

低温、干旱胁迫对抽雄期玉米叶片 光化效率和光合作用速率的影响

高素华 刘 玲

(中国气象科学研究院,北京,100081)

提 要: 在人工模拟低温、干旱条件下,测定了抽雄期玉米叶片荧光参数(F_o 、 F_m 、 F_v/F_m)及光合作用速率。其结果表明:低温、干旱均使光化效率(F_v/F_m)、光合作用速率下降,光化效率与温度的关系: $Y=0.002X^2-0.0055X+0.8032$ (式中 Y 为光化效率, X 为温度)。低温使光合作用速率下降,温度由 25°C 降到 15°C ,光合速率可下降27.8%。土壤湿度由处理5降到处理1,在不同温度下光化效率可降低1%~8%;光合作用速率最大减幅达80%左右。低温、干旱并发对光化效率和光合作用速率的负效应加大,光化效率降幅增大2.5倍,光合作用速率增大15%左右。光化效率与光合作用速率两者呈显著正相关。

关键词: 光化效率 光合速率 低温 干旱

Impact of Low Temperature and Drought on Corn Photochemical Conversion Effect and Photosynthesis Process in Heading Stage

Gao Suhua Liu Ling

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100085)

Abstract: Under the case of the artificial low temperature and drought, the leaf fluorescence parameters (F_o , F_m , F_v/F_m) and Photosynthesis rate are determined. The results show that the low temperature or drought decreased photochemical conversion effect, their relationship can be expressed as follow: $Y=0.002X^2-0.0055X+0.8032$ There: Y is photochemical conversion effect; X is temperature. The low temperature decreased photosynthesis rate. The photosynthesis rate decreased by 27.8% when temperature decreased from 25°C to 15°C . When the soil moisture decreased from the treatment 5 to the treatment 1, during different temperature Photochemical

conversion effect decreased by 1%~8%, and Photosynthesis rate decreased by about 80%. The negative effect of the low temperature combining with drought on photochemical conversion effect and photosynthesis rate was far greater. The decreasing scale of photochemical conversion effect reaches 2.5 times, and the photosynthesis rate was increased by about 15%. The photochemical conversion effect and photosynthesis rate was remarkable positive relation.

Key Words: photochemical conversion effect photosynthesis rate low temperature drought

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,尤其生殖生长期的低温,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,株高变矮,叶片干枯。低温、干旱均使光合作用速率下降,不能充分利用光资源,光合生产力下降。

低温与干旱对光合功能伤害的机理十分复杂。关于低温胁迫曾有过一些报道^[1-5],但低温和干旱协同作用对玉米光化效率、光合作用速率的影响鲜见报道。为此,本文以本育9玉米为试验材料,研究低温、干旱单因子,及低温、干旱协同作用对光化效率、光合作用速率,及光化效率变化对光合作用速率的影响,以期了解低温、干旱对玉米生理过程影响的机制,探讨玉米抗逆性的适应机理,为玉米生产、玉米保育、培育高产优质品种提供理论依据。

1 材料与方法

试验在黑龙江省农科院寒地试验室的人工气候室进行。人工气候室为玻璃结构,共有4个室,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 供试材料

以本育9号玉米为供试材料,经浸种的玉米种子于2004年4月25日播于盆中(盆高33cm、直径30cm)。播种时施以基肥,播种后盆中水分保持适宜状态。于5月1日定植(每盆1株),置于室外生长,抽雄期开始移入人工气候室,进行低温处理。

抽雄期前10天开始土壤水分控制,控制前测定土壤湿度。

1.2 试验设置

温度共设4个温度等级:25℃、21℃、18℃、15℃。25℃为对照温度,玉米抽雄期适宜温度为25~27℃。

土壤水分共设5个等级:占田间持水量的80%(处理5-对照)、60%(处理4-轻度干旱)、50%(处理3-中度干旱)、40%(处理2-中重度干旱)、30%(处理1-重度干旱)。通过灌水量控制土壤湿度。

低温和干旱试验:将抽雄期的玉米于7月21日移入气室,并开始控制温度。气室1为15℃,气室2为18℃,气室3为21℃,气室4为25℃。低温处理7天,第5天测光合速率及光化效率。

每个气室均有5个水分处理,水分处理为4个重复,每个气室20盆试验材料。

1.3 研究方法

净光合速率的测定采用Licor 6400光合系统分析仪(Lincoln, Nebraska, USA)。

2004 年 7 月 26 日测定,测定叶位为棒叶上一片叶的中部,4 次重复。

叶绿素荧光: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_o (固定荧光)、 F_m (最大荧光)、 F_v/F_m (最大光化学量子产量)等。

2 低温对光化效率和光合速率的影响

2.1 对光化效率的影响

在低温处理的第 5 天测定玉米叶片叶绿素荧光参数(F_o 、 F_m 、 F_v (可变荧光)= $F_m - F_o$ 、 F_v/F_m)。其结果表明, F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 均随温度降低而增加。也就是说,温度胁迫对固定荧光、最大荧光和可变荧光均为正效应;但对光化效率为负效应。当温度由 25℃ 降至 21℃、18℃、15℃ 时,固定荧光分别增加 8.1%、16.2%、23.4%;而最大荧光分别增加 6.3%、9.3%、12.9%,改变的幅度小于固定荧光;可变荧光分别增加 5.5%、7.6%、10.2%,增加的幅度小于固定荧光和最大荧光。虽然 F_v 、 F_m 均呈增加趋势,但因 F_m 增加幅度要大于 F_v 的增加幅度,最终 F_v/F_m 呈减少的趋势。光化效率与温度呈正相关,也就是说温度增加光化效率增大(低温使光化效率降低);两者的相关方程为一元二次方程:

$$Y = -0.0003X^2 + 0.0122X + 0.6574$$

式中 Y 为光化效率; X 为温度(℃); $R^2 = 0.9704$, $\alpha = 0.01$ 。

2.2 对光合作用的影响

低温使最大光化学量子产量下降。当温度由 25℃ 分别降到 21℃、18℃、15℃ 时,光化效率分别减少 0.38%、2.8%、3.5%,变化幅度不是很大。温度对光合速率的影响要大于

光化效率。光合作用速率与温度也是一元二次相关,相关方程为:

$$Y = -0.0304X^2 + 1.8988X - 10.29$$

式中 Y 为光合作用速率($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), X 为温度(℃)。 $R^2 = 0.9742$, $\alpha = 0.01$ 。当温度由 25℃ 分别降到 21℃、18℃、15℃ 时,光合速率分别减少 7.8%、16.7%、27.8%,变化幅度远大于光化效率的变幅。这说明植物的光合过程是十分复杂的,对光合生理过程影响因素也很多。光化效率是直接的重要因素之一。除此之外,如低温使叶绿素含量下降,从而使体内的活性氧的产生与清除的动态平衡没有维持在良好的水平。植物体内活性氧不能及时清除而积累时就引起光合效率降低^[7-8]。光化效率与光合速率存在显著的相关性。相关方程如下:

$$Y = 2834X^2 - 4211X + 1570.6$$

式中 Y 为光合作用速率($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), X 为光化效率; $R^2 = 0.9627$; $\alpha = 0.01$ 。

3 土壤干旱对光化效率及光合速率的影响

3.1 对光化效率的影响

光化效率随土壤湿度的降低而减小。光化效率与土壤湿度之间的相关性在 4 种温度条件下都很显著。相关方程见表 1 所示。

表 1 光化效率(Y_i)与土壤湿度(X)的相关方程

温度/℃	回归方程	R^2	α
25	$Y_1 = -0.078X^2 + 0.1449X + 0.7404$	0.9356	0.01
21	$Y_2 = -0.0287X^2 + 0.0897X + 0.7504$	0.9631	0.01
18	$Y_3 = -0.918X^2 - 0.0559X + 0.7797$	0.9906	0.01
15	$Y_4 = -0.0509X^2 + 0.1487X + 0.7014$	0.9869	0.01

当温度为 25℃ 时,土壤湿度由处理 5 降到处理 4、处理 3、处理 2、处理 1 时,光化效率分别减少 0.75%、1.24%、3.10%、3.35%;温度为 15℃ 时分别减少 2.03%、3.43%、6.20%、8.19%。在低温条件下,干旱胁迫对

光化效率的影响更明显,光化效率降低幅度约是 25℃时的 2 倍。

3.2 土壤干旱对光合速率的影响

干旱胁迫和低温胁迫一样,对光合速率也有明显的负作用。光合速率也随土壤湿度下降而减少。在不同温度条件下,变化趋势一致。低温条件下,光合速率受到的胁迫更为严重。如在 25℃条件下,土壤湿度由处理 5 降到处理 4、处理 3、处理 2、处理 1 时,光合速率分别下降 11.1%、16.7%、31.7%、75%。18℃时,分别下降 13.3%、20%、23.3%、83.3%,下降幅度更大些。土壤湿度与光合速率之间存在很好的相关性。二者的相关方程均为一元二次方程形式(见表 2)。

表 2 土壤湿度(X)与光合速率(Y_i , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)的相关方程

温度/℃	回归方程	R^2	α
25	$Y_1 = -17.409X^2 + 35.073X + 1.6591$	0.9718	0.01
21	$Y_2 = -34.481X^2 + 50.337X - 2.7809$	0.9918	0.01
18	$Y_3 = -65.762X^2 + 89.87X - 15.913$	0.9088	0.01
15	$Y_4 = -28.144X^2 + 48.298X - 8.378$	0.9722	0.01

土壤干旱胁迫所以使光合速率下降,一个重要原因就是干旱胁迫使叶片叶绿素含量减少,叶片健康状况不佳,同时光化效率下降。

4 低温和土壤干旱并发对光化效率及光合速率的综合影响

低温、土壤干旱对光化效率和光合速率都是负效应。两种胁迫同时发生对光化效率和光合速率有怎样的影响呢?

温度为 25℃时,土壤湿度由处理 5 降到处理 1,光化效率减少了 3.35%。温度为 15℃时,同样由处理 5 降到处理 1,与 25℃时相对比,光化效率减少 8.19%,约为 25℃时的 2.5 倍。由此可见,低温、干旱并发将大大

增加对光化效率的胁迫作用。同样,光合速率也有相同的趋势。如在 25℃时,土壤湿度由处理 5 降到处理 1,光合速率下降 7.5%;而 15℃时,下降 88.9%。

5 结 语

我们研究了在不同低温胁迫和土壤干旱胁迫对玉米抽雄期叶片光化效率和光合速率的影响。低温和干旱胁迫造成光合速率的下降,主要原因是低温和干旱胁迫使 PSII 光化效率降低,不能充分利用光能。低温、干旱胁迫使 F_0 增加, F_0 的增加可能是 PSII 反应中心出现可逆失活或出现不可逆转的破坏。而且,可能使玉米叶片的光合机构遭受光氧化破坏。最终都将使光合速率下降。关于低温、干旱胁迫对光化效率和光合速率的影响因素很多。因受到项目研究内容、经费、学科的限制,还有些问题需要不断的学习和深入研究。

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[M].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[M].北京:气象出版社,2002:5-46.
- [3] 王书裕.农作物冷害研究[M].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[J].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[J].辽宁农业科学,1990(5):22-24.
- [6] 刘玲,郭建平,高素华.低温、干旱并发对玉米影响的评估研究.气象,2006,32(4):116-120.
- [7] 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[J].植物生态学报,2000,24(5):528-533.
- [8] 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[J].应用生态学报,2003,14(3):326-331.