

删除的内容: 857

带格式的:

带格式的: 行距: 固定值 24 磅

# 封丘县土壤盐分的演变特征研究<sup>①</sup>

李开丽<sup>1,2</sup>, 陈杰<sup>3\*</sup>, 檀满枝<sup>1</sup>, 密术晓<sup>1,2</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3 郑州大学自然资源与生态环境研究所, 郑州 450001)

带格式的: 字体: 仿宋

带格式的: 列数: 2

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符

删除的内容:

删除的内容:

删除的内容:

**摘要:** 世界上影响灌溉农业最大的问题是盐渍化问题。中国是受土壤盐渍化影响的大国。盐碱化曾是限制封丘县农业生产的四大自然灾害之一。本文基于 40 个土壤剖面数据, 结合第二次土壤普查的盐土数据, 对封丘县的土壤盐分的时空特征进行了系统研究。结果表明: 27 年来封丘县土壤盐分含量大幅下降, 盐碱土作为土壤发生类型只存在于极个别微域景观; 土壤含盐量较高的区域集中分布在东南部, 与地下水埋深趋势相吻合, 但只有东南角部分地区含盐量超过 0.293 dS/m 为盐化土。地下水位下降是土壤盐分降低的主要原因。盐分聚集在 40 cm 以下, 并未脱离土体。封丘县存在土壤盐碱化的自然条件, 一旦水文地质条件发生变化, 土壤盐渍化仍然可能发生。

**关键词:** 封丘县; 土壤盐分; 电导率; 分布特征; 时空演变

**中图分类号:** S156.4<sup>+9</sup>

早在 1976 年, Mass 和 Hoffman<sup>[1]</sup>就指出世界上影响灌溉农业最大的问题是土壤盐渍化问题。据统计, 盐渍化影响了 4 × 10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup> 耕地, 也就是世界灌溉土地的 1/3 的粮食产量。据联合国粮农组织 2000 年的报告, 全球盐碱土的总面积是 8.31 亿 hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>, Pitman 和 Lăuchli<sup>[3]</sup>也指出盐渍化问题在灌溉农业区广泛存在, 尤其是在亚洲和非洲国家: 印度和中国盐渍化面积巨大。

中国盐渍土总面积约为 3.6 × 10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup>, 黄淮海平原是盐渍土分布的主要区域之一<sup>[4]</sup>。历史上, 封丘县曾是黄淮海平原盐碱化很重的地区。1961 年, 封丘县的盐渍土面积达到 3.36 万 hm<sup>2</sup>, 占总耕地面积的 50%, 严重影响农业生产, 农作物产量低而不稳。从 20 世纪 70 年代开始, “黄淮海平原农业综合开发”等一系列低产改良项目实施, 经采取“排、灌、平、肥、林、种、管”等综合措施治理, 农作物单产大幅度提高<sup>[5]</sup>。

对盐渍土的区域分布特征、盐渍化的发生与演变特征等已有学者进行了研究, 但多集中在方法探讨上: Douaik 等<sup>[6]</sup>利用克里格和贝叶斯最大熵法研究匈牙利东部赫特巴杰国家公园 25 hm<sup>2</sup> 土壤盐分的时空变异, 结果表明贝叶斯最大熵法更加无偏精确; Grunstra 和

Van Auken<sup>[7]</sup>利用反距离插值和普通克里格插值法研究美国得克萨斯州西部佩科斯郡土壤盐分的时空变异特征, 结果表明克里格插值法较好; Farifteh 等<sup>[8]</sup>使用最小二乘法和人工神经网络法来研究土壤反射光谱与盐分的关系, 结果表明两种方法对土壤盐分的评估和制图均有较大潜力, 线性函数能够更好地反映土壤反射光谱和盐分的关系; Li 等<sup>[9]</sup>对浙江省上虞市海涂围垦区一块面积为 1 015 hm<sup>2</sup> 的棉田在 3 个不同耕作时期上盐分的时空变异性进行了研究。

就研究的区域而言, 除自由路等<sup>[10-11]</sup>对整个黄淮海平原土壤盐分分布进行了研究外, 其他有关黄淮海平原盐渍土及土壤盐分研究主要集中在黄河三角洲盐渍土区<sup>[12-15]</sup>; 吴亚坤等<sup>[16]</sup>虽然对封丘 0 ~ 120 cm 的土壤盐分进行了研究, 但未基于第二次土壤普查时期获取的相关历史数据进行相应的对比分析, 以揭示研究区土壤类型及土壤盐分含量在时间上的动态变化趋势; 也没有对土壤盐分含量与地下水埋深之间的关系进行进一步探讨。

本研究利用中国科学院知识创新工程重大项目“耕地保育与持续高效现代农业试点工程”在封丘试验区获取的第一手土壤调查与样品分析数据、地下水观测数据以及收集、整理的第二次全国土壤普查历史数

删除的内容: <sp><sp>

删除的内容:

带格式的: 行距: 固定值 13 磅

删除的内容: \*

带格式的: 行距: 固定值 13 磅, 不调整西文与中文之间的空格

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-02)、国家自然科学基金项目(40701070)和中国科学院南京土壤研究所创新前沿项目(ISSASIP0716)资助。

\* 通讯作者(jchen@zsu.edu.cn)

作者简介: 李开丽(1977—), 女, 山东沂水人, 博士研究生, 主要从事遥感与GIS应用研究。E-mail: klli@mail.issas.ac.cn

据，系统揭示封丘县土壤盐分在空间系列上的水平及垂直分布规律、在时间序列上的动态变化趋势，并对土壤盐分含量下降的原因进行了分析，旨在为区域耕地资源合理利用和低产障碍农田改良、改造提供决策支持。

### 1 研究区概况及数据来源

#### 1.1 研究区概况

封丘县地处河南省东北部，黄淮海平原中部，地理位置 34°53'~35°14'N、114°14'~114°45'E (图 1)。全县面积 1 220.5 km<sup>2</sup>，其中耕地面积 8.73 万 hm<sup>2</sup>，是全国商品粮基地县之一，封丘县为我国七五、八五期间黄淮海农业开发重点县，是著名的优质小麦、优质水稻生产基地。所在地区属暖温带半湿润季风气候区，年均温度 13.9℃，多年平均降雨 605 mm，降水量年内和年际间分配不均，且蒸发量远远大于降水量<sup>[5]</sup>。由于地处黄河故道，地貌复杂，沙岗、平原、洼地兼有，黄河大堤以南滩地较高，其余地势低洼。地势由西南向东北倾斜，全县海拔 65~72.5 m。主要土壤类型是潮土(在中国土壤系统分类下属于雏形土)，占全县土壤总面积的 98.3%。

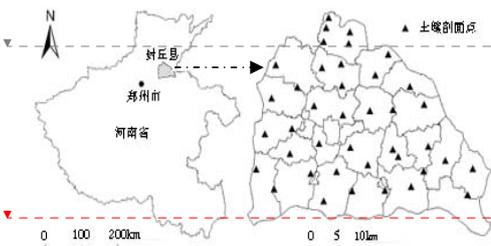


图 1 土壤剖面点及研究区地理位置图

Fig. 1 The soil profile points and the geographical position of study area

#### 1.2 数据来源

为了获取从第二次土壤普查到现在 27 年来土体含盐量的变化情况，在封丘县范围内依据土壤类型、空间上均衡等原则布设土壤剖面样点 40 个(图 1)。于 2008 年 7 月对布设土壤剖面进行观测、描述与记载，并采集分层土壤样品共 172 个(采样深度 0~100 cm)。

根据第二次土壤普查的《封丘县土壤图》获取了封丘县 1981 年各土种的空间分布图，据《封丘土壤》<sup>①</sup>获取了盐化潮土的 14 个含盐土种信息以及代表性剖面的盐分数据。

①封丘县土壤普查办公室. 封丘土壤. 1984, 8: 61-76

封丘县水利局提供的 2008 年 22 个地下水位观测井的地下水埋深数据。

### 2 样品处理与研究方法

土壤中的含盐浓度通常是通过监测有效根部土壤饱和和提取物的电导率来决定的<sup>[17]</sup>。在半干旱区，盐分通常是主导电导率大小的土壤属性<sup>[18]</sup>。本文对土壤盐分的研究是通过测量 EC<sub>5</sub> 来实现的。

将所有采集的样品风干、磨碎、过 2 mm 筛。对获取的 172 个剖面样的电导率进行了测定。测定方法依据《土壤理化分析与剖面描述》<sup>[19]</sup>。

对第二次土壤普查的盐分含量数据，采用陈章英等<sup>[20]</sup>的土壤含盐量和电导率的回归方程将其转换为电导率。封丘地区土壤含盐量(x)和电导率(y)的回归方程为：

$$y = 0.002 + 0.291x \quad (r = 0.973^{**}, n = 16)$$

本研究中剖面土壤样品为分层采集，假定各采样土层内盐分含量均匀分布，则可通过土壤盐分含量土层厚度加权法换算为剖面中 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 各对应土层的电导率。

### 3 结果与分析

#### 3.1 1981 年土壤盐分的空间分布特征

根据第二次土壤普查的《封丘县土壤图》获取了封丘县 1981 年轻度盐化、中度盐化、重度盐化盐土的空间分布图(图 2)。14 个土种包括轻盐砂壤土、轻盐底黏砂壤土、轻盐两合土、轻盐腰黏两合土、轻盐体砂两合土、轻盐体黏两合土、轻盐淤土、中盐两合土、中盐腰黏两合土、中盐底黏两合土、重盐砂壤土、重盐两合土、重盐底砂两合土、重盐腰黏两合土，其中除轻盐底黏砂壤土、轻盐体砂两合土、轻盐体黏两合

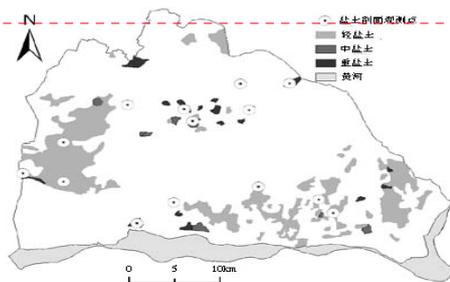


图 2 封丘县 1981 年盐土剖面观测点及盐土分布图

Fig. 2 The saline soil distribution map of Fengqiu county in 1981

删除的内容：

带格式的：页眉，两端对齐

删除的内容：

带格式的：缩进：首行缩进：0 字符

删除的内容：

删除的内容：

删除的内容：

带格式的：缩进：首行缩进：0 字符，段落间距前：8 磅，段后：7 磅

带格式的：缩进：首行缩进：0 字符

删除的内容：

带格式的：分散对齐

删除的内容：<sp>

带格式的：行距：固定值 12 磅

删除的内容：土、中盐两合土、重盐砂壤土等 5 个土种有整段剖面的盐分数据，其他土种只有 0~20 cm 的盐分数据。

删除的内容：图 1 土壤剖面点及研究区地理位置图  
Fig.1 the soil profile points and the geographical position of study area

带格式的：紧缩量 0.1 磅

删除的内容：

...

带格式的：居中，段落间距前：9 磅

删除的内容：

带格式的：居中

带格式的：行距：固定值 14 磅

带格式的：字体：宋体

土、中盐两合土、重盐砂壤土等 5 个土种有整段剖面的盐分数据, 其他土种只有 0~20 cm 的盐分数据。

3.2 2008 年土壤盐分的空间分布特征

根据黄淮海平原土壤盐化分级标准<sup>[21]</sup>, 封丘县适用的盐化分级标准及其对应电导率见表 1。本研究 40 个采样分析的土壤剖面中, 剖面 26、27、29、31 中各有一个土层电导率超过 0.293 dS/m, 达到轻盐化水平;

剖面 38 中两个土层电导率超过 0.293 dS/m, 而剖面 32 整个 0~100 cm 土体电导率均超过 0.293 dS/m。其他 34 剖面各层电导率都小于 0.293 dS/cm。上述统计分析结果表明, 尽管由于沉积-冲积平原地区独特的土壤发生学背景和水文地质环境决定了封丘县土壤中普遍含盐, 但除个别微域地形部位外, 土壤盐分含量已达不到土壤盐化水平。

表 1 封丘县土壤盐化分级标准

Table 1 The classification of soil salinity in Fengqiu county

	非盐化	轻盐化	中度盐化	重度盐化	盐土
全盐含量 (g/kg)	<1	1~2	2~4	4~6	>6
电导率 (dS/m)	<0.293	0.293~0.584	0.584~1.166	1.166~1.748	>1.748

为了在地理空间上揭示封丘县土壤盐分分布状况, 应用地统计分析手段剖面分层样品的电导率数据进行插值分析。由图 3 可知, 封丘县含盐量较高的区域集中分布在东南一隅。这是由于研究区南面和东面紧靠地上悬河黄河, 地下水产生越顶补给, 一般距大堤越近, 地下水位也就越高, 是形成研究区东南角

盐渍土的主要原因。其次, 该区上层土壤多为粉砂壤质, 下层又往往出现不同深度的厚薄不等的黏土隔层, 土壤蓄水能力低, 潜水动态受气候和灌溉影响很大, 基本上属于入渗-蒸发型, 加之粉砂壤土积盐容易, 排水脱盐难, 是研究区东南角盐分含量高的另一主要原因。

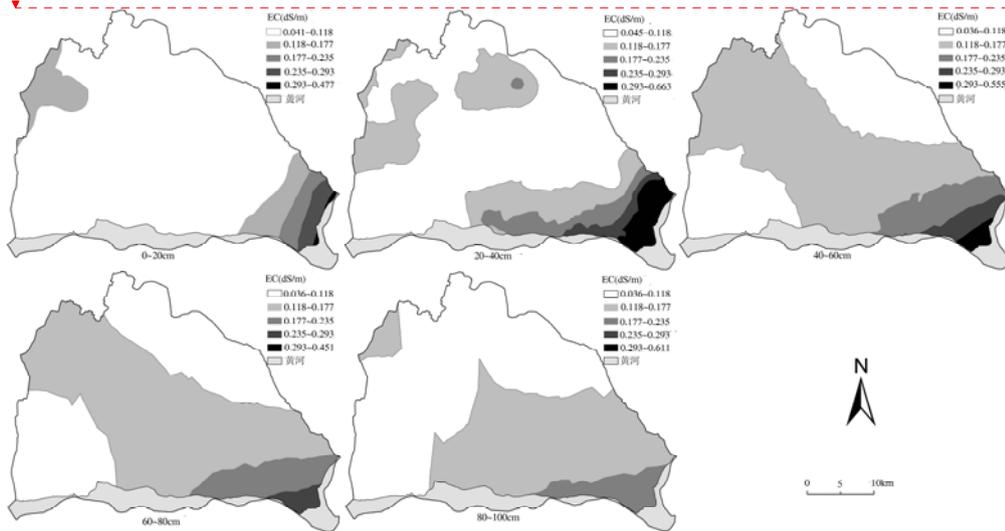


图 3 不同土层土壤盐分空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of soil salinity for different soil layer

垂直方向来看, 土壤含盐量的面积 40~80 cm 和 80~100 cm 的土层明显高于 0~40 cm 的土层, 说明封丘县土壤盐分在土体中的垂直分布有明显的下移和底聚特征。周金龙等<sup>[22]</sup>也指出未经历水平排水排盐过

程, 直接采用竖井灌排进行排盐的地区, 历史时期积累在表层的盐分随地下水下降而累积于作物耕作层以下和地下水中。封丘县虽然也有水平排水措施, 但疏浚晚于井排井灌, 土壤盐分在土体中的垂直分布仍

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符

删除的内容:

带格式表格

带格式的: 列数: 2

带格式的: 加宽量 0.1 磅

带格式的: 缩进: 首行缩进: 2 字符

删除的内容:

带格式的: 字体: (默认) 黑体, (中文) 黑体, 8 磅

带格式的: 字体: 8 磅

带格式的: 字体: (默认) 黑体, (中文) 黑体, 8 磅

带格式的: 字体: 六号

带格式的: 列数: 2

然表现出了明显的下移和底聚特征。需要指出的是，盐分在土体中的垂直分布状况与采样观测季节关系密切。本研究所采样品在夏季完成，不排除相对丰沛的降水导致盐分随下行水流迁移、从而导致垂直方向上高含盐量土层在剖面中出现位置偏下的可能。

### 3.3 1981—2008 年土壤盐分的演变

**3.3.1 过去 27 年来盐化土壤类型分布动态变化** 本研究所在观测的 40 个土壤标准剖面中，分别各有 1 个布设于 1981 年完成的《封丘土壤图》中轻盐底黏砂壤土、重盐砂壤土、轻盐两合土图斑上，2 个分别布设于中盐两合土和轻盐砂壤土图斑上。本研究土壤剖面分层采样分析结果表明，20 世纪 80 年代初期分布于观测剖面对应地理位置的盐化土壤，作为相对独立的盐化土壤发生类型目前已经不复存在。除曾经的中盐两合土剖面的 1 个土层外，上述历史上的盐化土壤土体中不同深度的各土层已不具明显盐化特征。

图 2 显示，20 世纪 80 年代初期封丘县盐土、盐化土壤类型较多，且在较大范围内分散分布，面积可观。由于第二次土壤普查期间，对盐化土壤的诊断和分类主要依据 0~40 cm 土体的盐分含量，因此，对比图 3 中 40 个标准剖面 0~20 cm、20~40 cm 土层电导率空间分布状况可知，土壤盐分已集中分布在某些较

大的区域，盐渍土或盐渍化土壤比较分散的局面已经不再存在；就盐化土壤的面积来看，基本可以认定除个别地区外，封丘县境内已基本没有盐化土壤分布。

**3.3.2 过去 27 年来土壤盐分含量动态变化** 就土壤盐分含量的变化而言，只有轻盐底黏砂壤土表层因有盐结皮存在，20~65 cm 深度内土壤电导率相对于 20 世纪 80 年代初期出现上升趋势，其他 6 个观测剖面中的所有土层的电导率均呈现显著的下降趋势，下降幅度在 70%~90% 之间（表 2，图 4），表明即使在心土与底土层，封丘县土壤盐分含量水平同样出现大幅度下降。

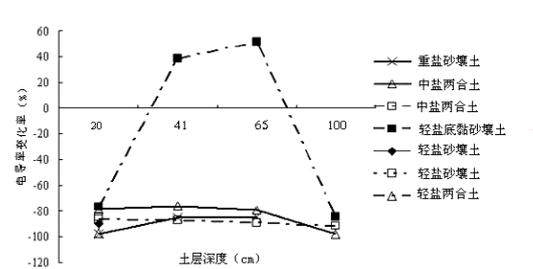


图 4 27 年剖面电导率变化率  
Fig.4 The EC change rates of soil profiles in 27 years

表 2 27 年剖面电导率变化 (dS/m)  
Table 2 The EC changes of soil profiles in 27 years

土壤类型	土层深度 (cm)	1981 年电导率	2008 年电导率	电导率变化	变化率 (%)
轻盐底黏砂壤土	0~20	0.364	0.085	-0.279	-76.7
	20~41	0.086	0.119	0.033	38.6
	41~65	0.086	0.130	0.044	51.6
	65~100	0.633	0.099	-0.534	-84.4
中盐两合土	0~24	1.294	0.173	-1.121	-86.6
	24~57	1.294	0.165	-1.129	-87.2
	57~79	1.294	0.140	-1.154	-89.1
	79~100	1.294	0.105	-1.19	-91.9
中盐两合土	0~20	1.294	0.145	-1.149	-88.8
	20~38	1.294	0.271	-1.023	-79
	38~83	1.294	0.308	-0.986	-76.2
	83~100	1.294	0.267	-1.027	-79.4
重盐砂壤土	0~20	2.269	0.044	-2.225	-98.1
	20~37	0.443	0.065	-0.378	-85.3
	37~100	0.238	0.036	-0.202	-84.7
轻盐砂壤土	0~20	0.616	0.066	-0.551	-89.4
轻盐砂壤土	0~20	0.616	0.095	-0.521	-84.5
轻盐两合土	0~20	0.933	0.023	-0.911	-97.6

- 删除的内容：:
- 带格式的：页眉，两端对齐
- 删除的内容：
- 带格式的：缩进：首行缩进： 0 字符
- 带格式的：紧缩量 0.1 磅
- 带格式的：左
- 删除的内容：
- 带格式的：段落间距段前：6 磅，行距：1.5 倍行距
- 带格式的：段落间距段前：6 磅
- 删除的内容：
- 带格式的
- 删除的内容：
- 带格式的：行距：固定值 15 磅
- 带格式的：字体：(默认) 黑体，(中文) 黑体
- 带格式的：字体：黑体
- 带格式的：字体：(国际) 黑体
- 带格式的：字体：(国际) 黑体
- 带格式表格
- 带格式的：行距：固定值 15 磅
- 删除的内容：<sp>
- 带格式的：行距：固定值 2 磅

### 3.4 1981—2008 年土壤盐分演变与地下水埋深的关系

从大范围讲,蒸发量大于降水量是产生盐化土壤的重要条件。但从封丘区域看,封丘地势低平,排水不畅,地下径流极为滞缓,水土盐分就处于不断的交换过程中,土壤积盐和脱盐的过程也在不断地进行着。因此排水除涝降低地下水位在临界深度以下是治理盐碱化的根本途径。1966—1969 年,封丘县共打机井 397 眼,后又对渠道进行清淤疏浚,使得地下水位普遍有所下降。使得全县盐碱面积大为缩小,主要是实行井排井灌与排水相结合的原因<sup>①</sup>。

为阐释地下水埋深与土壤含盐量之间在地理空间上的相互关系,本研究利用封丘县 22 个地下水观测井于 2008 年获取的相关数据进行插值分析得地下水埋深预测图(图 5)。最大地下水埋深达到了 9.87~12.7 m,而 1981 年封丘县最大地下水埋深只有 5~9 m,可见研究区地下水位大幅下降;且土壤含盐量(图 3)与地下水埋深之间具有明确的空间对应关系。封丘县东南部地下水埋深最浅,土壤盐分含量最高。

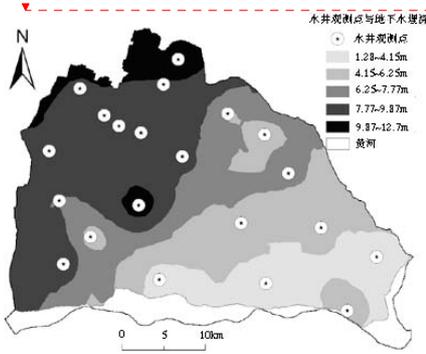


图 5 封丘县地下水埋深空间预测图

Fig. 5 The spatial prediction map of groundwater depth in Fengqiu county

## 4 结论

目前封丘县土壤盐分含量处于历史较低水平,除东南角狭小区域内土体下部个别土层土壤电导率超过 0.293 dS/m 外,其余绝大部分地区土壤盐化特征已经消失。

与 20 世纪 80 年代初相比,各种盐化土壤发生类型已发生脱盐演化,盐化土壤在较大范围内分散分布的现象已不复存在。过去 20 多年间,封丘县境内的土壤无论是表层还是土体内部,盐化含量均出现大幅度下降趋势。

①封丘县土壤普查办公室. 封丘土壤. 1984, 8: 108-109.

封丘县地下水位大幅下降,是土壤脱盐的主要原因。土壤盐分含量的高值区与地下水埋深较浅的区域几乎一致,均处于封丘的东南角。

同时需要指出的是,40 cm 以下土层的电导率明显高于上部土层,土壤盐分并未脱离土体,只是随着地下水的下移而下移。土壤次生盐渍化的潜在风险仍然存在,一旦水文、地质等自然、人为条件发生变化,土壤盐渍化仍然可能发生。

**致谢** 感谢封丘县水利局提供了 2008 年地下水位数据。

### 参考文献:

- [1] Maas EV, Hoffman GJ. Crop Salt Tolerance: Evaluation of Existing Data. Proceedings of the International Salinity Conference. Lubbock, Texas: Texas Tech University, 1976: 187-198
- [2] Martinez-Beltran J, Manzur CL. Overview of salinity problems in the world and FAO strategies to address the problem // Proceedings of the International Salinity Forum, Riverside, California, April, 2005: 311-313
- [3] Pitman MG, Läuchli A. Salinity: Environment-Plants-Molecules. Netherlands: Springer, 2004: 3-20
- [4] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845
- [5] 傅积平, 王遵亲等. 豫北平原旱涝盐碱综合治理. 北京: 科学出版社, 1993: 52-81
- [6] Douaik A, Meirvenne MV, Tóth T. Soil salinity mapping using spatio-temporal kriging and Bayesian maximum entropy with interval soft data. Geoderma, 2005, 128: 234-248
- [7] Grunstra M, Van Auken OW. Chapter 19 Using GIS to display complex soil salinity patterns in an inland salt marsh. Developments in Environmental Sciences, 2007(5): 407-431
- [8] Farifteh J, Van der Meer F, Atzberger C, Carranza EJM. Quantitative analysis of salt-affected soil reflectance spectra: A comparison of two adaptive methods (PLSR and ANN). Remote Sensing of Environment, 2007, 110: 59-78
- [9] Li Y, Shi Z, Li F. Delineation of site-specific management zones based on temporal and spatial variability of soil electrical conductivity. Pedosphere, 2007, 17(2): 156-164
- [10] 自由路, 李保国, 胡克林. 黄淮海平原土壤盐分及其组成的空间变异特征研究. 土壤肥料, 1999(3): 22-26
- [11] 自由路, 李保国, 石元春. 基于 GIS 的黄淮海平原土壤盐分

带格式的: 列数: 2

删除的内容:

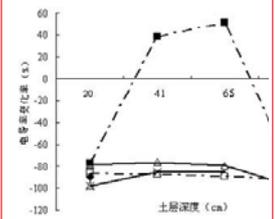


图 4 27 年剖面电导率变化率

Fig. 4 The EC change rates of soil profiles in 27 years

删除的内容:

带格式的: 紧缩量 0.1 磅

删除的内容:

带格式的: 字体: (默认) 仿宋, (中文) 仿宋, 加粗

带格式的: 字体: (默认) 仿宋, (中文) 仿宋

删除的内容:

删除的内容: Netherlands,

带格式的: 行距: 固定值 10 磅

带格式的: 行距: 固定值 11 磅

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符, 行距: 固定值 13 磅

删除的内容:

带格式的: 段落间距段前: 12 磅

删除的内容:

删除的内容:

删除的内容: 61

删除的内容: 76

带格式的: 行距: 固定值 14 磅

带格式的

带格式的: 字体: 宋体

带格式的: 字体: Times New Roman

带格式的

布与管理研究. 资源科学, 1999, 21(4): 66-70

[12] 杨玉建, 杨劲松. 典型潮土区土壤耕层盐分含量的趋势效应研究. 灌溉排水学报, 2004, 23(6): 10-13

[13] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明, 邹平. 黄河三角洲地区典型地块土壤盐分空间变异特征研究. 农业工程学报, 2006, 22(6): 61-66

[14] 王红, 宫鹏, 刘高焕. 黄河三角洲多尺度土壤盐分的空间分异. 地理研究, 2006, 25(4): 649-658

[15] 丁昆仑, 许迪, 蔡林根. 黄河下游地区表层土壤盐分对作物产量的影响. 农业工程学报, 2004, 20(2): 88-92

[16] 吴亚坤, 杨劲松, 杨晓英, 刘广明. 基于 EM38 的封丘县土壤盐渍化调查研究. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 129-133

[17] U.S. Salinity Laboratory Staff. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S. Dept. Agr. Handbook 60, 1954: 160

[18] Corwin DL, Lesch SM. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I. Survey protocols. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2005, 46: 103-133

[19] 刘光崧等. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996: 198-200

[20] 蔡阿兴, 陈章英, 蒋正琦, 宋荣华. 我国不同盐渍地区盐分含量与电导率的关系. 土壤, 1997, 27(1): 54-57

[21] 赵其国, 史学正. 土壤资源概论. 北京: 科学出版社, 2007: 351

[22] 周金龙, 董新光, 王毅. 内陆干旱平原区水土资源开发与盐分再分布的关系. 水资源保护, 2009, 25(2): 23-24, 86

- 删除的内容: :
- 删除的内容:
- 带格式的: 页眉, 两端对齐
- 删除的内容: .
- 带格式的: 缩进: 首行缩进: 20 磅
- 删除的内容: .
- 删除的内容: pp.
- 删除的内容: in Maas, E.V. and Hoffman, G. J. 1976. Crop salt tolerance: evaluation of existing data. 187-198.
- 删除的内容: 1954.

### Study on Evolution of Soil Salinity in Fengqiu County

LI Kai-li<sup>1,2</sup>, CHEN Jie<sup>3</sup>, TAN Man-zhi<sup>1</sup>, MI Shu-xiao<sup>1,2</sup>

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 Institute of Natural Resources and Eco-environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Salinity perhaps is the most important problem affecting irrigation agriculture in the world, particularly in China. Soil salinization had ever been one of the four natural disasters which limited the agricultural productivity in Fengqiu county. Based on the data of 40 soil profiles newly observed together with the saline soil data obtained in 1981, a systematic study was carried out on the spatio-temporal characters of soil salinity. Results showed that the soil salinity have descended significantly during the past 27 years, saline soils, while regarded as genetic types, are present only in a few micro-landscapes. At present, the soils with relatively higher salt content are mainly distributed in the southeast of the study area and approximately in accordance with the trend of groundwater depth. The salinized soils with EC higher than 0.293 dS/m are only found in the limited strips in southeast corner of the study region. It is concluded that groundwater recession play an important role in the descending of the soil salinity. And accumulation of soil salt in the profiles at a depth 40 cm below the surface indicated that soil secondary salinization could occur whenever the matchable geohydrologic conditions come back again.

**Key words:** Fengqiu county, Soil salinity, EC, Distribution patterns, Spatio-temporal characters

删除的内容: i

