

中华哲水蚤对自然饵料的摄食选择性 实验研究*

李超伦 孙松 王荣

(中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071)

提要 为了解自然环境中中华哲水蚤的摄食选择性及其生态策略,利用库尔特颗粒计数器测定了夏季黄海中华哲水蚤对自然水体中混合饵料的选择性摄食状况。调查期间,黄海海域季节性温跃层开始出现,水体中叶绿素 *a* 浓度为 0.23—1.44 mg/m³,最大值均出现在温跃层底部。水平分布上,水体中颗粒浓度近岸浅水区(A站: 0.5—5.2×10⁶μm³/ml)高于深水区(B站: 0.3—0.7×10⁶μm³/ml, C站: 0.9—2.4×10⁶μm³/ml);垂直分布上 A、B 站近底层颗粒浓度最高, C 站颗粒浓度最高值出现在叶绿素 *a* 最大值区。中华哲水蚤对水体中粒径为 1—100 μm 的食物颗粒均有摄食,但是颗粒大小和颗粒浓度对其摄食选择性均有一定的影响,主要摄食粒径为 5—50 μm 的饵料颗粒。不同海域中华哲水蚤的个体摄食率分别为近岸 A 站 23.82×10⁶μm³/d、北部 B 站 51.16×10⁶μm³/d 和南部 C 站 36.32×10⁶μm³/d,其日摄食量分别占体碳含量的 2.1%(A 站)、4.6%(B 站)和 3.2%(C 站)。近岸海域(A 站)中华哲水蚤摄食的饵料颗粒中各粒级组所占比例变化不大,但是深水区(B、C 站)中华哲水蚤对于 10—25 μm 范围内的饵料颗粒摄食选择性明显高于其它粒级组。中华哲水蚤的摄食选择性主要与水体中饵料的体积浓度相关,当饵料浓度降低时,中华哲水蚤可以通过扩大摄食饵料颗粒的粒径范围,增加对大颗粒的摄食以获得更多的营养。

关键词 中华哲水蚤, 摄食选择性, 黄海
中图分类号 S968.3

浮游动物作为海洋初级生产向高营养阶层传递的主要环节,其摄食率的高低将决定海洋初级产品的转换途径以及海洋食物网的传递效率,因此海洋浮游动物的摄食生态学研究一直是海洋生态学研究的重要内容。

自然海区中,浮游动物饵料构成复杂多样,其大小、形状、密度、活动能力、营养价值或者毒性均存在巨大的差异。大多数浮游动物具有摄食选择性,能够选择摄食高营养(Paffenhofer *et al.*, 1985; Houde *et al.*, 1987; Cowles *et al.*, 1988; Butler *et al.*, 1989)、无毒性(Fiedler, 1982; Huntley *et al.*, 1986; Turriff *et al.*, 1995)的有机颗粒。

但是至今为止,对浮游动物摄食选择性内在机制的认识尚存在许多空白。研究证实,一些桡

足类口器上具有化学感应器,通过识别浮游藻类的分泌物主动地选择摄食饵料颗粒(Poulet *et al.*, 1982; Gill *et al.*, 1988; Ward *et al.*, 1992)。虽然大多数桡足类摄食以滤食方式为主,但是由于饵料颗粒的大小和形状、可遇性、保留率等原因造成被动选择性摄食策略在桡足类中同样存在,并且在生态系统能流物流传递过程中往往起到更为重要的作用(Shumway *et al.*, 1985; Butler *et al.*, 1989)。

中华哲水蚤是中国近海浮游动物主要优势种,其种群动力学研究是中国海洋生态学研究的重点课题之一(孙松等, 2006)。摄食活动作为中华哲水蚤种群生存及发展的重要基础,开展其现场摄食策略研究对于了解其自然种群的营养状况、变动规律及其制约机制具有十分重要的意义。本

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目, KZCX2-YW-213 号; 国家自然科学基金青年基金资助项目, 40106016 号。李超伦, 博士, 研究员, E-mail: lcl@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 2006-01-21, 收修改稿日期: 2007-01-08

文中作者对黄海中华哲水蚤对自然水体中饵料颗粒的摄食选择性进行了现场实验研究,以期提高对这一黄海浮游动物优势种摄食策略的认识。另外,调查期间中华哲水蚤正处于由春末生物量高峰期向夏季低值期衰退的重要阶段,希望通过开展现场饵料环境及其摄食活动的研究,为了解这一时期中华哲水蚤的种群变动机制提供佐证。

1 实验与方法

2002年7月分别于黄海近岸(A站)、北部(B站)和南部(C站)海域对中华哲水蚤摄食率和摄食选择性进行了现场实验研究,具体站位见图1。中华哲水蚤的摄食率(Ingestion rate)及其对自然水体中饵料颗粒的大小选择性通过现场培养实验测定。实验样品采集利用浮游动物大网(网口直径为80cm,筛绢孔径为500 μm)垂直拖取浮游动物活体标本,将网底管中样品倒入盛有现场海水的烧杯中,用滴管迅速挑选活泼完整的中华哲水蚤雌体于GF/F过滤的现场海水中暂养用于实验。

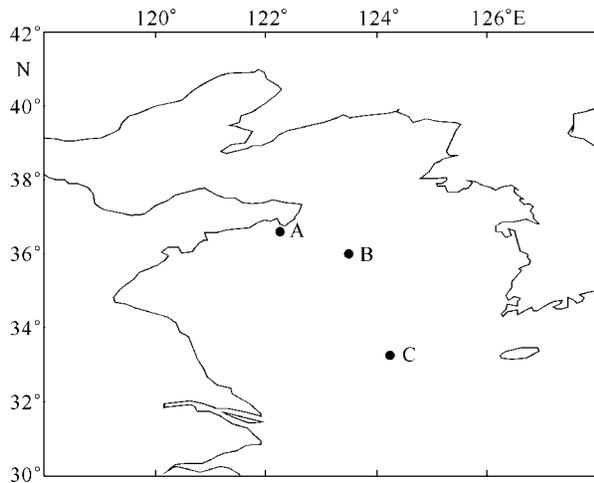


图1 实验站位图

Fig.1 Location of the stations

实验于1L的磨口玻璃瓶中进行。每组实验设3个实验瓶,2个对照瓶。每个实验瓶装满采自叶绿素最大层的现场海水,放入20个中华哲水蚤雌体,密闭,放入现场流动海水水槽中培养24h;实验开始前分别取水样,用库尔特颗粒计数器(Multisizer III)测定培养海水中颗粒浓度和粒级组成。未加中华哲水蚤的对照瓶与实验瓶处理过程相同。中华哲水蚤的个体清滤率和摄食率参照Frost(1972)的公式计算。

中华哲水蚤对不同大小饵料颗粒的摄食选择性按照Poulet(1973)方法确定。将饵料颗粒按照粒径大小划分为5个粒级组:1—5 μm 、5—

10 μm 、10—25 μm 、25—50 μm 和50—100 μm 。根据实验动物对不同粒级组饵料颗粒的摄食程度确定其摄食选择性系数EI,具体计算公式为: $EI = (Gi - Fi)/(Gi + Fi)$,其中Gi为总摄食颗粒中i粒级组所占的比例,Fi为饵料中i粒级组所占的比例。EI在-1—1之间变动,当EI大于0时表示正选择性,EI小于0时表示负选择性。

另外,为研究饵料浓度对中华哲水蚤摄食的影响,于C站增加两组实验,实验1组操作同上述;实验2组将培养水体中的饵料浓度增加(在实验水体中添加一定量的从同一水层海水中用20 μm 筛绢浓缩富集的饵料),其他处理同前所述;实验3组将培养水体中的饵料浓度降低(500ml自然海水+500mlGF/F过滤海水),其他处理同前所述。为研究实验个体密度对中华哲水蚤摄食的影响,于B站增加2组实验,实验1、2、3组处理分别是培养瓶中的实验动物个数分别为10个/瓶、20个/瓶和40个/瓶,其他处理同前所述。

于各实验站位利用CTD进行温度和盐度的测定,并且在0m、10m、20m、30m、50m、底上2m等水层用Niskon采水器进行分层采水,取500—1000ml水样过滤到GF/F滤膜上,避光冷冻保存,回到实验室中利用Turner DesignsII型荧光光度计测定叶绿素浓度。

2 结果

2.1 实验站位水文及饵料环境

调查期间,黄海已经进入夏季,季节性温跃层已经出现。A站位于近岸,温跃层出现在5m,表底温差不大。B、C站位于黄海冷水团控制区域,虽然表层水温已经上升到24 $^{\circ}\text{C}$,底层温度低于10 $^{\circ}\text{C}$,10—30m水层出现强温跃层。水体中叶绿素a平均浓度A站最高,C站次之,B站最低;但是叶绿素a浓度最大值出现在C站。从垂直分布上看,最大层均出现在温跃层中下部。具体结果见表1。

利用库尔特颗粒计数器(Multisizer-III)对3个实验站位不同水层的颗粒浓度及其粒径分布进行了测定(图2)。位于近岸浅水区的A站水体中颗粒浓度高于深水区的B、C站,0—20m颗粒平均浓度为 $2.8 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{ml}$,变化范围从10m层 $0.5 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{ml}$ 到20m层 $5.2 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{ml}$,近底层颗粒浓度最高。另外,在叶绿素a最大值区(5m层)出现一个次高值。位于深水区的B站水体中0—65m颗粒平均浓度只有 $0.5 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{ml}$ (变化

表 1 中华哲水蚤实验站位的温度、盐度和叶绿素 *a* 浓度
Tab.1 Temperature, salinity, and chlorophyll *a* concentration at each station

水深(m)		24 (A 站)	72(B 站)	65 (C 站)
温度()	表层	25.1	23.9	23.5
	底层	20.6	9.5	10.4
跃层范围(m)		4—6	15—40	10—25
盐度	表层	31.7	32.3	30.4
	底层	32.0	33.0	33.3
叶绿素 <i>a</i> 浓度 (mg/m ³)	表层	0.63	0.27	0.70
	底层	0.80	0.23	0.38
	平均值	0.91	0.51	0.67
	最大值*	1.13(5m)	1.00(30m)	1.44(20m)

* 括号内数值为叶绿素最大值出现的水层深度

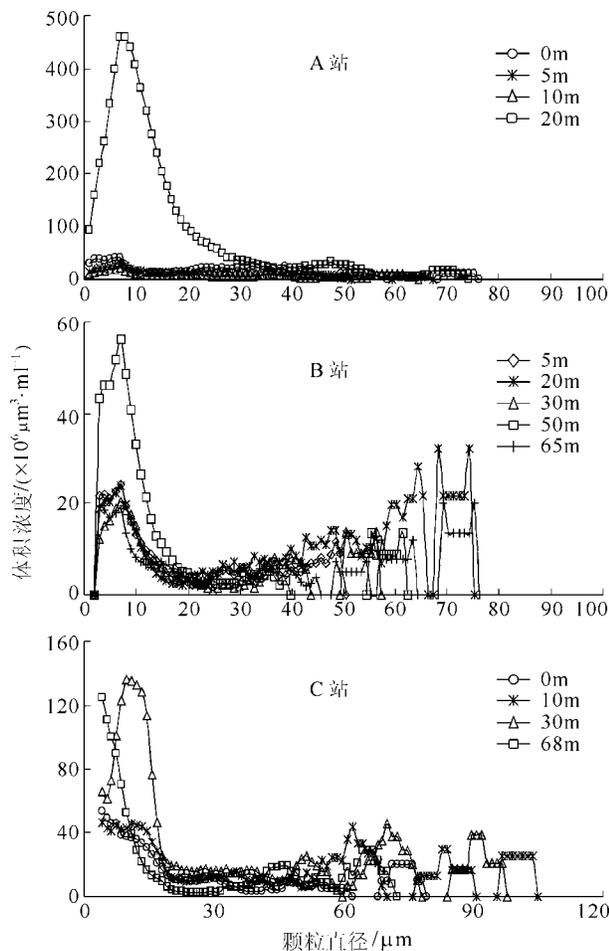


图 2 实验站位水体中颗粒物垂直分布

Fig.2 Vertical distribution of particulate matter in each station

范围为 $0.3\text{—}0.7 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{ml}$), 颗粒浓度最高值出现在近底层(50m 层), 但是在叶绿素 *a* 最大值区(20m 层)粒径范围在 $10\text{—}30 \mu\text{m}$ 的颗粒浓度明显升高。南部深水区的 C 站水体中 $0\text{—}68\text{m}$ 颗粒平均浓度只有 $1.5 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{ml}$ (变化范围为 $0.9\text{—}2.4 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{ml}$), 颗粒浓度高于 B 站, 从垂向分布

上看, 颗粒浓度最高值出现在叶绿素 *a* 最大值区(30m 层)。A、B、C 站颗粒浓度垂向分布上的差异可能是由于颗粒物组成不同所导致, 近岸浅水区水体混合程度强于深水区, 泥沙和碎屑等沉降颗粒物的再悬浮导致其在水体颗粒物中所占的比例较高, 而深水区浮游植物是水体中颗粒物的主要贡献者, 因此颗粒物的高值区通常与叶绿素 *a* 的高值区相吻合。

2.2 中华哲水蚤的摄食

中华哲水蚤对水体中不同大小的颗粒的摄食情况见图 3。桡足类可以摄食粒径 $1\text{—}100 \mu\text{m}$ 的食物颗粒, 但是颗粒大小和颗粒浓度对其摄食均有一定的影响。从图 3 中可以看出, 中华哲水蚤摄食主要集中在大小范围为 $5\text{—}50 \mu\text{m}$ 的饵料颗粒; 虽然粒径小于 $5 \mu\text{m}$ 的颗粒数量密度较大, 但是中华哲水蚤对其的摄食效率较低; 中华哲水蚤对粒径大于 $50 \mu\text{m}$ 饵料仍然具有一定的摄食行为, 但是规律性不明显。

利用 Frost(1972)的公式计算, 中华哲水蚤对不同大小饵料颗粒的摄食率结果见表 2。A 站上中华哲水蚤的个体摄食率为 $23.82 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{d}$, 对不同大小饵料颗粒的摄食率差异相对较小, 变化范围为 $1.81\text{—}7.89 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{d}$ 。B 站中华哲水蚤的个体摄食率最大($51.16 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{d}$), 其摄食饵料的粒径主要集中在 $10\text{—}25 \mu\text{m}$ 之间, 占总摄食量的 52%。C 站上中华哲水蚤的个体摄食率为 ($36.32 \times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{d}$), 但是对不同大小饵料的摄食率差异在 3 个站中最大, 对 $10\text{—}25 \mu\text{m}$ 范围内饵料的摄食占整个摄食量的 80%。中华哲水蚤的日摄食碳量分别为 A 站 $1.24 \mu\text{g}/\text{d}$ 、B 站 $2.66 \mu\text{g}/\text{d}$ 和 C 站 $1.89 \mu\text{g}/\text{d}$, 根据调查海区中华哲水蚤体碳平均含量为 $58.4 \mu\text{g}$ (左涛等, 2003)推算, 其日摄食量

分别占体碳含量的2.1%(A站)、4.6%(B站)和3.2%(C站)。

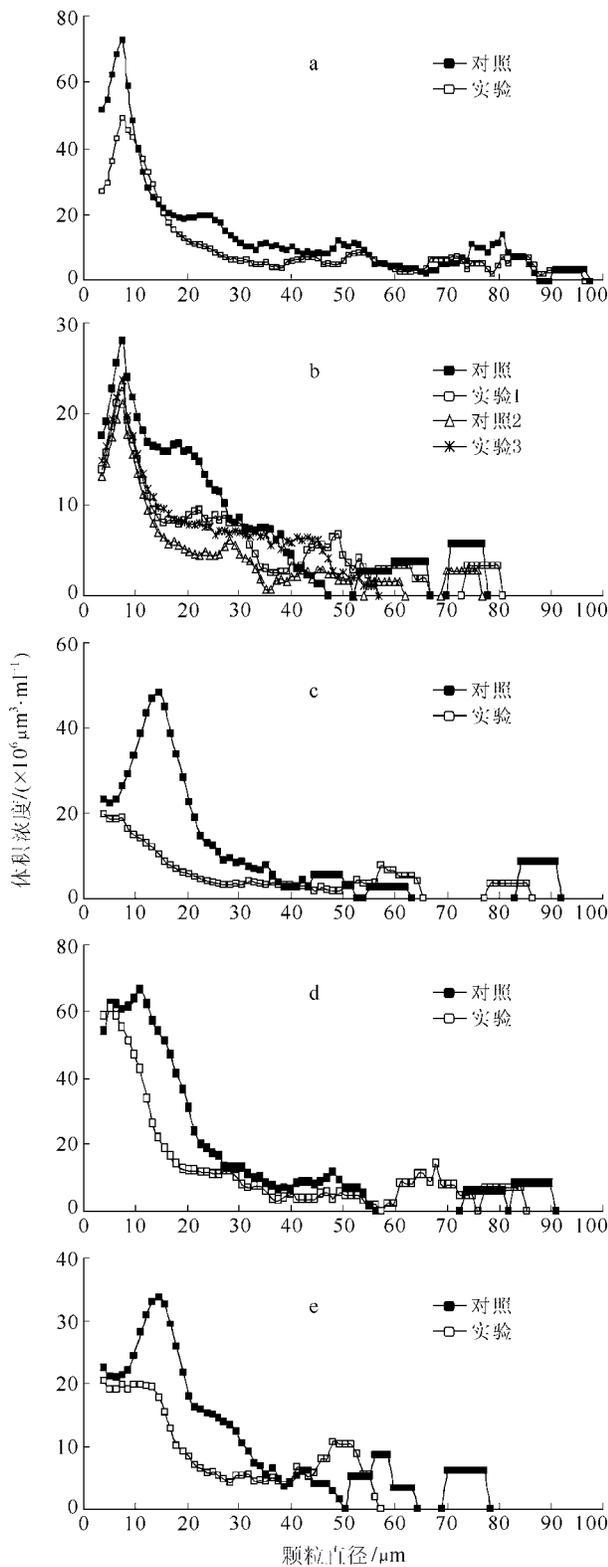


图3 中华哲水蚤摄食试验结果(a. A站; b. B站; c. C站实验1组; d. C站实验2组; e. C站实验3组)

Fig.3 Results of *Calanus sinicus* feeding experiments (a. Station A; b. Station B; c. Experiment-1, Station C; d. Experiment-2, Station C; e. Experiment-3, Station C)

在B站上进行了实验样品数量密度对其摄食率的影响实验, 结果表明, 当实验样品密度为10和20个/L时, 中华哲水蚤的个体摄食率变化不大, 但是当实验样品数上升到40个/L时, 其个体摄食率下降了3/4。

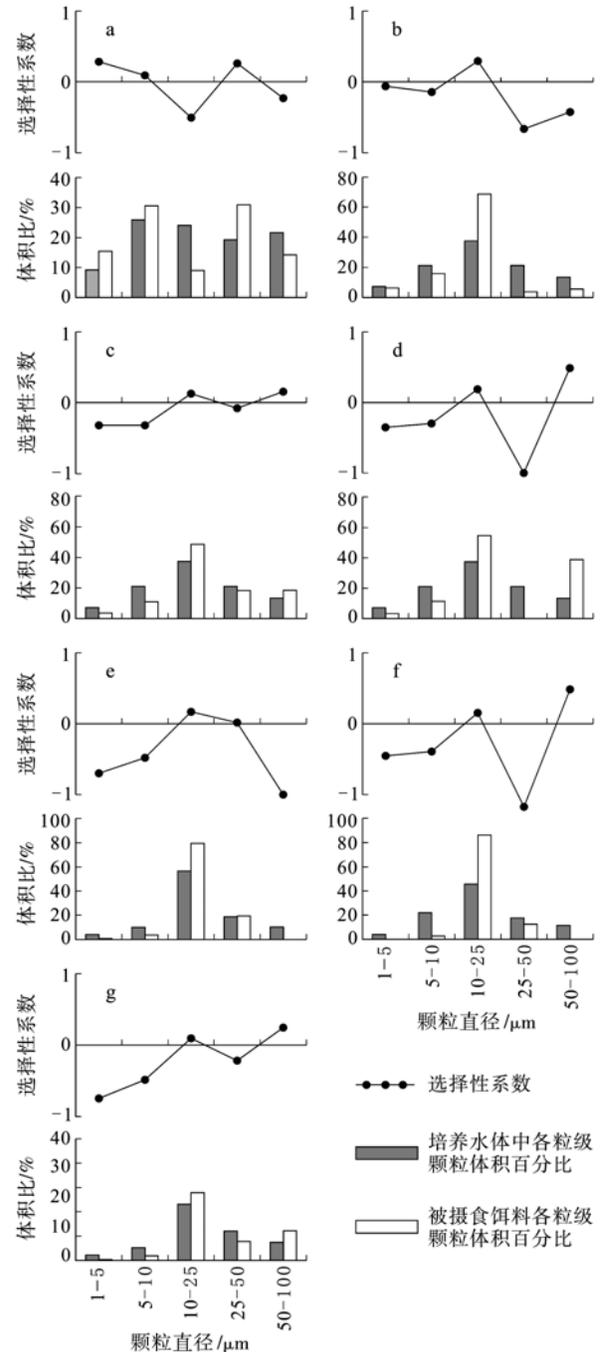


图4 中华哲水蚤摄食选择性系数以及培养水体中和中华哲水蚤摄食的饲料颗粒的粒级结构(a. A站; b. B站实验1组; c. B站实验2组; d. B站实验3组; e. C站实验1组; f. C站实验2组; g. C站实验3组)

Fig.4 Grazing selectivity index of *Calanus sinicus*, and the size spectrum of the particles in seawater and in copepods. (a. Station A; b. Station B Experiment-1; c. Experiment-2, Station B; d. Experiment-3, Station B; e. Experiment-1, Station C; f. Experiment-2, Station C; g. Experiment-3, Station C)

2.3 选择性系数及其饵料浓度的影响

各实验站位饵料颗粒的粒级结构和中华哲水蚤对不同大小饵料颗粒的摄食选择性结果见图 4。A 站 5 个粒级组在整个饵料颗粒中所占比例变化不大, 中华哲水蚤对 1—10 μm 以及 25—50 μm 大小的饵料摄食选择性系数大于 0。B、C 站 10—25 μm 范围内的数量浓度比 1—10 μm 范围内的低, 但是体积浓度远远高于其它粒级组, 中华哲水蚤对于这一大小范围内的饵料摄食选择性较高。

另外, 通过 C 站对不同饵料浓度对中华哲水蚤摄食选择性影响实验结果可以看出(图 4e、f、g), 当饵料浓度降低时, 实验动物对粒径 50—100 μm 的较大饵料的摄食选择性明显升高。

3 讨论

海洋生态系统中摄食者的食物选择性直接决定有机物质流通途径, 而食物颗粒的大小作为影响食物选择性的重要因素之一, 摄食者与其食物之间的大小比例关系一直是海洋生态系统能流研究的重要内容, 同时也是营养动力学模型的重要参数。Hansen 等(1994) 综合已有的关于桡足类摄食选择性实验结果指出, 桡足类与其摄食饵料的最佳大小比例的统计结果为 18:1, 但是自然环境中桡足类摄食的饵料颗粒的粒径范围要大得多, 桡足类与其摄食饵料颗粒的大小比例变化范围可以从 3:1 到 180:1, 通常这一比例小于 65:1。本次实验中实验样品的体长为(2.21 \pm 0.25)mm, 体宽为(0.78 \pm 0.10)mm, 虽然对 1—100 μm 范围内的饵料颗粒均存在不同程度的摄食, 但是主要摄食饵料的粒径范围在 8—30 μm 之间, 二者大小比例大约为 25:1—90:1, 处于已有研究结果的变化范围之内, 略高于 Hansen 等(1994)的最佳大小比例。

桡足类摄食选择性的重要生态学意义在于可以保证其在降低自身能量消耗的同时获取最大的营养。因此除饵料颗粒大小之外, 其数量密度是决定桡足类摄食选择性的又一重要因素。饵料数量密度越大, 可遇性就越高, 桡足类摄食过程所需的能量消耗就越少。但是不同大小的饵料颗粒的碳含量不同, 假若桡足类摄食的颗粒均为浮游植物, 依据 Mullin 等(1966)的公式计算, 本次实验中华哲水蚤从 5 个粒级组摄食同等数量的饵料颗粒, 其获得的平均碳量比例为: 1—5 μm 5—10 μm 10—25 μm 25—50 μm 50—100 μm = 1 13 97 584 2980, 也就是说, 摄食 1 个 50—100 μm 粒级组的浮游植物颗粒所获得的碳量

相当于摄食 2980 个 1—5 μm 组饵料颗粒的水平, 因此摄食较大颗粒将明显提高桡足类的摄食效率。所以, 桡足类通常需要寻求颗粒浓度与大小之间的平衡以获取最大利益。从本次实验结果也验证了这一假设。整体来看, 在所有实验站位上, 中华哲水蚤对体积浓度最大的粒级组的饵料摄食都是正选择性(图 4)。另外从 C 站不同饵料浓度对中华哲水蚤摄食选择性影响实验结果来看, 当饵料维持在较高浓度时, 中华哲水蚤主要摄食体积浓度最大的 10—25 μm 粒级组, 对体积浓度较小的 50—100 μm 粒级组的摄食接近于 0(图 3c、d), 但是当饵料浓度下降后, 中华哲水蚤对 50—100 μm 粒级组的摄食迅速上升(图 3e)。由此可见, 随着饵料浓度的变化, 中华哲水蚤的摄食选择性将发生转换。这一现象在 *Pseudocalanus minutus* 等其他桡足类中同样存在(Poulet, 1973)。由于自然水体中有机物颗粒组成复杂多样, 桡足类的这一摄食转换策略将极大扩展其饵料范围, 大大提高生存能力。另外, 这一摄食策略的进一步生态学意义在于可以保证其饵料来源的相对稳定。当桡足类的摄食压力过大导致某些饵料下降时, 他们会将摄食压力转移到其它饵料, 从而为这一饵料种群的恢复提供条件(Poulet, 1973)。

本次调查结果显示, 中华哲水蚤在不同海区的摄食选择性存在差异, 近岸水域中(A 站)中华哲水蚤摄食的饵料颗粒的粒级组成较为平均, 深水区(B、C 站)中华哲水蚤摄食的饵料颗粒的大小主要集中在 10—25 μm 粒级组。这一差异可能是由于饵料环境的差异以及中华哲水蚤针对不同的饵料环境采取相应的摄食策略造成的。调查期间, 虽然近岸浅水区颗粒物含量高于深水区, 但是颗粒物主要分布在近底层, 而不是叶绿素最大层, 表明泥沙和碎屑等非植物颗粒在其中占较大比例。而深水区颗粒物的最大值区与叶绿素 *a* 的最大值区相吻合, 表明浮游植物是水体中颗粒物的主要贡献者, 并且深水区叶绿素最大层的颗粒数量远远高于近岸浅水区。因此, 对于以植食性为主的中华哲水蚤来说, 处于深水区的 B、C 站的饵料条件优于处于近岸的 A 站。在饵料浓度较低的环境中, 桡足类为获得足够的饵料, 摄食的饵料颗粒粒径范围较大, 摄食选择性不明显, 有时甚至主动增加对大颗粒饵料的摄食以提高摄食效率; 当饵料浓度上升后, 桡足类的摄食选择性逐渐增加, 基于消耗最低能量原则, 倾向于摄

表 2 中华哲水蚤的摄食率
Tab.2 The ingestion rate of *Calanus sinicus*

站位	饵料粒径 (μm)	饵料浓度		个体摄食率 ($\times 10^6 \mu\text{m}^3/\text{d}$)	日摄食碳量 ($\mu\text{g C/d}$)	占体碳 百分比(%)
		颗粒浓度 (个/ml)	体积浓度 ($\times 10^9 \mu\text{m}^3/\text{ml}$)			
A	1—5	2641.3	125	4.00	0.21	2.1
	5—10	2339.4	354	7.13	0.37	
	10—25	204.5	329	1.81	0.09	
	25—50	14.7	263	7.89	0.41	
	50—100	2.1	296	2.99	0.16	
B	1—5	952.6	45	1.50	0.08	4.6
	5—10	815.9	134	4.48	0.23	
	10—25	132.6	238	26.49	1.38	
	25—50	8.4	134	8.26	0.43	
	50—100	0.6	85	10.43	0.54	
C	1—5	614.8	32	0.18	0.01	3.2
	5—10	448.2	79	0.83	0.04	
	10—25	284.6	442	28.97	1.51	
	25—50	8.1	146	6.08	0.32	
	50—100	0.3	81	0.26	0.01	

食有效粒径范围内体积浓度最大的饵料颗粒 (Poulet, 1973, Frost, 1977)。

黄海中华哲水蚤种群变动的一个主要特征就是春季数量高值区位于近岸水域, 但是夏季近岸种群几乎完全消失, 度夏种群主要位于深水区的黄海冷水团中(Li *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2003)。一般认为, 近岸水温的迅速升高是导致当地中华哲水蚤种群消失的可能原因之一, 但是近岸种群的饵料环境、自身生理变化等方面因素在其中的作用尚不清楚。本次调查正处于初夏季节, 近岸水域中华哲水蚤的种群数量上保持在一定的水平, 但是从本次调查结果可以看出, 虽然位于近岸的 A 站水体中的颗粒浓度远远高于其它两站, 但是对于中华哲水蚤来说其饵料环境劣于 B、C 站。即使假设所有饵料颗粒都是浮游植物, A 站上中华哲水蚤的摄食率也低于 B、C 站(表 2)。从图 4 也可以看出, A 站上中华哲水蚤从不同大小粒级组摄食的饵料浓度比例较为平均, 说明其处于饵料受限环境中, 单一粒级组的饵料数量难以满足其营养需求, 其需要扩大摄食饵料的粒径范围以获取更多营养物质。因此与位于深水区的种群相比, 近岸种群的从外界获取的营养物质处于较低水平。另外 A 站底层温度高于 20°C , 表层水温已

经接近 26°C , 接近其生理极限, 自身消耗势必极大。因此从能量收支角度上讲, A 站上中华哲水蚤种群的生存状态大大劣于 B、C 站。这也可能是导致黄海中华哲水蚤近岸种群消亡的重要原因之一。

参 考 文 献

- 孙 松, 王 荣, 张光涛等, 2005. 黄海中华哲水蚤度夏机制初探. 海洋与湖沼 36(增): 92—99
- 左 涛, 王 克, 李超伦, 2003. 南黄海中华哲水蚤体长-干重的关系. 水产学报, 27(增): 103—107
- Butler N M, Suttle C A, Neill W E, 1989. Discrimination by fresh-water zooplankton between single algal cells differing in nutritional status. *Oecologia*, 78: 368—372
- Cowles T J, Olson R J, Chisholm S W, 1988. Food selection by copepods: discrimination on the basis of food quality. *Mar Biol*, 100: 41—49
- Fiedler P C, 1982. Zooplankton avoidance and reduced grazing responses to *Gymnodinium splendens* (Dinophyceae). *Limnol Oceanogr*, 27: 961—965
- Frost B W, 1972. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. *Limnol Oceanogr*, 17: 805—815
- Frost B W, 1977. Feeding behavior of *Calanus pacificus* in mixtures of food particles. *Limnol Oceanogr*, 22: 472—491
- Gill C W, Poulet S A, 1988. Responses of copepods to dissolved free amino acids. *Mar Ecol Prog Ser*, 43: 269—

- 276
- Hansen B, bjørnsen P K, Hansen P J, 1994. The size ration between planktonic predators and their prey. *Limnol Oceanogr*, 39(2): 395—403
- Houde S L, Roman M R, 1987. Effects of food quality on the functional ingestion response of the copepod *Acartia tonsa*. *Mar Ecol Prog Ser*, 40: 69—77
- Huntley M E, Sykes P, Rohan S, Marin V, 1986. Chemically-mediated rejection of dinoflagellate prey by the copepods *Calanus pacificus* and *Paracalanus parvus*: mechanism, occurrence and significance. *Mar Ecol Prog Ser*, 28: 105—120
- Li C L, Sun S, Wang R, Wang X G, 2004. Feeding and respiration rates of a planktonic copepod (*Calanus sinicus*) overwintering in Yellow Sea Cold Bottom Waters. *Mar Biol*, 145: 149—157
- Mullin M M, Aloia P R, Eppley R W, 1966. Relationship between carbon content, cell volume, and area in phytoplankton. *Limnol Oceanogr*, 11(2): 307—311
- Paffenhofer G-A, Van Sant K B, 1985. The feeding response of a marine planktonic copepod to quantity and quality of particles. *Mar Ecol Prog Ser*, 27: 55—65
- Poulet S A, 1973. Grazing of *Pseudocalanus minutus* on naturally occurring particulate matter. *Limnol Oceanogr*, 18(4): 564—573
- Poulet S A, Ouellet G, 1982. The role of amino acids in the chemosensory swarming and feeding of marine copepods. *J Plankton Res*, 4: 341—361
- Shumway S E, Cucci T L, Nowell R C *et al*, 1985. Particle selection, ingestion, and absorption in filter-feeding bivalves. *J exp mar Biol Ecol*, 91: 77—92
- Turiff N, Runge J A, Cembella A D, 1995. Toxin accumulation and feeding behaviour of the planktonic copepod *Calanus finmarchicus* exposed to the red-tide dinoflagellate *Alexandrium excavatum*. *Mar Biol*, 123: 55—64
- Ward J E, Cassell H R, MacDonald B A, 1992. Chemoreception in the sea scallop *Placopectin magellanicus* (Gmelin). I. Stimulatory effects of phytoplankton metabolites on clearance and ingestion rates. *J exp mar Biol Ecol*, 163: 235—250
- Wang R, Zuo T, Wang K, 2003. The Yellow Sea Cold Bottom Water— an overwintering site for *Calanus sinicus* (Copepoda, Crustacea). *J Plankton Res*, 25: 169—183

AN EXPERIMENTAL STUDY ON GRAZING SELECTIVITY OF *CALANUS SINICUS* TO NATURAL FOOD PARTICLES

LI Chao-Lun, SUN Song, WANG Rong

(Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract An investigation on grazing selectivity of *Calanus sinicus*, the ecological strategy in a natural environment, and *in situ* selective grazing on natural food particles was performed in the Yellow Sea in summer (July) 2002 with the aid of Coulter Counter. During the period, a seasonal thermocline existed, the chlorophyll-*a* concentration ranged 0.23—1.44 mg m⁻³, and the maximum value occurred at the bottom of the thermocline. The horizontal distribution of particle concentration in shore (Station A: 0.5—5.2 × 10⁶ μm³/ml) was higher than those in deep-water areas (Station B: 0.3—0.7 × 10⁶ μm³/ml; Station C: 0.9—2.4 × 10⁶ μm³/ml), while in vertical direction, in Stations A and B, the maximum particle concentration occurred in the bottom, whereas the maximum co-occurred in the maximum chlorophyll-*a* layer. *C. sinicus* was able to consume particles between 1 and 100 μm, mostly between 5 and 50 μm. Both particle size and concentration influenced the grazing selectivity of the copepod. The individual ingestion rate was 23.82 × 10⁶ in Station A (nearshore), 51.16 × 10⁶ in Station B (the northern area), and 36.32 × 10⁶ in Station C (the southern area) in unit of μm³ per day, taking 2.1%, 4.6% and 3.2% of body carbon per day, respectively. No obvious difference in proportion of different size groups to the total particles taken by *C. sinicus* at station A, while at deeper stations B and C, however, the grazing was greater on particles in size between 20 and 25 μm. The grazing selectivity was strongly related to the volume concentration of food particles. If food concentration decreases, *C. sinicus* would be able to extend its food size spectrum, increasing its grazing pressure on the large particles to obtain more nutrition.

Key words *Calanus sinicus*, Grazing selectivity, The Yellow Sea