

# 小浪底库区坡地不同利用方式下 土壤养分的流失特征研究

苏子友<sup>1</sup>, 吴文良<sup>1</sup>, 张劲松<sup>2</sup>, 姜广辉<sup>1</sup>, 贾长荣<sup>3</sup>, 李剑侠<sup>3</sup>, 李中福<sup>3</sup>

(1. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100094; 2. 中国林业科学研究院林业研究所  
国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091; 3. 河南省济源市林业局, 河南 济源 454650)

**摘要:** 通过野外模拟降雨试验, 分析了撂荒荒坡、林草间作、农林间作、造林林地和坡耕地翻耕种植玉米、坡耕地翻耕休闲 6 种利用方式下的土壤流失特征。研究表明: (1) 坡耕地及农林间作下地表径流中的有效钾和硝态氮含量高于撂荒荒坡、林草间作和造林林地。(2) 撂荒荒坡、林草间作和造林林地沉淀泥沙中的全氮、全磷、全钾和有机质含量高于其它 3 种利用方式。(3) 径流液养分和沉淀泥沙养分含量产流初期达到高值, 之后趋于稳定。(4) 不同形态的养分在泥沙中有富集现象; 富集比在 1.01 ~ 1.43 之间, 不同利用方式下富集比差异不大。

**关键词:** 模拟降雨; 坡地; 土地利用; 养分流失; 小浪底库区

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2007)03—0027—05

中图分类号: S157.1, S158

## Nutrient Loss of Different Slope Land-use Types in Xiaolangdi Gorges Reservoir Area

SU Zi-you<sup>1</sup>, WU Wen-liang<sup>1</sup>, ZHANG Jiong-song<sup>2</sup>,

JIANG Guang-hui<sup>1</sup>, JIA Chang-rong<sup>3</sup>, LI Jian-xia<sup>3</sup>, LI Zhong-fu<sup>3</sup>

(1. College of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Forestry Administration, Jiyuan, Henan 54650, China)

**Abstract:** A field study on soil nutrient loss of different slope landuse types in the Xiaolangdi Gorges Reservoir area was conducted under simulated rainfall. Results showed that available K and  $\text{NO}_3^{-1}$  content were higher in surface runoff in slope cropland and intercrop land between crop and forestry than those in fallow land, intercrop land between forest and grass and afforestation land. Nutrient content in surface runoff and sediment was highest in the beginning of surface runoff, and then became stable. There was an enrichment of different forms of nutrients in sediment. The value of enrichment ratio was between 1.01 and 1.43, and there was no significant difference in the value of the six landuse types.

**Keywords:** simulated rainfall; slope land; landuse; nutrient loss; the Xiaolangdi Gorges Reservoir area

黄土丘陵沟壑区是黄土高原水土流失最严重的地区, 年土壤侵蚀模数一般为  $4\ 000 \sim 6\ 000\ \text{t}/\text{km}^2$ , 其中陡坡地更为严重, 每年每  $1\ \text{km}^2$  土壤侵蚀量常达  $1.00 \times 10^4\ \text{t}$  以上, 而造成该区域水土流失严重的主要原因是长期对坡地资源的不合理利用, 以及对植被的破坏<sup>[1-2]</sup>。作为控制黄河水沙的关键部位的小浪底水库, 库区及其周边地区坡地由于人类长期的不合理利用, 从而使得每年有大量的泥沙流入到小浪底水库<sup>[3]</sup>, 这不但威胁着小浪底水库的使用寿命, 而且坡地表土养分流失的造成了严重的土壤资源退化和面源污染<sup>[4]</sup>。如何有效地控制表土养分流失是坡地土

壤资源保护问题的核心之一。因此以保护性耕作措施和以生物措施为主的农林复合为代表的坡地生态工程对保持库区坡地土壤肥力, 减少未来小浪底水库的泥沙淤塞和减轻水体污染显得尤为重要。然而国内外的研究多将保护性耕作措施和农林复合措施减轻土壤侵蚀的效果与机理分开研究<sup>[5-8]</sup>; 此外大多数研究者在控制土壤侵蚀方面关注重点多限于水沙效应。因此本文探讨了小浪底库区坡地不同农业复合模式和不同耕作措施的坡面养分流失, 旨在为控制坡地养分流失, 提高坡地土壤资源的持续利用提供材料和依据。

收稿日期: 2006-10-31

修稿日期: 2006-12-19

基金项目: 科技部社会公益性项目(2003DIB4J142); 国家十五攻关课题(2004BA510B11)

作者简介: 苏子友(1977—), 男(汉族), 四川省德阳人, 博士生, 主要从事水土保持和复合农林生态系统研究。E-mail: szy4405@sina.com。

通讯作者: 张劲松(1968—), 男(汉族), 浙江省永嘉人, 博士, 研究员, 主要从事复合农林业、农林气象生态农业等。E-mail: Zhangjs@forestry.ac.cn。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区自然概况

试验地设在河南省济源市大奎岭乡(34°58'N, 112°18'E)。试验区面积 14.5 km<sup>2</sup>,属暖温带大陆性季风气候,年均气温 14.3℃,年际变化在 13.6℃~15.2℃之间。平均 5 月的活动积温为 5 061.0℃,历年平均降雨量 641.7 mm,但由于受季风气候的影响,年内季节性分布不均匀。6—9 月份多年平均降水量为 452.4 mm,占全年的 70.5%。试验区土壤为黄土母质上发育的黄绵土,其表层土(0—20 cm)颗粒组成为:沙粒(>0.05 mm)含量占 19.8%,粉粒(0.05~0.02 mm)占 67.6%,黏粒(<0.02 mm)占 13.6%。

### 1.2 试验布置与试验方法

1.2.1 试验地的布设 在上述试验区选择 6 种有代表性的土地利用类型(坡度为 18°)。(1)撂荒荒坡。多年没有利用的撂荒荒坡耕地,植被以蒿类为主,盖度为 90%;(2)林草间作。2002 年在坡耕地上种植李树和苜蓿,株行距为 3 m×4 m,平均树高 1.4 m,苜蓿条播,行距为 0.2 m,平均高度 0.25 m,盖度为 70%;(3)农林间作。2002 种植国槐,间距 2.0 m×2.5 m,平均树高 1.30 m,行间种植小麦。夏季休闲时顺坡直线翻耕 20 cm,不耙磨,播种时再翻地 20 cm,然后耙磨整地播种,盖度为 20%;(4)造林林地。

2002 坡耕地退耕后按照“品”字型种植侧柏,株行距为 2 m×1 m,地上植被以荩草、节节草、小飞蓬为主,盖度为 80%;(5)坡耕地 a。小麦收割后,顺坡直线翻耕 20 cm,耙磨整地种植玉米,采用化学药剂除杂草,株行距 0.40 m×0.50 m,高度 0.30 m,盖度 30%。在玉米收获以后翻地 20 cm,然后耙磨整地播种小麦;(6)坡耕地 b。小麦收割后,顺坡直线翻耕 20 cm,不耙磨整地,采用化学药剂除杂草,盖度 0%。播种时再翻地 20 cm,然后耙磨整地播种小麦。

在每种利用方式的坡面中下部布置 3 m×10 m 的径流小区 2 个,用于重复模拟降雨试验。

1.2.2 试验方法 模拟降雨试验与 2005 年 6 月 11—23 日进行,试验共设 2 组喷头交叉排列,喷头离地面高度 2 m,降雨强度的大小可以通过调节供水压力和喷头个数来实现;试验时降雨强度设定 120.0 mm/h,重复 2 次。

降雨产流后,记录产流时间;产流 60 min 后停止降雨,并选取 0,2.5,5,7.5,10,15,20,30,40,50,60 min 共 12 个时段径流样,分别标记。

测定各个时段内径流液中的有效钾、硝态氮含量后过滤,过滤后的泥沙自然风干,之后测定泥沙样中的全氮、全磷、全钾、有机质含量。取模拟降雨前的表层土(0—20 cm)作为对照(表 1)。土壤养分测定方法见文献[9]。

表 1 供试土壤基本理化性质

土壤养分	撂荒荒坡	林草间作	农林间作	造林林地	坡耕地 a	坡耕地 b
全氮	1.01	0.98	0.90	0.95	0.86	0.85
全磷	0.71	0.68	0.67	0.68	0.66	0.65
全钾	10.80	10.20	9.70	10.40	9.50	9.30
有机质	11.30	10.55	9.90	10.89	8.90	8.70

## 2 结果与讨论

### 2.1 径流中的养分变化

降雨产流后,土壤养分随径流的迁移有两条途径:一是随入渗的水分沿垂直方向迁移,其值一般较小;二是随地表径流迁移<sup>[10]</sup>。在黄土高原丘陵沟壑区,土壤养分流失以地表径流迁移为主,因此本试验主要分析地表径流中有效钾、硝态氮浓度变化。

由图 1 可以看出,坡耕地 a、坡耕地 b、农林间作、林草间作的有效钾含量在降雨初期就达到最高值,而撂荒荒坡、造林林地的最高值的出现时间滞后;随着降雨产流的持续进行,6 种利用方式下的有效钾含量逐渐趋于稳定。从有效钾的最高值来看,撂荒荒坡、林草间作、农林间作、造林林地、坡耕地 a 和坡耕地 b

分别为 5.25,7.24,14.30,9.89,15.48,17.29 mg/kg,坡耕地 b 的最高值分别是撂荒荒坡、林草间作、造林林地的 3.31,2.40,1.76 倍,最高值差异的出现与各种利用方式地上植被、耕作有着必然的联系<sup>[11]</sup>。撂荒荒坡、林草间作、造林林地的地上植被避免了雨滴直接打击地面,同时截留部分降雨(盖度分别为 90%,70%,80%);坡耕地 a,坡耕地 b 植被盖度较低(盖度分别为 30%,0%),使得地表全部或者全部暴露在雨滴的直接打击下,加之坡耕地的土壤经过了翻耕耕作,使得土壤地表疏松,在径流的冲刷下,表土更容易被携带走出农田。撂荒荒坡地、造林林地最高值出现时间滞后,这与植被开始阶段对地表携带泥沙的阻挡较大,导致被径流携带的泥沙量少;但随着径流对地表的持续冲刷,植被固土作用减弱,土壤表土更多

的被径流携带走。农林间作径流中的有效钾含量较大,这是因为该模式在小麦收割后对地面进行了耕作、锄草等农事活动,致使在高强度的降雨下,地表径流较大,携带泥沙较多,可见对土壤进行耕作,破坏了土壤的结构,能产生更多的径流,但由于有国槐树枝叶和根系作用的固土作用,使得其值低于坡耕地<sup>[13]</sup>。撂荒荒坡、林草间作、农林间作、造林林地、坡耕地 a 和坡耕地 b 径流中的有效钾趋于稳定时值为 1.90, 2.8, 4.01, 3.48, 5.45, 5.77 mg/kg, 坡耕地利用方式(坡耕地 a, 坡耕地 b)的平均含量是上述几种利用方式的 2.95, 2.1, 3.9, 1.61 倍,这与坡耕地耕作造成土壤理化性质退化,而林草植被有助与土壤理化性质的恢复有很大的关系<sup>[14]</sup>。

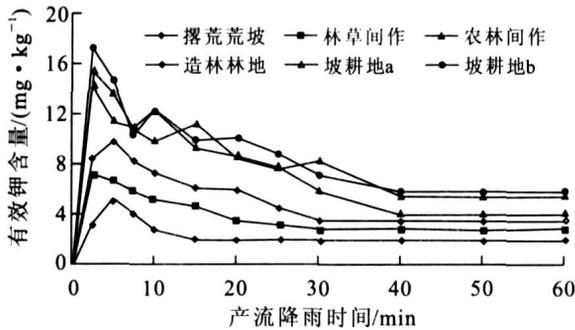


图 1 不同坡地利用方式对径流中有效钾含量动态变化的影响

径流液中硝态氮含量的变化趋势大致与有效钾的变化趋势一样(图 2),产流初期较高,随着产流时间的延长逐渐降低并趋于稳定,这与他人研究结果一

致<sup>[15]</sup>。从最高值来看,撂荒荒坡、林草间作、农林间作、造林林地、坡耕地 a 和坡耕地 b 分别为 5.00, 4.46, 5.34, 10.38, 7.96, 15.45, 17.85 mg/kg;稳定时值为 1.70, 1.99, 5.07, 3.52, 7.39, 8.03 mg/kg,可见不同利用方式的径流中的硝态氮含量差异明显,这与不同利用方式的地上植被、土壤耕作有很大联系。

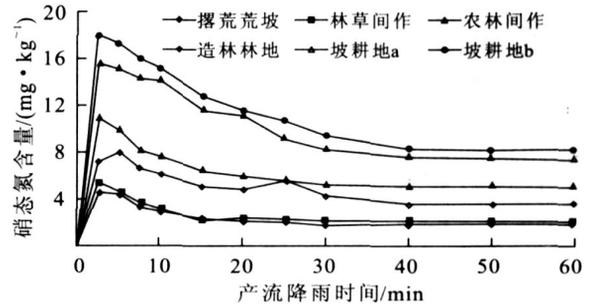


图 2 不同坡地利用方式对径流中硝态氮含量动态变化的影响

2.2 流失泥沙中养分含量的变化

图 3 反映出雨强在 2.0 mm/min 时流失泥沙养分浓度随时间变化的情况。从图 3 中可以看出在产流初期,流失泥沙中全氮、全磷、全钾和有机质含量较高,随着降雨历时的延长,全氮、全磷、全钾和有机质含量逐渐趋于稳定,与坡耕地、农林间作相比,撂荒荒坡、造林林地和林草间作的泥沙中全氮、全磷、全钾和有机质较高,这可能与撂荒荒坡、造林林地和林草间作利用方式减少了土壤的扰动,以及地上植被的保护作用,使得其土壤结构得到恢复,土壤养分含量高有很大联系<sup>[16]</sup>。

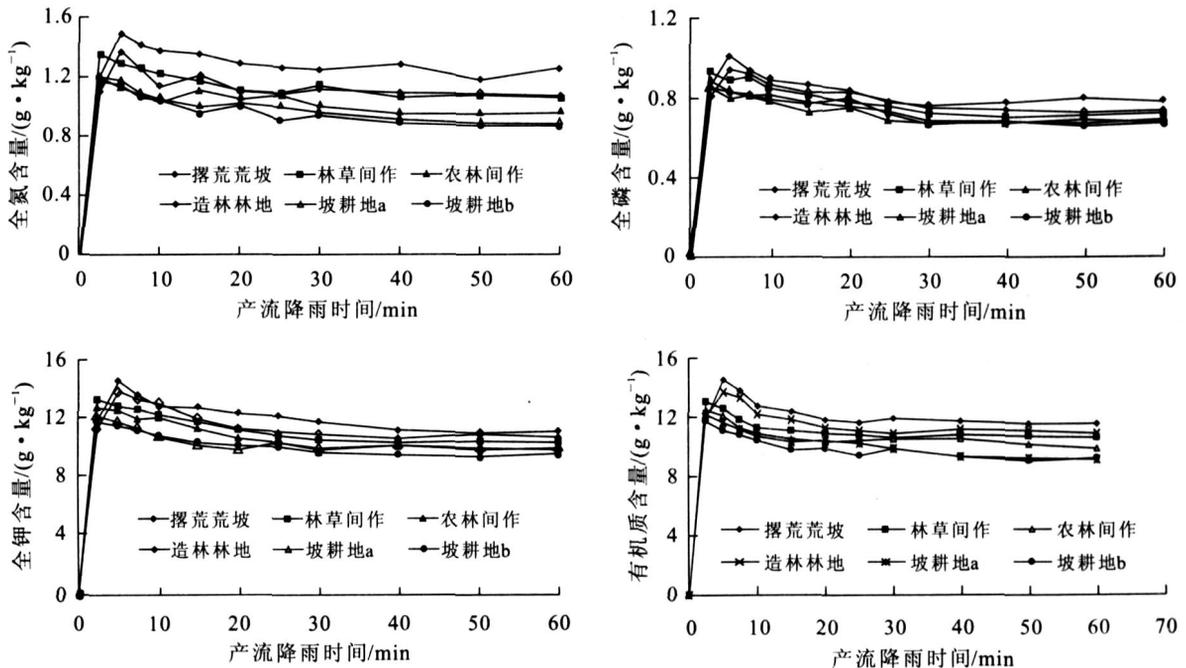


图 3 不同坡地利用方式对流失泥沙养分变化的影响

### 2.3 流失泥沙的养分富集率

径流泥沙的富集比是指径流泥沙中养分含量与被侵蚀养分含量之比,它可以表征养分在泥沙中的富集状况。不同土地利用方式对养分的富集比有很大影响,但很少人研究富集比在泥沙中的动态变化。为了说明降雨产流过程中不同利用方式下富集比动态变化,本文对泥沙中的全氮、全磷、和有机质富集比进行了分析(图 4)。不同利用方式之间差异不大,这和其他研究者得到的结论具有类似性<sup>[11]</sup>。从富集比的

动态变化来看,降雨产流初期的富集比较高,这与径流产生初期,地表径流携带走大量的细小颗粒有很大的联系;之后,随着地表径流的持续,沙砾和较大颗粒被搬运,致使其含量逐渐降低,到产流的中后期,逐渐趋于稳定,但由于沉淀泥沙来自于富含养分的表土,使得趋于稳定时候的养分含量依然高于对照<sup>[10,17]</sup>。由此可见,水土流失降低土壤肥力的关键是土壤流失,它使耕作层变薄,土壤肥力降低,极大地恶化了坡地资源环境。

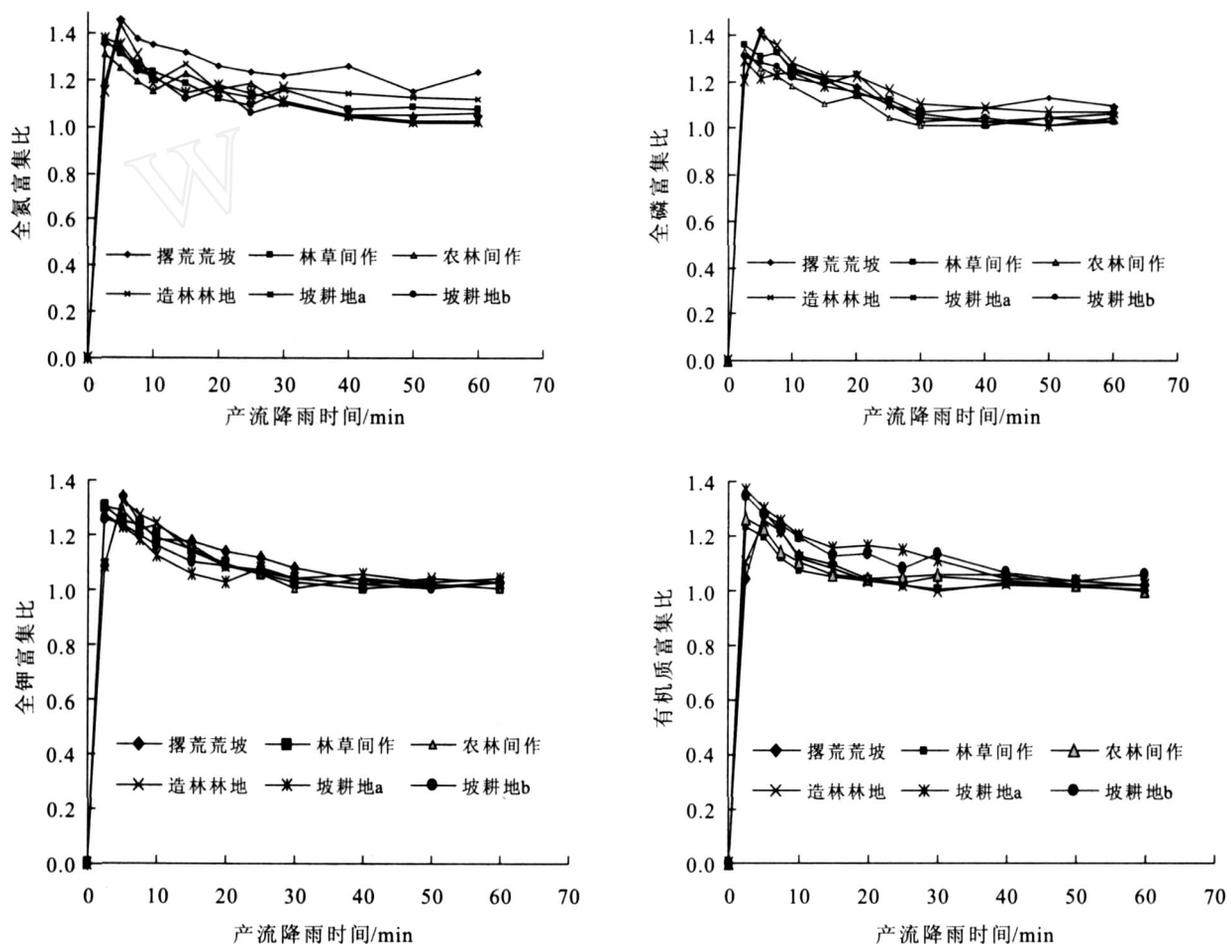


图 4 不同坡地利用方式对流失泥沙养分富集比的影响

## 3 结论与建议

(1) 野外模拟降雨试验表明,在降雨强度为 2 mm/min 的情况下,径流中养分浓度,撂荒荒坡、林草间作和造林林地的含量低于农林间作、坡耕地 a 和坡耕地 b,这与撂荒荒坡、林草间作和造林林地具有较高的覆盖度有很大的联系。

(2) 侵蚀泥沙中的养分,撂荒荒坡、林草间作和造林林地的含量高于农林间作、坡耕地翻耕种植玉米和坡耕地翻耕休闲,这与土壤耕作破坏了土壤良好的构造,致使土壤更易侵蚀有很大的关系。

(3) 不同利用方式下,泥沙中全氮、全磷、全钾和有机质的含量高于对照,但不同土地利用方式下富集比差异不大。

(4) 该文研究了同一坡度、一种降雨强度下的土壤养分流失状况,为了进一步摸清利用方式对土壤养分流失的影响,还需要对不同降雨强度、不同季节、不同坡度进行研究。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 光增云,唐卫平,马群智.河南省黄河中游水土流失区林业重点治理工程可行性研究[J].地域研究与开发,1999,17(增刊):77—82.

- [2] 董三孝. 黄土丘陵区退耕坡地植被自然恢复过程及其对土壤入渗的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 24(4): 1—5.
- [3] 吴明作, 刘玉萃, 郑东方, 等. 黄河中游的生境与林业生态工程[J]. 河南林业科技, 2000, 20(3): 1—6.
- [4] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 等. 三峡库区坡地生态工程控制土壤养分流失研究——以等高植物篱为例[J]. 地理研究, 2000, 19(3): 303—310.
- [5] Lampurlanes J, Angas P, Cantero - Martinez C. Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra region in Spain [J]. Soil & Tillage Research, 2002, 65: 207—220.
- [6] Fu Bojie, Chen Liding, Ma Keming, et al. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China [J]. Catena, 2000, 39: 69—78.
- [7] Jeremy J. Gullison, Charles P. Bourque A. Spatial prediction of tree and shrub succession in a small watershed in Northern Cape Breton Island, Nova Scotia, Canada [J]. Ecological Modelling, 2001, 137: 181—199.
- [8] 冯秀兰, 张洪江, 王礼先. 密云水库上游水源保护林水土保持效益的定量研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 71—77.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [10] 康玲玲, 朱小勇, 王云璋, 等. 不同雨强条件下黄土性土壤养分流失规律研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 536—543.
- [11] 马琨, 王兆骞, 陈欣, 等. 不同雨强条件下红壤坡地养分流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 16—19.
- [12] 王洪杰, 李宪文, 史学正, 等. 四川紫色土区小流域土壤养分流失初步研究[J]. 土壤通报, 2002, 33(6): 441—444.
- [13] 李裕元, 邵明安. 土壤翻耕对坡地水分转化与产流产沙特征的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 46—50.
- [14] 查小春, 唐克丽. 黄土丘陵林区开垦地人为加速侵蚀与土壤物理力学性质的时间变化[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 20—23.
- [15] 张亚丽, 张兴昌, 邵明安, 等. 降雨强度对黄土坡面矿质氮素流失的影响[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 55—58.
- [16] 彭文英, 张科利, 陈瑶, 等. 黄土坡耕地退耕还林后土壤性质变化研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(2): 272—278.
- [17] 刘秉正, 李光录, 吴发启. 黄土高原南部土壤养分流失规律[J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 77—86.

## (上接第5页)

- [7] 许明祥, 刘国林, 卜崇峰, 等. 圆盘入渗仪法测定不同利用方式土壤渗透性试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 54—58.
- [8] 陈一兵, Kim Troubowst, 等. 紫色土渗透性能的对比研究[J]. 水土保持通报, 1997, 17(2): 11—14.
- [9] 王国梁, 刘国彬, 常欣, 等. 黄土丘陵区小流域植被建设的土壤水文效应[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 339—344.
- [10] 陈丽华. 黄土地区水土保持林地土壤入渗规律的研究[J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(3): 51—55.
- [11] CSIRO Disc Permeameter - Instruction Manual[Z]. Canberra, 1988.
- [12] 王红闪, 黄明斌. 四种方法推求土壤导水参数的差别与准确性研究[J]. 干旱区农业研究, 2004, 22(2): 76—80.
- [13] Jury W A, Gardner W R, Gardner W H. Soil Physics [M]. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- [14] Warrick A W, Nielsen D R. Spatial variability of soil physical properties in the field[A]. In: Hillel D (ed.). Applications of Soil Physics [M]. New York: Academic Press, 1980. 319—344.
- [15] 王国梁, 刘国彬, 周生路. 黄土丘陵沟壑区小流域植被恢复对土壤稳定入渗的影响[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 529—535.
- [16] Chisci G C, Bazzonffi P, Pageliani, et al. Association of sulla and atriplex shrub for the physical improvement of clay soils and environmental protection in central Italy [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 84: 45—53.
- [17] Martinez-Meza E, Whitford W G. Stemflow, throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chihuahuan Desert shrubs [J]. Journal of Arid Environments, 1996, 32: 271—287.
- [18] Gile L H, Gibbens R P, Lenz J M. Soil-induced variability in root systems of creosote bush (*Larrea tridentata*) and tarbush (*Flourensia cernua*) [J]. Journal of Arid Environments, 1998, 39: 57—78.