

自然条件下土壤沉降量与土壤容重、地表糙度间的变化关系

柴晶¹, 王全九^{1,2}, 刘艳丽¹, 张鹏宇¹, 赵光旭¹

(1. 西安理工大学水利水电学院, 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 西安 710048;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了研究自然条件下土壤沉降量与土壤容重、地表糙度间的变化关系。通过钢尺法、环刀法、链条法测定了自然条件下不同质地的土壤在平翻耕和垄作条件下的土壤沉降量、土壤容重、地表糙度, 分析了土壤沉降量、土壤容重、地表糙度的变化规律以及土壤沉降量与土壤容重、地表糙度间的变化关系。结果表明: (1) 在一定的降雨动能的条件下, 土壤的沉降量随降雨动能的累计总体呈减小的趋势, 且垄作措施下土壤的沉降量均不小于平翻耕措施下的土壤沉降量; (2) 翻耕后的土壤的容重随时间变化呈先增大后趋于原状土容重的变化趋势; (3) 垄作条件下的地表糙度总体呈减小趋势, 且壤土的地表糙度始终大于砂土的地表糙度; (4) 土壤的沉降量与容重的变化量间存在较好的指数相关关系, 且相关系数均高于 0.9; 土壤的沉降量与地表糙度的变化量符合幂函数相关关系, 其中砂土的地表糙度变化量与沉降量的相关性较壤土高, 相关系数分别为 0.993 和 0.936。这些研究结果对于预测自然条件下翻耕土壤的紧实程度, 地表平整度有一定的参考价值。

关键词: 降雨; 沉降量; 容重; 地表糙度

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)05-0261-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbxb.2016.05.043

The Relationship between Soil Settlement and Soil Bulk Density and Surface Roughness under Natural Conditions

CHAI Jing¹, WANG Quanjiu^{1,2}, LIU Yanli¹, ZHANG Pengyu¹, ZHAO Guangxu¹

(1. State Key Laboratory Base of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology,

Xi'an 710048; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of

Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: In order to study the relationships between soil settlement and soil bulk density and surface roughness under natural conditions. This paper used ruler, ring sampler and a chain to determine soil settlement, soil bulk density, surface roughness degree of different soil textures in turned over tillage and ridge culture under natural conditions and analyzed soil bulk density, the changes of surface roughness degree and the relationship between soil settlement quantity and soil bulk density, surface roughness degree under different soil textures with tillage measures were not homogeneous soil subsidence, and constructed the soil bulk density and surface roughness prediction formula. The results showed that: (1) With rainfall energy accumulated, the soil settlement decreased under certain rainfall energy conditions. And the soil settlement under ridge tillage were not less than the soil settlement under flatten culture. (2) Soil bulk density increased after reaching to natural soil bulk density with different levels. (3) Surface roughness under the condition of ridge tillage decreased. And the surface roughness of loam soil was not always less than the surface roughness of sandy soil. (4) A good exponential relationship between soil settlement and variation of soil bulk density, the correlation coefficient more than 0.9. Soil settlement and the variation of surface roughness fitted power function relationship, where the correlation of sand than loam was higher, the correlation coefficients were 0.993, 0.936 respectively. These research results offered a reference for prediction soil compaction degree, surface smooth degree under natural conditions and tillage.

Keywords: rainfall; settlement; soil bulk density; surface roughness

收稿日期: 2016-04-01

资助项目: 国家自然科学基金重点项目(51239009); 陕西省水利专项支撑计划(2012slkj-04, 2013slkj-04)

第一作者: 柴晶(1991—), 女, 硕士研究生, 主要从事农业水土资源与生态环境研究。E-mail: 284022011@qq.com

通信作者: 王全九(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事为土壤物理与溶质运移研究。E-mail: wquanjiu@163.com

土壤沉降一般指土壤由于自身重量或外界的力量被压实而导致的土壤表面下沉的一种现象。土壤沉降直接引起土壤容重变化,而容重是土壤最重要的土壤物理性质之一,能够综合反映土壤颗粒之间紧实程度和土壤孔隙状况,直接影响土壤储存水“库容”的大小^[1-2]。土壤容重的变化与土壤孔隙度密切相关,可较好地反映土壤透气性、入渗性能、持水能力和溶质迁移能力等^[1,3-5]。地表糙度是在一定尺度的地表上,用以描述地表微地形的随机性或不规则性,反映地表微地貌形态的阻力特征值^[6]。耕作方式、土壤类型、作物种类、降雨等均会对土壤沉降、容重变化、地表糙度产生不同程度的影响^[6-9]。徐友信等^[10]的研究表明,不同土地利用类型土壤容重值大小各不相同具体表现为:坡谷石榴地<中坡石榴地<坡谷台田<中坡草地。Hernanz 等^[11]利用渗透电阻与不同深度的含水量之间的关系,建立了预测土壤容重的经验公式。梁心蓝等^[6]对地表糙度的变化规律进行了对比研究,结果表明耕作措施是造成地表糙度明显差异的主要因素,不同耕作措施下地表糙度大小为:等高耕作>人工掏挖>人工锄耕>直型坡。高树静等^[12]探讨在降雨条件下地表糙度的时空变异分布规律,结果表明:降雨对等高耕作、人工锄耕、人工掏挖耕作措施的高程分布有一定的影响,并且高程变化量的最大值均出现在坡面的下部;在降雨侵蚀的产流前后,坡面糙度的空间变化最大,而产流后糙度的空间变化趋于平稳。

现有的研究表明,土壤容重、地表糙度均受到耕作方式、土壤类型的影响,但在自然条件下土壤容重、地表糙度以及土壤沉降随时间变化特征仍需深入研究。本文利用试验资料,分析自然降雨条件下土壤沉降、地表糙度、以及土壤容重的变化特征,为预测分析土壤沉降、地表糙度、以及土壤容重间变化过程提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

沉降试验在中科院水保所侵蚀与环境神木试验站进行。神木试验站位于陕西省神木六道沟小流域,海拔约为 1 094~1 274 m,属于半干旱气候,年平均气温为 8 ℃,年平均降水量为 437 mm。该地区年际和年内气候变化剧烈,暴雨、干旱等自然灾害频繁。该试验区作物主要水源来自降雨,但降雨时空分布极不均匀,主要集中在 7—9 月份,土壤质地主要有砂土、壤土。

1.2 试验设计

试验小区共设置砂土、壤土 2 种质地的土壤,其中壤土的粘粒含量为 4.57%,粉粒含量为 44.53%,砂粒含量为 50.90%,砂土的粘粒含量为 2.41%,粉粒含量为 27.42%,砂粒含量为 70.17%。试验共进

行 2 次,分别于 2014 年 7 月 20 日—2014 年 8 月 28 日、2015 年 7 月 7 日—2015 年 9 月 4 日期间完成。试验采用微小区方法,结合野外实地调查,分别在不同质地的土壤上布设平翻耕、平地垄作 2 种耕作措施,共 4 个小区,且均为裸地。平翻耕措施下翻地深度为 30 cm,小区面积为 2 m×4 m,边埂宽为 40 cm、高为 20 cm。垄作措施下垄背翻耕 30 cm,垄沟翻耕 1 cm,小区面积为 1 m×4 m,边埂宽为 40 cm、高为 20 cm。平翻耕小区中等距埋入 2 列 5 行钢尺。垄作小区设置两个垄背,一个垄沟,垄高 29 cm,垄宽 45 cm,垄间距 45 cm,等距埋入 5 行钢尺。耕作后的小区均进行耙、耢最后用水平尺整平。试验小区周围均打入铁管布设铁网,防止动物踩踏破坏小区。

1.3 测定指标及方法

土壤的机械组成采用 mastersizer2000 激光粒度仪进行分析。土壤沉降量通过裸露在地表的钢尺读数计算得到,钢尺读数用游标卡尺辅助读取。用环刀法测定各小区 0—30 cm 土壤剖面容重,每 5 cm 一层采样,求算平均容重,作为试验小区的容重。耕作前测定原状壤土的容重为 1.450 g/cm³,原状砂土的容重为 1.600 g/cm³。耕作后测定平翻耕措施下砂土小区的容重为 1.490 g/cm³,壤土小区的容重 1.174 g/cm³,垄作措施下垄背容重壤土小区为 1.168 g/cm³,砂土小区为 1.483 g/cm³。地表糙度测定与计算采用链条法^[13]。将长为 1 m、滚轴为 1 cm 的滚轴式链条沿垂直土垄的方向至于地面上,结合相关研究成果^[14],顺垄背方向每隔 20 cm 测定一次,求算平均糙度,作为实验小区的地表糙度。土壤沉降量、容重、地表糙度分别于降雨过后地面风干至不影响测量时分别测定。降雨资料由距试验田 100 m 的气象站提供。

(1) 土壤沉降量采用下式计算:

$$\Delta H = H_i - H_{i+1}$$

式中: ΔH 为土壤的沉降量(cm); H_i 为第 i 次测量时钢尺的读数(cm); H_{i+1} 为第 $i+1$ 次测量时钢尺的读数(cm)。

(2) 时段降雨动能计算公式:

试验区位于黄土高原,该地区降雨主要集中在 7—9 月,且降雨特点受当地条件影响很大。从研究降雨特性的研究出发雨型主要分为 2 种:(1)由于局部地形和气候的影响产生的来势猛、历时短(1 h 左右)的小面积降雨成为短阵性雨型。(2)由于受季候风(锋面)影响下形成的普通降雨雨型。其具体的计算公式如下^[15]: $I = P/t$ 。

短阵型雨型: $E = 32.98 + 12.13 \lg I, R^2 = 0.961$

普通型雨型: $E = 28.89 + 11.86 \lg I, R^2 = 0.950$

式中: E 为单位时段降雨单位面积上单位降雨产生的动能(J/(m²·mm)); I 为单位时段的降雨强度(mm/min); t 为降雨历时(min); P 为 t 时段内的降雨量(mm)。

(3) 地表糙度:目前地表糙度的野外测量和计算

有很多的方法。现在常用的有扫描法、杆尺法、测针法^[9]、激光测量法^[16]、链条法^[13]等。本文采用了链条法进行测量和计算。

$$C_r = (1 - L_2/L_1) \cdot 100$$

式中: C_r 为地面糙度指数(%); L_1, L_2 分别为链条实际长度和放置地面后的水平长度(m)。

2 结果与分析

2.1 自然条件下沉降量变化特征

降雨动能是土壤在一定的时间内产生沉降的主要因素。在降雨条件下随着雨滴的打击作用,土体的渗透性、结持性以及土粒的分散性等性质均发生了相应的变化,进而使得土壤孔隙、土壤颗粒发生变化使得土壤产生一定量的沉降。

图 1 显示了 2014 年 7 月 20 日—2014 年 8 月 28 日间 40 d 内平翻耕、等高耕作下的砂土和壤土在自然条件下的沉降量变化规律。由图 1 可以看出,降雨动能对不同质地、不同翻耕措施下的土壤沉降量有较大的影响。在自然条件下垄背、平翻耕措施下土壤沉降量随着降雨动能的累计先减小后增大,这可能是因为随着降雨动能累计土壤逐渐被压实,沉降量逐渐趋于零,而在试验进行的第 39 天降雨动能过大使得土壤发生侵蚀,雨水带走表层的土壤颗粒导致地面标高降低。由此可见,降雨动能的大小直接影响着土壤沉降量的多少。由图 1a、图 1b 分析可知,在相同的自然条件、相同土质的情况下,垄背的土壤沉降量均高于平翻耕情况下的土壤沉降量,且垄沟的沉降量增加不明显,均不大于平翻耕、垄背的土壤沉降量,并在一定的自然条件下出现负增长。这可能是因为垄沟翻耕深度较小再加上降雨的击打、冲刷作用,使得凸地表表层的垄背上的土壤颗粒向垄沟处迁移最后堆积在垄沟中。

由图 1c、图 1d、图 1e 分析可知,在相同的自然条件下不论何种耕作方式砂土、壤土沉降量的变化趋势相一致,但因砂土、壤土的土壤颗粒组成、土壤孔隙组成不同,砂土的沉降量均不小于壤土的沉降量。

2.2 土壤容重变化特征

容重是土壤的一个基本物理性质,可直接反映土壤的压实程度。由表 2 可知,耕作措施、质地均不相同的土壤在同一自然条件下土壤容重总体呈先增加后趋于稳定的变化趋势,且最后均不同程度的趋近于原状土的容重,具体表现为砂土容重较壤土容重更接近于原状土的容重,平翻耕土壤的容重较垄作条件下更接近于原状土的容重。此外,不同翻耕措施下不同质地的土壤的容重变化尺度随时间变化呈现一致的变化规律,即土壤容重的在 7 月 7 日—7 月 17 日变化幅度均最大,为 64.8%~77.06%,7 月 17 日—7 月 26 日次之,为 13.4%~19.57%,其他时间段变化幅度较小且均未超过 10%。

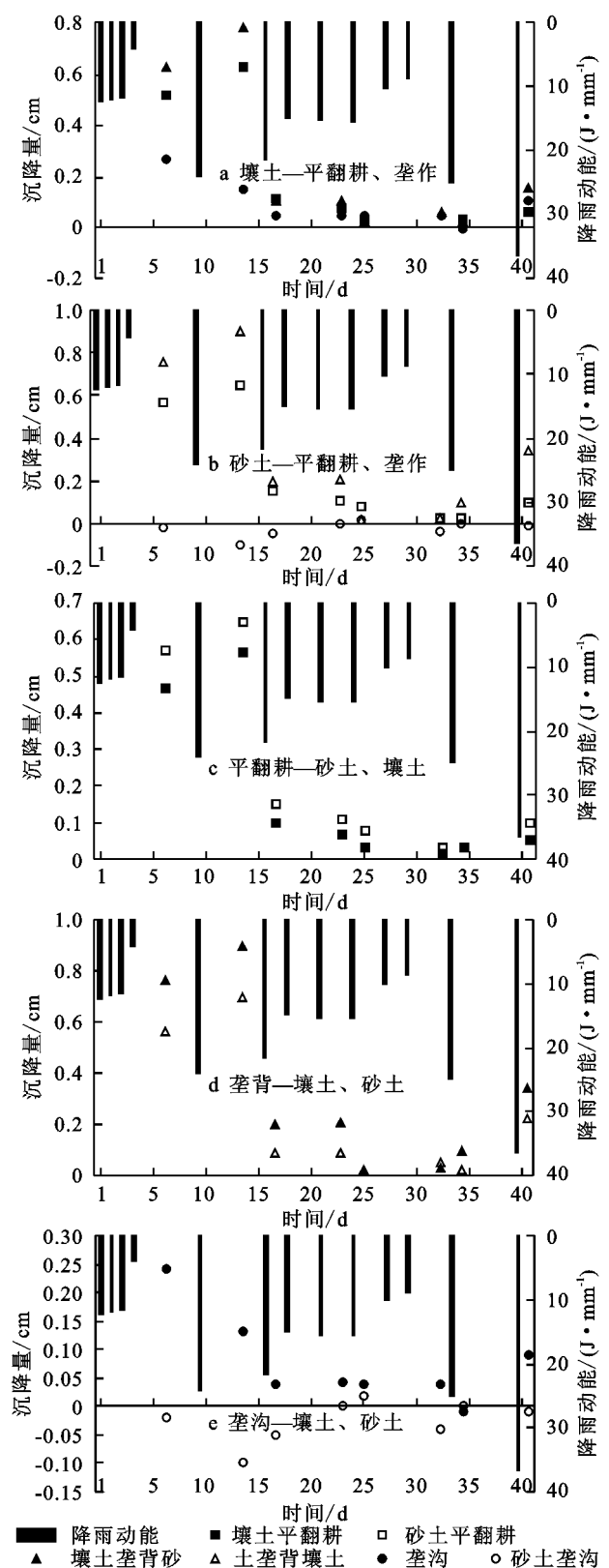


图 1 土壤沉降量与降雨动能的变化关系

2.3 自然条件下地表糙度的变化规律

雨滴击打土壤表面,使得土壤遭到破坏,内部的团聚体崩解,极细的颗粒随雨滴发生跃位迁移,使得地表糙度发生变化。图 2 显示了 2014 年 7 月 20 日—2014 年 8 月 27 日期间降雨后不同质地的土壤在垄作条件下地表糙度的变化过程。由图 2 可以看

出,在相同的自然条件下壤土的地表糙度始终大于砂土的地表糙度。这可能是因为壤土的物理性黏粒含量较砂土高,土壤的吸湿力、粘结力较强,土粒不易分散,且壤土具有明显的可塑性和胀缩性,故其地表糙度较砂土大。由图 2 还可以看出,不同质地土壤的地表糙度呈现一致的变化规律,即总体呈逐渐减小的变化趋势。这可能是因为降雨作用下,地表极细颗粒嵌入原地,堵塞孔隙,水分下渗减少,土壤容重变大,使得土壤表面的抗剪强度增加,进而形成结皮,再加上垄作措施下地表起伏较大,垄背土壤颗粒极易向垄

沟发生跃移,进而减小地表的凹凸程度。

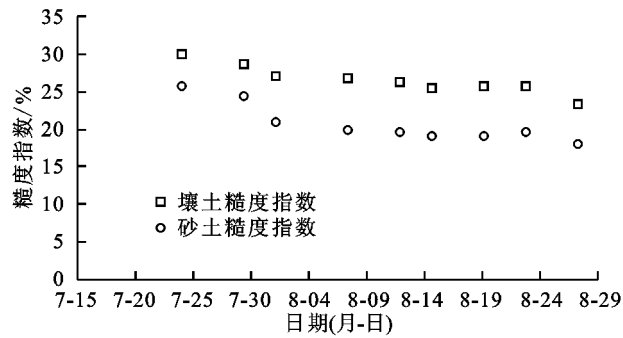


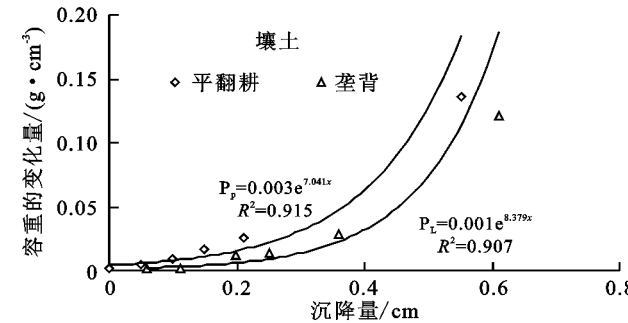
图 2 不同质地土壤地表糙度变化特征

日期 (月-日)	壤土平地		壤土垄背		砂土平地		砂土垄背	
	容重/ (g·cm ⁻³)	变幅/%	容重/ (g·cm ⁻³)	变幅/%	容重/ (g·cm ⁻³)	变幅/%	容重/ (g·cm ⁻³)	变幅/%
7-7	1.174		1.168		1.490		1.483	
7-17	1.295	65.76	1.284	64.80	1.574	77.06	1.554	70.43
7-26	1.331	19.57	1.315	17.32	1.589	13.76	1.569	13.04
8-10	1.347	8.70	1.331	8.94	1.594	4.59	1.580	9.57
8-14	1.355	4.35	1.344	7.26	1.596	1.83	1.585	4.35
8-29	1.356	0.54	1.346	1.12	1.597	0.92	1.587	1.74
9-4	1.358	1.09	1.347	0.56	1.599	1.83	1.588	0.87

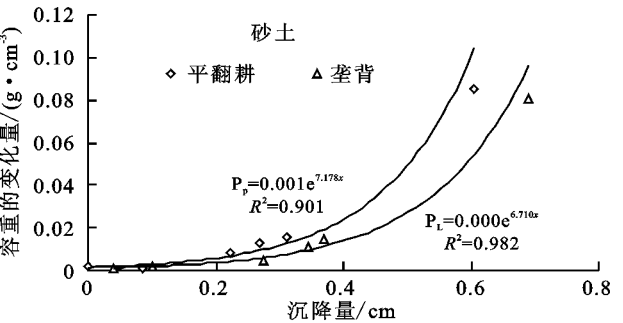
2.4 自然条件下土壤容重、地表糙度与沉降量间的关系

通过研究不同质地、不同的耕作措施下土壤容重和地表糙度变化量与沉降量的关系,得出翻耕后土壤容重、地表糙度随沉降量变化的函数模型。

2.4.1 沉降量与容重间的关系 从图 3 可知,不同质



地、不同翻耕措施下的土壤沉降量越大,容重的增加幅度也越大,二者呈正相关关系,且二者最佳拟合模型均为指数模型,相关系数均高于 0.9,其中平翻耕壤土为 0.915,垄作壤土为 0.907,平翻耕砂土为 0.901,垄作砂土为 0.982。总体来说,垄作措施下砂土的容重变化量与沉降量的拟合效果最好,壤土平翻耕次之。



注:垄作条件容重的变化量仅分析垄背。

图 3 土壤沉降量与土壤容重变化量的关系

2.4.2 沉降量与地表糙度间关系 从图 4 可知,在垄作措施下不同质地的土壤沉降量越大,地表糙度的减小幅度也越大,二者呈正相关关系,且幂函数模型

能够较好地描述不同质地土壤在垄作措施下沉降量与地表糙度间的变化关系,其中砂土的拟合效果较壤土的好,相关系数分别为 0.993 和 0.936。

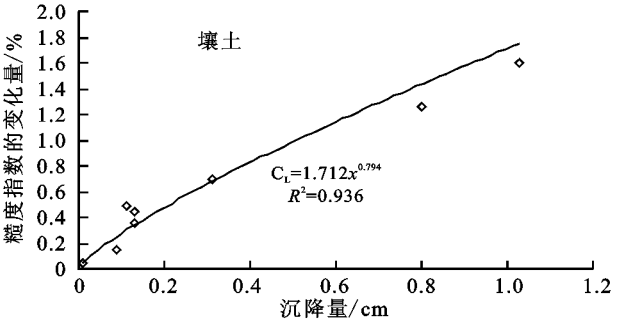
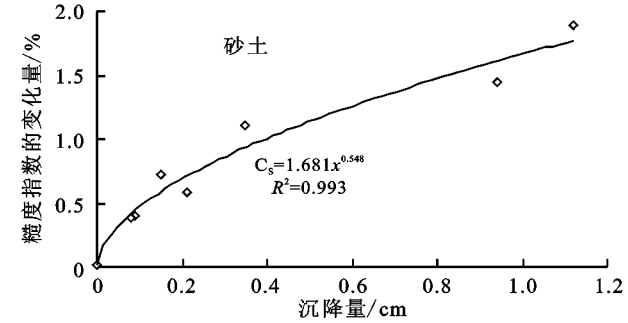


图 4 土壤沉降量与地表糙度变化量的关系

3 结 论

(1)降雨动能对土壤沉降量有很大的影响,且在一定的降雨动能条件下不同质地、不同耕作措施下土壤沉降量总体随降雨动能的累计逐渐减少。不论在何种耕作条件下砂土的沉降量均不小于壤土;在土壤质地相同时垄作措施下垄背的沉降量不小于平翻耕条件下的沉降量。

(2)在同一自然条件下,翻耕后的土壤的容重随时间变化总体呈先增加后趋于稳定的变化趋势,且最后均不同程度的趋近于原状土的容重。总体而言,平翻耕措施下土壤的容重较垄作措施下垄背的土壤容重更接近于原状土的容重。此外,不同翻耕措施、不同质地土壤的容重变化尺度较一致,变幅从最初的 64.8%~77.06%减少到 13.04%~19.57%,最后减少到 10%以下。

(3)相同自然条件下不同质地的土壤地表糙度呈现一致的变化规律,即总体呈逐渐减小的变化趋势,但壤土的地表糙度始终大于砂土的地表糙度。

(4)不同质地、不同翻耕措施下土壤沉降量与容重的变化量间存在较好的指数相关关系,其中砂土垄作情况下拟合效果最好,相关系数为 0.982。地表糙度的变化量与沉降量幂函数相关且具有较高的相关系数,其中砂土为 0.993,壤土为 0.936。

参考文献:

- [1] 郑纪勇,邵明安,张兴昌.黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[J].水土保持学报,2004,18(3):53-56.
- [2] Mouazen-Abdul M, Ramon H. Development of on-line measurement system of bulk density based on on-line measured draught, depth and soil moisture content[J]. Soil & Tillage Research, 2006,86(2):218-229.
- [3] 李志洪,王淑华.土壤容重对土壤物理性状和小麦生长的影响[J].土壤通报,2000,31(2):55-57.
- [4] Suuster E, Ritz C, Roostalu H, et al. Soil bulk density

pedotransfer functions of the humus horizon in arable soils[J]. Geoderma, 2011,163(S1/S2):74-82.

- [5] Quraishi Mohammed Z, Mouazen Abdul M. Calibration of an on-line sensor for measurement of topsoil bulk density in all soil textures [J]. Soil & Tillage Research, 2013(126):219-228.
- [6] 梁心蓝,赵龙山,吴佳,等.模拟条件下不同耕作措施和雨强对地表糙度的影响[J].中国农业科学,2014,47(24):4840-4849.
- [7] 秦凤,郑子成,李廷轩,等.玉米季坡耕地地表糙度的变化特征及其对土壤侵蚀的影响[J].水土保持学报,2013,27(3):18-22.
- [8] 贾莲莲,李占斌,李鹏,等.降雨过程对地表糙度的影响[J].水土保持学报,2009,23(5):30-33.
- [9] 郑子成,吴发启,何淑勤.降雨条件下土壤物理性质对地表糙度变化的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(11):184-188.
- [10] 徐友信,刘金铜,李宗珍,等.太行山低山丘陵区不同土地利用条件下土壤容重空间变化特征[J].中国农学通报,2009,25(3):218-221.
- [11] Hernanz J L, Peixoto H, Cerisola C, et al. An empirical model to predict soil bulk density profiles in field conditions using penetration resistance, moisture content and soil depth [J]. Journal of Terramechanics, 2000,37(4):167-184.
- [12] 高树静,赵龙山,梁心蓝,等.人工降雨条件下坡耕地地表糙度的时空变异分布研究[J].水土保持研究,2010,17(3):12-16.
- [13] 朱良君,张光辉.地表微地形测量及定量化方法研究综述[J].中国水土保持科学,2013,11(5):114-122.
- [14] 郑子成,吴发启,何淑勤,等.地表糙度对径流和产沙影响的室内试验研究[J].农业工程学报,2007,23(10):19-24.
- [15] 江忠善,宋文经,李秀英.黄土地区天然降雨雨滴特性研究[J].中国水土保持,1983(3):32-36.
- [16] 张利超,杨伟,李朝霞,等.激光微地貌扫描仪测定侵蚀过程中地表糙度[J].农业工程学报,2015,30(22):155-162.
- [17] Hawari A H, Mulligan C N. Biosorption of lead(II), cadmium(II), copper(II) and nickel(II) by anaerobic granular biomass[J]. Bioresource Technology, 2006,97(4):692-700.
- [18] 李祥平,张飞,齐剑英,等.土壤有机质对铈在土壤中吸附-解吸行为的影响[J].环境工程学报,2012,6(11):4245-4250.
- [19] 张凤杰.铜在土壤上的吸附行为及共存污染物对其吸附的影响[D].大连:大连理工大学,2013.
- [20] 王艳.黄土对典型重金属离子吸附解吸特性及机理研究[D].杭州:浙江大学,2012.

(上接第 260 页)

- [14] 王金贵,吕家珑,曹莹菲.镉和铅在 2 种典型土壤中的吸附及其与温度的关系[J].水土保持学报,2011,25(6):254-259.
- [15] 朱丹尼,邹胜章,周长松,等.岩溶区典型土壤对 Cd^{2+} 的吸附特性[J].中国岩溶,2015,34(4):402-409.
- [16] Song X, Wang S, Chen L, et al. Effect of pH, ionic strength and temperature on the sorption of radionickel on Na-montmorillonite[J]. Applied Radiation and Isotopes Including Data Instrumentation and Methods for Use in Agriculture Industry & Medicine, 2009,67(6):1007-1012.