

砒砂岩与沙复配成土造田技术研究

付佩¹, 王欢元¹, 罗林涛^{1,2}, 韩霁昌¹, 马增辉¹, 童伟¹, 程杰¹

(1. 陕西省地产开发服务总公司 陕西省土地整治工程技术研究中心 国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安 710075; 2. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 砒砂岩和沙是毛乌素沙地的两种主要物质, 是造成当地水土流失和土地沙漠化问题的主要原因, 在当地被称为“两害”。针对如何将砒砂岩与沙复配成土的技术问题, 开展了砒砂岩和沙不同配比混合后的“复配土”特性研究, 并在富平县及榆阳工程示范区进行了作物试种, 均已取得良好成效。实验结果表明, 玉米和马铃薯分别适宜在砒砂岩与沙为 1:2 和 1:5 的复配土中生长。对大田试种后的土壤肥力水平与环境质量状况的分析结果表明, 各指标均符合种植标准。

关键词: 砒砂岩; 沙; 复配土; 作物生长; 毛乌素沙地

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2013)06-0242-05

中图分类号: S156

Farmland-building Technology of Turning Arsenic Rock and Sand into Soil

FU Pei¹, WANG Huan-yuan¹, LUO Lin-tao^{1,2},

HAN Ji-chang¹, MA Zeng-hui¹, TONG Wei¹, CHENG Jie¹

(1. Shaanxi Province Estate Development Service Corporation, Shaanxi Province Land Reclamation Engineering Technology Research Center, Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Land and Resources of China, Xi'an, Shaanxi 710075, China; 2. College of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: Arsenic rock and sand, two main substances in Mu Us Desert, called "two evils" by the locals are the primary causes of soil erosion and land desertification. This paper mainly focuses on the farmland-building technology of mixing arsenic rock and sand. It also studies the characteristics of mixed soil of arsenic and sand in different proportions. The results showed that crops growing in Fuping County and Yuyang engineering demonstration zone had good effects, indicating that corn is suitable for planted in 1:2 remixed soil, and the most suitable ratio for potato is 1:5. The soil fertility and environmental quality of mixed soil are both in line with the planting standards.

Keywords: arsenic rock; sand; mixed soil; crop growth; Mu Us Desert

毛乌素沙地是鄂尔多斯高原东南部和陕北长城沿线沙地的统称^[1], 位于北纬 37°30'—39°20', 东经 107°20'—111°30'之间。毛乌素沙地地处北方农牧交错生态脆弱区, 生态环境极易破坏, 人地矛盾相对突出。东南部人为破坏严重, 流沙比重大; 西北部除有流沙分布外, 还有成片的半固定、固定沙地分布; 东部和南部地区农田高度集中于河谷阶地和滩地, 向西北则农地减少, 草场分布增多; 流沙在一些区域还在扩大。治沙是毛乌素沙地所在很多地区面临的首要任

务。为了控制风沙危害, 改善生态环境和农牧业生产条件, 学者们^[2-3]提出了多种毛乌素沙地的生态修复措施, 但该区的土壤和水分条件限制了这些措施的开展^[4]。例如, 飞播造林^[5]已有 30 多年的历史, 但飞播后种子的稳定性差, 成活率低, 尤其是在流动性很强的沙地上, 由于沙面极不稳定, 水分条件差, 植物入侵困难。因此, 毛乌素沙地的治理需要将工程固沙与生物固沙措施结合起来^[6-7]。王仁德^[8]就提出了毛乌素沙地治理及综合利用新模式, 但核心问题是沙地改

收稿日期: 2012-12-03

修回日期: 2013-04-09

资助项目: 陕西省科技新星计划项目“砒砂岩与沙复配成土稳定性及可持续利用研究”(2011KJXX60); 陕西省农业攻关计划“休闲期砒砂岩与沙复配造田固沙关键技术研究”(2012K01-34)

作者简介: 付佩(1986—), 女(汉族), 陕西省咸阳市人, 硕士研究生, 主要从事土地工程与化学工程方面的研究。E-mail: 651129200@qq.com。
通信作者: 韩霁昌(1966—), 男(汉族), 陕西省渭南市人, 博士, 研究员, 主要从事土地工程方面的研究。E-mail: fupei1205@163.com。

良。国外已有砂黏混合土^[9],塌陷土和砂混合土^[10],膨润土和沙土混合土^[11]等沙地改良的报道。国内已有沙土和盐碱土混合成沙碱土^[12],炭和腐泥改良风沙土^[13],沙土和煤矸石混合成土^[14]等复合土壤种植作物的报道。在毛乌素沙地地区,一般可通过黄土与沙混合来达到沙地改良的目的。但该方法在榆林的沙荒地治理中很难实行,一方面,当地最近的黄土土源约在50~60 km外,仅拉土成本就高达10.5万元/hm²,工程成本太高;另一方面,陕北属于黄土高原沟壑区,大量开采黄土势必会加速水土流失和环境恶化。

毛乌素沙地中还广泛分布着砒砂岩,其以晋陕蒙接壤区为中心,遍及内蒙古自治区的杭锦旗、清水河两县的部分地区,总面积达 1.67×10^4 km²^[15]。砒砂岩无水则坚硬如顽石,有水则松软如烂泥,遇风则风化剥蚀,因冻融作用强烈,致使沟谷坡表层的松散层达5~10 m。并且,砒砂岩极易风化,遇风、遇雨、遇冻、遇晒、遇外力,很容易松散,砒砂岩区又是黄土高原的暴雨中心,降水多以暴雨形式出现,加之植被稀少等原因,造成砒砂岩区侵蚀严重,产沙量大,遇到山洪暴发,便顺流而下,进入黄河,成为下游河床不断淤高的主要原因。砒砂岩区土壤侵蚀模数高达约 4.0×10^4 t/(km²·a),是黄土高原侵蚀最剧烈的区域。

砒砂岩成岩程度低,结构强度低,易风化,颗粒间胶结程度低,渗透性能差,优点是具有较好的持水和保水能力^[16-17],岩层贮水多,成为相对富水层,能为植物生长提供水分。沙土质地均一,结构疏松,水分在土层空间内的分布较为均匀,一旦水分补给减少,蒸散增加,就会出现整体性缺水。由于砒砂岩具有保水性能好的优点,可以弥补沙漏水漏肥的缺点。利用二者互补的性质,进行了砒砂岩与沙以不同比例混合复配成土及其作物种植实验。在砒砂岩与沙成土室内、田间试验研究基础上,选取毛乌素沙地在地理位置、气候、水文(主要是水资源)等方面具有典型性的榆阳区小纪汗乡大纪汗村作为大田工程示范项目点,对砒砂岩与沙成土大田工程示范进行了研究。研究成果有助于砒砂岩与沙成土技术在毛乌素沙地的大面积推广,对于增加陕西省耕地面积、提高耕地质量具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

实验所用砒砂岩与沙均采自毛乌素沙地榆林市榆阳区。室内实验和田间小区试验在陕西省地产开

发服务总公司的富平县试验基地(E108°57'—109°26', N34°42'—35°06')进行。富平县是关中平原和陕北高原的过渡地带,属渭北黄土高原沟壑区,地势北高南低,自西北向东南倾斜,海拔375.8~1 420.7 m。气候属于大陆性季风温暖带半干旱型气候区,年总辐射量5 187.4 MJ/m²,年日照时数约2 389.6 h,年均气温为13.1℃,年平均降水量527.2 mm(1960—1995年),降水年际变率达21.2%^[18]。

大田工程示范在榆林市榆阳区,榆阳区位于陕西省榆林市的中北部,无定河中游,东与神木毗邻,西北与内蒙接壤,东南与佳县、米脂县交接,西南与横山县相连。根据2009年第二次土地全面调查数据汇总结果显示,榆林市未利用土地占陕西省未利用土地总面积的45.60%,其中沙荒地约 3.53×10^5 hm²,占榆林未利用地总面积的91.65%。项目区位于毛乌素沙地腹地,长城以北约30 km,涉及榆阳区小纪汗乡大纪汗村1个行政村,地理坐标介于东经109°29'50"—109°31'44",北纬38°26'23"—38°27'02"之间,属典型的风沙草滩区,其特殊的地理位置及植被类型决定了无法利用传统措施进行大面积造地。而榆阳区小纪汗乡大纪汗村土地开发项目周边砒砂岩分布较为广泛。项目区周边的分布区域有距离项目区约5 km的井克梁村,分布有约1 km²;距项目区25 km的杨家滩村约有2.7 km²;距项目区15 km的黄土梁村约有0.6 km²的砒砂岩分布,而且均为盖沙区砒砂岩。

1.2 研究方法

将砒砂岩与沙在室内自然风干,研钵研磨,使之全部通过2 mm孔径的筛子,将砒砂岩与沙以不同的比例混合均匀备用。分别测定了各混合比例下的土壤机械组成、毛管孔隙度、饱和导水率和有机质等理化性质,使用的方法分别为吸管法、环刀法、定水头法、重铬酸钾氧化—外加加热法。综合评价砒砂岩与沙在不同混合比例下的成土物理性质。

根据室内实验选出砒砂岩与沙0:1,1:5,1:2,1:1,2:1,5:1,1:0等混合比例进行富平县小区田间试验研究。在自然气候等环境条件下栽培作物,以不同比例混合的砒砂岩与沙为培养介质,在当地传统水肥管理下种植适宜当地气候的多种作物,确定的作物生长的最佳混合比例。田间小区和榆阳区示范工程主要种植马铃薯和玉米。榆阳区大田工程示范是在田间小区实验基础上,结合土地整治工程和现代高效节水灌溉技术在项目示范区进行的小范围的工程示范。榆阳区作物试种后“复配土壤”肥力水平和重金属指标的测定方法详见表1。

表 1 土壤肥力检测项目与分析方法

检测项目	检测方法	依据的标准
pH 值	酸度计法	NY/T 1121.2—2006
有机质	重铬酸钾法	NY/T 1121.6—2006
全盐量	残渣烘干—质量法	NY/T 1121.16—2006
全氮	全自动间断化学分析仪	—
速效磷	0.05 mol/L NaHCO ₃ 法	《土壤农化分析》土壤中磷的测定
速效钾	联合浸提—比色法	NY/T 1848—2010
总砷、汞、铅、镉、铬、铜、锌、镍	ICP—MS 法	—

2 结果与讨论

2.1 砒砂岩与沙复配土室内实验

土壤质地与土壤理化性状密切相关,因此,可通过测定其机械组成,确定合成“土壤”的质地。并选取饱和导水率和毛管孔隙度作为持水保水能力的指标,以有机质作为肥力指标对合成“土壤”性状进行评价。砒砂岩与沙混合后的土壤质地随着其中砒砂岩比例的增大,质地类型呈现:砂土→砂壤→壤土→粉壤的变化趋势(表 2)。由表 2 可见,当沙中混入砒砂岩后,结构性质不良的砂质土壤得到了显著的改良。二者混合后经测定饱和导水率比全沙显著下降,说明砒砂岩有降低饱和导水率的作用。在混合比例 1:5~1:2 是混合样品的饱和导水率下降趋势由快到慢的转折点,该比例范围是较为理想的导水范围(图 1)。砒砂岩含量的增加对合成“土壤”结构性的改良具有积极的作用,但不宜过多,否则影响结构的通透性。经测定,毛管孔隙度随着砒砂岩混合比例的增加从 26.33% 提高到了 44.94%(图 2),说明沙中混入砒砂岩后,非毛管孔隙有向毛管孔隙转变的趋势,毛管孔隙度增大,有利于蓄水供水,保证作物良好的生长条件。砒砂岩与沙混合后的有机质含量变化范围为 0.42~1.06 g/kg,不适宜作物的直接生长,可通过后期施用有机肥等措施得以改善。

表 2 砒砂岩与沙不同混合比例下的土壤质地

砒砂岩与沙混合比例	粒径比例/%			土壤质地
	砂粒(2~0.05 mm)	粉粒(0.05~0.002 mm)	黏粒(<0.002 mm)	
0:1	94.07	3.20	2.73	砂土
1:5	74.79	20.08	5.13	砂壤
1:2	64.67	30.04	5.29	砂壤
1:1	46.84	44.92	8.24	壤土
2:1	33.76	58.58	7.66	粉壤
5:1	20.61	72.18	7.21	粉壤
1:0	19.57	72.94	7.49	粉壤

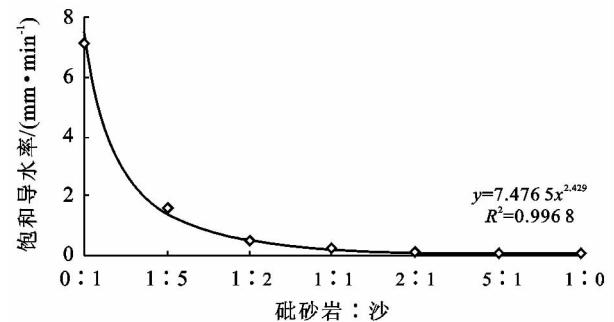


图 1 砒砂岩与沙不同混合比例下的饱和导水率

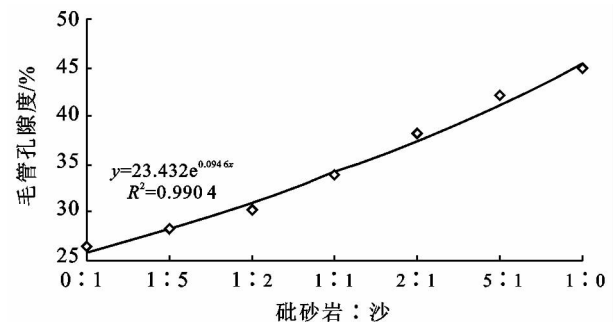


图 2 砒砂岩与沙不同混合比例下的毛管孔隙度

2.2 砒砂岩与沙复配土富平县小区试验

根据砒砂岩与沙复配土室内实验相关研究结果,以砒砂岩与沙 1:2 和 1:5 等混合比例种植作物。不同砒砂岩与沙混合比例的土壤分别经两季作物种植后的有机质含量变化详见表 3。其中砒砂岩与沙 1:2 和 1:5 配比下的“土壤”有机质含量平均分别提高了 0.465 和 0.695 g/kg,并且土壤有机质含量呈现出随着种植作物季数的增加而增加的趋势;砒砂岩与沙混合比例为 1:2 和 1:5 的 >0.25 mm 水稳定性团聚体含量在第二季作物种植后分别达到了 22.82% 和 20.82%,分别比砒砂岩与沙混合种植前的含量提高了 1.38% 和 2.44%(表 4),而且,土壤团聚体粒径分布更为均匀,土壤结构逐渐改善。玉米和马铃薯在 1:2 和 1:5 复配土壤中的产量分别为 9 900,8 250 kg/hm² 和 22 500,35 235 kg/hm²。从作物产量情况来看,玉米适宜在 1:2 复配土壤中生

长,而马铃薯适宜在 1:5 复配土壤中生长。

表 3 土壤种植两季作物前后的有机质含量 g/kg

砒砂岩与沙混合比例	混合种植前	第一季作物收获后	第二季作物收获后
1:2	0.480	0.983	1.409
1:5	0.430	0.780	1.820

表 4 土壤种植两季作物前后水稳定性团聚体质量百分含量 %

砒砂岩与沙混合比例	混合种植前	第一季作物收获后	第二季作物收获后
1:2	21.44	22.08	22.82
1:5	18.38	19.02	20.82

注:风干土质量为 50 g。

2.3 砒砂岩与沙复配土榆阳区大田试种

榆阳项目区未利用土地开发前均为高低起伏的风沙草滩地,相对高差小于 20 m,土地平整工程任务大,项目共移动土方 $1.35 \times 10^6 \text{ m}^3$,平整后共划分为 28 个田块,单个田块均为规则的长方形,均约 5.7 hm^2 /块,根据实际地形,田块长边方向坡降基本控制在 2‰、宽边方向坡降基本控制在 5‰ 范围内,土地平整度及坡降均满足灌水均匀等相关技术要求。每个田块的耕作层在 30 cm,整个工程主要采用外运砒砂岩进行覆盖、破碎、翻耕搅拌达到复合成土,以达到改善土壤结构的目的,整个项目共覆砒砂岩 $1.55 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。用于种植马铃薯的田块砒砂岩与沙以 1:5 的比例混合,即覆盖 5 cm 左右砒砂岩于沙土上,再对 30 cm 耕作层进行翻旋混匀。用于种植玉米的田块砒砂岩与沙以 1:2 的比例混合,即覆盖约 10 cm 砒砂岩于沙土上,再对 30 cm 耕作层进行翻旋混匀。马铃薯和玉米的产量分别为 $37\ 500 \sim 45\ 000 \text{ kg/hm}^2$ 和 $13\ 500 \sim 14\ 250 \text{ kg/hm}^2$ 。

2.3.1 砒砂岩与沙复配土榆阳区大田试种后土壤的肥力水平分析 榆林市榆阳工程示范区共规划了 7 块农田,在 2012 年马铃薯收获后,在每块农田中采集了 1 个土壤样品。土壤样品的采集与制备按照《土壤理化分析与剖面描述》^[19] 进行。

由表 5 看出,根据《陕西土壤》,榆林市榆阳区土壤 pH 值偏碱性,变幅在 8.26~8.50。《陕西土壤》中陕北地区土壤的有机质以 9 级为主。砒砂岩与沙复配土在作物收获后,测得土壤有机质平均含量为 2.2 g/kg,变幅在 1.3~3.4 g/kg,处于 9 级水平。一般认为,土壤有机质含量大于 20 g/kg 的土壤比较肥沃,所以总体上来说,土壤有机质含量急需提高。砒砂岩

与沙复配土平均全盐量为 0.13%,变幅范围为 0.01%~0.25%,一般情况下,当耕作层土壤含盐量大于 0.2% 时,作物的生长发育会受一定的影响,复配土有 90% 左右的全盐量达标,符合种植标准。土壤全氮含量是土壤肥力的主要指标之一。砒砂岩与沙复配土测得土壤全氮平均含量为 0.57 g/kg,变幅在 0.42~0.70 g/kg,处于 7 级水平。土壤速效磷含量水平是土壤供磷能力的重要指标之一。根据《陕西土壤》的研究结果,陕西省绝大部分地区的土壤是缺磷的^[10],砒砂岩与沙复配土测得土壤速效磷平均含量为 3.0 mg/kg,变幅在 2.5~3.7 mg/kg,处于 7 级水平。砒砂岩与沙复配土测得土壤速效钾平均含量为 60.1 mg/kg,变幅在 47.4~85.0 mg/kg,处于 6 级水平。

表 5 复配土理化指标检测结果

土样编号	pH 值	有机质/(g·kg ⁻¹)	全盐量/%	全氮/(g·kg ⁻¹)	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)
1	8.48	1.6	0.14	0.55	2.9	85.0
2	8.46	3.1	0.12	0.42	3.7	47.4
3	8.41	1.3	0.01	0.57	3.5	49.7
4	8.47	3.4	0.14	0.70	2.7	54.4
5	8.50	1.3	0.12	0.64	2.9	47.4
6	8.32	1.3	0.25	0.52	2.9	61.5
7	8.26	3.0	0.12	0.59	2.5	75.6
平均	8.41	2.2	0.13	0.57	3.0	60.1

2.3.2 砒砂岩与沙复配土榆阳区大田试种后土壤的环境质量状况 由表 6 可以看出,复配土全砷含量变化范围 2.48~14.50 mg/kg,全汞含量变化范围 0.05~0.14 mg/kg,全铅含量变化范围 15.79~21.44 mg/kg,全镉含量变化范围 0.18~0.33 mg/kg,全铬含量变化范围 16.64~27.23 mg/kg,全铜含量变化范围 2.34~8.79 mg/kg,全锌含量变化范围 2.41~7.96 mg/kg,全镍含量变化范围 6.27~14.55 mg/kg。根据《土壤环境质量标准》^[20],砒砂岩与沙复配土壤质量中除全镉含量一部分达到一级标准,一部分达到二级标准外,其余重金属砷、汞、铅、铬、铜、锌、镍的含量均达到了一级标准,均符合种植标准。从 2009 年开始,在榆阳区大纪汗土地开发示范工程中,累计整治规模 $2\ 100 \text{ hm}^2$,新增耕地 $1\ 573 \text{ hm}^2$,新技术节支总额约 1.57 亿元,且节水效果显著;建成的规模化、高标准脱毒马铃薯原种繁育基地,对周边农户起到了辐射带动作用,经济、社会和生态综合效益显著。

表 6 复配土重金属含量

mg/kg

土样编号	全砷	全汞	全铅	全镉	全铬	铜	锌	镍
1	14.50	0.14	21.44	0.33	27.23	8.79	6.92	14.55
2	5.90	0.09	17.47	0.22	21.04	6.93	4.28	10.62
3	4.02	0.07	17.95	0.18	16.64	2.75	2.41	6.39
4	5.35	0.07	17.77	0.27	22.79	5.22	7.52	10.35
5	2.48	0.06	15.95	0.22	21.46	2.34	2.80	6.39
6	2.58	0.05	15.79	0.22	21.45	2.35	2.88	6.27
7	9.15	0.05	19.01	0.33	21.51	5.63	7.96	10.99
平均	6.28	0.07	17.91	0.25	21.73	4.86	4.97	9.37

3 结论

玉米和马铃薯分别适宜在砒砂岩与沙为 1:2 和 1:5 的复配土中生长,并对大田试种后的土壤肥力水平与环境质量状况进行了分析,均符合种植标准。总体来看,砒砂岩与沙两种物质按照一定比例混合后,改善了砒砂岩和沙物质自身的不利特性,产生了新的土壤特性,可以满足作物生长的需求,增加了耕地资源。砒砂岩与沙复配成土造田技术为在毛乌素沙地大规模推广应用提供了科学依据。

[参 考 文 献]

- [1] 朱俊凤,朱震达. 中国沙漠化防治[M]. 北京:中国林业出版社,1999.
- [2] 韩丽文,李祝贺,单学平,等. 土地沙化与防沙治沙措施研究[J]. 水土保持研究,2005,12(5):210-213.
- [3] 孙丽敏,侯旭光. 干旱、半干旱地区植被治沙造林技术措施[J]. 防护林科技,2005,(4):90-91.
- [4] 牛兰兰,张天勇,丁国栋. 毛乌素沙地生态修复现状、问题与对策[J]. 水土保持研究,2006,13(6):239-242.
- [5] 沈渭寿. 毛乌素沙地飞播植被现状与评价[J]. 中国沙漠,1998,18(2):143-148.
- [6] 李维,张强. 毛乌素沙地植被恢复措施[J]. 林业调查规划,2007,32(5):76-78.
- [7] 吴卿,杨莉,李文忠,等. 榆林沙区防风固沙林结构与效益研究[J]. 人民黄河,2010,32(7):89-94.
- [8] 王仁德,吴晓旭. 毛乌素沙地治理的新模式[J]. 水土保持研究,2009,16(5):176-180.
- [9] Kanayama M, Ohira T, Ogawa Y, et al. Variation of microstructure with consolidation proceeding for sand-clay mixed soils[J]. Journal of the Clay Science Society of Japan, 2009, 48(1): 1-8.
- [10] Moussa G K. New approach for estimating the permanent strain of collapsible soil-sand mixtures[J]. Alexandria Engineering Journal, 2002, 41(3): 475-483.
- [11] Pandian N S, Nagaraj T S, Raju P S R N. Permeability and compressibility behavior of bentonite-sand/soil mixes[J]. Geotechnical Testing Journal, 1995, 18(1): 86-93.
- [12] 周道玮,田雨,王敏玲,等. 覆沙改良科尔沁沙地—松辽平原交错区盐碱地与造田技术研究[J]. 自然资源学报,2011,26(6):910-918.
- [13] 马云艳,赵红艳,严啸,等. 泥炭和腐泥改良风沙土前后土壤理化性质比较[J]. 吉林农业科学,2009,34(6):40-44.
- [14] 张晓薇,詹强. 矿区退化土地土壤改良剂的研制[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2010,29(S1):147-148.
- [15] 王愿昌,吴永红,寇权,等. 砒砂岩分布范围界定与类型区划分[J]. 中国水土保持科学,2007,5(1):14-18.
- [16] 黄宝林. 扎根砒砂岩不渝水保情:记内蒙古有突出贡献的水保科技工作者侯福昌[J]. 中国水土保持,1994(1):54-55.
- [17] 朱晓梅,臧春鑫,宋炳煜. 皇甫川流域砒砂岩及栗钙土的土壤水分特征[J]. 人民黄河,2007,29(7):40-44.
- [18] 张岁岐,辛小桂. 富平县农业气候资源及灾害天气分析[J]. 水土保持研究,1999,6(1):32-36.
- [19] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社,1997.
- [20] 国家环境保护局和国家技术监督局. GB 15618—1995 中华人民共和国国家标准[S]. 北京:中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会,1995.