

中华哲水蚤的繁殖、性比率和 个体大小的研究*

陈清潮

(中国科学院海洋研究所)

哲水蚤(*Calanus*)为我国近海浮游桡足类中的优势种,不但数量多、分布广,并且个体也较大;在探讨我国海洋浮游生物数量变动时,必须重视这种桡足类的生态学研究。

过去,有不少学者在桡足类的个体生态学方面做过很多工作,特别是对飞马哲水蚤 [*Calanus finmarchicus* (Gunn.)] 的研究最为详尽(Marshall & Orr 1955)。这些研究不论在理论上或生产实践上都具有重要意义。

在我国海洋浮游生物学文献中,到目前还未见到有关桡足类的个体生态学的研究论文。本文对中华哲水蚤 (*Calanus sinicus* Brodsky) 的繁殖、性比率和体长的季节变化等问题进行初步研究,作为对这种桡足类个体生态学研究的开端。

一、材料与方 法

本文系根据最近几年来在我国近海调查所获的材料写成。样品系采自渤海(2站)、北黄海(3站)、南黄海(5站)、东海近海(30°N以北4站,30°N以南4站)、南海近海(粤东3站、粤西3站)。采集工具是用大型圆锥网(口径80厘米、长度270厘米、网目15个/厘米)和中网(修改后的Judy网,上、中环口径各为50、72厘米,长度270厘米,网目35个/厘米)。标本是在各海区按月定点进行由底到表的垂直拖网采集的,全部保存在5%福尔马林溶液中。

形态研究包括测量头胸部及腹部的长、宽比例,雌性生殖节纳精囊的斜角,观察大颚的结构,并依次解剖雌、雄的第五对胸足,计算其基节内缘的齿数,以及观察雄性左足的构造和其他有关种类鉴定的形态特征。

生态研究包括在大网样品中计算IV期桡足幼体至成体的数量,以及成体的雌、雄性别和测量它们的体长。在中网的样品中计算卵、无节幼体至III期桡足幼体的数量。全部分析浮游生物样品542个,测量雌、雄成体标本数共达15,000个左右。

二、本种与近似种的比较

据调查,栖息于我国近海的哲水蚤只有一种。但长期以来,一些学者对该种名称的鉴定还不一致,存在着相当混乱的情况,早在1888年,Giesbrecht曾记载过香港有飞马哲水

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第268号;本文曾于1962年11月在广州由全国动物学会召开的动物生态及分类区系专业学术讨论会上宣读,会后略有补充修改。
本文承郑重、刘端玉、郑执中教授热心指导,章淑珍、朱长寿两位同志参加部分工作,借此表示衷心谢忱。

蚤；Sproston (1949) 记录了浙江舟山水域有飞馬哲水蚤的分布；Ekman (1953) 提过飞馬哲水蚤分布到中国海。而日本学者 Mori (1937), Chiba (1952), Enomoto (1963) 等，则将黄、东海哲水蚤訂名为海哥兰哲水蚤 [*Calanus helgolandicus* (Claus)], 郑重曾引用过张松踪(未发表)鉴定的海哥兰哲水蚤的记录^[3]，实际上这些记录所指出的都是同一个种。1948年，Бродский 将这种哲水蚤定名为太平洋哲水蚤 (*Calanus pacificus* Brodsky) 新种，并指出它在形态上与飞馬哲水蚤和海哥兰哲水蚤的区别。至此，中国海哲水蚤的种名问题才逐渐明朗。以后，我国多数学者也沿用了太平洋哲水蚤这个种名^[1,4]。随着海洋调查范围的扩展和资料的逐步充实，Бродский 于1959年指出太平洋哲水蚤种内有：*Calanus pacificus* var. *japonicus* Brodsky、*C. pacificus* var. *oceanicus* Brodsky 和分布在青島邻近水域的 *C. pacificus* Brodsky var. (未列出变种名)。1962年，他将 *C. pacificus* var. *oceanicus* Brodsky 改为 *C. pacificus oceanicus* Brodsky，将 *Calanus pacificus* var. *japonicus* Brodsky 改为 *C. pacificus pacificus* Brodsky，将分布在美洲西部的太平洋哲水蚤訂为 *Calanus pacificus californicus* Brodsky，即太平洋哲水蚤种内共包括三个不同的地理亚种。同时，他将分布在亚洲沿岸的太平洋哲水蚤分为独立的新种——*Calanus sinicus* Brodsky，并指出这新种与太平洋哲水蚤之间没有中间过渡类型存在。1963年，李少菁根据对我国沿海哲水蚤标本所作的形态比较，仍确定该种是太平洋哲水蚤，同时也提到它的形态与分布在日本海的太平洋哲水蚤有显著差异，可能在我国海区的太平洋哲水蚤是个变种(目前橈足类很少用变种名)。到底在我国海域内的哲水蚤是属于太平洋哲水蚤种内的亚种，或者为独立的种？为此，作者对我国各水域的大量标本作了形态观察，提出以下结果。

中国近海哲水蚤的主要形态特点是，雌性：体长 2.5—3.5 毫米。额部前端突出；末胸节的后侧角短而钝圆；生殖节腹突较明显，纳精囊斜角为 140—178°；第 1 触角与身体等长或稍长过尾叉 2 节；通常大颚咀嚼缘第 1 腹齿具 3—4 个峰的齿冠，第 2 腹齿退化，仅为小乳突状；第 5 对胸足第 1 基节的内缘具齿 14—30 枚，齿线的曲线位于远端 1/3—2/5 处。雄性：体长 2.4—3.5 毫米；头胸部的形状与雌性相似，但在头节背面中央末端的小突起，较雌性明显；第 5 对胸足的第 1 基节的内缘具齿 11—27 枚，通常左足内肢的长度与外肢第 1 节相等，外肢第 1、2 节的长、宽比例分别为 2.3:1—4.2:1, 2.8:1—5.1:1。

作者比较了我国海区的哲水蚤与 Бродский^[10,11,21] 所描述的 *Calanus pacificus* Brodsky 和 *Calanus sinicus* Brodsky 的主要形态(表 1)，结果表明我国各海区的哲水蚤是属于同一种，其主要形态(如额部前端的形状，纳精囊的斜角等等)是与 *Calanus*

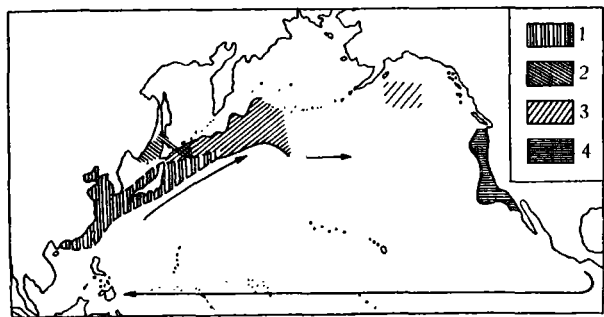


图 1 太平洋哲水蚤与中华哲水蚤的分布区(根据 Бродский, 1962)

Fig. 1. Geographical distribution of *Calanus sinicus* and *C. pacificus* (After Brodsky, 1962).

1. *Calanus sinicus*; 2. *C. pacificus pacificus*; 3. *C. p. oceanicus*; 4. *C. p. californicus*.

sinicus Brodsky 的形态相符，它和 *Calanus pacificus* Brodsky 却有较为显著差异。我们知道，哲水蚤属 (*Calanus*) 在哲水蚤目 (Calanoida) 中为较原始的类群，因此，种与种之间的

表 1 中華哲水蚤与太平洋哲水蚤主要特征的比較
Table 1. Comparison of the main features of *Calanus sinicus* and *C. pacificus*.

| 1. 种及其亚种 2. 鉴定者 3. 分布 4. 特征 | 中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> Brodsky | | | | 太平洋哲水蚤 <i>Calanus pacificus</i> Brodsky | | | |
|--------------------------------------|---|---------------------------------------|--|--------------------------------|---|---|----------------------------|------------------|
| | 本文作者 (the present author) | | | | Бродский, 201 | | | |
| | 13. 中国渤海、 北黄海 | 14. 中国南海 | 15. 中国东海 | 16. 中国南海沿岸 | 17. 亚洲沿岸 (44—21°N) | 18. 中国沿海 | 19. 薩哈林南部及 日本海四南部 | 20. 太平洋近 千岛水域 |
| 5. 体 长 (毫米) | 2.5—3.6 (平均 3.08) | 2.5—3.6 (平均 2.92) | 2.5—3.5 (平均 2.84) | 2.5—3.2 (平均 2.78) | 2.2—3.2 (平均 2.76) | 2.7—3.1 (平均 2.76) | 2.8—3.2 (平均 3.06) | — |
| 6. 雌性額部前端 | 2.4—3.5 (平均 2.88) | 2.4—3.5 (平均 2.81) | 2.4—3.3 (平均 2.77) | 2.4—3.0 (平均 2.64) | 2.6—2.7 (平均 2.65) | 2.6—2.8 (平均 2.67) | 2.8—3.1 (平均 2.93) | — |
| 7. 雌性生殖节的納精 囊斜角 | 22. 突出 | 22. 同左 | 22. 同左 | 22. 同左 | 22. 突出 | 23. 鈍圓 | 23. 鈍圓 | — |
| 8. 雌性第五对胸足第 一基节的齿数 | 142—178° | 145—175° | 140—175° | 140—176° | 141—185° | 81—135° | 105—155° | 115—131° |
| 9. 雌性第五对胸足左 内肢的长度同外肢 第一节的比 | 14—30 (22) | 14—30 (21) | 14—28 (20) | 14—29 (19—21) | 14—29 (19) | 18—35 (22—25) | 19—31 (25) | 24—45 (31) |
| 10. 雌性第五对胸足第 一节内緣齿的形状 | 24. a. 等长 97% b. 超过 1.5% c. 不及 0.9% | 24. a. 等长 97% b. 超过 1% c. 不及 2% | 24. a. 等长 78.2% b. 超过 20.1% c. 不及 1.7% | 24. a. 等长 72.8% b. 超过 27.2% | — | 26. 不达外肢第 一节末端 27. 不达外肢第 一节末端或 稍微超过 | 27. 不达外肢第 一节末端或 稍微超过 | — |
| 11. 雌性齿緣曲緣的部分 | 28. 齿尖, 呈三角形 | 28. 同左 | 28. 同左 | 28. 同左 | 28. 齿尖, 呈 三角形 | 29. 齿尖, 呈 扇形 | 30. 齿长, 几 乎平行 | — |
| 12. 雌性第五对胸足外 肢第一、二节长寬 的比例 | 31. 远端 1/3 | 31. 同左 | 31. 同左 | 31. 同左 | 31. 远端 1/3 | 32. 远端 2/5 | 33. 中部 | — |
| | 1:2.3—1:4.2 (平均 1:3.1) | 1:2.5—1:4.0 (平均 1:3.1) | 1:2.4—1:3.9 (平均 1:2.9) | 1:2.3—1:3.6 (平均 1:2.7) | — | 1:2.8—1:3.3 | 1:3.5 | — |
| | 1:2.8—1:5.1 (平均 1:3.7) | 1:3.0—1:4.4 (平均 1:3.7) | 1:2.9—1:4.3 (平均 1:3.4) | 1:2.4—1:4.3 (平均 1:3.2) | — | 1:3.4—1:3.9 | — | — |

1. Species and its subspecies; 2. Authors; 3. Geographical distribution; 4. Morphological features; 5. Body lengths (mm); 6. Forehead, ♀; 7. Spermathecal angle of genital segment, ♀; 8. No. of teeth of 1st segment of basipodite, 5th foot, ♀; 9. Length of endopodite, left 5th foot, compared with 1st exopodite segment, ♂; 10. Shape of inner marginal teeth of 1st basipodite segment, 5th foot, ♀; 11. Portion of 1st basipodite segment of 5th foot with curved inner serrate margin, ♀; 12. Proportion of breadth to length of 1st and 2nd segments of exopodite, left leg, ♂; 13. Gulf of Pohai, Northern Yellow Sea, China; 14. Southern Yellow Sea, China; 15. East China Sea; 16. Coastal waters, South China Sea; 17. Coastal waters, Asia; 18. Coastal waters, China; 19. Southern Sakhalin and South-western Japan Sea; 20. Pre-Kuril Island waters, Pacific Ocean; 21. Coastal waters of California and waters north of it; 22. Produced; 23. Broadly rounded; 24. a. Equal, b. Exceeding, c. Shorter; 25. Reaching the distal margin of the 1st exopodite segment and in a few cases not reaching or slightly extending beyond it; 26. Not reaching the distal margin of 1st exopodite segment; 27. Not reaching the distal margin of 1st exopodite segment or extending slightly beyond it; 28. Sharp, triangular; 29. Sharp, long; 30. Long, edges more or less parallel; 31. Distal third; 32. Distal two fifths; 33. Middle third.
(Numbers in parentheses indicate average measurement.)

结构(例如口器及游泳足等)相似性较大,对种级的鉴定标准通常是依据额部前端的形状,第5对胸足第1基节的齿形及数目,后侧角的形状及生殖节纳精囊的斜角等特征。而从头胸部的形状,第1触角的长度以及雄性第5左胸足内肢与外肢第1节的比等特征,可作为亚种级鉴定的根据。由中华哲水蚤与太平洋哲水蚤主要形态的比较,表明它们两者已达到种级的差异,故作者同意 Бродский 的看法^[11],将亚洲沿岸的哲水蚤自 *Calanus pacificus* Brodsky 中分出为独立的种——*Calanus sinicus* Brodsky,分布在我国各海区的哲水蚤均属于这一种。

从地理分布来看,太平洋哲水蚤与中华哲水蚤这两种,虽然它们都不分布在日本黑潮区或太平洋漂流区,也不分布在西北太平洋冷水区(亲潮流域)^[17],但在温带水域的地理范围上却有显著差别:中华哲水蚤仅分布在亚洲沿岸,它的分布中心是在我国的黄海和东海的近岸区^[9],向东北分布到日本本州的东、西两岸(仅在北纬40°附近与太平洋哲水蚤出现了分布的重迭区)^[11],向南分布到中国南海北部沿岸。看来,中华哲水蚤的生态性质可能较接近暖温带性(适温范围在5—24℃左右)。而栖息在日本海北部的 *Calanus pacificus pacificus* Brodsky 和千岛水域的 *Calanus pacificus oceanicus* Brodsky,显然与中华哲水蚤所栖息的水团不同,它们受着水团混合与变性的影响,在生态性质上可能较接近于冷温带性(适温范围为3—18℃)^[19]。分布在美洲西北沿岸的 *Calanus pacificus californicus* Brodsky,它的分布中心是在阿拉斯加湾,栖息的水温在6—7℃^[6]。由此可见,太平洋哲水蚤种内各亚种的栖息水温与中华哲水蚤有较大差别,同时中华哲水蚤每年的繁殖期长,而白令海南部的太平洋哲水蚤的繁殖期却很短^[12]。从这些分析表明,这两种在地理分布上和生态性质上是有显著差别的。

三、繁 殖

渤海中央水系与北黄海中央水系相连,中华哲水蚤在这两个水系的繁殖基本相同。整年可采到不同数量的卵、无节幼体和各期的桡足幼体。看来,它们的繁殖期很长,在各世代间有交叉重迭现象,并有显著的季节变化。秋季(1958年10—11月),当水温在13—18℃时,卵和无节幼体的数量达到高峰,幼体经过发育,到冬初已成为IV、V期桡足幼体,它们占种群的优势,并以此越冬。虽然在冬季繁殖仍然延续,但是在V期以下的桡足幼体很少,可见繁殖率并不高,这可能与冬季低温(平均5℃左右)有关。初春(1959年3—4月),水温逐渐上升(7—8℃),这时浮游植物的数量增长极为迅速,但中华哲水蚤的繁殖数量,增加较不显著,这是由于越冬桡足幼体的群体大部分是在4月才开始成熟,因此,第一次繁殖盛期推迟到水温15℃左右的初夏(5—6月)才出现。这次繁殖持续的时期较长,幼体数量很多,在食料丰富和水温适宜等良好条件下,它们迅速发育,大部分个体在8月性已成熟,接着出现第二次繁殖盛期。虽然这时水温为全年最高峰,但是幼体数量远较第一次繁殖的为低。这个世代的特点是幼体发育较春季快,而且在种群中的桡足幼体较趋于一致。到11月,大部分幼体已发育成熟,随即出现秋季繁殖盛期,这个世代的数量远较夏季为高,约与第一世代繁殖的数量相等。由此可见,在渤海和北黄海的中央水系,一年有三个繁殖世代,在这些世代之间,出现有交叉重迭现象(图2A)。在河口及沿岸水域,由于冬季严寒及冰冻现象,夏季受淡水径流的影响,该种桡足类在这些水域的繁殖数量是不明

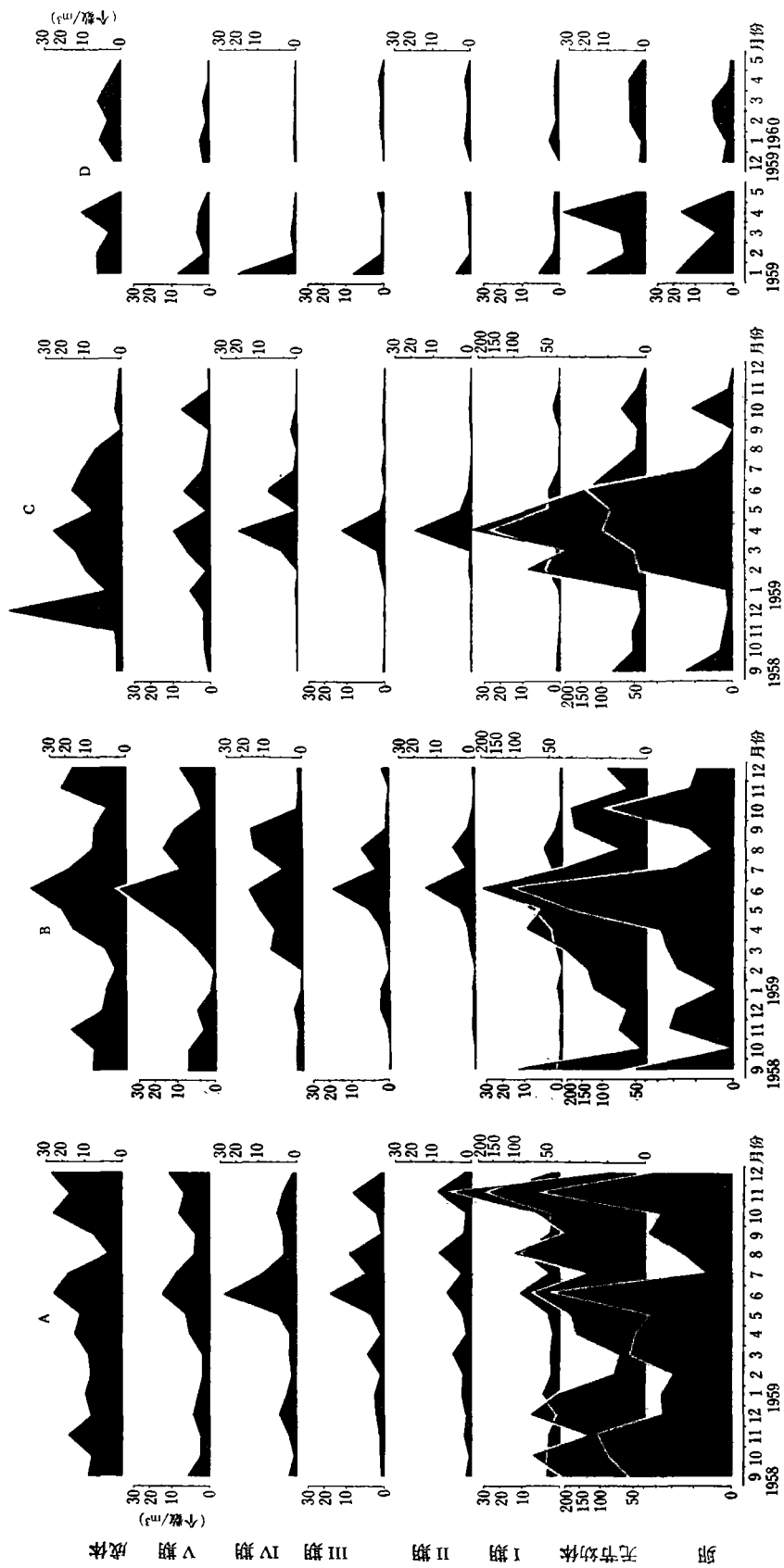


图2 中华哲水蚤各发育期的数量逐月变化

A. 渤海与北黄海; B. 南黄海; C. 东海; D. 南海。

Fig. 2. Monthly variation in number of individuals of different developmental stages of *Calanus sinicus*.
A. Gulf of Pohai, Northern Yellow Sea; B. Southern Yellow Sea; C. East China Sea; D. South China Sea.

显的。

在南黄海的中、西部,这种橈足类的繁殖与北黄海相似,同样一年中有三个世代。但由于春季水温的上升较北黄海早,越冬的IV、V期橈足幼体大部分在3月底至4月初发育成熟,随即出现第一次繁殖盛期。这个世代的特点是幼体数量远超过北黄海一倍,在时间上也较提前。在夏季(7—8月)和秋季(10月)的第二、三次繁殖的幼体数量是较北黄海的为低(图2B)。在南黄海的东南隅,只有春季世代明显,而夏、秋二个世代较不显著,甚至未见到卵和幼体,这可能受对马暖流西分支的影响。

在东海的浙东近岸水域,这种橈足类的繁殖与黄海相似,但由于这个海区的水温较高,其周年变化幅度较北部水域小,因此,越冬的橈足期在春季(3月)较早成熟,接着在4月出现全年最高繁殖盛期,孵化后的第一代幼体在夏季(6—7月)达到成熟,紧接着出现第二次繁殖,这次繁殖也较北部水域早,当水温最高的8—9月份,它们的繁殖率通常很低。秋季(10月)再出现第三次繁殖,但幼体的数量较春、夏两季及北部水域同期的数量为低(图2C)。在离岸较远的水域,春、夏两个世代的繁殖与近岸的较为相似,而秋季的繁殖是不明显的,这可能受台湾暖流的影响。总之,浙东近岸的繁殖世代与北部水域的基本相似,只是繁殖季节较早,夏、秋两季的繁殖量较低,各世代之间的重现现象较少。在福建南部泉州一带水域,这种橈足类从冬末到初春进行繁殖,一年只有春季世代较为明显,自5月以后,还可采到数量不多的IV、V期橈足幼体,但成熟个体的数量逐渐减少,特别是雄性更为稀少,很可能不再进行繁殖,到8月,成体几乎完全消失。

在南海,中华哲水蚤主要分布于粤东和粤西近海,数量的季节变化较为显著。根据季节分布和形态比较,表明冬季的种羣很可能来自东海沿岸,这应与冬季南下的沿岸流有关。在种羣中以IV、V期橈足幼体占优势,也有少量成熟个体,它们进入南海以后,仍然继续繁殖,这时南海沿岸的水温是18—21℃,与东海春季水温十分近似。随着这海区水温的急剧上升,未成熟的橈足幼体获得较迅速发育,至3月下旬,大部分种羣已达到性成熟,随即进行繁殖,但幼体数量远较我国北部水域为低(图2D)。到5月底,孵化的第一代幼体,已达到VI期橈足幼体及性成熟阶段。这个种羣的形态特点是个体较小,第五对胸足基节内缘齿数较少,这可能是受南海热带高温条件的影响。直到6月初,虽然还可采到少数的卵,但在发育中的各期橈足幼体却很少见,很可能是受高温的影响,致使幼体不能顺利发育。另一方面,从成体数量逐月减少的现象表明,原有的种羣,自夏季以后缺乏新生世代的补充,再加上自然死亡和被摄食的缘故,导致该种橈足类到了秋季几乎全部绝迹。由上述情况看来,中华哲水蚤在南海的繁殖全年只有一个春季世代,不论世代数或繁殖量都较北部诸水域为少(图2D)。

四、性 比 率

中华哲水蚤的性比率,与一般橈足类相似,即在成熟的种羣中,雌性个体经常占优势。从各海区雌、雄比率的平均值中看出,两性的周年变化具有相当规律性的季节周期。在渤海和北黄海,雌、雄比率在冬末春初(1—3月)的差异最大,雌性为雄性的6—14倍,在夏、秋(6、7、9和11月)为3.3—6.5倍,在春末、仲夏和仲秋(5、8和10月)差异最小,仅1.6—2.6倍。在南黄海,两性比率的差异较北部水域更显著,在冬季(12—1月),雌性为雄性的

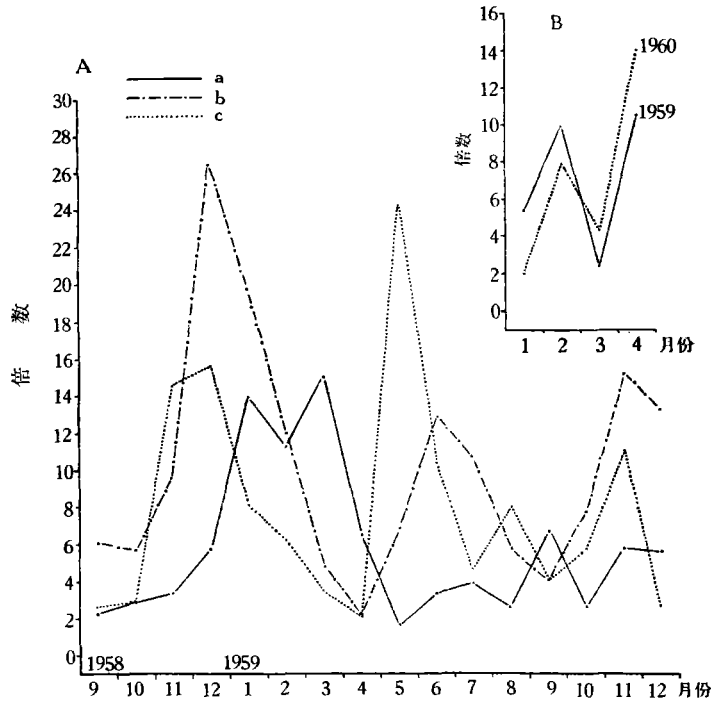


图3 中华哲水蚤性比率(雌比雄)的季节变化

A 渤海与北黄海、南黄海、东海; B 南海。

Fig. 3. Seasonal variation of sex ratio of *Calanus sinicus*

A. Gulf of Pohai, Yellow Sea, East China Sea; a. Gulf of Pohai, Northern Yellow Sea; b. Southern Yellow Sea; c. East China Sea; B. South China Sea.

20—26倍,在春末和秋末(5—6、10—11月)为12—16倍,在春末和初秋(4、9月),两性比率的差异最小,仅2—5倍。性比率在东海的变化与南黄海相似,共同点是周年季节变化

期很接近。这海区与南黄海的差别是雌雄最高比率(24倍)出现在春季(5月)(图3A)。在南海,1959年与1960年的同期调查得出,雌雄比率的变化曲线很相似(图3B),最高比率(8—14倍)出现在2、4月。最低比率(2—5倍)出现在1、3月。这海区性比率的变化与北部诸水域不尽相同。

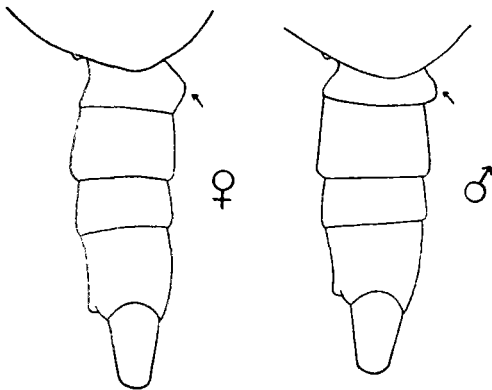


图4 中华哲水蚤V期桡足期潜在雌、雄型的腹部侧面观

Fig. 4. Lateral view of urosome of potential female and male types of stage V copepodites of *Calanus sinicus*

在未成熟的V期桡足幼体,可以根据外部形态的特点(表2、图4)和利用生物统计法(图5)加以区别,两者所获得的结果是一致的,即雌雄比率接近1:1,也就是表明雌雄的数量约相等,这与成熟种群以雌性占优势的情形显然不同。

表 2 橈足期 V 潜在的雌、雄性形态特征

Table 2. The morphological features of potential female and male types of stage V copepodites.

| 特 征 Morphological features | 性 别 Sex | 雌 性 Female | 雄 性 Male | 备 注 Remarks |
|---|---------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 头 部 Head | | 短 而 宽 Short, broad | 狭 而 长 Narrow, long | |
| 第一触角的基节 1st segment of 1st antenna | | 较 小 Finer | 粗 大 Coarser | 接近 VI 期 Near copepodite VI |
| 大颚的第一复齿 1st ventral tooth of mandible | | 钝 短 Blunt and shorter | 尖、长 Acute and longer | |
| 第五对胸足的左外肢 Exopodite of left 5th foot | | 较 短 Shorter | 变 长 Longer | 接近 VI 期 Near copepodite VI |
| 生 殖 腺 Gonads | | 扩 大 Larger | 较 小 Smaller | |
| 第一胸节背面中央前端的凹陷 Central notch at dorsal terminal end of 1st thoracic segment | | 浅 Shallow | 深 Deep | |
| 第 二 腹 节 2nd abdominal segment | | 短 Shorter | 长 Longer | |
| 生殖节腹面的突起 Abdominal process of genital segment | | 圆 大 Round, large | 短小, 呈唇状 Shorter, small, lip-like | |

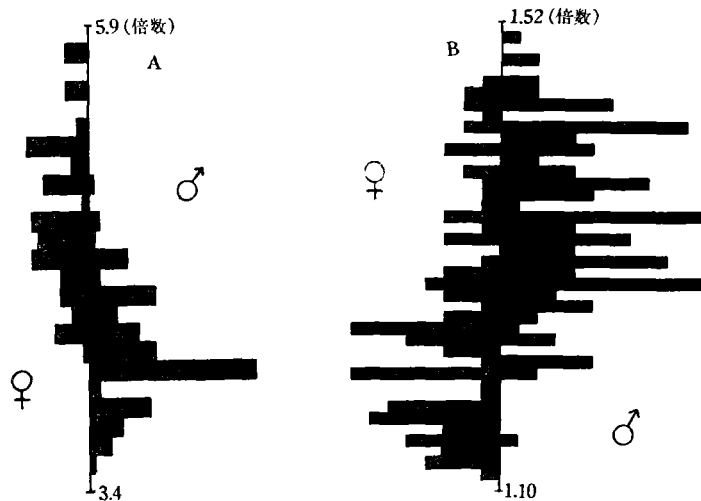


图 5 A 中华哲水蚤 V 橈足期的腹部长/第二腹节长的出现频率;
B 中华哲水蚤 V 橈足期的头部长/第一胸节宽的出现频率

Fig. 5. A. Frequency distribution of the ratio of length of second urosomal segment to total length of abdomen of stage V copepodites of *Calanus sinicus*. B. Frequency distribution of the ratio of width of first metasomal segment to head length of stage V copepodites of *Calanus sinicus*.

五、体长的变化

体长的变化同样具有季节周期性。在渤海和北黄海的冬、春两季(12—5月),成体为最大(3.18—3.24毫米)(指平均体长),而春末至仲夏(5—7月),体长逐渐减少,以中等体长(2.80—3.00毫米)占优势,最小体长(2.59—2.82毫米)出现在夏、秋(8—11月)。在各季节变化中,雌雄体长的变化曲线很接近,其变化趋势适与水温曲线相反(图6A)。从各月体长出现频率(图7A)看出,这个海区体长变化的主要特点为最大个体的出现期最长,而小个体的出现期较短。

在南黄海,最大个体出现于春季(3—5月),较北部海区略迟,持续期也较短。在夏、秋两季,均以中等个体和小个体(2.98—3.20毫米)占优势。从这海区各月体长的出现频率看出,即使在同月份,体长变化的范围亦较北黄海的为大(图7B)。此外,在南黄海中央水域,体长的季节变化较不明显。虽然是在夏季,它的体长也往往较其他水域(西部沿岸)的为大。这可能与这水域在夏季经常存在冷水团有关。

在东海,浙东水域的体长变化曲线与南黄海的很近似,春季(3—5月)的个体大(2.80—3.12毫米),尤以4月的个体最大。在这水域中的体长,一般较南黄海的为小,除春季外,一年的其他季节都以中等个体和小个体占优势(图6C)。在同月份,各体长组出现频率的变化范围也较小(图7C)。在福建南部泉州的邻近水域,这种橈足类周年出现的季节性较显著(11—8月),以冬末春初(1—3月)的个体最大(雌性2.92毫米,雄性2.72毫米),4—5月为中等个体(雌性2.78毫米,雄性

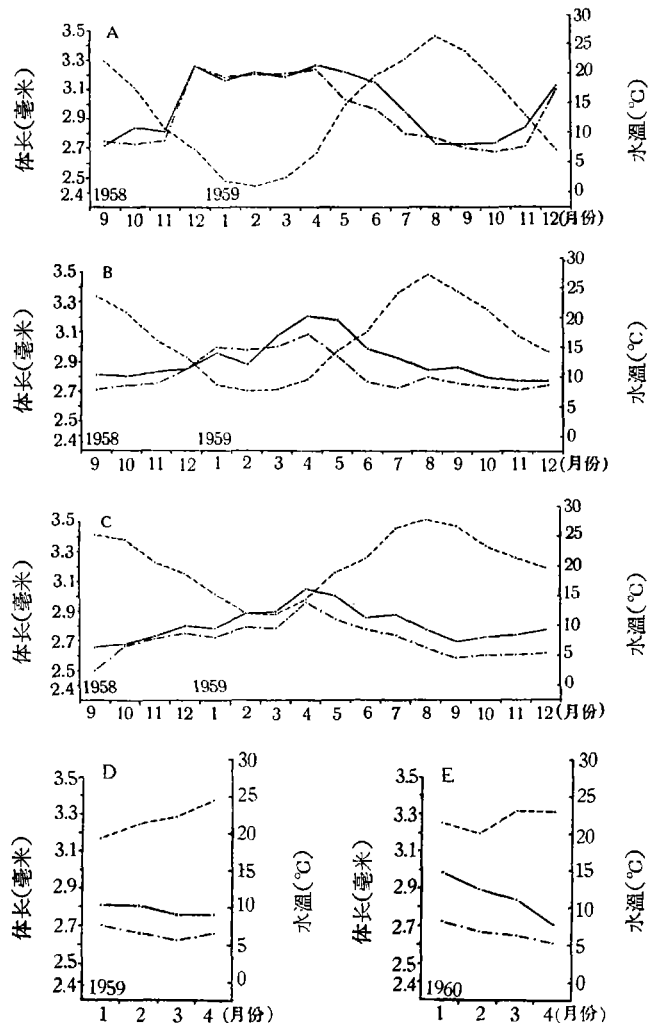


图6 中华哲水蚤平均体长与平均表层水温的季节变化

A 渤海与北黄海; B 南黄海; C 东海; D—E 南海。
— 雌性 (Female) - - - 雄性 (Male)
· · · 水温 (Water Temperature)

Fig. 6. Relation between seasonal variation of mean body length of *Calanus sinicus* and of mean surface water temperature.

A. Gulf of Pohai, Northern Yellow Sea; B. Southern Yellow Sea; C. East China Sea; D—E. South China Sea.

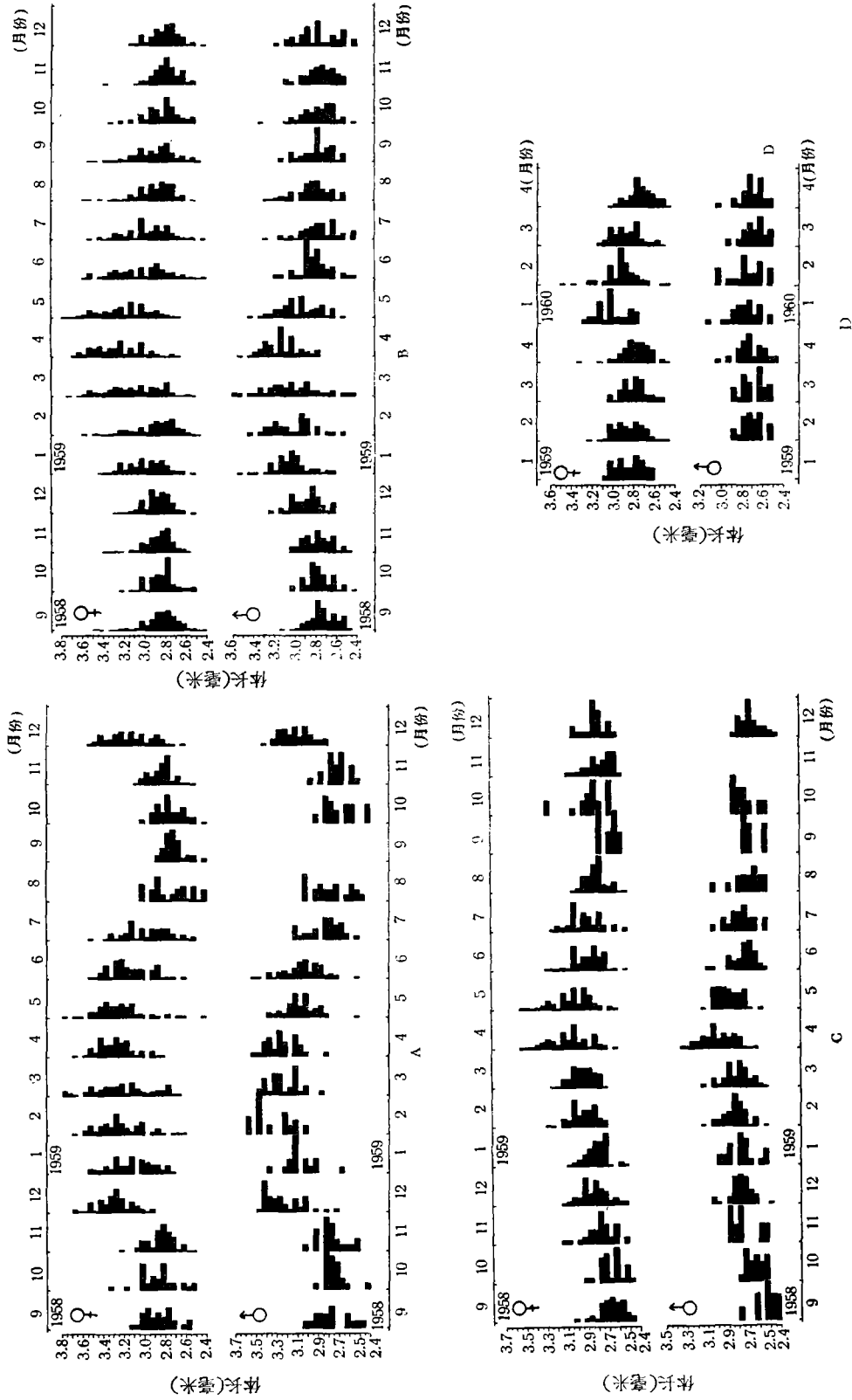


图7 中华哲水蚤不同体长的出现频率

A. 渤海与北黄海; B. 南黄海; C. 东海; D. 南海。

Fig. 7. Frequency distribution of individuals of various length of *Calanus sinicus*

A. Gulf of Pohai; B. Northern Yellow Sea; C. East China Sea; D. South China Sea.

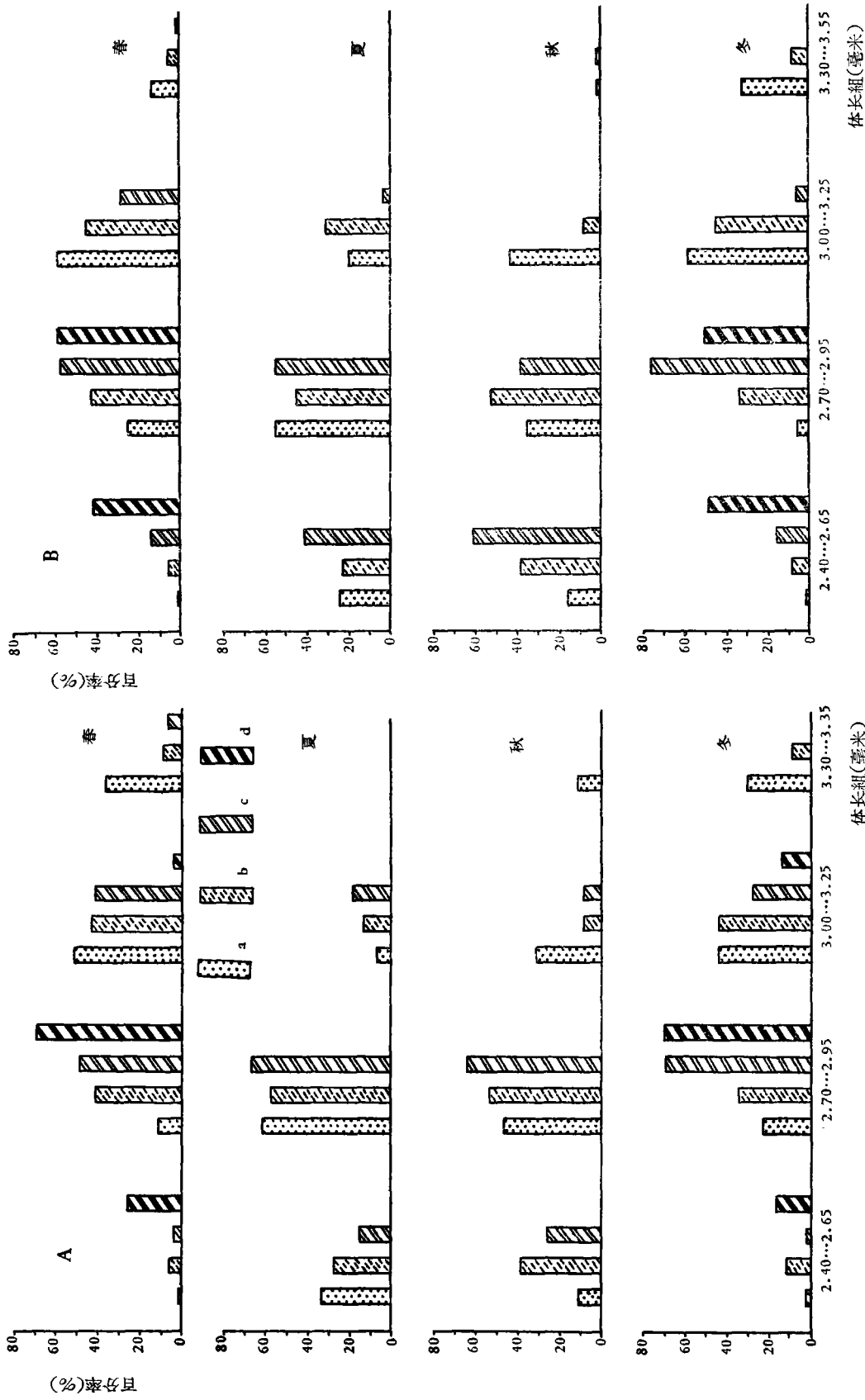


图8 中华哲水蚤体长组的季节变化

A 雌性; B 雄性.

Fig. 8. Seasonal variation in number of individuals of different size groups of *Calanus sinicus*
 A. Female; B. Male; a. Gulf of Pohai, Northern Yellow Sea; b. Southern Yellow Sea; c. East China Sea; d. South China Sea.

2.60 毫米)。夏季(6—8 月)水温(25—28℃)升高較浙东沿海为早,因此影响体长較明显下降(雌性 2.55 毫米,雄性 2.50 毫米),这时为全年个体最小的季节。秋季(9—10 月)未采到标本,是否可能移栖至外海深水^[2],尚缺乏資料給予証实。

在南海近岸水域,中华哲水蚤的分布也是季节性的,冬、春(1—4 月)的个体(2.60—2.90 毫米)均較北部諸水域同期的为小(图 6C—D),而各月体长組出現頻率的变化趋势,却与东海頗相似(图 7C)。

从图 8a—d 的个体数量中看出,在冬、春两季,渤海和北黄海的个体最大,为各海区之冠。南黄海和东海次之,最小为南海。这个現象表明体长是随着緯度的降低而变小,但必須指出,在同一水域具有显著季节性。从体长与表层平均水温的关系图上(图 9)表明,最大个体常在低温条件下出現,而在高温的个体一般較小。

在北部水域,最大个体的第五对胸足基节的齿数要比小个体的齿数为多,而在南部水域,通常以中等和小个体占优势,体长与齿数的关系較不显著。

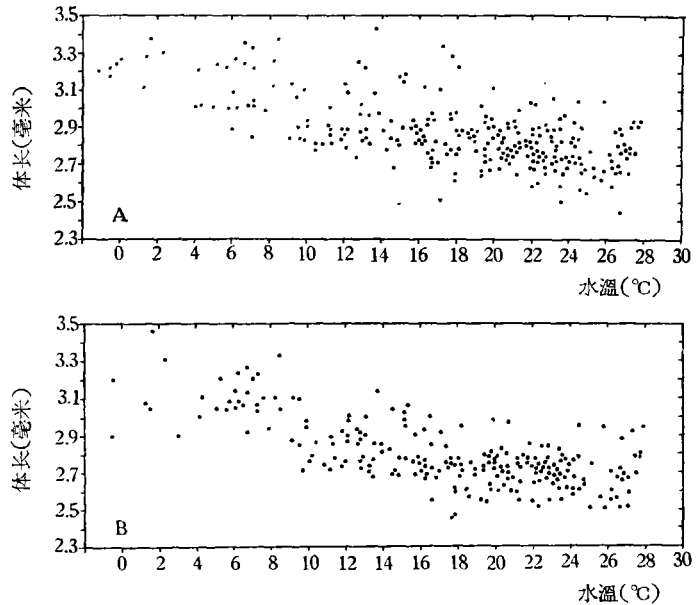


图 9 中华哲水蚤体长与表层水温的关系

A 雌性; B 雄性。

Fig. 9. Correlation between mean surface water temperature and length of adult individuals of *Calanus sinicus*

A. Female; B. Male.

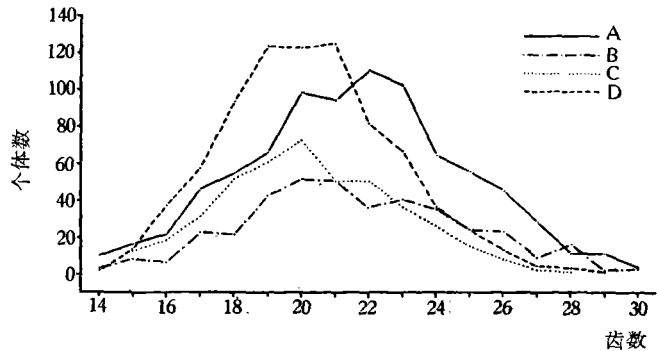


图 10 中华哲水蚤雌性第五对胸足基节齿数的变化

A 渤海与北黄海; B 南黄海; C 东海; D 南海。

Fig. 10. Variation in number of teeth of the 1st segment of basipodite of 5th foot of *Calanus sinicus*

A. Gulf of Pohai, Northern Yellow Sea; B. Southern Yellow Sea; C. East China Sea; D. South China Sea.

六、討 論

根据我国各海区哲水蚤的形态比較可以看出: 額部前端突出, 这与日本海北部和千島水域的太平洋哲水蚤不同, 这个性状与个体大小和季节无关, 是比較稳定的, 而且在黄、东海种羣中, 这性状的个体占 95% 以上。除此, 第五对胸足第 1 基节的內緣齿的数目, 以

及生殖节納精囊的斜角等特征,均可作为种級鉴别的根据,这些特征也与太平洋哲水蚤显著差异,故中华哲水蚤在分类上是个独立的种。至于雌性头胸部及腹部的长、宽比例(头胸部长比宽是 2.4:1—2.9:1, 腹部长比宽是 1.8:1—2.7:1),通常前者为 2.7:1,后者为 2.4:1,在各海区差异不大,雄性第五左胸足內肢的长度与外肢第 1 节之比,也较为稳定,同时栖息水温及繁殖期,相差并不显著。由此可认为中华哲水蚤在我国海区中,还没有地理亚种的分化。

中华哲水蚤在我国各海区的数量分布,并非均匀一致,它在黄、渤海和浙东近海的数量极其丰富,整年皆有繁殖的幼体出现,可见这些水域是这种橈足类的基本分布区,与此相反,由北上的我国台湾暖流所影响的浙东外海,并未发现它的分布,或者仅是少量出现于鋒面区,这现象在厦門以南沿海也很明显。至于中华哲水蚤侵入南海北部沿岸,是由于这种橈足类在冬季东北季风的作用下,随着沿岸流南下的,这个看法可从其形态特征与东海的相似性得到佐证。夏季以后,在福建泉州以南的沿海,以及南海北部近岸水域,不论其卵或幼体都很稀少,同时,成体数量明显下降,分布范围也逐步缩小,到秋季几乎全部消失,造成这种现象的原因可能是由于夏季高水温等条件的影响,致使它们不能顺利地繁殖和发育,而原有种羣的自然死亡和被摄食,再加上得不到新世代补充而頻于絕迹。由此表明这种橈足类不分布在我国外海台湾暖流区,同时在南海北部近岸也仅仅是季节性的分布,这说明它的适温能力較热带橈足类为低(最适水温在 5—18°C),并且它的主要分布是在我国北部水域,由此认为它是一个温带种,而不是亚热带或热带种^[17]。

橈足类的繁殖季节及其世代数常随着种类而有不同^[20,26,32,36]。一般寒带种的周年世代数較热带的为少,生殖期也較短,仅限于冬季或早春^[12]。但由于生活水域的不同,即使同一种內,它们的世代数也有变化。最明显的例子如大西洋的飞馬哲水蚤,在摩尔曼斯克沿海有二个世代(Камшилов 1952),而英吉利海峡有三个世代(Bogorov 1934)。中华哲水蚤在渤、黄海和东海三个水域中,虽然繁殖盛期和繁殖数量存在一些差异,但繁殖世代数則基本相同,即在一年中具有三个世代,这与郑重、郑执中(1959)^[4]所报导的一致,唯在繁殖期略有不同。这海区的环境条件是适宜其生活和顺利地繁衍后代的,但中华哲水蚤在福建南部沿海和南海的繁殖世代数并不是随着緯度的降低而增加,恰恰相反,却是随着水温的增高而减少,一年只有一个世代,这与热带橈足类的繁殖不同,因此作者认为它是一个温带种,从其繁殖的世代数同样得到证实。在此必须指出,李少菁^[2]发现福建沿海在 1—5 月中具有三次繁殖高峯,即有三个世代的繁殖,但他在論文中并没有提出任何有关繁殖和发育的具体材料,仅仅由成熟个体的大小变化来推测,这是值得怀疑的,因为中华哲水蚤的一次繁殖期較长,这与其分批排卵有关,而成体高峯的出现未必是独立世代的繁殖盛期,在这短促的 5 个月內,不可能完成 3 个世代的发育。

中华哲水蚤各世代个体发育期的长短,主要决定于水温条件。例如,在渤海和北黄海,秋末繁殖的幼体,发育到冬季大都停留在 V 期橈足幼体,这时为海区的最低温时期,它们不再继续发育,直到翌年的春季才发育成熟。在东海,秋末的橈足幼体,虽然同样要等到翌年春季才达到成体,但在時間上要比北部水域較早,这是由于东海冬季的低温期較北部海区为短。同样,在同一水域中,随着季节不同,个体发育期的长短也有所差别,上面已经提到,在秋末繁殖的个体发育期較长,但在夏季繁殖的个体发育期則較短。根据各海区

发育阶段所出现的数量高峰(图 2)看出,在夏季从卵到性成熟,估计应少于 60 天,这较飞马哲水蚤个体发育期为短^[33]。可见,个体发育期的长短,是随着环境条件而改变的。

1939 年,Боробов^[7]曾报导长伪哲水蚤 [*Pseudocalanus elongatus* (Boeck)] 的雌雄比率有地理的变化:在巴伦支海的雌雄比率为 4:1;在白海却为 32:1。中华哲水蚤也有相似情形,它在南黄海和东海,雌性通常要比北部海区为高,这不仅有地理差异,同时在同一水域内,也有显著的季节变化(图 2)。通常雄性数量显著增高时,是与其繁殖最盛期相符,而雌性的数量高峰要比雄性数量高峰持续的时间为长,在繁殖最盛期以后仍保持一段的时期。

关于橈足类雄比雌少的现象,过去有不少学者对此作过解释^[34]。如 Woodhead & Riley (1959) 曾指出飞马哲水蚤当达到 V 期橈足幼体时,雄性死亡较多,因此,到成熟时的雄性数量较雌性的为少。Campbell (1934) 和 Боробов (1939) 则认为,雄性达到性成熟时,交配后不久便死亡,因而寿命比雌性的较短,引起了雌雄数量的显著差别。中华哲水蚤的雄性数量,是在成熟后不久才出现较雌性减少,这可能是由于雄性寿命较短的缘故。

营养条件是影响个体大小的一个重要因素^[24],但对中华哲水蚤的个体大小变化,与浮游植物的数量关系并不很密切,这可能在我国沿海浮游植物的数量,远超过浮游动物摄食的需要量。此外,水温条件是影响橈足类体长季节变化的最重要因素^[24,31],最大个体出现在低温的冬季^[25],或在春季^[18,20],最小的个体都出现在夏季。中华哲水蚤体长的季节变化,受水温的直接影响很显著,如在渤海和北黄海,越冬橈足幼体经受低温阶段最长(3—7℃),直到春季才蜕皮成熟,这时的个体达到最大长度(平均 3.2 毫米),春末初夏繁殖的个体(在 15—18℃ 发育)为中等体长(平均 2.9 毫米),仲夏至初秋繁殖的个体(在 20—22℃ 发育)为最小(平均 2.7 毫米)。可见在这些水域,由于低温期较其他海区为长,因此大个体出现时期也较长。在南黄海与东海,这种橈足类体长的季节变化也很相似,通常最大个体出现时期较北部水域短,这与该海区的低温期较短有关。在春季繁殖的个体(在 10—17℃ 发育)为中等体长,夏、秋繁殖的个体(在 22—26℃ 发育)为最小。值得提出,在黄海中央水域,夏季表层仍为高温,但由于下层冷水团存在^[5],故保持较大的个体。在福建沿海,李少菁报告最大个体的出现,恰好为全年最低温期^[2],但作者观察结果,却认为最大个体常出现在全年最低水温期以后的 1—2 个月内。在南海,体长变化并不显著,这与南海温度变化幅度小以及该种季节分布时期较短有关。由上表明,此种哲水蚤每一世代的体长变化是与幼体发育所处不同季节的水温变化密切相关的。

结 语

1. 根据我国各海区哲水蚤的形态和生态研究的结果,作者认为这种橈足类与分布在日本海北部和千岛水域的太平洋哲水蚤有着显著差异,应为独立的种——中华哲水蚤 (*Calanus sinicus* Brodsky)。从其分布范围看来,它与热带种不同,应属于暖温带上层种。

2. 繁殖期和周年世代数随海区水文条件的差异而有变化:在渤、黄、东海三个水域中,主要繁殖期为春、夏、秋三季(3—5 月、6—8 月、10—11 月),一年有三个世代,东海的繁殖盛期较北部水域早。福建南部和南海近岸水域主要繁殖期是在初春,全年仅有一个世代。

3. 繁殖最盛期的水温是 10—18℃, 繁殖的数量随平均水温的增高而由北向南逐渐减少。初步确定它的繁殖中心应在黄海, 而福建以南的沿海水域, 是它的季节分布区。

4. 成体的性比率是雌性多于雄性, 但有空间上和时间的变化, 以黄、东海最显著, 其他海区次之。雌性的数量高峰往往出现在繁殖盛期之后, 而雄性比率的增高正与繁殖盛期相符。

5. 水温是影响个体大小变化的主要因素。在一年中, 冬、春的个体最大, 夏、秋最小。在渤海和北黄海, 由于低温期较长, 最大个体的出现持续期也较长。南黄海和东海的低温期较短, 以中等体长占优势。而南海的水温较高, 其体长远较北部水域为小。

参 考 文 献

- [1] 沈嘉瑞、白雪娥, 1956. 烟台鲈鱼产卵场桡足类的研究. 动物学报 8(2):177—182.
- [2] 李少菁, 1963. 福建沿海太平洋哲水蚤 (*Calanus pacificus* Brodsky) 的比較形态研究. 廈門大学学报 10(1):57—81.
- [3] 郑 重, 1955. 廈門海洋浮游动物的初步研究. 廈門大学学报自然科学版, (5):1—16.
- [4] 郑 重、郑执中, 1959. 十年来我国浮游动物的研究. 海洋与湖沼 2(4):214—222.
- [5] 赫崇本等, 1959. 黄海冷水团的形成及其性质的初步探讨. 海洋与湖沼 2(1):11—15.
- [6] Беклемишев, К. В., 1961. Зоопланктон северо-восточной части тихого океана зимой 1958—59 г. Тр. Ин-та Океанол. АН СССР, 45: 142—171.
- [7] Богоров, В. Г., 1939. Соотношение полов у морских *Copepoda*. Докл. АН СССР. 23 (7):705—708.
- [8] Бродский, К. А., 1948. Свободноживущие веслоногие рачки *Copepoda* Японского моря. Изв. ТИНРО 26:3—32.
- [9] ———, 1957. Фауна веслоногих рачков *Calanoida* и зоогеографическое районирование северной части Тихого океана и Сопредельных вод. Изд. АН СССР, М.—Л.:1—222.
- [10] ———, 1959. О филогенетических отношениях некоторых видов *Calanus* (*Copepoda*) Северного и Южного полушария. Зоол. Ж. 38 (10):1537—1553.
- [11] ———, 1962. Опыт биометрического анализа морфологической изменчивости *Calanus pacificus* Brodsky (*Copepoda*). Докл. АН СССР. 142 (6):1416—1419.
- [12] Гейнрих, А. К., 1957. Размножение и развитие массовых копепод в Беринговом море. Тр. Всесоюз. Гидробиол. Общества. 8:143—162.
- [13] Камшилов, М. М., 1952. Цикл размножения *Calanus finmarchicus* (Gunner) на восточном мурмане. Докл. АН СССР. 85 (4):929—932.
- [14] Яшнов, В. А., 1955. Морфология, распространение и систематика, *Calanus finmarchicus* S. L. Зоол. Ж. 34 (6):1210—1223.
- [15] ———, 1957. Тихоокеанские виды *Calanus finmarchicus* S. L. Изв. ТИНРО. 44:253—255.
- [16] ———, 1961. Водные массы и планктон. I. Виды *Calanus finmarchicus* S. L. Как индикаторы определенных водных масс. Зоол. Ж. 40(9):1314—1334.
- [17] ———, 1963. Водные массы и планктон. 2. *Calanus glacialis* и *Calanus pacificus* как индикаторы определенных водных масс морей тихоого океана. Зоол. Ж. 62(7): 1005—1021.
- [18] Bogorov, V. G., 1934. Seasonal changes in biomass of *Calanus finmarchicus* in the Plymouth area. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 19:585—611.
- [19] ———, 1958. Biogeographical regions of the plankton of the North-Western Pacific ocean. Deep-Sea Res., 5:149—161.
- [20] ———, 1960. Perspective in the study of seasonal change of plankton and of the number of generations at different latitudes. In: Buzzati-Traverso, A. A., Perspectives in marine biology. pp. 145—158. Univ. Calif. Press.
- [21] Brodsky, K. A., 1961. Comparison of *Calanus* species (Copepoda) from the Southern and Northern hemispheres. N. Z. Sci. Industr. Res. Inf. Ser., 33:15—17.
- [22] Campbell, M. H., 1934. The life history and post embryonic development of the copepods, *Calanus tonsus* Brady and *Euchaeta japonica* Marukawa. J. Biol. Canada Board., 1:1—65.
- [23] Chiba, T., 1952. On the distribution of the plankton in the Eastern China Sea and Yellow Sea. Bull. Japan. Soc. Scient. Fisher., 17(7):183—190.

- [24] Deevey, G. B., 1960. Relative effects of temperature and food on seasonal variations in length of marine copepods in some Eastern American and Western European waters. *Bull. Bingham. Oceanogr. Coll.*, **17**:54—85.
- [25] Conover, R. J., 1956. Oceanography of Long Island Sound, 1952—1954. VI. Biology of *Acartia clausi* and *A. tonsa*. *Bull. Bingham. Oceanogr. Coll.*, **15**:156—233.
- [26] Digby, P. S., 1950. The biology of the small planktonic copepods of Plymouth. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **29**:393—438.
- [27] Ekman, S., 1953. Zoogeography of the Sea. London. pp. 321—324.
- [28] Enomoto, Y., 1963. Studies on the food base in the Yellow and the East China Sea-III. Notes on some dominant zooplankton. *Bull. Jan. Soc. Sci. Fish.*, **29**(1):7—13.
- [29] Giesbrecht, W., 1892. Systematik und Faunistik der pelagischen Copepoden des Golfes von Neapel und der Angrenzenden Meeresabschnitte. 831, 54 pls.
- [30] Grainger, E. H., 1961. The copepods *Calanus glacialis* Jaschnov and *Calanus finmarchicus* (Gunn.) in Canadian Arctic-subarctic Waters. *J. Fish. Res. Board Canada*. **18**(5):663—678.
- [31] Marshall, S. M., 1933. On the biology of *Calanus finmarchicus*. II: Seasonal variations in the size of *Calanus finmarchicus* in Clyde sea area. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **19**:111—138.
- [32] ———, A. G., Nicholls and A. F. Orr, 1934. On the biology of *Calanus finmarchicus*. V: Seasonal distribution, size, weight and chemical composition in Loch Striven in 1933 and their relation to the phytoplankton. *Ibid.* **19**:793—828.
- [33] Marshall, S. M. and A. P. Orr, 1955. The biology of a marine copepod *Calanus finmarchicus* (Gunn.) Ebinburgh, Oliver and Boyd, London. 188 pp.
- [34] Mednikov, B. M., 1961. On the sex ratio in deep water *Calanoida*. *Crustaceana*, **3**:105—109.
- [35] Mori, T., 1937. The pelagic copepods from the neighbouring waters of Japan. Tokyo. 150 pp.
- [36] Nicholls, A. G., 1933. On the biology of *Calanus finmarchicus*. I. Reproduction and seasonal distribution in the Clyde sea area during 1932. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **19**:83—109.
- [37] Sproston, N. G., 1949. Preliminary survey of the plankton of the Chu-San region, with a review of the relevant literature. *Sinensia*, **20**:151—154.
- [38] Woodhead, P. M. J. and J. D. Riley, 1959. Separation of the sexes of *Calanus finmarchicus* (Gunn.) in the fifth copepodite stage, comments on the sex ratio and the duration in this stage. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* **24**:456—471.

A STUDY OF THE BREEDING PERIODS, VARIATION IN SEX RATIO AND IN SIZE OF *CALANUS SINICUS* BRODSKY

CHEN QING-CHAO

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

In this paper the results of a study of the morphology of *Calanus sinicus* Brodsky collected in our coastal waters from the Gulf of Pohai to the South China Sea and of a comparison of it with the closely-related *Calanus pacificus* Brodsky of adjacent seas are presented.

This species is most abundantly distributed in the Yellow Sea and in the coastal waters of the East China Sea. In offshore waters of the South China Sea, and in the offshore waters off Chekiang under the influence of the Taiwan warm current, it is rarely found. Judging from its geographical distribution, it can be considered as a warm-temperate species.

From the seasonal variation in abundance of individuals in different developmental stages, it is possible to divide them into two breeding types. In the Gulf of Pohai, the Yellow Sea and the East China Sea, it has three breeding periods—in March—May, in June—August and in October—November. Thus the generation produced in each period may be termed the spring, the summer, and the autumn generation respectively. The number of individuals produced is most abundant in spring and in autumn. In the South China Sea, only one breeding period is apparent—in early spring.

The ratio of female to male in stage V copepodites is about 1:1, but for adult individuals, it is greater. It is possible that the period between stage V to maturity is a critical period for male copepodites, many of them probably dying before reaching maturity but it may also be possible that the life span of the adult male is shorter. There is also seasonal variation in sex ratio of adults, but in the whole year female individuals make up the greater part of the total population.

There is a marked difference in size of adult individuals during different seasons in one and the same region and in different regions. This difference is largely related, *inter alia* to changes in temperature conditions. The relationship is an inverse one in which body size decreases with increase in temperature. Thus in the Gulf of Pohai and in the northern Yellow Sea the mean size of individuals—3.2 mm—is recorded in winter when the temperature of the water is between 3—7°C. In late spring, at 15—18°C, it is 2.9 mm, and in early summer, at 20—22°C, it is 2.7 mm. From north to south, a marked decrease in size of adult individuals is also noted. For the Gulf of Pohai and the Yellow Sea, the mean size of individuals is, ♀, 3.00 mm, ♂, 2.85 mm; for the East China Sea, ♀, 2.84 mm, ♂, 2.77 mm; for the South China Sea, ♀, 2.78 mm, ♂, 2.64 mm.