

温度对罗非鱼*生长的影响**

孙儒泳 张玉书

(北京师范大学生物系)

研究水温对鱼类生长影响, 阐明最适生长温度及其机制, 具有重大理论和实践意义。Brown(1957)认为, 靠比较不同水域温度的记录, 以确定单个因素对鱼类生长影响规律是困难的, 并强调必须进行实验研究。Weatherley(1976)在综述温度与生长关系时强调, 在不同的恒定温度下, 供以饱足食饵或不同喂食水平, 研究生长的良好工作不多。他们用以说明这方面工作的材料有河鲈(*Salmo trutta*) (Brown, 1946a, b, c; Swift, 1955, 1961; Frost and Brown, 1967)、红点鲑(*Salvelinus alpinus*) (Swift, 1964)和虹鳟(*Lebistes reticulatus*) (Gibson and Hirst, 1955)。尔后, 还有温度和盐度对菱体兔牙鲷(*Lagodon rhomboides*)生长影响的报道(Peter *et al.*, 1976)。

罗非鱼是热带性鱼类, 种类繁多, 二次大战后成为重要养殖对象, 但对其温度与生长关系的实验研究不多, 如为防治水生杂草而引入加拿大的齐氏罗非鱼(*T. zillii*), 总共只观察9尾试验鱼(Platt and Hauser, 1978)。罗非鱼引入我国为期不长, 但已发展为重要养殖对象。罗非鱼选择的适温较高, 而工厂化养鱼的流水池水温维持越高, 消耗热能越大。因此, 阐明水温与生长关系, 有助于找出既能使生长快, 又能节约能源的水池控制温度。

从1978年12月到次年9月, 共进行四期试验。前两期在北京师范大学实验室中, 用未经处理的深井水饲养, 后两期在昌平区水产养殖场, 用水与该养殖场工厂化养鱼用水相同, 即河水与地下热水相混合、并经一系列池塘以后的水。实验用鱼取自该养殖场, 为国内水产养殖界通称为“大黑”的罗非鱼。

第一期试验进行三周(1978年12月28日—1979年1月17日), 分22°、26°、30°、34℃四组, 温度误差 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 自然光, 用塑料盆饲养, 水体约30升, 每组养8—12克鱼10尾, 雌雄各半。饵料按该水产养殖场2号配方(见《淡水渔业》1981. 4, 刘仲琪等文章), 日投饵量超过日摄食量, 每日分3—4次投喂。每天换水一次, 每次换水约60—70%, 隔日清盆, 每周测量体重。每周中有6天, 每天用吸管收集残饵和粪便, 经离心、干燥、用分析天平称重, 以便比较各组鱼的摄食量和同化率。本期实验结果见表1、3。

生长最快的是水温30℃组, 其次为34℃和26℃组, 22℃组生长最慢。经三周饲养后, 增重率指标在30℃组为24.6%, 34℃组14.2%, 而22℃组只增5.8%。因为增重率随饲养期长短

* 1973年8月, 由在日华商赠送5群罗非鱼, 饲养在广东水产研究所和浙江淡水水产研究所。由于缺乏技术资料, 经两所同志讨论, 暂称为“大红”、“中红”、“小红”、“大黑”和“小黑”(见《淡水渔业》, 1975年第9期)。后报道“大黑”和“小黑”是同一种(见《淡水渔业》, 1976年第1期)。我们用于实验的鱼, 是1974年由浙江引进, 全属于“大黑”。标本均保存在北京师范大学生物系。

** 参加本研究的还有王琛。工作中得到北京市水产局田春恩同志, 昌平区水产养殖场冯澄宇同志, 长江水产研究所刘仲琪同志大力协助, 在此一并致谢。

表 1 温度对罗非鱼生长影响的第一期试验结果

温 度 (℃)	平 均 体 重 (克)				增 重 率 $\frac{W_n - W_0}{W_0} \times 100$	Brown的特殊增重率 $\frac{\ln W_n - \ln W_0}{T_2 - T_1} \times 100$	Peter等的日增重率r $\left[\left(\frac{W_n}{W_0}\right)^{\frac{1}{n}} - 1\right] \times 100$
	开 始	一 周	二 周	三 周			
22	9.73	9.60	9.61	10.30	5.858	0.271	0.271
26	11.92	12.41	12.56	—	5.369	0.436	0.437
30	9.71	10.90	11.41	12.10	24.614	1.048	1.053
34	8.43	9.10	9.56	9.63	14.235	0.634	0.687

* 公式中 W_n 是实验终止时体重, W_0 是实验开始时体重, T_2 是实验终止时间, T_1 是实验开始时间, $n=S_2-T_1$.

而改变, 饲养日期不同的试验难以比较, Brown(1957)应用了特殊增重率和 Peter等(1976)用“日增重率”来研究。从表 1 看出, 这两个增重率的值十分接近, 一般以 Peter 的日增重率略大, 但后两种增重趋势与前一种基本一致。

第二期试验(1979年 1 月 25 日—2 月 18 日)的实验条件与第一期基本相同, 但分六组, 实验水温为 26°、28°、30°、32°、34°、36℃, 间隔两度, 实验中同时测定了体长和全长。结果表明: (1)增重率、特殊增重率和日增重率的数值与第一期试验十分接近(见表 2)。例如

表 2 温度对罗非鱼生长影响的第二期试验

温 度 (℃)	平 均 体 重 (克)				增重率 $\frac{W_n - W_0}{W_0} \times 100$	Brown的特殊增重率 $\frac{\ln W_n - \ln W_0}{T_2 - T_1} \times 100$	Peter的日增重率r $\left[\left(\frac{W_n}{W_0}\right)^{\frac{1}{n}} - 1\right] \times 100$	平 均 体 长 (毫 米)				增长的% $\frac{L_n - L_0}{L_0} \times 100$	日增长率 增长率/n
	开 始	一 周	二 周	三 周				开 始	一 周	二 周	三 周		
26	9.16	9.99	9.94	10.08	10.04	0.456	0.457	6.64	—	6.69	6.86	3.31	0.15
28	9.85	11.19	12.30	12.96	31.57	1.307	1.315	6.75	6.86	7.15	7.33	8.59	0.41
30	11.12	12.40	12.54	12.61	13.40	0.599	0.601	6.90	7.03	7.23	7.25	5.07	0.24
32	12.10	12.95	13.30	14.02	15.87	0.701	0.704	7.23	7.22	7.38	7.58	4.84	0.23
34	9.91	9.92	11.19	11.45	15.54	0.688	0.690	6.67	6.82	6.93	6.89	3.29	0.16
36	9.73	9.75	10.04	9.91	1.85	0.087	0.087	6.82	6.73	6.80	6.72	—	—

34℃组第一期增重百分率为 14.2%, 而第二期为 15.5%, 第一期的日增重率为 0.690, 第二期为 0.687。(2)第二期新增加的 28°、32°、36℃的三个生长指标数值, 几乎可以合适地内插到第一期数值中, 只有 30℃组的体重增长指标稍偏低。以上两点充分说明试验的可重复性。这使我们可以将此两期试验结果合并一起来进行分析。(3)第二期结果还说明, 28℃组比 30℃组生长更快, 其增重百分比达 31.57%, 是所有实验组中最高的, 特殊增重率和日增重率也一样, 达 1.307 和 1.315。(4)第二期的体长增长结果同样表明 28℃是最适于生长的水温, 体长增长百分率达 8.59%, 平均每日增长率为 0.41%。其次是 30℃和 32℃, 最后是 34℃和 26℃, 而 36℃已成为难以增长的高温了。

1978—1979 年冬季两次实验室研究证明, 28—30℃是体重为 8—12 克罗非鱼生长的最适温度, 尤其是 28℃。水温再降低或增高都延缓其生长速率, 36℃高温很不利, 生长中止。对

于 8—12 克仔鱼来说, 经三周饲养, 体重增加 31.57% (3.11 克), 体长增加 8.59% (0.58 毫米), 这个生长速率是不高的, 这说明在实验室内利用北京师范大学地下井水在小水体中饲养罗非鱼, 生长受到一定抑制。但另一方面, 由于实验室条件易于控制, 各试验组间除水温不同外, 其它条件一致 (这在室外大池中几乎是难以达到的), 温度对生长影响的规律性照样很好地反映在实验结果中。这两方面都说明体重和体长对生长是最为敏感的指标。

利用实验室研究有利条件, 在第一、二期试验中, 我们还初步探讨了温度对罗非鱼生产过程的影响。表 3 是不同温度下罗非鱼的摄食量、同化率和生长效率的结果。按 Webb (1978) 在讨论代谢与生长的能量分配问题时定义: $pQ_R = Q_M + Q_G$, 其中 Q_R 为摄食量, p 为同化率, Q_M 为代谢量 (或称维持消耗), Q_G 为生长量。这个公式表明, 摄食量中为鱼同化的能量, 或者用于维持消耗, 或者供机体生长。在我们的实验中, 日摄食量按日投饵量减去日残饵量而测定, 摄食量中扣除粪便量 (一般动物是粪尿量, 鱼类的 N 多从鳃排出), 就得同化量。每周测六天, 表中数字是十八天的平均值。以 30℃ 组为例, 日摄食量 = 4.037 - 0.796 = 3.241 克/日, 日同化量 = 3.241 - 0.800 = 2.441 克/日。由此可以计算出同化率 = 日同化量/日摄食量 = 2.441/3.241 = 0.753, 即 75.3%, 说明在 30℃ 水温下, 实验鱼平均同化了每日摄食量的 75.3%。第二期试验同化率稍高, 约 85—90%, 平均起来, 与 Winbery 报道的 85% (引自川本信之, 1976) 相近。

表 3 结果说明: (1) 从 22℃ 到 32℃, 日摄食量逐渐增加, 从 2.155 增到 4.287 克, 大约增

表 3 水温对罗非鱼摄食量、同化率和生长效率的影响

试验期	温度 (℃)	日平均投饵量 A (克)	日平均残饵量 B (克)	日平均摄食量 C=A-B	日平均粪便量 D (克)	日平均同化量 E=C-D	同化率 E/C	生长效率 $\frac{(W_n - W_0)/n}{C}$	同化量 E 日增重率 r
I	22	3.044	0.889	2.155	0.613	1.542	0.716	0.0126	5.690
	26	3.110	0.707	2.403	0.645	1.758	0.732	0.0165	4.023
	30	4.037	0.796	3.241	0.800	2.441	0.753	0.0351	2.318
	34	4.150	1.198	2.952	0.820	2.132	0.722	0.0194	3.103
II	26	4.140	1.775	2.365	0.325	2.040	0.863	0.0185	4.464
	28	5.027	1.630	3.397	0.390	3.007	0.885	0.0436	2.237
	30	5.950	1.667	4.283	0.490	3.793	0.886	0.0166	6.311
	32	5.760	1.473	4.287	0.478	3.809	0.889	0.0213	5.411
	34	5.600	1.770	3.830	0.340	3.490	0.911	0.0191	5.058
	36	5.162	1.630	3.532	0.390	3.142	0.890	0.0024	36.115

加一倍。当水温再升高, 日摄食量减少, 证明食欲有降低。(2) 同化量随水温变化的趋势, 与日摄食量基本相同, 从 22℃ 到 32℃, 由 1.542 升到 3.809 克, 约增加 1.5 倍。(3) 我们采用的生长效率是 $\frac{(W_n - W_0)/n}{C}$, 以日增重率除日同化量, 即平均日同化一克食物的平均日增重量。在 28℃ 时, 生长效率最高。从 22℃ 到 28℃, 生长效率随水温上升而增高, 从 30℃ 到 36℃, 随水温上升而降低。(4) 日同化量/日增重率 (E/r), 它反映每增加同样体重单位, 同化量的

区别,它与生长效率呈反比例关系。以上结果说明,低于最适温时,鱼的摄食量和同化量随水温上升而增高,维持消耗的能量虽然也随水温上升而增高,但同化量中分配给生长的能量是逐渐增加的;高于最适温时,起初同化量虽尚有增加,但维持消耗的能量增加迅速,使分配给生长的能量反有减少,到后来,摄食量和同化量也减少,生长率迅速下降;到36℃高温时,同化量几乎全部用于维持消耗,生长效率接近于零(图1)。

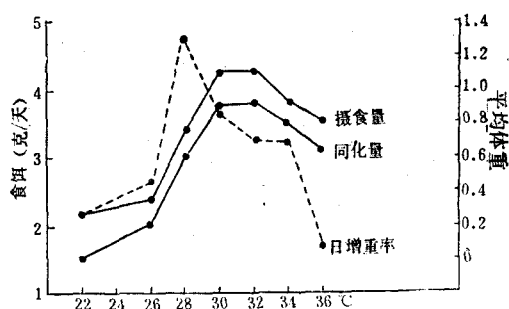


图1 不同水温下罗非鱼日摄食量,日同化量和日增重率的关系

第三期试验在工厂化养鱼车间中进行,共三十天。用五个体积为240升、流水、自动控温的金属水箱饲养。流速约每分钟2升,每小时120升,大约两小时交换一次。饲养体重10—13克仔鱼30尾。实验温度为26°、28°、30°、32℃四组。由于体积大,控温较困难,温度误差为±1℃,主要是32℃高温难控,有时低1.5℃。为比较鱼密度对于生长的影响,另设28℃密度加倍(60尾)组。每10天测量一次,结果见表4、图2。

表4 温度对罗非鱼体重增长的影响(第三期试验)

水温 ℃	鱼 数	平均体重(克) $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$				$\frac{W_n - W_0}{W_0} \times 100$	$\left[\left(\frac{W_n}{W_0} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100$			
		7月20日	7月30日	8月9日	8月19日		头旬	二旬	三旬	三十天平均
26	30	11.78±0.345	13.21±0.520	12.80±0.517	15.52±0.678	31.70	1.152	—	0.813	0.923
28	30	11.78±0.345	13.92±0.460	16.00±0.537	17.87±0.584	51.70	1.683	1.402	1.111	1.399
30	30	11.78±0.345	14.45±0.425	17.57±0.559	19.95±0.617	69.35	2.064	1.974	1.278	1.772
32	30	11.78±0.345	14.52±0.570	17.47±0.694	20.02±0.719	69.94	2.113	1.867	1.372	1.783
28	60	11.78±0.345	13.37±0.333	15.14±0.417	15.79±0.447	34.00	1.274	1.251	0.421	0.981

结果表明:(1)第三期试验鱼生长良好,最大增重率为70%左右,日增重率达2或2.1。对于平均体重11.78克的幼鱼,说明生长条件是良好的。为监察水质,在试验期间每天测定池中水的溶氧量,很少有低于3毫克/升的,大约每周测一次 $\text{NH}_3\text{—N}$ 和 $\text{NO}_2\text{—N}$, $\text{NH}_3\text{—N}$ 很少高于1毫克/升, $\text{NO}_2\text{—N}$ 很少高于0.1毫克/升。(2)图2和表4表明,生长率最高的是30℃和32℃组,两条生长曲线基本重叠。这次测定的最适生长温度比冬季在师大实验室内测定的28℃稍高,并且,下面将叙述的第四期重复试验结果同样是30—32℃。为什么前两期测定的生长最适温度是28℃,而后两期是30—32℃,从目前的四次试验结果还难以断定。我们初步认为,前两期试验在冬季进行,实验用仔鱼是预先在水温偏低的生产车间鱼池中成长到

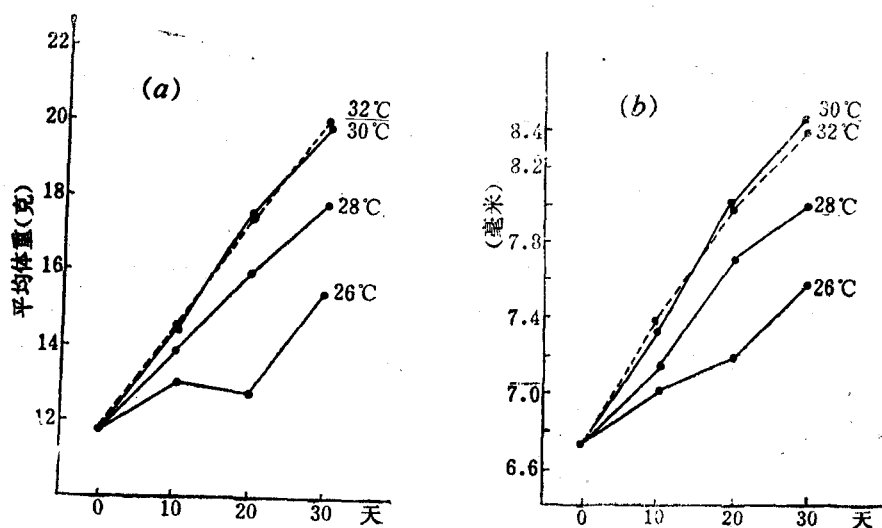


图 2 水温对罗非鱼体重(a)和体长(b)增长的影响

8—12克的,而后两期试验在夏季进行,实验用仔鱼成长的水温条件偏高。很多报道 (Reynolds and Casterin, 1979) 说明可以通过驯化改变鱼类的选择的最适温度。无论如何,罗非鱼生长的最适水温是否随季节和驯化温度而移动,是值得进一步探讨的,它不但具理论意义,而且是养殖业上有用的基本资料。(3)结果中温度对生长影响的规律仍十分明显。在30℃和32℃时,30天平均日增长率 r 为1.77—1.78,增重率为69—70%,而28°、26℃时降为51.7%和31.7%。(4)密度对于实验鱼生长有很大影响,图3表明30尾组的体重增长较60尾

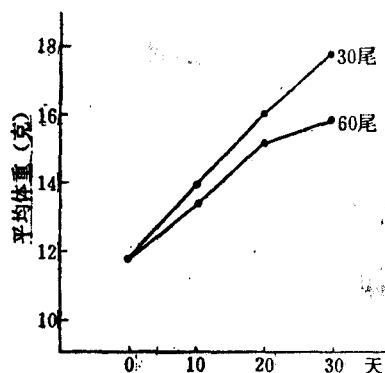


图 3 密度对于罗非鱼体重增长的影响

组快。同样为28℃水温,60尾组的平均日增长率为0.981,而30尾组为1.399,是60尾组的143%。高密度影响在饲养后期尤为明显,前10天的30尾组 r 值(1.683)为60尾组(1.274)的132%,而后10天的升为264%(1.111/0.421)。这充分说明随着鱼的长大,更接近于环境容纳量(carrying capacity)。因而有必要比较两种密度下的绝对生长量,看哪一组更能增产。30尾组30天的总增重量为 $(17.87 - 11.78) \times 30 = 182.7$ 克,而60尾组为 $(15.79 - 11.78) \times 60 = 240.6$ 克。60尾组个体小,但全池生产量较高。不过这种情形是随时间进展而改变的。以最后10天

增重值估计, 60尾组为 $(15.79 - 15.14) \times 60 = 39$ 克, 而30尾组反而更高 $(17.87 - 16.00) \times 30 = 56.1$ 克。这就是说, 在有限的环境中, 随着鱼的生长, 高密度对生长的迟缓效应越益明显。在鱼体较小时 (相对于一定环境容纳量而言), 高密度饲养是合算的。随着鱼的生长, 高密度的生长迟缓效应, 变成为不合算的。如何定量地估计这个转折点, 这是决定高密度流水养鱼对策中一个极为重要的问题, 我们认为应该进行更加深入的研究。(5) 在有限的水体中, 随着鱼的长大, 鱼的生长率有逐渐下降的趋势。如五组的平均 r 值, 头旬为 1.657, 二旬为 1.299, 三旬为 0.999。并且, 在高密度组和最适温下, 下降更为明显。这充分说明, 在饲养中必需经常监视鱼的生长率, 在适当时候采取分池 (即日常所谓的分级饲养) 方法。分池后降低饲养鱼的密度 (生物量), 能刺激提高生长率, 以利于增加产量。(6) 体长增长的结果与上述体重增长相似, 见表 5, 不再重复。

表 5 温度对罗非鱼体长增长的影响 (第三期试验)

水 温 ℃	鱼 数	平 均 体 长 (毫米) $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$				$\frac{L_n - L_0}{L_0} \times 100$			
		7月20日	7月30日	8月9日	8月19日	头 旬	二 旬	三 旬	三十天 平 均
26	30	6.64±0.074	7.02±0.100	7.18±0.105	7.59±0.117	5.65	2.23	5.71	14.24
28	30	6.64±0.074	7.13±0.096	7.66±0.089	8.02±0.097	7.31	7.43	4.69	20.71
30	30	6.64±0.074	7.33±0.073	8.02±0.091	8.47±0.102	10.33	9.46	5.61	27.48
32	30	6.64±0.074	7.38±0.105	7.97±0.109	8.41±0.103	11.08	7.99	5.52	26.58
28	60	6.64±0.074	7.12±0.064	7.57±0.075	7.69±0.031	7.16	6.32	1.59	15.74

第四期试验条件与第三期相同, 但从第三期各组试验鱼中选择半数继续饲养, 另半淘汰, 结果见表 6。(1) 比较表 4 和表 6 的各组 r 值, 说明前 10 天日增重率较第三期后 10 天的

表 6 温度对罗非鱼体重增长的影响 (第四期试验)

水 温 ℃	鱼 数	平 均 体 重 (克) $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$				增 重 百 分 率 $\frac{W_n - W_0}{W_0} \times 100$	日增重率 $\left[\left(\frac{W_n}{W_0}\right)^{\frac{1}{n}} - 1\right] \times 100$			
		8月20日	8月30日	9月10日	9月20日		头旬	二旬	三旬	三十天 平 均
26	15	18.60±0.539	21.40±0.562	23.10±0.663	27.10±1.167	45.70	1.412	0.767	1.610	1.262
28	15	19.93±0.417	24.10±0.625	26.04±0.969	29.29±1.467	46.96	1.918	0.777	1.183	1.292
30	15	20.17±0.418	23.43±0.577	26.20±0.832	30.63±1.063	51.86	1.509	1.128	1.575	1.402
32	15	20.87±0.620	24.27±0.759	27.70±1.121	31.53±1.675	51.08	1.520	1.331	1.303	1.363
28	30	18.87±0.394	21.95±0.471	24.45±0.574	26.89±0.723	42.50	1.523	1.084	0.956	1.188

明显提高, 证明通过分池分级饲养方法, 确能使已降低的生长率进一步提高, 尤其是高密度组更明显。显然, 在一个有限环境中, 当体重增加, 总生物量接近环境容纳量以前进行分池, 以减少总生物量, 能促进鱼的继续生长。(2) 本期最适生长温度仍为 30℃, 但 32℃ 比 30℃ 的生长率稍低。第三、四期试验结果的相符, 再次证明试验的可重复性。

结 论

温度对罗非鱼生长影响的实验共作了四期, 两期在实验室水族箱内, 每期三周, 另两期在昌平水产养殖场, 每期一月, 先后观察 370 尾鱼的个体生长, 结果表明:

1. 在 22℃ 到 36℃ 的水温范围内, 平均体重 8—12 克的罗非鱼的生长最适温度为 28—30℃。在 22° 到 28℃ 范围内, 生长率随水温上升而增加; 在 32℃ 到 36℃ 范围内, 生长率随水温上升而减少; 36℃ 是接近于停止生长的高温。

2. 冬季测定的最适生长温度稍低(28℃), 夏季测定的稍高(30—32℃)。

3. 从 22° 到 32℃, 日摄食量和同化量随水温上升而增高; 从 32° 到 36℃, 随水温上升而下降。由于维持消耗随水温上升而增高, 于是生长率与温度的关系呈倒钟形。

4. 根据上述试验结果, 建议用 28°—30℃ 水温养殖此等规格罗非鱼, 尤其是 28℃, 既能加快生长, 又能节约热源, 特别是在冬季。

5. 其它条件相同(有余食), 高密度组生长率较低密度组低。但如果鱼体尚小(相对于环境容纳量而言), 高密度对生长率延缓的效应不明显, 高密度组甚至能获得更大的总生产量(绝对量)。随着鱼体长大, 高密度的延缓生长效应越益明显, 终于将使鱼池总生产量降低。如果进一步定量地描述这种较复杂过程, 找出高密度饲养由增加总生产量转为降低的转折点, 无论从理论和实践上均有重大意义, 而根据这种定量关系, 确定分池(分级饲养)时间和方案, 将是提高养殖业产量的一条途径。

参 考 文 献

勃朗 1957 鱼类生理学。

川本信之 1976 鱼类生理改订增补。

Peter, D. S., M. T. Boyd and J. C. Devane 1976 The effect of temperature, salinity and food availability on the growth and food-conversion efficiency of postlarval pinfish. *Thermal Ecology I*, ERDA Symposium Series 40: 106—112.

Platt, S. and W. J. Hauser 1978, Optimum temperature for feeding and growth of *Tilapia silli*. *The Progressive Fish-Culturist* 40(3): 105—107.

Reynolds, W. W. and M. E. Casterlin 1979, Behavioral thermoregulation and the "Final preferendum" paradigm. *Amer. Zool.* 19: 211—224.

Webb, P. W. 1978 Partitioning of energy into metabolism and growth. In "Ecology of Freshwater Fish Production" ed. by S. D. Gerking, P. 184.

Weatherley, A. H. 1972 Growth and ecology of fish population. London, Academic Press.

THE INFLUENCE OF TEMPERATURES ON GROWTH OF TILAPIA

Sun Ruyung Zhang Yushu

(Department of Biology, Beijing Normal University)

Four series of experiments had conducted to study the influence of different temperatures on the growth, the first two were conducted in laboratory and the others in fishing farm. The total observed fishes counted 370.

1. The optimum temperature for growth is at 28—30℃. From 22℃ to 28℃ the growth rate is increased, while from 32℃ to 36℃, it is decreased, and at 36℃ it is stopped.

2. The determined optimum temperature for growth in winter is lower (28℃, Tab. 1, 2) than that in summer (30—32℃, Tab. 4, 5, 6). The repeated experiments showed the same results.

3. The highest daily food consumption and assimilation rate are at 32℃, and decreased significantly at both higher and lower temperatures (Tab. 3, Fig.1). Because the maintenance costs of fish are getting higher as water temperatures increase, the relationship of growth rate with temperatures showed an invert bell-shaped curve (Fig.1).

4. The density is a significant factor influencing the individual growth rate (Fig.3). However, if the total fish biomass is smaller relatively to the carrying capacity, higher density can even increase the total yield. But this situation is gradually changed into the opposite direction. The moment when the total yield is changed from positive to negative is very important for fish-farming.