

气候变化对东北地区玉米生产的影响

纪瑞鹏¹, 张玉书^{1*}, 姜丽霞², 张淑杰¹,
冯 锐¹, 陈鹏狮¹, 武晋雯¹, 米 娜¹

(1. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016; 2. 黑龙江省气象科学研究所, 哈尔滨 150030)

摘要: 利用气象观测数据、玉米产量及面积资料, 分析了东北地区气候变化事实及对玉米生产的影响。研究表明: 1971 年以来, 东北地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加了 262.8°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温带 (以 2700°C 为例) 平原区向北推进了约 $200\sim 300\text{km}$ 左右, 向东扩展 $50\sim 150\text{km}$ 。1991 年开始玉米生长季 (4~9 月) 降水量持续减少, 年平均水分亏缺量达 391.5mm , 湿润区缩小, 有变干趋势。初霜日推后 $7\sim 9$ 天, 无霜期延长了 $14\sim 21$ 天, 霜冻灾害几率降低。20 世纪 90 年代后, 玉米延迟型冷害进入低发期。随着热量资源的增加, 玉米可种植区范围不断扩大, 种植北界北移东扩, 玉米适播起始时间提前。玉米总产、播种面积增加趋势分别为 $967\text{万 t}/10\text{a}$ 、 $72\text{万 hm}^2/10\text{a}$ 。未来 40 年东北地区玉米产量以减产为主, 与过去 30 年 (1961~1990 年) 相比平均减产 9.5% 左右。调整玉米种植布局和品种搭配, 依靠水利工程和推广旱作农业技术, 选种耐旱、抗病、抗逆性强的玉米品种, 是实现东北玉米生产可持续发展的主要措施。

关键词: 气候变化; 玉米生产; 农业气象灾害; 适应对策

文章编号: 1000-0585(2012)02-0290-09

1 引言

东北地区地处我国中高纬度、地球环境变化速率最大的季风气候区, 该区域气候 (温度与降水) 变化剧烈, 受气候变化影响明显。近百年来东北温度增加了 $1.43^{\circ}\text{C}/100\text{a}$, 是全球增温率的 2 倍, 全国增温率的 3 倍^[1]。全球气候变化, 已经引起与农业生产有关的农业气候资源在数量、质量上的时间和空间变化^[2]。有研究表明: 20 世纪 80 年代以来东北地区春季提前, 生长季延长、生长季内总积温增加、 $>10^{\circ}\text{C}$ 积温带北移, 玉米和水稻晚熟品种的种植范围出现北移和东扩^[3~5]。据预测, 未来我国人口高峰将达 $15\sim 16$ 亿人, 粮食需求总量将达到 6 亿 t 左右, 而我国当前粮食生产能力在 5 亿 t 左右, 相差 1 亿 t。2009 年 11 月国务院发布的《全国新增 1000 亿斤粮食生产能力规划 (2009~2020 年)》确定, 到 2020 年全国将实现增产 1000 亿斤粮食的目标, 东北地区则承担了 30% 的粮食增产能力建设任务, 东北地区商品粮基地的地位凸显。

目前, 对东北地区气候变化的影响研究成果大多是关注增温的正效应, 而且就气候变

收稿日期: 2011-04-15; 修订日期: 2011-11-15

基金项目: 中国气象局气候变化专项 (CCSF-09-13、CCSF-2010-3)

作者简介: 纪瑞鹏 (1972-), 男, 辽宁北票人, 副研究员, 主要从事生态与农业气象、3S 方面科研及业务工作。
E-mail: jiruipeg@163.com

通讯作者: 张玉书 (1963-), 辽宁黑山人, 正研级高工。主要从事农业气象与卫星遥感方面的研究。

E-mail: yushuzhang@126.com

化对农业生产的研究来看，在水分条件得以保证的前提下，过去几十年气候变暖对东北地区的粮食增产有明显促进作用^[6,7]，但玉米生长季干旱风险有所增大^[8]，更多研究集中在利用各种模式模拟不同未来气候变化情景下对作物产量的影响^[9~13]，对于过去农业气候资源的综合演变、主要农业气象灾害特点及对玉米生产的影响研究还不够。因此，本文利用气象观测数据、玉米产量及面积资料，分析东北地区玉米生产的气候变化事实，总结气候变化对玉米生产的影响，并提出东北地区玉米生产的气候变化适应对策。

2 资料来源与研究方法

2.1 资料来源

气候变化事实分析使用了东北地区 172 个气象台站 1971~2008 年共 38 年的日平均气温、日最低气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、降水量、蒸发散等要素气象数据，来源自东北三省气象局；玉米产量、面积数据为 1961~2008 年共 48 年的数据，来源自东北三省统计年鉴；东北地区 1:25 万地理信息数据，来源自国家基础地理信息中心。

2.2 主要方法

玉米生产的气候变化事实和农业气象灾害变化分析主要使用了相关性及线性倾向率等数理统计方法； $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温年代际变化及玉米品种种植布局变化分析主要使用了多元回归模拟插值方法^[14]。

3 东北地区玉米生产的气候变化事实

3.1 玉米生产气候条件的主要变化特征

3.1.1 热量资源增加，积温带东移北扩趋势明显 1971 年以来，东北地区热量资源持续增加， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加了 262.8°C ，辽宁省增加了 267.9°C ，吉林省增加了 276.6°C ，黑龙江省增加了 251.0°C （表 1）。

表 1 1971 年以来东北地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温变化趋势（ $^{\circ}\text{C}$ ）

Tah 1 The variation trend of accumulated temperature of $\geq 10^{\circ}\text{C}$ in Northeast China since 1971					
$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2008	1971~2000
辽宁省	3313.06	3429.08	3529.08	3518.05	3424.04
积温增量		116.02	100.00	51.07	
吉林省	2711.03	2750.07	2892.06	2987.09	2784.06
积温增量		39.04	141.09	95.03	
黑龙江省	2451.09	2499.07	2527.05	2702.09	2492.05
积温增量		47.08	27.08	175.04	
东北地区	2769.04	2834.04	2914.02	3032.02	2839.00
积温增量		65.00	79.08	118.00	

伴随热量资源增加，积温带发生变化，北移东扩显著。以 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 2700°C 为例，平原区向北推进了约 200~300km 左右，向东扩展 50~150km 不等（图 1），这与缪启龙等研究的亚热带北界向北推移有相似的规律^[15]。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温年代际的变化趋势证明，东北地区玉米生产的热量资源更丰富，特别是北部地区热量条件和农业生产环境进一步得到改善。

3.1.2 生长季降水量前期增加, 后期减少

玉米生长季(4~9月)降水量呈现前期增加后期减少的特点(表2)。20世纪80年代与70年代相比, 东北地区生长季降水量呈现增加趋势, 南部地区增加幅度小, 越往北增加幅度越大, 辽宁增加22.9mm, 吉林增加59.9mm, 黑龙江增加62.2mm。90年代, 东北地区生长季降水量出现明显减少趋势。2001~2008年, 辽宁大部、吉林西部和东部及黑龙江三江平原地区降水依然是处于减少态势, 但黑龙江大部 and 吉林中部地区降水已经出现增加趋势。

3.1.3 参考蒸散量变化阶段性明显, 有变干趋势 1961~2000年东北地区参考蒸散量呈下降趋势, 每10年减少15.8mm。进入21世纪开始上升, 而且趋势明显, 辽宁上升了104mm, 增幅最大, 与20世纪60年代相当。1961~1983年参考蒸散量基本高于平均值, 1983年之后低于平均值, 2000年后有所回升。

春季参考蒸散量每10年下降4.2mm, 其次为夏季, 秋季和冬季参考蒸散量反而呈弱增

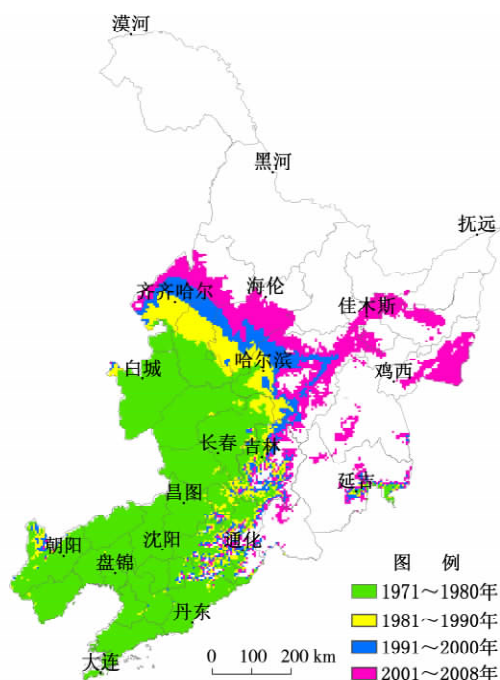


图1 东北地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温
(以 2700°C 为例)年代际变化

Fig 1 The decadal variation of accumulated temperature of $\geq 10^{\circ}\text{C}$ in Northeast China

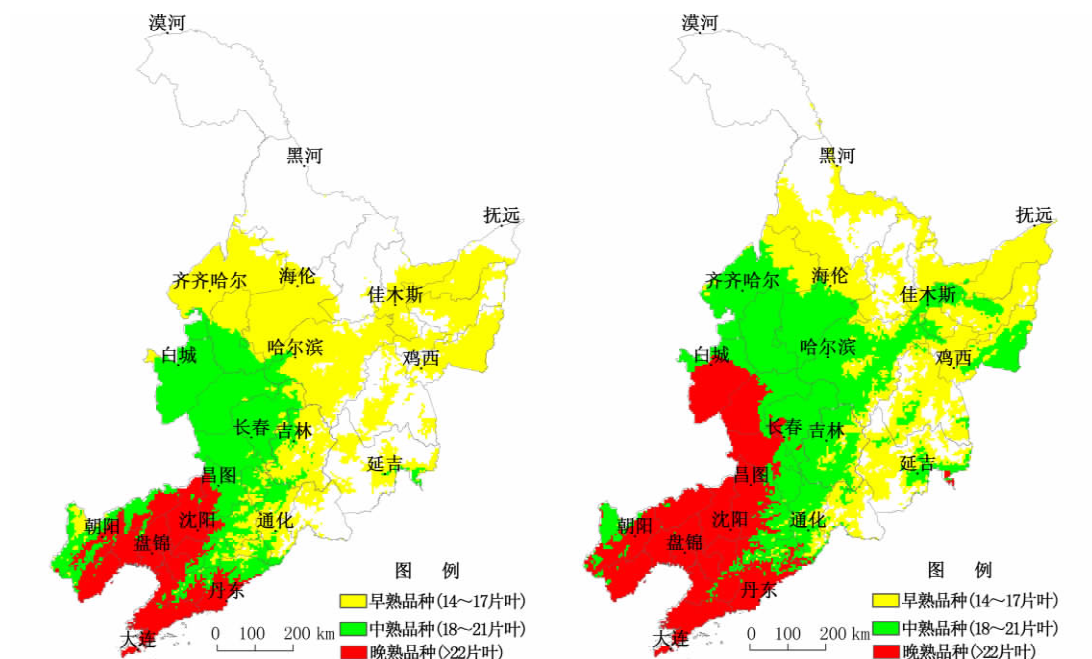


图2 东北地区玉米种植布局年代际变化(左: 1971~1980年, 右: 2001~2008年)

Fig 2 The decadal variation of maize cultivation layout in Northeast China (L: 1970s, R: 2001~2008)

加的趋势。由于降水量的减少趋势大于参考蒸散量的减少趋势，证明了东北地区存在着逐渐变干的趋势（表 3）。参考蒸散量变化趋势存在地区间差异。东北西部地区倾向率为 $-5 \sim -36\text{mm}/10\text{a}$ ，而东北东南部参考蒸散量的上升趋势较明显，增幅一般为 $1 \sim 20\text{mm}/10\text{a}$ 。

表 2 1971 年以来东北地区生长季降水量年代际变化趋势（mm/10a）

Tah 2 The decadal variation of precipitation in growing period in Northeast China since 1971 (mm/10a)

	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2008
辽宁省	559.04	582.03	562.09	519.00
增幅		22.09	-19.04	-43.09
吉林省	504.07	564.06	501.04	498.09
增幅		59.09	-63.02	-2.05
黑龙江省	424.08	487.00	467.03	470.08
增幅		62.02	-19.07	3.05

表 3 东北地区参考蒸散量和降水量气候倾向率（mm/10a）

Tah 3 The climatic trend of evapotranspiration and precipitation in Northeast China (mm/10a)

	春季	夏季	秋季	冬季	年
降水量	1.07	-8.00	-3.03	0.09	-8.07
参考蒸散量	-4.02	-2.02	0.03	1.06	-4.04

3.1.4 水分亏缺程度加剧 东北地区全年、春季、秋季和冬季以水分亏缺为主，夏季水分有盈余，但夏季水分盈余量随时间下降较明显，平均每 10 年减少 3.4mm，证明夏季出现了逐渐变干的趋势。水分亏缺量从南到北、由西向东逐渐减小，亏缺的高值区分布在辽宁西部和南部地区，低值区分布在东部山区。水分亏缺严重区主要位于东北西部和辽东半岛西部，1981~1990 年是水分亏缺程度较轻的时期，2001~2008 年水分亏缺严重区已经扩大到辽宁 60%的面积、吉林西部、黑龙江西南部和东部部分地区。

3.2 玉米生产农业气象灾害变化特点

3.2.1 霜冻灾害 东北地区是我国霜冻灾害高发区。黑龙江省纬度高，热量条件差于吉林和辽宁两省，秋季降温速度快，更易受初霜冻影响，而辽宁省热量充足，霜冻对玉米生产造成危害的几率相对较小。

黑龙江省主要农区初霜冻出现的日期集中在 9 月中下旬，三江平原出现时间晚于其它地区；吉林省初霜冻出现的日期主要集中在 9 月下旬~10 月上旬；辽宁省的辽北地区出现日期以 9 月下旬居多，其它地区多数年份出现在 10 月份。

东北地区初霜冻出现日期呈现逐年推迟趋势，1961~2008 年间，初霜日延后 7~9 天，无霜期延长了 14~21 天。黑龙江省初霜冻出现日期平均推迟了 7.2 天，吉林省初霜冻出现日期平均推迟了 8.7 天，辽宁省初霜冻出现日期平均推迟了 6.6 天（表 4）。

东北地区初霜冻出现时间由北向南逐渐推迟趋势，黑龙江省出现最早，辽宁省出现最晚，平均出现时间相差 16 天，初霜冻出现时间与纬度和海拔高度密切相关，初霜冻对东北北部和东部山区玉米生产威胁最大。

表 4 东北地区 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 初霜冻出现日期年代际变化(日序以 9 月 1 日为 1)

Tab 4 The decadal variation of early frost date in Northeast China

日序	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2008
辽宁	42.02	43.04	45.06	47.02	48.08
吉林	27.01	31.04	32.00	35.08	35.08
黑龙江	25.04	28.07	29.09	31.00	32.06

3.2.2 低温冷害 东北地区玉米生产以延迟型冷害为主。延迟型低温冷害主要出现在 20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代和 90 年代前期,60 年代和 70 年代为低温冷害高发期,80 年代为转折时期,呈减少趋势,90 年代以后为低温冷害低发期。

延迟型低温冷害的发生由北向南呈减少趋势。海拔较高、纬度较高的地区以及山地丘陵为低温冷害多发区,一般低温冷害频率高值多出现在黑龙江省、吉林西北部和东南部、辽宁的西北部;严重低温冷害频率高值区位于黑龙江省。

4 气候变化对东北玉米生产的影响

东北地区总土地面积 7910 万 km^2 ,耕地面积 2501.9 万 km^2 ,占全国耕地面积的 18.1%,是我国最大的玉米优势种植区,年玉米产量达 4000 万 t 左右,约占全国玉米总产量的 1/3,稳居全国首位^[16]。玉米一直是东北地区的当家作物,种植面积不断扩大,2009 年种植面积已达 930.3 万 hm^2 ,约占粮食作物播种面积的 48%,玉米总产量为 4916 万吨,占粮食产量的 57%。这其中有着东北地区为应对气候变化做出积极调整的原因。

4.1 气候变化对玉米种植布局的影响

玉米叶片数的多少代表玉米品种的熟型,东北地区玉米早熟品种对应 14~17 片叶,中熟品种对应 18~21 片叶,22 片叶以上为晚熟品种。由于气候、地理条件的不同,每种熟型的玉米品种都有一定的适宜种植范围,越区种植就可能浪费热量资源或因热量资源不足而导致低产或减产。

研究表明,成熟度(实际百粒重与品种正常成熟的百粒重之比)达到 1 的玉米品种与生育期内 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温存在很明显的线性关系^[17]:15 片叶子的玉米品种完全成熟时所需 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温约为 2400 度·日,每多一片叶子的玉米品种所需活动积温增加 100 度·日,以此类推,22 片叶子的玉米品种完全成熟时所需生育期内 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温约为 3100 度·日。

东北地区不同玉米品种种植区呈现由西南向东北依次布局的规律(图 2)。1971~1980 年,晚熟品种可种植区主要分布在辽宁南部、辽西大部、辽河平原中下游地区,中熟品种的可种植北界位于泰来~肇州~双城~榆树~舒兰~吉林~辽源~抚顺~本溪~宽甸以南地区,早熟品种的北界位于讷河~克东~海伦~铁力~木兰~依兰~鹤岗~萝北一带。

随着热量资源的不断增加,玉米不同品种可种植区范围不断扩大,种植北界北移东扩。2001~2008 年,晚熟品种可种植区已经遍布除辽宁东部山区和辽西西北部地区以外的辽宁绝大部分地区,吉林的白城~大安~乾安~公主岭~四平一带以西地区也可种植。中熟品种可种植北界已经移动到讷河~依安~海伦~铁力~木兰~依兰~汤原~萝北~富锦一线。黑龙江中部偏北地区也可以种植早熟玉米品种。总体来说,目前辽宁大部、吉林

西南部的热量资源比较丰富，正常年份基本上都可以保证晚熟型玉米的正常成熟。

4.2 气候变化对玉米适播期的影响

日平均气温稳定通过 8℃，是满足玉米播种的热量指标^[17]。通过分析日平均气温稳定通过 8℃的起始时间的年代际变化，发现玉米适播起始时间相应提前。4 月 15 日前日平均气温稳定通过 8℃区域，20 世纪 70 年代主要分布在辽宁地区，80 年代扩展到吉林中西部地区，21 世纪初扩展到吉林大部地区。

4.3 气候变化对玉米种植面积的影响

东北地区玉米种植面积整体呈现逐年增加的趋势，这其中影响因素很多，特别是 2000~2004 年，由于国家执行大豆种植补贴和玉米订购调减政策，玉米种植面积增幅有一个明显下降，但整体变化依然成增加趋势，其中为适应气候变化做出的调整也是玉米种植面积增加的原因之一。

东北地区粮食作物和玉米播种面积都呈波动增加的趋势（图 3），其中粮食作物增幅为

22 万 hm²/10a，玉米增幅为 72 万 hm²/10a。通过对东北三省的粮食作物播种面积变化分析（表 5），吉林省玉米播种面积增长速度最快，为 33 万 hm²/10a，其次为黑龙江省，增幅为 24 万 hm²/10a，辽宁省增幅为 19 万 hm²/10a。

4.4 气候变化对玉米产量的影响

东北地区粮食作物和玉米、水稻、大豆总产都呈增加趋势，其中粮食作物的增长速度最快，增幅为 1368 万 t/10a，三大作物中玉米产量增速最快，增幅为 967 万 t/10a，其中吉林省的增长速度最快，达到了 492 万 t/10a，辽宁增长速度最慢，为 227 万 t/10a，黑龙江省增幅为 256 万 t/10a（表 5）。随着热量资源的增加，东北玉米总产、单产均呈现增产趋势，与≥10℃积温的决定系数（R²）分别为 0.2573、0.2446，说明玉米产量的增加有约 25%左右的贡献可用热量资源的增加来解释。

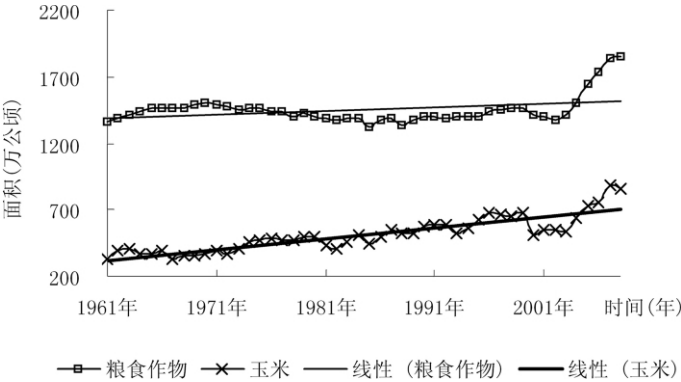


图 3 东北地区粮食及玉米播种面积变化
Fig.3 The variational curve of grain and maize production area

表 5 东北地区玉米及粮食总产趋势倾向率 (10 ⁴ t/10 年)				
Tab.5 The trend of gross grain and maize product in Northeast China (10 ⁴ t/10a)				
	粮食作物	玉米	水稻	大豆
黑龙江省	634	256	278	114
吉林省	572	492	98	11
辽宁省	285	227	86	-1
东北地区	1368	967	443	127

4.5 未来 40 年东北地区玉米产量以减产为主

在未来气候情景（B2 情景）下，利用 WOFOST7.1 作物生长模型模拟，未来 40 年

(2011~2050 年)东北地区玉米产量与过去 30 年(1961~1990 年)相比整体呈下降趋势,平均减产 9.5%,其中除 2020 年代东北地区玉米平均产量呈增产态势外(平均增幅 2.8%),2010 年代、2030 年代、和 2040 年代玉米的平均产量均呈现减产,平均减幅分别为 2.8%、17.1%、14.5%。黑龙江北部及东部地区、吉林东北部地区玉米产量变化不大或呈增产,其余大部地区均表现为减产,其中,辽宁大部、吉林西部和黑龙江西南部地区减产幅度较大。

5 气候变化背景下东北玉米生产的适应对策

气候变暖导致积温带北移东扩,玉米可种植边界北移,种植范围扩大。为此,可以通过提高作物复种指数,适当调整作物播种期,避免玉米生育期缩短和高温带来的不利影响,将增加的热量资源变为能用、可用、有用的有利资源。但东北地区水资源相对短缺,目前呈现变干的趋势^[18],水分亏缺比较严重,干旱程度加剧。所以玉米生产应对气候变化的主要方面是温、水和灾害的问题。针对未来气候变化,建议:

5.1 稳妥扩大种植区域

在水分基本满足的前提下,东北地区未来气候变暖对玉米生产有利。气候变暖使东北地区特别是北部地区热量条件改善,农业气候带向北、向东部山区平移,传统的东北玉米带可以适当向北部和东部拓展。

5.2 适当扩大晚熟、中晚熟品种的比例

在考虑土壤、水分条件基本得到满足的前提下,调整玉米品种布局,适当扩大晚熟、中晚熟品种的比例,提高单位面积产量;同时可调整种植结构,北部和东部冷凉地区可适当增加玉米等喜温作物比例,辽宁大部还可以调整种植制度,例如变目前玉米一熟为玉米~小麦两熟或米麦间作。

5.3 重视先进栽培管理方法的运用

在东北南部利用中熟、中晚熟品种取得单产超吨粮的例子已越来越多,当前栽培管理方式还没有充分发挥中晚熟品种应有的密植增产潜力。建议在能够保证播种所需温度和水分条件前提下,适当提前播种期。一些中熟、中晚熟品种,个体相对较小、株形紧凑,适于密植,群体产量更高、稳产性更好;单株生物量较小,个体耐瘠薄能力相对较强(空秆率低)、群体的自动调节能力强,因此要重视相关配套栽培制度的研究和大力推广。

5.4 注意培育抗旱玉米品种,推广节水栽培技术

气候变化对目前冷凉湿润的东部山区将是有利的,但东北地区气候变暖最有可能伴随降水减少和气候变干,而气候变干对玉米生物量积累和产量形成都有不利影响。未来气候的暖干化对于占东北地区玉米产量 80%以上、气候半湿润和半干旱的中、西部玉米带而言,农业干旱将趋于严重而且频繁,对玉米生产和玉米带的发展构成严重威胁。在推广中晚熟和中晚熟品种的同时,必须大力培育抗旱品种,研发抗旱、节水栽培技术,大力兴建农田水利,扩大旱田水浇地面积,以便防御干旱威胁,保证东北玉米带的持续发展,保障国家粮食安全。

6 结论与讨论

(1) 热量资源明显增加,1971 年以来 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加了 262.8°C ,积温带呈东移北扩趋势,湿润区缩小,有变干趋势。无霜期延长了 14~21 天,霜冻灾害几率逐年降低。

玉米延迟型冷害 20 世纪 90 年代以后进入低发期。

(2) 随着热量资源的不断增加, 玉米不同品种可种植区范围不断扩大, 种植北界北移东扩, 玉米适播起始时间相应提前。玉米播种面积和产量稳步增加, 玉米总产、播种面积增加趋势分别为 967 万 t/10a、72 万 hm^2 /10a。

(3) 通过稳妥扩大玉米种植区域, 适当扩大晚熟、中晚熟品种的比例, 应用先进栽培管理方法以及培育抗旱玉米品种和推广节水栽培技术等措施, 应对气候变化导致的玉米生育期缩短和高温带来的不利影响。

值得注意的是, 在未来气候变化情景下东北地区热量资源依然呈增加的趋势, 但是由于后备农用地资源相对紧张^[19], 未来东北地区玉米播种面积增加幅度将减小。因此, 下一步有必要针对东北地区玉米产量和播种面积的气候变化响应阈值展开深入研究。

参考文献:

- [1] 孙凤华, 袁健, 路爽. 东北地区近百年气候变化及突变检测. 气候与环境研究, 2006, 11(1): 101~108.
- [2] 纪瑞鹏, 张玉书, 冯锐, 等. 辽宁省农业气候资源变化特征分析. 资源科学, 2007, 29(2): 74~82.
- [3] 云雅如, 方修琦, 王媛, 等. 黑龙江省过去 20 年粮食作物种植格局变化及其气候背景. 自然资源学报, 2005, 20(5): 698~705.
- [4] 郑景云, 葛全胜, 郝志新. 气候变暖对我国近 40 年植物物候变化的影响. 科学通报, 2002, 47(20): 1582~1587.
- [5] 廉毅, 高枳亭, 任红玲, 等. 20 世纪 90 年代中国东北地区荒漠化的发展与区域气候变化. 气象学报, 2001, 59(6): 730~736.
- [6] 刘颖杰, 林而达. 气候变暖对中国不同地区农业的影响. 气候变化研究进展, 2007, 3(4): 229~233.
- [7] 娄秀荣, 王石立, 沙奕卓. 东北地区气温变化对粮食产量的影响. 应用气象学报, 1995, 6(S): 102~107.
- [8] 王静, 杨晓光, 李勇, 等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 VI. 黑龙江省三江平原地区降水资源变化特征及其对春玉米生产的可能影响. 应用生态学报, 2001, 22(6): 1511~1522.
- [9] 张建平, 王春乙, 杨晓光, 等. 未来气候变化对中国东北三省玉米需水量的影响预测. 农业工程学报, 2009, 25(7): 50~55.
- [10] 熊伟, 杨捷, 林而达, 等. 未来不同气候变化情景下我国玉米产量的初步预测. 地球科学进展, 2008, 23(10): 1092~1101.
- [11] 田展, 刘纪远, 曹明奎. 气候变化对中国黄淮海农业区小麦生产影响模拟研究. 自然资源学报, 2006, 21(4): 598~607.
- [12] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 IV. 未来气候变暖对东北三省春玉米种植北界的可能影响. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2280~2291.
- [13] 居辉, 熊伟, 许吟隆. 气候变化对我国小麦产量的影响. 作物学报, 2005, 31(10): 1340~1343.
- [14] 张玉书, 纪瑞鹏, 陈鹏狮, 等. 辽宁省农业气候资源精细化模拟与专题区划. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2007. 4~5.
- [15] 缪启龙, 丁园圆, 王勇. 气候变暖对中国亚热带北界位置的影响. 地理研究, 2009, 28(3): 634~642.
- [16] 马树庆, 王琪, 罗新兰. 基于分期播种的气候变化对东北地区玉米 (*Zea mays*) 生长发育和产量的影响. 生态学报, 2008, 28(5): 2131~2139.
- [17] 罗新兰, 安娟, 刘新安, 等. 东北三省玉米生育热量指标与品种熟型分布研究. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(4): 318~323.
- [18] 王英, 曹明奎, 陶波, 等. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征. 地理研究, 2006, 25(6): 1031~1040.
- [19] 艾建玲, 陈佑启, 姚艳敏. 基于 GIS 的东北地区后备农用地资源评价. 经济地理, 2007, 27(4): 637~639.

Effect of climate change on maize production in Northeast China

JI Rui-peng¹, ZHANG Yu-shu¹, JIANG Li-xia², ZHANG Shu-jie¹,

FENG Rui¹, CHEN Peng-shi¹, WU Jin-wen¹, MI Na¹

(1. Institute of Atmospheric Environment, CMA, Shenyang 110016, China;

2. Heilongjiang Institute of Meteorological Science, Harbin 150030, China)

Abstract: This paper analyzed the facts of climate change and its effects on the maize production in Northeast China according to the meteorological, maize yield and planting area data. The results are as follows. The heat resources in this region have been increasing continually since 1971. The accumulated temperature over 10°C has increased by 262.8°C averaged for the whole region. The plain area with accumulated temperature ($\geq 10^\circ\text{C}$) higher than 2700°C has extended northward 200–300 km, and eastward 50–150 km respectively. The precipitation in growing period (from April to September) during 1981–1990 had an increasing trend, but has been decreasing continually since 1991. Annual average water deficiency amounts to 391.5 mm. Humid area is decreasing and the whole region has a drying trend. The early frost date (the date with the lowest temperature $\leq 0^\circ\text{C}$) has postponed 7–9 days, and the frostless period has prolonged 14–21 days, so the probability of frost disaster occurrence is reduced. The period with high probability of lingering low temperature disaster on maize was observed in the 1960s and 1970s, and the period with low probability started in the 1990s. Heilongjiang Province had a high probability of frost disasters. With the heat resources increasing continually, adaptive area of maize planting is growing, with its north boundary extending northward and eastward, so the adaptive seeding date comes earlier. With steady increase of maize planting area and yield, the total yield and total planting area will increase by 9,670,000 t and 720,000 ha per decade respectively.

Although climate change has supplied more heat resources for maize production in Northeast China, it is enhancing drought. So, we should adjust maize distribution and varieties. Additionally, using irrigation engineering and dry-farming technology widely, and selecting varieties with disease-resistance, drought-endurance and strong stress-resistance are the important measures to realize sustainable development of maize production in Northeast China.

Key words: climate change; maize production; agrometeorological disasters; adaptation strategy