

不同混合比例的砒砂岩与沙复配土壤中粉粒和黏粒的运移规律

马增辉¹, 韩霁昌^{1*}, 张瑞庆^{1,2} (1. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西地建土地工程技术研究院, 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. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要 [目的] 探讨砒砂岩与沙不同混合比例的复配土壤中粉粒和黏粒的运移规律, 为促进毛乌素沙地土地的可持续利用提供理论依据。[方法] 设定 1:1、1:2 和 1:5 3 种砒砂岩与沙不同复配比例小区试验, 分别于作物收获后对土壤粉粒和黏粒含量进行测定。[结果] 在 3 种复配土壤中, 粉粒和黏粒主要集中在土壤表层 0~30 cm 处, 下层土壤中粉粒和黏粒含量都较低; 从不同砒砂岩与沙的混合比例来看, 由于 1:1 复配土壤中砒砂岩的比例较高, 表层土壤中粉粒含量最高, 其大小关系为 1:1 比例处理 > 1:2 比例处理 > 1:5 比例处理。随着种植年限的增加, 粉粒和黏粒富集土层有向下运移的趋势, 尤其是表层土壤中的粉粒向下运移的趋势十分显著。同时, 下层土壤中的粉粒和黏粒比例也有小幅增加。[结论] 复配土壤中这种粉粒和黏粒的运移规律从长久来看将会导致复配土上层土壤趋于沙化, 下层土壤趋于壤土化, 整个土壤剖面中的宜耕层可能将会有越来越厚的一个趋势, 从而更加有利于植物的生长。

关键词 砒砂岩; 沙; 粉粒; 黏粒

中图分类号 S156 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)18-110-03

Silt and Clay's Movement Law of Different Blending Ratios of Feldspathic Sandstone and Sand Compound Soil

MA Zeng-hui¹, HAN Ji-chang^{1*}, ZHANG Rui-qing^{1,2} (1. Shaanxi Land Construction Group, Shaanxi Construction Land Engineering Institute of Technology, Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Land and Resources of China, Xi'an, Shaanxi 710075; 2. Institute of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract [Objective] Discussing the silt and clay's movement law of different blending ratios of Feldspathic Sandstone and Sand compound soil for the theory of sustainable utilization of Mu Us sand land. [Method] The field pot experiment was carried out by blending soft rock and sand with three different quality proportions of 1:1, 1:2 and 1:5. Content of silt and clay were determined after crop gathering, and the silt and clay's movement law of different blending ratios of Feldspathic Sandstone and Sand compound soil were investigated. [Result] Silt and Clay were concentrated on the arable layer, but lower under the arable layer of three compound soil; due to the Feldspathic Sandstone was higher in the compound soil of 1:1, therefore the highest content of silt in the surface soil, the relation is 1:1 > 1:2 > 1:5. Enrichment of soil of silt and clay would move downslope with the increase of crop planting year, especially the silt of the surface soil is significant, the percentage of silt and clay in the sunsoil showed a small increased at the same time. [Conclusion] The silt and clay's movement law of compound soil, in the long run the top layer soil will tends to sandy, the underlying soil tends to loam, the arable layer of mixed soil will become increasingly thick for the plants growth.

Key words Sandstone; Sand; Silt; Clay

土壤质地是土壤中各粒级占土壤质量的百分比组合。不同地粒级组成决定不同的土壤质地。质地类型决定着土壤蓄水、导水性, 保肥、供肥性, 保温、导温性, 是评价土壤肥力和作物适宜性的重要依据。位于陕、蒙、宁的毛乌素沙地地质上属于典型的多层次过渡带, 生态环境脆弱, 是我国北方沙漠化最严重的地区之一, 人地矛盾相对突出, 境内砒砂岩和沙广泛分布。砒砂岩无水坚硬如石, 遇水则松软如泥, 随水大量流失, 被誉为“环境癌症”。群众深受其水土流失危害^[1], 视其毒如砒霜, 故称其为“砒砂岩”。而沙子结构松散, 漏水漏肥, 有机质和养分含量很少, 水分的深层损失量大, 有效利用率很低。土地沙漠化和砒砂岩的水土流失并称“两害”, 严重制约区域可持续发展。韩霁昌等^[2]提出, 毛乌素沙地的砒砂岩和沙二者物理构成存在一定的互补性, 将其按照一定比例混合后可以达到改善风沙土的理化性状、提高其生产力的目的。

土壤质地(机械组成)是土壤中各粒级占土壤质量的百分比组合, 是土壤最基本的物理性质之一。土壤质地(机械组成)在植物生产以及土壤养分循环中起着非常重要的作用。第一, 土壤

质地能够直接影响土壤的空隙状况, 而后者会对土壤的通气透水性和保水保肥性产生影响^[3], 并可能进一步影响植物对水分和营养物质的吸收, 导致生产力的变化; 第二, 土壤质地与土壤水分、空气和温度状况密切相关^[4-5], 是评价土壤肥力和作物适宜性的重要依据^[6]。砒砂岩与沙 1:5、1:2 和 1:1 比例混合的土壤质地由原来的砂质土过渡为砂壤土乃至壤土, 其保水保肥能力得到明显提高。关于砒砂岩的结构, 有研究指出根据中国通用的土壤粒级划分方案^[7], 砒砂岩中小于 0.005 mm 的黏粒含量仅有 5%~6%。黏粒缺乏会导致土壤中胶结物质缺乏, 其稳定性降低, 抗蚀性减弱。另外, 砒砂岩与沙复配后, 其毛管孔隙度随着砒砂岩的逐渐加入从 26.33% 增加到 44.94%, 通气孔度随之减少。这可能会导致复配土壤质地的不稳定性。因此, 利用室内分析和田间小区试验的方法, 研究砒砂岩与沙复配成土过程中黏粒、粉粒的运移规律。通过田间小区试验地土壤质地中粉粒和黏粒的变化来评价砒砂岩与沙成土的效果, 为复配成土技术大规模推广, 应用于毛乌素沙地农业种植提供科学依据, 为今后更深入地研究砒砂岩与沙复配土壤提供参考。这对毛乌素沙地的开发、利用具有十分重要的现实意义, 对当地的水土保持、沙化治理有一定的生态环境效益, 同时能增加耕地。将试验成果大范围推广, 能带来巨大的经济效益, 对增加当地农民收入、提高当地人们生活意义深远。

基金项目 国家科技支撑计划“空心村综合整治的关键技术研究示范”(2014BAL01B03)。

作者简介 马增辉(1977-), 男, 陕西西安人, 高级工程师, 博士, 从事土壤化学及其改良方面的研究。* 通讯作者, 研究员, 博士, 从事土地工程及土地资源利用方面的研究。

收稿日期 2015-04-28

1 材料与方 法

1.1 研究区概况 试验中所需砒砂岩和风沙土取自于陕西榆林市榆阳区小纪汗乡。试验在陕西地建土地工程技术研究院进行。该研究区位于陕西省富平县,其地理位置为 108°57'~109°26' E、34°42'~35°6' N,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,年平均日照时数约 2 389.6 h,年均气温为 13.1 °C,年平均降水量 527.2 mm(1960~1995 年),降水年际变率大,年降水变异系数(CV)达 21.2%。供试土壤的理化性状见表 1^[8]。

表 1 砒砂岩和沙的基本理化性状

土类	粒径比例//%			质地	养分				pH	矿物组成				
	砂粒	粉粒	黏粒		有机质 g/kg	全氮 g/kg	全磷 g/kg	速效钾 g/kg		SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
	(0.05~ 2 mm)	(0.002~ 0.05 mm)	(<0.002 mm)											
砒砂岩	19.57	72.94	7.49	砂壤土	3~5	0.035	0.001 9	0.060	8.35	64.67	1.64	12.83	1.15	3.00
沙土	91.39	5.51	3.10	砂土	1~3	0.030	0.002 6	0.088	8.85	78.05	2.08	11.84	-	2.16

1.2 试验方法 试验中将砒砂岩与沙的混合比例设置 1:1、1:2和 1:5 3 种比例,每种混合比例 3 次重复,共布设 9 个小区,每个小区面积为 4 m²。试验小区采取自南向北“一”字型布设。根据常作土壤耕层深度为 20~40 cm,在试验小区 0~30 cm 土层上覆盖砒砂岩与沙不同混合比例的复合土壤。为了模拟实地条件,30~70 cm 土层为沙土填装。

小区采用小麦和玉米轮作模式,其中小麦品种为小偃 22,玉米品种为户单 4 号。从 2010 年 6 月到 2012 年 6 月,3 个小区均采用当地农民传统的水肥管理措施。种植前,施入基肥,即施磷酸二铵 300 kg/hm²、尿素 150 kg/hm²;在小麦生长期,灌溉 3 次,每次 90 mm,追施尿素 2 次,每次 150~225 kg/hm²;在玉米种植期间,灌溉 1 次,追施尿素 1 次,每次为 150 kg/hm²。具体试验方案见表 2。

表 2 试验方案

小区编号	砒砂岩与沙混合比例	种植作物
1	1:1	夏玉米-冬小麦
2	1:1	夏玉米-冬小麦
3	1:1	夏玉米-冬小麦
4	1:2	夏玉米-冬小麦
5	1:2	夏玉米-冬小麦
6	1:2	夏玉米-冬小麦
7	1:5	夏玉米-冬小麦
8	1:5	夏玉米-冬小麦
9	1:5	夏玉米-冬小麦

1.3 采样与分析 土壤质地类型决定土壤蓄水、导水性,肥力能力。分别于作物种植前(2010 年)、2011 年玉米收获后和 2012 年玉米收获后,在不同砒砂岩与沙复配比例的试验小区用土钻采取 0~5、5~10、10~15、15~20、20~25、25~30、30~40、40~50、50~70 cm 深度土壤样品。每次取样均在施肥和灌溉后 7 d 内进行,分 3 次对土壤样品进行采集、测定、分析。采用马尔文(Mastersizer 2000)激光粒度分析仪,测定土壤机械组成。

2 结果与分析

2.1 复配土壤剖面中粉粒运移特征 由于砒砂岩和沙主要在表层 30 cm 土层混合,各小区表层粉粒含量较高,下层土壤剖面中粉粒含量都较少。由图 1 可知,随着种植年限的

增加,土壤剖面中粉粒富集土层有向下运移的趋势,同时下层粉粒比例也有小幅度提高。究其原因,可能是由于在种植过程中,在灌溉或耕作等田间管理措施的影响下砒砂岩逐渐分散为以粉粒为主颗粒,在重、及灌溉水驱动下复配土中的粉粒通过沙粒间空隙向下运移。研究指出,土壤粒径分布影响着土壤水力特性、土壤肥力及土壤侵蚀^[9-10],但是由于种植年限较少,这种运移趋势还不太明显。从 3 种砒砂岩与沙混合比例来看,在复配土的表层 0~30 cm,粉粒含量大小顺序为 1:1 比例处理 > 1:2 比例处理 > 1:5 比例处理。这是因为在 3 种不同比例的复配土壤中,1:1 处理的砒砂岩所占的比例最高,随沙中混合的砒砂岩比例增加,沙粒含量不断减少,粉粒含量大幅度增加,所以其粉粒含量最高;但是,随着种植年限的增加,在砒砂岩与沙 1:5 复配土壤中,粉粒比例的增加幅度比其他比例的复配土稍微高一些。因此,有研究指出,砒砂岩与沙混合的比例范围 ≥ 1:5 时较合适^[11]。

2.2 复配土壤剖面中黏粒运移特征 由图 2 可知,与粉粒一样,各小区的黏粒含量在 0~30 cm 耕作层较高,在耕作层以下黏粒含量都较少。随着种植年限的增加,表层土壤的黏粒含量也有向下运移的趋势,但这种运移趋势比粉粒还微弱,下层土壤中黏粒含量有小幅度增加。这可能是因为黏粒含量本身较少,田间管理措施影响黏粒经粉粒和沙粒的空隙向下运移。从 3 种比例的砒砂岩与沙混合来看,1:1 比例的复配土壤耕作层中黏粒含量最多,1:2 与 1:5 比例的土壤耕作层中黏粒含量相差较少。这是因为黏粒含量在砒砂岩中较高,砒砂岩越多,黏粒含量所占比例就越大,但是与粉粒相比,黏粒含量的增加幅度较小。黏粒含量对土壤有很大的影响。土壤细粒尤其是黏粒具有长期固碳和氮的能力,通过黏粒胶体的吸附以及与土壤有机质形成有机复合体的形式,对土壤有机碳和氮起物理保护作用^[12]。有研究表明,土壤黏粒与土壤有机碳、全氮含量(TN)的相关程度还可能受到其他因素的制约,如气候条件^[13-14]、土壤有机质的化学稳定性^[15]以及土壤排水能力^[16]等。

3 结论

土壤质地决定土壤蓄水、导水性,肥力性,保温、导温性,土壤呼吸,通气性及土壤耕性等。利用室内分析和田间小区

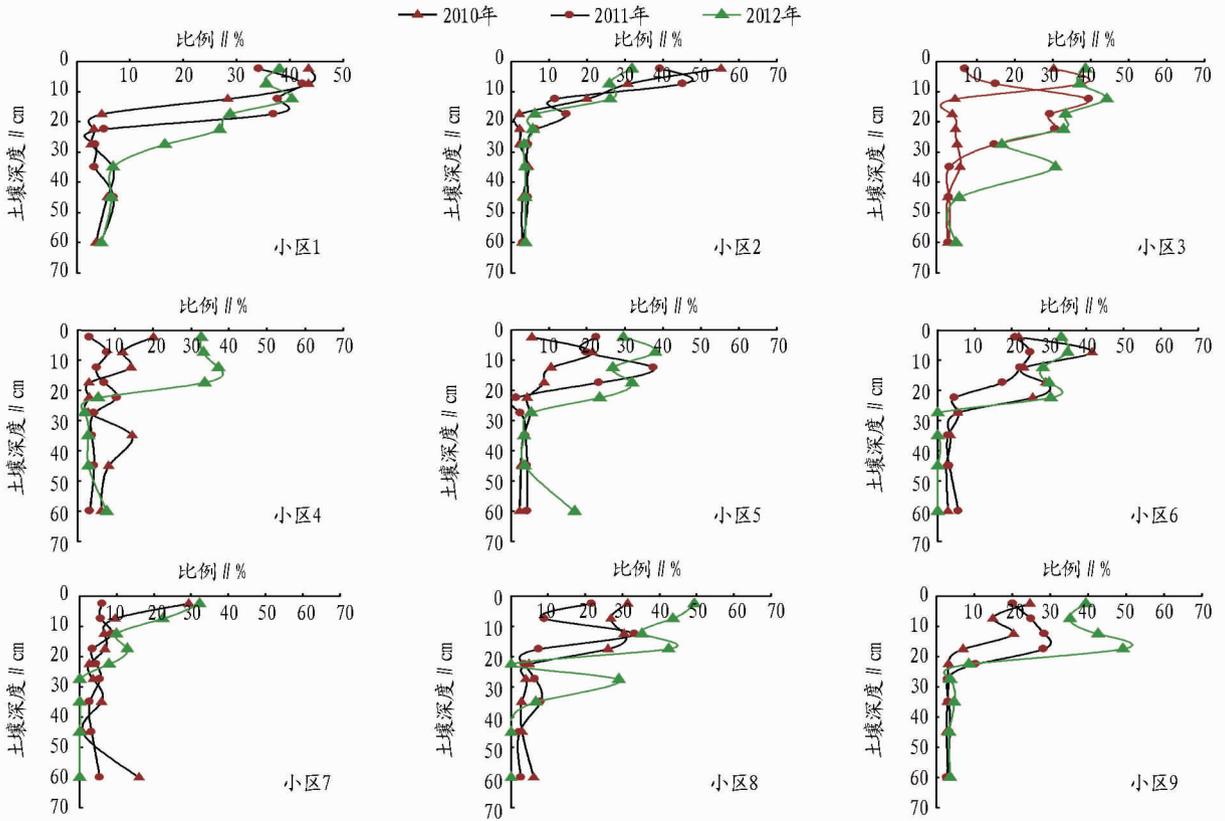


图1 小区1~9土壤剖面中粉粒的分布

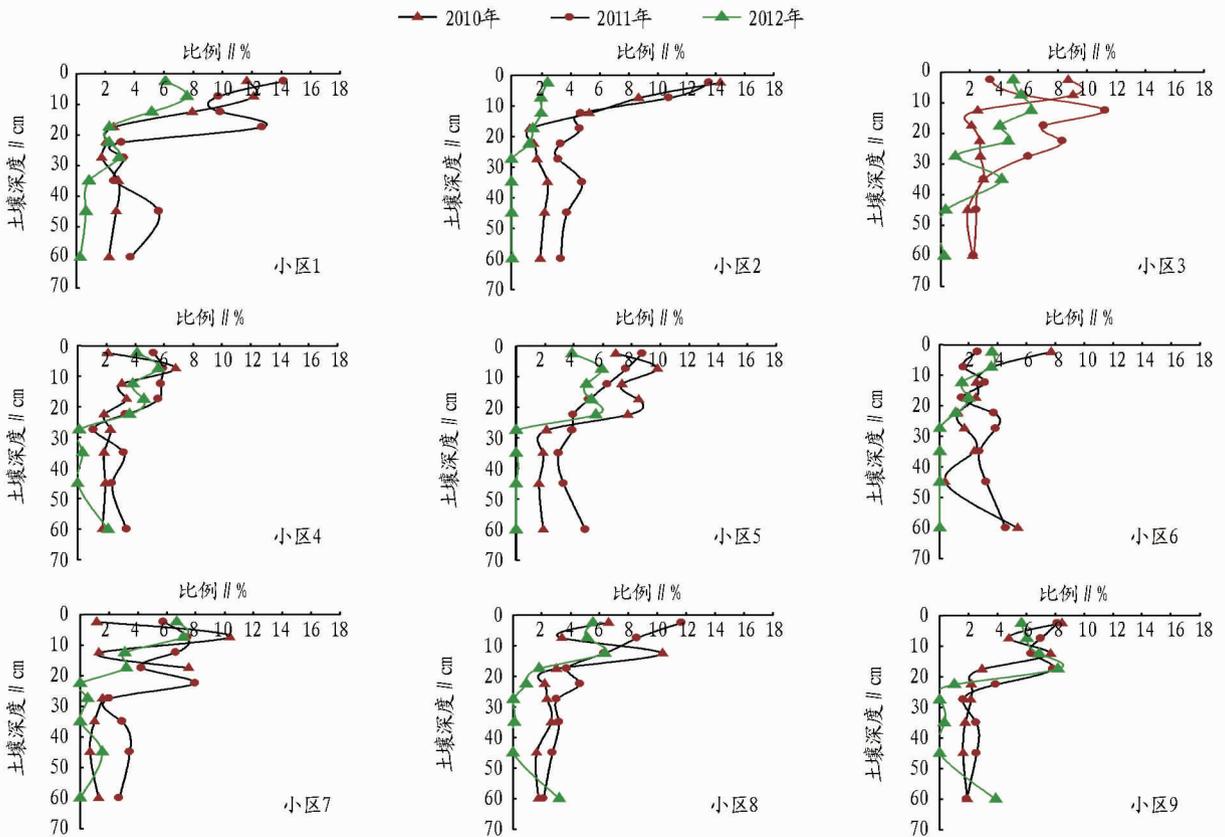


图2 小区1~9土壤剖面中黏粒的分布

4 结论

(1)从1983~1992、1993~2002、2003~2013年3个阶段PLS回归模型的弹性系数变动情况来看,黑龙江省第一产业产值的增长对经济增长的平均边际贡献从0.4518%降为0.1837%,再升为0.2952%,第二产业的平均边际贡献从0.3864%升为0.4288%,再降回0.3830%,第三产业的平均边际贡献0.2336%升为0.3828%,再降至0.2961%,产业结构的变动反映出黑龙江省经济的发展从基础期过渡到发展期,现阶段正处于平衡期,产业结构的优化促进了经济的发展,而经济发展的同时也促进了产业结构的进一步优化。

(2)根据发展型产业结构指数求得3个阶段的最优产业结构依次为:0.421573:0.360501:0.217926(1983~1992年)、0.184517:0.430857:0.384627(1993~2002年)、0.303013:0.393100:0.303886(2003~2012年)。

(3)根据发展型产业结构指数 Q 与虚拟产值按实际比重分割结果的预测值 $\ln\hat{Y}$ 的对比来看,每一阶段 $\ln\hat{Y}$ 与 Q 趋势完全一致,并且最优产业结构下的 $\ln\hat{Y}$ 与 Q 值都是各自的极值,并且在合理范围内。因此,发展型产业结构指数 Q 能够有效地识别出经济增长的最优产业结构。

(4)根据产业结构优化率(θ 值)的计算结果,3个阶段

(上接第112页)

试验的方法,研究砒砂岩与沙复配成土过程中黏粒、粉粒的运移情况。

(1)在3种不同比例的砒砂岩与沙复配土壤中,粉粒和黏粒主要集中在土壤表层0~30cm处,下层土壤中粉粒和黏粒含量都较低;从不同砒砂岩与沙的混合比例来看,由于1:1复配土壤中砒砂岩比例较高,表层土壤中粉粒含量最高,其大小顺序为1:1比例处理>1:2比例处理>1:5比例处理。

(2)随着种植年限的增加,粉粒和黏粒富集土层有向下运移的趋势,尤其是表层土壤中的粉粒向下运移趋势显著。同时,下层土壤中粉粒和黏粒比例也有小幅度增加。这种粉粒和黏粒向下运移趋势从长久来看将会导致复配土上层土壤趋于沙化,下层土壤趋于壤土化,逐渐形成“上松下实”的蒙金土,更加有利于植物的生长,为复配成土技术大规模推广应用于毛乌素沙地农业种植提供科学依据。

(3)依据复配土的这种变化趋势,在土地整治实践中,采取每隔一定年限后继续向复配土壤表层中加入一定比例的砒砂岩,从而阻止表层土壤质地返砂质化现象的发生,同时可以持续不断地使下层土壤质地得到改良,从长久来看,整个复配土壤的耕作层将会出现越来越厚的趋势。这对毛乌素沙地的开发及利用具有十分重要的现实意义,对当地的水土保持、沙化治理有一定的生态环境效益,同时能增加耕地。将试验成果大范围推广也能带来巨大的经济效益,对增加当地农民收入、提高当地人民群众生活质量意义深远。

参考文献

[1] WANG Y C, WU Y H, KOU Q, et al. Definition of arsenic rock zone borderline and its classification[J]. Science of Soil and Water Conservation,

中第二阶段的产业结构最为接近最优产业结构,其次是第三阶段,其中第二阶段 θ 值整体趋于稳定,而第三阶段的 θ 值在稳定中呈现上升趋势,而第一阶段的 θ 值则出现了较大的波动,并且出现下降的趋势。上述3个阶段的 θ 值计算结果与实际的经济发展状况相吻合,而从第三阶段的发展趋势来看,产业结构的进一步调整与优化仍将是未来黑龙江省产业结构发展的大方向。

参考文献

- [1] H·钱纳里, S·鲁宾逊, M·赛尔奎因. 工业化和经济增长的比较研究[M]. 上海: 上海人民出版社, 1995.
- [2] 库兹涅茨. 各国的经济增长[M]. 北京: 商务印书馆, 1997: 23.
- [3] VALLI V, SACCONI D. Structural change and economic development in China and India[J]. The European Journal of Comparative Economics, 2009(6): 101-129.
- [4] 黄茂兴, 李军军. 技术选择、产业结构升级与经济增长[J]. 经济研究, 2009(7): 143-151.
- [5] 李鑫, 朱龙飞, 邓洪中. 我国三次产业结构演进与宏观经济波动分析[J]. 湖南科技大学学报: 社会科学版, 2012(3): 65-69.
- [6] 肖兴志, 彭宜钟, 李少林. 中国最优产业结构: 理论模型与定量测算[J]. 经济学(季刊), 2012(1): 135-162.
- [7] 王惠文, 吴毅斌, 孟浩. 偏最小二乘回归的线性和非线性方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 97-117.
- [8] 龚曙明. 宏观经济统计分析——理论、方法与实务[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010: 310-316.

- [1] HAN J C, XIE J C, ZHANG Y. Potential role of feldspathic sandstone as a natural water retaining agent in Mu Us Sandy Land, Northwest China[J]. Chinese Geographical Science, 2012, 22(5): 550-555.
- [2] 熊顺贵. 基础土壤学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001.
- [3] SINGER M J, MUNNS D N. Soils, an introduction[M]. New York, USA: MacMillan Publishing Company, 1987.
- [4] BOUMA T J, BRYLA D R. On the assessment of root and soil respiration for soils of different textures: interactions with soil moisture contents and soil CO₂ concentrations[J]. Plant and Soil, 2000, 227: 215-221.
- [5] HUANG C Y. Soil Science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 74-79.
- [6] LI X L, SU Y, QI X H. The experimental analysis study of soft sandstone soil properties in the plateau hilly region [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2011, 32(1): 315-318.
- [7] 王愿昌. 砒砂岩地区水土流失及治理途径研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2007.
- [8] 刘继龙, 马孝义, 张振华. 不同土层土壤水分特征曲线的空间变异及其影响因素[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 46-52.
- [9] HWANG S I, POWERS S E. Using particle-size distribution models to estimate soil hydraulic properties[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003, 67(4): 1103-1112.
- [10] 张露, 韩霁昌, 马增辉, 等. 砒砂岩与沙复配“土壤”质地性状研究[J]. 西北农业学报, 2004, 23(4): 1-7.
- [11] SOLLINS P, HOMANN P, CALDWELL B. Stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls[J]. Geoderma, 1996, 74: 65-105.
- [12] SIMS Z R, NIELSEN G A. Organic carbon in Montana soils as related to clay content and climate[J]. Soil Science of America Journal, 1986, 50: 1269-1272.
- [13] ALVAREZ R, LAVADO R S. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina[J]. Geoderma, 1998, 83: 127-141.
- [14] HARRY J P, ROGER L P, NEAL A S. Factors controlling soil carbon levels in New Zealand grasslands: Is clay content important[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64: 1623-1630.
- [15] DAVIDSON E A. Spatial covariation of soil orsanic carbon, clay content, and drainage class at a regional scale[J]. Landscape Ecology, 1995, 10: 349-362.