

文章编号: 1006-4710(2015)02-0201-06

# 丹江水源区小流域土壤有效铁空间分布特征

杨媛媛<sup>1</sup>, 李占斌<sup>1,2</sup>, 宋晓强<sup>3</sup>, 徐国策<sup>1</sup>, 王添<sup>1</sup>, 唐润芒<sup>3</sup>, 成玉婷<sup>1</sup>

(1. 西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安 710048;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

3. 陕西省水土保持局, 陕西 西安 710004)

**摘要:** 土壤有效铁含量对生态环境和农作物生长有重要影响, 本研究对鸚鵡沟小流域土壤有效铁含量的空间分布特征进行分析, 以期为该流域养分资源管理提供参考。通过网格法和分层法对 0~10cm、10~20cm、20~40cm 三个土层分别采样, 并借助传统统计学和地统计学的方法, 对鸚鵡沟小流域农地、林地和草地三种土地利用类型土壤有效铁含量的空间分布特征进行了研究。结果表明: ①在 0~40cm 土层范围内, 土壤有效铁含量随土层深度先减少后增加, 且土壤有效铁含量均值表现为林地>农地>草地; ②0~10cm、10~20cm 和 20~40cm 土层有效铁含量变化的最优模型分别为球状模型、指数模型和线性模型, 均具有中等空间相关性; ③3 个土层土壤有效铁含量与海拔呈现出极显著相关性( $p<0.01$ )或显著相关性( $p<0.05$ ); ④研究区不同土地利用下 0~40cm 每平方米有效铁含量为林地>农地>草地。

**关键词:** 丹江; 土壤有效铁; 土地利用; Kriging 插值

中图分类号: S718.56

文献标志码: A

## Spatial distribution of soil available iron in a small watershed of Danjiang River water resource district

YANG Yuanyuan<sup>1</sup>, LI Zhanbin<sup>1,2</sup>, SONG Xiaoqiang<sup>3</sup>, XU Guoce<sup>1</sup>,  
WANG Tian<sup>1</sup>, TANG Runmang<sup>3</sup>, CHENG Yuting<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory Base of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry-land Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 3. Shaanxi Bureau of Soil and Water Conservation, Xi'an 710004, China)

(1. State Key Laboratory Base of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry-land Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 3. Shaanxi Bureau of Soil and Water Conservation, Xi'an 710004, China)

**Abstract:** The content of soil available iron has an important impact on the ecological environment and crop growth, and this study aims to analysis the spatial distribution characteristics of the content of soil available iron in order to provide a reference for the basin nutrient resource management. The grid method and hierarchical method are used to take samples in three soil layers of 0~10 cm, 10~20 cm, and 20~40 cm in depths respectively. The traditional statistical and geostatistical methods are adopted to study the spatial distribution behaviors of soil available iron contents in farmland, woodland and grassland of three types of land use in Yingwugou small watershed. The results indicate: ①In the rang of 0~40cm soil layer, the soil available iron content is first to decrease and then to increase with an increase in soil depth, and the average of soil available iron content shows as woodland> farmland> grassland in three different types of land use. ②The best fitted models of 0~10 cm, 10~20 cm and 20~40 cm layer soil available iron change are spherical model, exponential model and linear model, and all have medium spatial cor-

收稿日期: 2015-01-10

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(41330858); 国家自然科学基金资助项目(41271290, 41401316, 41471226); 国家科技支撑计划课题资助项目(2011BAD31B01); 陕西省自然科学基金研究计划资助项目(2014JQ5175)。

作者简介: 杨媛媛, 女, 硕士生, 研究方向为水文水资源及农业水利方面的研究。E-mail: yangyuanyuan\_a@163.com。

通讯作者: 徐国策, 男, 博士, 讲师, 研究方向为水土流失与非点源污染模拟与调控方面的研究。E-mail: xuguoce\_x@163.com。

relation. ③ There is a highly significant correlation ( $p < 0.01$ ) or significant correlation ( $p < 0.05$ ) between the soil available iron content and elevation in three soil layers. ④ In the study area, the soil available iron content of 0~40cm per square meter of different land use shows as woodland > farmland > grassland.

**Key words:** Danjiang River; soil available iron; land use; Kriging interpolation

铁是植物体内多种氧化还原酶的重要组分和合成叶绿素所必需的微量元素。同时,一定量的铁能够增强植株抗病性<sup>[1]</sup>。另外,酸性土壤中过量积累有效铁可使植物受到铁胁迫而影响生长<sup>[2]</sup>。土壤是植物所需有效铁的主要供给源,一定条件下土壤有效铁含量反映其铁元素供给水平。土壤有效铁含量分布受农耕活动、土壤性质、成土过程等影响,易造成空间分布不均,导致区域有效铁含量缺乏或过量,影响植物生长,因此研究土壤有效铁含量及其空间变异性对评价土壤生态环境和农作物生长非常必要。目前,对于土壤微量元素的研究多偏于全量分析<sup>[3-4]</sup>,对有效态含量的研究相对较少。根据余存祖<sup>[5]</sup>的研究,黄土高原地区土壤全量微量元素的高低不能反映作物的生长状况,故对土壤微量元素有效态的研究更有意义。近年来,国内外学者对土壤有效铁分布的研究主要集中于不同土地利用方式<sup>[6-8]</sup>、不同利用强度<sup>[9]</sup>和不同土壤性质<sup>[10-12]</sup>等方面,而结合地形因子对小流域土壤有效铁的空间分布特征鲜有研究。为此,本研究通过网格法和分层法对0~10 cm、10~20 cm和20~40 cm三个土层分别采样,对鸚鵡沟小流域农地、林地和草地三种土地利用类型土壤有效铁的空间分布特征进行了研究,以为流域养分资源管理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

鸚鵡沟小流域位于陕西省商洛市商南县城的城关镇五里铺村(E110°52'16"~110°55'30"、N33°29'55"~33°33'50")。流域面积1.86 km<sup>2</sup>,主沟长3 232.9 m,最大主沟道比降0.01 m/m,坡面比降0.33 m/m,属多边形水系。流域以低山丘陵地貌为主,沟谷开阔,海拔464~600 m。年均降水量803.2 mm,约50%降水量集中在7~9月,且多为暴雨。

流域土壤以黄棕壤为主,有机质、微量元素缺乏,土壤多呈微酸性,pH值5.0~6.5。坡面有效土层厚20~70cm。土地覆盖类型主要是农地、林地和草地。农地主要种植小麦、花生和玉米;林地主要为松树和栎树;草地主要为禾本科。林地和草地覆盖

率达60%以上<sup>[13]</sup>。

### 1.2 土壤样品采集

2011年12月,在研究区进行实地勘察,并结合实际地形与土地利用方式进行土样采集,采样网格按100 m×100 m分布整个流域,用GPS定位采样点,共185个(图1)。每个采样点按0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm垂直采样后分装带回实验室分析。土样经自然风干、研磨和过筛后备用。后文中用A1、A2、A3分别表示0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm层土壤。

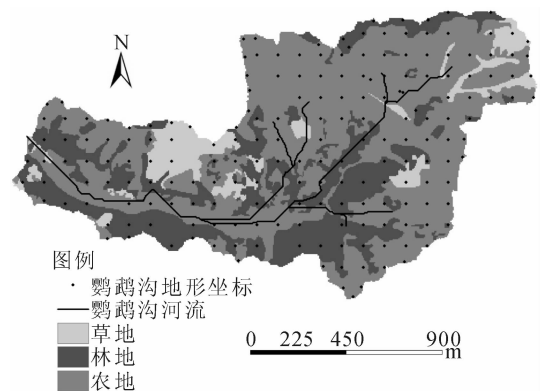


图1 鸚鵡沟流域采样点分布及土地利用图  
Fig. 1 Sampling point distribution and land use in the watershed of Yingwugou

### 1.3 测试与分析

称取25.0 g土样放入180 ml塑料瓶中,加入50.00 ml的DTPA(二乙基三胺五乙酸)浸提液,在25℃条件下用震荡机震荡2 h,经过滤得到浸出液。土壤有效铁含量采用原子吸收分光光度计测定。采用统计学分析软件SPSS16.0对数据进行描述性分析,运用空间分析软件ArcGIS(9.3)进行空间分析,用自动拟合能力很强的GS<sup>+</sup>(7.0)做半方差函数计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有效铁剖面统计特征

为说明鸚鵡沟小流域土壤有效铁含量分布的剖面统计特征,将相关参数列于表1。

表1 土壤剖面有效铁含量描述性统计  
Tab.1 Statistical characteristic of available iron at different soil depth

深度/ cm	平均值/ (mg/kg)	最小值/ (mg/kg)	最大值/ (mg/kg)	标准差/ (mg/kg)	K-S (P)	变异系数 CV/ (%)
0~10	10.82	1.04	24.97	5.90	0.098	55
10~20	5.06	0.29	17.89	3.18	0.008	63
20~40	5.95	0.77	22.67	4.08	0.046	69

表1显示,土壤剖面有效铁含量整体  $A1 > A3 > A2$ ,即在0~40cm剖面内,随土层深度的增加,土壤有效铁含量先减少后增大,但A2和A3层的含量变化相对不大。A1层土壤有效铁含量最高,是因为表层大量枯落物及根系分泌物对土壤有机质有较大补给<sup>[7-8]</sup>,有机质可提高微量元素的有效性<sup>[8]</sup>;A2层根系较多,土壤中有效铁被大量消耗而使其含量降低;A3层根系数量减少,土壤有效铁消耗量随之减少,另外,土壤有效铁被降雨淋溶及该土层深度含有铁胶膜,使土壤呈微酸性,有利于有效铁的析出,故在A3层土壤有效铁含量较高。不同土层有效铁含量极差均较大,表现为  $A1 > A3 > A2$ ,因为A1层受耕作措施、种植制度、施肥等人为农业活动干扰最大。

据Nielsen和Bouma(1985)分类系统:  $CV \leq 10\%$ 、 $10\% < CV < 100\%$ 和  $CV \geq 100\%$ 分别表示弱变异、中等变异和强变异<sup>[14]</sup>。研究区A1、A2和A3

土层有效铁的变异系数分别为55%、63%和69%,均属中等变异,且随土层加深变异强度略增,说明土壤有效铁的分布离散程度较大,也说明有必要对土壤有效铁的空间特性进行研究。克里格(Kriging)插值对正态分布预测较高,所以为了对数据进行更好的空间插值,需检验数据是否符合正态分布要求( $P > 0.05$ )。由表1可知,经SPSS中正态分布检验的K-S(P)检验,只有A1层  $P = 0.098 > 0.05$ ,满足正态分布。为了获得更好的空间插值效果,同时对A1、A2和A3三个土层采样点数据进行对数转化,经K-S( $P > 0.05$ )检验,均满足正态分布(图2),满足空间分析插值的要求。

## 2.2 土壤有效铁的空间特征分析

运用GS+对三个土层的土壤有效铁含量做半方差函数模拟,得出各自的半方差模型及参数值,结果见图3和表2。

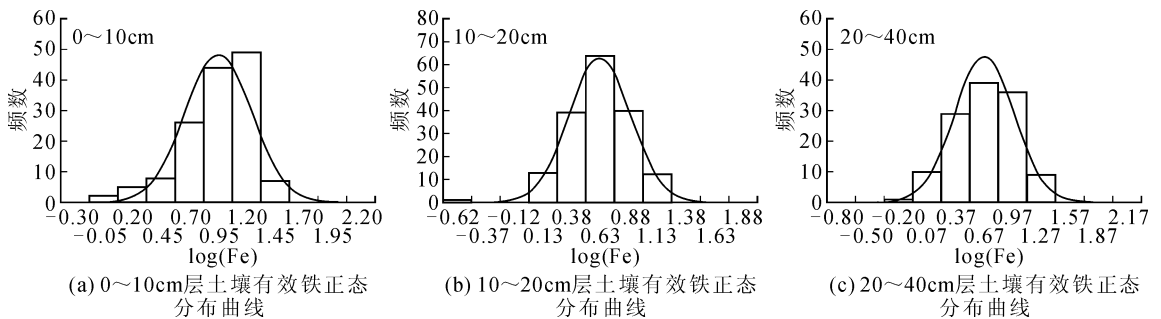


图2 不同深度下土壤有效铁正态分布曲线

Fig.2 Available iron at different soil depth under the normal distribution

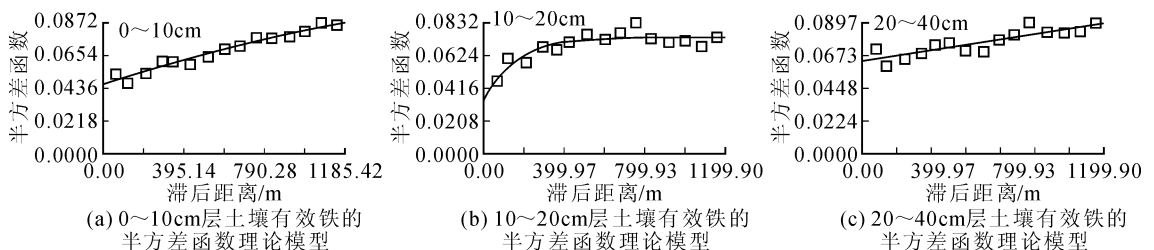


图3 三个采样深度下土壤有效铁的半方差函数理论模型

Fig.3 Semivariogram theoretical model of the three sampling depth of soil available iron

表2 不同采样深度下土壤有效铁的地统计学参数  
Tab.2 Geostatistical parameters at different sampling depth of soil available iron

深度/(cm)	块金值	基台值	块金系数/(%)	变程/(m)	模型	$R^2$	RSS
0~10	0.06	0.09	51	1 811	Spherical	0.96	9.81E-05
10~20	0.03	0.07	57	459	Exponential	0.78	2.46E-04
20~40	0.06	0.09	28	1 155	Linear	0.75	2.67E-03

最优模型是拟合度( $R^2$ )最高且残差平方和(RSS)最小的模型<sup>[13]</sup>。模拟得出 A1、A2、A3 层土壤有效铁含量的最优模型分别为球状模型、指数模型、线性模型,模型的拟合精度分别为 0.96、0.78 和 0.75,故土壤有效铁含量的空间结构可以得到很好地反映。

变程是指区域化变量影响范围的大小。三个土层有效铁含量的变程均大于本次采样间距(100 m),满足空间分析的要求。块金值是指由随机因素

引起的空间异质性,基台值表示系统内总的变异性。块金系数是块金值与基台值的百分比,代表了系统变量空间相关性的程度<sup>[13]</sup>。百分比>75%、25%~75%和<25%,分别说明系统空间相关性弱、中等和强烈,因此三个土层均具有中等空间相关性。

为直观反映土壤有效铁含量的空间分布情况,对三个土层深度有效铁含量分别进行 Kriging 插值,绘制出土壤有效铁含量空间分布(图 4)。

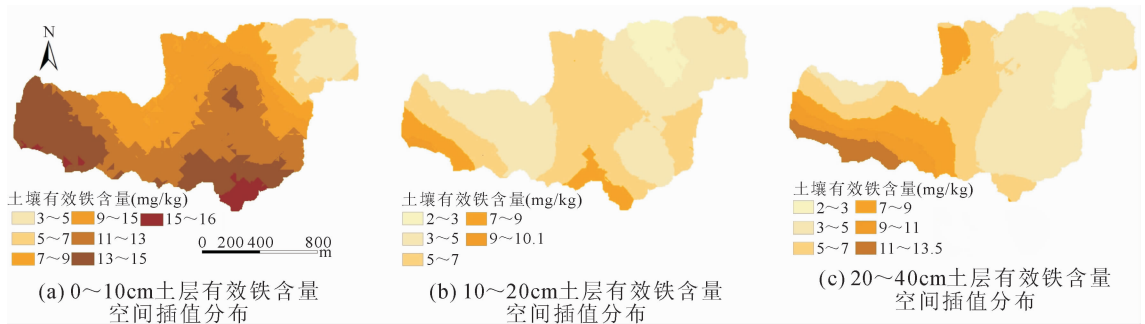


图4 鸚鵡沟流域不同土层有效铁含量空间插值分布

Fig.4 Spatial interpolation distribution under different depth of soil available iron content of the Yingwugou watershed

从图4可看出,土壤有效铁含量 A1 层最高,变幅最大,A2 层明显小于 A1 层,A3 层介于 A2 与 A1 层之间,这与表1的结论相符。总体来说,土壤有效铁含量林地最高;流域左岸和坡脚部位也较高,因多为农地,土地肥沃。

### 2.3 不同土地利用下土壤有效铁含量分布特征

为表明不同土地利用类型下土壤有效铁含量的统计特征,将相关参数列于表3。

表3 不同土地利用下有效铁含量统计特征  
Tab.3 Statistical characteristic of soil available iron with different land use

土地类型	均值/(mg/kg)	最小值/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	标准差/(mg/kg)	变异系数 CV/%
农地	6.53	1.41	16.32	3.46	53
林地	8.49	1.90	19.92	3.77	44
草地	5.44	1.04	16.04	3.72	68

表3显示,农地、林地和草地有效铁含量均值分别为 6.53 mg/kg、8.49 mg/kg 和 5.44mg/kg。按全国农业系统土壤有效态微量元素丰缺指标<sup>[15]</sup>,3

种土地利用方式下土壤有效铁含量均高于临界值(4.5mg/kg),土壤有效铁含量属中等水平(4.5~10mg/kg)。根据中国土壤数据库可知,该区域黄棕壤 45cm 左右土层中含有铁胶膜,使土壤呈微酸性,更有利于有效铁在土壤中溶出,故土壤有效铁含量稍高,属于中等水平。

从表3可以看出,有效铁含量均值为林地>农地>草地。由于草地处于植被发展演变的早期,立地条件差,有机质含量低,而土壤有效铁含量与有机质含量呈极显著正相关<sup>[16]</sup>,故土壤有效铁含量低;农地多处于土壤肥沃地区,有机质含量偏高,故土壤有效铁含量稍偏高;林地的大量动植物残体和根系分泌物促进了有效铁的形成<sup>[7-8]</sup>,故土壤有效铁含量相对农地和草地都高。极差为林地>草地>农地,林地多分布在高海拔地区且地形变化较大,降雨作用导致高海拔地区粘粒向低海拔处沉积,而土壤有效铁与粘粒含量呈极显著正相关<sup>[16]</sup>,故低海拔处有效铁含量多,所以林地有效铁含量变化大。3种立地类型有效铁含量变异均属中等变异,说明有效铁

含量的分布离散程度较大。

## 2.4 不同土层有效铁含量与地形因子相关性分析

坡度、坡向和海拔对土壤有效铁含量均有不同程度地影响。从表4可看出,0~10cm、20~40cm土层均与海拔呈极显著负相关( $p < 0.01$ ),10~20cm土层与海拔呈显著负相关( $p < 0.05$ );各土层与坡向、坡度均未表现出较好的相关性。这是因为人类对土地的开垦、种植模式的改变削弱了坡度和坡向的影响<sup>[11]</sup>。随海拔升高,气温降低,动植物代谢减弱,对有机质的分解减弱,从而腐殖质减少<sup>[7-8]</sup>,土壤酸性减弱,故有效铁含量随之减少。

表4 不同土壤深度下土壤有效铁含量与地形因子相关关系  
Tab.4 Correlations between soil available iron content and topographic factor at different soil depth

地形因子	0~10cm	10~20cm	20~40cm
坡度	-0.001	0.066	0.156
坡向	-0.048	-0.016	-0.067
海拔	-0.300**	-0.181*	-0.355**

注:\*表示显著相关, $p < 0.05$ ;\*\*表示极显著相关, $p < 0.01$

## 2.5 土壤有效铁含量估算

图5为鸚鵡沟流域0~40cm土层有效铁含量分布图。由图5可看出,鸚鵡沟流域土壤有效铁含量空间分布呈近似条带状分布;同时可看出,土壤有效铁含量的空间分布与地形和土地利用紧密相关,左岸坡脚林地处和河道两岸地势相对平缓处有效铁含量高。

表5为鸚鵡沟流域不同土地各土层有效铁含量。

表5 鸚鵡沟流域不同土地各土层有效铁含量

Tab.5 The content of soil available iron under each soil layer with different land use in the Yingwugou watershed

土层深度/(cm)	农地		林地		草地	
	均值/(g/m <sup>2</sup> )	变异系数 CV/(%)	均值/(g/m <sup>2</sup> )	变异系数 CV/(%)	均值/(g/m <sup>2</sup> )	变异系数 CV/(%)
0~10	10.35	29	12.07	20	8.94	34
10~20	4.97	26	5.54	26	4.73	21
20~40	5.30	39	6.33	47	5.74	36
0~40	20.62	26	23.94	23	19.41	28

## 3 结论

1) 在0~40cm剖面内,随着土层加深,有效铁含量先减再增,0~10cm、10~20cm和20~40cm土层均值分别10.82mg/kg、5.06mg/kg和5.95mg/kg;20~40cm土层有效铁含量变异最大。

2) 不同土层有效铁含量呈近似带状分布,有效铁含量林地最高,流域左岸和坡脚部位较高。

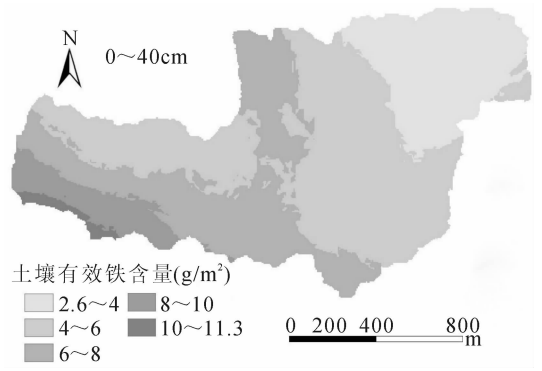


图5 鸚鵡沟流域0~40cm土层有效铁含量分布图  
Fig.5 0~40cm soil available iron content distribution of the Yingwugou watershed

如表5所示,鸚鵡沟流域不同土地利用下0~40cm土层有效铁含量为林地(23.94g/m<sup>2</sup>)>农地(20.62g/m<sup>2</sup>)>草地(19.41g/m<sup>2</sup>),这是因为林地大量动植物残体和根系分泌物促进了有效铁的形成<sup>[7-8]</sup>。农地、林地和草地0~40cm土层有效铁储量分别为23.00t、12.41t和3.24t,总储量38.65t。农地储量大于林地储量,是因为农地面积大。0~10cm和10~20cm土层每平方米有效铁含量为林地>农地>草地,而20~40cm土层每平方米有效铁含量则表现为林地>草地>农地。3种土地每平方米有效铁含量均属中等变异,总体表现为草地>农地>林地。草地多处于植被发展演变的早期阶段,立地条件差异较大,故每平方米土壤有效铁含量相对农地和林地变异性更大;农地受人为影响较多,致使土壤有效铁含量差异相对较大。相对来说,农地与人们的生活生产更加紧密,所以更要注重农地土壤养分的保护。

3) 农地、林地和草地有效铁含量均值分别为6.53mg/kg、8.49mg/kg和5.44mg/kg,均高于临界值(4.5mg/kg),属中等水平;对应变异系数分别为53%、44%和68%,均属中等变异。

4) 0~10cm和20~40cm土层有效铁含量与海拔呈极显著负相关,10~20cm土层有效铁含量与海拔呈显著负相关。

5) 0~40cm土层有效铁含量林地(23.94

$\text{g/m}^2$ ) > 农地 ( $20.62 \text{ g/m}^2$ ) > 草地 ( $19.41 \text{ g/m}^2$ ); 0~40 cm 土层, 农地、林地和草地有效铁储量分别为 23.00 t、12.41 t 和 3.24 t。

#### 参考文献:

- [1] 郭家文, 张跃彬, 刘少春. 滇西南 6 县蔗区的土壤有效 Fe、Mn、Cu、Zn 的分布特征研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(1): 179-183.  
Guo Jiawen, Zhang Yuebin, Liu Shaochun. Study on the distribution characteristics of soil available Fe, Mn, Cu, and Zn of sugar balt in six counties in southwest Yunnan [J]. Journal of Soil Science, 2009, 40(1): 179-183.
- [2] 邹元春, 吕宪国, 姜明, 等. 典型湿地植物与湿地农田作物铁含量的季节变化特征[J]. 生态学杂志, 2009, 28(2): 216-222.  
Zou Yuanchun, Lü Xianguo, Jiang Ming, et al. Seasonal variation of iron content in typical wetland plants and in wetland farmland crops in sanjiang plain of Northeast China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(2): 216-222.
- [3] 胡克林, 张凤荣, 吕贻忠, 等. 北京市大兴区土壤重金属含量的空间分布特征[J]. 环境科学学报, 2004, 24(3): 463-468.  
Hu Kelin, Zhang Fengrong, Lü Yizhong, et al. Spatial distribution of concentrations of soil heavy metals in Daxing county, Beijing [J]. Journal of Environmental Science, 2004, 24(3): 463-468.
- [4] Zhao Y F, Shi X Z, Huang B, et al. Spatial distribution of heavy metals in agricultural soils of an instustry-based peri-urba area in Wuxi China [J]. Pedosphere, 2007, 17(1): 44-51.
- [5] 余存祖, 彭琳, 刘耀宏, 等. 黄土区土壤微量元素含量分布与微肥效应[J]. 土壤学报, 1991, 28(3): 317-326.  
Yu Cunzu, Peng Lin, Liu Yaohong, et al. Content and distribution of trace elements and fertilizer efficiency in soils of loessal region [J]. Journal of Soil, 1991, 28(3): 317-326.
- [6] 黄萍萍, 李占斌, 徐国策, 等. 基于田块尺度的丹江上游坡改梯土壤养分空间变异性研究[J]. 西安理工大学学报, 2013, 29(3): 307-313.  
Huang Pingping, Li Zhanbin, Xu Guoce, et al. Research on spatial heterogeneity of soil nutrient on slope cropland and terraced field scales in the upper reaches of the Danjiang River [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2013, 29(3): 307-313.
- [7] 张晓霞, 李占斌, 李鹏. 黄土高原草地土壤微量元素分布特征研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 45-48.  
Zhang Xiaoxia, Li Zhanbin, Li Peng. Study on distribution characteristics soil trace elements of grass land in the Loess Plateau [J]. Journal of Soil and Water Conservation. 2010, 24(5): 45-48.
- [8] 张晓霞, 李占斌, 李鹏, 等. 黄土高原林地土壤微量元素分布和迁移特征[J]. 应用基础与工程科学学报, 2011, S1: 161-169.  
Zhang Xiaoxia, Li Zhanbin, Li Peng, et al. Distribution and migration characteristics of woodland trace elements in Loess Plateau [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2011, S1: 161-169.
- [9] 刘洪来, 杨丰, 黄顶, 等. 农牧交错带草地开垦对土壤有效态微量元素的影响及评价[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 155-160.  
Liu Honglai, Yang Feng, Huang Ding, et al. Effect and evaluation of soil trace elements after grassland converted into cropland in agro-pasturage ecotone of northern China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(7): 155-160.
- [10] 姚撑民, 周敏. 陕西农业土壤环境质量状况调查与评价 [J]. 农业环境保护, 1994, 13(4): 173-176.  
Yao Chengmin, Zhou Min. Investigation and evaluation of environmental quality of agricultural soil in Shaanxi [J]. Agriculture Protection, 1994, 13(4): 173-176.
- [11] 徐国策, 李占斌, 李鹏, 等. 丹江鸚鵡沟小流域土壤侵蚀和养分损失定量分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 160-167.  
Xu Guoce, Li Zhanbin, Li Peng, et al. Quantitative analysis of soil erosion and nutrient loss in Yingwugou watershed of the Danjiang River [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(10): 160-167.
- [12] 高雪松, 邓良基, 张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 53-56, 60-79.  
Gao Xuesong, Deng Liangji, Zhang Shirong. Soil physical properties and nutrient properties under different utilization styles and slope position [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(2): 53-56, 60-79.
- [13] 徐国策, 李占斌, 李鹏, 等. 丹江中游典型小流域土壤总氮的空间分布[J]. 地理学报, 2012, 67(11): 1547-1555.  
Xu Guoce, Li Zhanbin, Li Peng, et al. Spatial distribution of soil total nitrogen in a typical watershed of the middle Danjiang River [J]. Acta Geographical Sinica, 2012, 67(11): 1547-1555.
- [14] Nielsen D R, Bouma J. Soil spatial variability [M]. Wageningen: PUDOC, 1985.
- [15] 吕英华, 秦双月. 测土与施肥 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [16] 苟文平, 刘世全, 张世熔, 等. 西藏土壤有效铁含量及其影响因素[J]. 山地学报, 2007, 25(3): 359-363.  
Gou Wenping, Liu Shiquan, Zhang Shirong, et al. Soil available iron content and its influencing factors in Tibet [J]. Journal of Mountain Science, 2007, 25(3): 359-363.