陕北黄土洼天然淤地坝沉积物粒度 特征与降雨关系研究

颜 艳,岳大鹏,陈宝群,李 奎,刘 鹏 (陕西师范大学旅游与环境学院,陕西西安710062)

摘 要:利用¹³⁷Cs 断代技术进行沉积物的测年,结合 1953—2010 年的降雨资料,对黄土洼天然聚湫坝淤地沉 积物粒度特征与降雨的关系进行了分析。结果表明,坝淤地 4.1 m 沉积物是在近百年内形成的,至少记录了 42 次 较大的暴雨洪水事件;集中性降水形成的洪水,主要携带粗颗粒沉积物,对土壤的侵蚀力更强;在丰水年,沉积物粒 度与年降水、7—9 月降水、30 日最大降水和 24 h最大降水的相关性极显著,而在枯水年,沉积物粒度与降水因子的 相关性较丰水年弱。本研究为反演陕北黄土高原土壤侵蚀产沙过程,推算侵蚀量提供理论依据。

关键词:坝淤地沉积物;粒度;降雨因子;土壤侵蚀;黄土洼 中图分类号: S152.3;P597.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)06-0201-06

Study on the relationship between rainfall and grain-size characteristics of check dam sediments at Huangtuwa in northern Shaanxi

YAN Yan, YUE Da-peng, CHEN Bao-qun, LI Kui, LIU Peng

(College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Dating the sediments age with ¹³⁷Cs, using rainfall data from 1953 to 2010, was analyzed the relationship between rainfall and grain-size characteristics of sediments in natural dammed-lake of Huangtuwa. The results showed that: The sediments of 4.1 m depth was formed in recent one hundred years and has recorded at least 42 times storm flood events. The flood formed by centralized rainfall, mainly carried coarse sediment, and had stronger soil erosion force. In wet years, the grain size of sediments with annual precipitation, rainfall from July to September, and maximum rainfall in 30 days and 24 hours had significant correlation. While in dry years, the correlation of grain size of sediments with annual precipitation was weaker than wet years. It can provide a scientific basis for inverting soil erosion and sedimentation processes and calculating erosion amount in Loess Plateau of Northern Shaanxi.

Keywords: check dam sediments; grain size; rainfall factors; soil erosion; Huangtuwa

淤地坝是小流域综合治理水土流失的重要措施 之一,能有效地拦蓄洪水、减少入黄泥沙,又能形成 坝地,改善当地的生产生活条件,同时,淤地坝是小 流域的"沉沙池",沉积泥沙中赋存了大量小流域侵 蚀产沙及侵蚀环境变化的信息,为研究小流域土壤 侵蚀提供了良好的载体^[1-2]。20世纪 60 年代以 来,黄土高原修建了众多的淤地坝^[3],随着淤地坝运 行年限增长和库内泥沙量的不断增多,在遭遇大降 水尤其是特大暴雨时容易发生水毁^[4],这引起了越 来越多的学者注意。目前,对于淤地坝的研究多集 中于泥沙来源、沉积速率^[5-6]和淤积机理^[7]、减水减 沙效益方面^[8],但是对于淤地坝沉积物粒度特征与 降雨因子关系的直接研究较少。

陕北庞家沟流域的"黄土洼",是现今发现的黄 土高原地区时间序列最长的全冲、全淤型天然聚湫, 有"淤地坝的鼻祖"之称^[9]。黄土洼天然聚湫形成于 明隆庆年间(公元 1569 年),至今发育具有 440 多年 的历史,没有溢洪道,泥沙沉积信息保存完整,而目

作者简介:颜 艳(1988--),女,山东临沂人,硕士研究生,研究方向为水土资源评价与规划。E-mail: yanyandao@126.com。

收稿日期:2014-05-07

基金项目:国家自然科学基金项目(41071012);陕西省煤油气水土流失补偿项目"陕西能源开发项目水土流失监测技术研究及信息系 统建设"

通信作者:岳大鹏(1964—),男,陕西省兴平人,博士,教授,硕士生导师。主要从事自然地理、土壤侵蚀、土地资源与环境方面的研究。 E-mail: yuedp@ snnu.edu. cn。

前对黄土洼地区的研究很少^[3]。为此,本文选择庞 家沟流域黄土洼天然淤地坝内洪水沉积物作为研究 对象,采用¹³⁷Cs断年、沉积物中值粒径曲线峰值与 降雨匹配方法,分析了沉积物粒度特征与降雨的关 系,本研究为反演小流域土壤侵蚀历史及产沙过程 提供理论依据。

1 研究区域概况

黄土洼位于陕北子洲县南部裴家湾镇,处在无 定河一级支流淮宁河中游的庞家沟流域。黄土洼所 在的庞家沟流域属于黄土丘陵沟壑区第 I 副区,即 典型的黄土丘陵区,地形破碎、沟壑纵横,水土流失 严重,黄土物质分布广泛而深厚。土壤以黄土母质 上发育的黄绵土为主,粉砂含量高,土质疏松,抗冲 抗蚀性极弱。植被以荒草为主,其次是枣树和人工 栽种的柏树等。

研究区处于中纬度半干旱地区,属于大陆性季

风气候,四季分明,年平均气温 9.5℃,1 月均温 -7.6℃,7 月均温 24.2℃,多年平均降水量为 480 mm,降水年内分配不均,主要集中在 7—9 月份,约 占全年降水量的 65%,且多以暴雨的形式出现,水 力侵蚀是该流域的主要侵蚀方式。

2 研究方法

2.1 野外样品采集

2011年对陕北子洲县黄土洼进行了多次的野 外勘察,最终选取了淤地坝坝前较低的平坦洼地为 采样点(图1),采用竖井方式采样,在深度方向上每 2 cm 采一个样品,共采集 205 个样品,深度为4.1 m。采样点位于农地一侧,受到人为耕种的影响,另 一侧为野生的芦苇荡,淤地坝沉积物未受人为扰动。 为去掉人为因素对沉积物粒度的影响,表面 30 cm 土层未采样。





Fig.1 The location of sampling points in Huangtuwa

2.2 样品粒度测试

样品粒度分析采用激光法,仪器是采用英国 Malvem 公司生产的 Mastersizer 2000,仪器测量粒度 范围为 0.02~2 000 μm,用标样进行测定,相对误差 小于 2%。粒度测试流程:样品经自然风干后,每个 样品称取 0.8 g放入烧杯中,首先加入 10%的 H₂O₂ 在电热板上加热使其充分反应,去除样品中的有机 质,当气泡完全排完后,取下冷却,再加入 10%的 HCl 去除次生碳酸盐类,反应完后,注满蒸馏水静置 72 h,用导管抽取上部溶液,再注满蒸馏水,重复几 次,直至溶液为中性。上机测试前加入分散剂,使颗 粒充分分散。¹³⁷Cs 测试流程:将用于¹³⁷Cs 测试的样 品烘干,去除大块有机质,再进行研磨,装入测试样 品盒,密封 10 d 后,用美国 ORTEC 公司生产的高纯 锗低本地伽玛能谱仪进行测试。

3 结果与分析

3.1 淤地坝泥沙沉积年代的确定

¹³⁷Cs 源于 20 世纪 50—70 年代期间的大气核实 验产生的放射性尘埃,半衰期为 30.17 a,主要以降 水方式降落到地表,并与土壤颗粒的粘粒和有机质 紧密结合。深度为 410 cm 的剖面在 270 cm 处出现 了第一个¹³⁷Cs 峰值(图 2),初步判断是 50 年代沉降 的,具体年份结合降雨数据判断。¹³⁷Cs 最大峰值出 现在 210 cm 处,全球¹³⁷Cs 最大沉降量在 1963 年,我 国第一个原子弹爆炸在 1964 年 10 月 16 日,10 月中 旬以后,该区降雨很少,推断 210 cm 处为 1965 年。 按照此沉积速度,410 cm 的沉积物是在近百年内形 成的。1986 年 4 月前苏联乌克兰境内切尔诺贝利 核电站事故泄露的¹³⁷Cs 对我国存在一定的影响^[10], 并会形成一个次峰值^[11],因此,70 cm 处为 1986 年。 在 36 cm 深度处¹³⁷ Cs 又有一个较大值,有研究表 明^[12-13],¹³⁷ Cs 沉降量与降水呈正相关,该处受降雨 造成土壤侵蚀的影响。由于距离地表较近,应为 1986年以后形成的。由图 2 可知,1994年,24 h 最 大降水量、30 日最大降水量、7—9 月降水量、年降水 量均达到 1986年以后的最大峰值,因此 36 cm 处为 1994年。





Fig.2 The precipitation data of 1953-2010, particle size data in profile and ¹³⁷Cs in Huangtuwa

在 276~304 cm 处形成 28 cm 厚的沉积层(图 2),由¹³⁷Cs 含量在 270 cm 处达到峰值可知,该处时间是是 50 年代。在黄土高原地区,流域的产沙量大多数是由年内的几场大暴雨形成的^[14-15],而且一般都是洪峰与沙峰对应的。在 1959 年 8 月 18 日和 20 日,降水量分别为 67.4 mm、93.6 mm, 1956 年的降雨也较多(除 24 h 最大降雨量外,其它降雨因子

均达到峰值),根据大雨对大沙的原则,断定该沉积 层为1965—1959年形成的。1959年大降雨后,¹³⁷Cs 经过10—12个月的沉降,因此270 cm 处为1960年。 按照降雨峰值对应沉积物粒度峰值的原则,58 cm 为1988年,78 cm 为1985年,120 cm 处为1978年, 136 cm 处为1977年,244 cm 为1964年(表1)。

表 1	黄土洼剖面沉积物中值粒径曲线峰值与低值对应的年份	4
~ I	英工作的画加的物件值位在画文峰值与低值的位于一	,

Table 1 Corresponding year of the peak and low value of median grain size curve in Huangtuwa profile sediments

峰值处 Peak value									低值处	Low value	
深度 Depth/cm	36	58	78	120	136	244	292	70	210	252	270
年份 Year	1994	1988	1985	1978	1977	1964	1959	1986	1965	1963	1960

3.2 沉积物粒度特征和降雨的关系

研究区沉积物物源相对较单一,主要是水成沉积物,沉积物粒径的大小可以反映水动力搬运条件的强弱变化。其中沉积物剖面粒度曲线的峰值处 (突变层位),是由高能量的动力环境中沉积下来的 粗颗粒物质组成^[16],而细颗粒物质见于低能环 境^[17-18]。黄土洼近百年来拦蓄的泥沙记录了小流 域土壤侵蚀及产沙过程的变化和侵蚀环境的相关信 息,根据剖面沉积物中值粒径曲线峰值(突变)情况, 可以推断其水动力条件和侵蚀性降雨的变化。 3.2.1 泥沙粒径与降雨 淤地坝沉积物粒径多集 中在 0.005~0.1 mm 范围内(图 3),粗颗粒泥沙产 生于高能环境,因此粗泥沙颗粒的含量能够在一定 程度上指示水动力的强弱。通过泥沙粒度成分分析 (图 3),在 48~62 cm、114~122 cm、230~250 cm 典 型深度处,为粗泥沙(0.01~0.05 mm、0.05~0.1 mm 和 > 0.1 mm)含量峰值,对应的年份(1988 年、 1978年、1964年)中,24 h 最大降水、30 日最大降 水、7—9月降水和年降水均出现降雨峰值(图 2), 强烈的侵蚀性降雨加速了黄土洼地区的侵蚀,粗颗 粒泥沙含量在该层位明显的增加,出现较厚的洪水 沉积层。



图 3 黄土洼沉积物粒度分级

Fig. 3 Particle size classification of sediments in Huangtuwa

由粗颗粒泥沙(>0.01 mm)含量曲线图(图 2) 可以看出,到地面以下 290 cm 深度出现 30 次较明 显的峰值,依据大来水对大来沙的原则,是30次强 降雨作用的结果。1959—2010年大于 50 mm 的暴雨 有 30 次(图 2),与粗颗粒泥沙含量曲线峰值数可较好 地吻合。其剖面深度为 410 cm 的沉积物粗泥沙粒径 变化曲线共有 42 个较明显的峰值,可以推断出近百 年内黄土洼地区出现了 42 次较大的暴雨洪水事件。 3.2.2 粘度参数与降雨 黄土洼淤地坝剖面沉积 物中值粒径曲线峰值(较大的峰值)与低值(谷值和 比较小的峰值)对应的年份见表 1。在剖面沉积物 中值粒径曲线峰值处,粒度参数值(中值粒径、平均 粒径、偏度、峰态)大于剖面的平均值,在中值粒径曲 线低值处, 粒度参数值要小于剖面的平均值(见表 2),标准偏差变化不大。黄土洼古聚湫是典型的"闷 葫芦"坝,沉积物来源较单一,剖面沉积物粒度的标 准偏差为1.26~1.88,分选差,说明沉积环境(水动

力强弱)不稳定。沉积物粒度值的大小与坝控流域 降水的丰度和大小密切相关。较高的中值粒径、平 均粒径值代表了较强的水动力搬运条件,较小的中 值粒径、平均粒径值代表了相对稳定的水动力条件: 偏度值越大,沉积物粒度粗组分越大;在峰值处,沉 积物粒度峰态值较大,峰形窄而尖锐,说明流水作用 较强,而在低值处粒度值小,峰态中等,水动力条件 相对较弱。由图2可知,剖面沉积物中值粒度曲线 峰值范围对应着较大的降水,洪水的搬运动力大,携 带大量的粗颗粒泥沙在淤地坝中沉积下来,而在66 ~72 cm、198~226 cm、250~278 cm 范围内,沉积物 粒度值较小,粘粒含量多,与邻近峰值对应的年份相 比,24 h 最大降水、30 日最大降水、7—9 月降水和年 降水均较少,处于降水谷值区,洪水的搬运力较小, 沉积物颗粒较细。因此,较强的降水尤其是集中性 的降水形成的洪水,动能大,携带的粗颗粒泥沙多, 对土壤的侵蚀力强。

表 2 黄土洼剖面沉积物中值粒径曲线峰值与低值处粒度参数变化

Table 2 The grain size parameter variation in the peak and low value of median grain size curve in the Huangtuwa profile sediments

	峰值处 Peak value								低值处 Low value				
深度 Depth/cm	36	58	78	120	136	244	292	70	210	252	270		
中值粒径 Median size/µm	39.90	33.08	38.53	30.26	31.05	45.76	39.33	11.38	11.03	9.21	8.78	19.52	
平均粒径 Average size/µm	41.39	34.37	40.38	31.20	32.27	47.39	40.29	14.94	13.82	12.41	11.57	22.27	
标准偏差 Standard deviation	1.42	1.41	1.52	1.42	1.51	1.38	1.41	1.67	1.49	1.56	1.60	1.56	
偏度 Skewness	0.42	0.42	0.42	0.43	0.43	0.42	0.44	0.18	0.15	0.08	0.13	0.26	
峰态 Kurtosis	1.64	1.56	1.47	1.53	1.49	1.57	1.61	1.00	1.03	1.03	1.00	1.16	

3.3 粒度与降雨因子的相关性

表3是利用 spss软件进行线性相关关系计算, 采用 Pearson简单相关系数(r)。由表3可以看出, 黄土洼天然淤地坝沉积物在粒径曲线峰值范围内, 沉积物的中值粒径、平均粒径、细颗粒和粗颗粒与各 降雨因子成极显著相关(|r|>0.735),与24h最大 降水量相关性最强(|r|>0.815)。在黄土丘陵区, 每场洪水都会把一些泥沙带入淤地坝,坝淤地每一 层淤积泥沙量是与一次侵蚀性降雨相对应的。在峰 值范围,流域处于丰水年,侵蚀性降雨较多,各降雨 因子对土壤侵蚀的影响较大。其中,流域的产沙量 与暴雨侵蚀关系密切,暴雨洪水是黄土洼古聚湫沉 积物的主要塑造者,暴雨与24h最大降水基本是重 复的,因此与沉积物中值粒径、平均粒径、细颗粒和 粗颗粒的相关性最显著。而在低值范围内,中值粒 径、平均粒径、细颗粒和粗颗粒与 30 日最大降水成 极显著相关,与 24h 最大降水成极显著相关或显著 相关,与年降水、7—9 月降水相关。在枯水年,侵蚀 性降雨比较少,主要集中在某个月内或某些天内,因 此与 30 日最大降水、24 h 最大降水相关性较强。根 据动能计算公式 *E* = 1/2*MV*^{2[19]}可知,流水动能(*E*) 与流速(*V*)的 2 次方、流量(*M*)的 1 次方成正比。因 此,对黄土洼古聚湫坝控流域来说,流量大小取决于 降水的多少,降水增多,流量变大,携带的粗颗粒泥 沙多,反之,则少。在低值范围内,对应的年份为枯 水年,侵蚀性降水较少,对地表的侵蚀力弱,沉积物 的粒度受其影响没有丰水年大。这可能是在低值范 围内,降水因子与粒度组分的相关性没有丰水年强 的原因。

Table 5 The contribution between fullian factor and security for size in Frankfully profile										
粒度 Crein cize	年降 Annual pr	水量 ecipitation	7—9 月 Rainfall to Sep	降水量 from July tember	30日最 Maximu in 30	大降水量 m rainfall) days	24h 最大降水量 Maximum rainfall in 24 hours			
Grain Size	峰值 Peak value	低值 Low value	峰值 Peak value	低值 Low value	峰值 Peak value	低值 Low value	峰值 Peak value	低值 Low value		
中值粒径 Median size/µm	0.811**	0.678*	0.810**	0.608*	0.850**	0.827**	0.880**	0.728**		
平均粒径 Average size /µm	0.791**	0.588*	0.788 * *	0.580*	0.829**	0.728**	0.864**	0.704 * *		
细颗粒 Fine particle/%	-0.735**	-0.535	-0.785 * *	-0.452	-0.803 * *	-0.736**	-0.815**	- 0.603 *		
粗颗粒 Coarse particle/%	0.735 * *	0.535	0.785 * *	0.452	0.803 * *	0.736**	0.815 * *	0.603 *		

表 3 黄土洼剖面沉积物粒度与降雨因子的相关性

Table 3 The correlation between rainfall factor and sediment grain size in Huangtuwa profile

注:*在 0.05 水平上显著相关,**在 0.01 水平上显著相关。

Note: * means correlation relationship at 0.05 confident level, * * means significant correlation at 0.01 confident level.

4 结 论

 1)黄土洼淤地坝集中性降水形成的洪水,搬运 力大,携带的沉积物主要为粗颗粒物质,对土壤的侵 蚀力更强。

2) 粗泥沙颗粒的含量能够在一定程度上指示

水动力条件,黄土洼深度为 410 cm 的剖面沉积物粗 泥沙含量曲线共有 42 个较明显的峰值,可以推断出 近百年内黄土洼至少出现了 42 次较大的暴雨洪水 事件。

3)不同降水因子在不同的年份(丰水年、枯水年)与粒度的相关性不同。在丰水年,沉积物粒度与

各降水因子相关性很强,尤其是与 24 h 最大降水的 相关性最显著,而枯水年,沉积物粒度与 30 日最大 降水、24 h 最大降水相关性显著,但不如丰水年强。

4) 黄土洼淤地坝发育有 440 多年的历史,由于 统计与技术的局限性,研究区 1953 年前的降雨资料 缺乏,可以利用沉积物粒度曲线的突变(峰值)层位 推断其形成时的水动力条件,反演 440 年来侵蚀性 降雨的变化。此外,暴雨与年 24 h 最大降水有重 复,但并不完全对应,在黄土高原区,流域产沙与暴 雨洪水关系密切,对于暴雨对沉积物粒度、土壤侵蚀 的具体影响,需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 张信宝,温仲明,冯明义,等.应用¹³⁷Cs示踪技术破译黄土丘陵 区小流域坝库沉积赋存的产沙记录[J].中国科学:D辑:地球 科学,2007,37(3):405-410.
- [2] 李 勉,杨剑锋,侯建才,等.黄土丘陵区小流域淤地坝记录的 泥沙沉积过程研究[J].农业工程学报,2008,24(2):64-69.
- [3] 龙 翼,张信宝,李 敏,等.陕北子洲黄土丘陵区古聚湫洪水 沉积层的确定及其产沙模数的研究[J].科学通报,2009,(1): 73-78.
- [4] 黄国俊,蒋定生.黄土地区修建淤地坝的设计洪水标准[J].水 土保持通报,1988,8(2):52-56.
- [5] 李少龙,苏春江,白立新,等.小流域泥沙来源的²²⁶ Ra 分析法
 [J].山地研究,1995,13(3):199-202.

- [6] 文安邦,张信宝,沃林 DE.黄土丘陵区小流域泥沙来源及其动态变化的¹³⁷Cs法研究[J].地理学报,1998,53(B12):124-133.
- [7] 魏 霞,李占斌,李 鹏,等.黄土高原典型淤地坝淤积机理研究[J].水土保持通报,2006,26(6):10-13.
- [8] 冉大川,姚文艺,李占斌,等.不同库容配置比例淤地坝的减沙 效应[J].农业工程学报,2013,29(12):154-162.
- [9] 安锁堂. 淤地坝鼻祖: 天然湫滩 [J]. 陕西水利, 2004, (2): 48-49.
- [10] 齐永青,张信宝,贺秀斌,等.中国¹³⁷Cs本底值区域分布研究 [J].核技术,2006,29(1):42-50.
- [11] 张信宝.有关湖泊沉积¹³⁷Cs 深度分布资料解译的探讨[J].山 地学报,2005,23(3):294-299.
- [12] PÅlsson S E, Howard B J, Wright S M1. Prediction of spatial variation in global fallout of ¹³⁷Cs using precipitation[J]. Science of the Total Environment, 2006, 367:745-756.
- [13] Alonso-Hern ndez C M, Cartas-guila H, Daz-Asencio M, et al. Atmospheric deposition of ¹³⁷Cs between 1994 and 2002 at Cienfuegos, Cuba1Journal of Environmental Radioactivity, 2006,88:199-204.
- [14] 李占斌,黄土地区小流域次暴雨侵蚀产沙研究[J].西安理工 大学学报,1996,12(3):177-183.
- [15] Hofmann L, Ries R E, Gilly J E. Relationship of runoff and soil loss to ground covers of native and reclaimed grazing land[J]. Agronomy Journal, 1983,75:599-602.
- [16] 张春生,刘忠保.现代河湖沉积与模拟实验[M].北京:地质出版社,1997.
- [17] 郑浚茂.陆源碎屑沉积环境的粒度标志[M].武汉:武汉地质 学院出版社,1982.
- [18] 任明达,王乃梁.现代沉积环境概论[M].北京:科学出版社, 1981.
- [19] 谢又予.沉积地貌分析[M].北京:海洋出版社,2000.

(上接第182页)

- [12] 张 飞,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽.渭干河一库车河三角洲 绿洲盐渍化土壤特征研究[J].干旱地区农业研究,2007,25
 (2):146-150.
- [13] 李新国,樊自立,李会志.开都河下游灌区土壤盐渍化特征分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):147-158.
- [14] 李新国,樊自立,李会志,等.开都河下游灌区土壤盐渍化动态 变化研究[J].水土保持研究,2011,18(3):64-72.
- [15] 苏永中,赵哈林.科尔沁沙地不同土地利用和管理方式对土壤 质量性状的影响[J].应用生态学报,2003,14(10):1681-1686.
- [16] 陈玉福,董鸣.毛乌素沙地景观的植被与土壤特征空间格局 及其相关分析[J].植物生态学报,2001,25(3):265-269.
- [17] Schlesinger W H. On the spatial pattern of soil nutrients indesert ecosystems[J]. Ecology, 1996,77(2):364-374.
- [18] 郑顺安,常庆瑞,齐雁冰.黄土高原不同林龄土壤质地和矿质 元素差异研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):94-97.
- [19] 罗格平,许文强,陈 曦.天山北坡绿洲不同土地利用对土壤 特性的影响[J].地理学报,2005,60(5):779-790.
- [20] 卢 丹.新疆焉耆盆地水土资源可持续利用[D].北京:中国 地质大学,2007:17-22.
- [21] 刘延锋,靳孟贵,金英春,等.新疆焉耆盆地土壤盐渍化特征分析[J].水土保持通报,2004,2(1):51-54.

- [22] 卢纹岱.SPSS for Windows 统计分析[M].北京:电子工业出版 社,2000:137-269.
- [23] 任明达,王乃梁.现代沉积环境概论[M].北京:科学出版社, 1985:8-26.
- [24] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版 社,2002:30-35.
- [25] 王耿明,姜琦刚,高永志,等.松辽平原土壤盐渍化现状及盐分 特征分析[J].水土保持研究,2008,15(3):105-111.
- [26] 卢 磊,乔 木,周生斌.新疆渭干河流域土壤盐渍化及其驱动力分析[J].农业现代化研究,2011,32(3):357-361.
- [27] 成都地质学院陕北队.沉积岩(物)粒度分析及其应用[M].北 京:地质出版社,1978:31-65.
- [28] 王 伟,李安春,徐方建,等.北黄海表层沉积物粒度分布特征 及其沉积环境[J].海洋与湖沼,2009,40(5):525-531.
- [29] 钱赤兵,周华荣,张丽云,等.塔里木河中下游湿地及及其周边 土壤粒度的空间分布[J].干旱区地理,2005,28(5):609-612.
- [30] 许文强,罗格平,陈 曦,等.干旱区绿洲不同土地利用方式和 强度对土壤粒度分布的影响[J].干旱区地理,2005,28(6): 800-804.
- [31] 罗格平,许文强,陈 曦.天山北坡绿洲不同土地利用对土壤 特性的影响[J].地理学报,2005,60(5):780-789.