

黄土高原南部耕地土壤养分空间格局分析

——以陕西省富县为例

邹青¹,赵业婷²,常庆瑞²,李志鹏²

(1.西北农林科技大学信息工程学院,陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

摘要:以陕西省富县为例,采用地统计学与GIS技术相结合的方法,研究黄土高原南部耕地土壤养分的空间变异特征和分布格局,为土壤培肥和农业生产提供理论基础。结果表明,富县耕地大部分土壤养分间存在显著的相关关系。20 a来,除土壤有机质平均含量降低19.08%,有效锰降低9.59%外,其他养分平均含量均有明显增加,增幅介于12.18%~44.20%。在平均间距为1 214 m的采样尺度下,土壤有机质、磷、钾、锰和铁表现为中等强度空间相关性,速效氮表现为弱空间相关性。施肥、耕作管理、海拔及降水是影响养分空间变异的重要因子。土壤养分含量高低值区域分布明显,大致呈西高东北低的格局。总体上富县耕地土壤富钾、铁、锰适中,有机质整体缺乏,12%耕地氮素相对不足,88%缺乏,71.16%缺磷,需及时增施有机肥,制定增氮补磷措施。

关键词:地统计学;土壤养分;空间格局;富县

中图分类号: S158.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0107-07

土壤是一个自然连续体,空间变异性是土壤的一种自然属性。对土壤特性尤其是土壤养分空间变异的充分了解,是土壤养分管理和合理施肥的基础。近年来随着精细农业的兴起,郭旭东^[1],黄绍文^[2],王红娟^[3],庞凤^[4]等许多学者都采用地统计学和GIS技术相结合的方法进行不同尺度、地域或类型的土壤有机质、速效氮、磷、钾等养分空间变异及其格局研究,据此指导精确合理的种植、施肥和灌溉。黄土高原特殊的侵蚀环境造就了严重退化的侵蚀土壤,水土流失加重,可利用耕地面积较少,亟需通过科学的方法来评估耕地土壤养分状况,以优化土地利用^[5]。位于黄土高原南部的富县,在第二次土壤普查时期,土壤养分收支不平衡,供求矛盾突出^[6],20年来,其积极加强和完善田间耕作管理,以期提高土壤养分含量。本文基于目前开展的富县耕地地力调查与评价项目,利用测土配方施肥采样及化验分析数据,集大量元素有机质、氮、磷、钾及微量元素铁、锰,研究当前富县耕地土壤养分的变异特征、分布规律及含量丰缺状况,为各级农业部门准确了解和掌握当前富县耕地土壤养分状况提供科学依据,对改善耕地利用与管理、提高养分资源利用率和实现精确施肥具有积极意义。

1 研究区概况

富县位于陕西省北部,黄土高原南部,渭北旱塬

北沿,洛河中上游子午岭林区,东依黄龙山系与宜川、洛川相邻,西依子午岭与甘肃清水、宁县相接,南接隆坊塬与黄陵相靠,北缘丘陵沟壑与志丹、甘泉、延安相连。地理坐标在东经108°29'30"~109°42'54",北纬35°44'6"~36°23'23",东西长111 km,南北宽73.7 km,总面积4 181.57 km²。全县辖8镇5乡,1个街道办事处,241个行政村,总人口约14.7万。富县年平均气温为7.1℃~9.0℃,年日照时数2 032~2 428 h,无霜期平均为130 d,年均降水量为500~600 mm,多呈高强度的阵性降水过程,境内有洛河及其支流葫芦河两大水系,属中纬度半干旱地区^[5]。县西部分布着子午岭林区,有少许耕地零星分布;县中、东部为耕地主体区域,集中分布了县内90%的耕地,耕地土壤类型以黄绵土为主,有少部分灰褐土和黑垆土分布,海拔高度介于840~1 680 m,是玉米、水稻和苹果等作物的优质种植区。

2 材料与方法

2.1 土样的采集与测定

遵照农业部统一的测土配方施肥技术规范和要求^[7],根据富县土壤类型、地形地貌等因素特点,以全面性、均衡性、客观性和可比性为原则,确定研究区采样单元。为避免施肥的影响,在作物收获后,用不锈钢土钻等工具采土样,每一土样选取有代表性的田块,采用“S”形法均匀随机采取8个点,将各采

收稿日期:2011-12-20

基金项目:国家自然科学基金项目(30872073);国家重点基础研究发展计划(973项目)(2007CB407203)

作者简介:邹青(1975—),男,陕西大荔人,讲师,硕士生,研究方向为计算机软件开发与应用。E-mail: zq942126@126.com。

*通讯作者:常庆瑞(1959—),男,陕西西洲人,教授,博士生导师,主要从事土地资源与空间信息技术研究。E-mail: changqr@nwsuaf.edu.cn。

样点土壤混匀后用四分法留取 1 kg 土壤装袋以备分析,平均采样间距为 1 214 m,取样深度为 0~20 cm 土层,并用 GPS 定位仪确定样点经纬度及海拔高

度。在全县耕地范围内共采集土壤样点 752 个(图 1)。

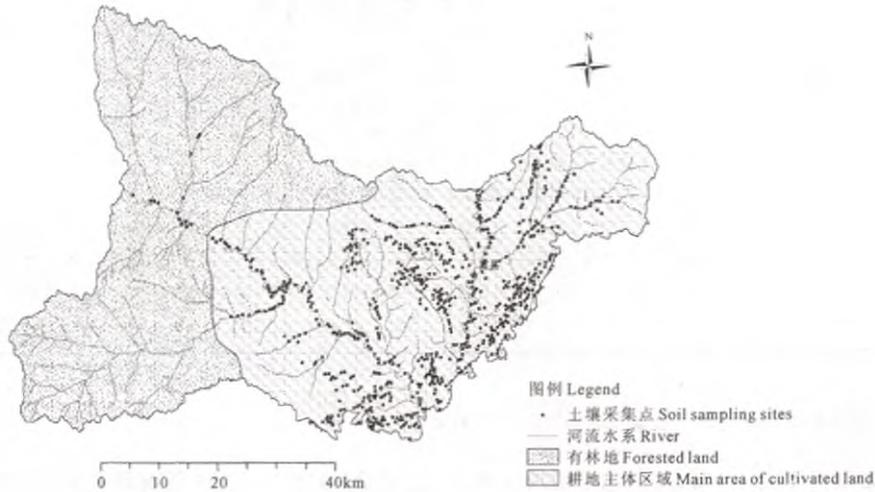


图 1 陕西富县土壤采集点的分布图

Fig.1 Distribution map of soil sampling sites in Fuxian of Shaanxi

土壤样品测定项目包括土壤有机质,速效氮,速效磷,速效钾,有效铁和有效锰 6 项。具体测验方法见《土壤农化分析》^[8]。

2.2 研究方法

2.2.1 特异值处理方法 特异值的存在会影响变量的分布特征,并造成变量连续表面的突变,因此,在进行统计分析前,首先要识别特异值。本研究对各土壤养分数据的极大值和极小值及其上、下 5% 数据的统计分析,结合 36 准则和邻近点数据比较法,进行特异值的替换和删除^[9],最终保留有效土壤样点 666 个。

2.2.2 地统计学和数据处理 地统计学是以区域化变量理论为基础,以半方差函数和 Kriging 插值为基本工具,分析研究空间分布上既有随机性又存在结构性的自然现象的科学,弥补了经典统计学忽略空间方位的缺陷^[10]。

本研究采用 SPSS17 软件对样点数据进行正态分布性检验、描述性统计分析和相关性因子分析; Minitab15 软件对不符合正态分布的数据进行变换处理,选取最优的正态分布拟合系数 P ; 在 ArcGIS9.3 软件中将富县土肥站提供的有效土壤养分数据标准化,对土样点进行投影和坐标转换(Beijing_1954_GK_Zone_19),绘制用于地统计学分析的土壤样点空间分布图;ArcGIS9.3 中的地统计模块选择

各土壤养分的最优半方差模型及其参数,进行普通 Kriging 空间插值分析,实现养分值由点到面。

3 结果与分析

3.1 富县耕地土壤养分的正态分布检验和统计特征

检验数据的正态分布是使用空间统计学克里格方法进行土壤特性空间分析的前提。本研究依据 Kolmogorov - Smirnov (K - S) 正态分布检验概率 (P_{k-s}) 检验,发现原始数据集中土壤有机质和有效锰符合正态分布,土壤速效钾和速效磷经自然对数变换、土壤速效氮和有效铁经幂 (Box - Cox) 变换 ($P = 0.50$) 后均符合正态分布即 $P_{k-s} > 0.05$,满足二阶平稳和内蕴假设。各土壤养分基本统计学特征见表 1。

从变异系数^[8]来看,富县耕地 6 项土壤养分存在不同程度的变异,变异幅度在 10.69% ~ 63.11%,均属中等变异强度,其以速效磷的变异性最大,变幅从最低值 0.6 到最高值的 37.5,极差高达 63 倍,很多研究表明,速效磷的变异系数一般都相对较大^[11-12]。土壤氮、钾、锰的变异性次之,铁的变异性相对较小,有机质的变异性最小,仅为 10.69%。与富县第二次土壤普查数据^[6]相比,20 年来,耕地土壤养分平均含量除有机质降低 19.08%,有效锰降低 9.59% 外,余下 4 项养分含量均有明显增加,

其以速效磷增幅最大,达 44.20%,其次有效铁增幅 29.38%,速效钾增幅 25.46%,速效氮增幅 12.18%。如果仅以土壤养分的平均含量进行分级^[13](表 2),富县耕地土壤钾含量丰盈,铁、锰含量适中,土壤有

机质、氮和磷含量缺乏。各土壤养分含量极值差异较明显,表明富县耕地土壤养分含量存在本底差异,需分区差异化管理与施肥。

表 1 陕西省富县土壤养分基本统计学特征

Table 1 Statistical characteristics of soil nutrients in the cultivated land of Fuxian

土壤属性 Soil properties	平均值 Mean	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 Std.	偏度 Skew.	峰度 Sku.	变异系数 CV(%)	K-S 检验 P _{k-s}
有机质 OM(g/kg)	8.82	11.6	5.9	0.94249	-0.0404	0.556	10.69	0.103
速效氮 AN(mg/kg)	52.38	113	6	21.168	-0.0324*	-0.297*	40.41	0.432
速效钾 AK(mg/kg)	150.26	375	70	56.165	0.1427*	-0.211*	37.38	0.110
速效磷 AP(mg/kg)	8.96	37.5	0.6	5.6535	-0.1034*	0.556*	63.11	0.144
有效锰 Mn(mg/kg)	9.07	18.83	1.43	2.7218	0.2057	-0.083	30.02	0.132
有效铁 Fe(mg/kg)	6.97	10.2	3.8	1.0842	-0.0496*	-0.171*	15.56	0.072

注: * 表示经变换后符合正态分布的统计值。

Note: * stands for data showing normal distribution after transformation.

表 2 第二次土壤普查土壤养分含量分级表

Table 2 Classification criterion for soil nutrients from the Second National Soil Survey

级别 Level	有机质 OM (g/kg)	速效氮 AN (mg/kg)	速效磷 AP (mg/kg)	速效钾 AK (mg/kg)	级别 Level	有效铁 Fe (mg/kg)	有效锰 Mn (mg/kg)
极高 Very high	> 40	> 150	> 40	> 200	很丰 Very abundant	> 20	> 30
高 High	30 ~ 40	120 ~ 150	20 ~ 40	150 ~ 200	丰 Abundant	10 ~ 20	16 ~ 30
适宜 Moderate	20 ~ 30	90 ~ 120	10 ~ 20	100 ~ 150	适中 Moderate	4.5 ~ 10	5.0 ~ 15
偏低 Relatively low	10 ~ 20	60 ~ 90	5 ~ 10	50 ~ 100	缺 Lack	2.5 ~ 4.5	1.0 ~ 5.0
低 Low	6 ~ 10	30 ~ 60	3 ~ 5	30 ~ 50	很缺/Very lack	< 2.5	< 1.0
极低 Very low	< 6	< 30	< 3	< 30	—	—	—

3.2 富县耕地土壤养分含量相关性因子分析

本研究借鉴耕地地力评价结果,结合各土样养分含量,土样点海拔和年降水量数据进行相关性分

析,试从统计上揭示富县耕地土壤养分间及其与海拔、降水量、耕地质量指数间的定量关系。

表 3 陕西省富县耕地土壤养分含量的相关性统计

Table 3 Correlation matrix for soil nutrients content in the cultivated land of Fuxian

变量 Variable	海拔 Elevation	年降水量 Precipitation	耕地质量指数 Index	有机质 OM	速效氮 AN	速效磷 AP	速效钾 AK	有效铁 Fe	有效锰 Mn
有机质 OM	0.085*	0.147**	0.133**	1					
速效氮 AN	-0.107**	0.147**	0.086*	-0.061	1				
速效磷 AP	-0.123**	0.263**	0.109**	0.054	0.112**	1			
速效钾 AK	-0.306**	0.203**	0.160**	0.007	0.243**	0.258**	1		
有效铁 Fe	-0.083*	0.007	0.015	-0.043	-0.133*	-0.042	-0.051	1	
有效锰 Mn	0.034	-0.119**	0.088*	0.074	-0.102**	-0.095*	-0.104**	0.079*	1

注: * 表示 0.05 的显著水平, ** 表示 0.01 的显著水平。

Note: * means significance at the 0.05 probability level, ** means significance at the 0.01 probability level.

由表 3 知,富县耕地大部分土壤养分含量间存在显著或极显著的相关关系,而土壤有机质与其他养分含量间均未达到显著性水平;土壤速效氮、磷、钾间存在极显著的正相关性,其中土壤磷、钾关系最

为显著,表明三大速效养分间存在强烈的空间协同关系,反映了人为施肥的影响。就海拔而言,除有效锰外,其与土壤氮、磷、钾、铁含量呈显著或极显著负相关性,表明海拔的高低影响着各土壤养分的含量

及有效性;而其与土壤有机质含量呈显著正相关,说明在一定的范围内海拔的增高促进有机质含量的积累。就年降水量而言,除有效铁外,与其他土壤养分含量均具有极显著相关关系,其中与土壤速效氮、磷、钾含量呈极显著正相关,与有效锰含量呈极显著负相关,表明年降水量的增减在一定程度上影响着耕地土壤养分含量。与耕地质量指数的相关性分析知,土壤有机质、速效磷、速效钾对其具有极显著贡献,土壤速效氮和有效锰具有显著的贡献,说明土壤养分含量的适当增加能有效提升耕地地力水平。综合分析,施肥、海拔和年降水量影响着富县耕地土壤养分含量水平。

3.3 富县耕地土壤养分含量半方差分析

本研究采用普通 Kriging 插值法计算半方差变异函数来拟合最优理论模型。选取不同半方差模型对各土壤养分进行拟合比较,模型选择的标准:预测结果的标准平均值 MS 最接近于 0,标准方根预测误差 RMSS 最接近于 1^[14],最优参数见表 4。土壤有机质和有效铁的最优半方差模型为球状模型,土壤速效氮、磷、钾为指数模型,土壤有效锰为高斯模型。通过预测误差分析,各耕地土壤养分的半方差函数均拟合较好,说明各理论模型较好地反映其土壤养分的空间结构特征。

表 4 陕西省富县耕地土壤养分指标半方差模型及其参数

Table 4 Parameters fitted by semi variogram models of soil nutrients in the cultivated land of Fuxian

变量 Variable	最优模型 Best model	块金值 Nugget C ₀	基台值 Sill C ₀ + C	块金系数 C ₀ / (C ₀ + C)	方向 Angle	变程 Range(km)		预测误差 Prediction error	
						最大值 Max.	最小值 Min.	MS	RMSS
有机质 OM	S	0.682	0.987	0.691	333.60	10.99	9.61	0.00006	1.027
速效氮 AN	E	7.147	9.224	0.775	299.00	17.15	14.11	-0.0034	1.025
速效磷 AP	E	0.268	0.389	0.689	288.40	18.33	16.97	0.0019	0.917
速效钾 AK	E	0.086	0.125	0.680	247.80	17.3	15.68	-0.0098	1.016
有效铁 Fe	S	0.126	0.178	0.708	337.60	13.33	9.57	-0.0006	1.020
有效锰 Mn	G	4.770	7.812	0.611	279.00	25.05	23.13	-0.0006	1.009

注:S表示球状模型,E表示指数模型,G表示高斯模型。

Note: S stands for spherical model, E stands for exponential model, and G stands for Gaussian model.

按区域化变量空间相关性程度分级标准^[15],在平均间距为 1 214 m 的采样尺度下,富县耕地土壤有机质、速效钾、速效磷、有效铁和有效锰均表现为中等强度的空间相关性,块金系数介于 0.611 ~ 0.708,土壤有效铁 > 有机质 > 速效磷 > 速效钾 > 有效锰,说明其空间变异性均是结构性(自然)因素和随机(人为)因素共同作用的结果;土壤速效氮表现为弱的空间相关性,空间变异主要受随机因素的控制,对其空间变异的研究应需进一步加大采样密度。

3.4 富县耕地主体区域土壤养分含量的空间格局分析

本研究基于符合正态分布的各土壤养分含量数据,在建立半方差模型的基础上,选取各自最优半方差模型及参数,考虑各向异性,利用普通 Kriging 插值法对未采样点进行插值,将点状数据转换为面状数据,生成富县耕地主体区域各土壤养分含量的空间分布图(图 2),直观地表达各土壤养分的空间变异情况。

由图 2 可直观看出,各养分指标均呈现出明显的空间分布格局。土壤氮、钾、铁、锰含量空间分布

图斑较平滑,图形层次简单,而土壤有机质和速效磷的图斑较为破碎,图形层次较为丰富。除有效铁东北高外,土壤养分大致呈西高东北低的态势,尤以土壤速效氮、磷、钾分布最为显著。研究区西部主要为直罗镇、张村驿镇,与子午岭林区相接,耕地主要分布在葫芦河两侧的川地上,属轻度土壤侵蚀区,养分含量相对较高;中部为黄土台塬区,包括交道塬、中指塬和寺仙塬等,塬间沟壑纵横,沟蚀为主,水土流失严重,属中度土壤侵蚀区;东北部主要为牛武镇,地处土石山区,地形起伏大,土壤质地疏松,保肥能力差,养分含量较低。此外,研究区中西部耕地集约化程度高,人口集中,易受农民活动影响,农民注重肥料的施用和土地管理,养分含量总体相对偏高。

参照第二次全国土壤普查丰缺指标^[13](表 2),富县土壤有机质、有效铁和锰含量分别只处于 1 个含量等级,其中有机质含量处于“低”水平,整体不足,多集中在 8.5 ~ 9.0 g/kg,低值区主要位于洛河川地的富城镇和东北部的牛武镇土石山区,高值区主要分布在塬区北缘的茶坊镇、中部的钳二乡和南部的寺仙乡、吉子现乡等乡镇;土壤有效铁、锰含量

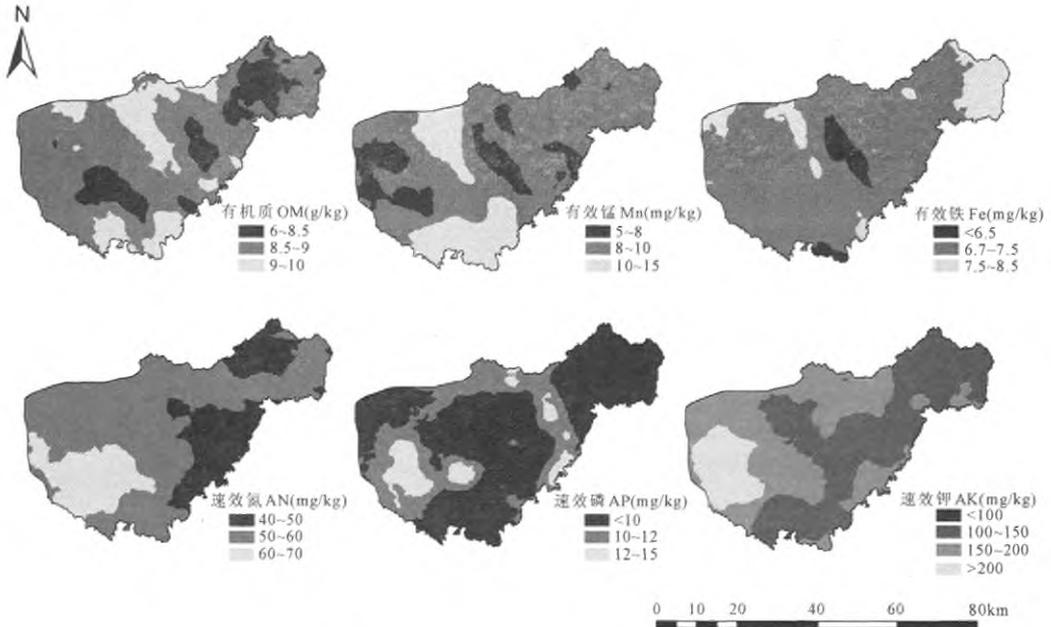


图2 陕西省富县耕地主体区域土壤养分含量的空间分布图

Fig.2 Distribution maps of soil nutrients content in main cultivated land area of Fuxian

均处“适中”水平,不存在亏缺风险,其中有效铁含量多集中在 $6.5 \sim 7.5 \text{ mg/kg}$,大致上呈中间低四周高格局,两个低值条带区存在于县中部的钳二乡和南部的南道德乡,高值区主要位于北道德乡和东北部的牛武镇;有效锰含量多集中在 $8 \sim 10 \text{ mg/kg}$,低值区多呈条带状分布在中部的钳二乡和东部的交道镇等乡镇,高值区有两大板块,只分布在县中部的北道德乡和南部的寺仙乡、南道德乡、吉子现乡。土壤速效氮和速效磷含量存在于两个量级,土壤速效氮含量高低区域分布显著,含量主要介于 $50 \sim 60 \text{ mg/kg}$,处“低”水平,主要分布在东部的富城镇、交道镇和牛武镇东北部等,经统计分析,低于 60 mg/kg 的耕地面积 $37\,032.39 \text{ hm}^2$,占全部耕地面积的 88% ,余下 12% 耕地处于“偏低”水平,仅位于研究区西部的直罗镇和张村驿镇,可见富县耕地土壤普遍存在“缺氮”现象;土壤速效磷整体呈团块状分布,含量大部分低于 10 mg/kg ,处“偏低”水平,主要分布在东北部牛武镇和中部的钳二乡、羊泉镇、北道德乡和南部的寺仙乡、南道德乡等乡镇,耕地面积 $22\,942.01 \text{ hm}^2$,占全部耕地面积的 71.16% ,余下均处“适宜”水平,其高值斑主要分布在研究区西部的直罗镇、张村驿镇,东部的交道镇等乡镇有零星分布,可见研究

区大部分土壤磷素不足。富县土壤速效钾含量存在于4个量级,含量多集中在 $100 \sim 200 \text{ mg/kg}$,其中 55.44% 耕地处于“适宜”, 38.16% 耕地处于“高”水平,完全能满足作物生长需求,整体空间分布规律性强,西部位于葫芦河西侧的 $2\,684.72 \text{ hm}^2$ 耕地含量处于“极高”水平,占总耕地面积的 6.38% ,而东北部的牛武镇刘家堰村仅 8.21 hm^2 耕地含量处于“偏低”水平,仅占 0.020% ,应适当增施钾肥。综合分析,富县耕地土壤总体富钾,土壤微量元素铁和锰含量适中,不存在亏缺风险,土壤有机质整体缺乏,土壤普遍缺氮,大部分缺磷,需积极增施有机肥和分区制定“增氮补磷”措施。

4 结论

本研究以陕西省富县为例,研究黄土高原南部耕地土壤养分空间变异特征及分布规律,主要结论如下:

1) 富县耕地6项土壤养分均属中等变异强度,其以速效磷的变异系数最大,为 63.11% 。各土壤养分含量差异较明显,施肥时应注意各地区养分含量的本底差异。20年间,富县农民注重施肥和田间管理,除土壤有机质、有效锰平均含量降低 19.08%

和 9.59% 外,余下 4 项土壤养分平均含量均有明显增加,其速效磷增幅 44.20%,有效铁增幅 29.38%,速效钾增幅 25.46%,速效氮增幅最小,为 12.18%。

2) 根据富县耕地土壤养分相关性因子分析知,耕地土壤养分间存在信息的重叠,有较强的相互作用。其中土壤速效氮、磷、钾间存在显著的空间协同关系。土壤大量元素均与高程、年降水量、耕地质量指数达到极显著或显著水平;土壤微量元素锰与年降水量、耕地质量指数呈显著或极显著的相关关系,有效铁相关性不强,仅与年降水量、土壤速效氮呈显著负相关性。综合分析知,施肥、海拔、降水等是影响富县耕地土壤养分含量的重要因子。

3) 按照区域化变量空间相关性程度分级标准,在本采样尺度下,富县耕地土壤有机质、速效钾、速效磷、有效铁和有效锰均表现为中等强度的空间相关性,其空间变异性是结构性(自然)因素和随机(人为)因素共同作用的结果,块金系数介于 0.611 ~ 0.708,以数值推算,由耕作管理、施肥等人为因素引起的变异性起主要作用,而由地形地貌、降水等自然因素引起的空间变异占相对次要的作用;土壤速效氮表现为弱的空间相关性,块金系数为 0.775,空间变异主要受随机因素影响,建议加大采样密度进一步研究其空间变异特征。

4) 富县耕地土壤养分插值分析知,耕地主体区域内各土壤养分含量高低区域差异明显,除有效铁东北部高外,大致呈西高东北低的分布趋势。整体上看,研究区内西部直罗镇和张村驿镇耕地养分含量相对较高,中部塬区的钳二乡、交道镇等和东北部土石山区的牛武镇含量相对低。依全国第二次土壤普查的分级标准分析,富县耕地土壤钾素丰富,除牛武镇刘家塬村 8.21 hm² 耕地需适当增施钾肥,其他区域可酌情少施或不施钾肥;土壤微量元素铁和锰含量适中,不存在亏缺风险;土壤有机质含量均低于 10 g/kg,整体缺乏,需及时增施有机肥;富县东部富城镇、交道镇和牛武镇东北部等乡镇,共计 88% 耕地土壤缺氮,余下 12% 耕地氮素相对不足,存在普遍缺氮现象;县东北部牛武镇和中部的钳二乡、羊泉镇、北道德乡和南部的寺仙乡、南道德乡等乡镇,共

计 71.16% 的耕地磷素不足,28.84% 耕地磷素水平适宜。综合分析富县耕地土壤养分空间格局特征,建议全县耕地范围内应及时增施有机肥,县中部塬区和东北部低海拔区处的养分低值区应积极考虑制定“增氮补磷”措施,针对不同作物制定丰缺指标,有针对性配方施肥,提高土壤养分综合水平,提升耕地地力水平,进而提高生态效益和经济效益,县东北部牛武镇等土石山区的高海拔耕地地区建议其积极退耕还林还草,维持生态平衡。

参考文献:

- [1] 郭旭东,傅伯杰,马克明,等.基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究[J].应用生态学报,2000,11(4):557-563.
- [2] 黄绍文,金维运.乡(镇)级区域土壤养分空间变异与分区管理技术研究.精准农业与土壤养分管理[M].北京:中国大地出版社,2001.
- [3] 王红娟.我国北方粮食主产区土壤养分分布特征研究[D].北京:中国农业科学院,2007.
- [4] 庞 夙,李廷轩,王永东,等.土壤速效氮、磷、钾含量空间变异特征及其影响因子[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):114-120.
- [5] 阴淑婷.黄土高原沟壑区耕地地力等级评价研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [6] 赵民涵,郭占富,杨应怀,等.延安土壤[M].西安:西安地图出版社,1988.
- [7] 农业部农民科技教育培训中心.测土配方施肥技术[M].北京:中国农业科学技术出版,2010.
- [8] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [9] 赵业婷,常庆瑞,陈学兄,等.县域耕地土壤速效磷空间格局研究——以武功县为例[J].西北农林科技大学(自然科学版),2011,39(3):157-162.
- [10] 王政权.地统计学及在生态学中的应用[M].北京:科学出版社,1999.
- [11] Chien Y J, Lee D Y, Guo H Y, et al. Geostatistics analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils[J]. Soil Sci, 1997, 162:291-298.
- [12] 崔潇潇,高原,吕贻忠.北京市大兴区土壤肥力的空间变异[J].农业工程学报,2010,26(9):327-333.
- [13] 全国土壤普查办公室.中国土壤普查技术[M].北京:农业出版社,1990.
- [14] 汤国安,杨 昕.ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M].北京:科学出版社,2006:363-421.
- [15] Kravchenko A N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods[J]. Soil Sci Soc Am J, 2003, 67:1564-1571.

Analysis of spatial pattern of soil nutrients in the cultivated land of southern Loess Plateau

—A case study in Fuxian of Shaanxi

ZOU Qing¹, ZHAO Ye-ting², CHANG Qing-ru², LI Zhi-peng²

(1. College of Information Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

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

Abstract: With Fuxian in Shaanxi as the research site, geostatistics combined with geographical information system (GIS) was applied to study the spatial variability and distribution pattern of soil nutrients in the cultivated land of southern Loess Plateau, so as to provide guidance for soil fertilization management and agricultural production. The result showed that there were significant correlations among most soil nutrients. During the past 20 years, the average content of soil organic matter (SOM) and soil available Mn respectively decreased by 19.08% and 5.95%, while all other soil nutrients content increased significantly. Under the average 1 214 m sampling scale, soil organic matter (SOM), available P (AP), available K (AK), Mn and Fe demonstrated moderate spatial dependence, while soil available N demonstrated weak spatial dependence. Soil nutrients content decreased from west to northeast generally, which was affected not only by complex topography and precipitation, but also by fertilization and artificial cultivation management. All in all, soil available K content is abundant, available Mn and Fe are moderate, soil organic matter is widespread shortage in the study area, where 71.16% of cultivated land lacks available P and 88% lacks available N. According to different crops and regions, some measures should be taken in time to increase the content of soil organic matter, available P and available N in Fuxian County.

Keywords: geostatistics; soil nutrients; spatial pattern; Fuxian

(上接第 106 页)

Research on red line of control over agricultural water use efficiency in Gansu Province

FAN Bing-wen, CHEN Wen

(Hydrology and Water Resources Bureau of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Based on the data of agricultural water consumption administrative regions in Gansu Province in 2009, 6 indicators reflecting the water use efficiency in agriculture of Gansu Province were selected to analyze the current situation of agricultural water use efficiency to provide the basis for determining the control line. The analysis results showed that: the agricultural water use efficiency was 0.97 by eliminating variation, the amount of irrigation water per mu was 562 m³, and the irrigation water use coefficient was 0.51. In general, the water use efficiency was low and there were large differences among regions. Using trend analysis method of mathematical statistics, the average amount of irrigation water per mu and red line control index of effective utilization coefficients were analyzed and predicted. At the same time, in consideration of the comprehensive factors, the red line of control over agricultural water use efficiency was put forward for administrative regions in the province. The results showed that the red line of control over the average irrigation water in the whole province was 492 m³ per mu in 2015, with a range of difference between 143 ~ 691 m³ among regions, and that of the five regions in Hexi was the highest; The in red line of control over effective utilization coefficients of irrigation water was 0.54, with a range of difference between 0.43 ~ 0.65 among regions; Agricultural water use efficiency will improve gradually.

Keywords: agricultural water; water use efficiency; red line of control; Gansu Province