

水氮调控对轻度盐化土膜下滴灌棉花根干质量的影响

于晓琦¹, 黄月娇¹, 王晓明^{1,2*}

(1. 银川科技学院, 银川 750021; 2. 宁夏大学 土木与水利工程学院, 银川 750021)

摘要:【目的】探究干旱区轻度盐化土条件下水氮调控模式对膜下滴灌棉花根干质量的影响规律。【方法】开展轻度盐胁迫(4~5 g/kg)下膜下滴灌棉花水氮调控对根系干重的影响研究, 设置 3 个施氮水平: 300、600 kg/hm² 和 900 kg/hm² (分别记为 N1、N2 和 N3) 和 3 个灌水水平: 2 750、3 750 m³/hm² 和 4 750 m³/hm² (分别记为 W1、W2 和 W3) 共 9 个处理, 分析膜下滴灌棉花根干质量及根干质量密度的差异性变化。【结果】水分对根干质量的作用较氮素明显。相同施氮水平下, 根干质量随灌水量增大先增后减。根干质量随着土层深度的增加而减小, 适当增加灌水量和施氮量可以促进 30 cm 以下土层中根干质量增加; 而在水平方向上, 当灌水量偏低时, 根干质量在距离滴头较远的水平范围内较其他灌水处理有明显减小的趋势; 水氮互作效应对根干质量密度的影响达到极显著水平($P<0.01$), 随着施氮量的增加, 根干质量密度随着土层深度和水平方向的增加而下降。【结论】轻度盐化土膜下滴灌棉花适宜灌溉定额为 2 750 m³/hm², 适宜施用尿素量为 300 kg/hm²。

关键词: 轻度盐化土; 滴灌棉花; 水氮调控; 根干质量

中图分类号: S562

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2021407

OSID:



于晓琦, 黄月娇, 王晓明. 水氮调控对轻度盐化土膜下滴灌棉花根干质量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(5): 97-103.

YU Xiaoqi, HUANG Yuejiao, WANG Xiaoming. The Effects of Water-nitrogen Regulation on Cotton Roots in Drip-irrigated Salinized Soils[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(5): 97-103.

0 引言

【研究意义】新疆是中国最大的棉花产区之一, 地处西北干旱内陆, 水资源严重缺乏, 极端干旱的气候条件使其成为中国土壤盐碱化、次生盐渍化的主要分布区。新疆第二次土壤普查数据表明, 新疆耕地总面积 4.09×10⁶ hm², 盐渍化耕地面积 1.27×10⁶ hm², 占耕地总面积的 31.10%^[1]。这给区域农业生产带来了巨大的挑战。

【研究进展】土壤盐渍化严重降低了农业生产水平, 并对新疆的粮食产量及农业安全构成了严重威胁^[2]。棉花耐盐性较强, 是开发利用盐碱地的先锋作物^[3]。有研究表明, 棉花的耐盐临界值(0~20 cm 土层)为 0.302‰^[4], 只有在极限耐盐度(含盐量 0.6%)情况下才会对根系生长产生影响^[5], 即轻度甚至中度盐化土棉田采用合理的农艺措施可以抵抗盐分的胁迫作用。因此, 利用棉花耐盐性强的特点发展盐碱地植棉, 一直备受受到众多学者的关注。灌水与施肥是

棉花生产中人工调控的重要环节, 也是决定大田作物种植中产量和效益的关键因素^[1]。在盐渍化地区研究水肥耦合效应, 有助于改善根系生长环境, 缓解盐分胁迫对作物的影响^[6]。棉花对氮肥需求量最高, 合理施用氮可以显著提高棉花产量^[7]。国内外有关专家、学者围绕盐碱地农作物水氮高效利用进行了大量研究: 研究表明在含盐土壤中种植棉花时, 盐分会限制作物根系对水氮的吸收和利用, 致使养分吸收受阻和紊乱, 最终导致其营养失衡^[3,7]。【切入点】有研究对^[8-11]水氮调控对作物生理指标和性状的影响进行了研究, 确定了合理施用氮肥可降低水分胁迫对作物造成的不利影响; 部分学者^[12-16]对新疆膜下滴灌棉花的水氮调控模式进行了详细的研究, 研究成果多针对棉花产量和水肥利用效率等方面, 而棉花根系作为吸收土壤水分和养分的主要器官, 关于水氮调控对棉花根系影响的研究成果少见报道。【拟解决的关键问题】根干质量是精确评价且直观反映作物根系生长的重要指标之一, 基于此, 本文利用桶栽试验, 研究轻度盐化土水氮调控对棉花根干质量的影响, 寻求干旱区轻度盐化棉田水氮高效利用模式, 为新疆盐渍化地区植棉技术发展提供科学依据。

收稿日期: 2021-08-27

基金项目: 2020 年度宁夏高校科研项目(NGY2020111); 自治区级一流基层教学组织-工程造价; 宁夏回族自治区教育厅教学改革项目(2018SFZY32)

作者简介: 于晓琦(1987-), 女, 讲师, 硕士, 主要从事节水灌溉理论研究。E-mail: 371954686@qq.com

通信作者: 王晓明(1979-), 男, 副教授, 博士研究生, 主要从事泥沙动力学及数值模拟研究。E-mail: 450250837@qq.com

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2017 年 4—12 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 (85°59'47" E, 44°19'28" N, 海拔 412 m) 进行。试验站地处石河子市西郊石河子大学农试验场二连。该地区属于典型的温带大陆性气候, 全年平均日照时间达 2 865 h, 多年平均降雨量为 198 mm, 平均蒸发量为 1 340 mm, 无霜期 170 d。年平均风速为 1.5 m/s, 静风占 32%, 偏东风占 14%, 偏西风 17%, 偏南风占 22%, 偏北风占 15%。

1.2 试验方法

本研究采用桶栽试验, 桶规格为 45 cm×50 cm (内径×高), 桶底人工开孔。供试土壤含盐量为 4~5 g/kg, 根据《新疆垦区盐碱地改良》^[17] 中“耕地土壤盐化程度的分级标准”供试土壤属于轻度盐化土; 按体积质量 1.40 g/cm³ 分层填装至距桶底 45 cm。供试棉花选用石河子地区主栽品种“农丰 133”, 4 月 22 日采用“干播湿出”方式播种, 深度为 3~4 cm。依据郑旭荣等^[18]和吴立峰等^[19]在石河子垦区制定的膜下滴灌棉花灌溉制度及施肥策略并结合生产实践中膜下滴灌棉花灌溉、施肥实际定额, 设计水氮二因素三水平试验。其中, 灌水 3 个水平: 灌溉定额分别为 2 750、3 750 m³/hm² 和 4 750 m³/hm² (分别标记为 W1、W2 和 W3); 施用尿素 3 个水平: 300、600 kg/hm² 和 900 kg/hm² (分别标记为 N1、N2、和 N3); 3 组重复, 共 27 个桶。磷肥、钾肥以磷酸二氢钾作基肥 1 次施入, 各处理均为 300 kg/hm²。每个桶均采用医用输液管模拟滴头实现单独控制灌水, 调节输液管开关控制并校核灌水滴头流量为 1.8 L/h 左右, 保证每个桶精确控制灌水量与施肥量。各生育期具体灌水、施肥处理详见表 1。

表 1 棉花灌溉与施肥处理

Table 1 Irrigation and fertilizer amount of cotton

生育期	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	全生育期
灌水、施肥周期/d	15	8	7	15	140
灌水次数	3	2	5	2	12
施肥次数	3	2	5	2	12
灌水比例/%	10	15	60	15	100
施肥比例/%	10	15	60	15	100

10 月 20 日, 棉花收获后, 采用分层取样法取棉花根, 以滴头 (桶中心) 为中心, 水平位置为距离滴头的 0~5、5~10、10~15 cm 和 15~20 cm 处, 取样深度分别为每 10 cm 土层取样 1 次, 即采集长×宽×高为 5 cm×5 cm×10 cm 大小的单位土块。拣根过程包括: 对土块中体积较大的根系进行人工手拣; 剩余细小根

系先用 0.5 mm 土筛筛分^[8], 再用极细孔尼龙网包裹根系置于水流下冲洗; 将洗净的根系放入 10 cm×20 cm 的透明托盘内, 向托盘内加 1~2 cm 清水, 用镊子将托盘内根系拣出用滤纸吸干, 放入信封内, 置于 105 °C 鼓风干燥箱中杀青 30 min, 80 °C 烘干至恒质量, 采用精度为 1/10 000 电子天平称其质量^[10], 获得单位体积根干质量, 然后采用式 (1) 计算根质量密度, 计算式为:

$$\text{根质量密度} = \frac{\text{单元土体内根系干质量}}{\text{土体体积}} \quad (1)$$

采用 Excel 2013 对数据进行整理、分析及表格制作, Origin2017 绘制曲线图。采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析, Duncan 法比较处理间的差异 ($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同处理对棉花根干质量的影响

2.1.1 不同处理对棉花根总干质量的影响

根干质量指标直观反映了不同水、氮处理对轻度盐化土膜下滴灌棉花根系生长的整体影响, 如图 1 所示, 试验各处理间根总干质量差异性显著, 水氮交互作用对轻度盐化土膜下滴灌棉花根系生长有显著影响 ($P<0.05$)。在同等灌水处理下, W1 处理和 W3 处理根总干质量均随施氮量的增加呈先增加后减小的变化规律; 而 W2 处理根总干质量则随着施氮量的增加而减小。说明适宜施氮量可显著促进轻度盐化土膜下滴灌棉花根系生长, 而过高或过低施用氮肥均对根系物质质量的积累产生明显的抑制作用。而在相同施氮处理下, 根总干质量随灌水量的增加呈先增加后减小的变化规律; 即 W2 处理下的根总干质量均大于其他处理, W3 处理下根总干质量最小。因此, 适宜灌水量可显著促进轻度盐化土膜下滴灌棉花根系生长, 而灌溉定额过高或过低均对根系物质质量的积累产生明显的抑制作用。在 N2 处理中, 各灌水处理下根总干质量虽然存在显著差异 ($P<0.05$), 但相较其他试验处理, 差异性明显减小, 说明适宜的氮肥施用量可以调节水分胁迫对棉花根系的影响。

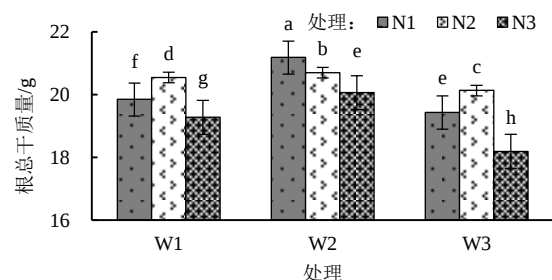


图 1 水氮调控对根总干质量的影响

Fig.1 Effects of water and nitrogen regulation on root total dry weight

2.1.2 不同处理对棉花根干质量垂直分布的影响

膜下滴灌技术的推广应用改变了棉花地面灌溉种植模式, 实现了小定额、高频率精细高效灌溉方式; 灌溉方式的转变影响了棉花根系在土壤中的空间分布。根干质量空间分布展现了水氮调控对轻度盐化土

膜下滴灌棉花根系的影响, 同时还反映了膜下滴灌棉花土壤水分和肥料分布与根系生长的匹配关系。轻度盐化土水氮调控对根干质量垂直分布的影响如图 2 所示; 对根干质量水平分布的影响如图 3 所示。

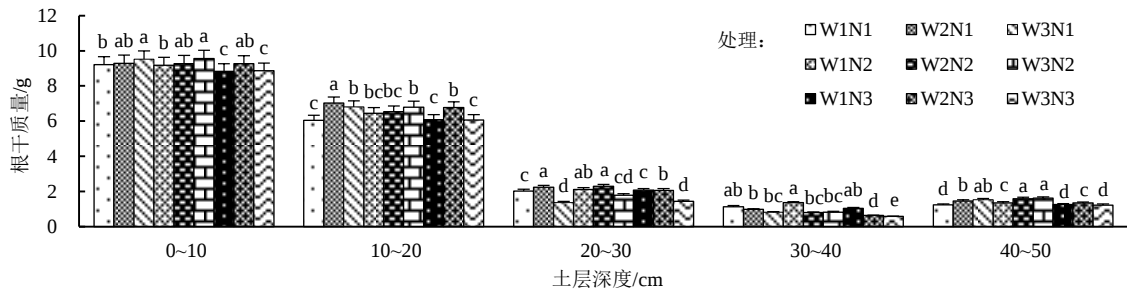


图 2 水氮调控对根干质量垂直分布的影响

Fig.2 Effects of water and nitrogen regulation on vertical distribution of root dry weight

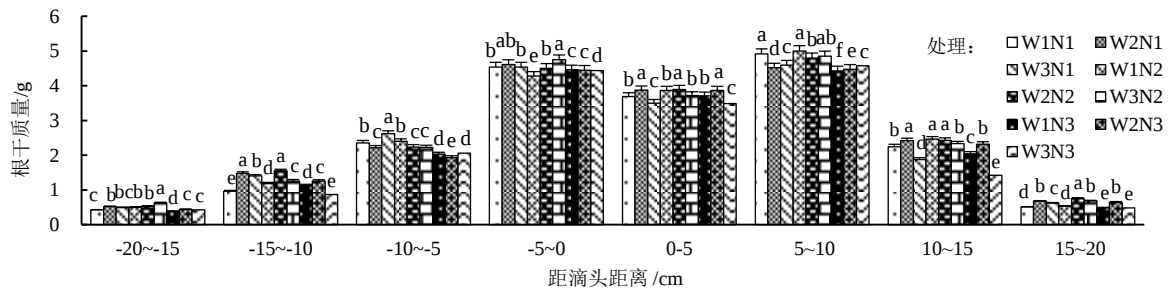


图 3 水氮调控对根干质量水平分布的影响

Fig.3 Effects of water and nitrogen regulation on the horizontal distribution of dry weight of root

由图 2 可知, 0~50 cm 土层内各处理根干质量随土层深度加深呈不同程度的减小, 0~20 cm 土层棉花根干质量较大, 且各处理间差异性较小。与 30~40 cm 土层相比, 40~50 cm 土层中根干质量略有增加, 主要是因为桶栽试验一定程度上限制了棉花根系生长, 部分根系于桶底部堆积。

水分对根干质量在各土层内的分布有明显影响。N1 处理和 N3 处理下, W1 处理与 W3 处理 10~20 cm 土层根干质量下降明显, W2 处理下降幅度相对较小; 各处理 30~40 cm 土层根干质量随灌水量的增加而减小。W3 处理在 0~20 cm 土层中分布比例较大。而 W2 处理下, 各施氮处理 20~30 cm 土层根干质量明显增加, W3 处理在该土层内显著降低。可见, 提高灌水量能够促进 0~20 cm 土层内根系物质质量的增加, 适当的提高灌水量可促进 20~30 cm 土层中根干质量的增加。N3 处理下, 各处理 0~20 cm 土层根干质量的变化趋势与 N1 处理相类似。W3N2 处理 0~10 cm 土层根干质量最大, 并明显高于其他处理。N2 处理 10~20 cm 土层根干质量所占比例最大, N1 处理与 N3 处理的根干质量相差不大。说明低氮与高氮处理对 10~20 cm 土层根系物质质量的分布影响不大。此外, N1 处理与 N3 处理下根干质量以 W2 处理最大, 说明低氮与高氮处理下, 中等灌水量处理促进该土层内

根干质量的增大。N2 处理 20~30 cm 土层根干质量所占比例最大, N3 处理最小。N1 处理 30~40 cm 土层根干质量增加, N3 处理根干质量分布比例则大幅度下降。

根干质量随水分与氮素中单一因子的变化趋势并不明显, 而不同的灌水量与施氮组合下根干质量在 20~50 cm 土层内的变化有显著差异 (图 2)。N1 处理下, W2 处理 20~30 cm 土层内根干质量最大, W1 处理 30~40 cm 土层中根干质量增加。各施氮处理下, W2 和 W3 处理 40~50 cm 土层内根干质量明显增大。而在 N3 处理下, W2 处理 0~30 cm 土层根干质量所占比例较大, 30~40 cm 土层内比例下降。N1 处理和 N2 处理下, 高水灌溉促进 0~10 cm 表层根干质量的增加, 但在 N3 处理下则会对根干质量产生负效应。施氮对根干质量在土层内的分布影响较小, 未达到显著水平 ($P>0.05$)。W3 处理下, N2 处理 20~30 cm 土层内根干质量明显增加。在高灌水处理下, 适当的增施氮肥能够促进根干质量在该土层内的分布。

2.1.3 不同处理棉花根干质量水平分布的影响

水平方向上, 各处理根干质量自根轴处随距滴头距离的增大而减小, 近 85% 的根干质量分布在距离棉花主根附近 0~5 cm 的范围内 (图 3)。距滴头 0~5 cm 范围内, 各处理间根干质量差异不显著; 但在滴头二

侧 5~10 cm 范围内,不同水氮处理下根干质量存在显著差异,N3 处理根干质量明显下降,W1N3 处理在该范围内分布比例降低;在距滴头 10~15 cm 范围内,N1 处理与 N2 处理下,各灌水处理根干质量明显增加,而随距滴头水平距离的增大,N3 处理根干质量有减小的趋势,以 W3 处理最为显著,说明高氮处理下根干质量在水平范围上的分布有减小的趋势,尤其在灌水量较高时表现明显。滴头二侧 5~15 cm 范围内,N2 处理下根干质量略高于 N1 处理,以 W1 处理变化最为显著。氮肥对根干质量在水平方向上的分布表现出受水分的影响较大,在距离滴头较远的范围内,以 W3N3 处理根干质量减小最明显。

2.2 不同处理对棉花根干质量密度的影响

2.2.1 不同处理对棉花总根干质量密度的影响

根干质量密度是描述根系在土壤中分布状况的重要指标。在 N1 处理与 N3 处理下,各处理根干质量密度表现出随灌水量增加呈先增大后减小的趋势,N2 处理下,各处理根干质量密度随灌水量增加而减小(表 2)。N1 处理和 N3 处理根干质量密度偏低,而 N2 处理下根干质量密度明显增大。结合不同处理下根质量密度的变化来看,氮肥用量不足与过量施用氮肥会对根干质量密度产生负效应,根系生物量在土壤中的分布受到阻碍,作物吸收水分与养分的能力降低。相比之下 N2 处理能够促进作物根干质量密度的增加,在各灌水水平下发挥作用稳定,且根干质量密度较小,根系呈短粗状,为地下部吸收水分与养分创造有利条件。根干质量密度随施氮量单一因子的变化没有明显的规律性,而氮肥对根干质量密度的作用受水分影响较大。水氮互作效应对根干质量密度的影响达到极显著水平($P<0.01$),N1 处理和 N2 处理内,各灌水量水平间根干质量密度差异明显,而在 N1 处理和 N2 处理间对比中可以发现,同等灌水量处理根干质量密度无明显差异。N3 处理根干质量密度均与其他处理出现差异。不同水氮处理下以 W1N1 处理根干质量密度最大,以 W3N3 处理最小。

表 2 水氮调控对根干质量密度的影响

Table 2 Effects of water and nitrogen regulation on the dry weight density of root

处理		根干质量密度/(10^{-4}g cm^{-3})
施氮	灌水	
N1	W1	4 492.93 $\pm$ 4.28a
	W2	4 207.01 $\pm$ 5.78c
	W3	3 889.94 $\pm$ 10.81e
N2	W1	4 457.70 $\pm$ 30.51a
	W2	4 165.27 $\pm$ 6.52c
	W3	3 930.88 $\pm$ 9.75e
N3	W1	4 264.00 $\pm$ 7.93b
	W2	4 029.49 $\pm$ 37.60d
	W3	2 940.67 $\pm$ 2.53f

注 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P>0.05$),下同。

2.2.2 不同处理对棉花根干质量密度垂直分布的影响

如图 4 显示,各处理间根干质量密度随土层深度增加呈下降趋势,在 0~30 cm 土层中快速降低。在 0~10 cm 的浅表土层中,W3 处理下的根干质量分布有较大优势,但在 10~20 cm 土层内下降较快。W1 灌水水平下,N2 处理 0~20 cm 土层中的根干质量密度最大,N1 处理与 N3 处理相近。在灌水量偏低时,适当增加氮量能够促进根干质量密度在 0~30 cm 土层中的分布。随土层深度增加,W2 处理下根干质量密度在深土层中明显增加,20~30 cm 土层内均占有较大比例,说明正常灌水处理促进了该土层中根系的分布。在 40~50 cm 土层中,各处理根干质量密度有增大趋势,以 W2 处理与 W3 处理增幅较大,在该土层中根系有堆积现象,随灌水量增大根系堆积而现象更加明显。N1 处理与 N2 处理下,根干质量密度在各土层内的分布随施氮量的变化不明显,N3 水平对根干质量密度有较强的抑制作用。

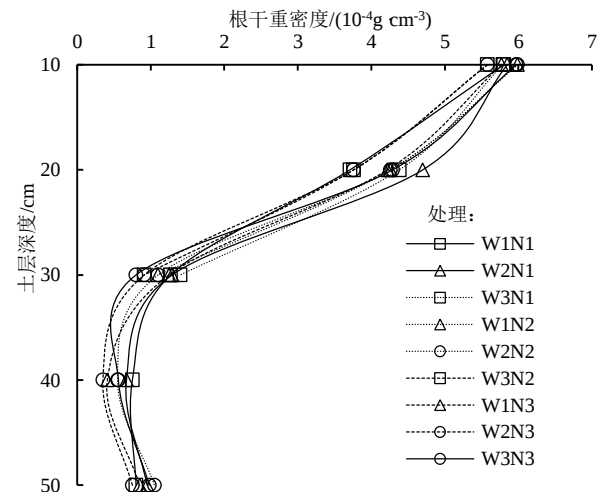


图 4 水氮调控对根干质量密度垂直分布的影响

Fig.4 Effects of water and nitrogen regulation on the vertical distribution of dry weight density of root

2.2.3 不同处理对棉花根干质量密度水平分布的影响

各处理根干密度在水平方向上近似呈“驼峰”型分布(图 5),根干密度在滴头处处于低值区,在-5~0 cm 与 5~10 cm 范围内处于峰值区。各灌水量水平下,根干密度在水平方向上有明显差别。滴头附近 0~5 cm 范围内,W3 灌水处理下 N1 处理与 N3 处理根干质量密度下降明显,W1 与 W2 灌水处理下各处理根干质量密度明显较高。高灌水处理下,适当增加氮肥可以促进根干质量密度在 0~5 cm 范围内增加。在距离滴头 5~10 cm 范围内,N3 处理下根干质量密度较其他施氮处理明显降低。水平 10~15 cm 范围内,N2 处理根干质量密度增加。在 W1 与 W2 灌水处理下,N2 处理在水平方向 5~20 cm 范围内根干质量密度较大,N3 处理下根干质量密度显著下降。说明在适量灌水或灌水量偏低条件下,适当的增加氮肥用量可以提高

滴头 5 cm 以外范围内的根干质量密度, 而高氮处理下, 根干质量密度在水平方向上减小。随灌水量的增加, 水平方向上各范围内根干质量密度呈不同程度减小, 以 W3 变化最为明显, 说明较高灌水量对根干质量在水平方向上的分布有抑制作用, 适当的增加灌水量有利于水平范围内根干质量密度的分布。

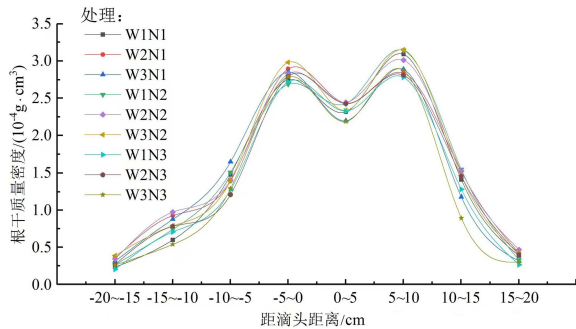


图 5 水氮调控对根干质量密度水平分布的影响

Fig.5 Effects of water and nitrogen regulation on the horizontal distribution of dry weight density of root

3 讨论

水和肥是农业生产中影响作物生长的 2 个重要因素, 合理的灌溉与施肥是作物增产的主要途径之一。根系是植物直接与土壤接触的器官, 起到吸收水分和矿质养料的作用, 并受土壤质地、养分和水分的调控^[20]。土壤中的水分状况首先影响根系的生长和分布, 进而对地上部起作用影响产量。本文试验表明根系重量垂直分布趋势基本相同, 均随土层深度的增加而降低, 这与刘秀萍等^[21]的研究基本一致, 主要是因为根系有向土壤水分较高的地方偏移生长的现象, 而本研究也表明, 棉花根系的分布受到土壤水分的影响, 各处理棉花根系主要在 0~30 cm 土层^[22]。

Shahnazari 等^[23]研究表明了水肥间还存在明显的交互与耦合效应。轻度水分亏缺下提高施氮量能显著增加番茄根系干质量、根系体积和促进根系的扎深, 并且高氮处理根系出现浅根化的趋势。说明增加氮素的供应对根系生长的影响可能表现为促进或抑制作用^[24]。王艳等^[25]研究表明低氮有利于根系纵向伸长, 而高氮则导致根系生物量降低, 但有利于根系的横向发育, 表现为侧根密度的增加。本文研究结果得到类似结论, 在一定水肥范围内, 膜下滴灌棉花根系干质量随灌水量和施肥量的增加而增加, 但超过一定阈值产量有下降趋势, 适宜水肥条件可促进根系的生长。可能是因为高氮降低了根系向深层土壤延伸的生长能力, 从而降低其对深层养分、水分利用的能力^[26], 而适量的氮肥供应有利于根系的伸长和细根的形成, 但施氮量过多时, 增加灌水并不能缓解氮素过多对根

干质量密度的抑制作用。研究表明, 在高氮水平下, 植物体内氮素积累超过一定量时, 根系生长会受到抑制^[27]。

氮肥对作物根系生长存在适宜的取值, 且与土壤水分状况有密切的关联^[28]。在低氮水平下, 适当的增加灌水量可以促进 20~30 cm 耕作层中根系物质量的增加, 孙浩等^[29]认为灌水量增大时桶栽棉花在靠近桶底土层中根干质量增加, 灌水量增大时, 受桶高限制底层土壤含水率较高, 促进了 40~50 cm 底部土层中根干质量增加。邓忠等^[30]研究表明, 随着施氮量的增加根系干物质量呈先增大后减小的趋势, 谢志良等^[13]关于膜下滴灌水氮对棉花根系构型影响。本文研究表明, 根干质量随灌水量的增加而增大, 高氮对各处理根干质量有明显的抑制作用。本试验中根干质量在 W1N1 处理下取得最大值, 说明从根干质量角度分析, 轻度盐化土膜下滴灌棉花适宜灌溉定额 2 750 m³/hm², 适宜施用尿素量为 300 kg/hm²。

4 结论

1) 各处理 0~40 cm 土层根干质量随土层深度的增加而减小, 40~50 cm 土层根干质量出现堆积现象。而各处理根干质量随距滴头距离的增大而减小, 且主要分布在距离棉花主根 0~5 cm 范围内。

2) 与增施氮肥相比, 水分对棉花根干质量的影响更加明显。相同施氮水平下, 随灌水量的增大, 根干质量呈先增大后减小的变化规律, 当灌溉定额为 2 750 m³/hm²时, 可促进根系物质量的积累。

3) 水氮交互作用对棉花根干质量影响显著 ($P<0.05$)。正常灌水条件下, 适当减少氮肥用量可以促进根干质量的增加。本文试验表明, 轻度盐化土膜下滴灌棉花适宜灌溉定额为 2 750 m³/hm², 适宜施用尿素量为 300 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 季方, 樊自立, 李和平. 新疆 1:100 万土地资源图总说明书[C]//中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所. 新疆土壤与土地资源研究文集. 北京: 科学出版社, 1991: 11-19.
- [2] 张寿雨, 吴世新, 贺可. 基于开垦年龄的新疆盐渍化耕地时空特征分析[J]. 干旱区研究, 2017, 34(5): 972-979.
ZHANG Shouyu, WU Shixin, HE Ke. Spatiotemporal variation of salinized cultivated land with different cultivation years in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2017, 34(5): 972-979.
- [3] 董合忠. 盐碱地棉花栽培学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
DONG Hezhong. Cotton farming in saline soil[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [4] 张豫, 王立洪, 孙三民, 等. 阿克苏河灌区棉花耐盐指标的确定[J]. 中国农业科学, 2011, 44(10): 2 051-2 059.
ZHANG Yu, WANG Lihong, SUN Sanmin, et al. Indexes of salt tolerance of cotton in Akesu river irrigation district[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(10): 2 051-2 059.

- [5] 龚江. 滴灌棉田水盐迁移规律及其改善棉花耐盐机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
GONG Jiang. Regulation of soil water-saline movement and improve tolerance saline effect of cotton under drip irrigation[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [6] 田德龙, 史海滨, 闫建文, 等. 含盐土壤水肥耦合对向日葵生理性状的影响[C]//现代节水高效农业与生态灌区建设(上). 2010: 354-362.
- [7] SALVAGIOTTI F, MIRALLES D J. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat[J]. European Journal of Agronomy, 2008, 28(3): 282-290.
- [8] 范雪梅, 姜东, 戴廷波, 等. 花后干旱或渍水下氮素供应对小麦光合和籽粒淀粉积累的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1 883-1 888.
FAN Xuemei, JIANG Dong, DAI Tingbo, et al. Effects of nitrogen supply on flag leaf photosynthesis and grain starch accumulation of wheat from its anthesis to maturity under drought or waterlogging[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(10): 1 883-1 888.
- [9] MORGAN J A. The effects of N nutrition on the water relations and gas exchange characteristics of wheat (*triticum aestivum* L.)[J]. Plant Physiology, 1986, 80(1): 52-58.
- [10] 马冬云, 郭天财, 宋晓, 等. 施氮对冬小麦旗叶 RuBP 羧化酶活性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 西北植物学报, 2010, 30(11): 2 197-2 202.
MA Dongyun, GUO Tiancai, SONG Xiao, et al. Effects of nitrogen fertilizer application on RuBP carboxylase activity and chlorophyll fluorescence parameters in flag leaves of winter wheat[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2010, 30(11): 2 197-2 202.
- [11] 刘瑞显, 王友华, 陈兵林, 等. 花铃期干旱胁迫下氮素水平对棉花光合作用与叶绿素荧光特性的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(4): 675-683.
LIU Ruixian, WANG Youhua, CHEN Binglin, et al. Effects of nitrogen levels on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics under drought stress in cotton flowering and boll-forming stage[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(4): 675-683.
- [12] 吴立峰, 张富仓, 范军亮, 等. 水肥耦合对棉花产量、收益及水分利用效率的效应[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 164-172.
WU Lifeng, ZHANG Fucang, FAN Junliang, et al. Effects of water and fertilizer coupling on cotton yield, net benefits and water use efficiency[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12): 164-172.
- [13] 忠智博, 翟国亮, 邓忠, 等. 水氮施量对膜下滴灌棉花生长及水氮分布的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(1): 67-76.
ZHONG Zhibo, ZHAI Guoliang, DENG Zhong, et al. The impact of N application and drip irrigation amount on cotton growth and water and N distributions in soil mulched with film[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(1): 67-76.
- [14] 江柱, 张江辉, 白云岗, 等. 膜下咸水滴灌肥盐调控对棉花盐离子、养分吸收及干物质分配的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(2): 59-67.
JIANG Zhu, ZHANG Jianghui, BAI Yungang, et al. The impact of mulched drip fertigation with saline water on uptake of ions and nutrients by cotton[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(2): 59-67.
- [15] 曹莉莉, 丁日升, 薛富岚. 不同水盐胁迫对番茄生长发育和产量的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(2): 29-35.
CAO Heli, DING Risheng, XUE Fulan. Growth and yield of tomato as impacted by salinity stress[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(2): 29-35.
- [16] 李培岭, 张富仓, 贾运岗. 沙漠绿洲地区膜下滴灌棉花水分利用的水氮耦合效应[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 53-59.
LI Peiling, ZHANG Fucang, JIA Yungang. Coupling effect of water and nitrogen on cotton yield and water use efficiency in different patterns of drip irrigation under film mulching[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(3): 53-59.
- [17] 罗家雄. 新疆垦区盐碱地改良[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
- [18] 郑旭荣, 胡晓棠, 李明思, 等. 棉花膜下滴灌田间耗水规律的试验研究[J]. 节水灌溉, 2000(5): 25-27.
- [19] 吴立峰, 朱绿丹, 段洪浪, 等. 棉花产量和生长指标对水肥响应关系[J]. 南昌工程学院学报, 2017, 36(3): 52-57.
WU Lifeng, ZHU Lvdan, DUAN Honglang, et al. Response relationship of cotton yield and growth to water and fertilizer[J]. Journal of Nanchang Institute of Technology, 2017, 36(3): 52-57.
- [20] BONSER A M, LYNCH J, SNAPP S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*[J]. New Phytologist, 1996, 132(2): 281-288.
- [21] 刘秀萍, 陈丽华, 陈吉虎. 刺槐和油松根系密度分布特征研究[J]. 干旱区研究, 2007, 24(5): 647-651.
LIU Xiuping, CHEN Lihua, CHEN Jihu. Study on the distribution of root density of robinia pseudoacacia L. and pinus tabulaeformis carr[J]. Arid Zone Research, 2007, 24(5): 647-651.
- [22] ABALOS D, JEFFERY S, SANZ-COBENA A, et al. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, 189: 136-144.
- [23] SHAHNAZARI A, AHMADI S H, LAERKE P E, et al. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potatoes[J]. European Journal of Agronomy, 2008, 28(2): 65-73.
- [24] WALLENTA T, SCHAEFFER C, EINIG W, et al. Effects of varied soil nitrogen supply on Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.)[J]. Plant and Soil, 1996, 186(2): 361-369.
- [25] 王艳, 米国华, 张福锁. 氮对不同基因型玉米根系形态变化的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 69-71.
WANG Yan, MI Guohua, ZHANG Fusuo. Effect of nitrate levels on dynamic changes of root morphology in different maize inbred lines[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11(3): 69-71.
- [26] COMFORT S D, MALZER G L, BUSCH R H. Nitrogen fertilization of spring wheat genotypes: Influence on root growth and soil water depletion[J]. Agronomy Journal, 1988, 80(1): 114-120.
- [27] 薛丽华, 赵连佳, 陈兴武, 等. 不同水氮运筹对滴灌冬小麦根系生长、水分利用及产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(9): 21-31.
XUE Lihua, ZHAO Lianjia, CHEN Xingwu, et al. Effects of different water and nitrogen application patterns on the growth of root and yield of winter wheat[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(9): 21-31.
- [28] 刘小刚, 张岩, 程金焕, 等. 水氮耦合下小粒咖啡幼树生理特性与水氮利用效率[J]. 农业机械学报, 2014, 45(8): 160-166.
LIU Xiaogang, ZHANG Yan, CHENG Jinhuan, et al. Biochemical property and water and nitrogen use efficiency of young Arabica coffee tree under water and nitrogen coupling[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(8): 160-166.
- [29] 孙浩, 李明思, 李金山, 等. 滴头流量对桶栽棉花根系分布与耗水的影响[J]. 排灌机械工程学, 2014, 32(10): 906-913.
SUN Hao, LI Mingsi, LI Jinshan, et al. Influence of dripper discharge on cotton root distribution and water consumption under pot cultivation[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2014, 32(10): 906-913.
- [30] 邓忠, 翟国亮, 宗洁, 等. 干旱区水氮调控对棉花根、冠生长特性及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(6): 57-64.
DENG Zhong, ZHAI Guoliang, ZONG Jie, et al. Effects of water and nitrogen regulation on root and shoot growth characteristics and yield of cotton in arid area[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2015(6): 57-64.

The Effects of Water-nitrogen Regulation on Cotton Roots in Drip-irrigated Salinized Soils

YU Xiaoqi¹, HUANG Yuejiao¹, WANG Xiaoming^{1,2*}

(1. Yinchuan University of Science and Technology, Yinchuan 750021, China;

2. School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: 【Objective】 Root growth and its consequence for water and nutrient uptake from soils are modulated by a multitude of biotic and abiotic factors. The aim of this paper is to study the effect of water-nitrogen coupling on the roots of cotton in drip-irrigated salinized soils. 【Method】 The experiment was conducted in pots packed with mildly salinized soil (4~5 g/kg), with the local cotton variety Nongfeng 133 used as the model plant. All pots were drip-irrigated. There were three nitrogen (urea) fertilizations: 300 (N1), 600 (N2) and 900 kg/hm² (N3), and three irrigation treatments: 2 750 (W1), 3 750 (W2) and 4 750 m³/hm² (W3). We measured dry-root weight to compare the difference between the treatments. 【Result】 Irrigation affected the roots more significantly than nitrogen fertilization. When nitrogen fertilization was the same, the dry root weight increased first and then fell with the increase in irrigation amount. Along the soil profile, the dry root weight decreased with the soil depth in the 0~40 cm soil layer, and increased with depth in the vicinity of the pot bottom. Increasing irrigation amount and nitrogen application in certain ranges increased dry root weight in the soil below the depth of 30 cm. Horizontally, reducing irrigation amount led to a reduction in dry root weight in the soil distant from the emitter. Increasing nitrogen application did not promote horizontal root growth. The dry root weight decreased along the soil depth, especially in the 0-30 cm soil layer in which the dry root weight declined with depth steadily. The effect of water- nitrogen coupling on the roots was significant ($P<0.01$). 【Conclusion】 The effect of nitrogen on the root system was modulated by soil water, and on average increasing nitrogen fertilization negatively affected root growth at significant levels.

Key words: salinized soil; drip irrigation; cotton; water-nitrogen coupling; root dry weight

责任编辑：赵宇龙