

盐渍化土壤遥感动态监测及人工调控模式

——以河北省沧州市为例

徐东瑞 高广惠

(河北省农林科学院土壤肥料研究所, 石家庄 050051)

摘 要 通过定位监测和不同时期遥感资料的土壤盐渍化图件复原, 依据灰色理论建立了河北省沧州地区盐渍化土壤面积预测模型, 并确定了人工调控措施与土壤盐渍化发育的数学关系, 为今后改良利用盐渍化土壤提供了依据。

关键词 遥感 土壤盐渍化 动态监测

土壤盐渍化是全球性的环境问题, 特别是在干旱半干旱地区, 土壤盐渍化是影响当地农业生产发展的突出问题。本研究应用不同时期卫星相片和航空相片作工具, 结合常规调查、定位监测、资料整理、历史图件复原和计算机处理, 完成了沧州地区 1: 20 万 50、60、80 年代土壤盐渍化分布图, 找出了其时空分布规律, 利用灰色理论确定了盐渍化土壤面积的预测模型, 并找出了土壤盐渍化与人工调控措施——井灌渠排、造林、种草等的相关关系, 进而对今后区域性土壤盐渍化发展趋势作了预报, 并为进一步开发利用此类型土壤提供了调控对策。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

河北省沧州市(地区)位于河北省东南部, 地理座标为东经 $115^{\circ}42'$ ~ $117^{\circ}51'$, 北纬 $37^{\circ}29'$ ~ $38^{\circ}57'$, 东临渤海, 全区海岸线长 48km。总面积 14000km^2 , 辖 15 个县、市及二个县级国营农场。境内南运河贯穿南北, 子牙新河、黑龙港河纵横东西, 河流总长 714km。

沧州市(地区)属暖湿带半湿润大陆季风气候区, 春季气候温暖, 但多风且燥, 夏季炎热多雨。降水量年际变化显著, 年内分布不均, 春旱夏涝。多年平均降水量 623.6mm, 集中于 7~9 月。多年平均蒸发量为 2062.4mm, 是降水量的 3.3 倍。区内大的地貌类型可以分为冲积扇缘、冲积平原、冲积-海积平原和滨海平原。其中冲积平原面积最大, 约占 70% 左右, 河床岗地与河间洼地遍布其间。主要粮食作物有玉米、小麦等, 棉花、花生等经济作物的种植面积也很大。全

区共有 7 个土类,以潮土类面积最大,占总面积的 95%,其中盐化潮土 29 万 km^2 ,占总面积 25.04%,盐土及滨海盐土面积 4.6 万 km^2 ,占总面积 4%。我省有 1/3 面积的盐渍化土壤分布于此,已成为影响当地农业生产的主要障碍性因素。建国以来,该区在盐碱地改良中采取了诸多措施,概括起来是“50 年代挖坑,60 年代修渠,70 年代打井,80 年代种树。”通过多年的人工调控,土壤盐渍化以每年减少 1.5 万 hm^2 的速率下降。但是个别年份由于引黄漫灌,只蓄不排使盐渍化土壤面积回升。

1.2 遥感信息源及资料的选用

资源监测的关键在于基础数据的选用。我们在进行土壤盐渍化监测中选用了三种基础信息源,即遥感图像(卫星和航空相片),历史图件(华北平原土壤调查,河北省第二次土壤普查)和文字及化验数据。

1.2.1 遥感图像 研究土壤盐渍化的动态监测必须要有多时相的遥感图像。沧州市普遍有 60、70、80 年代三个不同时期的黑白航空相片(比例尺 1:3~5.2 万)。有 70、80 年代黑白、假彩色合成不同比例尺 MSS、TM 卫片和部分 SOPT 卫片。

1.2.2 历史图件 建国以来在沧州市进行了三次较大规模的土壤调查,1956 年华北平原土壤调查,1961 年第一次土壤普查和 1980 年第二次土壤普查都留下了宝贵图件,特别是华北平原土壤调查是由老一辈土壤学家主持,获取了大量的资料和数据。目前我们又无当时的遥感资料,故 50 年代的盐渍化土壤分布也只能以此为准。

1.2.3 文字及化验数据 沧州市土壤盐渍化专题调查进行过数次,不同类型的土壤剖面记载和化验数据多达万余项次,这本来是监测极好的资料。但由于取土地点重复率不高,可比性较差,我们只好从航卫片上将已知数据标出,在不同时期拍的相应遥感图像上找出同名地物点再筛选土壤类型一致且有可比性的作为土壤盐渍化程度的监测点。

1.3 研究方法

在典型地段先进行野外调查建立解译标志(具体标志从略),并按全国第二次土壤普查分类标准统一不同时期土壤分类、制图单元和图例,进而编制出 1954 年、1961 年及 1984 年三个不同时期代表年份的沧州市土壤盐渍化分布图。为了掌握不同年代其面积消长及程度变化,还对有典型意义的地段进行了长期定位监测,如华北平原调查和土壤普查中有剖面记载的点,测定了不同层次的盐分含量及组成,以掌握水盐运动规律。根据收集的资料及监测数据,经分析筛选后编制计算机程序,建立数学模型,并上机运行打印出结果。

2 结果与分析

2.1 年际间土壤盐渍化面积的动态变化及预测

由于不同年份降雨、蒸发及人为调控措施不同,土壤盐渍化变化也不同。以 1954 年、1961 年、1984 年三个不同年份代表各自年代(因资料及航卫片主要是

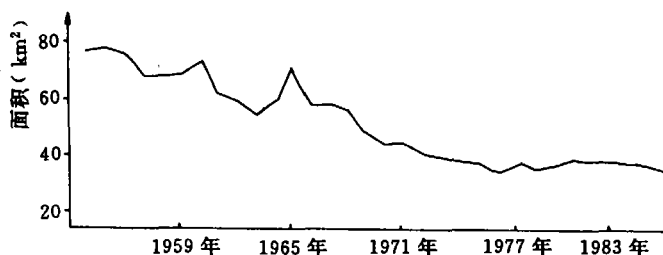


图1 不同时期土壤盐渍化面积动态变化

该年度的)进行了历史图件复原,绘制了当时的土壤盐渍化图并测算了面积。最后通过资料分析,数据统计,得出沧州市(地区)历年盐渍化面积(表1)。从表1可见,沧州市(地区)盐渍化面积除个别年份如1963年洪水成涝和1973年重蓄轻排致使盐化土地面积增大外,总趋势为逐年下降(图1)。根据上述遥感资料判读成图后的分析,对沧州市2000年土壤盐渍化面积应用灰色理论建立数学模型进行如下预测:

设 $X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(M)$ 代表历年土壤盐渍化面积,若对 $\{X^{(0)}(t)\}_{t=1}^M$, 作一次累加,即 $X^{(1)}(1) = X^{(0)}(1)$

表1 沧州地区历年盐渍化面积分布表

年份	盐碱地面积(km ²)	次生盐碱地面积(km ²)	年份	盐碱地面积(km ²)	次生盐碱地面积(km ²)
1954	78.6	1.2	1970	41.7	20.9
1955	78.8	2.0	1971	41.8	21.2
1956	25.4	2.7	1972	36.6	21.8
1957	67.8	3.5	1973	34.5	22.3
1958	69.2	5.4	1974	36.6	22.3
1959	71.0	7.4	1975	34.5	22.7
1960	73.5	8.4	1976	33.2	26.4
1961	62.6	11.4	1977	36.4	27.2
1962	49.6	11.7	1978	34.7	27.6
1963	54.8	11.8	1979	35.8	21.8
1964	59.9	17.7	1980	37.4	20.4
1965	71.2	18.7	1981	37.2	19.9
1966	60.0	19.4	1982	37.1	14.2
1967	56.9	5.4	1983	36.9	18.0
1968	55.7	19.7	1984	34.7	16.7
1969	39.3	20.6	1985	34.1	16.7

$$X^{(1)}(2) = X^{(0)}(1) + X^{(0)}(2) \dots \dots X^{(1)}(t) = \sum_{k=1}^t X^{(0)}(k) \dots \dots X^{(1)}(M) = \sum_{k=1}^M X^{(0)}(k)$$

便得到一个新数列 $\{X^{(1)}(t)\}_{t=1}^M$ 。这个数随机性弱化,平稳性增加,对于新数列其变化趋势可用微分方程描述。

$$dX^{(1)}/dt + aX^{(1)} = u; \quad a, u \text{ 可通过如下最小二阶乘法拟合得到}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_M \text{ 其中 } Y_M \text{ 为列向量。}$$

$$Y_M = [X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \dots, X^{(0)}(M)]^T,$$

B 为构造数据矩阵。

$$B = \begin{bmatrix} -1/2[X^{(1)}(1) + X^{(1)}(2)] & 1 \\ -1/2[X^{(1)}(2) + X^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -1/2[X^{(1)}(M-1) + X^{(1)}(M)] & 1 \end{bmatrix}$$

微分方程 $dX^{(1)}/dt + aX^{(1)} = u$ 所对应的时间响应函数为

$$X^{(1)}(t+1) = (X^{(0)}(1) - u/a)e^{-at} + u/a$$

也是数列预测公式,由其对一项累加生成数列的预测值 $X^{(1)}(t)$ 可以求得原始数据的还原值

$$\hat{X}^{(0)}(t) = X^{(1)}(t) - X^{(1)}(t-1), t=1, 2, \dots, M$$

并规定 $X^{(1)}(0)=0$, 原始数据的还原值与其观测值之间的残差值 $\epsilon^{(0)}(t)$ 和相对误差值 $q(t)$ 如下:

$$\begin{cases} \epsilon^{(0)}(t) = X^{(0)}(t) - \hat{X}^{(0)}(t) \\ q(t) = \epsilon^{(0)}(t) / X^{(0)}(t) \times 100\% \end{cases}$$

预测精度检验可按下面的式子进行计算,

$$\bar{X}^{(0)} = 1/M \sum_{t=1}^M X^{(0)}(t) \quad S_1^2 = 1/M \sum_{t=1}^M (X^{(0)}(t) - \bar{X}^{(0)})^2$$

$$\bar{\epsilon}^{(0)} = \frac{1}{M-1} \sum_{t=2}^M \epsilon^{(0)}(t) \quad S_2^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{t=2}^M (\epsilon^{(0)}(t) - \bar{\epsilon}^{(0)})^2$$

方差比 $C = S_2 / S_1$ 小误差概率

$P\{|\epsilon^{(0)}(t) - \bar{\epsilon}^{(0)}| < 0.6745 S_1\}$, 上机运行后其结果为: 2000 年沧州市盐渍化土壤将下降到 276.82 万亩。

$$C = 0.1962517 (\text{Good})$$

$$P = 0.96875 (\text{Good})$$

$$S = 0.748816$$

当 $P > 0.95, C < 0.35$ 时预测精度很好。

2.2 人工调控模型的建立

过数学方法,确定主要的影响因素及其影响程度,为进一步综合治理盐碱地减轻灾害提供定量的科学理论依据。

设 m 个影响因素的 n 个动态时序观测值的矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n} \\ x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n} \\ \vdots \\ x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn} \end{bmatrix}$$

所对应因变量即面积观测值的行向量为 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$

其他分析计算步骤为:

1. 用均值法进行数据的无量纲化计算公式为:

$$x'_{ij} = x_{ij} / 1/n \sum_{j=1}^n x_{ij} (i=1, \dots, m, j=1, \dots, n)$$

$$y'_j = y_j / \sum_{j=1}^n y_j (j=1, 2, \dots, n)$$

$$X' = (x'_{ij})_{m \times n} \quad Y' = (y'_j)_n$$

为原始数据无量纲化计算结果。

2. 求绝对差值即矩阵。

$$d_{ij} = |X'_{ij} - Y'_j| (i=1, \dots, m, j=1, \dots, n)$$

$$\text{矩阵 } B = \begin{bmatrix} d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1n} \\ d_{21}, d_{22}, \dots, d_{2n} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ d_{m1}, d_{m2}, \dots, d_{mn} \end{bmatrix}$$

3. 求灰色关联系数矩阵 $I = (\xi_{ij})_{m \times n}$

$$\xi_{ij} = \frac{\min_{l \in m, k \in n} \min(d_{lk}) + \max_{l \in m, k \in n} \max(d_{lk}) \cdot Q}{d_{ij} + \max_{l \in m, k \in n} \max(d_{lk}) \cdot Q}$$

Q 为控制参数一般取 0.5。

4. 求关联度向量

$$R = (r_i)_{m \times 1}, \text{ 其中 } r_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \xi_{ij} (i=1, \dots, m)$$

5. 编程调试, 上机运行, 并将结果打印出来。

表 2 观测数据

年序号	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1970	625.68	534.7	1811.6	7785	83	1939	587
1971	627.32	751.0	2097.7	10146	90	1763	470
1972	594.70	460.5	2345.5	17352	123	1665	776
1973	568.70	671.6	1940.5	29236	142	1662	1282
1974	549.36	552.1	2037.0	37583	156	1728	2524
1975	517.98	403.6	2096.2	39078	178	2205	2513
1976	494.93	591.0	1927.7	59284	205	2912	2866
1977	546.46	883.9	1917.9	56436	228	3038	3315
1978	519.85	599.7	1947.2	46926	278	4005	4940

Y 代表沧州地区土壤盐渍化面积, X_1 代表年降水量用 mm 表示, X_2 代表年均蒸发用量用 mm 表示, X_3 代表机井眼数, X_4 代表水利设施(水闸数), X_5 代表植树造林面积, X_6 代表绿肥种植面积。

将上表数据输入及计算机运行后其结果为:

$$r(X_2) = 0.9279 > r(X_1) = 0.82761 > r(X_3) = 0.71662 > r(X_4) = 0.70281 > r(X_5) = 0.60553 > r(X_6) = 0.57478$$

从计算机结果可以看出, 对土壤盐渍化面积变化影响最大的因素是蒸发量, 其后依次是降水, 并灌溉抽取地下水(机井眼数), 水利设施规模, 植树面积, 最后是绿肥种植面积。

参 考 文 献

- 1 熊毅, 席承藩. 华北平原土壤. 北京: 科学出版社, 1961, 98~103
- 2 李承绪. 河北土壤. 石家庄: 河北科技出版社, 1990, 256~266
- 3 傅杰. 灰色系统理论及其应用. 北京: 科学技术文献出版社, 1992, 64~92, 123~158, 191~223
- 4 徐建华. 地理系统分析. 兰州: 兰州大学出版社, 1991, 269~272.

Dynamic Monitoring of Salinized Soil by Remote Sensing and Artificial Control Model

A Case of Study in Cangzhou, Hebei Province

Xu Dongrui

Gao Guanghui

(Soil and Fertilizer Institute, Hebei Academy of Agricultural
and Forestry Sciences, Shijiazhuang)

Abstract Soil salinization is one of main characteristics of land degradation. Under the influence of natural and human factors, the spatial and temporal distribution of soil salinization is dynamic changeable. In order to know the distribution data bases and find out the relationships between variation of distribution and influencing factors, we conducted location monitoring and restoring of soil salinization maps drawn by remote sensing technique in different periods, and set up grey theory predictable model and determined the mathematical relation between artificial control method and soil salinization development, thus provided basis for improving and utilizing salinized soil.

Key words: Remote sensing; Soil salinization; Dynamic monitoring