

# 水热变化对冬小麦生长发育的模拟试验

张 宇

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 提 要

应用 CERES 小麦模式,在假定水热条件变化(日平均温度变化 $-1^{\circ}\text{C}$ , $0^{\circ}\text{C}$ , $1^{\circ}\text{C}$ 和 $2^{\circ}\text{C}$ ,日降水量变化 $\pm 20\%$ , $\pm 10\%$ , $\pm 5\%$ 和 $0\%$ ,共28种组合)的气候情景下,模拟了小麦的生育过程。结果表明,对于试验点镇江来说,温度变化比水分变化对小麦的影响更显著;温度升高,发育加快,生育期缩短;水热变化对籽粒产量的影响多数为不利,特别在温度降低、水分减少时更为明显;温度升高、降水减少均可使土壤有效水分减少。

关键词: CERES 小麦模式 水热条件 模拟试验

## 引 言

利用作物生长模式,研究不同气候条件下作物生育过程及产量结构的表现,不仅可以揭示作物-天气的基本关系,而且对于分析气候变化对农业的可能影响,具有重要意义<sup>[1]</sup>。赵四强和张宇在对 CERES 小麦模式分析验证的基础上<sup>[2,3]</sup>,就不同播种期、不同发育时段温度升高对冬小麦的影响进行了数值试验<sup>[4]</sup>。本文在假定温度和降水同时变化的条件下,利用 CERES 小麦模式对小麦的生育过程进行了数值模拟试验,通过与初始状况的对比,分析了水热要素变化对冬小麦生育过程和产量结构的影响。

## 1 试验方法

数值试验所用的作物模式为 CERES 小麦模式(2.10版),它综合考虑了天气条件、土壤状况、作物品种特性和农业生产措施等因素<sup>[5,6]</sup>,是一个面向用户、可用于生产实际的模式。

试验地点为江苏省镇江农业气象试验站,利用1984—1985年4次冬小麦分期播种田

间试验资料,对模式进行了验证,并确定了品种系数(详见文献[2])。该数值试验取接近于当地实际播期的第2播种期为初始状况,除温度和降水进行处理外,其它输入资料保持不变。

由于目前对未来气候变化的预测差异很大,特别是对特定地区,可靠性更差。所以本文直接假定几种气候情景,来模拟作物的生育过程,建立多种气候情景与作物表现的对应关系,并探讨其一般性。取逐日最高温度和最低温度均变化 $-1^{\circ}\text{C}$ , $0^{\circ}\text{C}$ , $+1^{\circ}\text{C}$ 和 $+2^{\circ}\text{C}$ ,逐日降水量变化 $\pm 20\%$ , $\pm 10\%$ , $\pm 5\%$ 和 $0\%$ (不论是温室效应引起的气候变化,还是气候的自然波动,在上述情景范围内出现的可能性都较大),相互组合共28种处理(如表1)。

表1 水热处理情况表

温度处理 / $^{\circ}\text{C}$	降水处理/ $\%$						
	-20	-10	-5	0	+5	+10	+20
-1	1	2	3	4	5	6	7
0	8	9	10	11	12	13	14
+1	15	16	17	18	19	20	21
+2	22	23	24	25	26	27	28

表中1—28表示处理号,如处理1表示温度降低 $1^{\circ}\text{C}$ 、降水减少 $20\%$ 的情况。可见处理

11代表了温度、降水均未变化的情况,即初始状况。

## 2 结果分析

### 2.1 发育期的变化

根据模式的计算结果,水分变化对作物发育不产生影响,而温度是决定作物发育的主要因素,如表2为温度变化对开花期和成熟期的影响。可见,温度变化1℃对发育期的影响约为4%,但也并非严格线性变化,温度升高发育加快,生育期缩短,温度降低则相反。

表2 温度变化对发育期的影响

温度变化 /℃	播种—开花		播种—成熟	
	变化/天	变化/%	变化/天	变化/%
-1	7.0	4.0	8.0	3.8
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	-8.0	-4.6	-9.0	-4.3
2	-17.0	-9.8	-16.0	-7.7

### 2.2 籽粒产量和产量结构的变化

图1为水热变化对籽粒产量的影响。可见,温度降低、降水减少将使产量大幅度下降,温度降低1℃,降水减少20%的情况下,产量下降十分明显。温度升高,降水增加,一般有助于产量的提高,但增产幅度都较小。总体来看,在各种组合的水热变化中,大多表现为产量低于对照的产量水平,有的减少非常明显,而仅有少数略高于对照的产量水平。这种现象可能是由于:一方面镇江目前的气候状况对冬小麦生长比较适宜,另一方面,经过长期的自然选择和人工选择,当前的作物品种和农业生产措施已基本适应目前的气候条件。因此在农业生产措施不变的情况下,水热变化的影响多数为不利。

根据模拟结果,穗粒数和单位面积籽粒数对水分处理不很敏感,它们主要与温度有关。温度降低1℃将使两者均下降10%左右;温度升高有利于穗粒数的增加,而对单位面积籽粒数来说,升高1℃有利于其增加,而升高2℃将造成一定的减少。若水分减少不太

多,温度降低有利于籽粒重的提高,而温度升高的影响不很一致,与水分变化有关。

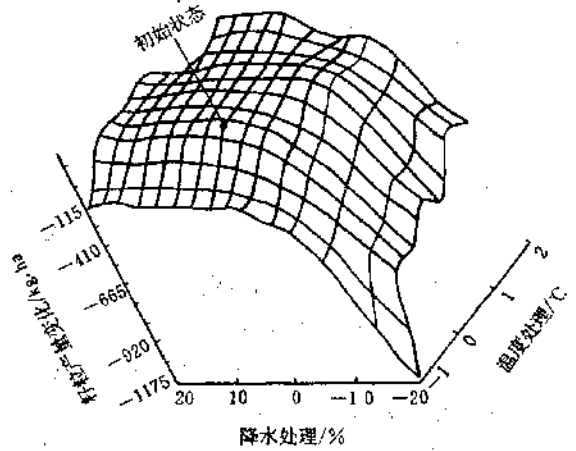


图1 水热变化对籽粒产量的影响

### 2.3 生物量的变化

根据模式的计算结果,水分变化对地上、地下生物量的影响很小,而温度变化的影响较为明显,如图2、3分别为不同温度处理下(降水量不变)地上和地下生物量的变化过程(日期为从播种期算起的日数,下同)。

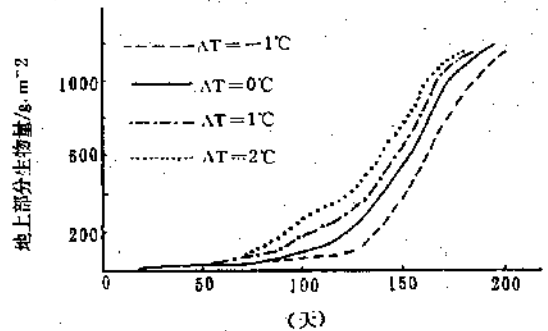


图2 不同温度处理下地上生物量的变化曲线

可见,温度升高,地上部分生物量的增重过程将提前,温度降低则延后,亦即温度变化对越冬期和生物量缓慢增长阶段出现的早晚和持续时间影响较大,但最大生物量仍以对照为最大。而对于根重来说,不论温度升高还是降低,几乎均使之增加,特别是在生长中期,温度升高使根重变化没有明显的缓慢增长期。温度降低有利于中后期根重的增加。

### 2.4 叶面积指数的变化

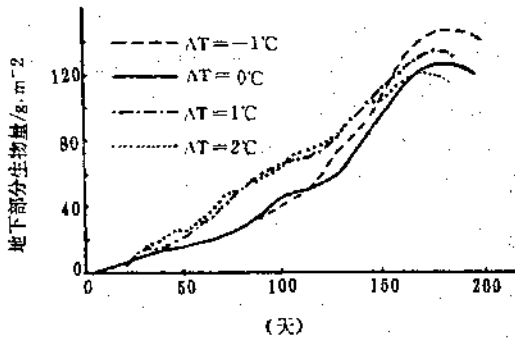


图3 不同温度处理下地下生物量的变化曲线

与生物量的变化类似,叶面积指数对水分的变化不很敏感,而受温度的影响较大。如图4为不同温度处理下叶面积系数的变化过程。可见,温度升高,叶面积系数的峰值将提前,与越冬期及之后一段时间相对应的叶面积缓慢增长期缩短,这与地上生物量的变化相类似。温度越高,叶面积指数的变化越趋于平稳、光滑,高峰期持续时间逐步延长,但最大叶面积指数则逐步减小,由于这两者的共同作用,使最大生物量不象最大叶面积指数那样差异明显。

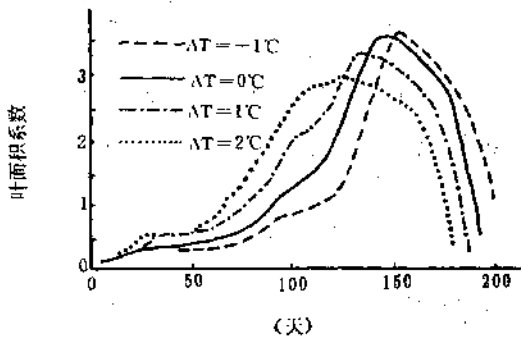


图4 不同温度处理下叶面积指数的变化曲线

## 2.5 土壤有效水分的变化

土壤有效水分是土壤中植物可以利用的水分含量,沿用 CERES 模式的写法,用 PESW 表示,单位为 cm(试验中土层厚度取 130cm),用  $\Delta$ PESW 表示某处理与对照(处理 11)PESW 之差。

总的来说,温度升高、降水减少,PESW 将降低。表3为不同温度处理下  $\Delta$ PESW 的变化过程,可见,越到作物生育后期,温度变化

越大, $\Delta$ PESW 的绝对值也越大,但也并非线性变化。温度降低1°C比升高1°C对  $\Delta$ PESW 的影响要小(约为其一半),温度升高2°C对  $\Delta$ PESW 的影响也不足升高1°C影响的2倍。温度变化一方面直接影响土壤和植物的蒸散潜力,同时也通过作物生育过程(如发育期、生物量、根系和叶面积指数等)间接影响 PESW。

表3 不同温度处理对  $\Delta$ PESW 的影响/cm

日期/天	-1°C	0°C	1°C	2°C
50	0.1	0.0	-0.3	-0.5
100	0.4	0.0	-1.0	-1.6
150	0.7	0.0	-2.0	-2.8
165	0.8	0.0	-2.2	-3.1
175	1.1	0.0	-2.3	-3.5

表4为水分处理(温度不变)对  $\Delta$ PESW 的影响。降水减少,PESW 也减小,几乎呈线性变化,降水增加,PESW 也有所增加,但变化幅度较小,这可能与试验区(镇江)本身就比较湿润有关。随着时间的推移,水分处理对  $\Delta$ PESW 的影响有增大的趋势,但不象温度处理那么明显。

表4 不同水分处理对  $\Delta$ PESW 的影响

日期/天	-20%	-10%	-5%	0%	5%	10%	20%
50	-2.7	-1.2	-0.5	0.0	0.2	0.3	0.4
100	-3.0	-1.3	-0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
150	-4.2	-1.9	-0.9	0.0	0.3	0.6	1.2
165	-4.4	-2.0	-0.9	0.0	0.3	0.7	1.4
175	-5.0	-2.5	-1.2	0.0	0.6	1.2	2.4

由于温度和降水对  $\Delta$ PESW 的影响,一方面是直接影响,另一方面是通过作物的间接影响。因此  $\Delta$ PESW 随作物的发育过程有所变化。根据计算结果的比较,温度降低1°C与降水增加10%对  $\Delta$ PESW 的影响比较接近,温度升高1°C与降水减少10%的影响较接近,温度升高2°C对  $\Delta$ PESW 的影响,大约与降水减少15%的作用相当。反之,温度降低1°C和降水减少5%的正负作用相近,基本可以抵消,温度升高1°C与降水增加10%的正负作用相当,基本可以相互抵消。

### 3 结论

根据以上对试验结果的初步分析,水热变化对冬小麦生长发育、产量结构及土壤有效水分的影响可归纳为:

3.1 温度变化比水分变化对作物的影响更明显。

3.2 温度升高发育加快,生育期缩短,温度每变化 $1^{\circ}\text{C}$ ,对发育期的影响约为4%。

3.3 在农业生产措施不变的情况下,水热变化对籽粒产量的影响多数为负效应,特别是温度降低、降水减少,其不利影响更为明显。

3.4 温度升高使小麦越冬期不明显,生物量和叶面积指数的变化前移并趋于平稳。特别是叶面积指数的变化,对延长有效光合时间、增加生物量可能更为有利。

3.5 温度升高、降水减少均可使土壤有效水分下降,反之则使之升高。

以上分析仅是假定气候条件变化而农业生产措施维持不变的情况下的结果,它不仅与当地的气候背景有关,与作物模式本身,特

别是对水热要素的考虑也很有关系。当然对气候情景的选取也有一定的主观性。因此,在气候变化预测、作物模式的验证和改进、农业生产措施的相应调整及提高资料的代表性和可靠性等方面,还需做更深入的工作。

### 参考文献

- 1 张宇. 温室效应与气候变化对农业影响的研究概况. 山东气象, 1991, 3, 1—7.
- 2 张宇、赵四强. CERES 小麦模式在我国的初步应用. 中国农业气象, 1991, 12(3), 11—14.
- 3 赵四强、张宇等. DSSAT 简介及其应用结果的初步分析. 中国气候变化对农业影响的试验与研究, 北京: 气象出版社, 168—169, 1991.
- 4 Zhao Siqiang and Zhang Yu. Numerical experiments for the impact of warming climate on the phenology and grain yield of winter wheat. Journal of Environmental Science(China), 2(4), 11—17, 1990.
- 5 张宇. CERES 小麦模式中土壤水分平衡的计算. 气象科技, 1992, 2, 81—85.
- 6 张宇. CERES 小麦模式中作物生育过程及器官建成的模拟. 中国气候变化对农业影响的试验与研究, 北京: 气象出版社, 157—162, 1991.

## Numerical Experiments for the Impacts of Temperature and Precipitation on Growth and Development of Winter Wheat

Zhang Yu

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

### Abstract

The growing process of winter wheat is simulated by CERES-wheat model assuming the daily temperature variation to be  $-1^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $1^{\circ}\text{C}$ ,  $2^{\circ}\text{C}$  and daily precipitation change to be  $-20\%$ ,  $-10\%$ ,  $-5\%$ ,  $0.5\%$ ,  $10\%$ ,  $20\%$  respectively. The case study site is of zhenjiang, Jiangsu Province, which locates in the middle east of China. The simulation results show that the impact of temperature variation on winter wheat is stronger than that of precipitation change. Warming climate can speed up the development rate and shorten the phenological period. In general, the adverse effect of climatic change on grain yield is greater than that of its beneficial effect, especially when the climatic cooling and drying. Both the temperature increase and precipitation decrease can reduce the plant extractable soil water content.

**Key Words:** CERES-wheat model water and heat conditions the simulation test