

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.03.011

徐州市云龙湖水质评价及污染原因分析

张双圣^{1,2}, 刘喜坤², 强 静³, 刘汉湖¹, 万永智⁴, 孙咏林²

(1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116; 2. 徐州市城区水资源管理处, 江苏 徐州 221018;
3. 中国矿业大学理学院, 江苏 徐州 221116; 4. 江苏省水文水资源勘测局徐州分局, 江苏 徐州 221000)

摘要:以徐州市云龙湖为例,通过层次聚类分析法将2015年15个采样点180个样本分成13组,以各组样本均值为基础,采用水质综合标识指数方法得到各组水质评价结果,并将其分配到各组对应的水质样本点,以实现对多断面、长时间大量样本的水质评价;基于水质评价结果,进行各样本点 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 浓度逐月增加值与降水量的相关性分析。结果表明:云龙湖采样点水质状况分布在I~IV级之间,其中大部分处于Ⅲ级以上。空间上云龙湖中心湖区水质明显好于入湖补水水质,时间上枯水期水质优于丰水期。中心湖区 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 质量浓度逐月变化量与降水量呈显著正相关,降水携带污染物入湖是云龙湖区水质变劣的主要原因之一。

关键词:云龙湖;聚类分析;综合水质标识指数;水质评价;降水量;相关性分析

中图分类号:X703 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2017)03-0052-07

Assessment of water quality and analysis of causes of pollution in Yunlong Lake in Xuzhou City

ZHANG Shuangsheng^{1,2}, LIU Xikun², QIANG Jing³, LIU Hanhu¹,
WAN Yongzhi⁴, SUN Yonglin²

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;
2. Urban Water Resources Management Office of Xuzhou City, Xuzhou 221018, China;
3. College of Sciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;
4. Xuzhou Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Xuzhou 221000, China)

Abstract: In a case study of Yunlong Lake in Xuzhou City in 2015, 180 samples at 15 sampling sites were divided into 13 groups through hierarchical cluster analysis. Using the sample mean of each group as the input, the comprehensive water quality identification index of each group was calculated. The evaluation result of each group was then applied to each original sample for water quality assessment of samples in large amounts, over long periods, and with multiple sections. Based on the results of water quality assessment, the correlation between monthly increase of the $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and COD_{Mn} concentrations and precipitation at each sampling site was analyzed. The results show that the water quality of the sampling sites was at class I to class IV levels, but mostly above the class III level. The water quality of the central lake was superior to that of the supplemental water, and the water quality in the dry season was superior to that in the wet season. Correlation analysis showed that the monthly increase of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and COD_{Mn} concentrations had a significantly positive correlation with precipitation. The pollutants brought by precipitation into the lake were one of the main reasons of water quality deterioration in Yunlong Lake.

Key words: Yunlong Lake; cluster analysis; comprehensive water quality identification index; water quality assessment; precipitation; correlation analysis

基金项目:江苏省水利科技项目(2016056);水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07406005);水利部科技推广计划项目(TG1517);江苏省水利科技项目(2014052)

作者简介:张双圣(1983—),男,工程师,博士研究生,主要从事水资源管理与水污染控制技术研究。E-mail:zhang_shuangsheng@163.com

通信作者:强静,讲师。E-mail:jingqiangsd@hotmail.com

水质评价与污染特征研究是水环境治理及水资源保护的基础性工作,也是水资源管理的重要研究内容之一。目前,常用的水质评价方法有单因子评价法、综合指数法^[1-2]、模糊数学评价法^[3-4]、层次分析法^[5]、灰色系统法^[6]及神经网络法^[7-8]等。这些方法的普遍思路是将各断面、各时期采样数据独立进行评价,没有考虑采样数据在时间和空间上的相似性以及水质分类标准的区间性特点,将会导致不必要的重复计算。

统计学中的聚类分析方法可以按照样本之间的相似程度把数据进行分类,避免大量的重复计算,提高分析效率。常用的聚类分析算法有 k-means 聚类算法、层次聚类算法、SOM 聚类算法以及 FCM 聚类算法等^[9]。本文以徐州市云龙湖为例,采用层次聚类分析法和综合水质标识指数方法,实现对多断面、长时间大量样本的水质评价;并对评价结果进行相关性分析,确定污染原因。

1 原理与方法

1.1 基于层次聚类分析的样本点分组

层次聚类分析法又称系统聚类法,其基本思想是:先将 n 个样本各自看成一类,并规定样本与样本之间的距离和类与类之间的距离。开始时,因每个样本自成一类,类与类之间的距离与样本之间的距离是相同的。然后,在所有的类中,选择距离最小的两个类合并成一个新类,并计算出所得新类和其他类的距离;接着再将距离最近的两类合并,这样每次合并两类,直至将所有的样本都合并成一类为止。本文中,样本与样本之间距离的计算方法采用平方欧氏距离;类与类之间距离的计算方法采用离差平方和法(Ward 法)^[10-15]。

Ward 法认为,如果分类合理,则同类样本间离差平方和应当较小,类与类间离差平方和应当较大。假定已经将 n 个样本分成了 k 类,用 m_t 表示类 G_t 中样本的个数(其中 $G_1, G_2, \dots, G_k, t=1, 2, \dots, k$, 表示类别),用 X_{it} 表示 G_t 中的第 i 个样本的变量指标值向量, $X_t = \sum_{i=1}^{m_t} X_{it} / m_t$ 表示类 G_t 的均值向量,则 G_t 中样本的离差平方和 S_t 的计算公式为

$$S_t = \sum_{i=1}^{m_t} (X_{it} - X_t)^T (X_{it} - X_t) \quad (1)$$

全部类内离差平方和 S 的计算为

$$S = \sum_{t=1}^k S_t = \sum_{t=1}^k \sum_{i=1}^{m_t} (X_{it} - X_t)^T (X_{it} - X_t) \quad (2)$$

综上所述,Ward 法的算法如下:①把 n 个样本看成 n 类,此时 $S=0$;②每次缩小一类。每缩小一类,离差平方和 S 就要增大,选择使 S 增加最小的两

类合并,直到所有的样本归为一类。

1.2 水质标识指数评价法

1.2.1 单因子水质标识指数的确定

单因子水质标识指数 P_i 由一位整数和小数点后两位有效数字组成,其中,整数部分代表水质指标的水质类别,小数部分代表监测数据在此类水质变化区间中所处的位置。单因子水质标识指数公式表示如下:

$$P_i = K_i + \frac{\rho_i - \rho_{i,K_i\downarrow}}{\rho_{i,K_i\uparrow} - \rho_{i,K_i\downarrow}} \quad (3)$$

$$P_{DO} = K_{DO} + \frac{\rho_{DO,K_i\uparrow} - \rho_{DO}}{\rho_{DO,K_i\uparrow} - \rho_{DO,K_i\downarrow}} \quad (4)$$

式中: K_i 为第 i 项水质指标所处的水质类别,取值为 $1, 2, \dots, 6$; ρ_i 为第 i 项指标的实测质量浓度; $\rho_{i,K_i\uparrow}$ 为第 i 项水质指标第 K_i 类水区间质量浓度的上限值; $\rho_{i,K_i\downarrow}$ 为第 i 项水质指标第 K_i 类水区间质量浓度的下限值。另 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中,DO 是越大越优型水质指标,其水质标识指数用式(4)计算,其余均为越小越优型水质指标,水质标识指数用式(3)计算。

当水体质量为 I 类水时,由于各项指标的上限(对 DO 来说是下限)受到很多因素的控制,不考虑样本数据在此类水质变化区间中所处的位置,直接认为 $P_i=1$ 。

1.2.2 综合水质标识指数的确定

GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中采用的单因子评价法忽略了其他指标对水质的影响,难以全面反映水体的综合状况,可能会造成水体水质评价等级偏低。为了克服单因子评价法以偏概全的缺点,综合水质标识指数既考虑了污染最严重的指标,又综合考虑了所有单项指标,从而可以全面反映水体的水质状况。综合水质标识指数 P 的公式如下:

$$P = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n P_i + \frac{n-2}{2(n-1)} P_{\max} \quad (5)$$

式中, $P_{\max}$ 为 n 项单项指标水质标识指数中的最大值。

通过综合水质标识指数能够对 I ~ V 类水、劣 V 类水不黑臭、劣 V 类水黑臭进行全面完整的连续性刻画。比如,当 $1.0 \leq P \leq 2.0$ 时,水质状况为 I 级; $2.0 < P \leq 3.0$ 时,水质状况为 II 级; $3.0 < P \leq 4.0$ 时,水质状况为 III 级; $4.0 < P \leq 5.0$ 时,水质状况为 IV 级; $5.0 < P \leq 6.0$ 时,水质状况为 V 级; $P > 6.0$ 时,水质状况为劣 V 级。

2 应用与讨论

2.1 研究区概况

云龙湖位于徐州市区西南部奎河上游,是一座中型水库,属淮河流域奎濉河系,东依云龙山,西连

韩山。云龙湖水库上游连接玉带河、闸河、废黄河、丁万河及京杭运河不牢河段,下游经奎河下泄洪水,向南流经濉河入洪泽湖。水库集水面积 59.1 km²,总库容 3 330 万 m³,兴利库容 905 万 m³,水面面积已达到 6.76 km²。汛限水位 32.5 m(故黄河标高),兴利水位 32.8 m。

2.2 数据收集

云龙湖被湖中路和湖南路分为 3 部分,即西湖、东湖和南湖,共设置 15 个采样点,分别在西湖设置 4 个监测点、东湖设置 5 个监测点,小南湖设置 3 个监测点,另在入湖河道设置 3 个监测点(图 1)。

数据来源于徐州市云龙湖水质监测专报(2015 年),水质指标共有 8 项,包括浊度、电导率、DO、NH₄⁺-N、COD_{Mn}、水温、透明度和 pH 值。由于上述数据资料中

水温、透明度和 pH 值 3 项指标的变化幅度不大,在聚类分析中可以直接忽略,所以仅选用浊度、电导率、DO、NH₄⁺-N 和 COD_{Mn} 5 项指标进行聚类分析。

每个采样点每月进行一次水质检测,共有 180 个数据样本。数据分析采用的软件为 SPSS19.0。

2.3 应用 Ward 法对样本分组

通过对云龙湖水质样本作指标数据时空差异性检验,可知水体中各污染物浓度在空间和时间尺度上不仅存在差异性,更存在着相似性。

采用 Ward 法对 180 个样本进行层次聚类分析。通过观察 SPSS 生成的聚类表可以看出,离差平方和的系数从 13 类到 12 类时出现了一个大幅增加,从 134.9 增加到了 149.4。据此,将样本分成 13 个组。表 1 显示了通过层次聚类得到的 13 个组各自对应的水质

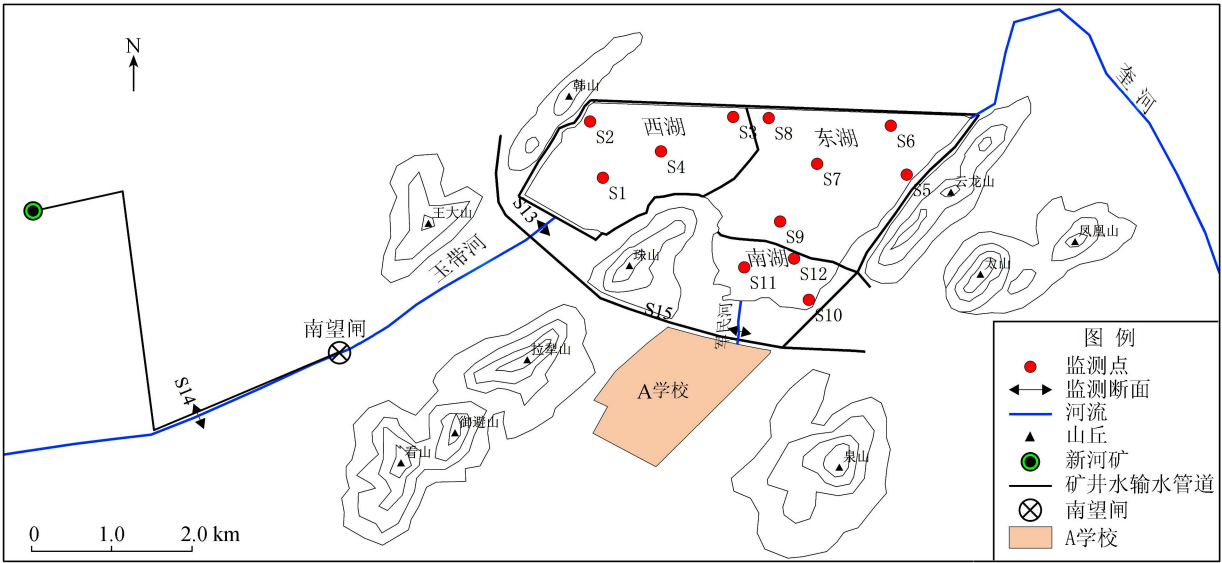


图 1 采样点分布示意图

表 1 13 组样本各自对应的水质样本点

组号	样本数	对应的水质样本
G1	29	S1-01、S2-01、S3-01、S4-01、S5-01、S6-01、S7-01、S8-01、S9-01、S10-01、S11-01、S12-01、S13-01、S13-02、S1-03、S2-03、S3-03、S4-03、S5-03、S6-03、S7-03、S8-03、S9-03、S10-03、S11-03、S12-03、S13-03、S13-04、S13-12
G2	19	S14-01、S15-01、S14-02、S15-02、S14-03、S15-03、S1-12、S2-12、S3-12、S4-12、S5-12、S6-12、S7-12、S8-12、S9-12、S10-12、S11-12、S12-12、S14-12
G3	12	S1-02、S2-02、S3-02、S4-02、S5-02、S6-02、S7-02、S8-02、S9-02、S10-02、S11-02、S12-02
G4	16	S1-04、S2-04、S3-04、S4-04、S5-04、S6-04、S7-04、S8-04、S9-04、S10-04、S11-04、S12-04、S1-06、S13-06、S13-09、S13-11
G5	26	S14-04、S1-08、S2-08、S3-08、S4-08、S5-08、S6-08、S7-08、S8-08、S9-08、S10-08、S11-08、S12-08、S1-10、S2-10、S3-10、S4-10、S5-10、S6-10、S7-10、S8-10、S9-10、S10-10、S11-10、S12-10、S14-10
G6	7	S15-04、S15-06、S15-07、S14-08、S15-09、S15-10、S15-11
G7	27	S1-05、S2-05、S3-05、S4-05、S5-05、S6-05、S7-05、S8-05、S9-05、S10-05、S11-05、S12-05、S13-05、S2-06、S3-06、S4-06、S5-06、S6-06、S7-06、S8-06、S9-06、S10-06、S11-06、S12-06、S13-07、S13-08、S13-10
G8	16	S14-05、S14-06、S14-07、S1-11、S2-11、S3-11、S4-11、S5-11、S6-11、S7-11、S8-11、S9-11、S10-11、S11-11、S12-11、S14-11
G9	1	S15-05
G10	24	S1-07、S2-07、S3-07、S4-07、S5-07、S6-07、S7-07、S8-07、S9-07、S10-07、S11-07、S12-07、S1-09、S2-09、S3-09、S4-09、S5-09、S6-09、S7-09、S8-09、S9-09、S10-09、S11-09、S12-09
G11	1	S15-08
G12	1	S14-09
G13	1	S15-12

注:Sxy-zu 表示断面 xy 处,第 zu 月的水质样本数据。

样本点。

通过聚类分析将处于同一水质级别的样本划为一组,实现整体统一评价。各组样本的数据特征用组内样本的均值来表示(表2),并以此进行各组的水质评价,再把每一组的评价结果根据表1分配给各自对应的样本点。

价。将各组水质样本中 DO、NH₄⁺-N、COD_{Mn}这3项指标的均值带入到式(1)~(3)中,得到各组水质样本的单项指标水质标识指数及综合水质标识指数(表3)。

表2 13组样本各项水质指标的均值

组号	浊度/ NTU	电导率/ (μS·cm ⁻¹)	ρ(DO)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(NH ₄ ⁺ -N)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(COD _{Mn})/ (mg·L ⁻¹)
G1	9	1 135	11.9	0.08	2.9
G2	12	923	11.1	0.85	4.4
G3	7	981	13.4	0.08	3.0
G4	26	1 149	9.8	0.19	3.0
G5	34	849	7.6	0.61	4.5
G6	36	893	7.4	4.88	7.1
G7	27	1 010	8.9	0.30	3.7
G8	33	1 058	8.1	0.53	5.4
G9	148	489	7.6	5.56	7.0
G10	39	928	9.8	0.56	4.6
G11	36	424	5.3	3.03	4.0
G12	33	742	9.2	0.43	10.0
G13	15	1 061	8.6	9.62	9.0

由表2可见,组G1、G3聚集了有较低NH₄⁺-N和COD_{Mn}质量浓度的水质样本点;组G6、G9聚集了有较高NH₄⁺-N和COD_{Mn}质量浓度的水质样本点;组G11、G12、G13这3个组里面各自只含有一个样本点,这3个样本和其余样本差别很大,组G11的样本中DO的质量浓度最低,组G12的样本中COD_{Mn}的质量浓度最高,组13的样本中NH₄⁺-N的质量浓度最高;组G2、G5、G8、G10聚集了中等NH₄⁺-N和COD_{Mn}质量浓度的水质样本点;组G4、G7聚集了较低NH₄⁺-N质量浓度的水质样本点。

2.4 水质标识指数评价结果

2.4.1 各组样本的水质标识指数评价结果

由于GB3838—2002《地表水环境质量标准》没有浊度和电导率的评价适用标准,故仅对表2中各组水质样本中DO、NH₄⁺-N和COD_{Mn}这3项指标进行评

表3 13组样本单项指标和综合水质标识指数评价结果

组号	单项指标水质标识指数			综合水质 标识指数	综合水质 级别
	DO	NH ₄ ⁺ -N	COD _{Mn}		
G1	1.00	1.00	2.43	1.72	I
G2	1.00	3.69	3.18	2.89	II
G3	1.00	1.00	2.50	1.75	I
G4	1.00	2.12	2.50	2.03	II
G5	1.00	3.22	3.23	2.67	II
G6	2.07	6.00	4.29	4.59	IV
G7	1.00	2.43	2.85	2.28	II
G8	1.00	3.06	3.69	2.86	II
G9	1.00	6.00	4.25	4.31	IV
G10	1.00	3.13	3.31	2.69	II
G11	3.30	6.00	3.00	4.58	IV
G12	1.00	2.80	5.00	3.45	III
G13	1.00	6.00	4.75	4.44	IV

由表3可知,13组样本水质状况从I级到IV级均有分布。G1组样本的水质状况最好,组中共29个样本,除14、15号采样点外,其他采样点均在G1组中,且样本监测时间主要集中在1月、2月、3月及12月;G6组样本的水质最差,组内共7个样本,其中6个样本取自15号采样点,且样本监测时间集中在4—11月。通过综合水质标识指数分析可知,空间上云龙湖湖区水质明显优于入湖河流水质,时间上枯水期水质优于丰水期。

2.4.2 多断面、长时间的水质评价

将表3中各组的综合水质标识指数分配到表1各组对应的水质样本点,结果见表4、图2。

由表4可知,采样点S13的水质最好,采样点S11、S12次之,而S14的水质较差,S15的水质最差。实际上,S13为玉带河入湖口采样点,由于上游有南望闸将S13与S14两个采样点隔开,同时新河矿矿井水云龙湖补水工程将新河矿井水(水质达到GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》)通过管道

表4 2015年各采样点各月综合水质标识指数及其年均值

采样点	综合水质标识指数												年均值
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
S1	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.03	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.33
S2	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.28	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.35
S3	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.28	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.35
S4	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.28	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.35
S5	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.28	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.35
S6	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.28	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.35
S7	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.28	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.35
S8	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.28	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.35
S9	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.28	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.35
S10	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.28	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.35
S11	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.28	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.35
S12	1.72	1.75	1.72	2.03	2.28	2.28	2.69	2.67	2.69	2.67	2.86	2.89	2.35
S13	1.72	1.72	1.72	1.72	2.28	2.03	2.28	2.28	2.03	2.28	2.03	1.72	1.98
S14	2.89	2.89	2.89	2.67	2.86	2.86	2.86	4.59	3.45	2.67	2.86	2.89	3.03
S15	2.89	2.89	2.89	4.59	4.31	4.59	4.59	4.58	4.59	4.59	4.59	4.44	4.13

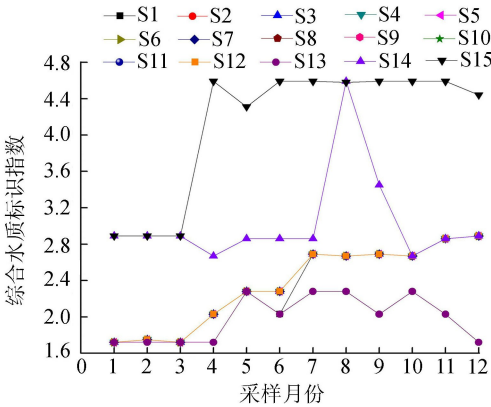


图2 5个采样点2015年各月水质评价结果

输送至南望闸下,有效提升了S13的水质,S13水质显著优于S14;S14为玉带河补水通道采样点,由于云龙湖为间歇性补水,玉带河水体流动性较差,导致S14水质较差;S15监测水样为A学校污水处理厂排水,水质很差。

2.5 相关性分析

由表4及图2可知,云龙湖枯水期水质最好,丰水期水质较差。因此推断,在外界补水条件不变的条件下,采样点水质与降水量可能存在相关性。

由图2可知,15个采样点各月水质变化集中表现为4条曲线,其中云龙湖湖区各采样点(S1-S12)各月综合水质标识指数基本一致,故选取采样点S11作为湖区各采样点的代表进行相关性分析。根据采样点S11、S13、S14、S15的实测数据,运用统计软件SPSS19.0分别对其进行 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 质量浓度逐月变化量与降水量 P 的相关性分析^[16],分析结果见图3~6及表5。

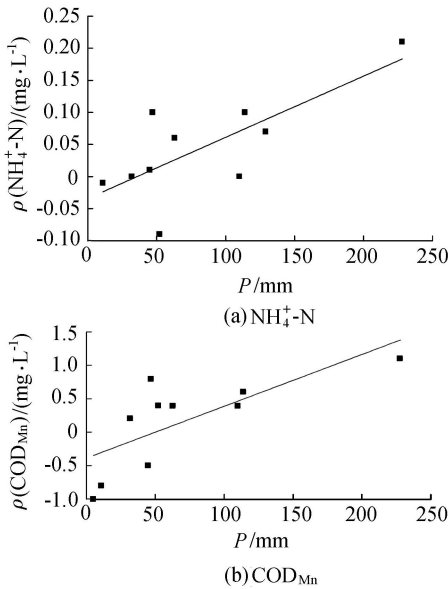
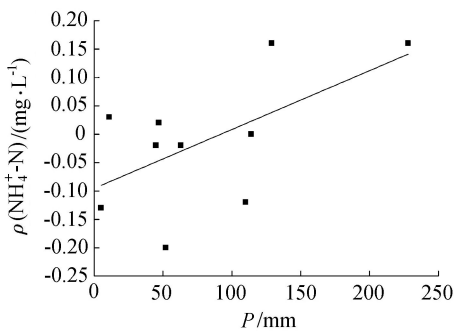
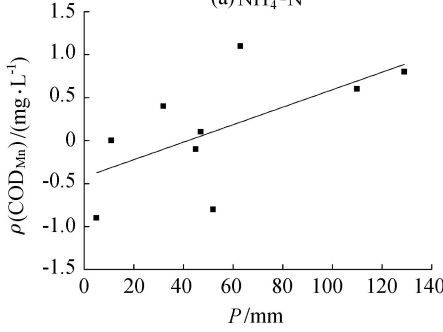


图3 S11采样点 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 质量浓度逐月变化量与降水量线性拟合

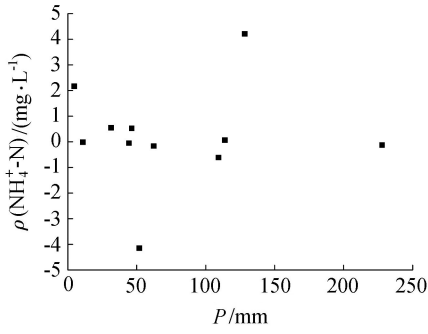


(a) $\text{NH}_4^+\text{-N}$

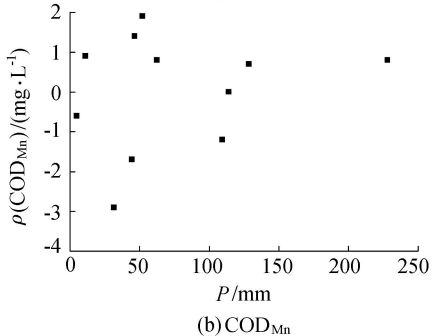


(b) COD_{Mn}

图4 S13采样点 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 质量浓度逐月变化量与降水量线性拟合



(a) $\text{NH}_4^+\text{-N}$



(b) COD_{Mn}

图5 S14采样点 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 质量浓度逐月变化量与降水量线性拟合

由表5可知,S11与S15两个采样点污染物浓度逐月变化量与降水量表现为显著相关,而采样点S13与S14两处不显著相关。实际上,S11为云龙湖湖区代表采样点,由于云龙湖周边被山丘环抱,且周边有公路环绕,降水时雨水从山上携带有机污染物进入湖区,而且雨水冲刷路面,使沥青、轮胎磨损物及汽车尾气中的含氮化合物一同进入湖区,导致

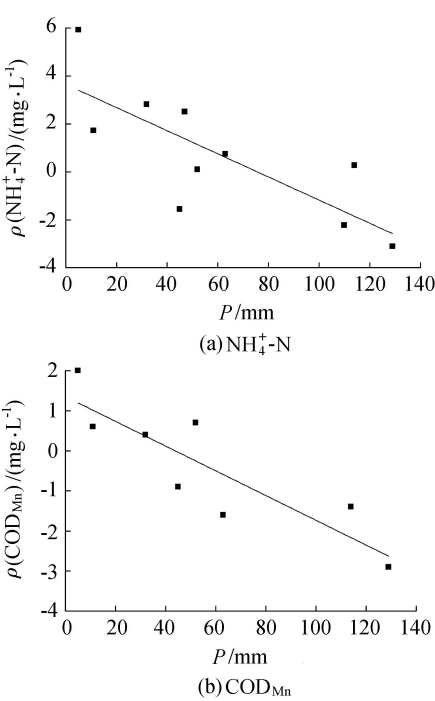


图 6 S15 采样点 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 质量浓度逐月变化值与降水量线性拟合

表 5 各采样点污染物浓度逐月变化值与降水量相关性分析

采样点	相关指标	回归方程	相关系数	显著性水平	相关性
S11	$\rho(\text{NH}_4^+\text{-N}) \sim P$	$y=0.001x-0.034$	0.742	0.014	显著
	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) \sim P$	$y=0.008x-0.385$	0.734	0.016	显著
S13	$\rho(\text{NH}_4^+\text{-N}) \sim P$	$y=0.001x-0.095$	0.592	0.072	不显著
	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) \sim P$	$y=0.01x-0.422$	0.619	0.075	不显著
S14	$\rho(\text{NH}_4^+\text{-N}) \sim P$		0.073	0.831	不显著
	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) \sim P$		0.198	0.560	不显著
S15	$\rho(\text{NH}_4^+\text{-N}) \sim P$	$y=-0.048x+3.638$	-0.778	0.008	显著
	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}}) \sim P$	$y=-0.031x+1.342$	-0.872	0.005	显著

注:显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

降水时湖区水质变劣^[17-18]。S15 污染物浓度逐月变化量与降水量表现为负相关,这主要是由于 S15 处来水为 A 学校退水,其污染物浓度本身高于云龙湖区及雨水携带的污染物浓度,降水对退水产生稀释作用。因此降水是云龙湖水质变劣的主要原因之一,同时 A 学校退水是造成云龙湖水质变劣的另一原因。

3 结 论

a. 将层次聚类法应用于大尺度、多断面、长时间的大量样本的水质评价工作,可大大减轻水质分析的工作量;在水质评价过程中综合考虑各项水质

评价指标,又突出了最差指标的影响,避免了单因子评价方法以偏概全的缺点,反映了水质样本的总体特征。

b. 采样点水质状况分布在 I ~ IV 级之间,其中大部分处于 III 级以上,空间上云龙湖湖区水质明显好于入湖补水水质,时间上枯水期水质优于丰水期,建议对入湖河道采取工程措施或者生态修复措施进行河道水质治理。

c. 云龙湖湖区水质与降水量呈显著性负相关关系,降水及 A 学校退水是造成云龙湖水质变劣的两个主要原因。建议一方面加强对雨水径流的处理,通过工程措施将初期雨水拦截进入污水管网,减低入湖污染物流入量;另一方面,A 学校污水处理站退水全部进入污水管网,或者提高再生水利用率,作消耗性利用。

参考文献:

[1] 李录娟,邹胜章. 综合指数法和模糊综合法在地下水质量评价中的对比:以遵义市为例[J]. 中国岩溶,2014, 33(1):22-30. (LI Lujuan,ZOU Shengzhang. Comparison of comprehensive index method and fuzzy comprehensive method in the evaluation of groundwater quality: a case study in Zunyi City[J]. Carsologica Sinica,2014,33(1): 22-30. (in Chinese))

[2] LUMB A, HALLIWELL D, SHARMA T. Application of CCME water quality index to monitor water quality: a case study of the Mackenzie River Basin, Canada [J]. Environmental Monitoring and Assessment,2006,113(1/ 2/3):411-429.

[3] 吴运敏,陈求稳,李静. 模糊综合评价在小流域河道水质时空变化研究中的应用[J]. 环境科学学报,2011,31 (6):1198-1205. (WU Yunmin, CHEN Qiuwen, LI Jing. Fuzzy comprehensive assessment on spatio-temporal variations of water quality of a small catchment[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(6):1198-1205. (in Chinese))

[4] YUN Yi,ZOU Zhihong. An improved synthetic evaluation method on water quality evaluation in city sections of the Three Gorges reservoir area [C]//Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services. Nanjing: Curran Associates, 2007: 289-293.

[5] 徐兵兵,张妙仙,王肖肖. 改进的模糊层次分析法在南苕溪临安段水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2011, 31(9):2066-2072. (XU Bingbing, ZHANG Miaoxian, WANG Xiaoxiao. Application of an improved fuzzy analytic hierarchy process in water quality evaluation of the South Tiaoxi River, Lin' an Section [J]. Acta

- Scientiae Circumstantiae, 2011, 31 (9) : 2066-2072. (in Chinese))
 - [6] 鲁珍,李晔,马啸,等. 大冶湖 2000—2009 年地表水质评价及污染趋势预测[J]. 环境科学与技术,2012,35 (5) : 174-178. (LU Zhen,LI Ye,MA Xiao,et al. Surface water quality assessment in period 2000—2009 and forecasting on changing tendency of pollution in Daye Lake [J]. Environmental Science & Technology,2012,35 (5) : 174-178. (in Chinese))
 - [7] GIRIJA T R,MAHANTA C,CHANDRAMOULI V. Water quality assessment of an untreated effluent impacted urban stream: the bharalu tributary of the Brahmaputra River, India [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2007,130(1/2/3) :221-236.
 - [8] 陈守煜,李亚伟. 基于模糊人工神经网络识别的水质评价模型[J]. 水科学进展,2005,16 (1) : 88-91. (CHEN Shouyu,LI Yawei. Water quality evaluation based on fuzzy artificial neural network [J]. Advance in Water Scince, 2005,16(1) :88-91. (in Chinese))
 - [9] 王淑芬. 应用统计学[M]. 北京:北京大学出版社, 2011.
 - [10]张旋,王启山,于森,等. 基于聚类分析和水质标识指数 的水质评价方法[J]. 环境工程学报,2010,4 (2) : 476-480. (ZHANG Xuan,WANG Qishan,YU Miao,et al. An approach for water quality assessment based on hierarchical cluster analysis and comprehensive water quality identification index [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010, 4 (2) : 476-480. (in Chinese))
 - [11]富天乙,邹志红,王晓静. 基于多元统计和水质标识指 数的辽阳太子河水质评价研究[J]. 环境科学学报, 2014,34(2) :473-480. (FU Tianyi,ZOU Zhihong,WANG Xiaojing. Water quality assessment for Taizi River watershed in Liaoyang section based on multivariate statistical analysis and water quality identification index [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, 34 (2) : 473-480. (in Chinese))
 - [12]袁连新,余勇. 聚类分析方法及其在环境监测(水质分 析)中的应用[J]. 环境科学与技术,2011,34 (12H) : 267-270. (YUAN Lianxin, YU Yong. Application of clustering analysis methods in environmental monitor (water analysis) [J]. Environmental Science & Technology,2011,34(12H) :267-270. (in Chinese))
 - [13]补建伟,周爱国,周建伟,等. 不同系统聚类法在水化学 分类中的应用[J]. 工程勘察,2013 (10) : 42-48. (BU Jianwei,ZHOU Aiguo,ZHOU Jianwei,et al. Application of different hierarchical clustering methods to hydrochemical classification[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2013(10) :42-48. (in Chinese))
 - [14]SWANSON S K,BAHR J M,SCHWAR M T. Two-way cluster analysis of geochemical data to constrain spring source waters [J]. Chemical Geology, 2001, 179 (1-4) : 73-91.
 - [15]PANDA U C,SUNDARAY S K,RATH P, et al. Application of factor and cluster analysis for characterization of river and estuarine water systems-A case study: Mahanadi River (India) [J]. Journal of Hydrology,2006,331(3/4) : 434-455.
 - [16]杨志恒. 基于 ward 法的区域空间聚类分析[J]. 中国人 口·资源 和 环境, 2010, 20 (3) : 382-386. (YANG Zhiheng. Region spatial cluster algorithm based on ward method [J]. China Population, Resources and Environment,2010,20(3) :382-386. (in Chinese))
 - [17]韩玉龙,刘振中. 雨水径流对受纳水体的污染特性研究 [J]. 水土保持研究,2015,22(6) :65-71. (HAN Yulong, LIU Zhenzhong. Research on characteristics of the receiving water body polluted by rainwater runoff [J]. Research of Soil and Water Conservation,2015,22(6) : 65-71. (in Chinese))
 - [18]荆红卫,华蕾,陈圆圆,等. 城市雨水管网降雨径流污染 特征及对受纳水体水质的影响[J]. 环境化学,2012,31 (2) : 208-215. (JING Hongwei, HUA Lei, CHEN Yuanyuan,et al. Pollution characteristics of runoff in urban storm sewer and its impaction to receiving water [J]. Environmental Chemistry, 2012, 31 (2) : 208-215. (in Chinese))
- (收稿日期:2016-09-26 编辑:徐 娟)

(上接第 46 页)

- [19]姚胜伟. 几类共轭梯度算法的研究[D]. 上海:华东理 工大学,2014.
 - [20]YAO Shengwei, LU Xiwen, NING Liangshuo, et al. A class of one parameter conjugate gradient methods [J]. Applied Mathematics and Computation, 2015, 265 : 708-722.
 - [21]范小平,李功胜. 确定地下水污染强度的一种改进的 遗传算法[J]. 计算物理, 2007, 24 (2) : 187-191. (FAN Xiaoping, LI Gongsheng. An improved genetic algorithm for groundwater pollution [J]. Chinese Journal of Computational Physics, 2007, 24 (2) : 187-191. (in Chinese))
- (收稿日期:2016-06-08 编辑:王 芳)