

## 黑龙江省近三十年气候变化对大豆发育和产量的影响

姜丽霞<sup>1</sup>, 李 帅<sup>1</sup>, 李秀芬<sup>1</sup>, 张立群<sup>2</sup>, 杜春英<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省气象科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 龙江县气象局, 黑龙江 龙江 161100)

**摘要:** 基于黑龙江省 10 个农业气象观测站 1980~2008 年地面观测田平行观测资料和逐日气象资料, 运用数理统计方法, 分析了研究区影响大豆生产的主要气候要素的时空变化规律以及气候变化对大豆发育和产量的影响。结果表明: 研究区总体气候变化表征为暖干化趋势, 即热量增加, 生长季平均气温升高, 无霜期延长, 开花至成熟期降水减少, 鼓粒至成熟期日照增加, 且区域间存在差异, 南部地区光热资源增加明显。不同区域、不同发育期, 大豆对气候响应均存在差异, 总体上, 大豆播种期、出苗期和三叶期无明显变化, 但西部地区异常提前; 开花期呈提前趋势, 三叶至开花期间日数缩短, 北部和中部缩短明显; 结荚期、鼓粒期和成熟期略有提前, 增温是导致大豆发育期提前的主要原因之一。在一定阈值内, 大豆单产随着生长季平均气温的升高而增加, 说明一定程度的增温对大豆产量有正效应。因此, 气候暖干化趋势对大豆生产的影响是利弊兼存, 在选择品种、引进品种、种植布局等方面应给予重点关注。

**关键词:** 气候变化; 大豆; 发育期; 产量

**中图分类号:** S565.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-9841(2011)06-0921-06

## Impacts of Climate Change on Development and Yield of Soybean over Past 30 Years in Heilongjiang Province

JIANG Li-xia<sup>1</sup>, LI Shuai<sup>1</sup>, LI Xiu-fen<sup>1</sup>, ZHANG Li-qun<sup>2</sup>, DU Chun-ying<sup>1</sup>

(1. Heilongjiang Province Institute of Meteorological Science, Harbin 150030; 2. Meteorological Bureau of Longjiang, Longjiang 161100, Heilongjiang, China)

**Abstract:** According to the 1980-2008 ground parallel observation data and daily meteorological data from 10 agro-meteorological stations in Heilongjiang province, by using the mathematical statistics method, temporal and spatial characteristics of climate changes and its impacts on soybean development and yield were analyzed. The results showed that the climate in the study area trended to become warming-drying, accumulated temperature over 10°C and average temperature in growth season increased, frost-free period extended, precipitation decreased from bloom to maturity of soybean; sunshine increased from podding to maturity. Light and heat resources increased significantly in the southern region. Soybean response to climate change varied with regions and developmental stages. Planting, emergence and the third leaves period had no significant change, except abnormally advanced in the west; blooming period advanced, hence, the interval from third leaves to blooming shortened, especially in north and middle area; podding, pod-filling and maturity period went ahead slightly, and warming was one of the main factors that advanced the growth of soybean. At a certain threshold, soybean yield increased with the rise of average temperature in the growth season. Consequently, there would be both advantages and disadvantages of climate warming-drying to the soybean production, hence, great importance should be attached for variety selection, introduction and planting pattern of soybean.

**Key words:** Climate change; Soybean; Growing period; Yield

黑龙江省是全国重要的商品粮生产基地之一, 大豆产量及出口量均居全国首位, 在全国农业生产中占有极为重要的地位。目前, 气候变化已引起全球的普遍关注, 气候变暖以及气候变化对农业生产的影响已成为近些年应用气象和气候变化研究的热点问题。国内外有关气候变化及其对某一区域农业生产及作物产量的影响已有不少研究。20 世纪 80 年代以来冬季气温的明显升高已引起河南省

冬小麦产量的显著波动, 冬小麦适宜种植区也因此产生了较大变动<sup>[1]</sup>。王位泰等<sup>[2]</sup>分析了甘肃陇东黄土高原冬小麦对气候变暖的响应, 结果显示籽粒重随 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的增加而增加, 但产量随 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温的增加而减少, 表明高温天气增加对冬小麦产生一定程度的逼熟减产负作用。马树庆等<sup>[3]</sup>基于田间分期播种试验资料, 分析指出气候变干会限制热量资源的利用, 将缩短玉米灌浆时间, 使千粒重下

收稿日期: 2011-09-01

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY201106026, GYHY200906019)。

第一作者简介: 姜丽霞(1972-), 女, 高级工程师, 主要从事应用气象和气候变化研究。E-mail: jianglixia0326@yahoo.com.cn。

通讯作者: 杜春英(1964-), 女, 高级工程师, 主要从事应用气象研究工作。E-mail: nongyeqixiang@yahoo.com.cn。

降而造成明显减产,而且减产幅度明显大于温度升高的增产幅度。侯国成和王秀萍<sup>[4]</sup>分析表明,21世纪初大连异常偏暖事件频发,热量资源增加,对冬季大棚蔬菜等设施农业的生产有利,但病虫害越冬存活率也上升,农业投入增加。Liu等<sup>[5]</sup>利用中国1984~2003年的资料研究表明,气候变暖的主要特征是促进中国东北地区粮食产量的增加,而在一定程度上对中国华北、西北和西南地区的粮食增产却存在抑制作用。Kucharik等<sup>[6]</sup>研究表明在美国威斯康星州,未来夏季每额外增加1℃,玉米和大豆产量可能分别减少13%和16%,而如果在夏季总降水量出现温和上升,产量可能提高5%~10%,抵消了温度增加部分的负面影响。Mall等<sup>[7]</sup>利用9a的田间试验模拟研究了印度气候变化对大豆生产力的影响,模型能够较好预报大豆开花期、成熟期以及产量。Bootsma等<sup>[8]</sup>利用试验评估了2040~2069年气候变化对作物预估产量的潜在影响,得出了大豆单产与作物单位热量呈高度相关的结论,并且每增加1个单位热量,大豆单产增加 $0.0013\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。迄今为止,关于气候变化对黑龙江省大豆生育期和产量影响的报道仍然较少,该文基于过去近30a气象资料和地面平行观测资料,分析了气候变化及其对大豆发育及产量的影响,为充分合理利用气候资源实现大豆高产高效栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究站点及资料

根据气象部门现有大豆观测站点的观测资料、位置以及大豆种植面积等情况,结合全省大豆种植分布状况,在大豆主产区选取嫩江等10个农业气象站作为研究站点,同时为了更好地分析黑龙江省不同地区气候变化特征及其对大豆生产的影响,将其划分出5个区域,分别为北部地区、西部地区、中部地区、南部地区、东部地区(表1)。

文中利用的资料为上述10个站点1980~2008年逐日的平均气温、降水、日照时数资料以及10个站点有记录以来至2008年的大豆发育期观测资料,上述资料均来自于黑龙江省气象整编资料。发育期资料根据中国气象局《农业气象观测规范》的要求进行,保持了观测方法的一致性,所观测的大豆品种的熟期在研究期间基本保持一致,施用肥料与当地大田基本保持一致,且耕作方式不变。所用的1980~2008年大豆产量资料来源于黑龙江省统计局的公布数据。

表1 研究区站点概况

站点 Station	纬度 Latitude/°	经度 Longitude/°	位置 Location
五大连池 Wudalianchi	48.50	126.18	北部 North
嫩江 Nenjiang	49.17	125.23	北部 North
拜泉 Baiquan	47.60	126.10	西部 West
龙江 Longjiang	47.33	123.18	西部 West
庆安 Qingan	46.88	127.48	中部 Middle
巴彦 Bayan	46.08	127.35	中部 Middle
哈尔滨 Harbin	45.75	126.77	南部 South
双城 Shuangcheng	45.38	126.30	南部 South
汤原 Tangyuan	46.73	129.88	东部 East
宝清 Baoqing	46.32	132.18	东部 East

### 1.2 研究方法与概念

根据黑龙江省的气候特征,针对大豆发育特点,利用气候倾向率、气候变率<sup>[9]</sup>、统计回归等方法,分析 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、无霜期、大豆生长季平均气温、大豆开花~成熟期降水、大豆鼓粒~成熟期日照时数等要素的变化特征。利用SPSS Statistics 17.0软件进行相关性分析。定义常年状况为1971~2000年的平均状况。生长季采用气象定义,在黑龙江省为每年的5~9月。黑龙江省大豆常年6月下旬开始开花,8月下旬普遍鼓粒,9月下旬成熟,则取大豆开花至成熟期为6月下旬~9月,取大豆鼓粒至成熟期为8月下旬~9月。

## 2 结果与分析

### 2.1 影响大豆生产的主要气候要素变化特征

2.1.1  $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 日平均气温稳定 $> 10^\circ\text{C}$ 的时期为黑龙江省主要粮食作物的农事活动期,也是大豆播种期与生长活动期,该时期 $\geq 10^\circ\text{C}$ 温度的累积值可作为判断某年份大豆能否正常成熟的指标。对 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温的一元线性回归趋势拟和效果进行了检验,通过了0.01的显著水平。总体上,研究区日平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温呈增加趋势,增速为 $135.8^\circ\text{C}\cdot\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ,年际间振幅不大。研究期间, $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温最低值出现在1992年,此后开始进

入明显增温时期,2000 年达到最高值,之后虽有小幅下降,但积温仍一直维持较高没有明显减少(图 1)。以 1995 年为分界点, $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温 1996~2008 年比 1980~1995 年平均增加了  $228^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,可见黑龙江省农事活动期热量资源显著增加,这与孙风华等<sup>[9]</sup>的研究结果基本一致。从空间变化来看, $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温呈由南向北减少的趋势,表现为南多北少、西多东少的分布,1980~2008 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温南部>中部>西部>东部>北部,南部和北部积温距平达  $596^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,热量的空间分布极不均衡。

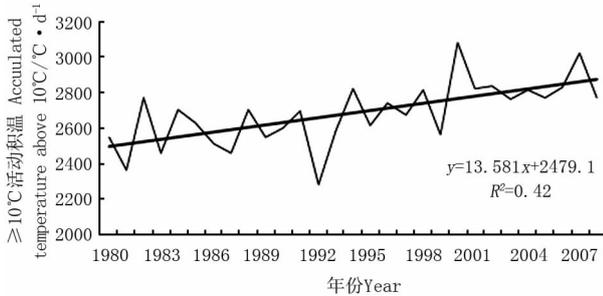


图 1 1980~2008 年研究区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温的变化

Fig. 1 Change of accumulated temperature above  $10^{\circ}\text{C}$  from 1980 to 2008 in the study area

2.1.2 无霜期 参照杜春英等<sup>[10]</sup>的日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 的霜冻判定指标,采用日最低气温 $> 0^{\circ}\text{C}$ 的终、初日期间天数来表示无霜期。经分析,研究区无霜期具有明显的延长趋势,气候倾向率为  $5.7 \text{ d}\cdot 10 \text{ a}^{-1}$ ,年际间变化大致平缓,仅 1999~2000 年无霜期出现骤增,增幅达 34.5 d。将 1980~2008 年分成 A、B、C 3 个时段,由表 2 可见,研究区无霜期为持续延长趋势,B 时段与 A 时段比较,C 时段与 B 时段比较,延长日数基本相当,但区域间存在差异。由表 2 还可看出,A、B、C 3 个时段内,无霜期的纬向变化具有较好的一致性,无霜期高值区均分布在南部,由南部经中部向北部逐渐缩短,北部为研究区无霜期最短的区域。从经向分布来看,东部的无霜期长于西部,平均偏长近 7 d,但在 3 个时段内,无霜期经向变化出现异常,西部和东部 2000 年以来延长的日数较 20 世纪 90 年代减少。

表 2 1980~2008 年研究区无霜期变化  
Table 2 change of frost-free duration from 1980 to 2008 in the study area(d)

时段及比较 Period and comparison	北部 North	西部 West	中部 Middle	东部 East	南部 South	平均 Mean
A(1980-1990 年)	130.4	145.2	150.4	154.2	153.0	146.6
B(1991-2000 年)	135.9	154.8	150.8	158.7	160.0	152.0
C(2001-2008 年)	144.1	156.4	157.8	162.6	167.5	157.7
B-A	5.4	9.6	0.4	4.5	7.0	5.4
C-B	8.3	1.6	7.0	3.9	7.5	5.7
C-A	13.7	11.2	7.4	8.4	14.5	11.1

2.1.3 大豆生长季平均气温 对研究区 1980~

2008 年大豆生长季平均气温进行分析可以看出,生长季平均气温呈周期性波动上升趋势,约每 6~8 a 一个周期,增温率为  $0.525^{\circ}\text{C}\cdot 10 \text{ a}^{-1}$ ,最低值出现在 1983 年,之后的 10 a 生长季平均气温维持偏低,20 世纪 90 年代中期出现一次跳跃式增温,生长季平均气温 1996~2008 年比 1980~1995 年偏高  $0.9^{\circ}\text{C}$ ,增温幅度较大,以后基本处于  $> 18^{\circ}\text{C}$  的水平,进入了研究期间内的高温期,2000 年生长季平均气温达最高,为  $19.8^{\circ}\text{C}$ ,2007 年出现第 2 个高温年,生长季平均气温为  $19.2^{\circ}\text{C}$ (图 2)。生长季气温呈由南向北、由西向东逐渐下降的趋势,1980~2008 年生长季平均气温南部>西部>中部>东部>北部。

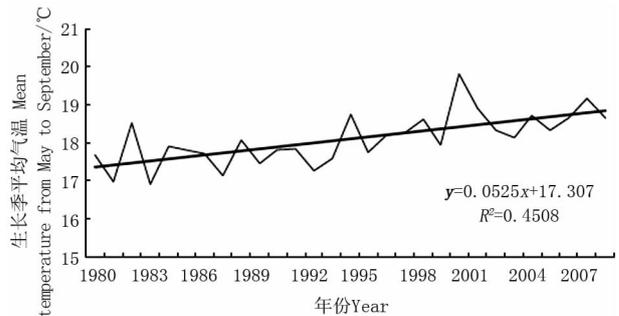


图 2 1980-2008 年研究区生长季平均气温变化

Fig. 2 Change of mean temperature in the growth season (from May to September) from 1980 to 2008 in the study area

2.1.4 大豆开花至成熟期降水量 由图 3 可知,黑龙江省近 30 a 大豆开花至成熟期降水总体呈波动性减少特征,气候倾向率为  $-43.2 \text{ mm}\cdot 10 \text{ a}^{-1}$ ,年际间振幅变化不平稳,1994 年研究区平均降水量为 572.5 mm,为研究期间降水量最高值,2007 年出现最低值,平均降水量仅为 205.8 mm。1980~1993 年降水气候变率为 72.5,降水变化相对平稳,年际振荡幅度不大,1994 年降水均值骤然增加,此后 10 a 降水波动幅度明显增大,降水气候变率高达 108.0,2004~2008 年又回到一个平稳期,降水气候变率仅为 40.8。值得注意的是,研究区 1999 年开始降水进入明显低值期,以后的 10 a 中,有 7 a 的降水均值在 300 mm 以下,有 9 a 降水量明显低于 1980~2008 年的平均水平,且 1999~2008 年比 1980~1998 年平均减少了 92 mm,可见减少幅度非常显著。在空间分布上,各区域大豆开花至成熟期降水量的变化趋势一致,不存在明显的分布规律,5 个区域多年平均降水量均  $> 300 \text{ mm}$ ,呈中部>西部>南部>北部>东部的分布。

2.1.5 大豆鼓粒至成熟期日照时数 1980~2008 年大豆鼓粒至成熟期日照时数呈增加趋势,气候倾

向率为  $15.8 \text{ h} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ , 年际间波动幅度时大时小, 最高值出现在 2001 年, 最低值出现在 1992 年, 最高值与最低值的差异达 108 h。1980 ~ 1995 年研究区日照时数的波动变化相对较小, 日照时数的气候变率为 19.7, 1996 ~ 2008 年日照时数振荡幅度较大, 气候变率为 24.7, 后者为前者的 125%。各区域大豆鼓粒至成熟期日照时数随时间的变化趋势一致, 空间分布较均匀, 5 个区域多年平均日照时数在 300 ~ 316 h, 偏差较小, 其中南部最多, 东部最少。

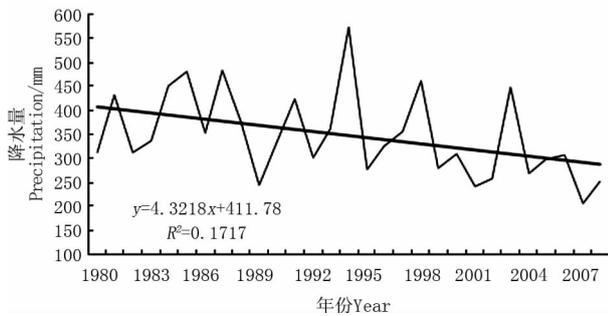


图 3 1980 ~ 2008 年研究区大豆开花至成熟期降水的变化

Fig. 3 Change of precipitation from blooming to maturity from 1980 to 2008 in the study area

## 2.2 大豆发育对气候变化的响应

分时段统计研究区大豆的主要生育期可以看出(表 3), 1980 年以来, 研究区大豆播种、出苗、三

叶期无明显变化, B 时段与 A 时段比较、C 时段与 B 时段比较, 提前(或推迟)约 1 ~ 2 d, 不同区域略有差异, 西部地区显著提前, 1991 ~ 2000 年比 1980 ~ 1990 年提前 7 d 左右, 2000 年后变化不大。对于西部地区, 其播种至三叶期均异常提前。

由表 3 可见, 研究区各区域大豆开花期均呈提前趋势, 提前日数在各区域间有所不同, 空间变化无规律。对研究区 1980 ~ 2008 年开花期日序进行一元线性回归分析, 其方程为  $y = -0.2208x + 40.833$ , 通过了 0.01 的显著性检验, 式中  $y$  为开花期日序,  $x$  为年份, 可见大豆开花期平均每 10 a 提前 2.2 d。B 时段与 A 时段比较、C 时段与 B 时段比较, 大豆三叶至开花期间日数缩短 1 ~ 4 d, 其中北部和中部缩短明显。大豆三叶至开花期处于夏季, 正值研究区气温较高时段, 分析北部五大连池市 1980 ~ 2008 年大豆三叶至开花期间(6 ~ 7 月上旬)的平均气温可见, 存在明显升高趋势, 平均气温以  $0.8 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$  的速率上升, 21 世纪初与 20 世纪 90 年代比较, 平均气温升高了  $1.1 \text{ }^\circ\text{C}$ , 增温幅度非常显著。进一步分析五大连池市 6 ~ 7 月上旬平均气温与大豆三叶至开花期间日数的关系, 结果表明二者之间具有极显著的负相关关系 ( $P < 0.01$ ) (图 4), 说明温度对大豆生长表现为明显的正效应, 即在一定阈值内, 温度升高, 大豆发育速度加快, 开花提前, 进而使三叶至开花期间生育日数缩短。

表 3 1980 ~ 2008 年研究区大豆发育期的变化

Table 3 Change of soybean development from 1980 to 2008 in the study area

区域	时段及比较	播种期	出苗期	三叶期	开花期	结荚期	鼓粒期	成熟期
Region	Period and comparison	Planting period	Emergence period	The third leaves period	Blooming period	Podding period	Pod-filling period	Maturity period
研究区 The study area	A (1980 - 1990 年)	11/5	29/5	10/6	10/7	25/7	-	23/9
	B (1991 - 2000 年)	10/5	27/5	8/6	7/7	26/7	20/8	24/9
	C (2001 - 2008 年)	10/5	26/5	8/6	5/7	24/7	21/8	22/9
北部 North	A (1980 - 1990 年)	12/5	29/5	8/6	9/7	21/7	-	23/9
	B (1991 - 2000 年)	11/5	29/5	9/6	6/7	23/7	17/8	23/9
	C (2001 - 2008 年)	12/5	29/5	10/6	5/7	22/7	20/8	17/9
西部 West	A (1980 - 1990 年)	16/5	2/6	14/6	13/7	30/7	-	23/9
	B (1991 - 2000 年)	10/5	26/5	7/6	7/7	29/7	22/8	23/9
	C (2001 - 2008 年)	10/5	25/5	6/6	3/7	22/7	19/8	20/9
中部 Middle	A (1980 - 1990 年)	10/5	27/5	8/6	7/7	26/7	-	25/9
	B (1991 - 2000 年)	9/5	25/5	8/6	4/7	26/7	21/8	24/9
	C (2001 - 2008 年)	9/5	24/5	7/6	30/6	24/7	22/8	22/9
东部 East	A (1980 - 1990 年)	15/5	2/6	14/6	11/7	26/7	-	27/9
	B (1991 - 2000 年)	19/5	4/6	14/6	12/7	30/7	24/8	30/9
	C (2001 - 2008 年)	16/5	30/5	14/6	11/7	30/7	23/8	28/9
南部 South	A (1980 - 1990 年)	4/5	23/5	3/6	8/7	21/7	-	18/9
	B (1991 - 2000 年)	3/5	21/5	3/6	7/7	22/7	18/8	21/9
	C (2001 - 2008 年)	5/5	24/5	3/6	7/7	25/7	19/8	22/9

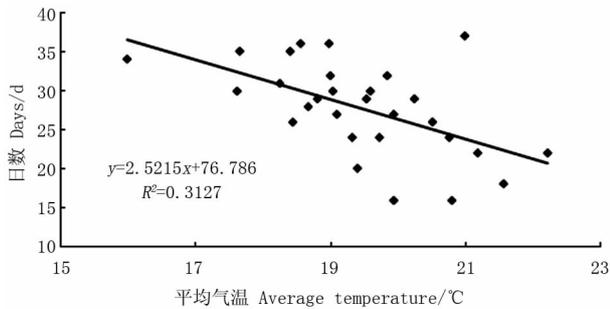


图4 1980~2008年五大连池市大豆三叶至开花期间平均气温与生育日数的相关图

Fig. 4 Correlation between average temperature and growth days during the third leaves to blooming period of soybean in Wudalianchi from 1980 to 2008

受气候变化影响,研究区大豆结荚、鼓粒和成熟期总体上略有提前,B时段与A时段比较、C时段与B时段比较,大致提前1~3 d,在不同区域、不同时段,大豆结荚、鼓粒和成熟日期均存在提前或延后的状况,且变化无规律。对研究区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温与成熟期日序进行了一元线性回归分析,回归方程通过了0.01的显著性检验, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温每增加 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$ ,成熟期提前0.7 d,可见,1 a内 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温对大豆正常成熟具有至关重要的作用,在一定范围内,积温越多,大豆成熟日期越早,大豆正常成熟的机率就越大。

### 2.3 气候变化对大豆产量的影响

实际上,作物最终产量是在农业投入、土壤条件、生产栽培技术及气候条件等因素共同影响下形成的,但从研究区大豆的观测资料来看,20世纪80年代以来,研究区大豆的品种熟期基本不变,耕作方式一直保持一致,不同年份的农业生产技术水平变化不大,忽略农业投入、化肥和土壤等条件,则气候条件是影响大豆产量形成的关键因素,因此该文直接利用研究区大豆实际单产资料,采用逐步回归方法分析1980~2008年研究区大豆实际单产与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温、大豆生长季平均气温、无霜期、大豆开花~成熟期降水、大豆鼓粒~成熟期日照时数的关系,发现研究区大豆实际单产仅与大豆生长季平均气温具有显著的相关关系( $P < 0.05$ )。理论上,温度对作物生长发育和产量形成的影响为非线性,则采用一元二次回归方法对研究区大豆实际单产与大豆生长季平均气温的关系做进一步分析,得到

回归方程:

$$Y = -129.97X^2 + 4933.9X - 44875$$

式中 $Y$ 为大豆实际单产( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ), $X$ 为大豆生长季平均气温( $^{\circ}\text{C}$ )。方程相关系数为0.4907,通过0.01的显著性检验。可见在一定温度范围内,随着生长季平均气温的升高,大豆单产明显增加,当 $X$ 为 $19^{\circ}\text{C}$ 时,大豆产量 $Y$ 达到最高,之后随着生长季平均气温的增加,大豆产量不再增加。由此说明,生长季平均气温适宜与否对大豆产量的形成具有重要影响,在气候变化影响下,一定程度的增温对大豆增产能够起到有效的促进作用,但若超过适宜范围,却向着不利的方向发展,导致产量下降。

### 3 结论与讨论

1980~2008年,黑龙江省气候存在明显暖干化趋势,影响大豆生产的主要气候要素的变化表征为温度升高、热量增加、降水减少、日照增加,且区域间存在差异,南部地区光热资源增加明显。

大豆各发育期对气候变化响应表现不同,播种、出苗、三叶期无明显提前(或延后)变化,开花期呈提前趋势,三叶至开花期间日数缩短,结荚、鼓粒和成熟期略有提前。值得一提的是,西部地区播种异常提前,分析其可能原因发现,5月平均气温与播种期存在显著的相关关系( $r = 0.455$ ,通过0.05显著性检验),而在播种期间西部地区有97%的年份耕层土壤湿度正常,这说明在水分适宜的条件下,气温升高极有可能是造成西部大豆播种提前的主要原因。同时,三叶至开花期间的日数与平均气温的显著负相关关系进一步印证了升温对大豆发育的正效应作用。

气候变暖是“双刃剑”,对大豆的影响利弊兼存。热量增加、冷害发生频率下降<sup>[11]</sup>、无霜期延长对大豆生产均为有利形势,温度在一定范围内升高可使大豆产量明显增加。居辉等<sup>[12]</sup>研究表明,约至2050年,全球气候变化及 $\text{CO}_2$ 的肥效作用将给黑龙江省的大豆生产带来有利影响,张桂华等<sup>[13]</sup>、王艳秋等<sup>[14]</sup>也得到了一致的研究结论,这均说明了气候变化对大豆有利的一面。但气温增加加大了地表蒸发能力,加之降水减少,黑龙江省出现暖干化趋

势,尤其三江平原气候暖干化极为明显<sup>[9]</sup>,同时,松嫩平原表层土壤存在干旱化趋向<sup>[15]</sup>,上述不利条件对大豆干物质积累和产量形成均存在不利影响。尤其未来气候的暖干化将使农业干旱趋于严重而且频繁,对黑龙江省大部地区的大豆生产和发展将构成严重威胁并带来严峻挑战。大豆是对耕作制度要求较高的作物,重茬是大豆生产中的突出问题,会导致产量和品质下降。因此,在气候变化背景下,要根据大豆生育特性及其对气象条件的需求,充分考虑区域气候资源以及区域性灾害问题,对大豆种植格局进行长远的规划布署和调整,做到趋利避害、合理高效利用气候资源,以达到稳产高产的目的。鉴于农业干旱趋于频发和加重,应大力培育抗旱品种,研发抗旱、节水栽培技术,兴建农田水利工程,以便防御干旱威胁,保证黑龙江大豆的持续发展。

## 参考文献

- [1] 千怀遂,焦士兴,赵峰. 河南省冬小麦气候适宜性变化研究[J]. 生态学杂志,2005,24(5):503-507. (Qian H S, Jiao S X, Zhao F. Climate suitability change of winter wheat in Henan province[J]. Chinese Journal of Ecology,2005,24(5):503-507.)
- [2] 王位泰,张天锋,黄斌,等. 甘肃陇东黄土高原冬小麦对气候变暖的响应[J]. 生态学杂志,2006,25(7):774-778. (Wang W T, Zhang T F, Huang B, et al. Responses of winter wheat in the Loess Plateau of east Gansu province to climate warming[J]. Chinese Journal of Ecology,2006,25(7):774-778.)
- [3] 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[J]. 生态学报,2008,28(5):2131-2139. (Ma S Q, Wang Q, Luo X L. Effect of climate change on maize(*Zea mays*) growth and yield based on stage sowing[J]. Acta Ecologica Sinica,2008,28(5):2131-2139.)
- [4] 侯国成,王秀萍. 大连气候变暖及其对农业的影响[J]. 生态学杂志,2009,28(5):933-937. (Hou G C, Wang X P. Climate warming and its effects on agricultural production in Dalian[J]. Chinese Journal of Ecology,2009,28(5):933-937.)
- [5] Liu Y J, Lin E D. Impact of climate warming in the past 20 years on agriculture in different regions of China[J]. Advances in Climate Change Research,2008,4(Suppl.):51-55.
- [6] Kucharik C J, Serbin S P. Impacts of recent climate change on Wisconsin corn and soybean yield trends[J]. Environmental Research Letters,2008,3:034003.
- [7] Mall R K, Lal M, Bhatia V S, et al. Mitigating climate change impact on soybean productivity in India: a simulation study[J]. Agricultural and Forest Meteorology,2004,121(1):113-125.
- [8] Bootsma A, Gameda S, McKenney D W. Potential impacts of climate change on corn, soybeans and barley yields in Atlantic Canada[J]. Canadian Journal of Soil Science,2005,85(2):345-357.
- [9] 孙凤华,杨素英,陈鹏狮. 东北地区近44年的气候暖干化趋势分析及可能影响[J]. 生态学杂志,2005,24(7):751-755. (Sun F H, Yang S Y, Chen P S. Climatic warming-drying trend in north-eastern China during the last 44 years and its effects[J]. Chinese Journal of Ecology,2005,24(7):751-755.)
- [10] 杜春英,李帅,郭建平,等. 东北三省玉米初霜冻时空分布特征及预报方法探讨[J]. 安徽农业科学,2010,38(1):237-240. (Du C Y, Li S, Guo J P, et al. Discussion on temporal and spatial characteristics of early frost and its forecasting method of maize in the three northeastern provinces[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2010,38(1):237-240.)
- [11] 姜丽霞,李帅,申双和,等. 近46 a黑龙江水稻障碍型冷害及其与气候生产力的关系[J]. 大气科学学报,2010,33(3):315-320. (Jiang L X, Li S, Shen S H, et al. Sterile-type cool injury on rice and its relationship with climate productivity in Heilongjiang province from 1961 to 2006[J]. Transactions of Atmospheric Sciences,2010,33(3):315-320.)
- [12] 居辉,熊伟,许吟隆,等. 气候变化对中国东北地区生态与环境的影响[J]. 中国农学通报,2007,23(4):345-349. (Ju H, Xiong W, Xu Y L, et al. Climate change and its impacts in north-east China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2007,23(4):345-349.)
- [13] 张桂华,王艳秋,郑红,等. 气候变暖对黑龙江省作物生产的影响及其对策[J]. 自然灾害学报,2004,13(3):95-100. (Zhang G H, Wang Y Q, Zheng H, et al. Effect of climate warming on crop production in Heilongjiang province and its countermeasures[J]. Journal of Natural Disasters,2004,13(3):95-100.)
- [14] 王艳秋,高煜中,潘华盛,等. 气候变暖对黑龙江省主要农作物的影响[J]. 气候变化研究进展,2007,3(6):373-378. (Wang Y Q, Gao Y Z, Pan H S, et al. Effect of climate warming on major crops in Heilongjiang province[J]. Advances in Climate Change Research,2007,3(6):373-378.)
- [15] 姜丽霞,李帅,纪仰慧,等. 1980~2005年松嫩平原土壤湿度对气候变化的响应[J]. 应用生态学报,2009,20(1):91-97. (Jiang L X, Li S, Ji Y H, et al. Responses of soil humidity on Songnen Plain to climate change in 1980-2005[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2009,20(1):91-97.)