

# 黄土高原县域苹果园土壤养分空间变异特征研究

郭 宏<sup>1</sup>, 刘天鹏<sup>2</sup>, 杜毅飞<sup>1</sup>, 王志康<sup>1</sup>, 方凯凯<sup>1</sup>, 李会科<sup>1,3</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省黄陵县果业局, 陕西 黄陵 727300; 3. 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**在渭北黄土高原苹果主产区陕西省黄陵县采集 304 个苹果园 0—40 cm 土层的土壤样品进行养分测定,并应用地统计学及 GIS 空间分析技术对其空间变异特征进行了研究和探讨,以期为该地区合理施肥提供科学指导。结果表明:该地区果园土壤硝态氮和速效磷变异系数最大,pH 值最小。变异系数的大小顺序依次为硝态氮>速效磷>全磷>铵态氮>速效钾>全钾>全氮>CEC>有机质>pH 值。土壤全磷和有机质的最佳拟合模型是高斯模型,而全氮、铵态氮和速效钾的最好拟合效果是球状模型,全钾用线性模型拟合效果最好,有效磷、pH 值、硝态氮和 CEC 以指数模型来分析效果最佳。土壤 pH 值、铵态氮、有效磷、速效钾和 CEC 的空间相关性很强,其  $C_0/(C_0+C)$  分别为 0.17%, 7.47%, 11.81%, 2.95% 和 24.24%,有机质、全氮、全磷和硝态氮  $C_0/(C_0+C)$  为 40.72%, 28.16%, 46.44%, 49.98%,空间相关性中等,土壤全钾的  $C_0/(C_0+C)$  为 100%,空间相关性非常弱。研究区苹果园土壤有机质和氮含量偏低,磷、钾较丰富,在今后的施肥过程中需要增施有机肥,适量施用氮磷钾肥。

**关键词:**土壤养分; 半方差分析; 空间变异性; 空间分布

中图分类号:S158.9

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)03-0021-07

## Spatial Variability of Soil Nutrients in the Apple Orchards on the Scale of County in the Loess Plateau

GUO Hong<sup>1</sup>, LIU Tianpeng<sup>2</sup>, DU Yifei<sup>1</sup>, WANG Zhikang<sup>1</sup>, FANG Kaikai<sup>1</sup>, LI Huike<sup>1,3</sup>

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling,

Shaanxi 712100, China; 2. Fruit Industry Bureau, Huangling, Shaanxi 727300, China; 3. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Spatial variability of soil nutrients was studied based on geostatistics and spatial analysis of GIS by collecting 304 soil samples (0—40 cm) from apple orchards in Huangling County which is one of the main apple producing county in the Weibei area of the Loess Plateau, Shaanxi Province, and determination of the soil nutrients in order to provide scientific guidance for the reasonable fertilization. The results showed that the variation coefficients of the soil nitrate and available P were the largest, and the smallest for pH. The order of the variation coefficient of soil nutrients was nitrate N>available P>total P>ammonium N>available K>total K>total N>CEC>organic matter>pH. The fitting semi-variance model for total P and organic matter was Gaussian, and the best matching effect of soil total N, ammonium N and available K was the spherical model, soil total K got the best effect using the linear model, but the soil available P, pH, nitrate N and CEC were well described by exponential model. The results of semi-variance analysis showed that the nugget/sill ratios of soil pH, ammonium N, available P, available K and CEC were 0.17%, 7.47%, 11.81%, 2.95% and 24.24%, respectively, and their spatial correlations were very strong. The nugget/sill ratios of soil organic matter, total N, total P and nitrate N were 40.72%, 28.16%, 46.44% and 49.98%, respectively, their spatial correlations were medium. The nugget/sill ratio of soil total K was 100%, their spatial correlation was very weak. In the study area, we found that the contents of soil organic matter and N were low, but the soil P and K were high. It is needed to increase the amount of organic fertilizer, and keep

收稿日期:2015-03-04

修回日期:2015-03-16

资助项目:陕西省黄陵县果业局横向经费(A304021308);公益性行业(农业)科研专项(201103005-9);国家现代农业产业技术体系(CARS-28);“十二五”科技支撑计划(2014BAD16B02);陕西省科技统筹创新工程计划(2011KTZB02-02-05);西北农林科技大学推广专项(Z222021211);陕西省农业专项资助(K332021313)

第一作者:郭宏(1989—),女,山西省吕梁市人,硕士研究生,研究方向:生态环境工程。E-mail:lehuo1025@163.com

通信作者:李会科(1965—),男,陕西省武功镇人,副教授,硕士生导师,研究方向:苹果园生草、肥水管理等。E-mail:lihuike@nwsuaf.edu.cn

the rational rates of the N, P, K fertilizes in the future.

**Keywords:** soil nutrients; semi-variance analysis; spatial variability; spatial distribution

土壤养分对果树生长起着至关重要的作用,但土壤养分具有高度的空间异质性,充分了解其空间分布格局便于实现农业的分区管理,对于提高果实产量和品质、降低成本增加产出及对土地可持续利用等都具有重要的指导意义<sup>[1-2]</sup>。目前,基于 GIS 和地统计方法研究土壤养分空间变异在葡萄园、香蕉园、柑橘园等园区内都有研究<sup>[3-6]</sup>,且都为其土壤肥力管理或测土配方施肥样点数的采集等提供了科学的理论依据。如李明锐等<sup>[3]</sup>对葡萄园的土壤养分空间变异性进行了研究,以天津市的茶淀镇孟鄆村为研究区,采集了 30 个土样,测定了氮磷钾和一些微量元素,结合地统计学和 GIS 得到了各土壤养分空间分布规律,探讨了土壤养分分区管理的可行性,解决了传统的测土配方施肥的相对盲目性缺陷。

苹果是北方地区的主要经济作物,了解苹果园区内土壤养分状况和其空间变异性对于实现果园分区施肥管理有着科学的理论指导意义,目前关于苹果的研究大多集中于对果园土壤现状的调查和测定分析,生草、覆膜、测土配方施肥对果园养分影响方面<sup>[7-9]</sup>,但是对苹果园土壤养分空间分布特征的相关研究报告较少。

黄陵县以苹果为主要经济作物,是渭北黄土高原主产区之一,也是世界上苹果最佳优生区之一<sup>[10]</sup>。本文以黄陵县苹果园作为研究区,应用地统计学方法结合 GIS 分析其园区内土壤养分的空间变异特征,以该县果园较密集的各乡镇为单位,通过研究其土壤养分的变异性 and 空间分布规律,对于指导当地果业部门分区管理和合理施肥提供理论依据,这对最大化的减少苹果生产成本及实现果业可持续发展有着很重要的意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

黄陵县位于陕西省中部,延安市南端,108°30'46"—109°27'13"E,35°20'27"—35°49'21"N,其苹果园面积达到了 86.75 km<sup>2</sup>。该县多年平均降水 568.8 mm,无霜期 170 d,平均海拔 1 200 m,属中温带大陆性季风气候,四季分明,多年平均气温 9.6℃,气候温和,适宜于苹果生长。黄陵县大部分果园分布在山顶和半山坡,土壤类型以黄绵土、黄壤土为主。调查发现该地区果农施肥全凭个人经验,并无科学指导。

### 1.2 研究方法

黄陵县苹果园主要集中分布于隆坊、仓村、桥山、

阿党和田庄这 5 个乡镇,根据《全国耕地地力调查与质量评价技术规程》规定,会同该地区苹果园分布现状的详细统计资料,按照全面、均衡、客观、可比性的布点原则,结合当地各苹果园所处地形、分布面积、肥力状况和管理状况等,采用系统随机布点法确定采样点位置,采样点覆盖黄陵县苹果园现有分布区。在实际采样的过程中结合黄陵县苹果园分布集中程度进行布点疏密调整,在采集土样的过程中,用手持 GPS 仪定位采样园区,并记录经纬度坐标。

于 2013 年 9 月去该地采集土样,由于苹果根系多分布在 0—40 cm 土层<sup>[11]</sup>,于是按照 0—40 cm 的深度采集土样,每个采样点周围选择 5~10 个土样,将所采集的所有土壤样品充分混合后,采用四分法留存 1 kg,共布设采样点果园 304 个。把 GPS 测到的 304 个采样点的坐标利用 GIS 软件投影转换,得到黄陵县采样点空间分布图如图 1 所示。



图 1 土壤采样点分布

土样采回后先测土壤含水率、土壤硝态氮和铵态氮,然后及时风干土样,装入样品瓶以待测定土壤有机质、全氮、全磷、全钾、pH、阳离子交换量(CEC)、硝态氮、铵态氮、有效磷、速效钾这 10 个指标。土壤养分测定参照土壤农化分析<sup>[12]</sup>,有机质采用重铬酸钾外加热法测定;全氮用凯氏定氮仪法测定;全磷采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—HClO<sub>4</sub> 消解,紫外分光光度法(钼锑抗比色法)测定;全钾采用 NaOH 熔融,用火焰光度计测定;pH 用电位法测定,土水比 1:2.5;硝态氮和铵态氮采用 KCl 溶液浸提,AA3 型连续流动分析仪测定;速效磷用 NaHCO<sub>3</sub> 浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾用乙酸铵浸提—火焰光度计法测定;阳离子交换量(CEC)用乙酸铵交换法测定。

本研究首先对该地区土壤养分测定数据进行描

述分析,根据《绿色食品产地环境质量标准》<sup>[13]</sup>对其丰缺状况进行评价,其次采用地统计学的方法,通过对土壤养分数据进行检验和转换,使其处于正态分布后,对其进行半方差分析,得到地统计参数及其最佳拟合模型后,分析其空间相关性。最后利用 GIS 软件中的克里格插值方法结合地统计参数对土壤养分进行空间插值得到土壤养分的空间分布图,进而对土壤养分的空间分布特征进行分析,对黄陵县苹果园科学施肥与管理提出合理建议。

1.3 统计分析过程

采用手持 GPS 标记各采样点坐标。用 Excel 2007 对初始数据处理。用 SPSS 18.0 统计软件进行土壤养分描述性统计分析。用 GS<sup>+</sup> 7.0 软件对数据进行正态分布检验及半方差模型拟合。用 ArcGIS 10.2 软件进行 Kriging 土壤养分空间插值,生成土壤养分空间分布图。

2 结果与分析

2.1 土壤养分含量

由表 1 可知,按照《绿色食品产地环境质量标准》的临界值指标对黄陵县苹果园土壤养分状况进行初步评价<sup>[13]</sup>。土壤养分含量最小值和最大值差别都较大。土壤 pH 值为 7.79~9.30,可见该地区的土壤呈碱性。土壤有机质含量普遍较低,均值为 12.96 g/kg,小于 15 g/kg,属Ⅲ级水平。表明该区土壤有机质含量比较缺乏,原因可能与当地长期施用化肥,很少施有机肥有关。土壤全氮含量较低,其平均值仅为 0.81 g/kg,介于 0.80~1.00 g/kg 之间,处于Ⅱ级状态。土壤硝态氮、铵态氮含量也较低且变幅大,变异系数分别为 65.62%,52.68%。土壤全磷最小值为 0.22 g/kg,最大值为 2.52 g/kg,变异系数较高,达 52%,平均值为 0.75 g/kg,含量较高。土壤速效磷的平均值为 64.53 mg/kg,大于绿色食品产地环境质量标准分级指标的Ⅰ级标准临界值,可见该区土壤磷肥较丰富。土壤全钾含量大于 5.84 g/kg,小于 39.25 g/kg,均值为 21.55 g/kg,含量相对较丰富。土壤速效钾含量较高,其含量为 55.20~290.95 mg/kg,平均值达 154.74 mg/kg,全部达到Ⅱ级及以上水平,即肥力水平较高,可以满足苹果树生长的需求。土壤阳离子交换量(CEC)的含量一般,平均值为15.54 cmol/kg,处于Ⅱ级状态。

土壤养分的空间变异性取决于土壤母质的性质和地形位置,并与气候、大气沉降、降雨和农业措施等有关,变异系数的大小表示土壤特性空间变异性的 大小。这 10 项指标的变异系数为 3.27%~77.16%,

其中土壤全磷、硝态氮、铵态氮和速效磷的变异强度较大,其变异系数大于 50%,而土壤 pH 变异强度最小,变异系数仅为 3.27%,除了 pH 属于弱变异以外,其他指标均属于中等变异。变异系数的大小顺序依次为速效磷>硝态氮>铵态氮>全磷>速效钾>全钾>有机质>全氮>CEC>pH 值。

表 1 采样点土壤养分的含量的描述性统计

分析项目	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	5.09	21.67	12.96	4.09	31.56
全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.36	1.41	0.81	0.20	24.69
全钾/(g·kg <sup>-1</sup> )	5.84	39.25	21.55	6.81	31.60
全磷/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.22	2.52	0.75	0.39	52.00
pH 值	7.79	9.30	8.57	0.28	3.27
硝态氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	5.28	70.67	21.64	14.20	65.62
铵态氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.79	22.75	5.79	3.05	52.68
速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	10.30	231.73	64.53	49.79	77.16
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )	55.20	290.95	154.74	50.95	32.93
阳离子交换量/ (cmol·kg <sup>-1</sup> )	7.07	23.59	15.54	3.83	24.65

2.2 土壤养分空间变异结构分析

首先对黄陵县苹果园土壤养分进行半方差分析,根据半方差函数和其最佳拟合模型得到其地统计参数。这 10 个指标均通过 SPSS 检验,其中 pH 和 CEC 符合正态分布,全钾、硝态氮和有效磷通过平方根转换后呈正态分布,其余指标全部符合对数正态分布。用地统计软件 GS<sup>+</sup> 7.0 拟合,共有 4 种半方差函数模型,即球状(Spherical)、线性(Linear)、高斯(Gaussian)、指数(Exponential)。分别对 10 种土壤指标用 GS<sup>+</sup> 7.0 进行计算拟合并且选择最优,得到以下结果:土壤全磷和有机质的最佳拟合模型是高斯模型,全氮、铵态氮和速效钾用球状模型拟合效果最好,全钾用线性模型拟合效果为最好,有效磷、pH、硝态氮和 CEC 用指数模型来分析效果最佳。土壤养分最佳半方差模拟模型及其拟合参数见表 2,地统计学分析的半变异函数图及其模型拟合结果见图 2。

从表 2 可见,土壤有机质、全氮、全钾、全磷、pH、硝态氮、铵态氮、有效磷、速效钾和 CEC 的基台值分别为:0.063 6,0.023 2,0.492 6,0.097 8,0.000 1,1.005 0,0.007 9,0.035 4,0.200 0,5.950 0,均为正值,说明存在采样误差或最小距离内的变异或随机和固有变异引起的各种正基底效应<sup>[14]</sup>。土壤养分性质的空间相关性可由块金值与基台值比值的大小来划分,即用 C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C)表示空间变异程度。比值小于 25%时空间相关性强,比值为 25%~75%时,空间相关性弱;大于 75%,空间相关性较弱<sup>[15]</sup>。而土壤性质的空间异

质性一般是内在因子和外在因子共同作用的结果<sup>[16-17]</sup>。土壤形成过程中的成土母质、地形、地下水位及土壤类型等因素属于内在因子,而农业生产管理过程中人为的施肥、作物布局、耕作措施等是随机的,属于外在因子。本研究中土壤 pH 值、铵态氮、有效磷、速效钾和 CEC 的  $C_0/(C_0+C)$  分别为 0.17%, 7.47%, 11.81%, 2.95%, 24.24%, 均小于 25%, 表明其空间相关性很强, 其变异只受内在因子的影响。土壤有机质、全氮、全磷和硝态氮的  $C_0/(C_0+C)$  为 40.72%, 28.16%, 46.44%, 49.98%, 在 25%~75% 之间, 表明其变量具有中等空间相关性, 表明其由内在因子和外因子相互作用。而土壤全钾的  $C_0/(C_0+C)$  为 100%, 可见其空间相关性则非常弱, 表明空间异质性基本上是由人为因素所决定的, 可以通过施肥和耕作等农业管理措施使得其含量产生变化。

表 2 土壤养分半方差模型及其拟合参数

变量	理论模型	块金值	基台值	$C_0/(C_0+C)/\%$	变程/km	决定系数	残差
有机质	高斯	0.0636	0.1562	40.72	9.70	0.58	1.06E-02
全氮	球状	0.0232	0.0824	28.16	5.78	0.44	3.50E-03
全钾	线性	0.4926	0.4926	100.00	18.30	0.38	4.53E-01
全磷	高斯	0.0978	0.2106	46.44	12.63	0.75	7.99E-03
pH	指数	0.0001	0.0602	0.17	0.78	0.01	2.10E-03
硝态氮	指数	1.0050	2.0110	49.98	9.96	0.43	0.93
铵态氮	球状	0.0079	0.1058	7.47	5.04	0.55	5.79E-03
有效磷	指数	0.0354	0.2998	11.81	0.90	0.17	3.06E-03
速效钾	球状	0.2000	6.7810	2.95	1.40	0.31	13.80
CEC	指数	5.9500	24.5500	24.24	48.51	0.69	90.10

### 2.3 土壤养分空间分布格局

利用 ArcGIS 10.2 对土壤养分进行普通克里金插值, 将空间插值分布图与研究区行政区划图进行叠加, 得到以乡镇为单位的等值区图(图 3)。从图 3 看出, 土壤养分含量空间分布均表现出斑块状分布特点, 且具有明显的差异。土壤有机质的方向效应最明显, 表现出由中心向东南和西北两边升高的趋势, 较高值分布于桥山镇的东面, 土壤有机质含量大于 15 g/kg 的区域所占整个研究区域的比例极低, 大多数果园有机质含量处于严重缺乏状态, 可能与该地区的土壤类型、地势较高、土壤保肥能力较弱、施有机肥的数量较低有很大的关系。土壤全氮没有明显的空间分布规律, 高低值呈交错分布, 但都是斑块状, 土壤全氮含量大于 0.8 g/kg, 所占面积很小, 表明该地区的氮较缺乏, 最高值仅出现在田庄镇的一小块南边临界区域。土壤硝态氮和铵态氮的整体含量很低, 硝态氮的空间分布特征表现出低值环绕高值的现象, 而铵态氮空间分布插值图也表现出高低值相环绕的现象, 这可能与一个小区域范围内果农施肥习惯相近有很大

在研究区内, 10 种养分的空间自相关距离具有明显的差异, 说明影响土壤养分的生态过程在不同的尺度上起作用。pH 值、有效磷和速效钾的变程最小, 分别为 0.78, 0.90, 1.40 km; 全氮和铵态氮的变程比它们略大, 为 5.78 km 和 5.04 km; 而有机质、全钾、全磷和硝态氮的变程更大, 分别为: 9.70, 18.30, 12.63, 9.96 km, CEC 的变程最大, 达 48.51 km。这些果园土壤养分变量的变程都较大, 这可能由于缺乏统一指导, 各农户都是自主选择肥料种类和数量, 各农户施肥种类和数量都比较杂且邻近地区施肥都不同所致。不同苹果园之间的灌水、施肥种类与数量、果树树龄、所处的海拔高度和生产管理方式的不同都会改变变程变化范围。变程大小顺序依次为 CEC>全钾>全磷>硝态氮>有机质>全氮>铵态氮>速效钾>有效磷>pH。

关系, 或高或低于其他地区。

土壤全磷空间分布特征呈现部分区域方向特征规律明显, 除田庄镇区域外, 全磷呈现沿着研究区域西北及东南连线, 呈现从西到东依次增高的趋势, 表现为仓村乡全磷含量最低, 其次是桥山镇, 隆坊和阿党镇含量较高, 田庄镇全磷空间分布无明显特征。87% 的果园土壤全磷含量处于中等水平, 即大于 0.4 g/kg。从土壤有效磷的空间分布图可以看出土壤有效磷最高值与最低值都呈零星点状分布, 最高值出现于田庄和隆坊镇, 最低值各乡镇均有分布。有效磷含量小于 5 mg/kg 的区域很小, 即磷肥供应良好。

土壤全钾无明显空间分布规律, 田庄镇土壤全钾含量出现过高与过低并存的现象, 桥山镇和阿党镇的土壤全钾含量很相近, 都近乎于 20 g/kg, 而处于研究区域的西北方向即仓村乡和隆坊镇部分区域全钾含量相对较高。整体上该区土壤全钾大于 10 g/kg 的果园占到 94%。从图 3 可见土壤速效钾的空间分布特征较明显, 最低值以零星点分布于隆坊镇、仓村乡和田庄镇, 阿党镇整体速效钾含量较高, 这可能与

该镇果农施肥习惯有很大关系,有 85% 的果园速效钾含量大于 100 mg/kg,可见该区钾肥供应也良好。

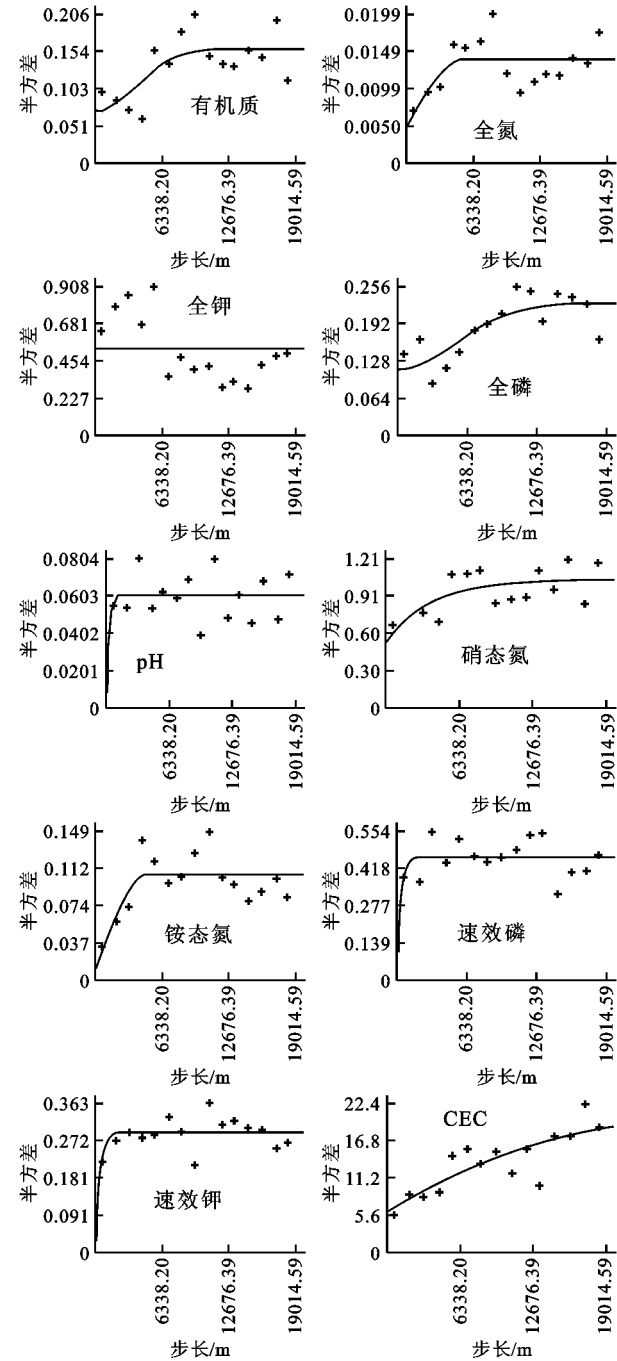


图 2 土壤养分的经验半方差图及其拟合模型

该地区土壤呈碱性,从土壤 pH 的分布来看,研究区域大部分地区 pH 都处于 8.55~8.75 之间,只有田庄镇和隆坊镇的东部、阿党镇的北部 pH 相对较低,为 8.33~8.54,最高值和最低值以个别点形式出现。

土壤阳离子交换量空间分布呈现一定的规律,由图 3 可知,土壤阳离子交换量在田庄镇呈现由南向北递增的趋势,在其他的研究区域呈现从阿党镇中心向四周逐渐递增的特征。最大值出现于仓村乡的外围区域。59% 的阳离子交换量大于 15 cmol/kg,表明

该区阳离子交换能力一般。

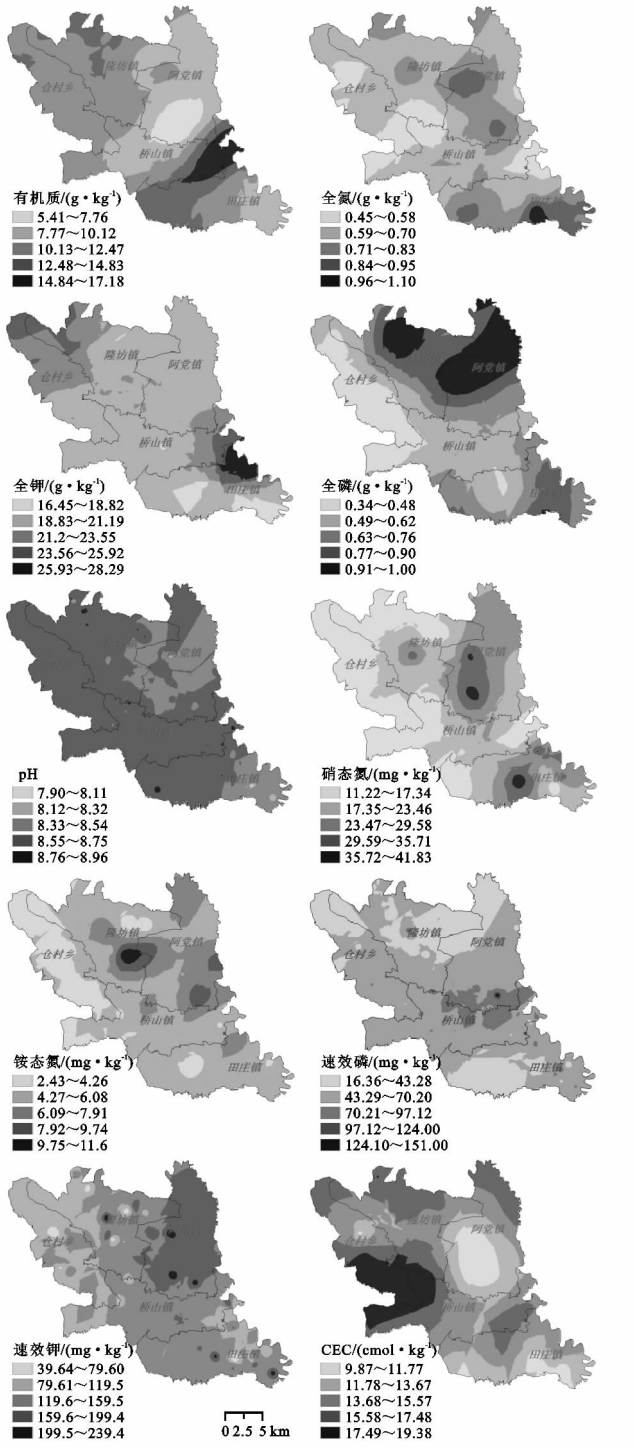


图 3 土壤养分空间插值分布

### 3 讨论

运用地统计学和 GIS 空间分析技术研究土壤养分空间变异是国内外应用较广的一种实现土壤养分分区管理的方法。此方法在多种土地利用类型下的土壤养分空间变异研究已有很多,但是在苹果园区所做的研究较少。以往对苹果园土壤养分的研究都基于现状、生草、覆膜等,对其空间异质性研究很少。苹

果园土壤的需肥量大且不易翻耕,其土壤养分空间变异性较其他大田作物有着相对明显的差异<sup>[18]</sup>。本研究选择渭北黄土高原的苹果主产大县黄陵县作为研究区域,运用地统计学和 GIS 空间分析技术相结合的方法对该县苹果园土壤养分的空间变异特征研究,得到以乡镇为单元的 Kriging 插值图,可以直观地了解到各个乡镇的各种土壤养分的空间分布状况,为实现各乡镇为单位的果园分区管理施肥提供依据,这也为整个渭北黄土高原同类地区苹果园土壤养分空间分布提供参考。

研究发现该地区苹果园土壤呈碱性,碱性的土壤会使果树发生生理障碍和缺素症,因此今后还需对土壤的酸碱度进行合理调节,如施用酸性的化肥,或给土壤加入适量硫磺粉等酸性物质<sup>[19]</sup>。土壤阳离子交换量可评价土壤肥力和土壤缓冲能力,因其在一定程度上可直接反映土壤保肥和提供有效养分的能力,阳离子交换量大的土壤保肥能力强,施肥淋失量小,表现良好的稳肥性。该区的阳离子交换量一般,可见其果园土壤保肥和缓冲能力差。

本研究测定所得的结果是土壤有机质和氮含量较低,而磷钾肥含量较高。这与张进<sup>[20]</sup>对渭北黄土高原延安地区土壤养分现状调查所得研究结果一致,居玛汗·卡斯木等<sup>[21]</sup>通过研究黄土高原不同生态类型区果园地土壤肥力及区域差异,也得出了延安地区土壤有机质含量低的结论。研究发现土壤速效态的氮磷钾含量的变异程度较土壤有机质和全氮含量的变异程度大,这与李庚飞等<sup>[22]</sup>对澄城县苹果园的土壤养分及空间变异分析所得结果一致,该研究发现其试验果园土壤速效磷和速效钾含量的变异程度较土壤全氮和有机质的含量变异程度大。郭晓敏等<sup>[23]</sup>对新毛竹林土壤的相关研究也得到了相同结果。

黄陵县果园土壤有机质和氮含量较低,原因之一可能是土壤阳离子交换量较低且该区果园大多分布在山顶和半山坡,导致土壤本身保肥能力较差。其中土壤有机质含量较低最主要的原因是有机肥施用不足,而土壤氮含量较低可能与氮的淋失和氨的挥发有很大的关系<sup>[24]</sup>。在以后的果园生产管理中急需提高果园土壤有机质的含量,可通过以下途径:加施有机肥料,离村口较近的果园可以施用农家肥,果树行间生草,秸秆覆盖等方式。

苹果园土壤的钾肥和磷肥供应状况都良好,可能与果农施肥过多导致,在后期对果农入户调查其施肥种类和数量的发现,果农施用了大量复合肥。钾的含量高也可能与黄土母质发育的土壤钾素相对丰富有关。磷含量相对较高与磷素在土壤中的富集有一定

关系,这同时也可能是导致速效磷变异系数较高的原因之一,因为磷肥在土壤中的移动性小,当季的利用率较低致使磷残留较多且分布不均;而整个研究区域不同地形地势、土壤质地等也会导致速效磷变异系数较高<sup>[25]</sup>。

在今后的研究中,应结合黄陵县苹果的产量和目标产量,建立目标产量与养分关系模型建议施肥,氮肥施用遵循以果定量、总量控制,分期调控的原则,依据苹果的目标产量确定氮肥施用量;磷、钾养管理采取“衡量监控”的方法进行,根据测定所得磷、钾含量,结合目标产量磷钾养分需要量,科学制定磷钾肥施用量,使得其苹果园土壤磷、钾含量通过苹果的吸收、消耗最终维持在一个适宜的范围内<sup>[26]</sup>。

## 4 结论

(1) 该地区苹果园土壤有机质和氮含量偏低,磷、钾较丰富。土壤 pH 值变异系数最小,仅为 3.27%,最大为速效磷,达到了 77.16%。土壤速效态氮磷钾含量的变异程度较土壤有机质和全氮的变异程度大。

(2) 黄陵县苹果园土壤 pH、铵态氮、有效磷、速效钾和 CEC 的空间相关性很强,土壤有机质、全氮、全磷和硝态氮则具有中等程度空间相关性,土壤全钾的空间相关性较弱,其变程大小顺序依次为 CEC>全钾>全磷>硝态氮>有机质>全氮>铵态氮>速效钾>有效磷>pH。

(3) 由克里格插值得到土壤养分空间分布图可知黄陵县各乡镇苹果园土壤养分分布特征以及含量高低,各乡镇可根据其养分空间分布图针对该地区丰缺的养分进行相应的增施肥料。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 周星, 彭毅, 吴绍军, 等. 剑阁县植烟土壤养分的空间变异研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 85-89.
- [3] 李明悦, 朱静华, 廉晓娟, 等. 基于 GIS 的葡萄园土壤养分管理及平衡施肥研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(3): 202-205.
- [4] 姚丽贤, 周修冲, 蔡永发, 等. 香蕉园土壤养分空间变异性及适宜样本容量研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(2): 169-171.
- [5] 朱红春, 张蕾, 刘海英, 等. 基于 GIS 的猕猴桃土壤养分评价与施肥建议模型研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 194-198.
- [6] 王亮. 山地柑橘园部分主要养分空间变异研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.

- [7] 王留好. 陕西省渭北苹果主产区苹果园土壤养分现状评价[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2009.
- [8] 李会科, 赵政阳, 张广军. 种植不同牧草对渭北苹果园土壤肥力的影响[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(2): 31-34.
- [9] 高义民, 同延安, 路永莉, 等. 陕西渭北红富士苹果园土壤有效养分及长期施肥对产量的影响[J]. 园艺学报, 2013, 40(4): 613-622.
- [10] 郝雅琨, 常庆瑞, 刘海飞. 基于 GIS 的县域土地利用与地形因子关系研究: 以陕西省黄陵县为例[J]. 水土保持通报, 2012, 32(6): 134-137.
- [11] 刘世贤. 半干旱区苹果树根系分布规律调查[J]. 西北园艺, 2003(6): 48-49.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 1992.
- [13] 郑小春, 车金鑫, 卢海蛟, 等. 陕西白水红富士苹果示范园土壤养分状况分析[J]. 西北农业学报, 2011, 20(10): 97-101.
- [14] 方睿红, 常庆瑞. 关中平原台塬区土壤养分空间格局研究: 以西安市长安区为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 141-145.
- [15] Matheron G. Principles of geostatistics[J]. Economic Geology, 1963, 58(8): 1246-1266.
- [16] Cambardella C A, Moorman T B, Parkin T B, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5): 1501-1511.
- [17] Chien Y J, Lee D Y, Guo H Y, et al. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils [J]. Soil Science, 1997, 162(4): 291-298.
- [18] 徐四新, 姚政, 宋科, 等. 浦东新区果园村土壤养分状况评价及其空间变异分析[J]. 上海农业学报, 2012, 28(2): 72-74.
- [19] 白勇龙, 王远东, 张正军, 等. 甘肃正宁苹果园土壤养分测定分析[J]. 现代园艺, 2012(19): 14-15.
- [20] 张进. 渭北苹果园土壤养分状况调查与评价[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [21] 居玛汗·卡斯木, 张丽娜, 范鹏, 等. 黄土高原不同生态类型区果园地土壤肥力特征综合评价及其区域差异特征研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 316-323.
- [22] 李庚飞, 周胜波, 李亚梅. 澄城县苹果园土壤养分及空间变异分析[J]. 福建林业科技, 2014, 41(3): 90-93.
- [23] 郭晓敏, 牛德奎, 郭熙奉, 等. 新毛竹林土壤养分空间变异性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 420-425.
- [24] 李宗新, 董树亭, 王空军, 等. 不同肥料运筹对夏玉米田间土壤氮素淋溶与挥发影响的原位研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 998-1005.
- [25] 王淑英, 胡克林, 路苹, 等. 北京平谷区土壤有效磷的空间变异特征及其环境风险评价[J]. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1290-1298.
- [26] 姜远茂. 苹果园科学施肥技术试验示范建议[R]. 山东泰安: 山东农业大学, 2014.

(上接第 20 页)

#### 参考文献:

- [1] 侯喜禄, 曹清玉. 陕北黄土丘陵沟壑区植被减沙效益研究[J]. 水土保持通报, 1990, 10(2): 33-40.
- [2] 刘元宝, 唐克丽, 查轩, 等. 坡耕地不同地面覆盖的水土流失试验研究[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 25-29.
- [3] 焦菊英, 王万忠. 人工草地在黄土高原水土保持中的减水减沙效益与有效盖度[J]. 草地学报, 2001, 9(3): 176-182.
- [4] 吴钦孝, 赵鸿雁, 韩冰. 黄土丘陵区草灌植被的减沙效益及其特征[J]. 草地学报, 2003, 11(1): 23-26.
- [5] 刘斌, 罗全华, 常文哲, 等. 不同林草植被覆盖度的水土保持效益及适宜植被覆盖度[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 68-73.
- [6] 蒋光毅, 史东梅, 卢喜平, 等. 紫色土坡地不同种植模式下径流及养分流失研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 54-58.
- [7] 刘刚才, 朱波, 代华龙, 等. 四川低山丘陵区紫色土不同土地利用类型的水蚀特征[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 96-99.
- [8] 刘纪根, 李蓉. 紫色土区土地利用类型与降水变化对水土流失的影响[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(8): 10-14.
- [9] 张光辉, 梁一民. 模拟降雨条件下人工草地产流产沙过程研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(3): 56-59.
- [10] 曾伯庆, 马文中, 李俊文, 等. 人工草地植被对产流产沙影响的研究[C]// 晋西黄土高原土壤侵蚀规律试验研究文集. 北京: 水利电力出版社, 1990: 80-86.
- [11] 侯喜禄, 梁一民, 曹清玉. 黄土丘陵区主要水保林类型及草地水保效益的研究[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1991, 14: 96-103.
- [12] 彭文英, 张科利. 不同土地利用产流产沙与降雨特征的关系[J]. 水土保持通报, 2001, 21(4): 4-8.
- [13] 朱冰冰, 李占斌, 李鹏, 等. 草本植被覆盖对坡面降雨径流侵蚀影响的试验研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(3): 401-407.