

基于蒸渗仪测量的水文要素影响因素分析

温鲁哲¹, 陈 喜², 王川子¹, 贾秋艳¹

(1. 青岛市水利局, 山东 青岛 266071; 2. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098)

摘 要:降水入渗、地表径流、潜水蒸发等水文要素是研究流域水文及生态环境的重要因素。采用五道沟水文试验站蒸渗仪测量资料, 统计分析前期土壤含水量、降水强度、地下水埋深及作物对降水入渗补给、地表径流及潜水蒸发的影响。结果表明: 不考虑超渗产流, 且在其它条件一致时, 前期土壤含水量越大, 降水强度越小, 入渗补给和地表径流系数越大。无论地表有无作物覆盖, 入渗补给、地表径流及潜水蒸发系数均随地下水埋深的增加而减少。降水量小于 100 mm 时, 无作物比有作物时的入渗补给系数大; 降水量大于 100 mm 时, 无作物时的入渗补给系数较小。无作物比有作物时地表径流系数大、潜水蒸发系数小, 而潜水蒸发系数的差异在作物生长旺季更为明显。研究成果对淮北区水土流失治理和生态环境保护具有重要的理论和实际意义。

关键词:五道沟水文试验站; 降水入渗; 地表径流; 潜水蒸发; 影响因素

中图分类号: TV11; P333.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)04-0252-04

Analysis on Factors Influencing Hydrologic Features Based on Lysimeters

WEN Lu-zhe¹, CHEN Xi², WANG Chuan-zi¹, JIA Qiu-yan¹

(1. Qingdao Water Conservancy Bureau, Qingdao, Shandong 266071, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology—Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The infiltration, runoff, phreatic water evaporation etc are the key factors governing the hydrology and environment of local area. The influences of rainfall soil moisture, rainfall intensity, underground water depth and crops on the precipitation infiltration, runoff and phreatic water evaporation was statistical analyzed based on data from lysimeters at Wudaogou Hydrologic Experimental Station. The results showed that without considering the infiltration-excess runoff, and under the other same condition, the preliminary soil moisture was greater, precipitation intensity was smaller, infiltration and runoff coefficient were bigger. Regardless of crops, the infiltration supplies, runoff and phreatic water evaporation coefficient increased along with the underground water depth reduced. The supply coefficient of non-crops cover was smaller than crop cover, when the rainfall was less than 100 mm. And the result was opposite when the rainfall intensity was more than 100 mm. The runoff coefficient of non-crops cover was greater than that of crop cover, while the phreatic water evaporation coefficient was smaller, and the difference of phreatic water evaporation coefficient was more obvious in the growth season. The above results offer some important references for soil and water loss control and ecological environment protection.

Key words: Wudaogou Hydrologic Experimental Station; precipitation infiltration; runoff; phreatic water evaporation; influence factor

降水入渗、地表径流、潜水蒸发是动态地下水文过程的重要环节, 其变化规律是评价地下水资源的重要部分, 也是研究流域水文及生态环境的重要因素。淮北区属于暖温带半湿润季风气候, 雨量年内分配不均, 年际变化大, 地下水埋藏较浅, 以入渗补给为

主^[1]。蒸渗仪法是测定土壤水、地表径流、潜水蒸发等最直接、准确的方法, 且其测量结果常用来衡量其它方法效果的好坏^[2]。本文采用五道沟试验站蒸渗仪测量资料分析前期土壤含水量、降水强度、地下水埋深及作物对降水入渗补给、地表径流及潜水蒸发的

影响,对淮北地区地下水资源评价和农业生态具有重要的理论和实际意义。

1 研究区概况

安徽五道沟水文试验站为大型水文水资源综合试验站,占地 1.4 hm²。潜水动态观测场由 62 套地中蒸渗仪和内径 11.0 m、深 6.5 m 的地下观测室组成,可同时开展十余项实验。其中,地中蒸渗仪观测室配有砂礓黑土、黄泛区砂壤土两种土壤的原状土,有 5 种不同器口面积(即 0.3、0.5、1.0、2.0、4.0 m²),15 种地下水位控制埋深(即 0、10、20、30、40、50、60、80、100、150、200、250、300、400、500 cm)。径流试验场由大中小 3 个相互嵌套的闭合实验区组成,水均衡实验场控制面积 3.5 km²,内设机井 16 眼,地下水位自记井 2 眼及定位观测设施。区域地势由西北向东南倾斜,坡度较缓。多年平均降水量为 750~950 mm,多年平均气温为 14~15℃。冬季主要以小麦种植为主,夏季以大豆为主。土壤类型主要为砂礓黑土^[3],该实验站水文过程在淮北地区具有代表意义。

2 入渗补给分析

2.1 前期土壤含水量及降水强度的影响

由公式 $\alpha = P_{rg}/P$ 可知,入渗补给系数 α 与降水量 P 和入渗补给量 P_{rg} 密切相关。一般而言, P 较大时, P_{rg} 较大, α 较大,但两者之间并非线性关系,这与雨前非饱和带的土壤含水量、降水历时等因素有关^[4]。

统计 2005 年蒸渗仪入渗资料,对比 $P_1 = 31.4$ mm 与 $P_2 = 32.7$ mm 这两次降水量和降水历时均相近的降水过程,发现 $P_1 < P_2, P_{rg1} > P_{rg2}, \alpha_1 > \alpha_2$,这是由于 P_3 与它之前的一次降水间隔时间较长,非饱和带土壤比较干燥,滞留水分较多,从而使得入渗补给量减少。

对比 $P_3 = 49.6$ mm 与 $P_4 = 51.8$ mm, $P_3 < P_4, P_{rg3} > P_{rg4}, \alpha_4 > \alpha_3$ 。 P_3 这次降水的前期无雨天数较长,即前期土壤含水量较小,但是 P_4 的降水历时比 P_3 短,强度相对较大,降水易形成地表径流,所以 α_4 较小(表 1)。

表 1 2005 年不同降水过程的入渗补给与地表径流的比较(地下水埋深 0.2 m)

编号	日期	降水历时/ d	前期无雨 天数/d	降水量/ mm	入渗补给量/ mm	入渗补给 系数	地表径流 量/mm	地表径流 系数
1	11-03—11-05	3	6	10.6	9.9	0.93	5.0	0.47
2	01-23—01-26	4	24	11.7	11.0	0.94	—	—
3	11-10—11-13	4	4	11.7	10.1	0.86	4.5	0.39
4	12-30—12-31	2	46	13.0	12.3	0.95	7.4	0.40
5	06-25—06-25	1	7	15.9	10.9	0.69	—	—
6	09-30—10-05	6	2	18.3	12.5	0.68	—	—
7	07-15—07-16	2	5	22.2	14.9	0.67	9.5	0.43
8	02-13—02-17	5	4	25.4	24.6	0.97	18.8	0.74
9	09-23—09-27	5	1	31.4	29.5	0.94	26.8	0.85
10	09-16—09-21	6	13	32.7	26.1	0.80	17.5	0.54
11	08-28—08-29	2	4	38.4	36.0	0.94	27.5	0.72
12	07-27—07-30	4	3	42.1	34.6	0.82	29.8	0.71
13	08-17—08-23	7	7	49.6	44.4	0.90	25.9	0.52
14	09-01—09-03	3	2	51.8	42.5	0.82	45.6	0.88
15	07-27—07-30	4	3	53.8	51.5	0.96	45.2	0.84
16	08-01—08-09	9	1	238.1	216.3	0.91	—	—
17	07-03—07-10	8	7	376.7	208.5	0.55	356.2	0.95

2.2 地下水埋深及作物的影响

为减小降水量的影响,将 2005 年的降水资料依据降水量的大小分为四个雨量段($P < 30$ mm, 30 mm $\leq P < 50$ mm, 50 mm $\leq P < 100$ mm, $P \geq 100$ mm)进行分析。

结果表明,无论是有作物还是无作物,降水入渗补给系数都随着地下水埋深的增加而减小,而且这种

趋势非常明显。这是因为地下水埋深越大时,满足非饱和带土壤水分亏缺所需要的水量就越多,从而降水入渗补给地下水的水量就较小^[5]。入渗补给系数因此随着地下水水位增加而减小,最后趋于稳定。

$P < 30$ mm, 30 mm $\leq P < 50$ mm, 50 mm $\leq P < 100$ mm 时,对于同一场降水无作物时的入渗补给系数比有作物时大。这是因为有作物时,作物截留作用

减少了直接落在地面上的降水量,同时作物的蒸散发又增加了土壤水的耗损,从而使地下水的补给量变少。但 $P \geq 100$ mm 时,对于同一场降水有作物时的

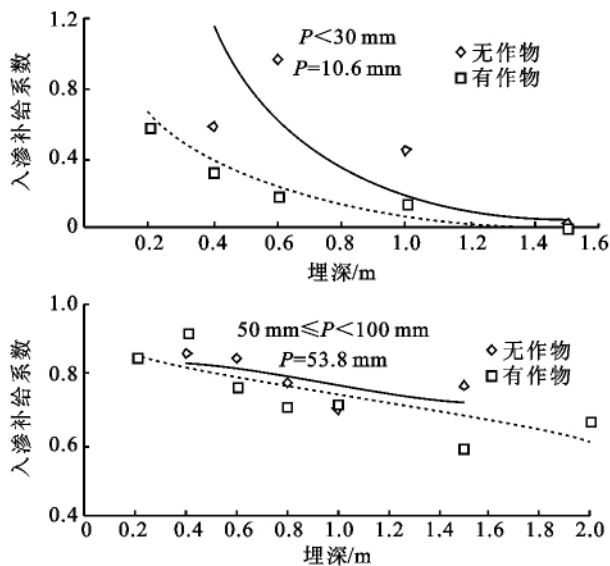


图 1 入渗补给系数与地下水埋深关系图

3 地表径流分析

3.1 前期土壤含水量及降水强度的影响

地表径流量的大小除了与降水量有关,还与前期土壤含水量、降雨历时等因素有关。对比 $P_1 = 31.4$ mm 和 $P_2 = 32.7$ mm, $P_1 < P_2$, $R_{S1} > R_{S2}$, $R_{S1}/P_1 > R_{S2}/P_2$, 这是因为 P_2 这场降水的前期土壤含水量较小,所以产生的 R_S 和 R_S/P 都较小。对比 $P_5 = 18.3$ mm 和 $P_6 = 22.2$ mm, $P_5 < P_6$, $R_{S5} < R_{S6}$, $R_{S5}/P_5 < R_{S6}/P_6$, P_5 前期土壤较湿,应该产生的地表径流系数较大,但因为 P_6 降水历时较短,强度较大,降水量易形成地表径流,所以 P_{S6}/P_6 较大(表 1)。

3.2 地下水埋深及作物的影响

选用 7 月 3 日—10 日($P = 376.7$ mm)这次降水过程形成的地表径流系数进行分析发现,无论有无作物,对于同一次降水过程来说,地表径流系数随着地下水埋深的增加都呈明显减小的趋势。在其它条件不变的情况下,当地下水埋深较小时,土壤含水量大,缺水量较小,土壤含水量更容易达到田间持水量而产生地表径流。经实验研究,当地下水埋深达到一定厚度(约 5 m)时,埋深的加大将不影响地表径流系数,地表径流系数趋于稳定^[6]。作物对地表径流的影响主要表现在阻滞地表径流、延长入渗时间以及影响水量的再分配等^[7]。在其他条件一致的前提下,有作物时的地表径流系数比无作物时小(图 2)。这一方面是由于作物截留作用的影响,另一方面是因为作物的蒸腾作用增加了土壤水的消耗,还可能是因为作物

入渗补给系数比无作物时大(图 1)。这是因为降水量较大时,形成的自由水较多,作物根系等形成的大孔隙作用明显,增加了地下水补给。

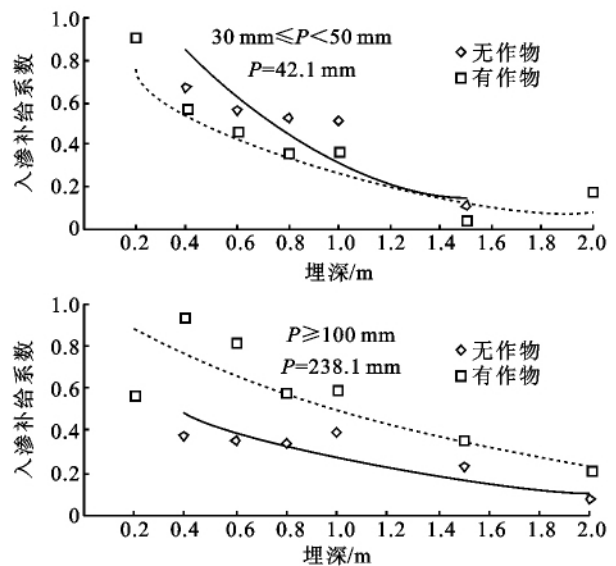


图 2 地表径流系数与地下水埋深关系图($P = 376.7$ mm)

的土壤要比无作物的干燥,土壤含水量低,因而造成地表径流量较小。

4 潜水蒸发分析

4.1 潜水蒸发的年内分配

因该实验站的蒸散发折算系数未知,直接运用潜水蒸发系数 E/E_0 ^[8] (E 为潜水蒸发量, E_0 为水面蒸发量)来反映潜水蒸发系数的年内分配规律(图 3)。一般情况下,无作物土壤的潜水蒸发系数主要受温度和降水的影响^[6]。11 月至次年 1 月的潜水蒸发系数较高(图 3)。这主要是因为此时地表温度较低,是全年中水面蒸发量最小的时间段,而且降水量较小。因此,表层土壤含水量相对较小,毛细管力较大。与水面蒸发量相比,潜水蒸发量的比例较大,所以,在这个时间段潜水蒸发系数较大。而夏季降水较多,土壤含水量相对较高,毛细管力较小,而且夏季的水面蒸发相较于冬季大幅增加,所以潜水蒸发系数较小。除气象因素影响外,潜水蒸发还受作物影响。作物在生长季节内,光合作用强烈,蒸散量大,使得根系大量吸

收地下水,潜水蒸发量也相应增加。研究区域的潜水蒸发系数在4月和8月各出现了一次峰值,分别对应着小麦和大豆的生长旺盛期。潜水蒸发系数较小值则出现在作物收获后和生长相对较慢时。

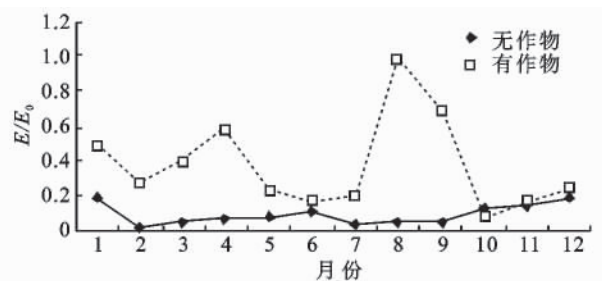


图3 潜水蒸发系数年内分配规律(地下水埋深0.6 m)

4.2 地下水埋深及作物的影响

选用8月1日—9月30日这一时段的潜水蒸发为研究对象(图4),无论有无作物,潜水蒸发系数均随地下水埋深的增加而呈明显减小的趋势,同时这种趋势随着地下水埋深的增加而减小。地下水埋深对潜水蒸发的影响,主要通过潜水水位深浅对潜水水面以上土壤含水量的分布起作用来实现^[9]。当地下水埋深较浅时,整个非饱和带的土壤层均处于毛管上升区内,毛管作用强烈,毛管水能够相互联系,以液态水的形式向土壤表面运移,此时潜水蒸发较大。当地下水埋深较大时,非饱和带的土壤层下部处于毛管上升区内,上部处于毛管悬着区,毛管作用较弱,因此毛管水不能连通,水分不能以液态形式向上运移或运移的数量很少,从而潜水蒸发量很小。此外,地下水埋深越深,水分运移的路程越远,因此潜水蒸发系数随着地下水埋深的增加而减小。

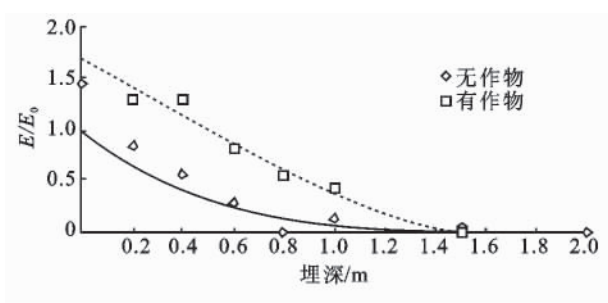


图4 潜水蒸发系数与地下水埋深关系

同一时段内有作物比无作物时的潜水蒸发系数大。这是由于作物根系强烈的吸水作用,使得潜水蒸

发大幅度提高,因此这种差异在作物生长旺季更为明显。

5 结论

(1) 不考虑地下水埋深较小,降水量较大,而形成超渗产流的情况,在其它条件一致时,前期土壤含水量越大、降水强度越小,入渗补给系数越大,地表径流系数越大。

(2) 无论地表有无作物覆盖,入渗补给、地表径流及潜水蒸发系数均随着地下水埋深的增加而减少。

(3) $P < 100$ mm 时,无作物比有作物时的入渗补给系数大, $P \geq 100$ mm 时,无作物时的入渗补给系数小;无作物比有作物时地表径流系数大、潜水蒸发系数小,且潜水蒸发系数的差异在作物生长旺季更为明显。

参考文献:

- [1] 于玲. 淮北平原区降雨入渗补给量的研究[J]. 地下水, 2001(1): 38-40.
- [2] Young M H, Wierenga D J, Maneino C F. Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies[J]. Soil Sci., 1996, 161(8): 491-501.
- [3] Allen R G. Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements, proceedings of the international symposium on Lysimetry[C]// Proceedings of the International Symposium on Lysimetry. Honolulu, Hawaii, 1991.
- [4] 王永义, 王专翠, 胡以高. 降雨入渗补给规律分析[J]. 地下水, 1998(6): 15-17.
- [5] 周浸, 靳孟贵, 魏秀琴, 等. 利用地中渗透仪观测资料进行降雨入渗补给规律分析[J]. 地质科技情报, 2002(3): 21-22.
- [6] 陈喜. 淮河流域平原区“四水”转化模型研究[M]. 南京: 河海大学, 2004: 45-46.
- [7] 刘士余, 左长青. 植被对径流影响的研究综述[J]. 国土与自然资源研究, 2005(1): 42-43.
- [8] 薛明霞, 王立琴. 潜水蒸发系数与影响因素分析[J]. 地下水, 2002(4): 18.
- [9] 黄梦琪, 蔡焕杰, 黄志辉. 黄土地区不同埋深条件下潜水蒸发的研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(3): 27-31.