

华北平原瓦碱的特性和形成*

田兆顺 董漢章

(中国科学院土壤研究所)

华北平原广泛分布着一种具有灰白色紧实结壳的土壤,群众称为瓦碱(或崗瓦碱)。这种土壤在冀^[1]、鲁^[2]、豫^[3]、苏^[4,5]、皖^[6,7,8]五省都有分布,一般认为这是一种碱化土壤,但其性质及形成过程还不够清楚。根据国内外的研究资料,碱化土壤多分布于栗钙土、黑土及棕色荒漠草原土带,至于褐土带地区浅色草甸土发生碱化过程,在土壤学研究中还是一个新问题。因此,我们曾对山东、河南某些瓦碱进行了一些工作,今将初步结果报导如下。

一、供试样本及试验方法

本文所用土壤及地下水样本,除剖面豫₁₂(系1962年6月采集)外,都是1963年5月在山东聊城及河南新乡采集的。研究土壤包括各种类型的瓦碱,并以氯化物盐土、硫酸盐土及浅色草甸土各一个剖面作为对照。室内分析均用风干样本,分析方法如下:

1. pH值及盐分: pH值系在1:5(土水比率)水浸提液中用玻璃电极测出。在同一浸提液中测定盐分,全盐用重量法;氯离子用硝酸银容量法;HCO₃⁻及CO₃⁼用酸滴定法;SO₄⁼含量少时用EDTA容量法,多时用BaSO₄重量法;Ca⁺⁺及Mg⁺⁺用EDTA容量法;Na⁺+K⁺按差额计算。

2. 阳离子交换量及交换性盐基: 交换量用HCl-CaAc法;交换性钠用K. K. Гедройц容量法;交换性镁用A. A. Шмук法;交换性钙按差额计算。在交换性钠分析中,我们用50%(体积)乙醇代替水来分离碱金属与碱土金属碳酸盐,使分析效率约提高一倍(并不影响原方法的精确度)。

3. 有机质及碳酸盐: 有机质用И. В. Тюрин速测法;水溶性有机质用KMnO₄-Na₂C₂O₄反滴定法;碳酸盐用我们实验室拟定的方法,手续为1克土样,用0.1N HCl处理,滤洗入500毫升量瓶,至体积约450毫升时停止,以甲基红为指示剂,用氨水沉淀铁铝,然后用水稀释至刻度,摇匀,次日吸出上部清液,用EDTA容量法测定Ca⁺⁺及Mg⁺⁺,最后折算为CaCO₃及MgCO₃含量。

4. 分散度及结构系数: 用土壤分散(分散方法同机械分析)前后<0.001毫米颗粒含量资料,分别按H. A. Качинский公式: $K\delta = \frac{100m}{n}$ 及A. H. Соколовский公式 $K = \frac{(n-m)}{n} \times 100$ 算出分散度及结构系数^[9]。式中m及n分别为土壤分散前后<0.001毫米颗粒含量。

5. 碱化度系数: 用修改后的И. Н. Антипов-Каратаев法^[10]测定。Антипов-Каратаев于

* 本工作在熊毅先生指导下完成;工作过程中得到王遵亲、祝寿泉两位同志很多帮助,野外工作中得到蒋剑敏等同志的协助,特致谢意。

1930 年提出用 Ca 饱和土与原土过滤速度之比作为土壤碱化程度的指标, С. Я. Сушко (1934) 建議將此比率称为碱化度系数。

我們对原来方法作了某些修改。測定装置见图1¹⁾。測定手續:称取两份土壤样本(过 1 毫米孔篩),每份 5 克,置于 150 毫升三角瓶中,其一加 0.5N CaCl₂ 50 毫升;另一加蒸馏水 50 毫升,搖动 10 分钟,放置过夜。将悬浊液搖混,在减压(抽气) 30 厘米水柱下分別傾入两个平板瓷漏斗上进行过滤,并从滴定管中讀出滤液数量。溶液滤完后,重新加水 50 毫升繼續过滤,一直到过滤速度稳定为止(加 CaCl₂ 的土約需加水 7—12 次;加水的土,如为碱化土壤一般不需要再加水;如为盐土約需加水 5—7 次)。最后按稳定后的速度計算碱化度系数:

$$K = \frac{a}{b}$$

K——碱化度系数; a——鈣饱和土过滤速度,毫升/分;

b——原土过滤速度,毫升/分。

試驗結果表明,用上法測出瓦碱的碱化度系数与其碱化度之間有着良好的相关性,相关系数 $r = 0.90 (y = 0.72x - 5.9)$, 因此碱化度系数可作为土壤碱化程度的一个指标。

二、瓦碱的类型及特性

黃淮海平原地势崗洼起伏,各种类型的盐漬土呈斑点状分布于平原之中,瓦碱亦夹杂其間。按剖面形态及理化性質,可将瓦碱初步划为三类,即典型、中度及輕度瓦碱。各类瓦碱的理化性質見表 1。各类瓦碱及盐土的盐分剖面見图 2。瓦碱可溶性离子与全盐含量关系見图 3。

典型瓦碱多为抛荒地,地面光滑平坦如公路,通常为光板地,間或生长些稀疏的小芦草、木賊及苦卖菜等。表层具有 2—3 厘米厚的紧实結壳,結壳表面凸起处常具有灰白色粉砂,微凹处常被复一层紅棕色胶膜,結壳下部多蜂窝状孔隙,土体黃棕色,輕壤質(有时砂壤質),掺杂有大量灰白色粉砂及紅棕色胶体漏管。瓦碱的質地剖面特点是壤粘質夾层部位比一般盐漬土稍高。地下水埋藏深度 1.3—2.0 米,矿化度多小于 1 克/升,属 HCO₃-Cl-Mg-Na 或 HCO₃-Cl-Na-Mg 型。典型瓦碱表层含盐量不高,全盐多在 0.2% 以下,成分以 NaHCO₃ 及 Na₂CO₃ 为主(占 60—80%);总碱度可达 2—2.5 毫克当量/100克,具明

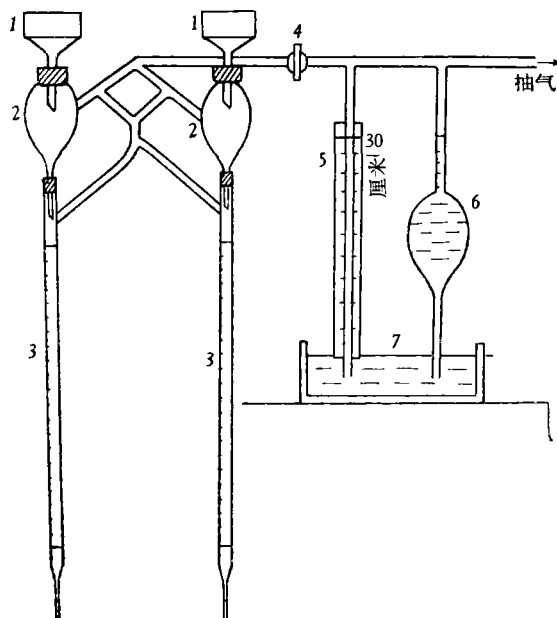


图 1 碱化度系数測定装置

1——平板瓷漏斗 2——抽气玻璃瓶 3——50 毫升滴定管
4——两路活塞 5——减压指示水柱 6——缓冲器 7——水盆

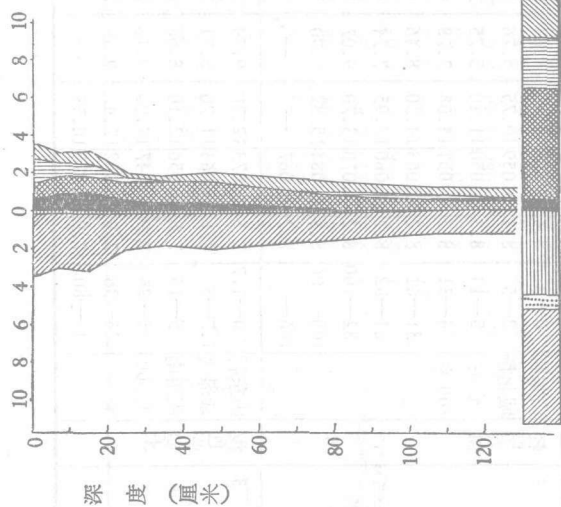
1) 祝寿泉同志提供资料。

表1 各类瓦碱的理化性质

剖面号	土壤名称	采集地点	深度 (厘米)	pH 值	全盐量 (%)	交换量 (毫克/当量/100克)	交 换 性 阳 离 子					分散度 (%)	结构 系数 (%)	CaCO ₃		MgCO ₃		碳酸盐 总量 (%)	粘 粒 (<0.001 毫米) (%)	有机质 (%)	水溶性 有机质 (%)		
							毫 克 当 量 / 100 克							占 交 换 量 %		占土壤 %	占碳酸盐 %					占土壤 %	占碳酸盐 %
							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺ +K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺			Na ⁺⁺ +K ⁺									
1	典型瓦碱	山东聊城城北杨集西南1,000米	0—0.2 0.2—2 2—8 8—14 14—21 21—41 41—52 52—61 61—78 78—92 92—110 110—120	9.5 9.8 9.8 9.3 9.3 8.8 8.6 8.6 8.6 8.3 8.2 8.2	0.285 0.282 0.170 0.150 0.148 0.076 0.077 0.088 0.066 0.047 0.046 0.064	4.43 7.74 8.38 8.60 9.14 7.85 7.75 16.40 9.14 6.28 6.16 18.02	0.91 0.17 0.98 2.29 5.06 3.01 3.90 8.65 5.44 3.30 3.59 11.38	0.42 0.79 1.23 1.23 1.89 2.02 2.02 5.09 2.64 2.32 1.96 5.55	3.10 6.78 6.17 5.08 2.19 2.82 1.83 2.66 1.06 0.66 0.61 1.09	20.5 2.21 11.7 26.6 55.4 38.4 50.4 52.8 59.5 52.6 58.3 63.2	9.5 10.2 14.7 14.3 20.7 25.7 30.2 31.0 28.9 37.0 31.8 30.7	70.0 87.6 73.6 59.1 23.9 35.9 19.4 16.2 11.6 10.4 9.9 6.1	— 20.4 63.9 64.6 44.7 21.6 16.8 31.5 11.4 11.0 11.0 —	— 79.6 36.1 35.4 55.3 78.4 83.2 68.5 88.6 89.0 89.0 —	8.05 9.20 9.75 — 9.42 — 10.10 — 10.60 8.75 17.0	89.3 91.6 90.3 — 90.8 — 87.9 — 91.8 89.9 94.4	0.97 0.84 1.05 — 0.89 — 1.39 — 0.94 0.99 1.01	10.7 8.4 9.7 — 9.2 — 12.1 — 8.2 10.1 5.6	9.02 10.04 10.80 — 10.31 — 11.49 — 11.54 9.74 18.01	— — 12.64 14.54 14.30 14.96 12.70 9.82 30.11 13.36 8.27 —	0.22 0.56 0.61 0.66 0.57 0.31 0.33 0.38 0.38 — — —	0.0201 0.0108 0.0091 0.0051 0.0061	
6	典型瓦碱	山东聊城城北杨集东300米	0—2 2—7 7—19 19—38 38—55 55—71 71—85 85—94 94—	9.2 9.3 9.4 8.5 8.5 8.2 7.5 7.7 7.5	0.564 0.189 0.119 0.139 0.081 0.323 0.061 0.066 0.062	8.43 9.28 9.71 13.35 5.87 8.51 9.70 6.02 5.72	— 1.26 3.56 5.13 3.21 2.14 4.49 2.44 1.67	0.64 0.93 1.83 3.20 1.34 2.33 4.14 2.89 3.07	10.40 7.09 4.32 5.02 1.32 4.04 1.07 0.69 0.98	— 13.5 36.5 38.4 54.7 25.0 46.3 40.5 29.2	— 10.0 18.9 24.0 22.8 27.4 42.7 48.0 53.7	100 76.5 44.6 37.6 22.5 47.6 11.0 11.5 17.1	41.9 36.7 25.3 28.7 — 25.3 28.6 15.7 16.8	58.1 63.3 74.7 71.3 — 74.7 71.4 84.3 83.2	9.52 9.20 9.89 13.96 9.91 10.54 11.75 10.30 9.91	91.4 91.6 92.5 92.0 91.1 90.3 90.5 89.8 91.9	0.90 0.84 0.80 1.20 0.97 1.13 1.24 1.17 0.87	8.6 8.4 7.5 8.0 8.9 9.7 9.5 10.2 8.1	10.42 10.04 10.69 15.06 10.88 11.67 12.99 11.47 10.78	11.18 12.43 14.86 18.78 7.15 10.75 13.98 7.33 7.01	0.48 0.44 0.50 0.54 0.61 0.24 0.41		
豫12	典型瓦碱	河南南乐凡村	0—1.5 1.5—5.0 5.0—10 10—20		0.385 0.083 0.109 0.086	5.91 5.54 7.76 10.43	0.00 1.47 3.03 5.09	0.35 0.67 1.65 2.28	5.92 3.40 3.08 3.06	— 26.5 39.0 48.7	— 12.0 21.3 21.9	100 61.5 39.7 29.4			7.33 7.33 7.52 9.35	89.5 89.3 90.4 91.7	0.86 0.88 0.80 0.85	10.5 10.7 9.6 8.3	8.19 8.21 8.32 10.20				

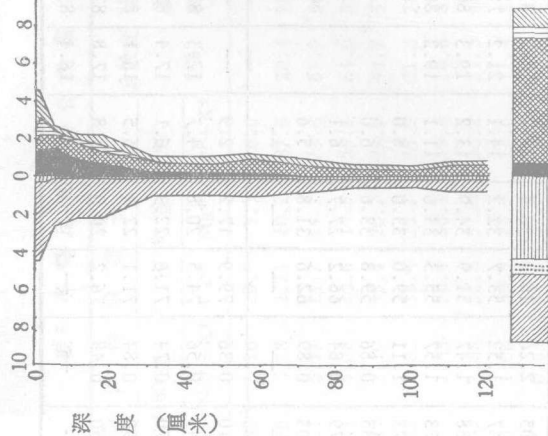
14	典型瓦碱(牛皮碱)	河南新乡小河 农场的北500米	0—3 3—10 10—20 20—29 29—41 41—55 55—83 83—92 92—120 120—	8.4 8.6 8.6 8.5 8.4 8.4 8.4 8.3 8.2 8.1	0.275 0.239 0.223 0.152 0.139 0.149 0.113 0.122 0.116 0.112	11.23 11.15 10.45 10.80 13.94 17.42 17.67 16.18 10.91 10.70	4.40 4.28 3.99 4.97 6.35 8.82 8.44 10.24 8.34 7.75	2.58 2.03 2.29 2.41 3.64 4.47 6.35 4.22 2.17 1.94	4.25 4.84 4.71 3.42 3.95 4.13 2.88 1.72 0.40 1.01	39.2 38.4 33.1 46.1 45.6 50.6 47.8 63.4 76.4 72.5	23.0 18.2 21.9 22.3 26.1 25.7 35.9 26.0 19.9 18.1	37.8 43.4 45.0 31.6 28.3 23.7 16.3 10.6 3.7 9.4	77.5 70.6 78.7 81.4 43.3	22.5 29.4 21.3 18.6 56.7	9.72 9.80 9.69 9.88 9.89	84.6 83.1 84.4 83.1 86.6	1.77 1.99 1.79 2.01 1.53	15.4 16.9 15.6 16.9 13.4	11.49 11.79 11.48 11.89 11.42	12.80 13.10 12.54 12.32 17.36	0.62 0.75 0.81 0.59 0.48	0.0075 0.0101 0.0068 0.0037 0.0053
2	中度瓦碱	山东聊城 城绳张庄西南 1,500米	0—0.5 0.5—5 5—15 15—27 27—40 40—83	8.1 8.8 8.6 9.2 8.9 8.8	0.922 0.128 0.093 0.099 0.074 0.454	10.51 11.96 12.38 14.00	8.90 6.02 6.37 6.42	1.28 2.11 2.67 4.48	0.33 3.83 3.34 3.10	84.7 50.4 51.6 45.8	12.2 17.6 21.5 32.0	3.1 32.0 26.9 22.2	— 35.2 38.7 44.9 25.5 28.2	— 64.8 61.3 55.1 74.5 71.8	9.49 9.83 9.89 10.29 10.01 13.63	91.8 91.0 91.0 91.8 92.0 94.4	0.85 0.97 0.97 0.92 0.87 0.82	8.2 9.0 9.0 8.2 8.0 5.6	10.34 10.80 10.86 11.21 10.88 14.45	— 14.48 15.36 17.36 11.71 13.31	0.81 — 0.68 0.57 0.42 0.58	0.0051 — 0.0041 0.0028 0.0033 0.0028
4	轻度瓦碱	山东聊城 城北杨集东 300米	0—2 2—5 5—14 14—31 31—61 61—82 82—100 100—106 106—	8.4 8.3 8.3 8.2 8.2 8.2 8.2 8.3 8.2	0.122 0.059 0.050 0.051 0.063 0.060 0.070 0.084 0.067	9.95 10.75 11.10 14.08 14.30 12.95 13.70 15.82	4.64 5.76 5.75 7.78 8.46 7.74 9.07 9.90 —	3.05 3.47 3.88 4.73 4.73 4.35 3.79 5.03 —	2.26 1.52 1.47 1.57 1.11 0.86 0.84 0.89 —	46.9 53.7 51.9 55.3 59.0 59.8 66.2 62.6 —	30.4 32.2 34.9 33.6 33.0 33.6 27.7 31.8 —	22.7 14.1 13.2 11.1 8.0 6.0 6.1 5.6 —	18.1 21.2 19.3 19.2	81.9 78.8 80.7 80.8	9.89 10.06 — 12.13 13.28 13.02 10.24 13.71 12.02	90.9 90.9 — 91.3 92.9 91.8 90.9 93.4 90.2	1.02 1.01 — 1.16 1.02 1.16 1.02 0.97 1.31	9.1 9.1 — 8.7 7.1 8.2 9.1 6.6 9.8	10.91 11.07 — 13.29 14.30 14.18 11.26 14.68 13.33	17.07 17.92 18.11 23.34 — — — — —	0.75 0.76 — 0.82 0.66 0.66 — — —	0.0056 0.0054 — 0.0032 0.0045 0.0051
3	浅色草甸土	山东聊城 城绳张庄西南 1,500米	0—1.7 1.7—5 5—15 15—26 26—36 36—80	7.8 7.8 7.8 7.9 7.9 7.9	0.073 0.063 0.056 0.047 0.052 0.325	12.20 11.70 12.10 12.90 12.47 10.53	9.74 8.71 8.66 9.16 9.49 —	2.10 2.43 2.70 2.90 2.50 —	0.36 0.56 0.74 0.84 0.48 —	79.9 74.5 71.6 71.1 76.2 —	17.2 20.8 22.3 22.4 20.0 —	2.9 4.7 6.1 6.5 3.8 —	— 17.3 17.4 16.1 17.8 16.4	— 82.7 82.6 83.9 82.2 83.6	9.32 9.20 9.03 10.12 10.98 11.56	92.8 95.6 91.2 91.6 91.9 92.3	0.73 0.63 0.83 0.93 0.97 0.97	7.2 6.4 8.8 8.4 8.1 7.7	10.05 9.83 9.90 11.05 11.94 12.53	— 13.47 15.90 18.19 15.28 12.69	0.76 0.77 0.83 0.69 0.64 0.49	0.0071 0.0040 0.0045 0.0048 0.0050

毫克当量/100 克土



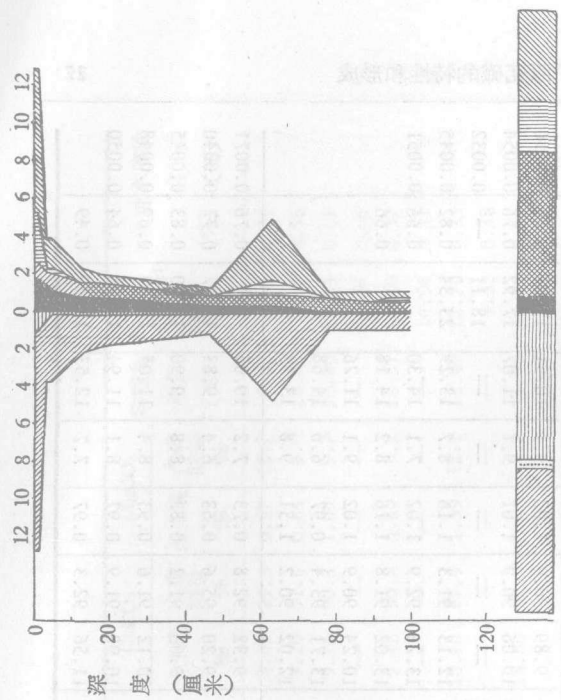
剖面 14 典型瓦碱 (牛皮碱, 河南新乡)

毫克当量/100 克土



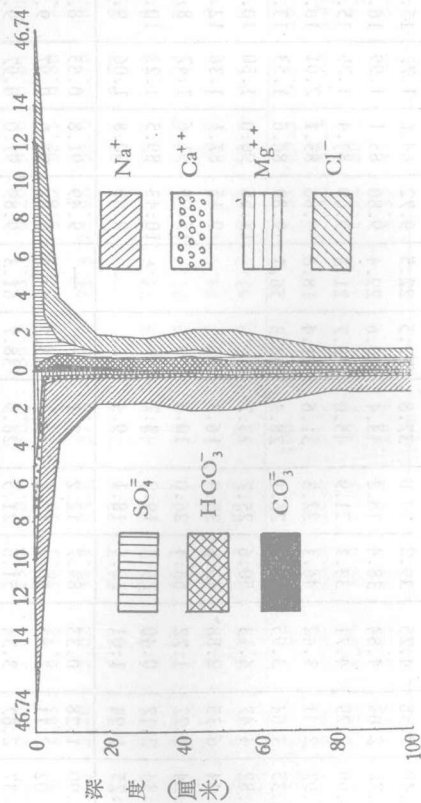
剖面 1 典型瓦碱 (山东聊城)

毫克当量/100 克土



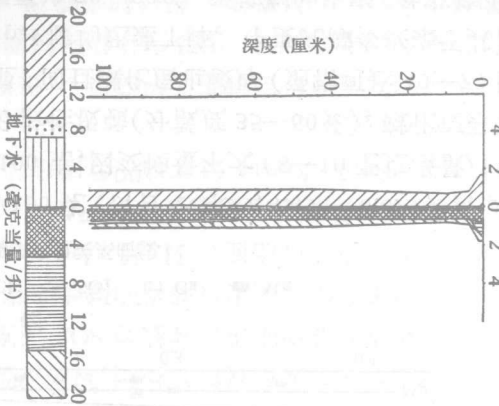
剖面 6 典型瓦碱 (山东聊城, 底层盐化)

毫克当量/100 克土

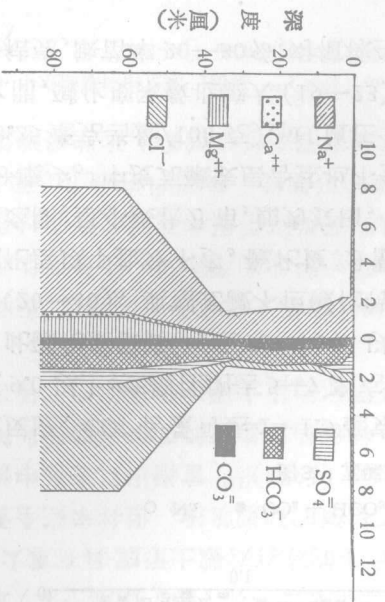


剖面 Na 氯化物草甸盐土 (山东聊城)
(本剖面系黎立军同志采集)

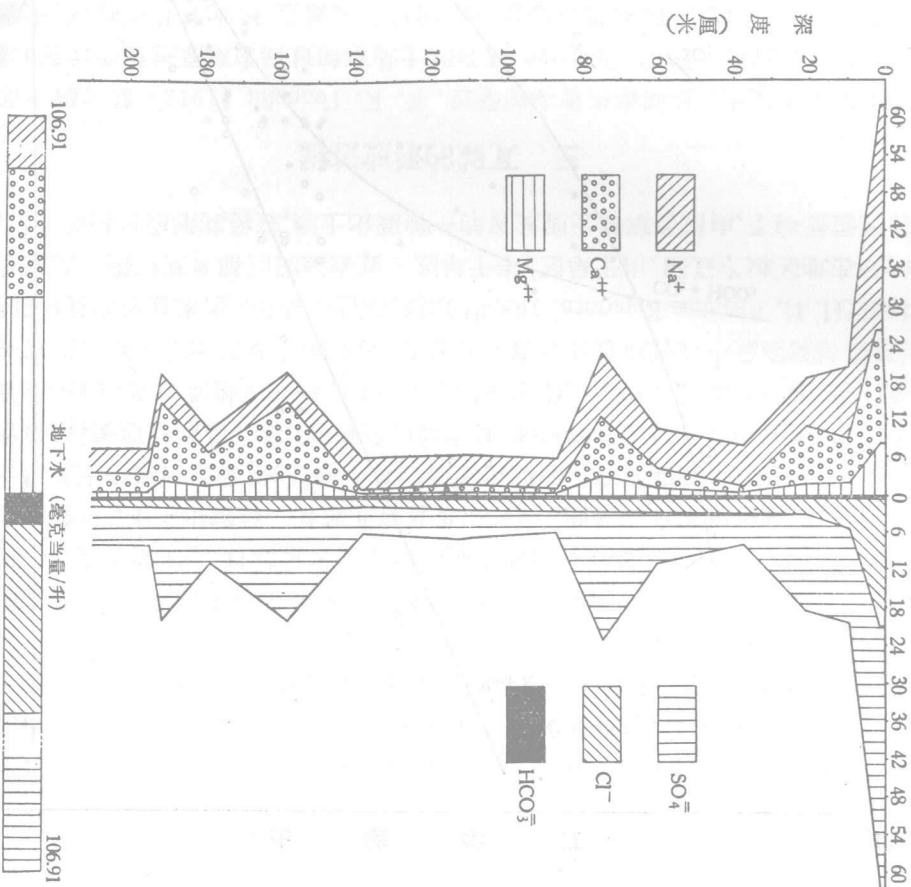
毫克当量/100 克土



剖面 2 中度瓦碱 (山东聊城)



毫克当量/100 克土



剖面 3 底层盐化浅色草甸土 (山东聊城)

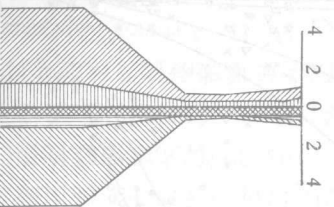


图 2 各类瓦碱及盐土的盐分剖面图

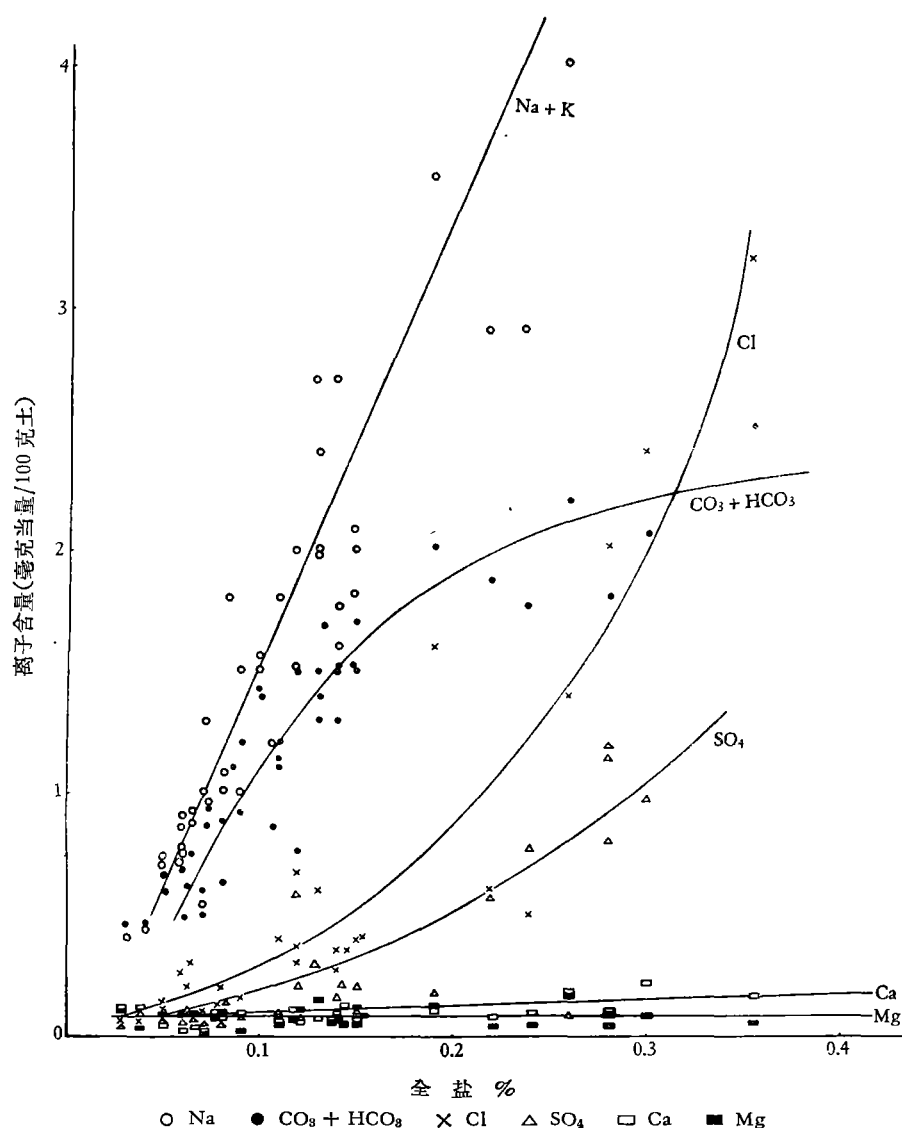


图3 瓦碱全盐与离子含量关系曲线

显酚酞反应, CO_3^{2-} 含量可达 1—1.5 毫克当量/100 克 (折合 Na_2CO_3 0.053—0.079%), pH 值多在 9.0 以上; 交换性钠达 5—7 毫克当量/100 克, 因交换量不大 (8—10 毫克当量/100 克), 因此碱化度很高 (可达 50—70% 以上), 分散性极强 (分散度 35—60%), 碱化度系数也很高 (20—40)。典型瓦碱不但碱化特征明显, 而且碱化层也较厚 (通常可达 40—70 厘米), 碱化层以下盐分不多, 碱化度、分散度及 pH 值均迅速下降。中度瓦碱多夹杂于其他盐碱土之间, 呈小块状分布, 如为农田, 缺苗率可达 70—90%, 受抑制的小麦, 幼苗矮小, 枯黄, 分蘖少。中度瓦碱表层含盐也不多 (小于 0.2%), 成分仍以 NaHCO_3 为主, 具少量 CO_3^{2-} (0.25 毫克当量/100 克), pH 值在 8.8 左右, 碱化度达 20—30% 左右, 分散度在 30—40% 之间, 碱化度系数也较大 (19—23)。轻度瓦碱为农田中的小碱斑, 表层具灰白带黄的疏松结壳, 缺苗率 20—30%, 对植株生长的抑制不明显。轻度瓦碱土体含盐亦不多, 成

份仍以 NaHCO_3 为主,但无酚酞反应, pH 值在 8.5 左右,碱化度可达 13—20%,分散度达 20%。从剖面盐分含量看,典型瓦碱脱盐较彻底,地下水矿化度也较低,而中度及轻度瓦碱,往往由于脱盐不彻底,地下水矿化度高,有底层盐化现象。瓦碱复盐后可能还会出现一种过渡类型——盐化瓦碱。

由表 1、图 2 及图 3 可见各类瓦碱的共同特点是全盐含量不高,随全盐升高主要积累的是 Na^+ 与 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 离子,因此土壤溶液中含大量苏打, pH 值很高,碱化度和分散度都很高,物理性质不良。据此,我们初步肯定瓦碱是一种碱化土壤,可暂名为碱化浅色草甸土。如上所述,瓦碱具有一般碱化土壤的基本特征,但毕竟与栗钙土及黑土带的碱土有所不同,在形态方面缺乏淋溶层(仅具少量白色粉砂),紧实层裸露地表,呈板状而非柱状或棱柱状,剖面粘粒迁移和淀积作用不明显(表 1);在化学性质方面,碱化度及分散度极高(可能与交换量小及腐殖质贫乏有关),显然,为栗钙土及黑土带土壤所拟定的碱化度分级标准(И. Н. Антипов-Каратаев, 1935^[13])对瓦碱已不适用。愈来愈多的资料证明,碱化土壤的分布地区极为辽阔,由干旱区、半干旱区一直到湿润区都有其踪迹。瓦碱是在褐土带生物气候影响下,由浅色草甸土所发育的一种碱化土壤,兹将其形成过程约略讨论于后。

三、瓦碱的形成过程

关于碱土的发生,长期存在着各种学说,К. К. Гедройц (1912) 认为碱土形成于钠质盐土的脱盐过程中。В. Р. Вильямс 认为碱土是草甸过程为草原过程所代替的结果,由于气候变旱,地下水位下降,有机质强烈分解而产生大量盐分,尤其是苏打,在土壤中累积起来,不必通过盐土阶段直接可以形成碱土。К. Д. Глинка (1926) 提出碱土发生在土壤长期返盐及脱盐的交替过程中。Е. Н. Иванова (1933)^[11] 首先证明碱性盐(苏打)中的钠比中性盐中钠更易于侵入土壤吸收复合体。В. А. Ковда (1946)^[12] 发现地下水在矿化初期(硅酸盐—碳酸盐阶段)往往含有较多量的碱金属重碳酸盐及碳酸盐,因此在弱矿化地下水上形成碱土的可能性比在强矿化水上为大。И. Н. Антипов-Каратаев (1953)^[13] 在总结碱土研究的大量资料后指出,自然界碱化过程主要发生在(弱矿化地下水)草甸过程中土壤盐渍的最初阶段,并认为 SO_4^{2-} 还原作用产生的苏打对碱土形成具有重大意义。总之近年大多数学者认为自然界的碱土多半发育在盐渍的初期阶段,但并未完全否认盐土脱盐形成碱土的可能性。И. Н. Антипов-Каратаев (1953)^[13] 曾指出只有当中性盐中钠盐占全盐 90% 以上时,脱盐才会产生碱化过程,特别是在盐渍的沉积岩露头处可能有这种情况。В. А. Ковда (1954)^[14] 曾确定某些地区氯化物盐土经过脱盐作用可导致土壤发生强烈的碱化。

瓦碱的发生过程目前还了解得很少,根据瓦碱与其他盐土插花分布的特点,说明它与其他盐土有发生学联系,但是它是盐化初期的产物呢?脱盐的产物呢?还是返盐脱盐交替的产物呢?还不甚清楚。经过初步观察,我们认为黄淮海平原中瓦碱的形成过程可能是多途径的。先谈谈盐渍过程中直接形成碱化土壤的可能性。我们^[6]在皖北、豫北、鲁西,以及赵守仁^[5]在苏北均发现某些地区的地下水具有残余性碳酸钠¹⁾,这些碳酸钠有可

1) 残余性碳酸钠 (Residual sodium carbonate) 一词为 Eaton (1950)^[16] 提出,原意指当灌溉水中 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 大于 $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ 时,在蒸发中 CaCO_3 、 MgCO_3 沉淀后可能残留的 Na_2CO_3 。

能在表層積累直接形成蘇打鹽土或鹼化土。但是, П. И. Крупкин (1963)^[15] 曾證明地下水中蘇打不可能使上層土壤發生鹼化現象。他的試驗是用重壤及輕壤質淋溶黑土在高度 1 米的整段標本中進行的, 由土柱下部供給 $0.1N \text{ Na}_2\text{CO}_3$ 或其與 NaCl 及 Na_2SO_4 的混合溶液, 分別在 6 個月及 4 年後進行分析, 證明蘇打在土體中移動甚慢, 只能使靠近地下水 20—25 厘米範圍內的底土產生鹼化現象(按交換性鈉及分散度檢定), 而上層土壤則沒有鹼化跡象, 因此認為地下水中蘇打不可能成為上層土壤鹼化的條件。為了探明地下水中蘇打對土壤鹼化過程的影響, 我們做了一個蒸發試驗。試驗是在玻筒中進行的, 玻筒直徑 5 厘米, 高 50 厘米, 下墊 5 厘米石英砂, 裝入輕壤質淺色草甸土(採自新鄉) 45 厘米, 由下部供給 $0.01N \text{ NaHCO}_3$ (0.53 克/升) 溶液, 土柱表面白天用紅外燈泡加熱蒸發, 夜間停止, 共持續 100 天左右, 共蒸掉溶液 2,860 毫升, 最後將土柱卸下, 逐層分析 pH, 可溶鹽及交換性鈉, 結果見表 2。

我們的試驗資料與 П. И. Крупкин 的資料不同(可能與蘇打溶液的濃度有關)。在蒸發過程中地下水中蘇打可以大量在表層積累, 使表層 pH 值達 9.9, 總鹼度高達 8.5 毫克當量/100 克, 交換性鈉也急劇上升。我們的試驗結果說明地下水中殘余性碳酸鈉可以使土壤表層鹼化; 席承藩、趙真(1962)^[17] 也認為山西大同盆地地下水中蘇打可以通過蒸發在表土中大量累積。因此地下水具有殘余性碳酸鈉的地區, 土壤鹽漬過程的初期就很可能形成瓦礫。

但是黃淮海平原大部鹽漬地區的地下水並不含殘余性碳酸鈉, 而以中性鹽(尤其 NaCl) 為主, 因此有必要討論一下中性鹽產生鹼化作用的可能性。過去人們有一種看法, 認為華北平原土壤含有大量石灰, 不可能產生鹼化過程。為了闡明石灰對鹼化過程的影響, 我們用破壞了碳酸鹽並以 Ca 飽和的土壤, 在人工加入 CaCO_3 及 MgCO_3 的情況下, 用 NaCl 溶液做了交換試驗, 結果證明無論是碳酸鈣或碳酸鎂均不能阻止中性鹽中鈉侵入土壤吸收複合體(其降低數值不超過 10%)^[18], 因此從理論上闡明了中性鹽使石灰性土壤產生大量交換性鈉的可能性。為了探討地下水中中性鹽對土壤鹼化過程的作用, 我們用上述同一裝置做了另一個蒸發試驗: 給玻筒下部供給 $0.04N \text{ NaCl}$ 溶液(2.32 克/升) 共 100 天左右, 共蒸掉溶液 3,100 毫升, 最後拆管分析。由分析結果(表 2) 可見當地下水礦化度較高(2.32 克/升) 時, 在其沿毛管上升的過程中, 首先使底土產生大量交換性鈉, 而將交換產物大量積累於表層, 可溶鹽的 $\text{Na}/\text{Ca} + \text{Mg}$ 比率由下層的 5.5 左右降為表層的 1.0 以下(0—2.5 厘米 0.26; 25—5.0 厘米 0.93), 因此表層不可能產生鹼化過程。但當地下水礦化度較低時(<1 克/升) 情況則有所不同。此時在水分沿毛管向上運行的初期, 濃度稀, 交換作用微弱, 只有達富根層後, 土壤溶液在蒸發濃縮的同時, 與土壤產生強烈的交換作用, 並在進一步蒸發中將交換產物帶到最表層, 如表層遭受侵蝕, 富含交換性鈉的亞表土可殘留出露而形成瓦礫。根據野外觀察, 瓦礫多半分布在小地形微斜部位, 而在瓦礫集中分布地區的低洼地段, 在土壤和地面積水中往往發現有蘇打反應, 這種情況也可作為我們設想的一個證據。

最後, 再討論一下各類鹽漬土經過脫鹽過程是否會形成鹼化土壤。K. K. 蓋德羅依茨首先指出鹽漬土可溶鹽陽離子組成對其脫鹽前途的意義, 他認為當 Ca^{++} 超過 Na^{+} 時, 脫鹽不會招致鹼化。W. P. Kelley 認為鹽土中鈣離子占陽離子總量 25% 時即可保證脫

表2 人工土柱蒸发试验结果*

供给溶液	深度 (厘米)	pH 值	全盐量 (%)	水 溶 性 离 子										交换性钠 毫 克 当 量/100克	碱化度 (%)			
				毫克当量/100 克								%						
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻			SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
0.01N NaHCO ₃	0—2.5	9.9	0.810	5.02	3.45	5.38	无	1.36	0.39	12.10	0.150	0.211	0.191	无	0.027	0.005	0.278	9.40
	2.5—5.0	8.5	0.119	0.11	0.50	1.03	无	0.05	0.28	1.31	0.003	0.030	0.037	无	0.001	0.003	0.030	3.2
	5—10	7.9	0.036	无	0.53	无	无	0.11	0.34	0.08	无	0.032	无	无	0.002	0.004	0.0002	1.3
	10—15	8.1	0.054	无	0.55	0.42	无	0.10	0.35	0.52	无	0.033	0.015	无	0.002	0.004	0.012	1.5
	15—25	8.0	0.065	无	0.56	0.10	无	0.02	0.28	0.37	无	0.034	0.004	无	0.0004	0.003	0.009	2.8
	25—35	8.3	0.167	无	0.64	1.50	无	0.14	0.50	1.49	无	0.039	0.053	无	0.003	0.006	0.024	2.8
0.04N NaCl	35—45	8.5	0.068	0.11	0.66	0.02	无	0.02	0.23	0.54	0.003	0.040	0.001	无	0.0004	0.003	0.013	4.7
	0—2.5	8.6	29.56	无	1.24	455.36	9.60	112.52	15.81	337.88	无	0.075	16.165	0.461	2.250	0.190	7.771	0.0
	2.5—5.0	7.9	1.646	无	0.50	27.52	0.43	13.27	1.44	13.74	无	0.031	0.979	0.021	0.265	0.017	0.316	6.5
	5—10	8.0	0.925	无	0.53	0.66	0.14	0.18	1.16	0.98	无	0.032	0.023	0.006	0.004	0.002	0.023	6.0
	10—15	8.2	0.118	无	0.59	0.64	0.09	0.16	0.10	1.06	无	0.036	0.023	0.004	0.003	0.001	0.025	6.6
	15—20	8.5	0.134	痕迹	0.59	0.87	0.05	0.12	0.14	1.39	痕迹	0.036	0.031	0.002	0.002	0.002	0.032	9.7
	20—25	8.6	0.124	痕迹	0.63	0.94	0.09	0.10	0.13	1.43	痕迹	0.039	0.033	0.004	0.002	0.002	0.033	7.9
	25—35	8.9	0.114	痕迹	0.70	1.17	0.08	0.11	0.18	1.66	痕迹	0.043	0.042	0.004	0.002	0.002	0.038	11.6
	35—45	8.7	0.154	痕迹	0.75	1.52	0.12	0.16	0.22	2.02	痕迹	0.046	0.054	0.006	0.003	0.003	0.047	15.3

* 土样为采自河南新乡市郊区的轻壤质浅色草甸土耕作层,交换量 15.81 毫克当量/100 克土。pH 值 8.1,全盐 0.046%。

盐时不发生碱化。B. A. Ковда (1937)^[12] 进一步指出,盐土脱盐中的碱化作用,不仅与阳离子而且与相应的阴离子也有关系,以氯化物为主的盐渍土,在盐渍过程中产生大量氯化钙,后者在脱盐过程中极易流失,因此碱化的可能性比较大;相反以硫酸盐为主的盐渍土,可形成大量石膏,石膏溶解度很小,在脱盐过程中流失很慢,石膏中的钙又可重新进入吸收复合体,因此土壤碱化的可能性较小。Ковда 在 1946 年^[19]又着重指出自然界中纯粹的氯化物或硫酸盐盐土是不存在的,大多数是混合型盐土,而且,“盐化过程愈长,土壤中含硫酸钠及石膏愈多,这种盐土在冲洗的时候,并不能变成碱化土”(322 页)。A. H. Розанов (1955)^[14]也认为,自然界大多数盐土含有某种数量的石膏,因此脱盐时不会发生碱化。但是在黄淮海平原内除个别硫酸盐盐土的表层含有少量石膏外,其他盐渍土并未发现有石膏积累。И. Н. Антипов-Каратаев (1953)^[13] 根据阳离子交换平衡计算证明,在大量水分作用下,盐土的脱盐作用与脱碱作用是同时发生的,只有当钠盐占总盐分 90% 以上时,中性盐盐土在脱盐时才可能形成碱化土。为了探讨黄淮海平原各类盐渍土在脱盐过程中产生碱化土壤的可能性,我们选择了一系列不同类型及不同 Na/Ca + Mg 比率的盐渍土样本,在实验室用蒸馏水洗去盐分,然后测定其交换性钠。由试验结果(表 3)可以看出脱盐过程中是否会发生碱化要看原土的 Na/Ca + Mg 比率及 pH 值,如原土中 Na/Ca + Mg 大于 18 及 pH 值大于 8.5 时,盐土经过脱盐过程很可能发育为瓦碱,否则脱盐后将形成普通的浅色草甸土。

表 3 各种类型盐渍土人工脱盐后的交换性钠含量

剖面号	土 名	深度 (厘米)	原 土			洗 盐 后	
			全 盐 (%)	pH 值	可 溶 盐 Na/Ca+Mg	交 换 性 钠 (毫克当量/100克)	碱 化 度 (%)
6	瓦 碱	0—2	0.564	9.2	25.2	3.66	43.5
6	瓦 碱	2—7	0.189	9.3	13.4	3.14	33.8
8-B	瓦 碱	0—2	0.282	9.9	25.6	3.25	39.3
10-A	瓦 碱	0—5	0.303	10.1	17.4	3.02	40.5
8-C	瓦 油 碱	0—2	1.308	10.0	32.0	3.42	50.0
8-D	油 碱	0—2	2.47	9.5	30.0	1.14	16.9
N ₂ -2	氯化物盐土	1—4	0.715	8.5	18.7	1.70	14.2
豫 4	盐 碱	0—5	0.656	7.4	5.65	0.72	
10-B	油 碱	0—2	0.184	8.3	2.41	0.67	8.3
10-C	油 碱	0—2	0.483	7.8	2.3	0.53	6.4
10-D	油 碱	0—2	1.784	7.6	2.1	0.49	8.3
豫 14	硝 碱	0—2	2.749	7.6	1.97	1.03	
15	硝 碱	0—3	4.432	7.3	1.36	0	0
15	硝 碱	3—16	1.454	7.3	1.26	0	0
豫 15	黄 碱	0—5	3.487	7.3	0.41	0	0

总言之,瓦碱的形成过程是多途径的,在地下水具有残余性碳酸钠的地区,碳酸钠通过蒸发可在表层积累而直接产生碱化过程;在以中性盐为主的矿化地下水地区,盐分经毛管上升在亚表土中浓缩并产生交换过程,而将交换产物带到地表,如表层被蚀去也可能产生表层碱化的现象。一般盐土如溶性盐中 Na/Ca + Mg 大于 18 而同时 pH 值大于 8.5,则脱盐

过程可以引起土壤碱化。此外,黄土风化中产生的碱性鈉盐¹⁾,硫酸还原及 Hilgard 反应产生的苏打以及盐分的水平迁移作用都可能对某些瓦碱的形成发生作用,值得进一步研究。

四、瓦碱的毒害作用及其改良問題

与一般碱化土壤一样,瓦碱毒害作用的根本原因是含有大量交换性鈉。交换性鈉的为害,可分为生理及农业物理两方面:在生理毒害方面,由于土壤全盐含量不高,交换性鈉进行水解,产生大量碳酸、重碳酸及有机酸的鈉盐,并抬高土壤溶液的 pH 值,一般认为碳酸鈉含量超过 0.05% 即足以有害植物生长^[13](Л. П. Розов 1936 则认为土壤含碳酸鈉的为害下限为 0.005%),pH 值超过 8.8 即有腐蝕植物根的作用^[13]。据初步分析结果,典型瓦碱中的碳酸鈉含量可达 0.053—0.079%,土壤溶液 pH 值可高达 9.0 以上。强烈碱性的另一个不良后果是使某些营养物质如 Fe、Mn、Ca 及 P₂O₅ 的溶解度降低,远远不能满足作物的要求,瓦碱的可溶性鈣鎂含量較低,作物幼苗常有缺綠现象,可能与总碱度过高及鉄锰吸收困难有关。我們在皖北的研究结果^[6]说明,生长受抑制的棉苗体内 P₂O₅, K₂O, CaO 及 MgO 含量均明显下降。在农业物理性质方面,土壤分散度高是恶化土壤物理性质的直接原因。瓦碱胶体在鈉质飽和下,水化度增大,电动电位升高极易使土壤胶溶分散,湿时泥濘不透水,大量雨水从地面流失,干时形成坚硬結壳,影响作物出苗及根茎生长。由碱化度系数(表 4)可以说明土壤不良透水性能,典型瓦碱上层的碱化度系数可高达 30—50,而一般浅色草甸土只有 4 左右。为了进一步说明瓦碱的水分物理特性,在玻管中又测定了各类盐漬土(表层)的渗水速度及毛管水上升速度(图 4 及 5),由图可見典型瓦碱的渗水速度及毛管上升速度一般只有浅色草甸土的 1/8—1/10。水柱同样下降 5 厘米,浅色草甸土需 2 小时半,典型瓦碱則需 3 昼夜;毛管水同样上升 10 厘米,浅色草甸土需 3

表 4 各类盐漬土的碱化度系数 K (按相对过滤速度)

剖面 号码	土壤 名称	深 度 (厘米)	原土滤速 (毫升/分)	Ca 饱和 土滤速 (毫升/分)	K	剖面 号码	土壤名称	深 度 (厘米)	原土滤速 (毫升/分)	Ca 饱和 土滤速 (毫升/分)	K
6	典型 瓦碱	0—2	0.12	3.00	25.0	N ₂	氯化物盐土 (油碱)	1—4	0.13	1.63	12.7
		2—7	0.50	2.23	49.5			4—8	0.22	2.14	9.8
		7—19	0.06	1.73	29.3			8—25	0.33	1.47	4.5
		19—38	0.11	2.20	28.0			25—34	0.35	1.61	4.6
		38—55	0.39	4.26	10.8	15	硫酸盐盐土	0—3	2.22	2.70	1.2
		55—71	0.14	3.72	27.2			3—16	0.60	2.21	3.7
		71—85	0.50	2.27	4.6			16—26	1.89	2.67	1.4
		94—	1.46	2.90	2.0	10-A	瓦 碱	0—2	0.07	3.52	48.8
2	中度 瓦碱	0.5—5	0.13	2.46	19.6	10-C	氯化物盐土	0—2	0.79	2.30	2.92
		5—15	0.09	2.13	23.0	10-D	氯化物盐土	0—2	4.52	1.31	0.29
4	轻度 瓦碱	2—5	0.32	1.10	3.3	3	浅色草甸土	1.7—5	0.55	2.33	4.2
		5—14	0.29	0.90	3.1			5—15	0.55	2.12	3.8

1) 据潘德扬著“黄土”(1958,地质出版社)一书,我国各地黄土 Na₂O 含量为 1.01—2.35%,华北气温较高,雨量丰沛,故黄土风化产物很可能是土壤溶性 Na⁺ 的一个来源。例如, S. P. Wilding 等 (1963)^[20] 就认为黄土母质中长石类矿物风化是伊利诺斯州碱化土交换性鈉的主要来源。

小时零 9 分,典型瓦碱則需 10 昼夜以上。所以瓦碱雨季既不能接納較多的雨水,旱季又因毛管水运行緩慢,因而难以滿足植物需水的要求。总言之,瓦碱的碱度过大,水分及一

般物理性質不良是妨碍作物生长的重要原因,同时其为害程度与碱化度大小及碱化层厚度有密切联系。典型瓦碱不但碱化度高,碱化层也較厚(40—70 厘米),对作物的毒害最重,一般作物不能出苗,即使出苗也难以生长;中度和輕度瓦碱的碱化度較低,碱化层也較薄,毒害性質仅限于表层,对苗期为害較大,但当根系伸入下层后,可不再受碱化层的影响,因此羣众說瓦碱“管长不管出”实指輕度和中度瓦碱而言。

针对瓦碱的毒害性質,其改良任务有二:一是用鈣离子代替交換性鈉并中和现实碱度;二是破除結壳层,增加有机質以改善結構性,創造深厚肥沃的耕作层。对典型瓦碱应施用化学改良剂并結合播种牧

草、綠肥,才能彻底获得改良;对中度瓦碱可施用少量化学改良剂而主要通过耕作施肥加以改良,而对輕度瓦碱則可不施化学改良剂,直接通过农业措施来改良。由于中度和輕度瓦

碱多与其他盐漬土呈复区存在,脫盐比較困难,故改良时应注意排水,以免产生复盐作用。瓦碱改良的中心問題是以鈣或其他阳离子替代出交換性鈉,单纯淋洗并不能达到这一目的(表 3)。可通过两个途径来置換出交換性鈉,一个是从外部施入化学改良剂,如石膏、黑矾、硫磺、硫酸等等;另一途径是活化土壤本身的鈣質以實現“自我改良”。到目前为止我們还未发现瓦碱剖面中含有石膏层,但由表层开始即含有大量碳酸鈣(約 10% 左右,

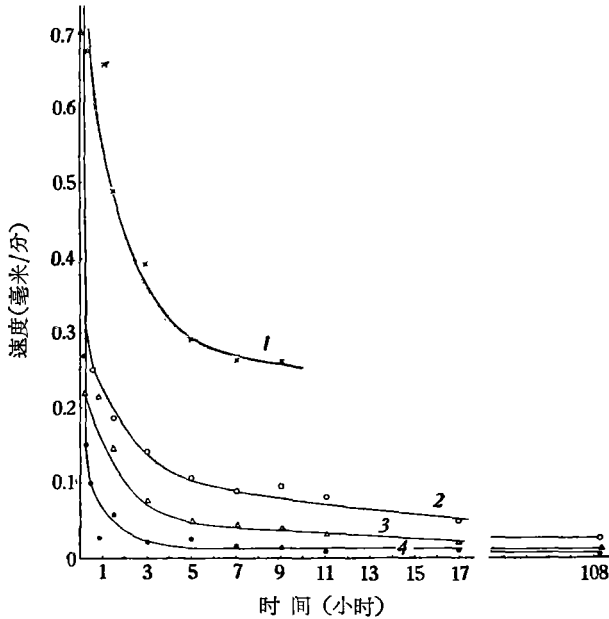


图 4 土壤渗水速度曲线

- | | |
|-----------------|--------------|
| 1. 氯化物盐土剖面 10-D | 2. 浅色草甸土剖面 3 |
| 3. 轻度瓦碱剖面 4 | 4. 典型瓦碱剖面 6 |

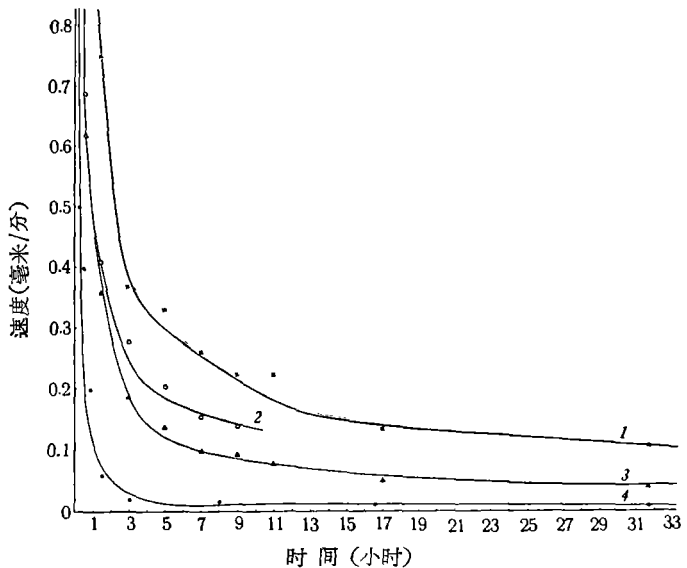


图 5 土壤毛管水上升速度曲线

- | | |
|---------------|--------------|
| 1. 氯化物盐土剖面 25 | 2. 浅色草甸土剖面 3 |
| 3. 轻度瓦碱剖面 4 | 4. 典型瓦碱剖面 14 |

其中 CaCO_3 占总碳酸盐 85—90%，见表 1）是瓦碱改良的有利条件。如能通过灌溉，施肥及播种牧草、綠肥以提高土壤生物活性，加大碳酸盐的溶解度，就可加强交换性钠的代出作用。

参 考 文 献

- [1] 李天杰等：北京南郊黄村附近的盐渍土及其苏打累积问题(摘要)。油印本, 1963。
- [2] 王遵亲、刘有昌、黎立羣、董兆鹏：山东聊城盐渍土的形成条件及其分布规律。土壤学报, 11 卷 4 期, 343—360 页, 1963。
- [3] 曾宪修：河南省土壤盐渍化概况及改良利用经验。土壤通报, 1 期, 28—34 页, 1961。
- [4] 王绪仁：江苏省徐淮平原斑状盐化土的生成和改良。土壤通报, 3 期, 1—10 页, 1959。
- [5] 赵守仁、汪培锐：徐淮地区花碱土的发生及改良。江苏农学报, 2 卷 3 期, 49—58 页, 1963。
- [6] 田兆順：皖北花碱土的形成及其利用改良。土壤, 9 期, 17—28 页, 1961。
- [7] 张俊民、潘玉生等编著：安徽淮北平原土壤。油印本, 1964。
- [8] 竺伟民：皖北肖垆的盐碱土(摘要)。油印本, 1962。
- [9] Астапов, С. В.: Мелиоративное почвоведение (практикум) 34—35, Изд. Сельхозгиз, 1958.
- [10] Антипов-Каратаев, И. Н. и Зайцев, А. А.: Комплексный метод мелиорации солонцовых земель зоны каштановых почв поволжья в условиях орошения. Пробл. Сов. Почвоведения сб., 14, 29—68, 1946.
- [11] Иванова, Е. Н.: Материалы по изучению поглощательной способности почв. Тр. Почв. ин-та АН СССР т8 вып 8, 23—30, 1933.
- [12] Ковда, В. А.: Солонцы и солончаки. 78—100, Изд. АН СССР м-л 1937.
- [13] Антипов-Каратаев, И. Н. Пак, К. П. Филиппова, В. Н. и Самбур, Г. Н.: Мелиорация Солонцов в СССР. 1—252, М, Изд-во АН СССР, 1953.
- [14] А. Н. 罗赞诺夫, (赵仲武译): 苏联碱土的发生与改良的新资料。土壤学译报, 3 期, 13—26 页, 1956。
- [15] Крупкин, П. И.: Передвижение солевых растворов в почвах и грунтах, Почвоведение, № 6, 70—79, 1963.
- [16] Eaton, F. M.: Significance of carbonates in irrigation Waters. *Soil Sci.*, 69: 123—133, 1950.
- [17] 席承藩、赵真：山西大同盆地的盐渍土及其苏打累积和碱化问题。土壤学报, 10 卷 3 期, 235—257 页, 1962。
- [18] 田兆順、张粹雯、董汉章：土壤交换性钠的吸收及解吸过程。未刊稿。
- [19] В. А. 柯夫达(席承藩等译): 盐渍土的发生与演变。上册, 科学出版社, 1957。
- [20] Wielding, S. P. Odell, R. T. Fehrenbahr, J. B. and Beavers, A. H.: Source and distribution of sodium in solonchic soils in Illinois, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27, No. 4, 432—435, 1963.

СВОЙСТВА И ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЛОНЦЕВАТЫХ СВЕТЛО-ЛУГОВЫХ ПОЧВ НА СЕВЕРО-КИТАЙСКОЙ РАВНИНЕ

Тянь Чжао-шунь и Дун Хань-чжан

(Почвенный институт АН Китая)

Резюме

На Северо-китайской равнине встречается особый тип почв с серовато-белой уплотненной коркой, которые местные крестьяне называют “вацзянь”. Типичные “вацзянь” характеризуются следующими физико-химическими свойствами: водно-растворимых солей очень мало, а содержание нормальных карбонатов и общая щелочность довольно высоки (CO_3^{2-} 1—1,5 м-экв/100 г $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 2—2,5 м-экв/100 г), реакция щелочная ($\text{pH} > 9.0$), содержание обменного натрия 5—7 м экв/100 г, солонцеватость 50—70%, почвенная масса дисперсна (коэффициент дисперсности 35—60%), коэффициент солонцеватости (по относительной скорости фильтрации) 20—40. В связи с этим эти почвы обладают отрицательными агрофизическими свойствами: пахотный горизонт становится вязким при увлажнении и образует уплотненную корку при высыхании, что оказывает сильное влияние на появление всходов и развитие сельскохозяйственных культур. По перечисленным свойствам эти почвы должны быть отнесены к типу солонцеватых почв и названы солонцеватыми светло-луговыми почвами.

Происхождение солонцеватых светло-луговых почв разнообразное. При наличии остаточной соды в грунтовых водах солонцеватые почвы или содовые солончаки могут прямо образоваться путем засоления почв, а когда отношение $\text{Na}/\text{Ca} + \text{Mg}$ в водной вытяжке солончаков больше 18 и $\text{pH} > 8.5$, то могут образоваться солонцеватые почвы в процессе их *рассоления*. Кроме того, выветривание лёссов, восстановление сульфатов и другие процессы также имеют важное значение в образовании солонцеватых почв.