

## 蕾期涝渍胁迫对盆栽棉花生长和产量特性的影响

邹鹏飞, 原保忠, 胡晓东, 王允

(华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070)

**摘要:**涝渍灾害是棉花生产中面临的重要自然灾害之一,长江流域棉花蕾期常遭遇多雨天气而产生涝渍灾害。在盆栽条件下,以华棉3109为试验材料,研究了不同涝害胁迫7 d(T1处理)和14 d(T2处理)对棉花生长和产量特性的影响,正常灌水管理作为对照(CK)。结果表明,在涝渍胁迫处理期间,棉花叶片SPAD值、株高、绿叶数、倒四叶功能叶叶面积、开花数、蕾数、结铃数、果枝数和果节数均表现为:CK>T1处理>T2处理。在处理结束之后(花铃期),受涝渍胁迫棉株株高、茎粗、蕾数、开花数、结铃数、果枝数和果节数等指标都相继出现快速补偿性生长现象。但是随着涝渍胁迫时间的增加,棉花蕾铃脱落率升高,成铃率下降,最终产量构成因素和单株籽棉产量呈下降趋势。

**关键词:**蕾期;涝渍胁迫;棉花;生长;产量

中图分类号:S275

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.09.002

邹鹏飞,原保忠,胡晓东,等.蕾期涝渍胁迫对盆栽棉花生长和产量特性的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(9):7-12.

### 0 引言

在长江流域江汉平原以及我国南方平原地区,受亚热带季风气候的影响,春夏时节通常出现多个强降雨过程,尤其在梅雨季节以及梅雨过后至8月上、中旬<sup>[1]</sup>,尤其2015年长江中下游流域的长时间连续强降雨,对农作物生长带来极大影响,田间无法及时排水而涝渍,田间长时间涝渍、土壤缺氧,导致作物根系呼吸受阻,进而死亡,尤其是对于旱作作物棉花生长影响更大,有些地块可能会绝产绝收。根据降雨特点,农田涝渍灾害往往相伴相随,在其他条件相同的情况下,作物减产是涝渍共同作用的结果,应将涝、渍作为一个统一过程进行研究<sup>[2]</sup>。在棉花蕾期,生枝长叶、现蕾开花,棉花营养生长与生殖生长并进,也是形成棉花产量的重要时期,这一时期长江流域正处在梅雨季节<sup>[3]</sup>,棉花本身耐涝渍性差<sup>[4]</sup>,土壤水分以保持田间持水率的60%~70%为宜,该时期导致棉花生长受阻减产往往不是水分不足,而是水分过多。因此,做好这一时期的田间排水对棉花生产非常重要<sup>[5]</sup>。研究蕾期涝渍胁迫对棉花生长发育及产量的影响,旨在为棉田涝渍灾害评估和建立涝渍兼治的农田排水理论提供一定科学依据。

### 1 材料与方法

试验于2015年4—11月在华中农业大学试验网式大棚内进行,以华棉3109为试验材料,采用PVC桶(高52 cm;桶底和桶口直径分别为35、45 cm)进行盆栽试验,土壤经自然风干、去杂后装盆,每桶装土45 kg。2015年5月22日直播种子,待长出6片真叶后,选择生长一致的壮苗,每盆留1株,氮肥用量为纯氮6 g/桶, $\omega(\text{N}):\omega(\text{P}_2\text{O}_5):\omega(\text{K}_2\text{O})=5:2:4$ ,其中氮肥以3:4:3的比例分别作基肥、初花肥、盛花肥,磷肥和钾肥全部基施施入,初花期和盛花期叶面喷施质量浓度为0.4%的硼砂溶液,打顶及其他管理与生产上保持一致<sup>[6]</sup>。试验设置受涝7 d和14 d共2个水平,分别记为T1处理和T2处理,将正常灌水的盆栽棉花作为对照(CK),试验从2015年7月6日开始受涝处理,淹水深度高于盆内土面约1~2 cm,受涝结束后,受渍时长均为15 d,处理于2015年8月3日结束,恢复与CK相同的灌水量。

收稿日期:2016-04-07

基金项目:科技部支撑计划项目(2013BAD20B06)

作者简介:邹鹏飞,男,硕士研究生,主要从事棉花水分渍害研究。

通信作者:原保忠(1968-),男,副教授,主要从事作物水分高效利用研究。E-mail: yuanbz@mail.hzau.edu.cn

试验期间,试验测定指标包括:叶片 *SPAD* 值(日本 *SPAD* 502 叶绿素测定仪)、株高、绿叶数、功能叶叶面积、果枝数、果节数、蕾数、开花数和结铃数等指标,9月初测量子叶节高度、果枝始节、第1果枝高度、果枝节间长和主茎节间长。7月21日开始,每7天调查1次株式图,统计棉花蕾铃脱落和成铃率情况,收花时按下层(第1~第7果枝)、中层(第8~第15果枝)、上层( $\geq$ 第16果枝)分别收取,测定单株铃数、子指、单株籽棉产量和单株皮棉产量<sup>[6]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 涝渍胁迫对棉花生长特性的影响

#### 2.1.1 *SPAD* 值、株高、绿叶数和功能叶面积

由图1可知,①7月6日开始涝渍胁迫处理,胁迫处理的前3天,叶片 *SPAD* 值变化不明显,7月9日以后,CK与T1和T2处理间差异明显,到8月3日,CK的叶片 *SPAD* 值都远高于T1和T2处理,原因是作物在淹水第4~6天抗氧化酶的活性有显著变化,可能与NADPH氧化酶的活性有关<sup>[7-9]</sup>。涝渍逆境下,叶片内清除活性氧的抗氧化酶保护系统如过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活性被破坏,膜脂过氧化作用增强<sup>[10-11]</sup>,从而使叶片过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活性有显著变化。因此,表现形态为叶色逐渐转黄萎蔫,逐渐丧失荧光活性和光合作用能力<sup>[12]</sup>。涝渍结束以后,T1和T2处理与CK之间的 *SPAD* 值差距逐渐缩小。T1处理在整个处理期间都是略高于T2处理。若将T1处理和T2处理涝害和渍害分开来看,可以看出涝害对 *SPAD* 值的影响要大于渍害。

②涝害期间(7月6—21日),CK和T1、T2处理之间株高差异不明显,株高生长缓慢。7月21日以后,CK和T1、T2处理之间株高差异逐渐明显,表现为:CK>T1处理>T2处理。处理结束以后(8月3日后),T1和T2处理出现补偿性生长现象,株高又先后超过CK。

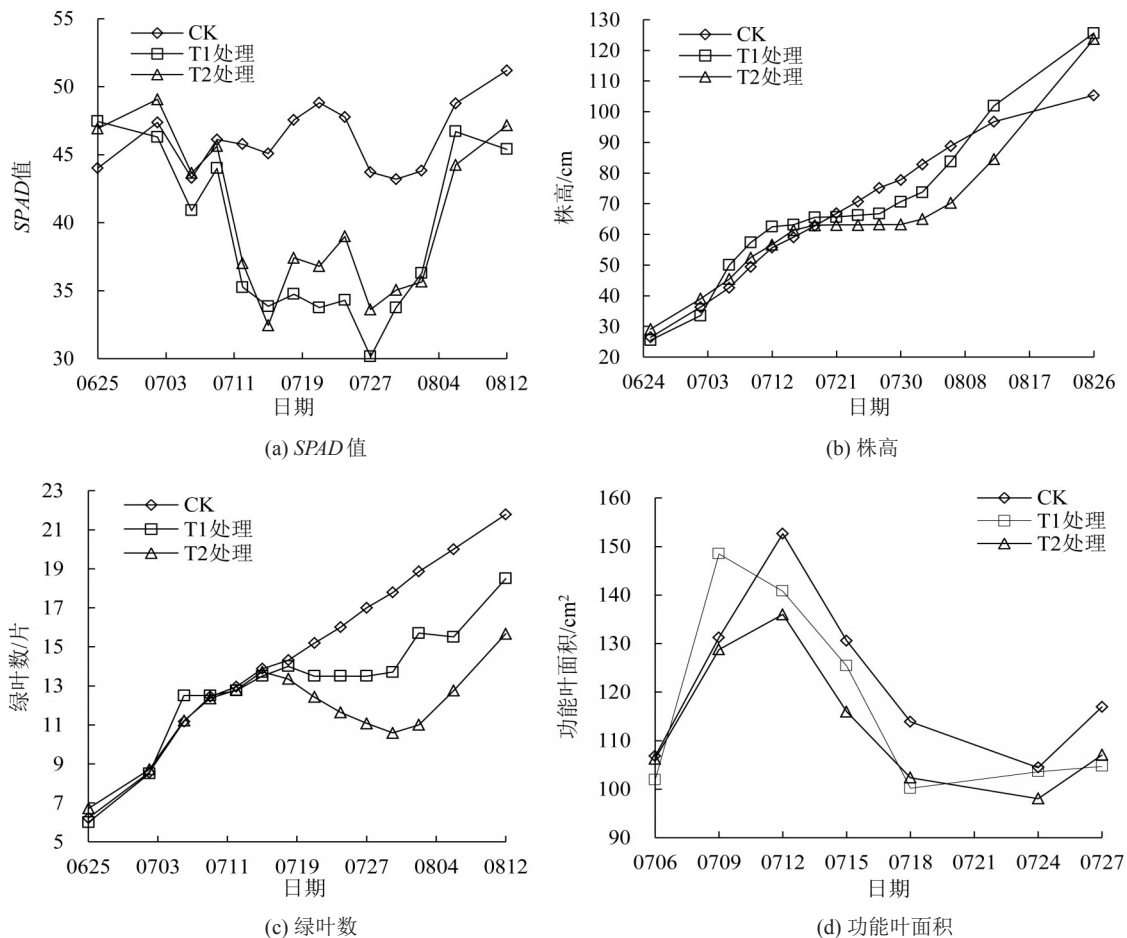


图1 涝渍胁迫对盆栽棉花 *SPAD* 值、株高、绿叶数和功能叶面积的影响

③随着棉花生育进程推进,绿叶数呈增加趋势。涝渍处理开始的前9天(6月27日),各处理差异不明显,随着涝渍胁迫进行,差异越来越大,绿叶数表现为CK>T1处理>T2处理。因此,涝渍胁迫影响营养生

长进程, T1 处理在涝渍胁迫期间(7月6—28日), 绿叶数基本持平, 而 T2 处理在涝渍胁迫期间(7月6日—8月3日), 部分叶片变黄脱落, 绿叶数下降。胁迫结束, T1、T2 处理绿叶数逐渐增加。

④随着生育进程推进, 倒四叶功能叶叶面积呈先增加后减小趋势。涝渍处理开始的前6天(6月24日), 各处理差异不明显, 但从7月12日之后, 差异明显, 表现为: CK > T1 处理 > T2 处理。说明, 涝渍胁迫过程使倒四叶功能叶叶面积减小, 试验结果与徐道青的结果<sup>[13]</sup>一致。

### 2.1.2 果枝数和果节数

由图2可知, ①涝渍处理后, T1、T2 处理果枝出现脱落, 数量下降, 随后果枝数呈增长趋势。在涝渍胁迫处理期间, CK 大于 T1、T2 处理, 处理间表现为: T1 处理 > T2 处理。处理结束后, 8月11日 T1 处理补偿性生长, 果枝数超过 CK; 8月下旬, T2 处理补偿性生长, 果枝数超过 CK 和 T1 处理。

②与果枝数动态相似, 果节数呈增长趋势。在涝渍胁迫处理期间, CK 大于 T1、T2 处理, 处理间表现为: T1 处理 > T2 处理。处理结束后, 从8月11日开始, T1 处理补偿性生长, 果节数超越 CK; 从8月中下旬开始, T2 处理补偿性生长, 果节数超越 CK 与 T1 处理。

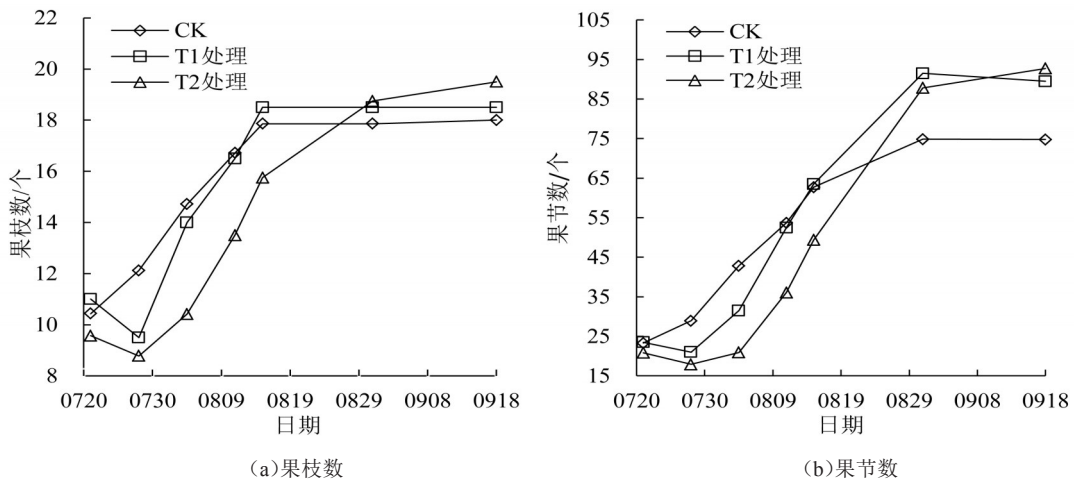


图2 涝渍胁迫对盆栽棉花果枝数和果节数的影响

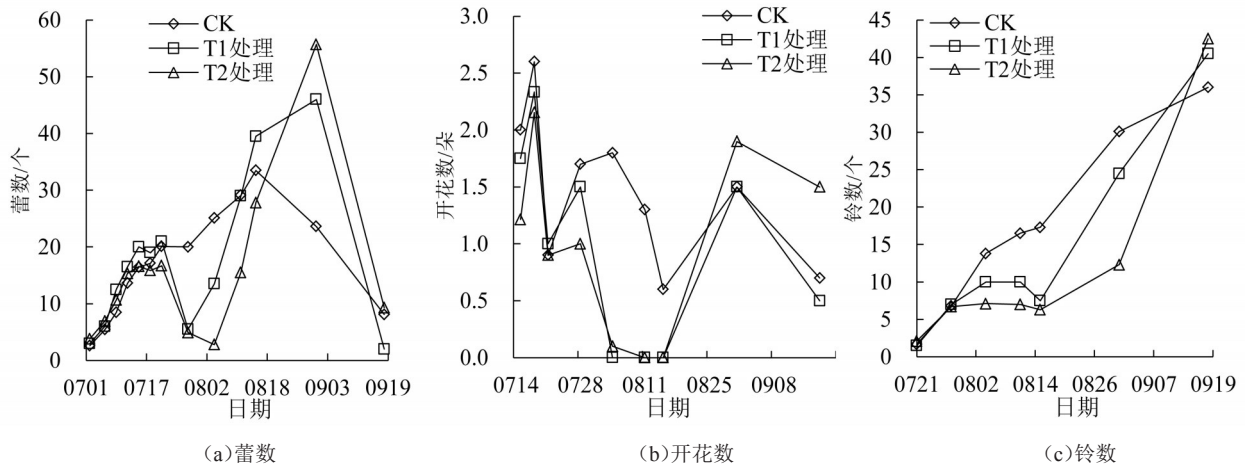


图3 涝渍胁迫对盆栽棉花蕾数、开花数和结铃数的影响

### 2.1.3 蕾数、开花数和结铃数

由图3可知, ①随着棉花生育进程, 蕾数呈波动变化, 先小幅度增加后减小、再大幅度增加再减小。涝渍处理开始时, 各处理之间差异不明显。从7月21日开始, 各处理蕾数差异明显, 表现为: CK > T1 处理 > T2 处理, 说明涝渍胁迫抑制棉花现蕾, 延迟棉花生长发育期。涝渍胁迫结束, 各处理出现补偿性生长, 蕾数先后超过 CK, 与 CK 已经有一部分蕾转化为花和铃进入花铃期有关。②棉株开花数出现了数次波动, 整体上呈下降趋势。处理期间, 开花数表现为: CK > T1 处理 > T2 处理, 说明涝渍胁迫对开花也有抑制作用。处理结束后, 棉花补偿性生长, 出现 T1、T2 处理比 CK 开花数多的情况。③从铃数上看, 各处理变化与蕾数相似, 变

化不明显,随后一段时间内,CK结铃数大于T1和T2处理,涝渍处理结束后,铃数差别不大。综合棉花开花数量、蕾数和铃数,涝渍胁迫推迟棉花现蕾、开花和结铃,推迟棉花生育进程。该结论与付世权等<sup>[14]</sup>的研究结果一致。

#### 2.1.4 子叶节高度、果枝始节、第1果枝高度、果枝节间长和主茎节间长

根据9月7日测定结果,与CK相比,蕾期不同涝渍处理子叶节高度、第1果枝高度、果枝节间长和主茎节间长均表现为下降。果枝节间长和主茎节间长,T1处理和CK差距不大,但T2处理下降明显。此外,果枝始节数变化不大,规律不明显(表1)。

表1 涝渍胁迫下子叶节高度、果枝始节、第1果枝高度、果枝节间长和主茎节间长 cm

处理	子叶节高度	果枝始节	第1果枝高度	果枝节间长	主茎节间长
CK	8.0	5.6	28.3	5.9	47.7
T1	7.7	6.0	28.2	5.3	47.2
T2	7.5	5.3	27.6	3.8	43.8

## 2.2 涝渍胁迫对棉花产量性状的影响

### 2.2.1 蕾脱落率

由表2可知(8月11日测定),与CK相比,蕾期不同涝渍胁迫增大蕾脱落率。同一处理植株蕾脱落率,纵向表现是:下层>中层;横向是:内围>外围。棉株蕾脱落率增加,蕾数减少,开花数和结铃数也随之减少,从而影响产量。

表2 涝渍胁迫下棉花脱落率

处理	脱落率/%	下层(1~7果枝)		中层(8~15果枝)		脱落数/(个·株 <sup>-1</sup> )	内围(1~3果枝)		外围(≥4果枝)	
		脱落数/(个·株 <sup>-1</sup> )	脱落率/%	脱落数/(个·株 <sup>-1</sup> )	脱落率/%		脱落数/(个·株 <sup>-1</sup> )	脱落率/%	脱落数/(个·株 <sup>-1</sup> )	脱落率/%
CK	12.5	5.7	20.7	1.0	4.5	6.7	6.1	13.4	0.6	7.7
T1	25.7	9	33.6	4.5	19.3	13.5	13	31	0.5	3.3
T2	37.9	10.8	39.6	2.8	21.4	13.7	12	35.9	1.7	20.6

### 2.2.2 成铃率

由表3可知(8月11日测定),与CK相比,蕾期不同涝渍胁迫处理单株成铃率降低,T1处理成铃率为1.0%,而T2处理的成铃率仅为0.5%。下层(1~7果枝)和内围(1~3果枝)成铃率都随涝渍胁迫而降低。

表3 涝渍胁迫下棉花成铃率 %

处理	下层(1~7果枝)	单株	内围(1~3果枝)
CK	11.8	5.9	7.2
T1	2.2	1.0	1.2
T2	0.6	0.5	0.5

### 2.2.3 三桃结构

棉花“三桃”能够反映其生长状况和产量结构,试验三桃测定时间分别是7月21日(伏前桃),8月15日(伏桃)和9月18日(秋桃)。由表4可知,从单株看,涝渍胁迫主要影响伏桃,伏桃比例减少,而秋桃比例明显增加,伏前桃变化不大。纵向结构上,下层(第1~第7果枝),涝渍胁迫使伏前桃比例上升,伏桃所占比例下降,而秋桃则呈上升趋势;中层(第8~第15果枝),伏前桃比例均为0,伏桃随涝渍胁迫呈下降趋势,而秋桃则相反;上层(第16果枝以上)为秋桃。横向结构上,内围伏前桃比例相差不大,但伏桃呈明显下降趋势,而秋桃则呈上升趋势;外围除CK伏桃占5.7%比例之外,其他则是秋桃。因此,无论从单株还是从分层结构上看,涝渍胁迫对三桃结构中影响最大的是伏桃。伏桃是构成棉花产量的主体<sup>[15]</sup>。因此,涝渍胁迫通过影响三桃结构中的伏桃从而直接影响产量。

表4 涝渍胁迫对棉花伏前桃、伏桃和秋桃比例的影响 %

处理	下层 (1~7果枝)			中层 (8~15果枝)		上层 (≥16)果枝)	单株			内围 (1~3果枝)			外围 (≥4果枝)	
	伏前桃	伏桃	秋桃	伏桃	秋桃	秋桃	伏前桃	伏桃	秋桃	伏前桃	伏桃	秋桃	伏桃	秋桃
CK	9.8	62.6	27.5	30.5	69.5	100	4.7	43.3	51.9	6.2	55.3	38.5	5.7	94.3
T1	11.5	42.3	46.2	2.5	97.5	100	3.7	14.8	81.5	5.1	20.3	74.6	0	100
T2	15.8	26.3	57.9	3.1	96.9	100	4.9	9.9	85.2	7.3	14.6	78	0	100

### 2.2.4 籽棉产量

由表5可知,11月14日,收花全部结束,同一处理,各层籽棉产量表现为:中层>下层>上层;籽棉产量随着涝渍胁迫加重呈下降趋势。与CK相比,T2处理上层籽棉产量降低,且差异显著;T2处理单株籽棉产量与T1处理也具有显著性差异。不同处理间籽棉产量差异主要是由单株铃数不同造成的,涝渍胁迫使棉花减产,涝渍胁迫程度不同,减产比例也不同,T1处理较CK减产7.93%,而T2处理较CK减产23.43%。与T2处理相比,T1处理受涝时间较短,涝渍胁迫后,恢复生长较快,产量减产较少。灌溉水利用效率和籽棉产量变化趋势一致,随胁迫加重而下降,CK最高,达到1.12 g/L。

表5 涝渍胁迫下棉花籽棉产量

处理	单株籽棉产量/g				减产/%	单株总灌水量/L	灌溉水利用效率/(g·L <sup>-1</sup> )
	下层	中层	上层	单株			
CK	28.64	56.12	24.10a	108.86a		96.81	1.12
T1	23.75	53.05	21.42ab	100.23a	7.93	93.06	1.08
T2	20.94	48.61	13.81b	83.36b	23.43	93.51	0.89

注 不同小写字母表示在 $p<0.05$ 水平差异显著,下同。

### 2.2.5 产量构成因素

由表6可知,对同一处理,棉株纵向结构铃数表现为:中层>下层>上层;随着涝渍胁迫时间的增长,单株铃数以及上、中、下层都表现为:CK>T1处理>T2处理,其中,中层单株铃数T2处理与CK和T1处理均差异性显著,上层T2处理和CK也具有显著性差异。籽棉和单株皮棉产量随涝渍胁迫加重均表现为与单株铃数一样的变化趋势;下层子指T2处理与CK和T1处理有显著性差异,而单株皮棉产量只有T2处理与CK有显著差异。李乐农等<sup>[16]</sup>和张文英等<sup>[17]</sup>认为,棉花总铃数减少是棉花在洪涝条件下减产的主要原因。

表6 涝渍胁迫下棉花产量及其构成因素

处理	单株铃数				子指/g				单株皮棉产量/g			
	下层	中层	上层	单株	下层	中层	上层	单株	下层	中层	上层	单株
CK	9.67	17.25a	6.42a	33.33a	9.09a	8.63	8.11	8.61	13.12	25.99	11.41	50.52a
T1	8.33	16.83a	5.83ab	31.00a	9.00a	8.15	8.09	8.41	10.30	24.47	10.19	44.96ab
T2	8.11	12.67b	3.67b	24.44b	8.13b	7.93	7.10	7.72	9.53	23.16	6.71	39.40b

## 3 结论

1)涝渍胁迫明显影响植株叶片SPAD值、株高、绿叶数、倒四叶功能叶叶面积、开花数、蕾数、结铃数、果枝数和果节数,都表现为:CK>T1处理>T2处理。涝渍胁迫处理后,株高、茎粗、蕾数、开花数、结铃数、果枝数和果节数等指标都大于CK,涝渍胁迫解除以后,植株本身具有一定的修复作用,出现补偿性生长,棉花营养生长旺盛,但是涝渍胁迫推迟棉株生育进程。蕾期涝渍胁迫降低棉花子叶节高度和第1果枝高度,并减少果枝节间长度和主茎节间长度。

2)涝渍胁迫加重棉花蕾脱落率,成铃率下降;棉花单株籽棉产量、单株皮棉产量和子指呈显著下降趋势,其中T2处理减产最严重。

## 参考文献:

- [ 1 ] 朱建强,欧光华,张文英,等. 涝渍相随对棉花产量与品质的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(9): 1 050-1 056.
- [ 2 ] 朱建强,欧光华,张文英,等. 涝渍对大豆、棉花产量的影响研究[J]. 湖北农业科学, 2000(4):25-27.
- [ 3 ] 朱建强,程伦国,张文英,等. 几种作物不同生育阶段对持续受渍的敏感性研究[J]. 灌溉排水, 2002, 21(4): 9-11.
- [ 4 ] 钱龙,王修贵,罗文兵,等. 棉花先涝后渍减产规律分析及排水指标确定[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 89-97.
- [ 5 ] 朱建强,李靖. 多个涝渍过程连续作用对棉花的影响[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(3): 70-74.
- [ 6 ] 周欢,彭龙,原保忠,等. 不同灌水量对盆栽棉花产量和品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(1): 91-94.
- [ 7 ] SAIRAM R K, KUMUTHA D, EZHILMATHI K, et al. Waterlogging induced oxidative stress and antioxidant enzyme activities in pigeon pea [J]. *Biologia Plantarum*, 2009, 53(3): 493-504.
- [ 8 ] ZHANG G, TANAKAMARU K, ABE J, et al. Influence of waterlogging on some anti-oxidative enzymatic activities of two barley genotypes differing in anoxia tolerance[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2007, 29(2):171-176.
- [ 9 ] 刘凯文,付佳,朱建强. 涝渍胁迫对作物生长发育及早地养分流失的影响研究进展[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(1): 49-52.
- [ 10 ] 刘晓忠,李建坤,王志霞,等. 涝渍逆境下玉米叶片超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性与抗涝性的关系[J]. 华北农学报, 1995, 10(3): 29-32.
- [ 11 ] YAN B, DAI Q J, LIU X Z, et al. Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves [J]. *Plant and Soil*, 1996, 179(2): 261-268.
- [ 12 ] KUMUTHA D, EZHILMATHI K, SAIRAM R K, et al. Waterlogging induced oxidative stress and antioxidant activity in pigeonpea genotypes [J]. *Biologia Plantarum*, 2009, 53(1):75-84.
- [ 13 ] 徐道青,郑曙峰,王维,等. 棉花涝害胁迫研究综述[J]. 中国农学通报, 2014, 30(27):1-4
- [ 14 ] 付世权,曹春田,臧学斌,等. 雨涝灾害对舞钢市棉花生产的影响[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(S1):142-144.
- [ 15 ] 胡立勇,丁艳锋. 作物栽培学[M]. 北京:高等教育出版社, 2008: 316
- [ 16 ] 李乐农,郭宝江,彭克勤,等. 淹水处理对蕾期棉花产量及生理生化特性的影响[J]. 湖南农业科学, 1998(5):21-22.
- [ 17 ] 张文英,朱建强,欧光华,等. 花铃期涝渍胁迫对棉花农艺性状、经济性状的影响[J]. 中国棉花, 2001, 28(9):14-16.

## Effect of Flooding and Waterlogging at Squaring Stage on Growth and Yield of Cotton Studied Using Pot Experiment

ZOU Pengfei, YUAN Baozhong, HU Xiaodong, WANG Yun

(College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Flooding and waterlogging were main abiotic stresses for cotton. This paper studied the change in morphological traits of cotton cultivar Hua Mian 3109 subjected to flooding and waterlogging at squaring stage in the Yangtze River valley of China, as well as the ultimate yield using pot experiments. Three water treatments at the squaring stage were examined: normal irrigation (CK), flooding/waterlogging for seven days(T1), and flooding/waterlogging for 14 days (T2). The results showed that the flooding and waterlogging reduced almost all morphological traits, including SPAD value, plant height, functional leaf area, the number of green leaves, squares, flowers, bolls, fruiting branches, and fruiting nodes. The severity of the impact was in the order of CK>T1>T2. It was also found that there was a quick recovery in plant growth after the flooding and waterlogging was relieved. However, a prolonged waterlogging led to a reduction in seed yield and decrease in abscission of flowers, squares and bolls.

**Key words:** squaring period; flooding and waterlogging stress; cotton; growth; yield

责任编辑:白芳芳