

浮游生物生物量指数作为水库营养状态和鱼产力评估指标的作用*

THE USES OF PLANKTON BIOMASS INDEX (BI) AS AN INDICATOR IN ASSESSMENT OF RESERVOIR TROPHIC STATUS AND FISH PRODUCTIVITY

卢敬让 李德尚

Lu Jingrang Li Deshang

(青岛海洋大学, 青岛, 266003)

(Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003)

5964.6

浮游生物是鲢鳙鱼的天然饵料, 其丰度是衡量水库水质肥瘦的重要标志, 因此也被用作评价水库鱼产力的重要指标^[1]。但在作为评估水库鱼产力的指标中, 更偏向于应用浮游植物生物量、初级生产力和优势种^[1-3]。只用一方面的指标因有片面性而效果不好, 主要根据是各水库的浮游动物和浮游植物的比值不同, 以及两者的变动节律不同。因此, 根据经验和有关研究^[4], 本文研制了一种将浮游植物和浮游动物生物量结合在一起构成的浮游生物生物量指数指标来评估水库营养状态和鱼类生产, 以期对水库鱼产力和营养状态的评估和生产实践提供一种经济可靠的方法。

1 材料和方法

本文所用资料来自于(1)大泽山水库 1988 年全年和夏秋 2 个施肥周期的调查资料, 表 1 列出浮游植物生物量($B_p, \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 浮游动物生物量($B_z, \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 叶绿素总量($Chl, \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)和初级毛产量($P_p, \text{g} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$); (2)山东省 1989—1990 年 36 个大中型代表水库各水库间同步调查资料, 表 2 列出各代表水库及大泽山水库的养鱼面积(A, hm^2), 养鱼面积时的库容($V, 10^4 \text{m}^3$), 平均水深(Z, m), 透明度(SD, m), 总氮($TN, \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 总磷($TP, \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 化学耗氧量($COD, \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 浮游植物生物量($B_p, \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 浮游动物生物量($B_z, \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 最近 10a 平均放养量($N, \text{ind}/\text{hm}^2$)和最近 10a 平均渔获量($Y, \text{kg}/\text{hm}^2$)。具体材料和方法详见文献[4]和[5]。

浮游生物生物量指数(BI)定义为:

$$BI(i) = \frac{B_p(i)}{B_p} + \frac{B_z(i)}{B_z}$$

式中, B_p 和 B_z 分别为所统计样本(水域)浮游植物和浮游动物平均生物量; $B_p(i)$ 和 $B_z(i)$ 为第 i 样本的浮游植物和浮游动物生物量。

鱼类生长指数(GI)定义为: 设 $\Delta WS(i)$ 、 $\Delta WB(i)$ 分别为某年第 i 个水库 2+ 龄鲢鳙的体重增长量, ΔWS 、 ΔWB 分别为该年所有研究水库 2+ 龄鲢和鳙的体重增长量的平均值, $PS(i)$ 、 $PB(i)$ 分别为第 i 个水库中鲢和鳙所占的比例($PB(i) = 1 - PS(i)$), 则该年第 i 个水库鱼类生长指数 $GI(i)$ 为

* 本文为高校博士点专项科研基金及山东省自然科学基金资助项目的部分成果。

收稿日期: 1993.08.06, 修改稿收到日期: 1994.02.10。

$$GI(i) = \frac{\Delta WS(i)}{\Delta WS} \cdot PS(i) + \frac{\Delta WB(i)}{\Delta WB} \cdot PB(i)$$

表 1 1988 年大泽山水库全年和 2 个施肥周期中的浮游植物和浮游动物生物量、叶绿素总量和初级毛产量的调查结果

Table 1 The results of the investigations on the biomass of phytoplankton (Bp) and zooplankton (Bz), the total amounts of chlorophyll (Chl) and the gross primary production (Pp) throughout the year and during two fertilization cycles in 1988

每半月调查资料					施肥周期中调查资料				
Data from semimonthly investigation					Data from the investigations during fertilization cycles				
日期 Date	Bp ($mg \cdot L^{-1}$)	Bz ($mg \cdot L^{-1}$)	Chl ($\mu g \cdot L^{-1}$)	Pp ($g \cdot O_2 \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$)	日期 Date	Bp ($mg \cdot L^{-1}$)	Bz ($mg \cdot L^{-1}$)	Chl ($\mu g \cdot L^{-1}$)	Pp ($g \cdot O_2 \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$)
3.30	9.14	0.36	22.9	2.61	6.6	15.5	0.65	36.9	2.26
4.16	14.62	0.31	45.4	2.76	6.8	30.0	1.43	90.9	7.63
4.28	7.60	0.34	19.7	1.82	6.10	32.7	1.70	103.1	6.72
5.15	6.37	0.63	14.0	2.48	6.12	26.5	1.70	81.6	6.78
5.30	10.26	0.46	28.4	2.71	6.14	22.7	2.86	46.2	3.19
6.14	22.70	2.86	46.2	3.19	6.16	19.2	0.88	60.8	3.57
6.29	16.82	0.58	63.4	2.95	9.12	7.27	0.98	57.7	4.90
7.15	25.00	0.30	75.3	5.75	9.14	8.85	1.13	42.6	5.11
7.31	12.30	0.61	45.3	5.83	9.16	10.95	1.39	49.8	8.70
8.15	29.20	0.80	115.5	4.98	9.18	22.8	1.08	72.7	5.76
8.30	15.90	2.16	76.0	5.24	9.20	23.3	1.21	94.5	6.35
9.14	8.85	1.13	42.6	5.11	9.22	22.5	1.01	66.6	3.57
9.26	19.50	1.59	41.1	2.08	9.24	15.5	1.51	60.1	4.16
10.15	9.06	0.79	58.1	2.08	9.26	19.5	1.59	41.1	2.08

表 2 大泽山水库和 36 座大中型代表性水库水库条件、水化学和生物学性状及渔业情况

Table 2 Reservoir condition, chemical and biological characteristics and fisheries of Dazeshan Reservoir and the 36 large and middle sized representative reservoirs

水库 Reservoir	$A^{(1)}$ (hm^2)	$V^{(2)}$ ($10^4 m^3$)	$Z^{(3)}$ (m)	$SD^{(4)}$ (m)	$TN^{(5)}$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$TP^{(6)}$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$COD^{(7)}$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$Chl^{(8)}$ ($\mu g \cdot L^{-1}$)	$Bp^{(9)}$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$Bz^{(10)}$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$N^{(11)}$ ($ind \cdot m^{-2}$)	$Y^{(12)}$ ($kg \cdot hm^{-2}$)
大泽山 Dazeshan	75	102.4	2.81	0.21	1.02	0.033		39.2	11.20	0.74		
龙门口 Longmenkou	4900	1600	4.96	0.98	1.79	0.015	14.8	12.7	3.72	0.67	104	4.8
勾山 Goushan	3825	703	2.75	0.40	1.46	0.026	18.7	6.9	2.74	0.42		
里店 Lidian	2640	400	2.51	0.44	1.84	0.024	22.8	22.4	4.92	0.75	113	14.5
沐裕 Muyu	8550	5500	9.50	1.57	1.73	0.025	18.3	10.3	3.32	0.24	48	4.2
龙泉 Longquan	1600	600	6.53	1.07	1.79	0.025	10.0	3.7	0.94	0.24	67	4.6
米山 Mishan	19500	5800	4.51	0.38	1.38	0.034	10.5	19.2	4.47	0.63		
后龙河 Houlonghe	2900	810	4.35	1.10	1.80	0.029	17.6	13.5	3.47	0.98	120	22.8
龙角山 Longjiaoshan	4875	1400	4.47	0.73	1.80	0.019	8.5	11.3	3.90	1.38	60	6.0
采山 Caishan	1400	390	8.54	0.70	1.50	0.017	9.5		5.43	1.26	100	16.9
大河 Dafe	2960	1000	5.33	0.46	1.46	0.021	12.0		2.63	0.90	95	12.0
黄前 Huangqian	4800	2397	8.53	0.50	1.74	0.021	18.5		2.90	0.74	146	7.2
光明 Guangming	6400	1500	3.77	0.35	2.02	0.046	16.5	14.2	2.87	2.57	83	7.7
金斗 Jindu	3700	1200	5.10	0.44	1.64	0.024	10.0	13.2	3.50	2.77	110	7.4

水库 Reservoir	$A^{(1)}$ (hm^2)	$V^{(2)}$ (10^4m^3)	$Z^{(3)}$ (m)	$SD^{(4)}$ (m)	$TN^{(5)}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$TP^{(6)}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$COD^{(7)}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$Chl^{(8)}$ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	$Bp^{(9)}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$Bz^{(10)}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$N^{(11)}$ (ind $\cdot \text{hm}^{-2}$)	$Y^{(12)}$ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
雪野 Xueye	9800	2780	5.16	0.34	2.38	0.045	15.0		4.82	3.35	60	11.2
东周 Dongzhou	6747	2000	5.52	0.66	1.84	0.027	10.0	10.6	2.01	1.22		
凌山头 Lingshantou	2040	600	4.66	0.45	1.39	0.012	8.5		5.83	0.06	110	1.6
石泉湖 Shiquanhu	3780	1100	4.31	1.17	1.64	0.018	12.0	20.4	5.38	1.10	59	4.9
沙沟 Shagou	4725	2800	7.02	0.35	1.52	0.022	14.0	11.4	9.84	0.90	42	5.7
青峰岭 Qingfengling	2900	1500	7.41	0.30	1.85	0.033	16.3	11.5	5.97	2.13	65	4.9
施庄 Shizhuang	1660	265	2.30	0.75	1.53	0.029	11.5	4.2	1.66	0.76	131	1.3
古城 Gucheng	1680	380	3.42	0.45	2.06	0.026	11.3		4.22	0.45	84	13.6
唐村 Tangcun	10300	280	4.51	0.15	1.64	0.019	16.0				46	1.7
许家崖 Xujia ya	13350	4300	5.20	0.25	1.44	0.026	15.0		5.79		59	7.8
岸堤 Andi	54600	22500	6.20	1.30	1.66	0.016	10.0	11.5	3.30	1.21		
跋山 Bashan	34500	19000	8.70	1.05	1.77	0.014	15.0	13.0	6.28	0.59		
会宝岭 Huibaoling	13500	4800	4.80	1.10	1.72	0.009	10.0		2.78	0.71		
日照 Rizhao	17000	4900	5.30	2.05	1.99	0.020	10.0	23.3	6.51	0.85	55	9.8
冶源 Yeyuan	10400	2630	3.80	0.35	2.19	0.043	26.0	13.0	4.92	0.53	90	16.8
于家河 Yujiahe	3600	1700	7.30	0.25	1.82	0.038	13.0	15.9	3.60	0.98	70	10.5
大关 Daguan	1450	520	5.30	0.90	1.51	0.018	5.0	3.7	2.47	0.35	77	1.5
大绿旺 Daluwang	1800	320	2.50	0.50	1.38	0.027	15.0	21.5	6.93	1.76	45	5.8
学庄 Xuezhuang	953	400	6.30	1.40	1.85	0.016	13.0	17.0	6.22	0.34	100	2.5
三里庄 Sanlizhuang	5850	800	2.20	0.30	1.47	0.023	18.0		5.67	1.19	95	5.5
吉利河 Jilihe	5350	1400	3.90	0.70	1.29	0.017	14.8	5.3	3.43	0.62	75	3.0
铁山 Tieshan	2850	1100	5.78	0.90	1.69	0.016	12.0	13.4	4.70	0.44	85	2.6
陡崖子 Douyazi	4125	900	3.31	1.35	1.29	0.025	16.5	13.9	4.46	0.37	90	6.6

(1)reservoir area; (2)reservoir volume; (3)average depth;

(4)the Secchi disc measurements; (5)total nitrogen; (6)total phosphorus;

(7)chemical oxygen demand; (8)total chlorophyll; (9)phytoplankton biomass;

(10)zooplankton biomass; (11)recent 10-year average numbers of fish stocked;

(12)recent 10-year average fish yields

2 结果与讨论

2.1 BI 与水库营养状态指标的关系及 BI 在评估山东省水库营养状态中的作用

选用目前普遍应用的代表水库营养水平的生物和理化指标^[2,4-9],统计分析其与 BI 之关系。

表 3 为在一个水库中浮游生物生物量指数与代表水库营养状态的初级毛产量、叶绿素总量和浮游植物生物量的回归分析和显著性检验结果,表明在两个施肥周期和每半个月取样的全年变化中结果基本一致,即 BI 与 3 个因子都呈正相关关系,其中 BI 与 B_p 和 Chl 高度相关。

表 4 为山东省 1989 年 6 月 36 座和 9 月 33 座大中型水库中的 BI 与代表水库营养状态的生物和理化因子(除去总氮,因 $TN:TP > 50$,表明 TN 在各水库中均为非限制因子)回归关系和显著性检验结果,表明 BI 与浮游植物生物量、总磷和化学耗氧量都呈显著的正相关关系,而 BI 与水库平均深度和透明度则呈显著的负相关关系。

为了说明 BI 的重要性,也分别分析了 B_p 和 B_z 与理化因子的相关性,并进行了比较,结果见表 5。由表 5 可见,BI 比 B_p 或 B_z 单独与理化因子的相关性都大,表明 BI 作为水库营养状态的评估指标更为优越。

逐步回归分析表明,水库总磷、透明度和平均深度可作为预测 BI 大小的 3 个主要因子,即

$$6 \text{ 月: } BI = 2.27 + 6.61TP - 0.63SD$$

$$n = 36, r = 0.71, F = 11.94 > F_{0.01}(2, 33) = 5.34$$

$$9 \text{ 月: } BI = 2.23 + 24.32TP - 0.16Z$$

$$n=33, r=0.65, F=13.56 > F_{0.01}(2, 30)=5.39$$

综上所述表明 BI 可以作为评价水库营养状态的较好指标。 BI 不仅与作为评价湖泊营养状态的主要指标包括总磷、总氮、化学耗氧量、透明度、平均深度、初级生产力、叶绿素和浮游生物量⁽⁸⁾有着显著的相关关系,而且与国内外普遍采用的评价内陆水域营养状态的主要指标——浮游植物生物量和总磷^(2,9)高度相关; BI 作为生物复合指标也优于浮游植物或浮游动物生物量单项因子的作用。

表 3 浮游生物生物量指数与初级毛产量、叶绿素和浮游植物生物量的回归结果,回归模

型: $\ln BI = a + b \ln x$

Table 3 Regression and significant test results used to examine the relationship between plankton biomass index and reservoir trophic status, as measured by gross primary production, chlorophyll and phytoplankton biomass, regression model: $\ln BI = a + b \cdot \ln x$

采样时间 Time of sampling	x	a	b	n	r	P
夏季施肥周期 (1988.6.4—14) The cycle of summer fertilization (On June 4—14, 1988)	$Pp(g \cdot O_2 \cdot L^{-1} \cdot d^{-1})$	-0.054	0.46	6	0.61	—
	$Chl(\mu g \cdot L^{-1})$	-0.15	0.50	6	0.81	*
	$Bp(mg \cdot L^{-1})$	-2.76	1.08	6	0.84	*
秋季施肥周期 (1988.9.12—26) The cycle of autumn fertilization (On Sep. 12—26, 1988)	$Pp(g \cdot O_2 \cdot L^{-1} \cdot d^{-1})$	-0.067	0.59	8	0.72	*
	$Chl(\mu g \cdot L^{-1})$	-1.43	0.52	8	0.76	*
	$Bp(mg \cdot L^{-1})$	-0.74	0.52	8	0.95	**
全年每半月采样一次 (1988) Every semimonth throughout the year (1988)	$Pp(g \cdot O_2 \cdot L^{-1} \cdot d^{-1})$	-0.012	0.48	14	0.40	—
	$Chl(\mu g \cdot L^{-1})$	-1.59	0.57	24	0.67	**
	$Bp(mg \cdot L^{-1})$	-1.53	0.80	24	0.76	**

(** — $P < 0.01$, * — $P < 0.05$, — — $P > 0.05$)

* 1988 年山东省大泽山水库资料

Data from Dazeshan Reservoir in Shandong Province in 1988

表 4 浮游生物生物量指数与浮游植物生物量、总磷、化学耗氧量、平均深度和透明度的回归结果,回归模型:

Table 4 Regression and significant test results used to examine the relationship between plankton biomass index and reservoir trophic status, as measured by phytoplankton biomass, total phosphorus, chemical oxygen demand, average depth and the Secchi disc measurements, regression model: $\ln BI = a + b \cdot \ln x$

x	1989.6(年·月)					1989.9(年·月)				
	a	b	n	r	P	a	b	n	r	P
$Bp(mg \cdot L^{-1})$	-0.36	0.56	36	0.59	**	-0.63	0.70	33	0.58	**
$TP(mg \cdot L^{-1})$	1.81	0.36	36	0.69	**	0.84	0.14	33	0.60	**
$COD(mg \cdot L^{-1})$	-0.12	0.22	36	0.42	**	-0.15	0.22	33	0.35	*
$Z(m)$	0.86	-0.21	36	-0.38	*	1.19	-0.42	33	-0.67	**
$SD(m)$	0.34	-0.36	36	-0.56	**	0.43	-0.30	33	-0.31	—

(** — $P < 0.01$, * — $P < 0.05$, — — $P > 0.05$)

* 1989 年山东省 36 个大中型代表水库资料

Data from 36 large-and middle-sized representative reservoirs in Shandong province in 1989

即然 BI 与叶绿素相关紧密,而且山东省水库的其它条件如总磷为限制元素也适合相崎守等人修正的卡森指数(TSI)的应用条件^[9],因此就可以推算山东省水库 BI 的营养状态指数:

根据 1989 年山东省水库叶绿素 a 浓度与 BI 之间关系式

$$\ln Chla = 1.15 + 0.82 \ln BI \quad \text{代入}$$

$$(n=33, r=0.87 > r_{0.01}=0.45)$$

$$TSI_M(Chla) = 10(2.46 + \frac{\ln Chla}{\ln 2.5})$$

$$\text{则 } TSI_M(BI) = 10(2.46 + \frac{1.15 + 0.82 \ln BI}{\ln 2.5})$$

得到山东省水库营养状态指数与 BI 的关系,并结合水库的实际情况划分了 BI 与水库营养状态的关系(表 6)。

1989 年所调查的代表性水库 BI 平均值为 2.15 ± 1.25 在 0.75—6.74 之间,因此总的看来属中富营养水平,其中,贫中-中营养水库占 34.3%、富营养水库占 5.7%、中-富营养水库占 60%。

表 5 浮游植物生物量、浮游动物生物量和浮游生物生物量指数与理化因子(总磷、化学耗氧量、平均深度和透明度)的相关性比较

Table 5 Relativity of plankton biomass index with reservoir trophic status, as measured by phytoplankton biomass, total phosphorus, chemical oxygen demand, average depth and the secchi disc measurements, in comparison with the relativity of phytoplankton biomass and zooplankton biomass with the reservoir trophic status

		1989.6(年·月), $n=36$			1989.6(年·月), $n=33$		
		$Bp(mg \cdot L^{-1})$	$Bz(mg \cdot L^{-1})$	BI	$Bp(mg \cdot L^{-1})$	$Bz(mg \cdot L^{-1})$	BI
TP	r	0.65	0.49	0.69	0.37	0.59	0.60
$(mg \cdot L^{-1})p$		**	**	**	*	**	**
COD	r	0.20	0.15	0.42	0.35	0.02	0.35
$(mg \cdot L^{-1})p$		—	—	**	*	—	*
Z	r	-0.18	-0.11	-0.38	0.43	-0.19	-0.67
$(m)p$		—	—	*	*	—	**
SD	r	-0.41	-0.17	-0.56	-0.09	-0.51	-0.31
$(m)p$		**	—	**	—	—	—
Bp	r		0.35	0.59		0.37	0.58
$(mg \cdot L^{-1})p$			*	**		*	**

(** — $P < 0.01$, * — $P < 0.05$, — — $P > 0.05$)

* 1989 年山东省 36 个大中型代表水库资料

Data from 36 large and middle sized representative reservoirs in Shandong Province in 1989

表 6 山东省水库营养状态指数(TSI_M)与浮游生物生物量指数(BI)关系及对应水库营养状态

Table 6 Relationship between the trophic status indices (TSI_M) and plankton biomass indices (BI) and the reservoir trophic status corresponding to the TSI_M and BI

TSI_M	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
BI	0.016	0.048	0.148	0.454	1.391	4.263	13.07	40.04	122.73	375.15	1152.86
营养状态	极瘦	贫营养		贫中营养	中营养	富营养	重富营养	异常富营养			
Trophic status	Extremely oligotrophic	Oligotrophic		Oligomesotrophic	Mesotrophic	Eutrophic	Seriously-eutrophic	Abnormally eutrophic			

2.2 BI 与水库鱼产力指标的关系以及 BI 在评估山东省水库鱼产力中的作用

以鱼类多年平均产量 y 和鱼类生长指数 GI 作为鱼产力指标^[5], 其与 BI 的关系为

$$GI = 0.385 + 0.184BI (r = 0.71 > r_{0.01} = 0.56, n = 20, 1989)$$

或 $GI = 0.577 + 0.36 \ln BI (r = 0.64 > r_{0.01} = 0.36, n = 20, 1989)$

$$y = 3.823BI^{0.69} (r = 0.41 > r_{0.05} = 0.36, n = 30, 1989)$$

表明, BI 与鱼产力高度相关。

为进一步查明 BI 作为生物指标在评估鱼产力中的指标作用, 还分别做了浮游植物生物量 Bp 、浮游动物生物量 Bz 和 BI 与鱼产力指标的偏相关分析, 即

$$\begin{cases} r(Bp, Y) = 0.067 < r_{0.05} = 0.44, n = 20 \\ r(Bz, Y) = 0.012 < r_{0.05} = 0.44, n = 20 \\ r(BI, Y) = 0.594 > r_{0.01} = 0.56, n = 20 \\ r(Bp, GI) = 0.17 < r_{0.05} = 0.44, n = 20 \\ r(Bz, GI) = 0.46 > r_{0.05} = 0.44, n = 20 \\ r(BI, GI) = 0.60 > r_{0.01} = 0.56, n = 20 \end{cases}$$

取自 1989 年山东省大中型水库资料

显然, BI 与鱼产力的相关性比 Bp 和 Bz 都好, 因而作为评估鱼产力的生物指标更为优越。

将所研究的山东省 36 个代表性水库根据 BI 划分出 5 级 (划分方法详见文献[5]), 5 级水库的 BI 平均值分别为 3.04、2.56、2.03、1.39 和 0.81, 基本呈等差级数 (3.00、2.50、2.00、1.50 和 1.00), 以这种 BI 等差级数表示出的水库鱼产力等级是与以水库综合环境因子为指标进行系统聚类、等级评价和回归分析所得结果基本一致。这一评估结果也与生产界原有的认识基本一致。当然, 应用这一方法也有不足。据 BI 评估水库鱼产力因要求经营合理和放养充分, 这在实践中常有困难, 另外, 这一方法给出的鱼产力估计值常是一个大致范围, 精密度不足。

参 考 文 献

- 1 曹维孝, 王尊富. 涟水水库浮游植物原初生产力的测定及鲢鳙鱼产力的估算. 淡水渔业, 1993, (3): 24—27
- 2 何志辉. 中国湖泊水库营养分类. 大连水产学院学报, 1987, (1): 1—10
- 3 张来发等. 龙头水库浮游植物初级产量, 浮游生物生物量和鲢鳙鱼产力的研究. 水产学报, 1981, 5(2): 171—177
- 4 卢敬让, 李德尚. 大泽山水库施肥养鱼条件下浮游生物的变动. 水产学报, 1992, 16(3): 256—264
- 5 李德尚等. 山东省大中型水库鱼产力的综合评估. 水产学报, 1993, 17(2): 95—104
- 6 “全国主要湖泊、水库富营养化研究”课题组. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1987, 256—281
- 7 Mills E L & Schiavone A Jr. Evaluation of fish communities through assessment of zooplankton population and measures of lake productivity. *North Am. J. Fish. Manage.*, 1982, 2: 14—27
- 8 Watson S and Kalff J. Relationships between nanoplankton and lake trophic status. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1981, 38: 960—967
- 9 Wetzel R G. *Limnology*. 2nd ed., Printed in the United States of America. CBS College Publishing, 1983, 342—407