

渭河平原县域农田土壤速效养分空间特征

李志鹏,赵业婷,常庆瑞

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 土壤速效养分对评价土壤肥力水平具有很好的表征作用,对其充分了解是土壤养分管理和合理施肥的基础。本研究以兴平市为例,综合运用传统统计学、地统计学和 GIS 技术,结合“3414”田间肥效方案,研究渭河平原农田土壤速效氮、磷和钾的空间特征及其变化规律,为区域平衡施肥、农田保养和农业生产提供科学指导和理论基础。结果表明,兴平市农田土壤速效氮、磷和钾平均含量分别为 38.38 mg·kg⁻¹, 27.13 mg·kg⁻¹, 202.07 mg·kg⁻¹, 速效氮磷比值平均为 1.99。在约 400 m 采样尺度下,3 项土壤养分均表现出弱的空间相关性,主要受施肥管理、种植模式等人为活动影响。整体上,土壤速效钾含量丰富;速效磷整体较丰富,7.43% 的农田缺乏;速效氮普遍不高,67.98% 农田缺乏;速效氮磷比值偏低,92.27% 农田比值小于 2。30 a 来,农田土壤速效氮普遍下降,降幅西高东低、北高南低;速效磷普遍增加,增速北高南低;速效钾北增南减,整体在增加;土壤氮磷比值分布格局逆转,变化上南增北减,整体在下降。盲目施肥和肥料利用率低是兴平市农业生产的主要障碍因素。今后的生产实践中应密切关注土壤氮素的有效补充,磷肥的控制及渭河阶地区土壤钾素的消耗,平衡土壤养分,以提升区域经济和生态效益。

关键词: 土壤;地统计学;速效养分;空间特征;兴平市

中图分类号: S158.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)02-0163-08

Spatial characteristics of soil available nutrients in farmland
at a county scale in Weihe Plain, China

LI Zhi-peng, ZHAO Ye-ting, CHANG Qing-rui

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

Abstract: Soil available nutrients serve as reliable indicators for evaluating soil fertility. The complete understanding of soil available nutrients is the foundation of soil nutrient management and reasonable fertilization. This study targeted at Xingping County and explored the spatial and temporal patterns of soil available N, P and K in Weihe Plain farmland, using GIS technology and data from “3414” experiments. Our objective is to provide scientific guidance and theoretical basis for the regional balanced fertilization, farmland maintenance and agricultural production. The results showed that the current average contents of soil available nitrogen (AN), available phosphorus (AP) and available potassium (AK) in Xingping farmland were 38.38 mg·kg⁻¹, 27.13 mg·kg⁻¹ and 202.07 mg·kg⁻¹, and the average ratio of AN to AP (N/P) was 1.99. These three nutrients belonged to weak spatial dependence under 400 m sampling scale, mainly affected by fertilization, cropping systems, topography, soil types. As a whole, soil AK was abundant, while 7.43% of AP and 67.98% of AN was lack. During the past 30 years, compared with the results in the 1980s, AN content decreased and its reduction rate increased from east to west and from south to north. AP content increased and its increasing rate increased from south to north. AK content generally increased while increased in the north and decreased in the south. At the same time, soil available N/P ratio in the whole had reverse trend. The blindness of fertilization and low fertilizer utilization rate are the major obstacles. It should be paid close attention to the effective supplement of N fertilizer, the control of P fertilizer and the consumption of soil available K in the southern Weihe terrace, so as to balance soil nutrients and improve the regional economic and ecological benefits.

收稿日期:2013-10-20
基金项目:国家 863 计划课题(2013AA102401);国家科技支撑计划课题(2012BAH29B04);陕西省耕地地力调查与质量评价项目
作者简介:李志鹏(1985—),男,山东海阳人,硕士研究生,主要从事土地资源与空间信息技术方面的研究。E-mail: zhipeng419@163.com。
通信作者:常庆瑞(1959—),男,陕西子洲人,教授,博士生导师,主要从事土地资源与空间信息技术方面的研究。E-mail: changqr@nwsuaf.edu.cn。

Keywords: soil; geostatistics; available nutrients; spatial variability; Xingping County

土壤是农业生态系统的基础,其肥力质量决定了作物的产量与品质^[1-2]。土壤速效养分是土壤所提供的植物生活所必需的易被作物吸收利用的营养元素,含量的高低是土壤养分供给的强度指标^[3],其中土壤速效氮(AN)、速效磷(AP)、速效钾(AK)养分不仅是作物生长发育所必需的三大基本元素直接来源,也是影响区域水体生态环境的重要属性^[4],其含量对评价土壤肥力水平具有很好的表征作用,对其充分了解是土壤养分管理和合理施肥的基础^[5]。作物在生长发育过程中,吸收土壤养分是按照一定比例的,开展土壤养分的比值研究可为深入平衡施肥提供有力借鉴,提升经济与生态效益。当前的区域土壤速效养分研究多基于大中采样尺度^[4-12],样本信息不充分,小尺度下的结构特征易被掩盖,影响插值精度;且较少研究土壤养分比值,对渭河平原区农田土壤速效养分时空变化特征的研究也鲜见报道。1980 s 第二次普查至今已 30 年,农民对土壤的改造规模与强度在不断增大、增强,为追求高产,施肥量急剧增加,势必使得土壤养分关系发生较大变化,易加剧受纳地表水体的富营养化趋势,产生环境压力,因此,准确了解农田土壤养分现状及其变化特征,对提高区域粮食生产能力及农业生态环境建设具有重要的现实意义。本文以渭河平原典型农业县—兴平市为研究区,采用传统统计学、地统计学与地理信息系统(GIS)技术相结合的方法,基于 2010—2011 年兴平市耕地地力调查与质量评价项目,进行高密度采样,同时结合测土配方施肥项目中的“3414”田间试验成果和第二次土壤普查的珍贵历史数据,对兴平市农田土壤速效养分的空间变异性、丰缺格局及其变化特征进行定量研究与分析,旨在服务精准农业,为土壤养分管理提供必要依据,为保护土壤环境、平衡施肥和提高农业生产提供理论基础。

1 研究区概况

兴平市隶属陕西省咸阳市辖的县级市,位于渭河平原腹地,北依莽山,南傍渭水,东接咸阳市距西安市 50 km,西经法门寺至宝鸡市 162 km,是以大中城市为依托的“卫星城”。地理位置在 108°17′49″~108°37′07″E, 34°12′50″~34°26′53″N,市域面积 507 km²,农田代表性达 80.28%,素有“关中白菜心”和“平原米粮仓”的美称,是国家确定的商品粮基地市之一。现辖 9 镇 5 个街道办事处,223 个行政村,45 个居委会,58 万人口。属暖温带半湿润半干旱大陆

性季风气候,雨热同季,四季分明,年均气温 13.10℃,年均日照数 2 065.20 h,年均无霜期 218 d,年均降水量为 584.70 mm。地势西北高东南低,自北向南呈阶梯状倾向渭河,地貌分为两个类型区,即北部黄土台塬区,海拔 460~542 m;南部渭河阶地区,海拔 390~460 m,覆盖物全是第四纪冲积、风积物。全市土壤基本上只有熟化过程而无土壤侵蚀过程,从北向南依次分布着塬土—黄土—塬土—潮土—淤土 4 个土类,其中塬土占 78.48%,是主要的农业土壤。自然植被主要为大田农作物(小麦和玉米)、蔬菜、果园和城市绿化等栽培植物类型。以地形、水利化程度和人均耕地为主导因子,土壤类型、作物布局和产量水平等为辅助因子,划分为北部台塬粮木林区(I)、中部川道农工商综合经济区(II)和南部沿渭水产多经区(III)三个综合农业区(图 1)。

2 材料与方法

2.1 土壤样品采集与测定

遵照《中国耕地地力调查与质量评价技术规程》(NY/T 1634—2008),在 2010—2011 年秋,当季作物收获后、下季作物播种前,根据兴平市地形地貌、土壤性质和管理水平等因素特点,以全面性、均衡性、客观性和可比性为原则,确定采样单元。每一土样选取有代表性的田块,在其 0~20 cm 土层上均匀随机采取 8 个点,用 GPS 定位仪确定样点空间位置,同时详细记载采样点的土地利用类型、种植制度、土壤类型等基础信息,将各采样点土壤混匀后用四分法留取 1 kg 土样装袋以备分析。在全市农田范围内共采集 1 216 个土样,遍及 14 镇、200 多个村庄、26 个土种类型,样点间距约为 400 m(图 2)。土壤样品测定项目包括土壤有机质,速效氮、磷、钾等,均采用常规测定方法^[13]。

2.2 半方差函数及其模型选取标准

半方差函数是地统计学的核心工具之一,是进行克里格空间插值的基础,用于分析区域化变量的变异特征及结构性状^[14-15]。本研究基于 ArcGIS 9.3 软件的“Geostatistical Analyst”模块支持,应用目前较为成熟的球状、指数和高斯 3 种模型,以标准化平均误差(MSE)最接近于 0,均方根误差(RMSE)最小且最接近于平均标准误差(ASE),标准化均方根误差(RMSSE)最接近于 1 为原则^[15],对试验半方差函数进行拟合,获取最优的半方差函数理论模型及其具体参数。单一目标变量的半方差函数式如下:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

式中, $r(h)$ 是半方差函数, h 为两样本间的分离距

离, $z(x_i)$ 和 $z(x_i + h)$ 分别是随机变量在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 上的取值, $N(h)$ 为在分离距离为 h 时的样本对总数。

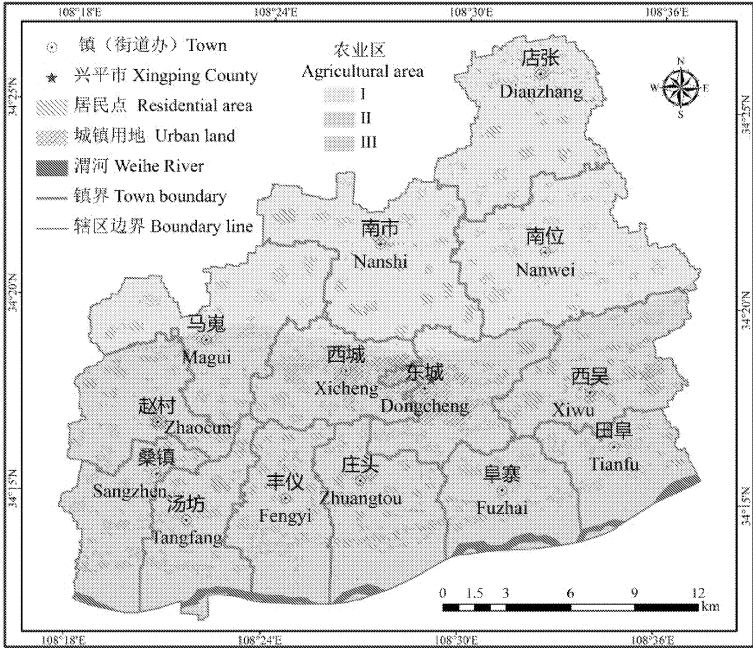


图 1 兴平市行政区划和农业区划图
Fig.1 Administrative map and agricultural area of Xingping County

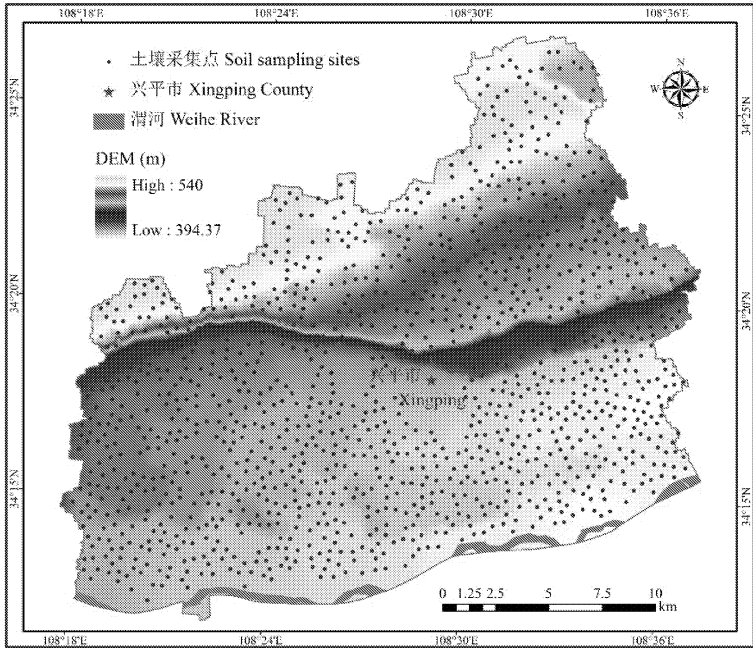


图 2 兴平市农田土壤采样点和 DEM 分布图
Fig.2 Distribution of soil sampling sites and DEM in Xingping County

2.3 土壤速效养分丰缺指标

土壤养分丰缺指标是根据农作物对肥料的生物反应来确定,是合理施肥的依据,作物高产、优质的基础。本研究在兴平市耕地地力调查与质量评价与

测土配方施肥项目研究基础上,利用项目调查与分析成果,针对主导粮食作物小麦和玉米,采用“3414”最优回归设计方案,在兴平市农田范围内共布置 50 个试验点,以试验点土壤速效养分测定值为横坐标,

以其相应缺素区的相对产量为纵坐标,绘制相对产量与土壤测定值之间的对数回归方程,经相关性检验达到显著水平,再以相对产量 55%、75%、85% 和 95% 为临界值标准,代入回归方程中获得作物耕层土壤速效养分的丰缺指标^[16-17],如表 1 所示。

表 1 兴平农田土壤速效养分丰缺指标
Table 1 Abundant indexes of soil available nutrients in farmland of Xingping County

丰缺指标 Index	极丰富 Highly rich	丰富 Rich	中等 Moderate	缺乏 Lack	极缺 Highly low
速效氮 AN/(mg·kg ⁻¹)	> 80	60 ~ 80	40 ~ 60	20 ~ 40	≤20
速效磷 AP/(mg·kg ⁻¹)	> 40	30 ~ 40	20 ~ 30	10 ~ 20	≤10
速效钾 AK/(mg·kg ⁻¹)	> 200	150 ~ 200	100 ~ 150	50 ~ 100	≤50

3 结果与分析

3.1 土壤速效养分统计特征

3.1.1 土壤速效养分基本统计特征 兴平市农田土壤速效氮、速效磷和速效钾平均含量依次为38.38 mg·kg⁻¹,27.13 mg·kg⁻¹和 202.07 mg·kg⁻¹,分别处于陕西省土壤养分分级标准^[18]的第 6、3、1 级,整体上土壤速效氮含量偏低,速效磷较丰富,速效钾含量极丰富;土壤速效氮磷比值平均 1.99,相对偏低;变异系数上看,3 项土壤速效养分和土壤氮磷比值均属中等变异强度,其中土壤氮磷比值变异强度显著

高于养分,速效养分中以速效磷的变异强度最大,极差比近 14 倍,速效钾次之,速效氮变异系数最小(表 2)。表 3 可知,3 项土壤速效养分含量在农业区划间存在显著性差异($P < 0.05$),以速效钾差异最为显著,三者均在农业区划 III 中含量最低;土壤速效磷、钾含量随农业分区自北向南降低,表现为:I > 县域平均水平 > II > III,速效氮表现为:II > 县域平均水平 > I > III;不同农业区划中土壤速效氮磷比值不存在显著性差异($P > 0.05$),比值随农业区划自北向南增加,表现为:I < 县域平均水平 < II < III。

表 2 兴平市农田土壤速效养分统计特征/(mg·kg⁻¹)
Table 2 Statistical characteristics of soil available nutrients in farmland of Xingping County

指标 Index	2010							1980		
	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 Std.	变异系数 C. V.	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	平均值 Mean	标准差 Std.	变异系数 C. V.
速效氮 AN	7.70	82.20	38.38	15.52	40.44	0.005 *	2.87 *	52.90	17.00	32.07
速效磷 AP	5.30	65.10	27.13	15.40	56.76	-0.10 *	2.00 *	13.10	8.80	67.17
速效钾 AK	56.00	420.00	202.07	95.04	47.03	-0.11 *	2.78 *	170.00	51.00	30.35
氮磷比值 N/P	0.14	10.47	1.99	1.49	74.87	—	—	2.67	—	—

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 3 兴平市各农业区划农田土壤速效养分统计特征
Table 3 Statistical characteristics of soil available nutrients in different agricultural zones of Xingping County

农业区 Agricultural zone	速效氮 AN/(mg·kg ⁻¹)		速效磷 AP/(mg·kg ⁻¹)		速效钾 AK/(mg·kg ⁻¹)		速效 N/P	
	2010	1980	2010	1980	2010	1980	2010	1980
I	38.03 ± 0.66a	49.10	28.67 ± 0.82a	9.26	230.09 ± 3.21a	155.47	1.92 ± 0.07a	3.05
II	39.05 ± 0.61a	61.20	26.57 ± 0.53b	14.84	191.97 ± 4.95b	192.28	2.00 ± 0.05a	2.01
III	32.70 ± 1.87b	56.00	23.52 ± 1.17b	16.50	131.40 ± 6.35c	168.70	2.24 ± 0.10a	1.51

注:同列中不同字母代表 0.05 水平的显著差异性。

此外,经单一样本 K-S 检验发现,原始数据集中土壤养分数据均不符合正态分布,研究发现当速效磷、速效钾经自然对数变换,土壤速效氮经 Box-Cox 变换($P = 0.35$)后基本符合正态分布,满足空间

统计学克里格方法进行土壤特性空间分析的前提。
3.1.2 近 30 a 农田土壤速效养分变化特征 由图 3、表 2 和表 3 分析,与 1980 s 兴平市第二次土壤普查数据相比,农田土壤速效氮而言,全市平均含量下

降了 27.45%;镇级单位中除庄头镇增加了 6.24%,余下镇均在降低,降幅介于 13.40%~58.24%,市西部的赵村、汤坊、桑镇和马嵬降幅较大,减幅超过 35%,其中以赵村镇降幅最大,市东部的南位、西吴和田阜降幅相对低,在 20% 以下,以田阜最低;三大农业区划含量分异增大,依次下降了 22.54%,36.19%和 41.61%。土壤速效磷普遍增加,全市平均含量增加了 107.10%;各镇增幅介于 21.20%~628%,市北部台塬的店张、南市、南位、赵村和西吴 5 镇增幅高于 200%,以南市镇最高,市南部的庄头镇增幅最小;三大农业区划分别增加了 209.61%,79.04%和 42.54%。土壤速效钾平均含量全市整体增加了 18.86%;镇级单位中位于市南部渭河一二级阶地的阜寨、东城、田阜、汤坊和丰仪 5 镇在降低,分别下降了 31.06%、21.54%、12.54%、10.84%和

1.33%,余下镇呈增加趋势,增幅介于 1.0%~87.27%,以东北部的店张增幅最大;三大农业区划含量分异增大,仅 I 区增加 48%,II 区和 III 区分别下降了 0.16%和 22.11%。土壤氮磷比值方面,30 a 的耕作管理,土壤磷素得到有效补充,而土壤氮素存在不同程度的下降,从而使得全市平均比值由 2.67 降至 1.99;镇级单位中除市南部的东城、阜寨、庄头和丰仪 4 镇增加,余下镇比值均在降低,以赵村镇下降最大,比值由 4.77 降至 1.68;三大农业区划比值分布趋势逆向,由北向南依次变化了 -37.05%,-0.50%和 48.34%。变异系数上看,兴平市农田土壤速效氮和速效钾分别提高了 8.37%和 16.68%,而土壤速效磷下降了 10.41%,表明整体上土壤氮、钾变异强度增加,土壤速效磷相对减弱,向区域均匀性方向发展。

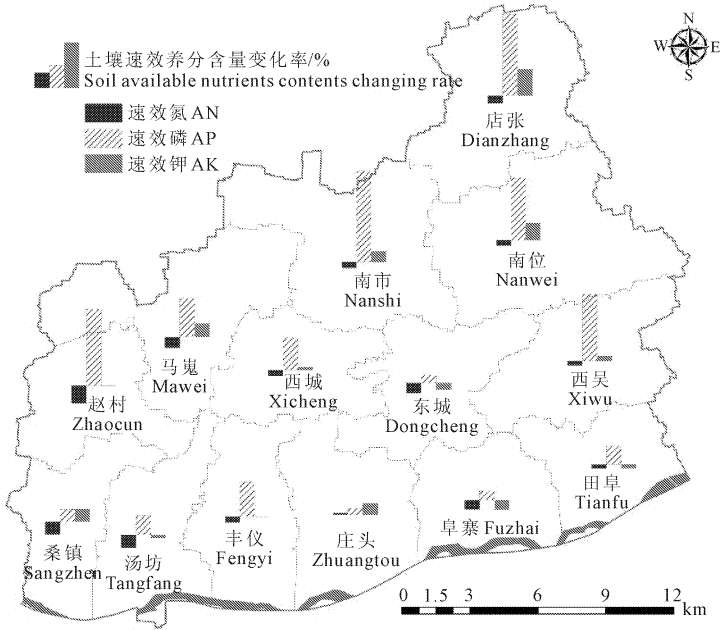


图 3 近 30 a 兴平市各镇农田土壤速效养分变化

Fig.3 Changing rate of soil available nutrients among 14 towns in Xingping County for nearly 30 years

总体上,30 a 的培肥管理,3 项速效养分含量分布格局改变,变化速率上原低值区增速快或减速慢,而原高值区增速相对慢而降速却较快,表明二普以来,农户注重低肥区的改善,相对忽视高肥区的保养。兴平市土壤速效氮在降低,降速由东向西、由北向南增大;土壤速效磷在增加,增速整体由南向北增大;速效钾整体在增加,呈北增南减趋势;速效氮在降低,降幅由东向西增大;土壤速效氮磷比值空间分布趋势逆转,变化上南增北减,整体在降低。

3.2 土壤速效养分空间变异特征

3.2.1 半方差结构特征 土壤速效养分半方差函数具体参数见表 4。本采样尺度下,兴平市土壤速效养分的最优半方差模型均为指数模型,各向异性特征较明显(各向异性比介于 1.21~3.04),以速效氮异性特征最为显著;块金系数[$C_0/(C_0 + C)$]均大于 0.75,依次为:速效氮 > 速效磷 > 速效钾,即均表现为弱的空间相关性,表明三者的变异性主要受随机因素作用^[14]。

表 4 兴平市农田土壤速效养分半方差模型及其参数

Table 4 Parameters fitted by semivariogram models for soil available nutrients in farmland of Xingping County

指标 Index	模型 Model	块金值 C_0	基台值 $C_0 + C$	块金系数 $C_0/(C_0 + C)$	变程 Range/km		预测误差 Prediction errors/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)			
					最大 Max.	最小 Min.	RMSE	ASE	MSE	RMSSE
速效氮 AN	E	1.989	0.138	0.935	19.84	6.53	15.35	14.97	-0.0032	1.035
速效磷 AP	E	0.295	0.358	0.824	14.11	9.12	15.31	17.57	-0.0159	0.8983
速效钾 AK	E	0.187	0.246	0.760	12.45	10.27	87.45	101.90	0.0006	0.9049

3.2.2 影响因素分析 30 a 来,随着农业生产水平的提高,耕作方式的变化,农业机械化程度的提高,秸秆还田面积不断增大,经济作物面积不断增加,多采用轮、间、套种方式,增强了农户用地养地的意识,兴平市耕地面积减少了 17.33 km²,农作物化肥用量(折纯)达到了 23.20 kg·667m⁻²,是 1980 s 年代的 3 倍,这些都促使土壤有机质及大量元素含量的提高,与此同时,因复种指数的提高,产量的提高,肥料投入失衡等,一些地块土壤养分出现入不敷出现象。为充分了解与掌握现今影响土壤速效养分含量的因子,有效指导农业生产,本研究结合兴平市地域特色,提取了种植模式,地貌类型和土壤类型 3 个因子进行方差分析,结果如表 4 所示。统计结果表明,土

壤速效养分在各因子中均存在显著性差异($P < 0.05$),均以种植制度间的差异程度最大;地貌类型中均以渭河一级阶地含量最低,且基本随地貌类型由南向北增加;土壤类型中以淤土、潮土含量低,塋土和黄土含量相对较高;同时,不同养分在各因素内的差异程度及变化规律也在明显不同,分析认为这与农户的施肥侧重方向与力度有关。此外,土壤有机质与速效养分含量间均达到极显著性相关关系($R_{\text{速效氮}} = 0.124^{**}$, $R_{\text{速效磷}} = 0.151^{**}$, $R_{\text{速效钾}} = 0.264^{**}$, $P < 0.01$),有机质仍然是兴平市速效养分的重要来源之一。土壤速效养分主要受种植模式、施肥,耕作管理,地貌类型及土壤类型等因素影响。

表 5 不同因素下兴平市农田土壤速效氮、磷、钾含量的统计特征

Table 5 Soil available N, P and K contents in farmland of Xingping County as affected by different factors

因素 Factors	指标 Index	速效氮 AN		速效磷 AP		速效钾 AK	
		平均值	<i>F</i> 值	平均值	<i>F</i> 值	平均值	<i>F</i> 值
		Mean/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Value	Mean/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Value	Mean/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Value
种植 制度	小麦-玉米	39.30±0.51a	8.24 [*]	26.33±0.46b	6.53 [*]	183.47±2.71b	87.09 [*]
	大蒜-玉米	29.70±4.45b		35.03±2.84a		269.90±16.32a	
	果园	35.23±0.79b		28.98±1.33a		285.21±6.42a	
	菜地	25.92±3.40b		34.45±5.90ab		86.20±15.91c	
地貌 类型	渭河一级阶地	36.22±1.16a	2.38 [*]	24.68±1.02a	3.41 [*]	163.17±6.75a	26.55 [*]
	渭河二级阶地	39.12±0.70b		26.68±0.62ab		193.68±3.59b	
	渭河三级阶地	41.33±2.32b		29.56±2.14bc		203.38±12.94b	
	黄土台塬	38.00±0.45ab		28.55±0.82c		231.17±4.95c	
土壤 类型	塋土	38.46±0.49a	3.47 [*]	27.71±0.50a	4.78 [*]	210.14±2.99a	20.64 [*]
	淤土	28.95±2.33b		25.45±2.96ab		147.21±18.96b	
	潮土	38.21±1.57a		22.21±1.20b		144.86±7.21b	
	黄土	40.38±1.60a		27.87±1.54a		205.52±10.75a	

注:同一因素中,不同的小写字母表示差异达 5%显著水平; * 表示 0.05 的显著水平。

3.3 土壤速效养分含量的空间丰缺格局

基于符合正态分布的各土壤养分数据,选用各自最优半方差函数理论模型及参数,运用普通克里格插值方法,绘制县域土壤速效养分空间分布图(20 m×20 m),如图 4(a)~4(c)所示,各养分指标具体空间分布特征如下:

兴平市耕层土壤速效氮空间呈中间高四周低格

局,整体含量不高,其中 67.98%的农田处于“缺乏”水平(20~40 mg·kg⁻¹),全市以 30~40 mg·kg⁻¹含量为本底,遍布各镇,20~30 mg·kg⁻¹的地块集中在西部的赵村镇西部的北纸坊村、徐王村等;余下 32.02%农田处于“中等”水平(40~60 mg·kg⁻¹),其中 40~50 mg·kg⁻¹地块呈条带状分布,主要分布在南市-西城-庄头-东城围拱的区域,其次在店张、

南位、西吴和田阜 4 镇的东部,再者赵村和桑镇有少许分布;高于 $50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的地块仅分布于西城街

道的药市村。

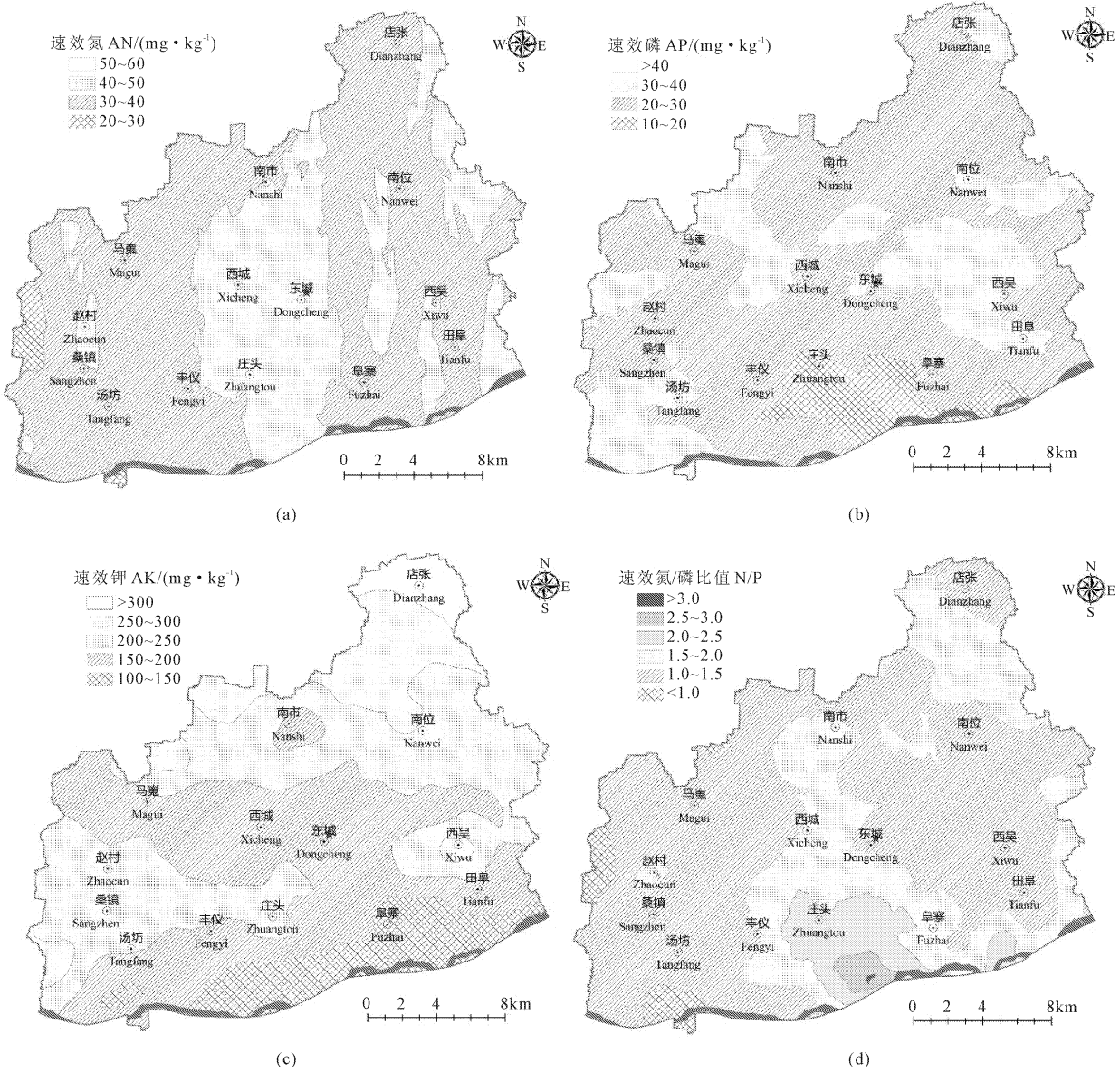


图 4 兴平市土壤速效养分含量及速效氮磷比值空间分布

Fig.4 Distribution of soil available nutrients contents and soil available N/P in Xingping County

兴平市耕层土壤速效磷以 $20\sim30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 即“中等”水平为本底,共计 63.94% 农田,其他等级呈片状镶嵌其上,其中“缺乏”区 ($10\sim20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 集中分布在渭河沿岸的庄头 - 阜寨南部,共计 7.43% 农田;“丰富”区 ($30\sim40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 主要呈五大片状,最大片状位于南位 - 西吴 - 田阜 - 东城围拱区域,其次在西南的桑镇和汤坊的南部,再者存在于马嵬北部,西城街道的西部及店张街道的东北部等地,农田面积比重共计 28.60%;“极丰富”水平 ($>40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 的农田只有 0.03%,仅分布于西北部的店张街道的东北村。

兴平市耕层土壤速效钾含量高低分异明显,空间上自南向北递增趋势显著,10.16% 农田处于“中等”水平 ($100\sim150\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),集中分布在市南部渭河沿岸的田阜、阜寨、庄头和丰仪南部;34.96% 农田处于“丰富”水平 ($150\sim200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),集中在市中部的马嵬 - 西城 - 东城一带;54.88% 农田处于“极丰富”水平 ($>200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),集中在市北部的南市、南位、店张 3 镇,此外少许分布于市东南部的赵村镇南部,汤坊、桑镇、丰仪和庄头 4 镇的北部及西吴镇的南部。

3.4 土壤速效氮磷比值分布

通过对养分插值图进行栅格运算(速效氮/速效

磷),绘制兴平市土壤速效氮磷比值图,如图 4(d)所示。兴平市农田土壤速效氮磷比值基本分布于 1~3:1,整体呈中南部高,东、西部低格局。已有试验研究表明,磷肥肥效与土壤速效氮磷含量及其比值具有密切关系,氮磷配合施用是提高磷肥肥效的有效措施^[18],其中速效氮磷比值 < 1 者,施磷肥基本无效,兴平市此类农田共计 2.72%,分布于汤坊镇的建坊村和龙兴村南部,东部的赵村镇的小田村—丰乐村以东的区域和马嵬镇的新堡子村北部;氮磷比值介于 1~3 之间者,施磷效果不稳定,兴平市此类农田共分布了 97.23%,各镇均有分布,以东部和西部分布较集中,其中 89.55%农田土壤氮磷比值介于 1~2,仅 7.68%农田分布于庄头镇南部土壤氮磷比值介于 2~3;氮磷比值 > 3 者,施磷肥能得到较稳定的增产效果,共计 0.05%农田集中分布于庄头镇的蔡东村。兴平市作物适宜的土壤速效氮磷比值为 2.0~2.5,仅集中在庄头镇南部,目前土壤氮磷比值整体偏低,需结合养分丰缺格局平衡施肥。

4 结论与讨论

本文以渭河平原典型农业县—兴平市为例,研究渭河平原农田耕层土壤速效养分空间特征,主要结论如下:(1)当前兴平市农田土壤速效氮整体含量不高(平均 $38.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),67.98%农田氮素缺乏;速效磷较丰富(平均 $27.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),7.43%农田缺乏;速效钾丰富(平均 $202.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$);土壤速效氮磷比值偏低(平均 1.99),基本处于 1~3。(2)在约 400 m 采样尺度下,土壤速效氮、磷和钾均表现出弱的空间相关性,空间变异受施肥管理、种植模式、地貌及土壤性质等因素影响。(3)与 1980s 相比,速效氮含量下降了 28.87%,减幅西高东低、北高南低;速效磷增加了 106.63%,增速北高南低;速效钾整体增加了 21.73%,呈北增南减趋势;土壤氮磷比值分布格局逆转,变化上南增北减,整体在下降。(4)今后的农业实践中,应密切关注土壤钾的消耗、氮的有效补充和磷肥的控制。

兴平市农田目前投入的氮、磷肥理论上完全能满足作物正常生长需要。但因施肥方式不恰当如氮肥表施、磷肥撒施等,且对追肥时期把握不准确,化肥投入比例失调,特别是受过量施用氮、磷肥拮抗作用影响,造成肥料利用率下降,尤其是氮肥利用率仅为 30%,同时也在一定程度上加重了农作物缺乏微量元素的症状;普遍存在盲目施肥现象,农户注重原低养分肥力区的改善,忽视了原高值区的保养,造成

土壤氮素含量普遍下降,土壤养分含量失衡。因此,兴平市应按土壤养分丰缺格局及作物生长需求进行科学施肥,大力推广测土配方施肥,改进施肥方法,重点推广氮肥深施技术,磷肥集中施肥技术,增大微肥投入,施肥上应遵循“稳氮、节磷、补微”,提高肥料利用率,平衡土壤养分,提升区域经济和生态效益。

参考文献:

- [1] 曹志洪,周健民.中国土壤质量[M].北京:科学出版社,2008.
- [2] 张贝尔,黄 标,赵永存,等.华北平原典型区土壤肥力低下区识别及限制因子分析[J].土壤学报,2012,49(5):841-849.
- [3] 杨奇勇,杨劲松,刘广明.土壤速效养分空间变异的尺度效应[J].应用生态学报,2011,22(2):431-436.
- [4] 赵 军,孟 凯,隋跃宇,等.海伦黑土有机碳和速效养分空间异质性分析[J].土壤通报,2005,(4):24-29.
- [5] 赵业婷,常庆瑞,李志鹏,等.黄土高原沟壑区耕地土壤速效养分空间特征及丰缺状况研究—以陕西省富县为例[J].土壤通报,2012,43(6):1438-1443.
- [6] 庞 凤,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.
- [7] 陈 涛,常庆瑞,刘 京,等.黄土高原南麓县域耕地土壤速效养分时空变异[J].生态学报,2013,(2):243-253.
- [8] 赵彦锋,史学正,于东升,等.小尺度土壤养分的空间变异及其影响因素探讨—以江苏省无锡市典型城乡交错区为例[J].土壤通报,2006,37(2):214-219.
- [9] Zhang Xingyi, Sui Yueyu, Zhang Xudong, et al. Spatial Variability of Nutrient Properties in Black Soil of Northeast China[J]. Pedosphere, 2007,17(1):19-29.
- [10] Darilek J L, Huang Biao, Wang Zhigang, et al. Changes in soil fertility parameters and the environmental effects in a rapidly developing region in China [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2009,129(1/2/3):286-292.
- [11] 王宗明,张 柏,宋开山,等.东北平原典型农业县农田土壤养分空间分布影响因素分析[J].水土保持学报,2007,21(2):73-77.
- [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] 中国科学院南京土壤研究所.土壤物理化学分析[M].上海:上海科学技术出版社,1983.
- [14] 刘爱利,王培法,丁园圆.地统计学概论[M].北京:科学出版社,2011.
- [15] 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.
- [16] 付莹莹,同延安,赵佐平,等.陕西关中灌区夏玉米土壤养分丰缺及推荐施肥指标体系的建立[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):88-93.
- [17] 赵业婷,李志鹏,常庆瑞.关中盆地县域农田土壤碱解氮空间分异及变化研究[J].自然资源学报,2013,28(6):1030-1038.
- [18] 陕西省土壤普查办公室.陕西土壤[M].北京:科学出版社,1992.