

# 白暨豚饲养池水质某些理化因子的变动规律

王克雄 官之梅

(中国科学院水生生物研究所, 武汉)

## 提 要

自来水中的低量余氯对白暨豚无明显的刺激作用。豚池水温的变化情况与长江中、下游相似, 极温对豚有不利影响。不同温度下, 池水中磷酸盐含量的日增加率有显著差异, 铵氮和硝酸盐氮的日增加系数相近, 分别为 0.327 和 0.2468, 而亚硝酸盐氮的日增加系数在 0.397—0.539 之间, 受温度的影响较大。池水有机物耗氧量增加不显著, 含量与时间的相关式符合  $Y = aX^b$  型。缺少阳光照射是池水无机氮化合物增加较快、有机物分解较慢的原因之一。

关键词 白暨豚, 人工饲养, 水质

对豢养豚类水环境的研究, 既可以了解动物的生活习性, 又可以为豚类饲养池水处理系统的设计提供理论依据。国外许多学者对海豚饲养池的水质状况作过研究和报道<sup>[5-11]</sup>。我国稀珍动物白暨豚 (*Lipotes vexillifer*) 饲养池的水质状况, 官之梅等也作过研究<sup>[4]</sup>。但是, 饲养动物的活动对其栖居环境水质的影响尚未见比较系统的报道。作者于 1985—1986 年较系统地进行了这方面的研究, 其结果可供确定白暨豚饲养池水质标准和设计水循环处理系统参考。

## 条件与方法

实验用的两个豚池均为钢筋混凝土结构, 1 号池有遮阳设施(有棚), 贮水量为 450m<sup>3</sup>, 饲养豚体重为 125 kg, 日食量 7.5—9.0 kg; 2 号池无棚, 贮水量为 530m<sup>3</sup>, 饲养豚体重 60 kg, 日食量 4.5—5.0 kg。测定分析水样均采自 1 号豚池, 2 号池水样仅在进行有棚豚池与无棚豚池水质变化对照实验时采集。实验后期 2 号池中的豚迁入 1 号池。

每次加入自来水之前, 用板刷刷净池壁和池底着生的藻类, 清除沉积物, 然后一次注入新鲜自来水。

从加水后第二天开始采样测定, 每一温度组(低于 14℃、14—22℃ 和高于 22℃) 连续测定 9—10 天。水样采自 1.5—2.0m 深的水层。水温现场测定, 其余项目在 2—3h 内测毕。

测定仪器：水下温度计、pH计和721型分光光度计等。耗氧量采用酸性高锰酸钾煮沸法，其余项目均用常规法<sup>[1,2]</sup>。必要时，测定所用水样都经过澄清。

## 结果与讨论

### 1. 水温

1号池水温的昼夜差一般不超过0.3℃(图1)。2号池在高温季节池水的昼夜温差可达0.5℃。两豚池全年均没有“温跃层”出现。

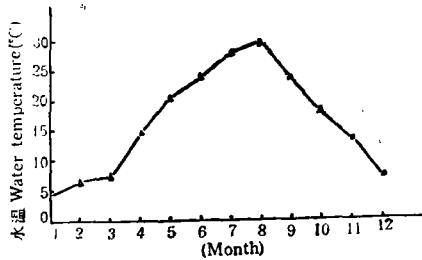


图1 1号池月平均水温周年变化(1985)

Fig. 1 Monthly mean water temperature in the pool No. 1 (1985)

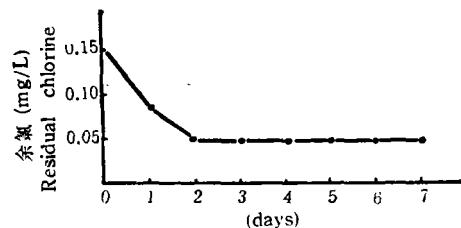


图2 1号池水中余氯变化曲线(1986年4月13日—20日, 16.0℃)

Fig. 2 The changes of residual chlorine in the pool No. 1 (Apr. 13—20, 1986. 16.0℃)

长江干流区最冷为1月份, 最热为7、8月份, 汉口江段1月份平均水温为5.7℃, 8月份为27—28℃<sup>[3]</sup>。豚池水温的变化情况和长江中、下游相似, 但是豚池的极温可达3—4℃和30—31℃。水温接近上、下限温度时, 豚会出现拒食和行动迟缓等不良反应。长江中的白暨豚可以选择临时栖息水区来缓和高、低温所造成的不适。因此, 对豚池水温进行适当的控制是很有必要的。恒河豚(*Platanista gangetica*)的饲养水温为22—23℃<sup>[10]</sup>, 香港海洋公园采用15—25℃的海水饲养宽吻海豚(*Tursiops truncatus*)<sup>[6]</sup>。考虑到冬季动物训练的需要, 建议白暨豚的饲养水温为15—25℃。

### 2. 余氯

自来水中总余氯的含量一般不低于0.1mg Cl<sub>2</sub>/L, 水注入豚池之后, 大面积曝气使得其在1—2天内降至最低水平(图2)。可以认为0.05mg Cl<sub>2</sub>/L是豚池中结合态氯的含量水平。

水中游离态和结合态氯对豚均有刺激和毒害作用。一般认为前者的杀菌效率高于后者, 但是对海豚而言, 游离态氯的刺激作用在一定程度上小于结合态氯。池水中氯胺类物质的增加会刺激动物的眼睛和皮肤<sup>[8]</sup>。Andersen曾观察到生活在0.1—0.2ppm游离余氯池水中的鼠海豚(*Phocoena phocoena*)只在开始的一个月内出现“皮肤反应”<sup>[6]</sup>。Dudok将两头海豚放入一游离氯水平为30ppm、结合态氯为零的新豚池中, 亦未见其有闭合眼睛、皮肤脱皮等负反应<sup>[8]</sup>。豚池水处理系统中, 在絮凝、过滤之后再施以氯气消毒, 水中游离氯在短时间内可以达到很高浓度, 其杀菌消毒的效果较明显, 同时, 还可以减少池水消

毒过程中出现的氯胺类物质。海洋公园规定，哺乳动物池水中结合态氯的水平为 1.0—1.5 ppm<sup>[7]</sup>。Andersen 认为，室内池水中的结合态氯的含量应保持在 4.0 ppm 的水平，宽吻海豚在这样的水中可生活多年<sup>[6]</sup>。

白暨豚池中游离态和结合态氯的含量都很低，对豚无明显的毒害作用。

### 3. 有机物耗氧量

豚池中有机物的主要来源是动物排出的粪便和随食物一起进入水体的鱼鳞、粘液等杂物。自来水中的有机物耗氧量一般低于 2.0—3.0 mg O<sub>2</sub>/L，换水 10 天后，亦不过增加至 3.0—4.0 mg O<sub>2</sub>/L。图 3 是不同温度条件下，1 号池水中有机物耗氧量的变化曲线。

它们的回归方程分别为：

水温 6.6 ± 0.31°C 时

$$C = 2.7740t^{0.2370} \quad (n = 9 \quad R = 0.884) \quad ①$$

水温 17.9 ± 1.8°C 时

$$C = 1.5861t^{0.2396} \quad (n = 9 \quad R = 0.864) \quad ②$$

水温 24.4 ± 2.1°C 时

$$C = 1.7628t^{0.2193} \quad (n = 10 \quad R = 0.891) \quad ③$$

比较回归方程②和③<sup>[2]</sup>，得

$$t_b = 0.3053 < t_{0.1(15)} = 1.75,$$

$$t_a = 1.3217 < t_{0.1(15)}.$$

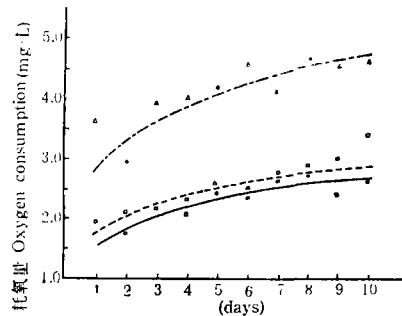


图 3 1号池有机物耗氧量的变化曲线

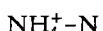
Fig. 3 The changes of oxygen consumption of organic matter in the pool No. 1

△ —···— 6.6 ± 0.31°C    ○ — 17.9 ± 1.8°C    □ —···— 24.4 ± 2.1°C

两回归式的回归系数和常数项均无显著差异，用同样的方法比较了①、③和①、②，它们的回归系数彼此间均无显著差异。据此可以认为，在以上 3 种不同的温度下，池水有机物耗氧量的含量变化的时间指数是相近的。通过加权法求得共同的 *b* 值为 0.2285，即在一定温度范围内，池水有机物耗氧量的含量变化的时间指数是相对稳定的，约为 0.2285。

### 4. 无机氮化合物

无机氮化合物在不同温度下的测定值见表 1，水停留时间和其含量的相关曲线见图 4-6。它们的回归方程分别为：



水温 10.4 ± 0.97°C 时

$$C = 0.05704e^{0.3009t} \quad (n = 9 \quad R = 0.925) \quad ④$$

水温 17.9 ± 1.9°C 时

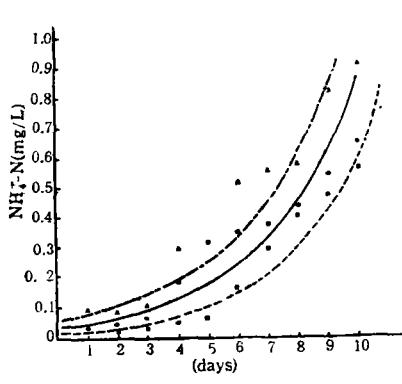
$$C = 0.03590e^{0.3192t} \quad (n = 9 \quad R = 0.827) \quad ⑤$$

水温 27.7 ± 0.76°C 时

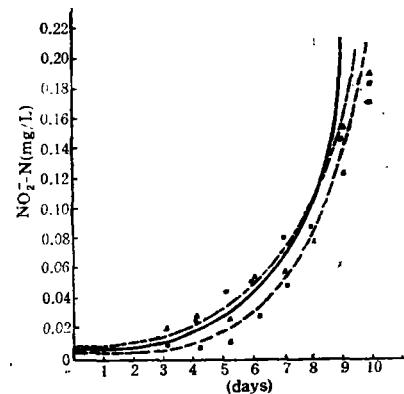
$$C = 0.01684e^{0.3590t} \quad (n = 10 \quad R = 0.966) \quad ⑥$$



水温 10.4 ± 2.1°C 时

图4 1号池  $\text{NH}_4^+$ -N含量的变化曲线Fig. 4 The changes of the contents of  $\text{NH}_4^+$ -N in the pool No. 1

$\Delta$ — $\cdots\cdots$   $10.4 \pm 0.97^\circ\text{C}$      $\circ$ — $\cdots\cdots$   $17.9 \pm 1.9^\circ\text{C}$   
 $\square$ — $\cdots\cdots$   $27.7 \pm 0.76^\circ\text{C}$

图5 1号池  $\text{NO}_2^-$ -N含量的变化曲线Fig. 5 The changes of the contents of  $\text{NO}_2^-$ -N in the pool No. 1

$\Delta$ — $\cdots\cdots$   $10.4 \pm 2.1^\circ\text{C}$      $\circ$ — $\cdots\cdots$   $17.9 \pm 1.9^\circ\text{C}$   
 $\square$ — $\cdots\cdots$   $27.7 \pm 0.76^\circ\text{C}$

$$C = 0.00406e^{0.3971t} \quad (n = 9 \quad R = 0.977) \quad (7)$$

水温  $17.9 \pm 1.9^\circ\text{C}$  时

$$C = 0.00270e^{0.4613t} \quad (n = 10 \quad R = 0.787) \quad (8)$$

水温  $27.7 \pm 0.76^\circ\text{C}$  时

$$C = 0.00103e^{0.5387t} \quad (n = 10 \quad R = 0.969) \quad (9)$$

 $\text{NO}_3^-$ -N水温  $6.6 \pm 0.31^\circ\text{C}$  时

$$C = 0.1627e^{0.1869t} \quad (n = 10 \quad R = 0.961) \quad (10)$$

水温  $19.1 \pm 0.93^\circ\text{C}$  时

$$C = 0.0992e^{0.2847t} \quad (n = 10 \quad R = 0.922) \quad (11)$$

水温  $27.7 \pm 0.76^\circ\text{C}$  时

$$C = 0.04578e^{0.2660t} \quad (n = 10 \quad R = 0.940) \quad (12)$$

比较回归式④、⑥, 得:

$$t_b = 1.0431 < t_{0.1(15)}, \quad t_a = 4.4721 > t_{0.1(15)}$$

这说明④和⑥的回归系数无显著差异, 而常数项差异显著。用同样的方法对④和⑤及⑤和⑥进行了比较, 发现它们的回归系数彼此间均无显著差异, 用加权法求得共同的回归系数为 0.3271。因此认为池水中铵氮的日增系数平均为 0.3271。

比较回归式⑦和⑨, 得:

$$t_b = 3.240 > t_{0.1(15)}, \quad t_a = 6.043 > t_{0.1(15)}$$

用同样的方法对⑦和⑧及⑧和⑨作了比较, 它们的回归系数彼此间无显著差异。但是⑦和⑨的回归系数有显著差异。据此可以认为, 温度对池水中亚硝酸盐氮的含量水平是有较大程度影响的。

用同样的方法对回归式⑩、⑪和⑫进行相互比较, 发现它们的回归系数彼此间均无显

表 1 1号池某些化学因子的变化概况

Tab. 1 Variations of some chemical factors in pool No. 1

项 目 Item	注水日期 Date of water-filling	水 温 Water temperature (mean $\pm$ S.D., °C)				水停留时间和实验结果(毫克/升) Water retention period (day) and chemical estimates (mg/L)				池中动物数量 Number of animal in pool
		1	2	3	4	5	6	7	8	
$\text{NH}_4^+$ -N Oxygen consumption (毫克/升) Oxygen consump-tion (mg/L)	Dec. 23, 1986	6.6 $\pm$ 0.31	—	2.95	3.92	4.00	4.14	4.57	4.09	4.63
	Apr. 25	17.9 $\pm$ 1.8	—	1.75	2.08	2.28	2.36	2.69	2.73	2.40
	May 29	24.4 $\pm$ 2.1	1.96	2.04	2.19	2.03	2.41	2.48	2.62	2.84
$\text{NO}_2^-$ -N	Mar. 14	10.4 $\pm$ 0.97	0.078	0.084	0.095	0.290	—	0.515	0.555	0.568
	Apr. 25	17.9 $\pm$ 1.9	—	0.040	0.068	0.185	0.313	0.347	0.370	0.438
	Jul. 26	27.7 $\pm$ 0.76	0.052	0.027	0.038	0.046	0.067	0.140	0.289	0.335
$\text{NO}_3^-$ -N	Mar. 14	10.4 $\pm$ 2.1	0.0036	0.0074	0.0230	0.0300	—	0.0528	0.0580	0.0780
	Apr. 25	17.9 $\pm$ 1.9	0.0017	0.0068	0.0148	0.0260	0.0456	0.0514	0.0796	0.1060
	Jul. 26	27.7 $\pm$ 0.76	0.0019	0.0024	0.0041	0.0155	0.0156	0.0307	0.0494	0.0864
$\text{PO}_4^{3-}$	Dec. 23	6.6 $\pm$ 0.31	0.151	0.237	0.302	0.403	0.448	0.578	0.602	0.773
	Sep. 22	19.1 $\pm$ 0.93	0.096	0.169	0.208	0.404	0.510	0.714	0.830	0.972
	Jul. 26	27.7 $\pm$ 0.76	0.054	0.075	0.103	0.116	0.204	0.261	0.316	0.429
$\text{PO}_4^{3-}$	Dec. 23	6.6 $\pm$ 0.31	0.663	1.47	2.17	3.02	3.11	3.72	4.66	5.08
	Sep. 22	19.1 $\pm$ 0.93	0.586	0.802	1.28	1.72	2.19	2.85	2.87	3.11
	Jul. 26	27.7 $\pm$ 0.76	0.146	0.335	0.597	0.756	1.03	1.25	1.32	1.76

\* 实验后期 2号池中的一头豚迁入 1号池

The dolphin in pool No. 2 moved into the pool No. 1 at the late stage of the experiment

著差异，用加权法求得它们的共同回归系数为 0.2468。可以认为，当动物数量一定时，水体的硝酸盐氮的日增加系数是相近的，平均约为 0.2468。

白暨豚专以蛋白质含量很高的鱼类为食，其排泄物中尿素、尿酸的成份较高，这是豚池水中铵氮含量增高较快的原因之一，另是 1 号豚池终年缺少阳光照射，水中浮游植物的光合作用较弱，对铵氮的消耗较少。池水溶氧充足(高于 5.0 mg/L)，生物脱氮作用不显著，加之大多数藻类优先利用铵氮，所以硝酸盐氮出现积累，水体中氮循环缓慢，造成亚硝酸盐氮积累。从表 2 所列出的实验结果可进一步得到说明。

高含量的亚硝酸盐和铵(氨)对动物有毒害作用。海洋公园哺乳动物池中铵氮和亚硝酸盐氮的含量均低于 0.1 ppm，硝酸盐氮的含量低于 5.0 ppm<sup>[7]</sup>。Pilleri 报道恒河豚饲养池中以上 3 种氮的含量分别为铵氮 0.8 mg/L、亚硝酸盐氮 0.0046 mg/L 和硝酸盐氮 2.0 mg/L<sup>[10]</sup>。显然，控制池水中亚硝酸盐氮的含量是改善白暨豚栖居环境的重要环节。由于只换水而不清洗豚池，这些有害成份会持续积累，清洗豚池后 30 天，池水中铵氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮分别可达到 0.8 mg/L、0.3 mg/L 和 2.5 mg/L。

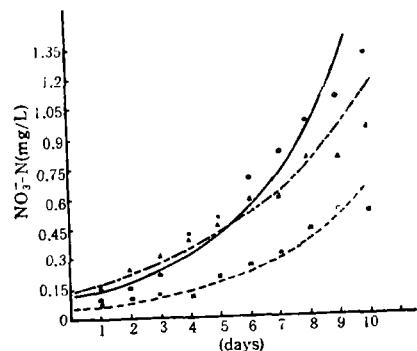


图 6 1号池  $\text{NO}_3^-$ -N 含量的变化曲线

Fig. 6 The changes of the contents of  $\text{NO}_3^-$ -N in the pool No. 1

$\triangle$  —— 6.6  $\pm$  0.31°C;  $\circ$  — 19.1  $\pm$  0.93°C;  $\square$  —— 27.7  $\pm$  0.76°C

表 2 有棚池(1号池)和无棚池(2号池)对照实验结果

Tab. 2 Comparision of N-contents in the shed-pool and the exposed pool

项 目 Item	池 号* No. of pool	水贮存时间(天)和实验结果(毫克/升) Water retention period (day) and N-contents (mg/L)				
		1	2	4	6	7
$\text{NH}_4^+$ -N	1	0.052	0.027	0.046	0.14	0.29
	2	0.046	0.030	0.046	0.061	0.036
$\text{NO}_2^-$ -N	1	0.0019	0.0024	0.012	0.031	0.049
	2	0.0036	0.0036	0.006	0.038	0.0034
$\text{NO}_3^-$ -N	1	0.055	0.075	0.12	0.26	0.32
	2	0.052	0.043	0.023	0.039	0.044

\* 1号池水温为 27.7  $\pm$  0.76°C 2号池水温为 29.1  $\pm$  0.51°C

Water temperature in pool No. 1 27.7  $\pm$  0.76°C Water temperature in pool No. 2 29.1  $\pm$  0.51°C

## 5. 磷酸盐(活性磷)

测定结果见表 1。图 7 为水在豚池中停留的时间和水体磷酸盐含量的相关曲线。

它们的回归方程分别为：

水温 6.6  $\pm$  0.31°C 时

$$C = 0.4301 + 0.5552t \quad (n = 10 \ r = 0.9889 \ P < 0.05) \quad (13)$$

水温  $19.1 \pm 0.93^\circ\text{C}$  时

$$C = 0.1854 + 0.3847t \quad (n = 10 \ r = 0.9919 \ P < 0.05) \quad (14)$$

水温  $27.7 \pm 0.76^\circ\text{C}$  时

$$C = -0.0649 + 0.2122t \quad (n = 10 \ r = 0.9948 \ P < 0.05) \quad (15)$$

对以上 3 式相互比较发现, 它们的回归系数彼此间均存在显著差异。温度越高, 池水中磷酸盐的日增加率越低。

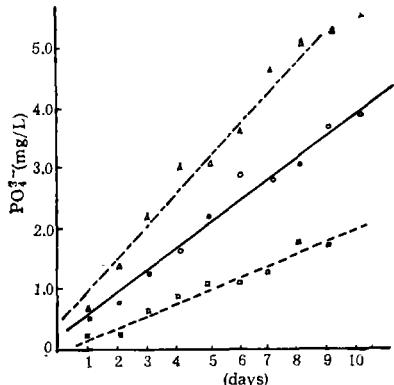


图 7 1 号池  $\text{PO}_4^{3-}$  含量的变化曲线

Fig. 7 The changes of the contents of  $\text{PO}_4^{3-}$  in the pool No. 1

△ —···— 6.6 ± 0.31°C; ○ — 19.1 ± 0.93°C; □ —···— 27.7 ± 0.76°C

池中磷酸盐的来源仍以动物排泄物为主。海洋公园规定豚池中正磷酸盐的含量应低于  $2.0 \text{ ppm } \text{PO}_4^{3-}$ <sup>[6]</sup>。1号池水中磷酸盐的最高含量可达  $6.0 \text{ mg/L}$  (图 7)。

## 结 论

1. 在高、低温季节, 往往会出现对豚不利的极温, 在无控温设施的情况下, 可采用增加豚池贮水量、人工制造水流、投冰块和加棚等方法缓和极温。

2. 3 种无机氮化合物中, 亚硝酸盐氮的日增加系数最高, 因此可将其作为豚池水质恶化的敏感因子, 应控制其含量在  $0.1 \text{ ppm}$  以下。

3. 按 Ridgway 的海豚池水最小交换率的公式<sup>[11]</sup>: GPM (每分钟交换水的加仑数) =  $(4 \times \text{TC}/1000) + (0.5 \times \text{TC} \times \text{AW}/100000)$ 。

则对于 1 号豚池, TC (总贮水量) =  $450 \text{ m}^3 = 1.19 \times 10^5$  加仑, AW (动物总重) =  $125 \text{ kg}$ , 求得  $\text{GPM} = 550$ 。即 1 号池水的最小交换率应为  $2.1 \text{ m}^3/\text{min}$ , 亦即  $3.6 \text{ h}$  应将池水全部更换一次。但这是很困难的, 建议 5—7 天换水一次, 2—3 个周期后, 对池底沉积物进行一次彻底的清除。

4. 豚池顶棚可设计成半封闭式, 四周的墙壁应有较多的通风口, 这样既利于控温, 又可降低水中有毒的亚硝酸盐和铵(氨)的含量。

5. 从余氯来考虑, 自来水完全适于养豚。采用氯气消毒池水的豚池, 可定期更换部分循环水, 以降低水中氯胺等毒物的含量水平。

6. 池水中如此高的亚硝酸盐对豚有无毒害作用? 这一问题有待更进一步的研究。

## 参 考 文 献

- [1] 中国医学科学院卫生研究所, 1973。水质分析法。卫生出版社。
- [2] 邓 勃, 1984。数理统计方法在分析测试中的应用。168—185 页。化学工业出版社。
- [3] 陈佩薰、刘沛霖、刘仁俊、林克杰、G. 皮莱里, 1980。长江中游(武汉—岳阳)白暨豚的分布、生态、行为和保护。海洋与湖沼, 11(1): 73—83。
- [4] 官之梅、陈道权、王克雄, 1987。白暨豚饲养池水质状况的研究。水生生物学报, 11(2): 187—190。
- [5] 湛江水产专科学校(主编), 1980。淡水养殖水化学。农业出版社。

- [6] Andersen, S. H., 1974. The measurement of some pool parameters. *Aquatic Mammals*, 2(2): 8—11.
- [7] Clegg, C. D., 1977. Plant installations at Ocean Park. Hong Kong Engineer, Sep., pp. 15—23. Hong Kong.
- [8] Dudok Van Heel, W. H., 1983. Chlorination in marine mammal pools: a reappraisal. *Aq. Mam.*, 10(1): 23—30.
- [9] Gewalt, W., 1977. Ultraviolet sterilization of water in a pool for tonia, *Imia geoffrensis*. *Aq. Mam.*, 5 (3): 69—71.
- [10] Pilleri, G., 1970. Feeding behaviour of the Gangetic dolphin *Platanista gangetica* in captivity. Investigation on Cetacea. ed. by G. Pilleri, Vol. 2 pp. 69—73. Berne.
- [11] Ridgway, S. H., 1972. Homeostasis in the aquatic environment. in Mammals of the Sea. ed. by S. H. Ridgway. Charles C. Thomas Publisher. pp. 693. Springfield.

## CHANGES OF CERTAIN PHYSICAL AND CHEMICAL FACTORS IN A POOL REARING CHINESE RIVER DOLPHIN, *LIPOTES VEXILLIFER*

Wang Kexiong and Guan Zhimei

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan)

### Abstract

Regression formulas relating water retention period to oxygen consumption, and contents of inorganic nitrogen and phosphate in a shaded dolphin pool are presented. The time exponent of the consumed oxygen is 0.2285. The diel increasing coefficients of ammonia, nitrate are 0.327 and 0.2468, respectively, while the nitrite is in the range of 0.397—0.539. The diel increasing rate of phosphate is 0.2—0.6. To improve living condition for the dolphin, it is necessary to regulate the NO<sub>2</sub>-N content in the pool water not higher than 0.1ppm, although the residual chlorine in supplied tap water was found harmless to the animal.

**Key words** Chinese river dolphin, Water quality