

城市水系叶绿素 a 含量与环境因子的灰关联分析

曹金玲¹, 刘静玲²

(1. 北京师范大学环境学院 北京 100875 ;

2. 北京师范大学环境学院水环境模拟国家重点实验室 北京 100875)

摘要 :以北京市北环水系上游为研究实例 ,根据 9 个监测点的实测数据 ,利用灰关联分析方法分析叶绿素 a 含量与 7 个环境因子的相关性。结果表明 ,城市水系不同环境影响因子空间差异明显。根据显著相关因子 ,可以将研究区各河段分为 2 个环境影响类型 :浊度显著相关型 ,浊度与叶绿素 a 含量的 Pearson 相关系数在 0.583 ~ 0.877 之间 ;总氮显著相关型 ,总氮与叶绿素 a 含量的 Pearson 相关系数在 0.189 ~ 0.696 之间。根据主要相关因子 ,2 个环境影响类型各自分为 2 个亚型 :浊度显著相关型分为完全营养相关型和不完全营养相关型 ;总氮显著相关型分为物理因子相关型和总磷相关型。针对不同的环境影响类型 ,建议采用控制上游面源污染、恢复与重建水系生态系统和加强综合管理等对策 ,以实现城市水环境的改善与可持续发展。

关键词 城市水系 ;叶绿素 a ;环境因子 ;灰关联 ;北京市

中图分类号 :X522

文献标识码 :A

文章编号 :1006-7647(2008)S1-0023-04

北京市水系环境恶化的趋势不容乐观 ,2001 年以来北京城区河湖多次暴发大面积的水华和严重的死鱼现象^[1]。2002 ~ 2005 年对北京市研究结果表明 ,中等程度富营养水体占 58% ;严重富营养水体占 11%^[2]。北京内城水系各月份水质超过水体功能标准的监测站占总数的 61% ~ 90.6% 之间。TP 质量浓度的平均值为 0.16 ~ 0.54 mg/L ,TN 质量浓度平均值为 6.16 ~ 7.95 mg/L ,氮磷比为 15 ~ 55 ,根据 OECD 的标准 ,均属磷控制型富营养化 ,且叶绿素 a 质量浓度为 62.59 ~ 152.60 $\mu\text{g/L}$,均远超过 OECD 的超富营养化水平^[3]。

目前 ,研究叶绿素含量与环境因子的相关性已成为学术界关注的热点^[4-17] ,研究结论因研究地点和分析方法不同各有差异。黄伟建等^[4-5]利用灰关联分析方法分别对大鹏湾海水和鄱阳湖中叶绿素含量与生态因子的相关性进行分析 ,在大鹏湾海水中硝酸盐、亚硝酸盐和酸碱度对叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 c 的影响均较为明显 ,鄱阳湖中影响叶绿素 a (Chl-a) 的因子降序排序为水温、高锰酸盐指数、生化需氧量和透明度。张志杰等^[6]利用灰关联分析方法对闹德海水库中 Chl-a 与生态因子的相关性进行分析 ,影响 Chl-a 的环境因子排序为 :总氮 > 水温 > 总磷 > 高锰酸盐指数 > pH 值 > 水深 > 溶解氧 > 生

化需氧量。另一类研究主要集中在环境因子与浮游植物的关系 ,探求浮游植物暴发机制 ,Sarkar 等^[10]在回归模型中加入方差分析 ,研究了西孟加拉和印度奥里萨邦的部分海域中环境因子与各种浮游植物暴发之间的相关性 ,建立藻类暴发模型 ,对藻类的暴发进行预测。Beamud 等^[11] ,Rantajärvi 等^[12] ,Álvarez-Góngora 等^[13]和 Naselli-Flores 等^[14]分别利用多元变量分析和主成分分析方法对近海的环境因子与浮游植物群落组成之间的关系进行分析 ,明确了不同浮游植物与环境因子的相关性。Kudo 等^[15]对日本 Funka 海湾中的环境因子和 Chl-a 质量浓度进行 5 年的监测 ,分析环境因子对 Chl-a 含量和浮游植物产量及暴发的影响。Zhao 等^[16]利用三维生态系统动力模型模拟垂直混合和水平对流等物理因素对渤海中浮游植物及营养物质分布的影响。综上所述 ,以往研究利用多种分析方法与模型 ,分析海域和自然湖泊中环境因子与叶绿素之间的关系 ,而利用灰关联分析方法探索城市水系水环境空间变化的研究尚未见报道。Chl-a 已成为城市水系生态系统健康评估研究中的重要评价指标^[17]。因此 ,探索城市水系不同河段 Chl-a 和关键环境因子相互关系具有重要的理论意义和实用价值。

基于北京市内城水系的来水量不足、流动性差、

人为胁迫严重、各河段特征污染物不同等特殊性,本文以北京市内城北环水系上游为研究对象,拟对研究区不同河段中 Chl-a 含量与环境因子的关联性进行分析,探讨造成其生态环境恶化的关键环境因子,进而明晰城市水系生态系统健康的定量化分析与评价方法,为城市水系的环境综合管理与生态恢复方案的优化提供理论基础和技术支持。

1 研究区概况

研究区位于北京市北环水系的上游、京密引水渠的南段和北段,南段包括昆玉段和玉渊潭出口闸至二热闸,昆玉段水体自昆明湖南门节制闸至玉渊潭船闸进口,全长 7.67 km,河道底宽 36~40 m,水面面积 23.9 km²,流经北京市海淀区。玉渊潭出口闸至二热闸全长 2.6 km,河道底宽 30 m,水面面积 10.19 km²,流经北京市海淀区、西城区,下游是西护城河。北段为南长河与京密引水昆玉段分流点(长河闸)至北展后湖闸,全长 5.49 km,河道底宽约 25 m,流域面积 19.5 km²。整个研究区的下游流经北京市中心的六海水系,是北京市北环水系的污染控制区。研究区水质监测点位分布见图 1。

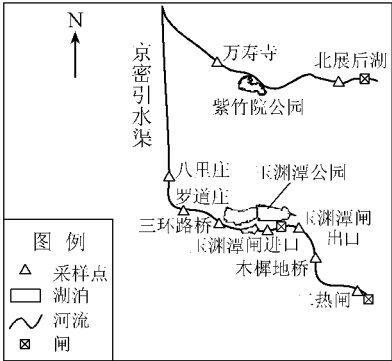


图 1 研究区水质监测点位分布

2 样品的采集及分析方法

2006 年 6 月末至 10 月末,每隔 3~4 d 采样 1 次,每次采样的时间均在上午 9:00~12:00。8 月

份由于雨量集中,未能实现连续采样。水样采集后立即运送到实验室,在 4℃ 的冰箱中冷藏 1~2 h 后立即进行测定。

参考以往的水质监测指标以及相关文献中所报道的指标^[7],分别选取水温(T_w)、pH、化学需氧量(COD_{Cr})、总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮(NH_3-N)和浊度(T)作为研究的环境因子。

T_w 和 pH 均在现场利用便携式 pH 计进行测定,利用哈希公司 2100P TURBIDIMETER 和 YSI 9100 photometer 在实验室内测定 T 和 NH_3-N 、 COD_{Cr} 、TP、TN 分别采用 GB 3838—2002 中规定的重铬酸钾法、钼酸铵分光光度法和碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法进行测定^[18];Chl-a 采用文献^[19]中的国家标准方法进行分析测定。

3 研究方法——灰关联分析

灰色理论适用于信息不完全、不太明朗的体系,也称“灰箱”系统。灰关联分析法^[20]是灰色预测中的一种方法,用灰关联方法可在多因素情况下找出几个主要因素。由于灰关联分析方法不像数理统计学的相关分析方法那样需要大样本数据、必须具有较好的分布规律等条件,它要求的样本数据相对较少,可对有限的、表面无规律的数据进行处理,找到系统本身具有的特征,且主要研究动态过程,所以更具应用优势。以 Chl-a 为母因素序列,采用全库平均值,以 T_w 、pH、T、 NH_3-N 、TN、TP、 COD_{Cr} 为子因素序列,也采用全库平均值^[7]。一般分为以下 4 个步骤:①监测点各环境因子的监测结果;②数据进行均值化的无量纲化处理;③关联系数 $\epsilon(k)$ 的计算;④灰关联度 γ 的计算。

4 结果与讨论

4.1 结果

监测点各环境因子的监测结果见表 1。以北展后湖河段为例,各步骤计算结果如下:①Chl-a 质量

表 1 2006 年北展后湖各环境因子与 Chl-a 的监测结果

监测日期	$\rho(\text{Chl-a})/(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	$T_w/^\circ\text{C}$	pH	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD}_{Cr})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	T/NTU
06-30	34.53			3.20	33.34	4.78	0.28	11.3
07-03	83.23	26.7	8.05	3.50	200.06	6.22	0.28	5.3
07-10	43.14	25.6	7.36	3.60	12.80	6.51	0.24	11.3
07-14	72.56	28.2	8.04	1.85	14.08	6.53	0.19	7.5
07-18	39.33	27.8	7.43	0.75	16.64	6.00	0.19	8.5
07-25	150.91	28.2	8.27	0.50	15.36	8.28	0.23	22.1
08-28	44.64	27.8	8.09	1.35	14.08	6.84	0.21	10.7
09-01	64.79	27.4	7.74	0.35	19.20	7.59	0.14	4.7
09-04	72.13	25.2	7.48	0.46	18.70	8.13	0.14	5.0
09-07	52.76			0.46	20.60	7.33	0.12	3.9
09-11	57.63	21.4	8.02	0.21	38.01	6.95	0.12	6.2
09-15	40.32	22.4	8.01	0.20	69.70	1.88	0.15	8.4

浓度在 34.53 ~ 150.91 mg/m³ 之间。据 OECD 湖泊营养标准 ,叶绿素质量浓度在 11 ~ 78 mg/m³ 为富营养型 ,研究区域不同时段均处在富营养状态 ,其中 7 月份的平均值最高 ,为 77.83 mg/m³ ;其次是 9 月份 ,平均值为 57.53 mg/m³。②数据进行均值化的无量纲化处理见表 2 ;③关联系数 $\epsilon(k)$ 的计算结果见表 3、表 4 ;④灰关联度 γ 的计算结果见图 2。

表 2 北展后湖灰关联分析均值化结果

监测(母因素)		环境因子(子因素)数列 Y_i						
日期	数列 Y_0	T_w	pH	NH ₃ -N	COD _{Cr}	TN	TP	T
06-30	0.548 1	0	0	6.264 3	0.870 2	0.744 6	1.470 5	1.292 7
07-03	1.321 1	1.229 0	1.230 7	6.851 6	5.221 5	0.968 9	1.470 5	0.606 3
07-10	0.684 8	1.178 4	1.125 2	7.047 3	0.334 0	1.014 1	1.260 4	1.292 7
07-14	1.151 8	1.298 0	1.229 2	3.621 5	0.367 5	1.017 2	0.997 8	0.858 0
07-18	0.624 3	1.279 6	1.135 9	1.468 2	0.434 3	0.934 6	0.997 8	0.972 4
07-25	2.395 5	1.298 0	1.264 3	0.978 8	0.400 9	1.289 8	1.207 9	2.528 1
08-28	0.708 6	1.279 6	1.236 8	2.642 7	0.367 5	1.065 5	1.102 9	1.224 0
09-01	1.028 5	1.261 2	1.183 3	0.685 2	0.501 1	1.182 3	0.714 2	0.537 7
09-04	1.145 0	1.160 0	1.143 6	0.900 5	0.488 1	1.266 0	0.735 2	0.572 0
09-07	0.837 5	0	0	0.900 5	0.537 7	1.141 4	0.614 4	0.446 1
09-11	0.914 8	0.985 0	1.226 1	0.411 1	0.992 1	1.083 1	0.630 2	0.709 2
09-15	0.640 0	1.031 0	1.224 6	0.391 5	1.819 2	0.292 5	0.798 2	0.960 9

表 3 北展后湖子因素与母因素差绝对值计算结果

监测日期	T_w	pH	NH ₃ -N	COD _{Cr}	TN	TP	T
06-30	0.548 1	0.548 1	5.716 2	0.322 0	0.196 5	0.922 3	0.744 5
07-03	0.092 2	0.090 4	5.530 4	3.900 4	0.352 3	0.149 3	0.714 9
07-10	0.493 6	0.440 4	6.362 5	0.350 7	0.329 3	0.575 6	0.607 9
07-14	0.146 2	0.077 4	2.469 7	0.784 3	0.134 6	0.154 0	0.293 8
07-18	0.655 3	0.511 6	0.843 9	0.190 0	0.310 3	0.373 5	0.348 0
07-25	1.097 5	1.131 1	1.416 7	1.994 6	1.105 7	1.187 6	0.132 6
08-28	0.571 0	0.528 2	1.934 1	0.341 1	0.356 9	0.394 2	0.515 4
09-01	0.232 8	0.154 9	0.343 3	0.527 3	0.153 9	0.314 2	0.490 8
09-04	0.015 0	0.001 4	0.244 5	0.656 9	0.121 0	0.409 7	0.572 9
09-07	0.837 5	0.837 5	0.063 0	0.299 8	0.303 9	0.223 1	0.391 3
09-11	0.070 2	0.311 3	0.503 7	0.077 3	0.168 3	0.284 6	0.205 6
09-15	0.391 0	0.584 6	0.248 5	1.179 1	0.347 5	0.158 2	0.320 9

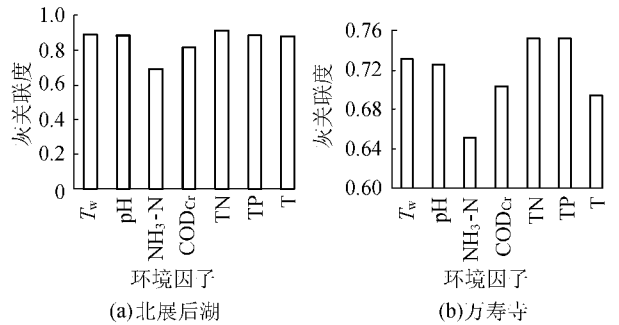


图 2 研究区部分河段 Chl-a 含量与环境因子的灰关联度

表 5 研究区各河段显著、主要及次要相关因子

相关因子	北展后湖	万寿寺	八里庄	罗道庄	三环路桥	玉渊潭闸进口	玉渊潭闸出口	木樨地	二热闸
显著相关因子	TN	TN	TN	T	TN	T	T	T	T
主要相关因子	T_w	TP	TP	COD _{Cr}	pH	TN	TP	TP	TN
	TP	T_w	pH	T_w	T_w	COD _{Cr}	TN	COD _{Cr}	TP
	pH	pH	T	pH	T	TP	COD _{Cr}	TN	COD _{Cr}
次要相关因子	T	COD _{Cr}	COD _{Cr}	TN	TP	T_w	NH ₃ -N	T_w	pH
	COD _{Cr}	T	NH ₃ -N	TP	COD _{Cr}	pH	T_w	pH	T_w
	NH ₃ -N	NH ₃ -N	T_w	NH ₃ -N	NH ₃ -N	NH ₃ -N	pH	NH ₃ -N	NH ₃ -N

表 4 北展后湖各环境因子对 Chl-a 的关联系数

监测日期	T_w	pH	NH ₃ -N	COD _{Cr}	TN	TP	T
06-30	0.853 4	0.853 4	0.357 7	0.908 5	0.942 2	0.775 6	0.810 7
07-03	0.972 3	0.972 8	0.365 3	0.449 4	0.900 7	0.955 6	0.816 9
07-10	0.866 1	0.878 8	0.333 5	0.901 1	0.906 6	0.847 2	0.839 9
07-14	0.956 5	0.976 7	0.563 2	0.802 6	0.959 8	0.954 2	0.915 8
07-18	0.829 6	0.861 8	0.790 7	0.944 0	0.911 5	0.895 3	0.901 8
07-25	0.743 8	0.738 0	0.692 2	0.614 9	0.742 4	0.728 5	0.960 4
08-28	0.848 2	0.858 0	0.622 2	0.903 6	0.899 5	0.890 1	0.860 9
09-01	0.932 2	0.954 0	0.903 0	0.858 2	0.954 3	0.910 5	0.866 7
09-04	0.995 7	1.000 0	0.929 0	0.829 2	0.963 8	0.886 3	0.847 7
09-07	0.791 9	0.791 9	0.981 0	0.914 3	0.913 2	0.934 9	0.890 8
09-11	0.978 8	0.911 3	0.863 7	0.976 7	0.950 2	0.918 3	0.940 0
09-15	0.890 9	0.845 1	0.927 9	0.729 9	0.901 9	0.953 0	0.908 8

由表 3 可知 ,北展后湖各个时刻的母因素数列与各子因素数列的差绝对值中最大值 $\Delta_{\max} = 6.362519$,最小值 $\Delta_{\min} = 0.00138$ 。

分析结果表明 :7 个环境因子与 Chl-a 含量均有不同程度的相关性。依据灰关联分析结果 ,将排在第 1 位的因子作为显著相关因子 ,排在第 2、3、4 位的环境因子作为主要相关因子 ,其余的为次要相关因子。据此可以将研究区各河段分为 2 个环境影响类型 :浊度(T)显著相关型和总氮(TN)显著相关型(表 5)。

4.2 讨论

4.2.1 浊度(T)显著相关型

水体的浊度与 Chl-a 含量的相关性最好 ,这主要是因为水体中藻类的数量直接影响着水体的浊度 ,而水体中藻类的数量又可以间接地用 Chl-a 含量来反映 ,因此 Chl-a 含量与水体浊度具有显著相关性。

各河段的浊度与水体中 Chl-a 含量的相关性存在差异 ,对各环境因子与 Chl-a 含量进行相关性分析 ,得出罗道庄、玉渊潭闸进口、玉渊潭闸出口、木樨地和二热闸水体浊度与 Chl-a 含量的 Pearson 相关系数分别为 0.583、0.633、0.821、0.877、0.843($P < 0.05$)。

根据主要相关因子又可将此环境影响类型分为完全营养相关型和不完全营养相关型。完全营养相关型是指 TN、TP 和 COD_{Cr} 这 3 个主要相关因子都是

藻类生长的营养物质。不完全营养相关型是指 3 个主要相关因子中不完全是藻类生长的营养物质,还包括水体的 T_w 和 pH 。对于完全营养相关型的监测点,控制水体中富营养化的主要措施是控制水体中营养物质的输入。罗道庄属于不完全营养相关型,此处 COD_{Cr} 成为主要的营养物质相关因子,可能是因为岸边的旅游设施以及经常有游船停靠造成有机污染严重,使得有机污染物成为水体中藻类生长的主要营养物质,但还需进一步系统监测。

4.2.2 总氮(TN)显著相关型

研究区域中环境影响类型 TN 含量与 Chl-a 含量的相关性最好。浊度没有成为 Chl-a 含量显著相关因子的主要原因是,这些地点的人为干扰较严重,其中北展后湖、万寿寺和八里庄桥 3 个监测点的护岸非常低,近岸边设有餐饮、娱乐以及居民生活设施等,严重影响水体中正常的物质循环。由于人为的干扰使得浊度不完全是由藻类作贡献,更多的是生活垃圾以及颗粒物所造成的水体混浊。三环路桥的人口、车辆密集,地面营养物多,被水或风带入河道内,形成难以控制的面源污染。综上可知,该类河段最有可能接受生活污水,水体中 TN 含量与 Chl-a 含量具有显著相关性。

用 Pearson 相关系数表示各河段 TN 与 Chl-a 含量的相关性差异,北展后湖、万寿寺、八里庄桥和三环路桥水体中 TN 含量与 Chl-a 含量的 Pearson 相关系数分别为 0.527 0.189 0.270 0.696 ($P < 0.05$)。

根据主要相关因子可将此环境影响类型分为物理因子相关型和总磷相关型。物理因子相关型是指影响 Chl-a 含量的 3 个主要环境因子中有 2 个是水体的物理性质指标,包括 T_w 和 T 。总磷(TP)相关型是指主要相关因子中都有 TP,这是因为上游地区的农田土壤大量施用化肥,经地表径流,营养物从土壤流失到下游的河道,因此,对于京密引水渠的下游河道,控制水体的富营养化应该从控制上游的农业面源污染着手。

5 结 语

a. 研究结果表明,研究区分为 2 个环境影响类型:浊度(T)显著相关型和总氮(TN)显著相关型。T 显著相关型的河段有罗道庄、玉渊潭闸进口、玉渊潭闸出口、木樨地和二热闸,水体的浊度与其中 Chl-a 含量的 Pearson 相关系数分别为 0.583 0.633 0.821 0.877 0.843 ($P < 0.05$)。TN 显著相关型的河段有北展后湖、万寿寺、八里庄桥和三环路桥,总氮含量与 Chl-a 含量的 Pearson 相关系数分别为:0.527, 0.189 0.270 0.696 ($P < 0.05$)。

b. 根据主要相关因子,将浊度显著相关型分为完全营养相关型和不完全营养相关型,完全营养相关型的主要相关因子是 TN、TP 和 COD_{Cr} ;不完全营养相关型的 3 个主要相关因子包括水体本身的物化性质指标,即 T_w 和 pH 。

总氮显著相关型分为总磷相关型和物理因子相关型,总磷相关型的主要相关因子除 TP 外,还有 pH ,物理因子相关型主要相关因子分别是 T_w 、T 和 pH 。

6 建 议

a. 浊度显著相关型河段大部分位于京密引水渠的南段并且主要相关因子多是营养物质,因此,控制河段富营养化的主要措施是控制上游的面源污染以及规范管理沿岸生活污水的排放和人类活动所造成的营养物质输入。其中罗道庄属于不完全营养型,主要相关因子以 COD_{Cr} 为主,这可能是由于岸边旅游设施以及游船的停靠所造成的有机污染较严重,应从加强对岸边旅游设施和游船合理停靠的管理入手。

b. 总氮显著相关型河段位于京密引水渠北段以及南段的上游部分,这些河段富营养化的控制应集中在控制上游的面源污染,加强对旅游设施运行以及居民生活污水排放的管理。对于三环路桥,TN 成为显著相关因子可能是因为车流量和人流量大,岸边小商贩聚集,应分别采取相应的水污染控制与管理措施,并对控制方案进行优选。

致谢:感谢天鸿燕波(北京)科技发展有限公司的郑常玉和闫慧以及北京师范大学环境学院王青强给予笔者的支持和帮助。

参考文献:

- [1] 楼春华,廖日红,侯德,等.北京城区河湖富营养化特征及对策分析[J].北京水利,2003(6):18-20.
- [2] 杜桂森,王建厅,张为华.北京河湖的营养状态分析[J].北京水利,2003(6):25-28.
- [3] 刘春光,金相灿,王雯,等.城市景观河流夏季污染状况及营养水平动态分析——以天津市津河为例[J].环境污染与防治,2004,26(4):312-316.
- [4] 黄伟建,黄贵虹.大鹏湾叶绿素与生态因子灰关联分析[J].海洋学报,2000,22(1):136-140.
- [5] 黄伟建,陈菊芳,徐宁,等.鄱阳湖水环境要素与叶绿素-a 的灰关联模型 GM(1,n) [J].水生生物学报,2001,25(4):415-418.
- [6] 张志杰,庄晶.闹德海水库叶绿素 a 与生态因子的灰关联分析[J].东北水利水电,2006,24(1):48-50.

(下转第 60 页)

混凝土是一种以胶凝材料、水、砂石骨料及掺合料、外加剂混合而形成的一个多相体。决定这种多相体抗冲耐磨性能的主要有 2 个方面,一个是组成材料本体的抗冲磨性,另一个是各种材料相互结合是否牢固的性能。混凝土中掺入硅粉、粉煤灰、聚丙烯纤维、矿渣、铁矿石是从配制高强高性能混凝土出发,改善水泥浆与骨料界面的黏结,使粗骨料在磨损作用时难以被破坏,从而提高混凝土的整体抗冲磨强度。胶粉的掺入是从提高组成材料本体方面改善混凝土的抗冲耐磨性能,但降低了水泥浆及其与骨料界面的黏结强度,使材料相互结合牢固的性能减弱,混凝土的强度随着胶粉掺量的增加而降低,但若仅从抗冲耐磨强度来看,胶粉混凝土与同水泥用量的硅粉混凝土和基准混凝土相比,其抗冲耐磨强度分别提高了 2 倍和 3 倍。这说明胶粉混凝土的抗冲耐磨性能非常优越,优于硅粉混凝土,更优于普通混凝土。由此,混凝土强度越高抗冲耐磨性能越强的理论不适用于胶粉混凝土,有关胶粉混凝土抗冲耐磨理论需进一步研究。

3 结 论

a. 胶粉混凝土的抗冲耐磨性能非常优越,与同水泥用量基准混凝土和硅粉混凝土相比,其抗冲耐

磨强度分别提高 3 倍和 2 倍。

b. 在一定的掺量范围内,胶粉颗粒粒径越大、掺量越多,抗冲耐磨性能越好。掺 8 目胶粉的混凝土随着掺量的增加,抗冲耐磨强度递增,掺 16 目胶粉的混凝土当掺量为 9% 时抗冲耐磨强度最大,掺 6% 时的抗冲耐磨强度大于掺 12% 时的抗冲耐磨强度。

c. 胶粉混凝土的抗冲耐磨强度与抗压强度不成正比。混凝土抗压强度越高其抗冲耐磨能力越强的理论不适用于胶粉混凝土,胶粉混凝土抗冲耐磨理论需进一步研究。

参考文献:

[1] 宋少民,刘娟红,金树新. 橡胶粉改性的高韧性混凝土研究[J]. 混凝土与水泥制品,1997(1):10-11.
[2] 曾玉珍,廖正环. 废旧轮胎在国外道路工程中的应用[J]. 国外公路,2000,20(1):39-42.
[3] 李锐,王玲. 橡胶集料混凝土研究进展综述[J]. 混凝土,2000(4):91-95.
[4] 董建伟,袁琳,朱涵. 橡胶集料混凝土的试验研究及工程应用[J]. 混凝土,2000(7):69-71.
[5] 潘东平,刘锋,李丽娟,等. 橡胶混凝土的应用与研究概况[J]. 橡胶工业,2007(2):182-185.
[6] DL/T5207—2005 水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范[S].

(收稿日期 2007-12-12 编辑 高建群)

(上接第 26 页)

[7] 吕映春,王飞儿,陈英旭,等. 千岛湖水体叶绿素 a 与相关环境因子的多元分析[J]. 应用生态学报,2003,14(8):1347-1350.
[8] 曾勇,杨志峰,刘静玲. 北京市北环水系富营养化因子分析[J]. 应用生态学报,2005,16(8):1513-1517.
[9] 卢亚芳,黄永春,黄世玉,等. 厦门杏林湾水库浮游植物密度与生态因子的灰关联分析[J]. 台湾海峡,2002,21(2):209-216.
[10] SARKAR R R, PETROVSKII S V, Biswas M, et al. An ecological study of a marine plankton community based on the field data collected from Bay of Bengal[J]. Ecological Modelling, 2006, 193: 589-601.
[11] BEAMUD S G, DIAZ M M, PEDROZO F L. Summer phytoplankton composition and nitrogen limitation of the deep, naturally-acidic (pH-2.2) Lake Caviahue, Patagonia, Argentina[J]. Limnologia, 2007, 37: 37-48.
[12] RANTAJÄRVI E, GRAN V, HÄLLFORS S, et al. Effects of environmental factors on the phytoplankton community in the Gulf of Finland - unattended high frequency measurements and multivariate analyses[J]. Hydrobiologia, 1998, 363: 127-139.
[13] ÁLVAREZ-GÓNGORA C, HERRERA-SILVEIRA J A.

Variations of phytoplankton community structure related to water quality trends in a tropical karstic coastal zone[J]. Marine Pollution Bulletin, 2006, 52: 48-60.
[14] NASELLI-FLORES L. Phytoplankton assemblages in twenty-one Sicilian reservoirs: relationships between species composition and environmental factors[J]. Hydrobiologia, 2000, 424: 1-11.
[15] KUDO I, MATSUNAGA K. Environmental factors affecting the occurrence and production of the spring phytoplankton bloom in Funka Bay, Japan[J]. Journal of Oceanography, 1999, 55(4): 505-513.
[16] ZHAO Liang, WEI Hao. The influence of physical factors on the variation of phytoplankton and nutrients in the Bohai Sea[J]. Journal of Oceanography, 2005, 61(4): 335-342.
[17] 张凤玲,刘静玲,杨志峰. 城市河湖生态系统健康评价——以北京市“六海”为例[J]. 生态学报,2005,25(11): 3019-3027.
[18] GB3838—2002 地表水环境质量标准[S].
[19] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
[20] 曾光明,杨春平,卓利著. 环境系统灰色理论与方法[J]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.

(收稿日期 2007-09-07 编辑 高建群)