

156 m 蓄水后三峡水库支流童庄河河口段 浮游植物群落的时空动态

朱爱民¹, 吴广兵², 梁银铨¹, 谢文星¹, 俞伏虎¹, 胡小健¹

(1. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 湖北 武汉 430079; 2. 湖北省秭归县渔政站, 湖北 宜昌 443600)

摘要:2007年3月至12月按季节对童庄河河口段浮游植物进行调查,共采集到浮游植物133种,隶属于6门62属。不同季节的种类为34~88种,拟多甲藻为春夏季、隐藻为秋冬季主要优势种类,现存量的主要组成具有明显的季节变化,多样性指数从高至低依次为夏季、冬季、秋季和春季。上、中、下游断面之间,种类主要门类组成顺序不变。夏季上游断面密度和生物量、冬季上游断面生物量显著高于中游、下游断面。多样性指数自上游断面至下游断面,秋季依次小幅下降、冬季呈依次升高趋势。0~15 m 现存量分布,春、冬季下降,夏、秋季为上升—下降分布,0 m 或1 m 最高、15 m 最低。与156 m 蓄水前同期相比,蓄水后种类增加了1.88倍,种类的主要门类组成没变。春季优势种类由3种减少到1种,秋季新出现了1种优势种类。现存量主要组成变得更单一,多样性指数下降了32.32%~85.52%。现存量的垂直分布基本不变。

关键词:三峡水库;童庄河河口段;浮游植物;时间变化;空间分布

中图分类号:Q178.1⁺4 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2009)02-0101-06

童庄河位于三峡水库湖北库区秭归县境内,为长江支流,河口距三峡大坝30 km,流域面积248 km²,多年平均流量6.4 m³/s。自2003年三峡水库蓄水至135 m 以来,2004年至2008年的每年春季在河口以上数 km 河段发生拟多甲藻(*Peridiniopsis* sp.)水华,持续时间约2个月(汤宏波等,2007;周广杰等,2006a)。在三峡水库各支流中,甲藻水华发生的范围比较广,据不完全统计共有15条支流出现甲藻(基本上为拟多甲藻)水华。

国内有关淡水甲藻水华的报道不多,针对三峡库区拟多甲藻水华的研究,仅见汤宏波等(2006)对高岚河(香溪河的1条支流)发生拟多甲藻水华的水体理化特征、浮游植物密度和叶绿素等进行了研究,但研究时间仅限于水华发生期,对易发拟多甲藻水华河段浮游植物群落的时空变化研究还未见报道。三峡工程蓄水至135 m 前后,胡征宇等(2006)对三峡水库库首(茅坪—归州段)及其主要支流(香溪河)的水体理化特征、水生生物群落、藻类水华动力学等开展了研究。2006年10月已蓄水至156 m,这次蓄水后有关三峡水库支流浮游植物的研究还未

见报道。为此,我们于2007年3月至12月按季节对童庄河频发拟多甲藻水华的河口段的浮游植物进行了全面调查,结合156 m 蓄水前童庄河已有的浮游植物报道(周广杰等,2006a;周广杰等,2006b),对该河段浮游植物群落的周年时空动态进行了研究。

1 材料与方法

1.1 研究范围及采样点

研究范围为频发拟多甲藻水华的童庄河河口段(自童庄河河口至邓家坡数 km 河段)。从上游邓家坡至下游河口共设3个采样断面,每个断面设左中右3个采样点(河流中间、距左右岸约30 m 各1个),共9个常规采样点。在中下游2个断面之间,离主河道较远、受主河道水流影响较小的河湾,设1个分层采样点(图1)。

1.2 采样时间与采样方法

2007年3月(出现拟多甲藻水华)、6月、9月和12月各采样1次。在常规采样点,分别采集浮游植物定性、定量样品。定性样品用25号浮游生物网采集,定量样品用2.5 L 采水器在0 m(表层)、1 m、3 m 和5 m 水层取水,各水层等量水样混合均匀后取1 L 定量水样。在分层采样点,用2.5 L 采水器分别在0、1、3、5、10和15 m 水层各取1 L 定量水样。所有样品现场用鲁哥氏液固定(章宗涉和黄祥飞,1993)。

收稿日期:2008-10-29

基金项目:国家自然科学基金重大项目(30490233);国家科技支撑项目(2006BAD03B00)和湖北省自然科学基金重点项目(2008CDA092)资助。

作者简介:朱爱民,1963年生,副研究员。E-mail: zham@mail.ihe.ac.cn

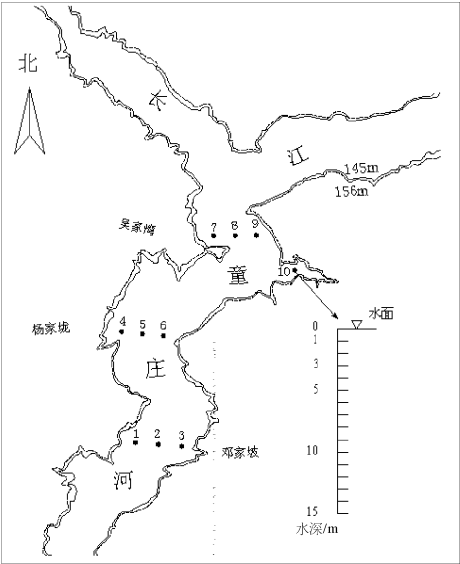


图 1 童庄河口段采样点分布
Fig.1 Sampling localities in the estuary of Tongzhuang River

1.3 样品分析和数据处理

显微镜下鉴定定性样品中浮游植物种类。定量样品在室内沉淀管中沉淀 24 h, 浓缩至 30 mL, 取 0.1 mL 于计数框内在显微镜下计数各种类的细胞密度, 用细胞体积法推算生物量 (章宗涉和黄祥飞, 1993)。对常规采样点, 分别按点、断面和季节统计浮游植物各门的种类及其细胞密度, 并统计生物量及各门组成, 计算各点、断面和季节的浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数 d , Margalef 丰富度指数 H' 和 Pielou 均匀性指数 J (周广杰等, 2006a) 以及断面、季节之间种类的相似性指数 (吴晓辉等, 2003)。分层采样点按水层统计各种类的细胞密度、生物量。

2 结果

2.1 浮游植物群落结构及季节动态

2.1.1 种类 共检出浮游植物 6 门 62 属 133 种。其中硅藻门 (Bacillariophyta) 22 属 55 种、绿藻门 (Chlorophyta) 19 属 47 种、蓝藻门 (Cyanophyta) 14 属 23 种、甲藻门 (Pyrrophyta) 3 属 3 种、裸藻门 (Euglenophyta) 3 属 3 种、隐藻门 (Cryptophyta) 1 属 2 种。春季种类最少 (34 种), 冬季种类最多 (88 种), 夏季和秋季分别有 71 种、56 种。

2.1.2 现存量组成 春、冬季种类以硅藻最多, 绿藻次之; 夏、秋季以绿藻最多, 硅藻次之; 蓝藻四季均居第 3, 甲藻、隐藻和裸藻种类较少 (表 1)。种类相似性指数, 春季与其他季节之间最低 (0.39 ~ 0.44), 秋季与冬季之间稍高 (0.49), 夏季与秋季、

冬季之间最高 (0.57)。春季密度和生物量主要是甲藻; 夏季密度主要是甲藻、绿藻、硅藻, 生物量主要是甲藻; 秋季密度和生物量主要是隐藻; 冬季密度和生物量主要是隐藻和硅藻 (表 1)。

表 1 童庄河口段各门浮游植物季节动态 %
Tab.1 Seasonal dynamics of phytoplankton in each phylum of Tongzhuang River estuary

季节	组成	蓝藻	绿藻	裸藻	硅藻	甲藻	隐藻
		门	门	门	门	门	门
春季	种类比例	11.76	23.53	-	55.88	5.88	2.94
	密度比例	0.57	1.52	-	0.43	96.73	0.75
	生物量比例	0.01	0.05	-	0.10	99.75	0.08
夏季	种类比例	21.13	42.25	-	32.39	2.82	1.41
	密度比例	12.56	19.80	-	17.06	40.98	9.60
	生物量比例	2.50	2.13	-	4.31	89.33	1.74
秋季	种类比例	17.86	41.07	1.79	32.14	3.57	3.57
	密度比例	0.42	0.73	0.04	1.48	1.21	96.11
	生物量比例	0.17	0.22	0.36	0.96	12.16	86.14
冬季	种类比例	15.91	32.95	2.27	43.18	3.41	2.27
	密度比例	4.63	9.38	0.13	32.90	0.13	52.83
	生物量比例	1.36	3.50	0.18	28.48	1.24	65.24

注: - 为未检出。

2.1.3 优势种类及相关种类 春季拟多甲藻为仅有的优势种类, 夏季仍为优势种类, 但优势度大幅下降, 针杆藻和隐藻 (*Cryptomonas* sp.) 处于次优势地位, 但优势度比拟多甲藻低得多。秋季该种隐藻成为仅有的优势种类, 冬季该种隐藻仍为优势种类, 但优势度大幅下降, 小环藻、针杆藻、直链藻处于次优势地位, 但优势度不到该种隐藻的 1/4 (表 2)。

表 2 优势种类和相关种类的优势度
Tab. 2 Dominant species and richness of them

种类	春季	夏季	秋季	冬季
拟多甲藻 <i>Peridiniopsis</i> sp.	96.73	37.52	-	0.13
隐藻 <i>Cryptomonas</i> sp.	0.75	9.60	95.71	49.87
卵形隐藻 <i>C. ovata</i>	-	-	0.40	2.96
小环藻 <i>Cyclotella</i>	-	0.55	-	12.85
针杆藻 <i>Synedra</i>	0.02	14.59	0.40	8.48
直链藻 <i>Melosira</i>	0.09	0.55	0.94	8.10

注: - 为未检出。

2.1.4 多样性指数 各采样点之间, 同一多样性指数的季节变化不完全一致, 但基本上夏季或冬季最高、春季或秋季最低。以 9 个采样点为样本得出各季节的浮游植物 d 、 H' 和 J 具有季节变化一致的规律, 从高至低依次为夏季、冬季、秋季和春季 (表 3)。

2.2 浮游植物群落水平分布

2.2.1 种类 上、中和下游断面的浮游植物主要门类组成顺序不变。春、冬季以硅藻最多, 绿藻次之; 夏、秋季以绿藻最多, 硅藻次之; 蓝藻四季居第 3, 甲藻、隐藻和裸藻种类较少。这与同季节主要门类的

组成顺序相同(表1)。各断面之间,种类相似性指数为0.56~0.77。

表3 浮游植物的 d 、 H' 、 J 季节动态
Tab.3 Seasonal changes of d ,
 H' , J indices of phytoplankton

季节	春季	夏季	秋季	冬季
Shannon-Wiener 多样性指数 d	1.04	3.44	1.48	2.91
Margalef 丰富度指数 H'	0.28	3.53	0.40	2.86
Pielou 均匀性指数 J	0.07	0.65	0.09	0.57

2.2.2 现存量 上、中、下游断面之间,春季密度(478.5 ± 211.7) $\times 10^4$ 个/L 和秋季密度(423.4 ± 8.7) $\times 10^4$ 个/L 无显著差异,春季生物量(29.397 ± 13.149)mg/L 和秋季生物量(3.255 ± 0.140)mg/L 也无显著差异。夏季上游断面密度(27.8 ± 2.2) $\times 10^4$ 个/L 极显著($P < 0.01$) 高于中游(18.4 ± 5.1) $\times 10^4$ 个/L 和下游(13.2 ± 2.3) $\times 10^4$ 个/L 断面,上游断面生物量(1.366 ± 0.278)mg/L 显著($P < 0.05$) 高于中游(0.522 ± 0.209)mg/L 断面、极显著($P < 0.01$) 高于下游(0.322 ± 0.066)mg/L 断面,中游与下游断面密度和生物量无显著差异。冬季,上、中、下游断面之间密度(4.226 ± 1.047) $\times 10^4$ 个/L 无显著差异,中游与下游断面的生物量(0.023 ± 0.0004) mg/L 也无显著差异,但上游生物量(0.037 ± 0.012)mg/L 显著($P < 0.05$) 高于中游和下游断面。

2.2.3 多样性指数 春季和夏季,多样性指数 d 、 H' 和 J 的水平分布无明显规律。秋季 d 、 H' 和 J 分布一致,上游最高(0.94、0.50、0.13)、中游次之(0.81、0.33、0.09)、下游最低(0.74、0.28、0.08)。冬季 H' 、 J 自上游(2.18、0.53)至下游(3.19、0.73)依次升高,但 d 上游(1.47)、中游(1.42)、下游(1.92)分布略有不同。

2.3 浮游植物垂直分布

2.3.1 现存量 现存量在垂直方向上(0~15 m),

春季和冬季为不同形式的下降分布,0 m 最高、15 m 最低。夏季和秋季为不同形式的上升一下降分布,1 m 最高、15 m 最低(图2)。

2.3.2 优势种细胞密度 拟多甲藻只在春、夏、冬季出现。春季为下降分布趋势,0 m 最高、15 m 最低。夏季为上升一下降分布,1 m 最高、10 m 最低。冬季只在3 m 出现(表4)。隐藻(*Cryptomonas* sp.) 四季出现。春季基本为均匀分布,夏季和冬季为下降趋势分布,0 m 最高、15 m 或10 m 最低,秋季为上升一下降分布,1 m 最高、15 m 最低(表4)。小环藻只在夏季和冬季出现,分布水层分别为5~15 m 和0~15 m,下降趋势分布,5 m 和0 m 最高、15 m 最低(表4)。

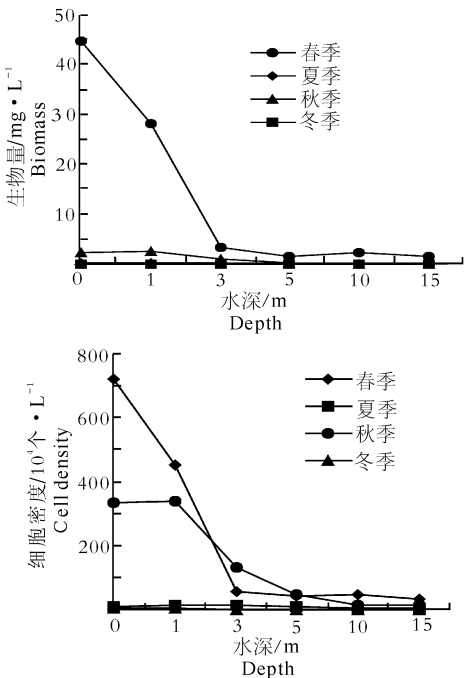


图2 浮游植物细胞密度和生物量的垂直分布
Fig.2 Vertical distribution of cell density
and biomass of phytoplankton

表4 优势种类细胞密度的垂直分布
Tab.4 Vertical distribution of dominant species cell density 个/L

季节	春季		夏季		秋季		冬季		
种类	拟多甲藻	隐藻	拟多甲藻	隐藻	小环藻	隐藻	拟多甲藻	隐藻	小环藻
水深 /m	0	7 108 954.7	9 778.5	14 667.7	20 534.8	—	3 236 676.8	—	9 778.5
	1	4 498 100.7	—	38 136.1	10 756.3	—	3 280 679.9	—	6 356.0
	3	537 816.4	19 557.0	29 335.4	18 579.1	—	1 256 534.6	488.9	4 400.3
	5	244 462.0	9 778.5	10 756.3	2 933.5	4 889.2	400 917.7	—	3 911.4
	10	352 025.3	9 778.5	1 955.7	977.8	2 933.5	146 677.2	—	488.9
	15	244 462.0	19 557.0	—	977.8	1 955.7	141 788	—	1 955.7

注:—为未检出。

3 讨论

3.1 浮游植物群落时空动态特点

浮游植物群落季节变化较大。季节之间种类数高低相差达54种,种类相似性程度偏低(0.39~0.57),多样性指数 d 、 H' 、 J 季节高低相差分别为2.31倍、11.62倍和8.51倍(表3)。主要优势种类拟多甲藻和隐藻(*Cryptomonas* sp.)优势度的季节变幅较大,分别为0.00%~96.73%和0.75%~95.71%(表2)。现存量的主要组成季节变化明显。这主要是水文情势变化引起:夏季水位最低(145 m),水体流速及流量最大、泥沙含量最高;秋季处于从145 m上升到156 m过程中,水流受到回流的顶托,水流方向与其他季节特别是夏季有较大不同;春季和冬季均处于最高水位156 m,水体流动性较差、泥沙含量最低,春季处于156 m的时间比冬季长。有关水文条件对浮游植物的影响,Sommer(1981)提出了藻类 $r-K$ 生存对策:当水体扰动大于浮游植物繁殖时间,环境更适合 r -策略者,它们能在扰动间隙迅速建立种群,通过高繁殖率来抵御高死亡率;在低扰动,则更适合 K -策略者,即那些个体大,竞争力强的浮游植物群落达到高峰。

浮游植物水平差异相对较小。河口段长度相对较短,同季节水文情势差别不大。相同季节,上、中、下游断面之间,种类的主要门类组成顺序一致,种类相似性程度偏高(0.56~0.77),多样性指数高低相差较小(27.0%~78.6%)。除夏季上游密度、生物量和冬季上游生物量与中、下游之间存在统计学差异外,其他季节各断面之间均无差异。

现存量垂直分布的季节差异主要是最高值出现的水层略有不同(0 m或1 m)。春季、秋季现存量垂直分布分别与优势种类拟多甲藻、隐藻(*Cryptomonas* sp.)的垂直分布一致;夏季细胞密度垂直分布与拟多甲藻、该隐藻、小环藻的垂直分布一定程度一致,生物量垂直分布与拟多甲藻的垂直分布基本一致;冬季现存量垂直分布与该隐藻、小环藻的垂直分布一定程度一致。

3.2 拟多甲藻与其他优势种类的演替关系

在垂直分布上,拟多甲藻出现水华的春季,无小环藻分布,相同水层拟多甲藻密度远高于隐藻(*Cryptomonas* sp.)密度;夏季拟多甲藻密度大幅下降,该隐藻在0~1 m密度大幅上升,3~15 m不同程度下降,除0 m外,相同水层拟多甲藻密度仍明显高于该种隐藻,同水层小环藻密度也比该种隐藻高;该

隐藻大量出现的秋季,无拟多甲藻和小环藻分布;冬季该隐藻密度大幅下降,小环藻密度较夏季升高,分布范围由夏季的5~15 m扩大到0~15 m,且相同水层小环藻密度明显高于该种隐藻,拟多甲藻只在个别水层出现。

在季节变化上,拟多甲藻优势度最高的春季,隐藻(*Cryptomonas* sp.)的优势度全年最低、小环藻无优势度;夏季拟多甲藻优势度大幅下降,该隐藻优势度明显上升、小环藻出现很低的优势度;秋季该隐藻优势度全年最高,此时拟多甲藻、小环藻无优势度;冬季该隐藻优势度大幅下降,拟多甲藻出现很低的优势度,小环藻优势度全年最高(表2)。

一些作者认为,硅藻(小环藻)、隐藻与甲藻水华的发生具有一定关系(汤宏波等,2007;王海珍等,2004;王武,1981)。童庄河河口段出现拟多加藻水华的春季,正是隐藻(*Cryptomonas* sp.)、小环藻的优势度分别在秋、冬季达到最高之后,王武(1981)发现在隐藻(*Cryptomonas*)大量繁殖后,蓝绿色裸甲藻(*Gymnodinium* sp.)水华逐渐形成,认为隐藻是蓝绿色裸甲藻水华的前兆。但是,隐藻(*Cryptomonas* sp.)在河口段四季出现,只在秋季和冬季成为优势种类,与该种隐藻同属一门的卵形隐藻也在秋季和冬季出现,并没有成为优势种类。浮桥河水库冬季也出现了大量隐藻(密度占65.6%)(吴晓辉等,2003),该水库在随后的季节并没有出现甲藻水华。因此,在童庄河易发拟多甲藻水华河段,隐藻(*Cryptomonas* sp.)形成优势的条件及其与拟多甲藻发生水华的关系值得深入研究。

3.3 156 m蓄水对浮游植物的影响

与135 m蓄水水位相比,156 m蓄水后水文情势的主要变化是最高水位抬高了约17 m、水位最大涨落增加了约7 m。156 m蓄水前只有2004年秋季和2005年春季资料(周广杰等,2006a;周广杰等,2006b),在此与2007年春季和秋季进行比较。

156 m蓄水后,种类主要由硅藻和绿藻组成基本不变(蓄水前占72%,蓄水后占75%),但种类数增加了1.88倍,增加的几乎是绿藻、硅藻和蓝藻,其中蓝藻为新出现种类。虽然这些藻类种类增加较多,但其所占密度比例却大幅下降、水平很低。如春季硅藻密度比例由46.83%下降到0.43%,秋季绿藻和硅藻密度比例分别由27.28%和20.86%下降到0.73%和1.48%,蓝藻密度所占比例也只有0.57%和0.42%。相反,种类数变化不大的甲藻门和隐藻门,其密度比例大幅升高,如春季甲藻密度比例由

37.95% 升高到 96.73%, 秋季隐藻密度比例由 39.33% 升高到 96.11%。蓄水后,浮游植物现存量主要组成变得单一,春季密度和生物量主要是甲藻(96.73%、99.75%),秋季密度和生物量主要是隐藻(96.11%、86.14%)。这主要是春季优势种类由拟多甲藻、小环藻和卵形隐藻减少到只有拟多甲藻,秋季新出现了1种优势种类隐藻(*Cryptomonas* sp.),而且它们的优势度极高。表明156 m蓄水后,春季水柱上拟多甲藻细胞密度增加,其水华呈加重趋势,秋季该种隐藻存在出现水华的潜在可能,事实上秋季该种隐藻在0 m和1 m的细胞密度已接近和超过春季相同水层拟多甲藻细胞密度的1/2,3 m和5 m的细胞密度甚至超过春季同水层拟多甲藻细胞密度。

浮游植物生物多样性下降。春季、秋季多样性指数 d' 、 H' 、 J 比蓄水前同期(周广杰等,2006a)分别降低了 57.18%、81.14%、85.52% 和 32.32%、68.08%、84.71%。156 m 蓄水前后,浮游植物现存量最高值水层和密度最低值出现的水层略有不同。

参考文献:

胡征宇,蔡庆华.2006.三峡水库蓄水前后水生态系统动态的初步研究[J].水生生物学报,30(1):1-6.

汤宏波,胡圣,胡征宇,等.2007.武汉东湖甲藻水华与环境因子的关系[J].湖泊科学,19(6):632-63.

汤宏波,刘国祥,胡征宇.2006.三峡库区高岚河甲藻水华的初步研究[J].水生生物学报,30(1):47-51.

王海珍,刘永定,沈银武,等.2004.云南漫湾水库甲藻水华生态初步研究[J].水生生物学报,28(2):213-215.

王武.1981.高产成鱼池蓝绿色裸甲藻水华的研究[J].水产学报,5(4):351-360.

吴晓辉,刘家寿,朱爱民,等.2003.浮桥河水库浮游植物的多样性及其演变[J].长江流域资源与环境,12(3):218-222.

章宗涉,黄祥飞.1993.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社.

周广杰,况琪军,胡征宇,等.2006a.三峡库区四条支流藻类多样性评价及“水华”防治[J].中国环境科学,26(3):337-341.

周广杰,况琪军,刘国祥,等.2006b.三峡库区藻类水华调查及其毒理学研究[J].水生生物学报,30(1):37-41.

Sommer, U. 1981. The role of r - and K -selection in the succession of phytoplankton in Lake Constance [J]. Acta Ecologia, 2: 327-342.

(责任编辑 杨春艳)

Spatial and Temporal Dynamic of Phytoplankton Community in Tributary Tongzhuang River Estuary after 156m Impoundment of the Three Gorges Reservoir

ZHU Ai-min¹, WU Guang-bing², LIANG Yin-quan¹, XIE Wen-xing¹, YU Fu-hu¹, HU Xiao-jian¹

(1. Institute of Hydroecology, the Ministry of Water Resources P. R. C and the Chinese Academy of Science, Wuhan 430079, China; 2. Station of Zigui fishery management, Hubei Province, Yichang 443600, China)

Abstract: Phytoplankton in the estuary of Tongzhuang River were investigated from March to December in 2007. One hundred and thirty three species were determined, belonging to 62 genera of six phylum, respectively. Species number varied among 34 to 38 in different seasons with *Peridiniopsis* spp. dominant in spring and summer and *Cryptomonas* spp. in autumn and winter. The composition of standing biomass changed significantly with seasons. Phytoplankton diversity index decreased from summer to spring of next year. Yet the composition of species in phylum level was not changed as compared among upstream, midstream and downstream sections. The density and biomass in summer and the biomass in winter were much higher in upstream section than in midstream and downstream sections, respectively. Phytoplankton diversity index decreased slightly in autumn and increased in winter from upstream to downstream. From 0 to 15 meters depth, the standing biomass decreased in spring and winter but changed from up to down in summer and autumn. The standing biomass reached the maximum in the 0 or 1 meters depth and the minimum in the 15 meters depth. The species number increased by 1.88 folds after 156 meters impoundment but the composition of main species did not change. The number of dominant species reduced from three to one species in spring but a new dominant species appeared in autumn. Phytoplankton diversity index decreased by 32.32% ~ 85.52% and the vertical distribution of standing biomass did almostly not changed.

Key words: Three Gorges Reservoir; Tongzhuang River estuary; phytoplankton; temporal variation; spatial distribution