

暗管排水与节水灌溉条件下盐渍化农田水盐分布特征

于丹丹, 史海滨, 李 祯, 苗庆丰, 窦 旭, 田 峰, 周利颖

(内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘 要: 灌溉淋洗压盐系盐碱地改良的主要措施,但同时也会造成地下水上升,带来随作物生育期逐渐出现的土壤耕层的返盐现象,其与暗管排水结合则可提高脱盐效果。为了研究暗管排水条件下的油葵在拔节期增加不同的灌水量对盐碱地(施加 30 t/hm² 脱硫石膏,土壤耕作层掺入 85.05 m³/hm² 细沙)土壤水盐及土壤酸碱性分布的影响,设计了暗管排水结合传统灌溉处理、暗管排水结合节水灌溉处理、暗管排水结合无灌水对照处理 3 种处理,通过监测土壤 EC 值、pH、含水率,分析暗管排水结合传统灌溉与节水灌溉对重度盐碱地土壤的水分、盐分及酸碱程度的时空变化特征。结果表明:与对照处理对比,传统畦灌方式下灌水处理降低了土壤含水率,对 0~20 cm 土层的脱盐效果明显;在暗管排水的基础上,对照处理的油葵地 0~60 cm 土层的 EC 值为 3.49~0.67 dS/cm,节水灌溉处理的 EC 值为 1.71~0.33 dS/cm,传统灌溉处理的 EC 值为 3.75~0.27 dS/cm;虽然传统灌溉在灌水后 10 d 左右降低了 0~100 cm 土壤盐分,提高了土壤的含水率,但传统灌溉处理下油葵在开花期 0~40 cm 土层的含水率比对照处理低,且 40~100 cm 土层的返盐程度是节水灌溉的 2~3 倍;对照处理下 0~60 cm 土层的 pH 为 7.54~8.65,节水灌溉处理下 pH 为 7.51~8.89,对照处理下 40~100 cm 土层的 pH 为 8.29,传统灌溉处理下 pH 为 8.1~10.85,节水灌溉处理的土壤在 0~100 cm 的土层呈现脱碱的状态,高的灌水量使土壤有碱化的可能,尤其是在 20~40 cm 土层。暗管排水条件下在油葵拔节期进行节水灌溉有利于土壤脱盐、脱碱。

关键词: 暗管排水; 盐渍化农田; 灌水量; EC 值; 土壤含水率; pH

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2020)04-0252-09

Distribution characteristics of water and salt under closed saline drainage pipe and water-saving irrigation in saline soils

YU Dandan, SHI Haibin, LI Zhen, MIAO Qingfeng, DOU Xu, TIAN Feng, ZHOU Liying

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Irrigation, leaching and salt pressing are the main measures for the amelioration of saline and alkaline land, but these measures also cause the phenomenon of salt return in soil plough layer due to the rise of groundwater. With the combination of closed drainage pipes, the desalination effect can be improved. In order to study the effect of different irrigation amount on soil water, salt and soil acidity and alkalinity distribution in saline and alkaline soil (with 30 t/hm² desulfurized gypsum and 85.05 m³/hm² fine sand mixed into soil tillage layer), under the condition of closed pipe drainage, three treatments were designed, namely, closed drainage combined with traditional irrigation, closed drainage combined with water-saving irrigation, and closed drainage combined with non-irrigation control treatment. By monitoring soil EC, pH and water content, the temporal and spatial variation characteristics of soil moisture, salinity and degree of acid and alkali were analyzed by combining traditional irrigation and water-saving irrigation with closed drainage. The results showed that compared with the control treatment, the traditional border irrigation treatment reduced soil moisture content, and the desalination effect of 0~20 cm soil layer was obvious. On the basis of closed drainage, EC values of 0~60 cm in oil sunflower field

收稿日期:2020-06-01; 修回日期:2020-07-22

基金项目:内蒙古科技重大专项(zdzz2018059);国家自然科学基金项目(51879132);内蒙古水利科技重大专项(n5k2018-M5)

作者简介:于丹丹(1997-),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生,主要从事灌溉理论与新技术研究。

通讯作者:史海滨(1961-),男,山西太谷人,博士,教授,博士生导师,主要从事灌溉理论与新技术研究。

were 3.49 – 0.67 dS/cm, 0 – 60 cm were 1.71 – 0.33 dS/cm for water-saving irrigation and 3.75 – 0.27 dS/cm for traditional irrigation. Although the conventional irrigation decreased soil salt in 0 – 100 cm soil layer after 10 D and increased the water content, the soil water content of 0 – 40 cm was still lower than that of the control treatment. Desalination effect of 40 – 100 cm soil layer was 2 – 3 times higher than that of the water-saving irrigation. The pH of 0 – 60 cm soil in the control treatment was 7.54 – 8.65, and 7.51 – 8.89 in water-saving irrigation treatment, which was close to that in the control treatment at 40 – 100 cm (8.29). The traditional irrigation treatment was 8.1 – 10.85, and the soil layer of 0 – 100cm in the water-saving irrigation treatment was dealkalized. High irrigation amount made the soil alkalization possible, especially in the soil layer of 20 – 40 cm. Under the condition of closed drainage, water-saving irrigation in the jointing stage of oil sunflower is conducive to soil desalination and dealkalization.

Key words: closed drainage; salinized farmland; irrigation amount; *EC*; soil water content; pH

1 研究背景

传统的盐碱地改良方法总体而言耗时间长且效果相对较差^[1],种植盐生植物对盐碱地的改良效果也不明显,且耗时较长^[2],采用暗管排水技术改善土壤性质、增加土壤的渗透性,相比明沟排水排盐效果更好^[3-6]。所以应将不同的改良措施充分结合实现盐碱地资源的系统改良和高效利用^[7]。

因干旱地区降雨少,所以进行灌水淋洗与暗管排水相结合的方法可以有效地降低土壤盐分,已有关于灌水量及灌水时间对土壤的脱盐效果及不同灌排制度对土壤盐分的时空分布特征的研究表明,在不同埋深的土层,灌水量影响盐碱地土壤盐分的时空变化^[8],不同的灌水定额对土壤盐分的影响也有所不同。在作物生育期节水灌溉对表层盐分淋洗效果较差,虽然传统灌溉定额有助于植物生长、增加地表覆盖度、降低土壤 pH 和盐分,但容易造成地下水位上升,在后期有明显的积盐现象^[9-10]。也有研究表明暗管排水技术在脱盐的同时降低了土壤中的含水率^[11],目前对暗管排水技术的研究主要集中在技术参数选择与模拟、外包料的选择以及对农田水土环境的影响^[12-14],其中油葵作物在暗管排水改良

盐碱地的试验中应用广泛,但在油葵生育期内进行灌水试验的相关研究较少^[12],所以本文试验结合了化学改良、生物改良、暗管排水技术对盐碱地进行改良,以油葵作为试验作物,在拔节期增加灌水处理,研究在暗管排水的条件下盐渍化农田土壤水盐分布特征。

2 试验设计与方法

2.1 试验区概况

试验于 2019 年 5 – 11 月在乌拉特灌域进行,试验区位于内蒙古巴彦淖尔市河套灌区中部乌拉特灌域西山咀农场四分场(东经 108°37'28" ~ 108°39'49",北纬 40°44'54" ~ 40°45'49"),海拔 1017.97 ~ 1019.95 m。2019 年 5 – 11 月期间最高气温 35.9℃,最低气温 4.14℃,平均气温 17.73℃,日均太阳辐射 436.38 W/m²,累计降雨量 67.6 mm,最大降雨强度 29.72 mm/d,降雨主要集中在 6 – 8 月份,占全年降雨量的 70%。生育期内 5 月 28 日 – 9 月 16 日土壤蒸发量为 194 mm。根据土壤质地的分类,试验区土质主要以粉壤土为主,深度 100 cm 内土层平均土壤容重为 1.51 g/cm³,凋萎系数为 0.15。试验区 0 ~ 100 cm 深度不同土层的土壤物理特性见表 1。

表 1 试验区 0 ~ 100 cm 深度不同土层的土壤物理特性

土层深度/ cm	砂粒/%	粉粒/%	黏粒/%	土壤质地	容重/ (g · cm ⁻³)	田间持 水量/%	全盐量/ (g · kg ⁻¹)	pH
0 ~ 20	26.33	60.50	13.17	粉壤土	1.51	29	13.98	7.98
20 ~ 40	32.32	45.39	22.29	粉壤土	1.49	31	2.25	8.01
40 ~ 60	18.51	70.26	11.23	粉土	1.47	32	4.28	8.38
60 ~ 80	10.74	82.38	6.88	粉土	1.56	29	4.23	8.19
80 ~ 100	7.61	87.66	4.73	粉土	1.52	28	3.97	8.17

2.2 试验设计

2018 年 9—10 月,采用荷兰 INTER-DRAIN 开沟铺管一体机完成暗管开沟、铺设、回填工作。针对研究区土层剖面隔水层的存在导致地表积水难以下渗,11 月初在试验区利用开沟机器沿暗管布设方向每隔 3 m 进行深层开沟,打断隔水层,平均开沟深度为 50~60 cm。针对试验区土壤交换性钠含量过高、碱化度较高和土壤的粉粒含量高等问题,进行了化学和物理改良,施加脱硫石膏 30 t/hm²,土壤耕作层掺入细沙 85.05 m³/hm²。为了提高土壤肥力,施加了有机肥 30 kg/hm²。2019 年 5 月 16 日进行春灌淋洗(2 271 m³/hm²)。通过施有机肥、翻地、激光平地 and 铺设埋深 60 cm、间距 20 m 暗管进行综合改良。播种前施底肥:磷酸二铵 15 kg/hm²、尿素 75 kg/hm²、45 kg/hm² 钾肥。5 月 28 日人工点播,播种密度为行距 33 cm、株距 33 cm,试验作物为油葵澳 33。6 月 26 日拔节期进行了灌水试验,灌溉方式为河套灌区采用的传统畦灌。灌溉水为黄河水,其 pH 为 8.32、EC 为 0.7 dS/cm,9 月 25 日油葵成熟。试验处理设计如表 2 所示。

表 2 试验处理设计表

试验处理	春季灌水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	生育期内设计 灌水量/(m ³ ·hm ⁻²)
YK1 空白对照	2271	0
YK2 节水灌溉	2271	300
YK3 传统灌溉	2271	810

2.3 试验测定指标与测试方法

气象数据采用田间小型的气象站监测;土壤的监测指标在灌水后每 15 d 进行取土测定(每个处理 3 个重复。采样深度分别为 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 共 6 个土层),在重要生育期进行加测;EC 值利用便携式电导率速测仪对 1:5 饱和土壤浸提液进行测量;pH 采用便携式 pH 速测仪对饱和浸提液进行测量;土壤质量含水率采用烘干法进行测量。

2.4 数据处理

利用 Excel、SPSS 进行数据方差分析,Sigma Plot 作图软件绘图。

3 结果与分析

3.1 土壤盐分时空分布特征

暗管排水条件下将油葵生育期内不同土层的土

壤 EC 值在各试验处理下的观测数据绘制成曲线图,分析土壤的盐分时空分布特征,其结果见图 1,另外,不同土层的土壤 EC 值、含水率、pH 的特征值统计见表 3。

3.1.1 土壤盐分空间分布特征 不同处理下 EC 平均值的空间分布特征如图 2 所示。

综合图 1、2 和表 3 可见,在油葵生育期内,YK1 在 0~60 cm 的 EC 值为 3.49~0.67 dS/cm,YK2 为 1.71~0.33 dS/cm,YK3 为 3.75~0.27 dS/cm。在暗管排水条件下灌水后,节水灌溉处理下 YK2 土壤的各层土壤盐分的变异系数相对减小,但传统灌溉下不同土层的变异系数大于 YK1,YK1 的 EC 平均值最大出现在 20~40 cm 和 40~60 cm 土层,分别为 1.89、1.98 dS/cm。油葵拔节期灌水后,YK2 的 EC 平均值在 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80 和 80~100 cm 6 个土层分别减少 55.21%、4.87%、3.19%、45.39%、30.94%、31.44%;YK3 分别减少了 20.6%、69.02%、45.47%、18.5%、-2.53% 和 -6.49%。对于 YK2 主要在 40 cm 以下土层脱盐效果明显,而 YK3 处理在 60 cm 以下土层脱盐效果明显不佳。0~20 cm 土层在暗管排水的基础上增加灌水淋洗土壤脱盐效果明显,与 YK1 对比 YK2、YK3 盐分分别减小了 30%、45% 左右;对比 YK2、YK3 土壤的脱盐率发现,YK2 在油葵主要根系层脱盐效果更佳,有利于作物的作物根系的吸水。

分析图 1、2 和表 3 可知,YK1 在生育期间不同土层的盐分变化无显著性差异,而 YK2、YK3 则分层差异明显。由于蒸发引起的返盐现象,进而导致 YK1 的油葵根区高渗透引起脱水而未能继续生长。YK2、YK3 盐分在耕作层下 80~100 cm 处分别为 1.30 和 2.01 dS/cm,有明显的控制土壤返盐现象,所以必须在盐渍化农田进行灌水压盐。对于 YK2 主要在 40 cm 以下脱盐效果明显,由于作物覆盖减少了表土蒸发,表层盐分累积现象有所改善。YK3 在 0~60 cm 盐分也不同程度的减少,但是在 60~100 cm 土壤层有明显的返盐现象,在粉质土壤中土壤透水性较差,灌水量较大时盐分淋洗至深层。同时由于暗管控制了地下水埋深,表土蒸发减弱,积盐现象也明显得到控制。主要是由于灌水量的不同造成地下水矿化度不同并使作物生长受到影响。在暗管排水条件下,在拔节期用节水灌溉可以增加返盐期作物的耐盐性,在本次试验埋深 60 cm、间距 20 m 的暗管基础上,不同灌水量试验中主要影响的是 0~60 cm 的土层。

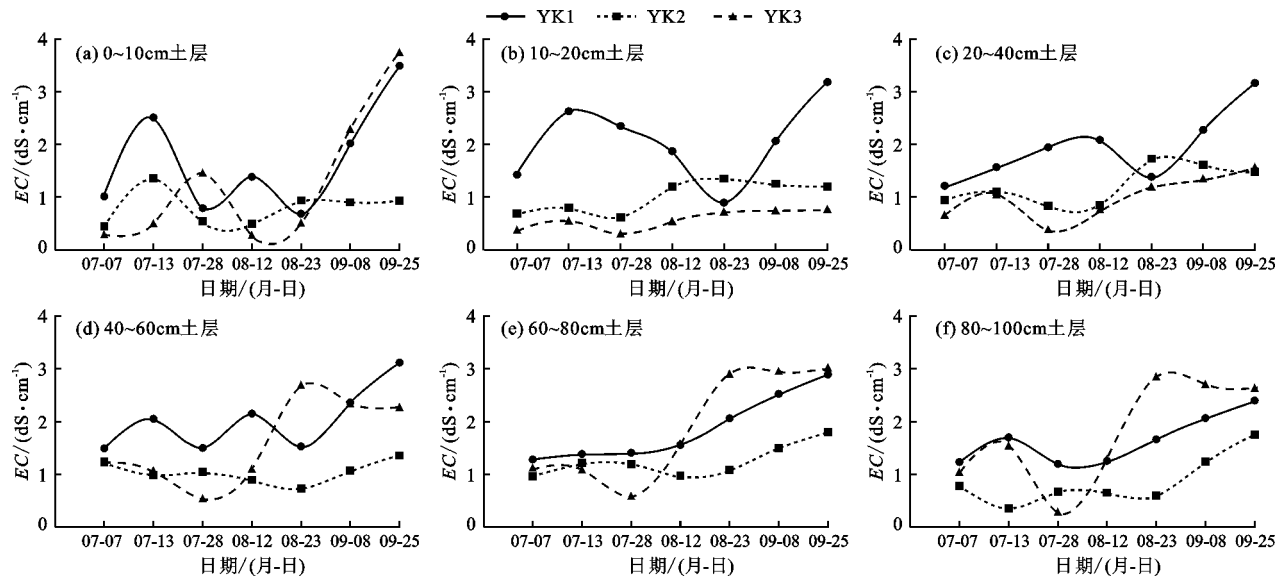


图 1 油葵生育期内各处理不同土层的土壤盐分时空分布变化曲线

表 3 油葵生育期内各处理不同土层土壤 EC 值、含水率、pH 的特征值统计

处理	土层深度/cm	EC 值					含水率					pH					
		最大值/ (dS·cm ⁻¹)	最小值/ (dS·cm ⁻¹)	平均值/ (dS·cm ⁻¹)	SD	C _V	最大 值/%	最小 值/%	平均 值/%	SD	C _V	最大 值	最小 值	平均 值	SD	C _V	
YK1	0~10	3.49	0.67	1.63a	0.97	0.595	25.52	13.55	18.12d	4.1	0.23	8.65	7.54	8.18	0.34	0.041	
	10~20	3.18	0.89	1.93a	0.78	0.403	25.52	17.82	22.05c	1.21	0.06	8.44	7.83	8.14	0.23	0.028	
	20~40	3.15	1.19	1.89a	0.63	0.332	25.73	19.14	26.44b	1.85	0.08	8.80	7.97	8.33	0.25	0.031	
	40~60	3.11	1.47	1.98a	0.56	0.285	29.53	18.70	27.61ab	3.35	0.14	8.55	8.09	8.40	0.19	0.022	
	60~80	2.89	1.27	1.83a	0.60	0.326	32.31	15.61	28.80a	5.10	0.20	8.72	7.95	8.30	0.23	0.028	
	80~100	2.58	1.54	1.89a	0.39	0.204	32.31	17.01	28.77a	4.41	0.17	8.66	8.14	8.36	0.19	0.022	
YK2	0~10	1.34	0.33	0.73b	0.34	0.469	31.98	14.12	16.69b	3.23	0.18	8.42	7.51	7.97	0.27	0.034	
	10~20	1.34	0.61	1.01ab	0.28	0.278	24.58	19.55	18.68b	1.51	0.07	8.39	7.76	8.21	0.22	0.027	
	20~40	1.71	0.83	1.19ab	0.35	0.297	28.31	24.78	22.98a	1.05	0.04	8.57	7.89	8.28	0.20	0.024	
	40~60	1.45	0.72	1.08ab	0.24	0.225	28.74	26.16	24.52a	0.77	0.03	8.89	8.03	8.29	0.27	0.033	
	60~80	1.78	0.95	1.26ab	0.29	0.231	30.08	27.82	25.29a	0.73	0.03	8.55	7.99	8.26	0.18	0.022	
	80~100	2.02	0.80	1.30ab	0.41	0.317	30.08	27.14	26.65a	1.01	0.04	8.60	7.70	8.25	0.28	0.034	
YK3	0~10	3.75	0.27	1.30acd	1.22	0.939	30.07	13.02	17.39b	3.48	0.20	10.85	8.15	9.28	0.90	0.102	
	10~20	0.83	0.30	0.60d	0.19	0.319	25.92	14.53	19.05b	3.42	0.18	8.63	8.12	8.44	0.16	0.019	
	20~40	1.56	0.37	1.03bd	0.41	0.395	30.00	17.32	22.95a	4.25	0.19	8.69	8.21	8.46	0.15	0.018	
	40~60	2.67	0.53	1.61ac	0.76	0.470	31.38	20.82	25.40ac	3.66	0.14	8.80	8.18	8.45	0.22	0.027	
	60~80	3.01	0.57	1.87ac	0.96	0.515	31.65	20.51	27.25c	3.00	0.11	8.47	8.12	8.29	0.13	0.015	
	80~100	2.99	0.73	2.01ad	0.80	0.400	31.65	25.52	28.41c	1.39	0.05	8.71	8.15	8.39	0.21	0.025	
显著性	YK1	YK2	YK3				YK1	YK2	YK3				YK1	YK2	YK3		
	ns	***	***				***	***	***				ns	ns	ns		

注:ns 表示差异不显著;***表示 0.05 水平上差异显著。

3.1.2 土壤盐分时间分布特征

(1)生育期内土壤盐分变化特征。由图 1 可看出,YK2、YK3 在 10~20 cm 土层的盐分随时间变化规律基本一致;YK1 在 0~60 cm 的土层盐分随时间变化的趋势相似;YK2 在 0~10、10~20、20~40 cm

土层盐分随时间变化规律基本一致;YK3 在 40~60、60~80、80~100 cm 土层盐分随时间变化规律基本一致。YK2、YK3 第 2 次灌水(6 月 26 日)后 0~20cm 土层的土壤脱盐明显,分别为 YK1 的 30%、45%,在 20~40cm 土层的 EC 值相近;随着时间的

变化,YK1、YK2、YK3 在 0~60 cm 土层的 EC 值均出现了不同程度的累积现象,并且在 0~40 cm 土层 EC 平均值排序为 $YK3 < YK2 < YK1$,但在 40 cm 左右的土层出现 YK2 与 YK3 盐分变化相近,在 80 cm 以下土层 EC 平均值排序为 $YK2 < YK1 < YK3$ 。

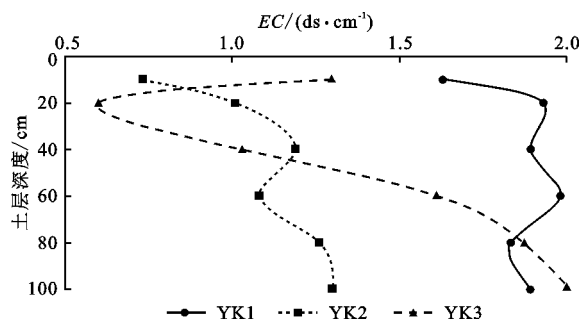


图2 不同处理下 EC 平均值的空间分布特征

由图1可知,YK1 处理在油葵生育期内 6 个土层第 1 次出现盐分随时间累积基本都在 7 月 13 日,说明此时的盐分在随地下水向上运动。YK2 处理在 7 月 13 日 0~40 cm 土层第 1 次出现盐分累积,而 7 月 28 日 60~100 cm 土层再出现累积,说明 YK2 处理下 60~100 cm 土壤中的盐分向 0~40 cm 土层中运动。YK3 处理在 7 月 13 日 0~40 cm 和 80~100 cm 土层盐分第 1 次出现累积,40~80 cm 土层在 8 月 12 日第 1 次出现盐分累积,说明 7 月 13 日盐分由 40~80 cm 向上运动,80~100 cm 盐分随地下水向上运动。

本次 YK3 处理的灌水量会造成盐分 7 月 13 日现蕾期在 40 cm 以下的累积。由表 3 可知,YK1 在生育期内不同土层之间的变化趋势没有显著差异,均为随着时间逐渐累积,0~10 cm 土层的土壤盐分变化比较明显。而 YK2 在整个生育期内 0~60 cm 不同土层的盐没有发生显著性变化,尤其在 40 cm 以下土层的 EC 值与灌溉前差异很小。YK1 在 8 月 23 日 0~60 cm 土层的盐分减少,60 cm 以下的土层的盐分有积累;YK2 的灌水量处理可以阻止 40 cm 以下土层的潜水蒸发造成的表层土壤的返盐现象;YK3 处理的灌水量使油葵花期及成熟期 40~100 cm 土层的土壤盐分积累高于 0~40 cm 土层。

(2)生育期内 0~40 cm 土壤盐分累积特征。通过节水灌溉试验,分析暗管排水条件下不同处理 0~40 cm 土层土壤 EC 值随时间变化规律如图 3 所示。

分析图 3 可知,YK1、YK2、YK3 处理的土壤 EC 值均在蒸发作用下随时间先增大,然后在灌溉淋洗作用下减小,随后在蒸发作用下又逐渐再增大。YK1 在

7 月 13 日、7 月 28 日、8 月 12 日、8 月 23 日、9 月 8 日、9 月 25 日土壤盐分的日累积速率分别为 1.53、-0.36、0.08、-0.63、0.80、0.73 g/kg,YK2 的日累积速率分别为 0.61、-0.28、0.14、0.40、-0.04、-0.02 g/kg,YK3 的日累积速率分别为 0.4、0.02、-0.12、0.24、0.47、0.37 g/kg。3 个处理生育期内 0~40 cm 土壤最大 EC 值出现的阶段也不同,其中 YK1 生育期内 0~40 cm 土壤最大 EC 值最大,在收获期达到了 9.82 dS/cm;而 YK2 在成熟期为 3.97 dS/cm;YK3 在收获期也达到了 6.06 dS/cm。考虑灌溉前 3 个处理土壤 EC 值的差异影响,对 0~40 cm 土壤累积盐分进行协方差分析,3 个处理间土壤盐分在生育期内存在显著性差异,说明本次试验的处理设计是影响 0~40 cm 土壤盐分变化的主要影响因素。

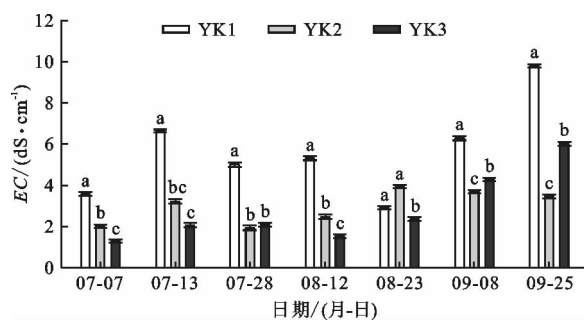


图3 不同处理 0~40cm 土层土壤 EC 平均值随时间变化规律

由图 3 还可看出,在增加灌水量后 0~40 cm 土层的脱盐效果与灌水量成正比。随着土壤蒸发作用,7 月 13 日出现的盐分累积现象。主要是由于 7 月土壤的蒸发强度较大,降雨量小于蒸发量,引起地下水向上运移,携带着深层土壤盐分向表层运动,造成表层土壤返盐的现象。8 月 23 日 YK1 盐分减少,而 YK2、YK3 盐分出现增大,分析其原因是由于 8 月 23 日降雨影响了 0~40 cm 的土层盐分,降雨量高于 YK1 土壤的可利用水分,所以 0~40 cm 的土壤盐分随着土壤水向下移动,产生了盐分淋洗;而 YK2、YK3 处理油葵长势较好,土壤处于水分亏缺的状态,所以降雨提供了作物所需的水分,盐分淋洗作用较小,在蒸发作用下但同时随着降雨带入的盐分使 YK2 与 YK3 处理盐分有所升高,而随后盐分的变化趋于稳定。但 YK2 与 YK3 的盐分累积速率不同,YK3 的盐分累积速率大于 YK2,主要还是处理间潜水蒸发引起的地下水向上移动携带的盐分向表层聚集量不同。虽然 8 月 23 日前 YK3 土壤盐分大多小于 YK2 土壤盐分,但是在 9 月 8 日成熟期盐分出现明显的累积现象,对于作物产量有很大程度的影响。说明拔节期一

定的盐分胁迫可以增加作物的耐盐性。

3.2 土壤水分时空分布特征

3.2.1 土壤水分空间分布特征 在暗管排水条件下,不同处理下的油葵生育期内不同土层的土壤含水率分布特征如图4所示,土壤含水率特征值统计见表3。

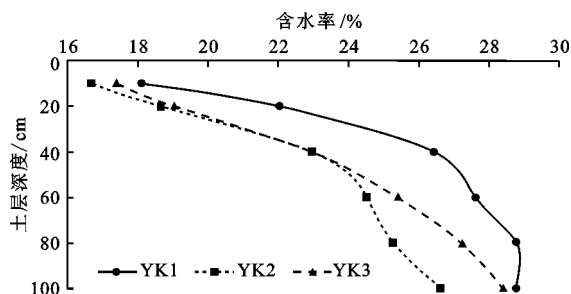


图4 不同处理下土壤平均含水率的空间分布特征

由表3和图4可知,YK1在油葵生育期内0~60 cm的土壤含水率为13.55%~29.53%,YK2的土壤含水率为14.12%~31.98%,YK3土壤含水率为13.02%~31.38%。YK2土壤含水率在生育期除0~10 cm土层外变异系数较小;除YK1外,20~40 cm土层的土壤含水率与其他土层有显著性差异。同一深度下3个处理的平均含水率排序为YK1>YK3>YK2。在第2次灌水后,YK2在6个土壤层的含水率分别减少7.85%、15.27%、13.09%、11.20%、12.18%、7.38%,YK3分别减少4.02%、13.6%、13.18%、8.01%、5.37%、1.26%。

由表3与图4还可看出,YK1、YK3的处理变异系数较大。对照组YK1的油葵在出苗和拔节初期受到盐分抑制而生长缓慢甚至死亡,所以没有了作

物的叶面覆盖更容易受到蒸发与降雨的影响。在第2次灌水后继续生长,YK2与YK3表层的土壤含水率受到外界气温及降水的影响变异系数最大,土壤含水率有明显的分层现象与无暗管埋深情况下一致,YK2、YK3在0~60 cm土壤含水率曲线几乎重合。在60 cm以下灌水量的不同造成的土壤储水量的不同,土壤含水率逐渐出现差异,尤其在60~80 cm土层差异更明显。3个处理各自在60~80与80~100 cm土层的含水率差异较小,说明此次试验对于土壤含水率影响范围只在0~60 cm且灌水试验对10~20、20~40 cm土层的含水率有较大影响。因此可以得到的结论是:在本试验区设置埋深60 cm、间距20 m的暗管,其试验对土壤垂直方向土壤含水率的影响与无暗管盐碱地的灌水试验几乎一致。埋设暗管使再次灌水后地下水降低以及作物需水原因,使YK2的土壤含水率整体低于YK3;YK2与YK1相比,在20~80 cm土壤含水率减少的程度比较明显,说明YK2的油葵需水量要小于YK3。由于YK2油葵的根系吸水能力要比YK3强,使其更能适应盐碱地生长,增加其耐盐性。所以在盐碱地暗管排水条件下,灌水量与土壤含水率不成正比,同时得出埋设暗管的油葵地含水率比无暗管埋设的油葵地要低,这一结果与石佳^[11]的研究成果一致。

3.2.2 土壤含水率时间变化特征

(1)生育期内土壤含水率变化特征。油葵生育期内各处理不同土层的土壤含水率随时间变化曲线如图5所示,通过在拔节期节水灌溉试验,分析暗管排水的条件下不同灌水处理0~40 cm土层含水率平均值随时间变化规律,结果见图6。

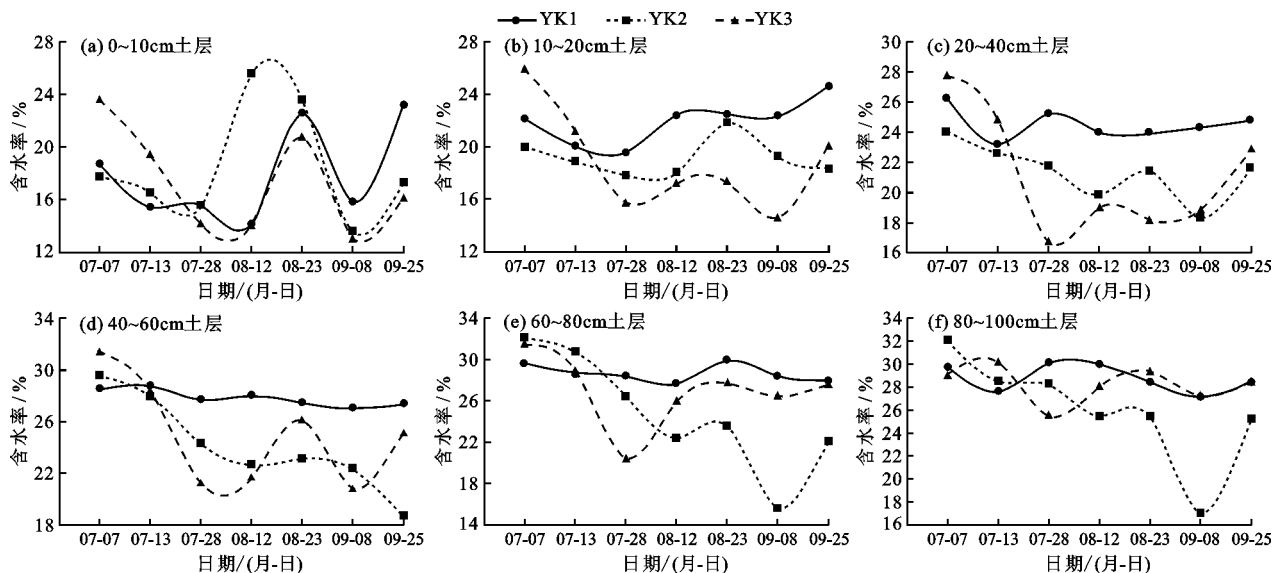


图5 油葵生育期内各处理不同土层的土壤含水率随时间变化曲线

由图 5 可知,在暗管条件下增加灌水量后的初期,各处理不同土层深度的土壤含水率随时间呈下降的趋势,与盐分的时间变化过程存在负相关。YK1 在 0~10、10~20、20~40 cm 土层的含水率变化趋势相似,在 40~100 cm 土层含水率平缓下降并保持在 28% 左右。在 7 月 13 日前 0~40 cm 土壤含水率表现为 YK3 > YK1 > YK2,7 月 13 日后大多为 YK1 > YK2 > YK3,在 8 月 12 日前 40~100 cm 土壤含水率为 YK1 > YK2 > YK3,之后基本为 YK1 > YK3 > YK2。

由图 5 还可看出,YK1 在 0~40 cm 的土层含水率随着土层深度逐渐增加,说明土壤水分向上运动,由于油葵根系吸水较少,YK1 在 40~100 cm 土壤含水率随时间变化较小,对比盐分在 0~60 cm 土层中的变化,表明含水率的空间变化要比盐分空间变化集中。YK2 处理灌溉水量较小,仅对 0~40 cm 土层的含水率产生影响。YK3 在 0~60 cm 土层含水率随时间的变化趋势一致,在 60~100 cm 土层含水率随时间的变化一致,YK3 深层土壤在灌后的土壤含水率低于 YK1,说明埋深为 60 cm 的暗管降低了 40 cm 以下土壤的含水率。油葵花期以后,节水灌溉处理的土壤含水率低于传统灌溉处理的土壤含水率,分析原因与灌后土壤深层的土壤含水率有关,灌水量越多则深层地下水的含水率下降越多。

(2) 土壤 0~40 cm 平均含水率随时间变化特征。暗管排水的条件下,不同处理 0~40 cm 土层土壤平均含水率随时间变化规律如图 6 所示。

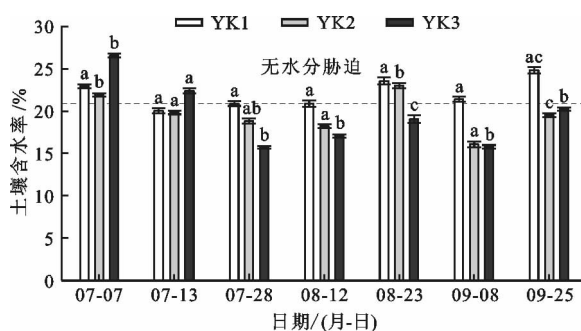


图 6 不同处理 0~40 cm 土层土壤平均含水率随时间变化规律

由图 6 可知,3 个处理 0~40 cm 土壤平均含水率在油葵生长期总体呈先减小后增大的趋势。7 月末 3 个处理的土壤含水率最低。考虑不同试验小区灌前土壤含水率的影响,用灌水前 3 个处理的土壤含水率作为协变量对不同灌水量下的土壤含水率进行方差分析,结果表明,7 月 7 日 3 处理含水率呈现出显著性差异性,但 7 月 13 日没有显著性差异,主要原因是土壤含盐量导致的作物耗水能力有差异,说明 YK1 油葵生长

状况不如其他两个处理。除 8 月 23 日外,YK1、YK2 间没有显著差异性。试验表明 YK2 油葵的长势要高于 YK1,说明在暗管排水条件下的作物生长耗水量要低于无暗管的情况,这与石佳^[1]的研究成果相似,但是与 YK3 始终保持着显著差异性,说明在 YK3 处理上作物的耗水情况要高于 YK2。

进一步分析图 6 可知,8 月 23 日由于土壤降雨输入大于作物蒸腾蒸发量的输出,3 个处理的土壤含水率均在增加。YK1 在生育期内几乎不存在水分胁迫,在 7 月 13 日土壤平均含水率最小。而 YK2、YK3 则继续下降,原因可能由于作物受到盐分胁迫抑制生长而导致作物耗水量相比较少。在增加了灌水后,YK2 处理土壤含水率仍小于 YK1,表明 YK2 处理油葵长势较好,耗水量远高于 YK1。YK2 在生育期内大多时间受到水分胁迫,YK3 在现蕾期前未受到水分胁迫,而开花期至成熟期一直处于水分胁迫的状态,即使在 8 月 23 日左右的强降雨情况下依然受到较程度的水分胁迫,土壤含水率为田间持水量的 46%~70%。暗管排水条件下 0~40 cm 土壤除了 8 月 23 日外不同处理下的含水率与土壤盐分随时间变化成负相关。

3.3 土壤 pH 时空分布特征

3.3.1 土壤 pH 空间分布特征 在暗管排水条件下,不同处理下的油葵生育期内不同土层的土壤平均 pH 的空间分布特征如图 7 所示,土壤 pH 特征值统计见表 3。

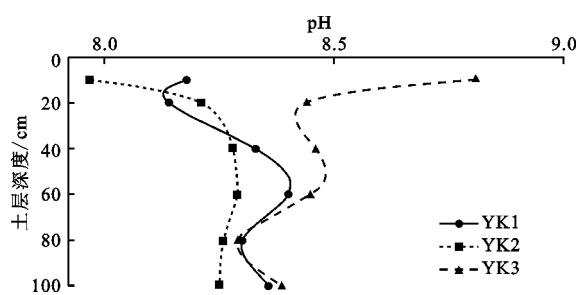


图 7 不同处理下土壤平均 pH 的空间分布特征

由表 3 和图 7 可知,YK1、YK2、YK3 在 0~60 cm 的土壤 pH 分别为 7.54~8.80、7.51~8.89、8.12~10.85,pH 在每一层土壤的变异系数均很小,与已有的研究结果即 pH 的空间变异性在生育期内土壤的酸碱度几乎无变化一致。YK2 在 0~60 cm 土壤 pH 随着深度的增加而增大,但是 60 cm 以下则呈现减小态势。YK1 表层土壤的 pH 在 8.2 左右,在 40~60 cm 土壤的酸碱度最高,为 8.4,整个生育期内变化很小。YK3 的土壤 pH 随着深度的增

加整体呈减少趋势,表层土壤 pH 最大,为 8.81,变异系数大于其他土层。YK2 的土壤 pH 与 YK1 相比,在 6 个土层的 pH 变化率分别为 -2.77%、0.81%、-0.65%、-1.27%、-0.45%、-1.29%;YK3 的土壤 pH 与 YK1 相比,在 6 个土层的 pH 变化率分别为 7.70%、3.69%、1.56%、0.60%、-0.12%、-0.85%。YK2 0~100 cm 土层的土壤呈现脱碱的状态,YK3 整体 pH 大于 YK1 和 YK2,说明过高的灌水量使土壤有碱化的可能,尤其是在 20~40 cm 土层。对同一土层深度的不同灌水处理进行分析得出 0~10、10~20 cm 土层的 pH 有显著差异,但是 20 cm 以下土层的土壤 pH 没有显著差异性,灌水量主要对土壤 0~20 cm 的 pH 有影响。

3.3.2 土壤 0~40 cm 平均 pH 随时间变化特征
暗管排水的条件下,不同处理 0~40 cm 土层土壤平均 pH 随时间变化规律如图 8 所示。

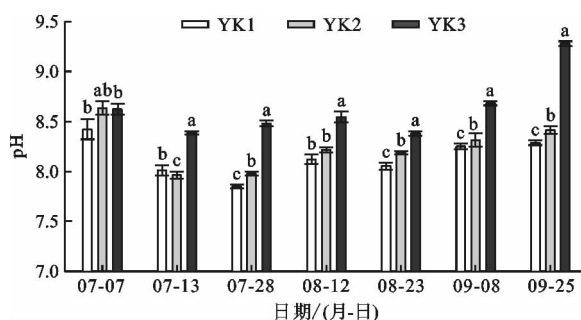


图8 不同处理 0~40 cm 土层土壤平均 pH 随时间变化规律

由图 8 可看出,不同日期测定的 YK1 在 0~40cm 的土壤平均 pH 为 7.85~8.42,YK2 为 7.98~8.63,YK3 为 8.38~9.28,YK3 对比 YK1 则增长了 11.94%~2.38%,YK1、YK2、YK3 在 9 月 25 日与 7 月 7 日对比,其土壤 pH 变化率分别为 -1.54%、-2.55%、7.66%。YK1、YK2 土壤平均 pH 随着时间呈先减小后增加的趋势,YK3 则在整个生育期内的 pH 变化呈总体上升趋势,但变化幅度较小,主要是由于土壤的缓冲能力使其酸碱度在小范围内波动,而土壤的缓冲能力随着土壤肥力的减低而减弱^[15]。7 月 7 日-7 月 13 日,3 个处理 pH 均有不同程度的下降,说明在土壤内的脱硫酸石膏中的 Ca^{2+} 不断置换出土壤胶体中的 Na^+ ,有机肥中微生物的硝化作用产生有机酸中和土壤中的碱,使 pH 有所降低。pH 表现为 YK3>YK2>YK1,YK2 对比 YK1 增长了 0.73%~2.49%。在暗管排水条件下,YK2 最终使 0~40 cm 的土壤逐渐脱碱,而 YK3 下会出现土壤碱化的现象,原因是 YK3 在生育期后期的土

壤含水率较 YK2 低,使 YK3 的油葵地地下水的补给量要高于 YK2,而地下水的溶滤作用会使土壤的 pH 升高。以灌水前 YK1、YK2、YK3 土壤 pH 的数据作为协变量进行方差分析,不同处理下 pH 有显著性差异,可以说明本次试验设计在暗管排水条件下,不同灌水量与空白处理对比对土壤的 pH 均有影响。

4 讨论

本次研究中暗管排水条件下,不同灌水处理的土壤盐分在垂向出现分层现象,与毛振强等^[16]在非暗管排水条件下的研究结果一致。传统灌水量下 60~100 cm 土层有盐分积累现象,这与胡琴等^[17]在黄河三角洲所做的不同灌水量对盐碱地的改良效果研究得出的灌水量越小则盐分积累层距离表层越近的结论相同。节水灌溉在 0~40 cm 土层中、传统灌溉在 60~100 cm 土层中均有盐分积累现象。不同处理下,0~60 cm 土层的含水率有显著差异,与张昌爱等^[18]对盐碱地进行不同灌水方式试验所得出的漫灌影响土壤含水率的范围一致。YK1、YK2 土壤平均 pH 在时间变化上先减小后增加的趋势与刘玉国等^[19]的研究结果相似。

盐碱地在暗管排水的作用下灌水后增加了排盐效果,但同时会造成土壤含水率降低的问题。同时针对在气候及农作物的影响下,土壤在作物生育期后期耕作层的返盐现象增加作物的盐分胁迫问题,得到结论是合理的灌水量对作物的生长发育至关重要。综上所述,虽然在灌水条件下暗管排水会使作物受到一定的水分胁迫,但节水灌溉下减轻了油葵作物在返盐期受到的影响,说明在作物拔节期一定的盐分胁迫可增加作物的耐盐、耐旱性能。所以在本次试验中,暗管排水条件下的节水灌溉更有利于盐碱地的改善以及油葵的生长。

5 结论

(1)在排水暗管影响下,不同灌水量会导致土壤盐分再分布,0~60 cm 土层盐分的变化差异性显著。在灌水量为 300~810 m^3/hm^2 时,不同深度土壤盐分的空间结构随时间变化有一定的自相关性。节水灌溉、传统灌溉在第 2 次灌水后,0~20 cm 的土壤脱盐明显,盐分分别为无灌水处理的 30%、45%,20~40 cm 土壤的 EC 值基本保持一致。在节水灌溉与传统灌溉之间存在最佳的灌水量既满足脱盐效果又能达到节水的目的。节水灌溉在 60 cm

以下的土壤盐分比传统灌溉低,主要原因是灌前土壤盐分分布不均造成的。

降雨强度大于 29 mm/d 时,对照处理土壤盐分在 60 cm 土层中累积。YK3 与 YK1 在 8 月 23 日后土壤盐分均呈现出明显增加的趋势,YK2 处理的灌水量影响 0~40 cm 的土层盐分的变化,YK3、YK1 在 0~40 cm 土层的土壤开始返盐,相应的油葵长势可能受到影响,深层土壤的盐分逐渐向上累积。表明埋深为 60 cm 的暗管作用使土壤的盐分分布在 40 cm 处出现差异,这种差异与灌水量有关。

(2)暗管排水条件下土壤含水率有明显的分层现象,与无暗管情况一致,但 20~40 cm 土层的土壤含水率与其他土层含水率有显著性的差异,暗管排水土壤含水率低于无暗管处理。灌水量与土层含水率的时间变化影响深度成正相关,拔节期增加灌水在深层土壤的含水率低于空白对照,埋深为 60 cm 的暗管降低了 40 cm 土层的土壤含水率。增加灌水后,0~40 cm 土壤在灌水 20 d 之后与土壤含水率呈正相关,除了 8 月 23 日外,不同处理下 0~40 cm 土层的土壤含水率与土壤盐分随时间变化成负相关。本次试验中在拔节期灌水量越大则土壤水分亏缺程度也越大,而在拔节期一定的水分亏缺有利于作物后期的生长,增强其抗旱能力。

(3)节水灌溉 0~100 cm 土层的土壤呈现脱碱状态,传统灌溉使土壤有碱化的可能,尤其是在 20~40 cm 土层碱化趋势更明显。

参考文献

- [1] 陈建华,王海江,宋江辉,等.不同改良措施对新疆盐渍化棉田的改良效果[J].新疆农业科学,2019,56(12):2228-2237.
- [2] 张翼夫,李问盈,胡红,等.盐碱地改良研究现状及展望[J].江苏农业科学,2017,45(18):7-10.
- [3] 范业宽,蔡烈万,徐华壁.暗管排水改良渍害型水稻土的效果[J].土壤肥料,1989(2):9-12.
- [4] 袁念念,黄介生,谢华,等.暗管控制排水对棉田排水的影响[J].灌溉排水学报,2010,29(2):28-31.
- [5] 于淑会,刘金铜,李志祥,等.暗管排水排盐改良盐碱地机理与农田生态系统响应研究进展[J].中国生态农业学报,2012,20(12):1664-1672.
- [6] 王秋菊,刘峰,常本超,等.三江平原低湿地水田土壤理化特性及暗管排水效果[J].农业工程学报,2017,33(14):138-143.
- [7] 郝登桂.河套地区盐碱地油葵种植综合改良技术模式应用效果研究[J].现代农业科技,2019(15):10-12.
- [8] 张金龙,刘明,钱红,等.漫灌淋洗暗管排水协同改良滨海盐土盐时空变化特征[J].农业工程学报,2018,34(6):98-103.
- [9] 赵经华,徐剑,马亮,等.灌水定额对食葵耗水特征和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2019,37(6):108-116.
- [10] 鲍怀宁.不同灌水定额及植物配置条件下盐碱地水盐动态研究[D].银川:宁夏大学,2018.
- [11] 石佳.惠农暗管排水对油葵和玉米田间土壤脱盐及产量影响研究[D].银川:宁夏大学,2016.
- [12] 黄愉,田军仓.太阳能暗管排水对银北灌区油葵土壤环境及产量影响[J].中国农村水利水电,2020(1):20-25.
- [13] 侯毛毛,陈竞楠,杨祁,等.暗管排水和有机肥施用下滨海设施土壤氮素行为特征[J].农业机械学报,2019,50(11):259-266.
- [14] 陈诚,罗纨,唐双成,等.满足机械收割农艺条件下稻田排水暗管布局 DRAINMOD 模型模拟[J].农业工程学报,2018,34(14):86-93.
- [15] 陈龙,张美玲,李建东,等.几种类型土壤对碱的缓冲作用及其影响因素研究[J].农学学报,2015,5(11):40-43.
- [16] 毛振强,宇振荣,马永良.微咸水灌溉对土壤盐分及冬小麦和夏玉米产量的影响[J].中国农业大学学报,2003,8(S1):20-25.
- [17] 胡琴,陈为峰,宋希亮,等.不同灌水量对黄河三角洲盐碱地改良效果研究[J].水土保持学报,2019,33(6):305-310+325.
- [18] 张昌爱,辛淑荣,王国良,等.不同灌水方式对盐碱地苜蓿生长及土壤水盐动态的影响[J].排灌机械工程学报,2017,35(3):271-276.
- [19] 刘玉国,杨海昌,王开勇,等.新疆浅层暗管排水降低土壤盐分提高棉花产量[J].农业工程学报,2014,30(16):84-90.

公 告

中国农业工程学会农业水土工程专业委员会第十一届学术研讨会原定于 2020 年 8 月在陕西杨凌召开,考虑到目前疫情防控形势依然严峻,经协商决定推迟学术研讨会至 2021 年暑期举行,本刊受会议组委会委托在本期农业水土工程栏目刊登部分优秀会议论文 19 篇。