

利用变温促进罗非鱼生长的研究*

桂远明 王志余 陈育辉 郑文辉 李凤知

(大连水产学院)

提 要 在实验室内不同温度条件(恒温 28°C、30°C和周期性变温 28±4°C、30±4°C)下,分四组饲养罗非鱼,测定其增重、耗氧率,并推算能量同化率和组织生长效率(K_2)。结果表明,变温组均比相应恒温组生长迅速。其中以变温 28±4°C组日增重最快,增重百分率最高,其次为变温 30±4°C组,恒温 28°C组日增重最慢,增重百分率最低。能量同化率和组织生长效率也以变温 28±4°C组最高;30±4°C组能量同化率虽较高,但组织生长效率却最低。本文对变温促进罗非鱼生长的机理和其在生产实践中的意义进行了分析与探讨。

关键词 罗非鱼,变温,生长,耗氧率,能量同化率。

关于温度对罗非鱼生长的影响,国内外已有许多实验观察,但均在恒温条件下进行,而自然界温度是有周期性变化的,如昼夜变化、季节变化等。近年来的研究表明,周期性变温对有机体的生命活动有积极作用。在陆生生物中,人们早就发现温差较大的地区,作物生长快、质量好。动物实验中也发现某些昆虫在变温条件下比同温度的恒温条件下生长、发育快。七十年代以来,开始有温度周期性变化对水生生物生长影响的试验,Costlow等(1971)首先发现在 20~30°C变温条件下,蟹(*Rhithropanops*)的蚤状幼体发育迅速,比在 25°C恒温条件下加快 7.7%,大眼幼体发育加快 31%,并提高了存活率^[4]。以后其他作者在轮虫、草履虫和枝角类等海、淡水无脊椎动物中也发现了类似现象。Diana(1984年)就变温对鱼类生长的刺激作用做过报导^[5]。我们于 1982 年开始以罗非鱼为材料探讨了变温条件对其生长、饵料系数和耗氧率的影响,并根据这些数据推算了不同温度条件下鱼体内的能量平衡和转换效率。

材 料 和 方 法

实验材料取自辽阳汤河水库温泉鱼种场,为 15 日龄的尼罗罗非鱼(*Tilapia nilotica*),在水温 22~24°C条件下暂养 5 天(至 20 日龄)后,开始进行试验。实验鱼健康正常,其平均体长为 1.00 厘米,平均体重为 0.0256 克,未进行性别鉴定。在容积为 0.675×0.324×0.4 米、盛水约 87.5 公斤的水族箱中饲养 50 天。实验过程分为三个阶段:第一阶段 17 天,入箱平均体长 1.00 厘米,平均体重 0.0256 克;出箱平均体长 1.95~2.47 厘米,平均体重 0.44~0.66 克;饲养密度 457.25 尾/米³。第二阶段 18 天,出箱平均体长 3.2~3.88 厘米,平均体重 1.79~2.69 克;饲养密度 324.93 尾/米³。第三阶段 15 天,出箱平均体长 5.63~6.29 厘米,平均体重 6.23~8.57 克;饲养密度 114.31 尾/米³。

实验设四个温度组,变温 28±4°C组,变温 30±4°C组(24 小时内变温幅度±4°C);恒温 28°C组,恒温 30°C组。采用电热控温。变温条件以调整控温装置达到。变温时间:中午 12 点达到最高温,持续到 18 点,然后逐渐降温,半夜零点下降到最低温,持续到上午 6 点后再逐渐升温。恒温条件由电热控温装

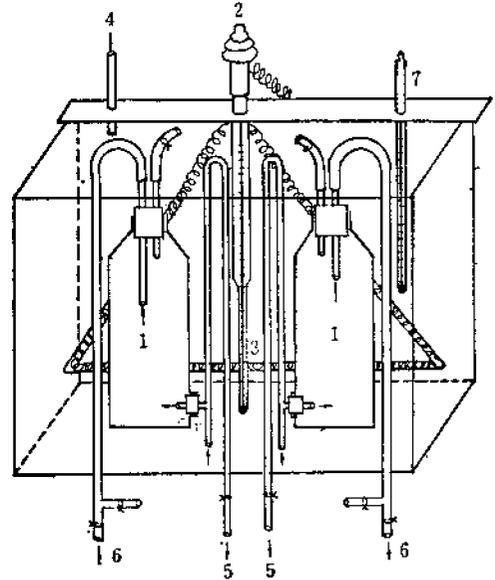
* 本试验在何志辉教授指导下完成的,深表谢意。

置维持。第一阶段和第二阶段每个温度组均设有平行箱,各平均箱结果一致。第三阶段,每个温度组的两个平行箱中抽出一箱,将原温互换,即将原变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组改为恒温 28°C , 变温 $30 \pm 4^\circ\text{C}$ 组改为恒温 30°C ; 将原恒温 28°C 组改为变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$, 恒温 30°C 组改为变温 $30 \pm 4^\circ\text{C}$ 。通过原温互换以排除因鱼体质不同而造成的误差。

水源为自来水,每天排污 2~3 次,同时换水,24 小时总换水量为箱容水量的 2 倍以上,并定时充气,除极个别情况外,水中溶氧均保持在 4.0 毫克/升以上。第一阶段以活体轮虫、挠足类为饵料;第二、三阶段改喂活体水蚯蚓,不定时(但约 4—5 次/日)、不定量(但保证吃饱而略有剩余)投喂。分阶段累计总投饵量,与鱼体增重一起计算饵料系数。实验室有灯光照明。实验期间除温度条件外,各组试验鱼其它生活条件都相同。

体长和体重的测量:体长是用分规截取长度在尺上读数(尺度最小读数值 1 毫米),量鱼时将鱼放在垫有湿纱布的解剖盘内。体重是用潮湿纱布包裹鱼体,在天平上称量,除去湿纱布重量,即为鱼体重量(天平感量 0.01 克)。投饵称量是用小金属叉挑起水蚯蚓沥干到不滴水,再用滤纸吸干成团到能滚动时称其重量,为其投饵量(湿重)。

耗氧率的测定:整个实验期间于第二阶段入箱、第二阶段出箱、第三阶段出箱时共测定三次耗氧率。用流水密闭装置(见图 1)测定。呼吸室为一个 10 升玻璃下口瓶,放置水族箱中,水温仍用电热控温装置控制。试验鱼停食 3 小时左右后装入呼吸室,并适应 3 小时方进行测定。每次均连续测定 24 小时的耗氧率。每隔一小时取一次样,用碘量法测其进出口水中的溶氧量,以进出口水中溶氧量之差乘以该小时流量,再除以鱼体重即为耗氧率(毫克 O_2 /公斤/小时)。测定过程中,出水溶氧量不低于 2.5 毫克/升,保持每小时的流量基本一致且均匀。测定耗氧率的同时用 25 型酸度计测定出入水中 PH 值,入水约为 8.2,出水约为 7.2~7.4。均设空白组以进行水呼吸耗氧量的测定,其结果水呼吸耗氧量很小,其影响可忽略不计。



附图 耗氧率测定装置

Attached fig. The appliance for measuring oxygen consuming rate

1. 呼吸室 2. 控温装置 3. 加热器 4. 供水
5. 进水取样口 6. 出水取样口 7. 温度计

结 果

1. 变、恒温对尼罗罗非鱼生长的影响 变温组比相应恒温组的日增重、增重率均高(见表 1),其中变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组的日增重(0.0373, 0.1096)和增重率(185.06%, 158.04%)最高,显著的高于相应恒温 28°C 组(日增重 0.0244, 0.0716; 增重率 178.01%, 112.78%)。变温 $30 \pm 4^\circ\text{C}$ 组其次(日增重 0.0291, 0.0932; 增重率 181.23%, 118.12%),亦高于相应恒温 30°C 组(日增重 0.0285, 0.0848; 增重率 180.88%, 115.95%)。

变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组与恒温 28°C 组之间的日增重差值(0.0129, 0.038, 0.103)明显的大于变温 $30 \pm 4^\circ\text{C}$ 组与恒温 30°C 组之间的日增重差值(0.0033, 0.0084, 0.053), (见表 2), 前

者为后者的 2~4 倍。

表 1 尼罗罗非鱼在不同温度条件下增重情况

Table 1 Increasing weight of *Tilapia nilotica* under the different temperature

温 度	尾数	第一阶段(17天)						第二阶段(18天)						
		总重(克)		尾均重(克)		日增重(克)	增重率*(%)	尾数	总重(克)		尾均重(克)		日增重(克)	增重率*(%)
		始重	终重	始重	终重				始重	终重	始重	终重		
30±4℃	80	2.05	41.6	0.0256	0.52	0.0291	181.23	60	34.9	135	0.58	2.26	0.0932	118.12
30℃	80	2.05	40.8	0.0256	0.51	0.0285	180.88	60	33.2	124.8	0.55	2.08	0.0848	115.95
28±4℃	80	2.05	52.8	0.0256	0.66	0.0373	185.06	60	42.8	161.2	0.71	2.69	0.1096	158.04
28℃	80	2.05	35.2	0.0256	0.44	0.0244	178.01	60	29.9	107.22	0.50	1.79	0.0716	112.78

$$* \text{ 增重率} = \frac{W_n - W_0}{W_n + W_0} \times 100\%, \quad (W_n - \text{终重} \quad W_0 - \text{初重})。$$

表 2 不同平均温度的变、恒温组日增重差值(单位:克/日)

Table 2 The values of the increasing weight difference of the constant and fluctuating temperature groups under the different temperature (g/day)

温 度	第一阶段	第二阶段	第三阶段保持原温组
30±4℃与30℃	0.0033	0.0084	0.053
28±4℃与28℃	0.0129	0.038	0.103

表 3 第三阶段将原变、恒温组互换后尼罗罗非鱼增重情况

Table 3 Increasing weight of *Tilapia nilotica* after the constant and the fluctuating groups exchange each other in the third phase

温 度	尾 数	总重(克)		尾均重(克)		日增重(克)	增重率(%)	
		始 重	终 重	始 重	终 重			
保持原温(15天)	30±4℃	10	26.0	74.9	2.60	7.49	0.326	96.93
	30℃	10	23.9	64.8	2.39	6.48	0.273	92.23
	28±4℃	10	29.4	85.1	2.94	8.51	0.371	97.29
	28℃	10	25.1	65.3	2.51	6.53	0.268	88.9
变、恒温互换(15天)	30±4℃改为30℃	10	26.3	76.0	2.63	7.60	0.331	97.17
	30℃改为30±4℃	10	25.3	75.1	2.53	7.51	0.332	99.20
	28±4℃改为28℃	11	35.9	94.3	3.26	8.57	0.354	89.71
	28℃改为28±4℃	10	20.0	63.9	2.00	6.39	0.293	104.65

第三阶段变温 28±4℃组改为恒温 28℃后,其日增重(0.354)、增重率(89.71%)下降,(见表 3),明显的低于保持原变温 28±4℃组(日增重 0.371;增重率 97.29%)。变温 30±4℃组改为恒温 30℃后,日增重(0.331)、增重率(97.17%)则略高于保持原变温 30±4℃组(日增重 0.326;增重率 96.93%)。第三阶段恒温组改变温后,日增重和增重率均上升,其中恒温 28℃组改为变温 28±4℃后增重幅度更大(日增重 0.293;增重率 104.65%),明显的高于保持原恒温 28℃组(日增重 0.268;增重率 88.9%)。恒温 30℃组改为变温 30±4℃后,日增重和增重率(0.332, 99.20%)亦高于保持原恒温 30℃组(日增重 0.273;增重率

92.22%)。

2. 变、恒温对尼罗罗非鱼摄食和饵料系数的影响 第二阶段变温组的日粮和饵料系数均低(见表 4), 其中变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组的日粮(14.9)、饵料系数(2.3)明显的低于相应恒温 28°C 组(日粮 19.1, 饵料系数 3.07); 变温 $30 \pm 4^\circ\text{C}$ 组的日粮(17.6)、饵料系数(2.7)亦低于相应恒温 30°C 组(日粮 18.2, 饵料系数 2.8)。第三阶段变温组改为恒温后日粮和饵料系数均上升。恒温组改为变温后日粮和饵料系数均下降。

表 4 尼罗罗非鱼在不同温度条件下日粮和饵料系数
Table 4 Ration and food coefficient of *Tilapia nilotica* under the different temperature

温 度		尾均重(克)		平均体重 (克/尾)	总增重 (克)	总投饵量 (克)	日投饵量 (克/尾)	日投率 (%)	饵料系数
		始 重	终 重						
第二阶段	$30 \pm 4^\circ\text{C}$	0.58	2.26	1.42	100.7	270.64	0.25	17.6	2.7
	30°C	0.55	2.08	1.32	91.6	257.12	0.24	18.3	2.8
	$28 \pm 4^\circ\text{C}$	0.71	2.69	1.7	118.38	274	0.254	14.9	2.3
	28°C	0.50	1.79	1.15	77.32	237.28	0.22	19.1	3.07
第三阶段 保持原温	$30 \pm 4^\circ\text{C}$	2.60	7.49	5.05	48.9	188.6	0.92	18.2	2.8
	30°C	2.39	6.48	4.44	40.9	132.4	0.88	19.8	3.24
	$28 \pm 4^\circ\text{C}$	2.94	8.51	5.73	55.7	143.6	0.96	16.8	2.6
	28°C	2.51	6.53	4.52	40.2	138.6	0.92	20.4	3.45
第三阶段 变、恒温互换	$30 \pm 4^\circ\text{C} \rightarrow 30^\circ\text{C}$	2.63	7.60	5.12	49.7	146.2	0.98	19.1	2.9
	$30^\circ\text{C} \rightarrow 30 \pm 4^\circ\text{C}$	2.53	7.51	5.02	49.8	138.8	0.93	18.5	2.78
	$28 \pm 4^\circ\text{C} \rightarrow 28^\circ\text{C}$	3.26	8.57	5.92	58.4	166.8	1.11	18.8	2.86
	$28^\circ\text{C} \rightarrow 28 \pm 4^\circ\text{C}$	2.00	6.39	4.20	43.9	120	0.8	19.4	2.7

表 5 尼罗罗非鱼在不同温度条件下 24 小时平均耗氧率(毫克/公斤/小时)
Table 5 The average oxygen consuming rate of *Tilapia nilotica* in 24 hours under the different temperature (mg/kilo./h)

温 度	入 箱 时				第一阶段末				第二阶段末			
	尾数	平均流量 升/小时	尾均重 (克)	耗氧率	尾数	平均流量 升/小时	尾均重 (克)	耗氧率	尾数	平均流量 升/小时	尾均重 (克)	耗氧率
$30 \pm 4^\circ\text{C}$	35	1.33	0.0256	1218	20	1.86	0.36	984	20	4.02	1.96	777
30°C	35	1.33	0.0256	1176	20	1.86	0.27	730	20	4.02	1.64	714
$28 \pm 4^\circ\text{C}$	35	1.33	0.0256	1204	20	1.86	0.49	720	20	4.02	2.31	530
28°C	35	1.33	0.0256	1106	20	1.86	0.34	728	20	4.02	2.19	672

3. 变、恒温对尼罗罗非鱼代谢率和能量转换效率的影响 其耗氧率(见表 5)随温度升高而上升, 入箱时以变温 $30 \pm 4^\circ\text{C}$ 组最高(24 小时平均耗氧率 1218 毫克/公斤/小时), 恒温 28°C 组最低(1106 毫克/公斤/小时)。随体重的增加耗氧率均下降, 其中以变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组下降幅度最大, 第二阶段末以变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组的耗氧率最低 530 毫克/公斤/小时), 变温 $30 \pm 4^\circ\text{C}$ 组仍然是较高水平(777 毫克/公斤/小时)。

其能量平衡和能量转换效率(见表 6), 变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组的能量同化率(93.2%), 生态

生长效率(K_1 ,55.5%),组织生长效率(K_2 ,59.6%)最高,明显的高于相应恒温 28°C组(能量同化率 76.6%, K_1 ,41.9%, K_2 ,56%);变温 $30 \pm 4^\circ\text{C}$ 组的能量同化率(92.7%), K_1 (47.8%)其次,亦高于相应的恒温 30°C组(能量同化率 81.7%, K_1 ,45.9%),但 K_2 (51.5%)却最低。

表6 尼罗罗非鱼在不同温度条件下(第二阶段)能量平衡及转化效率
Table 6 The energy balance and the transformation rate of *Tilapia nilotica* (in the second phase) under different temperature

温 度	总投饵量(C)		生长能量(P)		代谢能量(R)		能量同化率 $P+R/C$ (%)	生态生长效率 $K_1=P/C$ (%)	组织生长效率 $K_2=P/P+R$ (%)
	湿重 (克)	卡值* ₁ (千卡)	湿重 (克)	卡值* ₂ (千卡)	O ₂ (毫克)	卡值* ₃ (千卡)			
30±4°C	270.64	252.8	100.7	120.84	32482.2	113.69	92.7	47.8	51.5
30°C	257.12	240.15	91.6	109.92	24640.4	86.24	81.7	45.9	56
28±4°C	271	255.9	118.88	142.06	27587.8	96.98	93.2	55.5	59.6
28°C	237.28	221.62	77.92	92.78	20732.6	72.56	74.6	41.9	56

*₁ 1克水蚯蚓干重=5.4千卡,湿重=0.934千卡(含水量82.7%) *₂ 1克鲜鱼=1.2千卡 *₃ 1毫克O₂=3.5千卡

讨 论

1. 适温范围内的变温对尼罗罗非鱼生长的促进作用 实验结果表明,尼罗罗非鱼在变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 条件下生长最快,日增重、增重率都高于其它组,恒温 28°C组生长最慢。经 t 值检验,变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组与变温 $30 \pm 4^\circ\text{C}$ 组、恒温 30°C组、恒温 28°C组的差异极显著($t=6.67, t=6.52, t=12.94, df=158, t_{0.05}=1.96, t_{0.01}=2.58$)。变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组的总增重比恒温 28°C组在第一阶段高 50%,第二阶段高 50.3%。第三阶段将恒温 28°C组改为变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 后,日增重和增重率均上升,将变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组改为恒温 28°C后日增重和增重率都下降。变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组的日粮和饵料系数亦明显的低于其它各组。第三阶段温度互换后也显示出同样的结果。

目前对于变温能促进生长的机理还不十分清楚。Brett(1971)通过试验指出^[2],白天高温投饵促进机体摄食,同化率上升,晚上低温降低基础代谢,利于能量和物质的积累。据 M. S Caulton (1982)^[8]报导,另一种罗非鱼(*Tilapia rendli*)在白天摄食率上升 12点达到最高峰,维持一段时间后,16点开始下降。当温度在 30~34°C时其食物消化率和能量同化率最高,温度超过 34°C时其食物消化率和能量同化率均下降。桂远明等(1986年)^[1]曾报导,尼罗罗非鱼在变温条件下 24小时平均耗氧率明显的低于相应恒温条件下的耗氧率,而且在变温条件下其耗氧率日周期变化比较规律,白天从 13点到 15点有一个高峰,凌晨 1点到 7点其耗氧率较低,出现一个低谷。相应恒温条件下的耗氧率日周期变化则不规律,24小时都维持在较高水平。上述结果再次表明,变温之所以促进鱼类生长,主要在于变温条件(白天升高温度,晚上降低温度)有利于机体能量的同化和合理利用。

2. 适温范围内的变温对其生长才具有促进作用 实验结果表明,尼罗罗非鱼在变温 $30 \pm 4^\circ\text{C}$ 条件下生长其次,日增重和增重率仅次于变温 $28 \pm 4^\circ\text{C}$ 组,但经 t 值检验,变温

30±4°C组与恒温 30°C组差异不显著($t=0.40$),与恒温 28°C组的差异显著($t=4.21$),变温 30±4°C组与恒温 30°C组之间日增重差值也较低(表 2),第三阶段由变温 30±4°C组改为恒温 30°C之后,日增重和增重率还略有上升, t 值检验,差异不显著($t=0.133$, $df=18$, $t_{0.05}=2.101$, $t_{0.01}=2.878$)。Галковская(1978)^[6]认为,大型溠(*Daphnia magna*)在超过适温的 20±10°C条件下,变温的积极作用就很小,甚至起抑制作用,这与我们的实验结果是相符的。据吴福煌(1982)⁽¹⁾的材料,尼罗罗非鱼生长适温是 24~32°C,最适温度是 30~31°C。变温 30±4°C其上限已超过了生长适温,而且超过了摄食、消化率高峰的适温。从能量平衡和能量转换效率来看(表 6),在变温 30±4°C条件下虽能量同化率和 K_1 较高,但由于耗氧率始终高水平,其组织生长效率 K_2 却最低,显然,其能量利用是不合理的,这也就使其促进生长的作用不明显。

3. 变温促进鱼类生长在生产实践中的意义 罗非鱼具有生长快、繁殖力强,抗疾病等优点,目前在我国养殖上已被推广,是工厂化养殖较理想的品种,由于适温范围内的变温条件不仅可以使其生长快,增产 30~50%,而且饵料系数和日粮率低,可以提高饵料利用率。因而在罗非鱼的工厂化养殖上,可以利用变温来刺激其生长和提高其单产。我国工厂化饲养罗非鱼中,通常用冷水和温水的混合比例来调节温度,夜间以减少温水比例来降低温度在技术上很容易做到,这样既可促进鱼类生长又可节约加温的能量,降低生产成本。大连发电厂冷却水鱼池目前就利用了变温养殖罗非鱼以节约能源和提高鱼产量。

参 考 文 献

- [1] 桂远明等,1986. 利用变温促进罗非鱼生长的中型试验. 水产科学,(1):5~8.
- [2] Brett, J. R., 1971. Energy responses of salmon to temperature. A study of some thermal relations in the physiology and freshwater ecology of Sockeye Salmon. Amer. Zool. 11, 99-113.
- [3] Caulton, M. S., 1982. Feeding, metabolism and growth of tilapia: Some quantitative considerations, P. 157-180. In R. S. V. Pullin and R. H. Lowe Mc Connell (eds.), *The biology and culture of tilapia*. ICLARM Conference Proceedings 7, 492. P. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- [4] Costlow, J. D. and C. G., Bookhout, 1971. The effect of cyclic temperature on larval development in the mud-crab *Rhithropanopeus harrisi* 4th Eur. Marine Biol. Symp. Cambridge.
- [5] Diana, J. S., 1984. The growth of largemouth bass, *Micropterus olmooides* (Lacepede), under constant and fluctuating temperature. *J. Fish Biol.*, 24: 165-172.
- [6] Галковская Г. А. и Л. М. Сушаня, 1978. Рост водных животных при переменных температурах. Мясск. Издво «Наука и техника».

(1) 吴福煌,1982. 尼罗罗非鱼的生长及饵料效率与温度、溶氧和性别的关系。国家水产总局长江水产研究所调查报告,(2):22~25。

USE OF FLUCTUATING TEMPERATURE TO PROMOTE GROWTH OF *TILAPIA NILOTICA*

Gui Yuanming, Wang Zhiyu, Chen Yuhui, Zheng Wenhui and Li Fengzhi

(*Dalian Fisheries College*)

ABSTRACT Four groups of *Tilapia nilotica* were fed in different ranges of temperature (constant temperature of 28°C and 30°C, periodic fluctuating temperature of $28 \pm 4^\circ\text{C}$ and $30 \pm 4^\circ\text{C}$) in the laboratory. The increasing body weight and oxygen consuming rate were measured. The energy assimilating rate and tissue growing rate (K_2) were calculated. The results indicated that the growth of fluctuating temperature groups was faster, and the daily increase weight and percentage increase weight were higher than that of the controlled ones. In addition, the energy assimilating rate and tissue growing rate in the fluctuating temperature groups were higher than that of the controlled groups, except that the tissue growing rate in the fluctuating temperature group at $30 \pm 4^\circ\text{C}$ was lowest. The mechanism that fluctuating temperature promoted the growth of *Tilapia nilotica* and its significance in productive practice were discussed and analysed.

KEYWORDS *Tilapia nilotica*, fluctuating temperature, growth, oxygen consumption rate, energy assimilating rate