

# 黄淮海平原土壤碱化分级的初步研究\*

万洪富 俞仁培 王遵亲

(中国科学院南京土壤研究所)

碱化土壤是我国北方平原地区广泛分布的一种低产土壤，它的改良利用是提高该地区农业生产水平的重要措施之一。碱化土壤因其碱化程度不同，改良措施也不一样，因此，土壤碱化分级对生产有一定的意义。

碱化土壤的分级，各国采用的标准是不一样的。目前国际上多数采用美国的标准，将钠碱化度(代换性钠占代换量的百分率，简称 ESP) 大于 15%，pH 超过 8.5，土壤饱和浸提液电导率在 25℃ 时小于 4 毫姆欧/厘米作为划分碱土的指标<sup>[5]</sup>。苏联则以 ESP 20% 作为划分碱土的标准<sup>[9]</sup>。近年来，随着对碱化土壤的深入研究，不少国家都拟定了自己的分级标准，如匈牙利<sup>[9]</sup>、印度<sup>[6]</sup>、澳大利亚<sup>[13]</sup>等。我国对土壤碱化的分级缺乏较系统深入的研究。尚无自己的分级标准，因而，研究制定我国土壤碱化分级的项目和指标，是土壤工作者应尽的责任。

## 一、试验材料和测定方法

1979年11—12月，分别在江苏省的徐州、山东省的禹城和河南省的封邱等地区按不同质地采集了七组不同碱化度的土样，采样深度为0—40或45厘米，分四层采集，共采样124个。

1. pH 和可溶盐：在水土比为 1:1 的悬浊液中用玻璃电极测定 pH。用水土比为 1:1 的浸提液测定可溶盐；全盐用重量法；氯离子用硝酸银容量法； $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  用双指示剂滴定法； $\text{SO}_4^{2-}$  用 EDTA 容量法； $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$  同样用 EDTA 容量法； $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$  用火焰光度计测定。

2. 阳离子代换量和代换性钠：阳离子代换量用查氏法；代换性钠是用碳酸钙-二氧化碳提取，待测液中  $\text{Na}^+$  用火焰光度计测定。

3. 分散度和结构系数：用土壤分散前后  $<0.001$  毫米的颗粒含量，分别按  $K\delta = \frac{100m}{n}$  和  $K = \frac{n-m}{n} \times 100$  算出分散度和结构系数，式中  $m$  和  $n$  分别代表土壤分散前后  $<0.001$  毫米的颗粒含量。

4. 碱化度系数<sup>[13]</sup>：5克土样用 0.5N  $\text{CaCl}_2$  处理使之成为  $\text{Ca}^{++}$  饱和，在 300 毫米水柱压力下测定  $\text{Ca}^{++}$  饱和土与原土渗漏速度，钙饱和土样渗漏速度和原土渗漏速度之比即为碱化度系数（即水力传导度）。

5. 毛管水上升高度：将土样装入直径为 1 厘米，长 1 米的玻管中，控制紧实度基本一致，一端浸入水槽中，观测和记录毛管水上升高度。

6. 吸水速度和饱和持水量：将一头为滤纸包平的玻璃管（直径为 1 厘米）中装入 2 克试样，然后置

\* 本文为万洪富硕士论文的一部分。全文蒙祝寿泉同志提出修改意见；卜兆宏同志在“综合数值分析”方面曾给予大力协助，特此一并致谢。

于吸水测定装置中,按不同时间测定土样的吸水速度。

让上述玻管中土样继续为水饱和,在 1/万天平上称出吸水量则为土样的饱和持水量。

7. 钠碱化度对小麦幼苗生长影响的栽培试验: 在容积为 300 毫升的塑料杯中,装入 200 克人工配制的钠碱化度分别为 0, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% 的土样,控制土样紧实度基本一致,播小麦后在红外灯下照射至表土干燥呈现灰白色结皮,转放入温室,每天加蒸馏水至土样含水量达 20%,观察并记载小麦出苗和幼苗生长情况。

## 二、结果和讨论

### (一) 应用综合数值分析法进行土壤碱化分级

对于土壤分级,过去多采用归纳法。事实证明,用归纳法提出的分级指标相当粗糙。近年来,应用数学方法进行土壤分类分级的研究日趋广泛,其中以主成分分析方法为优<sup>[2]</sup>。但它提不出分级的具体指标,还不能完满解决土壤碱化的分级问题。我们在寻求土壤碱化分级的界限指标中,摸索并总结出一种称之为“综合数值分析法”的数学方法<sup>[1]</sup>,较好地解决了寻求界限指标的问题。现简单介绍应用这种方法对黄淮海平原土壤碱化分级所获得的三项结果。

1. 建立了碱化土壤的主成分方程: 参加统计计算的土壤剖面共 28 个,代表黄淮海平原不同碱化度的各类土壤。选择来进行计算的八项指标是: pH、总碱度、残余碳酸钠、钠碱化度、阳离子代换量、全盐、水溶性  $Na^+/(Ca^{++} + Mg^{++})$  和代换性钠。对 28 个剖面的

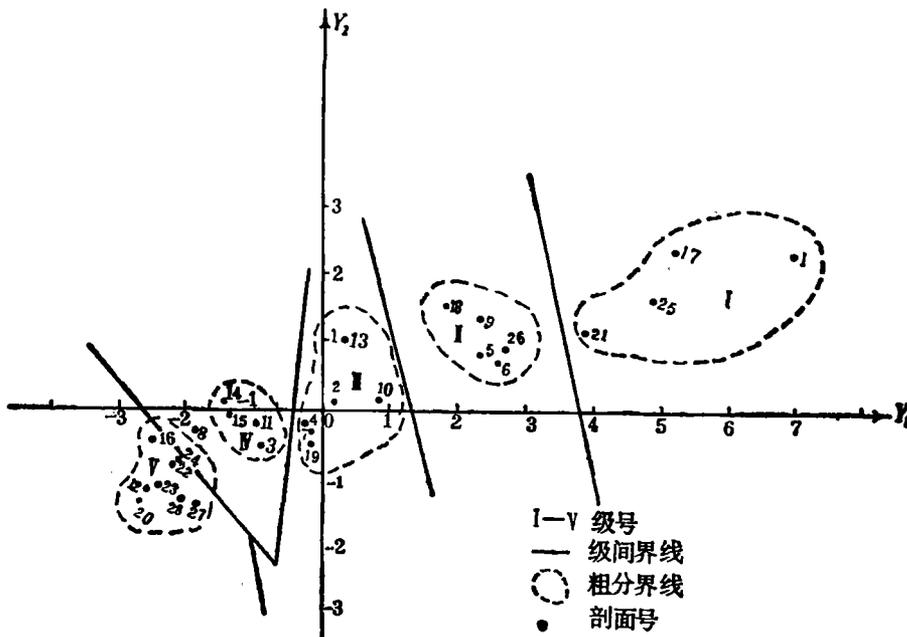


图 1 黄淮海平原碱化土壤主成分值的二维平面图

Fig. 1 Distribution of scattering points of the principal composition value of alkaline soils in Huang-Huai-Hai plain

上述指标 0—45 厘米土层的加权平均值(表 1) 进行主成分分析,建立了两个主成分方程:

第一主成分方程,命名为碱化方程:

$$Y_1 = 0.9109X_1 + 2.8920X_2 + 2.6585X_3 + 0.0240X_4 - 0.1237X_5 \\ + 11.1362X_6 + 0.0454X_7 + 0.3854X_8 - 10.2417$$

第二主成分方程为 pH、盐化方程:

$$Y_2 = 2.0804X_1 - 0.2057X_2 - 0.0376X_3 + 0.0010X_4 + 0.1591X_5 \\ + 18.6432X_6 + 0.0459X_7 + 0.1153X_8 - 21.2069$$

表 1 黄淮海平原碱化土壤剖面各项土壤性质测定结果

Table 1 Some characteristics of alkaline soil in Huang-Huai-Hai plain

剖面编号 <sup>1)</sup> Profile No.	pH (1:1)	总碱度 (meq/100 克土) Total alkalinity	残余碳酸 钠 <sup>2)</sup> (meq/100 克土) Residual Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	钠碱化度 (%) ESP	代换量 (meq/100 克土) Exchange capacity	全 盐 (%) Total salts	代换性钠含量 (meq/100 克土) Exchangeable Na		
							Na <sup>+</sup> Ca <sup>++</sup> +Mg <sup>++</sup>		
1	H <sub>I-1</sub>	9.83	0.65	0.65	66.66	6.86	0.063	32.33	4.39
2	H <sub>I-2</sub>	9.53	0.19	0.14	19.10	5.21	0.022	4.88	1.03
3	H <sub>I-3</sub>	8.99	0.24	0.16	10.39	8.97	0.024	4.95	0.78
4	H <sub>I-4</sub>	9.20	0.29	0.23	11.18	7.74	0.024	6.79	0.86
5	H <sub>IV-1</sub>	9.33	0.35	0.31	28.37	6.88	0.056	23.14	1.90
6	H <sub>IV-2</sub>	9.41	0.46	0.39	26.47	7.01	0.046	15.32	2.05
7	H <sub>IV-3</sub>	9.24	0.31	0.22	13.06	7.47	0.020	3.37	1.14
8	H <sub>IV-4</sub>	8.87	0.16	0.07	4.18	7.52	0.022	1.93	0.30
9	H <sub>II-1</sub>	9.52	0.44	0.40	19.40	8.85	0.050	23.35	1.29
10	H <sub>II-2</sub>	9.10	0.29	0.25	24.82	8.87	0.028	14.13	2.07
11	H <sub>II-3</sub>	9.00	0.26	0.19	7.60	10.65	0.025	5.10	0.89
12	H <sub>II-4</sub>	8.69	0.17	0.05	1.75	10.16	0.017	1.09	0.18
13	H <sub>III-1</sub>	8.87	0.17	0.09	16.61	9.36	0.108	6.12	1.84
14	H <sub>III-2</sub>	8.94	0.19	0.08	7.35	11.25	0.044	3.87	0.83
15	H <sub>III-3</sub>	9.04	0.24	0.14	5.44	10.91	0.030	2.79	0.58
16	H <sub>III-4</sub>	8.86	0.16	0.06	2.37	11.81	0.022	1.30	0.28
17	S <sub>I-1</sub>	10.02	0.59	0.45	56.46	6.24	0.066	11.75	3.71
18	S <sub>I-2</sub>	9.14	0.23	0.11	31.18	5.30	0.135	11.39	1.66
19	S <sub>I-3</sub>	9.07	0.20	0.13	16.44	5.78	0.041	8.93	0.95
20	S <sub>I-4</sub>	8.42	0.16	0	2.65	11.40	0.026	1.47	0.28
21	S <sub>2-1</sub>	9.23	0.48	0.41	41.92	8.16	0.068	24.90	3.24
22	S <sub>2-2</sub>	8.51	0.16	0.01	4.71	10.29	0.054	2.28	0.48
23	S <sub>2-3</sub>	8.56	0.17	0.03	3.26	10.13	0.034	1.68	0.33
24	S <sub>2-4</sub>	8.89	0.16	0.01	3.94	8.95	0.027	1.92	0.35
25	G <sub>1</sub>	9.80	0.55	0.46	61.13	5.09	0.063	11.57	3.16
26	G <sub>2</sub>	9.76	0.43	0.37	31.25	4.70	0.037	13.37	1.48
27	G <sub>3</sub>	8.95	0.15	0.04	2.52	5.39	0.014	1.23	0.13
28	G <sub>4</sub>	8.90	0.16	0.03	0.31	6.14	0.019	0.66	0.03
$\bar{x}$		9.11	0.28	0.19	17.15	8.38	0.04	7.87	1.20
s		0.4029	0.1361	0.1514	16.4073	2.1363	0.0213	7.4481	1.0143

1) H为河南省封邱县; S为山东省禹城县; G为江苏省铜山县。

2) 残余碳酸钠 (RSC) = (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) - (Ca<sup>++</sup> + Mg<sup>++</sup>); 单位: 毫克当量。

表 2 黄淮海平原碱化

Table 2 The results of gradation of alkaline

各项性质的指标权和权序 Weight of index of properties and its order		$T_i$ $T_i$	(1) 0.1620 (8) 0	(2) 0.1554 (7) 0.0003
判别权(%) Discriminatory weight		分级界号及其界限指标 No. of subdivisions and its delimitation index	残余碳酸钠* Residual sodium carbonate ( $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ ) - ( $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ )	碱化度 (%) ESP
$W_1$	$W_2$			
94.2	5.80	I II $X_j$ I II <sub>0</sub>	0.395	40.3
90.04	9.96	II III $X_j$ II III <sub>0</sub>	0.249	21.6
100.97	-0.97	III IV $X_j$ III IV <sub>0</sub>	0.167	12.9
58.29	41.71	IV V $X_j$ IV V <sub>0</sub>	0.062	4.1
94.41	5.59	III V** $X_j$ III V <sub>0</sub>	0.099	8.8

\* 单位为 meq/100 克土; \*\* 个别情况下 III 与 V 的分级界限指标。

I 瓦碱 Tile alkali soil; II 强碱化土 Strongly alkalinized soil; III 中度碱化土 Moderately alkalinized soil;

式中,  $X_1, X_2, \dots, X_8$  分别代表 pH、总碱度、残余碳酸钠、钠碱化度、代换量、全盐、 $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ , 代换性  $\text{Na}^+$  含量。

2. 绘制了土壤碱化分级的散点图: 将 28 个统计剖面中每个剖面各变量数值代入两个主成份方程, 计算出每个剖面的  $Y_1, Y_2$  值, 然后将  $Y_1, Y_2$  值标绘在坐标纸上, 便形成碱化土壤主成份值的二维平面图, 即散点图(图 1)。根据图中点的聚合程度, 用围线将其分开, 共得五个级别。但这种围线的勾绘是非常粗略的, 对于位于级间的点(如图中的 8 号点)则列为待判点, 待精确界线勾绘出来以后判定。精确界线是通过判别分析计算出综合系数  $K_{gp}$ , 从而计算出级间判别点和  $Y_1, Y_2$  轴上判别点的座标值后勾绘出的。将待判点的 8 项变量值代入主成份方程, 计算出  $Y_1, Y_2$  值, 并标到散点图上即可判定其所属级别。

3. 计算出了土壤碱化分级的主要项目和具体指标: 这是综合数值分析法的一项重要成果。分级界限指标的计算公式为:

$$X_{igp_0} = \bar{X}_{ip} + (\bar{X}_{ig} - \bar{X}_{ip}) / (K_{gp} + 1)$$

式中,  $\bar{X}_{ig}, \bar{X}_{ip}$  分别为相邻级组的第  $i$  项性质数据的平均值,  $K_{gp}$  为综合系数。

将每一级组中 8 个性质的均值代入上式, 便可获得 8 项性质的分级界限指标, 结果如表 2 所示。

## (二) 黄淮海平原土壤碱化分级的结果及应用

用综合数值分析法计算, 我们将黄淮海平原碱化土壤划分为瓦碱、强碱化、中度碱化和弱碱化土等四级, 在个别土壤质地很轻的情况下, 也可划分为瓦碱、强碱化土和弱碱化土三级。其具体分级项目和指标已在表 2 中列出。

对表 2 中的各项分级数据, 可根据综合判决归属概率公式:  $P_g = \sum_1^N T_1 W_1 + \sum_1^N T_2 W_2$  计算出待判土样的碱化级别。(式中:  $T$  为指标权,  $W$  为判别权,  $N$  为属于  $g$  类的性质项数)。  $P_g$  大者的级别即为待判土样的碱化级别。

## 土壤分级结果表

soils in Huang-Huai-Hai plain

(3) 0.1549 (6) 0.0008	(4) 0.1528 (4) 0.0137	(5) 0.1347 (1) 0.7026	(7) 0.0699 (3) 0.1155	(8) 0.0563 (2) 0.1577	(6) 0.1141 (5) 0.0095
总碱度* Total alkalinity (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	代换性钠* Exchangeable sodium	pH	代换量* C.E.C.	全 盐 (%) Total salt	Na+ (Ca <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup> )
0.464	2.524	9.56	6.65	0.065	18.57
0.306	1.447	9.29	7.01	0.052	11.89
0.235	1.057	9.09	8.62	0.037	6.09
0.182	0.397	8.80	9.67	0.028	2.36
0.196	0.71	8.91	8.36	0.033	4.01

IV 弱碱化土 Weakly alkalinized soil; V 非碱化土 unalkalinized soil.

这种应用判决归属概率计算碱化土壤级别的方法,由于免去了主成份计算,不必保存其散点图,易于实际应用。又因其标准差都小于均值(表 1),点的离散度小,故方法简便,结果准确。但和过去土壤碱化分级的指标和形式不同,不为人们所习惯。考虑到实际应用的习惯和方便,我们将上述分级的项目和指标简化如表 3。

这种分级的项目和指标,简单明白,应用方便,经计算和应用验证,准确度达 80% 以上。

表 3 黄淮海平原土壤碱化分级的主要指标

Table 3 The major index range of alkalinized soils in Huang-Huai-Hai plain

分 级 Subdivision of alkalinized soils	残余碳酸钠 (meq/100 克土) Residual Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	钠碱化度 (%) ESP	pH (1:1)
弱碱化土壤 Weakly alkalinized	0.06—0.17	4—13	8.8—9.1
中度碱化土壤 Moderately alkalinized	0.17—0.25	13—22	9.1—9.3
强碱化土 Strongly alkalinized	0.25—0.40	22—40	9.3—9.6
瓦 碱 Tile alkali soil	>0.40	>40	>9.6

## (三) 黄淮海平原碱化土壤分级结果的验证

黄淮海平原碱化土壤对作物的不利影响,主要是由于代换性钠恶化了土壤的物理、物理化学和化学性质,降低了土壤导水性能,促使表土易干燥和板结,抑制作物出苗(群众称为“拍苗”)。为了说明上述钠碱化度分级结果的正确性,我们在室内作了钠碱化度对土壤导水性质和小麦幼苗生长影响的试验,以此来验证综合数值分析法计算出的钠碱化度分级指标的正确性。由于钠碱化度同残余碳酸钠和 pH 呈显著正相关(相关系数分别达

0.87 和 0.81),因此通过对它的验证也可以证明其他分级指标的正确性。

1. 钠碱化度对土壤导水性质的影响: 取该地区轻壤质潮土为供试土样, 制备成  $Ca^{++}$  饱和的钙质土和  $Na^+$  饱和的钠质土, 然后配制成钠碱化度分别为 0, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% 和 80% 的土样, 进行碱化度系数、毛管水上升高度、吸水速度和饱和持水量等试验, 结果如图 2—5 所示:

从图 2 和图 3 可以看出, 在钠碱化度 0—60% 范围内, 随钠碱化度的增加, 碱化度系

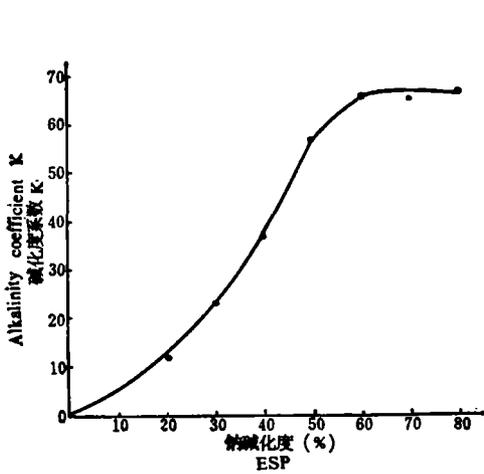


图 2 钠碱化度和碱化度系数的关系曲线  
Fig. 2 The relationship between ESP and hydraulic conductivity

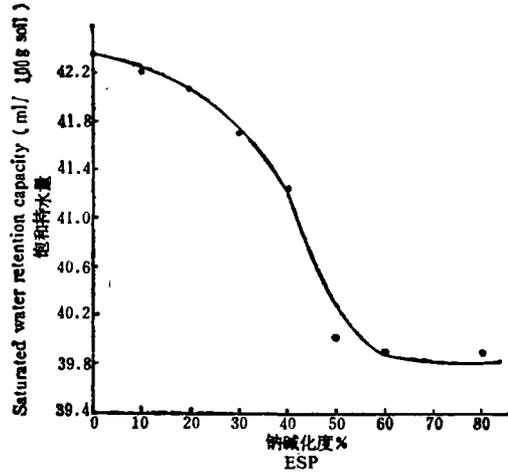


图 3 钠碱化度与饱和持水量的关系曲线  
Fig. 3 The relationship between ESP and water retention capacity

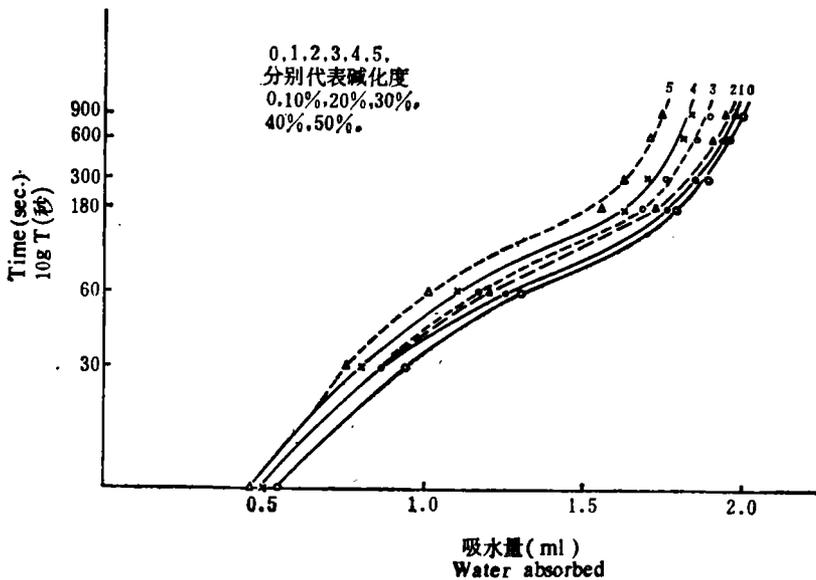


图 4 不同钠碱化度土样的吸水速度曲线  
Fig. 4 The curves of water intake rate for different ESP soils

数也增加,饱和持水量下降。二者变化幅度最大的钠碱化度范围在 20%—50% 之间,超过 60%,二者趋于稳定。

不同钠碱化度对吸水速度的影响,可以通过图 4 中每条吸水速度曲线上端间距判断,间距愈大,吸水速度变化愈大。通过比较可以看出,随钠碱化度的增加,吸水速度减缓,钠碱化度在 20—50% 之间,减缓幅度最大,钠碱化度超过 40%,每条曲线已近于重叠(图中未画出),说明吸水速度已趋于稳定。

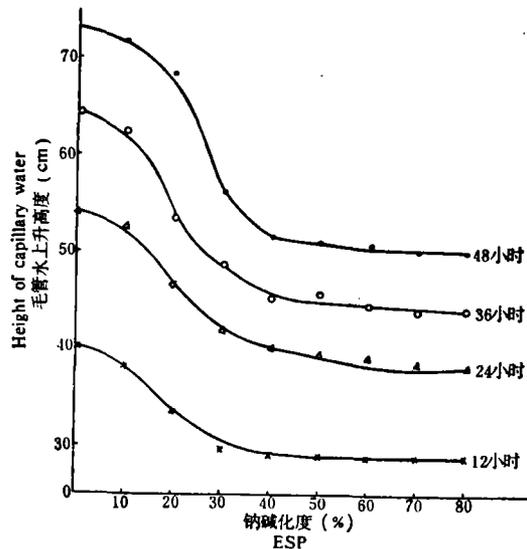


图 5 钠碱化度和毛管水上升高度关系曲线

Fig. 5 The relationship between ESP and height of capillary water

图 5 则表明,随钠碱化度的升高,毛管水上升高度降低,钠碱化度在 10—40% 之间时,降低幅度较大,钠碱化度超过 40% 毛管水几乎不再升高。

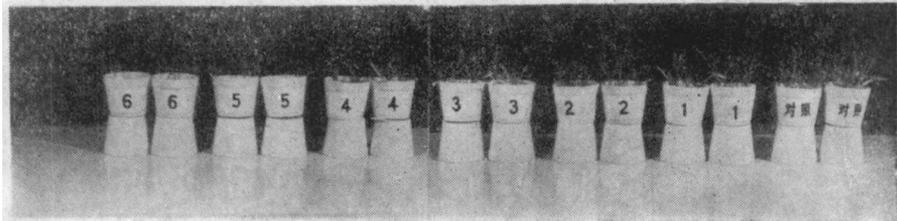
归纳以上结果可以看出,在钠碱化度 0—60% 范围内,随钠碱化度的升高,土壤的碱化度系数增加,毛管水上升高度、吸水速度和持水量减少。引起土壤这些导水性质变化幅度较大的钠碱化度范围一般在 10(20)—50% 之间。也就是说,当土壤钠碱化度在这个范围内时,会引起土壤导水性质显著恶化,从而影响土壤的生产力。因此,碱化土壤的分级指标应在这一范围内,我们计算出的钠碱化度的分级指标 4—40% 正好在这一范围内。

2. 钠碱化度对小麦幼苗生长的影响: 取该地区的轻壤质潮土和钠质土配制成钠碱化度为 0, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% 和 80% 的土样,种植小麦,让其在模拟的黄淮海平原小麦出苗期间的田间情况下生长,观察并记载钠碱化度对小麦出苗的影响,以此来验证和校核钠碱化度的上述分级指标。

观察结果: 随钠碱化度的增高,推迟了种籽的出苗时间,在对照一组中,80% 的种籽在 13 天内出苗,而在钠碱化度 20% 的这一组中,同样数量的种籽比对照组推迟 2—3 天出苗。随钠碱化度的进一步增高,每组间同样数量的种籽出苗依次推迟一天左右。钠碱化度超过 50% 就基本上不出苗。将未出苗的试验组表土拨开观察,发现在表土 1—3 厘米以下,种籽大都已出芽,芽长 1—3 厘米不等,呈黄色,水平分布。只因表土板结,幼芽无

法破土。

从生长了 32 天的幼苗看 (照片 1), 以对照组麦苗生长情况为正常, I 组中麦苗生长已略受影响。随钠碱化度的升高, 麦苗生长受抑制的情况愈严重, 至钠碱化度 50% 这一组时, 幼苗生长基本上完全受到抑制。这说明影响土壤生产力的钠碱化度范围在 10—50% 之间, 这和我们计算的分级指标的碱化度范围 4—40% 也基本吻合。



1, 2, 3, 4, 5, 6 分别代表土样钠碱化度为: 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%  
1, 2, 3, 4, 5, 6 represent ESP of soil samples being 10%, 20%, 30%,  
40%, 50%, 60% respectively

照片 1 钠碱化度对小麦幼苗生长的影响

Photo. 1 The effect of ESP on the growth of wheat seedling

#### (四) 影响黄淮海平原土壤碱化分级的主要指标

黄淮海平原土壤碱化分级的各项指标中, 起作用最大的是残余碳酸钠, 其次是钠碱化度、总碱度、代换性钠、pH、 $\text{Na}/(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ 、阳离子代换量和全盐。下面我们从碱化土壤的成土过程来讨论这几个分级指标。通过它们在碱化土壤成土过程中所起的作用来论证各个指标在分级中所起作用的大小。

1. 残余碳酸钠和总碱度: 这是我们这次提出的黄淮海平原土壤碱化分级的两项重要的新指标。所谓总碱度, 通常是指土壤溶液中  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  的总浓度, 以毫克当量表示 (下同); 其值减去可溶性  $\text{Ca}^{++}$  和  $\text{Mg}^{++}$  浓度即为残余碳酸钠<sup>1)</sup>。总碱度和残余碳酸钠的相关性极为显著<sup>[7, 12]</sup>。据我们这次研究的土样统计, 二者的相关系数达 0.96, 所以它们在碱化土壤成土过程中所起的作用是一致的。我们就一起加以讨论。

所谓碱化过程, 通常是指钠离子进入土壤吸收性复合体代换钙镁离子并逐渐累积之后又由于代换性钠的水解而恶化土壤物理性质的过程 (镁碱化过程除外)。许多土壤学者都证明了土壤从溶液中吸附阳离子的能力明显地受 pH 的影响, 如果溶液是碱性的, 从溶液中吸收的阳离子的数量常常比从中性溶液中吸收的多得多<sup>[10]</sup>。因此, 在碱性条件下,  $\text{Na}^+$  更容易进入土壤吸收性复合体。在黄淮海平原的碱化土壤中, 可溶盐中的碳酸钠和重碳酸钠占 60—80%<sup>[3, 4]</sup>, 因此土壤呈强碱性反应, pH 高达 8.5 以上, 这样就加速了  $\text{Na}^+$  进入土壤吸收性复合体。

据此, 我们可以得出结论, 残余碳酸钠和总碱度是土壤碱化的重要因素, 它们在碱化

1) Eaton<sup>[11]</sup> 首先将灌溉水中  $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$  的量称残余碳酸钠。Kelley<sup>[12]</sup> 认为, 残余碳酸钠是误称, 因为土壤中植物根系的呼吸作用和微生物活动, 总含有  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  与  $\text{CO}_2$  作用, 仅以  $\text{NaHCO}_3$  存在。

土壤的成土过程中起相当决定性的作用。另外,残余碳酸钠和总碱度的增加,也直接影响土壤的生产力。所以,它们是黄淮海平原土壤碱化分级的重要指标。

2. 钠碱化度: 既然碱化土壤成土过程的实质是  $\text{Na}^+$  进入土壤吸收性复合体代换钙镁离子,所以,钠碱化度的高低就是碱化强弱的指标。不言而喻,它是土壤碱化分级的主要指标,国内外一直沿用至今。在黄淮海平原土壤碱化分级的指标中,钠碱化度也起最主要的作用。

3. 代换性钠含量: 在土壤代换量相同的情况下,代换性钠的含量决定了钠碱化度的高低,因此它和钠碱化度一样,在碱化过程中也起重要作用。但好几个土壤性质可以改变代换性钠的影响,例如土壤质地、粘土矿物类型、有机质含量和可溶性硅酸根等。一般地说,在代换性钠含量相同的情况下,质地越粘,代换性钠的影响越小<sup>[44]</sup>。对于粘土矿物来说,蒙脱石受代换性钠影响最显著,高岭石受影响最小,伊利石和蛭石居中。而有机质具有拮抗代换性钠对土壤不良影响的趋势。可溶性硅酸根的作用尚须进一步研究才能明确,但已初步证明,可溶性硅酸根含量愈高,代换性钠的影响愈不明显<sup>[5]</sup>。以上几种因素对代换性钠的影响综合表现为阳离子代换量对代换性钠的影响。代换量愈大,代换性钠的影响愈小。因此,代换性钠对碱化土壤的影响受阳离子代换量的制约,因而作为分级指标,钠碱化度比代换性钠作用更大。

4. pH: pH 在碱化过程中的作用我们在残余碳酸钠一节中已有阐述,即随 pH 的增加,  $\text{Na}^+$  更容易进入土壤吸收性复合体,土壤愈容易碱化。碱化土壤 pH 高的主要原因是其可溶盐中碳酸钠和重碳酸钠含量高以及代换性钠的水解,所以 pH 的高低是受钠碱化度和残余碳酸钠制约的,它是碱化土壤形成的条件和结果之一。而且它的测定精度不高,所以仅是一个比较粗糙的指标。

然而,我们在应用综合数值分析法计算黄淮海平原土壤碱化分级指标时,发现在判别弱碱化土和非碱化土的指标中, pH 所起作用最大,(因第二主成份判别权达 41.71%,第二主成分方程中 pH 的指标权为 0.7026,所以 pH 的作用达 29.31%)。这说明 pH 是区别弱碱化和非碱化土的重要指标。

5.  $\text{Na}^+(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ : 土壤通过阳离子交换而吸附的代换性钠的多少取决于:(1) 溶液中  $\text{Na}^+$  的浓度;(2) 土壤溶液中  $\text{Na}^+$  与全部二价阳离子的比值 [干旱地区即为  $\text{Na}^+(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ ]; (3) 土壤的阳离子代换量。对于同一土壤来说,土壤吸附的  $\text{Na}^+$  的多少取决于前两项。由此可见,  $\text{Na}^+(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$  主要通过对代换性钠的影响而在土壤碱化过程中起作用。田兆顺等<sup>[3]</sup>在研究瓦碱形成的途径时,通过试验认为: 盐土脱盐过程是否碱化要看土壤的  $\text{Na}^+(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$  比率及 pH 值,  $\text{Na}^+(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$  大于 18 及 pH 大于 8.5 时,盐土脱盐很可能发育成碱土。

6. 阳离子代换总量和全盐: 在第一主成份方程中,阳离子代换量为逆向指标,其意义是指: 土壤代换量愈大,土壤愈不容易碱化,这和前人的研究结果和野外观察是一致的。由于黄淮海平原碱化土壤多系轻砂壤质,其阳离子代换量不大,一般只变动在几个毫克当量之间。因此,代换量在分级中所起的作用也较小。

全盐仅因其为中性盐类或碱性盐类而影响碱化过程。黄淮海平原碱化土壤中可溶盐成分变化不大,故其对分级的影响最小。

通过以上讨论,我们可以看出,这8项指标在土壤碱化过程中都起程度不同的作用,因此,它们在分级中也都有各自不同的贡献率,我们的分级指标应该包括这8个变量的信息才是完整的和可靠的。数学统计结果的意义也就在于此。

### 三、结 论

从以上结果和讨论中,可以得出如下结论。

1. 在土样具有典型性和代表性的情况下,如果分析数据可靠,变量(性质指标)选择得当,应用“综合数值分析法”,可以比较完满地解决土壤碱化的分级。

2. 通过研究,提出了黄淮海平原土壤碱化分级的主要项目和具体指标。把黄淮海平原碱化土壤分为四级:瓦碱、强碱化土、中度碱化土和弱碱化土。其分级标准如表2<sup>1)</sup>所示。再根据综合判决归属概率公式:  $P_g = \sum_1^N T_1 W_1 + \sum_1^N T_2 W_2$ , 对表2中所列数据进行计算,  $P_g$  大者所属的级别,即为待判土样的碱化级别。

考虑到实际应用的习惯和方便,将表2的分级结果简化于表3。

通过钠碱化度对土壤导水性质和小麦出苗影响的试验,验证和校核了上述分级指标。

3. 提出了以残余碳酸钠和钠碱化度为黄淮海平原土壤碱化分级的最重要的性质指标。并论证了它们在碱化过程中所起的重要作用。其他性质指标在分级中所起作用大小的顺序是:总碱度、代换性钠含量、pH值,  $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$  值,阳离子代换量和全盐。

### 参 考 文 献

- [1] 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, 283—295页。
- [2] 刘多森, 1979: 主组元分析在分辨土壤类型及风化—成土过程上的应用。土壤学报, 第16卷2期, 172—183页。
- [3] 田兆顺、董汉章, 1965: 华北平原瓦碱的特性和形成。土壤学报, 第13卷1期, 24—38页。
- [4] 俞仁培、杨道平、蔡阿兴、石万普, 1982: 瓦碱的形成与改良。土壤学报, 第19卷1期, 34—42页。
- [5] 理查兹, L. A. (厉兵译), 1965: 盐碱土的鉴别和改良。科学出版社。
- [6] Agarwal, R. R., J. S. P. Yadav and R. N. Gupta, 1979: Saline and Alkali Soils of India. Indian Council Agricultural Research New Delhi.
- [7] Bolt, C. H. and M. G. M. Bruggenwert, 1976: Soil Chemistry A. Basic Elements Elsevier scientific publishing Company.
- [8] Eaton, F. M., 1950: Significance of carbonates in irrigation waters. Soil Sci., 69: 123—133.
- [9] FAO/UNESCO, 1973: Irrigation, Drainage and Salinity.
- [10] Kelley, W. P., 1957: Adsorbed  $\text{Na}^+$  cation-exchange capacity and percentage  $\text{Na}^+$  saturation of alkali soils. Soil Sci., 84: 473—478.
- [11] Kelley, W. P., 1962: Sodium carbonate adsorbed sodium in semiarid soils. Soil Sci., 94: 1—5.
- [12] Kovda, V. A., 1965. Alkaline Soda-saline Soils. Agrokhemia es Talajtan Supplementum Tome 14: 15—45.
- [13] Northeote, K. H., and J. K. M. Skens, 1972: Australian Soil with Saline and Sodie Properties. Commonwealth Scientific and Industrial Reserch Organization Australian p. 6—9.

1) 应用此表时,土层深度为0—45厘米;分析试样可溶盐的水土比为1:1。

- [14] Pearson, G. A. and L. Bernstrin, 1958: Influence of exchangeable sodium on yield and chemical composition of plants: 2, wheat, barley, oats, rice, tall fescue and tall wheat grass. *Soil Sci.*, 86: 254—261.

## A PRIMARY STUDY ON SUBDIVISION OF DEGREE OF SOIL ALKALINIZATION IN HUANG-HUAI-HAI PLAIN

Wan Hongfu, Yu Renpei and Wang Zunqin  
(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

### Summary

The present paper deals with the subdivision of degree of soil alkalization in Huang-Huai-Hai plain, the conclusions are summarized as follows:

1. If the soil samples collected are typical and representative, the analytical data are reliable and variables selected (property indexes) are suitable, the application of "the analytical method of synthetic numerical value" in subdivision of degree of soil alkalization may be realized satisfactorily.

2. Based on the major items and specific indexes suggested by the authors, the alkalinized soils in Huang-Huai-Hai plain are subdivided into 4 grades, namely, tile alkali soil, strongly alkalinized soils, moderately alkalinized soils and weakly alkalinized soils. The standards for subdivision of the alkalinized soils are given in tables 2. According to the equation

$$P_g = \sum_1^N T_1 W_1 + \sum_2^N T_2 W_2$$

the data in table 2 are computed, on the basis of  $P_g$  value, the grade of the alkalinized soils can be distinguished. For the convenience of application in practice, the results calculated from the table 2 are simplified in table 3. Through the experiment of the effect exchangeable sodium percentage (ESP) on soil physical properties and the growth of wheat seedlings, the figures of indexes for subdivision of alkalinized soils mentioned above are rectified.

3. The residual sodium carbonate and ESP are suggested as the major indexes for subdivision of degree of soil alkalization in Huang-Huai-Hai plain. Their important role in alkalization process is discussed. The effect of else properties on subdivision of degree of soil alkalization are in the following order: total alkalinity > exchangeable  $\text{Na}^+$  >  $\text{pH}$  >  $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$  > exchangeable capacity > total salt.