

冀西北土地利用方式改变对土壤贮水和入渗特征的影响

杨文姬¹, 曹航², 杨新兵^{2*}, 梁世兴³

(1. 山合林(北京)水土保持技术有限公司, 北京 100038; 2. 河北农业大学林学院, 河北保定 071000; 3. 张家口市涿鹿林场, 河北张家口 075600)

摘要 为比较土地利用类型对土壤贮水和入渗特征的影响, 比较冀西北林地(油松林)、撂荒地和农田的土壤贮水能力、容重、孔隙度和入渗规律差异。结果表明: 土壤饱和贮水量排序为林地(352.72 mm) > 农田(317.30 mm) > 撂荒地(286.30 mm), 土壤容重排序为林地(0.95 g/cm³) < 农田(1.20 g/cm³) < 撂荒地(1.27 g/cm³), 林地的稳渗速率最大为 3.55 mm/min, 其次是农田(2.53 mm/min)和撂荒地(1.23 mm/min)。土壤孔隙度和贮水量随土壤容重增大而减小, 林地与农田的土壤贮水性能明显高于撂荒地。植被对非毛管孔隙(滞留贮水)改善最为明显, 对毛管孔隙(吸持贮水)改善的效果较小。林地土壤疏松、入渗速度快, 土壤水土保持功能效果最佳, 农田撂荒后土壤紧实程度增加, 水土保持功能有所下降。研究结果可为退耕还林和农田休耕等政策实施后的土壤水土保持功能评估提供参考。

关键词 冀西北; 土壤入渗; 土壤贮水; 土壤容重; 土壤孔隙度

中图分类号 S152.7¹ **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2023)03-0044-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.03.010



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Land Use Change on Soil Water Storage and Infiltration Characteristics in Northwest Hebei

YANG Wen-ji¹, CAO Hang², YANG Xin-bing² et al (1. Shanhelin (Beijing) Water and Soil Conservation Technology Limited Company, Beijing 100038; 2. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000)

Abstract In order to assess the effects of land use on soil infiltration and water-holding characteristics, this paper compares the differences in soil water storage capacity, bulk density, porosity and infiltration law of the forest land (*Pinus tabulaeformis* forest), abandoned land and farmland in northwest Hebei Province. The results indicated that soil saturated water storage was shown as the sequence of forest land (352.72 mm) > farmland (317.30 mm) > abandoned land (286.30 mm), and the order of soil bulk density was: forest land (0.95 g/cm³) < farmland (1.20 g/cm³) < abandoned land (1.27 g/cm³), the steady infiltration rate of forest land was largest (3.55 mm/min), followed by farmland (2.53 mm/min) and abandoned land (1.23 mm/min). Soil porosity and water storage decreased with the increasing of soil bulk density, and the soil water storage capacity of forest land and farmland was significantly higher than that of abandoned land. The improvement of vegetation on non-capillary pore (retention water storage) was significant, while it was minimal on the capillary pore (absorption water storage). The infiltration rate was fast in forest land soil as its soil was loose, so it worked best for soil and water conservation. On the contrary, the soil compactness increased after the farmland was abandoned, and the function of soil and water conservation decreased. This study would provide more important primitive reference for the evaluation of soil and water conservation function after the implementation of the policy of returning farmland to forest and farmland fallow.

Key words Northwest Hebei; Soil infiltration; Soil water storage; Soil bulk density; Soil porosity

水土保持是人类干扰生态系统的一种有效手段, 是保护和改良自然环境条件的综合利用^[1]。土壤的水土保持功能主要体现在土壤的入渗规律和贮水性能两方面。土壤入渗是控制地表径流、壤中流、地下径流与土壤贮水性能的关键环节^[2], 土壤贮水性能又是植被恢复与生态建设的基础^[3]。土地利用类型的变化是人类社会对土地资源利用的直接反映, 土地利用方式受到人文及自然因素的制约, 土地利用类型不同, 则其贮水和入渗性能就不一样, 即使是同一地区的同一类型土壤, 其土壤贮水和入渗性能也会有不同差异^[4-5]。诸多学者对土壤贮水和入渗性能进行了研究, 认为土壤水分贮水和入渗能力与土壤孔隙状况、土层厚度、表土结构、植被类型及土壤密度等多种因素相关^[3-4, 6]。研究不同土地利用类型土壤贮水和入渗特征对治理和改善地区保持水土与涵养水源的能力具有重要意义。

冀西北是指张家口地区, 是我国首都圈上游的重要天然生态屏障和京津冀水源涵养功能区, 2022年冬奥会举办, 给张家口市生态环境保护与建设带来巨大挑战^[7]。张家口又

是严重贫水地区, 生态环境极其脆弱, 面对既要保生态、保水源, 又要保农业发展、保农民增收的双重难题。为合理评估生态建设(退耕还林)和农业政策调整(休耕)实施效果, 该研究以张家口市涿鹿林场区域内的油松林(*Pinus tabulaeformis*)、农田和撂荒地对象, 研究3种土地利用类型的土壤贮水和入渗特征, 为该地区水源涵养与生态环境治理提供科学指导。

1 研究区域概况

研究区选择在河北省西北部的张家口市涿鹿县, 属于京西水源林营造区域, 有北京保水、供水之责。该地属海河流域永定河上游怀涿盆地, 海拔 906~2 882 m, 山地丘陵地貌类型, 地势中间高、南北低。属温带半干旱大陆性季风气候, 年日照时数 2 875 h, 年均气温 9.1 °C, 年降水量 373 mm。土壤类型主要为褐土。当地主要生态造林树种为油松, 分布面积最广。受当地自然条件(主要是降雨量少)和人为(农业收入低、退耕和休耕等政策)的综合影响, 大量土地撂荒。试验点设在涿鹿林场寇家沟林区(115°6'18"E, 40°12'50"N)。

2 研究方法

2.1 样地设置 试验选取林地(油松纯林)、农田与撂荒地3种不同土地利用类型作为研究样地, 样地基本特征见表1。

基金项目 中央财政林业科技推广示范资金项目(冀sfq[2020]003号)。
作者简介 杨文姬(1980—), 女, 山西临汾人, 高级工程师, 博士, 从事水土保持与荒漠化防治研究。*通信作者, 副教授, 博士, 从事水土保持、森林生态研究。
收稿日期 2022-03-21

表 1 样地基本情况

Table 1 Basic situation of sample land

土地利用类型 Land use types	海拔 Altitude//m	坡度 Slope	植被类型 Vegetation types	土壤质地 Soil texture
林地 Woodland	1 399	32°	油松纯林, 平均胸径 13.1 cm, 平均树高 11.6 m, 郁闭度 0.5	壤土
农田 Farmland	1 273	0°, 荒沟	每年 4 月底种植一季玉米	砂壤土
撂荒地 Abandoned land	1 274	0°, 荒沟	撂荒 10 年左右, 杂草盖度约 0.9, 平均高度约 0.5 m	砂壤土

2.2 土壤贮水特征测定 用环刀(体积为 100 cm³)在选取的 3 个样地内每 10 cm 分层取土,共取 6 层。设 3 次重复。采用室内环刀浸泡法测定土壤孔隙度、容重和贮水量等指标,计算公式为^[6]:

$$W_t = 1\,000 p_t h \quad (1)$$

$$W_{nc} = 1\,000 p_{nc} h \quad (2)$$

$$W_c = 1\,000 p_c h \quad (3)$$

式中: W_t 为土壤饱和贮水量(mm), W_{nc} 为土壤最大滞留贮水量(mm), W_c 为土壤最大吸持贮水量(mm); p_t 为总孔隙度(%), p_{nc} 为非毛管孔隙度(%), p_c 为毛管孔隙度(%); h 为土层深度(m)。

分析土壤容重和土壤孔隙度、贮水量之间的相关性,建立回归模型,用模型斜率判断不同土地利用类型土壤贮水特征变化差异,斜率越大则说明变化程度越大;反之,则变化越小^[6]。

2.3 土壤入渗特征测定 利用双环渗透筒在选取的样地内测定不同时段土壤入渗过程,每个样地重复测定 3 次。记录入渗过程中初渗速率、稳渗速率等参数,制作入渗容量曲线。利用 SPSS 软件分析 3 种土地利用类型入渗速率差异。

3 结果与分析

3.1 不同利用方式的土壤贮水能力差异 土壤贮水能力是植被生长所需水分及土壤水均衡的重要农学指标,对研究生态水文过程,特别是半干旱地区的水分、土壤与植被具有关键作用^[8]。土壤贮水量主要受土壤厚度与孔隙状况的影响。由图 1 可知:整个土层(60 cm)的土壤饱和贮水量呈现为林地(352.72 mm) > 农田(317.30 mm) > 撂荒地(286.30 mm),林地与农田土壤贮水性能均高于撂荒地,表明植被可以有效改善土壤储水能力。土壤滞留贮水量是暂时储存在非毛管孔隙中的自由重力水,整个土层(60 cm)的土壤滞留贮水量排序为林地(117.97 mm) > 农田(57.98 mm) > 撂荒地(54.37 mm),表明林地对土壤滞留贮水能力的改善最好,撂荒地最差。土壤吸持贮水量是毛管孔隙中依靠毛管力所吸持的水分,是植物利用的有效水分,整个土层(60 cm)的土壤吸持贮水量排序为农田(259.40 mm) > 林地(234.49 mm) > 撂荒地(231.93 mm),三者差异并不明显。总体来看,林地土壤贮水性能最好,对土壤蓄水能力的改善最为明显,撂荒地最差。

3.2 不同利用方式的土壤容重和土壤孔隙度差异 土壤容重与孔隙度是土壤的重要水分物理指标,直接或间接影响着土壤透气性、土壤肥力、持水能力、抗侵蚀能力、溶质运输及植物生长状况^[9-10]。由图 2~3 可知,土壤容重均值排序为撂荒地(1.27 g/cm³) > 农田(1.20 g/cm³) > 林地(0.95 g/cm³),林地土壤容重最小,最疏松,农田撂荒后土壤容重增大,紧实

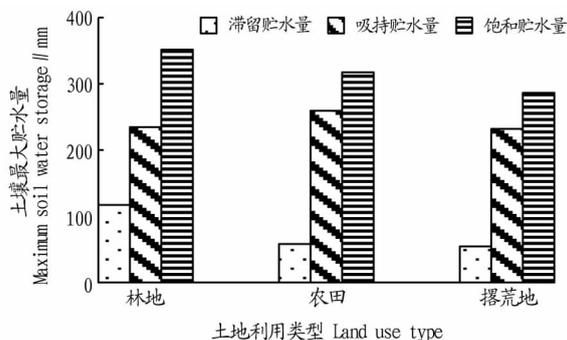


图 1 不同土地利用类型土壤贮水特征参数

Fig. 1 Characteristic parameters of soil water storage in different land use types

程度增加。土壤非毛管孔隙度均值排序为林地 > 农田 > 撂荒地,土壤毛管孔隙度均值排序为农田 > 林地 > 撂荒地,土壤总孔隙度均值排序为林地(59.01%) > 农田(55.67%) > 撂荒地(47.72%)。土壤容重与土壤孔隙度成反比。

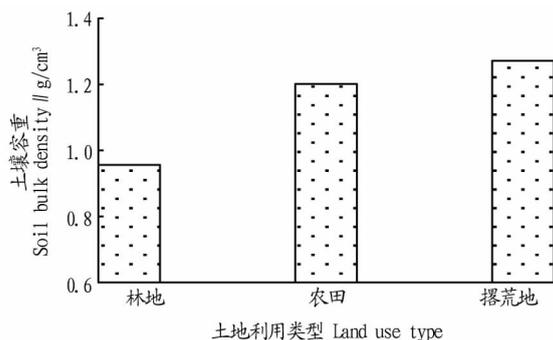


图 2 不同土地利用类型土壤容重

Fig. 2 Soil bulk density of different land use types

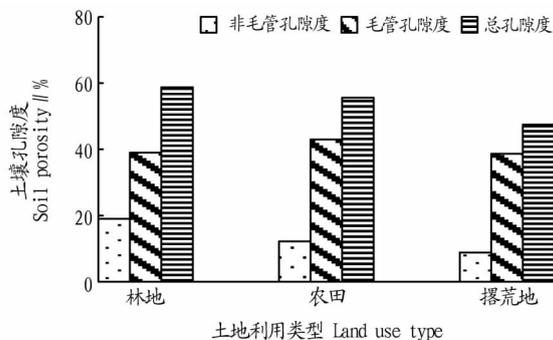


图 3 不同土地利用类型土壤孔隙度

Fig. 3 Soil porosity of different land use types

由图 4~5 可知,土壤容重和孔隙度、贮水量参数成反比。随着土壤容重的增大,总孔隙度与饱和贮水量均呈下降趋势。非毛管孔隙(拟合方程斜率为 0.365 4)比毛管孔隙(拟合方程斜率为 0.216 7)变化较为明显,滞留贮水量(拟合方

程斜率为 219.54) 比吸持贮水量(拟合方程斜率为 128.22) 的变化较为明显,表明植被对非毛管孔隙(滞留贮水量)的影响要大于毛管孔隙(吸持贮水量)。

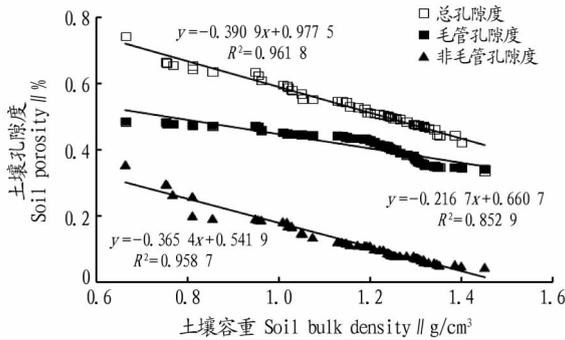


图4 土壤容重与孔隙度的相关性

Fig. 4 Correlation between soil bulk density and soil porosity

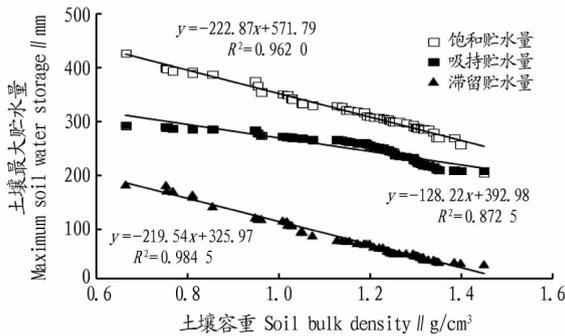


图5 土壤容重与土壤贮水量的相关性

Fig. 5 Correlation between soil bulk density and soil water storage

3.3 不同利用方式的土壤入渗规律 入渗是降水-地表径流-壤中径流-地下径流“四水”转化的中心环节,是由土壤组成结构、土壤水力特性及供水条件等因素综合作用的结果^[11]。由图6和表2可知,入渗速率随时间的增加而减小,入渗时间与速率呈幂函数关系。3种土地利用类型的初渗速率大小排序为林地(16.67 mm/min) > 农田(14.29 mm/min) > 撂荒地(4.81 mm/min),林地与农田的初渗速率明显高于撂荒地。土壤稳渗速率大小排序为:林地(3.55 mm/min) > 农田(2.53 mm/min) > 撂荒地(1.23 mm/min),林地与农田分别比撂荒地高出1.9倍与1.1倍。

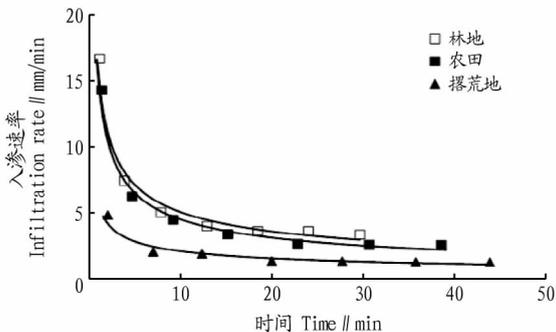


图6 不同土地利用类型入渗曲线

Fig. 6 Infiltration curves of different land use types

利用 SPSS 软件对林地、农田及撂荒地入渗速率进行差异性分析($P < 0.05$)表明,林地、农田和撂荒地的初渗速率与

稳渗速率均差异显著。林地与农田的入渗速率明显高于撂荒地,林地对土壤入渗能力的改善较为明显。

表2 不同土地利用类型入渗速率与多重比较

types	初渗速率 Initial infiltration rate	稳渗速率 Stable infiltration rate
土地利用类型 Land use types		单位: mm/min
林地 Woodland	16.67 a	3.55 a
农田 Farmland	14.29 b	2.53 b
撂荒地 Abandoned land	4.81 c	1.23 c

4 讨论

不同土地利用类型因地表植被覆盖差异,相应其改善土壤水肥能力不同而对土壤质地有不同的影响^[12]。土壤贮水性能与土层厚度、土壤容重、孔隙状况及土壤结构等因素密切相关。夏江宝等^[13]研究认为,植被可增加土壤孔隙度,降低土壤容重,进而改善土壤贮水功能,原因是植被的生长与凋零对土壤质地既有物理方面的改善,又有生物方面的影响。该研究对林地(油松林)、农田与撂荒地3种不同土地利用类型进行土壤贮水特征的研究发现,林地对土壤贮水功能的改善最好,农田次之,撂荒地最差,研究结果与文献^{[10]~[11]}观点基本一致,原因可能是林地凋落物改善了土壤结构,土壤疏松,容重减小,孔隙度增大;农田撂荒后人为翻耕减少(该试验选取的撂荒地已经约10年未有人为扰动),土壤紧实程度增加,容重增大,土壤贮水功能相应减弱。

入渗是降水或灌溉水经过土壤表面进入土壤内部的水文过程,其性能受到人为干扰(如耕种措施)、气象条件、土壤质地和初始含水率等因素的影响^[14]。该研究表明,林地与农田入渗性能明显优于撂荒地,3种土地利用类型入渗性能差异明显,原因可能是林地凋落物改善了土壤结构,腐烂的植物根系“通道”可为土壤中的水分提供储存空间,进而影响土壤导水率^[15]。农田由于长期耕种及其他人为因素导致了土壤肥力(有机质)下降,所以农田入渗性能不如林地。农田撂荒后人为翻耕减少,土壤变得紧实,入渗能力下降,与朱钊岑等^[15]的研究结果基本一致。

5 结论

土壤贮水性能林地最好,农田次之,撂荒地最差。林地和农田土壤容重比撂荒地明显要小。土壤容重与土壤孔隙度、土壤贮水量的关系为负相关。植被对非毛管孔隙(滞留贮水)改善最为明显,对毛管孔隙(吸持贮水)改善的效果较为一般。土壤入渗时间与入渗速率呈幂函数关系,林地入渗性能最好,农田次之,撂荒地最差,林地、农田与撂荒地入渗率差异明显。

参考文献

- [1] 孙文义,邵全琴,刘纪远. 黄土高原不同生态系统水土保持服务功能评价[J]. 自然资源学报, 2014, 29(3): 365-376.
- [2] 吕春娟,陈丹,郭星星,等. 铁尾矿不同复垦模式土壤贮水能力及入渗特征[J]. 中国水土保持科学, 2019, 17(4): 59-66.

布较为均匀。碘是人体及哺乳动物必需的营养元素,儿童更容易出现因碘过量导致的甲状腺肿大^[17]。研究区土壤内碘

元素平均含量 4.02 mg/kg,整体为碘元素适量区,不存在边缘区、缺乏区及过剩区。

表 8 土壤有益元素等级划分丰缺面积和比例一览表

Table 8 List of areas and proportions of soil beneficial elements

指标 Indicator	过剩 Surplus		高 High		适量 Optimal		边缘 Edge		缺乏 Deficiency	
	面积/km ²	百分比/%								
Se	0	0	0	0	53.48	21.03	186.64	73.39	14.18	5.58
F	3.4	1.34	215.10	84.58	24.70	9.71	9.60	3.78	1.50	0.59
I	0	0	6.32	2.49	247.98	97.51	0	0	0	0

4 结语

依据土壤测试结果,永宁地区土壤 pH 介于 7.76~9.50,土壤环境偏碱性。选取永宁地区农田表层土壤中与农作物生长关系密切的 Cd、Hg、As、Cu、Pb、Cr、Zn、Ni 8 种重金属、N、P、K、有机质、Fe、MgO、CaO、S、Cu、Mn、Mo、Zn 12 项生长必需营养元素,Se、I、F 3 种有益元素作为评价因子指标。采用单因子评价方法和尼梅罗综合污染指数法进行评价,得到以下结论。

(1) 研究区土壤 Cr、Cu、Zn、Hg、As、Cd、Pb、Ni 均满足农作物正常生长、维护人体健康需要。除 Cd 外,各指标元素的含量基本保持着自然背景水平,土壤环境质量良好。研究区土壤清洁度均在基本清洁区以上,土壤质量均为一等质量区,综合评价在 1.5 以下,未受重金属影响。研究区内清洁区面积为 234.96 km²,基本清洁区面积为 19.35 km²,适合研究区农作物生长。

(2) 研究区内土壤必需元素磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、硫(S)、铜(Cu)、锰(Mn)、钼(Mo)、锌(Zn)含量多属二等(较丰富)以上,均满足研究区农作物正常生长需要。氮(N)元素含量属四等-三等(较缺乏-中等),部分地区较亏缺。有机质(SOC)含量多属五等(缺乏),亏缺尤为严重。

(3) 研究区内土壤有益元素碘含量基本全属于适量区,均值 4.02 mg/kg,分布较均匀。根据国家标准,该区硒含量较低,适量区占比 21.03%,边缘区占比达到 73.39%,表现出硒含量空间分布较不均匀。氟元素大多为适量区之上,高等级区占比达到 84.58%,研究区氟含量富足。

参考文献

- [1] 吕贻忠. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [2] STOCKING M A. Tropical soils and food security: The next 50 years[J]. Science, 2003, 302(5649): 1356-1359.
- [3] 王秀萍, 张国新, 鲁雪林, 等. 河北沿海地区耕地土壤质量综合评价[J]. 中国农学通报, 2013, 29(30): 136-142.
- [4] 姚荣江, 杨劲松, 陈小兵, 等. 苏北海涂围垦区土壤质量模糊综合评价[J]. 中国农业科学, 2009, 42(6): 2019-2027.
- [5] LIU Z J, ZHOU W, SHEN J B, et al. Soil quality assessment of yellow clayey paddy soils with different productivity[J]. Biol Fertil Soils, 2014, 50(3): 537-548.
- [6] 张磊, 苏芳莉, 郭成久, 等. 灰色关联分析在不同生态修复模式土壤质量评价中的应用[J]. 沈阳农业大学学报, 2009, 40(6): 703-707.
- [7] 王恒旭, 胡永华, 王文成, 等. 主成分分析在杞县大蒜种植区土壤质量评价中的应用[J]. 中国农学通报, 2006, 22(8): 297-301.
- [8] 曹启民, 刘志崑, 王永鹏, 等. 基于主成分分析的海南植胶区砖红壤亚类土壤质量评价[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(8): 121-123, 173.
- [9] 王良杰, 赵玉国, 郭敏, 等. 基于 GIS 与模糊数学的县级耕地地力质量评价研究[J]. 土壤, 2010, 42(1): 131-135.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 87-282.
- [11] 刘崇洪. 几种土壤质量评价方法的比较[J]. 干旱环境监测, 1996, 10(1): 26-29.
- [12] 高宇, 杨忠芳, 张玲燕, 等. 运用地球化学调查数据研究银川盆地土壤环境污染程度[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 972-974.
- [13] 荣启涵, 吴昆. 坚决守住土壤环境质量底线: 环保部有关负责人解读“土十条”[J]. 化工管理, 2016(19): 42-43.
- [14] 赵明城. 营养元素的生理功能及其在植物抗旱性中的作用综述[J]. 现代农业科技, 2015(12): 213-215.
- [15] 余慧敏, 李婕, 韩逸, 等. 基于重金属和有益微量元素评价南方典型丘陵区稻田土壤健康质量: 以奉新县为例[J]. 土壤, 2020, 52(2): 394-403.
- [16] 龚子同, 黄标. 土壤中硒、氟、碘元素的空间分异与人类健康[J]. 土壤学进展, 1994, 22(5): 1-12.
- [17] 郭玉焘, 黄文丽. 微量元素碘与人体健康的关系[J]. 国外医学(医学地理分册), 2014, 35(1): 64-68.

(上接第 46 页)

- [3] 于亚军, 任珊珊, 郭李凯, 等. 两种利用类型煤矸山复垦重构土壤贮水特性研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(2): 44-48.
- [4] 闫建梅, 何丙辉, 田太强, 等. 川中丘陵区不同土地利用方式土壤入渗与贮水特征[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 53-57, 62.
- [5] 刘雪莹, 郝弯弯, 赵鹏, 等. 燕山北部农牧交错区土地利用变化分析与模拟[J]. 林业与生态科学, 2021, 36(1): 56-63.
- [6] 刘霞, 张光灿, 李雪蕾, 等. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 1-5.
- [7] 徐超璇, 鲁春霞, 黄绍琳. 张家口地区生态脆弱性及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2020, 35(6): 1288-1300.
- [8] 卞建民, 刘彩虹, 杨晓芳. 吉林西部大安灌区土壤贮水能力空间变异特征及土壤水分有效性[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(2): 554-563.

- [9] 何丹, 马东豪, 张锡洲, 等. 土壤入渗特性的空间变异规律及其变异源[J]. 水科学进展, 2013, 24(3): 340-348.
- [10] QIAO Y X, ZHU H Z, ZHONG H P, et al. Stratified data reconstruction and spatial pattern analyses of soil bulk density in the northern grasslands of China[J]. International journal of geo-information, 2020, 9(11): 1-16.
- [11] 刘燕青, 王计磊, 李子忠, 等. 秸秆覆盖对土壤水分和侵蚀的影响研究进展[J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 429-436.
- [12] 刘艳丽, 李成亮, 高明秀, 等. 不同土地利用方式对黄河三角洲土壤物理特性的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(15): 5183-5190.
- [13] 夏江宝, 陆兆华, 高鹏, 等. 黄河三角洲滩地不同植被类型的土壤贮水功能[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 72-75, 95.
- [14] 王志超, 张博文, 倪嘉轩, 等. 微塑料对土壤水分入渗和蒸发的影响[J]. 环境科学, 2022, 43(8): 4394-4401.
- [15] 朱钊岑, 刘冰, 刘婵, 等. 荒漠绿洲湿地土壤优先流与水分入渗特征[J]. 生态学报, 2020, 40(12): 3979-3990.