

# 陕北石油污染对土壤理化性质的影响

张晓阳, 李凯荣, 张麟君

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**为了研究石油污染对土壤理化性质的影响,对安塞县 8 个类型油井井场周围土壤中的石油烃含量和理化性质进行分析测定。结果表明,井场周围土壤石油烃含量变化范围为 0.08~71.49 g/kg,其中井场外 0~5 m 区域和 5~20 m 区域内土壤污染严重。石油污染导致土壤含水率、pH 值、硝态氮、速效磷、全钾和速效钾含量显著降低,容重、有机质和铵态氮含量显著升高,全氮和全磷含量无显著变化;石油污染土壤中的石油烃含量与含水率、容重、有机质、铵态氮、速效磷和速效钾均呈极显著相关,与 pH 值和全钾呈显著相关,与全氮、硝态氮和全磷无显著相关关系。

**关键词:**土壤污染;石油烃;理化性质

**中图分类号:**X53

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2013)03-0032-07

## Effect of Petroleum Contamination on Physical and Chemical Properties of Soils in Oilfield of Northern Shaanxi

ZHANG Xiao-yang, LI Kai-rong, ZHANG Lin-jun

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** To understand the variation of physical and chemical properties of oil contaminated soil, samples of soil from oil well fields was surveyed and analyzed. Contents of petroleum hydrocarbons and some physical and chemical properties were investigated. Results showed that contents of petroleum hydrocarbons in the soil around the oil well ranged from 0.08 to 71.49 g/kg, and the soil in the range of 0~5 m and 5~20 m around the oil well was polluted significantly. Water content, pH and the contents of nitrate N, available P, total K and available K in oil-polluted soil decreased significantly. Unit weight and the contents of organic matter and ammonium N in oil-polluted soil increased significantly. Petroleum contamination did not affect contents of soil total N and total P. In oil-polluted soil, petroleum hydrocarbons content was significantly correlated with water content, unit weight, pH, contents of organic matter, ammonium N, available P, total K and available K, and was not significantly correlated with contents of total N, nitrate N and total P.

**Key words:** soil pollution; petroleum hydrocarbon; physical and chemical properties

土壤是人类和大部分生物赖以生存的自然资源,也是地球生态环境的重要组成部分。石油是工业的血液,是保证人类社会不断发展的重要资源。在石油开采过程中,由于钻井、洗井、喷井和试油等造成一些原油洒落地面<sup>[1]</sup>,加之运输、管道泄漏和废弃油井等导致的石油排放,使得油井周围土壤遭到极其严重的石油污染。石油是由数百种物质组成的化合物<sup>[2]</sup>,这些物质进入土壤后发生系列的物理、化学和生物变化,最终使得土壤的理化性质产生变化。贾建丽等<sup>[3]</sup>对不同气候、地理区域环境下的 6 大油田区的研究表

明,石油污染土壤的含水率呈明显的下降趋势,当土壤中的石油含量达到 8% 时,含水率小于 5%。任芳菲<sup>[4]</sup>对大庆油田土壤的研究结果表明,石油污染土壤的有效氮、有效磷含量显著降低。刘五星等<sup>[5]</sup>人研究了江汉、大庆油田油井周围不同污染程度土壤的理化性质,结果显示石油污染会降低土壤 pH 值。除此之外,王传远、吴伟林、杨瑞霞等<sup>[6-9]</sup>分别对不同地区石油污染土壤进行了研究,结果一致表明石油污染会显著降低土壤有机碳含量。土壤理化性质是制约石油微生物降解速率和石油污染土壤生物修复效应的关

收稿日期:2012-11-18

修回日期:2012-12-31

资助项目:林业公益性行业科研专项(201104002-4)

作者简介:张晓阳(1987—),男,内蒙和林人,硕士研究生,主要从事水土保持与生态工程研究。E-mail: xiaoyang1987.good@163.com

通信作者:李凯荣(1955—),男,陕西扶风人,教授,主要从事水土保持与生态工程研究。E-mail: lkrzhxy@nwsuaf.edu.cn

键因子<sup>[10-11]</sup>,但是目前关于石油污染土壤的研究,大多集中在生物修复效率、机制和修复当中微生物种群等方面<sup>[12-13]</sup>,关于区域内石油污染土壤理化性质的分析和研究还是一片空白。

陕北地区石油资源丰富,已探明地质储量巨大,分布面积广泛<sup>[14]</sup>。近年来,随着石油开发规模的扩大,陕北脆弱的生态环境面临严峻的考验,环境污染和生态破坏日益加剧<sup>[15-16]</sup>。由于诸多历史原因,陕北地区油田开发层次多,在不同阶段内所使用的开采方法也不尽相同,加上两种不同的开发模式(国有投资和私人投资)在管理和技术水平上存在着很大的差异,由此所造成的石油污染特征也就不尽相同。为了研究由石油污染引起的土壤理化性质的变化规律,选取黄土高原部分油井,对油井周围土壤的部分理化性质进行测定分析,以期为该地区的土壤环境质量评价和污染土壤生物修复提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于黄土高原典型土壤区,石油开采大县安塞县(108°05′44″—109°26′18″E,36°30′45″—37°19′3″N),海拔 1 012~1 731.1 m,总面积为 2 950 km<sup>2</sup>,属于陕北黄土高原梁状丘陵沟壑区。该区属暖温带干旱、半干旱大陆性季风气候,年平均气温为 8.8℃,最冷月(1

月)平均气温为-7.2℃,极端最低气温为-23.6℃,最热月(7 月)平均气温为 22.8℃,极端最高气温为 36.8℃。全年≥10℃的活动积温为 3 268.4℃,年日照时数 2 397.3 h,早霜始于 10 月上旬,晚霜终于 4 月下旬,无霜期 143~162 d。年平均降水量为 505.3 mm,多集中在 7—9 月,多年平均降水量约为 328.4 mm,占全年降水的 63%左右。春季干旱少雨,夏季气温湿热、干旱雨涝相间,秋季凉爽多雨、气温下降快、霜雪早临,冬季寒冷干燥。自然灾害主要有干旱、霜冻、暴雨和冰雹。土壤为黑垆土剥蚀后发育在黄土母质上的黄绵土,土壤肥力低,生产力水平低。研究区天然植被少,大部分为荒草。

### 1.2 采样方法

在陕西安塞县化子坪、坪桥两个乡内选取 8 个典型油井,其中 1 到 6 号井为生产井(采样时仍在生产),7 到 8 号井为废弃井(采样时已停止生产)。根据土壤的颜色和气味判别污染程度,以井场为中心向周围扩展,在中心外 0~5 m 区域、5~20 m 区域、20~50 m 区域设置 3 个污染采样区,并在井场附近无污染的撂荒地上设置对照区。每个区分别布置 3 个采样点,每个样点取 0—20 cm 的表层土壤作为样品。最后将 3 个样点的土壤样品混合后风干、研磨,过 100 目尼龙筛,放置于样品袋中供室内测定分析。采样地基本情况见表 1。

表 1 安塞县油田井场调查结果

井场编号	井场名称	开采年	钻井数	石油污染状况
1	牛砦村	2005	9	周围坡面油污泥倾倒痕迹明显,并有人为填土,无植被,污染严重,还在生产中
2	萝卜地	2004	6	开采过程中发生井喷,导致周围坡面植物大量死亡,污染严重,还在生产中
3	代铃咀	1998	12	周围坡面油污泥倾倒痕迹明显,并有人为填土,污染较轻,还在生产中
4	坪桥村	2007	4	井场内油污池发生泄漏,导致周围坡面污染严重,还在生产中
5	高畔梁	2005	7	周围坡面油污泥倾倒痕迹明显,植物大量死亡,污染较严重,还在生产中
6	大台山	2008	5	周围坡面油污泥倾倒痕迹明显,并有人为填土,无植被,污染严重,还在生产中
7	张山村	1998 前	2	井场已废弃,整个环境遭到严重破坏,有污染痕迹
8	高家湾	1998 前	1	井场已废弃,油污池痕迹明显,周围坡面植被良好

### 1.3 指标测定方法

1.3.1 土壤中石油烃总量的测定<sup>[1]</sup> 采用重量法测定土壤中石油烃总量。称取 5.0 g 土样于 50 ml 离心管中,加入 20 ml 正己烷,置于震荡器上震荡 5 min 后,再于离心机中 4 000 rpm 离心 5 min,收集上清液于干净的烧杯;然后再往离心管中加入 20 ml 二氯甲烷,重复上述步骤后,收集上清液于同一烧杯;最后再往离心管中加入 20 ml 三氯甲烷,重复上术步骤后,收集上清液于同一烧杯;之后加入少量的无水硫酸钠过滤,将所得滤液倒入已称量的恒重烧杯中,放置于恒温干燥箱内,保持 60℃直到有机溶剂挥发至恒生,取出冷却 30 min 后称重。总石油烃含量的计算公

式为:

$$\text{石油烃} = (M_1 - M_2) \times 10^3 / m \tag{1}$$

式中: $M_1$ ——烧杯加石油烃总质量(g); $M_2$ ——烧杯质量(g); $m$ ——土样质量(g)。

1.3.2 土壤理化性质的测定<sup>[17]</sup> 采用烘干法测定土壤含水率;采用环刀法测定土壤容重;采用电位计法测定土壤 pH 值;采用重铬酸钾容量法测定土壤有机质;采用半微量开氏法测定土壤全氮;采用流动分析仪测定土壤硝态氮和铵态氮;采用氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法测定土壤全磷;采用 NaHCO<sub>3</sub> 浸提—钼锑抗比色法测定土壤速效磷;采用氢氧化钠熔融—火焰光度法测定土壤全钾;采用 NH<sub>4</sub>OAC 浸提—火

焰光度法测定土壤速效钾。

### 1.4 数据处理与分析

所有数据以风干土质量为基础进行计算。利用 Excel 软件进行数据统计和简单的分析,并绘制相应的图表。利用 SPSS 19.0 进行方差分析和相关性分析。应用最小显著性差异(LSD)检验不同处理之间的显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 油田区土壤石油污染分析

石油 95%~99%的成分是由碳和氢组成的石油烃,因此土壤中石油烃的含量可以直接反映土壤石油污染的程度。陕北油田区土壤石油烃含量分析结果见表 2。以井场附近无污染撂荒地为对照,其土壤石

油烃含量均小于 1.00 g/kg,平均值小于 0.50 g/kg。井场周围土壤石油烃含量明显高于对照。其中,井场外 0~5 m 区域内土壤石油烃含量最高,变化范围为 27.76~71.49 g/kg,是对照的 60~150 倍;5~20 m 区域次之,变化范围为 10.42~28.87 g/kg,是对照的 20~60 倍;20~50 m 区域最低,变化范围为 0.08~11.51 g/kg,是对照的 1~15 倍。方差分析结果显示,井场外 0~5 m 区域和 5~20 m 区域土壤石油烃含量与对照相比均存在显著性差异,且这两个区域之间差异显著,而 20~50 m 区域土壤石油烃含量与对照相比无显著性差异。由此可见井场外 0~5 m 区域和 5~20 m 区域内土壤受到了明显的石油污染。另外,不同区域土壤石油污染程度不同,越靠近井场,污染程度越严重。

表 2 井场周围土壤石油烃含量及理化性质统计分析

土壤性质	井场外 0~5 m	井场外 5~20 m	井场外 20~50 m	对照(背景值)
石油烃/(g·kg <sup>-1</sup> )	42.80±13.45a	20.38±6.14b	6.09±4.07c	0.45±0.41c
含水率/%	0.75±0.38a	1.33±1.28a	2.40±2.39a	9.33±2.26b
容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.54±0.10a	1.44±0.09a	1.33±0.13b	1.17±0.10c
pH 值	8.13±0.33a	8.44±0.20ab	8.66±0.29b	8.99±0.40c
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	70.28±13.37a	47.88±10.09b	14.44±10.22c	5.01±1.27d
全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.38±0.07ab	0.44±0.18a	0.32±0.06b	0.37±0.08ab
硝态氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	2.12±1.28a	0.78±1.00a	0.35±0.56a	6.81±9.39b
铵态氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	9.60±3.72a	7.50±5.00ab	4.44±2.26b	4.74±2.06b
全磷/(g·kg <sup>-1</sup> )	1.92±0.24a	2.30±0.38a	2.13±0.49a	2.09±0.41a
速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	2.48±1.25a	3.16±1.12ab	5.86±4.09b	12.24±3.01c
全钾/(g·kg <sup>-1</sup> )	21.21±1.83a	21.18±2.20a	22.77±2.81ab	24.75±1.42b
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	29.40±9.41a	40.07±14.17a	60.32±15.50b	91.50±28.50c

注:表中同行数据后面标注字母相异表示差异性显著(P<0.05)。

### 2.2 石油污染对土壤理化性质的影响

2.2.1 石油污染对土壤水分含量的影响 石油具有较高的疏水性,因此石油污染土壤的储水能力下降,含水率降低。井场周围土壤含水率变化(表 2)表明,井场外 20~50 m 区域土壤含水率最高,5~20 m 区域次之,0~5 m 区域最低。与对照相比,从内到外分别降低了 91.96%,88.89%,74.287%。方差分析结果显示,井场外 3 个区域石油污染土壤含水率与对照相比均差异显著。说明石油污染显著地降低了土壤含水率。

石油污染土壤含油率和含水率之间由于石油残留饱和度的影响,存在此消彼长、相互制约的变化关系。当土壤孔隙中石油占主导,即其饱和度较大时,土壤孔隙中水分含量较低,反之亦然。石油污染土壤孔隙中石油饱和度与水分含量之间具有相互制约关系。据此,分析石油污染土壤石油烃和含水率之间的

关系,结果如图 1 所示。图 1 说明,随着土壤内石油烃含量的升高,含水率先是急剧降低,而后缓慢地降低,基本呈幂函数变化。当土壤中石油烃含量从对照值升高到 5 g/kg 左右时,含水率降低的幅度较大。相关性检验结果显示,石油污染土壤含水率与石油烃含量之间呈极显著相关关系(表 3)。

2.2.2 石油污染对土壤容重的影响 井场外 0~5 m 区域土壤容重最高,5~20 m 区域次之,20~50 m 区域最低。与对照相比,从内到外分别升高了 31.62%,23.08%,13.68%(表 2)。方差分析结果显示,井场外 3 个区域石油污染土壤容重与对照相比差异显著。说明石油污染显著地增加了土壤容重。

石油污染土壤容重与石油烃含量关系分析结果如图 1 所示。随着土壤中石油烃含量的升高,土壤容重呈直线递增趋势。相关性分析显示,石油污染土壤容重与石油烃含量之间呈极显著相关关系(表 3)。

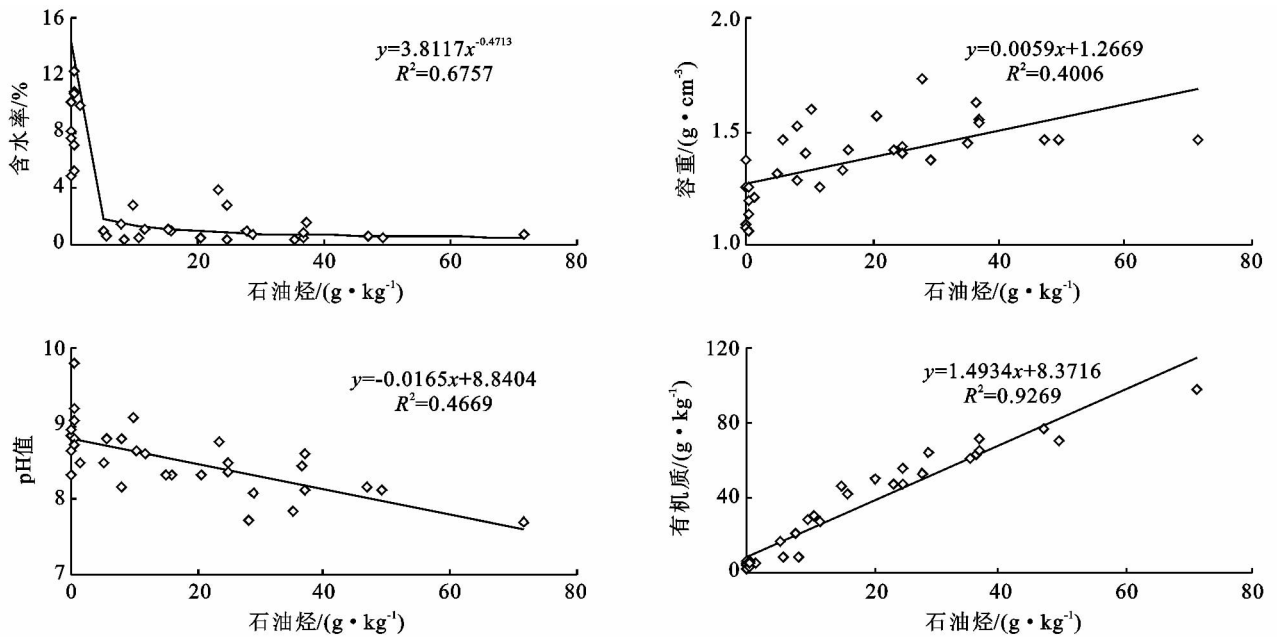


图1 土壤基本理化性质与石油烃关系

2.2.3 石油污染对土壤 pH 值的影响 陕北油田区井场周围土壤 pH 值的统计分析结果见表 2。由表 2 看出,井场外 20~50 m 区域土壤的 pH 值最高,5~20 m 区域次之,0~5 m 区域最低。与对照相比,从内到外分别降低了 9.57%、6.12%、3.67%。对其进行方差分析,结果显示:井场外 3 个区域石油污染土壤 pH 值与对照相比差异显著,说明石油污染显著地降低了土壤 pH 值。全部土壤样品的 pH 值均大于 7,说明实验地土壤呈碱性。其中,对照土壤(无污染)的 pH 值接近于 9,说明当地土壤含有大量的碱性物质,而石油污染土壤的 pH 值相对较小,说明散落在土壤中的石油在长期的降解过程中会向土壤内部释放一定量的酸性物质,从而起到降低土壤 pH 值的作用。

石油污染土壤 pH 值与石油烃含量关系分析结果(图 1)表明,随着土壤中石油烃含量的升高,土壤 pH 值呈直线递减趋势。相关性分析显示,石油污染土壤中石油烃含量与 pH 值呈显著相关关系(表 3)。

2.2.4 石油污染对土壤有机质含量的影响 土壤有机质是土壤中所有含碳有机化合物的总称,其含量和组成对污染土壤生物修复的可行性及修复效率起着决定性作用。与无污染土壤相比,石油污染土壤的有机质含量发生了巨大的改变,其组成也有一定的特殊性。由表 2 可知,井场外 0~5 m 区域土壤有机质含量最高,5~20 m 区域次之,20~50 m 区域最低。从内到外分别是对照的 14 倍、10 倍、3 倍左右。对其进行方差分析,结果显示:井场外 3 个区域石油污染土壤有机质含量与对照相比差异显著,说明石油污染显著地增加了土壤有机质含量。石油污染土壤有机质

含量与石油烃含量关系分析结果如图 1 所示,随着土壤中石油烃含量的升高,土壤有机质含量呈现直线升高趋势。当石油污染土壤有机质含量达到 100 g/kg 时,其中石油烃所占的比例可达到 60% 以上。由此说明石油污染土壤中石油烃是构成有机质的主要成分。这一变化主要与石油自身的特性和有机质的测定方法有关,石油是一种含大量化合物的有机物质,所以石油污染土壤的有机质含量会明显增加。一般而言,有机质含量是土壤潜在肥力的表现,但这种由石油污染引起的有机质提高,并不能释放出有效养分以供植物利用。因此,石油污染土壤不应该用有机碳指标来判断土壤肥力。相关性分析显示,石油污染土壤中有机质含量与石油烃之间呈极显著相关关系(表 3)。

2.2.5 石油污染对土壤氮、磷、钾含量的影响 石油污染土壤全氮含量主要受原油含氮量的影响。如表 1 所示,井场外 5~20 m 区域内土壤全氮含量最高,0~5 m 区域次之,20~50 m 区域最低;0~5 m 区域土壤硝态氮含量最高,5~20 m 区域次之,20~50 m 区域最低;铵态氮含量变化与硝态氮一致。与对照相比,石油污染土壤全氮含量差异较小,无明显变化规律;从内到外 3 个区域土壤硝态氮含量分别减少了 68.87%、88.55%、94.86%;0~5 m 区域和 5~20 m 区域土壤铵态氮含量分别升高了 102.11% 和 57.89%,20~50 m 区域降低了 6.53%。方差分析结果显示,井场外 3 个区域石油污染土壤全氮和硝态氮含量与对照相比均无显著差异;井场外 0~5 m 区域石油污染土壤铵态氮与对照相比差异显著,20 m 区

域和 50 m 区域与对照相比差异不显著。由此说明石油污染对土壤全氮和硝态氮含量无显著影响,当污染达到一定程度时对铵态氮含量有显著影响。石油污染土壤氮含量与石油烃含量关系如图 2 所示。随着土壤内石油烃含量的增加,全氮含量先升高后降低,升高或降低的范围较小;硝态氮含量先是明显降低,而后呈缓慢降低趋势;铵态氮含量先是略微降低,而后呈明显的升高趋势。当土壤内石油烃含量为 10 g/kg 左右时,硝态氮和铵态氮含量均达到最低。尽管有研究认为,石油污染会导致土壤中氮素不足,为微生物固持提供选择优势,从而导致在石油污染地区土壤中有效氮的浓度增加。但相关性检验(LSD)结果显示,石油污染土壤中全氮和硝态氮含量与石油烃含量均无显著相关关系,铵态氮含量与石油烃含量呈极显著相关关系(表 3)。

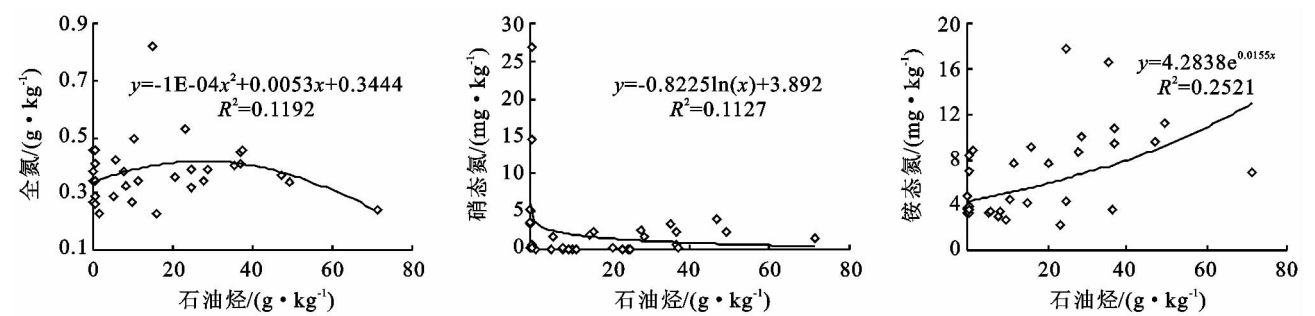


图 2 石油污染土壤氮与石油烃的关系

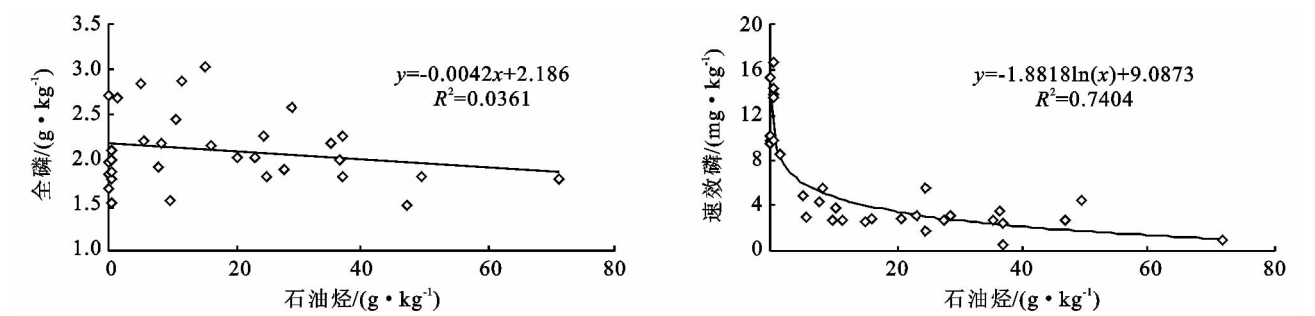


图 3 石油污染土壤磷与石油烃的关系

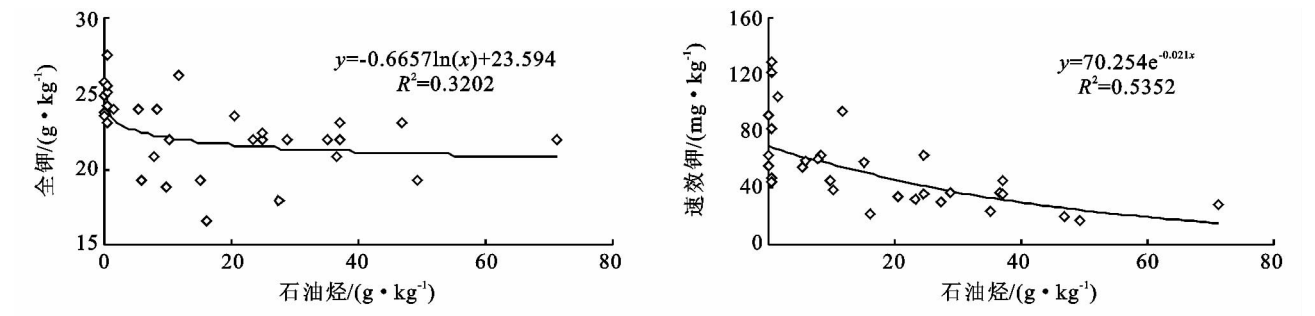


图 4 石油污染土壤钾与石油烃的关系

相关性检验(LSD)结果显示,石油污染土壤全磷含量与石油烃含量无显著相关关系,速效磷含量与石油烃含量呈极显著相关关系(表 3)。

表 2 显示,井场外 20~50 m 区域土壤全钾含量

石油污染土壤全磷和速效磷含量变化见表 2,由表 2 可知,井场外 5~20 m 区域土壤全磷含量最高,20~50 m 区域次之,0~5 m 区域最低;20~50 m 区域土壤速效磷含量最高,5~20 m 区域次之,0~5 m 区域最低。与对照相比,石油污染土壤全磷含量差异较小,无明显变化规律;从内到外速效磷含量分别降低了 79.74%,74.18%,52.12%。方差分析结果显示,井场外 3 个区域石油污染土壤全磷含量与对照相比均无显著性差异;而速效磷含量与对照相比均差异显著。石油污染土壤全磷和速效磷含量与石油烃含量关系如图 3 所示,随着土壤内石油烃含量的增加,全磷含量无明显的变化规律;速效磷含量先是急剧降低,而后缓慢的降低,基本趋势呈对数关系。当土壤中总石油烃含量从对照值升高到 5 g/kg 左右时,速效磷降低的幅度较大。

最高,0~5 m 区域次之,5~20 m 区域最低;20~50 m 区域土壤速效钾含量最高,5~20 m 区域次之,0~5 m 区域最低。与对照相比,从内到外全钾含量分别降低了 14.30%,14.42%,8.00%;速效钾含量分别

降低了 67.88%,56.21%,34.08%。对其进行方差分析,结果显示,井场外 0~5 m 区域和 5~20 m 区域石油污染土壤全钾含量与对照相比差异显著,20~50 m 区域与对照相比差异不显著;井场外 3 个区域石油污染土壤速效钾含量与对照相比均差异显著。由此说明石油污染对土壤速效钾含量有显著性影响,而在一定范围内对土壤全钾含量有显著性影响。石油污染土壤全钾和速效钾含量与石油烃含量关系分析如

表 3 石油污染土壤石油烃与土壤理化性质相关分析结果

显著性	石油烃	含水率	容重	有机质	pH 值	全氮	硝态氮	铵态氮	全磷	速效磷	全钾	速效钾
石油烃	1.000											
含水率	-0.614**	1.000										
容重	0.633**	-0.790**	1.000									
有机质	0.963**	-0.676**	0.692**	1.000								
pH 值	-0.683**	0.617**	-0.575**	-0.691**	1.000							
全氮	0.018	-0.136	0.106	0.132	-0.009	1.000						
硝态氮	-0.180	0.514**	-0.376*	-0.211	0.470**	0.056	1.000					
铵态氮	0.485**	-0.240	0.242	0.499**	-0.509**	-0.175	-0.046	1.000				
全磷	-0.190	-0.137	-0.099	-0.091	-0.032	0.320	-0.153	-0.107	1.000			
速效磷	-0.664**	0.881**	-0.802**	-0.735**	0.603**	-0.123	0.487**	-0.328	-0.219	1.000		
全钾	-0.390*	0.508**	-0.635**	-0.465**	0.413*	-0.097	0.191	-0.143	0.088	0.573**	1.000	
速效钾	-0.658**	0.684**	-0.678**	-0.691**	0.590**	-0.060	0.549**	-0.363*	0.163	0.675**	0.580**	1.000

注: \*\* 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; \* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

(1) 陕北石油开采区井场周围土壤受到了明显的石油污染。其中井场外 0~5 m 区域和 5~20 m 区域内土壤污染显著,而 20~50 m 区域内土壤污染不显著。

(2) 石油污染对土壤含水率、容重、pH 值、有机质、硝态氮、铵态氮、速效磷、全钾和速效钾含量均有显著影响,其中含水率、pH 值、硝态氮、速效磷、全钾和速效钾明显降低,容重和有机质明显升高,铵态氮无明显变化规律;石油污染对全氮和全磷无显著影响。

(3) 石油污染土壤石油烃含量与含水率、容重、有机质、铵态氮、速效磷和速效钾含量均呈极显著相关关系,与 pH 值和全钾呈显著相关关系,与全氮、硝态氮和全磷无显著相关关系。

#### 3.2 讨论

在开发历史和开发体制不同的情况下,陕北油田开采区各井场普遍都存在不同程度、不同类型的土壤石油污染,土壤石油污染程度变化范围大,污染途径和污染特性较为复杂。其中,生产井周围由于人口、车辆流动频繁,加上生产事故、偷油事件时有发生,造

成其石油污染面积较大,新旧污染并存,井场周围很少有植物生长,土壤翻动痕迹较为明显。相反,废弃井没有新污染的扰动,所以井场周围土壤在自然恢复的作用下,已经不存在石油污染,但由于井场在停产 后,没有对井场内部、特别是油污池进行合理的污染处理,以至于油污池内的污染物不断向周围土壤扩散,造成了更为严重的污染。贾建丽等<sup>[3]</sup>的研究显示,华北、西北、华北、华南和华东等油田区均受到了不同程度的石油污染,含油率最高达 23%;王传远等<sup>[6]</sup>对黄河三角洲生态区部分油田区的研究显示,该地区土壤石油污染相对较轻,含油率最高为 6.2%;李 小利等<sup>[18]</sup>对陕北两个典型流域燕儿沟和巴家河进行了研究,发现两个油区井场土壤都受到了不同程度的石油污染,土壤石油含量达 13%。本研究中的陕北油田区土壤石油污染较轻,油含量多为 2%~4%,这与近年来石油开采方法的改进,油井生产的科学管理,以及生产、管理人员防止污染意识的提高直接相关。另外,陕北地区由于地貌高低起伏,且油井多位于海拔较高的梁坡上,井场周围通常是陡峭的坡面,因此石油污染很容易随着降雨和水土流失向流域下游转移,在一定程度上减轻了井场周围的污染。

与许多学者的研究<sup>[3-4]</sup>结果相同,石油污染后土壤含水率会相对降低,但各自降低的幅度有所差异,

这主要与研究时所采用的土壤本身储水能力有关。一些研究<sup>[4, 6]</sup>显示,受石油污染的影响,土壤 pH 值升高,但陕北石油污染土壤的 pH 值反而降低,这主要与当地土壤本身的酸碱性相关,其微生物在降解石油烃时产生羧酸类中间产物,使 pH 值降低<sup>[19]</sup>。一致的是所有研究<sup>[4-6, 8]</sup>显示石油污染后土壤 pH 更接近于中性。

石油污染后土壤全量养分变化主要与石油本身各元素的含量相关。任芳菲<sup>[4]</sup>的研究显示,石油污染后的土壤全磷、全氮含量显著降低;刘五星等<sup>[5]</sup>的研究则显示,石油污染对土壤全磷、全钾、全氮无显著影响。导致这样的结果一是因为不同地区所生产的石油之间存在明显的差异,二是因为不同地区土壤养分含量不同。陕北油田区所生产的石油微量元素含量相对较低,土壤本身缺氮、少磷、多钾,因此石油污染后土壤全氮和全磷无显著变化,当污染严重时,全氮含量显著降低。大部分研究<sup>[4-8]</sup>显示,石油污染后土壤速效养分明显降低,氮、磷、钾之间具有较高的一致性。

#### 参考文献:

- [1] 夏永明,孙良康石油储运过程环境污染控制[M]. 北京:中国石化出版社,1992.
- [2] Sugiura K, Ishihara M, Harayama S T. Physicochemical properties and biodegradability of crude oil[J]. Environ. Sci. technol., 1997, 31(4): 45-51.
- [3] 贾建丽,刘莹,李广贺,等. 油田区土壤石油污染特性及理化性质关系[J]. 化工学报, 2009, 60(3): 726-733.
- [4] 任芳菲. 石油污染土壤的理化性质和微生物群落功能多样性[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2009.
- [5] 刘五星,骆永明,滕应,等. 石油污染土壤的理化性质和微生物生态变化研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(5): 858-863.
- [6] 王传远,杨翠云,孙志高,等. 黄河三角洲生态区土壤石油污染及其与理化性质的关系[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 214-217.
- [7] 刘五星,骆永明,滕应,等. 我国部分油田土壤及油泥的石油污染初步研究[J]. 土壤学报, 2007, 39(2): 247-251.
- [8] 吴伟林,张秀霞,单宝来,等. 不同处置方式对石油污染土壤理化性质和生物学特性的影响[J]. 石油学报:石油化工, 2010, 26(6): 831-834.
- [9] 杨瑞霞,毛存峰,原凯旋. 新疆某油区土壤污染状况研究[J]. 油气田环境保护, 2010, 20(4): 21-24.
- [10] 任磊,黄廷林. 土壤的石油污染[J]. 农业环境保护, 2000, 19(6): 360-363.
- [11] 张从,夏立江. 污染土壤生物修复技术[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2000.
- [12] 蔺昕,李培军,台培东,等. 石油污染土壤植物-微生物修复研究进展[J]. 生态学杂志, 2006, 25(1): 93-100.
- [13] Gentili A R, Cubitto M A, Ferrero M, et al. bioremediation of crude oil polluted seawater by a hydrocarbon degrading bacterial strain immobilized on chitin and chitosan flakes[J]. International Bio deterioration & Biodegradation, 2006, 57(4): 222-228.
- [14] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区工矿和城市发展的环境影响及其对策[M]. 北京:科学出版社, 1991.
- [15] 孙宁生,周军. 延安高石油开采污染治理调查及其防治对策[J]. 陕西环境, 2001, 8(1): 11-12.
- [16] 史红星. 石油类污染物在黄土高原地区环境中迁移转化规律的研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2001.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [18] 李小利,刘国彬,许明祥. 陕北油田土壤和地表水石油污染特征[J]. 水土保持研究, 2009, 16(5): 145-148.
- [19] Leahy J G, Golwell R R. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment [J]. Microbial Rev., 1990, 54(3): 305-315.