

朱保美,周清,鹿国武,等. 夏玉米农田气温变化特征及预报模型构建[J]. 干旱气象, 2017, 35(4): 674-681, [ZHU Baomei, ZHOU Qing, LU Guowu, et al. Characteristic of Temperature Change in Summer - maize Field and Establishment of Minimum and Maximum Temperature Forecasting Model[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(4): 674-681], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-04-0674

## 夏玉米农田气温变化特征及预报模型构建

朱保美<sup>1</sup>, 周清<sup>1</sup>, 鹿国武<sup>2</sup>, 杨以健<sup>1</sup>, 司华<sup>1</sup>, 刘森<sup>1</sup>

(1. 山东省齐河县气象局, 山东 齐河 251100; 2. 山东省陵城区气象局, 山东 陵城 253500)

**摘要:**根据2016年6—9月夏玉米生长季的气候资料和齐河国家气象观测站的同期观测资料,分析不同天空状况下农田的气温变化特征,利用相关和多元线性回归方法,研究农田最低、最高气温与观测站各要素的关系并建立高低温预报方程。结果表明:(1)农田温度有明显日变化,晴天最为明显,阴天最为平缓,05:00—06:00(北京时间,下同)气温最低,15:00气温最高,农田与观测站温差绝对值晴天最大,14:00—15:00差值绝对值最大达2.1℃;(2)农田气温与各预报要素的相关程度受天空状况影响,主要影响因子为观测站当天和前一天最低、最高及平均气温等,农田最低气温与观测站当天最低气温相关系数为0.956~0.994,农田最高气温与观测站当天最高气温相关系数为0.825~0.981;(3)构建的预报方程通过了显著性检验,最低、最高气温预报方程的拟合程度均较高,夏玉米拔节后期一成熟期阴天时最低气温预报效果最好,平均相对误差为0.4%,平均绝对误差和均方根误差均为0.1℃。

**关键词:**夏玉米;农田气温;变化特征;高低温预报

**文章编号:**1006-7639(2017)-04-0674-08 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-04-0674

**中图分类号:**P49

**文献标识码:**A

### 引言

黄淮海平原是我国最大的玉米主产区,玉米播种面积占全国播种面积的32.7%<sup>[1]</sup>。夏玉米是山东省主要的秋粮作物,产量占全国玉米生产总量的9%左右<sup>[2]</sup>,素有“鲁北黄河粮仓”之称的齐河县,常年粮食播种面积 $14.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,2014年粮食总产量 $13.66 \times 10^8 \text{ kg}$ ,是山东省3个10亿kg超级产粮大县之一,人均粮食贡献率全省第一,是全国粮食高产创建、绿色增产模式攻关的发源地<sup>[3]</sup>。夏玉米是该县仅次于冬小麦的重要粮食作物<sup>[4]</sup>。

温度是影响玉米生长发育的主要因素之一<sup>[5]</sup>,玉米属喜温作物,在整个生育过程中对温度要求较高,不同的发育阶段对温度的要求不同,不同器官的生长对温度的敏感性也不同<sup>[6]</sup>。温度对玉米产量的影响很大<sup>[7-8]</sup>,在夏玉米生产中,常常遭遇灾害性天气,温度过高或过低,轻者抑制生长,重者导致高温热害或低温冷害,从而影响产量的高低。若能较

好地掌握夏玉米农田气温变化特点,对最低、最高气温进行准确预测,并采取合适的防御措施,从而缓解或减轻气象灾害、病虫害可能造成的危害,对加强夏玉米田间管理和灾害防御及促进夏玉米高产稳产、农民增收,具有重大意义。

在诸多研究夏玉米与气象条件的论述中,多数学者一般以当地气象站的气温代替农田气温。如阿布都克日木·阿巴司等<sup>[9]</sup>利用喀什地区气温、日照等气象资料,分析该地区气候变化及玉米生育期多年平均日期提前(推迟)趋势变化特征,重点探讨气候变化对玉米生产的影响;孟林等<sup>[10]</sup>利用华北平原夏玉米生育期和气象观测资料,分析华北平原各地区农业气候资源变化和夏玉米主要生育期、全生育期、生殖生长期天数的变化及对气候变化的响应规律;张翘等<sup>[11]</sup>选取本溪地区部分气象站点的观测数据,分析温度等气象因子变化与玉米产量之间的关系;王柳等<sup>[12]</sup>通过分析温度、降水、辐射等气象数据,尝试剥离和评估各气象因子变化对中国玉米产

收稿日期:2017-01-30;改回日期:2017-03-30

基金项目:山东省气象局气象科研重点项目“德州粮食(小麦)安全智慧气象服务技术研究”(2016sdqx07)和德州市气象局科研项目“粮食作物农田小气候变化特征及预报方法的研究”(2017dzqx06)共同资助

作者简介:朱保美(1979—),女,山东临清人,学士,工程师,主要从事农业气象和气候方面的相关研究。E-mail:13969289244@163.com

量的影响。由于下垫面不同,农田中各种气象要素的变化特征与气象台站有明显差异<sup>[13]</sup>,如果分析农田中的气象要素变化特征简单套用气象台站数据,容易对农作物生长发育气象指标和农业气象灾害发生时段、影响程度等造成误判<sup>[14]</sup>。

目前,根据农田小气候观测资料探讨农田小气候特征变化规律的研究已有不少<sup>[15-19]</sup>,但研究的对象多以水稻、小麦、日光温室、果蔬等为主,尚未见到玉米农田气温变化规律及气温预测模型的相关报道。因此,本文应用玉米农田获取的气温资料和齐河国家气象观测站同期观测资料,分析不同天空状况下玉米农田的气温变化特征,研究农田最低、最高气温与测站各要素的关系,并建立高低温预报方程。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

小气候资料取自农田小气候观测站数据。农田小气候观测站位于齐河县绿色增产模式攻关80万亩“吨半粮”高产高效创建示范区焦庙镇周庄村农田内(田内夏玉米、小麦两种农作物轮流耕作),周边设有20 m×20 m的围栏,围栏内种植相同作物,此农田位于该县气象观测站西南方向,两者相距约11.4 km。农田气温传感器离地高度为1.5 m,与观测场百叶箱内的气温传感器距地高度相同。数据每10 min采集1次,自动存储入库。选取夏玉米生长期的每日逐时正点气温及日最高、日最低气温资料。另外选取齐河国家级气象观测站的同一时段相同时刻的气温观测数据,用于对比分析。

农田种植玉米品种为“澄海605”,株高定型后平均高度约2.5 m。玉米苗期生长缓慢,拔节以后植株迅速长高,拔节到抽雄阶段株高增加4~5倍<sup>[20]</sup>。因农田小气候温度观测只有1.5 m高度1个层次,而玉米拔节前期植株高度低于1.5 m,拔节后期植株高度高于1.5 m,故根据玉米拔节前后两个生长阶段进行资料处理。据县农业局和农田小气候观测站实景拍摄资料,分析确定该块地播种日期为6月10日,拔节期为7月中下旬,收获日期为9月26日。采用2016年6月10日—7月20日、8月1日—9月15日的资料分别建立拔节前后的预报模型,2016年7月21—31日、9月16—26日的资料分别进行模型检验。

### 1.2 天空状况划分

为了预报不同天空状况下的农田温度,按照日照百分率( $S$ )分别把天空状况分为3类:日照百分率 $S \geq 60\%$ 为晴天, $20\% < S < 60\%$ 为多云, $0 \leq S \leq$

$20\%$ 为阴天<sup>[21]</sup>。

### 1.3 方法

采用相关分析法计算农田最高、最低气温与当天和前一天各气象要素之间的相关系数,给定显著性水平 $\alpha$ ,若 $|r| > r_\alpha$ ,表明相关显著,否则不显著<sup>[22]</sup>。把通过0.05显著性水平的气象要素作为预报因子,采用多元线性回归方法建立预报方程,方程的显著性用 $F$ 检验<sup>[23]</sup>,给定显著性水平 $\alpha$ ,若 $F > F_\alpha$ ,表明方程是显著的,否则不显著。

### 1.4 预报检验

采用相对误差RE、平均绝对误差AE和均方根误差RMSE对预报方程进行精度评价分析<sup>[24]</sup>。公式如下:

$$RE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n | (y'_i - y_i) / y_i \times 100\% | \quad (1)$$

$$AE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n | y'_i - y_i | \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)^2 / n} \quad (3)$$

式中: $y'_i$ 是拟合值; $y_i$ 是实测值; $n$ 是样本数量。RE、AE和RMSE三者数值越小,表明误差越小,预报方程越精确。

## 2 结果与分析

### 2.1 夏玉米农田气温变化特征

图1为夏玉米生长季3种天空状况下不同发育阶段的农田温度日变化情况。可以看出,夏玉米生长季3种天空状况下不同发育阶段农田温度均有明显的日变化,晴天最为明显,其次是多云天气,阴天气温变化相对平缓,05:00—06:00(北京时,下同)气温最低,07:00前后开始升高,15:00前后达到最高值,之后开始缓慢下降。通过对比3种不同天空状况下的温度可知,夏玉米苗期—拔节前期(图1a)00:00—07:00时段的气温值和夏玉米拔节后期—成熟期(图1b)19:00—次日09:00时段的气温值均表现为阴天>多云>晴天;夏玉米苗期—拔节前期08:00—23:00的气温值和夏玉米拔节后期—成熟期10:00—18:00时段的气温值均表现为晴天>多云>阴天。把3种天空状况下夏玉米两个发育阶段的气温值分别进行两两相互比较发现,夏玉米苗期—拔节前期白天大部分时段气温差值绝对值大于夜间,日最高气温值出现前后差值绝对值最大<sup>[25]</sup>,夏玉米拔节后期—成熟期夜间多数时段气温差值绝对值大于白天,日最低气温值出现前后差值绝对值最大。

图2为3种天空状况下夏玉米生长季农田气温与观测站气温之间的差值,除个别时段外,生长期农田与观测站的温差绝对值为阴天最小、多云天次之、晴天最大,这主要是由于不同天空状况下不同发育期内,夏玉米农田内接受的太阳辐射、净辐射及蒸腾耗热量不同所致。不同天空状况下,白天时段温度差值基本为正值,夏玉米苗期—拔节前期(图2a),晴天11:00—12:00差值达到最大,值为1.3℃;多云天气13:00差值达到最大,值为1.2℃;阴天时16:00差值达到最大,值为0.7℃。拔节后期—成熟期(图2b),晴天14:00—15:00差值达到最大,值为2.1℃;多云天气15:00差值达到最大,值为1.9℃;阴天时11:00

达到最大为1.1℃。夜间时段温度差值基本为负值,夏玉米苗期—拔节前期,晴天23:00差值绝对值最大,值为0.5℃;多云天气20:00差值绝对值最大,值为0.3℃;阴天时20:00差值绝对值最大,值为0.4℃。拔节后期—成熟期,晴天21:00差值绝对值最大,值为1.6℃;多云天气00:00差值绝对值最大,值为1.3℃;阴天时00:00差值绝对值最大,值为0.7℃。通过比较发现,不同天空状况下拔节后期—成熟期的温差绝对值最大值大于苗期—拔节前期,且夏玉米拔节后期—成熟期温差为负的时段长于苗期—拔节前期,说明夏玉米苗期—拔节前期和拔节后期—成熟期农田下垫面发生了很大变化。

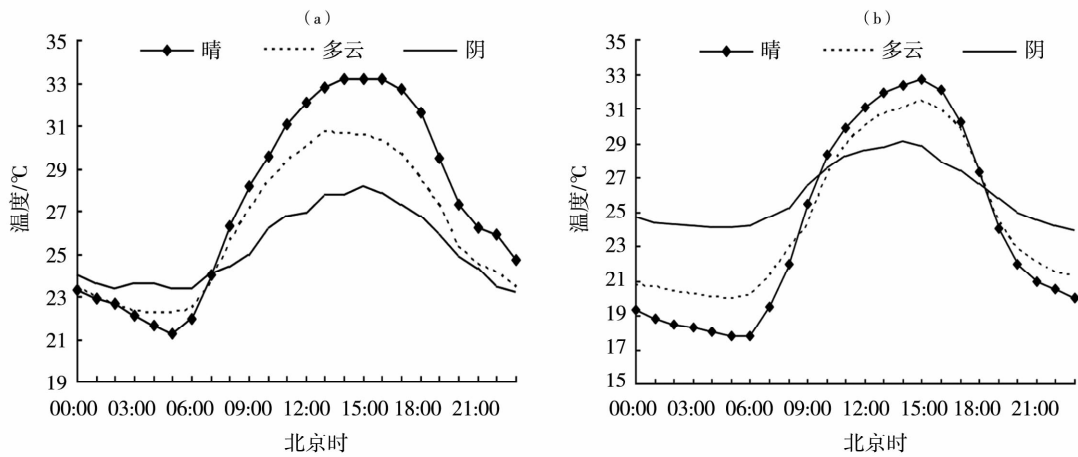


图1 不同天空状况下夏玉米苗期—拔节前期(a)、拔节后期—成熟期(b)农田气温日变化

Fig.1 The diurnal variation of temperature in the summer -maize field at seedling and early jointing stages (a) and at late jointing and maturity stages (b) under different sky conditions

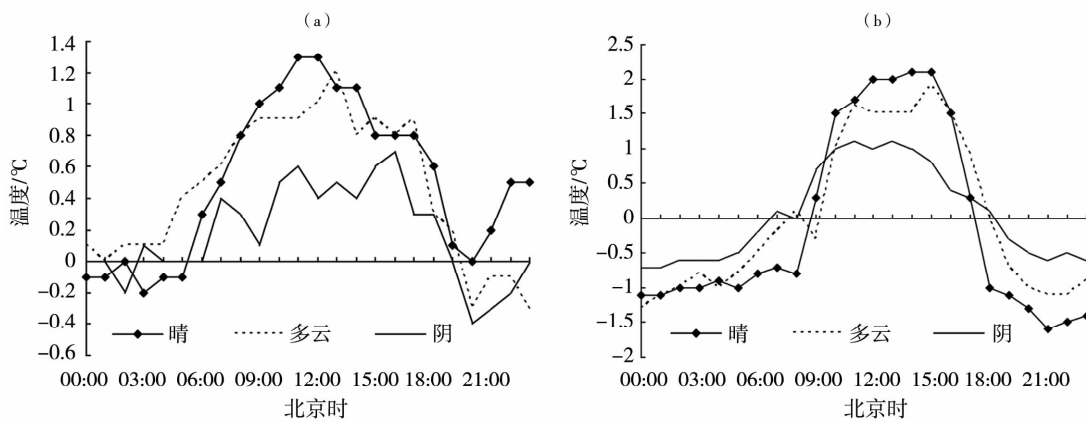


图2 不同天气状况下夏玉米苗期—拔节前期(a)、拔节后期—成熟期(b)农田与观测站温度差值对比

Fig.2 Temperature difference contrast between that of summer -maize field and meteorological observation at seedling and early jointing stages (a) and at late jointing and maturity stages (b) under different sky conditions

## 2.2 农田气温预报模型

### 2.2.1 农田内气温与各影响因子的相关性分析

分阶段将农田最低、最高气温与各预报要素进行相关性分析,发现发育阶段不同,天空状况不同,

与各预报因子的相关程度也不同。另外,农田最低、最高气温与同一预报因子相关系数的大小也因天空状况的不同而存在差异。

表1给出夏玉米苗期—拔节前期农田最高、最

低气温与各因子的相关系数。可以看出,夏玉米苗期一拔节前期,晴天时,农田最低气温与观测站最低气温、平均气温、前一天最高气温、前一天平均气温呈显著正相关;农田最高气温与观测站当天及前一天最高气温、平均气温呈显著正相关。多云时,农田最低、最高气温均与观测站当天及前一天最低、最高气温及平均气温呈显著正相关。阴天时,农田最低

气温只与观测站当天最低、最高气温及平均气温呈显著正相关;农田最高气温与观测站当天最高气温、平均气温呈显著正相关,与平均相对湿度呈显著负相关。3种天空状况下,农田最低气温与观测站当天最低气温相关性更高,相关系数为0.973~0.977;农田最高气温与当天观测站最高气温相关性更高,相关系数为0.974~0.981。

表1 夏玉米苗期一拔节前期农田最低、最高气温与各因子的相关系数

Tab.1 Correlation coefficients between the minimum, maximum temperatures in the summer - maize field and each meteorological factor at seedling and early jointing stages

	晴天		多云		阴天	
	$T'_{\min}$	$T'_{\max}$	$T'_{\min}$	$T'_{\max}$	$T'_{\min}$	$T'_{\max}$
$T_{\min}$	0.975 **	0.374	0.973 **	0.676 **	0.977 **	0.608
$T_{\max}$	0.457	0.966 **	0.765 **	0.974 **	0.671 *	0.981 **
$T_{\text{ave}}$	0.828 **	0.763 **	0.907 **	0.856 **	0.863 **	0.897 **
RH <sub>min</sub>	0.184	-0.348	-0.083	-0.395	-0.277	-0.621
$U_{\text{ave}}$	0.435	0.057	-0.003	0.112	0.218	0.118
$U_{\max}$	0.428	-0.047	-0.013	0.249	-0.376	-0.390
$S$	-0.043	0.460	0.377	0.354	0.288	0.489
RH <sub>ave</sub>	-0.293	-0.431	-0.232	-0.330	-0.399	-0.678 *
$T_{\min-1}$	0.447	0.364	0.538 *	0.521 *	0.021	-0.430
$T_{\max-1}$	0.653 **	0.577 *	0.643 **	0.711 **	-0.099	0.493
$T_{\text{ave}-1}$	0.727 **	0.520 *	0.749 **	0.681 **	-0.051	0.368
$U_{\max-1}$	0.077	-0.151	-0.369	-0.180	-0.406	-0.358
$U_{\text{ave}-1}$	0.280	0.221	-0.086	0.066	0.072	-0.321

注: $T'_{\min}$ 、 $T'_{\max}$ 分别表示农田当天最低气温、最高气温; $T_{\min}$ 、 $T_{\max}$ 、 $T_{\text{ave}}$ 、RH<sub>min</sub>、RH<sub>ave</sub>、 $U_{\text{ave}}$ 、 $U_{\max}$ 、 $S$ 分别表示观测站当天最低气温、最高气温、平均气温、最小相对湿度、平均相对湿度、2 min 平均风速、最大风速、日照时数; $T_{\min-1}$ 、 $T_{\max-1}$ 、 $T_{\text{ave}-1}$ 、 $U_{\text{ave}-1}$ 、 $U_{\max-1}$ 分别表示观测站前一天最低气温、最高气温、平均气温、2 min 平均风速、最大风速;\*表示通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平;\*\*表示通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平

表2 给出夏玉米拔节后期一成熟期农田最低、最高气温与各因子的相关系数。可以看出,夏玉米拔节后期一成熟期,晴天时,农田最低气温、最高气温与观测站当天及前一天最低气温、最高气温、平均气温、当天最小相对湿度、平均相对湿度呈显著正相关,农田最高气温还与观测站前一天最大风速呈显著负相关。多云时,农田最低气温与观测站最低气温、平均气温、最小相对湿度、平均相对湿度及前一天最低气温、平均气温、最大风速、平均风速呈显著正相关,农田最高气温只与观测站最高气温呈显著正相关,与其他预报因子相关不显著。阴天时,农田最低气温与观测站当天最低气温、平均气温呈显著正相关,与平均风速呈显著负相关;农田最高气温与

观测站当天最高气温、平均气温、前一天最低气温呈显著正相关,与最小相对湿度、平均相对湿度、前一天最大风速呈显著负相关。3种天空状况下,农田最低气温与观测站当天最低气温相关性更高,相关系数为0.956~0.994;农田最高气温与观测站当天最高气温相关性更高,相关系数为0.825~0.980。

### 2.2.2 农田气温预报模型的建立

将不同天空状况下的农田最低、最高气温与各预报要素进行相关性分析后,取通过0.05显著性水平的因子作为首选因子<sup>[26]</sup>,进一步采用多元线性回归建立农田最低、最高气温的预报方程(表3),考虑到预报因子之间有一定的相关性,建立方程时采用向后剔除变量法<sup>[22]</sup>,并对建立好的方程进行 $F$ 检验

( $\alpha = 0.05$ )。由预报方程(表 3、表 4)可以看出,3 种天空状况下影响农田最低、最高气温的预报因素存在差异,观测站当天最低、最高气温与农田最低、最高气温的关系最为密切。夏玉米苗期一拔节前期,3 种天空状况下的农田最低气温只与观测站当天最低气温有关;农田最高气温除了与观测站当天最高气温相关外,晴天时还与观测站当天和前一天平均气温相关,多云时与观测站前一天最高气温、前一天平均气温相关。夏玉米拔节后期一成熟期,影响农田最低、最高气温的因素增多,除阴天时农田最

低气温、多云时农田最高气温分别只与观测站当天最低、最高气温相关外,其余情况下,农田最低、最高气温还与观测站当天和前一天平均气温、平均相对湿度等因素中的某一项或两项有关。多云天气时农田最低气温的影响因素最多,包含观测站当天平均气温、平均相对湿度、最小相对湿度和前一天最低气温、平均气温、最大风速、平均风速共 7 项,说明夏玉米拔节后期一成熟期,随着玉米植株密度和高度的增加,农田气温除了受阳光辐射外,还受湍流交换、植物蒸腾作用等的影响。

表 2 夏玉米拔节后期一成熟期农田最低、最高气温与各因子的相关系数

Tab.2 Correlation coefficients between the minimum, maximum temperatures in the summer - maize field and each meteorological factor at late jointing and maturity stages

	晴天		多云		阴天	
	$T'_{min}$	$T'_{max}$	$T'_{min}$	$T'_{max}$	$T'_{min}$	$T'_{max}$
$T_{min}$	0.994 **	0.793 **	0.988 **	0.247	0.956 **	0.478
$T_{max}$	0.751 **	0.980 **	0.398	0.825 **	0.474	0.978 **
$T_{ave}$	0.954 **	0.903 **	0.845 **	0.327	0.696 **	0.902 **
$RH_{min}$	0.840 **	0.607 **	0.860 **	-0.077	-0.079	-0.801 **
$U_{ave}$	0.175	-0.051	0.449	-0.066	-0.604 *	-0.471
$U_{max}$	0.049	-0.189	0.208	0.033	-0.675	-0.332
$S$	-0.260	-0.185	-0.132	0.576	0.112	0.510
$RH_{ave}$	0.705 **	0.557 **	0.880 **	0.092	0.404	-0.584 *
$T_{min-1}$	0.857 **	0.599 **	0.897 **	0.206	0.423	0.546 *
$T_{max-1}$	0.711 **	0.757 **	-0.459	0.049	0.100	0.432
$T_{ave-1}$	0.926 **	0.762 **	0.780 **	0.262	0.172	0.461
$U_{max-1}$	-0.284	-0.494 *	0.843 **	-0.097	-0.298	-0.536 *
$U_{ave-1}$	-0.191	-0.051	0.744 *	0.081	-0.319	-0.021

注:表 2 中各项说明同表 1

表 3 不同天空状况下夏玉米苗期一拔节前期农田最低、最高气温预报方程

Tab.3 The forecast equations for minimum and maximum temperatures in the summer - maize field at seedling and early jointing stages under different sky conditions

天空状况	$T'_{min}$			$T'_{max}$		
	预报方程	F 计算值	R	预报方程	F 计算值	R
晴天	$T'_{min} = 0.990 T_{min} + 0.416$	245.673	0.975	$T'_{max} = 1.141 T_{max} - 0.326 T_{ave} + 0.186 T_{ave-1} + 0.090$	72.184	0.976
多云	$T'_{min} = 1.039 T_{min} - 0.559$	268.591	0.973	$T'_{max} = 0.991 T_{max} + 0.327 T_{max-1} - 0.246 T_{ave-1} - 2.961$	149.774	0.987
阴天	$T'_{min} = 0.910 T_{min} + 2.036$	1 029.090	0.997	$T'_{max} = 1.214 T_{max} - 5.886$	175.187	0.981

表4 不同天空状况下夏玉米拔节后期—成熟期农田最低、最高气温预报方程

Tab.4 The forecast equations for minimum and maximum temperatures in the summer - maize field at late jointing and maturity stages under different sky conditions

天空状况	$T'_{min}$			$T'_{max}$		
	预报方程	F 计算值	R	预报方程	F 计算值	R
晴天	$T'_{min} = 0.874 T_{min} + 0.200 T_{ave-1} + 0.076 RH_{ave} - 9.251$	805.967	0.996	$T'_{max} = 0.949 T_{max} + 0.135 T_{ave} + 0.198$	272.315	0.983
多云	$T'_{min} = 1.757 T_{ave} - 0.623 T_{min-1} + 0.325 T_{ave-1} + 0.594 RH_{ave} + 1.563 U_{max-1} - 1.715 U_{ave-1} - 0.102 RH_{min} - 65.923$	2408.151	1.000	$T'_{max} = 0.877 T_{max} + 5.341$	17.059	0.825
阴天	$T'_{min} = 1.135 T_{min} - 3.458$	128.483	0.956	$T'_{max} = 1.327 T_{max} - 0.162 RH_{ave} + 5.569$	176.923	0.985

2.2.3 农田气温预报模型的预报效果检验

将2016年7月21—31日、9月16—26日2个时段的资料分别代入模型中,对农田最低气温、最高气温预报效果进行检验。根据公式(1)、(2)、(3)分别求出不同天空状况下最低气温和最高气温拟合值和实测值之间的3个误差指标值(表5)。总体来说整个生长季3种天空状况下,农田最低、最高气温预报方程的预报效果较好,最低气温平均相对误差为0.4%~30.4%,平均绝对误差为0.1~5.0℃,

均方根误差为0.1~5.2℃。最低、最高气温预报效果最好和最差都发生在夏玉米拔节后期—成熟期,其中预报效果最好的是夏玉米拔节后期—成熟期阴天时的最低气温,平均相对误差仅为0.4%,平均绝对误差和均方根误差均为0.1℃;预报效果最差的是多云时的最低气温,平均相对误差为30.4%,平均绝对误差和均方根误差分别为5.0℃和5.2℃。因夏玉米苗期—拔节前期的回代资料中无阴天日数,此种情况下的预报模型暂时无法检验。

表5 2016年夏玉米农田最低、最高气温预报效果检验

Tab.5 The prediction effect test of the minimum and maximum temperatures in the summer - maize field in 2016

天空状况	预报量	RE/%		AE/℃		RMSE/℃	
		苗期—拔节前期	拔节后期—成熟期	苗期—拔节前期	拔节后期—成熟期	苗期—拔节前期	拔节后期—成熟期
晴天	最低气温	3.5	4.5	0.9	0.5	1.2	0.7
	最高气温	1.9	2.2	0.7	0.7	0.9	0.8
多云	最低气温	3.6	30.4	0.8	5.0	1.0	5.2
	最高气温	1.6	0.6	0.5	0.2	0.6	0.2
阴天	最低气温		0.4		0.1		0.1
	最高气温		6.3		1.8		2.1

3 结论与讨论

(1)夏玉米生长季不同天空状况下农田温度均有明显的日变化,晴天最为明显,阴天最为平缓,最低气温出现在05:00—06:00,最高气温出现在15:00前后。同一时刻的气温值,一般夜间时段阴天>多云>晴天,白天则相反。农田与观测站气温差值绝对值,除个别时段外,阴天时最小、多云时次之、

晴天最大。夏玉米拔节后期—成熟期温差绝对值大于苗期—拔节前期,这是因为夏玉米苗期作物矮小稀疏,下垫面状态接近观测站,到了后期,作物密度大、高度增加,农田内辐射和湍流交换状况发生了很大变化。3种天空状况下,白天时段,农田内获得的辐射热量多、湍流交换弱,农田气温高于观测站气温;夜间农田空气受到作物本身的辐射冷却,气温低于观测站气温,说明农田昼夜温差大于观测站,这有

利于夏玉米养分和干物质的积累。

(2) 农田最低、最高气温与各预报因子的相关程度受夏玉米发育阶段和天空状况的影响。主要影响因子为观测站当天和前一天最低、最高气温及平均气温等, 拔节后期一成熟期影响因素增多, 还包括观测站当天最小相对湿度、平均湿度及前一天最大风速、平均风速等, 说明农田气温随着玉米生长期和发育阶段的改变影响因素不尽相同。

(3) 应用多元线性回归建立最低、最高气温预报方程, 经回代检验, 整体预报效果较好, 可以在粮食生产气象服务中应用。夏玉米拔节后期一成熟期多云时最低气温和阴天时最高气温预报效果有待提高, 夏玉米苗期一拔节前期阴天时最低气温预报, 需增加数据样本量进行分析。

(4) 农田小气候的最低、最高气温是在正点资料中挑取的, 与农田气温真实极值可能存在一定偏差。建立预报方程采用的研究资料仅有一个农田小气候观测站采集的数据, 结论存在一定的局限性。由于农田小气候观测站建成时间短, 夏玉米生长期采集资料样本不足, 预报结果准确性还不够可靠, 需在资料样本数增加后对模型进一步完善, 以便更好地投入业务应用。

#### 参考文献

- [1] 李彤霄, 杜子璇, 田宏伟. 气象因子对黄淮海地区“永优”系列玉米产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 158-161.
- [2] 牛浩, 陈盛伟. 山东省玉米气象产量分离方法的多重比较分析[J]. 山东农业科学, 2015, 47(8): 95-99.
- [3] 张平, 曹慧英. 采取多项措施推进粮食绿色增产模式攻关[J]. 青海农林科技, 2015(4): 85-87.
- [4] 田宏伟, 李树岩. 河南省夏玉米干旱综合风险精细化区划[J]. 干旱气象, 2016, 34(5): 852-859.
- [5] 王海梅. 高温胁迫对河套灌区玉米生理指标及产量构成要素的影响[J]. 干旱气象, 2015, 33(1): 59-62.
- [6] 龚绍先. 粮食作物与气象[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1988: 245-272.
- [7] 王廷文. 浅析气温对华北地区玉米产量的影响[J]. 农民致富之友, 2013(1): 28-29.
- [8] 成林, 马志红, 李树岩. 气候变化对河南省夏玉米单产的影响分析[J]. 玉米科学, 2016, 24(1): 88-95.
- [9] 阿布都克日木·阿巴司, 胡素琴, 努尔帕提曼·买买提热依木, 等. 喀什地区夏玉米发育期与气象因子关系分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(4): 25-31.
- [10] 孟林, 刘新建, 郭定荣, 等. 华北平原夏玉米主要生育期对气候变化的响应[J]. 中国农业气象, 2015, 36(4): 375-382.
- [11] 张翘, 王焕毅. 气象因子变化对本溪市玉米产量的影响[J]. 中国农业信息, 2015(10): 158-160.
- [12] 王柳, 熊伟, 温小乐, 等. 温度降水等气候因子变化对中国玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 138-146.
- [13] 钟阳和, 施生锦, 黄彬香, 等. 农业小气候学[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 412-447.
- [14] 杨爱萍, 杜筱玲, 郭瑞鸽, 等. 农田小气候自动观测系统效能评估[J]. 气象科技, 2013, 41(2): 278-281, 299.
- [15] 杨爱萍, 杜筱玲, 刘文英. 晚稻大田气温变化特征及其与气象站气温的关系[J]. 生物灾害科学, 2013, 36(1): 105-110.
- [16] 王江. 冬小麦主要发育期农田小气候与大气气候相关规律的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2003.
- [17] 薛晓萍, 李鸿怡, 李楠, 等. 日光温室小气候预报技术研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(29): 195-202.
- [18] 袁静, 王令军, 徐剑平, 等. 大樱桃大棚小气候特征分析及预报[J]. 中国农学通报, 2015, 31(19): 173-179.
- [19] 张淑杰, 孙立德, 马成芝, 等. 日光温室番茄低温冻害指标确定及温度预报模型建立[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(4): 98-105.
- [20] 王空军, 柴兰高, 刘存辉, 等. 玉米良种与主推技术[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2006: 23-29.
- [21] 刘可群, 黎明锋, 杨文刚. 大棚小气候特征以及其与大气候的关系[J]. 气象, 2008, 34(7): 101-107.
- [22] 孙翠凤, 窦坤, 程德海, 等. 菏泽市紫外线辐射变化特征及月预报方程[J]. 干旱气象, 2014, 32(4): 677-682.
- [23] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2002: 42-44.
- [24] 李宁, 申双和, 黎贞发, 等. 基于主成分回归的日光温室低温预测模型[J]. 中国农业气象, 2013, 34(3): 306-311.
- [25] 魏瑞江, 王春乙, 范增禄. 石家庄地区日光温室冬季小气候特征及其与大气气候的关系[J]. 气象, 2010, 36(1): 97-103.
- [26] 李德, 张学贤, 祁宦, 等. 宿州日光温室内部最高和最低气温的预报模型[J]. 中国农业气象, 2013, 34(2): 170-178.

## Characteristic of Temperature Change in Summer – maize Field and Establishment of Minimum and Maximum Temperature Forecasting Model

ZHU Baomei<sup>1</sup>, ZHOU Qing<sup>1</sup>, LU Guowu<sup>2</sup>, YANG Yijian<sup>1</sup>, SI Hua<sup>1</sup>, LIU Sen<sup>1</sup>

(1. *Qihe Meteorological Station of Shandong Province, Qihe 251100, China;*  
2. *Lingcheng Meteorological Station of Shandong Province, Lingcheng 253500, China*)

**Abstract:** According to the climatic data in summer – maize growing season and the corresponding meteorological observation data at Qihe County of Shandong Province from June to September in 2016, the temperature variation characteristics in the summer – maize field under different sky conditions were analyzed. The relationship between the minimum, maximum temperatures and meteorological elements at Qihe observation station was studied using the method of correlation and multiple linear regression analysis, and the minimum and maximum temperatures prediction equations were established. The results are as follows: (1) The temperature in the summer – maize field had obvious diurnal variation, which was most obvious on sunny days and gentlest on cloudy days. Air temperature was lowest during 05:00 – 06:00 and highest at 15:00. Maximum absolute value of temperature difference between that of summer – maize field and meteorological observation was 2.1 °C and appeared during 14:00 – 15:00. (2) Correlation coefficients between the minimum and maximum temperatures in summer – maize field and all forecast factors varied with the sky conditions. The minimum temperature, the maximum temperature and average temperature of the same day and the day before at meteorological observation station were the main influencing factors. Correlation coefficients were higher between the minimum temperature in summer – maize field and that at observation station on the same day which ranged from 0.956 to 0.994, and correlation coefficients between the maximum temperature in summer – maize field and that at observation station on the same day ranged from 0.825 to 0.981. (3) Forecast equations were established and they passed the test of significance. Fitting degree of the minimum and maximum temperatures forecast equations was higher. The prediction effect showed that the average relative error of the minimum temperature forecast equation at late jointing and maturity stages on overcast days was 0.4%, the average absolute error and root mean square error was 0.1 °C, respectively.

**Key words:** summer – maize; farmland temperature; variation characteristics; minimum and maximum temperatures forecast