

张润霞,赵学勇,李晶,等.干旱荒漠区土地利用方式快速转变对土壤入渗性能的影响[J].中国沙漠,2020,40(4):146-153.

# 干旱荒漠区土地利用方式快速转变 对土壤入渗性能的影响

张润霞<sup>1,2,3</sup>, 赵学勇<sup>1</sup>, 李晶<sup>2</sup>, 吕文强<sup>2</sup>, 柴媛媛<sup>1,2,3</sup>, 岳红琴<sup>2</sup>

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000; 2.甘肃省水土保持科学研究所, 甘肃 兰州 730000; 3.中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 研究不同土地利用类型下土壤入渗及其影响因素,有助于城市土地利用管理及径流调节。以快速城市化的兰州新区6种土地利用类型为例,利用圆盘入渗仪,对土壤水分入渗过程进行了实地测量,并利用主成分分析对影响因素进行研究。结果表明:城市化过程中土地利用变化使土壤砂粒和容重增加,总孔隙度和饱和含水量降低;待建地和人工林地的土壤入渗参数值均低于其他土地利用类型。土壤入渗率与有机质含量、总孔隙度、饱和含水量、粉粒含量正相关,与容重和砂粒、黏粒含量负相关。城市化过程中土地利用类型向待建地的转变改变了土壤理化性质及土壤水分入渗能力。

**关键词:** 快速城市化; 兰州新区; 土壤入渗; 干旱荒漠区

**文章编号:** 1000-694X(2020)04-146-08

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2019.00097

**中图分类号:** S152.7

**文献标志码:** A

## 0 引言

降雨或灌溉用水经土壤表面垂直或水平入渗,转变为土壤水和地下水<sup>[1-2]</sup>。土壤水文过程是陆地生态系统水循环的重要组成部分,土壤入渗作为土壤水文过程的重要参数,与地表径流、土壤侵蚀紧密相关<sup>[3-4]</sup>。影响土壤入渗的因素主要包括土壤质地<sup>[5]</sup>、容重、孔隙度<sup>[6]</sup>、初始含水量<sup>[1]</sup>、结构、有机质含量等<sup>[7-8]</sup>,而这些因素又受地貌、植被、耕作措施等的影响<sup>[9]</sup>。Zimmermann等<sup>[10]</sup>认为不同土地利用类型土壤入渗能力存在差异。不同坡位的土壤入渗率及累积入渗量也不同<sup>[11]</sup>。对土壤入渗规律及其影响因素的研究可为农田灌溉、地表径流调节等提供指导。然而,对土壤入渗特征及其影响因素的研究集中于农田<sup>[5,12]</sup>及侵蚀山区<sup>[9,11,13-15]</sup>,针对干旱荒漠区城市快速变化导致的土地利用类型变化及其对土壤水分入渗影响的研究较少。干旱荒漠区土壤性质因受风蚀水蚀和人类活动干扰而发

生变化。黄元仿等<sup>[16]</sup>研究表明,干旱荒漠区土壤有机质含量较低,空间变异较强。陈娟等<sup>[17]</sup>对荒漠草原不同土壤类型入渗研究表明,土壤受风蚀作用产生粗骨化,土壤入渗与容重呈正相关,非毛管孔隙度与土壤颗粒组成是影响土壤入渗的主要因素。

城镇化是人类活动对陆地表面的改造运动,引起土地利用/土地覆盖剧烈变化<sup>[18-19]</sup>,从而对土壤理化性质产生很大影响,包括土壤有机质、容重、颗粒组成<sup>[20-24]</sup>、含水量及养分<sup>[25]</sup>等。城市土壤异质性增加<sup>[26]</sup>,空间变异对土壤入渗产生影响<sup>[12]</sup>。Wang等<sup>[27]</sup>研究了城市林地土壤入渗,发现随着容重增加、有机质含量和非毛管孔隙度降低,土壤入渗率下降。杨倩等<sup>[28]</sup>对武汉市绿地植被土壤入渗及影响因素研究表明,不同绿地植被土壤水分入渗性能差异显著,容重、总孔隙度、砂粒和黏粒含量是影响土壤水分入渗特征的主要因素。城市洪涝灾害是城市建

收稿日期:2019-08-31; 改回日期:2019-10-25

资助项目:甘肃省青年科技基金项目(18JR3RA027); 甘肃省水利厅水资源费项目(甘水资源发[2017]293号,[2018]225号-2); 甘肃省水利厅水利科学试验研究及技术推广计划项目(甘水科外发[2016]76号-12,[2018]70号-27,甘水建管发[2020]46号)

作者简介:张润霞(1987—),女,甘肃白银人,博士研究生,工程师,主要从事干旱区土壤学和城市生态学研究。

E-mail: runxiangzhang@163.com

通信作者:赵学勇(E-mail: zhaoxxy@lzb.ac.cn)

设和管理面临的主要问题,而对城市区域的研究主要聚焦于不透水面,对其他土地利用类型土壤入渗规律的研究较少。兰州新区于2012年经国务院批复成立,在城市化过程中土地利用类型发生很大变化<sup>[29]</sup>。有研究表明,2012—2013年间兰州新区建设用地增加了58%,耕地和草地分别下降了39%和16%<sup>[29]</sup>。根据兰州新区统计资料,建成区面积在2014—2017年增长了74.4%。本研究通过对不同土地利用类型下土壤入渗的试验研究,分析土壤性质变化对土壤入渗的影响,为干旱荒漠区城市地表径流调节、区域水文模型参数完善提供基础数据支撑,为城市建设与规划管理决策提供理论与数据依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地兰州新区(36°17′15″—36°43′29″N, 103°29′22″—103°49′56″E)位于陇中黄土高原的西北部,属甘肃中部干旱区,是“引大入秦”工程的主灌区。该区属于高原盆地,地势北高南低,海拔1 830~2 300 m,相对高差470 m,平均地面坡降1%。该区属于典型的黄土高原丘陵地貌类型区,以平川、梁峁、沟壑及河谷为主。其中,中部盆地内主要为冲洪积平原,北部为石质山地,东、西、南三面为黄土

丘陵<sup>[29-30]</sup>。该研究区属于典型大陆性气候,年均气温6.9℃,年降水量250~300 mm,集中在7—9月。年蒸发量1 800~2 100 mm,湿润系数0.1~0.5,干旱指数3.5~5.0<sup>[30]</sup>,年日照时间约2 700 h。土壤种类主要有黄绵土、灰钙土和灌淤土。区域内土壤风蚀严重,风沙大,植被覆盖率低<sup>[31]</sup>。区域地下水埋深20~50 m,南端和北端局部小于10 m<sup>[32]</sup>。

### 1.2 研究方法

2018年9月在兰州新区选择6种土地利用类型(L1:人工生态林(云杉、白杨);L2:人工生态经济混交林(桃树、金叶榆、云杉);L3:自然草地;L4:待建地;L5:农田;L6:撂荒地),利用圆盘入渗仪<sup>[33-34]</sup>进行相同圆盘直径和同一负压下的土壤入渗试验,试验过程中采用秒表记录圆盘入渗仪储水水位随时间的变化过程,前3 min每隔15 s记录1次,第3~30 min每1 min记录1次,第30~60 min每隔5 min记录1次。每个试验地3个重复,试验过程中水温 $18\pm 2$ ℃。在试验点附近采集土壤分析土壤初始含水量(ISWC)、有机质(SOM)含量和颗粒组成,同时用环刀取原状土样测定土壤容重(BD)和土壤饱和含水量(SSWC)。土壤初始含水量、有机质含量和土壤颗粒组成分别采用烘干法、重铬酸钾氧化法和吸管法测定,土壤颗粒组成按照美国分类制分为黏粒(<0.002 mm)、粉粒(0.002~0.05 mm)、砂粒(0.05~2 mm)。

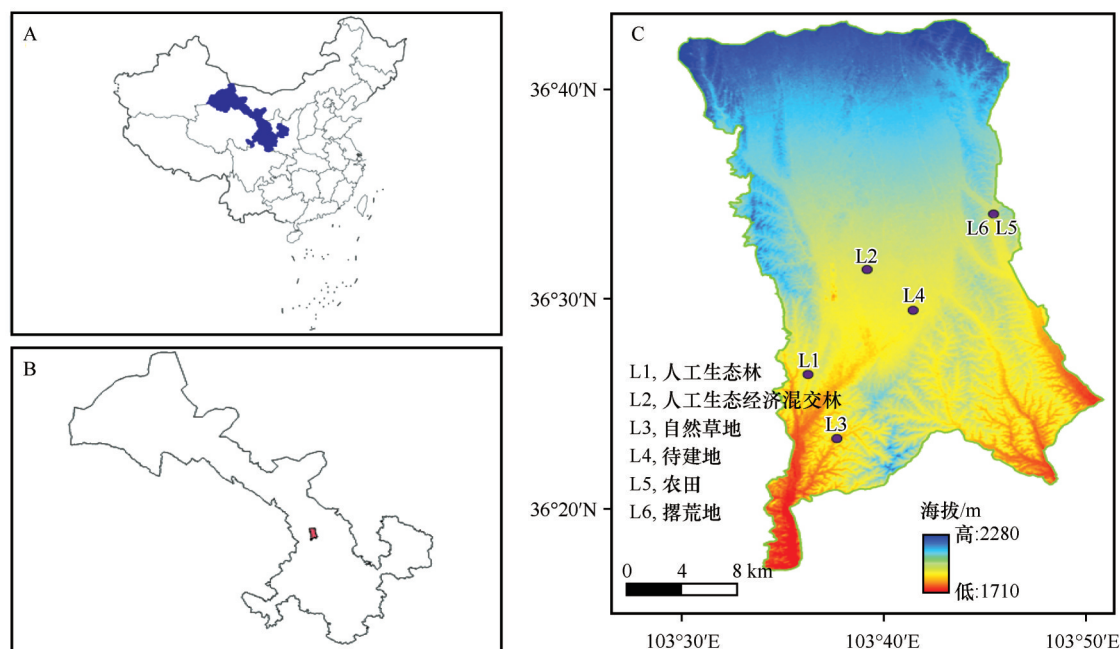


图1 研究区地理位置

Fig.1 The location of the research area

坡度(SG)和坡向(SA)用罗盘仪进行测定。总孔隙度(TP)通过容重和比重进行计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土地利用类型土壤性质

表1对不同土地利用类型的土壤性质进行了对比。待建地(L4)中土壤砂粒含量显著高于其他土地利用类型,其砂粒含量分别是农田(L5)、人工生态林(L1)、自然草地(L3)、人工生态经济混交林(L2)的2.3、2.1、2.5、2.3倍,而粉粒含量则相反。研究区待建地及建设用地主要由农田转化而来。自然草地黏粒含量显著低于其他土地利用类型,主要是由于该研究区属于水蚀风蚀区,表层黏粒含量因土壤侵蚀而显著降低。有研究表明,农田耕作使表层土壤黏粒含量降低<sup>[35]</sup>,但表1中人工生态经济混交林、农田及撂荒地(L6,短期撂荒地)黏粒含量较高,这3种土地利用类型主要位于秦王川盆地内,盆地基

底土层主要为第三系黏土岩或砂质黏土岩<sup>[36]</sup>。待建地黏粒含量与其他土地利用类型无显著差异,崔钦彬<sup>[37]</sup>研究表明城市土壤砂粒变异强度高于黏粒。待建地容重最高,人工生态经济混交林次之,农田容重最低,待建地容重分别是人工生态林、人工生态经济混交林、自然草地、农田的1.17、1.32、1.31、1.44倍。农田总孔隙度、饱和含水量和有机质含量最高,主要是由于农艺措施,如犁耕和有机肥添加等增加了土壤孔隙及土壤有机质<sup>[9]</sup>。而在人工生态经济混交林管理过程中,施用化肥、人为踩踏和无翻耕等致使土壤容重增加,孔隙度降低。人工灌溉使得土壤具有较高初始含水量。由于在农田转变为待建地的过程中,许多建筑材料,如水泥等加入到待建地土壤中,机械碾压使其总孔隙度显著降低。除此之外,待建地有机质、土壤饱和含水量也最低。由此可见,土地利用变化过程中,人类活动使城市土壤砂粒含量和容重增加,土壤有机质、总孔隙度、初始含水量、饱和含水量降低,从而弱化了水分输入和持水能力。

表1 不同土地利用类型土壤性质

Table 1 Change of soil properties under different land use types

土地利用类型	砂粒 /%	粉粒 /%	黏粒 /%	容重 /(g·cm <sup>-3</sup> )	有机质 /(g·kg <sup>-1</sup> )	总孔隙度 /%	初始土壤 含水量/%	饱和含水 量/%
人工生态林 L1	19.89 <sup>a</sup>	61.61 <sup>ab</sup>	18.50 <sup>a</sup>	1.18 <sup>a</sup>	27.00 <sup>a</sup>	55.81 <sup>ac</sup>	17.59 <sup>a</sup>	49.44 <sup>a</sup>
人工生态经济混交林 L2	18.57 <sup>a</sup>	55.84 <sup>b</sup>	25.59 <sup>c</sup>	1.33 <sup>b</sup>	25.53 <sup>a</sup>	50.74 <sup>a</sup>	23.97 <sup>b</sup>	37.99 <sup>b</sup>
自然草地 L3	16.73 <sup>a</sup>	67.93 <sup>a</sup>	15.35 <sup>a</sup>	1.19 <sup>a</sup>	28.36 <sup>a</sup>	54.68 <sup>ac</sup>	7.03 <sup>c</sup>	51.95 <sup>a</sup>
待建地 L4	41.79 <sup>b</sup>	38.90 <sup>c</sup>	19.31 <sup>ab</sup>	1.56 <sup>c</sup>	15.70 <sup>b</sup>	43.33 <sup>b</sup>	7.83 <sup>c</sup>	27.66 <sup>c</sup>
农田 L5	18.36 <sup>a</sup>	59.42 <sup>ab</sup>	22.22 <sup>bc</sup>	1.08 <sup>d</sup>	37.30 <sup>c</sup>	60.15 <sup>c</sup>	9.38 <sup>c</sup>	56.72 <sup>a</sup>
撂荒地 L6	18.24 <sup>a</sup>	57.51 <sup>ab</sup>	24.24 <sup>c</sup>	1.22 <sup>a</sup>	27.78 <sup>a</sup>	54.81 <sup>ac</sup>	9.45 <sup>c</sup>	50.41 <sup>a</sup>

不同字母代表0.05水平差异显著。

### 2.2 不同土地利用类型土壤入渗特征

不同土地利用类型土壤入渗率随时间而降低并趋于稳定入渗(图2),人工生态林除外,主要是由于人工生态林中存在土壤生物结皮,降低了土壤水分入渗速率<sup>[38]</sup>。土壤入渗主要分为初期入渗瞬变、中期渐变和后期稳定阶段<sup>[39-40]</sup>,在达到稳定入渗之前土壤入渗速率在初期和中期波动剧烈,与陈娟等<sup>[17]</sup>对荒漠草原灰钙土土壤入渗速率研究结果一致。土壤入渗是一个复杂的过程,与土水势梯度和土壤水力传导度有关<sup>[8]</sup>,此二者又受到土壤理化性质及土壤初始含水量等因素的影响<sup>[5]</sup>。不同质地<sup>[17]</sup>、土地利用类型<sup>[13]</sup>土壤入渗处于上述3个阶段

的时间存在差异。因此本研究选取初始入渗率(前3 min)、土壤稳定入渗率、平均入渗率、60 min累积入渗量对土壤入渗特征进行分析。

随着入渗时间增加,土壤入渗均在30 min后趋于稳定(图2),与刘贤赵等<sup>[9]</sup>研究结果一致。均质土壤入渗速率最终会达到一个稳定值,此时入渗速率除受积水面和水压大小、重力控制外,主要受土壤毛细管特性影响<sup>[33]</sup>。自然草地和农田达到稳定入渗的时间最短,农田土壤稳定入渗率最大,其他依次为人工生态林>撂荒地>自然草地>待建地>人工生态经济混交林(图3)。根据Kohnke<sup>[41]</sup>对土壤稳定入渗率的分类,待建地、人工生态经济混交林、自然

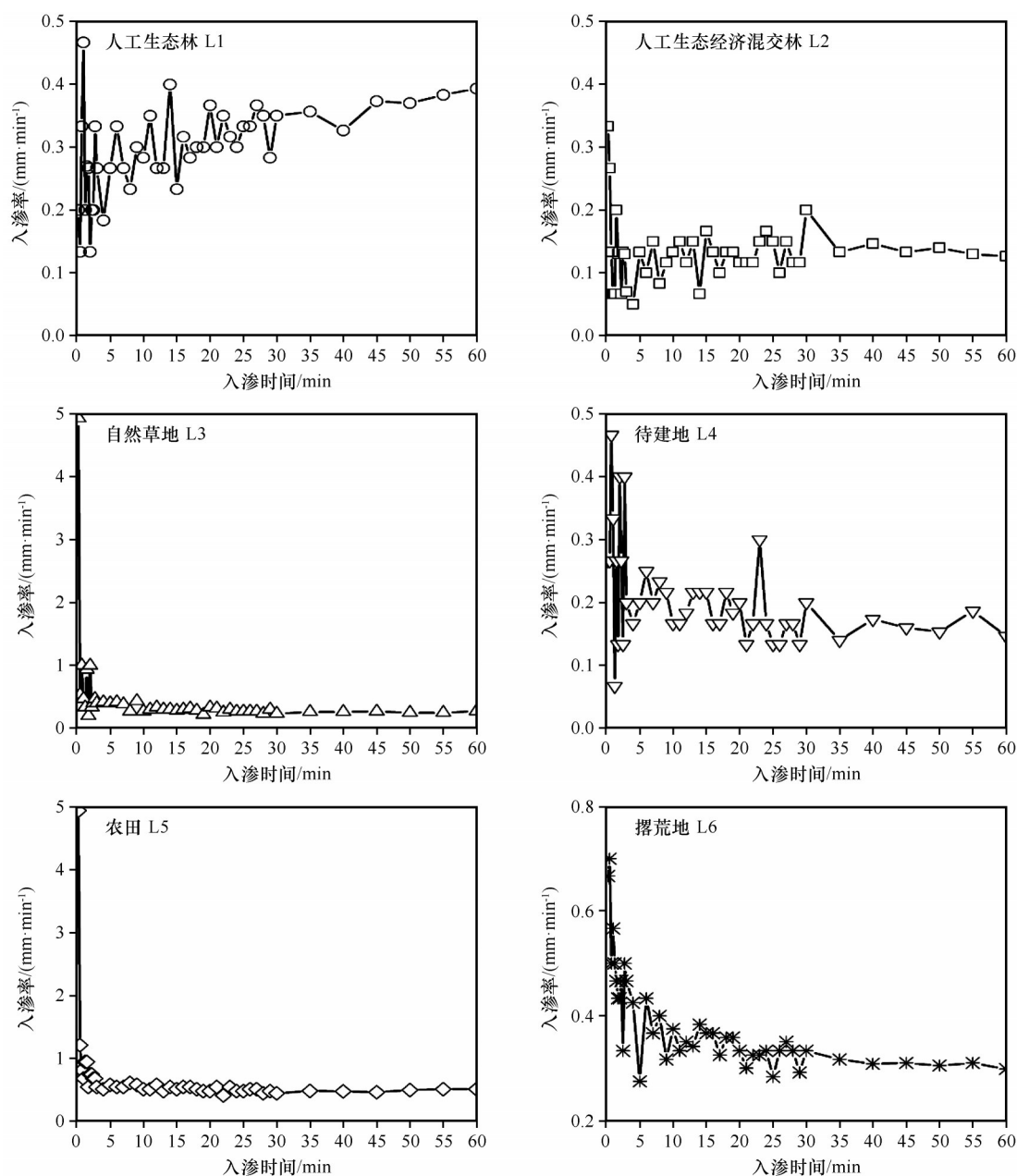


图2 不同土地利用类型下土壤入渗率随时间变化

Fig.2 Soil infiltration rate varies with time in different land use types

草地、撂荒地属于慢到中等入渗速率,农田和人工生态林为中等入渗速率。表2中相关性分析结果表明,土壤稳定入渗率与土壤有机质、容重、饱和含水量和总孔隙度相关性显著。

土壤平均入渗率和累积入渗量均是农田最高,人工生态林、自然草地、撂荒地累积入渗量与农田无显著差异,而人工生态林平均入渗率显著低于农田,主要是由于凋落物、林下植被及土壤生物结皮的存在减少了土壤初始入渗量。人工生态经济混交林和待建地平均入渗率和累积入渗量无显著差异,但人工生态经济混交林有机质与土壤初始含水

量均显著高于待建地。相关性分析结果(表2)表明土壤平均入渗率和累积入渗量均与有机质含量、饱和含水量呈显著正相关,除此之外,累积入渗量还与总孔隙度呈显著正相关,而与容重呈显著负相关。因此,城镇化过程中待建地及建设用地增加使土壤容重升高、总孔隙度降低,降低了土壤水分入渗能力。

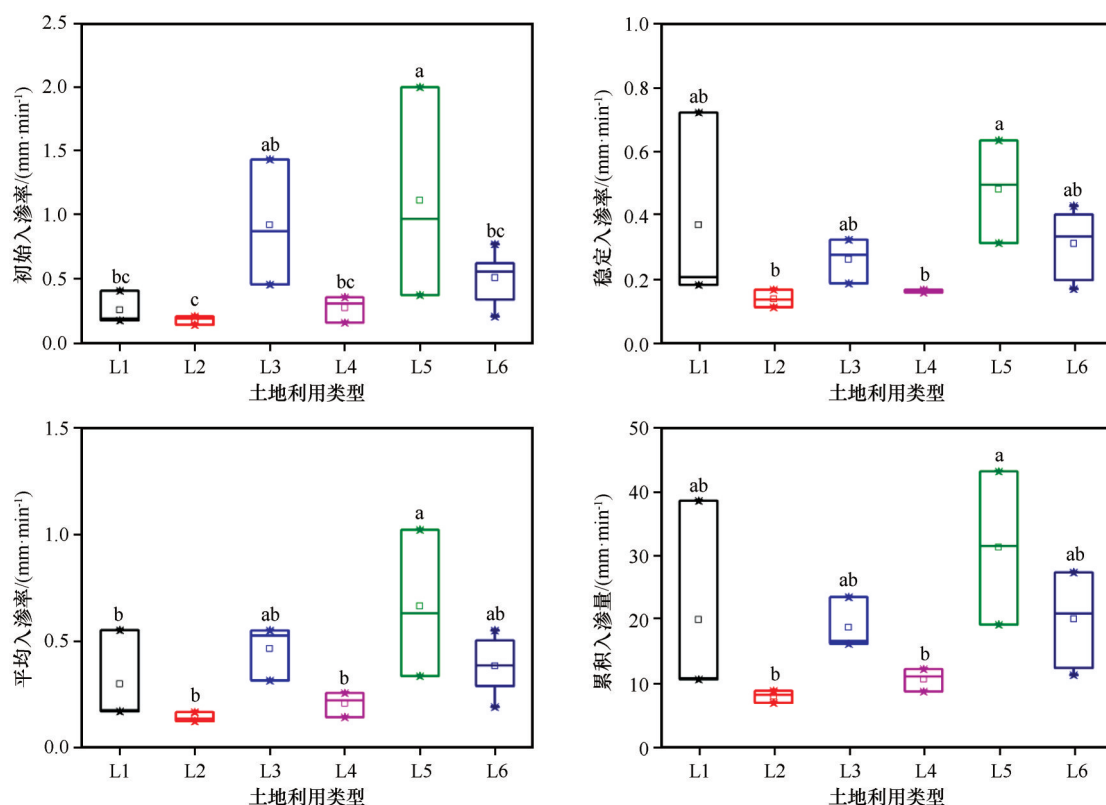
### 2.3 土壤入渗主要影响因素

土壤物理化学性质是影响土壤入渗的主要因素,从而对区域径流产生影响,造成土壤侵蚀、洪涝

灾害<sup>[42]</sup>。表3选取了7个土壤理化性质指标和2个地形因子指标,进行了主成分分析并提取出3个主成分,解释了土壤入渗特性总变量的94%。第一个主成分解释了总变量的57%,主要包括有机质、砂粒、粉粒含量、容重、饱和含水量和总孔隙度;第二个主成分解释了总变量的24%,包括黏粒和地形因子;第3个主成分主要是土壤初始含水量,解释了总变量的13%。

由图4可以看出,不同土地利用类型的土壤入渗与有机质含量、总孔隙度、饱和含水量和粉粒含量正相关,与容重和砂粒、黏粒含量负相关。有机质能够有效改善土壤结构,对土壤孔隙的大小及分

布产生影响<sup>[43]</sup>。随着有机质增加,形成的土壤团粒结构稳定,一方面使土壤非毛管孔隙增多,有利于水分入渗;另一方面在土壤入渗过程中不易分散而堵塞孔隙<sup>[8]</sup>。容重和土壤饱和含水量在一定程度上反映了土壤孔隙状况和土壤持水能力的强弱。容重越大,土壤越紧实,土壤孔隙越少。农田犁耕措施等使土壤容重降低,土壤总孔隙增多,从而增加了土壤累积入渗量。然而,许多研究表明,土壤入渗与黏粒呈负相关,但与砂粒含量呈正相关。而本研究结果得出土壤入渗与砂粒和黏粒含量均呈负相关,与粉粒含量呈正相关。这主要是由于在人类活动干预下,砂粒含量较高的土地利用类型(待建



L1,人工生态林;L2,人工生态经济混交林;L3,自然草地;L4,待建地;L5,农田;L6,撂荒地;不同小写字母表示类型间差异显著, $P<0.05$

图3 不同土地利用方式下土壤入渗参数对比

Fig.3 Comparison of soil infiltration parameters in different land use types

表2 土壤渗透性与影响因素之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between soil infiltration and its influences

指标	有机质	砂粒	粉粒	黏粒	容重	饱和含水量	初始含水量	总孔隙度	坡度	坡向
初始入渗率	0.737	-0.393	0.498	-0.279	-0.645	0.16	-0.620	0.651	0.480	0.480
稳定入渗率	0.813*	-0.456	0.483	-0.083	-0.823*	0.834*	-0.242	0.860*	-0.101	-0.101
平均入渗率	0.815*	0.420	0.496	-0.206	-0.750	0.813*	-0.581	0.773	0.266	0.266
60 min 累积入渗量	0.834*	-0.442	0.486	-0.125	-0.810*	0.851*	-0.440	0.845*	0.038	0.038

\*表示显著相关, $P<0.05$ 。

表 3 土壤渗透性影响因素主成分分析			
Table 3 Principal component analysis of influences affected soil infiltration			
指标	主成分		
	1	2	3
方差贡献率/%	57.16	24.31	12.55
累积贡献率/%	57.16	81.47	94.02
特征值	5.8	2.4	1.3
有机质	<b>0.891</b>	0.331	-0.228
砂粒	<b>-0.906</b>	-0.238	-0.212
粉粒	<b>0.948</b>	-0.149	0.181
黏粒	-0.137	<b>0.972</b>	0.071
容重	<b>0.980</b>	-0.140	0.076
饱和含水量	<b>0.968</b>	0.048	-0.214
初始含水量	-0.009	0.467	<b>0.873</b>
总孔隙度	<b>0.955</b>	0.207	-0.121
坡度	0.444	<b>-0.802</b>	0.064
坡向	0.419	<b>-0.611</b>	0.537

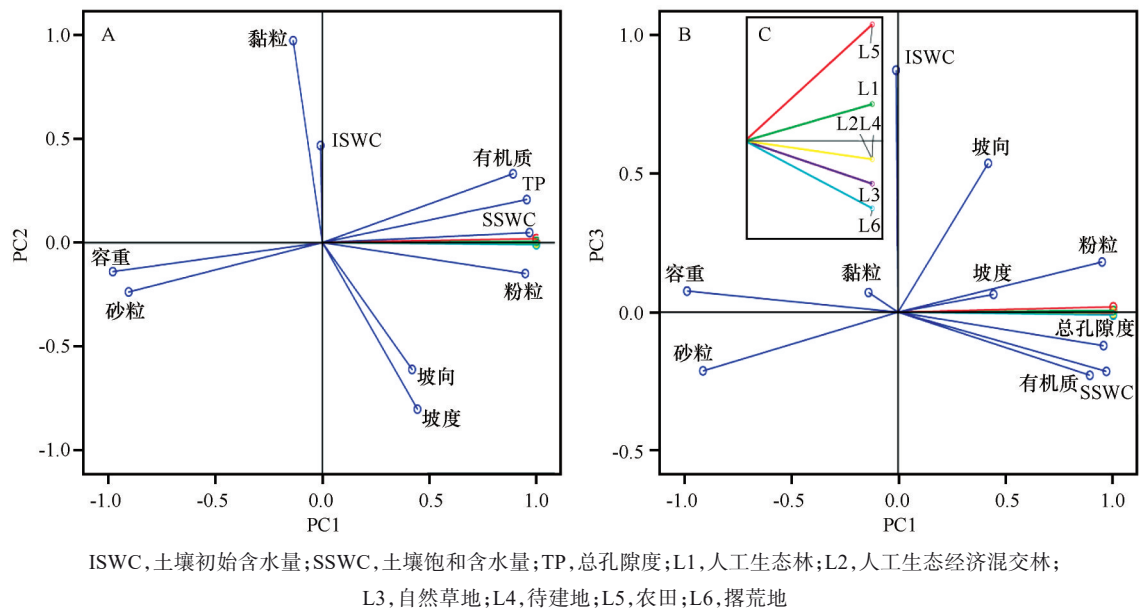
地和人工生态经济混交林,分别为 41.79% 和 18.57%)容重由于机械碾压和人为踩踏也较高,分别达到 1.56、1.33 g·cm<sup>-3</sup>,颗粒组成和土壤容重主要通过影响土壤毛管孔隙、非毛管孔隙和总孔隙度的大小和分布而对土壤入渗产生影响<sup>[43-44]</sup>。

3 结论

城镇化建设使土地利用发生了深刻变化,从而对土壤理化性质及入渗特征产生影响。本研究通过对比不同土地利用类型土壤理化性质及土壤入渗特征,利用相关分析和主成分分析建立土壤入渗与土壤理化性质之间的关系。

城市土地利用变化使土壤容重、砂粒含量增加,总孔隙度和饱和含水量降低,待建地砂粒含量/容重分别是农田、人工生态林、自然草地、人工生态经济混交林的 2.3/1.44、2.1/1.17、2.5/1.31、2.3/1.32 倍。

土壤入渗率均在 30 min 后达到稳定,农田土壤初始入渗率、稳定入渗率、平均入渗率和累积入渗量均最高,待建地和人工生态经济混交林均低于其他土地利用类型。



ISWC, 土壤初始含水量; SSWC, 土壤饱和含水量; TP, 总孔隙度; L1, 人工生态林; L2, 人工生态经济混交林; L3, 自然草地; L4, 待建地; L5, 农田; L6, 撂荒地

图 4 主成分分析散点图

Fig.4 Scatter diagram of principal component analysis

土壤入渗与有机质含量、总孔隙度、饱和含水量和粉粒含量正相关,与容重和砂粒、黏粒含量负相关。

参考文献:

[1] 刘目兴,聂艳,于婧.不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程

[J].生态学报,2012,32(3):871-878.

[2] 邵明安,王全九,黄明斌.土壤物理学[M].北京:高等教育出版社,2006.

[3] Michaelides K, Lister D, Wainwright J, et al. Vegetation controls on small-scale runoff and erosion dynamics in a degrading dryland environment [J]. Hydrological Processes, 2009, 23 (11):1617-1630.

- [4] Ma W M, Zhang X C. Effect of Pisha sandstone on water infiltration of different soils on the Chinese Loess Plateau[J]. *Journal of Arid Land*, 2016, 8(3): 331–340.
- [5] 肖庆礼, 黄明斌, 邵明安, 等. 黑河中游绿洲不同质地土壤水分的入渗与再分布[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(2): 124–131.
- [6] 彭舜磊, 梁亚红, 陈昌东, 等. 伏牛山东麓不同植被恢复类型土壤入渗性能及产流预测[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(4): 29–33.
- [7] 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.
- [8] 李雪转, 樊贵盛. 土壤有机质含量对土壤入渗能力及参数影响的试验研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(3): 188–190.
- [9] 刘贤赵, 康绍忠. 黄土高原沟壑区小流域土壤入渗分布规律的研究[J]. *吉林林学院学报*, 1997, 13(4): 203–208.
- [10] Zimmermann B, Elsenbeer H, De Moraes J M. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: implications for runoff generation[J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 222(1): 29–38.
- [11] 张志华, 桑玉强, 孔玉华, 等. 太行山低山丘陵区坡位对土壤渗透性能影响研究[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 37(9): 43–47.
- [12] 范欣瑞, 王仰仁, 孙小平. 农田土壤入渗不确定性组成分析[J]. *节水灌溉*, 2019(3): 18–26.
- [13] 林代杰, 郑子成, 张锡洲, 等. 不同土地利用方式下土壤入渗特征及其影响因素[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(1): 33–36.
- [14] 李建兴, 何丙辉, 梅雪梅, 等. 紫色土区坡耕地不同种植模式对土壤渗透性的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(3): 725–731.
- [15] 姜娜, 邵明安, 雷廷武, 等. 黄土高原六道沟小流域坡面土壤入渗特性的空间变异研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1): 14–17.
- [16] 黄元仿, 周志宇, 苑小勇, 等. 干旱荒漠区土壤有机质空间变异特征[J]. *生态学报*, 2004, 24(12): 2776–2781.
- [17] 陈娟, 陈林, 宋乃平, 等. 荒漠草原不同土壤类型水分入渗特征[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(4): 18–23.
- [18] Dadashpoor H, Azizi P, Moghadasi M. Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 655: 707–719.
- [19] Deng J S, Wang K, Hong Y, et al. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 92(3/4): 187–198.
- [20] Wang M E, Jack H F, Chen W P, et al. Effects of land use intensity on the natural attenuation capacity of urban soils in Beijing, China[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015, 117: 89–95.
- [21] Yang H, Xiong H G, Chen X G, et al. Identifying the influence of urbanization on soil organic matter content and pH from soil magnetic characteristics[J]. *Journal of Arid Land*, 2015, 7(6): 820–830.
- [22] Yang J L, Zhang G L. Formation, characteristics and eco-environmental implications of urban soils: a review[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2015, 61(Sup.1): 30–46.
- [23] Vodyanitskii Y N. Organic matter of urban soils: a review[J]. *Eurasian Soil Science*, 2015, 48(8): 802–811.
- [24] Greinert A. The heterogeneity of urban soils in the light of their properties[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2015, 15(8): 1725–1737.
- [25] Zhao W Z, Xiao H L, Liu Z M, et al. Soil degradation and restoration as affected by land use change in the semiarid Bashang area, northern China[J]. *Catena*, 2005, 59(2): 173–186.
- [26] Smith P, House J I, Bustamante M, et al. Global change pressures on soils from land use and management[J]. *Globe Change Biology*, 2016, 22(3): 1008–1028.
- [27] Wang P, Zheng H F, Ren Z B, et al. Effects of urbanization, soil property and vegetation configuration on soil infiltration of urban forest in changchun, Northeast China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2018, 28(3): 482–494.
- [28] 杨倩, 刘目兴, 王苗苗, 等. 武汉市典型绿地植被类型对表层土壤入渗和持水性能的影响[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(6): 1324–1333.
- [29] 牛利斌. 兰州新区建设用地变化的遥感监测研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2015.
- [30] 吴凯凌, 张明泉. 秦王川灌区15年来地下水变化特征分析[J]. *节水灌溉*, 2011, 12: 63–66.
- [31] 袁道阳, 杨斌, 周俊喜, 等. 兰州秦王川盆地形成和演化特征的初步研究[J]. *西北地震学报*, 2000, 22(3): 296–300.
- [32] 苏建德. 秦王川盆地地下水基本特征[J]. *地下水*, 2001, 24(2): 74–75.
- [33] 许明祥, 刘国彬, 卜崇峰, 等. 圆盘入渗仪法测定不同利用方式土壤渗透性试验研究[J]. *农业工程学报*, 2002, 18(4): 54–58.
- [34] 余冬立, 刘营营, 俞双恩, 等. 不同土地利用方式下土壤水力性质对比研究[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(9): 175–179, 186.
- [35] Lizaga I, Quijano L, Gaspar L, et al. Linking land use changes to variation in soil properties in a Mediterranean mountain agroecosystem[J]. *Catena*, 2019, 172: 516–527.
- [36] 丁晓妹. 甘肃省秦王川灌区土壤盐分特征变化分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- [37] 崔钦彬. 城市土壤质地多尺度空间变异特征及其水分性质影响研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2018.
- [38] 熊好琴, 段金跃, 王妍, 等. 毛乌素沙地生物结皮对水分入渗和再分配的影响[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(4): 82–87.
- [39] 魏恒, 赵成义, 孙栋元. 塔里木河上游绿洲典型地表特征土壤水分入渗性能研究[J]. *冰川冻土*, 2010, 32(4): 837–843.
- [40] 侯秀丽, 付登高, 阎凯, 等. 滇中不同植被恢复策略下土壤入渗性能及其影响因素[J]. *山地学报*, 2013, 31(3): 273–279.
- [41] Kohnke. *Soil Physics*[M]. New York, USA: McGraw-Hill, 1968.
- [42] Ran Q H, Hong Y Y, Chen X X, et al. Impact of soil properties on water and sediment transport: A case study at a small catchment in the Loess Plateau[J]. *Journal of Hydrology*, 2019, 574: 211–225.

- [43] 丁海晶,姜姜,张金池.土壤渗透性的区域变化规律及因子分析[J].水土保持学报,2019,33(1):51-56.
- [44] 黄德良,费良军,曾健,等.基于灰色关联法土壤水分垂直入渗影响因素研究[J].中国农学通报,2018,34(32):95-101.

## Impacts of rapid land use change on soil infiltration in an arid desert area

Zhang Runxia<sup>1,2,3</sup>, Zhao Xueyong<sup>1</sup>, Li Jing<sup>2</sup>, Lv Wenqiang<sup>2</sup>, Chai Yuanyuan<sup>1,2,3</sup>, Yue Hongqing<sup>2</sup>

(1. *Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*; 2. *Gansu Institute of Soil and Water Conservation Science, Lanzhou 730000, China*; 3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** Studying on soil infiltration and its influence factors in different land use types are beneficial to urban runoff regulation and land management. This research selected six land use types (e. g. natural forest, artificial forest, natural grassland, land to be constructed, cropland, abandoned land) and observed the process of soil infiltration using disc permeameter. Correlation analysis and principal component analysis were used to establish the relationship between soil infiltration and soil properties. The results showed that land use change could increase soil bulk density and sand content, while decrease total porosity and soil saturated water content during urbanization. The parameters of soil infiltration of land to be constructed and artificial forest were significant lower than those of the other land use types. Soil infiltration was positively correlated with soil organic matter, total porosity, soil saturated water content and silt content, while negatively correlated with soil bulk density, sand and clay content. The shift of the other land use types to constructed land and building area had altered soil physico-chemical properties and affected soil infiltration.

**Key words:** rapid urbanization; Lanzhou New District; soil infiltration; arid desert area