

丛一蓬,胡振园,杨 峥,等.北京市土地利用方式对土壤水分分布及蓄持的影响[J].江苏农业科学,2018,46(14):279-284.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.14.067

北京市土地利用方式对土壤水分分布及蓄持的影响

丛一蓬¹,胡振园¹,杨 峥¹,李 峰²

(1.北京市颐和园管理处,北京 100091;2.北京科技大学环境工程系,北京 100083)

摘要:为了改善北京地区农田土壤结构,提高土壤蓄水保墒能力,提升农田生产能力,对比分析不同土地利用方式对土壤水分分布(0~100 cm 土层)及蓄持的影响。结果表明,不同土地利用方式下土壤含水量明显受前期降雨量的影响,且旱季土壤水分含量对降雨量的响应较雨季敏感。草地、农田、林地和果园的土壤粒度组成相似,均以细沙粒和极细沙粒为主,林地和果园的粉粒、黏粒、中沙粒的含量相对较高,但土壤粒度大小较为分散,不同土地利用方式下土壤粒度组成对土壤含水量的影响各不相同。林地和果园的土壤稳定入渗率、稳定入渗时间、累积入渗量和入渗深度均显著($P < 0.05$)高于草地和农田。不同土地利用方式下土壤含水量、饱和含水量、田间持水量、可利用水和易效水含量在一定范围内均随着土层深度的增加呈逐渐降低,在 80~100 cm 基本保持一致。上述结果表明,土地利用方式对土壤水分特征性能的影响主要集中在表层,对于相同土层而言,土壤水分特征性能基本表现为林地和果园高于草地和农田,由此可知,林地和果园具有较高的土壤蓄水保墒能力。模型回归分析表明,表土层土壤储水量对表下层的土壤储水量具有显著的影响,可以用 0~80 cm 土壤储水量直接预测 0~100 cm 土壤储水量。

关键词:北京市;土地利用方式;土壤水分;水分蓄持

中图分类号:S152.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)14-0279-06

土壤水是水文过程、土壤侵蚀过程、植物生长和恢复的主要影响因子,也是区域小气候的重要影响因素^[1-3];土壤不仅是联系地表水和地下水的纽带,在地下水资源形成、转化和消耗过程中,也起着十分重要的作用^[4-5]。作为生态系统中能量和物质循环的主要载体,土壤水是决定生态系统结构与功能,影响生态系统生产力的关键因子^[6-8]。

土地利用是人类干预土壤肥力最重要、最直接的活动,通过改变土壤营养循环强度、总量及路径,改变土壤的水热条件等从而对土壤养分的流动与转化^[9-10]。土地利用变化可

以引起陆地生态以及生物地球化学循环过程的变化,导致土壤性质和土地生产力的改变,影响土壤质量和土壤环境变迁。合理的土地利用方式可以改善土壤结构,增强土壤对环境变化的抵抗力,而不合理的土地利用方式则会导致土壤质量下降,加速侵蚀,导致土壤退化^[11]。北京市作为我国的首都,自 2009 年起已全面实施保护性耕作,并取得了较好的经济、社会及环境效益。近年来,由于人口与土地矛盾日益突出,土地垦殖系数居高不下,导致土壤水分和蓄持能力有所降低^[12-14]。在此背景下,合理的土地利用方式是恢复北京市土壤肥力,改善土壤质量,实现植被恢复和重建的重要途径,而这些措施必将对土壤水分产生重要影响。为了改善北京地区农田土壤结构,提高土壤蓄水保墒能力,提升农田生产能力,本研究对比分析了不同土地利用方式对土壤水分分布(0~100 cm)及蓄持的影响,以期对土壤水分的有效利用与动态调控管理、制定更合理的灌溉制度提供依据。

收稿日期:2017-02-16

基金项目:国家重点基础研究发展计划(编号:2014CB418200);国家自然科学基金(编号:40903038);颐和园世界文化遗产地生态监测(2015—2017)。

作者简介:丛一蓬(1971—),男,北京人,硕士,教授级高级工程师,主要研究方向为生态水文、生态监测与保护。E-mail:congypeng71@163.com。

[34]卫志宏,张立仙,杨四坤,等.洱海浮游植物群落结构及季节演替[J].水生生态学杂志,2012,33(4):21-25.

[35]樊 华,吉晓燕,冯明雷,等.军山湖流域农业非点源污染氮、磷入湖负荷估算[J].环境污染与防治,2012,34(1):91-96.

[36]钱奎梅,刘 霞,齐凌艳,等.鄱阳湖河湖转换期间鱼腥藻(*Anabaena*)的变化[J].湖泊科学,2016,28(3):566-574.

[37]刘 霞,刘宝贵,陈宇炜,等.鄱阳湖浮游植物叶绿素 a 及营养盐浓度对水位波动的响应[J].环境科学,2016,37(6):2141-2148.

[38]朱海虹,张 本.鄱阳湖——水文、生物、沉积、湿地、开发整治[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1997.

[39]朱 伟,万 蕾,赵联芳.不同温度和营养盐质量浓度条件下藻类的种间竞争规律[J].生态环境,2008,17(1):6-11.

[40]谭 啸,孔繁翔,于 洋,等.升温过程对藻类复苏和群落演替的影响[J].中国环境科学,2009,29(6):578-582.

[41]Lalli C M,Parsons T R. Biological oceanography: an introduction [M]. New York: Pergamon Press,1993:45-79.

[42]Habib O A, Tippet R, Murphy K J. Seasonal changes in phytoplankton community structure in relation to physico-chemical factors in Loch Lomond, Scotland [J]. Hydrobiologia, 1997, 350: 63-79.

[43]路 娜,尹洪斌,邓建才,等.巢湖流域春季浮游植物群落结构特征及其与环境因子的关系[J].湖泊科学,2010,22(6):950-956.

[44]Licursi M, Sierra M V, Gómez N. Diatom assemblages from a turbid coastal plain estuary: Río de la Plata (South America) [J]. Journal of Marine Systems, 2006, 62(1):35-45.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北京市位于华北平原西北边缘(地理位置 39°26′~41°03′N, 115°25′~117°30′E),东西宽 160 km,南北长 170 km,最低处海拔不足 10 m,最高处约为 1 000 m;北京市属于温带半干旱、半湿润季风气候区,四季分明,无霜期较长,年平均气温在 8~12℃,海拔 800 m 以下的山区为 9~11℃,高寒山区在 3~5℃,年极端最高气温一般在 35~40℃之间;夏季高温多雨,冬季干燥寒冷,时有风沙,年均降水量为 600 mm 左右,年际变化大,70%的降雨集中在 7—9 月,气候-水文具有明显的纬度地带性特征,以褐土、潮土和沙姜黑土为主。

1.2 试验设计

2016 年 1 月,在北京市分别选取 4 种不同土地利用方式的样地(草地、农田、林地和果园),每种土地利用方式选取 5 个重复样地标记,分别在 2016 年 1 月 31 日、5 月 31 日、9 月 31 日和 11 月 31 日进行采样,并详细记录样点的土地利用方式、植被类型、海拔及裸岩率等环境信息。采样运用五点取样法,深度为 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm,每次降水和灌溉前后各加测 1 次,每次测定均在 1 d 内完成。选取典型地段挖 1 个 0~100 cm 深的土壤剖面,从表面开始,每 20 cm 取 1 次样本,测定参数为土壤颗粒组成、田间持水量、饱和含水量和土壤容重。

采用烘干法分别测定土壤含水量,某土层的土壤储水量计算公式如下^[15]:

$$W = rph。 \quad (1)$$

式中:W 为某一土层的水分储量(mm);r 为土壤含水量(%); ρ 为土壤容重(g/cm³);h 为土层厚度(mm)。

表层土壤直接取样,深层采用挖剖面 and 土钻法相结合的方式取样。所取土样带回实验室,土壤颗粒分析均采用筛分法和比重计法,即粗土粒(粒径>0.25 mm)用不同规格的网筛分析,粒径>0.1 mm 的土粒均用筛分法分析,细土粒(粒径<0.05 mm)依据 Stokes 定律采用比重计法分析。土壤颗粒一般按其粗细分为石砾、沙粒、粉粒和黏粒 4 个粒级,本研究依据美国的土壤粒级制划分粒级。土壤均匀系数 C_u 采用 Hazen 有效粒径系数表示,即 $C_u = d_{60}/d_{10}$,其中 d_{60} 指小于某一粒径的质量占土壤总质量 60% 时的颗粒直径; d_{10} 指小于某一粒径的质量占土壤总质量 10% 时的颗粒直径^[16]。

1.3 数据分析

对土壤水分蓄持量的预测模拟数据进行拟合,曲线拟合类型包括线性拟合、二次多项式拟合和三次拟合。各拟合曲线的通用公式如下:

$$\text{线性拟合曲线: } y = ax + b; \quad (2)$$

$$\text{二次拟合曲线: } y = ax^2 + bx + c; \quad (3)$$

$$\text{三次拟合曲线: } y = ax^3 + bx^2 + cx + d。 \quad (4)$$

利用 SPSS 19.0 软件进行一元回归分析,根据回归分析结果得到不同拟合曲线方程。将得到的拟合曲线方程通过相关分析、均方根误差(RMSE)及相对均方根误差(RRMSE)等进行检验,以得到最佳拟合曲线类型。

通过确定系数(R^2)、F 检验值和回归检验显著水平($\alpha = 0.01$)来筛选生物量统计模型。为了更好地说明样本的预测

值与实测值的差异情况,采用总相对误差(RS)和平均相对误差绝对值(RMA)这 2 种方法进行双重检验。计算公式如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_1 - C_2)^2}{n}}; \quad (5)$$

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_1 - C_2)^2}{n}} / C_3; \quad (6)$$

$$C_3 = (\sum_{i=1}^n C_2) / n。 \quad (7)$$

式中: C_1 为水分的模拟值, C_2 为水分的实测值, C_3 为水分的平均值; n 为自由度。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式土壤水分的统计特征

表 1 为不同土地利用方式下土壤水分的统计特征值,2016 年 1 月和 5 月为当地旱季,9 月和 11 月为雨季,前期降雨量为测定之前的 10 d 内的累计降雨量。从 4 次测定数据的变异系数(CV)来看,旱季和雨季土壤水分均呈中等变异特征(10% < 变异系数 < 100%);K-S 检验结果表明,在 0.05 的显著水平上 4 次测定的土壤含水量均服从正态分布,可直接进行统计学分析(表 1)。通过比较发现,在旱季,草地含水量较低,农田含水量较高,农作地土壤含水量高主要是由农业灌水等因素造成的;林地由于受扰动较少、植被覆盖度大等造成土壤水分含量较高。而在雨季,所有土地利用方式下的土壤含水量均较高,其中农田的含水量最高,其次是草地,这主要是由于几种土地利用方式下的土壤特征及较大的植被盖度使得表层蓄水量增加,蒸发能力减弱,造成土壤含水量较高。而林地由于叶冠盖度小、土层浅薄且岩石裸露率高,使得地表蒸发强烈,导致土壤含水量较低。

2.2 土壤粒度组成对土壤含水量的影响

不同土地利用方式下的土壤粒度组成特征如表 2 所示,草地、农田、林地和果园的土壤粒度组成相似,均以细沙粒和极细沙粒为主,这与区域的风沙动力过程相适应。其中,林地和果园的粉粒、中沙粒的含量相对较高,而草地和农田这 2 种粒级的含量则较低。将平均粒度分布组成与土壤含水率进行相关性分析,如表 3 所示,草地和农田土壤含水量与粉粒含量呈显著正相关,与细沙粒含量呈显著负相关,与黏粒、中沙粒、极细沙粒含量相关性不大。林地和果园都与黏粒、粉粒含量呈显著或极显著正相关,果园与细沙粒、中沙粒含量存在一定的负相关,但相关性不大。这也在一定程度上说明,对 differently 表覆盖状况的土地而言,影响其含水量变化的主要因素不同。

2.3 土地利用方式对土壤含水量垂直分布的影响

在不同土地利用方式下,土壤水分含量随土层深度的增加呈逐渐降低趋势(图 1)。不同土地利用方式下 0~20 cm 土壤含水量均高于表下层,随着土层深度的增加,土壤含水量均逐渐降低,在 80~100 cm 土层,不同土地利用方式下的土壤含水量基本一致,这可能是由于土地利用方式对土壤含水量垂直分布的影响主要集中在表土层。此外,土壤水分含量因土壤质地的不同存在着差异,黏壤的土壤储水量最高,沙壤的储水量最低,中壤和重壤的储水量居中,由于土壤储水量在计算的过程中考虑了土壤容重,在一定程度上消除了土壤质

表 1 不同土地利用方式土壤水分的统计特征

土地利用方式	时间 (年-月-日)	前期降雨量 (mm)	含水率(%)				含水率变异系数 (%)	偏度	峰度	K-S 概率
			均值	最小值	最大值	标准差				
草地	2016-01-31	21.32	17.25	9.15	35.09	4.36	13.56	-0.23	0.26	0.09
	2016-05-31	16.87	11.36	8.12	19.58	3.25	19.84	-0.36	0.21	0.26
	2016-09-31	62.48	22.48	13.23	35.96	6.25	18.14	-0.15	0.19	0.35
	2016-11-31	9.36	9.25	7.16	21.47	2.35	23.17	0.09	-0.23	0.21
农田	2016-01-31	21.32	13.02	10.25	21.95	3.14	15.04	-0.15	-0.06	0.19
	2016-05-31	16.87	15.07	11.29	19.87	5.19	19.88	0.08	0.12	0.08
	2016-09-31	62.48	26.49	21.03	29.88	3.02	26.24	-0.35	0.19	0.25
	2016-11-31	9.36	8.32	6.36	15.47	4.98	21.03	-0.17	0.17	0.67
林地	2016-01-31	21.32	19.85	15.69	23.84	4.16	16.58	-0.21	-0.03	0.91
	2016-05-31	16.87	13.24	9.86	18.49	6.25	14.32	-0.34	-0.09	0.52
	2016-09-31	62.48	21.36	13.55	28.74	3.52	23.14	-0.65	0.15	0.37
	2016-11-31	9.36	11.09	7.66	17.83	3.68	22.07	0.08	0.34	0.15
果园	2016-01-31	21.32	13.14	7.05	16.23	2.99	19.58	0.01	0.26	0.23
	2016-05-31	16.87	13.96	6.98	17.17	3.47	16.35	-0.15	0.30	0.15
	2016-09-31	62.48	16.58	9.58	19.46	4.56	19.77	-0.24	-0.08	0.19
	2016-11-31	9.36	9.06	6.78	15.47	4.17	21.09	0.04	-0.05	0.38

注:K-S 全称为 Kolmogorov-Smirnov。

表 2 不同土地利用方式土壤粒度组成特征

土地利用方式	各粒级含量(%)									
	中沙粒 (0.5~0.25 mm)		细沙粒 (0.24~0.125 mm)		极细沙粒 (0.124~0.063 mm)		粉粒 (0.062~0.003 9 mm)		黏粒 (<0.003 9 mm)	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
草地	0.09c	0.03	42.16a	4.26	53.02a	5.69	4.23c	0.56	0.50d	0.03
农田	1.23b	0.15	38.94b	3.14	46.17b	9.14	5.34	0.32	8.32a	1.32
林地	2.31a	0.23	35.16c	2.98	42.15c	8.23	15.09b	2.59	5.29b	1.14
果园	2.14a	0.18	34.56c	3.67	43.15c	7.65	18.91a	3.01	1.24c	0.54

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 不同土地利用方式土壤含水量与各粒级百分含量的相关性

项目	草地	农田	林地	果园
中沙粒	0.063	-0.016	-0.058	-0.003
细沙粒	-0.426 *	-0.569 *	0.147	-0.156
极细沙粒	0.302	0.127	0.325	0.234
粉粒	0.547 *	0.507 *	0.698 **	0.603 *
黏粒	0.211	0.169	0.756 **	0.714 **

注:“*”表示显著相关($P<0.05$),“**”表示极显著相关($P<0.01$)。

地对土壤水分含量的影响,因此用土壤储水量来表征土壤水分含量是非常合理的。从不同土层土壤含水量可以看出,与草地和农田相比,林地和果园表现出较好的蓄水保墒能力。

2.4 土地利用方式对土壤水分入渗性能的影响

土壤水分入渗性能是影响土壤质地的重要因素,它决定着降水或灌水水分入渗进入土壤的量和深度,从而影响土壤的贮水量和地表径流等。土壤的入渗能力主要取决于土壤孔隙度、导水率等因素,不同土地利用方式也可对其产生一定影响。由图 2 可知,不同土地利用方式下的土壤稳定入渗率依次表现为林地>果园>农田>草地,其中林地和果园差异不显著,农田和草地差异不显著;对于土壤稳定入渗时间,依次表现为果园>林地>草地>农田,林地和果园差异不显著,二者显著高于草地和农田($P<0.05$);土壤累积入渗量依次表

现为林地>果园>农田>草地,其中林地和果园差异不显著,农田和草地差异不显著;土壤入渗深度依次表现为林地>果园>草地>农田,不同土地利用方式间差异均显著($P<0.05$)。

2.5 土地利用方式对土壤水分特征性能的影响

试验测得不同土地利用方式下 0~100 cm 土层的土壤水分特征曲线,将吸力为 0 Pa 时的土壤含水量作为饱和含水量,吸力为 3.0×10^4 Pa 时的土壤含水量作为田间持水量,吸力为 5.0×10^4 Pa 时的土壤含水量作为萎蔫系数,得到不同处理 0~100 cm 深度范围内的土壤持水特性,详见表 4。将田间持水量与萎蔫系数的差作为植物可利用水,结果表明,不同土地利用方式下饱和含水量、田间持水量、可利用水含量和易效水含量均在一定范围内随着土层深度的增加呈逐渐降低趋势,在 80~100 cm,不同土地利用方式下土壤饱和含水量、田间持水量、可利用水含量基本一致,差异并不大,由此表明,土地利用方式对土壤水分特征性能的影响主要集中在表层土壤。对于不同土地利用方式,土壤饱和含水量、田间持水量基本表现为林地和果园高于草地和农田。

2.6 土壤水分储量的相关性

为筛选合适的统计预测模型,对九队渔池 2016 年 1—12 月的部分数据分别进行线性拟合、二次拟合和三次拟合,发现线性拟合比二次、三次曲线拟合效果略好。而从各自的预测

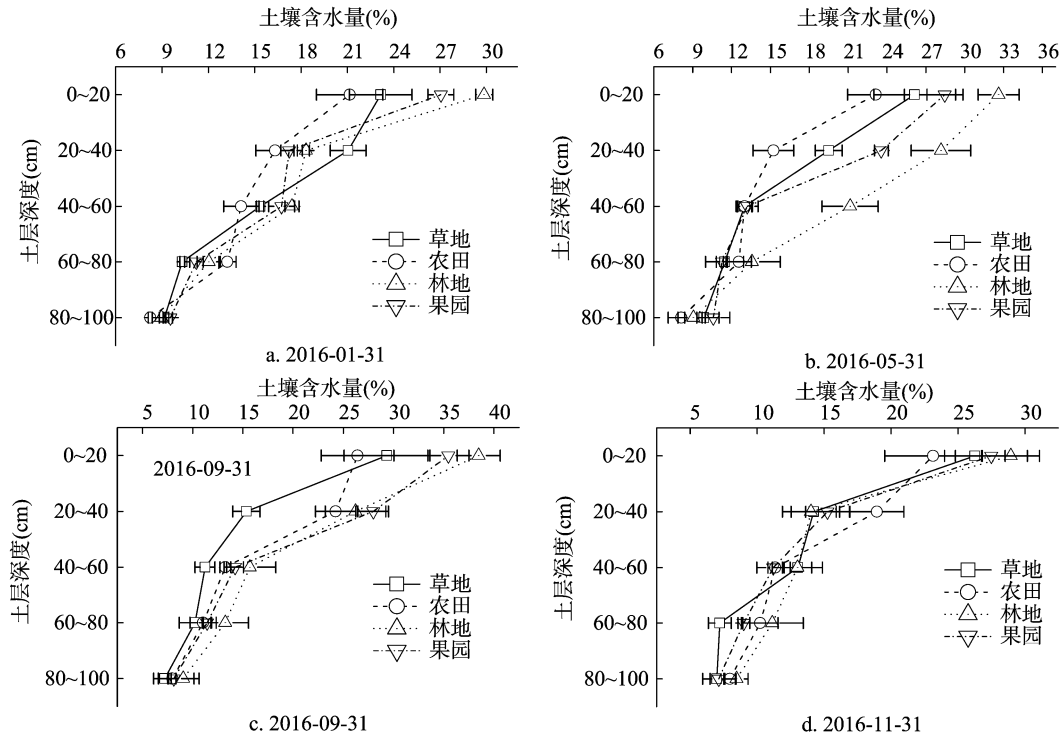
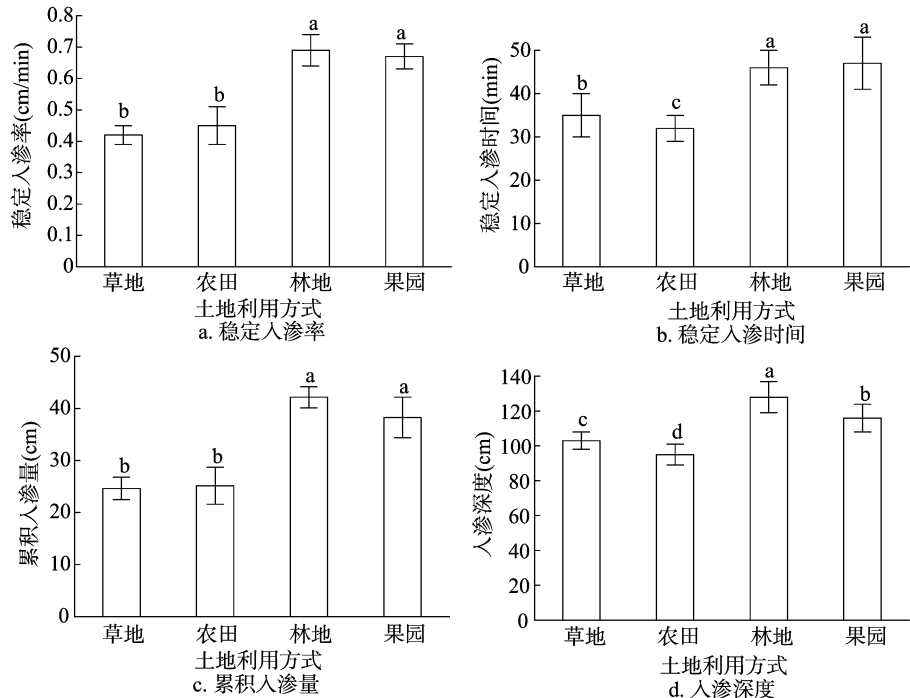


图1 土地利用方式对土壤含水量垂直分布的影响



不同样地间标有不同小写字母表示差异显著(P<0.05)

图2 土地利用方式对土壤水分入渗性能的影响

误差来看,线性拟合的预测精度更高,因此为提高分析效率和预测精度,本研究选择线性拟合进行数据分析。通过残差统计分析,可以得到0~40 cm 土层土壤储水量与0~20 cm 土层储水量之间的关系,可以用下面的模型来表示:

$$X_2 = 1.689X_1 + 0.074. \quad (8)$$

式中: X_2 为0~40 cm 土层土壤储水量,mm; X_1 为0~20 cm 土层储水量,mm。

按照0~40 cm 土壤储水量的预测方法,笔者对0~60、0~80、0~100 cm 土壤储水量进行了预测,得到预测公式如下:

$$X_3 = 1.569X_2 - 9.362; \quad (9)$$

$$X_4 = 1.569X_3 - 11.236; \quad (10)$$

$$X_5 = 1.856X_4 - 7.302. \quad (11)$$

式中: X_3 为0~60 cm 土壤储水量,mm; X_4 为0~80 cm 土壤

表 4 土地利用方式对土壤水分特征性能的影响

土地 利用方式	土层深度 (cm)	饱和含水 量(%)	田间持水 量(%)	萎蔫系数 (%)	可利用 水含量 (%)	易效水 含量 (%)
草地	0~20	29.87	18.23	5.60	9.56	13.89
	20~40	25.16	15.63	8.10	8.25	12.69
	40~60	16.35	13.26	6.30	6.32	10.25
	60~80	12.13	10.23	7.20	6.21	12.65
	80~100	9.58	7.13	9.20	6.14	13.97
农田	0~20	28.13	17.12	5.60	5.23	8.25
	20~40	24.14	15.23	5.30	5.03	7.38
	40~60	16.32	8.95	6.20	4.23	6.21
	60~80	12.31	8.13	7.10	4.56	6.96
	80~100	7.23	7.12	4.60	4.74	6.07
林地	0~20	33.23	23.14	5.90	7.26	11.23
	20~40	28.23	16.25	8.30	6.25	11.03
	40~60	18.16	12.30	4.30	6.01	10.14
	60~80	15.16	10.23	5.60	5.32	9.54
	80~100	10.74	9.58	5.70	5.13	10.47
果园	0~20	31.53	22.98	6.90	7.98	10.56
	20~40	26.89	16.96	7.20	7.03	11.36
	40~60	25.14	15.23	8.30	6.12	9.58
	60~80	15.03	10.14	8.10	5.23	8.36
	80~100	14.98	9.56	7.20	5.12	8.97

储水量,mm; \bar{X}_5 为 0~100 cm 土壤储水量,mm。

由表 5 可知,0~100 cm 和 0~80 cm 土层间的土壤储水量相关系数最高,因此可用 0~80 cm 土层的土壤储水量直接预测 0~100 cm 土层的土壤储水量。

2.7 模型的残差分布分析和精度检验

为了验证预测模型的可靠性,本研究进行了残差分析,对土壤储水量预测值和实测值进行模拟检验,并绘制残差分布图。从图 3 可以看出,被检验的数据基本上呈一条直线,因而也可以认为正态分布的假设成立。通过对模型的残差分布检验,认为它服从正态分布,这就说明本研究设置的模型是适合的。利用得到的模型进行相关性检验和指标评价,以确定模型的合理性并遴选出最佳拟合公式。由表 6 可知,各模型模拟值与实测值间相关性均为极显著($P<0.01$),其中线性拟合的相关程度最高;草地和农田拟合的相关程度均高于林地和果园。

3 讨论

土地利用方式与土地覆被类型都可以通过改变土壤性质和植被覆盖从而影响土壤水分含量^[17-18]。本研究中,土地利用方式通过影响水分入渗、地面径流和蒸散等过程,对土壤水分的再分布产生了显著的影响^[19],其中土地利用方式、植被盖度变化能对降雨前的水分分布产生影响,减少了降雨对土

表 5 土壤水分储量的相关性

类别	相关系数				
	0~100 cm 储水量	0~80 cm 储水量	0~60 cm 储水量	0~40 cm 储水量	0~20 cm 储水量
0~100 cm 储水量	1.000				
0~80 cm 储水量	0.988 **	1.000			
0~60 cm 储水量	0.902 **	0.914 **	1.000		
0~40 cm 储水量	0.823 **	0.852 **	0.789 **	1.000	
0~20 cm 储水量	0.714 *	0.623 *	0.601 *	0.899 **	1.000

注:“*、**”分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著(双尾)。

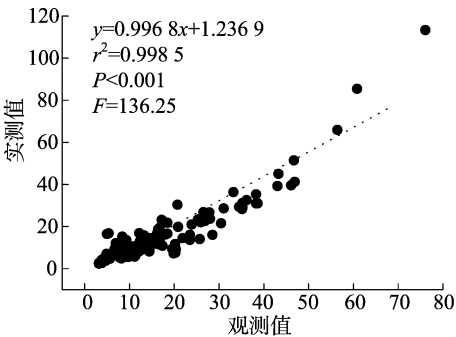


图3 土壤水储量的预测值和实测值的模拟检验

壤水分地形再分配的可能性,从而影响土壤水分的分布特征。土壤粒度组成决定了不同土层的持水性能,是引起土壤水分分布及运动方式发生变化、影响水分在土壤中滞留时间的重要原因。由本研究结果可知,土壤颗粒组成是影响土壤水分分布的主要因素之一,沙粒含量越大,黏粒含量就越少,含水量越小^[20-21]。因此,黏粒所占比重越大,微小裂隙就越发育,而大量细微的小颗粒表面的吸湿水就占据了绝大部分土壤孔隙空间,存留在该层中的含水量相对要高一些。而对于沙质土壤,其组成颗粒较大,形成较大的土壤孔隙,有利于重力水

在其中运动,但其持水性很差。

本研究中,不同土地利用方式土壤入渗深度依次表现为林地>果园>草地>农田,不同土地利用方式间差异显著($P<0.05$)。较好的人渗条件有利于在强降雨条件下改善土壤水分的快速入渗,特别是在多雨季节,可以促进雨水的收集^[22-23]。从土壤入渗结果来看,林地和果园有利于改善土壤水分入渗性能,其稳定入渗率及累积入渗量都显著高于草地和农田,该性能的改善可能会显著提高土壤的蓄水保墒能力。最后本研究通过水分分布特征及对土壤储水量预测值和实测值进行模拟检验,建立了不同土层深度土壤储水量预测模型,对不同土地利用方式下土壤含水量的预测起到了重要作用。

本研究根据表层土壤储水量来预测其他土层的储水量。由于土壤储水量不仅反映了测定时段内一定土层土壤含水量的平衡状况,也反映了剖面土壤水的调节能力,即通过农业措施(包括灌溉)对土壤水调节能力发挥的程度,这种能力调节得越好,在收入一定的水量满足对作物供水需要的同时,就越能挖掘土壤储水的供水潜力。因此,预测结果精度的大小对后期的田间管理也很重要。笔者根据上面的预测模型对土壤储水量进行预测,并与实际测定值进行比较,以检验模型的预测精度,通过预测分析得出,3个层次的预测平均误差均较

表 6 拟合曲线相关性分析及评价指标

拟合类型	土地利用方式	自由度 <i>n</i>	相关系数	均方根误差 <i>RMSE</i>	相对均方根误差 <i>RRMSE</i>	<i>P</i> 值	<i>F</i> 值
线性拟合	草地	20	0.923	1.39	0.16	<0.001	156.32
	农田	20	0.969	1.24	0.19	<0.001	164.07
	林地	20	0.901	1.03	0.35	<0.001	123.56
	果园	20	0.923	1.01	0.39	<0.001	117.89
二次拟合	草地	20	0.901	1.69	0.36	<0.001	103.25
	农田	20	0.895	1.86	0.44	<0.001	136.07
	林地	20	0.882	1.53	0.39	<0.001	123.49
	果园	20	0.863	1.58	0.49	<0.001	98.25
三次拟合	草地	20	0.897	1.96	0.51	<0.001	89.36
	农田	20	0.865	2.03	0.53	<0.001	104.78
	林地	20	0.802	2.14	0.46	<0.001	103.25
	果园	20	0.814	2.16	0.51	<0.001	87.54

小,以草地的预测模型结果最好。

参考文献:

[1] Pfeiffer S S, Gorchov D L. Effects of the invasive shrub *Ionicera maackii* on soil water content in eastern deciduous forest [J]. American Midland Naturalist, 2015, 173(1): 38–46.

[2] Graf A, Bogena H R, Drüe C, et al. Spatiotemporal relations between water budget components and soil water content in a forested tributary catchment[J]. Water Resources Research, 2014, 50(6): 4837–4857.

[3] Zhang C, Chen H S, Zhang W, et al. Spatial variation characteristics of surface soil water content, bulk density and saturated hydraulic conductivity on Karst slopes. [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(6): 1585–1591.

[4] Ilseemann J, van der Ploeg R R, Horton R, et al. Laboratory method for determining immobile soil water content and mass exchange coefficient[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2002, 165(3): 332–338.

[5] Peng F, Xu M, You Q, et al. Different responses of soil respiration and its components to experimental warming with contrasting soil water content[J]. Arctic Antarctic & Alpine Research, 1938, 47(2): 359–368.

[6] Hu W, Si B C. Can soil water measurements at a certain depth be used to estimate mean soil water content of a soil profile at a point or at a hillslope scale? [J]. Journal of Hydrology, 2014, 516(6): 67–75.

[7] Zhang D, Tang R, Zhao W, et al. Surface soil water content estimation from thermal remote sensing based on the temporal variation of land surface temperature[J]. Remote Sensing, 2014, 6(4): 3170–3187.

[8] Martínez G, Pachepsky Y A, Vereecken H. Temporal stability of soil water content as affected by climate and soil hydraulic properties: a simulation study[J]. Hydrological Processes, 2013, 28(4): 1899–1915.

[9] Kuramae E E, Yergeau E, Wong L C, et al. Soil characteristics more strongly influence soil bacterial communities than land-use type [J]. Fems Microbiology Ecology, 2012, 79(1): 12–24.

[10] Bourne K S, Conway T M. The influence of land use type and municipal context on urban tree species diversity [J]. Urban Ecosystems, 2014, 17(1): 329–348.

[11] Ye Y, He X, Chen W, et al. Seasonal water quality upstream of Dahuofang Reservoir, China – the effects of land use type at various spatial scales [J]. CLEAN – Soil Air Water, 2014, 42(10): 1423–1432.

[12] Nacke H, Fischer C, Thürmer A, et al. Land use type significantly affects microbial gene transcription in soil[J]. Microbial Ecology, 2014, 67(4): 919–930.

[13] Ribolzi O, Rochelle-Newall E, Ditttrich S, et al. Land use and soil type determine the presence of the pathogen *Burkholderia pseudomallei* in tropical rivers [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(8): 7828–7839.

[14] Salvati L. Land availability vs conversion by use type: a new approach for land take monitoring[J]. Ecological Indicators, 2014, 36(1): 221–223.

[15] 高晓东, 吴普特, 赵西宁, 等. 黄土丘陵区沟道小流域土壤有效储水量估算[J]. 水利学报, 2013, 44(6): 734–742.

[16] 邢怀学, 魏芳, 祁轶宏, 等. 基于 Hazen 概率曲线的合肥大兴地区土壤 Pb 元素背景含量与污染叠加含量区分[J]. 土壤, 2009, 41(3): 437–441.

[17] 王洪杰, 李宪文, 史学正, 等. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 44–46.

[18] 章家恩, 刘文高, 胡刚. 不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J]. 生态环境学报, 2002, 11(2): 140–143.

[19] 王小国, 朱波, 王艳强, 等. 不同土地利用方式下土壤呼吸及其温度敏感性[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1960–1968.

[20] 孟庆华, 杨林章. 三峡库区不同土地利用方式的养分流失研究[J]. 生态学报, 2000, 20(6): 1028–1033.

[21] 邱莉萍, 张兴昌. 子午岭不同土地利用方式对土壤性质的影响[J]. 自然资源学报, 2006, 21(6): 965–972.

[22] 梁涛, 王红萍, 张秀梅, 等. 官厅水库周边不同土地利用方式下氮、磷非点源污染模拟研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(4): 483–490.

[23] 郑袁明, 宋波, 陈同斌, 等. 北京市不同土地利用方式下土壤锌的积累及其污染风险[J]. 自然资源学报, 2006, 21(1): 64–72.