

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.05.005

淮河上游土地利用变化对次洪的影响

陈芸芸^{1,2}, 宋 耘^{1,2}, 李琼芳^{1,2}, 马俊超^{1,2}, 鞠 彬^{1,2}, 曾 明^{1,2}

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学国际河流研究所, 江苏 南京 210098)

摘要:为了揭示不同土地利用模式下淮河流域产水响应规律、定量评价土地利用引起的淮河流域生态环境变化,以淮河上游大坡岭水文站以上流域为研究区,基于1990s和2000s的土地利用数据及气象、水文等数据,以0.5h为时间步长,应用改进的新安江模型模拟次洪过程,并分析土地利用模式变化对次洪的影响。结果表明:在相同降水条件下,1990s到2000s的土地利用模式变化导致次洪的径流量、洪峰流量、径流模数、径流系数、地下径流比例均增加。

关键词:淮河上游;土地利用变化;次洪径流;新安江模型

中图分类号:P338⁺.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2016)05-0024-05

Effects of land use change on flood events in upper reaches of Huaihe Basin

CHEN Yunyun^{1,2}, SONG Yun^{1,2}, LI Qiongfang^{1,2}, MA Junchao^{1,2}, JU Bin^{1,2}, ZENG Ming^{1,2}

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Institute of International Rivers Research Academy, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to study different effects of land use patterns on runoff generation and quantitatively evaluate the influence of land use on the change of the ecological environment in the Huaihe Basin, we selected the Dapoling Hydrological Station in the upper reaches of the Huaihe Basin as the study area, and used the improved Xin'anjiang model to simulate the flood processes at a scale of half an hour based on land use, meteorological, and hydrological data from the 1990s and the 2000s. We also analyzed the influence of land use change on the flood events in the study area. The results show that, under constant conditions of precipitation, the runoff, peak discharge, runoff modulus, runoff coefficient, and groundwater runoff proportion all increased during the period from the 1990s to the 2000s.

Key words: upper reaches of Huaihe Basin; land use change; flood runoff; Xin'anjiang model

近年来土地利用变化问题已成为国际地圈生物圈计划与全球环境变化的人文因素计划的核心研究计划之一,是全球环境变化研究的热点和前沿问题,土地利用变化的水文效应也越来越受到关注^[1]。土地利用变化通过改变不同界面(陆面-大气、陆面-地下水、地表水-地下水、地表水-陆面、饱和带-非饱和带)的水分交换量影响流域蒸散发、地表水、土壤水和地下水过程及其相互转化机制^[2],对流域降雨径流过程产生影响。当前研究土地利用变化对流

域降雨径流过程的影响更多的是采用水文模型的方法^[3-5]。水文模型法不仅能考虑流域综合因素对水文过程的影响,而且可以灵活地调整气候或土地利用的个别或多个参数,从而有效地研究土地利用的水文效应^[6]。张乾等^[7]基于水文模型参数变化检验来评价淮河上游大坡岭流域土地利用变化引起的日径流特征响应;郝芳华等^[4]运用SWAT模型模拟分析黄河下游洛河流域土地利用变化对日产流量的影响;蔡涛等^[8]运用SWAT模型以日为时间步长对

基金项目:国家自然科学基金(41171220);国家科技支撑计划课题(2012BAB03B03);水利部公益行业经费项目(201001069,201101052)

作者简介:陈芸芸(1991—),女,硕士研究生,研究方向为水文水资源。E-mail: laojiang0601@163.com

通信作者:李琼芳,教授。E-mail: 745289830@qq.com

淮河上游流域产水进行了全过程模拟。但由于土壤侵蚀量在很大程度上取决于次暴雨的强度与次数,而之前学者对不同土地利用下次洪产水分析较少,淮河流域上游地区水土流失较流域内其他地区严重,而且以水土流失为载体的面源污染已成为流域上游水质污染的重要来源,因此模拟分析土地利用变化下的次洪径流过程十分必要。

笔者以淮河上游大坡岭水文站以上集水区为研究区,基于研究区 2 期(1990s、2000s)土地利用及流域的气象、水文数据,采用基于双源蒸散发的新安江模型以 0.5 h 为时间步长对研究区次洪过程进行模拟,并分析相同降雨条件下不同土地利用模式对流域次洪径流特性的影响。研究成果以期为淮河流域水土流失治理、面源污染防治、水土资源的可持续发展与利用提供理论基础。

1 研究方法

根据陆志刚等^[9]的研究,淮河流域在过去 50 多年中降水特性(强度、频次、历时)没有发生显著变化,由此可见降雨径流的关系变化主要是由下垫面条件变化引起的,而研究区的土壤结构、地形坡度基本不变,下垫面变化主要是土地利用变化,因此可假定降雨径流关系变化主要是由土地利用变化引起的。在此基础上,利用 P-M 法耦合植物生长模型(EPIC)计算流域潜在蒸散发^[10]改进的新安江模型,以 0.5 h 为时间步长,选用大坡岭流域土地利用模式不同的 2 个年代(1990s、2000s)6~9 月期间各 11 场洪水分别进行模拟,其中 8 场洪水用于模型参数率定,3 场洪水用于模型检验,分别获得了 2 种不同土地利用模式下的模型参数。基于模拟出的 2 期参数,选取 2000s 的 11 场洪水相应的降水资料,模拟相同降雨条件下不同土地利用模式下流域内的次洪过程,并分别选择具有代表性的大、中、小 3 场洪水对比分析不同降雨程度下的土地利用变化对次洪径流量、洪峰、峰现时间、径流系数、径流模式和径流组成成分等径流特性的影响。

2 次洪径流过程模拟

2.1 研究区域概况

淮河流域上游大坡岭水文站以上流域面积为 1 631.22 km²,流域范围为东经 113°16′~113°49′、北纬 32°13′~32°43′(图 1),流域多年平均降雨量约 950 mm,多年平均径流深 375 mm,受季风影响,降水时空分布不均。年内降水多集中在汛期(6—9 月),汛期多年平均降水量为 554.6 mm,占多年平均降水量的 53.5%,流域内以山区和丘陵为主,植被较好,

水利工程不多。土地利用方式主要为林地和旱地,水稻为主要作物。

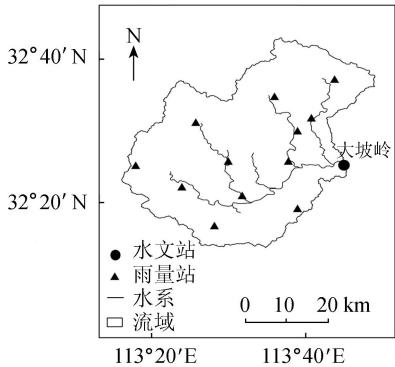


图 1 大坡岭流域示意图

2.2 资料与处理

为分析土地利用模式变化对次洪的影响,收集了 2 期(1990s 和 2000s)全国 1 km×1 km 土地利用图资料(表 1),其中 1990s 以水田为主,2000s 以旱地为主。选用美国国家地球物理中心的全球 1 km 基础高程资料,DEM 空间分辨率为 30 m,应用 GIS 软件提取流域、水系及生成子流域,考虑流域降雨空间分布的不均匀,将流域栅格化。选用大坡岭流域 13 个雨量站的实测降雨资料和周围 8 个气象站气象资料,采用距离平方倒数法对降雨和气象资料进行插值;流量资料为大坡岭水文站实测流量资料。降雨、气象、流量均处理成时间步长为 0.5 h 的时段数据。

表 1 大坡岭流域 2 个时期土地利用比例 %

时期	水体	城乡用地	林地	水田	旱地	草地	滩地
1990s	0.78	0.51	40.69	27.23	30.38	0.06	0.34
2000s	1.32	0.88	38.06	17.15	41.81	0.54	0.22

2.3 次洪径流模拟结果

基于 2 期土地利用数据选用基于改进的新安江模型以 0.5 h 为时间步长分别模拟淮河上游大坡岭站以上流域 1990s 和 2000s 各 11 场次洪水过程,模型参数率定结果见表 2,模拟的径流深和洪峰流量相对误差均在 10% 以内,确定性系数均达到 0.8 以上,峰现时间差均在 2h 以内,满足模拟精度要求。

由表 2 可见,2000s 与 1990s 相比,表层自由水蓄水容量偏小,表示表土蓄水能力减少,溢出多,地面径流大,且多蓄于浅层,多产生壤中流,地下径流减少,洪峰流量相对增大,说明 2000s 旱地增加、水田减少的土地利用模式改变导致次洪产水量增加,洪峰量增加;地面径流消退系数偏小,说明旱地比水田退水速度更快;地下水消退系数偏少,说明旱地的地下水退水速度比水田要快。实际模拟中 1990s 平均径流系数为 0.46,2000s 平均径流系数为 0.48,可见 2000s 次洪产水量增加,参数变化规律与实际产流情况相符合。

表 2 大坡岭流域不同土地利用模式下模型参数率定结果

参数意义	时期	
	1990s	2000s
上层张力水容量 (mm)	20	20
下层张力水容量 (mm)	60	60
深层蒸散发折算系数	0. 1	0. 1
流域平均张力水容量 (mm)	120	120
张力水蓄水容量曲线方次	0. 4	0. 4
不透水面积占全流域面积的比例	0. 001	0. 001
表层自由水蓄水容量 (mm)	47	45
表层自由水蓄水容量曲线方次	1. 2	1. 2
表层自由水蓄水水库对地下水的日出流系数	0. 45	0. 45
表层自由水蓄水水库对壤中流的日出流系数	0. 25	0. 25
地面径流消退系数	0. 9	0. 8
壤中流消退系数	0. 91	0. 91
地下水消退系数	0. 997	0. 995
河网滞时 (h)	4	4
马斯京根法演算时间参数 (h)	0. 5	0. 5
马斯京根法演算比例参数	0. 49	0. 49

3 土地利用变化对次洪影响的模拟与分析

3.1 土地利用模式分析

表1表明流域主要的土地利用类型是旱地、林

地、水田,1990s 和 2000s 之间主要的土地利用变化为旱地和水田之间的交叉。与 1990s 相比,2000s 水田比例从 27. 23% 减少到 17. 15% ,旱地比例从 30. 38% 增加到 41. 81% ,表明从 1990s 到 2000s 大坡岭流域水田比例减少,旱地增加,土地利用类型发生了较大变化。土地利用类型的其他变化(如水体从 0. 78% 增加到 1. 32%) 由于所占比例一直较小且变化不大,所以可认为其影响不大。

3.2 不同土地利用模式对次洪影响模拟结果

选用大坡岭流域 2000s 的 11 场次洪资料,在相同降雨条件下利用 2 种不同土地利用模式下的模型参数,基于改进的新安江模型以 0. 5 h 为时间步长对土地利用变化前后(1990s 和 2000s)的次洪过程进行模拟,计算结果见表 3、4,并分析不同土地利用模式对次洪径流量、洪峰、峰现时间、径流系数、径流模式和径流组成成分等径流特性的影响。

3.3 结果分析

在相同降雨条件下,2000s 与 1990s 相比:①产流量较大,产流变化在 2% ~ 15% 之间,平均变化幅

表 3 大坡岭流域不同土地利用模式情景下次洪流量特性变化

洪号	径流深			洪峰流量			峰现时间/h		
	R_{1990s}/mm	R_{2000s}/mm	变化率/%	$Q_{1990s}^m/(m^3 \cdot s^{-1})$	$Q_{2000s}^m/(m^3 \cdot s^{-1})$	变化率/%	T_{1990s}^{pk}	T_{2000s}^{pk}	变幅
20000602	74. 8	83. 1	9. 99	1 509	1 821	17. 13	2	1	-1
20020622	56. 6	61. 6	8. 12	1 531	1 763	13. 16	0	0	0
20030720	42. 9	46. 1	6. 94	976	1 072	8. 96	0	-2	-2
20040804	37. 2	39. 9	6. 77	779	848	8. 14	0	0	0
20050710	74. 4	86. 0	13. 49	3 066	3 876	20. 90	0	0	0
20050828	65. 2	73. 3	11. 05	2 051	2 417	15. 14	0	0	0
20060728	9. 4	9. 6	2. 08	252	263	4. 18	0	0	0
20070703	42. 1	44. 4	5. 18	1 182	1 315	10. 11	-2	-2	0
20080721	82. 1	90. 9	9. 68	1 369	1 516	9. 70	-2	-2	0
20090826	53. 6	56. 5	5. 13	1 013	1 104	8. 24	0	-1	-1
20100717	137. 4	161. 3	14. 82	1 883	2 216	15. 03	2	2	0
平均	61. 4	68. 4	8. 48	1 419	1 656	11. 88	0. 0	-0. 4	-0. 4

注: R_{1990s} 、 R_{2000s} 分别为 1990s 和 2000s 径流深,mm; Q_{1990s}^m 、 Q_{2000s}^m 分别为 1990s 和 2000s 洪峰流量, m^3/s ; T_{1990s}^{pk} 、 T_{2000s}^{pk} 分别为 1990s 和 2000s 峰现时间差,h,“-”表示峰现时间提前。

表 4 大坡岭流域不同土地利用模式情景下次洪径流特性变化

洪号	降雨量/ mm	径流系数			径流模数			直接径流所占比重/%			地下径流所占比重/%		
		1990s	2000s	变幅	1990s	2000s	变化率/%	1990s	2000s	变幅	1990s	2000s	变幅
000602	178. 1	0. 42	0. 47	0. 05	92. 4	102. 6	9. 9	67. 73	61. 60	-6. 13	32. 27	38. 40	6. 13
020622	131. 9	0. 43	0. 47	0. 04	224. 5	263. 9	14. 9	82. 16	77. 71	-4. 45	17. 84	22. 29	4. 45
030720	82. 6	0. 52	0. 56	0. 04	77. 9	83. 7	6. 9	79. 88	72. 16	-7. 72	20. 12	27. 84	7. 72
040804	84. 4	0. 44	0. 47	0. 03	85. 3	96. 4	11. 5	73. 11	65. 43	-7. 68	26. 89	34. 57	7. 68
050710	157. 0	0. 42	0. 49	0. 07	232. 1	268. 4	13. 5	81. 74	77. 46	-4. 28	18. 26	22. 54	4. 28
050828	128. 3	0. 51	0. 57	0. 06	226. 2	242. 7	6. 8	82. 32	77. 87	-4. 45	17. 68	22. 13	4. 45
060728	22. 1	0. 42	0. 43	0. 01	37. 7	38. 9	3. 1	72. 42	64. 14	-8. 28	27. 58	35. 86	8. 28
070703	109. 8	0. 38	0. 40	0. 02	254. 3	268. 1	5. 1	72. 78	68. 49	-4. 29	27. 22	31. 51	4. 29
080721	195. 5	0. 42	0. 46	0. 04	285. 2	315. 5	9. 6	82. 30	77. 89	-4. 41	17. 70	22. 11	4. 41
090826	148. 3	0. 32	0. 33	0. 01	121. 1	127. 6	5. 1	69. 56	63. 89	-5. 67	30. 44	36. 11	5. 67
100717	289. 8	0. 43	0. 50	0. 07	122. 0	143. 1	14. 7	76. 13	70. 86	-5. 27	23. 87	29. 14	5. 27
平均	138. 9	0. 43	0. 47	0. 04	159. 9	177. 4	9. 2	76. 38	70. 68	-5. 69	23. 62	29. 32	5. 69

度 8.48%,说明在相同降雨条件下的单场洪水过程中旱地比水田的产流量大,且变幅不大不小;②洪峰流量较大,单场洪水流量变化幅度较大,例如 20050710 场洪水,在 1990s 土地利用模式下洪峰流量为 3 066 m^3/s ,在 2000s 则为 3 876 m^3/s ,相差 810 m^3/s ,变幅很大。11 场洪水变化比例在 4% ~ 21% 之间,平均变化 12%,可见同样一场洪水不同下垫面条件下旱地更容易形成大洪水,且影响效果明显,达到 10% 以上;③峰现时间提前,峰现时间差在 0 ~ 2 h,平均在 0.4 h,表明旱地更容易在一场降水后快速形成洪峰;④径流系数偏大,1990s 平均径流系数 0.43,2000s 平均径流系数 0.47,相比增加 0.04,各场洪水径流系数变幅相差 0.01 ~ 0.07 之间,由此可见对于一场降雨来说,旱地产水径流量较大;⑤径流模数偏大,变化率在 3% ~ 15% 之间,平均变化 9.2%,由此可见同样一场降雨,旱地在单位面积单位时间内产流量更大;⑥直接径流成分偏小,1990s 直接径流所占总径流量的比例平均为 76.4%,2000s 减少到 70.7%,减少了 5.7%,地下径流所占比重由 1990s 的 23.6% 增加到 2000s 的 29.3%,由此可见水田变旱地直接径流比例减少,地下径流比例增加。

根据降水特性不同,特别选择了 20000602, 20050710, 20060728 和 20100717 共 4 场洪水(图 2)。其中 20000602, 20050710 这 2 场洪水的降雨总量居于平均水平,且雨量接近,但是强度、历时等其他降水特性有显著差异,可以比较不同雨型条件下土地利用变化对次洪特性的影响;20060728 是最干旱年份的一次洪水过程,次洪降水总量仅为 22.1 mm, 20100717 是降水量最多的一次洪水过程,次洪降水总量为 319.8 mm,通过比较可以探寻不同降水程度下土地利用变化对次洪特性的影响。20050710 场洪水(图 2(b))与 20000602 场洪水(图 2(a))相比,两者降水总量相近,产流量相近,但是前者由于降雨强度大,历时短,直接径流比例大,洪峰流量亦大。在这两场降雨情景下,2000s 与 1990s 相比,20050710 场次洪水模拟的径流量、洪峰流量、径流系数、径流模数、地下径流比例增加幅度更大。由此可见一般来说降雨时段分布越不均匀土地利用变化对次洪径流过程影响程度越大。20100717 场洪水(图 2(d))与 20060728 场洪水(图 2(c))相比,降水量大,产流大,洪峰流量大。在这两场降雨情景下,2000s 与 1990s 相比,20100717 场模拟的次洪径流量、洪峰流量、径流系数、径流模数增加幅度更大,由此可见一般来说降水量大,土地利用变化引起的径流增加效应更显著,旱地的增加对径流的影响越大。

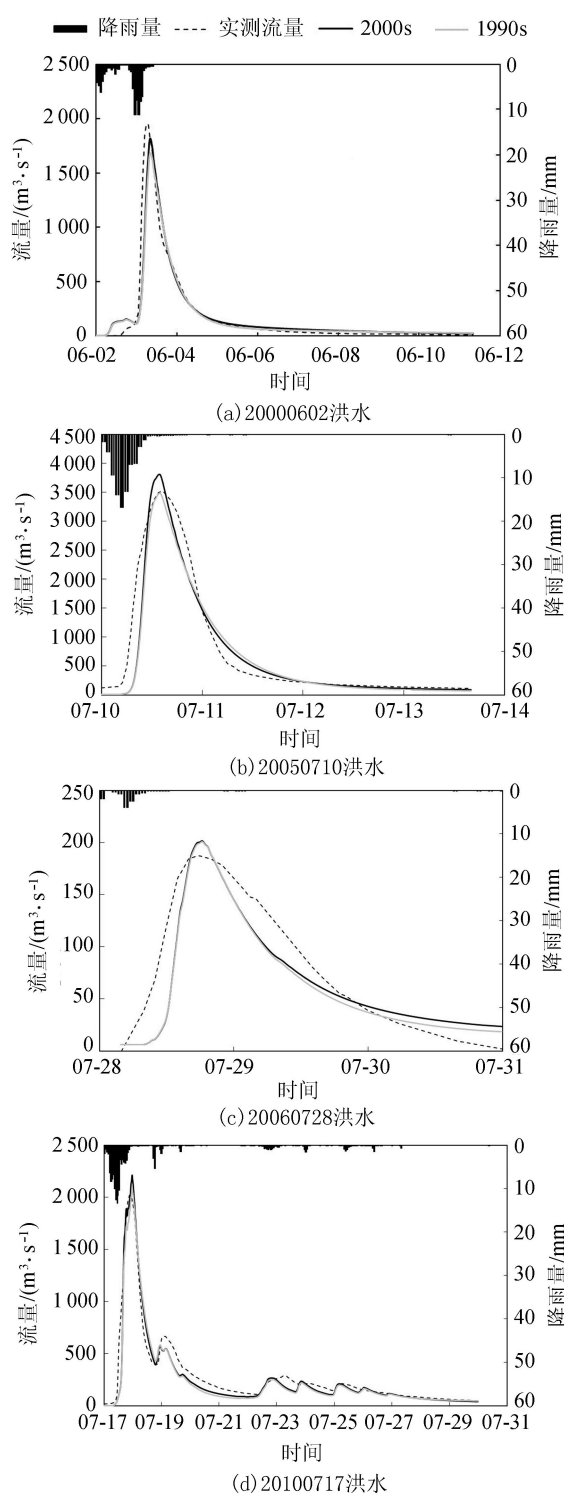


图 2 洪水过程线

4 结 语

对淮河上游大坡岭以上流域内 1990s 和 2000s 2 个时期的各 11 场洪水利用改进的新安江模型以 0.5 h 为时间步长进行模拟,并对相同降雨条件不同土地利用模式下次洪过程进行分析,建立流域径流系数、径流模数等径流特性对土地利用变化的响应关系。与 1990s 相比,2000s 土地利用模式中旱地增加,水田减少,相应的次洪径流量、洪峰流量、径流系

数、径流模数和地下径流比例均增加,峰现时间提前。研究成果可为拓展新安江模型在淮河流域水土流失模拟方面的应用取得理论和方法上的突破,同时也将为淮河流域水土资源的开发利用和管理决策奠定科学基础。研究方法对其他湿润半湿润地区也具有借鉴作用。

参考文献:

[1] 夏军,谈戈. 全球变化与水文科学新的进展与挑战[J]. 资源科学, 2002, 24 (3): 1-7. (XIA Jun, TAN Ge. Hydrological science towards global change: progress and challenge[J]. Resource Science, 2002, 24 (3): 1-7. (in Chinese))

[2] 许有鹏,于瑞宏,马宗伟. 长江中下游洪水灾害成因及洪水特征模拟分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14 (5): 638-643. (XU Youpeng, YU Ruihong, MA Zongwei. Analysis on the cause of for formation of flood disaster and flood characteristics in the middle and lower reaches of the Yangtze river [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14 (5): 638-643. (in Chinese))

[3] BRONSTERT A. Rainfall-runoff modelling for assessing impacts of climate and land-use change[J]. Hydrological Processes, 2004, 18 (3): 567-570.

[4] 郝芳华,陈利群,刘昌明,等. 土地利用变化对产流和产沙的影响分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18 (3): 5-8. (HAO Fanghua, CHEN Liqun, LIU Changming, et al. Impact of land use change on runoff and sediment yield [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18 (3): 5-8. (in Chinese))

[5] YU Meixiu, REN Liliang, LI Qiongfang, et al. Hydrologic response to land use and land cover changes within the context of catchment-scale spatial information[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2013, 18 (11): 1539-1548.

[6] LI Qiongfang, CAI Tao, YU Meixiu, et al. Investigation into the impacts of land-use change on runoff generation characteristics in the upper Huaihe River Basin, China [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2013, 18 (11): 1464-1470.

[7] 张乾,包为民,陈伟东,等. 大坡岭流域土地利用变化的径流特征响应研究[J]. 中国农村水利水电, 2015 (5): 49-52. (ZHANG Qian, BAO Weimin, CHEN Weidong, et al. Parameter estimation method based on parameter function surface to evaluate runoff changes in response to land use changes in Dapoling Watershed [J]. China Rural Water and Hydropower, 2015 (5): 49-52. (in Chinese))

[8] 蔡涛,李琼芳,宋秀民,等. 基于空间信息平台的土地利用变化径流响应模拟[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2009, 37 (5): 563-567. (CAI Tao, LI Qiongfang, SONG Xiumin, et al. Influence of land use change on runoff response simulation based on spatial information platform [J]. Journal of Hohai University (Natural

Sciences), 2009, 37 (5): 563-567. (in Chinese))

[9] 陆志刚,张旭辉,霍金兰,等. 1960—2008 年淮河流域极端降水演变特征[J]. 气象科学, 2011, 31 (增刊 1): 74-80. (LU Zhigang, ZHANG Xuhui, HUO Jinlan, et al. The evolution characteristics of the extreme precipitation in Huaihe River Basin during 1960-2008 [J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2011, 31 (sup1): 74-80. (in Chinese))

[10] 赵人俊. 流域水文模拟-新安江模型与陕北模型[M]. 北京: 水利水电出版社, 1984.

(收稿日期: 2016 - 01 - 03 编辑: 徐 娟)

+++++

(上接第 10 页)

[47] CHUN Y, SHENG G, CHIOU C T, et al. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars [J]. Environmental Science & Technology, 2004, 38 (17): 4649-4655.

[48] YANG Y, LIN X, WEI B, et al. Evaluation of adsorption potential of bamboo biochar for metal-complex dye: equilibrium, kinetics and artificial neural network modeling [J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2014, 11 (4): 1093-1100.

[49] YAO Y, GAO B, INYANG M, et al. Removal of phosphate from aqueous solution by biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings [J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 190 (1): 501-507.

[50] YAO Y, GAO B, INYANG M, et al. Biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings: characterization and phosphate removal potential [J]. Bioresource Technology, 2011, 102 (10): 6273-6278.

(收稿日期: 2016 - 07 - 26 编辑: 彭桃英)

+++++

· 信息播报 ·

2016 (第四届) 中国水生态大会圆满结束

2016 (第四届) 中国水生态大会由国际水生态安全中国委员会、河海大学环境学院、中国疏浚协会、浙江省生态经济促进会和浙江省水利学会联合主办,《水资源保护》编辑部与北京沃特咨询有限公司共同承办,于 2016 年 9 月 7—10 日在浙江省海宁市圆满召开。本次大会战略合作伙伴宁波天韵控股集团有限公司、协办单位嘉兴五丰水泥制品制造有限公司给予了大会极大支持。

本次大会邀请了夏军院士、王浩院士、周建军教授、崔广柏教授、吴时强教授、朱伟教授、辛沛教授、赵敏华副总工、满莉副教授等,就水生态文明建设、海绵城市建设与城市水系规划、河湖健康管理与保护、长江水生态保护、城市滨水景观规划与生态优化、小流域治理、河湖水系连通、河湖黑臭水体整治、河湖清淤疏浚、泥资源综合利用、水环境治理与水生态系统修复、PPP 模式与水利现代化建设等问题进行大会主旨报告。专家们的精彩报告吸引了 600 多名来自全国各地的参会人员,大会取得了圆满成功。

(本刊编辑部 供稿)