

淮北平原农田暴雨径流过程的尺度效应

韩松俊^{1,2}, 王少丽^{1,2}, 许迪^{1,2}, 章启兵³

(1. 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100048; 2. 国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 北京 100048; 3. 安徽省水利科学研究院, 蚌埠 233000)

摘要: 基于 1997—2007 年汛期 11 场暴雨径流观测数据, 对比淮北平原不同集水面积 (1 600 m²、6 hm²、和 1.36 km²) 尺度下的农田暴雨产流过程差异, 并分析其主要影响因素, 探索农田暴雨径流过程尺度效应。结果表明, 相同次暴雨下小尺度单位面积上的洪峰流量明显高于大尺度和中尺度, 而径流深小于后两者, 引起该差异的主要因素可能在于小尺度下缺乏地下水出流条件且植被截留能力相对较强。中尺度和大尺度间的暴雨径流过程相似, 但中尺度下的径流深和单位面积洪峰流量都大于大尺度, 大尺度径流场对径流的滞蓄能力相对较强可能是其主要原因。

关键词: 径流, 暴雨, 尺度, 淮北平原

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.08.005

中图分类号: S27; P33; P432^{+.1}

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-08-0032-06

韩松俊, 王少丽, 许迪, 等. 淮北平原农田暴雨径流过程的尺度效应[J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 32—37.

Han Songjun, Wang Shaoli, Xu Di, et al. Scale effects of storm-runoff processes in agricultural areas in Huaibei Plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(8): 32—37. (in Chinese with English abstract)

0 引言

由于观测和模拟能力的限制, 人们只能得到部分尺度的水文特性, 然后通过这些信息了解其它尺度的水文特性。然而从微观的质点、田间到中观的小流域, 再到宏观的大流域甚至全球, 不同尺度水文过程之间存在显著差异^[1]。一方面实际下垫面条件(包括地形、植被、土壤特性及前期储水特征等)存在显著的空间异质性; 另一方面, 水文响应存在非线性特性, 当尺度变化到一定范围, 整体表现出新的特征^[2]; 同时很多水文过程自身存在临界尺度, 起控制作用的主导水文过程随尺度大小而变化, 小尺度过程相互作用可能产生新的过程, 再加上叠加在自然系统上的各种扰动, 如大坝渠道等^[1], 这样把针对某一尺度的研究或模拟直接扩展到另一尺度将导致很大的误差。因此需要认识不同尺度的水文规律或特征, 寻找它们之间的联系^[2]。分析水文过程的尺度效应及其产生的原因是研究水文尺度问题的基础。在农业活动地区, 分析水文过程的尺度效应对认识农田水文循环规律、分析不同尺度农田水分利用效率^[3]、探讨农田地表径流氮磷流失特性^[4-5]等问题也具有非常重要的意义。

在针对暴雨径流过程的研究中发现, 小区、坡面和流域 3 种典型尺度之间存在显著的尺度效应^[6-7]。研究中

多在小区或田间尺度进行试验观测、数据收集和过程模拟^[8], 而区域或流域是生产实践中最为关注的尺度, 故需要分析从小区到流域尺度的暴雨径流水文响应规律及其尺度效应^[2,9-10]。Le Bissonnais 等对 1、20 和 500 m² 小区以及 70 hm² 小流域上两个季节期间的地表径流过程进行对比后发现, 20 和 500 m² 小区的径流系数最大, 且与小流域之间有着明显差异^[11]。秦永胜等对北京密云水库流域不同尺度降雨径流过程观察发现, 随着从坡面到小流域的扩展, 荒地和水源保护林地的径流系数具有不同的变化特征^[12]。Cerdan 等对比分析了法国 Normandy 农业地区 500 m² 小区与 90 hm² 和 1 100 hm² 小流域的地表径流变化规律, 发现径流系数随尺度增大而减小^[7]。

目前针对暴雨径流过程尺度效应的研究多集中在受人类活动影响相对较小的山区, 而平原农业区的地形地貌特性等受耕作、灌排等人类活动的干预, 暴雨径流过程与山区之间存在着显著差异^[7], 并且暴雨径流过程与农业生产活动以及生态环境之间有着紧密联系。因此需要对平原农田暴雨径流过程尺度效应规律进行分析。本文基于 1997—2007 年淮北平原汛期 11 场暴雨径流观测数据, 研究不同集水面积尺度下的农田暴雨产流规律, 分析相应的暴雨径流过程及其特性, 为探讨淮北平原农田暴雨径流过程尺度效应规律提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验区位于安徽省蚌埠市北 25 km 处的五道沟水文水资源试验研究基地内, 地处东经 117°21', 北纬 33°09'。试验区属暖温带半湿润季风气候区, 多年平均气温和蒸发皿蒸发量 (Φ20) 分别为 15.0℃和 1581.7 mm, 年均降

收稿日期: 2011-07-20 修订日期: 2012-03-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50909097, 50639040), 水利部公益性行业科研专项经费项目 (201201002)

作者简介: 韩松俊 (1981—), 男, 湖北人, 博士。主要从事水文学水资源与农业水土工程等方面研究。北京 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室/国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 100048。

Email: hansj@iwhr.com

雨量 911.3 mm，年均降雨径流深 240.2 mm。降雨主要分布在 6—9 月份，其中汛期雨量约占全年总量的 60%~70%，且多为暴雨形式出现^[13]。试验区内地面坡度平缓，平均坡度为 1.4%，土壤类型以砂浆黑土为主，土壤饱和导水率和侧向导水率分别为 4.17 和 1.42 cm/h^[14]。

1.2 暴雨径流试验场

如图 1 所示，试验区由 3 个尺度的径流试验场组成，集水面积分别为 1 600 m²、6 hm² 和 1.36 km²。研究区域地势由西北向东南倾斜，坡度较缓，研究区域内地下水埋深较浅，主要受大气降水及地下径流的补给，在暴雨径流过程中以地下水径流的形式排泄^[15]。大尺度径流场以道路旁边的大型排水沟作为边界（图 1 中外围线条以内区域），沟深 3 m，能够形成封闭的研究区域，基于径流试验数据已经开发出了水文模型进行日径流模拟^[16]。小尺度和中尺度径流场均嵌套在大尺度径流场内，小尺度径流场为一正方形小区，区内汛期种植黄豆，场内未设排水沟，以畦作为边界，畦深 0.3 m 左右，能够封闭小区的地表产流。中尺度径流场位于小尺度小区的南侧，近似为长方形区域，除整个研究区边界外以小型排水沟作为与大尺度径流场之间的边界，沟深 1.3 m，来自不同田块的地表产流和地下径流汇入东侧排水沟，中尺度径流场边界的排水沟能够有效封闭地表和地下径流。

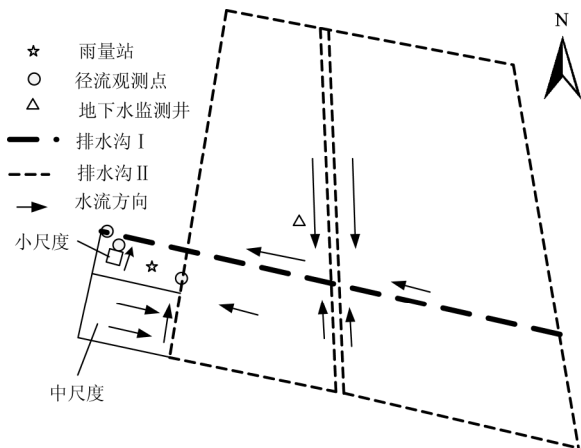


图 1 暴雨径流试验场示意图

Fig.1 Sketch map of the experimental catchment

大尺度和中尺度径流场内主要种植黄豆、玉米和棉花，中尺度径流场和大尺度径流场由不同规格的田块组成，区内有道路和排水沟，同时存在少量居民生活用地。不同尺度径流场内的作物种植、田块长度和排水沟类型和长度情况见表 1。

表 1 不同尺度径流场内的作物种植、田块规格和排水沟状况

Table 1 Crop and drainage conditions in different scales

农田状况	暴雨径流试验场		
	大尺度	中尺度	小尺度
种植作物	黄豆、棉花、玉米	黄豆、棉花、玉米	黄豆
田块长度	260~380m	230~250 m	40 m
排水沟	排水沟 I 长度: 6.0 km 排水沟 II: 1.25 km	排水沟 I 长度: 240 m	无排水沟

注：排水沟 I：沟口宽 3 m，沟底宽 0.7 m，沟深 1.3 m，边坡 1: 0.88；排水沟 II：沟口宽 10 m，沟底宽 4 m，沟深 3 m，边坡 1: 1。

径流过程中在 3 个尺度径流场出口对流量进行观测。大尺度径流场出口径流利用流速仪采用一点法在相对水深 0.6 m 处进行测量，一般布设 3 条垂线，对于水面较宽的情况布设 4 条或者 5 条垂线进行测量；中尺度径流场出口流量布设 1 条垂线利用流速仪采用一点法在相对水深 0.6 m 处进行测量；小尺度径流场出口流量利用浮标法观测。在暴雨径流试验场内，布设有 1 个雨量站和 1 个地下水观测井，同步观测各汛期的降雨量和地下水埋深，其中位于研究区中心位置的地下水观察井的地下水初始埋深和最终埋深作为反映研究区地下水埋深情况的数据。

2 结果与分析

2.1 典型暴雨径流过程差异对比

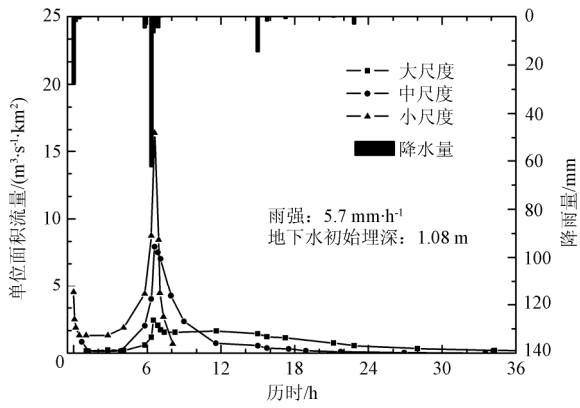
对试验场 1997—2007 年汛期观测的水文数据进行分析得到不同尺度下的 11 场同期暴雨产流结果，不同场次降雨历时、雨量、雨强以及降雨伊始的地下水埋深和产流结束后地下水埋深情况见表 2。从中可以看到，汛期径流过程都集中在每年的 6 月底和 7 月初，各次降雨径流过程间的降雨量和雨强差异较大，反映整个径流试验场的土壤蓄水情况的地下水初始埋深也存在较大差异。

表 2 各降雨场次下的暴雨特征和地下水初始埋深

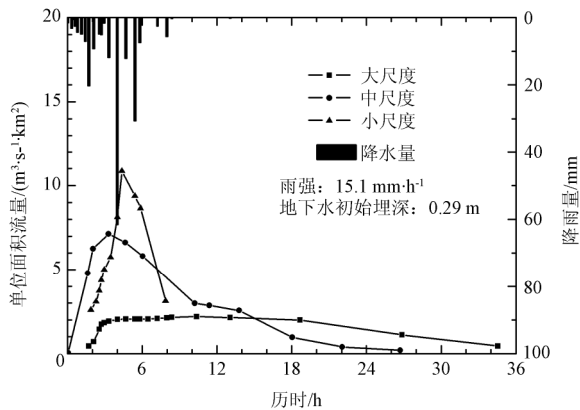
Table 2 Characteristics of storm-runoff events

降雨场次	日期	时刻	降雨历时/h	次降雨量/mm	平均雨强/(mm·h ⁻¹)	地下水埋深/m	
						初始	结束
1	1997-07-04	11:45	22.8	129.9	5.7	1.08	0.32
2	1997-07-17	18:57	13.1	197.2	15.1	0.29	0.18
3	2000-06-25	01:20	38.1	78.7	2.1	1.07	0.50
4	2000-06-27	01:10	17.5	46.4	2.5	0.49	0.40
5	2003-07-01	16:30	72.9	117.5	1.6	0.26	0.21
6	2005-07-08	03:25	24.6	66.0	2.7	1.71	0.96
7	2005-07-09	13:00	34.0	62.1	1.8	1.02	0.53
8	2006-06-30	14:25	17.6	144.2	8.2	3.08	1.09
9	2006-07-03	19:00	13.0	52.5	4.0	1.27	0.62
10	2007-07-06	01:50	38.1	53.1	3.0	2.06	0.46
11	2007-07-08	00:40	7.3	79.1	10.8	0.45	0.47

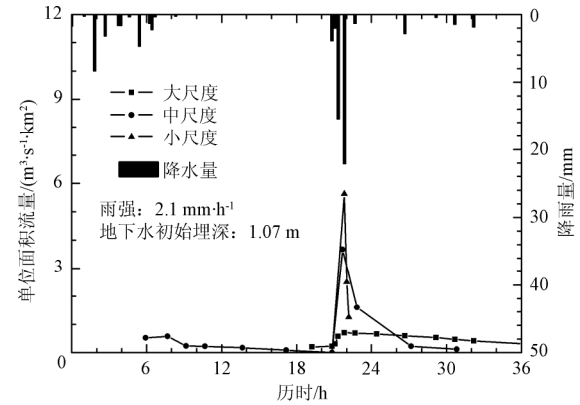
选择不同地下水位初始埋深和不同平均雨强的 4 场典型暴雨径流过程，开展不同尺度的对比分析。由于不同尺度下的集水面积差异较大，故基于单位面积流量进行典型暴雨径流过程的比较。1997 年 7 月 4 日的暴雨径流过程初始地下水埋深较深；1997 年 7 月 17 日的暴雨径流过程初始地下水埋深较浅，平均雨强较大；2000 年 6 月 25 日的暴雨径流过程初始地下水埋深较深，平均雨强较小；2003 年 7 月 1 日的暴雨径流过程初始地下水埋深较浅，平均雨强较小。如图 2 所示，降雨后，小尺度上洪峰过程消退较快，径流持续时间较短，而中尺度和大尺度洪峰过程消退较慢，径流持续时间相对较长。小尺度上的径流过程尖瘦，而中尺度和大尺度的径流过程则较为平缓，不同尺度典型暴雨径流过程特别是其洪峰流量和产流量等特性都存在差异，需要深入分析。



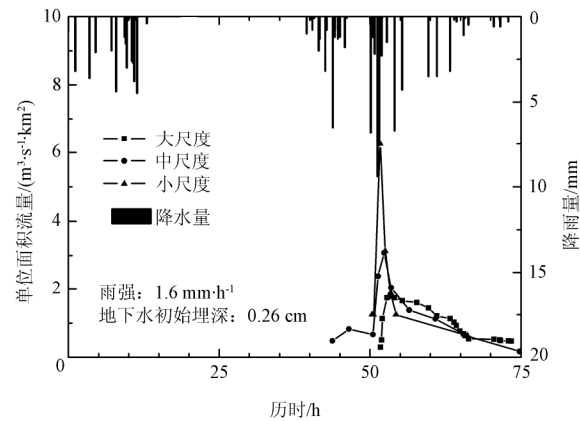
a. 1997年7月4日开始的暴雨径流过程



b. 1997年7月17日开始的暴雨径流过程



c. 2000年6月5日开始的暴雨径流过程



d. 2003年7月1日开始的暴雨径流过程

图2 不同尺度下的典型暴雨径流过程比较

Fig.2 Typical storm-runoff events in different scales

2.2 暴雨洪峰差异及其可能影响因素

由于不同尺度集水面积存在较大差异, 故利用洪峰模数(某断面的洪峰流量与断面以上流域面积的比值)和洪峰出现时刻表征不同尺度下的径流洪峰特征。如表3所示, 3个尺度不同降雨场次下的径流洪峰模数与与地下水初始埋深之间的相关性较弱, 说明地下水初始埋深不是影响径流洪峰模数的主要因素。在大中尺度, 径流洪峰模数与次降雨量具有较为显著的正相关性, 说明不同尺度下的径流洪峰模数随次降雨量的增大而增加, 而径流洪峰模数与降雨历时和平均雨强之间的相关性较弱。

表3 各降雨场次下不同尺度的洪峰模数与次降雨量, 降雨历时, 平均雨强和初始地下水埋深间的相关系数

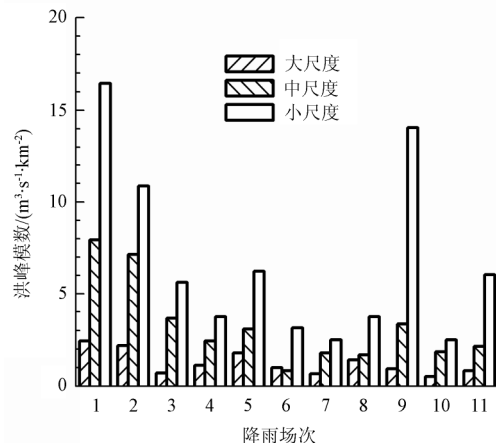
Table 3 Correlation coefficients between peak discharge and rainfall, duration of rainfall, average rainfall intensity, initial groundwater table depth

相关系数	暴雨径流试验场		
	大尺度	中尺度	小尺度
洪峰模数与次降雨量	0.74**	0.64*	0.37
洪峰模数与降雨历时	0.06	-0.13	-0.26
洪峰模数与平均雨强	0.43	0.46	0.35
洪峰模数与初始地下水埋深	-0.25	-0.39	-0.27

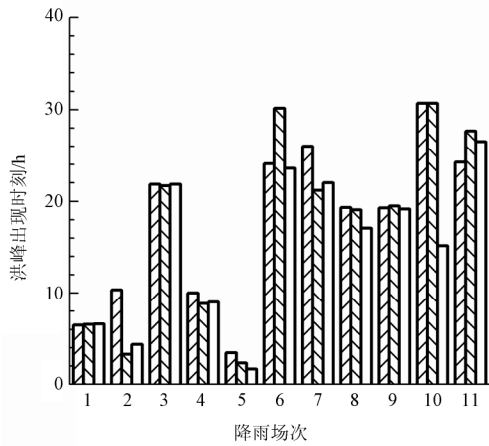
注: *通过5%显著性水平检验; **通过1%显著性水平检验。

图3分别给出了各次降雨下不同尺度径流的洪峰模数和洪峰出现时刻。小尺度上洪峰出现的时刻略早, 但不同尺度下洪峰出现时刻间的差异并不明显。从洪峰模数来看, 大、中、小3个尺度的洪峰模数依次有所增大, 且小尺度的洪峰模数明显高于大尺度和中尺度。对比表2和图3可以看出, 降雨历时较短的场次(如表2中第2、9和11场降雨径流过程), 小尺度与大中尺度径流场的洪峰模数之间的差异较大。

不同尺度下的径流洪峰特性差异与滞蓄和汇流过程差异有关。小尺度内的田块面积较小、田块长度较短, 地形相对均匀, 且缺乏排水沟的径流调蓄作用, 导致地表径流产生后的汇流过程较短, 很快可到达排出口, 故洪峰模数明显较大。中、大尺度范围包含的田块面积较大、田块长度较长, 且排水沟的径流滞蓄作用明显, 较长的汇流过程和较大的径流滞蓄能力致使同场次降雨大尺度下的径流洪峰模数最小, 中尺度下的径流洪峰模数次之。



a. 洪峰模数



b. 洪峰出现时刻

图 3 不同降雨场次下不同尺度径流的洪峰模数和洪峰出现时刻
Fig.3 Peak discharge at the three scales

2.3 径流深差异及其可能影响因素

径流深与降雨量和前期土壤蓄水量关系密切，表 4 给出各降雨场次下不同尺度的径流深与降雨量、降雨历时、平均雨强和初始地下水埋深间的相关系数。其中径流深与次降雨量和平均雨强具有非常显著的正相关关系，而与降雨历时之间没有显著关系。另一方面，径流深与地下水初始埋深具有一定的负相关关系，不同尺度下的相关系数都在 0.5 左右，不同尺度下的径流系数均随初始地下水埋深的增大而减小，相关性比较显著。

表 4 各降雨场次下不同尺度的径流深与次降雨量，降雨历时，平均雨强和初始地下水埋深间，及径流系数与初始地下水埋深的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between runoff and rainfall, duration of rainfall, average rainfall intensity, initial groundwater table depth, and correlation coefficients between runoff coefficient and initial groundwater table depth

相关系数	暴雨径流试验场		
	大尺度	中尺度	小尺度
径流深与次降雨量	0.82**	0.73**	0.75**
径流深与降雨历时	-0.14	-0.14	0.01
径流深与平均雨强	0.76**	0.74**	0.68**
径流深与初始地下水埋深	-0.49	-0.52	-0.58*
径流系数与初始地下水埋深	-0.74**	-0.56*	-0.69**

注：*通过 5%显著性水平检验；**通过 1%显著性水平检验。

图 4 对比了各降雨场次下不同尺度的径流深（第 11 场降雨过程小尺度径流场缺乏观测数据），其中小尺度下的径流深小于大尺度和中尺度。不同尺度下的暴雨径流过程差异与其水文过程差别有关，其中对径流起控制性作用的主导过程最为关键^[7]，这主要包括入渗、植被截留、滞蓄、产流和地下水出流等。研究区不同径流场从小尺度到中尺度及大尺度，都存在着入渗、植被截留、滞蓄和产流等过程，受到植被类型、排水沟等因素不同的影响。植被类型和前期蓄水量主要影响降雨入渗和田间滞蓄过程^[7]，而排水沟状况则影响径流调蓄和地下水出流过程^[18]。不同尺度径流场土地利用类型之间存在着差

异，小尺度田块内单一种植黄豆，大尺度和中尺度内的黄豆种植面积约占 50%，其余为玉米和棉花；此外，大尺度内存在较长道路和部分居民用地等不透水面。相关研究表明植被类型对地表径流滞蓄能力的影响顺序为黄豆地>棉花地>玉米地>裸地，其中黄豆单一种植模式下的地表径流滞蓄作用最为明显^[13]。地表植被滞蓄截留能力的差异可能在一定程度上造成小尺度下的径流深小于大尺度和中尺度。

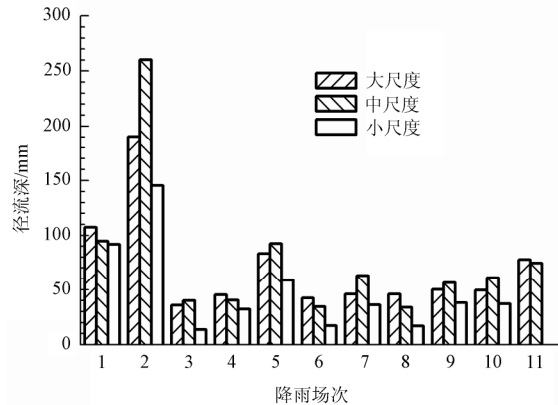


图 4 各降雨场次下不同尺度径流深
Fig.4 Comparison of runoff depth at different scales

小尺度小区内没有排水沟，中尺度径流场内排水沟的深度为 1.3 m，大尺度径流场内分布着两类排水沟的深度分别为 1.3 和 3 m。研究区内地下水埋深较浅，11 场次暴雨径流过程中有 8 次地下水初始埋深小于 1.3 m，且产流结束后的地下水埋深都小于 1.1 m（表 1）。由于地下水埋深高于排水沟深度，故大尺度和中尺度下存在显著的地下水侧向出流过程，小尺度内没有排水沟，无地下水侧向出流过程。因此，不同尺度集水面积下的地下水出流过程的差异可能是造成小尺度的径流深小于大尺度和中尺度的一个原因。

中尺度各降雨场次下的径流深要大于大尺度，这与其它研究结果相近^[7]。已有研究发现，坡面产流的径流系数随着坡面长度的增大而减小^[19-21]，中尺度内田块长度约 240 m，而大尺度内大部分田块长度超过 280 m，且大尺度径流场相对于中尺度小区地形较为复杂，在汇流过程中可能发生径流的再入渗过程，另一方面，大尺度其排水沟密度(5.3 km/km²)大于中尺度(4.2 km/km²)，且存在蓄水容量较大的 I 型排水沟。大尺度对径流的调蓄作用大于中尺度,可能是造成大尺度径流深小于中尺度的原因。

3 结 论

淮北平原农田暴雨径流过程之间存在显著的尺度效应。相同次暴雨下小尺度径流过程与大尺度和中尺度具有明显差异，单位面积的洪峰流量明显大于大尺度和中尺度，而径流深则明显小于大尺度和中尺度，引起该差异的主要因素可能在于小尺度下的植被截留能力相对较强且缺乏地下水出流条件。中尺度和大尺度径流场之间

洪峰模数及径流深与次降雨量之间的相关性相似,其暴雨径流过程相似,但中尺度下的径流深和洪峰模数都大于大尺度,说明大尺度径流场对径流的滞蓄能力相对较强。对引起不同尺度暴雨径流过程差异的主要原因还需进一步建立不同尺度径流场流量的长期自动观测,并根据连续观测数据进行深入分析。

由于小尺度内缺乏在中尺度和大尺度范围内都具备的地下水出流过程,故难以通过小尺度小区的观测和分析直接分析中尺度和大尺度径流场暴雨径流过程特性。对主导水文过程基本相同的中尺度和大尺度而言,则需进一步研究如何通过其中一个尺度分析另一尺度的暴雨径流过程特性。

[参 考 文 献]

- [1] Harvey L D. Up-scaling in global change research[J]. *Climatic Change*. 2000, 44(3): 225—263.
- [2] 夏军. 水文尺度问题[J]. *水利学报*, 1993, 24(5): 32—37. Xia Jun. The scale issue of hydrological science[J]. *Journal of Hydrology Engineering*, 1993, 24(5): 32—37. (in Chinese with English abstract)
- [3] 胡广录, 赵文智. 绿洲灌区小麦水分生产率在不同尺度上的变化[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(2): 24—30. Hu Guanglu, Zhao Wenzhi. Changes of water productivity of wheat at different scales in oasis irrigation districts[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(2): 24—30. (in Chinese with English abstract)
- [4] 张展羽, 袁自瑛, 孔莉莉, 等. 不同毛沟布置方式下农田次降雨氮素流失特性分析[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(10): 51—55. Zhang Zhanyu, Yuan Ziying, Kong Lili, et al. Characteristics of nitrogen loss from field ditches with different densities under single rainfall event[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2010, 26(10): 51—55. (in Chinese with English abstract)
- [5] 何军, 崔远来, 王建鹏, 等. 不同尺度稻田氮磷排放规律试验[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(10): 56—62. He Jun, Cui Yuanlai, Wang Jianpeng, et al. Experiments on nitrogen and phosphorus losses from paddy fields under different scales[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2010, 26(10): 56—62. (in Chinese with English abstract)
- [6] Bloschl G, Sivapalan M. Scale issues in hydrological modeling: A review[J]. *Hydrological Processes*, 1995, 9(3-4): 251—290.
- [7] Cerdan O, Bissonnais Y L, Govers G, et al. Scale effect on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy[J]. *Journal of Hydrology*. 2004, 299(1-2): 4—14.
- [8] Sivapalan, M., Kalma J D. Scale problems in hydrology: contributions of the robertson workshop[J]. *Hydrological Processes*. 1995, 9(3/4): 243—250.
- [9] Wagenet R J. Scale issues in agro-ecological research chains[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 1998, 50(1): 23—34.
- [10] 许迪. 灌溉水文学尺度转换问题研究综述[J]. *水利学报*, 2006, 37(2): 141—149. Xu Di. Review on scaling study in irrigation hydrology[J]. *Journal of Hydrology Engineering*, 2006, 37(2): 141—149. (in Chinese with English abstract)
- [11] Le Bissonnais Y, Benkhadra H, Chaplot V, et al. Crusting, runoff and sheet erosion on silty loamy soils at various scales and upscaling from m² to small catchments[J]. *Soil and Tillage Research*, 1998, 46(1/2): 69—80.
- [12] 秦永胜, 余新晓, 陈丽华, 等. 北京密云水库流域水源保护林区径流空间尺度效应的研究[J]. *生态学报*, 2001, 21(6): 913—918. Qin Yongsheng, Yu Xinxiao, Chen Lihua, et al. Spatial scale effects of runoff on the water resource conservation forest watershed with in the Miyun reservoir basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(6): 913—918. (in Chinese with English abstract)
- [13] 焦平金, 王少丽, 许迪, 等. 次暴雨下作物植被类型对农田氮磷径流流失的影响[J]. *水利学报*, 2009, 40(3): 296—302. Jiao Pingjing, Xu Di, Wang Shaoli, et al. Effect of crop vegetation type on nitrogen and phosphorus runoff losses from farmland in one rainstorm event[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(3): 296—302. (in Chinese with English abstract)
- [14] 景卫华, 罗纨, 温季, 等. 农田控制排水与补充灌溉对作物产量和排水量影响的模拟分析[J]. *水利学报*, 2009, 40(9): 1140—1146. Jing Weihua, Luo Wan, Wen Ji, et al. Analysis on the effect of controlled drainage and supplemental irrigation on crop yield and drainage[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(9): 1140—1146. (in Chinese with English abstract)
- [15] 谭忠成, 陆宝宏, 汪集昀, 等. 五道沟试验场降雨径流中的氢氧稳定同位素特征分析[J]. *河海大学学报: 自然科学版*, 2009, 37(6): 650—654. Tan Zhongcheng, Lu Baohong, Wang Jiyang, et al. Characteristics of stable hydrogen and oxygen isotopes of precipitation and runoff in Wudaogou Hydrological Experimental Catchment[J]. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*. 2009, 37(6): 650—654. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王振龙, 王加虎, 刘淼, 等. 淮北平原“四水”转化模型实验研究与应用[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(12): 2194—2230. Wang Zhenlong, Wang Jiahu, Liu Miao, et al. A study of the Four Water Phases Transformation Lumped Model in the region of Huaibei plain and its application[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(12): 2194—2230. (in Chinese with English abstract)
- [17] Bloschl G. Scaling in hydrology. Invited commentary[J]. *Hydrological Processes*. 2001, 15(4): 709—711.
- [18] 王少丽, 许迪, 方树星, 等. 水管理策略对土壤水盐动态和区域地下排水影响的模拟评价[J]. *水利学报*, 2005, 36(7): 799—805. Wang Shaoli, Xu Di, Fang Shuxing, et al. Effects of water management strategies on soil water salt movement and

- subsurface drainage[J]. *Journal of Hydrology Engineering*, 2005, 36(7): 799—805. (in Chinese with English abstract)
- [19] van de Giesen N C, Stomph T J, de Ridder N. Scale effects of Hortonian overland flow and rainfall-runoff dynamics in a West African catena landscape[J]. *Hydrological Processes*, 2000, 14(1): 165—175.
- [20] Stomph T J, de Ridder N, Steenhuis T S, et al. Scale effects of Hortonian overland flow and rainfall-runoff dynamics: laboratory validation of a process-based model[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2002, 27(8): 847—855.
- [21] Yair A, Raz-yassif N. Hydrological processes in a small arid catchment: scale effects of rainfall and slope length[J]. *Geomorphology*, 2004, 61(1/2): 155—169.

Scale effects of storm-runoff processes in agricultural areas in Huaibei Plain

Han Songjun^{1,2}, Wang Shaoli^{1,2}, Xu Di^{1,2}, Zhang Qibing³

(1. *State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China;*

2. *National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research, Beijing 100048, China;*

3. *Anhui Province Water Resources Research Institute, Bengbu 233000, China)*

Abstract: Based on the observed rainfall and runoff data in 11 rainstorm events during the flood season from 1997 to 2007 at three different spatial scales (plot: 1600m², field: 6 hm² and small catchment: 1.36km²) in Huaibei Plain, China, the scale effects of storm-runoff processes in agricultural areas of Huaibei Plain were analyzed. The differences in storm-runoff processes and their main influences at different scales in agricultural area were evaluated. Results showed the storm-runoff process at the small plot was obviously different from that in the other two catchments, and the runoff depth is smaller and flood peak modulus is larger in the small plot than in the field and two catchments during same rainstorm event. At the plot scale, there is no lateral groundwater discharge process, which may be the main reason for the different storm-runoff processes. The runoff processes in the 6 hm² field and 1.36 km² catchments were similar, but the runoff depth and flood peak modulus at the catchment 1.36 km² is smaller than that at the middle scale. This research indicated that storage capacity in the large scale may be the main reason for the smaller runoff depth and flood peak modulus.

Key words: effect, scale, runoff, depth, Huaibei Plain