



不同滴灌水肥配施模式对土壤硝态氮与棉花根系形态的影响

任江静¹, 吕新¹, 祁力敏², 王艺晗¹, 阮世进¹, 刘阳¹, 张强¹, 张泽¹

(1.石河子大学农学院/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;

2.新疆生产建设兵团第八师石河子总场,新疆石河子 832003)

摘要 为探明不同滴灌水肥配施模式对土壤硝态氮与棉花根系形态的影响,在 N-W-N(前期滴入氮肥、中间滴清水、后期再滴入氮肥)的常规水肥配施模式基础上,通过设置 4 种不同的施肥时段[W1(1/3,1/3,1/3)(在一次施肥的两端时间滴肥,中间 1/3 时间段仅灌清水)、W2(1/2,1/4,1/4)(在一次施肥的前 1/2 和后 1/4 时间段滴肥,中间 1/4 时间段仅灌清水)、W3(1/4,1/4,1/2)(在一次施肥的前 1/4 和后 1/2 时间段滴肥,中间 1/4 时间段仅灌清水)和 W4(1/4,1/2,1/4)(在一次施肥的前 1/4 和后 1/2 时间段滴肥,中间 1/4 时间段仅灌清水)],探究其对 0~20、20~40 和 40~60 cm 土壤硝态氮累积规律及棉花根系形态指标的影响。结果表明:滴灌棉田不同生育时期各土层硝态氮质量分数表现为 60 cm>20 cm>40 cm,棉花根系各形态指标的生长表现为 40 cm>60 cm>20 cm;在不同水肥配施模式下,各土层硝态氮质量分数表现为 W4>W3>W2>W1,根系各形态指标的生长表现 W1>W2>W3>W4;通过不同滴灌水肥配施模式与根系形态指标相关分析结果表明,各处理对总根长、总根表面积、总根体积、根尖数均有显著影响,其中 W1 模式效果最佳。表明合理的水肥配施模式对滴灌棉花根系生长有促进作用,从而协同增加地上部分干物质积累,促进棉花高产。

关键词 棉花;滴灌水肥配施;土壤硝态氮;根系形态

中图分类号 S562

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2019)11-1812-09

棉花是中国重要的经济作物,是关系国计民生的战略物资。新疆棉花种植面积约占全国的 73.2%,产量占全国 83.8%,是中国最大的优质商品棉生产基地^[1]。氮素是维持植物正常生长的重要元素^[2],氮肥的不合理施用会导致棉花蕾铃脱落、徒长、产量和品质及肥料利用率降低等问题^[3-5]。因此,合理施氮对作物生长及氮素利用率提高起着重要作用。根系是植物吸收氮素的重要器官,其各形态指标均受到土壤氮素质量分数影响^[6],因此,通过监测根系生长可以较好地反映氮素对根系生长的作用效果^[7]。根管法在不破坏根系生长的情况下监测棉花整个生育期内土壤中活体根系形态,包括根系长度、平均直径、表面积、投影面积、根体积、根量等参数^[8-9],可实现全生育期作物根系生长的动态监测,为根系与土壤养分互作效应提供数据支撑。

膜下滴灌是国内外农业生产中较先进的灌溉

技术^[10]。研究表明,滴灌棉花细根的生长速率与死亡速率均高于漫灌,棉花生育期内细根动态表现为生死同步,且生长处于优势地位,与漫灌相比,滴灌使棉花根系的生命活动更加旺盛^[11]。索俊宇等^[12]研究表明,在滴灌模式下,选择优化施氮量,有利于降低棉田土壤无机氮的残留量,从而降低氮向 90 cm 以下土壤淋洗的风险,减少氮的浪费,有利于氮素集中于根系吸收的有效范围内。陶垆^[13]研究表明,在滴灌棉田中,高频灌溉施肥,对土壤中硝态氮向深层土积累有堆积作用,选择优化施氮有助于降低土壤无机氮的残留量,从而降低硝态氮向更深土层淋洗的风险,最终证明 N-W-N(施肥过程中先施氮肥,再灌清水,最后再施氮肥)的滴灌水肥配施模式棉花产量最高。

因此,本试验基于前人研究,通过不同滴灌水肥配施模式处理对土壤硝态氮质量分数和棉花根系生长的影响研究,明确不同滴灌水肥配施模式

收稿日期:2019-05-08 修回日期:2019-06-01

基金项目:国家博士面上项目(2017M623282);兵团应用基础研究(2016AG002)。

第一作者:任江静,女,本科生,研究方向为作物信息技术与精准栽培。E-mail:745240456@qq.com

通信作者:张泽,男,副教授,主要从事作物信息技术与精准栽培研究。E-mail:zhangze1227@163.com

条件下不同土层硝态氮的累积规律,进而阐明其对根系形态指标的影响效果,最终筛选出适合棉花生长的最优滴灌水肥配施策略,为棉花高产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2018 年在新疆生产建设兵团第八师石河子总场进行(86°01'E,44°26.5'N),该区海拔 429 m,年日照时数 2 721~2 818 h,无霜期 168~171 d,≥10℃的活动积温为 3 570~3 729℃,属典型的温带大陆性气候,冬季长而严寒,夏季短而炎热。试验区土壤质地为壤土,土壤基础理化性状为:有机质 19.90 g/kg,碱解氮 60.88 mg/kg,有效磷 17.95 mg/kg,有效钾 134 mg/kg,前茬作物为棉花。

1.2 试验设计

棉花品种为‘新陆早 50 号’,采用膜下滴灌灌溉方式。2018 年 4 月中旬播种。采用小区试验,膜宽 205 cm,种植模式为 66 cm+10 cm,1 膜 3 管 6 行。试验采用随机区组设计,在 N-W-N 的滴灌水肥配施模式下设置水肥时间处理(W 表示滴水,N 表示滴肥)。在施肥时间不变的情况下,

将总时间分成 3 个时间段,例如 W1(1/3,1/3,1/3)表示在施肥总时间的前 1/3 时间内滴肥,中间 1/3 时间只灌清水,后 1/3 时间继续滴肥,设置 4 个处理表示为 W1(1/3,1/3,1/3)、W2(1/2,1/4,1/4)、W3(1/4,1/4,1/2)、W4(1/4,1/2,1/4),整个过程一直保持灌水状态,每个处理重复 3 次,共设置 12 个小区。在棉花关键生育时期(盛蕾期、盛花期、盛铃期、吐絮期),按 20 cm 间隔采集 0~60 cm 土层土样,以测定土壤硝态氮质量分数。利用 CI-600 根系检测系统对 0~20、20~40、40~60 cm 土层根系进行扫描,后期利用软件对扫描的根系图片予以处理。

试验根据 N-W-N 的施肥原则,将施肥时间按比例分为 3 个梯度,即将每个时期各处理下的施肥量分成两部分(例:W1 处理前 1/3 时间和后 1/3 时间滴肥,即 2 次投肥用量为 1:1,因此每次施肥对应 2 个肥量数据),每一部分对应滴肥时间来进行肥料投放。4 次施肥所用的肥料总量均为 422.60 kg/hm²(大田常规施氮量),每一次肥料用量分别为 78.26 kg/hm²、93.91 kg/hm²、117.39 kg/hm²、133.04 kg/hm²,表 1 为不同时期不同处理下的氮肥分配情况。

表 1 不同滴灌水肥配施模式下氮肥分配情况

Table 1 Nitrogen fertilizer distribution under different drip fertigation models

处理 Treatment	氮肥用量/(kg/hm ²) Nitrogen consumption				总量/(kg/hm ²) Total				
	06-24		07-15		08-05	08-25			
W1	39.13	39.13	46.96	46.96	58.70	58.70	66.52	66.52	422.62
W2	52.17	26.09	62.61	31.30	78.26	39.13	88.70	44.35	422.61
W3	26.09	52.17	31.30	62.61	39.13	78.26	44.35	88.70	422.61
W4	39.13	39.13	46.96	46.96	58.70	58.70	66.52	66.52	422.62

1.3 测定指标及方法

1.3.1 各土层根系形态监测 试验于 2018 年 4 月中旬播种,待棉花出苗后,各处理分别选择长势良好的植株进行微根管安装。一共安装 4 根微根管,每根总长 120 cm,与地面倾斜 60°。每根微根管上部留出大约 20 cm 露出地面,用黑色胶布缠好并盖上管盖,以防止阳光暴晒或雨水灰尘等进入管内影响后期的测量,微根管布置如图 1 所示。

本试验自蕾期开始进行根系扫描,每 10 d 测定 1 次,每根微根管扫描 3 次,每次共扫描 12 张根系图片,将图片保存为 BMP 格式文件,再利用 WinRHIZOTron 根系分析软件对扫描根系图进

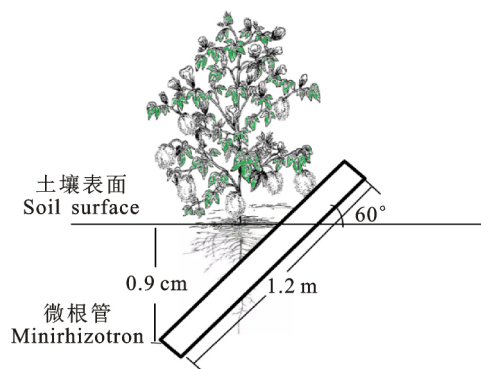


图 1 根系检测

Fig.1 The root system monitoring

行分析,得到根系长度(L)、平均直径(AD)、表面积(SA)、根体积(V)、根尖数(NTips)的参数,建立根系数据库再对各指标加以分析。

1.3.2 各土层硝态氮测定 2018-06-24 进行大田第 1 次施肥,施肥前后 5 d 进行土样采集,每个处理选择棉花长势大致相同的 3 个区域进行打点采样,每个样点采集 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤,每次一共采集 36 个土样,密封标记好,立刻带回实验室处理。每份土样提取一份清澈浸提液,装入小白瓶内,利用德国艾本德公司生产的连续流动分析仪进行硝态氮质量分数的测定。

1.4 数据处理

运用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据计算和作图,采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析和差异显著性检验(LSD 法, $\alpha = 0.05, \alpha = 0.01$),利用 WinRHIZOTron 根系分析软件对扫描根系图进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 不同滴灌水肥配施模式对土壤硝态氮的影响

不同处理下各土层硝态氮质量分数呈先增后减再增最后稳定的趋势(见图 2)。6 月 18 日至 7 月 10 日各土层硝态氮质量分数逐渐增多,从 7 月 19 日开始随着施肥量的增加,理论上硝态氮积累量应继续增多,但从图中可以明显看出此时测得的 40 cm 土层硝态氮质量分数骤降,主要是由于此时处于棉花营养生长最旺盛的阶段,棉花根系需要从土壤中摄取充足的养分来供应地上部分以达到保蕾保铃的目的。从 8 月 1 日开始,棉花营养生长逐渐停止,逐步进入生殖生长时期,光合能

力降低,各器官对养分吸收能力减弱,土壤养分再次积累,呈现出上升趋势至后期趋于稳定。从各土层来看,在不同处理情况下,不同土层硝态氮积累量大致表现为 $W4 > W3 > W2 > W1$ 。在整个生育期内,不同时期的硝态氮均在 40~60 cm 土层积累最多,20~40 cm 土层积累最少,表明 20~40 cm 土层硝态氮对棉花根系的供氮效果最好。从 8 月 10 日开始植株生长逐渐停止,各水肥配施处理对硝态氮积累影响降低。

2.2 不同滴灌水肥配施模式对棉花根系形态参数的影响

2.2.1 棉花根系长度 由图 3 可以看出,在不同处理下,各土层根长随时间变化整体呈现先上升后下降的趋势。6 月 18 日至 7 月 19 日(此时处于蕾铃期),随着时间的推移根系持续伸长,并且根系长度均在 7 月 19 日达到峰值,表明在此期间根系对土壤养分吸收效果最佳。7 月 19 日至 8 月 30 日(铃期至吐絮期),根系生长逐渐衰退至最终稳定。按总体来看,W1 处理下根系总长度在 0~1 000 cm 范围波动,最小值为 9.86 cm,最大值为 143.49 cm,较其他处理变动幅度大。整体来看,不同处理下的根系长度均在 40 cm 土层中表现最佳。

2.2.2 棉花根系表面积 由图 4 可以看出,不同处理下,不同土层的根系表面积随时间变化整体呈现先上升后下降的变化趋势。6 月 18 日至 7 月 19 日保持上升,并且均在 7 月 19 日达到峰值,此时地下根系需肥量最大,吸收土壤养分最多,生长最为旺盛。W1 处理下,根系表面积在 0~700 cm^2 ,最大值为 608.7 cm^2 ,表明此处理下的根系养分吸收面积最大,同理,W4 处理下根系养分吸

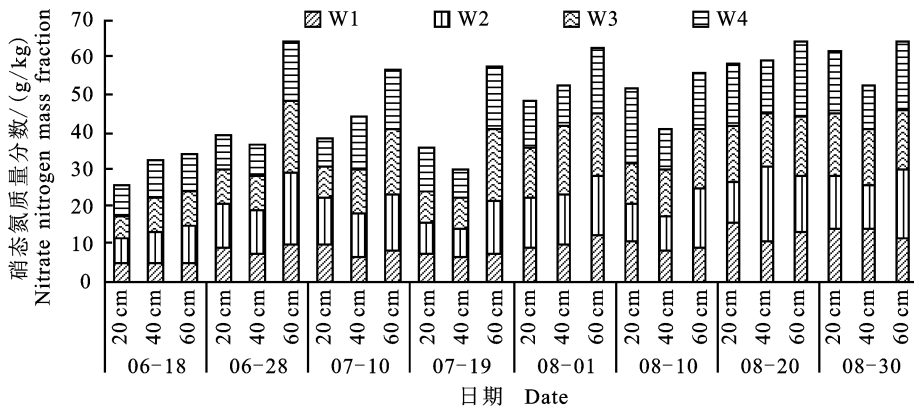


图 2 不同处理下各土层硝态氮质量分数

Fig.2 Mass fraction of nitrate nitrogen in each soil layer under different treatments

收面积最小。整体来看,不同处理下的根系表面积均在 40 cm 土层中表现最佳。

2.2.3 棉花根系体积 由图 5 可知,在不同处理下,不同土层的根系体积随时间变化整体呈现先上升后下降的变化趋势。同样,不同土层根系体积均在 7 月 19 日达到峰值,表明此时根部吸收养分最旺盛,吸收效率最高。7 月 19 日之后由于根系衰老萎缩死亡等原因,导致根系体积逐渐下降。

W1 处理下的根系总体积在 0~40 cm³,最大值为 38.72 cm³,长势效果最好,W4 处理的效果较其他处理差。整体来看,不同处理下的根系在 40 cm 土层中长势最佳。

2.2.4 棉花根系直径 由图 6 可知,在不同处理下,不同土层的根系平均直径随时间变化整体呈先上升后下降最后保持稳定的变化趋势。与其他根系形态指标不同的是,各处理之间根系直径相

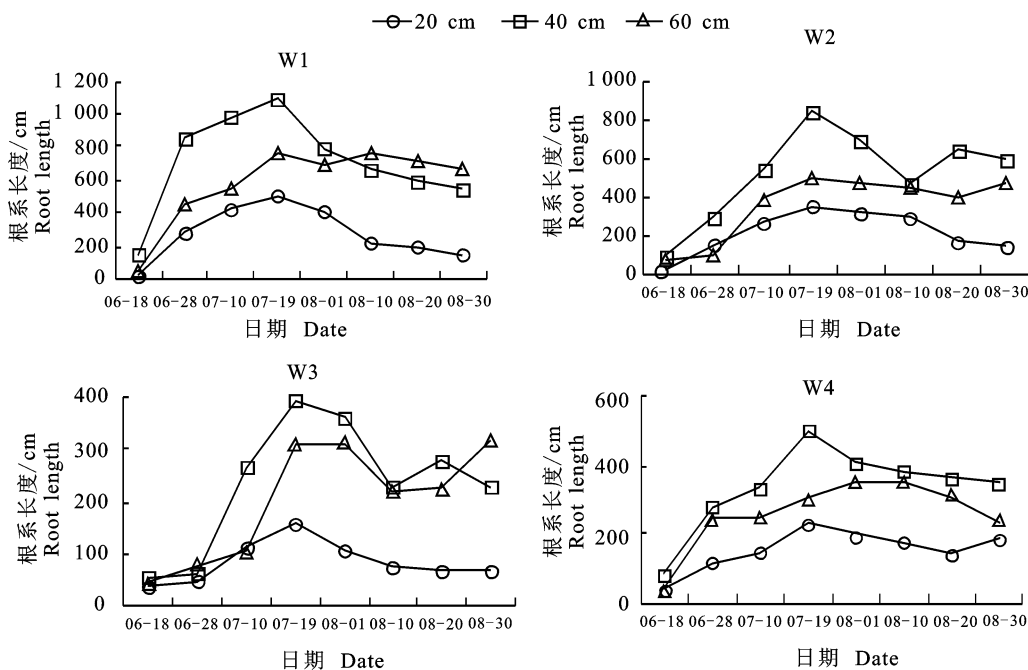


图 3 不同滴灌水肥配施模式对根系长度的影响

Fig.3 Effects of different drip fertigation patterns on root length

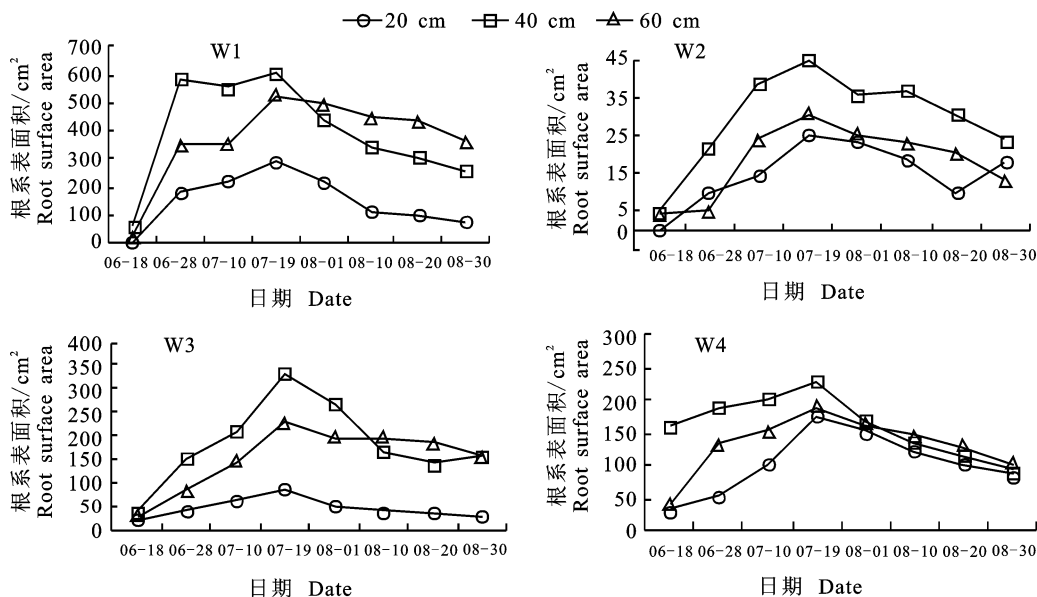


图 4 不同滴灌水肥配施模式对根系表面积的影响

Fig.4 Effects of different drip fertigation patterns on root surface area

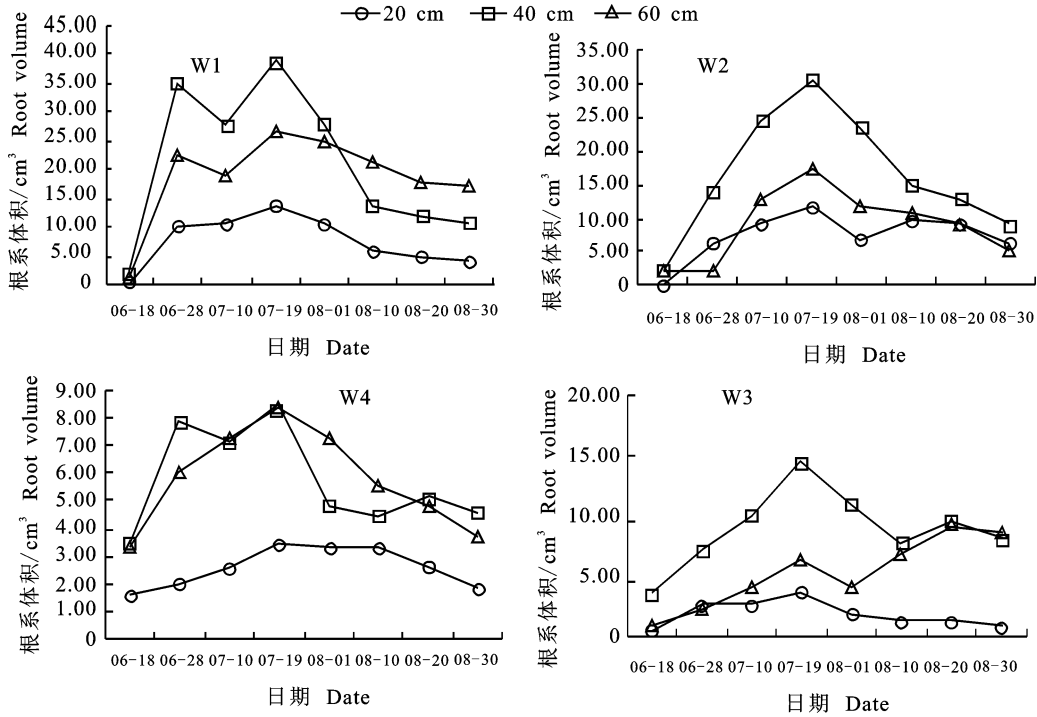


图 5 不同滴灌水肥配施模式对根系体积的影响
 Fig.5 Effects of different drip fertigation patterns on root volume

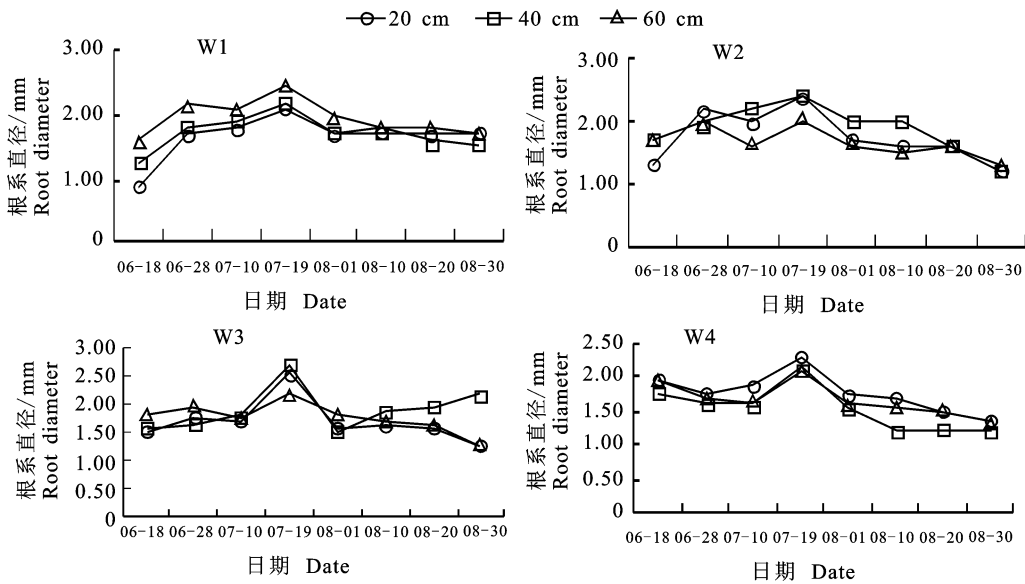


图 6 不同滴灌水肥配施模式对根系直径的影响
 Fig.6 Effects of different drip fertigation patterns on root diameter

差不多,均是在7月10日至7月19日有一个“突增”的现象,主要是由于在6月18日至7月19日处于棉花的盛蕾铃期,各器官需肥量均达到了整个生育期的最大量,根系发育旺盛,在7月19日时生长达到峰值。7月19日后根系直径开始下降,8月1日后由于棉花进入吐絮期,地上生长变缓慢,地下的生长同样如此,因此根系直径逐渐保

持稳定。总体来看,4个处理下根系直径生长均大致处于1.5~2.7 mm,且在40 cm土层生长状况最佳。

2.2.5 棉花根尖数 由图7可知,棉花根尖数在整个生育期内呈现先增加后降低最后稳定的变化趋势,同样在7月19日时达到峰值。W1与W3处理下的20 cm和40 cm土层之间根尖数差异明

显, W2 与 W4 处理下各土层之间根尖数差异不大。W1 处理下的根尖数最多, W4 处理下最少。总体来看, 不同处理下的根系在 40 cm 土层生长状况最佳。

2.3 不同处理的水肥配施模式优化筛选

2.3.1 不同土层间根系形态变化 由表 3 可知, 不同土层水平下, 对根系总根长、总根表面积、总根体积、根平均直径、根尖数的影响均达到显著水平。20~40 cm 土层的总根长、总根表面积、根平均直径、根尖数最大, 分别为 453.59 cm、258.68 cm²、13.08 cm³、1.70 mm、115.09, 其中, 0~20 cm 土层中的总根长、总根表面积、总根体积与根尖数均与 20~40 cm 和 40~60 cm 土层根系指标呈显著关系, 20~40 cm 与 40~60 cm 土层各根系指标表现为不显著, 根平均直径在这 3 个土层表现均为不显著。总体表明, 棉花根系生长在 20~40 cm 土层最为旺盛, 直接证明了土壤养分大多集中在这一土层中。

2.3.2 不同处理间根系形态变化 本试验将土壤分为 3 个不同土层, 表 4 是在相同土层的不同

处理下对根系形态进行分析。由表 4 可知, 不同处理水平对总根长、总根表面积、总根体积、根尖数的影响均达到显著水平。W1 处理的总根长、总根表面积、总根体积、总根平均直径、根尖数均高于其他处理, 分别为 518.57 cm、305.11 cm²、15.72 cm³、1.80 mm、114.04, 其中, 总根长、总根表面积、总根体积均与 W2、W3、W4 差异显著。在 5% 水平下, W2 处理的总根表面积、总根体积、根尖数均显著大于 W3、W4 处理。W3 与 W4 处理下的总根表面积、总根体积、根尖数并无显著差异性。W2 与 W4 处理下的总根长显著大于 W3, 但二者之间差异并不显著。在 1% 水平下, W2 处理的总根长、总根表面积、根尖数与 W3、W4 处理均无显著差异性, 但总根体积显著大于 W3、W4 处理, W3 与 W4 处理的各项指标之间均无显著差异。而所有处理条件下的根平均直径之间未表现出显著差异性。表明在 W1 处理下根系各形态生长达到最佳状态, 总根长、总根表面积、总根体积、根尖数有明显变化, 但对根平均直径的影响并不明显。

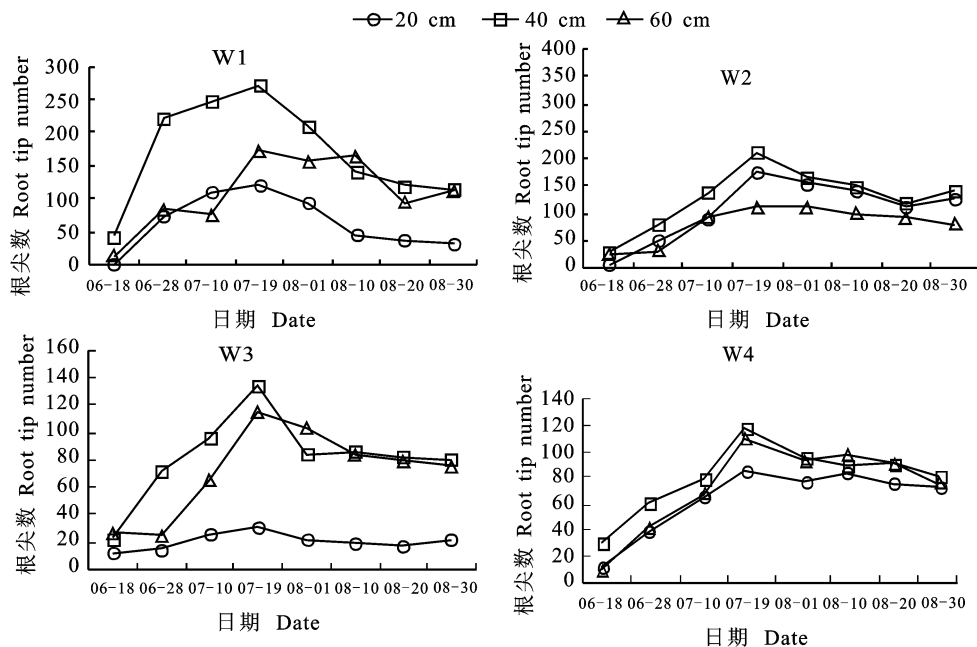


图 7 不同滴灌水肥配施模式对根尖数的影响

Fig.7 Effects of different drip fertigation patterns on root tip number

2.3.3 不同滴灌水肥配施模式筛选结果 土壤硝态氮的积累情况始终对根系生长具有一定影响。图 2 表明, 随着生育期的推进, 不同处理的硝态氮质量分数表现为 W4>W3>W2>W1。图 3~图 7 表明, 根系各形态指标均随生育期推进呈

现先上升后下降的趋势, 不同处理下表现为 W1>W2>W3>W4, 表明由于 W1 处理下的土壤硝态氮被根系有效地吸收利用, 因此使其在土壤中的质量分数最少。由此筛选出 W1(1/3, 1/3, 1/3)为 N-W-N 处理下的最优滴灌水肥配施模式。

表 3 相同处理下不同土层间根系形态指标变化

Table 3 Changes of root morphological indexes in different soil layer of the same treatment

土层/cm Layer	根系形态指标 Root morphological indicators				
	总根长/cm Total root length	总根表面积/cm ² Total surface area	总根体积/cm ³ Bulk volume	根平均直径/mm Mean diameter	根尖数 Root tip
0~20	182.34 bB	111.91 bB	4.87 bB	1.68 aA	63.41 bB
20~40	453.59 aA	258.68 aA	13.08 aA	1.81 aA	115.09 aA
40~60	352.08 aA	209.96 aA	9.73 aAB	1.70 aA	82.94 bAB

注:不同字母表示 5%(小写字母)和 1%(大写字母)水平差异显著,下同。

Note: Different letters indicates significant difference between 5% (lower case) and 1% (upper case), the same below.

表 4 相同土层不同处理间根系形态指标变化

Table 4 Changes of root morphological indexes in different treatments of the same soil layer

土层/cm Layer	根系形态指标 Root morphological indicators				
	总根长/cm Total root length	总根表面积/cm ² Total surface area	总根体积/cm ³ Bulk volume	根平均直径/mm Mean diameter	根尖数 Root tip
W1	518.57 aA	305.11 aA	15.72 aA	1.80 aA	114.04 aA
W2	368.59 bAB	211.40 bB	10.90 bA	1.75 aA	104.46 aAB
W3	173.15 cB	125.90 cB	5.59 cB	1.78 aA	57.54 bB
W4	257.03 bcB	131.65 cB	4.71 cB	1.65 aA	72.54 bB

3 讨论与结论

根系是植物吸收水分和养分的重要器官,利用微根管技术检测棉花根系生长形态可以直观地观测根系动态生长情况^[14]。张鋈等^[15]在植物根系研究进展中得出,根系形态特征与生理特性与地上部分各器官生长、发育、产量等都有着密不可分的联系。因此,把握好根系在各土层的生长状况,尤其是在与施肥方式的结合下更有利于植物养分的吸收^[16]。本研究得出,在不同的滴灌水肥配施模式下,随着棉花生育期的推进,棉花根系生长集中在 20~40 cm 土层,这与陈文岭等^[17]研究的利用微根管测得滴灌棉花根系密度主要分布在 20~30 cm 土层结论相符合。此外,本研究还发现根系在 20~40 cm 土层的各指标生长状况优于 0~20 cm 与 40~60 cm 土层,通过测定 0~60 cm 土层硝态氮质量分数可知,20~40 cm 土层硝态氮质量分数较其他土层低。这可能是由于根系对 20~40 cm 土层的硝态氮需求量最大,吸收效率高,根系生长最旺盛,最终导致该层硝态氮质量分数最低。同时,本研究还发现在不同水肥配施模式处理下,根系的总根长、总根表面积、总根体积、根平均直径、根尖数各指标整体呈先上升后下降最终稳定的生长趋势,且均在 7 月 19 日达到最大值;而各土壤硝态氮质量分数整体呈先增后减再增最后稳定的趋势,且均在 7 月 19 日达到最低值。可能是由于 7 月 19 日处于棉花生长的蕾铃

期,对氮素吸收比苗期大幅度增加,这与王钊^[18]研究滴灌棉花在花铃期需肥量最大的结论相符。

氮素作为根系生长所需的重要养分元素,对产量提高的一个关键因素就在于根系对地下养分的利用情况^[19]。本试验以陶婷等^[20]的 N-W-N 研究结果为基础设定的试验方案,再将水肥配施模式进行细分,发现 W1(1/3,1/3,1/3)的水肥时间配比最能降低氮肥淋失的风险,提高根系对肥料利用率。这与唐志强等^[21]得出的合理的施肥模式能够使根系对养分更加高效利用的结论相符。本研究通过比较不同滴灌水肥配施模式下土壤硝态氮的积累情况以及根系生长状况发现,采用 N-W-N 的施肥模式加上 1/3,1/3,1/3 等量的水肥配施时间比能够进一步提高棉花对土壤养分的吸收效率,但由于试验品种单一,只考虑到了根系形态与土壤硝态氮分布的关系而没有考虑对根系其他生理活性的影响,因此还需对棉花根系生长进行更深入的探究。

参考文献 Reference:

[1] 孔建新.新疆棉花生产的优势与劣势[J].西部论丛,2004(11):40-41.
KONG J X. Advantages and disadvantages of cotton products in Xinjiang [J]. *Western Forum*, 2004(11):40-41.

[2] 郑苍松,李鹏程,孙 森,等.叶面施氮对棉花根系吸收硝态氮的影响[J].棉花学报,2018,30(4):338-343.
ZHENG C S, LI P CH, SUN M, et al. Effects of foliar nitrogen applications on the absorption of nitrate nitrogen by cotton roots [J]. *Cotton Science*, 2018, 30(4):338-343.

[3] 王 准.棉花氮高效种质筛选及评价指标的研究[D].北京:中国农业科学院,2019.

- WANG ZH. Screening and evaluation index of cotton nitrogen efficient germplasm [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2019.
- [4] SUN H J, A D, FENG Y F, *et al.* Floating duckweed mitigated ammonia volatilization and increased grain yield and nitrogen use efficiency of rice in biochar amended paddy soils [J]. *Chemosphere*, 2019, 237: 124532.
- [5] 胡迎春, 韩云良, 施成晓, 等. 氮肥减量下缓释肥和尿素配施对黄土高原春玉米氮素利用和产量效益的影响 [J]. *西北农业学报*, 2019, 28(7): 1068-1078.
- HU Y CH, HAN Y L, SHI CH X, *et al.* Improving nitrogen use efficiencies, yields and profits for spring maize by using mixtures of slow-release fertilizer and normal urea in Loess Plateau [J]. *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*, 2019, 28(7): 1068-1078.
- [6] 任胜茂, 邓榆川, 韩文斌, 等. 施氮对蚕豆根系形态及光合产物积累分配的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(4): 72-77.
- REN SH M, DENG Y CH, HAN W B, *et al.* Effects of nitrogen application on root morphology and accumulation and distribution of photosynthates of broad bean [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(4): 72-77.
- [7] 孙 路. 作物根系研究方法进展与展望 [J]. *科技与创新*, 2018(4): 142-143.
- SUN L. Progress and prospect of crop root research methods [J]. *Science and Technology & Innovation*, 2018(4): 142-143.
- [8] 平文超, 张永江, 刘连涛, 等. 棉花根系生长分布及生理特性的研究进展 [J]. *棉花学报*, 2012, 24(2): 183-190.
- PING W CH, ZHANG Y J, LIU L T, *et al.* Review of researches on root growth, distribution and physiological characteristics of cotton [J]. *Cotton Science*, 2012, 24(2): 183-190.
- [9] 张 泉. 不同土壤类型棉花根系发育状况研究 [J]. *新疆农业科技*, 2016(1): 27-28.
- ZHANG Q. Study on root development of cotton in different soil types [J]. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, 2016(1): 27-28.
- [10] 喜献珍, 龚立佳, 王雪莹, 等. 新疆棉花膜下滴灌高产栽培技术分析 [J]. *中国农业文摘-农业工程*, 2018, 30(4): 29-30.
- XI X ZH, GONG L J, WANG X Y, *et al.* Analysis of high-yield cultivation techniques of cotton drip irrigation under mulch in Xinjiang [J]. *Agricultural Science and Engineering in China*, 2018, 30(4): 29-30.
- [11] 海兴岩, 张 泽, 马革新, 等. 不同灌溉方式对棉花细根动态变化的影响研究 [J]. *灌溉排水学报*, 2017, 36(11): 1-6.
- HAI X Y, ZHANG Z, MA G X, *et al.* Growth and senescence of fine roots of cotton under drip irrigation differ from those under flooding irrigation [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2017, 36(11): 1-6.
- [12] 索俊宇, 马兴旺, 龚双凤, 等. 膜下滴灌棉田土壤氮素变化特征及合理施氮量 [J]. *西北农业学报*, 2017, 26(5): 738-744.
- SUO J Y, MA X W, GONG SH F, *et al.* Variation characteristics of soil nitrogen and proper nitrogen rate in cotton field under mulch-drip irrigation [J]. *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*, 2017, 26(5): 738-744.
- [13] 陶 婷. 不同滴灌施肥方式下土壤硝态氮分布及棉株氮素利用率的研究 [D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2015.
- TAO X. Study on distribution of soil NO_3^- -N and utilization rate of cotton by different ways of fertigation [D]. Shihezi Xinjiang: Shihezi University, 2015.
- [14] 牛学礼, 南志标. 运用微根管技术研究草地植物细根的发展 [J]. *草业学报*, 2017, 26(11): 205-215.
- NIU X L, NAN ZH B. Review of minirhizotron applications for study of fine roots in grassland [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 26(11): 205-215.
- [15] 张鋈鋈, 刘冰洋, 王一凡, 等. 植物根系研究进展 [J]. *天津农业科学*, 2016, 22(11): 11-18.
- ZHANG J J, LIU B Y, WANG Y F, *et al.* Research progress of plant roots [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2016, 22(11): 11-18.
- [16] 段 慧, 李弈仙, 魏永胜, 等. 根系活力检测中保险粉用量的确定 [J]. *西北农业学报*, 2019, 28(2): 267-272.
- DUAN H, LI Y X, WEI Y SH, *et al.* Suitable amount of sodium hydrosulfite in TTC test for determining roots viability [J]. *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*, 2019, 28(2): 267-272.
- [17] 陈文岭, 靳孟贵, 刘延锋, 等. 微根管法监测膜下滴灌棉花根系生长动态 [J]. *农业工程学报*, 2017, 33(2): 87-93.
- CHEN W L, JIN M G, LIU Y F, *et al.* Monitoring cotton root growth dynamics under mulched drip irrigation using minirhizotron technique [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(2): 87-93.
- [18] 王 钊. 氮肥运筹对新疆大田滴灌棉花生长及氮素利用的影响 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- WANG ZH. Effects of nitrogen fertilizer management on field cotton growth and nitrogen fertilizer use under in Xinjiang [D]. Yangling Shaanxi: Northwest A&F University, 2016.
- [19] 史星雲, 李 强, 张 军, 等. 滴灌条件下水肥耦合对酿酒葡萄生长发育及果实品质的影响 [J]. *西北农业学报*, 2019, 28(2): 225-236.
- SHI X Y, LI Q, ZHANG J, *et al.* Effects of water and fertilizer coupling on growth and quality of wine grapes under drip irrigation [J]. *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*, 2019, 28(2): 225-236.
- [20] 陶 婷, 张国龙, 温鹏飞, 等. 不同滴灌施肥策略对棉花氮素利用率和产量的影响 [J]. *节水灌溉*, 2015(10): 34-38.
- TAO X, ZHANG G L, WEN P F, *et al.* Effects of different drip irrigation methods on cotton nitrogen absorption and utilization and yields [J]. *Water-saving Irrigation*, 2015(10): 34-38.
- [21] 唐志强, 蒋洪波, 沈 枫, 等. 土壤和肥力对‘辽梗 401’秧苗根系形态的影响 [J]. *中国农学通报*, 2018, 34(2): 1-5.
- TANG ZH Q, JIANG H B, SHEN F, *et al.* Effects of soil and fertility on root morphology of ‘Liaojing 401’ seedlings [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(2): 1-5.

Effects of Different Drip Fertigation Modes on Soil Nitrate Nitrogen and Cotton Root Morphology

REN Jiangjing¹, LÜ Xin¹, QI Limin², WANG Yihan¹, RUAN Shijin¹,
LIU Yang¹, ZHANG Qiang¹ and ZHANG Ze¹

(1.Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture of Xinjiang Production and Construction Corps, Agricultural College of Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003, China; 2.Sihezi General Station, Eighth Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi Xinjiang 832003, China)

Abstract Drip fertigation mode is the key yield improvement technologies in crop production systems. In this study, a field experiment was conducted to investigate the effects of four drip fertigation modes, W1 (time drip fertigation at both ends of one fertilization and only clear water in the middle of one third time), W2 (time drip fertigation in the first 1/2 and the last 1/4 period and only clear water in the middle 1/4 period), W3 (time drip fertigation in the first 1/4 and the last 1/2 period and only clear water in the middle 1/4 period), and W4 (time drip fertigation in the first 1/4 and the last 1/4 period and only clear water in the middle 1/2 period) on the accumulation rules of nitrate nitrogen and cotton root morphological index in the soil depth of 0–20 cm, 20–40 cm and 40–60 cm on the basis of conventional N–W–N fertigation modes (early drip of nitrogen fertilizer, intermediate drip of clear water and later drip of nitrogen fertilizer). The results showed that nitrate nitrogen mass fraction in different depth decreased in the order 60 cm > 20 cm > 40 cm at all growth stages, while the cotton root morphological index decreased in the different order 40 cm > 60 cm > 20 cm. Nitrate nitrogen content in different depth decreased in the order W4 > W3 > W2 > W1 under different fertilization patterns, while the root morphological index decreased in the opposite order W1 > W2 > W3 > W4. The correlation analysis between different drip fertigation modes and root morphological index showed that all four modes had significant effects on the total root length, total root surface area, total root volume and root tip number, of which W1 had the most significant effect. These results showed that reasonable fertigation mode could promote the growth of cotton root system leading to synergistically increase the dry matter accumulation of aboveground part and obtain high yield.

Key words Cotton; Drip fertigation; Soil nitrate nitrogen; Root morphology

Received 2019-05-08 **Returned** 2019-06-01

Foundation item National Ph. D Project (No. 2017M623282); Corps Applied Basic Research (No. 2016AG002).

First author REN Jiangjing, female, undergraduate. Research area: crop information technology and precision cultivation. E-mail: 745240456@qq.com

Corresponding author ZHANG Ze, male, associate professor. Research area: crop information technology and precision cultivation. E-mail: zhangze1227@163.com

(责任编辑: 史亚歌 **Responsible editor: SHI Yage**)