

中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾仔虾的发育比较研究*

刘 恒 刘瑞玉

(中国科学院海洋研究所)

中国海域已报道的约 90 种对虾中,半数具有经济价值。其中中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾无论在捕捞还是在养殖业上都具有十分重要的地位。由于 3 种虾的形态非常相近,特别是在早期生活史阶段,它们的幼体和仔虾很难区分,因而给对虾种群补充、预报和其它有关研究造成困难。尤其在热带海域,对虾生殖季节重叠,幼体和仔虾的鉴别更加重要,各期仔虾的数量统计需以严格的形态鉴别作为依据。作者对三种对虾的幼体的形态,区别已有专文报道(Liu and Liu, 1994)。本文深入细致地研究了中 国对虾、墨吉对虾和长毛对虾仔虾的发育形态学,并进行了比较,使 3 种对虾的仔虾得以区别,并为今后的对虾生态学研究及资源管理奠定基础,提供依据。

一、材料与方 法

中国对虾仔虾标本在 1989 年 5 月和 1991 年 5—8 月分别取样于中国科学院海洋研究所虾类实验生态实验室和黄岛工作站;墨吉对虾于 1990 年 4—6 月取样于中国科学院南海海洋研究所湛江工作站;长毛对虾于 1989 年 8—10 月取样于福建省同安县白兔对虾育苗场。

中国对虾仔虾的培育水温为 $18.5-25.5^{\circ}\text{C}$,盐度为 $31.2-32.0$;墨吉对虾水温为 $25.3-31.0^{\circ}\text{C}$,盐度为 $22.6-25.2$;长毛对虾水温为 $20.5-29.0^{\circ}\text{C}$,盐度为 $30.3-32.2$ 。仔虾喂以卤虫无节幼体,并在水中保持一定的单胞藻浓度。

每期仔虾取样至少 5 个个体。标本分别用 70% 的酒精溶液和 4%—6% 的海水福尔马林溶液固定。每期至少解剖 4 个标本,并对每个个体各发育期进行连续的观察和记录(直到被取样固定)。为保证实验中蜕皮次数的准确,每个个体在烧杯中单独培养,所

*中国科学院海洋研究所调查报告第 2235 号。

厦门大学海洋系张炳西先生,福建海洋研究所胡清波先生,中国科学院南海海洋研究所湛江工作站陈兴乾先生,中国科学院海洋研究所姜奕女士和张乃禹先生等先后提供亲虾、育苗场地及实验设施,对本工作给予了极大的支持和帮助,在此一并致谢。

收稿日期:1993 年 6 月 29 日。

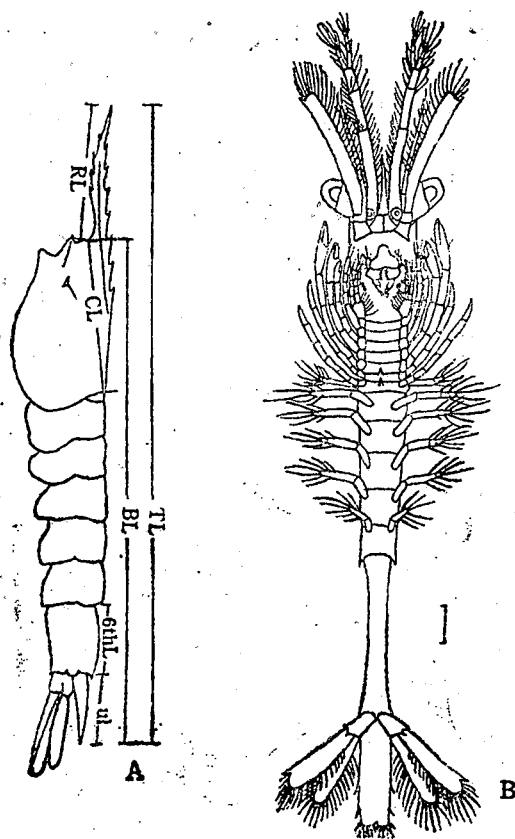


图1 A. 仔虾身体各部测量标准示意图 (比例尺 0.25mm)
 BL. 体长; TL. 全长; RL. 额角长; CL. 头胸甲长; 6thL. 第6腹节长; ul. 尾节长
 B. 长毛对虾 *P. penicillatus* 第1期仔虾 (腹面观)

用烧杯依虾体大小而定, 为 250—3000ml。绘图用显微描绘器完成, 部分羽状刚毛省略了其羽状部分, 以保持图像清晰。身体各部测量标准见图 1A。

二、仔虾的形态发育

进入第1期仔虾后, 在糠虾幼体时开始发育的5对腹肢开始具游泳功能, 而在糠虾幼体时司游泳的步足此时只负责捕捉食物和爬行。第1期仔虾平衡囊虽已形成, 但尚未完全发挥其功能。虾体尚多浮于水中, 偶尔也可看到类似糠虾幼体时的头朝下游泳现象, 但到第2期仔虾时, 则虾体大部分时间都伏卧于水底。进入仔虾期, 每次蜕皮后的形态变化都远小于幼体阶段, 大约经 18—21 次蜕皮, 其形态特征已与成体基本相同。

另外, 仔虾期时, 这3种对虾在第4, 5步足之间的腹甲上均可见1小刺(图1B); 其中第4步足间者(第3期糠虾幼体时出现)稍大于第5步足者(第1期仔虾时出现), 是为对虾属的仔虾(*Litopenaeus* 亚属除外)区别于对虾类其它属的特征之一。

下文将分述并比较中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾仔虾发育中的形态变化。

(一) 中国对虾 *Penaeus chinensis* (Osbeck, 1765)

1. 额角和头胸甲 (图 2) 第 I 期仔虾时额角稍长于复眼, 近头胸甲长的 $1/2$, 以后额角不断伸长, 至第 XII, XIII 期仔虾时基本与头胸甲长度相当, 第 14 期时开始长于头胸甲 (附表 16)。第 1 期仔虾时额角与头胸甲背中线上的小齿为 2—3 个, 以后不断增加, 第 9 期时达到最多, 为 7—8 个; 额角下缘齿于第 5—6 期仔虾时首次出现, 以后逐渐增加, 至 11 期时达到 4—5 个, 以后便不再增加 (附表 1)。进入仔虾期后, 眼上刺不断缩小, 一般在第 5 期时消失。触角刺也不断缩小, 至第 4, 5 期时为最小, 但不消失, 从第 6 期仔虾时开始增大, 触角脊也逐渐发育, 到 15 期仔虾时已非常显著。肝刺在整个仔虾期随着每次蜕皮而增大, 肝脊也日趋隆起。头胸甲在第 1 期仔虾时约为体长的 $1/4$, 该比值在仔虾期无明显变化 (附表 16)。

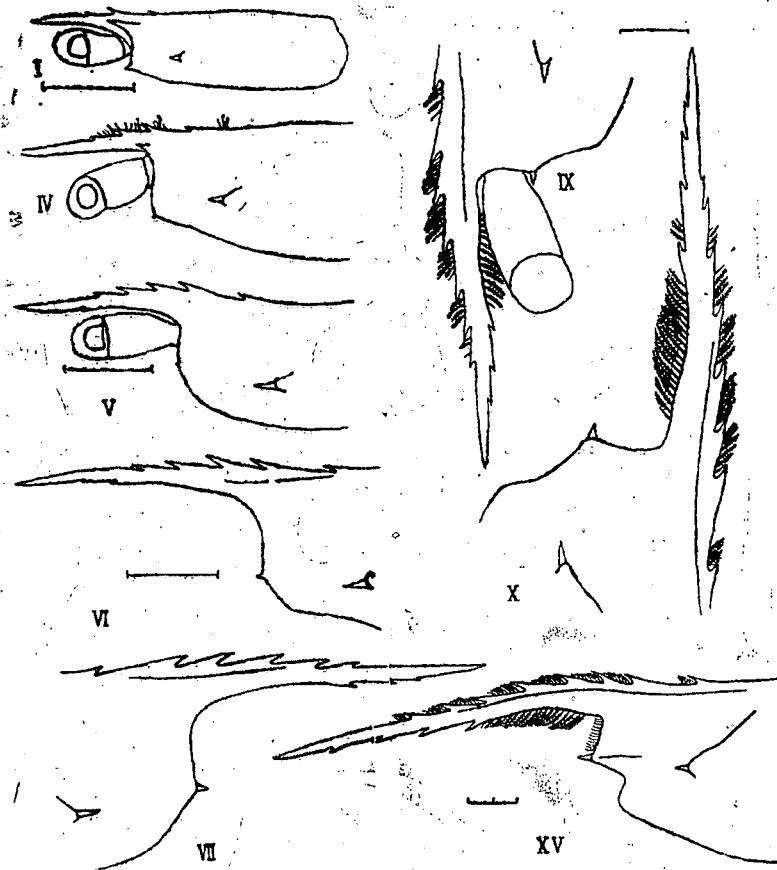


图 2 中国对虾 *Penaeus chinensis* 仔虾头胸甲 (比例尺 = 0.5mm)
罗马数字表示仔虾的期数 (下同)

2. 腹部 (图 3) 第 1 期仔虾时第 5 腹节的背中刺和侧刺以及第 6 腹节的侧刺、腹侧刺、腹中刺和背中刺依然存在; 第 4 腹节的背中刺在第 1 或 2 期仔虾时消失。每次蜕

皮后, 第5腹节的背中刺和侧刺以及第6腹节的侧刺和腹中刺不断变小; 其中第5腹节的背中刺在第6或第7期时消失, 侧刺在第5或6期仔虾时消失; 第6腹节侧刺在第4或5期时消失, 腹中刺在第9或10期消失。第5, 6腹节背面中央在仔虾期形成纵脊, 其中第6腹节上者较第5腹节显著, 第4腹节的背中脊尚不明显。第6腹节在第1期仔虾时近体长的 $1/4$, 以后该值逐渐减小, 到第20期仔虾时已不到体长的 $1/5$ (附表16)。

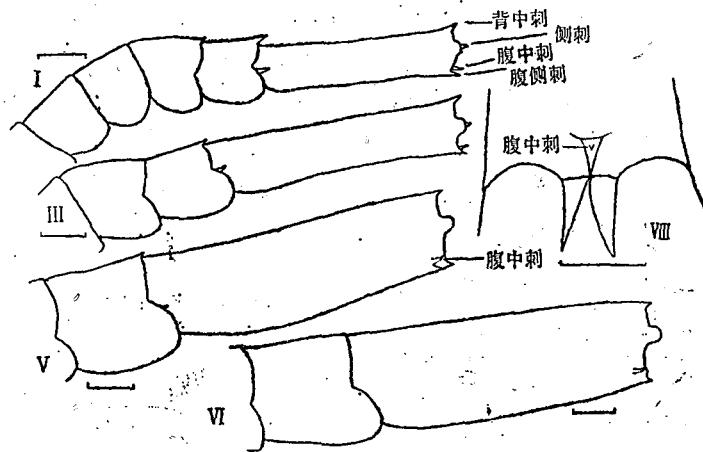


图3 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾腹部 (Ⅶ为第6腹节末部腹面观, 比例尺=0.25mm)

3. 尾节和尾肢 (图4, 5) 仔虾期尾节的变化主要是其形状由末端平截而逐渐变尖, 其上的尾刺不断减少, 以至全部消失。第1期仔虾时尾节末缘中央仍可见1小缺刻, 该缺刻在第2期时消失或仅留痕迹, 到第3期仔虾时尾节末缘突出呈圆弧形, 第4期时继续突出而呈钝三角形, 第6期仔虾时近直角, 其中部出现1小尖突, 以后该小尖突不断增大, 使尾节末端呈锐角形。尾刺在1—8期仔虾时为8对, 其中末缘5对, 侧缘

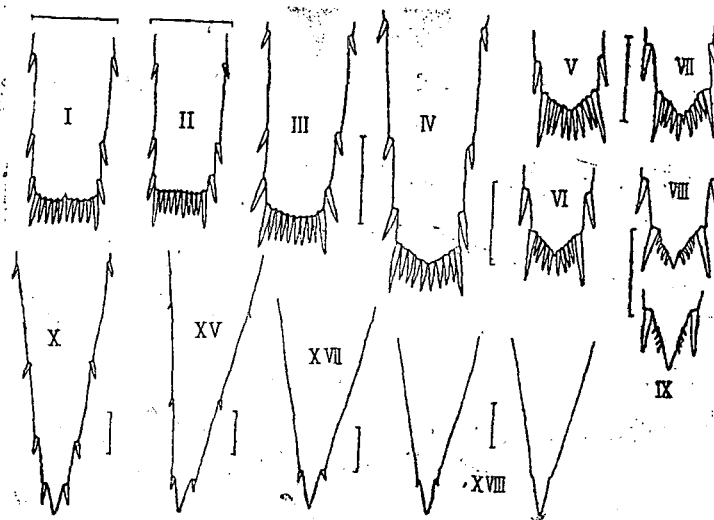


图4 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾尾节 (比例尺=0.25mm)

3对，第8—9期时末缘中部的4对变得很小，在第10或11期时消失，使尾节的刺式减少至4+4，随着蜕皮次数的增加，这4对尾刺也不断变小，近基部的尾刺最先消失，距基部最远的1对最后消失。到第18—20期仔虾时，尾节上已无小刺（附表4）。尾节背面中央形成1条纵沟，至第10期仔虾时已较为明显。

尾肢在第1期仔虾时几乎与第3期糠虾幼体时相同，只是内外肢上刚毛数继续增多，外肢稍长于内肢，二者均短于尾节。至第4、5期仔虾时，尾肢长达尾节末端，第6期仔虾时开始超出尾节末端，以后继续伸长。外肢后半部在第7、8期仔虾时出现1弧形脊，内外肢的纵脊在第10期仔虾时出现，以后逐渐增至2—3条，第17期后尾肢再无明显变化。

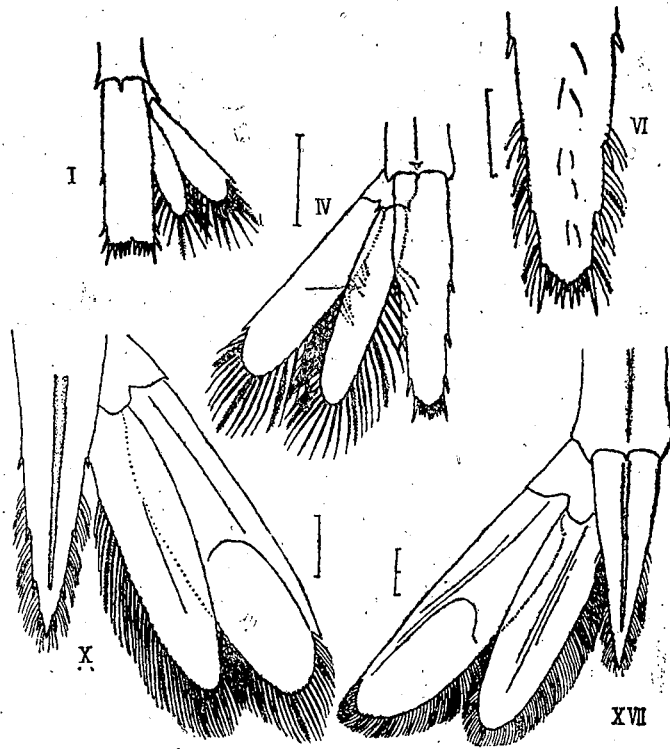


图5 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾尾肢（比例尺=0.5mm）

4. 第1触角（图6） 第1触角的变化主要发生在第1节和第3节末端的内外鞭上，第2、3节除周缘刚毛数随每次蜕皮而增加外，无明显变化。第1节最长，在整个仔虾期约为第2、3节长度之和的1.5—2倍。第1期仔虾时，第1节内缘近末端1/3处的1锐刺在发育过程中稍移向基部，并不断变小，约在第12或13期仔虾时消失；另有1小刺于第8期时在该节末端外侧出现，基部的内侧附肢也在第8期时明显可见，以后不断伸长，至15期时其末端可达该节长度的3/4处。第1期仔虾时第1节基部平衡囊外侧上方的柄刺较钝，以后逐渐伸长、变锐，第8期仔虾时约与内侧附肢等长，以后便渐渐短于内侧附肢，至第15期时其长度已不到内侧附肢的1/2。

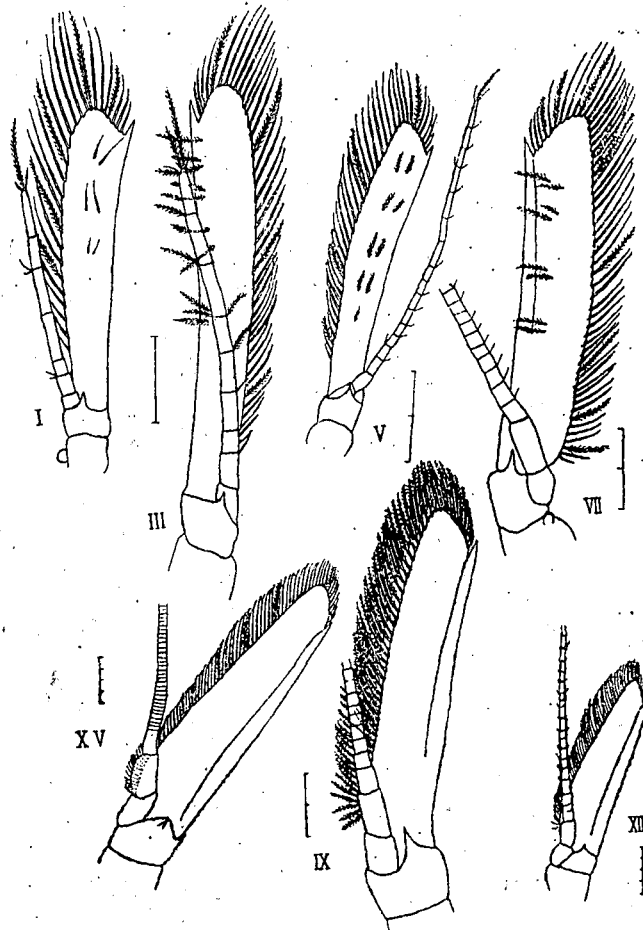
内外鞭在第1期仔虾时分别为3节和2节，节数随着蜕皮次数而增加。第1—8期时

内鞭节数多于外鞭，第9期后外鞭节数超过内鞭。第1—9期仔虾时，外鞭短于内鞭，第5期仔虾或5期以前，内鞭增长快于外鞭，但第6期以后外鞭的增长速度则快于内鞭，至第10期仔虾时，外鞭长超过内鞭，到20期时，外鞭长已超过内鞭的2倍（附表7）。外鞭上生有感觉毛，感觉毛外表光滑，不具羽状刚毛，其末端为圆形，随着虾体的发育，这些感觉毛日趋发达，成束地排列在外鞭近基部较粗的部分上，呈刷状。



图6 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第1触角 (比例尺=0.25mm)

5. 第2触角 (图7) 第1期仔虾时原肢与第3期糠虾幼体时相比无变化，内肢（触鞭）虽有增长，但仍短于外肢，其上刚毛较糠虾幼体时增多，分节也较上期清晰，一般7—8节；外肢（鳞片）仍为上宽下窄，其上刚毛增多，上半部有成束（一般为2根1束）排列的刚毛。鳞片基部随着每次蜕皮而加宽，约在第7期仔虾时上下等宽，第8, 9期后，基部明显地宽于端部。第7期仔虾时鳞片近内侧缘开始出现1条纵脊，以后各期自上而下，逐渐显著地隆起。触鞭分节数在整个仔虾期不断增多，长度逐渐增加，至第4期时基本与鳞片等长，第5期时开始长于鳞片，11期时长达体末端，20期时约为体长的2倍。

图7 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第2触角 (比例尺=0.25mm)

6. 大颚 (图8) 与第3期糠虾幼体相比, 第1期仔虾时大颚切齿部与臼齿部的小齿减少, 其中切齿部到第5期仔虾时除端部还有2个小齿外, 其余全部消失; 臼齿部的小齿在仔虾初期随蜕皮次数的增多而不断减少、变钝, 但一直保持一定数目。糠虾幼体时出现的大颚触须到第1期仔虾时已分为明显的2节, 第1节长于第2节, 其上均出现数根刚毛。随着蜕皮次数的增加, 触须不断增大, 第2节变得十分平扁, 其周缘刚毛不断增加, 至第9或10期时, 第2节开始长于第1节。

7. 第1小颚 (图9) 第1期仔虾的第1小颚与第3期糠虾幼体时基本相同, 内肢依然3节, 其刚毛式仍为3+2+5。以后内肢的刚毛不断减少, 第3期时分节消失, 第4、5期刚毛为最少, 第6期时刚毛突然增多, 但第7期时刚毛数又骤然减少, 一般只剩1根, 而且内肢下部开始变宽。第8期仔虾时内肢的刚毛再度增加, 到第10期时内肢下半部两侧已形成成束的刚毛, 其数目随着每次蜕皮不断增加。第11—12期时, 内肢末端形成1棒状小节, 有的个体该小节分为2节, 但节间界面在仔虾期不太明显。第13—14期时, 内肢中上部一侧生出小齿, 小齿数随每次蜕皮而增多。

原肢的2叶在仔虾期变化很小, 只是有所增大, 其上的刚毛数增多,

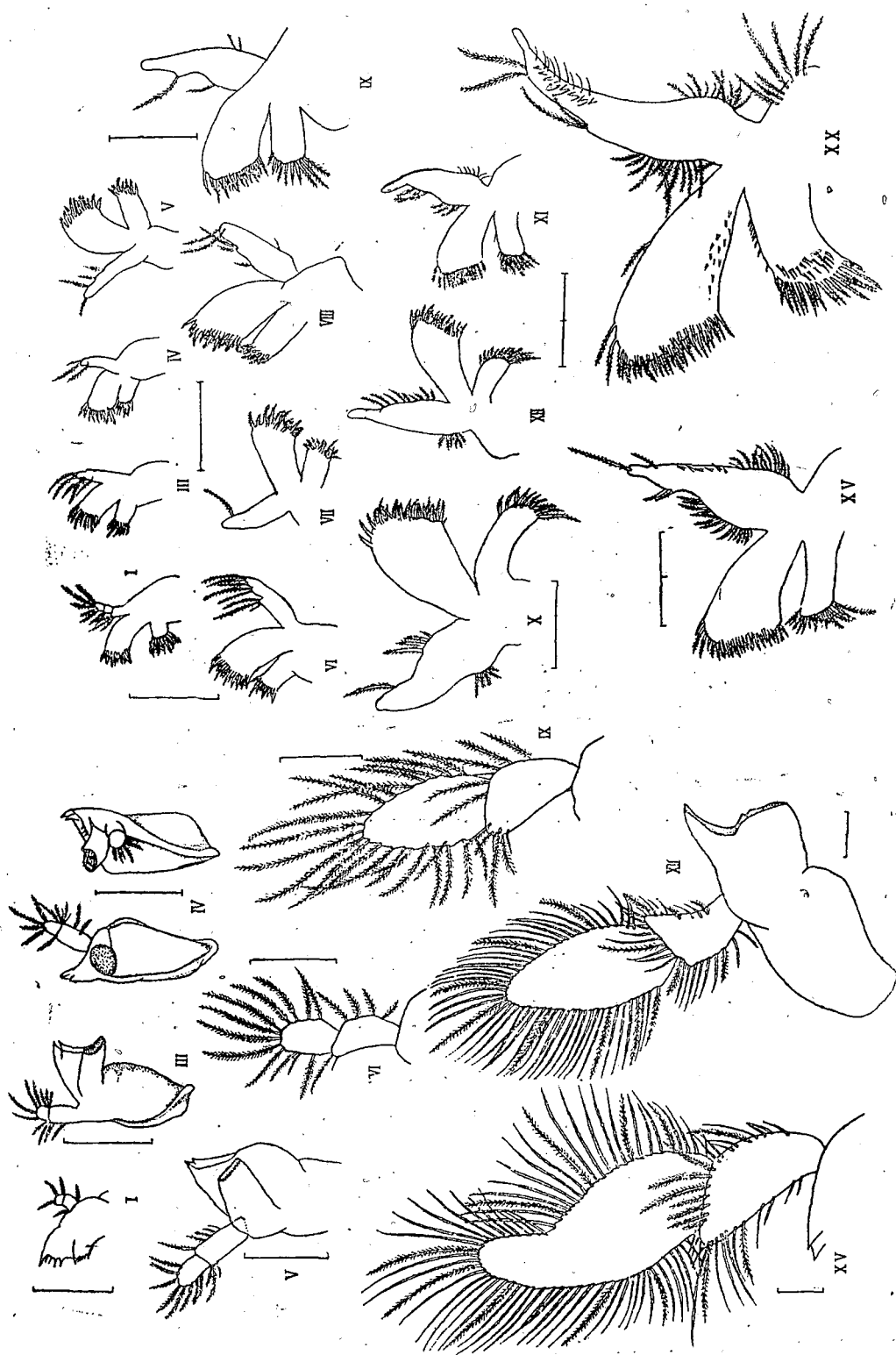


图 8 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾大颚 (比例尺 = 0.25mm)



图 9 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第1小颚 (比例尺 = 0.25mm)

8. 第2小颚(图10) 第1, 2期仔虾时第2小颚与第3期糠虾幼体相比没有明显变化。原肢5个小叶中最大的第1小叶相对地变小, 至第5期仔虾时末端呈锥形, 其上刚毛减少到2根; 第5小叶从第2—3期时开始变小, 第4期时消失。

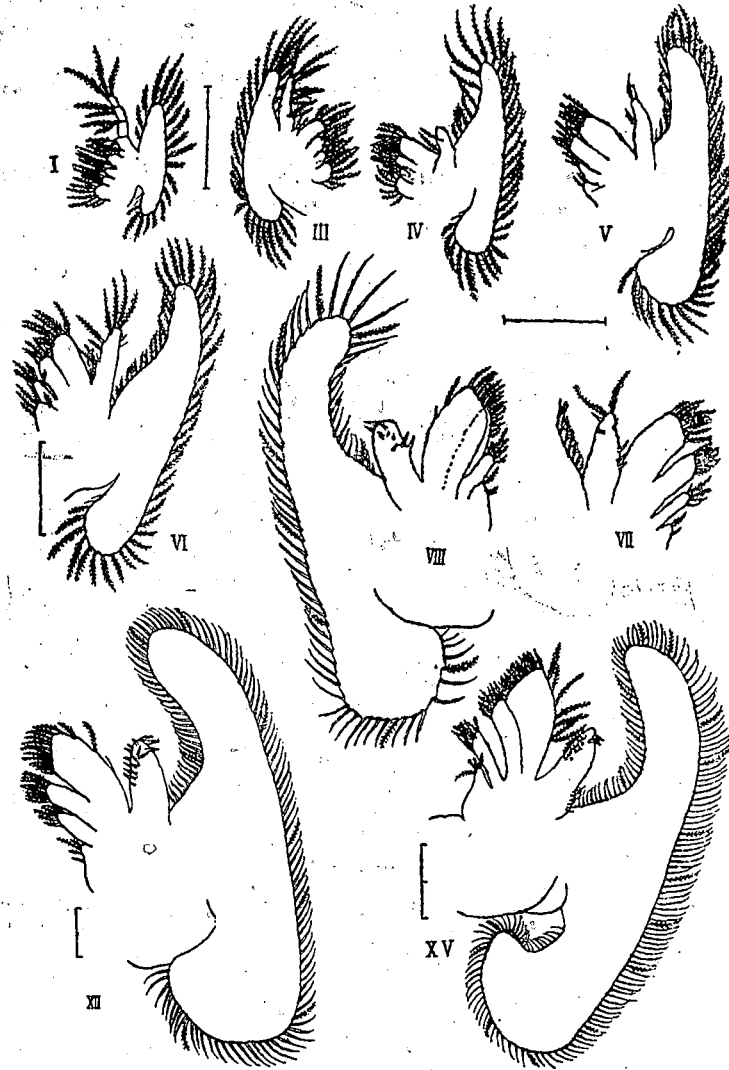


图10 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第2小颚 (比例尺=0.25mm)

内肢的分节在第3—4期仔虾时开始消失, 其上刚毛在第4, 5期时最少, 第6期时骤然增多, 第7期时再度减少, 内缘端部生出数个小齿, 这些小齿随着蜕皮次数而增加。内肢在第1期仔虾时超出外肢(颚舟叶)的末端, 第2期时开始相对变短, 第3期时与颚舟叶末端齐平, 第4期开始远不及颚舟叶末端。

颚舟叶是变化最小的部分, 它只是有所增大, 其周缘的刚毛数增多。

9. 第1颚足(图11) 原肢是仔虾期变化最小的部分。第3期糠虾幼体时形成的1叶肢鳃在第1—3期仔虾时还只在原肢基部外侧的第1叶上,第4期后它不断增大,其上端可达第2叶中部,并逐渐覆盖了外肢基部。另有1叶关节鳃在第7期仔虾时出现,但始终很小,为稚型关节鳃(Ab,附表19)。

内肢的分节在第3或4期仔虾时消失,其上刚毛也在此时开始减少,第5期时为最少,第6期时再度增加,其时内肢基部内侧亦开始膨大,该膨大部的刚毛不断变得粗短,并整齐地排列成束。内肢长度变化很大,第1—4期仔虾时长于外肢,第5—9期时短于外肢,第10期后再度长于外肢。内肢末端在第9—10期开始有分节现象,约为4节,但分节不甚清晰。

外肢的刚毛在第2—3期仔虾时开始减少,第5期时只剩下末端的2根,第7,8期时又开始明显增多,至12期时已密布于外肢上半部边缘。

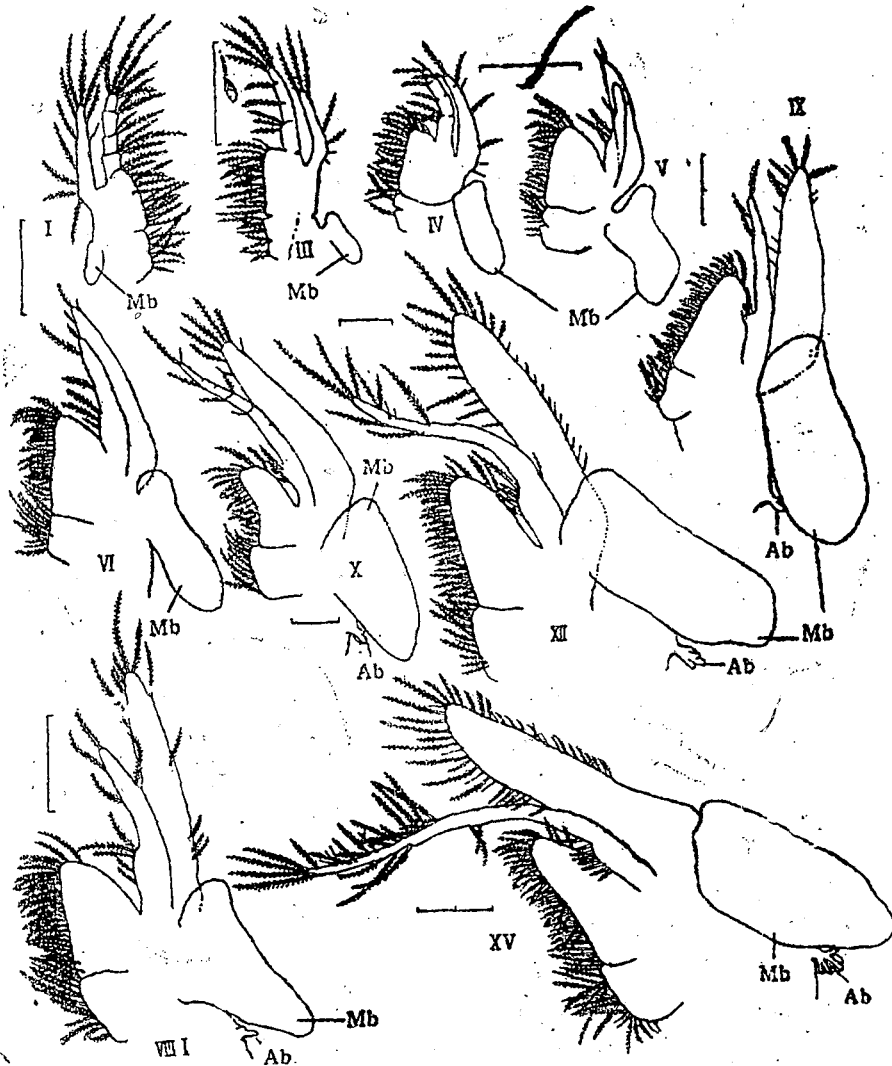


图11. 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第1颚足 (比例尺=0.25mm)

10. 第2颚足(图12) 原肢分底节和基节, 在仔虾期的变化主要是着生于底节和体壁之间的鳃的数目的变化(附表19)。第1, 2期仔虾与第3期糠虾幼体相同, 底节上仅有1叶肢鳃, 第3期仔虾时分别在底节和底节与体壁之间出现1叶足鳃和1叶关节鳃雏形。第4—5期时足鳃和关节开始分枝。第7期仔虾时出现另1叶关节鳃的雏形, 至此第2颚足已具全部的4叶鳃。其中关节鳃和足鳃结构相同, 只是着生部位不同; 肢鳃的结构不同于足鳃和关节鳃, 它不分枝, 发育完全后呈分叉的叶片状, 约在第8期仔虾时其上生出刚毛, 刚毛的末端为圆形, 刚毛数随着蜕皮次数而增多。

内肢5节, 第1期仔虾时与第3期糠虾时相同, 以后末端3节开始曲折, 至第4期仔虾时末2节已折回, 与长节平行。长节、掌节和指节的刚毛随着每次蜕皮而增加, 掌

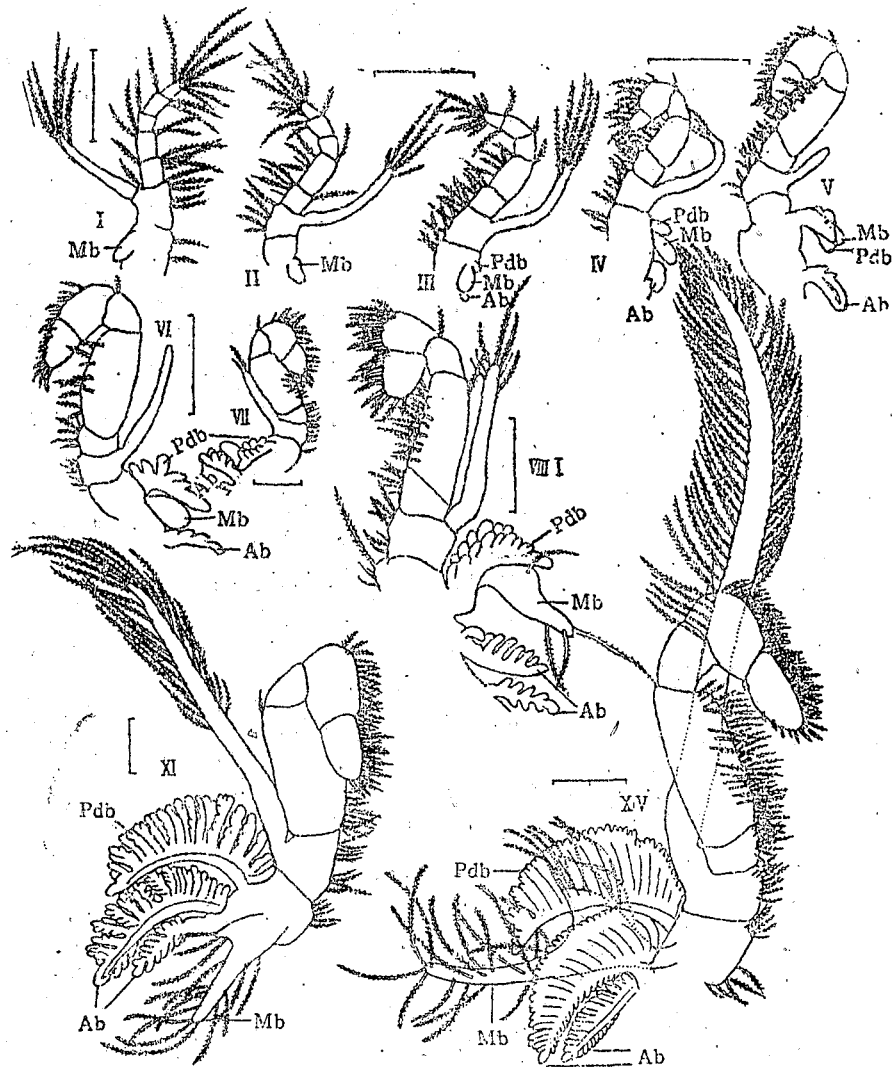


图12 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第2颚足 (比例尺=0.25mm)
Pdb, 足鳃(下同)

节和指节外缘的刚毛粗短，带小刺，排列紧密，呈刷状。内肢的形状在第4期仔虾后变化很小。

外肢在第1—3期仔虾时与第3期糠虾时相同，短于内肢，其上有4—5根刚毛。第4期仔虾时外肢上的刚毛开始减少，第5期时外肢退化到最短小，其上刚毛全部消失。第8期时外肢再度明显地伸长，其上刚毛增多，至第15期时外肢已远远长于内肢，除基部外，周缘密布刚毛。

11. 第3颚足(图13) 与第1, 2颚足相比, 第3颚足在仔虾期变化最小。1—3期仔虾时, 第3颚足与第3期糠虾幼体时相似, 外肢上有9根刚毛(墨吉对虾和长毛对虾为8根), 原肢基部与体壁之间仍为2叶尚未分枝的关节鳃。原肢由底节和基节组成,

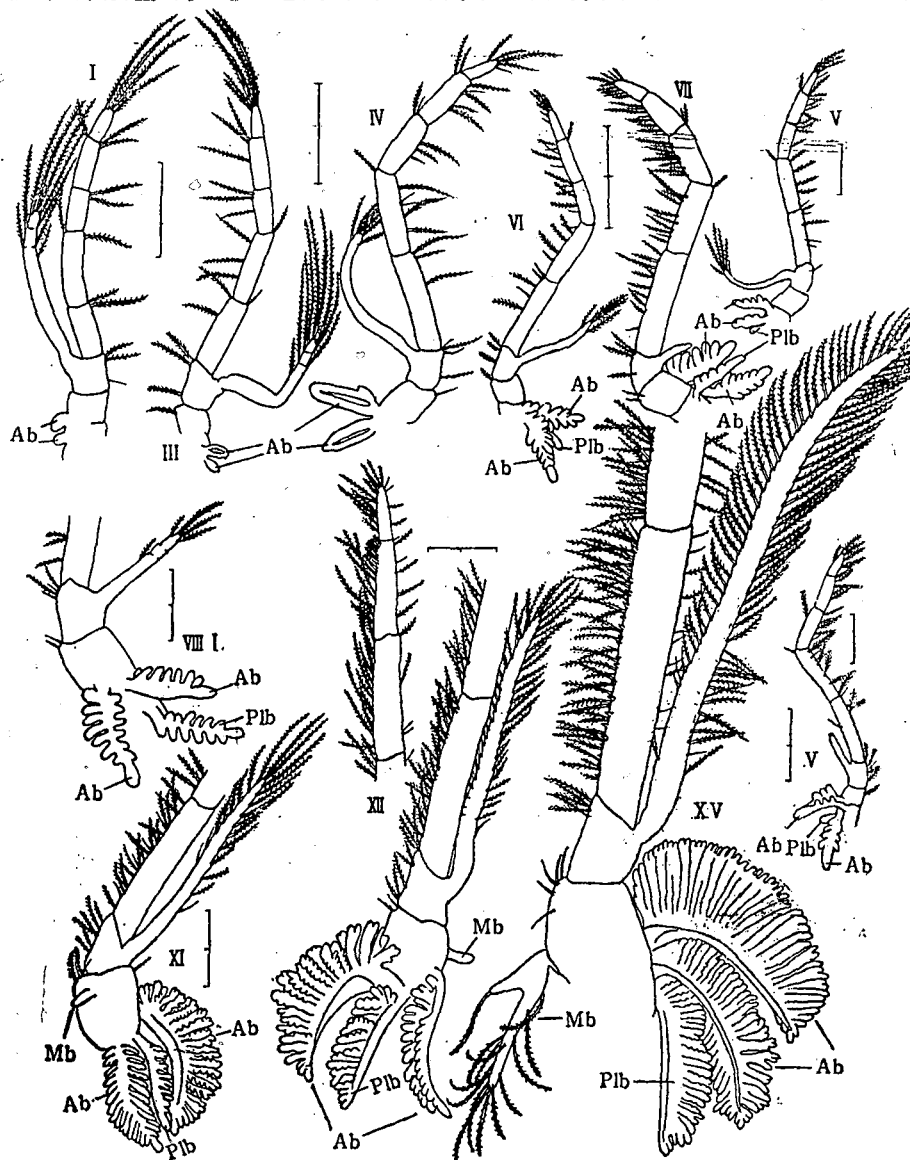


图13 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第3颚足 (比例尺=0.25mm)

Plb, 侧鳃(下同)

在仔虾期形态上几乎没有变化，着生在底节与体壁之间的2叶关节鳃在第4或5期仔虾时开始分枝，第5期时又在原肢上方的身体侧壁上生出第3叶鳃（侧鳃），该鳃约在第7期时开始分枝，外形结构上与2叶关节鳃相同。至第11或12期仔虾时有1肢鳃雏形从底节上生出，至此第3颚足已形成了全部的4叶鳃，该肢鳃到第13或14期仔虾时呈分叉的叶片状，其上已有数根刚毛。

内肢5节，末节的长羽状刚毛自第4期仔虾时开始变得粗短，所有5节上的刚毛随着蜕皮次数的增加而增多，密布在整个内肢的内侧面上。座节和长节的长度比例有较明显的变化，即第1期仔虾时座节短于长节，稍长于其 $3/5$ ，第2期时座节稍短于长节，第3期时二者长度相当，第4期时座节开始长于长节，第7期时座节与长节长度之比达到最大，为 $3/2$ ，以后逐渐减少，至第15期时为 $5/4$ 。掌节内侧近端部在第11期时出现数根（约3根）粗短的刚毛，以后数目不断增多，呈刷状。座节内缘在11—12期时出现小齿，约4—5个，以后逐渐增多，并着生在整个座节内缘。

外肢在第4期仔虾时开始退化，但其上仍有数根刚毛，长度也可达长节，第5、6期时外肢长一般不到长节，可达座节，其上有短小的刚毛或无。至第7期时外肢最短小，其上刚毛全部消失。第8期时外肢再度伸长，其上刚毛数开始增多，至11期时，外肢末端再次达到长节，末端 $1/2$ 处密生刚毛。到15期时，外肢末端已超出长节，达腕节基部，其周缘大部密生刚毛。

12. 第1—3步足（图14, 15, 16） 第1—3步足螯状。3对步足的结构非常相似，但第3步足最长，第2步足次之，第1步足最短，且较粗壮。与内肢长度相比，第3步足外肢最短，第2步足居中，第1步足最长，但这一特征在第9期仔虾时再度发育起来的步足外肢上并不明显。第5期仔虾时，第1步足腕节内侧近末端和螯内侧近基部处出现数根粗短的刚毛，这些刚毛外形结构与第3颚足掌节内侧近末端的刚毛束相同，至第7期后数目不断增多，并呈刷状，第2、3步足上无此刚毛束。第1步足座节内侧端部在第6期仔虾时出现1座节刺，第7期时在基节内侧端部出现1基节刺；第2步足也于第9或10期时出现1基节刺，但无座节刺；第3步足既无座节刺，也无基节刺。

第1—3步足在仔虾期的变化主要是螯以及腕节与螯长度比例的变化。第3期仔虾时，螯上有小齿出现，但很细小，约3—4个。随着每次蜕皮，小齿数不断增加，而螯上的对生刚毛束也不断增多（图16），至10期仔虾时，螯上约有13—16个小齿，第15期时约有16—20个小齿。内肢5节长度的比值随着每次蜕皮而变化，其中最末1节（螯）与腕节的长度比变化最为显著（附表10）。

3对步足的外肢变化基本相同，第1—2期仔虾时其上有9根刚毛，第3—4期仔虾时外肢稍变短，但仍可达长节，其上仍有8—9根刚毛。第5—6期时外肢开始退化，有的只为短小的一截，刚毛全部消失；有的则稍长，末端仍有数根刚毛。第7—8期时外肢退化到最短，一般不长于座节，其上刚毛全部消失。第9—10期时外肢再度开始生出1—3根刚毛，刚毛数随着每次蜕皮而增加，至15期时可达8—12根，外肢约与座节等长。

3对步足鳃的发育也完全相同（附表19）。第1—4期仔虾时各步足一直为2叶关节

鳃，其中上1叶鳃一般在第4期仔虾时开始分枝，近基部的1叶在4或5期时开始分枝。第4或5期时出现1叶侧鳃，第7期时底节上有1肢鳃生出，该肢鳃在第9—10期时开始生出刚毛。

13. 第4, 5步足(图17) 第4, 5步足结构非常相似，只是第5步足稍长于第4步足，但这一差别到第5期仔虾后才比较明显。此外，第4步足较第5步足多1叶关节鳃，与内肢相比，第4步足的外肢一般相对长于第5步足者。第4, 5步足不具螯，内肢5节。

第1—2期仔虾时，第4, 5步足与第3期糠虾幼体相比无显著变化。第3期仔虾时内肢末节端部变尖，呈镰刀状。以后内肢形状无任何变化，只是刚毛有所增加，指节末半

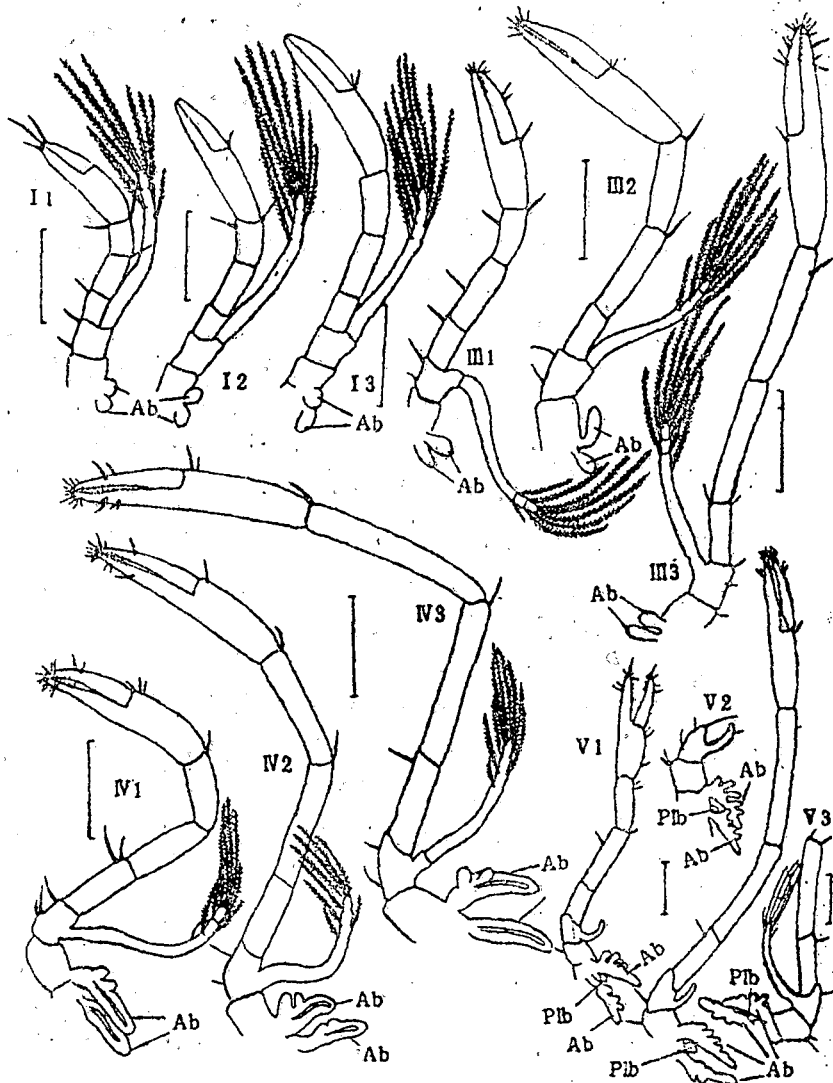


图14 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第1, 2, 3步足 (比例尺=0.25mm)
阿拉伯数字1, 2, 3分别表示第1, 2, 3步足 (下同)

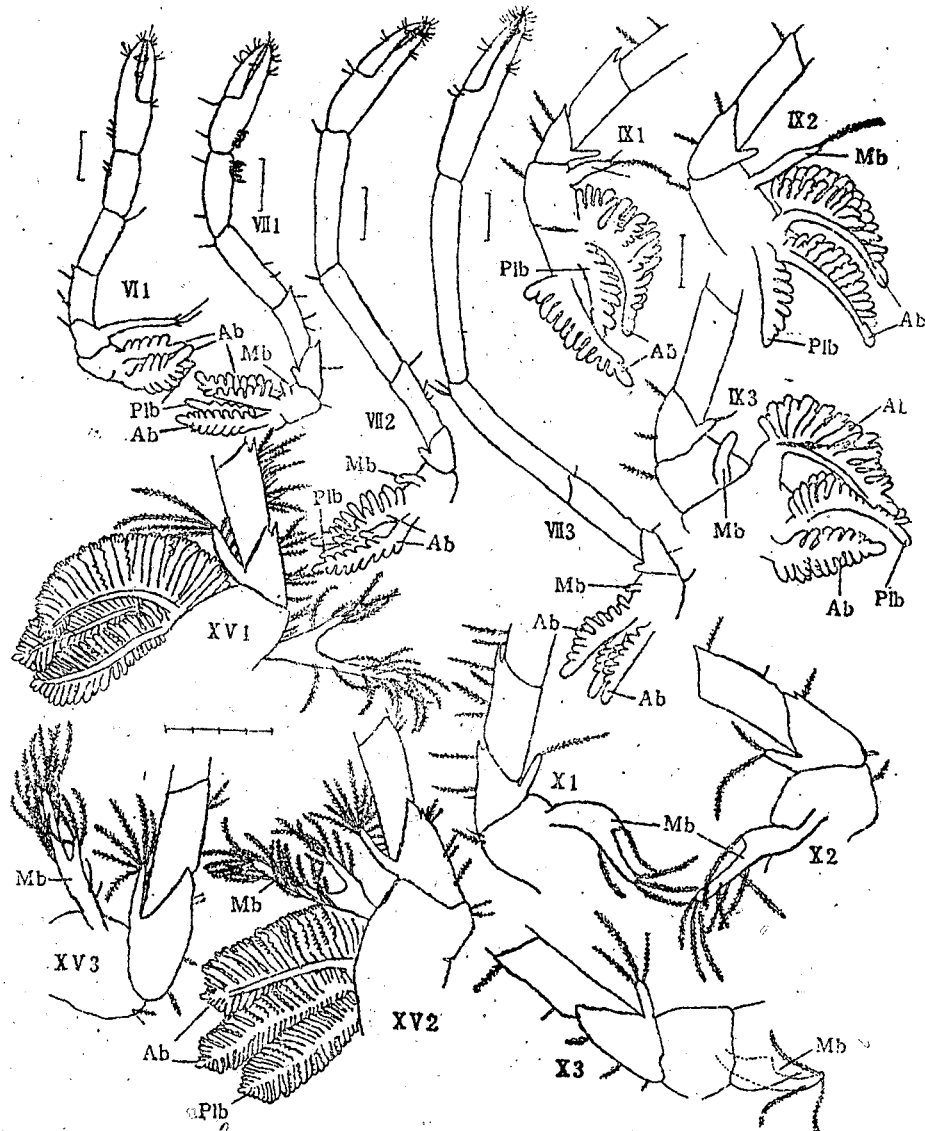


图 15 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第 1, 2, 3 步足 (比例尺 = 0.25mm)

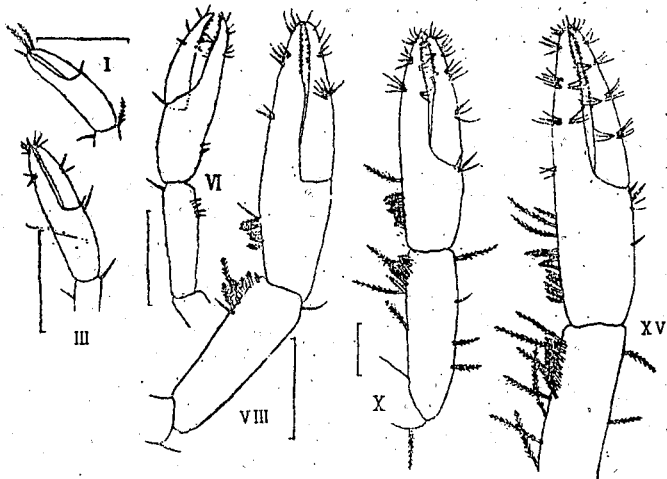


图 16 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第 1 步足 (示螯, 比例尺 = 0.25mm)

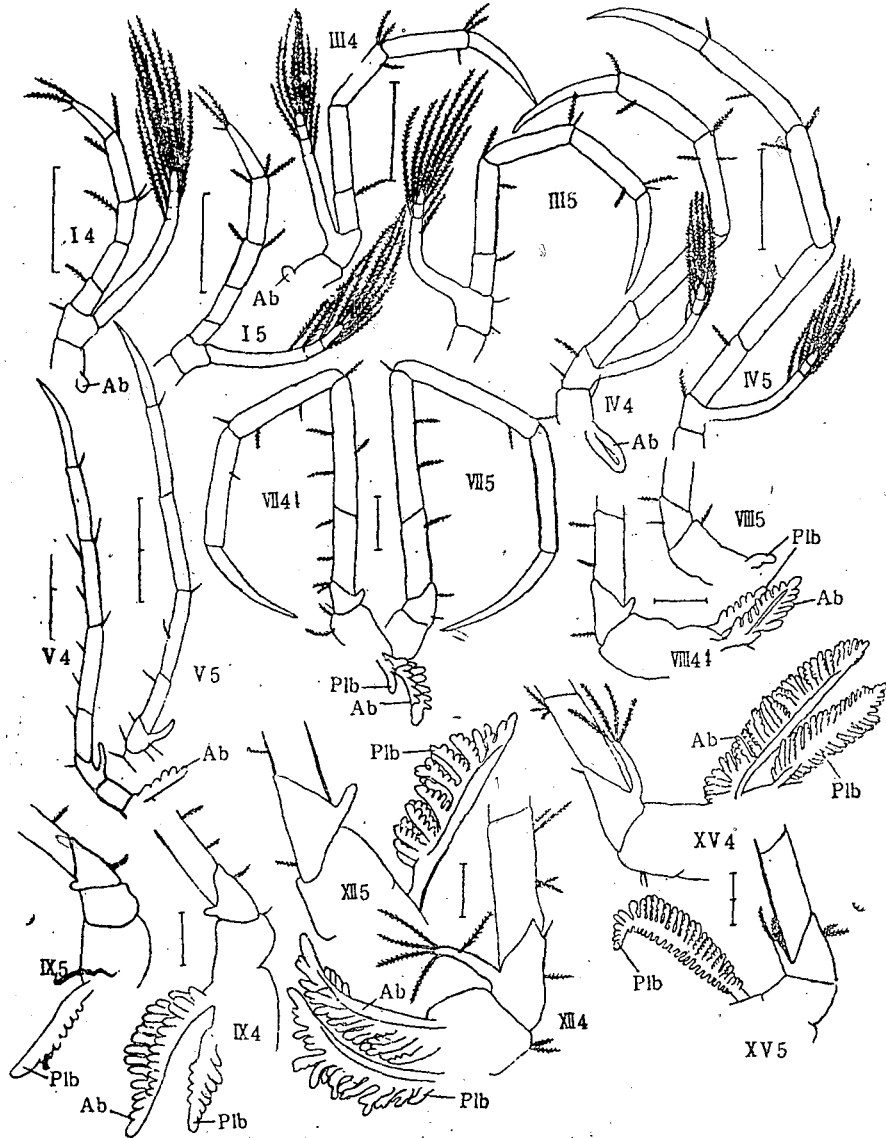


图 17 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第 4, 5 步足 (比例尺 = 0.25mm)

阿拉伯数字 4, 5 分别表示第 4, 5 步足 (下同)

部出现成束对生的刚毛。

外肢在 1—4 期仔虾时与第 3 期糠虾幼体时相同, 具 9 根刚毛 (第 4 期仔虾时有的个体为 8 根)。第 3—4 期仔虾时外肢长度虽稍有缩短, 但仍可达长节的中部或中部以上。第 5 期时外肢开始退化, 其上刚毛消失。第 7—10 期时第 4 步足外肢退化, 很短小, 短于或等于基节。第 5 步足的外肢常在第 7—8 期时完全消失, 第 9—10 期时再度出现, 但仍非常短小。第 4 步足外肢在第 11 或 12 期时再度稍有伸长, 其上开始生出刚毛, 第 5 步足外肢一般要晚些, 在第 13 或 14 期时开始再度伸长, 并生出刚毛, 但第 4 步足外肢末端一般不超过座节中部, 第 5 步足外肢短于或等于基节长度。

第 4 步足在第 1—5 期仔虾时只具 1 叶关节鳃 (附表 19), 该鳃一般在第 5 期仔虾时

开始分枝，第6期仔虾时又生出1叶侧鳃。第5步足只有1叶侧鳃，一般在第8期仔虾时出现。

14. 第1—5对腹肢(图18) 腹肢由原肢、内肢和外肢构成，原肢不分节，短于外肢。第1期仔虾时原肢无刚毛，内肢约有8—10根刚毛。随着蜕皮次数的增加，原肢开始出现刚毛，第5腹肢上的最多，第4腹肢次之，第3腹肢再次，第1, 2腹肢的刚毛最少。外肢的刚毛也随着每次蜕皮而增多，密布于除基部外的整个周缘。内肢在各腹肢上的出现是不同步的(附表13)。第4, 5腹肢的内肢最早(第4期仔虾时)出现，其中第4腹肢内肢较发达。第3腹肢的内肢在第5期时出现，第2腹肢的内肢在第6期时出现。

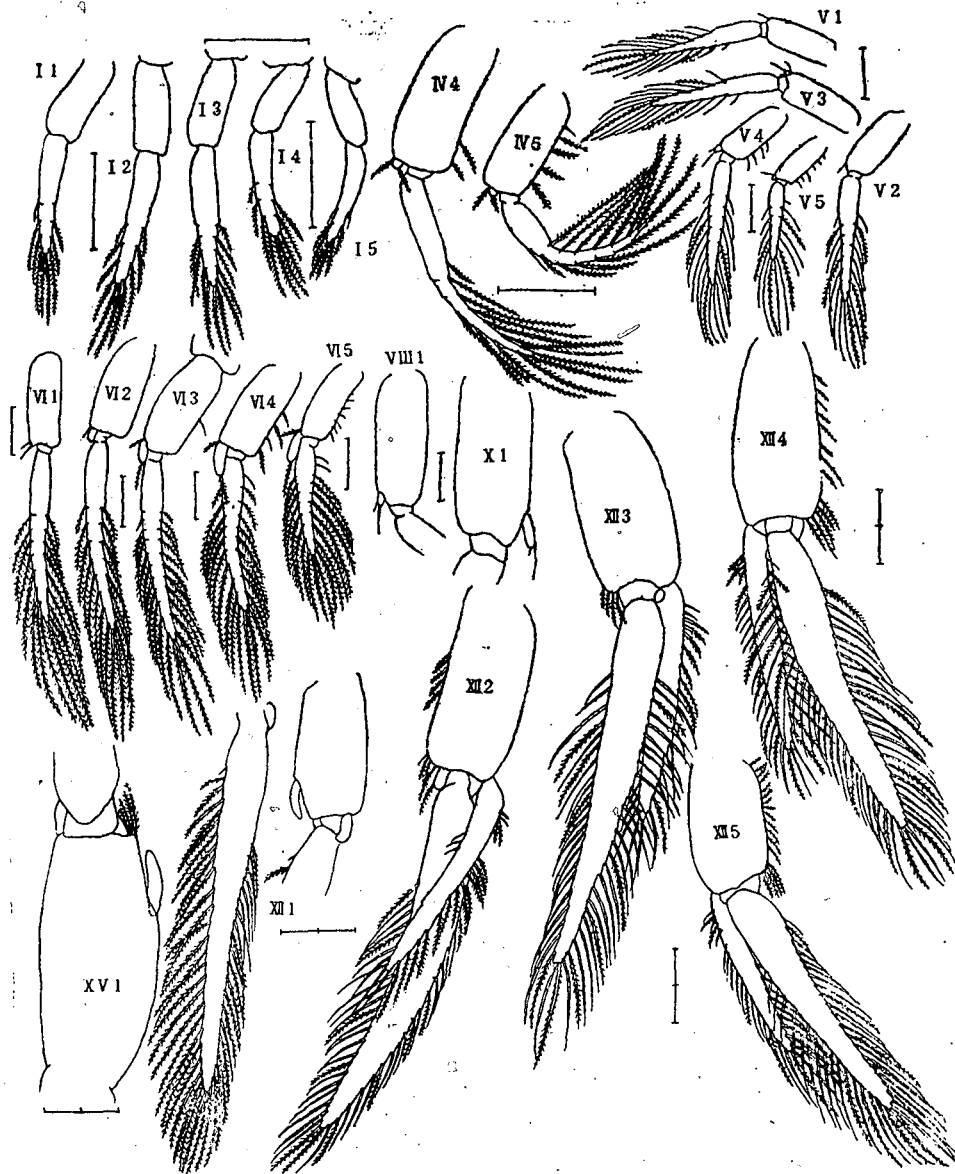


图18 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾第1, 2, 3, 4, 5腹肢 (比例尺=0.25mm)

阿拉伯数字1, 2, 3, 4, 5分别表示第1, 2, 3, 4, 5腹肢(下同)

第1腹肢内肢出现最晚(第7—8期仔虾时),出现后发育缓慢,一直呈细棒状,其上开始时可见1—2根刚毛,以后便消失。雄性个体的内肢成长后发育为交接器(petasma),但仔虾期时两性尚未见差别。

(二) 墨吉对虾 *Penaeus merguensis* De Man, 1888

由于墨吉对虾和长毛仔虾发育形态的变化与中国对虾非常相似,下文着重描述它们与后者的不同之处。

1. 额角和头胸甲(图19) 额角在第1—4期仔虾时稍短于头胸甲的1/2,第5期时稍长于头胸甲的1/2,第7—8期时约与头胸甲等长。额角与头胸甲的长度比在11—13期时达到最大,约为3/2(附表17),远大于中国对虾者,后者在相应的仔虾期时额角仅接近或等于头胸甲的长度。墨吉对虾额角与头胸甲长度之比在第14期仔虾时开始下降,表明额角的增长速度减慢,至第22期仔虾时比值降至13/10。第1期仔虾的

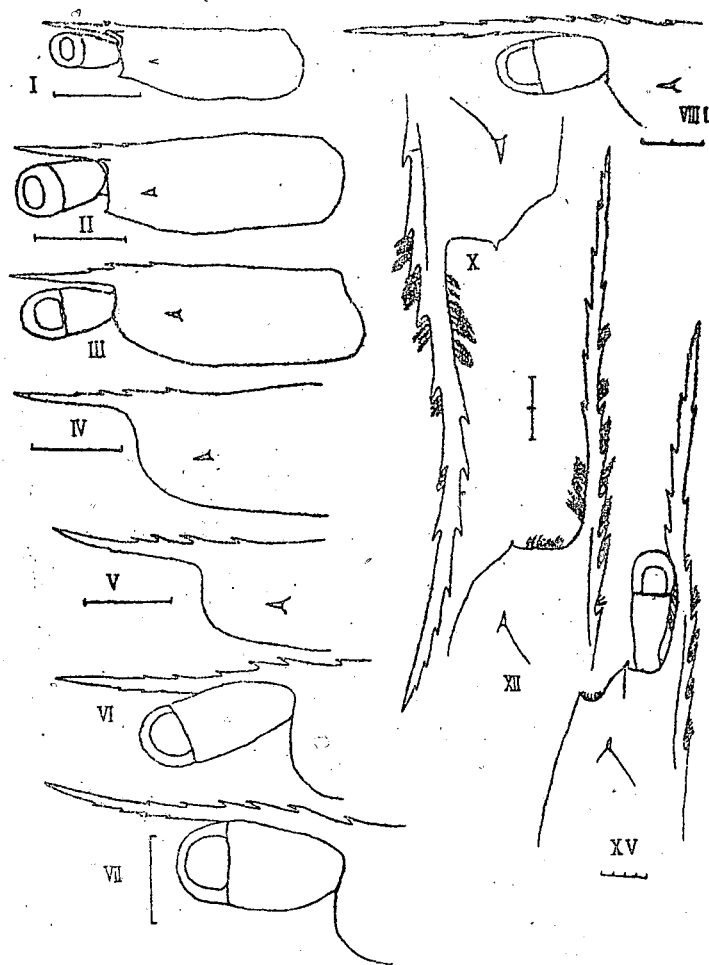


图19 墨吉对虾 *Penaeus merguensis* 仔虾头胸甲(比例尺=0.5mm)

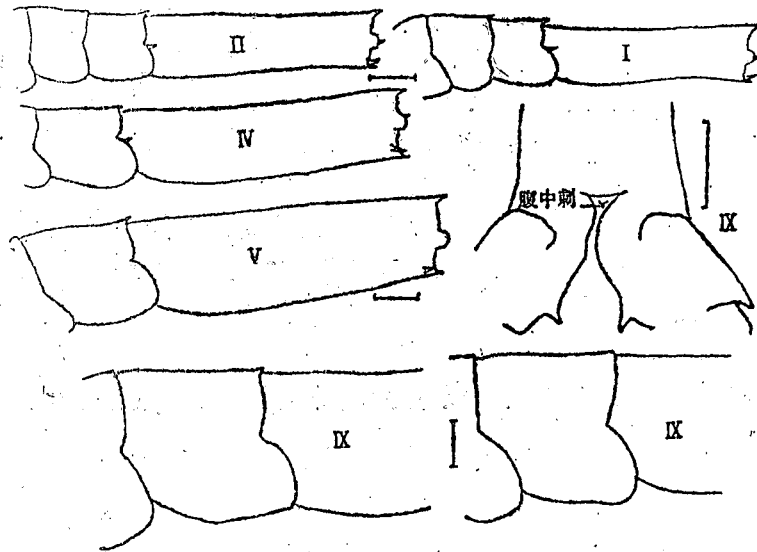


图 20 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾腹部 (比例尺 = 0.25mm)

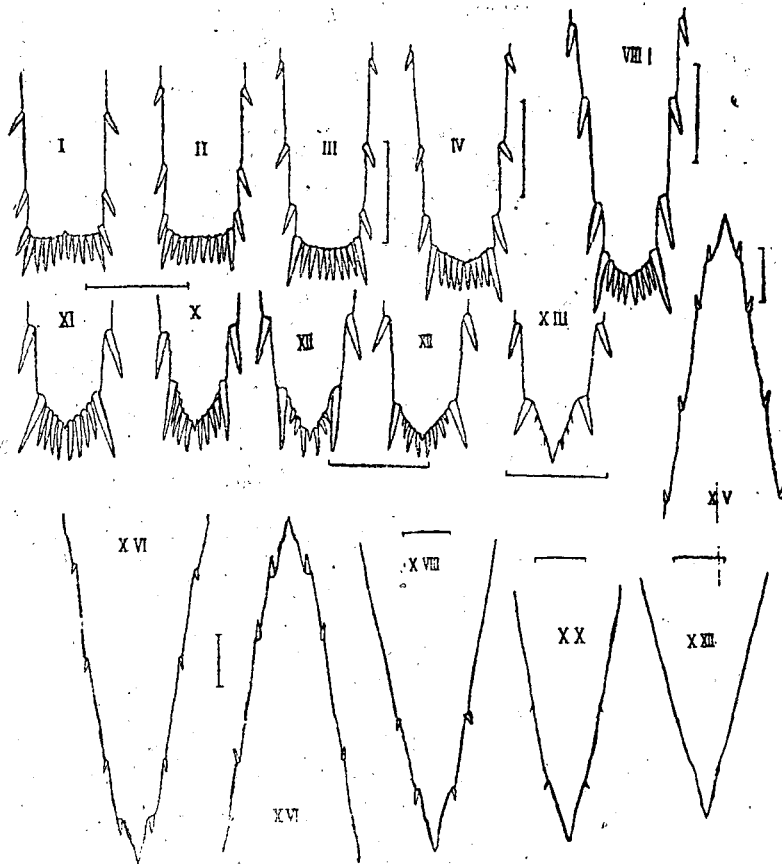


图 21 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾尾节 (比例尺 = 0.25mm)

额角上缘齿数为1个, 少于中国对虾(2—3个), 以后则基本与中国对虾相同(附表2), 第10期时达到最多, 为6—8齿。额角下缘齿也在第5或6期仔虾时首次出现。第8期仔虾后, 常见到额角下缘具6—7齿的个体, 但第14期后则未发现额角下缘多于6齿的个体, 而中国对虾的额角下缘齿一般不超过5个, 但这种差异并不见于成体(刘瑞玉, 钟振如, 1986)。

头胸甲长在第1—2期仔虾时约为体长的 $\frac{1}{4}$, 与中国对虾相同。但第3期开始该比值呈下降趋势, 至第20期时, 头胸甲仅为体长的 $\frac{1}{5}$ (附表17)。此外, 墨吉对虾的触角刺在第3或4期仔虾时消失, 第8或9期时又重新出现; 眼上刺在第3期仔虾时消失, 较中国对虾早2期。

2. 腹部(图20) 墨吉对虾第4腹节的背中刺在第2或3期仔虾时消失, 较中国

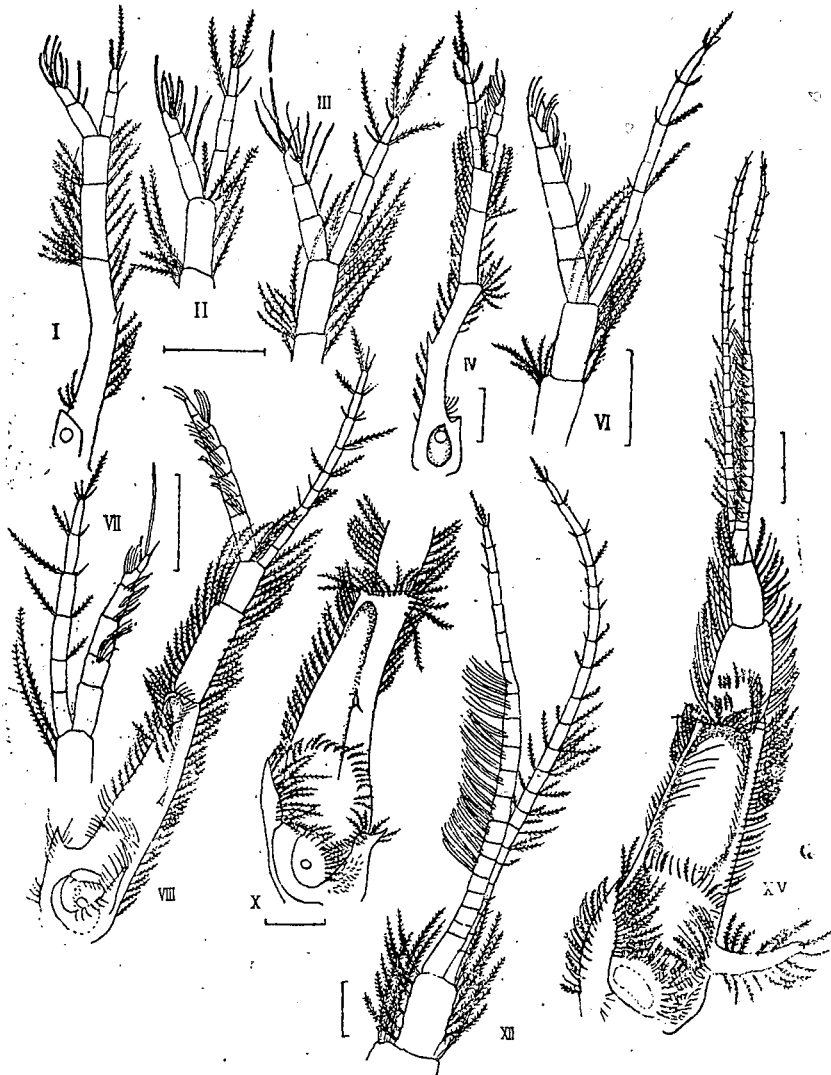


图22 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾第1触角 (比例尺=0.25mm)

对虾晚 1 期。另外，其第 5 腹节的背中刺也消失较晚，一般在 9 或 10 期时，而中国对虾为 6 或 7 期。其它变化与中国对虾相同。

3. 尾节和尾肢（图 21） 墨吉对虾尾肢的发育形态变化与中国对虾相同。但尾节末端中部的小尖突一般在第 9 期仔虾时出现，较中国对虾晚 3 期。

4. 第 1 触角（图 22） 第 1—6 期仔虾时，第 1 触角外鞭与内鞭长度的比值与中国对虾非常相近（附表 7, 8），但此后差别逐渐加大。墨吉对虾在第 14 期仔虾时该比值接近 1，以后稍有增加，到第 20 期时为 11/10；而中国对虾的外鞭长度在第 10 期时就超过内鞭，至 20 期时已达内鞭的 2 倍多。相应地，墨吉对虾外鞭的节数在第 10 期后明显地少于中国对虾，至第 20 期时，墨吉对虾外鞭为 39—50 节，而中国对虾为 86—96 节。

5. 第 2 触角（图 23） 该附肢发育的形态变化与中国对虾基本相同，只是触鞭在第 3 期仔虾时约与鳞片等长，第 4 期时长度超过鳞片，较中国对虾早 1 期。

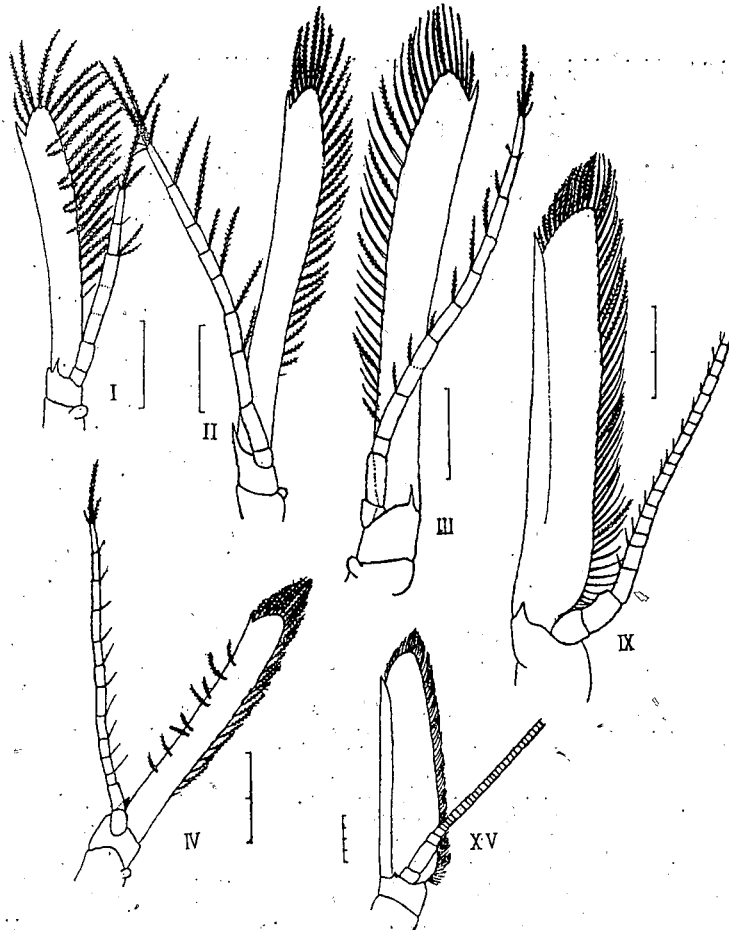


图 23. 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾第 2 触角（比例尺 = 0.25mm）

6. 大颚（图 24） 大颚切齿部的小齿消失较中国对虾早 2 期，一般在第 3 期仔虾时切齿部仅端部具 2 个小齿。其它变化与中国对虾相同。

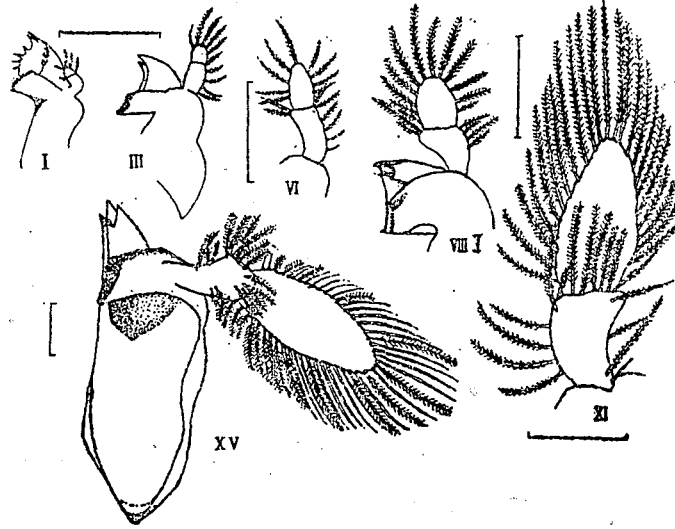


图 24 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾大颚 (比例尺 = 0.25mm)

7. 第 1 小颚 (图 25) 与中国对虾基本相同, 第 1 小颚内肢的刚毛在第 4—5 期仔虾时减到最少, 第 6 期时开始增加, 但第 7 期时刚毛数继续增多; 而不象中国对虾那样骤然减少, 到第 8 期时再度开始增多。此外, 内肢末端的棒状小节未见分节。

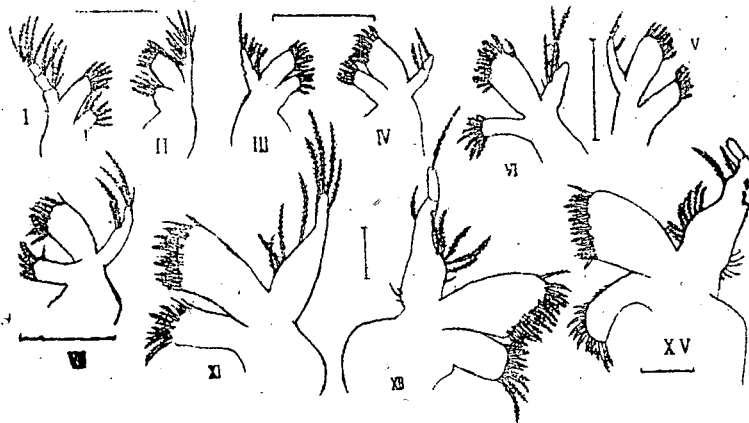


图 25 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾第 1 小颚 (比例尺 = 0.25mm)

8. 第 2 小颚 (图 26) 该附肢在仔虾期的变化与中国对虾基本相同, 只是内肢的刚毛在第 6 期仔虾时不象中国对虾那样骤然增多。

9. 第 1 颚足 (图 27) 第 1 颚足的变化与中国对虾基本相同, 但墨吉对虾内外肢刚毛数开始明显减少的时间较早 (一般为第 3 期仔虾时), 到第 8 期时才开始增加; 而中国对虾在第 4—5 期时内外肢的刚毛就开始减少, 第 6 期时则开始增加。

10. 第 2 颚足 (图 28) 外肢开始退化的时间较中国对虾早 1 期, 一般在第 3 期仔虾时。其它变化, 如内肢及鳃的发育 (附表 20), 则与中国对虾相同。

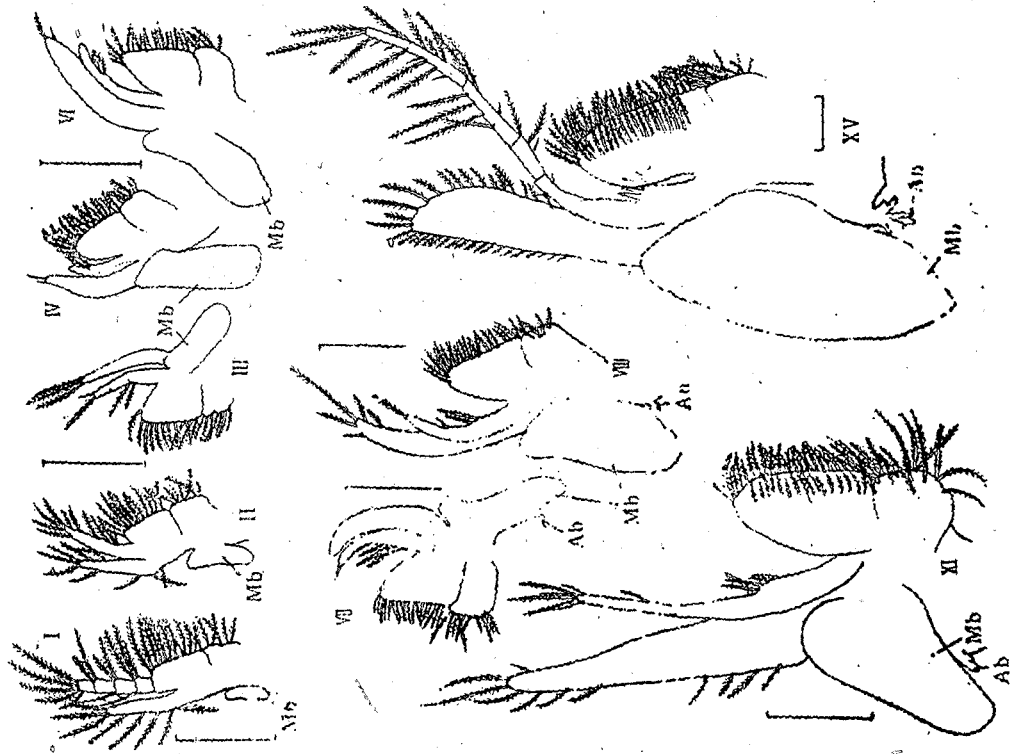


图 27 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾第 1 颚足 (比例尺 = 0.25mm)

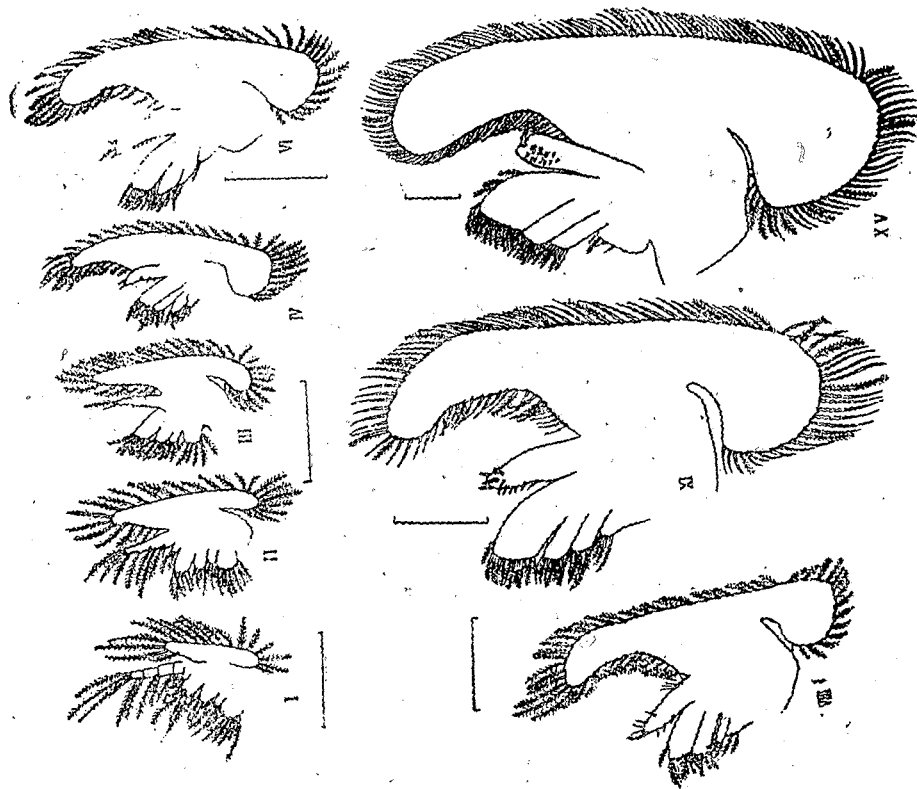


图 26 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾第 2 小颚 (比例尺 = 0.25mm)

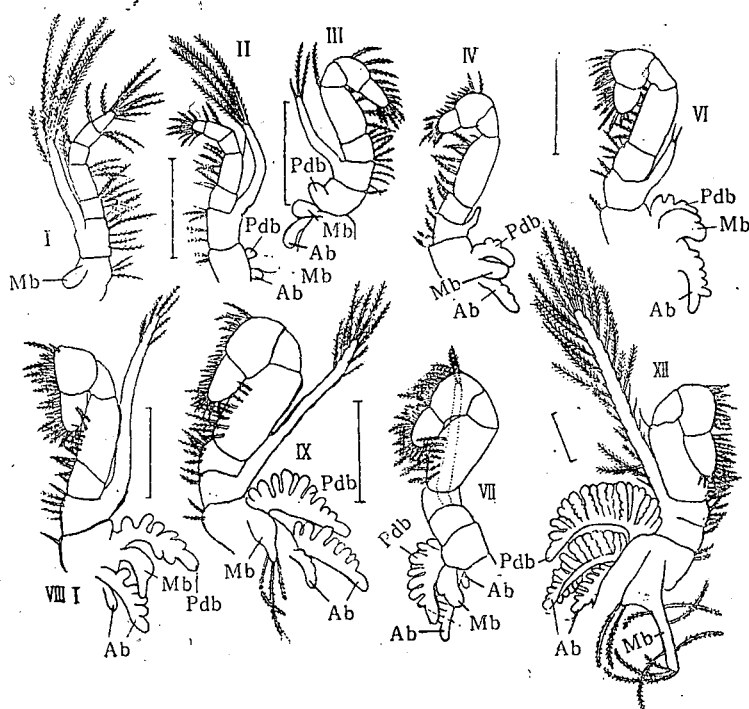


图 28 墨吉对虾 *P. merquiensis* 仔虾第 2 颚足 (比例尺 = 0.25mm)

11. 第 3 颚足 (图 29) 第 1, 2 期仔虾时, 墨吉对虾仍保持着与中国对虾在第 2—3 期糠虾幼体时即已存在的差异, 即其外肢具 8 根长羽状刚毛, 较中国对虾少 1 根。第 3 期仔虾时外肢的刚毛开始减少, 一般为 4—6 根。到第 4 期时外肢退化, 很短小, 不超过座节中部, 其上无刚毛。

12. 第 1—3 步足 (图 30, 31) 第 1—2 期仔虾时, 墨吉对虾仍保持第 2—3 期糠虾幼体时即已存在的与中国对虾的差异, 即外肢上有 8 根长羽状刚毛, 较中国对虾少 1 根。第 3 期仔虾时外肢开始退化, 较中国对虾早 2 期, 其刚毛数少于 8 或无。内肢的变化与中国对虾相同, 螯与腕节的长度之比变化亦很大 (附表 11), 鳃的发育也与中国对虾相同 (附表 20)。

13. 第 4—5 步足 (图 32) 第 4, 5 步足的结构相似, 只是第 5 步足稍长于第 4 步足, 这一差异到第 4 或 5 期仔虾后才较明显。第 1—2 期仔虾时, 外肢的刚毛数仍存在着第 2, 3 期糠虾幼体时与中国对虾的差异, 为 8 根。外肢在第 3 期仔虾时开始退化, 其上刚毛减少, 第 4 期时全部消失。内肢与鳃的变化 (附表 20) 与中国对虾完全相同。

14. 第 1—5 腹肢 (图 33) 腹肢的发育与中国对虾的唯一不同之处是其第 1 腹肢的内肢出现较晚 (附表 14), 在第 11 或 12 期仔虾时, 较中国对虾晚 4 期。

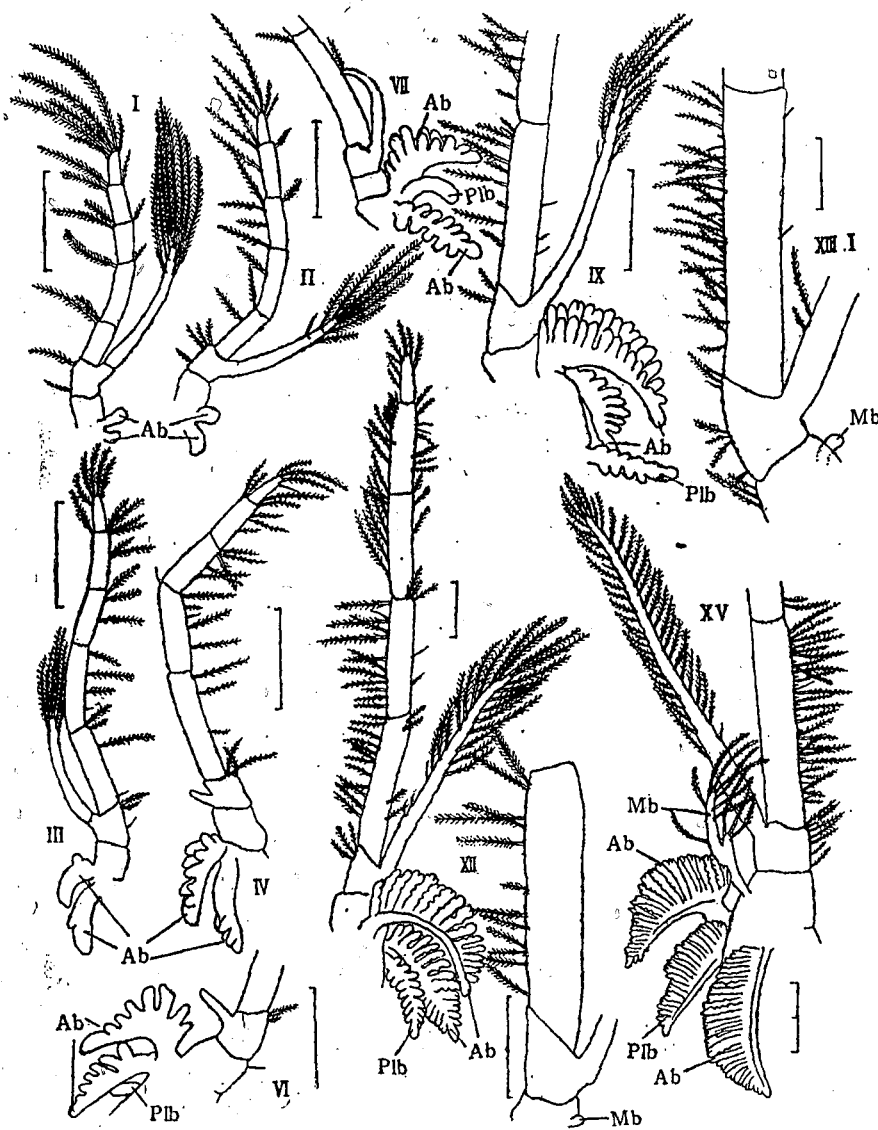


图 29 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾第 3 颚足 (比例尺 = 0.25mm)

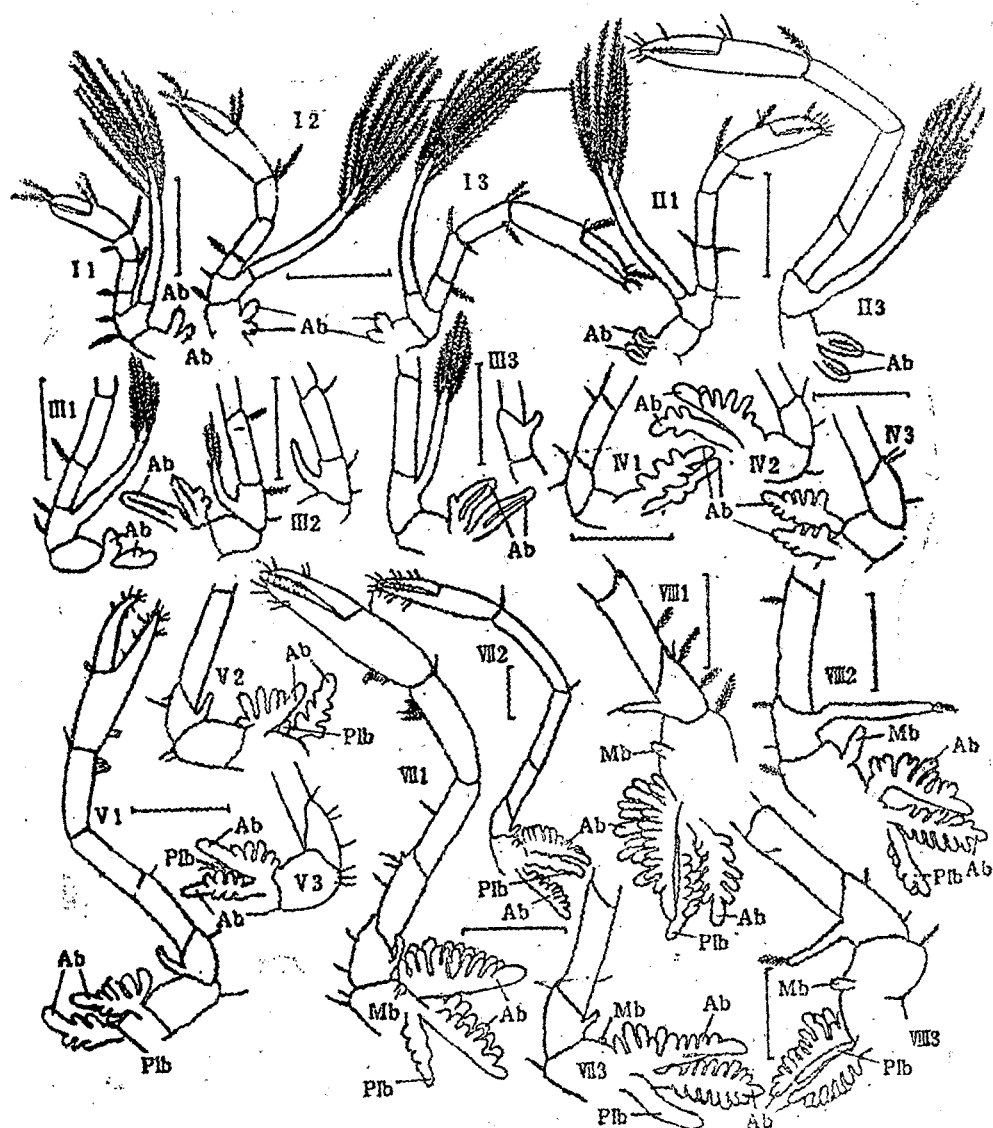


图 30 墨吉对虾 *P. merguiensis* 仔虾第 1, 2, 3 步足 (比例尺 = 0.25mm)

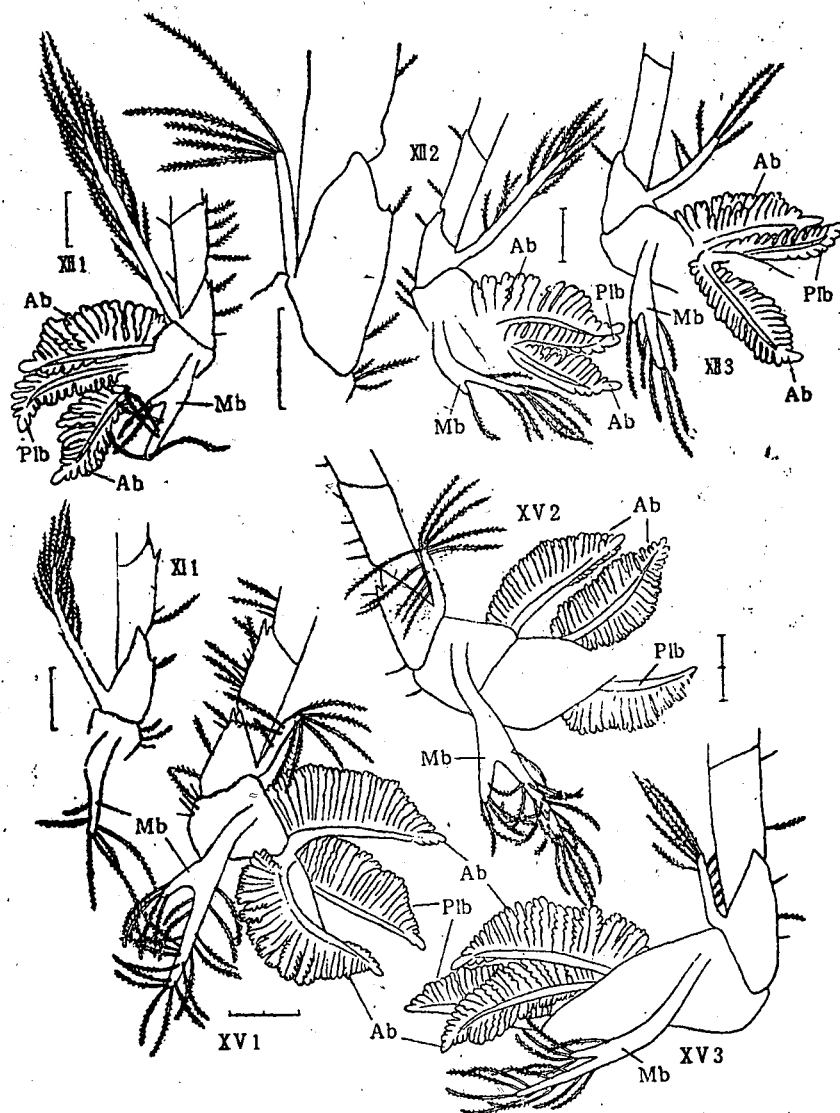


图 31 墨吉对虾仔虾 *P. merguensis* 第 1, 2, 3 步足 (比例尺 = 0.25mm)

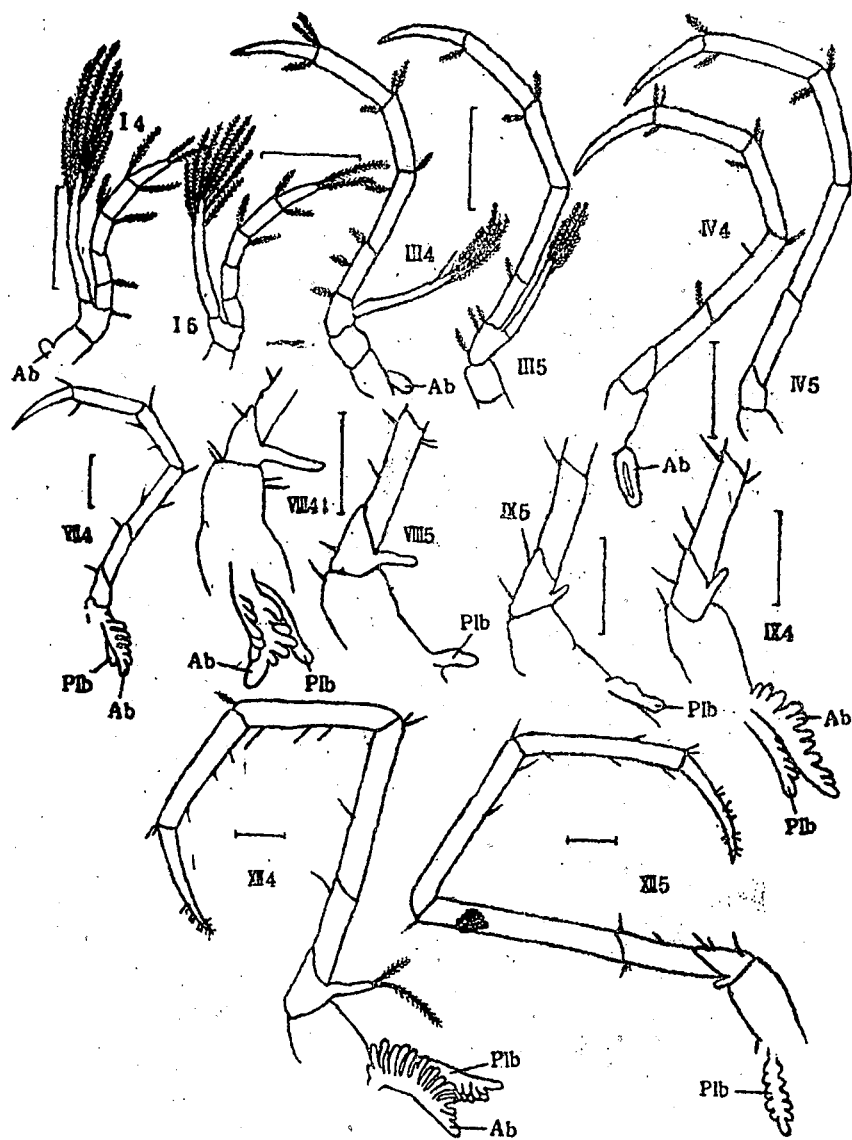
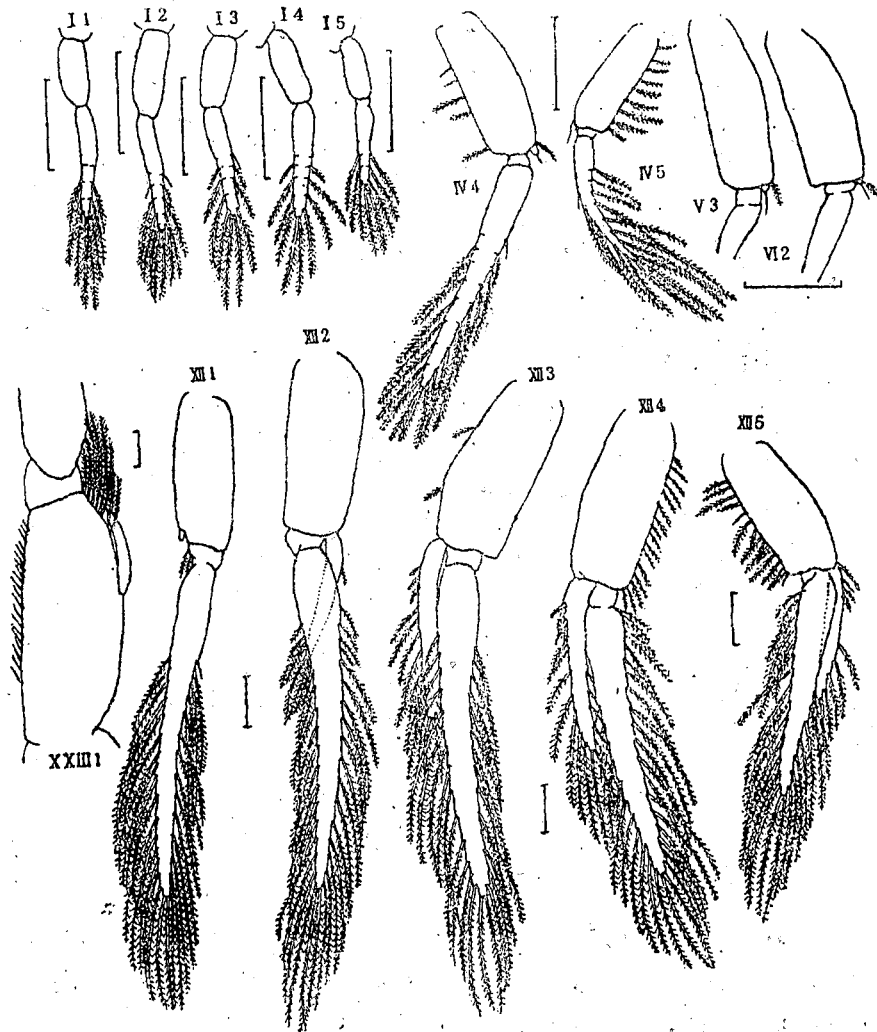


图 32 墨吉对虾 *P. merguiensis* 仔虾第 4, 5 步足 (比例尺 = 0.25mm)

图 33 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾腹肢 (比例尺 = 0.25mm)

(三) 长毛对虾 *Penaeus penicillatus* Alock, 1905

1. 额角和头胸甲 (图34) 第1期仔虾时额角约为头胸甲长的 $\frac{2}{5}$, 稍小于中国对虾者, 以后该比值不断增加, 至第5期时约达 $\frac{1}{2}$, 第11期仔虾时额角接近头胸甲长, 第15期仔虾时额角与头胸甲长之比达到最高, 近 $\frac{5}{4}$ 。以后逐渐下降, 到第20期时降至 $\frac{23}{20}$ (附表21)。第1期仔虾时额角上缘1齿, 少于中国对虾 (2—3齿), 与墨吉对虾相同。额角下缘齿也是在第5或6期仔虾时出现, 第11期达到最多, 有具5齿的个体出现。以后则保持在4—5齿, 与成体相同。额角上缘齿一般在第12期后达到最多, 为7—8齿 (附表3)。

头胸甲等于或稍短于体长的 $\frac{1}{4}$, 该比值在1—20期仔虾时无明显变化 (附表18)。触角刺在第2或3期仔虾时消失, 第6或7期时再度出现。眼上刺在第3期仔虾时消失, 比中国对虾早2期, 与墨吉对虾相同。

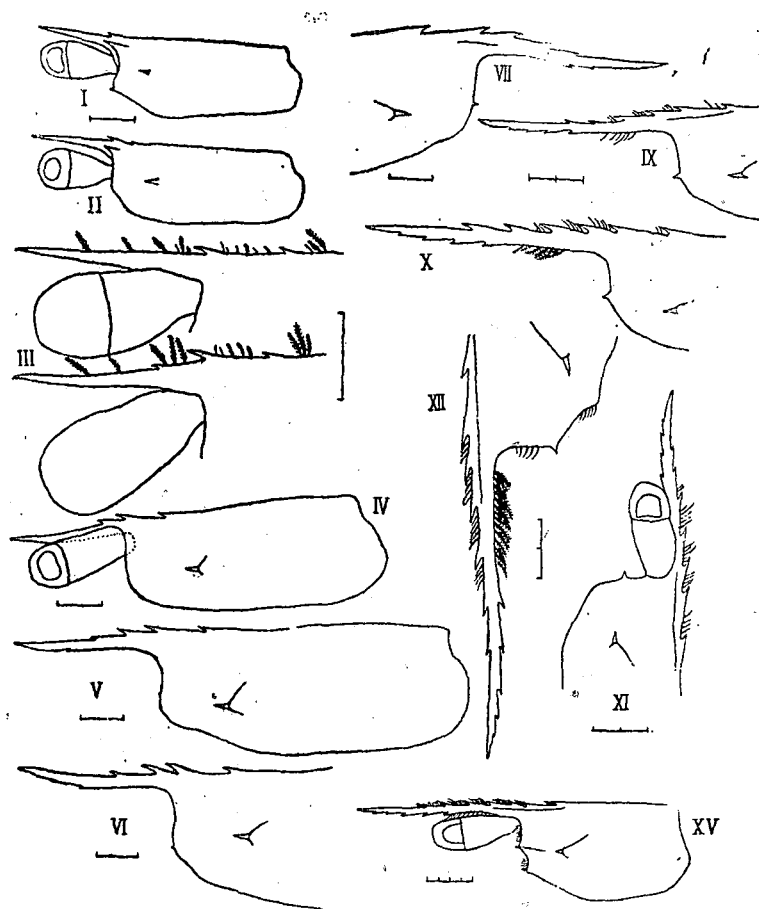


图 34 长毛对虾 *Penaeus penicillatus* 仔虾头胸甲 (比例尺 $\approx 0.25\text{mm}$)

2. 腹部 (图 35) 第 4 腹节的背中刺在第 3 或 4 期仔虾时消失, 较中国对虾晚 2 期, 比墨吉对虾早 1 期。其它变化与中国对虾相同。

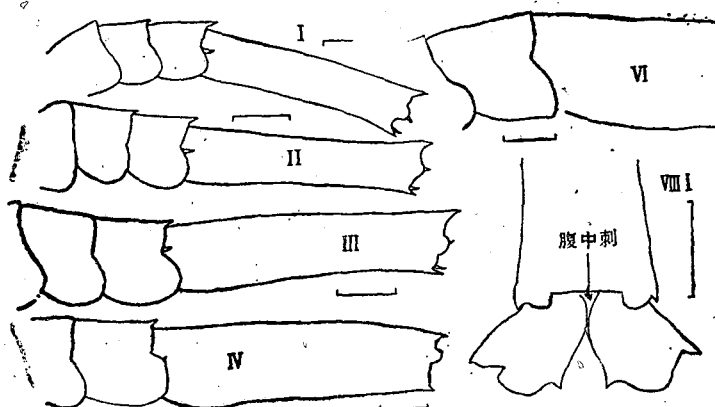


图 35 长毛对虾 *P. penicillatus* 腹部 (比例尺 $= 0.25\text{mm}$)

3. 尾节和尾肢 (图 36) 长毛对虾尾肢的发育与中国对虾完全相同, 但尾刺消失的时间稍晚 (附表 6)。

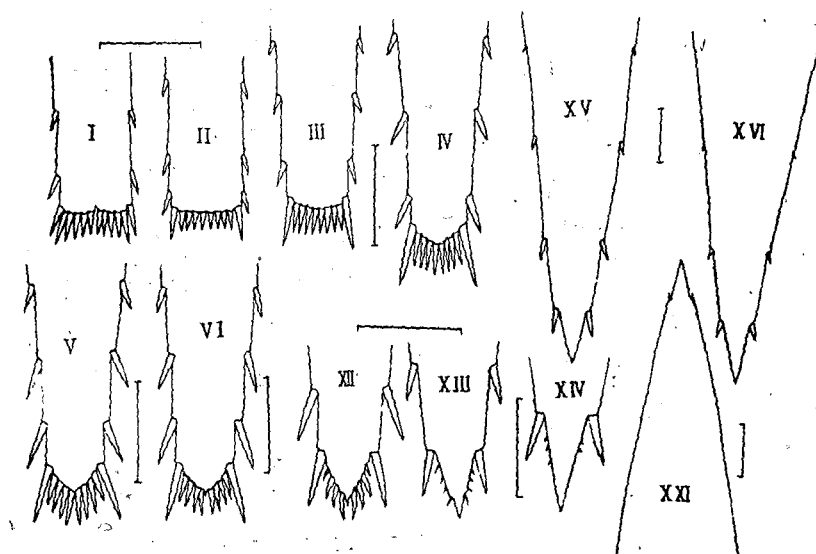


图 36 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾尾节 (比例尺 = 0.25mm)

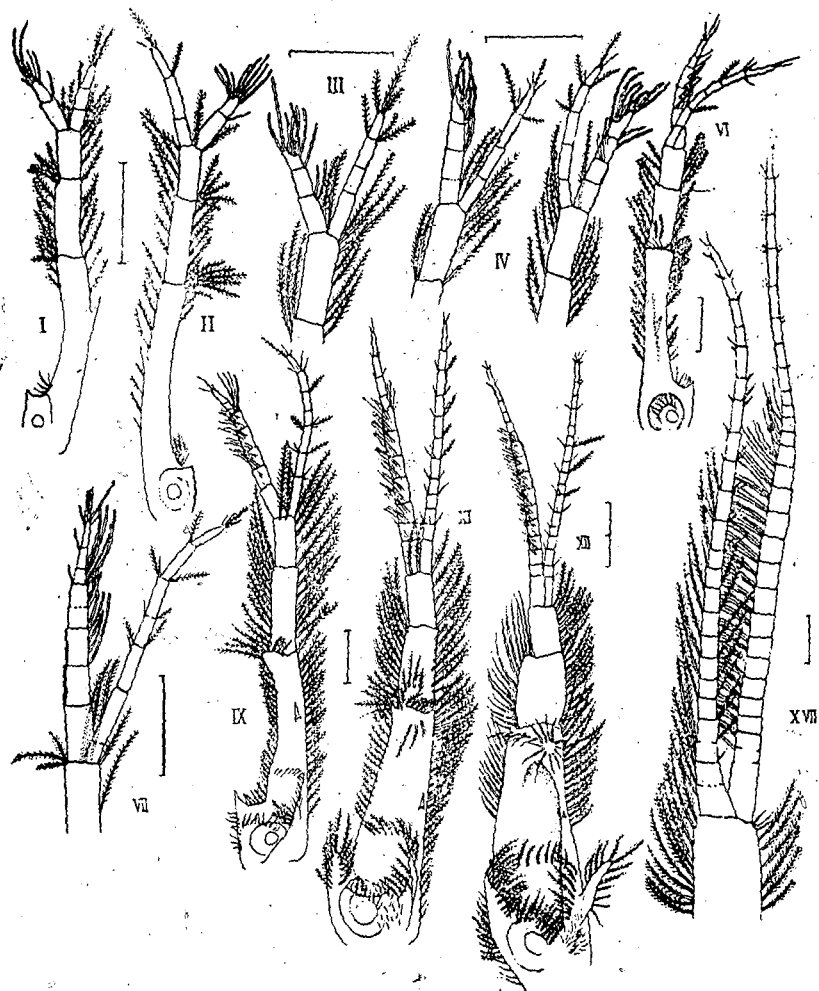


图 37 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾第1触角 (比例尺 = 0.25mm)

4. 第1触角(图37) 第1触角的变化与中国对虾的区别主要在于内外鞭长度比值的变化(附表7, 9)。第1—9期仔虾时, 长毛对虾和中国对虾的外鞭均短于内鞭; 第10期时中国对虾外鞭稍长于内鞭, 而长毛对虾仍短于内鞭; 第15期仔虾时中国对虾外鞭已近内鞭的 $3/2$, 而长毛对虾外鞭仅与内鞭等长; 至第20期时, 中国对虾外鞭已长于内鞭的2倍, 而长毛对虾外鞭只仅稍长于内鞭。

5. 第2触角(图38) 第2触角在仔虾期的变化与中国对虾相同。

6. 大颚(图39) 大颚发育与墨吉对虾相同, 而与中国对虾稍有差异, 即切齿部的小齿除端部2个外, 在第3期仔虾时全部消失, 较中国对虾早2期。

7. 第1小颚(图40) 与墨吉对虾相同, 而与中国对虾稍有差异, 即其内肢的刚毛数在第4—5期仔虾时减到最少后, 第6—7期又开始增加, 以后继续增多, 而不象中国对虾那样在第7期时又骤减, 第8期时再度增多。此外, 内肢末端的棒状小节未见分节。

8. 第2小颚(图41) 与中国对虾稍有不同, 其内肢的刚毛在第2期时开始减少, 较中国对虾早1—2期。

9. 第1颚足(图42) 第1颚足的变化与中国对虾和墨吉对虾相似, 但更接近墨吉对虾。它与后两者的主要区别是内外肢的刚毛在第2期仔虾时就开始明显减少, 较中国对虾早2期, 较墨吉对虾早1期; 而其内外肢(主要是外肢)刚毛再度开始增加的时间则与墨吉对虾相同, 为第8或9期仔虾时, 较中国对虾晚1期。

10. 第2颚足(图43) 外肢在第2期仔虾时就失去全部刚毛, 较中国对虾早2—3期开始退化, 较墨吉对虾早1期。其余变化与中国对虾相同。

11. 第3颚足(图44) 第1期仔虾时, 外肢仍为8根刚毛, 较中国对虾(9根)少。第2—3期仔虾时刚毛开始减少, 其数目一般不超过2根; 第4期时外肢刚毛全部消失, 比中国对虾则早1—2期。其内肢和鳃的发育(附表21)与中国对虾基本相同。

12. 第1—3步足(图45, 46) 第1期仔虾时外肢仍为8根刚毛, 较中国对虾少1根。外肢退化较中国对虾早, 在第2—3期时其刚毛全部消失, 或只有2—3根。第4期时外肢刚毛全部消失, 有的个体外肢也消失; 其中第3步足外肢的消失最常见, 第2步足次之, 第1步足的外肢极少消失。内肢及鳃的发育(附表21)与中国对虾相同, 螯与腕节长度比值的变化也十分显著(附表1)。

13. 第4, 5步足(图47) 第4, 5步足的变化与中国对虾的差异也与前3对步足相同, 即前者的外肢较后者早2—3期开始退化。第1期仔虾时长毛对虾第4, 5步足的外肢仍有8根刚毛, 保留着自第2, 3期糠虾幼体时即已存在的与中国对虾(9根)的差异, 但第2—3期仔虾时外肢开始退化, 其刚毛少于8根(一般2—4根); 第4期时外肢退化成短小的1截(不到座节中部)或完全消失, 其上无刚毛。其它变化, 如内肢和鳃的发育, 则与中国对虾相同。

14. 第1—5腹肢(图48) 腹肢内肢的出现时间与中国对虾有些不同, 其第5腹肢的内肢在所观察的标本中都是在第5期仔虾时出现, 较中国对虾晚1期。另外, 第1腹肢内肢出现的时间与墨吉对虾相同, 为第11或12期仔虾时, 较中国对虾晚4期(附表15)。

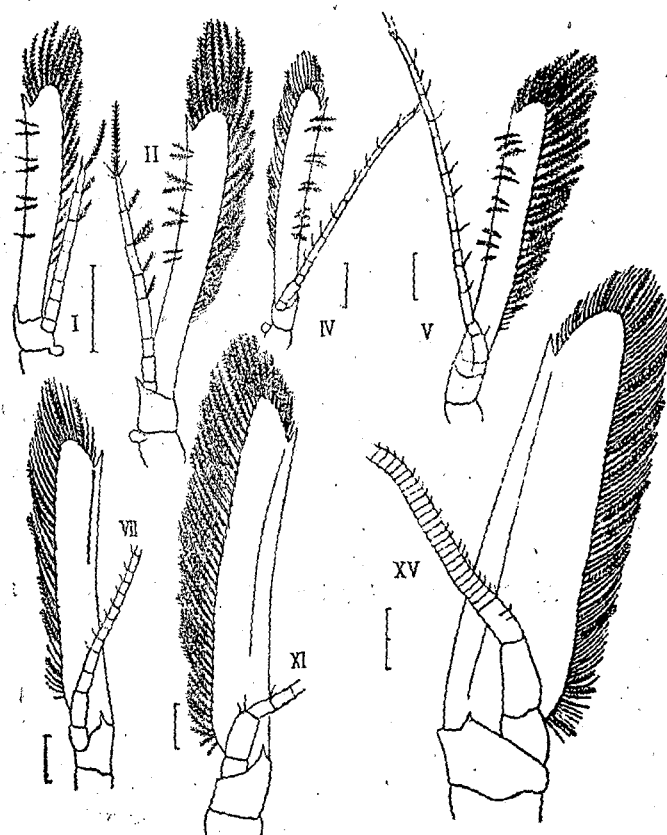


图 38 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾第 2 触角 (比例尺 = 0.25mm)

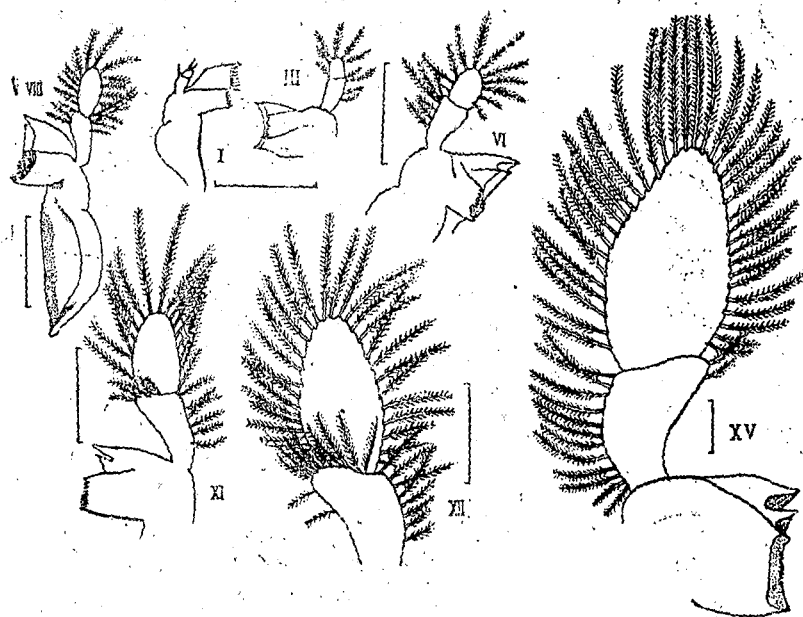


图 39 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾大颚 (比例尺 = 0.25mm)

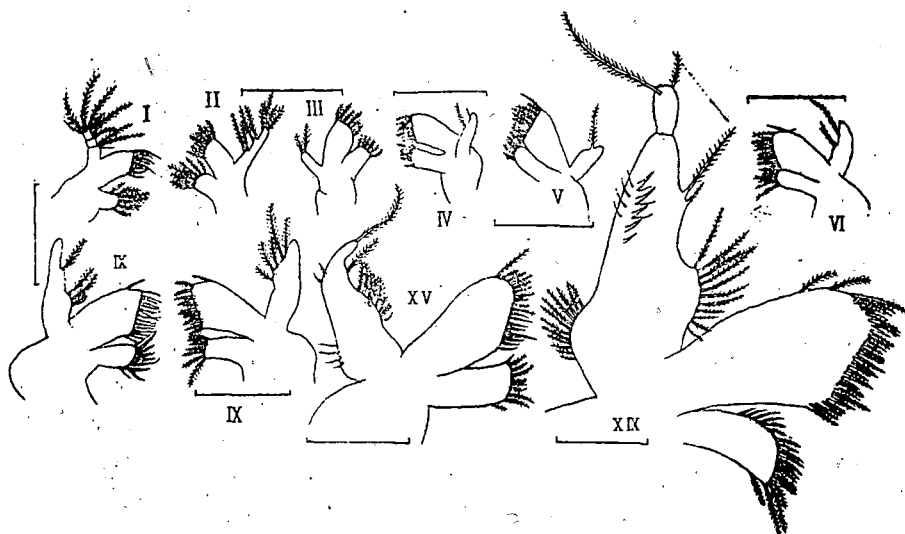


图 40 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾第 1 小颚 (比例尺 = 0.25mm)

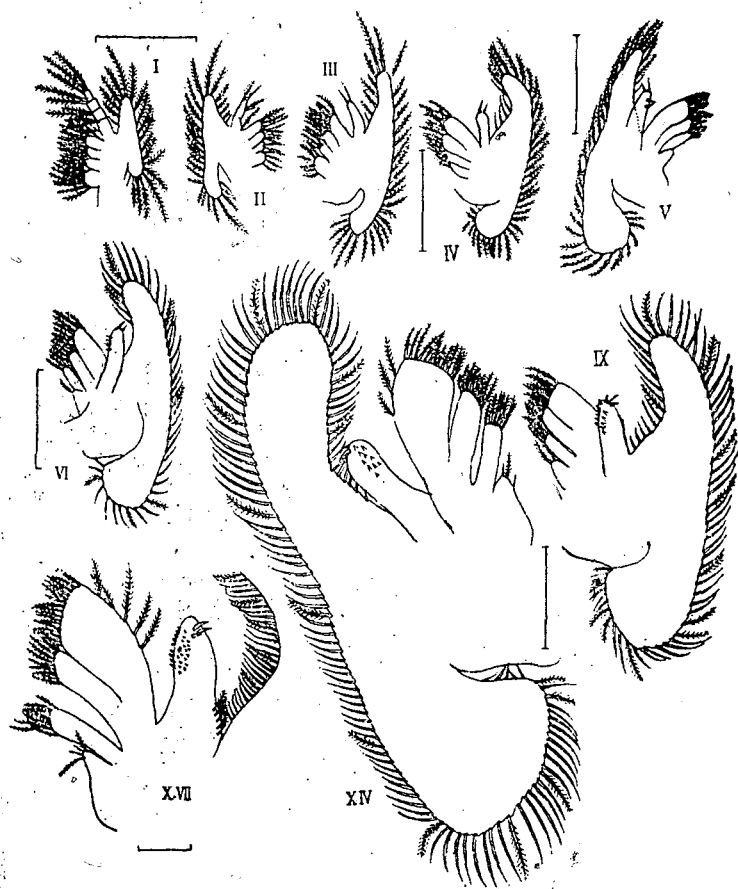


图 41 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾第 2 小颚 (比例尺 = 0.25mm)

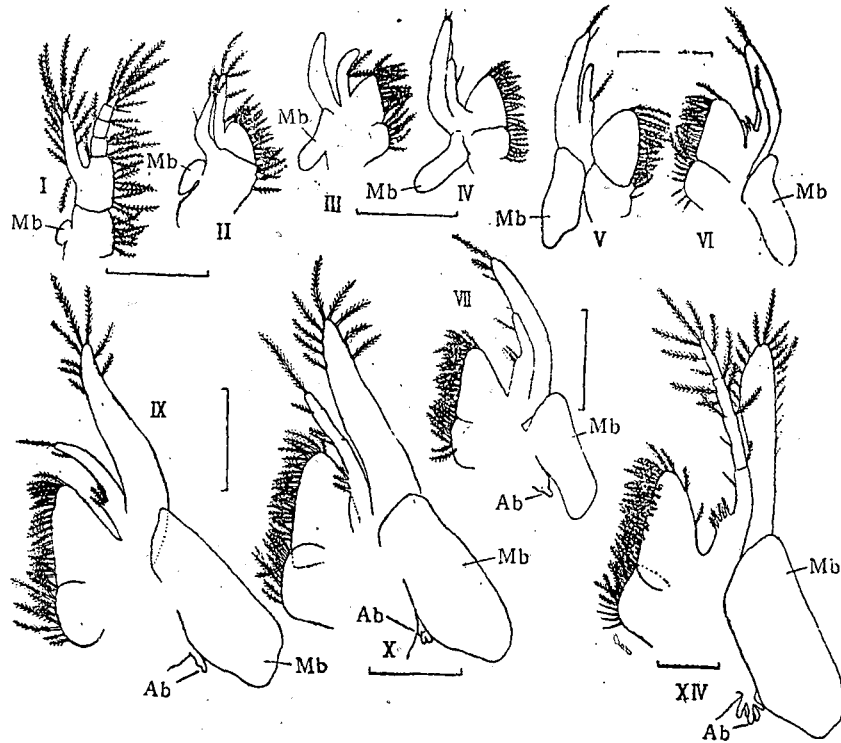


图 42 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾第 1 颚足 (比例尺 = 0.25mm)

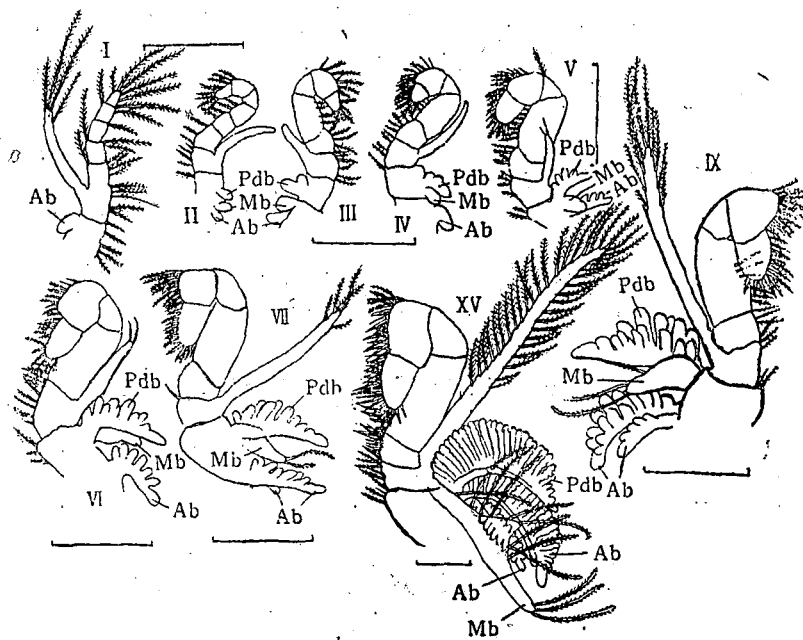


图 43 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾第 2 颚足 (比例尺 = 0.25mm)



图 44 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾第 3 颚足 (比例尺 = 0.25m)

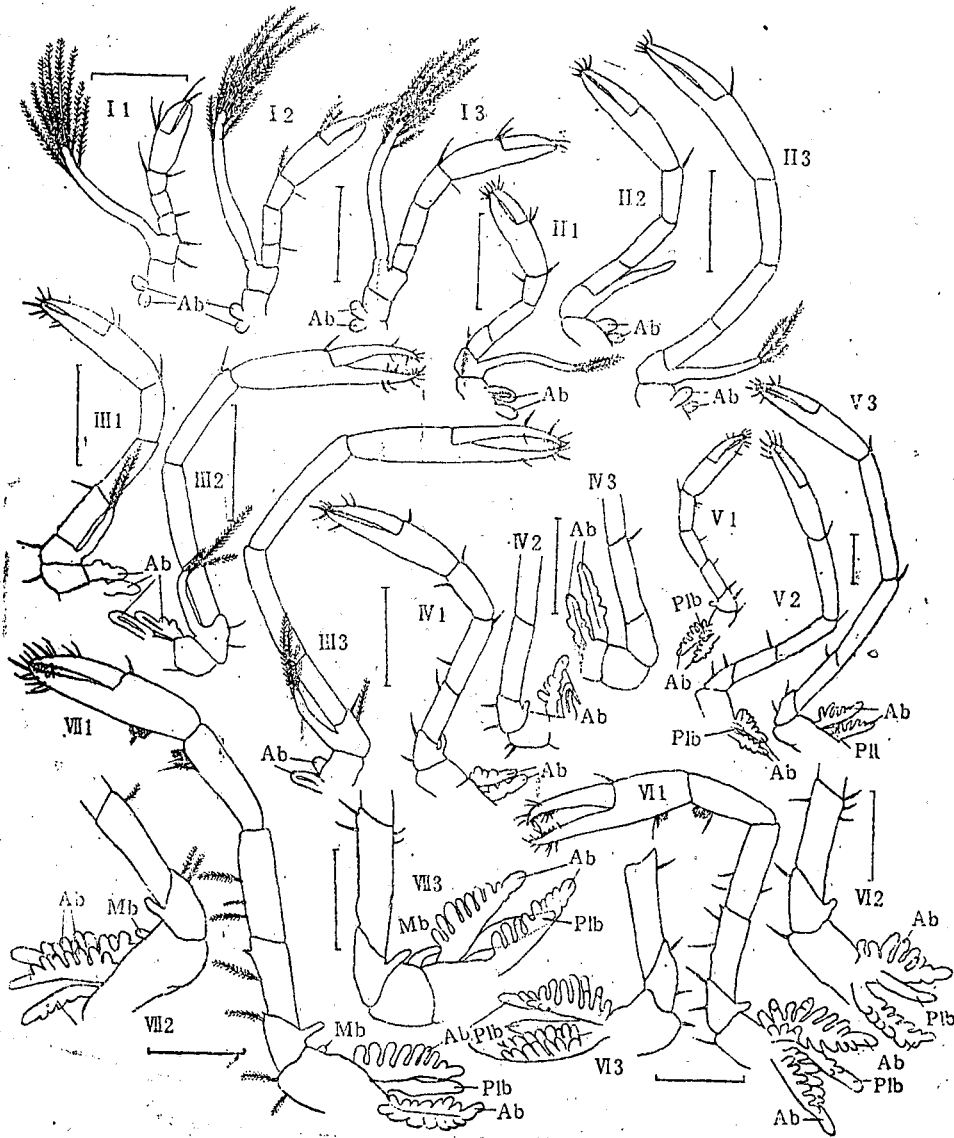


图 45 长毛对虾仔虾 *P. penicillatus* 第 1, 2, 3 步足 (比例尺 = 0.25mm)

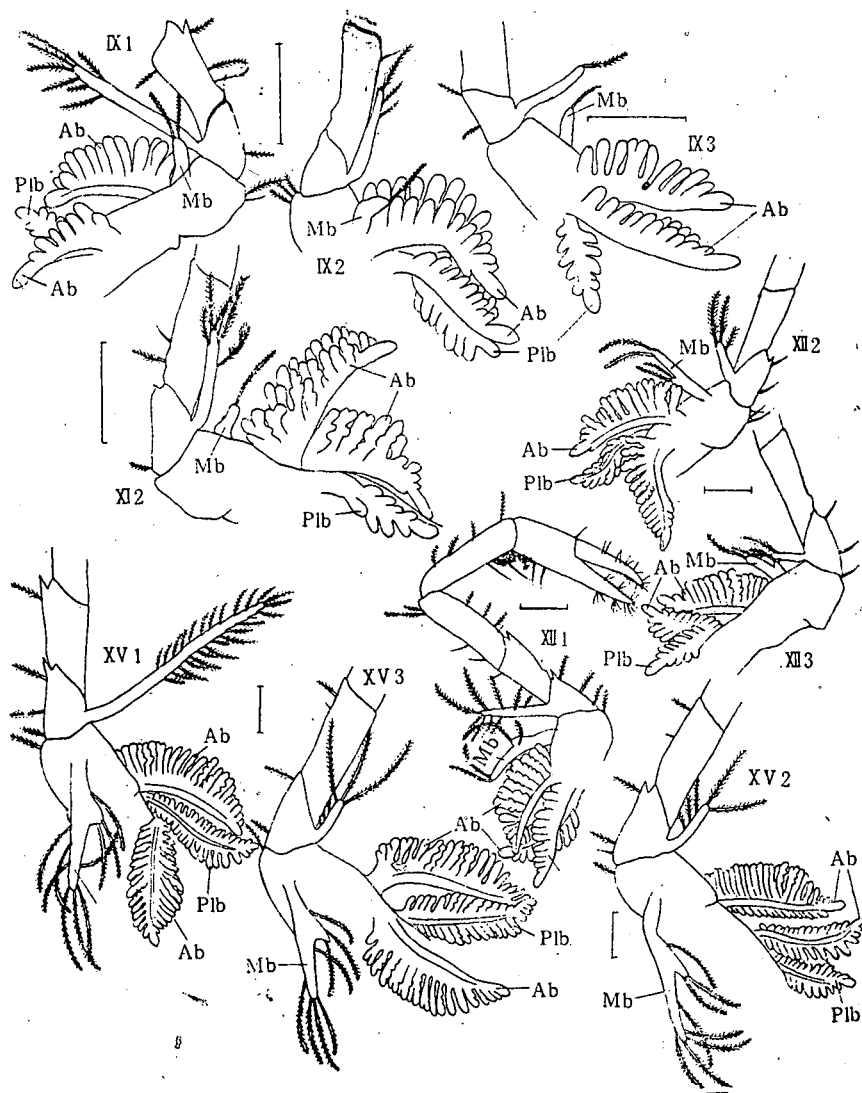


图 46 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾第 1, 2, 3 步足 (比例尺 = 0.25mm)

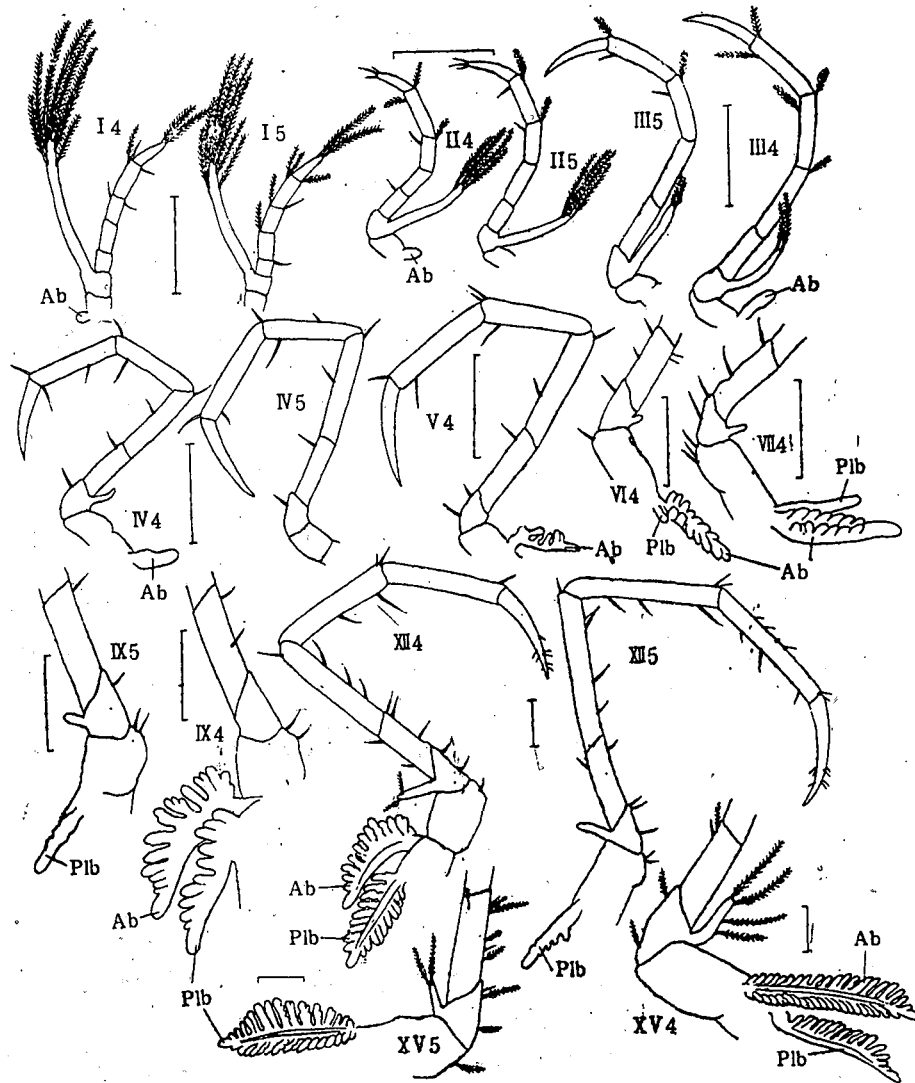


图 47 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾第 4, 5 步足 (比例尺 = 0.25mm)

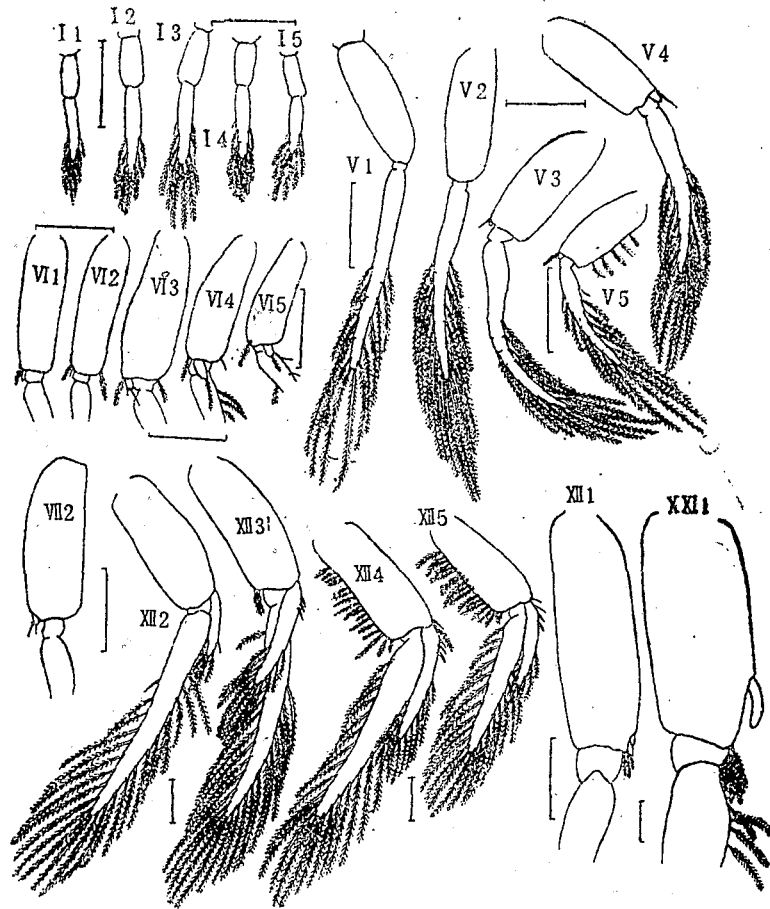


图 48 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾腹肢 (比例尺 = 0.25mm)

三、结果与讨论

1. 中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾同属对虾属的 *Fenneropenaeus* 亚属, 亲缘关系十分相近, 其仔虾的各发育期形态也非常相似, 其主要共同之处如下。

(1) 3 种对虾额角下缘齿均首次出现于第 5 或 6 期仔虾时。

(2) 尾节的形状变化均为第 1 期仔虾时末缘中部有小缺刻, 第 2 期时末缘平截, 第 3 期时末缘呈圆弧形, 第 4 期时首次呈钝三角形。第 6 期时末端两缘均呈直角, 第 7 期时开始呈锐角。尾节刺均在仔虾发育过程中逐渐全部消失。

尾肢都在第 4—5 期仔虾时长度达到尾节末端, 第 6 期仔虾时开始超出尾节末端。外肢的后半部均在第 7 或 8 期仔虾时出现 1 弧形脊。内外肢上的纵脊在第 10 或 11 期时出现。

(3) 第 4, 5 胸节的腹甲上均各具 1 小刺, 前者稍大于后者。第 6 腹节与体长的比值在第 1 期仔虾时都约为 $1/4$, 但以后逐渐下降, 至第 20 期时, 已不到体长的 $1/5$ 。

(4) 3 种对虾的鳃式完全相同。第 1 颚足具 1 叶肢鳃和 1 叶稚形关节鳃, 第 2 颚足

有1叶肢鳃、1叶足鳃和2叶关节鳃，第3颚足为1叶肢鳃、2叶关节鳃和1叶侧鳃。1—3步足均具1叶肢鳃、2叶关节鳃和1叶侧鳃，第4步足为1叶关节鳃和1叶侧鳃，第5步足上只有1叶侧鳃。另外，各种鳃出现的时间也基本相同。

(5) 第1触角在仔虾期的变化主要集中在第1节和内外鞭上。第1节近中部的锐刺均在12或13期仔虾时消失，第1节末的外缘端刺在第8或9期时出现。

(6) 第2触角的发育都经历了初期时触鞭短于鳞片，第3或4期仔虾时等于鳞片，而后又长于鳞片，第11期时达到体末端后便开始超出体长的过程。此外，第1—6期仔虾时鳞片的端部宽于基部，第7期时二者等宽，以后基部宽于末部。鳞片上的纵脊约在第7期仔虾时出现。

(7) 大颚的变化均为切齿部和臼齿部的小齿不断减少，最后切齿部只剩末端的2个小齿。大颚颌须是大颚变化最大的部分，它由初期时的棒状和只着生数根刚毛逐渐变为形状扁平（特别是第2节），周缘密布长羽状刚毛；其基部1节均在1—8期仔虾时长于末节，第9或10期时开始末节长于基部1节。

(8) 第2小颚的发育为外肢（颚舟叶）不断增大，由第1—3期仔虾时的末缘短于或等于内肢末端，到第4期时开始远长于内肢。内肢的刚毛经历了逐渐减少、变短，在第7或8期时形成小齿的过程。原肢的第1小叶由半圆形逐渐变为锥形，并由第1,2期仔虾时5叶中最大的1叶变为最短小的1叶。

(9) 第1颚足内外肢经历了退化、刚毛减少，而后再度恢复、刚毛增多的过程。

(10) 第2颚足外肢经历了退化变短、刚毛消失，而后在第7期仔虾时再伸长、刚毛增加的过程。内肢的发育变化则完全相同。

(11) 第3颚足内肢的座节都是1—2期仔虾时短于长节，第3期时两者等长，第4期时座节开始长于长节。座节内缘均在第11—12期时出现小齿，掌节内侧近端部约在第11期时出现成束的粗短刚毛。

(12) 第1—3步足的外肢都经历了仔虾初期的退化变短、刚毛消失，而后在第8或9期时再度出现刚毛的过程。第1步足的座节刺在第6期仔虾时出现，而其基节刺则一般较座节刺晚1期出现；第2步足基节刺为第10或11期时出现，而第3步足既无座节刺也无基节刺。第1步足的腕节近末端内侧和螯的基部内侧都在第5期时出现成束粗短的刚毛。

3对步足螯与腕节的长度比值是内肢5节中变化最大的，而此比值在每对步足的各仔虾期都十分相近（附表10, 11, 12）。

(13) 第4, 5步足的外肢在都经历了仔虾初期的变短、刚毛消失，到第12, 13期时再度伸长，其上刚毛重新出现的过程。内肢变化则完全相同，指节末端都是在第3期仔虾时变尖，使整个指节呈镰刀状。

(14) 腹肢的发育也十分相似，均为第4期仔虾时第4腹肢的内肢最先出现，第1腹肢内肢出现最迟。

以上中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾仔虾形态发育上的相似性，更加说明了其亲缘关系的相近。

2. 这3种对虾仔虾的形态变化也存在不同之处，这是种间差异在早期发育上的表

现,其主要差异如下(附表 22)。

(1) 第 5 期仔虾后,墨吉对虾额角与头胸甲长度比值的增长速度远快于中国对虾和长毛对虾,第 8 期时墨吉对虾额角已超出头胸甲长,而后两者额角仍短于头胸甲。墨吉对虾额角与头胸甲的长度比在第 12 期仔虾时达到最大,为 $3/2$; 而中国对虾和长毛对虾在第 16 和 15 期时该比值才达到最高,分别为 $11/10$ 和稍小于 $5/4$,远小于墨吉对虾(附表 16, 17, 18; 图 49)。

在第 9—14 期仔虾时墨吉对虾有额角下缘 6 或 7 齿的个体,而中国对虾和长毛对虾未发现额角下缘齿超过 5 个的个体(附表 1, 2, 3)。

中国对虾头胸甲的触角刺存在于整个仔虾期,它虽在第 4, 5 期时变得很小但并不消失; 而墨吉对虾的触角刺在第 3 或 4 期仔虾时消失,第 8 或 9 期时又重新出现; 长毛对虾的触角刺在第 2 或 3 期仔虾时消失,至第 6 或 7 期仔虾时才再度出现。

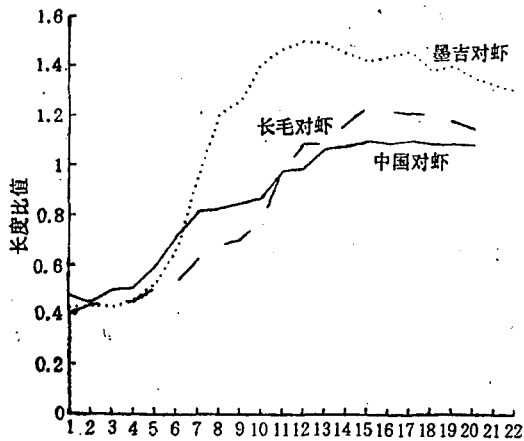


图 49 中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾仔虾额角与头胸甲长度比值的变化

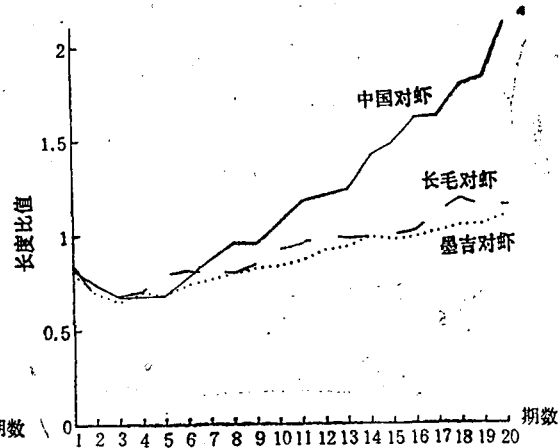


图 50 中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾第 1 触角内外鞭长度比值(外/内)的变化

(2) 中国对虾第 4 腹节的背中刺在第 1 或 2 期仔虾时消失,墨吉对虾在第 2 期或 3 期仔虾时消失,长毛对虾在第 3 或 4 期时消失。中国对虾和长毛对虾第 5 腹节的背中刺在第 6 或 7 期时消失,而墨吉对虾在第 9 或 10 期时消失。

(3) 中国对虾和长毛对虾尾节末端中央的小尖突在第 6 期仔虾时出现,而墨吉对虾晚 3 期,在第 9 或 10 期时出现。

(4) 第 10 期仔虾时,中国对虾第 1 触角外鞭已长于内鞭,而墨吉对虾和长毛对虾在 10—14 期时外鞭仍短于内鞭。第 15 期仔虾时,中国对虾外鞭长近内鞭的 $3/2$,而墨吉对虾和长毛对虾的外鞭长约与内鞭相等。第 15 期仔虾后,中国对虾外鞭长为内鞭的 1 倍半至 2 倍多,而墨吉对虾和长毛对虾的外鞭只是稍长于内鞭(附表 7, 8, 9)。

(5) 中国对虾第 1 小颚内肢上的刚毛在第 4, 5 期仔虾时减到最少,第 6 期时骤然增多,但第 7 期时再次减少,一般只剩 1 根,到第 8 期时再度开始增加;而墨吉对虾和长毛对虾第 1 小颚内肢的刚毛在第 6—7 期仔虾时开始增加,以后未再出现减少的现象。

(6) 中国对虾第 2 颚足外肢退化最晚,一般在第 5 期仔虾时刚毛才全部消失;墨吉

对虾稍早，一般在第4期时刚毛全部消失；长毛对虾最早，第2期时就全部消失。

(7) 中国对虾第3颚足和5对步足的外肢较墨吉对虾和长毛对虾退化得晚。第1—3期仔虾时，中国对虾第3颚足和5对步足的外肢上的刚毛仍为9根，而墨吉对虾和长毛对虾为8根或少于8根。第4期仔虾时中国对虾第3颚足和5对步足的外肢长度仍可达长节，并具刚毛；而墨吉对虾和长毛对虾不超过座节中部，刚毛全部消失。

(8) 中国对虾第1腹肢内肢首次出现在第7或8期仔虾时（附表13），而墨吉对虾（附表14）和长毛对虾（附表15）为11或12期时。

3. 从中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾的仔虾形态发育来看，中国对虾在整个仔虾阶段基本可与后2种区别开来。但要鉴别这3种虾，则须在第6期仔虾以后。为方便各期仔虾的鉴定，作者首先提供了仔虾分期的主要标准，并尝试性地列出了检索表，以供参考。

仔虾形态学特征区别的分期标准

第1期仔虾：腹肢末节具长羽状刚毛（以别于第3期糠虾幼体）；尾节末端中央有1小缺刻。第1触角内鞭3节外鞭2节。

第2期仔虾：尾节末端中央的小缺刻消失，尾节末端平截。第1触角内鞭3—4节，外鞭2—3节。

第3期仔虾：尾节末端呈圆弧形，第1触角内鞭4节，外鞭3节。

第4期仔虾：尾节末端呈钝三角形，额角下缘无齿，体长小于7.0mm。第1触角内鞭4—5节，外鞭3—4节。前3对步足的第3叶鳃（侧鳃）的雏形（乳突状，不分枝）出现。

第5期仔虾：尾节末缘为钝三角形（较前期尖锐些），无中央的小尖突，尾肢长一般不超过尾节末端。大部分个体出现1个额角下缘齿。第1触角内鞭5—6节，外鞭4—6节。体长在7.0—8.0mm之间。前3对步足上的侧鳃尚不分叶。

第6期仔虾：尾节末端约呈直角，中国对虾和长毛对虾的尾节末中央出现小尖突，尾肢明显地长于尾节。第1步足出现座节刺，第4步足出现侧鳃的雏形，第1—3步足无肢鳃。

第7—8期仔虾：尾节末端已呈钝角。第1颚足出现1锥型关节鳃，第1—3步足上出现肢鳃的雏形（乳突状，尚不呈分叉的叶片形）。

第9—10期仔虾：第1—3步足上的肢鳃已呈分叉的叶片形，其上开始生出刚毛。第3颚足尚无肢鳃。

第11期仔虾：第2触角的触鞭约刚达身体末端。第3颚足座节内缘开始出现小齿，掌节内侧近端部出现成束的粗短刚毛。

第11期仔虾后：第3颚足具全部4叶鳃，第1腹肢具内肢（第11期仔虾时，少数个体第3颚足尚无肢鳃；第1腹肢内肢尚未出现）。

中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾仔虾种的检索表

1. 第3颚足及5对步足外肢的刚毛数为9；第1期仔虾时额角上缘2—3齿……………中国对虾 *Penaeus chinensis*
第3颚足和5对步足外肢的刚毛数等于或少于8；第1期仔虾时额角上缘具1齿……………墨吉对虾 *Penaeus merguensis* 和长毛对虾 *Penaeus penicillatus*
第4期仔虾
2. 第3颚足及5对步足外肢可达长节或近座节端部，其上具刚毛；头胸甲具触角刺……………中国对虾 *P. chinensis*
第3颚足及5对步足外肢不超过座节中部或消失，其上无刚毛；不具触角刺……………墨吉对虾 *P. merguensis* 和长毛对虾 *P. penicillatus*
第5期仔虾
3. 头胸甲具触角刺……………中国对虾 *P. chinensis*
头胸甲无触角刺……………墨吉对虾 *P. merguensis* 和长毛对虾 *P. penicillatus*
第6期仔虾
4. 尾节末中央无小尖突，第5腹肢具背中刺，头胸甲无触角刺……………墨吉对虾 *P. merguensis*
尾节末中央具小尖突，第5腹肢背中刺有或无，具触角刺或无（具尾节末端小尖突、无触角刺者为长毛对虾）……………中国对虾 *P. chinensis* 和长毛对虾 *P. penicillatus*
第7—8期仔虾
5. 第1触角外鞭与内鞭长之比为0.88—0.96，第1腹肢内肢有或无……………中国对虾 *P. chinensis*

- 第1触角外鞭与内鞭长之比为0.77—0.81,第1腹肢无内肢.....5'
- 5'. 尾节末端中央无小尖突,第5腹节具背中刺,额角与头胸甲长之比为0.96—1.21.....墨吉对虾 *P. merguiensis*
- 尾节末中央有小尖突,第5腹节无背中刺,额角与头胸甲长之比为0.63—0.68.....长毛对虾 *P. penicillatus*
- 第9—10期仔虾
6. 第1触角外鞭与内鞭长之比为0.95—1.07,第1腹肢具内肢.....中国对虾 *P. chinensis*
- 第1触角外鞭与内鞭长之比小于0.95,第1腹肢无内肢.....6'
- 6'. 额角与头胸甲长之比为1.26—1.41,第5腹节背中刺有或无,尾节末中央小尖突有或无.....墨吉对虾 *P. merguiensis*
- 额角与头胸甲长之比小于1,第5腹节背中刺无,尾节末中央具小尖突.....长毛对虾 *P. penicillatus*
- 第11—22期仔虾
7. 第1触角外鞭与内鞭长之比为1.17—2.11.....中国对虾 *P. chinensis*
- 第1触角外鞭与内鞭长之比小于1.17.....7'
- 7'. 额角与头胸甲长之比为1.30—1.50.....墨吉对虾 *P. merguiensis*
- 额角与头胸甲长之比小于1.30.....长毛对虾 *P. penicillatus*

4. 从上述可以看出,第6期仔虾后,3种对虾的主要鉴别依据是第1触角内外鞭的比值和额角与头胸甲长度之比。其中前者在3种对虾仔虾中的差别与成体时相同,即中国对虾的外鞭远长于内鞭显著地不同于墨吉对虾和长毛对虾;但后者在3种对虾仔虾中的差别在成体中并不存在,相反,成体时,中国对虾的额角与头胸甲长相比是最长的,长毛对虾次之,墨吉对虾最短。但从3种对虾仔虾额角与头胸甲长度比值达到最高后下降的幅度来看(附表19,20,21;图49),墨吉对虾最大,长毛对虾次之,中国对虾最小。可能在第22期仔虾以后的发育中,墨吉对虾由于额角与头胸甲长度之比下降最大,而最终成为3种中额角相对最短者;长毛对虾该比值的下降幅度居中,成体时额角则相对地长于墨吉对虾而短于中国对虾;中国对虾比值下降最少,成为成体时3种对虾中额角相对最长者。

从仔虾发育的形态变化来看,墨吉对虾和长毛对虾之间较中国对虾更为相似,显然有较近的亲缘关系,而与中国对虾的亲缘关系相对较远。

对虾类仔虾发育形态变化及分类学研究远较幼体者少。许多文章在研究对虾幼体发育形态变化时只是同时描述了第1期仔虾,超过10期仔虾的报道相当少,而仔虾较显著的形态变化在该阶段后尚未结束。大部分报道仔虾形态变化的文章,都是对野外采到的母体不一定清楚的标本的描述,推测性地将其鉴定到种,缺乏可靠性和形态变化的完整性及连贯性,如Kirkegaard(1972)对墨吉对虾仔虾的报道,Deshmukh和Ramamurthy(1985)对2期长毛对虾仔虾的报道。

Hudinaga(1942)对日本对虾仔虾(1—22期),Oka(1968)和Motoh(1981)分别对中国对虾(1—22期)和斑节对虾仔虾(1—12期)所作的研究报告是迄今已知、仅有的3篇较全面的对虾属仔虾发育形态学方面的文章。

Oka描述的中国对虾仔虾的形态变化,与本文的研究结果存在着不少差异,最明显的是鳃式的差别。作者观察到中国对虾第2颚足的第2叶关节鳃在第7期仔虾时出现,第3颚足的肢鳃在11或12期时出现,第1—3对步足的侧鳃在第4期时出现,这些均与墨吉对虾和长毛对虾相同,也与Hudinaga(1942)和Motoh(1981)分别对日本对虾和斑节对虾鳃式的报道相同或相似(Motoh文中的第2颚足的第2叶关节鳃为第8期仔虾时

出现)。而 Oka 报道的中国对虾第 2 颚足在 12 期仔虾时仍只有 1 叶关节鳃, 至成虾时仍无第 2 叶关节鳃, 第 3 颚足到第 12 期仔虾和成虾时无肢鳃出现, 而第 1—3 步足的侧鳃在第 1 期仔虾时就存在等, 比作者描述的中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾以及 Huidinaga 报道的日本对虾, Motoh 的斑节对虾均早 3 期。由于个体间的差异, 对虾仔虾发育上可能会出现一定的非同步现象。这种同期仔虾的发育非同步性在仔虾初期时很小, 但随着发育的进程, 个体间的差异有所增加, 各叶鳃出现的早晚有 1 或 2 期的差别不足为怪, 但若在初期时第 1—3 步足的侧鳃就提前 3 期出现, 而第 2, 3 颚足上的关节鳃和肢鳃在到成虾时仍不出现, 则属实验观察上的错误。作者还观察到, 中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾的第 1 颚足有 1 关节鳃 (第 7 期仔虾时出现), 与刘瑞玉、钟振如 (1986) 对成体的报道相同。此外, 第 3 颚足座节内缘在第 11—12 期仔虾后有许多小齿, Oka 也未提及。Oka 文章中报道的仔虾第 1 触角内外鞭的节数偏少, 如第 10 期仔虾时内鞭为 10 节, 外鞭 11 节, 第 20 期仔虾时内鞭 26 节, 外鞭 40 节; 而本文为第 10 期时内鞭 14—19 节, 外鞭 16—22 节, 第 20 期时内鞭 45—53 节, 外鞭 86—96 节。

日本对虾和斑节对虾分属于对虾属的囊对虾亚属 (*Marsupenaeus*) 和对虾亚属 (*Penaeus*), 成体时与中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾差别较大, 仔虾也是如此。现将 Huidinaga 的日本对虾和 Motoh 的斑节对虾仔虾形态发育与中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾进行对比, 其主要差异 (附表 23) 如下:

(1) 日本对虾的额角较短, 在第 2—8 期仔虾时不到复眼末端, 而且在第 1—22 期仔虾时短于头胸甲的 $1/2$ ($0.22-0.48\text{mm}$); 斑节对虾、中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾在整个仔虾期额角均不短于复眼, 其中后 3 种的额角均长于头胸甲的 $1/2$ (斑节对虾无数据资料)。

日本对虾额角下缘齿首次出现于 11 期仔虾时, 而另外 4 种均为第 5 或 6 期。第 11 期后, 日本对虾额角上缘齿 (包括胃上齿) 为 9—10 个, 下缘齿 1 个, 而其他 4 种对虾额角上缘齿一般不超过 8 个, 其中斑节对虾额角下缘齿 2—3 个 (3 齿居多); 中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾均多于 3 齿 (4—5 齿居多)。

(2) 日本对虾和斑节对虾的眼上刺在第 1 期仔虾时消失; 墨吉对虾和长毛对虾眼上刺消失较晚, 在第 3 期; 中国对虾最晚, 为第 5 期时。但这 5 种中只有日本对虾的眼上刺在第 11 期仔虾时再度出现。

(3) 日本对虾和中国对虾的触角刺存在于整个仔虾期; 而斑节对虾的触角刺在第 2 期时消失, 第 7 期时再度出现; 墨吉对虾在第 3 或 4 期时消失, 8 或 9 期时再现; 长毛对虾在第 2 或 3 期时消失, 6 或 7 期时再次出现。

(4) 日本对虾第 5 腹节上的背中刺消失最早, 为第 2 或 3 期仔虾时; 而中国对虾、长毛对虾和墨吉对虾均为第 5 期以后。

(5) 日本对虾尾节的侧刺在第 14 期仔虾时减少到 3 对后便不再减少, 保留到成体阶段; 而其他 4 种对虾的尾节侧刺则在第 18—21 期后全部消失。

(6) 从第 10 期仔虾开始, 日本对虾和斑节对虾第 1 触角的外鞭与内鞭长度之比明显小于中国对虾, 与墨吉对虾和长毛对虾相近。

(7) 日本对虾第 2 颚足的外肢在第 2—8 期仔虾时消失, 而另外 4 种的外肢虽在一定

的时期退化到很短小,但并不消失。

(8) 日本对虾第3颚足和第1—5对步足的外肢开始退化,以及刚毛消失的时间为最早,为第1或2期仔虾时;斑节对虾次之,为第2或3期;墨吉对虾和长毛对虾再次,为第3或4期时;而中国对虾最迟,为第5期仔虾时。

(9) 日本对虾和斑节对虾腹肢内肢首次出现的时间为第8期仔虾时,而且Hudinaga和Motoh均未提到各腹肢内肢出现的时间同步与否;中国对虾、长毛对虾和墨吉对虾腹肢的内肢最早为第4期仔虾时出现,而且各腹肢内肢出现的时间不同步。

综上所述,几种对虾仔虾期的主要差别的为额角上下缘齿数的不同,额角与头胸甲或复眼长度之比的变化,眼上刺和触角刺的消失与出现,第5腹节背中刺消失时间的早晚,尾节形态的变化,第1触角内外鞭长度比值的不同以及胸部附肢(第2颚足到第5步足)外肢的退化程度等,这些特征是鉴别对虾仔虾的主要依据。此外,Ringo和Zamora(1968)提出用第6腹节背缘小刺的有无来区别褐对虾(*Penaeus aztecus*)和白对虾(*P. setiferus*),Mair(1979)和Motoh(1981)提出用色素细胞的分布差异来鉴别仔虾。但本文所涉及的中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾仔虾的第6腹节背缘上均无小刺。至于色素细胞分布的差异,在区别亲缘关系较远的种(如不同的亚属)较为可靠,如斑节对虾,从糠虾幼体开始体色就明显地深于中国对虾、墨吉对虾和长毛对虾,到仔虾时这种差异更加明显。但同属*Fenneropenaeus*亚属的中国对虾,墨吉对虾和长毛对虾在仔虾期时却不能借助以上方法来鉴别,因其仔虾色素细胞分布基本相同。

参 考 文 献

- 刘瑞玉、吴尚勤、蔡难儿, 1959, 对虾生活史的初步报告, 胚胎学讨论会论文集, 科学出版社, 15—17。
- 刘瑞玉、钟振如, 1986, 南海的对虾类, 农业出版社, 278。
- 赵法箴, 1965, 对虾(*Penaeus orientalis Kishinouye*)幼体发育形态, 海洋水产研究资料, 农业出版社, 73—108。
- 蔡心一、林琼武、万伟龙, 1981, 长毛对虾的幼体发育形态及其与东方对虾、日本对虾的比较, 厦门大学学报(自然科学版), 20(2): 243—252。
- Aderson, D.T., 1982, Embryology. In "The biology of Crustacea" (L.G. Abele, ed.), Academic Press, New York and London, Vol. 2, Embryology, Morphology and Genetics, 1—41。
- Cabrera-Jimenez, J.A., 1983, Characters of taxonomic value of the postlarvae of the shrimp *Penaeus (Farfantepenaeus) brevis* Kingsley (Decapoda Natantia), of the Gulf of California, Mexico, *Crustaceana*, 44: 292—300。
- Calderon-Perez, J.A., E. Macias-Regalado, F.A. Abreu-Grobois and S. Rendon-Rodriguez, 1989, Antennular Flagella: A Useful Characters for Distinguishing Subgenera among Postlarval Shrimp of the Genus *Penaeus* (Decapoda) from the Gulf of California, *J. Crust. Bio.*, 9(3): 482—491。
- Chong, V.C. and A. Sasekumar, 1982, On the identification of three morphospecies of prawns *Penaeus merguensis* De Man, *Penaeus indicus* H. Milne Edwards and *Penaeus penicillatus* Alock (Decapoda, Penaeidea), *Crustaceana*, 42: 127—141。
- Choy, S.C., 1984, Larval development of *Penaeus (Mellicertus) canaliculatus* (Oliver, 1811) reared in the laboratory (Decapoda Natantia), *Crustaceana*, 46(1): 1—22。
- Cook, H.L., 1966, A generic key to the protozoan, mysis and postlarval stages of the littoral Penaeidae of the Northwestern Gulf of Mexico, *Fish. Bull.*, 65(2): 437—447。
- Dall, W., B. Hill, P. Rothlisberg and D. Staples, 1990, Taxonomy of Larvae, Postlarvae and Juveniles, In "Biology of Penaeidae", Acad. Press. Lond. Advances in marine biology, 27: 107—123。
- Deshmukh, V.D. and S. Ramamurthy, 1985, A note on the occurrence of postlarvae of *Penaeus penicillatus* Alock near Bombay, *Indian Journal of Fisheries*, 32: 484—487。

- Gurney, R., 1942, Larvae of Decapod Crustacea, The Royal Society, 126:1—306.
- Hudinaga, M., 1942, Reproduction, development and rearing of *Penaeus japonicus* Bate, *Jap. J. Zool.*, 10(2):305—393.
- Jackson, C.J., P.C. Rothlisberg, R.C. Pendrey, and M.T. Beamish, 1989, A Key to Genera of the Penaeid Larvae and Early Postlarvae of the Indowest Pacific Region, with Descriptions of the Larval Development of *Alyppopenaeus formosus* Dall and *Metapenaeopsis palmensis* Haswell (Decapoda:Penaeoidea: Penaeidae) Reared in Laboratory, *Fish. Bull.*, 87(3):703—733.
- Kazuhito, H., 1984, Development of the Post-larva of *Penaeus kerathurus* (Forsk., 1775) in comparison with *Penaeus japonicus* Bate, 1888 (Decapoda, Natantia), *Crustaceana*, 46(1): 53—68.
- Kirkegaard, I.R., 1972, The fauna of the Gulf of Carpentaria, No.3 Larval stages of Penaeidae (Crustacea:Decapoda), *Fisheries Notes, Queensland Department Harbours and Marine*, 2:58—70.
- Lavery, S. and D. Staples, 1990, Use of Allozyme Electrophoresis for Identifying two Species of Penaeid Prawn Postlarvae, *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 41:259—266.
- Liu, H. and Liu R. (J. Y. Liu), 1994, Comparative Studies on the Larval Development of Penaeid Shrimps, *Penaeus chinensis* P. *merguiensis* and *P. penicillatus*, *Chin. J. Oceanol.*
- Mair, J.McD., 1979, The identification of postlarvae of four species of *Penaeus* (Crustacea:Decapoda) from the Pacific coast of Mexico, *J. Zool. Lond.*, 188:347—351.
- Motoh, H., and P. Buri, 1979, Larvae of decapod Crustacea of the Philippines—IV. Larval development of the banana Prawn, *Penaeus merguiensis* reared in the laboratory, *Bull. Jap. Soc. Sci Fish.*, 45(10):1217—1235.
- Motoh, H. and P. Buri, 1981, Identification of postlarval *Penaeus* appearing at shore waters, *Res. Crust.*, 11:86—94.
- Oka, M., 1968, Studies on *Penaeus orientalis* Kishinouye—IX. Development of the post-larva, *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.*, 26:1—23.
- Paulinose, V.T., 1982, Key to the identification of larvae and postlarvae of the penaeid prawns (Decapoda, Penaeidae) of the Indian Ocean, *Mahasagar Bull. Nat. Inst. Oceanogr.*, 15:223—229.
- Ringo, R.D. and G. Zamora, 1968, A penaeid [postlarval] character of taxonomic value, *Bull. Mar. Sci.*, 18(2):471—476.
- Waterman, T.H., 1960, General Crustacean Biology. In "The Physiology of Crustacea". (T.H. Waterman, Ed.), Academic Press, New York and London, 1:1—33.
- Williamson, D.I., 1982, Larval morphology and diversity. In "The Biology of Crustacea". (L.G. Abele, Ed.), Acad. Press, New York and London, Vol.2, Embryology, Morphology and Genetics, 43—110.
- Zamora, G. and L. Trent., 1968, Use of dorsal carinal spines to differentiate between postlarvae of brown shrimp, *Penaeus aztecus* Ives, and white shrimp, *P. setiferus* (Linnaeus), *Mar. Sci.*, 13:17—19.

附 表

表 1 中国对虾 *Penaeus chinensis* 仔虾额角的齿式 (包括胃上刺)

期数 齿数 额角	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
上 缘	2—3	3	3	4	4—5	5—6	6—7	6—7	7—8	7—8	7—8	7—8
下 缘	0	0	0	0	0—1	1—2	2—3	3—4	3—4	3—4	4—5	4—5

表2 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾额角的齿式 (包括胃上刺)

期数 齿数 额角	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
	1	2-3	3	3-4	4-5	4-6	5-7	6-7	6-7	6-8	6-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8
上 缘	1	2-3	3	3-4	4-5	4-6	5-7	6-7	6-7	6-8	6-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8
下 缘	0	0	0	0	0-1	1-3	3-5	4-5	5-6	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	5-6	5-6

表3 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾额角的齿式 (包括胃上刺)

期数 齿数 额角	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
	1	1-2	2-3	3	3-4	4-5	4-6	5-6	5-6	6-7	6-7	6-7	7-8	7-8
上 缘	1	1-2	2-3	3	3-4	4-5	4-6	5-6	5-6	6-7	6-7	6-7	7-8	7-8
下 缘	0	0	0	0	0-1	1-2	1-2	2-3	2-4	3-4	3-5	4-5	4-5	4-5

表4 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾的尾刺式

期数	I-IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI-XVII	XVIII-XIV	XX
尾刺式	8+8	8+8 4+4	4+4	4+4	4+4	4+4	4+4 3+3	4+4 3+3至1+1	1+1 0+0	0+0

表5 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾的尾刺式

期数	I-XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII-XX	XXI	XXII
尾刺式	8+8	8+8 4+4	4+4	4+4	4+4 3+3	3+3	3+3至1+1	1+1 0+0	0+0

表6 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾的尾刺式

期数	I-XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX-XX	XXI	XXII
尾刺式	8+8	8+8 4+4	4+4	4+4	4+4 3+3	4+4 3+3	3+3	3+3至1+1	1+1 0+0	0+0

表7 中国对虾 *P.chinensis* 仔虾第1触角内外鞭节数及长度比值（外鞭/内鞭）

期 数	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
节 外 鞭	2	2—3	3	3—4	4—5	5—6	7—9	9—11	10—14	16—22
数 内 鞭	3	3—4	4	4—5	5—6	6—7	7—9	9—12	11—16	14—19
长度比值	0.83	0.74	0.68	0.68	0.69	0.78	0.88	0.69	0.95	1.07
期 数	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX
节 外 鞭	19—27	27—34	33—40	45—50	52—60	56—66	70—81	79—86	81—90	86—96
数 内 鞭	16—23	20—26	24—30	30—34	32—38	35—42	39—46	40—48	44—50	45—53
长度比值	1.17	1.20	1.23	1.40	1.47	1.61	1.62	1.78	1.82	2.11

表8 墨吉对虾 *P.merguensis* 仔虾第1触角内外鞭节数及长度比值（外鞭/内鞭）

期 数	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
节 外 鞭	2	2—3	3	3—4	4—6	5—7	6—9	6—9	8—12	9—13
数 内 鞭	3	3—4	4	4—5	5—6	5—7	6—8	6—9	8—12	9—14
长度比值	0.81	0.70	0.65	0.70	0.69	0.74	0.77	0.80	0.83	0.84
期 数	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX
节 外 鞭	9—16	13—19	14—21	16—25	18—27	22—31	26—34	32—38	35—40	39—50
数 内 鞭	11—17	13—19	16—21	17—23	19—28	22—31	25—34	33—38	35—40	36—42
长度比值	0.87	0.92	0.94	0.99	0.98	0.99	1.02	1.05	1.06	1.10

表9 长毛对虾 *P.penicillatus* 仔虾第1触角内外鞭长度比值（外鞭/内鞭）

期 数	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
长度比值	0.85	0.69	0.69	0.71	0.80	0.82	0.81	0.80	0.85	0.92
期 数	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX
长度比值	0.95	0.99	0.98	0.99	1.00	1.02	1.11	1.18	1.14	1.15

表10 中国对虾 *P.chinensis* 仔虾第1—3步足螯与腕节的长度比值

期 数	I			V			X			XV			XX		
步 足	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
长度比值	3.00	2.45	2.13	1.97	1.50	1.07	1.29	0.81	0.66	1.03	0.67	0.52	0.95	0.61	0.48

表 11 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾第 1—3 步足螯与腕节的长度比值

期数	I			V			X			XV			XX		
步足	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
长度比值	3.00	2.58	2.10	2.00	1.42	1.04	1.31	0.80	0.62	1.07	0.72	0.58	0.92	0.62	0.46

表 12 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾第 1—3 步足螯与腕节的长度比值

期数	I			V			X			XV			XX		
步足	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
长度比值	3.00	2.53	2.40	2.13	1.33	1.02	1.30	0.87	0.67	1.09	0.75	0.58	0.94	0.63	0.51

表 13 中国对虾 *P. chinensis* 仔虾腹肢内肢出现的顺序

期数	I	III	IV	V	VI	VII	VIII
腹肢	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
内肢	-----	-----	---++	--+++	-++++	±++++	+++++

表 14 墨吉对虾 *P. merguensis* 仔虾腹肢内肢出现的顺序

期数	I—III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	XII
腹肢	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
内肢	-----	--++	--+++	-++++	-±++++	→++++	±++++	+++++

表 15 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾腹肢内肢出现的顺序

期数	I—III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	XII
腹肢	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
内肢	-----	---+-	-±++++	--+++	-±++++	-++++	±++++	+++++

表 16 中国对虾 *P.chinensis* 仔虾身体主要部位平均长度 (mm) 及其比值

期数	额角	头胸甲	第6腹节	尾节	体长	额 角	头 胸 甲	第6腹节	尾节
						头 胸 甲	体 长	体长	体长
I	0.55	1.13	1.07	0.86	4.66	0.48	0.24	0.23	0.19
II	0.60	1.28	1.13	0.92	4.75	0.47	0.26	0.24	0.19
III	0.63	1.40	1.25	1.05	5.46	0.45	0.26	0.23	0.19
IV	0.79	1.59	1.43	1.13	6.20	0.50	0.26	0.23	0.18
V	0.97	1.89	1.69	1.37	7.54	0.51	0.25	0.22	0.18
VI	1.37	2.29	1.92	1.55	9.06	0.60	0.25	0.21	0.17
VII	1.91	2.67	2.15	1.72	10.26	0.72	0.26	0.21	0.17
VIII	2.55	3.11	2.58	2.10	12.42	0.82	0.25	0.21	0.17
IX	2.63	3.59	2.64	2.17	13.51	0.83	0.26	0.20	0.16
X	3.43	4.04	3.15	2.83	16.18	0.85	0.25	0.20	0.17
XI	3.70	4.28	3.24	2.89	17.33	0.87	0.25	0.19	0.17
XII	5.04	5.14	4.06	3.49	20.74	0.98	0.25	0.20	0.17
XIII	5.70	5.78	4.13	3.53	22.20	0.99	0.26	0.19	0.15
XIV	7.40	6.92	5.33	4.56	28.46	1.07	0.24	0.19	0.16
XV	7.80	7.24	5.36	4.64	30.04	1.08	0.24	0.18	0.15
XVI	8.30	7.48	5.48	4.73	31.38	1.10	0.24	0.18	0.15
XVII	9.00	8.28	6.00	5.28	34.03	1.09	0.24	0.18	0.16
XVIII	9.10	8.62	6.33	5.55	35.63	1.10	0.25	0.18	0.16
XIX	10.50	9.60	6.56	6.02	39.02	1.09	0.24	0.17	0.15
XX	11.10	10.20	7.00	6.00	40.40	1.09	0.25	0.17	0.15

表 17 墨吉对虾 *P. merguiensis* 仔虾身体主要部位平均长度 (mm) 及其比值

期数	额角	头胸甲	第6腹节	尾节	体长	额 角	头 胸 甲	第 6 腹 节	尾 节
						头 胸 甲	体 长	体 长	体 长
I	0.47	1.09	1.14	0.73	4.50	0.43	0.25	0.25	0.16
II	0.53	1.20	1.20	0.87	4.77	0.44	0.25	0.25	0.18
III	0.58	1.38	1.44	0.98	5.99	0.43	0.23	0.24	0.16
IV	0.69	1.50	1.62	1.14	6.54	0.46	0.23	0.25	0.17
V	0.94	1.75	1.78	1.20	7.55	0.53	0.23	0.24	0.16
VI	1.20	1.79	1.93	1.35	8.36	0.67	0.21	0.23	0.16
VII	1.83	1.90	1.98	1.40	8.53	0.96	0.22	0.23	0.16
VIII	2.55	2.11	2.13	1.53	9.31	1.21	0.23	0.23	0.16
IX	3.00	2.44	2.30	1.58	10.28	1.26	0.22	0.22	0.15
X	4.05	2.75	2.70	2.05	11.50	1.41	0.24	0.23	0.18
XI	4.28	3.04	2.83	2.18	12.20	1.47	0.25	0.23	0.18
XII	5.07	3.38	3.12	2.50	15.06	1.50	0.23	0.21	0.17
XIII	6.06	4.08	3.41	2.69	17.46	1.49	0.23	0.20	0.15
XIV	7.02	4.84	4.20	3.37	21.05	1.45	0.23	0.20	0.16
XV	7.65	5.39	4.43	3.75	23.68	1.42	0.23	0.19	0.16
XVI	7.85	5.45	4.46	3.81	24.78	1.44	0.22	0.18	0.15
XVII	8.03	5.50	4.50	3.85	25.88	1.46	0.21	0.17	0.15
XVIII	8.25	6.00	5.00	4.13	28.88	1.38	0.21	0.17	0.14
XIX	8.23	6.47	5.50	4.51	30.23	1.40	0.21	0.18	0.15
XX	8.78	6.50	5.70	4.63	32.20	1.35	0.20	0.17	0.14
XXII	9.10	7.00	5.83	4.88	34.95	1.30	0.20	0.17	0.14

表 18 长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾身体主要部位平均长度 (mm) 及其比值

期数	额角	头胸甲	第6腹节	尾节	体长	额 角	头 胸 甲	第6腹节	尾节
						头 胸 甲	体 长	体 长	体长
I	0.46	1.03	1.12	0.78	4.45	0.41	0.23	0.25	0.18
II	0.50	1.13	1.20	0.83	4.78	0.44	0.24	0.25	0.17
III	0.58	1.28	1.30	0.95	5.75	0.45	0.24	0.23	0.17
IV	0.65	1.43	1.43	1.00	6.13	0.45	0.23	0.23	0.15
V	0.85	1.68	1.73	1.18	7.40	0.51	0.23	0.23	0.16
VI	0.98	1.83	1.75	1.20	7.65	0.53	0.24	0.23	0.16
VII	1.25	1.88	1.85	1.25	7.85	0.63	0.24	0.24	0.16
VIII	1.30	1.97	1.97	1.45	8.40	0.68	0.24	0.24	0.17
IX	1.53	2.27	2.10	1.52	9.08	0.71	0.25	0.23	0.17
X	2.04	2.63	2.25	1.65	10.33	0.78	0.25	0.23	0.17
XI	2.68	2.76	2.47	1.87	11.71	0.97	0.24	0.22	0.16
XII	3.28	3.02	2.68	2.16	13.32	1.09	0.23	0.20	0.16
XIII	3.91	3.60	2.82	2.30	14.55	1.09	0.25	0.19	0.16
XIV	4.61	3.94	3.16	2.68	17.48	1.17	0.23	0.18	0.15
XV	6.04	4.89	4.03	3.43	21.85	1.23	0.22	0.18	0.16
XVI	6.33	5.18	4.17	3.66	22.85	1.22	0.23	0.18	0.16
XVII	6.44	5.32	4.26	3.77	23.35	1.21	0.23	0.18	0.16
XVIII	6.65	5.47	4.51	3.81	23.81	1.21	0.23	0.18	0.16
XIX	7.05	5.96	4.83	4.03	25.01	1.18	0.24	0.18	0.16
XX	7.34	6.38	4.94	4.26	28.21	1.15	0.23	0.17	0.15

表 19 中国对虾 *P. chinensis* 的鳃式

期数 附肢 鳃	第1颚足	第2颚足	第3颚足	第1步足	第2步足	第3步足	第4步足	第5步足
	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
M1	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
M2	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 1 0	0 0 0 0	0 0 0 0
M3	1 0 0 0	1 0 0 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 1 0	0 0 0 0
PL1	1 0 0 0	1 0 0 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 1 0	0 0 0 0
PL2	1 0 0 0	1 0 0 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 1 0	0 0 0 0
PL3	1 0 0 0	1 1 0 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0 1 0	0 0 0 0
PL4	1 0 0 0	1 1 1 0	0 0 2 0	0 0 2 1	0 0 2 1	0 0 2 1	0 0 1 0	0 0 0 0
PL5	1 0 0 0	1 1 1 0	0 0 2 1	0 0 2 1	0 0 2 1	0 0 2 1	0 0 1 0	0 0 0 0
PL6	1 0 0 0	1 1 1 0	0 0 2 1	0 0 2 1	0 0 2 1	0 0 2 1	0 0 1 1	0 0 0 0
PL7	1 0 1 0	1 1 2 0	0 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	0 0 1 1	0 0 0 0
PL8	1 0 1 0	1 1 2 0	0 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	0 0 1 1	0 0 0 1
PL9	1 0 1 0	1 1 2 0	0 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	0 0 1 1	0 0 0 1
PL10	1 0 1 0	1 1 2 0	0 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	0 0 1 1	0 0 0 1
PL11	1 0 1 0	1 1 2 0	1 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	0 0 1 1	0 0 0 1
成 体	1 0 1 0	1 1 2 0	1 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	1 0 2 1	0 0 1 1	0 0 0 1

M. 糠虾幼体; PL. 仔虾; 1. 肢鳃; 2. 足鳃; 3. 关节鳃; 4. 侧鳃

表 20 墨吉对虾 *P. merguiensis* 的鳃式

期数 附肢 鳃	第 1 颚足	第 2 颚足	第 3 颚足	第 1 步足	第 2 步足	第 3 步足	第 4 步足	第 5 步足
	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
M ₁	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
M ₂	0000	0000	0010	0010	0010	0010	0000	0000
M ₃	1000	1000	0020	0020	0020	0020	0010	0000
PL ₁	1000	1000	0020	0020	0020	0020	0010	0000
PL ₂	1000	1110	0020	0020	0020	0020	0010	0000
PL ₃	1000	1110	0020	0020	0020	0020	0010	0000
PL ₄	1000	1110	0020	0021	0021	0021	0010	0000
PL ₅	1000	1110	0021	0021	0021	0021	0010	0000
PL ₆	1000	1110	0021	0 021	0021	0021	0011	0000
PL ₇	1010	1120	0021	1021	1021	1021	0011	0000
PL ₈	1010	1120	0021	1021	1021	1021	0011	0001
PL ₉	1010	1120	0021	1021	1021	1021	0011	0001
PL ₁₀	1010	1120	0021	1021	1021	1021	0011	0001
PL ₁₁	1010	1120	1021	1021	1021	1021	0011	0001
PL ₁₂	1010	1120	1021	1021	1021	1021	0011	0001
成 体	1010	1120	1021	1021	1021	1021	0011	0001

M. 糠虾幼体; PL. 仔虾; 1. 肢鳃; 2. 足鳃; 3. 关节鳃; 4. 侧鳃

表 21 长毛对虾 *P. penicillatus* 的鳃式

期数 鳃	第 1 颚足	第 2 颚足	第 3 颚足	第 1 步足	第 2 步足	第 3 步足	第 4 步足	第 5 步足
	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
M1	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
M2	0000	0000	0010	0010	0010	0010	0010	0000
M3	1000	1000	0020	0020	0020	0020	0010	0000
PL1	1000	1000	0020	0020	0020	0020	0010	0000
PL2	1000	1110	0020	0020	0020	0020	0010	0000
PL3	1000	1110	0020	0020	0020	0020	0010	0000
PL4	1000	1110	0020	0021	0021	0021	0010	0000
PL5	1000	1110	0021	0021	0021	0021	0010	0000
PL6	1000	1110	0021	0021	0021	0021	0011	0000
PL7	1010	1120	0021	1021	1021	1021	0011	0000
PL8	1010	1120	0021	1021	1021	1021	0011	0001
PL9	1010	1120	0021	1021	1021	1021	0011	0001
PL10	1010	1120	0021	1021	1021	1021	0011	0001
PL11	1010	1120	0021	1021	1021	1021	0011	0001
PL12	1010	1120	1021	1021	1021	1021	0011	0001
成 体	1010	1120	1021	1021	1021	1021	0011	0001

M. 糠虾幼体; PL. 仔虾 1. 肢鳃; 2. 足鳃; 3. 关节鳃; 4. 侧鳃

表 22 中国对虾 *P. chinensis*, 墨吉对虾 *P. merguensis* 和长毛对虾 *P. penicillatus* 仔虾的主要形态差别

特 征		中 国 对 虾	墨 吉 对 虾	长 毛 对 虾
额角长/头胸甲长 (体长 10—18mm)		0.72—0.95	1.26—1.50	0.78—1.17
触 角 刺		存在于整个仔虾期	3或4期仔虾时消失, 8或9期时再度出现	2或3期仔虾时消失, 6或7期时再度出现
第1触角 外鞭长/内鞭长	体 长 18—20mm	>1	<1	≤1
	体 长 >20mm	1.20—2.11	0.99—1.10	1.00—1.15
第3颚足外肢 (第1—4期仔虾)		第1—3期仔虾时具9根刚毛; 第4期时4—8根, 可达座节末端或长节	第1—3期仔虾时具8根或少于8根刚毛; 第4期时无刚毛, 其长度不超过座节中部。	第1—3期仔虾时具8根刚毛或少于8根; 第4期时无刚毛, 其长度不超过座节中部。
第1—5步足外肢 (1—4期仔虾)		第1—4期时其上刚毛一般为9根(第4期时有的少于9根, 但仍4根以上), 其长度可达长节	第1—2期时其上刚毛为8根; 第3期时少于8根或无, 第4期外肢完全退化或仅存短小的一截, 其上无刚毛	第1期时其上刚毛为8根, 第2—3期时少于8根(一般2—3根), 第4期时无刚毛, 完全退化或仅存短小的1截
第1腹肢内肢出现的时间		第7或8期仔虾	第11或12期仔虾	第11或12期仔虾
第4腹节背中刺消失的时间		第1或2期仔虾	第2或3期仔虾	第3或4期仔虾
第5腹节背中刺		第6或7期仔虾	第9或10期	第6或7期
眼上刺消失的时间		第5期仔虾	第3期仔虾	第3期仔虾
尾节末缘小尖突出现时间		第6期仔虾	第9或10期仔虾	第6期仔虾

表 23 中国对虾 *Penaeus chinensis*, 墨吉对虾 *P. merguiensis*, 长毛对虾 *P. penicillatus*, 日本对虾 *P. japonicus* 和斑节对虾 *P. monodon* 仔虾的主要形态差别

特 征		中国对虾 (本文作者)	墨吉对虾 (本文作者)	长毛对虾 (本文作者)	日本对虾 (Hudinaga, 1942)	斑节对虾 (Motoh, 1981)
额角长/头胸甲长		$>0.5(0.51-1.14)$ (5—20期仔虾)	$>0.5(0.53-1.50)$ (5—22期仔虾)	$>0.5(0.51-1.23)$ (5—20期仔虾)	$<0.5(0.22-0.48)$ (5—22期仔虾)	—
额角的齿式 (11期仔虾后)	上 缘	7—8	7—8	6—8	9—10	7
	下 缘	4—5	5—7	4—5	1	3
额角下缘齿首次出现的时间		第5期仔虾	第5期仔虾	第5期仔虾	第11期仔虾	第5期仔虾
眼上刺		第5期时消失 并不再出现	第3期时消失 并不再出现	第3期时消失 并不再出现	第1期时消失, 10—11期时再次 出现	第1期时消失并 不再出现
触角刺		存在于整个 仔虾期	3(4)—7(8) 期时无	2(3)—5(6) 期时无	存在于整个仔虾期	2—5期时无
第1触角 外鞭长/内鞭长	10—12期	$>1(1.07-1.20)$	$<1(0.84-0.92)$	$<1(0.92-0.99)$	<1	$\leq 1(0.83-1.00)$
	12—20期	1.20—2.11	0.94—1.10	0.98—1.18	=1	—
第2颚足外肢消失的时间		无	无	无	2—8期仔虾	无
第3颚足及1—5步足外肢开始退化, 其上刚毛消失的时间		第5期仔虾	3—4期仔虾	3—4期仔虾	1—2期仔虾	2—3期仔虾
腹肢内肢首次出现的时间		第4期仔虾	第4期仔虾	第4期仔虾	第8期仔虾	第8期仔虾
尾节末缘小尖突出现的时间		第6期仔虾	第9期仔虾	第5期仔虾	第6期仔虾	第6或7期仔虾

COMPARATIVE STUDY ON POSTLARVAL DEVELOPMENT OF PENAEID SHRIMP *PENAEUS CHINENSIS*, *P.* *PENICILLATUS* AND *P. MERGUIENSIS**

Liu Heng and Liu Ruiyu (J.Y.Liu)

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071)

Abstract

The postlarval developments of *Penaeus chinensis*, *P. merguiensis* and *P. penicillatus* are described and fully illustrated. Study results on their comparative morphology are made and concluded as follows:

1. After the 5th postlarva, the rostrum to carapace ratio of *P. merguiensis* increases much more rapidly than that of *P. chinensis* and *P. penicillatus* (Fig. 49, Table 16, 17, 18). It reaches the highest of 1.50 in the 12th postlarva of *P. merguiensis*, 1.10 in the 6th postlarva of *P. chinensis* and 1.23 in the 15th postlarva of *P. penicillatus*. However, after reaching the highest ratio, it decreases fastest in *P. merguiensis*, less fast in *P. penicillatus* and slowest in *P. chinensis*, which may explain that this ratio is largest in *P. chinensis*, in-between in *P. penicillatus* and smallest in *P. merguiensis* during their adult stages.

2. Antennal spines exist in all postlarval substages of *P. chinensis* (Fig. 2), disappear during 3rd (or 4th)—8th (or 9th) postlarva of *P. merguiensis* (Fig. 19) and 2nd (or 3rd)—6th (or 7th) postlarva of *P. penicillatus* (Fig. 34).

3. The dorso-median spine on the 5th abdomen disappears from the 6th or 7th postlarva of *P. chinensis* (Fig. 3) and *P. penicillatus* (Fig. 35), disappear in 9th or 10th postlarva of *P. merguiensis* (Fig. 20).

4. The process at the center of the posterior margin of the telson appears in the 6th postlarva of *P. chinensis* (Fig. 4, 5) and *P. penicillatus* (Fig. 36), in the 9th or 10th postlarva of *P. merguiensis* (Fig. 21).

5. After the 10th postlarva, the ratio between the outer and inner flagellum of the antennule of *P. chinensis* (1.17—2.11) becomes much larger than that of *P. merguiensis* (0.87—1.10) and *P. penicillatus* (0.95—1.15) (Fig. 50, Table 7, 8, 9).

* Contribution No. 2235 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

6. The exopods of 3rd maxilliped and pereopod 1—5 in postlarval stages of *P. chinensis* (Fig. 13, 14, 15) degenerate more slowly than that of *P. merguiensis* (Fig. 29, 30, 32) and *P. penicillatus* (Fig. 44, 45, 47). In postlarva 1—3, there are 9 plumose setae on the exopods of the third maxilliped and pereopod 1—5 in *P. chinensis*, only 8 or less than 8 in the latter two; in the 4th postlarva, the exopods of the 3rd maxilliped and pereopod 1—5 *P. chinensis* can still reach the meropodites and have plumose setae, while those of the latter two can not reach beyond the middle of the ischium and have no setae.

7. The endopod of first pleopod appears 4 substages earlier in *P. chinensis* (Fig. 18, Table 13) than those of *P. merguiensis* (Fig. 33, Table 14) and *P. penicillatus* (Fig. 48, table 15) which appear in the 11th or 12th postlarva.

A tentative key is provided for the identification of postlarva 1—22 of *P. chinensis*, *P. merguiensis* and *P. penicillatus* and the criteria for distinguishing the postlarval substages was presented so as to make the key more workable.

P. chinensis can be distinguished from *P. merguiensis* and *P. penicillatus* during all the postlarval stage, while the latter two can not be distinguished until the 7th postlarva.

The morphological difference between *P. penicillatus* and *P. merguiensis* in the postlarval stages is much less than that between each of them and *P. chinensis*, and is similarly the case with the adult stage when there is closer affinity between *P. merguiensis* and *P. penicillatus*.