

DOI: 10.5846/stxb201207191030

郑新庆, 黄凌风, 李元超, 林荣澄. 啃食性端足类强壮藻钩虾对筲筍湖三种大型海藻的摄食选择性. 生态学报 2013, 33(22): 7166-7172.

Zheng X Q, Huang L F, Li Y C, Lin R C. The feeding selectivity of an herbivorous amphipod *Ampithoe valida* on three dominant macroalgal species of Yundang Lagoon. Acta Ecologica Sinica 2013, 33(22): 7166-7172.

## 啃食性端足类强壮藻钩虾对筲筍湖三种大型海藻的摄食选择性

郑新庆<sup>1</sup>, 黄凌风<sup>2,\*</sup>, 李元超<sup>3</sup>, 林荣澄<sup>1</sup>

(1. 国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005; 2. 厦门大学环境与生态学院, 厦门 361005;

3. 海南省海洋开发规划设计研究院, 海口 570100)

**摘要:** 在室内开展了强壮藻钩虾对筲筍湖 3 种优势大型海藻, 即石莼 (*Ulva lactuca*)、根枝藻 (*Rhizoclonium* sp.) 和细基江蓠繁枝变种 (*Gracilaria tenuistipitata* var. *liui*) 的摄食实验研究, 并以海藻的干湿比、总有机碳、总有机氮、碳氮比和蛋白质含量为指标, 分析了大型海藻的营养价值对强壮藻钩虾的摄食选择性产生的影响。无选择性摄食实验的结果显示, 强壮藻钩虾摄食率与 3 种海藻的干湿比和鲜海藻总有机碳含量呈显著负相关关系, 表明该端足类存在着明显的“补偿性摄食”行为。选择性摄食实验的结果显示, 强壮藻钩虾对石莼和根枝藻有明显的摄食偏好, 其摄食率与鲜海藻的总有机碳和蛋白质含量呈显著的负相关关系, 与海藻的总氮含量则无明显的相关关系, 表明海藻的营养价值对强壮藻钩虾的摄食选择性并未产生可以预见的影响。

**关键词:** 强壮藻钩虾; 干湿比; 总有机碳; 摄食率

### The feeding selectivity of an herbivorous amphipod *Ampithoe valida* on three dominant macroalgal species of Yundang Lagoon

ZHENG Xinqing<sup>1</sup>, HUANG Lingfeng<sup>2,\*</sup>, LI Yuanchao<sup>3</sup>, LIN Rongcheng<sup>1</sup>

1 Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China

2 College of Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361005, China

3 Hainan Marine Development Plan and Design Institute, Haikou 570100, China

**Abstract:** Marine algae vary considerably in their nutritional, chemical, and structural composition, thus providing a heterogeneous and variable food resource for marine herbivores. However, due to seasonal fluctuation in species composition and abundance of marine algae, herbivores usually encounter the environments with little tasty, highly nutritional food. Because herbivores eat foods that are much lower in nutrients than their own tissues, they display a diversity of behavioral and physiological adaptations to cope with the low nutritional value of their foods. Selective feeding on more nutritious plants, increasing consumption of lower quality foods (compensatory feeding) have all been proposed as important behaviors allowing herbivores to obtain adequate nourishment.

Amphipods were common benthic species in macroalgal-based communities. They may regulate the macroalgal community structure by their selective feeding behavior. This study investigated the feeding of amphipod *Ampithoe valida* on three dominant macroalgae (*Ulva lactuca*, *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui* and *Rhizoclonium* sp.) of Yundang Lagoon, and analyzed how the nutritional quality in terms of dry mass/wet mass (DM/FM), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), C/N ratio and protein level may affect the food selectivity in the amphipod. The results showed that there

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费资助项目 (201205009)

收稿日期: 2012-17-19; 修订日期: 2013-03-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huanglf@xmu.edu.cn

<http://www.ecologica.cn>

was negative correlation between the feeding rates and the DM/FM, or TOC/FM of the macroalgae when macroalgae was separately offered to *A. valida*, indicating compensatory feeding behavior in the amphipod, that is, *A. valida* can use quantity to compensate quality when nutritional value of macroalgae was low. *A. valida* preferentially fed on *U. lactuca* and *Rhizoclonium* sp., and their feeding rates negatively correlated to the TOC concentrations or protein levels in the macroalgae. However, no relationship was found between the feeding rates and TN. These results suggest there are no predictable effects of the nutritional quality on the feeding selectivity of amphipods. However, although *A. valida* have strong preference to green algae, Yundang Lagoon doesn't structure a macroalgal community dominated by red algae *G. tenuistipitata* var. *liui*.

**Key Words:** *Ampithoe valida*; dry mass/wet mass; total organic content; feeding rate

海洋大型藻类在形态结构、化学组成、营养特征等方面差异很大,为海洋啃食性动物提供了多样性的食物来源<sup>[1-7]</sup>。和脊椎动物一样,海洋小型无脊椎啃食者,如端足类,对大型海藻并非不加区分地摄食<sup>[1-4]</sup>。大型海藻的营养价值<sup>[1,5]</sup>、分泌的次生代谢物<sup>[6-7]</sup>、形态特征<sup>[2,8-9]</sup>都会对海藻啃食者的摄食及摄食选择性产生影响。此外,当环境食物资源匮乏时,啃食者也能通过一系列生理机制的调整,如补偿性摄食,来平衡食物营养的不足<sup>[1,10]</sup>。例如,当环境中所能获取的藻类营养价值较低时,一些啃食者能通过增加摄食次数或摄食量,延长胃通过时间,提高消化率来满足生长和代谢的需求<sup>[1,10]</sup>。对某些管栖性端足类来说,这种补偿性摄食并不会对端足类的生长、存活和繁殖产生影响<sup>[11]</sup>。

啃食者的选择性摄食对大型海藻群落可能产生以下几方面的影响:一是,啃食者能摄食宿主大型海藻表面附生的其他大型藻类,使得宿主海藻从与附生藻对光和营养盐的竞争中解放出来,从而促进宿主海藻的生长<sup>[12-14]</sup>;二是,端足类优先摄食“可口”的大型海藻,可使大型海藻的群落结构朝着端足类不喜食的藻类占主导的方向发展<sup>[12,14]</sup>。此外,一些研究显示,许多啃食性端足类喜欢摄食生长迅速、生活史短暂的大型海藻<sup>[3,15]</sup>。在富营养化的水体,它们的摄食往往能减少这类大型海藻的生物量积累<sup>[16-18]</sup>。在某些富营养化水域,它们的摄食量甚至超过大型海藻的生长量,从而抑制大型海藻藻华的发生<sup>[16]</sup>。

筲筴湖是位于厦门岛西部的一个高度富营养化的咸水潟湖,在冬春两季生长着包括石莼(*Ulva lactuca*)、细基江篱繁殖变种(*Gracilaria tenuistipitata* var. *liui*)和一种根枝藻(*Rhizoclonium* sp.)在内的几种大型海藻。前期的调查表明,在筲筴湖的大型海藻群落中,强壮藻钩虾(*Ampithoe valida*)是最重要的大型海藻啃食者<sup>[19-20]</sup>,但是,其摄食行为对筲筴湖大型海藻的群落演替的影响还不清楚。因此,在实验室开展了强壮藻钩虾对生长在筲筴湖的几种大型海藻的无选择性摄食和选择性摄食实验,以期评估这种藻栖啃食者对筲筴湖大型海藻群落结构的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

本研究的实验藻类和强壮藻钩虾均采自筲筴湖。带回实验室后,在室外 50 L 的蓝色塑料方形箱中暂养,暂养的海水取自厦门大学白城海区,海水经砂滤塔初级过滤。暂养箱的海水 24h 持续更新(水交换速率 1—2L/min),防止水质变坏。

### 1.2 摄食实验

实验前 3 d,从暂养箱中分别选取足量的大型海藻(6—8 g)和的强壮藻钩虾( $n=80-120$ )将之培养在 2 L 的烧杯中备用。

无选择性摄食实验:实验前将强壮藻钩虾和各大海藻分离培养 24 h,待胃排空后,将强壮藻钩虾转移至含有 250 mL 过滤海水(0.45  $\mu\text{m}$  醋酸纤维滤膜过滤)的蓝盖瓶中,并持续充气。分别将不同的大型海藻投喂给强壮藻钩虾( $n=15-20$ ),鲜藻的投喂量约 0.2 g,以保证有充足的食物供强壮藻钩虾利用。48 h 后收集残余的海藻,用梅特勒-托利多 ML 204 微量天平(精度 0.1 mg)称量投喂前后大型海藻的重量以及强壮藻钩虾

的体重,计算强壮藻钩虾的摄食率。实验设置 3 个喂食不同藻类的处理,每个处理分别有两个体重组(4—9 mg/尾和 14—19 mg/尾),每个处理共 8 个平行和 4 个空白,摄食率计算公式如下:

$$C = [C_1 \cdot (1+K) - C_2] / (W \cdot t)$$

式中,  $C$  表示摄食率,表示单位重量(湿重)的强壮藻钩虾对海藻鲜物质( $\text{g 鲜重} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )和干物质的日摄食量( $\text{g 干重} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $C_1$ 和  $C_2$ 分别代表海藻的初末重量; $K$ 表示在  $t$  时间内海藻的生长系数(由空白组实验前后海藻重量的变化除以海藻的初始重量计算而得), $W$ 表示强壮藻钩虾的体重。

选择性摄食实验:在 1.5 L 的培养皿中进行,实验过程保证持续通气。将强壮藻钩虾( $n=20$ )和上述 3 种大型海藻共同培养,每种鲜海藻的添加量约 0.6 g,48 h 后收集各海藻残余。实验设置 4 个平行和 4 个空白,其余操作和摄食率计算同无选择摄食实验。

### 1.3 海藻的干湿比、C、N、P 及蛋白质含量分析

本研究选择海藻的干湿比(DM/FM,表示干重与湿重的比值,平行样  $n=3$ )、总有机碳含量(TOC,  $n>4$ )、总氮含量(TN,  $n>4$ )和蛋白质含量(PC,  $n=4$ )来表征海藻的营养价值。干湿比测定时,先用定性滤纸将海藻表面的水吸干,称重鲜藻体(FM),再将海藻在 60 °C 下烘 3 d 至恒重,称重干藻体(DM)。干藻体经研磨、酸熏除无机碳、中和、烘干处理后,采用 Vario EL III 的元素分析仪测定海藻的 TOC 和 TN;PC 采用考马斯亮兰法测定。

### 1.4 数据处理分析

所有的数据经 SPSS 13.0 软件包处理分析。采用单因素方差分析检验不同海藻之间营养价值特征(DM/FM、TOC、TN 和 PC)的差异以及强壮藻钩虾对不同海藻摄食率的差异。当方差齐性时,采用 Tukey's 检验;当方差不齐性时,采用 Duncan 检验。在无选择性摄食实验的数据分析中,以强壮藻钩虾的体重作为协变量,采用协方差分析检验强壮藻钩虾对不同海藻干物质摄食率的差异。采用 OriginLab 7.5 作图。

## 2 结果

### 2.1 3 种海藻的营养价值参数

如表 1 所示,采自赏筍湖的石莼和枝根藻的干湿比相当,约为细基江蓼繁枝变种的 2 倍( $P<0.05$ )。如果用鲜物质百分含量表示海藻的各营养价值时,根枝藻有最高的 TOC,分别约为石莼和细基江蓼繁枝变种的 1.2 倍和 2.2 倍,其蛋白质含量和石莼相当( $P=0.234$ ),但明显低于细基江蓼繁枝变种,约为后者的 1/2;TON 则石莼最高,细基江蓼繁枝变种次之,枝根藻最低;根枝藻的 C/N 最高,细基江蓼繁枝变种最低。

表 1 3 种大型海藻的营养特征

Table 1 Nutritional traits of three species of seaweeds

营养价值参数 Nutritional traits	海藻种类 Species of seaweeds		
	石莼 <i>U. lactuca</i>	根枝藻 <i>Rhizoclonium</i> sp.	细基江蓼繁枝变种 <i>G. tenuistipitata</i> var. <i>liui</i>
DM/FM	25 ± 0 a	24 ± 1 b	13 ± 0 c
TOC	6.84 ± 0.37 b	8.12 ± 0.06 a	3.73 ± 0.02 c
TON	1.22 ± 0.11 a	0.76 ± 0.01 b	0.88 ± 0.01 c
C/N	1.42 ± 0.19 b	2.55 ± 0.01 a	0.55 ± 0.07 c
PC	0.54 ± 0.06 b	0.54 ± 0.09 b	0.03 a

同一行中, a, b, c 分别表示处理组间差异达 0.05 显著性水平

### 2.2 强壮藻钩虾对几种大型海藻的摄食及其选择性

在只提供单种海藻食物的条件下(图 1),两个体重组(4—9 mg 组和 14—19 mg 组)的强壮藻钩虾对细基江蓼繁枝变种鲜物质的单位体重摄食率(简称摄食率,下同)都大于对石莼和根枝藻的摄食率,而对后两种海藻的摄食率相当( $P=0.419$ ),对前者的摄食率约为对后者的 1.5 倍,差异显著( $P<0.01$ )。不过,4—9 mg 体重组对 3 种海藻的摄食率都为 14—19 mg 体重组的 2 倍以上(图 1)。

<http://www.ecologica.cn>

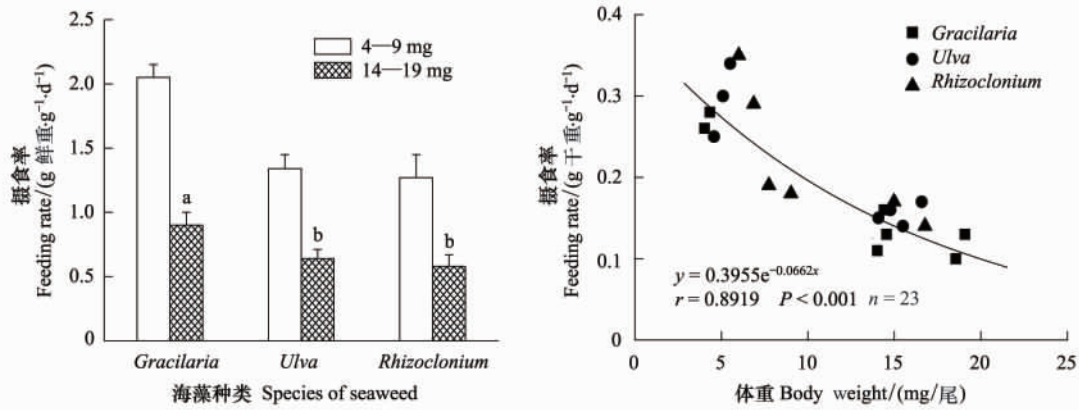


图 1 强壮藻钩虾的无选择性摄食

Fig. 1 *Amphioe valida* feeding when offered 1 of 3 algal species simultaneously

以体重为协变量,通过单因素协方差分析比较强壮藻钩虾对 3 种海藻干物质的摄食率的差异(图 1),结果表明,在无选择性摄食实验中,强壮藻钩虾对 3 种海藻干物质的摄食率相当( $P > 0.05$ ),但随着体重的增加而逐渐减少( $y = 0.3955e^{-0.0662x}$ ,  $n = 23$ ,  $r = 0.8919$ ,  $P < 0.001$ )(图 1)。相关性分析的结果也进一步显示,在无选择性摄食实验中,强壮藻钩虾的摄食率和海藻的干湿比呈显著的负相关关系(图 2, 4—9 mg 体重组:  $y = -6.4518x + 2.8948$ ,  $r^2 = 0.9322$ ,  $P < 0.001$ ; 14—19 mg 体重组:  $y = -2.3758x + 1.2037$ ,  $r^2 = 0.7261$ ,  $P < 0.001$ )。强壮藻钩虾的摄食率和海藻 TOC 含量也呈显著的负相关关系(图 3, 4—9 mg 体重组:  $y = -0.1912x + 2.7304$ ,  $r^2 = 0.9398$ ,  $n = 17$ ,  $P < 0.001$ ; 14—19 mg 体重组:  $y = -0.075x + 1.1707$ ,  $r^2 = 0.9697$ ,  $n = 17$ ,  $P < 0.001$ ),但与海藻 PC 含量呈显著正相关关系(图 4, 4—9 mg 体重组:  $y = 1.1596x + 0.6827$ ,  $r^2 = 0.9556$ ,  $n = 12$ ,  $P < 0.001$ ; 14—19 mg 体重组:  $y = 0.4513x + 0.3667$ ,  $r^2 = 0.932$ ,  $n = 12$ ,  $P < 0.001$ ),与海藻 TN 含量则无明显的相关性(图 5,  $r^2 < 0.11$ ,  $P > 0.05$ )。

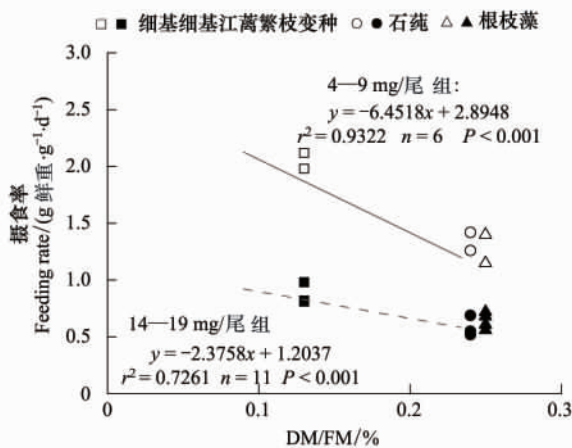


图 2 无选择性摄食实验中强壮藻钩虾摄食率与海藻的干湿比的关系

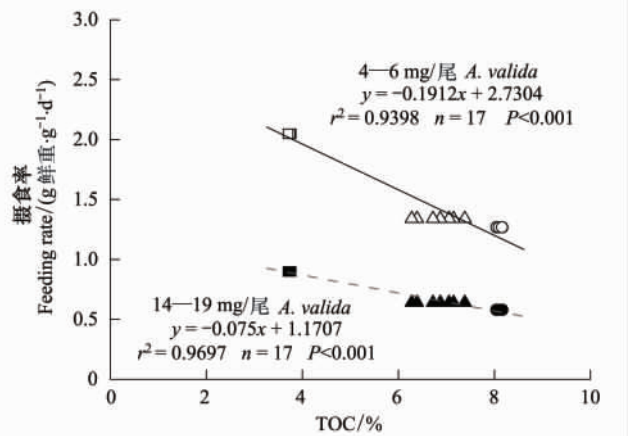
Fig. 2 Feeding rates of *Amphioe valida* related to FM/DM of algae in no-choice feeding assays

图 3 无选择性实验中强壮藻钩虾摄食率与鲜海藻总有机碳含量的关系

Fig. 3 Feeding rates of *Amphioe valida* related to TOC of algae when were expressed as percentage per fresh mass in no-choice feeding assays

当同时投喂 3 种大型海藻时,强壮藻钩虾对 3 种海藻鲜物质的摄食率差异显著(表 2,  $P < 0.01$ ),对根枝藻的摄食率最大,对石莼的次之,对细基江蕨繁枝变种的最小;当用干物质表示海藻总量时,强壮藻钩虾对根枝藻和石莼的摄食差异不显著( $P = 0.057$ ),分别约占总摄食率的(40.6±11.2)%和(57.1±10.7)%,而对细基江蕨繁枝变种的摄食最少,不到总摄食率的 2.5%,可认为属于偶然性或机会性摄食。相关性分析结果显示,

此时,强壮藻钩虾对 3 种海藻的摄食率与海藻 TOC 含量呈负相关关系( $r = -0.9$ ,  $P < 0.01$ ),与海藻 PC 含量也呈显著的负相关关系( $r = -0.8427$ ,  $P < 0.01$ ),但与海藻 TN 含量无显著相关性( $r = -0.1$ ,  $P > 0.5$ ),表明强壮藻钩虾的摄食选择性与海藻的营养价值无关。

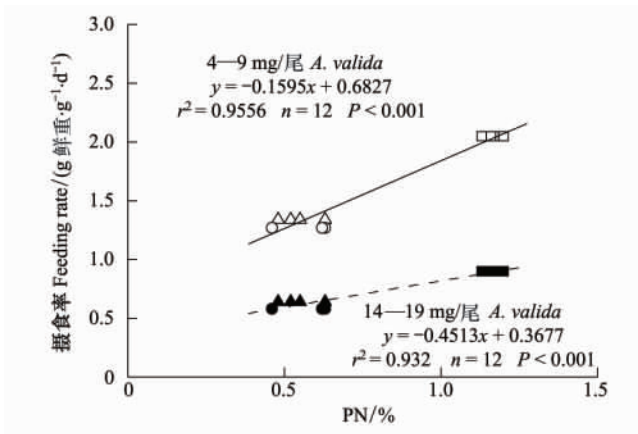


图 4 无选择性实验中强壮藻钩虾摄食率与鲜海藻蛋白质含量的关系

Fig. 4 Feeding rates of *Amphioe valida* related to PC of algae when were expressed as percentage per fresh mass in no-choice feeding assays

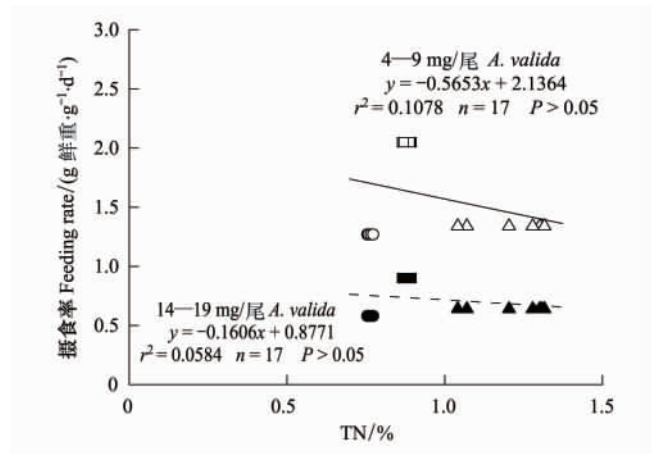


图 5 无选择性实验中强壮藻钩虾摄食率与鲜海藻总氮含量的关系

Fig. 5 Feeding rates of *Amphioe valida* related to TN of algae when were expressed as percentage per fresh mass in no-choice feeding assays

表 2 强壮藻钩虾对 3 种大型海藻的摄食选择性

Table 2 Feeding preference of *Amphioe valida* on three species of seaweed

种类 Species of seaweed	摄食率 Feeding rate( 鲜重) /(g 鲜重 · g <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> )	摄食率 Feeding rate( 干重) /(g 干重 · g <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> )	百分比( 干重) /%
石莼 <i>Ulva lactuca</i>	0.341 ± 0.063 b	0.085 ± 0.016 a	40.6 ± 11.2 a
根枝藻 <i>Rhizoclonium</i> sp.	0.521 ± 0.174 a	0.125 ± 0.042 a	57.1 ± 10.7 a
细基江蓠繁枝变种 <i>Gracilaria tenuistipitata</i> var. <i>liui</i>	0.036 ± 0.026 c	0.005 ± 0.003 b	2.2 ± 1.5 b

同一列中, a, b, c 分别表示处理组间差异达 0.05 显著性水平

### 3 讨论

Cruz-Rivera 和 Hay 认为,海藻的含水量会降低海藻内营养物质的浓度,从而影响端足类的摄食量<sup>[1]</sup>。因此,本研究采用海藻干湿比以及鲜藻总有机碳、总有机氮、碳氮比和蛋白质含量为表征海藻的营养价值。结果显示,强壮藻钩虾对含水量高的细基江蓠繁枝变种摄食率最大,而对含水量相当的枝根藻和石莼则摄食量相当(表 1,图 1),这与 Cruz-Rivera 和 Hay 的研究结果一致。Cruz-Rivera 和 Hay<sup>[1]</sup>开展了管栖性藻钩虾 *Amphioe longimana* 对 13 种海藻的摄食实验,结果表明 *A. longimana* 的摄食率和海藻的干湿比和鲜藻的总有机碳含量密切相关,即含水量高的海藻,摄食率也相应增加。强壮藻钩虾对 3 种海藻干物质的摄食率没有显著差异(图 1)表明藻钩虾虽然摄食不同的海藻,但它们的基本能量需求是一定的。但由于啃食者消化道自身的物理局限性,即只能容纳一定体积的食物<sup>[21]</sup>,因此,对低营养价值(高含水量,低碳含量)的藻类,只能通过增加摄食来满足自身代谢需求(图 1)。这种增加对低营养价值食物摄食量的现象被称为补偿性摄食(Compensatory feeding),在端足类<sup>[1,11,22]</sup>中相当常见,是对食物环境的一种适应。当环境中仅存在低营养价值的食物时,端足类可能通过补偿性摄食来获取其正常代谢所需的能量<sup>[1,22]</sup>。对生活于饵料植物季节性变化明显的环境,补偿性摄食是一种很好的适应机制,是维持种群繁衍的一种方式。Cruz-Rivera 和 Hay<sup>[22]</sup>的研究还表明,低营养价值的海藻对 *A. longimana* 的存活、生长和繁殖没有影响。可见,补偿性摄食完全抵消了低营养价值食物对 *A. longimana* 的消极影响。同时允许这类定居性(sedentary)种类和宿主植物形成长期的关系,减少在宿主间的移动,降低了被捕食的风险。

本研究中, 强壮藻钩虾的摄食率与海藻的蛋白质含量呈显著的正相关关系(图 4), 并不意味着强壮藻钩虾会增加对高蛋白质藻类的摄食。例如, Cruz-Rivera 和 Hay<sup>[1]</sup> 发现 *A. longimana* 的摄食率和海藻蛋白质含量负相关。导致这种统计分析结果出现的原因是海藻蛋白质含量与其干湿比和总有机碳含量密切相关。本研究中几种大型海藻其蛋白质含量与干湿比、总有机碳含量密切相关(表 1), 因此, 回归分析的结果就产生了这样的假象: 似乎高蛋白的海藻会促进藻钩虾的摄食。

过去一般认为, 不同植物间营养价值的差异似乎对嗜食者的摄食选择起着关键的作用。许多陆生动物和淡水植食性浮游动物更喜欢摄食富含氮的植物组织, 这样, 这些动物也有着高的存活率、更快的生长率和高的繁殖力<sup>[10]</sup>。一些海洋脊椎动物和大型无脊椎动物, 如鱼类和海胆, 也表现出对高氮磷含量植物的摄食偏好。但是, 对于海洋底栖端足类来说, 这样的论断似乎并不完全成立。Duffy 和 Hay<sup>[2]</sup> 报道, 藻钩虾 *A. longimana* 对 5 种海藻的摄食选择性与海藻的氮磷含量无关。Cruz-Rivera 和 Hay<sup>[1]</sup> 也表明, 藻钩虾 *A. longimana* 对 13 种海藻的摄食选择性与海藻的营养价值(氮、磷和蛋白质含量等) 无关, *A. longimana* 明显更喜欢摄食网地藻 *Dictyota* sp. 和团扇藻 *Padina* sp., 虽然 *Dictyota* sp. 有着比其它大型藻类更高的 N 含量, 而 *Padina* sp. 有着更高的蛋白质含量, 但当把 13 种海藻都考虑在内时, 摄食选择性并不和食物营养价值密切相关。强壮藻钩虾没有表现出对高氮、高蛋白质藻类的摄食偏好表明强壮藻钩虾与和其同属的 *A. longimana* 一样对海藻的摄食选择并不是以海藻的营养价值为优先考量的标准。一些研究表明, 强壮藻钩虾这种摄食选择性特征可能和其生活习性有关。Cruz-Rivera & Hay<sup>[22]</sup> 利用不同营养价值的食物(低营养价值的食物, 主要来自低氮磷含量和总有机碳含量的海藻; 高营养价值来自经济鱼类的饵料, 氮、磷和总有机碳含量高) 分析了 3 种分布在同一区域的端足类 *Gammarus mucronatus*、*Elasmopus levis* 和 *Ampithoe longimana* 的摄食选择性。结果表明, 非管栖的漫游性端足类 *G. mucronatus* 和 *E. levis* 更喜欢摄食高营养价值的食物, 而管栖性藻钩虾 *A. longimana* 对 3 种不同营养价值食物的摄食没有选择性。与 *A. longimana* 一样, 强壮藻钩虾也属于管栖性端足类, 因此它对海藻的选择可能也不是优先考虑食物的营养价值。

端足类对大型海藻群落的影响主要通过它的“选择性摄食策略”来实现的。通过选择性摄食能影响大型海藻群落的组成结构。Brawley 和 Adey<sup>[12]</sup> 发现, 在一个小型珊瑚礁受控实验生态系统中, 引入雷氏藻钩虾 *Ampithoe raimondi* 后, 细丝状的藻类被刺沙藻 *Hypnea spinella* 取代。随后的实验<sup>[13]</sup> 和观察<sup>[23-24]</sup> 在室外小型水体的发现也证实, 端足类的摄食对底栖大型海藻群落结构有明显的影晌: *A. longimana* 能强烈的抑制绿藻的生长, 它的摄食形成了一个以红藻占主导的大型海藻群落。在笕筲湖, 强壮藻钩虾是最主要的大型海藻嗜食者<sup>[19-20, 25]</sup>, 但是强壮藻钩虾对绿藻的摄食偏好并没有在笕筲湖藻场生态系统中形成一个以江蓠占主导的大型海藻群落<sup>[25]</sup>。Valiela 等<sup>[18]</sup> 认为, 中型嗜食者能控制大型海藻的生物量和影响大型海藻的群落结构, 但是这种下行控制主要和水体中的氮负载( nitrogen-loading) 密切相关。Hauxwell 等<sup>[17]</sup> 估计了 Waquoit Bay、Cape Cod 和 Massachusetts 河口(代表不同的 N 负载水平) 端足类和等足类的摄食作用对优势的大型海藻种类的影响。结果表明, 随着水体 N 负载的增加, 它对大型海藻生长的促进作用削弱了端足类摄食对大型海藻生物量积累的负面效应。笕筲湖水体超富营养化, 使得来自强壮藻钩虾的下行控制已经无法抑制来自超富营养化的水体通过上行控制对石莼和根枝藻生长的促进作用。

#### References:

- [1] Cruz-Rivera E, Hay M E. Macroalgal traits and the feeding and fitness of an herbivorous amphipod: the roles of selectivity, mixing, and compensation. *Marine Ecology-Progress Series*, 2001, 218: 249-266.
- [2] Duffy J E, Hay M E. Food and Shelter as Determinants of Food Choice by an Herbivorous Marine Amphipod. *Ecology*, 1991, 72: 1286-1298.
- [3] Goecker M E, Kall S E. Grazing preferences of marine isopods and amphipods on three prominent algal species of the Baltic Sea. *Journal of Sea Research*, 2003, 50: 309-314.
- [4] Hay M E, Duffy J E, Fenical W. Host-plant specialization decreases predation on a marine amphipod: An herbivore in plant's clothing. *Ecology*, 1990, 71: 733-743.

- [ 5 ] Cruz-Rivera E , Hay M E. Prey nutritional quality interacts with chemical defenses to affect consumer feeding and fitness. *Ecological Monographs* , 2003 , 73: 483–506.
- [ 6 ] Toth G B , Langhamer O , Pavia H. Inducible and constitutive defenses of valuable seaweed tissues: Consequences for herbivore fitness. *Ecology* , 2005 , 86: 612–618.
- [ 7 ] Yun H Y , Cruz J , Treitschke M , Wahl M , Molis M. Testing for the induction of anti-herbivory defences in four Portuguese macroalgae by direct and water-borne cues of grazing amphipods. *Helgoland Marine Research* , 2007 , 61: 203–209.
- [ 8 ] Stachowicz J J , Hay M E. Reducing predation through chemically mediated camouflage: indirect effects of plant defenses on herbivores. *Ecology* , 1999 , 80: 495–509.
- [ 9 ] Sotka E E. Restricted host use by the herbivorous amphipod *Peramphithoe tea* is motivated by food quality and abiotic refuge. *Marine Biology* , 2007 , 151: 1831–1838.
- [10] Valentine J , Duffy J. The central role of grazing in seagrass ecology. *Seagrasses: Biology , Ecology and Conservation* , 2006. 463–501.
- [11] Cruz-Rivera E , Hay M E. The effects of diet mixing on consumer fitness: macroalgae , epiphytes , and animal matter as food for marine amphipods. *Oecologia* , 2000 , 123: 252–264.
- [12] Brawley S H , Adey W H. The effect of micrograzers on algal community structure in a coral reef microcosm. *Marine Biology* , 1981 , 61: 167–177.
- [13] Brawley S H , Fei X G. Studies of mesoherbivory in aquaria and in an unbarricaded mariculture farm on the Chinese coast. *Journal of phycology* , 1987 , 23: 614–623.
- [14] Duffy J E. Amphipods on seaweeds: partners or pests?. *Oecologia* , 1990 , 83: 267–276.
- [15] Nicotri M E. Factors involved in herbivore food preference *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* , 1980 , 42: 13–26.
- [16] Geertz-Hansen O , Sand-Jensen K A J , Hansen D F , Christiansen A. Growth and grazing control of abundance of the marine macroalga , *Ulva lactuca* L. in a eutrophic Danish estuary. *Aquatic botany* , 1993 , 46: 101–109.
- [17] Hauxwell J , McClelland J , Behr P J , Valiela I. Relative importance of grazing and nutrient controls of macroalgal biomass in three temperate shallow estuaries. *Estuaries* , 1998 , 21: 347–360.
- [18] Valiela I , McClelland J , Hauxwell J , Behr P J , Hersh D , Foreman K. Macroalgal blooms in shallow estuaries: controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnology and Oceanography* , 1997 , 42: 1105–1118.
- [19] Zheng X Q , Yao X F , Huang L F , Guo F , Lin Y M , Xu X W , FU X Y. Main factors influencing the growth of *Gracilaria lemaneiformis* in Yundang Lagoon of Xiamen. *Marine Science* , 2008 , 32: 47–51.
- [20] Zheng X Q , Huang L F , Jia X Y , FU X Y , Xu X W , Hong Q B. Secondary production of gammaridae amphipods in macroalgae-based community in Yundang Lagoon. *Acta Oceanologica Sinica* , 2011 , 33: 135–141.
- [21] Slansky F. Nutritional ecology: the fundamental quest for nutrients // Stamp N E , Casey T M , eds. *Caterpillars: ecological and evolutionary constraints on forging*. New york: Chapman and Hall , 1993: 29–91.
- [22] Cruz-Rivera E , Hay M E. Cruz-Rivera E , Hay M E. Can quantity replace quality? food choice , compensatory feeding , and fitness of marine mesograzers. *Ecology* , 2000 , 81: 201–219.
- [23] Tegner M J , Dayton P K. El Nino effects on southern California kelp forest communities. *Advances in Ecological Research* , 1987 , 17: 243–279.
- [24] Duffy J E , Hay M E. Strong impacts of grazing amphipods on the organization of a benthic community. *Ecological Monographs* , 2000 , 70: 237–263.
- [25] Zheng X Q , Huang L F , Wang L , Xie T H , Hong Q B , Huang B Q. Population dynamics of several species of amphipods in the macroalgae canopies in Yundang Lagoon. *Journal of Xiamen University ( Natural Science)* , 2011 , 50: 928–933.

#### 参考文献:

- [19] 郑新庆,姚雪芬,黄凌风,郭丰,林玉美,傅迅毅,徐向伟. 厦门筲筴湖龙须菜生长的主要影响因素. *海洋科学*, 2008, 32: 47–51.
- [20] 郑新庆,黄凌风,贾晓燕,傅迅毅,徐向伟,黄邦钦. 筲筴湖大型海藻群落的几种钩虾亚目端足类的种群产量研究. *海洋学报*, 2011, 33: 135–141.
- [25] 郑新庆,黄凌风,王蕾,谢天宏,洪清波,黄邦钦. 筲筴湖大型海藻群落的几种藻栖端足类的种群动态研究. *厦大学学报*, 2011, 50: 928–933.