

# 固原县的苦水及其灌溉利用

黄义端 米登山 田积莹 雍绍萍

(中国科学院西北水土保持研究所)

固原县位于宁夏南部，总面积约6,413平方公里。海拔1,248—2,930米，地势南高北低。南部属于六盘山区，年雨量约500—600毫米，地表及地下径流均较丰富；北部主要为黄土丘陵，年雨量约400毫米，多集中在秋季，水土流失严重，干旱缺水问题十分突出。建国以来，该县水土保持事业发展较快，特别是在清水河流域，兴建水库较多，较大的水库有沈家河水库、冬至河水库、寺口子水库、二营水库、苜麻河水库、杨达子沟水库等。其中，除沈家河水库水质较好之外，其余水库矿化度均在2克/升以上，甚至有的高达8—9克/升。这种矿化度较高的水，味苦涩，故有苦水之称。利用苦水灌过的土壤，盐分含量显著增高，土壤物理性质不良。苦水能否长期利用，仍是一个有争议的问题，值得系统研究。近几年来，我们对该县苦水的形成、分布、水化学特性以及苦水灌溉等方面的问题，作过一些初步调查研究，现将结果简述如下。

## 一、苦水的形成与分布

苦水的形成与分布，主要受当地的气候和地质条件制约。该区广泛分布的黄土层，第三系及白垩系岩层，富含盐分，有的还有石膏夹层。大气降水或基岩裂隙水渗入和流经这些岩层时，其中盐分不断受到溶解和淋滤，因而形成了矿化度较高的地下潜水。它们排泄至沟谷或汇入河流水库，导致这些水体矿化度显著升高。特别是在出现断层的地方，常有矿泉露头。硝口、臭水沟、双井子等地的构造断裂上升泉，涌水量约有0.1—0.2公升/秒，矿化度高达每升数十克，个别高达130克/升，其味苦咸，具有硫化氢剧臭。这种矿泉对地面水体污染十分严重。例如，冬至河上游硝口以上的河水矿化度为1.7克/升，经矿泉水污染后，硝口以下的河水矿化度增加到6—7克/升，这是冬至河水库水质变劣的主要原因。气候条件对苦水的形成和分布也有重要影响。本县雨量由南而北逐渐减少，径流量相应逐渐减少，且蒸发浓缩作用由南而北逐渐增强，故地表径流和地下径流的矿化度愈北愈高，苦水的分布愈北愈普遍。

## 二、苦水的化学特性与灌溉水质评价

苦水化学特性，因地区及气候季节变化而异。清水河上游三营以南，主要为半湿润地区的径流，多系淡水，只是经过矿泉污染之后才有苦水出现，而且它的矿化度不高。例如，冬至河水库及清惠渠水矿化度约2—3克/升，矿化度的年际及季节变化也不大。三营以北，清水河及其支流，地处半干旱地区，汇入了矿化度很高的沟泉水，因而无论河水及河谷潜水的矿化度都比较高，一般为3—6克/升，个别高达8—9克/升。同时，

其矿化度随季节而有很大的变化。枯水期河水的矿化度较丰水期高20%，甚至一倍以上。

苦水的化学组成，各地不尽相同，并随矿化度的增加而有相应的变化（表1，图1）。一般来说，阳离子以 $\text{Na}^+$ 为主，占阳离子总量（以毫克当量计，下同）的50%以上，其次为 $\text{Ca}^{++}$ 及 $\text{Mg}^{++}$ ，一般 $\text{Mg}^{++}$ 多于 $\text{Ca}^{++}$ （但寺口子水库苦水中 $\text{Ca}^{++}$ 的含量显著高于 $\text{Mg}^{++}$ ）。阴离子以 $\text{SO}_4^{--}$ 为主，亦占阴离子总量的50%以上（寺口子水库苦水中 $\text{SO}_4^{--}$ 含量占阴离子总量的70%以上）， $\text{Cl}^-$ 次之，占阴离子总量的20—40%。随着苦水矿化度的增高， $\text{Cl}^-$ 的含量急剧增高， $\text{CO}_3^{--}$ 及 $\text{HCO}_3^-$ 一般含量很低，并随矿化度的增加而有减少的趋势。苦水中无残余碳酸钠，pH值不高，故可以认为是盐性水。

根据水化学特性评价灌溉水质，主要考虑盐分含量及组成对作物和土壤的有害影响。国内外多以水的矿化度、电导率、钠百分数（SSP）、钠吸附比（SAR）等作为盐害及钠害指标。美国灌溉水分类是以电导率（毫姆欧/厘米）和钠吸附比为基础<sup>[1]</sup>。按照25℃下水的电导率（ $\text{EC} \times 10^3$ ）把它分为低盐（ $\text{EC} \times 10^3 < 0.25$ ）、中盐（ $\text{EC} \times 10^3 0.25-0.75$ ）、高盐（ $\text{EC} \times 10^3 0.75-2.5$ ）、极高盐（ $\text{EC} \times 10^3 2.5-5.0$ ）四级，

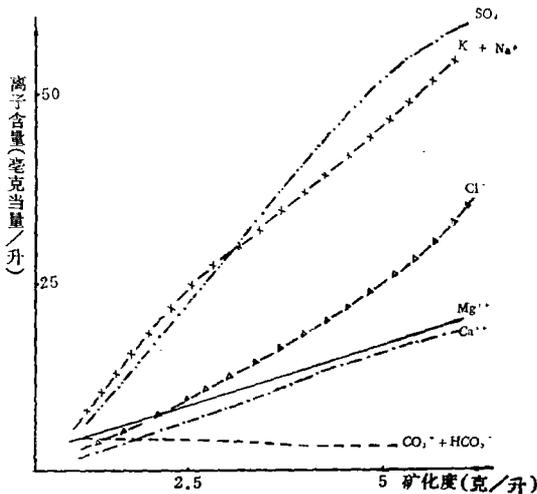


图1 固原县苦水地区地面水及地下水矿化度与离子含量的关系

每一级中又按钠吸附比的高低分为低钠、中钠、高钠、极高钠四种。参照这一标准，沈家河水库及黄铎机井的淡水属于高盐低钠水（ $C_3-S_1$ ），利用此种水灌溉一般无钠害，但不能用于排水不畅的土壤，否则可能发生盐害。就苦水而言，多属于极高盐高钠水（ $C_4-S_3$ ）或极高盐极高钠水（ $C_4-S_4$ ）。利用这种水灌溉，在多数土壤上，特别是在细质土壤上，可能产生钠害及盐害。一般的说，这种水不能灌溉，但在土壤透水性能良好，排水充分，有大量灌溉水冲洗的情况下，采取特殊的土壤管理措施，可以灌溉耐盐作物。

微量元素硼超过一定浓度，对植物可能发生不同程度的毒害，因而常把硼在水中含量作为评价灌溉水的一个重要指标。Eloy Urroz介绍<sup>[2]</sup>，对硼极敏感的植物，耐硼浓度（灌溉水中硼的含量）为0.4毫克/升；对硼敏感的植物为0.4—1.25毫克/升；半耐硼植物为0.7—2.5毫克/升；耐硼植物为1.6—4.0毫克/升。从固原县灌溉水硼的含量（表2）来看，苦水可灌溉耐硼作物（如甜菜、苜蓿等）及半耐硼作物（如小麦、大麦、向日葵等）。

表 1

固原清水河流域灌溉水化学特性

地 点	年 度	电导率 (毫姆欧/ 厘米)	矿化度 (克/升)			pH	离子含量 (毫克当量/升)						钠百 分 数	钠 吸 附比*	
			最高	最低	平均		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>++</sup>	Mg <sup>++</sup>			K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>
沈家河水库	1977—1980	0.99	0.70	0.49	0.61	8.38	0.25	4.15	1.62	4.62	2.30	3.64	4.52	43.21	3.35
二营水库	1977—1980	1.79	1.37	0.81	1.15	8.32	0.58	4.51	5.43	8.84	2.21	6.87	8.52	48.41	4.00
三营清惠渠	1978—1980	3.30	2.38	2.01	2.23	8.28	0.35	5.56	9.75	18.22	3.28	7.41	23.19	68.57	10.03
冬至河水库	1977—1980	3.30	2.46	1.88	2.36	8.23	0.28	4.25	8.15	23.77	4.58	5.70	26.18	71.80	11.55
寺口子水库	1977—1980	4.57	5.17	3.15	3.86	7.89	0.08	2.57	13.80	41.68	17.45	9.53	31.16	53.60	8.49
杨达子沟水库	1980	7.55	—	—	6.18	7.20	0.00	1.44	46.01	47.46	11.28	27.60	55.02	55.02	12.70
宽麻河水库	1977—1978	8.42	9.10	4.59	6.84	7.91	0.31	3.21	41.47	61.09	22.63	28.40	55.03	51.88	10.90
黄钵机井	1978—1980	1.61	1.79	1.41	1.52	8.10	0.39	4.51	4.92	11.62	6.17	10.55	4.73	22.06	1.64
黑碱机井	1977	—	—	—	2.29	8.28	1.31	3.10	7.69	25.60	5.25	0.81	31.63	83.91	18.17
马连机井	1976	—	—	—	5.40	8.20	0.79	4.16	25.90	19.01	12.86	10.88	26.12	52.39	7.58

$$*\text{钠吸附比 (SAR)} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

(式中Na<sup>+</sup>、Ca<sup>++</sup>和Mg<sup>++</sup>均以毫克当量/升计)

表 2

固原县灌溉水硼含量

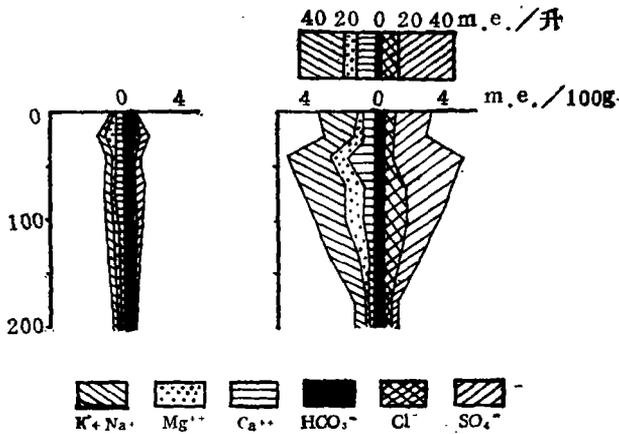
地 点	水 质 类 别	硼含量 (毫克/升)
沈家河水库	淡 水	0.42
黑 城 机 井	苦 水	0.86
三营清惠渠	苦 水	1.28
寺口子水库	苦 水	3.63
苜麻河水库	苦 水	3.88

### 三、苦水灌溉土壤次生盐渍化状况

固原县灌溉地，主要分布于清水河河谷川地。土壤以黄土性沉积物上发育的黑垆土为主，渗透性能良好，排水条件优越。虽经多年灌溉，地下水埋深仍保持在20米以上，不致发生地下水沿毛细管上升蒸发而引起土壤盐渍化现象。灌溉地盐分的主要来源是灌溉水中的盐分，因此土壤次生盐渍化状况在很大程度上取决于灌溉水质的好坏<sup>[3]</sup>。固原县灌区土壤盐分测定结果（表3）表明，利用沈家河水库灌溉多年的土地，与相邻的未灌旱地相比，土壤中盐分含量增加甚微。这说明在当地条件下，利用这种水灌溉不会发生土壤次生盐渍化现象。但是，经苦水灌溉的土壤，盐分含量均较早地显著增高，一般0—60厘米土层盐分含量，水地较早地高2—3倍。同时，水地土壤盐分含量，有随灌溉水矿化度增高而增多的趋势。例如，利用2—3克/升苦水灌溉的土地（杨郎、黑城等地）的土壤盐分含量，0—30厘米约0.10%，30—60厘米为0.11—0.26%，灌溉20年的土壤仍属轻度盐渍化土。但是利用3—5克/升苦水灌溉的土地（黄铎、七营）土壤盐分含量，0—30厘米为0.12—0.24%；30—60厘米为0.12—0.40%；多数为轻度盐渍化土，个别有中度盐渍化土出现。由表3的结果还可以看出，苦水灌溉形成的次生盐渍化土，盐分在剖面上分布较深，盐分含量在剖面中部较高，整个两米土体盐分平均含量均在0.20%左右，年际及季节变化不大。但是，由于灌溉水及雨水的淋溶脱盐及土壤蒸发积盐势力的消长和季节变化，对于上层土壤盐分运动的影响比较强烈，因而耕层土壤盐分平均的含量变化较大，一般5—6月份最高，8—9月份较低。总的来说，在次生盐渍化土的土壤溶液浓度远大于苦水浓度的情况下，苦水灌溉具有淋洗土壤盐分的能力，再加上雨水的淋溶脱盐作用，本县苦水灌溉次生盐渍化土壤两米土层及根层（0—60厘米）土壤盐分平均含量多保持在0.2—0.3%以下，多数作物尚能正常生长。这样看来，在适当条件下，可以长期利用苦水灌溉。

苦水灌溉后不仅土壤盐分含量发生很大的变化，而且盐分组成也发生相应的变化。例如，黄铎大队旱地盐分组成以重碳酸盐钠钙质盐类为主，经寺口子水库钙钠质氯化物硫酸盐水灌溉后，土壤盐分也变成以氯化物硫酸盐钙钠质盐类为主（图2）。





图中纵座标为深度(厘米)。左为未灌溉旱地土壤剖面盐分组成，右上为灌溉苦水盐分组成，右下为苦水灌溉八年土壤剖面盐分组成。(1978年5月19日于黄铎公社黄铎堡采样测定结果)

图2 黑垆土苦水灌溉后土壤剖面盐分组成的变化

#### 四、苦水利用与改造

固原县利用苦水灌溉已有20多年的历史，当地农民积累了丰富的经验，获得了显著的增产效果。例如，1977年黑城公社团庄四队，苦水灌溉的小麦产量为241斤/亩（12年水地）及392斤/亩（14年水地），而旱地小麦亩产仅100斤左右，水地较早地增产2—3倍；七营公社马连大队苦水灌溉大麦产量为407斤/亩（4年水地）及520斤/亩（1年水地），旱地大麦产量为140斤/亩，水地较早地增产3倍左右。由此可见，在淡水缺乏情况下，合理利用苦水对于发展农业生产具有十分重要的意义。现根据当地群众利用苦水的经验和我们对苦水特性与灌溉区土壤盐渍化状况的初步研究结果，就苦水利用、改造问题，谈一点粗浅的看法：

1. 灌过苦水的土壤，由于它的溶液浓度高，蒸发积盐快，要求适当加大灌水定额，及时灌水压盐，满足作物生长的需要。此外，在土壤积盐较重的时候，还必须专门冲洗盐分，进行冬灌，这就需要耗费大量的灌溉水。因此，最好在水源充足、并能自流灌溉的条件下，发展苦水灌溉才经济可靠。黑城、七营马连等地，地下水很深，水质又很差，不宜打井提水灌溉。另外即使水源比较多，对于灌溉水质也必须严格掌握，因为并非任何苦水都可灌溉。据D. R. Bhumbla介绍<sup>[2]</sup>，在排水特别良好的轻质土上，安全灌溉用水的电导率容许上限为6—8毫姆欧/厘米（栽培半耐盐和耐盐作物），利用电导率为10毫姆欧/厘米的盐水灌溉，大多会发生严重的问题。我们在清水河下游同心一带也发现，当利用7克/升（电导率约7毫姆欧/厘米）以上苦水灌溉后，土壤严重盐渍化，灌两三年后即被迫弃耕放荒。从固原的气候土壤情况及目前的技术水平来看，我们初步认为，矿化度超过6—7克/升的苦水一般不宜灌溉。

2. 一般苦水灌溉土壤都存在盐渍化问题，同时板结也较严重，可采取相应的土壤

改良及耕作栽培措施。例如：（1）平整土地，小畦灌溉，提高灌水压盐效果；（2）夏收后及时深耕，抑制土壤蒸发返盐，通过伏翻晒垡，熟化土壤，改善土壤结构，充分接纳秋雨，促使土壤自然淋溶脱盐；（3）增施有机肥料，改善土壤养分状况，促进土壤微生物活动，改良土壤物理性质，增加蓄水能力；（4）栽培耐盐作物，一方面可以保证苗全苗壮，增加地面覆盖，减少土壤物理蒸发，防止返盐，另一方面，利用耐盐作物可以起到明显的生物排盐作用。目前，在3—5克/升的苦水灌区所种植的大麦，虽较耐盐，但易倒伏，影响产量进一步提高。前几年从青海引进的青稞，耐盐力亦强，茎秆粗壮，不易倒伏，经在同心试种，亩产可达千斤，值得在本县推广。此外，苜蓿耐盐耐硼（苜蓿在含硼量为1—2毫克/升的水灌溉时生长最旺盛），在本地栽培历史很长，饲用价值高，改土作用好，可在盐分较高的苦水灌溉地上实行草田轮作，扩大苜蓿的种植面积。

3. 受到矿泉水污染的水库，要根据污染源的具体情况，采取相应的治理措施。例如，硝口矿泉水可生产芒硝，今后加以充分利用，既可发展化学工业，又可改善冬至河水库的水质。至于那些无工业利用价值的矿泉，则可筑坝拦截，或修渠把它导至水库下游，防止污染灌溉水源。

4. 搞好水库上游的水土保持，防止泥沙淤塞水库。淤塞严重者，可采取排沙措施，或加高坝体，保证有足够的库容，在排空矿化度较高的苦水后，尽可能在雨季蓄积较多的矿化度较低的洪水。这样不仅水源有可靠的保证，而且水质亦可得到改善，进一步提高苦水的灌溉效益。

#### 参考文献

- 〔1〕 L.A.理查兹主编：《盐碱土的鉴别和改良》，厉兵译，科学出版社，1965年，134—137页。
- 〔2〕 E.B.Worthington, *Arid Land Irrigation in Developing Countries*, 1976, P.283—284, P.367。
- 〔3〕 田积莹等，“宁夏南部山区灌溉水质与土壤次生盐渍化的关系”，《固原科技》1979.1。