

黄土高原苦水地区 水化学特性及苦水的合理利用*

黄义端 田积莹 雍绍萍

提 要

本文主要讨论黄土高原苦水地区地下水及地面水的化学特性和灌溉水质评价等问题。根据当地灌溉实践经验,通过水的矿化度和灌溉系数间的相关分析,说明在清水河、祖厉河、渭河等流域内,矿化度小于 7 g/l 的苦水,可作灌溉用水;而在泾河及洛河流域内,矿化度小于 6 g/l 的苦水才能作为灌溉用水。苦水水质低劣,只能在气候干旱、淡水极缺、排水良好的土壤上灌溉和种植耐盐作物。

黄河中游干旱半干旱地区,水源缺乏,自古以来人们对于水资源的开发和利用极为重视。有很多反映当地水质特点的地名,仍流传至今。陕北的甘泉县,宁夏的苦水河、臭水沟,甘肃的咸河、苦水掌、甜水堡等都由于这些地方水质特点而得名。随着工农业生产的高速发展,灌溉面积不断扩大,水的供求矛盾日益突出,采取有效措施解决水源不足的问题至为迫切。有些科学家对于利用高矿化水灌溉包括利用海水灌溉的可能性已作了广泛的探索与研究。我国在苦咸水的利用方面也有较长的历史,并积累了不少的经验。为了进一步搞好苦水的开发利用,我们近年来对黄河中游苦水地区的地面水和部分地下水的水质情况进行了系统的调查研究。本文主要对苦水地区的水化学特征及苦水利用等问题作一初步探讨。

一、苦水地区的地下水地面水的矿化度和化学组成

黄河中游干旱半干旱地区的苦水主要分布于祖厉河、清水河、苦水河以及泾河上游的环江、马连河等流域,渭河上游北岸支流的葫芦河、散渡河、咸河以及洛河上游的头道川等流域内也有较多的分布。大致在陇西、通渭、固原、庆阳一线以北,西起兰州,东到鄂托克旗,北至黄河沿岸这一范围内,属于苦水的主要分布地区。该区自然条件复杂,苦水形成的水文地质条件区域变化显著,苦水的水质情况亦随之而异,有些地方苦水和甜水往往交错分布。

* 米登山同志曾参加过此项工作。

白 垩 纪 上 升 泉 的 化 学 组 成

表 1

水 样	取样时间	矿化度 (克/升)	pH	毫 克 当 量 / 升						SSP %	SO ₄ ²⁻ 占阴离 子总量%		Cl ⁻ 占阴离 子总量%	
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ + Na ⁺				
固原硝口深井水	1978.9.26	128.94	8.05	0.00	4.80	632.50	1371.00	27.74	14.48	1966.08	98	68.3	31.50	
固原硝口东岔子泉水	1978.9.26	41.45	8.55	1.36	7.65	194.24	446.60	16.12	9.18	624.56	96	68.7	29.89	
固原寺口子坝下泉水	1976.5.13	26.03	8.30	0.00	12.87	141.05	84.53	23.84	14.34	200.47	84	35.4	59.10	
固原臭水沟泉水	1980.9.9	18.63	7.80	0.31	10.70	11.53	240.82	3.55	4.43	255.37	97	91.4	4.40	
西吉臭水河泉水	1976.5.13	16.57	8.52	0.00	8.03	97.50	59.13	23.39	11.58	129.69	97	35.9	59.21	
固原双井子泉水	1977.8.22	25.86	7.17	3.08	10.97	257.52	73.40	15.76	8.12	320.70	93	21.3	74.74	

本区地下苦水主要是地面入渗水流对黄土层及其下伏岩层中盐类溶解淋溶的结果。这种方式所形成的高矿化地下潜水,在一定条件下又以泉水方式溢出地面,汇入沟道河流,使这些水体受到污染而成为地面苦水。高矿化泉水的化学组成主要决定于它的成因类型,而地面苦水的化学组成则主要取决于地面水所受高矿化泉水的污染情况。

本区高矿化泉水主要有两大成因类型,其一为白垩纪地层的上升泉,其二为第四纪地层的下降泉。白垩纪上升泉主要分布于清水河上游马东山东西两侧,如固原的硝口、寺口子、西吉的沙沟等地皆有出露。此外固原的双井子沟亦有分布。这些地方的白垩纪地层,均属湖相沉积,富含易溶性盐类,有的夹有薄层石膏。地表水沿孔隙渗至地层深处,长期与上述岩层接触,溶解浸提了大量盐分之后,再沿断层裂隙涌出,形成矿化度很高的上升泉。它们有的在溢出地面时,散发大量硫化氢气,因具恶臭,有人称之为臭水;有的在溢出地面后,在地面结成硝盐,故又有硝水之称。这些上升泉矿化度最高可达130克/升左右,低者亦达20克/升左右。由于它们出源于地层深处,不易受到气候变化的影响,因此其矿化度年际及季节性变化极小。白垩纪上升泉的化学组成(表1)各地亦较类似,一般属钠质氯化物硫酸盐类水。其中阳离子以Na⁺为主,约占阳离子总毫克当量的84—98%,其次为Ca⁺及Mg⁺,一般Mg⁺多于Ca⁺。阴离子有的以SO₄²⁻为主, (约占阴离子总毫克当量的68—91%), 有的以Cl⁻为主 (约占阴离子总量的60—75%), HCO₃⁻及CO₃²⁻一般含量极少,常在10毫克当量/升左右 (约占阴离子总量的5%), 矿化度愈高, HCO₃⁻及CO₃²⁻含量愈低。它们都属于盐性水, 主要盐类为Na₂SO₄及NaCl等, 由于其矿化度高, 注入河道导致河水水质显著恶化。例如清水河流域的东至河、中河、双井子沟都因这种泉水的流入而引起下游水质的明显恶化。

高矿化度第四纪下降泉的形成主要是地面下渗水流对第四纪沉积物中易溶盐类淋溶浸提的结果。苦水地区的第四纪沉积物特别是在干旱地区的黄土及黄土性沉积物中,易溶性盐分含量较高,因此在大气降水匮乏的情况下,可以形成高矿化泉水。而在降水较多的地区,由于地面组成物质中的盐分被淋溶程度较高,含盐量低,因此潜水的矿化度较低。高矿化的第四纪淋溶潜水(下降泉)常沿第四纪沉积层与第三纪红层不整合面而出露于沟谷斜坡,汇入沟谷,它在苦水地区分布非常广泛,是苦咸水的主要成因类型。第四纪淋溶潜水在雨季水量较大,旱季水量很小,甚至消失。由表2的资料可以看出,这些沟泉水矿化度一般在10—30克/升左右,矿化度以旱季较高雨季较低,它们相差可达一倍左右。这类沟泉水一般属钠质氯化物硫酸盐,在阳离子中一般以钠为主,约占阳

表2

源于第四纪地层的高矿化度沟泉水的化学组成

水 样	取样日期 (年.月.日)	矿化度 (克/升)	pH	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ +Na ⁺	SSP
				毫 克 当 量 / 升							%
盐池苦水河支流	1979.5.20	29.75	8.40	0.07	2.28	297.00	202.50	24.38	146.06	331.42	66.04
同心金鸡儿沟	1979.5.28	15.45	8.00		2.71	118.80	120.80	30.23	50.31	161.78	66.77
	1978.9.22	7.57	7.05		2.16	51.68	67.93	30.19	23.26	68.32	56.11
同心边迁沟	1979.5.6	14.83	7.00		3.82	110.54	122.75	28.76	52.65	156.19	65.89
	1977.11.5	13.12	8.11		2.46	98.01	101.00	25.26	47.44	127.87	63.75
同心洞子沟	1977.11.5	22.39	7.82		3.64	181.17	180.00	28.84	55.66	280.31	76.84
同心折死沟	1976.5.25	14.70	8.23		5.70	133.57	35.80	21.28	84.90	68.88	39.34
海源李旺红沟	1978.9.26	18.77	7.90		1.88	149.09	166.50	30.60	68.54	218.33	68.77
海源碱泉口	1976.6.3	11.28	8.10		3.96	102.51	37.56	24.07	62.20	57.77	40.11
西吉大坪路家滩	1979.5.13	23.03	8.30	0.55	3.20	160.56	205.10	17.16	103.74	248.51	67.27
西吉党家岔	1977.7.19	9.05	7.58		4.31	59.40	79.00	8.40	39.20	95.10	66.64
固原杨达子沟	1977.6.1	9.63			2.80	76.42	77.30	10.90	52.03	94.67	60.00
	1980.9.6	6.18	7.2		1.44	46.01	47.46	11.28	27.60	56.02	59.02

离子总量40—70% (个别以镁离子为主,约占阳离子总量的43—48%)。在阳离子中Mg⁺一般多于Ca⁺,仅个别Ca⁺略多于Mg⁺。在阴离子中多以SO₄⁼为主,少部分以Cl⁻为主,但总的来看除个别而外,SO₄⁼和Cl⁻含量相近,HCO₃⁻含量极低,仅个别水样含少量CO₃⁼离子。由上述可见,这类泉水矿化度虽较白垩系上升泉低,但由于其中Mg⁺⁺及Cl⁻含量相对较上升泉中的含量高,同时它分布普遍,因此这类泉水对于地面其它水体的污染更为严重。

河水主要由沿岸的溢出潜水、各支流的沟泉水以及流域内的雨水径流汇集而成。因此,苦水地区河水的矿化度及水化学组成,除了取决于上述高矿化泉水的污染情况外,同时还受当地水文气象条件的制约。苦水区地处内陆,干旱少雨,水文气象条件区域变化明显。总的来说降水量由南而北逐渐减少,蒸发量则由南而北递增,潮湿系数由南而北逐渐变小,河川径流量由南而北逐渐变少,河水矿化度则由南而北逐渐增高。

表8

清水河干流各河段河水矿化度

取 样 地 点	矿 化 度 (克/升)								
	1977.8.	1978.5.	1978.9.	1979.5.	1979.9.	1980.6.	1980.9.	1984.5.	平均
固原二十里铺	0.47	0.40	0.42	0.48	0.46	0.42	0.32		0.42
固原头营沈家河	0.67	0.64	0.48	0.70	0.67	0.67	0.56		0.63
固原三营			2.01	2.17		2.22	2.29	2.51	2.24
固原盘河水库	4.37	4.23	4.17	4.34	2.49		3.45	5.12	4.02
海源香水桥		10.69	6.44	15.02	4.72				9.22
同心王团	8.50		6.27	7.86	9.31	3.99	3.95	21.67	8.79
同心吴家河湾	5.26		6.76	6.18			4.97		5.79
同心马家河湾	7.62	6.90	7.02	7.09	6.06			8.73	7.24
中宁长山头		6.82	7.16	7.73					7.24
中宁泉眼山			7.20	8.16					7.68

清水河发源于六盘山阴湿区,由南而北流经半干旱及干旱地区,清水河干流上下游河水矿化度变化情况(表3)表明,清水河上游矿化度很低,在头营以上,矿化度低于0.7克/升,属于淡水,至三营矿化度增加到2.5克/升,属于微苦水,矿化度季节变化亦大。及至七营盘河一带,矿化度增加到4—5克/升,属一般可作灌溉用的苦水。盘河水库以下,河水主要来自折死沟及双井子沟的高矿化苦水,因此矿化度达到最高,矿化度的季节变化也很大,如香水桥及王团一带,雨季一般为4—9克/升,而旱季一般为10—20克/升。王团以下,由于西河水注入清水河,故矿化度又大大降低,如吴家河湾,马家河湾一带,矿化度为5—7克/升,再往下游进入中宁境内,矿化度又增加至7—8克/升。清水河一些主要支流下游的水库水的矿化度变化情况(表4)也表明,上游的一些水库矿化度较低,中、下游的一些水库矿化度较高,总的规律是由南而北各支流年均径流深逐渐减小,水库水矿化度逐渐增高,矿化度季节变化逐渐增大。

表4

清水河流域几个支流水库水的矿化度

水 库 名 称	流域年均 径 流 深 (mm)	矿 化 度 (g/l)					
		1977.8.	1978.5.	1978.9.	1979.5.	1979.9.	1980.
冬至河水库	45.6	2.32	2.46	1.88	2.39	1.91	1.89
寺口子水库	26.1	3.84	5.17	3.07	3.98	6.11	3.95
宽麻河水库	16.2	4.59	9.10	3.27		4.51	6.66
石峡口水库	12.0	5.39	6.32	4.87	6.20		6.79

祖厉河发源于华家岭及内官南山,山地雨量较多,气候较湿润。该河与清水河的流向大致相同,即由南而北流向半干旱地区,至铃木以北进入干旱地区。河水矿化度从南而北逐渐增高的规律亦很明显。例如祖厉河上游中川水库矿化度不到2克/升,至会宁达

表5

河水化学组成

流域	采 样 地 点	取样日期	矿化度	pH	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ + Na ⁺	SSP	
			克/升									毫 克 当 量/升	%
清水河	固原清水河	1980.6.28.	0.67	7.40		5.56	1.76	3.70	3.66	3.98	3.38	30.7	
	三营清水河	1979.5.11.	2.17	8.40	0.67	4.63	10.12	20.52	3.41	7.41	25.02	69.8	
	王团清水河	1980.8.31.	3.95	7.60		3.90	17.84	40.81	10.44	11.62	40.48	64.7	
		1979.5.23.	6.15	7.90		3.83	29.00	60.20	15.80	16.77	60.46	64.9	
	同心吴家河湾清水河	1979.5.8.	6.18	7.80		3.66	33.26	56.33	15.60	18.14	59.52	64.0	
	同心马家河湾清水河	1979.5.8.	7.09	7.70		3.12	37.96	66.65	15.60	21.26	70.87	65.8	
	同心王团清水河	1979.5.7.	7.86	7.86		3.92	43.96	75.68	18.53	28.27	76.75	62.1	
	中宁泉眼山清水河	1979.5.9.	8.16	8.00		3.36	46.88	76.85	16.97	26.13	84.09	66.1	
	海源香水桥清水河	1978.5.24.	10.69	8.25		2.61	71.81	81.17	28.57	28.57	98.42	63.3	
	同心王团清水河	1977.6.24.	12.16	7.10		3.16	116.28	83.80	25.42	60.78	117.03		
	海源香水桥清水河	1979.5.22.	15.02	7.27		1.30	102.64	130.05	37.83	62.07	134.15	57.3	
	同心王团清水河	1984.5.21.	21.67			7.45	182.0	125.75	30.81	103.16	181.23	57.5	
祖厉河	会宁中川水库	1979.5.14.	1.85	8.20	0.23	2.93	10.88	14.66	3.35	7.22	18.14	63.2	
	定西城关东河水	1984.5.27.	4.18			4.41	25.52	28.00	8.23	18.00	31.69	54.7	
	会宁城关祖厉河	1984.5.27.	5.1			5.81	35.76	28.55	11.12	21.22	37.78	53.9	
	会宁城关祖厉河	1979.5.15.	6.69	7.80		3.74	47.82	53.68	11.31	33.15	60.78	57.8	
	定西关川河	1984.5.26.	7.89			4.65	33.36	45.20	18.39	35.47	29.34	35.2	
	会宁硝口坪祖厉河	1984.5.25.	9.87			3.25	67.59	71.10	16.21	39.66	86.07	60.6	
	靖远祖厉河	1984.5.25.	10.82		0.67	3.28	48.77	55.35	16.60	21.26	74.56	69.0	
泾河	洪德环江	1979.5.17.	11.07	8.10		3.83	96.76	68.5	18.72	75.89	74.49	44.1	
	环县环江	1979.5.17.	7.99	8.10	0.03	3.70	65.58	61.08	10.73	56.75	62.92	48.3	
	鄂家湾环江	1979.5.17.	6.44	7.80		3.71	54.95	43.80	14.25	45.24	42.97	41.9	
	庆阳三十里铺环江	1984.4.10.	3.91			5.93	31.25	21.90	8.17	21.16	29.76	50.4	
	环县马坊川	1979.5.16.	3.66	8.50	0.33	2.44	25.72	29.48	6.44	25.87	25.66	44.3	
	宁县马莲河	1980.3.	2.56	7.75		3.89	18.30	16.34	6.04	14.66	17.84	46.3	
	彬县泾河	1979.5.26.	1.64	7.80		4.29	9.83	12.31	2.81	7.41	16.22	61.3	
	泾阳泾河	1980.3.	1.12	8.40	0.20	5.12	5.70	5.90	3.10	6.08	7.75	46.6	
洛河	吴旗新寨头道川	1984.4.12.	3.88			6.34	28.38	22.70	6.71	22.75	27.97	48.7	
	富县洛河	1980.3.20.	0.96	8.20	0.06	3.78	5.93	5.25	2.86	6.08	6.08	40.5	

(续表5)

流域	采样地点	取样日期	矿化度	pH	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ + Na ⁺	SSP
			克/升		毫克当量/升							%
渭河	西吉淤泥河	1976.6	3.96		0.19	6.04	22.99	31.48	5.69	16.69	40.90	64.9
	通渭散渡河	1984.5.27.	1.50			6.62	9.42	8.72	4.45	5.73	14.59	58.9
	西吉夏寨	1984.5.23.	1.46			5.4	6.70	10.44	2.38	5.85	14.31	63.5
	张易马连川	1977.7.19.	0.96	7.70		3.25	1.78	8.05	5.20	4.02	3.86	29.5
苦水河	韦州	1979.5.20.	6.79	8.60	0.67	3.28	48.77	55.35	8.74	24.76	74.56	69.00

5—7克/升, 硝坪以下, 由于硝坪一带沿河两岸沉积物中含有大量硝酸盐, 河水遭受严重污染, 矿化度猛增至9克/升以上, 到靖远入黄前的矿化度可高达10克/升以上。祖厉河西支关川河流域, 除上游少部分地方雨量较多外, 气候普遍比较干旱, 河水矿化度较高。如定西段矿化度为4克/升左右, 至峡口高达7—8克/升。

泾河及洛河发源于北部干旱地区, 恰与清水河及祖厉河的流向相反, 故其上游河水矿化度较高, 愈往南流由于气候逐渐湿润, 汇集淡水愈多, 故中下游矿化度较低。例如, 泾河上游环江洪德矿化度为11克/升, 环县一带为6—8克/升, 至庆阳三十里铺矿化度约4克/升, 至宁县小于3克/升, 泾河中下游矿化度更低, 如彬县以下矿化度在1克/升左右。泾河西支发源于六盘山阴湿区, 河水矿化度最低。泾川泾河水矿化度为0.72克/升。洛河高矿化水主要分布于上游的头道川。例如吴旗新寨头道川河水近4克/升, 而到富县洛河水矿化度已小于1克/升。

渭河流域的高矿化水主要分布于渭河上游北岸支流, 这些支流大部发源和流经干旱少雨的黄土高原, 境内蒸发强烈, 沟泉水矿化度较高, 部分河段尚有高矿化基岩水的补给, 加之河水流量小, 淡化能力弱, 有利于河水盐分浓度的增高。这些支流中以淤泥河流域内的河水矿化度最高, 如党家岔矿化度可高达9克/升。葫芦河及散渡河矿化度较低, 一般在1—1.5克/升左右。发源于月亮山、六盘山等高寒湿润地区的一些支流河水基本上属于淡水。如夏寨水库约1克/升左右, 东峡水库、马莲水库矿化度均低于1克/升。

苦水河、都思兔河流域, 地处干旱地区, 其矿化度普遍很高。

河水的化学组成(表5)在不同的河流及不同河段都有所不同。一般来说发源于比较湿润的山地(如雨量在600毫米以上的六盘山区)的一些河流, 其上游河水中盐分含量很低, 这些淡水阳离子以Ca[#]或Mg[#]为主, 约占阳离子总量(毫克当量)的35—40%, Na⁺含量不高, 约占阳离子总量的30%; 阴离子以HCO₃⁻或SO₄⁻为主, 约占阴离子总量50—60%以上, Cl⁻一般很低, 不到阴离子总量的20%。但是, 这些河流流入气候比较干旱的地区变为苦咸水以后, 其离子组成发生显著变化, 通常阳离子以Na⁺为主, 可达阳离子总量的50—70%; 其次为Mg[#]及Ca[#], 一般Mg[#]多于Ca[#]。阴离子一般以SO₄⁻为主, 约占阴离子总量的50—65%; 其次为Cl⁻, 约占阴离子总量的30—46%, 但个别水样中阴离子以Cl⁻为主, 约占阴离子总量的51—58%; 其次为SO₄⁻, 约占阴离子总量40%左右;

HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 含量很低, 二者总计占阴离子总量的10%以下。但是, 发源于干旱地区的一些河流, 它们上游河水盐分含量最高, 矿化度大于3克/升, 阳离子以 Mg^{2+} 或 Na^+ 为主, 各占阳离子总量的40—50%; Ca^{2+} 含量一般很低, 约占阳离子总量10%左右。阴离子以 Cl^- 为主, 约占阴离子总量的45—57%; 其次为 SO_4^{2-} , 约占阴离子总量的40—47%; HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 含量很低, 二者合计占阴离子总量的3—10%。这些河流的中下游, 由于气候变得较为湿润, 汇入的径流量增大, 因而河水盐浓度及盐分组成亦发生相应的改变。当矿化度在3克/升以下时, 阳离子以 Na^+ 为主, 其次为 Mg^{2+} , 再次为 Ca^{2+} , Ca^{2+} 的含量较上游为高, 可达阳离子总量的10—17%, 阴离子则以 SO_4^{2-} 及 Cl^- 为主, 二者含量相差不多, HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 含量较上游高, 可达阴离子总量的10—30%。

由河水的矿化度与离子含量间的关系曲线(图1、2)可以看出, 主要盐分离子的含量均随矿化度的增高而增多, 但 HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 含量却随矿化度的增高而减少。

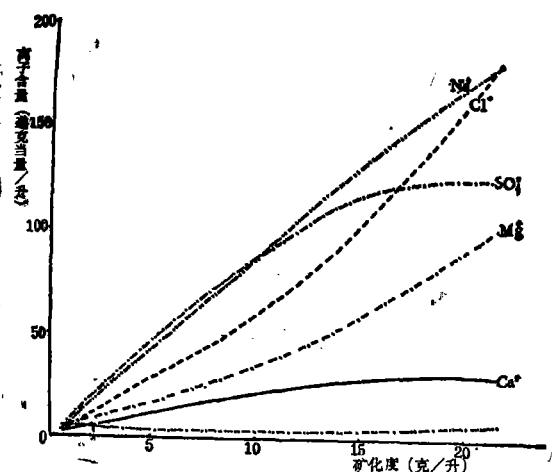


图1 清水河、祖厉河、渭河流域地表水及地下水矿化度与离子含量变化关系曲线

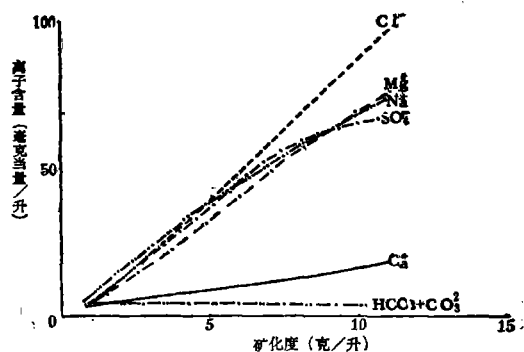


图2 泾河及洛河流域地表水及地下水矿化度与离子含量变化关系曲线

二、灌溉水质评价

苦水地区由于干旱缺水, 除了利用有限的淡水灌溉外, 常需把矿化度较高的苦咸水作为灌溉水。各地所用灌溉水的水质十分复杂, 从矿化度小于1克/升的淡水至矿化度高达6—7克/升的苦咸水都有利用。然而究竟什么样的水能用于灌溉? 必须结合当地气候、作物和土壤条件, 对灌溉水质加以全面研究, 才能作出比较正确的判断。为此, 我们分别计算了苦水地区主要的河水、水库水和一些井水的矿化度、25℃时的电导率、灌溉系数、可能性盐度、钠吸附比、可溶性钠百分数、 Cl^- 含量等评价水质的一些主要指标, 并根据有关水质标准加以分类(表6), 同时统计分析了水的矿化度与灌溉系数间的关系(图3、4)。根据这些结果和当地灌溉实践经验, 我们认为, 以灌溉系数作为评价其灌溉水质的主要指标, 比较切合本区的实际情况。按照这一水质标准, 灌溉系数(K_a)小于1.2即不适合灌溉的坏水, 主要是清水河、祖厉河的中下游和淤泥河上游部分河段矿化度大于7克/升的河水和库水(含聚淤)。此外, 环江中上游矿化度大于6克/

表6a

清水河、祖厉河、渭河流域灌溉水质评价

水 样	矿化度 (g/l)	电导率 (mΩ/cm)	灌溉系数 Ka	可能性盐度** me/l	Cl ⁻ 含量 me/l	SAR ^{***}	SSP (%)	水质分类		灌溉利用情况
								按电导率及SAR	按灌溉系数	
固原清水河水	0.48	0.72×10^3	25.51	3.28	1.90	2.19	39		好 水	已安全灌溉多年
固原沈家河水库水	0.70	1.05×10^3	22.46	4.38	2.15	2.34	39	C ₃ S ₁	好 水	" "
秦安叶堡葫芦河水	1.07	1.42×10^3	9.91	8.03	5.18	4.30	53	C ₃ S ₁	适合的水	适灌轻壤土
固原黄铎机井水	1.46	1.86×10^3	11.58	12.27	4.97	1.76	24	C ₃ S ₂	" "	" "
西吉夏寨水库水	1.50	1.86×10^3	7.01	11.92	6.70	7.05	63	C ₃ S ₂	" "	" "
通渭散渡河水	1.50	1.90×10^3	5.51	13.78	9.42	6.47	59	C ₃ S ₂	不大适合的水	" "
会宁中川水库水	1.80	2.4×10^3	4.67	18.21	10.88	7.89	63	C ₄ S ₃	" "	已长期灌溉稍有盐害
固原三营清惠渠水	2.17	3.2×10^3	4.40	20.38	10.12	10.76	70	C ₄ S ₃	" "	" "
固原冬至河水库水	2.39	3.2×10^3	5.01	20.33	7.82	11.13	70	C ₄ S ₃	" "	" "
固原寺口子水库水	3.98	4.7×10^3	2.97	36.62	15.62	9.54	57	C ₄ S ₃	" "	已长期灌溉盐害较重
定西东河水	4.18	4.9×10^3	2.15	39.52	25.52	8.75	55	C ₄ S ₄	" "	很少利用
固原盘河水库水	4.34	5.2×10^3	2.44	41.21	18.53	12.84	65	C ₄ S ₄	" "	已长期灌溉盐害较重
同心王团机井水	4.69	5.4×10^3	2.32	42.78	19.84	12.77	64	C ₄ S ₄	" "	已试用
同心团结渠水	4.96	5.7×10^3	2.20	45.18	20.77	13.45	65	C ₄ S ₃	" "	已长期灌溉盐害较重
会宁农科所机井水	5.09	5.9×10^3	1.56	56.51	35.11	9.97	53	C ₄ S ₃	" "	间断利用有盐害
会宁祖厉河水	5.10	5.8×10^3	1.59	50.04	35.76	9.40	54	C ₄ S ₄	" "	" "
海源高崖井水	5.14	6.4×10^3	2.01	45.50	19.55	25.93	84	C ₄ S ₄	" "	未利用
固原七营清水河水	6.15	7.0×10^3	1.63	59.10	29.00	14.98	65	C ₄ S ₄	" "	未利用
固原杨达子沟水库水	6.18	7.6×10^3	1.20	69.74	46.01	12.71	59	C ₄ S ₄	" "	稀释后已利用
同心吴家河湾清水河水	6.18	7.4×10^3	1.50	61.42	33.26	14.49	64	C ₄ S ₄	" "	已利用盐害重
海源石峡口水库水	6.20	5.4×10^3	1.29	65.80	35.76	16.71	63	C ₄ S ₄	" "	已长期利用盐害重
会宁祖厉河水	6.69	7.6×10^3	1.14	74.66	53.68	12.89	58	C ₄ S ₄	坏 水	间断利用盐害重
同心马家河湾清水河水	7.07	7.8×10^3	1.29	71.29	37.96	16.51	66	C ₄ S ₄	不太适合的水	" "
中宁长山头清水河水	7.73	8.3×10^3	1.12	80.84	43.60	18.30	67	C ₄ S ₄	坏 水	已用于洪漫地
同心王团清水河水	7.86	8.8×10^3	1.14	81.80	43.96	15.87	62	C ₄ S ₄	" "	不能灌溉利用
定西关川河水	7.89	8.5×10^3	1.73	53.76	33.36	4.81		C ₄ S ₄	不太适合的水	结合洪漫利用
中宁泉眼山清水河水	8.16	8.9×10^3	1.06	85.31	46.88	18.11	66	C ₄ S ₄	坏 水	不能灌溉利用
固原苜蓿河水库水	9.10	8.4×10^3	0.97	95.89	56.82	11.73	50	C ₄ S ₄	" "	" "
西吉党家岔堰水	9.05	9.6×10^3	0.97	98.80	59.40	19.50	67	C ₄ S ₄	" "	" "
会宁硝坪祖厉河水	9.87	10×10^3	0.81	103.09	67.59	16.28	61	C ₄ S ₄	" "	" "
靖远祖厉河水	10.82		0.67	114.22	85.67	13.53	54	C ₄ S ₄	" "	" "
同心王团清水河水	12.16		0.50	158.18	116.28	17.81	58	C ₄ S ₄	" "	" "
海源香水桥清水河水	15.02		0.53	167.67	102.64	18.99	57	C ₄ S ₄	" "	" "

表6b

泾河及洛河流域灌溉水质评价

水 样	矿化度 (g/l)	电导率 (mΩ/cm)	灌溉系数 Ka	可能性 盐度** me/l	Cl ⁻ 含量 me/l	SAR***	SSP (%)	水质分类		灌溉利用情况
								按电导率及SAR	按灌溉系数	
富县洛河水	0.96	1.4×10 ³	9.66	8.56	5.93	2.88	40	C ₃ S ₁	适合的水	已安全利用多年
泾阳泾河水	1.12	1.6×10 ³	9.43	8.65	5.70	3.62	46	C ₃ S ₁	" "	已灌溉多年稍有盐害
彬县泾河水	1.64	2.3×10 ³	5.86	15.99	9.83	3.24	61	C ₄ S ₁	不大适合的水	" "
宁县马莲河水	2.56		3.15	26.47	18.30	5.55	46	C ₄ S ₂	" "	已灌溉多年有盐害
定边城关井水	2.17	3.2×10 ³	3.21	24.29	17.82	6.85	56	C ₄ S ₂	" "	" "
环县马坊川河水	3.66	4.6×10 ³	2.24	40.46	25.72	6.38	44	C ₄ S ₂	" "	灌溉后有盐害
吴旗头道川河水	3.88	4.6×10 ³	2.03	39.73	28.38	1.90	49	C ₄ S ₁	" "	" "
庆阳马莲河水	3.91	5.0×10 ³	1.84	42.20	31.25	7.77	50	C ₄ S ₂	" "	" "
定边彭滩井水	4.63	4.8×10 ³	1.89	50.14	33.26	10.83	60	C ₄ S ₃	" "	灌溉后盐害重
环县鄂家湾环江水	6.44	7.9×10 ³	1.05	76.85	54.96	7.87	42	C ₄ S ₃	坏 水	不能灌溉利用
环县环江水	7.99	9.0×10 ³	0.88	96.12	65.58	10.83	48	C ₄ S ₃	" "	" "
环县洪德环江水	11.07		0.60	131.01	96.76		44	C ₄ S ₃	" "	" "

* 灌溉系数计算公式: 当Na⁺含量≤Cl⁻含量时Ka = $\frac{288}{5Cl^-}$

Na⁺含量≤Cl⁻+SO₄²⁻含量时Ka = $\frac{288}{Na^+ + 4Cl^-}$

Na⁺含量>Cl⁻+SO₄²⁻含量时 Ka = $\frac{288}{20Na^+ - 5Cl^- - 9SO_4^{2-}}$

Na⁺、Cl⁻、SO₄²⁻含量按毫克当量/升计

** 可能性盐度计算公式: 灌溉水可能性盐度 = Cl⁻ + $\frac{1}{2}$ SO₄²⁻单位为毫克当量/升

*** SAR = $\frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2} + Na^+}}$, Ca⁺⁺、Mg⁺⁺单位为毫克当量/升

升的河水亦属不适合灌溉的水, 这类水的可能性盐度>70毫克当量/升, Cl⁻含量>44毫克当量/升, 可溶性钠一般在60%左右, 但环江水的可溶性钠百分数较低, 约40%—50%, 这类水按美国碱土改良研究室的分类^[1]属极高盐极高钠水(C₄S₄)和极高盐高钠水(环江); 灌溉系数1.2—5.9为不太适合灌溉的苦咸水, 主要分布于清水河中游和祖厉河上游, 渭河流域的散渡河, 泾河流域的马坊川、马莲河, 洛河流域的头道川, 以及陕北定边平原内的一部分井水, 其矿化度大约在1.5—7克/升之间, 可能性盐度为13—75毫克当量/升, Cl⁻含量为7—44毫克当量/升, 可溶性钠一般为55—65%, 个别达70%以上, 但环江水为40—60%, 这类水多属极高盐高钠水(C₄S₃)或高盐中钠水(C₃S₂), 但在泾河及洛河流域则属极高盐中钠水(C₄S₂)或高盐低钠水(C₃S₁)。

由上述可见这类水灌溉普遍有盐害现象, 只能用于灌溉质地较轻、排水良好的土壤和耐盐作物, 此外, 有些水可溶性钠百分数较高(>70%), 灌后可能引起土壤碱化, 或导致土壤结构破坏, 地面紧实板结, 土壤物理性质恶化。由于这类水的水质低劣, 勉强能够用于灌溉, 利用时必须特别注意。灌溉系数6—18为适合灌溉的水, 主要分布于葫芦河及清水河的上游, 泾河及洛河的中下游, 其矿化度为0.7—1.5克/升, 可能性盐度为4—12毫克当量/升, Cl⁻含量为2—6毫克当量/升, 可溶性钠为45—60%, 属高盐中钠水(C₃S₂), 此类水灌溉于易排水的土壤时, 一般无盐害及钠害问题。灌溉系

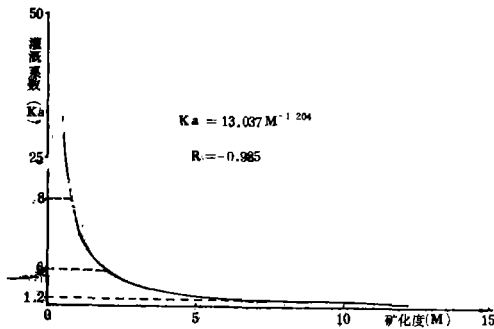


图3 清水河、祖厉河、渭河流域
灌溉系数与矿化度关系曲线

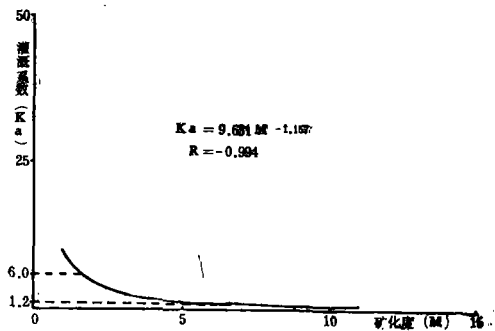


图4 泾河及洛河流域灌溉
系数与矿化度关系曲线

数大于18的好水，分布于苦水区内某些阴湿山地，其矿化度小于0.7克/升，可能性盐度小于4毫克当量/升， Cl^- 含量小于2毫克当量/升，可溶性钠在45%以下，属高盐低钠水（ C_3S_1 ），或中盐低钠水（ C_2S_1 ），利用这类水灌溉土壤无盐碱化的危险。

此外，在评价灌溉水质时还必须考虑灌溉水中的毒性物质对作物生长的影响。除了氯及钠等毒性离子之外，最主要的毒性元素是硼。本区灌溉水中硼的含量随矿化度的增高而增加，一般淡水中硼的含量为0.4ppm，苦咸水硼含量为2—5ppm^[2]，此类矿化度较高的苦咸水只能用于灌溉耐硼作物。

三、苦水资源的合理利用

本区灌溉用苦水，水质低劣。但是由于当地气候干旱，土壤水分严重不足是影响作物生长的主要矛盾，只要给作物供给可能利用的水分，就能促进作物的生长发育。根据国外的经验^[3]，根层土壤溶液盐分浓度的生理极限接近10—12克/升（当盐分组成为氯化物硫酸盐时），而本区灌溉苦水，一般不超过7克/升，这样的苦水完全能为作物吸收利用，所以尽管水质比较低劣，但灌溉的增产效果仍然非常显著。合理利用苦水，对发展农牧生产，振兴农村经济，具有重要的现实意义。不过，由于苦水富含盐分，灌溉苦水之后土壤盐渍化现象比较普遍，特别是本区干旱多风，蒸发积盐势力强盛，土壤盐分向地表聚积的速度很快，所以人们容易感到盐害的威胁。但实际上，在干旱少雨情况下，作物生长期间，往往很少由于降雨将地表的盐分淋洗至根系活动层中而危害作物生长。于是我们就有可能在必要的时候，通过适时适量的灌水，有计划有目的的将表层土壤盐分淋洗至作物根系活动层以下，这比多雨情况下的土壤盐害更容易人为加以控制。

苦水灌区主要处于河谷沿岸阶地，地面平坦，排水条件良好，地下水位较深，灌溉地又多属黄土性沉积物上发育起来的耕种土壤，熟化度高，土壤质地较轻，土壤中碳酸钙及硫酸钙等含量较多，土壤孔隙发育，土层疏松深厚，灌溉水易于向土壤底层下渗，土壤盐分亦不难淋洗排走。因此，通过压盐灌溉及定期冲洗，可使主要根系活动层的土壤盐分维持相对较低的浓度。

宁夏海原、同心等地，利用苦水灌溉已经20多年，土壤主要根系活动层的盐分含量一般在0.3—0.4%左右，至今仍能种植较耐盐的小麦、大麦、青稞等作物，说明在一定

条件下,采取适当措施,苦水可以长期利用。当然,由于苦水水质低劣,因此必须特别注意选择适宜苦水灌溉的地块,严格掌握灌水技术,种植耐盐作物,加强土壤改良,才能充分发挥苦水灌溉的效益。同时,本区苦水水质复杂,有些河水和库水季节变化很大,有的河段在同一季节由于径流来源不同,水质亦不相同,为了防止盲目利用苦水,必须对水质实行监测,尽量选择水质较好的苦水作为灌溉用水。对于那些不能灌溉作物的苦水,有的可用作改良盐渍土最初的冲洗用水,有的可以稀释后再作灌溉之用。对于那些水面较大矿化度较高的水库、聚淤,则可用来养鱼,发展水产。对灌溉水源有严重污染的矿泉,则应采取导排措施,引至水库或河道下游,或修库拦蓄,晒盐制硝,发展工业原料生产。

总之,苦水灌溉既有为作物提供水分之利,又有增加土壤盐分之害,在利用时必须极其慎重,兴利除害。同时,苦水水质时空变化显著,水质差异悬殊,各地气候、土壤、作物栽培亦不尽相同,我们必须根据实际情况,对苦水进行有选择、有区别、多途径的加以利用,以充分发挥苦水资源的生产潜力。

参 考 文 献

- (1) 周传槐: 农用灌溉水的水质问题, 《土壤学进展》, 1979年4期第20页。
- (2) 黄义端等: 固原县的苦水及其灌溉利用, 《水土保持通报》, 1981年2期第23页。
- (3) E.B.Worthington: Arid Land Irrigation in Developing Countries, 1978, p.283-284, 387.

The Chemical Properties of Bitter Water and Its Rational Utilization in the Loess Plateau

Huang Yiduan et al

ABSTRACT

The chemical properties of the ground waters and surface waters, and the evaluation for the quality of irrigation water in the arid and semi-arid areas of the loess plateau were studied in this paper. The results obtained from analysis of relationship between salt concentration and irrigation coefficient of waters in this region shows that these waters with salt content of less than 6g/l may be used for irrigation in the Jing and Luo river valley. And the waters with salt content of less than 7g/l also may be used in Qingshui, Zuli and Wei river valley.

Because the bitter (saline) water is very low in quality, therefore it only may be used for irrigating tolerant salt crops on conditions that the soils have excellent internal and surface drainage and the fresh water is very lack in the arid region.