

内蒙古大兴安岭东南部气候变化对作物产量的影响

赵慧颖¹ 郝文俊² 刘丽¹ 王广生¹ 巩范江¹ 张治国¹

1 内蒙古呼伦贝尔市生态与农业气象评估中心, 海拉尔 021008

2 内蒙古气候中心, 呼和浩特 010051

摘要 利用大兴安岭东南部 1971~2005 年气温资料与玉米、大豆、小麦和马铃薯产量资料, 分析了气候变暖对农业生产的可能影响, 结果表明 4 种作物气候产量与各个气温因子的相关系数均为正值。由此可见气候变暖有利于该区各种作物产量的提高。气候变暖可使作物生长期延长 8~15 天, 因此可以引种生长期为 120~130 天的高产品种, 增加中、晚熟品种。气候变暖扩大了作物种植区域, 作物的种植北界北推, 范围扩大至 49°45'N 以南的地区, 上界升高至海拔 400 m。但是气候变暖也增大了干旱发生的机率, 加重了干旱的程度, 增加了农作物害虫对农田的危害。气候变暖使异常天气事件增加, 对农业产生一些不可逆的影响, 使农业生产的不稳定性加剧。

关键词 气候变化 作物产量 作物种植

文章编号 1006-9585 (2008) 02-0199-06 **中图分类号** P49 **文献标识码** A

Impact of Climate Change on the Crop Yields in Da Hinggan Mountains

ZHAO Hui-Ying¹, HAO Wen-Jun², LIU Li¹, WANG Guang-Sheng¹,
GONG Fan-Jiang¹, and ZHANG Zhi-Guo¹

1 *Assessment Center on Ecology and Agrometeorology of the Hulun Buir City,*
Inner Mongolia, Hailar 021008

2 *Climate Center of Inner Mongolia, Hohhot 010051*

Abstract Using air temperature data and crop yield data of corn, soybean and potato during 1971 to 2005 in the southeast part of the Da Hinggan Mountains, the authors analyzed the possible influences of climate warming to agricultural production. Results indicate that correlation coefficients between climatic yield of the four crops and temperature factors were positive, namely, climate warming may enhance crop yield in the study area. Climate warming may lengthen the growing period of crops for 8—15 days, so high yield varieties with the growing period of 120—130 days, and mid and late varieties could be introduced to the study area. Climate warming may also enlarge planting areas of the crops, that is the northern boundary and altitudinal of crop planting may reach 49°45'N and 400 m, respectively. However, climate warming could also increase drought possibilities and degrees, and harms of pests. Furthermore, climate warming may increase extreme events of weather, which could cause nonreversible effects to agricultural production and the instability of agricultural production.

Key words climate change, crop yield, crop planting

收稿日期 2007-03-02 收到, 2007-12-28 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40371042

作者简介 赵慧颖, 男, 1964 年出生, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事应用气象、气候与生态研究。

E-mail: zhaohyy2008@yahoo.com.cn

1 引言

从 1860 年至今,北半球的气温已经平均升高了 $0.4\sim 0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,其中 20 世纪是气温升高幅度最大的时期^[1]。人们对未来气候变化对农业造成的影响十分关注,国内外众多学者对此做了大量的研究^[1~6],以便采取相应的对策,对农业生产布局作出最优的调整。气候变化对农业生产的影响可以是有利或不利的。自 20 世纪 80 年代以来,不断有研究表明^[7~17],在全球气候变化下,植被对气候变化的响应迅速,农业生产是反应最为敏感的产业之一。随着气候变暖,作物种植界限北移、播种期提前、生长期延长,作物引种成功率提高;同时,农业也面临着生产不稳定和产量波动大的突出问题。

内蒙古大兴安岭东南部地处高纬度地区,远离海洋,属温暖半干旱地区,是气候变化脆弱的地区,作物的生长对气候变化比较敏感。因此,本文研究气候变化及其对农业生产的可能影响,期望为未来农业生产的结构调整和资源优化配置提供科学的建议和对策。

2 材料与方法

2.1 研究区域概况

研究区域位于内蒙古东北部的呼伦贝尔市。地处 ($47^{\circ}05'\sim 51^{\circ}25'\text{N}$, $121^{\circ}35'\sim 126^{\circ}10'\text{E}$),土地面积 $9.9\times 10^4\text{ km}^2$,农作物播种总面积 $42\times 10^4\text{ hm}^2$ 。大部分地区属中温带大陆性季风气候,部分地区属寒温带大陆性季风气候。年平均气温 $1\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降水量 $400\sim 460\text{ mm}$,无霜期 $90\sim 120\text{ d}$,光照充足,雨热同季。适宜玉米、大豆、小麦和马铃薯生长,但易受干旱、洪涝及低温冷冻等气象灾害的影响。该区土壤肥沃,腐殖质含量高。土壤类型多为暗棕壤、黑土和暗色草甸土,土层深厚,有机质丰富,生产潜力较大。

2.2 资料来源

选取大兴安岭东南部所属 6 个气象台站 1971~2005 年的年平均气温、4~9 月逐月平均气温、生长季 (4~9 月) 平均气温和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温资料,以及玉米、大豆、小麦、马铃薯产量和生育

期观测资料。

2.3 分析方法

2.3.1 气温分析方法

采用回归统计、综合对比分析方法研究气候变化下作物产量的变化。本文计算年平均气温、4~9 月逐月平均气温、生长季 (4~9 月) 平均气温和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温的气候倾向率^[6~8]。即以年代 (t) 为时间因子,气候要素 (x) 为模拟对象,则以直线方程拟合:

$$x(t)=c+bt,$$

式中 c 、 b 为待定系数,其中 b 为气候要素趋势,若 $b>0$ 表示气候要素呈上升趋势, $b<0$ 表示气候要素呈下降趋势, $b\times 10$ 称为气候倾向率。气候要素的年代际变化趋势为二阶多项式拟合。

2.3.2 作物产量资料分析方法

作物的产量是社会条件、农业技术措施与天气、气候条件综合作用的结果。随着社会的进步,耕作制度和农业技术措施的改进,各种作物产量总体呈上升趋势,称为趋势产量;但由于作物生长受气候变化的影响很大,使实际产量在趋势产量的基础上产生波动,称气候产量。所以,气候产量=趋势产量-实际产量。本文采用 5 年滑动平均法计算玉米、大豆、小麦和马铃薯的趋势产量。另外,结合各种作物生育期观测资料分析气候变化下作物生长的可能变化。

3 结果与分析

3.1 气候变暖分析

20 世纪 80 年代以来,全球气温持续上升,进入 90 年代以后,这种趋势更为明显,增温幅度为 $0.3\sim 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[8]。在此背景下,本文统计分析内蒙古呼伦贝尔市大兴安岭东南部气温年际的变化情况。从表 1 可知,表征气候变暖特征的因子变化趋势值均大于零 ($b>0$),说明各个气温因子的变化均有上升趋势。

3.1.1 年平均气温的变化

从图 1 可以看出,大兴安岭东南部年平均气温年际变化趋势是逐年递增的,二阶多项式拟合相关系数为 0.685,通过了 0.01 的显著性检验,其曲线线型几乎是一条直线,且上升趋势很陡,说明年平均气温从 20 世纪 70 年代以来升高趋势显

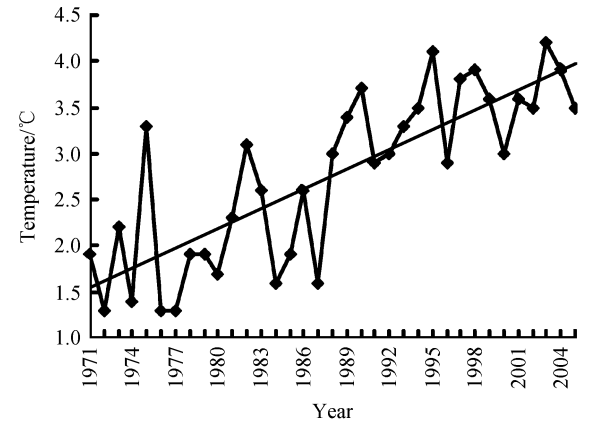


图 1 年平均气温变化趋势
Fig. 1 The trend of annual average temperature

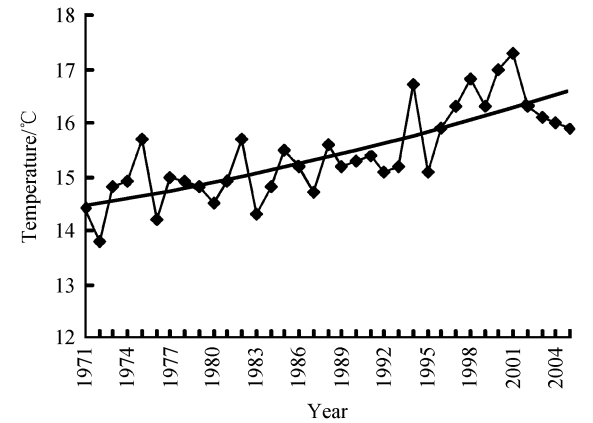


图 2 作物生长期平均气温变化趋势
Fig. 2 The trend of mean temperature during the growth period of crops

表 1 大兴安岭气温的年际变化

气温因子	<i>R</i>	<i>b</i>
年平均气温	0. 803	0. 072
作物生长期气温	0. 777	0. 063
≥10 °C 积温	0. 629	13. 281
4 月气温	0. 422	0. 070
5 月气温	0. 352 *	0. 042
6 月气温	0. 435	0. 064
7 月气温	0. 395 *	0. 043
8 月气温	0. 471	0. 051
9 月气温	0. 436	0. 045

注：* 通过 0.05 的显著性检验，其他均通过 0.01 的显著性检验；
R 为相关系数；*b* 为气候趋势

著，增温率为 0.72 °C · (10 a)⁻¹，线性拟合的相关系数为 0.803，并且目前正处于升温的“峰值”区间。

3. 1. 2 作物生长期平均气温变化

从图 2 可以看出，大兴安岭东南部作物生长期平均气温年际变化趋势是逐年递增的，二阶多项式拟合相关系数为 0.780，通过了 0.01 的显著性检验，其曲线线型几乎是一条直线，但上升趋势较平缓，说明作物生长期平均气温从 20 世纪 70 年代以来有升高趋势，增温率为 0.63 °C · (10 a)⁻¹，线性拟合的相关系数为 0.777。4~9 月各月均为升温趋势，其中 4 月的上升趋势最明显，线性拟合的相关系数为 0.352~0.471，均通过了 0.05 或 0.01 的显著性检验，增温率为 0.32~0.70 °C · (10 a)⁻¹。

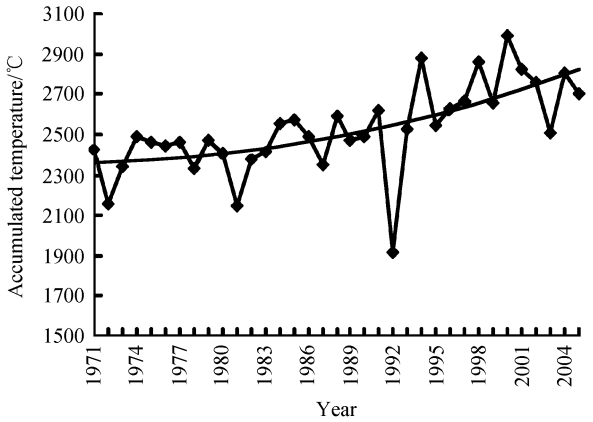


图 3 ≥10 °C 积温变化趋势
Fig. 3 The changes of ≥10 °C accumulated temperature

3. 1. 3 ≥10 °C 积温变化

从图 3 可以看出，大兴安岭东南部≥10 °C 积温年际变化趋势是逐年递增的，二阶多项式拟合相关系数为 0.646，通过了 0.01 的显著性检验，其曲线上升趋势 1993 年之前比较平缓，之后上升明显，说明气温从 70 年代以来变暖贡献最大的是冬季 (≥10 °C 积温累计时间一般为 4~9 月，即春季、夏季和秋季)，其增温率为 132.8 °C · (10 a)⁻¹，线性拟合的相关系数为 0.629。

3. 2 气温因子与作物气候产量的关系

从表 2 可以看出，4 种作物气候产量与各气温因子的相关系数均为正值，说明该区热量满足不了各种作物生长的需求，气候变暖对该区各种作物产量的提高有利。

表 2 作物气候产量与气温因子的相关系数
Table 2 Correlation coefficients between the crop yield and temperatures

气温因子	相关系数			
	玉米	小麦	大豆	马铃薯
年平均气温	0.294	0.001	0.077	0.155
作物生长期气温	0.312*	0.323*	0.055	0.330*
≥10℃积温	0.567**	0.343*	0.559**	0.132
4月气温	0.256	0.226	0.122	0.003
5月气温	0.223	0.766**	0.029	0.240
6月气温	0.201	0.044	0.167	0.237
7月气温	0.159	0.344*	0.368*	0.317*
8月气温	0.245	0.047	0.083	0.164
9月气温	0.255	0.290	0.515**	0.136

注：* 通过 0.05 的显著性检验，** 通过 0.01 的显著性检验

玉米气候产量与≥10℃积温的正相关达到了极显著水平，与生长期平均气温的正相关达到了显著水平；而其他温度因子与玉米气候产量的关系也都是正相关，但相关系数没有达到显著水平。说明玉米产量高低主要受整个生长期的热量限制。

大豆气候产量与≥10℃积温和 9 月平均气温的正相关达到了极显著水平，与 7 月平均气温的正相关达到了显著水平；而其他温度因子与大豆气候产量的关系也都是正相关，但相关系数没有达到显著水平。说明大豆生长期内≥10℃积温是限制产量高低的主要因子，且大豆生殖生长初期和后期（7 月和 9 月）气温的高低也很重要。

小麦气候产量与 5 月平均气温、7 月平均气温、≥10℃积温和生长期平均气温的正相关达到了显著水平；而其他温度因子与小麦气候产量的关系也都是正相关，但相关系数没有达到显著水平。说明小麦营养生长初期（5 月）、生殖生长期（7 月）气温高低和生长期内热量的多少是限制产量高低的主要因子。

马铃薯气候产量与 7 月平均气温和生长期平均气温的正相关达到了显著水平；而其他温度因子与马铃薯气候产量的关系也都是正相关，但相关系数没有达到显著水平。说明马铃薯生长发育对热量的要求不是很高，但气温升高、热量增多会使产量增加。

3.3 气候变暖对作物生长的可能影响

3.3.1 对作物产量的影响

选取与各种作物气候产量相关系数最大的气

温因子作为自变量，与各种作物气候产量作直线回归分析，所得的 4 个回归方程（略）通过了 0.05 或 0.01 的显著性检验。

分析回归方程可知，≥10℃积温每增加 100℃，玉米的气候产量约增加 99.6 kg·hm⁻²；5 月平均气温每增加 1℃，小麦的气候产量约增加 2.4 kg·hm⁻²；≥10℃积温每增加 100℃，大豆的气候产量约增加 35.0 kg·hm⁻²；生长期平均气温每增加 1℃，马铃薯的气候产量约增加 192.2 kg·hm⁻²。

3.3.2 气候变暖对作物生长发育、品种布局的影响

作物生长期气温升高将缓解该区农业生产光照有余、热量不足的矛盾，延长生长季，减轻霜冻对农作物的危害。1996~2005 年与 1971~2005 年相比，作物生长期平均气温升高 1.2~1.6℃，作物生长期也相应延长 8~15 d，因此，原本可种植生长期为 100~120 d 品种的地方，可引种生长期为 120~130 d 的高产品种。气候变暖扩大了农业生产布局，作物的种植北界北推、上界升高。分析可知，原本生长在海拔 300 m 以下，48°50′N 以南地区的粮食作物，因为气温升高可扩大到海拔 400 m 以下，49°45′N 以南的广大地区。作物品种也将由单一的早、中熟品种增加为早、中、晚熟品种。

3.3.3 气候变暖给农业生产带来的弊端

四季气温的普遍上升，将大大增加土壤的蒸发量。研究表明，气温每上升 1℃，蒸发量将增加 0.5%~10%。该区 1996~2005 年与 1971~2005 年相比，四季气温升高 1.1~1.8℃，蒸发量将增加 0.9%~18%，这会增大干旱发生的机率，加重干旱的程度。特别是冬季气候偏暖，有利于害虫及病原菌越冬，这将增加来年的虫口密度和增强病菌的繁殖能力，加快蔓延速度，使农田受害的机率增多，造成作物减产。

气候变暖将使异常天气事件增加，对农业生产一些不可逆的不利影响，给该区本已不稳定的农业生产，更增加了其他不稳定因素。

4 结论

20 世纪 70 年代以来，大兴安岭东南部气候变暖显著，4 种作物气候产量与年平均气温、4~9

月逐月平均气温、生长季(4~9月)平均气温和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的相关系数均为正值,气候变暖对该区各种作物产量的提高有利。作物生长期平均气温升高 $1.2\sim 1.6^{\circ}\text{C}$,作物生长期也相应延长 $8\sim 15\text{d}$,因此可引种生长期为 $120\sim 130\text{d}$ 的高品种和增加中、晚熟品种。气候变暖扩大了农业生产布局范围,作物的种植北界北推,范围扩大至 $49^{\circ}45'\text{N}$ 以南的地区、上界升高至海拔 400m 。但是气候变暖会增大干旱发生的机率,加重干旱的程度。特别是冬季偏暖,有利于害虫及病原菌越冬,增加来年的虫口密度和增强病菌的繁殖能力,导致农田受害的机率增多。

参考文献 (References)

- [1] Mccarthy J J, Canziani O F, Leary N A, et al. Impacts, adaptation and vulnerability, contribution of working group II to the third assessment report of the inter government panel on climate change. IPCC. *Climate Change 2001*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001. 1032
- [2] 王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究. 气象学报, 1994, **52** (3): 261~273
Wang Shaowu. Diagnostic studies on the climate change and variability for period of 1880—1990. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1994, **52** (3): 261~273
- [3] 符淙斌, 董文杰, 温刚, 等. 全球变化的区域响应和适应. 气象学报, 2003, **61** (2): 245~250
Fu Congbin, Dong Wenjie, Wen Gang, et al. Regional respond and adaption to global change. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2003, **61** (2): 245~250
- [4] Ye Duzheng, Jiang Yundi, Dong Wen jie. The northward-shift of climatic belts in China during the last 50 years and the corresponding seasonal responses. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, **20** (6): 959~967
- [5] 施雅风. 西北气候由暖干向暖湿转型问题评估. 北京: 气象出版社, 2003. 1~124
Shi Yafeng. *Northwest Climate Assessment Transition from Warm-Dry to Warmwet* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 1~124
- [6] 田广生. 中国气候变化影响研究概况. 环境科学研究, 2000, **13** (1): 36~39
Tian Guangsheng. Review of the climate change impact study in China. *Research of Environmental Sciences* (in Chinese), 2000, **13** (1): 36~39
- [7] 温刚, 符淙斌. 中国东部季风植被物候季节变化对气候响应的大尺度特征: 多年平均结果. 大气科学, 2000, **24** (5): 676~683
- Wen Gang, Fu Congbin. Large scale features of the seasonal phonological responses to the monsoon climate in East China: Multi-year arerage results. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2000, **24** (3): 676~683
- [8] 丁裕国, 余锦华, 施能. 近百年全球平均气温年际变率的QBO长期变化特征. 大气科学, 2001, **25** (1): 89~103
Ding Yuguo, Yu Jinhua, Shi Neng. Quasi-biennial oscillation variability in interannual variance of the global surface temperature during the last 100-year period. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2001, **25** (1): 89~103
- [9] 丑洁明, 封国林, 董文杰, 等. 气候变化影响下我国农业经济评价问题探讨. 气候与环境研究, 2004, **9** (2): 361~368
Chou Jieming, Feng Guolin, Dong Wenjie, et al. A new approach on the economy evaluation of influence on China agriculture by climate change. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (2): 361~368
- [10] 潘华盛, 张桂华, 徐南平. 20世纪80年代以来黑龙江气候变暖的初步分析. 气候与环境研究, 2003, **8** (3): 348~356
Pan Huasheng, Zhang Guihua, Xu Nanping. A preliminary analysis of climate warming in Heilongjiang province since the 1980s. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (3): 348~356
- [11] 金之庆, 葛道阔, 郑喜莲, 等. 评价全球气候变化对我国玉米生产的可能影响. 作物学报, 1996, **22** (5): 513~524
Jin Zhiqing, Ge Daokuo, Zheng Xilian, et al. Assessing the potential Impacts of global climate change on maize production in China. *Acta Agronomica Sinica* (in Chinese), 1996, **22** (5): 513~524
- [12] 王毅荣. 甘肃岷县山区气温变化趋势分析. 气候与环境研究, 2006, **11** (1): 119~127
Wang Yirong. The temperature change of the mountainous area of minxian in gansu province. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (1): 119~127
- [13] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策. 中国科学基金, 2003, **17** (1): 1~3
Qin Dahe. Facts, impact, adaptation and mitigation strategy of climate change. *Bulletin of National Science Foundation of China* (in Chinese), 2003, **17** (1): 1~3
- [14] 姚晓红, 许彦平, 秘晓东. 气候变暖对陇东南地区苹果座果率的影响. 干旱地区农业研究, 2006, **24** (6): 142~146
Yao Xiaohong, Xu Yanping, Mi Xiaodong. Influence of climate warmind on apple fruit setting ration and counter-measures in suitable growing area of the southeast Gansu. *Agricultural Research in Arid Areas* (in Chinese), 2006, **24** (6): 124~129

[15]

王毅荣. 甘肃省粮油产量对气候变暖的敏感性研究. 干旱地区农业研究, 2006, **24** (5): 202~207

Wang Yirong. Sensitivity of crop output to large-scale temperature changes in Gansu Province. *Agricultural Research in Arid Areas* (in Chinese), 2006, **24** (5): 202~207

[16]

刘德祥, 董安祥, 陆登荣. 中国西北地区近 43 年气候变化及其对农业生产的影响. 干旱地区农业研究, 2005, **23** (2): 195~201

Liu Dexiang, Dong Anxiang, Lu Dengrong. Climatic change of northwest China and its influence on agricultural production in recent 43 years. *Agricultural Research in Arid Areas* (in Chinese), 2005, **23** (2): 195~201

[17]

丑洁明, 叶笃正. 构建一个经济-气候新模型评价气候变化对粮食产量的影响. 气候与环境研究, 2006, **11** (3): 347~353

Chou Jieming, Ye Duzheng. Assessing the effect of climate changes on grains yields with a new economy-climate model. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (3): 347~353