

# 陕西省西咸新区窑店镇土地质量地球化学评价及合理开发建议

武春林<sup>1</sup>,成欢<sup>1</sup>,王瑞廷<sup>1</sup>,董英<sup>2</sup>,杨宏林<sup>3</sup>

(1.西北有色地质矿业集团有限公司,西安 710054; 2.中国地质调查局西安地质调查中心,西安 710054;  
3.西安西北有色物化探总队有限公司,西安 710068)

**摘要:**为了揭示西咸新区土壤环境质量的地球化学现状,为农业环保及卫生等领域提供基础资料,以窑店镇1/5万土地质量地球化学调查取得的数据为基础,对窑店地区表层土壤中镉、汞、砷、铅、铜、锌、铬、镍等八种重金属元素的污染状况作出评价,分析重金属污染的影响范围和程度;同时,研究窑店地区土壤中氮、磷、钾、有机质、硒、有效铜、有效锌、有效硼、有效钼等营养有益元素的地球化学特征和空间分布,划分土壤肥力等级,进行土壤肥力质量综合评价。在上述工作的基础上,对窑店地区土壤环境质量进行综合评估,划分出土地质量地球化学等级为二至六等共5个等级,并以此为依据,结合西咸新区总体规划要求,对窑店地区都市农业的发展策略提出建议。

**关键词:**重金属污染;土壤肥力;土地质量;都市农业;西咸新区

**中图分类号:** X142

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-4135(2019)03-0225-10

土壤中各元素及指标的自然含量水平,与大气圈、水圈、生物圈和岩石圈生态系统密切相关<sup>[1-2]</sup>。土地质量地球化学调查可以为农业环保及卫生等领域提供基础资料,自中国地质调查局组织实施新一轮国土资源大调查以来,以服务于国土利用规划与管理、农业区划、矿产资源开发、基础地学研究等多领域为宗旨的多目标区域地球化学调查已先后在我国各省、市、自治区大范围实施,获得大量第一手调查数据,建立了庞大的土地质量地球化学调查数据库<sup>[3-6]</sup>,广泛服务于农业区划、农田施肥、城市环境、土壤污染、地方病治理等各方面<sup>[7-8]</sup>。

陕西省西咸新区是国家级新区,位于西安、咸阳两座城市的近郊,前人在西安地区乃至整个关中平原开展了1/250 000尺度的多目标区域地球化学调查工作<sup>[9-11]</sup>,本次研究是在已有工作基础上,对西咸新区窑店镇开展1/50 000土地质量地球化学调查评价。市郊是城市菜篮子的主要补给区,土壤环境质量与居民食品安全息息相关<sup>[12-14]</sup>。发展绿色农业、都市农业,建立生态田园示范新城是西咸新区建设的规划

目标之一。对新区土壤环境质量进行调查和评估,获取新区土壤污染现状,划分土地质量等级,可以为新区农业发展规划提供数据支撑和参考建议<sup>[15-17]</sup>。

## 1 调查区概况

本次工作调查区位于西咸新区中东部(图1),地处渭河流域中下游关中盆地,西起西安咸阳国际机场,东至浐灞生态园区,北临黄土高原,南接西安主城区,面积约426 km<sup>2</sup>。

区内水系主要有渭河及其支流泾河、沔河;主要地貌单元为渭河冲洪积平原及三级阶地和黄土台塬;地势由渭河漫滩向南北两侧逐渐变高,海拔490~370 m。第四系(Q)基本覆盖整个调查区,从下更新统至全新统均有分布,成因类型复杂,以河湖相冲积层和风积黄土为主;发育有近东西向的渭河断裂和北西向的泾河断裂,二者均为隐伏断裂。

调查区属暖温带半湿润大陆性季风气候,冷暖干湿四季分明,年主导风向为东北风。区内的土壤类型以褐土、新积土为代表,植被主要为落叶阔叶

**收稿日期:** 2019-04-11

**资助项目:**中国地质调查局西安地质调查中心项目“关中盆地重点地区1/5万水文地质工程地质调查(12120113004800)”;西北有色地质矿业集团博士后项目“土壤质量地球化学评价方法及其在陕西省关中平原农业生态调查中的应用研究(西北地矿发[2016]64号)”

**作者简介:**武春林(1982-),男,博士,工程师,毕业于中国科学院地质与地球物理研究所,主要从事土壤质量地球化学调查评估、农业地质、勘查地球化学方面工作,E-mail: wuchunlin\_nwme@163.com。

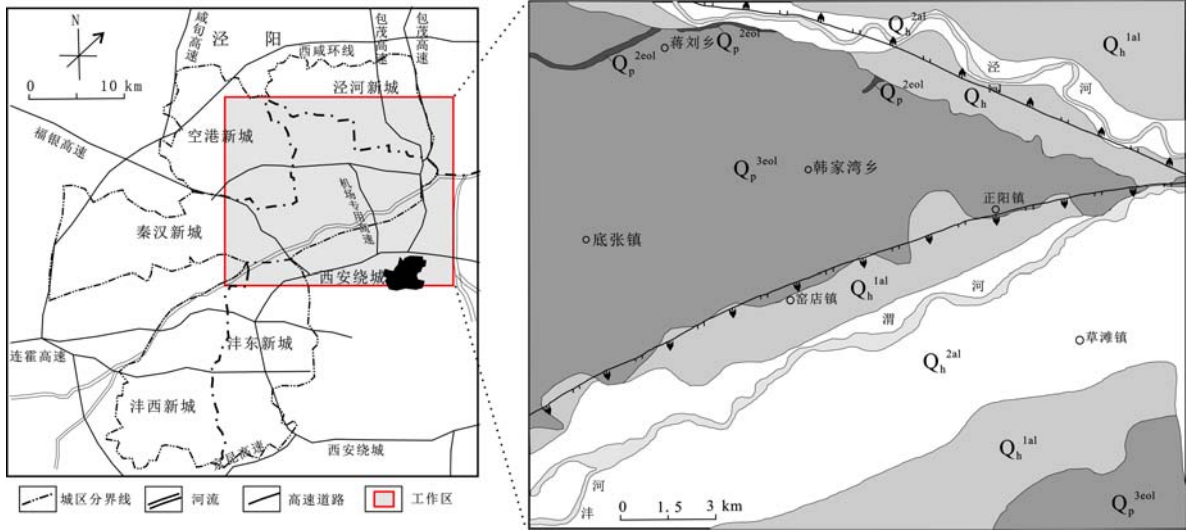


图1 调查区范围及区域地质简图

Fig.1 The scope of working area in Yaodian

$Q_p^{2eol}$ .中更新统风积黄土层; $Q_p^{3eol}$ .上更新统风积黄土层; $Q_h^{1al}$ .全新统下部冲积层; $Q_h^{2al}$ .全新统上部冲积层

林。渭河平原主要为大田农作物、蔬菜、果园和城市绿化等栽培植物类型。区内盛产小麦、玉米、葡萄等,属于我国重要的商品粮产地和地域水果产地<sup>①</sup>。

### 2 样品的采集与分析

野外采样(图2)按照双层网格化土壤测量方法<sup>[3]</sup>进行,表层土壤采样密度为4点/ $km^2$ (城区采样密度放疏为2点/ $km^2$ ),采样深度0~20 cm;深层土壤采样密度为1点/ $km^2$ ,采样深度150~200 cm;样品原始质量大于1 000 g。土壤样品风干过20目尼龙筛,取筛下部分分析。

表层土壤分析样品由1  $km^2$ 网格内的4个相邻样

点组合而成,即表层土壤分析单元为1件样品/ $km^2$ (城区分析样由2  $km^2$ 网格内的4个相邻样点组成),深层土壤分析单元为1件样品/4  $km^2$ ,组合样质量大于500 g。总计采集表层土壤样品1 433个,深层土壤样品413个;送实验室测试分析样品503件。

样品分析由陕西省地质矿产实验研究所承担,使用ZSX Primus II X荧光光谱仪(XRF)、AFS2202E原子荧光光谱仪(AFS)和X Series II电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)及电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES)等仪器进行分析测试(表1),实验室样品分析检出限见表2,采用标准样、重采样、监控样等多种监控手段,保证了分析质量的可靠性<sup>[18]</sup>。本次检测

a

b

图2 采样点位分布

Fig.2 Distribution of the sampling sites

a.表层土壤样;b.深层土壤样

<sup>①</sup>王北颖,王会锋,尹宗义.西安市多目标区域地球化学调查报告[R].陕西省地质调查院.2010.

表1 元素和指标分析测试方法

Tab.1 Analysis methods for testing elements and indexes

序号	分析方法名称	样品(测试)制备	分析指标
1	X射线荧光光谱法	粉末压片法制样	Cr、Pb、Zn、P、Ni、Cu、K <sub>2</sub> O
2	等离子质谱法( ICP-MS)	HF-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -HClO <sub>4</sub> 三酸消解	Cd
		LDTPA 浸提	有效铜、有效锌
		草酸-草酸铵溶液振荡溶解	有效钼
3	原子荧光光谱法	王水消解	As、Hg
		HCl-HNO <sub>3</sub> -HF 三酸分解	Se
4	半微量凯式法	重铬酸钾+浓硫酸消煮分解	N
5	重铬酸钾容量法	重铬酸钾氧化-加热	Corg
6	发射光谱法( ICP-AES)	蒸馏水水浴溶解	有效硼

表2 元素和指标分析方法检出限

Tab.2 Detection limit of analysis method

分析方法	元素及含量表达式	检出限	
		规范要求	所用方法
AFS	w(As)/10 <sup>-6</sup>	1	0.25
	w(Se)/10 <sup>-6</sup>	0.01	0.01
	w(Hg)/10 <sup>-9</sup>	0.5	0.48
ICP-MS	w(Cd)/10 <sup>-6</sup>	0.03	0.022
容量法	w(Corg)/10 <sup>-2</sup>	0.1	0.05
VOL	w(N)/10 <sup>-6</sup>	20	16
XRF	w(Cr)/10 <sup>-6</sup>	5	3
	w(Ni)/10 <sup>-6</sup>	2	2
	w(Cu)/10 <sup>-6</sup>	1	1
	w(Pb)/10 <sup>-6</sup>	2	2
	w(P)/10 <sup>-6</sup>	10	10
	w(Zn)/10 <sup>-6</sup>	4	2
	w(K <sub>2</sub> O)/10 <sup>-2</sup>	0.05	0.01
ICP-AES	有效硼	0.005 mg/kg	0.005 mg/kg
	有效钼	0.005 mg/kg	0.005 mg/kg
ICP-MS	有效锌	0.02 mg/kg	0.02 mg/kg
	有效铜	0.02 mg/kg	0.02 mg/kg

工作中,各类样品所有检测项目的一级标准物质检测合格率均达到100.0%;全部项目检测的内检合格率均达到100.0%;全部项目检测的报出率均达到100.0%;除元素Hg合格率(98.57%)外,其余元素异常复查合格率均达到100.0%。

### 3 参数统计及评价方法

#### 3.1 参数统计方法

表层土壤、深层土壤样品分别测试32项指标,本文选取重金属元素Cd、Hg、As、Pb、Cr、Ni、Cu、Zn和营养有益指标全氮、全磷、全钾、有机质、硒、有效铜、有效锌、有效硼、有效钼作为土地质量评价指标。

依据中国地质调查局颁布的《土壤地球化学基准值与背景值研究若干要求》进行土壤地球化学基

准值与背景值统计,分析整理土壤地球化学调查数据共计8 551个。

采用中国地质调查局发展研究中心开发的Geo-Explore软件进行地球化学参数计算。分别统计土壤表层和深层样本数(N)、算术平均值(X)、标准离差(S)、变异系数(Cv)和使用迭代剔除法(剔除平均值±2倍标准离差)计算后的算术平均值(X<sub>0</sub>)、最大值(X<sub>max</sub>)、最小值(X<sub>min</sub>)。

#### 3.2 土壤环境质量评价方法

##### (1) 单元素评价

依据《土壤环境质量标准》(GB15618-1995),对区内土壤环境质量进行评价<sup>[19]</sup>。土壤样品分析结果表明调查区内土壤偏碱性(pH>8),因此在使用该标准时,统一使用碱性土壤的质量临界值(表3)。

表3 土壤环境质量标准值<sup>[19]</sup>/(mg/kg)

Tab.3 Standard value of soil environmental quality / (mg/kg)

级别	一级	二级		三级
土壤pH值	自然背景	6.5	6.5 ~ 7.5	>7.5
镉≤	0.20*	0.30	0.30	0.60*
汞≤	0.15*	0.30	0.50	1.0*
砷水田≤	15	30	25	20
砷旱地≤	15*	40	30	25*
铜农田等≤	35*	50	100	100*
铜果园≤	-	150	200	200
铅≤	35*	250	300	350*
铬水田≤	90	250	300	350
铬旱地≤	90*	150	200	250*
锌≤	100*	200	250	300*
镍≤	40*	40	50	60*

注:加“\*”的元素标准值为本次调查引用值。

按照表3中的分级标准,对区内镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍等八种环境质量指标进行评价;由于调查区土壤环境质量分类属于标准规定的II类(即以农田、果园等为主要土地利用类型),因此超过二级标准限定值的土壤即判定存在重金属污染。

##### (2) 土壤环境质量综合评价

土壤环境质量有多种评价方法<sup>[20-26]</sup>,内梅罗指数法<sup>[27-28]</sup>是当前国内外进行综合污染指数计算最常用的方法之一,是一种兼顾极值或突出最大值的计权型多因子环境质量指数。它不仅考虑到各种影响参数的平均污染状况,而且特别强调了污染最严重的因子,同时在加权过程中避免了权系数中主观因素的影响,克服了平均值法各种污染物分担的缺陷,可以全面反映各重金属对土壤的不同作用,突出高浓度重金属对环境质量的影响,是应用较多的一种环

境质量指数<sup>[29-31]</sup>。本文采取内梅罗综合污染指数法对土壤的重金属污染进行综合评价,评价公式如下:

$$P_i=C_i/S_i, P_{综}=[(P_{max}^2+P_{ave}^2)/2]^{1/2}$$

式中,  $P_i$ 为*i*污染物的污染指数;  $C_i$ 为*i*污染物的实测值;  $S_i$ 为*i*污染物的评价标准或背景值;  $P_{综}$ 为评价区的综合污染指数;  $P_{max}$ 为污染物单项污染指数中的最大值;  $P_{ave}$ 为污染物单项污染指数的平均值。

调查区土壤污染综合评价指数等级划分标准见表4。

表4 土壤污染综合评价指数分级表

Tab.4 The index grading table for comprehensive assessment of soil pollution

综合指数P	P≤0.7	0.7<P≤1.0	1.0<P≤2.0	2.0<P≤3.0	P>3.0
分类级别	I	II	III	IV	V
分类名称	清洁(安全)	尚清洁(警戒限)	轻度污染	中度污染	重污染

### 3.3 土壤肥力评价方法

#### (1) 单元素评价

本次工作利用土壤有机质含量、pH值、氮磷钾含量、各元素有效态等指标分别对土壤进行评价,使用的分级评价指标参照《土地质量地球化学评价规范》<sup>②</sup>中的分级标准(表5、表6)。

表5 土壤元素全量、有效态分级标准

Tab.5 Classification standard for the constant elements and element effective state in soil

指标	一级	二级	三级	四级	五级
	(丰富)	(较丰富)	(中等)	(较缺乏)	(缺乏)
全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	>2	>1.5~2	>1~1.5	>0.75~1	≤0.75
全磷 <sup>3</sup> /(g·kg <sup>-1</sup> )	>1	>0.8~1	>0.6~0.8	>0.4~0.6	≤0.4
全钾 <sup>3</sup> /(g·kg <sup>-1</sup> )	>25	>20~25	>15~20	>10~15	≤10
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	>40	>30~40	>20~30	>10~20	≤10
有效硼/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>2	>1~2	>0.5~1	>0.2~0.5	≤0.2
有效铜/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>1.8	>1.0~1.8	>0.2~1.0	>0.1~0.2	≤0.1
有效钼/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>0.3	>0.2~0.3	>0.15~0.2	>0.1~0.15	≤0.1
有效锌/(mg·kg <sup>-1</sup> )	>3	>1~3	>0.5~1	>0.3~0.5	≤0.3

表6 土壤硒元素分级评价标准

Tab.6 Classification standard for the selenium in soil

指标	缺乏	边缘	适量	高	过剩
Se(μg/g)	≤0.125	0.125~0.175	0.175~0.40	0.40~3.0	>3.0

采用确定的标准,使用下列公式计算单因子肥力指数:

$$F_i=X_i/S_{i5}, X_i<S_{i5}$$

$$F_i=(X_i-S_{i5})/(S_{i4}-S_{i5})+1, S_{i5}<X_i<S_{i4}$$

$$F_i=(X_i-S_{i4})/(S_{i3}-S_{i4})+2, S_{i4}<X_i<S_{i3}$$

$$F_i=(X_i-S_{i3})/(S_{i2}-S_{i3})+3, S_{i3}<X_i<S_{i2}$$

$$F_i=(X_i-S_{i2})/S_{i2}+4, S_{i2}<X_i$$

$F_i$ 为单指标分级指数;  $X_i$ 为评价指标的实际检测值;  $S_{i5}$ 为评价指标的五级标准限量值,  $S_{i4}$ 为评价指标的四级标准限量值,以此类推。

#### (2) 土壤肥力综合评价

利用尼罗梅综合指数的定义内涵,重点突出低肥力对作物生长的限制因素,将尼罗梅综合指数中的最大值换为最小值,计算综合肥力指数:

$$P=[\min(F_i)\times\text{average}(F_i)]^{1/2}$$

式中  $\text{average}(F_i)$ 为各肥力因子指数的平均值;  $\min(F_i)$ 为各肥力因子指数的最小值;  $P$ 为综合肥力指数;具体分级标准见表7。

表7 综合养分分级标准

Tab.7 The grading standards of comprehensive nutrient

综合指数P	P≤0.7	0.7<P≤1.0	1.0<P≤2.0	2.0<P≤3.0	P>3.0
分类级别	I	II	III	IV	V
分类名称	缺乏	较缺乏	中等	较丰富	丰富

### 3.4 土地质量综合评估方法

首先利用土壤养分指标(包括全量和有效态)的综合分级指数,将土壤养分分为五等:丰富、较丰富、中等、较缺乏、缺乏;其次利用土壤环境指标综合分级指数,将土壤环境分为五个区域:清洁、尚清洁、轻度污染、中度污染、重污染;最后将调查区土地质量划分为一等至六等共6个等级(表8)。

表8 土壤地球化学质量分等方案(据脚注②,有修改)

Tab.8 The soil geochemical quality classification scheme

土壤环境	土壤养分				
	丰富	较丰富	中等	较缺乏	缺乏
清洁	一等	二等	三等	三等	四等
尚清洁	二等	三等	三等	四等	四等
轻度污染	四等	四等	四等	四等	四等
中度污染	五等	五等	五等	五等	五等
重污染	五等	五等	五等	五等	六等

## 4 结果与分析

### 4.1 调查区土壤元素地球化学特征

调查区土壤17项指标的基准值与背景值等地球化学参数见表9、表10,按重金属元素和营养有益元素两类分别论述。

#### 4.1.1 调查区土壤重金属元素地球化学特征

从表9中可以看出,调查区内重金属指标的背景值/基准值均>1.0,元素土壤背景值相对基准值相对

②杨忠芳,余涛,李敏.土地质量地球化学评价规范[S].中华人民共和国国土资源部.2016.

表9 调查区土壤重金属元素地球化学基准值与背景值

Tab.9 Geochemistry benchmark and background value of heavy metal elements in the soil of Yaodian area

指标	深层土壤(150~200 cm)				表层土壤(0~20 cm)				背景值/基准值
	样品数	基准值	变异系数	关中平原(深层) <sup>[11]</sup>	样品数	背景值	变异系数	关中平原(表层) <sup>[11]</sup>	
Cd	109(5)	0.121	0.29	0.124	344(34)	0.201	0.25	0.184	1.66
Hg	68(46)	0.019	0.32	0.020	257(121)	0.049	0.33	0.048	2.58
Cu	110(4)	21.53	0.32	25.85	363(15)	25.47	0.21	26.7	1.18
Pb	92(22)	20.69	0.06	22.14	341(37)	24.33	0.10	24.8	1.18
Zn	114(0)	58.90	0.29	68.5	364(14)	71.26	0.19	73.5	1.23
As	114(0)	10.46	0.36	13.33	377(1)	11.80	0.25	13.1	1.13
Cr	114(0)	61.00	0.21	72.9	377(1)	66.04	0.14	74.2	1.08
Ni	114(0)	26.78	0.31	34.18	378(0)	29.86	0.20	33.13	1.11

注:括号内为剔除的样品数。

表10 调查区土壤营养有益元素地球化学基准值与背景值

Tab.10 Geochemistry benchmark and background value of beneficial elements of soil nutrition in Yaodian area

指标	深层土壤(150~200 cm)				表层土壤(0~20 cm)				背景值/基准值
	样品数	基准值	变异系数	关中平原(深层) <sup>[11]</sup>	样品数	背景值	变异系数	关中平原(表层) <sup>[11]</sup>	
有机质	106(8)	0.38	0.41	0.50	375(3)	1.22	0.37	1.48	3.23
全氮	107(7)	517.8	0.23	389	373(5)	743.4	0.30	903	1.44
全磷	99(15)	662.2	0.12	643.45	331(47)	938.5	0.17	917.7	1.42
全钾	99(15)	2.37	0.07	2.47	370(8)	2.41	0.05	2.53	1.01
硒	104(10)	0.09	0.19	0.085	344(34)	0.19	0.31	0.164	2.07
有效硼	106(8)	0.92	0.49	—	317(61)	0.78	0.42	—	0.85
有效钼	85(29)	0.11	0.36	—	344(34)	0.15	0.27	—	1.44
有效铜	105(9)	0.80	0.43	—	323(55)	1.13	0.26	—	1.41
有效锌	89(25)	0.77	0.19	—	283(95)	1.42	0.27	—	1.83

注:括号内为剔除的样品数。

富集(背景值/基准值 > 1.2)的组分是:汞(2.58)、镉(1.66),这两种元素在测区表层土壤中呈现较强的富集状态。

通过与前人研究成果<sup>[11,32-34]</sup>对比发现,调查区深层土壤中镉、汞含量与关中平原深层土壤平均水平相当,其他重金属指标含量均略低于关中平原深层土壤的平均水平,富集系数集中在0.8~0.9左右,属于均匀分布;区内表层土壤重金属含量与关中平原表层土壤水平相当,富集系数集中分布于0.8~1.0之间,属于均匀分布,镉含量略高而砷、铬、镍含量略低。

#### 4.1.2 调查区土壤营养有益元素地球化学特征

从表10中可以看出,调查区内肥力指标的背景值/基准值均 > 0.8,元素土壤背景值相对基准值明显富集(背景值/基准值 > 1.5)的组分是:有机质(3.23)、硒(2.07)、有效锌(1.83),即这些指标在调查区表层土壤中呈强富集状态。

通过与前人研究成果<sup>[17,34]</sup>对比发现,调查区深层土壤有益元素含量与关中平原深层土壤的元素含量水平相当,富集系数集中在0.8~1.0之间,属于均匀分布,其中氮元素略有富集而有机质含量略低;区内表层土壤有益元素含量与关中平原表层土壤水平相当,富集系数集中分布于0.8~1.0之间,属于均匀分布,磷、硒含量略高而有机质、氮含量均不足。

## 4.2 调查区土壤质量单元素评价

### 4.2.1 重金属单元素评价

按照前文3.2节中的评价标准,对研究区土壤重金属含量进行评价:

窑店地区表层土壤中Cd元素二级区分布最广,农业区和居民区土壤基本上都为二级质量;一级区沿水系分布,渭河与泾河两岸土壤Cd的浓度较低,符合一级标准;三级和三级以上区面积很小,呈现点源污染特征。

窑店地区Hg的一级土壤占全区大部分面积,包括所有的农业区;二、三级土壤主要分布在西安城区和窑店街道等人口稠密地区,城区部分地段达到三级以上,分布在西安城区的Hg污染区主要与人类活动有关。

区内Cu、Pb、Zn、As的一级土壤占全区绝大多数面积,二级以上土壤面积较小,主要分布在西安市区周边,明显与人类工农业生产活动有关。

调查区内Cr、Ni的表层和深层地球化学特征均为背景区,无异常。

总之,上述评价结果表明(表11),窑店地区普遍为二级以下土壤,其中Cu仅有极少量三级土壤出现,局部地区有Cd、Hg达到了超三级土壤标准,土壤重金属污染的顺序为 Hg > Cd > Cu > Pb > As > Zn。

表11 窑店测区表层土壤单元素质量分级统计表

Tab.11 Statistical table of single element quality of surface soil in the survey area of Yaodian

级别 指标 元素	一级区		二级区		三级区		三级以上区	
	面积 /km <sup>2</sup>	百分比 / %	面积 /km <sup>2</sup>	百分比 / %	面积 /km <sup>2</sup>	百分比 / %	面积 /km <sup>2</sup>	百分比 / %
Cd	149.1	34.99	269.2	63.2	4.6	1.09	3.1	0.72
Hg	380.9	89.41	36.8	8.69	3.5	0.81	4.6	1.09
Cu	405.2	95.11	18.5	4.35	2.3	0.54	-	-
Pb	409.5	96.12	16.5	3.88	-	-	-	-
Zn	416.7	97.83	9.3	2.17	-	-	-	-
As	414.4	97.3	11.6	2.7	-	-	-	-
Cr	426	100	-	-	-	-	-	-
Ni	426	100	-	-	-	-	-	-

#### 4.2.2 土壤肥力单元素评价

按照前文3.3节中的评价标准与方法,对研究区土壤肥力进行单元素评价:

由表12可以看出,区内磷、钾、硒以及4种有效态指标肥力等级较高,其中磷、钾元素基本上都属于二级以上肥力;有效铜、有效锌等指标80%面积属于二级以上肥力;有效硼、有效钼等指标20%面积属于二级以上肥力;硒元素50%面积属于三级以上肥力。

有机质、氮元素的肥力等级较低,其中有机质基本属于四级以下肥力等级,氮元素80%面积属于四级以下肥力。

表12 窑店地区土壤肥力元素评价结果统计表

Tab.12 Statistical table for evaluation of soil fertility elements in Yaodian area

指标	一级		二级		三级		四级		五级	
	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例
有机质/ %	0.0	0.00	0.0	0.00	10.7	0.03	268.7	0.63	146.5	0.35
全氮/ (mg/kg)	0.0	0.00	0.0	0.00	57.6	0.14	141.7	0.33	226.7	0.53
全磷/ (mg/kg)	197.5	0.46	154.5	0.36	70.6	0.17	3.31	0.01	-	-
全钾/ %	67.3	0.16	356.5	0.83	2.2	0.01	-	-	-	-
硒/(mg/kg)	0.0	0.00	10.7	0.03	233.5	0.55	97.7	0.23	84.0	0.20
有效硼/ (mg/kg)	15.6	0.04	137.8	0.32	181.7	0.43	82.1	0.19	8.8	0.02
有效钼/ (mg/kg)	12.7	0.03	85.0	0.20	185.6	0.44	112.4	0.26	30.3	0.07
有效锌/ (mg/kg)	63.5	0.15	314.6	0.74	47.9	0.11	-	-	-	-
有效铜/ (mg/kg)	67.4	0.16	251.1	0.59	107.5	0.25	-	-	-	-

综上所述,区内营养元素肥力等级排列顺序为:磷>钾>有效锌>有效铜>有效硼>有效钼>硒>氮>有机质。

### 4.3 土地质量地球化学综合评估

#### 4.3.1 土壤环境质量综合评价

按照前文3.2节中的综合评价方法,采用内梅罗指数法对研究区土壤环境质量进行综合评价,窑店

地区土壤污染综合评价结果分类统计见表13及图3。

表13 调查区土壤环境质量综合评价结果表

Tab.13 Comprehensive evaluation of soil environmental quality in Yaodian area

土壤类别	清洁区	基本清洁区	轻度污染区	中度污染区	重污染区
面积/ km <sup>2</sup>	404.4	10.2	9.3	1.6	0.6
百分比/ %	94.92	2.39	2.18	0.37	0.13

由图3可见,区内绝大多数土壤都是清洁的,与单元素评价的结论一致。污染区主要集中在调查区的西北角和东南部,西北角的污染与交通尘的沉降有关<sup>[28]</sup>,东南部西安城区的污染则与人类活动密切相关<sup>[35]</sup>。

对综合评价各等级土壤的面积及其占全区面积的百分比进行统计(表13),结果表明:清洁区及基本清洁区土壤面积占全区总面积的97.3%,重度污染的土壤面积仅占全区的0.13%;虽然西安地区污染区的面积仅占全区面积的2.7%,但已污染地区应该引起高度重视<sup>[36]</sup>。

#### 4.3.2 土壤肥力综合评价

通过计算单因子肥力指数,发现区内没有达到一级标准的土壤(即肥力评价无丰富水平),因此将综合养分等级划分为缺乏-较丰富4个等级。

利用土壤有机质含量( $C_{org} \times 1.724$ )、pH值、氮磷钾硒含量、各元素有效态等指标分别对土壤进行分级,按照前文3.3节中的综合评价方法,采用全量综合分级指数法对土壤肥力进行综合评价(图4)。

如图4所示,区内大部分地区土壤肥力属于中等水平,仅有少量农业区土壤肥力达到较丰富水平(城区内由于P元素含量过高导致评价指数偏高);渭河、泾河两岸的漫滩区土壤肥力属于较缺乏-缺乏水平;没有土壤肥力极缺乏的地区。

由表14可见,调查区内肥力等级中等以上的土壤面积占全区总面积的2/3,与农业种植区的范围基本相当,可以认为目前区内的农业土壤是适宜耕种的<sup>[37-40]</sup>。

#### 4.3.3 调查区土地质量地球化学综合评价

按照前文3.4节中的土壤地球化学质量分等方案,对研究区土地质量地球化学等级进行综合评价。由于土壤肥力综合评价没有达到最高等级的地区,因此土壤养分只能划分为较丰富-缺乏四个等级;土壤环境则按照土壤环境质量综合评价的结果,划分为清洁-重污染五级;最后两相结合,将调查区



图3 调查区土壤环境质量综合评价图

Fig.3 Comprehensive evaluation of the soil environmental quality in Yaodian area

1. 清洁;2. 尚清洁;3. 轻度污染;4. 中度污染;5. 重污染;  
6. 河流;7. 铁路;8. 公路;9. 地名



图4 调查区土壤肥力综合评价图

Fig.4 Comprehensive assessment of soil fertility in Yaodian area

1. 较丰富;2. 中等;3. 较缺乏;4. 缺乏;5. 河流;6. 铁路;7. 公路;8. 地名

表14 调查区土壤肥力等级综合评价结果表

Tab.14 The comprehensive evaluation of the soil fertility level in Yaodian area

肥力等级	缺乏	较缺乏	中等	较丰富
面积 / km <sup>2</sup>	4.9	130.9	259.9	30.3
百分比 / %	1.15	30.73	61.01	7.11

内的土地划分为二一六等共五个等级,颜色由绿变黄至红(图5)。

如图5和表15所示,调查区内农业生产区土壤均为二等(占全区一半面积),城市中公园绿地的土壤也是二等,三等主要分布在城市居民区,四等分布在渭河漫滩上,五、六等则集中在污染严重区。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

(1)根据国家《土壤环境质量标准》对8种重金属元素进行了单因子指标及综合评价。土壤综合环境质量评估结果显示,清洁区及基本清洁区土壤面积占全区总面积的97.3%,污染区的面积仅占全区面积的2.7%,表明区内土壤质量总体达标。

(2)不同景观区域土壤地球化学环境、土壤中营养元素及有效性具有较大差异。窑店地区土壤大量元素中磷、钾基本富足或很富足,氮元素局部地段缺乏,有机质出现较大范围贫瘠。土壤微量元素中有效铜、有效硼、有效钼、有效锌等均处于正常或富足水平;硒元素处于中等水平。

(3)对窑店地区土地质量进行了初步的地球化学评估,将区内土地质量分为二一六等五个等级。土地质量等级较高(二等以上)的土壤约占全区70%的面积,一般等级(三等)土壤占1/4左右,差等级(四等以下)土壤仅占3%,区内耕作层的土地质量总体较好。

### 5.2 土地开发建议

优良土壤环境是发展生态农业的天然优势,本次调评成果可为窑店地区调整农业种植结构、发展特色农业、指导科学合理施肥及土壤污染治理等方面提供基础地球化学依据。调查区内渭河以北农业种植区的土壤地球化学等级基本均为二等,属于环境清洁-正常,养分中等的土壤,适宜农业发展。在西咸新区总体规划部署的基础上,结合区内农业生产现状,依据调查结果,对调查区农业规划提出建议(图5)。

#### 5.2.1 都市农业与生态田园建设

都市农业是指地处都市及其延伸地带,紧密依

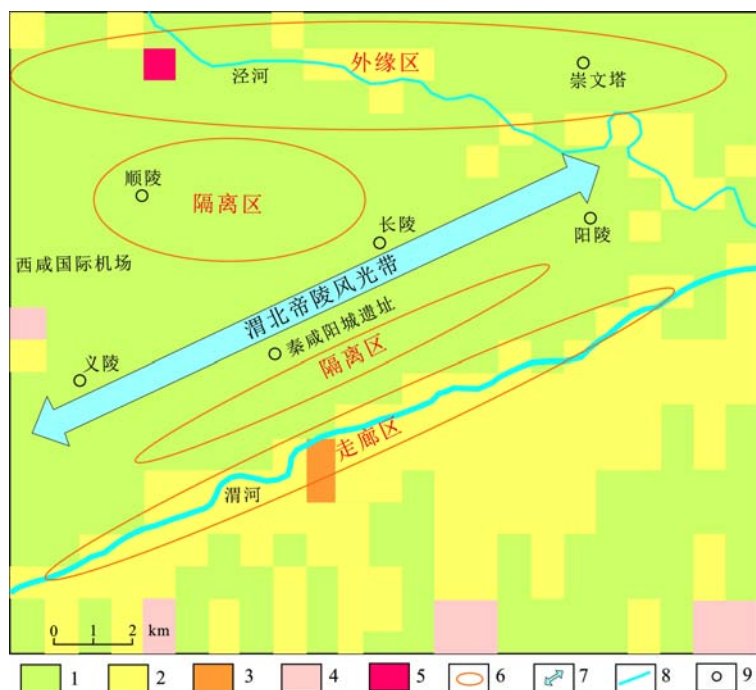


图5 调查区土地质量地球化学等级评价及农业规划布局建议图

Fig.5 Geochemistry grade evaluation of land quality and layout of agricultural planning in Yaodian

1. 二等; 2. 三等; 3. 四等; 4. 五等; 5. 六等;

6. 都市农业区; 7. 旅游观光带; 8. 河流; 9. 地名

表15 窑店地区土地质量地球化学等级评价结果表

Tab.15 The geochemistry grade evaluation of land quality in Yaodian area

土地等级	二等	三等	四等	五等	六等
面积 / km <sup>2</sup>	294	126	2	9	1
百分比 / %	67.27	28.83	0.46	2.06	0.23

托城市的科技、人才、资金、市场优势,进行集约化农业生产,为国内外市场提供名、特、优、新农副产品和为城市居民提供良好的生态环境,并具有休闲娱乐、旅游观光、教育和创新功能的现代农业。调查区具有良好的现代农业发展基础,依托西咸新区,建议开展以下都市农业建设开发工作:

(1)以渭北帝陵风光带为中轴,沿途建设农业/森林公园,把公园与农业生产场所、消费场所和休闲场所结合起来,形成大农业复合生态群体,建设休闲、度假、旅游、野营、避暑、科考等场所。

(2)渭河北岸黄土塬之下、阶地之上,适合发展观光农园(例如西部芳香园)、休闲农场,以及高科技农业园区(例如秦汉都市农庄),形成全产业链的高投入、高产出、高效益农业种植区。

(3)帝陵以北的黄土塬上,可以设立市民农园、教育农园、民俗观光园(例如大石头村)、民宿农庄,兼

顾农业生产与科普教育功能,让游客充分享受浓郁的乡土气息,以及别具一格的民间习俗。

### 5.2.2 农业结构调整

(1)经济作物:渭河沿岸的土地目前主要种植粮食作物和蔬菜,区内公路干线较多,地块比较零碎,土地质量以三等为主,土壤肥力较缺乏,建议今后重点发展花卉种植,例如玫瑰园、薰衣草庄园。这类农业属于走廊区农业,适合于高速公路或铁路两侧的交通地带以及高集约发展地区,对土地质量要求相对较低,单位土地附加值高,适宜小面积精细种植。

(2)特色果品:渭北帝陵风光带两侧土地目前主要种植粮食作物和水果,区内交通便捷,土地质量为二等,且土壤肥力较丰富,建议今后重点生产葡萄、桃等水果,扩大果园面积,建设隔离区农业,发展成为西咸新区绿色农业集中片区。

(3)优势作物:粮食作物生产属于外缘区农业,本类型是相对稳定的农业区,也是都市农业土地、就业、产出集中地区之一。本区地处小麦、玉米生产优势区,耕地连片分布,土地质量以二等为主,土壤肥力中等,建议以生产绿色粮食产品为主,但需注意避让区内的小片六等土地。

(4)施肥建议:在农业生产中采用施氮肥、有机肥模式,同时针对营养元素的缺乏状况施用适量微肥,保持土壤营养平衡配比,提高潜在生产能力。

### 参考文献:

- [1] WARKENTIN B P. The Changing Concept of Soil quality[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1995, 50(3): 226-228.
- [2] WIENHOLD B J, ANDREWS S S, KARLEN D L. Soil Quality: A Review of the Science and Experiences in the USA[J]. Environmental Geochemistry and Health, 2004, 26(2): 89-95.
- [3] XIE Xue-jing, CHENG Hang-xin. Sixty Years of Exploration Geochemistry in China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2014, 139: 4-8.
- [4] YAO Wen-sheng, XIE Xue-jing, ZHAO Pi-zhong, et al. Global Scale Geochemical Mapping Program-Contributions from China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2014, 139: 9-20.
- [5] YANG Zhong-fang, YU Tao, HOU Qing-ye, et al. Geochemi-



- cal Evaluation of Land Quality in China and Its Applications[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, 139: 122–135.
- [6] 奚小环. 多目标的地质大调查—21世纪勘查地球化学的战略选择[J]. *物探与化探*, 2007, 31(4): 283–288.
- [7] LI Min, XI Xiao-huan, XIAO Gui-yi, et al. National Multi-purpose Regional Geochemical Survey in China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, 139: 21–30.
- [8] THORNTON I. Environmental Geochemistry and Health in the 1990s: A Global Perspective[J]. *Applied Geochemistry*, 1993, Supplement Issue(2): 203–210.
- [9] 罗乾周, 卢婷, 王明霞, 等. 西安地区土壤地球化学背景及在农业方面的应用[J]. *陕西地质*, 2009, 27(2): 61–69.
- [10] 卢婷, 王明霞, 任蕊, 等. 陕西关中地区土地质量地球化学评估[J]. *现代地质*, 2013, 27(4): 986–992.
- [11] 任蕊, 王会锋, 卢婷, 等. 关中平原土壤地球化学基准值与背景值研究[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2013, 43(5): 742–748.
- [12] 代杰瑞, 庞绪贵, 宋建华, 等. 山东淄博城市和近郊土壤元素地球化学特征及生态风险研究[J]. *中国地质*, 2018, 45(3): 617–627.
- [13] 余忠, 胡学玉, 刘伟, 等. 武汉市城郊蔬菜种植区重金属积累特征及健康风险评价[J]. *环境科学研究*, 2014, 27(8): 881–887.
- [14] YANG Qian-qi, LI Zhi-yuan, LU Xiao-ning, et al. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: Pollution and risk assessment[J]. *Science of The Total Environment*, 2018, 642: 690–700.
- [15] LYU Kai-yu, CHEN Kevin, ZHANG Huai-zhi, et al. Relationship between land tenure and soil quality: Evidence from China's soil fertility analysis[J]. *Land Use Policy*, 2019, 80: 345–361.
- [16] VALERIA D L, MICHELA S, ULRIKE B, et al. Soil quality index: Exploring options for a comprehensive assessment of land use impacts in LCA[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 215: 63–74.
- [17] ELSE K B, GIULIA B, BAI Zhanguo, et al. Soil quality—A critical review[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, 120: 105–125.
- [18] 叶家瑜. 区域地球化学调查样品分析质量监控与质量管理[J]. *物探与化探*, 2002, 26(1): 6–11.
- [19] 夏家洪, 蔡道基, 夏增禄. 土壤环境质量标准(GB15618–1995)[S]. 1995, 北京: 国家环境保护局.
- [20] WU Chunsheng, LIU Gaohuan, HUANG Chong, et al. Soil quality assessment in Yellow River Delta: Establishing a minimum data set and fuzzy logic model[J]. *Geoderma*, 2019, 334: 82–89.
- [21] TUNG G P, HUNG T N, MARTIN K. Assessment of soil quality indicators under different agricultural land uses and topographic aspects in Central Vietnam[J]. *International Soil and Water Conservation Research*, 2018, 6(4): 280–288.
- [22] YU K, MAARTEN V G, TOBIAS C, et al. Vegetation reflectance spectroscopy for biomonitoring of heavy metal pollution in urban soils[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 243 (Part B): 1912–1922.
- [23] FEI Xu-feng, CHRISTAKOS G, XIAO Rui, et al. Improved heavy metal mapping and pollution source apportionment in Shanghai City soils using auxiliary information[J]. *Science of The Total Environment*, 2019, 661: 168–177.
- [24] HE Jun-yu, YANG Yong, CHRISTAKOS G, et al. Assessment of soil heavy metal pollution using stochastic site indicators[J]. *Geoderma*, 2019, 337: 359–367.
- [25] HUANG Ying, WANG Ling-yu, WANG Wen-jia, et al. Current status of agricultural soil pollution by heavy metals in China: A meta-analysis[J]. *Science of The Total Environment*, 2019, 651 (Part 2): 3034–3042.
- [26] HU Bi-feng, SHAO Shuai, FU Zhi-yi, et al. Identifying heavy metal pollution hot spots in soil-rice systems: A case study in South of Yangtze River Delta, China[J]. *Science of The Total Environment*, 2019, 658: 614–625.
- [27] NEMEROW N L. *Scientific Stream Pollution Analysis*[M]. Washington: Scripta Book Company, 1974.
- [28] ZHANG Peng-yan, QIN Cheng-zhe, HONG Xin, et al. Risk assessment and source analysis of soil heavy metal pollution from lower reaches of Yellow River irrigation in China[J]. *Science of The Total Environment*, 2018, 633: 1136–1147.
- [29] 张慧, 郑志志, 马鑫鹏, 等. 哈尔滨市土壤表层重金属污染特征及来源辨析[J]. *环境科学研究*, 2017, 30(10): 1597–1606.
- [30] 陶春军, 贾十军, 梁红霞, 等. 安徽省滁州地区土地质量地球化学评估研究[J]. *地质调查与研究*, 2014, 37(1): 61–67.
- [31] 崔邢涛, 栾文楼, 宋泽峰, 等. 石家庄城市土壤重金属空间分布特征及源解析[J]. *中国地质*, 2016, 43(2): 683–690.
- [32] 朱立新, 马生明, 王之峰. 中国东部平原土壤生态地球化学基准值[J]. *中国地质*, 2006, 33(6): 1400–1405.
- [33] 鄢明才, 顾铁新, 迟清华, 等. 中国土壤化学元素丰度与表生地球化学特征[J]. *物探与化探*, 1997, 21(3): 161–167.
- [34] 迟清华, 鄢明才编著. *应用地球化学元素丰度数据手册*[M]. 北京: 地质出版社, 2007, 280–286.
- [35] TENG Y G, NI S J, WANG J S, et al. A Geochemical Survey of Trace Elements in Agricultural and Non-agricultural Topsoil in Dexing Area, China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2010, 104(3): 118–127.
- [36] PRABHAT K R, LEE S S, Zhang M, et al. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management[J]. *Environment International*, 2019, 125: 365–385.
- [37] 蒋小燕, 张琴, 谢振东. 鄱阳湖及周边经济区表层土壤营养元素分布现状与丰缺评价[J]. *地质调查与研究*, 2010, 33(3): 226–231.
- [38] 程立群, 王金朵, 刘剑波, 等. 河北昌黎县葡萄种植区农业地球化学特征[J]. *地质调查与研究*, 2015, 38(1): 62–66.
- [39] 严洪泽, 周国华, 孙彬彬, 等. 福建龙海杨梅产地元素地

球化学特征[J]. 中国地质, 2018, 45(6): 1155-1166.  
[40] 潘峰, 赵艳萍, 梁俊宁, 等. 甘肃省陇东塬区土壤及农作

物中微量元素的分布特征[J]. 环境科学研究, 2012, 25  
(3): 290-296.

## Geochemistry evaluation and rational development suggestion on the land quality of the Yaodian Town in Xi Xian New Area

WU Chun-lin<sup>1,2</sup>, CHENG Huan, WANG Rui-ting<sup>1</sup>, DONG Ying<sup>2</sup>, YANG Hong-lin<sup>3</sup>

(1. Northwest Mining and Geological Exploration Bureau for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, China;

2. Xi'an geological survey center of the China Geological Survey, Xi'an 710054, China;

3. Northwest Nonferrous Metals Party of Geophysical & Geochemical Exploration, Xi'an 710068, China)

**Abstract:** In order to reveal the geochemical status of soil environmental quality in Xi Xian New Area, to provide basic data for agricultural environmental protection and health and other fields, based on the data obtained from the 1/50 000 land quality geochemical survey of Yaodian, the pollution status of eight heavy metals such as cadmium, mercury, arsenic, lead, copper, zinc, chromium and nickel in surface soil of Yao Dian area was evaluated, the scope and extent of the influence of heavy metal pollution was analysed. At the same time, the geochemical characteristics and spatial distribution of nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, organic matter, selenium, available copper, available zinc, available boron and effective molybdenum in the soil of the Yaodian area were studied, and the soil fertility grade was divided to carry out soil fertility quality. Based on the above work, we made a comprehensive assessment of soil environmental quality in Yaodian area, divided land quality geochemical grades from two to six, and based on this, combined with the general planning requirements of Xi Xian new area, put forward suggestions for the development strategy of urban agriculture in Yaodian district.

**Key words:** heavy metal pollution; soil fertility; land quality; urban agriculture; Xi Xian New Area

## Effect of crop root soil on agricultural product safety : take the eastern part of Baoding Hebei province as an example

XING Yi, ZHANG Su-rong, LIU Ji-hong, WANG Chang-yu

(1. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;

2. North China Center for Geoscience Innovation, Tianjin 300170, China)

**Abstract:** The high content of heavy metals in crops is bound to affect human health and ecological safety. It is great practical significance to evaluate the ecological effects of polluted elements by investigating crops and their root soils. In this paper, the contents of elements in wheat, corn and their root soils in the eastern part of Baoding, an area where heavy metals exceed the standard, were tested and analyzed. The results showed that there were selenium-rich samples in wheat and corn samples, and some wheat samples were over-standard in heavy metal elements, while all corn samples did not exceed the standard. The absorptive capacity of the edible part of crops was wheat > corn. Investigating the absorptive capacity of crops to different elements can guide the cultivation of agricultural products in areas with excessive heavy metals in soil, and conducive to the safe use of land resources in the study area.

**Key words:** root soil; crops; heavy metals; evaluation of ecological effect; Baoding; Hebei