

天山北坡绿洲土壤有机碳和 养分时空变异特征

许文强^{1,2}, 罗格平¹, 陈 曦¹, 肖鲁湘^{1,2}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 本文以天山北坡三工河流域绿洲作为研究区, 利用 1982、1999 和 2003 年土壤养分数据, 应用地统计学方法, 分析绿洲土壤有机碳和养分的时空变异特征。结果显示: 研究区 1982、1999 和 2003 年土壤有机碳和养分具有显著的差异性。空间结构上, 土壤有机碳和养分具有中等或较弱的空间自相关; 受土壤类型、种植作物种类等的影响, 研究区土壤有机碳具有较强的各向异性, 但碱解氮、速效磷和速效钾各向异性较弱。Kriging 和 IDW 插值分析表明, 土壤有机碳和养分总体呈增加的趋势, 绿洲土壤表现为“碳汇”, 尤其在种植 6 年以上的多年生作物分布区, 土壤“碳汇”趋势更加明显, 说明以绿洲农业为主的人类活动基本合理, 土壤质量正逐步改善。

关键词: 绿洲; 土壤有机碳; 土壤养分; 地统计; 三工河流域

文章编号: 1000-0585(2006)06-1013-10

1 引言

陆地生态系统含有巨量的碳, 其中 73% 以土壤有机质的形态储存在于土壤中, 土壤碳库的微小变化将影响大气 CO₂ 的浓度, 土壤中有机质的含量与周转速率将直接影响陆地生态系统乃至全球的碳循环^[1]。在减轻温室气体排放的《京都议定书》背景下, 土地利用与土地覆被变化对土壤碳库的影响已引起广泛关注^[2]。土壤有机碳在决定土壤理化性质和土壤肥力时起到关键作用^[3], 通过研究和控制土壤有机碳的转化和平衡, 可以调控土壤作为大气 CO₂ 的源和汇^[4]。研究显示, 人类活动驱动的 LUCC 使土壤碳库发生了显著变化^[5], 如不同的轮作方式和农田管理措施将影响土壤有机碳变化^[6,7], 同时, 农田土壤养分又具有较强的空间变异性, 这使得农田精确耕种管理变得较为困难, 而开展小尺度的农田土壤碳和养分时空变异特性研究, 将为合理施肥及农田土壤养分的管理提供科学依据, 这对耕作土壤的可持续利用和土壤碳的管理有着十分重要的意义^[8~11]。目前, 关于碳储量变化的文献多集中在热带森林区域^[12,13], 而在温带地区, 尤其是高强度土地开发利用的干旱区, 与土壤养分密切相关的土壤碳变化研究相对薄弱。更多的关于干旱区土壤碳和养分变化的研究需要被开展, 以丰富和发展陆地生态系统土壤碳研究, 为土壤碳库和养分

收稿日期: 2006-03-23; 修订日期: 2006-06-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号 40471134)和“西部之光”联合学者项目‘干旱区绿洲 LUCC 及其对绿洲稳定性影响’

作者简介: 许文强(1979-), 男, 甘肃高台人, 博士研究生。主要从事土地利用与土地覆被变化、遥感与 GIS 应用研究。E-mail: xuwq@ms. xjb. ac. cn

变化的管理提供依据。

中国西北干旱区主要是由山地、绿洲和荒漠构成。绿洲是在荒漠背景上以天然径流为依托、具有较高的第一性生产力的中、小尺度非地带性景观^[14]。近 20 年来,随着人口的增加,人类活动对绿洲及其外围的荒漠环境变化起着主导作用^[15],绿洲外围的荒漠被开发为人工绿洲,从而改变了水资源的时空分布,部分原始天然荒漠植被变为人工植被和人类聚居区^[16],而人工植被又经历了从一年生作物到多年生经济作物的转变,使得绿洲土壤理化性质发生了显著变化^[11]。目前,对新疆生产建设兵团特殊经营体制下,绿洲土壤有机碳和养分变化及其人为驱动过程的研究还不多,开展这方面的研究,对绿洲的可持续发展至关重要。本文以干旱区三工河流域下游绿洲作为研究区,分析近 20 年绿洲土壤有机碳和养分的时空变异特征,并探讨土壤有机碳和养分变化的人为驱动因素。

2 材料与方法

2.1 研究区

位于天山北坡的三工河流域绿洲,北与古尔班通古特沙漠毗邻,为典型的冲洪积扇—冲积平原型人工绿洲。本文选择三工河流域绿洲下部作为研究区(图 1),其隶属新疆生产建设兵团阜北农场,面积约 187km²。区内地形平坦,地势东南略高,西北低,海拔 450~480m。多年平均气温 6.6℃,多年平均年降水 164mm,年蒸发潜力为 1780~2453mm。

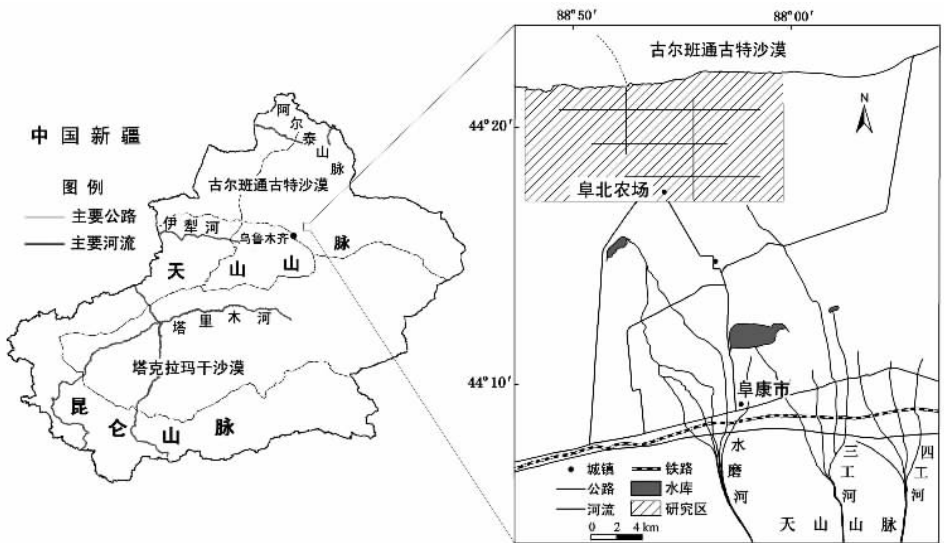


图 1 三工河流域绿洲和研究区地理位置示意图

Fig. 1 The sketch map of oasis in Sangong river watershed and the study area

阜北农场建于 1959 年,开发之前是以天然灌木林地、荒草地和盐碱地为主要土地利用类型的自然荒漠景观。经过近 50 年的水土开发和建设,地表景观已逐渐演变为以人工植被为主体的绿洲景观,土地利用类型也趋于复杂,种植作物也从开发初期以种植一年生作物(小麦、玉米、棉花等)为主转变为目前以多年生作物(葡萄和啤酒花)为主。

2.2 野外采样和实验室分析

研究区土壤数据为 1982、1999 和 2003 年土壤养分数据,采样时间均为 5 月上旬,采

样深度为 0~20cm。所有土壤样品均在面积相等的若干条田 (750m×200m) 内采集, 首先在每块条田的四周和中心各采集一个初始土壤样品, 然后将采集的 5 个初始土壤样品混合均匀得到一个混合样品。1982 年土壤养分数据是阜北农场全国第二次土壤普查数据, 来自于 472 个条田内采集的 472 个土壤样品; 1999 年和 2003 年土壤养分数据分别来自于 421 和 332 个土壤样品。为确保三期养分数据具有可比性, 我们仅选择在同一条田三期均有采样的 248 个条田采样点的土壤分析数据(图 2), 包括土壤有机质(OM)、碱解氮(AN)、速效磷(AP)和速效钾(AK)数据。土壤有机质采用重铬酸钾氧化外加加热法测定; 全氮采用半微量开氏法测定; 碱解氮用碱解-扩散法测定; 速效磷用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定; 速效钾用醋酸铵提取法。

土壤有机碳(OC)含量的计算源自于土壤有机质含量, 计算方法如下^[17]:

$$OC(\%) = OM(\%) \times 0.58$$

式中: OM 为土壤有机质, OC 为土壤有机碳。

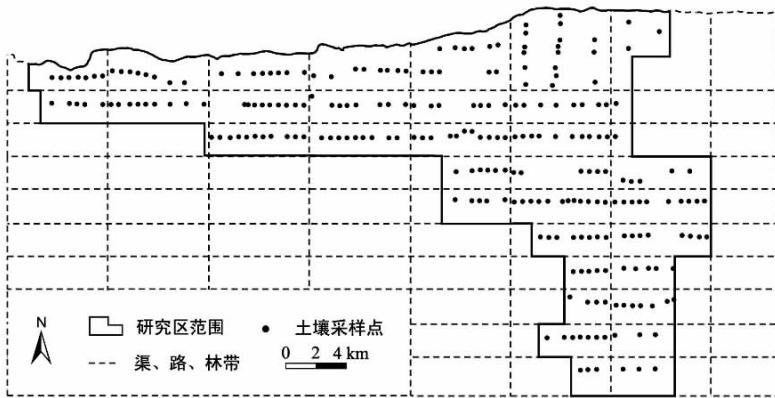


图 2 研究区土壤采样点位置分布图

Fig. 2 Map of soil sampling sites in the study area

2.3 地统计学方法

地统计学的基本原理和方法在许多文献中都有比较详细的描述^[18,19]。假设区域化变量满足二阶平稳和本征假设, 其变异函数的计算可用下式表示:

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

式中, $r(h)$ 为变异函数; h 为样点空间间隔距离, 称为步长; $N(h)$ 为间隔距离为 h 的样点数; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别是区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 x_i+h 的实测值。

变异函数计算和插值分析是借助地统计软件 GS^+ 7.0 和地理信息系统软件 ArcGIS 9.0 完成的, 各向异性半方差函数计算时的角度容差为 $\pm 22.5^\circ$, 变异函数最优理论模型的选择用决定系数(R^2)来决定, 并综合考虑残差(RSS)和块金值。考虑到研究区地形、土壤类型等的影响, 对比了 0° 、 45° 、 90° 、 135° 不同方向上各类土壤属性的空间差异性。土壤采样数据正态分布的 K-S 检验及数据的方差分析是通过 SPSS 软件完成的。

为了消除变异函数计算时可能存在的比例效应^[18], 我们将土壤有机碳和养分的原始数据做 K-S 检验, 检验其是否为正态分布, 并对不符合正态分布的原始数据进行了对数转换和平方根变换, 最终使得所有数据均符合正态分布。因此, 变异函数计算采用 1982

年碱解氮、1999年碱解氮和2003年碱解氮和速效钾的原始数据,1999年有机碳、速效磷和速效钾及2003年有机碳和速效磷的对数转换后数据,1982年有机碳、速效磷和速效钾的平方根转换后数据(表1)。

表1 1982、1999和2003年部分土壤属性的描述性统计

Tab. 1 Descriptive statistics of some soil properties in 1982, 1999 and 2003

土壤属性	年	均值	最小值	最大值	标准差	变异系数 (%)	正态分布的 K-S 检验		
							原始数据	对数变换后数据	平方根转换后数据
OC(g/kg)	1982	8.94 a	2.15	20.36	3.87	43	NN	NN	ND
	1999	7.94 b	0.39	15.10	3.12	39	NN	ND	
	2003	8.50 ab	1.35	21.1	3.12	37	NN	ND	
AN(mg/kg)	1982	40.9 c	13.0	90.0	16.20	40	ND		
	1999	78.2 a	25.1	155.2	20.49	26	ND		
	2003	53.6 b	7.8	97.7	22.00	41	ND		
AP(mg/kg)	1982	9.0 b	2.0	50.0	7.51	83	NN	NN	ND
	1999	17.3 ab	3.2	68.5	12.18	70	NN	ND	
	2003	19.3 a	4.1	101.7	11.20	58	NN	ND	
AK(mg/kg)	1982	175.6 c	39.0	473.0	67.83	39	NN	NN	ND
	1999	412.2 a	111.0	892.0	118.49	29	NN	ND	
	2003	388.8 b	112.0	628.0	86.73	22	ND		

注:同一行中带有相同字母的平均值表示没有显著差异($P < 0.05$);“ND”表示正态分布(Normal distribution),“NN”表示非正态分布(Non-normal distribution)。

2.4 插值分析

Kriging 插值方法的主要优点是能得到内插计算中产生的独立误差的估值,且由已知点内插估计点间土壤特性的空间相关性,因此有较好的内在关联属性和精确性。但由于 Kriging 方法受到变异函数、待估点的几何性质、已知样点的数据构形等的影响^[20,21],当变异函数误差较大或模拟效果不理想时,用该方法插值误差较大。而反距离权重(IDW)法是另外一种受区域变异控制的插值方法,与 Kriging 插值不同的是, IDW 插值法主要受到距离的影响,它假设表面是受到区域变异的影响,因而所插值可以通过邻近点的分析获取插值的最优值,具有最小的均方根误差。

考虑到空间变异模型及随机性因素影响程度的不同,对研究区土壤有机碳、碱解氮、速效磷和速效钾应用了不同的插值方法。

3 结果与讨论

3.1 土壤有机碳和养分的统计特征

表1为研究区土壤有机碳和养分的统计特征。1982、1999和2003年土壤有机碳和养分具有显著的差异性($P < 0.05$),其中1982年和2003年土壤有机碳含量接近,分别为8.94g/kg和8.50g/kg,而1999年有机碳含量较低,为7.94g/kg,说明土壤有机碳可能经历了先下降后上升的变化过程;碱解氮、速效磷和速效钾含量增幅明显(表1)。土壤有机碳和养分的变异系数随着土地耕作年限的增加而逐渐降低,说明在人类耕作活动的不断影响下,土壤养分的变异性在减小,养分含量趋于均匀。许多研究显示,土壤属性中速

效磷的变异系数很高^[19,22], 研究区土壤速效磷也反映出了相似的趋势, 其原因可能与较大区域内土地利用、施肥等过程的不同导致的不均一性有关。

3.2 土壤有机碳和养分等方向空间变异特征分析

表 2 是土壤属性的变异函数理论模型及相应参数。1982 年和 1999 年有机碳理论模型很好地符合高斯模型, 2003 年有机碳、碱解氮和 1982 年速效磷符合球状模型, 其他土壤属性符合指数模型。

块金值通常表示由实验误差和小于实验取样尺度引起的变异, 较大的块金方差值表明较小尺度上的某种过程不容忽视。总体来说, 1999 年土壤有机碳和养分的块金效应较大, 1982 年最小, 说明 1999 年小尺度上土壤属性的变异性较强, 而 1982 年最弱; 碱解氮块金值在 1982 年、1999 年和 2003 年均较高, 说明在小尺度上碱解氮的变异性相对较大。

基台值通常表示系统内总的变异, 块金值与基台值之比可以表明系统变量空间自相关的程度。如果比值小于 25%, 说明系统具有强烈的空间自相关; 比例在 25~75% 之间, 表明系统具有中等的空间自相关; 大于 75% 说明系统空间自相关很弱^[23]。土壤属性是由结构性因素和随机性因素共同作用的结果, 结构性因素如气候、母质、地形、土壤类型等, 而随机性因素如施肥、耕作措施、种植制度等各种人为活动。土壤有机碳具有中等的空间自相关, 说明由随机性因素和由空间自相关引起的空间异质性相当, 其中 1982 年空间自相关较 1999 年和 2003 年弱; 1982 年和 2003 年土壤碱解氮具有中等的空间自相关, 而 1999 年较弱; 从 1982、1999 到 2003 年, 土壤速效磷的空间自相关由较弱变为中等, 说明由随机性因素引起的空间异质性逐渐减小, 而由空间自相关引起的空间异质性逐步增大, 但土壤速效钾的空间自相关一直较弱。总之, 研究区土壤有机碳和养分具有中等或较弱的空间自相关, 说明由随机性因素引起的空间异质性较大, 即研究区土地利用强度、种植制度和施肥等人为活动对土壤有机碳和养分的影响较大。

表 2 1982、1999 和 2003 年部分土壤属性的空间变异特征值

Tab. 3 The spatial variance feature of some soil properties in 1982, 1999 and 2003

土壤属性	年	理论模型	块金值	基台值	块金值/基台值(%)	变程(km)	R ²	RSS
OC	1982	高斯模型	0.074	0.249	70.3	4.28	0.954	0.0025
	1999	高斯模型	4.710	10.080	53.3	3.29	0.925	3.4900
	2003	球状模型	0.067	0.162	58.4	3.02	0.844	0.0015
AN	1982	指数模型	0.851	1.703	50.0	5.28	0.811	0.1330
	1999	指数模型	0.155	1.395	88.9	0.57	0.277	0.1070
	2003	球状模型	1.220	2.710	55.1	2.96	0.718	0.8020
AP	1982	球状模型	0.006	0.334	98.2	0.44	0.417	0.0015
	1999	指数模型	0.189	1.707	88.9	0.66	0.717	0.0468
	2003	指数模型	0.123	0.246	50.2	3.90	0.834	0.0019
AK	1982	指数模型	0.014	0.146	90.8	0.45	0.207	8.0893
	1999	指数模型	1.180	8.344	85.9	0.45	0.109	5.1900
	2003	指数模型	0.010	0.060	83.1	1.44	0.605	0.0004

注: 所有数据均通过显著性水平为 0.05 ($P < 0.05$) 的 F 检验。

变程是指变异函数达到基台值所对应的距离, 它表明土壤属性的空间自相关范围, 变程的变化也反映出引起土壤属性变异主要过程的变化。从 1982、1999 到 2003 年, 土壤有

机碳的变程逐渐减小,说明在人类耕作活动的影响下,土壤属性的空间自相关范围呈减小趋势,但土壤速效磷和速效钾的变程随土地耕作时间增长而逐渐增加;碱解氮的变程在1982年最高,达5.28 km,在1999年最小,只有0.57 km(表2)。孙波^[19]对江西低山丘陵地区红壤的研究显示,在未开垦前,红壤肥力性质的空间自相关范围与丘陵直径相当,随着土地的开垦利用,土壤肥力性质的空间自相关范围逐渐减小。研究区耕地开垦前是肥力水平较高且均一的灌木林地,土壤属性的自相关范围很大,但随着人类耕作强度的增加,如开挖排渠、种植林带、施肥灌溉等,土壤属性的自相关范围逐渐减小。从1982、1999到2003年,有机碳和碱解氮空间自相关范围变化不大,而速效磷和速效钾空间自相关范围变化较大(表2),说明在人类耕作活动中施用磷肥和钾肥对土壤速效磷和速效钾空间自相关范围的影响相对较大。

3.3 土壤有机碳和养分不同方向空间变异特征分析

土壤有机碳和养分的空间变异是由土壤类型、地形、母质及种植制度、耕作措施等各种因素在不同方向、不同尺度共同作用的结果。为进一步探明研究区土壤有机碳和养分沿不同方向的空间变异特征,计算了4种土壤属性在0°、45°、90°、135°方向上变异函数的最小变程与最大变程的比值。如果该比值较小,说明变异程度较大;反之,变异程度较小^[18]。

表3为土壤属性不同方向上变异函数的变程变化。结果显示,土壤有机碳在1982、1999和2003年均具有较强的各向异性,其中在135°方向上变异最大,这主要是受研究区土壤类型,种植作物种类等的影响。碱解氮在1999具有较强的各向异性,最大变异也出现在135°方向,而在1982年和2003年表现为各向同性。2003年速效磷和1982、1999年速效钾在0°方向上具有最大变异。整体来看,在1982年、1999年和2003年,研究区土壤有机碳具有较强的各向异性,但土壤碱解氮、速效磷和速效钾各向异性较弱,说明人类耕作活动使得土壤碱解氮、速效磷和速效钾的含量趋于均匀,各向异性较小。

表3 土壤属性不同方向上变异函数的变程变化

Fig. 3 The range change of anisotropic semivariograms of soil properties

土壤属性 年	OC			AN			AP			AK		
	1982	1999	2003	1982	1999	2003	1982	1999	2003	1982	1999	2003
最大变程 (km)	22.3	66.9	91.1	32.3	61.9	22.9	88.9	75.0	76.3	57.8	86.9	25.5
最小变程 (km)	12.9	34.3	20.0	32.3	17.4	22.9	88.9	75.0	30.3	35.3	16.1	25.5
最大变异的方向	135°	135°	135°	135°					0°	0°	0°	
最大变程/最小变程	0.58	0.51	0.22	1.00	0.28	1.00	1.00	1.00	0.40	0.61	0.19	1.00

3.4 土壤属性插值结果及其人为驱动因素分析

由于Kriging插值方法受到空间变异函数模型及随机性因素的影响^[20,21],而研究区土壤部分属性变异函数模型的块金值与基台值之比大于75%,甚至高达98.2%(表2),这说明其空间自相关已经很弱,已不适合采用kriging方法进行插值,因此对空间自相关较弱、决定系数(R²)较小的1982年速效磷和速效钾、1999年碱解氮、速效磷、速效钾及2003年速效钾采用IDW插值方法。通过Kriging或IDW插值得到研究区土壤有机碳和养分分布图后,再用GIS空间分析方法生成1982~1999年和1999~2003年土壤有机碳和养分变化图(图版3,图3)。

图版 3 图 3a 和图 3b 是研究区 1982~1999 年和 1999~2003 年土壤有机碳变化图。结果显示, 1982~1999 年土壤有机碳呈现下降趋势, 大部分区域有机碳为负值, 而 1999~2003 年土壤有机碳明显增加, 部分区域增幅很大。总体来说, 土壤有机碳含量呈增加的趋势, 这主要是受研究区耕作制度、管理措施等的驱动^[24]。80 年代初, 研究区主要种植一年生作物如小麦、油菜等, 较低的秸秆还田率和较少的有机肥施用量使得土壤有机碳出现了明显的下降。到 90 年代, 随着农业机械化程度逐步提高, 土地利用更加集约化, 种植作物种类、耕作方式和管理水平都发生了显著变化。首先, 作物秸秆还田的比例逐渐提高, 方式也越来越合理, 即由粗放还田到秸秆粉碎处理后的精细还田, 有效提高了有机质的分解速率; 其次, 棉花、葡萄、啤酒花等经济作物逐渐取代小麦、玉米等一年生作物成为优势作物, 而葡萄、啤酒花属于多年生作物, 其免耕种植方式还可以降低土壤耕作强度, 增加土壤汇集碳的能力, 提高土壤有机碳含量^[25~27]。因此, 研究区 1982~2003 年土壤有机碳的变化趋势为先下降后上升, 总体呈上升的趋势, 即土壤表现为“碳汇”趋势, 这与热带雨林地区以及尼日利亚半干旱大草原地区持续耕作后土壤养分随时间逐渐降低、土地出现退化的结论^[28, 29]相反。1999~2003 年土壤养分增加较快的区域位于研究区的北部, 这里主要是种植 6 年以上的多年生作物分布区, 因此土壤有机碳的积累效应较强。

图版 3 图 3c~图 3h 分别是研究区 1982~1999 年和 1999~2003 年土壤碱解氮、速效磷和速效钾变化图。结果显示, 1982~2003 年土壤碱解氮、速效磷和速效钾的变化呈先上升后下降的趋势, 即 1982~1999 年大部分区域增幅很大, 但 1999~2003 年有所下降, 这主要与研究区无机肥施用量的变化密切相关(图 4)。80 年代, 研究区无机肥施用量较少, 所以土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量很低; 到 90 年代, 无机肥施用量大幅度增加, 使得土壤中碱解氮、速效磷和速效钾含量迅速升高, 但这一阶段无机肥的施用具有一定的盲目性; 从 1999 年开始, 阜北农场开始实施测土配方施肥技术, 使得这一阶段无机肥施用更符合作物自身生长的需要, 避免了以往大量盲目施肥而导致土壤碱解氮、速效磷和速效钾过量的现象^[30]。因此, 1999~2003 年土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量又出现了小幅度的下降。

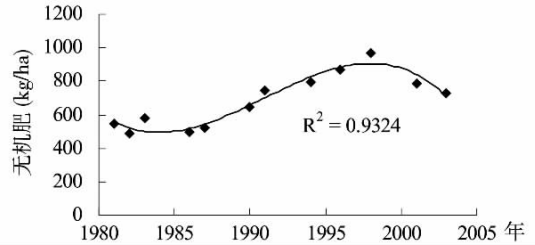


图 4 阜北农场 1981~2003 年无机肥施用量变化
Fig. 4 Changes of inorganic fertilizer applications during 1981~2003 on Fubei farm

4 结论

(1) 研究区 1982、1999 和 2003 年土壤有机碳和养分具有显著的差异性。土壤有机碳经历了先下降后上升的变化过程, 碱解氮、速效磷和速效钾含量增幅明显。土壤有机碳和养分的变异系数随着土地耕作年限的增加而逐渐降低, 养分含量趋于均匀。空间结构上, 土壤有机碳和养分具有中等或较弱的空间自相关, 说明由随机性因素引起的空间异质性较大, 即研究区土地利用强度、种植制度和施肥等人为活动对土壤有机碳和养分的影响较大。

(2) 受研究区土壤类型、种植作物种类等的影响, 土壤有机碳具有较强的各向异性, 但土壤碱解氮、速效磷和速效钾各向异性较弱, 说明人类耕作活动使得土壤碱解氮、速效

磷和速效钾的含量趋于均匀。

(3) 根据土壤属性的自相关程度和模型决定系数 (R^2), 对研究区土壤属性进行了 Kriging 和 IDW 插值, 结果显示: 研究区土壤有机碳呈先下降后上升的趋势, 而土壤碱解氮、速效磷和速效钾呈先上升后下降的趋势。但从总体来看, 土壤有机碳和养分都呈增加趋势。因此, 我们认为研究区绿洲土壤总体表现为“碳汇”的趋势, 尤其在种植 6 年以上的多年生作物分布区, 土壤“碳汇”趋势更加明显, 这说明以绿洲农业为主的人类活动基本合理, 土壤质量正逐步得到提高。

参考文献:

- [1] Watson R T, Rodhe H, Oeschger H, *et al.* Greenhouse gases and aerosols. In: Climate Change: the IPCC Scientific Assessment, IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 1~40.
- [2] IGBP Terrestrial Carbon Working Group. The terrestrial carbon cycle; implications for the Kyoto Protocol. *Science*, 1998, 280: 1393~1394.
- [3] Watson R T, Noble I R, Bolin B, *et al.* Land Use, Land Use Change and Forestry. A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 377.
- [4] 李忠, 孙波, 林心雄. 我国东部土壤有机碳的密度及转化的控制因素. *地理科学*, 2001, 21(4): 301~307.
- [5] Thuille A, Buchmann N, Schulze E D. Carbon stocks and soil respiration rates during deforestation, grassland use and subsequent Norway spruce afforestation in the southern Alps, Ttaly. *Tree Physiology*, 2000, 20: 849~857.
- [6] Guo L B, Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 2002, 8: 345~360.
- [7] 许文强, 罗格平, 陈曦, 等. 干旱区绿洲土地利用方式和强度对土壤粒度分布的影响. *干旱区地理*, 2005, 28(6): 800~804.
- [8] Maihi Y, Baldocchi D D, Jarvis P G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant Cell Environ.*, 1999, 22: 715~740.
- [9] 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. *地理研究*, 2003, 22(3): 373~379.
- [10] 刘付程, 史学正, 于东升, 等. 太湖流域典型地区土壤全氮的空间变异特征. *地理研究*, 2004, 23(1): 63~70.
- [11] 许文强, 罗格平, 陈曦. 干旱区绿洲土壤养分对不同作物系统的响应. *科学通报*, 2006, 51(1): 37~141.
- [12] Achard F, Eva H D, Stibig H J, *et al.* Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 2002, 297: 999~1002.
- [13] De Camargo P B, Trumbore S E, Martinelli L A, *et al.* Soil carbon dynamics in regrowing forest of eastern Amazonia. *Global Change Biology*, 1999, 5: 693~702.
- [14] 贾宝全. 绿洲景观若干理论问题的探讨. *干旱区地理*, 1996, 19(3): 58~65.
- [15] 罗格平, 陈曦, 周可法, 等. 三工河流域绿洲时空变异及其稳定性研究. *中国科学(D 辑)*, 2002, 32(6): 521~528.
- [16] 樊自立, 穆桂金, 马英杰, 等. 天山北麓灌溉绿洲的形成和发展. *地理科学*, 2002, 22(2): 184~189.
- [17] Mann L K. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science*, 1986, 142: 279~288.
- [18] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999. 86~88.
- [19] 孙波, 赵其国, 阎国年. 低丘红壤肥力的时空变异. *土壤学报*, 2002, 39(2): 190~198.
- [20] 朱会义, 刘述林, 贾绍凤. 自然地理要素空间插值的几个问题. *地理研究*, 2004, 23(4): 425~432.
- [21] 李晓燕, 张树文, 王宗明, 等. 吉林省德惠市土壤特性空间变异特征与格局. *地理学报*, 2004, 59(6): 989~997.
- [22] Chien Y J, Lee D Y, Guo H Y. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. *Soil Science*, 1997, 162: 291~298.
- [23] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, *et al.* Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58: 1501~1511.
- [24] 杨景成, 韩兴国, 黄建辉, 等. 土壤有机质对农田管理措施的动态响应. *生态学报*, 2003, 23(4): 787~796.

- [25] Reeves D W. The role of organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Research*, 1997, 43: 31~167.
- [26] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与使用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响. *土壤学报*, 2002, 39(1): 89~96.
- [27] 罗格平, 许文强, 陈曦. 天山北坡绿洲不同土地利用对土壤特性的影响. *地理学报*, 2005, 60(5): 779~790.
- [28] Jaiyeoba I A. Changes in soil properties due to continuous cultivation in Nigerian semiarid Savannah. *Soil & Tillage Research*, 2003, 70: 91~98.
- [29] Lal R. Mechanized tillage systems effects on properties of a tropical Alfisol in watershed cropped to maize. *Soil & Tillage Research*, 1985, 6: 149~162.
- [30] 蒋平安, 盛建东, 李宁, 等. 新疆测土配方施肥技术研究及应用现状. *新疆农业大学学报*, 2003, 26(1): 13~16.

Spatio-temporal variability of soil organic C and nutrients in the oasis of the northern slope of the Tianshan Mountains

XU Wen-qiang^{1,2}, LUO Ge-ping¹, CHEN Xi¹, XIAO lu-xiang^{1,2}

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The relationship between soil organic C and land use change is one of the important fields in the study on global change. In the past 20 years, with the rapid economic development and population increase in China, large-scale land reclamation resulted in oasis expansion and natural desert vegetation decrease, especially in Xinjiang. Taking the oasis of Sangong river watershed as a study case, we have evaluated the spatio-temporal variability of soil organic C and nutrients. The results show that: (1) The soil OC contents was roughly equivalent in 1982 and 2003, but lower in 1999 than in 1982 and 2003. The AN, AP and AK contents tended to increase with cultivation time. (2) The nugget-to-sill ratio of soil OC changed from 53.3% to 70.3%, suggesting that the spatial correlation belongs to moderate class. However, the nugget-to-sill of AN, AP and AK is higher, suggesting that the spatial correlation belongs to low class. Influenced by soil types and planting crops of the study area, the anisotropies of soil OC were obvious, while those of AN, AP and AK were weaker. (3) The results estimated by Kriging and IDW showed that soil OC declined from 1982 to 1999, and then increased from 1999 to 2003. AN, AP and AK increased significantly from 1982 to 1999, while decreased from 1999 to 2003 due to balanced fertilization application. In conclusion, soil OC had been increasing with the cultivation time in the Sangong river watershed, indicating that oasis soil presented C sink. This also indicates that the human activities in the oasis were reasonable and the environment of the oasis was improved.

Key words: oasis; soil organic C; soil nutrients; geostatistic; Sangong river watershed

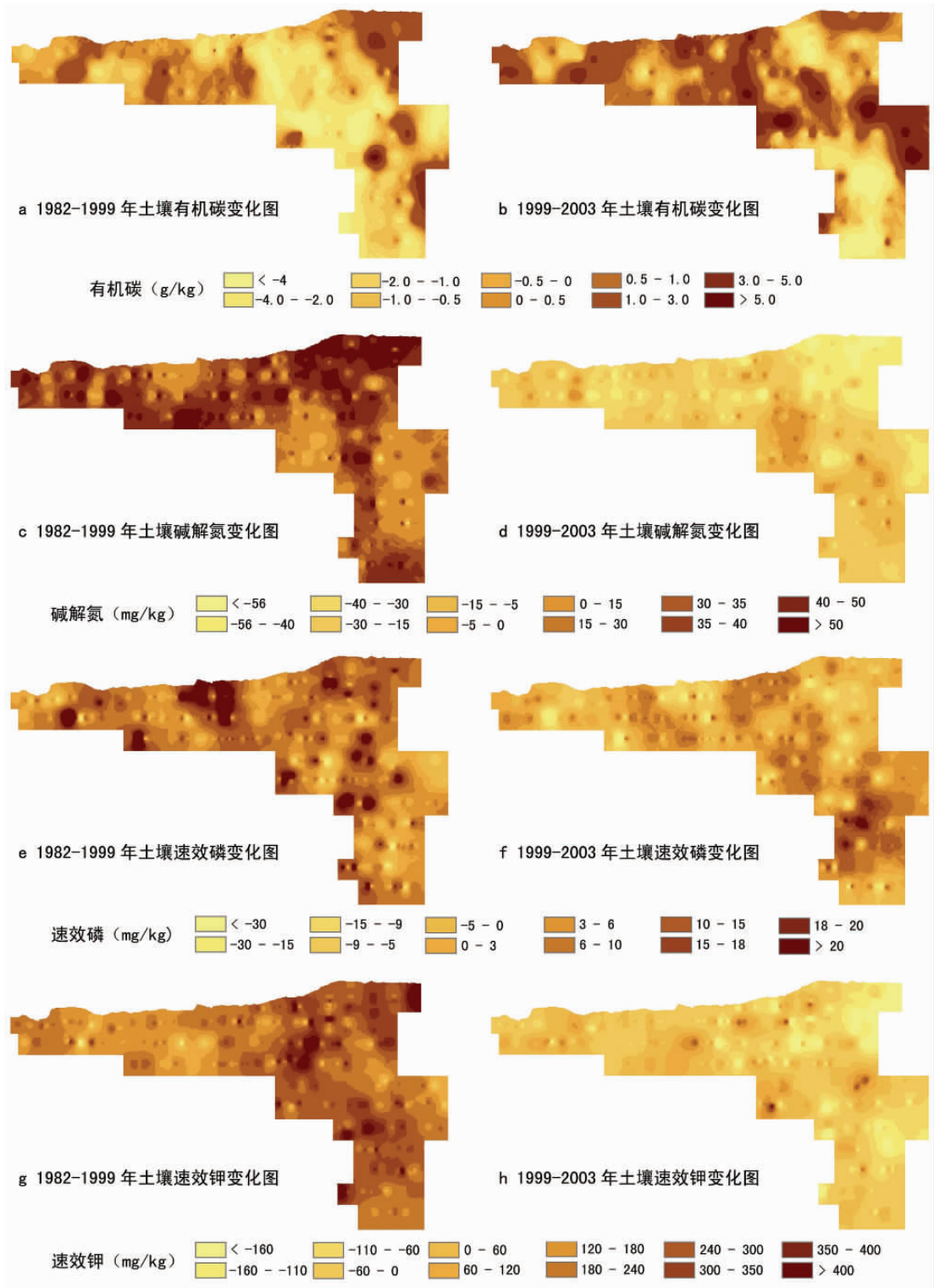


图 3 研究区 1982~2003 年土壤有机碳和养分变化图

Fig.3 Changes of soil OC and nutrients from 1982 to 2003 in the study area