

# 低温、干旱并发对玉米苗期生理过程的影响\*

郑江平

王春乙

(兰州大学,兰州 730000) (中国气象科学研究院,北京 100081)

## 摘 要

该文从低温与干旱并发的角度出发,探讨其对玉米苗期生理过程、生长发育过程产生的影响。通过 2004 年人工模拟试验,定量研究了低温、干旱及低温、干旱并发对玉米苗期生理过程、生长发育的影响。研究表明:低温对光合作用速率、蒸腾速率均为负效应,在土壤相对湿度适宜时,温度由 20℃ 降到 16℃,光合作用速率下降 22.4%,蒸腾速率下降 44.0%。干旱对光合作用速率、蒸腾速率也是负效应,在温度适宜,土壤相对湿度由 80% 降至 50% 时,光合作用速率下降 11.5%;土壤相对湿度由 60% 降至 50% 时,蒸腾速率下降 2.7%。低温、干旱并发的影响远大于低温、干旱单因子的影响,温度由 20℃ 降至 16℃,土壤相对湿度由 80% 降至 50% 时,光合作用速率下降 32.1%,蒸腾速率下降 52.7%。

关键词: 低温; 干旱; 玉米

## 引 言

20 世纪 80 年代以来,世界各国对环境、资源、人口、防灾减灾和可持续发展问题非常关注,人类活动引起的气候变化导致世界上许多地方频繁出现极端气候事件,给农业生产带来了严重的影响。20 世纪 90 年代因天气气候原因引起全球经济损失为 80 年代的 6 倍,仅 90 年代上半期全球经济损失即达 162 亿美元,其中农业损失占很大比例。因此,联合国各组织特别是世界气象组织以及各国政府都高度重视开展农业气象适用技术研究,尤其是强调开展农业气象灾害研究的重要性,减轻农业气象灾害损失,为粮食安全提供保障服务。世界上不管是发达国家,还是发展中国家,农业气象灾害的研究都是热点。美国及欧盟各国已开始利用卫星遥感技术以及作物干旱数值模式监测并预报大面积农业干旱,取得了许多成果,在防旱抗旱中及时提供了准确信息,国内也一直在进行有关干旱识别、监测及预报技术的研究,取得了大量研究成果<sup>[1]</sup>。国外研究冷害对农业生产的影响历史由来已久,日本农业生产长期受冷害的威胁,自 20 世纪 30 年代起进行了有组织的科学研究,取得了良好的经济效益。我国对冷害

研究也取得了一些可喜的成果,主要有冷害指标、发生机制、时空分布规律、影响评估以及农业气象防御技术等<sup>[2-8]</sup>。综上所述,国内近年来关于农业气象灾害的研究都还是围绕单一灾种进行的,对并发性灾害的研究尚不多见。但大自然中(实际环境下)农业气象灾害对作物的影响往往是多发和并发,影响是综合的。为了有效减轻农业气象灾害对农业可持续发展的影响,保障粮食安全,当前急需开展并发性农业气象灾害发生指标、发生规律、影响机理、影响评估以及防御技术等研究。本文从生理过程的变化来揭示并发干旱和低温对玉米的影响,研究结果可为灾害评估提供理论支撑和科学数据。

## 1 材料与方 法

2004 年试验在黑龙江省农业科学研究院作物栽培所人工气候室内进行。该气候室为自然光玻璃室,每间实验室面积 18 m<sup>2</sup>,气温、空气湿度等环境参数可自动调节,在阴雨天可采用生理日光灯进行自动补光。

试验材料:本育 9 玉米。

试验采用盆栽,盆的直径 30 cm,高 33 cm,玉米种子经过催芽后于 2004 年 4 月 25 日播于盆中。播

\* 国家“十五”科技攻关计划项目“并发性气象灾害影响评估和防御技术研究”(2004BA509B16)资助。  
2004-12-03 收到,2005-12-01 收到再改稿。

前施底肥,土壤相对湿度为70%左右,并对每盆称重,记录每盆的重量。土质为黄壤土。出苗后,于5月1日一叶一心时定植,每盆一株。二叶一心开始水分处理。

土壤水分处理:占田间持水量30%(处理1:重度干旱),40%(处理2:较重干旱),50%(处理3:中度干旱),60%(处理4:轻度干旱),80%(处理5:对照)。通过灌水量控制土壤相对湿度。

低温处理:10℃,13℃,16℃,20℃。以20℃为对照。

玉米5叶期移入人工气候室进行低温处理7d。每个土壤水分处理均对应5个样本。低温处理的第5日,测定生理过程。采用美国Licor 6400光合作用仪测定光合作用速率、蒸腾速率,低温处理第7日晚将被处理的玉米搬到室外,2d后在自然状态下(室外平均温度为25℃),对各处理再次测定光合作用速率和蒸腾速率。

## 2 结果分析

### 2.1 土壤干旱对玉米苗期生理过程的影响

#### 2.1.1 土壤干旱对光合作用速率的影响

表1 不同温度条件下,土壤相对湿度与光合作用速率关系

温度/℃	方程式	R	显著性检验
25(室外)	$Y_1 = -53.969 X^2 + 78.271 X - 2.2423$	0.9941	>0.01
20	$Y_2 = -35.112 X^2 + 56.8 X + 1.9077$	0.9939	>0.01
16	$Y_3 = -13.526 X^2 + 25.791 X + 7.4786$	0.9936	>0.01
13	$Y_4 = -1.9418 X^2 + 9.6909 X + 5.8553$	0.9908	>0.01
10	$Y_5 = 5.5784 X + 6.0632$	0.9965	>0.01

注:  $Y_1 \sim Y_5$  为光合作用速率,单位:  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $X$  为土壤相对湿度,单位:%;  $R$  为相关系数,下同。

#### 2.1.2 土壤干旱对蒸腾速率的影响

在光照、温度等其他环境因子相同的条件下,干旱对蒸腾速率的影响也是负效应,随干旱程度的加重,蒸腾速率减少幅度增大。在人工气候室内,以处理4为对照,当温度为20℃时,土壤相对湿度由处理4下降到处理3、处理2、处理1时,蒸腾速率分别

土壤干旱对光合作用速率的影响是负效应。在辐射、温度等其他环境条件相同的情况下,光合作用速率随干旱程度的加重(也就是随土壤相对湿度的降低)而明显减弱,两者相关性很高。例如,以处理5为对照,当温度为20℃时,土壤相对湿度由处理5下降到处理4、处理3、处理2、处理1时,光合作用速率分别下降8.7%、11.5%、24.1%、37.1%,不同干旱程度,光合作用速率下降幅度可相差1~4倍。

在自然状态(室外)下,土壤干旱对光合作用速率的影响也符合上述规律。土壤相对湿度由处理5下降到处理4、处理3、处理2、处理1时光合作用速率分别下降为4.8%、8.9%、19.5%、38.1%。

在不同温度条件下,土壤相对湿度与光合作用速率关系如表1所示。

由表1可见:从25℃到13℃条件下,土壤相对湿度与光合作用速率的关系方程均为一元二次方程,相关系数均在0.98以上,均通过0.01显著性检验(样本为15个)。10℃时,土壤相对湿度与光合作用速率直线相关,相关系数达0.99,显著性检验大于0.01(样本为15个)。上述分析可以说明,光合作用速率对干旱程度的响应在不同温度条件下,响应状态也不完全一样。

下降2.7%、8.5%、13.8%。同样,在自然状态(室外)下,也有相同的变化趋势。土壤相对湿度由处理4下降到处理3、处理2、处理1时,蒸腾速率分别减少8.9%、10.8%、12.2%。

在不同温度条件下,土壤相对湿度与蒸腾速率的关系方程如表2所示。

表2 不同温度条件下,土壤相对湿度与蒸腾速率的关系

温度/℃	方程式	R	显著性检验
25(室外)	$Y_1 = -2.0007 X^2 + 3.6697 X + 3.952$	0.8959	>0.01
20	$Y_2 = -1.4963 X^2 + 2.5013 X + 1.6202$	0.9972	>0.01
16	$Y_3 = -5.799 X^2 + 7.1624 X - 0.5147$	0.9680	>0.01
13	$Y_4 = -5.3085 X^2 + 6.5189 X - 0.4293$	0.9716	>0.01
10	$Y_5 = -2.4764 X^2 + 3.3185 X + 0.1473$	0.9349	>0.01

注:  $Y_1 \sim Y_5$  为蒸腾速率,单位:  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $X$  为土壤相对湿度,单位:%。

土壤相对湿度与蒸腾速率的关系方程均为一元二次方程,相关系数除 25 ℃时稍低( $R = 0.8959$ )外,其余均在 0.93 以上,通过 0.01 显著性检验(样本为 15 个)。当土壤相对湿度过大,如本试验处理温度在 10 ℃,13 ℃,16 ℃时,土壤相对湿度由 60 % 增加到 80 %时,蒸腾速率呈现下降趋势,这是因为土壤过湿气孔导度变小的缘故。

## 2.2 低温对玉米苗期生理过程的影响

### 2.2.1 低温对光合作用速率的影响

在试验范围内,光合作用速率随温度的降低而

减少,而且在不同土壤相对湿度条件下都有此变化趋势;光合作用速率与温度的关系为一元二次方程(表 3),相关系数均在 0.95 以上,通过 0.01 显著性检验(样本为 15 个)。例如,在土壤相对湿度为处理 1 时,温度分别由 20 ℃下降到 16 ℃,13 ℃,10 ℃时,光合作用速率分别减少 9.62 %,44.33 %,50.45 %。土壤相对湿度为处理 5 时,则分别减少 22.42 %,50.76 %,57.57 %。在两种湿度条件下,光合作用速率都随温度降低而减少,但在水分条件充足时,低温对光合作用的负效应更为显著。

表 3 不同土壤相对湿度条件下,温度与光合作用速率的关系

土壤相对湿度	方程式	R	显著性检验
30 %	$Y_1 = -0.046 X^2 + 2.2273 X - 10.652$	0.9605	> 0.01
40 %	$Y_2 = -0.032 X^2 + 2.0511 X - 10.03$	0.9729	> 0.01
50 %	$Y_3 = -0.0426 X^2 + 2.5932 X - 13.999$	0.9743	> 0.01
60 %	$Y_4 = -0.0499 X^2 + 2.8753 X - 15.554$	0.9808	> 0.01
80 %	$Y_5 = -0.0539 X^2 + 3.0389 X - 15.682$	0.9746	> 0.01

注:  $Y_1 \sim Y_5$  为光合作用速率,单位:  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; X 为温度,单位: ℃。

### 2.2.2 低温对蒸腾速率的影响

蒸腾速率随温度的降低而下降。在不同土壤水分条件下,温度与蒸腾速率之间的关系如表 4 和图 1 所示。例如,土壤相对湿度为处理 1 时,温度分别

由 20 ℃下降到 16 ℃,13 ℃,10 ℃时,蒸腾作用速率分别减少 50.00 %,54.91 %,77.68 %。土壤水分充足时,也有相同的变化趋势。土壤相对湿度为处理 5 时,温度仍由 20 ℃下降到 16 ℃,13 ℃,10 ℃

表 4 不同土壤相对湿度条件下,温度与蒸腾速率的关系

土壤相对湿度	方程式	R	显著性检验
40 %	$Y_{0.4} = 0.0017 X^3 - 0.0638 X^2 + 0.8793 X - 2.9638$	0.9996	> 0.01
60 %	$Y_{0.6} = 0.002 X^3 - 0.08 X^2 + 1.1035 X - 3.7548$	1.0	> 0.01

注:  $Y_{0.4}, Y_{0.6}$  为蒸腾速率,单位:  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; X 为温度,单位: ℃。

时,其蒸腾速率分别减少 43.98 %,47.37 %,83.46 %。在两种土壤水分条件下,10 ℃低温时的蒸腾速率均比 20 ℃时下降 70 %以上,说明蒸腾速率对低温还是十分敏感的。

由表 4 可见,温度与蒸腾速率的关系为一元三次方程,相关系数均在 0.99 以上,通过 0.01 显著性检验(样本为 15 个)。

## 2.3 干旱、低温并发对玉米苗期生理过程的影响

### 2.3.1 干旱、低温并发对光合作用速率的影响

干旱、低温对光合作用速率均为负效应。干旱、低温并发更加大这种负效应。干旱、低温并发对光合速率的影响如下式:

$$Y = -6.861 + 0.979 X_1 + 0.12056 X_2 \quad (1)$$

式(1)中, Y 为光合速率;  $X_1, X_2$  分别为温度和土壤相对湿度。相关系数为 0.940,标准差为 2.15。

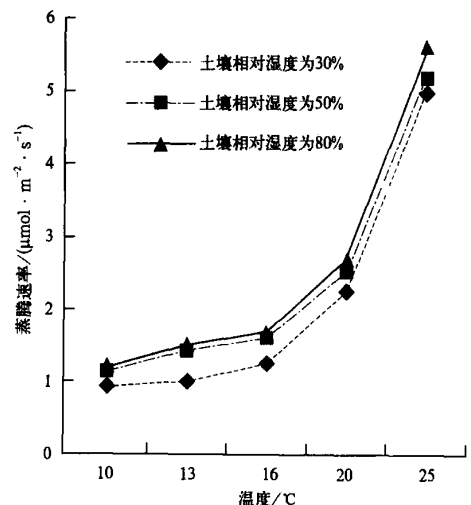


图 1 土壤相对湿度变化时,温度与蒸腾速率关系曲线

由式(1)可见,温度降低1℃,光合速率减少 $0.979 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ;土壤相对湿度下降1%,光合速率减少 $0.12056 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。当温度降低1℃和土壤相对湿度下降1%并发时,光合速率减少 $1.06056 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。当温度由20℃下降到16℃,土壤相对湿度由80%下降到50%时,光合作用速率下降了32.1%,分别大于单一低温或单一干旱的影响。

### 2.3.2 干旱、低温并发对蒸腾速率的影响

干旱、低温对蒸腾速率均为负效应。干旱、低温并发更加大这种负效应。干旱、低温并发对蒸腾速率的影响如下式:

$$Y = -7.405 + 0.594 X_1 + 0.14555 X_2 \quad (2)$$

式(2)中,  $Y$  为蒸腾速率;  $X_1$ ,  $X_2$  分别为温度和土壤相对湿度。相关系数为0.934,标准差为1.38。

由式(2)可见,温度下降1℃,蒸腾速率减少 $0.594 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,土壤相对湿度降低1%,蒸腾速率减少 $0.14555 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。当温度降低1℃和土壤相对湿度下降1%并发时,蒸腾速率减少 $0.738555 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。当温度由20℃下降到16℃,土壤相对湿度由80%下降到50%时,蒸腾速率下降了52.7%,分别大于单一低温或单一干旱的影响。

## 3 结 语

通过人工模拟试验,分析了低温、干旱及低温和干旱并发对苗期玉米的生理过程的影响。结果表明:低温、干旱及并发对玉米苗期生理过程的影响都十分显著。这一影响使玉米整个生长发育过程都受到伤害,如低温使株高降低5%左右;干旱使株高降低10%左右;而并发影响可达20%左右。不仅如此,最终使籽粒受到影响:低温使产量平均下降

12%左右;干旱使产量平均下降27%左右;并发使产量下降幅度更大,平均降幅为41%左右。

以往的研究多认为苗期出现低温、干旱,而后期温度、湿度正常,对最终的籽粒产量影响不大。通过模拟试验研究结果表明,这种看法有待商榷;而且,苗期低温和干旱并发,最终对籽粒产量有明显的负效应。

本试验是人工模拟试验,采用盆栽的方式种植玉米,在人工气候室内进行低温、干旱处理。这些条件和在田间自然条件下的情况是有一定差异的,如在田间根系可以得到深层土壤水分的补给,在变温条件下,土壤相对湿度也存在日变化,这些因素在本文都没有考虑。本试验与田间试验存在一定差异是本次人工模拟试验的不足,田间试验会更复杂。但本次试验也基本上反映了低温、干旱并发对玉米苗期生理过程影响的实质。所得结果虽显粗糙,但还是具有一定应用价值的。

## 参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [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] 高素华,郭建平,张国民. 低温对玉米幼苗出现反应的影响. 应用气象学报,1999,10(2):238-242.
- [6] 刘布春,王石立,庄立伟,等. 基于东北玉米区域动力模型的低温冷害预报应用研究. 应用气象学报,2003,14(5):616-625.
- [7] 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.
- [8] 高素华. 灰色关联函数在椰子产量与气象条件分析中的应用. 热带作物学报,1986,7(2):57-59.

## Impact of Chilling Temperature and Drought on Corn Physiological Process in Seedling Stage

Zheng Jiangping<sup>1)</sup> Wang Chunyi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (Lanzhou University, Lanzhou 730000)

<sup>2)</sup> (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

### Abstract

Northeast China is a frequently occurring area of agricultural meteorological disasters, where chilling temperature and drought frequently happen simultaneously, which brings about a greater impact on the growing up process and grain yield of corn and other crops. Therefore, they are paid more attention to. However, the researches in the past are mostly of the single weather disaster of either chilling damage or drought, seldom considering their combining impacts on corn growing up process. From this view point, combining impacts of chilling damage and drought on corn physiological process are undertaken with its growing up process in seeding stages.

The experiment is carried out in the artificial weather laboratory of crops cultivating institute of Heilongjiang Agricultural Academy in 2004, where the mode of cultivating corn in a pot is adopted and the corn being cultivated is treated with chilling damage and drought respectively in its seeding stages. Through artificial simulation experiment, the impact of chilling damage, drought and their combining on corn physiological process, growing up process in seeding stages are quantitatively studied. Results are as follows: the impacts of chilling damage on photosynthesis and transpiration rate are both negative effects; photosynthesis rate assumes a conic section correlation with temperature. Transpiration rate assumes a cubic section correlation. When the field water capacity is 80% and the temperature drops from 20 °C to 16 °C, photosynthesis rate decreases by 22.4% and transpiration rate decreases by 44.0%; impacts of drought on photosynthesis and transpiration rate are also negative effect; both photosynthesis rate and transpiration rate assumes a conic section correlation with soil moisture. when the temperature is 20 °C, the photosynthesis rate decreases by 11.5% from 80% of field water capacity to 50% and transpiration rate decreases by 2.7% from 60% of field water capacity to 50%; the combining impacts of chilling damage and drought are far greater than the impacts of single factor of chilling damage or drought; the photosynthesis rate decreases by 32.1% and the transpiration rate decreases by 52.7% when the temperature drops from 20 °C to 16 °C accompanied by the soil moisture decreases from 80% of field water capacity to 50%.

**Key words:** chilling temperature; drought; corn