

# 淹涝胁迫对吉林省黑土区玉米光合特性的影响

王铮<sup>1</sup>, 夏传鹏<sup>1</sup>, 李伊萌<sup>1</sup>, 张燕<sup>1</sup>, 崔志英<sup>1\*</sup>, 陈永明<sup>2</sup>, 宋阳<sup>2</sup>

1 长春工程学院 水利工程学院, 吉林 长春 130103

2 吉林省水利科学研究院, 吉林 长春 130022

DOI: 10.61369/SSSD.2025090038

**摘 要 :** 采用全排列法确定小区试验方案, 开展不同生育期 (拔节期、抽雄期、乳熟期) 和不同淹没历时 (2d、3d、4d) 的玉米耐淹小区试验, 处理研究淹水对玉米光合特性产生的影响。结果表明, 淹涝胁迫后玉米净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs)、胞间二氧化碳浓度 (Ci) 均显著降低, 降低幅度随着淹水历时的增加而增大, 且以拔节期淹水影响最大, 抽雄期次之, 乳熟期淹水影响最小。拔节期玉米的补偿生长能力最强, 净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度随着解除淹水的时间增加而逐渐恢复, 且与 CK 间的差异逐渐缩小, 抽雄期淹水处理补偿生长能力次之, 乳熟期淹水处理其恢复能力最小。不同生育时期淹涝条件下光合特性参数的恢复能力随着淹涝历时的增加呈降低趋势。

**关 键 词 :** 玉米; 淹涝胁迫; 光合特性; 气孔导度; 净光合速率; 胞间二氧化碳浓度

## Effects of Waterlogging Stress on Photosynthetic Characteristics of Maize in Black Soil Region of Jilin Province

Wang Zheng<sup>1</sup>, Xia Chuanpeng<sup>1</sup>, Li Yimeng<sup>1</sup>, Zhang Yan<sup>1</sup>, Cui Zhiying<sup>1\*</sup>, Chen Yongming<sup>2</sup>, Song Yang<sup>2</sup>

1. School of Water Resources Engineering, Changchun Institute of Technology, Changchun, Jilin 130103

2. Jilin Provincial Academy of Water Resources Sciences, Changchun, Jilin 130022

**Abstract :** A full permutation method was used to determine the plot experiment scheme, and a maize waterlogging tolerance plot experiment was carried out under different growth stages (jointing stage, tasseling stage, milk-ripe stage) and different submergence durations (2d, 3d, 4d) to study the effects of waterlogging on the photosynthetic characteristics of maize. The results showed that after waterlogging stress, the net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs), and intercellular carbon dioxide concentration (Ci) of maize significantly decreased. The decreasing range increased with the extension of submergence duration, with the most significant impact observed at the jointing stage, followed by the tasseling stage, and the least impact at the milk-ripe stage. Maize at the jointing stage had the strongest compensatory growth capacity: its net photosynthetic rate, stomatal conductance, and intercellular carbon dioxide concentration gradually recovered with the increase of time after waterlogging relief, and the differences from the control group (CK) gradually narrowed. The compensatory growth capacity of maize under waterlogging treatment at the tasseling stage was the second, while the recovery capacity of maize under waterlogging treatment at the milk-ripe stage was the weakest. The recovery capacity of photosynthetic characteristic parameters under waterlogging conditions at different growth stages showed a decreasing trend with the increase of waterlogging duration.

**Keywords :** maize; waterlogging stress; photosynthetic characteristics; stomatal conductance (Gs); net photosynthetic rate (Pn); intercellular carbon dioxide concentration (Ci)

玉米是世界范围内广泛栽种的粮食作物, 它的产量与品质, 对全球粮食安全及经济发展而言, 意义重大<sup>[1]</sup>。然而, 在玉米生产过程中, 淹涝灾害是一个重要的影响因素<sup>[2]</sup>。特别是在一些玉米主产区, 如吉林中西部黑土区等地, 由于地势低洼、排水不畅等原因, 洪涝灾害已成为制约玉米生产的重要因素。涝渍可引起玉米根系缺氧, 根系呼吸速率和根系活力下降, 叶片失绿和衰老, 光合作用降低, 光合产物减少, 生长受阻, 从而导致玉米的产量显著降低<sup>[3-5]</sup>。涝渍还会使土壤中的养分流失, 部分养分经反硝化作用会被还原成气态氮, 随后逸散到空气中, 这直接造成了速效氮的大量减少。而速效氮的匮乏会影响玉米对养分的吸收与利用, 使得其生长受阻的情况进一步加重<sup>[6]</sup>。玉米无论在哪个生长阶段遭遇涝害, 产量都会出现不同程度的降低, 而具体的减产幅度, 则会受到渍水发生时的生育时期、渍水的严重程度以及渍水持续时间等因素的影响<sup>[7]</sup>。因此, 为探究淹涝对玉米典型生育期光合特性产生的影响, 本研究在拔节期、抽雄期、乳熟期分别设置3个淹水时间 (2d、3d、4d), 研究玉米光合的变化特征, 为玉米耐淹能力提供理论参考。

注: 本论文内容为吉林省科技厅项目“基于玉米耐淹能力的吉林黑土区排涝模数研究”(20230202026NC)的研究成果。

一、材料与方法

（一）试验地点与材料

试验于2024年6-9月在吉林省水科院乐山镇灌溉试验基地进行，供试玉米品种为铁391，与当地大田玉米种植品种保持一致。单个小区尺寸为5.60m×6.0m，面积为33.60m<sup>2</sup>，地面以上20cm、地面以下50cm。采用防渗塑料膜进行防渗处理，以减少小区间水量的渗漏损失，保证小区淹水水深。同时于小区两侧设置排水管及控制阀门，用于控制小区淹没水深及水量的排放。各小区内的土壤条件一致，土壤类型为白浆土，播种前0-20cm土壤含有机碳0.55%、全氮0.614g/kg、有效磷5.3mg/kg、速效钾178mg/kg。5月1日播种，10月10日收获。

（二）试验设计与处理

试验采用全排列法确定小区试验方案，玉米拔节期、抽雄期、乳熟期分别淹涝2、3、4 d，以不淹水处理为对照（CK），共10个处理，重复3次。试验播种前整地时使用：总养分（N+P2O5+K2O）≥48%作底肥，于当年5月1日贴茬点种玉米，行距60cm，株距37.33cm，小区内玉米按9垄种植，每垄15棵，共计135棵，垄高约为10cm。4~5叶定苗，每穴1株。对于淹涝处理，拔节期分别记为J2、J3、J4处理，抽雄期分别记为T2、T3、T4处理，乳熟期分别记为M2、M3、M4处理，各生育期未淹水处理措施同CK。

拔节期、抽雄期、乳熟期淹涝时间分别为7月3日、7月24日、8月13日开始，淹水深度维持在8cm左右，当各个处理达到设计的淹涝时间时，打开小区两侧排水管控制阀门，直至排空小区内渍水为止。在淹水期间，每2-3h观测1次淹水深度，当水位下降1cm时，及时灌水至设计深度。各个处理除淹水时间、淹涝时长不同外，其余田间管理措施均相同。

（三）测定指标与方法

每小区、试验场外大田均选取生长一致的3株定点挂牌标记，每旬第1天进行株高、茎粗及叶面积测量。主要记录玉米各生长期的生长情况，包括拔节期、抽雄期、乳熟期，调查标准以小区内植株50%以上达到为记载期。每小区随机取1株于晴天9:00-11:00采用LCpro-SD光合仪测定净光合速率（Pn）、气孔导度（Gs）、胞间二氧化碳浓度（Ci），抽雄前取植株最上面1片全展开测定，抽雄后测穗位叶。重复3次，取平均值。

二、结果与分析

（一）淹水对玉米净光合速率的影响

由表1可知，淹涝过后玉米的净光合速率（Pn）显著降低，各生育期较CK均有降低，但随着淹水结束时间的延长，各生育期的净光合速率较CK的差距显著降低。其中，拔节期在淹水结束时，除了J2处理，J3、J4处理均显著低于CK，J2、J3、J4处理分别较CK降低7.06%、14.31%、18.27%；淹水结束7天后，J2、J3、J4处理分别较CK降低3.21%、11.77%、15.38%；淹水结束21天后，由于玉米补偿生长效应，J2、J3、J4处理甚至较CK分别高

出8.57%、7.08%、4.18%。

对于抽雄期的淹水处理，淹水结束时，T2、T3、T4处理较CK均显著降低。T2、T3、T4处理较CK分别降低6.84%、13.02%、19.60%；淹水结束7天以及21天后，由于淹涝结束后的玉米补偿生长效应，T2、T3、T4处理较CK均无显著性差异。

对于乳熟期的淹水处理，淹水结束时，仅M4处理较CK显著降低。M2、M3处理较CK略有降低，M2处理较CK降低6.22%，M3处理较CK降低8.29%，M4处理较CK降低10.97%；淹水结束7天后，M2、M3、M4处理均恢复到与CK相差不大。由此可见，拔节期淹水对玉米净光合速率影响较大，补偿生长效应响应时间较长。不同生育期不同淹水处理后净光合速率（Pn）变化见图1。

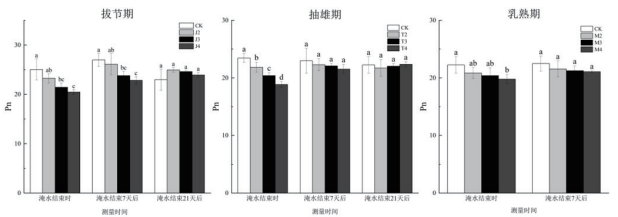


图1 玉米不同生育期不同淹水处理后净光合速率（Pn）变化

| 淹涝时期 | 处理 | 测定时间     |          |          |
|------|----|----------|----------|----------|
|      |    | 淹水结束时    | 淹水结束7天后  | 淹水结束21天后 |
| 拔节期  | CK | 25.029a  | 26.976a  | 22.980a  |
|      | J2 | 23.263ab | 26.109ab | 24.950a  |
|      | J3 | 21.447bc | 23.799bc | 24.607a  |
|      | J4 | 20.457c  | 22.827c  | 23.940a  |
| 抽雄期  | CK | 23.447a  | 22.970a  | 22.240a  |
|      | T2 | 21.843b  | 22.280a  | 21.707a  |
|      | T3 | 20.393c  | 22.073a  | 22.043a  |
|      | T4 | 18.850d  | 21.530a  | 22.347a  |
| 乳熟期  | CK | 22.240a  | 22.490a  |          |
|      | M2 | 20.857ab | 21.553a  |          |
|      | M3 | 20.397ab | 21.253a  |          |
|      | M4 | 19.800b  | 21.063a  |          |

表1 淹涝后玉米不同生育期净光合速率（Pn）的变化

（二）淹水对玉米气孔导度的影响

由表2可知，不同生育期玉米的气孔导度（Gs）在淹涝过后都有不同程度的降低。其中，拔节期在淹水结束时，除J2处理外，J3、J4处理均显著低于CK，J3处理较CK降低16.61%，J4处理较CK降低21.91%；淹水结束7天后，J2、J3均恢复到与CK无显著性差异，J4处理对比CK具有显著性差异，较CK降低15.33%；淹水结束21天后，J2、J3、J4均恢复到与CK无显著性

差异。

对于抽雄期，在淹水结束时，T2、T3、T4处理较CK的变化与拔节期相似。T3、T4处理均显著低于CK，T3处理较CK降低14.14%，T4处理较CK降低20.00%；淹水结束7天后，T2、T3处理均恢复到与CK无显著性差异，仅T4处理较CK降低17.91%；淹水结束21天后，T2、T3、T4处理均恢复到与CK无显著性差异。

对于乳熟期，在淹水结束时，仅M4处理较CK具有显著性差异，M4处理较CK降低17.01%；淹水结束7天后，M2、M3、M4处理均恢复到与CK无显著性差异。由此可见，拔节期淹水2天以上对玉米气孔导度影响最大，抽雄期次之，乳熟期淹水影响最小。玉米不同生育期不同淹水处理后气孔导度（Gs）变化见图2。

| 淹涝时期 | 处理 | 测定时间    |         |          |
|------|----|---------|---------|----------|
|      |    | 淹水结束时   | 淹水结束7天后 | 淹水结束21天后 |
| 拔节期  | CK | 0.283a  | 0.280a  | 0.277a   |
|      | J2 | 0.252ab | 0.278a  | 0.270a   |
|      | J3 | 0.236b  | 0.252ab | 0.265a   |
|      | J4 | 0.221b  | 0.233b  | 0.261a   |
| 抽雄期  | CK | 0.290a  | 0.303a  | 0.305a   |
|      | T2 | 0.258ab | 0.277ab | 0.291a   |
|      | T3 | 0.249b  | 0.268ab | 0.275a   |
|      | T4 | 0.232b  | 0.249b  | 0.272a   |
| 乳熟期  | CK | 0.257a  | 0.247a  |          |
|      | M2 | 0.236ab | 0.235a  |          |
|      | M3 | 0.226ab | 0.228a  |          |
|      | M4 | 0.213b  | 0.220a  |          |

表2 淹涝后玉米不同生育期气孔导度（Gs）的变化

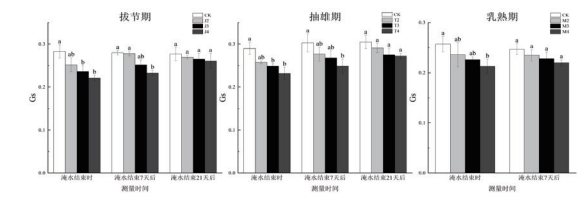


图2 玉米不同生育期不同淹水处理后气孔导度 (Gs) 变化

（三）淹水对玉米胞间二氧化碳浓度的影响

由表3可知，玉米在不同生育期淹涝过后的胞间二氧化碳浓度均有不同程度的降低。对于拔节期，淹水结束时，J2、J3、J4较CK均显著降低，J2、J3、J4处理分别较CK降低11.20%、15.72%、21.56%；淹水结束后7天，除J2处理恢复到较CK无显著性差异外，J3、J4处理均较CK有显著性差异，J3处理较CK降低13.18%，J4处理较CK降低15.64%；淹水结束21天后，J2、

J3、J4处理均恢复到与CK无显著性差异。

对于抽雄期，淹水结束时，T2、T3、T4处理较CK均显著降低，T2、T3、T4处理分别较CK降低9.11%、15.42%、20.04%；淹水结束7天后，T2处理恢复到与CK无显著性差异，T3、T4处理分别较CK降低11.70%、13.73%；淹水结束21天后，T2、T3处理均恢复到与CK无显著性差异，仅T4处理较CK降低11.12%。

对于乳熟期，淹水结束时，M3、M4处理较CK均显著降低，M3处理较CK降低11.74%，M4处理较CK降低14.75%；淹水结束7天后，M2、M3处理均恢复到与CK无显著性差异，M4处理较CK降低12.55%。由此可见，拔节期淹水对玉米胞间二氧化碳浓度影响最大，抽雄期次之，乳熟期影响最小。玉米不同生育期不同淹水处理后胞间二氧化碳浓度（Ci）变化见图3。

| 淹涝时期 | 处理 | 测定时间     |          |          |
|------|----|----------|----------|----------|
|      |    | 淹水结束时    | 淹水结束7天后  | 淹水结束21天后 |
| 拔节期  | CK | 214.70a  | 220.52a  | 193.67a  |
|      | J2 | 190.66b  | 202.84ab | 184.44ab |
|      | J3 | 180.94bc | 191.46bc | 178.27ab |
|      | J4 | 168.41c  | 186.04c  | 176.48ab |
| 抽雄期  | CK | 215.46a  | 206.52a  | 209.62a  |
|      | T2 | 195.83b  | 193.42ab | 202.19ab |
|      | T3 | 182.24bc | 182.36b  | 196.30ab |
|      | T4 | 172.28c  | 178.16c  | 186.32b  |
| 乳熟期  | CK | 176.14a  | 162.60a  |          |
|      | M2 | 160.54ab | 154.35ab |          |
|      | M3 | 155.46b  | 149.43ab |          |
|      | M4 | 150.16b  | 142.19b  |          |

表3 淹涝后玉米不同生育期胞间二氧化碳浓度（Ci）的变化

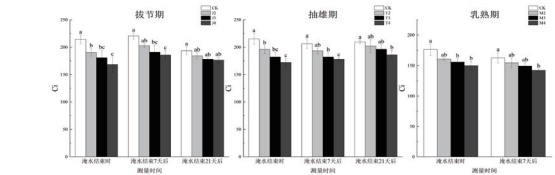


图3 玉米不同生育期不同淹水处理后胞间二氧化碳浓度 (Ci) 变化

三、讨论

作物所进行的光合作用是其生长发育及新陈代谢的核心生理过程，在作物对能量的摄取、储存、分配及转化等环节中均起到关键作用<sup>[8]</sup>。任佰朝等<sup>[3]</sup>研究表明，淹水使作物叶面积指数和叶绿素含量降低，从而导致玉米光合特性参数显著降低。前人研究

表明,小麦在不同生育期淹水导致净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )显著降低<sup>[9]</sup>。本研究表明,玉米在不同生育期淹水导致其净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度均有降低,说明淹水导致玉米光合性能显著降低,进而导致光合碳同化产物减少,影响玉米产量。梁哲军等<sup>[10]</sup>研究表明,淹水后玉米仍能恢复生长,但其速率随淹涝历时的延长而降低。本研究表明,玉米在不同生育期淹水处理后,补偿生长能力随着生育期的延长而逐渐降低,且随着淹涝历时的增加而逐渐降低。

## 四、结论

玉米在不同生育期淹水,其净光合速率、气孔导度、胞间二

氧化碳浓度均有降低,降低幅度随着淹水历时的增加而增大,且以拔节期淹水的影响最大,抽雄期次之,乳熟期淹水影响最小。拔节期淹水解除后,补偿生长能力强,净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度随着解除淹水的时间增加而逐渐恢复,且与CK间的差异逐渐缩小。在本研究的玉米三个生育期中,拔节期淹水处理后的补偿生长能力相对较其他两个生育期略强,抽雄期淹水处理的补偿生长能力次之,乳熟期淹水处理其恢复能力最小。不同生育时期淹涝条件下光合特性参数的恢复能力随着淹涝历时的增加呈降低趋势。

## 参考文献

- [1]Wetzstein, M. Dynamic and Stochastic Resource Economics: Essays on Biodiversity, Invasive Species, Joint Systems, and Regulation. American Journal of Agricultural Economics, (2014) 97, 659–661.
- [2] 郑飞, 汪丽霞, 刘瑞响, 等. 淹水胁迫下玉米自交系苗期的形态生理差异 [J]. 作物杂志, 2020, (04): 158–163. DOI: 10.16035/j.issn.1001-7283.2020.04.022.
- [3] 任佰朝, 朱玉玲, 李霞, 等. 大田淹水对夏玉米光合特性的影响 [J]. 作物学报, 2015, 41(02): 329–338.
- [4] 任佰朝, 张吉旺, 董树亭. 大田淹水影响夏玉米产量形成的生理机制及其调控 [C]// 中国作物学会. 2017年中国作物学会学术年会摘要集. 作物生物学国家重点实验室 / 山东农业大学农学院; , 2017: 4.
- [5] 任佰朝. 淹水对夏玉米产量和品质及其生理特性的影响 [D]. 山东农业大学, 2014.
- [6] 刘凯文, 付佳, 朱建强. 涝渍胁迫对旱作物生长发育及农田养分流失的影响 [J]. 湖北农业科学, 2011, 50(1): 49–52, DOI: 10.3969/j.issn.0439-8114.2011.01.013
- [7] 余卫东, 冯利平, 盛绍学, 等. 涝渍胁迫下夏玉米的灌浆特征及其动态模拟 [C]// 中国气象学会. 第32届中国气象学会年会 S15提升气象为农服务能力, 保障农业提质增效. 中国气象局 / 河南省农业气象保障与应用技术重点实验室; 中国农业大学资源与环境学院; 安徽省气象局; 安徽省宿州市农业气象试验站; , 2015: 8.
- [8] 吴统贵, 周和锋, 吴明, 等. 旱柳光合作用动态及其与环境因子的关系 [J]. 生态学报, 2008, 27(12): 2056–2061.
- [9] 李金才, 董琦, 余松烈. 不同生育期根际土壤淹水对小麦品种光合作用和产量的影响 [J]. 作物学报, 2001, (04): 434–441.
- [10] 梁哲军, 陶洪斌, 王璞. 淹水解除后玉米幼苗形态及光合生理特征恢复 [J]. 生态学报, 2009, 29(07): 3977–3986.