

文章编号:1000-694X(2012)03-698-07

干旱半干旱地区砂田结构及水分特征

逢蕾^{1,2,3}, 肖洪浪^{2*}, 路建龙¹, 周茂先², 谢忠奎², 李彩芝²,
赵良菊², 柴守玺¹, 常磊¹, 任娟²

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃农业大学 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 为研究砂田的剖面结构和水分特征,对可用砂田和废弃砂田的剖面结构、土壤含水量、容重和田间最大持水量进行分析测定;建立模拟砂田,研究不同的砾石覆盖条件对土壤水分的影响。结果表明,具有共性的砂田剖面分为 5 层,分别命名为覆盖层、混合层、根系密集层、淋溶层和钙积层。砾石覆盖可以显著增加土壤含水量,加深淋溶层的下限,剖面结构完整的砂田比结构不完整的砂田的土壤水分状况好。下层土壤含水量显著受上层土壤含水量的影响。以小粒径砾石覆盖且覆盖厚度 9 cm,最适土壤水分积累。砂田在覆砂的第一年土壤水分含量最低,之后逐渐增加,至覆砂后的 6~12 a,土壤水分含量达到最高,之后逐渐降低。覆砂后 6 a 左右,土壤容重最小,田间持水量达最大值,此后随着砂田使用年限的增加,土壤容重逐渐增大,田间持水量逐渐减小。

关键词: 砂田; 剖面结构; 土壤水分; 容重; 田间最大持水量

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A

砂田(Gravel-sand Mulched Field,简称 GSMF)是人为措施将按一定比例的不同粒径的砂石覆盖在农田的表面,并应用一整套特制的农具和特殊耕作技术的抗旱耕作方式,属土壤覆盖制度之一,也称石田。是中国西北干旱、半干旱地区独特的、传统的抗旱耕作形式,是劳动人民长期与干旱斗争,为适应干旱少雨及盐碱不毛之地而创造的旱农耕作方法。因起源于甘肃兰州,故也称为兰州砂田,或甘肃砂田^[1]。

砂田是在特殊环境条件下产生的特殊耕作方式,经过几百年历史发展仍占有其独特的耕作地位,并且作为生产无公害产品的基地,有不断发展壮大的趋势。近年来,受气候干旱化趋势加重和水资源短缺的影响,该项技术受到愈来愈多的重视。国内外研究人员在土壤温度效应^[2]、砂田耕作措施^[3-5]、土壤水分与养分动态^[2,6-22]、砂田土壤微生物特征^[23-24]、作物栽培与集雨补灌^[2-3,25-32]、水土保持^[9,30-35]和小麦育种^[25-26]等方面进行了广泛深入的研究,结果表明,砂田能有效地减少土壤蒸发和径流,提高土壤水分入渗效率和土壤温度,阻止水土流失和次生盐渍化,增加砂田作物产量和水分生产效率。

率。目前对砂田剖面结构和非人工模拟砂田水分的研究尚少见报道。

1 试验设计与研究方法

1.1 试验设计

1.1.1 可用砂田研究(Using GSMF,代号 U)

2008 年 5 月对农户正在使用的砂田进行实地考察,研究砂田剖面结构,同时取样测定水分和物理性质。随机选取立地因子基本一致、覆盖时间分别为 2007 年(U1)、2002 年(U2)、1996 年(U3)、1989 年(U4)和 1983 年(U5)的砂田为研究对象,以无覆盖物的裸地为对照(U0)。每个覆盖年份的砂田重复 3 次。

1.1.2 废弃砂田研究(Abandoned GSMF,代号 A)

2008 年 5 月,对甘肃兰州和甘肃白银的砂田主要分布区的典型砂田进行实地考察,研究砂田剖面结构,同时取样测定水分和物理性质,以无覆盖物的裸地为对照(A0)。

1.1.3 模拟砂田研究

于 2004 年春季在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所皋兰生态与农业综合试验站(简称中科院皋兰站)布设试验,小区面积 3 m×3 m,外设保护行。

收稿日期:2011-08-16; 改回日期:2011-10-21

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(200903007-07);国家科技支撑计划项目(2012BAD14B10);国家公益性行业(农业)计划项目(201103001)资助

作者简介:逢蕾(1979—),女(汉族),山东诸城人,博士,主要从事土壤生态方面的研究。Email: pangl@st.gsau.edu.cn

* 通讯作者:肖洪浪>Email: xhl@lzb.ac.cn

至 2009 年 5 月测定土壤水分时,小区土壤未经翻耕扰动,未种植过任何作物。在每块砂田中部随机选取 5 个样点,测定土壤水分。用铲子扒开砂田表层覆盖的砾石,扫净土面,用土铲分层切割取样,取样深度分别为 0~1 cm、1~2 cm、2~4 cm 和 4~20 cm。

试验设计包括 3 个部分:

覆盖层砾石粒径试验。砾石覆盖层的厚度均为 8 cm,各处理的砾石粒径分别为 <0.3 cm、0.3~1 cm、1~2 cm、2~4 cm、4~6 cm、6~8 cm 和 >8 cm,设无砾石覆盖为对照(CK),每个处理重复 3 次。

砾石覆盖厚度试验。覆盖层的砾石为粒径 1~2 cm 的卵石,各处理的覆盖厚度分别为 3 cm、5 cm、7 cm、9 cm 和 11 cm,每个处理重复 3 次。

不同粒径砾石按不同比例混合覆盖试验。砾石覆盖层的厚度均为 8 cm,覆盖层砾石由 1~2 cm、2

~6 cm 和 <0.3 cm 3 种粒径的砾石组成。各处理的砾石混合比例分别为 1~2 cm30%+2~6 cm60%+<0.3 cm10%(简称 361)、1~2 cm30%+2~6 cm50%+<0.3 cm20%(简称 352)、1~2 cm30%+2~6 cm40%+<0.3 cm30%(简称 343)、1~2 cm30%+2~6 cm30%+<0.3 cm40%(简称 334)、1~2 cm30%+2~6 cm20%+<0.3 cm50%(简称 325)、1~2 cm30%+2~6 cm10%+<0.3 cm60%(简称 316)和 1~2 cm30%+2~6 cm0%+<0.3 cm70%(简称 307),每个处理重复 3 次。

1.2 研究区概况

选择砂田主要分布区的典型砂田进行可用砂田和废弃砂田的实地考察,在中科院皋兰站布设模拟砂田。考察区和试验区概况见表 1。

表 1 考察区和试验区概况

Table 1 Environmental condition of the investigated spots and experimental spots

样地	编号	覆盖时间	地理位置	地理坐标	海拔 /m	年降水量/mm	温度	日照时数/h	坡度
可用砂田	U1	2007	甘肃省兰州市皋兰县崖川乡	36°13'26"N	1 800	263	年平均气温:7.1 °C ≥0 °C 年积温:3 324.5 °C ≥10 °C 年积温 2 798.3 °C	2 768.1	0°
	U2	2002		103°50'47"E					
	U3	1996							
	U4	1989							
	U5	1983							
废弃砂田	A1	不详	甘肃省兰州市永登县上川镇甘露池村	36°43'38"N	2 137	290	年平均气温 5.9 °C ≥0 °C 年积温:3 614.8 °C ≥10 °C 年积温 3 038 °C	2 659	0°
	A2	不详		103°58'56"E					
	A3	不详		37°8'5"N					
	A4	不详		104°1'50"E					
模拟砂田裸地	—	2004	甘肃省白银市景泰县喜泉镇兴泉村	37°4'44"N	1 694	277			
	U0	—		104°1'50"E					
	A0	—		36°47'48"N					
			中泉乡红岫台村	104°6'34"E	1 704				
						同可用砂田			
						同可用砂田			
						同 A4			

注:可用砂田的气象资料来源于^[2],废弃砂田的气象资料来源于^[29-31]。

1.3 研究材料与方法

1.3.1 土壤剖面结构测定

2008 年 5 月在选中的砂田中挖剖面,废弃砂田在砂田中部设取样点,可用砂田在砂田中部没有地膜覆盖的地方设取样点。在每个取样点挖一个约 1.5 m 宽、1 m 深的剖面,观察面向阳。修好的土壤剖面用小土铲划分各个土壤发生层,用卷尺量出各个土壤发生层的深度,同时绘制土壤剖面图。记录土壤剖面性状。

1.3.2 土壤物理性状测定

土壤水分、容重、田间最大持水量的测定用常规方法。重复 3 次。

1.4 数据分析

采集到的数据通过 Excel2003 和 SPSS13.0 进行统计分析和制图。

2 结果与讨论

2.1 砂田剖面结构

以往的研究中,未划分和定义砂田的剖面结构。不同的砂田剖面层次、随耕作和立地条件略有差别,本研究基于对砂田的剖面考察,将完整的、具有共性的砂田剖面分为 5 层,分别命名为覆盖层(gravel-sand mulched layer,缩写为 GSML)、混合层(Soil and gravel-sand mixed layer,缩写为 SGSML)、根系

密集层(Roots denseness layer, 缩写为 RDL)、淋溶层(Eluviating layer, 缩写为 EL)和钙积层(Calcium

accumulation layer, 缩写为 CAL)。各个剖面层次的划分和定义见图 1 所示。

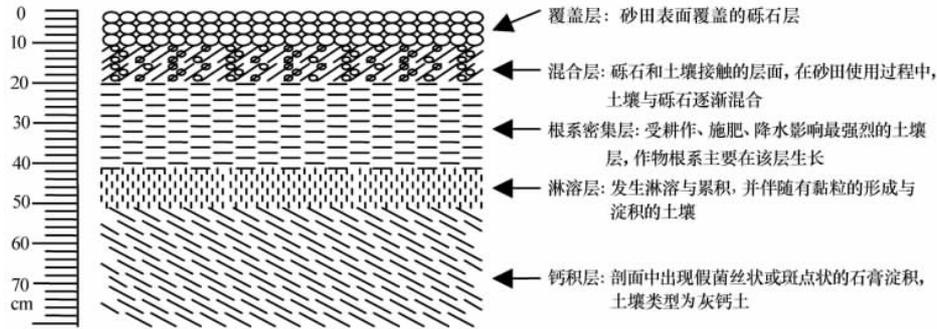


图 1 砂田剖面结构

Fig. 1 Soil profile of gravel-sand mulched field

2.1.1 可用砂田剖面结构

使用年限在 10 a 以下的砂田被称之为新砂田^[36], 新砂田分为两种情况, 一是新建砂田, 即在从未覆盖过砾石的裸地上压砂, 这类砂田在刚建成时的混合层厚

度为零, 实际生产中较少见这类砂田; 另一种是翻新砂田, 即将老砂田原有的已失去功能的砾石覆盖层铲除, 重新覆盖砾石层, 本研究中的砂田就是第二种情况。砂田 U1 的混合层厚度达到了 6 cm, 如图 2A 所示。

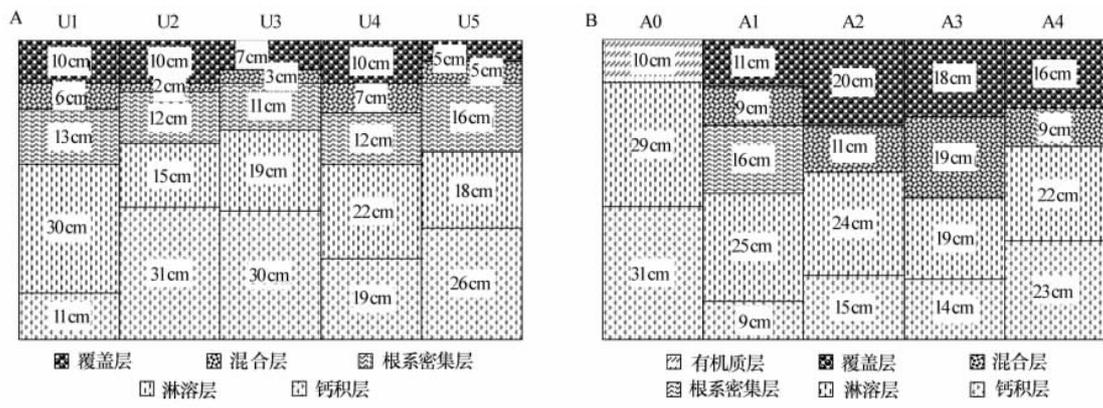


图 2 可用砂田与废弃砂田剖面结构

[注: 图中数字表示该剖面层次的厚度(cm)]

Fig. 2 Soil profiles both of in-using and abandoned gravel-sand mulched fields

2.1.2 废弃砂田剖面结构

砂田由于使用年限很久, 功能逐渐丧失, 已废弃多年, 现在地表没有种植任何作物, 只有适合当地气候的野生杂草生长。从图 2B 可知, 废弃砂田的剖面结构已不完整。已知 A1 砂田的使用年限约为 60 a, 废弃 1 a, 从土壤剖面上尚能分辨出覆盖层、混合层、根系密集层、淋溶层和钙积层。而砂田 A2、A3 和 A4, 具体使用年限和废弃年限已无从考证, 已不具有完整的砂田剖面结构, 覆盖层的砾石与根系密集层的土壤充分混合, 失去了根系密集层这一剖面结构。与没有砾石层覆盖的裸地(A0)相比, 砂田淋溶层的下限分界明显加深。

有分布, 在 SGSML 层、RDL 层和 EL 层中的根量分别占总根量的 5%~20%、50%~80% 和 10%~30%, 即分布在这 3 层中的植物根系占植物总根量的 90%~100%。因此, 这 3 层的水分含量对植物生长尤为重要。

2.2 砂田含水量

通过野外调查可知, 植物根系在 GSML 层中没

2.2.1 可用砂田含水量

有分布, 从图 3 可知, 覆盖层的土壤含水量非常低, 仅有 0.15%~0.84%, 随土壤剖面深度的增加, 土壤含水量增加。覆盖 6 a 的砂田土壤水分状况最好, 其次是覆盖 12 a 的砂田, 这可能是由于该砂田覆盖时间短, 砾石覆盖层尚具有较好的保水能力, 砂田水分逐年积累所致。之后随覆盖时间的延长, 砾石覆盖层的保水能力逐渐变差, 砂田的水分状况随之逐渐变差。覆盖 1 a 的砂田含水量较低, 由于覆盖 1 a 的砂田, 是因丧失保水效果而重新铺砂的老砂田, 在铺砂

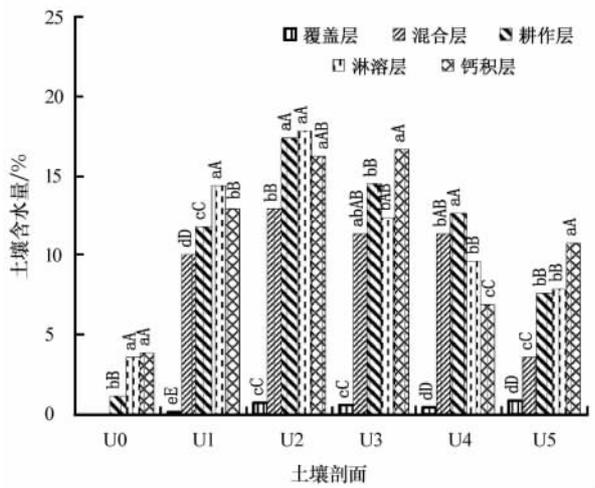


图 3 可用砂田土壤含水量比较

(注：小写字母和大写字母分别表示在 0.05 水平和 0.01 水平上差异显著)

Fig. 3 Comparison of soil water content among in-using gravel-sand fields mulched in different periods

的当年,休耕一年,以恢复地力和土壤墒情。另外,即便是在裸地上新建的砂田,因裸地的土壤含水量相当低,在 4% 以下,因此,同样在覆盖砾石的第一年,含水量较低,不适于作物生长。

2.2.2 废弃砂田含水量

图 4 显示的是 2008 年测定的废弃砂田土壤水分状况。砂田前 3 个土壤剖面的水分状况如图 4A 所示。A1 的砂田年龄大约是 60 a,这个砂田的前 3 个剖面的土壤含水量与可用砂田一样,随土层深度的增加而增加,而且远远高于同剖面层次的其他废弃砂田的土壤含水量。从图 4B 中可知,尽管砂田已废弃多年,土壤含水量也相当低,A1、A2、A3 和 A4 号砂田的淋溶层的土壤含水量分别为 5.71%、6.61%、7.05% 和 5.55%,钙积层的土壤含水量分别为 12.10%、7.26%、13.00% 和 8.14%,仍显著高于裸地淋溶层和钙积层的土壤含水量 3.61% 和

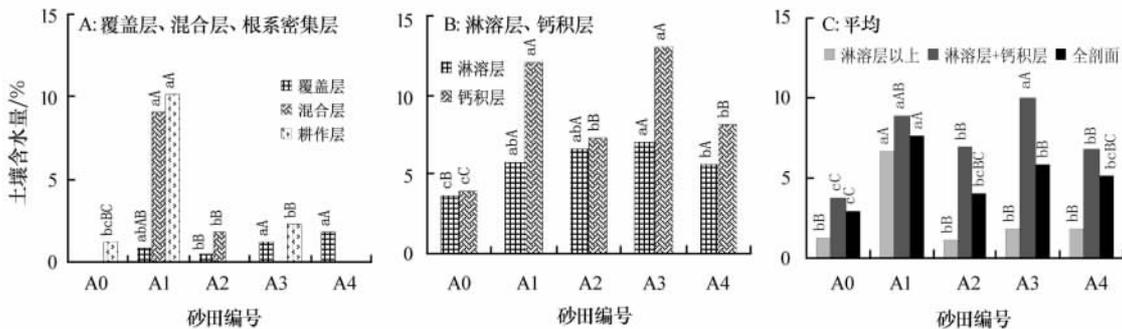


图 4 废弃砂田土壤含水量比较

(注：小写字母和大写字母分别表示在 0.05 水平和 0.01 水平上差异显著。图中未显示的数据柱是该砂田缺失的土壤剖面)

Fig. 4 Comparison of soil water content among abandoned gravel-sand mulched fields

3.90%。砂田水分的渗透比裸田的深,这与前人的研究结果一致^[37]。从图 4C 中可知,砂田的剖面结构越完整,土壤含水量就越高。

2.2.3 模拟砂田含水量

通过对各层土壤含水量的研究发现,如表 2 所示,由相同厚度不同粒径砾石覆盖的砂田,土壤含水量与它上一层次的含水量极显著正相关;由相同粒径不同覆盖厚度砾石覆盖的砂田,1~2 cm 以下的土壤含水量与它上一层次的含水量极显著正相关;在不同粒径砾石以不同比例混合覆盖的砂田中没有发现这一规律。砂田深层土壤含水量的多寡受浅层土壤含水量的影响。覆砂切断了土壤水分蒸发的通路^[14],增加土壤含水量。而 8 cm 厚的覆砂层也不会过分截留水分^[9-12]而影响作物生长。但是如果覆盖层的砾石较薄,则会影响土壤水分的积累。至于为什么混合粒径覆盖的砂田土壤含水量的关系与

其他两个实验不同,还有待于进一步的实验研究。

从图 5 中可知,随着土壤剖面深度的增加,土壤含水量逐渐增加。地表覆盖砾石后,0~4 cm 的土壤含水量增加迅速,随土壤剖面深度的继续加深,土壤含水量增加的幅度逐渐减小。

从“覆盖砾石粒径试验”可知,如图 5A 所示,有砾石覆盖的处理土壤含水量高于没有砾石覆盖的 CK,CK 处理的土壤含水量很低。覆盖层砾石粒径越大,土壤含水量越低,这是由于覆盖层砾石粒径越小,土壤蒸发越少所致^[2]。相关分析表明,土壤含水量与土壤剖面深度极显著正相关,相关系数 0.599 ($P < 0.01$)。

从“砾石覆盖厚度试验”中可知,如图 5B 所示,随砾石覆盖厚度的增加,土壤含水量迅速增加,最大土壤含水量出现在覆盖厚度为 9 cm 的处理中,这与前人的研究结果一致^[2]。相关分析表明,土壤含水

表 2 模拟砂田层次间土壤水分含量相关分析

Table 2 Correlation analysis of soil water content between different soil profile layers in simulated gravel-sand mulched field

	覆盖砾石粒径	0~1 cm	1~2 cm	2~4 cm	4~20 cm
覆盖砾石粒径	1				
0~1 cm	0.052	1			
1~2 cm	0.133	0.798**	1		
2~4 cm	0.225	0.936**	0.834**	1	
4~20 cm	0.048	0.744**	0.962**	0.761**	1
	砾石覆盖厚度	0~1 cm	1~2 cm	2~4 cm	4~20 cm
砾石覆盖厚度	1				
0~1 cm	0.632*	1			
1~2 cm	0.618*	0.629*	1		
2~4 cm	0.561*	0.628*	0.642**	1	
4~20 cm	0.325	0.589*	0.811**	0.854**	1
	砾石混合比例	0~1 cm	1~2 cm	2~4 cm	4~20 cm
砾石混合比例	1				
0~1 cm	-0.456*	1			
1~2 cm	-0.356	0.708**	1		
2~4 cm	0.021	0.386	0.531*	1	
4~20 cm	-0.240	-0.249	0.093	0.520*	1

注:表中*和**分别表示在 0.05 水平和 0.01 水平上相关。

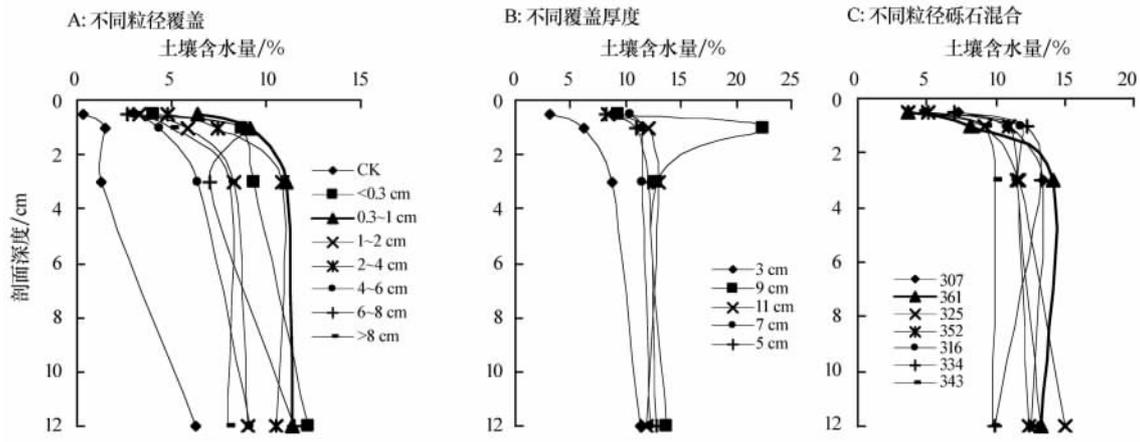


图 5 不同覆盖方式下土壤含水量比较

Fig. 5 Comparison of soil water content in simulated gravel-sand mulched field between different gravel-sand mulching method

量与覆盖层的厚度极显著正相关,相关系数 0.451 ($P < 0.01$),与土壤剖面深度正相关,相关系数 0.262 ($P < 0.05$)。

从“不同粒径砾石以不同比例混合覆盖试验”中可知,如图 5C 所示,覆盖层砾石组成成分中,小粒径占比例较多的处理,土壤水分含量较高,这一现象在越浅的土壤剖面中表现越明显。土壤含水量与土壤剖面深度极显著正相关,相关系数 0.548 ($P < 0.01$)。

2.3 砂田土壤容重

2008 年 5 月,对使用中的砂田容重进行了研究。结果表明,U1~U5,土壤的容重是先减少再增

加,即根系密集层的容重是 U3 的最小,为 $1.23 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,U2 和 U4 的根系密集层容重分别为 $1.24 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $1.33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。但是 U1 的容重却比高,甚至高于 U5 的容重,这可能是由于 U1 在重新覆盖砂前,使用年限较长所致。前人的研究结果表明^[36],砂田土壤随着使用年限的增加,土壤容重逐渐增加。本研究的结果表明,砂田在重新铺砂后,经过若干年的土壤自然恢复过程,土壤中植物生长状况逐渐变好,由于土壤中根系穿插等的作用,土壤的容重会降低,之后随着使用年限的增加,砂田的状况逐渐恶化,土壤的容重又会逐渐增加。

废弃砂田的各个剖面的容重介于 $1.06 \sim 1.45 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间。因取样地点不同,所以对废弃砂田

间的土壤容重不做横向比较。A1 的土壤容重是混合层>根系密集层>淋溶层>钙积层。A2、A3 和 A4 已没有根系密集层这一剖面结构,容重是混合层>淋溶层>钙积层,即废弃砂田的容重是随剖面深度的增加而逐渐增加的。

2.4 砂田土壤田间最大持水量研究

2008 年 5 月,对使用中的砂田田间最大持水量进行了研究。结果表明,土壤田间最大持水量在 17.01%~25.57%之间,根系密集层的田间最大持水量最高,淋溶层的土壤田间最大持水量的顺序是 U3>U2>U4>U5>U1。田间最大持水量在根系密集层显示出与土壤容重的变化趋势相反。

3 结论

通过野外考察,将具有共性的砂田剖面结构分为 5 层,分别命名为砾石覆盖层、混合层、根系密集层、淋溶层和钙积层。

覆砂能增加砂田土壤含水量,加深淋溶层下限。砂田土壤含水量在铺砂后 6~12 a 最高,此后,随着砂田使用时间的增加,土壤水分状况又逐渐变差,直到砂田不能使用时,降至最低点。重新铺砂、休耕后,土壤水分状况又逐渐恢复。即砂田土壤含水量有较低→恢复→较高→恶化→较低的循环。当砾石层覆盖厚度为 9 cm 时,最适宜土壤水分积累。砂田覆盖层的砾石为小粒径砾石或者用以小粒径砾石为主的混合粒径砾石覆盖,有利于土壤水分积累。

砂田随使用时间的增加,土壤的物理性状逐渐变劣。重新铺砂后,随着土壤水分状况的改善,土壤的容重逐渐降低、最大田间持水量逐渐增加,当达到重新铺砂 6 a 左右的时候,容重最低、田间最大持水量降最高。此后,随着砾石覆盖层的保水作用逐渐减弱,含水量逐渐降低,植物的地下生物量也逐渐减少,土壤的物理性状逐渐变差,表现为土壤的容重增加和田间持水量降低。

参考文献(References):

[1] 陈年来,刘东顺,王晓巍,等. 甘肃砂田的研究与发展[J]. 中国瓜菜,2008,(2):29-31.
 [2] 谢忠奎. 黄土高原荒漠草原区典型生态系统人工干预的水分效应研究[D]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,2006.
 [3] 王亚军,谢忠奎,张志山,等. 甘肃砂田西瓜覆膜补灌效应研究[J]. 中国沙漠,2003,23(3):300-305.
 [4] 王亚军,谢忠奎,刘大化,等. 砾石直径和补灌量对砂田西瓜根

系分布的影响[J]. 中国沙漠,2006,26(5):820-825.

- [5] Xie Z K, Wang Y J, Wei X H, et al. Impacts of a gravel-sand mulch and supplemental drip irrigation on watermelon (*Citrullus lanatus* [Thunb.] Mats. & Nakai) root distribution and yield[J]. Soil and Tillage Research,2006,89(1):35-44.
 [6] 李小刚,王平,刘淑英,等. 兰州砂田蔬菜施肥现状及钾肥肥效[J]. 土壤通报,2001,32(5):220-221.
 [7] Nachtergaele J, Poesen J W, Van wesemael B. Gravel mulching in vineyards of southern Switzerland[J]. Soil and Tillage Research,1998,46:51-59.
 [8] William J G, McColl R W, Xie F. Sandy fields traditional farming for water conservation in China[J]. Journal of Soil and Water Conservation,1993,48:474-477.
 [9] Li X Y. Soil and water accumulation by gravel-sand mulches in western loess plateau of northwest China [C]//12th ISCO Conference Proceedings,2002:192-197.
 [10] Li X Y, Xie Z K, Yan X K. Runoff characteristics of artificial catchment materials for rainwater harvesting in the semiarid regions of China[J]. Agricultural Water Management,2004,65(3):211-224.
 [11] Li X Y. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China[J]. Catena,2003,52:105-127.
 [12] Li X Y. Soil and water conservation in arid and semiarid areas: The Chinese experience[J]. Annals of Arid Zone,2000,39(4):377-393.
 [13] Xie Z K, Wang Y J, Jiang W L, et al. Evaporation and evapotranspiration in a watermelon field mulched with gravel of different size in northwest China[J]. Agricultural Water Management,2006,81:173-184.
 [14] Tsutomu Yamanaka, Mitsuhiro Inoue, Ichiro Kaihotsu. Effect of gravel mulch on water vapor transfer above and below the soil surface[J]. Agricultural Water Management,2004,67:145-155.
 [15] Perez F L. The influence of surface volcanoclastic layers from Haleakala (Maui, Hawaii) on soil water conservation[J]. Catena,2000,38:301-332.
 [16] Moeyersons J, Nyssen J, Poesen J, et al. On the origin of rock fragment mulches on Vertisols: A case study from the Ethiopian highlands[J]. Geomorphology,2006,76:411-429.
 [17] Li X Y, Shi P J, Liu L Y, et al. Influence of pebble size and cover on rainfall interception by gravel mulch[J]. Journal of Hydrology,2005,312:70-78.
 [18] Li X Y, Liu L Y, Gong J D. Influence of pebble mulch on soil erosion by wind and trapping capacity for windblown sediment[J]. Soil and Tillage Research,2001,59:137-142.
 [19] Li X Y. Effect of gravel-sand mulches on dew deposition in the semiarid region of China[J]. Journal of Hydrology,2002,260:151-160.
 [20] 陈士辉,谢忠奎,王亚军,等. 砂田西瓜不同粒径砾石覆盖的水分效应研究[J]. 中国沙漠,2005,25(3):433-436.
 [21] 田媛,李晓玲,李凤民,等. 砂田集雨补灌对西瓜产量和土壤水

- 分的影响[J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 459-463.
- [22] 原翠萍, 张心平, 雷廷武, 等. 砂石覆盖粒径对土壤蒸发的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 25-28.
- [23] 逢蕾, 肖洪浪, 路建龙, 等. 干旱半干旱地区砂田交界层土壤微生物区系研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 96-101.
- [24] 逢蕾, 肖洪浪, 谢忠奎, 等. 砂田不同覆盖方式对土壤微生物组成的影响[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 351-358.
- [25] 梁权, 杨继忠. 甘肃砂田小麦育种研究[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(1): 41-45.
- [26] 赵燕, 强力, 康建宏, 等. 宁夏砂田辣椒引种与品种比较研究[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(5): 125-127.
- [27] Wang Y J, Xie Z K, Li F M, et al. The effect of supplemental irrigation on watermelon (*Citrullus lanatus*) production in gravel-sand mulched fields in the Loess Plateau of northwest China[J]. *Agricultural Water Management*, 2004, 69: 29-41.
- [28] Li X Y, Gong J D, Wei X H. In-situ rainwater harvesting and gravel mulch combination for corn production in the dry semi-arid region of China[J]. *Journal of Arid environment*, 2000, 46: 371-382.
- [29] Li X Y, Gong J D, Gao Q Z, et al. Incorporation of ridge and furrow method of rainfall harvesting with mulching for crop production under semiarid conditions[J]. *Agricultural Water Management*, 2001, 50: 173-183.
- [30] Li X Y, Gong J D. Effect of different ridge: Furrow ratios and supplemental irrigation on crop production in ridge and furrow rainfall harvesting system with mulches[J]. *Agricultural Water Management*, 2002, 54: 243-254.
- [31] Wang Y J, Xie Z K, Malhi S S, et al. Effect of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, China[J]. *Agricultural Water Management*, 2009, 96: 374-382.
- [32] Li X Y, Liu L Y. Effect of gravel mulch on aeolian dust accumulation in the semiarid region of northwest China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2003, 70: 73-81.
- [33] 许强, 强力, 吴宏亮, 等. 砂田水热及减尘效应研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2009, 30(2): 180-182.
- [34] 刘连友, 刘玉璋, 李小雁, 等. 砾石覆盖对土壤吹蚀的抑制效应[J]. 中国沙漠, 1999, 19(1): 60-62.
- [35] 王金牛, 谢忠奎, 郭志鸿, 等. 砂田退化对土壤温度和蒸发影响的模拟研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 388-393.
- [36] 杨来胜. 砂田及其不同覆盖方式的水热效应对白兰瓜生长发育影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [37] 雒焕析. 白银地区砂田的防旱作用及其耕作[J]. 干旱地区农业研究, 1991(1): 37-45.

Soil Profile Structure and Moisture Character of Gravel-Sand Mulched Field in Arid and Semiarid Area of China

PANG Lei^{1,2,3}, XIAO Hong-lang², LU Jian-long¹, ZHOU Mao-xian², XIE Zhong-kui²,
LI Cai-zhi², ZHAO Liang-ju², CHAI Shou-xi¹, CHANG Lei¹, REN Juan²

(1. *Gansu Agricultural University Agronomy Department, Lanzhou, Gansu 730070, China*; 2. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of sciences, Lanzhou 730000, China*; 3. *Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*)

Abstract: Soil profile, soil moisture content (SMC), soil bulk density and soil water holding capacity both of in-using gravel-sand mulched field (GSMF) and abandoned GSMF in arid and semiarid area were determined to study soil profile structure and soil moisture characters of the GSMF. The effects of different gravel-sand mulching conditions on SMC were also studied through GSMF simulating experiment. The profile of GSMF has five layers, they are gravel-sand mixed layer, soil and gravel-sand mixed layer, roots dense layer, eluviating layer and calcium accumulation layer, respectively. Gravel-sand mulching can increase SMC significantly, and makes the eluviating layer deeper. The soil moisture condition in the GSMF which has full soil profile is better than in the GSMF which hasn't full soil profile. The SMC in upper soil layer is influenced significantly by deeper soil layer. The thickness of 9 cm and the small diameter of gravel-sand can help SMC accumulation. The SMC was the lowest in the first year after gravel-sand mulching, and then it increased slowly with the mulching duration increased. During the mulching year from the sixth to twelfth, the SMC reached the highest level, and then it decreased slowly with the mulching duration increased. When the mulching time is at the sixth year, the soil bulk density reached the lowest, and the water holding capacity reached the highest level, then with the gravel-sand mulching duration increased, the soil bulk density increased and the water holding capacity decreased slowly.

Keywords: gravel-sand mulched field; profile structure; soil moisture; bulk density; water holding capacity