

# 瓦碱的形成与改良\*

俞仁培 杨道平 蔡阿兴 石万普

(中国科学院南京土壤研究所)

瓦碱是我国半湿润半干旱地区冲积平原上的一种碱化土壤，多呈大小不一的斑块与其它各种盐渍土插花分布于耕地中。典型的瓦碱大多为光板地，或仅生长稀疏的剪刀股 (*Polygonum sibiricum*)、罗布麻 (*Apocynum ventum*) 及骆驼蓬 (*Kochia scoporia*) 等耐盐碱植物。碱化较轻的斑块，虽有作物生长，但常常缺苗，植株矮小瘦弱，结实不多。

瓦碱不同于草原和漠境地区的结构碱土<sup>[9,10]</sup>，它不具有碱化构造层，也没有明显的发生层次。瓦碱的表层是1—2厘米厚的灰白色的坚实土壳，形似瓦片，故名为瓦碱。结壳背面多海绵状气孔，结壳下为不同质地河流泛滥沉积物所组成的层状土层。瓦碱也不同于苏打碱化盐土，苏打碱化盐土全剖面含有较多的苏打和其它可溶盐类，而瓦碱整个剖面的可溶盐含量都较低，表层含盐量一般不超过0.5%，心底土含盐量多在0.1%左右。典型的瓦碱表层有轻度淋溶现象，地表有几厘米的淋溶层。可溶盐组成中以碳酸钠、重碳酸钠为主，占总盐量的60—80%。表层总碱度超过1毫克当量/100克土以上，pH值多超过9。大部分瓦碱的质地较轻，有机质含量少，土壤盐基代换量一般为3—5毫克当量/100克土，极少超过10毫克当量，代换性钠含量多为1—3毫克当量，因此碱化度很高，大多在20%以上，甚至高达70%左右(表1)。导致土壤高度分散，干时板结坚硬，通透性很差，作物不易出苗，难以正常生长。

表1 瓦碱的化学性质

Table 1 Chemical properties of tile-like crust solonchets

采样深度 (cm) Sampling depth	pH (H <sub>2</sub> O)	全盐 (%) Total salts	离子组成 (meq/100g soil) Ionic composition							阳离子 代换量 CEC (meq/100g soil)	代换性钠 E <sub>Na</sub>	碱化度 (%) ESP
			CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>			
0—1	9.5	0.09	0.47	0.81	0.21	0.06	0.07	0.03	1.45	6.80	2.42	35.6
1—10	9.9	0.11	0.80	0.79	0.29	0.03	0.07	0.03	1.81	6.17	2.59	42.0
10—30	9.7	0.12	0.56	0.68	0.57	0.17	0.06	0	1.92	5.22	2.07	39.7
30—37	9.4	0.08	0.38	0.74	0.27	0.01	0.03	0.01	1.36	6.35	1.78	28.0
37—49	9.3	0.06	0.18	0.58	0.20	0.05	0.04	0.02	0.95	5.94	1.62	27.3
49—80	9.1	0.05	0.03	0.52	0.25	0.01	0.08	0.06	0.67	—	—	—
80—100	8.3	0.05	0	0.54	0.17	痕迹	0.08	0.06	0.57	—	—	—
100 以下	8.0	0.03	0	0.38	0.12	0.02	0.07	0.04	0.41	—	—	—

\* K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup> 系差数(下同) (河南封丘应举公社西大村)。

\* 本工作是在熊毅教授和王遵亲同志指导下完成，先后参加工作的尚有陈章英、董汉章同志。

五十年代华北平原土壤调查时,就已发现瓦碱。六十年代前后,我国的土壤研究工作者曾先后对瓦碱的特性、形成以及改良作过一些研究<sup>[1-7]</sup>。最近我们在研究瓦碱改良的同时又进一步作了瓦碱形成的室内模拟试验。

## 一、瓦碱的形成

关于瓦碱的形成,有人<sup>[3-6]</sup>认为它可能是地下水中残余碳酸钠随土壤毛细管上升蒸发过程中钠离子进入土壤吸收性复合体而使土壤碱化。也有人<sup>[5]</sup>认为是低矿化地下水阶段含有的硅酸盐及碳酸盐在积盐的同时就使土壤发生碱化。此外还有人认为瓦碱是中性盐类在土体内上下移动,钠离子进入土壤吸收性复合体而形成的。但上述见解多属一般推理,缺少试验验证。虽然有人曾做过一些室内模拟试验,但试验用的是人工配制的 $\text{NaHCO}_3$ 溶液,与自然界地下水的盐分组成有很大不同。众所周知,溶液中可溶性钠百分数(SSP),一价与二价离子比值(SDR)以及钠吸附比(SAR)对土壤碱化均有重要影响,在单纯的钠盐溶液中,SSP为100%,SDR, SAR均为 $\infty$ 情况下,土壤吸收性复合体自然易于吸收钠而碱化。但自然界中根本不存在某一种单纯的钠盐溶液而都是复杂的多盐溶液,即或多或少地含有残余的重碳酸钠和碳酸钠,又含有一定数量的氯化物和硫酸盐(表2),在这种情况下,地下水中的残余碳酸钠能不能引起土壤碱化是一个有待证实的问题。

表2 瓦碱地下水化学组成

Table 2 Chemical composition of ground water in the area of tile-like crust solonetz

地下水编号 No. of ground water samples	pH	矿化度 (g/lit.) Mineralization degree	离子组成 (meq/lit.) Ionic composition							SSP* (%)	SDR*	SAR*
			$\text{CO}_3^-$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^-$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$			
1	8.30	0.97	痕迹	14.50	2.48	1.70	1.65	6.11	10.92	58.46	1.4	5.54
2	8.57	0.85	0.86	10.64	2.48	1.68	1.52	2.80	11.34	72.41	2.6	7.71
3	8.00	0.80	—	6.16	0.39	3.64	0.02	0.03	10.14	99.51	202.8	64.14
4	8.05	1.35	—	9.57	4.37	4.03	0.02	0.05	17.90	99.61	255.7	95.70

\* SSP 为钠化率; SDR 为钠、钙镁比; SAR 为钠吸附比。(下同)

根据我们的调查,瓦碱多分布在年降水量为500—800毫米的黄淮海平原地区,这个地区年雨量的分配很不均匀,60—70%集中于7—9月,春旱秋涝,涝后又旱,强烈地影响地下水位的季节性变化和土壤中水盐运行,使盐渍土具有明显的季节性积盐和脱盐的特征。

从小地形看,瓦碱又都分布在洼地边缘坡地以及低平洼地的微高地上,大部分瓦碱的地下水埋深多在2.5米以内,矿化度1—2克/升,属重碳酸盐-氯化物或重碳酸盐-硫酸盐镁钠质或钠镁质水,水中常含有残余碳酸钠。据此推测,瓦碱可能是钠质盐渍土在积盐和脱盐频繁交替过程中以及碱性地下水中钠离子进入土壤吸收性复合体而形成。

为了证实上述两种形成途径,我们做了两组室内模拟试验。

第一组试验是用江苏省铜山县瓦碱分布地区的两种不同水质的水样,通过土柱进行蒸发,看它们对土壤碱化的影响。供试的土样为瓦碱相邻地段的砂壤土和粘土,前者的机械组成与当地瓦碱的机械组成相似,物理性粘粒(< 0.01 毫米)为 7.7%,盐基代换量为 5.31 毫克当量/100 克土;粘土的物理性粘粒为 68.7%,盐基代换量为 17.96 毫克当量/100 克土,为了阐明碳酸钙对碱化过程的影响,其中有几个土柱中加入了 50 克磨细的瓦碱地区土壤中的石灰结核。供蒸发用的水样矿化度分别为 0.97 克/升(含重碳酸钠为 0.57 克/升, pH 为 8.30, SSP 为 58.5, SDR 为 1.4, SAR 为 5.54)和 0.28 克/升(含重碳酸钠为 0.26 克/升, pH 为 7.85, SSP 为 99.1, SDR 为 115.3, SAR 为 28.2)。

表 3 模拟试验第一组分析结果

Table 3 Soil chemical changes of modelling test (I)

处 理 Treatment	采样深度 (cm) Sampling depth	全 盐 (%) Total salts	离 子 组 成 (meq/100g soil) Ionic composition							碱化度 (%) ESP
			CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>	
1. 砂壤土,用 I 号水样 Sandy loam soil with water No. I	0-5	0.39	0.50	0.33	3.32	2.05	0.57	0.06	5.48	79.1
	5-10	0.16	0	0.57	1.16	0.65	0.21	0.06	2.11	23.2
	10-20	0.06	0	0.37	0.28	0.19	0.16	0.09	0.59	6.2
	20-40	0.05	0	0.45	0.10	0.18	0.11	0.09	0.40	2.3
	40-60	0.05	0	0.45	0.04	0.20	0.18	0.22	0.32	4.3
2. 砂壤土,用 II 号水样 Sandy loam soil with water No. II	0-5	0.26	0	0.50	2.51	1.18	1.10	0.52	2.57	0
	5-10	0.06	0	0.39	0.23	0.22	0.24	0.06	0.54	4.1
	10-20	0.04	0	0.29	0.03	0.15	0.31	0.13	0.06	0
	20-40	0.04	0	0.39	—	0.18	0.28	0.27	0.02	0
	40-60	0.05	0	0.38	—	0.27	0.38	0.24	0.03	0
3. 砂壤土加 50 克碳酸钙, 用 I 号水样 Sandy loam soil + 50g CaCO <sub>3</sub> with water No. I	0-5	0.41	0	0.41	3.74	1.99	0.61	0.06	5.76	85.0
	5-10	0.12	0	0.45	1.03	0.27	0.25	0.09	1.41	10.4
	10-20	0.04	0	0.37	0.03	0.05	0.13	0.05	0.27	2.3
	20-40	0.04	0	0.38	0.02	0.14	0.15	0.12	0.27	2.6
	40-60	0.05	0	0.39	0.02	0.16	0.16	0.12	0.29	4.3
4. 粘土,用 I 号水样 Clay with water No. I	0-5	0.64	0	0.42	8.86	1.81	9.00	0.31	1.88	0
	5-10	0.11	0	0.36	1.18	0.19	0.81	0.14	0.78	0
	10-20	0.13	0	0.35	1.66	0.13	0.89	0.23	1.02	0
	20-40	0.14	0	0.37	1.78	0.15	1.11	0.26	0.93	0
	40-60	0.12	0	0.35	1.52	0.17	1.44	0.36	0.24	0
砂壤土 Sandy loam soil		0.02	0	0.23	0.08	0.03	0.20	0.08	0.06	0.02
粘 土 Clay		0.06	0	0.46	0.15	0.18	0.37	0.26	0.16	0.33
I 号水样* Water No. I*		0.97	0	14.50	2.48	1.70	1.65	6.11	10.92	
II 号水样* Water No. II*		0.28	0	2.70	0.35	0.44	0.02	0.01	3.46	

\* 水样的全盐为克/升,离子组成为毫克当量/升。

\* The unit of total salt of water is g/liter, the unit of ionic composition is meq/liter.

试验结果(表 3)表明:

1. 地下水中的重碳酸钠和碳酸钠与土壤的碱化有密切关系。它们可以使土壤表层在积盐的同时又有碱化, 表层 5 厘米内碱化度可高达 79.1%。但是只有当水样中重碳酸钠和碳酸钠积累到一定浓度时, 才能使土壤碱化。例如 II 号水样尽管它的 SSP, SDR, SAR 都比 I 号水样高得多, 但由于它浓度低, 溶液中重碳酸钠绝对含量小(2.67 毫克当量/升), 当其蒸发体积与 I 号水样蒸发体积同为 5000 毫升时, 土壤碱化不明显, 而 I 号水样(含  $\text{NaHCO}_3$  6.74 毫克当量/升)则使土壤表层发生了明显的碱化。同时也可看到, 在低矿化地下水情况下, 只要含有游离的苏打, 即使水中还含有其它的氯化物, 硫酸盐类也不能阻止土壤碱化。

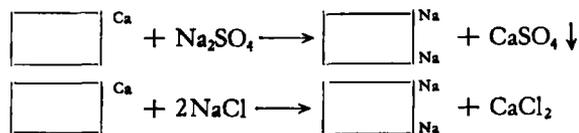
2. 碳酸钙不能阻止土壤碱化。从表 3 中处理 1, 3 对比可以清楚地看到, 当供试溶液相同, 在蒸发体积也相同的情况下, 不论土柱中有无碳酸钙, 都能使表层土壤碱化。我国碱化土壤都含有较多的碳酸钙也证明了这一点。

3. 从表 3 中还可看到, 土壤的碱化与其机械组成有极为密切的关系。轻质土易于碱化, 粘质土则不易碱化。这种现象与野外实际情况相一致。

第二组试验是用土柱蒸发及土柱蒸发淋溶反复交替进行的两种方式, 揭示土壤及地下水中的中性钠盐使土壤碱化的可能性, 供试土样是与第一组试验相同的砂壤土和粘土, 供试的溶液为 1 克/升  $\text{NaCl}$  和 1.23 克/升  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ (二者的毫克当量数相等)。结果见图 1。

1. 中性钠盐在积盐过程中, 钠离子也能进入土壤吸收性复合体而使土壤碱化, 1 克/升的  $\text{NaCl}$  可使 16 厘米土柱中土壤的碱化度提高到 12.3—18.7%, 但碱化程度较轻。只有当中性钠盐在土体上下频繁移动时, 盐类与土壤胶体表面的接触增多, 才可能使溶液中有较多的钠离子进入吸收性复合体而产生强烈的碱化。在我们的试验中, 盐类上下运动只有四次, 代换性钠从 0.36 毫克当量/100 克土增加到 2.1—2.5 毫克当量/100 克土, 碱化度从 10% 左右增加到 40—60%。这证明瓦碱与盐土有发生学上的联系。

2. 中性钠盐与土壤作用产生离子代换反应的过程中, 硫酸钠比氯化钠更易于使土壤碱化。这与前人的研究结果不一致, 过去人们在研究不同中性钠盐对土壤碱化的影响时, 都采用淋洗的方法, 将土壤中的交换反应产物如  $\text{CaCl}_2$  从土体内淋洗掉, 而  $\text{CaSO}_4$  由于溶解度小, 有一部分就沉淀在土体内, 这部分沉淀下来的  $\text{CaSO}_4$ , 有可能再度与土壤吸收性复合体作用产生可逆反应, 而使土壤碱化程度减弱。由此人们得出了  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  使土壤碱化程度比  $\text{NaCl}$  低的结论。我们的试验结果正相反, 这从以下两方面来解释。



(1) 我们没有将反应产物淋洗掉, 使这一过程接近于自然界实际情况。盐土分布地区的排水条件一般都比较差, 盐分多半是在土体内垂直和水平移动。无论是  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液或者  $\text{NaCl}$  溶液, 与土壤吸收性复合体上的代换性阳离子作用, 都有可能产生可逆反应。 $\text{NaCl}$  与土壤作用的反应产物  $\text{CaCl}_2$  的溶解度较  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  反应产物  $\text{CaSO}_4$  大得多, 因此用  $\text{NaCl}$  溶液处理的土柱, 其土壤溶液中钙离子浓度与活度较用  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液处理的大,

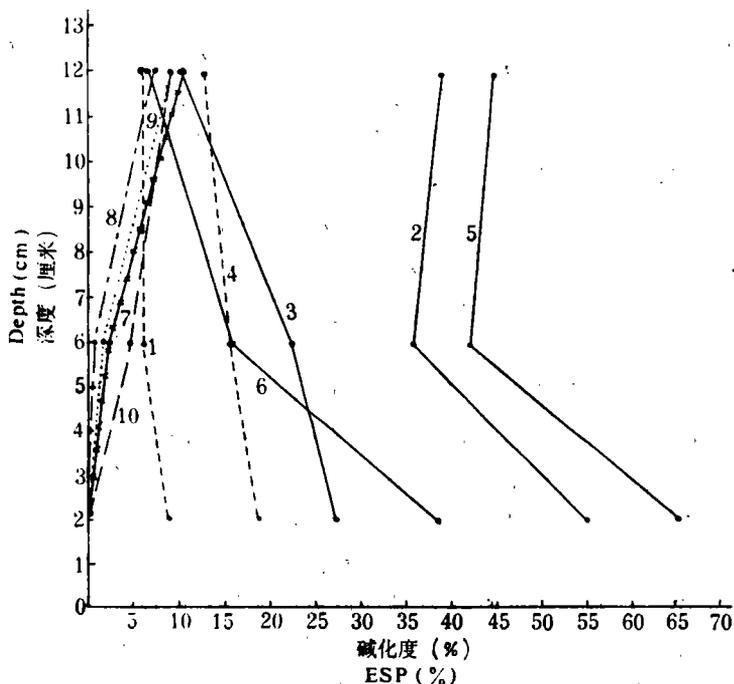


图1 不同处理的土壤碱化度变化  
Fig. 1 Soil ESP under different treatments

1. 未处理的青砂土, NaCl 累积  
Sandy loam soil without treatment, accumulation of NaCl.
2. 未处理的青砂土, NaCl 淋溶累积交替  
Sandy loam soil without treatment, alternation of accumulation and eluviation of NaCl.
3. Ca 饱和的青砂土, NaCl 淋溶累积交替  
Sandy loam soil saturated by Ca, alternation of accumulation and eluviation of NaCl.
4. 未处理的青砂土,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  累积  
Sandy loam soil without treatment, accumulation of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
5. 未处理的青砂土,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  淋溶累积交替  
Sandy loam soil without treatment, alternation of accumulation and eluviation of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
6. Ca 饱和的青砂土,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  淋溶累积交替  
Sandy loam soil saturated by Ca, alternation of accumulation and eluviation of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
7. Ca 饱和粘土, NaCl 累积  
Clay saturated by Ca, accumulation of NaCl.
8. Ca 饱和粘土, NaCl 淋溶累积交替  
Clay saturated by Ca, alternation of accumulation and eluviation of NaCl.
9. Ca 饱和粘土,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  累积  
Clay saturated by Ca, accumulation of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
10. Ca 饱和粘土,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  淋溶累积交替  
Clay saturated by Ca, alternation of accumulation and eluviation of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

致使前者溶液中的钙离子有可能更多地与代换性钠进行可逆反应而减轻土壤碱化的程度。这样就显示出使土壤碱化的程度  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液相对地大于  $\text{NaCl}$ 。

(2) 硫酸钠在土壤长期嫌气条件下,有可能发生生物还原作用,形成的苏打更易引起土壤碱化。我们曾在拆土柱时闻到  $\text{H}_2\text{S}$  气味。

总之,上述试验证实了我们对瓦碱形成过程的认识。

## 二、瓦碱的改良

除种稻改良<sup>[6]</sup>外,化学改良是改良瓦碱的一个好方法。根据施用石膏、磷石膏改良瓦碱的试验结果(表4),说明石膏、磷石膏都能起到改良作用。不但供试作物棉花、大豆、小麦增产显著,而且土壤的理化性质得到明显的改善,pH由未改良前的 $>9$ 分别下降到7.1—8.7,消除了毒害作物的苏打及降低了土壤表层0—2厘米内土壤吸收性复合体中的代换性钠含量,基本上消除了土粒高度分散现象(见照片C组)和板结现象。在2—10厘米土层中,代换性钠含量由改良前2毫克当量/100克土左右降到0.6毫克当量/100克土。磷石膏试验由于是在没有灌溉排水条件下进行,所以土壤性质改善比较差,只限于地表5厘米以内。

表4 石膏、磷石膏改良瓦碱的试验结果

Table 4 Effect of gypsum and phospho-gypsum on the improvement of tile-like crust solonetz

处 理 Treatment	采样深度 (cm) Sampling depth	pH (1:1)	全 盐 (%) Total salt	离 子 组 成 (meq/lit.) Ionic composition							碱化度 (%) ESP
				CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>	
施石膏354斤/亩 Gypsum (354 jin/mu)	0—2	7.30	0.44	0	0.26	0.09	5.53	4.29	0.74	0.85	0
	2—10	7.60	0.15	0	0.40	0.12	1.41	0.46	0.13	1.34	6.0
对 照 Check	0—2	9.20	0.10	0.28	0.64	0.14	0.26	0.06	痕迹	1.26	17.6
	2—10	9.30	0.10	0.30	0.70	0.15	0.21	0.05	0.01	1.30	26.3
施磷石膏800斤/亩 Phospho-gypsum (800 jin/mu)	0—5	8.70	0.70	0	0.19	3.69	6.96	3.84	0.64	6.30	5.1
	5—10	9.18	0.32	0	0.46	2.71	1.96	0.20	0.12	4.81	29.9
	10—20	8.91	0.20	0	0.36	1.87	0.99	0.28	0.27	2.67	12.4
对 照 Check	0—5	9.79	0.39	0.67	0.59	4.26	3.26	0.46	0.58	7.74	54.1
	5—10	9.68	0.14	0.44	0.57	1.12	1.72	0.23	0.54	3.08	22.3
	10—20	9.42	0.11	0.25	0.54	0.71	0.62	0.18	0.43	1.51	8.8



照片1 土壤分散状况(振荡后静置1小时)

Photo. Dispersion of soils under different treatments  
(one hour after shaking)

C<sub>2</sub>-1, 2; C<sub>4</sub>-1, 2; C<sub>6</sub>-1, 2 为对照 Check

C<sub>1</sub>-1, 2; C<sub>3</sub>-1, 2; C<sub>5</sub>-1, 2 为经石膏改良后 After application of gypsum

B<sub>1</sub>-1, 2 为对照 Check

B<sub>2</sub>-1, 2 为种绿肥后 After planting green manure

从我们的试验结果可以看出,石膏、磷石膏改良瓦碱不仅有效,而且只要方法得当和施用季节适宜,见效也是很快的。在气温较高和有充足水分(包括自然降雨和人工灌溉)条件下,施用改良剂后半个月至二十天左右就可使表土理化性质有较明显改善,当季作物就能全苗,如水肥管理适宜,可获得较高产量。但需注意施用时期、施用方法、施用量以及必要的灌溉排水条件。在我国季风气候条件下,施用改良剂以地温显著上升的四月底五月初至九月底较为适宜,以高温多雨的八月份为最好。施用方法最好是先起高垫低,平整土地,然后耕翻,在犁壁上均匀撒施改良剂而后耙地,再播种作物。施用量主要决定于盐基代换量和代换性钠的含量。瓦碱表土代换性钠为2—3毫克当量/100克土,按耕层20厘米计每亩应施石膏、磷石膏450—650公斤(7—10吨/公顷)。为了提高改良剂的效果,应分期多次施用,每次每亩地施150—200公斤(2—3吨/公顷)。同时,为了消除反应产物,施用化学改良剂一定要结合灌溉排水。

表5 深翻结合施有机肥后瓦碱化学性质的变化

Table 5 Changes of chemical properties of tile-like crust solonetz after deep ploughing combined with applying organic manure

处 理 Treatment	采样深度 (cm) Sampling depth	pH (1:1)	全盐 (%) Total salts	离 子 组 成 (meq/100g soil) Ionic composition							SDR	碱化度 (%) ESP
				CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>		
深翻六年 Deep ploughing for 6 years	0—10	8.75	0.05	0	0.45	0.06	0.09	0.43	0.02	0.15	0.33	7.1
	10—20	9.05	0.04	0	0.41	0.08	0.07	0.23	0.03	0.20	0.77	11.5
	20—40	9.15	0.07	0	0.55	0.09	0.19	0.13	痕迹	0.70	5.39	11.6
	40—70	9.28	0.09	0.25	0.59	0.11	0.31	0.13	0.01	1.12	8.00	17.3
	70—100	9.55	0.08	0.16	0.59	0.11	0.22	0.13	痕迹	0.95	7.31	29.2
深翻四年 Deep ploughing for 4 years	0—10	9.14	0.09	0.10	0.55	0.12	0.41	0.17	痕迹	1.01	5.94	13.6
	10—20	8.80	0.09	0.10	0.68	0.09	0.32	0.15	痕迹	1.04	6.93	13.5
	20—40	9.23	0.09	0.10	0.70	0.11	0.29	0.09	0.09	1.02	5.67	17.8
	40—70	9.17	0.08	0.16	0.61	0.08	0.28	0.13	痕迹	1.00	7.69	18.3
	70—100	9.01	0.09	0.08	0.61	0.13	0.32	0.15	痕迹	0.99	6.60	13.4
深翻二年 Deep ploughing for 2 years	0—10	9.28	0.14	0.08	0.78	0.71	0.41	0.14	0.02	1.67	11.38	31.0
	10—20	9.53	0.13	0.17	0.79	0.66	0.29	0.15	0.02	1.74	10.29	37.8
	20—40	9.15	0.19	0.19	0.59	1.47	0.64	0.11	0.04	2.74	18.27	36.9
	40—70	8.83	0.16	0.05	0.69	1.22	0.43	0.15	0.03	2.21	12.28	16.9
	70—100	9.05	0.08	0.04	0.57	0.27	0.16	0.13	0.03	0.88	5.50	23.9
未深翻 Non-deep ploughing	0—10	9.94	0.19	1.07	0.69	0.78	0.44	0.15	0.03	2.80	15.56	68.8
	10—20	10.05	0.13	0.87	0.75	0.27	0.13	0.15	0.04	1.83	9.63	60.2
	20—40	10.10	0.12	0.91	0.72	0.14	0.10	0.10	0.02	1.75	14.58	50.2
	40—70	9.90	0.11	0.66	0.75	0.07	0.06	0.09	0.02	1.42	12.91	41.3
	70—100	9.84	0.08	0.43	0.62	0.05	0.07	0.07	0.02	1.08	12.00	35.7

由于瓦碱大多数形成在轻质土壤上,土壤盐基代换量低,代换性钠的绝对含量少,所以改良相对地比较容易,当地群众采用深翻结合施有机肥改良瓦碱,几年就能得到良好的效果(表5)。我们认为,一般轻中度瓦碱可以在一定灌溉排水条件的基础上,采用深耕,平地结合施用有机肥或翻压绿肥等农业措施。重度瓦碱最好采用化学改良剂,可以加快

改良速度。

深翻(一般 40—50 厘米)结合施有机肥改良瓦碱效果显著,从表 5 可以看出,深翻年限越长,表层(0—10 厘米),亚表层(10—20 厘米)内盐分就越少,未深翻改良的表层含盐为 0.2% 左右,亚表层为 0.1% 左右,深翻改土四年的表层和亚表层盐分均降低到 0.1% 以下,改良六年的表层及亚表层的含盐量不及 0.05%,盐分不再影响作物生长。土壤的其它化学性质也都有改善。pH 有所降低,0—40 厘米土层中游离碳酸根显著降低,甚至消失;碱化度随着深翻年限的增加而显示规律性的递减。土壤溶液中阳离子组成也发生了深刻的变化。耕层内钠钾、钙镁比值(SDR)随着深翻年限的增长和含盐量降低而显著减少。钠离子浓度的降低与钙镁离子浓度的增加,大大地有利于作物生长。应该说明,上述措施是在有灌溉排水的条件下进行的,而且土体本身含有碳酸钙。

我国瓦碱分布地区,一般来说是地多人少,有机肥比较缺。因此必须重视种植与翻压绿肥的改土培肥增产的作用,不但促进产量成倍增长,土壤理化性质也有改善,从表 6 可见,表层 pH 下降,盐分有从地表淋溶下降的趋势,苏打消失,而钙、镁离子则显著增加,碱化度从 30—40% 下降到 15—18%。消除了土粒高度分散现象(见照片 B 组)。绿肥虽能改良瓦碱,但作用较慢,最好与施用化学改良剂相结合,加快改良速度。

表 6 翻压绿肥后瓦碱化学性质变化

Table 6 Changes of chemical properties of tile-like crust solonetz soil after planting and applying green manure

处 理 Treatment	采样深度 (cm) Sampling depth	pH (1:1)	全盐 (%) Total salts	离 子 组 成 (meq/100g soil) Ionic composition							碱化度 (%) ESP
				CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>	
对 照 Check	0—1	9.70	0.26	0.26	0.57	2.23	0.78	0.12	0.03	3.69	40.9
	1—10	9.60	0.16	0.45	0.66	0.99	0.32	0.14	0.04	2.24	34.9
种植和翻压紫花苜蓿 与田菁 Planting and turn over of alfalfa and sesbania	0—1	8.30	0.14	0	0.46	0.52	1.07	0.35	0.20	1.50	18.0
	1—10	8.90	0.40	0.08	0.54	2.67	2.89	0.24	0.14	5.80	15.6

### 参 考 文 献

- [1] 王绪仁, 1959: 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。
- [2] 王遵亲、刘有昌、黎立群、董兆鹏, 1963: 山东聊城盐渍土的形成条件及其分布规律。土壤学报, 第 11 卷 4 期, 343—361 页。
- [3] 田兆顺, 1961: 皖北花碱土的形成及其利用改良。土壤, 9 期, 17—28 页。
- [4] 田兆顺、董汉章, 1965: 华北平原瓦碱的特性与形成。土壤学报, 第 13 卷 1 期, 24—38 页。
- [5] 席承藩、赵真, 1962: 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, 第 10 卷 3 期, 235—257 页。
- [6] 赵守仁、汪培镜, 1963: 徐淮地区花碱土的发生与改良。江苏农学报, 第 2 卷 3 期, 49—58 页。
- [7] 蒋剑敏、仓东卿, 1964: 瓦碱的碱度与板结。土壤学报, 第 12 卷 3 期, 320—329 页。
- [8] 陈恩凤、王汝慵、胡恩敏、王春裕、崔连武, 1962: 吉林省郭前旗灌区苏打盐渍土的改良。土壤学报, 第 10 卷 2 期, 201—215 页。
- [9] I. Szabolcs, et al., 1971: European solonetz soils and their reclamation. p. 9—33 Budapest
- [10] I. Szabolcs, et al., 1974: Salt affected soils in Europe. p. 11—35 Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences Budapest

## FORMATION AND RECLAMATION OF TILE-LIKE CRUST-SOLONETZ

Yu Ren-pei, Yang Dao-ping, Cai A-xing and Shi Wan-pu

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

### Summary

The present paper deals with formation and reclamation of tile-like crust-solonetz in semi-arid region of China.

Main characteristics of tile-like crust-solonetz are given as follows: 1. There are no plant except alkali tolerant plants on this soil. 2. On the surface of this soil, there are tile-like crusts of 1—2 cm in depth; and on the crust back, there are spongy structures. 3. Total salt content of the soil is not so high in all the profile, that of the surface soil is less than 0.5% and that of the subsoil is about 0.1%. Sodium carbonate and sodium bicarbonate are predominant in salt composition. The pH of the entire soil profile is above 9 and ESP is higher than 20%.

Soil survey and the modelling test in the laboratory has proved that there are two different ways by which the crust-solonetz is formed. Firstly, in the process of alternation of accumulation and desalination, the sodium ions enter the soil adsorptive complex in the salt-affected soil containing sodium salt. Secondly, the soil is alkalized with the accumulation of sodium-carbonate and bicarbonate in soil induced by the rising of the lowly mineralized ground water.

This soil should be improved with integrated measures. In the area where there is condition of irrigation and drainage, agricultural measures such as deep ploughing combined with the application of large amount of organic manure may be adopted. While in the area where the soil is more highly alkalized, chemical measures such as application of gypsum or phospho-gypsum should be adopted in addition to the agricultural measures.