

干旱区绿洲城市草坪草截留特征研究

张 润^{1,2}, 刘志辉^{1,2,3}, 姚俊强^{1,2}, 刘 洋^{1,2}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 教育部绿洲生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046;
3. 新疆大学 干旱生态环境研究所, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要:以干旱区绿洲城市草坪草为试材, 进行人工降雨截留试验, 综合运用统计分析和模型回归分析方法, 研究了降雨时间、降雨强度和植被覆盖度对草坪草截留的影响。结果表明: 不同降雨强度下, 随着降雨时间的持续, 截留量先是快速增长, 随后趋向稳定; 建立截留量和降雨时间拟合方程, 多项式方程模拟最好; 截留量与植被覆盖度呈正相关关系, 截留量随降雨强度的增大而减小; 通过多元回归分析, 建立基于降雨时间、降雨强度和植被覆盖度为参数的草坪草截留量模型, 模拟效果显著。

关键词:草坪草; 截留量; 降雨强度; 降雨时间; 植被覆盖度

中图分类号:S 688.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)05-0069-04

在全球日益变暖的大背景下, 植被作为土壤-植被-大气系统水循环中一个重要的因子, 其生态效应一直是研究的核心问题之一^[1-3]。植被截留的研究是植被生态水文过程的重要环节, 也是水文模型模拟的重要组成部分, 不仅对达到土壤表面的总雨量产生影响, 而且会降低雨滴达到土壤表面的动能, 从而减轻水土流失^[4]。分析植被截留特征及其规律, 可以为揭示生态水文过程和流域水文过程模拟提供科学依据, 同时, 对实现水资源短缺地区生态系统持续管理具有重要意义^[5-6]。

人工模拟降雨试验, 可以通过控制试验条件, 模拟不同环境, 进而弥补在自然降雨条件下, 因环境变化而无法得到试验期内计划的研究结果^[7]。目前, 对植被截留研究主要以乔灌木为主, 草地植被研究较少。随着城市规模的扩大, 城市绿化面积在不断的扩大, 草坪草因其美化环境等功能成为城市园林绿化的重要组成部分。草坪耗水在城市用水中占很大比例, 城市水资源短缺使草坪的耗水问题倍受关注^[8], 尤其是在西北干旱区, 如何降低干旱区绿洲城市草坪耗水, 有效节约绿化用水, 已经成为干旱区水资源管理的一个关键问题, 现通过试

验模拟和数值分析干旱区典型绿洲城市草坪草的截留特征, 旨在对城市生态用水和水资源管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

呼图壁县位于新疆维吾尔自治区昌吉州, 地处天山北坡, 准葛尔盆地南缘, 是西北干旱区较为典型的绿洲城市。试验地选择在呼图壁县城区的世纪园, 为国家4A级景区, 7月草坪草长势良好, 高度在8~14 cm, 地势较为平坦开阔, 光照、通风条件较好。呼图壁县(北纬44°11', 东经86°54')位于山前冲洪积平原地带, 海拔522 m, 年平均气温6.8℃, 多年平均降水量175.3 mm, 主要集中在4—7月, 年平均蒸发量2 182.7 mm。

1.2 试验方法

1.2.1 试验方法 试验采取模拟人工降雨的方法, 自制喷头式人工模拟降雨器, 降雨强度通过单位时间内调节雨量来控制。草坪草要紧贴地面剪下, 模拟降雨时能够使雨水喷洒到草体全部, 并使草体完全湿润并有水滴落下, 静置至没有水滴落下时进行测量, 草体截留量的具体计算公式为: $I = (M_3 - M_4) - (M_2 - M_1)$, $R(\%) = I/P \times 100$, 式中: I 为草坪草的截留量(g); M_1 为塑胶盒子重量(g); M_2 为塑胶盒子和草体的总重量(g); M_3 为模拟降水后塑胶盒子和草体的总重量(g); M_4 为草体取下后塑胶盒子的重量(g); R 为草坪草的截留率(%); P 为人工模拟的降水量(g)。

1.2.2 试验设计 分别设置10种不同情景进行模拟

第一作者简介:张润(1989-), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 研究方向为水文学与水资源。E-mail: zhangrundili@163.com.

责任作者:刘志辉(1957-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 现主要从事水文学与水资源及资源环境等研究工作。E-mail: lzh@xju.edu.cn.

基金项目:水利部公益性行业科研专项资助项目(201301103); 国家自然科学基金重点资助项目(41130531); 国家自然科学基金面上资助项目(41171023)。

收稿日期:2015-10-08

试验,模拟的降雨强度分别为 1.60、0.40、0.33、0.25、0.10 mm/min,降雨持续时间分别设置为 1、2、3、5、8、10、13、15 min,草地的覆盖率设置为 50%和 100%,情景 1:模拟降雨强度为 1.60 mm/min(96 mm/h),植被覆盖度为 100%;情景 2:模拟降雨强度为 1.60 mm/min(96 mm/h),植被覆盖度为 50%;情景 3:模拟降雨强度为 0.40 mm/min(24 mm/h),植被覆盖度为 100%;情景 4:模拟降雨强度为 0.40 mm/min(24 mm/h),植被覆盖度为 50%;情景 5:模拟降雨强度为 0.33 mm/min(20 mm/h),植被覆盖度为 100%;情景 6:模拟降雨强度为 0.33 mm/min(20 mm/h),植被覆盖度为 50%;情景 7:模拟降雨强度为 0.25 mm/min(15 mm/h),植被覆盖度为 100%;情景 8:模拟降雨强度为 0.25 mm/min(15 mm/h),植被覆盖度为 50%;情景 9:模拟降雨强度为 0.10 mm/min(6 mm/h),植被覆盖度为 100%;情景 10:模拟降雨强度为 0.10 mm/min(6 mm/h),植被覆盖度为 50%。最后运用 MATLAB 数值模拟软件建立基于三者的多元回归模型。

1.3 数据分析

试验数据采用 Excel 进行分析,并用 MATLAB 建模。

2 结果与分析

2.1 截留量与降雨时间关系

在不同降雨强度、不同植被覆盖度条件下,截留量会发生不同的变化。由表 1 可知,10 种模拟情景下,草坪草截留量的大致变化趋势相同,随着降雨时间的持续,截留量先是快速增加,然后趋向稳定。

表 1 不同情景下随降雨时间变化的截留量

Table 1 Interception of rainfall time change under different scenarios

	1 min	2 min	3 min	5 min	8 min	10 min	13 min	15 min
情景 1	0.795 1	1.039 7	1.131 5	1.253 8	1.406 7	1.284 4	—	—
情景 2	0.336 4	0.367 0	0.367 0	0.397 5	0.397 5	0.397 5	—	—
情景 3	0.152 9	0.305 8	0.519 9	0.733 9	0.825 7	0.917 4	0.795 1	0.856 2
情景 4	0.152 9	0.305 8	0.367 0	0.489 3	0.489 3	0.519 9	0.519 9	0.519 9
情景 5	0.305 8	0.397 5	0.550 4	0.825 7	0.948 0	1.009 1	1.100 9	1.039 7
情景 6	0.214 1	0.397 5	0.458 7	0.489 3	0.581 0	0.581 0	0.611 6	0.642 2
情景 7	0.244 6	0.367 0	0.489 3	0.642 2	0.764 5	0.917 4	1.009 1	1.070 3
情景 8	0.183 5	0.275 2	0.336 4	0.550 4	0.642 2	0.703 3	0.764 5	0.795 1
情景 9	0.061 2	0.183 5	0.275 2	0.428 1	0.581 0	0.611 6	0.733 9	0.764 5
情景 10	0.091 7	0.122 3	0.183 5	0.305 8	0.428 1	0.458 7	0.519 9	0.519 9

模拟降雨强度为 1.60 mm/min,植被覆盖度为 100%时,截留量 1 min 内快速增长,2 min 之后开始趋向稳定,同样降雨强度下,植被覆盖率为 50%时,截留量迅速达到稳定,1 min 后平缓上升,小幅增长;模拟降雨强度为 0.40 mm/min,植被覆盖度为 100%时,截留量在 5 min后达到稳定,之后处于上下波动状态,当植被盖度

为 50%时,在 2 min 就达到稳定状态,之后缓慢上升;模拟降雨强度为 0.33 mm/min,植被覆盖度为 100%时,在 5 min达到稳定状态,植被覆盖度为 50%时,3 min 便达到稳定状态;模拟降雨强度为 0.25 mm/min,植被覆盖度为 100%时,5 min 后截留量增速缓慢,10 min 后变的稳定,当植被覆盖度为 50%时,同样也是 5 min 后增速缓慢,降雨 10 min 后开始稳定;模拟降雨强度为 0.10 mm/min,植被覆盖度 100%和 50%都是在 13 min 后呈稳定状态。

在不同情景的模拟下,观测随降雨时间变化,截留量随之发生的变化,结果见图 1~5。

根据不同模拟情景下草坪草的截留量和降雨时间的变化特征,对二者进行拟合回归分析,发现多项式拟合显著性最好。分别对应的多项式方程为情景 1: $y = -0.013x^2 + 0.198x + 0.644$;情景 2: $y = -0.001x^2 + 0.021x + 0.32$;情景 3: $y = -0.007x^2 + 0.162x + 0.04$;情景 4: $y = -0.003x^2 + 0.075x + 0.142$;情景 5: $y = -0.006x^2 + 0.15x + 0.156$;情景 6: $y = -0.002x^2 + 0.064x + 0.231$;情景 7: $y = -0.002x^2 + 0.102x + 0.174$;情景 8: $y = -0.003x^2 + 0.096x + 0.096$;情景 9: $y = -0.003x^2 + 0.097x - 0.005$;情景 10: $y = -0.002x^2 + 0.07x + 0.006$ 。

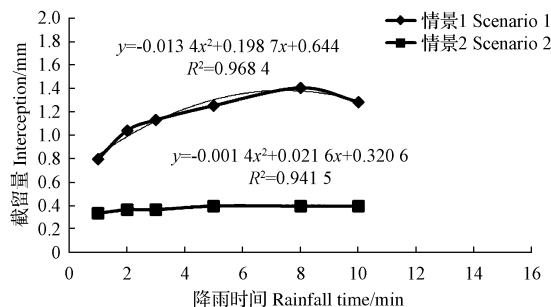


图 1 情景 1 和情景 2 的截留量

Fig. 1 Interception of scenario 1 and scenario 2

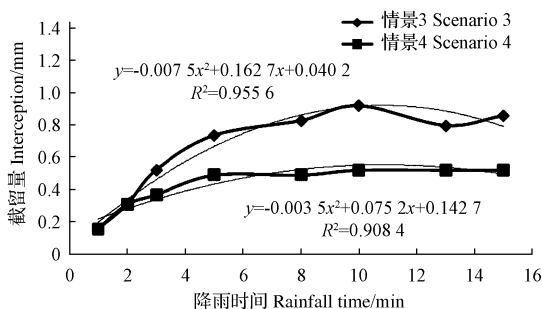


图 2 情景 3 和情景 4 的截留量

Fig. 2 Interception of scenario 3 and scenario 4

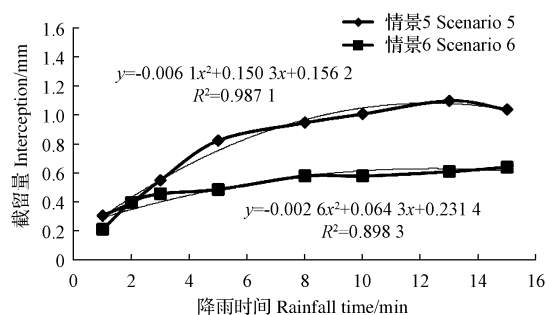


图3 情景5和情景6的截留量

Fig. 3 Interception of scenario 5 and scenario 6

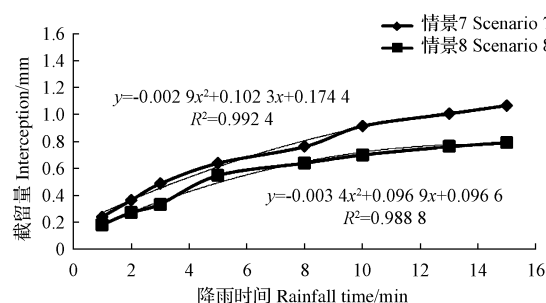


图4 情景7和情景8的截留量

Fig. 4 Interception of scenario 7 and scenario 8

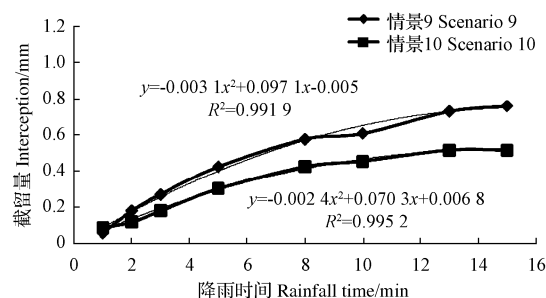


图5 情景9和情景10的截留量

Fig. 5 Interception of scenario 9 and scenario 10

2.2 截留量与植被覆盖度关系

在不同降雨强度模拟情境下,当截留量达到稳定时,对比分析不同植被覆盖度的截留量。由图6可知,无论何种降雨强度,植被覆盖度为100%的草坪草截留量都大于植被覆盖度为50%的草坪草截留量。当降雨强度为0.10、0.25、0.33、0.40 mm/min时,降雨强度较小,同一降雨强度下,100%的覆盖度和50%的覆盖度之间截留量的差距明显小于降雨强度为1.60 mm/min时二者之间的差距。当降雨强度大于0.25 mm/min时,随着强于强度的增大,不同植被覆盖度之间截留量的差距也愈加显著。

2.3 截留量与降雨强度关系

降雨或者灌溉水强度较小时,对枝叶的冲击力小,穿透能力弱,大部分雨滴被枝叶拦截,随着雨强的增加,雨滴的功能增大,对枝叶的打击力增强,一部分雨滴直

接穿透,一部分随着草坪草枝叶的震动而落下。截留量与降雨强度的关系通过草坪草截留率(R)来体现,即截留量所占降水量的比率,结果见表2。

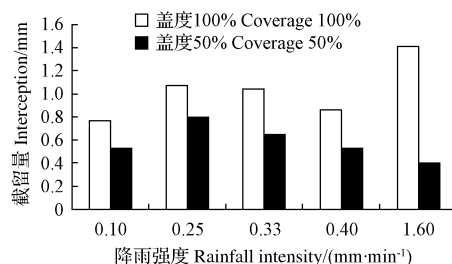


图6 不同植被覆盖度的截留量

Fig. 6 Interception of different vegetation coverage

表2 不同情景下随降雨强度变化的截留率

Table 2 Interception rate of rainfall intensity change under different scenarios

	1 min	2 min	3 min	5 min	8 min	10 min	13 min	15 min
情景1	0.496 9	0.324 9	0.235 7	0.156 7	0.109 9	0.080 3	—	—
情景2	0.210 3	0.114 7	0.076 5	0.049 7	0.031 1	0.024 8	—	—
情景3	0.382 3	0.382 3	0.433 3	0.367 0	0.258 0	0.229 4	0.152 9	0.142 7
情景4	0.382 3	0.382 3	0.305 8	0.244 7	0.152 9	0.130 0	0.100 0	0.086 7
情景5	0.926 7	0.602 3	0.556 0	0.500 4	0.359 1	0.305 8	0.256 6	0.210 0
情景6	0.648 8	0.602 3	0.463 3	0.296 5	0.220 1	0.176 1	0.142 6	0.129 7
情景7	0.978 4	0.734 0	0.652 4	0.513 8	0.382 3	0.367 0	0.310 5	0.285 4
情景8	0.734 0	0.550 4	0.448 5	0.440 3	0.321 1	0.281 3	0.235 2	0.212 0
情景9	0.612 0	0.917 5	0.917 3	0.856 2	0.726 3	0.611 6	0.564 5	0.509 7
情景10	0.917 0	0.611 5	0.611 7	0.611 6	0.535 1	0.458 7	0.399 9	0.346 6

从图7、8分析发现,不同降雨强度下,草坪草的截留率差异变化显著。降雨强度越大,截留率越小,表明在降雨强度增大时,雨滴的动能增大,穿透力强,一小部分雨滴被草坪草截留;当降雨强度较小时,雨滴的动能小,穿透能力弱,大部分雨量被草坪草的枝叶截留。

2.4 草坪草截留量模型建立

刘战东等^[9]通过多元回归分析建立基于LAI、降雨强度和降雨历时3个参数的夏玉米次降雨冠层截留特征量估算方程。该试验主要针对于不同降雨时间、不同降雨、不同植被覆盖度下的草坪草截留特征研究,通过试验数据建立基于降雨时间、降雨强度和植被覆盖度3个参数的草坪草截留量模型。假设:Y=截留量, X₁=降雨时间, X₂=降雨强度, X₃=植被覆盖率,利用MATLAB对试验数据进行建模,得到多元回归模型为: Y = -0.243 4 + 0.040 1X₁ + 0.250 8X₂ + 0.571 4X₃, 相关系数R²为0.692 2,通过0.05显著性水平检验,模拟效果好,可适用于该研究区截留量的模拟。

3 结论与讨论

草坪草截留对于干旱区绿洲城市生态用水管理具有重要的现实意义,该研究基于模拟降雨试验,分析了不同降雨时间、不同降雨强度和不同植被覆盖度影响下的截留量特征,并建立了试验区的草坪草的截留量模型。

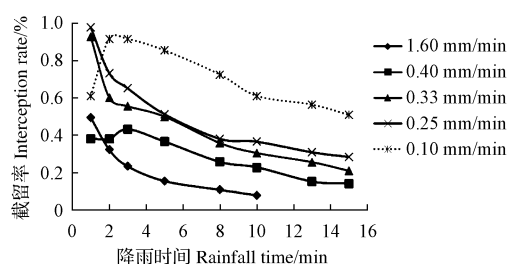


图7 不同降雨强度 100%植被覆盖度时的截留率

Fig. 7 Interception rate of 100% vegetation coverage with different rainfall intensity

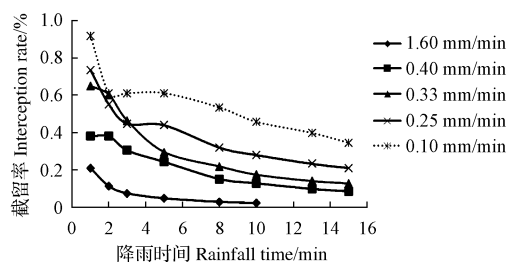


图8 不同降雨强度 50%植被覆盖度时的截留率

Fig. 8 Interception rate of 50% vegetation coverage with different rainfall intensity

该研究通过人工模拟降雨试验模拟不同降雨时间、不同降雨强度、不同植被覆盖度情景下的草坪草截留量。10种模拟情景下,草坪草截留量的大致变化趋势相同,随着降雨时间的持续,截留量先是快速增加,然后趋向稳定。对不同情景下的草坪草截留量与降雨时间做拟合分析发现,多项式拟合效果最为显著,并分别得出不同情景下的多项式拟合方程。

该研究分析了不同情景下草坪草的截留量特征发现,草坪草截留量与植被覆盖度呈正相关关系,降雨强度与截留量呈负相关关系。

该研究运用 MATLAB 数值模拟软件,构建了基于降雨时间、降雨强度和植被覆盖度 3 个参数的草坪草截留量模型: $Y = -0.2434 + 0.0401X_1 + 0.2508X_2 + 0.5714X_3$, X_1 为降雨时间, X_2 为降雨强度, X_3 为植被覆盖度,相关系数为 0.6922,通过 0.05 显著性水平检验,模拟效果显著。

参考文献

- [1] FANG H D, DUAN C Q, JI Z H, et al. Rainfall-interception effect of vegetation restored region of gully in arid of gully in arid-hot valley of Jinshajiang River[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2008, 13 (3): 350-356.
- [2] 赵文智,程国栋.生态水文学:揭示生态格局和生态过程水文机制的科学[J].冰川冻土, 2001, 23(4): 450-457.
- [3] 金博文,康尔泗,宋克超,等.黑河流域山区植被生态水文功能研究[J].冰川冻土, 2003, 25(5): 580-584.
- [4] 田富强,胡和平.水文模型中植被截留计算的误差分析[J].水利水电技术, 2006, 37(10): 1-6.
- [5] 王新平,康尔泗,张景光,等.荒漠地区主要固沙灌木的截留特征[J].冰川冻土, 2004, 26(1): 89-94.
- [6] DUNKERLEY D. Measuring interception loss and canopy storage in dry land vegetation: a brief review and evaluation of available research strategies [J]. Hydrological Processes, 2000, 14(4): 669-678.
- [7] 任树梅,刘洪禄,顾涛.人工模拟降雨技术研究综述[J].中国农村水利水电, 2003(3): 73-75.
- [8] 卓丽.北京地区三种草坪草截留特性的研究[D].北京:北京林业大学, 2008.
- [9] 刘战东,刘祖贵,张寄阳,等.夏玉米降雨冠层截留过程及其模拟[J].灌溉排水学报, 2015, 34(7): 13-17.

Study on Rainfall Interception Characteristic of Turfgrass in Arid Oasis City

ZHANG Run^{1,2}, LIU Zhihui^{1,2,3}, YAO Junqiang^{1,2}, LIU Yang^{1,2}

(1. School of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 3. Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046)

Abstract: Turfgrass were used as test material for artificial rainfall experiments in arid oasis city, and the integrated use of statistical analysis and regression analysis method to study the impact of rainfall time, rainfall intensity and vegetation coverage on the interception of turfgrass. The results showed that under different rainfall intensity, with rainfall time sustained, the amount of interception was rapidly growth, and then tended to be stable; the amount and rainfall time fitting equation was established, and it was found that polynomial equation simulation was the best; interception and vegetation coverage were a proportional relationship, and it decreased with increasing rainfall intensity. By mean of multiple regression analysis, the model was established based on the rainfall time, rainfall intensity and vegetation coverage as the parameters, and the simulation effect was remarkable.

Keywords: turfgrass; interception; rainfall intensity; rainfall time; vegetation coverage