

银川平原土壤盐分及盐渍土的空间分布格局

张源沛^{1,2}, 胡克林¹, 李保国^{1*}, 周丽娜³, 罗 昀³, 朱建宁³

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 宁夏农林科学院农业生物技术中心, 银川 750002;
3. 宁夏农林科学院资源与环境研究所, 银川 750002)

摘 要: 系统认识和掌握盐渍土的空间分布特征, 是治理改良盐渍土的基础。在总面积约 6 184.9 km² 的银川平原引黄灌区布设 101 个采样点, 分层 (0~180 cm) 测定了土壤全盐量, 应用地统计学方法结合 GIS 技术对其空间分布特征进行了研究。结果表明, 银川平原各层土壤盐分的分布类型均比较复杂, 呈高度的偏态分布。土壤盐分的变异属于中等变异强度。0~120 cm 土层盐分的空间相关距离一般在 20~28 km; 而深层 (>120 cm) 土壤的空间相关距离较大, 约 34 km。银川平原表层土壤属于非盐化土、轻度、中度、重度盐渍土和盐土的土地面积分别为 0、1 508.8、3 614.9、982.6 和 78.6 km², 总体属于中度和轻度盐化土类型, 且呈现一定的盐分表聚趋势。重度盐渍土和盐土主要分布在银北的石嘴山市、平罗县、惠农县一带和银南的部分地区。总体来说, 银川平原的土壤盐渍化现象依然严重, 应加强研究与治理改良。

关键词: 土壤盐分测定, 盐渍土, 空间分布, 地统计学, 银川平原

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.07.004

中图分类号: S156.4⁺¹

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-7-0019-06

张源沛, 胡克林, 李保国, 等. 银川平原土壤盐分及盐渍土的空间分布格局[J]. 农业工程学报, 2009, 25 (7): 19-24.
Zhang Yuanpei, Hu Kelin, Li Baoguo, et al. Spatial distribution pattern of soil salinity and saline soil in Yinchuan plain of China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 19-24. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

盐渍化是干旱、半干旱地区土壤的一个普遍特征, 在宁夏银川平原引黄灌区尤为严重, 该区具有 2000 年以上的农业生产和灌溉历史, 年复一年的大量引用黄河水, 其所携带的一定数量的可溶盐在灌区积累, 可使土壤含盐量增高。同时灌区局部地区水储量持续增大, 地下水位居高不下, 引发地下盐分向上层土壤迁移, 结果盐分在土壤表层聚积, 又加剧了土壤盐渍化程度, 严重影响和制约了该地区的生态环境和农业可持续发展。因此, 需要认识和掌握该地区盐渍土的空间分布特征及其影响因素, 从而为治理改良盐渍土提供科学依据。

地统计学方法已被证明是分析土壤属性空间分布特征及其变化规律的有效方法之一^[1]。自 20 世纪 90 年代以来, 地统计方法已被广泛用来研究土壤盐分的空间变异特征。Sylla 等研究西非农业生态系统不同尺度下土壤盐分的空间变异特征^[2]。Pozdnyakova 和 Zhang 研究美国加州 Kings 河东部一块面积为 3 375 hm² 农田土壤盐分和钠吸附比的空间变异特征^[3]。Walter 等研究了澳大利亚 Chelif 大峡谷下游灌溉区表层土壤电导率的空间分布特

征^[4]。Jordan 等研究了西班牙东南部 Alicante 省土壤盐分的空间变异性^[5]。Klc K 和 Klc S 研究土耳其北部半干旱区劣质水灌溉农田土壤盐分的空间变异性^[6]。一些学者研究了灌溉和排水对土壤盐分空间变异的影响^[7]。在中国, 白由路等^[8]对黄淮海平原土壤盐分及其组成的空间变异特征进行了研究, 结果表明该地区土壤盐分的影响范围平均在 200 km 以上, 说明黄淮海平原的盐分已集中分布在某些较大的区域。胡克林等对河北曲周试验站两个时期的土壤水分和盐分的空间变异进行了研究, 初步探讨了应用 CoKriging 方法进行盐分估值的精度^[9]。徐英等对内蒙古河套灌区中小尺度土壤盐分的空间变异特征进行了研究^[10]。蔺娟等对新疆渭干河灌区土壤盐分的空间变异特征进行了研究^[11]。姚荣江等对黄河三角洲地区典型地块土壤盐分的空间分异规律进行了分析^[12]。另有一些学者对滨海地区土壤盐分的空间变异特征进行了研究^[13-14]。

综上所述, 当前中国有关区域土壤盐分空间变异特征的研究, 主要集中在黄淮海平原、内蒙河套灌区、新疆渭干河灌区和某些滨海地区, 而在中国西北宁夏引黄灌区的研究还很少见。因此, 本文采用地统计学与 GIS 技术相结合的方法, 研究银川平原土壤盐分及盐渍土的空间分布格局, 为该区盐渍土的治理改良提供科学依据, 对于该区水土资源可持续利用具有十分重要的现实意义。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

银川平原位于宁夏北部, 包括青铜峡、吴忠、灵武、永宁、银川、贺兰、平罗、惠农和石嘴山等 9 个市 (县) 和 11 个国有农林牧场, 属黄河冲积和贺兰山洪积平原 (图

收稿日期: 2007-10-01 修订日期: 2008-05-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40761013); 科技部科技支撑计划项目 (2006BAD10A06-03); 教育部新世纪优秀人才支持计划 (NCET-07-0809) 资助

作者简介: 张源沛 (1968—), 男, 甘肃兰州人, 副教授, 主要从事水土资源管理的研究。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100193。

Email: zhangyuei@163.com

*通信作者: 李保国 (1964—), 男, 山西襄汾人, 教授, 博士, 主要从事资源环境信息技术的研究。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100193。

Email: libg@cau.edu.cn

1), 南起青铜峡, 北至石嘴山, 西靠贺兰山, 东邻鄂尔多斯台地, 南北长 165 km, 东西宽 42~60 km, 总面积 7790 km²。平原区由贺兰山洪积斜平原、黄河冲洪积和河湖积平原组成, 地势自西南向东北微倾, 海拔高度多在 1 100~1 150 m, 是宁夏地势最低之处。主要分布有灌淤土、灰钙土和沼泽土等。银川平原地处中温带干旱区, 属大陆性气候。其气候特征是干旱少雨, 日照充足, 蒸发强烈, 风大沙多。多年平均气温 9℃, 平均年降水量 185 mm, 降雨量主要集中在 7~9 月, 占全年降水量的 70%~80%, 平均年蒸发量 1 825 mm, 干旱指数 6.5。黄河水从该平原南部青铜峡流入, 从北部石嘴山流出 (图 1), 是本区灌溉用水的主要水源, 农作物以水稻、小麦、玉米为主, 旱涝保收, 稳产高产。

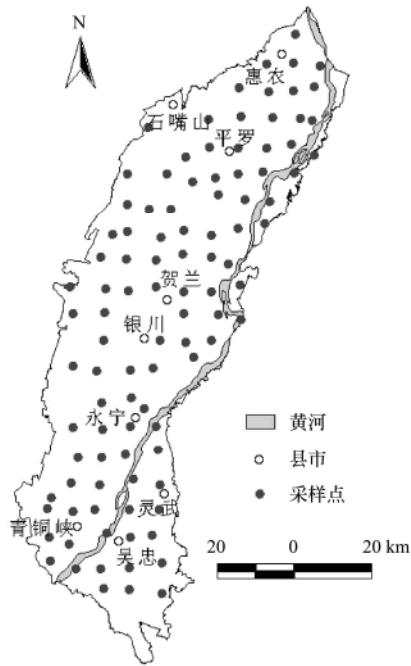


图 1 银川平原取样点分布
Fig. 1 Soil sampling locations in Yinchuan plain

由于银川平原土壤质地分布比较均匀, 故采用均匀

网格布点, 以黄河进入青铜峡灌区为基准点, 采用 GPS 定位, 采样间隔为约 7.2 km, 全区共布设了 101 个样点 (图 1)。实际取样时, 遇到盐渍化问题较突出地区, 增加采样点。当采样点为城镇用地时, 不进行采样; 当采样点为河流或湖泊等水域时, 将采样点移至外围的农田, 取样面积约 6 184.9 km²。同时调查当地的耕作制度, 土地利用状况及作物产量等。

在每个采样点用土钻分层取样, 取样层次分别为 0~10, 10~20, 20~40, 40~60, 60~80, 80~100, 100~120, 120~140, 140~160 和 160~180 cm。如遇样点地下水埋深低于 1.8 m 时, 取到地下水为止。取样时间在 2005 年该区春灌前的 4 月 13~25 日。

1.3 测定项目和方法

对采集的样品在室内自然风干, 过 1 mm 筛备用, 所有的土样均制备 1:5 土水比浸提液, 并测定其电导率 EC_{1:5}; 从采集的土样中选取 50 个土壤剖面, 共计 468 个土壤样品, 用于测定其全盐含量, 测定方法参考《土壤农业化学分析方法》^[15], 进一步可以得出研究区土壤全盐含量与浸提液电导率之间的换算关系:

$$S_t = 2.912EC_{1:5} + 0.154 \quad (r = 0.995^{**}, p < 0.0001, n = 468) \tag{1}$$

式中 S_t ——土壤全盐含量, g/kg; $EC_{1:5}$ ——1:5 土水比土壤浸提液电导率, dS/m。对于未测定全盐含量的土样, 可由浸提液电导率 $EC_{1:5}$ 经上式换算得到。

1.4 数据处理

数据处理采用了地统计学软件 GS⁺ 7.0, 土壤全盐量的空间分布图绘制及面积统计均采用 ArcGIS 9.2 软件。

2 结果与分析

2.1 土壤盐分含量的描述性统计

从表 1 中偏度和峰度系数可知, 除了表层土壤盐分近似服从对数正态分布外 (经 K-S 检验, $p < 0.05$, 双截尾), 其余土层盐分的分布均呈明显的偏态分布。银川平原土壤全盐量的变异系数范围为 0.08~0.42, 属中等变异强度, 这与已有的一些研究结果相同^[8,12]。

表 1 银川平原各层土壤全盐量的统计特征值

Table 1 Descriptive statistics of soil total salt contents at different depths in Yinchuan plain

深度/cm	样点数	分布类型*	偏度系数*	峰度系数*	均值±标准差/ $g \cdot kg^{-1}$	最小值/ $g \cdot kg^{-1}$	最大值/ $g \cdot kg^{-1}$	变异系数
0~10	101	lgN	0.24	0.56	3.02±2.97	0.40	23.43	0.98
10~20	101	偏态	1.47	4.35	1.51±2.85	0.21	25.22	1.89
20~40	101	偏态	1.22	4.38	1.20±1.88	0.22	18.48	1.56
40~60	101	偏态	1.11	5.01	1.09±1.63	0.23	16.33	1.49
60~80	101	偏态	1.33	4.94	1.21±2.14	0.23	21.12	1.77
80~100	101	偏态	1.20	3.73	1.07±1.32	0.22	11.77	1.23
100~120	98	偏态	1.08	3.75	1.01±1.26	0.17	11.80	1.24
120~140	85	偏态	0.56	1.52	0.87±0.69	0.21	4.85	0.78
140~160	71	偏态	0.40	1.02	0.83±0.58	0.19	3.32	0.69
160~180	52	偏态	1.19	3.68	0.89±1.02	0.23	7.52	1.16

注: *lgN 为对数正态分布; 偏度和峰度系数均为对数转换后的值, 它们的临界值分别为 0.24 和 0.56。

从表 1 可以看出, 研究区表层 (0~10 cm) 土壤盐分的平均含量为 3.02 g/kg, 与 1979 年 4 月的表层土壤盐分主

体含量范围 6~10 g/kg 相比^[16], 有很大程度的降低。土壤剖面中, 80 cm 以上土层土壤盐分含量的最大值与最小值

的差别较大, 均在80倍以上, 而80 cm以下土层的差别较小。根据土壤盐分含量的平均值、标准差和最大值的垂直分布特点, 可以将土壤剖面盐分大致分为上(0~80 cm)、中(80~120 cm)和下(120~180 cm)三层, 其中上层土壤盐分的平均值、标准差和最大值均远大于其余两层, 中间层的含量要略高于下层, 但明显低于上层, 而各土层的最小值差别不大。

表层土壤盐分的含量远远高于下层土壤, 并且它们的平均值、标准差和最大值均表现为随着土层的加深而呈逐渐递减的趋势, 这主要是由于在旱季持续的地表蒸发作用下, 深层土壤以及地下水中的可溶性盐类借助毛细管作用上升并在上层土壤积聚造成的。

2.2 土壤盐分的空间结构分析

从表 2 可以看出, 银川平原各层土壤全盐量具有明显的空间结构特征, 它们的半方差函数模型均可采用球状模型进行拟合, 决定系数在 0.607~0.949 范围内, 均达到了显著水平。银川平原 0~120 cm 土层全盐量的空间相关距离较小, 一般在 20~28 km 范围内; 而深层土壤的空间相关距离较大, 在 34 km 左右。主要原因是上层土壤受到地形、外界气象条件及人为活动因素的影响比大, 导致了它们的空间相关距离比较小。而深层土壤受到上述因素的影响比较小, 故空间相关距离比较大, 特别是在靠近地下水的土层, 由于受到地下水运动的影响, 故它们的空间相关距离最大。

表 2 银川平原各层土壤全盐量的半方差函数模型

Table 2 Semivariogram models for soil salinity at different depths in Yinchuan plain

深度/cm	理论模型	块金值 C_0	基台值 $Sill$	$C_0/Sill$ /%	变程 / km	R^2
0~10	球状	0.178	0.552	32.2	20.7	0.715
10~20	球状	0.139	0.534	26.0	21.7	0.656
20~40	球状	0.199	0.400	49.9	25.9	0.607
40~60	球状	0.087	0.354	24.6	21.5	0.757
60~80	球状	0.105	0.423	24.8	28.1	0.902
80~100	球状	0.032	0.364	8.8	22.0	0.949
100~120	球状	0.097	0.360	27.0	26.3	0.855
120~140	球状	0.102	0.305	33.4	35.5	0.874
140~160	球状	0.120	0.292	41.1	33.6	0.857
160~180	球状	0.001	0.329	0.3	34.1	0.800

$C_0/Sill$ 可以表示由随机因素所引起的异质性占总的空间异质性的程度^[17], 从表 2 可以看出, 在靠近地表的土层, $C_0/Sill$ 比值较大, 一般在 30%左右, 具有中等程度的空间相关性, 反映了耕层土壤(0~20 cm)盐分及其离子组成主要受到地形、外界气象条件及人为活动等随机因素的影响比较大。而靠近地下水的土层(160~180 cm), $C_0/Sill$ 比值非常小, 为 0.3%, 其空间相关性很强, 说明它们主要受到区域因素(地下水运动)的影响, 这与变程反映的结论是一致的。

2.3 土壤盐分及盐渍土的空间分布格局

图2详尽地反映了整个银川平原0~180 cm土体各深度土壤盐分的局部和全局的空间变异状况。从空间尺度来看, 各层土壤盐分含量表现出较为相似的空间分布格

局。土壤盐分含量高的区域主要集中在银川平原北部的局部地区, 且呈明显的从中心向四周扩展的分布格局。银川平原土壤全盐量大于4 g/kg的区域主要分布在银川平原北部的石嘴山、平罗、惠农和南部的永宁等地区, 说明这些地区的作物生长已经明显受到盐分的影响。除了表层(0~10 cm)土壤, 全盐量小于1 g/kg的区域主要分布在银川平原中部和南部的绝大部分区域。

从垂直分布来看, 耕层(0~20 cm)土壤全盐量明显高于其他土层, 随着土层的加深, 土壤全盐量表现为递减的趋势, 并且上层土壤含盐量高的地方, 其下层土壤含盐量也高。银川平原土壤全盐量大于 10 g/kg 的主要分布在 0~20 cm 耕层土壤, 全盐量大于 4 g/kg 的土层主要分布在土体 140 cm 以上。

研究区土壤盐分的这种空间分布格局是多方面因素共同作用的结果。首先, 研究区地形和地势的差异, 银川平原的地势是自西南向东北微倾, 盐分含量最高的区域主要分布在银川平原北部地势低洼的平罗县境内的西大滩, 同时该地方的地下水矿化度也是比较高的^[16], 在旱季持续的地表蒸发作用下, 深层土壤以及地下水中的可溶性盐类借助毛细管作用上升并积聚, 这是形成该地区盐分空间分布格局的最直接的因素, 这也是导致土壤全盐量随着土层的加深呈递减趋势的原因。其次, 与地下水埋深及其矿化度有关, 根据有关文献^[16]可知, 靠近黄河两岸的地方, 其地下水埋深均比较浅, 并且地下水矿化度也比较高, 在旱季持续的地表蒸发作用下, 盐分在这些地方累积的最多, 其含量明显高于其他地方。银川平原南部的绝大部分地区, 由于地势较高, 地下水埋深较深, 地下水矿化度较低, 故其盐分含量较低。另外, 与土地利用方式和人类灌排活动有关, 银川平原北部高含盐量低洼地区, 受到盐害的影响, 基本上是未利用的荒地。过去在改良整个银川平原盐碱地的过程中, 向该低洼地区排入了大量的盐分, 故导致该地区盐分含量远高于其他地区。银川平原的南部和中部地区主要种植有水稻、小麦和玉米等作物, 灌溉水源主要来源于水质较好的黄河水, 由于黄河水从地势较高的南部流入, 通过沟渠进入农田, 最后从地势较低的北部再次排入黄河, 灌排比较合理, 导致银川平原南部和中部的绝大部分地区长期处于脱盐过程^[18-19], 因此, 银川平原绝大部分地区土壤属于非盐渍化土壤, 作物普遍生长良好, 处于良性土壤水盐运动状态。

根据含盐量将研究区土壤分为: 盐土, 重度盐化土, 中度盐化土, 轻度盐化土和非盐化土, 它们对应的含盐量分别为 ≥ 10 、 $4 \sim < 10$ 、 $2 \sim < 4$ 、 $1 \sim < 2$ 和 < 1 g/kg^[20]。按照土壤盐渍化分级指标, 对研究区各级盐分图斑面积进行了统计, 结果见表 3。银川平原表层(0~10 cm)土壤属于盐土、重度、中度、轻度和非盐化土的土地面积分别为 78.6、982.6、3 614.9、1 508.8 和 0 km², 分别占总面积的 1.3%、15.9%、58.4%、24.4%和 0 (表 3)。银川平原盐土和重度盐化土主要分布在银川平原北部的石嘴山、平罗、惠农和南部的永宁等地区。从表 3 可看出, 从上层到下层土壤, 土壤盐渍化的程度在逐渐减轻, 盐

分含量>10 g/kg 的主要分布在 0~20 cm 土层, 含量为 4~10 g/kg 的主要分布在 120 cm 以上土层, 而 120 cm 以下土层的盐分含量基本<2 g/kg。除了表层(0~10 cm)土壤, 全盐量小于 1 g/kg 的区域主要分布在银川平原南

部的绝大部分区域, 大概占到了总面积的 70%左右。由此可见, 银川平原总体属于中度和轻度盐化土类型, 且呈现一定的盐分表聚趋势, 而非盐化土的面积较小(图 2)。

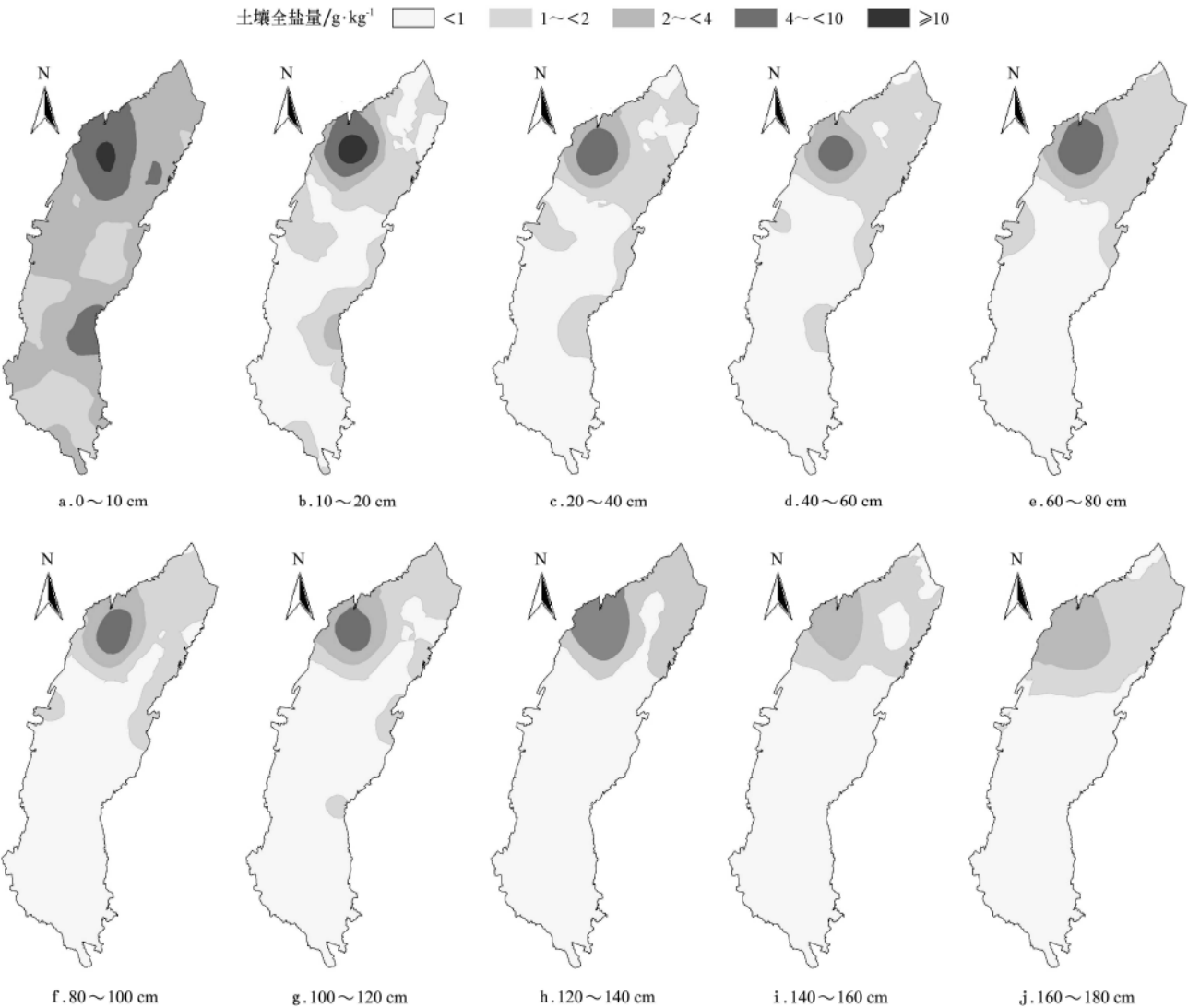


图 2 银川平原不同土层土壤全盐量的空间分布
Fig.2 Spatial distribution of soil salinity at different depths in Yinchuan plain

表 3 银川平原不同土层各等级盐分含量的面积及其占总面积的比例
Table 3 Areas and percentages of soil salinity at different depths by different classes in Yinchuan plain

等级 深度/cm	<1 g/kg		1~<2 g/kg		2~<4 g/kg		4~<10 g/kg		≥10 g/kg	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
0~10	0	0.0	1 508.8	24.4	3 614.9	58.4	982.6	15.9	78.61	1.3
10~20	3 277.2	53.0	2 057.9	33.3	378.8	6.1	355.2	5.7	115.86	1.9
20~40	3 713.7	60.0	1 822.4	29.5	385.0	6.2	263.8	4.3	0	0
40~60	3 854.7	62.3	1 813.7	29.3	355.8	5.8	160.8	2.6	0	0
60~80	3 785.8	61.2	1 685.1	27.2	386.8	6.3	327.2	5.3	0	0
80~100	4 117.9	66.6	1 470.5	23.8	396.6	6.4	199.9	3.2	0	0

3 讨 论

根据1983年土壤普查资料得到的银川平原(包括国营农场)盐碱化土地面积为1 677.0 km², 本研

究得到的银川平原盐土面积(包括重度盐化土)为1 061.2 km²。说明该地区经过多年的治理和改良, 盐土的面积总体上随时间呈递减的趋势。

银川平原土壤盐分的这种空间分布格局是由地形、

地下水埋深及其矿化度、土地利用方式及人类灌排活动等多方面因素共同作用的结果。银川平原的南部和中部地区地势较高,地下水埋深较深,矿化度低,排水较好,主要种植有水稻、小麦和玉米等作物,土壤处于脱盐过程,故盐渍化程度较轻;而银川平原北部地势低洼,地下水埋深较浅,矿化度高,排水不畅,主要种植有小麦、玉米及耐盐作物,故土壤盐化严重。已有的研究表明盐碱土主要分布在地势低洼,地下水埋深较浅,矿化度高和排水不畅的地区^[20-21],本文的研究很好地证实了这一规律。

土壤盐分的空间分布与研究尺度密切相关^[2,10],由于本次取样的面积较大,采样点间距也较大,故盐土面积的统计也不够精细,为了更准确地统计银川平原盐渍化程度较重地区的面积,需要在这些局部地区进一步研究。另外,土壤盐分含量还受到气象因子,地下水运动,种植制度以及人类灌排活动等因素的影响,因此,如要做到对该区土水资源的可持续利用,还必须对该区盐渍化动态进行监测、预报和调控的综合研究。

4 结 论

银川平原土壤盐分的分布类型均比较复杂,除表层服从对数正态分布外,其余土层均呈高度的偏态分布,土壤盐分的变异属于中等变异强度。该平原0~120 cm土层盐分的空间相关距离较小,一般在20~28 km范围内;而深层盐分的空间相关距离较大,在34 km左右。在靠近地表的土层, C_0/S_{ill} 比值较大,反映了它们主要受到气象因子和人为活动的影响比较大,而靠近地下水的土层,该比值很小,主要受到地下水作用的影响比较大。

银川平原土壤盐分含量高的区域主要集中在银川平原北部的局部地区,呈现从中心向四周扩展的分布格局。在垂向上表现为随着土层的加深,呈逐渐递减的趋势。银川平原表层土壤总体属于中度和轻度盐化土类型,其中属于盐土和重度盐化土的土地面积为1 061.2 km²,占到总面积的17.2%,主要分布在银川平原北部地势低洼的石嘴山、平罗、惠农和南部的永宁等地区。总体来说,银川平原的土壤盐渍化现象依然严重,应加强研究与治理改良。

[参 考 文 献]

- [1] Goovaerts P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives[J]. *Geoderma*, 1999, 89: 1—45.
- [2] Sylla M, Stein A, van breemen N, et al. Spatial variability of soil salinity at different scales in the mangrove rice agro-ecosystem in West Africa[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 1995, 54(1-2): 1—15.
- [3] Pozdnyakova L, Zhang R D. Geostatistical analyses of soil salinity in a large field[J]. *Precision Agriculture*, 1999, (1): 153—165.
- [4] Walter C, McBratney A B, Douaoui A, et al. Spatial prediction of topsoil salinity in the Chelif Valley, Algeria, using local ordinary kriging with local variograms versus whole-area variogram[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2001, 39(2): 259—272.
- [5] Jordan M M, Navarro-Pedreno J, Garcia-Sanchez E, et al. Spatial dynamics of soil salinity under arid and semi-arid conditions: geological and environmental implications[J]. *Environmental Geology*, 2004, 45(4): 448—456.
- [6] Klc K, Klc S. Spatial variability of salinity and alkalinity of a field having salination risk in semi-arid climate in northern Turkey[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, 127(1-3): 55—65.
- [7] Clercq W P, de Meirvenne M van. Effect of long-term irrigation application on the variation of soil electrical conductivity in vineyards[J]. *Geoderma*, 2005, 128(3-4): 221—233.
- [8] 白由路, 李保国, 胡克林. 黄淮海平原土壤盐分及其组成的空间变异性特征研究[J]. *土壤肥料*, 1999, (3): 22—26.
- [9] Bai Youlu, Li Baoguo, Hu Kelin. Spatial variability of soil salt and its composing ions in salt-affected soil in Huang-Huai-Hai plain[J]. *Soil and fertilizer*, 1999, (3): 22—26. (in Chinese with English abstract)
- [9] 胡克林, 李保国, 陈德立, 等. 农田土壤水分和盐分的空间变异性及其协同克里格估值[J]. *水科学进展*, 2001, 12(4): 460—466.
- [9] Hu Kelin, Li Baoguo, Chen Deli, et al. Spatial variability of soil water and salt in field and estimating soil salt using CoKriging[J]. *Advances in water science*, 2001, 12(4): 460—466. (in Chinese with English abstract)
- [10] 徐英, 陈亚新, 史海滨, 等. 土壤水盐空间变异尺度效应的研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(2): 1—5.
- [10] Xu Ying, Chen Yaxin, Shi Haibing, et al. Scale effect of spatial variability of soil water- salt[J]. *Trans Chinese Soc Agric Eng*, 2004, 20(2): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [11] 蔺娟, 艾尼瓦尔·买买提, 地里拜尔·苏力坦. 新疆盐渍化区土壤盐分离子的空间变异特征[J]. *水土保持研究*, 2007, 14(6): 189—192, 197.
- [11] Lin Juan, Anwar Mohammed, Dilbar Sultan. Investigation of the spatial variability of soil salts in saline soil in Xinjiang[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 14(6): 189—192, 197. (in Chinese with English abstract)
- [12] 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.
- [12] Yao Rongjiang, Yang Jinsong, Liu Guangming, et al. Spatial variability of soil salinity in characteristic field of the Yellow River Delta[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(6): 61—66. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张展羽, 詹红丽, 郭相平. 滨海平原农田土壤含盐量空间变异分析[J]. *河海大学学报*, 2002, 30(4): 60—65.
- [13] Zhang Zhanyu, Zhan Hongli, Guo Xiangping. Spatial variability analysis of soil salinity for Binhai Plain[J]. *Journal of Hohai university (Natural sciences)*, 2002, 30 (4): 61—65. (in Chinese with English abstract)
- [14] Shi Z, Li Y, Wang R C, Makeschine F. Assessment of temporal and spatial variability of soil salinity in a coastal saline field[J]. *Environmental Geology*, 2005, 48(7): 171—178.

- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
Lu Rukun. Analysis Method for Agricultural Soil[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999. (in Chinese)
- [16] 汪林, 汪珊, 甘泓, 等. 宁夏青铜峡灌区水土化学场演化态势初步分析[J]. 水利学报, 2003, 34(6): 78—84.
Wang Lin, Wang Shan, Gan, Hong, et al. Evolvment trend of water-soil chemical field in Qingtongxia irrigation area in Ningxia province[J]. J Hydraul Eng, 2003, 34(6): 78—84. (in Chinese with English abstract)
- [17] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central low a soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58: 1501—1511.
- [18] 汪林, 甘泓, 于福亮, 等. 论银北灌区的盐害指标与排引比[J]. 地球学报, 2001, 22(1): 91—96.
Wang Lin, Gan Hong, Yu Fuliang, et al. A discussion on the salt harm index and the drainage-diversion ratio in North Yinchuan irrigation area[J]. Acta Geoscience Sinica, 2001, 22(1): 91—96. (in Chinese with English abstract)
- [19] 汪珊, 张宏达, 汪林. 宁夏青铜峡灌区水土盐量的衰减和积聚进程分析[J]. 水利学报, 2005, 36(3): 365—370.
Wang Shan, Zhang Hongda, Wang Lin, Analysis on the process of deduction and accumulation of salinity in phreatic water and soil in Qingtongxia irrigation area in Ningxia province[J]. J Hydraul Eng, 2005, 36(3): 365—370. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
Wang Zhunqing, Zhu Shouquan, Yu Renpei. Saline Soil in China[M]. Beijing: Science Press, 1993. (in Chinese)
- [21] 石元春, 辛德惠. 黄淮海平原的水盐运动和旱涝盐碱的综合治理[M]. 石家庄: 河北人民出版社, 1983.
Shi Yuanchun, Xin Dehui. Water and Salinity Movement of Saline Soils in Huang-huai-hai Plain and comprehensive regulation of drought, waterlogging, salinity and alkalinity[M]. Shijiazhuang: Hebei People Press, 1983. (in Chinese)

Spatial distribution pattern of soil salinity and saline soil in Yinchuan plain of China

Zhang Yuanpei^{1,2}, Hu Kelin¹, Li Baoguo^{1*}, Zhou Lina³, Luo Yun³, Zhu Jianning³

(1. College of Resources and Enviromental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Agricultural Biotechnology Center, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China;

3. Institute of Resources and Enviromental sciences, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China)

Abstract: Understanding the characteristics of spatial distribution of saline soil is important in establishing strategies for soil salinity management. One hundred and one soil samples were collected from 0 to 180 cm in irrigation areas in Yinchuan Plain with an area of 6184.9 km² and soil salinity for each sample was measured. The geostatistical method and GIS technique were used to analyze the data. The results showed that spatial distribution of salinity in each layer of soil presented highly skew distribution. The coefficient of variation for soil salinity belonged to medium degree of variability. Soil salinity in surface layer (0–120 cm) was spatially correlated at a distance between 20 and 28 km, while the spatial correlated distance for subsoil (120–180 cm) was larger (about 34 km). The areas of non-salinity, light salinity, medium salinity, heavy salinity and saline levels were 0, 1 508.8, 3 614.9, 982.6 and 78.6 km², respectively. The soil salt concentrations of surface soil in Yinchuan plain were mostly classified at medium and light salinity levels, and presented a trend of soil salt accumulation. The saline soils were mainly distributed in Shizuishan County, Pingluo County, Huinong County in the north of Yinchuan and some areas of south Yinchuan. It is concluded that there is potential of salt accumulation in soils in the arid area and it needs further research for establishing management strategies.

Key words: soil salinity measurement, salt-affected soil, spatial distribution, geostatistics, Yinchuan plain