

黄土剖面土壤颗粒组成对土壤含水量的影响

张永萱, 张光辉, 王志强

(北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室 地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘要: 土壤水资源是影响黄土高原土地利用和生态建设的重要因子, 而土壤颗粒组成又是影响黄土高原土壤含水量的重要因素之一。为了分析黄土丘陵半干旱区深层剖面土壤颗粒组成对土壤含水量的影响, 选择陕北绥德县境内的人工柠条林地和农地为研究对象, 测定 0—18 m 土壤含水量及颗粒组成, 分析深层土壤含水量与颗粒组成的关系。结果表明, 人工柠条林耗水深度以下、农地 3 m 以下的土壤含水量主要受黏粒含量的影响, 且土壤含水量与黏粒含量之间呈极显著的对数关系。人工柠条林在其耗水深度内, 颗粒组成对含水量的影响不显著。

关键词: 黄土高原; 土壤含水量; 土壤颗粒组成

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0006-04

中图分类号: S156

Influence of Soil Particle Composition on Soil Moisture in Loess Profiles

ZHANG Yong-xuan, ZHANG Guang-hui, WANG Zhi-qiang

(State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology,

School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Soil water is an important factor to the land use and ecological construction on the Loess Plateau. Soil particle size can significantly affect soil moisture. The purpose of this study was to determine the influence of soil particle composition on soil moisture in the semi-arid area of the Loess Plateau. Caragana land and cropland were selected in Suide County, Shaanxi Province and soil moisture, as well as particle size, from surface to 18 m deep was tested. Results showed that soil moisture was significantly influenced by clay content below 3 m depth on cropland and below water consumption depth of caragana shrub. The relationship between soil moisture and clay content could be best simulated by logarithmic function. Within water consuming depth of caragana shrub, the impact of soil particle composition on soil moisture was not significant.

Keywords: the Loess Plateau; soil moisture; soil particle composition

黄土高原绝大部分位于干旱半干旱地区, 水资源是制约该区农业生产和生态建设的关键, 土壤水又是其水资源的重要组成部分, 深厚的土壤母质所储存的土壤水对植被生长有重要的“土壤水库”的调节作用^[1-2]。土壤水既受降水状况的制约, 又受土壤特性、特别是土壤颗粒组成的影响。尤其在黄土高原, 蒸发量长期大于降水量, 土壤颗粒组成对土壤含水量具有显著的影响^[3], 许多学者对黄土高原的土壤水分背景及不同土地利用下的土壤水分状况进行了测定与分析^[4-6]。研究表明^[7], 黄土剖面某一深度以下土壤水分无明显年际变化, 但土壤含水量在垂直剖面上的变化并不是平直的线条, 而是在某些深度出现峰值。如在山西兴县测得的峰值在 5.0~6.5 m 或 7.2~8.7 m 之间^[6], 绥德农地在 7.8~9.0 m^[8], 还有的地区在 6 m 左右^[9]。这些峰值出现的深度随不同地区、

不同地貌部位及不同土地利用而有所变化, 对于这些峰值的产生, 有研究者认为是由于降雨周期变化形成的^[9], 也有解释为是由气候干湿周期变化, 上次持续干旱使土壤水分含量降低后, 降雨补偿到一定深度, 本次干旱植物自上而下耗水, 但还未将上次多雨期入渗的水分完全用完而留下的一个相对高值层^[5]。但经过多年定点监测发现, 在同一地点, 不同年份土壤含水量峰值出现的深度不变^[7], 所以峰值的出现不可能是由于降雨周期变化形成的^[5]。由于在测定土壤含水量时没有遇到其它明显的隔水层, 于是推断深层含水量峰值的出现, 很有可能是由黄土沉积时环境变迁导致的土层质地不同造成的, 但是这些研究大多数集中在浅层土壤水分分布的研究^[10], 对于深层土壤颗粒组成与水分含量关系的研究较少。本研究针对黄土剖面深层土壤水分含量峰值出现的原因进行探

收稿日期: 2009-01-06

修回日期: 2009-05-13

资助项目: 黄河水利委员会治黄专项基金[黄水保(2006)51]

作者简介: 张永萱(1985—), 女(汉族), 宁夏自治区固原市人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤侵蚀。E-mail: zyx2111985@mail.bnu.edu.cn.

通信作者: 张光辉(1969—), 男(汉族), 甘肃省静宁县人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: glzhang@bnu.edu.cn.

讨, 研究结果对定量分析土壤颗粒组成与土壤持水性能的关系提供基础数据。

1 研究方法

1.1 研究区及样点选择

1.1.1 研究区概况 研究区位于陕北绥德县辛店乡, 地理坐标为 $37^{\circ}31'16''\text{N}$, $110^{\circ}17'05''\text{E}$ 。气候为大陆性半干旱季风气候, 多年平均降雨量为 439.4 mm, 降雨集中在 6—9 月。多年平均气温 9.7°C , 潜在蒸发量为 1 900 mm。地带性土壤为黑垆土, 但由于长期的侵蚀, 使黄土母质出露, 目前的土壤是一直处于幼年发育阶段的黄绵土, 剖面发育不明显。自然地带性植被为森林草原。现存天然植被主要有零星分布的杜梨 (*Pyrus betulaefolia* Bge.)、枣 (*Zizyphus jujube* Mill.) 和广泛分布的铁杆蒿 (*Artemisia gmelinii* Web. Ex Stechm.)、芨蒿 (*A. giraldii*

Pamp.), 长芒草 (*S. bungiiana* Trin.)、阿尔泰狗哇花 [*Heteropappus altaicus* (Eilld.) Novpkr.]、二色胡枝子 (*Lespedeza bicolor* Turcz.) 等。人工林主要有油松 (*P. tabulaeformis* Carr.)、侧柏 [*Platycladus orientalis* (L.) Franco.]、刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.)、白榆 (*Ulmus pumila* L.) 和柠条 (*Caragana microphylla* Lam.) 等。

1.1.2 样点基本情况 根据已有研究, 不同植被类型对土壤水分影响深度不同^[5,6], 而且黄土高原大部分人工林地都出现了土壤干层^[6,11], 植被对土壤水分的影响不可忽视。因此选择没有土壤干层的农地^[7]和对土壤含水量影响较大的人工柠条林地^[10]作为研究对象, 以分析土壤颗粒组成对含水量的影响, 同时探讨人工植被对土壤颗粒组成与含水量关系的影响。样点概况见表 1。所选择的人工柠条林种植于 20 世纪 60 年代中期。

表 1 土壤水分测定样点的基本情况

样点名称	地貌部位	坡向	坡度/(°)	植株密度/(棵·hm ⁻²)	海拔高度/m	土壤水分测定时间
柠条林	峁坡上部	东北坡	12	700	972	2007-11-04
农地	峁坡中部	东坡	35	—	1 013	2007-10-31

1.2 土壤水分、颗粒组成测定

人工柠条林地和农地测定深度均为 18 m, 土壤含水量测定间隔都为 0.1 m。柠条林颗粒组成测定间距为 1 m, 农地土壤颗粒组成测定间距为 0.5 m。

测定水分的土样由一套电动土钻取得。土钻为一套汽油发电机为动力的电动冲击钻 (percussion drilling sets, Eijkelkamp), 将 1 m 长, 内径 0.8 m 的圆凿打入地面, 取得 1 m 长的土芯。单个钻杆 1 m 长, 钻杆之间由螺旋接头连接。土壤水分的测定采用烘干法, 在 105°C 下烘干 12 h, 含水量采用质量含水量百分比记录。

对于土壤质地的分级指标现有很多标准^[12], 我国的土壤普查有多种土壤质地体系同时存在^[13], 本研究采用美国农业部 (USDA) 的分类。同时在实际应用中, 粒径小于 0.01 mm 的物理性黏粒对于水分的保持也有一定的作用。因此结合本研究的情况, 分别选择大于 0.1, 0.1~0.05, 0.05~0.01, 0.01~0.002 mm 及小于 0.002 mm 粒径范围作为划分颗粒级别的标准。土壤颗粒组成的测定采用吸管法^[14]。

文中涉及的统计分析都应用 SPSS 13.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 土壤含水量剖面变化

柠条林地、农地土壤含水量随剖面的变化情况见

图 1。从图中可以看出, 农地、柠条林地土壤含水量在剖面上呈现波动的曲线, 在某些深度出现了峰值。

柠条林表层 0—2 m、农地 0—3 m 之间, 土壤含水量出现了第一个峰值。已有研究成果表明, 在黄土高原地区, 当年降雨入渗深度一般在 2 m 左右^[15], 经过多年监测发现, 柠条林 0—2 m、农地 0—3 m 土层深度土壤含水量受降雨量的年际差异和土壤降雨入渗深度的影响大, 以下土层土壤含水量没有显著的年际变化^[7], 因此本研究分析土壤颗粒组成对土壤含水量影响时只考虑柠条林地深度 2 m、农地 3 m 以下的土层。

由土壤含水量剖面的分布 (图 1) 可知, 柠条林分别在 6, 11, 14~15 m 左右, 农地分别在 10, 13~16 m 左右出现峰值, 在实际取土过程中没有发现附近有明显的隔水层, 于是这些峰值的出现可能是由于土壤颗粒组成的差异造成。

柠条林 2 m、农地 3 m 以下土壤含水量受各种气象因子的影响较小, 但其平均含水量、最大、最小含水量及其标准差有一定差异 (表 2)。柠条林 2—18 m 土壤含水量变化于 4.86%~20.56% 之间, 平均 10.05%。农地 3—18 m 土壤含水量变化于 8.56%~17.01%, 平均 12.13%, 高于柠条林含水量。由图 1 可知, 柠条林土壤含水量在土层深度 2—10 m 之间低于农地土壤含水量, 从 10 m 左右柠条林土壤含水量开始与农地土壤含水量互有交错。柠条林 2—10

m 土壤含水量变化在 4.86%~9.71% 之间,而土层 3—10 m 农地土壤含水量在 8.85%~15.80% 之间变化,平均土壤含水量柠条林为 6.65%,农地为 10.39%,农地土壤含水量远远高于柠条林。已有研究表明^[16],在黄土高原地区人工林地植被耗水会对土壤含水量产生较大的影响,因此柠条林与农地土壤含水量出现差异的原因主要受柠条林耗水的影响。10—18 m 土层,农地土壤含水量变化于 8.63%~17.05%,平均为 13.66%,柠条林变化于 8.10%~20.56%,平均也达到了 13.43%,二者十分接近,说明这层中植被对土壤含水量的影响不大。所以下面在分析土壤颗粒组成对土壤含水量的影响时,把土壤分为上下两层,柠条林分为 2—10 m 和 10—18 m,农地分为 3—10 m 和 10—18 m。

表 2 柠条林(2—18 m)和农地(3—18 m)土壤含水量 %

样点名称	平均含水量	最大	最小	标准差
柠条林	10.05	20.56	4.86	4.30
农地	12.13	17.01	8.56	3.00

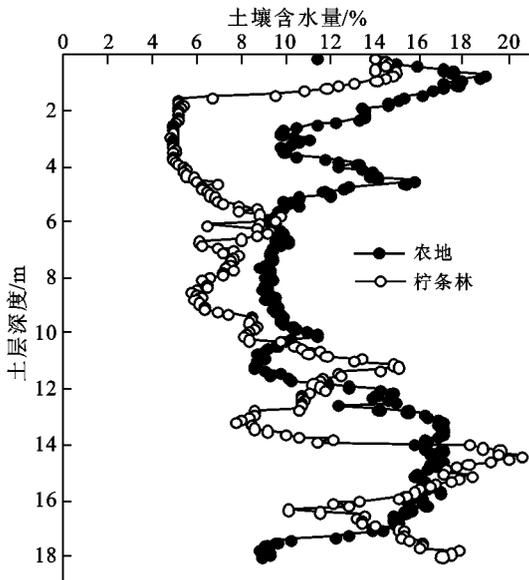


图 1 柠条林地、农地剖面土壤含水量

2.2 土壤颗粒组成对土壤含水量的影响

柠条林、农地土壤含水量与土壤颗粒组成的相关关系见表 3。柠条林 10—18 m 土壤含水量与黏粒 (< 0.002 mm)、0.002~0.01 mm 颗粒和物理性黏粒 (< 0.01 mm) 含量间呈显著正相关关系,与砂粒 (0.05~0.1 mm) 含量间呈极显著负相关关系,土壤含水量与黏粒含量间相关性最显著;柠条林 2—10 m 土壤含水量与各粒级含量的相关性都不显著,虽然柠条林地土壤含水量和黏粒含量在 6 m 左右变化趋势一致,也有一个峰值,这种现象初步解释为 10 m 以

上土层含水量受柠条林强烈的耗水作用,弱化了颗粒组成对土壤含水量的影响程度(后面还有具体讨论)。农地 3—10 m 及 10—18 m 土壤含水量均与黏粒含量和物理性黏粒含量呈显著正相关,与其它级别粒级含量的相关性不显著。综合比较柠条林、农地土壤含水量与各粒级的相关性,得出其与黏粒含量的相关性最大,且关系显著。

表 3 土壤含水量与土壤颗粒组成相关系数(Pearson)

颗粒级别/ mm	相关系数			
	柠条林		农地	
	2—10 m	10—18 m	3—10 m	10—18 m
< 0.002	0.072 ^{ns}	0.940 ^{**}	0.673 ^{**}	0.822 ^{**}
0.002~0.01	0.565 ^{ns}	0.788 [*]	0.267 ^{ns}	0.275 ^{ns}
0.01~0.05	0.168 ^{ns}	0.416 ^{ns}	-0.065 ^{ns}	0.365 ^{ns}
0.05~0.1	-0.340 ^{ns}	-0.780 [*]	-0.248 ^{ns}	-0.248 ^{ns}
0.1~0.25	-0.630 ^{ns}	-0.228 ^{ns}	-0.259 ^{ns}	-0.124 ^{ns}
< 0.01	0.530 ^{ns}	0.893 ^{**}	0.533 [*]	0.830 [*]

注: ** 为 1% 水平上显著相关; * 为 5% 水平上显著相关; ns 为相关性不显著。

同时分别做柠条林地、农地土壤含水量与黏粒含量的变化趋势图(图 2a, 2b),在柠条林土壤含水量出现峰值的 11.0 和 15.0 m 及农地出现峰值的 4.5, 10.0, 15.0 m 处其土壤颗粒中的黏粒含量也相应出现峰值。在这些土层土壤含水量相对较高,可以解释为由于该层土壤颗粒中黏粒含量增加,对水分保持作用增强所致。

柠条林 2—10 m 土壤含水量与土壤黏粒含量的相关关系不显著。柠条林黏粒含量约在 6 和 11 m 出现两个峰值(图 2a),分别为 13.29% 和 13.06%,其值很接近,而土壤含水量分别为 8.80% 和 12.99%,相差 47.6%,论证了 2—10 m 之间柠条林对土壤水分的利用的确弱化了土壤颗粒组成对于水分的影响程度,因此以下进行土壤含水量与土壤黏粒含量的回归分析时,不考虑柠条林 2—10 m 之间的土层。

选择柠条林 10—18 m 和农地 3—18 m 土层,拟合土壤含水量与黏粒含量的回归模型,得到土壤含水量与土壤黏粒含量之间呈对数关系(表 4)。

根据柠条林地和农地实测土壤含水量和黏粒含量值,用上述公式(表 4)分别获得柠条林地 10—18 m 和农地 3—18 m 预测土壤含水量。由图 3 可知,实测含水量与预测值十分接近。采用 Wilcoxon 符号秩和检验(wilcoxon signed ranks test)分析实测与计算含水量是否存在显著性差异。检验结果:柠条林 P 值

为 0.953, 农地为 0.991, 表明柠条林 10 m 以下和农地 3 m 以下土层土壤含水量实测值与计算值之间无

显著性差异, 模型预测值能反映实测值的变化趋势, 可以用来预测土壤含水量。

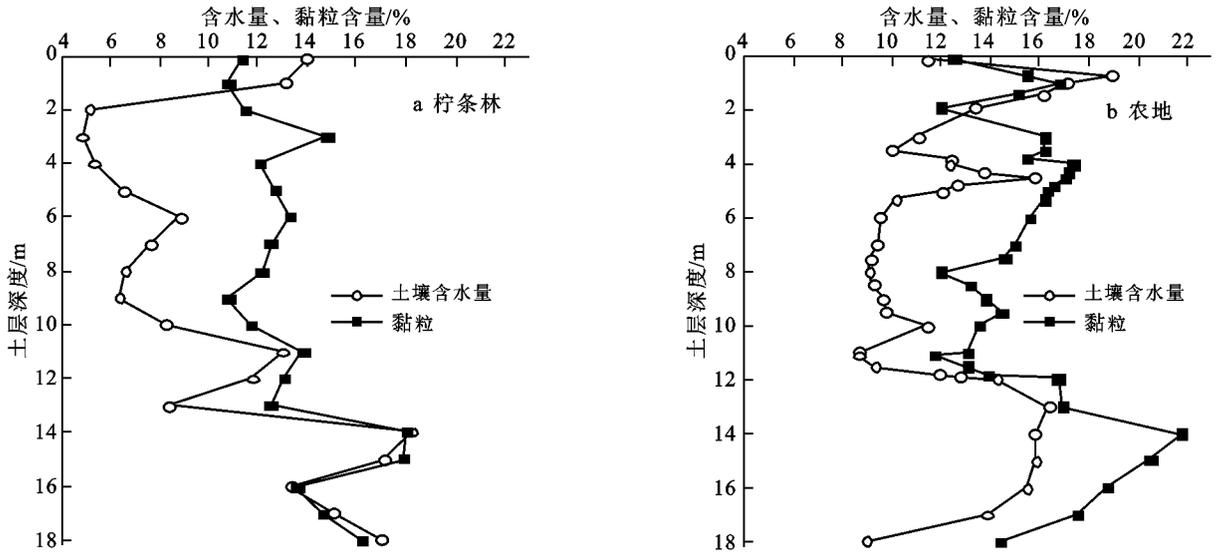


图2 柠条林、农地土壤含水量和黏粒含量

表4 土壤黏粒含量与土壤含水量回归方程

样点名称	回归模型	决定系数(R^2)	P 值 (sig.)
柠条林(10—18 m)	$W = -47.21 + 22.76 \ln c$	0.91	0.000
农地(3—18 m)	$W = -27.27 + 14.18 \ln c$	0.67	0.000

注: c 代表土壤黏粒含量(%); W 代表土壤含水量(%)。

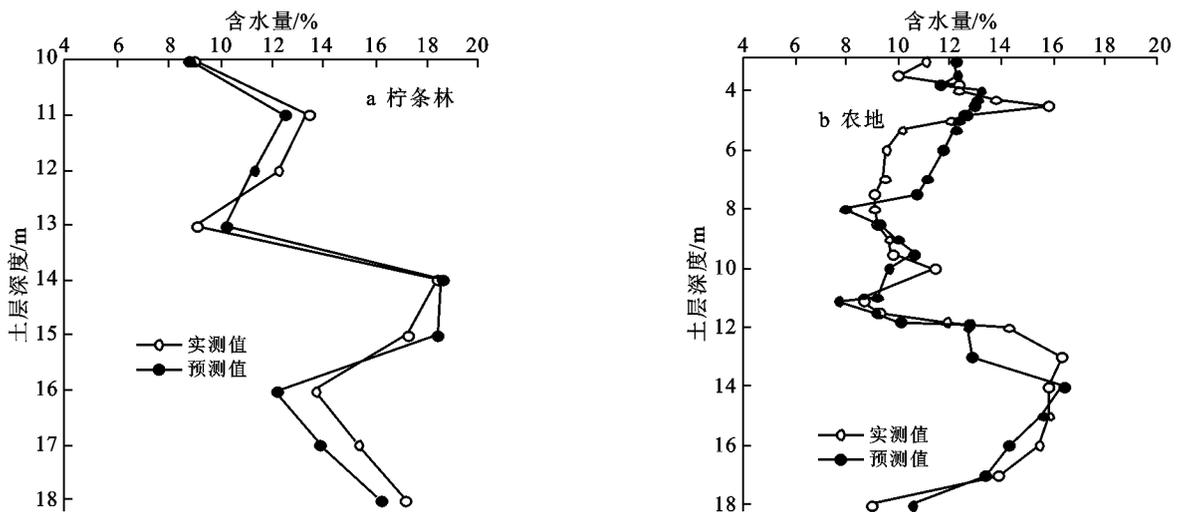


图3 土壤含水量实测值和预测值比较

3 结论

(1) 农地 3 m 以下、人工柠条林地不受植被耗水影响的深层剖面, 土壤含水量与土壤黏粒含量、砂粒含量和物理性黏粒含量有关, 尤其与黏粒含量关系密切。土壤含水量与黏粒含量、物理性黏粒含量呈正相关关系, 与砂粒含量呈负相关关系。含水量随黏粒

含量的变化呈显著对数关系。

(2) 在人工柠条林的耗水深度内, 虽然黏粒含量对含水量也有一定的影响, 但人工柠条林强烈的耗水能力, 在一定程度上弱化了颗粒组成对含水量的影响, 使颗粒组成与含水量的关系不显著。但在其耗水深度以下, 颗粒组成对含水量的影响效果显著。

(下转第 15 页)

- and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field [J]. *Applied Soil Ecology*, 2005, 30: 11-20.
- [7] 刘梦云, 常庆瑞, 齐雁冰. 不同土地利用方式的土壤团粒及微团粒的分形特征[J]. *中国水土保持科学*, 2006, 4(4): 47-51.
- [8] Chen L D, Gong J, Fu B J, et al. Effect of land use conversion on soil organic carbon sequestration in the loess hilly area, loess plateau of China [J]. *Ecol. Res.*, 2007, 22: 641-648.
- [9] 徐秋芳, 姜培坤, 沈泉. 灌木林与阔叶林土壤有机碳库的比较研究[J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(2): 18-22.
- [10] Wang Zh P, Han X G, Li L H. Effects of grassland conversion to croplands on soil organic carbon in the temperate Inner Mongolia[J]. *Journal of Environmental Management*, 2008, 86: 529-534.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 132-136.
- [12] 王小利, 苏以荣, 黄道友等. 土地利用对亚热带红壤低山区土壤有机碳和微生物碳的影响[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(4): 750-757.
- [13] 董莉丽, 郑粉莉. 黄土丘陵区不同土地利用类型下土壤酶活性和养分特征[J]. *生态环境*, 2008, 17(5): 2050-2058.
- [14] Zhou J B, Li Sh X. Relationships between soil microbial biomass C and N and mineralizable nitrogen in some arable soils on loess plateau[J]. *Pedosphere*, 1998, 8(4): 349-354.
- [15] 薛蕊, 刘国彬, 戴全厚, 等. 黄土丘陵区退耕撂荒地土壤微生物量演变过程[J]. *中国农业科学*, 2009, 42, 943-950.
- [16] Bastida F, Barberó G G, Garé a C, et al. Influence of orientation, vegetation and season on soil microbial and biochemical characteristics under semiarid conditions [J]. *Applied Soil Ecology*, 2008, 38: 62-70.
- [17] 邱莉萍, 张兴昌. 子午岭不同土地利用方式对土壤性质的影响[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(6): 965-972.
- [18] 张玉斌, 吴发启, 曹宁, 等. 泥河沟流域不同土地利用土壤养分分析[J]. *水土保持通报*, 2005, 25(2): 23-26.
- [19] 巩杰, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(12): 2292-2296.
- [20] Guo M J, Cao J, Wang Ch Y, et al. Microbial biomass and nutrients in soil at different stages of secondary forest succession in Ziwulin, north west China[J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 217: 117-125.
- [21] Chen G Ch, He Zh L. Effect of land use on microbial biomass-C, -N and -P in red soil [J]. *Journal of Zhejiang University Science*, 2003, 4(4): 480-484.
- [22] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. *中国农业科学* 2008, 41(1): 144-152.
- [23] Sparling J P. Microcalorimetry and other methods to assess biomass and activity in soil [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1981, 13: 93-98.

(上接第9页)

[参 考 文 献]

- [1] 李玉山. 土壤水库的功能和作用[J]. *水土保持通报*, 1983, 3(5): 27-30.
- [2] 邵明安, 彭新得, 夏卫生. 黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系[J]. *中国科学*, 1998, 28(4): 357-66.
- [3] Grason R B, Western A W, Chiew F H S. Preferred states in spatial soil moisture patterns: local and nonlocal controls[J]. *Water resources research*, 1997, 33: 3897-2908.
- [4] 杨文治, 韩仕峰. 黄土丘陵区人工林草地的土壤水分生态环境[J]. *中国科学院西北水土保持研究所集刊*, 1985(2): 18-28.
- [5] 王志强, 刘宝元, 海春兴. 晋西北黄土丘陵区不同植被类型土壤水分分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2002, 16(4): 53-58.
- [6] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 70-80.
- [7] 王志强, 刘宝元, 张岩. 不同植被类型对厚层黄土剖面水分含量的影响[J]. *地理学报*, 2008, 63(7): 703-713.
- [8] 刘向东, 吴钦孝, 赵鸿雁. 黄土丘陵区人工油松林土壤水分特征的研究[J]. *中国科学院西北水土保持研究所集刊*, 1991(14): 71-78.
- [9] 王志强, 刘宝元, 徐春达. 连续干旱条件下黄土高原几种人工林存活能力分析[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(4): 25-29.
- [10] 王志强, 刘宝元, 王旭艳, 等. 黄土丘陵半干旱区人工林迹地土壤水分恢复研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(11): 13-18.
- [11] 杨文治, 余存祖. 区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 241-343.
- [12] 张庆利, 王芝明. 美国有关土壤粒度测定的简便方法[J]. *水土保持科技情报*, 2002(3): 18-21.
- [13] 蔡永明, 张科利, 李双才. 不同粒径间土壤质地资料的转换问题研究[J]. *土壤学报*, 2003, 40(4): 151-158.
- [14] 中国科学院南京土壤所. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 中国科学出版社, 1978: 34-43.
- [15] 王力, 邵明安, 候庆春. 土壤干层量化指标初探[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(4): 87-90.
- [16] 杨文治. 林草植被建设的土壤养分和水分环境[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 25-36.