

# 高纬度半干旱地区年际间气象因子变化及对春玉米产量的影响

王俊河,王宇先,刘玉涛,徐莹莹,杨慧莹,高盼,赵蕾

(黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要:**制定半干旱地区玉米栽培技术措施以及选择适宜当地种植的品种,对连续 6 a 玉米产量和气象数据进行分析,探讨影响玉米产量的主要气象因素的作用效果。结果表明:近 6 年生长季气温变化幅度较小,活动积温受霜期影响较大;降雨量高于往年平均水平,各月份降雨量时空分布不均匀,易发生春旱、夏涝现象。降雨量的多少及其时空分布情况、个别年份的早霜和晚霜等灾害性天气是玉米年际间产量波动的主要限制性气象因素。

**关键词:**高纬度半干旱地区;气象因子;玉米;产量

**中图分类号:**S513 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)12-0018-05 **DOI:**10.11942/j.issn1002-2767.2016.12.0018

近百年来,全球气候正在经历一场以变暖为主要特征的显著变化。随着气候变化的加剧,其影响范围已近涉及到生产、生活及生态等多个方面,农业生产受气候变化影响最直接,最敏感,通过改变农业的生产条件而导致农业生产的不稳定性增加,直接影响到农作物生长季的生长发育,造成粮食产量的波动。尽管气候变化及其可能造成的影响还存在着一定的不确定性,但对此已逐步形成共识的是气候变化已经并将继续对粮食生产产生重大影响<sup>[1]</sup>。

由于气候条件的变化,高纬度半干旱地区主要作物品种的布局以及作物的种植制度均发生变化,从而使长期形成的农业生产格局、种植模式随之改变。热量条件改善总体上有利于粮食生产,但气候变化伴随干旱、洪涝、低温冷害等灾害性天气的发生频率增加,致使东北地区已成为我国粮食单产波动最大的区域之一<sup>[2]</sup>。在以往众多的气候因子与玉米产量关系研究中,大多是从宏观角度进行的,所采用的产量数据也多为统计部门发布的资料,与具体生产存在一定差距<sup>[3]</sup>。本试验是针对高纬度半干旱地区年际间气象因子和玉米

产量的波动性变化,以具体、连续 6 a 的田间试验研究年际间气候条件变化对玉米产量及产量构成因素的影响,旨在探明影响该地区玉米产量的主要气象因子,为该地区玉米生产栽培技术措施的制定及品种类型的选择等提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点概况

试验于 2011-2016 年在黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院科研试验基地进行,位于黑龙江省齐齐哈尔市富拉尔基区,N 47°16',E 123°41',海拔 150.0 m,属中温带大陆性季风气候,冬冷夏热,气温年较差大,春季干燥风大,夏季高温多雨,雨热同期,秋季短暂霜早,冬季干冷漫长。年均温 3.2℃,最冷月为 1 月,平均温度 -25.7℃,最热月为 7 月平均温度 22.8℃。年平均无霜期为 145 d。降水季节分配不均,年际间变化大。年平均降水量 415 mm,生长季(5-9 月)降雨量为 350~370 mm,占全年降雨量的 85%以上。试验地地势平坦,排灌方便,试验地土壤条件一致,土壤类型为碳酸盐黑钙土,前茬种植玉米。

### 1.2 材料

玉米生长季即每年 5 月 1 日-9 月 30 日的气象资料,由黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院自动气象站提供。

### 1.3 方法

1.3.1 试验设计 采用大区对比,不设重复,密度为 60 000 株·hm<sup>-2</sup>。田间管理与当地生产田相同。各年的试验地块、品种、施肥量、种植密度及田间

收稿日期:2016-11-30

**基金项目:**国家玉米产业体系齐齐哈尔试验站资助项目;齐齐哈尔市科技局农业公关资助项目(NYGG-201405,NYGG-201509);公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(2013 03125-21,201503116-02);黑龙江省农业科学院创新工程资助项目(2014QN015)

**第一作者简介:**王俊河(1963-),男,黑龙江省绥化市人,学士,研究员,从事耕作与栽培研究。E-mail:wangjunhe63@163.com。

管理措施相同。只在播种前为保证出苗进行一次充分灌溉,灌溉量为30 mm,除发生重大干旱,生育期间一般不进行补充灌溉。

1.3.2 测定项目及方法 根据气象资料计算生长季活动积温、平均气温、无霜期。采用多点平均法测量玉米产量并折算新标准水产量。

1.3.3 数据统计与分析 采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 年际间气象因子变化特征

2.1.1 年际间温度变化特征分析 (1)年际间积温和无霜期变化:由表 1 可知,2011-2016 年生长季 5-9 月份 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温平均值为 2 967.0  $^{\circ}\text{C}$ ,最高年为 2014 年 3 029.8  $^{\circ}\text{C}$ ,最低年 2015 年 2 915.1  $^{\circ}\text{C}$ ,相差 114.7  $^{\circ}\text{C}$ ,年际间变异系数为 1.92%,离散程度较小; $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的活动积温平均值为 2 898.1  $^{\circ}\text{C}$ ,最高年为 2016 年 2 995 $^{\circ}\text{C}$ ,最低

年为 2011 年 2 774.5  $^{\circ}\text{C}$ ,相差 220.5  $^{\circ}\text{C}$ ,年际间变异系数为 2.89%,离散程度高于 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温;通过相关性分析 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温与无霜期呈正向相关( $R=0.862\ 3$ , $a=0.05$ 时, $r=0.811\ 4$ ),说明年际间 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温变化幅度较小,但由于受到霜期低温冷害的影响,尤其是霜期的影响导致有效积温离散程度变高,变化幅度增大。

比较年际间终霜期、初霜期和无霜期变化可知,除 2015 年终霜期出现在 5 月 10 日外,2011-2016 年终霜期均在 5 月份之前且有提前趋势;除 2011 年出现早霜外,其它各年际间初霜期均在 9 月 26 日之后且有延后趋势,2012 年初霜期延后至 10 月 6 日,为近 6 年初霜期最晚出现年份;各年际间无霜期均值为 154 d,变异系数为 5.45%,其中 2012 年、2014 年、2016 年无霜期达到 160 d 以上,2011 年、2015 年由于受到秋季早霜和春季晚霜的影响导致生长季无霜期缩短,均为 143 d。

表 1 2011-2016 年生长季积温和无霜期变化

Table 1 The change of accumulated temperature and frost free period growing season from 2011 to 2016

年份 Year	$\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温/ $^{\circ}\text{C}$ $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature	$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温/ $^{\circ}\text{C}$ $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ active accumulated temperature	终霜期/月-日 Final frost period	初霜期/月-日 Start frost period	无霜期/d Frost free period
2011	2926.7	2774.5	04-27	09-17	143
2012	2952.9	2910.3	04-29	10-06	162
2013	2950.6	2924.5	04-26	09-26	153
2014	3029.8	2910.3	04-21	09-29	160
2015	2915.1	2832.0	05-10	09-29	143
2016	3026.9	2995.0	04-18	09-28	162
平均值 Average	2967.0	2898.1	-	-	154
变异系数/% Variable coefficient	1.92	2.89	-	-	5.45

(2)年际间各月平均气温变化特征:由表 2 可知,各月份平均气温呈单峰曲线变化,但各月份变异系数有所不同。2011、2015 年的变异系数为 24.13%、24.22%,高于其它各年变异系数,说明 2011 年、2015 年各月平均气温变化相对较大。比较各月份的年际间变化可知,年际间各月气温平均值均在 19.0~19.8  $^{\circ}\text{C}$ ,变化幅度较小。各年际间 5 月份的平均气温变异系数最大,为 9.97%,其它各月份的变异系数均小于 5.35%,说明各月份平均气温的年际变化中,以 5 月份的离散程度最大,最易出现温度极端变化。

对近 6 年各月气温平均值与 1971-2010 年多年数据各月平均值进行比较可知(见图 1),2011-2016 年近 6 年各月气温平均值均高于多年气温平

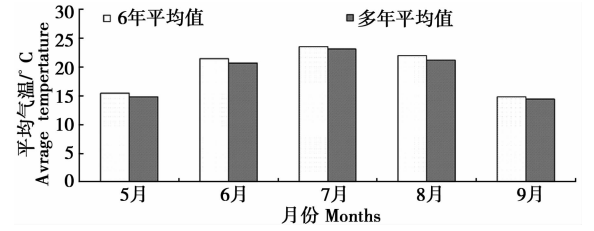


图 1 不同年际间各月平均气温变化  
Fig. 1 The change of average temperature every month

表 2 2011-2016 年各月平均气温变化

Table 2 The change of average temperature every month from 2011 to 2016

年份 Year	5 月份平均 气温/℃ Average temperature in May	6 月份平均 气温/℃ Average temperature in June	7 月份平均 气温/℃ Average temperature in July	8 月份平均 气温/℃ Average temperature in August	9 月份平均 气温/℃ Average temperature in September	平均值 Average	变异系数/% Variable coefficient
2011	14.6	22.0	23.4	22.7	13.9	19.3	24.13
2012	15.7	20.9	23.7	21.5	14.6	19.3	20.39
2013	17.8	20.8	23.2	21.8	15.3	19.8	16.15
2014	14.6	23.3	22.6	21.4	14.5	19.3	22.67
2015	13.4	21.3	23.6	22.1	14.8	19.0	24.22
2016	16.2	20.0	24.7	22.0	15.9	19.8	19.11
变异系数/% Variable coefficient	9.97	5.35	2.94	2.15	4.66	-	-

均值,5-9 月分别增加 0.7、0.8、0.4、0.7、0.5℃,说明近 6 年各月平均气温均有所增加,平均气温变化呈上升趋势,以 6 月平均气温上升幅度最大,5、8 月气温上升幅度其次。

2.1.2 年际间降雨量变化特征分析 (1)年际间降雨量变化特征:由图 2 可知,2011 年生长季降雨量为 375.4 mm,与多年平均降雨量相持平,为降雨正常年份;2012-2015 年的降雨量均达到了410 mm

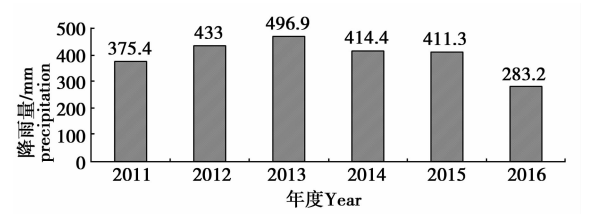


图 2 2011-2016 年际间降雨量变化

Fig. 2 The change of precipitation every year from 2011 to 2016

以上,高于多年平均降雨量,为降雨丰沛年份;2016 年生长季降雨量为 283.2 mm,低于多年平均降雨量,为干旱年份。

(2)年际间各月降雨量变化特征:由表 3 可知,不同年际间各月份的变异系数变化不同,2011 年、2012 年各月份降雨量变异系数较大,分别为 119.89%、113.57%,说明 2011 年和 2012 年各月降雨量离散度大,分配不均;2015 年变异系数最小为 35.78%,各月降雨量分配较为均匀。对比各月降雨量的年际间变化可知,2011-2016 年年际间各月份降雨量的变异系数不同。8 月份降雨量变异系数最高,为 70.35%,说明 8 月份降雨量年际间变化最大;9 月份降雨量变异系数最小,为 47.38%,降雨量变化相对稳定;5 月、6 月、7 月变异系数分别为 52.56%、53.81%、53.71%,离散程度大小相近,说明变化幅度相近。

表 3 2011-2016 年各月降雨量变化

Table 3 The change of precipitation every month from 2011 to 2016

年份 Year	5 月份降雨量/mm Precipitation in May	6 月份降雨量/mm Precipitation in June	7 月份降雨量/mm Precipitation in July	8 月份降雨量/mm Precipitation in August	9 月份降雨量/mm Precipitation in September	变异系数/% Variable coefficient
2011	78.4	39.4	229.1	14.8	13.7	119.89
2012	18.4	54.8	252.8	13.4	93.6	113.57
2013	17.7	125.5	166.4	123.0	37.3	67.53
2014	59.9	22.7	140.3	127.6	63.9	59.74
2015	51.1	114.1	109.5	81.5	55.1	35.78
2016	44.2	118.9	12.5	33.9	73.7	72.73
变异系数/% Variable coefficient	52.56	53.81	53.71	70.35	47.38	-

对比近 6 年各月降雨量平均值与 1971-2010 年多年数据各月平均值可知(见图 3),近 6 年各月降雨量除 8 月份减少 27%外,5 月、6 月、7 月、9 月降雨量均有所增加,增加幅度分别为 52.03%、18.03%、17.86%、23.52%,以 5 月份降雨量增加最多。

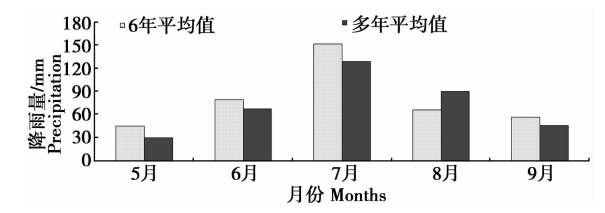


图 3 不同年际间各月份降雨量平均气温变化  
Fig. 3 The change of precipitation every month

## 2.2 年际间气象因子变化对玉米产量的影响

2.2.1 不同年际间产量变化 如图 4 可知,年际间的单位面积产量波动较大,其中 2014 年产量最高 11 219 kg·hm<sup>-2</sup>,2016 年产量最低为 7 056 kg·hm<sup>-2</sup>,且与其它年际间玉米产量呈极显著差异。2011、2012、2013、2015、2016 年分别比 2014 年减产 13.05%、3.58%、1.48%、5.24%、37.11%。

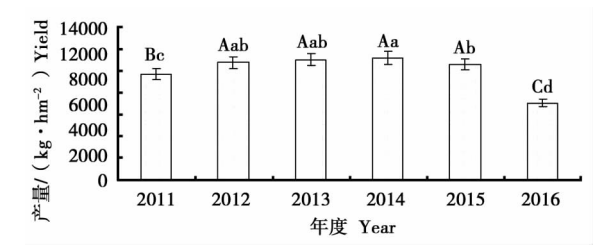


图 4 年际间产量的变化  
Fig. 4 The change of yield in different year

2.2.2 年际间温度变化对产量的影响 从图 5 看出,玉米产量与≥10℃活动积温的相关性未达到显著水平,相关系数为  $R=0.2912$  ( $\alpha=0.05$  时,  $r=0.8114$ )。说明在高纬度半干旱地区,年际间活动积温变化并不是玉米产量的主要影响因素。但年际间活动积温与无霜期呈正向相关,主要受春季晚霜和秋季早霜等灾害天气出现影响波动较大,如 2011 年 9 月 17 日早霜和 2015 年 5 月 9 日的晚霜都对玉米生长发育和产量形成造成影响,尤其是 2011 年晚霜是造成玉米产量显著降低的主要原因。

2.2.3 年际间降雨量对产量的影响 从图 6 看出,2012-2015 年生长季降雨量均超过 411.3 mm,属于降雨丰沛年份,产量获得显著提升;2016 年属于干旱年份,降雨量少于多年平均

水平,其产量最低;2011 年属降雨正常年份,产量显著高于 2016 年,但显著低于 2012-2015 年 4 a 降雨丰沛年份产量。相关分析表明玉米产量与降雨量的相关性达到显著水平,相关系数  $R=0.9471$  ( $\alpha=0.05$  时,  $R=0.8114$ ),可见在高纬度半干旱地区生长季降雨量与玉米产量密切相关,生长季降雨量的多少决定了年际间玉米产量的变化。同时发现,2013 年降雨量为最高值,但其产量并非最高,2014 年降雨量为 414.4 mm,产量却最高,说明当降雨量超过某一范围后,玉米产量的高低变化与总降雨量关系并不密切。分析其原因,单纯从降雨量与产量上看,这种结果可能是因为降雨量时间分布不均,导致某一时段多雨寡照或干旱而造成减产。

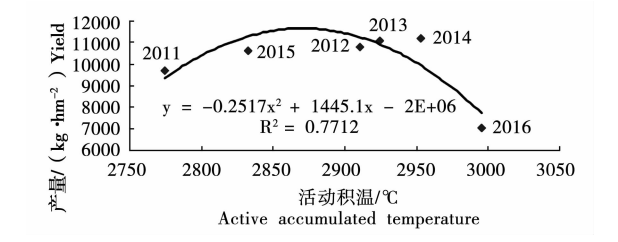


图 5 温度变化对产量的影响  
Fig. 5 The change of yield in different active accumulated temperature

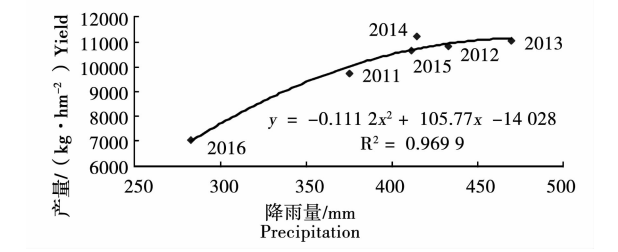


图 6 降雨量对产量的影响  
Fig. 6 The change of yield in different precipitation

## 3 结论与讨论

作物产量的形成实际上是作物自身生产潜力和外界环境综合作用的结果。玉米产量的形成受品种、栽培措施及气候条件综合影响<sup>[4]</sup>,其中气候条件的变化对玉米产量影响尤为重要。近 50 年来,高纬度半干旱地区年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温均呈明显上升趋势,四季的气温均呈升高趋势,其中春、秋、冬季显著;年降雨量呈略减少趋势,同时降雨日数也在减少<sup>[5]</sup>。气温升高、降雨减少,总体上向暖干化方向发展,未来预估东北气温还会明显上升,土壤湿度将可能降低<sup>[6]</sup>。

研究表明近 6 年来高纬度半干旱地区温度变化表现为生长季各月平均温度升高,提高活动积温,生育期延长,无霜天数增加,对热量相对匮乏地区的气候生产潜力增加是有利的,但在同一品种和栽培条件下,温度与玉米产量并未表现出相关性,同时发现在生长季 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温变异系数高于 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温,冷害事件发生频率仍然频繁。如 2011 年 9 月 17 日早霜和 2015 年 5 月 9 日的晚霜都对玉米生产造成了巨大的影响,春季低温晚霜和秋季早霜仍是主要影响高纬度半干旱地区玉米生产的限制因素。

水分条件状况是决定半干旱地区农业生产的重要因素<sup>[7]</sup>。大部分研究认为,近 20 年东北高纬度地区春玉米生长季温度增高、降水减少、气候有变暖的趋势。同时也有一些研究认为,全球气候变化将加强水文循环,水文蒸发,大气湿度和降水量都将增加<sup>[8-9]</sup>。研究表明近 6 年来高纬度半干旱地区生长季降雨量有所增加,对缓解干旱,提高产量具有积极作用,但由于其降水时空分布不均匀,对玉米年际间产量波动影响较大。干旱和内涝现象仍然发生频繁,极易出现春旱、秋吊、夏涝现象,对玉米生产影响较大。

本研究是在高纬度半干旱地区进行定点试验,以连续 6 a 产量和气象数据分析,对影响玉米产量的主要气象因素探讨,只能代表高纬度半干旱地区近 6 年的气象数据变化,与长期观测数据

可能相悖。在实际生产中,品种的更换和栽培模式的提高极大的消减了由于气候因素带来的不利影响<sup>[10]</sup>。降雨量的多少及其时空分布情况、个别年份的早霜和晚霜等灾害性天气仍是高纬度半干旱地区玉米年际间产量波动的主要限制性气象因素。

#### 参考文献:

- [1] 胡吕浩. 玉米栽培生理[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
- [2] 程叶青. 农业地域系统演变的动态模拟与优化调控研究——以东北地区为例[J]. 地理科学,2010,30(1):60-65.
- [3] 熊伟,杨婕林,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[J]. 地球科学进展,2008(10):7-12.
- [4] 贾士芳,董树亭,王空军,等. 玉米花粒期不同阶段遮光对籽粒品质的影响[J]. 作物学报,2007,33(12):1960-1967.
- [5] 许吟隆,郑大玮,刘晓英,等. 中国农业适应气候变化关键问题研究[M]. 北京:气象出版社,2014.
- [6] 陈群,耿婷,侯雯嘉,等. 近 20 年东北气候变暖对春玉米生长发育及产量的影响[J]. 中国农业科学,2014,47(10):1904-1916.
- [7] 孙红霞. 黑龙江省西部半干旱区干旱特性及预测模型研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2010.
- [8] 崔巧娟. 未来气候变暖对中国玉米生产的影响评估[D]. 北京:中国农业大学,2005.
- [9] 靳春香. 黑龙江省近 50 年降水变化趋势及空间分布特征. 中国水土保持科学[J]. 2015,13(1):76-83.
- [10] 潘华盛,徐南平,张桂华. 气候变暖对黑龙江省农作物结构调整影响及未来 50 年农业情景对策[J]. 黑龙江气象,2004(1):13-15,127.

## Influence of Meteorological Factors Change on Yield of Spring Maize in High Latitude and Semi Arid Region

WANG Jun-he, WANG Yu-xian, LIU Yu-tao, XU Ying-ying, YANG Hui-ying, GAO Pan, ZHAO Lei

(Qiqihar Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar, Heilongjiang 161006)

**Abstract:** In order to make a cultivation technique measures of maize in semi-arid areas, and choose suitable varieties, maize yield and meteorological data for six consecutive years were analyzed to explore the effect of the main meteorological factors on the maize yield. The results showed that the growing season temperature changed less in recent six years, but the active accumulated temperature was affected greatly by frost period. Rainfall was above average level of previous years' and each month the rainfall was uneven in temporal and spatial distribution, which lead to the phenomenon of spring drought and summer flood. The amount of rainfall and its temporal and spatial distribution, early and late frost in individual year, and other disastrous weather were the main limiting meteorological factors which caused the annual fluctuation of maize yield.

**Keywords:** high latitude and semi arid region; meteorological factors; maize; yield

(该文作者还有闫锋、胡继芳,单位同第一作者)