

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.03.007

太湖蓝藻监测及暴发情况分析

顾苏莉,陈 方,孙将陵

(太湖流域管理局水文水资源监测局,江苏 无锡 214024)

摘要 :为了及时掌握太湖蓝藻发生和暴发状况,为保障流域供水安全和太湖富营养化治理提供必要的基础信息,以 1996—2008 年太湖各湖区藻类监测资料为基础,结合蓝藻历史变化状况,对太湖 13 a 的藻类群落组成、优势种的构成、数量和季节变化,以及蓝藻暴发情况进行分析,并对太湖 9 个湖区分区进行蓝藻暴发特征分析,探讨治理蓝藻水华的措施。结果表明:近十几年来太湖藻类数量总体呈上升趋势,各湖区藻类数量呈夏秋高、冬春低的季节变化,蓝藻暴发时段主要集中在 6—9 月,8 月份达到最高值;蓝藻暴发区域主要集中在太湖西北部的竺山湖、西部沿岸区、梅梁湖等湖湾,湖心区蓝藻数量呈明显增长,需要引起关注。

关键词 :太湖;蓝藻;水质监测;水华

中图分类号 :X824 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2011)03-0028-05

Analysis of cyanobacteria monitoring and algal blooms in Taihu Lake

GU Su-li, CHEN Fang, SUN Jiang-lin

(Hydrology Water Resources Monitoring Bureau of Taihu Basin Authority, Wuxi 214024, China)

Abstract :In order to understand algal occurrence and blooms and to provide the necessary basic information for ensuring water supply safety and eutrophication control for Taihu Lake, the composition of algal species, structure of dominant species, and seasonal variations of the algal community and algal blooms were analyzed based on historical monitoring data from 1996-2008. The characteristics of algal blooms in 9 regions of Taihu Lake were also analyzed and countermeasures for controlling algal blooms are discussed. The results show that the algae populations have had an overall increasing trend in recent decades; that algae populations were higher in summer and autumn than in winter and spring, that algal blooms occurred primarily from June to September, and reached their maximum in August; and that algal blooms occurred primarily in Zhushan Lake, Meiliang Lake, and the western region of Taihu Lake. It is worthwhile to note that the algae populations appear to be growing in the middle region of the lake.

Key words :Taihu Lake; cyanobacteria; water quality monitoring; bloom

太湖流域地处长三角核心区域,流域面积 3.69 万 km²,是我国经济最为发达的地区之一。太湖位于流域中心,为平均水深仅 1.8 m 的碟型浅水湖泊,是我国第 3 大淡水湖。太湖长期沉积的富营养底泥与人类活动排放入湖的营养物相叠加,导致湖泊富营养化日益严重,水面藻类增殖,成片成团地覆盖水体表面,形成水华,消耗水体的溶解氧,向水体释放有毒物质,使水体变得腥臭难闻,透明度降低等,给

工业用水、饮用水、水生生态、渔业等都造成了极大危害^[1]。自 20 世纪 90 年代初以来,年年暴发不同程度的蓝藻水华,给环太湖地区人民的生产和生活带来极大危害。特别是 2007 年 5 月贡湖水厂水污染事件,引发了无锡市城市供水危机,造成较大社会影响。

随着太湖水体富营养化的加剧,蓝藻水华成为太湖重大的水环境问题,对蓝藻水华暴发机理的研

作者简介:顾苏莉(1980—),女,江苏苏州人,工程师,主要从事水资源监测和分析工作。E-mail:gs1378@sohu.com

究也逐渐成为热点。国内外对湖泊藻类的研究可追溯到 19 世纪中叶,至今已有大量文献报道全世界不同类型湖泊中藻类种类时空分布及其与环境的生态关系。但其中有关大型浅水湖泊的藻类种间关系的研究尚少见^[2]。笔者就太湖的蓝藻监测和暴发情况进行分析,以期抛砖引玉。

1 监测方法

1.1 监测站点

将太湖划分为 9 个湖区,分别为五里湖、梅梁湖、竺山湖、贡湖、湖心区、西部沿岸区、南部沿岸区、东部沿岸区和东太湖。1996 年监测之初,布设监测点 23 个,试运行 1 a 后,考虑到采样点的代表性和分布的均匀性,并根据浮游植物在不同生态条件下的生长习性和组成变化,将监测点增加至 26 个。近年来,随着流域水资源管理与保护要求的不断提高,对监测方案进行了多次优化调整,至 2008 年,太湖省界湖泊水体监测站点增加到 33 个,见图 1。

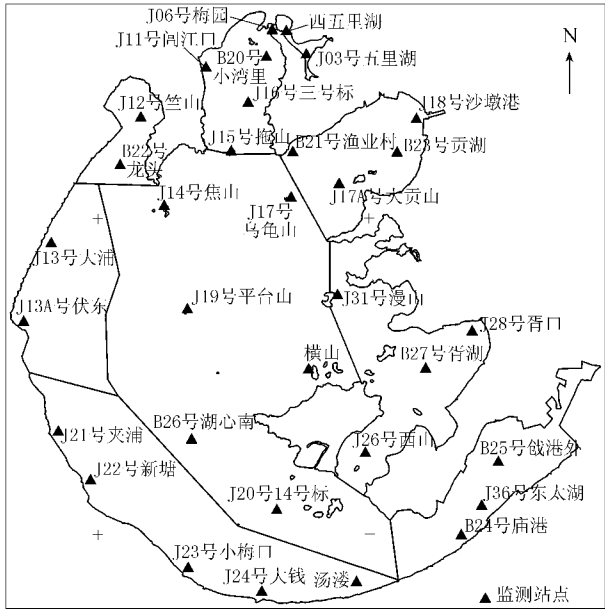


图 1 太湖湖区藻类监测站点分布

1.2 监测项目

监测项目包括:藻类数量、生物量、优势种群。藻类种群包括蓝藻、绿藻、硅藻、隐藻、甲藻、黄藻、金藻等门类。2008 年之前隐藻门的数量一并计入甲藻门,从 2008 年 4 月开始,隐藻门为独立门类统计,与甲藻门分开计数。

1.3 监测方法

a. 现场采样。用 GPS 或固定参照物定位采样点,观察采样点周边水面和表层水藻类分布,采集代表采样点周边平均浓度的水样。每一个采样点采水 1 000 mL,采得水样后立即加入 10 ~ 15 mL 鲁哥氏液

固定。

b. 室内分析。样品处理:水样在 1 000 mL 圆柱形沉淀器中沉淀 24 h 后用虹吸管小心抽出上面不含藻类的清液,剩下 30 ~ 50 mL 沉淀物转入 50 mL 的定量瓶中,该沉淀物需再沉淀 24 h 后正确浓缩至 30 mL。一般情况下,浓缩的体积视浮游植物的多少而定,浓缩的标准以每个视野里有十几个藻类为宜。镜检计数:浓缩样品混匀后,取 0.1 mL 于计数框,用显微镜观察 100 个视野,每片计数视野不少于 25 个,每个样至少计数两片,当两片的计数结果和平均数之差超过其平均数的 $\pm 15\%$ 时,增加计数的片数,取相近二数之差不超过均数 $\pm 15\%$ 的两片结果的平均值作为计算结果。

1.4 监测频次

在 1996 年 5 月至 1997 年 11 月期间,藻类监测频次为每 2 月 1 次,从 1998 年 1 月起调整为每月上旬进行 1 次,水量水质同步,并保持至 2010 年 12 月 31 日。

2 太湖蓝藻的历史演变和空间格局

半个世纪以来,太湖水体中藻类组成逐步变化,总趋势是种群数不断减少,而个体数量剧增^[3]。蓝藻经历了从平分秋色到一统天下的历程——20 世纪 50 年代初,五里湖夏季蓝藻数量最多,隐藻、硅藻和绿藻次之,其他季节隐藻和硅藻在数量上占绝对优势^[4];1960 年,太湖藻类中以蓝藻为主^[3],西部湖区夏季蓝藻数量占绝对优势;80 年代,蓝藻、硅藻、绿藻为总体优势群,分别占 20%、28% 和 40%,夏秋季藻类生物量中蓝藻、硅藻和隐藻平分秋色^[5];80 年代末,蓝藻生物量略多于硅藻^[3];90 年代,梅梁湾藻类生物量夏季蓝藻(偶有绿藻)占据绝对优势;21 世纪初夏季蓝藻一统天下^[4]。

蓝藻水华的出现始于 20 世纪 50 年代末,有自北向南、向西、向东蔓延发展的趋势;五六十年代仅见于五里湖,2006 年覆盖太湖总面积的 2/5;根据卫星遥感影像资料,蓝藻水华的聚集面积 2004 年以来急剧增加,近 20 年来蓝藻开始大量聚集的时间逐渐提早,蓝藻水华空间格局有从北部扩展到中部和西南部的变化趋势^[4]。

3 太湖藻类现状

2008 年太湖藻类年平均数量为 1 488 万个/L,总体呈夏秋高、冬春低的特点,2 月藻类数量最低,为 526 万个/L,9 月最高,达 2 614 万个/L,全年各测点最高值出现在 9 月份的竺山湖龙头,藻类数量高达 2.41 亿个/L。与往年相比,2008 年水华出现较早,4 月份西部沿岸区和南部沿岸区藻类数量和生

物量急剧上升,一直延续到10月^[5]。

2008年太湖蓝藻主要出现在北部湖湾和西部沿岸区,春季南太湖首先出现蓝藻,夏秋季北部、西部湖湾蓝藻大量聚集。贡湖南侧、东部沿岸、南部沿岸东段和东太湖藻类数量相对较少,种类丰富,水草繁盛,水质相对较好。

对各监测点的藻类种群结构和数量的调查结果显示,太湖流域以蓝藻门为主,绿藻门、隐藻门次之,黄藻门偶有出现。污染严重、无水草分布区域则藻类数量较大,蓝藻占绝对优势,铜绿微囊藻成为优势种。

4 近十多年来太湖藻类状况

4.1 总体变化

1996—2008年间,太湖平均藻类数量为867万个/L,其中蓝藻数量为487万个/L^[6]。最近几年太湖藻类数量上升,2008年太湖平均藻类数量为1488万个/L,其中蓝藻数量为1199万个/L。

根据1996—2008太湖各湖区藻类总数年均值分析,蓝藻水华暴发频次最高的区域以及暴发最严重的区域主要集中在太湖西北部的竺山湖、西部沿岸区、梅梁湖等湖湾,其中尤以五里湖、梅梁湖东部至拖山一带最为严重,近几年西部沿岸有明显加重趋势。东太湖、东部沿岸、南部沿岸水域藻类数量较少,但个别时段也出现蓝藻聚集。1996年以来太湖藻类数量平均值出现小幅减少趋势,至2004年以后又有所增加,且呈现逐年递增趋势,特别在2007—2008年明显上升。其他湖区变化趋势与太湖平均值基本一致,但五里湖、东部沿岸和东太湖等湖区最近两三年出现了下降趋势。

4.2 空间变化

2004年以前太湖蓝藻分布区域主要局限于北太湖的梅梁湾和竺山湾等湖区,近年来由于贡湖湾和南岸水草大片消失,蓝藻分布范围已经扩大到全湖。各湖区中,西部沿岸区、梅梁湖和竺山湖的蓝藻年平均数量高且升高趋势明显:西部沿岸区1996—2006年均在400万个/L左右,但2007年上升为2134万个/L,2008年最高值达2455万个/L;梅梁湖1996—2006年均在500万个/L左右,但2007年上升为1000万个/L,2008年达2000万个/L;竺山湖1996—2006年均在700万个/L左右,但2007年上升为1300万个/L,2008年达2100万个/L。东太湖、东部沿岸较少,最低值出现2003年东太湖水域,蓝藻数量为25万个/L。

4.3 季节变化

统计太湖1996—2008年藻类月平均数量,发现太湖各湖区藻类数量总体呈夏秋高、冬春低的特点,

藻类数量基本呈单峰型,从4月底开始藻类数量明显增加,基本在900万个/L以上,8月份达到最高值,最高湖区的藻类数量达3000万个/L,到9月中旬以后藻类数量开始下降,到次年2月份左右降至最低,平均为116万个/L。

4.4 种群变化

20世纪80年代太湖水体中藻类以蓝藻、硅藻、绿藻为总体优势群,分别占20%、28%和40%;而90年代以来,太湖蓝藻不仅呈全湖性分布,而且出现时间长,几乎全年出现,蓝藻门最高时约占总量的91.6%,其中又以单一铜绿微囊藻为主,高峰时形成水华,见图2。近两年来优势种除蓝藻外,还出现了隐藻,隐藻已发展成为仅次于微囊藻的优势种群。

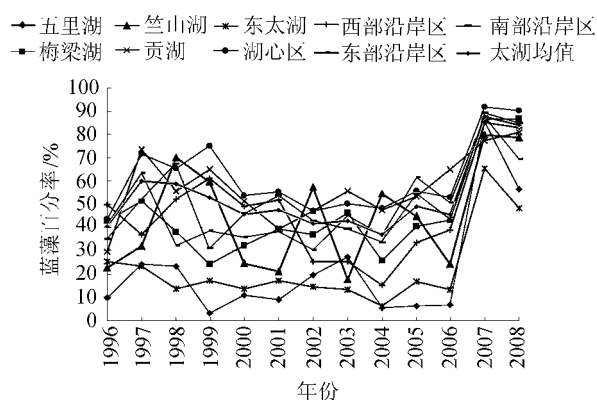


图2 太湖各湖区蓝藻数量占藻类总数比例变化趋势

太湖各湖区蓝藻数量在浮游植物细胞总量中所占比例贡湖和湖心区最高,五里湖和东太湖较低,其空间分布量大小次序为:湖心区、贡湖、南部沿岸区、东部沿岸区、西部沿岸区、梅梁湖、竺山湖、东太湖、五里湖。1996—2008年间,蓝藻在浮游植物细胞总量中所占比例为36.9%~87.7%,1997年以来全湖出现小幅减少趋势,2004年最低,2004年以后又有所增加,且呈现逐年递增趋势,2006年以前全太湖蓝藻分布平均所占比例为47.4%,2007年太湖蓝藻分布范围达到最高,平均所占比例为87.7%,较2006年前提高了40%。尤其是五里湖、湖心区、梅梁湖和西部沿岸区,在2007年明显上升后,2008年略有下降,但这两年比例均高达80%以上。

5 太湖各湖区蓝藻暴发特征分析

a. 五里湖。1996—2008年五里湖各年度蓝藻数量均出现多个峰值,暴发的周期不尽相同,一般出现1~3次不同程度的暴发。其中,最高值出现在2007年9月8日,达12860万个/L;其次是2002年6月17日为5200万个/L。总体来看,五里湖的蓝藻数量所占藻类总数的比例较小,五里湖夏秋季蓝藻数量最多,隐甲藻、绿藻和硅藻次之,8—9月蓝藻数

量出现高峰期,其他季节隐甲藻和绿藻在数量上占绝对优势。蓝藻最高峰出现在9月,平均数量为2222万个/L,为全年之最,主要由铜绿微囊藻和色球藻组成。

b. 梅梁湖。梅梁湖水域为蓝藻水华高发区,5月藻类数量明显增加,平均数量为955万个/L,最高平均数量为1160万个/L,出现在10月5月上旬—10月上旬为藻类繁殖的高峰期,一般情况下,10月以后藻类数量大幅度下降。1996—2008年梅梁湖各年度蓝藻数量均出现多个峰值,水华暴发的概率较大,蓝藻数量超500万个/L以上规模水华出现次数达54次。其中,最高值出现在2008年10月8日,达11484万个/L;其次是2008年9月9日为4332万个/L。

c. 竺山湖。竺山湖蓝藻从5月开始藻类数量明显增加,平均数量在600万个/L左右,7月上旬—9月上旬为藻类繁殖的高峰期,最高平均数量达3223万个/L,9月下旬以后藻类数量大幅度下降。1996—2008年竺山湖蓝藻数据变化显示,竺山水域为蓝藻水华高发区,各年度蓝藻数量均出现多个峰值,水华暴发的概率较大,蓝藻数量超500万个/L以上规模水华出现次数达42次。其中,最高值出现在2004年8月8日,达12945万个/L;其次是2005年7月14日为12386万个/L。

d. 贡湖。贡湖的蓝藻数量占藻类总数的比例较大,4—12月蓝藻在数量上占绝对优势,其他季节绿藻、硅藻、甲藻居多。4月开始藻类数量明显增加,5月上旬—6月下旬为藻类繁殖的高峰期,最高平均数量达1335万个/L,7月下旬以后藻类数量逐渐下降。贡湖水域为蓝藻水华高发区,1996—2008年贡湖蓝藻数据变化显示,各年度蓝藻数量均出现多个峰值,水华暴发的概率较大,蓝藻数量超1000万个/L以上规模水华出现次数达25次。其中,最高值出现在2008年7月5日,达9880万个/L;其次是2003年5月16日,为4324万个/L。

e. 东部沿岸区。东部沿岸区蓝藻数量变化呈多峰型特征,其中,最高值出现在11月,平均数量547万个/L;其次是5月和8月,平均数量为452万个/L、376万个/L。1996—2008年东部沿岸区蓝藻数据变化显示,藻类数量变化不大,蓝藻数量超1500万个/L以上规模水华出现次数达12次。其中,最高值出现在2007年11月7日,达8640万个/L;其次是2007年8月14日为3132万个/L。

f. 东太湖。东太湖同东部沿岸区一样受四季变化影响不大,蓝藻数量变化不明显,是各湖区中蓝藻数量最少的湖区之一,从2007年开始,蓝藻数量呈明显增加趋势,7月上旬—8月中旬为蓝藻繁殖的

高峰期,最高平均数量272万个/L。1996—2008年东部沿岸区蓝藻数据变化显示,藻类数量变化不大,蓝藻数量超500万个/L以上规模水华出现次数达7次。其中,最高值出现在2007年8月10日,达3532万个/L;其次是2008年7月7日,为3168万个/L,其他时间段藻类数量均在1000万个/L以下。

g. 湖心区。湖心区的蓝藻数量占藻类总数比例较大,且4—12月蓝藻在数量上占绝对优势,其他季节绿藻和硅藻居多。4月开始藻类数量明显增加,高峰时局部形成水华,并且出现时间长达7个月(5—11月),最高平均数量971万个/L,11月下旬以后藻类数量逐渐下降。1996—2008年湖心区蓝藻数据变化显示,藻类数量变化不大,从2007年开始,蓝藻数量随季节变化呈现多峰型,蓝藻数量超1000万个/L以上规模水华出现次数达11次。其中,最高值出现在2007年7月6日,达7880万个/L;其次是2007年11月4日,为3576万个/L,其他时间段藻类数量均低于2000万个/L。

h. 西部沿岸区。西部沿岸区蓝藻数量在7—10月出现高峰期,其中8月份为全年之最,近几年蓝藻数量有所增加,特别是2007—2008年呈加速升高趋势。2002—2005年间蓝藻相对较少,2002年之前、2005年以后藻类数量变化呈现多峰型,蓝藻数量超1000万个/L以上规模水华出现次数达15次。其中,最高值出现在2008年9月9日,达10432万个/L;其次是2008年8月4日,为8960万个/L。

i. 南部沿岸区。南部沿岸区蓝藻全年出现,局部水域出现大量蓝藻,形成水华。蓝藻水华暴发时间范围有从夏秋季向温度更低的冬春季发展的趋势,近年来蓝藻出现时段有所延长,且呈加速趋势,其中每年8月的蓝藻数量为全年之最。1996—2008年间,南部沿岸区蓝藻数量超1000万个/L以上规模水华出现次数达15次,在各湖区中处中等偏高水平。其中,最高值出现在2007年7月6日,达7560万个/L;其次是2007年8月6日,为5240万个/L。

6 控制太湖蓝藻水华措施

6.1 污染源控制排放

太湖富营养化主要是由外源污染物入湖造成的,因此消减入湖污染负荷是首要的^[3]。生活污水和农业面源是太湖N、P的主要来源,河道入湖和环太湖公路圈内入湖量最大。应减少生活污水的排放,控制肥料施用量,努力降低施肥强度,减少农田N、P流失^[5]。同时应积极开展湖区生态环境保护,对现有严重污染的企业进行调整,沿湖地区调整产业结构,实施清洁生产,严格限制在太湖流域新建制

革、化工、印染、电镀、酿造等大中型企业或其他污染严重项目,严格控制湖区新的污染源出现^[3]。

6.2 生态系统的调控对策

许多人认为用水体生态恢复(或生态修复)的方法,可以解决湖泊富营养化的问题。然而,通过水生植物来控制太湖的蓝藻问题需要进一步探讨^[7]。对太湖各类型水域,应因地制宜地采用不同的方法分区进行,从局部开始,采用局部高效人工生态系统改善局部水质,巩固局部后推向全湖^[3]。20世纪50年代以来,太湖的鱼类群落结构发生了巨大变化,太湖中鲢、鳙比例的大幅下降,以及食浮游动物的鲢鱼的大量增加,可能更加有利于蓝藻的暴发。利用天敌来控制有害生物在农业生态系统中有许多成功案例,因此,调整鱼类结构,提高食藻鱼类比例,增加对蓝藻的牧食压力,也许是控制或减轻太湖蓝藻危害的一条重要生态学途径^[7]。

6.3 调水引流

水利部太湖流域管理局自2002年起,组织实施了引江济太调水试验工程,2002—2008年共计引水入湖60.4亿m³,引江济太增加了水资源可供量,保障了流域经济社会对水资源的需求,尤其在2007年无锡市水源地供水危机中起到了重要作用^[6]。实践表明,利用太湖流域现有水利工程体系,通过对水资源实施引排调度,达到了增加流域水资源的有效供给,改善太湖水体和流域河网水环境的效果。因此,调水引流对于太湖水质的改善和蓝藻的治理也是一种行之有效的方

6.4 底泥清淤

太湖底泥是湖中营养物质等长期沉淀的结果,是湖中营养物来源之一,对蓝藻水华的发生起着相当大的作用。实施清淤工程,能有效地减小这一湖底营养库。如此巨大数量的底泥,对于太湖清淤工作是一个严峻的考验,同时,太湖底泥清淤工程,也将给湖泊生态系统带来巨大影响。湖底状况的改变不但影响生态系统中的水生植物,也影响到水生动物,尤其是底栖动物,而底栖动物是生态系统中重要的食物链之一。因此,清淤过程中要充分重视湖泊生态系统,保护水生生物使其保持良好的活力。

7 结 论

- a. 1996—2008年间,太湖平均藻类数量为867万个/L,其中蓝藻数量为487万个/L。最近几年太湖藻类数量上升,2008年太湖平均藻类数量为1448万个/L,其中蓝藻数量为1199万个/L。
- b. 太湖各湖区藻类数量总体呈夏秋高、冬春低的季节变化,4月底藻类数量明显增加,8月份达到

最高值,到9月中旬以后藻类数量开始下降,到次年2月份左右降至最低,以后再逐渐升高,近年来蓝藻出现时段有所延长。

c. 蓝藻水华暴发频次最高的区域以及暴发最严重的区域主要集中在太湖西北部的竺山湖、西部沿岸区、梅梁湖等湖湾,暴发时段主要集中在6—9月。湖心区蓝藻数量明显增长。

d. 防范与控制太湖蓝藻暴发是一项长期而艰巨的工作,现阶段可以通过控制污染源排放、水生态修复、调水引流、底泥生态清淤等措施,逐步改善太湖水质状况,防止蓝藻大规模暴发。

参考文献:

[1] 邢智峰.藻类植物与水质富营养化防治[J].河南科学,1996(6):168-170.
[2] 陈宇炜,高锡云,秦伯强.西太湖北部夏季藻类种间关系的初步研究[J].湖泊科学,1998(12):35-40.
[3] 黄漪平.太湖水环境及其污染控制[M].北京:科学出版社,2001:35-88.
[4] 谢平.太湖蓝藻的历史发展与水华灾害[M].北京:科学出版社,2008:11-56.
[5] 太湖流域水环境监测中心.2008年度太湖蓝藻监测及历年蓝藻暴发情况分析报告[R].无锡:太湖流域水环境监测中心,2009:6-36.
[6] 太湖流域水资源保护局.现状引江济太对改善流域水环境的效果分析报告[R].上海:太湖流域水资源保护局,2008:11-12.
[7] 刘元波,陈伟民,范成新.太湖梅梁湾藻类生态模拟与蓝藻水华治理对策分析[J].湖泊科学,1998(12):53-59.

(收稿日期:2010-05-11 编辑:徐娟)

·简讯·

第8届全国泥沙基本理论研究学术讨论会将在南京召开

中国水利学会泥沙专业委员会将于2011年11月7—9日在南京召开“第八届全国泥沙基本理论研究学术讨论会”。会议以“河口海岸与河流演变”为主题,总结近年来我国在泥沙基本理论研究方面取得的新成果,进一步促进泥沙学科发展。会议议题有:①河口海岸泥沙,包括:河口海岸动力与泥沙运动;沿海开发与海岸演变;河口海岸泥沙与生态;河口治理及港口航道整治。②泥沙输移规律,包括:流域侵蚀、沉积、搬运过程;河流泥沙运动规律;河床演变及河道整治。③工程泥沙、模拟理论与试验技术,包括:港口及水利枢纽泥沙、涉河建筑物冲刷及防护;水沙数值模拟理论与技术;水沙试验及量测新技术;其他工程泥沙问题。④环境生态、资源泥沙,包括:泥沙与污染治理;泥沙与生态保护;疏浚吹填及泥沙循环利用;泥沙资源化。⑤泥沙灾害与防护,包括:水土流失及治理措施;泥石流、滑坡发生机理与治理措施;河流泥沙灾害及治理措施。

(本刊编辑部供稿)