

高 斌, 许有鹏, 王 强, 等. 太湖平原地区不同土地利用类型对水质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(6): 1186–1191.

GAO Bin, XU You-peng, WANG Qiang, et al. Effects of land use changes on water quality of the plain area in Taihu Basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(6): 1186–1191.

太湖平原地区不同土地利用类型对水质的影响

高 斌¹, 许有鹏^{1*}, 王 强¹, 杨 洁¹, 沈顺忠², 徐 兴²

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. 江苏省水文水资源勘测局无锡分局, 江苏 无锡 214031)

摘 要:为探讨不同土地利用类型对太湖流域水质状况的影响,以太湖腹部平原区为例,基于典型年地表河流水质监测数据,结合TM影像解译结果所反映的土地利用状况,分别从区域和水质站点周边缓冲区两个方面,计算不同土地利用类型与水质状况的灰色关联序,以反映土地利用类型对地表水质的影响,为太湖腹部平原区的土地利用与水污染防治提供参考。结果表明:河流水质整体上与土地利用类型的灰色关联度最大的是城镇用地,其次是水田和旱地,水域和林地的灰色关联度最低;丰水期、枯水期的不同水质指标与土地利用的灰色关联序有一定区别,而水质站点缓冲区土地利用为样本时,水质指标受城镇用地影响最大,其次为耕作用地,最低为水域。

关键词:河流水质;土地利用;缓冲区;丰水期;枯水期;灰色关联

中图分类号:X52 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2017)06-1186-06 doi:10.11654/jaes.2016-1511

Effects of land use changes on water quality of the plain area in Taihu Basin

GAO Bin¹, XU You-peng^{1*}, WANG Qiang¹, YANG Jie¹, SHEN Shun-zhong², XU Xing²

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 2. Wuxi Branch of Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Wuxi 214031, China)

Abstract: The water environment in Taihu Lake Plain has been getting worse in recent years. To improve the situation of this water environment, the effects of different land use and land cover (LULC) on water quality should be studied. Taihu Lake Plain was chosen as the study area because of its representativeness. Based on surface water quality monitoring data in a typical year and land use and land cover (LULC), the grey relational order between LULC and surface water quality was calculated through Grey Relational Analysis (GRA). The similarities between curves drew from the data of LULC and water quality indices were compared to determine the grey relational order. Circle buffer zones (200, 500, 1000, 1500, 2000 m) of sites and divided areas were set as samples to calculate the grey relational order which can reflect effects of LULC on surface water quality. The grey relational order between surface water quality and LULC was urban land > dry land or paddy field > forestland > water area. The grey relational orders of water quality indices were different between the dry season and the wet season. Surface water quality was affected by urban land most and by water area least when buffers of water quality monitoring sites were set as examples. This research provides references for land use change and water quality protection. Data with more details should be collected in a further study. A mechanism model is needed to explain how LULC affects surface water quality.

Keywords: river water quality; land use; buffer zone; wet season; dry season; Grey Relational Analysis

收稿日期: 2016-11-28

作者简介: 高 斌(1993—),男,江苏南京人,硕士研究生,从事水文学与水资源研究。E-mail: gaogisstudy@163.com

*通信作者: 许有鹏 E-mail: xuyp305@163.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0401502); 国家自然科学基金项目(41371046, 41401035); 江苏水利科技基金重大项目(2015003)

Project supported: The National Key Research and Development Plan Project of China (2016YFC0401502); The National Natural Science Foundation of China (41371046, 41401035); Water Conservancy Science and Technology Foundation of Jiangsu Province (2015003)

河流水质问题是当前人们关注的热点问题,探讨河流水质的变化特征及其影响机制,对河流水环境保护有一定指导意义^[1]。土地利用类型在一定程度上反映了人类活动对河流水质的影响,其主要表现是非点源污染,其中城镇用地及农业用地对河流水质有较大影响^[2]:城镇用地上非点源污染主要包括城市垃圾、道路车辆污染、建筑场地污染、绿化带产生的污染,城镇用地同时也是点源污染产生的集中区域;农业生产中水田与旱地主要的污染来自种植过程中化肥和农药的施用,氮、磷污染较为严重;水域在太湖腹部平原被用于水产养殖,饵料是水污染来源之一;林草地上会产生一定的枯枝落叶、腐殖质,同时也能够吸收、净化部分污染物。非点源污染物主要以降雨为载体迁移到河流中^[3],非点源污染的估算方法包括污染分割法和降雨量差值法等,降雨量的差异导致了非点源污染影响的不同,而降雨量的不同是枯水期和丰水期的主要特征。

使用缓冲区提取土地利用类型的方法在河流水质研究中应用较为广泛。张福平等^[4]、洪超等^[5]对河岸带周边土地利用进行了提取,赵军等^[6]则采用圆形缓冲区提取了监测站点周边的土地利用,於梦秋等^[7]采用河流上游半圆形缓冲区提取土地利用。考虑到太湖腹部平原水体流动性较差,且集水区坡向不明显,采用圆形缓冲区提取站点周边土地利用类型来分析其对水质的影响大小具有一定的合理性,实际研究中将区域尺度作为大范围缓冲区进行处理。

近年来,太湖腹部地区作为典型快速城市化地区,污染物排放量增多,密集河网破坏较大,自净能力大幅下降,导致河流水质恶化。本研究选取太湖腹部平原上河流的50个断面水质数据,基于典型年分析,分别计算区域尺度和缓冲区尺度下土地利用类型与水质的灰色关联序,并比较丰、枯水期土地利用与河流水质的灰色关联序,分析土地利用类型可能对河流水质产生的影响,以期对土地利用结构调整提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

太湖腹部平原主要包括武澄锡虞区和阳澄淀泖区,处于长江三角洲的中部地区,属于亚热带季风气候,具有较为显著的雨热同期的特征,河流水的补给主要来自降水。该地区河网密布,但是因为其地势平坦,河流的流动性较差,所以相对受到人为控制与干

扰较多,城市化对其影响较大。该区域的水产养殖业和种植业较为发达,其土地利用类型除了城镇建设用地外,以水域、水田和旱地为主,林草地相对较少。在夏季梅雨期间,该地区降水较强,为作物的生长提供了有利条件,夏、秋季同时也是水产养殖的重要时期。

太湖腹部平原位于苏南地区,经济高度发展,苏、锡、常三市的生产总值长期处于江苏省前列,增长速度快。该区域是我国经济最为发达的地区之一,城市化发展速度快,但地区内部经济状况、发展水平存在一定差异,因而参照行政区划将其划分为不同区域。

太湖蓝藻事件爆发后,太湖周边水质问题引起人们的极大关注,国家投入大量资金用于水环境整治,大规模点源污染得到控制,但多年来该地区水质状况仍然不尽如人意,原因在于城市发展、土地利用变化等人类活动对河流仍有较大影响。本研究选取该区域水环境大规模整治后的2009年作为典型年,探讨土地利用对水环境的影响。当年的降雨处于平均偏多水平,因而以2009年为例开展分析具有较好的典型性。

1.2 数据来源

水质监测数据主要选择5项污染指标,分别是溶解氧(DO)、氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})。DO对水质的净化有积极作用,其浓度越高对水质越有利,其他四项属于污染性质的指标,它们的浓度越高表示水体污染越严重。水质数据使用2009年研究区域范围内的断面监测数据,大部分站点的测试间隔是一个月,少量站点测试间隔为两个月,属相关水质部门常规检测数据,可信性较高。

通过解译TM影像数据划分不同土地利用类型,考虑数据质量等因素,选择紧邻典型年的2010年初的影像。解译得出的土地利用类型主要分为八类,分别为草地、林地、园地、滩涂、旱地、城镇、水田、水体,根据需要归并为五类,包括城镇、旱地、水田、水域、林地。结合实际考察数据、地形图以及高分辨率影像等数据,选择一定数量地类明显分布均匀的区域,以该数据为标准对分类结果进行检验,总体分类精度85.69%,Kappa系数0.81(表1)。可以看出水田、林地、水域的分类结果精度较高,旱地的分类精度则稍差,可能是由于其与城镇用地之间存在一定的误判。将解译好的影像与太湖腹部平原研究区矢量图进行比对、裁剪,得出需要区域的分类结果(图1)。

1.3 研究方法

灰色系统理论着重研究概率统计、模糊数学难以解决的“小样本,贫信息”不确定性问题,恰好能够适

表1 遥感分类结果精度评价混淆矩阵

Table 1 Confusion matrix of precision evaluation for remote sensing classification results

分类结果	城镇用地	水田	旱地	林地	水域	用户精度/%
城镇用地	85	4	8	1	2	85.00
水田	10	138	2	9	7	83.13
旱地	14	0	39	3	1	68.42
林地	0	0	7	116	0	94.31
水域	0	1	1	2	53	92.98
生产者精度/%	77.98	96.50	68.42	88.55	84.13	

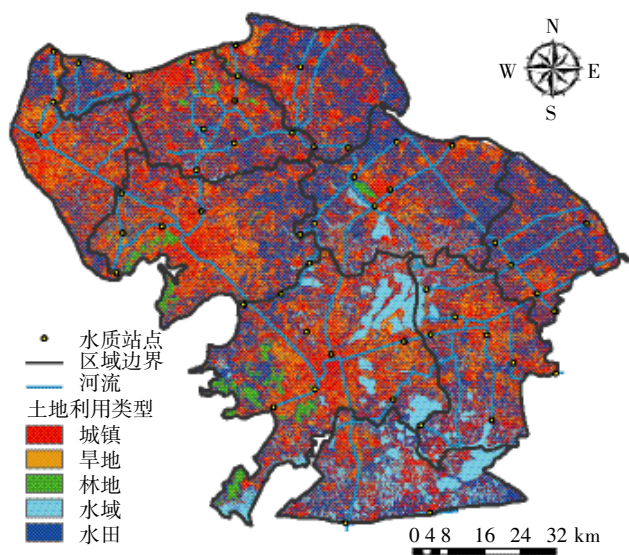


图1 2009年太湖腹部平原区域划分及土地利用分类

Figure 1 Division and LULC in belly of Taihu Basin

应样本量较少的情况,同时也能较好地综合考虑各项水质指标^[9]。本研究采用邓氏灰色关联度计算得出灰色关联序,通过计算确定不同曲线的几何形状,它们的形状越接近,则关联度越大。根据计算所得的关联度排序,即为灰色关联序,从而判断优势因素的排名。

以水质数据为参考数列,表示为 X_0 ,以土地利用类型的占比数据为比较数列,表示为 $X_i (i=1,2,\dots,m)$,区域、缓冲区序号以 $j (j=1,2,\dots,n)$ 表示。

由于各指标量纲和数量级差别很大,首先将指标进行标准化处理。由于标准化方法的选择会对结果产生较大影响,采用中心化、极差化、极大化、极小化、初值化、均值化方法分别进行计算时,发现极大化、极小化、初值化易受到特殊值的影响。对剩下三种方法的结果进行比较、分析,最终使用均值化方法计算^[9]:

$$Y_{ij} = X_{ij} / \bar{X} \quad (1)$$

求不同序列 X_i 与序列 X_0 的差序列与关联系数:

$$p_{ij} = |Y_{ij} - Y_{0j}| \quad (2)$$

$$\delta_{ij} = \frac{\min(p_{ij}) + \rho \max(p_{ij})}{p_{ij} + \rho \max(p_{ij})} \quad (3)$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \quad (4)$$

式中: Y_{ij} 为标准化处理后的水质指标和土地利用数据; p_{ij} 为比较数列与参考数列的绝对差值; δ_{ij} 为关联系数; ρ 为分辨系数,其取值范围为 0~1,在土地利用类型与水质指标灰色关联计算中取 0.5; r_i 为关联度。

根据不同序列与特征序列的关联度大小排序,得到序列的灰色关联序。

2 结果与讨论

2.1 降水和水质特征

根据雨量站所处位置等情况,选取长寿、甘露、巴城三个雨量站为代表。由于降水的年内分配不均,将4月至9月作为丰水期,1月至3月和10月至12月作为枯水期。丰水期与枯水期的降雨情况见表2。

表2 代表站点降雨情况

Table 2 Rainfall of representative stations

降水特征	长寿		甘露		巴城	
	丰水期	枯水期	丰水期	枯水期	丰水期	枯水期
降水日数/d	71	56	63	53	67	58
降水总量/mm	754.2	377	693.5	363.2	865.2	421.2
日平均降水量/mm	10.62	6.73	11.01	6.85	12.91	7.26

太湖平原的降雨年内季节变化显著,导致汛期与非汛期径流差别较大,而径流所携带的污染物也存在较大差异,使两个时期的水质状况差别较大(图2)。利用箱线图反映丰水期、枯水期水质状况分布情况,图中水平线从上至下分别对应2009年不同水质站点年平均水质指标数列的上边缘、上四分位数、中位数、下四分位数、下边缘。

图2表明,枯水期的各项水质指标数值均大于丰水期,表明丰水期的水质全面好于枯水期,但丰水期的DO含量与枯水期存在较大差距,DO浓度在一年中呈现先下降后上升的趋势。这主要是由于枯水期的划分以冬季为主,而丰水期对应的时间以夏季为主,温度较高,导致对应的DO含量较低^[10],而且夏季是各类水生植物、动物生长的茂盛时期,需要消耗水中更多的氧气。

2.2 区域水质-土地利用灰色关联

按照上述灰色关联计算方法,分别求取丰水期和

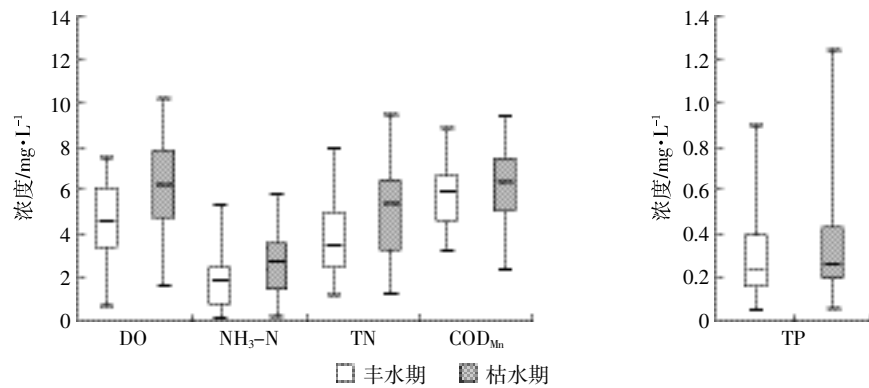


图 2 丰水期与枯水期水质指标对比

Figure 2 Water quality indexes comparison between wet season and dry season

表 3 区域水质指标-土地利用类型灰色关联序

Table 3 Grey relational orders of water quality indexes-LULC on a regional scale

时段	污染指标	灰色关联序
丰水期	DO/NH ₃ -N/TN/COD _{Mn}	城镇>水田>旱地>水域>林地
	TP	水田>城镇>旱地>水域>林地
枯水期	DO/TN	城镇>旱地>水田>水域>林地
	NH ₃ -N	水田>城镇>旱地>水域>林地
	TP	旱地>城镇>水田>林地>水域
	COD _{Mn}	城镇>水田>旱地>水域>林地

枯水期的土地利用类型与水质的灰色关联序(表3)。

DO 是反映水体状况的综合指标,受多种因素的共同影响。太湖地区有机污染物主要来自农药、化肥、腐殖质、城市污水、水面养殖产生的废水;TP、TN 来源包括工业废水、生活污水、农业面源污染、水产养殖污染等,这两种污染物的相同来源在量上存在差异^[1]。类似的,NH₃-N 主要来源为生活污水、工业废水、化肥和水产养殖。城镇化进程中,土地利用类型发生变化,导致同一地块的污染负荷发生变化。不同区域的土地利用情况不同,产生的污染物类型和量存在差异,导致了水质状况的不同。

土地利用类型与不同水质指标的灰色关联序中,林地和水域灰色关联序基本处于最后,且只有在枯水期时 TP 的灰色关联序中水域在林地之后,表明在丰水期和枯水期林地对不同污染指标的关联度都是最小的,因为林地对径流的贮存较好,产生污染较少,同时对大气沉降污染物有一定的净化作用^[12]。水域是水体污染的来源之一,同时也是污染物迁移、转化的场所,其间发生的物理、化学、生物变化较为复杂,导致其与水质的关联度较低。

DO 浓度在丰水期时,土地利用类型与其灰色关

联序为城镇>水田>旱地>水域>林地,枯水期时为城镇>旱地>水田>水域>林地,表明城镇用地对河流的 DO 影响较高,其次是旱地、水田。DO 指标不仅与水体化学性质相关,而且受到水体物理、水文特征(如气温、河水流速、护岸与否)以及水生生物特征(水生植物生长及其季节性差异)等许多复杂因素的影响^[13]。不同的用地类型通过影响上述指标会对 DO 造成影响。

NH₃-N 和 TN 浓度在丰水期时,灰色关联序为城镇>水田>旱地>水域>林地,城镇用地是对氮污染影响最大的土地利用类型。枯水期 NH₃-N 的灰色关联序为水田>城镇>旱地>水域>林地,水田对 NH₃-N 的灰色关联最高。这是由于枯水期时大部分水田转为旱地种植,施肥等因素的影响可能会使得水田的影响超过城镇用地。

TP 浓度与土地利用类型的灰色关联序丰水期时为水田>城镇>旱地>水域>林地,枯水期时为旱地>城镇>水田>林地>水域。无论是丰水期还是枯水期,都存在耕作用地的灰色关联序大于城镇用地的结果,表明耕作用地对 TP 的影响大于城镇用地,主要与耕作用地种植时施肥的流失及枯水期秸秆焚烧有关。

COD_{Mn} 是指示水体有机污染物的指标,无论是丰水期还是枯水期灰色关联序皆为城镇>水田>旱地>水域>林地,说明该指标受土地利用类型的影响在丰水期和枯水期没有明显差异。有机污染物的分解需要消耗 DO,但是因为 DO 浓度的影响因素较多且复杂,所以 COD_{Mn} 与 DO 的结果没有严格相反。城区由于存在较多的工业企业,污染排放较为严重,其中酸性、碱性或有毒物质的排放会影响水体中的微生物活性及数量,微生物利用 DO 分解有机污染物能力下降,因而造成有机污染物较多,同时 DO 也较高的情况。相

反,城镇用地比例较小的地区,相对而言生态系统较为完善,微生物群落较完好,利用 DO 分解有机污染物效率较高。

整体上,区域尺度的水质-土地利用类型灰色关联在丰水期不同污染指标的关联序较为多变,而在丰水期,DO、NH₃-N、TN、COD_{Mn} 与土地利用的灰色关联序相同,所以在丰水期城镇产生污染整体较多,林地整体较少。丰水期降水量较大,大量降水对污染物有一定的稀释作用,造成不同土地利用类型的影响相对固定,丰水期水质好于枯水期也是相同的原因。枯水期不同污染物的灰色关联序之间则有较大不同,枯水期降水量较少,污染物的冲刷、迁移情况较为复杂;丰水期水的流动加剧,加速了水中污染物的交换流通及降解,使得不同地区的污染物浓度差异减小。

2.3 缓冲区水质-土地利用灰色关联

对各个水质站点划定缓冲区,半径分别为 200、500、1000、1500、2000 m(在半径大于 2000 m 时会出现重叠情况),求取不同缓冲半径的各土地利用类型所占的比例。针对丰水期和枯水期不同站点的污染指标,分别计算不同缓冲区大小时土地利用与水质指标的灰色关联序(表 4、表 5)。因为站点周围的土地利用类型中,林地的面积占比大部分为 0,所以在这部分不予讨论。

在丰水期和枯水期,城镇用地对水质污染指标的灰色关联度在各尺度上都高于其他几种土地利用类型,表明城镇用地对污染指标浓度的影响大于其他土地利用类型。类似的,周海丽等^[14]研究认为城市用地比例是影响河流综合污染指数的主要原因。城镇化最主要的指标是城镇用地比例,城镇用地比例越大,指示地区城镇化程度越高。所以城镇化发展导致了地表变化,生活污染、工业污染、交通污染等加重,是导致河流水质恶化的重要因素。

在丰水期,土地利用类型与大部分污染物指标的灰色关联序为城镇>旱地>水田>水域。枯水期时土地利用类型与水质指标的灰色关联序为城镇>旱地>水田>水域,或是城镇>水田>旱地>水域,而枯水期的水田与旱地区别不大,两种灰色关联序可以被认为是同一种结果,所以建设用地与耕作用地都是向河流中输入污染物的主要土地利用类型^[15]。同时该地区土地利用类型与不同污染指标关联序基本相同,主要是由于不同土地利用类型对各类污染影响较为稳定,在关联度上相应表现出一致性。

DO 在丰水期的 200 m 和 500 m 尺度下与土地利

表 4 丰水期缓冲区水质指标-土地利用灰色关联序

Table 4 Grey relational orders of water quality indexes-LULC on buffer scales in wet season

缓冲区半径/m	水质指标	灰色关联序
200	DO	城镇>水田>水域>旱地
	NH ₃ -N/TP/TN/COD _{Mn}	城镇>旱地>水田>水域
500	DO	城镇>水域>水田>旱地
	NH ₃ -N/TP/TN/COD _{Mn}	城镇>旱地>水田>水域
1000	DO	城镇>水田>旱地>水域
	NH ₃ -N/TN/TP/COD _{Mn}	城镇>旱地>水田>水域
1500	DO/COD _{Mn}	城镇>水田>旱地>水域
	NH ₃ -N/TP/TN	城镇>旱地>水田>水域
2000	DO/NH ₃ -N/COD _{Mn}	城镇>水田>旱地>水域
	TP/TN	城镇>旱地>水田>水域

表 5 枯水期缓冲区水质指标-土地利用灰色关联序

Table 5 Grey relational orders of water quality indexes-LULC on buffer scales in dry season

缓冲区半径/m	水质指标	灰色关联序
200	DO/TP	城镇>水田>旱地>水域
	NH ₃ -N/TN/COD _{Mn}	城镇>旱地>水田>水域
500	DO	城镇>水田>旱地>水域
	NH ₃ -N/TN/TP/COD _{Mn}	城镇>旱地>水田>水域
1000	DO	城镇>水田>旱地>水域
	NH ₃ -N/TN/TP/COD _{Mn}	城镇>旱地>水田>水域
1500	DO/COD _{Mn}	城镇>水田>旱地>水域
	NH ₃ -N/TN/TP	城镇>旱地>水田>水域
2000	DO/TP/TN	城镇>旱地>水田>水域
	NH ₃ -N/COD _{Mn}	城镇>水田>旱地>水域

用类型的灰色关联序中,水域在耕作用地之前,而 1000 m 到 2000 m 尺度范围内的灰色关联序为城镇>水田>旱地>水域,反映了丰水期时在较小尺度范围内水域对水质的影响较大,整体水质主要受水产养殖、水生物等因素影响。

3 结论

在太湖腹部平原,整体上城镇用地在所有土地利用类型中对河流水质的影响最大,其次是旱地或水田,水域对河流水质存在一定的影响,林地是对水质影响最小的土地利用类型。

以区域整体土地利用为样本时,COD_{Mn} 的灰色关联度不受丰、枯水期的影响,DO、NH₃-N、TN、TP 的灰色关联度则受丰、枯水期的影响。

以站点的缓冲区为样本时,丰水期与枯水期土地利用类型对水质的影响存在一定差别。丰水期时,

一定尺度范围内,水域对整体水质影响较大;而枯水期时不同水质指标受土地利用类型的影响顺序基本一致。

本研究中只采用了土地利用与水质指标数据,缺少点源污染数据,会对结果产生一定影响。虽然太湖大型点源排放得到有效控制,点源污染仍然是水污染的重要来源之一。若要进一步定量阐释不同土地利用或降雨等条件对河流不同污染指标(包括重金属等)的影响,还需要更加详细的数据支撑,以剔除点源污染产生的影响,并使用更加完善的模型进行计算。

参考文献:

- [1] 程 曦, 李小平, 陈小华. 苏州河水质和底栖动物群落 1996—2006 年的时空变化[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3278—3287.
CHENG Xi, LI Xiao-ping, CHEN Xiao-hua. An assessment of long-term changes in water quality and benthos community of Suzhou creek (1996—2006)[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3278—3287.
- [2] 金 洋, 李恒鹏, 李金莲. 太湖流域土地利用变化对非点源污染负荷量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1214—1218.
JIN Yang, LI Heng-peng, LI Jin-lian. The impact of non-point pollutant load of land-use changes in Taihu Basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(4): 1214—1218.
- [3] 欧阳威, 王 玮, 郝芳华, 等. 北京城区不同下垫面降雨径流产污特征分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(9): 1249—1256.
OUYANG Wei, WANG Wei, HAO Fang-hua, et al. Pollution characterization of urban stormwater runoff on different underlying surface conditions[J]. *China Environmental Science*, 2010, 30(9): 1249—1256.
- [4] 张福平, 赵 沙, 周正朝, 等. 沔河流域土地利用格局与水质变化的关系[J]. 水土保持通报, 2014, 34(4): 308—312.
ZHANG Fu-ping, ZHAO Sha, ZHOU Zheng-chao, et al. Relationship between changes of land use pattern and water quality in Fenghe River Basin[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014, 34(4): 308—312.
- [5] 洪 超, 刘茂松, 徐 驰, 等. 河流干支流水质与土地利用的相关关系[J]. 生态学报, 2014, 34(24): 7271—7279.
HONG Chao, LIU Mao-song, XU Chi, et al. Comparative analysis of correlation between water quality and land use pattern of different river hierarchies[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(24): 7271—7279.
- [6] 赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等. 河网城市不透水面的河流水质响应阈值与尺度效应研究[J]. 水利学报, 2012, 43(2): 136—142.
ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al. Threshold and scaling effect of impervious surface impact on stream water quality in city with river networks[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2012, 43(2): 136—142.
- [7] 於梦秋, 蔡 颖, 刘 华, 等. 太湖流域入湖河流土地利用类型对水质的影响——以乌溪港、武进港为例[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(5): 1024—1032.
YU Meng-qiu, CAI Ying, LIU Hua, et al. Impact of land use on water quality along inflow rivers in Taihu Basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(5): 1024—1032.
- [8] 吴 京, 王启山, 张 旋, 等. 改进的灰色关联度方法在天津引滦输水沿线水质评价中的作用[J]. 水资源与水工程学报, 2010(1): 71—74.
WU Jing, WANG Qi-shan, ZHANG Xuan, et al. Role of improved GRM in water quality assessment along the water delivery from Luanhe River in Tianjin[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2010(1): 71—74.
- [9] 李炳军, 朱春阳, 周 杰. 原始数据无量纲化处理对灰色关联度的影响[J]. 河南农业大学学报, 2002, 36(2): 199—202.
LI Bing-jun, ZHU Chun-yang, ZHOU Jie. Effects of non-dimensional quantities of original data on grey incidence order[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2002, 36(2): 199—202.
- [10] 杨丽娜, 李正炎, 张学庆. 大辽河近入海河段水体溶解氧分布特征及低氧成因的初步分析[J]. 环境科学, 2011, 32(1): 51—57.
YANG Li-na, LI Zheng-yan, ZHANG Xue-qing. Distribution characteristics of dissolved oxygen and mechanism of hypoxia in the upper estuarine zone of the Daliaohe River[J]. *Environmental Science*, 2011, 32(1): 51—57.
- [11] 段 亮, 段增强, 夏四清. 太湖旱地非点源污染定量化研究[J]. 水土保持通报, 2006, 26(6): 40—43.
DUAN Liang, DUAN Zeng-qiang, XIA Si-qing. Quantification of non-point pollution from uplands in Taihu Lake catchment[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006, 26(6): 40—43.
- [12] 王宝山, 黄廷林, 聂小保, 等. 生态绿地控制初期雨水径流污染的研究[J]. 中国给水排水, 2010, 26(3): 11—13.
WANG Bao-shan, HUANG Ting-lin, NIE Xiao-bao, et al. Treatment of initial rainwater runoff pollutants by ecological vegetation[J]. *China Water & Waste Water*, 2010, 26(3): 11—13.
- [13] 陈丽华, 马生全. 运用 BP 神经网络研究河水中溶解氧的影响因素[J]. 兰州交通大学学报(自然科学版), 2005, 24(1): 55—58.
CHEN Li-hua, MA Sheng-quan. Study of influential factor of DO of river by BP neural networks[J]. *Journal of Lanzhou Jiaotong University (Natural Sciences)*, 2005, 24(1): 55—58.
- [14] 周海丽, 史培军, 徐小黎. 深圳城市化过程与水环境质量变化研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2003, 39(2): 273—279.
ZHOU Hai-li, SHI Pei-jun, XU Xiao-li. A study on urbanization process and changes of water environment in Shenzhen City[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2003, 39(2): 273—279.
- [15] Paul M J, Meyer J L. Streams in the urban landscape[J]. *Urban Ecology*, 2003, 32(1): 207—231.