

# 坝地土壤养分分布特征研究

包耀贤, 吴发启, 谭红朝

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 通过对延安市北沟小流域典型坝地土壤养分的测定, 分析比较了其土壤养分时空分布特征。结果表明, 北沟小流域坝地土壤养分分布不平衡, 除钾素含量富足外, 其它养分含量都很低, 特别是有机质和磷含量趋于贫瘠化。有机质、全氮、全磷时空差异都不明显, 而速效养分在层次上都表现出鞍形变化趋势且时空差异显著。该项研究可为坝地平衡培肥提供理论依据。

**关键词:** 小流域; 坝地; 土壤养分; 时空分布

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)02-0012-04

中图分类号: S157.31

## Distribution Characteristics of Soil Nutrients in Dam Land

BAO Yao-xian, WU Fa-qi, TAN Hong-chao

(College of Resources and Environment, Northwest University of

Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** Based on comparative analysis on spatial temporal distribution characteristics of soil nutrients of typical dam land in Beigou small watershed of Yan'an City. The results showed that imbalance of soil nutrients was very serious in experimental area, and most soil nutrients were very poor, especially, soil organic matter, total P and available P, but total K and available K were rich. The insignificant spatial and temporal differences in the soil organic matter, total N and total P were found, yet available nutrients were high-low-high from upper to lower and spatial temporal differences were significant on profile. In the light of these results, the theoretical evidences for balancing fertility of dam land are put forward.

**Keywords:** small watershed; dam land; soil nutrients; spatial and temporal distribution

坝地是坡面侵蚀泥沙经水力搬运后在沟道坝(库)区淤积而成的土地。它是在水土保持基础上派生出来的最具发展潜力的新型耕地类型, 对提高作物单产潜力巨大<sup>[1]</sup>。坝地农业是黄土高原水土流失区的特色农业。

根据黄土高原 7 省(自治区)多年调查, 坝地作物多年平均产量 4 500 kg/hm<sup>2</sup>, 有的高达 10 500 kg/hm<sup>2</sup> 以上, 单产水平是梯田的 2~3 倍, 是坡耕地的 6~10 倍<sup>[2]</sup>; 对陕西省米脂、绥德、子洲、横山等县典型流域调查统计, 坝地面积占粮田面积的 8.3%, 而产粮却占总产量的 23.5%<sup>[3]</sup>。截至 2002 年底, 黄土高原地区已建成淤地坝 1.1 × 10<sup>5</sup> 座, 淤地 3.0 × 10<sup>5</sup> hm<sup>2</sup> 多<sup>[2]</sup>, 按年均增粮 5 000 kg/hm<sup>2</sup> 计算, 可淤坝地年增产粮食 1.7 × 10<sup>9</sup> kg, 可解决 5.00 × 10<sup>6</sup> 多人的口粮问题<sup>[2]</sup>。延安市现有淤地坝 11 998 座, 已淤地 12 868 hm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。可见, 坝地作为黄土高原地区群众的“命根子”, 极有必要研究其土壤肥力状况。因坝地土壤肥

力的高低很大程度上直接影响着黄土高原地区群众粮食自给问题, 继而影响其区域经济的可持续发展。

另一方面, 淤地坝作为水土保持综合治理和生态修复工程的结合点, 是巩固黄土高原地区退耕还林还草成果的重要配套措施, 也是这一地区逐步实现“沟壑川台化”的重要保证<sup>[5]</sup>, 若坝地不可持续经营, 迫于生活压力退耕坡地就会被反垦, 从这个意义上说, 研究坝地土壤肥力状况对改变黄土高原生态环境具有重要意义。

另外, 人类有目的地把保护和培肥地力两者有机结合, 在同一区域范围内进行互补性工作, 才能促进农业生产发展<sup>[6]</sup>, 而这一工作的开展也正是以土壤养分空间分布特征为基础。基于以上 3 种原因, 本文以黄土高原延安市北沟小流域为例, 比较分析了坝地土壤养分特征, 评价其优劣, 旨在摸清坝地土壤养分时空变化趋势和养分贮存状况, 为坝地的永续利用提供理论依据。

收稿日期: 2004-11-16

资助项目: 中国科学院知识创新工程项目子专题(KZCX1-06-02-03)

作者简介: 包耀贤(1975-), 男(汉族), 甘肃漳县人, 工程师, 在读硕士, 主要从事水土保持与荒漠化防治工作。电话(029) 87080054, E-mail: wufaqi@263.net。

## 1 研究区域特征

研究区地属陕西省延安市宝塔区北沟小流域, 流域面积 54.2 km<sup>2</sup>。海拔 1 100~1 300 m 之间; 地貌形态是以梁峁为主, 地形破碎, 沟壑纵横; 年均降水 527 mm, 60% 集中在 6—9 月份; 年均温 9.4 °C, ≥10 °C 积温 2 500 °C~3 400 °C; 年均侵蚀模数 10 000 t/(km<sup>2</sup>·a); 土壤类型为黄绵土; 流域内植被稀少, 垦殖指数较高, 土地利用类型主要有坝地、坡耕地、梯田、撂荒地、农果间作地、灌木地和林地等类型; 流域有坝地 13.8 hm<sup>2</sup>, 主种玉米, 年产量 6 000~7 500 kg/hm<sup>2</sup>; 经多年治理, 基本形成了上拦下种的坝系格局。

## 2 研究方法

### 2.1 采集土样

2003 年 8 月初, 选择 20 龄和 45 龄 2 个典型坝地布点采样。坝地内是沿坝中线从坝尾、坝中到坝前 3 个部位按照 0—20, 20—40, 40—60, 60—80, 80—100, 100—120, 120—160, 160—200 cm 分层采样, 共 48 个样; 选取坝地附近荒坡地作为对照样, 采样深度

1 m, 采样间隔 20 cm, 共 5 个样。所有土样用土钻取样后经风干过筛测定其养分含量。

### 2.2 测定项目及方法

土壤养分测定项目均采用常规土壤化学分析法<sup>[7-8]</sup>。有机质(OM): 重铬酸钾外加热氧化法; 全氮(TN): 凯氏蒸馏法; 水解氮(AN): 碱解扩散法; 全磷(TP): NaOH 熔融钼锑抗比色法; 速效磷(AP): NaHCO<sub>3</sub> 浸提钼锑抗比色法; 全钾(TK): NaOH 熔融火焰光度法; 速效钾(AK): 1 mol/L NH<sub>4</sub>Ac 浸提火焰光度法。

## 3 结果与分析

### 3.1 坝地土壤养分状况

土壤肥力的高低是作物能否高产的重要保证。坝地土壤是小流域内坡地土壤经过分散、剥离、搬运和淤积等过程而形成的幼年土, 经过了物质的重新分配与组合, 也是侵蚀土壤随同吸附或携带一定营养元素和化合物的过程<sup>[9-11]</sup>。

因此, 坝地土壤因形成过程的复杂性状况而使得其养分分布具备了特殊性(表 1)。

表 1 北沟小流域坝地土壤养分时空分布特征(均值)

土地类型	层次/cm	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	水解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷/(g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	全钾/(g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )
45 龄坝地	0—20	5.065	0.308	5.131	0.696	3.051	22.572	182.904
	20—40	5.052	0.304	5.368	0.651	1.374	22.898	133.662
	40—60	5.074	0.304	4.895	0.645	1.109	22.240	153.600
	60—80	5.045	0.303	3.727	0.665	1.134	22.968	129.611
	80—100	5.049	0.305	3.728	0.605	2.695	22.889	112.283
	100—120	5.050	0.303	3.733	0.607	1.448	21.401	104.314
	120—160	5.040	0.304	3.966	0.607	1.400	21.550	94.992
	160—200	5.037	0.303	5.129	0.618	2.004	22.645	117.599
	平均	5.052	0.304	4.460	0.637	1.777	22.395	128.621
20 龄坝地	0—20	5.132	0.304	4.201	0.606	6.171	23.739	108.847
	20—40	5.072	0.303	4.661	0.642	3.204	23.323	86.234
	40—60	5.057	0.303	2.800	0.608	2.133	20.927	84.896
	60—80	5.054	0.303	2.796	0.600	2.493	22.533	95.480
	80—100	5.080	0.303	4.199	0.624	2.506	22.681	103.548
	100—120	5.052	0.303	4.198	0.603	3.648	20.599	107.562
	120—160	5.063	0.302	2.796	0.647	3.820	23.168	112.834
	160—200	5.055	0.302	4.196	0.622	4.146	21.868	104.899
	平均	5.071	0.303	3.731	0.619	3.515	22.355	100.538
荒坡地	0—20	5.031	0.305	3.988	0.621	3.412	22.117	105.271
	20—40	5.012	0.302	3.725	0.618	3.113	21.188	90.874
	40—60	5.024	0.303	3.476	0.619	2.015	20.107	91.211
	60—80	5.010	0.297	3.215	0.612	1.897	19.813	92.147
	80—100	4.971	0.299	3.311	0.604	1.855	20.102	93.294
	平均	5.010	0.301	3.543	0.615	2.458	20.665	94.559

由表 1 可知,在时间序列上坝地有机质、全氮、全磷、全钾平均含量大龄坝地略高于小龄坝地,但差异不明显,特别是有机质和全氮差异很小;速效养分含量差异显著,表现出大龄坝地水解氮和速效钾含量高于小龄坝地,而速效磷含量恰好相反。整体上除大龄坝地速效磷外土壤养分都比荒坡地高。

从土壤剖面来看,层次间有机质、全氮、全磷、全钾含量差异较小,表现出基础肥力的缓效性;水解氮、速效磷和速效钾含量在层次上都表现出鞍形变化趋势,而荒坡地养分随着土层的加深持续走低,这说明坝地中与作物生长关系最密切的速效养分的供给能力更具持久性和缓冲性,这可能是坝地作物相对高产的一个主要原因。为此,可将坝地速效养分分布状况划分为 4 个养分层: ① 养分剧变层(0—40 cm),该层是受施肥状况影响而变化较大; ② 养分主要供给层(40—80 cm),该层是玉米等深根系作物主要养分消耗层,是作物长势是否良好的主要营养库; ③ 养分相对稳定层(80—160 cm),该层主要调节上下层养分的供给与积蓄; ④ 养分富裕层(160 cm 以下),该层养分含量明显上升,充分说明坝地淤积泥沙富集速效养分作用明显,似“闲置以备用”之感。

总体来看,北沟小流域坝地土壤肥力要素变化较大且分布不平衡。参考陕西省土壤养分含量分级标准<sup>[12]</sup>,除速效钾含量较高可满足坝地作物生长外,其它养分含量都非常贫乏,特别是有机质、全磷和速效磷含量极低。这种养分贫瘠化状况主要受土壤母质、种植方式、施肥水平和人为管理等因素影响,畜牧业不发达制约了有机肥投入,经济水平低下限制了化肥投入。据调查,黄土高原地区群众在经营理念上误认为坝地是上好农地而不用或很少施肥,施肥大多也是以价格便宜的碳氮作底肥和追肥。实际上坝地在开种后由于侵蚀而输入的养分很少,致使养分供应难以继,故应特别注重氮肥和磷肥的输入。

## 3.2 坝地土壤养分时空分布特征

### 3.2.1 有机质分布

有机质是各种营养元素特别是氮、磷的主要来源,是土壤肥力高低的一个重要指标<sup>[8]</sup>。表 1 显示,坝地有机质含量在 5.037~5.132 g/kg 之间,大龄坝地有机质含量略低于小龄坝地,都比荒坡地平均高出 0.83%~1.20%,但时空差异都不明显,变幅很小。说明黄土母质整体有机质含量较低,参考低肥力地有机质含量标准(5.0~10.0 g/kg)可知坝地属于低肥力耕地<sup>[8]</sup>,其原因一方面是为耕作活动导致有机质明显下降<sup>[8]</sup>,另一方面可能是作物长期消耗所致。事实上,坝地开种后外界侵蚀物进入坝地就逐渐减

少,加之有机肥的施入极其有限,故随着时间的推移和作物的逐年消耗使得坝地有机质含量逐年分解而整体略有下降。

### 3.2.2 氮素分布

全氮量通常用于衡量土壤氮素的基础肥力,而有效氮则与农作物生长关系更为密切<sup>[8]</sup>。数据显示:无论是时间序列还是土壤层次上大龄坝地、小龄坝地以及荒坡地全氮含量基本没有差异,都在 0.30 g/kg 左右,我国黄土高原地区全氮含量多在 0.30~0.99 g/kg 之间<sup>[8]</sup>,表明坝地土壤全氮含量很低,这可能与黄土母质本身全氮含量很低相关。另外,坝地氮肥投入很少也是原因之一。

水解氮含量变化趋势是大龄坝地>小龄坝地>荒坡地,分别比荒坡地平均高出 16.35%和 20.56%。坝地层次间表现出“高→低→高”的变化趋势,而对照荒坡地层次间是持续降低趋势,充分说明坝地有效氮供给的缓冲能力较大,更具持久性。但比较可知有效氮含量依然很低<sup>[13-14]</sup>,可见对坝地不可掠夺式持续经营,否则养分贫瘠化趋势加剧。

### 3.2.3 磷素分布

全磷含量变化趋势:大龄坝地>小龄坝地>荒坡地,但差异不大;在剖面层次上是随着土层的深入略降后趋于平稳,而荒坡地是降低趋势,但变幅都很小。全磷含量大龄坝地在 0.605~0.696 g/kg 之间,小龄坝地在 0.600~0.647 g/kg 之间,都远低于黄土母质全磷含量(1.3~1.6 g/kg)<sup>[8]</sup>。

了解速效磷的供应状况对于施肥具有直接指导意义。全磷含量偏低,土壤有效磷供应也常感不足<sup>[8]</sup>。速效磷含量变化趋势和全磷不同:小龄坝地>荒坡地>大龄坝地,在层次剖面上也表现出鞍形变化趋势,差异较全磷明显,但整体含量依然很低<sup>[12]</sup>。唐克丽(1987年)研究认为速效磷在泥沙中富集明显<sup>[9]</sup>;陈皓(1991年)研究认为随着时间的延续,流失磷酸盐形态不断转化,有效性逐渐降低<sup>[15]</sup>。大龄坝地速效磷含量最低,主要原因一方面可能是坝地作物对速效磷多年的消耗远大于从磷矿物中释放的有效磷或者所施磷肥的矿化速度,一方面也可能与掠夺式经营有关。

据调查,北沟小流域群众由于经济水平低,有的纯粹不施肥,有的是隔 1~2 a 施肥,即使施肥,底肥也都是价格便宜的碳铵(22元/袋,2003年价)和并不多余的农家肥,追肥也由于尿素价格昂贵(72元/袋,2003年价)而用碳铵替之。故而造成磷含量趋于贫瘠化。

### 3.2.4 钾素分布

土壤中钾含量主要受黄土本身特性的影响,与土地利用方式关系不大<sup>[13]</sup>。全钾由于黄土矿物组成的均一性,时空变幅都较小。速效钾主要受土壤质地的影响<sup>[13]</sup>,变化趋势是大龄坝地>小龄坝地>荒坡地,层次间变化趋势也是鞍形之状,但变幅较大,大龄坝地速效钾含量平均比小龄坝地高21.83%,比荒坡地高26.48%。说明钾在流失泥沙中存在着一定的富集现象,尤其是速效钾在小粒级泥沙中富集较为明

显<sup>[16]</sup>,一方面体现在随着时间的推移,作物对速效钾的消耗量增加而贮量逐渐减少,而速效钾总体含量大龄坝地(泥沙颗粒小于小龄坝地)仍然高于小龄坝地和荒坡地;另一方面体现在深层土壤(颗粒相对上层较细)速效钾含量较高。坝地全钾和速效钾含量都比较高,可满足作物生长之需<sup>[13-14]</sup>。

### 3.3 坝地土壤养分水平空间分布特征

对坝地水平方向不同部位(坝前、坝中和坝尾)垂直层次养分含量进行平均(见表2)。

表2 北沟小流域坝地土壤养分水平空间分布特征(均值)

坝地年龄	坝地部位	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	水解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
45 龄	坝前	5.077	0.335	4.024	0.592	4.488	22.347	107.301
	坝中	5.073	0.314	3.672	0.604	3.866	22.412	101.913
	坝尾	5.061	0.301	3.497	0.661	2.912	22.305	92.399
20 龄	坝前	5.070	0.313	5.948	0.652	2.107	21.488	143.469
	坝中	5.047	0.304	4.021	0.655	1.915	22.735	139.477
	坝尾	5.037	0.301	3.410	0.662	1.433	22.964	102.916

从表2可知,无论是大龄坝地还是小龄坝地有机质、全氮、全磷和全钾含量在坝前、坝中和坝尾3个部位基本没有差异;水解氮、速效磷和速效钾含量是沿坝前、坝中和坝尾顺次降低,差异相对较为明显。水解氮大龄坝地坝前比坝中高8.75%,比坝尾高13.10%,小龄坝地坝前比坝中高32.40%,比坝尾高42.67%;速效磷大龄坝地坝前比坝中高13.86%,比坝尾高35.12%,小龄坝地坝前比坝中高9.11%,比坝尾高31.99%;速效钾大龄坝地坝前比坝中高5.02%,比坝尾高13.89%,小龄坝地坝前比坝中高2.78%,比坝尾高28.27%。

根据 Stokes 沉降原理,相同粒径土粒,在同一高度沉降在同一层中,且颗粒较粗的先沉积下来,形成轻壤层,颗粒较细的后沉降形成富黏层。颗粒从坡面进入坝体或者从沟谷流入坝体时,由于途中阻力,粗颗粒先沉积,所以从坡脚到坝体中心或沿坝体中线从坝尾到坝前,黏粒含量显著增加<sup>[17]</sup>。据研究,坝地土壤除全磷和全钾外,其余养分与粒径均为显著相关<sup>[17]</sup>。速效氮、磷、钾和有机质与黏粒含量密切相关,而全磷和全钾多贮于粗粉粒中。因此在水平方向上表现出上述变化规律。

## 4 结论

(1) 北沟小流域坝地土壤养分分布不平衡,除钾素含量较高可满足作物生长外,其它肥力要素含量较低,特别是有机质、全磷和速效磷含量趋于贫瘠化。有机质、全氮、全磷平均含量低且时空差异不明显,特

别是有机质和全氮,表现出基础肥力的低效性和缓效性。与作物生长关系密切的速效养分时空差异都比较显著,除速效磷含量大龄坝地最低外,水解氮和速效钾平均含量大龄坝地>小龄坝地>荒坡地,说明坝地淤积泥沙更易富集速效养分。

(2) 坝地水解氮、速效磷和速效钾含量在层次上都表现出鞍形变化之势,深层含量有所回升,而荒坡地随土层深入持续走低。说明坝地对作物速效养分的供给能力更具持久性和缓冲性,这可能是坝地作物相对高产原因之一。为此,可将坝地速效养分分布状况划分为:①养分剧变层(0—40 cm);②养分主要供给层(40—80 cm);③养分相对稳定层(80—160 cm);④养分富裕层(160 cm 以下)。

(3) 北沟小流域坝地唯独钾素(全钾和速效钾)富足,土壤质量整体退化趋势较为严重。黄土高原地区畜牧业不发达制约了有机肥的投入,使得有机质含量已处于低肥力地的下限,经济水平低下限制了化肥的投入,氮、磷含量很低,特别是磷含量趋于贫瘠化。必须转变认为坝地是上好农地而不用或很少施肥的错误经营理念,应特别注重有机肥、氮肥和磷肥的输入,以免竭泽而渔。

(4) 在水平方向上,坝地水解氮、速效磷和速效钾含量沿坝前、坝中和坝尾顺次降低,差异较为明显,这与小粒级颗粒含量顺坝前、坝中到坝尾依次降低的结果一致,说明速效养分主要富集于小颗粒泥沙中。而有机质、全氮、全磷和全钾含量基本没有差异。

(下转第86页)

- sertification in the Arab Region: analysis of current status and trends[J]. *Journal of Arid Environments*, 2002, 51(4): 521—545.
- [10] Rasmussen K, Fog B, Madsen J E. Desertification in reverse? Observations from northern Burkina Faso [J]. *Global Environmental Change*, 2001, 11(4): 271—282.
- [11] Perez-Sirvent C, Martinez-Sanchez M J, Vidal J, et al. The role of low-quality irrigation water in the desertification of semi-arid zones in Murcia, SE Spain[J]. *Geoderma*, 2003, 113(1—2): 109—125.
- [12] 白军红, 余国营. 向海自然保护区湿地资源环境问题及对策分析[J]. *农村生态环境*, 2001, 17(1): 17—20.
- [13] 乌兰图雅, 雷军, 玉山. 科尔沁沙地风沙环境形成与演变研究进展[J]. *干旱区资源与环境*, 2002, 16(1): 28—31.
- [14] Gong Li, Yo Sheng, Harazono Yoshinobu, et al. Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000(102): 125—137.
- [15] Gilvear D J, Bradley C. Hydrological monitoring and surveillance for wetland conservation and management: a UK Perspective[J]. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 2000, 25(7—8): 571—588.
- [16] 王国平, 张玉霞. 白云花水库建设对科尔沁湿地生态环境的影响[J]. *内蒙古大学学报*, 2001, 32(4): 449—452.
- [17] 姜文来. 我国湿地资源开发生态环境问题及其对策[J]. *中国土地科学*, 1997, 11(4): 37—40.
- [18] 张艳红, 邓伟. 向海湿地功能及合理开发利用和保护[J]. *云南环境科学*, 2000, 19(增刊): 85—89.
- [19] 崔保山, 刘兴土. 湿地恢复研究综述[J]. *地球科学进展*, 1998, 14(4): 359—365.
- [20] Adger W N, Cecilia L. The values of wetlands: landscape and institutional perspectives property right and the utilization of wetland[J]. *Ecological Economics*, 2000, 35(1): 75—89.

(上接第 15 页)

[ 参 考 文 献 ]

- [1] 赵艺学. 晋西沟坝地—梯田—坡耕地农业效应的比较[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(2): 75—78.
- [2] 黄土高原淤地坝调研组. 黄土高原区淤地坝专题调研报告[M]. *中国水利*, 2003(3): 9—11.
- [3] 蒋定生, 高可兴. 黄土丘陵第⑤副区坝地资源潜力与坝系建造模式[J]. *水土保持通报*, 2000, 20(5): 35—38.
- [4] 延安市水土保持工作队. 延安市水土保持淤地坝运行管理调查报告[R]. 2003. 138.
- [5] 淤地坝将成为全国水利建设的亮点工程[J]. *中国水土保持*, 2003(4): 1.
- [6] 莫翼翔, 吴发启. 泥河沟小流域土壤养分的分布与保护[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(3): 105—109.
- [7] 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析[M]. 上海科学技术出版社, 1977. 52—94.
- [8] 南京农业大学主编. 土壤农化分析[M]. 农业出版社, 1986. 33—89.
- [9] 唐克丽, 等. 黄土高原水土流失与土壤退化的研究[J]. *水土保持通报*, 1987, 7(6): 12—17.
- [10] 刘秉正, 等. 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.
- [11] Alberts E E, Sponer R G. Dissolved nitrogen and phosphorus in runoff from watersheds in conservation and conventional tillage [J]. *J. Soil and Water Conservation*, 1985, 40: 153—157.
- [12] 陕西省土壤普查办公室. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 363—445.
- [13] 张春霞, 等. 黄土高原沟壑区小流域土壤养分分布特征[J]. *水土保持研究*, 2003, 10(1): 78—80.
- [14] 刘梦云, 等. 安塞小流域土壤养分分布特征研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2002, 30(1): 21—24.
- [15] 陈皓, 等. 黄土地区氮磷流失的模拟研究[J]. *地理科学*, 1991, 11(2): 142—148.
- [16] 彭浩, 等. 黄土区土壤钾素径流流失规律研究[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(3): 47—49.
- [17] 毕银丽. 黄土丘陵区坝地系统土壤养分及其与侵蚀环境的关系[C]. 中科院水保所硕士论文, 1996. 16—28.