

不同盐水平棉花根系生长与根系形态指标研究

龚江, 国秀丽, 谢海霞

石河子大学农学院, 新疆 石河子
Email: gongj2003@126.com

收稿日期: 2021年4月7日; 录用日期: 2021年5月18日; 发布日期: 2021年5月26日

摘要

通过水培试验研究不同盐水平对棉花根系生长的影响。结果表明在盐胁迫下棉花根系生长受到抑制, 根系到达最快生长速度的时间推迟4天, 最终影响根系的生长量; 胁迫下棉花根系感受到胁迫信号, 棉花产生相应的适应反应, 首先要保证根系的生长, 将更多的碳水化合物分配到根系中, 根冠比增加, 而且随着盐分的增加, 这种趋势更加明显。通径分析结果表明与根系生长有关的形态指标中根长是最主要的指标, 对根系生长起直接作用; 而表面积、体积、直径是次要的指标。

关键词

盐分, 棉花, 根系, 形态指标

The Effects of the Growth of Cotton Root and Shape Indexes in Different Salinity Levels

Jiang Gong, Xiuli Guo, Haixia Xie

College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi Xinjiang
Email: gongj2003@126.com

Received: Apr. 7th, 2021; accepted: May 18th, 2021; published: May 26th, 2021

Abstract

A pot experiment was carried out to evaluate effects of different salinity levels on growth of cotton root. The results showed that the root growth of cotton was inhibited under salt stress, and the maximum growth rate of cotton root was delayed by 4 days, which ultimately affected the growth

of cotton root. Under stress, the root system of cotton sensed the stress signal and the cotton produced the corresponding adaptive response: the first step is to ensure the growth of the root system, it allocates more carbohydrates to the root system, then the root-shoot ratio increases, and this trend becomes more pronounced as salt content increases. The result of path analysis showed that the root length was the major index, which directly affected growth of cotton root, while the surface area, volume and diameter of cotton root were minor indexes.

Keywords

Salinity, Cotton, Root, Shape Indexes

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

盐碱地是重要的土地资源，它分布在世界各大洲干旱地区。联合国专门机构报告指出：全世界农业灌溉区域大约 50% 的面积土壤有盐渍化或将受盐渍化威胁[1]。棉花属耐盐非盐生作物，在我国棉花主产区新疆、黄河流域等地区分布着大量的盐碱土[2]。有关棉花耐盐性的研究主要集中在水盐的管理上[3] [4] 和棉花生长、养分吸收等方面[5]，而对于根系自身对盐胁迫环境的适应性的研究还较少。棉花根系下扎得比较深，田间挖根的方法工作量大[6]，很难获得重复，并且根据地上部分的长势来取根系，根系的长势与预期有所差异，同时挖根只能对相同体积土壤上根系进行研究，很难保证根系数量，此外田间挖根因为对土壤环境的破坏性，一般只能在一个时间点进行，很难进行连续时间段的测定。因此，本研究通过水培试验分析不同盐度溶液棉花根系形态的差异以及与棉花根系生长的关系，为揭示棉花耐盐机理和对盐土的开发利用提供依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

试验于 2017~18 年在石河子大学农学院实验站温室进行，试验采用水培试验，供试棉花品种为新陆早 26 号，试验采用为 40 L 的不透光泡沫箱为水培容器(外径长为 58 cm，宽为 43 cm，高为 20 cm)，试验开始时每个容器定植棉苗 40 株，行株距在 7~8 cm。

2.2. 试验设计

试验设置 5 个盐度水平，其中 1 个不加盐处理(用 CK 表示)，4 个盐分处理，含 NaCl 分别为 $70 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $140 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $210 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $280 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (用 T1~T4 表示)，采用催发发芽(预先在培养皿内进行发芽试验)后再进行移栽，发芽后待棉苗根系长到 5~7 cm 时，移入营养液中，试验用营养液为霍格兰(Hoagland)营养液，待棉花长到 4 片真叶时(培养 20 d)，挑选长势一致棉苗进行盐分处理，生育期间每 7~10 天更换 1 次营养液，在盐分处理 30 d 后试验结束。

2.3. 取样与分析方法

进行盐分处理后，每隔 10 d 测定根系干重、根系形态学指标，每个处理每次取 3~4 个长势一致的重

复, 从靠近根系的地方剪分开出根系和算地上部分, 根系并不是从子叶节以下算起, 根系绿色茎根部分算地上部分。试验结束用, 吸附甲稀蓝法[7]测定根系活跃的吸收面积比例, 用 TTC 法测定根系活力[7]。棉花根系使用扫描仪(Epson Expression/STD 1600 scanner)扫描成灰阶模式的 TIF 图像文件, 然后用 WinRhizo 图像处理系统处理图像, 获取根系分布参数根长、根表面积、根系平均直径、根体积。扫描后的根系在 70℃ 下烘干 48 小时后称重。

2.4. 数据分析

使用统计软件 SPSS19.0 和 SAS9.1 进行数据分析, 多重比较采用 SSR 法, 显著水平为 0.05。

3. 结果与分析

3.1. 根系干物质质量

棉花根系干重随着生育期的延长而增加(图 1), 在进行盐分处理(培养 20 d)以前各处理根系干重相差不大, 而此时根系较小、生长缓慢, 盐分处理后根系干重生长表现为慢-快-慢趋势, 但各处理表现不同。CK 处理根系生长速度明显快于其他盐分处理, 采用 SAS 软件进行 Logistic 生长曲线方程的结果表明: CK 处理在试验后 34 d, 即进行盐分处理后 14 d 迎来拐点, 生长速度达到最大, 而盐分处理拐点推迟到 17~18 d, 生长进度延迟了 4 d 左右, 最大生长速度也明显低于 CK 处理, 最终造成干物质积累减少。盐分胁迫结束时测定根系干重, CK 处理最大为 1.6 g, 随着胁迫程度的加剧, 根系干重呈下降趋势, T4 处理根系干重最小, 仅为 0.84 g, 与 CK 相比下降幅度达 47.6%。图 2 为棉花胁迫期间根冠比的变化, 在胁迫初期 CK 处理根冠比高于 4 个盐分处理, 在胁迫进行到 13~14 d 左右时, CK 处理根冠比低于盐分处理, 胁迫结束后根冠比表现为随盐分增加而增大, 盐分处理根冠比显著地($p < 0.05$)高于 CK 处理。试验结果表明根系接触到盐溶液, 立刻感受到盐分胁迫, 生长受到抑制(胁迫初期根冠比下降), 经过一段时间后逐渐适应盐分环境, 并进行养分分配调整, 将更多的碳水化合物运到根系, 首先保证根系的生长, 相对于地上部分, 根系受到的影响要小一些, 因此根冠比增大, 盐分越大, 根冠比越大, 试验结束时 T4 处理根冠比为 0.254, 极显著高于 CK 处理的 0.175 ($p < 0.01$)。这也说明盐分胁迫下棉花需要保持较大根系来吸收更多的水分、养分才能满足地上部生长所需, 这也验证了盐分对棉花地上部分生长的影响大于根系[8]。

3.2. 根系体积

盐分对棉花根体积影响显著($p < 0.05$), 4 个盐分处理根系体积始终明显低于 CK 处理(图 3), 棉花根体积的变化趋势与根干重基本一致。

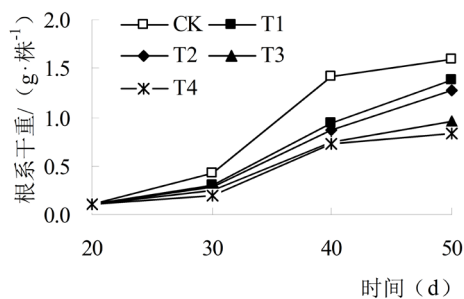


Figure 1. Root weight of cotton in different treatment
图 1. 不同处理棉花根系干重的变化

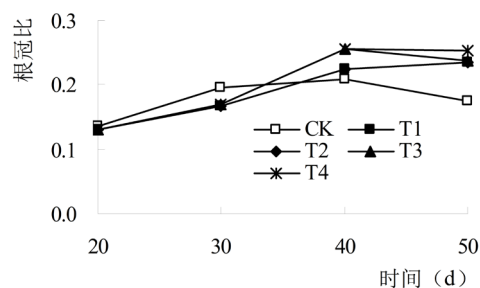


Figure 2. Root/shoot ratio of cotton in different treatment

图 2. 不同处理棉花根冠比的变化

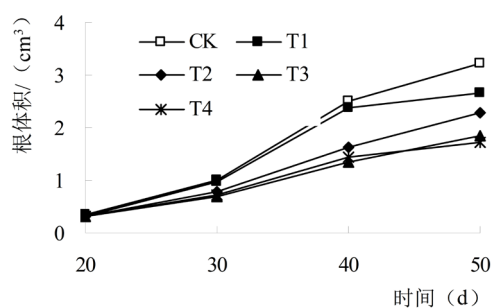


Figure 3. Root volume of cotton in different treat

图 3. 不同处理棉花根体积的变化

3.3. 根长

棉花的根长在胁迫初期增加不大(图 4), 这是因为根系首先感受到盐分胁迫, 根系生长受到很大影响, 各处理根系在胁迫初期干重增加也不大(图 1)。胁迫 10 d 后, 逐渐适应了盐分环境, 根系加速生长, 根长迅速增加, 而盐分越大根长增加幅度就越小, 胁迫 20 d 后, CK 和 T1 处理, 根长增加速度变缓, 而其他 3 个处理根长生长速度任然没有变缓的趋势, 但是由于 T2~T4 处理前期根系生长缓慢, 最终也没有弥补前期因盐分胁迫造成的损失, 试验结束时 CK 处理的根长为 40.2 米, 其次 T1 处理为 32 米, 而 T3、T4 处理仅有 20 米左右, 显著低于 CK 处理。

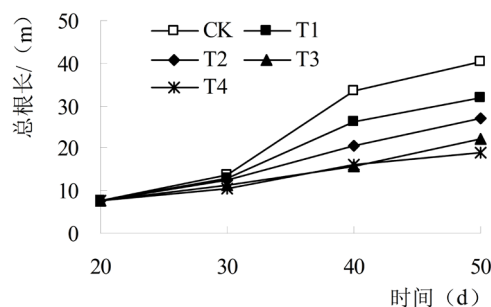


Figure 4. Root length of cotton in different treatment

图 4. 不同处理棉花总根长的变化图

3.4. 根系直径

随棉花生长根系平均直径在增加(图 5), 在盐分处理 15 d 左右, CK 处理平均直径开始低于各盐分处理, 此后 CK 处理平均直径变化不大, 而其他处理有不同程度的增加。CK 处理根长和根体积的增加速度

均高于盐分处理, 通过比较胁迫期间 2 个性状的变异系数(CV), CK 处理根体积的 CV 为 75.1%, 略高于 4 个盐分处理, 在 60.4%~70.6% 之间, 而 CK 处理根长的 CV 为 65.3%, 4 个盐分处理 CV 在 38.6%~57.2% 之间, 而变异系数的统计意义是指指标的稳定性。在本试验中, 根长和根体积均表现为持续增加, 盐分处理根长变异系数与 CK 处理的相比相差的更大, 表明在此期间盐分处理根长的增加幅度远小于 CK 处理, 而对根体积相差幅度要小一些, 说明盐分胁迫对根长的影响程度更大一些, 此外对根系的外观观察也表现为盐分处理根系颜色更深, 更短簇一些。这也说明相对于 CK 处理, 盐分胁迫下增加的根系以粗根为主, 而直径较小须根相对较少, 因此造成平均直径增加。胁迫结束后各盐分处理根系平均直径在 0.338~0.349 mm 之间, 明显高于 CK 处理的 0.315 mm。

3.5. 根系表面积

根系表面积是根系生长的重要指标, 影响着作物对水分、矿质营养元素的吸收利用。在整个生长期里, CK 处理棉花根系表面积始终最大(图 6), 其次是 T1 和 T2 处理, T3 和 T4 处理表面积最小。试验结束时(胁迫 30 天后)测定根系活跃的吸收面积比例(图 7), CK 处理活跃的吸收面积为 34.6%, 略高于 T1 和 T2 处理($p > 0.05$), 没有达到 5% 的显著水平; 而显著的高于 T3 和 T4 处理($p < 0.05$), 这 2 个处理根系活跃的吸收面积比例在 26% 左右。

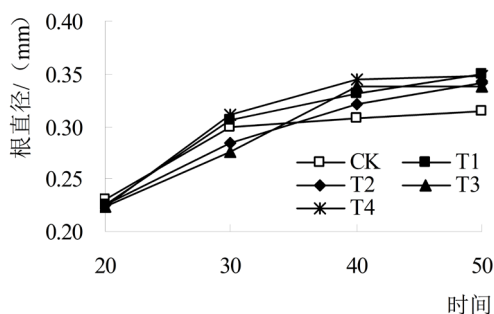


Figure 5. Root diameter of cotton in different treatment
图 5. 不同处理棉花根系总平均直径的变化

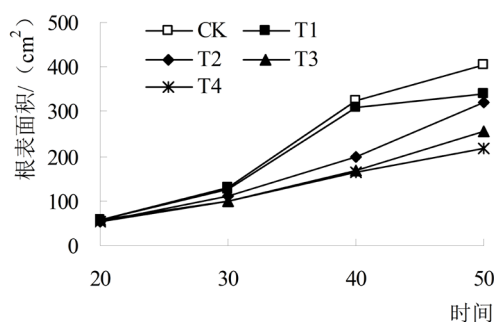


Figure 6. Root surface area of cotton in different treatment
图 6. 不同处理棉花根总表面积的变化

3.6. 根系活力

试验结束时测定根系活力, 随盐度增加根系活力显著下降, CK 处理根系活力最大, 为 $780.9 \text{ ugTTF}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{h}^{-1}$, T2、T3 处理下降到 $550 \text{ ugTTF}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右, 显著的低于 CK 处理($p < 0.05$), 而高盐度处理 T4、T5 根系活力又显著的低于 T2、T3 处理($p < 0.05$), 只有 $470 \text{ ugTTF}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右。

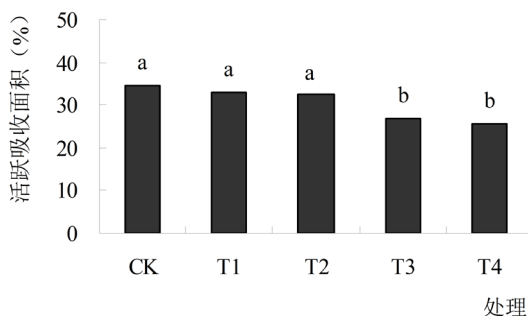


Figure 7. Root active surface area ratio of cotton in different treatment
图 7. 不同处理棉花根系活跃的表面积比例

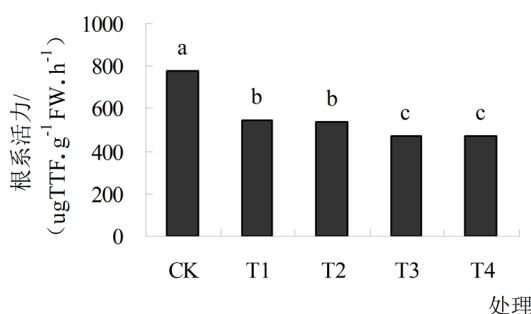


Figure 8. Root energy of cotton in different treatment
图 8. 不同处理棉花根系活力

3.7. 根系形态与根系生长的关系

通径分析结果表明(表 1): 根长对根系生长(根重)的直接通径系数为 0.558, 极显著的高于其他 3 个性状的直接通径系数, 表明根长是根系生长最重要的指标, 同时根长通过根体积、表面积、直径的间接通径系数之和为 0.419, 在 4 个性状中最小, 也小于根长的直接通径系数, 说明根长与根系生长的关系是最密切的、起直接作用的性状, 而其他 3 个性状与根系生长关系主要为间接作用。

Table 1. Path analysis of root shape indexes with root growth
表 1. 根系形态指标与根系生长的通径分析

根系形态	相关系数 (简单相关)	直接通径系数 (直接作用)	间接通径系数(间接作用)				
			总的	体积	根长	根表面积	直径
体积	0.981	0.121	0.863		0.550	0.230	0.083
根长	0.977	0.558	0.419	0.119		0.227	0.072
根表面积	0.981	0.231	0.750	0.120	0.550		0.080
直径	0.744	0.108	0.636	0.092	0.373	0.171	

4. 结论与讨论

1) 在盐胁迫下, 根系是最先、最直接的受到影响部位。棉花根系最先感受盐胁迫信号, 并产生相应的生理反应, 继而影响地上部生长, 与 CK 处理相比, 盐分处理棉花的根冠比增大(图 2), 表明分配到根系的碳水化合物增加, 分配到地上部分的减少, 在盐胁迫下棉花首先要保证根系的生长, 因此积累了更

多养分,而且随胁迫程度的增加,这种趋势更明显。

2) 研究表明与根系生长(根重)最密切的形态指标是根长,其次是表面积、体积、直径。根长变化趋势与根系干重较一致。盐胁迫导致根长下降,随着盐浓度的增加根长生长受到抑制更明显,分析 CK 处理根系平均直径在胁迫初期一直在增加(图 5),主要可能是主根系在生长、延伸、增粗;中后期根系平均直径基本上不再增加,这可能是由于受到容器的限制,主根生长达到顶峰,不再伸长,而侧根生长旺盛,而侧根都是毛细根,导致根长增加(图 4),而平均直径变化不大(图 5),因此表面积持续增加(图 6)。而盐分处理根长虽然也在增加,相比较 CK 增加较小,盐分延迟了根系生长进度,当 CK 处理主根停止生长时,盐分处理主根仍在继续生长,增大增粗,而细根增加的比重少,导致根系平均直径一直呈增大趋势,进而导致根重的持续增加,尤其是 T1、T2 处理(图 1),但表面积并没有与 CK 处理拉近差距,同时细根增加的比重少,根系活力和活跃的吸收面积比例在下降(图 7、图 8),因此影响棉花养分和水分的吸收,导致根系干重小于 CK 处理。

3) 棉花是耐盐作物, Levitt 认为棉花萌发和生长的极限耐盐度分别为 0.4% 和 0.6% [9]。本研究中盐分最大的 T4 处理相当于 0.6% 土壤含盐量,但水溶液与土壤有很大差异,但盐分达到一定程度对棉花生长有抑制作用,推迟棉花的生长进度与土培和大田试验结果是一致的[8] [10]。水培试验和大田试验[5] (盐水灌溉)盐分处理根系直径都有增加的趋势,而土培温室盆栽直径却在下降[8],这是因为土培条件进行单株试验,不会发生棉花个体间的生长竞争,并且温室条件也满足了棉花无限生长的条件,更大地发挥了根系的“补偿效应” [11],在脱盐区[3]范围内棉花的根系密度增加,而在盐分积累下层土壤,由于盐分胁迫根系下扎的深度和速度都低于对照[11],因此主根系分布范围反而较小,主根相对较粗,这可能是土培试验盐分处理根系直径下降的原因。由于出现“补偿效应”和无限生长,棉花根长、体积、表面积高于对照,而植株产量在中盐条件下甚至略高于对照,只有高盐处理产量才有下降趋势。大田试验也发生根系“补偿效应”,造成盐分处理根系指标略高于对照[6],但大田生产受到气候等因素影响棉花不能进行无限生长,因此盐分处理产量有所下降[9],中盐处理产量与土培试验结果相反。这是因为温室满足棉花的无限生长,而“补偿效应”发生弥补由于盐分推迟生长进程造成的损失,而大田试验只具备“补偿效应”一个条件,当然结果不同。因此可以采取有效的生产措施促进棉花生长,使其加快生育进度,最大程度发挥“补偿效应”,尽可能地减少盐分造成生长进程推后带来的损失,具体的试验结果还需要进一步试验来验证。

基金项目

石河子大学高层次人才干旱区滴灌棉花盐分胁迫下活性氧物质产生、清除规律与调节机制(RCSX201721),兵团中青年科技创新领军人才(2020CB020)支助。

参考文献

- [1] Lamsal, K., Paudyal, G.N. and Saeed, M. (1999) Model for Assessing Impact of Salinity on Soil Water Availability and Crop Yield. *Agricultural Water Management*, **41**, 57-70. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00116-4](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00116-4)
- [2] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 北京: 农业出版社, 1983.
- [3] 吕殿青, 王全九, 王文焰, 邵明安. 膜下滴灌水盐运移影响因素研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(6): 794-801.
- [4] 王全九, 王文焰, 汪志荣, 张建丰, 李毅. 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.
- [5] 孙小芳, 刘友良. NaCl 胁迫下棉花体内 Na⁺、K⁺分布与耐盐性[J]. 西北植物学报, 2000, 20(6): 1027-1033.
- [6] 吕宁, 侯振安, 龚江. 不同滴灌方式下咸水灌溉对棉花根系分布的影响[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(5): 58-62.
- [7] 华东师范大学生物系植物生理研究所. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 人民教育出版社, 1982.
- [8] 龚江, 侯振安, 杨振华, 张大伟. 滴灌条件下不同盐水平对棉花根系生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(4):

41-43.

- [9] Levitt, J. (1980) Responses of Plants to Environmental Stress. 2nd Edition, Academic Press, New York.
- [10] 王艳娜, 侯振安, 龚江, 肖丽, 马丽. 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(自然科学版), 2007, 25(2): 158-162.
- [11] 龚江, 鲍建喜, 吕宁, 侯振安. 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.