

河西走廊荒漠区土壤物理性质沿降水梯度的变化

王蕙^{1,2}, 赵文智², 武利玉¹

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所

中国生态系统研究网络临泽内陆河流域研究站 中国科学院 内陆河流域生态水文重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 土壤质量、土壤蓄水保肥能力和土壤养分吸收利用与土壤物理性质有密切联系。在甘肃省河西走廊民乐县至高台县自东向西的天然降水梯度上, 选择荒漠区的7个研究点对土壤表层(0—20 cm)和亚表层(20—40 cm)分别采集42个土壤样品, 在野外采用张力入渗仪测定饱和导水率, 室内采用常规方法对土壤容重、孔隙度、颗粒组成等项目进行了测定。结果表明, 在360~100 mm的降水梯度上, 荒漠土壤粉粒和黏粒含量降低, 砂粒含量增加; 伴随着土壤的粗粒化, 引起土体的风散和结构的破坏, 使土壤容重增加、孔隙度降低、持水性能下降等一系列物理性质的恶化。土壤表层、亚表层饱和导水率 K_{sat} 和变异系数 C_v 分别为70.0%和86.3%, 均是土壤表层和亚表层各物理性质中变异系数最高的。

关键词: 荒漠土壤; 容重; 孔隙度; 砂粒; 饱和导水率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0046-06

中图分类号: S152, P426

Change of Soil Physical Properties with Precipitation Gradient in Desert Region of Hexi Corridor

WANG Hui^{1,2}, ZHAO Wen-zhi², WU Li-yu¹

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Linze Inland River Basin Research Station, Laboratory of Basin Hydrology and Ecology, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Soil quality, soil moisture and fertilizer preservation ability, and soil nutrient uptake ability are closely related to soil physical properties. In this study, 42 soil samples were collected respectively in the 0—20 and 20—40 cm soil layers from seven desert sampling plots along descending precipitation gradient in Hexi Corridor region (from Minle County to Gaotai County). Saturated soil hydraulic conductivity was measured with the tension infiltrometer in field, and bulk density, porosity, and soil particle composition were determined by general methods in lab. Results show that physical properties of the desert soils are gradually degraded. With precipitation decreasing from 360 to 100 mm, silt and clay contents are reduced and sand content is increased. Increase in soil particle size may definitely result in soil dispersion and structure destruction, further increase soil bulk density, and reduce soil porosity and water holding capacity. The variance coefficients of saturated soil hydraulic conductivity in the surface and subsurface layers are 70.0% and 86.3%, respectively, both of which are the highest among the C_v values of all the physical properties.

Keywords: desert soil; bulk density; porosity; sand; saturated soil hydraulic conductivity

土壤物理性质是衡量土壤质量的一个重要方面^[1-3], 由于它对土壤蓄水保肥能力和土壤养分吸收利用有重要影响, 许多学者在不同时间、空间尺度条件下对其异质性进行了大量的研究^[4-9], 指出荒漠植被空间分布及群落演替、生物量积累等与土壤物理性质空间异质性密切相关, 同时土壤物理性质空间异质性也是土地利用规划、生态环境研究的重要指

标^[10-16]。在干旱、半干旱区, 由于干旱少雨的特殊环境, 土壤水分成为影响植物种群生长和分布的重要因子, 而降水量的多寡与分布直接影响着土壤水分的变化^[17]。因此, 降水是干旱区生态系统生产力形成的重要驱动因子^[18], 也是影响干旱区土壤物理性质变化的重要气候因素, 以及各种生命活动能否正常进行的限制因子。近年来, 陆面过程及其与气候的相互作

用引起了科学家们的普遍关注,并逐步成为一个重要的学科研究方向。例如,王胜等^[19]在降水对荒漠土壤水热性质强迫研究中分析了不同大小的降水对土壤湿度、反照率以及地表温度的影响。

荒漠土壤是西北干旱区山前地带的主导性土壤类型^[20],充分的灌溉水源和人工培肥育土是资源性能低劣的荒漠土壤向稳定高效的绿洲灌耕土转变的必由途径^[21]。随着水资源的短缺、全球气候变暖以及土地资源的过度开垦利用,新垦荒地的环境效应已成为人们关注的热点。并且在开发利用中干旱区不同类型土壤的资源特性出现不同变化,这些差异性决定了不同地带所分布的不同类型土壤有其特有的资源特征和利用方式^[22],因此深入研究干旱荒漠区荒漠土壤物理性质的变化,对于在水分条件不同的地区进行科学的植被恢复具有重要指导意义。

目前,国内外不少学者研究利用生物措施对荒漠土壤的改土培肥^[23-24],也有一些学者从不同角度对荒漠区土壤水分变化特征进行分析研究^[25-27]。在对抗荒漠化的长期实践活动中,植物措施一直是被最为广泛使用的措施,这其中土壤水分及土壤物理状况对植物措施功能能否正常发挥起着至为关键的作用。鉴于此,本研究利用河西走廊民乐县至高台县自东向西的天然降水梯度,结合多年降水观测数据,通过对河西走廊荒漠区地带性土壤物理性质沿降水梯度变化的分析,旨在探讨引起荒漠土壤空间变异性的内在原因以及进一步认识生态系统对环境变化的适应机理提供依据;以期为研究利用生态工程措施促进区域植被恢复及保证绿洲系统安全稳定发展提供理论指导。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省河西走廊中部张掖市,包括甘州区、民乐县、山丹县、临泽县和高台县,地理位置为 $37^{\circ}28' - 39^{\circ}57'N$, $97^{\circ}20' - 102^{\circ}12'E$ 。该区属温带大陆性荒漠气候,年平均气温 $7.6^{\circ}C$,最高达 $39.1^{\circ}C$,最低为 $-27.3^{\circ}C$ 。年平均降水量 116.8 mm ,主要集中在5—9月,占全年降水量的 $70\% \sim 80\%$,年蒸发

量 $1\ 340.7 \sim 2\ 388.0\text{ mm}$,日照时间长达 $3\ 000 \sim 4\ 000\text{ h}$ 。以西北风为主,年平均风速为 3.2 m/s ,最大风速 21 m/s ,大于8级大风日数年平均为 15 d 。地带性土壤为灰棕漠土,还有灌淤土(绿洲灌溉耕作土)、盐土、潮土(草甸土)、潜育土(沼泽土)和风沙土等非地带性土壤。荒漠植被以旱生小灌木、半灌木为主,主要以藜科、蓼科、柽柳科、蒺藜科、麻黄科、菊科、豆科及禾本科植物为主。例如,红砂(*Reaumuria soongarica* Maxim.)、珍珠猎毛菜(*Salsola passerina* Bge.)和泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa* Maxim.)等,群落盖度一般不超过 30% 。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 通过查阅相关土壤和降水资料,确定河西走廊民乐县至高台县自东向西天然降水梯度上的7个荒漠研究区(表1),降水资料为近40a的平均降水量。

表1 研究样地多年平均降水量和地理坐标

样地序号	降水量/mm	地理坐标	所属县(区)
1	356	$38^{\circ}43'17.5''N$, $101^{\circ}23'28.4''E$	民乐县
2	197	$38^{\circ}45'23.2''N$, $101^{\circ}11'27.7''E$	山丹县
3	173	$38^{\circ}23'45.8''N$, $101^{\circ}06'40.2''E$	永昌县
4	163	$38^{\circ}50'11.4''N$, $100^{\circ}51'26.4''E$	山丹县
5	129	$38^{\circ}56'14''N$, $100^{\circ}17'42.6''E$	甘州区
6	117	$39^{\circ}24'04''N$, $100^{\circ}07'04''E$	临泽县
7	104	$39^{\circ}05'56''N$, $100^{\circ}04'09''E$	高台县

1.2.2 土样采集和植被调查 2006年6—8月,在每个研究区荒漠土壤天然植被发育较好,且地形地貌一致的地方选择3个采样地进行土壤采样,在每个采样地内,随机选择3个 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 的样方,按 $0-20\text{ cm}$ 和 $20-40\text{ cm}$ 深度分层取样后带回实验室内分析,另外用 100 cm^3 环刀按同样层次取原状土样用于土壤容重和孔隙度的测定,每个测点取3~6个重复。调查每个小样方内植物的种类、株数、冠幅、高度,由此计算出样方内的植被密度和盖度值。其中以样方内所有植物的冠幅所占整个样方的比例作为盖度值(表2)。

表2 研究样地的植被特征

样地序号	所属县(区)	盖度/%	密度/(株 $\cdot\text{m}^{-2}$)	平均高度/cm	生物量/($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	植物种类数	优势种
1	民乐县	45	4.3	15	113.2	2	
2	山丹县	32	3.1	12	111.7	4	
3	永昌县	8	2.2	14	34.9	3	
4	山丹县	14	4.2	14	53.4	4	珍珠猎毛菜
5	甘州区	3	2.0	12	35.6	3	
6	临泽县	3.5	0.8	10	8.0	4	
7	高台县	2.5	0.6	12	3.8	4	

1.2.3 分析项目和测定方法 土壤物理性质的测定均采用常规分析方法^[28-29]。容重用环刀法,孔隙度和持水性用环刀取原状土后在室内测定和计算;土壤颗粒组成采用湿筛和吸管法;土壤饱和导水率用张力入渗仪在野外采样地中直接测定。

1.2.4 数据分析方法 应用 Excel, SPSS 13.0 软件对数据进行分析处理,采用单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan's 法对不同样区相同取样层次的土壤特征值进行比较分析,用相关分析描述土壤物理性质之间的相关性。

土壤的比表面积(soil specific area, 简称为 SSA)依据 Foster^[30] 经验公式进行计算:

$$SSA = 0.05(Sa\%) + 4.0(Si\%) + 20(Cl\%)$$

式中: SSA——土壤比表面积(cm^2/g); Sa, Si, Cl——分别为砂粒(2~0.05 mm)、粉粒(0.05~0.002 mm)与黏粒(<0.002 mm)在土壤中所占的百分数。

因为导水率与压力水头呈指数关系,测定时主要调节-15和-10 cm H_2O 柱两个水头,每2 min 记录一次储水塔水位变化的刻度,直到该水位下降至基本稳定为止,由此测量土壤饱和导水率。土壤饱和导水率根据公式(1-3)计算:

$$Q(h_1) = \pi r^2 K_{sat} \exp(\alpha h_1) \left[1 + \frac{4}{\pi r \alpha}\right] \quad (1)$$

$$Q(h_2) = \pi r^2 K_{sat} \exp(\alpha h_2) \left[1 + \frac{4}{\pi r \alpha}\right] \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\ln[Q(h_2)/Q(h_1)]}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

式中: K_{sat} ——土壤饱和导水率(cm/h); $Q(h_1)$, $Q(h_2)$ ——分别为 h_1 和 h_2 张力时的稳定入渗率(cm^3/h); α ——参数; r ——张力入渗仪与土壤接触面的半径(cm)。

2 结果分析

2.1 土壤颗粒组成与比表面积的变化

由表 3 可以看出,在降水量递减的梯度上土壤颗粒级分布发生了明显的变化。随着年降水量的减少,表层和亚表层土壤中粉粒(0.05~0.002 mm)和黏粒(<0.002 mm)含量呈现下降趋势;砂粒(2~0.05 mm)含量逐渐增加,土壤向粗粒化和单粒化演变。7号(高台县)研究区较 1号(民乐县)研究区表层土壤粉粒含量降低 84.3%,黏粒含量降低了 31.7%,砂粒含量增加 285.8%,比表面积 SSA 降低了 68.3%;亚表层土壤粉粒含量降低了 89.2%,黏粒含量降低了 20.5%,砂粒含量增加了 404.6%,SSA 降低了 70.9%。

总体上,亚表层不如表层土壤颗粒级分布变化规律显著,这可能和研究区域的降水量相对较小,表层土壤直接受到降水的影响,而亚表层受到的影响较弱有关。土壤比表面积 SSA 能够综合反映土壤颗粒的组成,且 SSA 和土壤黏粒含量在土壤持水性能中起重要作用^[31]。因此,在降水递减的梯度上 SSA 和土壤黏粒含量的减小意味着土壤持水性能也随之降低。

表 3 降水量递减梯度上土壤表层(0—20 cm)和亚表层(20—40 cm)的颗粒组成和持水性

土层/ cm	序号	样地所 属县(区)	砂粒/ %	粉粒/ %	黏粒/ %	SSA/ ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	田间持 水量/%	最大持 水量/%
0—20	1	民乐县	22.14 ^a (1.38)	71.97 ^a (0.42)	5.75 ^a (0.13)	404(0.90)	37.78 ^a (3.23)	40.48 ^a (4.11)
	2	山丹县	29.79 ^b (14.71)	63.89 ^{ab} (13.14)	4.65 ^{ab} (0.63)	350(41.99)	36.58 ^a (1.78)	39.40 ^a (3.17)
	3	永昌县	28.53 ^b (4.81)	63.35 ^{ab} (3.11)	4.31 ^{ab} (1.76)	341(35.44)	29.85 ^b (3.52)	33.31 ^b (5.36)
	4	山丹县	40.43 ^b (2.53)	53.04 ^b (4.94)	3.75 ^b (0.02)	289(19.51)	29.70 ^b (0.78)	33.36 ^b (1.05)
	5	甘州区	85.75 ^a (3.69)	11.53 ^c (3.15)	3.57 ^b (0.12)	122(9.98)	22.67 ^c (2.12)	25.54 ^c (3.69)
	6	临泽县	73.80 ^a (13.75)	23.40 ^c (13.32)	3.52 ^b (0.39)	168(54.88)	20.45 ^c (1.71)	26.90 ^c (2.10)
	7	高台县	85.42 ^a (1.95)	11.33 ^c (2.30)	3.93 ^b (1.04)	128(20.67)	19.69 ^c (2.43)	26.02 ^c (1.39)
		变异系数 C_v / %	54.1	61.8	18.8	45.2	26.4	19.4
20—40	1	民乐县	17.74 ^c (3.55)	75.67 ^a (3.56)	5.07 ^a (0.42)	405(17.22)	41.19 ^a (4.35)	43.30 ^a (3.24)
	2	山丹县	33.91 ^d (1.38)	61.87 ^b (1.95)	4.97 ^a (0.86)	349(14.55)	37.00 ^a (2.79)	39.89 ^a (5.13)
	3	永昌县	51.00 ^d (8.61)	43.04 ^c (9.48)	4.05 ^{ab} (1.35)	256(57.41)	23.78 ^c (4.37)	32.33 ^b (3.45)
	4	山丹县	65.74 ^b (10.38)	30.83 ^d (7.76)	3.61 ^{ab} (0.78)	199(33.27)	29.20 ^b (2.57)	32.88 ^b (2.88)
	5	甘州区	94.20 ^a (3.47)	5.11 ^e (2.64)	2.97 ^b (0.52)	85(19.71)	22.08 ^c (1.09)	23.39 ^c (3.21)
	6	临泽县	83.49 ^a (9.71)	15.01 ^e (8.04)	2.88 ^b (0.75)	122(46.36)	12.64 ^d (4.79)	25.22 ^c (5.84)
	7	高台县	89.51 ^a (4.57)	8.15 ^e (3.21)	4.03 ^{ab} (0.39)	118(18.44)	15.77 ^d (9.18)	24.05 ^c (5.52)
		变异系数 C_v / %	47.0	79.7	22.1	56.2	40.6	25.0

注:同一列数据后有不同字母者为差异显著($P < 0.05$) (Duncan's 检验);括号中的数据为标准差。下同。

2.2 土壤容重和孔隙度的变化

由表4可以看出,随着降水量的递减,表层和亚表层土壤容重显示出逐渐增大的趋势,土壤总孔隙度和毛管孔隙度显示出逐渐降低的趋势,土壤毛管孔隙与总孔隙的比值没有明显的变化趋势。

7号(高台县)研究区较1号(民乐县)研究区表层土壤容重增加了22.8%,土壤总孔隙度降低了19.6%,毛管孔隙度降低了22.0%;亚表层土壤容重增加了24.6%,土壤总孔隙度降低了20.7%,毛管孔隙度降低了31.1%。

表4 降水量递减梯度上土壤表层(0—20 cm)和亚表层(20—40 cm)容重、总孔隙度、毛管孔隙度

序号	样地所属 县(区)	容重/(g·cm ⁻³)		总孔隙度 TP/ %	
		0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm
1	民乐县	1.23 ^c (0.05)	1.22 ^c (0.05)	53.69 ^a (2.04)	53.97 ^a (1.64)
2	山丹县	1.21 ^c (0.06)	1.20 ^c (0.05)	54.24 ^a (2.13)	54.92 ^a (1.84)
3	永昌县	1.39 ^b (0.04)	1.53 ^{ab} (0.01)	47.57 ^b (1.35)	42.32 ^{bc} (0.43)
4	山丹县	1.23 ^c (0.05)	1.41 ^b (0.05)	53.59 ^a (1.90)	46.79 ^b (1.97)
5	甘州区	1.54 ^a (0.03)	1.56 ^a (0.04)	41.80 ^c (1.13)	41.35 ^c (1.59)
6	临泽县	1.63 ^a (0.19)	1.50 ^{ab} (0.16)	38.65 ^c (7.34)	43.52 ^{bc} (5.85)
7	高台县	1.51 ^{ab} (0.07)	1.52 ^{ab} (0.10)	43.16 ^{bc} (2.53)	42.80 ^{bc} (3.81)
变异系数 C _v / %		12.3	10.6	13.6	12.2

序号	样地所属 县(区)	毛管孔隙度 CP/ %		毛管孔隙度/总孔隙度(%)	
		0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm
1	民乐县	48.74 ^b (1.90)	52.83 ^a (1.40)	90.78 ^{ab} (0.83)	97.91 ^a (2.36)
2	山丹县	51.43 ^a (2.15)	49.94 ^a (0.40)	94.80 ^{ab} (1.26)	90.98 ^{ab} (2.36)
3	永昌县	44.28 ^c (1.31)	34.08 ^c (0.34)	93.08 ^{ab} (0.59)	80.52 ^{cd} (1.01)
4	山丹县	51.88 ^a (1.10)	45.30 ^b (2.23)	96.88 ^{ab} (2.87)	96.85 ^a (4.08)
5	甘州区	39.34 ^d (1.13)	35.12 ^c (1.27)	94.11 ^{ab} (0.78)	84.94 ^{bcd} (2.07)
6	临泽县	38.12 ^d (3.35)	33.56 ^c (5.11)	98.63 ^a (0.79)	77.04 ^d (2.79)
7	高台县	38.00 ^d (1.10)	36.42 ^c (3.82)	88.17 ^b (3.03)	85.64 ^{bc} (11.30)
变异系数 C _v / %		13.9	19.8	—	—

2.3 土壤饱和和导水率的变化

表5中,表层土壤饱和和导水率 K_{sat} 在降水量递减的梯度上,并没有表现出明显的变化趋势,而是在所选择的7个实验点中出现了3个较大值,分别是在降水量为356 mm(1号研究区)、163 mm(4号研究区)、104 mm(7号研究区),变异系数 C_v 为70.0%;亚表层的3个较大值分别出现在降水量为356 mm(1号研究区)、129 mm(5号研究区)、104 mm(7号研究区),变异系数为86.3%。

2.4 土壤物理性质相关分析

沿降水量递减的梯度对表层荒漠土壤物理性质进行相关分析(表6),显示出表层土壤容重与砂粒含量呈显著正相关,与其它土壤物理性质呈显著或极显著负相关。在沿降水量递减的河西走廊荒漠区,土壤总孔隙度和毛管孔隙度的降低与土壤中砂粒含量增加、粉粒含量及SSA的减少关系密切。土壤砂粒含量与土壤中的粉粒、SSA呈极显著负相关。荒漠土壤本身属于低质量土壤,黏粒含量较低且在研究区域里

变化相对不明显,所以黏粒只与SSA呈显著正相关,与其它土壤物理性质相关性不显著。饱和和导水率 K_{sat} 与土壤容重呈负相关,与总孔隙度、毛管孔隙度呈正相关,这种关系说明良好的土壤结构是饱和和导水率出现较大值的重要因素。

表5 降水量递减梯度上土壤表层(0—20 cm)和亚表层(20—40 cm)饱和和导水率(K_{sat}) cm/h

序号	样地所属 县(区)	土层深度	
		0—20 cm	20—40 cm
1	民乐县	0.67 ^{ab} (0.18)	1.06 ^b (0.17)
2	山丹县	0.13 ^b (0.00)	0.45 ^b (0.34)
3	永昌县	0.17 ^b (0.08)	0.27 ^b (0.11)
4	山丹县	0.97 ^a (0.82)	0.34 ^b (0.14)
5	甘州区	0.32 ^{ab} (0.21)	2.34 ^a (1.13)
6	临泽县	0.26 ^b (0.00)	0.58 ^b (0.33)
7	高台县	0.74 ^{ab} (0.41)	2.28 ^a (0.97)
变异系数 C _v / %		70.0	86.3

表 6 降水量递减梯度上土壤表层(0—20 cm)主要物理性质相关系数

项目	容重	总孔隙度	毛管孔隙度	砂粒	粉粒	黏粒	比表面积	最大持水量	田间持水量
容重	1								
总孔隙度	-1.000**	1							
毛管孔隙度	-0.967**	0.966**	1						
砂粒	0.853*	-0.854*	-0.848*	1					
粉粒	-0.852*	0.854*	0.848*	-0.999**	1				
黏粒	-0.670	0.674	0.534	-0.736	0.750	1			
比表面积	-0.853*	0.855*	0.831*	-0.993**	0.996**	0.807**	1		
最大持水量	-0.950**	0.952**	0.978**	-0.866*	0.867*	0.572	0.853*	1	
田间持水量	-0.964**	0.964**	0.985**	-0.878**	0.879**	0.600	0.867*	0.988**	1
饱和导水率	-0.303	0.302	0.336	0.115	-0.126	-0.344	-0.161	0.295	0.230

注: *表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著, **表示在 $P < 0.01$ 水平上差异显著。

3 讨论

在河西走廊荒漠区自东向西随着年降水量的逐渐递减,土壤中粉粒和黏粒含量呈下降趋势,砂粒含量逐渐增加。伴随着土壤的粗粒化,必然引起土体的风散和结构的破坏,使得土壤容重增加、孔隙度降低、持水性能下降等一系列物理性质的恶化。在降雨量相对较多的河西走廊东段荒漠地区,土壤水分条件相对较好,相对应的植被覆盖度也较大,其覆盖作用可使土壤免遭风蚀,并随植物枯落物的归还和土壤微生物的发展,土壤容重也随之减小;反之,在降雨量相对少的河西走廊西段荒漠地区,土壤容重较大,且土壤对水分的保持和含蓄能力也在逐渐变差。通过对研究区样地植被的调查,验证了这些变化。在所研究的荒漠土壤上生长的植物都是一些如珍珠猎毛菜、红砂一类的小灌木、半灌木荒漠植物,植物种类变化不大,随降水量的递减植被盖度从 45%降低到 2.5%,植被密度从 4.3 株/ m^2 降到 0.6 株/ m^2 ,植被平均高度变化为 15~10 cm,生物量从 113.2 g/ m^2 显著降低到 3.8 g/ m^2 (表 2)。

土壤饱和导水率 K_{sat} 是一个表现土壤容重、孔隙度、团聚体稳定性和颗粒组成等土壤物理性质的综合参数。Schwarz 等^[32] 研究指出在相对较短的时间里(10 a),在农田向草地转变中土壤导水率值变化不明显。Li 等^[33] 研究表明经过 14 a 的休耕恢复,黄土高原灌木林和森林土壤饱和导水率明显增加。因此,本研究通过对降水递减梯度上荒漠土壤饱和导水率的试验,能够进一步了解河西走廊绿洲外围原生荒漠土壤物理性质的综合变化情况。从表 3—5 可以看出,在所研究的降水量递减梯度上,土壤表层和亚表层 K_{sat} 变异系数 C_v 为 70.0%和 86.3%,均是土壤表层和亚表层各物理性质中变异系数最高的;容重的变异系数最小,主要是荒漠土壤本身有较高的容重,即使最终变为流沙,其容重的变化也有限。

Hamerlynck 等^[34] 和 Housman 等^[35] 在对莫哈韦沙漠和美国内华达州沙漠的荒漠土壤进行研究后得出,土壤发育过程与植被动态共同对土壤导水率产生影响,且这种影响在年降水量小于 150 mm 的荒漠植物群落中尤其明显。而本试验通过对河西走廊荒漠区的研究也得出土壤饱和导水率 K_{sat} 与各相关土壤物理性质、植被特征具有一定的线性关系。因为水的可利用性是荒漠地区植物生存、生长和繁殖的重要限制因素, K_{sat} 与植被特征的相关性说明降水相对多的地区植被生长也较好,表现为植被的密度、高度值相对较大,同时植被的生长又对土壤的孔隙度、颗粒组成等方面有一定的影响,因此可以用植被特征说明 K_{sat} 的变化情况。

4 结论

沿河西走廊民乐县至高台县自东向西的天然降水梯度,荒漠土壤粉粒和黏粒含量降低,砂粒含量增加;伴随着土壤的粗粒化,必然引起土体的风散和结构的破坏,使得土壤容重增加、孔隙度降低、持水性能下降等一系列物理性质的恶化。土壤表层和亚表层 K_{sat} 变异系数 C_v 为 70.0%和 86.3%,均是该土层各土壤物理性质中变异系数最高的。

沿降水量递减的梯度对表层荒漠土壤物理性质进行相关分析后得出,土壤容重与砂粒含量呈显著正相关,与其它土壤物理性质呈显著或极显著负相关。饱和导水率 K_{sat} 与土壤容重呈负相关,与总孔隙度、毛管孔隙度呈正相关,这种关系说明良好的土壤结构是饱和导水率出现较大值的重要因素。

[参 考 文 献]

- [1] Karlen D L, Stott D E. Framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality[C] //Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, et al. Methods for as-

- sessing soil quality, Soil Science Society of America. Madison; SSSA Special Publications 1994; 53-72.
- [2] Arshad M A, Lowery B, Grossman B. Physical tests for monitoring soil quality [C] // Doran J W, Jones A J. Methods for Assessing Soil Quality, Soil Science Society of America. Madison; SSSA Special publications, 1996; 123-142.
- [3] Boix-Fayos C, Calvo-Cases A, Imeson A C, et al. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators [J]. *Catena*, 2001, 44: 47-67.
- [4] 贾宝全, 慈龙骏. 绿洲景观生态研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [5] 李志, 刘文兆, 王秋贤. 黄土塬区不同地形部位和土地利用方式对土壤物理性质的影响 [J]. *应用生态学报*, 2008, 19(6): 1303-1308.
- [6] 姜益娟, 郑德明, 吕双庆, 等. 不同耕作制度对荒漠绿洲土壤物理性质和温度的影响 [J]. *塔里木大学学报*, 2006, 18(1): 4-5.
- [7] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤物理性质的空间变异 [J]. *地理学报*, 2002, 57(5): 587-594.
- [8] 牛贇, 敬文茂, 祁连山北坡主要植被下土壤异质性研究 [J]. *水土保持研究*, 2008, 15(2): 258-263.
- [9] 王夏晖, 王益权, Kuznetsov M S. 黄土高原几种主要土壤的物理性质研究 [J]. *水土保持学报*, 2000, 14(4): 99-103.
- [10] 李新荣. 干旱沙区土壤空间异质性变化对植被恢复的影响 [J]. *中国科学(D辑): 地球科学*, 2005, 35(4): 361-370.
- [11] 李忠武, 曾光明, 张棋. 红壤丘陵区土壤有机质空间异质性分析: 以长沙市为例 [J]. *湖南大学学报: 自然科学版*, 2006, 33(4): 102-105.
- [12] 苏永中, 赵哈林, 崔建垣. 农田沙漠化演变中土壤性状特征及其空间变异性分析 [J]. *土壤学报*, 2004, 41(2): 210-217.
- [13] 钱亦兵, 蒋进, 吴兆宁. 艾比湖地区土壤异质性及其对植物群落生态分布的影响 [J]. *干旱区地理*, 2003, 26(3): 217-222.
- [14] 钱亦兵, 吴兆宁, 蒋进, 等. 克拉玛依农业开发区土壤理化性状对荒漠植物群落多样性的影响 [J]. *干旱区研究*, 2003, 20(S): 74-81.
- [15] 赵文智, 刘志民, 程国栋. 土地沙质荒漠化过程的土壤分形特征 [J]. *土壤学报*, 2002, 39(5): 877-881.
- [16] 郑秋红, 史培军, 张宏. 半干旱地区天然草地灌丛化与土壤异质性关系研究进展 [J]. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 366-370.
- [17] López P J, Montana C. Spatial distribution of *Prosopis glandulosa* var. *torreyana* in vegetation stripes of the Southern Chihuahuan Desert [J]. *Acta Oecologica*, 1999, 20: 197-208.
- [18] Le Houerou H N, Bingham R L, Skerbek W. Relationship between the variability of production and the variability of annual precipitation in world arid lands [J]. *Journal of Arid Environment*, 1988, 15: 1-18.
- [19] 王胜, 张强, 卫国安, 等. 降水对荒漠土壤水热性质强迫研究 [J]. *高原气象*, 2004, 23(2): 253-258.
- [20] 李易麟, 南忠仁. 开垦对西北干旱区荒漠土壤养分含量及主要性质的影响: 以甘肃省临泽县为例 [J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(10): 147-151.
- [21] 吕贻忠, 马兴旺. 荒漠化土壤养分变化的影响因素研究进展 [J]. *生态环境*, 2003, 12(4): 473-477.
- [22] 王根绪, 程国栋. 西北干旱区土壤资源特征与可持续发展 [J]. *地球科学进展*, 1999, 14(5): 492-497.
- [23] 陈叶, 秦嘉海. 河西走廊荒漠化土壤资源及麻黄草改土培肥效应 [J]. *水土保持通报*, 2005, 25(3): 69-71.
- [24] 刘金荣, 秦嘉海, 谢晓蓉, 等. 人工栽培甘草对河西走廊灰棕漠土培肥效应 [J]. *土壤通报*, 2005, 36(5): 809-811.
- [25] 贾宝全, 慈龙骏, 蔡体久, 等. 绿洲-荒漠交错带土壤水分变化特征初步研究 [J]. *植物生态学报*, 2002, 26(2): 203-208.
- [26] 王新平, 康尔泗, 李新荣, 等. 荒漠地区土壤初始状况对水平入渗的影响 [J]. *地球科学进展*, 2003, 18(4): 592-596.
- [27] 李新荣, 何明珠, 贾荣亮. 黑河中下游荒漠区植物多样性分布对土壤水分变化的响应 [J]. *地球科学进展*, 2008, 23(7): 685-691.
- [28] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1978: 7-59.
- [29] 严旭升. 土壤肥力研究方法 [M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [30] Foster G R, Young R A, Neibling W H. Sediment composition for non-point source pollution analyses [J]. *Transactions of the ASA E*, 1985, 28: 133-139.
- [31] 朱祖祥. 土壤学 [M]. 北京: 农业出版社, 1983: 114-115.
- [32] Schwarz R C, Evett S R, Unger P W. Soil hydraulic properties of cropland compared with reestablished and native grassland [J]. *Geoderma*, 2003, 116: 47-60.
- [33] Li Y Y, Shao M A. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China [J]. *Journal of Arid Environments*, 2006, 64: 77-96.
- [34] Hamerlynck E P, Mcauliffe J R, Mcdonale E V, et al. Impacts of desert soil processes and drought on contrasting Mojave Desert shrubs [J]. *Ecology*, 2002, 83: 768-779.
- [35] Housman D C, Zitzer S F, Huxmans T E, et al. Functional ecology of shrub seedlings after a natural recruitment event at the Nevada Desert FACE Facility [J]. *Global Change Biology*, 2003, 9: 718-728.