

深层碱性水的化学性质及其对土壤的影响

白 瑛 凌礼章

(北京农业大学) (北京农机学院)

河北省东部及东南地区沿老漳河、子牙河、永定河、蓟运河中下游以及南运河两侧低洼盐碱地区,多属现代河流及古河道分割形成的各种洼地、缓岗及平缓坡地。地下水位埋深除岗地在2—4米外,一般都在1—2米或0.5—1.0米之间。浅层地下水矿化度高,多在2.5克/升以上,高者达10—20克/升。100米以内的浅层地下水都属咸水。本地区年降水量400—500毫米,60—70%多集中在7,8,9三个月,雨量分配很不均匀,常常春旱秋涝。年蒸发量高达1,800—2,000毫米,是年降水量的4—5倍。因此,旱、涝、碱、咸四害成为影响本地区粮棉生产的中心问题。由于地面水源不足,浅层咸水又不宜用来灌溉,因而开发利用深层地下水资源,就成为发展农业生产的主要条件之一。但是,其中有相当一部分地区的深层地下水(主要在250—420米深的第III含水组和350—580米深的第IV含水组)矿化度小于1.0—1.5克/升,水中含有较多的苏打(NaHCO_3 和 Na_2CO_3),pH值在8.0以上,有的高达8.8,属于碱性水,水质很差。据群众反映:用这种水来浇灌农田,会使土壤逐渐板结碱化,肥力遭到破坏,作物长势越来越差,两三年之内产量显著下降。有些农民宁可让庄稼旱着,也不用这种水来浇地。经初步调查,有这种碱性水分布的地方,包括唐山南部、廊坊、天津市郊、沧州及衡水、邢台、邯郸的东部等十几个县。为了查明这一地区碱性水对土壤和作物产生不良影响的原因,以便采取措施加以防止,我们于1978—1979年间对深层碱性水的化学性质及其对土壤理化性质的影响作了一些研究,取得了初步结果,现整理如下。

一、深层碱性水的化学性质

(一) 评价灌溉水质的指标

灌溉水质的评价既要考虑到引起盐害的盐度(矿化度),又要考虑到引起土壤碱化的碱害指标。目前国际^[1-7]上常用的灌溉水质碱害的指标除易溶性钠百分率

$$\left(\text{SSP} = \frac{\text{Na}^+}{\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}} \times 100 \right)$$

和碱量百分率

$$\left(\text{AP} = \frac{\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-}{\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{--}} \times 100 \right)$$

以外,还有以下几种:

1. 残余碳酸钠 (RSC): 1950年 Eaton 提出了残余碳酸钠的概念,意指灌溉水中 $\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$ 之和大于 $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ 之和时,由于蒸发, CaCO_3 、 MgCO_3 沉淀后可能

残留的 NaCO_3 和 NaHCO_3 。其计算方法是:

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) \text{ (毫克当量/升)}$$

根据水中残余碳酸钠的含量,将灌溉水分为三级: $\text{RSC} > 2.5$ 毫克当量/升为不宜灌溉水; $\text{RSC} \approx 1.25-2.5$ 毫克当量/升为不宜经常灌溉水; $\text{RSC} < 1.25$ 毫克当量/升为可用灌溉水。

2. 一价与二价阳离子的比值 (SDR): 是指灌溉水中 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 与 $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ 的毫克当量比值,由于 K^+ 的含量通常较低,可忽略不计,因此,

$$\text{SDR} = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}$$

式中离子是以毫克当量/升表示的。SDR 值与土壤碱化有极密切的关系,当 $\text{SDR} \geq 4.0$ 时,土壤碱化度 $\geq 15\%$; $\text{SDR} > 2.5$ 时,土壤碱化度达 $10-15\%$; $\text{SDR} = 1.0-1.5$ 时,为理想值,一般不易引起碱化。

3. 钠吸附比 (SAR): 是最通用的灌溉水质分级指标。其计算方法:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2}}$$

式中离子浓度是用毫克当量/升表示。若已知可溶性钠百分率 (SSP), 则 SAR 也可按如下公式计算:

$$\text{SAR} = \sqrt{\text{Na}^+} \sqrt{\frac{2\text{Na}\%}{100 - \text{Na}\%}}$$

美国加州水源检查部 1976 年所推荐的灌溉水质分类标准如下:

当 $\text{SAR} < 10$, 为低钠水 (S_1), 可用于灌溉; $\text{SAR} = 10-18$, 为中钠水 (S_2), 可灌溉含有石膏和透水性好的土壤; $\text{SAR} = 18-26$, 为高钠水 (S_3), 对土壤产生明显的钠害; $\text{SAR} > 26$, 为极高钠水 (S_4), 不能用于灌溉。

表 1 河北省东部及东南部地区深层碱性水水质情况

Table 1 The quality of deep alkaline phreatic water in the east and southeast of Hopei province

取水井位 Locality	井深 (m) Well depth	pH	钠(碱)危害指标 Standard of water quality for alkalosis					矿化度 Mineralization degree		水质分类 Grade of water quality	碱性水井占被 调查总井数的 % of alkaline wells in total wells tested
			SSP	RSC	SDR	SAR	AP	g/l	$\text{EC} \times 10^4$ 25°C		
天津静海县 西翟公社巨家庄	350	8.0	95.3	6.7	20.2	22.7	54.3	0.88	1100	S_4	90.5
沧州南皮县 马营公社木庄	—	8.0	82.5	4.9	4.5	9.0	64.9	0.76	860	S_2	—
衡水景县 朱河公社朱河村	303	—	90.8	3.6	9.9	14.7	39.3	0.85	990	S_1	89
邢台临西县 单屯公社常屯大队	410	8.4	93.0	8.3	13.2	17.0	76.8	0.93	980	S_3	50
邯郸邱县南辛店 公社后槐树村	461	8.1	89.0	5.0	8.1	11.2	67.6	0.67	740	S_2	100

注: $\text{EC} \times 10^4$ 25°C: 在 25°C 下的电导率(微姆欧/厘米)。

表 2 临 西 县 深 井 碱 性 水 的 离 子 组 成 和 钠 害 指 标

Table 2 Ionic composition of deep alkaline phreatic water and its quality standard for alkalosis in Linxi county

取 样 地 点 Sampling locality	取 样 日 期 Sampling date	井 深 (m) Well depth	离 子 组 成 (单 位 meq meq ⁻¹) Ionic composition							矿 化 度 Mineraliza- tion degree g/l	SSP	SAR	SDR	RSC pH	EC×10 ⁴ 25°C	水 质 分 类 Grade of water quality	
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ K ⁺								
东 留 善 固	1978 年 4 月 10 日	360	0.41 3.9	6.10 57.8	2.00 18.9	2.04 19.3	0.56 5.3	0.80 7.6	9.19 87.1	0.79	87.0	11.0	6.8	5.2	8.31	850	S ₁
	5 月 23 日		0.29 2.80	6.20 59.8	2.00 19.3	1.88 18.1	0.36 3.5	0.80 7.8	9.21 88.8	88.9	12.1	7.9	6.3	8.28	840		
北 镇	4 月 10 日	450	0.91 7.57	6.80 63.6	1.60 15.0	1.48 13.8	0.24 2.29	0.6 5.6	9.85 92.1	0.81	92.0	15.1	11.7	5.8	8.38	880	S ₁
	5 月 23 日		0.29 2.77	7.27 69.4	1.68 16.0	1.24 11.8	0.36 3.4	0.44 4.2	9.68 92.3	0.81	92.5	15.3	12.1	5.8	8.31	860	
丁 庄	4 月 10 日		—	7.00 53.9	3.88 29.9	2.12 16.3	0.80 6.2	1.36 10.5	10.84 83.4	0.95	82.4	10.4	5.0	4.8	8.14	1170	S ₁
	5 月 23 日		0.23 1.80	6.90 52.7	3.77 28.8	2.20 16.8	0.60 4.6	1.44 11.0	11.01 84.1	0.95	84.4	10.7	5.4	5.1	8.11	1175	
同 村	4 月 10 日		1.16 10.8	6.46 60.4	1.80 16.8	1.28 12.0	0.20 1.9	0.56 5.2	9.94 92.9	1.10	92.8	16.1	13.1	6.9	8.40	880	S ₁
	5 月 23 日		0.29 2.7	7.45 70.2	1.72 16.2	1.16 10.9	0.32 3.0	0.48 4.5	9.80 92.6	0.32	92.3	15.5	12.3	6.9	8.45	870	
常 屯	4 月 10 日	410	0.23 1.93	8.90 74.9	1.28 10.8	1.48 12.5	0.40 3.36	0.44 3.7	11.05 92.9	0.93	92.0	17.0	13.2	8.3	8.40	1300	S ₁
	5 月 23 日		0.58 4.98	8.50 73.0	1.40 12.0	1.16 9.97	0.40 3.44	0.36 3.1	10.88 93.5	0.91	93.5	18.1	14.7	8.3	8.35	1250	

* meq: 该 离 子 占 阴 (或 阳) 离 子 总 量 百 分 率 以 毫 克 当 量 计 算。

(二) 深层碱性水的化学性质

我们对河北省东部及东南部地区出现碱性水的五个地区十三个县的深井水作了水质分析。部分结果见表 1。

表 1 资料表明,各地区深井高、中钠质水的共同特点是钠害指标均大大超过了临界值,易溶性钠 (SSP) 一般大于 80%,其中多数大于 90%。SAR 值除南皮县外,均大于 10,甚至有的大于 15, RSC 和 SDR 值也大大超过临界指标 (大于 2.5)。更为突出的是碱量百分率 (AP),除个别井(如衡水地区景县)为 39.3%外,其余均大于 50%。按美国灌溉水质分类,以上水质除邯郸邱县深井水属危害较轻的中等盐害和钠害水外,其余均属于钠害较重的高钠水。另外,我们在这一地区分析了 119 眼深井水的钠吸附比 (SAR) 和 104 眼深井水的残余碳酸钠 (RSC) 值,统计结果:该地区十三个县深井水钠吸附比超过临界指标;即 $SAR > 10$ 的占所调查总井数的 72.3%,而 $SAR > 15$ 占所调查的总井数的 46.2%,超过残余碳酸钠临界指标 ($RSC > 2.5$) 的占所调查总井数的 75%, $RSC > 5$ 的占所调查总井数达 35%,也就是说这些调查地区有 75% 以上的深井水是含钠很高的碱性水,它们对土壤和作物均有危害,是水利工作和农业生产中不可忽视的问题。

为了进一步摸清情况,我们在河北省临西县常屯试验区调查了 10 个公社 32 个大队的 34 眼深井水,连续两次取样。部分分析结果见表 2。

从表 2 可看出,临西县东部或西部的深井水水质,和其它地区的深层碱性水性质完全相同。水的钠(碱)害指标无论是钠吸附比 (SAR)、残余碳酸钠 (RSC) 或是一价与二价

表 3 深层碱性水的盐分组成和 pH 值

Table 3 Salt composition and pH value of deep alkaline phreatic water

取 样 地 点 Sampling locality		常 屯	同 村	北 镇	东 留 善 固		
矿 化 度 meq/l Mineralization degree		11.89	10.60	10.48	10.37		
盐 分 组 成 (meq/l) Salt composition	二 价 盐 类 Bivalent salt	$Ca(HCO_3)_2$	0.40	0.32	0.36	0.36	
		$Mg(HCO_3)_2$	0.44	0.48	1.44	0.80	
		占总盐的 % % in total salt	7.1	7.5	17.2	11.2	
	一 价 盐 类 Monovalent salt	中 性 盐 类 Neutral salts	NaCl	1.28	1.72	1.24	1.88
			Na_2SO_4	1.48	1.16	1.68	2.00
			占总盐的 % % in total salt	23.3	27.2	27.86	37.50
		碱 性 盐 类 Alkaline salts	Na_2CO_3	0.23	0.29	0.29	0.29
			$NaHCO_3$	8.06	6.05	5.47	5.04
			占总盐的 % % in total salt	69.72	62.55	54.96	51.40
	pH		8.40	8.45	8.31	8.28	

阳离子之比值 (SDR) 均大大地超过了钠害的临界值。它们分别属于中钠 (S_2) 和高钠 (S_3) 或二者的过渡类型。钠害指标大大地超过临界值的原因, 一方面是井水中含有大量的 Na^+ , 多数在 90% 上下, 另一方面是 Ca^{++} 、 Mg^{++} 含量过低, 尤其是 Ca^{++} 的含量更低。

根据深层碱性水的分析结果, 我们可以大致估算出其盐分组成 (表 3), 从表 3 可以看出, 此类深层水中二价重碳酸盐类的含量很少, 一般低于 1.5 毫克当量/升, 其当量百分率约 10%, 而苏打含量 ($Na_2CO_3 + NaHCO_3$) 高达 5.3—8.3 毫克当量/升, 当量百分率大于 50%, pH 值一般大于 8.0。这表明当地苏打碱化盐渍土的形成与所用的灌溉水有密切的关系。

二、深层碱性水对土壤理化性质的影响

进行了室内模拟试验。供试土样为砂壤质非盐化的均质土壤, 物理性粘粒 (< 0.01 毫米) 为 18.9%, 粘粒 (< 0.001 毫米) 为 7.4%。全盐量为 0.105%, 电导率为 316 微姆欧/厘米, pH 值为 7.5, 盐分组成以 Ca、Mg 盐类为主, 其当量百分率为 55.8%, 其中 $CaSO_4$ 达 35.1%, 100 克土壤代换性钠的绝对含量只有 0.4 毫克当量, 碱化度为 3.23%。供试用水是临西县常屯深井水, 矿化度为 0.8—0.9 克/升, 电导率为 980 微姆欧/厘米, 苏打和小苏打含量为 0.69 克/升, 其碱量百分率 (AP) 为 69.7%, 而二价盐类却只有 7.1%。

试验装置用内径为 7.4 厘米、高 80 厘米的管柱, 装入通过 1.0 毫米筛孔的风干土, 管柱下端排水通畅, 管柱上装有红外灯供热辐射。

灌水按小麦生育期进行, 每季小麦灌水五次 (每次以 40 方/亩的灌水定额折算加入); 并按 60% 的年雨量折算, 用去离子水模拟雨季降水, 集中分三次进行, 每次灌水落后后用红外灯进行热辐射 36 小时, 土面空气保持在 35—40°C 的温度, 代替田间自然蒸发。每处理重复三次。

(一) 深层碱性水灌溉对土壤渗透性的影响

长期灌溉, 会使土壤的物理性质发生变化。灌溉水水质不同, 对土壤性质的影响也不一样。根据我们的试验, 长期用碱性水灌溉, 引起土壤高度分散, 土壤颗粒进行重新排列, 粘粒下移, 阻塞土壤孔隙。从灌溉碱性水的第二年和第四年的土壤容重、总孔隙度的测定 (表 4) 可以看出, 随着灌溉年数的增加, 土壤容重增加, 孔隙率下降。因而影响土壤的渗透性能。

表 4 用高钠碱性水灌溉后的土壤容重和孔隙度的变化 (实验室试验)

Table 4 Variation of bulk density and porosity of soil irrigated by alkali water (laboratory experiment)

灌溉年数 Years of irrigation	容 重 (g/cm^3) Bulk density	总 孔 隙 度* (%) Total porosity
灌溉二年	1.35	49.41
灌溉三年	1.49	44.79
灌溉四年	1.51	44.12

* 总孔隙度按经验式 (“土壤学报” 1964 年第 2 期 230—234 页) 计算, 孔隙度 = $93.947 - 32.995 \times$ 容重。

灌溉第二年,碱性水与深层淡水¹⁾、混合水²⁾对土壤渗透性的影响差异不大。灌溉三年后,出现明显差异(图1)。当灌溉到第四年时,用高钠碱性水灌溉的土壤渗透速率已达到极坏的程度(0.15毫米/小时)。而同期用深层淡水灌溉的土壤渗透速率为2.75毫米/小时,比用碱性水灌溉的快18倍。混合水的土壤渗透速度为5.45毫米/小时,比碱性水快36倍。

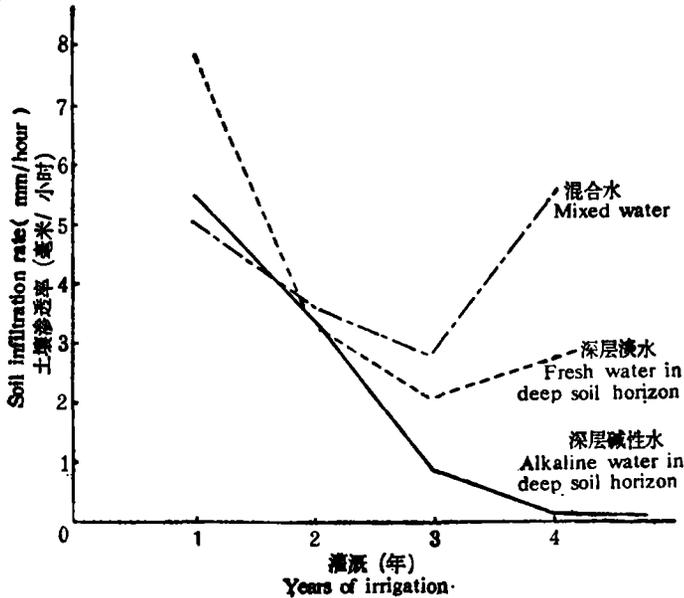


图1 不同水质灌溉后对土壤渗透性的影响
(实验室试验)

Fig. 1 The influence of irrigation water of different quality on soil permeability (laboratory experiment)

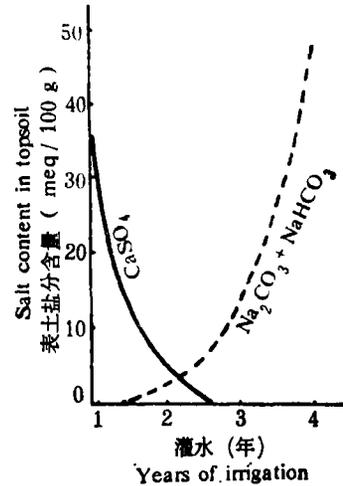


图2 用碱性水灌溉对表土盐含量(CaSO₄和Na₂CO₃+NaHCO₃)的影响(实验室试验)

Fig. 2 The influence of irrigation by alkaline water on the salt content (CaSO₄ and Na₂CO₃+NaHCO₃) in topsoil (laboratory experiment)

(二) 深层碱性水灌溉引起土壤中苏打的积累

室内模拟试验和田间观察结果均表明,用高钠碱性水灌溉土壤,苏打将迅速地积累,同时,很快地出现土壤的强烈碱化现象。这一过程只需要短短的三、四年就可形成。在用高钠碱性水灌溉四年后,表土(0—5厘米)的石膏含量由原来的35.1毫克当量/100克土下降到4毫克当量/100克土。相反,苏打的含量则明显增加(图2)。用高钠碱性水灌溉二年后的土壤,在2—5厘米表层中只出现少量的苏打。灌溉三年后的土壤,在整个耕层中普遍有苏打积累,而以表土(0—5厘米)含量为最高,耕层以下的土壤基本上不含苏打。灌溉四年后的土壤,在60厘米土层中,均有苏打积累,整个耕层中苏打的积累量也明显增多。如图3所示,耕层土壤中的苏打含量大于35%(当量百分率),2—5厘米土层中

1) 深层淡水是指矿化度低于1克/升,低于灌溉水质各项指标的临界值。

2) 混合水是指碱性水与咸水作适当比例混合后的水。也低于灌溉水质各项指标的临界值。

的含量更高。40 厘米以下苏打含量逐渐减少, 60 厘米以下几乎不含苏打。

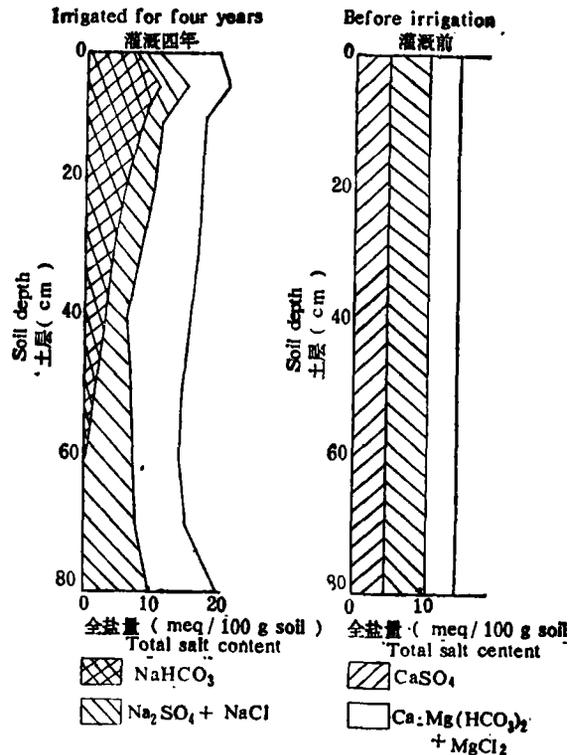


图 3 土壤盐分组成剖面图 (实验室试验)

Fig. 3 Profile of salts composition of soil (laboratory experiment)

苏打在土壤中大量而迅速地积累的根本原因是由于高钠碱性水中大量的苏打和小苏打带入土壤所致。从灌溉土壤水盐收支平衡结果 (表 5) 可以看出: 灌溉水带入土壤的苏

表 5 碱性水灌溉土中的水盐收支平衡 (灌溉四年)

Table 5 Water and salt balance in the soil irrigated by alkaline water (irrigated for four years)

盐 类 Salt type		灌 入 水 Irrigation water	渗 滤 水 percolating water	残留在土壤中的盐量 Residual salt in soil	
		meq	meq	meq	合 计 meq
苏打碱性盐 Sodic salt	Na_2CO_3	2.58	1.24	1.34	39.04
	NaHCO_3	37.7	—	37.7	
中 性 盐 Neutral salt	Na_2SO_4	7.74	2.15	5.59	12.3
	NaCl	6.71	—	6.71	
二 价 盐 Bivalent salt	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	1.60	8.03	-6.43	11.25
	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	2.23	4.30	-2.07	
	MgSO_4	—	0.75	-0.75	
	MgCl_2	—	2.00	-2.00	

注: 总灌水量为 5,160 毫升; 总渗滤水量为 731 毫升。

打盐类总量达 40.28 毫克当量, 占所带入的总盐量的 68.8%, 而带入的二价盐类为 3.83 毫克当量, 占所带入的总盐量的 6.54%。相反, 从渗滤水排出土体的盐分中苏打为 1.24 毫克当量, 占总盐量的 2.12%, 而排出的二价盐类高达 15.08 毫克当量, 占所排出总盐量的 81.7%。因此, 经过四年高钠碱性水灌溉后, 使土体中二价盐类损失了 11.25 毫克当量, 而苏打在土体中积累了 39.04 毫克当量, 后者立即参加土壤中的化学和胶体化学过程, 一方面沉淀溶液中的二价离子, 另一方面不断地代换土壤胶体表面上的二价离子, 再进行沉淀, 其结果如表 6 所示。

从表 6 可以看出, 表层土壤盐分离子组成有明显的变化, 即土壤盐分中二价离子降低, 而 Na^+ 的含量相对增多。灌溉四年后表层 (0—5 厘米) 土壤中二价阳离子 ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$), 从灌前土壤盐分的 72.8% (当量百分率) 下降到 16.5%; 耕层 (0—20 厘米) 则从 72.8% 下降到 17.1%, 其绝对含量从 1.12 毫克当量/100 克土下降到 0.31 毫克当量/100 克土。相反, 灌碱性水四年之后, 表层土壤和耕层土壤中的一价阳离子由灌前的 0.42 毫克当量/100 克土分别上升到 1.72 和 1.49 毫克当量/100 克土, 当量百分率由灌前的 27.3% 分别上升为 83.5% 和 82.8%。阴离子中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 减少, 而 HCO_3^- 则明显增加。苏打积累引起了土壤盐分组成的变化, 促进了土壤碱化。

表 6 表层土壤可溶盐离子组成的变化 (实验室试验)

Table 6 Variation of soluble salts in topsoil (laboratory experiment)

离子组成 Ionic composition	灌溉前土壤 Before irrigation				灌溉四年土壤 Irrigated for four years			
	0—5 (cm)		0—20 (cm)		0—5 (cm)		0—20 (cm)	
	meq	mep	meq	mep	meq	mep	meq	mep
CO_3^{2-}	—	—	—	—	—	—	—	—
HCO_3^-	0.26	16.9	0.26	16.9	1.20	58.3	1.0	55.6
Cl^-	0.52	33.8	0.52	33.8	0.40	19.3	0.38	21.1
SO_4^{2-}	0.76	49.4	0.76	49.4	0.46	22.3	0.42	23.3
Ca^{++}	0.80	52.0	0.80	52.0	0.21	10.2	0.20	11.0
Mg^{++}	0.32	20.8	0.32	20.8	0.13	6.3	0.11	6.1
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	0.42	27.3	0.42	27.3	1.72	83.5	1.49	82.8
全盐量	1.54	—	1.54	—	2.06	—	1.80	—

meq: 毫克当量数/100 克土; mep: 毫克当量百分率。

(三) 深层碱性水灌溉促使土壤碱化

土壤胶体表面盐基离子间的比例, 与土壤溶液中一价和二价离子间的比值经常处于动平衡状态之中。

试验结果表明: 经过灌溉四年后的土壤, 土壤溶液的钠吸附比从灌前的 0.75, 猛增至 4.17 (0—5 厘米土层) 和 3.74 (0—20 厘米土层), 土壤胶体表面上的代换性阳离子组成发生明显变化。代换性钠比¹⁾与土壤溶液的钠吸附比 (SAR) 成正比关系, 如图 4 所示。

1) 土壤代换性钠比是指代换性 $\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}$, 一般用 $\frac{\text{ES}}{\text{CEC} - \text{ES}}$ 表示。ES——代换性钠, CEC——代换量。

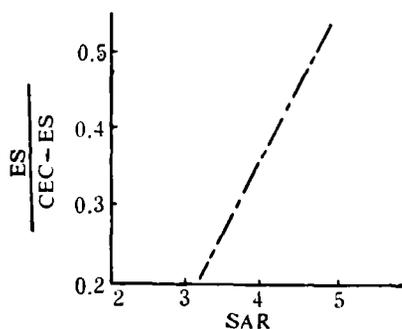


图 4 土壤代换性钠比与 SAR 的关系

Fig. 4 Relationship between exchangeable sodium ratio and sodium-adsorption ratio of soil

代换性钠含量占代换量的百分率称为土壤的碱化度 (ESP)。耕层土壤碱化度的划分标准,一般是:土壤碱化度 5—10% 为弱碱化土壤,10—15% 为中度碱化土壤;15—20% 为强碱化土壤;> 20% 为碱土。

试验结果表明:土壤的碱化度是随碱性水的灌溉年限的增加而增高,在灌溉 3—4 年后,土壤就发生明显碱化(表 7)。

表 7 高钠碱性水灌溉对土壤碱化度的影响

Table 7 The effect of alkaline water on soil alkalization

处 理 Treatment	土 层 (cm) Soil depth	代换性 Na ⁺ (毫克当量/100 克土) Exchangeable sodium	碱 化 度 Alkalization degree	
			土壤碱化度 % Soil alkalization degree	分 级 Grade
灌 前 土 Before irrigation	0—5	0.40	3.23	非碱化土 Non-alkalization
	5—20	0.40	3.23	Non-alkalization
灌 二 年 Irrigated for two years	0—5	1.14	9.98	弱碱化土 Slight alkalinity
	5—20	0.99	8.68	Slight alkalinity
灌 三 年 Irrigated for three years	0—5	2.99	26.16	中碱化土 Moderate alkalinity
	5—20	2.00	17.20	Moderate alkalinity
灌 四 年 Irrigated for four years	0—5	4.85	38.06	强碱化土 Strongly alkalinity
	5—20	3.45	26.88	Strongly alkalinity
年平均增加量 Average increment per year	0—5	1.11	8.71	—
	5—20	0.76	5.91	—

(四) 深层碱性水灌溉对土壤 pH 值的影响

以 1:5 的水浸提液和 1:5 的泥浆供 pH 测定(表 8)。从表 8 可以看出,土壤溶液的 pH 值主要受土壤中的苏打含量和碱化度大小的影响。当土壤碱化度大于 20% 时,土壤溶液 pH 值大于 9;反之,土壤碱化度小于 20% 时,土壤溶液 pH 值小于 9。当土壤溶液中不存在苏打 (Na₂CO₃) 时,其 pH 值保持在 8.6 以下,而苏打 (Na₂CO₃) 出现时,即使

数量甚微,仅十万分之一(0.001%),土壤 pH 值就立即上升到 8.6 以上,当苏打含量大于 0.001% 时,则 pH 值接近于 9。随着灌溉时间的延长,各层土壤溶液 pH 值都明显升高,灌溉二年后的轻度碱化土的 pH 值除 2—5 厘米因含 0.005% 重碳酸钠, pH 值为 8.85 外,其余土层均在 8.5—8.6 之间。在 0—20 厘米的土壤中, pH 值平均为 8.68。灌溉三年后的中度碱化土, 0—5 厘米土壤的碱化度高,故 pH 值分别为 9.4 (0—2 厘米)和 9.13 (2—5 厘米), 5 厘米以下土壤 pH 值小于 9, 在 0—20 厘米的土壤 pH 值平均为 8.92。而灌溉四年后的强碱化土,在 0—5 厘米土壤 pH 值高达 9.53, 耕层土壤 pH 值平均达 9.26, 这种情况和华北地区(如黄骅、临西等地碱化土壤)的苏打型碱化盐渍化土很相似。

表 8 土壤 pH 值和苏打含量与碱化度的关系

Table 8 Soil pH value in relation to soda content and ESP of soil

土 层 Soil depth	灌溉性水二年 Irrigated by alkali water for two years			灌溉性水三年 Irrigated by alkali water for three years			灌溉性水四年 Irrigated by alkali water for four years			灌溉前土壤 pH 值 Soil pH value before irrigation
	pH	碱化度 % ESP	苏打含量 % Soda content	pH	碱化度 % ESP	苏打含量 % Soda content	pH	碱化度 % ESP	苏打含量 % Soda content	
0—2	8.40	13.39	0	9.40	33.15	0.029	9.60	41.10	0.057	7.50
2—5	8.85	7.69	0.005	9.13	21.50	0.032	9.48	36.04	0.083	7.50
5—10	8.66	5.10	0	8.85	16.40	0.005	9.34	29.19	0.064	7.50
10—20	8.58	9.82	0	8.80	13.12	0.003	9.09	20.17	0.047	7.50
20—40	8.62	—	0	8.65	—	0	8.76	—	0.023	7.50
0—5	8.67	9.97	0.003	9.24	26.16	0.031	9.53	38.06	0.073	7.50
0—20	8.62	8.68	0.001	8.92	17.20	0.011	9.26	26.88	0.058	7.50

(五) 关于改造、利用深层碱性水的问题

为了改造、利用碱性水,防止碱性水灌溉引起土壤的次生碱化,我们曾作了咸水与高钠碱性水混合水灌溉试验。结果表明:使用混合水灌溉,土壤中并没有出现苏打积累的现象,土壤的物理性状良好(表 9)。可以认为,在当地条件下,使用混合水灌溉,可能是改造、利用高钠碱性水的重要途径之一。但是,用混合水灌溉的土壤还有一定的积盐现象,对此有待今后进一步研究。

表 9 混合水与碱性水对土壤物理性质的影响(灌水四年)

Table 9 The influence of mixed water on soil physical properties in comparison with that of alkali water (irrigated for four years)

项 目 Item	混 合 水 Mixed water	碱 性 水 Alkali water
土壤容重 (g/cm ³) Soil bulk density	1.37	1.51
总孔隙度 (%) Total porosity	48.74	44.12
土壤渗透率 (mm/hr.) Soil infiltration	5.45	0.15

三、结 语

1. 河北省东部及东南部地区包括邯郸、邢台、衡水、沧州、天津郊区、廊坊及唐山南部宁河一带有相当一部分第 III 和第 IV 含水组的地下水水质是碱性的, 水中苏打含量高, 一般钠害指标如 SSP, RSC, SAR 和 SDR 均在国际通用的临界指标以上, 而且碱量的百分率 (AP) 一般大于 50%, 甚至高达 60%, 我们将这种水称为碱性水。

2. 用高钠碱性水灌溉, 将有大量的苏打被带入土体, 过多的 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$, 使二价离子迅速沉淀, 从而提高了钠的相对百分比, 破坏土壤原有的化学平衡, 引起盐分组成的变化。经过四年碱性水灌溉的土壤, 将有 39 毫克当量的苏打积累于 100 克土体之中, 而二价盐类却减少了 11.25 毫克当量。

3. 灌溉后的土壤物理性状明显恶化, 例如渗透速度极低 (0.15 毫米/小时), 容重增加, 土壤孔隙度下降。

4. 土壤性状恶化的原因是苏打累积而引起的土壤胶体化学性质的变化。一种非碱化土壤用高钠碱性水灌溉两年后, 即变成轻度碱化土, 三年后变成中度碱化土, 四年后变成强度碱化土。

5. 碱性水灌溉后, 土壤 pH 值的变化主要受苏打含量及土壤碱化程度的影响。

6. 采用浅层咸水和深层碱性水混合用于灌溉, 可能是改造、利用深层碱性水的重要途径之一。

参 考 文 献

- [1] Ayers, R. S., 1976: Interpretation of quality of water irrigation. The FAO Soil Bulletin 31, p. 221—240.
- [2] Kelley, W. P. et al., 1940: Chemical effects of saline irrigation water of soils Soil Science, 49: (2), 95—107.
- [3] Kovda, V. A. et al., 1973: Irrigation, Drainage and Salinity, p. 402—408, UNESCO/FAO.
- [4] Water quality criteria, 1976: Publication 3-A (Reprint June 1 1976). California State Water Resources Control Board.
- [5] Poljakoff-Mayber, A. et al., 1975: Plants in Saline Environments, p. 56—76, N. Y. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [6] Антипов-Каратаев, И. Н., 1960: Доклады Советских Почвоведов к VII Международному конгрессу в США, стр. 395—403, Изд. АН СССР.
- [7] Базилевич, Н. И., 1965: Геохимия Почв Содового Засоления, стр. 39—41, М., «Наука».

THE INFLUENCE OF CHEMICAL CHARACTERISTICS OF DEEP ALKALINE GROUND WATER ON THE SOIL

Bai Yin

(Beijing University of Agriculture)

Lin Li-zhang

(Beijing College of Agricultural Machinery)

Summary

Study of the effect of deep alkaline ground water on the soil properties was carried out in 5 districts, 13 counties of eastern and southeastern Hebei Province from 1978 to 1979. Results obtained showed that the use of deep alkaline ground water in irrigation resulted in incrustation of soil and the decrease of crop yields. It was found that such ground water contained much soda, and its chemical characteristics such as soluble sodium percentage (SSP), residual sodium carbonate (RSC) and sodium adsorption ratio (SAR) were all much higher than the critical levels accepted internationally.

Laboratory experiments showed that after irrigation with deep alkaline ground water for 2, 3 and 4 years, soil exchangeable sodium percentage (ESP) increased from 3.2% to 8.7%, 17.2% and 28.7% respectively, with an annual average increase of 5.8%. While soil pH increased from 7.5 to 8.6, 8.9 and 9.3 respectively, with an annual average increase of 0.48. As a result, soil physical property was deteriorated, and soil permeability coefficient significantly decreased from 5.45 mm/hour after irrigation with alkaline ground water for two years to 0.15 mm/hour for 4 years.

Alkaline ground water mixed with saline water in a proper proportion has a good effect on prevention from deterioration of chemical and physical properties of soil. It is considered that the application of alkaline ground water mixed with saline ground water for irrigation may be a economic and practical method for improvement of water quality, and it is of great practical significance for the improvement of salin-alkali soil.