

淹水历时与排水对夏玉米叶面积和产量的影响

刘战东¹, 肖俊夫^{1*}, 冯跃华², 刘祖贵¹

(1. 中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003; 2. 河南省惠北灌溉试验站, 河南 开封 475000)

摘要: 通过防雨棚下测坑试验, 研究了不同淹水历时和是否排水对夏玉米叶面积、产量及其性状、生物产量的影响, 结果表明: 夏玉米植株绿叶数和叶面积指数(LAI)随着淹水历时增加而急剧减少, 与CK(无淹水)相比, 排水条件下FD4、FD5、FD6、FD7和FD9绿叶数分别减少12.50%、10.71%、19.64%、32.14%和42.86%, 无排水条件下FUD4、FUD5、FUD6分别减少21.43%、37.50%和51.79%; 各处理LAI变化幅度类似于绿叶数, 与CK相比, 排水条件下LAI平均减少21.81%, 无排水条件下LAI平均减少38.32%; 相同淹水历时条件下, 不排水处理对玉米叶面积抑制作用明显高于排水处理。夏玉米穗长、穗粒数、百粒重随着淹水历时增加呈减小趋势, 秃尖长呈增大趋势, 籽粒产量和生物产量减产幅度增加; 与CK相比, 排水条件下, 淹水历时超5 d后减产明显增加, 淹水历时每增加1 d, 减产率增加7%左右; 无排水的条件下, FUD4、FUD5和FUD6分别减产34.06%、49.64%和58.82%; 相同淹水历时4 d、5 d和6 d, 排水与否减产率分别相差31.20个百分点、45.57个百分点和40.82个百分点。夏玉米排水指标为: 在夏玉米抽雄期排水情况下, 淹水历时应低于6 d, 籽粒产量减幅可控制在5%以内; 在没有排水条件下, 淹水历时应小于4 d, 否则减产在30%以上。

关键词: 淹水历时; 排水; 叶面积; 产量; 产量性状; 夏玉米

中图分类号: S513; S274.1 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2012)01-0032-05

Effects of Flooding Duration and Drainage on Leaf Area and Yield of Summer Maize

LIU Zhan-dong¹, XIAO Jun-fu^{1*}, FENG Yue-hua², LIU Zu-gui¹

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453003, China;
2. Huibei Irrigation Experiment Station, Kaifeng 475000, China)

Abstract: By imposing different irrigation treatments on summer maize (*Zea mays* L.) grown under a rain shelter, the effects of different flooding duration and whether drainage or not on leaf area, yield and its components of summer maize were studied. The results showed that the number of green leaves and leaf area index (LAI) of summer maize decreased sharply with the flooding duration increased. Compared with CK (no flooding), under drainage conditions, the number of green leaves of FD4, FD5, FD6, FD7, and FD9 decreased by 12.50%, 10.71%, 19.64%, 32.14% and 42.86%, respectively, and that of FUD4, FUD5, FUD6 decreased by 21.43%, 37.50% and 51.79%, respectively, under no drainage conditions. The magnitude of LAI changes of each treatment was similar to the number of green leaves. Compared with CK, the average LAI of treatments with drainage conditions decreased by 21.81%, and that with no drainage conditions de-

收稿日期: 2011-06-04

基金项目: 国家现代玉米产业技术体系建设专项资金项目(nycytx-02)

作者简介: 刘战东(1981-), 男, 河南沁阳人, 助理研究员, 主要从事作物生理与高效用水技术研究。E-mail: Lzddragon@163.com

* 通讯作者: 肖俊夫(1961-), 男, 辽宁庄河人, 副研究员, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: xiaojunfu61@163.com

creased by 38.32%. Under the same flooding duration condition, the inhibition effect of no drainage treatments on leaf area was significantly higher than that of the drainage treatments. As the flooding duration was increased, ear length, grains per spike and kernel weight tended to decrease, bald tip tended to increase, and grain yield and biomass production showed increasing degree of reduction. Compared with CK, under the drainage conditions with flooding duration over 5 d, the cut rate significantly increased, with flooding lasting for additional 1 d, the cut rate increasing of 7%. Under no drainage conditions, the grain yield of FUD4, FUD5 and FUD6 reduced by 34.06%, 49.64% and 58.82%, respectively. At the same flooding duration of 4, 5 and 6 d, the difference of the cut rate between drainage and no drainage was 31.20, 45.57 and 40.82 percentage points, respectively. The drainage index of summer maize was proposed in this region. The flooding duration under drainage conditions should be less than 6 days in tasseling stage, and the reduction of yield could be controlled within 5%. In the absence of drainage conditions, the flooding duration should be less than 4 days, otherwise, yield would decrease by more than 30%.

Key words: flooding duration; drainage; leaf area; yield; yield characters; summer maize

夏玉米生长期降雨较多, 有些地区常发生洪涝灾害。淹水胁迫影响植物的形态特性^[1-2]和生长发育, 降低净光合速率、气孔开度^[3]。目前, 关于农作物淹水胁迫的研究主要集中在水稻上^[4-11], 针对玉米研究较少, 尤其受淹天数及是否排水对植株生长发育及产量的影响鲜有报道, 这给排水工程的设计、排水指标的确定以及涝渍灾害的评估带来了不便。鉴于此, 在 2009 年试验基础上^[8], 2010 年, 在河南省惠北灌溉试验站继续开展了夏玉米淹水试验, 通过在夏玉米后期人工模拟淹涝条件, 设置不同淹水历时和是否排水, 研究不同淹水历时和排水对夏玉米叶面积、产量及其性状的影响, 旨在为夏玉米排水指标和减灾策略的制定提供理论依据, 为排水系统规划设计提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验区地势平坦, 海拔高度 69~78 m。当地多年平均地下水埋深 3.40 m。该区属暖温带半干旱大陆性季风型气候, 平均日照时数 2 267.6 h, 平均日照率 51%~57%, 年均气温 14℃, 多年全年平均降水量 662.8 mm, 其中 6~8 月份降雨量占全年降水量的 65%。试验区有黏土、壤土、砂壤土、砂土 4 种土壤质地, 基本代表了试验区的主要土质类型。试验区不同土层土壤容重及田间持水量见参考文献^[8]。

1.2 试验设计

试验于 2010 年 6—9 月在开封豫东水利工程管理局惠北灌溉试验站测坑进行。测坑共有 32 个, 每个测坑东西向长 2.0 m, 南北向宽 1.67 m, 面积 3.33 m²。整个测坑群上有可移动式玻璃钢瓦防雨

棚, 用以防止夏玉米淹灌试验期间降水进入。试验测坑深 1.7 m, 坑口高出地面 0.10~0.20 m, 底板及边墙用防渗布及水泥砂浆抹面进行防渗处理。测坑东西两侧分别设有排水廊道, 东西排水廊道覆盖有防晒网。测坑内安装有排水管道, 其底部为 0.2 m 厚的滤料和砂土作为滤层, 滤层之上填入厚度约 1.3 m 的试验土壤。土壤质地东西向 4 个测坑相同, 南北向土壤分布自北向南分别为黏土、砂壤土、壤土、砂土共 4 种土壤类型, 每种土质 8 个测坑。灌水设施为无塔供水, 用 PVC 管道接入每个测坑, 每个测坑安装水表计量灌溉。

夏玉米前茬作物为冬小麦。供试玉米品种为郑单 958。6 月 12 日播种, 南北行播种, 行距 0.40 m, 株距 0.30 m, 每个测坑 25 株苗, 种植密度为 75 000 株/hm²。6 月 17 日出苗, 7 月 15 日拔节, 8 月 3 日抽雄, 8 月 6 日为散粉吐丝期, 8 月 15 日进入灌浆期, 9 月 10 日乳熟期, 9 月 16 日成熟收获, 全生育期 95 d。播前施硫酸钾复合肥 750 kg/hm², 总养分 45% (氮 14%、磷 16%、钾 15%), 铁锹翻地、铁耙耙地、平整; 8 月 2 日按 750 kg/hm² 追施尿素。

根据多年降水统计资料分析, 该地区汛期雨量集中在 7 月下旬至 8 月上旬, 这段时期夏玉米处于抽雄期, 易发生涝灾, 因此, 选择玉米抽雄吐丝期 (8 月 6—17 日) 作为淹水试验期。同时考虑排除地下水 (在地面积水排除后同时排除地下水) 和不排地下水 (地面积水排除后土壤水分仅靠作物蒸腾和棵间蒸发消耗) 两种情况; 排除地下水的淹水历时为 4~9 d, 不排地下水的淹水历时为 4~6 d。试验共设置 9 个处理, 处理①—处理⑧分别为不同淹水历时处理, 处理⑨为对照 (无淹涝, 适宜土壤水分), 具体处理设置见表 1。重复 3 次, 随机区组排列。

表 1 夏玉米淹水历时与排水试验处理设置

处理及编号	淹水历时/d	是否排水
① FD4	4	是
② FD5	5	是
③ FD6	6	是
④ FD7	7	是
⑤ FD9	9	是
⑥ FUD4	4	否
⑦ FUD5	5	否
⑧ FUD6	6	否
⑨ CK	无	

对照区夏玉米抽雄期灌水按土壤计划湿润层含水率达到田间持水量的 70% 时定量灌水,其他生育期按计划湿润层含水率达到田间持水量的 60% 控制指标定量灌溉,每次灌水 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$;淹水区考虑抽雄穗期淹水和是否排除地下水,其他生育期按计划湿润层含水率达到田间持水量的 60% 控制指标进行定量灌溉,灌水量与对照区相同。

1.3 观测项目与方法

1.3.1 淹水深度及灌排水量 参考以往试验资料,本次夏玉米淹水深度定为 10 cm。淹水试验期间,定时或不定时观测田面水深,当水位下降 2 cm 时,及时灌水至设计深度,同时记录灌水量。在达到设计淹水时间后,及时排除坑内积水,并分别记录地表排水量、地下排水量和排水时间。

1.3.2 土壤含水量 淹水试验期间不测土壤含水量。淹水停止后,为了解土壤通气状况,掌握达到田间持水量的排水历时,排除地下水的处理根据土壤质地间隔 4 h 开始测定土壤含水量,不排地下水的处理间隔 24 h 开始测定土壤含水量,直到土壤含水量达到田间持水量以下为止。0~20 cm 土层采用烘干法,20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 土层采用美国产 CPN503DR 中子水分仪测定。

1.3.3 作物叶面积 叶面积测定采用量测法。淹水试验结束后,8 月 18 日测定,在小区内随机取 20 株样本,直尺测量叶片的长度和最宽处,然后以长×宽的乘积再乘以折算系数确定单株叶面积,取其平均数作为计算叶面积指数的基数。小区的叶面积指数(LAI)由群体密度和单株叶面积相乘确定。

1.3.4 产量性状 收获前每处理随机取样 20 穗测定穗长、穗粒数、百粒重、秃尖长。

1.3.5 籽粒产量和生物产量 每处理去掉边行,收获中间 2 行,单收、脱粒、单晒,测定地上部分生物产量及籽粒产量。

1.3.6 数据分析方法 采用 DPS 数据处理系统进

行统计分析和差异显著性检验,其他分析使用 Excel 2007 软件完成。

2 结果与分析

2.1 淹水历时与排水与否对夏玉米叶面积的影响

由表 2 可知,在排水的处理中,淹水历时 4~5 d 的处理(FD4、FD5)与 CK 相比,玉米绿叶数量变化不明显,减少 10.71%~12.50%,未出现枯萎、死亡现象。淹水历时 6~9 d 的处理(FD6、FD7、FD9)玉米叶片及整株有不同程度的枯萎现象,历时越长,叶片减少越多,与 CK 对比,分别减少了 19.64%、32.14%和 42.86%。从 8 月 18 日对 LAI 的分析可以看出,随着淹水历时递增,LAI 递减;与 CK 比较,FD4 和 FD5 的 LAI 变化幅度不大,淹水历时超过 5 d 后,LAI 迅速降低,减少率达到 19.69%~35.04%。在不排水的情况下,淹水历时 4~6 d 的处理(FUD4、FUD5、FUD6)与 CK 相比,玉米绿叶数减少,枯萎叶片增多,并出现整株死亡的现象,叶片数平均减少 36.90%。LAI 较 CK 明显降低,FUD4 减少 25.20%,且随淹水天数增加其减少幅度也相应增大,淹水历时超过 4 d 后,LAI 平均减少 44.88%。由此可以看出,不管是否排水,随着淹水历时的增加,玉米植株绿叶数和 LAI 急剧下降;在淹水历时相同条件下,不排水处理对玉米植株长势负面影响明显高于排水处理。

表 2 淹水历时与排水与否对夏玉米绿叶数和叶面积指数的影响

处理	绿叶数/ (片/株)	绿叶减少 数/(片/株)	绿叶相对 减少率/%	LAI	LAI 相对减 少率/%
FD4	12.25	1.75	12.50	2.28	10.24
FD5	12.50	1.50	10.71	2.15	15.35
FD6	11.25	2.75	19.64	2.04	19.69
FD7	9.50	4.50	32.14	1.81	28.74
FD9	8.00	6.00	42.86	1.65	35.04
FUD4	11.00	3.00	21.43	1.90	25.20
FUD5	8.75	5.25	37.50	1.54	39.37
FUD6	6.75	7.25	51.79	1.26	50.39
CK	14.00	0.00	0.00	2.54	0.00

2.2 淹水历时与排水与否对玉米产量性状的影响

淹水历时长短以及是否排水,均对夏玉米穗长、穗粒数、秃尖长、百粒重有不同程度的影响。从表 3 可看出,在淹水结束后及时排水的情况下,与 CK 相比,淹水历时 4~5 d 的处理(FD4、FD5)穗长基本不受影响,差异不显著;淹水历时 6~9 d(FD6、FD7、FD9)穗长分别减少 3.95%、6.94%和 3.95%,差异

达到显著水平;FD4、FD5、FD6 穗粒数基本不受影响,差异不显著;淹水历时超过 6 d 后减少 31.62%和 27.92%,FD7、FD9 与 CK 相比,差异均达到显著水平;淹水后随淹水历时增加,秃尖加重趋势明显,除 FD4 处理,其他处理均达到显著水平;百粒重变化趋势与秃尖长基本一致,百粒重同样递减明显。淹水结束后未排水的情况下,随着淹水历时的增加,夏玉米穗长、穗粒数、百粒重均存在减小趋势,秃尖呈加重趋势,与 CK 相比,各处理差异均达到显著水平。

表 3 淹水历时与排水与否对夏玉米产量性状的影响

处理	穗长/cm	穗粒数/粒	秃尖长/cm	百粒重/g
FD4	14.46a	370a	1.21d	23.50b
FD5	14.52a	377a	1.44c	24.03b
FD6	13.14b	317ab	1.59c	24.53ab
FD7	12.73b	240b	1.67c	22.83bc
FD9	13.14b	253b	1.82b	20.90c
FUD4	12.49b	241b	1.87b	22.58bc
FUD5	11.16c	197c	1.91b	22.52bc
FUD6	11.72c	227bc	2.55a	21.72c
CK	13.68a	351a	1.19d	25.43a

注:表中小写字母分别表示为 0.05 水平差异,多重比较采用 Duncan 新复极差法,下同。

2.3 淹水历时与排水与否对玉米籽粒产量和生物产量的影响

夏玉米受淹后除产量性状发生变化外,籽粒产量和生物产量也受到一定影响。由表 4 可知,淹水历时短,排水条件好,玉米的减产损失小,其产量也高。反之,则减产损失大,产量较低。在排水的条件下,与 CK 相比,随着淹水历时增加减产幅度也逐步增加,淹水历时超 5 d 后减产幅度明显增加,淹水历时每增加 1 d,减产率增加 7%左右。在不排水的条件下,与 CK 相比,随着淹水历时的增加,减产损失越严重,减产率达到 34.06%~58.82%。在淹水历时相同情况下,排水与否减产率差异明显;同样淹水历时 4 d,是否排水减产率相差 31.20 个百分点,淹水 5 d 相差 45.57 个百分点,淹水 6 d 相差 40.82 个百分点;不排水和有排水条件的情况比较,总体减产幅度较大。

生物产量的变化与产量的减产规律基本一致。淹水历时与生物产量对比分析有如下特点:与对照(CK)相比,有排水条件下,FD4、FD5 生物产量平均减少 3.20%,差异不显著,FD6、FD7、FD9 平均减产 24.32%,差异显著;不排水条件下,FUD4、FUD5、FUD6 平均减产 31.74%,差异均达到显著水平。

表 4 淹水历时与排水与否对夏玉米籽粒产量及生物产量的影响

处理	籽粒产量/(kg/hm ²)	减产率/%	生物产量/(kg/hm ²)	减产率/%
FD4	5 650.50a	2.86	12 637.50a	5.90
FD5	5 580.00a	4.07	13 362.00a	0.50
FD6	4 770.00b	18.00	11 725.50b	12.69
FD7	4 399.50bc	24.37	8 988.00c	33.07
FD9	4 009.50c	31.07	9 775.50bc	27.21
FUD4	3 835.50c	34.06	10 050.00b	25.16
FUD5	2 929.50cd	49.64	8 212.50c	38.85
FUD6	2 395.50d	58.82	9 237.00c	31.22
CK	5 817.00a	0.00	13 429.50a	0.00

3 结论与讨论

夏玉米在抽雄期遇涝对植株性状及产量影响较大,主要表现在:随着淹水天数增加,绿叶数减少,LAI 降低,减产幅度增加。在相同淹水历时情况下,是否排水,产量差异明显。总体来讲,夏玉米对排水历时要求为:在夏玉米抽雄期排水情况下淹水历时应低于 6 d,这样籽粒产量减幅可控制在 5%以内;在没有排水条件下,淹水历时应小于 4 d,排水越早越好,这样才能将产量损失降至最小,否则减产在 30%以上。淹涝造成夏玉米减产是综合作用的结果。在本试验中,玉米产量降低的原因除了穗长、穗粒数、百粒重降低外,还表现在淹涝使生育期推迟,各处理不同程度的生育期推迟天数造成灌浆时间长短不同,从而使百粒重降低,因此,生育期的推迟也是淹涝造成玉米减产的原因之一。

土壤质地对淹水后土壤释水过程有一定影响^[9-11]。对于有排水的处理,砂质土测坑排水 24 h 内基本能够达到或接近田间持水量,其他土质需要 48~72 h 能够达到或接近田间持水量;对于不排水的处理,测坑土壤中水分消耗仅靠玉米蒸腾与棵间蒸发,水分消耗很慢,黏土土质测坑需 3~4 d 才能达到或接近田间最大持水量;壤土、砂土需要 8~15 d 才能达到或接近田间最大持水量,而砂壤土则需要更长时间才能达到或接近田间最大持水量(不排水的几个砂壤土测坑,直至玉米收获也未能接近田间最大持水量)。

参考文献:

- [1] Thomas A L, Guerreiro S M C, Sodek L. Aerenchyma formation and recovery from hypoxia of the flooded root system of nodulated soybean[J]. Annals of Botany, 2005, 97: 1191-1198. (下转第 39 页)

- of Plant Physiology, 2007, 54(2): 257-266.
- [3] Reddy A M, Kumar S G, Jyothsnakumari G, *et al.* Lead induced changes in antioxidant metabolism of horsegear (*Macrotoma uni lorum* (Lam.) Verdc) and bengalgram (*Cicer arietinum* L.) [J]. Chemosphere, 2005, 60: 97-104.
- [4] 谷巍, 施国新, 巢建国, 等. 汞、镉、铜污染对鱼草细胞膜系统的毒害作用[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1138-1143.
- [5] 宇克莉, 孟庆敏, 邹金华. 镉对玉米幼苗生长、叶绿素含量及细胞超微结构的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(3): 118-123.
- [6] 孙光闻, 朱祝军, 方学智. 不同镉水平对白菜生长及抗氧化酶活性的影响[J]. 园艺学报, 2004, 31(3): 378-380.
- [7] Lei Y, Chen K, Tian X, *et al.* Effect of Mn toxicity on morphological and physiological changes in two populus cathayana populations originating from different habitats[J]. Trees - Structure and Function, 2007, 21: 569-580.
- [8] Shi Q H, Zhu J Z. Effects of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and antioxidative system in cucumber[J]. Environmental and Experimental Botany, 2008, 5: 317-326.
- [9] 王海华, 冯涛, 彭喜旭, 等. 锰对锰超积累植物美洲商陆抗氧化系统的影响[J]. 应用生态学报. 2009, 20(10): 2481-2486.
- [10] 杨庆云, 方唯硕. 芦荟属药用植物的化学成分和药理性[J]. 天然产物研究开发, 2006, 18(增刊): 172-178.
- [11] 陈国和, 刘玉鑫, 张新申, 等. 芦荟的化学成分及其分离和分析[J]. 化学研究与应用, 2002, 14(2): 1004-1006.
- [12] 李景原, 丁位华, 王太霞, 等. 外源芦荟蒽醌类物质对增强 UV 胁迫下菠菜生长发育的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(7): 1404-1409.
- [13] 王红星, 李青芝, 王翠平. 芦荟汁对大豆植株生理生化特性的影响[J]. 河南农业科学, 2010(3): 30-33.
- [14] 刘萍, 李明军. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [16] 黄强, 司菲斐, 符伟涛, 等. Cu 胁迫对小白菜生理生化特性的影响[J]. 现代食品科技, 2008(11): 1673-1678.
- [17] 鲁艳, 何明珠, 马全林, 等. 镍胁迫对 7 种旱生植物种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子, 2009, 28(6): 26-29.
- [18] 唐咏, 王萍萍, 张宁. 植物重金属毒害作用机理研究现状[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(4): 551-555.
- [19] 苏金为, 王湘平. 镉诱导的茶树苗膜脂过氧化和细胞程序性死亡[J]. 植物生理学与分子生物学学报, 2002, 28(4): 292-298.
- [19] 江春美, 刘健, 王晓玲. 铅对银杏茎段愈伤组织生长的影响[J]. 现代农业科技, 2008(23): 9-11.

(上接第 35 页)

- [2] Chen L Z, Wang W Q, Lin P. Photosynthetic and physiological responses on *Kandelia candel* L. Druce seedlings to duration of tidal immersion in artificial seawater[J]. Environmental and Experimental Botany, 2005, 54: 256-266.
- [3] Carvalho L C, Amancio S. Antioxidant defence system in plantlets transferred from in vitro to ex vitro: effects of increasing light intensity and CO₂ concentration[J]. Plant Science, 2002, 162: 33-40.
- [4] 李玉昌, 李阳生, 李绍清. 淹涝胁迫对水稻生长发育危害与耐淹性机理研究的进展[J]. 中国水稻科学, 1998, 12(增): 70-76.
- [5] 李阳生, 李绍清, 李达模, 等. 杂交稻与常规稻对涝渍环境适应能力的比较研究[J]. 中国水稻科学, 2002, 16(1): 45-51.
- [6] 李阳生, 李绍清. 淹涝胁迫对水稻生育后期的生理特性和产量性状的影响[J]. 武汉植物学研究, 2000, 18(2): 117-122.
- [7] 唐建军, 王永锐, 傅家瑞. 水稻对渍水稻田土壤缺氧胁迫的反应[J]. 中国稻米, 1995(1): 29-31.
- [8] 刘战东, 肖俊夫, 南纪琴, 等. 淹涝对夏玉米形态、产量及其构成因素的影响[J]. 人民黄河, 2010, 32(12): 157-159.
- [9] 沈荣开, 王修贵, 张瑜芳. 涝渍排水控制指标的初步研究[J]. 水利学报, 1999, 30(3): 71-74.
- [10] 汤广民. 以涝渍连续天数为指标的排水标准试验研究[J]. 水利学报, 1999, 30(4): 25-29.
- [11] 鲁伟林. 淹水对水稻撒播成苗的影响[J]. 现代农业科技, 2009(19): 18-19.