

河北平原深层碱性水 对土壤的影响及其改造与利用*

毛 建 华

(河北水利专科学校)

随着农田灌溉面积的迅速增加,河北平原的灌溉用水由地表水发展到地下水,由浅层淡水发展到深层淡水。但是,在深层淡水的开发利用中,由于开采量远远超过补给资源,因而造成数十个“漏斗”,并且范围迅速发展,导致水位区域性下降。同时,深层地下水中又富含苏打、小苏打碱性盐,用以灌溉极易引起土壤的“次生”碱化,给农业生产带来严重威胁。由此可见,河北平原深层地下水资源不仅量不足,而且质亦不佳,亟需认真对待,从速解决。本文仅就河北平原深层碱性水的分布、化学特性、对土壤的影响以及改造与利用等问题,作初步探讨。

一、碱性水的标准、分布特点及区域水文地质条件

(一)灌溉水质评价:灌溉水质状况不仅可能引起土壤盐害,而且可能引起土壤碱害。

早在1911年Stabler就提出:重碳酸钠的危害2倍于氯化钠,10倍于硫酸钠。说明了重碳酸离子在水质评价中的重要性。Kelley等(1940)详细研究了苏打碱性水对土壤的影响。Wilcox(1948)根据总盐含量和钠的百分率(ssp)对灌溉水质进行过五级分类。Eaton(1949)建议用“残余重碳酸钠”(Rsc)对水质进行限定。美国盐碱土实验室(1954)提出按灌溉水的总盐浓度和钠吸附比(SAR)进行分类。И.Н. Антипов-карагаев和П.А. Керзун(1960)提出灌溉水中碱土金属和碱金属“临界”当量比(SDR)的概念,并指出碱性水对土壤碱化过程的影响极为明显。Doneen在总结其本人及前人的研究工作之后,于1970年提出修正的水质标准,即对灌溉水的可能性盐度,渗透性指标及有毒物质(硼离子)三个方面进行评定。

鉴于河北平原地下水中硼离子含量不高**,故笔者根据目前国际上的水质标准,认为对河北平原农田供水的地下水水质评价,既要考虑到引起土壤盐害的矿化度,可能性盐度,又要考虑到影响土壤渗透性的碱害指标,而愈是对低矿化水,愈应着重对钠(碱)含量作出严格的限定。主要有:

*室内分析由河北水专和南皮盐改化验室完成,参加田间试验的有刘智升、万宝林、郭玉起同志。

**一般认为硼离子含量小于0.5ppm为优质水,大于2.0ppm为不宜灌溉水。据河北省水利所测定,河北平原地下水中硼离子的含量为0.1—0.25ppm。

1、可溶性钠百分率 (SSP)：灌溉水中 SSP < 65%，灌溉后土壤不会有碱化危害。而当 SSP > 90% 时，灌溉以后就会使土壤直接产生碱化过程。一般认为 SSP > 80%，为不宜灌溉水。其计算公式为

$$SSP = \frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+} \times 100\%$$

2、钠吸附比 (SAR)：灌溉水中钠的危害必然反映在土壤代换性钠的变化上，而土壤溶液的钠吸附比与钠被土壤吸附有关，因此，以 SAR 表示灌溉水中钠被土壤胶体有效吸附的重要指标，其大小与交换性一价与二价阳离子之比成正相关。一般认为 SAR > 10 的水长期灌溉就会有碱化威胁。其计算公式为：

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

3、残余重碳酸钠 (RSC)：随着土壤水因蒸发而浓缩， CO_3^{--} 和 HCO_3^- 离子以 Ca^{++} 、 Mg^{++} 的碳酸、重碳酸盐形式沉淀。 Ca^{++} 、 Mg^{++} 从水中沉淀后， Na^+ 离子在水中的相对比例随即增加，钠的危害也相应增大。在 CO_3^{--} 、 HCO_3^- 超过 Ca^{++} 和 Mg^{++} 时，对超出部分 Eaton 称之为“残余重碳酸钠” (RSC)，并以此来衡量灌溉水的钠 (碱) 危害，认为 RSC > 2.5 毫克当量/升则不宜灌溉，1.25—2.5 毫克当量/升处于两可之间，< 1.25 毫克当量/升则是安全的。其计算公式为 (单位：毫克当量/升)

$$RSC = (CO_3^{--} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$$

4、钠与钙镁离子当量比 (SDR)：两价阳离子，尤其是钙离子对防止土壤碱化，改善土壤物理化学性状等都有重要积极作用。Д.Г. Вилекий 认为，当土壤溶液盐分组成的 SDR ≥ 4 时，钠离子才能被土壤胶体强烈吸附，当 SDR 值小时，钠的吸附很困难，而在 SDR ≈ 1 时，钠离子的吸附作用实际不发生。因此，SDR 在 1.0 或 < 1.0，是较理想的灌溉用水。其计算公式为

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

5、灌溉水的渗透性指标：土壤溶液浓度的降低和 Na^+/Ca^{++} 比率的增大，都会使土壤的膨胀性和颗粒分散性增大，从而使水力传导性降低，影响土壤的渗透速度。利用低矿化高钠含量的水灌溉，会引起土壤分散，湿时泥泞，干时板结，导致渗透速度的降低。因此，土壤的渗透性受到灌溉水总盐浓度以及钠和重碳酸盐含量的影响，即灌溉水的渗透性指标愈高，表明水在土壤中的渗透能力愈低。Doneen 提出的渗透性指标计算公式为

$$\text{渗透性指标} = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+} \times 100$$

(二) 碱性水的标准：

地下水能否成为碱性水，需要具备以下几个条件。首先，要有形成碱性水的水化学环境。即只有在 $HCO_3^- > (Ca^{++} + Mg^{++})$ 的胶体化学环境中才能形成。其次，要有

相应的PH值,而以PH值来确定碱性水,又必须考虑到水中 $\text{CO}_3^{''}$ 离子与灌溉后对土壤碱化的影响。河北平原地下水的PH值与 $\text{CO}_3^{''}$ 离子以及灌溉效应表明, $\text{CO}_3^{''}$ 离子的出现在 $\text{PH}=8.0$ 左右,当 $\text{PH}>8.2$ 时,水中普遍含有 $\text{CO}_3^{''}$ 离子,且灌后土壤板结,呈现出碱化现象。其三,取决于 HCO_3' 和 $\text{CO}_3^{''}$ 及 Na^+ 离子含量的多少,一般情况下, $\text{CO}_3^{''}+\text{HCO}_3'$ 离子含量在阴离子总量的25—30%, Na^+ 离子含量在阳离子总量的80%以上,水中便会出现苏打,小苏打碱性盐。

綜上分析,可以认为凡 $\text{PH}>8.2$, $\text{SSP}>80\%$,水中含有苏打、小苏打碱性盐的即为碱性水。在此前提下,地下水必然是低矿化高钠水,矿化度一般小于1.0—4.5克/升,相应的水化学类型以H—N型为主,以及H·L—N, H·S—N或H·S·L—N型等。

(三) 碱性水的区域水文地质条件及其分布特点:

1、区域水文地质条件:河北平原深层淡水赋存于自中更新统至第三系上统。其含水介质以巨厚的多层结构形式存在,多为河湖相(下部为湖相)砂类与粘土互层结构,并自山前至滨海由卵砾石向粉细砂逐渐变化。河北平原深层碱性水分布在除山前地带以外的广大平原内,以湖相、河湖相为主的含水介质中。

河北平原深层淡水的水力坡度由山前地带的1/1,000—1/3,000,经平原至滨海达1/6,000—1/1,0000,甚至更小,因而地下水以缓慢的速度移动。而深层碱性水分布区的地下水利坡度一般小于1/5,000—1/6,000,因而地下水为极缓慢的运动状态。

2、分布特点:河北平原地下水的PH值,在垂直向有着随深度增加而相应加大的特征。河间—任丘一带的资料表明浅层淡水处于弱碱性阶段,以出现 CO_2 为其特征。而深层淡水以出现 $\text{CO}_3^{''}$ 离子为特征,并随深度的增加,PH值与 $\text{CO}_3^{''}$ 离子含量及 Na^+ 离子百分率均相应增加,即碱性随深度递增,至上第三系含水层中PH值递增至8.6—8.8。

河北平原深层水的PH值在水平方向上,自山前的径流环境 $\text{PH}=7.0-8.0$ 间到滨海平原的胶体化学环境 $\text{PH}>8.2$,表明PH值在水平向,有着自西(山区)向东(滨海)递增的特征。以平原内沧州地区为例,深层水中钠离子含量自西向东递增并呈现出明显的水平分带性。深层水中小苏打含量的分布同样反映出自西向东递增的规律。同时,在该区运河以东还有自北向南递增的趋势,因而在该区的东南部如南皮、孟村、盐山一带,出现了碱性水高值区。

3、碱性水的平面分布:河北平原深层碱性水的平面分布面积约占全平原面积的二分之一左右,而平原内黑龙港地区约占三分之二左右。同时,在黑龙港地区内,凡深层分布有碱性水的地方,浅层又多有咸水分布这样的特点。

深层碱性水在河北平原的分布范围包括廊坊、保定、衡水、邢台等地区的一部分以及天津市及沧州地区的全部。在黑龙港地区的分布范围是:永清—文安—高阳—博野—衡水—平乡—临西的该线以东地区。其中,沧州地区的盐山县及邢台地区的临西县,为两个碱性水高值区,其深层水矿化度1.0—1.2克/升,而苏打盐($\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{NaHCO}_3$)含量却高达0.3—0.6克/升以上。

二、碱性水的化学性质及对土壤碱化的影响

(一) 碱性水化学特性:

河北平原深层(主要是250—420米的第Ⅲ含水组及350—580米的第Ⅳ含水组)碱性水的矿化度在0.25—1.30克/升;PH值多在8.0—8.6,甚至出现高达9.0的强碱性水;可溶性钠百分率>80%,最高达96%;残余重碳酸钠多大于2.5毫克当量/升,最高达10毫克当量/升以上;钠吸附比一般大于10,最高达29以上;钠与钙镁离子当量比多在5—15间,最高达27;水中均有苏打、小苏打碱性盐,含量多在0.1—0.4克/升,最高达0.76克/升;灌溉水的渗透性指标多在100—120之间。同样还可看出,河北平原深层碱性水的各项盐害及碱害指标,均表现出自西向东递增的趋势。

(二) 碱性水灌溉对土壤碱化的影响:关于土壤碱化的原因,国内外曾有过许多研究。B. A. Kobga (1946) 提出,在低矿化苏打、小苏打型地下水情况下,形成碱土的可能性很大。王遵亲等(1963、1965)指出,黄淮海平原的瓦碱是一种碱化土壤,主要分布在低矿苏打、小苏打型地下水地段,由于地下水中的苏打、小苏打通过蒸发在土表积累,因而发生土壤碱化过程。宋荣华(1973、1976)俞仁培(1977)等通过田间及室内模拟试验,都证实了低矿化度小苏打型地下水引起土壤的碱化的理论。

近年来沧州地区的盐山、南皮,邢台地区的临西等地,因深层碱性水灌溉而造成土壤碱化的现象甚为普遍。我们把因为灌溉而产生的碱化土壤称为“次生”碱化土壤,这是用深层碱性水灌溉的一个“隐患”。

三、碱性水的改造与利用

(一) 碱咸混合,改善水质:

浅层咸水是盐碱地的“祸根”,又占据着地下库容,影响雨水及灌溉水的蓄纳。改造与利用浅层咸水是降低地下水位、综合治理旱涝碱咸首先要解决的问题。

采用深浅井搭配,把深层碱性水与浅层咸水混合,是改善灌溉水质简单易行的有效途径。通过对沧县、南皮、盐山、孟村及临西、武邑等地大量深(碱性水)、浅(咸水)及碱咸混合水的分析测定(见表1)看出:

1、碱咸混合对碱性水水质的改善表现在:①酸碱度(PH)降低。

碱性水PH多在8.0—8.6间,混合水的PH降低到7.8—8.0之间。②可溶性钠百分率(SSP)降低。碱性水SSP均大于80%,多在90%左右,而混合水的SSP多在65—70%以下。③钠吸附比(SAR)减小。碱性水SAR多在10以上,而混合水的SAR均在10以下,且多在5—7左右。④残余重碳酸钠(RSC)消失。碱性水中都有残余重碳酸钠,含量多在2.5毫克当量/升以上。混合水中RSC出现负值,表明水中碱害已不存在。同时,混合水中苏打盐已消失。⑤钠与钙镁离子当量比值(SDR)减小。碱性水的SDR多在5—15,而混合水的SDR均小于4,多数降低到1左右。⑥灌溉水的渗透性指标降低。碱性水的渗透指标一般高达100—120,混合水的渗透性指标降低到60—80,土

表 1

碱性水与咸水混合前后水质变化

地点	井混合 类型	P H	矿化度 (克/升)	SSP (%)	SAR	RSC (me/L)	SD R	NaHCO ₃ 含 量 (克/升)	可能性 盐 度 (me/L)	灌溉水 的透性 指标	水化学 类 型
沧县 前侯	深	8.20	0.59	36.3	9.3	3.7	6.3	0.32	2.1	111.9	H·S—N
	浅	7.20	3.65	31.2	3.6	—18.4	0.5	无	22.2	38.9	S·H— M·N
	井组 混合	7.70	1.29	52.9	4.7	—2.7	1.1	"	8.1	65.4	S·H— N·M
南皮 县 木庄	深	8.15	0.88	90.0	14.1	4.5	9.0	0.34	5.0	108.9	H·L— N
	浅	7.80	3.97	54.3	9.0	—17.0	1.1	无	41.7	59.7	L·S— N·M
	2:1 混合	7.80	1.77	62.3	7.5	—2.4	1.6	"	16.6	71.5	L·S— N·M
孟村 县 自来屯	深	8.05	1.20	31.8	11.6	4.9	4.1	0.32	5.3	97.9	H·L·S —N
	浅	7.60	2.36	15.0	1.2	—15.5	0.2	无	13.7	25.2	S·H·L —M·C
	2:1 混合		1.26	49.6	4.4	—2.0	1.0	"	7.9	64.1	H·S·L —N·M
临西 县 常屯	深	8.23	0.83	93.5	24.9	7.5	15.1	0.61	1.9	120.3	H—N
	浅	7.19	2.99	62.0	9.5	—2.8	1.6	无	22.7	70.5	S·L·H —N·M
	1:1 混合	7.52	1.96	69.0	9.3	—2.3	2.2	"	12.6	80.8	H·S·L —N·M

壤易于入渗。

2、碱咸混合对咸水水质的改善表现在：①矿化度降低。混合水的矿化度一般都在2克/升以下。②可能性盐度降低。碱咸混合水的可能性盐度比咸水降低20—63%以上。

(二) 碱咸混合水灌溉对土壤的影响：为进一步查明混合水灌溉对土壤理化性状的影响，从1979年起先后进行了室内及田间灌溉试验。

室内模拟试验选用南皮县旱涝碱咸综合治理试验区木庄大队的非盐(含盐量0.0573%)非碱(碱化度6.14%)的轻壤质土。田间试验是在土质、肥力、栽培管理及灌溉次数、日期、定额等各因素均一致的条件下进行的。

1、对土壤化学性质的影响：

①用碱性水灌溉，土壤碱化。表土呈灰白色，微凹处被复一层红棕色胶膜并呈卷裂

状。表层有 0.5 厘米较坚实结壳，结壳下至 4 厘米左右多海绵蜂窝状孔隙。2—5 厘米土层 PH 值由 8.1 增至 8.4，且苏打碱性盐 ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$) 含量增加三倍，同时 0—10 厘米土层碱化度超过 20%。

②用混合水灌溉没有碱化，也没有盐渍化，未见盐斑。0—20 厘米土层 PH 由 8.1 降至 8.0，且苏打碱性盐含量明显减少，同时 0—5 厘米土层出现了石膏 (CaSO_4)，有利于土壤改良。

田间灌溉试验在一周年之内 (80.6.15—81.6.26) 共灌水十次 (每次灌水量均为 40 立米/亩)，耕层土壤化学性质的变化表明，用碱咸混合水灌溉，耕层的土壤溶液 PH 值由 8.0 降至 7.5；苏打碱性盐全部消失；石膏出现。用碱性水灌溉的耕层土壤溶液 PH 值却从 8.0 增至 8.2；苏打盐含量由 0.05 增至 0.25 毫克当量/100 克土。虽然混合水灌溉的比碱性水灌溉耕层土壤总盐量增加 1.0 毫克当量/100 克土，但增加部分是对土壤有益的石膏 (0.35 毫克当量/100 克土) 以及中性盐 (1.04 毫克当量/100 克土)，而可溶性中性盐 (NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4) 在雨季较易被雨水淋溶冲洗而脱除。

2、对土壤透性的影响：用碱性水灌溉，土壤物理性质的恶化，土壤渗透速度明显下降。室内灌溉试验中，同样在连续灌溉六次之后，用碱性水比用混合水灌溉的土壤渗透速度降低 1.3 倍；在连续灌溉十次之后，用碱性水比用混合水灌溉的土壤渗透速度降低 4 倍。

3、对作物产量的影响：田间试验种植的作物和轮作形式是夏谷—小麦—夏谷。结果，用碱性水灌溉的在第一茬谷子和第二茬小麦都比用混合水灌溉的产量高，而第三季谷子产量开始下降。三茬作物总产量，用混合水灌溉比用碱性水灌溉的略高。

(三) 培肥土壤及改良水质对防治土壤盐碱化的作用：为了进一步探讨培肥土壤 (如增施有机肥、施用磷肥)，化学改良水质 (如灌溉水中加入石膏) 及碱咸轮灌等各项措施对防治因碱性水灌溉而引起的土壤碱化的作用，从 1980 年 6 月开始进行了田间灌溉试验。试验在南皮试区白九卜大队以框测法进行 (框的面积 $1.2 \times 0.6 \text{ m}^2$ ，埋深 0.6M)，框内保持原状土。试验地块为排水良好，地势平坦的轻壤质潮土，含盐量 0—20 厘米 0.057%，20—60 厘米 0.067%。地下水埋深 2.5—4.5 米。

供试用灌溉水为试验地块上的深井 (碱性水)、浅井 (咸水) 及该两井的混合水。共灌水十次，每次 40 立米/亩。不同灌溉水在周年的变幅均值分别为：碱性水矿化度 0.98 克/升，PH 8.4，SAR 16.3，小苏打含量 0.35 克/升；咸水矿化度 5.37 克/升，PH 7.3，可能性盐度 55.6 毫克当量/升；混合水矿化度 1.96 克/升，PH 7.9，SAR 8.3，可能性盐度 17.7 毫克当量/升，不含苏打盐。试验处理分为①播前增施有机肥每亩 2 万斤；②播前基施过磷酸钙每亩 200 斤；③在灌溉水中投放石膏 200 克/吨水；④碱咸轮灌；1980 年灌五次咸水，1981 年灌五次碱性水；以灌碱性水和不灌溉分别作为对照。重复二次。除增施有机肥处理外，其余各处理在播前均施有机肥每亩 4,000 斤。三季作物是夏谷 (1980.6—9) —小麦 (1980.10—1981.6) —夏谷 (1981.6—9)。

试验结果，施用磷肥及增施有机肥后灌溉碱性水的增产效果最为显著。从目前的产量结果看，采用碱咸轮灌或石膏改良灌溉水的，产量均不及碱性水灌溉。

对土壤盐碱化的影响是：在施磷肥处理中，灌后比灌前耕层土壤含盐量减少 1.25 毫克当量/100 克土。与碱性水灌溉的对照相比，施磷肥的虽然含盐总量增加 0.43 毫克

当量/100克土,但所增加的绝大部分是石膏(0.34毫克当量/100克土),同时,引起土壤碱化的苏打、小苏打全部消失。石膏的出现及苏打碱性盐的消失,表明施用过磷酸钙可以防止因灌溉碱性水而引起的碱性威胁。过磷酸钙之所以具有上述作用,一是河北平原土壤普遍缺磷,二是过磷酸钙中硫酸离子及钙离子可以置换土壤胶体上吸附的钠离子,从而消除土壤的钠(碱)危害。

增施有机肥对抑制碱性水灌溉而引起的土壤碱化,作用十分明显。增施有机肥后,无论是灌后与灌前相比,或是与对照相比,耕层土壤的总盐含量均大大减少。

国外对碱性水水质改善的一种传统方法,是向灌水中定量地加入石膏。我们的第③处理在每次灌水前向碱性水中投入石膏(粉),投入量以足够清除碱性水中的苏打盐含量为准。在经石膏改善水质的处理中,虽然耕层土壤总盐含量有所增加(0.6毫克当量/100克土),但增加的是石膏(0.19毫克当量/100克土)及无害盐 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ 0.38毫克当量/100克土,碱性盐(苏打、小苏打)则减少0.15毫克当量/100克土。

碱咸轮灌采用前五次灌咸水,后五次灌碱性水,结果:苏打碱性盐减少(0.15毫克当量/100克土),石膏增加(0.03毫克当量/100克土),这都有利于防治土壤次生碱化。但是,灌溉周年内可溶性盐增加3.31毫克当量/100克土,表明土壤有明显积盐,应通过调整碱咸水各自的灌溉次数或时间以及加强其他农业措施,以防止土壤次生盐渍化的发生。

四、结 语

1、河北平原深层碱性水的分布面积约占三分之一左右,而平原内黑龙港地区则达三分之二左右。碱性水以其低矿化、高钠、含有苏打、小苏打为特征,用于灌溉,极易引起土壤次生碱化,这是深层碱性水灌溉的一个“隐患”。

2、采用深层碱性水与浅层咸水混合,可以消除碱性水的碱(钠)危害及咸水的盐危害,收到取长补短、化害为利之效,既积极稳妥地利用了浅层咸水,又节省了深层水资源,这对河北平原地下水资源的合理利用和黑龙港地区旱涝碱咸综合治理都具有积极意义。

3、施用磷肥和增施有机肥,不仅培肥了土壤,同时对防治因用碱性水灌溉而引起的碱(钠)危害有显著的作用。在有条件的地方也可采用石膏改良碱性水,以消除碱(钠)危害。

4、碱咸轮灌的作用不及碱咸混合灌溉。若采用碱咸轮灌,需进一步调整碱、咸水各自的灌溉次数与灌溉时间,同时加强农业措施,以防止土壤“次生”盐碱化的发生。