

# 太湖流域宜溧河地区水体水质状况 及营养状态评价<sup>\*</sup>

许朋柱<sup>1</sup> 秦伯强<sup>1</sup> 黄文钰<sup>1</sup> 范成新<sup>1</sup> 谢悦波<sup>2</sup>

(1:中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京 210008;2:河海大学水文水资源与环境学院,南京 210098)

**提 要** 宜溧河流域是太湖的主要集水流域,流域水体的水质状况及营养状态与太湖的水质状况及营养状态密切相关.本研究根据2000年12月14-15日以及2001年4月18-19日两次大规模的水质同步监测结果,对流域平原河网地区水体的水质状况及营养状态进行了系统综合的评价.评价结果表明:不管是平水期还是枯水期,河网水体的水质状况都较差,营养水平较高;在枯水期间,受多种因素的综合影响,水体的水质状况呈现恶化趋势,营养盐含量也有所升高.

**关键词** 宜溧河流域 水质 营养盐 评价

**分类号** P342

宜溧河流域位于太湖流域的西部,流域内的降水径流主要通过东部的人太湖河道进入太湖.近20年来,随着流域经济的发展,流域内农业的面源污染以及工业的点源污染日趋严重,大量的环境污染物质及营养物质随径流汇入流域河网水系,并最终进入太湖,使太湖的环境污染物质及营养物质不断富集,造成太湖水体污染及富营养化<sup>[1-3]</sup>.

本研究利用2000年12月14-15日及2001年4月18-19日的两次大规模水文水环境同步监测资料,对宜溧河流域的平、枯水期间的水质状况及营养状态进行了系统综合评价.

## 1 流域范围确定及主要水系特点分析

宜溧河流域的南部为宜溧山地,西部及西北部为茅山丘陵区,地势的总体特征表现为南高北低、西高东低.由于流域的北部与洮湖及溧湖水系相通,因此,宜溧河流域不是一个封闭式流域.根据流域北部微地形特征以及洮、溧湖南部公路走向,对北部流域界线进行了界定(图1).据此估算的流域面积约为3300km<sup>2</sup>.流域内部的河网水系比较复杂,湖荡众多.中下游平原地区河道呈网状分布,并与许多湖荡相连.中下游地区主要河道有:南溪河(即宜溧河)、中河(即北溪河)、北河、丹金溧漕河、孟津河以及武宜运河等.流域南部宜溧山区的来水主要汇入南溪河以及西洮、团洮、东洮三个湖泊,北部茅山丘陵地区的来水主要汇入北河.

## 2 水文水环境同步监测断面布设原则、监测方法及监测项目

### 2.1 同步监测断面的布设原则

同步监测断面布设原则是:对流域北部边界的出入河道进行控制,共布置19条断面,控制

<sup>\*</sup> 中国科学院区域前期项目(区域IV-5)、湖沼项目(湖沼IV)以及创新项目(KXCX2-31、KXCX2-301)联合资助.  
收稿日期:2001-07-06;收到修改稿日期:2001-09-04.许朋柱,男,1965年生,副研究员.

水量以及环境物质进出量的 95%；对流域南部及西北部主要集水子流域的出口断面进行控制，共布置监测断面 9 条；在南溪河以及中河沿程各布置 4 条断面；对入太湖的主要河道进行控制，共布置监测断面 6 条；对西沱、团沱、东沱三个湖泊的出入湖河道进行控制，共布置河道监测断面 11 个，同时在湖中布置同步监测点 14 个。共布置 53 个河道监测断面以及 14 个湖泊监测点。

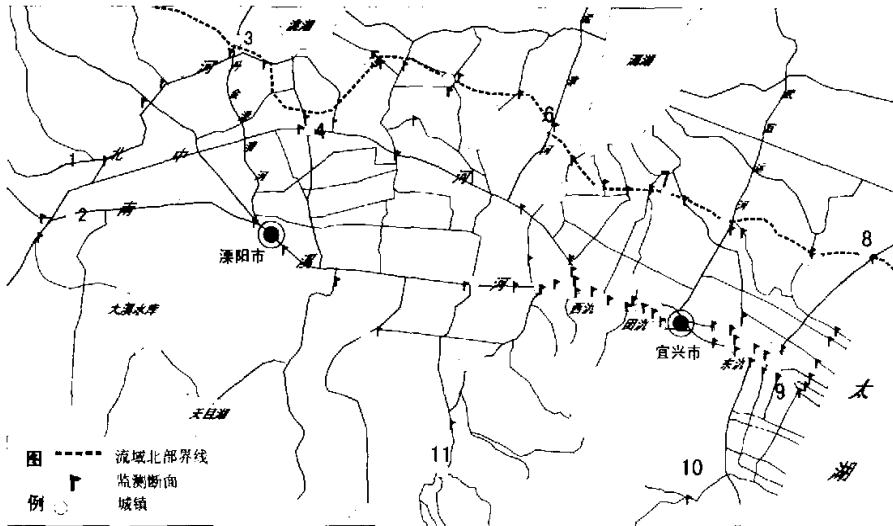


图 1 宜溧河流域水文水环境准同步监测点

(1:旧县,2:南渡,3:别桥,4:埭头,5:上黄,6:官林,7:高胜,8:洋溪,9:大浦,10:丁蜀,11:张渚)

Fig. 1 Monitoring sites for hydrology and water environment in the Yilihe River Watershed

## 2.2 监测方法以及监测项目

基于宜溧河流域复杂的水文状况以及水文与水质密切相关的思想,本研究在平、枯水期准同步水文测量及水质采样时,采用较高的测量频度及采样频次。水文测量的频度与水质采样的频次基本保持一致,也就是说,每进行一次水文测量,采集一次水样。同步监测的频次为:子流域出口河道以及平原河网区主要骨干河道每天测量三次,次要河道每天测量两次或一次,三次或两次测量的测量时间间隔不少于 4h;在西沱、团沱、东沱三个湖泊内部各选择一个点监测三次,其余点监测两次或一次。

水文测量项目有:河道大断面、湖泊水深、流速(流量)、水温、风速风向、透明度。其中的水温、风速风向、透明度等项目仅限于湖泊水文测量。

河流流量测量方法及资料整编方法按照水利部颁发的《水文测验规范》进行。流量测量方法是:水面宽 100m 以下采用 3 条测速垂线,100m 以上采用 5 条测速垂线;垂线测速点布置原则:水深 < 1.0m,一点法;水深 1-2m,两点法;水深 > 2m,三点法。

水化学分析符合国家《GHZB1-1999 地表水环境质量标准》以及《湖泊生态调查与观测分析标准》<sup>[4-6]</sup>。水化学分析项目主要有:TN、TP、COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P。

### 3 平、枯水期河湖水质状况及营养状态评价及差异比较

#### 3.1 平水期(2000年12月14-15日)水体的水质状况及营养状态评价

3.1.1 河网区水文状况分析 监测期间主要水位站的平均水位是:南渡 3.57m,溧阳 3.54m,杨巷 3.52m,徐舍 3.49m,宜兴 3.43m,大浦 3.38m. 监测期间的同步测流资料的统计结果为:南溪自上游向下游平均流量沿程增加,南渡坝头桥  $5.16\text{m}^3/\text{s}$ ,溧阳博爱桥  $11.2\text{m}^3/\text{s}$ ,宜兴六条河总出流  $65.4\text{m}^3/\text{s}$ ,大浦总出流  $76.2\text{m}^3/\text{s}$ ;中河钮家大桥平均流量为  $18.4\text{m}^3/\text{s}$ ,陈塘桥为  $22.5\text{m}^3/\text{s}$ ;北河汇入洮湖的流量很小,仅为  $0.23\text{m}^3/\text{s}$ ;在流域南北方向与洮、溧水系及运河水系连通的三条主要河流中,丹金溧漕河汇入的流量较大,达  $10.3\text{m}^3/\text{s}$ ,武宜运河以及孟津河的来水量均很小,仅为  $2.71\text{m}^3/\text{s}$  及  $1.27\text{m}^3/\text{s}$ .

3.1.2 评价结果 本次同步监测共在 67 个监测断面(或湖泊监测点)上采集 282 个水样.经水质化验后,获取 282 组水质资料(每个断面最少有 2 组资料,最多有 6 组资料).经过各个断面的水质资料求平均,获得 67 个断面的平均水质状况.以国家“GHZB1-1999 地表水环境质量标准”中的Ⅲ类作为评价标准,水质评价结果为:① $\text{COD}_{\text{Mn}}$ :67 个数据中有 94.0% 达到Ⅲ类( $\text{COD}_{\text{Mn}} < 8\text{mg}/\text{L}$ ),其余 6.0% 超过Ⅲ类;②TN:67 个数据中,全部超过Ⅲ类(凯氏氮  $> 1\text{mg}/\text{L}$ ),其中Ⅳ类(或Ⅴ类)占 74.6%,超过Ⅴ类( $> 3\text{mg}/\text{L}$ )达 25.4%;③TP:67 个数据中,也全部超过Ⅲ类( $\text{TP} > 0.1\text{mg}/\text{L}$ ),其中Ⅳ(或Ⅴ类)占 53.7%,超过Ⅴ类( $> 0.2\text{mg}/\text{L}$ )达 46.3%.由此可见,宜溧河流域平原河网区中平水期水质状况很差.

南溪河干流  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  及 TN 含量的沿程变化曲线非常地一致(图 2),都经历了一个具有相同拐点位置的上升-下降-上升-下降-上升过程,TP 含量的沿程变化曲线则经历了上升-下降-上升-下降的过程.从图中的三条曲线可以看出这样的规律:宜溧河上游来水的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、TN、TP 含量较低,水质状况相对较好;当上游来水进入溧阳城区后,水体中的有机污染物及营养盐含量均明显抬高,水质开始变差,在溧阳城东的葛渚桥断面三个水质要素均出现峰值,特别是 TP,葛渚桥断面的含量比南渡断面高 55%,由此可见,溧阳城区的生活污水排放以及工业尾水排放促使南溪河水水质变差(TP 含量异常地高,说明溧阳城区以化工为主的工业企业有一定的磷排出量);来水进入溧阳-西洮段以后,受河流的物理、化学及生物净化作用影响, $\text{COD}_{\text{Mn}}$  及 TN 含量呈现下降趋势,而 TP 含量先呈下降趋势,经过徐舍镇后,又呈上升趋势,这说明徐舍镇区的排磷较大;西洮具有一定的自净能力,因此  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  及 TN 含量皆出现谷值,TP 含量也比徐舍以东的南溪河水低约 30%;团洮湖集宜兴城区部分污染,因此水中的三个水质要素的含量比西洮要高;宜兴城区的各种污染最终排入大溪河及小市河,因而这两个断面水质状况明显恶化,水体中的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、TN、TP 含量分别比西洮高 15%、31% 和 9%;大浦桥断面以及陈东港桥断面两者的平均  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  及 TN 含量比东洮高,而 TP 含量则低于东洮.

根据 67 个断面各水质要素的监测值,通过 GIS 绘图,可以明显地看出  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、TN、TP 含量在空间上具有如下特点:在流域东西方向三条主要集水河流中,中河的水质状况最好,其次为北河,南河最差;在流域南北方向与洮、溧水系及运河水系连通的三条主要河流中,丹金溧漕河水水质状况最好,武宜运河次之,孟津河的水质状况最差( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、TN、TP 含量分别高达  $9.614\text{mg}/\text{L}$ 、 $3.746\text{mg}/\text{L}$  以及  $0.275\text{mg}/\text{L}$ );在宜溧河流域 9 个主要的集水子流域中,南溪河南部宜溧山地 5 个子流域的来水水质状况较好,北河西北部茅山山区 4 个子流域的来水水质

状况相对较差;与洮湖相通的几条河流的水质状况明显好于与漏湖相通的几条河流的水质状况,前者平均的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、TN、TP 浓度仅为后者的 70%、79% 以及 94%;东、西以及团洮三个湖泊的水质状况以西洮最好,团洮次之,东洮最差。

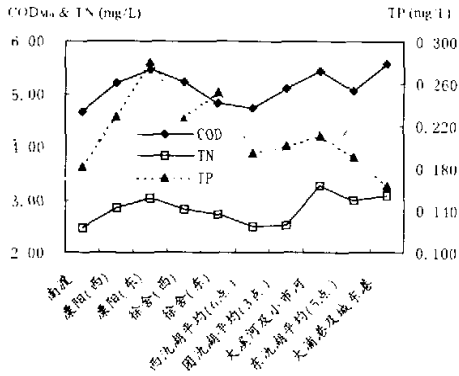


图2 宜溧河干流 2000 年 12 月 14-15 日  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、TN、TP 的沿程变化

Fig.2 The Changes of  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ , TN, TP Contents along the Yilihe River during December 14-15 of 2000

### 3.2 枯水期(2000 年 12 月 14-15 日)水体的水质状况及营养状态评价

3.2.1 河网区水文状况分析 进入 2001 年 3 月份以后,宜溧河流域的降雨量较往年明显偏少,流域内主要水位站的水位持续下降。4 月 17 日大浦及溧阳水位分别降至 2.93m 及 2.99m。4 月 17 日下午,太湖以及宜兴三个洮的湖面刮起 3-4 级的东风,因而导致大浦以及徐舍等水位站的水位上涨 4cm 左右。4 月 18-19 日两天主要水位站的平均水位为:溧阳 3.01m,徐舍 3.01m,宜兴 2.93m,杨巷 3.03m,大浦 2.97m。同步测流资料的统计结果表明,4 月 18 日东西方向主要河流皆出现逆流,4 月 19 日上午上游部分河流转为顺流,下午大部分河流转为顺流,主要断面的 2 日平均流量为:南渡坝头桥  $0.81\text{m}^3/\text{s}$ ,溧阳博爱桥  $0.18\text{m}^3/\text{s}$ ,中河湖头大桥  $0.83\text{m}^3/\text{s}$ ,丹金溧漕河

$-4.96\text{m}^3/\text{s}$ ,武宜运河  $-1.38\text{m}^3/\text{s}$ ,孟津河  $-0.69\text{m}^3/\text{s}$ 。

3.2.2 评价结果 本次同步监测共在 66 个监测断面(或湖泊监测点)上采集 286 个水样。经水质化验后,获取 286 组水质资料(每个断面最少有 2 组资料,最多有 6 组资料)。经对各个断面的水质资料求平均,获得 66 个断面的平均水质状况。水质评价结果为:① $\text{COD}_{\text{Mn}}$ :66 个数据中有 74.2% 达到 III 类( $\text{COD}_{\text{Mn}} < 8\text{mg/L}$ ),其余 25.8% 超过 III 类;②TN:66 个数据中,全部超过 III 类(凯氏氮  $> 1\text{mg/L}$ ),其中 IV 类(或 V 类)占 30.3%,超过 V 类( $> 3\text{mg/L}$ )达 69.7%;③TP:66 个数据中,仅有 5 个达到 III 类( $\text{TP} < 0.1\text{mg/L}$ ),其余全部超过 III 类,其中 IV 类(或 V 类)占 43.9%,超过 V 类( $> 0.2\text{mg/L}$ )达 48.5%。由结果可见,宜溧河流域平原河网区枯水期水质状况也很差。

南溪河干流  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、TN、TP 含量的变化曲线具有如下的规律:溧阳的葛渚桥断面皆出现峰值,说明该断面附近的城镇生活污水以及工业废物的排放量很大; $\text{COD}_{\text{Mn}}$  及 TP 分别在徐舍及西洮出现极值低点以后,往东方向沿程增加,这说明监测期间太湖湖水倒流对南溪河水质有很大影响(监测期间正值太湖蓝藻爆发,爆发的蓝藻随湖水倒流进入三洮湖);团洮湖 TN 的含量较高,达到  $4.70\text{mg/L}$ ,说明宜兴市区排放的废水随水流倒流进入团洮。

根据各项指标的空间分布,利用 GIS 方法,得出如下评价结果:与平水期情况一样,在流域东西方向三条主要集水河流中,依然是中河的水质状况最好,其次为北河,南河最差;在流域西北方向与洮、溧水系及运河水系连通的三条主要河流中,丹金溧漕河以及武宜运河营养盐含量很高,而孟津河有机污染较重;在宜溧河流域 9 个主要的集水子流域中,南溪河上游坝头桥

断面以及上沛河、后周河出口断面的水质状况较好,其它流域出口断面的平均水质状况差于以上流域,有的流域有机污染较重,有的则营养盐含量较高;与洮湖相通的几条河流的有机污染较轻,而与瀹湖相通的几条河流的营养盐含量较低;东、西以及团洮三个湖泊的水质状况以西洮最好,团洮次之,东洮最差。

### 3.3 平、枯水期水体的水质状况及营养状态差异及原因分析

根据平水期及枯水期宜溧河流域平原河网区所有监测断面(或湖泊监测点)的水质资料,经统计计算,获得两个时期河湖平均水质情况(表 1)。从表中可以看出,枯水期河湖的平均水质状况明显劣于平水期,枯水期  $COD_{Mn}$ 、TN 及 TP 平均含量分别比平水期多 34%、57%及 13%, $NH_4-N$  以及  $PO_4-P$  也比平水期高很多;枯水期  $COD_{Mn}$  的最大值与最小值相差 3.17 倍,但平水期相差 7.59 倍,由此可见,枯水期  $COD_{Mn}$  的差异性小于平水期,但是,枯水期 TN 及 TP 的差异性则大于平水期,例如,枯水期 TP 最大值比最小值大 8.4 倍,而平水期大 3.5 倍。

平、枯水期的水质差异可以从如下几个方面进行分析:

(1)在枯水期同步测量前长达两个月的时间内,宜溧河流域降雨-径流量很少,全流域几乎没有汇入太湖的径流,因此,流域内随工业废水以及生活污水而排出的污染物以及营养盐很少向太湖输运,仍集中在流域内部,导致流域水体的有机污染以及营养盐浓度不断升高;

(2)流域内未经疏浚的河流、湖泊的底部有机淤泥层很厚(如宜兴三个洮局部区域的淤泥层厚度厚达 2m),导致枯水期静水期间不断向湖水体中释放 N、P,引起河湖水体的内源污染;

(3)宜溧河流域下游地区湖荡众多,为淡水鱼类的人工养殖提供很好条件。近些年,流域内人工养殖规模不断扩大,例如,宜兴市域内马公荡、钱墅荡、都山荡以及阳山荡等几个荡的养殖面积已经达到荡区面积 80% 以上,三个洮的养殖面积也超过 20%。人工养殖促使水体中营养盐含量增加,从而产生养殖污染负荷。

(4)根据野外调查,宜溧河流域下游湖荡区分布有大量水生植物,其中沉水植物占优势种群。在 4 月份枯水期同步监测期间,随着水体温度的升高,春绿性沉水植物开始大量繁殖。据相关研究,沉水植物在生长繁殖期吸收水体中营养盐的能力很强,使水体得到净化。因此,在春季枯水期间局部水域的营养盐含量比 2000 年 12 月平水期的含量要低,并导致流域内营养盐的空间差异性增加。

(5)枯水期流域河湖水体基本上处于静水状态,并且水体温度较高,非常有利于藻类繁殖。另一方面,春季枯水期间以东风以及东南风的大风天气较多,大量在太湖内繁殖的藻类随风涌水输移进入东洮、团洮、西洮三个湖泊以及东部河网水体。据同步监测期间现场观测,宜兴三个

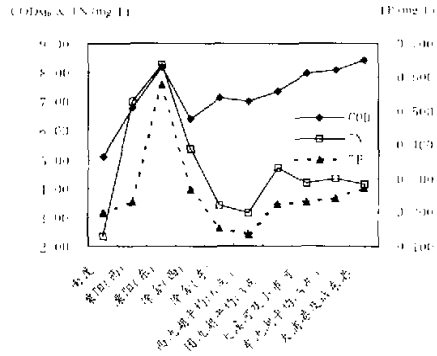


图 3 南溪河干流 2001 年 4 月 18-19 日  $COD_{Mn}$ 、TN、TP 的沿程变化

Fig. 3 The Changes of  $COD_{Mn}$ , TN, TP Contents along the Yilike River during April 18-19 of 2001

汎的藻类浓度很大,且表面有大量藻花形成.春季河湖水体中藻类的大量聚集及腐烂,导致枯水期水质状况不断恶化.

表 1 宜溧河流域平、枯水期河湖水质状况差异

Tab.1 Differences of water quality in normal and drought periods in the Yilihe Watershed

水质指标	平水期(2000年12月14-15日)			枯水期(2001年4月17-18日)		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
COD(mg/L)	5.332	9.614	1.267	7.162	13.415	4.210
TN(mg/L)	2.714	3.791	1.906	4.264	8.730	1.070
TP(mg/L)	0.211	0.523	0.148	0.238	0.614	0.073
NH <sub>4</sub> -N(mg/L)	0.762	5.855	0.070	1.220	6.236	0.145
PO <sub>4</sub> -P(mg/L)	0.012	0.146	0.000	0.028	0.326	0.002
氮磷比	13.3760	23.4033	5.0524	21.710	119.835	2.665

#### 4 结论

通过本研究,可以得出如下结论:

(1)不管是平水期还是枯水期,宜溧河流域平原河网区水体的水质状况都较差,特别是营养盐含量,几乎所有河流在两个时期均超出国家地表水Ⅲ类标准.枯水期河流水质状况更为恶劣,流域平均的 COD<sub>Mn</sub>、TN 及 TP 含量均明显超出平水期的平均含量.受流域城镇空间布局以及工业污染企业的空间分布等因素的影响,河湖水体水质状况及营养盐状态的空间差异性比较显著.

(2)流域的水质状况及营养状态与流域的水文状况密切相关.从平水期河湖水文状况分析来看,平水期间上、下游存在水力坡降,河流有一定大小的流量,因而流域内产出的污染物能够随河川径流向太湖以及流域北部地区输送,使流域内河湖水体的污染负荷减轻.但是,在枯水期间,河流水流顺逆不定,流域内水量较少向外界输运,因而,流域内产出的污染物在内部河湖水体中不断聚集,使水体的污染程度及营养程度不断升华.

(3)流域内较大城镇附近河湖水质状况一般较差,因此,城镇生活污水排放以及工业点源污染排放是流域内局部水域水质恶化的主要原因.

致谢 参加野外工作的人员还有:张运林、于新修、焦锋、季江、史复祥、张文华以及河海大学 97 水文专业和 98 水质专业共 60 多位同学.

### 参 考 文 献

- 1 陆用海. 洗衣粉对太湖水域磷过肥化的影响. 日用化学品科学, 1997, (1)
- 2 秦伯强. 太湖水环境面临的主要问题、研究动态与初步进展. 湖泊科学, 1998, 10(3): 1-9
- 3 李荣刚, 罗源陵, 吴宴之等. 江苏太湖地区水污染物及其向水体的排放量. 湖泊科学, 2000, 12(2): 147-153
- 4 S.-O. Ryding, W. Rast 著. 朱登等译. 湖泊与水库富营养化控制, 北京: 中国环境科学出版社, 1992. 79-80
- 5 金相灿等. 湖泊富营养化调查规范(第2版). 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 286-298
- 6 黄祥飞主编. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1999

## Assessment of Water Quality and Nutrition to Water Bodies the Yilihe Watershed, Taihu Basin

XU Pengzhu<sup>1</sup> QIN Boqiang<sup>1</sup> HUANG Wenyu<sup>1</sup> FAN Chengxin<sup>1</sup> XIE Yuebo<sup>2</sup>

(1: *Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China;*

2: *Hydrology, Water Resources and Environment Institute, Hohai University, Nanjing 210098, P. R. China*)

### Abstract

The Yilihe watershed is the main water catching area of the Taihu Lake. The conditions of water quality and nutrition of water bodies of the watershed closely relates to that of the Taihu Lake. Based on the large-scale synchronous environmental monitoring of December 14 - 15 of 2000 and April 18 - 19 of 2001, we give systematically assessment of the conditions of water quality and nutrition to water bodies of the plain river network area. The results indicate that, water bodies have bad quality and high nutrite either in normal period or in drought period, but, in drought period, water quality became worse and water bodies have even higher nutrite contents.

**Key Words** Taihu Basin, water quality, nutrite, assessment