

微区作物种植条件下不同调控措施 对土壤水盐动态的影响特征

徐力刚 杨劲松 张妙仙 陈德明 李冬顺

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 本文研究了在试验微区内进行作物种植条件下不同调控措施对土壤表层 20cm 和土壤中层 50cm 处的电导率和 0~120cm 土壤水分的影响。分析了作物种植条件下土壤的水盐动态变化规律和引起变化的原因。综合考虑了灌溉水矿化度、灌水次数、灌水量, 有机肥施用量及覆盖 5 种不同试验因素下, 土壤水分和盐分在不同阶段的变化过程及机理的差异。得出试验因素影响因子对土壤水分盐分动态的作用及其调控机制; 试验因子对土壤水盐动态的权重性分析和试验结果指标的综合因素分析; 咸水或者边缘水质灌溉水利用过程中的土壤盐分动态与防盐调控机制, 阐明了土壤水盐变化规律及其作用机理。

关键词 作物种植; 调控; 水盐动态

中图分类号 S152.7

缺水 and 土壤盐渍化是限制黄淮海平原农业和经济发展的的重要因素。各种调控措施如灌溉、施肥以及覆盖秸秆或稻草都可以对土体的水盐运移产生影响。研究作物种植条件下, 土壤中的盐分离子在不同调控措施下特别是在不同灌溉措施条件下的迁移分布特征以及土壤水分的状况和变化具有重要的理论和实践意义, 它也是盐分的动力学积聚机制和防抑盐理论的基础^[1]。通过对实验微区作物种植整个生长过程中土壤盐分离子和水分状况随时间的变化研究, 以及灌溉调控措施的不同而引起的不同的电导率变化规律、水分动态变化趋势分析, 以期协调灌溉水的供水供盐矛盾, 建立良好的土壤利用制度。同时农业综合调控措施对土壤中水分和盐分进行调控, 对于节水农业中土壤水分的管理和灌溉制度的制定都有指导意义, 也为进行土壤水盐的中长期预测预报及优化调控提供了辅助实验数据, 为盐渍土资源在时空上的合理持续利用提供依据^[4]

1 材料与方法

1.1 供试土壤

本实验布置于中国科学院封丘农业生态实验站的水盐动态实验室实验场内, 实验场内土壤机械组成及化学性质如表 1 和表 2 所示。

1.2 试验设计

本试验采用多因素多水平设计方案进行实验设计, 分析出每个实验因素的单独效应, 用权重对多个试验效应指标进行综合。侧重于研究灌溉制度对水盐动态和作物产量的影响。

1.2.1 试验方案 试验设 15 个处理, 3 个重复, 共 45 个微区, 种植棉花。微区面积为 1783cm²。微区为 1.5m 深的圆形水泥管, 下不封底, 管壁用塑料布防止侧渗。试验因素有灌溉水矿化度、灌水次数、灌水量、有机肥施用量及覆盖量共 5 个指标。本实验从 2000 年上半年开始种植棉花。试验具体实施方案如表 3 所示。

1.2.2 观测方法 实验中用中子水分测定仪进行水分动态测定, 观测深度为 20, 40, 60, 80, 100, 120cm; 盐分传感器进行盐分动态测定, 观测深度为 20、50cm。从 2000 年 4 月下旬开始观测, 测定时间为每月的 5、10、15、20、25、30 日。同时观测降雨量、水面蒸发量、温度、作物生长状况各项指标及产量, 当地气象要素指标等各项数据。

2 结果与讨论

可以用土壤电导率、土壤含水量、作物产量和作物干物质量表示试验结果指标。因为本实验是采用多因素多指标试验设计, 可对上述指标进行定性定量分析。既可以对作物种植条件下不同试验因素

表 1 供试土壤的机械组成

Table 1 Mechanical composition of soil for test

土壤	各级颗粒含量 (g/kg)						
	1~0.25 (mm)	0.25~0.05 (mm)	0.05~0.01 (mm)	0.01~0.005 (mm)	0.005~0.001 (mm)	粘粒<0.001 (mm)	物理性粘粒<0.01 (mm)
粉砂壤土	2.0	151.0	656.0	35.0	42.0	114.0	191.0

表 2 供试土壤的化学性质

Table 2 Chemical properties of the soil for test

深度 (cm)	pH	全盐 (%)	碱化度 (%)	土壤盐分离子组成 (cmol/kg)						
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺
0~5	7.35	3.26	26.3	0	0.19	45.19	14.25	9.20	8.85	34.58
5~10	8.50	0.67	25.3	0	0.32	8.79	1.95	0.4	11.20	9.44

表 3 作物灌溉试验实施方案

Table 3 Irrigation plan of the crop for test

试验方案	试验因素				
	灌水次数	灌水量 (m ³)	灌溉水矿化度 (g/L)	有机肥 (g)	麦秸覆盖量 (g)
1	0			1868	69
2	0			3736	102
3	0			5604	135
4	1	1 (30)	2	3736	102
5	1	2 (45)	3	5604	135
6	1	3 (60)	1	1868	69
7	1	1 (30)	1	5604	135
8	1	2 (45)	2	1868	69
9	1	3 (60)	3	3736	102
10	2	1 (30)	1	3736	102
11	2	2 (45)	2	5604	135
12	2	3 (60)	3	1868	69
13	2	2 (45)	1	5604	135
14	0(对照)				
15	不种不灌				

对土壤水盐动态的影响特征、变化规律、机理差异进行综合分析,还可以就实验因子对水盐动态变化影响进行显著性或相关性分析,并对上述各种单项结果指标进行加权计算出综合指标,再用综合指标进行因素主次和方案优劣分析^[5]。

2.1 各综合调控因子对实验微区土壤电导率和体积含水量的影响

通过对 15 个微区作物种植条件下不同调控措施对土表电导率变化影响和土壤水分变化影响的综合研究,可以看出在这 15 个微区中都呈现大致一样的变化规律,即电导率随时间的变化,可以大体分为 3 个阶段:盐分上升,盐分波动,盐分趋于平缓。含水量的变化则处于一直稳定上升的发展过程,这

主要与降雨和灌溉因素有关。第 1 阶段从试验开始至 2000 年 6 月中旬,在这个阶段,由于作物幼小,蒸腾量在蒸散量中所占的比例较小,而根据作物需水规律制定的灌水量也很小,此时,土体蒸发量大于灌溉量,盐分从土体向上运移,并在表层累积,形成盐分上升。第 2 阶段从 2000 年 6 月下旬至 2000 年 9 月中旬,作物随着株型的建成和叶片的生长,蒸腾量及相应的灌溉量的增加,水分蒸散与灌溉均处于一个活跃期,土体水盐运动剧烈,盐分、水分离子的迁移和变化频度也较大。到了第 3 阶段,从 2000 年 9 月下旬至当季作物种植结束,下一茬作物种植开始。此时,植物的新陈代谢逐渐趋于平稳,水盐动态也呈现缓和趋势。从 1 号微区统计的数据

可以看出这些规律 (图 1、图 2)。

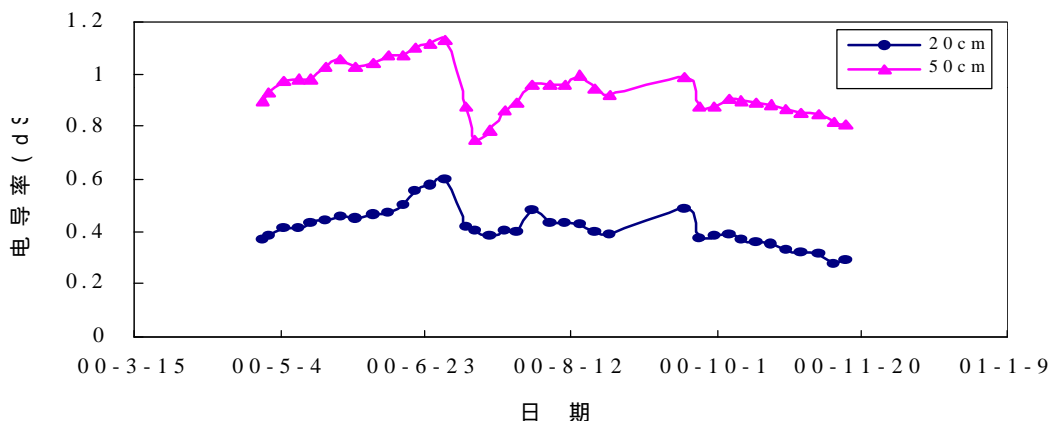


图 1 1 号微区电导率平均变化趋势图

Fig. 1 Trendline of the variation of electric conductivity in Microplot No. 1

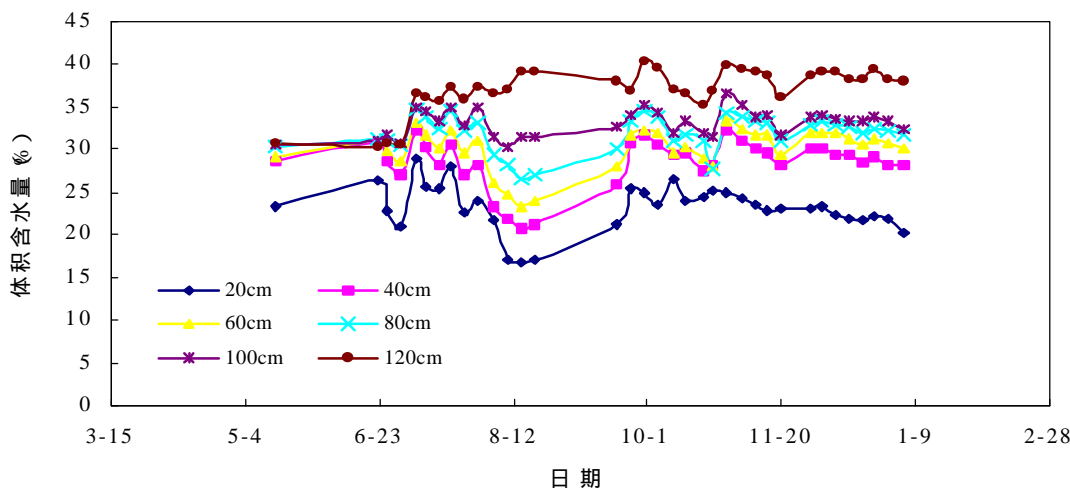


图 2 1 号微区几种不同深度体积含水量动态变化曲线图

Fig. 2 Trendlines of the volumetric moisture contents at different depths in Microplot No. 1

2.2 各试验因子与土壤水盐动态变化的相关性

灌水用量、灌溉次数及灌溉水矿化度因子可以显著影响土表电导率, 土层各深度体积含水量的变化方向和变化幅度。试验开始, 即水盐运动的第 1 阶段, 15 个处理的差异并不明显, 这是由于灌溉量开始比较小, 对土体的影响小; 到第 2 个阶段, 随着灌水矿化度, 灌水用量及灌溉次数等不同处理方式的应用, 使得土表电导率呈现个体差异, 但总体是出现增大趋势。而同等灌溉总量下, 灌溉频度和矿化度的降低, 可抑制表层电导率的增加。当灌溉量增加了, 在水压梯度的作用下, 水分可以下渗更深, 在较深土层上灌溉和蒸散达到动态平衡^[6], 使 0~20cm 表层电导率与中层土壤(20~50cm)相比保持着较低的水平。到了第 3 阶段, 随着灌溉次数和

灌水强度的减少又趋于平缓^[2]。

施肥因子对水盐运移的调控表明, 有机肥的施用, 可以增加作物的产量, 第 1 阶段在作物种植初期, 增施有机肥, 表层电导率要明显高于对照; 第 2 阶段电导率迅速增加, 其平衡水平与水盐平衡相当, 都远高于不施用有机肥的处理。第 3 阶段随着有机肥的加入, 一方面改善了土壤物理性状, 良好的土壤结构有利于土壤保水持水, 降低盐分离子浓度^[3]。另一方面通过形成土壤胶体, 增加了土壤阳离子交换量和阳离子的吸附量^[3], 增加土壤供给作物养分离子的缓冲性^[12]。所以有机肥的加入使得土表电导率的变化平缓。但综合实验的各影响因子来看, 有机肥的作用微弱。

覆盖因子对土壤水盐运移的影响主要是通过减

少土壤水分蒸发来实现的。第 1、第 2 阶段, 每个微区间 3 个重复间的差异不是很显著, 在试验的后期 (第 3 阶段), 与对照相比, 覆盖可以显著降低表层电导率值, 减少盐分的表聚^[3, 7]。这可能是由于作物生长后期气温高, 蒸发量大, 作物需水量大, 蒸腾量也大的缘故。

2.3 各试验因子对土壤水盐动态的综合评分和试验结果指标的综合因素分析

我们对试验结果的各项指标进行综合评价整理, 对各种试验结果指标进行综合因素分析后(表 4、表 5)可以得出如下结论, 从作物产量直接看来, 不灌咸水的 1 区和 2 区产量最高, 灌 2 次咸水的 10 区

干物质植株最重。从试验因子来看以灌水量作用最大, 灌溉水矿化度作用其次, 有机肥作用微弱, 覆盖在后期对水盐的影响变化较大。得出的结论是咸水灌水量越小越好, 灌水电导率越小越好, 灌水次数越少越好, 有机肥适中作物生长最为有利, 覆盖量因素的影响作用不大。同是在田间实验中, 灌溉排水有机结合才是农业稳产和高产的关键之处^[8]。

对不同时间的土壤表层电导率的统计分析可以看出, 灌溉措施对表层电导率的影响主要是在作物生长的中、后期。而施用有机肥的效果在试验初期比较明显, 随后逐渐降低。覆盖因子的调控效果没有达到显著水平。

表 4 试验结果因素分析综合评分表

Table 4 Overall grading of factors of the experiment results

2 次灌水量 (m ³)	综合评分	灌溉水矿化度 (g/L)	综合评分	灌溉水次数	综合评分	有机肥 (g)	综合评分	覆盖量 (g)	综合评分
不种	4.39	不种	4.39	不种	4.39	不种	4.39	不种	4.39
0	47.41	0	47.41	0	47.41	1868	20.67	69	14.32
8	21.76	1	22.52	1	15.56	3736	27.91	102	13.56
12	20.19	2	11.47	2	15.99	5604	23.39	135	16.85
16	3.75	3	10.94	极差	31.85	极差	2.72	极差	4.56
极差	43.66	极差	36.47						

表 5 灌溉微区试验结果

Table 5 Results of the microplot irrigation experiment

试验方案	试验结果(kg/hm ² 、dS/m)				
微区号	产量	干物质	20cm 电导率	50cm 电导率	综合指标
1	6824	27575	0.93	1.76	64
2	6637	34287	0.99	2.19	70
3	4393	27388	0.63	2.03	24
4	4113	27482	0.86	1.58	21
5	4300	31744	1.31	2.18	26
6	3552	28155	0.90	3.19	4
7	5422	27201	2.54	3.09	25
8	3832	29557	1.45	2.31	13
9	3365	30006	1.79	2.05	5
10	3459	34025	0.86	1.87	20
11	3178	29538	1.85	2.05	1
12	3646	26640	1.84	3.17	2
13	5141	31034	1.13	1.76	41
14	4206	31221	1.47	1.89	24
15 (不种不灌)			1.47	1.23	4
对照	5983	22808			56
权重	0.6	0.2	0.1	0.1	1

注: 综合指标 = $\sum[(\text{单项指标} - \text{单项指标最小值}) / (\text{单项指标最大值} - \text{单项指标最小值}) \times \text{权重}]$

不同调控因子对土壤表层电导率的影响在时间上存在着明显差异。灌溉水矿化度和灌水次数的影响在作物生长后期表现尤为明显，而施用有机肥和对作物进行覆盖则在作物生长中水平间的差异不明显；在试验后期，距土表5cm处的电导率随覆盖量的增加，与对照相比明显降低，但总体而言，差异不是很明显。通过不同调控措施的合理组合和施用，能有效的发挥各调控措施对水盐运移的积极作用，避免其消极后果^[9]。本文综合考虑了灌溉水矿化度、灌水次数、灌水量，有机肥施用量及覆盖5种不同试验因素下，典型层面土壤的水盐动态变化特征和规律，对实验结果采用了综合评价指标评定方法进行结果分析。通过研究微区作物种植条件下土壤各层面水分和电导率随调控措施而变化的动态规律，为水盐运移的机理、过程、途径的阐明，以用于不同调控措施下的变化发展模式，并将这一过程量化即建立数学模型描述土壤水盐的动力学积聚机制，达到防抑盐害和精确调控的目的^[11]，并且可以利用目前土壤理化指标、气象数据、作物指标实现水盐运移的动态监测和预测预报，为宏观上盐渍土资源利用提供参考依据^[10]。

参考文献

- 1 王遵亲. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993
- 2 陈启生, 戚隆溪. 有植被覆盖条件下的土壤水盐运动规律研究. 水利学报, 1996, (1): 38~46
- 3 雷志栋等. 土壤水动力学. 北京: 清华大学出版社, 1988
- 4 陈德明等. 土壤盐渍环境与养分管理. 土壤学进展, 1995, 23 (5): 7~13
- 5 李新举等. 秸秆覆盖对土壤水分蒸发及土壤盐分的影响. 土壤通报, 1999, 30 (6): 257~258
- 6 张振华等. 覆盖对滨海盐化土水盐运动和大麦产量影响的研究. 土壤通报, 1996, 27 (3): 136~138
- 7 严少华等. 滨海盐土覆盖栽培节水抑盐效果定量研究. 土壤通报, 1998, 29 (2): 52~53
- 8 巴逢辰等. 中国海涂土壤资源. 土壤通报, 1997, 28 (2): 49~51
- 9 李韵珠, 陆锦文, 黄坚. 蒸发条件下粘土层与土壤水盐运移. 国际盐渍土改良学术讨论会论文集. 济南: 1985, 176~190
- 10 康绍忠, 李晓明等. 土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用. 北京: 水利电力出版社, 1996, 15~23
- 11 张妙仙. 黄淮海平原土壤水盐动态中长期预测预报及优化调控. 中国科学院博士后研究报告, 2001

EFFECTS OF REGULATION MEASURES ON WATER AND SALT REGIME OF SOIL

Xu Ligang Yang Jingsong Zhang Miaoxian Chen Deming Li Dongshun

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Abstract Based variation of electric conductivity in 0~20cm soil layer and water density in 0~120cm soil layer, effects of different regulation measures on water and salt regime of soil under cropping in microplots were studied. Patterns of the dynamic variation of water and salt regimes and causes of the variation were also analyzed under continuous cropping in fields. By taking into account the five factors in the experiment, such as water mineralization degree, times of irrigation, irrigation rate, organic manure application rate and crop coverage, differences in courses and mechanisms of the variation of water and salt in the soil between different stages were explored. Effects of the influencing factors on soil water and salt movement and their mechanisms were investigated. Weighing analysis of the soil water and salt movements by the experimental factors and integrated factor analysis of the experiment results and indexes were performed. The soil water salt movements during the course of utilizing salt water and barely usable water in irrigation and its mechanism for salinity control were studied. And on these bases, the pattern of the changes in soil water and salt and the mechanism of the action were elaborated.

Key words Cropping, Regulation and controlling, Water and salt regime