

低温、干旱并发对玉米影响的评估研究

刘 玲 郭建平 高素华

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

提 要: 通过人工模拟试验, 模拟了低温、干旱及低温干旱并发对玉米生长发育的影响。根据试验结果定量地评估了低温、干旱及并发对玉米苗期、抽雄期生理过程的影响。结果表明: 低温、干旱对玉米的生理过程为负效应, 并发加大了负效应的影响。并建立了低温、干旱及并发对籽粒产量的影响评估方程: $y = -516.2162 + 58.72343x_1 + 125.9081x_2 + 114.8233x_3$; 方程中: y 为籽粒产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), x_1 为土壤湿度 (%), x_2 为苗期温度 ($^{\circ}\text{C}$), x_3 为抽雄期温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

关键词: 玉米 评估 环境胁迫

Evaluation on the Effect of Low Temperature and Drought on Maize

Liu Ling Guo Jianping Gao Suhua

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract: The effect of low temperature, drought, low temperature plus drought on maize growth was imitated in phytotron. The effect of low temperature, drought, low temperature plus drought on the physiological process of maize in the seedling and the heading stage is quantitatively evaluated. The result shows that low temperature and drought stress had negative effect on physiological process and the negative effect was enlarged while low temperature plus drought. A evaluation equation of the effect of the stresses on grain yield is as: $y = -516.2162 + 58.72343x_1 + 125.9081x_2 + 114.8233x_3$. Where, y is the grain yield ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), x_1 is the soil humidity (%), x_2 is the air temperature at seedling stage ($^{\circ}\text{C}$) and x_3 is

the air temperature in the heading stage (°C).

Key Words: maize evaluation environment stress

引言

低温、干旱是影响玉米生长发育和光合生产力的重要环境因素。关于玉米光合作用对环境温度、水分变化的响应已有一些研究报道^[1,2]。低温可使发育期拖后,使玉米霜前无法正常成熟、造成减产^[3~5]。干旱使玉米生长受阻,叶面积减少,叶片干枯,最终也使产量下降。

低温与干旱对光合功能伤害的机理十分复杂。关于低温胁迫曾有一些报道^[1~5]。但定量的评估低温、干旱及并发对生理过程的影响,还不多见。为此,本文以本育9玉米为试验材料,研究了低温、干旱及并发对玉米苗期,抽雄期生理过程及生长发育的影响,并定量地评估其影响程度,以期了解低温、干旱、低温干旱并发对玉米生理过程影响的机制,探讨玉米抗逆性及适应机理,为培育高产优质玉米提供理论依据。

1 材料与方 法

试验在黑龙江省农科院寒地人工气候室进行。人工气候室为玻璃结构,共有4个气室,每个气室面积为18m²,在玻璃气室内,温度和湿度可自动控制,并有生理补光系统。

1.1 供试验材料

以本育9玉米为供试材料,经浸种的玉米种子于2004年5月9日播于盆中(盆高33cm,直径30cm)播种同时施以基肥,播种后盆中水分保持适宜状态,于5月14日定植(每盆1株)置于自然条件下生长。分

别于苗期(5叶),抽雄期移入人工气候室,进行低温处理,低温处理时间为7天。

出苗后及抽雄期前10天开始土壤水分控制,以灌水量控制土壤湿度,开始控制时,每盆称重,按不同控制标准给予不同的灌水量,使其保持设定的土壤湿度。

(1) 温度设置

苗期:设4个温度:10°C、13°C、16°C、20°C、以20°C为对照。

抽雄期:温度为:15°C、18°C、21°C、25°C、以25°C为对照。

(2) 土壤水分设置

共设5个水分等级:占田间持水量,30%(处理1——重度干旱),40%(处理2——中重度干旱),50%(处理3——中轻度干旱),60%(处理4——轻度干旱),80%(处理5——对照)。

(3) 试验处理

分为:苗期低温、苗期干旱、苗期低温+苗期干旱;抽雄期低温、抽雄期干旱、抽雄期低温+抽雄期干旱;苗期低温+抽雄期低温+干旱。

低温和干旱试验设置

苗期:经水分处理的玉米于6月2日移入气室,开始进行低温处理,气室1为10°C,气室2为13°C,气室3为16°C,气室4为20°C,处理7天,第5天进行生理过程(气孔导度、光合速率、蒸腾速率等)测定。

抽雄期:经水分处理的玉米于7月21日移入气室,开始进行低温处理,气室1为15°C,气室2为18°C,气室3为21°C,气室4为25°C,处理7天,第5天测生理过程(内容同苗期)及光化转换效率等。

每个气室均有5个水分处理(处理1至

处理 5), 每个处理 4 次重复。

苗期、抽雄期连遭低温试验: 将苗期经过低温处理的样本(处理后置于室外, 在自然条件下生长), 抽雄期再移入气室, 再进行低温处理。

1.2 研究方法

(1) 生理过程测定

采用 Licor6400 光合系统分析仪 (cincoln, Nebraska, USA) 测定净光合速率, 蒸腾速率等。苗期于 6 月 9 日抽雄期于 7 月 26 日测定, 测定叶位苗期为第三片叶, 抽雄期为棒叶上一片叶的中部, 4 次重复。同时取土测土壤湿度。

(2) 叶绿素荧光测定

采用 licor6400-40 光合系统分析仪测定。测定叶位同光合速率。licor6400-40 测定系统同时可给出光合速率、气孔导度和有关荧光参数, 其中包括参数 F_0 、 F_m 、 F_v/F_m 等。

F_0 : 固定荧光。初始荧光 (Minimal fluorescence), 也称基础荧光或零水平荧光, 是光学系统 II (PS II) 反应中心处理完全开放时的荧光量。

F_m : 最大荧光量 (Minimal fluorescence), 是 PSII 反应中心处于完全关闭时的荧光量。可以反映通过 PSII 的电子传递情况。通常叶片经暗适应 20min 后测得。(本试验把叶片置于荧光叶室内, 用避光夹遮光, 20min 测定 F_0)。

$F_v = F_m - F_0$, 为可变荧光 (variable fluorescence)。

F_v/F_m : 是 PS II 最大光化学量子量 (optimal/maximal photochemical efficiency of PS II in the dark 或 optimal/maximal quantum yield of PS II), PS II 反应中心内禀光能转换效率, 或称最大 PSII 的光能转换效率 (optimal/maximal PS II efficiency)

叶暗适应 20min 后测定。非胁迫条件下, 该参数的变化极小, 胁迫条件下该参数下降明显。

考种: 9 月 11 日玉米成熟, 分别对各处理进行考种。

2 结果分析

2.1 低温、干旱并发对玉米生理过程影响的评估

2.1.1 低温、干旱并发对光合速率和蒸腾率的影响

玉米的生理过程(光合速率、蒸腾速率)在本研究范围内是随温度和土壤湿度的增加而增加。温度、土壤湿度与光合速率, 蒸腾速率呈正相关关系。低温、干旱使正常的生理过程受阻, 随着温度降低和土壤湿度下降, 光合速率和蒸腾速率呈减少的趋势。表 1 给出了低温、干旱对玉米光合速率, 蒸腾速率影响评估方程。

表 1 低温、干旱并发对玉米光合速率、蒸腾速率的影响

| 项目 | 方程 | 相关系数 | 标准差 |
|------|--|-------|-------|
| 光合速率 | $y_1 = -6.861 + 0.979x_{11} + 0.12056x_{12}$ | 0.940 | 2.15 |
| | $y_3 = -2.599 + 0.266x_{11} + 0.0937x_{12}$ | 0.917 | 0.65 |
| 蒸腾速率 | $y_2 = -7.405 + 0.594x_{12} + 0.14555x_{22}$ | 0.934 | 1.38 |
| | $y_4 = -1.535 + 0.0645x_{12} + 0.1383x_{22}$ | 0.841 | 0.235 |

方程中: y_1 , y_3 为苗期、抽雄期的光合速率 ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), x_{11} , x_{12} 为苗期和抽雄期的温度, x_2 为土壤湿度。

y_3 , y_4 为苗期、抽雄期的蒸腾速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。

由表可见, 温度和土壤湿度与光合速率和蒸腾速率均呈正相关, 方程通过 0.01 显著水平检验, 标准差小于 2.20。

由方程可见,温度降低 1°C ,苗期光合速率减少 $0.979\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。抽雄期减少 $0.266\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$ 。苗期光合速率对低温更敏感,变化率大于抽雄期(约大65%)。苗期温度降低 1°C ,蒸腾速率减少 $0.594\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$ 。抽雄期减少 $0.0645\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$,苗期蒸腾速率下降比抽雄期多3.12倍左右。再一次说明苗期生理过程对温度的敏感程度远超过抽雄期对温度的响应。

由方程同样可见,土壤湿度降低1%,苗期光合速率下降 $0.12056\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$ 。抽雄期下降 $0.14555\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$ 。抽雄期的变率比苗期的大20.7%。土壤湿度下降1%。苗期和抽雄期蒸腾速率分别减少 $0.0937\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$ 和

$0.1383\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$ 。抽雄期比苗期变化率大47.6%。说明抽雄期土壤干旱比苗期敏感。

上述评估了温度降低 1°C ,土壤湿度下降1%,对生理过程的影响,也就是发生单一低温或干旱对生理过程的影响。低温、干旱并发对生理过程的影响如表2,由表2可见,无论是苗期还是抽雄期低温、干旱并发对生理过程的影响都大于低温、干旱单一发生的影响,苗期和抽雄期对低温、干旱并发响应,光合速率的响应更为激烈、变率苗期比蒸腾速率大2.056倍,抽雄期为2.645倍;无论是光合速率还是蒸腾速率都是苗期变率大于抽雄期。说有苗期生理过程的抗性要小于抽雄期。

表2 低温、干旱并发对生理过程的影响

| 生育期 | 温度降低 1°C | | 土壤湿度下降1% | | 温度降低 1°C +土壤湿度下降1% | |
|-----|--------------------------|---------|----------|---------|------------------------------------|--------|
| | 光合速率 | 蒸腾速率 | 光合速率 | 蒸腾速率 | 光合速率 | 蒸腾速率 |
| 苗期 | -0.979 | -0.266 | -0.12056 | -0.0937 | -1.100 | -0.360 |
| 抽雄期 | -0.594 | -0.0645 | -0.14555 | -0.1383 | -0.740 | -0.203 |

注:光合速率和蒸腾速率的单位均为 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$

2.1.2 低温、干旱并发对玉米光化转换效率影响的评估

光化转换效率是影响光合速率的重要因素之一,光化转换效率和光合速率两者有很好的相关性,光合速率随光化转换效率增大而增大,两者为正相关。所以了解低温、干旱并发对光化转换效率的影响对进一步分析光合过程的变化,可提供生理机制的依据,根据本试验的结果建立了低温、干旱并发对光化转换效率影响的评估方程。方程如下:

$$y = 0.691 + 0.00285x_1 + 0.000628x_2$$

式中, y 为光化转换效率, x_1 为温度, x_2 为土壤湿度,相关系数0.949;标准差0.0054,由方程可见,随温度降低,土壤湿度下降,光化转换效率减少,当温度降低

1°C ,光化转换效率降低0.000285;土壤湿度下降1%,光化转换效率下降0.000628;温度降低 1°C ,土壤湿度下降1%,光化转换效率减少0.003,同样并发的影响大于低温、干旱单一的影响。

2.2 低温干旱并发对籽粒产量影响的评估

根据试验考种结果建立了低温、干旱并发对籽粒产量影响的评估方程如下:

$$y = -516.2162 + 58.72343x_1 + 125.9801x_2 + 114.8233x_3$$

式中: y 为籽粒产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), x_1 为土壤湿度, x_2 为苗期温度($^{\circ}\text{C}$), x_3 为抽雄期温度($^{\circ}\text{C}$),相关系数0.9478,标准差410.908。

由方程可见,低温、干旱均使籽粒产量下降。苗期温度下降 1°C ,每公顷产量减少 125.9801kg ,抽雄期温度下降 1°C ,产量下降 $240.803\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,当土壤湿度下降 1% ,产量下降 $58.72343\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,如果苗期、抽雄期连续出现低温又发生干旱产量下降 $299.827\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (苗期、抽雄期温度降低 1°C ,土壤湿度下降 1%)。

苗期温度如由 20°C 降低到 10°C ,产量下降 $1259.801\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (17.382%)。

土壤湿度由 80% 下降到 60% (轻微干旱),产量下降 $1174.469\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (16.3%)。

低温、干旱并发时产量下降 $2434.26\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (33.7%)。如果与温度为 20°C 、土壤湿度为 80% 时的产量相比,产量下降 66.3% 。抽雄期温度由 25°C 降低到 15°C ,产量下降 $1148.233\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (15.2%)。土壤湿度由 80% 下降到 60% ,产量下降 $1174.469\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (15.5%)。低温、干旱并发,产量下降 $2322.702\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (30.7%)。与温度为 25°C 、土壤湿度为 80% 时产量相比下降 69.3% 。

从上述分析可见,低温、干旱并发对产量的影响远超过单一低温或干旱的影响,对抽雄期的影响大于苗期的影响。

3 结语

通过试验结果定量地评估了低温、干旱并发对玉米生理过程和籽粒产量的影响,评估结果表明:玉米不同发育期对温度和土壤湿度的敏感性不同,苗期生理过程对温度的敏感性比抽雄期更强,而对土壤湿度的敏感性抽雄期比苗期强。低温、干旱并发对生理过程的伤害要大于单一低温和干旱的伤害,籽粒产量下降更为明显。

参考文献

- 1 王春乙,郭建平.农作物低温冷害综合防御技术研究.北京:气象出版社,1999:149~211.
- 2 徐祥德,王馥棠,萧永生等.农业气象防灾调控工程与技术系统.北京:气象出版社,2002:5~46.
- 3 王书裕.农作物冷害研究.北京:气象出版社,1995:97~107.
- 4 孙玉亭,杨永歧.东北地区作物冷害研究.气象学报,1983,41(3):313~321.
- 5 苏正淑,张毅,郑波.低温对玉米光合作用及叶面积和籽粒产量的影响.辽宁农业科学,1990,(5):22~24.
- 6 张守仁,高荣孚.光胁迫下杂种杨无性系光合生理生态特性研究.植物生态学报,2000,24(5):528~533.
- 7 蔡志全,曹坤芳,冯玉龙等.夜间低温胁迫对两种生长光强下藤黄幼苗叶片荧光特征和活性氧代谢的影响.应用生态学报,2003,14(3):326~331.