

半干旱地区土壤盐碱化预报研究

——以吉林省西部洮儿河流域为例

李凤全, 卞建民, 张殿发

(长春科技大学环境与建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要: 通过对地下水盐均衡和包气带的盐通量及积盐率计算, 用土壤盐碱化预报模型, 对吉林西部洮儿河流域不同地貌单元进行了土壤盐碱化预报研究, 流域内土壤盐碱化发展的总体趋势加重, 但不同地貌单元的发育程度有很大的差别, 从流域的上游到下游, 土壤盐碱化从无到有, 由轻到重。传统上用发展速率的方法预测盐碱化是不严谨的。

关键词: 盐碱化预报 地下水盐均衡 包气带 盐通量 积盐率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2000)02-0001-04

中图分类号: S156.41

A Study on Soil Salinization Forecast in Semi-arid Area

——As a Sample in Taoyer River Basin of Jilin Province

LI Feng-quan, BIAN Jian-min, ZHANG Dian-fa

(Environment and Construction College, Changchun Science and Technology University, Changchun 130026, PRC)

Abstract The balance of salt in the groundwater and salt flux and rate of salt accumulation in *vadose* and forecasted soil salinization of different landforms in Taoyer river basin of Jilin province is calculated with soil salinization forecast model. The general trend of soil salinization will be aggravated in the river basin, but there is much difference in diverse landforms. Soil salinization become more aggravating from the upper reach to the lower of the river basin. The traditional method of forecasting soil salinization with developing rate is not precise.

Keywords salinization forecasting; salt balance in groundwater; *vadose*; salt flux; salt accumulation rate

洮儿河流域位于大兴安岭东坡与松嫩低平原的过渡带, 地势西北高东南低, 属北中温带大陆季风气候区, 年降水量 350~400 mm, 年内降水分配不均, 夏季占 75% 左右, 年蒸发量 1800~2000 mm, 最大值出现在春季 4~5 月份。日照充足, 年日照时数 2900~3100 h, 光能资源丰富。全年大风 (8 级以上) 日数一般在 20 d 左右, 多集中在春季。年平均气温 4℃~5℃, 无霜期 130~140 d, 全区冻土深度 2 m 左右。区内地表水系主要有洮儿河及其支流蛟流河。洮儿河发源于大兴安岭山区, 流经本区汇入月亮泡, 最终流入嫩江。

流域面积约为 2013 km², 是吉林省重要的农牧业基地, 长期以来, 由于受到自然因素和人为因素的影响, 土壤盐碱化严重威胁着流域内人们生产和生活环境, 生态环境日益脆弱。

通过对地下水盐均衡和包气带的盐通量及积盐

率计算, 用土壤盐碱化预报模型^[1], 对吉林省西部洮儿河流域不同地貌单元进行了土壤盐碱化预报研究, 探索半干旱地区土壤盐碱化的发育规律, 为土地资源的可持续利用和防治农业生态环境进一步恶化提供科学依据。

1 地下水的盐均衡计算

洮儿河流域土壤中盐碱成分主要来源于大兴安岭的火山岩风化物, 潜水把易溶盐从扇形地的后缘运移到前缘, 直到冲湖积平原, 干旱的气候条件使土壤盐分随着蒸发作用上移, 造成表土大量积盐。通过对地下水的盐均衡计算, 可以预测各地貌单元盐分的聚集规律和水盐的运移方向^[2]。

1.1 建立地下水的盐均衡方程式

系统地分析带入与带出盐量的变化, 带入盐量的途径主要有降水、地下径流和河流补给; 带出盐量的

主要途径有地下水蒸发、地下径流流出和开采地下水。本文用下式对流域地下水的盐均衡进行计算

$$\Delta W_1 = 10(Q_1 C_1 + Q_2 C_2 + Q_3 C_3) - 10(Q_4 C_4 + Q_5 C_5 + Q_6 C_6)$$

式中: ΔW_1 ——地下水中盐储存变化量 (10^4 kg/a); Q_1, C_1 ——降水补给地下水量 (10^8 m³/a)及渗入水的矿化度 (mg/L); Q_2, C_2 ——地下水径流流入量 (10^8 m³/a)及地下水的矿化度 (mg/L); Q_3, C_3 ——河流补给地下水量 (10^8 m³/a)及河水的矿化度 (mg/L); Q_4, C_4 ——地下水蒸发量 (10^8 m³/a)及地下水的矿化度 (mg/L); Q_5, C_5 ——地下径流流出量 (10^8 m³/a)及地下水的矿化度 (mg/L); Q_6, C_6 ——地下水现状开采量 (10^8 m³/a)及地下水的矿化度 (mg/L)

1.2 降水带入盐量

根据下列公式:

$$Q_1 C_1 = F \cdot X \cdot T \cdot C_1 \times 10^{-4}$$

式中: X ——单元面积 (km²); T ——降雨量 (mm); C_1 ——降雨渗入水的矿化度 (mg/L)

1.3 地下水径流带入盐量

根据下列公式:

$$Q_2 C_2 = K \cdot L \cdot M \cdot I \cdot C_2 \times 10^{-7}$$

式中: K ——含水层渗透系数 (m/d); L ——过水断

面宽度 (m); M ——含水层平均厚度 (m); I ——地下水天然水力坡度; C_2 ——地下水矿化度 (mg/L)

1.4 河流补给地下水带入盐量

根据洮儿河水与地下水的补给关系,以及不同河段河水对地下水补给强度或排泄强度差异,按地貌单元划分出河流补给为主的地段。根据下式计算:

$$Q_3 C_3 = 10XF C_3$$

式中: X ——河流补给模数 (10^8 m³/km²·a); F ——补给的面积 (km²); C_3 ——河水的矿化度 (mg/L)

1.5 地下水蒸发带出盐量

由于潜水蒸发,不仅使地下水水量减少,而且也带走盐分,使地下水的总盐量减少。根据下式计算:

$$Q_4 C_4 = 10XF C_4$$

式中: X ——潜水蒸发模数 (10^8 m³/km²·a); F ——蒸发的面积 (km²); C_4 ——地下水的矿化度 (mg/L)

1.6 地下水径流带出盐量

根据下列公式:

$$Q_5 C_5 = 10K \cdot L \cdot M \cdot I \cdot C_5$$

式中: K ——含水层渗透系数 (m/d); L ——过水断面宽度 (m); M ——含水层平均厚度 (m); I ——地下水天然水力坡度; C_5 ——地下水矿化度 (mg/L)

表 1 流域各单元地下水盐均衡计算结果

10^4 kg·a⁻¹

参数及结果	带入盐量				带出盐量				盐储存变化量 (75%)
	降水 (75%)	地下径流	河流补给 地下水(75%)	合计 (75%)	蒸发 (75%)	地下径流	开采 地下水	合计 (75%)	
丘陵	101.91	36.40		138.31	161.13	6.76	8.84	176.73	- 38.42
扇后缘	664.65	770.40		1435.05	1214.15	144.00	26.64	1384.79	+ 50.26
扇中部	1138.77	987.80	888.80	3015.37	1759.45	272.20	37.26	2569.27	+ 446.1
扇前缘	571.60	74.80	514.74	1161.14	628.32	55.00	18.92	702.24	+ 458.90
扇前洼地	416.51	28.50	1536.17	1981.18	1739.93	147.69	52.50	1940.12	+ 41.06
一级阶地及河漫滩	1941.72	67.50	2030.63	4039.85	15611.24	180.03	687.51	16478.78	- 12439.43
二级阶地	3713.42	47.78	3761.20	9651.49	47.59	418.95	10118.03	- 6356.83	
合计	8548.58	2013.18	4970.33	15532.09	30767.71	1351.27	1250.98	33368.96	

1.7 地下水开采带出盐量

开采地下水不仅使水量减少,而且也带走盐分,使地下水的总盐量减少。根据下式计算:

$$Q_6 C_6 = 10X_6 \cdot F C_6$$

式中: X_6 ——地下水开采模数 (10^8 m³/km²·a); F ——地下水开采范围 (km²); C_6 ——地下水的矿化度 (mg/L)

通过上述地下水带入和带出盐量的计算,得出流域内各地质单元的水盐均衡结果见表 1

从计算结果可以看出,流域内盐分空间富集规律为:丘陵→扇形地→冲湖积平原,表现为盐分的均衡→正均衡→负均衡。地下水中盐分的迁移方向:丘陵→扇形地→冲湖积平原,表现为淋溶下移→富集迁移→上移

2 包气带土壤盐碱化程度预测

通过对土壤盐碱化的形成因素分析,地下水的埋藏条件与水循环条件是控制流域内土壤盐碱化的主

导因素, 可通过计算包气带中盐均衡的数量关系来预测土壤盐碱化的发展趋势及程度^[3]。

2.1 潜水蒸发盐通量及积盐率

$$J_1 = Q_1 C_1 \times 10^{-2}, \quad S_1 = J_1 / 2000 r$$

式中: J_1 ——潜水蒸发盐通量; S_1 ——潜水蒸发积盐率; Q_1, C_1 ——潜水蒸发盐通量及潜水的矿化度

2.2 降水入渗补给地下水盐通量及脱盐率

$$J_2 = Q_2 C_2 \times 10^{-2}, \quad S_2 = J_2 / 2000 r$$

式中: J_2 ——潜水蒸发盐通量; S_2 ——潜水蒸发积盐率; Q_2, C_2 ——降水入渗补给地下水盐通量 (mm/a) 及降水的矿化度 (g/L)。

2.3 土壤盐碱化程度预测

$$S_t = S_0 \pm \Delta S \cdot t$$

式中: S ——预测年的土壤含盐量 (%); S_0 ——初始土层含盐量 (%); ΔS ——积盐率与脱盐率之差 (%/a); t ——预测时间长度 (a) 计算结果见表 2

表 2 包气带土壤盐碱化趋势预测结果

10⁻⁴%

参数及结果	丘陵	扇后缘	扇中部	扇前缘	扇前洼地	一级阶地	河漫滩	沙丘砂垄	二级阶地
降水渗入脱盐率	50%	39	88	112	105	58	157	113	132
	75%	37	73	93	94	54	134	97	104
潜水蒸发积盐率	50%	32	68	79	99	102	516	110	132
	75%	60	89	100	105	151	706	132	183
积盐率与脱盐率之差	50%	7	20	31	-6	44	359	-3	0
	75%	23	16	7	48	97	572	35	79
盐碱化程度	无				季节性变化	潜在或轻	无		中重度
盐碱化方向	脱盐				动态平衡	中度积盐	脱盐		积盐

从表 2 可以看出, 丘陵区、冲洪积扇、冲湖积平原中的河漫滩及沙丘砂垄分布区土壤盐碱化向脱盐方向发展或根本不发育; 扇前洼地随着季节性而变化, 旱季积盐, 雨季脱盐, 盐碱化的发育处于动态变化之中; 一级阶地盐碱化发育程度较轻, 但有进一步发育的趋势; 二级阶地盐碱化发育程度中等到很重, 并且正在向更严重的方向发展

3 流域内土壤盐碱化预报

把某岩性结构条件下的地下水埋深、渗透速度、矿化度、潜水蒸发强度作为与土壤盐碱化关系的因子, 以各因子对土壤盐碱化综合影响率为分区参数

3.1 土壤盐碱化预报分级

通过对流域土壤盐碱化形成条件的综合分析, 将地下水埋深为 1.5 m, 矿化度 2.0 g/L, 渗透速度 0.04 m/d, 潜水蒸发强度 187.34 mm/a, 岩性结构为亚沙土的 0-20 cm 土壤的含盐量 0.30% 作为基准含盐量, 将基准含盐量作为本区的基数, 并确定为 1

按下式计算单因子的影响率将流域内 4 个主要因子的影响率与土壤盐碱化分布相结合, 确定出流域内土壤盐碱化预报系数分级标准如表 3

表 3 土壤盐碱化预报系数分级标准

土壤盐碱化程度	非盐碱化	潜在盐碱化	轻度盐碱化	中重度盐碱化
预报系数	< 0.03	0.03~0.28	0.28~0.68	> 0.68

3.2 土壤盐碱化预报

根据下式预报土壤盐碱化:

$$C = G \cdot S \cdot I \cdot E$$

式中: C ——土壤盐碱化预报系数; G ——地下水埋深的影响率; S ——地下水矿化度的影响率; I ——地下水渗透速度的影响率; E ——地下水蒸发强度的影响率。

应用土壤盐碱化预报公式, 把不同时期土壤的地下水埋深、矿化度、渗透速度及潜水蒸发强度指标, 查出各自对应的影响率, 带入公式, 便得到不同时期土壤的预报系数, 把握土壤盐碱化的发展动向, 采取针对性措施进行治理, 并且在土地合理利用上具有指导性意义, 使防治与利用有机地结合在一起, 在防治中利用, 在利用中治理, 使生态效益与经济效益同步提高^[4]。

从预报结果 (表 4) 可以看出, 本流域从洮儿河上游到下游, 土壤盐碱化的发育具有明显的规律性, 从无到有, 从轻到重。最上游的丘陵地区到洪冲积扇将不会发生盐碱化, 冲积扇前缘和扇前洼地为土壤盐碱化的潜在发育区, 冲洪积平原的一级阶地及河漫滩为土壤盐碱化的轻度发育区, 而二级阶地则为盐碱化的重度发育区。

4 结 论

(1) 通过对地下水盐均衡计算, 得到流域内盐分空间富集的规律: 丘陵→扇形地→冲湖积平原, 盐分由均衡→正均衡→负均衡; 而地下水中盐分的运移方向表现为: 淋溶下移→富集迁移→上移。

表 4 土壤盐碱化分区预报结果

参数及结果	丘陵	扇后缘	扇中部	扇前缘	扇前洼地	一级阶地河漫滩	二级阶地
面积 /km ²	72.04	236.40	248.37	142.80	371.78	713.24	228.37
地下水埋深的影响率 G_s	0.652	0.758	0.866	1.120	0.884	1.210	0.975
地下水矿化度的影响率 S	0.123	0.114	0.112	0.112	0.154	0.532	0.865
地下水渗透速度的影响率 I_s	0.285	0.194	0.386	0.410	0.563	0.954	0.912
地下水蒸发强度的影响率	0.354	0.329	0.451	0.669	0.842	1.001	1.025
土壤盐碱化预报系数 C	0.008	0.005	0.017	0.034	0.065	0.615	0.788
预报结果	非			潜在		轻度	中重度

(2) 通过计算包气带中盐均衡的数量关系,预测流域内土壤盐碱化的发展趋势及程度。丘陵区、冲洪积扇、冲湖积平原中的河漫滩及沙丘砂垄分布区土壤向脱盐方向发展;扇前洼地随着季节性而变化,旱季积盐,雨季脱盐,盐碱化的发育处于动态变化之中;一级阶地盐碱化发育程度较轻,但有进一步发育的趋势;二级阶地盐碱化发育程度中等到很重,并且正在向更严重的方向发展。

(3) 应用土壤盐碱化预报公式可得到不同时期土壤盐碱化的预报系数,把握土壤盐碱化的发展动向,采取针对性措施进行治理,对土地合理利用具有指导性意义,把防治与利用有机地结合在一起,在防治中利用,在利用中治理,使生态效益与经济效益得到同步提高。

(4) 按照发展速率预测盐碱化的传统方法是不严谨的。有人推测再过 50 a 或 100 a 吉林省西部的土

地将全部盐碱化。本文通过对洮儿河流域土地盐碱化的预报研究表明:虽然吉林省西部土地盐碱化发展趋势是总体上加重,但并不会全区盐碱化。盐碱化加重区域只是局部地区,如冲洪积平原上的一级阶地,盐碱化程度将会由轻变重;二级阶地盐碱化程度将会进一步加重;而流域上游的丘陵地区和洪冲积扇的土壤将不会发生盐碱化。

参 考 文 献

- [1] Clemente R S, Prasher S O, Bonnell R. Application of pestfade to simulate salt movement in soils[J]. Canadian Water Resources Journal, 1997, 22(2): 167-181.
- [2] 扬劲松. 土壤盐渍化地球化学研究的进展及发展趋势[J]. 土壤, 1991, 23(4): 206-209.
- [3] 李取生, 裘善文, 邓伟. 松嫩平原土地次生盐碱化研究[J]. 地理科学, 1998, 18(3): 268-272.
- [4] 张为政. 草地次生盐渍化研究——松嫩平原次生盐碱斑成因的研究[J]. 土壤学报, 1993, 30(2): 182-189.

《水土保持学报》《水土保持通报》文摘汇编简介

由中国科学院水利部水土保持研究所编辑部编辑出版的《水土保持学报》《水土保持通报》文摘汇编(以下简称《汇编》)一书,已于 1998 年 8 月正式出版,共计 50 万字,订价 49.80 元。

《水土保持学报》和《水土保持通报》是我国水土保持领域国内外公开发行的两种重要学术期刊,在国内外享有相当高的知名度,多年来对我国的水土保持事业做出了重要贡献。

《汇编》是在中图分类法的基础上,依据国家标准 GB3468-8《检索期刊编辑总则》和 GB3793-8《检索期刊条目著录规则》,并结合两刊实际报道内容进行编排和著录。全书分为《水土保持学报》(创刊于 1987 年)和《水土保持通报》(创刊于 1981 年)两部分,它汇集了两种刊物自创刊至 1995 年 24 卷 123 期 1679 篇论文的摘要,共计 1663 条(此二刊 1996 年以后的文献全被编入《中国学术期刊》光盘版;1999 年以后,入网“万方数据资源系统数字化期刊群”,全文上网)。

《汇编》主要内容包括:水土保持学研究方法介绍、水土流失规律研究、水土流失区划与水土保持规划、水土保持措施研究、水土流失综合治理、水土流失灾害研究、水土流失区自然资源开发利用、土地退化、水土流失区农林牧生产建设和生态环境保护等。它集文献的贮存功能和文献检索功能于一体,不但弥补了过刊保存率低的不足之处,而且有利于广大水土保持科技工作者及时、方便、全面、快捷地查阅过刊文献,对促进我国水土保持事业的发展大有裨益,是一部颇具收藏价值的珍贵资料。有需要者请速于本编辑部联系,印数有限。

联系地址: 陕西杨陵中国科学院水利部水土保持研究所编辑部 邮 编: 712100

联系电话: (029) 7018442 E-mail: bulletin@ms.iswc.ac.cn 联系人: 吴乃宁 王修