

咸淡水混合灌溉技术应用与实践

王春泽¹, 张新龙², 乔光建³

(1.河北省水文水资源勘测局, 河北 石家庄 050031; 2.水利部水文局, 北京 100053;

3.河北省邢台水文水资源勘测局, 河北 邢台 054000)

摘要:咸水与淡水混合灌溉技术, 将两种矿化度不同的灌溉水混合使用, 目的是降低灌溉水的含盐量或改变其盐分组成。咸淡水混合灌溉在提高灌溉水水质的同时, 也增加了可灌水的总量, 使以前不能使用的高盐渍度的咸水得以利用。通过对邢台市平原区咸水灌溉条件的实验研究、咸淡水混合灌溉技术分析, 邢台市咸淡水混合后矿化度应控制在 3g/L 以下。结合近年来开展咸淡水混合灌溉实践, 在咸水区开展咸淡水混合灌溉, 充分利用咸水资源, 既减少了淡水的开采量, 又对改善当地的生态环境发挥了重要作用。

关键词:咸水利用; 咸水灌溉条件; 咸淡水混合灌溉技术; 邢台市平原区

中图分类号: S275

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)01-0051-07

1 实验区基本情况

1.1 邢台市咸水资源量

邢台市平原地下水咸水分布区总面积达 3 905.5km², 其中矿化度 2.0~3.0g/L 的面积 2 351.1km², 矿化度 3.0~5.0g/L 的面积 889.9km², 主要分布在黑龙港与滹滏平原。黑龙港平原总面积 4 934km², 有咸水分布面积 3 267.7km², 占总面积的 66.2%; 滹滏平原总面

积 748km², 有咸水分布面积 540.8km², 占总面积的 72.3%。

邢台市平原区地下咸水多年平均年资源量 5.34×10⁸m³, 其中 2.0~3.0g/L 的微咸水多年平均年资源量 3.25×10⁸m³, 3.0~5.0g/L 的咸水 1.20×10⁸m³, 大于 5.0g/L 的咸水 0.89×10⁸m³。这些微咸水和咸水主要集中在黑龙港和滹滏平原区各县市^[1]。水化学类型较为复杂, 分布情况详见表 1。

表1 邢台市咸水分布情况统计表
Table1 The saltwater distribution in Xingtai City

县市名称	面积 /km ²	咸水区面积比 /%	矿化度 2.0~3.0/g·L ⁻¹		矿化度 3.0~5.0/g·L ⁻¹		矿化度大于 5.0/g·L ⁻¹	
			面积/km ²	资源量/10 ⁴ m ³	面积/km ²	资源量/10 ⁴ m ³	面积/km ²	资源量/10 ⁴ m ³
隆尧县	749	18.8	54.0	240.6	53.5	613	33.5	383.8
任县	431	15.8	32.0	104.0	17.2	198.8	18.8	217.3
宁晋县	1107	54.0	310.9	425.1	191.4	2 762.9	95.7	1542.0
南宫市	854	65.3	304.1	4 329.4	150.0	2 074.9	103.8	1 391.9
巨鹿县	631	98.3	461.9	5 983.7	91.4	1 113.1	66.7	810.3
新河县	366	100	128.9	1 438.7	54.3	608.7	182.8	2 241.4
广宗县	513	96.0	231.0	3 390.1	150.8	2 141.7	110.6	1 559.4
平乡县	406	64.0	214.1	2 682	44.9	551.6	0.8	9.3
威县	994	50.0	353.1	5 212.6	91.9	1 362.4	50.0	745.6
清河县	501	33.2	146.0	2 165.7	20.2	297.2	0	
临西县	550	25.7	115.1	1 892.3	24.3	371.5	1.8	27.5
合计			2 351.1	32 547.5	889.9	11 977.2	664.5	8 928.5

收稿日期: 2010-01-07

作者简介: 王春泽(1956-), 男, 河北沧州人, 教授级高工, 从事水文分析计算和水资源保护方面的研究工作。E-mail: hbxtqgj@163.com

1.2 咸水分布规律

咸水水化学的形成是区域水化学形成的一部分。在其形成的历史过程中,由于受地质构造、地层岩性、古气候、古地理环境及地形地貌、水文地质条件等因素的综合影响,经历了不同时期的地球化学作用演化过程,形成了特定的水化学特征,不仅具有明显的水平分带规律,而且也有垂直分带规律,而且,这种规律表现出明显的地域性^[2]。

分布在曲周、南宫、冀县、衡水一带的山前交接洼地冲湖积平原水化学区,以古永年洼、古宁晋泊为中心,西靠全淡水区,东与河道相连。此区地下水的水质结构反映为上部咸水-下部淡水的二层特点。在邢台市受该区影响的县市有新河县、宁晋县、巨鹿县、平乡、广宗、威县、南宫市等,河道带冲积平原区南起大名、临西,经故城、吴桥、东光至大城、安次一带,其中南部漳卫河古河道最为发育。区内广泛分布有浅层淡水,地下水水质结构主要有两种:一种是河道带的浅层淡水-咸水-深层淡水三层类型,另一种是河间带的上部咸水-下部淡水二层类型^[3]。邢台市的临西、清河在该区范围内。

在垂直方向上,咸水主要赋存于第四系的第一和第二含水层组,咸水底界由西向东逐渐加深,下伏为深层淡水,上覆有浅薄层淡水或无淡水覆盖。有咸水分布区,地下水位埋深一般小于30m,称为浅层咸水。

2 咸水灌溉对作物的影响

2.1 研究区咸水水化学特征

邢台市咸水的分布和含量都比较复杂,有呈零星

岛状的咸水区,而且含量变化也较大,对合理开发利用带来一定困难。邢台市咸水区主要离子含量监测成果见表2。

不同的盐类和离子对植物的毒害作用是不相同的。在碳酸盐(Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 MgCO_3 、 CaCO_3)中,碳酸钠(Na_2CO_3)是最有害的。碳酸氢钠(NaHCO_3)比碳酸钠(Na_2CO_3)的毒害要小,当土壤干燥时,它容易变成碳酸钠而增大其毒性。碳酸钙(CaCO_3)是无害盐,在土壤含量超过15%~20%时,植物仍能正常生长。碳酸镁(MgCO_3)是难溶性盐,在与硫酸钠和氯化钠混合存在时,可以提高它的溶解度,对植物产生毒害。

硫酸盐(Na_2SO_4 、 MgSO_4 、 CaSO_4)中,对植物最有害的是硫酸镁(MgSO_4),其次是硫酸钠(Na_2SO_4)。硫酸钙(CaSO_4)对植物是无害的,含硫酸钙的土壤植物生长正常,并能提高植物耐盐力,通常把土壤中硫酸钙含量的多少看作盐土改良难易的指标。

氯化物(NaCl 、 MgCl_2 、 CaCl_2)都是有害盐,氯化物有害的原因是因为它含有氯离子,氯离子影响植物的原生质膜,改变了植物的通透性。由于膜的通透性改变,导致植物细胞的营养失调,抑制生长。

构成水中的有效盐(有害盐)共有九种: NaCl 、 MgCl_2 、 CaCl_2 、 Na_2SO_4 、 MgSO_4 、 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 MgCO_3 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$,而咸水中的有效盐一般是以下6种: NaCl 、 MgCl_2 、 Na_2SO_4 、 MgSO_4 、 NaHCO_3 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 。邢台市咸水中以上6种有害盐均有分布。 NaCl 分布最广,所有咸水区均有分布; MgCl_2 、 MgSO_4 有害盐主要分布在新

表2 邢台市咸水区主要离子含量调查表
Table2 The questionnaire of saltwater ion content in Xingtai City

取样地点	主要离子含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$								矿化度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
	钙离子	镁离子	钾离子	钠离子	重碳酸盐	碳酸盐	氯离子	硫酸盐	
巨鹿县胡林寨	460	1 840	24.1	1 200	453	0	6 380	2 700	12 700
巨鹿县小留庄	531	765	15.3	542	672	0	1 960	1 220	4 680
威县方营 1 号井	173	428	5.41	878	511	0	2 140	632	5 430
威县方营 2 号井	124	209	163	393	1 340	0	528	484	2 800
南宫市冯庄 1 号井	492	339	6.12	970	780	0	2 140	4 100	8 650
南宫市冯庄 2 号井	356	449	1.95	966	843	0	2 380	838	6 600
临西常屯 1 号井	22	21.8	3.5	921	697	0	735	356	2 756
临西常屯 2 号井	48	165	35	1 260	1 550	0	908	807	4 773
新河吕家庄 1 号井	174	156	1.11	308	536	0	659	318	2 105
新河吕家庄 2 号井	261	292	2.30	620	491	0	1 200	841	3 700
宁晋贾口	214	202	25	668	622	0	209	1 870	3 810
宁晋孟庄	293	356	20	910	744	0	411	2 970	5 530
广宗南孝路	165	142	3.23	537	553	0	531	156	2 650

河、巨鹿、广宗、威县、南宫一带;Na₂SO₄、NaHCO₃、Mg(HCO₃)₂主要分布在新河、临西、威县、广宗一带。

2.2 咸水灌溉对作物的影响

从植物学角度分析,植物从土壤里摄取营养是靠根毛细胞的渗透作用,这就要求土壤里的盐类必须能溶解于水,并形成植物根毛细胞的细胞液浓度与土壤溶液浓度差,才能使水和盐分渗透到根毛细胞中。即根毛细胞的细胞液浓度大于土壤溶液浓度时,土壤水和盐类就能进入根毛细胞,被植物所吸收利用。当土壤溶液的浓度远大于根毛细胞的细胞液浓度时,不仅根毛细胞不能从土壤里摄取水分和矿物盐类,甚至根毛细胞中的水分还会渗向土壤中,致使根毛细胞脱水而引起整个植株的死亡,这是盐类对植物的第一种毒害作用^[4]。在这一过程中,引起植物死亡的本质因素并不是盐类本身的毒性,而是由于土壤溶液浓度过大影响了根细胞水势的缘故。

植物的根细胞对土壤中的矿质盐类是根据自己的生理特点进行选择吸收的,盐溶液浓度在万分之几至十万分之几时对植物是有益的,甚至能刺激植物的生长。如在酸性土壤中NaCl是良好肥料,在碱性土壤中,NaCl就对植物有毒害作用。当土壤溶液中某种盐类过多时,就会使植物失去选择吸收的能力而超量摄取,以致使植物的生长受到抑制或植株的某一部分产生畸形,这是第二种毒害,这种毒害是由盐类本身的化学性质所引起的。

有效盐的危害主要是盐害,少数为盐碱双害(邢台

市有盐碱双害的县为临西县)。在咸水分布区,单一的碱害基本不存在^[5]。有效盐的存在与各离子水化学成分的比例有关,主要由各离子含量比例关系决定。用R_{Na}表示钠离子含量(mmol/L),用R_{Cl}表示氯离子含量(mmol/L),用R_{SO4}表示硫酸盐含量(mmol/L),则可用R_{Na}/R_{Cl}和R_{Na}/(R_{Cl}+R_{SO4})系数确定有效盐的含量。

当R_{Na}/R_{Cl}系数大于1.0时,有效盐类为NaCl、Na₂SO₄、MgSO₄、Mg(HCO₃)₂四种;当R_{Na}/R_{Cl}系数小于1.0时,有效盐主要为NaCl、MgCl₂、MgSO₄三种。当R_{Na}/(R_{Cl}+R_{SO4})大于1时,有效盐出现NaHCO₃,咸水呈盐碱双害。邢台市咸水中有效盐类含量及盐度、碱度计算计算成果见表3。

盐害对作物的影响主要表现在以下方面:影响作物对水分的吸收。土壤中的过量可溶性盐使土壤溶液浓度增高,作物吸水困难。当其超过植物体内细胞的浓度时,会使植物体内水分反渗透出来,造成植物生理干旱而死亡。土壤盐分过多也影响植物对养分和元素的吸收,使作物营养不良,生长失去平衡,发育不正常而减产。过量盐存在,还会影响微生物活动,使土壤养分不能有效转化,降低作物产量。据测定,当土壤中NaCl或Na₂SO₄含量达到0.1%时,其氮化作用就会大大降低。硝化细菌的活动使受盐害危害更大。

从上述咸水有效盐类特征可以看出,咸水的水质类型及盐害程度,与其矿化度关系最为密切。因此,以咸水矿化度作为咸水灌溉的最直接指标,既简单又便于测定。

表3 邢台市咸水矿化度与盐度及碱度分布计算成果表
Table3 The calculated results of salinity and alkalinity of salt water in Xingtai City

取样地点	矿化度 /g·L ⁻¹	有效盐类含量/mmol·L ⁻¹						盐度 /mmol·L ⁻¹	碱度 /mmol·L ⁻¹	
		NaCl	MgCl ₂	Na ₂ SO ₄	MgSO ₄	NaHCO ₃	Mg(HCO ₃) ₂			总和
巨鹿 1	4.68	23.6	31.7		23.9			79.2	23.6	
巨鹿 2	12.70	107.1	39.1		50.1			196	107.1	
南宫 1	8.65	42.2	18.2		42.6			103	42.2	
南宫 2	6.60	42.0	25.1		11.9			79.0	42.0	
临西 1	2.75	20.73		7.6		8.67	1.79	38.79	28.33	8.67
临西 2	4.77	25.6		16.8		9.4	13.6	65.4	42.4	9.4
威县 1	5.43	38.2	22.2		13.0			73.4	38.2	
威县 2	2.80	14.9		2.2	7.9		9.3	34.3	17.1	
新河 1	2.10	13.4	5.2		6.6		1.0	26.2	13.4	
新河 2	3.70	27.0	6.9		17.1			51.0	27.0	
广宗	3.55	23.2	2.6		14.9			40.7	23.2	
平乡	6.26	20.6		18.4	50.1			89.1	39.0	

3 咸水灌溉条件实验研究

土体盐分的变化是通过水的活动进行的,是以水为载体而发生的,从而导致水盐与土盐产生相变(水溶盐与固态盐)。水盐与土盐在量上的相关性,对咸水灌溉及治理具有理论性指导意义。土壤含盐量是土中所含盐分(主要是氯化盐、硫酸盐、碳酸盐)的质量占干土质量的百分数^[6]。邢台市临西县对咸水灌溉小麦时土壤盐分进行试验,试验结果见表4。

通过试验可知,到试验结束日6月8日时,使用3.0g/L咸水灌溉小麦,在20~40cm土壤层含盐量最大为0.166%,平均含盐量为0.124%;使用5.0g/L咸水灌溉,土壤含盐量最大为0.255%(5~20cm),土壤平均含盐量为0.171%;使用7.0g/L咸水灌溉,土壤含盐量最大为0.249%(20~40cm),土壤平均含盐量为0.218%。轻度盐碱土标准为0.2%,使用3g/L咸水灌溉,土壤含盐

量的最大值或平均值,均小于0.2%的标准,而使用大于3g/L咸水灌溉,会使土壤积盐,导致土壤发生盐碱化。

邢台市临西县水利局农场试验区,在非盐碱地里灌溉5.0~7.0g/L咸水,虽然获得了增产效果,但土壤耕层积盐率达到238%。在同样条件下,改灌3.0g/L咸水,不仅能够增产,土壤积盐率也只有32%,麦收后土壤全盐量为0.09%,邢台市临西县咸水灌溉试验成果见表5。

威县赵村用3.0~5.0g/L的咸水直接灌溉,麦苗成活率不高,且土壤板结。后来,该村在直接利用咸水灌溉效果不好的情况下,改用深水井(矿化度0.8g/L)与浅水井(矿化度3.4g/L)并网,在水池将混合水的矿化度控制在2.0g/L以下进行灌溉,使试验区小麦获得6225kg/hm²的高产,土地也良好如故。

以上两个咸水试验的典型调查,由于地理地质环境不同咸水灌溉试验的结果有所不同,但总的结论一

表4 临西县咸水灌溉小麦土壤含盐量试验结果
Table4 The salinity experimenting results for the saltwater irrigation wheat soil in Linxi County

水的矿化度	深度/cm	不同时间含盐量测量结果/%						积盐/%	积盐率/%
		9月29日	3月1日	4月9日	5月3日	5月25日	6月8日		
3.0/g·L ⁻¹	0~5	0.061	0.134	0.205	0.138	0.066	0.094	0.033	54
	5~20	0.068	0.094	0.122	0.106	0.099	0.090	0.022	32
	20~40	0.076	0.126	0.115	0.149	0.209	0.166	0.090	118
	40~60	0.118	0.140	0.146	0.131	0.205	0.143	0.025	21
	60~80	0.147	0.170	0.166	0.134	0.130	0.118	-0.029	-19
	80~100	0.177	0.178	0.178	0.149	0.122	0.130	-0.047	-26
5.0/g·L ⁻¹	0~5	0.069	0.098	0.350	0.108	0.407	0.164	0.095	137
	5~20	0.067	0.098	0.182	0.156	0.194	0.255	0.188	280
	20~40	0.067	0.070	0.082	0.116	0.182	0.187	0.120	179
	40~60	0.084	0.078	0.099	0.085	0.098	0.133	0.049	58
	60~80	0.120	0.094	0.087	0.102	0.107	0.143	0.023	19
	80~100	0.134	0.126	0.102	0.119	0.118	0.143	0.009	6
7.0/g·L ⁻¹	0~5	0.054	0.094	0.084	0.241	0.138	0.221	0.167	309
	5~20	0.063	0.090	0.112	0.372	0.209	0.213	0.150	238
	20~40	0.071	0.083	0.130	0.280	0.213	0.249	0.178	250
	40~60	0.110	0.098	0.160	0.162	0.237	0.225	0.115	104
	60~80	0.140	0.110	0.153	0.130	0.194	0.221	0.081	58
	80~100	0.145	0.122	0.156	0.134	0.213	0.181	0.036	25

表5 邢台市临西县咸水灌溉试验成果表
Table5 The experimenting results of saltwater irrigation in Linxi County

灌溉次数	矿化度/g·L ⁻¹	灌溉水量/m ³ ·hm ⁻²				灌水总量/m ³ ·hm ⁻²	产量/kg·hm ⁻²	5~20cm积盐/%		
		返青	拔节	抽穗	灌浆			播前	收后	盐积率
3	7.0		900	750	750	2400	5550	0.063	0.213	238
3	5.0		900	750	900	2550	5655	0.067	0.225	235
4	5.0	600	600	750	750	2700	5655	0.061	0.221	262
4	3.0	600	600	750	750	2700	5640	0.068	0.090	32

致:咸水灌溉试验与河北省土体盐分成果一致,通过试验说明,在邢台市对咸水利用,矿化度小于或等于3.0g/L,对作物和土壤影响较小。

4 咸淡水混合灌溉方法

直接利用咸水灌溉方便、经济,又能取得增产效果,但若用得不当,则存在潜在的危害。因此,可根据当地条件,选用咸水间接利用方式,即把较高矿化度的咸水与淡水按一定比例混合后用于灌溉,以降低水的矿化度,减少盐分对作物及土壤的危害。咸淡水的混合比例应根据咸水的矿化度和当地淡水资源条件来决定,原则是混合后的水要能够满足农业灌溉水质要求,或者能减轻盐害。咸淡水混合的配比关系可以按下式计算确定:

$$M = \frac{M_1V_1 + M_2V_2}{V_1 + V_2} \quad (1)$$

式中: M 为混合水的矿化度,g/L; M_1 、 M_2 为混合前咸、淡水矿化度,g/L; V_1 、 V_2 为混合前咸、淡水的体积,m³。

根据邢台市咸水灌溉实验研究结果,进行咸淡水混合灌溉时,控制灌溉水在3.0g/L以下,以保证作物生长安全。不同地域根据当地咸水和淡水的浓度,计算合适的咸淡水比例。表6是混合到矿化度为3.0g/L时每立方米咸水所需淡水量。

例如,已知淡水的矿化度为0.8g/L,咸水矿化度为6.0g/L,混合到矿化度为3.0g/L时,利用表6可查得,每立方米咸水所需淡水量为1.37m³。

咸水中加入一定比例的淡水混合后进行灌溉,可以改善水质,降低咸水的矿化度,使其达到可灌溉的标

准;淡水中加入咸水增加可利用的水资源量,扩大灌溉效益。咸水与碱性淡水混合能改善水质,由于两种水中各种离子含量不同,可以相互稀释而降低矿化度、盐度和碱度。在邢台市平原区,深层地下水都呈弱碱性,水中碳酸根离子和碳酸氢根与微咸水中的钙离子和镁结合后,可产生碳酸盐及重碳酸盐类沉淀,从而能克服碱性危害。这样,既可以淡化微咸水,又可以改变水中溶解物的化学性质,减轻对作物的危害。例如,将含有较多Ca²⁺的碱性水与含有较多Ca²⁺、Mg²⁺的咸水混合时,CO₃²⁻、HCO₃⁻首先与Ca²⁺、Mg²⁺化合形成无害盐类CaCO₃、MgCO₃、Ca(HCO₃)₂。而Na⁺同Cl⁻、SO₄²⁻化合物形成的NaCl、Na₂SO₄比Na₂CO₃、NaHCO₃的危害低得多,而且它们在进入土壤后,在集中降雨或淡水灌溉时易于淋洗排出土体。通过两种水中的离子相互化合作用而降低盐碱灾害。

5 咸淡水混合灌溉对改善生态环境的作用

邢台市黑龙港平原区,由于长期大面积过量开采地下水,对地下水环境产生一定的影响,引发了地下水水位大幅度下降、降落漏斗快速扩展、含水层疏干、地面沉降、咸水界面下移等地质环境问题。通过开展咸淡水混合灌溉技术,将两种不同的灌溉水混合使用,首先降低灌溉水的含盐量或改变其盐分组成。混灌在提高灌溉水水质的同时,也增加了可灌水的总量,使以前不能使用的碱水或高盐渍度的咸水得以利用。

表6 混合到矿化度为3.0g/L时每立方米咸水所需淡水量 (m³)
Table6 The fresh water demanded for per cubic meter of salt water mixing to the salinity of 3g/L (m³)

淡水矿化度 /g·L ⁻¹	咸水矿化度/g·L ⁻¹								
	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
0.5	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80
0.6	0.21	0.42	0.62	0.83	1.04	1.25	1.46	1.66	1.87
0.7	0.22	0.44	0.65	0.87	1.09	1.31	1.52	1.74	1.96
0.8	0.23	0.46	0.68	0.91	1.14	1.37	1.59	1.82	2.05
0.9	0.24	0.48	0.71	0.95	1.19	1.43	1.67	1.90	2.14
1.0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
1.1	0.26	0.53	0.79	1.05	1.32	1.58	1.84	2.10	2.37
1.2	0.28	0.56	0.83	1.11	1.39	1.67	1.94	2.22	2.50
1.3	0.29	0.59	0.88	1.18	1.47	1.76	2.06	2.35	2.65
1.4	0.31	0.63	0.94	1.25	1.56	1.88	2.19	2.50	2.81
1.5	0.33	0.67	1.00	1.33	1.67	2.00	2.33	2.67	3.00
1.6	0.36	0.72	1.07	1.43	1.79	2.15	2.50	2.86	3.32
1.7	0.38	0.77	1.15	1.54	1.92	2.31	2.69	3.08	3.46
1.8	0.42	0.83	1.25	1.67	2.08	2.50	2.92	3.33	3.75
1.9	0.45	0.91	1.36	1.82	2.27	2.73	3.18	3.64	4.09
2.0	0.50	1.0	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50

从2005年开始,邢台市在黑龙港区的8个县市开展咸淡水混合灌溉,2005年咸淡水混合灌溉面积8709hm²,节约淡水851×10⁴m³。邢台市咸淡水混合灌溉节水效益成果见表7。

由于大量超采深层地下水,造成地下水位持续下降,使浅层水位与深层水位差增大,形成浅层地下水越流补给深层地下水的条件。在咸水区,造成咸水界面下移的情况。通过对邢台市咸水区咸水界面下移分析计算^[7],黑龙港平原区每年咸水底界面下移量为1.06m,滹沱平原区咸水底界面每年下移量为0.84m。通过开展咸淡水混合灌溉,减少淡水开采,增加咸水开采量,可以有效减缓咸水底界面下移的速度。

利用咸淡水混合灌溉技术,在保证农业生产增产

增收的前提下,可减少淡水开采量,减缓淡水层的水位下降速率。根据减少淡水开采的数量和该区域的给水度,可计算出该区域地下水位变化情况,计算公式如下:

$$H = \frac{W_J}{100 \times \mu \times F} \quad (3)$$

式中: H 为地下水位变化值,m; W_J 为咸淡水混合灌溉减少的淡水开采量,10⁴m³; μ 为区域的给水度; F 为区域面积,km²。

根据咸水区各县市的面积、给水度和减少开采的淡水资源量^[8],计算出2005年、2006年、2007年的地下水位变化情况,咸水开采区各县市减少水位下降情况见表8。

表7 邢台市咸淡水混合灌溉节水效益成果表
Table7 The water-saving benefits from fresh-salt mixed water irrigation in Xingtai City

县市名称	2005年		2006年		2007年	
	咸淡水混合灌溉面积/hm ²	减少淡水开采量/10 ⁴ m ³	咸淡水混合灌溉面积/hm ²	减少淡水开采量/10 ⁴ m ³	咸淡水混合灌溉面积/hm ²	减少淡水开采量/10 ⁴ m ³
宁晋县	293	29	0	—	0	—
南宫市	2469	241	0	—	953	53
临西县	1304	127	0	—	796	43
威县	533	52	1000	98	1047	57.9
隆尧县	380	37	733	72	1000	80
平乡县	867	85	880	86	0	0
清河县	997	97	680	66	880	48.8
新河县	959	94	944	92	0	—
广宗县	440	43	0	—	1340	107.2
巨鹿县	467	46	1000	98	1000	80
合计	8709	851	5237	512	7016	469.9

表8 邢台市平原区咸淡水混合灌溉对地下水位影响计算成果
Table 8 The influence of fresh-salt mixed water irrigation on groundwater stage in Xingtai City

县市名称	面积/km ²	给水度	2005年		2006年		2007年	
			减少淡水开采量/10 ⁴ m ³	影响水位变化/m	减少淡水开采量/10 ⁴ m ³	影响水位变化/m	减少淡水开采量/10 ⁴ m ³	影响水位变化/m
宁晋	1107	0.059	29	+0.44	0	—	0	—
南宫	854	0.06	241	+4.70	0	—	53	+1.03
临西	550	0.058	127	+3.98	0	—	43	+1.35
威县	994	0.056	52	+0.93	98	+1.76	57.9	+1.04
隆尧	749	0.05	37	+0.99	72	+1.92	80	+2.14
平乡	406	0.06	85	+3.49	86	+3.53	0	—
清河	501	0.057	97	+3.40	66	+2.31	48.8	+1.71
新河	366	0.06	94	+4.28	92	+4.19	0	—
广宗	513	0.062	43	+1.35	0	—	107.2	+3.37
巨鹿	631	0.057	46	+1.28	98	+2.72	80	+2.22
合计	6671		851		512		469.9	
平均值		0.0579		+2.20		+1.33		+1.22

从分析结果可以看出,2005年,开展咸淡水混合灌溉,使南宫市地下水位减少下降幅度为4.70m,流域平均减少水位下降幅度为2.20m。2006年和2007年区域内减少地下水位下降的幅度分别为1.33m和1.22m,三年累积减少地下水位下降的幅度为4.75m。因此,开展咸淡水混合灌溉,可减缓地下水位下降,对改善该区的生态环境发挥了重要作用。

6 结论

在咸水区开展咸淡水混合灌溉,可充分利用咸水资源,增加可利用的水资源。邢台市在2005~2007年期间,在咸水区农业灌溉使用咸淡水混合灌溉,减少淡水开采量 $1\ 883\times 10^4\text{m}^3$,

咸淡水按照一定比例混合,使其达到农业灌溉用水要求,咸淡水混合后,改善并降低咸水矿化度含量,达到充分利用咸水资源的目的。根据邢台市平原区土壤性质、耕作措施及气候条件等因素,咸淡水混合后矿化度控制在3.0g/L以下,对农作物安全、土壤环境影响较小。

在保证农业生产增产增收的前提下,充分利用咸水,减少淡水开采量,对改善当地地下水生态环境发挥重要作用。2005~2007年期间,减少水位下降幅度4.75m,并对减缓咸水底界面下移、含水层疏干等方面,都发挥积极作用。

参考文献:

[1] 乔光建,张勇.邢台市咸水分布特征与合理开发利用研究[J].水资源保护,2004,20(2):22-26.(QIAO Guangjian,ZHANG Yong. Character-

istics of saltwater distribution in Xingtai City and its reasonable development and utilization [J].Water Resources Protection,2004,20(2):22-26.(in Chinese))

- [2] 王双合,胡兴林,蓝永超,等.甘肃省苦咸水资源量及时空分布规律研究[J].中国沙漠,2009,29(5):995-1002.(WANG Shuanghe,HU Xinglin,LAN Yongchao,etal. Bitter-salty water resources amount and its distribution in Gansu province [J]. Journal of Desert Research, 2009,29(5):995-1002.(in Chinese))
- [3] 陈望和.河北地下水[M].北京:地震出版社,1999.(CHEN Wanghe. Groundwater of Hebei Province [M].Beijing:Earthquake Press,1999.(in Chinese))
- [4] 崔毅.农业节水灌溉技术及应用实例[M].北京:化学工业出版社,2005,232-240.(CUI Yi.Agricultural Water-saving Irrigation Technology and Application Examples [M].Beijing:Chemical Industry Press,2005,232-240.(in Chinese))
- [5] 河北省水利科学研究所.减少盐分对作物土壤和水的危害[R].1981.(Water Conservancy Science Institute of Hebei Province.Desalination on crop soil and water hazards [R].1981.(in Chinese))
- [6] 张展羽,詹红丽,郭相平.滨海平原农田土壤含盐量空间变异分析[J].河海大学学报(自然科学版),2002,30(4):61-65.(ZHANG Zhanyu,ZHAN Hongli,GUO Xiangping.Spatial variability analysis of soil salinity for Binhai plain [J].Journal of Hohaiuniversity(Natural Sciences),2002,30(4):61-65.(in Chinese))
- [7] 乔光建.区域水资源保护探索与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2007.274-279.(QIAO Guangjian.Exploration and Practice in Protection of Local Water Resources [M].Beijing:China WaterPower Press,2007.274-279.(in Chinese))
- [8] 王春泽,乔光建.邢台市地下水生态环境恢复需水量估算[J].水资源保护,2005,21(5):42-45.(WANG Chunze,QIAO Guangjian.Calculation of water demand for groundwater eco-environment restoration in Xingtai City [J].Water Resources Protection,2005,21(5):42-45.(in Chinese))

Application and Practice of Salt-fresh Water Mixed Irrigation Technology

WANG Chunze¹,ZHANG Xinlong²,QIAO Guangjian³

(1. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050031, China;

2.Bureau of Hydrology, MWR, Beijing 100053, China;

3. Xingtai Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Xingtai 054000, China)

Abstract: The irrigation technology of salt water mixed with fresh water, which use two different salinities of the irrigation water, is aimed to reduce the salt content or change its salt composition. The salt water mixed with fresh water for irrigation can not only increase water quality, but also increase the total amount of irrigation water, so that the high-salinity water can be used. According to an experimental study on salt water irrigation conditions in the Xingtai City plain and the technical analysis of salt-fresh water mixed irrigation, the salinity of mixture of salt water and fresh water can be control in the 3 g/L. In recent years, we carried out some practice of salt-fresh water mixed irrigation. The results show that salt-fresh water mixed irrigation can make full use salty water resources, reduce the amount of fresh water exploitation and improve the local ecological environment.

Key words: salt water use;condition of salt water irrigation; salt-fresh water mixed irrigation technology; improvement of the ecological environment; Xingtai City plain