

暗管排水改良滨海盐土的效果 及其适宜条件*

张 兰 亭

(山东省水利科学研究所)

摘 要

本文叙述了山东打渔张灌区的自然条件,进行暗管排水改良滨海盐土试验的由来、工程布局 and 试验效果的观测、分析,并由此而提出了暗管排水的适宜条件。试验是在1978—1984年进行的,结果表明,暗管排水在滨海粉砂壤土地区确实可以增加排水排盐量,降低潜水位,提高土壤排盐比,加速土体脱盐和潜水淡化,增产粮棉,防止粉砂壤土明沟塌坡,是一条改良滨海盐土的有效途径。

在国外暗管排水试验研究始于19世纪初期,到本世纪中期已被广泛应用,60年代得到大规模发展,目前欧美一些工业发达的国家暗管排水面积已占总排水面积的70%,近年来国内采用暗管排水技术也有所发展,在南方应用暗管排水疏干稻田,对后茬越冬作物增产显著,在北方一些地区用以排水改良盐碱地、防渍除涝也取得较好效果。山东滨海盐渍土主要分布于渤海湾和莱州湾地面高程低于10米的地带,该区面积约14150平方公里,地势低平,排水不畅,潜水位高,矿化度大,土壤含盐重^[1]。山东打渔张灌区地处黄河右岸渤海之滨,控制面积241万亩,现有耕地109万亩。自1956年开始引黄后,由于大引大灌和排水不畅,致使土壤盐渍化加重扩展,1962年被迫停灌。1965年复灌,在采用明沟排水条件下,灌区东部粘土地区经灌溉冲洗改良效果稳定,30万亩盐碱地已改造成良田,而灌区西部粉砂壤土地区,因明沟边坡易坍塌变形排水排盐效果不佳^[1]。1973—1978年进行竖井排水试验,因单井出水量小(10—20米³/时),影响范围仅30—60米,且10米以下有4—6米厚的粘土隔层,对降低表层潜水位不够明显^[2]。暗管排水少占耕地,不用桥涵,便于机械化耕作,并能维持一定排水深度,故1978—1984年山东水科所和广饶县改碱指挥部在山东打渔张引黄灌区牛庄进行了万亩暗管排水改良滨海盐土的试验工作,旨在研究暗管排水改碱效果、工程布局及其适宜条件,为今后推广暗管排水改良盐碱地技术提供科学依据。

* 参加该项工作的有:戴同震、李锡录、孙金庄、朱九鹤、吴学增、李龙昌、李玉国、董勤瑞、张庆然、于国明、兰光明、赵华龙、刘杏森等;并得到刘有昌高级工程师指导。

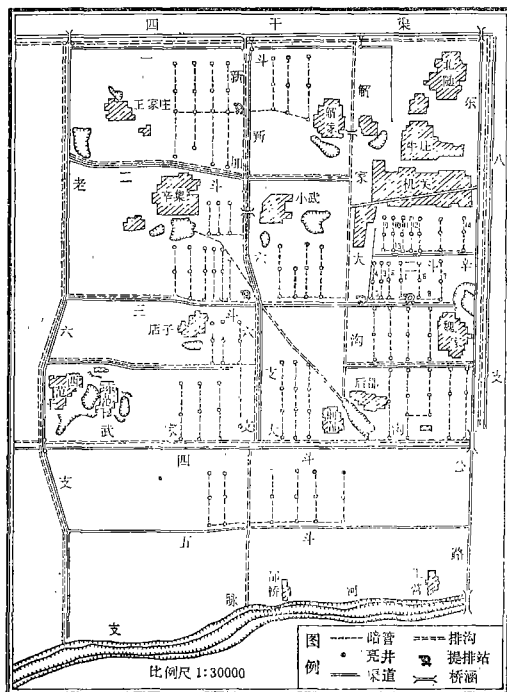
1) 刘有昌等,1964: 山东打渔张灌区排水沟变形与脱盐作用的调查研究。《水利排水设施防治灌溉土壤盐渍化》。

一、试区自然条件和工程布局

暗管排水试区位于山东打渔张灌区四千六支范围,包括 2 个乡的 12 个大队,面积逐渐由 300 亩发展到 1 万亩。试区地形为缓平坡地,坡降为 $1/8000-1/10000$,地面高程为 6.7—8.0 米(大沽零点),土壤属滨海盐化潮土和潮盐土,土壤质地 0—170 厘米为粉砂壤土,粉粒(0.005—0.05 毫米)占 70% 以上,170—260 厘米为粉质中、重粘土,0—12 米加权平均渗透系数 $K_{10} = 0.82$ 米/日,土层给水度 $\mu = 0.04-0.05$,毛管水强烈上升高度 1.7 米,土壤和地下水中盐化学组成以 NaCl 为主,占 70—90%,土壤盐渍化多呈斑状分布,改良前盐斑占 44.3%,一米土层平均含盐量,好地 $<0.2\%$,盐斑在 0.3—0.4% 以上,埋管前潜水平均埋深 1.7—2 米,表层潜水矿化度 5—10 克/升,并随深度增加而增大,12 米以下达 20 克/升,潜水动态类型属灌溉、降雨—蒸发型。气候属半湿润季风气候,近 20 年平均降雨量(1963—1982 年)为 581.7 毫米,其中 7—8 月占 53.5%,平均水面蒸发量为 1950 毫米($\phi 20$ 厘米),为降雨量的 3.35 倍,形成春旱、夏涝、晚秋又旱、春秋两个返盐季节、旱涝碱并存的特点。

试区内有支渠 1 条,斗渠 4 条,农渠 67 条,骨干排水河道 2 条,支排 2 条,斗农排沟坍塌淤积严重,暗管埋设前试区产量低而不稳,粮食单产 300—400 斤/亩,棉花 20—30 斤/亩,作物种类以小麦、玉米、棉花为主,占 70% 以上。

试区共埋设暗管 71 条,总长 39673 米,其中斗管 10 条,农管 61 条,分三种布置类型,即窄深式(南区),平均埋深 2.3 米,间距 100 米;窄浅式(北区)平均埋深 1.8 米,间距 100 米;宽深式(东区),平均埋深 2.5—2.6 米,间距 200 米。采用三种管材,即陶管、砾石水泥滤水管和薄壁水泥管。管径有 0.1、



图上 1 厘米表示实地 300 米

图 1 山东省打渔张灌区四千六支暗管排水试区工程规划图

Fig. 1 The layout of underground drainage in the district of the fourth trunk, the sixth branch canals in Dayuzhang irrigational area of Shandong Province

0.15、0.20、0.30 米 4 种；暗管对口连接，除砾石水泥滤水管靠管身进水外，其它管材都靠接缝进水，接缝处用棕皮或玻璃纤维布包扎，外填中、粗砂 10 厘米厚，30—40 厘米长做滤料。农管比降 $i = 1/750$ — $1/1000$ ，斗管 $i = 1/2000$ ，暗管每距 200 米左右修亮井一眼，起检查、通气、沉淀和观测之用，末端靠自流排水或建堤排站抽排^[3]。工程布局见图 1。

二、暗管排水改良盐碱地的效果

暗管排水改良滨海盐渍土的效果试验，主要在 3000 亩老试区进行，内有暗管 23 条，全长 13496 米，亮井 65 座，量水堰 15 个，水盐动态点 21 处，潜水位观测井 58 眼，测压管水质井 8 眼，自记水位计井 1 眼，养分点 3 处，渠道进水量控制段 5 处，通过 7 年观测试验，取得了系统观测资料，其排水效果表现为：

1. 排水排盐量较大 暗管流量受土壤质地、土层渗透系数、地下含水层厚度、土壤给水度等水文地质条件和管材、管径、滤料、埋深、间距等工程条件、初始条件和边界条件的影响。据多年实测资料分析，暗管单长流量受暗管排水中间地段水头 H 的影响最大，并近似呈直线正相关，单长流量随水头的下降而成直线下降，其表达式为：

$$Q = A \cdot H$$

式中 Q 为排水流量(米³/时·百米)； A 为系数，当 $H = 1$ 米时单长排水量； H 为水头(米)。如 Q 以米³/日·米为单位统计，本试区实测 A 值为 0.209—0.522 (Q 与 H 关系)，详见表 1。

表 1 不同规格暗管 Q 与 H 关系统计表

Table 1 The relation between Q and H for different underground pipes

管名 Pipe name	埋深(m) Coverd depth	间距(m) Distance between pipes	内径(m) Inter diameter	管 材 Pipe material	滤 料 Filter material	实测流量表达式 Formula of actual measure- ment of discharge
1	2.30	100	上游0.1 下游0.15	陶管	接头粗砂滤料占 全长 40%	$Q = 0.322H$
2	2.31	100	上游0.15 下游0.20	陶管	同上	$Q = 0.389H$
3	2.31	100	0.20	砾石水泥滤水管	全长粗砂填料	$Q = 0.522H$
4	2.36	100	0.15	同上	同上	$Q = 0.374H$
9	1.70	100	0.15	同上	同上	$Q = 0.240H$
10	1.80	100	0.15	同上	同上	$Q = 0.240H$
11	2.00	100	0.20	同上	接头中砂滤料占 全长 50%	$Q = 0.312H$
12	2.10	100	0.20	薄壁水泥管	同上	$Q = 0.209H$
6	2.60	200	上游0.15 下游0.20	陶管	同上	$Q = 0.168H$

从表 1 可看出，间距 100 米的暗管，其地下排水模数，当 $H = 1$ 米时为 0.00209—0.00522 米/日，当 $H = 2$ 米时为 0.00418—0.01044 米/日，间距 200 米的暗管，其地下排水模数为，当 $H = 1$ 米时为 0.00085 米/日，当 $H = 2$ 米时为 0.0017 米/日。

1098 亩重点试区，6 年中(1978—1983 年)共排咸水 19.34 万米³，排盐 1344 吨，排出

表 2 重点暗排试区排水排盐量统计表
Table 2 Water and salt output by underground drainage in main test areas

时 间 Time	灌溉水量 (m ³) Irrigation water				排水量 (m ³) Drain discharge				来盐量 (ton) Salt input				排盐量 (ton) Salt output			
	南区 South area	东区 East area	北区 North area	合计 Total	南区 South area	东区 East area	北区 North area	合计 Total	南区 South area	东区 East area	北区 North area	合计 Total	南区 South area	东区 East area	北区 North area	合计 Total
1978 年冬灌期	24000			24000	20572			20572	11.52			11.5	175.0			175.0
1979 年春灌期	26400			26400	11450		11450	12.67				12.7	94.0			94.0
1979 年汛期					1271	5414		6685					10.3	41.7		52.0
1979 年冬灌期		61800	24000	85800		10332	2641	12973			11.5	41.2	63.3	10.4	73.7	
1980 年春灌期	26400	67980	26400	120780	10176	19708	5156	35040	12.67	32.6	12.7	57.97	88.2	141.5	30.8	200.5
1980 年汛期					8082	23697	5514	37293					63.5	163.7	27.5	254.7
1980 年冬灌期	24000	61800	24000	109800	5047	22422	3663	31132	11.52	29.7	11.5	52.7	39.2	139.5	21.1	199.8
1982 年春灌期	26400	67980	26400	120780	6901	11707	2818	21426	12.67	32.6	12.7	57.97	56.1	67.1	14.4	137.6
1983 年春灌期	26400	67980	26400	120780	4765	9502	2520	16787	12.67	32.6	12.7	57.97	33.1	50.9	12.9	96.9
合 计	153600	327540	127200	608340	68264	102783	22312	193359	73.7	157.2	61.1	292.0	559.37	667.7	117.1	1344.1
每亩灌排量	640	530	530	554	284.4	166.3	93.0	176.1	0.31	0.25	0.25	0.27	2.33	1.08	0.49	1.22
平均每次灌排量	107	106	106		47.4	33.2	18.6		0.052	0.05	0.05		0.39	0.22	0.10	
排/灌	0.44	0.31	0.18						7.46	4.4	2.0					
灌排面积	240	618	240													

注: 灌溉水矿化度 0.48 克/升, 排出潜水矿化度为 7.34--8.5 克/升。东区包括埋深 2.1 米, 间距 200 米在内。

的地下水矿化度 7.34—8.5 克/升, 其中南区平均每亩累积灌水量 640 米³, 排水量 284.4 米³, 排水量占灌水量的 44.4%, 平均每亩共排盐 2.33 吨, 来盐 0.31 吨, 排盐是来盐的 7.5 倍, 详见表 2, 以南区平均每亩排盐量计算, 相当于 1 米土体脱盐量为 0.26%, 经 6 次灌溉排水, 平均每次净脱盐量为 0.044%, 如每年经 2 次灌溉(春、冬灌)和 1 次汛期淋洗排盐, 1 米土体含盐量在 0.3—0.4% 以上的盐斑地在 2—3 年内即可改造成良田。

2. 降低潜水位明显 暗管能大量排走矿化潜水, 使灌溉和降雨后抬高的了的潜水位大幅度迅速下降, 埋深 2.3 米间距 100 米的南区, 春灌期(4—5 月)当潜水位升到地表后, 2—3 天即降到 1.03 米, 9 天后降到 2.03 米, 10 天后降到 2.37 米, 都比同期非暗管对照区低 1.03 米(图 2、图 3), 冬灌期(11—12 月)也呈现出同样规律,(图 4、图 5), 当潜水位升至地表后 3—5 天降到 1 米, 15 天下降到 2 米, 而对照区灌水后 20 天只下降到 0.68 米, 同期另一对照井 13 天只下降 0.31 米, 根据实测资料分析, 春灌期暗管排水地段和非暗管排水地段, 春季地下水位降落速度关系表达式为:

$$V_{\text{非}} = 0.25(2.4 - y)$$

$$V_{\text{无}} = 0.13(2.2 - y)$$

式中: V 为降速(米/日); y 为潜水位埋深(米)。

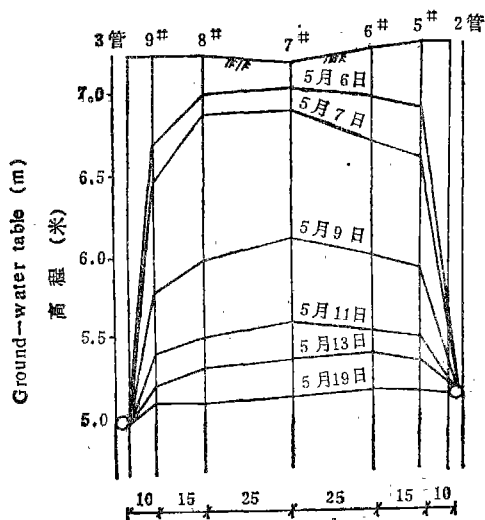


图 2 南暗排试验地段春灌期地下水位降落
Fig. 2 The change of ground-water table in spring irrigation period of south area

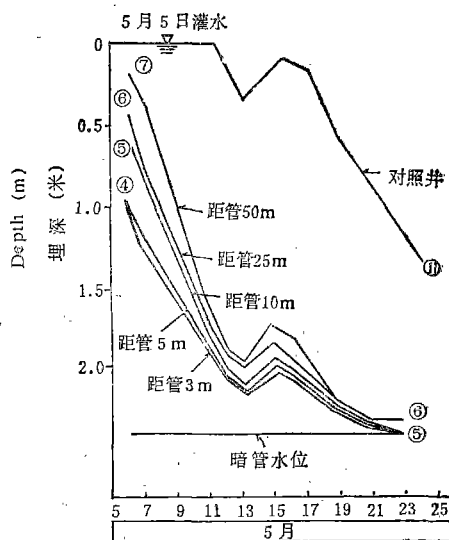


图 3 暗排试验地段与对照点 11 井地下水位埋深变化
Fig. 3 The change of ground-water table in test areas as compared with that of the check well

暗管试区地下水位下降速度明显快于对照区的潜水位回落速度, 在同一潜水位埋深时其下降速度对比如表 3 所列。从表图中看出, 当春灌期潜水位埋深 1 米以上时, 暗管试区降速是对照区的 2 倍以上。埋深 1.5—2 米时为 3—4 倍左右。冬灌期由于蒸发强度小, 对照效果更加明显。暗管排水对潜水位有明显控制效果, 从试区常年(1979—1983 年)潜水位埋深动态过程线上也得到证实(图 6)。

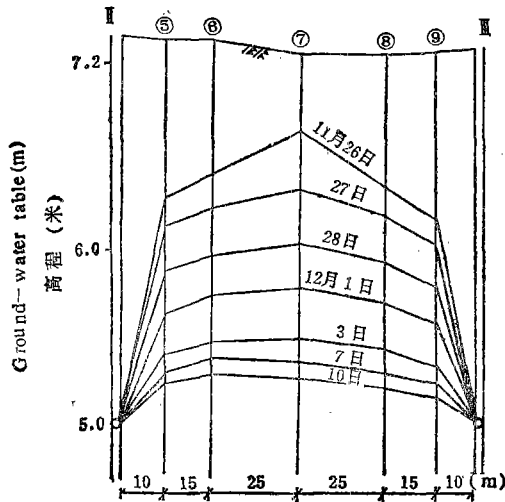


图4 南暗管试验地段冬灌期
地下水位降落图

Fig. 4 The change of ground-water table
in winter irrigation period of south area

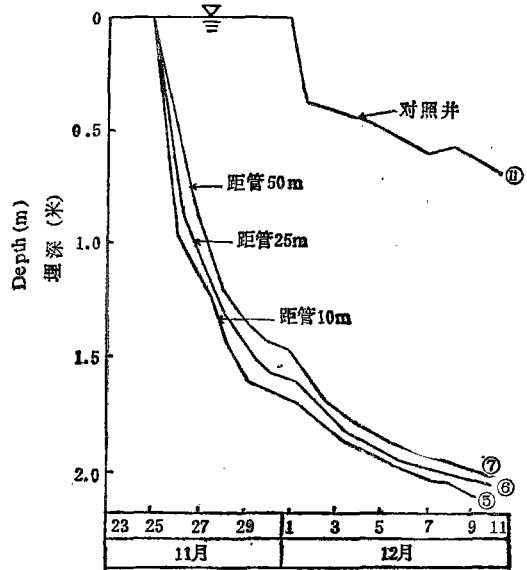


图5 暗排试验地段(5,6,7)井与对照点(11井)地下
水埋深变化对比图

Fig. 5 The change of ground-water table in test
areas as compared with the check well

表3 1978—1979年潜水位下降速度V对比表

Table 3 Comparison for decline velocities of ground-water table (1978—1979)

处 理 Treatment	埋 深 (m) Depth			
	0.5	1.0	1.5	2.0
无排水地段春灌期 $V_{\text{无}}$ (米/日)	0.22	0.156	0.091	0.026
暗管排水地段春灌期 $V_{\text{排}}$ (米/日)	0.49	0.35	0.225	0.10

3. 提高土壤排蒸比 (排水量/蒸发量) 以暗管排水南区为例, 1978年冬灌期共排水41天, 抽水604小时累积排水量20572米³, 排盐175吨, 相当每亩排水量68米³, 排盐量580公斤, 排出水的矿化度8.5克/升。在水量平衡中, 来水量总计31730米³ (包括灌溉、降雨、区域外径流补给和潜水储量消耗), 去水量为20572米³, 蒸发量为11158米³, 排蒸比1.84^[4]。1979年春灌期, 在南区2—3暗管间来水量6646.5米³, 去水量(排水)3200米³, 蒸发量为3446.5米³, 排蒸比0.93, 1982年春灌排水期南区3—4暗管间也得到同样规律, 来水量10820米³, 排水量5664米³, 补给潜水量1484.8米³, 蒸发量为3671米³, 排蒸比为1.54, 均较非暗管排水区0.1—0.11提高8—9倍以上。

4. 加速土体脱盐和潜水淡化 经暗管排水冲洗改良, 土壤盐分明显减少, 从土壤全剖面脱盐效果看, 经一次灌溉(106米³/亩)和排水(68米³/亩)后, 脱盐深度浅的40—60

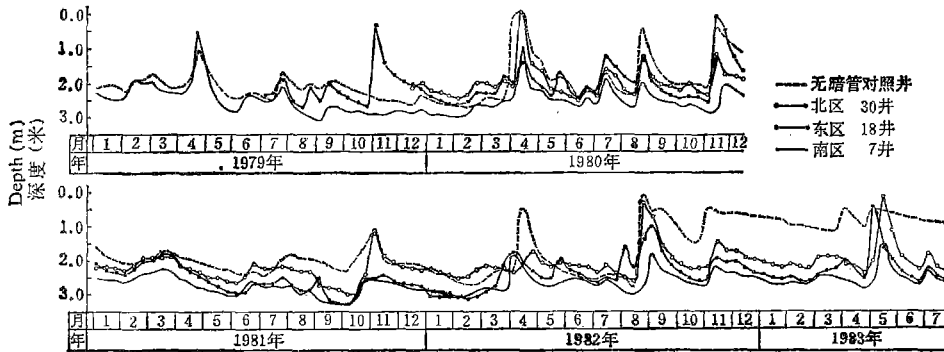


图 6 1979—1983年7月潜水埋深动态过程线

Fig. 6 The change of ground-water in table 1979—1983

厘米,深的达1米以下,表层脱盐最显著,其脱盐规律见图7,同样根据6年(1978—1983年)的盐分动态资料分析,南区2—3管中间地段 S_4 、 S_5 两点1979年11月,0—20厘米平均土壤含盐量为0.31%,1983年11月下降到0.05%,0—100厘米平均含盐量也由1979年的0.24%,1983年下降到0.06%,主要脱盐层在1米左右(图8)。

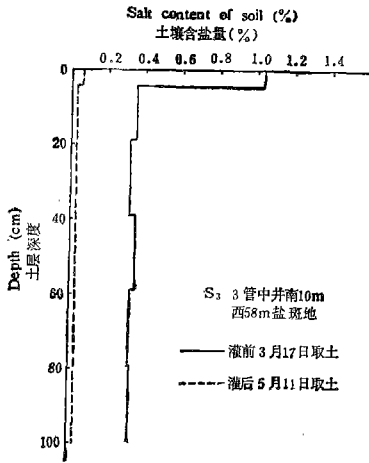


图 7 1982年春灌期南暗排试区灌排前后土壤盐分变化图

Fig. 7 Changes of salt content of soil of south underground drainage experimental area before to after irrigation and drainage in spring irrigation season, 1982

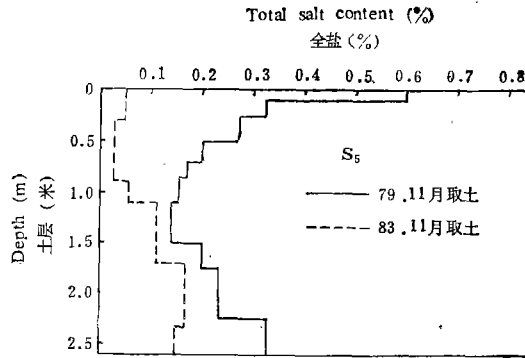


图 8 1979.11—1983.11南区土壤盐分变化图

Fig. 8 Changes of salt content of soil in south area, 1979—1983

试区潜水水质也趋于淡化,据不同埋深(4、6、9、11、12米)测压管水质并多年化验分析,一般暗排地段4—9米以上水质淡化量为2—5克/升,淡化率20—50%左右,而12米左右水质基本不变,说明暗管对表层潜水有显著的淡化作用,对12米以下的潜水影响不大,而对照区的潜水矿化度常年变化微弱(表4)。

表 4 暗排区不同深度测压管井和对照井水质分析比较表

Table 4 Comparison for water quality of pressure tube wells of different depth with the control in underground drainage areas

井号 Well No.	暗管距离 (m) Distance between pipes	取样深度 (m) Sampling depth	矿化度 (g/l) Salt content					淡化量	淡化率 (%)
			1978年 11月12日	1979年 6月17日	1980年 11月1日	1982年 6月24日	1983年 6月29日		
6# 25-4	25	4	9.6	9.6	5.8	6.2	6.0	3.6	37.5
25-6	25	6	10.6	11.0	5.9	8.5	9.5	1.1	10.4
25-9	25	9	14.6	14.6	11.1	15.8	11.3	3.3	22.6
25-11	25	11	15.9	18.8	14.4	—	—	1.5	9.4
7# 50-4	50	4	9.5	9.2	8.2	5.8	4.8	4.7	49.5
50-6	50	6	9.0	10.6	7.2	7.4	6.8	2.2	24.4
50-9	50	9	17.2	17.0	16.6	16.2	12.9	4.3	25.0
50-12	50	12	21.8	22.4	22.3	23.3	21.1	0.8	3.7
东寨南	对照井	4	9.4	9.7	9.1	9.1	8.3	1.1	11.7
刘营东	对照井	4	9.3	9.2	9.2	—	—	0.1	1.1

注: 取水均在潜水降至 2.3 米以下时。

表 5 试区和对照区盐斑面积变化对照表

Table 5 Comparison for change of saline soil acreage in test areas with the check areas

试区 Experimental areas	调查日期 Investigatory time	调查面积 (mu) Investigation acreage	其中盐斑面积 (mu) Acreage of saline soil	盐斑面积占耕地% Percentage of saline soil acreage in cultivated land %
南区	1978年 5 月	260.6	115.4	44.3
	1983年 5 月	260.6	19.18	7.36
东区	1979年 5 月	321.5	85.52	26.6
	1983年 5 月	320.2	21.93	6.85
北区	1978年 5 月	245.5	118.4	48.4
	1983年 5 月	245.5	54.8	22.3
对照区 (4522、4523)	1977年 5 月	881.7	232.2	26.4
	1983年 5 月	881.7	169.7	19.2

5. 提高拿苗率, 增加粮食产量 由于暗管排水试区土壤及潜水逐年脱盐淡化, 加上农业综合措施, 使盐斑面积显著缩小, 产量大幅度提高。据 1978 年埋管前和 1983 年 5 月埋管改良后, 盐斑经丈量实测结果, 南区(窄深式)效果最好, 盐斑面积由 44.3% 下降到 7.36% (表 5), 万亩试区盐渍化调查见表 6。作物拿苗由 4—5 成提高到 9 成以上, 粮食产量由 1978 年的 368 斤/亩, 1983 年提高到 1233 斤/亩, 棉花由 1978 年的 23 斤/亩, 1983 年提高到 143 斤/亩, 粮棉均较埋管改良前翻了两番。

三、暗管排水的适宜条件

由于暗管排水改良滨海盐渍土效果显著, 在综合 6 年试验观测资料的基础上, 通过分

表 6 扩大试区排水前后盐渍化变化调查统计表

Table 6 Change of salinization of soil before to offer the drainage

调查地点 Location	调查日期 Time of investgatory	调查面积 (mu) Acreage of investgatory	<5 成苗 Survival plants less than of 50%		6—7成苗 Survival plants 60—70%		>8 成苗 Survival plants more than 80%	
			面积 (mu) Acreage	占总面积% Total acreage of %	面积 (mu) Acreage	占总面积% Total acreage of %	面积 (mu) Acreage	占总面积% Total acreage of %
辛集公社	1980.10 1983.11	3660 3660	754 134	20.6 3.7	1676 384	45.8 10.5	1230 2995	33.6 81.8
合 计	1980.10 1983.11	7000 7000	2230 336	31.9 4.8	3102 959	44.3 13.7	1728 5705	24.8 81.5

析,初步认为暗管排水降低潜水位改良盐碱地技术可适用于以下条件的地区:

1. 自表层以下土质为深厚的粉砂壤土、地下水位高、水质差、不宜用作灌溉水源,且采用明沟排水边坡易坍塌淤积导致排水不畅的地区,在财力物力允许的条件下,可应用暗管排水技术,实行自流排和提排相结合的方式,有效地使潜水位降低到设计深度,达到灌排结合防治土壤盐渍化的目的。

2. 在水旱轮作地区,特别是在人多地少的高产区,为了及时播种稻茬越冬旱作物,也可采用暗管排水技术措施,以便迅速有效地调控潜水位,进一步改善土壤中的水肥气热状况,使作物达到高产,并可取代明沟排水节省土地。

参 考 文 献

- [1] 王遵亲、刘有昌等, 1955: 山东打渔张灌区滨海盐土的形成及其改良利用。土壤专报,第 28 号,57—108 页。
- [2] 戴同霞、李锡录、张兰亭、尤文瑞、孙传璐、刘文政、肖振华, 1980: 山东打渔张灌区竖井排水改良盐土效果的试验研究。土壤学报,第 17 卷 3 期,255—266 页。
- [3] 张兰亭, 1986: 山东打渔张灌区暗管排水的规划设计与施工。灌溉排水,第 3 期。
- [4] 戴同霞、李锡录、张兰亭, 1982: 打渔张灌区暗管排水试验。水利学报,第 4 期。

EFFECTS AND CONDITION OF THE UNDERGROUND DRAINAGE FOR IMPROVING SALINE SOIL OF COASTAL REGION

Zhang Lanting

(Institute of Water Conservancy of Shandong Province)

Summary

This paper deals with the natural conditions of Dayuzhang irrigation area in Shandong Province, the experiment of underground drainage for improving saline soils in these areas, the observations and analysis of its effect and the suitable condition of underground drainage. The experiment was conducted from 1978 to 1984. The results obtained indicated that the underground drainage could drain off the water and salt from soil, lower ground water table, increase the ratio of drainage to evaporation of the soil, speed up desatination of soil and ground water, increase the yield of crops and cotton, avoid the sliding of slopes of open ditch on silty soil. It is considered that underground drainage is an effectuic way to improve saline soil in coastal regions.