

宁南苦水灌溉及调控土壤 次生盐渍化的途径

田积莹 黄义端 雍绍萍

提 要

宁夏南部气候干旱,广泛分布着底盐灰钙土和黑垆土,地下水位一般达20—30米以上。由于降雨量稀少,地表及地下淡水资源缺乏,而苦水资源丰富,苦水矿化度高达4—7克/升,多为钠质氯化物硫酸盐水。实践证明,苦水只要利用得当,就能使小麦或大麦获得高额产量。但苦水灌溉后易发生土壤次生盐渍化,这与水质及土壤质地有密切关系,轻壤土透水性良好,苦水灌溉后易将盐分淋洗排至深层,粘土透水性不良,因而不易将盐分淋洗排至深层,适宜苦水灌溉的理想土壤为轻、中壤土,长期灌溉仍能使土壤盐分含量维持在0.20%左右。为控制灌水定额必须划小地块,以0.5—0.7亩为宜。生育期灌水要掌握头水要饱,二水三水要紧跟上,使地面经常保持湿润,通过灌溉之后,可使表层积累的大量盐分,降低50—70%,不致危害作物生长;当作物成长起来,耐盐性增强,这就为丰收打下基础。其次为了控制土壤盐渍化的发展还可采用下面几种措施:1.种植绿肥作物及施用有机肥料;2.冬灌;3.洪漫;4.种植耐盐作物;5.深翻晒垡;6.利用钾钠离子平衡理论,控制钠害。这些措施必须相互配合,综合运用,才能达到抑盐助苗,以达到防治盐化的根本目的。

宁夏南部山区海拔高度1,200—2,900m,地势南高北低系黄土高原的一部分,黄土一般覆盖厚度20—90m,这一带分布着黑垆土及灰钙土。清水河系黄河一大支流,两岸土地平阔,土层深厚,为最大的灌区,也是主要的农业基地,在同心王团及马家河湾一带的河谷川台地中有部分流砂地。气候特点是干旱少雨,风大沙多,日照充足,蒸发强烈,气温日差较大,无霜期短,降雨60—70%多集中在7、8、9三个月内,蒸发量南部1,970mm,向北递增,到同心县达到2,470mm,一般为降雨量的5—8倍或更多一些。

清水河发源于固原县开城,流经海源县、同心县于中宁县眼泉山注入黄河。上游固原以上气候为半干旱半湿润区,降雨量达400mm,系淡水分布区域,土壤为黑垆土,土体中含盐量很少;在中、下游海源、同心、中宁等县境内为干旱地区,同心县降雨量仅250—300mm左右,这一带苦水分布广泛,土壤为底盐灰钙土,旱地土壤底层含盐量一般达到0.20—0.40%,为中、重度盐渍化,盐分大多聚积在剖面60、120及150cm⁽¹⁾土层以下。该流域地下水深度一般在20—30m,愈向中、下游,地下水的矿化度愈高,沿清水河流域所分布的水库,也是上游矿化度小,下游矿化度大,两岸黄土丘陵地区并有

高矿化度的沟泉水,如固原县双井子沟水质矿化度为23.8g/l,同心县金鸡儿沟水质矿化度为15.8g/l。清水河的小支流在其上游有冬至河水矿化度为2.7g/l,中上游有中河水矿化度为4.0g/l,苋麻河水矿化度为6.0g/l,这说明在宁南山区一带苦水资源相当丰富,淡水资源十分缺乏。要发展农业,提高作物产量,不得不利用苦水资源。发挥苦水资源潜力,是这一地区自然条件和客观形势所迫,故我们必须在利用苦水及改良苦水上狠下功夫。这一带利用苦水的有利条件是土层深厚,地下水位深,灌后不致引起地下水位上升导致盐渍化。苦水有季节性变化,雨季水淡,春季枯水期矿化度高。各地冬灌就是使土壤蓄水保墒,达到淋洗土中有害盐分。

苦水的化学组成阴离子以 SO_4^{2-} 及 Cl^- 为主,阳离子以 Na^+ 离子及 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子为主,故称钠质氯化物硫酸盐水。

一、苦水灌溉与土壤次生盐渍化

清水河流域约有20余万亩灌溉面积,苦水灌溉面积约12万亩,占总灌溉面积的60%左右。各地利用苦水灌溉已有较长的历史,例如同心县王团已有10多年,海源县高崖已有20多年。苦水灌溉地较早地产量高出4—5倍甚至10倍,如上述两地区旱地小麦每亩一般为35—40kg,利用苦水灌溉后产量可达到每亩150—200kg,少数有达到250—300kg者。这一带农作物以春作物为主,仅有少量冬种作物,当作物幼苗发育及生长旺季,适值干旱缺雨,故影响作物产量。从历史记载来看是“十年九旱”,有些年份甚至绝产。在有灌溉的条件下,虽系苦水灌溉,仍能获得丰收,这说明在该地区,开发利用苦水资源,是保证农业稳产、高产的必要条件。苦水灌溉与土壤次生盐渍化防治是该区农业增产值得注意研究的首要问题。苦水灌溉的有利因素是农民群众积累了丰富经验,宁南地下水位深,有利于洗盐排水。苦水灌溉的不利因素是水质矿化度大。如果按照该区苦水灌溉次数及定额,一般在作物生育期灌水三次,每次每亩灌水定额为80m³,三次合计灌水总量为240m³。此外每年进行冬灌一次,每亩地约灌120m³,全年共计每亩地灌水总量为360m³。那么上游固原县头营徐河利用沈家河水库水,矿化度0.64g/l,每灌入1立方米水带入0.64kg盐,每年每亩地灌水带入总盐量为230kg;下游同心县马家河湾利用清水河水,矿化度6.0g/l,每灌1立方米水,带入6kg盐,每年每亩地灌水带入的总盐量为2,160kg。此外,土壤约在1.5m以下底土有较高盐分,灌后容易形成底土盐分随毛管水上升累积到表层,又加之经常多风,助长蒸发更为强烈,这些因素都促进了土壤次生盐渍化快速形成和发展,土壤质地与灌溉后次生盐渍化速度有密切关系,这主要是与土壤渗透性能强弱有关,从同心县王团和海源县高崖草场可明显看出,王团土壤质地较轻,为中、重壤土,渗透性能好,易排水故盐化速度较慢,高崖草场土壤质地粘重,为轻、中、重粘土,渗透性能差难排水,故盐化速度快,积盐量大。用矿化水(即苦水)灌溉⁽¹⁾,土壤盐分浓度的变化决定于(1)灌溉水可溶性盐的成分及浓度;(2)灌水量与灌水方法;(3)降雨量;(4)土壤剖面的特性及透水性;(5)地下水位。宁南土壤积盐的情况除去与地下水位关系较少外,而与其他四种因素均有关系(表1),现就清水河上下游不同矿化度苦水灌溉与土壤次生盐渍化的关系及水盐运行问题以及土壤盐渍化的调控措施分别讨论于下:

表1 土壤盐渍化程度分級及其分布

土壤盐渍化程度	作物生长情况	土壤含盐量 (%)	主 要 分 布 地 区
非盐渍土	作物生长正常	<0.1	清水河中上游沈家河水库淡水灌区
轻 度	作物生长稍受抑制	0.1—0.2	清水河中游清惠渠及寺口子灌区
中 度	作物生长不良, 少量缺苗	0.2—0.4	清水河中下游团结渠灌区
重 度	严重缺苗, 产量很低	0.4—0.7	清水河中下游石峡口灌区 及下游马家河湾扬水灌区
盐 土	一般作物不能生长, 仅生长耐盐植物盐蓬等	>0.7	清水河中下游石峡口灌区个别地块

1. 淡水 (矿化度<1.0g/l) 灌溉

清水河上游固原头营一带为黑垆土, 土壤剖面2.0m土体上下质地均一 (表2) 为

表2 清水河流域土壤物理性粘粒含量 (%) 及质地 (粒径<0.01mm)

土壤深度 (cm)	固 原 县 黑 垆 土 区						灰 钙 土 区							
	头营徐河		黄 铎		七营马莲		同心王团 杨庄子		同心王团 南堡子		同心王团北滩		海源高崖草场	
	%	质 地	%	质 地	%	质 地	%	质 地	%	质 地	%	质 地	%	质 地
0—10	39.2	中壤	44.1	中壤	44.2	中壤	43.0	中壤	38.9	中壤	44.1	中壤	42.1	中壤
10—30	39.1	中壤	44.2	中壤	44.2	中壤	40.3	中壤	41.9	中壤	42.7	中壤	39.2	中壤
30—60	45.6	重壤	43.5	中壤	47.7	重壤	35.7	中壤	32.0	中壤	46.5	重壤	38.0	中壤
60—90	41.0	中壤	43.3	中壤	62.0	轻粘土	36.4	中壤	32.1	中壤	51.1	重壤	83.5	中粘土
90—120	42.0	中壤	63.6	轻粘土	38.2	中壤	38.3	中壤	30.6	中壤	57.5	重壤	69.0	轻粘土
120—150	41.5	中壤	56.6	重壤	36.4	中壤	30.2	中壤	37.1	中壤	56.3	重壤	87.2	重粘土
150—200	47.4	重壤	50.0	重壤	36.4	中壤	37.7	中壤	37.2	中壤	57.4	重壤	68.6	轻粘土
200—250	—	—	30.7	中壤	—	—	55.5	重壤	46.1	重壤	56.0	重壤	—	—
250—300	—	—	55.5	重壤	—	—	74.6	轻粘土	40.9	中壤	54.2	重壤	—	—
300—350	—	—	48.9	重壤	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
350—400	—	—	55.5	重壤	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

中壤剖面, 土壤渗透性能良好, 有利于内排水, 地下水位16m左右, 矿化度1.28g/l, 徐河一带从1962年起开始灌溉, 使用沈家河水库水进行灌溉, 该水库的水质矿化度为0.64—0.77g/l, 水的化学组成为钠镁质重碳酸盐硫酸盐水, 旱地土壤2.0m土体可溶盐组成以重碳酸盐钙镁质盐类为主, 其含盐量在0.04—0.06%之间, 经淡水灌溉4—14年之后, 土壤的可溶性盐组成转变成以硫酸盐重碳酸盐钙质盐类为主, SO₄⁼根离子和Na⁺

离子有明显的增加。其总含盐量亦相应增加到0.05—0.07% (表3), 不论灌溉与否, 各层土壤pH值均在7.80—8.00之间。

表3 淡水水质及灌溉黑垆土含盐量以及盐分组成

地 点	采样时间 年.月.日	深度 (cm)	pH 值	含盐量 (%)	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	k ⁺ + Na ⁺	土壤质 地
					(毫克当量/100克土)							
宁夏固原县 头营徐河 旱 地 休 闲 非盐渍地	1976.5.11	0—10	8.02	0.064	0.00	0.68	0.04	0.10	0.40	0.16	0.26	中壤土
		10—30	7.92	0.047	0.00	0.47	0.04	0.10	0.32	0.13	0.16	中壤土
		30—60	7.85	0.046	0.00	0.45	0.08	0.06	0.35	0.13	0.11	中壤土
		60—90	7.85	0.056	0.00	0.49	0.08	0.10	0.36	0.22	0.09	中壤土
		90—120	8.05	0.043	0.00	0.41	0.08	0.08	0.26	0.16	0.15	中壤土
		120—150	8.02	0.048	0.00	0.55	0.06	0.02	0.31	0.24	0.08	中壤土
		150—200	7.95	0.058	0.00	0.62	0.06	0.09	0.35	0.24	0.18	重壤土
宁夏固原县 头营徐河 休 闲 非盐渍土 灌水14年	1976.5.11	0—10	7.75	0.058	0.00	0.46	0.05	0.17	0.30	0.05	0.33	中壤土
		10—30	7.85	0.062	0.00	0.59	0.05	0.17	0.30	0.18	0.33	中壤土
		30—60	7.90	0.064	0.00	0.50	0.12	0.23	0.30	0.16	0.39	中壤土
		60—90	7.90	0.072	0.00	0.55	0.14	0.29	0.32	0.14	0.52	中壤土
		90—120	7.90	0.064	0.00	0.52	0.12	0.20	0.30	0.10	0.44	中壤土
		120—150	7.95	0.060	0.00	0.50	0.10	0.21	0.22	0.28	0.31	中壤土
		150—200	7.95	0.069	0.00	0.56	0.12	0.26	0.45	0.26	0.32	重壤土
沈家河库水	1977.8.22			克/升	(毫克当量/升)							
		8.22	0.77	0.73	3.81	1.02	4.74	2.17	3.27	4.85		

旱地与灌溉地比较 (表4) 盐分含量随着灌水年限略有增加趋势, 这一带地势平坦, 田块很大, 系大水漫灌方式, 耕作粗放, 小麦亩产100—150kg之间, 灌水达10年以上, 盐分累积为轻微, 这说明在淡水 (矿化度小于1.0g/l) 灌溉下, 土壤次生盐渍化表现不明显⁽³⁾, 这种水是当地灌溉所要求的优良水质。

2. 苦水 (矿化度>3.0g/l) 灌溉

(1) 清水河上游固原县黄铎堡一带, 淡水资源缺乏, 人畜饮水困难, 黄铎堡乡打了一眼370m深的机井, 矿化度为1.4g/l, 也只能解决黄铎堡村的人畜饮水。这一带土壤系淡黑垆土区域, 土壤是黑红土, 剖面上部90cm为中壤 (表2), 90—120cm为轻粘土, 1.2—4.0m内除2.0—2.5m为中壤外其余全部为重壤土。从1970年起利用寺口子库水灌溉, 矿化度为3.81g/l, 灌溉面积计2,000—3,000亩, 一般系大水漫灌方式, 地块较大, 水量难于控制。灌后土层15cm产生板结, 一般需要用拖拉机伏耕晒垡, 大约连灌4—5年后, 作物不易出苗, 生长不良, 发生死苗现象, 粮食产量降低, 至今灌溉

表4 灌水年限与土壤含盐量的关系(固原县头营徐河)(含盐量%)

土壤深度	旱 地	灌 水 4 年	灌 水 18 年	土 壤 质 地
(cm)	1976.5.11	1976.5.11	1976.5.11	(苏联制)
0—10	0.064	0.053	0.058	中壤
10—30	0.047	0.059	0.062	中壤
30—60	0.046	0.068	0.064	中壤
60—90	0.056	0.072	0.074	中壤
90—120	0.043	0.053	0.064	中壤
120—150	0.048	0.063	0.060	中壤
150—200	0.058	0.063	0.069	重壤
0—30	0.053	0.057	0.061	
0—60	0.049	0.063	0.062	
0—90	0.052	0.066	0.066	
0—120	0.049	0.063	0.066	
0—150	0.049	0.063	0.065	
0—200	0.046	0.063	0.066	

表5 灌水年限与土壤含盐量的关系(含盐量%)
(固原县黄铎堡)

土壤深度	旱 地	灌 水 9 年	旱 地	灌 水 9 年	土 壤 质 地
(cm)	1979年5月11日	1979年5月11日	1979年9月27日	1979年9月27日	(苏联制)
0—10	0.084	0.195	0.056	0.056	中壤
10—30	0.083	0.161	0.052	0.073	中壤
30—60	0.073	0.288	0.073	0.243	中壤
60—90	0.070	0.332	0.111	0.353	中壤
90—120	0.057	0.242	0.159	0.324	轻粘土
120—150	0.040	0.193	0.108	0.217	重壤
150—200	0.036	0.142	0.063	0.092	重壤
0—30	0.083	0.172	0.053	0.067	
0—60	0.078	0.230	0.063	0.155	
0—90	0.075	0.264	0.079	0.221	
0—120	0.071	0.259	0.099	0.247	
0—150	0.065	0.245	0.101	0.241	
0—200	0.058	0.219	0.091	0.204	

已有十多年的历史。农民每年在灌溉地上铺6—7 cm厚的老城墙土改良盐渍土。灌溉地一般年灌2次，每亩小麦产量60 kg左右。根据1976年5月5日测定土壤含盐量，旱地土壤剖面1.2 m以上土体含盐量为0.06—0.08%，同期测定黄铎堡苦水灌溉6年的土地，剖面1.2 m以上土体含盐量为0.07—0.11%；黄铎堡乡曹堡村为黄砂土，用井水灌溉，旱地含盐量为0.05—0.06%，井水灌溉6年土壤含盐量增加到0.10—0.22%，平均增加2—4倍，证明井水含盐量亦很高。1979年5月11日测定（表5）黄铎堡旱地剖面2 m土体含盐量为0.04—0.08%，同期测定灌水9年土地，剖面2 m深度土体含盐量为0.14—0.33%，达到中度盐渍化程度，说明苦水灌溉，使土壤剖面含盐量逐年增加。据1978年9月25日雨季测定（表6），旱地pH值为7.2—8.1，全剖面2 m深度含盐量为0.05—0.11%，盐离子组成，阴离子以 HCO_3^- 根为主，每100克土壤含0.42—1.17毫

表6 苦水水质及灌溉黑垆土含盐量以及盐离子组成

地 点	采样时间	土壤深度 (厘米)	pH值	含盐量%	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{++}	Mg^{++}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$
					(毫克当量/100克土)						
宁 夏 固原县黄铎 黑红土剖面 旱 地	1978年 9月25日	0—10	8.05	0.073	0.04	0.82	0.06	0.04	0.65	0.19	0.13
		10—30	8.10	0.111	0.24	1.17	0.06	0.02	1.09	0.11	0.30
		30—60	8.00	0.073	0.06	0.56	0.09	0.30	0.39	0.17	0.45
		60—90	7.20	0.092	—	0.42	0.28	0.68	0.64	0.53	0.22
		90—120	7.60	0.072	—	0.50	0.29	0.28	0.39	0.54	0.14
		120—150	7.90	0.054	0.02	0.51	0.13	0.10	0.25	0.44	0.07
		150—200	8.10	0.065	0.08	0.47	0.07	0.34	0.21	0.36	0.38

固原县黄铎 黑红土剖面 灌水八年	1978年 9月25日	0—10	7.80	0.127	0.20	1.25	0.07	0.19	0.95	0.23	0.53
		10—30	7.00	0.178	—	0.65	0.21	1.63	0.52	0.19	1.79
		30—60	6.90	0.325	—	0.46	0.61	3.66	1.40	0.47	2.85
		60—90	7.05	0.336	—	0.52	1.37	3.09	0.98	0.48	3.51
		90—120	7.20	0.258	—	0.45	2.02	1.63	1.38	0.84	1.88
		120—150	7.25	0.166	—	0.46	1.36	0.86	1.31	0.78	0.59
		150—200	7.45	0.084	—	0.47	0.61	0.21	0.62	0.45	0.21
丰口子库水	1977年			克/升	毫克当量/升						
	8月21日		8.30	3.81	0.50	2.37	12.18	42.60	17.98	9.29	30.36

克当量，其次为 SO_4^{2-} 根离子，阳离子以 Ca^{++} 离子为主，每100克土壤含0.21—1.09毫克当量，其次为 Mg^{++} 离子。1978年9月25日测定剖面2 m土体含盐量，灌水8年土地pH

值为6.90—7.80, 心土层(30—120cm)含盐量为0.26—0.34%, 达到中度盐渍化, 盐分离子组成, 阴离子以 SO_4^{2-} 根离子为主, 每100克土壤一般含1.63—3.66毫克当量, 其次为 Cl^- 离子, 一般含0.61—2.02毫克当量; 阳离子以 Na^+ 离子为主, 每100克土壤含1.88—3.51毫克当量, 其次为 Ca^{++} 离子, 含0.98—1.38毫克当量。由于苦水灌后阴阳离子组成改变, 故使土壤pH值由旱地7.2—8.1降为灌水地6.9—7.8。灌溉所使用的寺口子苦水盐分组成成为钠质氯化物硫酸盐水, 使得原旱地土壤盐分类型重碳酸盐钙质盐类, 经苦水灌溉8年后变成氯化物硫酸盐钙钠质盐类, 向所灌溉的苦水盐分组成方向转变。该处土壤盐渍化的特点是与土壤剖面构型有一定关系, 由于心土粘重, 而盐渍化的特点是心土层盐分增长很明显, 这也是由于心土层渗透慢的原因。在这一带土壤改良方法主要是改进灌水技术如改大水漫灌为小畦灌, 一方面可以节约用水, 减慢土壤盐渍化的速度, 同时可以扩大灌溉面积, 充分发挥水资源的潜力。

(2) 清水河中游固原县七营马莲一带系利用清惠渠水及寺口子库水灌溉(矿化度3.81g/l)较早期曾利用苕蓐河水库灌溉, 群众认为苕蓐河水灌后连草都不长。这里地下水深30m, 但水质不好(矿化度4.6克/升)人不能饮用, 亦不能用作灌溉, 同时水量亦不甚丰富。然而这一带地势平坦, 土壤为淡黑垆土, 母质系红色粘土, 2m土体心土层(45—90cm)为重壤至粘土, 物理性粘粒含量为54—62%, 表土层(45cm以上)及底土层(90cm以下至2m)土壤质地为中壤土, 物理性粘粒含量为36—44%, 这种土壤渗透性能较差, 灌水时较省水, 灌溉方式为大水漫灌, 该地距离水源较远, 因缺水, 每年仅灌水一次, 大麦亩产75—85kg, 土地潜力仍未充分发挥出来, 主要是缺水、缺肥之故。

从表8可以看出, 1978年9月24日旱地土壤pH值为7.75—8.55左右, 灌水后略有升高, 为7.90—8.95, 旱地2m土体含盐量为0.09—0.21%, 土壤盐分离子组成以重碳酸盐硫酸盐钠质盐类为主, 苦水灌6年后含盐量为0.11—0.30%, 土壤盐分组成主要以氯化物硫酸盐钠质盐类为主, 与寺口子水库水质化学组成相一致, 这证明土壤盐分均来源于灌溉水, 从旱地土壤盐分沿剖面的分布来看(表7)耕层最小为0.04—0.08%, 60cm以下为0.20—0.44%, 说明底土已发生中度以上盐渍化, 这里灌溉5年或7年的土地, 在土体90cm以上与旱地相比, 灌水地含盐量增加, 90cm以下则有降低趋势。假如以土体90cm深度为准, 含盐量从旱地0.04—0.22%到灌水5—7年后为0.12—0.27%, 各层盐分含量较旱地显然增加。

从2m土体来看, 目前已发展到轻度至中度盐渍化阶段, 冬春旱时可以明显看到地表一片白茫茫的盐霜, 因此应当引起注意。

(3) 清水河中下游同心县王团每年2—6月为早期, 发展苦水灌溉在该地区成为农业生产发展的急迫问题。这一带为底盐灰钙土地区, 地下水深度30m左右, 矿化度4—5g/l, 利用盘河库水由团结渠引水灌溉, 矿化度为4.0g/l左右, 水化学组成成为钠质硫酸盐水, 从1969年起发展苦水灌溉, 由初灌70多亩扩大到4000多亩, 1975年苦水灌溉面积占夏粮播种面积的13%, 总产却占50%, 平均亩产达150—200kg以上。

王团苦水灌溉已有十多年的历史, 群众在这方面积累了丰富经验, 如渠系配套, 灌水技术、冬灌、种植耐盐作物等一系列措施, 对防治土壤盐渍化及改良土壤有重要作用。

该地区土壤长期处于干旱, 可溶盐分不易淋溶, 故旱地土壤在底层120cm以下, 含

表7 灌水年限与土壤含盐量的关系 (含盐量%) (固原县七营马莲)

土壤深度	旱地	灌水五年	旱地	灌水七年
(cm)	1977.8.19	1977.8.19	1979.5.11	1979.5.11
0—10	0.039	0.178	0.076	0.254
10—30	0.039	0.153	0.081	0.116
30—60	0.102	0.265	0.043	0.156
60—90	0.191	0.225	0.217	0.230
90—120	0.184	0.190	0.085	0.157
120—150	0.181	0.208	0.421	0.156
150—200	0.302	0.193	0.440	0.150
0—30	0.039	0.161	0.079	0.162
0—60	0.071	0.213	0.061	0.159
0—90	0.111	0.217	0.114	0.183
0—120	0.129	0.210	0.106	0.176
0—150	0.139	0.210	0.169	0.172
0—200	0.180	0.206	0.237	0.167

表8 苦水灌溉黑垆土含盐量及盐分离子组成

地 点	采样时间	土壤深度 (cm)	pH值	含盐量%	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ + Na ⁺
					(毫克当量/100克土)						
固原县七营 马 莲 红色重壤土 剖面 旱 地	1978年 9月24日	0—10	7.75	0.090	0.02	1.00	0.09	0.04	0.54	0.17	0.45
		10—30	8.30	0.137	0.46	1.30	0.07	0.08	1.07	0.25	0.59
		30—60	7.75	0.189	—	0.57	0.57	1.59	0.59	0.30	1.83
		60—90	7.75	0.205	—	0.68	0.68	1.60	0.51	0.42	2.04
		90—120	7.95	0.185	0.15	0.63	0.65	1.26	0.21	0.30	2.18
		120—150	8.50	0.158	0.49	0.51	0.52	0.85	0.15	0.37	1.85
		150—200	8.55	0.192	0.70	0.60	0.65	0.9	0.17	0.29	2.48
固原县七营 马 莲 红色重壤土 剖面 灌水六年	1978年 9月24日	0—10	8.75	0.137	0.16	0.90	0.18	0.66	0.37	0.12	1.40
		10—30	8.95	0.108	0.35	1.05	0.04	0.04	0.60	0.14	0.73
		30—60	8.00	0.296	—	0.51	0.86	2.95	0.88	0.38	3.05
		60—90	8.00	0.291	—	0.47	1.08	2.77	0.75	0.51	3.07
		90—120	8.05	0.199	—	0.41	0.93	1.67	0.45	0.58	1.97
		120—150	7.90	0.180	—	0.35	1.17	1.34	0.58	1.01	1.27
		150—200	8.75	0.149	0.25	0.63	0.77	0.57	0.13	0.23	1.86

盐量达0.2%以上,这是该区底盐灰钙土的主要特征(表9),120cm以上土壤含盐量在0.04—0.08%之间。这一带为风沙区,大多数土壤剖面2m土体为中壤质,仅有个别剖面在40—50cm以下,为重壤土。从表9中土壤剖面含盐量的结果来看,不同灌水年限的土壤,以1976年和1977年7月和8月比较,除耕层外,均表现出随着灌水年限增加

表9 灌水年限与土壤含盐量的关系(含盐量%)
(同心县王团,雨季)

土壤深度 (cm)	北三队杨庄子灌水二年			南堡子灌水七年		北滩灌水八年	
	旱地	第一年	第二年	第六年	第七年	第七年	第八年
	1976.8.24	1976.8.24	1977.8.18	1976.7.29	1977.8.18	1976.7.29	1977.8.18
0—10	0.039	0.066	0.199	0.257	0.190	0.150	0.122
10—30	0.041	0.084	0.262	0.187	0.162	0.159	0.243
30—60	0.048	0.173	0.208	0.193	0.190	0.190	0.273
60—90	0.059	0.210	0.274	0.147	0.220	0.285	0.350
90—120	0.083	0.171	0.175	0.211	0.222	0.470	0.356
120—150	0.244	0.317	0.175	0.202	0.273	0.324	0.356
150—200	0.485	0.281	0.527	0.143	0.211	0.251	0.301

0—30	0.040	0.084	0.241	0.210	0.171	0.156	0.203
0—60	0.044	0.129	0.225	0.202	0.181	0.173	0.238
0—90	0.049	0.156	0.241	0.183	0.194	0.210	0.275
0—120	0.058	0.160	0.225	0.190	0.201	0.275	0.295
0—150	0.095	0.191	0.215	0.193	0.215	0.285	0.308
0—200	0.192	0.213	0.293	0.180	0.214	0.277	0.306

同一土壤剖面中均较前一年有所增加,而以灌水二年的盐分增加显著,甚至超过灌水六、七年地块含盐量,这显然是受着土壤含水量的支配,初灌时2m土体能保持大量灌溉水,同时也就保持了较多的盐分。如果从同一剖面120cm以上各土层来看,含盐量第一年0.07—0.21%;第二年0.18—0.27%;第六年为0.15—0.20%;第七年为0.16—0.22%。其含盐量年净增量第一年、第二年平均为0.05—0.10%,到了第六年、第七年净增量降低为0.02—0.03%,也就是说随着灌水年限增加,中壤质剖面的土壤,第一、二年净增量大,第六年后急剧下降,趋于相对稳定,第七年更趋于稳定。

每年5月中旬前为春旱时期,气温逐渐升高,风沙大蒸发量大,降雨量稀少,是苦水灌溉地盐分向表耕层强烈积累的时期,故我们把历年头水前测定的盐分结果,作为评价土壤盐渍化程度的标准基础。如表10所示,可以看出随着灌溉年限增多,同心县王团土壤含盐量逐渐趋于下降,例如王团杨庄子土壤剖面2m深度以上质地为中壤,2—3m深度为重壤及粘土,在灌水4年的时间内(1976—1979年),头水前5月9日测定

灌溉年限与土壤含盐量的关系(含盐量%) (同心县王团)

表10

土壤深度 (cm)	北三队杨庄子					南堡子				北滩丰产田				
	旱地	1	2	3	4	6	7	9	14	5	6	7	10	15
	1978年 4月2日	1976年 6月9日	1977年 2月24日	1978年 4月8日	1979年 4月8日	1976年 5月9日	1977年 2月24日	1979年 5月9日	1984年 5月6日	1974年 5月6日	1975年 5月10日	1976年 5月9日	1979年 5月7日	1984年 5月6日
0—10	0.039	0.614	0.761	0.217	0.223	0.658	0.775	0.334	0.272	0.276	0.246	0.337	0.278	0.317
10—30	0.039	0.138	0.121	0.121	0.098	0.236	0.184	0.108	0.126	0.124	0.198	0.165	0.089	0.150
30—60	0.045	0.228	0.162	0.211	0.147	0.206	0.140	0.105	0.111	0.166	0.177	0.208	0.105	0.140
60—90	0.062	0.190	0.280	0.211	0.161	0.181	0.187	0.137	0.128	0.172	0.221	0.170	0.169	0.178
90—120	0.169	0.161	0.287	0.196	0.165	0.178	0.193	0.202	0.150	0.167	0.217	0.263	0.243	0.208
120—150	0.299	0.135	0.366	0.573	0.157	0.187	0.173	0.327	0.166	0.157	0.199	0.282	0.241	0.240
150—200	0.462	0.138	0.768	0.501	0.709	0.205	0.249	0.271	0.178	—	0.231	0.220	0.202	0.233
0—30	0.039	0.297	0.334	0.153	0.140	0.377	0.381	0.183	0.175	0.175	0.214	0.222	0.152	0.206
0—60	0.042	0.262	0.248	0.182	0.143	0.291	0.261	0.144	0.143	0.170	0.196	0.215	0.129	0.173
0—90	0.049	0.238	0.259	0.192	0.149	0.255	0.236	0.142	0.138	0.171	0.204	0.200	0.142	0.175
0—120	0.079	0.219	0.266	0.193	0.153	0.235	0.225	0.157	0.141	0.170	0.207	0.216	0.167	0.183
0—150	0.123	0.202	0.286	0.269	0.154	0.226	0.216	0.191	0.146	0.167	0.206	0.229	0.182	0.194
0—200	0.208	0.186	0.406	0.327	0.177	0.221	0.224	0.211	0.154	—	0.212	0.227	0.187	0.204

盐分从灌水第二年起(1977年),土体1.2m以上随灌溉年限增加,含盐量有规律的降低,表耕层10cm土壤含盐量从灌水第二年0.76%减少到灌水第4年0.22%,相应90—120cm土层从0.29%减少到0.17%,王团南堡子中壤土剖面3m深度,在灌水14年的历程中,表耕层10cm土壤含盐量从灌水第7年0.78%减少到灌水第14年0.27%,相应的90—120cm土层从0.20%减少到0.15%。王团北滩重壤土剖面,在灌水15年的历程中,头水前5月10日左右测定2m土体含盐量,灌水第5年为0.12—0.28%到灌水第7年逐渐增加为0.17—0.34%,以后到灌水第10年又有所下降为0.10—0.28%,到了灌水第15年60—90cm深度以上土层含盐量又略微上升为0.14—0.32%,但仍较灌水第七年显著低,也就是说这个重壤土剖面,灌溉已达15年的历史,剖面中的盐分仍然稳定在一定范围之内。从王团土壤灌溉后的含盐量来看,只要灌溉地块畦子小(0.5—0.7亩),每年冬灌一次,春灌三次,再结合使用农家肥料,不论何种质地土壤(当然以中壤土剖面最好),苦水灌溉后耕层0—30cm或剖面0—200cm范围内的含盐量仍能稳定在0.20%左右⁽⁴⁾。这说明在该地区清水河沿岸,苦水灌溉有淋洗排除土壤中的盐分作用,历年灌溉所带入到土壤中的盐分,大部分被淋溶到土壤深层或淋溶到地下水中去,或排入清水河中去,这可由王团段清水河水的矿化度高达7.9g/l(1979年5月8日测定),甚至比其下游马家河河段清水河水,同期测定的矿化度6.9g/l还要高出1g/l,这是王团土壤灌溉苦水排入深层的另一佐证,这样看来同心王团可以较长期的进行苦水灌溉,不过也要与其他农耕措施相结合,随时进行防治土壤盐渍化为要。

另外从上述三个地方1979年9月雨季测定剖面6m深度土壤盐分结果(表11)可以

表11 底盐灰钙土含盐量及盐离子组成

地 点	采 样	土壤深度	pH	含盐量	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ + Na ⁺
	时 间	(cm)	值	%	(毫克当量/100克土)						
同心县王 团北三队 杨庄子	1979年 9月22日	0—10	8.1	0.041	0.00	0.44	0.08	0.02	0.26	0.16	0.13
		10—30	8.3	0.045	0.02	0.40	0.14	0.06	0.26	0.14	0.21
		30—60	8.3	0.048	0.02	0.38	0.17	0.10	0.22	0.10	0.34
		60—90	8.7	0.074	0.10	0.59	0.16	0.16	0.22	0.08	0.71
		90—120	8.6	0.071	0.09	0.40	0.44	0.12	0.16	0.10	0.79
中壤土剖面		120—150	8.1	0.046	0.00	0.37	0.20	0.08	0.20	0.12	0.32
		150—200	7.4	0.178	0.00	0.26	0.19	2.14	1.83	0.30	0.46
200—250		7.5	0.480	0.00	0.27	0.37	6.53	5.52	0.99	0.66	
250—300		7.7	0.146	0.00	0.36	0.56	1.32	1.22	0.58	0.43	
300—350		7.6	0.114	0.00	0.37	0.64	0.86	0.81	0.58	0.23	
350—400		7.7	0.105	0.00	0.38	0.60	0.74	0.66	0.48	0.58	
400—450		7.5	0.174	0.00	0.32	0.50	1.79	1.21	0.55	0.84	
450—500		7.3	0.400	0.00	0.30	0.36	5.41	3.53	1.85	0.68	
500—550		7.2	0.357	0.00	0.23	0.30	4.83	3.33	1.20	0.83	
550—600		7.3	0.241	0.00	0.33	0.28	2.97	1.31	0.88	1.39	

看出，王团杨庄子中壤土剖面1.5m以上含盐量为0.04—0.07%，盐分离子组成，阴离子以HCO₃⁻根离子为主，阳离子以Na⁺离子为主，致使pH值达到8.1—8.7；在1.5—6 m深度土壤含盐量为0.11—0.48%，盐分离子组成，阴离子以SO₄⁻根为主，每100克土壤含0.74—6.53毫克当量，其次是Cl⁻离子。阳离子以Ca⁺⁺离子为主，每100克土壤含0.66—5.52毫克当量，其次是Mg⁺⁺离子。土壤pH值降低为7.2—7.7。经过4年苦水灌溉之后，王团杨庄子剖面2 m深度以上含盐量(表12)较早地显著增加达到0.11—0.15%，盐分离子组成，阴离子以SO₄⁻根离子为主，每100克土壤含0.50—1.50毫克当量，其次为HCO₃⁻根离子，阳离子以Na⁺离子为主，每100克土壤含0.65—1.60毫克当量，2 m以上土层pH值保持在7.8—8.6之间；在2—6 m深度之间土壤含盐量较上层或较早地更高为0.30—1.13%，盐分离子组成，阴离子以SO₄⁻根离子为主，每100克土壤含3.46—15.91毫克当量，其次为Cl⁻离子，阳离子以Ca⁺⁺离子为主，每100克土壤含1.72—12.46毫克当量，其次为Mg⁺⁺离子含1.07—3.45毫克当量。pH值降低为6.8—7.2。

表12 苦水水质及灌溉灰钙土含盐量以及盐分离子组成

地 点	采 样 时 间	土壤深度 (cm)	pH 值	含盐量 %	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ +Na ⁺
					(毫克当量/100克土)						
同心县王 团北三队 杨庄子	1979年 9月22日	0—10	8.3	0.066	0.08	0.67	0.04	0.10	0.24	0.20	0.43
		10—30	8.6	0.107	0.16	1.13	0.06	0.07	0.50	0.24	0.65
		30—60	8.6	0.112	0.16	0.69	0.17	0.50	0.26	0.06	1.24
		60—90	7.9	0.146	0.00	0.13	0.53	1.51	0.32	0.24	1.60
		90—120	7.9	0.138	0.00	0.40	0.55	1.09	0.44	0.32	1.28
中壤土剖面		120—150	7.9	0.125	0.00	0.40	0.54	0.90	0.34	0.28	1.22
		150—200	7.8	0.143	0.00	0.45	0.63	1.01	0.34	0.20	1.55
灌水四年		200—250	6.9	0.484	0.00	0.23	0.35	6.63	4.83	1.07	1.31
		250—300	6.8	0.636	0.00	0.27	0.41	8.74	5.26	1.44	2.72
		300—350	7.2	0.330	0.00	0.33	0.70	3.82	1.72	0.76	2.44
		350—400	7.0	0.428	0.00	0.27	0.82	5.34	3.25	1.16	2.02
		400—450	6.9	1.130	0.00	0.24	0.91	15.91	12.46	3.45	1.19
		450—500	7.0	0.302	0.00	0.32	0.87	3.46	2.21	1.25	1.19
		500—550	6.9	0.639	0.00	0.25	0.89	8.66	7.22	2.49	0.09
		550—600	6.8	0.402	0.00	0.27	0.84	5.09	4.37	1.79	0.03
盘河水库	1979年			克/升	毫克当量/升						
水	5月23日		8.10	4.416	0.00	3.43	18.53	45.35	10.92	12.48	43.91

王团南堡子中壤土剖面，为适宜苦水灌溉的理想剖面，经过苦水灌溉9年之后，在剖面2 m以上含盐量0.12—0.23%，盐分离子组成(表13)，阴离子以SO₄⁻根离子为主，每100克土壤含0.41—1.61毫克当量，其次为Cl⁻离子，阳离子以Na⁺离子为主，每

100克土壤含1.16—2.87毫克当量,剖面2—6 m深度内,土壤含盐量0.21—0.33%,变动在0.25%左右,较杨庄子及北滩均低。盐分离子组成,阴离子以 SO_4^{2-} 根离子为主,

表13

苦水灌溉灰钙土含盐量及盐分离子组成

地 点	采 样 时 间	土壤深度 (cm)	pH 值	含盐量 %	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{++}	Mg^{++}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$
					(毫克当量/100克土)						
同心县王团 南堡子	1979年 9月21日	0—10	8.5	0.090	0.05	1.00	0.19	0.01	0.52	0.54	0.19
		10—30	8.5	0.119	0.08	0.75	0.42	0.41	0.38	0.12	1.16
		30—60	7.6	0.191	0.00	0.40	0.84	1.60	0.40	0.34	2.10
		60—90	7.9	0.170	0.00	0.44	0.73	1.33	0.40	0.30	1.80
中壤土剖面		90—120	8.2	0.162	0.02	0.48	0.70	1.18	0.34	0.34	1.70
		120—150	8.4	0.226	0.03	0.64	1.01	1.61	0.26	0.16	2.87
灌水九年		150—200	8.7	0.114	0.16	0.46	0.58	0.48	0.16	0.08	1.44
		200—250	8.1	0.251	0.00	0.70	0.52	1.84	0.32	0.20	2.53
		250—300	7.8	0.244	0.00	0.43	0.82	2.33	0.46	0.32	2.80
		300—350	7.6	0.255	0.00	0.41	1.13	2.28	0.44	0.44	2.93
		350—400	7.9	0.325	0.00	0.54	1.01	3.32	0.39	0.58	3.80
		400—450	7.6	0.260	0.00	0.37	0.93	2.57	0.54	0.62	2.71
		450—500	7.4	0.252	0.00	0.35	1.06	2.39	0.70	0.66	2.44
		500—550	7.5	0.258	0.00	0.39	0.92	2.54	0.67	0.65	2.53
		550—600	7.5	0.211	0.00	0.40	0.95	1.81	0.54	0.54	2.08

每100克土壤含1.81—3.32毫克当量,其次为 Cl^- 离子,阳离子以 Na^+ 离子为主,每100克土壤含2.08—3.80毫克当量,土壤pH值较上层7.6—8.7略有降低为7.4—8.1。

经过10年苦水灌溉之后,王团北滩重壤土剖面在2.5m深度以上土壤含盐量小于0.261%,盐分组成(表14),阴离子以 SO_4^{2-} 根离子为主,每100克土壤含0.61—2.42毫克当量,其次为 Cl^- 离子,阳离子以 Na^+ 离子为主,每100克土壤含1.32—3.09毫克当量,其次为 Ca^{++} 离子。在2.5—6.0m之间土壤含盐量较其上层或较上述南堡子中壤土剖面显著高为0.57—1.09%,盐分离子组成,阴离子以 SO_4^{2-} 根为主,每100克土壤含7.54—13.79毫克当量,其次为 Cl^- 离子,阳离子以 Ca^{++} 离子为主,每100克土壤含3.32—12.15毫克当量,其次为 Na^+ 离子一般含2.23—4.25毫克当量,从其盐分阴阳离子组成来看,显然该重壤土剖面下层含有大量 CaSO_4 (石膏)等盐类,这是干旱地区土壤即灰钙土类的特征。

上述这些剖面均是在1979年9月16—22日雨季测定盐分的结果,表耕层10cm受到降雨淋洗,其含盐量很低,这说明秋雨有淋洗土壤盐分的效能,四个剖面总的特征均是2m以上含盐量较低为0.10—0.25%,2m深度以下各剖面含盐量均较上层显著高,并各有其特征,这与剖面构造即质地排列有明显关系。例如杨庄子土壤剖面2—3m处有重壤土及轻粘土(表2),因而剖面特征和北滩重壤土剖面特征相近似,由于重壤土渗

表14 苦水灌溉灰钙土含盐量及盐离子组成

地 点	采 样 时 间	土壤深度 (cm)	pH 值	含盐量 %	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ +Na ⁺
					(毫克当量/100克土)						
同心县王团 北滩 重壤土剖面 灌水10年	1979年 9月16日	0—10		0.079	0.10	0.71	0.12	0.14	0.29	0.16	0.62
		10—30		0.122	0.13	0.76	0.21	0.61	0.22	0.16	1.32
		30—60		0.186	0.02	0.53	0.53	1.63	0.47	0.37	1.86
		60—90		0.230	0.02	0.58	0.89	1.85	0.41	0.27	2.67
		90—120		0.184	0.05	0.51	0.52	1.59	0.30	0.24	2.12
		120—150		0.206	0.00	0.51	0.62	2.01	0.31	0.26	2.06
		150—200		0.241	0.00	0.45	0.84	2.24	0.37	0.33	2.84
		200—250		0.261	0.00	0.51	0.88	2.42	0.41	0.31	3.09
		250—300		0.618	0.00	0.28	0.81	8.09	3.92	1.47	3.80
		300—350		0.611	0.00	0.36	0.87	7.81	3.32	1.47	4.25
		350—400		0.590	0.00	0.24	0.72	7.84	4.67	1.29	2.83
		400—450		0.572	0.00	0.25	0.72	7.54	5.25	1.03	2.23
		450—500		1.091	0.00	0.23	1.22	13.79	12.15	1.36	1.73
		500—550		0.955	0.00	0.24	1.27	12.73	10.42	1.20	2.62
		550—600		0.980	0.00	0.23	0.98	13.37	10.49	1.25	2.84

透性能差(表15)，故导致凡是剖面有较粘土层者，其深层必有大量土壤盐分积累，说明盐分向更深层移动较困难。而王团南堡子中壤土剖面，由于质地均一，渗透性能强，

表15 宁夏同心县王团土壤渗透系数K₁₀(平均值)

各时间末 (分钟)	地 点 层次及 质地	杨 庄 子	南 堡 子		北 滩		测 定 时 间
		心土层 (30—60cm)中壤	表土 (0—10cm)中壤	底土层 (120—130cm)中壤	表土 (0—10cm)中壤	心土层 (70—80cm)重壤	
30'		0.33	0.29	0.34	0.29	0.31	1976年 8月
60'		0.33	0.26	0.28	0.14	0.22	
120'		0.31	0.28	0.23	0.11	0.15	
180'		0.29	0.27	0.21	0.12	0.11	
240'		0.31	0.27	0.21	0.16	0.10	
300'		0.31	0.21	0.19	0.13	0.08	

故上层积累盐分少，说明在雨水或灌溉的淋洗下，盐分绝大部分被淋洗到更深层中去，故剖面中盐分分布比较均匀，因之雨季2m土层以下含盐量较其上层略有增加，一般平均为0.25%左右，这同时说明秋季降雨有限，故淋溶深度亦有限，也说明土壤剖面中的盐分随季节变化⁽⁷⁾。

这儿灌溉土壤普遍发生盐渍化，一般为轻度盐渍化，少数在灌水9—10年后达到中度盐渍化，加强防治，是当前农业发展刻不容缓的紧迫问题。

(4) 清水河中游海源县高崖为4—7g/l的苦水灌区，我们在赵堡及草场进行了苦水灌溉与土壤次生盐渍化关系的研究。该地区 and 同心县王团仅清水河一河之隔，高崖在河西，王团在河东，气候条件是相近似的，但在土壤及灌水年限上两地是大不相同的。王团是风沙地，灌水年限14、15年历史；然而高崖土壤母质系红色粘土，为中壤至粘土，地理位置是洪积扇下部的第一级阶地，地形平坦，比河东王团一带位置相对较高。灌水历史已有20多年，至今仍在种植小麦，这一带利用石峡口水库水进行灌溉，水的矿化度比王团团结渠高，为4—7g/l（表18），水的化学组成是钠钙质氯化物硫酸盐水，由于土壤质土粘重，渗透性能差，相应的灌溉省水。而灌溉面积由4,000多亩已发展到13,000多亩，亩产达到150—200kg以上，产量比旱地高4—5倍。这一带地下水位深，过去草场全村仅有一眼土井，深达45m，矿化度高达8.5g/l，人不能饮用。赵堡1977年打两眼80m深的机井，水的矿化度达4.7—4.9g/l。旱地土壤剖面的盐分（表16）在60cm以上含盐量低，在60cm以下含盐量高，这显然受土壤质地剖面排列的影响，正好60cm以上为中壤土，其下为粘土（表2），土壤渗透性能差，盐分不易向剖面更深处移动，证明自然降雨淋溶不深，形成积盐。

表16 灌水年限与土壤含盐量关系（含盐量%）（宁夏海源县高崖）

土壤深度 (cm)	草 场 二 队				赵 堡 (路南)				赵堡 (路北)	
	旱 地	11	13	14	旱 地	14	16	17	19	21
	1979年 5月8日	1976年 5月11日	1978年 8月31日	1979年 5月6日	1979年 4月8日	1976年 5月9日	1978年 5月9日	1979年 5月6日	1977年 5月10日	1979年 5月6日
0—10	0.052	0.449	0.864	0.849	0.096	0.540	0.919	0.501	0.820	1.008
10—30	0.049	0.369	0.564	0.751	0.064	0.613	0.600	0.433	0.580	0.725
30—60	0.169	0.363	0.229	0.252	0.519	0.449	0.859	0.650	0.485	0.556
60—90	0.292	0.378	0.124	0.284	0.497	0.446	0.424	0.420	0.304	0.337
90—120	0.280	0.278	0.182	0.698	0.453	0.385	0.272	0.294	0.388	0.337
120—150	0.265	0.228	0.209	0.748	0.394	0.301	0.235	0.317	0.385	0.343
150—200	0.417	0.246	0.174	0.276	0.636	0.337	0.303	0.385	0.391	0.396

0—30	0.050	0.396	0.664	0.784	0.075	0.589	0.706	0.456	0.660	0.837
0—60	0.110	0.379	0.447	0.518	0.272	0.519	0.783	0.553	0.573	0.697
0—90	0.170	0.379	0.339	0.440	0.347	0.495	0.663	0.509	0.483	0.577
0—120	0.198	0.354	0.300	0.504	0.374	0.467	0.565	0.455	0.459	0.517
0—150	0.211	0.329	0.282	0.553	0.378	0.434	0.499	0.427	0.393	0.482
0—200	0.263	0.308	0.255	0.484	0.442	0.410	0.450	0.417	0.393	0.461

海源县草场及赵堡土壤质地粘重, 1979年4月8日及5月8日左右春旱时测定土壤盐分(表16), 旱地在30cm以上土壤含盐量为0.05—0.10%, 其下直至2m深度土壤含盐量, 草场为0.27—0.42%, 赵堡为0.39—0.64%, 均已达到中度或重度盐渍化, 经过高矿化度苦水灌溉之后, 盐分向耕层30cm积聚很明显, 特别是在每年春旱时5月10日左右达到高峰。例如草场二队粘土剖面, 经过11—14年苦水灌溉之后, 30cm以上土壤含盐量已达到0.45—0.86%重度盐渍化, 其下至2m深度处含盐量一般为0.18—0.38%中度盐渍化; 赵堡路南土壤经过14—17年苦水灌溉之后, 60cm深度以上, 土壤含盐量已达到0.45—0.92%重度盐渍化; 其下至2m深度土壤含盐量一般为0.24—0.45%中度盐渍化; 而赵堡路北经过苦水灌溉已达19—21年之久的土地, 土壤剖面60cm深度以上含盐量已达到更高为0.49—1.01%重度盐渍化; 其下直到2m深度一般含盐量为0.30—0.40%中度盐渍化, 说明盐分随灌溉年限递增。另外, 我们从表16下栏可以看出, 2m土体含盐量的加权平均值, 除0—30cm土层外, 0—60cm以下含盐量, 草场二队一般变动在0.26—0.44%之间; 赵堡路南一般变动在0.41—0.51%之间; 而赵堡路北一般含盐量变动在0.39—0.52%之间, 表明盐分在2m土体内随着灌溉年限延长略有增加趋势, 苦水灌溉15年之后盐分稳定在0.39—0.52%之间, 证明苦水灌溉对土壤中的盐分仍有一定的淋洗作用, 从旱地与灌水地盐分结果对比可以看出, 旱地愈向剖面深层含盐量愈大, 而灌水地恰相反, 愈向剖面表层盐分愈多, 说明灌水之后土壤中的盐分随毛管水上升聚积在表层, 从而排除了深层盐分对作物生长危害的隐患。

1979年9月23日我们对海源县高崖草场6m深度剖面旱地盐分离子组成测定结果
表17 底盐灰钙土含盐量及盐分离子组成

地 点	采 样 时 间	土壤深度 (cm)	pH 值	含盐量 %	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ + Na ⁺
					(毫克当量/100克土)						
海源县高崖草场	1979年 9月23日	0—10	8.2	0.059	0.00	0.64	0.09	0.04	0.37	0.14	0.26
		10—30	8.3	0.060	0.02	0.66	0.05	0.04	0.32	0.14	0.31
		30—60	8.7	0.076	0.11	0.67	0.14	0.12	0.16	0.10	0.78
		60—90	9.0	0.124	0.41	0.78	0.18	0.40	0.11	0.11	1.56
红色粘土剖面		90—120	9.1	0.141	0.41	0.65	0.30	0.67	0.10	0.10	1.87
		120—150	8.9	0.162	0.32	0.48	0.75	0.88	0.08	0.12	2.23
		150—200	8.3	0.267	0.02	0.61	1.12	2.27	0.18	0.35	3.48
		200—250	7.5	0.748	0.00	0.36	1.99	9.01	2.95	2.66	5.75
旱 地		250—300	7.7	0.485	0.00	0.44	2.19	4.74	0.76	1.39	5.21
		300—350	7.7	0.510	0.00	0.51	2.68	4.63	0.69	1.49	5.65
		350—400	7.7	0.419	0.00	0.38	2.65	3.55	0.86	1.56	4.16
		400—450	7.7	0.503	0.00	0.36	3.00	4.52	1.01	1.95	4.93
		450—500	7.6	0.501	0.00	0.34	2.65	4.84	1.26	2.05	4.52
		500—550	7.7	0.528	0.00	0.37	3.01	4.86	1.03	2.04	5.17
		550—600	7.6	0.470	0.00	0.38	2.55	4.32	0.78	1.33	5.14

(表17), 2 m以上土壤盐分离子组成, 阴离子以 HCO_3^- 根离子为主, 阳离子以 Na^+ 离子为主, 故使上部土壤pH值显著高为8.2—9.1, 由于降雨淋洗上层土壤含盐量低, 大量盐分聚积在下层, 还因旱地自然土壤成土母质中就含有大量盐分, 故2—6 m土层含盐量达到0.42%以上, 属重度盐渍化, 盐分离子组成, 阴离子以 SO_4^{2-} 根为主, 每100克土壤含3.55—9.01毫克当量, 其次为 Cl^- 离子含1.99—3.00毫克当量, 阳离子以 Na^+ 离子为主, 每100克土壤含4.16—5.75毫克当量, 其次为 Mg^{2+} 离子含1.33—2.66毫克当量, 土壤pH值显著下降为7.5—7.7。1979年9月24日雨季对高崖草场二队灌水14年剖面6 m深度盐分离子组成测定(表18), 在30cm以上含盐量为0.75%以上, 属重度盐渍化, 恰和春灌前5月6日测定含盐量结果相近似, 其盐分离子组成, 阴离子以 SO_4^{2-} 根离子为主, 每100克土壤含10.29—12.68毫克当量, 阳离子以 Ca^{2+} 离子为主, 每100克土壤含7.54—9.84毫克当量, 其次为 Mg^{2+} 离子, 含1.91—2.08毫克当量。剖面30—300cm土壤含盐量为0.25%以上, 属中度盐渍化, 盐分离子组成, 阴离子以 SO_4^{2-} 根离子为主, 每100克土壤含2.54—4.94毫克当量, 阳离子以 Na^+ 离子为主每100克土壤含1.40—2.33毫克

表18

苦水水质及灌溉灰钙土含盐量以及盐分离子组成

地 点	采 样 时 间	土壤深度 (cm)	pH 值	含盐量 %	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$
					(毫克当量/100克土)						
海源县高崖 草场二队 红色粘土剖面 灌水14年	1979年	0—10	7.6	0.748	0.00	0.29	0.61	10.29	7.54	1.91	1.74
	9月24日	10—30	7.5	0.906	0.00	0.24	0.75	12.68	9.84	2.08	1.76
		30—60	7.6	0.395	0.00	0.29	0.73	4.94	3.18	1.21	1.55
		60—90	7.7	0.302	0.00	0.36	0.64	4.00	1.81	1.29	0.58
		90—120	7.8	0.247	0.00	0.44	0.70	2.54	0.92	0.88	1.88
		120—150	7.5	0.556	0.00	0.34	0.70	7.40	4.06	2.36	2.01
		150—200	7.7	0.251	0.00	0.33	0.66	2.81	1.33	1.07	1.40
		200—250	7.5	0.292	0.00	0.33	0.81	3.31	1.41	1.31	1.73
		250—300	7.6	0.360	0.00	0.35	0.86	4.06	1.58	1.36	2.33
		300—350	7.9	0.229	0.00	0.43	0.87	2.12	0.61	0.63	2.18
		350—400	8.0	0.206	0.00	0.46	0.84	1.76	0.42	0.49	2.14
		400—450	8.0	0.191	0.00	0.43	0.87	1.55	0.36	0.34	2.14
石峡口岸水	1979年			克/升	毫克当量/升						
	5月6日		7.87	6.187	0.00	1.80	35.76	60.08	23.60	23.21	50.83

当量。剖面3—6 m土壤含盐量一般为0.18%以上, 属轻度盐渍化, 盐分离子组成, 阴离子以 SO_4^{2-} 根离子为主, 每100克土壤含1.34—2.17毫克当量, 其次为 Cl^- 离子, 阳离子

以 Na^+ 离子为主,每100克土壤约含1.96—2.31毫克当量。剖面3m深度以下由于 HCO_3^- 根离子增多,故使得该层pH值增大为7.9—8.1,3m以上pH值为7.5—7.8。高崖土壤已普遍达到重盐渍化,灌水后土壤可溶性盐分转变为以氯化物硫酸盐类为主,并出现少数盐荒地,含盐量为0.71—0.97%,70cm以下含盐量为0.45—0.64%。1977年小麦由于盐害,缺苗严重没有收成,并且盐蓬、碱蓬及藜科草本植物生长茂盛,这就需要采取深耕休闲及种植耐盐牧草草木樨、苜蓿等进行改良。

(5) 清水河下游同心县马家河湾属干旱地区,降雨量少,风沙大,蒸发强烈,土壤亦为底盐灰钙土,pH值在8.1—8.5之间,土壤质地,表耕层(0—30cm)因受风沙影响为沙壤土,30—120cm为轻壤土,120—200cm为面沙,透水性良好,但灌溉时费水,灌后盐分也易于随水沿土壤毛细管返回到上层土体;当水分蒸发后,其中所携带的可溶性盐即聚积在上表层。这里地下水深度约12m,矿化度5.25g/l,群众及牲畜普遍饮用此水;清水河灌溉水矿化度为6.0—7.0g/l,每年春末夏初,适值作物生长发育时,清水河中上游已干涸断流,即使有小股水流,也是矿化度高,水量不多,历史上沿清水河下游,一般不利用这种苦水进行灌溉,从1975年开始试灌200亩地,年灌三水,大麦亩产达到100—150kg,个别高产地区达到168kg。从1979年9月18日盐分分析结果(表19)可以看出,旱地耕层含盐量为0.07%左右,灌水一年土壤盐分显著增加,为0.17—0.24%,灌水二年耕作层30cm以上比灌水一年增加显著为0.32—0.77%,1977年灌水三年的耕作层较前一年含盐量有所降低,而在耕层以下(30cm以下)土壤含盐量则比前一年有

表19 灌水年限与土壤含盐量的关系(含盐量%) (同心县马家河湾)

土壤深度 (cm)	旱地	灌水一年	灌水二年	灌水二年	灌水三年	土壤 质地
	1979年 9月18日	1976年 7月22日	1976年 7月22日	1977年* 8月16日	1977年 8月16日	
0—10	0.051	0.173	0.769	0.089	0.398	砂壤
10—30	0.073	0.242	0.322	0.241	0.257	砂壤
30—60	0.271	0.377	0.321	0.287	0.413	轻壤
60—90	0.205	0.266	0.269	0.169	0.303	轻壤
90—120	0.156	0.329	0.206	0.127	0.600	轻壤
120—150	0.159	0.627	0.227	0.128	0.596	面砂
150—200	0.217	0.705	0.183	0.137	0.491	面砂
0—30	0.066	0.219	0.471	0.173	0.304	
0—60	0.168	0.298	0.396	0.230	0.359	
0—90	0.181	0.287	0.354	0.209	0.340	
0—120	0.174	0.298	0.317	0.189	0.405	
0—150	0.171	0.364	0.299	0.177	0.332	
0—200	0.183	0.464	0.270	0.167	0.455	

注*1976年灌水为第二年,1977年弃耕未种。

较显著的增加。灌水二年的田块,据我们1976年田间观察结果,大麦普遍缺苗严重,不如灌水一年的地块大麦生长苗齐苗壮,亩产仅50kg左右,故部分土地撂荒,据1977年8月观察弃耕地普遍生长盐蓬及藜科耐盐杂草,盐分比灌水一年的显著降低,证明弃耕放荒利用天然降雨有洗盐效果。这给我们治理和防治土壤次生盐渍化提供了措施依据:即深耕轮休,有助于土壤脱盐,马家河湾灌水二年地块表层10cm盐分含盐量达到0.77%,致使大麦普遍缺苗严重,可以把这个含盐量值作为大麦生长耐盐的极限值。因之马家河湾灌水二年的地块已经达到重盐渍化。砂壤及轻壤土,灌溉时渗透快,相对灌入的水量大,又加之用高矿化度(6.0g/l)的水灌溉,更加加速了土壤次生盐渍化的发展,从马家河湾灌溉苦水迅速达到重盐渍化的事实告诉我们,要发展苦水灌溉,第一、要注意土壤特性;第二、要考虑田块大小及灌水定额和灌水次数对土壤耕层盐分的影响。

从1978年9月18日测定旱地土壤盐分(表20),可以看出表层30cm以上为0.06—0.09%,土壤盐分离子组成,阴离子以 SO_4^{2-} 根离子为主,其次是 HCO_3^- 根离子,阳离子以 Ca^{2+} 离子为主,其次为 Na^+ 离子,但其含量每100克土壤均未超出1毫克当量。30—200cm土层含盐量增多一般为0.21—0.31%,达到中度盐渍化程度,其中90—120cm土层含盐量为0.56%,故为底盐灰钙土,土壤盐分离子组成,阴离子以 SO_4^{2-} 根离子为主,

表20 苦水水质及灌溉灰钙土含盐量以及盐分离子组成

地 点	采样 时间	土壤 深度 (cm)	PH 值	含盐量 %	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{++}	Mg^{++}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$
					(毫克当量/100克土)						
同心县马家河湾底盐灰钙土轻质剖面旱地(荒地)	1978年 9月18日	0—10		0.055	0.13	0.42	0.04	0.16	0.44	0.06	0.25
		10—30		0.091	—	0.32	0.04	0.92	0.75	0.23	0.30
		30—60		0.205	—	0.37	0.68	2.04	1.24	0.60	1.25
		60—90		0.309	—	0.29	1.59	2.93	2.02	0.82	1.96
		90—120		0.562	—	0.29	1.21	6.96	4.53	1.36	2.56
		120—150		0.302	—	0.28	0.50	3.75	2.26	0.90	1.37
		150—200		0.311	—	0.27	0.26	4.08	2.90	0.75	0.97
同心县马家河湾轻质剖面灌水四年(冬灌前)	1978年 11月12日	0—10	7.7	0.573	—	0.23	0.12	8.18	6.13	1.35	1.04
		10—30	7.7	0.493	—	0.21	0.24	6.83	3.80	1.21	2.27
		30—60	7.3	0.499	—	0.19	0.84	6.44	3.98	1.00	2.49
		60—90	7.7	0.212	—	0.18	1.11	2.00	1.02	0.58	1.70
		90—120	7.5	0.239	—	0.39	0.51	2.55	0.64	0.24	2.57
		120—150	7.6	0.212	—	0.44	0.42	2.17	0.40	0.18	2.45
		150—200	7.1	0.417	—	0.16	0.29	5.71	3.90	0.65	1.61
马家河湾段	1978年			克/升	毫克当量/升						
清水河水	9月22日		8.00	6.793	—	3.76	38.49	63.63	16.32	22.44	67.12

每100克土壤含2.04—6.96毫克当量,其次是 Cl^- 离子,阳离子以 Ca^{2+} 离子为主,每100克土壤含1.24—4.53毫克当量,其次是 Na^+ 离子,从1978年11月12日测定的盐分(表20)还可以看出,灌水4年的土壤剖面,pH值为7.1—7.7,土层60cm以上含盐量明显增加为0.49—0.57%,达到重度盐渍化,土壤盐分离子组成,阴离子以 SO_4^{2-} 根为主,每100克土壤含6.44—8.18毫克当量,阳离子以 Ca^{2+} 离子为主,每100克土壤含3.80—6.13毫克当量,其次为 Na^+ 离子,含1.04—2.49毫克当量。土层60—200cm含盐量显著减少为0.21—0.42%,系中度盐渍化,土壤盐分离子组成,阴离子以 SO_4^{2-} 根离子为主,每100克土壤含2.00—5.71毫克当量,阳离子以 Na^+ 离子为主,含1.61—2.57毫克当量。旱地和灌水地含盐量对比明显可以看出,灌水后盐分向表层聚积,这是土壤盐渍化的普遍规律。

清水河下游马家河湾段河水及井水化学组成均为钠质氯化物硫酸盐水,旱地土壤可溶性盐化学组成以重碳酸盐钠质盐类为主,经一二年或三四年苦水灌溉后,土壤盐分转变为以氯化物硫酸盐钠质盐类为主。说明土壤盐分来源于河水苦水灌溉。

从前述苦水灌溉土壤阴阳离子变化情况可以得出如下结论:苦水灌溉后,阴离子 SO_4^{2-} 根含量随土壤总盐量增多而增加, HCO_3^- 根在土层中没有多大变化, Cl^- 离子含量仅次于 SO_4^{2-} 根离子,个别地区接近 SO_4^{2-} 根离子,如马家河湾。阳离子以 Na^+ 最多, Ca^{2+} 离子居第二位, Mg^{2+} 离子次于 Ca^{2+} 离子。

二、苦水灌区的水盐动态

从清水河上游淡水灌区直到下游苦水灌区,大量研究结果证明土壤中盐分均来自灌溉水,固原县头营徐河黑垆土用沈家河水库水灌溉,每年灌水3—4次,灌溉10多年时间,盐分增加极微,很少看到土壤次生盐渍化的现象,但到了清水河下游同心县马家河湾,用清水河苦水灌溉,土壤和头营徐河土壤相近似,仅灌溉二年时间,土壤就达到重盐渍化,甚至连耐盐作物大麦也不能生长,致使撂荒弃耕。这充分说明宁夏南部地区土壤次生盐渍化与灌溉苦水的矿化度有密切关系。同时在前面的我们也用大量的研究结果证明,土壤盐分含量均随着苦水灌溉年限的增加,在剖面中逐年递增,盐分增加已达到土壤剖面深层,这是土壤水分向下运动的结果,因之水盐在土壤剖面内的运行与分布同土壤剖面构造及质地有密切关系,现在我们分下列两种剖面类型来讨论。

1. 粘质底盐灰钙土

如海源县高崖草场二队土壤剖面,1979年9月23日及24日测定水盐结果(如图4)旱地及灌溉14年土地,水分在60—600cm深度中的分布相对比较均匀,剖面60cm以上(表2)系中壤土,其下属粘土,灌溉14年土壤剖面中含水量普遍比旱地高,灌溉地一般含水量在20—24%之间,而旱地含水量一般在16—18%之间。雨季土壤含盐量(表17),旱地60cm以上为0.06—0.08%;60—200cm土层为0.12—0.27%;2—6m土层为0.42—0.75%,旱季含盐量旱地60cm以上为0.05—0.17%,60—200cm为0.27—0.42%,证明降雨影响旱地剖面盐分变动。灌溉14年的土地,雨季含盐量(表18)在耕层30cm以上为0.75—0.91%,其下除个别土层为0.56%外,其余土层均为0.18—0.39%,旱季灌溉地含盐量(表16),耕层为0.75—0.85%,30—200cm为0.25—0.75%。该粘土剖面含

盐量情况与王团各种质地剖面雨季9月同一时期含盐量相对比,草场二队灌水14年土地的表层及剖面中雨水淋洗盐分的效果几乎看不出来,而王团灌水4年、9年及10年土地的表层春旱时含盐量为0.22—0.33%,到雨季9月淋洗降低为0.07—0.09%,剖面中含盐量超过0.20%,土层从春旱时60cm深度,雨季一般下移到150cm土层深度。高崖草场二队土壤粘重,渗透性差,苦水灌溉时积盐量大,雨季降水量不足以溶解表层大量盐分,同时也很难将其排入土壤剖面深层中去,故这种土壤不宜作为苦水灌溉的选择地块。

如同心县王团北滩重壤土剖面(表2),30cm以上为中壤土,30—150cm为重壤土,根据1979年9月16日雨季测定旱地及灌溉10年土地的盐分(表14及图3)结果,旱地在剖面0—2.5m土层之间含盐量为0.02—0.06%,2.5—4.5m土层之间为0.35—0.82%,4.5—6.0m土层之间为0.88—0.92%,相应的灌水10年土地含盐量表耕层30cm以上为0.08—0.12%,30—250cm土层之间为0.20—0.26%,2.5—4.5m土层之间为0.57—0.62%,4.5—6.0m土层之间为0.96—1.09%。1979年5月7日春旱时灌水地含盐量表(表10)10cm为0.28%,10—90cm为0.09—0.17%,90—200cm为0.20—0.24%。而同时期测定的土壤含水量除去表层外,几乎6m深剖面旱地含水量一般在10—19%之间,大多数徘徊在17%左右,灌水10年的土壤含水量,一般在13—24%之间,大部分徘徊在20%左右,灌水地含水量普遍较早地高。从水盐情况来看,王团北滩重壤土剖面表耕层积盐速度和积盐量都不像高崖草场二队灌水14年地块那样快而数量大,其间主要原因是土壤质地差别大,前者王团北滩30cm以下为重壤土,后者高崖草场二队心土层60cm以下为粘土;前者王团重壤土剖面秋季降雨能将耕层盐分淋洗至土壤深层中去,后者高崖草场二队粘土剖面秋季降雨不能将耕层盐分淋洗到土壤较深层中去,并保持了重盐渍化程度。这说明重壤土剖面相对渗透性能良好,灌溉或降雨能使盐分淋洗到深层中去,然而3—6m深度土层之间仍累积着0.57—1.09%的大量盐分,这种土壤毛管性能又强,只要降雨一停止或地表温度稍一升高,蒸发性能加强,盐分就会随着毛管水上升累积地表,这种土壤有潜在的隐患,故也不宜作为苦水灌溉的选择地块。

2. 轻质(中壤)底盐灰钙土

如同心县王团南堡子灰钙土剖面(表2),3m深度系中壤土,仅个别土层(2—2.5m土层深度)物理性粘粒含量为46%(系中壤与重壤界限值)划为重壤土,这个剖面也可以说全部是中壤土,1979年9月21日雨季测定水盐(图1)结果,6m深度的含水量亦是灌溉9年者大于旱地,剖面3m深度以上土壤含水量旱地一般为11—18%,灌溉9年者一般为12—20%,剖面3m深度以下,旱地水分含量变幅较大,一般在10—22%之间,而灌溉9年者变幅较小,一般在17—24%之间,该轻质土剖面秋季降雨可以淋溶到约3m深度处。就土壤含盐量来讨论,雨季含盐量,旱地剖面变化在0.04—0.14%之间,从上至下含盐量分布比较均匀,变幅亦较小,而灌溉9年者剖面含盐量(表13)均较早地有明显的增加,120cm以上为0.10—0.19%,1.2—6.0m为0.21—0.33%,而同年5月9日春旱时测定灌水地含盐量(表10),表层10cm为0.33%,10—90cm为0.11—0.13%,90—200cm为0.20—0.33%。这个剖面由于质地的均一性,全剖面为中壤土,故含盐量从上至下分布比较均匀^(1,5),很显然可以看出在苦水灌溉9年的过程中,在6m深度的范围内,含盐量为0.10—0.26%比较均匀。因之可作为苦水灌溉的理

想地块。

再如王团北三队杨庄子3 m深度的轻质剖面(图2), 0—2 m土层系中壤土, 2—3 m土层系重壤土及轻粘土。心土层(30—60 cm)渗透系数 K_1 。(表15)较上述所有土壤质地剖面渗透系数 K_{10} 为大。1979年9月22日雨季测定土壤水盐(图2)情况, 从土壤含水量来看, 旱地与灌水地差异明显, 灌水地较早地含水量大。以土壤剖面6 m深度而论, 2.5 m以上旱地含水量一般为10%左右, 灌溉4年者一般为12—15%, 剖面2.5 m以下, 旱地含水量一般为10—18%, 灌溉4年者一般为20—25%。杨庄子土壤含盐量(表11), 雨季旱地剖面2.0 m以上为0.04—0.18%, 2—2.5 m土层为0.48%, 2.5—4.5 m土层为0.11—0.17%, 4.5—6.0 m土层为0.24—0.40%; 雨季灌溉4年者含盐量(表12), 剖面2.0 m以上为0.07—0.15%, 2—6 m土层为0.30—0.64%, 仅土层4—4.5 m之间含盐量高达1.13%, 同年4月8日春旱时测定盐分含量(表10)灌溉4年者表层10 cm为0.22%, 10—150 cm土层为0.10—0.17%, 150—200 cm土层为0.71%。从含盐量可以看出, 旱地因秋季降雨土壤剖面受到淋溶, 已使底盐层从120 cm下移到200 cm处, 灌溉4年地块因雨季降雨淋洗已使表层大量盐分(表12)被淋溶到深层中去, 并使土体2.0 m以上的含盐量较春灌前略有降低, 致使土层2—6 m之间含盐量较早地同一深度有极显著的增加, 并使土层2.5—4.5 m之间含盐量较早地0.11—0.17%高出约3—7倍, 达到0.33—1.13%的含盐量。该轻质剖面和王团北滩

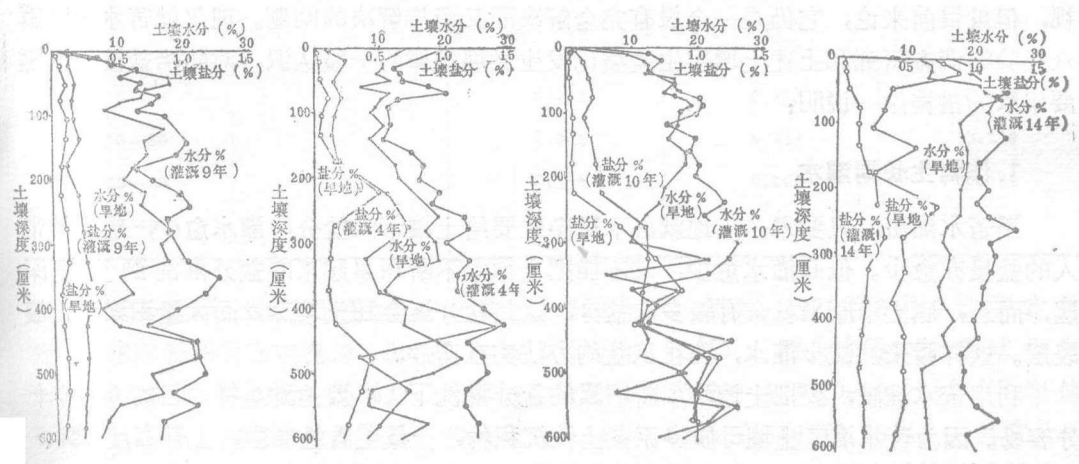


图1 降水及灌溉对壤质底盐灰钙土水盐含量的影响(宁夏同心县王团南堡子1979年9月18日)

图2 降水及灌溉对壤质底盐灰钙土水盐含量的影响(同心县王团北三队杨庄子1979年9月21日)

图3 降水及灌溉对重壤质底盐灰钙土水盐含量的影响(同心县王团北滩1979年9月15日)

图4 降水及灌溉对粘质底盐灰钙土水盐含量的影响(海源县高崖草场二队, 1979年9月22日)

重壤土剖面一样令人担忧, 即土壤中含有潜在的大量盐分隐患, 只要一有水分及土壤中温度稍微上升, 盐分随时都有可能随毛管水上升累积表层, 直接威胁到作物幼苗的生长, 这种情况的形成与剖面2—3 m之间土层属重壤土及轻粘土有关, 因之该轻质土剖

面作为苦水灌溉选择的适宜地块，就不如王团南堡子轻质土剖面那样理想⁽¹⁾，但比王团北滩重壤土剖面作为苦水灌溉选择的适宜地块就更为理想了。

三、土壤次生盐渍化的防治

宁南干旱及半干旱地区，淡水十分缺乏，利用苦水灌溉是个重要而有效的增产措施。但是经过多年灌溉之后，就有不同程度的土壤次生盐渍化发生（如表1），尤其值得注意的是，个别地块盐渍化已相当严重，例如海源高崖乡草场大队，约有100余亩水地，由于土壤盐分很高（如表21），播种后，多不出苗，以致停耕放荒。这就难怪，有些对于苦水灌溉，尚有不少疑虑，因而苦水灌区土壤盐渍化的防治，向来受到人们的重

表21

宁夏海源高崖草场盐荒地土壤含盐量（%）

土层深度 (cm)	0—5	5—10	10—20	20—30	30—70	70—90	90—120	120—150	150—200
土壤盐分 (%)	0.91	0.71	0.97	0.71	0.73	0.64	0.45	0.50	0.55

视，但就目前来论，它仍是一个没有完全解决而又亟待解决的问题。现仅就苦水灌区群众经验的调查研究和上述土壤次生盐渍化发生发展规律的一般认识，对防治盐渍化而需要采取的措施作一说明：

1. 作物生长期灌水

用苦水灌溉，只要水入地就必不可免地要给土壤带入盐分，灌水愈少，给土壤带入的盐量亦愈少。但是灌水愈少，却不能把土壤中不断积累起来的盐分淋洗到土壤深层，而且，底土中原来就含有较多的盐分，这些盐分还会随土壤蒸发而大量积聚于土壤表层。这样看来，减少灌水，防止积盐的办法实难奏效。

利用苦水灌溉，要把土壤中不断积累的盐分淋洗下去，要达到这样的目的，并非十分容易。因为苦水灌区土壤母质多系黄土性沉积物，土壤毛管性能强，上升高度较大、较快，一般在2 m以下土层中的水分盐分仍能很快地上升至土壤表层。要使盐分淋至深处，使之不再或不易向上移动返盐，必须根据土质，确定一个较大的灌水用量，而且还要根据地形合理规划，作到地平水饱，一般情况下，苦水灌后总有盐分不断向表土聚积，为使作物不致受盐危害，我们就要适时适量灌水压盐，根据同心王团一带的群众经验，要灌水4—5次，群众说：“麦过千斤关，地皮不能干”，这说明作物生长期中，要一次紧跟一次地及时灌水。从表22中可以看出1976年5月8日灌头水前，灌水5年的土地，表层10cm土壤盐分含量均达到剖面中最大值为0.56—0.76%，随着作物生长第一次灌水后，盐分含量极为显著的降低到0.17—0.33%，其洗盐效果一般为43—55%，个别有达到70%以上。

宁南春旱时水量不足，一般大都灌2—3次水，少数地区灌1—2次水，如七

表22

中壤土灌水洗盐效果(含盐量%) (同心县王团北三队杨庄子)

土壤深度 (cm)	冬 灌 后	灌 头 水 前	灌 头 水 后	灌 二 水 后
	1975年 11月21日	1976年 5月8日	1976年 5月17日	1976年 6月4日
灌 水 5 年 绿 肥 田				
0—10	0.116	0.756	0.174	0.173
10—30	0.205	0.169	0.243	0.135
30—60	0.215	0.114	0.199	0.163
60—90	0.261	0.147	0.243	0.175
灌 水 5 年 试 验 田				
0—10	—	0.558	0.322	0.180
10—30	—	0.130	0.137	0.230
30—60	—	0.125	0.174	0.229
60—90	—	0.146	0.199	0.255
灌 水 5 年 大 田				
0—10	—	0.732	0.328	0.244
10—30	—	0.236	0.212	0.119
30—60	—	0.159	0.265	0.139
60—90	—	0.186	0.269	0.157

营马莲就是这样。如王团南堡子的中壤土(表23所示)剖面,1976年5月9日测定盐分,头水前表耕层含盐量为0.66—0.78%(平均值0.72%),灌头水后含盐量减少到0.24—0.26%(平均值0.25%),二水后含盐量进一步减少到0.20—0.23%(平均值0.22%),灌三水后含盐量更进一步减少到0.14—0.23%(平均值0.19%)。其洗盐效果,头水后洗盐效果约计为60—70%,二水后洗盐效果约为5%,三水后洗盐效果约小于8%,三次洗盐效果总计可达到70—80%。说明作物生长期用高矿化度的苦水灌溉,同样有洗盐效果,可以使表层10cm盐分,从极强度迅速下降到中度盐渍化程度,这不但排除了幼苗生长的盐害威胁,同样可使这些干旱地区作物生长可以得到充足的水分,有利于丰产。又如王团北滩及七营马莲重壤土(表24所示)剖面,1976年5月9日及11日测定盐分,头水前表层10cm土壤含盐量达到0.31—0.34%(平均值0.33%),灌头水后含盐量减少到0.25—0.26%(平均值0.26%);灌二水后含盐量王团北滩减少到0.17%,而七营马莲含盐量则有上升趋势;灌三水后含盐量王团北滩有上升趋势,七营马莲则进一步降低,这可能与灌水量少及重壤土渗透性弱有关。由此看来,重壤土洗盐效果,头水后约为20—25%;二水后洗盐效果,王团北滩亦约为25%,而马莲不但没有

表23

中壤土灌水洗盐效果(含盐量%) (同心县王团南堡子)

土壤深度 (cm)	头水前	头水后	二水后	三水后	雨季
	1976年	1976年	1976年	1976年	1976年
	5月9日	5月17日	6月4日	7月2日	8月25日*
灌 水 6 年 大 田					
0—10	0.658	0.262	0.233	0.227	0.071
10—30	0.236	0.147	0.251	0.184	0.127
30—60	0.206	0.208	0.297	0.198	0.239
60—90	0.181	0.190	0.330	0.216	0.234
90—120	0.178	0.187	0.304	0.214	0.294
120—150	0.187	0.230	0.190	0.235	0.209
150—200	0.205	0.187	—	0.210	0.183
灌 水 7 年 大 田					
	1977年	1977年	1977年	1977年	1977年
	2月24日	5月24日	6月6日	6月26日	8月18日
0—10	0.775	0.239	0.202	0.140	0.190
10—30	0.184	0.150	0.162	0.153	0.162
30—60	0.140	0.153	0.166	0.147	0.190
60—90	0.187	0.203	0.166	0.156	0.220
90—120	0.193	0.271	0.140	0.182	0.222
120—150	0.178	0.272	0.202	0.216	0.273
150—200	0.249	0.251	0.169	0.141	0.211

* 连续降雨后

洗盐效果,反而使表耕层含盐量略有增加;三水后洗盐效果,王团北滩无洗盐效果,马莲则表现出有微弱的洗盐效果,重壤土三次洗盐效果总计约为50%左右。

从土壤质地粘重程度和土壤渗透水的能力来看(表15),很清楚,土壤质地愈轻渗透力愈强,苦水灌溉时相应的灌水量愈多,因之春灌前5月10日左右测定盐分,土壤表耕层10cm所积累的盐量很高,达到0.60—0.80%,但灌水后洗盐效果很显著,三次灌水洗盐效果累计为70—80%,使表耕层盐分降低到使作物可以忍受的范围即0.15—0.30%之间。土壤的渗透系数 K_{10} 在1—5时末其值随土壤质地变化,如王团杨庄子中壤土剖面,心土层(30—60cm)渗透系数 K_{10} 为0.33—0.31mm/分;王团南堡子中壤土剖面,表土(0—10cm)及底土(120—130cm)渗透系数 K_{10} 为0.28—0.19mm/分;又如王团北滩重壤土剖面,表土(0—10cm)渗透系数 K_{10} 为0.16—0.11mm/分,心土(70—80cm)渗透系数 K_{10} 为0.15—0.08mm/分,约为上述两地中壤土渗透系数的50%,土壤质地粘重,渗透能力相对较弱,苦水灌溉时相应的灌水量少,故带入的盐分

表24 重壤土灌水洗盐效果 (含盐量%)

土 壤 深 度 (cm)	头 水 前	头 水 后	二 水 后	三 水 后	雨 季
	1976年	1976年	1976年	1976年	1976年
	5月9日	5月17日	6月4日	6月24日	8月24日
灌水7年大田 (同心县王团北滩丰产田)					
0—10	0.337	0.259	0.172	0.247	0.061
10—30	0.165	0.220	0.140	0.156	0.102
30—60	0.208	0.196	0.214	0.170	0.247
60—90	0.170	0.196	0.166	0.267	0.489
90—120	0.263	0.199	0.230	0.318	0.487
120—150	0.282	0.211	0.239	0.283	0.341
150—200	0.220	0.230	0.199	0.199	0.253
灌水4年大田 (固原县七营马莲)					
	1976年	1976年	1976年	1976年	1976年
	5月11日	5月20日	6月6日	7月4日	7月16日
0—10	0.311	0.249	0.262	0.243	0.128
10—30	0.111	0.206	0.128	0.166	0.143
30—60	0.105	0.219	0.172	0.128	0.153
60—90	0.108	0.155	0.187	0.172	0.233
90—120	0.121	0.120	0.222	0.143	0.175
120—150	0.115	0.106	0.131	0.137	0.143
150—200	0.111	0.105	0.128	0.108	0.115

含量亦少, 因之5月10日左右春灌前测定土壤表耕层所积累的盐分相对较少, 为0.31—0.34%, 三次灌水洗盐效果总计约为50%左右, 显然较上述中壤土洗盐效果低。说明头水对于排除表层盐分供给水分, 保证幼苗茁壮成长非常重要, 否则这样高的盐分含量会直接危害农作物的幼苗。因之头水必须灌饱, 将盐分压往深层, 给幼苗以水、肥供生长发育之需, 当作物幼苗成长起来其耐盐能力就会更强, 大约经过七八天后土壤盐分在表层和土壤剖面中又有较为显著的回升, 接连着就应灌二水, 亦可起到压盐供水促苗生长的效果, 如6月4日二水后测定结果, 盐分已普遍进一步降低到0.17—0.26%, 此时由于作物的幼苗已成长起来, 耐盐能力更强, 而盐分含量更低, 那么农作物就不会受到盐分的侵害, 同时又有水分的保证, 当年的收成就不会成问题了, 所以在灌水技术方面得出的经验, 即头水要饱, 二水要紧跟上 (距灌溉头水日期约间隔7—10天), 有利于促苗生长, 三水、四水要淌上 (地上要走过水), 有利于防止青干, 颗粒饱满, 能获得丰产。近年来, 由于清水河上游灌溉的发展, 下游盘河水库水量有所减少, 致使同心团结渠王团一带的灌水已不够用, 大麦三水、四水有时难于保证, 减产严重。据群众反映,

少浇一水,就要减产50kg左右。广大群众积极要求打井,以便必要时提取井水,弥补急需。看来,在这些地方,适当打些机井确有必要。

2. 冬灌

为了提高洗盐的作用,其灌水量亦以适当大些为好,这样,盐分可以压得很深,从图5可以看出王团北滩主要以重壤土为主的质地剖面,经过冬灌洗盐之后,全剖面0—

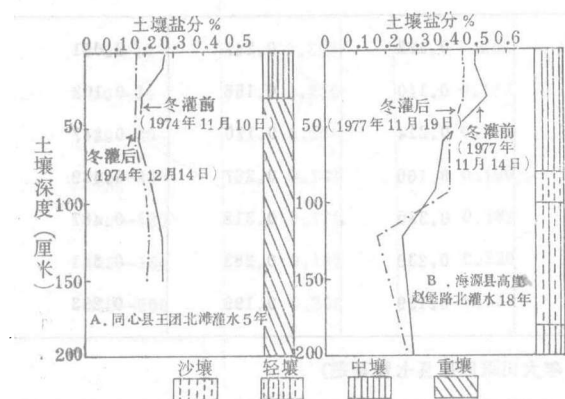


图5 冬灌洗盐效果

150cm皆有显著的降低,尤其是0—30cm的耕层,洗盐效果显著,达到剖面60cm处土壤盐分含量几乎没有得到淋洗,这是由于其下为重壤土层有阻隔水盐向下移动的性能,故表现在曲线上发生转折点,透过此层后洗盐效果又增大起来,海源高崖类似王团50—100cm有积盐现象,因之发展冬灌有利于增加土壤水分,又利于抑制土壤中的有害盐分在剖面上层积累。

为什么冬灌能起到压盐蓄水的作用呢?这是由于冬季气温降低很厉害,

达到 0°C 以下,土壤冻层约达1m深度,土壤在冬季灌水后冻结,这种结冰的水有淡化析盐作用,也就是土壤上层覆盖了一层淡水层,到了来年春季气温升高而消融,又能更进一步的起到淋洗土壤盐分的作用;同时由于土壤冻结,蒸发极微,不易返盐,又为农作物贮蓄水分,免除春旱的威胁,有利于春播,故冬灌是农业丰产的一个重要措施,在苦水灌区尤为重要。

3. 引洪淤漫

一些有条件的地方,引洪淤漫压盐,亦颇有效,因为山洪中往往含有较多的植物残体,羊粪等有机物养分,而有害盐分一般较苦水为低,故有较好的蓄水洗盐增产作用。例如,海源县高崖乡赵堡村的一些水地,盐分含量甚高,经洪水漫灌后,次年产量可增加30%左右,其中一块15年水田1977年秋季经洪水漫后,洪漫淤泥层厚度约35cm,洪漫后耕层30cm压盐效果(表25),由原含盐量0.637%降低到0.263—0.374%,脱盐率为40—60%,平均为50%。由于所引洪水,来自附近山坡地,个别山沟内尚有一些苦水,沟槽两侧地面积盐甚多,这些盐分,亦随洪水进入地内,但是即使这样,亦有压盐增产效果,况且,洪漫后,由于淤泥龟裂、板结、返盐严重,如能及时中耕防止蒸发返盐,其效果当更加明显。

4. 耕作措施

为了抑制蒸发,防止返盐,常采用下列措施:

(1) 秋季深翻晒垡。麦收后,由于土壤紧实板结,地面裸露,同时气温又高,土壤蒸发强烈,所以在麦收以后,要抓紧深翻,防止下层土壤盐分向表层聚积,经过翻晒,

表25 洪漫压盐效果(含盐量%) (海源县高崖赵堡灌水15年)

土壤深度 (cm)	洪 漫 前	洪 漫 后*	
	1977年6月20日	1977年10月9日	1977年11月4日
0—10	0.724	0.222	0.275
10—30	0.593	0.283	0.423
30—60	0.407	0.650	0.388
60—90	0.236	0.287	0.202
90—120	0.275	0.205	0.217
120—150	0.337	0.233	0.259
150—200	0.297	0.297	0.265
200以下	—	0.187	0.181
0—30	0.637	0.263	0.374

* 洪漫层厚度35cm

还可改善土壤结构状况,熟化土壤,晒垡时聚积在土块表面的盐分,也容易被风吹走,故其作用是多方面的,必须抓紧搞好。

(2) 早春顶凌耙耱和苗期耙地破除板结,解冻后及时耙耱,不仅可使田面平整,表土细绵,而且可减少土壤水分沿毛管上升,既保住了底墒又能防止土壤返盐,苗期作物往往抗盐力弱,雨雪之后土壤板结,如不及时破除,不仅使幼苗遭受机械损伤,同时,这时干燥风多,土壤蒸发返盐严重,造成黄苗死苗。故土壤一有板结,就必须及时破除,保证全苗。

5. 种植耐盐作物

该地区一般春作物多种植小麦及大麦,这些作物比较耐盐,相对比大麦更耐盐,因为大麦秸秆吸盐能力很高,在苦水灌溉地上所生长之大麦,种子苦咸(涩)味很浓。秋作物玉米、向日葵、甜菜亦耐盐,该地区所种的名贵药材枸杞在盐土地上生长茁壮,这些都是可供选种的作物。从青海引种的青稞一般达到亩产250—300kg,单产已突破500kg,亦是很好的耐盐作物。

苜蓿及草木樨耐盐性强,这儿大多普遍种植,与作物轮作倒茬是可以起到改良盐土的作用。由于耐盐作物在土壤盐分较高的情况下能正常生长,适当密植,保证地面被覆良好,减少土壤蒸发,防止返盐,从而降低土壤盐分含量。如种植一年的沙打旺,茎高60—70cm,主根粗而长,侧根很多,主要分布耕层内,根部有大量根瘤,每亩可产鲜草1833kg,以风干物计含氮量1.1—3.8%,翻压后,相当每亩施入硫酸铵20—65kg,该种绿肥作物生长非常茂密,可以显著降低土壤上层盐分(表26),原含盐量0.187—0.468%,降低到0.079—0.230%,盐分减少0.100—0.238%,改良效果在60cm以上平均为50%,表层10cm约达60%。

又如,我们1977年从青海引进的山菠菜(法国菠菜),在苦水地上生长十分良好,

株高可达2 m以上, 茎秆高大, 枝叶茂密, 其叶可随时采摘, 当作蔬菜, 亦可作牛羊的青饲料, 每亩可产鲜草达2500kg, 茎秆产量达1,650kg, 产籽量150kg以上, 并且茎秆中含盐量非常高, 口尝咸味很浓, 是一种很好的耐盐作物。从表26可以看出, 对于2.0m土体均有排盐效果, 而且土层60cm以下, 比其上层排盐效果更显著。从外地引进的一些绿肥和牧草品种除山菠菜及沙打旺外, 还有毛苕子、香豆子等, 经在王团试种观察, 尚能适应苦水灌溉, 并有一定的排盐改土效果, 且能增进土壤肥力, 是一举多得的有效措施。

表26

绿肥牧草对降低土壤盐分的效能 (同心县王团北队试验地, 1977年9月5日)

土 壤 深 度 (cm)	土 壤 含 盐 量 %		
	对 照 地	1 年 山 菠 菜 (法 国 菠 菜)	盐 分 减 少 量
0—10	0.304	0.211	0.093
10—30	0.178	0.172	0.006
30—60	0.283	0.228	0.055
60—90	0.360	0.233	0.127
90—120	0.398	0.257	0.141
120—150	0.495	0.289	0.206
150—200	0.436	0.249	0.187
1 年 绿 肥 沙 打 旺			
0—10	0.187	0.079	0.108
10—30	0.243	0.143	0.100
30—60	0.468	0.230	0.238

6. 增施有机肥料, 改土培肥

有机肥能改良土壤结构, 增加保水性能, 调节土壤反应和土壤养分状况, 在盐渍化土壤上增施有机肥料改土培肥作用全面。近年来在苦水地施用煤化肥, 效果尚好, 煤化肥是风化煤粉与碳铵混合堆制后施入土壤, 煤粉中的腐殖质酸可与碳铵结合形成腐铵, 减少氮素损失。同时还可中和土壤碱性, 其效果也是多方面的, 值得进一步试验推广。

7. 利用离子平衡理论, 调控钠害

钾钠离子两种同时存在时, 低浓度的钾可抑制高浓度钠的危害⁽⁶⁾, 一般钾为钠的5—10%, 即已足够使钾、钠恢复平衡, 抑制苦水中较多钠离子对作物的危害。同心县农技站与宁夏回族自治区水利所曾试验在作物播种前或孕穗期施钾肥效果最佳。但由于钾化肥价值较高, 如果用老墙土代替当能降低费用, 达到同样效果, 且易为群众接受, 一般农家肥料草木灰中含有大量的钾素也是农村来源广, 收集容易, 行之有效的办法。

【致谢】米登山同志曾参加此项工作。

参 考 文 献

- [1] 田积莹、黄义端等：灌溉灰钙土水盐动态之初步研究，《土壤学报》，第19卷1982年第2期，154—163页。
- [2] 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，《水土保持》（内刊）1979年第2期，52—63页。
- [3] 黄义端等：固原县的苦水及其灌溉利用，《水土保持通报》1981年第2期。
- [4] 黄义端等：苦水灌溉土壤次生盐渍化及其调控，《中国土壤学会西北七省（区）盐碱土改良论文集》，1984年，79—83页。
- [5] W.P凯莱著（黄震华译）：《盐碱土》，科学出版社，1959年，13页。
- [6] 中国农业科学院农田灌溉研究所编，《黄淮海平原盐碱地改良》，中国农业出版社，1977年，31页。
- [7] 曹怀德：宁夏苦水灌溉及灌区土壤改良，《中国土壤学会西北七省（区）盐碱土改良论文集》，1984年，142—149页。

IRRIGATION WITH BITTER WATER AND STEPS OF CONTROLLING SOIL SECONDARY SALINIZATION IN SOUTHERN NINGXIA

Tian Ji-Ying et al

ABSTRACT

In southern Ningxia, it is very drought and sierozem is widely distributed in the north of this region. The depth of ground water is generally more than 20—30m. The resources of bitter water are abundant. But the resources of fresh water are very scarce. The salt concentration of bitter water (mineral water) is as high as 4—7 g/l. The chemical compositions of soluble salt in bitter water are mainly SO_4^{2-} and Cl^- anions, Na^+ , Ca^{++} and Mg^{++} cations, so it is called sodium (quality) chloride-sulphate water. For development of agricultural production, it is necessary to irrigate with bitter water due to lack of the fresh water in this region. Using reasonably the bitter water to irrigate the crops such as wheat, barley, the good harvest can be got, but in most cases the soil secondary salinization in the irrigated land is very easy to occur, by which the crop yield is affected. The occurrence of the soil secondary salinization is in close relationship with soil texture, that is to say this process occurs very easily on heavy loam or clay soil, but it doesn't on light or medium loam. This is because the different soil texture has the different permeability. The light or medium loam has a good permeability, but the heavy loam or clay soil has a poor permeability. The salts accumulated in the surface layer of light.

or medium soil can be easily leached out and removed into deep soil layer during the watering or during the rainy season, but the salts in the heavy or clay soil can not be easily leached out. Therefore the light or medium loam may be regarded as an ideal soil suitable for irrigation with bitter water. After irrigation with bitter water for many years, the salt content of light or medium soil profile is still about 0.20% or so. In order to control soil secondary salinization, we must pay attention to control irrigation norm and to avoid inundation method with a large quantity of water to irrigate the large area of land. The land may be divided by us into some small plot about 0.5—0.7 mu so as to control irrigation norm. During the crop development period about on May-10th every year, it is necessary to irrigate the land due to lack of moisture in the soil. The watering land must be irrigated to saturated condition at first time. About at intervals of 7—10 days, we must continuously carry on the second time or the third time irrigation to moisten the surface of land for a long time. Through three times irrigation with bitter water, the large amounts of soluble salt on the surface layer are leached out and removed into deep soil layer. The salt content of soil surface layer may be greatly reduced by 50—70% in total salt content. When the crops grow up, it will tolerate more salt content, as such we would get the good harvest of the crops.

The other methods to control soil secondary salinization will be described as follows: 1. Planting green manure crops or manuring organic fertilizer. 2. Winter irrigation. 3. Inundation land with flooding water. 4. Planting tolerant salt crops. 5. Deep tillage for drying plow slice. 6. According to ionic equilibrium theory of potassium and sodium to control sodium ion to harm the crops.

简 讯

中国科学院西北水土保持研究所青年科技协会成立

为活跃研究所的学术气氛,加速培养青年科技人才,中国科学院西北水土保持研究所于1987年1月成立所青年科技协会。这个协会的成立,展示出青年一代科技工作者献身于我国水土保持科学事业的满腔热情,表达了全所100多名青年科技工作者的共同愿望。为使该协会能得到健康地发展,他们聘请了热心培养青年人才工作的老专家或学术带头人兼任顾问,并在所党委、所长办公室、所学术委员会及所团委的帮助指导下,开展各种有积极意义的学术活动。该协会自成立以来,还编印了不定期内部科技刊物《青年科技通讯》,通过广泛交流,受到了所内外青年会员的一致好评。

(兵 予)