

# 内蒙古黄河灌区土壤可溶盐中苏打的积累及改良利用問題

内蒙古水利厅勘测设计院土壤水文地质队

内蒙古黄河灌区(又称河套灌区)的位置介乎西部阿拉善荒漠与东部干草原地带之间,年降水量150—250毫米,年蒸发量1600—2000毫米,降水与蒸发量之比为1:8—1:10,为典型的荒漠草原气候。

灌区的灌溉历史以后套灌区为最长,距今已有200余年,前套民生灌区最短,至今不过4—5年。由于过去皆用大水漫灌,地下水位较未灌前抬高1米至数米不等,灌区地下水位年变幅在1米左右。

由于气候干旱,蒸发特大,灌溉不当,地下水位升高(平均1.0—1.5米),故土壤盐渍化甚烈,尤以三湖河灌区及后套灌区最甚,盐荒地土壤表层含盐量均在3%以上,重者达20—30%,化学组成以硫酸盐氯化物及氯化物类型居多;地下水矿化度亦高,平均含盐1—3克/升,潜水汇集区则达30克/升以上。伴随着可溶盐的大量积累,相应的形成了大量的苏打( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,下同)。本文就内蒙古黄河灌区土壤可溶盐中苏打的积累和改良利用問題試作初步討論。

## 一、苏打盐土的分布规律

苏打盐土在下列情况下最为常见:

(一) 山前冲积扇与泛滥平原之間交接洼地边缘 如三湖河灌区、中滩农垦附近即为例,在乌拉山冲积扇以下交接洼地两侧均见苏打盐土分布,地下水位1.0—2.0米(图1)。

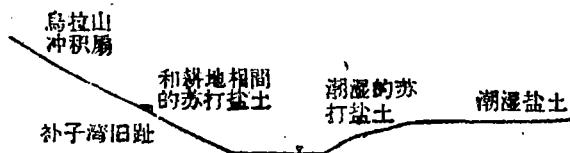


图1 苏打盐土分布地形示意图之一

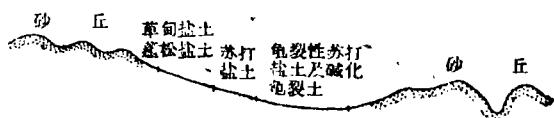


图2 苏打盐土分布地形示意图之二

(二) 渠道或河道两侧 这种情况于泛滥平原中较为普遍,如后套灌区沿乌加河及若干大干渠两侧,民生灌区沿黄河故道两侧均普遍可见。

(三) 砂丘間封闭洼地 后套灌区临河、五原一带,是砂丘围绕的封闭洼地,普遍可见苏打盐土乃至碱化土壤的分布,可溶盐中碳酸盐含量高达10毫克当量/100克土以上,地表寸草不生,成微显龟裂的光板地。达拉特后旗西五分子桥永济渠西沿公路两侧即为例(图2)。

(四) 在土壤进行沼泽过程及盐渍过程的同时形成苏打 这种情况尚不多见,乌镇海子边缘,沼泽盐土中苏打的积累可做代表。

(五) 成停滞状态的湖水、坑水或稻田灌水中亦常见苏打积累 此种情况几乎随处可见,水中碳酸盐含量均在3毫克当量/升以上,水稻常有死亡现象。

## 二、蘇打在剖面中的垂直分布及蘇打鹽土的形態

(一) 蘇打含量与土壤全盐量之间的关系 根据黄河灌区近百个剖面的分析資料統計，苏打积累区土壤表层苏打的含量与土壤可溶盐总量有着密切关联(表1)。

表1 土壤表层\*苏打含量与全盐量关系

CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 含量(毫克当量/100克土)	全盐量(%)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 含量(毫克当量/100克土)	全盐量(%)
0.1—0.5	0.5—1.0	5.0—10.0	2.0—3.5
0.5—1.0	0.5—1.5	10.0—20.0	3.0—5.0
1.0—5.0	1.0—2.5	>20.0	>5.0

\* 土壤表层系指0—20厘米范围内。

由此可见，土壤表层苏打含量和全盐量成正相关，可以推断，土壤可溶盐的累积乃是形成苏打的首要条件。

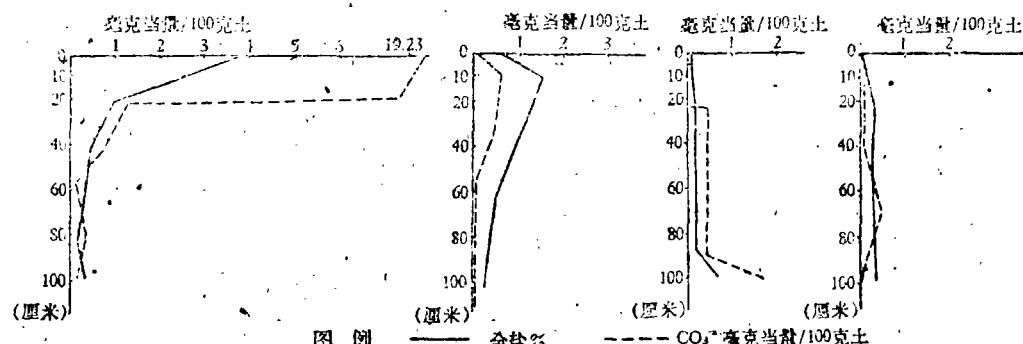
(二) 苏打在剖面內的垂直分布 苏打在土壤剖面中的垂直分布，通常表現为下面四种形态：

1. 一般情况下土壤可溶盐中游离碳酸盐大部聚集在表层(0—5厘米)内，随着土层的加深，苏打含量逐渐减少，在1.0米以下，基本无苏打积累現象(图3)。

2. 在結皮蓬松盐土或潮湿蓬松盐土分布地区，苏打含量与全盐量分布曲綫相一致，亦即在蓬松层中苏打含量均高于結皮及蓬松层以下的土层(图4)。

3. 土壤表层盐分受雨季降水冲洗或随冲洗水下移，游离苏打亦产生相应变化，表层10—20厘米内，游离苏打含量极微，而数十厘米以下突見增高(图5)。

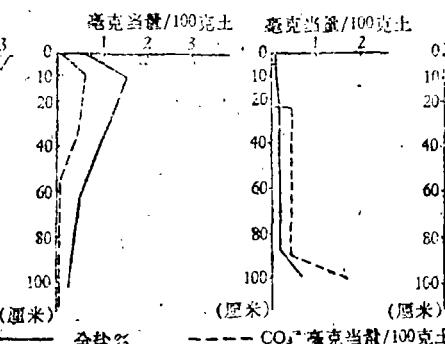
4. 由于河流泛滥或风砂侵袭，在苏打盐渍土(或盐土)的地表复盖了厚度不等的冲积物或风积物，苏打积累层被埋藏，这种土壤对作物幼苗期的生育尚无影响，但苗高1尺后逐渐受苏打的毒害，而对生育有所抑制(图6)。



图例

采集地点：内蒙古烏拉特前旗烏不浪苏木小足心南40°东500米

图3 一般土壤中苏打积累的变化



采集地点：内蒙古烏拉特中后联合旗四牛圪旦

图4 蓬松盐土或潮湿

盐土中苏打与全盐含量  
的分布情况

采集地点：内蒙古五原县里山堡村西北500米

图5 雨季及冲洗

后全盐与苏打含量  
的变化

图6 苏打积累

层被冲刷

(三) 苏打盐土的演化规律 苏打( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )为强碱与弱酸組成的盐类，水解后水溶液呈強碱性反应( $\text{pH} > 8.4$ )，鈉离子极易置换土壤胶体表面的鈣离子使成为鈉离子胶体，而显碱化象征，由于鈉离子的高度分散性能，以及鈉离子胶体具有強烈的湿胀干縮的特性，使土壤物理性質及耕作性能变劣。

内蒙古黄河灌区苏打盐土的演化可分为下列四个阶段：

1. 在前述位于小地形傾斜較明显的盐渍土及盐土中，首先有微量的苏打累积，土壤表层含盐量在0.5—1.0%左右，碳酸根含量在0.3毫克当量/100克土左右，地下水矿化度1.0—1.5克/升，水中一般无碳酸盐。由于土壤表层苏打含量尚少，对自然植被生长无显著抑制作用，故地表植被复盖度較大(>80%)，常見者有青碱草、蘆草、盐蒿等。

2. 較上述地形部位稍高处，由于水盐重新分配，土壤表层含盐量增至1.0—1.5%，而碳酸根含量亦增至1.0毫克当量/100克土以上，高者可达10.0毫克当量/100克土，自然植被由于受毒害而逐渐死亡，地表复被度30—50%，且有零星斑状光板地，光板地地表由于鈉离子的分散作用，粘粒下移，而殘留少量灰白色的二氧化硅粉末，土壤表层較紧实。

3. 当苏打累积至一定程度时，土壤物理性質变劣，自然植被几乎全部死亡，于是在上述同一地形部位上，可見大面积殘留枯黑色芨芨草丛的光板地，土壤表层碳酸根含量可达3.0毫克当量/100克土以上，高者达40.0毫克当量/100克土。土壤代換性鈉离子含量可占代換总量的30%左右，地表殘留大量灰白色二氧化硅粉末，結皮(或結壳)下部呈大量蜂窝状气孔，土壤表层由于鈉离子胶体的湿胀干縮而形成片状結構，亚表层可見大量紅棕色的粘粒填充。表层透水性很差，渗透系数为0.012—0.025米/昼夜。

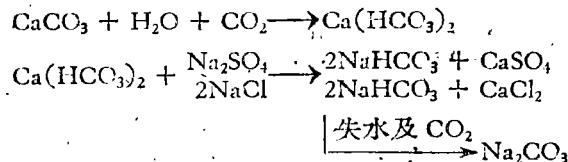
4. 苏打盐土进一步发展，便形成龟裂性苏打盐土及碱化龟裂土，地表成多边形棱角不明显的龟裂，結皮以下也有很多蜂窝状气孔及紅棕色粘粒填充現象，亚表层以下即为发育不很明显的稜柱状坚实层，亦見大量粘粒淀积。土壤表层碳酸根含量为5—10毫克当量/100克土，pH=9.0—9.5，表层透水性极差，渗透系数仅为0.006—0.0085米/昼夜。

由此可见，土壤可溶盐中苏打的累积乃是导致土壤碱化的先声。

### 三、蘇打形成因素的探討

关于土壤及地下水可溶盐中苏打的形成条件及累积过程，国内外均有很多研究資料，我国土壤学家熊毅先生認為土壤可溶盐中苏打的积累与当地生物气候特征有关；苏联荒漠土壤专家A. H. 罗贊諾夫認為在草甸土地区苏打的形成与生物化学过程有关；苏联盐土专家B. A. 柯夫达認為地下水中苏打的形成与火成岩地区弱矿质化地下水中硅酸鈉的水解有关，在有石油储油构造的地区，土壤中苏打的形成与石油地层中还原化合物甲烷、硫化氢等与土壤可溶盐中硫酸盐类的相互作用有关。由此可见，苏打积累的途径是綜合而多样的。我們認為内蒙古黄河灌区土壤可溶盐中苏打的累积，主要通过下列途径：

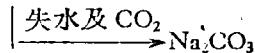
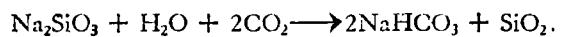
1. 在表层土壤水分状况和侧渗較好的条件时，可溶盐中苏打的累积經過两个阶段，首先由于表层水分盐分得到渠水、河水或洼地积水不断补給，加之强烈蒸发使土壤迅速盐渍化，再进一步发展，游离碳酸盐在土壤水分补給頻繁的条件下，部分变为重碳酸盐，重碳酸盐与土壤可溶性鈉盐結合，形成苏打及吸湿性氯化鈣、氯化镁。



因此在上述地区均可見到苏打的累积，同时可見含吸湿性盐类的潮湿盐土分布。在干旱地区土壤中游离碳酸钙較为丰富(10—15%)，以及可溶盐大量累积的情况下，这种化合的方式是可能的。

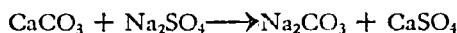
2. 在大青山、烏拉山、狼山洪积冲积扇下的交接洼地，土壤可溶盐中苏打的积累似与地下水質有极大的关系，这些地区地下水矿化度不高(平均0.3—0.4克/升)，但均含有0.2—0.3毫克当量/升的碳酸根，由于毛管作用，土壤表层也普遍有0.15—0.4毫克当量/100克土的碳酸根。交接洼地地

下水补給來源绝大部分为山区的地下潛流，大青山、狼山大部为花崗片麻岩，大青山东段更有火成玄武岩分布，其中富含鋁硅酸盐，地下水水流經上述地区溶解了部分硅酸盐，硅酸盐水解而产生碳酸鈉游离二氧化硅胶体。



3. 封閉洼地的积水或久不換水的稻田灌水，溶解有大量可溶盐，由于水面直接受阳光照射，蒸發浓缩，矿化度很高（均在3克/升以上），在积水与空气接触的水面溶解了大量空气中的二氧化碳，进一步与水中鈉盐直接化合生成苏打。

4. 在以氯化物硫酸盐类及硫酸盐类为主的盐土地区（如蓬松盐土分布地区），由于硫酸盐的存在，相应地增高了土壤中碳酸鈣的溶解度，产生苏打及石膏。



但是碳酸鈣溶解度究属有限，因此依这种途径形成苏打的量可能很少。

5. 沼泽地区的生物化学作用，按照罗費諾夫的意見，在有大量有机質及密閉的嫌气环境下（强烈的沼泽过程符合于这个条件），土壤中硫酸盐被硫化还原細菌还原成为不稳定的硫化鈉，在二氧化碳及水的参与下形成苏打。后套灌区狼山下烏鎮海子边缘沼泽土中苏打的积累，可能与这个过程有关。大黑河灌区底土（地表10—20米以下）由于深厚湖相母質的存在与产生苏打的同时，污染了深层承压地下水及表层潛水（水中游离 $\text{CO}_3^2-$ 占阴离子总量10—15—30%），亦使土壤表层积累可溶性碳酸盐。

以上各种途径中以前三者为主，后二者局部存在。

#### 四、蘇打鹽土的改良利用

苏打水解后水溶液为强碱性反应（pH 8.2—9.5），对植物的生理机能及細胞組織有強烈的破坏作用，因此即使在含量极少的情况下，对作物生长，特別在抗盐作用极弱的幼苗期，有显著的抑制作用。根据資料：碳酸根絕對含量在0.15毫克当量/100克土时即开始对作物生长有毒害作用，而 $>2.0$ 毫克当量/100克土时，则一般作物受毒害致死。而内蒙古黄河灌区土壤可溶盐中苏打累积一般均 $>2.0$ 毫克当量/100克土，最高甚至可达20毫克当量/100克土以上，因此如何采取一系列改良措施以杜絕苏打产生的危害，成为当地农业生产上的一个課題。下面根据羣众对苏打盐土的改良利用經驗以及我們不成熟的意見試作討論于下：

1. 在土壤含盐及含苏打較少的情况下（全盐量 $<0.3\%$ ，碳酸根 $<0.5$ 毫克当量/100克土），羣众一般以客土法改良，在砂源比較丰富地区，在地表鋪2—3寸厚的砂土，无砂源的地区則垫以好土，种子播于其上，待苗高后随着抗盐力的增强，即使根系接触含苏打的土层也不致被毒害而死。例如前套灌区土默特旗双龙乡张子淖北面有一块地，土壤表层含盐量0.25—0.3%，碳酸根含量0.3—0.5毫克当量/100克土，改良前种子出苗率很低，且幼苗生长脆弱，鋪了3寸多砂后，30厘米内平均全盐量为0.19%，碳酸根为0.06毫克当量/100克土，作物生长很好。

2. 用熏烧法改良“白殼斑” 白殼土即龟裂苏打盐土或碱化龟裂土，土质粘重，耕性不良，而且由于土壤可溶盐中含有大量苏打，导致土壤透水性能极差，对作物有強烈毒害作用。后套地区羣众改良“白殼斑”普遍用熏烧法，春秋季节于碱斑地地表鋪2—3寸厚麦草，以小火焚烧2—3次，即可种植作物。我們曾于杭錦后旗班禪乡用此法試驗，并将烧熏前后的土样及草灰、烟水（即熏烧时冒出的浓烟用細口瓶收集并以蒸馏水溶解）等作分析化驗（表2）。据野外觀察：被熏烧后土壤表层不象熏前坚硬，但影响深度仅及10厘米。

（下轉第23頁）

表1 不同土地等級的土壤中养分含量比較

土地等級	代表土壤	采集地点	采集深度 (厘米)	有机质 (%)	全氮 (%)	速效性养分(毫克/100克土)		
						水解性氮	磷	鉀
一等地	黑土	京郊沙河西二村	0—13	1.65	0.0913	4.59	5.55	6.8
			13—30	1.46	0.0694	4.48	4.60	3.6
			30—50	—	0.0582	2.81	4.90	3.2
二等地	黑壤土	京郊馬連店村西	0—10	1.70	0.0757	2.58	4.35	7.6
			10—20	1.59	0.0702	4.67	4.32	5.2
			20—30	1.21	0.0690	3.83	4.45	2.8
三等地	黄土	京郊平西府村西	0—10	1.44	0.0702	3.53	5.75	3.8
			10—20	1.16	0.0641	3.96	4.35	6.8
			20—30	1.16	0.0590	3.47	2.35	7.2
四等地	白沙土	京郊小沙河	0—10	0.99	0.0510	7.00	2.85	10.4
			10—23	—	0.0495	2.86	2.85	5.6
			23—50	0.63	0.0485	6.86	2.65	5.6

农民对土地的分等，还是改良土壤和提高土壤肥力的根据，不同等級的土壤改良措施就不尽相同。比如当地农民認為二等地多施肥，解决水利問題，是提高土壤肥力获得作物丰产的中心問題。而四等地，不仅

需多施肥，发展灌溉，而且还須进行工程措施，平整土地、客土、翻沙压淤、翻淤压沙等。因此，农民对土地分等的經驗，不仅具有实践的意义，而且还有一定的科学意义，应引起土壤工作者的重視。

上接第12頁

表2 烟水及草灰化学成分

項目	pH	$\text{CO}_3^{2-}$ (毫克/升)	$\text{HCO}_3^{-}$ (毫克/升)	$\text{SO}_4^{2-}$ (毫克/升)	$\text{NO}_3^-$ (毫克/升)	$\text{K}_2\text{O}(\%)$	$\text{SiO}_2(\%)$	$\text{CaO}(\%)$
烟水	0.5	0.00	1.83	0.00	0.36	—	—	—
草灰	—	—	—	—	—	2.11	62.95	3.03

由于熏烧时限于在地表进行，故浓烈的含有微量亚硝酸盐呈微酸性的熏烟大部逃逸，对中和土壤的強碱性反应( $\text{pH } 9.0\text{--}9.5$ )作用不大，相反由于草灰中含有部分易溶性鉀及鈣盐，使土壤可溶盐中碳酸盐有所增加。但是熏烧后土壤表层物理性及透水性有改善，这給冲洗改良創造有利条件。

3. 冲洗改良 我們曾于三湖河灌区利用天然降水作苏打盐土的脱盐率試驗，結果證明：土壤可溶盐阴离子中碳酸根被淋洗得最为迅速，一次降水量为38.6毫米的情况下(如不計徑流損失，则相当于每公頃加入386立方米的淡水)，土壤表层脱盐率为30—50%，其中碳酸根不論冲洗前絕對值多少，90—100%被冲洗。由此可見，在有完善的排水設施的情况下采用适宜定額冲洗，苏打盐土可以通过冲前耕翻、耕后冲洗的途径来改良。

4. 种植水稻改良苏打盐土 种植水稻是盐土改良的好方向，可达到改良与利用同时收效的目的，苏打盐土地区亦不例外。后套灌区杭錦后旗，在苏打盐土地区种了两年水稻，土壤表层含盐量由原来的3%左右降为0.8%，其中碳酸根(0.6—1.0毫克当量/100克土)全部洗去，水稻生长很好。所以，在稻田勤换水，有充分排水条件下，种植水稻是改良苏打盐土的良好途径。

5. 龟裂土綜合改良措施 宁夏回族自治区平罗县前进农場“白疆土”改良試驗站对改良利用龟裂土有一套成功的綜合治理經驗，可供内蒙古地区参考。将“白疆土”耕翻12—15厘米，每市施用4000斤厩肥，1000斤青草，800斤石膏，50斤骨粉，水稻生长期內施血粉肥、猪粪、硫酸銨、过磷酸石灰等7次，除草3次，每2—3日換水一次，結果水稻生长良好，产量达到650斤/亩。

因此进行水利土壤改良时，必須对耕作措施及有机肥、酸性化肥的施用予以充分的重視，才能使苏打盐土及碱化土壤的利用改良收到良好的效果。