

田间涝渍与棉花产量之间的关系

程伦国¹, 朱建强^{2*}, 吴立仁¹, 叶浩³

(1. 湖北省荆州市四湖工程管理局排灌试验站, 湖北 荆州 434013;

2. 长江大学农学院, 湖北 荆州 434025; 3. 天门市农田灌溉排水试验站, 湖北 天门 431719)

摘要:【目的】定量分析涝渍对棉花产量的影响。【方法】根据1999—2016年棉田5—8月涝渍监测资料,将田间涝渍分为4种情形:一次持续受渍过程、多次受渍过程、一次涝渍连续过程和多次涝渍过程。以地下水连续动态指标(SEW_{30})反映田间受渍程度,以降水引起的田间涝水深累积值(SFW)反映田间受涝程度,以田间积水期间地下水连续动态指标与地表水涝水深累积值之和($SFEW_{30}$)反映涝渍综合影响程度,研究了涝渍对棉花产量的影响。【结果】在棉花生育期内仅发生1次受渍过程,且地下水埋深小于30 cm的时间(T_{g-30})为2~4 d,减产幅度在8%以内;多次受渍,且 T_{g-30} 介于10~20 d之间,减产幅度一般为10%~20%。在涝渍伴随发生条件下,花铃期受涝持续时间4~10 d,地下水埋深小于30 cm的持续时间为7~13 d,结果造成棉花减产25.8%~49.1%;无论苗期、现蕾期还是花铃期,半月内多次受涝、受渍,且受涝累计时间不少于5 d,棉花减产达35.0%~49.5%。此外,作物相对产量与 SEW_{30} 、 SFW 、 $SFEW_{30}$ 极显著线性相关。【结论】多次受涝、受渍均造成棉花减产;相同持续时间的涝害和渍害,涝造成危害远大于渍害。

关键词:涝渍; 棉田; 产量; 定量分析

中图分类号:S276

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0151

程伦国,朱建强,吴立仁,等. 田间涝渍与棉花产量之间的关系[J]. 灌溉排水学报,2018,37(12):66-70.

0 引言

棉花是我国重要的经济作物,长期以来在湖北省汉江平原腹地四湖流域有着广泛栽培^[1]。但是,在棉花生长阶段雨水较多,特别是5—8月出现的强降水过程,常造成棉花生长发育不良、产量降低和品质下降^[2-5]。因此,棉田涝渍防治研究对本区域棉花生产具有重要实际意义。客观上,我国尚缺乏田间水平上对作物涝渍危害进行长期的定位观测,并且在统计上对雨涝(内涝)与洪涝造成的灾损未加区分。因此,基于各地上报的统计数据,很难准确区分雨季洪涝致灾与雨涝致灾各自的损失,一定程度上会影响到易涝易渍农区治河与治田决策。以往在田间进行过棉花涝渍观测,研究棉花年内涝渍指标与棉花相对产量之间的关系。在多年棉花田间涝渍观测的基础上,研究棉花年际间涝渍指标与棉花相对产量之间的关系,分析雨涝形成的4种田间情形对棉花产量的影响,建立相互之间的定量关系,对区别不同情况客观评价涝渍对棉花的影响具有重要参考价值。

1 材料与方法

用于田间涝渍观测的地点位于湖北省荆州市四湖工程管理局排灌试验站(简称四湖试验站),海拔高程29.4 m。试验站1975—2016年的年平均降水量为1 136.3 mm。在棉花处于主要生长阶段的5—8月,降水量310.5~1 034.8 mm,多年平均618.2 mm,占多年年均降水量的54.1%。1次最大降水量320.8 mm,1次降水过程大于25 mm的降水每年有4~14次,平均8.4次,1次持续降水历时1~11 d,平均3 d。根据农田雨涝水情动态,可将因降水过多引起棉田涝渍通常有4种情形:一次持续受渍和多次受渍过程,一次涝渍连续过程和

收稿日期:2017-02-10

基金项目:农业部公益性行业(农业)科研专项(201203032)

作者简介:程伦国,男,湖北仙桃人。高级工程师,主要从事农田灌溉排水技术研究。E-mail:785041535@qq.com

通信作者:朱建强,男,陕西周至人。教授,博士生导师,主要从事农业涝渍灾害基础理论与技术研究。E-mail:zyjb@sina.com

多次涝渍过程^[6-8]。

棉花涝渍观测在四湖试验站 17 个田间小区 CK、AG1、AG2、AG3、AGC1、AGC2、AGF、AGS、AGS1、AGS2、LC、LC1、LC2、LI、LG、LF 和 LC3 中进行,CK 为对照,面积为 50 m×4 m,AG1、AG2 和 AG3 小区面积均为 50 m×20 m,AGC1 和 AGC2 小区面积均为 50 m×10 m,AGF 面积为 50 m×4 m,AGS 面积为 50 m×24 m,AGS1 和 AGS2 小区面积均为 50 m×8 m,LC 小区面积为 50 m×13 m,LC1、LC2、LI、LG、LF 和 LC3 小区面积均为 20 m×5 m。因微地势差异,17 个田间小区地面有一定高差。相比之下 CK 地势最高,AGF、AGC1、AGC2、AG1、AG2、AG3 和 AGS 地势较高,基本在一个水平;LC1、LC2、LI、LG 和 LF 地势较低,基本在一个水平,LC3 地势最低。冬季地下水位最大埋深为 60~100 cm。田间小区土壤为中壤,肥力条件基本一致。每小区布设 3~5 眼地下水埋深观测井,埋入地面以下部分的观测井管 120~150 cm。

在雨季降水过程和雨后 1 周内,每天观测 1 次地下水埋深。强降水引起田间积水时,每天上下午各观测田间积水深度 1 次,并记录作物受涝时间。平时,每 5 d 观测 1 次田间地下水埋深。为分析作物受渍、受涝以及受涝渍共同作用对产量的定量关系,用地下水连续动态指标(SEW_{30})反映作物受渍程度,用田间涝水深累积值(SFW)反映作物受涝程度,用涝渍综和指标($SFEW_{30}$)综合反映作物受涝渍共同作用的程度。基于田间水情观测资料,按文献[7]给出的方法计算棉田地下水连续动态指标(SEW_{30})、涝水深累积值(SFW)和涝渍综合指标($SFEW_{30}$)。

各田间小区棉花种植方式一致。4 月中旬进行棉花营养钵育苗,5 月中下旬移栽,株距 0.5 m,行距 1.0 m。进入收获阶段,分区收获,实收计产。自 1999 年以来,先后种植的棉种有鄂杂棉、湘杂棉和中棉等,为消除品种间产量差异对分析的影响,在涝渍危害分析中采用相对产量。以种植在地势相对较高、未受涝渍影响的棉田为对照,计算受涝渍影响观测区的棉花相对产量和减产率。利用统计分析软件,分析涝渍指标和棉花相对产量(Ry)或减产(Rd)之间的相关性和定量关系。

2 结果与分析

2.1 生育期内仅受渍一次对产量的影响

根据对观测数据进行整理分析(表 1),1999—2016 年间,棉花在生长期由自然降水引起的仅出现 1 次受渍过程的年份有 5 a,作物受渍的时期从苗期到花铃期都有,2005 年和 2011 年苗期受渍,2003 年和 2014 年蕾期受渍,2004 年花铃期受渍。各年不同生育期内棉花植株受渍时间 2~4 d 不等,受渍后减产 1.2%~7.9%。2000 年系人为持续受渍处理,棉花因受渍时间较长(6、9 d),减产较重。

表 1 棉花受 1 次渍涝减产结果

年份	田间小区	受渍时期	Tg_{30}/d	$SEW_{30}/(cm \cdot d)$	$Ry/\%$	$Rd/\%$
2000	AG2	花铃期(人为)	6	165	87.8	12.2
2000	AG3	花铃期(人为)	9	244	70.6	29.4
2003	AGF	蕾期	4	52	93.4	6.6
2004	AGF	花铃期	2	32	96.3	3.7
2005	AGC1	苗期	3	37	97.7	2.3
2005	AGC2	苗期	4	72	92.1	7.9
2011	AG1	苗期	3	80	94.6	5.4
2011	AG3	苗期	3	92	93.7	6.3
2014	LC1	蕾期	2	17	98.8	1.2

注 Tg_{30} 表示地下水埋深小于 30 cm 的时间,下同。

分析表明,地下水埋深小于 30 cm 的持续时间越长或者地下水连续动态(SEW_{30})指标值越大,棉花减产就越多,这与在同一年内进行的关键生育期持续受渍试验结论^[3]相一致。对多年试验资料进行相关分析发现,棉花相对产量(Ry)与地下水动态指标(SEW_{30})存在显著的线性相关关系(相关系数 $r=0.954$,显著性水平 $\alpha=0.01$),其回归方程式为: $Ry=-0.11SEW_{30}+101.11$ 。

2.2 生育期内多次受渍对产量的影响

棉花生长期正值研究区域雨季,在主要生育期多次受渍比一次受渍普遍得多。根据 1999—2016 年自然降水过程田间观测,棉花在整个生育期内受渍不少于 2 次的年份有 10 a,2005 年受渍多达 11 次。表 2 观测结果表明,受渍过程越多, Tg_{30} 越大或者地下水连续动态指标(SEW_{30})越大,引起棉花减产往往比较重。

表2 棉花受多次渍涝减产结果

年份	田间小区	受渍生育期	N_w	Tg_{30}/d	$SEW_{30}/(cm \cdot d)$	$R_y/\%$	$R_d/\%$
1999	AG1	苗期、蕾期、花铃期	3	9	219	86.4	13.6
1999	AG2	苗期、蕾期、花铃期	3	11	286	81.3	18.7
1999	AG3	苗期、蕾期、花铃期	3	13	306	80.1	19.9
2005	LI	苗期、蕾期、花铃期	4	16	95	85.1	14.9
2005	LG	苗期、蕾期、花铃期	6	22	172	69.4	30.6
2005	LF	苗期、蕾期、花铃期	11	33	411	42.8	57.2
2006	AGC1	苗期、蕾期、花铃期	5	6	48	93.1	6.9
2006	AG2	苗期、蕾期、花铃期	7	10	94	90.2	9.8
2006	AGS2	苗期、蕾期、花铃期	6	10	117	88.5	11.5
2006	AG1	苗期、蕾期、花铃期	7	12	170	84.8	15.2
2006	AGC2	苗期、蕾期、花铃期	7	15	228	78.1	21.9
2007	AGC1	苗期、蕾期、吐絮期	4	7	34	98.9	1.1
2007	AG2	苗期、蕾期、花铃期、吐絮期	4	8	63	94.5	5.5
2007	AGC2	苗期、蕾期、花铃期、吐絮期	7	14	150	86.0	14.0
2007	LC	苗期、蕾期、花铃期、吐絮期	8	15	226	77.1	22.9
2008	AGC1	苗期、蕾期、花铃期、吐絮期	6	6	47	97.4	2.6
2008	AG2	苗期、蕾期、花铃期、吐絮期	6	8	110	95.6	4.4
2008	AG1	苗期、蕾期、花铃期、吐絮期	6	10	144	90.0	10.0
2008	LC	苗期、蕾期、花铃期、吐絮期	6	11	242	80.5	19.5
2009	AG2	苗期、蕾期	2	8	114	82.6	17.4
2009	AGC2	苗期、蕾期	2	8	184	81.3	18.7
2010	AG1	苗期、蕾期、花铃期	3	4	41	93.0	7.0
2010	AG2	苗期、蕾期、花铃期	3	4	55	93.6	6.4
2012	AGS	苗期、蕾期	3	6	75	94.6	5.4
2013	AGS	蕾期	2	3	47	96.0	4.0
2015	LC1	苗期、蕾期、花铃期、吐絮期	7	16	137	69.7	30.3

注 N_w 表示受渍过程次数,下同。

2005年LF棉田小区位于稻田旁,受渍11次,其多次受渍影响,既有自然降水因素也有稻田灌溉的影响,使棉花反复受渍,累计受渍时间达33 d,减产也是最严重的(与未受渍影响的棉田相比,减产57.2%)。这是因为相邻稻田灌溉引起棉田地下水位上升,棉田地下水埋深小于30 cm,棉花根系经常处于受渍状态,吸水吸肥困难,生长发育不良,棉花产量降低。

由表2可知,当受渍次数相同时, Tg_{30} 越长或者地下水连续动态指标(SEW_{30})越大,减产就越严重;当地下水连续动态指标相同或很接近时,受渍次数少,也即地下水埋深浅者减产越重;地下水埋深小于30 cm的累计时间相同时,以地下水连续动态指标(SEW_{30})大者减产重。

棉花相对产量(R_y)与地下水连续动态指标(SEW_{30})之间的关系式为: $R_y = -0.1 SEW_{30} + 100.47 (r = 0.854, \alpha = 0.01)$ 。这与之前相关研究的结论^[9-11]一致。

2.3 生育期内发生一次渍涝相随对产量的影响

2001年和2002年,在田间小区进行了棉花花铃期仅受1次渍涝相随影响的试验,受涝持续时间4~10 d,受涝期间涝水深累积值(SFW)28~70 cm,地下水埋设小于30 cm的持续时间7~13 d,结果造成棉花减产25.8%~49.1%(表3)。

表3 棉花花铃期受1次持续渍涝减产结果

年份	田间小区	T_w/d	Tg_{30}/d	$SEW_{30}/(cm \cdot d)$	$SFW/(cm \cdot d)$	$SFEW_{30}/(cm \cdot d)$	$R_y/\%$	$R_d/\%$
2001	AG1	10	13	355	70	425	50.9	49.1
2001	AG2	7	10	280	49	329	53.8	46.2
2002	AG3	4	7	150	28	178	74.2	25.8
2002	AG2	5	8	180	35	215	69.8	30.2
2002	AG1	6	9	210	42	252	67.4	32.6

注 T_w 表示受涝时间,下同。

分析表明,涝水深累积值(SFW)和地下水连续动态指标(SEW_{30})越大,棉花减产越严重,二者与棉花相对产量(R_y)之间存在显著相关(复相关系数 $r = 0.994$),回归方程式为: $R_y = 99.76 + 0.87SFW - 0.31SEW_{30}$,这与文献[6-7]试验研究得出的结论一致。此外,棉花相对产量(R_y)与渍涝综合指标($SFEW_{30}$)也存在显著的相关性

($r=0.984, \alpha=0.01$), 回归方程式为: $R_y = -0.12 SFEW_{30} + 97.33$ 。

2.4 生育期内多次涝渍相随对产量的影响

对2003年以来棉花遭遇多次涝渍相随影响的4 a小区试验数据进行了整理分析, 结果如表4所示。

表4 棉花受多次涝渍减产结果

田间 小区	涝渍发生时间	生育期	涝(渍) 次数	T_w/d	Tg_{30}/d	$SFW/(cm \cdot d)$	$SEW_{30}/(cm \cdot d)$	$SFEW_{30}/(cm \cdot d)$	$R_y/\%$	$Rd/\%$
AGS1	20030705—16	花铃期	2	3	9	24	220	244	82.6	17.4
AGS2	20030705—17	花铃期	2	3	10	39	247	286	78.8	21.2
AGC1	20030625—28	现蕾期	1	5	16	50	42	92	63.2	36.8
	20030705—20	花铃期	2	0	12	0	172	172		
AGC2	20030625—28	现蕾期	1	6	22	136	70	206	50.5	49.5
	20030705—21	花铃期	1	0	15	0	369	369		
AGS1	20040713—23	花铃期	2	3	4	35	149	184	86.3	13.7
AGC1	20040604—06	苗期	1	3	17	39	43	82	78.2	21.8
	20040711—0816	花铃期	4	0	30	0	239	239		
AGC2	20040604—18	苗期	2	5	26	119	103	222	65.0	35.0
	20040711—0817	花铃期	3	0	30	0	308	308		
LC	20040528—0617	苗期	3	9	44	169	301	470	28.6	71.4
	20040618—30	现蕾期	1	0	13	0	243	243		
	20040711—0818	花铃期	3	0	38	0	472	472		
LC	20090527—0601	苗期	1	1	9	6	130	136	87.6	12.4
	20090629—0702	现蕾期	1	0	4	0	86	86		
LC2	20160525—0603	苗期	2	1	10	0	103	103	57.1	42.9
	20160630—0715	花铃期	2	6	23	16	450	466		
LC3	20160525—0603	苗期	2	2	12	6	210	216	28.2	71.8
	20160630—0715	花铃期	2	9	29	28	759	787		

由表4可以看出, ①苗期受重涝(受涝3次, $T_w=9$ d)、现蕾期和花铃期受严重渍害(Tg_{30} 分别为13 d和38 d), 或者苗期受轻涝(10 d内2次短时受涝)、花铃期受重涝重渍(16 d内2次受涝, $T_w=9$ d, $Tg_{30}=29$ d), 均造成棉花极严重减产, 减产幅度28%以上。②无论苗期、现蕾期还是花铃期, 半月内多次受涝、受渍, 且受涝累计时间不少于5 d, 均会明显影响棉花产量, 减产幅度35.0%~49.5%; 如果累计受涝时间不超过3 d, 减产12.4%~21.8%左右。③同一年不同小区的棉花在涝渍程度比较接近时产量水平也比较接近, 涝渍程度重者减产相对多些。

棉花受多次涝渍影响, 其相对产量(R_y)与涝水深累积值(SFW)和地下水连续动态指标(SEW_{30})也存在显著复相关关系($r=0.930$), 回归方程式为 $R_y = 91.33 + 0.04SFW - 0.06SEW_{30}$ 。此外, 棉花相对产量(R_y)与涝渍综合指标($SFEW_{30}$)也存在显著相关关系($r=0.942, \alpha=0.01$), 回归方程式为: $R_y = -0.06 SFEW_{30} + 92.26$ 。

3 讨论与结论

1) 在本文研究区域内, 因自然降水, 棉花从苗期到花铃期可能会遭遇4种不同形式的涝渍过程, 即1次持续受渍过程、多次受渍过程、1次涝渍连续过程和多次涝渍过程。多次受渍过程和多次涝渍过程发生次数较多, 1次持续受渍过程和1次涝渍连续过程发生次数较少。棉花相对产量和涝渍指标之间存在显著的相关关系, 这与已有研究结果^[12]相一致。

2) 在多数年份, 田间因雨积水导致的涝害发生次数少于渍害发生次数。从对棉花生长和产量的影响看, 相同持续时间的涝害和渍害, 涝造成危害远远大于渍害。在多雨年份, 在棉花主要生长期发生涝、渍危害或涝渍相随危害客观存在, 多次的受涝渍影响过程中, 受涝过程一般发生1次, 而受渍发生多次。多次涝渍反复出现往往会引起棉花严重减产, 2004年和2016年在棉花苗期和花铃期发生的多次重涝、重渍危害, 造成棉花减产42.9%~71.8%。棉田与稻田插花布局会引起棉田地下水位上升, 加重棉田的渍害, 应尽量避免这种插花种植。棉花涝渍灾害防控既要注意自然降水引起的渍涝, 还要防范相邻稻田灌溉引起的棉花灾害。

3) 在田间管理一致的条件下, 相同的受渍或受涝渍程度对作物最终产量的影响在不同年份不尽一致, 这可能与各年种植的品种的抗逆性作物受涝水胁迫后的天气状况(大风降温或与高温)有关。即使品种相同, 严重受渍或受较重涝渍后是否遇高温天气, 对生长和产量的影响就差异很大^[13-16]。因此, 在运用获得研究结果指导生产时, 需要考虑雨后激烈天气状况的影响。

在运用较长系列资料分析奢侈水胁迫对作物的影响趋势或规律时,对收集的数据要结合当时的天气状况进行整理,应剔除作物受奢侈水胁迫后紧接着有极端天气的试验结果,否则建立的定量关系将不能很好地反映作物对受渍或受涝渍综合作用的响应。

参考文献:

- [1] 卢进步. 湖北省四湖流域推进生态文明的思考[J]. 中国水利, 2014(7): 8-9.
- [2] 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.
- [3] 欧光华, 朱建强, 张文英, 等. 棉花、大豆、油菜关键生育期排渍指标研究[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(1): 93-98.
- [4] 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.
- [5] 朱建强, 欧光华, 张文英, 等. 棉花花铃期涝渍相随对棉花产量的试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 80-83.
- [6] 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): 1050-1056.
- [7] 程伦国, 王修贵, 朱建强, 等. 多过程连续涝渍相随对棉花产量的影响[J]. 中国农村水利水电, 2006(8): 59-61.
- [8] 朱建强, 刘会宁. 多次涝渍胁迫对棉花的影响[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(1): 22-25.
- [9] 程伦国, 朱建强, 刘德福, 等. 田间涝渍对棉花产量的影响分析[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(5): 42-45.
- [10] 程伦国, 朱建强, 吴立仁等. 易涝易渍棉田水文过程及其对棉花产量的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2013, 10(5): 1-6.
- [11] 李慧伶, 王修贵, 程伦国, 等. 多阶段受涝渍综合影响的农田排水指标试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(7): 93-96.
- [12] 朱建强. 易涝易渍农田排水应用基础研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [13] QIN Qiaoyan, ZHU Jianliang, JIA Chenzhong, et al. Influence of subsurface waterlogging on physiological characteristics of cotton seedlings under high temperature synoptic conditions[J]. Science and Technology, 2012, 4(6): 409-412.
- [14] 吴启侠, 朱建强, 杨威, 等. 花铃期高温受涝对棉花的交互效应及排水指标确定[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 98-104.
- [15] 杨威, 朱建强, 吴启侠, 等. 花铃期棉花对地下水埋深和高温的响应及排渍指标确定[J]. 农业工程学报, 2015, 31(19): 120-127.
- [16] 杨威, 朱建强, 吴启侠, 等. 花铃期短期渍水和高温对棉花叶片光合特性、膜脂过氧化代谢及产量的影响[J]. 棉花学报, 2016, 28(5): 504-512.

Relationship between Waterlogging and Cotton Yield

CHENG Lunguo¹, ZHU Jianqiang^{2*}, WU Liren¹, YE Hao³

(1. Experimental Station of Irrigation and Drainage, Sihui Engineering Administration of Jingzhou City, Jingzhou 434013, China;

2. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, China;

3. Farmland Irrigation and Drainage Experiment Station of Tianmen, Tianmen 431719, China)

Abstract: 【Objective】 The objective of this paper is to present a quantitative relationship between waterlogging and cotton yield based on seven years' experimental data. 【Method】 From May to August in each year from 1999 to 2016, we measured waterlogging in a cotton field and classified the waterlogging into four categories: subsurface waterlogging, multiple subsurface waterlogging, one subsurface waterlogging followed by surface waterlogging, combination of multiple subsurface waterlogging and surface waterlogging. Subsurface waterlogging was represented by accumulated groundwater depth when it was 30 cm below the ground surface (SEW_{30}), and surface waterlogging was represented by rainwater dynamic index (SFW) that was the accumulated surface water depth within a defined period. The combined effect of surface and subsurface waterlogging ($SFEW_{30}$) was expressed by the sum of SEW_{30} and SFW . The impact of these waterlogging events on cotton yield was analyzed based on experimental data collected in the seven years. 【Result】 Reduction in cotton yield was 8% for one-off subsurface waterlogging with groundwater table (Tg_{-30}) was not shallower than 30 cm for 2~4 days, and 10%~20% for multiple subsurface waterlogging when the accumulated waterlogging time Tg_{-30} was between 10 days to 20 days. For subsurface waterlogging followed by surface waterlogging, the reduction in cotton yield was 25.8%~49.1% when the cotton was under waterlogging for 4~10 day during blossoming and/or boll-forming stages with Tg_{-30} being 7~13 days. The reduction in cotton yield was 35.0%~49.5% no matter what stage the cotton was, if the plants suffered multiple waterlogging within 5 days and the cumulative time of the waterlogging lasted more than five days. 【Conclusions】 The waterlogging indexes SEW_{30} , SFW , and $SFEW_{30}$ proposed in this paper can be used to predict reduction in cotton yield.

Key words: waterlogging; cotton field; relative yield; quantitative analysis

责任编辑: 陆红飞