

黄河下游地区表层土壤盐分对作物产量的影响

丁昆仑, 许迪, 蔡林根

(国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 北京 100044)

摘要: 应用地质统计学原理与方法, 描述了黄河下游地区表层土壤盐分及相应作物产量的空间与时间变化分布趋势及特征, 统计分析了不同土、水、肥组合条件下表层土壤盐分对夏玉米和冬小麦产量的影响。分析结果表明, 表层土壤盐分及作物产量在周年内表现出相反的空间分布状况和相近的时间变异分布趋势。作物产量的空间分布明显受到表层土壤盐分空间分布趋势的影响, 表层土壤含盐量和作物产量在灌区上、下游的分布状态相对稳定, 而在中游的变化却呈现出各自明显的季节性差异。不同土、水、肥组合条件下, 表层土壤盐分状况对冬小麦产量的影响较大, 表层土壤盐分给定时, 在相近的施肥水平下, 灌溉条件对冬小麦产量的影响较大, 而相近的灌溉条件下, 不同施肥水平则对两种作物的产量均有明显的影响。研究成果可为灌区制定合理的农田水土管理策略和作物种植模式提供参考。

关键词: 表层土壤盐分; 作物产量; 时空变异; 灌溉状况; 施肥水平

中图分类号: S278

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)02-0088-05

0 引言

农田水盐运动机理和盐渍土利用与改良的研究在国内外已取得一定进展^[1-4], 但有关区域土壤表层盐分状况对作物产量影响的研究相对较少^[5,6]。由于区域表层土壤盐分的时间与空间分布趋势对维系作物正常生长的农田土壤环境条件影响较大, 为此开展相应的研究可为制定合理的区域农田水土管理策略和作物种植模式提供科学的依据。本文应用经典统计学与地质统计学的原理和方法, 在研究区域表层土壤盐分时空分布的基础上, 利用 Kriging 插值法绘制区域表层土壤含盐量及作物产量的时空分布等值线图, 定量分析不同土、水、肥组合条件下表层土壤盐分与夏玉米和冬小麦产量的相关关系, 探讨相关的技术要素对表层土壤盐分与作物产量关系的影响。

1 试验与方法

1.1 研究区域

研究区域位于黄河下游左岸的山东省簸箕李引黄灌区, 地处东经 117°14' ~ 117°38', 北纬 37°9' ~ 38°14', 总面积 2243 km², 设计灌溉面积 11 万 hm²。该区地貌为典型的黄河冲积平原, 属于华北半湿润偏旱季风气候, 年平均降水 586 mm, 年均蒸发 1240 mm (Φ20 cm 蒸发皿), 年均气温 12℃, 年均日照时数 2250 h。灌区内自然地形是西南方向的上游高、东北方向的下游低, 地面坡度 1/5000~1/15000; 土壤类型为潮土, 表层土质主要有砂土、砂壤土、粘壤土和粘土等, 其中砂(壤)土和粘(壤)土的比例分别占总面积的 32% 和 68%。灌区内受年降水量季节性分布不均的影响, 具有“春旱、夏涝、晚

秋旱”的气候特点, 种植模式以冬小麦和夏玉米一年两作为主, 当地可利用的农业水资源有雨水、黄河水和地下水。

1.2 试验采样及方法

在 1999 年 9 月下旬和 2000 年 6 月上旬夏玉米及冬小麦收获期内, 综合考虑土壤质地分布、表层土壤盐化状况、作物长势、布点相对均匀性等影响因素基础上, 于全灌区范围内选择有代表性的地块开展表层土壤盐分及夏玉米和冬小麦产量的现场采样, 分别获得样本 100 个和 120 个。与此同时, 对全部采样点所处地块的土壤质地、灌溉状况、施肥水平、作物品种等技术要素进行详细地调查分析, 并开展必要的田间小区试验以补充和验证数据。在此基础上, 对全部样本资料进行统计分类得到不同土、水、肥条件下的技术要素组合情况(表 1)。其中 A 类施肥水平包括氮肥和磷肥的施用, B 类仅施用氮肥, 施肥均结合灌溉同步进行; 夏玉米生长期灌水次数为 1 次和 2 次, 冬小麦为 1 次、2 次和 3 次; 夏玉米品种为鲁单和济南系列, 冬小麦为鲁麦和掖单系列, 均为抗旱性能好且又丰产的作物品种, 且同类作物不同品系间在性能上无明显差异。

采用 1:2.5 土水比浸提液的电导率 EC_e 作为定量表层土壤盐化程度的指标。不同作物收获期间, 在各采样点现场提取 0~30 cm 表层土壤的混合样品于室内完成 EC_e 测定^[7]。同时环绕每个采样点, 收获 1 m² 面积上的作物, 自然风干后直接测产, 夏玉米和冬小麦果粒的残余含水量分别为 6.9% 和 1.6%。

1.3 统计分析方法

新复极差显著性检验方法(DMRT)被用来比较不同区域水土特性参数样本间的平均值差异。该法的特点是可采用不同的显著差数标准用于不同参数平均数间的所有相互比较, 当两个参数样本均值的绝对差大于最小显著极差 LSR_α 时, 即可认为两参数样本间在 α 水平上差异显著

$$LSR_\alpha = SE \cdot SSR_\alpha \quad (1)$$

式中 SE ——参数平均数的标准误差; SSR_α 可通过

收稿日期: 2003-06-03 修订日期: 2003-12-18

基金项目: 中国-欧盟重大科技合作项目(ERB IC18CT970170)

作者简介: 丁昆仑(1962-), 男, 河南人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。北京市海淀区车公庄西路 20 号国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 100044。

Email: klding@ihhr.com

查表得到^[8]。

表1 不同土、水、肥组合条件下的技术要素组合

Table 1 Different combinations of soil, irrigation and fertilizing

组合 处理	灌溉状况		施肥水平		土壤质地	
	灌水日期	次灌水量/ $m^3 \cdot hm^{-2}$	$N/g \cdot m^{-2}$	$P_2O_5/g \cdot m^{-2}$		
夏 玉 米	A-1	7月中下旬	980	25	20	
	A-2	6月下旬至7月上旬, 7月下旬至8月上旬	830	25	20	砂(壤)土
	B-1	7月中下旬	980	25	0	粘(壤)土
	B-2	6月下旬至7月上旬, 7月下旬至8月上旬	830	25	0	
冬 小 麦	A-1	3月中下旬	1200	30	55	
	A-2	10月下旬至11月上旬, 3月中下旬	1050	30	55	
	A-3	10月下旬至11月上旬, 4月中下旬, 5月下旬	900	30	55	砂(壤)土
	B-1	3月中下旬	1200	30	0	粘(壤)土
	B-2	10月下旬至11月上旬, 3月中下旬	1050	30	0	
	B-3	10月下旬至11月上旬, 4月中下旬, 5月下旬	900	30	0	

采用地质统计学中的 Kriging 插值法进行参数空间样点的插值计算。该法是根据未知点周围的若干已知点的信息, 依据空间分布相关距离范围内各已知点参数间建立的空间相关结构关系, 对未知参数进行估值插补。参数的空间相关结构关系一般可借助半方差函数 $\gamma(h)$ 表示如下^[9]

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

式中 x_i ——已知点的空间坐标位置; $Z(x_i)$ ——相应点的参数值; h ——两已知点的间距; N ——已知点数量。在式(2)中, 随 h 逐渐增大, $\gamma(h)$ 增大, 当 $h = R$ 时, $\gamma(h) = s^2$, 即半方差等于方差, 此时 R 为该参数的空间分布相关距离。

Kriging 插值法建立在估值 $Z^*(x_0)$ 对真值 $Z(x_0)$ 的无偏估计以及估值与真值两者之差的方差最小基础假设上, 由于半方差函数给出相邻成对采样点之间的参数相关关系, 故任一未知内插点 x_0 处的参数估值 $Z^*(x_0)$ 可通过环绕其四周且处于空间分布相关距离范围内的 n 个已知点 $Z(x_i)$ 估算如下^[9]

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

式中 λ ——待定的权重因子, 由式(2)给出的半方差函数计算得到^[10]。

2 结果与讨论

2.1 表层土壤盐分及作物产量的空间相关性与时间变化

图1是用来描述表层土壤盐分及作物产量时空变异结构的相对半方差函数, 其中 $\gamma_s(h) = \gamma(h)/s^2$ 。由于表层土壤 EC_s 和作物产量 Y 的相对半方差函数 $\gamma_s(h)$ 的上限值都大于1, 即 $\gamma_s(h) > s^2$, 则采样区域具有足够的空间尺度来反映各自的空间变异性。由图1可见, EC_s 和 Y 的空间分布相关距离 R 在15~35 km 范围内, 且空间相关性随全部样品的变差系数 C_v 的改变发生季节性变化。其中1999年9月夏玉米收获期 EC_s 的变差系数由0.7减少到2000年6月冬小麦收获时的0.4, 相应的表

层土壤 EC_s 相关距离由30 km 增加到35 km, EC_s 变异性的减小增大了空间分布相关距离, 加强了表层土壤 EC_s 的空间相关性。与此同时, 作物产量 Y 的变差系数由0.2增大到0.7, 其空间分布相关距离从25 km 缩小到15 km, Y 变异性的增大使其空间分布相关距离减小, 削弱了作物产量 Y 的空间相关程度。

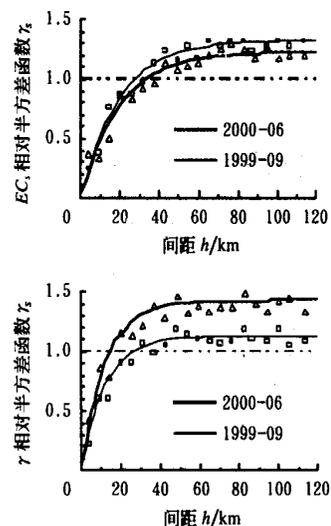


图1 表层土壤 EC_s 及作物产量 Y 的相对半方差函数与时间变化

Fig. 1 Relative semivariogram of EC_s and Y as well as their temporal variability

2.2 表层土壤盐分及作物产量的时空分布趋势及特征

图2给出利用 Kriging 内插估值法绘制的表层土壤 EC_s 的时空分布趋势。在全灌区范围内, 表层土壤 EC_s 从上游西南角的0.2 dS/m 增加到下游东北部的2.8 dS/m, 空间分布趋势是从灌区的上游到下游, 从西南到东北向逐渐增加。 EC_s 的均值由秋收时(1999年9月)的0.9 dS/m 增加到次年冬小麦收获时(2000年6月)的1.5 dS/m, 两者间差异显著, 显示出较强的表层土壤盐分时间变异性。夏季降雨淋洗脱盐使表层土壤盐分在汛后9月达到较低水平, 并在冬季保持相对稳定, 来年春季期间强烈的土壤蒸发积盐和灌溉水中盐分的

淀积又会增加表层土壤含盐量, 表层土壤盐分季节性积累与淋洗脱盐过程的交互更替呈现出黄淮海平原具有的典型土壤水盐动态基本特征^[2]。尽管年内气候条件的变化没有对表层土壤 EC_s 值的空间分布趋势产生明显的影响, 但却引起灌区中游 EC_s 的明显起伏波动, 构成表层土壤含盐量在灌区上、下游的变化趋势相对稳定, 而在中游的变动却较为明显的时间分布趋势及特征。

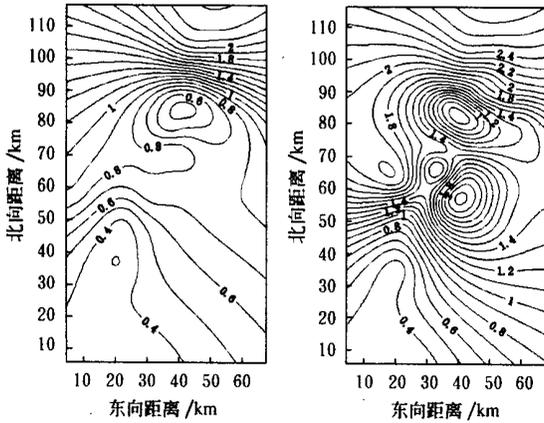


图2 EC_s 的空间分布趋势及时间变异特征 ($dS \cdot m^{-1}$)
Fig 2 Spatial distribution and temporal variability of EC_s

作物产量 Y 的时空分布趋势与特征如图 3 所示。在全灌区范围内, 相应于表层土壤 EC_s 的空间分布趋势 (图 2), 夏玉米和冬小麦产量显示出上游西南部最高、下游东北部最低、中游地区起伏变化较大的空间分布特点, 作物产量的空间分布状况明显受到表层土壤盐分空间分布趋势的影响, 两者间的负相关性显著。尽管周年表层土壤盐分的季节性变化对灌区上、下游地区作物产量的空间分布趋势没有产生明显的影响, 但在中游却引起产量的波动变化, 构成灌区上、下游作物产量的变化趋势相对稳定, 而中游变动较大的时间分布趋势及特征。

2.3 不同土、水、肥组合条件下表层土壤盐分对作物产量的影响

表 2 和表 3 给出不同土壤质地、灌溉状况、施肥水

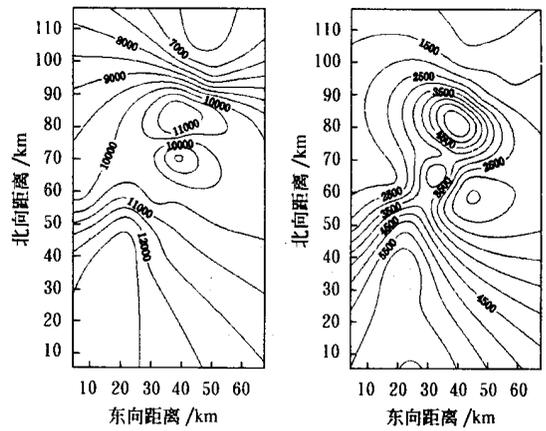


图3 Y 的空间分布趋势及时间变异特征 ($kg \cdot hm^{-2}$)
Fig 3 Spatial distribution and temporal variability of Y

平组合下的夏玉米和冬小麦产量的统计分析特征值, 其中各组合下的作物产量均服从对数正态分布, 满足统计分析中对参数概率密度函数的假设要求。从反映作物产量概率密度分布曲线的偏态系数和峰度系数来看, 部分较高的 C_s 值和 C_e 值意味着相应的分布曲线具有非对称性, 且极值差 (最大值与最小值的差) 较大, 其空间分布状态呈现出以低值为主、极差较大的结构形式; 从反映作物产量的样本均值来看, 同类土壤在相同施肥水平下的 \bar{x} 间差异显著, 其中各种水肥组合条件下夏玉米和冬小麦的最大产量分别达到 $8645 kg/hm^{-2}$ 和 $7100 kg/hm^{-2}$; 从衡量作物产量空间变异性的变差系数来看, 不同采样时间得到的 C_v 值都小于 1, 作物产量属中等变异强度^[10]。

不同土、水、肥组合条件下表层土壤盐分与夏玉米和冬小麦产量的相关关系见图 4 和图 5, 其中 y 为相对作物产量, 为同类土壤上不同水肥组合条件下的作物产量与其中的最大作物产量的比值。对图 4 和图 5 进行对比分析可以看到, 不同土、水、肥组合条件下表层土壤盐化程度对冬小麦产量的影响要明显强于夏玉米产量。例如, 当表层土壤 $EC_s = 2 dS/m$ 时, 砂(壤)和粘(壤)土上的夏玉米相对产量分别在 41% ~ 63% 和 49% ~ 71% 的范围内波动, 而在对应的土壤条件下, 冬小麦相对产量的变化范围却为 19% ~ 45% 和 12% ~ 42%。

表 2 夏玉米产量的统计分析特征值

Table 2 Statistics of the distribution of the summer maize yields

	砂(壤)土				粘(壤)土			
	A-1	A-2	B-1	B-2	A-1	A-2	B-1	B-2
最大值/ $kg \cdot hm^{-2}$	8125	8582	6370	7414	8325	8645	6893	7740
最小值/ $kg \cdot hm^{-2}$	4355	5070	3300	4300	5590	5785	3700	5200
均值 \bar{x} / $kg \cdot hm^{-2}$	5986a	6877b	4648a	5839b	6719a	7148b	5117a	6343b
标准偏差 s / $kg \cdot hm^{-2}$	1416	1067	995	1072	914	949	883	1062
变差系数 C_v	0.24	0.16	0.21	0.18	0.14	0.13	0.17	0.17
偏态系数 C_s	0.55	0.13	0.43	-0.11	0.33	0.10	0.35	0.67
峰度系数 C_e	-1.52	-1.06	-0.72	-0.62	-1.18	-1.10	-0.66	1.00

* 同类土壤及施肥水平下, 具有相同字母的均值间在 0.05 水平上无显著差异。

表3 冬小麦产量的统计分析特征值

Table 3 Statistics of the distribution of the winter wheat yields

	砂(壤)土					粘(壤)土					
	A-1	A-2	A-3	B-2	B-3	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
最大值/kg·hm ⁻²	2920	5540	6593	4480	5450	4170	6060	7100	2590	4772	5850
最小值/kg·hm ⁻²	600	2080	2250	1220	1360	870	1420	2340	590	970	1000
均值 \bar{x} /kg·hm ⁻²	1415a	3632b	4319c	2340a	3212b	2448a	3762b	4823c	1316a	2750b	3313c
标准偏差 s /kg·hm ⁻²	692	1422	1596	1042	1338	1077	1597	1764	799	1232	1760
变差系数 C_v	0.49	0.39	0.37	0.45	0.40	0.44	0.42	0.37	0.61	0.45	0.55
偏态系数 C_s	1.08	0.38	-0.07	0.77	0.21	0.20	-0.12	-0.11	1.14	0.10	0.24
峰度系数 C_e	0.37	-1.54	-1.27	-0.83	-0.91	-1.37	-1.38	-1.43	1.36	-1.17	-1.21

* 同类土壤及施肥水平下, 具有相同字母的均值间在 0.05 水平上无显著差异。

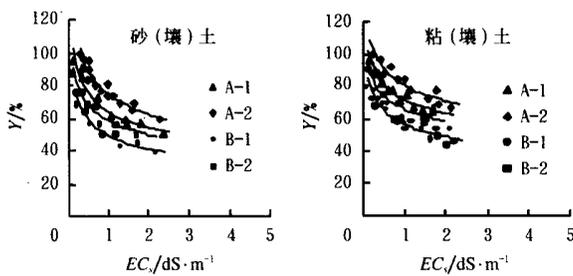


图4 不同组合条件下表层土壤盐分与夏玉米产量的相关关系
Fig. 4 Correlation of the surface soil salinity and summer maize yields under different combinations

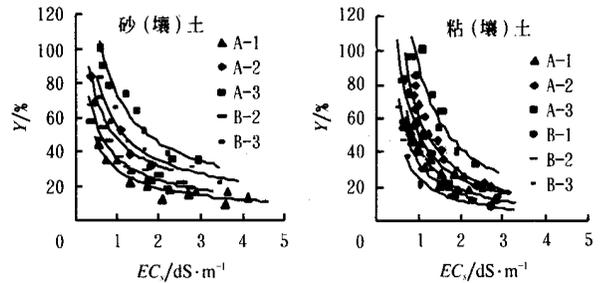


图5 不同组合条件下表层土壤盐分与冬小麦产量的相关关系
Fig. 5 Correlation of the surface soil salinity and winter wheat yields under different combinations

随着表层土壤盐化程度的逐渐加重, 两种作物的相对产量持续下降, 但夏玉米产量的下降速率要明显低于冬小麦, 两者间的差异显著。尽管冬小麦和夏玉米同属于中等耐盐作物^[11], 但夏玉米要比冬小麦更耐盐, 冬小麦对表层土壤盐分更敏感, 该结果与相关研究得出的结论类似^[5]。

土壤质地及其肥力状况差异对表层土壤盐化程度的影响如图4和图5所示。受当地季风气候影响, 周年表层土壤盐分状况以积盐和脱盐交互更替的形式表现出来, 但因土壤质地不同显示出盐化程度上的差异。在表层土壤盐分较低的夏玉米收获季节, 砂(壤)土和粘(壤)土的 EC_s 最大值分别为 2.4 dS/m 和 2.2 dS/m, 两者间差异较小, 而在表层土壤积盐期的冬小麦收获期, 相应的 EC_s 最大值分别是 4.2 dS/m 和 2.8 dS/m, 两者间差异较大。砂(壤)土盐化程度高于粘(壤)土是由于在前者中的毛管水上升能力更强, 潜水水质对表层土壤盐分积累的影响作用更大造成的, 土壤质地愈粘重, 其盐化程度则愈轻^[12]。土壤肥力状况差异对表层土壤盐化程度的影响与土壤有机质含量有关。土壤有机质中的胡敏酸和富里酸可增加土壤水的密度, 减少水的表面张力, 降低土壤毛管水的上升高度, 从而减轻土壤盐化程度^[12]。对全灌区表层土壤肥力开展的普查表明, 砂(壤)土和粘(壤)土的平均有机质含量为 0.6% 和 1.6%, 由于后者有机质含量较高, 抑制土壤盐分上移的作用明显, 使得粘(壤)土盐化程度要低于砂(壤)土。

表层土壤盐分对作物产量的影响与灌溉状况有关。图4和图5给出的结果表明, 在相近的施肥水平下, 作物生育期内灌溉差异会对相同表层土壤盐化程度下的作物产量产生明显影响。例如, 当表层土壤 $EC_s = 2$

dS/m 时, 两类土壤上 A-2 水肥组合处理下的夏玉米相对产量为 63%~71%, 比 A-1 下的相对产量 55%~63% 高出 8 个百分点, 灌溉差异对夏玉米产量有一定影响; 另一方面, 两类土壤上相应于 A-1、A-2 和 A-3 处理下的冬小麦相对产量分别为 18%~19%、29%~31% 和 43%~45%, A-2 比 A-1 和 A-3 比 A-2 分别增加了 12 和 14 个百分点, 由于冬小麦生育旺盛期适逢干旱, 故改善灌溉条件对提高冬小麦产量有较为显著的作用。

表层土壤盐分与作物产量间的关系还受到田间施肥水平差异的影响, 表1所示施肥水平差异主要在于是否施用磷肥。图4和图5反映出, 在相近的灌溉条件下, 当表层土壤 $EC_s = 2$ dS/m 时, 两类土壤上 A-2 和 B-2 处理下的夏玉米相对产量为 63%~71% 和 50%~59%, A-2 比 B-2 高出 12 个百分点, 而冬小麦的相对产量为 29%~31% 和 16%~23%, 前者比后者高 11 个百分点, 不同施肥水平尤其是施用磷肥所引起的作物相对产量上的差异比较明显。现有研究成果也表明, 在黄淮海平原盐化潮土类地区, 应以氮肥和磷肥相配合的施用方式最佳, 且磷肥的增产效果要优于氮肥^[13]。

3 结论

山东簸箕李灌区表层土壤盐分及作物产量在周年表现出相近的时间变化趋势和相反的空间分布状况。表层土壤 EC_s 和作物产量 Y 在灌区上、下游的分布状态相对稳定, 而在中游的变化却呈现出各自明显的季节性差异, 作物产量的空间分布状况明显受到表层土壤盐分空间分布趋势的影响, 两者间的负相关性显著。不同

土、水、肥组合条件下表层土壤盐分状况对冬小麦产量的影响要明显高于对夏玉米产量的影响。当表层土壤含盐量给定时,在相近的施肥水平下,灌溉条件对冬小麦产量的影响较大,而当灌溉条件相近时,施肥水平则对两种作物的产量均有明显的影响。

基于灌区表层土壤盐分时空变化趋势及特征,参照盐化土分级标准^[11]和不同土水比浸提液电导率间的关系^[14],在簸箕李灌区的上、中游地区,表层土壤含盐量小于1 dS/m 时对夏玉米的生长状态影响不大,但对冬小麦,由于中游地区的表层土壤含盐量已超过1 dS/m,作物产量可能受到限制。在灌区的下游,高于1 dS/m 的表层土壤盐分状况会影响夏玉米、冬小麦两季作物的正常生长,导致程度不一的减产,尤其是在下游的东北部,较重的表层土壤盐化程度会严重影响作物产量。研究成果为灌区制定合理的农田水土管理策略和作物种植模式提供科学的依据。

[参 考 文 献]

- [1] 石元春, 辛德惠, 等. 黄淮海平原治理与农业开发[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1983.
- [2] 中国农业科学院. 黄淮海平原的水盐运动与旱涝盐碱综合治理[M]. 石家庄: 河北人民出版社, 1989.
- [3] Handy A., et al. Saline water management for optimum crop production [J]. Agric Water Management, 1993, 24: 189- 203.
- [4] Dan Y. Salinity in Irrigation and Water Resources[M]. Marcel Dekker, N.C., 1981.
- [5] 陈秀玲, 郭永辰, 宋文. 咸水灌溉土壤水盐动态与作物产量[A]. 北京农业大学, 国际盐渍土改良学术讨论会论文集[C]. 中国济南, 1985.
- [6] Tyagi N. K. Salinity management in irrigated agriculture [A]. In: Pereira L. S et al (eds): Sustainability of Irrigated Agriculture [M]. Kluwer Academic Publishers, 1996, Dordrecht: 345- 358.
- [7] Klute A. Methods of Soil Analysis[M]. Agronomy 9(1), Am Soc Agron Madison Wisconsin, 1986.
- [8] Steel R. G. D., Torrie J. H. Principles and Procedures of Statistics—A Biometrical Approach[M]. McGraw-Hill Int Book Co, Tokyo, 1981.
- [9] Matheron G. Les Variables Regionalisees et leur Estimation[M]. Masson Press, Paris, 1965.
- [10] Hillel D. Application of Soil Physics [M]. Academic Press, New York, 1980.
- [11] FAO. The Use of the Saline Waters for Crop Production [M]. Rome Italy, 1993.
- [12] 谢承陶. 盐渍土改良原理与作物抗性[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993.
- [13] 杨守春, 等. 黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤配肥技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1991.
- [14] Shaw R. Estimation of the electrical conductivity of saturation extracts from the electrical conductivity of 1:5 soil water suspensions and various soil properties[R]. Project Report Series QO94025, Dept of Primary Industries, Queensland, Australia, 1994.

Effects of surface soil salinity on crop yield in areas of the lower reaches of the Yellow River

Ding Kunlun, Xu Di, Cai Lingen

(National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research, Beijing 100044, China)

Abstract: By applying geostatistical techniques to a large-scaled area of the Bojili Irrigation District in Shandong, the regional surface soil salinity effects on crop yields were investigated. The tendency and features of the temporal and spatial variability of the surface soil salinity and crop yields were depicted and the impacts of the soil salinity on summer maize and winter wheat yields under the different combinations of soil, irrigation and fertilizing were quantitatively analyzed. The results showed that, within a full hydrological cycle year, the regional spatial varieties of the surface soil salinity and crop yields indicated different distribution features, while the temporal varieties of these properties demonstrated similar distribution tendency and features. The spatial varieties of the crop yields were significantly influenced by the corresponding distributions of the regional surface soil salinity, and the spatial distributions of the soil salinity values and crop yields in different seasons were relatively stable in the upper and lower areas, but varied significantly in the middle area of the irrigation district. The surface soil salinity showed a great effect on the winter wheat yields under the different combinations of soil, irrigation and fertilizing. With the same soil salinity and fertilizing levels, irrigation had a significant influence on the winter wheat yields, while with the similar irrigation level fertilization showed significant effects on the yields of both crops. The results of this study provided the rational data that will be of benefit to making the soil and water management strategies and crop patterns in this region.

Key words: surface soil salinity; crop yields; temporal and spatial variability; irrigation; fertilizing