

# 内蒙古河套灌区碱化土壤的 发生原因和特性

桑 以 琳

(内蒙古农牧学院水利工程系,呼和浩特 010018)

## 摘 要

本文简述了内蒙古河套灌区自然概况,盐渍化演变过程和碱化土壤的改良现状。着重揭示灌区内碱化土壤的发生原因、类型、性质和特点。该地区碱化土壤发生原因:

1. 灌区内最严重的碱化土壤大部分因地下水含大量残余碳酸钠,在干旱气候条件下经强烈蒸发而成。主要特点是通体碱化度高,改良难度大。
2. 地下水和地表水中的钠离子,受各种因素影响在土体中富集并进入土壤吸收性复合体而使土壤碱化。这部分碱化土壤一般表层碱化度较高,而且碱化、盐化特点同时存在。
3. 局部低洼地,因生物作用使土壤碱化。

**关键词** 内蒙古河套灌区,碱化土壤,发生原因,类型,性质,特点。

## 1 河套灌区概况

内蒙古自治区河套灌区处于北纬  $40^{\circ}12'$ — $41^{\circ}21'$ ,东经  $106^{\circ}10'$ — $109^{\circ}30'$ ;南临黄河,北抵阴山,西与乌兰布和沙漠相接,东至包头市,总面积 119 万公顷。海拔高程 1007—1050m。

河套平原地处荒漠草原地带,年降水量 120—215mm,且集中在 7—8 月间。年蒸发量达 2200—2400mm,蒸降比在 10 以上。空气干燥度 2.39—3.39,湿润度 0.1—0.3。年平均风速  $9.6\text{m/s}$ ,全年风沙日 47—105 天。属典型的大陆性气候,是无灌溉便无农业的地方。

该平原地质构造属内陆(封闭)断陷盆地,深层母质为含盐量很高的湖相沉积物,表层有 18—120m 厚度不等的黄河冲积物。土壤类型有灌淤土、潮土、草甸土、沼泽土、盐碱土、风沙土等<sup>[5]</sup>。这里地势平坦,自西南向东北微度倾斜,但坡降很小,因此地上、地下径流条件极差。地下含水层厚度 20—40m,潜水埋深较浅,每年开灌前(5月10日之前)为 1.5—2.5m,开灌后(5月10日之后)迅速上升至 0.5—1.5m,个别低洼地出露地表。此外,平原内还分布着两条隆起带和四条拗陷带,使地下水水质碱淡交错而复杂。地下水水化学类型主要有  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ — $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 型,  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ — $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 型和  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ — $\text{Na}^+$ 、

$Mg^{2+}$ 等类型。地下水动态特征受灌溉、降水、冻结、消融及蒸发影响,属灌溉(降水)入渗-蒸发型和侧渗、浸润-蒸发型。

由于受上述气候、地形和水文地质等条件的影响,在兴建大规模灌区之前,当地土壤已具有严重的盐碱化。随着水利事业不断发展,60年代初每年秋,灌水量由2—5亿 $m^3$ 剧增到14—16亿 $m^3$ 。尤其是灌区建立之后,由于灌排工程不配套,加之重灌轻排、大水漫灌和盲目种稻等原因,使地下水位迅猛上升并超过临界水位,结果是加剧土壤的盐碱化。此后经水利等部门积极治理,情况逐步好转。现有耕地53.2万公顷(包括林牧地)和盐碱荒地45.8万公顷。在53.2万公顷耕地中,非盐化土壤23.7万公顷(指0—20cm土层含盐量 $<2.0g/kg$ 土),占耕地面积45%左右,轻度盐化土(含盐量 $2.0—4.0g/kg$ 土)12.6万公顷,占耕地面积的24.0%,其余的耕地属中、重度盐化土或碱化土。在45.8万公顷待开发的荒地中,有20.0—26.0万公顷,属于不同程度的碱化土壤,这些碱荒地主要位于灌区的下游和集水洼地的周围。其特点是盐化、碱化共存,改良难度很大。

## 2 灌区碱化土壤发生的原因、类型和性质

河套灌区碱化土壤主要包括碱化盐土、苏打碱化盐土、碱化草甸土、盐化碱化草甸土、碱化沼泽土等类型<sup>[2]</sup>。其发生原因是多途径的。

**2.1 浅层地下水矿化度较高,在 $1.8g/L$ 以上,并含有大量的残余碳酸钠,在气候干旱、蒸降比大的条件下,经过强烈蒸发促使土壤盐化和碱化过程同时发生<sup>[1,4]</sup>。**由此而生成的碱化土壤通体的碱化度都很高(从地表到地下水位),土体紧实坚硬,地表寸草不生。灌区建立以来一直未开发过,从而使其愈演愈烈,成为平原内历史最长、程度最严重的碱荒地。这部分碱化土壤在分类上属于苏打碱化盐土,其原始土壤化学性质,养份状况和物理性质见表1—3。

**2.2 浅层地下水含中性钠盐,且矿化度较高,在灌区地下水位频繁升降过程中, $Na^+$ 被富集,并随毛管水运动而与土壤吸收性复合体的 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 进行交换反应,使土壤发生碱化。**

灌区每年要引40—50亿 $m^3$ 的黄河水进行灌溉,在总排干未疏通、农田未配套的情况下,这些盐碱荒地常起到水盐排泄区的作用。特别是近二十年来,黄河水受到上游青铜峡灌区稻田排水和兰州等城市的污染,水质逐年恶化,主要表现在矿化度和钠化率升高。尽管如此,黄河仍属优质水,但水中的 $HCO_3^-$ 占阴离子的50%左右,可溶性 $Ca^{2+}$ 主要以 $Ca(HCO_3)_2$ 和 $CaCl_2$ 形式存在。灌溉以后,当地土壤明显偏碱性(好的耕地 $pH > 7.5$ ),在此条件下,使碳酸氢钙经过冻融交错、蒸发浓缩后变成碳酸钙沉淀。而钠盐溶解度高,在土体中反复运移后,随排水或侧渗迁移到周围荒地中,并使钠离子在荒地中富集,结果使钠化率上升到90—99%,在此钠钙比很高的条件下, $Na^+$ 便可与土壤吸收性复合体中的 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 进行交换反应,使土壤碱化度进一步升高,而交换产物中的 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 则沉淀下来。以上过程经过年复一年的作用,使灌区碱化土壤的比例逐年增高,这一点以往没有引起人们的注意,在地下水含中性钠盐的碱荒地上进行8年的定点观测和分析,证实了上述结果。

表 1 苏打碱化盐土的化学性质和养分状况

Table 1 The chemical properties and fertilizer position of the sodi alkalinized solonchak

取土深度 Depth of soil sampling (cm)	pH	全盐含量 Total salt (g/kg)	离子含量 Ionic component (cmol/kg)					碱化度 RSP (%)	可溶性 钠离子 百分数 SSP (%)	残余 碳酸钠 RSC (cmol /kg 土)	有机质 O.M. (g/kg)	速效养分 Rapidly available (mg/kg)				
			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>2+</sup>					Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	N	P	K
0—2	10.30	4.8	0.58	3.93	1.00	0.33	0.05	0.05	0.05	66.00	96.90	4.41	2.40	3.0	2.5	64.0
2—10	10.10	19.9	2.69	11.00	3.35	3.20	0.10	0.05	0.10	73.00	98.50	13.54	4.00	6.6	4.5	66.0
10—20	10.60	6.4	0.76	3.43	2.98	0.78	0.05	0.05	0.05	69.00	97.40	4.09	3.60	6.0	5.0	69.0
20—50	10.10	5.7	0.79	3.95	1.16	0.55	0.15	0.15	0.15	63.00	91.70	4.44	3.00	6.0	4.8	80.0
50—100	10.10	4.5	0.58	3.49	0.51	1.50	0.10	0.15	0.10	60.20	93.30	3.82	3.00	4.6	3.7	44.0
100 以下	9.00	2.9	0.50	2.00	0.60	0.25	0.10	0.20	0.10	55.00	85.00	2.20	2.90	4.6	5.0	90.0

表 2 苏打碱化盐土的物理性质<sup>1)</sup>

Table 2 The physical properties of the sodi alkalinized solonchak

取土 深度 Depth of soil sampling (cm)	含水量 Moisture content (%)	容重 Volume weight (g/cm <sup>3</sup> )		比重 Specific weight (g/cm <sup>3</sup> )	流限 liquid limit (%)	塑限 Plas- tic limit (%)	塑性 指数 Plas- tic index (%)	土粒组成(粒径) soil content(mm)				质地 Tex- ture	渗透系数 Coeffi- cient of permea- bility (cm/s)	毛管水 上升 高度 Capil- lary height (cm)	
		湿 Moist	干 Dry					砂粒 Sand >0.05	粉粒 Silty sand 0.05— 0.005	粘粒 Clay <0.005	粘粒 Clay <0.002				粘粒 Clay <0.002
0—7	5.90	1.44	1.39	2.73	23.4	15.2	8.2	69.2	10.8	20.0	0.00	粉壤土	1.4 × 10 <sup>-4</sup>	14.5	
7—30	6.50	1.49	1.40	2.73	28.0	18.4	18.4	58.7	34.0	7.3	0.00	砂壤土	1.9 × 10 <sup>-4</sup>		
30—35	27.4	1.77	1.39	2.73	30.8	21.0	21.0	43.5	4.7	49.8	0.00	粘土	1.5 × 10 <sup>-7</sup>		
35—50	30.6	1.85	1.42	2.78	44.1	24.4	24.2	22.0	5.0	73.0	0.00	重粘土	3.6 × 10 <sup>-7</sup>		

1) 表 2 数据是取原状土柱分析的结果。

表 3 苏打碱化盐土的土壤含水量与土壤水吸力关系

Table 3 The Relationship between soil moisture content and soil moisture suction in the sodi alkalinized solonchak

土壤水吸力 Soil moisture suction(kPa)		1.5	3.0	6.0	10.0	30.0	60.0	100.0	300.0	600.0	1500.0
土壤含水量	0—30cm (壤土: Loam)	31.40	30.16	28.86	27.79	23.43	17.77	14.65	10.18	7.94	5.88
(%)	30—60cm (粘土: Clay)	33.94	33.65	33.49	33.26	32.97	32.2	31.75	29.35	27.45	23.19

表 4 碱化盐土的化学、物理性质和养分状况

Table 4 The chemical and physical properties and nutrients of the abandoned alkalinized saline soil

取土深度 Depth of soil sampling	全盐 含量 Total salt (g/kg)	离子含量(cmol/kg)						可溶性 钠离子 百分数 SSP (%)	有机质 O.M. (g/kg)	速效养分 Rapidly available (mg/kg)	容重 Oluene weight (g/cm <sup>3</sup> )	质地 Texture	渗透系数 Osmotic coeff. icient (cm/s)				
		Ionic component												N	P	K	
		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>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>										Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>
0—2	27.1	1.40	13.20	21.3	3.75	0.05	0.10	44.50	38.00	99.30	4.20	6.6	4.0	90.0	1.30	粉壤土	1.6 × 10 <sup>-4</sup>
2—10	6.9	0.54	3.30	5.30	0.75	0.05	0.08	10.85	46.60	97.70	4.00	12.0	6.3	66.0	1.36	壤粘土	3.9 × 10 <sup>-4</sup>
10—20	3.3	0.30	1.50	1.80	0.38	0.05	0.08	4.40	28.20	94.60	3.60	15.0	7.3	13.0	1.39	砂壤土	3.6 × 10 <sup>-4</sup>
20—50	2.8	0.10	1.20	1.50	0.45	0.15	0.10	3.30	17.30	86.80	3.00	11.4	6.0	48.0	1.40	粘壤土	3.3 × 10 <sup>-5</sup>
50—100	4.2	0.00	1.45	2.80	1.00	0.20	0.40	5.05	13.60	80.80	3.00	6.3	5.6	60.0	1.29	粘土	3.3 × 10 <sup>-5</sup>
100 以下	0.7	0.00	1.30	1.00	0.75	0.18	0.32	2.80	15.30	73.90	2.90	4.8	6.4	27.0	1.40	粉壤土	3.2 × 10 <sup>-4</sup>

这部分碱化土壤多属于碱化盐土,主要位于灌区下游和耕地的周围。特点是土体表层的碱化度高,治理起来比较容易。其土壤化学性质、物理性质和养分状况见表 4。

**2.3** 河套平原历史上属于人少地多的地区。部分农田因耕作粗放而积盐积碱,逐步变成低产田和弃耕地。这部分碱化土壤位于低平地带,地下水位浅(0.5—1.0m),矿化度较高(1.0—3.0g/L),盐份类型以中性钠盐为主,部分含少量苏打,土体在积盐过程中,Na<sup>+</sup>进入胶体复合体,使土壤碱化。上述弃耕地一般发育为盐化碱化草甸土和碱化盐化草甸土,但是剖面中没有明显的积盐层,含盐量和碱化度自地表向下递减,0—20cm 土层盐份含量 5.0—10.0g/kg,少部分超过 10.0g/kg。盐分组成复杂,氯化物、硫酸盐和碳酸盐各占一定的比例。pH 值 8.2—9.3 之间。碱化度 9.1—36.0%。质地以粉砂壤土为主(当地农民称沫儿土)。地表覆盖度高,一般都超过 30%,目前多数作为天然牧场。

**2.4** 局部洼地和乌梁素海周围,因地下水位高、土体内富含有机质和硫酸钠,经生物作用转化为碳酸钠,使土壤碱化。根据剖面观测,有机质层在 1.5m 以下,有机质含量 20.0—66.0g/kg,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 占阴离子的 40.0%以上。残余碳酸钠 4.0—12.0cmol/kg。pH 值 9.5—10.8。碱化度在 30.0%以上。这部分碱化土壤属于碱化沼泽土,但剖面中没有泥碳层,只有大量黑色腐泥和明显的 H<sub>2</sub>S 气味。

### 3 灌区碱化土壤特点

**3.1** 河套平原地形的一大特点是大平小不平,历史上因黄河多次泛滥、改道、冲刷和淤积,形成以岗地、坡地和洼地为组合形式的中小地貌。碱化土壤分布在含苏打的潜水位带,主要分布在小地形的洼地及其周围,部分苏打碱化盐土以斑状与耕地插花分布,农民称做“碱钉子”。大部分碱化盐土与盐化土成复域连片分布,农民称做“白僵滩”。这些撩荒的碱化土壤春季地表有薄层不等的盐结皮,多数为不毛之地,个别地方长些碱蓬、碱蒿和剪刀股。

**3.2** 化学性质为盐化碱化同时存在,其特点为三高:(1)含盐量高,0—20cm 土层中,苏打碱化盐土 0—20cm 含盐量为 4.8—19.9g/kg(表 1);碱化盐土 0—20cm 含盐量为 3.3—27.1g/kg(表 4),而且表聚性很强。离子组成中阳离子以 Na<sup>+</sup>为主,阴离子比较复杂,其中 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>+HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 占 26%—66%,Cl<sup>-</sup>和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 各占一定比例。盐份组成中大部分含有苏打。此外,碱化盐土虽然碱化度很高,但表观上碱化特征不明显,只有通过水利冲洗脱盐落干后,地表龟裂碱化特征加强。(2)pH 值高,均在 9.0 以上。(3)最为突出的是碱化度高,碱荒地的碱化度都在 30.0%以上,部分达到 45.0—60.0%,个别可达 80.0—90.0%。其中粉砂壤土和粘壤土的代换量为 7.2—9.3cmol/kg,代换性钠 0.9—4.6cmol/kg。砂粘土和粘土代换量为 9.4—16.0cmol/kg,代换性 Na<sup>+</sup>为 4.6—9.3cmol/kg。土体有机质含量在 5.0—10.0g/kg 之间。其它有效养份也很缺乏(除 K<sup>+</sup>以外)。

**3.3** 灌区内撩荒的碱化土壤物理性状也很差。土体紧实,水力传导性弱,容重在 1.30g/cm<sup>3</sup> 以上,渗透系数 1.4×10<sup>-4</sup>cm/s 以下(表 2)。表层 0—30cm 壤质土含水量随土壤吸力的增加有较明显的减少(表 3)。而 30—60cm 的粘质土由于本身持水性强加上碱化的影响,其含水量随土壤水吸力增加变化很小。碱化土壤的质地以粉砂壤土和粘壤

土为主, 少部分为砂粘土和粘土。

此外, 不良的物理性质不仅表现在农业生产上, 也表现在工程上, 尤其是碱化土壤地带排水渠系塌坡现象极为严重。

3.4 灌区内各种碱化土壤的剖面内, 未发现碱化构造层, 也没有明显的发生学层次, 只有不同质地黄河冲积物的沉积层次<sup>[3]</sup>。

## 4 灌区碱荒地的改良

综上所述, 河套灌区在北方干旱地区, 虽然有得天独厚的灌溉条件, 但是盐碱化问题仍然是制约当地农牧业生产进一步发展的重要因子。特别是严重的碱化土壤, 靠单一措施治理效果很慢。因此, 长期以来这些碱化土一直被认为在现今社会经济条件下对其改造得不偿失, 而被划在治理规划之外。

进入 90 年代以后, 引进世界银行贷款, 不仅加宽和疏浚总排干, 健全了渠首、渠尾工程, 还进行了大面积农田工程配套, 使排水条件得到明显改善。与此同时, 1992 年有两座磷—铵厂在自治区的东、西部建成, 为灌区碱化土壤治理提供了改良剂(磷石膏)来源。为此我们在不同程度的碱荒地进行了多方案的综合治理试验, 结果证明水利土壤改良与化学、生物、农业等相结合的综合配套技术治理效果最佳, 具有效益明显、成本低和效率高的特点, 并且可在短时间内收到一定经济效益。所以, 很快被基层领导和广大农民所接受, 现已进行大面积的推广应用。

## 参 考 文 献

1. 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卷第1期, 35—41页。
2. 祝寿泉、王遵亲, 1987: 关于盐土和碱土分类问题。中国盐渍土分类分级文集, 1—11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卷第1期, 24—37页。
4. B.A. 柯夫达(席承藩译), 1957: 盐碱土的发生演变。93—131页, 科学出版社。
5. 内蒙古自治区土壤普查办公室、内蒙古自治区土壤肥料工作站, 1994: 内蒙古土壤。477—488页, 科学出版社。

## FORMATION PROPERTIES AND CHARACTERISTICS OF ALKALIZED SOIL IN THE HETAO IRRIGATION DISTRICT OF NEI MONGOL

Sang Yilin

*(Hydraulic Engineering Department of Inner Mongolia College of Agriculture and Animal Husbandry, 010018)*

### Summary

This paper briefly introduces the nature conditions, salinization and current amelioration situation of alkalized soils in the Hetao irrigation district, Nei Mongol. Formation, properties and characteristics of the alkalized soil in the district are revealed in the paper. Formation of alkalized soils in the district are summarized as follows:

1. Most of the seriously alkalized soils in the district were formed due to large quantity of residual sodium carbonate and intense evaporation of ground water under arid climatic conditions, being characterized by high degree of alkalization of whole soil profile.

2. Sodium ions contained in ground and surface water were concentrated by absorbing complexes in the soils under the influences of various factors. The soil surface are commonly found with a high degree of alkalization.

3. Some low-lying land soils were alkalized as a result of biological actions.

**Key words** The Hetao irrigation district of Nei Mongol, Soil, Alkalization, Formation, Characteristics