

# 温度对萼花臂尾轮虫卵的发育、 种群增长和生产量的影响\*

黄祥飞

(中国科学院水生生物研究所, 武汉)

## 提要

1981—1983年, 在不同的培养温度下, 观察了萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)卵的发育时间、种群的增长并用3种不同方法测算生产量。在5—30℃的培养温度下, 轮虫卵的发育时间(D)随温度(T)升高而缩短, 其曲线回归方程为:

$$\ln D = 2.0539 + 0.1097 \ln T - 0.3046 (\ln T)^2$$

在10, 15, 20, 25℃的培养温度下, 从休眠卵孵化出来的孤雌生殖雌体, 其繁殖的种群增长曲线都呈“S”形, 或称逻辑斯蒂曲线(Logistic curve)。不同的温度, 种群达到高峰所需的时间有所不同, 温度高者短, 低者长; 容纳量(carrying capacity)却随温度增加而有所增加。

用线性和指数方法计算轮虫种群的生产量所得的结果相似; 而与世代时间方法计算所获得的结果相比, 差距很大。这种差距随着温度增加而增加。

根据本文的研究结果和文献中报道的数据, 获得了在0.6—35.2℃温度范围内, 卵的发育时间(D)与温度(T)之间的回归方程:

$$\ln D = 2.1869 - 0.1919 \ln T - 0.2218 (\ln T)^2$$

萼花臂尾轮虫是一种广生性种类, 国内外分布十分普遍, 在武汉东湖也终年可见, 甚至湖面结冰, 水体中仍然大量存在<sup>[1,3]</sup>。它在富营养型小水体中常常是一种优势种群。由于它适应性强, 个体大, 繁殖速度快, 所以是各种经济鱼类, 特别是草、青、鲢、鳙鱼苗阶段的重要食物<sup>[2]</sup>。

有关轮虫的实验种群生态, 特别是生产量的测算方法在我国尚无报道。由于萼花臂尾轮虫的广生性和在渔业生产上有食物意义, 故以它作为材料, 在实验室中观察它在不同温度下卵的发育时间、种群增长模式, 这不仅能为轮虫工厂化生产提供理论根据; 而且对探讨轮虫种群生态, 测定生产量亦有参考价值。

## 实验方法

### (一) 不同温度下轮虫卵发育时间的测定

根据Edmondson 1965, Foran et al. 1981<sup>[6,7]</sup>的方法, 在新鲜的水样中, 迅速选择

\* 参加工作的还有胡春英同志。  
1984年9月17日收到。

10—40个怀卵的个体,分别培养于培养皿中,用经25号浮游生物网过滤的东湖水作为培养液,一般不添加藻类。根据培养温度的高低,每隔2—4小时观察记录没有孵化卵的数目,并以此作为横坐标,经历的时间作为纵坐标作图,求其双变量回归方程,方程之截距即为卵的发育时间。

## (二) 增长型种群的培养

在鱼池底部取若干淤泥,尽量吸取浸出液,并加入少量经滤膜过滤的湖水。把水样置于恒温水浴中培养,逐日观察从休眠卵孵化出来的轮虫,以此作为“种子”。选择时龄不超过3小时的幼轮虫作为起始种群,放在容量为10毫升的小烧杯中,并用经25号浮游生物网过滤的湖水作为培养液。逐日加入处于对数生长期的小球藻作为食物。根据不同的培养温度,1—4日换培养液并计数雌体、卵、雄卵和休眠卵。

培养灯光为2支40W的日光灯,照度约在800—1200lx之间。光照10—12小时。

## (三) 生产量的测定

目前计算轮虫生产量主要依据二个不同的原理,即Edmondson的假定种群呈线性或指数增长原理和Galkovska的周转原理<sup>[4,6,10]</sup>。三种方法为:

### 1. 线性方法 (The linear method)

$$P_N = N_0 B T$$

$$B = \frac{E}{N_0 D}$$

$$P_N = \frac{ET}{D}$$

$N_0$  = 单位体积中个体数

$E$  = 单位体积中卵数

$B$  = 有限出生率(每天每个雌体卵数)

$D$  = 卵的发育时间(天)

$P_N$  = 生产量(以个体数计)

$T$  = 采样间隔(天)

### 2. 指数方法 (The exponential method)

$$P_N = N_0 e^{bT} - N_0$$

$$b = \ln(l + B)$$

$b$  = 瞬时出生率 其他符号意义相同

### 3. 世代时间法 (The generation time method)

$$P_N = N_0 \cdot \frac{1}{t_{e+p}} \cdot T$$

$t_{e+p}$  = 从卵到卵的时间(天)

本文中轮虫种群的统计及生产量的计算均以孤雌生殖雌体为依据。

## 结 果

### (一) 不同温度下萼花臂尾轮虫卵的发育和从卵到卵的世代时间

图 1 表示了该种轮虫在不同温度下, 没有孵化卵的数目与经历时间间的回归关系。结果表明, 轮虫卵的发育时间随温度升高而缩短。在 5, 10, 15, 20, 25, 30°C 的培养温度下, 卵的平均发育时间依次为 4.10, 2.21, 1.10, 0.64, 0.48 和 0.35 天。在 5—30°C 的温度范围内, 萼花臂尾轮虫卵的发育时间( $D$ )和温度( $T$ )间的回归关系, 其曲线回归方程为:

$$\ln D = 2.0539 + 0.1097 \ln T - 0.3046 (\ln T)^2$$

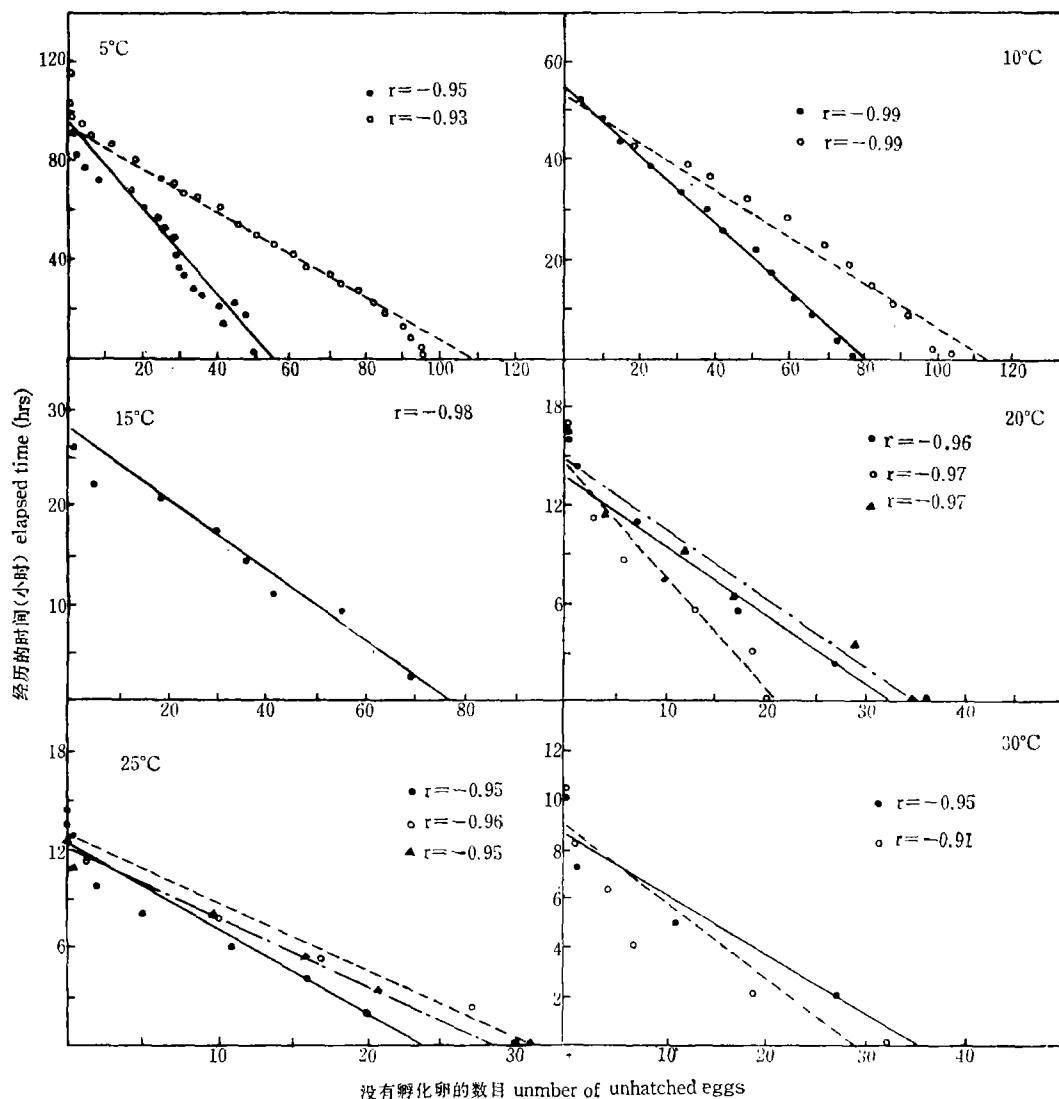


图 1 萼花臂尾轮虫在不同温度下卵的发育时间

Fig. 1 Egg development time of *Brachionus calyciflorus* at different temperature

根据上述方程,可获得在5—30℃温度范围内任一温度下卵的发育时间。

在10, 15, 20, 25℃的培养温度下,用直接观察的方法获得平均世代时间为: 7.0, 3.29, 1.96, 1.50天。世代时间亦随温度升高而缩短。

## (二) 萼花臂尾轮虫种群的逻辑斯蒂曲线增长

在10, 15, 20, 25℃恒温条件下,该种轮虫种群增长的一般规律是: 培养开始出现一个时间长短不等的潜伏期后,便出现指数增长期,紧接着为减速增长期,最后进入平衡期。整个种群增长曲线呈“S”型或称逻辑斯蒂曲线(图2)。

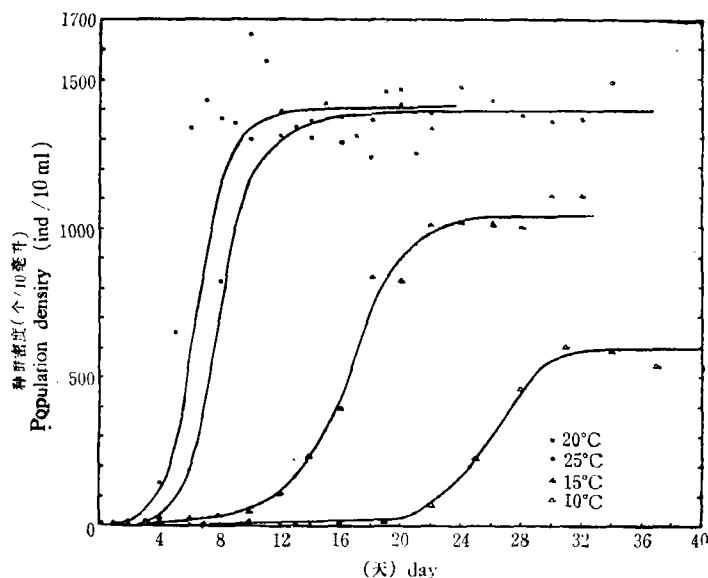


图2 不同温度下萼花臂尾轮虫的种群增长(曲线是目测的)

Fig. 2 Population growth of *Brachionus calyciflorus* at different temperature  
(data points are jointed by eye-fitted curves)

在不同的温度下,起始种群密度均为2个/10毫升,达到高峰的时间有所不同,温度高者长,低者短。如在25℃时,只需5天左右便可达到高峰;而在10℃时,却需31天。培养温度不同,容纳量也有差别。一般来说,温度高,容纳量大,温度低,容纳量小。在10, 15, 20, 25℃温度下,10毫升小烧杯内,萼花臂尾轮虫的容纳量分别为600, 1,000, 1,400, 1,500个左右。

顺便提及,在各组培养中,当种群进入指数增长期后,由于种群内部竞争引起“拥挤效应”(crowding effect)便开始出现雄卵、雄轮虫及休眠卵。这预示着种群趋于稳定。这是一种十分明显的密度制约作用。

## (三) 萼花臂尾轮虫种群的生产量

表1列出了该种轮虫在10, 15, 20, 25℃温度下的种群参数和生产量。虽然有限出生率和瞬时出生率以15℃时为最高,但日生产量却随温度升高而增加。同时还可看出:

表 1 不同温度下萼花臂尾轮虫的种群参数和生产量

Tab. 1 Population parameters and production of *B. calyciflorus* at different temperature

	10 (°C)	15 (°C)	20 (°C)	25 (°C)
观测时间(天) Period of observation (days)	40	32	34	21
起始种群密度(个/10 毫升) Initial number (ind./10ml)	2	2	2	2
最后种群密度(个/10 毫升) Population at the end of experiment (ind./10ml)	562	1,164	1,494	1,329
平均有限出生率 (B) Average finite birth rate	0.17	0.41	0.31	0.34
平均瞬时出生率 (b) Average instantaneous birth rate	0.15	0.30	0.22	0.21
平均日生产量(个/10 毫升) Average daily production (ind./10ml)				
根据“线性”方法 By “linear” method	30.66	100.69	129.84	137.73
根据“指数”方法 By “exponential” method	36.08	119.97	143.37	138.63
根据“世代时间”方法 By “generation time” method	25.99	131.11	428.66	743.32

用线性或指数增长方法计算日生产量, 虽后者略高于前者, 但它们之间相差甚微, 特别在 25°C 时日生产量是一致的。用世代时间法计算日生产量, 除 10, 20°C 与线性或指数法相比较为接近外, 20, 25°C 相差很大。温度愈高, 差距愈大。

## 讨 论

### (一) 萼花臂尾轮虫卵的发育时间和温度间迴归关系的比较

测定不同温度下卵的发育时间是浮游动物次级生产研究中一项必不可少的工作, 轮虫自不例外。表 2 比较了不同的研究者均以该种轮虫作为材料, 测定其不同温度下卵的发育时间并获得各自的迴归方程, 同时比较了根据各迴归方程计算的发育时间。表 3 则收集了不同温度下的实测数据并据此作图 3, 获得迴归方程为:

$$\text{Ln}D = 2.1869 - 0.1919 \text{Ln}T - 0.2218 (\text{Ln}T)^2$$

不论从迴归方程或实测数据来看, 虽有个别温度相差较大, 但总的的趋势是一致的。它的发育时间(D)随温度(T)升高而缩短。它们之间的关系可用曲线迴归方程表示。根据上述方程可计算在 0.6—35.2°C 温度范围内任意温度下卵的发育时间。

### (二) 轮虫的逻辑斯蒂增长模型在实践上的意义

种群的逻辑斯蒂增长在实验室和野外已有许多证据, 有人把它称之为种群的生长律 (law of population growth)。它不仅是种群生态学中一个基本理论问题, 而且在实践上亦有指导意义。我国的草、青、鲢、鳙在鱼苗阶段均以轮虫作为主要食物, 它的数量多少决定

表 2 萼花臂尾轮虫卵的发育时间与温度间回归方程的比较

Tab. 2 Comparison of regression equations expressing the relationship between duration of egg development ( $D$ , days) of *B. calyciflorus* and temperature ( $T$ , °C)

发育时间(天) Development time (days)	回归方程 Regression equation	Halbach 1970 <sup>[43]</sup>	Pourriot et al. <sup>[11]</sup>	Herzig 1983 <sup>[93]</sup>	Present work $\ln D =$ 2.0539 $+0.1097 \ln T$ - 0.3046 $(\ln T)^2$ (5-30°C)
温度(°C) Temperature		$D = 4(T - 9.44)^{-0.860}$ (15.0-25°C)	$D = 30(T - 0.24^{-1.251})$ (8-23.0°C)	$D = 117(T + 4.20^{-1.783})$ (0.6-10.5°C)	
1				8.604	
5				3.487	4.227
10			1.735	1.754	1.997
15		0.915	1.034		1.124
20		0.527	0.718		0.704
25		0.378			0.473
30					0.334

发育时间是根据回归方程计算的

Development time is calculated by relevant regression equation

表 3 不同温度下萼花臂尾轮虫卵发育时间的比较

Tab. 3 Comparison of the duration of egg development of  
*B. calyciflorus* at different temperature

温度(°C) Temperature (°C)	发育时间(天) Development time (days)	研究者 Investigator
14	1.25	
17	0.83	
20	0.64	
23	0.43	
10	2.05	
15	1.14	Bottrell, pers. comm.
21	0.77	
30.1	0.38	Duncan (1983) <sup>[43]</sup>
35.2	0.23	
0.6	9.64	
1.6	7.35	
2.2	6.50	
3.5	4.34	Herzig (1983) <sup>[93]</sup>
4.5	3.65	
8.2	2.29	
10.5	1.58	
5	4.10	
10	2.21	
15	1.10	本文
20	0.64	present work
25	0.48	
30	0.35	

着鱼苗生长快慢和成活率的高低<sup>1)</sup>。臂尾轮虫属的种类,特别是萼花臂尾轮虫,是鱼池中常见的优势种群,是鱼苗阶段的理想饵料。

20—25°C 的水温既是鱼苗生长的适宜温度,又是萼花臂尾轮虫生长的最适温度。为了确保鱼苗下塘时有适口性优质饵料,必须掌握轮虫高峰出现的时间。从本研究初步结果来看,在 20—25°C 的温度下,从休眠卵孵化出来的孤雌生殖轮虫,在理想的条件下,经过 8—10 天便达到高峰。所以,鱼池通过清塘、施肥后 10 天左右,正是轮虫种群生长处于指数生长期,这样使鱼苗下塘时即有丰富而适口的饵料。

### (三) 轮虫生产量的测定方法

作者以有代表性的萼花臂尾轮虫作为材料,应用三种方法计算了它的生产量。结果表明:用线性或指数方法所得的结果相差甚微;而它们与世代时间法所得的数据相比,差距很大,这种差距随温度升高而增加。

图 3 萼花臂尾轮虫卵的发育时间与温度间的关系  
(根据表 3 数据)

Fig. 3 Relationship between egg development time and temperature of *Brachionus calyciflorus* (data from table 3)

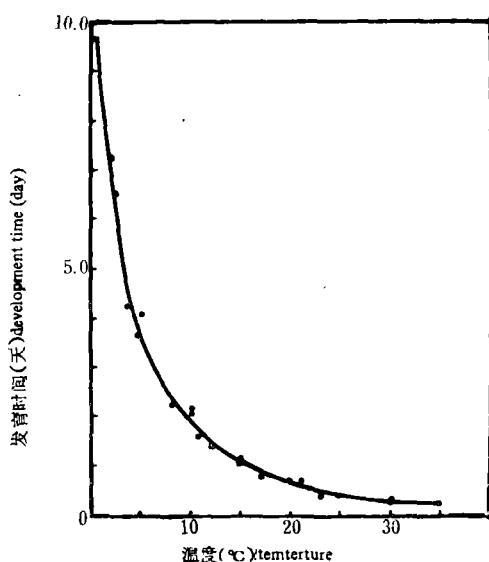
Foran et al. (1981) 在研究美国密执安洲的 Bog 湖的针簇多肢轮虫 (*Polyarthr vulgaris*) 的种群变动和生产量时,用线性方法和世代时间法所得的结果进行对比,后者比前者高出一倍之多<sup>2)</sup>。而世代时间法由于它假定种群中所有的雌体均有生殖能力,所以过高地估计了种群的生产量。这种偏差在高温时,当世代时间很短的情况下,尤为明显。

因此,只要轮虫种群中,卵与雌体的比例可测定,而且在死亡率极低的条件下,用指数法计数生产量是一种理想的方法;如果卵与雌体的比例虽可确定,但死亡率较高,那么用线性方法较好(采样间隔要求不超过世代时间)。对一些卵与雌体的比例无法确定的轮虫种群,那末,采用世代时间法倒是一种可取的方法。

## 参 考 文 献

- [1] 王家楫, 1961。中国淡水轮虫志, 71—72 页。科学出版社。
- [2] 李永函, 1978。关于鱼苗下塘时池水水质生物指标问题的探讨。淡水渔业, (1): 13—19。
- [3] 黄祥飞、胡春英、伍焯田, 1985。东湖的轮虫。水生生物学报, 9(2): 129—143。
- [4] Bosseleman, S., 1979. Production of *Keratella cochlearis* in Lake Esron. *Arch. Hydrobiol.*, 87(3): 304—313.
- [5] Duncan, A., 1983. The influence of temperature upon the duration of embryonic development of *Brachionus* species (Rotifera) present in the plankton of Parakrama Samudra (Sri Lanka). In: Schiener, F. (Ed), Limnology of Parakrama Samudra-Sri Lanka (A case study of an ancient manmade lake in the tropics). Dr. W. Junk Publishers, The Hague. *Dev. Hydrobiol.*, 12: 107—

1) 鱼池浮游动物种类和数量变化与鱼苗生长的关系(作者手稿)。



115.

- [6] Edmondson, W. T., 1965. Reproductive rate of planktonic rotifers as related to food and temperature in nature. *Ecol. Monogr.*, 35: 61—111.
- [7] Foran, A. and R. H. King, 1981. Summer production estimated for the Rotifer *Polyarthra vulgaris* in a Northern Michigan Bog lake. *Journal of Freshwater Ecology*, 1(1): 3—11.
- [8] Halbach, U., 1970. Einfluss der Temperatur auf die Populationsdynamik des planktischen Räderteres *Brachionus calyciflorus* Pallas. *Oecologia*, 4: 176—207.
- [9] Herzig, A., 1983. Comparative studies on the relationship between temperature and duration of embryonic development of rotifers. *Hydrobiologia*, 104(1): 237—246.
- [10] Hillbricht-Ilkowska, A. and R. Pourriot, 1970. Production of experimental population *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotatoria) exposed to the artificial predation of different rates. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 17(30): 241—248.
- [11] Pourriot, R. and M. Deluzarches, 1971. Recherches sur la biologie des Rotifères. 2. Influence de la température sur la durée du développement embryonnaire et post-embryonnaire. *Ann. Limnol.*, 7: 25—52.

## EFFECT OF TEMPERATURE ON THE EGG DEVELOPMENT, POPULATION GROWTH AND PRODUCTION OF *BRA- CHIONUS CALYCIFLORUS* PALLAS (ROTIFERA)

Huang Xiangfei

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan)

### Abstract

Egg development time and population growth of *Brachionus calyciflorus* were observed at constant temperature, and the production rate of the species was estimated with three different methods.

Development time decreases with increasing temperature from 5° to 30°C. The relationship between temperature (T) and development time (D) was found to be curvilinear and may be described by following equation:

$$\ln D = 2.0539 + 0.1097 \ln T - 0.3046 (\ln T)^2$$

The population growth curves of parthenogenetic females hatched from resting eggs are S-shaped or Logistic at 10, 15, 20, and 25°C. The time at which the maximum population density occurred was shortened with increasing temperature, but the carrying capacity would increase as the temperature increased.

The mean daily production increases with increasing temperature. In general, similar results of production are obtained by using either linear or exponential method. However, a great percentage difference was found when the values were compared with those derived from the generation time method.

From the data of the present study and those in the literature, a curvilinear logarithmic equation:  $\ln D = 2.1869 - 0.1919 \ln T - 0.2218 (\ln T)^2$  is derived to summarize the relation between developmental duration and temperature (0.6—35.2°C) in *Brachionus calyciflorus*.

**Key words**      *Brachionus calyciflorus*, temperature, egg development, population growth, production.