

文章编号: 1006-4710(2014)01-0096-06

不同覆膜开孔率条件棉花苗期土壤水盐分布特征及出苗率分析

邢旭光^{1,2}, 史文娟³, 王全九³

- (1. 重庆地质矿产研究院 外生成矿与矿山环境重庆市重点实验室, 重庆 400042;
2. 煤炭资源与安全开采国家重点实验室重庆研究中心, 重庆 400042;
3. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 为探索不同覆膜开孔率条件下棉花苗期土壤水盐运动及全盐量和各离子对棉花出苗的影响, 通过野外棉花小区试验, 研究了不同覆膜开孔率(3.27%、5.73%和6.55%)条件下棉花苗期土壤水盐分布特征和棉花出苗的耐盐阈值及不同离子的临界浓度。结果表明, 在1 m土体内土壤剖面水分分布特征相似, 但其土壤平均含水量大小则表现为开孔率5.73% > 开孔率3.27% > 开孔率6.55%, 这可能与土壤表面形成盐壳后影响水分的进一步蒸发有关。各条件下土壤含盐量均随土层深度的增加而减小, 其中0~20 cm土层内全盐量大小为开孔率3.27% < 开孔率5.73% < 开孔率6.55%, 20~100 cm土层内全盐量大小为开孔率5.73% < 开孔率3.27% < 开孔率6.55%。在0~20 cm土层内, 土壤全盐量及与Na⁺和Cl⁻含量均与出苗率呈显著线性负相关, 棉花出苗的耐盐阈值为7.50g/kg; Na⁺和Cl⁻浓度的临界值分别为0.73 mmol/L和7.15 mmol/L, Na⁺的抑制作用较Cl⁻明显。该研究对于指导试验地区的棉花种植具有一定的参考价值, 同时为进一步研究棉花耐盐性提供参考。

关键词: 覆膜开孔率; 土壤水盐运移; 耐盐性; 出苗率

中图分类号: S156.4⁺1 **文献标志码:** A

Analysis on laws of soil water and salt distribution characteristics and cotton emergence rate in seeding stage under different opening ratios

XING Xuguang^{1,2}, SHI Wenjuan³, WANG Quanjiu³

- (1. Chongqing Key Laboratory of Exogenic Mineralization and Mine Environment, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China; 2. Chongqing Research Center of State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, Chongqing 400042, China; 3. Key Laboratory for Northwest Water Resources and Ecological Environment of Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to probe into the effect of soil water-salt movement and total salt and each ion upon cotton emergence rate in the cotton seeding stage under the conditions of different open hole ratios, soil water and salt distribution characteristics, salt tolerance threshold values of cotton emergence and critical concentrations of different ions in the cotton seeding stage are studied under the conditions of different open holes (3.27%, 5.73% and 6.55%) through the field cotton plot experiments. The results indicate that soil profile water distribution characteristics in 1m deep soil body are similar but the magnitude of soil average water contents appear to be open hole rate of 5.73% > open hole of 3.27% > open hole of 6.55%. This is likely to be related with salt

收稿日期: 2013-07-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51379173); 水利部公益性行业科研专项经费资助项目(201301102); 新疆维吾尔自治区科技计划基金资助项目(201130103-3); 陕西省自然科学基金基础研究计划基金资助项目(2012JM7007)。

作者简介: 邢旭光, 男, 硕士, 助理工程师, 研究方向为节水灌溉与土地规划整理。E-mail: xg_xing@yeah.net。

crust formed over soil surface affecting water evaporation further. Under each condition, soil salt contents decrease with an increase in soil depth, of which the magnitude of total salt in 0~20 cm deep soil layer is open hole rate of 3.27% < open hole of 5.73% < open hole of 6.55% and the magnitude of total salt in 20~100 cm soil layer is open hole rate of 5.73% < open hole of 3.27% < open hole of 6.55%. However, in 0~20 cm deep soil layer, soil total salt contents and Na^+ and Cl^- contents appear to be the significant linear negative correlation with cotton emergence. Salt tolerance threshold value of cotton emergence is 7.50 g/kg. Na^+ and Cl^- critical concentration values are 0.73 mmol/L and 7.15 mmol/L respectively. Na^+ inhibition function is more obvious than that of Cl^- . This research is of a certain reference value for guiding cotton growing in the experiment area and also provides the reference value for further studying cotton salt tolerance.

Key words: open hole ratio; soil water and salt movement; salt tolerance; cotton emergence

盐渍土是新疆地区分布极为广泛的土壤类型。一般情况下土壤盐分浓度过高会对作物产生渗透胁迫和破坏营养离子平衡,最终影响作物正常生长^[1]。新疆地区蒸发量大,但降雨稀少,干旱指数大,因此土壤盐渍化问题突出成为制约干旱地区农业发展的重要障碍^[2]。

近年来覆膜种植技术因具有增温、保墒、节水、抑盐等作用而在新疆地区得以迅速发展和推广应用^[3],然而对于覆膜种植,需考虑“覆膜开孔率”(即膜孔总面积与相应的薄膜截面积之比^[4])的问题,由于土表薄膜覆盖程度不同会影响水分利用效率,而这对分析干旱区作物水分生产力具有重要作用^[5],同时,其土壤水盐运移特征也会受到不同程度的影响,分析土壤水盐运移规律对深入研究水盐平衡理论及其机理具有重要意义,同时土层的水分和盐分运动特征也影响着作物的生长,明晰棉花出苗期土壤水盐运移特性对棉花实际生产具有指导作用。

研究表明,降低棉花产量的起始盐度(即耐盐阈值)为 7.7 dS/m(“dS/m”是土水比为 1:5 浸提液电导率值的单位,1 dS/m 相当于 NaCl 的质量分数 0.064%),盐分超过此值后每增加 1 dS/m,产量降低 5.2%^[6]。贾玉珍^[7]研究表明在土壤含水率适宜的前提下当土壤含盐量为 0.5%时棉花不能正常生长。罗宾^[8]则认为棉花可以在土壤含盐量 1%以下的环境中正常生长。孙三民^[9]对新疆阿拉尔灌区棉花进行了研究,表明 0~20 cm 和 0~40 cm 土层棉花的耐盐阈值不同。董合忠^[10]发现山东滨海盐渍区土壤含盐量超过 4 g/kg 时,棉花出苗率和成活率较低。

从以上研究中可以看出,不同试验条件和不同地区棉花的耐盐程度不相同。目前普遍认为南疆盐碱地棉花的耐盐度为 0.5%^[11],但由于棉花的生长

受当地气候、土壤质地和品种差异等因素影响,因此其耐盐度并非为固定值,上述条件改变时,其耐盐度也发生变化。倘若可以较准确的确定棉花耐盐阈值,对改良盐碱地和提高棉花产量均具有重要意义。

基于此,本研究通过田间试验,对三种覆膜开孔率条件下的土壤水盐分布特征和运移规律进行了研究,同时分析了土壤含盐量和不同离子对棉花出苗的影响,旨在能对田间观测及盐碱地改良提供理论依据,为新疆棉花生产提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验站气象条件

棉花田间试验在新疆维吾尔自治区塔里木河流域巴音郭楞管理局水利科研所(灌溉试验站)进行(41°36' N, 86°12' E)。该试验站位于南疆库尔勒市西尼尔镇,处于天山南麓塔里木盆地边缘孔雀河冲积平原带,属于暖温带大陆性荒漠气候,蒸发强烈而干旱少雨,昼夜温差较大。多年平均降水量 58.6 mm,潜在蒸发量 2788.2 mm,日照时数 3036.2 h,年平均气温 11.48 °C,≥10 °C 积温 4121.2 °C,无霜期 191 d^[12]。试验地土壤类型主要为砂壤土,砂层主要位于 60 cm 土层深度,而其余土层以壤土为主,土壤级配列于表 1。

表 1 供试土壤的颗粒组成
Tab. 1 Particle size of the selected soil

土壤类型	不同粒径土壤颗粒含量/ %		
砂壤土	0.05~1 mm	0.001~0.05 mm	<0.001 mm
	36.779	59.959	3.262

1.2 试验设置

由于新疆库尔勒地区大部分农田都存在不同程度的盐碱化,因此需要播前春灌,即采用大水漫灌方式,灌溉一次,目的在于淋洗土壤浅层盐分,为棉花

生长创造良好的水盐环境,目前一般采用的灌溉洗盐定额是 $250\sim 300\text{ m}^3/\text{亩}$ 。

棉花品种为新陆中40,播种日期为2012年5月4日,播种深度2.5 cm,每穴一粒,种植方式为“一膜两管四行”,行距配置为 $20\text{ cm} + 40\text{ cm} + 20\text{ cm}$,株距10 cm。

试验设置3种处理,即覆膜开孔率分别为3.27%、5.73%和6.55%,不同开孔率即预示着不同的播种密度,3.27%处理为目前传统的机器播种时所产生的开孔率,另两种处理为人工在薄膜上开孔,人工开孔单孔面积与机播产生单孔面积相同,各处理小区中均含有5块条田(每块条田长10 m),且各处理中的5块条田开孔率相同,各处理的土壤含水量和含盐量初始值基本相同。

1.3 测试指标和方法

1.3.1 苗期土壤水盐运移监测

苗期结束(即待棉花开始现蕾,本试验按5月27日计)时土钻取土(播种至苗期结束,即5月4日至27日期间无灌水、无降雨),每个处理3个重复,每个重复在覆膜区域中央取点,取样点位于非膜孔处,即膜孔周围覆膜的位置,取土点与离其最近的膜孔之间的距离为10~20 cm。

每个取样点分为0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~60 cm、60~80 cm和80~100 cm共9个层次。

烘干法测定土壤含水量,用电导率仪(DDS-307)测定土水比1:5的土壤浸提液电导率值,用离子计(PXSJ-216)测定 Na^+ 和 Cl^- 含量。

1.3.2 棉花出苗率统计

播种后每隔3 d观察出苗情况,并于5月27日统计所有条田出苗情况(相同处理内的5个条田取其平均数),出苗率 = (出苗数/播种数) × 100%,在研究出苗率和土壤盐分(全盐量和盐离子)关系时采用20 cm土层深度内土样进行分析(0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm和15~20 cm),土壤盐分测定方法如上所述。

播种30 d后调查植株性状:在每种处理小区中选取长势均匀、具有一定代表性的6株棉花,用直尺测其株高和叶面积,用游标卡尺测定茎粗,叶面积采用“叶长 × 叶宽 × 0.84”计算^[13]。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜开孔率对土壤剖面水分分布的影响

图1表示的是苗期结束时,即5月27日不同开孔率条件下土壤剖面含水量的变化情况。

在分析土壤剖面含水量时值得注意的是,由于取土位置在膜孔周围,因此下述“土壤含水量”表示的是膜孔周围的土壤含水量,并非膜孔处土壤含水量。

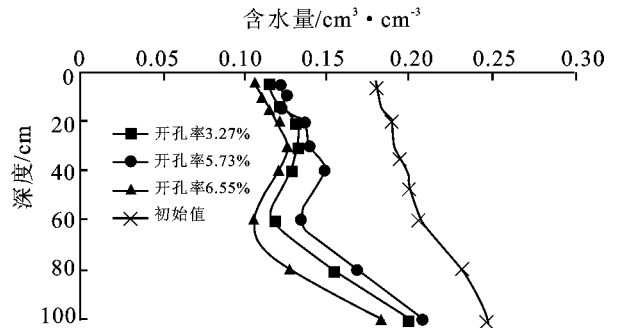


图1 不同覆膜开孔率土壤剖面含水量变化
Fig. 1 Change of water content in soil profile under different opening ratios

图1显示,各处理土壤含水量基本呈现随深度的增大而增大的趋势,且分布规律相似,不同开孔率处理土壤剖面含水量表现出开孔率5.73% > 开孔率3.27% > 开孔率6.55%。即土壤含水量和开孔率之间并非呈现简单的线性递增或递减关系。

对于盐碱土而言,在蒸发初期,3.27%的开孔率最小,水分散失量最小,相应的表层土壤盐分的累积也最少,开孔率为5.73%的处理土壤水分散失量和盐分累积量居中,开孔率为6.55%的处理土壤水分散失量和盐分累积量最大;随着蒸发的进行,开孔率6.55%的处理土壤表面最先形成一薄层盐壳,这一盐壳反过来阻止了水分的进一步蒸发,即对于盐碱土来说,在蒸发后期,开孔率越大,其水分散失量减少的幅度越大,这在很多文献中都已经证明^[14-16]。

而开孔率3.27%的处理由于水分散失量最小,盐壳形成时间滞后,因而水分散失在蒸发后期受盐壳的影响(抑制作用)较小,开孔率5.73%的处理受盐壳影响居中,经历一定的时间后(苗期结束时),开孔率3.27%的处理水分散失总量将可能大于5.73%的处理,而开孔率6.55%的处理尽管受盐分的影响最大,但因其开孔率大,盐壳抑制水分蒸发的作用仍小于大气强烈的蒸发作用,在苗期结束时其水分散失的绝对值仍然较大,从而导致水分的散失量表现为开孔率6.55% > 开孔率3.27% > 开孔率5.73%,土壤的含水量则表现为开孔率5.73% > 开孔率3.27% > 开孔率6.55%。

可见,盐渍土壤的含水量分布不仅与开孔率有关,还与土壤的含盐量和大气蒸发能力有关,同时与取样测定的时间也密切相关,因此,对于“棉田开孔率、土面蒸发和盐分之间的相对作用”的问题仍需进

一步深入研究。

此外,对比三种处理 60 cm 土层含水量整体有减小趋势,这是该层是砂层的缘故。

2.2 不同覆膜开孔率对土壤盐分迁移的影响

非饱和土壤中,盐分溶于水并随之迁移,因此水分的蒸发和散失导致盐分在土表积累^[17]。图 2 显示了棉花苗期不同开孔率处理土壤剖面的盐分变化特征。

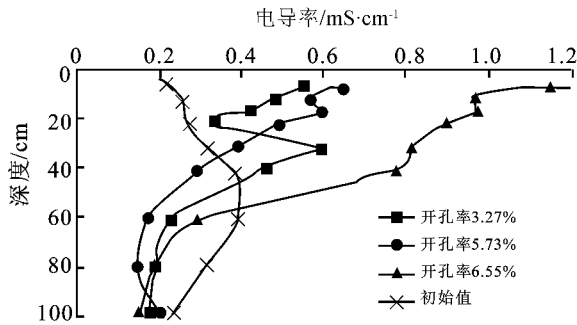


图 2 不同覆膜开孔率土壤剖面电导率变化
Fig. 2 Change of conductivity in soil profile under different opening ratios

从图 2 可以看出,与开孔率 3.27% 的处理相比,开孔率为 5.73% 和 6.55% 的处理土层深度 10 cm 范围内土壤溶液电导率分别增加了 16.33% 和 97.96%。可见,薄膜具有很好地抑制盐分上移的作用,在农田中使用地膜覆盖可以很好地防止土壤次生盐碱化。

明显看出,对于不同的处理,土壤含盐量基本呈现随着深度增加含盐量减少的趋势。当出苗基本稳定时在 20 cm 土层内土壤含盐量随着开孔率的增大而增加,这是因为大开孔率有助于盐分随水分不断的向上迁移而导致土表积盐。

开孔率 3.27% 的处理 20~30 cm 土层盐分增加明显,同时随着深度的增加逐渐减少,但始终高于开孔率 5.73% 处理,小于开孔率 6.55% 处理。这是因为开孔率较小不利于土壤水分散失,反而积聚在薄膜上,反过来又渗入土壤中,从而浅层土壤盐分向下移动。

而对于本试验而言,开孔率为 6.55% 是一个较大的开孔程度,在外界强烈蒸发作用下,土壤水分携带盐分不断向土壤浅层移动。

2.3 棉花出苗及耐盐性分析

2.3.1 覆膜开孔率对棉苗性状的影响

株高、茎粗和叶面积是表征作物地上部分的生育指标,反映了作物生长状态^[18]。不同开孔率条件下棉苗生长性状见表 2。

表 2 覆膜开孔率对棉苗素质的影响

Tab. 2 Effects on mineralization of opening ratios on cotton diathesis

覆膜开孔率/ %	株高/ cm	茎粗/ cm	叶面积/ cm ²
3.27	10.417 a	0.288 A	1.713 a
5.73	9.657 a	0.271 A	1.635 a
6.55	8.317 a	0.242 A	1.329 a

注:叶面积指棉花子叶叶面积;“a”代表差异显著($p < 0.05$),“A”代表差异极显著($p < 0.01$)。

从表 2 可以看出,随着覆膜开孔率的增大,株高、茎粗和叶面积均呈现明显下降趋势,棉苗则表现出生长缓慢、苗小、子叶面积小。与开孔率 3.27% 相比,开孔率 5.73% 的处理株高、茎粗和叶面积分别减小 7.3%、5.9% 和 4.55%;开孔率 6.55% 的处理株高、茎粗和叶面积分别减小 20.16%、15.97% 和 22.42%。经过将开孔率对株高、茎粗和叶面积单因素方差分析可知,覆膜开孔率与棉苗株高和叶面积呈显著关系,与茎粗呈极显著关系。这表明,在棉花出苗阶段,膜孔对棉苗茎粗影响最为显著,对其株高和叶面积有一定影响。同时发现,开孔率 6.55% 的处理棉苗生长指标骤减,在这种情况下棉花将不能正常生长,由此可知大开孔率严重抑制棉苗生长。造成这种现象的原因在于不同覆膜开孔率导致浅层土壤盐分含量差异较大,高含盐量会阻碍棉花的生长,这与上述土壤剖面电导率变化相一致。

2.3.2 土壤含盐量对出苗的影响

棉花出苗期受土壤含盐量影响,不同盐离子对作物生长的影响亦不相同,因此浅层土壤(0~20 cm)总含盐量的高低将直接影响棉花出苗率的高低。为更精确的对比土壤含盐量和不同离子与出苗率的关系,在测定棉花出苗率的同时进行分层取样(0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm 和 15~20 cm)监测土壤 Na⁺、Cl⁻ 和总盐含量,对 0~20 cm 土层取加权平均值作为影响棉花出苗的盐分值。加权平均值 = $\sum(\text{样品含量} \times \text{取样深度} / \text{分析深度})$ ^[19]。图 3 和 4 分别显示了各覆膜开孔率条件下 0~20 cm 土层土壤全盐量和各离子浓度与出苗率的关系。

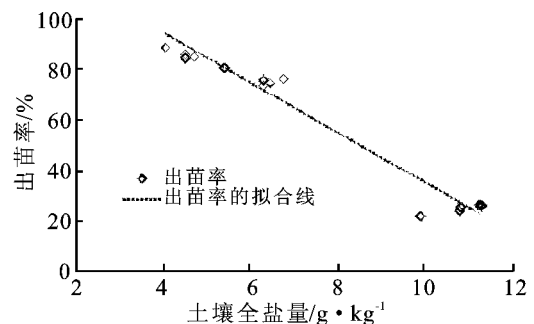


图 3 土壤全盐量与棉花出苗率的关系
Fig. 3 Relationship between total salt content of soil and cotton emergence rate

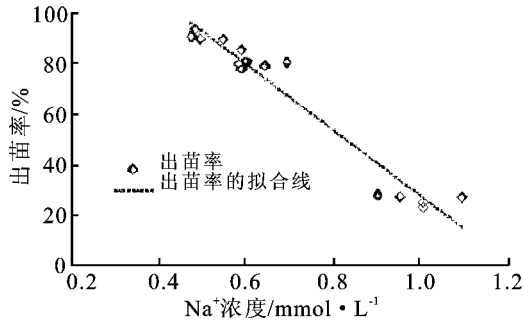


图4 Na⁺浓度与棉花出苗率的关系
Fig. 4 Relationship between concentration of Na⁺ and cotton emergence rate

由图3可知,棉花出苗率与浅层土壤(0~20 cm)含盐量呈显著线性负相关,这与张俊鹏^[18]、王伟^[20]和王春霞^[21]等人研究结果相同。根据所统计的15组棉花出苗率与土壤全盐量的关系,对0~20 cm土层土壤含盐量与棉花出苗率的关系进行拟合,如式(1)所示:

$$W = -9.9176S + 134.34 \quad (R^2 = 0.9513) \quad (1)$$

式中,W为出苗率(单位为%),S为0~20 cm土层土壤全盐量(单位为g/kg)。

根据相关研究^[21-22]并结合当地情况,令棉花出苗率为80%、60%和0为棉花苗期耐盐的适宜值、临界值和极限值(下同)。由此可计算出棉花出苗时20 cm土层土壤全盐量的适宜值、临界值和极限值分别为5.48 g/kg、7.50 g/kg和13.55 g/kg。

Na⁺和Cl⁻是主要的影响作物生长的盐分离子,对作物出苗同样具有显著影响,图4和图5分别显示了Na⁺和Cl⁻与棉花出苗率的关系。

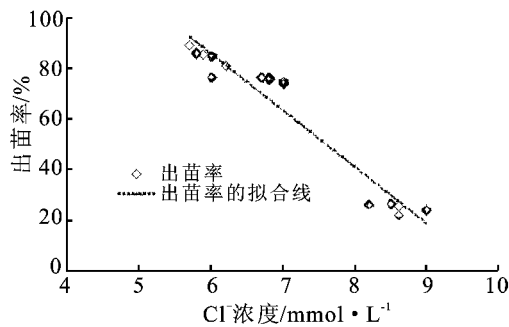


图5 Cl⁻浓度与棉花出苗率的关系
Fig. 5 Relationship between concentration of Cl⁻ and cotton emergence rate

由图4和图5均可以看出,棉花出苗率与浅层土壤(0~20 cm)中Na⁺和Cl⁻含量呈显著线性负相关。根据所统计的15组棉花出苗率与各离子浓度的关系,对0~20 cm土层中Na⁺和Cl⁻含量与棉花出苗率的关系进行拟合,分别如式(2)、(3)所示:

$$W = -128.75M + 154.17 \quad (R^2 = 0.9476) \quad (2)$$

$$W = -22.343N + 219.81 \quad (R^2 = 0.938) \quad (3)$$

式中,W为出苗率(单位为%)、M和N分别为0~20 cm土层土壤Na⁺、Cl⁻浓度(单位为mmol/L)。

从式(2)、(3)可知,出苗率随着Na⁺和Cl⁻浓度的增大而减小,可计算出棉花出苗时0~20 cm土层内Na⁺和Cl⁻含量的适宜值、临界值和极限值分别为0.58 mmol/L、0.73 mmol/L、1.20 mmol/L和6.26 mmol/L、7.15 mmol/L、9.84 mmol/L。当棉花萌发率相同时临界浓度值低的离子比临界浓度值高的离子对棉花萌发影响明显,由0.73 < 7.15可知,Na⁺对棉花出苗的影响比Cl⁻明显。

3 结论

1) 膜孔处土壤在强烈蒸发作用下形成盐壳,而盐壳反过来抑制了土壤水分蒸发。

2) 由于存在盐壳,土壤剖面含水量与土表开孔程度并非呈现常见的增减关系,对于盐壳对土壤水盐运移特性影响的问题仍需进一步研究。

3) 虽然小开孔率不易形成盐壳,但可能导致浅层土壤含水量过小,不利于作物根系生长。当开孔率过大时,虽然为作物主根区提供足够的水分,但同时导致大量盐分在土表聚集,对作物造成极大危害。

综上所述可以看出,对于覆膜种植型作物,确定适宜的开孔程度可以为作物主根区创造良好的水盐环境,对作物生长具有重要作用,同时亦可以指导田间种植。

参考文献:

[1] 史文娟,沈冰,汪志荣,等. 蒸发条件浅层地下水埋深夹砂层土壤水盐运移特性研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9):23-26.
Shi Wenjuan, Shen Bing, Wang Zhirong, et al. Water and salt transport in sand-layered soil under evaporation with the shallow underground water table[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(9):23-26.

[2] 徐建新,黄强,沈晋. 灌区节水防盐设计理论与实践研究[J]. 西安理工大学学报, 1999, 15(3):30-33.
Xu Jianxin, Huang Qiang, Shen Jin. Research on the designing theory and its application for water saving and salt prevent in irrigation district[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 1999, 15(3):30-33.

[3] 邢旭光,史文娟,徐飞,等. 库尔勒地区不同下垫面潜水蒸发昼夜变化特性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(3):83-89.
Xing Xuguang, Shi Wenjuan, Xu Fei, et al. Diurnal variation characteristics of groundwater evaporation with different underlying surfaces in Korla[J]. Agricultural Re-

- search in the Arid Area,2013,31(3):83-89.
- [4] 王春霞,王全九,庄亮,等.干旱区膜下滴灌条件下膜孔蒸发特征研究[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):14-21.
Wang Chunxia, Wang Quanjiu, Zhuang Liang, et al. Characteristic of evaporation from perforated plastic film in drip irrigation under film mulching in arid areas[J]. Agricultural Research in the Arid Area,2011,29(1):14-21.
- [5] 刘金鹏,费良军,尹亚坤,等.干旱区绿洲水分生产力影响因素研究[J].西安理工大学学报,2011,27(3):334-338.
Liu Jinpeng, Fei Liangjun, Yin Yakun, et al. A study of impacting factors of water productivity in arid oasis[J]. Journal of Xi'an University of Technology,2011,27(3):334-338.
- [6] Sharma S K, Gupta I C. Saline environment and plant growth [M]. India: Agro Botanical Publishers, 1986:172.
- [7] 贾玉珍,朱禧月.棉花出苗及苗期耐盐性指标的研究[J].河南农业大学学报,1987,21(1):30-41.
Jia Yuzhen, Zhu Xiyue. Research on the targeta tolerant towards salt in cotton emergence and seedling stage[J]. Acta Agricultural University Henan, 1987, 21(1):30-41.
- [8] 罗宾.棉花生理学[M].上海:上海科技出版社,1980:114-120.
- [9] 孙三民,蔡焕杰,安巧霞.新疆阿拉尔灌区棉花苗期耐盐度研究[J].人民黄河,2009,31(4):81-82.
Sun Sanmin, Cai Huanjie, An Qiaoxia. Research of salt tolerance in cotton on seeding in Alaer Xinjiang Province [J]. Yellow River,2009,31(4):81-82.
- [10] 董合忠,辛承松,李维江.山东滨海盐渍棉田盐分和养分特征及对棉花出苗的影响[J].棉花学报,2009,21(4):290-295.
Dong Hezhong, Xin Chengsong, Li Weijiang. Characteristics of salinity and fertility in coastal saline cotton fields in Shandong and their effects on cotton emergence[J]. Cotton Science,2009,21(4):290-295.
- [11] 吕殿青,王全九,王文焰,等.土壤盐分分布特征评价[J].土壤学报,2002,39(5):720-725.
Lu Dianqing, Wang Quanjiu, Wang Wenyan, et al. Evaluation of the soil salt distribution characteristics[J]. Acta Pedologica Sinica,2002,39(5):720-725.
- [12] 栗现文,周金龙,靳孟贵,等.干旱区高盐度潜水蒸发试验研究[J].水资源与水工程学报,2012,23(5):6-10.
Li Xianwen, Zhou Jinlong, Jin Menggui, et al. Experiment on evaporation of high-TDS phreatic water in arid area[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering,2012,23(5):6-10.
- [13] 乔东梅,齐学斌,庞鸿滨,等.地下水作用下微咸水灌溉对土壤及作物的影响[J].农业工程学报,2009,25(11):55-61.
Qiao Dongmei, Qi Xuebin, Pang Hongbin, et al. Effects of Brackish water irrigation on soil and group under different groundwater depths[J]. Transactions of the CSAE,2009,25(11):55-61.
- [14] 史文娟,沈冰,汪志荣,等.高地下水位条件下盐渍土区潜水蒸发特性及计算方法[J].农业工程学报,2006,22(5):32-35.
Shi Wenjuan, Shen Bing, Wang Zhirong, et al. Phreatic evaporation characteristics and calculation methods with the shallow water table in the saline soil region[J]. Transactions of the CSAE,2006,22(5):32-35.
- [15] 史文娟,邢旭光,张振华,等.覆膜开孔条件下盐渍土壤的潜水蒸发及水盐运移特性[J].干旱地区农业研究,2013,31(4):26-30.
Shi Wenjuan, Xing Xuguang, Zhang Zhenhua, et al. Characteristics of groundwater evaporation and water-salt transport in saline soil under the different opening ratios[J]. Agricultural Research in the Arid Area, 2013,31(4):26-30.
- [16] Shi Wenjuan, Xing Xuguang, Zhang Zhenhua, et al. Groundwater evaporation from saline soil under plastic mulch with different percentage of open area[J]. Journal of Food Agriculture & Environment,2013,11(2):1268-1271.
- [17] 王卫华,王全九,刘建军,等.膜下滴灌湿润体交汇区土壤水盐运移特征田间实验研究[J].干旱区地理,2011,34(4):558-564.
Wang Weihua, Wang Quanjiu, Liu Jianjun, et al. Field experimental study of soil water-salt transport characteristics in the interference area of wetted volume under the mulched drip irrigation[J]. Arid Land Geography, 2011,34(4):558-564.
- [18] 张俊鹏,孙景生,李科江,等.不同灌溉方式下底墒水矿化度对棉花出苗率的影响[J].灌溉排水学报,2011,30(3):51-55.
Zhang Junpeng, Sun Jingsheng, Li Kejiang, et al. Effects of water salinity before sowing on cotton emergence rate under different irrigation methods[J]. Journal of Irrigation and Drainage,2011,30(3):51-55.