

# 植物生长调节剂对玉米植株涝害的缓解

冷益丰, 张彪, 杨俊品, 何巧林, 康继伟, 杨麟, 陈洁, 唐海涛, 谭君, 何文铸\*

(四川省农业科学院作物研究所, 四川成都 610066)

**摘要** [目的] 研究不同植物生长调节剂对缓解玉米植株涝害的效果, 筛选最优的玉米涝害防治药剂供生产使用。[方法] 以生产上大面积推广应用的 3 个玉米品种为供试材料, 分别在苗期和抽雄吐丝期淹水胁迫模拟涝害处理玉米植株后喷施喷长精、多效唑 (PP333)、美洲星和脱落酸 (S-ABA), 分析各植物生长调节剂对玉米植株叶片叶绿素相对含量 (SPAD 值)、叶绿素荧光参数 ( $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$  和  $F_v/F_m$  值)、株高、穗位高、产量等的影响。[结果] 苗期喷施美洲星、抽雄吐丝期喷施喷长精能够有效缓解该时期玉米植株涝害, 玉米叶片 SPAD、 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$  和  $F_v/F_m$  值可以得到恢复或增加, 同时对涝害玉米植株后期株高、穗位高和产量也具有不同程度的恢复或增加, 而且可施用的浓度范围广、适用的玉米品种较多。[结论] 生产上合理施用美洲星和喷长精对于玉米遭受涝害后增产具有较好作用。

**关键词** 玉米; 涝害; 植物生长调节剂; 缓解

**中图分类号** S513 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)30-12015-06

## Effects of Different Plant Growth Regulators on the Recovery form Waterlogging of *Zea mays* L.

LENG Yi-feng et al (The Crop Research Institute (CRI) of Sichuan Academy of Agricultural Sciences (SAAS), Chengdu, Sichuan 610066)

**Abstract** [Objective] To study the effects of different plant growth regulators on the recovery form waterlogging of maize, selecting the best one for later production. [Method] With three maize varieties used in large areas as materials, four plant growth regulators: brassinolide, paclobutrazol, meizhouxing and abscisic acid were foliar sprayed after waterlogging stress at seeding and tasseling and silking stages respectively, the effects of different plant growth regulators on chlorophyll relative contents (SPAD value), chlorophyll fluorescence parameters ( $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v/F_o$  and  $F_v/F_m$  value), plant heights, ear heights and yields of maize plants were analyzed. [Result] The spraying of meizhouxing in seeding and brassinolide in tasseling and silking, which applied to production with a wide range of concentrations and maize varieties, could relieve the waterlogging injury of maize leaves by increasing SPAD,  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v/F_o$  and  $F_v/F_m$  value, and improve the plant heights, ear heights and yields to different degrees. [Conclusion] Rational application of meizhouxing and brassinolide could increase maize yields after waterlogging in production.

**Key words** Maize; Waterlogging; Plant growth regulators; Relieve

20 世纪 70 年代以来, 全球气象灾害频发, 严重威胁生态环境。干旱、冷害、涝渍、寒害和霜冻等农业气象灾害给农业生产造成了严重影响。据统计, 我国每年因各种农业气象灾害造成的农田受灾面积达  $3.4 \times 10^7$   $\text{hm}^2$ , 造成的经济损失约占国民生产总值 (GDP) 的 3% ~ 6%<sup>[1]</sup>。涝渍灾害是指由于降水过多导致土壤过度浸泡或地面受淹而造成的自然灾害, 涝害是指因雨水过多地面积水受淹导致的直接灾害<sup>[2]</sup>。涝害是世界上许多国家的重大自然灾害, 世界上水分过多的耕地土壤约占全部土壤的 12%。我国涝害以黄淮平原和长江中下游最为严重, 占全国受灾面积的 3/4 以上<sup>[3]</sup>。玉米是需水量较多且不耐涝的作物, 而渍涝是影响玉米生产的重要灾害之一。西南地区是我国玉米主产区之一, 夏季生长期经常遇到阴雨寡照、洪涝渍害等灾害, 成为影响玉米产量提高的主要因素。

国内外学者早在 20 世纪 60 年代就开始了玉米涝害的研究<sup>[4-7]</sup>, 探讨了不同生育时期玉米遭受涝害后减产等系列产品。目前有关作物涝害方面的研究多集中于棉花<sup>[8]</sup>、小麦<sup>[9]</sup>、芝麻<sup>[10]</sup>等农作物, 提出的防御对策主要包括农田基础设施建设、种植方式改良、品种选择、合理施肥等<sup>[2, 11-13]</sup>, 未

从根本上得出可控可防的措施, 几乎没有更有效的化学调控手段。近年来, 植物生长调节剂在农业生产上的应用越来越广泛。研究表明<sup>[3, 14]</sup>, 使用植物生长调节剂如多效唑 (PP333)、芸苔素内酯 (BR-120)、美洲星等能有效缓解作物涝害, 但这些措施在大田条件下的实际应用效果还缺少系统深入的研究。笔者立足生产实际, 通过大田试验, 研究不同植物生长调节剂对玉米涝害的缓解效应, 筛选出适合西南地区安全、高效应用的玉米涝害防治药剂, 为减轻涝害对玉米生长的影响提供技术及物质支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

**1.1.1 供试品种。**选用四川省生产上大面积推广应用的 3 个玉米品种川单 15、成单 30 和三农 201。

**1.1.2 供试药剂。**喷长精 (南昌大学)、多效唑 (15% 可湿性粉剂, 江西农大植保化工有限公司)、美洲星 (广谱型, 安徽省神农农业技术开发有限公司)、脱落酸 (S-ABA, 90% 粉剂, 四川龙麟福生科技有限责任公司)。

### 1.2 试验设计

**1.2.1 大田试验。**于 2013 年 4 ~ 8 月在四川省农业科学院新都基地进行, 试验地土质为壤土, 肥力中等, 灌排条件方便。4 月 3 日播种, 小区行长 5.00 m, 行距 0.75 m, 株距 0.25 m。水淹胁迫分 2 个时期进行, 待玉米幼苗长至 5 ~ 7 叶时 (苗期) 水淹处理 1 次, 抽雄吐丝期水淹处理 1 次。每天 7:00 和 19:00 左右人工引水淹灌田块, 使厢沟内充满积水, 保持厢面水深 2 ~ 3 cm, 涝害处理持续 5 d。3 次重复, 随机区组

**基金项目** 国家科技支撑计划 (2012BAD20B02, 2012BAD04B13, 2011-AA10A103); 四川省经委项目 (2011XM028)。

**作者简介** 冷益丰 (1986 -), 男, 重庆人, 研究实习员, 硕士, 从事玉米分子育种研究。\* 通讯作者, 副研究员, 在读博士, 从事玉米育种工作。

**收稿日期** 2013-09-18

排列。

**1.2.2 药剂喷施。**涝害胁迫结束后,进行植物生长调节剂喷施处理,喷施清水作为对照。各植物生长调节剂分别设置3个浓度梯度,即美洲星3、4、5 ml/L,脱落酸4、5、6 mg/L,多效唑40、50、60 mg/L,喷长精500、1 000、1 500 mg/L。采用背负式喷雾器将以上几种植物生长调节剂分别均匀喷施于整个玉米植株表面。苗期和抽雄吐丝期淹水胁迫后各喷药1次。为使药剂易于附着在植株上,向药液中加入几滴吐温。药剂喷施后间隔3 d对玉米植株从上至下第1片完全展开叶(苗期)和穗位叶(抽雄吐丝期)进行相关指标测定。

### 1.3 指标测定

**1.3.1 农艺性状调查。**观察记载出苗、拔节、抽雄、吐丝及成熟等时期。记录生育期内各玉米品种的植株变化情况,测量株高、穗位高等植株形态指标。

**1.3.2 生理指标测定。**每次涝害结束喷施药剂后,测定处理与对照玉米植株叶片的叶绿素相对含量(*SPAD*值)、叶绿素荧光参数等相应生理指标。①*SPAD*值:用英国产*SPAD-502*型叶绿素仪对植株从上至下第1片完全展开叶(苗期)

和穗位叶(抽雄吐丝期)进行测定。测定时,在叶尖、叶中部及叶基部分别测量6次后取平均值。②叶绿素荧光参数:采用英国Hansatech公司生产的植物效率仪(Handy PEA,即非调制式荧光仪)测定叶片固定荧光(*F<sub>o</sub>*)、可变荧光(*F<sub>v</sub>*)和最大荧光(*F<sub>m</sub>*),光系统II的原初光能转化效率(*F<sub>v</sub>/F<sub>o</sub>*)、光系统II光化学的最大效率(*F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>*),其中*F<sub>v</sub>* = *F<sub>m</sub>* - *F<sub>o</sub>*。测定前暗适应20 min。

**1.3.3 产量相关因子考察。**待成熟期收获玉米果穗,考种记载穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重等穗部性状,计算小区籽粒产量。

## 2 结果与分析

**2.1 苗期和抽雄吐丝期涝害胁迫处理玉米植株** 苗期(5~7叶)处理后,不同玉米植株长势差异明显,耐涝性较强的玉米植株受淹水胁迫影响较小,玉米苗健壮,呈青绿色;而耐涝性弱的玉米植株经淹水胁迫后玉米苗瘦小,叶片萎蔫,叶色变黄甚至死亡(图1a)。抽雄吐丝期淹水胁迫处理前后植株变化不如苗期明显,但仍可以清晰地看到部分玉米植株叶片变黄(图1b)。



注:a为玉米苗期淹水胁迫效果;b为玉米抽雄吐丝期淹水胁迫效果。

图1 淹水胁迫处理下玉米植株苗期和抽雄吐丝期的生长表现

**2.2 植物生长调节剂对涝害玉米叶片叶绿素相对含量的影响** 由表1可知,苗期时500 mg/L喷长精、5 ml/L美洲星、4 mg/L脱落酸对川单15叶片叶绿素相对含量的恢复(增加)效果较好,*SPAD*值分别较对照增加了2.1、3.6、5.3个百分点,而多效唑的喷施效果不明显;而对于玉米品种成单30,4种植物生长调节剂仅有多效唑能够恢复(增加)其叶片的*SPAD*值,其中以40 mg/L的恢复效果(增加)最好(*SPAD*值较对照增加4.2个百分点);1 500 mg/L喷长精、50 mg/L多效唑、4 ml/L美洲星、5 mg/L脱落酸对三农201叶片叶绿素相对含量的恢复效果(增加)较好,*SPAD*值分别较对照增加1.9、2.5、2.6、2.0个百分点。抽雄吐丝期时,1 000 mg/L喷长精、60 mg/L多效唑对川单15叶片叶绿素相对含量的恢复效果(增加)较好,*SPAD*值分别较对照增加12.1、14.8个百分点,而美洲星和脱落酸的喷施效果不明显;而对于玉米品种成单30,苗期不具有效果的植物生长调节剂也发挥了作用,其中以1 000 mg/L喷长精、40 mg/L多效唑、4 ml/L美洲

星、6 mg/L脱落酸对成单30叶片叶绿素相对含量的恢复效果(增加)较好,*SPAD*值分别较对照增加16.1、18.0、6.0、9.3

表1 植物生长调节剂对涝害玉米叶片叶绿素相对含量的影响

植物生长调节剂	处理	川单15		成单30		三农201	
		苗期	抽雄吐丝期	苗期	抽雄吐丝期	苗期	抽雄吐丝期
喷长精	0	62.8	50.6	62.2	50.8	63.1	60.0
	500 mg/L	64.1	56.6	60.6	57.6	62.7	60.4
	1 000 mg/L	62.7	56.7	61.1	59.0	62.8	59.4
	1 500 mg/L	60.4	55.2	61.7	48.6	64.3	61.8
多效唑	0	61.6	51.9	57.5	49.5	64.2	61.7
	40 mg/L	60.3	56.1	59.9	58.4	64.0	58.3
	50 mg/L	61.3	56.8	59.8	57.4	65.8	55.5
	60 mg/L	60.8	59.6	59.7	52.7	64.0	58.9
美洲星	0	60.9	58.3	61.0	52.9	62.5	61.6
	3 ml/L	60.9	57.7	58.7	55.7	63.8	57.2
	4 ml/L	63.0	55.5	57.7	56.1	64.1	57.0
脱落酸	5 ml/L	63.1	58.1	58.4	54.3	64.1	56.1
	0	60.6	59.2	60.6	56.8	64.1	58.0
	4 mg/L	63.8	57.5	57.4	59.7	62.6	58.4
	5 mg/L	60.8	56.4	59.8	60.2	65.4	62.1
	6 mg/L	60.7	53.0	59.7	62.1	63.7	52.5

个百分点;这一时期4种植物生长调节剂对三农201的喷施效果不如苗期好,仅有1500 mg/L喷长精、5 mg/L脱落酸对其叶片叶绿素相对含量的恢复(增加)具有作用,SPAD值分别较对照增加3.0、7.1个百分点。

### 2.3 植物生长调节剂对涝害玉米叶片叶绿素荧光参数的影响

**2.3.1 对苗期涝害玉米叶片叶绿素荧光参数的影响。**从3个玉米品种喷施植物生长调节剂与喷施清水(对照)玉米叶片叶绿素荧光参数来看(表2),喷长精、多效唑和美洲星多数处理浓度对川单15具有恢复(增加)叶片叶绿素荧光参数的作用,其中以1500 mg/L喷长精、60 mg/L多效唑、4 ml/L美洲星的效果最好,各植物生长调节剂在该浓度下对叶片的 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 值都具有增加作用,而其他浓度下4个参数值升降不同;1500 mg/L喷长精处理下 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加3.8、6.4、7.1、3.1个百分点,60

mg/L多效唑处理下 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加2.5、11.0、13.5、10.8个百分点,4 ml/L美洲星处理下 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加1.6、5.9、7.1、5.4个百分点。4种植物生长调节剂中多效唑对成单30叶片叶绿素荧光参数恢复(增加)效果最好,脱落酸次之,而美洲星和喷长精的效果不理想,其中以40 mg/L多效唑、5 mg/L脱落酸的效果最好,40 mg/L多效唑处理下 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加1.5、16.2、19.0和3.4个百分点,5 mg/L脱落酸处理下 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加3.9、11.0、8.7和1.8个百分点。苗期喷施4种植物生长调节剂对三农201的叶片叶绿素荧光参数的恢复(增加)效果不如川单15和成单30,基本上各植物生长调节剂的不同处理浓度仅对部分叶绿素荧光参数值发挥作用,相对而言多效唑的效果稍明显,美洲星次之,其中60 mg/L多效唑处理下叶片 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加0.6、1.8和0.3个百分点。

表2 植物生长调节剂对苗期涝害玉米叶片叶绿素荧光参数的影响

植物生长调节剂	处理	川单15				成单30				三农201			
		$F_o$	$F_m$	$F_v/F_o$	$F_v/F_m$	$F_o$	$F_m$	$F_v/F_o$	$F_v/F_m$	$F_o$	$F_m$	$F_v/F_o$	$F_v/F_m$
喷长精	0	233.0	1 093.7	860.7	3.694 0	253.6	1 156.0	3.558 4	0.778 4	262.9	1 265.2	3.812 5	0.791 6
	500 mg/L	232.8	1 105.1	872.3	3.747 0	247.4	1 130.0	3.567 5	0.780 7	272.2	1 228.0	3.511 4	0.776 7
	1 000 mg/L	240.3	1 115.2	874.9	3.640 9	248.8	1 187.9	3.774 5	0.789 1	262.8	1 203.4	3.579 5	0.779 0
	1 500 mg/L	241.9	1 163.6	921.7	3.810 3	234.7	1 060.4	3.518 5	0.778 8	265.0	1 240.3	3.680 4	0.785 4
多效唑	0	235.4	1 054.2	818.8	3.478 3	255.1	1 084.1	3.249 7	0.764 8	264.4	1 225.2	3.633 9	0.784 3
	40 mg/L	232.8	1 062.6	829.8	3.564 4	258.8	1 259.3	3.866 3	0.790 9	255.7	1 217.0	3.759 5	0.788 7
	50 mg/L	230.2	1 103.1	872.9	3.791 9	234.7	1 147.3	3.888 8	0.795 6	250.4	1 222.6	3.882 2	0.795 0
	60 mg/L	241.2	1 170.4	929.2	3.852 4	257.7	1 202.9	3.667 8	0.785 2	262.3	1 232.3	3.698 1	0.786 3
美洲星	0	253.0	1 170.0	917.0	3.624 5	269.0	1 233.1	3.584 0	0.781 1	256.9	1 223.1	3.761 0	0.788 7
	3 ml/L	256.6	1 130.8	874.2	3.406 9	258.7	1 168.2	3.516 0	0.775 6	247.8	1 191.1	3.806 7	0.791 0
	4 ml/L	257.1	1 239.6	982.4	3.821 1	261.1	1 169.2	3.478 0	0.774 1	262.7	1 245.8	3.742 3	0.788 2
	5 ml/L	259.8	1 198.1	938.3	3.611 6	258.4	1 256.2	3.861 5	0.793 9	248.4	1 158.2	3.662 6	0.784 6
脱落酸	0	257.4	1 145.2	887.8	3.449 1	251.1	1 155.0	3.599 8	0.781 6	252.0	1 215.6	3.823 8	0.792 0
	4 mg/L	254.3	1 175.9	921.6	3.624 1	251.9	1 136.6	3.512 1	0.776 7	262.2	1 236.6	3.715 9	0.787 4
	5 mg/L	240.2	1 121.1	880.9	3.667 4	260.9	1 281.9	3.913 4	0.795 4	264.8	1 198.1	3.524 5	0.778 3
	6 mg/L	254.2	1 198.6	944.3	3.714 8	251.2	1 171.8	3.664 8	0.786 0	248.9	1 171.3	3.705 9	0.786 2

**2.3.2 对抽雄吐丝期涝害玉米叶片叶绿素荧光参数的影响。**由表3可知,4种植物生长调节剂仅有喷长精对川单15的喷施效果较好,其中以1000 mg/L浓度为宜( $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加3.0、13.0、13.4和4.1个百分点),其余3种植物生长调节剂除脱落酸略提高 $F_o$ 外,均对 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 及 $F_v/F_m$ 恢复(增加)效果不明显甚至具有副作用。喷长精和脱落酸的喷施效果对成单30叶片叶绿素荧光参数的恢复(增加)优于多效唑和美洲星,其中500 mg/L喷长精对成单30的效果最好( $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加5.8、17.3和4.5个百分点),5 mg/L脱落酸次之( $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加7.9、12.5和3.5个百分点),多效唑和美洲星对成单30叶片的叶绿素荧光参数恢复(增加)效果不明显甚至具有副作用。除多效唑的效果欠佳外,喷长精、美洲星、脱落酸对三农201的喷施效果较好,其中喷长精的效果最好,其各浓度均能有效恢复(增加)三农201叶片的叶绿素荧光参数值,但以1000 mg/L最佳( $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加3.2、8.7、7.7和2.8个百分点),5

ml/L美洲星处理下 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加10.8、14.3、4.6、2.9个百分点,6 mg/L脱落酸处理下 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 和 $F_v/F_m$ 分别较对照增加8.7、17.2、11.2、3.7个百分点。

**2.4 植物生长调节剂对涝害玉米株高和穗位高的影响**玉米生育期内苗期和抽雄吐丝期2次淹水处理,模拟渍害胁迫后喷施4种不同的植物生长调节剂缓解涝害反应,各试剂对玉米植株株高(图2)和穗位高(图3)的恢复(增加)效果不同。喷长精的效果最好,各浓度的喷长精均能恢复(增加)川单15的株高和穗位高(1000 mg/L为宜,植株较对照高37.7 cm,穗位较对照高22.4 cm),3 ml/L美洲星和4 mg/L脱落酸对川单15的株高和穗位高也有较好的恢复(增加)效果(植株分别较对照高12.4和15.5 cm,穗位分别较对照高13.7和14.7 cm);脱落酸对成单30的喷施效果最好,各浓度的脱落酸均能恢复(增加)成单30的株高和穗位高(5 mg/L为宜,植株较对照高13.5 cm,穗位较对照高2.5 cm),1500 mg/L喷长精、40 mg/L多效唑、5 ml/L美洲星的喷施效果也较明显(植株分别较

对照高 16.7、0.4 和 3.0 cm,穗位分别较对照高 14.9、-2.0 和 5.8 cm);多效唑对三农 201 的喷施效果最好,各浓度的多效唑均能恢复(增加)三农 201 的株高和穗位高(60 mg/L 为宜,植株

较对照高 31.2 cm,穗位较对照高 18.7 cm),500 mg/L 喷长精、4 ml/L 美洲星的喷施效果也较明显(植株分别较对照高 7.8 和 10.1 cm,穗位分别较对照高 6.3 和 5.8 cm)。

表 3 植物生长调节剂对抽雄吐丝期涝害玉米叶片叶绿素荧光参数的影响

植物生长调节剂	处理	川单 15				成单 30				三农 201			
		Fo	Fm	Fv/Fo	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv/Fo	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv/Fo	Fv/Fm
喷长精	0	356.3	1 299.7	2.647 5	0.717 4	350.7	1 103.1	2.145 4	0.680 7	360.4	1 194.8	2.314 9	0.693 6
	500 mg/L	364.7	1 312.4	2.598 8	0.718 9	332.0	1 167.3	2.516 0	0.711 4	361.2	1 265.0	2.502 2	0.713 4
	1 000 mg/L	367.0	1 468.4	3.001 1	0.746 7	341.0	1 059.3	2.106 5	0.675 4	371.9	1 299.0	2.492 9	0.712 7
	1 500 mg/L	360.3	1 269.3	2.522 9	0.714 0	350.1	1 172.8	2.349 9	0.698 8	381.6	1 301.4	2.410 6	0.706 7
多效唑	0	373.2	1 337.0	2.582 5	0.717 2	345.9	1 292.3	2.736 1	0.730 2	367.7	1 316.7	2.580 9	0.719 3
	40 mg/L	365.2	1 236.1	2.384 7	0.702 2	358.6	1 240.0	2.457 9	0.705 3	368.9	1 223.2	2.315 8	0.690 8
	50 mg/L	351.1	1 259.1	2.586 2	0.718 4	338.9	1 177.3	2.473 9	0.705 9	349.8	1 164.3	2.328 8	0.696 6
	60 mg/L	364.1	1 246.0	2.422 1	0.704 0	358.7	1 223.2	2.410 4	0.703 6	381.6	1 205.9	2.160 1	0.681 1
美洲星	0	387.0	1 324.7	2.423 0	0.697 2	363.3	1 442.7	2.970 8	0.746 7	347.1	1 219.2	2.512 5	0.704 9
	3 ml/L	344.7	1 158.1	2.359 7	0.702 7	360.1	1 386.9	2.851 4	0.739 7	372.0	1 245.3	2.347 6	0.691 3
	4 ml/L	329.6	1 098.4	2.332 8	0.696 3	372.6	1 239.1	2.325 8	0.688 4	385.8	1 389.8	2.602 4	0.723 1
	5 ml/L	337.6	1 090.9	2.231 3	0.679 7	359.3	1 188.9	2.308 9	0.691 4	384.2	1 393.8	2.627 8	0.725 1
脱落酸	0	346.8	1 309.4	2.776 0	0.731 6	354.2	1 247.6	2.522 0	0.711 0	369.8	1 236.7	2.344 2	0.686 4
	4 mg/L	350.3	1 136.4	2.244 1	0.676 7	365.2	1 146.3	2.138 8	0.672 3	378.8	1 201.0	2.170 5	0.678 2
	5 mg/L	351.3	1 251.0	2.561 1	0.708 8	350.8	1 346.2	2.837 5	0.735 7	361.9	1 246.8	2.445 2	0.699 7
	6 mg/L	354.7	1 201.1	2.386 2	0.699 8	406.9	1 313.8	2.228 8	0.686 3	401.8	1 449.0	2.606 3	0.711 6

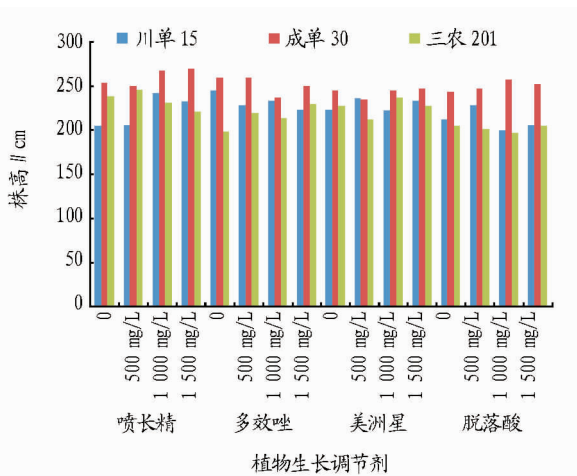


图 2 植物生长调节剂对生育期内涝害玉米株高的影响

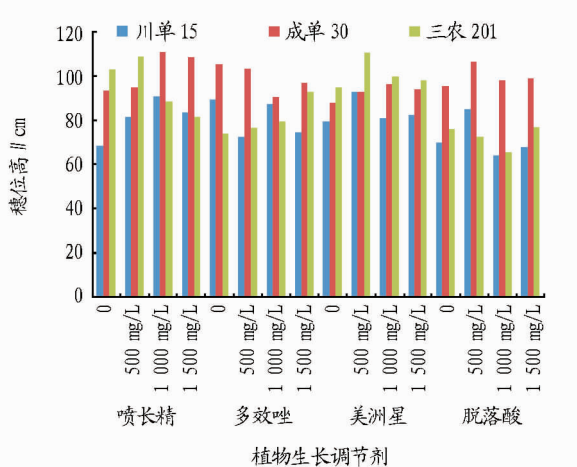


图 3 植物生长调节剂对生育期内涝害玉米穗位高的影响

2.5 植物生长调节剂对涝害玉米产量相关因子的影响 由表 4 可知,通过喷施具有一定缓解效果的植物生长调节剂,

玉米产量较对照具有一定的恢复提高(表 4)。不同浓度的多效唑、美洲星和脱落酸对川单 15 的增产作用明显,增幅为 1.7%~29.3%,其中以 1 000 mg/L 喷长精、40 mg/L 多效唑、5 ml/L 美洲星、4 mg/L 脱落酸的喷施效果最理想,产量分别较对照增产 6.7、29.3、9.0、25.0 个百分点。4 种植物生长调节剂对成单 30 的增产作用不如川单 15 理想,多效唑效果最好,脱落酸次之,其中以 60 mg/L 多效唑、5 mg/L 脱落酸、1 000 mg/L 喷长精的喷施效果最理想,分别较对照增产 12.7、20.4、2.3 个百分点;各浓度的喷长精、多效唑和脱落酸对三农 201 的增产作用均较好,增幅为 16.4%~40.8%,其中以 1 000 mg/L 喷长精、60 mg/L 多效唑、6 mg/L 脱落酸的喷施效果最理想,后期产量分别较对照增产 25.7、18.1、40.8 个百分点。喷施 4 种植物生长调节剂后对后期玉米果穗的穗长、穗粗、秃尖、穗行数、行粒数和百粒重等产量构成相关因子的影响无固定的规律可循,有待进一步研究。总体来看,对涝害玉米增产效果明显的植物生长调节剂对玉米相应果穗的穗长以及百粒重等具有正向作用,这就为总体增产奠定了基础。

### 3 讨论与结论

(1)叶绿素是植物吸收光能进行光合作用的色素,在一定范围内叶绿素含量的高低能够直接反映植株的健康状况与光合能力。植物受涝后会出现叶色转淡、生长缓慢等生长衰退现象,具体表现在受涝植株叶片叶绿素含量下降、叶面积缩小、下部叶片枯黄和植株变矮,最后因营养不良而导致减产。在涝渍等逆境下,玉米叶片叶绿素的降解最终会使光合作用的效率降低。笔者通过选用 4 种不同植物生长调节剂喷施涝害玉米植株,以期缓解涝害对玉米生长的影响,结果表明:苗期喷施美洲星、抽雄吐丝期喷施喷长精能够有效缓解该时期内玉米植株涝害,玉米叶片叶绿素相对含量及叶

绿素荧光参数  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$  和  $F_v/F_m$  值可以得到恢复或增强,有利于后期叶片光合产物的积累,从而减轻涝害对玉米产量的影响。同时对后期涝害玉米植株株高和穗位高也具

有不同程度的恢复或增加,而且可施用的浓度范围广、适用的玉米品种较多,生产上合理使用美洲星和喷长精对于玉米遭受涝害后增产具有较好作用。

表 4 植物生长调节剂对生育期内涝害玉米产量相关因子的影响

植物生长调节剂	处理	川单 15								成单 30			
		穗长 cm	穗粗 cm	秃尖 cm	穗行 数	行粒 数	百粒重 g	产量 kg/hm <sup>2</sup>	较 CK 增 产//%	穗长 cm	穗粗 cm	秃尖 cm	穗行 数
喷长精	0	17.50	4.30	2.12	15.6	29.0	31.42	6 414.60	-	20.76	4.55	1.10	16.8
	500 mg/L	17.90	4.39	1.90	15.6	31.0	31.93	5 083.50	-20.8	21.90	4.65	1.40	16.4
	1 000 mg/L	17.82	4.53	1.10	15.8	33.3	32.43	6 841.95	6.7	21.84	4.68	0.95	16.9
	1 500 mg/L	19.74	4.74	2.40	15.2	36.4	34.91	5 523.60	-13.9	21.60	4.78	1.90	16.8
多效唑	0	15.80	4.74	0.90	14.8	32.6	33.92	4 926.30	-	19.78	4.50	1.40	16.8
	40 mg/L	17.54	4.87	2.20	16.4	30.0	33.29	6 367.95	29.3	20.50	4.60	1.50	16.0
	50 mg/L	18.24	4.93	1.60	16.0	32.0	34.63	5 674.95	15.2	20.57	4.65	2.05	17.0
	60 mg/L	16.70	4.62	2.00	15.2	32.6	33.43	5 554.20	12.7	22.60	4.63	1.50	15.6
美洲星	0	19.90	4.62	2.14	14.4	34.8	35.92	5 938.20	-	19.34	4.67	1.70	16.4
	3 ml/L	18.70	4.85	1.20	15.6	34.4	33.66	6 040.20	1.7	17.30	4.39	1.00	16.8
	4 ml/L	19.85	4.97	2.70	15.4	34.6	34.47	6 167.10	3.9	18.40	4.24	2.00	15.6
	5 ml/L	19.20	4.84	2.00	16.4	35.0	32.73	6 470.85	9.0	20.65	4.73	1.25	17.2
脱落酸	0	18.98	4.68	1.80	16.0	35.0	33.92	5 419.50	-	21.24	4.50	2.20	16.4
	4 mg/L	19.00	4.86	1.90	16.6	35.2	34.95	6 775.50	25.0	22.00	4.45	2.60	17.2
	5 mg/L	17.00	4.76	1.90	15.2	31.8	35.01	6 403.50	18.2	20.00	4.51	0.40	15.6
	6 mg/L	18.70	4.64	1.60	14.6	35.4	35.61	5 932.05	9.5	17.70	4.30	1.40	15.6

植物生长调节剂	处理	成单 30				三农 201							
		行粒 数	百粒重 g	产量 kg/hm <sup>2</sup>	较 CK 增 产//%	穗长 cm	穗粗 cm	秃尖 cm	穗行 数	行粒 数	百粒重 g	产量 kg/hm <sup>2</sup>	较 CK 增 产//%
喷长精	0	42.6	31.85	8 736.75	-	14.96	5.15	0.50	18.4	31.6	33.14	6 603.75	-
	500 mg/L	42.6	32.41	8 710.35	-0.3	17.50	5.29	0.80	18.4	36.6	32.46	7 818.45	18.4
	1 000 mg/L	42.7	32.36	8 940.75	2.3	15.16	5.40	0.70	18.8	30.4	32.62	8 300.25	25.7
	1 500 mg/L	39.6	32.55	8 308.95	-4.9	18.10	5.42	1.30	18.4	34.6	33.48	7 736.25	17.1
多效唑	0	39.2	32.64	7 955.40	-	17.18	5.22	1.60	15.6	33.6	34.17	7 034.40	-
	40 mg/L	42.8	28.65	8 107.05	1.9	17.64	5.48	1.80	19.6	33.4	32.51	7 990.35	13.6
	50 mg/L	40.5	28.57	8 448.00	6.2	17.25	5.41	1.05	18.4	34.0	32.98	8 185.50	16.4
	60 mg/L	43.8	33.64	8 967.15	12.7	18.50	5.31	1.50	18.4	35.6	33.06	8 304.60	18.1
美洲星	0	36.4	30.66	8 704.35	-	15.74	5.19	0.90	18.0	33.0	29.81	8 130.60	-
	3 ml/L	34.6	28.31	7 400.25	-15.0	13.60	5.29	0.80	18.4	27.2	26.89	7 793.55	-4.1
	4 ml/L	37.2	32.78	8 290.95	-4.7	16.06	5.02	2.80	16.8	26.8	34.24	7 284.45	-10.4
	5 ml/L	42.5	30.99	8 383.65	-3.7	17.30	5.28	0.90	18.4	35.2	29.31	7 672.80	-5.6
脱落酸	0	39.8	28.97	7 084.65	-	15.30	5.06	0.90	18.8	32.2	28.01	5 609.55	-
	4 mg/L	42.2	32.46	6 219.60	-12.2	15.56	5.02	0.60	17.2	28.6	37.56	7 532.40	34.3
	5 mg/L	40.4	30.59	8 532.00	20.4	16.00	5.12	1.20	16.4	31.6	35.42	7 039.80	25.5
	6 mg/L	37.6	30.29	8 446.20	19.2	18.56	5.00	2.70	17.6	34.8	33.43	7 900.95	40.8

(2)有研究表明,活性氧参与玉米的涝渍伤害,但缺乏直接的试验证据。汪宗立等<sup>[15]</sup>从保护酶活性的变化上间接证明了活性氧与玉米涝害有关。晏斌等<sup>[16]</sup>研究了 5 种外源活性氧清除剂对玉米植株涝害的缓解作用,认为淹水后玉米叶片  $O_2^{\cdot -}$  和  $H_2O_2$  都显著积累,而降低的活性氧 ( $O_2^{\cdot -}$  和  $H_2O_2$ ) 浓度能减缓玉米叶片的涝害,并提高非酶促活性氧保护物质 AsA 和 GsH 的含量。这为活性氧参与涝渍伤害提供了依据。文廷刚等<sup>[17]</sup>通过测定 SOD、CAT 活性及叶绿素含量、MDA 含量等,研究了不同浸种剂对水稻幼苗抗涝性的影响,认为浸种剂处理可提高涝害后水稻幼苗的 SOD 和 CAT 活性,增加叶片中叶绿素含量,减少 MDA 的积累,有利增强水稻幼苗的抗涝性。笔者通过试验发现,喷长精和美洲星等

植物生长调节剂能够缓解玉米涝害,但它们是否参与了活性氧代谢或是通过对玉米植株内其他酶、内源激素等生理代谢物质的影响发挥作用的调控机理还有待进一步研究。

(3)20 世纪 90 年代后涝灾呈增大趋势,特别是 2001 年后呈显著上升趋势。近年来,平均年降水量和夏季降水量多高于农作物获得高产的最适值,受涝灾面积明显增加<sup>[18]</sup>。涝渍成为影响玉米产量持续提高和造成年际间产量大幅波动的主要因素。植物生长调节剂是近几年发展起来的作物物化栽培技术产品,目前主要应用于蔬菜作物上,常规粮食作物上的研究报道相对较少。笔者证实了通过外源化学调控手段,筛选有效适用的植物生长调节剂可成为克服或缓解玉米涝害的技术途径。但同时也注意到,不同植物生长调节剂

在不同玉米品种间的应用效果存在差异,因此,植物生长调节剂对涝害玉米生长具有明显促进作用的机理及在不同玉米品种上作用差异的内在原因值得进一步研究阐明。

### 参考文献

- [1] 王春乙,王石立,霍治国,等.近10年来中国主要农业气象灾害监测预警与评估技术研究进展[J].气象学报,2005,63(5):659-671.
- [2] 陈洪信,王世济,阮龙,等.淮河流域夏玉米渍涝灾害及防御对策[J].安徽农学通报,2011,17(15):86-87.
- [3] 时明芝,周保松.植物涝害和耐涝机理研究进展[J].安徽农业科学,2006,34(2):209-210.
- [4] JOSHI M S, DASTANE N G. Studies in excess water tolerance of crop plants. II. Effect of different durations of flooding at different stages of growth under different layouts on growth, yield and quality of maize [J]. The Indian Journal of Agronomy, 1966, 11(1): 70-79.
- [5] RITTER W F, BEER C E. Yield reduction by controlled flooding of corn [J]. Trans ASAE, 1969, 12: 46-50.
- [6] 陈国平,赵仕孝,杨洪友,等.玉米涝害及其防御措施的研究, I、芽涝对玉米出苗及苗期生长的影响[J].华北农学报,1988,3(2):12-17.
- [7] 陈国平,赵仕孝,刘志文.玉米的涝害及其防御措施的研究, II、玉米在不同生育期对涝害的反应[J].华北农学报,1989,4(1):16-22.
- [8] 梁哲军,陶洪斌,赵海祯,等.苗期土壤渍水对棉花恢复生长及光合生理

的影[J].西北植物学报,2008,28(9):1830-1836.

- [9] 谢家琦,李金才,魏凤珍.花后渍水逆境对冬小麦产量及氮磷钾营养状况的影响[J].中国农学通报,2008,24(7):425-429.
- [10] 张根峰,张翼.渍涝胁迫对芝麻生理指标及产量性状的影响[J].作物杂志,2010(1):84-86.
- [11] 刘文志,尹效辉,隋文志,等.三江平原地区农田渍涝灾害的主要防治措施及展望[J].现代化农业,2012(2):28-30.
- [12] 李景峰.淮北区夏玉米渍涝灾害及其防御措施[J].现代农业科技,2012(12):65-67.
- [13] 李晓杰.浅议玉米的涝害与防涝抗涝措施[J].农村实用科技信息,2009(8):8.
- [14] 夏桂平,唐玉林.美洲星对农作物涝、渍害的防治效果[J].安徽农业,2003(8):40.
- [15] 汪宗立,刘晓忠,李建坤,等.玉米的涝渍伤害与膜脂过氧化作用和保护酶活性的关系[J].江苏农业学报,1988,4(3):1-8.
- [16] 晏斌,戴秋杰.外源活性氧清除剂对玉米植株涝害的缓解[J].华北农学报,1995,10(1):51-55.
- [17] 文廷刚,杜小风,钱新民,等.不同浸种剂对水稻种子发芽、幼苗生长及涝害胁迫下抗氧化酶的影响[J].江苏农业科学,2010(2):69-71.
- [18] 马晓群,陈晓艺,姚筠.安徽淮河流域各级降水时空变化及其对农业的影响[J].中国农业气象,2009,30(1):25-30.

(上接第12004页)

表3 不同土地利用类型土壤酶活性与土壤养分相关性

酶	碱性磷酸酶	脱氢酶	多酚氧化酶	脲酶	过氧化氢酶	有效磷	有机质	铵态氮	硝态氮	水解氮
碱性磷酸酶	1.000									
脱氢酶	0.949**	1.000								
多酚氧化酶	-0.400	-0.549*	1.000							
脲酶	0.944**	0.946**	-0.462*	1.000						
过氧化氢酶	0.928**	0.965**	-0.519*	0.926**	1.000					
有效磷	0.126	0.129	-0.177	-0.029	-0.019	1.000				
有机质	0.724**	0.746**	-0.280	0.823**	0.809**	-0.531*	1.000			
铵态氮	0.734**	0.746**	-0.550*	0.573*	0.658**	0.411	0.358	1.000		
硝态氮	-0.007	-0.073	0.230	-0.023	-0.200	0.750**	-0.514*	-0.079	1.000	
水解氮	-0.790**	-0.656**	0.007	-0.734**	-0.615*	-0.361	-0.333	-0.442	-0.458	1.000

注: \*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平相关。

过氧化氢酶活性和土壤有机质、水解氮、铵态氮含量等主要养分因子具有较高的相关性,可以作为评价土壤质量的生物学指标。

### 参考文献

- [1] 胡亚林,汪思龙,黄宇,等.凋落物化学组成对土壤微生物学性状及土壤酶活性的影响[J].生态学报,2005,25(10):2662-2668.
- [2] ADAM G, DUNCAN H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluoresce indiacetate (FDA) in arange of soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33: 943-951.
- [3] 颜慧,钟文辉,李忠佩,等.长期施肥对红壤水稻土磷脂脂肪酸特性和酶活性的影响[J].应用生态学报,2008,19(1):71-75.
- [4] 王光华,金剑,韩晓增,等.不同土地管理方式对黑土土壤微生物量碳和酶活性的影响[J].应用生态学报,2007,18(6):1275-1280.

- [5] 关荫松.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [6] 陈立新.土壤实验实习教程[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2005.
- [7] 赵瑞芬,于志勇,程滨,等.不同前处理条件对土壤 NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N 含量影响的研究[J].中国农学通报,2009,25(10):174-177.
- [8] 鲁萍,郭继勋,朱丽.东北羊草草原主要植物群落土壤过氧化氢酶活性的研究[J].应用生态学报,2002,13(6):675-679.
- [9] 郑华,欧阳志云,易自力.红壤侵蚀区恢复森林群落物种多样性对土壤生物学特性的影响[J].水土保持学报,2004,18(4):137-141.
- [10] 李传荣,许景伟,宋海燕,等.黄河三角洲滩地不同造林模式的土壤酶活性[J].植物生态学报,2006,30(5):802-809.
- [11] 安韶山,黄懿梅,郑粉莉.黄土丘陵区草地土壤脲酶活性特征及其与土壤性质的关系[J].草地学报,2005,13(3):233-237.
- [12] 冯瑞章,周万海,龙瑞军,等.江河源区不同建植期人工草地土壤养分及微生物量磷和磷酸酶活性研究[J].草业学报,2007,16(6):1-6.