

# 不同地被物处理方式对红壤坡地养分状况的影响

陈 志<sup>1,2</sup>, 王伟峰<sup>3</sup>, 代云川<sup>4</sup>, 孙 丽<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 环境科学与工程学院, 昆明 650593; 2. 云南省地矿局 第一水文地质工程地质大队, 昆明 650041;  
3. 内蒙古林业科学研究所 生态功能与森林碳汇研究所, 呼和浩特 010010; 4. 云南师范大学 旅游与地理科学学院, 昆明 650500)

**摘 要:**选择 3 种不同水保措施的径流小区, 即百喜草(*Paspalum natatu*) 全园覆盖处理、全园敷盖处理和全园裸露处理, 分析和测定了不同坡位和深度土层中土壤有机质、全 N 和全 P 空间异质性之间的关系。结果表明: (1) 有机质含量随着土层增加整体呈先增加后减少的趋势, 在自上而下坡面上, 有机质含量全园覆盖区无明显变化, 全园敷盖区有递增趋势, 全园裸露区则先增加后减少; (2) 全 N 含量随着深度加深均呈下降趋势, 各处理间无显著性差异。在坡面上, 全 N 含量大小为: 全园覆盖区 > 全园敷盖区 > 全园裸露区, 且全园敷盖处理在坡面中部有富集作用, 全园覆盖和全园裸露处理自上而下呈下降趋势; (3) 全 P 含量随着土层加深, 全园覆盖区逐渐减少, 全园敷盖区和全园裸露区先增加后减少。在坡面上, 全 P 含量大小为: 全园敷盖区 > 全园覆盖区 > 全园裸露区, 且在坡面中部有富集作用。该研究可为亚热带地区红壤坡地养分恢复途径提供科学依据。

**关键词:** 地被物处理; 红壤坡地; 土壤养分; 百喜草

中图分类号: S156.6; S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)03-0054-04

## Effects of Different Ground Cover Treatments on Nutrient Status of Red Soil Slope Land

CHEN Zhi<sup>1,2</sup>, WANG Weifeng<sup>3</sup>, DAI Yunchuan<sup>4</sup>, SUN Li<sup>2</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650593, China; 2. Team of the First Hydrogeology and Engineering Geology, Yunnan Geology and Mineral Resources Bureau, Kunming 650041, China; 3. Research Institute of Ecological Function and Forest Carbon Sink, Inner Mongolia Academy of Forestry, Hohhot 010010, China; 4. School of Tourism and Geographical Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

**Abstract:** Three runoff residence communities with different measures for water conservation were chosen to investigate the three residence communities which are covered by *Paspalum natatu*: the entire covered park, the entire mulched park and no vegetation park. The soil organic matter in different slopes and depths, and the relationship of the spatial heterogeneity between TN, TP had measured and analysed. The results indicated that: (1) the organic matter content increased first and then reduced with the increase of soil layers. The organic matter content had no significant change from the top to bottom of the slope. The organic matter content of the entire covered park increased, and the organic matter content in the no vegetation park increased first and then reduced; (2) TN reduced as the soil layers became deeper, and there's no significant difference between the treatments, the TN content on the slope presented as the sequence: the entire covered park > the entire mulched park > no vegetation park, the treatment of the entire mulched park had concentration effect on the middle of the slope, and TN contents of the treatments of the entire covered park and no vegetation park decreased from the top to the bottom; (3) TP content reduced as the soil depth increased, reduced gradually in the entire covered park and increased first and then reduced in the entire mulched park and no vegetation park, on the slope, the TP content followed the order: the entire mulched park > the entire covered park > no vegetation park, and it had concentration effect on the middle of the slope. This study could provide scientific basis for recovery of the nutrients of the red earth slope land in subtropical zone.

**Keywords:** ground cover treatment; red soil slope land; soil nutrient; *Paspalum natatu*

土壤作为一个时空连续的变异体,具有高度的空间异质性<sup>[1-2]</sup>。吴志峰等<sup>[3]</sup>采用地统计学方法对土壤的空间变异性进行了研究,探讨了土壤养分流失的机理与影响因子及养分流失控制措施;王百群<sup>[4]</sup>、路鹏<sup>[5]</sup>、姜勇<sup>[6]</sup>、杨美玲<sup>[7]</sup>等分别研究了土壤 N、P 等养分的空间变异特征;孙波<sup>[8]</sup>、Zhang<sup>[9]</sup>等利用地统计学方法研究了我国中亚热带低丘红壤区土壤肥力的时空变异特征,研究发现土壤肥力性质及其变化值的克里格插值显示出一定的空间相似性;陈文辉等<sup>[10]</sup>运用传统的 Fisher 统计分析了不同田块上土壤养分的空间变异特征及造成产量显著差异的主要原因;谢颂华等<sup>[11]</sup>利用大型土壤渗漏装置经过 3 a 连续观测试验,对覆盖、敷盖和裸露 3 种处理下红壤坡面径流垂向分层输出特征进行了分析。目前,国内大部分的研究主要集中于中、小尺度农田或单一养分,虽然基于小尺度的实验室模拟试验也有一定报道,但以地被物作为研究对象,结合坡面养分状况变化而进行的相关研究较少。坡地养分流失是农业非点源污染的重要来源,Mclay 等<sup>[12]</sup>在新西兰结合土地利用、表土属性对 Waikato 区的浅层地下水浓度进行了预测,结果显示地下水的污染物浓度同表土属性没有直接关系。据 Waddell<sup>[13]</sup>等估计,施用的 P 肥约 5% 扩散到大气中,土壤固定 55%,植物吸收 7%~15%,被径流带入 5%~10%。Alberts 等<sup>[14]</sup>研究表明,缓坡或陡坡农田中的 N、P 转移是和流失径流中的泥沙相联系的。红壤是我国南部的地带性土壤,缓坡地(6°~15°)是红壤区的主要组成部分,约占红壤总面积的 28%,是热带、亚热带农业的生产基地<sup>[15]</sup>。百喜草(*Paspalum natatu*)是一种优良的水土保持植物,在我国南方引种以来得到较好的推广。基于以上原因,选择 3 种不同水保措施的径流小区开展不同地被物处理方式对红壤坡地养分状况的影响等相关研究,为我国亚热带地区红壤坡地养分恢复途径提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于九江市德安县县城东郊的江西省水土保持生态科技园内(115°42'—115°43'E, 29°16'—29°17'N),是我国红壤分布的中心区域,属亚热带季风区,雨热基本同期,年均降雨量 1 350.9 mm,多年平均气温 16.7℃,年日照时间 1 650~2 100 h,多年平均无霜期 249 d。地形条件在红壤丘陵区具有代表性。地貌类型为浅丘岗地,土壤成土母质主要是第四纪红黏土红壤。由于长期不合理的采伐利用,原生植

被不断减少,现存植被主要是处于不同逆行演替阶段的次生群落,如荒草、灌木和沙地植被,以及人工营造或自然恢复的湿地松(*Pinus elliottii*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等次生林。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

生态科技园的径流小区样地设置在小山岗的山腰上,始建于 2000 年,选择地形、土壤等立地条件基本一致,坡度为 14°的坡地,面积 225 m<sup>2</sup>(15 m×15 m),设置 3 个处理小区,小区面积均为 75 m<sup>2</sup>(5 m×15 m)。供试地被物选择百喜草,百喜草俗称巴哈雀稗,为一种暖季型的多年生禾草,有粗壮多节的匍匐茎,枝条高 15~80 cm。叶片扁平,长 20~30 cm,宽 3~8 mm。原产加勒比海群岛和南美洲沿海地区,近年在台湾、广东、上海、江西等地大面积引种,作为公路、堤坝等绿化草种或牧草。3 个小区处理方式分别是百喜草覆盖(种植百喜草,覆盖度 100%)、百喜草敷盖(将百喜草刈割后敷盖于地表,敷盖度 100%,厚度约 5 cm)、对照处理(地表裸露)。

### 2.2 试验方法

在各小区选择下坡位(距径流小区坡顶挡墙 12 m)、中坡位(距径流小区坡顶挡墙 9 m)、中上坡位(距径流小区坡顶挡墙 6 m)和上坡位(距径流小区坡顶挡墙 3 m) 4 个样点,各样点分地表、30 cm、60 cm、90 cm 共 4 个层次取样,分别测量其有机质、全 N 和全 P 的含量。从养分空间分布状况的角度,分析不同地被物处理方式对红壤坡地养分保护和改良的作用。采用 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 外加热容量法测定土壤有机质含量;全 N 和全 P 采用 HClO<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消化法,消化或提取后的溶液分别使用全自动化学分析仪 Smart-Chem 进行化学分析。以上指标均重复测定 3 次,共 48 个土样 144 组数据。数据处理采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤表层养分沿坡面分布特征

3.1.1 不同坡面表层土壤有机质含量变化趋势 由图 1 可知,不同小区土壤表层(0—15 cm)有机质测定表明,全园覆盖区和全园敷盖区土壤有机质含量较全园裸露区要高。全园覆盖区土壤有机质含量沿坡面无明显变化,全园敷盖区则呈先减小后增加的趋势,表明有机质在下部有一定的积累作用;全园裸露区则

呈现先增加后减少的趋势,这是因为径流的冲刷作用导致其在中间部位有一定的积累,而到下坡位由于冲刷作用加剧,形成小的侵蚀沟,有机质的沉淀和积累作用较水力冲刷作用要弱。坡地土壤养分以坡顶和坡底部位较高,坡面较低,这主要是在降雨侵蚀条件下坡面径流将坡面小粒径土壤带到坡底,使坡面养分含量降低,而坡底养分含量增加<sup>[16]</sup>。

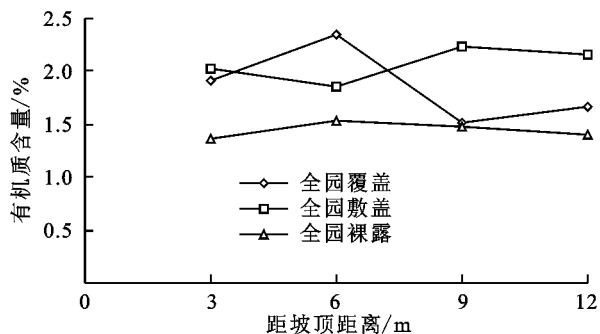


图 1 不同坡面表层土壤有机质含量变化趋势

3.1.2 不同坡面表层土壤全 N 含量变化趋势 由图 2 可知,全园覆盖区和全园敷盖区土壤全 N 含量较全园裸露区要高,其中全园覆盖区和全园裸露区养分变化趋势极为相似,沿坡面往下逐渐减小,在坡底有所增加,呈堆积趋势;全园敷盖区全 N 含量则呈先增加后减少的趋势,在中部养分呈积累趋势,在上坡位和下坡位呈对称的减少趋势。

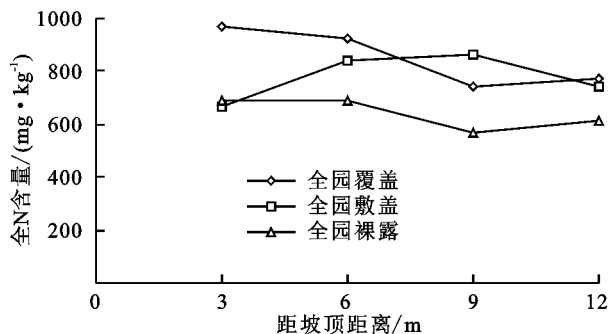


图 2 不同坡面表层土壤全 N 含量变化趋势

3.1.3 不同坡面表层土壤全 P 含量变化趋势 由图 3 可知,全园敷盖区土壤全 P 含量较其他小区都要高,这是因为全园敷盖区侵蚀作用较小,同时腐烂的植被也可为其提供一定的 P 素补给,而全园覆盖区作物生长需要吸收 P 素,全园裸露区由于降雨径流的冲刷作用剧烈,从而出现以上结果。从其曲线变化趋势看,沿坡面自上而下,全园敷盖区和全园敷盖区全 P 含量变化基本相似,都是先增加后减少再略增加,说明采用地被物措施的小区,其表层养分无明显积累现象;全园裸露区全 P 变化趋势为先增加后减少,养分在中间部位有堆积作用,而到下坡位水蚀作用明显加剧,全 P 养分明显减少。

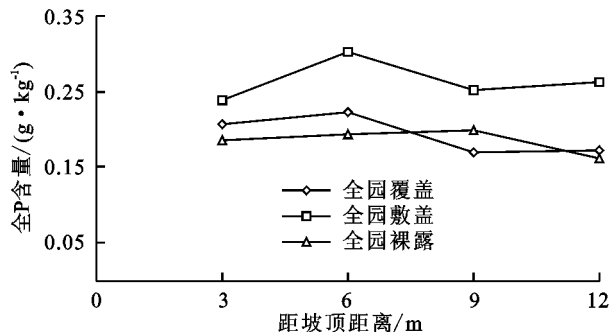


图 3 不同坡面表层土壤全 P 含量变化趋势

### 3.2 各小区土壤养分沿剖面分布特征

3.2.1 各小区不同深度土壤有机质含量变化趋势 由图 4 可知,3 个小区土壤有机质含量同一层的大小顺序为:全园覆盖区>全园敷盖区>全园裸露区,其原因是全园覆盖区土体内含有植物根系等有机物使生物量增加;而全园敷盖区由于枯落物的腐烂,部分有机质随降雨渗透进入土体;全园裸露区因没有外界的补给作用,因而出现以上结果。对于全园覆盖区和全园敷盖区而言,养分呈先增大后减少的趋势,对于全园裸露区则一直呈下降趋势。统计分析表明,有机质含量在 3 个小区有显著性差异 ( $p < 0.01$ , 极显著),说明地被物对改变土壤有机质含量具有重要作用。

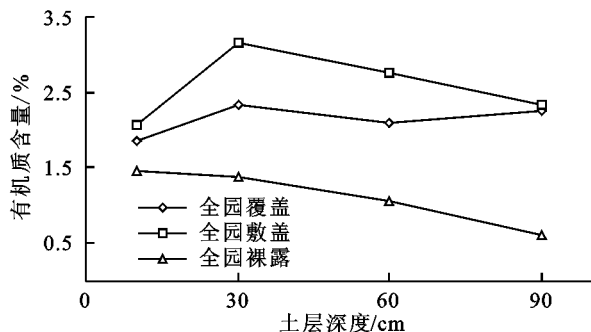


图 4 各小区不同深度土壤有机质含量变化趋势

3.2.2 各小区不同深度土壤全 N 含量变化趋势 由图 5 可知,对于土壤全 N 含量而言,在地表的养分含量大小顺序为:全园覆盖区>全园敷盖区>全园裸露区,且各自都随着深度的增加而减小。由于百喜草对养分的吸收作用,在 30 cm 处,全园覆盖区土壤全 N 较表层骤然降低,且较全园敷盖区和全园裸露区含量均低。在 30 cm 以下,土壤全 N 含量大小依次为:全园敷盖区>全园裸露区>全园覆盖区。统计分析表明,土壤全 N 在 3 个小区无显著性差异 ( $p > 0.05$ , 不显著),原因是全园覆盖处理既吸收 N 素的同时又可自身合成,全园敷盖处理中虽然腐烂的覆被物能增加 N 源,但主要以可溶的速效 N 方式存在。经过淋溶作用,随壤中流或地表径流带走,全园裸露处理直接发生在地表,其差异性不显著。

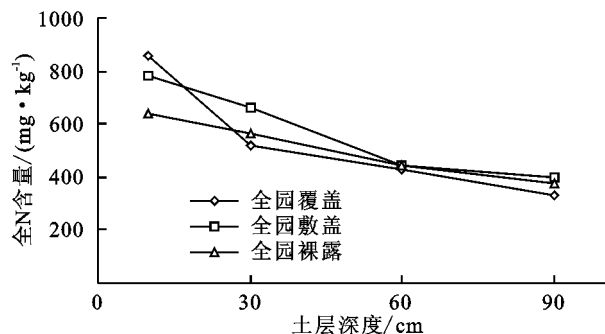


图5 各小区不同深度土壤全N含量变化趋势

### 3.2.3 各小区不同深度土壤全P含量变化趋势

由图6可知,对于土壤全P含量而言,地表处大小为:全园敷盖区>全园覆盖区>全园裸露区,其原因是在同样的肥力状况下,全园敷盖区土壤由于较全园裸露区淋溶和冲刷作用小得多,因而表现为:全园敷盖区>全园裸露区;而全园覆盖区植被虽对P素有吸收作用,但植被的根系主要在地表以下,植被对根系的吸收能力所消耗的P较全园裸露区的淋溶和侵蚀所带走的养分要小,因而表现为:全园覆盖区>全园裸露区。随着土层的加深,百喜草的根系变得更加发达,对养分的吸收作用加强,所以全P含量继续下降;而对于全园敷盖区和全园裸露区而言,降雨的淋溶作用,导致在30 cm处全P含量有所积累,因此有所回升。而到更深层次,由于土体出现沙粒等半风化物,土壤肥力相对贫瘠,所以全P含量逐渐下降。在30 cm及以下处,其养分含量大小依次为:全园敷盖区>全园裸露区>全园覆盖区。统计分析表明,全P在3个小区有显著性差异( $0.05 > p > 0.01$ ,一般性显著)。

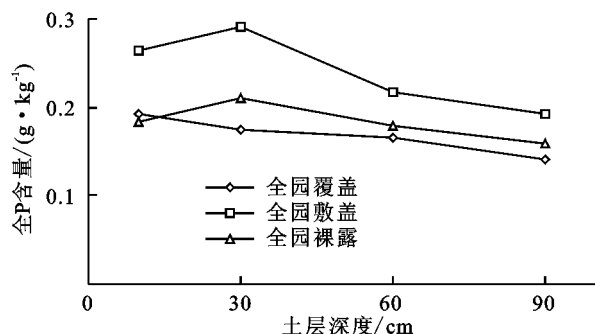


图6 各小区不同深度土壤全P含量变化趋势

## 4 结论与讨论

对土壤有机质而言,在土壤剖面上,随着土层增加整体呈先增加后减少的趋势,且各处理间存在显著性差异。在坡面上,自上而下,全园覆盖区无明显变化,全园敷盖区有递增趋势,全园裸露区则先增加后减少,说明水土保持措施能显著提高土壤有机质含量。

对土壤全N而言,在土壤剖面上,3种处理同一

坡位随着深度加深均呈下降趋势,且无显著性差异。对坡面而言,其含量大小为:全园覆盖区>全园敷盖区>全园裸露区,说明覆被具有增加土壤养分的作用,且活的地被物效果最佳,这与植物合成或根系的固N作用有关。百喜草的生长改善了土壤环境并提高了土壤肥力,一方面可以截流,另一方面植物的生长可以起到固土保肥的作用,这与李新虎等<sup>[17]</sup>研究结果一致;Udom等<sup>[18]</sup>最新研究表明,土壤有机质、N、P分布状况与土地利用和管理措施等密切相关,这也从一定程度上证明了本研究不同地被物管理措施的影响作用。

对土壤全P而言,在土壤剖面上,随着土层加深,全园覆盖区逐渐减少,全园敷盖区和全园裸露区先增加后减少,且各小区间有显著性差异。在坡面上,全园敷盖区含量整体最高,且全园覆盖区和全园敷盖区变化相近,全园裸露区先增加后减少,说明坡面径流对全P具有淋溶作用;全园裸露区坡底淋溶作用加强,而在坡面中部具有积累作用,全园覆盖区和全园敷盖区因覆被作用而变化一致。

从各小区同一坡位进行横向比较,以及同一小区不同坡位进行纵向比较,对3种不同地被物处理方式下的养分变化规律进行分析,不难得出不同处理间土壤养分在各坡面的分布状况,可以为合理选择水土保持措施、提高和改良土壤肥力提供科学依据。通过对各小区同一坡位不同深度处土壤养分垂直分布进行比较,可以说明土壤养分在不同水保措施和不同深度处的分布规律,并从一定程度上揭示土壤空间溶质分布的相关规律。同时,该坡面较室内实验室模拟土壤养分空间分布更符合实际,较大区域土壤肥力空间异质性研究更具可控性。由于本研究是模拟野外坡面试验条件,其尺度相对较小,采取的措施也不够复杂,因此相关参数有待修正。特别是在坡地耕作和坡地秸秆还田等方面,在复杂地被物情况下其规律性如何有待深入研究。

### 参考文献:

- [1] Recha J W, Lehmann J, Walter M T, et al. Stream water nutrient and organic carbon exports from tropical headwater catchments at a soil degradation gradient[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2013, 95(2): 145-158.
- [2] 许峰,蔡强国,吴淑安. 坡地农林复合系统土壤养分过程研究进展[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(1): 82-87.
- [3] 吴志峰,卓慕宁,王继增,等. 珠海正坑小流域土壤与氮、磷养分流失估算[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 100-102.
- [4] 王百群,刘国彬. 黄土丘陵地区地形对坡地土壤养分流失的影响[J]. *水土保持学报*, 1999, 5(2): 18-22.

- [17] 谢红霞. 延河流域土壤侵蚀时空变化及水土保持环境效应评价研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2008.
- [18] Du H Q, Xue X, Wang T. Mapping the risk of water erosion in the watershed of the Ningxia-Inner Mongolia reach of the Yellow River, China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2015, 12(1): 70-84.
- [19] 黄河上中游管理局. 淤地坝设计[M]. 北京:中国计划出版社, 2004.
- [20] 水利部水土保持监测中心. 西北黄土高原区土壤侵蚀预报模型开发项目研究成果报告[R]. 北京:水利部水土保持监测中心, 2006.
- [21] 中华人民共和国水利部. 第三次全国水土流失遥感调查[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005.
- [22] 山西省水利厅, 山西省统计局. 山西省第一次全国水利普查公报[J]. *山西水利*, 2013(5): 3-5.
- [23] 郭建军. 晋城市土壤侵蚀强度分级图编制[J]. *中国水土保持*, 2007(12): 20-22.
- [24] 魏信, 乔玉良, 王鹏. 自然生态环境遥感动态监测与GIS分析评价:以山西“煤田之乡”的乡宁矿区为例[J]. *地球信息科学学报*, 2009, 11(6): 111-118.
- [25] 王晓慧, 陈永富, 陈尔学, 等. 基于遥感和GIS的黄土高原中阳县土壤侵蚀评价[J]. *山地学报*, 2011, 29(4): 442-448.
- [26] 瞿明凯, 李卫东, 张传荣, 等. 地理加权回归及其在土壤和环境科学上的应用前景[J]. *土壤*, 2014, 46(1): 15-22.
- [27] 郭龙, 张海涛, 陈家赢, 等. 基于协同克里格插值和地理加权回归模型的土壤属性空间预测比较[J]. *土壤学报*, 2012, 49(5): 1037-1042.

~~~~~

(上接第57页)

- [5] 路鹏, 黄道友, 宋变兰, 等. 亚热带红壤丘陵典型区土壤全氮的空间变异特征[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(8): 181-183.
- [6] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 等. 沈阳市郊耕地土壤交换性锰含量的空间变异性[J]. *土壤*, 2004, 36(1): 61-64.
- [7] 杨美玲, 王雪梅, 罗梦媛. 基于GIS的库车县耕层土壤养分空间变异研究[J]. *水土保持研究*, 2015, 22(1): 61-65.
- [8] 孙波, 赵其国, 闫国年. 低丘土壤肥力的空间变异[J]. *土壤学报*, 2002, 39(2): 190-198.
- [9] Zhang S R, Sun B, Zhao Q G, et al. Temporal-spatial variability of soil organic carbon stocks in a rehabilitating ecosystem[J]. *Pedosphere*, 2004, 14(4): 501-508.
- [10] 陈文辉, 谢高地, 卓庆卿. 农田基础环境信息空间变异性分析[J]. *生态学报*, 2004, 24(2): 347-353.
- [11] 谢颂华, 莫明浩, 涂安国, 等. 自然降雨条件下红壤坡面径流垂向分层输出特征[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(19): 132-138.
- [12] Mclay C D, Dragten R, Sparling G, et al. Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches [J]. *Environmental Pollution*, 2001, 115(2): 191-204.
- [13] Waddell J, Guffa S C, Moncrief J R, et al. Irrigation-and-nitrogen-management impacts on nitrate leaching under potato [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(1): 251-261.
- [14] Alberts E E, Moldenhauer W C. Nitrogen and phosphorus transported by eroded soil aggregates[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1981, 45(2): 391-396.
- [15] 谢小立, 王凯荣. 红壤坡地雨水产流及其土壤流失的垫面反应[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(4): 37-40.
- [16] 刘洋, 张展羽, 张国华, 等. 天然降雨条件下不同水土保持措施红壤坡地养分流失特征[J]. *中国水土保持*, 2007, 20(12): 14-16.
- [17] 李新虎, 张展羽, 杨洁, 等. 红壤坡地不同生态措施地下径流养分流失研究[J]. *水资源与水工程学报*, 2010, 21(2): 83-86.
- [18] Udom B E, Ogunwale J O. Soil organic carbon, nitrogen and phosphorus distribution in stable aggregates of an Ultisol under contrasting land use and management history[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2015, 178(3): 460-467.