

渤海中华哲水蚤摄食的初步研究*

杨纪明

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

摘要 于1992年8月—1993年6月期间, 在渤海进行渔业资源增殖生态基础调查, 用大型浮游生物网采取浮游动物样品, 从中取出400个消化道内含有食物的中华哲水蚤标本。分析结果表明: 中华哲水蚤营浮游植物食性, 主要摄食硅藻类(占其食物组成的94.6%), 辐射圆筛藻、偏心圆筛藻、未查明的圆筛藻和星脐圆筛藻是它的主要摄食对象, 合计占89.2%; 此外, 也摄食少量的甲藻类、金藻类和纤毛虫类, 它在渤海所摄食的食物类群, 季节变化不大, 食物类群更替率各季平均为13.7%, 4季都以硅藻类为主; 所摄食的食物种类有明显的季节变化, 食物种类更替率各季平均达50.5%; 摄食强度秋季最高, 春季居第二位, 冬季居第三位, 夏季最低, 这与环境中圆筛藻属生物量的季节变化趋势相一致; 对环境中饵料浮游植物有明显的选择性, 集中摄食其中个体较大而且容易获得的优势种类——圆筛藻; 在浮游动物里存在着捕食性种类的摄食强度远高于滤食性种类的现象。

关键词 渤海 中华哲水蚤 摄食 季节变化

中华哲水蚤是渤海和黄海浮游动物中的一个优势种(肖贻昌, 1979), 白雪娥(1963)¹⁾、李军(1990)、杨纪明等(1966)²⁾、林景祺等(1980)的初步研究表明, 它是许多中上层鱼类的特别是幼鱼的重要饵料。在它所分布的水域中支撑着相当一部分经济生产力发生的动态过程。那末哪些生物又在支撑着中华哲水蚤呢? 关于渤海中华哲水蚤食性的研究, 尚未见有专题报道。本文根据一周年中4个季度月的样品, 对渤海中华哲水蚤的摄食习性作一分析, 以期对渤海生物生产过程的阐明, 提供一项依据。

1 材料和方法

所用的中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)标本, 于1992年8月(夏季)、10月(秋季)和1993年2月(冬季)、5—6月上旬(春季)在渤海用大型浮游生物网(GG36筛绢, 网口直径80cm, 长270cm)进行浮游动物和鱼卵、仔鱼大面积(118°00′—122°00′ E, 37°10′—40°50′ N)调查时垂直拖取采获的。起网后当场把这些样品放入5%福尔马林溶液中固定保存。

通过消化道内食物分析方法, 来揭示中华哲水蚤的食性特征。进行消化道内含物分

* 国家自然科学基金资助项目, 39270541号。杨纪明, 男, 出生于1931年12月, 教授。

1) 白雪娥, 1963, 太平洋西部渔业研究委员会第八次全体会议论文集, 16—31。(全文同)

2) 杨纪明等, 1966, 太平洋西部渔业研究委员会第七次全体会议论文集, 10—25。(全文同)

收稿日期: 1995年12月29日, 接受日期: 1996年4月23日。

析时, 将中华哲水蚤样品置于载玻片上, 滴上少量饱和次氯酸钠溶液, 3—5min 后, 蚤体呈现透明状态, 然后把盖玻片压在蚤体消化道部位上方, 轻轻敲击盖玻片, 再移至显微镜下观察。首先辨明消化道内含有食物与否。如有, 则为实消化道, 进而作食物种类的鉴定, 并分别计数; 如无, 则作空消化道丢弃处理。通过大量中华哲水蚤样品观察, 发现空消化道很多。本文获得含有食物的消化道样品为 400 个, 即 1992 年 8 月 100 个, 10 月 100 个, 1993 年 2 月 100 个, 5—6 月上旬 100 个, 全部用于鉴定和计数。此外还测定了渤海一些单细胞藻类和原生动物的个体重量, 供消化道内相应种类的个体数换算成重量之用。中华哲水蚤所吃硅藻类的重量是根据白雪娥(1963)的资料换算的。有关数据处理应用以下公式(杨纪明等, 1962)计算:

$$\text{重量百分比}(\%) = (\text{该成分的更正重量} / \text{食物总更正重量}) \times 100$$

$$\text{出现频率}(\%) = (\text{含有该成分的消化道数} / \text{总实消化道数}) \times 100$$

$$\text{更替率}(\%) = \frac{\text{增补率}(\%) + \text{减失率}(\%)}{2}, \text{ 或 } 1 - \text{相同率}(\%)$$

$$\text{增补率}(\%) = \text{新增种类的重量百分比} + \text{原有种类所增加的重量百分比}$$

$$\text{减失率}(\%) = \text{消失种类的重量百分比} + \text{原有种类所减少的重量百分比}$$

$$\text{相同率}(\%) \text{ 为两份样品中相同种类的重量百分比相同值的总和。}$$

2 研究结果

2.1 食物组成

渤海中华哲水蚤消化道内含物计有 25 种, 包括了浮游植物和原生动物(纤毛虫类)两大类, 前者居绝对优势, 占 98.6%(重量); 后者只占 1.4%。在它摄食的浮游植物中有 3 个类群, 即硅藻类、甲藻类和金藻类。硅藻类占食物组成(重量)的 94.6%, 而甲藻类和金藻类分别只占 3.8% 和 0.2%, 显然硅藻类是中华哲水蚤的主要食物。它所摄食的硅藻类, 计有 20 种, 其中辐射圆筛藻、偏心圆筛藻、未查明的圆筛藻和星脐圆筛藻合计占中华哲水蚤食物组成的 89.2%; 其次是中心圆筛藻、细弱圆筛藻和布氏双尾藻, 分别占 1.9%、1.5% 和 1.0%; 其他硅藻则都在 1% 以下。见表 1。

渤海中华哲水蚤所摄食的甲藻类, 计 3 种, 有三角角藻, 占食物组成的 2.1%; 多甲藻, 占 1.6%; 翅甲藻, 占 0.1%。所摄食的金藻类为四角网骨藻一种, 占食物组成的 0.2%。所摄食的纤毛虫类为拟铃虫一种, 占食物组成的 1.4%。

由上可见, 中华哲水蚤营浮游植物食性, 主要摄食硅藻类, 辐射圆筛藻、偏心圆筛藻、未查明的圆筛藻和星脐圆筛藻是它的主要摄食对象。此外, 它也摄食很少量的甲藻类、金藻类和纤毛虫类。

2.2 食物组成季节变化

渤海中华哲水蚤所摄食的食物类群, 虽有一定的季节变化, 但变化不大, 食物类群更替率各季平均为 13.7%, 最高为 27.3%(夏季), 四季都以硅藻类为主。硅藻类在它的食物组成中所占的比例, 各个季节都在 70% 以上, 春季为 99.4%, 夏季为 72.1%, 秋季为 94.7%, 冬季为 99.2%。然而中华哲水蚤摄食的食物种类, 则有明显的季节变化。食物种类更替率各季平均达到 50.5%, 夏季最高, 达 78.3%。各种类在食物组中的变化如下: 主要摄食对象辐射圆筛藻在食物组成中所占的比例, 春季为 40.0%, 夏季降至 15.8%,

表1 渤海中华哲水蚤食物组成(四季平均)

Tab.1 Food composition of the Bohai Sea *Calanus sinicus* (mean of four seasons)

食物名称	重量(ng) (100个消化道内)	重量百分比 (%)	一个消化道内 最多个数
硅藻类 波状辐刺藻(<i>Actinopteryx undulatus</i>)	171.2	0.5	5
星脐圆筛藻(<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>)	3 412.5	10.2	4
中心圆筛藻(<i>C. centralis</i>)	633.8	1.9	1
偏心圆筛藻(<i>C. excentricus</i>)	8 238.8	24.8	5
线形圆筛藻(<i>C. lineatus</i>)	66.0	0.2	4
辐射圆筛藻(<i>C. radiatus</i>)	12 810.0	38.5	6
细弱圆筛藻(<i>C. subtilis</i>)	495.0	1.5	1
未查明的圆筛藻(<i>Coscinodiscus</i> sp.)	5 232.0	15.7	4
布氏双尾藻(<i>Ditylum brightwellii</i>)	330.0	1.0	1
峰腰双壁藻(<i>Diploneis bombus</i>)	0.1	+	1
具槽直链藻(<i>Melosira sulcata</i>)	83.7	0.3	44
舟形藻(<i>Navicula</i> sp.)	4.1	+	2
新月菱形藻(<i>Nitzschia closterium</i>)	0.3	+	2
奇异菱形藻(<i>N. paradoxa</i>)	3.9	+	12
尖刺菱形藻(<i>N. pungens</i>)	1.2	+	1
曲舟藻(<i>Pleurosigma</i> sp.)	12.0	+	1
刚毛根管藻(<i>Rhizosolenia setigera</i>)	6.0	+	1
印度翼根管藻(<i>R. alata</i> f. <i>indica</i>)	1.2	+	1
菱形海线藻(<i>Thalassionema nitzschioides</i>)	4.0	+	2
佛氏海毛藻(<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>)	0.3	+	1
甲藻类 三角角藻(<i>Ceratium tripos</i>)	701.4	2.1	2
多甲藻(<i>Poridinium</i> sp.)	525.0	1.6	3
翅甲藻(<i>Dinophysis</i> sp.)	24.0	0.1	1
金藻类 四角网骨藻(<i>Dictyocha fibula</i>)	51.3	0.2	2
纤毛虫类 拟铃虫(<i>Tintinnopsis</i> sp.)	470	1.4	1
合计	33 277.8	100.0	

+ 表示重量百分比不足0.1%(下同)。

秋季回升到 27.6%，冬季则达到全年的最高峰，为 63.5%；偏心圆筛藻在食物组成中所占的比例，春季最高达 48.2%，夏季降为 0，秋季升至 16.0%，冬季再升至 20.9%；未查明的圆筛藻在食物组成中所占的比例，春季为 0，夏季取代辐射圆筛藻，占到 49.2%，秋季降至 26.8%，冬季更降到 2.8%；星脐圆筛藻在食物组成中所占的比例，春、夏分别为 4.7% 和 6.4%，秋季升到 18.7%，冬季降到 5.7%。再如它的次要摄食对象布氏双尾藻在食物组成中所占的比例，春季为 3.4%，夏、秋、冬三季均为 0；中心圆筛藻的，春季为 1.5%，夏季为 0，秋季为 0.4%，冬季升至 5.5%。

甲藻类中各种类在中华哲水蚤食物组成中所占比例, 也有明显的季节变化。如多甲藻, 春季为 0.6%, 夏季升至 10.2%(成为季节性重要摄食对象), 秋季降至 0.7%, 冬季只占 0.2%(见表 2、表 3)。

表2 渤海中华哲水蚤摄食强度和食物组成的季节变化

Tab.2 Seasonal changes of feeding intensity and food composition of the Bohai Sea *Calanus sinicus*

食物名称	重量(ng) (100个消化道内)				重量百分比(%)			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
硅藻类 波状辐柄藻	358.6	32.6	260.8	32.6	0.9	0.2	0.5	0.1
星脐圆筛藻	1 820.0	910.0	9 100.0	1 820.0	4.7	6.4	18.7	5.7
中心圆筛藻	585.0		195.0	1 755.0	1.5		0.4	5.5
偏心圆筛藻	18 525.0		7 800.0	6 630.0	48.2		16.0	20.9
线形圆筛藻	33.0		198.0	33.0	0.1		0.4	0.1
辐射圆筛藻	15 400.0	2 240.0	13 440.0	20 160.0	40.0	15.8	27.6	63.5
细弱圆筛藻			1 980.0				4.1	
未查明的圆筛藻		6 976.0	13 080.0	872.0		49.2	26.8	2.8
布氏双尾藻	1 320.0				3.4			
蜂腰双壁藻				0.31				+
具槽直链藻	139.5	45.0	17.1	133.3	0.4	0.3	0.1	0.4
舟形藻	5.0	4.1	0.6	6.8	+	+	+	+
新月菱形藻	0.4			0.6	+			+
奇异菱形藻			15.4				0.1	
尖刺菱形藻			4.9				+	
曲舟藻	27.2	10.3		10.3	0.1	0.1		0.1
刚毛根管藻	7.2			16.8	0.1			0.1
印度翼根管藻				4.8				+
菱形海线藻		10.6	5.3			0.1	+	
佛氏海毛藻			1.3				+	
(硅藻类合计)					(99.4)	(72.1)	(94.7)	(99.2)
甲藻类 三角角藻		1 703.4	901.8	200.4		12.0	1.8	0.6
多甲藻	240.0	1 440.0	360.0	60.0	0.6	10.2	0.7	0.2
翅甲藻		96.0				0.7		
金藻类 四角网骨藻		140.0	65.0			1.0	0.1	
纤毛虫类 拟铃虫		564.0	1 316.0			4.0	2.7	
合计	38 460.9	14 172.0	48 741.2	31 735.9	100.0	100.0	100.0	100.0
食物类群更替率(%) (平均13.7)					0.2	27.3	22.6	4.5
食物种类更替率(%) (平均50.5)					31.9	78.3	45.4	46.4

表3 渤海中华哲水蚤食物的出现频率和个数

Tab.3 Occurrence frequencies and numbers of individuals in the food of the Bohai Sea *Calanus sinicus*

食物名称	出现频率(%)					个数(100个消化道内)				
	春	夏	秋	冬	平均	春	夏	秋	冬	平均
硅藻类 波状辐衲藻	10	1	5	1	4.25	11	1	8	1	5.3
星脐圆筛藻	1	1	8	2	3.00	2	1	10	2	3.8
中心圆筛藻	3		1	9	3.25	3		1	9	3.3
偏心圆筛藻	59		31	21	27.75	95		40	34	42.3
线形圆筛藻	1		3	1	1.25	1		6	1	2.0
辐射圆筛藻	46	8	28	57	34.75	55	8	48	72	45.8
细弱圆筛藻			2		0.50			2		0.5
未查明的圆筛藻		31	51	3	21.25		32	60	4	24.2
布氏双尾藻	6		9		3.75	6		9		3.8
峰腰双壁藻				1	0.25				1	0.3
具槽直链藻	11	3	2	11	6.75	90	29	11	86	54.0
舟形藻	14	13	2	21	12.50	16	13	2	22	13.3
新月菱形藻	4			5	2.25	4			6	2.5
奇异菱形藻			1		0.25			12		3.0
尖刺菱形藻			1		0.25			1		0.3
曲舟藻	8	3		3	3.50	8	3		3	3.5
刚毛根管藻	3			7	2.50	3			7	2.5
印度翼根管藻				1	0.25				1	0.3
菱形海线藻		3	2		1.25		4	2		1.5
佛氏海毛藻			1		0.25			1		0.3
甲藻类 三角角藻		16	8	2	6.50		17	9	2	7.0
多甲藻	4	22	6	1	8.25	4	24	6	1	8.8
翅甲藻		2			0.50		2			0.5
金藻类 四角网骨藻		26	12		9.50		28	13		10.3
纤毛虫类 拟铃虫		3	7		2.50		3	7		2.5
合计						298	165	248	252	241.4

2.3 摄食强度及其季节变化

由表1可知,渤海中华哲水蚤100个消化道内食物含量(重量)四季平均值为33 277.8ng即平均每个为332.78ng(0.33 μ g),相当于它们平均体重(434 μ g)(白雪娥,1963)的0.08%,说明其消化道残留的食物很少。所残留的食物个体数即硅藻类、甲藻类、金藻类和纤毛虫类个体数,少的为1个,多的为5个;奇异菱形藻,12个;具槽直链藻最多,可达44个,说明中华哲水蚤对这些饵料是可以连续摄食的。由表2可知,渤海中华哲水蚤100个消化道内食物含量平均值春季为38 460.9ng,即平均每个为384.6ng;夏季降至141.7ng,为一年中最低时期;秋季升到487.4ng,进入全年的高峰期;

冬季下降到 317.4ng。可见中华哲水蚤在秋季摄食强度最高, 春季居第二位, 冬季居第三位, 夏季则最低。

3 结论与讨论

3.1 中华哲水蚤营浮游植物食性, 主要摄食硅藻类(占其食物组成的 94.6%), 辐射圆筛藻、偏心圆筛藻、未查明的圆筛藻和星脐圆筛藻是它的主要摄食对象, 合计占 89.2%; 此外, 它也摄食很少量的甲藻类、金藻类和纤毛虫类; 它在渤海所摄食的食物类群, 虽有一定的季节变化, 但变化不大, 食物类群更替率各季平均为 13.7%, 四季都以硅藻类为主; 它所摄食的食物种类, 则有明显的季节变化, 食物种类更替率各季平均达 50.5%; 它的摄食强度秋季最高, 春季居第二位, 冬季居第三位, 夏季最低。

3.2 中华哲水蚤对环境中的饵料浮游植物, 有明显的选择性。它们集中摄食其中个体较大而且容易获得的优势种类——圆筛藻。康元德(1991)报道, 渤海浮游植物有 6 个优势种属都属硅藻类即中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、具槽直链藻、尖刺菱形藻、日本星杆藻(*Asterionella japonica*)、角毛藻属(*Chaetoceros*)和圆筛藻属, 它们构成了中华哲水蚤栖息环境中的优势饵料生物群。本研究表明, 渤海中华哲水蚤虽然主要摄食硅藻类, 但却集中摄食其中的圆筛藻属。圆筛藻属在中华哲水蚤食物组成中所占的比例, 四季平均达 92.8%。中华哲水蚤对硅藻类中其他 5 个优势种属, 摄食甚少(摄食得最多的仅占其食物组成的 0.3%), 甚至不摄食。

3.3 中华哲水蚤对圆筛藻属摄食强度的季节变化与水域环境中的圆筛藻属的生物量的季节变化趋势相一致。康元德(1991)报道, 1959, 1960 和 1982—1983 年渤海圆筛藻数量季节变化均出现春、秋两个高峰期, 而且秋季(10 月)出现的数量比春季(5 月)高。本研究表明, 渤海中华哲水蚤的摄食强度也呈现类似的趋势。为进一步阐明这种关系, 这里把康元德 1982—1983 年渤海的圆筛藻数, 以其个体平均重量(0.218 μg)折算成生物量, 得出渤海圆筛藻属生物量秋季最高, 达 7.50 $\mu\text{g} / \text{m}^3$; 春季居第二位, 为 5.28 $\mu\text{g} / \text{m}^3$; 冬季居第三位, 为 2.55 $\mu\text{g} / \text{m}^3$; 夏季则最低, 只有 2.29 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ 。由表 2 可知, 中华哲水蚤平均每个消化道内圆筛藻含量(重量)也是秋季最高(0.46 μg), 春季居第二位(0.36 μg), 冬季居第三位(0.31 μg), 夏季也最低(0.10 μg)。由于中华哲水蚤主要摄食圆筛藻属(占食物组成的 91.3%), 所以也可以认为中华哲水蚤摄食强度的季节变化与环境圆筛藻属生物量季节变化趋势相一致。

3.4 本研究表明, 渤海中华哲水蚤消化道内食物含量四季平均值约占其平均体重的 0.08%。这与杨纪明等(1995)指出的渤海强壮箭虫消化道内食物含量(0.21mg)相当于它们平均体重(1.3mg)的 16% 左右截然不同。中华哲水蚤的摄食方式为滤食性(郑重等, 1984), 而强壮箭虫为捕食性(杨纪明等, 1995)。可见, 在浮游动物里存在着捕食性种类的摄食强度远高于滤食性种类的现象。

参 考 文 献

- 肖贻昌, 1979, 海洋湖沼通报, 2: 51—58。
李军, 1990, 海洋科学集刊, 31: 93—107。
杨纪明、郑严, 1962, 海洋科学集刊, 2: 14—30。

杨纪明、李军, 1995, 海洋科学, 6: 38—42.

林景祺、杨纪明, 1980, 海洋水产研究, 1: 1—15.

郑重、李少菁等, 1984, 海洋浮游生物学, 海洋出版社(北京), 1—653.

康元德, 1991, 海洋水产研究, 12: 54.

PRIMARY STUDY ON THE FEEDING OF THE BOHAI SEA *CALANUS SINICUS*

Yang Jiming

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

Abstract An attempt at marine ranching in the Bohai Sea was recently initiated in China. Investigations into the interspecific relationships and ecological mechanism are necessary to make this attempt successful. *Calanus sinicus* is a dominant species in the zooplankton of the Yellow Sea and Bohai Sea and is an important food for pelagic fishes (especially their fingerlings) over these areas.

Four-hundred *Calanus sinicus* specimens with food in their alimentary canals were collected in August (Summer, 100 specimens), October (Autumn, 100 specimens) 1992 and February (Winter, 100 specimens) and May—early June (Spring, 100 specimens) 1993, using a vertical haul with a big plankton net (GG 36 mesh, diameter of the net 80cm, length of the net 260cm) during the fundamental ecological survey for fishery resource enhancement in the Bohai Sea.

Analysis of the alimentary canal contents of the specimens showed that this species is phytoplanktonivorous, and feeds mainly on diatoms, which occupy 94.6% in its food composition. *Coscinodiscus radiatus*, *Coscinodiscus excentricus*, *Coscinodiscus* sp. and *Coscinodiscus asteromphalus* are its main prey, occupying 89.2% in its total diet. Although the *Calanus sinicus* food organism group has certain seasonal variations, it is not very significant. The mean food group replacement rate is only 13.7%. But its food species has clear seasonal changes. The mean food species replacement rate reaches 50.5%. A seasonally decreasing (autumn > spring > winter > summer) pattern of the feeding intensity of *Calanus sinicus* accords with the seasonal change in the biomass of *Coscinodiscus* in the environment. *Calanus sinicus* apparently prefers to feeding on the most dominant and easily available phytoplankton—*Coscinodiscus*. A notable phenomenon among the zooplankton is that the feeding intensity of predatory species is much higher than that of filter-feeding species.

Key words Bohai Sea *Calanus sinicus* Feeding Seasonal changes