

# 松嫩平原苏打盐渍土数值分类的 初步研究\*

杨国荣 孟庆秋 王海岩  
(吉林省农业科学院土壤肥料研究所)

## 摘 要

作者根据松嫩平原地区土壤普查和科研工作所积累的大量分析数据,应用《综合数值分析法》,对苏打盐渍土积盐类型、盐化和碱化分级,进行了数值分类。分别提出了积盐类型分类、苏打盐化分级和苏打碱化分级的主要性质指标。经过生物验证表明是可行的,为苏打盐渍土基层分类的数据化和指标化提出了依据。

我国盐渍土分类研究,始于三十年代初期,制定了我国盐渍土的分类系统<sup>[1]</sup>,随着我国 1959、1979 年两次土壤普查工作的开展,使盐渍土的分类有了较大的发展。对盐渍土高级分类单元的划分原则依据基本趋于一致,基层分类单元的划分依据也比较接近一致<sup>[2]</sup>。七十年代以来,各地在取得了大量分析研究资料基础上,开始应用电子计算技术进行土壤的数值分类研究,使各级分类依据指标化、数据化,初步摆脱单纯依靠直观形态划分土壤类型的状况<sup>[5,6]</sup>。例如对黄淮海地区盐渍土碱化度分级的数值分类等都取得了较好的成果<sup>[3]</sup>。

本文拟就松嫩平原苏打盐渍土在全国第二次土壤普查和过去科研中,取得有关盐渍土特性的化验资料,应用电子计算机进行数值统计对苏打盐渍土的基层分类做初步探讨。

## 一、采样和方法

土壤样品取自农安、长岭、乾安和前郭等十余个县、旗,属于典型苏打盐渍土区。共选取了 126 个剖面,采集 386 个土样,测定了土壤的全盐量和 pH 值,阳离子钙、镁、钾和钠,阴离子碳酸根、重碳酸根、硫酸根和氯根,代换总量和代换性钠,计算出钠碱化度和残余碳酸钠。其方法如下:

1. 全盐量及 pH 值: 土水比为 1:1,用电导法测定全盐量,用玻璃电极法测定 pH 值。
  2. 盐分阴阳离子: 用土水比 1:5 浸提液,  $\text{CO}_3^{2-}$  及  $\text{HCO}_3^-$  用双指示剂滴定法,  $\text{Cl}^-$  用硝酸银容量法,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  用 EDTA 容量法,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  用火焰光度计法。
  3. 阳离子代换总量及代换性钠: 用改进普利法 (A. A. Puri), 即用  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  浸提,用 EDTA 滴定法。
  4. 钠碱化度对作物生育和产量的影响(盆栽试验): 取不同碱化度苏打盐渍土进行糜子盆栽试验。
- 盐分诊断土层的划分: 我们把 0—50 厘米的最高含盐层或碱化层,作为评价盐碱对作物危害的诊

\* 本文承席承藩、王遵亲教授审阅,俞仁培、卜兆宏同志提出了宝贵意见,一并致谢。

断土层。同时考虑到盐土和碱土两类土壤的盐碱在剖面中的分布特点,分别选取不同层次的盐碱性状分析数据进行统计整理。

(1) 盐土类型,包括地带性盐碱化土壤和白盖(结皮)碱土,其盐碱在剖面中的分布,上部含量高,下部含量低,呈“三角漏斗状”。因此把 0—50 厘米中的 2—3 个土层盐碱含量加权平均,得到这一剖面各项性质的均值。

(2) 浅位到深位柱状碱土,其最高含盐或碱化层,常在表土以下的一定深度出现,盐碱在剖面中的分布上下低,中间高,呈“分液漏斗状”。因此把 0—50 厘米土层内,最高含盐或碱化层与之以下相邻共 2—3 个土层盐碱含量加权平均,得到这类剖面的均值,作为数值分类的基础数据。

选用的数值分类方法为“综合数值分析法”<sup>[1]</sup>。

## 二、结果与讨论

### (一) 土壤积盐类型的分类

按盐分阴离子当量及其比值确定积盐类型,作为划分土层的依据。我们选取 80 个土壤剖面,以全盐量、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 、 $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ 与 $(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ 的比值六项数据作为数值分类的指标用各剖面诊断土层特性的加权平均值作为原始数据(表 1),进行判别归类。

表 1 苏打盐渍土剖面性质均值统计表

Table 1 The mean-value of profile characteristics of soda-saline soils

序号 Sequence no.	剖面号 No. of profile	全盐量 (%) Total salts 1	$\text{CO}_3^{2-}$ (meq/ 100g) 2	$\text{HCO}_3^-$ (meq/ 100g) 3	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ (meq/100g) 4	$\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ (meq/ 100g) 5	$\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	备 注 Notes
							$\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ 6	
1	QG-12	0.034	0.00	0.28	0.28	0.10	2.80	QG: 前郭灌区 SN: 松农灌区 ZT: 肇东县
2	SN-6	0.051	0.14	0.38	0.52	0.24	2.17	
3	SN-10	0.059	0.05	0.43	0.48	0.35	1.37	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
80	ZT-1	1.450	0.90	1.81	2.71	19.78	0.14	
平均值 $\bar{x}_j$		0.329	0.829	1.775	2.635	1.967	4.736	
标准差 $S_j$		0.277	0.895	1.307	1.824	3.697	4.333	

1. 主成份分析结果: 原始数据经过标准化后, 建立相关矩阵, 求出特征值和特征向量, 建立起主成份方程  $Y_1$  (又称碱化方程) 和  $Y_2$  (又称离子比盐化方程):

$$Y_1 = 1.5957x_1 + 0.5084x_2 + 0.3458x_3 + 0.2895x_4 + 0.0749x_5 + 0.0448x_6 - 2.6834$$

$$Y_2 = -1.4946x_1 + 0.0391x_2 + 0.1959x_3 + 0.1053x_4 - 0.1628x_5 + 0.1392x_6 - 0.5053$$

二个主成份对总方差的累积贡献率达到 85.7%。用每个剖面的  $Y_1$  和  $Y_2$  值可以作出散点图(图 1)。

2. 综合分析结果和讨论: 按照散点图上聚类的典型剖面, 将积盐类型分为三类(I、II、III), 进行判别归类。每相邻两类间进行判别分析, 求出判别方程系数 ( $f_{y1}$ ,  $f_{y2}$ ), 类间判别点的判别值 ( $R_{gpo}$ ), 综合系数 ( $K_{gp}$ ), 算出苏打盐渍土性质分类界线指标值, 判别权

( $W_1, W_2$ ) 和指标权 ( $T_1, T_2$ ), 并反算出类间判别点判别值的反算值, 误差在 0.01 以下 (见表 4 中(一))。

判别分析结果表明, I, II 组判别权  $W_2$  (99.03%) 大于  $W_1$ , 表明第二主成份方程的指标权序(1)的  $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- : \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$  (阴离子和比) 为分级的主要性质指标。当比值大于 4(3.7) 时, 苏打占绝对优势, 为苏打盐土或苏打盐化土 (I 类)。

当阴离子和比的比值小于 4(3.7), 即第 II 类又分成两组 ( $\text{II}_1, \text{II}_2$ ), 进行了再次判别, (见表 4 中(一)和图 1 中 II)。判别权  $W_2$  的值为 70.78%, 分级主要性质界线指标权  $T_2$  的权序(1)离子比值是 1.25。当阴离子和比的值大于 1 (1.25) 是以苏打为主,  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$  为次的苏打盐渍土 ( $\text{II}_1$ ); 比值小于 1 是以  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  为主, 苏打为次的氯化物和硫酸盐渍土 ( $\text{II}_2$ )。从积盐类型角度, 按盐分种类进行了归类, 初步拟定苏打盐渍土分级标准如下:

- (1)  $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) : (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) > 1$  苏打盐渍土 (I 类和  $\text{II}_1$  类)
- a.  $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) : (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) > 4$  苏打盐土或苏打盐化土
- b.  $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) : (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) = 1 - 4 \begin{cases} \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} & \text{氯化物苏打盐化土} \\ \text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-} & \text{硫酸盐苏打盐化土} \end{cases}$
- (2)  $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) : (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}) < 1$  氯化物、硫酸盐盐渍土 ( $\text{II}_2$  类)
- a.  $\text{Cl}^- : \text{SO}_4^{2-} > 1$  氯化物盐渍土
- b.  $\text{Cl}^- : \text{SO}_4^{2-} < 1$  硫酸盐盐渍土

## (二) 土壤盐化分级

选取 81 个盐化分级剖面, 以全盐量、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、总碱度和残余碳酸钠五项性质指标进行数值分类, 各剖面加权平均值作为原始数据, 列入表 2。

1. 主成份分析结果: 经过主成份分析建立主成份方程  $Y_1$  (碱化、盐化方程) 和  $Y_2$  (苏打盐化方程)。对总方差的累计贡献率达到 94.6%。

表 2 苏打盐化土剖面性质均值统计表

Table 2 The mean-value of profile characteristics of soda-saline soils

序号 Sequence no.	剖面号 No. of profile	全盐量 (%) Total salts 1	$\text{CO}_3^{2-}$ (meq/100g) 2	$\text{HCO}_3^-$ (meq/100g) 3	总碱度 (meq/100g) Total alkalinity 4	残余碳酸钠 (meq/100g) Residual $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 5	备注 Notes
1	QG-21	0.062	0.11	0.40	0.51	-0.09	QG: 前郭灌区
2	SN-6	0.051	0.14	0.38	0.52	0.47	SN: 松农灌区
11	CL-2	0.075	0.15	1.08	1.23	0.56	CL: 长岭县
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	LS: 梨树县
81	LS-15	0.893	5.13	1.39	6.52	6.31	
平均值 $\bar{x}_i$		0.2580	0.862	1.857	2.729	2.287	
标准差 $S_i$		0.1885	0.987	1.292	1.926	1.747	

$$Y_1 = 2.3263x_1 + 0.4116x_2 + 0.3228x_3 + 0.2525x_4 + 0.2475x_5 - 2.8095$$

$$Y_2 = -1.1119x_1 - 0.6991x_2 + 0.5266x_3 + 0.055x_4 + 0.0393x_5 - 0.3284$$

2. 综合分析结果和讨论: 由剖面的  $Y_1$  和  $Y_2$  值绘制出平面散点图(略), 分成五级进行判别分析, 苏打盐渍土盐化分级综合分析结果列入表 4 中(二)。从表中可见各级间判别权  $W_1$  达到 71—100%, 指标权  $T_1$  中(1)总碱度、(2) 残余碳酸钠和(3) 全盐等三项性质, 成为盐化分级主要性质的分类界线指标。按以上三项性状指标将苏打盐化土划分为五级如下:

级别号	分级名称	总碱度 (meq/100g)	残余碳酸钠 (meq/100g)	全盐量 (%)
V	非盐化土	<1.3	<1.0	<0.1
IV	轻盐化土	1.3—2.7	1—2.5	0.1—0.3
III	中盐化土	2.7—4	2.5—4	0.3—0.5
II	重盐化土	4—5.5	4—5.7	0.5—0.7
I	盐土	>5.5	>5.7	>0.7

### (三) 土壤碱化分级

选取 81 个土壤碱化分级剖面, 以总碱度、pH、残余碳酸钠、钠碱化度、代换总量和代换性钠六项指标加权平均值作为原始数据, 列入表 3 中。

表 3 苏打碱化土剖面性质均值统计表

Table 3 The mean-value of profile characteristics of sodasaline soils

序号 Sequence no.	剖面号 No. profile	总碱度 (meq/100g) Total alkalinity 1	pH 2	残余碳酸钠 (meq/100g) Residual Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 3	碱化度 (%) ESP 4	代换总量 (meq/100g) C. E. C. 5	代换性钠 (meq/100g) Exchangeable sodium 6	备注 Notes
1	QG-12	0.28	8.77	-0.11	1.74	11.50	0.20	QG: 前郭灌区
2	QG-21	0.51	8.37	-0.09	2.25	15.15	0.37	QA: 乾安县
3	QA-14	0.66	8.25	-0.12	4.29	14.15	0.61	ZT: 肇东县
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
81	ZT-1	2.71	9.60	1.61	90.66	20.45	17.74	
平均值 $\bar{x}_j$		2.913	9.249	2.467	35.933	18.914	6.387	
标准差 $S_j$		2.315	0.634	2.342	27.121	5.170	4.903	

1. 主成份分析结果: 由主成份分析建立起主成份方程  $Y_1$  (碱化方程)、 $Y_2$  (代换方程)。累积贡献率达到 86.8%。

$$Y_1 = 0.1944x_1 + 0.7114x_2 + 0.1926x_3 + 0.0167x_4 - 0.0284x_5 + 0.0824x_6 - 8.2104$$

$$Y_2 = -0.0134x_1 - 0.1782x_2 - 0.009x_3 + 0.0037x_4 + 0.1747x_5 + 0.082x_6 - 2.2516$$

2. 综合分析结果和讨论: 碱化土壤分成五级进行判别分析, 综合分析结果列于表 4

表 4 苏打盐渍土分类(级)的性质界限指标

Table 4 The indexes of classification of soda saline soils

(一) 积盐类型的分类 Classification of salt content	指标权与权序 Weight of indexes and its order		(4)0.1954 (3)0.1714	(2)0.2070 (6)0.0012	(3)0.2043 (4)0.0655	(1)0.2788 (5)0.0369	(5)0.0767 (2)0.3622	(6)0.0377 (1)0.3636	判别权(%) Discriminatory weight		判别系数 Discriminatory coefficient		判别值 Discriminatory value	判别值的反算值 value of contrary Discriminatory count	
	类 界 号 Z	综合系数 K <sub>sp</sub>							W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	f <sub>11</sub>	f <sub>12</sub>			R <sub>sp</sub>
积盐类型的分类 Classification of salt content	I	0.6111	0.2791	0.5407	1.4528	1.9590	1.5020	3.6855	0.96	99.04	0.4828	14.2998	2.3317	2.33	
	II	1.5455	0.1907	0.7825	0.9447	0.9447	1.4939	1.4818	33.46	66.54	5.0645	11.6016	1.3817	1.38	
	III	0.9444	0.1491	1.1375	1.5137	1.5137	0.4291	3.9420	82.04	17.96	10.4349	5.3801	11.7194	11.72	
	IV	1.2500	0.2608	1.0589	0.6256	1.6278	1.7411	1.2500	29.22	70.78	3.9863	15.9875	13.2975	13.30	
	II <sub>1</sub> II <sub>2</sub>														
(二) 盐化分级 Degree of salinization	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>		(3)0.1923 (3)0.0439	(5)0.1650 (1)0.4761	(4)0.1739 (2)0.4629	(1)0.2366 (4)0.0112	(2)0.2321 (5)0.0059								
	综合系数 K <sub>sp</sub>														
	级 界 号														
	I	1.2000	0.6877	1.2110	4.3160	5.4669	5.6999	5.6999	71.17	28.83	28.5644	20.5647	116.8529	116.85	
	II	1.6667	0.4811	1.1381	3.0580	3.9609	4.0233	4.0233	98.12	1.88	13.8513	2.4783	25.2075	25.21	
III	1.5000	0.2765	0.7403	1.9964	2.6616	2.4584	2.4584	96.32	3.68	7.9462	0.7443	0.6133	0.61		
IV	1.0607	0.1175	0.3163	1.0200	1.3790	0.9284	0.9284	100.65	-0.65	-32.7472	1.9356	49.0269	49.03		
(三) 碱化分级 Degree of alkalinization	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub>		(4)0.2024 (5)0.0010	(3)0.2034 (3)0.0128	(2)0.2034 (6)0.0004	(1)0.2060 (4)0.0098	(0)0.0210 (1)0.8154	(5)0.1632 (2)0.1616							
	综合系数 K <sub>sp</sub>														
	级 界 号														
	I	0.8182	3.7129	9.7515	3.2110	47.3044	18.8205	8.9535	92.17	7.83	10.1867	1.3465	10.9752	10.98	
	II	1.1111	2.5958	9.4437	2.2726	29.6090	17.9710	5.3216	98.94	1.06	28.1060	1.8691	4.1458	4.14	
III	1.1000	1.5581	8.9291	1.2972	14.7271	17.9081	2.6305	99.66	0.34	32.1179	0.9132	43.8423	43.84		
IV	0.9091	0.9933	8.5543	0.4653	5.3405	17.6486	0.9524	96.13	3.87	21.6591	3.4566	49.2411	49.24		

中(三)。碱化分级判别权  $W_1$  是 92—99%, 指标权  $T_1$  序(1)碱化度, (2)残余碳酸钠和(3) pH 三项性质, 是苏打盐渍土碱化分级的主要性质。根据判别分析结果的性质界线指标值, 苏打盐渍土碱化土壤分成五级, 结果如下:

级别号	分级名称	碱化度(%)	残余碳酸钠 (meq/100g)	pH
V	非碱化土壤	<5	<0.5	<8.6
IV	弱碱化土壤	5—15	0.5—1.3	8.6—8.9
III	中碱化土壤	15—30	1.3—2	8.9—9.4
II	强碱化土壤	30—47	2—3	9.4—9.8
I	碱 土	>47	>3	>9.8

#### (四) 苏打盐渍土碱化分级的生物验证

为了明确苏打盐渍土不同碱化度对作物生育和产量的影响, 以验证盐碱特性数据分类和分级的正确性, 我们进行了作物田间调查和盆栽试验。试验土壤选用经过土壤分析的非碱化、弱碱化、中碱化和强碱化苏打碱化土壤。至于白盖(结皮)碱土, 乃“不毛之地”即未作处理。从表 5 可以看出, 苏打盐渍土全盐含量在 0.2% 以下时, 对作物的危害主要是钠碱化度所致。一般钠碱化度 <5% 时, 危害很小, 比对照的草甸黑土仅减收 4%。随着碱化度的增加, 达到中度和强度碱化程度, 加重对作物生育的危害, 产量减少达 31—85%。至于白盖(结皮)碱土, 钠碱化度均超过 47%, 则成为“不毛之地”, 不易生长植物。通过生物鉴定, 证明按钠碱化度(5%, 15%, 30%, 47%)分级和作物抗碱分级是相符合的。

表 5 苏打盐渍土特性及作物(糜子)生育和产量对比表  
Table 5 The properties of soda-saline soils and the growth of broom-corn-millet in that soils

土壤类型 Soil type	土壤性质 Soil properties			糜子生育和产量 Growth and yield of millet			
	全盐量 (%) Total salts	总碱度 (meq/100g) Total alkalinity	碱化度 (%) E. S. P.	株高 (cm) Height	穗长 (cm) Length	产量 (kg/公顷) Yield	减产 (%) Decrease
草甸黑钙土(V)①	0.070	0.072	4.05	80.38	26.30	934	—
苏打弱碱化草甸土(IV)②	0.080	0.088	6.49	69.20	23.04	896	-4.07
苏打中碱化草甸土(III)③	0.084	2.036	23.55	55.56	18.15	646	-30.8
苏打强碱化草甸土(II)④	0.172	0.372	42.31	35.38	11.41	136	-85.4

① Meadow chernozem, ② Weakly alkalized, ③ Moderately alkalized, ④ Strongly alkalized

### 三、小 结

应用苏打盐渍土 126 个典型剖面分析数据, 运用综合数值分析法进行数值分析, 可以比较满意地解决积盐类型、盐化和碱化的分级问题。

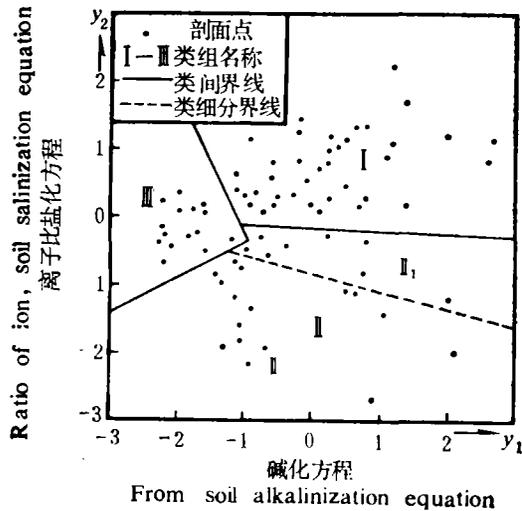


图1 苏打盐渍土积盐类型分类散点图

Fig. 1 Salinization pattern classification of soda-saline soils by means of distribution of scattering points of  $y_1$  and  $y_2$

当苏打 ( $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ ) 与 ( $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ ) 的比值大于 4 时,为苏打盐土或苏打盐渍土,比值 1—4 时为氯化物或硫酸盐苏打盐渍土,比值小于 1 时为氯化物或硫酸盐盐渍土。根据土壤全盐含量等三项性质指标,确定了苏打盐渍土盐化程度和分成五级的界线指标值。根据土壤钠碱化度等三项指标,确定了苏打盐渍土的碱化程度,以及分成五级的界线指标值。

通过作物(糜子)抗碱性盆栽试验,对苏打盐渍土碱化分级等项指标进行了校验,证明研究结果是正确的。

### 参 考 文 献

- [1] 熊毅, 1938: 中国盐渍土之分类及其概性。土壤特刊,乙种第 2 号,中央地质调查所出版。
- [2] 席承藩, 1979: 土壤分类的经验和我国土壤分类问题。土壤分类及土壤地理论文集,浙江科技出版社。
- [3] 万洪富、俞仁培、王遵亲, 1983: 黄淮海平原土壤碱化分级的初步研究。土壤学报,第 20 卷 2 期, 103—139 页。
- [4] 卜兆宏、万洪富, 1982: 土壤分类分级中的综合数值分析法的初步研究。土壤学报,第 19 卷 3 期, 284—285 页。
- [5] Webster, R., 1977: Quantitative and Numerical methods in Soil Classification and Survey. Clarendon Press Oxford.
- [6] Рожков, В., А. 1975: Метод главных компонент и его применение в почвоведении. Почвоведение, №10, 141—151.

# A PRIMARY STUDY ON THE NUMERICAL CLASSIFICATION OF SODA SALINE SOILS IN SONG-NEN PLAIN OF NORTHEAST CHINA

Yang Guorong, Meng Qingqiu and Wang Haiyan

*(Soil and Fertilizer Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences)*

## Summary

Based on the data of 126 typical profiles of sodasaline soils in Song-Nen Plain of Northeast China, numerical classification for soda-saline soils using analytical method of synthetic numerical values was conducted.

Different quantitative indexes were proposed for identification of types of salinization of soils and degree of salinization and alkalization the soils.

Biological experiment showed that this method for the lower category classification of soda-saline soils are practicable.