水营养盐含量分布

沉积物间隙水和海水营养盐季节变化基本一致,呈现春冬季高,夏秋季低的特点。沉积物间隙水溶解性无机氮、铵氮和硝酸氮浓度2月最高,分别为( $74.3 \pm 19.8$ )  $\mu\text{mol/L}$ (见图 4(A))、( $40.2 \pm 9.1$ )  $\mu\text{mol/L}$ (见图 4(B))和( $32.0 \pm 9.8$ )  $\mu\text{mol/L}$ (见图 4(C)),显著高于其他季节。最低值出现在5月,溶解性无机氮最低浓度为( $10.6 \pm 0.6$ )  $\mu\text{mol/L}$ (见图 4(A))、铵氮最低浓度为( $7.8 \pm 0.4$ )  $\mu\text{mol/L}$ (见图 4(B)),硝酸氮最低浓度为( $2.8 \pm 0.2$ )  $\mu\text{mol/L}$ (见图 4(C))。溶解性磷酸盐季节差异不显著( $F=0.230, p=0.873$ ),8月最高,为( $1.4 \pm 1.8$ )  $\mu\text{mol/L}$ ,12月最低,为( $0.8 \pm 0.1$ )  $\mu\text{mol/L}$ (见图 4(D))。

2.4 海草组织碳氮含量及碳氮比值

2.4.1 海草组织碳含量 海草根 C( $F=55.789, p=0.000$ )、茎 C( $F=124.444, p=0.000$ )和叶 C( $F=40.047, p=0.000$ )含量季节差异显著。根 C 含量最大值出现在8月,为( $33.7 \pm 1.2$ )%,最小值出现在5月,为( $24.7 \pm 0.4$ )%。茎 C 含量、叶 C 含量最大值均出现在5月,分别为( $35.5 \pm 0.1$ )%和( $36.4 \pm 0.1$ )%,茎 C 含量最小值出现在2月,为( $27.9 \pm 0.7$ )%,叶 C 含量最小值出现在12月,为( $30.8 \pm 0.6$ )%(见图 5)。

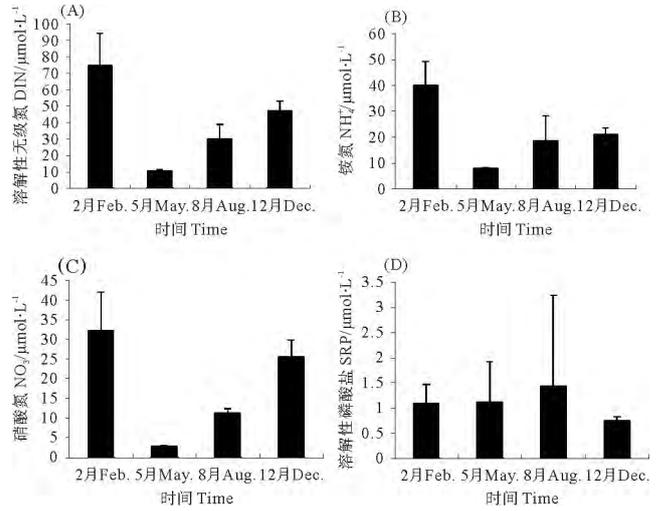


图4 沉积物间隙水中溶解性无机氮(A)、铵氮(B)、硝酸氮(C)、溶解性磷酸盐(D)

Fig. 4 Variations of DIN (A), ammonium (B), nitrate (C) and SRP (D) in the porewater of sediment

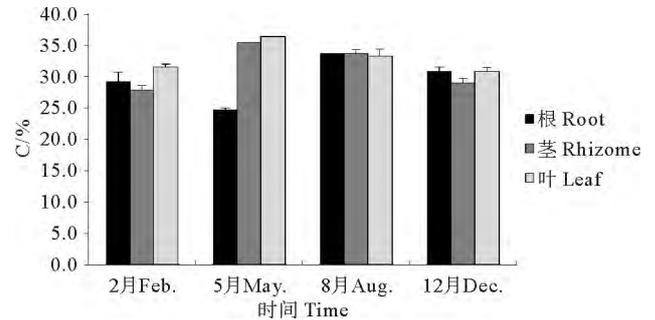


图5 海草根、茎、叶碳含量百分比

Fig. 5 Content percentage in seagrass roots, rhizomes and leaves

2.4.2 海草组织氮含量 海草根 N 含量季节间差异显著( $F=49.700, p=0.000$ ),最大值和最小值分别出现在12和5月,分别为( $1.65 \pm 0.06$ )%和( $1.15 \pm 0.01$ )%。茎 N 含量季节间差异显著( $F=66.006, p=0.000$ ),8月最大,为( $2.09 \pm 0.01$ )%,5月最小,为( $1.05 \pm 0.04$ )%。叶 N 含量季节间差异显著( $F=18.774, p=0.001$ ),最大值和最小值出现在2和5月,分别为( $2.73 \pm 0.18$ )%和( $2.02 \pm 0.05$ )%(见图 6)。

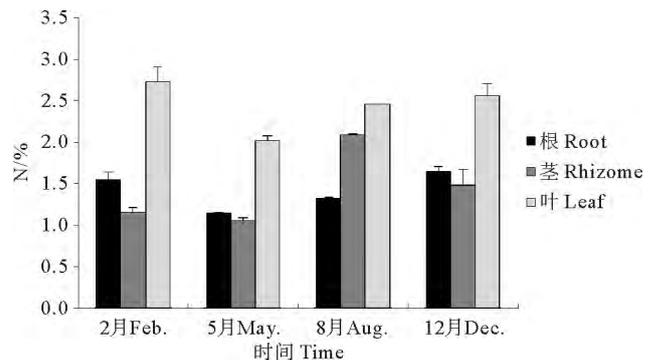


图6 海草根、茎、叶氮含量百分比

Fig. 6 N content percentage in seagrass roots, rhizomes and leaves

2.4.3 海草组织碳氮比 4 个季度海草根 C/N 比值 ( $F=25.354, p=0.000$ )、茎 C/N 比值 ( $F=57.976, p=0.000$ )、叶 C/N 比值 ( $F=56.300, p=0.000$ ) 差异均显著。根、茎、叶 C/N 比值最大值分别出现在 8 月 ( $25.5 \pm 0.2$ )、5 月 ( $33.7 \pm 1.3$ ) 和 5 月 ( $18.1 \pm 0.5$ )，最小值分别出现在 12 月 ( $18.8 \pm 0.3$ )、8 月 ( $16.1 \pm 2.9$ ) 和 2 月 ( $11.6 \pm 0.9$ ) (见图 7)。

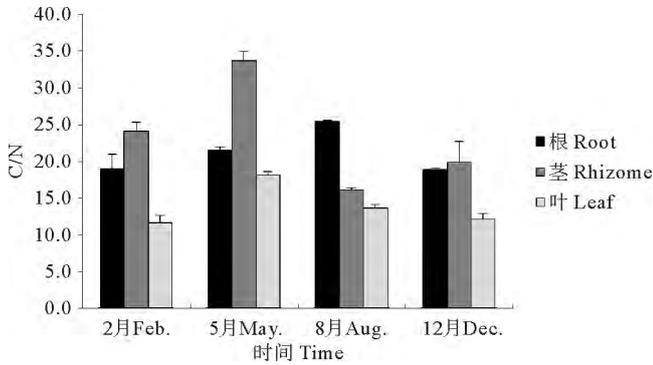


图 7 海草根、茎、叶碳氮比值

Fig. 7 C/N ratio of seagrass roots, rhizomes and leaves

### 2.5 外界环境因素与海草组织碳氮含量的相关关系

2.5.1 海草组织碳含量与环境因素的相关性分析 如表 1 所示,根 C 含量与海水溶解性磷酸盐显著负相关,与其他因素的相关性均不显著。茎 C 含量与海水和沉积物间隙水的溶解性无机氮、氨氮和硝酸氮显著负相关。而海草叶 C 含量与水温显著正相关,与盐度、海水和沉积物间隙水溶解性无机氮、氨氮和硝酸氮显著负相关。

表 1 环境因子与海草组织 C 含量的相关关系

Table 1 The correlations between C content of seagrass tissues with environmental factors

|   | 根 C 含量<br>Root C<br>content | 茎 C 含量<br>Rhizome<br>C content | 叶 C 含量<br>Leaf<br>C content |
|---|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 水温 Water temperature                                      | 0.228                       | 0.564                          | 0.736**                     |
| 盐度 Salinity   | -0.343                      | -0.315                         | -0.594*                     |
| DIN <sup>a</sup>  | -0.168                      | -0.636*                        | -0.734**                    |
| 氨氮 <sup>a</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>a</sup> | -0.301                      | -0.785**                       | -0.623**                    |
| 硝酸氮 <sup>a</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-a</sup>            | 0.371                       | -0.797**                       | -0.923**                    |
| SRP <sup>a</sup>  | -0.790**                    | 0.378                          | 0.196                       |
| DIN <sup>b</sup>  | 0.238                       | -0.916**                       | -0.762**                    |
| 铵氮 <sup>b</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>b</sup> | 0.329                       | -0.853**                       | -0.622*                     |
| 硝酸氮 <sup>b</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-a</sup>            | 0.273                       | -0.839**                       | -0.755**                    |

注: \* 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性显著。\* Correlation is significant at the 0.05 level.

\*\* 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性显著。\*\* Correlation is significant at the 0.01 level.

<sup>a</sup>表示海水,<sup>b</sup>表示沉积物间隙水。<sup>a</sup>: Seawater, <sup>b</sup>: Sediment porewater.

### 2.5.2 海草组织氮含量与环境因子的相关性分析

由表 2 可知,海草根 N 含量与海水温度显著负相关,与海水和沉积物间隙水中的溶解性无机氮、铵氮和硝酸氮显著正相关。茎 N 含量与海水溶解性磷酸盐显著负相关。叶 N 含量则与海水中的硝酸氮,沉积物间隙水中溶解性无机氮、铵氮和硝酸氮显著正相关。

表 2 环境因子与海草组织 N 含量的相关系数

Table 2 The correlations between N content of seagrass tissues and environmental factors

|   | 根 N 含量<br>Root N<br>content | 茎 N 含量<br>Rhizome<br>N content | 叶 N 含量<br>Leaf<br>N content |
|---|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 水温 Water temperature                                      | -0.746**                    | 0.172                          | -0.368                      |
| 盐度 Salinity   | 0.622*                      | -0.342                         | 0.231                       |
| DIN <sup>a</sup>  | 0.741**                     | -0.168                         | 0.364                       |
| 氨氮 <sup>a</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>a</sup> | 0.630**                     | -0.336                         | 0.497                       |
| 硝酸氮 <sup>a</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-a</sup>            | 0.958**                     | 0.399                          | 0.615*                      |
| SRP <sup>a</sup>  | -0.189                      | -0.748**                       | -0.503                      |
| DIN <sup>b</sup>  | 0.769**                     | 0.196                          | 0.818**                     |
| 铵氮 <sup>b</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>b</sup> | 0.636*                      | 0.273                          | 0.762**                     |
| 硝酸氮 <sup>b</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-a</sup>            | 0.825**                     | 0.252                          | 0.769**                     |

注: \* 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性显著。\* Correlation is significant at the 0.05 level.

\*\* 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性显著。\*\* Correlation is significant at the 0.01 level.

<sup>a</sup>表示海水,<sup>b</sup>表示沉积物间隙水。<sup>a</sup>: Seawater, <sup>b</sup>: Sediment porewater.

### 2.5.3 海草组织碳氮比值与环境因子的相关性分析

由表 3 所示,海草根 C/N 比值与海水温度显著正相关,与海水盐度,海水中的溶解性无机氮、铵氮、硝酸氮,沉

表 3 环境因子与海草组织 C/N 比值的相关关系

Table 3 The correlations between C/N ratio of seagrass tissues and environmental factors

|   | 根碳氮比<br>Root C/N | 茎碳氮比<br>Rhizome C/N | 叶碳氮比<br>Leaf C/N |
|---|------------------|---------------------|------------------|
| 水温 Water temperature                                      | 0.876**          | -0.21               | 0.578*           |
| 盐度 Salinity   | -0.846**         | 0.364               | -0.42            |
| DIN <sup>a</sup>  | -0.881**         | 0.154               | -0.573           |
| 氨氮 <sup>a</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>a</sup> | -0.848**         | 0.28                | -0.666*          |
| 硝酸氮 <sup>a</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-a</sup>            | -0.720*          | -0.371              | -0.762**         |
| SRP <sup>a</sup>  | -0.329           | 0.790**             | 0.357            |
| DIN <sup>b</sup>  | -0.615*          | -0.217              | -0.881**         |
| 铵氮 <sup>b</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>b</sup> | -0.42            | -0.287              | -0.783**         |
| 硝酸氮 <sup>b</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-a</sup>            | -0.643**         | -0.266              | -0.832**         |

注: \* 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性显著。\* Correlation is significant at the 0.05 level.

\*\* 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性显著。\*\* Correlation is significant at the 0.01 level.

<sup>a</sup>表示海水,<sup>b</sup>表示沉积物间隙水。<sup>a</sup>: Seawater, <sup>b</sup>: Sediment porewater.

积物间隙水中的溶解性无机氮和硝酸氮显著负相关。海草茎 C/N 比值与海水中的溶解性磷酸盐显著正相关。而叶 C/N 比值与海水温度显著正相关,与海水铵氮和硝酸氮,沉积物间隙水中的溶解性无机氮、铵氮和硝酸氮显著负相关。

#### 2.5.4 海草组织 C 含量与 N 含量的相关性分析

由表 4 所示,海草根 C 含量与茎 N 含量显著正相关,海草茎和叶 C 含量与根和叶 N 含量显著负相关。

表 4 海草组织碳氮含量之间的相关关系  
Table 4 The correlations between C and N content in seagrass tissues

|                             | 根 N 含量<br>Root N<br>content | 茎 N 含量<br>Rhizome<br>N content | 叶 N 含量<br>Leaf<br>N content |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 根 C 含量<br>Root C content    | 0.425                       | 0.884**                        | 0.5                         |
| 茎 C 含量<br>Rhizome C content | -0.914**                    | 0.138                          | -0.815**                    |
| 叶 C 含量<br>Leaf C content    | -0.929**                    | -0.209                         | -0.866**                    |

注: \* 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性显著。\* Correlation is significant at the 0.05 level.

\*\* 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性显著。\*\* Correlation is significant at the 0.01 level.

### 3 讨论

#### 3.1 海水温度对海草组织碳氮含量的影响

3.1.1 海水温度对海草组织碳含量的影响 海水温度对海草生产力起着重要作用<sup>[37]</sup>。本研究中,海水温度 8 月最高、12 月最低,且与海草叶碳含量显著正相关。春季随海水温度升高,叶片光合作用和呼吸作用同时增强,而光合作用速率大于呼吸作用速率,叶片碳含量增加<sup>[24,38]</sup>。本研究中,海草叶碳含量、茎碳含量最高值均出现在 5 月,5 月观测水温为 15.63 °C,15~20 °C 是大叶藻存活和生长的最适范围<sup>[37]</sup>。5、6 月海草叶冠光照辐射最大,光合固碳达到最大化,亦有助于海草组织储备碳水化合物<sup>[12]</sup>。

营养物质在组织间的分配功能是植物应对环境变化的重要机制<sup>[39-40]</sup>。海草组织碳的季节分布与海草组织碳平衡具有一致性<sup>[12]</sup>,正碳平衡条件下,海草组织储备碳水化合物,负碳平衡条件下,消耗储备的碳水化合物以满足海草生长需要<sup>[41]</sup>。夏季,温度较高,且辐射时间长,叶片新合成的碳转运到其他组织储存<sup>[14,42]</sup>。冬季水温低,光合固碳不足以满足生长需要,需利用储存

的碳水化合物用于海草生长<sup>[17,39,43]</sup>。本研究海草茎和叶碳含量与刘炳舰等<sup>[32]</sup>研究结果差异不大,只有 12 月海草叶片碳含量较低,可能与本次调查过程中海水温度较低有关。

3.1.2 海水温度对海草组织氮含量的影响 本研究中,海草茎和叶氮含量与刘炳舰等<sup>[32]</sup>研究结果差异不大。且海水温度与海草根氮含量显著负相关,5、8 月温度较高,而根氮含量却出现较低值,这可能是由于根从沉积物间隙水中吸收氮营养盐<sup>[41]</sup>。5、8 月海水温度较高,根周围生物代谢速率加快,对营养盐需求增多,沉积物间隙水中海草可利用的氮营养盐减少<sup>[15]</sup>。Harlin<sup>[44]</sup>认为在自然生态系统中,铵氮等营养盐可以被沉积物和碎屑颗粒吸收,尽管环境中铵氮浓度相对较高,海草可利用的营养盐却可能很少。Nayar<sup>[20]</sup>通过实验也证实夏季海草吸收营养过程受到抑制。叶氮含量在温度较高的 5、8 月出现较低值,可能是因为叶片上较多的附着藻类,与海草竞争营养盐,抑制叶片营养吸收。

硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶是海草组织氮代谢过程中重要的酶,硝酸还原酶参与硝酸盐还原为亚硝酸盐的过程,谷氨酰胺合成酶参与谷氨酸和氨形成谷氨酰胺的过程<sup>[14]</sup>,海草组织中硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性与温度显著相关<sup>[45-46]</sup>,例如,罗氏大叶藻(*Zostera noltii*)硝酸还原酶在 5~45 °C 间具有活性,活性在 15 °C 时最高<sup>[46]</sup>,因此,温度通过对酶的作用可能对海草 N 吸收产生影响。

#### 3.2 营养盐对海草组织碳氮含量影响

Duarte<sup>[47]</sup>通过对全球不同区域的 27 种海草组织营养成分进行研究,得到海草叶片内碳氮磷中位数比值为 474:24:1,碳平均值为(33.6±0.3)%,氮平均值为(1.92±0.05)%,并指出与氮磷含量相比,海草碳含量变化不大。本研究中 4 个季度海草叶 N% 均高于全球平均值,而碳含量与参考值较接近,说明研究区域海草并不存在氮限制,因此,应限制水体中营养盐的输入。

本研究中,海草根氮含量与沉积物间隙水氨氮显著正相关,叶氮含量与海水硝酸氮相关性显著,主要是因为海草叶和根可分别从海水和沉积物间隙水中吸收氮营养盐<sup>[2,13,48]</sup>。研究表明,根缺少还原硝酸氮的能力<sup>[46]</sup>,由于根际周围经常缺氧<sup>[49]</sup>,根主要吸收沉积物间隙水中缺氧条件下产生的铵氮<sup>[16]</sup>。海草叶片主要从海水中吸收硝酸盐,因为海草叶片硝酸还原酶活性较高,可将从水体中吸收的硝酸盐快速代谢<sup>[13]</sup>。本研究中,海水硝酸氮和根氮含量,沉积物间隙水铵氮与叶氮含量相关性显著,可能是因为海草根同化的氮可以被转移到地上组织<sup>[50]</sup>,而来自叶中的氮可能被转运到地

下组织<sup>[51]</sup>。

### 3.3 盐度对海草组织碳氮含量影响

本研究中, 盐度与叶碳含量显著负相关。盐度变化可以引起海草组织细胞内渗透压改变<sup>[52]</sup>, 海草通过调控碳水化合物来使内部环境达到平衡<sup>[53]</sup>, 改变碳在组织内的分布。海草对盐度适应性取决于物种类型、种群分布和地理位置等, 大叶藻生长的盐度范围较广, Nejrup<sup>[23]</sup>实验证明在盐度 10~35 之间, 大叶藻均能生长, 其中盐度在 10~25 之间各相应指标最佳。研究区域海水盐度值高于 30, 虽然在大叶藻可生存的范围, 却可能对海草生长产生负面影响。研究发现当海草床处于高盐和低盐情况下, 大量能量被用来维持渗透压和细胞膜完整性, 可能对海草床健康造成影响<sup>[54]</sup>。Sandoval-Gil<sup>[55]</sup>等对大洋洲波喜藻 (*Cymodocea nodosa*) 研究也发现, 盐度高于 37 情况下, 海草叶片碳平衡大幅度受损。

### 3.4 海草组织内碳氮之间的相关性

与 N 来源不同, 海草仅通过叶片从水体吸收无机碳, 并转运到地下组织。Marba 等<sup>[56]</sup>认为大部分海草组织中的碳以结构性碳水化合物形式存在, 环境中营养盐对其直接影响不大<sup>[15, 54]</sup>, 但是氮含量对营养盐变化有积极响应<sup>[57-58]</sup>, 所以海草组织碳含量和环境中营养盐的相关关系主要是通过碳和氮之间的相互作用实现的。

本研究中, 海草茎和叶碳含量与海水氮营养盐呈显著负相关、与根和叶氮含量也呈现显著负相关。主要是因为海草可通过根从沉积物间隙水中吸收大部分硝酸盐以及通过叶从海水中吸收硝酸盐<sup>[51, 53]</sup>, 而海草组织氮营养盐代谢过程需要消耗能量和碳形成氨基酸<sup>[59-60]</sup>。Ferrario-Mery<sup>[61]</sup>指出海草吸收硝酸盐过程由硝酸氮还原酶参与, 且硝酸氮还原酶活性与叶片蔗糖水平相关, 当硝酸盐浓度升高时, 叶硝酸氮还原酶活性增加, 同化的硝酸盐增多, 而碳水化合物减少, 从而影响海草的生长<sup>[50]</sup>。

海草组织中非结构性碳水化合物对海草生物量起到关键作用, 海草受到外界环境干扰时能够维持自身呼吸或者重建损伤组织<sup>[62-63]</sup>。在光限制等条件下, 海草组织存储的碳水化合物将被消耗利用以满足自身生长需要。氮营养盐过量条件下, 海草组织合成氨基酸需要的碳可能超过固碳能力, 使细胞的碳储备降低, 从而对海草生物量产生影响<sup>[58]</sup>。Puijalón 等<sup>[64]</sup>也证实营养盐限制条件下, 海草组织碳水化合物含量增加, 营养盐充足条件下, 海草组织碳水化合物含量下降。因此, 营养盐富集对海草生长可能产生不利影响, 在东楮岛海草床邻近海域大面积海带养殖施肥的现实条件下, 应严格控制向海水中排放营养盐。

## 4 结语

学术界广泛认为在海水富营养化区域, 环境中营养盐增加对海草生长会产生负面影响<sup>[8-9]</sup>。本研究中通过对东楮岛大叶藻组织碳、氮含量研究发现, 东楮岛海域大叶藻组织氮含量高于世界平均水平, 环境中氮营养盐增加可能对大叶藻海草床产生负面影响, 为了保护东楮岛大叶藻海草床, 需要采取以下措施: 第(1), 减少该海域营养盐的输入, 东楮岛海域作为我国北方重要的海带养殖区, 应严格控制养殖海带过程中营养盐的使用; 第(2), 加强对东楮岛海域海草床的管理, 提高周围居民保护海草资源的意识; 第(3), 加强海草生态学研究, 一方面加强对海草床健康状况的长期野外监测, 另一方面加强室内模拟实验研究, 进一步明确外界因素如海水温度、环境中营养盐以及盐度等对海草的影响机制, 为海草床保护提供科学依据。

### 参考文献:

- [1] Anderson T R, Boersma M, Raubenheimer D. Stoichiometry: Linking elements to biochemicals [J]. *Ecology*, 2004, 85(5): 1193-1202.
- [2] Peralta G, Bouma T J, van Soelen J, et al. On the use of sediment fertilization for seagrass restoration: A mesocosm study on *Zostera marina* L. [J]. *Aquatic Botany*, 2003, 75(2): 95-110.
- [3] Serrano O, Mateo M A, Renom P. Seasonal response of *Posidonia oceanica* to light disturbances [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2011, 423(1): 29-38.
- [4] Boström C, Bonsdorff E. Zoobenthic community establishment and habitat complexity—the importance of seagrass shoot density, morphology and physical disturbance for faunal recruitment [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 205: 123-138.
- [5] Newell S Y. Multiyear patterns of fungal biomass dynamics and productivity within naturally decaying smooth cord grass shoots [J]. *Limnology and Oceanography*, 2001, 46(3): 573-583.
- [6] Orth R J, Carruthers T J B, Dennison W C, et al. A global crisis for seagrass ecosystems [J]. *BioScience*, 2006, 56: 987-996.
- [7] Duarte C M, Marbà N, Gacia E, et al. Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, 24(4): 1-8.
- [8] Burkholder J M, Tomasko D A, Touchette B W. Seagrasses and eutrophication [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 350(1/2): 46-72.
- [9] Waycott M, Duarte M, Carruthers T J B, et al. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(30): 12377-12381.
- [10] Cambridge M L, McComb A J. The loss of seagrasses in Cockburn Sound, Western Australia. I. The time course and magnitude of seagrass decline in relation to industrial development [J]. *Aquatic Botany*, 1984, 20(3/4): 229-243.
- [11] Burkholder J M, Mason K M, Glasgow H B. Water-column nitrate enrichment promotes decline of eelgrass *Zostera marina*: Ev-

- idence from seasonal mesocosm experiments [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1992, 81(2): 163-178.
- [12] La Nafie Y A, van Engeland T, van Katwijk M M, et al. Uptake of nitrogen from compound pools by the seagrass *Zostera noltii* [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2014, 460(1): 47-52.
- [13] Touchette B W, Burkholder J M. Carbon and nitrogen metabolism in the seagrass, *Zostera marina* L.: Environmental control of enzymes involved in carbon allocation and nitrogen assimilation [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 350(1/2): 216-233.
- [14] Clavier J, Chauvaud L, Carlier A. Aerial and underwater carbon metabolism of a *Zostera noltii* seagrass bed in the Banc d'Arguin, Mauritania [J]. *Aquatic Botany*, 2011, 95(1): 24-30.
- [15] Hauxwell J, Cebrián J, Valiela I. Eelgrass, *Zostera marina*, loss in temperate estuaries: Relationship to land-derived nitrogen loads and effect of light limitation imposed by algae [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 247: 59-73.
- [16] Collier C J, Prado P, Lavery P S. Carbon and nitrogen translocation in response to shading of the seagrass *Posidonia sinuosa* [J]. *Aquatic Botany*, 2010, 93(1): 47-54.
- [17] Garrard S L, Beaumont N J. The effect of ocean acidification on carbon storage and sequestration in seagrass beds: A global and UK context [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 86: 138-146.
- [18] Short F T, McRoy C P. Nitrogen uptake by leaves and roots of the seagrass *Zostera marina* L. [J]. *Botanica Marina*, 1984, 27(12): 547-555.
- [19] Hansen J W, Pedersen A G U, Berntsen J, et al. Photosynthesis, respiration, and nitrogen uptake by different compartments of a *Zostera marina* community [J]. *Aquatic Botany*, 2000, 66(4): 281-295.
- [20] Nayar S, Collings G J, Miller D J, et al. Uptake and resource allocation of inorganic carbon by the temperate seagrasses *Posidonia* and *Amphibolis* [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2009, 373(2): 87-95.
- [21] Alcoverro T, Manzanera M, Romero J. Annual metabolic carbon balance of the seagrass *Posidonia oceanica*: The importance of carbon reserves [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 211(8): 105-116.
- [22] 黄小平, 黄良民, 李颖虹, 等. 华南沿海主要海草床及其生境威胁 [J]. *科学通报*, 2006, 51(S3): 114-119.  
Huang X P, Huang L M, Li Y H, et al. Main seagrass beds and threats to their habitats in the coastal sea of South China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(S3): 114-119.
- [23] 江志坚, 黄小平, 张景平. 环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响 [J]. *生态学报*, 2012, 32(19): 6242-6250.  
Jiang Z J, Huang X P, Zhang J P. Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(19): 6242-6250.
- [24] 郑凤英, 邱广龙, 范航清. 中国海草的多样性、分布及保护 [J]. *生物多样性*, 2013, 21(5): 517-526.  
Zheng F Y, Qiu G L, Fan H Q. Diversity, distribution and conservation of Chinese seagrass species [J]. *Biodiversity Science*, 2013, 21(5): 517-526.
- [25] 陈春华, 吴钟解, 张光星. 新村港海草床的生态状况及可持续利用探讨 [J]. *海洋开发与管理*, 2011, 28(11): 74-78.  
Chen C H, Wu Z J, Zhang G X. Ecological status and sustainable use of seagrass beds in Xincun Port [J]. *Marine Exploitation and Management*, 2011, 28(11): 74-78.
- [26] 舒黎明, 陈丕茂, 贾晓平. 人工鱼礁区的海草移植及其限制因子 [J]. *中国水产科学*, 2011, 18(4): 893-898.  
Shu L M, Chen P M, Jia X P. Seagrass transplantation in artificial fishing reefs and limited factor [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(4): 893-898.
- [27] 王道儒, 吴钟解, 陈春华. 海南岛海草资源分布现状及存在威胁 [J]. *海洋环境科学*, 2012, 31(1): 43-38.  
Wang D R, Wu Z J, Chen C H. Distribution of sea-grass resources and existing threat in Hainan Island [J]. *Marine Environmental Science*, 2012, 31(1): 43-38.
- [28] 刘鹏, 周毅, 刘炳舰, 等. 大叶藻海草床的生态修复: 根茎棉线绑石移植法及其效果 [J]. *海洋科学*, 2013, 37(1): 1-8.  
Liu P, Zhou Y, Liu B J, et al. Transplantation of eelgrass (*Zostera marina* L.) in Huiquan Bay using rhizomes bound to a small elongate stone with bio-degradable cotton thread [J]. *Maine Sciences*, 2013, 37(1): 1-8.
- [29] 邱广龙, 范航清, 周浩郎, 等. 广西潮间带海草的移植恢复 [J]. *海洋科学*, 2014, 1(6): 24-30.  
Qiu G L, Fan H Q, Zhou H L, et al. Transplantation techniques for restoring the intertidal seagrasses in Guangxi [J]. *Maine Sciences*, 2014, 1(6): 24-30.
- [30] 田璐, 张沛东, 牛淑娜, 等. 不同处理对大叶藻种子萌发和幼苗建成的影响 [J]. *生态学杂志*, 2014, 33(9): 2408-2413.  
Tian L, Zhang P D, Niu S N, et al. Effects of different treatments on seed germination and seedling establishment of eelgrass *Zostera marina* L. [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(9): 2408-2413.
- [31] 张沛东, 曾星, 孙燕, 等. 海草植株移植方法的研究进展 [J]. *海洋科学*, 2014, 37(5): 100-107.  
Zhang P D, Zeng X, Sun Y, et al. Research progress in seagrass shoot transplanting method [J]. *Marine Sciences*, 2014, 37(5): 100-107.
- [32] 刘炳舰, 周毅, 刘旭佳, 等. 桑沟湾楮岛近岸海域大叶藻生态学特征的基础研究 [J]. *海洋科学*, 2013, 37(1): 42-48.  
Liu B J, Zhou Y, Liu X J, et al. Ecological characteristics research of *Zostera marina* L. in Sanggou Bay [J]. *Marine Sciences*, 2013, 37(1): 42-48.
- [33] Duarte C M, Merino M, Agawin N S R, et al. Root production and belowground seagrass biomass [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, 171(1): 97-108.
- [34] Pérez M, Duarte C M, Romero J, et al. Growth plasticity in *Cyrtodoclea nodosa* stands: The importance of nutrient supply. *Aquatic Botany* [J]. 1994, 47: 249-264.
- [35] Fourqurean J W, Moore T O, Fry B, et al. Spatial and temporal variation in C : N : P ratios,  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  of eelgrass *Zostera marina* as indicators of ecosystem processes, Tomales Bay, California, USA [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1997, 157(1): 147-157.
- [36] 洪楠, 侯军, 李志辉. 统计产品和服务解决方案教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.  
Hong N, Hou J, Li Z H. *Statistical Product and Service Solution*

- tions for Windows [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [37] Nejrup L B, Pedersen M F. Effects of salinity and water temperature on the ecological performance of *Zostera marina* [J]. Aquatic Botany, 2008, 88(3): 239-246.
- [38] Biebl R, McRoy C P. Plasmatic resistance and rate of respiration and photosynthesis of *Zostera marina* at different salinities and temperatures [J]. Marine Biology, 1971, 8(1): 48-56.
- [39] Longstaff B J, Loneragan N R, O'donohue M J, et al. Effects of light deprivation on the survival and recovery of the seagrass *Halophila ovalis* (R. Br. ) Hook [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1999, 234(1): 1-27.
- [40] Eichelmann H, Oja V, Rasulov B, et al. Adjustment of leaf photosynthesis to shade in a natural canopy: Reallocation of nitrogen [J]. Plant Cell and Environment, 2005, 28(3): 389-401.
- [41] Touchette B W, Burkholder J M. Review of nitrogen and phosphorus metabolism in seagrasses [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2000, 250(1/2): 133-167.
- [42] Touchette B W, Burkholder J M. Seasonal variations in carbon and nitrogen constituents in eelgrass (*Zostera marina* L. ) as influenced by increased temperature and water-column nitrate [J]. Botanica Marina, 2002, 45(1): 23-34.
- [43] Collier C J, Lavery P S, Ralph P J, et al. Shade-induced response and recovery of the seagrass *Posidonia sinuosa* [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2009, 370(1/2): 89-103.
- [44] Harlin M M. Changes in major plant groups following nutrient enrichment[C]// McComb A J. Eutrophic Shallow Estuaries and Lagoons, Boca Raton, FL: CRC Press, 1993: 173-187.
- [45] Touchette B W. Physiological and developmental responses of eelgrass (*Zostera marina* L. ) to increases in water-column nitrate and temperature[D]. North Carolina State University, 1999.
- [46] Alexandre A, Silva J, Santos R. The maximum nitrate reductase activity of the seagrass *Zostera noltii* (Hornem. ) varies along its vertical distribution [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2004, 307(1): 127-135.
- [47] Duarte C M. Seagrass nutrient content [J]. Marine Ecology Progress Series, 1990, 67(2): 201-207.
- [48] Prado P, Collier C J, Lavery P S. <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N translocation within and among shoots in two *Posidonia* species from Western Australia [J]. Marine Ecology Progress Series, 2008, 361: 69-82.
- [49] Iizumi H, Hattori A, McRoy C P. Ammonium regeneration and assimilation in eelgrass (*Zostera marina*) beds [J]. Marine Biology, 1982, 66(1): 59-65.
- [50] Thursby G B, Harlin M M. Interaction of leaves and roots of *Ruppia maritime* in the uptake of phosphate, ammonia and nitrate [J]. Marine Biology, 1984, 83(1): 61-67.
- [51] McRoy C P, Goering J J. Nutrient transfer between the seagrass *Zostera marina* and its epiphytes [J]. Nature, 1974, 248(5444): 173-174.
- [52] Simon C, Ar Gall E, Levavasseur G, et al. Effects of short-term variations of salinity and temperature on the photosynthetic response of the red alga *Grateloupia doryphora* from Brittany (France) [J]. Botanica Marina, 1999, 42(5): 437-440.
- [53] Murphy L R, Kinsey S T, Durako M J. Physiological effects of short-term salinity changes on *Ruppia maritima* [J]. Aquatic Botany, 2003, 75(4): 293-309.
- [54] Atkinson M J, Smith S V. C : N : P ratios of benthic marine plants [J]. Limnology and Oceanography, 1984, 28(3): 568-574.
- [55] Sandoval-Gil J M, Marin-Guirao L, Ruiz J M. The effect of salinity increase on the photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrass *Cymodocea nodosa* [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2012, 115(2): 260-271.
- [56] Marbà N, Hemminga M A, Mateo M A, et al. Carbon and nitrogen translocation between seagrass ramets [J]. Marine Ecology Progress Series, 2002, 226(1): 287-300.
- [57] Welsh D T. Nitrogen fixation in seagrass meadows: Regulation, plant bacteria interactions and significance to primary productivity [J]. Ecology Letters, 2000, 3(1): 58-71.
- [58] Leoni V, Vela A, Pasqualini V, et al. Effects of experimental reduction of light and nutrient enrichments (N and P) on seagrasses: a review [J]. Aquatic Conservation: Marine and Fresh Water Ecosystems, 2008, 18(2): 202-220.
- [59] Turpin D H. Effects of inorganic N availability on algal photosynthesis and carbon metabolism [J]. Journal of Phycology, 1991, 27(1): 14-20.
- [60] Kraemer G P, Mazzella L, Alberte R S. Nitrogen assimilation and partitioning in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* [J]. Marine Ecology, 1997, 18(2): 175-188.
- [61] Ferrario-Mery S, Murchie E, Hirel B, et al. Manipulation of the pathways of sucrose biosynthesis and nitrogen assimilation in transformed plants to improved photosynthesis and productivity [C]//Foyer C H, Quick W P. A Molecular Approach to Primary Metabolism in Higher Plants, London: Taylor and Francis, 1997: 125-153.
- [62] Landhäuser S M, Lieffers V J. Leaf area renewal, root retention and carbohydrate reserves in a clonal tree species following aboveground disturbance [J]. Journal of Ecology, 2002, 90(4): 658-665.
- [63] Poorter L, Kitajima K, Mercado P, et al. Resprouting as a persistence strategy of tropical forest trees: Relations with carbohydrate storage and shade tolerance [J]. Ecology, 2010, 91(9): 2613-2627.
- [64] Puijalón S, Piola F, Bornette G. Abiotic stresses increase plant regeneration ability [J]. Evolutionary Ecology, 2008, 22(4): 493-506.

## Carbon and Nitrogen Content Characteristics in Seagrass Tissues and Environmental Effects in Dongchu Island

CHEN Yu<sup>1,2</sup>, HAN Qiu-Ying<sup>1</sup>, ZHENG Feng-Ying<sup>2</sup>, HAN Qing-Xi<sup>3</sup>, ZHANG Yong<sup>1</sup>, LIU Dong-Yan<sup>1</sup>  
(1. Experimental Station of Integrated Coastal Environment in Muping, Yantai Institute of Coastal Zone Research (YIC), Chinese Academy of Sciences (CAS), the Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes and Ecological Remediation, YIC, CAS, Yantai 264003, China; 2. Marine College, Shandong University at Weihai, Weihai 264209, China; 3. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** Seagrasses provide important ecosystem service. In recent years, seagrasses degradation has been reported mainly due to seawater eutrophication and sea reclamation. Carbon (C) and nitrogen (N) content of seagrasses tissues (leaves, rhizomes and roots) can fast indicate seagrasses response to environmental variables, which has been widely used to evaluate seagrass bed healthy status. Seagrasses, seawater, porewater in the sediment samples were collected in four seasons in seagrass beds in Dongchu island, Weihai, Shandong Province during August 2011 to May 2012. Our results showed that C and N content of seagrass tissues obviously changed in four seasons. The maximum C content value in the leaves was 36.4% in May and the minimum was 30.8% in December. Meanwhile, the highest (2.73%) and lowest (2.02%) N content value of seagrass leaves separately appeared in February and May. Seawater temperature had significant effects on C content of seagrass leaves. There were significant correlations between inorganic nitrogen, ammonium and nitrate in seawater, porewater of the sediment and C content of seagrass leaves and rhizomes. Salinity was positively correlated with the seagrass leaves C content. N content of seagrass roots was significantly affected by seawater temperature. There were significant correlations between inorganic nitrogen, ammonium and nitrate in seawater, sediment porewater and N content of seagrass roots. There were significant correlations between nitrate in seawater, inorganic nitrogen, ammonium and nitrate in sediment porewater and N content of seagrass leaves. There were significantly negative correlations between ammonium, nitrate in seawater, inorganic nitrogen, ammonium and nitrate in sediment porewater and C/N ratio content of seagrass leaves. The nutrients in seawater and sediment porewater had little effect on seagrass tissues C content directly, but can impact N content of seagrass tissues. Furthermore, the N absorption of seagrass tissues can use C of seagrass tissues during seagrass metabolic processes. Consequently, nutrient over-enrichment has effects on C content and C/N ratio of seagrass tissues. In order to protect the seagrass beds in this area, the use of nutrient in the process of *Luminaria japonica* aquaculture should be strictly controlled. In addition, seagrass bed monitoring and mesocosm experiments about the effects of environmental factors on seagrasses should be strengthened. In the conditions of seagrass beds degradation in China, our study could provide basic data for the seagrass ecosystem health evaluation and the restoration of degraded seagrass ecosystems.

**Key words:** seagrasses; *Zostera marina*; C content; N content; environmental factors

责任编辑 高蓓