膜下滴灌棉花耐盐预警值的研究

孙肇君^{1,2}, 李鲁华^{1,2}, 张 伟^{1,2},
张小伟³, 杨忠平⁴, 常世伟¹

(1. 石河子大学农学院, 新疆 石河子 832003; 2. 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003;
3. 新疆生产建设兵团农六师农科所, 新疆 五家渠 831300; 4. 新疆生产建设兵团农六师新湖农场, 新疆 五家渠 831300)

摘 要: 以不同次生盐渍化膜下滴灌棉田为对象, 研究次生盐渍化对棉花生长发育的影响, 并以此为基础探讨其状态预警问题。结果表明: 在各生育期, 土壤盐度与株高、干物质重、叶面积指数均呈极显著的负相关关系。低土壤盐度对棉花生物量和产量不会产生影响, 说明棉花具有一定的耐盐性。籽棉产量的降低主要是由于土壤盐度的升高使棉花单株结铃数明显减少造成的。不同生育期棉花耐盐程度不同, 各棉田的警度随着生育期的进行有逐渐减轻的趋势; 0.6 dS/m 以下的土壤盐度在各生育期都不会对棉花生长造成较大危害, 2.8 dS/m 以上的土壤盐度在前期更易对棉花生长造成严重影响, 到吐絮期 2.8 dS/m 左右的盐度已不能对棉田造成较大危害。

关键词: 膜下滴灌; 次生盐渍化; 棉花; 生长发育; 预警值

中图分类号: S156.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)04-0140-06

膜下滴灌作为一种节水灌溉技术, 有利于作物产量和水分利用率的提高, 能使作物主根系区形成脱盐区, 可促进生态环境的良性发展, “九五”后期, 膜下滴灌技术在新疆得到了迅猛发展, 国内已对滴灌下的水盐运移规律及影响因素进行了一些研究^[1-4]。

但随着斗渠、农渠、毛渠的减少, 秋冬灌难以实施, 新的土壤次生盐渍化问题日益凸显。滴灌棉田中膜下部分的蒸发减小, 但膜间裸地蒸发强烈, 把地下大量的盐分带到地表。多年的滴灌, 加之常规的土壤翻耕, 使耕层土壤出现了明显的次生盐渍化, 进而影响着膜下滴灌技术的应用。部分膜下滴灌棉田已出现了新的土壤次生盐渍化问题^[5,6]。因此, 深入揭示盐碱地棉花生长发育特点及其影响因素对盐碱地棉花生产具有重要指导意义^[7], 有利于推进膜下滴灌技术的进一步广泛应用。

目前在膜下滴灌条件下盐渍化对棉花生长发育的影响方面已做了一些研究^[8-16], 研究结果表明在盐胁迫下棉花株高、单株干重、单株有效铃数、单铃重与土壤含盐量的相关性均达到显著或极显著水平^[8]; 长期盐胁迫可导致棉花长势下降, 出叶速率减慢, 果枝数减少, 生育期推迟, 花铃期缩短, 蕾铃脱落增加^[9,10]。对于棉花在不同生育期的耐盐性, 一般认为苗期和花铃期对盐分比较敏感^[11]。棉花耐盐

性以萌发出苗时期最小^[12], 随着生育进程而不断提高, 在蕾期、初花期渐趋下降, 至开花结铃盛期耐盐能力上升为最强^[9]。但在预警方面却研究甚少, 并且主要是基于土地、农业和生态等宏观的角度对预警因子、预警类型以及模型进行了探讨^[17-19]。本研究的主要目的是在研究不同程度盐渍化对膜下滴灌棉田生长发育各指标的影响的基础上, 利用回归分析和综合指数的方法探讨其状态预警问题, 以期防治土壤次生盐渍化提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点与材料

试验于 2007 ~ 2008 年分别在新疆生产建设兵团农六师新湖团场、111 团以及农八师 147 团进行, 试验区属典型的内陆性荒漠气候。土壤为灌耕灰漠土, 肥力中等。供试棉花品种选用新陆早 32 号, 常规栽培管理。棉花种植采用覆膜栽培, 一膜四行, 60 cm + 30 cm 宽窄行膜上点播, 4 月下旬播种, 花铃期随水追施尿素, 6 月初开始滴灌, 全生育期滴灌 10 ~ 12 次, 7 天左右滴灌一次, 每公顷共滴灌 3 750 m³ 左右。

1.2 试验设计

根据前人的理论和实践经验, 随着棉田滴灌年限增加, 棉田土壤含盐量呈上升趋势^[5,6]。通过对

收稿日期: 2008-10-10

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2007BAC17B06); 石河子大学高层次人才科研启动资金专项(RCXZ200611)

作者简介: 孙肇君(1982—), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要研究方向为绿洲生态与绿洲农业。E-mail: 52957445@qq.com。

通讯作者: 李鲁华(1967—), 女, 山东平邑人, 教授, 主要从事农田生态方面的研究。E-mail: shzhluhua@163.com。

南湖团场、111团和147团土壤本底值的调查和土壤次生盐渍化程度的测定,从现有棉田中选取7块具有盐度梯度的膜下滴灌棉田作为研究对象(用代号1~7表示)。按照棉田次生盐渍化程度不同,采用GPS定位进行定点,每块棉田设3个重复,每个重复取3个点,即:滴头处1个、膜上宽行中央1个、裸地中央处取1个。每个点分0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm五个层次取土样。每块棉田每次共计45个土样。以这45个土样含盐量的平均值代表该地块的含盐量。每个重复周围定植棉花20株(内行10株,边行10株)供取样用。共取样3次,分别在6月中旬(现蕾期)、7月下旬(花铃期)、8月下旬(吐絮期)。

1.3 测定项目与方法

测定棉花的株高、叶面积指数、干物质重3个生长指标及土样盐度。

叶面积指数:用叶面积仪测定;干物质重:每次在所定点处采集3株代表植株,分根、叶(含叶柄)、茎、蕾铃,放入烘箱在65℃烘干48h后,称重并记录;土样盐度:使用DDS-307型电导率仪(上海雷磁仪器厂产)测定水土重量比5:1的土壤浸提液的电导率。

1.4 计算方法

取棉花的株高、叶面积指数、干物质重3个生长指标作为备用预警指标。根据不同程度的盐胁迫下棉花生长发育的各个指标,应用回归分析法求得其不同生育期间的相互关系,计算出含盐量与每个指标的相关系数,对其进行显著性检验,剔除不显著的指标,剩下的作为预警指标。回归模型可用下式表示: $y = a + \sum b_i x_i$,式中: y 为预警指标的预测值, a 为常数, b_i 为回归系数, x_i 为自变量的实测值。然后根据各个相关系数确定每个生育期里各预警指标所占的权重, $W_i = R_i / \sum R_i$,式中: W_i 为第*i*个指标的权重, R_i 为第*i*个指标的相关系数。再根据权重计算出棉花综合各指标生长最优的棉田,将其所对应的预警指标作为标准值。

最后确定警度值域,建立预警结构。本试验采用综合指数法来确定警度值域。 $E = \sum (C_i / C_{ni} \times W_i)$,式中: E 为综合指数, C_i 为第*i*个指标的实测含量, C_{ni} 为第*i*个指标的标准值, W_i 为第*i*个指标的权重。根据试验所得的各指标的数据确定*E*在0~1范围内的警度值域,包括无警、轻警、中警和重警,以此来判断在棉花各个生育期中棉田处在哪种警度下及应给予的重视程度。

2 结果与分析

2.1 次生盐渍化对棉花生长发育的影响

2.1.1 株高 在各生育期随着土壤盐度的增加,株高都有不同程度的降低(表1~3)。在现蕾期,比较不同土壤盐度影响下株高间在0.01水平上的差异可以看出,1~7号棉田被分为了3个层次,分别为1~3、4~5和6~7号棉田,它们同一层次内部间无显著差异,但不同层次间差异显著。因此,0.99 dS/m和2.23 dS/m是影响株高的关键盐度,把土壤盐度控制在此范围内可以显著减小土壤含盐量对株高的危害。在花铃期和吐絮期,在0.05水平上也有相似情况,所以对土壤盐渍化程度有方向的进行把握是十分必要的。

表1 现蕾期不同土壤盐度对棉花生长指标的影响

Table 1 Growth index of cotton influenced by different soil salinity at bud stage

棉田代号 Number	土壤盐度 Soil salinity (dS/m)	株高 Plant height (cm)	干物质重(g/株) Dry matter weight (g/plant)	叶面积指数 Leaf area index
1	0.27	29.52aA	5.80aA	1.47aA
2	0.38	27.90abA	5.86aA	1.49abA
3	0.65	26.46bA	5.29abAB	1.35bA
4	0.99	22.06cB	4.55bcBC	1.01cB
5	1.50	19.11dB	4.21cC	0.98cB
6	2.23	14.72cC	3.82cCD	0.94cB
7	3.95	12.03cC	2.85dD	0.68dC

注:表中以不同大小写字母的值分别在0.01或0.05水平差异显著,标以相同字母者差异不显著。下表同。

Note: In the same line, different capital letters and small letters stand for significant difference at 0.01 level and 0.05 level, respectively, while the same letters indicate no significant difference. The same in follow table.

对不同土壤盐度下的株高变化进行回归分析(表4),它们间呈极显著负相关。比较各个生育期拟合的回归方程,土壤盐度对株高的影响程度基本相同。随着生育期的进行,土壤盐度与株高的关系逐渐减弱。即在试验过程中,除含盐量外,影响株高的因素增多。

2.1.2 干物质重 干物质重在各生育期呈现出在低盐度时先增大,后随着土壤盐度的增加持续降低的趋势(表1~3)。这说明在较低盐度的范围内,土壤盐分不会影响棉花生长发育。在现蕾期,干重随土壤盐度增加而减小的程度比较平稳,1~6号盐度接近的各棉田间无显著差异,而当盐度达到2.95 dS/m时,干重突然大幅下降34%,形成显著差异(0.05水平)。这说明棉花作为较耐盐碱的作物,低

盐度对其造成的影响较为缓和,但当达到 2.95 dS/m 的高盐度时,影响显著。在花铃期和吐絮期均有此情况,但在花铃期更为明显(0.01 水平)。

表 2 花铃期不同土壤盐度对棉花生长指标的影响

Table 2 Growth index of cotton influenced by different soil salinity at blossoming and boll forming stage

桶田代号 Number	土壤盐度 Soil salinity (dS/m)	株高 Plant height (cm)	干物质重(g/株) Dry matter weight (g/plant)	叶面积指数 Leaf area index
1	0.25	56.24aA	32.54aA	3.29aA
2	0.34	55.97aA	33.80abAB	3.41aA
3	0.60	54.79aAB	32.18abAB	3.17aA
4	0.92	48.83bBC	30.30bABC	2.91bB
5	1.46	47.16bCD	29.93bcBC	2.86bB
6	2.18	41.29cDE	27.37cC	2.80bB
7	2.89	39.05cE	23.22dD	2.28cC

表 3 吐絮期不同土壤盐度对棉花生长指标的影响

Table 3 Growth index of cotton influenced by different soil salinity at boll opening stage

桶田代号 Number	土壤盐度 Soil salinity (dS/m)	株高 Plant height (cm)	干物质重(g/株) Dry matter weight (g/plant)	叶面积指数 Leaf area index
1	0.24	63.52aA	52.94aA	2.91aA
2	0.32	61.04aA	53.80abA	2.97aA
3	0.57	59.17aAB	49.56bcAB	2.84abA
4	0.88	53.33bBC	49.30bcAB	2.79abA
5	1.54	51.79bCD	46.72cB	2.75abA
6	2.11	46.20cDE	46.11cBC	2.62bA
7	2.80	44.68cE	41.19dC	2.20cB

在各生育期土壤盐度与干物质重均呈极显著负相关(表 4)。而土壤盐度对花铃期和吐絮期干重的影响程度明显大于蕾期,这说明在棉花生长后期对盐渍化的控制将更有利于干物质重的积累。随着生育期的进行,土壤盐度与干重的关系先增强后减弱,即在花铃期土壤盐度与干重的关系较其它时期更为密切。

2.1.3 叶面积指数 叶面积指数在各生育期呈现出在低盐度时先增大,后随着土壤盐度的增加持续降低的趋势(表 1~3),这点与干物质重变化趋势相同。在现蕾期,根据不同土壤盐度下叶面积指数的差异,1~7 号棉田可以被明显分为 3 个层次,分别为 1~3、4~6 和 7 号棉田,0.99 dS/m 和 3.95 dS/m 作为影响叶面积指数的关键盐度应当给予重视,花铃期与现蕾期情况相似,但在吐絮期除 7 号棉田的 2.80 dS/m 高盐度使叶面积指数大幅下降 27%,对其造成显著影响外,其它相邻盐度间叶面积指数无

显著差异。这是因为随着生育期的推后,叶片对盐碱危害的抵抗能力有了提高。

在各生育期土壤盐度与叶面积指数均呈极显著负相关(表 4)。各生育期土壤盐度对叶面积指数的影响差别不大,相关关系随着生育期的进行逐渐增强。但相关系数却比株高和干重小,这说明在试验过程中除含盐量外,影响叶面积指数的因素要比影响株高和干重的因素多一些。

2.2 次生盐渍化对棉花产量的影响

不同土壤含盐量对棉花铃数、铃重和籽棉产量的影响如表 5 所示。从表中可以看出在 2007 年,随着土壤盐度的升高,籽棉产量、单株铃数和单铃重均呈递减趋势。从籽棉产量上看,在 1~3 号棉田的盐度下无显著差异,而 4~7 号棉田的籽棉产量相互间均差异显著。可以看出棉花对盐害有一定的适应性,因此 0.63 dS/m 盐度以下的土壤含盐量对产量的影响并不显著,而当土壤含盐量达到 0.95 dS/m 以上时,随着土壤盐分的增大,将会对棉花产量造成显著影响。单铃重以 4 号棉田所对应的盐度为界,高盐度和低盐度间差异显著,而 1~3 号的低盐度间以及 5~7 号的高盐度间则无显著差异。单株铃数的变化同籽棉产量的变化基本相似,这说明不同盐度对产量造成的影响主要是通过影响单株铃数来实现的,而对单铃重影响相对较小。

2008 年的产量情况与 2007 年基本相似,但各棉田的盐度都有所上升,这说明连续滴灌会造成土壤含盐量的升高。因而造成棉花的产量也随之有所降低,收获株数、单株铃数和单铃重也都有所降低,但影响均不显著(表 5)。

2.3 次生盐渍化棉田的预警研究

基于株高、干物质重和叶面积指数 3 个棉花生长指标,利用回归分析的方法建立其与土壤盐度不同生育期的回归方程(表 4),且其相关系数均为极显著水平,表明这 3 个指标均可作为预警指标。根据各相关系数计算在各生育期每个预警指标所占的权重(表 6)。据此权重计算可得在现蕾期和吐絮期综合各指标生长最优的棉田为 1 号,而在花铃期为 2 号,将其所对应的测量指标值作为标准值(表 6)。

根据计算所得不同生育期各棉田所对应土壤盐度的综合指数(表 7)以及团场多年的棉花生长数据记录,划分警度值域。 $0.9 \leq E < 1$ 范围内的棉田为无警; $0.8 \leq E < 0.9$ 范围内的棉田为轻警; $0.7 \leq E < 0.8$ 范围内的棉田为中警; $E < 0.7$ 的棉田为重警。由此可得,现蕾期 1~3 号棉田为无警,4 号为

中警,5~7 号为重警;花铃期 1~3 号棉田为无警,4 号棉田为无警,5~6 号为轻警,7 号为中警。
~5 号为轻警,6 号为中警,7 号为重警;吐絮期 1~4

表 4 土壤盐度与棉花各生长指标的线性关系
Table 4 Linear relation of soil salinity and growth index of cotton

y	生育期 Period	$y = a + bx$	相关系数 Correlation coefficient
株高(cm) Plant height	现蕾期 Bud stage	$y = 29.5461 - 5.6261x$	-0.9795**
	花铃期 Blossoming and boll forming stage	$y = 57.2848 - 6.3228x$	-0.9775**
	吐絮期 Boll opening stage	$y = 62.5440 - 6.5300x$	-0.9591**
干物质重(g/株) Dry matter weight (g/plant)	现蕾期 Bud stage	$y = 5.9074 - 0.9173x$	-0.9720**
	花铃期 Blossoming and boll forming stage	$y = 34.1319 - 3.2438x$	-0.9740**
	吐絮期 Boll opening stage	$y = 53.4208 - 3.8611x$	-0.9580**
叶面积指数 Leaf area index	现蕾期 Bud stage	$y = 1.4706 - 0.2428x$	-0.9229**
	花铃期 Blossoming and boll forming stage	$y = 3.3885 - 0.3289x$	-0.9461**
	吐絮期 Boll opening stage	$y = 2.1971 - 0.2452x$	-0.9542**

注:表中 x 为 EC 1:5 的土壤电导率值,适用范围为 0.25~2.95 dS/m。
Note: x is soil conductance in the table, applied from 0.25 to 2.95 dS/m.

表 5 不同土壤含盐量对棉花铃数、铃重和籽棉产量的影响
Table 5 Number and weight of bolls and yield of seed cotton affected by different soil salinity

年份 Year	棉田代号 Number	土壤盐度(dS/m) Soil salinity	株数(10^4 株/ hm^2) Number of plants (10^4 plant/ hm^2)	单株铃数(个/株) Number of bolls per plant	单铃重(g) Weight per boll	籽棉产量(kg/ hm^2) Yield of seed cotton
2007	1	0.27	21.1aA	4.80aAB	5.20aA	5267aA
	2	0.36	21.2aA	4.84aA	5.18aA	5315aA
	3	0.63	21.1aA	4.86aA	5.11abAB	5240aA
	4	0.95	20.2bAB	4.47bBC	4.85bcABC	4382bB
	5	1.49	19.9bB	4.16cC	4.80cBC	3971cC
	6	2.21	19.7bB	3.64dD	4.69cC	3366dD
	7	2.90	19.7bB	3.22eE	4.65cC	2954eE
2008	1	0.29	20.9aA	4.92aA	5.17aA	5316aA
	2	0.38	21.1aA	4.81aA	5.19aA	5267abA
	3	0.68	21.0aA	4.77aA	5.10abAB	5109bA
	4	0.97	20.1bAB	4.41bB	4.87bcABC	4341cB
	5	1.50	19.8bcBC	4.07cB	4.79cdBC	3882dC
	6	2.24	19.5cC	3.61dC	4.65cdC	3310eD
	7	2.91	19.4cC	3.11eD	4.57dC	2797fE
2007 年平均 Annual average			20.4aA	4.28aA	4.93aA	4356aA
2008 年平均 Annual average			20.3aA	4.24aA	4.91aA	4288aA

综合分析可得,随着生育期的进行,各棉田的警度有逐渐减轻的趋势,这表明棉花在前期对盐分比较敏感,其耐盐性会随着生育期的进行而逐渐增强。在各生育期,1~3 号棉田均为无警水平,这说明较低盐度的土壤(0.60 dS/m 以下)不会对棉花生长造成较大影响。从中警水平开始应当给予足够的重视,现蕾期土壤盐度在 0.99 dS/m 以上、花铃期土壤盐度在 2.18 dS/m 以上的棉田可以作为重点观察的

对象。重警出现在现蕾期的 1.50 dS/m 以上的棉田以及花铃期的高盐度(2.89 dS/m)棉田中,说明高盐度土壤对棉花生育前期影响严重,应当给予充分的重视并采取适当的措施。在花铃期,随着滴灌量的加大和棉花自身耐盐性的提高,警度开始下降,仅 6 号和 7 号棉田存在盐分警戒,到吐絮期除 7 号棉田以外已全部降到轻警以下,说明在吐絮期 2.8 dS/m 左右的盐度已不能对棉田造成较大危害。这是由于

虽然土壤中平均盐度较高,但膜下滴灌技术使得棉花生长范围内的盐分大大降低,因此土壤含盐量的增高对棉花生长发育的危害也大大降低。但仍不可放松对土壤盐渍化的警惕性,因为土壤盐渍化对棉花生长指标的影响减小并不代表对其产量和品质的影响也减小。

表 6 不同生育期各生长指标所占的权重和标准值

Table 6 Weight and standard value of each growth index in different growth period

生育期 Period	指标 Index	权重 Weight	标准值 Standard value
现蕾期 Bud stage	株高 (cm) Plant height	0.3408	29.52
	干重 (g/株) Dry matter weight (g/plant)	0.3381	5.80
	叶面积指数 Leaf area index	0.3211	1.47
花铃期 Blossoming and boll forming stage	株高 (cm) Plant height	0.3374	55.97
	干重 (g/株) Dry matter weight (g/plant)	0.3361	33.80
	叶面积指数 Leaf area index	0.3265	3.41
吐絮期 Boll opening stage	株高 (cm) Plant height	0.3353	63.52
	干重 (g/株) Dry matter weight (g/plant)	0.3349	52.94
	叶面积指数 Leaf area index	0.3298	2.91

表 7 不同生育期各棉田的综合指数

Table 7 Comprehensive index of each cotton field in different growth period

棉田代号 Number	综合指数 Comprehensive index		
	现蕾期 Bud stage	花铃期 Blossoming and boll forming stage	吐絮期 Boll opening stage
1	1.0000	0.9866	1.0000
2	0.9892	1.0000	0.9992
3	0.9087	0.9615	0.9477
4	0.7405	0.8888	0.9096
5	0.6801	0.8689	0.8806
6	0.5980	0.7931	0.8325
7	0.4536	0.6871	0.7458

3 小结与讨论

1) 在各生育期,土壤盐度和株高、干物质重、叶

面积指数均呈极显著负相关。但干物质重和叶面积指数呈现出在低盐度时先略微增大,后随着土壤盐度的增加持续降低的趋势。这说明在较低盐度的范围内,土壤盐分不会影响棉花的生长发育。

2) 在现蕾期,0.99 dS/m 是对株高、干物质重、叶面积指数开始产生显著危害的关键盐度;在花铃期,0.92 dS/m 是对株高、叶面积指数开始产生显著危害的关键盐度,而影响干重的关键盐度是 1.46 dS/m;在吐絮期,0.88 dS/m 是对株高开始产生显著危害的关键盐度,影响干重的关键盐度是 1.54 dS/m,而影响叶面积指数的关键盐度是 2.80 dS/m。

3) 从产量角度来看,随着土壤盐度的升高,籽棉产量、单株铃数和单铃重均呈递减趋势。棉花对盐害有一定的适应性,因此 0.63 dS/m 盐度以下的土壤含盐量对产量的影响并不显著,而当土壤含盐量达到 0.95 dS/m 以上时,随着土壤盐分的增大,对棉花产量造成显著影响。另外,不同盐度对产量造成的影响主要是通过影响单株铃数来实现的,而对单铃重影响相对较小。

4) 预警结果表明:各棉田的警度随着生育期的进行有逐渐减轻的趋势。生育期不同,影响棉花生长的关键盐度也有所差别。0.6 dS/m 以下的土壤盐度在各生育期都不会对棉花生长造成较大危害。棉花在生育前期对盐分比较敏感,2.8 dS/m 以上的土壤盐度在前期更易对棉花生长造成严重影响,到吐絮期 2.8 dS/m 左右的盐度已不能对棉田造成较大危害。

5) 针对不同警度的滴灌棉田,首先采取不同程度的定期大水漫灌洗盐,做好春复水工作以及恢复排碱渠作用是土壤脱盐的必要手段。其次,制定和完善一套合理精准的膜下滴灌灌溉制度也是十分必要的。另外,灌溉水不仅要保证作物正常生长,而且也为淋盐、洗盐所必需,保持根区的盐分浓度在棉花的耐性范围内。

总之,新疆棉田在膜下滴灌条件下仍普遍存在次生盐渍化的困扰,把握住关键时机和尺度采取强有力的措施是解决其困扰的出路。因此,盐渍化对膜下滴灌棉田生长发育的影响及其预警问题仍需进行深一层研究。而预警是一门正在兴起的交叉学科,正处在不断发展和完善的过程中,问题的复杂性和多变性使预警研究任重道远,很多问题仍需进一步探索和解决。

参考文献:

[1] 李毅,王文焰,王全九. 温度势梯度下土壤水平一维水盐运动

- 特征的实验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 4—8.
- [2] 王新平, 李新荣, 康尔泗. 干旱沙区滴灌条件下水盐运移过程试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3): 44—48.
- [3] 王全九, 王文焰, 汪志荣. 盐碱地膜下滴灌技术参数的确定[J]. 农业工程学报, 2001, 17(2): 47—50.
- [4] 吕殿青, 王全九, 王文焰. 膜下滴灌水盐运移影响因素研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(6): 794—802.
- [5] 戴婷婷, 张展羽, 邵光成. 膜下滴灌技术及其发展趋势分析[J]. 节水灌溉, 2007, (2): 43—44.
- [6] 李春燕, 邢彦伟. 棉田膜下滴灌技术推广应用中存在的问题及建议[J]. 中国棉花, 2007, 34(7): 39—43.
- [7] 董合忠, 郭庆正, 李维江. 棉花抗逆栽培[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1997: 65—90.
- [8] 辛承松, 董合忠, 唐薇, 等. 棉花盐害与耐盐性的生理和分子机理研究进展[J]. 棉花学报, 2005, 17(5): 309—313.
- [9] 罗宾, 陈恺元等译. 棉花生理学[M]. 上海: 上海科技出版社, 1983.
- [10] AHMAD S, Khan N, Iqbal M Z. Salt tolerance of cotton (*Gossypium hirsutum*L.)[J]. *Asian J Plant Sci*, 2002, 1(6): 715—719.
- [11] 赵可夫, 等. 作物抗性生理[M]. 北京: 农业出版社, 1990.
- [12] 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.
- [13] 杨晓英, 杨劲松. 盐胁迫条件下不同栽培措施对棉花生长的调控作用研究[J]. 土壤, 2005, 37(1): 65—68.
- [14] 王艳娜, 侯振安, 龚江, 等. 咸水滴灌对土壤盐分分布、棉花生长和产量的影响[J]. 石河子大学学报, 2007, 25(2): 158—162.
- [15] 侯振安, 李品芳, 龚江, 等. 膜下滴灌条件下不同土壤盐度和施氮量对棉花生长的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 681—686.
- [16] 辛承松, 董合忠, 唐薇, 等. 不同肥力滨海盐土对棉花生长发育和生理特性的影响[J]. 棉花学报, 2007, 19(2): 124—128.
- [17] 李凤全, 吴樟荣. 半干旱地区土地盐碱化预警研究[J]. 水土保持通报, 2002, 22(1): 57—59.
- [18] 卞建民, 林年丰, 汤洁. 土地盐碱荒漠化预警理论及实证研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 207—209.
- [19] 陈高潮, 马友华, 赵艳萍. 农业生态系统安全性预警与预警系统的建立[J]. 农业生态科学, 2005, 21(10): 330—333.

Research on early warning value of salt tolerance of cotton with drip irrigation under mulch

SUN Zhao-jun^{1,2}, LI Lu-hua^{1,2}, ZHANG Wei^{1,2},

ZHANG Xiao-wei³, YANG Zhong-ping⁴, CHANG Shi-wei¹

(1. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China;

2. Key Laboratory Oasis Eco-agriculture, Xinjiang Production and Construction Group, Shihezi, Xinjiang 832003, China;

3. Institute of Agricultural Science and Technology of Agriculture Division No. 6, Xinjiang Production and Construction Group, Wujiaqu, Xinjiang 831300, China; 4. Xinhu Farm of Agriculture Division No. 6, Xinjiang Production and Construction Group, Wujiaqu Xinjiang 831300, China)

Abstract: Effect of secondary salinization on the growth of cotton was studied by choosing different cotton fields with drip irrigation under mulch with the salinity gradient in Xinjiang, then the condition for early warning on its basis was investigated. The results showed that plant height, dry matter weight and leaf area index showed a significant negative correlation with soil salinity respectively in different growth period. Cotton is resistant to salinity, because the aboveground growth and yield of cotton were not influenced by the low soil salinity. The yield reduction was due to a reduction in the number of available bolls. The salt tolerance level of cotton varied in different growth period. The warning degree of each cotton field tended to reduce gradually with the growth period process. The soil salinity below 0.6 dS/m would not harm the growth of cotton in every growth period, while the soil salinity above 2.8 dS/m would result in a serious impact to the growth of cotton in early growth periods, and in boll opening period the soil salinity around 2.8 dS/m did not cause harm to the growth of cotton.

Key words: drip irrigation under mulch; secondary salinization; cotton; growth; early warning value