

猕猴桃园和小麦—玉米轮作田两种土地利用方式对土壤养分状况的影响

李新尧¹,杨联安¹,杨煜岑¹,闫朝霞²,李聪莉²,
朱群娥²,张林森³,聂红梅¹

(1.西北大学 城市与环境学院,陕西 西安 710127; 2.陕西省周至县土壤肥料工作站,陕西 西安 710400;
3.西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

摘 要:为深入了解不同土地利用方式下土壤养分水平的差异及施肥和管理中存在的问题,选取陕西省周至县农耕区为研究区域,采用地统计分析和 GIS 相结合的方法,研究了猕猴桃园和小麦—玉米轮作田两种不同土地利用类型下土壤养分含量、养分相关性、空间变异特征及其分布格局。结果表明:猕猴桃园有机质、碱解氮、有效磷和速效钾 4 种养分含量分别为:(19.55±3.13) g·kg⁻¹, (80.58±14.69) mg·kg⁻¹, (23.37±6.09) mg·kg⁻¹, (102.79±12.74) mg·kg⁻¹, pH 值为 7.32±0.49; 小麦—玉米农田有机质、碱解氮、有效磷和速效钾 4 种养分含量分别为:(19.43±2.63) g·kg⁻¹, (78.80±11.39) mg·kg⁻¹, (24.83±6.06) mg·kg⁻¹, (95.03±11.75) mg·kg⁻¹, pH 值为 7.41±0.58。猕猴桃园土壤有机质、碱解氮和速效钾含量均高于小麦—玉米农田,仅有效磷含量比小麦—玉米农田偏低。研究区主要养分要素的变异系数都处于 10%~100%,属于中等空间变异性。在猕猴桃园中,有机质、碱解氮、有效磷、速效钾两两之间均呈极显著或显著正相关;在小麦—玉米农田, pH 值与有机质表现出显著负相关。研究区土壤有效磷含量较为丰富,碱解氮含量处于中等偏高水平,有机质含量处于中等偏低水平,而速效钾含量总体缺乏。整体上猕猴桃园比小麦—玉米农田养分水平高,这主要与不同的田间管理和施肥状况有关。因此,今后应采取维持氮肥、控制磷肥、增加钾肥的措施,并十分重视有机肥的使用。此外,针对不同土地利用类型和土壤肥力状况进行分区培肥管理,普及科学施肥,提高肥料利用效率也是提升土壤肥力水平的重要措施。

关键词:猕猴桃园;小麦—玉米轮作田;土壤养分;土地利用;施肥

中图分类号: S158.3 **文献标志码:** A

Effects of kiwifruit trees planting and wheat-maize rotation planting on the status of soil nutrients

LI Xin-yao¹, YANG Lian-an¹, YANG Yu-cen¹, YAN Zhao-xia², LI Cong-li²,
ZHU Qun-e², ZHANG Lin-sen³, NIE Hong-mei¹

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China;
2. Soil and Fertilization Station of Zhouzhi County, Xi'an, Shaanxi 710400, China;
3. College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to investigate the differences in soil nutrients status under different land use patterns as well as the problems in fertilization and management, we employed joint methods of Geo-statistical analysis and GIS to study the content and spatial correlation of soil nutrients under two land use types of kiwifruit orchard and wheat-maize rotation farmland in Zhouzhi County, Shaanxi Province. The characteristics of spatial variability and distribution patterns of soil nutrients were also analyzed. The results showed that the content of organic matter, alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and readily available potassium in kiwifruit orchards were (19.55±3.13) g·kg⁻¹, (80.58±14.69) mg·kg⁻¹, (23.37±6.09) mg·kg⁻¹, (102.79±12.74) mg·kg⁻¹ respectively, pH value was 7.32±0.49.

收稿日期:2016-09-12 修回日期:2016-12-19
基金项目:科技部国家科技支撑计划项目(2007BAD79B01-08);教育部人文社会科学研究规划项目(10YJA910010);陕西省农业科技攻关项目(2011K02-11);西安市科技计划农业技术研发项目(NC150201, NC1402);西北大学研究生自主创新项目(YZZ17151, YZZ17147)
作者简介:李新尧(1992—),男,湖北十堰人,硕士研究生,研究方向为遥感与地理信息系统应用。E-mail: lxy0805sy@126.com。
通信作者:杨联安(1968—),男,陕西武功人,博士,副教授,主要从事地理信息系统开发与应用。E-mail: yanglian@163.com。

The content of four nutrients in wheat - maize rotation farmland were $(19.43 \pm 2.63) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $(78.80 \pm 11.39) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $(24.83 \pm 6.06) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $(95.03 \pm 11.75) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectively, pH value was 7.41 ± 0.58 . The mean content of organic matter, alkali - hydrolyzable nitrogen, readily available potassium of kiwifruit orchards were higher than that of wheat - maize rotation farmland, only the content of available phosphorus was lower. The variation coefficient of all soil nutrients belonged to moderate spatial variability and they were between 10% and 100%. In kiwifruit orchards, organic matter, alkali - hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, readily available potassium were positively correlated. In wheat - maize rotation farmland, the pH was negatively correlated with organic matter. The content of soil available phosphorus was abundant in studied area, the content of alkali - hydrolyzable nitrogen was slightly high, the content of organic matter was slightly low, and the content of readily available potassium was deficient. The nutrient level of kiwifruit orchards was relatively higher than that of wheat - maize rotation farmland as a whole, mainly associated with different management and fertilization status.

Keywords: kiwifruit orchards; wheat - maize rotation farmland; soil nutrients; land use; fertilization

“民以食为天,食以土为本”,这充分说明土壤在提供人类基本的生存资料及促进国民经济发展中起到的不可替代的作用。而土壤养分作为土壤生态系统的重要组成部分和土壤肥力的重要指标,是土地生产力的基础,是植物生长的必要条件,对土壤质量的好坏有决定性影响^[1-2]。自 20 世纪 80 年代初 Burgess 等^[3]将地统计学的理论和方法引进土壤科学研究领域以来,利用地统计学方法并结合 3S 技术研究土壤养分的理化特性及其时空变异已成为土壤科学研究的热点方向之一^[4-7]。随着测土配方施肥和精准农业概念的提出和推广,要求不仅查明土壤属性的时空分布规律,更要分析土壤与包括人类在内的环境因子的交互作用和影响程度。当前,学者主要从影响土壤养分空间变异的结构性因素和随机性因素两方面探讨单一因子或复合因子与土壤养分的相互关系。前者主要致力于研究成土母质^[5]、地形地势(包括高程、坡度、坡向、地表曲率等)^[8-9]、土壤类型^[10]等因素对土壤养分空间分异的影响,后者主要集中在土地利用类型^[11-12]、耕作制度^[13]、施肥管理^[14]等人为因素方面。而土地利用作为人类改造土壤最直接、最普遍也是最深刻的活动,不仅改变土壤的内在属性,更影响土壤与其它环境因子的外在联系。已有研究表明,不同土地利用方式对土壤养分尤其是表层养分有显著影响。郑子成等^[15]就不同土地利用方式下土壤团聚体中主要养分的分布特征进行了研究,结果表明不同土地利用方式下土壤养分在团聚体中的分布存在一定差异,各粒径团聚体对土壤主要养分分布的影响程度也有所不同;王月容等^[16]研究了洞庭湖退田还湖区不同土地利用方式下土壤养分含量、养分库综合指数,发现不同土地利用方式对养分的积累作用明显不同,其中水田、旱地由于农业施肥充足能有效弥补养分的消耗,其养分稳定维持在较高水平,而荒地由于外界养分

输入少,土壤养分总体较差;而刘芳等^[17]对伊犁新垦区表层土壤养分变异特征的研究发现,土地利用类型对表层土壤的有机质、全氮和全磷有显著性影响,而对全钾的影响不显著。

陕西省周至县是我国唯一的猕猴桃标准化栽培示范县,也是西安市测土配方施肥项目重点实施区域。本文以周至县农耕区为研究区域,通过野外调查、实地采样、室内分析获取猕猴桃园和小麦-玉米轮作田两种当地最典型土地利用类型的土壤采样数据,运用地统计学和 GIS 技术及数理统计方法研究主要土壤养分空间变异特征、丰缺格局及其与土地利用的关系,并据此提出合理施肥建议,以期为促进精准施肥、提高农业生产能力提供理论依据和决策参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

周至县位于渭河平原西南部,是陕西省西安市辖县。地处 $E107^{\circ}39' \sim 108^{\circ}37'$, $N33^{\circ}42' \sim 34^{\circ}14'$ 之间,面积 $2\,947 \text{ km}^2$ 。该地南依秦岭,北濒渭河,地势南高北低,跨秦岭山地、黄土台塬、渭河平原三个自然地貌单元,属于暖温带半湿润大陆性季风气候,年均气温 $10^{\circ}\text{C} \sim 13.6^{\circ}\text{C}$,年均降水量 $650 \sim 800 \text{ mm}$,且主要集中在 7—9 月。境内水源充足,灌溉便利。周至县的主要土壤类型为塿土、潮土、黄土性土和水稻土,土质疏松、耕性良好^[18-19]。由于独特的自然条件和优越的地理位置,周至县成为渭河平原著名的农业大县、西安市重要的粮食和水果产地,主要种植冬小麦、夏玉米等粮食作物和猕猴桃、葡萄等水果。本文选取周至县农耕区为研究区域,包括黄土台塬和渭河平原两个地形单元,海拔 $390 \sim 700 \text{ m}$,面积约 725 km^2 ,土地利用类型主要为猕猴桃园和小麦-玉米轮作田。

1.2 数据获取及预处理

选取研究区典型的猕猴桃园和小麦—玉米轮作田两种土地利用类型,于 2014 年 9 月下旬到 10 月上旬作物收获后、基肥施入前进行原始数据采集。按照农业部测土配方施肥技术规范,遵循客观、完整、等量等采样原则,利用 GPS 定位技术记录样点经纬度。在小麦—玉米农田以 0~20 cm 深度、采用“S”型的样点布设方法随机收集 5~6 个土样,混合均匀后用四分法留取 1 kg 装袋;选取猕猴桃分布比较集中的果园,以 0~40 cm 深度采集土壤样品,采用“S”型的样点布设方法,在每个果园随机采集 15 个土样,确保树下、行间都有分布,将采集的多个土样揉碎混匀组成一个混合土样,并留取 1 kg 装袋。最后将所有土样登记编号以备后续分析利用。

样品经自然风干后进行研磨和筛选,分别测定有机质(SOM)、碱解氮(AN)、有效磷(AP)、速效钾(AK)等养分含量和 pH 值,5 种土壤特性的测定方法分别为:重铬酸钾法、碱解扩散法、碳酸氢铵浸提-钼锑抗比色法、火焰光度计法和土壤酸度计直接测量法。将测得的土壤养分数据通过编号匹配地理位置以及其他属性,利用 ArcMap10.3 软件进行数字化后保存到样点 Geodatabase 中。为保证研究结果的精确性和可靠性,对照地统计分析模块探索数据工具中的直方图和 Normal QQPlot 图,采用域值识别法剔除离群值,并进行正态分布检验,最后取得研究区 192 个有效土壤采样数据,其中小麦—玉米轮作田 116 个,猕猴桃园 76 个。研究区地理位置及采样点分布如图 1 所示。

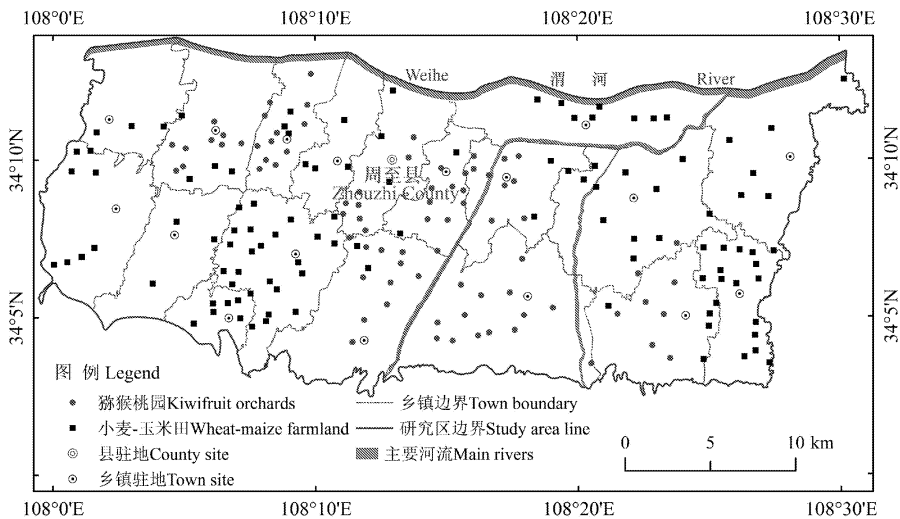


图 1 研究区地理位置及采样点分布

Fig.1 The location of study area and distribution of sampling sites

1.3 数据分析

(1) 采用变异系数(CV)分析土壤养分含量的空间变异程度,变异系数越大,变量在空间分布越不均匀,受随机性因素干扰越强。当 $CV \leq 10\%$ 时为弱变异性;当 $10\% < CV < 100\%$ 时为中等变异性;当 $CV \geq 100\%$ 时为强变异性。

(2) 应用 SPSS19 软件计算不同土地利用类型下各土壤养分之间的 Pearson 简单相关系数,以分析不同养分指标间的相关程度。

(3) 在地统计软件 GS+7.0 中对各养分指标进行半方差函数分析,通过拟合参数选取最佳理论模型。所谓半方差函数就是两样点之间差值的方差的一半,其计算公式^[20]为:

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

式中, $r(h)$ 为半方差函数值; h 为样本间距; $N(h)$ 是间距为 h 的所有样点对数; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别为点 x_i 和点 $x_i + h$ 的变量实测值。

(4) 根据最佳理论模型和相关参数在 ArcGIS10.3 软件 Geostatistical Analyst 扩展模块中采用 Ordinary - Kriging 插值方法对研究区离散采样点数据进行空间插值预测,以分析不同土壤养分的空间分布特征,其理论和方法见参考文献[21]。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用类型对土壤养分的影响

利用剔除异常值后的有效土壤采样数据对不同土地利用类型下土壤养分因子进行描述性统计分析,结果见表 1。可以看出,两种不同土地利用类型下土壤有机质、碱解氮、速效钾含量表现出明显的差

异性,均是猕猴桃园高于小麦—玉米农田,这主要与当地的土地管理和施肥方式有关,猕猴桃为喜肥果树,农户种植果树时会更加重视改善土壤的养分状况。而有效磷的含量猕猴桃果园稍低。从 pH 值分布来看,两种利用类型的土壤酸碱度均值分别为 7.32 和 7.41,都呈中性至弱碱性。从变异系数看,

猕猴桃园 pH 值的变异系数小于小麦—玉米农田,而有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的变异系数较大。按照变异系数的划分标准,5 种土壤特性在两种土地利用类型中的变异系数都处于 10% ~ 100%,属于中等空间变异性。

表 1 不同土地利用类型土壤养分的描述性统计
Table 1 The descriptive statistics of soil nutrients of different land use types

土地利用类型 Land use	统计指标 Indexes	pH	有机质/(g·kg ⁻¹) Soil organic matter	碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Alkali-hydrolyzable nitrogen	有效磷(mg·kg ⁻¹) Available phosphorus	速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available potassium
猕猴桃园 Kiwifruit orchard	最小值 Min.	6.40	14.70	51.00	17.10	81.00
	最大值 Max.	8.40	30.10	107.00	45.30	131.00
	平均值 Mean	7.32	19.55	80.58	23.37	102.79
	标准差 SD	0.49	3.13	14.69	6.09	12.74
	变异系数 CV/%	6.69	16.01	18.23	26.06	12.39
小麦—玉米农田 Wheat - maize farmland	最小值 Min.	5.60	11.20	53.00	6.80	55.00
	最大值 Max.	8.40	27.30	103.00	44.50	124.00
	平均值 Mean	7.41	19.43	78.80	24.83	95.03
	标准差 SD	0.58	2.63	11.39	6.06	11.75
	变异系数 CV/%	7.83	13.54	14.45	24.41	12.36

考虑不同地区、不同时期土壤养分分级标准的适用性以及研究区特殊的自然和社会经济条件,采用西安市测土配方施肥项目 2014 年制定的《西安市土壤养分丰缺指标及推荐施肥指标体系》^[22]对 不同土地利用类型土壤养分丰缺等级进行划分。该标准根据不同的作物种植类型,利用不同相对产量对养分指标的要求,将养分丰缺等级划分为极丰富、丰富、中等、缺乏和极缺乏 5 个级别(表 2)。对照表 2,猕猴桃园和小麦—玉米农田土壤有机质平均含量分别为 19.55 g·kg⁻¹和 19.43 g·kg⁻¹,属于中等偏低级别。猕猴桃园碱解氮平均含量为 80.58 mg·kg⁻¹,为中等偏高水平,而小麦—玉米农田碱解氮平均含量为 78.8 mg·kg⁻¹,属于中等水平。有效磷平均含量两者分别为 23.37 mg·kg⁻¹和 24.83 mg·kg⁻¹,都为中等偏高水平。猕猴桃园速效钾含量虽然明显高于小麦—玉米农田,但其对此类养分要求更高,因此都属于较低水平。对比第二次土壤普查时期该地区土壤养分资料^[23],整体上有机质、碱解氮、有效磷平均含量分别增加 66.5%、21.6%和 210.1%,速效钾平均含量下降了 40.5%。可见,经过 30 多年的生产活动,尤其是 2006 年西安市测土配方施肥项目实施以来,农民普遍重视肥料投入和田间管理,使研究区土壤养分水平有了较大改观,但施肥仅凭主观经验的现象依然存在,致使土壤养分比例失衡。由于该地区农民施肥以氮、磷肥为主,土壤出现磷素富集、钾

素降低等现象,成为制约作物增产和农业持续发展的不利因素之一。

2.2 不同土地利用类型下土壤养分指标间的相关性

利用 SPSS 19 软件计算不同养分因子的 Pearson 相关系数以分析不同土地利用类型土壤养分因子的相关程度,计算结果表明两种土地利用类型下各养分因子之间相关系数有明显的差异(表 3)。在猕猴桃园中,有机质与碱解氮、有效磷、速效钾之间均呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数分别为 0.676、0.668 和 0.388;此外,碱解氮、速效钾与有效磷之间也呈极显著正相关,相关系数分别为 0.576 和 0.421;而碱解氮和速效钾之间表现显著正相关($P < 0.05$),其相关系数为 0.281。在小麦—玉米农田, pH 值与有机质表现出显著负相关,相关系数为 -0.198,而其它养分因子间相关系数不明显。总体来看,猕猴桃园比小麦—玉米农田养分因子相关系数更大,这可能与农户不同的施肥和管理方式有关:猕猴桃果树对土壤肥力要求较高,其施肥多采用根部施肥的方式,同时种植猕猴桃能获取更大的经济收益,农户更重视不同肥料的配合使用,从而提高果品品质和产量;而小麦—玉米农田中,基肥投入在土壤养分供给中占有很大比例,而且施肥方式粗放、结构单一,导致其养分聚集不如猕猴桃园明显。同时发现,两种相同的养分因子或土壤特性(如 pH 值与碱解氮)在不同的土地利用类型中有的呈正相关,有

的呈负相关,但相关系数的绝对值均很小,这可能与不同的灌溉、施肥和管理方式有关。与本文研究结果相似,赵业婷等^[24]发现土壤有机质与氮、磷素呈极显著正相关关系,有机质是氮、磷素的重要来源之一。据此,可根据有机质相对容易获取,增加有机肥投入,一方面可以促进土壤养分平衡,另一方面有望减少化肥使用、控制农业面源污染。

2.3 土壤养分空间分布格局分析

因 pH 值受成土母质或土壤类型影响较大,空间变异不明显,这里仅分析其它 4 类养分指标的空间变异特征和分布格局。首先利用 GS + 7.0 软件对研究区土壤养分数据进行半方差分析,根据样本数据经过反复调整获取最优函数模型。其中半变异函数模型主要包括线性模型、指数模型、高斯模型和球状模型等;块金值代表随机性因素引起的那部分变

异;基台值即变异函数不再随距离变化的域值;块金效应是块金值与基台值的比值,表示随机性变异在总空间变异中的贡献率;变程也叫独立间距,反映空间相关性的作用范围^[18,25]。由表 4 可以看出,有机质、有效磷和速效钾的块金效应均小于 25%,3 种养分指标具有强烈的空间相关性,且空间变异主要由结构性因素引起,说明地形、母质和土壤类型等因素对其空间异质性影响较大;而碱解氮的块金效应为 49.97%,为中等空间相关性,说明其空间变异是人为施肥、灌溉等随机性因素和结构性因素共同作用的结果。4 种养分指标中碱解氮的变程最大,达到 11.16 km,说明此养分因子在较大范围存在空间相关性;而其它 3 类养分指标(有机质、有效磷和速效钾)其变程分别为 2.82、1.17、1.06 km,空间相关性表现的范围较小。

表 2 西安市土壤养分丰缺分级标准

Table 2 Grading standards of abundance or deficiency of soil nutrients in Xi'an City					
土地利用类型 Land use	丰缺等级 Abundance level	有机质/(g·kg ⁻¹) Soil organic matter	碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Alkali-hydrolyzable nitrogen	有效磷(mg·kg ⁻¹) Available phosphorus	速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available potassium
猕猴桃园 Kiwifruit orchard	极丰富 Highly rich	> 40	> 100	> 40	> 250
	丰富 Rich	30 ~ 40	80 ~ 100	30 ~ 40	200 ~ 250
	中等 Moderate	20 ~ 30	60 ~ 80	20 ~ 30	150 ~ 200
	缺乏 Lack	12 ~ 20	40 ~ 60	10 ~ 20	100 ~ 150
	极缺 Highly lack	< 12	< 40	< 10	< 100
小麦—玉米农田 Wheat – maize farmland	极丰富 Highly rich	> 40	> 120	> 35	> 220
	丰富 Rich	30 ~ 40	90 ~ 120	25 ~ 35	180 ~ 220
	中等 Moderate	20 ~ 30	60 ~ 90	15 ~ 25	130 ~ 180
	缺乏 Lack	12 ~ 20	30 ~ 60	10 ~ 15	80 ~ 130
	极缺 Highly lack	< 12	< 30	< 10	< 80

表 3 土壤养分因子的 Pearson 相关系数矩阵

Table 3 Matrix of Pearson correlation coefficients of soil nutrient factors						
土地利用类型 Land use		pH	有机质 Soil organic matter	碱解氮 Alkali-hydrolyzable nitrogen	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium
猕猴桃园 Kiwifruit orchard	pH	1				
	有机质 Soil organic matter	– 0.064	1			
	碱解氮 Alkali-hydrolyzable nitrogen	0.032	0.676 * *	1		
	有效磷 Available phosphorus	– 0.032	0.668 * *	0.576 * *	1	
	速效钾 Available potassium	0.008	0.388 * *	0.281 *	0.421 * *	1
小麦 – 玉米农田 Wheat – maize farmland	pH	1				
	有机质 Soil organic matter	– 0.198 *	1			
	碱解氮 Alkali-hydrolyzable nitrogen	– 0.069	– 0.029	1		
	有效磷 Available phosphorus	– 0.080	0.078	0.081	1	
	速效钾 Available potassium	– 0.061	0.067	0.132	0.067	1

注: * 和 * * 分别表示 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 。
Note: * and * * represent significance at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

表 4 土壤养分空间变异的理论模型和相应参数

Table 4 The theoretical models and related parameters of spatial variability of soil nutrients

养分指标 Indexes	理论模型 Model	块金值 Nugget	基台值 Sill	块金效应/% Nugget/Sill	变程/km Range
有机质 Soil organic matter	指数 Index	1.28	8.08	15.84	2.82
碱解氮 Alkali-hydrolyzable nitrogen	指数 Index	86.00	172.10	49.97	11.16
有效磷 Available phosphorus	指数 Index	5.40	37.94	14.23	1.17
速效钾 Available potassium	球状 Spherical	13.10	165.70	7.91	1.06

在 ArcGIS10.3 软件地统计分析模块中先结合上述半方差分析获得的理论模型和拟合参数优化插值模型,通过地统计向导采用普通克里金法(Ordinary - Kriging)绘制研究区 4 种养分指标的空间分布格局图(图 2),并统计各含量等级的面积及所占比例。

总体来看,研究区 4 种土壤养分指标都表现出较为明显的空间分异性,具有不同的分布特征。由图 2(a)可以看出,有机质含量整体上呈现中、南偏高,四周偏低的空间格局。大致以南部楼观镇为中心,由内向外呈半环状分布;其中含量在 20 ~ 26 g·kg⁻¹之间的有机质较丰富地区主要分布在楼观镇、马召镇、广济镇,以及终南镇、司竹镇的部分地区,面积占研究区总面积的 34.97%,而含量 < 17 g·kg⁻¹的低值区域主要分布在尚村镇、竹峪镇等的局部地区,面积占 5.94%。由图 2(b)可以看出,研究区土壤碱解氮的含量由东南向西北大致呈现出低 - 高 - 低 - 高 - 低的分布格局,含量 > 81 mg·kg⁻¹

的中高值区连片分布于中部到东北部的楼观镇、终南镇、司竹镇、尚村镇等地,以及西南部的墨峰镇等地,面积占研究区总面积的 42.21%;而含量偏低的地区分布在东南部集贤镇、晃峰镇,面积约占 9.53%。由图 2(c)可以看出,研究区土壤有效磷总体含量很高,且分布较为均匀,这与磷元素在土壤中不易迁移和农户重视磷肥使用有关;其含量 > 21 mg·kg⁻¹的中高值到高值区面积达到研究区总面积的 93.93%,说明在不需或少量使用磷肥的情况下,大部分地区能满足作物生长的需要;而图中仅在终南镇西北部出现了一个低值图斑,这可能与当地特殊的土地利用或施肥习惯有关。由图 2(d)可以看出,研究区土壤速效钾含量表现出明显的东西向更替的趋势,自西向东先是依次增加,到中部达到最大值(101 ~ 107 mg·kg⁻¹)后呈减小趋势;其含量整体上集中于 93 ~ 107 mg·kg⁻¹,属于偏低水平,面积达到研究区总面积的 80.86%,而研究区西南部部

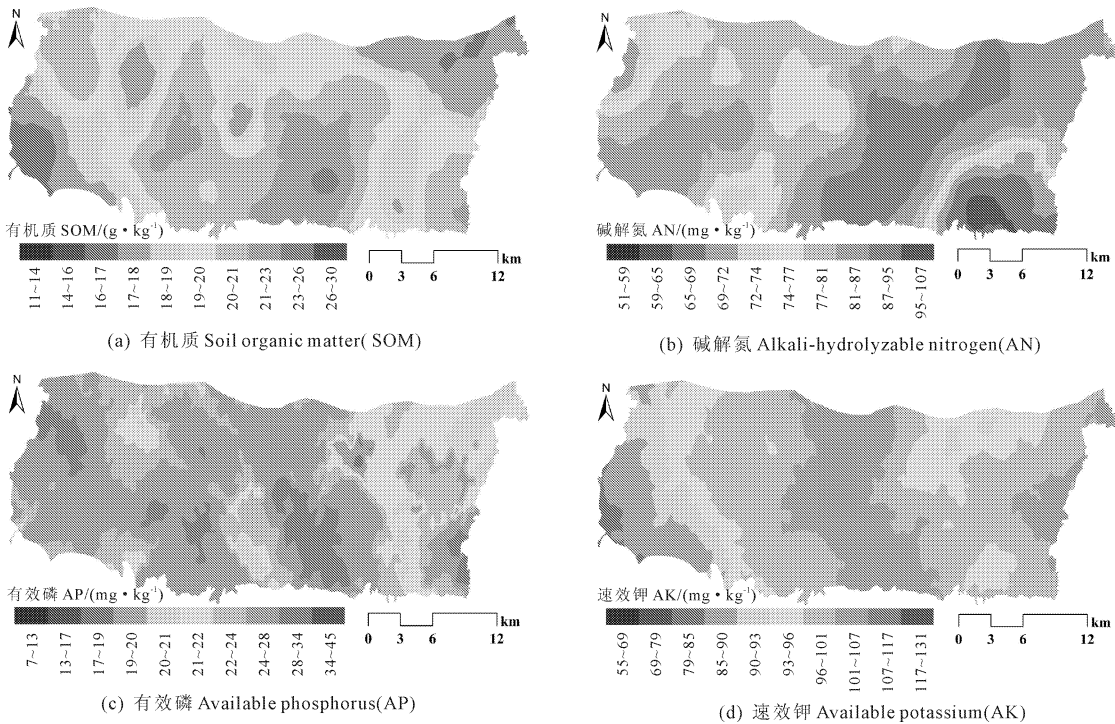


图 2 研究区土壤养分指标的空间分布格局

Fig.2 Spatial distribution of soil nutrient indexes in studied area

分区域土壤速效钾非常缺乏,甚至难以满足作物需求。综上所述,研究区土壤有机质、碱解氮含量分别处于中等偏低和中等偏高水平,能满足作物生长需求,部分区域要增加施肥;有效磷含量比较充足,农户可以根据具体土地利用因时、因地有区别使用磷肥,减少浪费;而土壤速效钾含量总体水平较低,大部分地区仍要增强施肥力度。整体上猕猴桃园(主要分布于中、南部黑河沿岸地区)比小麦—玉米农田养分水平高,主要是因为猕猴桃为喜肥果树,对土壤养分要求非常高,农户更加重视耕地培肥和改良,以满足其养分需求。

3 讨论与结论

1) 研究区土壤养分因子描述性统计分析表明,猕猴桃园中土壤有机质含量处于中等偏低水平,碱解氮和有效磷为中等偏高水平,而速效钾处于较低水平;小麦—玉米轮作田中,有机质含量处于中等偏低水平,碱解氮为中等水平,有效磷为中等偏高水平,速效钾处于较低水平。整体上猕猴桃园土壤有机质、碱解氮和速效钾含量均高于小麦—玉米轮作田,仅有效磷含量比小麦—玉米轮作田稍低。这主要与两种土地利用方式对土壤养分的要求不同有关,从而导致农户的田间管理和施肥情况存在较大差异。猕猴桃为多年生果树,每年新梢生长量远大于一般果树,且枝叶较大,结果量大,生长和发育需要从土壤中吸收大量养分,因此,在其生长阶段需要多次施肥以补充树体所需的营养。与此同时,在当地小麦—玉米轮作体系之下,考量单位面积经济收益的差异,其施肥次数和施肥总量都有大幅降低。根据赵业婷等^[26]对西安市郊区不同种植模式下施肥量的研究结果,该地果蔬地养分投入高于大田(主要种植小麦和玉米)3~4倍;韦安胜等^[27]对周至县俞家河小流域土壤养分的研究表明,当地猕猴桃园中氮肥(N)、磷肥(P_2O_5)和钾肥(K_2O)的平均施用量分别是旱地的 4.81、4.80 和 14.02 倍。而根据本研究 2014 年采集土样时调查显示,研究区猕猴桃园中氮肥、磷肥、钾肥和有机肥(包括商品有机肥和农家肥)的用量分别为 472.70、344.90、258.75、22 855.26 $kg \cdot hm^{-2}$,小麦—玉米轮作田中氮肥、磷肥、钾肥和有机肥(包括秸秆还田、商品有机肥和农家肥)的用量分别为 155.92、60.16、38.71、8 353.79 $kg \cdot hm^{-2}$,前者的施肥量分别是后者的 3.03、5.73、6.68、2.74 倍。根据路永莉等提出的秦岭北麓猕猴桃园的施肥建议^[28],研究区氮肥投入比较合理,磷肥投入偏高,而钾肥和有机肥投入偏低,可见,加大钾肥和有机肥

的投入力度是提高猕猴桃园土壤肥力的关键。

2) 两种土地利用类型下各养分因子之间相关系数有明显的差异性。在猕猴桃园中,有机质与碱解氮、有效磷、速效钾之间均呈极显著正相关;碱解氮、速效钾与有效磷之间也呈极显著正相关;而碱解氮和速效钾之间表现显著正相关。对于小麦—玉米轮作田,pH 值与有机质表现出显著负相关。总体来看,猕猴桃园比小麦—玉米农田养分因子相关系数更大,这可能与农户不同的施肥和管理方式有关,导致两者的养分聚集程度存在一定差异。此外,可根据土壤有机质与其它养分因子的相关性适当增施有机肥,以促进养分平衡、减少污染。

3) 克里金插值具有平滑作用,但这种平滑效应可以减少局部变异,利于掌握变量总体的分布状况,因此,利用普通克里金插值所得的土壤养分空间分布图能较好地反映各养分因子真实的空间变异特征和丰缺状况。研究区土壤有机质含量总体处于中等偏低水平,并且呈现中、南偏高,四周偏低的分布格局;碱解氮含量处于中等偏高水平,中高值区连片分布于中部到东北部地区;有效磷含量比较丰富,且分布均匀;而速效钾含量总体水平较低,空间分布具有东、西向更替的趋势。而赵业婷等^[26]对周至县 1983—2009 年土壤有机质变化的研究表明,该地土壤有机质分布表现出北部渭河平原沿岸含量偏低,中南部的黑河东岸区即猕猴桃主产区土壤有机质含量较高;戴相林等^[29]对秦岭北麓长安区、户县和周至县近 30 年土壤养分平衡的研究显示,该地土壤中 N 一直处于盈余状态, P_2O_5 由亏损转向明显盈余, K_2O 一直亏损但平衡率呈减小的趋势。这表明,本文的结论与上述研究结果具有较好的一致性。

4) 针对研究区两种不同土地利用方式下土壤养分现状和丰缺格局,并参考前人对于当地土壤养分的研究报道,认为今后应重视有机肥的使用、维持氮肥的使用、控制磷肥的使用、增加钾肥的使用。研究表明,有机肥不仅能提供多种养分,还具有培肥地力、增加作物产量和改善产品品质的作用,此外,有机肥比较容易获取,相比化肥不需要投入太多人力和财力。因此,在施用传统粪肥的基础上,可充分采取秸秆还田、行间种植绿肥等多种措施增加土壤有机质含量。而氮、磷、钾等肥料应根据不同的养分状况和种植制度,并结合当地测土配方施肥部门的施肥建议有区别地加以使用,既满足作物的营养需求又不造成资源浪费。此外,必须根据不同土地利用类型和土壤肥力状况进行分区培肥管理,转变落后的施肥习惯,提倡科学施肥。对于猕猴桃园,应结合

树体大小和结果多少,以及不同阶段果树对养分需求特点决定使用肥料的类型,制定适宜的施肥量和比例,并补充叶面肥;对于小麦—玉米农田,应将小麦—玉米轮作体系视为一个整体,根据养分平衡的原理,注意基肥和追肥、化肥和有机肥以及氮磷钾肥的合理搭配。由于研究区地势自南向北呈阶梯状下斜,外加降水集中,造成养分容易淋失、土层保肥能力差,这也是研究区肥料投入量很大但土壤肥力水平不高的主要原因。因此,积极加强农田基本建设,改善土壤性能从而提高肥料利用效率也是提升该地土壤肥力水平的重要措施。

参 考 文 献:

[1] 王 军,傅伯杰,邱 扬,等.黄土高原小流域土壤养分的空间分布格局—Kriging 插值分析[J].地理研究,2003,22(3):373-379.

[2] 连 纲,郭旭东,傅伯杰,等.黄土高原小流域土壤养分空间变异特征及预测[J].生态学报,2008,28(3):946-954.

[3] Burgess T M, Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties I. The semivariogram and punctual kriging[J]. Soil Sci, 1980,31:315-331.

[4] 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一以河北省遵化市为例[J].应用生态学报,2000,11(4):557-563.

[5] 杨艳丽,史学正,于东升,等.区域尺度土壤养分空间变异及其影响因素研究[J].地理科学,2008,28(6):788-792.

[6] 阿依古丽·买买提,吉力力·阿不都外力,葛拥晓.玛纳斯河流域绿洲土壤养分空间变异特征与格局[J].干旱区资源与环境,2013,27(9):153-159.

[7] 张 彬,杨联安,冯武焕,等.基于改进 TOPSIS 和 COK 的土壤养分综合评价[J].干旱区资源与环境,2016,30(7):180-185.

[8] 邓欧平,周 稀,黄萍萍,等.川中紫色丘区土壤养分空间分异与地形因子相关性研究[J].资源科学,2013,35(12):2434-2443.

[9] 朱菊兰,刘 淼,张 阳,等.浑河太子河流域地形和土地利用对表层土壤养分空间变异的影响[J].生态学杂志,2016,35(3):621-629.

[10] 赵业婷,齐雁冰,常庆瑞,等.渭河平原县域农田土壤有机质时空变化特征[J].土壤学报,2013,50(5):1048-1053.

[11] NIU Xiaoyin, WANG Yanhua, YANG Hao, et al. Effect of land use on soil erosion and nutrients in Dianchi Lake watershed, China[J]. Pedosphere, 2015,25(1):103-111.

[12] 高君亮,罗凤敏,高 永,等.阴山北麓不同土地利用类型土壤养分特征分析与评价[J].草业学报,2016,25(4):230-238.

[13] 刘冬碧,余延丰,范先鹏,等.湖北潮土区不同轮作制度下土壤养分平衡状况与评价[J].土壤,2009,41(6):912-916.

[14] 马 群,赵庚星.集约农区不同土地利用方式对土壤养分状况的影响[J].自然资源学报,2010,25(11):1834-1844.

[15] 郑子成,何淑勤,王永东,等.不同土地利用方式下土壤团聚体中养分的分布特征[J].水土保持学报,2010,24(3):170-174.

[16] 王月容,周金星,周志翔,等.洞庭湖退田还湖区不同土地利用方式对土壤养分库的影响[J].长江流域资源与环境,2010,19(6):634-639.

[17] 刘 芳,张红旗.伊犁新垦区土地利用和地形对表层土壤养分变异性的影响[J].资源科学,2012,34(4):758-768.

[18] 雷宝佳.农耕地土壤养分空间变异及其影响因素分析[D].西安:西北大学,2014.

[19] 雷宝佳,杨联安,张林森.猕猴桃果园土壤养分空间变异性分析——以陕西周至县为例[J].西北大学学报(自然科学版),2015,45(2):323-326.

[20] 吕真真,刘广明,杨劲松,等.环渤海沿海区域土壤养分空间变异及分布格局[J].土壤学报,2014,51(5):944-952.

[21] 杜 挺,杨联安,张 泉,等.县域土壤养分协同克里格和普通克里格空间插值预测比较——以陕西省蓝田县为例[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2013,41(4):85-89.

[22] 王 虎.西安市土壤养分丰缺指标及推荐施肥指标体系[M].北京:中国农业出版社,2014.

[23] 西安市土壤普查办公室.西安市土壤肥料工作站.西安土壤[M].西安:陕西科学技术出版社,1988.

[24] 赵业婷,李志鹏,常庆瑞,等.西安市粮食主产区耕层土壤速效养分空间特征[J].植物营养与肥料学报,2013,19(6):1376-1385.

[25] 史利江,郑丽波,柳云龙,等.长三角地区农田土壤养分空间变异及养分综合评价[J].长江流域资源与环境,2008,17(6):839-846.

[26] 赵业婷,常庆瑞,李志鹏,等.1983—2009 年西安市郊区耕地土壤有机质空间特征与变化[J].农业工程学报,2013,29(2):132-140,296.

[27] 韦安胜,陈竹君,康婷婷,等.秦岭北麓周至县俞家河小流域土壤养分空间变异研究[J].水土保持学报,2015,29(2):128-132.

[28] 路永莉,康婷婷,张晓佳,等.秦岭北麓猕猴桃果园施肥现状与评价——以周至县俞家河流域为例[J].植物营养与肥料学报,2016,22(2):380-387.

[29] 戴相林,刘 瑞,周建斌,等.秦岭北麓地区农田土壤养分平衡状况演变分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(3):191-199,205.