

于田绿洲典型区域土壤盐分空间分异规律研究

古丽娜尔·哈里别克^{1,3}, 海米提·依米提^{2,3},
努尔模达·达拉拜⁴, 吐尔逊江·艾沙^{1,3}, 程仲雷^{1,3}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054;
3. 教育部绿洲生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046; 4. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要: 应用地统计学方法对于田绿洲典型区域土壤盐分空间分异规律进行了研究。结果表明, 于田绿洲土壤盐渍化严重并表现出表聚现象。由于人类活动干扰, 表层土壤盐分变幅最大; 0—5 cm 土层土壤盐分表现出强烈的空间相关性, 5—30 cm 土层次之, 30—70 cm 土层土壤盐分的空间相关性很弱。水平方向上, 0—30 cm 土层中土壤盐分从东向西先增大, 后减小, 再增大, 再减小; 30—70 cm 土层中土壤盐分从东向西逐渐减小; 研究区南北两侧土壤盐分含量高, 中部盐分含量低。垂直方向上, 盐碱地和高、中密度草地土壤盐分含量较高, 呈现出自上而下逐渐减小的分布趋势。其中盐碱地土壤盐分含量最高, 高密度草地土壤盐分的垂直变化幅度大于中密度草地, 低密度草地和农田土壤盐分含量较低, 且垂直变化不大。不同地形和土地利用带来的土壤水分运动差异, 是绿洲土壤盐分空间分异的主导因素。

关键词: 于田绿洲; 土壤盐分; 空间分异

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)03-0028-05

中图分类号: S153.6

A Study on Spatial Heterogeneity of Soil Salinity in the Typical Area of Yutian Oasis

Gulnar · HALIBEK^{1,3}, Hamid · YIMIT^{2,3}, Nuermoda · DALABAI⁴, Tursunjan · AISA^{1,3}, CHENG Zhong-lei^{1,3}

(1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 2. College of Geographical Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China; 3. Key Laboratory of Oasis Ecology of the Ministry of Education, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 4. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: Spatial heterogeneity of soil salinity in the typical area of Yutian oasis was analyzed by using geostatistics. Results indicated that soil salinization in Yutian oasis was severe and soil salinity accumulated in surface soil layer. The variational amplitude of soil salinity in surface soil layer was the highest because of the disturbance of human activities. The spatial correlation of soil salinity in the 0—5 cm soil layer was strong; in the 5—30 cm soil layer, in the second place; and in the 30—70 cm soil layer, relatively low. In the horizontal direction from east to west, soil salinity in the 0—30 cm soil layer manifests an increase and decrease trend, while soil salinity in the 30—70 cm soil layer gradually declined. Soil salinity was high in the northern and southern parts of the study area and low in the interior part. In vertical direction, soil salinities in saline land, highly coved grassland and medially coved grassland were relatively high and gradually decreased from soil surface to lower soil layer. Soil salinity in saline land was the highest, the variational amplitude of soil salinity in highly coved grassland was greater than that in medially coved grassland, soil salinities in farmland and lowly coved grassland were relatively lower with low variational amplitudes. The main factor for the spatial heterogeneity of soil salinity in the oasis was the difference of soil and water movement in different landforms and land uses.

Keywords: Yutian oasis; soil salinity; spatial heterogeneity

收稿日期: 2011-09-16

修回日期: 2011-12-05

资助项目: 国家自然科学基金项目“克里雅绿洲生态维护与地下水调控机理研究”(40971020)

作者简介: 古丽娜尔·哈里别克(1986—), 女(哈萨克族), 新疆维吾尔自治区察布查县人, 硕士研究生, 研究方向为水资源与环境。E-mail: gulenar@126.com。

通信作者: 海米提·依米提(1960—), 男(维吾尔族), 教授, 博士生导师, 研究方向为干旱区水资源开发利用及其环境效应。E-mail: hyimit@yahoo.com.cn。

土壤盐渍化是指可溶性盐分在土壤中积累达到对植物有害的程度。各种发生盐化和碱化过程的土壤统称为盐渍土,包括盐土、碱土和各种盐化土、碱化土^[1]。当土壤中盐分达到一定临界值时,会抑制作物根系吸收水分和养分的能力,或腐蚀根系,从而危害作物正常的生长、发育。同时,土壤盐渍化改变了植物生长的环境,促使植被类型向盐生、荒漠类型转变,造成植被第一性生产力下降和大量土地被迫撂荒^[2],最终导致土地荒漠化。因此,土壤盐渍化已对绿洲农业生产的发展乃至绿洲内部的生态安全构成严重威胁^[3]。

目前,对盐碱地治理的研究较多^[4-8],且主要集中在田间或大流域、区域尺度的盐碱地治理,对绿洲尺度的盐分空间分异及其与微地貌变化、人类活动关系的研究,尤其是定量化分析较少。本文应用地统计学方法分析了于田绿洲典型区域土壤盐分总体分异规律,探讨了其与自然因素和人为因素的联系,并揭示该地区盐渍化的原因。

本研究旨在探讨于田绿洲典型区域土壤盐分分异规律及影响因素,并据此制定相应的对策,为干旱区土壤盐渍化的治理与环境可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

于田绿洲位于中昆仑山北坡与塔克拉玛干沙漠南段交汇区,地理坐标 $81^{\circ}09' - 82^{\circ}51' E$, $35^{\circ}14' - 39^{\circ}29' N$ 。于田绿洲属典型的大陆性暖温带干旱气候,光照与热量丰富,年平均气温 $11.92^{\circ}C$,极端最高气温 $41^{\circ}C$,极端最低气温 $-24^{\circ}C$;干旱缺水,风沙多,多年平均降水量为 $35 mm$,多年平均潜在蒸发 $2\ 600 mm$,空气相对湿度只有 42% ,年均无霜期 $215 d$,年均风速 $1.8 m/s$,年平均风沙天气 $80 \sim 130 d$ ^[9]。

根据图像资料分析,并结合实地调查,将研究区选择在克里雅河中游冲积扇中下部灌溉绿洲西部,约 $10 km \times 10 km$ 的典型区 ($81^{\circ}09'28'' - 81^{\circ}16'12'' E$, $36^{\circ}57'36'' - 37^{\circ}03'28'' N$)。研究区内土地覆盖类型比较齐全,从里到外层次分明,依次是农田—高草—中草—低草。研究区内植物种类贫乏,植被结构简单,覆盖度低,自然生态十分脆弱,近几十年来又受人类活动的强烈影响,自然和人类影响相互叠加,使生态环境发生了很大变化^[10-12]。

2 材料与方法

2.1 土样采集及测定

本项目于 2008 年 6 月用 GPS 定位,在研究区内

选取 61 个典型样点采集土样,同时记录各采样点的坐标位置。为了具体反映土壤盐分的垂直变化,各样点按 $0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-70 cm$ 共 6 个土层进行采样。按 $5:1$ 的水土比用蒸馏水浸提土样,分析测定土壤的 CO_3^{2-} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} 离子的含量。 CO_3^{2-} 和 HCO_3^{-} 测定用双指示剂中和滴定法, Cl^{-} 测定用 $Ag-NO_3$ 滴定法, SO_4^{2-} 测定用 EDTA 容量法, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 测定用 EDTA 络合滴定法, K^{+} 和 Na^{+} 测定用电荷平衡法。土壤总盐量为上述 8 大离子含量之和^[13]。

2.2 研究方法

基于地理信息系统(GIS),运用 Kriging 插值法,分析研究区土壤盐分的空间分异特征。Kriging 插值法有多种,其中应用最为广泛的是普通 Kriging 法^[14]。本文应用 ArcGIS 9.2 中 Geostatistical analyst 模块提供的探索性空间数据分析工具(ESDA)进行普通 Kriging 插值计算,在此基础上,利用半方差函数对土壤盐分的空间分布进行进一步的量化分析。半方差函数(又称半变异函数)是在传统统计学基础上发展起来的时空分析方法,不仅能够有效地揭示属性变量在空间上的分布、变异和相关特征,而且可以将空间格局与生态过程联系起来,说明空间格局对生态过程与功能的影响^[15]。半方差函数的计算公式为:

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

式中: $r(h)$ ——半方差函数; h ——分隔两样点的距离,称为步长; $N(h)$ ——相距为 h 的样点对数目; $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ ——区域化变量 $Z(x)$ 在位置 x_i 和 x_i+h 处的实测值。

3 结果与分析

3.1 土壤盐分的描述性统计分析

描述性统计数据从总体上概括土壤盐分状况的全貌。表 1 列出了不同土层土壤盐分含量的统计特征值。

表 1 不同土层土壤盐分的统计特征值($N=61$)

土层/ cm	最小值/ ($g \cdot kg^{-1}$)	最大值/ ($g \cdot kg^{-1}$)	平均值/ ($g \cdot kg^{-1}$)	标准 差	变异系 数/%
0—5	0.6	110.8	20.4	24.4	120
5—10	0.9	71.1	12.9	17.4	134
10—20	0.6	74.7	9.4	12.5	133
20—30	0.6	35.5	7.5	7.6	102
30—50	0.7	21.1	5.9	5.4	90
50—70	0.8	40.2	6.8	8.0	117

研究区内各土层土壤盐分含量的平均值自上而下依次变小。20 cm 以上各土层土壤盐分含量平均值的变化范围在 20.4~9.4 g/kg, 20 cm 以下各土层在 7.5~5.9 g/kg。根据土壤盐渍化程度分级, 研究区总体上属于盐碱地^[16-17], 说明研究区土壤盐渍化程度十分严重, 是制约该区农业生产的重要因素。

土壤盐分含量的变化幅度在 0—5 cm 土层为 110.2 g/kg, 5—10, 10—20 cm 土层分别为 70.2 g/kg 和 74.1 g/kg, 20 cm 以下各土层在 39.4~20.4 g/kg。由此可见, 表层土壤盐分变幅最大, 20 cm 以上各土层盐分的变化幅度明显高于 20 cm 以下各土层, 说明 20 cm 以上土层受土壤盐渍化过程影响更大。

变异系数是一个相对变异指标, 可衡量一组数据中各个检验值的相对离散程度。一般情况下, 变异系数在 0~20% 属于弱变异强度, 在 20%~100% 属于中等变异强度, >100% 属于强变异强度^[18]。由表 1 可以看出, 同一土层深度, 水平方向上土壤盐分含量的变异系数大多超过了 100%, 表现出强变异性。这主要是由于研究区涵盖了绿洲内部和荒漠—绿洲交错带, 且绿洲内部农田灌溉制度以及耕作方式不同, 导致了水平方向上土壤盐分的分布差异; 不同土地利用方式和覆盖类型其盐分的垂直分布也有很大的不同, 这两方面的影响共同造成水平方向上土壤盐分的变异系数较大。

3.2 土壤盐分的空间变异性分析

变异函数是地统计学中分析空间分布特征的一种常用手段, 能检测、量化土壤盐分离子的空间变异性。块金值与基台值之比 $C_0/(C+C_0)$ 表示空间变异性占系统总变异的比。比值小于 25%, 说明系统

具有强烈的空间相关性; 在 25%~75% 之间, 说明系统有中等强度的空间相关性; 大于 75%, 说明系统空间相关性弱。由表 2 看出, 根据块金值与基台值之比 $C_0/(C+C_0)$, 0—5 cm 土层小于 25%, 土壤盐分分布表现出强烈的空间相关性, 说明该土层盐分的空间分布主要受结构性因素(如地下水位、地形、土壤母质、土壤类型等)的影响。于田绿洲表层(0—5 cm)土壤具有明显的积盐现象, 主要是由于地下水位过高造成潜水强烈蒸发, 虽然也受到人为因素的影响。由于自然因素空间分异有一定的规律性, 因此表现出强烈的空间相关性。5—30 cm 土层盐分的块金值/基台值变化范围 43%~60%, 表现出中等强度的空间相关性, 是结构性因素与随机性因素(耕作措施、管理制度等各种人为活动)共同作用的结果。5—30 cm 土壤虽然也有积盐, 但潜水蒸发影响相对降低, 人为耕作影响较大, 占相对重要的位置。30—50, 50—70 cm 土层盐分分布的空间相关性很弱, 在此土壤层次, 潜水蒸发的影响相对较小, 人为耕种与灌溉方式的影响依然强烈, 由于人类耕作与灌溉活动在绿洲内部分布具有一定的随机性, 所以 30—70 cm 土层盐分空间分布主要是受随机性因素的影响, 空间相关性很弱。

变程是半方差达到基台值时的样本间距。由表 2 可知, 0—30 cm 各土层土壤盐分的变程在 1.9~2.78 km, 差异不大, 说明 30 cm 以上各土层盐分的空间自相关变化尺度基本相同。30 cm 以下各土层盐分的变程在 4.07~43 km, 相差较大, 说明其空间自相关范围具有很大的差异性。同时, 各层土壤盐分的变程都大于 1 km 或 1.5 km, 说明现有的采样间隔是合理与可行的。

表 2 各土层土壤盐分的半方差函数理论模型及相关参数

土层/cm	分布类型	理论模型	块金值 (C_0)	基台值 ($C+C_0$)	$[C_0/(C+C_0)]/\%$	变程/ km
0—5	对数正态	球状模型	0.11	1.86	6	1.90
5—10	对数正态	球状模型	0.71	1.66	43	2.21
10—20	对数正态	球状模型	0.78	1.45	54	2.40
20—30	对数正态	球状模型	0.67	1.13	60	2.78
30—50	对数正态	球状模型	0.70	0.92	77	43.00
50—70	对数正态	球状模型	0.88	1.01	87	4.07

3.3 土壤盐分水平分布规律

于田绿洲土壤积盐现象严重, 而盐分主要积聚在 0—30 cm 表层土壤。分别分析了于田绿洲土壤 30 cm 以上和 30 cm 以下土层盐分的水平分布。结果表明, 东西方向, 30 cm 以上各层土壤盐分空间分布存在着较强的相似性, 即先增大, 后减小, 再增大, 再减

小; 绿洲东部各层土壤盐分的变化幅度显著大于绿洲西部。表层土壤盐分的空间分布与土地覆盖类型、微地形、气候、地下水性质等因素密切相关。研究区土地覆盖、微地形、地下水等方面的空间差异性造成了土壤盐分分布的空间差异性。30 cm 以下土层的盐分空间分布规律与表层土壤有很大的不同, 大体上呈

现出从东向西逐渐减小的趋势(附图 1)。这主要是因为强烈蒸发使表层土壤盐分垂直运动加剧,水盐运移以单向运动为主,表现为地表积盐,由于地表情况差异和人为活动干扰而出现空间异质性。30 cm 以下土壤盐分运动表现为垂直与水平方向上的双向运动,与地下水位和矿化度的关系非常密切,受农业活动影响较小。干旱内陆河地区,沿水流运动方向,地下水矿化度逐渐增加。因此沿水流运动方向,土壤盐分分布具有一定的空间过渡性。

南北方向,土壤盐分分布为两侧较高,中部较低,表层(30 cm 以上各层)土壤尤为明显。这一现象主要与土地利用和地形的空间差异有关。研究区北临塔克拉玛干沙漠,地表植被稀少,裸土积盐现象较为突出,因此土壤盐分含量较高;中部主要为农田,土壤盐分含量受耕种、灌溉等人类农业活动的影响较大,

特别是灌溉的影响使农田耕层土壤处于脱盐的过程中,因此含盐量较低;南部以荒漠草地为主,且地下水埋深浅,潜水蒸发强烈,从而造成了地表积盐。灌溉、耕作等人类活动对土壤盐分运动的干扰主要集中在农田浅层(30 cm 以上各土层)土壤,随着深度的增加,人为影响变小。由于人类农业活动具有一定的随机性,因此,浅层土壤具有更强烈的空间分异规律,而下层土壤则沿地下水流动方向出现了一定的逐渐过渡的特征。

3.4 土壤盐分垂直分布规律

按不同土地利用、植被覆盖类型对研究区土壤盐分垂直分布进行研究。首先按土地覆盖类型将各样点划分为农田、高密度草地、中密度草地、低密度草地、盐碱地等 5 类,统计每种类型中样点的个数(详见表 3)。

表 3 各样点土地覆盖类型

土地覆盖类型	个数	土地利用类型及主要植物种类
农 田	20	主要有玉米地、葵花地、棉花地、休耕地,田边栽有树木,处于研究区中部
高密度草地	7	植被覆盖度在 90% 以上,多为盐生高芦苇或者低矮芦苇,地表较湿润
中密度草地	34	植被覆盖度在 50% 左右,主要植物有怪柳、胡杨、芦苇、胖姑娘、盐穗木等
低密度草地	4	植被覆盖度在 20% 以下,土壤沙化严重,植物以芦苇为主,分布有沙岗
盐碱地	9	植被覆盖度在 85% 以上或者为裸地,植物多为盐生矮芦苇,地表湿润,有盐斑

农田分布集中,大部分位于研究区中部;中密度草地分布广阔,多处在农田的四周;盐碱地有盐渍化弃耕地,也有地势较低的自然覆被,呈斑块散布于绿洲内部;高密度草地则分布在盐渍地或农田的周边,多为即将要成为盐渍地的土地或者刚刚脱盐渍化的盐渍地;低密度草地主要集中在研究区的北部,与中密度草地犬牙交错,沙化严重,多横亘着沙岗,地势较起伏,这次所取样点较少。从图 1 中可见,在所有土地利用类型中,盐碱地各土层盐分含量均最高,其次是高密度和中密度草地,农田和低密度草地土壤盐分含量相对较低;盐碱地、高密度草地、中密度草地各土层盐分含量由上到下呈逐渐减小的趋势,农田和低密度草地土壤盐分垂直分布规律变幅不大,由上至下略有增加。

盐碱地浅层盐分含量高,尤其是 0—5 cm 土层盐分含量最大为 110.77 g/kg,最小为 26.02 g/kg,平均在 60 g/kg 以上。地表以下土壤盐分含量匀速下降,20—30 cm 土层的平均盐分含量已经降低到不足 26 g/kg,30 cm 以下各土层盐分含量仍在下降,但趋势变缓。这主要由于盐碱地的地下水位普遍较高,蒸发作用使盐分随地下水运移到表面,最终地下水蒸发

到空气中,而盐分则积聚在表层土壤中。上层土壤(30 cm 以上)盐分垂直变化剧烈,表现出强烈的表聚效应。

除盐碱地外,高密度和中密度草地的土壤盐分含量也较高。高密度草地土壤盐分含量自上而下依次减小,20 cm 以上土层变幅较大。在 60 cm 以上,高密度草地土壤盐分含量仅次于盐碱地,在各种土地利用类型中居第 2 位,60 cm 以下土层盐分含量低于中密度草地。这主要是由于高密度草地距离农田较近,地下水位较中密度草地为高,因此地下水蒸发更强烈,但农业洗盐过程中稀释了地下水的矿化度,所以深层土壤盐分含量比中密度草地低。

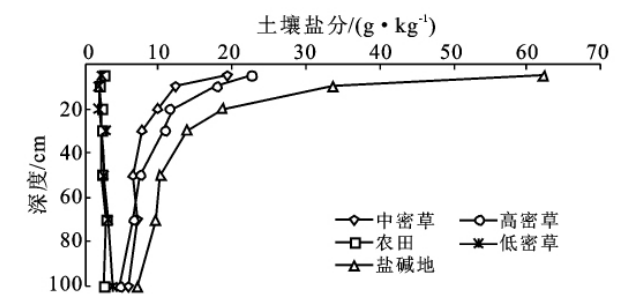


图 1 不同土地覆盖类型土壤盐分的垂直分布

研究区内中密度草地的样点数最多,占总样点数的 46% 左右。50 cm 以上土壤盐分分布是一条圆滑的下降曲线,50 cm 以下土壤盐分变化幅度不大,略有增加。这主要是因为中密度草地地下水埋深较大,水盐垂直运移较慢,因此地表积盐现象相对弱一些。蒸发作用对 50 cm 以下土壤的积盐影响不大,并且地下水矿化度较高,所以在 50 cm 以下土壤盐分呈略有增加的趋势。中密度草地浅层(10 cm 以上)土壤盐分含量的变化幅度大于高密度草地,这是因为中密度草地的地表覆盖度低于高密度草地,阳光可以直接照射到地表,加剧裸土水分蒸发,从而形成盐斑,使表层土壤盐分含量的空间差异更显著。低密度草地与农田土壤盐分垂直分布规律相似,各土层土壤盐分含量较低,平均盐分含量均在 5 g/kg 以下,且变幅不大。低密度草地多处于研究区的北端,地下水埋深较大,土壤多为沙质土壤,土壤颗粒较大,持水力较弱,在强烈的蒸发作用下,上层土壤毛细管破裂,水盐运移不畅通,积盐现象不明显,所以土壤盐分分布较为均匀。农田土壤盐分分布则受到人类活动特别是灌溉洗盐的影响,灌溉水将土壤盐分由浅层带到深层,因此土壤盐分含量较低,且由上至下有所增加。

4 结论

(1) 表层土壤盐分变幅最大,20 cm 以上各土层的盐分变化幅度明显高于其他各层。半方差分析显示,0—5 cm 土层的土壤盐分表现出强烈的空间相关性;5—30 cm 土层土壤盐分表现出中等强度的空间相关性;30—70 cm 土层土壤盐分的空间相关性很弱。各层样点土壤盐分含量的相关距离在 1.9~43 km 范围。

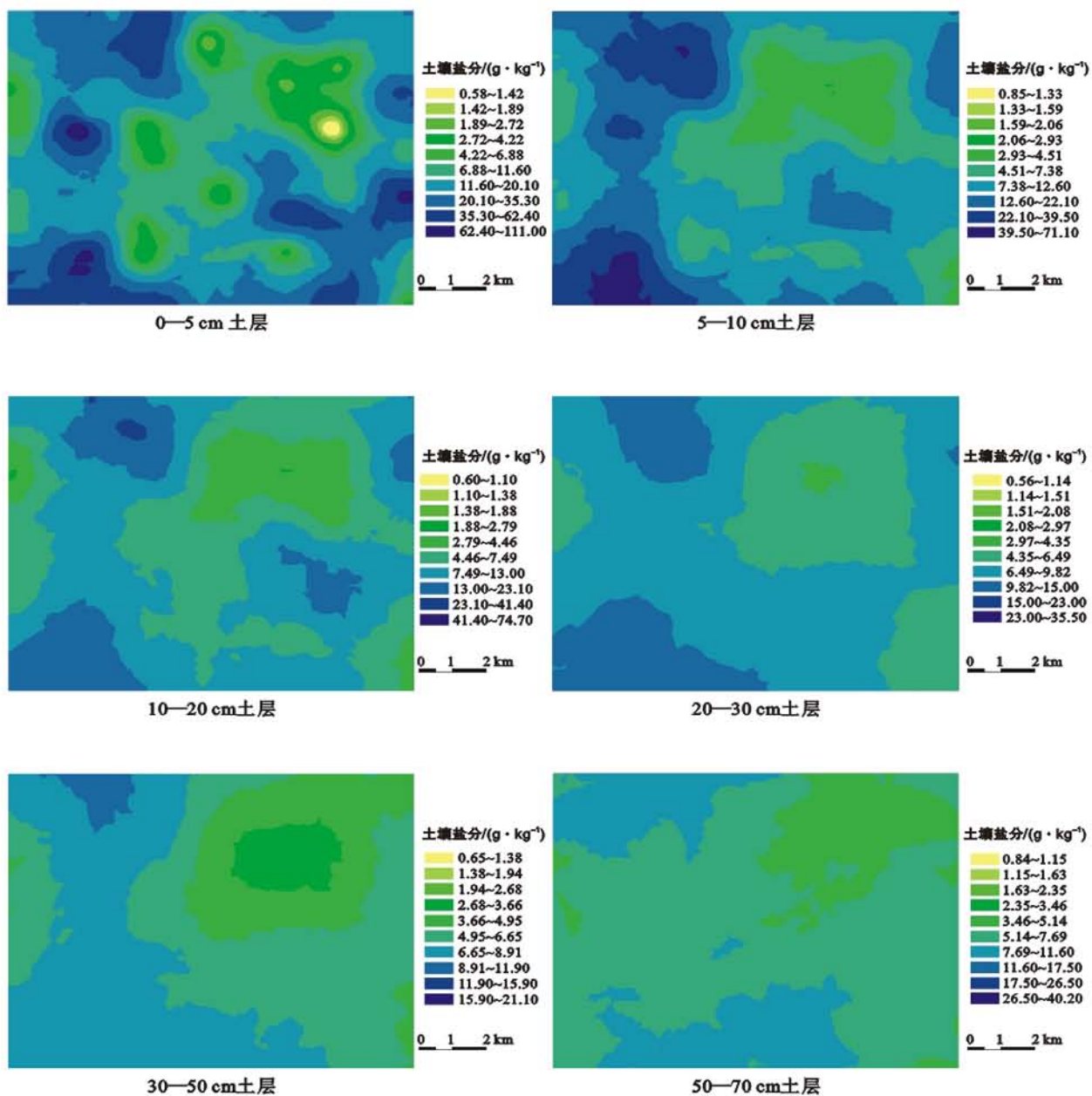
(2) 东西方向上,在上层土壤(30 cm 以上)盐分先增大,后减小,再增大,再减小;下层土壤(30 cm 以下)盐分从东向西逐渐减小。南北方向,土壤盐分两侧高,中部低。垂直方向上,盐碱地和高、中密度草地土壤盐分含量较高,呈现出自上而下逐渐减小的分布趋势。其中盐碱地土壤盐分含量最高,高密度草地土壤盐分的垂直变化幅度大于中密度草地,低密度草地和农田土壤盐分含量较低,且垂直变化不大。

(3) 根据土壤盐分分异规律及空间自相关性分析,并参照以往研究,影响于田绿洲土壤盐分的分布既有结构性,也有非结构性因素。结构性因素主要是地形及其形成的地下水方向,使土壤盐分分布具有一定的过渡性。土地利用、微地貌、耕种、灌溉等人类农

业活动是非结构性因素,使土壤盐分分布具有一定的随机性。结构性因素上叠加了非结构性因素,造成绿洲土壤盐分分布的复杂性,其中非结构性因素特别是土地利用和人类农业活动起相对重要的作用。

[参 考 文 献]

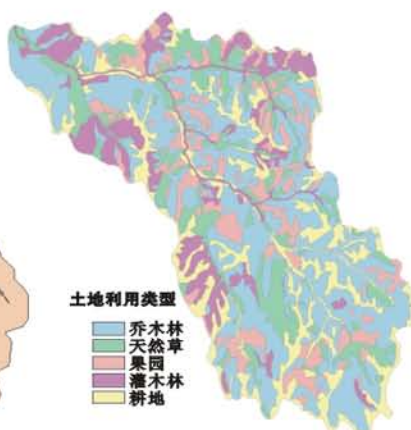
- [1] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993:110-180.
- [2] 李述刚,程心俊,王州琼. 干旱区绿洲农业持续发展战略[J]. 干旱区研究,1997,14(2):537-544.
- [3] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2004:303-304.
- [4] 牛东玲,王启基. 盐碱地治理研究进展[J]. 土壤通报,2002,33(6):449-454.
- [5] 刘阳春,何文寿,何进智,等. 盐碱地改良利用研究进展[J]. 农业科学研究,2007,28(2):68-71.
- [6] 倡小伟,解建仓,黄茹. 陕西卤泊滩盐碱地综合治理措施及效益分析[J]. 水土保持通报,2009,29(6):177-181.
- [7] 尉元明,朱丽霞,乔艳君. 河西走廊农灌区耕作土壤次生盐渍化成因与防治对策[J]. 干旱气象,2004,22(1):21-25.
- [8] 陈丽湘,刘伟. 土壤次生盐渍化之水盐运动规律研究[J]. 工程热物理学报,2006,27(3):466-438.
- [9] 丁建丽,张滢,塔西甫拉提·特依拜. 绿洲—荒漠交错带土地利用/覆盖时空变化研究[J]. 环境科学研究,2006,19(6):100-105.
- [10] 海米提·依米提. 塔里木盆地水资源利用与环境可持续发展研究[D]. 北京:中国科学院地理研究所,2000.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000:189-200.
- [12] 贺凌云. 于田县平原绿洲及其绿洲—荒漠交错带景观格局变化分析[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2005.
- [13] 付秋萍,张江辉,王全九,等. 塔里木盆地土壤盐分变化特征分析[J]. 自然科学进展,2007,17(8):1091-1097.
- [14] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1998:321-376.
- [15] 李凤全,吴樟荣. 半干旱地区土地盐碱化预警研究:以吉林省西部土地盐碱化预警为例[J]. 水土保持通报,2002,22(1):57-59.
- [16] 姚荣江,杨劲松,姜龙,等. 基于聚类分析的土壤盐渍剖面特征及其空间分布研究[J]. 土壤学报,2008,45(1):56-62.
- [17] 黄荣翰,魏永纯. 盐碱地改良[M]. 北京:中国工业出版社,1962:37-40.
- [18] 姚荣江,杨劲松,刘广明,等. 黄河三角洲地区典型地块土壤盐分空间变异特征研究[J]. 农业工程学报,2006,22(6):61-66.



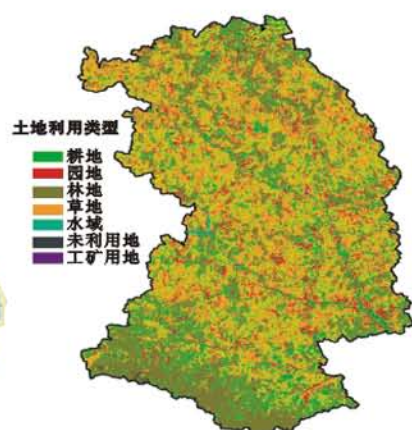
附图1 于田绿洲典型区域土壤盐分空间分布



附图2 燕沟流域土壤类型



附图3 燕沟流域土地利用类型



附图4 黄土高原沟壑区安塞县土地利用景观分布