



doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.24100

滴肥时机对干旱区盐渍化棉田盐氮分布及叶片 SPAD 值和产量的影响

蔡帆¹, 许咏梅^{2*}, 谢香文², 兰茜¹, 刘曼琪¹

(1. 新疆农业大学资源与环境学院, 新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所 / 农业农村部西北绿洲节水农业重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 滴灌条件下如何实现作物根层的氮素富集与盐分驱离, 为棉花根系提供适宜的土壤环境, 对提高干旱区盐渍化棉花产量具有重要意义。以新疆北部典型盐渍化棉田为对象, 采用田间小区试验方法, 进行了氮肥不同滴施时机对棉花根系层水、盐、氮分布及棉花长势和产量的影响研究, 在统一的水肥管理制度下, 即 N 290 kg/hm²、P₂O₅ 110 kg/hm²、K₂O 95 kg/hm² 和施肥 8 次、灌溉定额 4500 m³/hm², 通过调控氮肥滴入时间, 研究氮素与盐分在土壤剖面上的分域。考虑到棉花自苗期至成熟期每次灌水时长不同, 一般为 6 ~ 10 h, 设置变量 t 为棉花各生育时期每次灌水时长, 以氮肥投入时间节点为不同处理, 分别如下: ① T1: 先滴水 1 h 再加入氮肥; ② T2: 滴水 (1+1/3t) h 加入氮肥; ③ T3: 滴水 (1+2/3t) h 加入氮肥。结果表明: 氮肥不同滴施时机显著影响了土壤盐分含量和氮素分布。从土壤盐分分布情况看, 棉花苗期、蕾期和花铃期, 采用先滴水 5 ~ 5.6 h 后再滴入氮肥 (T3 处理) 可显著降低土壤根系层盐分胁迫, 推迟氮肥加入的时间也有效提升了根层硝态氮和铵态氮含量, 形成了较为明显的“肥盐分域”。后期滴入氮肥 (T3 处理), 显著提高了棉花苗期和花铃期植株叶片 SPAD 值, 为棉花关键期光合提供了适宜条件。棉花单铃重和籽棉产量随着氮肥滴施时机延后显著增加, T3 较 T1、T2 处理的单铃重和籽棉产量分别提高 7.18%、4.04% 和 6.35%、1.52%。综合土壤盐分、氮素分布和棉花产量等指标, 建议采用氮肥滴施时机为 (1+2/3t) h, 即苗期、蕾期和吐絮期先滴水 5 h 再加入氮肥滴施, 花铃期则推荐滴水时长为 5.6 h 再加入氮肥, 与农户习惯施肥相比, 滴入氮肥的时间推迟 3 ~ 3.3 h。

关键词: 氮素滴施时机; 干旱区; 盐渍化棉田; 盐氮分布; SPAD 值; 产量

新疆属内陆干旱地区, 土壤盐渍化现象普遍存在^[1]。目前农户普遍采用的滴灌施肥的方法是, 先滴施清水约 1 h, 再加入肥料, 即在灌水过程中前期施入肥料, 随后灌溉清水, 以防止肥料未完全冲洗和管网堵塞^[2]。这种方法虽然减少了滴灌管网的堵塞, 但并未考虑盐渍化土壤洗盐的现实需求。土壤剖面中肥盐同步淋溶状态显著抑制了尿素的水解及氮素的矿化和硝化过程, 进而降低氮素在土壤中的有效性^[3-4]。作物根区的高盐分浓度增加了土壤水分渗透势, 减弱了作物对土壤水分和氮素及其他必需营养物质的吸收和运输, 进而对作物生

长和产量造成了负面影响^[5-7]。与非盐渍化土壤相比, 盐渍化土壤需要滴施更长时间的清水, 先要将盐分淋洗至作物根系层以下, 形成淡盐区, 再行滴肥, 形成“肥盐分域”的环境。鉴于此, 开展盐渍化棉田肥料滴施时机的优化研究, 实现肥料在根系土壤层的聚集与盐分的驱离, 对干旱区降低盐渍化土壤对农作物的危害、提升肥料利用率具有重要意义。

肥料的施用方法是影响氮肥利用率的主要因素之一, 特别是盐渍土, 合理的氮肥滴施方法可减轻盐分对作物生长和产量的不利影响^[8-9]。在盐渍化土壤条件下, 侯振安等^[10]通过室内¹⁵N 示踪试验发现, 相比其他处理, 氮肥在灌溉初期的施用更能优化棉花根系生长和分布, 提高氮肥利用率并减少氮素的淋洗损失。肖丽^[11]研究得出在土壤盐度较低条件下, 氮肥在一次灌溉的前期施用的施肥方式可显著提高棉花的氮素吸收总量; 而盐度较

收稿日期: 2024-02-29; 录用日期: 2024-05-21

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1900803); 自治区重点研发计划 (2022B02020-2)。

作者简介: 蔡帆 (1995-), 硕士研究生, 研究方向为农业资源与环境。E-mail: 1174365205@qq.com。

通讯作者: 许咏梅, E-mail: xym2022@xaas.ac.cn。



高时,氮肥在一次灌溉的中间施用的施肥方式则有助于促进棉花的氮素吸收。而非盐渍化土壤条件下,任江静等^[12]、陶婷等^[13]研究显示,前期施入氮肥、中间以清水灌溉、后期再施氮肥施肥方式能显著提高棉花对土壤氮素的吸收效率,促进植株全氮在生殖器官中的分配和地上部分干物质的积累,从而促进棉花高产。李久生等^[14]、栗岩峰等^[15]和尚世龙等^[16]也在非盐渍化土壤条件下对比水肥时序发现,与“先肥后水”的施肥时序相比,水-肥-水的施肥时序更能减少硝态氮在点源交汇区域的边缘积累,从而有效控制氮肥的淋失。这些研究成果强调了调整氮肥投入的时间节点对于优化氮素在作物根区富集的重要性。上述结果的研究对象均为非盐渍化土壤,且多数为室内模拟试验^[17-18],但是在盐渍化土壤上,通过调控滴肥时机以实现作物根区氮素富集和盐分的驱离,继而对作物生长和产量影响的研究尚有不足。

本研究以新疆北疆典型硫酸盐-氯化物型盐渍化棉田为研究对象,采用大田试验方法,探讨氮肥不同滴施时机对全生育期根系层水分、盐分、氮素分布以及棉花长势和产量的影响,旨在优化棉

花各生育期根系层的盐氮分布,形成良好的“肥盐分域”,为盐渍化棉田水肥盐合理调控提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验位于新疆准噶尔盆地西部(45° 24' N、84° 56' E,海拔 260 m)克拉玛依绿成农业公司一号站农场,地处温带大陆性干旱荒漠气候区,年均温 8.50℃,年均降水量 109.50 mm,潜在蒸发量 3345.20 mm。全年辐射总量 5430 ~ 6670 MJ/cm²,日照时数为 2600 ~ 3400 h,无霜期 190 d。

1.2 土壤性质

利用环刀测定 1 m 土层剖面容重和田间持水量,共 5 层(0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80、80 ~ 100 cm),各剖面取 3 个重复点。初始土壤剖面(0 ~ 100 cm)平均干容重 1.49 g/cm³,田间持水量 33%,电导率(1:5)为 1377 μS/cm,根据土壤盐渍化等级划分标准,属于中度盐渍化土壤。区域平均地下水埋深 2.71 m,灌溉水矿化度 1.0 ~ 2.5 g/L。土壤颗粒组成及盐碱度如表 1 所示。

表 1 试验区 0 ~ 100cm 土壤颗粒组成及盐碱度

土层深度 (cm)	颗粒组成 (%)			土壤质地	pH	盐分 (g/kg)
	黏粒 (≤ 0.002 mm)	粉粒 (0.002 ~ 0.05 mm)	砂粒 (0.05 ~ 2.0 mm)			
0 ~ 20	24.08	32	43.92	黏壤土	8.81	1.3
20 ~ 40	28.08	46	25.92	粉(砂)质黏土	8.76	3.8
40 ~ 60	28.08	58	13.92	粉(砂)质黏土	8.47	3.8
60 ~ 80	42.08	48	9.92	粉(砂)质黏土	8.86	6.9
80 ~ 100	52.08	36	11.92	黏土	8.79	9.0

1.3 试验设计

试验于 2022 年 4 月—2023 年 10 月开展,开展两年田间试验。供试棉花品种为新陆早 64 号。小区面积长 20 m、宽 4.5 m。采用一膜三管六行种植模式,株距 10 cm,行距 10 cm-66 cm-10 cm-66 cm-10 cm,滴头流量 3 L/h,滴头间距 30 cm。种植模式如图 1 所示。

各处理的水肥施用量一致,即全生育期灌溉定额 4500 m³/hm²,施肥量为 N 290 kg/hm²,P₂O₅ 110 kg/hm²,K₂O 95 kg/hm²。氮肥为尿素(N, 46%),磷肥采用磷酸二氢钾(P₂O₅ 52%、K₂O 34%),钾肥为硫酸钾(K₂O 52%)。除氮肥外,各小区磷肥、钾肥均在灌水后 1 h 全部施入。试验不施基肥,除施肥外,其他农艺措施均与当地农户一致。水肥投入详见表 2。

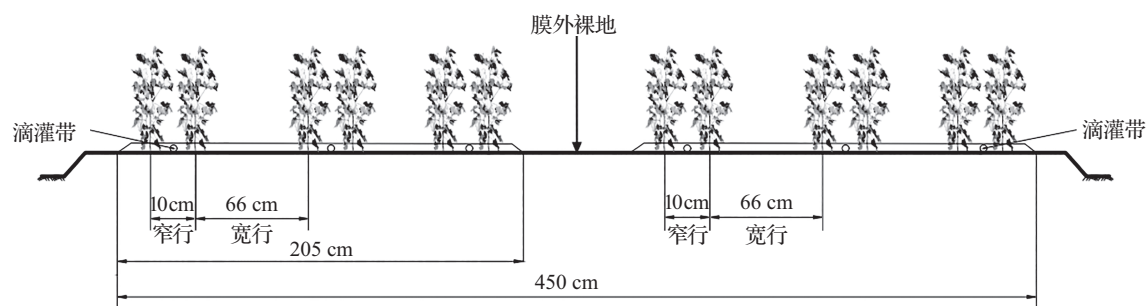


图1 棉花种植模式图

表2 灌水施肥时期及水肥投入比例

项目	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	全生育期
起止日期(月-日)	04-28—06-10	06-11—06-28	07-01—08-23	08-24—09-20	
灌水次数(次)	2	2	4	2	10
施肥次数(次)	2	2	3	1	8
灌水比例(%)	20	20	40	20	100
N 施肥比例(%)	10	15	60	15	100
P、K 施肥比例(%)	10	10	70	10	100

对氮肥的投入时间设置不同处理。考虑到棉花自苗期至成熟期每次灌水时长不同,设置变量 t 为棉花各生育时期每次灌水时长(其中苗期、蕾期、吐絮期灌水时长为6h,花铃期为7h),各处理每次滴入氮肥

时间按如下节点:1) T1,先滴水1h再加入氮肥;2) T2,滴水 $(1+1/3t)$ h加入氮肥;3) T3,滴水 $(1+2/3t)$ h加入氮肥,其中T2处理为常规施肥对照处理,试验设计示意图见图2。每个处理重复3次,共9个小区。

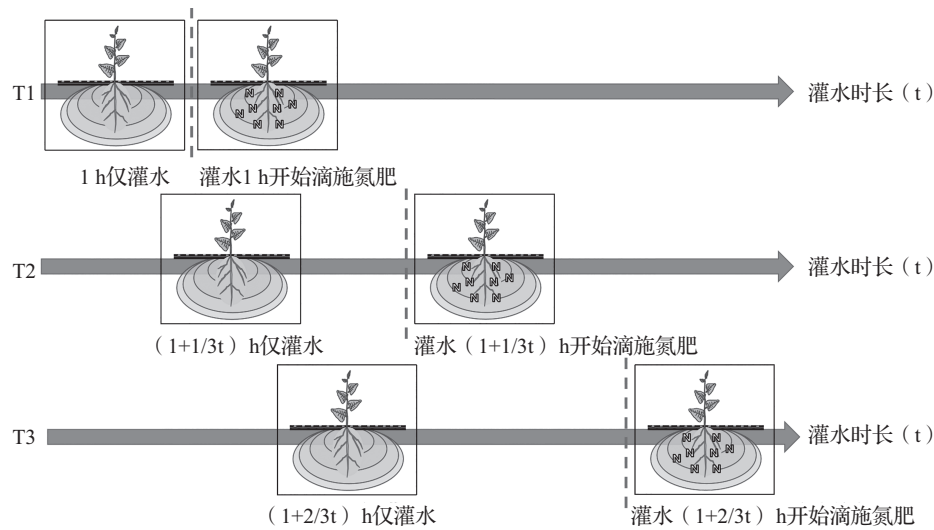


图2 试验设计示意图

1.4 样品采集及分析方法

1.4.1 土壤样品采集与测试

已有研究表明,新疆盐渍化棉田根系主要分布于0~60cm土层^[19-20],苗期和蕾期、花铃期、吐絮期分别集中在0~20、0~40、0~60cm。因此本文将0~60cm土层定义为棉花根系有效吸收根区,测定不同生育时期根系层水分、盐分、硝

态氮和铵态氮含量。

土壤样品采集:各生育时期末次施肥结束后48h,用土钻采集各试验小区的根系层土壤,每20cm为一层,以滴头为中心在周围4株棉花根系处采取同层混合样,带回实验室备测。

土壤水分采用烘干法^[21]、土壤盐分采用烘干残渣法^[22]、土壤硝态氮和铵态氮采用氯化钾溶液

浸提流动分析法^[23]测定。

1.4.2 植株指标和产量及其构成因素的测定

SPAD 值、产量：分别在棉花苗期、蕾期、花铃期和吐絮期，于各小区定点标记 5 株棉花，采用手持 SPAD-502 叶绿素仪器夹取主茎上的倒四叶，测定棉花叶片 SPAD 值（测定时避开叶脉，取叶片底部、中部、顶部的平均值）。于收获期在各试验小区选取中间 8 行棉花、长 3m 区域（边行 4 行棉花为保护行）调查棉花株数、单株结铃数。从棉花植株上、中、下 3 个部位各采棉絮 50 朵，称重后计算棉花单铃重，将籽棉脱籽后计算衣分。将各小区棉花实收后，计算籽棉产量。

1.5 数据分析

运用 Excel 2013 和 SPSS 22.0 进行数据处理和统计分析，用 Origin 2021 作图。

2 结果与分析

2.1 全生育期根系层水盐分布特征

由图 3 可知，在各生育时期，不同处理间根系层水分无显著差异 ($P>0.05$)，在统一灌水量条件下，氮肥的滴入时间对棉花根区水分分布无显著影响。苗期和蕾期，棉花根系主要集中在土壤 0 ~ 20 cm 土层。此时，土壤裸露面积较大，强烈的蒸发蒸腾作用致使根系层水分下降明显，其变化范围为 9.81% ~ 14.87%。而花铃期、吐絮期，棉花的根系吸水范围扩展到了 40 ~ 60 cm 土层，由于频繁灌溉和叶面积增加使地表覆盖度提高，根系层水分含量有所增加，各处理土壤水分范围为 16.88% ~ 19.18%。

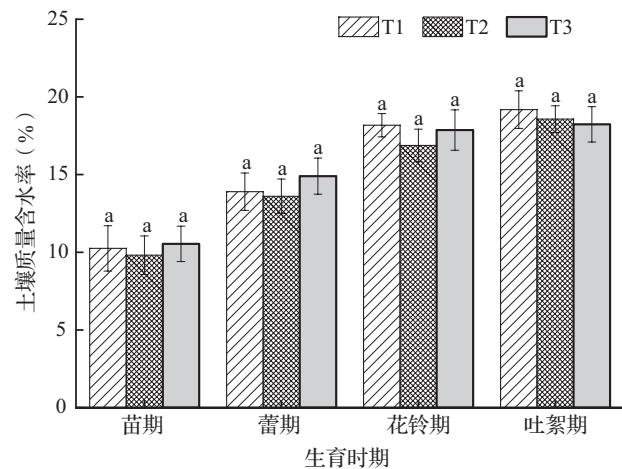


图3 全生育期根系层土壤含水率

注：柱上小写字母不同表示相同生育时期处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

各生育时期根系层盐分分析结果表明（图 4），氮肥不同滴施时机对蕾期和花铃期根系层盐分含量影响显著 ($P<0.05$)。苗期，各处理间根系层盐分无显著差异 ($P>0.05$)，均被淋洗至根系层以下，形成了一个明显的低盐区，为棉花幼苗提供了理想的生长环境。蕾期和花铃期，各处理根系层盐分含量明显上升，其中 T1 处理均为最高，达到 1.78 和 3.58 g/kg，其中 T1 和 T2 处理间差异不显著 ($P>0.05$)，与 T3 处理达到显著差异水平 ($P<0.05$)，分别增加了 64.81% 和 43.04%。吐絮期的土壤盐分变化幅度降低，各处理之间无显著差异 ($P>0.05$)。总体而言，滴肥时采用推迟氮肥滴入时间点，在蕾期和花铃期对土壤盐分的垂直迁移产生了显著影响，有效地将盐分驱离至根系层以下，缓解了棉花根区的盐分胁迫，有利于棉花的生长和发育。

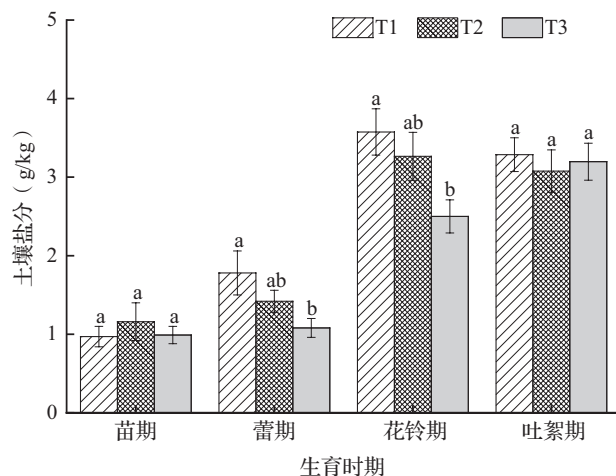


图4 全生育期根系层土壤盐分含量

2.2 棉花根系层土壤硝态氮和铵态氮分布特征

2.2.1 棉花根系层土壤硝态氮分布

硝态氮作为主要的氮素形态对植株的生长和产量具有关键作用。由图 5 可知，氮肥不同滴施时机对各生育时期根系层硝态氮含量影响显著 ($P<0.05$)。苗期、蕾期和花铃期 T3 处理根系层的硝态氮含量随着氮肥滴施时机延后而增加，T3 和 T2 处理间差异不显著 ($P>0.05$)，与 T1 处理有显著差异 ($P<0.05$)。在 3 个生育期 T3 较 T1 处理硝态氮含量分别提高 82.40%、48.00% 和 43.69%。此外，棉花苗期和蕾期，随着氮肥推迟施用，氮素在土壤中运移时间短，硝态氮主要累积在土壤表层，这也符合棉花生长前期根系对硝态氮的吸收



利用。吐絮期, T1 处理的根系层硝态氮含量最低, 且与其他处理间差异性显著 ($P<0.05$), 较 T2 和 T3 处理分别降低了 25.77% 和 14.68%, 表明过早滴入氮肥加剧了硝态氮的淋失, 不利于根系的吸收。总体来看, T3 处理在苗期、蕾期和花铃期根系层中呈现出最为理想的硝态氮分布状态, 其次为 T2 处理。

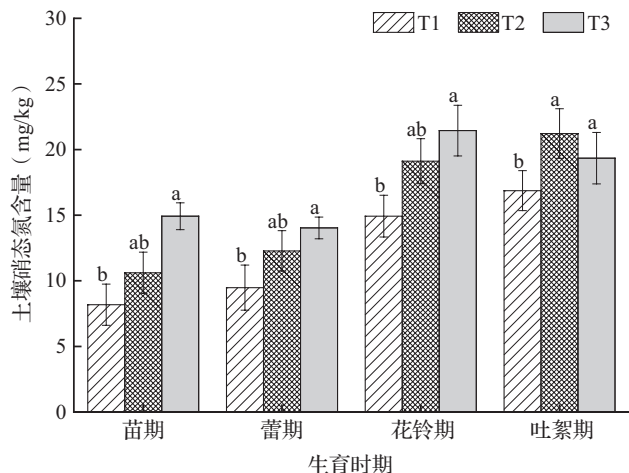


图5 全生育期根系层硝态氮含量

2.2.2 棉花根系层土壤铵态氮分布特征

由图 6 可知, 氮肥不同滴施时机对棉花苗期、蕾期和花铃期根系层土壤铵态氮含量有显著影响 ($P<0.05$)。在苗期、蕾期和花铃期, T3 处理根系层铵态氮含量最高, 分别为 2.52、2.38 和 3.26 mg/kg, 其中 T3 和 T2 处理间差异不显著 ($P>0.05$), 与 T1 处理有显著差异 ($P<0.05$), 分别较 T1 处理增加了 35.48%、30.05% 和 18.58%, 这主要由于在苗期和蕾期, 铵离子的正电荷易与土壤中负电荷胶体粒子吸附, 而土壤胶体对铵态氮吸附的饱和程度决定了铵态氮的运移^[24], 随着氮肥滴施时机前移, 此阶段根系层中未被土壤吸附的铵态氮随水向下迁移。而在花铃期灌水时长增加, T1 和 T2 处理根系层铵态氮含量均出现一定程度的淋失, 而 T3 处理下最大程度将表层中未被吸附的铵态氮集中于 20 ~ 40 cm 根系层中, 充分保障了此阶段根系层铵态氮的供应。吐絮期, 随着根系层向下延伸至 0 ~ 60 cm 土层, 大部分土壤铵态氮均分布在此区域, 各处理间无显著差异 ($P>0.05$)。总体来看, T3 处理在苗期、蕾期和花铃期根系层中铵态氮含量均保持在最高水平, 促进了关键生育时期根系对铵态氮的吸收利用。

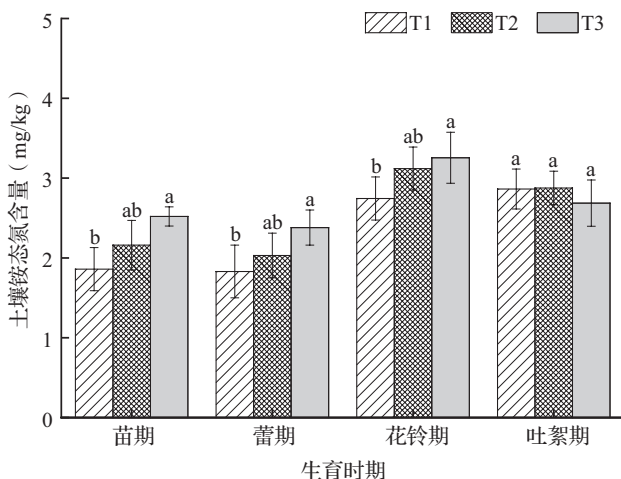


图6 全生育期根系层铵态氮含量

2.3 不同处理棉花叶片 SPAD 值的差异

在棉花生长周期的研究中, SPAD 值作为衡量叶绿素含量和氮素吸收效率的重要指标^[25], 揭示了不同处理对棉花生长的影响。数据表明 (图 7), 在苗期, T3 处理的棉花 SPAD 值最高且与其他处理间差异性显著 ($P<0.05$), 相较 T1 和 T2 处理提高了 4.63% 和 3.70%。这是由于 T3 处理下氮素富集于 0 ~ 20 cm 根系层, 同时盐分被有效驱离, 这促进了氮素的有效利用, 进而有利于叶绿素的合成。花铃期, 随着氮肥滴施时机延后, SPAD 值呈增加趋势, 其中 T3 和 T2 处理间差异不显著 ($P>0.05$), 与 T1 处理有显著差异 ($P<0.05$), 较 T1 处理增加了 2.73%。总体来看, T3 处理在苗期和花铃期显著提高了根系层的硝态氮和铵态氮含量, 在叶片 SPAD 值的显著提升中间接反映了其氮素吸收水平, 展现了 T3 处理对不同生育时期根系层盐氮分布的调控效果, 为棉花根系构建了良好的生长环境。

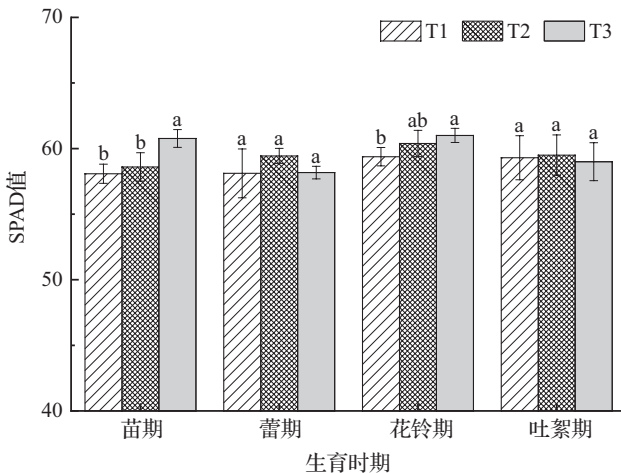
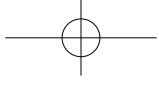


图7 全生育期 SPAD 值变化



2.4 棉花产量及其构成因素对氮肥不同滴施时机的响应

由表 3 可知, 氮肥不同滴施时机对棉花单铃重和籽棉产量产生了显著影响 ($P<0.05$)。单铃重和籽棉产量随氮肥滴施时机延后均呈现出逐渐增加的趋势,

T3 较 T1、T2 处理分别提高 7.18%、4.04% 和 6.35%、1.52%, 其中 T3 和 T2 处理间差异不显著 ($P>0.05$), 与 T1 处理有显著差异 ($P<0.05$)。各试验处理间棉花的单株铃数和衣分无差异 ($P>0.05$), 范围分别为 5.47 ~ 5.54 个和 39.40% ~ 41.80%。

表 3 棉花产量及其构成因素对氮肥不同滴施时机的响应

处理	收获株数 (万株/hm ²)	单株铃数 (个)	单铃重 (g)	籽棉产量 (kg/hm ²)	衣分 (%)
T1	16.41 ± 1.63a	5.47 ± 0.38a	5.29 ± 0.12b	4277.60 ± 117.60b	39.40 ± 1.69a
T2	16.50 ± 1.61a	5.54 ± 0.26a	5.45 ± 0.15ab	4481.16 ± 203.86ab	40.06 ± 1.31a
T3	16.21 ± 1.84a	5.50 ± 0.38a	5.67 ± 0.10a	4549.11 ± 165.21a	41.80 ± 1.24a

注: 同列数字后不同的小写字母表示处理间差异达到 0.05 的显著水平 ($P<0.05$)。

综合土壤氮素、盐分分布的结果, 在滴施氮肥时推迟投入时间, 可优化根系层中各形态氮素分布, 实现氮素在根区的有效聚集的同时, 驱离盐分至根系层以下。

3 讨论

3.1 氮肥投入时间的推迟对盐碱地盐分驱离效果影响显著

各生育时期根系层中盐分的合理分布至关重要, 既有助于缓解盐分对氮素转化和分布的不利影响, 也是增强作物养分吸收能力的关键, 从而显著促进其生长和产量提高^[26-28]。龚江等^[29]通过室内盆栽试验得出, 在滴灌条件下, 不同施肥方式对土壤水盐分布无显著影响, 各处理的土壤盐分空间分布相似。而本研究结果显示, 推迟氮肥的滴入时间, 使滴水时间延长, 可使水盐空间分布上产生差异, 后期再施入氮肥, 使氮素与盐分的分布进一步改变。本研究揭示了在关键生长期 (蕾期、花铃期) 氮肥后期滴施时机对于优化棉花根区内盐分分布的关键性。各处理盐分含量的差异继而影响了棉花的生长。盐分淋洗较小的处理, 在棉花生育后期加剧了盐分对土壤中氮素转化和运移的不利影响^[30], 显著降低了棉花根系对养分的吸收能力^[31]。

3.2 优化氮素投入时机, 有利于盐渍化棉田各生育期根系氮素养分富集

棉花随水施肥中, 氮肥的滴施时机通常采用在一次灌水过程中先滴清水 1h, 然后开始加入肥液。王海江等^[32]研究表明, 在水肥管理和灌水周期一致的前提下, 全生育期土壤垂直方向硝态氮含量在表层最高, 60 cm 深层最低, 且整个生育期表现为“增加-减少-增加-减少”的波动趋势, 这一趋

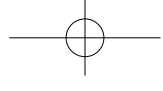
势与棉花对养分的需求不匹配, 反映出传统的滴灌投肥时间不能有效满足棉花关键期的生长需求。本研究通过延迟每一次氮肥投入时间, 在棉花苗期、蕾期和花铃期根系层氮素含量均保持在最高水平。试验还表明, 基于作物生长的关键时期调整施肥时机, 确保了氮素供应与需求的有效同步, 显著增加了根区内的氮素含量, 保障了棉花在关键生长期获得充足的养分。

对于各生育期而言, 应考虑根系深度对养分吸收的差异化需求, 棉花苗期、蕾期根系分布较浅, T3 处理下土壤硝态氮和铵态氮主要在土壤表层聚集, 显著提高了根系对氮素的吸收效率。花铃期, T3 处理也形成了较为理想的土壤剖面氮素分布, 主要归因于灌水量的增加提高了土壤水分入渗深度^[33], 使氮素向更深土层迁移, 并在 40 cm 形成肥区。

本研究与忠智博^[34]针对非盐碱土壤环境下氮肥滴施时机的研究成果存在差异。忠智博等建议的蕾期灌水 3 h 后、花期灌水 2 h 后、铃期灌水 0.5 h 后施肥策略, 被认为能有效提高水分利用效率、灌溉水利用效率和氮肥偏生产力。然而, 本研究发现, 在盐渍化土壤条件下, 蕾期灌水 5 h 后、花铃期灌水 5.6 h 后滴施氮肥更为合适。这一差异主要是由于盐渍化土壤特有的较小颗粒孔隙度和较高的田间持水量导致的土壤入渗较慢, 使得较长的灌水时间有助于盐分的淋洗, 减少了硝态氮的淋失。

3.3 通过调控投入氮肥时间, 减少了盐分影响, 提高棉花产量

肖丽等^[35]采用室内盆栽研究发现, 在土壤盐度较高时 (0.68 mS/cm), 氮肥在一次灌溉的中间施用的施肥方式, 即传统的“灌水-施氮-灌水”



模式有助于促进棉花的氮素吸收。而本试验采用大田试验方法表明,盐分更高的北疆盐碱土采用上述模式不能获得高产。陶婷等^[36]研究发现,在非盐渍化土壤条件下,在施肥过程中采用中间灌水、前后施氮的处理方式能显著促进棉花生殖器官的发育和提升氮素的利用效率,其产量显著高于传统前后灌水、中间施氮模式。

叶片 SPAD 值作为衡量棉花氮素吸收的重要生长指标,其高低与光合作用密切相关,而光合作用是植物体产生有机物的基本来源,是形成产量的生理学基础^[37-38]。陈宝燕等^[39]的研究表明,在非盐渍化棉田中,充足供氮时,适时调整棉花生育期的追氮策略对蕾期以后的叶片 SPAD 值产生显著影响,进而显著影响产量。在产量表现中,除棉花外,在其他作物上,也显示滴肥时机对果实产量的显著影响,如黄倩楠等^[40]通过对土壤-蔬菜系统中氮素分布、氮素平衡和氮素利用效率的研究得出,滴灌施肥时机对果实产量、全氮和硝酸盐含量有显著影响,灌水中前期施肥处理产量、全氮和硝酸盐含量均较高。刘德利等^[41]的研究在水稻上也得到类似结论,其中灌水 0 ~ 2 h 液施方法产量效果最佳。

本研究通过调整氮肥滴施时机,显著影响根系层氮素和盐分含量,从而有效促进了棉花的氮素吸收,有利于叶绿素的合成,进而影响籽棉产量。这些为新疆盐渍化土壤中的作物养分吸收提供了新的视角,以及根据特定土壤条件调整滴肥时机的重要性,对于提高作物产量、优化资源利用,实现可持续农业具有重要意义。

4 结论

(1) 氮肥不同滴施时机对新疆北部盐渍化棉田土壤盐分含量、氮素分布含量影响显著。在棉花苗期、蕾期和花铃期 3 个关键生育时期,采用先滴水 5 ~ 5.6 h 后再滴入氮肥(T3 处理)显著降低根系层的盐分胁迫,且棉花根层硝态氮和铵态氮含量最高,形成了较为明显的“肥盐分域”,有利于盐碱地棉花高产。

(2) 后期滴入氮肥(T3 处理),棉花苗期和花铃期植株叶片 SPAD 值显著高于前期施氮,为棉花关键期光合提供了适宜条件;棉花单铃重和籽棉产量随着氮肥滴施时机延后显著增加,T3 较 T1 和 T2 处理的单铃重和籽棉产量分别提高 7.18%、4.04%

和 6.35%、1.52%,为棉花合理的产量要素构建奠定了基础。

(3) 综合考虑土壤盐分、氮素和棉花产量等指标,建议采用氮肥滴施时机为(1+2/3t)h,即苗期、蕾期和吐絮期先滴水 5 h 再加入氮肥滴施,花铃期则推荐滴水时长为 5.6 h 再加入氮肥,与农户习惯施肥相比,滴入氮肥的时间推迟 3 ~ 3.3 h。

参考文献:

- [1] 徐榕阳,马琼.新疆兵团棉花种植的适度规模及其调控对策——基于第一师的实证分析[J].中国棉花,2016,43(10):7-10,16.
- [2] 刘勇,朱文艳,洪亮.棉花膜下滴灌系统运行管理及故障排除方法[J].新疆农业科技,2005(4):16.
- [3] 王丽英,武雪萍,张彦才,等.适宜施氮量保证滴灌日光温室黄瓜番茄产量降低土壤盐分及氮残留[J].农业工程学报,2015,31(17):91-98.
- [4] 杨易,黄立华,肖扬,等.苏打盐碱化稻田土壤氮素矿化和硝化特征及其影响因子[J].植物营养与肥料学报,2022,28(10):1816-1827.
- [5] 樊丽琴,杨建国.盐碱地改良措施对盐荒地土壤盐分及油菜产量的影响[J].西北农业学报,2010,19(9):154-158.
- [6] 余天源.盐碱地棉田水盐分布及氮素迁移规律研究[D].石河子:石河子大学,2021.
- [7] 陈德明,俞仁培.作物相对耐盐性的研究——II.不同栽培作物的耐盐性差异[J].土壤学报,1996,33(2):121-128.
- [8] Soliman M S, Shalabi H G, Campbell W F. Interaction of salinity nitrogen and phosphorus fertilization on wheat[J]. Journal of Plant Nutrition, 1994, 17(7): 1163-1173.
- [9] Flores P, Carvajal M, Cerdá A, et al. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites[J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24(10): 1561-1573.
- [10] 侯振安,李品芳,吕新,等.不同滴灌施肥方式下棉花根区的水、盐和氮素分布[J].中国农业科学,2007,40(3):549-557.
- [11] 肖丽.土壤盐度和滴灌施肥方式对棉花生长与氮肥利用率的影响[D].石河子:石河子大学,2008.
- [12] 任江静,吕新,祁力敏,等.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[J].西北农业学报,2019,28(11):1812-1820.
- [13] 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.
- [14] 李久生,张建君,饶敏杰.滴灌系统运行方式对砂壤土水氮分布影响的试验研究[J].水利学报,2004,35(9):31-37.
- [15] 栗岩峰,李久生,李蓓.滴灌系统运行方式和施肥频率对番茄根区土壤氮素动态的影响[J].水利学报,2007,38(7):857-865.

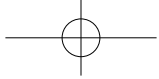


- [16] 尚世龙, 韩启彪, 孙浩, 等. 不同施肥时序滴灌双点源交汇下土壤水氮分布研究 [J]. 灌溉排水学报, 2019, 38 (8): 38-44.
- [17] 孙玮皓, 申孝军, Mounkaila Hamani Abdoul Kader, 等. 滴灌施肥时序对不同质地土壤水氮分布的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2022, 41 (3): 47-53.
- [18] 刘世和, 曹红霞, 杨慧, 等. 灌水量和滴灌系统运行方式对番茄根系分布的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2016, 35 (2): 77-80.
- [19] 闵伟, 侯振安, 冶军, 等. 灌溉水盐度和施氮量对棉花根系分布影响研究 [J]. 棉花学报, 2014, 26 (1): 58-65.
- [20] 宁松瑞, 左强, 石建初. 新疆膜下滴灌棉田水盐运移特征研究进展 [J]. 灌溉排水学报, 2014, 33 (2): 121-125.
- [21] 谢鹏宇, 刘泽鑫. 土壤水分测量原理与技术方法研究 [J]. 现代农业科技, 2020 (23): 166-168.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 56-270.
- [23] GB/T 42487—2023, 土壤质量 土壤硝态氮、亚硝态氮和铵态氮的测定 氯化钾溶液浸提流动分析法 [S].
- [24] 马敬东, 聂卫波, 冯正江, 等. 施肥时机对土壤水氮运移转化规律的影响 [J]. 水土保持学报, 2022, 36 (4): 236-246.
- [25] Lanzhi S, Maofang G, Jingwen Y, et al. Winter wheat SPAD value inversion based on multiple pretreatment methods [J]. Remote Sensing, 2022, 14 (18): 4660-4660.
- [26] 马富裕, 周治国, 郑重, 等. 新疆棉花膜下滴灌技术的发展与完善 [J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22 (3): 202-208.
- [27] 王海江, 李冬冬, 侯振安, 等. 滴灌棉田土壤水盐氮的分布和运移规律 [J]. 中国农村水利水电, 2013 (9): 33-36.
- [28] 李毅, 王文焰, 王全九. 论膜下滴灌技术在干旱-半干旱地区节水抑盐灌溉中的应用 [J]. 灌溉排水, 2001, 20 (2): 42-46.
- [29] 龚江, 鲍建喜, 吕宁, 等. 滴灌条件下不同盐水平对棉花根系分布的影响 [J]. 棉花学报, 2009, 21 (2): 138-143.
- [30] 郭文忠, 刘声锋, 李丁仁, 等. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望 [J]. 土壤, 2004, 36 (1): 25-29.
- [31] 常瑞雪, 甘晶晶, 陈清, 等. 碳源调理剂对黄瓜秧堆肥进程和碳氮养分损失的影响 [J]. 农业工程学报, 2016, 32 (S2): 254-259.
- [32] 王海江, 李冬冬, 侯振安, 等. 滴灌棉田土壤水盐氮的分布和运移规律 [J]. 中国农村水利水电, 2013 (9): 33-36.
- [33] 莫晓钰, 彭辉. 非饱和带全剖面尿素态氮迁移转化规律分析 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2022, 52 (1): 97-110.
- [34] 忠智博. 膜下滴灌棉花灌溉施肥制度及施肥策略的探究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [35] 肖丽, 侯振安, 龚江, 等. 不同滴灌施肥方式对盐渍土棉花生长和氮素吸收的影响 [J]. 石河子大学学报 (自然科学版), 2008, 26 (4): 427-430.
- [36] 陶婷, 吕新, 陈剑, 等. 不同滴灌施肥方式对棉田土壤含水率、硝态氮分布及对产量的影响 [J]. 棉花学报, 2015, 27 (4): 329-336.
- [37] 杜珊珊, 罗静, 姚青青, 等. 不同追施氮肥量对新疆陆地棉 SPAD 值及干物质积累与分配的影响 [J]. 中国农学通报, 2023, 39 (4): 1-6.
- [38] 张仁和, 王博新, 杨永红, 等. 陕西灌区高产春玉米物质生产与氮素积累特性 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (12): 2238-2246.
- [39] 陈宝燕, 马兴旺, 杨涛, 等. 不同施 N 策略对膜下滴灌棉花 SPAD 值和产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (3): 124-129.
- [40] 黄倩楠, 吴文勇, 韩玉国, 等. 滴灌施肥时机对设施蔬菜产量品质与氮肥利用效率的影响 [J]. 水土保持学报, 2019, 33 (3): 292-297.
- [41] 刘德利, 吴文勇, 肖娟, 等. 不同灌溉施肥时机对稻田肥料分布和水稻生长的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2021, 40 (4): 29-36.

The impact of fertilizer application timing on salt and nitrogen distribution, leaf SPAD value, and yield in salinized cotton fields of arid regions

CAI Fan¹, XU Yong-mei^{2*}, XIE Xiang-wen², LAN Xi¹, LIU Man-qi¹ [1. College of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, Urumqi Xinjiang 830000; 2. Institute of Soil Fertilizer and Agricultural Water Saving, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Water-saving Agriculture (Oasis of Northwest China) Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi Xinjiang 830091]

Abstract: How to realize nitrogen enrichment and salt repulsion in the crop rhizosphere under drip irrigation conditions to provide a suitable soil environment for the cotton root system is of great significance to improve the yield of salinized cotton in arid areas. Taking typical salinized cotton fields in northern Xinjiang as the object, the effects of different drip application timing of nitrogen fertilizers on the distribution of water, salt and nitrogen in the cotton rhizosphere as well as the growth and yield of cotton were investigated by using the field plot test method under a uniform water and fertilizer management system, i.e., N 290 kg/hm², P₂O₅ 110 kg/hm², K₂O 95 kg/hm² and 8 times of fertilizer application with an irrigation quota of 4500 m³/hm², the partitioning of nitrogen and salinity in the soil profile was studied by regulating the drip time of nitrogen fertilizer. Considering the different duration of each irrigation from seedling to maturity of cotton, generally 6-10 h, the variable t was set as the duration of each irrigation in each fertility period of cotton, and the nitrogen fertilizer input time nodes were used



for different treatments as follows: ① T1: 1 h of dripping before adding nitrogen fertilizer; ② T2: (1+1/3t) h of dripping before adding nitrogen fertilizer; ③ T3: (1+2/3t) h of dripping before adding nitrogen fertilizer. The results showed that different drip application timing of nitrogen fertilizer significantly affected soil salinity content and nitrogen distribution. From the distribution of soil salinity, in the cotton seedling, bud and boll stage, the treatment of first dripping 5–5.6 h and then dripping the nitrogen fertilizer (T3 treatment) significantly reduced the soil rhizosphere salt stress, and the delayed addition of nitrogen fertilizer effectively enhanced the nitrate nitrogen and ammonium nitrogen content in the rhizosphere, which formed a more obvious "fertilizer and salt domain". Nitrogen fertilization at a later stage (T3 treatment) significantly increased the SPAD values of cotton leaves at seedling and bolling stages, which provided suitable conditions for photosynthesis during the critical period of cotton. Cotton boll weight and seed cotton yield increased significantly with the delayed timing of nitrogen fertilizer drip application, and T3 increased boll weight and seed cotton yield by 7.18%, 4.04% and 6.35%, 1.52%, respectively, compared with T1 and T2 treatments. Comprehensively considering soil salinity, nitrogen distribution, cotton yield and other indicators, it is recommended to adopt nitrogen fertilizer drip timing of (1+2/3t) h, that is, at the seedling, bud and spitting period, it is recommended to drip 5 h before adding nitrogen fertilizer, and at bolling period it is recommended to drip for 5.6 h before adding nitrogen fertilizer. Compared with the customary application of fertilizer by the farmers, the time of dripping of the nitrogen fertilizer is delayed by 3–3.3 h.

Key words: timing of nitrogen fertilization; arid regions; salinized cotton fields; salt and nitrogen distribution; SPAD value; yield