

袁东敏,尹志聪,郭建平. SRES B2 气候情景下东北玉米产量变化数值模拟. 应用气象学报,2014,25(3):284-292.

SRES B2 气候情景下东北玉米产量变化数值模拟

袁东敏¹⁾ 尹志聪^{2)*} 郭建平³⁾

¹⁾(中国气象局气象影视中心,北京 100081) ²⁾(北京市气象局,北京 100089)

³⁾(中国气象科学研究院,北京 100081)

摘 要

采用区域气候模式 PRECIS 与东北玉米模拟模型相耦合的方法,模拟了基准气候(BS, 1961—1990 年)、B2 气候情景下考虑和不考虑 CO₂ 直接影响(肥效作用)未来 40 年(2011—2050 年)我国东北玉米生育期和产量的变化状况。结果表明:不考虑 CO₂ 直接影响时,未来 40 年的平均变化情况以减产为主,幅度和熟性密切相关。在松嫩平原部分地区减产幅度最大,超过 20%,但 21 世纪 20 年代的 10 年间东北玉米减产面积小,大部分地区表现为 20% 以内的增产。不考虑 CO₂ 直接影响,玉米产量变化是由气象条件变化引起的,温度过高和降水减少是玉米减产的主要原因;CO₂ 直接影响对玉米产量的补偿效应不可忽视。与不考虑 CO₂ 直接影响的情况相比,未来 40 年平均的产量变化地理分布形势相似,但产量变化的幅度减小,减产幅度达到 10% 以上的范围缩小。研究气候变化对东北玉米产量的影响时,必须同时考虑 CO₂ 肥效作用和气象条件的变化,在 B2 情景下未来 40 年内,各年代东北玉米生育期变化的地理分布相对比较稳定,和玉米熟性关系紧密。

关键词: 气候变化; CO₂; 肥效作用; 玉米产量

引 言

以全球变暖为主要特征的气候变化已经对脆弱的生态系统和社会系统造成严重影响,受到国际社会的广泛关注^[1-3]。IPCC 第 4 次评估报告^[4]明确指出,全球平均温度的升高,超过 90% 的可能性是由于人为温室气体,特别是 CO₂ 浓度的增加引起的。CO₂ 浓度升高影响农作物的方式除了导致气候条件变化对农作物产生间接影响外,还包括对作物生理生化过程产生直接影响,即肥效作用。我国东北地区纬度偏高,气候变化显著,表现为增暖明显,降水量减少,干旱程度显著增加等^[5]。20 世纪 80 年代以来,东北春季提前,生长季内总积温增加^[6]。东北地区的气候资源最适于玉米高产,其玉米产量约占我国玉米总产量的 30%。因此,东北地区气候变化必将对玉米生产产生显著的影响,集中表现在 3 个方面:玉米生产的不稳定性增加,产量波动大;玉

米生产布局和结构出现变动,种植制度发生较大变化;玉米生产条件的改变,增加了成本和投资等^[7]。

IPCC^[8]于 2000 年发布的温室气体《排放情景特别报告》(SRES)设计了 4 种新的温室气体排放方案,这样使得人们可以对未来不同发展模式下的气候变化影响进行评估。葛道阔等^[9]利用全球气候模式与 CERES 水稻模型结合分析了未来气候变化对中国南方水稻生产的阶段性影响。熊伟等^[10]采用 PRECIS 区域气候模式和 CERES-Maize 相结合,讨论 SRES 中 A2 和 B2 方案下 2071—2100 年我国雨养和灌溉玉米产量的变化趋势。SRES 情景中 B2 方案的特点是区域性的可持续发展,世界人口缓慢但持续增长,温室气体排放维持中低水平。因此,SRES B2 情景较为符合我国未来经济发展模式。本文将 PRECIS 模式对中国区域气候基准时段(1961—1990 年)和 B2 情景下未来 40 年(2011—2050 年)的模拟结果应用于改进后的东北玉米生长模拟模型^[11]中,评估未来 40 年我国东北玉米产量和

2013-08-05 收到,2014-02-21 收到再改稿。

资助项目:华风青年科技创新项目(2012004)

* 通信作者, email: yinzhc@163.com

生育期的变化情况。与前人的研究不同,本文针对我国东北地区玉米产量开展研究,时间段为 2011—2050 年,且在是否考虑 CO₂ 直接影响两种情况下进行数值模拟,综合评估气候变化对我国东北玉米产量的影响。

1 资料与模型

1.1 资料

①区域气候模式输出的 1961—1990 年和 B2 情景下 2011—2050 年我国东北地区气象数据,包括逐日最高气温、最低气温、太阳总辐射、水汽压、降水量、风速。②IPCC 提供的 CO₂ 排放方案。

1.2 未来气候情景

本文采用的未来气候情景数据与文献[12]一致,由 PRECIS 区域气候模式^[13]模拟产生。气候基准时段的模拟结果与观测资料的对比分析表明:PRECIS 模式能很好地模拟中国区域地面气温的局地分布特征,对中国北方地区降水模拟效果优于南方地区,模拟的降水型态分布较好^[12]。以 1961—1990 年逐日最高气温、最低气温、降水量和太阳总辐射等气象信息作为基准时段(BS)气候状况。由 B2 排放方案驱动模拟得到的 2011—2050 年逐日气象信息,代表未来的气候变化状况。模拟结束后将模拟结果进行反比等距插值^[14]到 0.25°×0.25°的格点上,形成作物模型数据库。然后,将气象数据逐

年逐格点输入到东北玉米模拟模型中进行模拟,得到 B2 情景下未来东北玉米的产量和生育期。

A2 情景是国内或区域资源情景,人口持续增长,新技术发展缓慢,注重区域性合作;B2 情景描述了一个重点集中于经济、社会和环境持续发展的地方性方案。相比之下,SRFS B2 情景较为符合我国未来经济发展模式。B2 情景下,温室气体排放维持中低水平,2010 年、2020 年、2030 年、2040 年、2050 年 CO₂ 浓度分别比 1990 年增加 10%、16%、22%、28%和 34%(图 1)。图 2 给出的是东北玉米生长季内最高气温、最低气温、降水量和辐射相对于基准时段(1961—1990 年)平均值的变化情况。2011—2050 年,温度较基准时段高,且保持上升趋势,降水总体偏少,太阳总辐射偏多。需要注意的是,21 世纪 20 年代玉米生长季内降水以偏多为主,可偏多 50%以上。

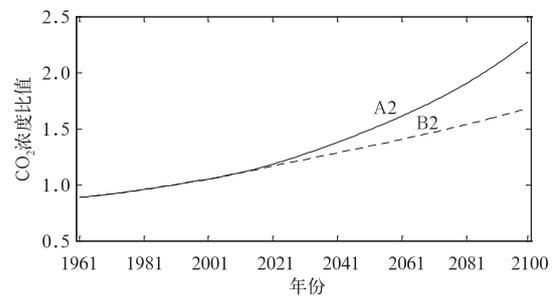


图 1 CO₂ 浓度相对于 1990 年 CO₂ 浓度的比值
Fig. 1 The specific value of CO₂ concentration relative to the concentration in 1990

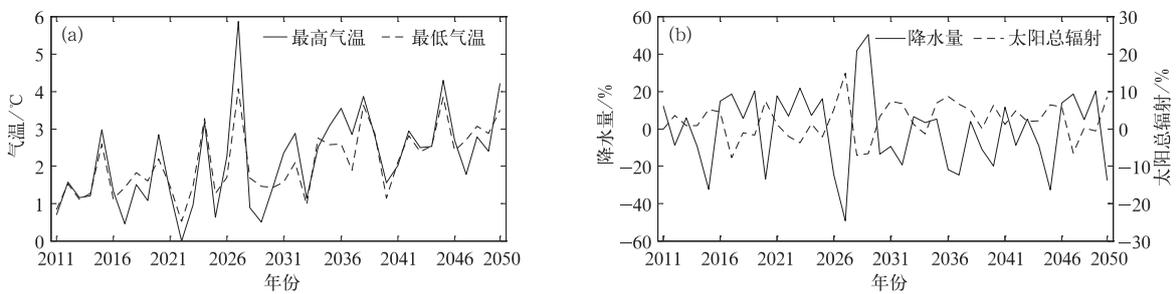


图 2 B2 情景下 2011—2050 年我国东北玉米生长季内最高和最低气温(a)及降水量和太阳总辐射(b)相对于基准时段(1961—1990 年)平均值的变化

Fig. 2 Under B2 Scenario, the variation of maximum temperature and minimum temperature(a), rainfall and total solar radiation(b) in growing season of maize from 2011 to 2050 relative to baseline(1961—1990)

1.3 东北玉米生长发育模拟模型

本文采用东北玉米生长模拟模型^[11,15-16],该模型曾利用 2007—2008 年锦州、榆树的玉米试验资料进行了有效性检验,结果表明:模型对叶面积指数及

其他器官干重的模拟值与实测值基本符合^[11],说明该模型对于模拟玉米干物质生产具有较好的代表性。本文在原模型的基础上加入了 CO₂ 浓度的直接影响模块,使 CO₂ 浓度成为模型的一个可选变

量,改进的模型可以模拟 CO_2 直接影响。在模型中,玉米熟性被分为晚熟、偏晚熟、中熟、中早熟、早熟(图 3)。模型将黑龙江小兴安岭地区作为玉米的非种植区来处理,而长白山地区的玉米种植量虽然比较小却仍然被认为是玉米的种植区。

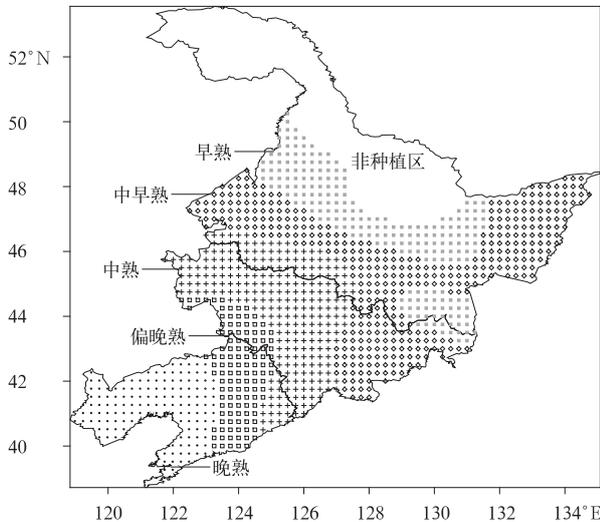


图 3 东北玉米生长模拟模型中的玉米熟性分区

Fig. 3 The maturity in maize growth model

CO_2 浓度持续增高会导致未来气候发生显著变化,玉米的生长发育也会受到较大影响。但 CO_2 浓度变化影响玉米的机制非常复杂,除了能引起气象要素发生变化间接影响玉米的生长发育外,还能直接对玉米的光合作用和蒸腾作用等生理特征产生显著影响。模型中 CO_2 对光合作用的直接影响主要通过 CO_2 同化速率体现,而对蒸腾作用的直接影响主要通过水汽传输的冠层阻力来体现。

1.3.1 CO_2 对光合作用的影响

CO_2 浓度升高对光合作用的影响主要有两种途径:一是由于大气中 CO_2 浓度增加,使得外界大气和叶片内部之间的 CO_2 浓度梯度增大,减少了气孔对 CO_2 的阻力;二是高 CO_2 浓度本身就使叶片的光合作用速率增加,但增加程度会受到诸如温度、水分等其他外界环境因子的影响。

模型中叶片光合作用对所吸收的光的反应,可用总光合速率与所吸收辐射强度的负指数函数形式描述:

$$A_L = A_m (1 - e^{-\frac{I}{A_m}}), \quad (1)$$

式(1)中, A_L 为相对冠层高度 L 处瞬时 CO_2 同化速率(单位: $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), A_m 为光饱和时 CO_2 同化速率(单位: $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), I 为吸收辐射量

(单位: $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), ϵ 为初始光能利用率。

由式(1)可以看出,作物光合作用-光反应曲线主要由参数 A_m 描述,根据 Casanova 等^[17]的研究成果(式(2)、式(3)),将 CO_2 浓度对光合作用的直接影响加入到光合作用子模块中:

$$A_m = A_{m0} \times F_{\text{CO}_2}, \quad (2)$$

$$F_{\text{CO}_2} = 1 + \beta \times \ln(C_X/C_0). \quad (3)$$

其中, A_{m0} 为品种特定遗传参数, C_0 和 C_X 分别为对照 CO_2 浓度 ($350 \times 10^{-6} \mu\text{mol/L}$) 和处理 CO_2 浓度, β 为常数(取 0.19)。

1.3.2 CO_2 对蒸腾作用的影响

CO_2 浓度变化对蒸腾作用影响也很大,几乎所有 C4 作物都会通过收缩气孔对高浓度 CO_2 做出响应。由于气孔开度减小,气孔阻抗将会增大,这必然会导致叶片水汽的释放受阻,蒸腾作用减少,使水分利用效率提高,给玉米等 C4 作物带来正效应。

模型采用 Penmen-Monteith 法计算潜在蒸散量,可表示为

$$E_{T0} = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a C_p \frac{(e_s - e_a)}{\gamma_a}}{\lambda(\Delta + \gamma(1 + \frac{\gamma_s}{\gamma_a}))}. \quad (4)$$

式(4)中, R_n 是净辐射(单位: $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), G 是土壤热通量(单位: $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), γ 是干湿表常数(单位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{C}^{-1}$), ρ 是空气密度(单位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), C_p 是空气定压比热(单位: $\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$), e_s 是饱和水汽密度(单位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), e_a 是空气水汽密度(单位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), Δ 是饱和水汽密度函数的斜率(单位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{C}^{-1}$), γ_a 是热量和水汽传输的气动阻力(单位: $\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$), γ_s 是水汽传输的冠层阻力(单位: $\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$), λ 是汽化热(单位: $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$)。

当对同一作物进行研究时,如果其他环境条件都保持一致,仅当 CO_2 浓度变化时,式(4)中只有变量 γ_s 发生变化。原模型中 γ_s 设为常数,即 $r_{s0} = 70 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ 。为了使模型对 CO_2 浓度的变化作出相应的响应,本文参考 FAO^[18] 和 Easterling 等^[19] 研究成果,得出冠层阻力受 CO_2 变化影响的模型:

$$r_{sc} = 1/(1.4 - 0.4 \times C_X/C_0) r_{s0}. \quad (5)$$

式(5)中, r_{sc} 为修改模型后随 CO_2 变化的冠层阻力。

1.3.3 CO_2 直接影响敏感性验证

应用锦州 2007 年气象和试验资料进行敏感性分析,在其他参数不变的条件下,假定大气环境 CO_2 浓度分别为 $350 \times 10^{-6} \mu\text{mol/L}$, $500 \times 10^{-6} \mu\text{mol/L}$,

$700 \times 10^{-6} \mu\text{mol/L}$, 对 CO_2 的直接影响进行模拟试验。由表 1 可以看出, 与当前状况相比较, 仅考虑 CO_2 对玉米光合作用影响(PS 试验)时, 产量上升但幅度不大, 当 CO_2 浓度达到 $700 \times 10^{-6} \mu\text{mol/L}$ 时, 产量也仅增加了 2%。但当仅考虑 CO_2 对玉米蒸腾作用影响(TS 试验)时, 产量上升并且幅度较大, CO_2 浓度达到 $700 \times 10^{-6} \mu\text{mol/L}$, 产量增加 18.9%。综合考虑 CO_2 对光和蒸腾作用影响(PT 试验)时, 由于

两者对产量均为正效应, 产量增加幅度最大。当 CO_2 浓度达到 $700 \times 10^{-6} \mu\text{mol/L}$ 时, 产量增加 22%, 这与控制试验结果(玉米产量可能增加 22.88%)非常吻合^[20]。修改后的模型能够较好地模拟 C4 作物, 尤其是玉米在高 CO_2 浓度下光合作用和蒸腾作用的不同影响程度, 且产量的提高幅度也较为符合试验研究事实。

表 1 不同 CO_2 浓度下玉米产量及增幅

Table 1 Maize yields and their increasements under different CO_2 concentrations

CO_2 浓度/ $(10^{-6} \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	PS 试验		TS 试验		PT 试验	
	产量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	增幅/%	产量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	增幅/%	产量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	增幅/%
350	15598.5	0.0	15713.9	0.7	15713.9	0.7
500	15779.8	1.2	16580.2	6.3	16759.4	7.4
700	15915.4	2.0	18547.7	18.9	19031.7	22.0

2 结果分析

为了全面评估气候变化对我国东北玉米产量的影响, 从是否考虑 CO_2 直接作用出发, 共进行了 3 次模拟, 分别为基准时段的模拟(BS: 1961—1990 年)、不考虑 CO_2 直接作用的 B2 情景下的模拟(B2N: 2011—2050 年)和考虑 CO_2 直接影响的 B2 情景下的模拟(B2D: 2011—2050 年)。在定量评估未来气候变化对东北玉米产量和生育期的影响时, 采用产量相对变化量(情景模拟产量与 BS 基准模拟产量之差占 BS 基准模拟产量的百分比)和生育期绝对变化量(情景模拟生育期与 BS 基准模拟生育期之差)来表示, 其中基准时段模拟的产量和生育期均为模拟产量和生育期的 30 年平均值。

2.1 不考虑 CO_2 肥效作用时东北玉米产量变化

未来 40 年的气候变化对东北玉米产量的影响非常显著, 并且不同的地理位置、不同年代存在显著差异(图 4)。2011—2050 年的平均变化以减产为主, 仅在三江平原、牡丹江地区、长白山脉及辽宁西端小部分地区存在增产的现象。在松嫩平原部分地区减产幅度最大, 超过 20%。21 世纪 10 年代, 整个东北地区的增产区域与 40 年平均的情况大致相同, 但减产超过 20% 的区域扩展到整个松嫩平原及吉林西部地区, 其中还有小部分地区减产幅度超过 30%。21 世纪 20 年代玉米产量的变化形势和其他年代相差最大, 仅在辽宁的东部和黑龙江的小兴安岭存在小幅减产, 其他大部分地区都表现为增产, 黑

龙江和吉林交接的带状区域增产幅度超过 20%。2031—2050 年东北玉米产量保持以减产为主的变化趋势, 且幅度也越来越大。与此同时, 三江平原、牡丹江地区、长白山脉及辽宁西端小部分地区仍表现为增产。21 世纪 30 年代在辽宁的大部、吉林的中西部和黑龙江的松嫩平原都表现出 20%~40% 的减产, 其中在辽河平原有小块减产超过 40% 的区域。21 世纪 40 年代玉米产量变化分布与 21 世纪 30 年代分布形势大体相似, 但最大减产区移至吉林的西部和黑龙江的松嫩平原东侧, 减产幅度大于 40%。除了长白山附近地区, 中熟和中早熟品种的减产趋势明显高于其他熟性, 而晚熟和偏晚熟的玉米产量变化幅度比较小。

B2N 模拟中玉米产量的变化是由气象条件的变化引起的, 温度过高和降水减少是玉米减产的主要原因, 减产幅度也随着时间的推移越来越大。21 世纪 20 年代东北玉米生长季内降水量以偏多为主, 有利于玉米的生长发育和产量形成。

2.2 考虑 CO_2 肥效作用时东北玉米产量变化

B2 情景描述的是一个可持续发展的地方性方案, CO_2 的排放量明显低于其他情景, 但是到 2050 年全球 CO_2 排放量相对于基准年(1990 年)依然增长了接近 40%, CO_2 直接影响对玉米产量的补偿效用不可忽视。由图 5 可见, 与不考虑 CO_2 直接影响的情况相比, 未来 40 年平均的产量变化地理分布形势相似, 但产量变化的幅度减小, 减产幅度达到 10% 以上的范围缩小。松嫩平原减产幅度大于 20% 的情况已经消失, 辽河平原也仅存不连续的减产

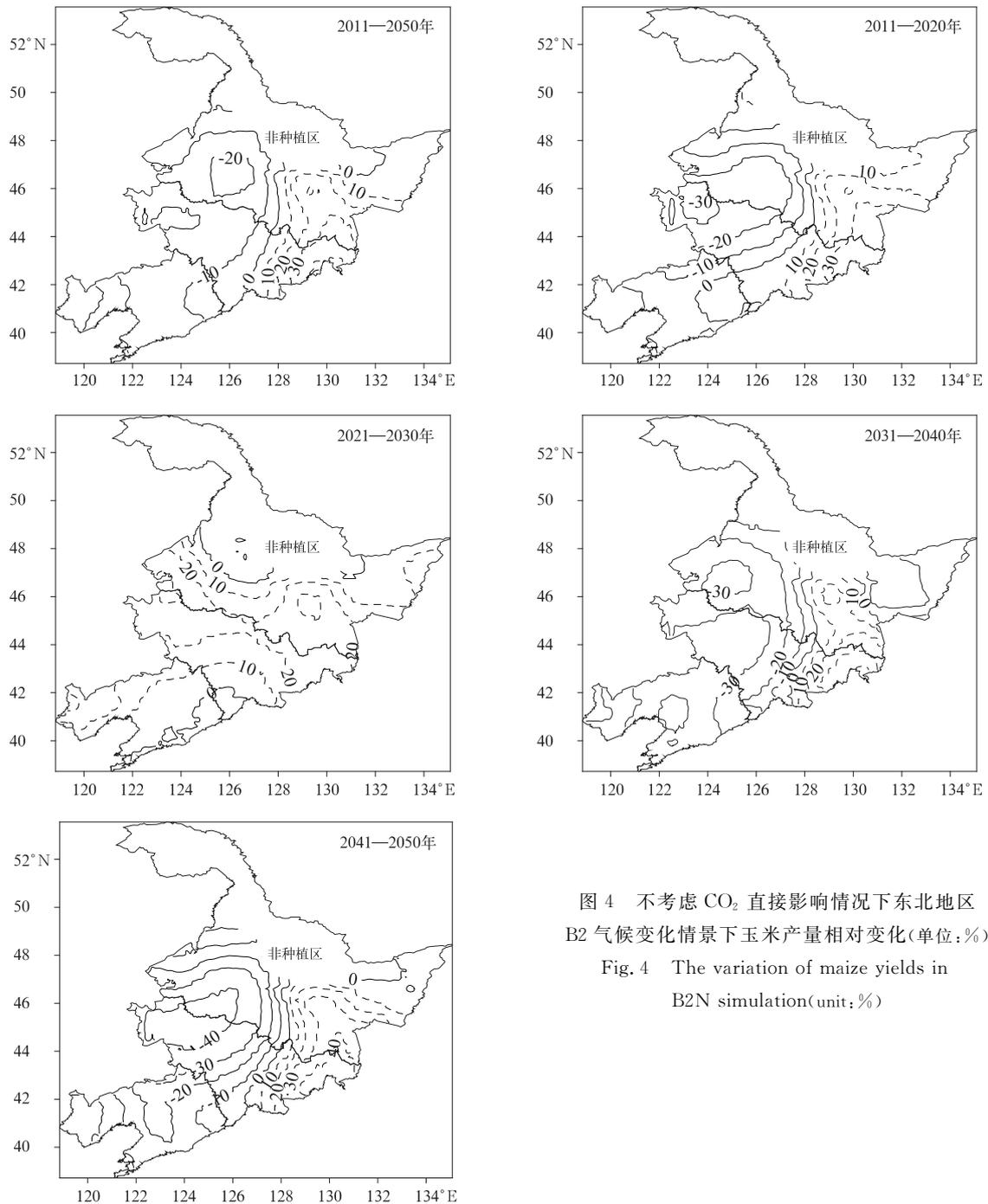


图4 不考虑 CO_2 直接影响情况下东北地区B2气候变化情景下玉米产量相对变化(单位:%)

Fig. 4 The variation of maize yields in B2N simulation(unit: %)

超过10%的区域。此外,三江平原、牡丹江地区、长白山的增产幅度也略有增加。21世纪10年代东北玉米减产区域和减产幅度略有减小, CO_2 直接影响对产量正效应还不明显。但从21世纪20年代开始 CO_2 直接影响变得明显起来,黑龙江和吉林交接的带状增产区域中有超过30%的区域出现。21世纪30年代在考虑了 CO_2 直接影响之后,原来大片减产达到30%~40%以上区域范围显著缩小,减产幅度大部分减弱到20%左右。而21世纪40年代

CO_2 的直接影响变得非常显著。不仅减产区域变小,而且东北平原较大范围的超过40%的减产区域完全消失, CO_2 对产量的正效应非常显著。

B2D模拟和B2N模拟中玉米产量的差别反映了 CO_2 肥效作用对东北玉米产量的正向补偿作用。随着 CO_2 浓度升高, CO_2 肥效作用也变得越来越显著。在研究气候变化对东北玉米产量的影响时,必须同时考虑 CO_2 肥效作用和气象条件的变化。

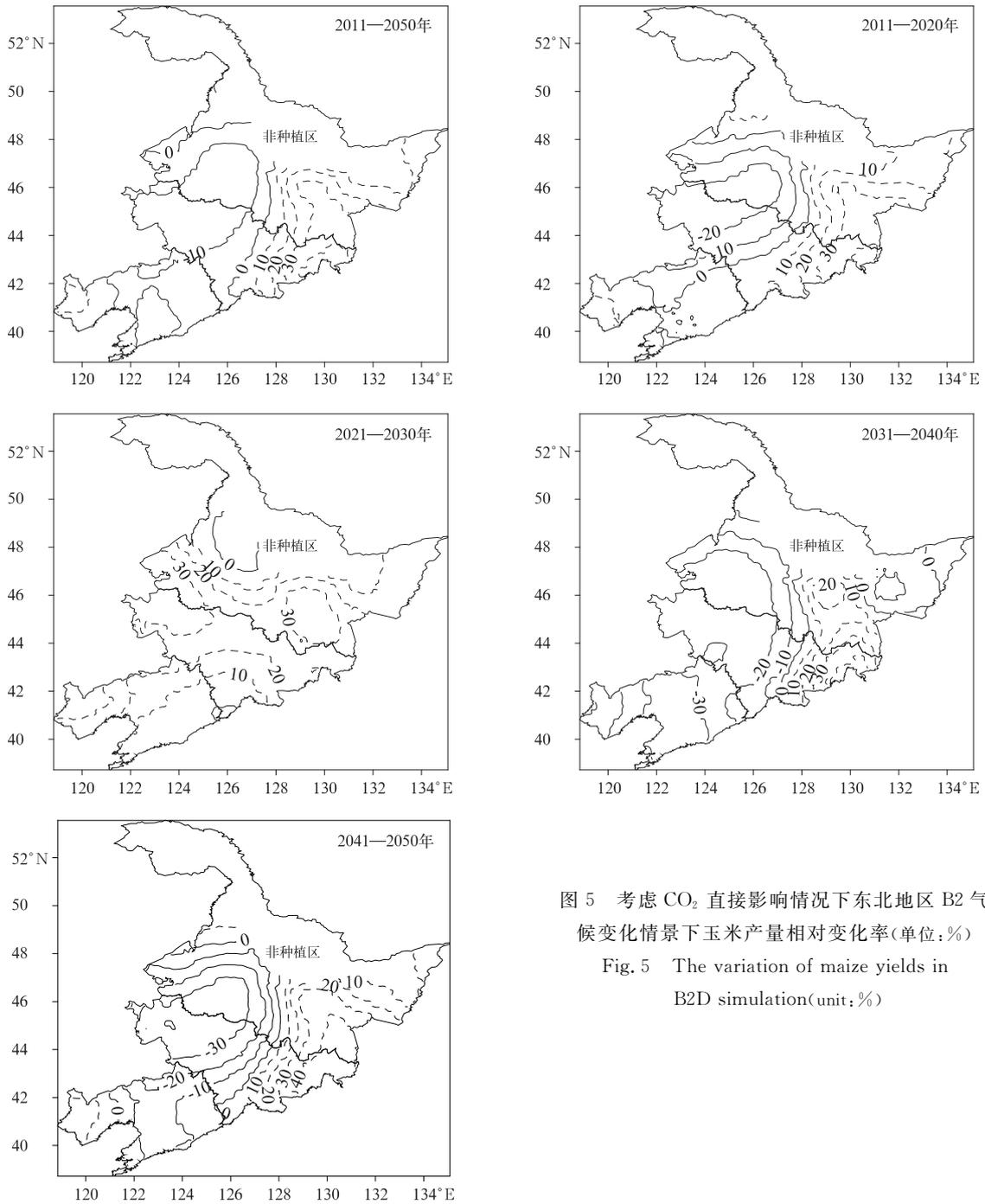


图 5 考虑 CO₂ 直接影响情况下东北地区 B2 气候变化情景下玉米产量相对变化率(单位:%)

Fig. 5 The variation of maize yields in B2D simulation(unit: %)

2.3 B2 气候情景下东北玉米生育期的变化

在 B2 情景下未来 40 年内,虽然每个年代东北玉米生育期变化的具体情况各有不同,但地理分布相对比较稳定,这与玉米熟性关系紧密。由于模型内部对发育阶段的模拟以积温为基础,所以是否考虑 CO₂ 直接影响对生育期无影响,生育期变化主要是由于气候变化中的气温变化引起。中早熟的玉米生育期变化最明显,黑龙江西部地区始终保持 3 d

以上的缩短幅度,黑龙江东部一直保持 6 d 以上的缩短幅度。21 世纪 40 年代大部分中早熟玉米的生育期都缩短了 6 d 以上。而偏晚熟的玉米则一直保持生育期增长的变化特征,其中 21 世纪 10 年代整个偏晚熟种植区延长幅度达到 3 d 以上外,其他年代也有部分地区能超过 3 d 的延长幅度。其他 3 种熟性的玉米生育期变化均不显著,变化幅度保持在 3 d 以内。除长白山区以外的早熟玉米的生育期大

都缩短 3 d 以内。黑龙江的中熟玉米生育期一般都缩短 3 d 以内,而吉林的中熟玉米生育期一般都延长 3 d 以内。晚熟玉米以 122°E 为界,东侧生育期

以延长为主,西侧生育期以缩短为主,变化幅度大都在 3 d 以内(图 6)。

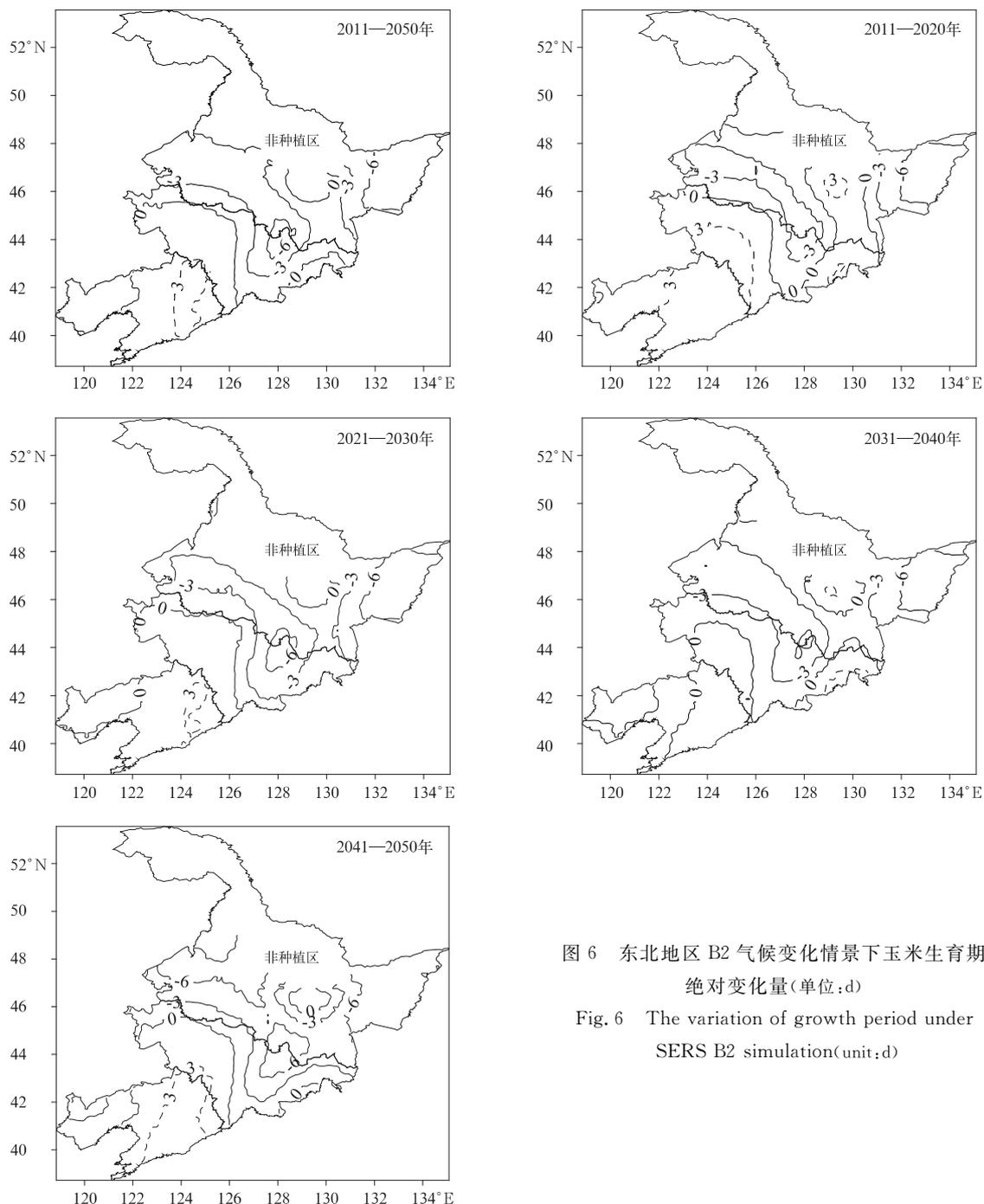


图 6 东北地区 B2 气候变化情景下玉米生育期绝对变化量(单位:d)

Fig. 6 The variation of growth period under SERS B2 simulation(unit:d)

3 结论与讨论

本文提供了一种基于区域气候模式与作物生长发育模型相耦合分析气候变化对玉米生长发育影响

的数值模拟研究方法,分别讨论了 B2 气候情景下,考虑和不考虑 CO₂ 直接影响未来 40 年(2011—2050 年)东北玉米生育期和产量的变化情况,主要结论如下:

1) 不考虑 CO₂ 直接影响时,未来 40 年的气候

变化对东北玉米产量的影响非常显著,且不同地理位置、不同年代也存在显著差异。2011—2050年玉米产量以减产为主,在松嫩平原减产幅度最大,超过20%。而21世纪20年代东北玉米减产面积小,大部分地区表现为20%以内的增产。除长白山地区外,中熟和中早熟品种的减产趋势明显高于其他熟性品种,而晚熟和偏晚熟的玉米产量变化幅度较小。

2) CO₂ 直接影响对玉米产量的补偿效用不可忽视,CO₂ 直接影响从21世纪20年代开始变得明显起来。同不考虑CO₂ 直接影响的情况相比,未来40年平均产量变化地理分布形势相似,但产量变化的幅度减小,减产幅度达到10%以上的范围缩小。

3) 在B2情景下未来40年中,各年代东北玉米生育期变化的地理分布相对比较稳定,与玉米熟性关系紧密。中早熟的玉米生育期缩短明显,而偏晚熟的玉米则一直保持生育期增长的变化特征。其他3种熟性的玉米生育期变化不显著,变化幅度保持在3d以内。

本研究中产量相对变化和生育期绝对变化采用的是基准时段(1961—1990年)模拟产量和生育期的平均值,所以结果相对于1961—1990年平均值具有理论意义。同时,本文讨论的主要是气象产量的变化,未考虑社会产量及作物对气候变化的适应等因素。此外,由于玉米产量和生育期资料的限制,未能给出1961—1990年东北玉米生长发育模拟产量和历史实际产量(生育期)的对比验证。在今后的工作中需要对玉米生长发育模拟模型进一步改进,综合考虑社会经济产量及作物对气候变化的适应等影响,为未来气候变化情景下东北地区玉米产量变化提供依据和参考。

参考文献

- [1] 王石立,庄立伟,王馥棠. 近20年气候变暖对东北农业生产水热条件影响的研究. 应用气象学报,2003,14(2):152-164.
- [2] 谭凯炎,房世波,任三学,等. 非对称性增温对农业生态系统影响研究进展. 应用气象学报,2009,20(5):634-641.
- [3] 高晓容,王春乙,张继权. 气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响. 生态学报,2012,32(7):2110-2118.
- [4] IPCC WG I. Climate Change 2007: The Physical Science Basis; Summary for Policymakers. <http://www.IPCC.Ch/SPM2feb07.PDF>. 2007.
- [5] 徐斌,辛晓平,唐华俊,等. 气候变化对我国农业地理分布的影响及其对策. 地理科学进展,1999,18(4):316-321.
- [6] 郭建平,田志会,张涓涓. 东北地区玉米热量指数的预测模型研究. 应用气象学报,2003,14(5):626-633.
- [7] 信乃谏,程延年. 未来对农业的影响及其对策. 中国农学通报,1995,11(3):1-4.
- [8] Nakicenovic N, Swart R. Special Report on Emission Scenarios. London: Cambridge University Press, 2000.
- [9] 葛道阔,金之庆,石春林,等. 气候变化对中国南方水稻生产的阶段性影响及适应性对策. 江西农业学报,2002,18(1):1-8.
- [10] 熊伟,许吟隆,林而达,等. IPCC SRES A2 和 B2 情景下我国玉米产量变化模拟. 中国农业气象,2005,26(1):11-15.
- [11] 袁东敏,郭建平. 二氧化碳浓度增加对东北玉米生长影响的数值模拟. 自然资源学报,2010,25(5):822-829.
- [12] 许吟隆,张勇,林一骅,等. 利用PRECIS分析SRES B2情景下中国区域的气候变化响应. 科学通报,2006,51(17):2068-2074.
- [13] Jones R G, Noguier M, Hassell D C, et al. Generating High Resolution Climate Change Scenarios Using PRECIS. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 2004.
- [14] 庄立伟,王石立. 东北地区逐日气象要素的空间插值方法应用研究. 应用气象学报,2003,14(5):605-615.
- [15] 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.
- [16] 王石立,马玉平,庄立伟. 东北地区玉米冷害预测评估模型改进研究. 自然灾害学报,2008,17(4):12-18.
- [17] Casanova D, Epema G F, Goudriaan J. Monitoring rice reflectance at field level for estimating biomass and LAI. *Field Crops Res*, 1998, 55: 83-92.
- [18] FAO. Crop Evapotranspiration. [2009-06-15]. [http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e06.htm#\(bulk\)%20surface%20resistance%20\(rs\)](http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e06.htm#(bulk)%20surface%20resistance%20(rs)).
- [19] Easterling W E, Rosenberg N J, Mckenney M S, et al. Preparing the erosion productivity impact calculator (EPIC) model to simulate crop response to climate change and the direct effects of CO₂. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1992, 59: 17-34.
- [20] 郭建平. 中国北方地区主要植物对高二氧化碳浓度和土壤干旱的响应. 北京: 气象出版社, 2003.

Numerical Simulation of Maize Yield Variation in Northeast China Under B2 Climate Change Scenario

Yuan Dongmin¹⁾ Yin Zhicong²⁾ Guo Jianping³⁾

¹⁾ (Public Meteorological Service Center, CMA, Beijing 100081)

²⁾ (Beijing Municipal Meteorological Bureau, Beijing 100089)

³⁾ (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

In order to assess the variation of maize growth due to climate change, the maize yield model is upgraded and coupled with a regional climate model named PRECIS. The maize growth period and yield in Northeast China are simulated both under baseline (1961–1990) and B2 climate change scenario (2011–2050). The variations over the next 40 years are predicted by considering and not considering CO₂ fertilizer efficiency (direct influence) separately. A direct influence module of CO₂ is added into the maize growth model to make concentration of CO₂ as an input variable. The upgraded model can simulate the yield and the increase of C4 crop, especially maize, with different concentration of CO₂. And results fit the field experiments well. Furthermore, this model could distinguish fertilizer efficiency of photosynthesis and transpiration. Under B2 scenario, the temperature rises continuously and is higher than the baseline (1961–1990). The precipitation is less on the whole, and the radiation is more than the baseline. What calls for special attention is that the precipitation is more in the 2020s, which is favorable to maize growth. Without considering CO₂ fertilizer efficiency, the production almost decreases, and the range of reduction closely relates to maturity. The reduction is biggest in parts of Songnen Plain, more than 20%. But in the 2020s, the production in most areas increases less than 20%. The variation is caused by weather condition, and the increasement of temperature and decreasement of precipitation should be the primary cause. As time goes on, the reduction is bigger and bigger. In the 2020s, the precipitation always is greater and beneficial to the maize growth. The CO₂ fertilizer efficiency is important, and its compensation effects on the maize yield is significant. The distribution of the yield variation is similar, but the range is less. As the concentration of CO₂ goes higher, the CO₂ fertilizer efficiency is more and more significant. So, the CO₂ fertilizer efficiency and weather condition must be considered. In the next 40 years, the variation of the maize growth period distributes relatively stable, and closely relates to the maturity. The growth period of mid- and early-maturation shorten obviously, but that of late-maturation elongate persistently. Changes of other three maturities are not obvious.

The variation of yield and growth period has theoretical significance comparing with the average value of 1961–1990. But these results are based on the consideration of climate change barely, without social feedback and adaption to climate change, so the model needs improving in the future.

Key words: climate change; CO₂; fertilizer efficiency; maize yield