

DOI: 10.19462/j.cnki.zgzy.20231101002

# 黑龙江西部玉米产量预估模型的建立

薛瑶<sup>1</sup> 吕东辉<sup>2</sup> 叶倩竹<sup>3</sup> 刘兴丽<sup>4</sup><sup>1</sup>黑龙江省齐齐哈尔市气象局,齐齐哈尔 161000; <sup>2</sup>黑龙江省甘南县气象局,甘南 162100;<sup>3</sup>广东海洋大学,湛江 524000; <sup>4</sup>黑龙江气象数据中心,哈尔滨 150000)

**摘要:**目前黑龙江西部富裕县玉米的主栽品种吉单 66 多年来表现较好,为进一步探索气象因子对其产量及产量构成因子的影响,以期研究出玉米产量预估模型并应用于实际生产,以玉米品种吉单 66 为研究对象,采用相关性分析方法,对其生育期内气象因子及玉米产量构成因子进行分析。研究结果表明,玉米有效穗数、行粒数和百粒重与产量相关性很强;从相关性分析和线性回归分析可以看出,6 月平均气温、日照时数、降水量和 8 月平均气温、9 月降水量对玉米吉单 66 产量影响大,相关性强,其中 9 月降水量与产量呈显著负相关,其他 4 个气象因子为正相关;利用多元线性回归分析,建立了 2 种玉米产量预估模型。经过对比分析,2 种产量预估模型均比较精准,适用于吉单 66 玉米品种及其他黑龙江西部玉米品种产量预估,为今后黑龙江其他地区产量预估模型的建立及农业气象服务奠定了基础。

**关键词:**黑龙江西部;玉米;产量预估模型;气象因子;产量构成因子;相关性分析

## Establishment of Maize Yield Prediction Model in Western Heilongjiang Province

XUE Yao<sup>1</sup>, LYU Donghui<sup>2</sup>, YE Qianzhu<sup>3</sup>, LIU Xingli<sup>4</sup><sup>1</sup>Qiqihar Meteorological Bureau, Qiqihar 161000, Heilongjiang; <sup>2</sup>Gannan County Meteorological Bureau, Gannan 162100, Heilongjiang;<sup>3</sup>Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524000, Guangdong; <sup>4</sup>Heilongjiang Meteorological Data Center, Harbin 150000)

全球气候变暖导致气候事件呈现多发、频发、广发趋势,对人类生活、经济社会发展和农业生产等方面造成影响<sup>[1]</sup>。预计到 2100 年,全球平均气温将上升 1.1~6.4℃<sup>[2]</sup>,降水分布也将发生很大变化。气候条件变化对农业生产影响严重,对国家粮食安全构成威胁,其中洪涝、干旱等灾害对黑龙江省农作物生产造成的影响占有所有自然灾害对农作物生产造成影响总和的 89.4%,其他自然灾害导致的农作物产量降低的情况约占 5%<sup>[3]</sup>,农业受气候变化影响极敏感且直接。近年来,不少国内外学者对气象因子与产量及构成因子的关联关系进行研究,其中武红霞等<sup>[4]</sup>通过相关性分析和建立线性回归模型,对太行山区旱坡板栗气象条件与产量的关系进行了研究,确定了水分是影响产量的制约因素;刘自成等<sup>[5]</sup>选用 2003–2010 年数据资料,分析了试验区冬小麦生

长发育关键期气候变化的特点及其对小麦产生的影响,并对小麦生长发育过程中的气象因子与小麦产量及影响产量的因素进行了相关性分析;张森等<sup>[6]</sup>通过灰色关联度分析的方法对气象条件与玉米倒伏和产量进行分析,得出了在当地影响产量最关键的气象因子和该区域造成玉米倒伏的主要影响因素。目前,国内外对黑龙江西部气象因子与玉米产量影响的研究鲜有报道,因此本试验的研究十分有意义。

黑龙江省是我国重要的商品粮产区,在玉米产量、种植面积、商品化率方面均居全国首位<sup>[7]</sup>,真正承担了当好国家粮食安全“压舱石”的重任。黑龙江西部玉米多是中晚熟品种,产量多受气象因子影响较大。富裕县常年玉米种植面积高达 10 万 hm<sup>2</sup> 以上,占全省种植面积的 1/6,是黑龙江省玉米种植面积最大、产量最高的县,因此富裕县又有“世界玉

米生产带”的称号。实际上富裕县玉米的主栽品种为吉单 66,在富裕县推广种植以来,种植面积高达 6 万  $\text{hm}^2$  以上,是黑龙江西部种植面积最广的玉米品种。富裕县位于松嫩平原西北部,处于第一积温带,中温带大陆性季风气候。春季多风少雨,夏季高温多雨,秋季气温变化剧烈,冬季严寒干燥。最冷月平均气温  $-19.8\text{ }^\circ\text{C}$ ,最热月平均气温  $22.6\text{ }^\circ\text{C}$ ,年平均气温  $3.3\text{ }^\circ\text{C}$ 。雨量时段分布不均,年降水量  $448.3\text{mm}$ ,降水以 6–8 月最为突出,占全年总降水量的 68.2%。年平均相对湿度 64.0%,无霜期短,年平均无霜期 134d。全年日照时数 2595.1h,占可照时数 59.0%。黑龙江气象灾害频发,农作物的生长和发育高度依赖当地的环境条件,气候变化势必影响农作物最终产量<sup>[8]</sup>。因此,全面了解黑龙江西部气象因子与玉米产量之间的联系,从而预估其产量,对确保粮食安全、助力经济社会发展具有深远的影响。

## 1 材料与方法

**1.1 试验点概况** 该试验设在黑龙江省龙安桥镇农业科技示范园区,试验地土壤类型为薄层粘底碳酸盐黑钙土,土壤有机质含量约 1.5%,pH 值 7.5 左右,肥力偏低,为该县主要栽培土壤类型,基本对全县农业耕作土壤类型具有代表性。

**1.2 试验设计** 参试玉米品种为吉单 66,由吉林省农业科学院玉米研究所选育,并于 2016 年经吉

林省农作物品种审定委员会审定,审定编号为吉审玉 2016015,此品种特性为高产、脱水快、抗病。该试验区面积  $13000\text{m}^2$  左右,不设重复,每个处理 10 垄,垄距 130cm,垄长 30m,破垄夹施 45% 测土配方复合肥  $40\text{kg}/667\text{m}^2$ 。适时播种,播种采用机械开沟、精量点播,各处理用种量  $1.2\text{kg}/667\text{m}^2$ 。田间管理与常规管理一致,及时铲趟、追肥、防治病虫害。

**1.3 测定项目** 对黑龙江省富裕国家基准气象站观测数据进行处理,整理出 2018–2022 年玉米生育期每月气象因子数据(主要包括月平均气温、月降水量、月日照时数)进行后续分析(表 1)。试验区收获后进行 2018–2022 年每年全区测产和相关产量构成因子的测定,测定项目为有效穗数、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、单穗粒数及百粒重。

**1.4 数据统计分析** 用 Excel 2010 整理 2018–2022 年玉米生育期每月气象数据、吉单 66 产量及产量构成因子数据,利用 SPSS 23.0 软件对产量及产量构成因子和气象因子进行相关性分析,并进行产量预估模型的多元线性回归分析。

## 2 结果与分析

**2.1 富裕地区玉米生育期气象因子变化** 通过对表 1 中富裕地区玉米生育期气象因子变化情况进行分析,得出 9 月降水量变异系数最大,8 月平均气温变异系数最小,且生育期内每月平均气温变异系数

表 1 富裕地区玉米生育期气象因子变化

气象因子	月份	平均值	最小值	最大值	方差	变异系数(%)
平均气温( $^\circ\text{C}$ )	5月	$14.8 \pm 0.6$	13.8	15.5	1.57	4.33
	6月	$20.2 \pm 0.9$	19.1	21.3	0.74	4.51
	7月	$24.0 \pm 1.0$	22.5	25.2	0.95	4.06
	8月	$20.3 \pm 0.5$	19.7	21.0	0.23	2.35
	9月	$15.0 \pm 0.5$	14.6	15.7	0.21	3.03
降水量(mm)	5月	$36.0 \pm 9.6$	25.9	48.4	91.49	26.57
	6月	$127.0 \pm 22.1$	106.4	161.6	488.32	17.40
	7月	$145.2 \pm 76.6$	42.1	227.6	5868.71	52.76
	8月	$140.9 \pm 78.9$	41.8	257.3	6228.06	56.01
	9月	$84.9 \pm 77.2$	14.6	212.1	5951.91	90.87
日照时数(h)	5月	$275.1 \pm 16.2$	257.2	291.7	263.44	5.90
	6月	$240.9 \pm 20.9$	208.5	260.3	436.23	8.67
	7月	$218.5 \pm 50.5$	162.5	298.1	2551.99	23.12
	8月	$196.0 \pm 45.9$	154.3	274.1	2110.70	23.44
	9月	$221.8 \pm 38.6$	177.1	275.0	1489.44	17.40

均小于5%,变异幅度较小,相较其他气象因子稳定,变化范围较集中。每月的日照时数相比降水量也较稳定,月降水量变化最大,其中9月降水量最高时可达212.1mm,最低时仅有14.6mm,差异极大。月降水量的方差较大,其次为月日照时数,月平均气温较小,也反映出各月降水量变化大,气温较稳定。

**2.2 吉单66产量及产量构成因子变化** 对吉单66玉米品种2018–2022年产量及产量构成因子进行分析(表2),得出每 $\text{hm}^2$ 产量的变异系数及方差最大,穗行数的变异系数最小,穗粗的方差最小,说明穗行数及穗粗的稳定性高,适应性较强。其中2022年产量最高,达到 $9664.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ,2020年产量最低,仅有 $5704.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ,主要是受2020年台风“巴威”“美莎克”和“海神”相继北上影响,富裕县出现了区域性暴雨大风天气,气温较低,致使开花至乳熟期生长条件较差,不利于干物质积累,产量降低。

通过对吉单66玉米品种的产量及产量构成因子进行相关性分析(表3),得出监测的7个产量构成因子均与产量呈正相关,行粒数与产量相关系数最大,为0.992,达到极显著相关水平,有效穗数、

百粒重与产量达到了显著性相关,相关系数分别为0.987和0.967,足以看出吉单66的产量与行粒数、有效穗数和百粒重密切相关,当行粒数、有效穗数、百粒重任意一个变量或多个变量增多时,产量都会相应有所提高。有效穗数也与行粒数、百粒重呈显著正相关,说明这三者其中一个或者多个发生变化,都会影响其他产量构成因子的变化。

**2.3 气象因子与产量及产量构成因子的相关性分析** 对近4年生长发育期内气象因子与产量和产量构成因子进行相关性分析(表4)。在月平均气温方面,5月、7月平均气温与产量呈负相关,6月平均气温与产量、有效穗数呈显著正相关,与百粒重呈极显著正相关,8月平均气温与穗粗呈极显著正相关;在月降水量方面,5月降水量与穗粗呈显著正相关,8月降水量与产量呈负相关,9月降水量与产量、百粒重呈显著负相关;在月日照时数方面,7月、9月日照时数与产量呈负相关,其中9月负相关系数仅为-0.001,6月日照时数与产量、行粒数达到显著性正相关水平,与有效穗数达到极显著正相关水平,对产量影响较大。由于有效穗数、行粒数和百粒重与

表2 吉单66产量及产量构成因子变化

农艺性状	平均值	最小值	最大值	方差	变异系数(%)
有效穗数	$3521.8 \pm 619.2$	2672.0	4053.0	383324.98	17.58
穗长(cm)	$19.3 \pm 3.8$	14.0	22.0	14.32	19.61
穗粗(cm)	$5.0 \pm 0.3$	4.8	5.4	0.08	5.66
穗行数	$16.5 \pm 0.6$	16.0	17.0	0.33	3.50
行粒数	$40.5 \pm 7.1$	30.0	45.0	50.98	17.63
单穗粒数	$661.3 \pm 137.1$	480.0	770.0	18811.12	20.74
百粒重(g)	$38.5 \pm 2.5$	35.2	41.2	6.15	6.44
产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	$8262.0 \pm 1769.1$	5704.5	9664.5	3128986.70	21.41

表3 吉单66产量与产量构成因子相关性分析

农艺性状	产量	有效穗数	穗长	穗粗	穗行数	行粒数	单穗粒数	百粒重
产量	1							
有效穗数	0.987*	1						
穗长	0.753	0.847	1					
穗粗	0.287	0.135	-0.408	1				
穗行数	0.753	0.847	0.841	-0.408	1			
行粒数	0.992**	0.974*	0.728	0.297	0.728	1		
单穗粒数	0.386	0.527	0.895	-0.748	0.895	0.345	1	
百粒重	0.967*	0.958*	0.733	-0.304	0.733	0.928	0.404	1

\*为在0.05水平相关性显著;\*\*为在0.01水平相关性极显著;下同

表4 气象因子与产量的相关性分析

气象因子	月份	产量	有效穗数	穗长	穗粗	穗行数	行粒数	单穗粒数	百粒重
平均气温(℃)	5月	-0.572	-0.663	-0.818	0.318	-0.818	-0.482	-0.814	-0.704
	6月	0.980*	0.986*	0.808	0.203	0.808	0.949	0.491	0.991**
	7月	-0.892	-0.811	-0.380	-0.665	-0.380	-0.909	0.070	-0.837
	8月	0.183	0.029	-0.501	0.994**	-0.501	0.191	-0.806	0.209
	9月	0.607	0.969	0.839	-0.305	0.839	0.520	0.818	0.730
降水量(mm)	5月	0.432	0.285	-0.267	0.985*	-0.267	0.450	-0.655	0.423
	6月	0.737	0.765	0.735	-0.131	0.735	0.797	0.478	0.556
	7月	0.620	0.587	0.390	0.185	0.390	0.711	0.061	0.400
	8月	-0.840	-0.860	-0.741	-0.153	-0.741	-0.766	-0.524	-0.945
	9月	-0.962*	-0.917	-0.580	-0.505	-0.580	-0.942	-0.185	-0.970*
日照时数(h)	5月	0.054	-0.026	-0.322	0.649	-0.322	-0.030	-0.408	0.261
	6月	0.986*	0.998**	0.845	0.128	0.845	0.981*	0.518	0.939
	7月	-0.797	-0.765	-0.530	-0.251	-0.530	-0.866	-0.155	-0.618
	8月	0.652	0.681	0.617	0.103	0.617	0.554	0.495	0.820
	9月	-0.001	0.028	0.081	0.014	0.081	-0.123	0.206	0.254

产量相关性很强,可以看出产量和各月气象因子与各月气象因子和有效穗数、行粒数、百粒重的相关性呈现大致相同的趋势。由表4可见,6月平均气温、9月降水量和6月日照时数与产量相关性比较大。

**2.4 产量预估模型** 产量预估模型建立可以尝试2种方式,第1种是生育期内各月气象因子作为自变量( $X$ ),产量作为因变量( $Y$ )建立线性回归方程,经SPSS 23.0软件分析得到全因子产量预估模型如下。

$$Y = -24219.813 + 710.034X_1 + 72.568X_2 + 3.23224X_3 \quad (1)$$

(1)式中, $X_1$ 为8月平均气温(℃); $X_2$ 为6月日照时数(h); $X_3$ 为6月降水量(mm)。

第2种方式是显著因子作为自变量( $X$ ),产量作为因变量( $Y$ )建立线性回归方程,经SPSS 23.0软件分析得到显著因子产量预估模型如下。

$$Y' = 2570.627 - 321.549X_1' - 10.319X_2' + 54.984X_3' \quad (2)$$

(2)式中, $X_1'$ 为6月平均气温(℃); $X_2'$ 为9月降水量(mm); $X_3'$ 为6月日照时数(h)。

2018年吉单66实际产量为8650.73kg/hm<sup>2</sup>,6月、8月平均气温分别为20.3℃和21.0℃,6月、9

月降水量分别为127.7mm和69.9mm,6月日照时数分别为239.9h,将这些气象因子带入产量预估模型,得出模拟产量为8512.72kg/hm<sup>2</sup>和8512.55kg/hm<sup>2</sup>,误差均为1.6%,模拟效果都准确,且2种模型的R<sup>2</sup>为1.000,试验效果非常好(表5)。

### 3 结论与讨论

通过气象因子与产量的相关性分析可以看出,6月平均气温、9月降水量和6月日照时数与玉米吉单66产量相关性较大;从线性回归分析可以看出,8月平均气温、6月日照时数和6月降水量对玉米吉单66产量影响极大。6月份正是富裕县吉单66品种3叶期至拔节期,在此期间温度极其重要,适宜的温度有利于干物质的积累和培育壮苗,能为玉米后期的生长发育打好基础,因此6月气温对产量有很大影响。玉米的产量归功于光照的利用,玉米是C4型高光效能作物,在水分保证、温度适宜的情况下,充足的日照能够提高玉米光能利用率,产生更多的光合作用产物,进而达到高产,同时日照时数的增加能够使平均气温升高,通过2种产量预估模型可以看出,6月日照时数的增加最有利

表5 全因子产量预估模型与显著因子产量预估模型比较

产量预估模型	实际产量(kg/hm <sup>2</sup> )	模拟产量(kg/hm <sup>2</sup> )	R <sup>2</sup>	误差(%)	效果
$Y = -24219.813 + 710.034X_1 + 72.568X_2 + 3.23224X_3$	8650.73	8512.72	1.000	1.6	准确
$Y' = 2570.627 - 321.549X_1' - 10.319X_2' + 54.984X_3'$	8650.73	8512.55	1.000	1.6	准确

于产量的形成。6月作物需水量占全生育期需水量的30.7%，因此适宜的降水量促使根系向下深扎，增加植株抗倒伏性和对养分的吸收。8月份为吉单66开花至乳熟期，此期间以生殖生长为主，当气温高于30℃时，会导致呼吸消耗增强，功能叶片快速老化，籽粒灌浆不足，当气温过低时，则会减缓生长，影响作物成熟和产量，因此8月气温对产量影响较大。9月份是乳熟期至成熟期，此期间作物需水量占总生育期需水量的19.0%~31.5%，足以看出适宜的降水量是作物发育的前提，而降水量的增加同时又影响着气温的变化，随着降水量增加，气温有所降低，因此9月份降水量与产量呈显著负相关。

本试验对2018–2022年富裕国家基准站观测数据进行整理，得出降水量近5年分布不均，变化较大，温度和日照时数相对较稳定；对产量及产量构成因子和气象因子进行相关性分析，发现行粒数、有效穗数和百粒重显著影响着吉单66品种产量的高低，6月平均气温、日照时数、降水量和8月平均气温均与产量联系密切，9月降水量与产量呈反比。采用多元线性回归法建立产量预估模型，2种产量预估

模型经检验后结果准确，适用于吉单66玉米品种及黑龙江西部地区的玉米产量预估，对实际生产具有较高的参考价值。

#### 参考文献

- [1] 马军波. 黑龙江省玉米生育期内气象干旱对产量的影响. 吉林水利, 2022 (5): 61–65
- [2] IPCC. Climate Change 2007: The physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007
- [3] 袁荣, 廖思寒, 纪鸿飞, 聂堂哲. 1960–2019年黑龙江省气候变化特征分析. 吉林水利, 2022 (11): 1–6, 12
- [4] 武红霞, 陈彦军, 冯洪敏, 靳智昌. 太行山区旱坡板栗气象条件与产量的关系研究. 烟台果树, 2022 (4): 18–21
- [5] 刘自成, 杨虢, 李浩. 气象因素对冬小麦生育和产量影响研究. 安徽农业科学, 2014, 42 (34): 12180–12183
- [6] 张森, 徐开未, 裴丽珍, 陈晓辉, 张雯雯, 肖华, 彭丹丹, 陈远学. 川中丘陵区气象因子与玉米倒伏和产量的灰色关联度分析. 四川农业大学学报, 2021, 39 (5): 666–673, 680
- [7] 唐春双, 于琳, 付建江, 吴成龙, 张景云, 王平, 井旭源. 黑龙江省玉米育种面临的问题及对策. 中国种业, 2022 (6): 18–20
- [8] 王波, 余海兵, 支银娟. 玉米不同种植模式对田间小气候和产量的影响. 核农学报, 2012, 26 (3): 623–627

(收稿日期: 2023-11-01)

(上接第102页)

#### 参考文献

- [1] 曹清河, 刘义峰, 李强, 张安, 杨光峰, 马代夫. 菜用甘薯国内外研究现状及展望. 中国蔬菜, 2007 (10): 41–43
- [2] 任秀娟, 欧行奇, 杨梅. 甘薯茎尖营养成分分析. 安徽农业科学, 2005, 33 (12): 2306, 2349
- [3] 欧行奇, 任秀娟, 杨国堂. 甘薯茎尖与常见蔬菜的营养成分分析. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 27 (5): 630–633
- [4] 曹清河, 魏猛, 唐君, 周志林, 赵冬兰, 张安, 李昂. 菜用型甘薯多酚含量的测定及其基因型差异. 江西农业学报, 2013, 25 (4): 24–26
- [5] 谢一芝, 郭小丁, 贾赵东, 马佩勇, 边小峰, 禹阳. 中国食用甘薯育种现状及展望. 江苏农业学报, 2018, 34 (6): 1419–1424
- [6] 罗启燕, 张光列, 胡康, 莫明杰, 王佳佳, 程鹏, 李静, 田欢, 傅玉凡, 黄振霖. 八个食用型甘薯新品种农艺性状及经济性状鉴定评价. 南方农艺, 2018, 12 (10): 24–26
- [7] 宋吉轩, 李云, 李标, 邓仁菊, 李丽. 贵州紫心甘薯种质资源 ISSR 遗传多样性分析. 种子, 2013, 36 (12): 17–19
- [8] 杨汉, 黄志谋, 刘伟, 马志强, 杨新算. 中国菜用甘薯开发利用现状与展望. 湖北农业科学, 2017, 56 (17): 3201–3204

- [9] 苏一钧, 董玲霞, 王娇, 戴习彬, 张安, 赵冬兰, 周志林, 唐君, 曹清河. 菜用和观赏甘薯种质资源遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2018, 19 (1): 57–64
- [10] 毛思帅, 李仁崑, 周继华, 王俊英, 钟连全, 崔永恒. 不同叶用甘薯品种在北京地区种植的比较评价. 中国种业, 2020 (10): 47–50
- [11] 晓春. 利用大棚培育越冬甘薯苗好. 农村实用技术, 2007 (12): 30
- [12] 李建国, 朱德雄, 肖义芳, 赵琼. 保护地叶用薯越冬保苗栽培技术. 长江蔬菜, 2012 (11): 28–29
- [13] 张雄坚, 房伯平, 陈景益, 罗忠霞, 黄立飞. 甘薯资源耐寒性调查. 广东农业科学, 2008 (S1): 67–68
- [14] 江苏省农业科学院, 山东省农业科学院. 中国甘薯栽培学. 上海: 上海科学技术出版社, 1984
- [15] 罗晓锋, 涂前程, 乔锋, 叶榕弟. 优质菜用型甘薯新品种“福莱薯18号”露地越冬栽培技术. 福建农业科技, 2014 (7): 44–45
- [16] 徐茜, 黎华, 宗洪霞, 但方, 王祖民. 叶菜型甘薯薯苗越冬密度、种苗、底肥及栽插期的优化. 作物杂志, 2016 (6): 142–147
- [17] 缪晓玲. 叶用甘薯高产高效栽培技术. 上海蔬菜, 2013 (5): 46–47

(收稿日期: 2023-10-10)