

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.05.024

1950—1990 年北京永定河水利工程的环境负效应

张 琳,李 晗,张连伟

(北京林业大学人文社会科学学院,北京 100083)

摘要:1950—1990 年期间永定河上修建了众多水利工程,如官厅水库、珠窝水库、三家店拦河闸等,这些水利工程在一定程度上满足了城市发展和居民生活的需要,保障了下游河段的安全,降低了洪水的可能性,但也导致了永定河流域生态环境的恶化。众多水利工程拦截了大量地表水,导致下游径流减少,直至断流;河性发生改变,河床出现粗化;地下水超采,地下水位埋深下降;土地沙化,形成沙源,风沙灾害加剧。永定河由多水变为缺水,由水灾为主变为风沙灾害为主。

关键词:水利工程;环境恶化;风沙灾害;永定河

中图分类号:TV882.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2016)05-0130-06

Negative environmental effects of water conservancy projects on Yongding River in Beijing from 1950 to 1990

ZHANG Lin, LI Han, ZHANG Lianwei

(School of Humanities and Social Sciences, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: During the period from 1950 to 1990, a lot of water conservancy projects, such as the Guanting Reservoir, the Zhuwo Reservoir, and the Sanjiadian Sluice Gate, were constructed on the Yongding River. These projects satisfied the demands of urban development and the residents' livelihoods, guaranteed the safety of the lower reaches of the river, and eliminated the possibility of floods. However, they led to the degradation of the ecological environment in the Yongding River Basin. A large proportion of surface water was intercepted, resulting in the decrease of runoff downstream, until the river dried up. The nature of the river has changed and the riverbed has become rough. The groundwater has been over-exploited, resulting in a decrease in the depth to the water table. Land desertification occurred, forming a sand source, and sandstorm disasters intensified. Finally, the Yongding River has gone from having a high amount of water to having a shortage of water, and from being dominated by floods to being dominated by sandstorms.

Key words: water conservancy projects; environmental degradation; sandstorm disaster; Yongding River

永定河属于海河水系,从其发源地到入海口流经太行山及燕山山脉,贯穿内蒙古、山西、河北、北京及天津 5 个省级辖区,全长总计超过 680 km。永定河有 2 条主要源头河流,分别是桑干河和洋河,2 条河流在河北省朱官屯村交汇,交汇后的河段称为永定河,向东南流去,自河北省怀来县幽州村流入北京境内,在北京境内穿越门头沟区的山峡,于三家店进入平原地区,沿石景山、丰台向南而流,在大兴崔指挥营村出北京再入河北省境内,流至天津市屈家店

汇入永定新河,最终在天津北塘流入渤海。永定河在北京境内长约 165.5 km,流经 5 个区县,流域面积达 3 168 km²,占全市总面积 18.9%,是流经北京市境内最长的一条河流,在北京的城市发展史上占有重要地位,被称为北京的母亲河。

1 永定河水利工程修建的原因和过程

1.1 修建原因

元代以来,永定河两岸水土流失严重,水灾频

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(RW2014-08);北京市农村经济研究中心项目(2015HXFWRWXY001)
作者简介:张琳(1990—),女,硕士,主要从事环境史方面研究。E-mail:teremy@sina.com
通信作者:张连伟,副教授,博士。E-mail:shidaizhang@sohu.com

发。清朝时期,永定河大约每 4 年发生 1 次水灾,民国时期更是平均每 2 年 1 次水灾,其中 1913、1917、1924、1925、1929、1939 年为特大水灾^[1]。1924 年 7、8 月间,华北连续大雨,永定河水位猛涨,最高时达到约 8.3 m,最大洪峰流量达 4 920 m³/s^[2]。1939 年 7、8 月间,北京地区连续多次的长时间暴雨导致永定河发生水灾,至 8 月上旬,水位急剧上涨,据卢沟桥监测站所监测的数据显示,最大流量达 4 390 m³/s^[3],成为民国时期永定河最为严重的一次水灾。新中国建立后,永定河又分别在 1950、1952、1953、1954、1956 年发生不同程度的水灾及次生灾害。其中 1950 年 8 月 4 日 14 时前后,永定河三家店水文站监测到最大洪峰值 2 750 m³/s,北天堂以下左堤出现大小险情 28 处次,最高水位升至 64.4 m。1954 年 8 月,城近郊区及房山、大兴、昌平等普降暴雨,永定河两岸再次出险,仅左岸大兴段出险 82 次。1956 年 7 月下旬至 8 月间,北京地区连续出现降雨,据斋堂水文站记录,降水量为 955.3 mm,该降水量是斋堂水文站有水文记录的 45 年来最大降水量^[4]。8 月 3 日,官厅山峡大暴雨,导致官厅水库水位上涨,曾达 475.52 m,濒临警戒线,不得不泄洪,又致使下游永定河道水位上涨,三家店站和卢沟桥站洪峰水位分别达到 106.68 m 和 65.15 m,最终导致大兴县西麻各庄决口^[5]。

永定河水灾及其次生灾害,威胁到北京的城市安全,给人民的生命财产带来巨大损失。首先,洪水易使河岸决口,对河道本身带来损害,1912 年“北五工七号决口一百十丈”,1913 年“南岸五工十九号决口七十余丈”,1916 年“北岸六工头号决口六十余丈”,1917 年“北三工二十三号,决口二百五十六丈”,1924 年“永定河南岸决口四处”^[4]。其次,铁路等公共设施损毁,1924 年的特大水灾将铁路损坏^[6],1939 年的洪水再次将京广铁路冲开数尺,民众生命财产遭受巨大损失。1924 年特大水灾中,“京南各县,大都已成泽国,不惟田禾悉遭淹没,而房屋牲畜器物一切资生之具,亦且悉付汪洋随波臣以俱去,被灾之民或集高原,或栖屋顶,或登树梢,男哭女号,声震远近”^[7]。1939 年永定河洪水泄向小清河,经过小清河冲向长辛店等地,洪水涌入大街,良乡水深数丈,数百间房屋倒塌,几万户受灾,“农田被淹者在五千顷以上”^[8]。1956 年永定河西麻各庄决口,造成“大兴县有 42 个村庄过水,毁房 3 358 间,死 1 人,伤 7 人,死伤牲畜 20 头,淹没耕地约 1.4 万 hm²”^[5]。

1.2 修建过程

为保障北京的城市安全和用水,官厅水库于 1951 年 10 月动工,1954 年 5 月竣工投入使用,官厅

水库位于官厅山峡入口处,跨河北省的怀来县和北京市的延庆县,是我国建造的第一座大型水库,在防洪、发电、灌溉、供水等方面发挥了巨大作用。1956 年,三家店拦河闸(又称三家店调节池)建成,位于北京市门头沟区三家店村,是永定河由山区进入平原区的枢纽工程。1962 年,珠窝水库建成,位于门头沟区雁翅镇珠窝村和斋堂镇向阳口村之间的山峡里,是永定河大峡谷梯级发电的第二级。1974 年 9 月,斋堂水库竣工,位于门头沟区清水河西斋堂村西南的峡谷处,控制流域面积 354 km²,库容 5 420 万 m³。1978 年 6 月,落坡岭水库建成,位于门头沟区王平镇,丰沙线落坡岭火车站旁的永定河山峡处,是永定河大峡谷梯级发电的第三级。1987 年 6 月永定河分洪闸建成,是永定河北京段防洪的枢纽工程,其目的是为了防范和降低官厅山峡暴雨形成的洪水对北京城的威胁。根据 1995 年的统计,永定河上仅水库就有 200 多座,这些水库及其配套工程对永定河流域的生态环境产生了非常大的影响。

2 永定河水利工程对径流及河性的改变

永定河上的诸多水利工程,尤其是水库,拦截了大量的地表水,导致北京市区永定河来水量减少,下泄水量小且缓慢,含沙量不足,只能通过冲刷沿途的河床借以增大含沙量,这使永定河下游输沙特性发生改变。由于清水下泄导致不断冲刷沿程河道,河水夹持颗粒较小的泥沙流向下游地区,只留下河底直径较大的卵石,导致了河床粗化。

2.1 中上游水库对径流的影响

永定河及上游河流的径流量情况如表 1 所示^[9],从 1951 年到 1989 年,永定河上游各支流的径流量都呈现了减少的趋势,其中以桑干河的变化最为明显。上游支流径流量减少,除自然因素外,最主要的原因是上游诸多水库拦截了大量地表水,只将部分河水下泄到下游。

表 1 永定河及上游支流径流量情况

河名	水文站	集水面积/ km ²	径流量/亿 m ³			
			1951— 1959 年	1960— 1969 年	1970— 1979 年	1980— 1989 年
壶流河	钱家沙洼	4 298	3.282	1.932	1.098	0.836
桑干河	石闸里	23 944	11.220	7.716	3.746	2.215
东洋河	柴沟堡	3 674	1.513	1.034	0.997	0.278
南洋河	柴沟堡	2 890	1.571	1.125	0.961	0.550
清水河	张家口	2 300	1.400	0.788	0.817	0.284
洋 河	响水堡	14 507	6.317	4.868	4.570	2.398
永定河	官厅水库	42 500	18.300	12.875	8.119	4.240

图 1 为官厅水库 1955—1995 年每年来水量^[4],可以看出,尽管官厅水库有一些年份来水量有少许增加,但从总体情况来看,呈现明显递减趋势。官厅

水库多年平均入库量由 1950 年代的 19 亿 m³ 减至 1990 年代的 3.1 亿 m³, 而且污染加重, 无法满足生活用水的需要^[10]。

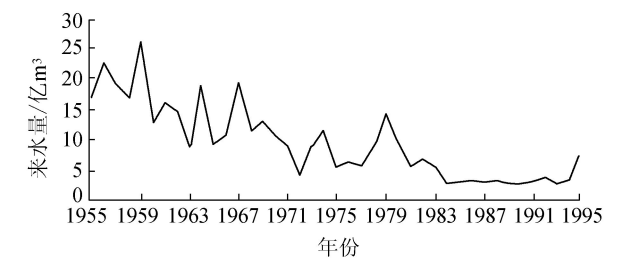


图 1 官厅水库历年来水量

2.2 官厅水库对下游河段的改变

官厅水库为下游地区的防汛做出了极大的贡献。1953 年,正在建设中的官厅水库便已开始拦截洪水。1953 年 8 月底,上游地区发生洪水,此时官厅入库洪峰达 3 700 m³/s,经过水库拦截,下泄水量仅 827 m³/s,削减水量 75.6%^[11]。官厅水库主要通过闸门来控制下泄水量,若上游或下游地区已有洪水暴发出现险情,水闸将被关闭,避免了下游水灾的发生。官厅水库在防汛上发挥了巨大的功能,但由于清水下泄等原因,也使永定河的河性发生了改变。

历史上,永定河曾以含沙量大而著名,大量的泥沙使河水泛黄,有“小黄河”之别名。然而这一特性在官厅水库投入使用后发生了改变。官厅水库通过拦洪蓄水,将大量泥沙沉积于水库中,造成两个后果,其一是泥沙积存于官厅水库中,对水库本身造成潜在的危害;其二是下泄清水加速了河床粗化。由于下泄清水中含沙量严重不足,为了达到饱和,下泄清水便会不断冲刷沿途河道,增加含沙量,在某一地点含沙量达到饱和,饱和后水流不再冲刷河道,水中的泥沙淤积于河道之中,含沙量随之减少。表 2 是 1956 年 4—6 月永定河各水文站监测的含沙量变化过程^[11]。以 4 月 22 日含沙量变化为例,河水在官厅水库出库时含沙量极低,4 月 22 日当天,在沿程的青白口、三家店、卢沟桥水文站的含沙量不断增大,在金门闸达到最大值后,含沙量逐渐降低。在 4—6 月不同时间,分析一天内各水文站含沙量的变化,从多条曲线的趋势可以看出,在青白口、三家店、卢沟桥三个水文站河水一直处于冲刷河道状态,含

沙量不断上升,到金门闸达到峰值,下游河段的含沙量开始回落,表明金门闸附近是一个分水岭。

由此可见,官厅水库清水下泄会冲刷河道。清水冲刷过程通常是将河床中颗粒较小的细沙携走,颗粒较大的仍保留在河床,久而久之,极易发生河床粗化现象。永定河悬移质平均粒径沿程变化情况见图 2^[11],可以看出,官厅水库的出库水流中悬移质平均粒径小于入库时的数据,说明官厅水库将上游携带来的大量泥沙拦存于库中。从官厅水库到金门闸河段,水中泥沙的平均粒径呈增大趋势,说明这一河段处于冲刷河道状态,悬移质平均粒径逐渐增大说明了在这一段河道中,细沙被不断冲走。金门闸到石佛寺河段悬移质平均粒径降低,原因在于含沙量达到饱和后,粒径较大的泥沙由于质量较大开始沉积。野外考察也证实了这一点,早在 1960 年代,在大兴区立垡河段发现了大量的卵石。

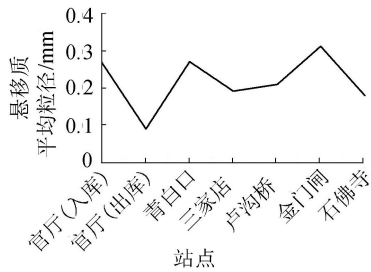


图 2 1956 年 8 月 1—3 日各站悬移质平均粒径

2.3 引、配水工程对径流的影响

修建永定河引水工程,主要目的是为石景山工业区供水。永定河引水工程于 1956 年开工,以三家店水利枢纽为起点,经过模式口、玉渊潭,木樨地等地,最终汇入到市区的护城河中。1957 年引水渠初建时,最大引水能力为 30 m³/s。1960 年代至 1970 年代,北京市工业和农业用水量有了较大幅度的增长,引水渠于 1969 年进行扩展,扩展后的引水能力达 60 m³/s。1957—1995 年,这近 40 年间,三家店进水闸引水 200 余亿 m³,为首都钢铁公司、北京市第一轧钢厂和北京钢厂等冶金企业供水 21 亿 m³;为高井发电厂、石景山发电厂、第一和第二热电厂等电力企业供水 170 亿 m³;为燕山石化公司等化工企业供水 11 亿 m³;为造纸、印染、酿造、建材等企业供水 1 亿 m³;为石景山、丰台、大兴、海淀、朝阳、通县、门

表 2 1956 年 4—6 月含沙量沿程变化

	kg/m ³												
站名	4 月 15 日	4 月 22 日	4 月 25 日	4 月 30 日	5 月 5 日	5 月 10 日	5 月 15 日	5 月 20 日	5 月 26 日	5 月 31 日	6 月 5 日	6 月 10 日	6 月 15 日
官厅	0.3	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3
青白口	1.8	2.0	1.0	0.4	1.0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4
三家店	3.6	5.1	3.0	1.9	2.7	0.1	0.1	1.2	1.2	0.8	0.8	1.6	0.7
卢沟桥	3.3	5.6	3.9	3.3	4.0	0.1	0.1	1.2	1.6	1.0	1.0	1.1	0.9
金门闸	7.8	11.5	7.7	13.6	6.9	3.0	2.3	4.6	8.3	6.0	7.0	5.3	6.6
石佛寺	3.5	2.4	3.2	8.6	4.0	0.5	0.6	2.2	5.5	2.4	1.5	4.4	1.6

头沟等 7 个区县农田提供灌溉用水 91 亿 m³;为城子水厂和田村山水厂供水近 3 亿 m³^[4]。

由于三家店以上河段 200 余座大小水库对永定河地表水进行拦截,永定河径流很小,官厅水库下泄流量常年控制在 40 m³/s^[11]。1957 年永定河引水工程完工,在官厅水库限流和引水工程双重影响下,永定河下游近枯干状态;1960 年代起常年呈细水状,水量很小;至 1980 年代前后,永定河出现断流现象。

3 永定河流域生态环境的变化

从 1950 年代到 1980 年代,是北京永定河流域生态环境变化最为明显的时期。1950 年代初,永定河延续了以往水旱灾害的特点,但是到了 1950 年代后期,随着官厅水库等水利工程的修建,永定河流域的生态环境发生了根本转变,由多水变为缺水,径流量减少,地下水环境蜕化,沙源及风沙灾害增加。

3.1 径流量减少

1956 年的水灾是至今为止永定河最后一次大水灾,自官厅水库等多个水库陆续修建后,下游平原地区的水灾基本杜绝。永定河在短短的 30 余年间,由一条波涛汹涌、水灾肆虐的大河到断流,发生了巨大的转变。一般情况下,在没有下渗及调、补水的情况下,河流的径流流量与降雨量、蒸发量二者之差成正比,表 3 为永定河流 1950 到 1990 年代每 10 年的平均降水量、蒸发量以及径流量情况^[12-13],可以看出,从 1950 年代到 1990 年代,降水量减少不显著,但永定河径流减少十分显著。其中,1950 年代至 1970 年代间,永定河流域降水量高于距平百分率,说明这段时间是永定河流域的丰水期,但永定河径流却呈现减少趋势。至 1990 年代,降水量距平百分率为 0.44%,而径流量却锐减了近 18%,降水量与径流量呈反比。再将蒸发量纳入到考量范围,1970 年代和 1990 年代这 2 组数据中,降水量距平百分率为正,且蒸发量距平百分率为负,即降水量较年均值多而蒸发量较年均值低,根据水平衡的原理,径流量应当处于一个较高水平,但永定河径流量不同程度呈现了减少的趋势,1950 年代降水量为新中国建立

后 50 年最高水平,这与永定河 1950 年代多水灾相互印证。但自 1970 年代起,降水量、蒸发量与径流量形成了鲜明的对比,三者关系不再对应,因此自然因素并不是永定河径流量减小的主因,拦洪蓄水和引水分流工程才是引起永定河径流量减小的主要因素。

3.2 地下水环境蜕化

永定河长期为北京城供水,一方面,通过地表水直接满足城市建设和居民生活的需要,在 1950 年代至 1970 年代间是北京生活用水和工业用水的主要水源;另一方面,还通过渗漏方式补给北京的地下水,根据 1951—1959 年的水文记录测算,其渗漏量约为 10.06 m³/s。但自 1970 年代以来,由于上游水质恶化等原因,官厅水库供水能力逐渐减弱,永定河径流也随之逐渐减小,直至断流。官厅水库向北京市区的供水量减少,1955—1959 年平均供水量为 17.93 亿 m³/年,而 1971—1977 年平均供水量为 6.81 亿 m³/年,减少 62% 左右,最少的供水年份为 1972 年,仅有 3.74 亿 m³。据有关单位观测,1981 年三家店以上河水渗漏量仅为 2.8 m³/s,严重消减了北京市地下水的补给^[14]。

地表水已无力满足工业及城市生活对水的需求,北京开始大规模开采地下水,地下水替代永定河成为北京的重要水源。历经多年的过度开采,北京西部的第四纪地下水已趋于枯竭。为了保障用水需求,北京地区 5 座应急地下水储存库已启用 3 座。根据学者对 1988—2008 年北京市地下水资源量、开采量、超采量的统计分析,北京市地下水每年度的开采量在 20 亿~30 亿 m³ 之间,1994 的开采量达到峰值。从 1988 年到 2009 年,北京市的地下水资源有 16 年处于超采状态,特别是 1999—2007 年连续 9 年均处于超采状态,年均超采量为 9.55 亿 m³。1999 年后,由于超采严重,北京地下水资源锐减,由 1998 年的高峰跌入低值,地下水资源量长期在历史低值附近徘徊^[15]。

北京市区地下水遭到大规模开采,而地下水的补给量减少,从而使地下水位不能保持在原有水平。北京平原地下水平均埋深,在 1960 年是 3.6 m,1980 年下降到 7.24 m,1990 年又进一步下降到 10.62 m^[16]。地下水埋深的下降易导致 3 方面严重后果:其一,地貌发生变化,平原地区易发生沉降,形成地下漏斗状。1985 年以红庙为中心位置点的漏斗面积扩展到 1 460 km²,1990 年则进一步增加到 2 000 km²^[4]。其二,城市生活污水和工业废水易进入到地下水系中,地下水水质日益恶化。1987 年的一项调查表明,北京城近郊区地下水总硬度明显升高,除自来水二、三、五厂外,其他各自来水厂及附近工农业井水硬度

表 3 永定河流域 1950—1990 年代降水量、蒸发量和径流量情况

年代	降水量		蒸发量		径流量	
	年均值/ mm	距平百 分率/%	年均值/ mm	距平百 分率/%	年均值/ mm	距平百 分率/%
1950	514	21.61	413	2.9	66	61.15
1960	421	-0.27	409	2.0	46	12.08
1970	425	0.62	396	-1.3	40	-2.33
1980	382	-9.43	393	-2.0	34	-16.25
1990	424	0.44	392	-2.2	34	-17.96

都超过了饮用水质标准。6个自来水厂中,除五厂外,硝酸盐全部超标。其他各项污染指标、升高趋势日愈明显^[17]。其三,河流干涸速度加快。地下水可以将其自身“返还”给河流,一旦地下水位下降,地下水不能返回到河流中,河流径流量减少,干涸速度必然加快。地下水位的下降促使永定河流域生态环境更加干燥,永定河干涸速度大大加快,土壤中水分的缺失导致了表层土地的沙化,为北京的沙尘天气提供了条件。

3.3 沙源及风沙灾害增加

历史上永定河多次决口,迁徙改道,在北京地区留下了许多交错纵横的故道,使永定河沿岸形成大面积沙地。官厅水库修建后,虽然永定河不再决口,但却使沿岸的沙化更加严重。当1980年代永定河断流后,河床中大量泥沙裸露出来,泥沙堆积较厚的地区出现了移动的沙带。沙带具有极大的危害,不仅影响地表景观,恶化生态环境,而且干燥的地表环境加快了永定河干涸的进程,更为严重的是形成了大量的沙源。北京永定河两岸风沙危害区,北起三家店,南至梁各庄(市界),西到小清河,东以天堂河为界,南北长77 km,东西宽12 km^[18]。每遇东风时,风携卷着大量沙尘飘向北京市区,形成沙尘天气。

4 结 语

1950—1990年,北京永定河诸多水利工程的修建,对永定河径流情况和流域的生态环境产生了显著的影响。在大型水利工程修建之前,永定河水灾频发,给北京的城市安全和居民生活带来了巨大威胁,1950年代中期以后,随着官厅水库等水利工程的修建,永定河流域的自然灾害逐渐演变为以风沙为主的风沙灾害。永定河的径流量也日趋减小,直至1980年代断流,笔者通过考察1950—1990年径流量与降水量及蒸发量之间的关系,认为众多水利工程的兴建,是导致永定河径流量减少的主要因素。永定河断流对北京地区的生态环境产生了重要影响:①地下水被过度开采,地下水位埋深下降;②泥沙淤积的河床裸露,形成风沙源。

1950—1990年间,北京永定河流域生态环境急剧变化,其经验教训值得我们借鉴和吸收。首先,我们应辩证地看待永定河洪水的利害影响,改变传统的防洪观念,在防控永定河洪水危害的同时,通过恢复河流的自然属性等手段,尽可能实现洪水资源化,缓解北京地区水资源短缺问题。其次,永定河水资源的开发利用,不能片面追求经济利益,忽视过度开发对生态环境造成的严重危害,而应坚持生态优先原则,保护好永定河流域的生态环境。

参考文献:

[1] 尹钧科,吴文涛. 历史上的永定河与北京[M]. 北京:北京燕山出版社,2008.

[2] 何北明. 民国时期北京地区水、旱、传染病等灾害灾荒研究[D]. 北京:首都师范大学,2013.

[3] 杜玲英. 北京防治洪涝灾害的历史与展望[J]. 城市与减灾, 2004 (2): 33-35. (DU Lingying. History and prospect of prevention and control of flood and water loggings in Beijing region [J]. City and Disaster Reduction,2004(2):33-35. (in Chinese))

[4] 北京地方志编纂委员会. 北京志·水利志[M]. 北京:北京出版社,2000.

[5] 张英. 永定河1956年洪水及西麻各庄决口始末[J]. 北京水利,1995 (3): 8-12. (ZHANG Ying. The Yongding River flood in 1956 and the whole story about Ximage Viuage burst [J]. Beijing Water Resources, 1995 (3): 8-12. (in Chinese))

[6] 郑肇经. 中国水利史[M]. 上海:商务印书馆,1984.

[7] 北京通讯. 京畿水退后之北京现象[N]. 申报,1924-07-21(04).

[8] 苏筠. 中国农村复兴运动声中之天灾问题[J]. 东方杂志,1933,30(24): 40. (SU Yun. The problem of natural disasters in China's rural revival movement [J]. Oriental Magazine,1933,30(24): 40. (in Chinese))

[9] 韩广宗. 永定河官厅水库上游水利工程和污水对地表水的影响[J]. 河北工程技术高等专科学校学报,1994 (4):25-32. (HAN Guangzong. Water conservancy project and sewage of the upper reach of Guanting Reservoir on Yongding River and their impact on surface water [J]. Journal of Hebei Engineering and Technical College,1994 (4):25-32. (in Chinese))

[10] 魏昌林. 中国南水北调[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[11] 尹学良. 官厅水库修建后永定河下游河道的变化[J]. 泥沙研究,1958(2): 49-69. (YIN Xueliang. The change of lower reaches of Yongding River after the construction of Guanting Reservoir [J]. Journal of Sediment Research, 1958(2): 49-69. (in Chinese))

[12] 刘春蓁,刘志雨,谢正辉. 近50年海河流域径流的变化趋势研究[J]. 应用气象学报,2004,15(4): 385-393. (LIU Chunzhen, LIU Zhiyu, XIE Zhenghui. Study on the change trend of runoff in the Haihe River Basin in recent 50 years [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2004,15(4): 385-393. (in Chinese))

[13] 张利平,于松延,段尧彬,等. 气候变化和人类活动对永定河流域径流变化影响定量研究[J]. 气候变化研究进展,2013,9(6): 391-397. (ZHANG Liping, YU Songyan, DUAN Yaobin, et al. Quantitative assessment of the effect of climate change and human actives on runoff in the

Yongding River Basin [J]. Progressus Inquisitiones DE Mutatione Climatis,2013,9(6):391-397. (in Chinese))

[14] 陈雨孙,马英林.论永定河水通过西山对北京市地下水的补给[J].水利学报,1981(3):10-18. (CHEN Yusun, MA Yinglin. On the recharge of ground-water in Beijing by the Yongding river through Western Hills[J]. Journal of Hydraulic Engineering,1981(3):10-18. (in Chinese))

[15] 杨忠山,窦艳兵,王志强.北京市地下水水位下降严重原因分析及对策研究[J].中国水利,2010(19):52-54. (YANG Zhongshan, DOU Yanbing, WANG Zhiqiang. Analysis on the reasons of the decline of ground water level in the primary water supply source area of Beijing and the countermeasures [J]. China Water Resources, 2010(19):52-54. (in Chinese))

[16] [s. n.]北京水资源状况及用水结构分析[J].北京社会科学,2000(1):40-44. ([s. n.]. Analysis of water resources and water use structure in Beijing [J]. Social Science of Beijing,2000(1):40-44. (in Chinese))

[17] 侯景岩.北京地下水资源现状及对策[J].中国地质,1987(7):25-27. (HOU Jingyan. Present situation and Countermeasures of groundwater resources in Beijing[J]. Geology in China,1987(7):25-27. (in Chinese))

[18] 北京地方志编纂委员会.北京志·林业志[M].北京:北京出版社,2003.

(收稿日期:2015-09-13 编辑:王芳)

(上接第107页)

[13] 卢珂,曹炜,陈卫军,等.吸附树脂吸附蜂蜜中羟甲基糠醛的热力学研究[J].农业工程学报,2006,11(12):254-256. (LU Ke, CAO Wei, CHEN Weijun, et al. Thermodynamic properties of hydroxymethyl furfural in honey on the macroporous adsorption resin [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2006,11(12):254-256. (in Chinese))

[14] JOSÉ D M D, MAHMOUD M A D, JOSÉ R U, et al. Adsorption/bioadsorption of phthalic acid, an organic micropollutant present in landfill leachates, on activated carbons [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2012,369(1):358-365.

[15] 翟志才.超高交联吸附剂对苯基氨化合物的吸附行为及在废水处理中的应用研究[D].南京:南京大学,2003.

[16] 陆伟品,江淼,郑芳芳,等.多孔树脂及碳纳米管对环丙沙星的吸附行为与机理[J].化工学报,2012,63(11):3567-3573. (LU Yipin, JIANG Miao, ZHENG Fangfang, et al. Adsorption behavior and mechanism of ciprofloxacin onto porous resins and carbon nanotube [J]. CIESC Journal,2012,63(11):3567-3573. (in Chinese))

[17] BANSAL R C, GOYAL M. Activated carbon adsorption [M]. Boca Raton: Taylor & Francis,2005.

[18] YANG Weiben, LI Aimin, FU Chang'e, et al. Adsorption Mechanism of aromatic sulfonates onto resins with different matrices [J]. Ind. Eng. Chem. Res,2007,46(21):6971-6977.

(收稿日期:2015-09-30 编辑:彭桃英)

(上接第129页)

[7] HESTIR E L, KHANNA S, ANDREW M E, et al. Identification of invasive vegetation using hyperspectral remote sensing in the California Delta ecosystem [J]. Remote Sensing of Environment,2008,112(11):4034-4047.

[8] WANG C, MENENTI M, STOLL M P, et al. Mapping mixed vegetation communities in salt marshes using airborne spectral data [J]. Remote Sensing of Environment,2007,107(4):559-570.

[9] 刘伟龙,胡维平,陈永根,等.西太湖水生植物时空变化[J].生态学报,2007,27(1):1-12. (LIU Weilong, HU Weiping, CHEN Yonggen, et al. Temporal and spatial variation of aquatic macrophytes in west Taihu Lake [J]. Acta Ecologica Sinica,2007,27(1):1-12. (in Chinese))

[10] 鲍建平,缪为民,李劫夫,等.太湖水生维管束植物及其合理开发利用的调查研究[J].大连水产学院学报,1991,6(1):13-20. (BAO Jianpin, MIAO weimin, LI Jiefu, et al. Preliminary study on the aquatic weeds of the Tai Lake and their rational development and utilization [J]. Journal of Dalian Fisheries College,1991,6(1):13-20. (in Chinese))

[11] 雷泽湘,徐德兰,黄沛生,等.太湖沉水和浮叶植被及其水环境效用研究[J].生态环境,2006,15(2):239-243. (LEI Zexiang, XU delan, HUANG Peisheng et al. Submersed and floating-leaved macrophytes in Taihu Lake and their water environmental effect [J]. Ecology and Environment,2006,15(2):239-243. (in Chinese))

[12] BREIMAN L, FRIEDMAN J H, OLSHEN R A, et al. Classification and regression tree [M]. Monterey: U. S. A. Wadsworth International Group,1984:1-358.

[13] 王琪,周兴东,罗菊花,等.考虑生活史的太湖沉水植物优势种遥感监测[J].湖泊科学,2015,27(5):953-961. (WANG Qi, ZHOU Xingdong, LUO Juhua, et al. The remote sensed monitoring of the dominant submerged vegetation in lake Taihu considering life history [J]. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(5):953-961. (in Chinese))

(收稿日期:2015-11-23 编辑:王芳)