

膜下滴灌棉田生物改良盐碱地效果研究

张艳超,史文娟,马媛

(西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地,陕西 西安 710048)

摘要:通过在膜下滴灌棉田间作苜蓿(I)、孜然(II)和碱蓬(III),并以未间作的处理作为对照(CK),研究不同盐生植物改良盐碱地的效果。结果表明:间作盐生植物的棉田在生育期内可以达到保水和抑制盐分累积的效果,土壤含水量峰值基本保持在40 cm深度,其中以间作苜蓿(I)和孜然(II)的保水效果较好,在0~40 cm深度范围土壤含水量与对照组相比分别提升了29.80%和14.49%;间作苜蓿(I)和孜然(II)的处理抑制盐分累积的效果也较好,在0~40 cm深度范围抑盐率分别为125%和70.38%。同时,通过在膜间种植盐生植物,棉花的株高、茎粗和干物质质量均有一定程度的增加,籽棉产量也有相应的提升,其中以间作孜然和苜蓿的处理提升较多,分别比对照组提升10.45%和7.74%。由此可见,膜下滴灌棉田间作盐生植物是一种有效的盐碱地改良措施,而盐生植物的选择对改良的效果影响较大,综合试验结果对比,间作孜然和间作苜蓿的生物改良措施效果较好。

关键词:膜下滴灌;棉花;盐生植物;抑盐率;生长特性

中图分类号:S275.6;S562 **文献标志码:**A

Effect of halophytes on improving saline-sodic soil of cotton field with drip irrigation under plastic film

ZHANG Yan-chao, SHI Wen-juan, MA Yuan

(State Key Laboratory Base of Eco-Hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: We investigated the effects of intercropping system of alfalfa(I), cumin(II), and suaeda(III) with cotton on improving saline-sodic soil with drip irrigation under plastic film. The results showed that the intercropping of halophytes in the saline-sodic cotton fields improved waterholding and slowed salt accumulation in the cotton growth period. The peak soil moisture content maintained in the top 40 cm layer. The intercropping with alfalfa(I) and cumin(II) improved water holding capacity by 29.80% and 14.49%, respectively, in the top 40 cm zone compared to the control. Intercropping with alfalfa and cumin had considerable effect on reducing salt accumulation in soil with rates of restraining salt of 125% and 70.38%, respectively, in the top 40 cm soil. The growth parameters of cottons such as plant height, stem diameter, and dry matter, with intercropping halophytes were also improved. The cotton yield in the field with alfalfa and cumin also increased by 10.45% and 7.74% compared with control. Thus, intercropping of halophytes in cotton field with drip irrigation under plastic film is an effective measure in improving saline-sodic soil and different halophytes can have different effects. The results of this study concluded that the intercropping cumin and alfalfa with cotton is an effective biological way to improve saline-sodic soil.

Keywords: drip irrigation under plastic film; cotton; halophytes; ratio of desalinization; growth characteristics

新疆地区气候干燥,地下水埋深浅且矿化度高,盐碱地及耕地盐渍化严重制约了当地的农业开

发和持续发展^[1-2]。生物改良盐碱地措施是指在盐碱地上直接或间作种植吸盐、耐盐和泌盐的植物,

收稿日期:2017-10-23

修回日期:2018-10-08

项目基金:国家自然科学基金资助项目(51379173);陕西省教育厅重点实验室科研计划项目(16JS085);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2018JM5051)

作者简介:张艳超(1986-),男,河北衡水市人,硕士,研究方向为水土资源高效利用。E-mail:zye115759@126.com

通信作者:史文娟(1972-),女,陕西武功县人,教授,博士生导师,主要从事农业水土资源高效利用研究。E-mail:shiwj@xaut.edu.cn

从而吸收土壤盐分,通过收割转移盐分,减少土面蒸发,改善土壤结构,达到改良盐碱地的目的^[3-4]。相关研究^[5-7]表明,碱蓬、盐角草、苜蓿、孜然、怪柳等植物具有较强的吸盐和耐盐能力。从直接种植盐生植物的角度来看,耐盐植物对盐碱土具有明显的生物改良效果。选择合适的植物类型是实现提高盐碱地生物改良效果的关键^[8]。毛勇^[9]研究发现,在盐碱地连续7年种植苜蓿,土壤pH值逐年呈下降趋势,第1年至第5年土壤脱盐效果明显,脱盐率为72.24%。任巍等^[10]研究发现,种植耐盐禾本科牧草,0~40 cm土壤脱盐率可达67.3%,并可以在土壤中累积大量根系残体。穆哈西等^[11]研究表明盐角草吸走土壤中的 Na^+ 、 Cl^- 离子,土深20 cm处含盐量降低了 $0.26 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。祁通等^[12]通过滴灌条件下种植碱蓬和海蓬子,发现在0~20 cm范围土壤总盐含量、 Na^+ 、 Cl^- 和 K^+ 离子浓度显著降低,但土壤pH值影响不明显。从间作盐生植物改良盐碱地的角度来看,Kilic等^[13]人研究了马齿苋的最大耐盐量以及不同程度盐胁迫下马齿苋的脱盐效果,并提出了在盐碱地果园中间作种植耐盐性植物以改良土壤盐性的设想。王升等^[14]对棉田间作碱蓬和盐角草的土壤脱盐效果进行了初步研究。罗廷彬等^[15]研究发现冬小麦套播草木樨的种植方式,1 m土层脱盐率可达85.82%。由此可见,盐生植物的盐碱地改良效果显著,但有关盐生植物间作套种的盐碱地改良方式研究还相对较少。

膜下滴灌技术是目前新疆地区开发利用盐碱地的主要方式,但由于膜下滴灌技术只是给作物创造了适宜的生长环境,并不能去除土壤中的盐分,且随着种植年限的延长而加重,从而对膜下滴灌技术的可持续应用构成潜在的威胁。对比不同盐生植物的改良效果,选取合适的盐生植物,对盐碱地改良技术的发展、指导农田灌溉、实现作物高产以及治理盐碱地具有现实意义。

因此,本文拟将膜下滴灌技术和生物改良盐碱地技术相结合,通过在膜下滴灌棉田膜间种植一些耐盐较强的盐生植物,以探究间作条件下膜下滴灌棉田水盐动态及盐生植物对棉田的改良效果,为新疆膜下滴灌技术的可持续应用和盐碱地改良提供新思路。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区设在新疆巴音郭楞蒙古自治州巴州重点灌溉试验站。试验站地处亚欧大陆中心,位于

天山南麓塔里木盆地边缘孔雀河冲积平原带,海拔988~991 m,东经 $86^{\circ}09'$ ~ $86^{\circ}10'$,北纬 $41^{\circ}35'$ ~ $41^{\circ}36'$,地形总趋势为北高南低,属暖温带大陆性荒漠气候。多年降水量53.5~62.7 mm,蒸发量2 273~2 788 mm,平均气温 10.7°C ,年日照数3 036.2 h,风速 $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,无霜期144~241 d。灌溉水主要来自孔雀河,平均灌水矿化度为 $0.8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。试验区土质以砂土和壤质砂土为主^[16-17]。

1.2 试验内容与设计

棉花的播种日期为2015年5月3日,采用开沟、播种、覆膜的机械一体化播种模式。种植模式为一膜两管四行(见图1),棉花株距为10 cm,灌水方式为膜下滴灌。灌溉定额为 $5250 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,第一次灌水间隔12 d,其它灌水周期约为5 d,首次灌水时间为2015年6月18日,灌水定额为 $300 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,以后每次灌水 $450 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,8月25日灌水结束,灌水次数为12次。滴灌带选用迷宫式滴头滴灌带,滴头间距为40 cm,流量为 $3.8 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 。盐生植物的播种日期为2015年5月6日,试验共设4个处理,分别为在膜间间作盐生植物苜蓿(I)、碱蓬(II)、孜然(III),以不间作为对照(CK),每种处理重复3次。其中,苜蓿选用紫花苜蓿,碱蓬选用盐地碱蓬,孜然为新疆孜然王,三者的种植密度均为 $1.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,棉花品种为九华棉。试验布设如图1所示,每个小区面积为 $7 \text{ m} \times 7 \text{ m}$,为避免相互影响,每两个小区之间设有缓冲区,其间距为1 m。根据设定的播种密度在膜下滴灌棉田的膜间进行人工撒播盐生植物种子的方式进行,播种后覆膜以保证种子萌发对水分的需求,待盐生植物长出2~3片子叶后将膜去掉。试验中施肥、间苗、除虫、除草、打顶等农艺操作均一致。

1.3 测试项目与方法

1.3.1 取样点的选择 每个试验小区随机选择1个取样位置,取土时间选择在灌后取样。每个取样位置均在宽行、窄行、膜间的中间位置设定取样点,各点的取样深度分别为0、10、20、30、40、60、80、100 cm处。

1.3.2 测定项目及方法 土壤含水量采用烘干法(105°C ,8~12 h)测定。土壤含盐量利用电导率仪(DDS-307)测定,土水比为1:5。棉花生长特性指标通过选取具有代表性的内、外行棉花,用卷尺测量子叶节点至生长点间的距离为株高,用游标卡尺测量棉株茎粗,干物质质量采用分类、杀青和烘干称重测得。每个处理在内、外行选取长势均匀并有代表性的植株,共采摘100朵籽棉,在 65°C 下烘72 h,测出平均每朵籽棉的重量;每个处理沿滴管带选取

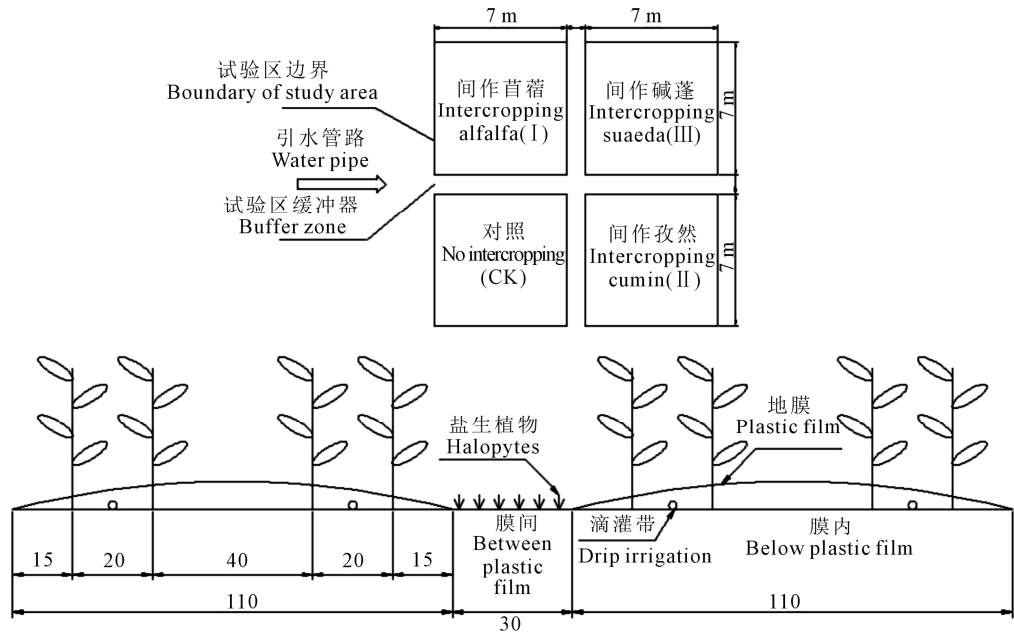


图 1 棉花种植模式和田间试验布置图

Fig.1 Cotton planting mode and design of field experiment

30 株长势均匀的植株,测定各株棉花铃数,计算单株棉花平均铃数;根据各处理行的棉花株数和铃数计算不同处理棉花的籽棉产量。

本文以对照组为参考,引入保水率评价不同处理的保水效果,具体计算方法为

$$C = \frac{(C_x - C_0)}{C_0} \times 100\%$$

式中, C 为保水率(%); C_x 为间作处理含水量(%); C_0 为对照含水量(%)。

引入抑盐率评价盐生植物盐碱地改良效果,其计算公式为

$$\gamma = \frac{(\gamma_0 - \gamma_x)}{\gamma_0} \times 100\%$$

式中, γ 为抑盐率(%); γ_x 为间作处理积盐量(%); γ_0 为对照积盐量(%)。

棉花耗水量采用水量平衡原理进行计算,即

$$ET = P_r + I + G - R - SI \pm \Delta W$$

式中, ET 为作物实际耗水量(mm); P_r 为降水量(mm); I 为灌水量(mm); G 为地下水补给量(mm); R 为地表径流量(mm); SI 为深层渗漏量(mm); ΔW 为土层土壤储水量的变化(mm)。由于试验所在地年降雨量稀少,基本可以忽略。试验期间,田间地下水埋深基本在 3 m 左右且为膜下滴灌的灌水方式,基本上不产生深层渗漏和地表径流,即深层渗漏(G)和地表径流量(R)也可以忽略。

水分利用效率(WUE) 计算公式为,

$$WUE = \frac{Y}{ET}$$

式中, Y 为经济产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); ET 为耗水量(mm)。

2 结果与分析

2.1 间作盐生植物条件下土壤水分变化特征研究

2.1.1 生育期内土壤含水量纵向分布 各处理除间作植物不同,其它条件均一致,通过计算各处理棉花生育期膜内和膜间土壤平均含水量,分析土壤垂直剖面含水量的变化情况,见图 2 所示。由图可知,膜内膜间含水量变化趋势相似,土壤含水量随深度的增加,呈现先增加后减少的趋势,40 cm 左右为含水量峰值区间,这主要与灌后土壤水分的再分布和土面蒸发有关。同时,间作苜蓿(I)、孜然(II)和碱蓬(III)的小区膜内、膜间土壤含水量平均值在 0~60 cm 深度均大于对照组(CK)。此外,与对照相比,间作盐生植物的各处理膜内膜间含水量差值明显缩小,说明膜间间作的盐生植物作为一种遮蔽物,有效地降低了膜间裸土水分的蒸发,使得土壤膜内膜间的土壤含水量差异缩小。

2.1.2 各处理保水效果分析 表 1 为各处理不同土层深度范围(0~40 cm 和 0~100 cm)棉花生育期土壤平均含水量。由表可知,各处理保水效果从高到低为:苜蓿>孜然>碱蓬>对照组(I>II>III>CK),这可能与间作盐生植物的覆盖面积有一定的关系。与对照组相比,间作苜蓿的处理在 0~40 cm 和 0~100 cm 土层土壤含水量分别提升了 29.80%和 27.54%。间作孜然的处理在 0~40 cm 和 0~100 cm 土层土壤含水量分别提升了 14.49%和 13.35%。可见,膜下滴灌条件下在膜间种植盐生植物,可以在一定程度上提高膜内、膜间的土壤含水量,尤其在 0~40 cm 深度,保水效果最为明显。

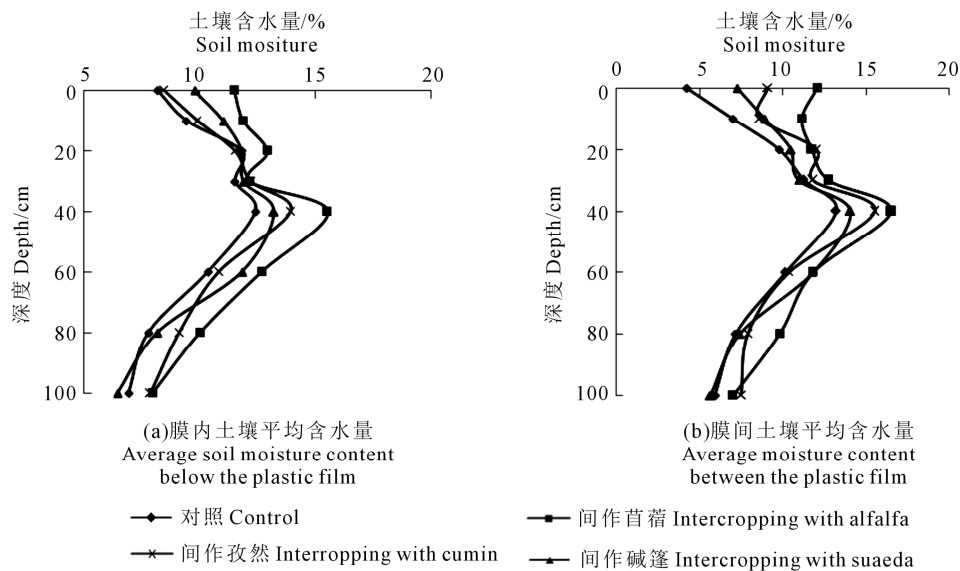


图2 生育期内土壤膜内膜间平均含水量纵向分布图

Fig.2 Vertical distribution of average soil moisture content in below and between the plastic film during cotton growth period

表1 各处理不同深度范围土壤平均含水量及保水率

Table 1 Soil moisture content and water retention rate at different soil depths under various treatments

处理 Treatment	0~40 cm 含水量平均值/% Average soil moisture	保水率/% Water retention rate	0~100 cm 含水量平均值/% Average soil moisture	保水率/% Water retention rate
对照组(CK) No intercropping	9.88	0	9.20	0
间作苜蓿(I) Intercropping with alfalfa	12.83	29.80	11.73	27.54
间作孜然(II) Intercropping with cumin	11.31	14.49	10.43	13.35
间作碱蓬(III) Intercropping with suaeda	10.94	10.75	10.05	9.26

2.2 生物改良措施下土壤盐分变化特征研究

2.2.1 生育期内土壤含盐量纵向分布 图3为各处理棉花生育期内土壤平均含盐量的纵向分布。图中显示,各处理膜内土壤含盐量基本集中在0~60 cm的土层,呈现S型趋势。膜间土壤含盐量均高于膜内土壤含盐量,说明膜下滴灌可以减少膜内土壤的水分蒸发,抑制其盐分上移。膜间与膜内相比土壤含盐量差异明显缩小,由此可见膜间间作盐生植物有效地抑制了膜间土壤盐分的累积。膜内土壤盐分主要集中在30~40 cm深度,膜间土壤盐分主要累积在土层表面,间作苜蓿和碱蓬的处理与对照组相比膜间土壤含盐量在0~20 cm深度下降较快,这主要与这两种处理土壤的初始含盐量较高,较多的盐分随水分蒸发迁移至土壤表面导致盐分形成的趋势有关。

2.2.2 不同处理的土壤抑盐率分析 为了解不同处理的土壤脱盐效果,分别对各处理不同深度范围内含盐量平均值的初始值与生育期末值进行统计

分析,具体结果见表2和表3。表中显示,因大田土壤存在一定的空间变异,各小区土壤盐分初始值存在较大差异,但从生育期末的土壤盐分看,所有间作盐生植物的小区积盐量与对照组相比均有一定程度的减少,间作苜蓿的小区在0~40 cm深度抑盐率达到了125%。从整体抑制盐分累积的效果看:苜蓿>孜然>碱蓬>对照组,这与保水效果顺序一致,即抑盐保水效果最好的为苜蓿作物。

由上述内容可知,土壤盐分随水迁移至土壤表面,尤其在膜间的裸土表面。在膜间种植盐生植物,相比于裸土减少了阳光照射的面积,从而在一定程度上降低了裸土表面水分的蒸发,所以对于盐分的累积有一定的抑制作用。此外,研究表明^[4,6-7],真盐生植物可以吸收土壤中的盐分作为养料,从而带走土壤中的一部分盐分;同时盐生植物还可以有效地改善土壤物理性质,使其容重下降,孔隙度提高,使得盐分的淋洗作用更强^[9]。因此,膜下滴灌与间作盐生植物相结合,可以有效地抑制

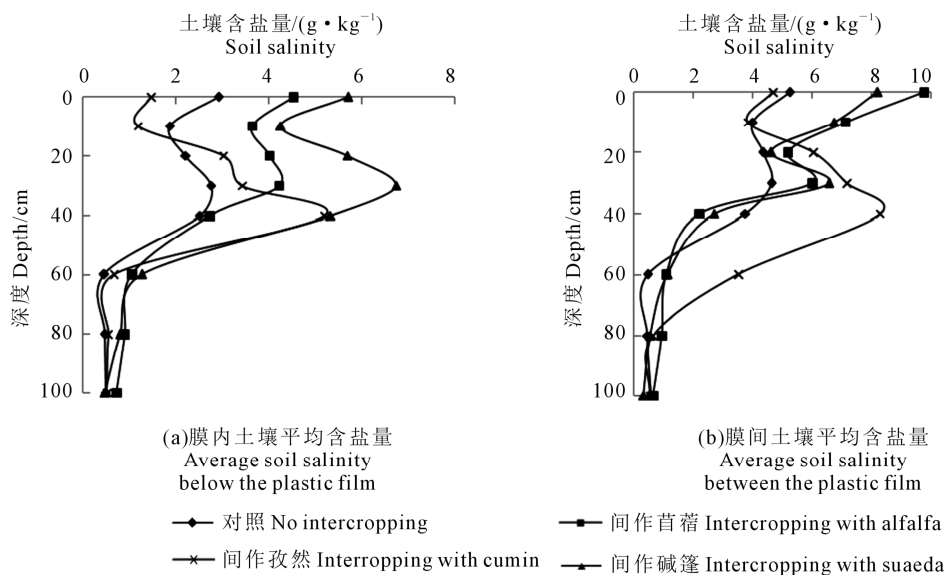


图 3 生育期内土壤膜内膜间平均含盐量纵向分布图

Fig.3 Vertical distribution of average soil salinity below and between the plastic film during cotton growth period

表 2 不同处理 0~40 cm 土层抑盐效果

Table 2 The effect of desalinization under different treatments in the top 40 cm soil layer

处理 Treatment	初始含盐量 Initial soil salinity /(g · kg ⁻¹)	生育期末土壤含盐量 The final soil salinity /(g · kg ⁻¹)	积盐量 Salt accumulation amount/(g · kg ⁻¹)	相对抑制量 Relative desalinization amount/(g · kg ⁻¹)	抑盐率 Ratio of desalinization/%
对照组 No intercropping	1.74	5.42	3.68	0	0
间作苜蓿 Intercropping with alfalfa	4.37	3.45	-0.92	4.6	125
间作孜然 Intercropping with cumin	3.03	4.12	1.09	2.59	70.38
间作碱蓬 Intercropping with suaeda	6.21	8.26	2.05	1.63	44.29

表 3 不同处理 0~100 cm 土层抑盐效果

Table 3 The effect of desalinization under different treatments in the top 100 cm soil layer

处理 Treatment	初始含盐量 Initial soil salinity /(g · kg ⁻¹)	生育期末土壤含盐量 The final soil salinity /(g · kg ⁻¹)	积盐量 Salt accumulation amount/(g · kg ⁻¹)	相对抑制量 Relative desalinization amount/(g · kg ⁻¹)	抑盐率 Ratio of desalinization/%
对照组 No intercropping	1.27	3.65	2.38	0	0
间作苜蓿 Intercropping with alfalfa	3.13	2.36	-0.77	3.15	132.35
间作孜然 Intercropping with cumin	2.15	2.77	0.62	1.76	73.95
间作碱蓬 Intercropping with suaeda	4.30	5.34	1.04	1.34	56.30

土壤盐分的累积,尤其在 0~40 cm 深度的范围内,给棉花根系营造一个相对合适的生长环境,有利于棉花植株的成长。

2.3 生物改良措施下棉花生长特性研究

2.3.1 不同生物改良措施对棉花株高、茎粗和干物质的影响 图 4 为不同处理棉花株高、茎粗和干物

质随着时间的变化。由图可知,棉花从苗期到蕾期株高、茎粗和干物质快速增长,从蕾期到铃期株高和茎粗增长缓慢,干物质继续增长,但增长速度相对较缓。间作苜蓿、孜然和碱蓬小区棉花的生长指标均大于对照组,且间作苜蓿和孜然处理的茎粗、株高和干物质指标均大于其它处理。这主要由于

在棉花出苗以后,膜下滴灌在膜内给棉花创造了一个低盐多水的环境,而盐分主要累积在膜间土壤,对照组相比于间作盐生植物的处理,从 7 月开始,由于温度的不断升高,膜间两次灌水之间水分的流失相对较快,从而在一定程度上抑制了作物的生长,而间作盐生植物的处理由于其保水抑盐的效果,生长指标均高于对照组。

2.3.2 不同处理对棉花产量和耗水量的影响 棉

花的产量和水分利用效率是衡量盐生植物改良效果的重要依据之一。本文在水分、温度、肥料和株型生长结构等因素相对统一的前提下,对间作不同盐生植物处理的棉田籽棉产量以及水分利用效率进行统计分析(见表 4)。由表可知,对照组每株的平均铃数和籽棉产量均小于间作盐生植物的处理。且间作孜然、苜蓿和碱蓬的处理籽棉产量分别比对照提高了 10.45%、7.74%和 5.76%,但间作孜然、苜

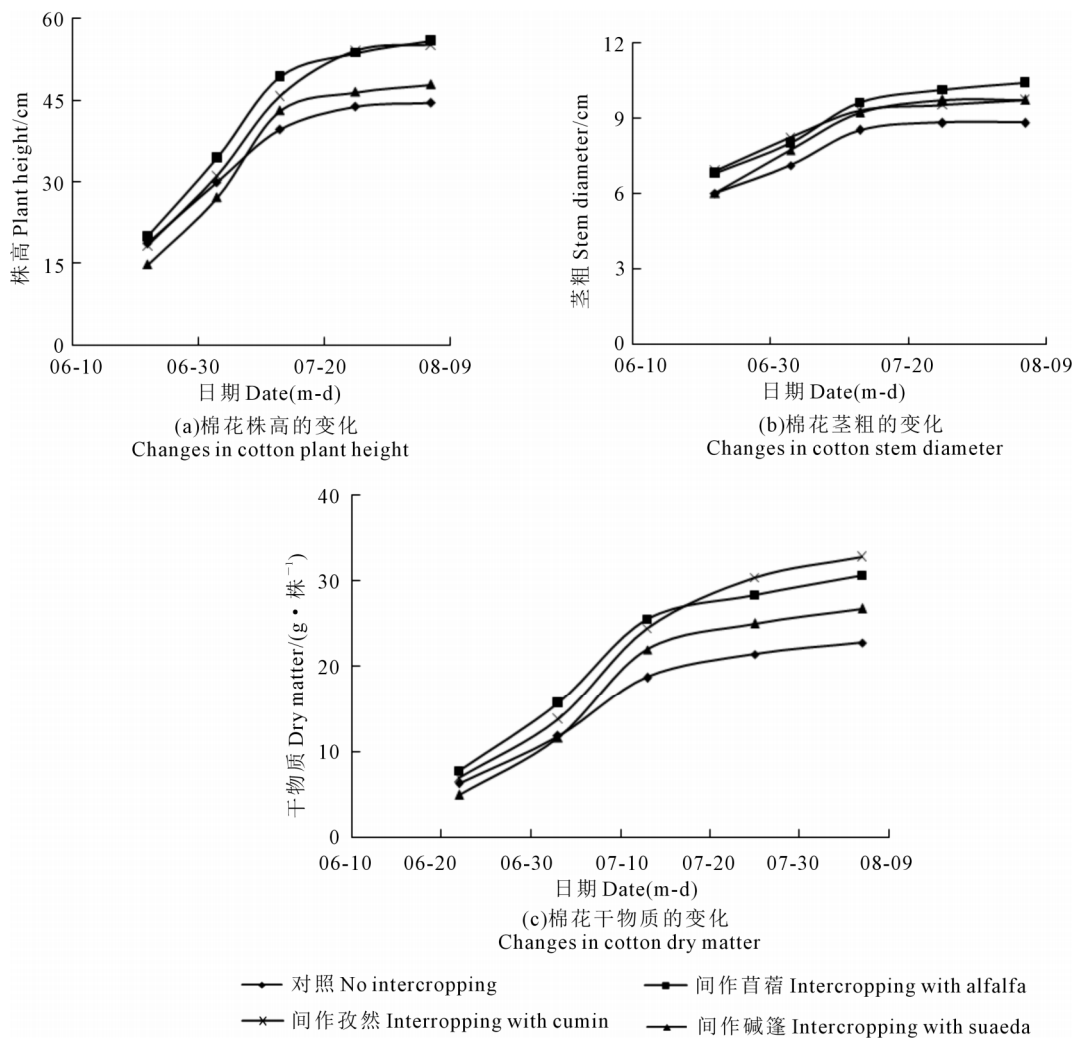


图 4 生育期内棉花株高、茎粗和干物质的变化

Fig.4 Changes of plant height, stem diameter, and dry matter during cotton growth period

表 4 不同处理的籽棉产量及水分利用效率

Table 4 The cotton yield and WUE under different treatments

处理 Treatment	平均单铃重/g Mean single boll weight	平均铃数 Average boll number /(个·株 ⁻¹)	处理行株数 Total plants in a row/株	籽棉产量 Cotton yield /(kg·hm ⁻²)	相对变化率 Relative change rate/%	耗水量 Evapotranspiration /mm	水分利用效率 Water use efficiency /(kg·m ⁻³)
对照 No intercropping	5.732	6.21	122	4435.74	0	454.21	0.976
间作苜蓿 Intercropping with alfalfa	5.808	6.45	125	4779.17	7.74%	491.44	0.972
孜然间作 Intercropping with cumin	5.888	6.45	126	4899.10	10.45%	485.7	1.008
间作碱蓬 Intercropping with suaeda	5.809	6.38	124	4691.04	5.76%	527.68	0.889

苜蓿和碱蓬处理的耗水量分别比对照组增加了 6.93%、8.20% 和 16.18%, 其水分利用效率除孜然处理比对照组提高了 3.3%, 苜蓿和碱蓬处理分别比对照组降低了 0.40% 和 9.0%。说明间作盐生植物改良盐碱土可以起到抑盐促产的作用, 但同时也可能会增加农田耗水量和降低水分利用效率。选择适宜的盐生植物, 才能达到水分利用效率提高和盐碱地改良共赢的目的。

3 结 论

(1) 膜下滴灌棉田间作盐生植物的生物改良盐碱地方法, 可以有效缩小膜间和膜内土壤剖面同一深度处的含水量差异, 使土壤含水量峰值保持在 40 cm 深度左右。相比于对照组, 间作苜蓿和孜然的保水效果较好, 在 0~40 cm 深度范围内分别提升了 29.80% 和 14.49%。

(2) 间作盐生植物对膜间土壤盐分的累积起到了一定的抑制作用。其中, 间作苜蓿和碱蓬的处理土壤含盐量在 0~20 cm 深度下降较为明显。从抑制盐分累积的作用看: 苜蓿>孜然>碱蓬>对照组。

(3) 膜下滴灌棉田间作盐生植物的处理其棉花生长特性和产量均高于对照组, 其中以间作孜然和苜蓿处理的籽棉产量提升最高, 分别提升 10.45% 和 7.74%, 但其总的耗水量也有所增加, 其水分利用效率仅孜然处理的高于对照, 苜蓿处理的与对照基本相同。

综上所述, 膜下滴灌条件下, 间作盐生植物选取孜然和苜蓿, 在保水和抑制盐分累积的效果上较为突出, 棉花的生长指标和水分利用效率较为理想。同时, 在改善盐碱地的前提下, 间作盐生植物还可以提高田间土地利用效率, 获得更多的经济效益。

参 考 文 献:

[1] 胡明芳, 田长彦, 赵振勇, 等. 新疆盐碱地成因及改良措施研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40

(10): 111-117.

- [2] 刘洪亮, 褚贵新, 赵凤梅, 等. 北疆棉区长期膜下滴灌棉田土壤盐分时空变化与次生盐渍化趋势分析[J]. 中国土壤与肥料, 2010, 28(4): 12-17.
- [3] 李述刚, 程心俊, 王周琼. 荒漠绿洲农业生态系统[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 70-73.
- [4] 史文娟, 杨军强, 马媛. 旱区盐碱地盐生植物改良研究动态与分析[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(5): 229-234.
- [5] CUI X Y, WANG Y, Guo J X. Osmotic regulation of betaine content in *leymus chinensis* under saline-alkali stress and cloning and expression of betaine aldehyde dehydrogenase (BADH) Gene[J]. Chemical Research in Chinese University, 2008, 24(2): 204-209.
- [6] 赵可夫, 李法曾, 张福锁. 中国盐生植物(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 11-135.
- [7] 李超峰, 葛宝明, 姜森颖, 等. 碱蓬对盐碱及污染土壤生物修复的研究进展[J]. 土壤通报, 2014, 45(4): 1014-1019.
- [8] 雷金银, 张建宁, 班乃荣, 等. 不同类型耐盐植物对盐碱土物理性质的影响[J]. 宁夏农林科技, 2011, 52(12): 58-60.
- [9] 毛勇. 种植苜蓿对盐碱地改良效果的影响[J]. 宁夏农林科技, 2016, 57(9): 46-47, 62.
- [10] 任巍, 罗廷彬, 王宝军, 等. 新疆生物改良盐碱地效益研究[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 211-214.
- [11] 穆哈西, 赛尔江·乌尔曼别克. 滴灌条件下积盐范围内混种耐盐草及盐分变化趋势的研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(5): 108-110.
- [12] 祁通, 孙九胜, 刘易, 等. 滴灌条件下不同盐生植物对盐渍化土壤的脱盐效果研究[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(12): 2309-2314.
- [13] Kilic C C, Kukul Y S, Anac D. Performance of purslane (*Portulaca deracea* L.) as a salt-removing crop[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95: 854-858.
- [14] 王升, 王全九, 周蓓蓓, 等. 膜下滴灌棉田间作盐生植物改良盐碱地效果[J]. 草业学报, 2014, 23(3): 362-367.
- [15] 罗廷彬, 任巍, 李彦, 等. 北疆盐碱地采用生物措施后的土壤盐分变化[J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 304-308.
- [16] 单鱼洋. 干旱区膜下滴灌水盐运移规律模拟及预测研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2012.
- [17] 刘建军. 棉田膜下滴灌条件下土壤水盐分布特征试验研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2009.