

# 微齿喜马拉雅低额蚤生长 及种群增长的研究\*

施心路<sup>†</sup> 于丽杰 张大维 史新柏

<sup>†</sup>(青岛海洋大学水产养殖国家教委开放研究实验室, 青岛 266003)

(哈尔滨师范大学生物系, 哈尔滨 150080)

**提要** 于1990年6月在哈尔滨市东北林业大学实验林场一水池中采到微齿喜马拉雅低额蚤, 根据实验结果应用生物统计学方法对它的生长和种群增长进行研究。结果表明, 在不同温度条件下性成熟时间与水温的关系为, 雌性(10—30℃):  $h=8.072t^{-1.313}$  ( $r=0.985$ ,  $P<0.01$ ); 雄性(5—25℃):  $h=1.074t^{-0.855}$  ( $r=0.9844$ ,  $P<0.01$ )。在 $20\pm 1$ ℃条件下, 其体长增长模型为:  $l_t=3.334-2.7345e^{-0.117t}$ 。龄期( $x$ )与年龄( $t$ , d)的关系为: 雌体:  $t=0.07169x^2+1.3808x-1.7361$ ; 雄体:  $t=0.8425x^2+2.534x-1.8600$ 。内禀增长率( $r_m$ )为0.4076。种群增长呈“logistic”型, 其方程式为:  $y=\frac{3625}{1+e^{3.848-0.164t}}$ 。

**关键词** 微齿喜马拉雅低额蚤 生长 种群增长 内禀增长率

枝角类是组成淡水浮游动物的主要类群之一, 由于数量大、繁殖快, 因而是优良的鱼类饵料。对枝角类的探讨在水体生态系和食物链研究中一直占有特殊地位。关于枝角类中低额蚤属的研究, 国内有堵南山等(1982)和王丹丽等(1990)对拟老年低额蚤进行过研究, 国外 Murugan 等(1973, 1977), Kanaujia (1987, 1988), Mccauley(1990)及 Sharma 等(1989), 都曾报道过一些有关低额蚤的研究, 但主要偏重于生殖。微齿喜马拉雅低额蚤是陈受忠等(1992)定名的一个亚种。本文报告其生长发育及种群增长的初步研究, 以期对低额蚤属各种的生物学特性有更深入的了解。

## 1 材料与方法

于1990年6月在哈尔滨市东北林业大学实验林场内一永久性水池中采到微齿喜马拉雅低额蚤 (*Simocephalus himalayensis microdus*)。蚤体单个培养在50ml的烧杯中, 以暴露储放的自来水培养(溶解氧为8.53—9.64mg/L, pH=7.5—7.9)。饲以约 $4\times 10^6$  cell/ml的斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*), 室温, 自然光照12h/d, 水温为

\* 水产养殖国家教委开放研究实验室开放基金与蔡火石生物科学发展基金联合资助项目, 蔡火石生物科学发展基金项目: 94120808号。施心路, 男, 出生于1955年12月, 博士生, 讲师。

文稿承蒙宋微波教授提出宝贵意见, 谨志谢忱。

收稿日期: 1994年12月17日, 接受日期: 1995年3月26日。

5—30℃。在显微镜下观测幼蚤生长。龄期以每次蜕皮后的蚤体壳为依据。体长增长模型根据实验数据利用计算机回归得出。体重与体长、龄期与年龄的回归方程分别按杜荣骞(1984)和杨纪珂(1964)<sup>1)</sup>的方法。内禀增长率按梁彦龄等(1964)、Birch(1948)的方法。

用  $\sum_0^{\infty} e^{-r_m x} l_x m_x = 1$  公式求内禀增长力( $r_m$ )。世代平均周期( $T$ )用公式  $T = \frac{\log e R_0}{r_m}$  计

算。周限速率( $\lambda$ )用公式  $\lambda = e^{r_m}$  求出。种群增长模型按邬祥光(1985)、单国桢(1983)的方法求出。

## 2 结果

### 2.1 生长

微齿喜马拉雅低额蚤的生长与其它蚤类一样,为间歇性进行,即生长与蜕壳交替出现,蜕壳周期约为72h一次。雌蚤的蜕壳过程约1min,而雄蚤则仅30—40s。以斜生栅藻为食时,雌体在水温20℃时最多可活65d,48.7±8.92d,具18±2.11龄,有4个幼龄期。雄体在水温15℃最多可活28d,蜕壳7次(8龄),但仅有2—3个幼龄期。

#### 2.1.1 体长增长与龄期的关系

2.1.1.1 体长增长模型 微齿喜马拉雅低额蚤在20±1℃喂以斜生栅藻时,其体长增长模型为:  $l_t = 3.334 - 2.7345e^{-0.1117t}$ 。式中,  $t$  为时间(d);  $l_t$  为  $t$  时间的体长(mm)。

2.1.1.2 体长增长量和增长率 实验条件下的微齿喜马拉雅低额蚤的体长增长状况可以下列两式表示:

$$\text{增长量} = L_2 - L_1,$$

$$\text{增长率} = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100$$

式中,  $L_1$  为前一龄期的体长;  $L_2$  为后一龄期的体长(图1)。由图1可见,蚤体自出

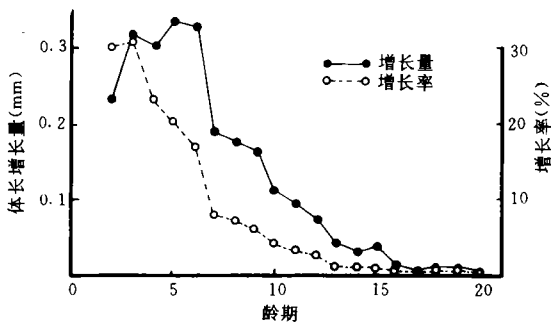


图1 微齿喜马拉雅低额蚤体长增长与龄期之间的关系

Fig.1 Relationship between body length increment and instars of *Simocephalus himalayensis microdus*

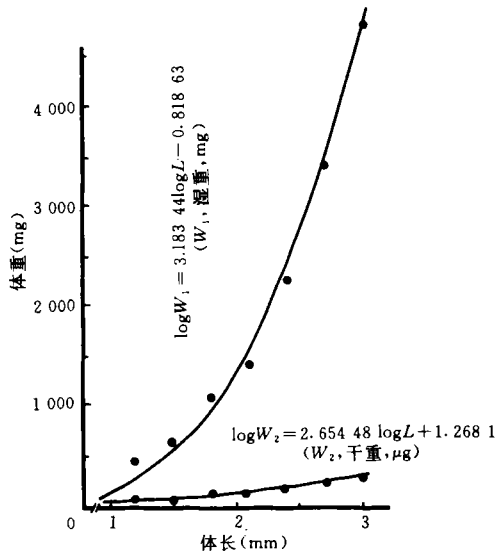


图2 微齿喜马拉雅低额蚤体长与其换算体重的相关曲线

Fig.2 Length-weight relationship of *Simocephalus himalayensis microdus*

1) 杨纪珂, 1964, 数理统计方法在医学科学中的应用, 上海科学技术出版社(上海)。

生至第 6 龄增长最快,第 7 至 16 龄增长减慢,第 17 龄后增长甚微。因此,蚤体的生长主要在成龄前进行。

2.1.1.3 体长与体重的关系 微齿喜马拉雅低额蚤在体长 0.8—3.00mm 范围内的体长(L)与体重(W)的回归方程为:

$$\log W_1 = 3.183\ 44 \log L - 0.818\ 63 \quad (W_1: \text{湿重, mg})$$

$$\log W_2 = 2.654\ 48 \log L + 1.2681 \quad (W_2: \text{干重, } \mu\text{g})$$

以回归方程作体长与体重的回归图,回归曲线呈抛物线型(图 2)。当体长达 3mm 时,体重约在 4 500mg 以上(图略)。

### 2.2 水温对生长及寿命的影响

2.2.1 水温对雌雄性个体性成熟的影响 温度是影响蚤类生长速度的主要外因之一,而生长速度又与蚤类性成熟所需时间直接相关。在 5—30℃ 范围内,生长速度与温度成正比,温度越高,达性成熟时所需时间越短。微齿喜马拉雅低额蚤雌雄个体达性成熟所需时间可用回归方程表示(图 3a, ♀; 图 3b, ♂)。雌性性成熟与水温的回归方程: (10—30℃)  $h = 8\ 072t^{-1.313}$  ( $r = 0.9856, P < 0.01$ ); 雄性性成熟与水温的回归方程: (5—25℃)  $h = 1\ 074t^{-0.855}$  ( $r = 0.9844, P < 0.01$ )。式中,  $h$  为性成熟所需时间;  $t$  为温度。微齿喜马拉雅低额蚤雌雄个体到达成龄时的龄期不同,雌体有 4 个幼龄期,而雄体只有 3 个。此外在相同的温度条件下雄性个体也比雌性个体发育快。在有性生殖高峰时(水温约 15℃)雄性个体达到性成熟时所需的时间通常只是雌性个体的一半。以水温 15℃ 为例,雄性达性成熟时需 4.42d; 而雌性达性成熟时则需 9.16d。即在有性生殖季节,同一亲蚤前一胎产出的雌性幼蚤将与后一胎产出的雄性幼蚤同期达性成熟。这种现象可能是蚤类在秋季行两性生殖时充分地利用环境的结果。

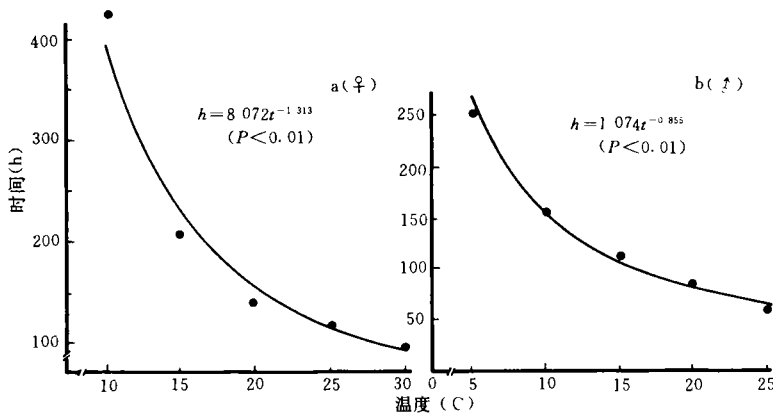


图 3 雌性(a)雄性(b)微齿喜马拉雅低额蚤性成熟与水温的回归线

Fig. 3 Relationship curve between sexmaturity and temperature in female (a), male (b) in *Simocephalus himalayensis microdus*

2.2.2 水温对雄性寿命的影响 在 5—25℃ 温度范围内,温度越低雄性蚤体的寿命越长,其关系可表示为:  $h = 701.6 - 11.64t$  ( $r = 0.9436, P < 0.05$ )。即: 每降低 1℃, 雄性个体可多活 11.64h。

**2.2.3 龄期与年龄的关系** 随年龄的增长龄期数有规律地增加，幼龄期雌体(20℃条件下)从II—V期平均约24h蜕壳1次。从第1成龄(第5龄)开始至第16龄平均约72h蜕1次壳，至最后几龄蜕壳时间相对变长。微齿喜马拉雅低额蚤雌性和雄性的龄期与年龄的关系，可分别用曲线回归方程表示：

雌体龄期与年龄的关系： $t=0.07169x^2+1.3808x-1.7361$

雄体龄期与年龄的关系： $t=0.0425x^2+2.534x-1.86$

式中， $t$ 为年龄(d)； $x$ 为龄期。雌性、雄性培养水温分别为20℃，15℃(图4a, b)。

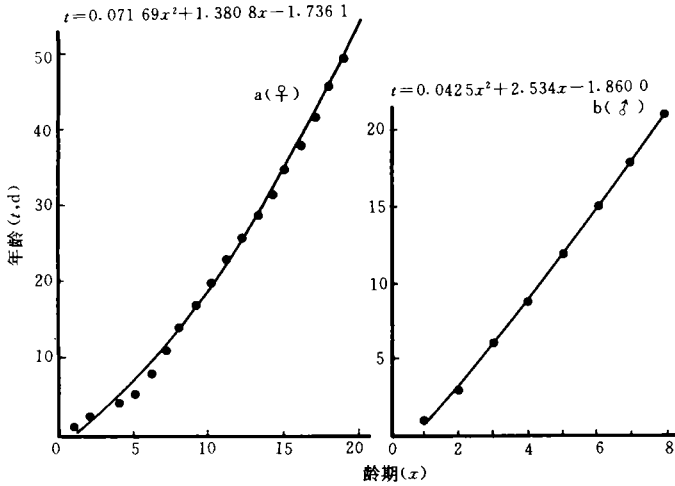


图4 雌性(a)雄性(b)微齿喜马拉雅低额蚤龄期与年龄的关系

Fig.4 Relationship between the instars and age (d) of female

(a), male (b) in *Simocephalus himalayensis microodus*

**2.3 种群增长**

**2.3.1 生命表和出生表** 微齿喜马拉雅低额蚤自出生至X年龄时的存活率( $l_x$ )和出生率( $m_x$ )详见表1。根据各年龄组的存活率和出生率数值可求得净增殖率

$$R_0 = \sum_0^{\infty} l_x m_x = 359.289.$$

**2.3.2 内禀增长能力** 计算表明，内禀增长能力( $r_m$ )为0.4076。世代平均周期( $T$ ):

$$T = \frac{5.8842}{0.4076} = 14.4(d), \text{ 自然增长的周限速率: } \lambda = e^{r_m} = e^{0.4076} = 1.5032 \text{ 个/d, 即在这种条件下可以期望种群每天增殖1.5032倍;}$$

在夏季种群孤雌生殖时，1个雌蚤10d后可繁殖成具60个个体的种群。

**2.3.3 种群增长型** 微齿喜马拉雅低额蚤的年龄与累计生殖量之间的相关曲线呈“s”型的logistic曲线(图5)，其方程(以初始种群为10个个体计算)表示为：

$$y = \frac{3625}{1 + e^{3.848 - 0.164t}}. \text{ 式中, } y \text{ 为累计生殖量(个); } t \text{ 为时间(d).}$$

表 1 微齿喜马拉雅低额蚤的生命表和出生表 (水温 20℃)

Tab.1 Life and fecundity tables of *Simocephalus himalayensis microdus* fed with *Scenedesmus obliquus*

年龄组 (days)	年龄中值(d) (x)	生命表 ( $l_x$ )	出生表 ( $m_x$ )	$L_x m_x$	$Xl m_x$
0—5	3	1.000	0.000	0.000	0.00
6—10	8	1.000	17.300	17.300	138.40
11—15	13	1.000	60.900	60.900	791.70
16—20	18	1.000	39.300	39.300	707.40
21—25	23	1.000	70.700	70.700	1 626.10
26—30	28	1.000	63.900	63.900	1 789.20
31—35	33	1.000	33.100	33.100	1 092.30
36—40	38	0.900	45.444	40.899	1 554.30
41—45	43	0.700	33.571	23.499	1 010.50
46—50	48	0.500	12.600	6.300	302.40
51—55	53	0.400	6.500	2.600	137.80
56—60	58	0.200	4.000	0.800	46.40
总计				359.298	9 196.37

### 3 讨论与结语

#### 3.1 生长特性

从实验结果可以看出, 微齿喜马拉雅低额蚤自产出后到第 6 龄的体长增长最为迅速, 主要生长阶段在幼龄期, 体长增长量从 0.24—3.2mm, 增长率则为 0.3—0.7。两者均为一生中最高峰值。本亚种有 4 个幼龄, 第 5 龄为第 1 成龄, 它的主要

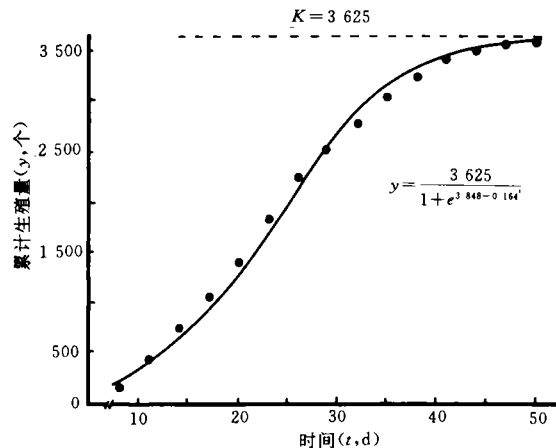


图 5 微齿喜马拉雅低额蚤年龄与累计生殖量之间的关系(初始种群为 10 个个体)

Fig.5 The logistic curve showing relation between age and cumulative young production of 10 individuals of *Simocephalus himalayensis microdus*

增长阶段一直持续到第 6 成龄, 也就是第 1 批卵产出时。随后生长量逐渐下降。枝角类的生长与发育, 是互相促进又互相制约的一对生物学特征, 生长为发育准备了物质基础, 发育成熟的枝角类, 为种群的扩大、分布及延续物种的生命而生殖(堵南山等, 1983)。这时摄入体内的营养物质主要用于生殖, 而生长则受到抑制。

据郑重(1954)的研究结果, 蚤状蚤的生长不论温度高低都是在幼时较快, 成龄后逐渐缓慢。庄德辉等(1986)在大型蚤上也得出类似的结果。我们在微齿喜马拉雅低额蚤上所

得出的结论亦与前者相同。

温度对性成熟的影响是十分明确的, 温度的高低影响幼蚤的生长发育速度, 因此与性成熟所需时间直接相关。微齿喜马拉雅低额蚤从第 1 幼龄开始至第 1 成龄(第 5 龄)所需时间随温度的增高而减少, 两者呈负相关性。在水温 30 ℃ 时幼龄期的蚤体生长速度比在 20 ℃ 时少近一半, 仅为 10 ℃ 时的 1/3, 这与前人所得的结果相近(表 2)。此外, 我们对微齿喜马拉雅低额蚤的研究发现, 雌雄个体在相同温度下达性成熟时所需时间不同。从幼龄期至第 1 成龄所需的时间, 雄性个体比雌性个体少一倍。这种现象可视为动物在有性生殖期间经过长期演化为保存种群而对外环境高度适应的结果。因为, 如果雌雄个体从幼体到性成熟所需时间相同, 那么, 有性生殖期间雌雄个体的发育就需要较长的时间。本种在水温降至 15 ℃ 时才开始有性生殖, 而种群从孤雌生殖转向有性生殖也需要一定的时间, 这样就难保证有性生殖的进行。雄体发育时间缩短可使有性生殖尽快地进行, 以便在较短的时间内完成有性生殖的过程。换句话说, 同一雌蚤所产前一批的雌性幼蚤, 可与其后一批产出的雄性幼蚤同时成熟, 这就大大增加了有性生殖期间雌雄交配的有效时间, 使有性生殖能够在秋季较短的时间内“迅速”完成。

表 2 蚤科 4 种水蚤从第 1 幼龄至第 1 成龄时在不同温度下所需的时间

Tab.2 Days needed from the first larva to the first adult at different temperatures in four speices of Daphaniidae

种名	温度(℃)	天数(d)	研究者	
长棘蚤	13	11.9	Brown(1929)	
	20	7.8		
	25	5.8		
蚤状蚤	7	14.5	郑重(1954)	
	18	7.9		
	25	5.4		
隆线蚤	13.5	10.5	何志辉等 (1988)	
	21	4.5		
	28	2.5		
微齿喜马拉雅低额蚤		♀	♂	本文
	5		11.3	
	10	16.4	6.2	
	15	9.6	4.4	
	20	6.6	3.5	
	25	4.9	2.8	
	30	3.9		

### 3.2 体长与体重的关系

由于生活在自然界的枝角类生理状态和生活环境不尽相同, 所以同一体长的不同种

类, 或同一体长同种类个体之间的重量都可能不同。本研究与黄祥飞等(1986)、Bottrell等(1976)<sup>1)</sup>所提供的对数方程比较的结果见表3。从表中可以看出微齿喜马拉雅低额蚤的每一同长度组的干重均比大型蚤、蚤状蚤和隆线蚤高出近一倍。这是低额蚤属种类体较宽大、无壳刺的缘故。

表3 蚤科不同种类的不同体长—体重回归方程的比较

Tab.3 Body-length and weight equational comparison of different species of Daphniidae

种名		0.8	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	资料来源
隆线蚤	$W = 8.5349L^{2.7654}$	4.6040	8.5349	26.1916	58.0319	107.5627	178.0859	黄祥飞等(1983)
大型蚤	$W = 6.5857L^{2.7432}$	3.5676	6.5875	20.0613	44.2170	81.6246	134.6934	黄祥飞等(1985)
	$W = 10.591L^{2.25}$	6.4099	10.5910	26.3679	50.3753	83.2272	125.4362	Bottrell <sup>1)</sup>
蚤状蚤	$W = 9.9935L^{2.7538}$	5.3732	9.9335	30.3403	67.0003	123.8646	204.4628	黄祥飞等(1986)
	$W = 11.9413L^{2.83}$	6.6489	11.9413	34.6913	73.9280	132.9481	214.7479	Bottrell <sup>1)</sup>
微齿喜马拉雅低额蚤	$W = 18.5396L^{2.8545}$	10.2530	10.5396	54.3919	116.7305	211.0727	342.4670	本文

### 3.3 种群增长能力

种群的内禀增长力代表具有稳定年龄结构种群的最高瞬时的增长速度。在不同条件(温度、食物等)下其 $r_m$ 值也不相同。种群内个体的数目、成熟期, 以及每龄的产卵率等因素都与 $r_m$ 值的大小直接相关。据黄祥飞等(1983)对裸腹蚤和庄德辉等(1986)对大型蚤的研究表明, 温度相近时 $r_m$ 值也近同。本文所得结果与以上两者近似, 由此可推知, 同一科中近似属之间的种类其种群在相似条件下增长速度也相近。

### 参 考 文 献

- 王丹丽等, 1990, 水产学报, 14(4): 304—311.  
 庄德辉等, 1986, 水生生物学报, 10(1): 24—30.  
 郭祥光, 1985, 昆虫生态学的常用数学分析方法, 农业出版社(北京), 652—655.  
 陈受忠等, 1992, 哈尔滨师范大学自然科学学报, 15(4), 36—42.  
 杜荣骞, 1984, 生物统计学, 高等教育出版社(北京), 262—269.  
 何志辉等, 1988, 大连水产学院学报, 2: 1—8.  
 单国桢, 1983, 动物繁殖生态学, 科学出版社(北京), 22—24, 28—29.  
 郑重, 1954, 厦门大学学报, 4: 83—90.  
 堵南山等, 1982, 华东师范大学学报(自然科学版), 1: 103—108.  
 堵南山等, 1983, 华东师范大学学报(自然科学版), 1: 85—91.  
 梁彦龄等, 1964, 水生生物学集刊, 5(1): 31—36.  
 黄祥飞等, 1983, 水生生物学集刊, 8(1): 105—112.  
 黄祥飞等, 1985, 海洋与湖沼, 16(3): 188—195.  
 黄祥飞等, 1986, 甲壳动物学论文集, 青岛海洋大学出版社(青岛), 147—156.  
 Birch, L. C., 1948, *J. American Ecol.*, 17: 15—26.

1) 转引自黄祥飞等, 1986, 见文末参考文献。

- Brown, B. A., 1929, *H. Amer. Nat.*, **63**: 346—352.  
 Kanaujia, D. R., 1987, *Indian J. Animal Science*, **57**(1): 1153—1160.  
 Kanaujia, D. R., 1988, *Indian J. Animal Science*, **58**(12): 1457—1462.  
 Mccauley, E., 1990, *Ecology*, **71**(2): 703—715.  
 Murugan, N. et al., 1973, *Freshwat. Biol.*, **3**: 77—83.  
 Murugan, N., 1977, *Hydrobiologia*, **54**(30): 273—277.  
 Sharma, S. et al., 1989, *Indian J. Animal Science*, **59**(9): 1206—1210.

## STUDIES ON THE GROWTH AND MODEL OF POPULATION GROWTH IN *SIMOCEPHALUS HIMALAYENSIS MICRODUS*

Shi Xinlu<sup>†</sup>, Yu Lijie, Zhang Dawei, Shi Xinbai

<sup>†</sup>(Open Laboratory on Aquacultural Research of the State Educational Committee of China,

Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003)

(Department of Biology, Haerbin Normal University, Haerbin 150080)

**Abstract** *Simocephalus himalayensis microdus* was collected in June, 1990 from a perpetually clear water pool in the experimental tree farm of Northeast Forestry University in Haerbin, Heilongjiang Province. The samples was reared at 5—30℃, and fed with *Scenedesmus obliquus* at density of  $4 \times 10^5$  cell/ml. It was found that *Simocephalus himalayensis microdus* has 4 pre-adult instars and 15—18 adult instars. The female keep living for at most about  $48.7 \pm 8.92$  days at 20℃, and the males for about 28 days at 15℃. The female needs about one minute (the male about 30—40 seconds) to get rid of the old carapace. Population parameters regarding growth, longevity and population increase were recorded throughout their life-span.

1. The growth of body-length ( $l_t$ , in mm) in relation to age ( $t$ , in day) can be described as  $l_t = 3.334 - 2.7345e^{-0.1117t}$ .

2. Temperature is a most important factor influencing the growth speed. In certain range of temperature, the growth speed directly proportional to the temperature, higher temperature shortens the time for the development to maturity. The relationship between the age at maturity and water temperature of 10—30℃, for female is:  $h = 8.072t^{-1.313}$  ( $r = 0.9856$ ,  $P < 0.01$ ); for male, for temperature of 5—25℃ is:  $h = 1.074t^{-0.855}$  ( $r = 0.9844$ ,  $P < 0.01$ ). (Fig.3)

3. The mean longevity of individuals was estimated to be  $48.7 \pm 8.92$  days or  $18 \pm 2.11$  instars. The relationship between instar ( $x$ ) and age ( $t$ ) is given approximately as  $t = 0.07169x^2 + 1.3808x - 1.7361$  for female and  $t = 0.0425x^2 + 2.534x - 1.86$  for male. (Fig.4)



4. The life expectancy and specific fecundity table of *Simocephalus himalayensis microdus* are given in Tab.1 The innate capacity for increase ( $r_m$ ) as computed from the tables is 0.4076 per female per day; the net reproduction rate ( $R_0$ ) is 359.298 per generation and the mean length of a generation ( $T$ ) is 14.4 days. (Tab.1)

5. In a population originated from 10 individuals, the population growth curve of *Simocephalus himalayensis microdus* may be expressed as:  $y = \frac{3625}{1 + e^{3.888 - 0.164t}}$ , in which  $y$  denotes total individuals and  $t$ , days. (Fig.5)

**Key words** *Simocephalus himalayensis microdus* Growth Population growth  
Innate capacity for increase