

北京市各区县不透水面动态变化特征研究

胡实¹,熊黑钢^{1,2*},朱忠鹏¹

(1.新疆大学资源与环境科学学院,教育部绿洲生态重点实验室,新疆乌鲁木齐 830046;2.北京联合大学应用文理学院,北京 100191)

摘要 利用多期 Landsat MSS/TM 数据对 1992~1999、1999~2007 和 2007~2011 年 3 个时段的北京市 9 个有代表性区县的不透水面变化特征进行分析。结果表明:经过近 20 年的发展,北京市各区县因为各种历史原因和所处的位置不同,向不透水面转化的地类存在着区位差异和动态特征。就面积而言:新增不透水面主要集中在发展新区的昌平、通州和顺义,其在各时期新增不透水面总和及增长率均远远超过拓展区的海淀、朝阳、丰台和石景山。早期各区县不透水面增加面积和速度均比较小,中期则大大增加,后期增加速度都有所放缓。不透水面比例显示:拓展区各区县的不透水面占各地类的比例从一开始(1992 年)与耕地、绿地不相上下到后来逐渐占优(2007 年),再到全部超过 50%(2011 年),占绝对优势,表明其用地结构却发生了质的变化,农业功能已很小。新区各区县不透水面比例虽然各时期均不断上升,但始终以耕地和绿地为主要用地类型。从不透水面来源看:1992~1999 年,发展新区各区县是以耕地为不透水面主要来源;拓展区各区县则是以绿地和耕地转化为主要方式。1999~2007 年,各区县由耕地转化所占比例都有所上升。2007~2011 年,只有新区的区县仍以耕地为不透水面增加的主要来源,耕地和绿地转化为不透水面的趋势有所控制,城市生态环境保护政策的效果初步显现。

关键词 不透水面;转移矩阵;动态变化特征;北京各区县

中图分类号 S271;P237;P951 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)07-237-04

Dynamic Characteristics of the Impervious Surface Changing in Different Districts in Beijing

HU Shi¹, XIONG Hei-gang^{1,2*}, ZHU Zhong-peng¹ (1. Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046. 2. College of Applied Arts and Science of Beijing Union University, Beijing 100191)

Abstract By using different periods of Landsat MSS/TM imagery, an analysis has been done, which is about three times of impervious surface's dynamic character in nine representative counties in Beijing. The result suggested that after the nearly 20 years of development, the classification transformed into the impervious surface has regional difference and dynamic characteristics because of various historical reasons and position. In terms of area, the newly increased impervious surface mainly concentrated in the developing new counties, including Changping, Tongzhou and Shunyi, their growth rate and the sum of the impervious surface was far beyond the expanding area like Haidian, Chaoyang, Fengtai and Shijingshan. Early in each district, the increasing area and the speed of impervious surface was relatively quite small, all of them became greatly accelerating in the middle and finally slowed down in the late. The impervious surface percentage in the classification showed that the proportion in the expanding area was roughly the same with the cultivated land and green space at the beginning(1992) and became dominant(2007). Then it became overwhelming and exceed 50% in the whole area(2011). This situation indicated that the land-use structure had changed in quality and the function of agriculture has shrunk a lot. Although the proportion of impervious surface in the new district were on the rise in each period, the farmland and green space were the majority in the land-use types. As to the source of the impervious surface, the new district depended on the cultivated land and the expanding area derived from the green space and the farmland from 1992 to 1999. In the stage from 1999 to 2007, the cultivated land conversion percentage has all risen in each county. When it comes to the last period, only the new district depended on the cultivated land as the source of the impervious surface. The trend that farmland and green area were transformed into the impervious surface has been controlled and the policy of ecological environment protection in city initially appeared.

Key words Impervious surface; Transition matrix; Dynamic characteristic; District of Beijing

近 20 年来,随着我国改革开放的深入和经济的大发展,城市化进程不断改变着地表下垫面的状态。在我国的城市化过程中作为国家政治和文化中心的北京,其下垫面的变化具有时间上的连续性和发展阶段的完整性以及代表性,多位学者利用卫星影像对北京市土地利用变化的机制和特点上做了大量工作,研究主要集中在利用 TM 影像对北京市城镇化过程和土地利用变化空间特征以及驱动力等方面^[1-9]。同时,增长最快,对城市环境影响越来越大的下垫面—不透水面引起了广泛的关注。但对不透水面研究多针对其热环境效应和对区域水文和气候的影响^[10-12]。比如有学者针对不透水面和地表温度的关系进行研究并得出不透水面盖度

相比 NDVI 与地表温度有更加强烈和稳定的线性关系^[13]。还有学者指出不透水面盖度是暴雨径流模型中的关键因子^[14],不透水面的格局影响着城市的温度、蒸散发和土壤含水量^[15]。城市环境变化与不透水面的分布和动态变化紧密相关,由于北京市各区县所处的空间位置差异,其不透水面的变化以及对环境的影响完全不同,有关此方面的研究尚不多见。笔者通过对多期遥感图像的不透水面的提取和对比研究,详细讨论北京市各区县不透水面的动态变化,以期为北京城市发展进程和环境保护提供科学依据。

1 研究区概况

以北京市 9 个区县为研究区,包括 2 个首都功能核心区:东城和西城(崇文和宣武在 2012 年分别并入到东城和西城),4 个城市功能拓展区:朝阳、海淀、丰台和石景山,以及 3 个城市发展新区:通州、顺义和昌平,面积约为 4 600 km²,占北京市总面积的 74%。在这 9 个区中既有北京市重要的居民区、经济商业中心和交通枢纽,又包括了未来北京发展的重点区域,具有明显的从核心区到远郊新区的梯次结构。

基金项目 国家自然科学基金(41171165);北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划项目(IDHT20130322);北京联合大学人才强校计划资助项目(BPHR2012E01)。

作者简介 胡实(1989-),男,湖北黄冈人,硕士研究生,研究方向:城市环境遥感。*通讯作者,教授,博士,博士生导师,从事资源环境研究。

收稿日期 2015-01-26

2 数据处理与研究方法

2.1 数据来源 由于影像上裸地和不透水面的光谱特征有很多相似的地方,为减少裸地和不透水面的误分,采用了植被比较茂盛的8~9月季相较为一致的,质量较好的4期Landsat MSS/TM影像数据,分别为1992年9月7日的MSS影像和从1999年8月2日到2011年9月20日的TM影像(表1)。辅助数据为北京市行政区划边界矢量数据。

表1 研究所用影像数据

序号	传感器类型	获取时间	轨道号
1	Landsat MSS	1992-9-7	path 123 - row 32
2	Landsat TM	1999-8-2	path 123 - row 32
3	Landsat TM	2007-9-9	path 123 - row 32
4	Landsat TM	2011-9-20	path 123 - row 32

2.2 数据预处理 影像预处理在ENVI 4.8软件中完成。由于获取的TM影像为2级数据,因此无需进行几何校正。以1999年影像为基准,选取30个地面控制点,误差控制在1个像元之内,将1992年至2011年影像进行图像对图像的配准,并统一重采样至30 m,经重新选取点检验的RMSE误差均小于1个像元。然后对配准好的影像进行辐射校正。最后根据北京市行政区划边界矢量数据提取出研究区,实际研究面积为4 603.29 km²。

2.3 遥感影像分类及精度检验 根据需要将研究区分为水体(包括养鱼坑塘),耕地(包括各类水浇地和旱地),绿地(包括林地和草地),不透水面(包括各种不透水材料覆盖的表面,主要有道路和水泥混凝土建筑等)和裸地(植被覆盖度小于5%的各类荒地以及开挖建筑工地中的裸露土壤)5类。将各期影像进行假彩色合成,结合目视解译和实地调查校正,建立各土地利用类型的解译标志,选择训练区,利用最大似然法进行监督分类。随机选取若干样本区,参考同期地面资料,计算分类混淆矩阵和Kappa系数,对分类结果进行精度检验,得到Kappa系数和总体精度(表2)。各年份的Kappa系数均大于0.85,表明分类结果均比较理想,可以进行后续的土地利用动态分析。

表2 影像分类精度检验结果

序号	时间	Kappa系数	总体精度//%
1	1992-9-7	0.87	91.2
2	1999-8-2	0.85	90.0
3	2007-9-9	0.86	90.0
4	2011-9-20	0.88	91.2

2.4 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵主要是利用两个时相的土地利用类型图进行叠加运算求得的。利用它可以清晰地反映研究初期至研究末期的土地利用类型的变化转移情况,从而明确土地利用类型转变的方向性^[16]。

3 结果与分析

3.1 北京市不同地类总体变化特征 从不同时期研究区总体的地类变化情况可以看出(图1),不透水面面积一直在增加,而耕地是在不断减少的,绿地和裸地面积有一些波动,而

水域面积则是处于平稳的状态。1992~1999年各地类变化较小,不透水面和绿地在这段时间有所增加,年均增加面积分别为21.94 km²和5.86 km²,而耕地、水和裸地则是平均每年减少了19.54 km²、2.54 km²和5.83 km²(表3);到了1999~2007年,不透水面和裸地的年均增长面积大幅度增加,分别达到了58.82 km²和21.16 km²,耕地和绿地则年均分别减少了51.75 km²和30.67 km²。这个阶段也是城市大面积扩张的阶段,耕地和绿地大量转换为了不透水面和裸地;2007~2011年城市趋于理性扩张,不透水面的年均增长面积有了小幅回落,为45.73 km²。耕地的减少得到控制,绿地有了小幅增加,水域则减少的最多(表3),说明城市的生态虽然有了改善,绿地有所增加,但水域的萎缩仍然给生态环境的恢复带来不小的压力。

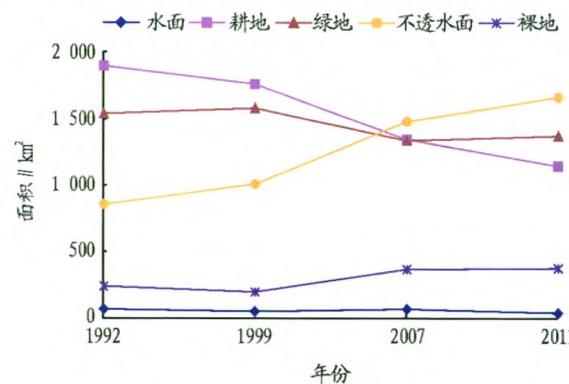


图1 不同时期各地类面积变化

表3 不同时期各地类年平均面积变化

年份	水面	耕地	绿地	不透水面	裸地
1992~1999	-2.46	-19.54	5.86	21.94	-5.83
1999~2007	2.16	-51.75	-30.67	58.94	21.16
2007~2011	-7.28	-49.88	9.21	45.73	2.23

3.2 各区县不透水面面积变化特征 从各区县的不透水面在不同时期增加的面积可以观察到(图2):东城和西城的不透水面变化不大。3个时期昌平、通州和顺义总的不透水面增加面积要大于海淀、朝阳、丰台和石景山,反映出北京市的不透水面扩张主要集中在外围的新区。就扩张速度而言,1992~1999年的扩张速度最小,各区县年平均增长不超过7 km²,其中石景山年均增加面积仅有0.56 km²。到了1999~2007年,各区县不透水面较上个时期有了较大幅度的增长,城市发展新区除了通州增长略小于朝阳之外,昌平、顺义年平均增长均超过地处城市功能拓展区的海淀、朝阳、丰台以及石景山。其中顺义从年均增长3.71 km²攀升到年均增长16.34 km²,加快了近5倍。到了2007~2011年,不透水面的扩张速度有所放缓,各区县不透水面的年均增长面积都有所下降,降幅最大的是通州,从年均增长11.02 km²下降到7.77 km²。新区的昌平、通州、顺义增加的总不透水面面积仍大于拓展区各区县增加的总不透水面面积。3个时段中,第二个时段不透水面的增加最多,这个时段也是北京市大范围向外扩张阶段,第三个时段比第二个时段不透水面增加有所减

缓,但减缓幅度不大,仍然比第一个时段增加的要多。

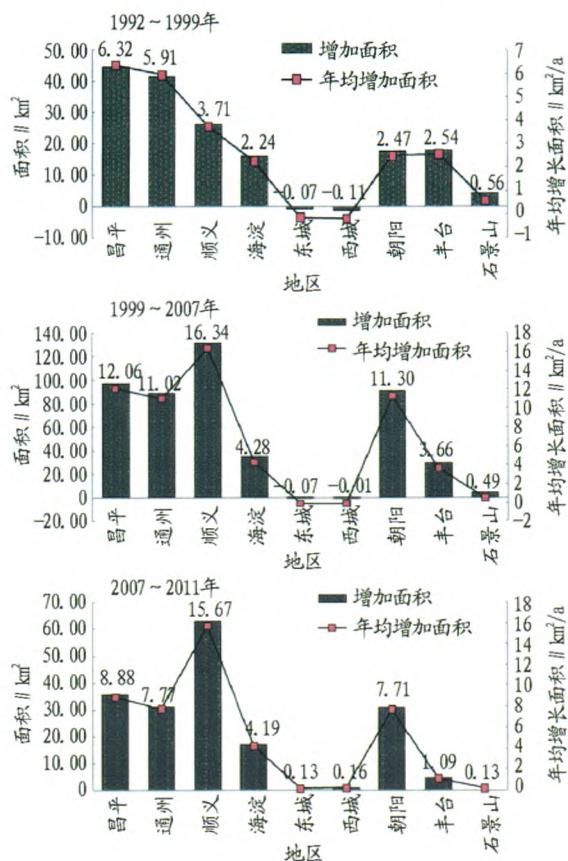


图2 不同时期各区县不透水面增长情况

3.3 各区县不透水面比例变化特征 各区不透水面在用地结构所占的比例反映出其变化的趋势(表4)。总体而言,各区县不透水面比例不断升高,这是各区县城市化进程不断向前发展的必然结果。

表4 1992~2011年各区县不透水面所占比例变化

年份	昌平	通州	顺义	东城	西城	海淀	朝阳	丰台	石景山	%
1992	7.20	10.53	8.06	94.40	96.67	35.16	37.03	47.22	48.24	
1999	9.76	15.28	10.54	91.66	93.72	38.84	40.89	53.16	52.93	
2007	16.97	25.42	23.00	89.37	92.13	46.89	61.08	62.95	57.64	
2011	19.62	28.99	28.97	90.58	93.38	50.83	67.97	64.40	58.26	

2007~2011年,昌平、通州和顺义不透水面比例仍然在上升,特别是通州和顺义,不透水面比例已经达到了28.99%和28.97%,但新区各区县仍以耕地和绿地为主。而拓展区各区县不透水面比例全部超过了50%,其中最小的海淀也有了50.83%,并且耕地也都只占很小一部分,农业功能只能依靠外围的包括新区在内的其他区县。这段时期各区县不透水面比例增加的幅度和耕地绿地比例减少的幅度都有了一定程度的放缓,其中通州和顺义绿地的比例还略有增加,说明不透水面的扩张趋于理性,对绿地和耕地的保护有了一定程度的加强。

3.4 不同时期各区县不透水面来源特征 从由其他地类转化的不透水面占新不透水面的比例来看(表5),各区县不透水面增加的主要来源在不同时期有着明显的差异:1992~

从各区不透水面所占比例来看:在各个时期东城和西城的比例都是最高的。同时,海淀、朝阳、丰台、石景山的不透水面比例都高于昌平、通州和顺义。这说明作为北京市发展新区的昌平、通州和顺义的不透水面分布不如属于功能拓展区的海淀、朝阳、丰台和石景山密集,新区中绿地和耕地仍占相当大的比例,新区的不透水面扩张的潜力很大。

从各区不透水面比例的变化来看:1992~1999年,昌平、通州和顺义的不透水面比例都有一定程度的上升,但幅度不大,升幅最大的通州也只从10.53%上升到15.28%。海淀、朝阳、丰台和石景山的不透水面比例上升幅度要略大于昌平和顺义,但不如通州。其中幅度最大的丰台不透水面比例从47.22%上升到53.16%,增加了5.94%。昌平、顺义和通州在这段时期是以绿地和耕地为主要用地类型。朝阳区用地结构则是从耕地和不透水面比例相差不多(31.52%和37.03%),转变为耕地和不透水面比例差距逐渐拉大(30.20%和40.89%),用地类型以不透水面为主,而海淀则是从绿地和不透水面比例差距不大(31.49%和35.16%)发展到以不透水面为主(38.84%)。这段时期新区的昌平、顺义和通州从以耕地和绿地为主要用地类型向以不透水面为主的用地结构,转换速度不如拓展区中的朝阳和海淀。

1999~2007年,昌平、通州和顺义不透水面比例有了大幅度上升,分别增加了7.21%、10.14%和12.46%。拓展区中除了朝阳不透水面比例增加了21.79%以外,海淀、丰台和石景山不透水面的上升幅度都不如新区中的通州和顺义。新区各区县耕地和绿地占主体,而拓展区各区县不透水面比例在各个用地类型中开始占据绝对优势,特别是朝阳的不透水面比例到了2007年已经达到了61.08%,耕地比例只占小部分,农业功能基本被其他功能代替。

1999年,昌平、通州、顺义和朝阳由耕地转化的不透水面占新增不透水面的比例分别是54.95%、65.93%、61.09%和39.14%,反映出其是以耕地为不透水面增加的主要来源;海淀、丰台和石景山的新增不透水面由绿地转化的比例最大,分别为50.25%、73.56%和53.60%。东城、西城也是绿地转化的不透水面占其主体,比例分别为71.12%和61.12%。由此可见,各区县因所处北京市的空间位置的差异,向不透水面转化的土地类型有较大不同。新区各区县增加的不透水面主要通过侵占耕地而来,而核心区和拓展区各区县除了朝阳是以耕地为新增不透水面主要来源之外,不透水面的增加主要是通过占用绿地实现的。

1999~2007年,只有丰台、石景山、东城和西城是以绿地为新增不透水面的主要来源,比例分别为55.17%、

72.41%、81.95%和80.20%。昌平、通州和顺义均是以耕地转化为不透水面为主,而海淀和朝阳由耕地和绿地转化的不透水面几乎占相同的比例(由耕地转化的不透水面所占比例分别为44.20%和42.35%,由绿地转化的不透水面所占比例分别为39.60%和40.36%)。包括之前的昌平、顺义和通州,以耕地为新增不透水面主要来源的区县增加到了5个。这个时段耕地被侵占的现象加剧,耕地面积有了大幅度减少。

2007~2011年,以耕地为新增不透水面主要来源的区县只剩下昌平、通州和顺义,比例分别为33.29%、62.51%和57.50%。丰台、石景山、东城和西城是以绿地为不透水面主要来源。海淀和朝阳的新增不透水面则由耕地、绿地和裸地均势转化,各比例都相差不多(表5)。各区的耕地减少的速度得到控制,绿地转化比例也有所降低,而裸地转化比例除了通州基本都是上升的。说明这段时期耕地和绿地被侵占的现象有所缓解,裸地被开发的程度略有提高。

表5 不同时期各区县其他地类转化的不透水面占新不透水面比例

区县	1992~1999年				1999~2007年				2007~2011年				%
	水	耕地	绿地	裸地	水	耕地	绿地	裸地	水	耕地	绿地	裸地	
昌平	3.05	54.95	14.41	27.59	1.41	66.72	25.11	6.76	6.01	33.29	31.21	29.49	
通州	3.76	65.93	13.90	16.41	2.75	55.76	22.62	18.86	15.05	62.51	16.03	6.42	
顺义	3.00	61.09	32.82	3.09	1.00	73.19	15.20	10.60	2.92	57.50	10.32	29.26	
东城	10.04	0.00	71.12	18.83	3.65	0.00	81.95	14.72	3.50	0.00	76.10	20.30	
西城	21.08	0.00	61.12	17.79	6.24	0.00	80.20	13.20	2.93	0.00	77.27	19.93	
海淀	2.15	25.48	50.25	22.12	0.81	44.20	39.60	15.40	8.69	29.56	32.18	29.58	
朝阳	5.60	39.14	28.58	26.68	2.24	42.35	40.36	15.05	8.91	29.45	31.61	30.05	
丰台	0.79	11.36	73.56	14.29	0.34	20.26	55.17	24.23	6.53	21.14	47.43	24.93	
石景山	2.12	11.88	53.60	32.39	0.58	1.94	72.41	25.04	12.68	2.09	61.85	23.33	

4 结论与讨论

北京市各区县不透水面在近20年时间有了很大幅度的变化,不透水面通过侵占耕地、绿地和水域不断扩张。由于各区县区位不同,功能定位不同,扩张的方式和程度也就有所差别并且存在动态变化。

处于北京核心地位的东城和西城区在各时期的不透水面比例基本维持在90%,并且其变化大部分与绿地有关。

而其他区县的不透水面在各时期则呈现不同的特点:早期,以耕地为新增不透水面主要来源的城市发展新区昌平、通州和顺义新增不透水面面积总和要略大于以耕地绿地为转化主体的北京城市功能拓展区海淀、朝阳、丰台和石景山,但不透水面比例的上升幅度却不如拓展区各区。中期,拓展区各区县不透水面面积有了大幅增加,其比例在各地类中开始占主要地位。除石景山之外其他拓展区新增不透水面由耕地转化的部分增多。虽然新区各区县不透水面面积有了显著增大,其不透水面比例却仍处于较低水平,并且仍以耕地转化为主。后期,尽管各区县不透水面增长都有所减缓,但拓展区各区县不透水面比例全部超过50%,其农业功能基本被其他功能代替。而新区各区县即使不透水面比例有所上升,其新增不透水面依然由耕地转化,但其耕地和绿地比例仍占主要部分。

总体上,各时期各区县不透水面的面积、比例不断增加,但扩张速度由慢到迅速再到较快,显示出城市发展由无序逐渐走向有序。城市功能拓展区的各区县新增不透水面来源由绿地逐渐变为耕地和绿地,反映出城市由中心向外围扩展。而在城市发展新区的各区县,新增不透水面主要来源则始终是耕地,表明北京市外围各区县的城市扩张一直是以占用平原区耕地进行的。后期,各区县耕地和绿地转化为不透水面的趋势有所控制,不透水面比例上升幅度都有所减缓,

同样反映出更加注重对生态的保护。

不透水面的变化既有区位产业结构和经济发展阶段的原因,也是功能定位和政策规划的结果。作为核心区的东城和西城一直是北京市重要机构和商业服务业的重心,不透水面在其用地结构中一直占主体地位,即使变化也是在原来基础上的改变,比如旧城区改造和闲置地块的开发。而在北京市的功能拓展区中,3个时期不透水面增加最多和最快的都是朝阳区。这与2007~2011年“十一五”期间,朝阳区重点规划和实施了中心商务区、奥运功能区、电子城三大功能区的开发,从而带动了一批奥运场馆、商业金融中心和道路交通设施网络的建设和完善有关,不透水面得以大面积快速增长,不透水面比例在各用地类型中开始占绝对优势。在北京市的发展新区中,1992~1999年不透水面增长最快和最多的是昌平,年均增加面积为6.32 km²/a。这和昌平区在1991年规划并建设了北京市最早成立的国家级高新区——中关村科技园区昌平园密不可分,园区的建成也带动了昌平的城市建设和经济发展,使得昌平的不透水面也得以快速增加。而到了后期,生态涵养区的定位使得昌平对绿地的保护加大,绿地比例始终控制在60%左右,不透水面增长速度也因此放缓。1999~2007年和2007~2011年不透水面增长最快和最多的是顺义,年均增加面积分别为16.34 km²/a和15.67 km²/a。这也和北京启动新城建设,重点建设通州、顺义和亦庄3个重点新城的政策紧密相关。在此期间,顺义围绕“新城建设”、“现代制造业基地建设”和“临空经济区建设”,打造了一批项目工程的施工建设,包括首都机场扩建和奥林匹克水上公园建设,并加强了道路交通等一系列的基础设施建设,这些都成为顺义不透水面快速扩张的主要驱动力,深刻影响了顺义用地结构的发展变化。

(下转第255页)

所示。上述结果表明,该研究中得到的关于二级出水 UV_{254} 相关性方程测定计算 COD、TOC 值方法在相关性直线对应的区间范围内,精密度好、准确度高,能够满足测试的要求。

表 2 COD 测定准确度试验结果

实测水样	加标量	加标测定值	通过 UV_{254} 折算	回收率
COD // mg/L	mg/L	mg/L	COD 总值 // mg/L	%
21.11	20	39.98	37.58	94.0
28.62	15	43.94	42.86	97.5
35.50	10	45.32	42.33	93.4

2.2.3 二级出水中氯离子对测定 UV_{254} 的影响。为了考察氯离子的存在对实际二级出水 UV_{254} 与 COD、TOC 的相关性分析的影响,在已知 TOC、COD 浓度的水样中,加入不同质量的氯化钠固体后分别测定 UV_{254} 值,计算 $COD/(UV_{254} - UV_{365})$ 、 $TOC/(UV_{254} - UV_{365})$ 值,结果如图 4 所示。由图 4 可知,二级出水中额外加入的氯离子的存在对 $COD/(UV_{254} - UV_{365})$ 、 $TOC/(UV_{254} - UV_{365})$ 值有影响,影响 UV_{254} 、COD、TOC 的相关性分析;加入氯化钠使 $COD/(UV_{254} - UV_{365})$ 、 $TOC/(UV_{254} - UV_{365})$ 的比值点位于未添加氯离子的比值直线上,即明显小于未加入氯化钠时的比值。另一方面,氯离子的存在对实际二级出水 UV_{254} 与 COD、TOC 的相关

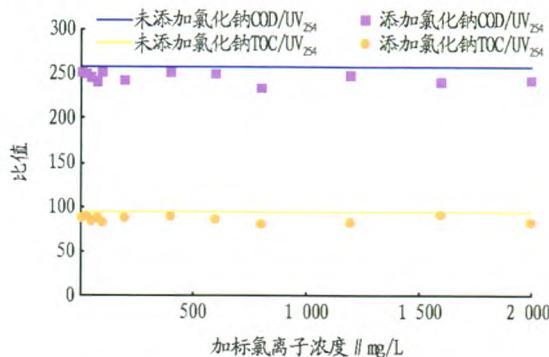


图 4 二级出水加标氯离子浓度对 $COD/(UV_{254} - UV_{365})$ 、 $TOC/(UV_{254} - UV_{365})$ 值的影响

性分析的影响不同于人工配置的邻苯二甲酸氢钾标准溶液,原因在于二级出水除加入的氯离子外,水样本身存在一定含量的氯离子,并且二级出水水样中组分复杂,存在不同含量的其他物质对 UV_{254} 、COD、TOC 的测定有影响。

3 结论

对于人工配制的邻苯二甲酸氢钾标准溶液, UV_{254} 与 COD、TOC 具有很好的相关性,并且在该研究中设计的氯化钠浓度(以 Cl 计)在 0~2 000 mg/L 区间内,对 UV_{254} 的测定和相关性分析影响很小,基本可以忽略;对于某污水处理厂二级出水, UV_{254} 与 COD、TOC 具有良好的相关性,通过 UV_{254} 相关性方程测定 COD、TOC 方法的精密度好、准确度高,能够满足测定的要求。外加入一定质量的氯化钠时,对 UV_{254} 的测定和相关性分析有显著影响, $COD/(UV_{254} - UV_{365})$ 、 $TOC/(UV_{254} - UV_{365})$ 的比值明显小于未加入氯化钠时的比值。另外,在该研究采用的试验用水二级出水中 COD/紫外吸光度值、TOC/紫外吸光度值比值均高于人工配制的邻苯二甲酸氢钾标准溶液,但相关性系数明显低于人工配制的邻苯二甲酸氢钾标准溶液。

参考文献

- ANDREW EATON. Measuring UV-absorbing organics: a standard method [J]. Journal - American Water Works Association, 1995, 87(2): 86~90.
- 将绍介,刘忠源. UV_{254} 作为水处理中有机物控制指标的意义 [J]. 重庆建筑大学学报, 2002, 24(2): 27~34.
- 林星杰,杨慧芬,宋存义. UV_{254} 在水质监测中应用的研究 [J]. 能源与环境, 2006(1): 22~24.
- 邱晓国. TOC 与 COD 间相关性数学模型的探讨 [D]. 济南: 山东大学, 2010.
- WEISHAAR J L, AIKEN G R, BERGAMASCHI B A, et al. Evaluation of specific ultraviolet adsorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon [J]. Environ Sci Technol, 2003, 37: 4702~4708.
- SHIRRA G R, ILAN K, CARLOS G D. Removal of dissolved organic matter by granular-activated carbon adsorption as a pretreatment to reverse osmosis of membrane bioreactor effluents [J]. Water Research, 2008, 42(6/7): 1595~1605.
- 金伟,范瑾初. 紫外吸光值(UV_{254})作为有机物替代参数的探讨 [J]. 工业水处理, 1997, 17(6): 30~33.

(上接第 240 页)

参考文献

- 刘盛和,吴传钧,沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式 [J]. 地理学报, 2000, 55(4): 408.
- 张峰,张新时. 北京昌平区城镇化过程与空间特征研究 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1128~1132.
- 宫阿都,陈云浩,李京,等. 北京城市热岛与土地利用/覆盖变化的关系研究 [J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(8): 1476~1482.
- 张宁,方琳娜,周杰,等. 北京城市边缘区空间扩展特征及驱动机制 [J]. 地理研究, 2010, 29(3): 471.
- 李雪瑞,王秀兰,冯仲科. 基于土地利用程度的北京城市扩展特征 [J]. 地理科学进展, 2009, 28(3): 398.
- 陈利顶,杨爽,冯晓明. 土地利用变化的地形梯度特征与空间扩展:以北京市海淀区和延庆县为例 [J]. 地理研究, 2008, 27(6): 122.
- 肖瑶,王艳慧,尹川. 北京城区近 20 年土地利用变化及其驱动力分析 [J]. 测绘与空间地理信息, 2013, 36(7): 28~31.
- 何春阳,史培军,陈晋,等. 北京地区土地利用/覆盖变化研究 [J]. 地理研究, 2001, 20(6): 680~687.
- 张有全,宫辉力. 北京市 1990 年~2000 年土地利用变化机制分析 [J]. 资源科学, 2007, 29(3): 207~213.
- YANG X, LIU Z. Use of satellite-derived landscape imperviousness in-

dex to characterize urban spatial growth [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2005, 29(5): 151~160.

- ARNOLD J R, C L, GIBBONS C J. Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator [J]. Journal of the American Planning Association, 1996, 62(2): 151~160.
- ROY SEN S, YUAN F. Trends in extreme temperatures in relation to urbanization in the Twin Cities Metropolitan area, Minnesota [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2009, 48(3): 669~679.
- YUAN F, BAUER M E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery [J]. Remote sensing of Environment, 2007, 106(3): 375~386.
- GRAHAM P H, COSTELLO L S, MALLON H J. Estimation of imperviousness and specific curb length for forecasting stormwater quality and quantity [J]. Journal of Water Pollution Control Federation, 1974, 46(4): 717~725.
- CARLSON T N, TRACI ARTHUR S. The impact of land use - land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective [J]. Global and Planetary Change, 2000, 25(1): 49~55.
- 史培军,陈晋,潘耀忠,等. 深圳市土地利用变化机制分析 [J]. 地理学报, 2000, 55(2): 151~160.