

# 松嫩平原盐渍土积盐与碱化关系 及发展趋势研究

石元亮 王 晶 李晓云

(吉林省农科院)

(吉林省供销学校)

## 摘 要

本文尝试运用相关和通径分析等数学方法,对松嫩平原低地形成的各类苏打盐渍土按其积盐程度,即发育阶段进行了分析研究。初步探视了本区盐碱土形成的特点,明确了盐碱土形成中盐化与碱化的相互依赖关系及形成碱化土的主要影响因素,并由此推断松嫩平原苏打盐渍土是盐化、碱化同时发展,而不同于内蒙古高原的脱盐碱化过程。松嫩平原的苏打盐渍土目前还处于继续发展阶段。

长期以来人们从各个角度对盐渍土的形成与发展进行了广泛的研究,提出了生物积盐等一系列盐渍土形成学说及脱盐碱化的碱土形成学说,为进一步弄清松嫩平原盐渍土的形成规律及其影响因素,本文对松嫩平原盐渍土的形成、发展及主要影响因素进行了综合研究,形成了一些初浅看法,以求达到指导这一区域内盐渍土の利用与改良的目的,并供同行们讨论。

松嫩平原属半干旱及湿润气候区,由东向西干燥度(K)不断增加,K值最高可达到1.5以上。年降水量在350~600毫米,蒸发量为1400毫米以上,高于降水量三倍。从地形上看,位于东北大兴安岭以东,长白山脉以西,北部为小兴安岭。松辽分水岭的隆起<sup>[1]</sup>,致使嫩江改道,从而形成了大量的平原湖沼,苏打盐渍土即主要发生分布于松嫩平原西部的这一区域。

## 一、研究方法

在松嫩平原各地,分别按盐含量及碱化度的轻中重<sup>[2]</sup>选取剖面点,即分别代表不同演替阶段的盐渍土。每剖面点按其自然发生层次,依次采取上部受盐碱影响大的三层,共采取120个土壤样本供分析研究。确定了碱化度(ESP)、全盐量、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^{-1}$ 、 $\text{Cl}^{-1}$ 、 $\text{SO}_4^{-2}$ 、 $\text{Na}^{+1}$ 、 $\text{Mg}^{+2}$ 、 $\text{Ca}^{+2}$ 、pH及总碱度等为主要分析指标(结果见表1)。运用多元回归等数学方法研究各

表1

苏打盐碱土化学性状

序 号	ESP (%)	全盐 (%)	$\text{CO}_3^{2-}$ (mc/100g土)	$\text{HCO}_3^{-1}$ (mc/100g土)	$\text{Cl}^{-1}$ (mc/100g土)	$\text{SO}_4^{-2}$ (mc/100g土)	$\text{Na}^{+1}$ (mc/100g土)	$\text{Ca}^{+2}$ (mc/100g土)	$\text{Mg}^{+2}$ (mc/100g土)	pH	取土地点
1	2.28	0.09	0.080	0.707	0.126	0.268	0.723	0.3898	0.190	8.35	梨树
2	27.06	0.16	0.515	1.095	0.414	0.051	2.162	0.167	0.099	9.05	农安
3	22.77	0.15	0.667	0.998	0.250	0.038	1.818	0.134	0.091	9.43	农安
4	39.24	0.38	2.089	0.965	2.128	0.763	6.817	0.133	0.093	10.05	农安
5	44.84	0.61	3.249	1.142	4.011	2.053	11.351	0.093	0.079	10.08	长岭
6	51.74	0.48	1.914	0.948	3.604	1.091	8.839	0.159	0.027	10.19	长岭
7	11.87	0.06	0.396	0.450	0.055	0.321	0.516	0.227	0.072	8.81	长岭
8	50.03	0.45	2.145	1.338	0.478	1.813	7.936	0.502	0.081	9.30	前郭
9	40.76	0.33	2.041	2.359	0.419	0.349	5.382	0.392	0.333	9.82	前郭
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
118	21.60	0.22	0.667	2.060	0.065	0.169	2.818	0.079	0.063	9.65	农安
119	19.27	0.22	0.728	1.940	0.076	0.111	2.696	0.105	0.053	9.55	农安
120	16.80	0.17	0.489	1.619	0.066	0.064	2.094	0.075	0.069	9.35	农安

因素与土壤碱化的关系,找出影响土壤碱化的主要因素,以作为土壤发生、形成的推断依据。

## 二、结果讨论

### (一) 苏打盐渍土盐化与碱化的关系

松嫩平原的盐渍土中溶性盐含量相对并非很高,大多数均在1.0%以下,个别可达2%以上,但是主要含有 $\text{CO}_3^{2-}$ 及 $\text{HCO}_3^{-1}$ 盐类,通常情况下 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^{-1} / \text{Cl}^{-1} + \text{SO}_4^{2-}$ 比值大于1<sup>[3,4]</sup>,同时土壤溶液中一二价离子比及钠吸附比(SAR)较高,相关分析结果表明:土壤碱化度(ESP)与土壤中水溶性盐分含量呈显著正相关( $r=0.5810^{**}$ ,  $n=120$ ),通常表现出土壤中盐分含量高,则碱化度相应增高。

由图1可以清楚看出:以ESP为纵座标、含盐量为横座标的散点图,表现出明显的线性规律,土壤积盐量在0~0.5%间,随盐量的增加ESP呈直线上升( $y = -11.89 + 135x$ ,  $y$ 为ESP,  $x$ 为含盐量),土壤盐分含量每增加一个单位,碱化度将相应增加135个单位,当盐分含量 $>0.5$ 时,ESP即趋于稳定,不再随盐分含量的增加而显著增加。

土壤中盐分含量的高低并不是土壤发生碱化的必然决定因素,Kamil和Shainbery曾指出高浓度的盐分能抑制土壤碱化,控制土壤保持一定pH值<sup>[6]</sup>,然而松嫩平原盐渍土随盐分含量增加碱化增加的逆反现象仅能从其盐分组成上得到解释。

### (二) 盐渍土碱化与离子组成的相互关系

#### 1. 与阳离子组成的关系

土壤溶液中阳离子组成比例如何直接影响着土壤胶体上的代换平衡,美国盐渍土实验室(W·S·Salinity Laboratory Staff)曾证明:土壤胶体上代换性 $\text{Na}^+$ 量与土壤溶液中钠吸附比(SAR)呈直线相关, $y = -0.0126 + 0.01475x$ (式中 $y$ 为代换性钠, $x$ 为SAR)<sup>[7]</sup>,松嫩平原的盐渍土中 $\text{Na}^+$ 占有很大比例,一二价离子比高,二价 $\text{Ca}^{+2}$ 、 $\text{Mg}^{+2}$ 等阳离子由于受pH值及 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^{-1}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等离子的影响与牵制,活度变得很小,统计结果表明:土壤溶液中 $\text{Na}^+$ 含量与ESP呈正相关( $r=0.509^{**}$ ,  $n=120$ ), $\text{Ca}^{+2}$ 、 $\text{Mg}^{+2}$ 对ESP未呈显著相关。随盐分的累积,土壤中钠离子量直线上升(见图2),并呈显著直线正相关,而二价离子正相反,仅变化于0.02~0.09me/百克土间,极个别可达到

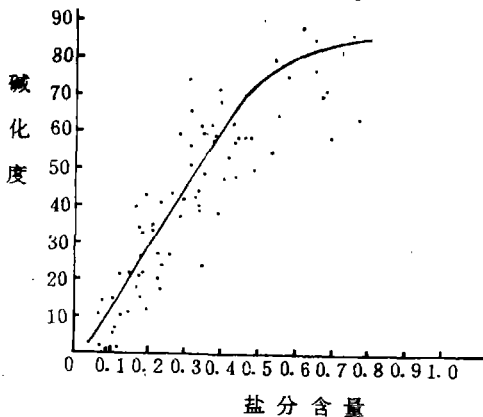


图1 苏打盐渍土碱化度与盐分含量的关系

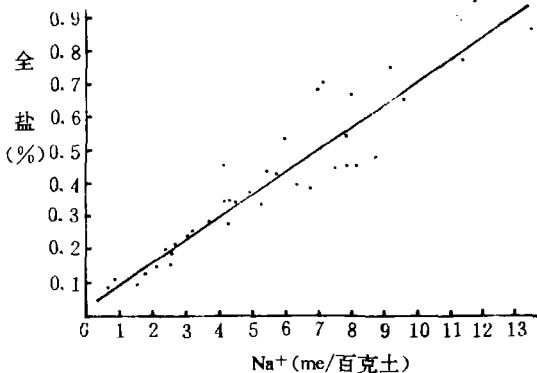


图2 土壤全盐量与 $\text{Na}^+$ 量的关系

1me/百克土。并不随盐分含量的增加而增加,而是始终控制于一定含量范围,结果导致了一二价离子组成比例的变化,由表2不难看出:随土壤中盐分含量由低到高的增加,土壤溶性盐分的钠吸附比(SAR)也由低到高呈现规律性的增加,碱化度也有同样的变化趋势,这由

Gapon 方程 
$$\frac{Na^{+1}x}{Ca^{+2}x+Mg^{+2}x} = KG \frac{Na^{+1}}{\sqrt{\frac{[Ca^{+2}]+[Mg^{+2}]}{2}}}$$
, 式中  $Na^{+1}x, Ca^{+2}x, Mg^{+2}x$  分别表示相

应的代换性离子活度、 $[Na^{+1}]、[Ca^{+2}]、[Mg^{+2}]$  分别表示平衡液中相应离子活度、KG 是 Gapon 系数)可得到解释:胶体上吸附的  $Na^{+1}$  的比率取决于土壤溶液中的 SAR,随着盐含量的增加,SAR 上升,则胶体上的钠吸附(比率)是必要增加,即碱化度上升。苏打盐渍土中  $Na^{+1}$  量可达 30me/100g 土以上,SAR 最高亦可达 80 以上,土壤溶液中离子组成的这些特点也决定了土壤形成的特殊性。

表2 SAR、ESP 随土壤盐分含量变化的规律

序号	全盐 (%)	SAR	ESP (%)	pH
1	0.06	1.33	11.87	8.81
2	0.09	1.34	2.28	8.35
3	0.10	4.47	15.42	9.00
4	0.15	5.41	22.77	9.43
5	0.16	5.92	27.06	9.05
6	0.22	5.72	18.84	8.81
7	0.33	8.94	40.76	9.82
8	0.36	19.88	54.49	9.62
9	0.38	20.27	39.24	10.05
10	0.42	16.07	63.26	9.72
11	0.45	14.10	50.03	9.30
12	0.47	9.51	58.86	9.05
13	0.48	28.95	51.74	10.19
14	0.54	19.09	80.19	9.60
15	0.58	19.54	75.75	9.18
16	0.62	35.75	89.22	9.82
17	0.61	38.63	44.84	10.08
18	0.65	42.68	85.70	9.78
19	0.65	9.29	77.92	9.74
20	0.77	23.32	64.40	10.15
21	0.90	23.82	81.22	10.38
22	1.04	50.40	73.30	9.25
23	1.82	86.25	85.23	9.76
24	1.90	53.63	89.06	9.27
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

### 2. 与阴离子组成的相关性

阴离子组成在土壤碱化上起着决定性作用,松嫩平原的苏打盐渍土的最大特点之一即是含有大量的  $CO_3^{-2}$  与  $HCO_3^{-1}$ ,总碱度在 1~11me/100g 土间。这种离子的存在,将通过以下两方面影响土壤中阳离子的组成,进而影响土壤碱化度:(1)在盐碱土这一开放系统中, $CO_3^{-2}、HCO_3^{-1}$  与水作用后水解,释放出大量  $OH^{-1}$ ,从而导致了 pH 上升,最高 pH 达到十个单位以上。强碱性条件下, $Ca^{+2}、Mg^{+2}$  等二价离子将会转化成  $Ca(OH)_2$  和  $Mg(OH)_2$  而沉淀,从而降低其含量(活度);(2)  $CO_3^{-2}、HCO_3^{-1}$  直接与二价阳离子作用,形成难溶的碳酸盐与重碳酸盐类沉淀。当土壤中  $CO_3^{-2}、HCO_3^{-1}$  量达到一定程度时,上述两种作用同时作用于土壤,相关分析表明:ESP 分别与  $CO_3^{-2}、HCO_3^{-1}$  呈正相关,  $r_{CO_3^{-2}-ESP} = 0.2649^*$  (n=120),  $r_{HCO_3^{-1}-ESP} = 0.5735^{**}$  (n=120),在土壤系统中, $CO_3^{-2}$  与  $HCO_3^{-1}$  随

pH 及  $CO_2$  分压变化而相互达到平衡,土壤的状况是两者共同作用的结果,统计结果证明了这一点:ESP 与总碱度( $CO_3^{-2}+HCO_3^{-1}$ )呈极显著正相关,  $r = 0.4992^{**}$  (n=120)。

根据水解原理可知, $Cl^{-1}、SO_4^{-2}$  对土壤碱性影响取决于其配对阳离子,即是通过其所形成的盐类而起作用的。地下水水质与地球化学系列的共同影响,致使松嫩平原盐渍土中  $CO_3^{-2}+HCO_3^{-1}/Cl^{-1}+SO_4^{-2}$  的比值均大于 1,碳酸盐占有主导地位,并带有正电荷的  $Na^{+1}$  足够平衡强酸性的  $Cl^{-1}、SO_4^{-2}$ ,两者决定了其在苏打土中碱化的影响(作用)很微弱。

### (三)引起土壤碱化的主要因素

土壤碱化是多因素综合作用的结果,长期以来人们尚未准确的从这纷纭的因素中确定出哪一因素影响最大,本文对所选定的 7 个因素进行了研究,基本明确了在共同作用的同时

各因素相对作用的顺序,见表3。 $y$ 指ESP, $X_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, 7$ ),分别指全盐、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^{-1}$ 、 $\text{Cl}^{-1}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^{+1}$ 及pH等, $py_x(i)$ 为 $x_i$ 与 $y$ 的直接通路,根据通路分析的原理,研究结果表明:pH与土壤碱化度关系最为密切,同等条件下(苏打盐渍土),提高土壤pH值将会促进土壤碱化,在苏打盐渍土中,这种现象可以从其影响阳离子组成得到解释,高pH值使 $\text{HCO}_3^{-1}$ 向 $\text{CO}_3^{2-}$ 方向转化,当pH大于9时, $\text{CO}_3^{2-}$ 浓度急剧上升,而 $\text{HCO}_3^{-1}$ 相应下降,提高了对二价离子的固定能力,由此影

响阳离子组成(前面已做解释不再赘述)。相关分析表明:pH与ESP呈正相关, $r = 0.6195^{**}$  ( $n=120$ ),在一定范围内,随pH值上升ESP也相应增加。

表3 各因素与ESP的直接通路

代号	通路
Py. x(1)	0.3153
Py. x(2)	-0.0182
Py. x(3)	0.0675
Py. x(4)	-0.2051
Py. x(5)	0.0048
Py. x(6)	0.2835
Py. x(7)	0.4160

在松嫩平原的苏打盐渍土中,土壤盐分对碱化的影响占有重要作用,这与其特殊的盐分组成有直接关系,这种土壤的盐分含量取决于 $\text{Na}^{+1}$ 盐量( $r = 0.9541^{**}$ ,  $n=120$ ), $y$ 盐 =  $0.0449 + 0.0639x_{\text{Na}^{+1}}$ ,如图2,然而全盐量与 $\text{Na}^{+1}$ 对碱化度的影响仅次于pH,通路分别为:0.3153、0.2835,相对于其它因素, $\text{CO}_3^{2-}$ 及 $\text{SO}_4^{2-}$ 对土壤碱化的直接贡献要小些,这可能与其量小有直接关系, $\text{Cl}^{-1}$ 离子对土壤碱化起一定的负作用。所研究的7个因素引起土壤碱化的能力顺序为:pH>全盐> $\text{Na}^{+1}$ > $\text{HCO}_3^{-1}$ > $\text{SO}_4^{2-}$ > $\text{CO}_3^{2-}$ > $\text{Cl}^{-1}$ 。

由通路图(图3)可知每一因素除其自身直接作用于土壤影响碱化度外,还通过对其它因素的影响而间接影响ESP。 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^{-1}$ 虽然其自身作用效果不大,但如前所述其影响pH值从影响SAR,进而影响代换平衡,关于各因素对ESP的间接作用大小及其相互依赖程度还有待进一步研究。

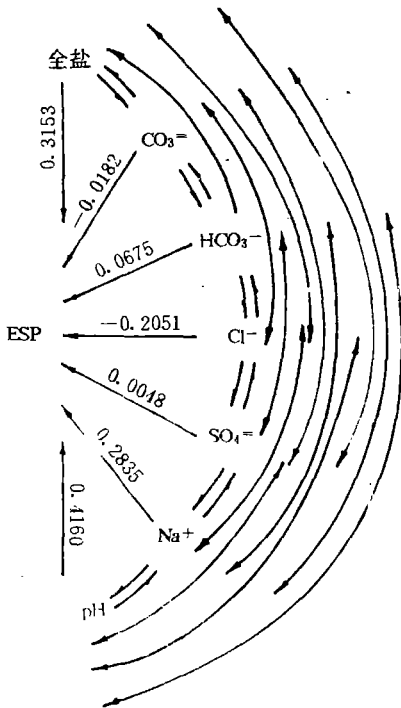


图3 通路图

### 三、松嫩平原苏打碱土的发展趋势

松嫩平原四周地壳凸起,特别是辽河嫩江分水岭的形成使松花江、嫩江流域形成了半闭流区,大小湖泊星罗棋布,低级漫滩阶地及坳间地下水水位高,排泄不畅,在季风气候条件下,水分的耗失主要依靠蒸发,造成了高矿化地下水。闭流区的盐渍土分布区地下水矿化度一般在0.3~2g/l范围内,个别区可高达4g/l。盐分类型主要为钠质重碳酸盐型。 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ 占80%以上。当地下水达到2m时,即影响表层盐分的积聚,为盐分积累创造了条件。

#### (一) 积盐继续发展

松嫩平原的盐渍土分布区,均为低洼地,类于闭流区,地下水位大都在2m以上,直接影响土壤的积盐,这使土壤积累盐分(表聚)成为可能。目前该区内蒸发量比降水量高1

~2倍,这是土壤积盐的被直接动力,加之长期的人为活动致使表层植被破坏严重,使土壤减弱以致彻底消失了抵抗盐分表聚的能力。因此说松嫩平原苏打盐渍土区目前仍是积盐过程。

## (二)积盐碱化相伴发生

松嫩平原盐渍土地处低洼积水区,在半干旱条件下,自然造成了积盐环境苏打土壤中及其地下水中 $\text{Ca}^{+2}$ 、 $\text{Mg}^{+2}$ 所占阳离子比例甚微。一般的在0.6me/100g土以下,这种苏打盐类控制了土壤中 $\text{Ca}^{+2}$ 、 $\text{Mg}^{+2}$ 离子量,因而即使在低碱化度时亦具有较高的一二价离子比,即有较高的碱化能力。

以苏打为主的矿化水又决定了受其影响的土壤在积盐的同时即碱化,这类土壤中 $\text{Ca}^{+2}$ 、 $\text{Mg}^{+2}$ 二价离子含量的相对稳定性,使得土壤中SAR随土壤盐分的增加而相应增加,则集盐越多碱化越强,由此使得松嫩平原碱土形成了一个独特的发生过程:不是在土壤脱盐过程中碱化,而是以积盐的同时即发生碱化为其主要途径。且在松嫩平原苏打盐渍土的发育过程中碱化的发展趋势远大于渍盐,这一现象在统计结果中已得到证明:当土壤含盐仅达0.3%即属轻度盐化土时,土壤的矿化度已接近45%,即已达到强碱性土壤的标准<sup>[5]</sup>(见图1)。松嫩平原西部,低洼盐碱区,地下水位一般都活动于0.5~2.5m间,造成了地下水长期影响表层土壤水分含量,进而影响表土层积盐的条件,使该区具有不同于内蒙古高原,甘肃等地的“脱盐碱化”的盐碱土发育过程。

## 参 考 文 献

- [1]高金方:新构造运动与松辽平原的土壤发生,《土壤学报》,1985,vol. 22, No. 3, P258~264。
- [2]杨国荣:松嫩平原苏打盐渍土数值分类的初步研究,《土壤学报》,1986,vol. 23, No. 4。
- [3]程伯容:东北松嫩平原盐渍土盐分积累,《土壤学报》,1963,vol. 11。
- [4]李昌华等:松嫩平原盐渍土主要类型性质及形成过程,《土壤学报》,1963,vol. 11, No. 2。
- [5]杨国荣等:试论土属、土种分类原则和依据,《中国土壤土属土种分类研究》,江苏科学技术出版社,1989。
- [6] Kamil, J. Shainbery. I. "Hydralysis of solution composition on soil hydranlic conductivity." Proc. Soil Sci. Soc. Am. vol. 32, p 308-312, 1968.
- [7] E. Bresler. B. L. McNood, D. L. Carter, "Saline and Sodic soils, 1982.

## DEVELOPMENT TREND AND RELATIONSHIP BETWEEN SALINIZATION AND ALKALIZATION OF SALT-AFFECTED SOIL IN SHONG LIAO PLAIN

Shi Yuanliang Wang Jing et al.

(Soil and Fertilizer Institute, Jilin Academy of Agricultural Science)

### ABSTRACT

The relationship between salinity and development of salt-affected soil formed in Shong Liao plain was studied with the method of analysis of correilation and path coefficient. This paper laid bare the formation characteristic of saline-alkali soil and defined the dependence relationship between salinization and alkalization. The major factor which affect the alkalization of soils has been found. The authors believe that salinizati on and alkalization of saline-alkali soil in Shong Liao plain is in progress and develops at same time.