

# 东北地区玉米气候适宜评价指标的确定与验证

谭方颖<sup>1</sup>, 宋迎波<sup>1</sup>, 毛留喜<sup>1</sup>, 王建林<sup>2</sup>

(1. 国家气象中心, 北京 100081; 2. 宁夏回族自治区气象局, 宁夏 银川 750002)

**摘要:** 为科学、定量地评价气象条件对玉米生长发育及产量形成的影响, 以东北地区为例, 利用模糊数学原理, 在考虑了玉米生物学特性的基础上, 结合农业气象业务服务指标, 构建了东北区温度、水分、日照适宜度模型, 采用几何平均法计算了玉米气候适宜度。考虑到不同发育期气候条件对玉米产量形成影响程度的客观差异, 运用相关系数法设定玉米生育期内各旬对产量的权重, 采用加权平均法构建了玉米播种至任意时段的气候适宜指数。利用各时段历史气候适宜指数最大值、平均值、最小值, 确定了不同等级的气候适宜评价指标。基于该指标将 1993—2011 年玉米全生育期气候适宜指数划分为气候适宜、较适宜、较不适宜和不适宜 4 个等级, 并将该指标进行验证。检验结果表明: 东北地区玉米气候适宜等级与生育期内气象条件的优劣具有很好的一致性, 播种~拔节、播种~乳熟、播种~成熟 3 个阶段的气候适宜等级与产量增减幅度的相关性十分显著 ( $P \leq 0.05$ ), 且越接近成熟期, 相关性越明显; 气候适宜等级能够较准确地反映出玉米生育期内气象条件的优劣变化及逐年、典型灾害年产量的实际情况。

**关键词:** 玉米; 气候适宜度; 气候适宜指数; 评价指标

**中图分类号:** S165+.27 **文献标志码:** A

## Identification and validation of climatic suitability indicator of maize in Northeast China

TAN Fang-ying<sup>1</sup>, SONG Ying-bo<sup>1</sup>, MAO Liu-xi<sup>1</sup>, WANG Jian-lin<sup>2</sup>

(1. National Meteorological Center, Beijing 100081, China;

2. Ningxia Meteorological Service, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

**Abstract:** In order to assess the effects of meteorological conditions on growth and yield of maize scientifically and quantifiably, Northeast China was taken as an example using fuzzy mathematics to establish suitability functions for temperature, moisture and sunshine, combined with the biological characteristics of maize and agricultural meteorological business services index. As a result, the climatic suitability of maize was calculated by geometric mean formula. Considering the objective differences in influence intensities on growth of maize by weather conditions, the correlation analysis was used to calculate the weight for each ten-day to every growth stage. Then the climate suitable index of maize from sowing to any stages of development in growth period was built by weighted average method. Through the uses of historical maximum, minimum and average climate suitable index, different grades climate suitable evaluation indexes were set up, by which the Climatic suitability indicators of every growth period were divided into four grades and the correlation between climatic suitability grades and yield of maize was analyzed from 1993 to 2011. The results showed good relations between climatic suitability grades and meteorological conditions during the growing season of maize in Northeast China. There was a significant correlation ( $P \leq 0.05$ ) existing between climatic suitability grades of three developmental stages (seeding to jointing, seeding to milky maturity, and seeding to maturity) and the margin of increase or decrease in yield of maize. In addition, the more related between climatic suitability grades and yield, the closer to maturity it is. The climatic suitability grades can evaluate the change of climate condition during every developmental stage and reflect accurately the actual fluctuations of yield year by year and the typical years of poor harvest for maize. This method is advantageous for popularization and application.

**Keywords:** maize; climate suitability; climate suitable index; evaluation indicators

收稿日期: 2015-06-15

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206022)

作者简介: 谭方颖(1982—), 女, 吉林东丰人, 硕士, 工程师, 主要从事农业气象科研与服务业务工作。E-mail: tanfangying0803@163.com。

气候适宜度是把温度、光照、降水等气候要素的数量变化,通过模糊数学中的隶属函数转化成对作物生长发育、产量形成的适宜程度<sup>[1]</sup>。随着农业气候适宜度的提出,国内不少学者对其进行了系统的分析探讨,纵观国内学者近20年来在该领域的研究,主要集中在气候适宜度在气候要素隶属函数的建立<sup>[2-7]</sup>、作物生育期气象条件评价<sup>[8-11]</sup>、气候变化影响评价<sup>[6,12-15]</sup>、作物产量预报<sup>[16-18]</sup>等方面。景毅刚等<sup>[19]</sup>利用气候适宜度模型对陕西关中地区1986年以来的冬小麦不同生育期和全生育期的气候适宜度进行计算和分析,得到冬小麦生长发育期间温度适宜度和光照适宜度最高,降水适宜度最小的结论;任玉玉等<sup>[20]</sup>分析了河南省1961—2000年全省及各站点适宜度的变化趋势,并对1981—2000年各站点适宜度的变化趋势根据变化的方向和强度进行分类,将河南省划分为适宜度强增长型、弱增长型、减弱型;姚树然等<sup>[21]</sup>对棉花各个发育期气候适宜度及其时空分布进行计算分析,划分出河北省棉花温度、降水、日照适宜度的高低值地区;赖纯佳等<sup>[22]</sup>基于淮河流域双季稻的温度、降水、日照和气候适宜度划分出水稻种植的最适宜区、适宜区、次适宜区和不适宜区;李昊宇等<sup>[23]</sup>、李树岩等<sup>[24]</sup>、孙小龙等<sup>[25]</sup>、侯英雨等<sup>[26]</sup>以气候适宜度为基础,建立了冬小麦、玉米发育期预报模型;柳芳等<sup>[27]</sup>通过参数修订建立了适合天津地区的棉花各生育期温、光、水气候适宜度评价模型和适宜度指数,并建立了棉花不同生育期的产量动态预报模型。可见,以往对气候适宜度的研究主要集中在模型的建立与应用方面,而气候适宜度作为评价气候对作物生长发育定量化影响的主要途径之一,目前对气候适宜评价指标的研究<sup>[28-29]</sup>却甚少。

玉米是我国主要粮食作物之一,玉米生产在国民经济中占有重要地位,因此,定量综合评价玉米生育期内光、温、水条件的优劣,对指导玉米生产具有重要的意义。东北地区是我国最大的玉米优势种植区,本研究以东北地区为例,开展玉米气候适宜程度评价指标研究,旨在为客观、定量评价气象条件对玉米生长发育及产量形成的影响提供一种方法,以期提升农业气象业务服务定量化水平,为政府及农业部门指导玉米生产提供科学参考。

## 1 资料与处理

### 1.1 资料

本文所用气象资料包括东北玉米产区(黑龙江、

吉林、辽宁、内蒙古东部)43个代表站1993—2011年逐日最高气温、最低气温、降水量、日照时数;土壤相对湿度资料为上述43个代表站(或邻近观测站)1993—2011年20 cm土壤相对湿度观测资料;鉴于发育期观测始自20世纪90年代初期,为充分使用其前期气象资料,本研究玉米发育期统一使用2002—2004年发育期平均值;各发育期(最高温度、最适温度和最低温度)温度和20 cm土壤相对湿度(以下简称土壤相对湿度)指标<sup>[30]</sup>见表1,以上资料来自国家气象信息中心。产量资料为黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古4个省1981—2011年的玉米平均单产资料,来自国家统计局。本文研究对象为东北地区,并将43个站点资料的算术平均值,作为相关研究资料。

表1 东北地区玉米各发育阶段温度、土壤相对湿度指标  
Table 1 Temperature and soil moisture at various developmental stages of maize in Northeast China

指标 Index	播种~ 出苗 Seeding to emergence	出苗~ 拔节 Emergence to jointing	拔节~ 乳熟 Jointing to milky maturity	乳熟~ 成熟 Milky maturity to maturity
最高气温/°C Maximum temperature	22	25	33	32
最适气温/°C Optimum temperature	10	12	24	22
最低气温/°C Minimum temperature	5	6	16	14
土壤相对湿度(适宜) 指标 $W_0$ /%	60	60	70	70
Suitable Relative soil moisture index $W_0$	60	60	70	70

### 1.2 资料处理

1.2.1 发育期资料 本文规定,发育期在每月5、15、25日之前为上一旬,之后为当旬,东北地区玉米各发育阶段起止时间见表2。

1.2.2 产量资料 影响作物产量形成的因素很多,一般可划分为气象条件、农技措施和“随机因子”三大类。其中农技措施反映了一定历史时期的社会生产发展水平,称为时间技术趋势产量,简称趋势产量,“随机因子”所占比例很小,在实际计算中常被忽略,因此其一般通式为:

$$Y = Y_t + Y_w \quad (1)$$

式中, $Y$ 为作物实际产量(单产), $Y_t$ 为趋势产量, $Y_w$ 为气象产量。

表 2 玉米各发育阶段起止时间

Table 2 Start-stop time of maize growth period

发育阶段 Development stage	播种~出苗 Seeding to emergence	出苗~拔节 Emergence to jointing	拔节~乳熟 Jointing to milky maturity	乳熟~成熟 Milky maturity to maturity
时间 Date	5月上旬~5月中旬 Beginning to middle of March	5月下旬~6月下旬 Late of March to late of June	7月上旬~8月中旬 Late of July to middle of June	8月下旬~9月中旬 Late of August to middle of September

本研究根据东北区玉米历史单产变化特点,建立符合其变化趋势的回归模型,得到趋势产量值  $Y_t$ ,进而得到气象产量  $Y_w$ ,并用相对气象产量 ( $Y_{wr}$ ) 表示。

## 2 气候适宜度模型的建立

### 2.1 温度适宜度

基于模糊数学原理,结合玉米各发育阶段最高温度、最适温度、最低温度,建立温度适宜度模型<sup>[31]</sup>,见式(2)。

$$F(t_i) = \frac{(t_i - t_l) \cdot (t_h - t_i)^B}{(t_0 - t_l) \cdot (t_h - t_0)^B}$$

$$B = \frac{t_h - t_0}{t_0 - t_l} \quad (2)$$

式中,  $F(t_i)$  为玉米各站点逐日温度适宜度,  $t_i$  为逐日平均气温 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $t_l$ 、 $t_h$ 、 $t_0$  分别为玉米各发育阶段所需最低气温、最高气温和适宜气温。当  $t_i > t_h$  和  $t_i < t_l$  时,  $F(t_i) = 0$ 。

本文玉米各发育期以旬来界定,因此,旬温度适宜度计算方法为:

$$F_j(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_j(t_i) \quad (3)$$

式中,  $F_j(t)$  为逐旬温度适宜度,  $F_j(t_i)$  为日温度适宜度,  $n$  为旬内天数,  $n = 10$  或 8、9、11。

### 2.2 水分适宜度

2.2.1 土壤水分适宜度 土壤相对湿度的大小是最直接评判玉米水分供应条件好坏的因子,通过式(4)计算旬土壤水分适宜度<sup>[28]</sup>:

$$F_j(w) = \begin{cases} 1 & w_j \geq W_{0j} \\ w_j/W_{0j} & w_j < W_{0j} \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $F_j(w)$  为各站点旬土壤水分适宜度,  $w_j$  为旬实际土壤相对湿度,  $W_{0j}$  为旬适宜土壤相对湿度(表1)。

2.2.2 降水适宜度 在农业气象业务服务中,一般将降水距平百分率在  $-30\% \sim 30\%$  之间定义为降水量接近于常年同期,能够适应该地区作物生长发育

的需要,而降水偏少(降水距平百分率  $< -30\%$ )和偏多(降水距平百分率  $> 30\%$ )都将影响玉米生长发育和产量形成<sup>[32-33]</sup>。因此,结合前人研究成果<sup>[28]</sup>,旬降水适宜度模型建立如下:

$$F_j(p) = \begin{cases} 1 & -30\% \leq \Delta p_j \leq 30\% \\ p_j/R_j & \Delta p_j < -30\% \\ R_j/p_j & \Delta p_j > 30\% \end{cases} \quad (5)$$

$$\Delta p_j = (p_j - R_j)/R_j \times 100\%$$

式中,  $F_j(p)$  为各站点旬降水适宜度,  $p_j$  为旬降水量,  $R_j$  为旬降水量多年(1981—2010年)平均值,  $\Delta p_j$  为旬降水距平百分率。

在计算土壤水分适宜度和降水适宜度的基础上,按照以下原则确定玉米各发育阶段的水分适宜度,见式(6)。

$$F_j(m) = \begin{cases} F_j(w) & \text{(抽雄期前)} \\ F_j(w) & \Delta p_j \leq 30\% \quad \text{(抽雄期后)} \\ F_j(p) & \Delta p_j > 30\% \quad \text{(抽雄期后)} \end{cases} \quad (6)$$

### 2.3 日照适宜度

由于玉米是短日照作物,适当的短日照有利于其生长发育,但日照不足也将导致玉米叶片光合作用减弱,生长缓慢<sup>[26]</sup>,影响产量形成,结合农业气象业务服务常用指标,旬日照适宜度模型见式(7):

$$F_j(s) = \begin{cases} 1 & -20 \leq h_j \leq 0 \\ s_j/H_j & h_j < -20 \\ H_j/s_j & h_j > 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$h_j = [(s_j - H_j)/H_j] \times 100\%$$

式中,  $F_j(s)$  为各站点旬日照适宜度,  $j$  代表旬序列,  $s_j$  为旬实际日照时数,  $h_j$  为旬日照时数距平百分率,  $H_j$  为旬日照时数常年(1981—2010年)值。

东北地区玉米逐旬温度、水分、日照适宜度为43个站点的算术平均值。

### 2.4 气候适宜度模型

为了综合反映温度、水分、日照三个因素对玉米生长发育和产量形成的影响,东北地区旬气候适宜度模型建立如下:

$$F_j(c) = \sqrt[3]{F_j(t) \times F_j(m) \times F_j(s)} \quad (8)$$

### 3 气候适宜评价指标的确定

#### 3.1 气候适宜指数

为客观反映不同时期气象条件对玉米产量的影响程度,玉米播种至任意发育阶段的气候适宜指数由各旬气候适宜度的加权平均求得,见式(9)。

$$F(IC) = \sum_{j=1}^n K_j F_j(c)$$

$$K_j = R_j / \sum_{j=1}^n R_j \quad (9)$$

式中,  $F(IC)$  为播种至任意发育期的气候适宜指数,  $K_j$  为气候适宜度对产量的逐旬影响系数,  $R_j$  为逐旬气候适宜度  $F_j(c)$  与气象产量  $Y_{wr}$  的相关系数,  $n$  为玉米播种至任意发育期的旬数。

#### 3.2 气候适宜评价指标

根据上述方法,计算得到 1993—2011 年玉米播种 ~ 出苗、播种 ~ 拔节、播种 ~ 乳熟、播种 ~ 成熟 4 个时段的气候适宜指数,依据式(10)原则<sup>[28]</sup>,确定了各时段适宜、较适宜、较不适宜、不适宜 4 个级别气候适宜程度的评价指标  $F_1, F_2, F_3$ ,计算结果见表 3。

$$F_1 = (F(IC)_{\max} + F(IC)_{\text{ave}}) / 2$$

$$F_2 = F(IC)_{\text{ave}} \quad (10)$$

$$F_3 = (F(IC)_{\min} + F(IC)_{\text{ave}}) / 2$$

式中,  $F(IC)$  为玉米播种至任意发育期的气候适宜指数,  $F(IC)_{\max}, F(IC)_{\text{ave}}, F(IC)_{\min}$  分别为 1993—2011 年气候适宜指数中最大值、平均值和最小值。

表 3 玉米播种至不同发育期不同级别气候适宜评价指标

Table 3 Climatic suitability indicators at various developmental stages of maize

指标 Index	播种 ~ 出苗 Seeding to emergence	播种 ~ 拔节 Seeding to jointing	播种 ~ 乳熟 Seeding to milky maturity	播种 ~ 成熟 Seeding to maturity
F1	0.229	0.621	0.813	0.941
F2	0.220	0.606	0.761	0.896
F3	0.200	0.584	0.690	0.811

表 4 玉米气象产量与播种至不同发育阶段气候适宜等级相关分析结果

Table 4 Correlation analysis results between the meteorological yield of maize and the climatic suitability degree at developmental stages

相关系数与信度检验 Correlation and confidence test	播种 ~ 出苗 Seeding to emergence	播种 ~ 拔节 Seeding to jointing	播种 ~ 乳熟 Seeding to milky maturity	播种 ~ 成熟 Seeding to maturity
$R$	-0.317	-0.528	-0.753	-0.791
$P$	0.200	0.050	0.001	0.001

### 4 气候适宜评价指标的验证及应用

利用表 3 气候适宜评价指标,基于式(11)原则,将播种 ~ 出苗、播种 ~ 拔节、播种 ~ 乳熟、播种 ~ 成熟 4 个时段气候适宜指数划分为适宜、较适宜、较不适宜和不适宜 4 个等级。

$$F(IC) = \begin{cases} \text{适宜} & 1 \text{ 级} & F(IC) \geq F_1 \\ \text{较适宜} & 2 \text{ 级} & F_2 \leq F(IC) < F_1 \\ \text{较不适宜} & 3 \text{ 级} & F_3 \leq F(IC) < F_2 \\ \text{不适宜} & 4 \text{ 级} & F(IC) < F_3 \end{cases} \quad (11)$$

#### 4.1 整体相关性检验

气象条件适宜与否,最终都要通过产量高低来检验。将 1993—2011 年玉米播种 ~ 出苗、播种 ~ 拔节、播种 ~ 乳熟、播种 ~ 成熟 4 个时段气候适宜等级与逐年气象产量进行相关性分析,结果见表 4。可见,玉米气象产量与 4 个时段气候适宜等级均呈负相关,说明气候适宜等级越大(气象条件越不适宜),气象产量越低,气象条件对产量形成越不利。从发育阶段来看,除播种 ~ 出苗外的所有时段均通过了信度  $P \leq 0.05$  显著性相关检验,且从播种开始越接近成熟期,相关性越显著。

#### 4.2 典型灾害年检验

据文献和农业气象情报记录<sup>[34]</sup>,1997 年、2000 年和 2007 年东北地区均发生了严重的干旱,气候适宜等级评价结果显示,除 1997 年播种 ~ 出苗阶段气候适宜等级为 2 级外,其余时段均为 3 级或 4 级,其玉米单产分别为  $4\ 804.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $4\ 411.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $5\ 177.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,对应的气象产量为  $-13.8\%$ 、 $-22.6\%$  和  $-9.5\%$ ,是歉产年,其中 2007 年 8 月中下旬东北地区大部旱情也得到缓解,气候适宜等级由 4 级转为 3 级(图 1),但仍无法扭转前期产量损失,与 4.1 节的结论一致。



## 参考文献:

- [1] 宫丽娟,王晨轶,王萍,等.东北三省玉米气候适宜度变化分析[J].玉米科学,2013,21(5):140-146.
- [2] 罗怀良,陈国阶.四川洪雅县农业气候适宜度评价[J].农业现代化研究,2001,22(5):279-282.
- [3] 景毅刚,高茂盛,范建忠,等.陕西关中冬小麦气候适宜度分析[J].西北农业学报,2013,22(8):27-32.
- [4] 赵峰,千怀遂,焦士兴.农作物气候适宜度模型研究——以河南省冬小麦为例[J].资源科学,2003,25(6):77-82.
- [5] 徐学选,高鹏,蒋定生.延安降水对农作物生长适宜性的模糊分析[J].水土保持研究,2000,7(2):73-76,118.
- [6] 魏瑞江,张文宗,康西言,等.河北省冬小麦气候适宜度动态模型的建立及应用[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):5-9.
- [7] 魏瑞江,李春强,姚树然.农作物气候适宜度实时判定系统[J].气象科技,2006,34(2):229-232.
- [8] 任王玉,千怀遂,刘青青.河南省棉花气候适宜度分析[J].农业现代化研究,2004,25(3):231-235.
- [9] 黄淑娥,田俊,吴慧峻.江西省双季水稻生长季气候适宜度评价分析[J].中国农业气象,2012,33(4):527-533.
- [10] 张建军,马晓群,许莹.安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标的建立与试用[J].气象,2013,39(1):88-93.
- [11] 齐斌,余卫东,袁建昱,等.河南省棉花精细化农业气候区划[J].中国农业气象,2011,32(4):571-575.
- [12] 代立芹,李春强,魏瑞江.河北省夏玉米气候适宜度及其变化特征分析[J].生态环境学报,2011,20(6):1031-1036.
- [13] 田俊,黄淑娥,祝必琴,等.江西双季早稻气候适宜度小波分析[J].江西农业大学学报,2012,34(4):646-651,670.
- [14] 蒲金涌,姚小英,姚茹莘.近40年甘肃河东地区夏秋作物气候适宜性变化[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):253-258.
- [15] 朱新玉,刘杰,史本林,等.气候变暖背景下中原腹地冬小麦气候适宜度变化[J].地理研究,2012,31(8):1479-1489.
- [16] 魏瑞江,宋迎波,王鑫.基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法[J].应用气象学报,2009,20(5):622-627.
- [17] 李曼华,薛晓萍,李鸿怡.基于气候适宜度指数的山东省冬小麦产量动态预报[J].中国农学通报,2012,28(12):291-295.
- [18] 刘伟昌,陈怀亮,余卫东,等.基于气候适宜度指数的冬小麦动态产量预报技术研究[J].气象与环境科学,2008,31(2):21-24.
- [19] 景毅刚,高茂盛,范建忠,等.陕西关中冬小麦气候适宜度分析[J].西北农业学报,2013,22(8):27-32.
- [20] 任王玉,千怀遂.河南省棉花气候适宜度变化趋势分析[J].应用气象学报,2006,17(1):87-93.
- [21] 姚树然,王鑫,李二杰.河北省棉花气候适宜度及其时空变化趋势分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):24-29.
- [22] 赖纯佳,千怀遂,段海来,等.淮河流域双季稻气候适宜度及其变化趋势[J].生态学杂志,2009,28(11):2339-2346.
- [23] 李昊宇,王建林,郑昌玲,等.气候适宜度在华北冬小麦发育期预报中的应用[J].气象,2012,38(12):1554-1559.
- [24] 李树岩,彭记永,刘荣花.基于气候适宜度的河南夏玉米发育期预报模型[J].中国农业气象,2013,34(5):576-581.
- [25] 孙小龙,闫伟兄,武荣盛,等.基于气候适宜度建立河套灌区玉米生育期模拟模型[J].中国农业气象,2014,35(1):62-67.
- [26] 侯英雨,王良宇,毛留喜,等.基于气候适宜度的东北地区春玉米发育期模拟模型[J].生态学杂志,2012,31(9):2431-2436.
- [27] 柳芳,薛庆禹,黎贞发.天津棉花气候适宜度变化特征及其产量动态预报[J].中国农业气象,2014,35(1):48-54.
- [28] 宋迎波,王建林,李昊宇,等.冬小麦气候适宜诊断指标确定方法探讨[J].气象,2013,39(6):768-773.
- [29] 张建军,马晓群,许莹.安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标的建立与试用[J].气象,2013,39(1):88-93.
- [30] 宋迎波,王建林,杨霏云,等.粮食安全气象服务[M].北京:气象出版社,2006,28-31.
- [31] 马树庆.吉林省农业气候研究[M].北京:气象出版社,1994,33.
- [32] 钱永兰,吕厚荃.2013年秋收作物生长季农业气象条件评价[J].中国农业气象,2014,35(1):116-118.
- [33] 谭方颖,赵秀兰,张蕾.2014年冬小麦、油菜全生育期农业气象条件评价[J].中国农业气象,2014,35(4):482-484.
- [34] 娄秀荣,沙奕卓.1997年夏季(6—8月)气候对农业生产的影响[J].中国农业气象,1997,18(6):51-53.

(上接第233页)

- [26] 马建勇,潘婕,姜江,等.北疆地区1955—2009年气温、降水变化特征的时间序列分析[J].沙漠与绿洲气象,2012,6(2):18-24.
- [27] 叶殿秀,张勇.1961—2007年我国霜冻变化特征[J].应用气象学报,2008,19(6):661-665.
- [28] 李兰,杜军,宋玉玲,等.近45年来新疆 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间积温和降水量的变化特征[J].中国农业气象,2010,31(增1):35-39.
- [29] 李克南,杨晓光,刘志娟,等.全球气候变化对中国种植制度可能影响分析Ⅲ.中国北方地区气候资源变化特征及其对种植制度界限的可能影响[J].中国农业科学,2010,43(10):2088-2097.
- [30] 张立波,景元书,陈传雷.1960—2010年中国华北东北地区热量资源时空变化[J].气象与环境学报,2014,30(1):80-87.
- [31] 张厚璋.中国种植制度对全球气候变化响应的有关问题Ⅰ:气候变化对我国种植制度的影响[J].中国农业气象,2000,21(1):9-13.
- [32] 赖先齐,刘建国,李鲁华,等.发展绿洲多熟种植是新疆农业结构调整的切入点[J].新疆农垦科技,2001,(6):5-8.