

区域土壤盐渍化预报模型的初步研究*

李 录 久

(安徽省农科院土壤肥料研究所, 230000)

摘 要

本文根据 1987 年春、夏季黄淮海平原曲周县北部 247.4km² 面积上, 60 个点的土壤盐分观测结果, 结合前人的研究, 详细分析了影响土壤盐分变化的各种因素, 如土壤质地剖面(主要是粘土层厚度), 地下水埋深及矿化度, 降雨、灌溉和土壤初始含盐量, 并以此为自变量, 运用逐步回归分析方法, 建立了春、夏季 0—100 和 0—40cm 土体盐分储量统计预报模型。逐步回归拟合的效果较好, 主要影响因素都被选入预报方程。不同季节、不同深度土体选入方程的自变量各有侧重。初步检验证明, 这种模型至少可满足农业生产中等级预报的精度要求。但预报模型只适用于与 1987 年相似年型及自然条件下。

关键词 土壤含盐量, 盐渍化, 预报模型, 区域土壤

土壤盐渍化是一个世界性的问题^[1], 盐碱地面积大, 分布广, 给农业生产造成很大的危害^[2]。要采取措施减轻这种危害或防止它的发生, 事先必须能预测未来的土壤盐渍化发生时间、地点、范围和程度, 也就是要作出区域土壤盐渍化的预报。然而, 由于田间情况复杂多变, 因此区域性盐分预报研究一直未能取得重大发展^[3]。本文根据 1987 年我国黄淮海平原曲周县 247.4km² 面积上土壤盐分观测结果, 应用逐步回归分析方法, 建立了春、夏季 0—100 和 0—40cm 深度土体盐储量预报模型, 从新的角度对区域土壤盐分的预报进行了初步尝试。

一、试区概况与研究方法

本研究区地处黄淮海平原的中南部, 属河北省曲周县北部, 总面积 247.4km², 为北京农业大学旱涝碱综合治理试验区。本区气候为暖温带半干旱大陆季风气候, 年平均气温 13℃, 多年平均降水量为 502.2mm, 年平均蒸发量 1851mm。全年 67% 的降水集中于夏季, 冬春只占 13%。结果春季(3—6 月)土壤强烈蒸发——积盐, 雨季(7—8 月)淋溶——脱盐。我们所作的土壤盐渍化预报, 即是以盐分运作的季节性为基础的, 分 3、6、9 月初几个阶段。

试区处于漳河冲积扇平原的下部, 海拔 33—45m, 坡降 1/4000。区内地貌主要有河流故道及自然堤缓岗, 微倾平原和河间洼地。成土母质分别以砂壤、轻壤和粘土为主。3 月初地下水埋深多在 2—5m,

* 本文是作者在北京农业大学时硕士论文的一部分。在石元春、李颖珠导师的热心指导下完成的, 特此致谢。

矿化度 2—10g/L; 土壤类型主要有普通潮土、盐化潮土和盐土。

试区设有 60 个地下水观测孔和 10 个气象观测站, 大致为均匀分布。地下水位的观测 5 天一次, 水质为一季度一次, 3、6、9、12 月 11 日取样。做盐分常规分析。土样的采集与水质采样同步, 于 11 日前后; 取样深度 2m, 按 20cm 一层。根据分析及典型土壤剖面容重实测资料, 计算了不同深度土体的盐储量。作物灌水量则是实地调查得出的。

二、回归分析中自变量的选择及其依据

土壤盐渍化是在特定的气候、地形和地貌、成土母质、水文地质等多种因素的综合影响下形成的, 并受灌溉、耕作、施肥、以及种植方式等诸多因素的影响。

(一) 土壤质地剖面——粘土层因素

土壤质地的剖面是土壤本身固有的一种属性, 不随时间或外界环境的改变而变化, 属于“稳态因素”。但是, 不同地区的土壤质地剖面不同(即有空间变化), 对水盐运动的影响也不一样, 从这点上看又是“动态因素”, 可以作为自变量引入方程。许多人^[5-9, 12]通过室内外模拟和田间调查研究了土壤质地剖面对水盐运动的影响, 认为粘土层对土壤积盐和脱盐都有显著的阻滞作用, 并且厚度的影响大于层位的影响。结合本试区具体情况及田间实地调查分析, 我们选择了粘土层厚度因素作为自变量——0~200cm 土体粘土层总厚度(代数和)。

(二) 地下水因素

通常考虑的地下水因素是地下水的埋深及矿化度。地下水的埋深对春季土壤积盐的影响是前人研究比较多的问题^[6-10], 这些研究都证实, 潜水埋藏愈深, 它的蒸发强度愈小, 土壤盐分的累积速度也相应减低。有的通过土柱试验认为, 表土积盐与潜水蒸发量和潜水矿化度之间呈线性正相关; 潜水蒸发量与潜水埋深之间为指数负相关关系^[9, 11]。地下水埋深对雨季土壤脱盐的影响也有人研究过^[9]。

由此, 在逐步回归中, 我们选用了初始地下水埋深和初始月平均地下水埋深的指数形式以及起始地下水矿化度值和后期值为自变量。

(三) 气象因素

根据现有资料, 这里考虑的是降水量。但是, 由于季节分配不均, 它对土壤盐分的影响也就有所不同。春季降水稀少, 一般没有 > 20mm/次的降雨; 同时蒸散强烈, 土壤干燥, 所以, 不能使盐分淋出 0—100cm 土体。相反, 较小的降雨有可能使因上层土壤变干而断裂的毛管水重新连接起来, 含盐地下水上升蒸发, 0—100cm 土体盐储量增加。0—40cm 土体, 情况有所不同。一般认为 20mm 的降雨为有效降水, 因此 15mm 以上的降雨也有可能使盐分下淋或暂时淋出 0—40cm 土体。1987 年春季, 试区有 2—3 次 15—18mm 的降雨。从监测结果来看, 0—40cm 土体盐分明显下淋。

根据以上分析, 春季选择的因素是降水总量 (0—100cm 土体) 和 > 15mm 的降水量 (0—40cm 土体), 雨季还选用了 > 20mm 的降水总量。

(四) 人为影响因素

这里指的是灌水。实际生产中, 每次灌水的数量都在 30 方/亩 (45mm) 以上, 相当

于一次大的降雨,因此,必定会使土体盐分下淋。回归分析中,主要用了灌水总量作为自变量引入方程。

(五) 土壤剖面初始盐分状况

前期土壤盐储量是后期盐储量的基础,有着根本的影响。回归分析中,用了前期 0—20cm 土体盐分含量及 0—20, 0—40 和 0—100cm 土体盐储量作为自变量进行计算。

三、春夏季土壤盐储量统计预报模型

(一) 春季土壤盐储量预报模型

以 3 月初的资料为初始值,6 月初的资料为末值,用上述各因素作自变量,分别建立 6 月初 0—100 和 0—40cm 土体盐储量预报模型。经 IBM-At 计算机逐步筛选,最后结果如下:

回归方程:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{100} = & -0.870 - 7.769x_1 + 0.1187x_2 + 3.075x_3 \\ & + 5.304 \times 10^{-2}x_{10} + 0.1410x_{11} + 2.489 \times 10^{-2}x_{12} \\ & - 2.872 \times 10^{-3}x_{14} \end{aligned}$$

复相关系数 $R = 0.9890$, 估计标准差 $S = 0.4452$

$$\begin{aligned} \hat{y}_{40} = & 0.6810 + 1.006x_3 + 0.2073x_4 \\ & + 3.949 \times 10^{-2}x_{10} - 2.340 \times 10^{-2}x_{13} - 8.680 \times 10^{-3}x_{14} \\ R = & 0.9968 \quad S = 0.1345 \end{aligned}$$

其中 \hat{y}_{100} : 0—100cm 土体 6 月初的盐储量 (kg/m^2);

\hat{y}_{40} : 0—40cm 土体 6 月初的盐储量 (kg/m^2);

x_1 : 0—20cm 土体 3 月初初始含盐量(%),

$0.05 \leq x_1 \leq 1.365$; x_2 : 0—100cm 土体 3 月初初始盐储量 (kg/m^2)

$0.94 \leq x_2 \leq 9.92$; x_3 : 0—40cm 土体 3 月初初始盐储量 (kg/m^2),

$0.32 \leq x_3 \leq 5.69$; x_4 : 0—20cm 土体 3 月初初始盐储量 (kg/m^2),

$0.14 \leq x_4 \leq 3.82$; x_{10} : 3 月初地下水矿化度初始值 (g/L),

$0.91 \leq x_{10} \leq 16.54$; x_{11} : 6 月初地下水矿化度后期值 (g/L),

$1.04 \leq x_{11} \leq 16.24$; x_{12} : 3—6 月取样期间降水总量 (mm),

$53.4 \leq x_{12} \leq 118.7$; x_{13} : 3—6 月取样间 >15mm 降水总量 (mm),

$32.2 \leq x_{13} \leq 99.0$; x_{14} : 3—6 月取样间灌水总量 (mm),

$$0 \leq x_{14} \leq 140.$$

回归方程的方差分析及拟合效果如表 1, 2, 3。

从表可见, 0—100 和 0—40cm 土体, 均是 $F_{**} \gg F_{0.001}$, 回归拟合结果达到 0.001 的高度显著水平, 回归方程有意义。除个别外, 大部分点都能很好的拟合。其中 0—100cm 土体, 有近 80% 的点拟合的相对偏差在 20% 以下; 0—40cm 土体, 分别有 92% 和 79% 的点拟合的相对偏差在 20% 和 15% 以下, 拟合的效果更好。

回归结果的分析与讨论, 从上面的结果可以看出, 0—100 和 0—40cm 土体, 回归方

表 1 回归方程的方差分析

Table 1 The variance analysis of stepwise regression

深度 Depth (cm)	方差来源 Source of variances	平方和 Sum of squares	自由度 Freedom	F_H $F_{calculated}$	$F_{0.001}$ $F_{critical}$
0—100	回归 u	275.4263	7	198.5	4.80
	误差 Q	6.1452	31		
	总和 LXY	281.5715	38		
0—40	回归 u	88.6098	5	980.5	5.50
	误差 Q	0.5784	32		
	总和 LXY	89.1883	37		

程选入的自变量基本相同,都选入“初始盐储量”,“地下水矿化度初始值”及取样期间的“降雨量”和“灌水总量”,它们的作用与前面的分析基本一致,并且都是影响春季土壤积盐的主要因素。但是,这两个方程都没有选入“粘土层厚度因素”及“地下水埋深”变量,其原因,就粘土层因素而言,可能是近年来由于连续干旱,地下水位下降很多,许多地区的埋深都在 2.5m 以下,结果地下水盐已无法上升到土体上部。显然,这时粘土层的存在已无关紧要了,这与 Hassan F. A. 等人的研究结果是一致的^[10]。Hassan F. A. 认为,地下水埋深超过 280cm,土壤剖面质地层次的作用就不存在了。从取样资料看,试区有 70% 的点,3 月初始地下水埋深都超过 280cm。剩下的点,地下水含盐很少,多是淡水。这样粘土层对土壤积盐的阻滞作用就不显著了,故未能选入方程。同样道理,方程也未能选入变量“初始地下水埋深”。

另外,0—40cm 土体回归方程的灌水系数 $b_{11}(8.68 \times 10^{-3})$ 是 0—100cm 土体灌水系数 (2.87×10^{-3}) 的 3 倍,说明灌溉对表层盐分的影响比深层大。

表 2 回归方程拟合的相对偏差情况

Table 2 The statistics of relative deviation between calculated and analyzed data

相对偏差 $ e $ 的 范围 Relative deviation	0—100cm Depth		0—40cm Depth	
	数量 Amount	百分比 Percentage	数量 Amount	百分比 Percentage
>25%	4	10.2	2	5.2
>20%	8	20.5	3	7.9
>15%	13	33.3	8	21.0

注: $e = |y - \hat{y}| \times 100\%$ y 为实测值, \hat{y} 为拟合值。

(二) 夏季土壤盐储量预报模型

以 6 月初的资料为基础,9 月初 0—100 和 0—40cm 土体盐储量分别作为因变量 y , 自变量的选择同前述。回归分析结果如下:

$$\hat{y}_{100} = 4.770 - 2.793x_1 + 9.114 \times 10^{-2}x_2 + 1.736x_3 \\ - 0.2315x_{11} + 0.4683x_{14} - 7.64 \times 10^{-3}x_{20}$$

$$F_H = 159.3 \gg F_{0.001}(6, 29) = 5.18$$

$$R = 0.9852 \quad S = 0.4523$$

$$\begin{aligned} \hat{y}_{40} &= 0.0716 + 0.2384x_2 + 2.516 \times 10^{-2}x_3 \\ &\quad + 0.5491x_4 - 0.1501x_{12} \\ F_{44} &= 195.2 \gg F_{0.001} = 5.70 \\ R &= 0.9724 \quad S = 0.2635 \end{aligned}$$

其中: \hat{y}_{100} —0—100cm 土体 9 月初的盐储量 (kg/m^2);

\hat{y}_{40} —0—40cm 土体 9 月初的盐储量 (kg/m^2);

x_1 —0—20cm 土体 6 月初初始含盐量 (%),

$$0.050 \leq x_1 \leq 1.625;$$

x_2 —0—100cm 土体 6 月初初始盐储量 (kg/m^2)

$$0.83 \leq x_2 \leq 12.44; \quad x_3$$
—0—40cm 土体 6 月初初始盐储量 (kg/m^2),

$$0.22 \leq x_3 \leq 7.22; \quad x_4$$
—0—20cm 土体 6 月初初始盐储量 (kg/m^2),

$$0.15 \leq x_4 \leq 4.55; \quad x_{11}$$
—6 月初地下水埋深初始值 (m),

$$1.09 \leq x_{11} \leq 9.50; \quad x_{12}$$
—6 月初地下水埋深 (m) 的自然对数值,

$$0.086 \leq x_{12} \leq 2.26; \quad x_{14}$$
—6 月初初始地下水矿化度 (g/L) 的自然对数值,

$$0.04 \leq x_{14} \leq 2.81; \quad x_{20}$$
—6 月—9 月取样间 >20mm 的降水总量 (mm),
 $330 \leq x_{20} \leq 415$ 。

可见, 夏季 0—100 和 0—40cm 土体, 盐分回归拟合的结果也都达到极显著水平。0—100cm 土体, 拟合得较好, 72% 以上的点拟合的相对偏差在 15% 以下。同时影响夏季土壤盐分运动的因素基本上都被选入方程, 特别是选入了变量 x_{11} —6 月初地下水埋深初始值。这对实际生产中采取措施降低地下水位, 增加雨季土壤自然脱盐和防止秋季土壤返盐提供了理论依据。从数值上看, b_{11} 为 -0.23, x_{11} 一般在 4—6, 最大的达 9.5 可见它对土体脱盐的影响是很大的, 尤其是含盐量不高的地区。 x_{20} , 6—9 月取样间 >20 mm 的降雨总量, 数值在 400 左右, 尽管 b_{20} 只有 10^{-3} 数量级, 也强烈影响盐分下淋。这个时期, 尤其是降雨集中的 7—8 月, 是一年当中土体盐分自然下淋, 土壤脱盐的主要时期。

0—40cm 土体, 回归方程选入的变量少, 拟合效果也不理想, 其原因可能是: 9 月初雨季刚过, 土壤盐分含量是一年中最低的时期, 0—40cm 土体盐储量很小, 多数点都在 $0.5\text{kg}/\text{m}^2$ 以下, 有的还不足 $0.2\text{kg}/\text{m}^2$, 这样, 取样误差及其它原因造成的误差就会占很

表 3 夏季 0—100cm 土体盐分回归拟合效果

Table 3 The statistics of relative deviation between calculated and analyzed salt in 0—100cm soil horizon in summer

相对偏差 Relative deviation	>25%	>20%	>15%
数量(个) Number	7	9	10
百分比 Percentage	19.4	25.0	27.8

大比重, 从而将盐储量与其它因素间的规律性掩盖了。这也说明, 即使拟合值与实测值相差很小(哪怕只有 10^{-2} 数量级), 也会造成 20% 以上的相对偏差。

(三) 土壤盐渍化预报模型的初步检验

根据建模型前随机留下的若干样点,我们对以上建立的春季和夏季土壤盐储量逐步回归模型进行了初步验证。将各个数据分别代入上述方程后,结果如表 4 所示。

表 4 土壤盐储量预报模型的验证(单位: kg/m^2)
Table 4 Predicted results of total dissolved salt in soil

季节 Season	层次 Depth	点号 Point number	γ Measure	等级 Grade	β Predicted	等级 Grade	e Deviation	判别 Discrimination
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
春季 (3-6月)	0-100cm 土体	154	7.48	4	7.40	4	0.08	✓
		156	1.36	1	1.50	1	-0.14	✓
		176	1.28	1	1.47	1	-0.19	✓
		183	1.96	2	2.44	2	-0.48	✓
	0-40cm 土体	113	0.46	1	0.38	1	0.08	✓
		152	0.43	1	0.45	1	-0.02	✓
		153	0.35	1	0.37	1	-0.02	✓
		164	0.32	1	0.36	1	-0.04	✓
		194	0.88	2	0.69	2	0.19	✓
		199	0.46	1	0.46	1	0.00	✓
夏季 (6-8月)	0-100cm 土体	122	1.48	1	1.49	1	-0.01	✓
		144	3.35	3	3.46	3	-0.11	✓
		132	1.99	2	2.16	2	-0.17	✓
		182	3.84	3	3.41	3	0.43	✓
		193	3.33	3	3.60	3	-0.27	✓
	0-40cm 土体	113	0.52	1	0.45	1	0.07	✓
		142	0.51	1	0.40	1	0.11	✓
		160	0.33	1	0.35	1	-0.02	✓
		163	0.47	1	0.53	1	-0.06	✓
		171	0.42	1	0.43	1	0.01	✓

从表 4 的第 4、6、8 栏可看出,大多数点的预测值与实测值都是很接近的,它们的变化趋势基本是一致的。

事实上,由于田间盐分变异的复杂性,以及取样和分析工作存在的误差,作出十分精确的数值预报在目前条件下是不现实的,作出等级预报即可满足农业生产的要求。我们

表 5 土体盐储量分级标准

Table 5 The classification of total dissolved salt in soil

层次 (cm) Depth	土体盐储量 ⁽¹⁾ (kg/m^2) Total dissolved salt in soil				
	0-40	≤ 0.60	0.6-1.2	1.2-2.4	2.4-3.6
0-100	≤ 1.50	1.5-3.0	3.0-6.0	6.0-9.0	9.0-15.0
含盐量 ⁽²⁾	≤ 0.107	0.107-2.14	0.21-0.43	0.43-0.64	0.64-1.07
等级	I	II	III	IV	V

(1) 土体盐储量计算时,取平均容重 $1.40\text{g}/\text{cm}^3$;

(2) 按照本表分级时,土体盐分的平均含量(%).

又将土体盐储量数值按表 5 的标准划分等级后进行了检验,结果如表 4 的第 5、7、9 栏所示。

可见,用等级检验时,计算值的等级与实测值等级是完全一致的。

四、问题与讨论

以上建立的春季和夏季土壤盐渍化逐步回归预报模型,是在特定的气候、水文地质、土壤等条件下建立的,预报方程只能适用于与此条件相似的地区和年份。今后在继续积累资料的基础上,可以分年型作出常年、旱年和湿涝年型的预报方程进行预报。并且,当预报时刻的条件与建立方程时刻的条件相差较大时,也应重新建立预报方程。

由于曲周盐分的季节变化特点,只在 3、6、9 月初取样,而且资料少,时间短,故本文只能根据 3 月初的资料预报 6 月初的盐储量,根据 6 月初的资料预报 9 月初的盐储量。各个地区根据实际生产需要,可以按此方法建立短期预报模型进行短期预报,如按月份预报;资料多的地区还可尝试建立年际间预报模型进行长期预报。当然,这些还有待于今后验证。

本研究 6 月初和 9 月初的盐分含量是由土样电导率根据 3 月初盐分含量与电导率的相关关系换算而来,存在着一定误差,因而回归方程的估计标准差较大。有条件的地方应尽量改进分析方法,提高分析精度,减少误差,提高回归方程的精确度及预报的准确度。

今后,在进一步完善模型的基础上,根据初始地下水埋深。矿化度分布图及作物灌水情况和降水资料,以及土壤初始盐分状况,即可作出按精度要求的大量点的盐分数值预报与等级预报,并可作出相应的分布图,从而实现区域土壤盐渍化预报。

参 考 文 献

- [1] 石元春、李颖珠、陆锦文, 1986: 盐渍土的水盐运动。北京农业大学出版社。
- [2] 单光宗, 1985: 干旱、半干旱地带土壤盐渍化及其防治。土壤学进展, 第 16 卷 3 期, 1—10 页。
- [3] 罗焕炎等, 1965: 层状土中毛管水上升的实验研究。土壤学报, 第 13 卷 3 期, 312—324 页。
- [4] 袁剑舫等, 1980: 粘土夹层对地下水上升运行的影响。土壤学报, 第 17 卷 1 期 94—100 页。
- [5] 北京农业大学遥感所编译, 1985: 国际盐碱土改良学术讨论会论文集。中国·济南。
- [6] 刘有昌, 1962: 鲁北平原地下水安全深度的探讨。土壤学报, 第 10 卷 4 期, 13—22 页。
- [7] 娄传礼, 1964: 土壤积盐与地下水关系的分析。水利学报, 第 2 期, 72—75 页。
- [8] 黄照恩等, 1985: 潜水蒸发和土壤积盐的研究。土壤通报, 第 16 卷 6 期, 1—5 页。
- [9] Gardner W. R., 1953: Laboratory studies of evaporation from soil columns in the presence of a water table. *Soil Science*, 85(4): 244—249.
- [10] Hasson F. A., 1977: Evaporation and salt movement in soils in the presence of a water table. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 41(3): 470—478.
- [11] Kumer N. M., 1984: Test on one-dimension models for predicting salt dynamics in soil. *Soil Sci.*, 137(6):408—412.
- [12] Willis W. O., 1960: Evaporation from layered soils in the presence of a water table. *Soil Sci. Soc. Amer. Pro.*, 24(4): 239—242.

THE PRELIMINARY STUDY ON MODEL FOR PREDICTING SOIL SALINITY

Li Lujia

(Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences, 230000)

Summary

In the light of the data on soil salt regime in 60 points in the northern part of Quzhou County (247.4 km²), Huang-Huai-Hai plain, observed in spring and summer, 1987, and the study results of some predecessors, all kinds of factors influencing the salt regime in soils, such as the texture of soil profile (mainly the thickness of clay layer), the depth and saly content of groundwater, precipitation, irrigation and the initial saly content in soils are used as independent variables in the statistical models for predicting soil salt content in spring and summer developed with the method of stepwise regression. The dependent variables are contents of total dissolved saly in 0—100 and 0—40 cm deep soils at next time interval. The factors seriously affecting the salt regime are all selected into the predicting equations. The independent variables that are selected into the equations are different with the season and soil depth. There is a good agreement between the predicted results and observed data. Preliminary test demonstrates that the models can at least be used for the prediction of soil salinity in agriculture production. The predicting models can only be used in such situations that the year type of predicting time is the same as 1987 and the natural conditions are similar to Quzhou County's.

Key words Soil salinity, Predicting model, Regional soil