## 关中东部全新世剖面土壤重金属 元素分布特征与环境演变

王丽娟,庞奖励,黄春长,丁敏,李艳华,牛晓露 (陕西师范大学旅游与环境学院,陕西西安 710062)

摘 要:以关中东部全新世黄土一古土壤剖面为研究对象,分析了Ni、Mn、Cu、Zn、Nb、As、Ti、V、Co和Pb十种土壤重金属元素的含量及其分布特征,并与磁化率、Rb/Sr曲线进行了比对和相关性分析,研究结果表明:Ni、Cu、As、 V、Mn、Zn和Nb重金属元素的动态变化与全新世以来成壤环境的变化趋势是一致的,暗示全新世土壤重金属元素 受到气候变化、成壤环境的强烈影响;Co元素主要受到成土母质的影响;Pb对成壤环境的敏感性较差。关中东部 地区古土壤So发育时期,土壤重金属元素含量明显增加,这一时期气候温暖湿润,强烈的成壤作用使得易溶性元素 发生向下的迁移淋失,导致重金属元素在古土壤层中相对富集。

关键词:重金属元素;全新世;关中东部

**中图分类号**: S153.6<sup>+</sup>1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-7601(2011)04-0127-06

许多学者对全新世土壤剖面的地球化学特征进 行了大量的分析讨论,其中多数是关于土壤微量元 素、常量元素的分布特征及其反映全新世时期气候 变化的研究<sup>[1~5]</sup>,将土壤重金属元素与全新世环境 相联系起来的研究还较少。前人对土壤重金属的研 究主要集中在重金属的污染评价、空间分异、存在形 态等方面,例如,郑国璋对关中灌区农业土壤重金属 的污染情况进行了调查与评价<sup>[6]</sup>:钟晓兰等分析了 土壤重金属元素的形态分布特征,指出重金属总量、 土壤有机质、pH 值、粘粒含量是影响重金属形态含 量的影响因素[7],陈圆圆等研究了农业用地土壤重 金属空间分异规律和分布特征,并指出降尘重金属 是本区土壤重金属污染的最重要来源<sup>[8]</sup>。基于土壤 重金属在长时间尺度上的分布特征研究还较少考 虑,本文通过对全新世土壤剖面重金属元素的分布 特征进行深入研究,以期发现全新世以来土壤重金 属的影响因子及变化规律,同时探讨土壤重金属与 环境的关系,从而了解关中东部地区全新世成壤环 境的变化信息,对研究本区土壤重金属的污染情况 具有重要意义。

## 1 研究地点与剖面特征

关中,指陕西省秦岭北麓渭河冲积平原,亦有渭 河平原、关中盆地之称,其北部为陕北黄土高原,南 部为陕南盆地与秦巴山脉,是喜马拉雅运动时期形成的巨型断陷带。关中平原由河流冲积和黄土堆积 形成,主要是渭河及其两侧支流携带的大量泥沙填 充淤积,第四纪黄土松散沉积,地势平坦,最大厚度 达7000余米,因地壳间歇性变动和河流下切,形成 高度不等的阶地,基本地貌类型是河流阶地和黄土 台塬。

本文研究地点位于陕西关中平原东部地区,是 黄河、渭河和洛河三河汇流之地,选取位于大荔县解 放村甜水沟的土壤剖面(简称 TSG 剖面),该剖面主 要由第四纪晚期以来的黄土一古土壤序列构成。大 荔县属于暖温带半湿润、半干旱季风气候,海拔 329 ~533 m,年平均气温为 14.4℃,无霜期 214 d,年均 降水量为 514 mm,降水的季节变化和年际变化均较 大,年内降水主要集中在 7、8 月份,境内地势平坦, 土地肥沃,光照充足。

经过详细观察研究,选取"大荔人遗址"所在地的一处沟谷崖壁(崖高超过 50 m)作为采样点(34° 51′57.2″ N,109°44′4.1″ E)。采样点所在的黄土台 塬面极其平坦,海拔高度约 400 m,土壤类型为典型 的黑垆土。TSG 黄土一古土壤剖面的地层出露良 好,位于马兰黄土之上,能够可靠地判断为全新世剖 面,序列层次清晰,发育完整,易于识别,且为原生未 扰动的地层剖面,能较好地记录环境信息。在野外

作者简介:王丽娟(1986—),女,四川乐山人,硕士研究生,研究方向为土地资源开发与环境演变。E-mail:wanglijuar-222@163.com。

**收稿日期**:2011→01→10

基金项目:国家自然基金重点项目(41030637);中央高校基本科研业务费专项基金(GK200901007)

通讯作者,庞奖励(1963—),男,陕西西安人,教授,博士生导师,主要从事土地利用与土壤演变的研究。E-mail; jlpang@ snnu.edu.cn。 万方数据

考察的基础上,并结合室内实验分析数据,将TSG 剖 面进行了土壤一地层学划分及其特征描述(表1)。

#### 表 1 TSG 剖面地层特征

Table 1 Description of the Holocene profile at 15G site, Chin	Table 1	1 Description	of the H	olocene profile	at TSG	site, Chi
---	---------	---------------	----------	-----------------	--------	-----------

深度(cm) Depth	地 层 Stratigrapy	颜色及结构 Color and stucture
0~30	表土(MS)	浅黄色(2.5Y8/4),团粒结构,粉砂质地,疏松多孔,根系发育,土壤颗粒较细。 Light yellow color (2.5Y8/4), aggregate structure, silt texture, loose and porous, root development, fine soil particle.
30~70	现代黄土(L <sub>0</sub> )	浊橙色(7.5YR7/4),团块结构,结构均匀,粉砂质地,见有碳酸盐胶膜, $60^{-70}$ cm 处偶见灰色陶片。 Turbid orange color (7.5YR7/4), agglomerate structure, uniform structure, silt texture, carbonate adhesive film, few grey pottery fragments in $60^{-70}$ cm layer.
70~160	古土壤(S <sub>0</sub> )	浊棕色(7.5YR6/4),团粒一团块结构,粉砂粘土质地,较致密,常见球形团粒,大量粉霜状碳酸盐。 Turbid brown color (7.5YR6/4), aggregate-agglomerate structure, silt and clay texture, dense, some spherical aggregates, much carbonate.
$160 \sim 180$	过渡层(L <sub>t</sub> )	浅浊棕色(5YR6/3),团块结构,粉砂质地,常见粉霜状碳酸盐。 Light turbid brown color (5YR6/3), agglomerate structure , silt texture , some carbonate .
$180 \sim$	马兰黄土(L <sub>1</sub> )	浊橙色(7.5YR7/3),粉砂质地,少许粉霜状碳酸盐,顶部出现碳酸盐结核(约3mm大小)。 Turbid orange color (7.5YR7/3), silt texture, little carbonate, carbonate nodule(3mm) at the top.

已有研究表明 8 500~3 100 aB.P.为全新世大 暖期,古土壤S<sub>0</sub>发育。通过关中地区全新世地层对 比研究<sup>[9~11]</sup>,对 TSG 全新世剖面进行了年代标定: 将马兰黄土(L<sub>1</sub>)顶部开始出现成壤的位置(约 180 cm 处)确定为全新世的起点,其年代定为11 500 aB. P.;将成壤改造作用最强的层位划分为"古土壤 S<sub>0</sub>",S<sub>0</sub>的下界(约 160 cm 处)年代定为 8 500 aB.P., S<sub>0</sub>的上界(约 70 cm 处)年代定为 3 100 aB.P.,30 cm 深度位置为 1 500 aB.P.。以此作为 TSG 剖面的基 本年代框架。

### 2 研究方法

在详细的野外考察和分析基础上,对TSG 土壤 剖面进行了系统采样。在所选采样点自地表沿剖面 向下以 2cm 间距连续采样,至马兰黄土层顶部,共 采集样品 110 个。所有样品在实验室内自然风干, 相关分析测试均在陕西师范大学旅游与环境学院实 验室完成。数据处理使用 MS-Excel、SPSS 软件。

磁化率的测定采用英国 Bartington 公司生产的 MS-2型磁化率仪。实验步骤如下:将自然风干的 土壤样品(不破坏土壤颗粒结构)粗研磨至土粒约2 mm以下,然后精确称量10g土样置于无磁性样品 盒中待测。每个样品连续测量5次,最后取平均值 作为实验结果。

元素分析利用荷兰 Panalytical 公司生产的 X-Ray 荧光光谱仪 (PW2403)进行测试。具体方法是: 将自然风干的土样剔除掉树根和杂质后分别在玛瑙 研钵中磨至 200 目以下,再用托盘天平称取 4.0 g 土 样放入 YY60 塑握力机中,然后在土样上覆盖适量 的硼酸辅助压成可用圆片待测,每个土样压完后用 蘸取酒精的棉花球将压力机擦拭干净。测试过程中 加入标准样品(GSS1、GSD12)进行质量控制,分析结 果在实验误差范围内(<5%)。

## 3 结果与分析

#### 3.1 磁化率和 Rb/Sr 分析

TSG 剖面的低频磁化率(LF)和 Rb/Sr 值曲线的 变化趋势一致(图 1),且两者的变化均随黄土与古 土壤的交替出现而变化,整个剖面表现为:在古土壤 S<sub>0</sub>中最大,低频磁化率的变化范围为 87.7×10<sup>-8</sup>~ 152.5×10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup>/kg,平均值为 125.54×10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup>/kg, Rb/Sr 值的变化范围为 0.44~0.63,平均值为 0.54; 其次是黄土 L<sub>0</sub>,低频磁化率的变化范围为 94.6×  $10^{-8}$ ~134.3×10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup>/kg,平均值为 118.00×10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup>/kg,Rb/Sr 变化范围为 0.45~0.58,平均值为 0.52;马兰黄土 L<sub>1</sub> 最低,低频磁化率平均值为 51.16 ×10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup>/kg,Rb/Sr 值为 0.36;表土 MS 和过渡层 L<sub>4</sub> 比黄土 L<sub>0</sub>低,而比马兰黄土层略高。

磁化率和 Rb/Sr 是古气候研究的重要代用指标<sup>[12,13]</sup>,磁化率在一定程度上反映了黄土形成时期成壤作用的强弱,Rb/Sr 指示夏季风环流的强度。 TSG 剖面的低频磁化率和 Rb/Sr 高值暗示古土壤 So 形成时期夏季风比较强盛,降水量较大,气候温暖湿 润,成壤作用较强;低频磁化率和 Rb/Sr 的低值说明 黄土(L1 和 L1)堆积时期,气候相对干旱寒冷,沙尘 暴严重,成壤作用较弱。表土 MS 的磁化率值降低, 说明现代成壤作用相对减弱,受人类活动的影响较 大。





Fig.1 Diagrams showing stratigrapy, magnetic susceptibility and Rb/Sr in the Holocene loess-paleosol profile at TSG site

#### 3.2 重金属分布特征

TSG全新世黄土一古土壤剖面的 Ni、Mn、Cu、 Zn、Nb、As、Ti、V、Co 和 Pb 十种重金属元素在各地层 中的含量分布见表 2,变化曲线如图 2 所示。同时 对整个剖面的这十种土壤重金属元素与低频磁化率 (LF)进行了相关性分析,分析结果见表 3。

Ni、As、和V在各地层中的含量分布变化相同, 表现为:表土(MS)中含量最小,平均值分别为 29.21、9.65 mg/kg和87.45 mg/kg,黄土Lo中的含量 增加,并在古土壤 S<sub>0</sub> 中平均含量达到最大值,分别 为 32.09、11.87 mg/kg 和 92.69 mg/kg,过渡层 L<sub>4</sub> 中 Ni、As 和 V 的含量有所下降,但三者的平均值比表 土 MS 略大,分别为 29.64、10.99 mg/kg 和 88.98 mg/kg。Ni、As 和 V 三者的相关系数为 0.805、0.795 和 0.708,均为极显著正相关(表 3)。

Mn、Cu、Zn 和 Nb 元素在各地层中的含量分布 一致(表 2),古土壤 So 中四者含量最大,分别为 706.41、25.74、66.23 mg/kg 和 15.76 mg/kg,最小值 在黄土 L,中,分别为 613.64、23.19、58.24 mg/kg 和 14.52 mg/kg,黄土 Lo、表土 MS 中 Mn、Cu、Zn 和 Nb 元素的含量均值介于古土壤 So 和 Li 之间。这4种 重金属元素的曲线变化趋势与 Ni、As 和 V 元素相似 (图 2),均呈现出双峰状曲线,其中在古土壤 So 中出 现较大的峰值区,以 Ni、Cu、As 和 V 曲线最为显著。

Ni、Cu、As、V、Mn、Zn 和Nb 七种土壤重金属元 素的曲线表现出与磁化率和 Rb/Sr 曲线相同的变化 趋势,且存在极显著的正相关性,发现全新世以来重 金属元素的分布变化与磁化率变化一致,说明这7 种重金属元素的动态演变过程受到全新世以来成壤 环境的强烈影响。Ni、Cu、As、V、Mn、Zn 和Nb 之间 的相关性均较高,而且都是极显著的正相关,说明环 境的变化对这7种重金属的影响方向是一致的。

表 2 TSG 全新世剖面重金属含量平均值分布 (mg/kg)

元素 Elements			变化范围	变异系数(%) Coefficient			
	MS	$L_0$	$\mathbf{S}_0$	L	$L_1$	Kange	of variation
Ni	29.21	30.49	32.09	29.64	29.31	27.50~34.80	5.81
Mn	657.21	674.02	706.41	613.64	593.69	590.00~790.50	7.92
Cu	24.44	24.61	25.74	23.19	22.96	21.50~28.30	5.96
Zn	64.21	64.30	66.23	58.24	58.11	54.30~76.70	6.72
Nb	15.41	15.75	15.76	14.52	14.41	14.00~17.10	4.11
As	9.65	10.67	11.87	10.99	9.89	8.40~13.70	11.22
Ti	4037.47	4037.15	4030.78	3794.90	3820.8	3712.00~4238.00	3.25
V	87.45	88.94	92.69	88.98	89.64	81.90~97.90	3.60
Со	13.91	13.32	14.03	12.98	12.66	11.70~16.10	5.97
Ph	22.90	20 41	20 11	19 13	20 41	$16 90 \sim 27 70$	8 52

Table 2 Distribution of heavy metals concentration in the TSG Holocene profile

Ti和Pb含量在剖面中的分布相同,表现为表 土MS中平均含量最大,分别为4037.47 mg/kg和 22.90 mg/kg,Lo、So和Li中Ti和Pb的含量均有所下 降,在黄土Li中的含量均值减到最小,分别为 3794.90 mg/kg和19.13 mg/kg,就两者的变化曲线 万方数据

来看,Ti曲线的变化趋势比 Pb 明显,波动幅度比 Pb 大,在古土壤 S0 层出现一个小峰状,而且 Ti 的变异 系数也比 Pb 略大。Pb 与其他重金属元素的相关性 不显著,与低频磁化率的相关系数为0.089,相关性 较差,说明 Pb 对成壤环境变化的敏感性较差。

表 3 TSG 剖面重金属元素与低频磁化率(LF)的相关系数

Table 3	Correlation	coefficient	of heavy	metals	and LF	in TSG	profile.	China
rubio o	Gomentation	coomicion	or moury	mouno	und Li	m 100	prome ,	Ginna

元素 Elements	Ni	As	V	Mn	Cu	Zn	Nb	Ti	Pb	Co
As	0.805 * *									
V	0.795 * *	0.708 * *								
Mn	0.850**	0.680 * *	0.645 * *							
Cu	0.882 * *	0.653 * *	0.688 * *	0.893 * *						
Zn	0.703 * *	0.443 * *	0.483 * *	0.894 * *	0.828 * *					
Nb	0.677 * *	0.450 * *	0.447 * *	0.877 * *	0.807 * *	0.885 * *				
Ti	0.524 * *	0.241 *	0.341 * *	0.819 * *	0.707 * *	0.904 * *	0.885**			
Pb	-0.105	-0.454 * *	-0.176	0.110	0.171	0.384 * *	0.248 * *	0.413 * *		
Со	0.484 * *	0.357 * *	0.352 * *	0.581 * *	0.578**	0.533**	0.519**	0.466 * *	0.202*	
LF	0.724 * *	0.610 * *	0.463 * *	0.914 * *	0.825 * *	0.846 * *	0.876 * *	0.808 * *	0.089*	0.611 * *

注:\*表示在 0.05 水平下显著;\*\*表示在 0.01 水平下显著。

Note: \* means correlation is significant at the 0.05 level; \* \* means correlation is significant at the 0.01 level.

Co元素的含量均值分布与其他重金属元素有 所不同,表现为:古土壤So中最大,平均值为14.03 mg/kg,其次是表土MS,过渡层Li中平均含量最小 (12.98 mg/kg),Co元素曲线变化幅度较小,在整个 剖面的变异系数也较小,与磁化率曲线的对应关系 较差,说明全新世土壤中 Co 元素的变化受成壤环境 的影响较弱,Co 主要是受到成土母质的影响。



万方数据

图 2 TSG 全新世剖面土壤重金属元素分布 Fig.2 Contents of heavy metals in the Holocene profile at the TSG site

## 4 讨 论

土壤重金属元素含量的变化与成土母质矿物含量、成土条件以及同时期气候环境变化等因素都有关系,现代黄土中的重金属含量还受到人类活动及近代环境污染的强烈作用。下面以地层为单元来讨论全新世时期关中东部地区 TSG 剖面重金属元素含量分布的变化特征及环境的影响作用。

TSG 剖面过渡黄土 L<sub>4</sub>(180~160 cm)堆积时期, 即全新世早期(11 500~8 500 aB.P.),黄土重金属 元素含量相对于末次冰期而言略有增加,但是变化 并不明显,说明这一时期的气候变化不大,以粉尘堆 积为主,堆积速率大于成壤速率,气候干旱寒冷,对 重金属元素含量的影响较小。

剖面 160~70 cm 的深度范围为古土壤 So 发育 时期,即全新世中期(8 500~3 500 aB.P.)。这一时 期,Ni、Cu、As、V、Mn、Zn 和 Nb 的分布曲线均表现为 较大的峰值区,平均含量也达到最大值,与低频磁化 率呈现极显著正相关关系,说明古土壤发育时期,土 壤的这些重金属元素受到气候变化的强烈影响,反 映了全新世中期相对温暖湿润,较强的成壤作用将 部分可溶性元素淋失,导致古土壤层重金属元素的 相对富集。土壤重金属是相对稳定的化学元 素<sup>[14,15]</sup>,在气候暖湿时期,土壤中的一些易溶元素 向下迁移,使得这些重金属元素在原来的层位相对 富集起来,所以在古土壤层可以见到重金属元素的 峰值区出现。同时,重金属元素可以被土壤中的有 机胶体络合、螯合或者被有机胶体的表面所吸  $\mathsf{M}^{\lfloor 16 \rfloor}$ ,古土壤 S<sub>0</sub> 层的重金属元素含量均值表现为 高值,也可以说明古土壤发育时期,成壤作用较强, 土壤中的有机质和粘粒的含量增加,有利于重金属 元素在该层集聚。

现代黄土L。的深度范围是70~30 cm,土壤重 金属元素的含量较全新世中期(古土壤发育)有所下 降,但比马兰黄土层略高,原因可能是气候相对恶 化,降水量减少,加之沙尘暴加剧,使得成壤作用减 弱,土壤元素的迁移淋溶强度也就相应降低。

表土 MS 在剖面的最上层 30~0 cm 深度范围 内,该层土壤重金属元素的含量与现代黄土层差异 不明显,其中除了 Ti、Co 和 Pb 外,其他元素较现代 黄土层均呈现出减小的变化趋势,表土层重金属元 素的变化和近代人类活动联系最为紧密,还受到人 为耕作、施肥等因素的影响,影响因素较复杂,土壤 重金属元素的含量变化不稳定。

## 5 结 论

TSG 剖面 Ni、Cu、As、V、Mn、Zn 和 Nb 七种重金 属元素的分布特征一致,且可以与磁化率、Rb/Sr 曲 线进行良好比对,结合它们的相关性分析结果可知, Ni、Cu、As、V、Mn、Zn 和 Nb 的动态变化与全新世以 来成壤环境的变化趋势一致,表明全新世土壤重金 属元素的变化受到气候变化、成壤环境的强烈影响; Co 主要受到成土母质的影响;Pb 对成壤环境的敏感 性较差。

关中东部地区全新世早期,土壤重金属元素含 量较低,这一时期的成壤作用较弱;全新世中期,古 土壤So发育,剖面中土壤重金属含量相对增加,反 映该时期气候温暖湿润,表现为强烈的成壤作用,导 致一些易溶性元素发生向下的迁移淋失,使得重金 属元素在古土壤层中相对富集;全新世晚期以来,土 壤重金属元素含量相对古土壤发育时期下降了一 些,气候有所恶化。

**致谢**:感谢陕西师范大学旅游与环境学院的查 小春、周亚莉、张建、马阁、王利军等同志在野外采样 和实验中给予的热情帮助。

#### 参考文献:

- [1] 庞奖励,黄春长,刘安娜,等.黄土高原南部全新世黄土一古土 壤序列若干元素分布特征及意义[J].第四纪研究,2007,(3): 357—364.
- [2] Huang C C , Pang J L , Zha X C , et al . Impact of monsoonal climatic change on Holocene overbank flooding along Sushui River , middle reach of the Yellow River , China [J]. Quaternary Science Reviews , 2007 ,26 ;2247—2264 .
- [3] 杨红瑾,黄春长,庞奖励,等.宁夏长城塬全新世黄土土壤剖面 元素地球化学特征研究[J].地理科学,2010,30(1):134—140.
- [4] 庞奖励,黄春长,张占平.陕西五里铺黄土微量元素组成与全新 世气候不稳定性研究[J].中国沙漠,2001,21(2):151—156.
- [5] 李新艳,黄春长,庞奖励,等.淮河上游全新世黄土-古土壤序列元素地球化学特性研究[J].土壤学报,2007,44(2):189—196.
- [6] 郑国璋.关中灌区农业土壤重金属污染调查与评价[J].土壤通 报,2010,41(2):473—478.
- [7] 钟晓兰,周生路,黄明丽,等.土壤重金属的形态分布特征及其 影响因素[J].生态环境学报,2009,18(4):1266—1273.
- [8] 陈圆圆,孙小静,王 军,等.上海宝山区农业用地土壤重金属 空间分异规律及分布特征研究[J].环境化学,2010,29(2): 215—219.
- [9] 刘 昆,黄春长,杨前进,等.汾渭盆地全新世成壤环境演变比较研究[J].干旱区研究,2004,21(3):294-298.
- [10] 庞奖励,黄春长,贾耀峰.关中东部地区全新世土壤发育及记录的水文事件[J].土壤学报,2005,42(2):187—193.
- [11] 赵景波,郝玉芬,岳应利.陕西洛川地区全新世中期土壤与气

候变化[J].第四纪研究,2006,26(6):969-975.

- [12] Huang C C , Pang J L , Zhao J B . Chinese loess and the evolution of the East Asia monsoon [J]. Progress in Physical Geography , 2000 , 24:75—96.
- [13] 庞奖励,黄春长,张占平.陕西岐山黄土剖面 Rb、Sr 组成与高 分辨率气候变化[J].沉积学报,2001,19(4):637-641.
- [14] 王 新,周启星.土壤重金属污染生态过程、效应及修复[J]. 生态科学,2004,23(3):278-281.
- [15] 卢 瑛,龚子同,张甘霖.南京城市土壤中重金属的化学形态 分布[J].环境化学,2003,22(2):131—136.
- [16] 张彩云,庞奖励,申海元,等.人工苹果园持续时间对土壤重金 属分布的影响[J].干旱区地理,2010,33(2):164—169.

## Distribution characteristics of heavy metals in the Holocene profile and its environmental changes in eastern Guanzhong

WANG Li-juan, PANG Jiang-li, HUANG Chun-chang, DING Min, LI Yan-hua, NIU Xiao-lu

(College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi' an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Based on the Holocene loess—soil profile in eastern Guanzhong, we analyzed the content and distribution of Ni, Mn, Cu, Zn, Nb, As, Ti, V, Co and Pb at TSG site and compared with magnetic susceptibility and Rb/Sr. The results showed that the changes of Ni, Cu, As, V, Mn, Zn and Nb were affected by climate change and its pedogenesis environment, Co was contacted closely with soil parent materials, and the sensitivity of Pb into its pedogenesis environment was poor. In the stage of paleosol period in eastern Guanzhong, the content of soil heavy metals was increased sig—nificantly, the warm and humid climate during this period, strong pedogenesis making some soluble elements migration and leaching, leading to relative enrichment of heavy metals in the paleosol.

Keywords : heavy metal ; Holocene ; eastern Guanzhong

(上接第87页)

# Effects of soil amendment fertilizers on yield and water use efficiency of winter wheat

ZHOU Li-feng<sup>1,3</sup>, FENG Hao<sup>1,2</sup>, DU Jian<sup>2</sup>

(1. Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract**: Reasonable irrigation and fertilization are the key factors of production of winter wheat . This study is aimed at providing the scientific foundation for expanding the application of soil amendment fertilizers . A two-year experiment  $(2007 \sim 2009)$  was conducted to study the wheat yield and water use efficiency (*WUE*) under three varieties, kinds of irrigation and fertilizer treatments. The results are as follows: (1) Yield of winter wheat Xiaoyan 22 is respectively 11.41% and 15.85% higher than Xinong 979 and Xinong2000. (2) At low irrigation condition, AFS can sustain soil water at tilth (especially after flowering stage), the water storage of tilth is respectively 41.49 mm and 31.65 mm higher than AFW and normal fertilizer treatment (NFT); at high irrigation treatment, AFS inhibits soil water infiltration to ensure water supply in the high water consumption stage as seedling and jointing stage to promote wheat growth and WUE. (3) Irrigating 120 mm and 180 mm, in the case of reducing 30% usage of chemical fertilizer, the wheat yield of AFS and AFW are respectively 26.93%, 17.68% and 29.42%, 17.44% higher than normal fertilizer treatment; *WUE* are respectively 24.39%, 17.07% and 26.17%, 18.69% higher than normal fertilizer treatment. The concluming store are as follows: (1) Winter wheat Xiaoyan 22 is the advantageous breed for water saving irrigation in Guanzhong Irrigation District. (2) Amendment fertilizer of straw formula (AFS) can regulate soil water supply more efficiently than waste formula (AFW) and make soil sustain precipitation and irrigation effectively . (3) AFS has the optimum effect in saving water and increase yield of winter wheat .

Keyword数据 nendment fertilizer; winter wheat; WUE; soil moisture content