

水温对草鱼鱼种摄食、生长和死亡的影响

EFFECTS OF WATER TEMPERATURE ON FEEDING, GROWTH AND MORTALITY OF *CTENOPHARYNGODON IDELLA* FINGERLINGS

文良印 谭玉钧 王 武
(上海水产大学渔业学院, 200090)

WEN Liang-Yin, TAN Yu-Jun, WANG Wu
(Fisheries College of Shanghai Fisheries University, 200090)

关键词 水温, 草鱼鱼种, 摄食, 生长, 死亡

KEYWORDS water temperature, grass carp fingerlings, feeding, growth, mortality

水温是影响鱼类摄食、生长的重要环境因素之一。关于水温对草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)摄食、生长的影响,国内外学者[刘文郁等 1963;汪锡钧和吴定安 1994;陈少莲等 1993;Colle等 1978;Kilambi和Robinson 1979;Shireman等 1983;Sutton和Blackburn 1973;Sutton 1974]作过较多报道。但针对草鱼鱼种的研究很少见报。本文以草鱼鱼种为对象,利用较好的控温设施,喂以植物性天然饵料,研究水温对其最大摄食率、总饵料转化效率、生长和死亡率的影响,拟合出了有关的关系式,并得出了一些参数。

1 材料与方 法

草鱼于 1991 年 6 月采自崇明县水产良种场池塘培育 20 天的夏花,用尼龙袋充氧运回实验室。先在室温(水温 26℃)条件下用浮萍和颗粒饵料驯养五天,然后随机将其分为五组,每组 230 尾左右,分别置于五个 380 升自动控温循环过滤式水族箱中。用两个空调机将温度降至 18℃ 以下。在此环境中,将一些水族箱逐渐升温(0.5℃/小时),让一些水族箱自然降温。计划将它们的水温分别控制在 18.0、23.0、28.0、32.0、36.0℃,由于空调机功率有限,18.0℃箱的水温有些波动,试验期内该箱平均水温为 19.4℃。36℃箱平均水温为 35.5℃,其余箱的水温波动在±0.3℃以内。正式试验之前,用浮萍作饵料饲喂三天使鱼适应水温和饲料,然后测量各箱鱼的体长、体重(2.77~2.91cm, 0.41~0.44g),t-检验表明各水族箱的鱼体重间无显著性差异(P>0.05)。随后进入正式试验阶段(6月15日至8月7日)。试验期间各水族箱投喂相同饲料(小浮萍 *Lemna minor* 约占 70%,紫背浮萍 *Spirodela polyrrhiza* 约占 30%,采自浦东新区野外)。经测定其营养成分如表 1。

投喂前,将饵料洗净、称重,当鱼较小时还将紫背浮萍切细。每天晚上 9:00 时一次投足饲料(以 24 小时后略有剩余为限),保证鱼充分摄食,每晚 9:00 时称重各箱未吃完的饵料,经计算得到鱼的最大摄食率。

每隔 10 天左右对各水族箱的鱼进行一次随机取样(每次取 40 尾左右,35.5℃水族箱取 20 尾左右),测量体长、体重(取样前停食 24 小时)。取样鱼不再放回,供其他研究用。

实验期间,每天排污两次,换水一次(约换 1/4),并用空气泵持续充氧。水的溶氧保持在 5mg/L 以上, pH 7~7.5,水中总铵(氮)氮小于 0.5mg/L。

收稿日期:1997-03-26

表1 饲料的营养成分

Tab. 1 The nutritional components of feed

| 种类 | 湿重(g) | 干重(g) | 占干重百分比 | | | |
|------|-------|-------|--------|------|-------|-------|
| | | | 粗蛋白 | 粗脂肪 | 灰分 | 碳水化合物 |
| 小浮萍 | 100 | 6.94 | 30.3 | 8.60 | 22.54 | 38.83 |
| 紫背浮萍 | 100 | 7.56 | 22.05 | 7.16 | 21.77 | 49.02 |

一些指标的计算公式如下:

1、日相对增重率(%) = $(\bar{W}_i - \bar{W}_0) \times 100 / (D \cdot (\bar{W}_i + \bar{W}_0) / 2)$; 2、绝对增重率 = $(\bar{W}_i - \bar{W}_0) / D$ (克/日·尾)

3、平均最大摄食率(C) = $(1/6) \sum_{i=1}^6 (C_i / (\bar{W}_i \cdot D_i \cdot N_i))$ (克/克·日); 4、平均体重(W) = $(1/6) \sum_{i=1}^6 \bar{W}_i$ (克)

5、总饵料转化效率(GFCE) = 鱼总净增重(湿重) × 100 / 总耗饵料(干重) (%)

式中, \bar{W}_i : 试验结束时鱼平均体重(g/尾); \bar{W}_0 : 试验开始时鱼平均体重(g/尾); D: 试验持续时间(天); \bar{W}_i : 第 i 试验阶段平均体重(g/尾); C_i : 第 i 试验阶段的摄食量; N_i : 第 i 试验阶段鱼的数量(尾); D_i : 第 i 试验阶段进行的时间(天)。

2 结果

2.1 水温对生长的影响

试验第 10、21、31、43、54、63 天分别取样测定了各箱鱼的体重和体长, 方差分析表明: 第 21 天时, 32.0℃ 水族箱和 28.0℃ 水族箱中鱼的体重与 35.5℃、23.0℃、19.4℃ 水族箱的相比有极显著差异 ($P < 0.01$), 以后各次测定的任何两个温度箱中的鱼体重间都存在极显著差异 ($P < 0.01$)。

从表 2 可见, 32.0℃ 水温的鱼生长最快, 随后依次为 28.0、35.5、23.0、19.4℃。35.5℃ 水温中的鱼在试验前期(特别是前 20 天)平均体重增长很少, 这是由于一部分鱼不适应如此高的水温而发生萎瘪病(表 4), 身体消瘦。这部分鱼都在前 30 天内死去。剩下的鱼在试验后期(30~63 天)生长还是远远快于水温为 23.0℃ 的鱼。由于水温太低, 19.4℃ 水温中的鱼在整个试验期间生长极慢。

表2 各种水温试验中草鱼鱼种的生长

Tab. 2 The growth of grass carp fingerlings at different temperatures

| | 水温(℃) | | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| | 19.4 | 23.0 | 28.0 | 32.0 | 35.5 |
| 鱼数(尾) | 230 | 235 | 227 | 227 | 225 |
| 初体重(g) | 0.41 ± 0.18 | 0.41 ± 0.17 | 0.43 ± 0.19 | 0.42 ± 0.19 | 0.44 ± 0.20 |
| 末体重(g) | 0.56 ± 0.38 | 1.46 ± 1.15 | 7.30 ± 4.86 | 11.60 ± 6.47 | 5.44 ± 3.79 |
| 初体长(cm) | 2.77 ± 0.40 | 2.80 ± 0.36 | 2.87 ± 0.41 | 2.84 ± 0.35 | 2.91 ± 0.42 |
| 末体长(cm) | 2.89 ± 0.61 | 3.57 ± 1.05 | 6.03 ± 2.21 | 7.69 ± 2.18 | 5.18 ± 1.92 |
| 绝对增重率(g/d) | 0.002 | 0.017 | 0.109 | 0.177 | 0.079 |
| 日相对增重率(%) | 0.49 | 1.78 | 2.82 | 2.95 | 2.70 |

2.2 水温对摄食率和饵料转化效率的影响

从表 3 可见, 不同水温中草鱼鱼种的生长、摄食以及饵料转化效率差异很大。35.5℃ 水族箱中, 试验期内前 20 天的平均最大摄食率代表了所有鱼(包括患萎瘪病的鱼在内)在该期间的平均最大摄食率, 而在试验后期(30~63 天)的鱼能很好地适应该水温, 摄食率很高, 所以, 整个试验期内的平均最大摄食率高于前 20 天的平均摄食率。

表 3 各种水温条件下的摄食率和总饵料转化效率
Tab. 3 The maximum feeding efficiency and gross food conversion efficiency of grass carp fingerlings at different water temperatures

| 水 温(℃) | 19.4 | 23.0 | 28.0 | 32.0 | 35.5 | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | | | | (1~ 20 天) | (1~ 63 天) |
| 平均体重(g) | 0.48 | 0.76 | 2.61 | 4.19 | 0.46 | 1.91 |
| 平均最大摄食率(g/g·d) | 0.71 | 1.13 | 1.73 | 2.04 | 1.95 | 2.25 |
| 总饵料转化效率(%) | 11.14 | 24.23 | 35.19 | 35.86 | 4.18 | 22.60 |

注: 以上数据已将死亡鱼计算在内。

2.2.1 最大摄食率(C)与水温(T)和鱼体重(W)的复合关系

由于不同试验阶段投喂的浮萍质量有差异, 两种浮萍的比例组成也有变化, 因而, 使用整个试验期内的平均最大摄食率、平均体重及水温来拟合这一关系式(35.5℃水温中, 草鱼鱼种有较高的死亡率(如表 4 所示), 故使用最初 20 天的最大摄食率, 以消除鱼的死亡造成的影响)。

选择: $C = a \cdot W^b \cdot (T_m - T) \cdot e^{kT}$ (T_m- 摄食率降为零的高温), 经变形可得:

$$\ln(C / (T_m - T)) = b \cdot \ln W + kT + \ln a$$

可见, 只要人为给予 T_m 值, 上式即为一简单线性方程。运行 Minitab 软件, 给予一系列的 T_m 值, 通过求二元回归拟合上式, 当该回归方程达到最高显著水平时, T_m 值则被认可, 方程也为最优。结果如下:

$$C = 0.0005055 W^{-0.195} \cdot (36.9 - T) \cdot e^{0.219T} \quad (1)$$

显著水平: 回归方程, F 检验, P < 0.0005; 常数项, t- 检验, P < 0.0005; 水温(T) 项, t- 检验, P < 0.0005; lnW 项, t- 检验, P < 0.0015。

对(1)式求导, 求极大值, 发现: 当 T = 32.3℃时, 最大摄食率达最高水平。

2.2.2 总饵料转化效率(GFCE)与水温(T)关系

选择 $GFCE = m \cdot (T_n - T) \cdot e^{dT}$ (T_n- 饵料转化效率降为零时的高温), 用以上同样的办法拟合这个一元非线性方程(数据见表 3), 得:

$$GFCE = 0.01455(35.7 - T) \cdot e^{0.205T} \quad (2)$$

经计算, 当水温为 30.8℃时, 总饵料转化效率达到最高。

2.3 各温度条件下鱼的死亡率及死亡原因

引起死亡的原因有肠炎和萎瘪病。萎瘪病只发生在水温为 35.5℃试验的第一个月, 而且引起的死亡率非常高(表 4)。患此病的鱼开始表现为在水族箱中不安地剧烈游动, 后来体色逐渐发黑、消瘦、干瘪、头大身小, 背似刀刃, 最后死亡。解剖发现肠内有少量食物。肠炎引起的死亡率在 32.0℃水温中较高。

表 4 各温度环境中草鱼鱼种的死亡率
Tab. 4 The mortality of grass carp fingerlings at different water temperatures

| 水温(℃) | 死亡原因 | 各试验阶段死亡率(%) | | | | | |
|-------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 1~ 10 天 | 11~ 21 天 | 22~ 31 天 | 32~ 43 天 | 44~ 54 天 | 55~ 63 天 |
| 19.4 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23.0 | | 0 | 0 | 0 | 0.65 | 0 | 0 |
| 28.0 | 肠炎 | 0 | 0.54 | 0 | 0.14 | 0 | 0 |
| 32.0 | | 0 | 0.54 | 6.21 | 3.23 | 1.32 | 0 |
| 35.5 | | 0 | 1.27 | 1.24 | 0 | 0 | 0 |
| 35.5 | 萎瘪病 | 2.93 | 28.23 | 13.58 | 0 | 0 | 0 |

3 讨论

试验表明, 水温对草鱼鱼种的最大摄食率、总饵料转化效率、生长率、死亡率都有重要的影响。

最大摄食率可通过给鱼投喂充足食物而进行测定[陈少莲等 1993]。在不同的水温中可获得不同的最大摄食率[Hewett 和 Johnson 1992]。从拟合的(1)式可见,对于同样体重规格的草鱼鱼种,水温小于 32.3℃时,最大摄食率随水温的升高而增大(水温越高,鱼的消化道内食物的排空速度就越快,摄食就较多[Fange 和 Grove, 1979], 32.3℃时最大,超过此温度,最大摄食率反而下降;而同一温度环境中,最大摄食率随鱼体重的增大而减小。

鱼类生长的快慢依赖于其摄食量的大小以及满足了鱼类基础代谢和活动代谢需要后剩余能量的多少。鱼类的维持代谢需要随环境温度的升高而增大。在适宜温度范围内,消化酶活性以及消化速度随环境温度的升高而增大,低温会显著地降低饵料的消化率[雷慧僧等 1981]。当饵料不受限制时,生长率随温度升高而增大,但超过最适生长温度后,生长率反而下降。本试验结果也直接或间接地证明了这些规律,在 19.4、23.0、28.0、32.0℃四个环境水温中,随水温升高,草鱼鱼种的绝对增重率和日相对增重率都是递增的,35.5℃环境中,这两项指标下降;从(2)式可见,总饵料转化效率随水温的升高而增大,在 30.8℃达到最大,然后随水温的升高而降低;28.0℃水温的鱼的绝对增重率(0.109g/天·尾)仅次于 32.0℃水族箱(0.177g/天·尾),但总饵料转化效率非常接近(分别为 35.19%, 35.86%)。据此,初步认为草鱼鱼种的最适生长温度为 28~32℃。

对(1)和(2)式进行对比可以发现,总饵料转化效率达到最高时水温(30.8℃)低于最大摄食率达到最高时水温(32.3℃),总饵料转化效率下降为零时水温(35.7℃)也小于最大摄食率降为零时水温(36.9℃)。

由于水温过高会导致鱼体肌糖元和肝糖元大量消耗,致使机体代谢发生紊乱,因而 35.5℃箱中的草鱼鱼种发生萎瘪病,死亡率很大。该病只出现在试验的第一个月内,试验后期未发生此病,这说明一部分鱼是可以在此温度中逐渐适应、生长的,而且这部分鱼的摄食率非常高,总饵料转化效率也远高于 23.0℃水族箱中鱼的总饵料转化效率。

本试验得到施正峰教授的帮助,谨致谢意。文良印同志现为青岛海洋大学 96 级博士生。

参 考 文 献

- 刘文郁,李燕鹃,陈锡涛等. 1963. 草鱼鱼种对几种植物性饲料的消化与利用. 水生生物学集刊, (3): 112~ 119.
- 汪锡钧,吴定安. 1994. 几种主要淡水鱼类温度基准值的研究. 水产学报, 18(2): 93~ 100.
- 陈少莲,刘肖芳,苏泽古. 1993. 我国淡水优质草食性鱼类的营养和能量学研究①: 草鱼、团头鲂对七种水生高等植物的最大摄食量和消化率的测定. 水生生物学报, 17(1): 1~ 12.
- 雷慧僧,姜仁良,王道尊等. 1981. 池塘养鱼学. 上海:上海科学技术出版社. 74.
- Colle D E, Shireman J V, Rottmann R W. 1978. Food selection by grass carp fingerlings in a vegetated pond. Trans Am Fish Soc, 107(1): 149~ 152.
- Fange R, Grove D. 1979. Fish physiology: Vol (II). New York: Academic Press. 162~ 260.
- Hewett S W, Johnson B J. 1992. An upgrade of a generalized bioenergetics model of fish growth for microcomputers. USA: UWSGI. 21~ 26.
- Kilambi R V, Robison W R. 1979. Effects of temperature and stocking density on food consumption and growth of grass carp. J Fish Biol, 15: 337~ 342.
- Shireman J V, Rottmann R W, Aldridge F J. 1983. Consumption and growth of hybrid grass carp fed four vegetation diets and trout chow in circular tanks. J Fish Biol, 22: 685~ 693.
- Sutton D L, Blackburn R D. 1973. Aquatic plant control program: tech rep 4. Vicksburg, MS: U. S. Army Engineer Water Ways Experiment station. D1~ D42.
- Sutton D L. 1974. Utilization of hydrilla by white amur. Hyacinth Cont J, 12: 66~ 70.