

土壤盐分含量对滴灌复播青储玉米光合特性及土壤水盐动态的影响

裴磊^{1,2}, 王振华^{1,2}, 郑旭荣^{1,2}, 李文昊^{1,2}

(1. 石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832000;
2. 石河子大学现代节水灌溉兵团重点实验室, 新疆 石河子 832000)

摘要: 通过盆栽试验,研究了不同土壤含盐量(0.14%(CK)、0.60%、0.80%、0.90%、1.00%)条件下,青储玉米光合特性及土壤水盐运动规律变化。结果表明:随着土层深度的增加,土壤含水率和含盐量均表现出增加的趋势,土壤盐分含量越高其平均含水率越高,由含盐量为 0.14%处理的 12.30%增加到含盐量为 1.00%处理的 15.82%;从 7 月初到 10 月初,各处理 0~40 cm 土层盐分变化量依次为 -0.03%、-0.08%、-0.12%、-0.14%、-0.17%,盐分变化率依次为 -11.52%、-13.34%、-13.88%、-14.81%、-17.41%,所有处理 0~40 cm 土层处于脱盐状态;土壤盐分抑制青储玉米叶片气孔导度,因气孔限制因素,玉米叶片净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度等均下降,影响光系统的正常运行,导致玉米叶片水分利用效率和光能利用率降低。

关键词: 滴灌;复播;青储玉米;土壤水盐运动;光合特性
中图分类号: S278;S513 **文献标志码:** A

Effects of soil salt content on water-salt dynamic and photosynthetic characteristics of drip irrigated silage maize in sequential cropping systems

PEI Lei^{1,2}, WANG Zhen-hua^{1,2}, ZHENG Xu-rong^{1,2}, LI Wen-hao^{1,2}

(1. College of Water & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China;
2. Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation of Xinjiang Production & Construction Group, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: A pot experiment was carried out to investigate the effects of soil salt content on soil water-salt dynamics and physiological indexes of drip irrigated silage maize to provide a theoretical foundation and technical support for planting silage maize in saline – alkali soils. Different soil salt contents (0.14% (CK), 0.60%, 0.80%, 0.90%, and 1.00%) were set up, and soil water-salt dynamics and physiological indices of drip irrigated silage maize were consequently studied. The results showed that with the increase of soil depth, soil water content and salt content showed an increasing trend. The greater soil salt content, the higher the average soil moisture content. Compared with the soil salt content before sowing, salt content by each treatment in 0 to 40 cm soil layer became decreased at harvest time, indicating a desalination process during the growth period. Soil salt inhibited stomatal conductance, decreased photosynthesis rate, and increased water use efficiency and light use efficiency in leaf of silage maize.

Keywords: drip irrigation; sequential cropping; silage maize; water-salt dynamic; photosynthetic characteristics

土壤盐渍化是指可溶性盐分在土壤中积累形成危害植物正常生长发育的盐碱灾害^[1]。当前,土壤次生盐渍化现象日趋严重,土壤盐渍问题已成为制约农业生产、影响生态稳定的重要因素^[2]。新疆地

收稿日期: 2015-06-23
基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD20B03, 2011BAD29B06), 石河子大学高层次人才科研启动专项(RCZX201433)
作者简介: 裴磊(1989—), 男, 江苏徐州人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区节水灌溉理论与技术。E-mail: peil30@163.com。
通信作者: 王振华(1979—), 男, 河南扶沟人, 博士, 教授, 从事干旱区节水灌溉理论与技术的研究。E-mail: wz2002027@163.com。

处我国西北内陆干旱区,盐渍化土壤分布十分广泛,据统计,新疆盐渍化荒地和耕地面积达 $2\,181.4 \times 10^4\text{ hm}^2$ ^[3],土壤盐渍化现象严重制约着新疆农业经济的可持续性发展,因此,盐渍土地资源的合理开发利用以及盐渍化耕地的改良,将是新疆农业发展的重大课题。滴灌是一种高效的节水灌溉方法,田间水分利用效率可达 90%^[4],该技术局部湿润土壤,将盐分淋洗出湿润区,在远离作物根系区的湿润锋处积累,形成一个淡化脱盐区,为作物生长发育创造了良好的条件。王振华等^[5]研究认为,膜下滴灌应用年限越长,田间盐分相对越低,盐分降幅也越来越小,并将处于动态平衡状态。李玉义等^[6]研究认为,滴灌量增加,土壤盐分明显下降,且各部位土壤含盐量差异变小。光合作用合成的碳水化合物是赖以生存的物质基础,而作物的生长状况与最终产量与其光合能力的大小密切相关^[7]。一些研究表明^[8-9],盐渍土壤主要通过渗透胁迫以及离子毒害危害植株生长。因此,研究土壤盐分环境下作物光合作用的变化规律和机理,对盐渍化土地种植作物具有十分重大的现实意义。为充分利用新疆小麦收获后丰富的光热资源,在北疆推行滴灌条件下“一年两作”种植模式,即进行滴灌小麦收获后复播青储玉米、油菜或大豆等作物^[10-11],从而提高北疆复种指数,在不增加现有种植面积和水资源供给的前提下,增加粮食和牧草的产量。目前对于滴灌复播青储玉米土壤水盐运动规律以及其光合特性受土壤盐分影响的研究较少,因此有必要研究不同盐分含量情况下滴灌复播青储玉米的水盐运动及其光合特性,为盐渍土滴灌青储玉米灌水管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2014 年 7—10 月在现代节水灌溉兵团重点实验室试验基地暨石河子大学节水灌溉试验站(东经 $85^{\circ}59'47''$,北纬 $44^{\circ}19'28''$,海拔 412 m,平均地面坡度为 6‰)进行,地处准噶尔盆地西南缘天山北麓中段,属中温带大陆性干旱气候,年均日照时间为 2 865 h,多年平均降雨量为 207 mm,平均蒸发量为 1 660 mm,其中 $>10^{\circ}\text{C}$ 积温为 3 463.5℃, $>15^{\circ}\text{C}$ 积温为 2 960.0℃,无霜期为 170 d。

1.2 试验设计

本试验以玉米品种“瑞玉 F98”为研究材料,采取盆栽试验,规格:45 cm×50 cm(内径×高),盆底开孔。设计 4 种不同的土壤盐分含量处理以及一个对照处理(小麦收获后土壤盐分含量 T1:0.60%、T2:0.80%、T3:0.90%、T4:1.00%、CK:0.14%),前茬作物为春小麦,供试土壤预先盐处理,自然晾干碾碎去石块,采用碱土(盐分含量:3.50%~5.50%)分别按 10%、20%、30%、0 等比例与中壤土(盐分含量:0.10%~0.30%)掺合均匀,按容重 $1.40\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 分层装土 45 cm,3 次重复。青储玉米 7 月 5 日播种,播种深度为 3~4 cm,7 月 10 日出苗,于三叶期每桶定苗 2 株,10 月 11 日收获,全生育期总共 99 d。本试验所有处理采用相同的水、肥管理,灌溉定额均为 $4\,100\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,灌溉次数为 9 次;氮、磷、钾肥投入相同,为尿素(纯氮含量 46.4%): $528\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,磷酸二氢钾: $245\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,详见表 1。每个桶单独控制灌水,采用医用输液管模拟滴头,可保证每个桶精确控制灌水量与施肥量,灌水滴头流量 $1.8\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右。

表 1 试验设计
Table 1 The experiment design

生育期 Growth stage	日期 Date (M-d)	水处理 Water treatment		施肥处理 Fertilizer treatment			降雨量 Precipitation /mm
		灌水量 Irrigation quota /($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	灌水次数 Irrigation frequency	尿素 Urea /($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	磷酸二氢钾 KH_2PO_4 /($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	施肥次数 Fertilization frequency	
播种~出苗 Seeding~germination	07-05—07-10	400	1	—	—	—	2.9
出苗~拔节 Germination~jointing	07-11—08-06	400	1	—	—	—	2.5
拔节~抽雄 Jointing~tassel	08-07—08-31	1500	3	226	105	3	18.3
抽雄~灌浆 Tassel~filling	09-01—09-20	1000	2	151	70	2	6.2
灌浆~乳熟 Filling~milk	09-21—10-11	800	2	151	70	2	27.3
全生育期 The whole growth period	99 d	4100	9	528	245	7	57.2

1.3 测试指标及方法

试验于 2014 年 7 月初开始,出苗后于青储玉米各个生育期观测采集试验样品或数据。观测仪器及观测方法如下:

(1) 土壤水分、盐分监测

用取土钻分别于青储玉米不同生育期土壤 0、10、20、30、40 cm 深度上下 2 cm 范围内采取土样,采用烘干法测定土壤含水率。

称取 20 g 过 1 mm 筛的风干土样放于三角瓶中,加入 100 mL 蒸馏水,将三角瓶置于振荡机上振荡 10 min,静置 15 min 后过滤,制成水土质量比为 5:1 的澄清液^[12]。用 DDS11-A 数显电导率仪测定其电导率值。

用干燥残渣法确定土壤含盐量与电导率之间的标定关系式:

$$S = 1.8 \times 10^{-5} EC - 0.018 (R^2 = 0.9920) \quad (1)$$

式中, S 为土壤含盐量(%); EC 为电导率值($\mu S \cdot cm^{-1}$)。

(2) 土壤贮水量监测

土壤贮水量计算式:

$$W = \omega \times \gamma \times H \quad (2)$$

式中, W 为土壤贮水量,mm; ω 为土壤质量含水率,%; γ 为土壤容重, $g \cdot cm^{-3}$; H 为土层厚度,mm。

(3) 光合生理指标测定

于青储玉米拔节期、抽雄期测定其光合特性。使用美国产 CI-340 手持式光合仪,选取青储玉米顶层功能叶片,于晴天无云上午 12:00—14:00,每隔 10 d 左右测定一次,3 次重复。测定项目包括光合有效辐射(PAR)、气温(T_a)、空气中二氧化碳浓度(C_a)等环境因子指标,以及净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)、胞间二氧化碳浓度(C_i)等光合生理特性指标。根据记录数据计算叶片水分利用效率(WUE)、光能利用效率(LUE),其公式如下:

$$WUE = P_n / Tr \quad (3)$$

$$LUE = P_n / PAR \quad (4)$$

1.4 数据处理

所有数据都使用 Microsoft Excel 及 SPSS 数据处理系统进行处理、分析,使用 Origin 完成制图。

2 结果与分析

2.1 不同盐分处理对滴灌复播青储玉米土壤水盐动态变化的影响

2.1.1 不同盐分处理土壤贮水量变化 土壤贮水

量是评价植被水源涵养功能的重要指标,在相同的灌溉制度下,土壤含盐量增加,其持水能力增强,排水能力减弱。如图 1 所示,由于土壤中可溶性盐离子能够降低土壤渗透势,使得玉米根系细胞吸水困难,表层土壤蒸发缓慢,在青储玉米全生育期内,土壤盐分含量越大的处理,其土壤贮水量越多,保水性越强。

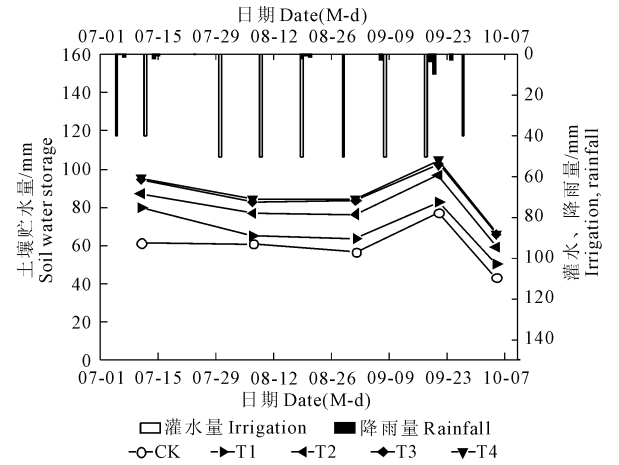


图 1 不同土壤盐分处理土壤贮水量变化

Fig.1 Soil water storage variations by treatments with different salt contents

青储玉米在不同生育时期,对土壤水分的消耗也不同。拔节期前,土壤水分的散失主要以地表蒸发为主,植株腾发消耗所占比重很小,土壤贮水量相对较大。抽雄期时,根系生长发达,雌穗小花分化,玉米新陈代谢旺盛,需水量不断增加,加之外界高温,蒸发剧烈,土壤贮水量有所下降。灌浆期时,降雨量增加,土壤水分得到持续补充,土壤贮水量出现峰值,表明降雨量对其有显著影响。在生育期末,停止灌水,长时间无降水,土壤水分不断消耗,得不到补充,土壤贮水量达到最低值,说明灌水量对其也有较显著的影响。

2.1.2 不同盐分处理不同生育期土壤水盐变化

青储玉米全生育期灌溉后不同土壤盐分处理下不同生育期水、盐含量平均值变化关系见图 2。从图 2 可以看出,所有处理土壤水、盐含量变化趋势一致。玉米从苗期到拔节期土壤含水率呈下降趋势;拔节期与抽雄期土壤含水率基本持平,变化不明显;进入灌浆期后土壤含水率明显升高,这与该阶段降雨量增大有关;到乳熟期,停止灌水,降雨不足,土壤含水率降到最低值。

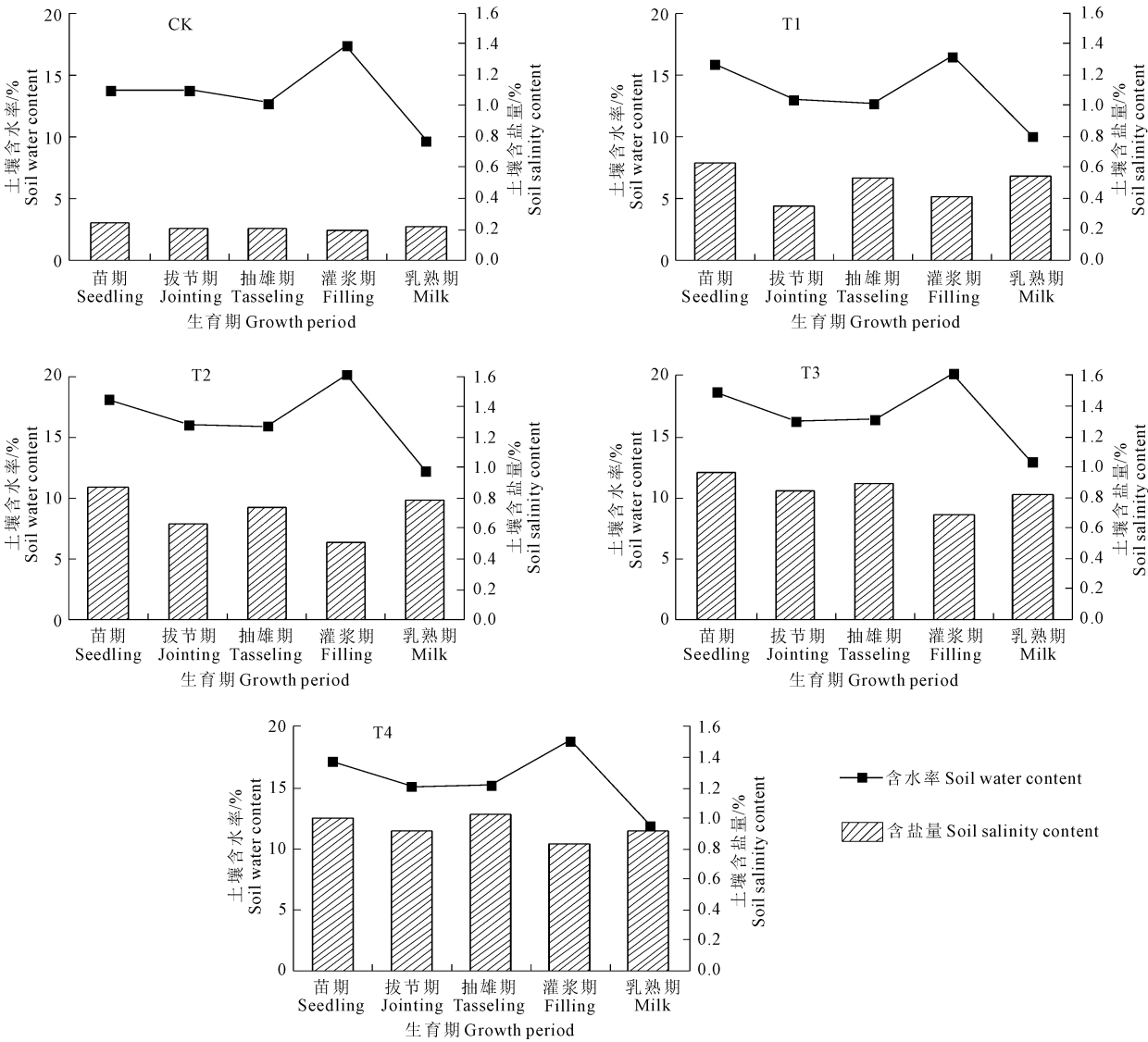


图 2 不同盐分处理下不同生育期土壤含水率、含盐量变化

Fig.2 Soil water content and salinity content variations during different growth periods with different salt contents

青储玉米各处理土壤含盐量呈现上下波动变化,苗期各处理土壤盐分含量处于相对高值;经过灌水对土壤盐分的淋洗作用,在拔节期土壤含盐量有所降低;抽雄期时,灌溉水不断补充,但是外界温度较高,降水稀少,蒸发剧烈,加上大量肥料的投入,使得田间土壤含盐量增高;灌浆期时,外界气温有所下降,蒸发量减少,降雨量增多,加上灌水补充,土壤水分含量增大,对盐分的淋洗作用表现明显,土壤含盐量达到一个相对较低的水平;进入乳熟期,停止灌水补充,降水量较少,持续蒸发,土壤中水分含量大幅下降,出现返盐现象,土壤盐分含量再次升高。

青储玉米整个生育期内,土壤含盐量的变化趋势与土壤含水率变化趋势基本相反,体现出“盐随水动,盐随水去”的特点。

2.1.3 不同盐分处理不同土层深度水盐变化 青

储玉米不同盐分处理下不同土层深度土壤含水率、含盐量平均值变化情况见图 3。从各土层水、盐关系来看,所有处理土壤含水率和含盐量变化趋势一致,且具有较高的同步性。随土层深度(0~40 cm)的增加,土壤含水率呈递增趋势;土壤盐分随着水分的运动而迁移,在灌溉水、降雨等淋溶作用下,盐分随水分向土壤下层运动,土壤盐分在表层聚集出现一个相对高值,10~40 cm 土层盐分含量呈递增趋势,含盐量最小值出现在 10 cm 左右土层。这是因为滴水时,滴头下方的土壤最先补水湿润,并趋于饱和状态,之后以滴头为中心向四周扩散,在 10 cm 左右主要根系层的土壤形成了一个低盐淡化区,而土壤表层,受外界气温、蒸发等环境因子的影响较大,土壤盐分随水分的蒸发上移在地表聚集,所以 10 cm 左右土层盐分含量最小,表层盐分含量高于 10

cm 土层处。

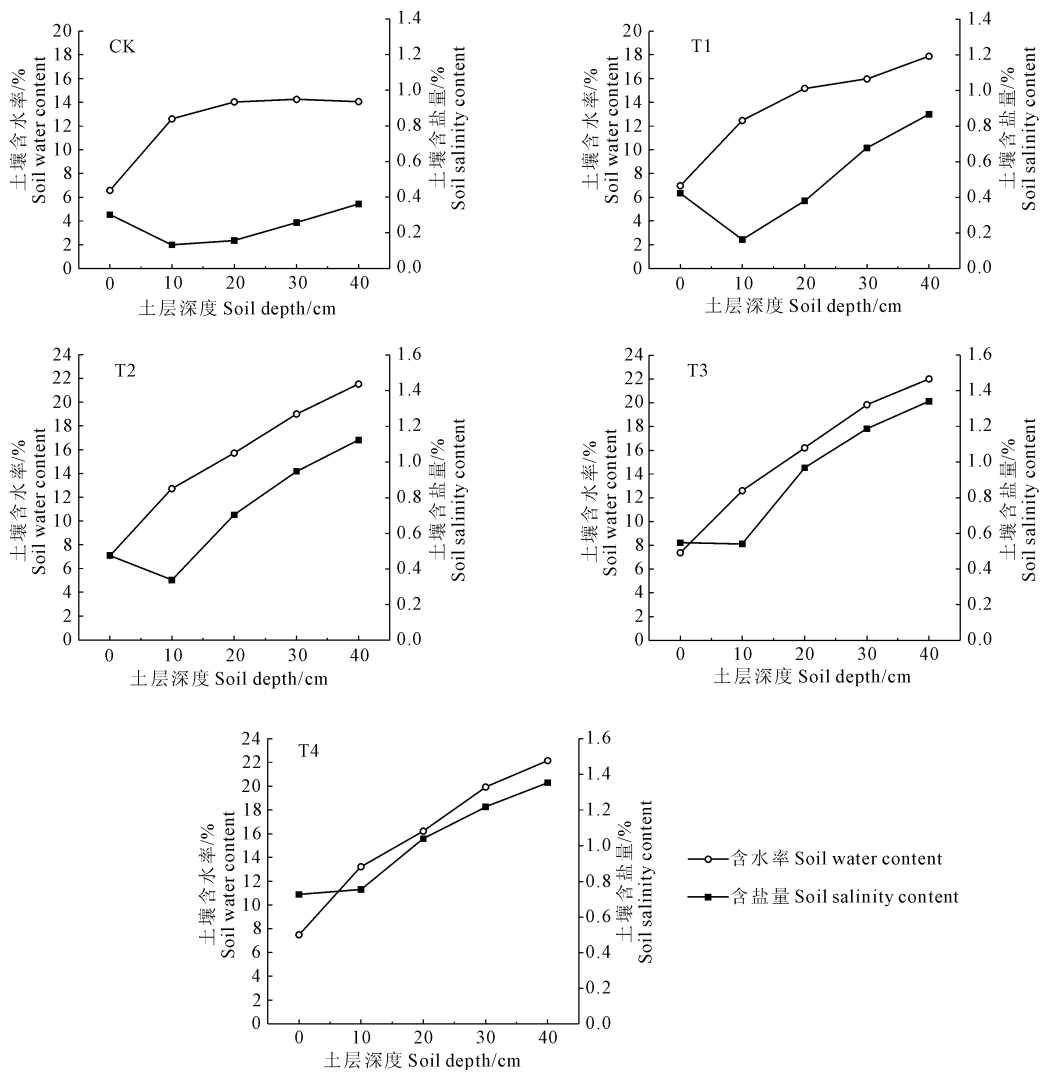


图 3 不同盐分处理下不同土层深度土壤含水率、含盐量变化

Fig.3 Soil water content and salinity content variations in different layers of soil with different salt contents

土壤盐分含量越高,土壤溶液浓度越大,其渗透势越低,水分运动的阻力增大,使玉米根系细胞吸水困难,导致吸水速率降低,土壤表层水分蒸发缓慢,增大了土壤持水力,从而使得土壤含水率随土壤盐分含量的增加呈递增趋势,平均含水率由 CK 处理的 12.30% 增加到 T4 处理的 15.82%。对照处理 (CK)各土层含水率为 6.57% ~ 14.24%,含盐量为 0.12% ~ 0.34%; T2 处理各土层含水率 7.10% ~ 21.57%,含盐量为 0.34% ~ 1.12%; T4 处理各土层含水率为 7.50% ~ 22.17%,含盐量为 0.68% ~ 1.27%。

2.1.4 不同盐分处理青储玉米生育期盐分平衡

生育期期末土壤的盐分平衡是判断作物土壤生长环境的重要指标。根据盐分平衡原理计算土壤盐变化量 ΔS 、土壤盐变化率 $Rate$,其公式如下:

$$\Delta S = S_b - S_a \tag{5}$$

$$Rate = (\Delta S / S_a) \times 100\% \tag{6}$$

式中, ΔS 为土壤盐分变化量,%; S_a 为生育期前土壤盐分含量,%; S_b 为生育期后土壤盐分含量,%; $Rate$ 为土壤盐变化率,%。

表 2 为青储玉米全生育期内各处理 0 ~ 40 cm 土层盐分的变化量。结果显示,从 7 月初到 10 月初,各处理盐分变化量为 -0.03%、-0.08%、-0.12%、-0.14%、-0.17%;盐分变化率为:-11.52%、-13.34%、-13.88%、-14.81%、-17.41%,所有处理 0 ~ 40 cm 土层均未出现积盐现象,而是处于脱盐状态。随着土壤初始含盐量的增大,青储玉米全生育期脱盐效果越明显。这一方面是由于随着植被盖度增加,植物蒸腾逐渐取代地面蒸发,在一定程度上抑制土壤积盐,另一方面是由于青储玉米能够吸

收并积累一定数量的盐分,使种植作物根系区的土壤脱盐。

表 2 青储玉米土壤盐分变化量及脱盐率统计

Table 2 The statistic of soil salinity content variations and desalination rates of silage maize

处理 Treatment	播种期土壤含盐量/% Soil salinity content before sowing	收获后土壤含盐量/% Soil salinity content after harvest	盐分变化量/% Salinity variation	盐分变化率/% Salinity change rate
CK	0.25 ± 0.07b	0.22 ± 0.03c	- 0.03	- 11.52
T1	0.64 ± 0.13ab	0.55 ± 0.14b	- 0.08	- 13.34
T2	0.88 ± 0.18a	0.76 ± 0.04ab	- 0.12	- 13.88
T3	0.97 ± 0.17a	0.82 ± 0.09ab	- 0.14	- 14.81
T4	1.01 ± 0.09a	0.92 ± 0.13a	- 0.17	- 17.41

注:不同处理间不同字母表示差异显著性达 0.05 水平(平均值±标准误)
Notes: The different small letters indicate significant difference among treatments at the 0.05 level, (M±S.E).

2.2 不同盐分处理对复播青储玉米光合特性的影响

2.2.1 环境因子 自然状态下植物叶片的光合作用与光照有效辐射、温度和大气 CO₂ 浓度等多个环境因子有关。本试验选取晴朗无云的天气在上午 12:00—14:00 测定光照有效辐射、温度以及大气 CO₂ 浓度 3 个外界环境因子的变化规律(表 3)。光照有效辐射在 8 月 3 日处于本试验期内的最高值,为 2 096.24 μmol·m⁻²·s⁻¹;在 8 月 10 日有所降低,为 1 829.80 μmol·m⁻²·s⁻¹;在 8 月 22 日再次升高,达到 1 912.83 μmol·m⁻²·s⁻¹;之后呈下降趋势,在 9

月 19 日为 1 704.45 μmol·m⁻²·s⁻¹,平均值为 1 876.58 μmol·m⁻²·s⁻¹。气温在 8 月 3 日为 36.72℃;之后逐渐升高,到 8 月 22 日达到最大值 41.03℃;之后呈现下降趋势逐渐减弱,到 9 月 19 日达到最低至 33.63℃,平均值为 37.85℃。大气 CO₂ 浓度在 8 月 3 日为 454.89 μmol·mol⁻¹;之后不断升高,在 8 月 22 日达到最高值,为 561.29 μmol·mol⁻¹;在 8 月 30 日因当日天气原因处于一个低值,为 297.58 μmol·mol⁻¹;之后逐渐升高,在 9 月 19 日达到 544.82 μmol·mol⁻¹,平均值为 479.12 μmol·mol⁻¹。

表 3 环境因子

Table 3 The environmental factors

环境因子 Environmental factors	日期 Date(M - d)						平均值 Average
	08 - 03	08 - 10	08 - 22	08 - 30	09 - 09	09 - 19	
光照有效辐射/(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) Photosynthetically active radiation	2096.24	1829.80	1912.83	1865.44	1850.70	1704.45	1876.58
大气温度 Air temperature/℃	36.72	38.95	41.03	38.62	38.13	33.63	37.85
大气 CO ₂ 浓度/(μmol·mol ⁻¹) CO ₂ concentration in the atmosphere	454.89	504.19	561.29	297.58	511.95	544.82	479.12

2.2.2 不同盐分处理对青储玉米气体交换参数的影响 从图 4 可知,不同盐分处理青储玉米叶片净光合速率均在 8 月 10 日达到最高,之后随生育期的推进呈下降趋势。青储玉米苗期,植株矮小,叶面积较小,叶片净光合速率处于相对低值;随着植株的生长,叶片数量、大小均在增加,在拔节期玉米的增长速率达到最大值,叶片净光合速率也处于最高值;进入抽雄期青储玉米开始生殖生长,底层叶片开始衰老,叶面积也逐渐减小,叶片净光合速率也降到最低值。各处理叶片净光合速率差异较显著,表现为:CK>T1>T2>T3>T4,说明青储玉米叶片净光合速率随土壤盐分含量的增加而减小。

不同盐分处理青储玉米叶片蒸腾速率基本在 8 月 22 日达到最高,之后随生育期的推进呈下降趋势。玉米叶片蒸腾速率变化趋势与净光合速率基本一致,在苗期处于相对低值,进入拔节期达到最高值,之后在抽雄期大幅下降。各处理叶片蒸腾速率差异较显著,表现为:CK>T1>T2>T3>T4,说明青储玉米叶片蒸腾速率随土壤盐分含量的增加而减小。

不同盐分处理青储玉米叶片气孔导度均在 8 月 10 日达到最高,之后随生育期的推进呈下降趋势。玉米叶片气孔导度变化趋势与净光合速率和蒸腾速率基本一致,最高值出现在拔节期。各处理叶片蒸腾速率差异较显著,表现为:CK>T1>T2>T3>T4,

说明青储玉米叶片气孔导度随土壤盐分含量的增加而减小。

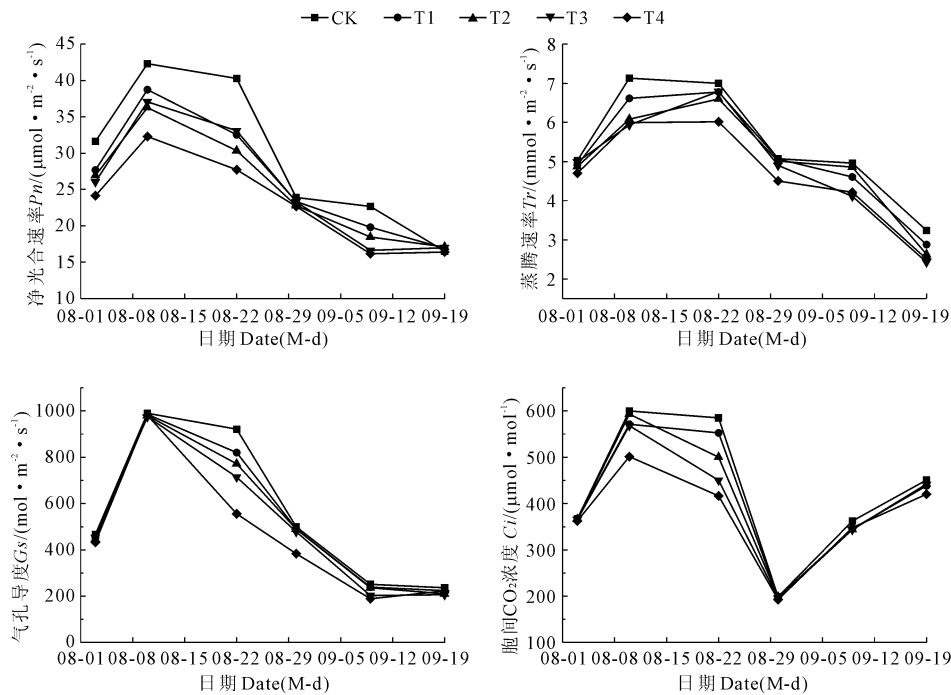


图 4 不同土壤盐分处理对青储玉米气体交换参数的影响

Fig.4 Effects of different salt conditions on gas exchange parameters of silage maize

不同盐分处理青储玉米叶片胞间 CO_2 浓度均在 8 月 10 日达到最高,之后持续下降,在 8 月 30 日降到最低值,此后随生育期的推进呈上升趋势。玉米叶片胞间 CO_2 浓度在苗期处于相对低值,在拔节期呈下降趋势,到抽雄期呈上升趋势。各处理叶片胞间 CO_2 浓度差异较显著,表现为:CK > T1 > T2 > T3 > T4,说明青储玉米叶片胞间 CO_2 浓度随土壤盐分含量的增加而减小,玉米对 CO_2 的利用率降低。

2.2.3 不同盐分处理对青储玉米叶片水分利用效率与光能利用率的影响 由图 5 可知,不同盐分处理下青储玉米叶片水分利用效率变化规律基本一致。处理 T1 ~ T4 玉米叶片水分利用效率在 8 月 3 日处于相对低值,到 8 月 10 日有所升高,之后随生育期的推进呈下降趋势,到 9 月 9 日达到最低值,在 9 月 19 日又大幅升高。处理 CK 玉米水分利用效率呈单谷变化,随生育期的推进先下降,在 9 月 9 日降到最低值,之后再次升高。各处理玉米叶片水分利用效率最小值表现为:CK > T1 > T2 > T3 > T4,说明青储玉米叶片水分利用效率随土壤盐分含量的增加而增大,玉米叶片对水分的利用率降低。

不同盐分处理下青储玉米叶片光能利用率变化规律基本一致,呈单峰变化。玉米叶片光能利用率在 8 月 10 日达到最高,之后随生育期的推进呈下降

趋势,在 9 月 19 日除处理 CK、T1 外其他各处理略有升高。各处理叶片净光合速率差异较显著,表现为:CK > T1 > T2 > T3 > T4,说明青储玉米叶片净光合速率随土壤盐分含量的增加而减小,玉米叶片对光能的利用率降低。

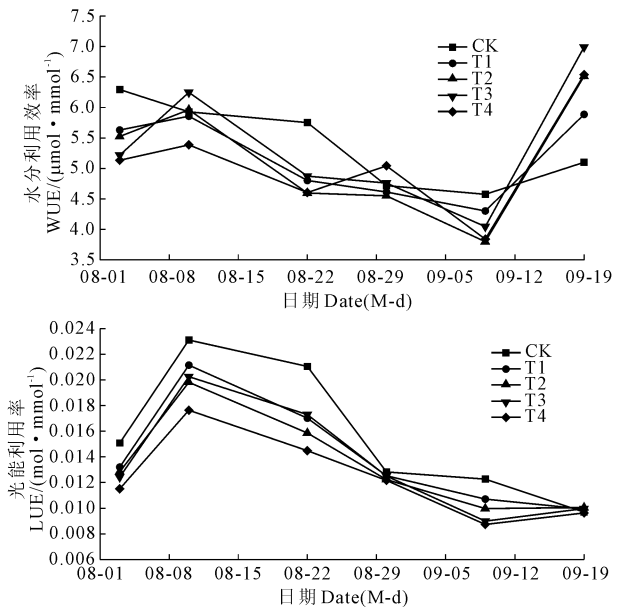


图 5 不同土壤盐分处理对青储玉米叶片水分利用效率、光能利用率的影响

Fig.5 Effects of different salt conditions on water use efficiency and light use efficiency of silage maize leaves

3 讨 论

在我国盐渍地是非常重要的后备耕地资源,我国有 80% 左右的盐渍荒地尚未得到开发和利用^[13],潜力巨大,开发和利用盐渍土地可以为我国耕地安全提供强有力的保证。滴灌以点水源扩散的方式由滴头向作物根系分布范围内的土壤频繁供水。首先,不断滴入土壤中的水分对盐分有淋洗作用,盐分以水分为载体,随之在土壤中运动,迁移出作物主根系范围,使滴头周围根系分布范围内的土壤盐分浓度接近灌溉水,形成一个盐分浓度较低的淡化脱盐区^[14-15];其次,滴灌频繁供水使作物根系区土壤能够保持较优的水分条件,可以弥补盐渍土中因盐分离子存在而降低的土壤溶质势,使土壤总水势维持较高的水平。因此,滴灌灌溉技术能够在作物生育期内较大程度地调节作物根系区土壤中水分、盐分的分布,为作物提供适宜生长发育的水盐环境。

水盐运动受蒸发量、降雨量、植被覆盖等因素的影响。盐分在土壤表层聚集是盐渍土的重要表现形式,且土壤含盐量越小表现越明显。在滴灌条件下,受灌溉水分淋洗作用土壤脱盐过程表现为盐分由土壤上层向下层迁移富集^[16]。本试验结果表明,土壤表层盐分聚集现象明显,土壤盐分运动过程包括盐随水入渗的分布过程,以及盐随水蒸散的反向运动过程,而且土壤盐分返向运动在很大程度上受土壤含盐量的影响。土壤含盐量越高,溶液浓度越大,由于可溶性盐离子具有固水性,能够降低土壤渗透势,增大水分运动的阻力,增强土壤持水能力,减缓表层土壤水分蒸发,土壤盐分向上迁移缓慢,“表聚”现象不明显。降雨对土壤盐分的淋洗作用不仅与降雨量的多少有关,还受到单次降雨量大小的影响,张谦等^[17]研究认为,单次降雨量大于 25 mm 才会达到淋洗盐分的效果,但是土壤条件可能会影响到具体数值的大小。本试验结果表明,灌浆期降雨量增多,达到 27.3 mm,土壤贮水量增大,对盐分的淋洗效果明显,土壤含盐量处于相对较低的水平。植被覆盖地表,减缓土壤表层水分蒸发,一定程度上抑制了盐分“表聚”现象,另外作物能够吸收积累少量的盐分,使种植区的土壤含盐量降低^[18]。本试验结果表明,青储玉米生育期内,土壤盐分含量上下波动,但是相对于播种前都有不同程度的下降,说明玉米在整个生育期土壤处于脱盐状态,并未出现土壤次生盐渍化现象。

土壤盐分对植物生长、代谢的影响是多方面的,其中以光合作用的影响较为突出。通常把影响植物

光合作用的因素分为气孔因素和非气孔因素。根据 Farquhar 等^[19]的观点,判断气孔因素是否为影响光合作用的原因,不仅要看气孔阻力的大小,而且还要看胞间 CO_2 浓度的变化。净光合速率下降,同时胞间 CO_2 浓度降低,气孔阻力升高,说明气孔因素是影响光合作用的主要因素,否则非气孔因素为主要因素。本试验结果表明,随土壤盐分含量增大,青储玉米叶片胞间 CO_2 随气孔导度的减小而降低,使得净光合速率降低,这可能是因为土壤盐分引起渗透胁迫,导致气孔导度降低,叶片胞间 CO_2 的消耗速率大于大气供应速率,从而造成胞间 CO_2 浓度的降低。由此说明,本试验条件下,玉米净光合速率下降的主要因素为气孔因素。

4 结 论

水盐具有较好的同步性,随土层深度增加,含水率、含盐量都呈递增趋势;土壤含盐量越高,其平均含水率越高,而“盐分表聚”现象越不明显。经过一个生长季的种植,不同盐分处理青储玉米生育期末 0~40 cm 土层含盐量与播种时相比有不同程度的降低,降雨对盐分淋洗作用明显,土壤初始含盐量越大,脱盐效果越明显。土壤盐分抑制青储玉米的光合作用,导致气孔导度下降,主要由气孔限制因素,影响光系统的正常运行,从而降低其水分利用效率以及光能利用率。

为了控制土壤盐分含量,方便管理,获得较为精确的数据资料,本试验采用盆栽方式进行。由于盆栽试验的条件与大田栽培条件有一定的差距,如盆栽使玉米根系限制在一个较小的环境,限制根系的纵向、横向发展以及桶内微生物种类、活动不如大田丰富,甚至几乎消亡或停止,生物量也小得多等因素限制盆栽试验结论的推广应用。但是本试验结论可以作为大田的参考和补充,还有待在大田中检验。在认识土壤水盐变化规律后,还需进一步深入研究土壤盐分对玉米生长状态和产量的影响以及其耐盐生理机制,为盐渍土滴灌青储玉米种植技术提供理论依据。

参 考 文 献:

- [1] 张伟,吕新,李鲁华,等.新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律[J].农业工程学报,2008,24(8):15-19.
- [2] 王振华.典型绿洲区长期膜下滴灌棉田土壤盐分运移规律与灌溉调控研究[D].北京:中国农业大学,2014.
- [3] 罗廷彬,任巍,谢春虹.新疆盐碱地生物改良的必要性与可行性[J].干旱区研究,2001,18(1):46-48.

- [1] 李全起,陈雨海,房全孝.夏玉米种植中水分问题的研究进展[J].玉米科学,2004,12(1):72-75.
- [2] 秦大河,陈振林,罗 勇,等.气候变化科学的最新认知[J].气候变化研究进展,2007,3(2):63-73.
- [3] 丁一汇,任国玉,石广玉,等.气候变化国家评估报告(Ⅰ):中国气候变化的历史和未来趋势[J].气候变化研究进展,2006,2(1):3-8.
- [4] 卢燕宇,吴必文,田 红,等.基于 Kriging 插值的 1961—2005 年淮河流域降水时空演变特征分析[J].长江流域资源与环境,2011,20(5):567-573.
- [5] 张玉书,米 娜,陈鹏狮,等.土壤水分胁迫对玉米生长发育的影响研究进展[J].中国农学通报,2012,28(3):1-7.
- [6] 余卫东,冯利平,刘荣花.玉米涝渍灾害研究进展与展望[J].玉米科学,2013,21(4):143-147.
- [7] 卜令铎,张仁和,常 宇,等.苗期玉米叶片光合特性对水分胁迫的响应[J].生态学报,2010,30(5):1184-1191.
- [8] 吴 玮,景元书,马玉平,等.干旱环境下夏玉米各生育时期光响应特征[J].应用气象学报,2013,24(6):723-730.
- [9] 徐世昌,戴俊英,沈秀瑛,等.水分胁迫对玉米光合性能及产量的影响[J].作物学报,1995,21(3):356-363.
- [10] 孙景生,肖俊夫,张寄阳,等.夏玉米产量与水分关系及其高效用水灌溉制度[J].灌溉排水,1998,17(3):19-23.
- [11] 孙景生,肖俊夫,段爱旺,等.夏玉米耗水规律及水分胁迫对其生长发育和产量的影响[J].玉米科学,1999,7(2):45-48.
- [12] 郭晓华.生态因子对玉米产量构成因素的调控作用[J].生态学杂志,2000,19(1):6-11.
- [13] Zinselmeyer C, Westgate M E, Schussler J R, et al. Low water potential disrupts carbohydrate metabolism in maize (*Zea mays* L.) ovaries[J]. Plant Physiol, 1995,107(2):385-391.

- [14] 纪瑞鹏, 车宇胜, 朱永宁, 等. 干旱对东北春玉米生长发育和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(11): 3021-3026.
- [15] 席远顺, 曹明, 全德旺. 夏玉米的渍害及防御对策[J]. 作物杂志, 1993, (4): 22-24.
- [16] 房稳静, 武建华, 陈松, 等. 不同生育期积水对夏玉米生长和产量的影响试验[J]. 中国农业气象, 2009, 30(4): 616-618.
- [17] Ouattar S, Jones R J, Crookston R K. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development[J]. Crop Sci., 1987, 27(4): 726-730.
- [18] 姜鹏, 李曼华, 薛晓萍, 等. 不同时期干旱对玉米生长发育及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(36): 232-235.
- [19] 马玉平, 王石立, 李维京. 基于作物生长模型的东北玉米冷害监测预测[J]. 作物学报, 2011, 37(10): 1868-1878.
- [20] 张建平, 赵艳霞, 王春乙, 等. 基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1762-1769.
- [21] 罗毅, 郭伟. 作物模型研究与应用中存在的问题[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 307-312.
- [22] 曹宏鑫, 赵锁芳, 葛道阔, 等. 作物模型发展探讨[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17): 3520-3528.
- [23] 国家气象局. 农业气象观测规范(上卷)[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 1-212.
- [24] 陶世蓉, 东先旺, 张海燕, 等. 土壤水分胁迫对夏玉米植株性状整齐度的影响[J]. 西北植物学报, 2000, 20(5): 812-817.
- [25] Zaidi P H, Mani Selvan P, Sultan Rafat, et al. Association between line per se and hybrid performance under excessive soil moisture stress in tropical maize (*Zea mays* L.)[J]. Field Crops Research, 2007, 101(1): 117-126.
- [26] Penning De Vries F W T, Jansen D M, Ten Berge H F M, et al. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops[M]. Wageningen, The Netherlands: Pudoc, 1989: 271.

- [4] Dasberg S, Or D. Drip Irrigation[M]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1999. 162.
- [5] 王振华, 杨培玲, 郑旭荣, 等. 新疆现行灌溉制度下膜下滴灌棉田土壤盐分动态[J]. 农业机械学报, 2014, 45(8): 149-159.
- [6] 李玉义, 逢焕成, 陈 阜, 等. 膜下滴灌对风沙土盐分变化和棉花产量的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4): 96-100.
- [7] 尹海龙, 田长彦. 不同盐度环境下盐地碱蓬幼苗光合生理生态特征[J]. 干旱区研究, 2014, 31(5): 850-855.
- [8] Chen T H H, Murata N. Glycinebetaine protects plants against abiotic stress: Mechanisms and biotechnological applications[J]. Plant, Cell and Environment, 2011, 34: 1-20.
- [9] Mokded R, Siwar F, Jihene J, et al. Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop[J]. Bioresource Technology, 2010, 101: 6822-6828.
- [10] 王振华, 郑旭荣, 宋常吉. 滴灌对北疆复播油葵耗水和生长的影响效应[J]. 核农学报, 2014, 28(5): 0919-0928.
- [11] 宋常吉. 北疆滴灌复播作物需水规律及灌溉制度研究[D]. 石

- 河子:石河子大学,2013.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 俞仁培,陈德明.我国盐渍土资源及其开发利用[J].土壤通报,1999,30(4):158-159,177.
- [14] Goldberg D, Gornat B, Rimón D. Drip irrigation – principles, design and agricultural practices[M]. Kfar Shmariahu, Israel: Drip irrigation Scientific Publications, 1976.
- [15] Bresler E. Two-dimensional transport of solute during nonsteady infiltration from trickle source[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1975,39:604-617.
- [16] 赵新风,王 炜,张 涛,等.塔里木河下游地区滴灌沙枣防护林地土壤盐分分布特征[J].中国沙漠,2012,32(3):763-770.
- [17] 张 谦,祁 虹,冯国艺,等.滨海盐碱地棉田土壤水盐动态变化规律及对棉花生长发育影响[J].河北农业大学学报,2014,37(1):6-10.
- [18] 赵振勇,张 科,王 雷,等.盐生植物对重盐渍土脱盐效果[J].中国沙漠,2013,33(5):1420-1425.
- [19] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982,33:317-345.