

陕西省农田土壤硫含量空间变异特征及亏缺评价*

高义民¹ 同延安¹ 胡正义² 孙本华¹ 王彩绒¹

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

(2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

摘要 陕西省 13 种耕地土壤 305 个表层(0~20 cm)土壤样点分析结果表明: 该省土壤全硫和用 $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 浸提的有效硫含量分别为 $33\sim 769 \text{ mg kg}^{-1}$ (均值 360 mg kg^{-1}) 和 $4.6\sim 157.3 \text{ mg kg}^{-1}$ (均值 29.3 mg kg^{-1}), 其中黑垆土(普通干润均腐土)、绵砂土(灌淤湿润砂质新成土)的有效硫平均含量最低。土壤全硫具有中等空间相关性, 有效硫空间相关性较差。土壤全硫和有效硫分布具有渐变性, 其最大相关距离分别为 531 km 和 34 km。全硫以较大区域变异为主; 有效硫以小区域变异为特征。陕西省耕地土壤有效硫含量低于硫亏缺临界值(18.5 mg kg^{-1})的占总面积的 13.9%, 相当于 53.7 万 hm^2 农田缺硫。陕西省中部地区, 尤其是延安西部地区土壤硫亏缺风险较大。

关键词 陕西省; 农田土壤; 土壤硫; 空间变异性; 地统计学

中图分类号 S143.7 文献标识码 A

硫素是作物必需的营养元素, 其需求量与磷相当^[1]。土壤硫亏缺不但导致作物减产, 而且农产品品质下降^[2]。由于不含硫肥料广泛施用, 大气污染控制加强, 作物产量提高硫输出增加等因素影响, 已导致中国土壤硫亏缺^[2,3]。据统计, 我国 20 多种作物施硫有增产作用, 增幅达 $4\%\sim 81\%$ ^[4]。土壤硫含量取决于大气硫沉降、母质、灌溉、施肥、种植制度、气候等因素^[3]。由于各地上述因素的差异, 致使土壤硫具有空间变异性。对土壤硫素空间变异性的充分了解是管理好土壤硫营养和合理施肥的基础。到目前为止, 我国田块、乡镇、县级尺度土壤硫素空间变异性研究有少量涉及^[5~8], 但省级尺度土壤硫素空间变异性研究尚未见报道。陕西省地处我国中部偏北, 南北长 870 km, 东西长 200~400 km。总土地面积 2 057 万 hm^2 , 总耕地面积 387 万 hm^2 , 由陕北黄土高原(半干旱)、关中平原(半湿润)和陕南山地(湿润)三个不同自然区域组成。南北土壤类型和种植制度具有明显不同, 主要土壤类型为黄绵土、黑垆土等 13 种, 占全部土壤类型 79.5%。主要种植作物有玉米、小麦、油菜^[9]。本研究以陕西省为对象, 探讨农田主要土壤类型硫素空间变异特征, 并评价其丰缺风险。该结果旨在为在全省开展养分分区管理, 指导硫肥合理施用提供依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集及分析

2000 年 7 月在全省 13 个农业土壤类型上共采集表层(0~20 cm)土壤样品 305 个。土壤取样点分布见图 1。采样点的经纬度值由 GPS 定位。因为该省许多土壤是非石灰性土壤, 为便于比较, 我们没有用 $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 作为浸提剂, 而采用通用有效硫浸提剂 $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 浸提土壤^[10,11], 土壤全硫用硝酸-高氯酸消化, 溶液用 ICP-AES 测定。

1.2 地统计学分析

对土壤有效硫和全硫硫素含量进行地统计学分析, 半方差函数的拟合采用 GS+ 3.1 软件(Gamma Design Software), 空间插值采用 Kriging 插值法, GIS 平台使用 ESRI 公司的 Arcview 3.2。

1.3 田间试验及土壤硫亏缺临界值确定

土壤硫丰缺状况的评价应以本地土壤硫亏缺临界值为依据。为此, 从 1997~2000 年先后在陕西汉中、宁强、城固、南郑、绥德、安塞、米脂、榆林及关中西部地区进行了玉米、油菜的硫肥田间对比试验, 试验地点见图 1。每个试验设施硫(折合元素硫用量

* 国际硫研究所(TSI)资助

作者简介: 高义民(1969~), 男, 助理研究员, 硕士研究生, 主要从事土壤与植物营养专业研究。E-mail: sngym@sina.com.cn

收稿日期: 2003-10-13; 收到修改稿日期: 2004-02-25

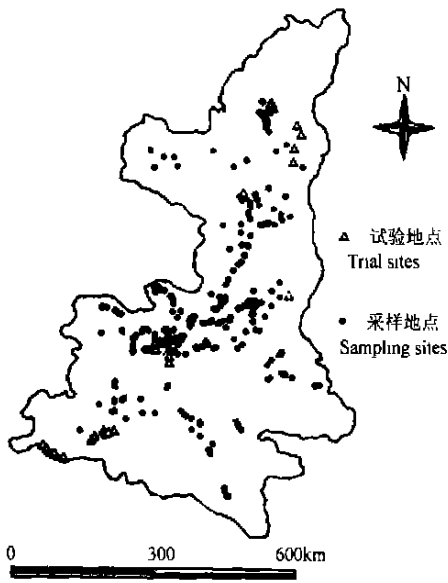


图 1 陕西省硫肥试验地点和土壤采样点分布图

Fig. 1 Distribution map of the S fertilizer trial and sampling sites in Shaanxi Province

57 kg hm⁻²) 和不施硫两个处理。小区面积 30~75 m², 各处理重复 3 或 4 次。其他农业措施按当地高产水平实施。试验前每块试验地取本地土壤, 用 0.01 mol L⁻¹ Ca(H₂PO₄)₂ 浸提, ICP-AES 测定土壤有效硫。按每小区籽粒计产, 计算施硫产量增加百分数。建立作物施硫效应与土壤有效硫函数关系, 以施硫增产 10% 时土壤有效硫含量作为土壤硫亏缺临界值^[10, 11]。

2 结果与分析

2.1 作物施硫效应与土壤硫亏缺临界值

4 年的硫肥田间试验结果表明, 施用硫肥对作物产量的影响与试验地点有关。陕北、陕南地区 50% 试验点硫肥有增产作用, 而关中地区硫肥没有显著效果。陕北玉米增产 9.6%~18.0%, 陕南玉米增产率为 12.7%~27.2%, 陕南油菜增产率 10.1%~14.0% (表 1)。土壤有效硫含量与作物增产率之间

表 1 硫肥对作物产量的影响

Table 1 Effect of sulphur fertilizer on crop yield

生态区 Ecological area	年份 Year	试验地点 Trial sites	作物 Crops	土壤类型 Soil types	土壤全硫 Total S (mg kg ⁻¹)	土壤有效硫 Available S (mg kg ⁻¹)	增产 Yield increase(%)
陕北	1998	榆林岔河则	玉米	风砂土	285	16.4	8.4
	1998	绥德	玉米	黄绵土	—	6.8	18.0**
	1999	米脂泉家沟	玉米	黄绵土	227	11.4	9.6**
	1999	米脂高渠乡	玉米	黄绵土	365	46.9	0.7
	1999	安塞	玉米	黄绵土	377	18.8	2.3
	1999	安塞	玉米	黄绵土	—	16.8	16.3**
陕南	1997	汉中市汉台区	玉米	黄褐土	355	10.4	12.7**
	1997	汉中市汉台区	玉米	黄褐土	177	5.6	19.4**
	1997	汉中市汉台区	玉米	黄褐土	378	12.6	27.2**
	1997	宁强	玉米	黄棕壤	187	38.1	1.3
	1999	南郑	玉米	水稻土	—	26.3	3.6
	1999	南郑	玉米	水稻土	—	26.3	3.0
	1999	南郑	玉米	水稻土	—	33.6	1.6
	1999	南郑	玉米	水稻土	—	33.6	1.0
	2000	城固	油菜	水稻土	—	32.2	10.1**
	2000	城固	油菜	水稻土	—	29.5	14.0**
关中	1997	合阳	玉米	土	354	21.2	4.1
	1997	扶风	小麦	土	231	40.8	2.7

注: ** 达 1% 显著水平 Note: ** the significant difference at 0.01 level

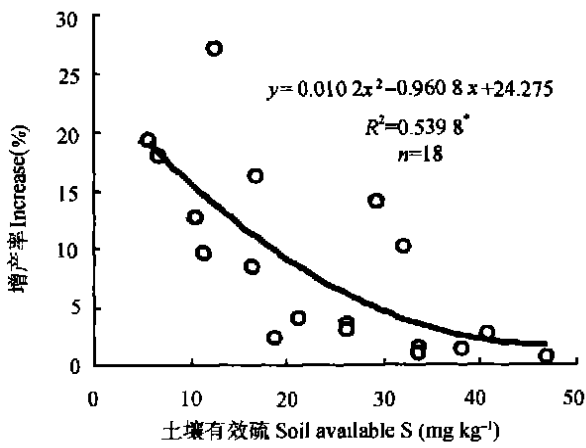


图2 土壤有效硫与硫肥增产之间关系

Fig.2 Crop yield response to sulphur application in relation to soil available S

符合一元二次多项式函数关系(图2)。用施硫肥增产10%的土壤有效硫含量作为土壤硫亏缺临界值^[10],获得陕西省土壤有效硫缺乏的临界值为18.5 mg kg⁻¹。林葆等根据我国北方旱地试验结果,确定土壤硫亏缺临界值为21.1 mg kg⁻¹^[12]。刘崇群将土壤有效硫分为五级,低于10~12 mg kg⁻¹作为土壤硫亏缺临界值^[13]。本研究的结果稍低于林葆等的结果,显著高于刘崇群的结果,这种差异主要是由于研究区域土壤性质不同所致。因此,为了合理评

价土壤硫丰缺,应选择当地田间试验获得土壤硫亏缺临界值。本文以18.5 mg kg⁻¹作为评价陕西省农田土壤硫亏缺临界值。

2.2 土壤硫含量统计特征

13个主要农业土壤类型,305个土壤样品全硫测定结果表明(表2),陕西省土壤全硫变幅为33~769 mg kg⁻¹,平均360 mg kg⁻¹,高于我国南方10个省的平均值(299.2 mg kg⁻¹) 20.3%^[14]。陕西省土壤全硫含量高,可能是由于绝大多数土壤属于石灰性土壤,石灰性土壤除了水溶硫,有机硫外,难溶硫也是主要硫形态,其含量高达50 mg kg⁻¹^[15]。土壤全硫不同地区和土壤类型差异较大。按土类划分,陕北风砂土全硫平均含量最高,达到705 mg kg⁻¹,陕南黄棕壤最低,为142 mg kg⁻¹。从平均值来看,主要类型土壤全硫含量依次为:风砂土>绵砂土>黄绵土>新积土>黑垆土>土>黄土>褐土>黄褐土>棕壤>潮土>水稻土>黄棕壤。可见石灰性土壤全硫要大于非石灰性土壤。

陕西省主要类型的耕作土壤有效硫含量变幅4.6~157.3 mg kg⁻¹,平均29.3 mg kg⁻¹(表3),比我国南方10个省平均值(34.3 mg kg⁻¹)低17%^[11]。从土壤类型来看,以新积土和陕南水稻土有效硫平均含量最高,分别达44.4 mg kg⁻¹和43.2 mg kg⁻¹,黑垆土和绵砂土有效硫含量最低,分别为18.2 mg kg⁻¹和

表2 陕西省主要耕作土壤全硫含量

Table 2 Soil total Sulphur in major cultivated soils of Shaanxi Province

土壤类型 Soil types	样本数 Samples	最小值 Min(mg kg ⁻¹)	最大值 Max(mg kg ⁻¹)	平均值 Average(mg kg ⁻¹)	变异系数 CV(%)
黄绵土 Huangmiantu	31	526	746	585	10.6
土 Loutu	67	123	354	361	33.9
黄土 Huangshantu	51	124	556	310	37.7
黑垆土 Heilutu	30	186	517	391	22.2
黄棕壤 Yellow brown earth	25	33	260	142	55.4
水稻土 Paddy soil	10	119	264	216	30.9
褐土 Cinnamon soil	39	172	549	267	28.8
新积土 Entisol	15	320	728	490	30.0
风砂土 Wind sand soil	9	672	758	705	3.9
潮土 Meadow soil	15	143	389	230	49.4
绵砂土 Mianshatu	8	641	769	687	7.1
黄褐土 Yellow cinnamon	3	237	250	246	3.0
棕壤 Brown earth	2	239	243	241	1.2
全省 Total	305	33	769	360	47.5

表 3 陕西省主要耕作土壤有效硫含量

Table 3 Available S in major cultivated soils in Shaanxi Province

土壤类型 Soil types	样本数 Samples	最小值 Min (mg kg ⁻¹)	最大值 Max (mg kg ⁻¹)	平均值 Average (mg kg ⁻¹)	变异系数 CV (%)	百分数 ¹⁾ (%)
黄绵土 Huangmiantu	31	5.2	72.9	26.7	61.8	25.8
土 Loutu	67	6.6	112.7	27.8	77.0	40.3
黄土 Huangshantu	51	5	157.3	30.1	92.7	35.3
黑垆土 Heilutu	30	4.6	39.9	18.2	61.0	63.3
黄棕壤 Yellow brown earth	25	18.2	110.2	39.7	51.1	4.0
水稻土 Paddy soil	10	14.3	64.9	43.2	38.7	20.0
褐土 Cinnamon soil	39	6.2	67.8	26.7	62.2	48.7
新积土 Entisol	15	10.4	89.9	44.4	59.0	20.0
风砂土 Wind sand soil	9	4.6	87.6	26.4	106.8	55.6
潮土 Meadow soil	15	10.1	66.9	31.4	60.5	46.7
绵砂土 Mianshatu	8	10	32.8	18.9	52.9	62.5
黄褐土 Yellow cinnamon	3	20.6	47.1	36.5	31.5	0.0
棕壤 Brown earth	2	16.7	23.5	20.1	16.9	50.0
全省 Total	305	4.6	157.3	29.3	74.1	37.7

1) 土壤有效硫低于临界值(18.5 mg kg⁻¹)样本数占总样本百分数 Percentage of soil samples below the critical value (18.5 mg kg⁻¹)

18.9 mg kg⁻¹, 全省主要土类有效硫含量依次有: 新积土 > 水稻土 > 黄棕壤 > 黄褐土 > 潮土 > 黄土 > 土 > 褐土 > 黄绵土 > 风砂土 > 棕壤 > 绵砂土 > 黑垆土。由表 3 还可以看出, 尽管绝大多数土壤类型的有效硫平均含量大于临界值(18.5 mg kg⁻¹), 但所有土壤类型均存在有效硫含量低于临界值的土壤样本。其中黑垆土、风砂土、潮土、绵砂土和褐土有效硫低于临界值比例为 50% ~ 60%, 这些土壤缺硫风险较大。这些土壤一个共同特点是质地较粗。一般粗质地土壤易缺硫^[3, 13]。

2.3 土壤硫含量空间变异特征

由于常规统计分析只能概括土壤养分变化的全貌, 不能反映其局部的变化特征, 即只在一定程度上反映样本总体, 而不能定量地刻画土壤养分的随机性和结构性、独立性与相关性^[5-8]。为此, 本研究进一步采用地统计方法探讨了该省土壤硫空间变异结构。

为便于比较, 根据黄绍文等人的研究结果^[16], 本文选择线性模型分析土壤全硫和有效硫空间变异结构特征。表 4 列出了变异函数理论模型得出的相应参数, 土壤有效硫的模型符合线性有基台, 而全硫符合线性无基台模型。全硫变程较大, 达到 531 km, 有效硫变程较小, 为 34 km。说明与有效硫对比, 全硫分布趋于大块状分布。黄绍文等在河北玉田县 470 km² 研究土壤养分空间变异时发现, 土壤

有效硫空间最大相关距离为 55 km^[5]。本研究类似该结果。黄绍文等以玉田县虹桥镇 90 km² 农田为对象, 发现土壤有效硫最大相关距离为 4.6 km^[8]。而大田块尺度下(30~50 hm²) 土壤有效硫最大相关距离为 0.5~0.7 km^[6, 7]。这些差异主要是研究尺度大小和研究区域土壤性质、地形等综合因素引起。本研究全硫和有效硫半方差模型的决定系数均达 1% 显著水平, 说明土壤硫的空间变异具有渐变性。全硫半方差模型的决定系数(0.738) 显著大于有效硫(0.241)(表 4), 因此土壤全硫分布渐变性要强于有效硫。这是由于有效硫含量易受人为活动影响, 如施肥等。而全硫含量则主要受气候、土壤母质等因素控制。土壤有效硫渐变性分布也被其他研究所证实^[5-8]。

表 4 结果说明全硫和有效硫空间变异程度不同。有效硫的 $c_0/(c_0+c)$ 值较大, 为 0.845, 进一步说明其在本省范围内由施肥、耕作等随机因素引起的空间变异性占较大比重, 而全硫的 $c_0/(c_0+c)$ 值较小(0.587), 其空间变异性主要是由地形、气候、土壤母质、土壤类型等非人为因素引起的。根据区域化变量空间相关性程度的分级标准^[17], 全硫的 $c_0/(c_0+c)$ 值在 25%~75% 之间, 因此具有中等的空间相关性, 有效硫的 $c_0/(c_0+c)$ 值大于 75%, 空间相关性很弱。

表 4 土壤全硫和有效硫含量理论模型和半方差函数的拟合参数

Table 4 Theoretic models and semivariance function fitting parameters for soil total S and available S

项目 Item	理论模型 Model	块金方差(c_0) Nugget variance	基台值 ($c_0 + c$) Sill	最大相关距离 Range (km)	块金方差/基台值 $c_0/(c_0 + c)$ The proportion of nugget variance to sill	模型检验 R^2
全硫 Total sulphur	线性无基台 Linear	0.79	1.346	531	0.587	0.738**
有效硫 Available sulphur	线性有基台 Linear to sill	4.510	5.337	34	0.845	0.241*

*, ** 显著性达 5% 和 1% 显著性水平 The significant difference at 0.05 or 0.01 level

2.4 陕西省土壤硫空间分布规律

根据所得到的半方差函数模型, 利用 Kriging 插值法对土壤全硫和有效硫进行最优内插, 并绘制出其空间分布图(图 3、图 4)。

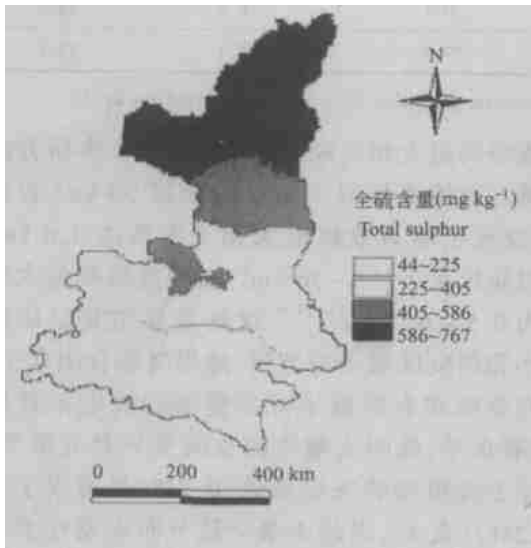


图 3 陕西省土壤全硫含量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of soil total S in Shaanxi Province

陕西省土壤全硫含量分布明显呈现出从南向北依次增高的分布规律(图 3)。延安市以北土壤全硫含量大于 586 mg kg^{-1} , 属于陕西省全硫最高的地区, 东南部的安康地区和西部的宝鸡地区则最低, 其土壤全硫含量小于 225 mg kg^{-1} , 延安以南及咸阳西北部土壤全硫含量在 $405 \sim 586 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间, 其余地区则在 $225 \sim 405 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间。

该省土壤有效硫分布规律不同于全硫。总的来说, 陕西省土壤有效硫分布具有南北高、中间低的特点(图 4)。以本文研究结果土壤硫亏缺临界值 18.5 mg kg^{-1} 评判, 陕西土壤有效硫含量低于临界值的土

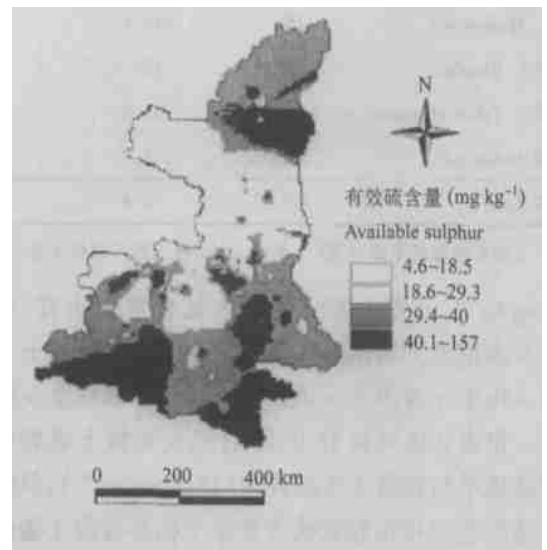


图 4 陕西省土壤有效硫含量空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of soil available S in Shaanxi Province

壤主要分布在陕西中部地区, 尤其是延安地区西部分布较多。从 Arcview3.2 的查询功能得到, 陕西省有效硫含量低于临界值的土壤占耕地总面积的 13.9%, 约 53.7 万 km^2 农田土壤缺硫。该结果显著低于刘崇群等早期估计值(213.8 万 km^2 , 占该省耕地面积 55.2%)^[14]。这种差异主要是因为刘崇群等以 $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 浸提 10 mg kg^{-1} 作为临界值^[14], $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 浸提法过低估计了一些非石灰性土壤供硫能力缘故。本研究还发现陕西北部的榆林和秦岭以南土壤有效硫含量较高, 其含量范围基本大于陕西省的土壤有效硫平均值, 即大于 29.3 mg kg^{-1} , 而有效硫含量最高的地区是榆林、汉中市南部及安康市东部, 其土壤有效硫达到 40 mg kg^{-1} 以上。为了保持农业可持续发展, 建议开展养分分区管理, 提高硫肥合理施用。

3 结 论

陕西省农田土壤硫有明显空间变异性。土壤全硫变程较大, 以大区域变异为特征; 有效硫变程较小, 以小区域变异为特征。不同硫亏缺与土壤类型、地区有关。黑垆土、绵砂土是主要缺硫土壤类型。全省缺硫耕地面积大约 53.7 万 hm^2 , 主要分布在本省中部, 特别是延安西部地区土壤硫亏缺风险较大。建议开展土壤养分分区管理, 加强硫亏缺地区的硫肥投入。

参 考 文 献

- [1] 刘崇群. 中国南方土壤硫的状况和对硫肥的需求. 磷肥与复肥, 1995, 3: 14~ 18. Liu C Q. Status of soil sulphur in south China and demand for sulphur (In Chinese). Phosphate & Compound Fertilizer, 1995, 3: 14~ 18
- [2] 刘崇群, 曹淑卿, 吴锡军. 中国农业硫的概述. 见: TSI, CSAIA, CSFI 编. 中国硫资源和硫肥需求的现状和展望国际学术讨论会论文集. 北京, 1993. 154~ 162. Liu C Q, Cao S Q, Wu X J. Sulphur status in agriculture of China. In: TSI, CSAIA, CSFI. eds. Proceedings of the International Workshop on Status and Expectation of Sulphur Resource and Demand in China (In Chinese). Beijing, 1993. 154~ 162
- [3] 胡正义, 徐成凯. 土壤中的硫与环境质量. 见: 陈怀满主编. 土壤中化学物质的行为与环境质量. 北京: 科学出版社, 2002. 283~ 307. Hu Z Y, Xu C K. Soil sulphur and environment quality. In: Chen H M. ed. Behavior of Chemistry Matter in Soil and Environment Quality (In Chinese). Beijing: Science Press, 2002. 283~ 307
- [4] Cao Z H, Hu Z Y. The present situation and outlook of soil sulphur research and sulphur fertilization in China. Proceeding of International Symposium on Sulphur in Agricultural Soils. International Meeting Hall KFSTS Seoul, Korea, Oct, 22~ 23, 1996. 39~ 53
- [5] 黄绍文, 金继运, 杨俐苹. 县级粮田养分的空间变异性. 土壤通报, 2002, 33(3): 188~ 192. Huang S W, Jin J Y, Yang L P. Spatial variability and regionalized management of soil nutrients in the grain crop region in Yutian County (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(3): 188~ 192
- [6] 姜城, 杨俐苹, 金继运. 土壤速效养分空间变异特征及其评价. 见: 金继运, 白由路主编. 精准农业与土壤养分管理. 北京: 中国大地出版社, 2001a. 93~ 99. Jiang C, Yang L P, Jin J Y. Spatial variability and evaluation of soil available nutrients. In: Jin J Y, Bai Y L. eds. Precision Agriculture and Soil Nutrients Management (In Chinese). Beijing: Chinese People Space Press, 2001a. 93~ 99
- [7] 姜城, 杨俐苹, 金继运. 土壤养分变异与合理取样数量. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 262~ 270. Jiang C, Yang L P, Jin J Y. Soil nutrients variability and rational sampling quantity (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(3): 262~ 270
- [8] 黄绍文, 金继运, 杨俐苹. 乡(镇)级区域土壤养分空间变异与分区管理技术研究. 资源科学, 2002, 24(2): 76~ 82. Huang S W, Jin J Y, Yang L P. Spatial variability and regionalized management technology of soil nutrients: The Case of Hongqiao township (In Chinese). Resources Science, 2002, 24(2): 76~ 82
- [9] 郭兆元主编. 陕西土壤. 北京: 科学出版社, 1992. 3~ 12. Guo Z Y. Soils of Shaanxi Province (In Chinese). Beijing: Science Press, 1992. 3~ 12
- [10] Scott N M. Evaluation of sulphur status of soils by plant and soil test. J. Sci. Food Agric., 1981, 32: 193~ 199
- [11] Blair G J, Lefroy R D B. Sulphur soil testing. Plant and Soil, 1993, 155/156: 383~ 386
- [12] 林葆, 李书田, 周卫. 土壤有效硫评价方法和临界指标的研究. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 436~ 445. Lin B, Li S T, Zhou W. Study on test methods for soil available S and critical levels of S deficiency (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(4): 436~ 445
- [13] 刘崇群. 中国土壤硫肥力及其管理. 见: 沈善民主编. 中国土壤肥力. 北京: 中国农业出版社, 1998. 341~ 369. Liu C Q. China soil sulphur fertility and management. In: Shen S M. ed. Soils Fertility of China (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1998. 341~ 369
- [14] 刘崇群, 曹淑卿. 陕西省土壤硫含量分布. 见: TSI, ISSAS 主编. 中国农业硫肥研究进展和需求展望国际学术讨论会论文集. 南京, 1997. 65~ 69. Liu C Q, Cao S Q. The contents and distribution of sulphur in soils of Shaanxi. In: TSI, ISSAS. eds. Proceedings of the International Workshop on Research Advance and Prospect of Requirement on Agricultural Sulphur Fertilizer in China (In Chinese). Nanjing, 1997. 65~ 69
- [15] 徐成凯, 胡正义, 章钢娅. 石灰性土壤中硫形态组分及其影响因素. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 416~ 423. Xu C K, Hu Z Y, Zhang G Y. Composition of sulphur fractions and impact factors in calcareous soils (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(4): 416~ 423
- [16] 黄绍文, 金继运, 杨俐苹. 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究. 土壤学报, 2003, 40(1): 79~ 88. Huang S W, Jin J Y, Yang L P. Spatial variability and regionalized management of soil nutrients in the grain crop region in Yutian County (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(1): 79~ 88
- [17] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58: 1 501~ 1 511

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL SULPHUR AND RISK ASSESSMENT OF SOIL SULPHUR DEFICIENCY IN SHAANXI PROVINCE

Gao Yimin¹ Tong Yan'an¹ Hu Zhengyi² Sun Benhua¹ Wang Cairong¹

(1 Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forest, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(2 State Key Lab. of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract Total sulphur and available sulphur in the 305 samples of top-layer soils collected from thirteen main types of soil in Shaanxi Province were extracted by $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and determined. Results indicated that the contents of total sulphur and available sulphur in these soils ranged from 33 to 769 mg kg^{-1} (av. 360 mg kg^{-1}) and from 4.6 to 157 mg kg^{-1} (av. 29.3 mg kg^{-1}), respectively. Heilutu soil (Cumulic Haplustolls, ST/1996) and Mianshatu soil (Udipsamment, ST/1996) had the lowest content of available sulphur among these soil types. The ranges of spatial correlation was determined through semivariance analysis of these data and were found to be 531 km for soil total sulphur, and 34 km for soil available sulphur, respectively. Spatial variability for soil total sulphur and available sulphur exhibited a gradual changing tendency, and spatial variation developed in large scale for total sulphur, and in small scale for available sulphur. Soil available sulphur in 13.9% of the total land in Shaanxi Province was lower than the critical value, 18.5 mg kg^{-1} , for soil sulphur deficiency, implying approximately 0.537 millions hm^2 of cultivated land could be sulphur-deficient in this province. In central Shaanxi Province, especially the west part of Yan'an city, the risk of soil sulphur deficiency is great.

Key words Shaanxi Province; Cropland soil; Soil sulphur; Spatial variability; Geo-statistics