

胡春丽,李荣平,王 婷,等. 辽宁水稻年景预报模型研究[J]. 干旱气象,2018,36(3):501-506, [HU Chunli, LI Rongping, WANG Ting, et al. Forecast Model of Rice Harvest in Liaoning Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(3):501-506], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-03-0501

辽宁水稻年景预报模型研究

胡春丽¹,李荣平¹,王 婷¹,李 菲²,李琳琳¹

(1. 辽宁省气象科学研究所,辽宁 沈阳 110016;2. 沈阳区域气候中心,辽宁 沈阳 110016)

摘 要:选用1961—2015年东北地区26个气象站月平均气温资料、国家气候中心74项环流特征量指数、NCEP/NCAR再分析资料和1986—2015年辽宁省水稻单产资料,分析了辽宁省水稻产量的时间变化特征,基于大气环流对长期天气过程影响的滞后性,考虑预报因子的显著、稳定性和独立性,应用多元线性回归方法建立水稻年景的预报模型。结果表明:(1)辽宁省水稻实际产量、趋势产量、气象产量均呈增加趋势,发生气候突变时间分别为1992、1997和1994年,实际产量与气象产量的关系较密切;(2)水稻年景预报模型经 F 检验,具有统计学意义,预报基本正确率为81.9%,用该模型预测2014、2015年水稻年景,均接近实际值。

关键词:水稻;产量;大气环流特征量;预报模型

文章编号:1006-7639(2018)03-0501-06 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-03-0501

中图分类号:S511

文献标志码:A

引 言

水稻是世界第二大粮食作物,也是中国最主要的粮食作物之一,约占全国粮食作物总面积的1/3、全国粮食总产量的1/2,是中国粮食生产安全和农业可持续发展的重要战略资源^[1]。气象条件是水稻产量波动的主要影响因素,气象条件的匹配与否、气象灾害的轻重程度决定了水稻收成丰歉、品质优劣和成本高低。随着气候变化的日益加剧,我国各类极端天气事件逐渐增多^[2],农业气象灾害呈增加、增强趋势^[3-5]。因此,开展量化的水稻气象年景预报,对科学制定宏观调控政策、合理安排农业布局、规避水稻生产风险和保障粮食安全具有重要的实践意义和经济意义。

水稻气象年景预报是指水稻生长发育和产量形成期间的农业气象条件的组合特征,是农业气象灾害和水稻气象产量的综合预报。近些年,随着我国农业气象服务的发展,气象部门对作物产量预报技术进行了较为深入的研究,提出了基于气候适宜度指数^[6]、关键气象因子影响指数^[7]、产量丰歉气象

影响指数^[8]、作物生长模拟模型^[9]、多因子集成^[10]等农业气象产量预报方法,并应用于业务服务工作中,取得了显著成效。但上述研究预报实效较短,要对水稻产量预报做出长期预测,必须寻求引发农业气象灾害的早期背景场因子,而大气环流异常变化是造成天气、气候异常的直接原因。因此,大气环流变化通过影响农业气象要素的变化,影响水稻气象产量丰歉,对产量预报具有前兆性指示。但目前针对作物产量预报与大气环流的研究相对较少^[4]。

本文利用辽宁省水稻产量、大气环流特征量资料,采用统计学方法,选取相关显著的早期环流特征量作为预测因子,建立基于大气环流特征量的水稻定量化年景预报模型,进行水稻产量的长期预报,为开展气象为农业生产服务和防灾减灾提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资 料

利用沈阳区域气候中心提供的1961—2015年东北地区(黑龙江省、吉林省、辽宁省及内蒙古自治区“东四盟”)26个气象站夏季(6—8月)平均气温

收稿日期:2017-12-13;改回日期:2018-01-03

基金项目:国家自然科学基金(41605087)、辽宁省农业领域青年科技创新人才培养计划项目(2015030)、中国气象局2017年省级气象研究所科技创新发展项目(201708)、辽宁省气象局项目(201604)、山洪地质灾害防治气象保障工程2018年建设项目和中国气象局沈阳大气环境研究所开放基金课题(2017SYIAE05)共同资助

作者简介:胡春丽(1980—),女,吉林德惠人,硕士,高级工程师,主要从事短期气候预测、农业气象等研究。E-mail:huchunli0829@163.com。

资料, 台站选取参考李菲等^[11]; 国家气候中心提供的 1951—2015 年 74 项逐月环流指数资料; 美国国家环境预报中心和美国国家大气科学研究中心 (NCEP/NCAR) 提供的 1951—2015 年月平均 500 hPa 位势高度再分析资料, 水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。

由辽宁省统计局提供的 1986—2015 年辽宁省 32 个水稻生产县(市)年单产数据。图 1 是 32 个水稻生产县(市)站点分布, 可以看出, 辽宁省水稻种植主要集中在沈阳、丹东和营口等地, 构成了中部平原、辽河三角洲、东南部沿海平原 3 大主产区。

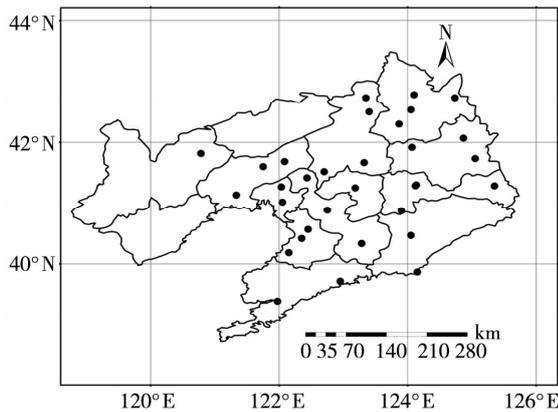


图 1 辽宁省水稻种植站点分布

Fig. 1 Rice planting area of Liaoning Province

1.2 方法

1.2.1 气象产量分离

一般认为作物产量是由趋势产量、气象产量及随机产量组成。趋势产量是作物在正常气候条件下所有自然和非自然因素对产量的影响; 气象产量则是代表气象因子的波动而影响的那部分产量; 随机产量是由不可预见的因素造成。由于随机产量为不可控制因素, 因此, 一般在作物产量预报中可以忽略, 由此作物产量主要由气象产量和趋势产量构成^[12]。目前趋势产量的模拟方法主要有移动平均法(3 a, 5 a, 单指数、双指数等)、回归分析法(线性、非线性)、滤波分析法(HP、BP 等)3 类。本文采用移动平均法对趋势产量进行模拟, 移动时间长度选取 5 a。实际产量减趋势产量即为气象产量^[5]。

1.2.2 产量预报等级划分

水稻产量预报等级为丰年、平偏丰、持平略增、持平略减、平偏歉、歉年。水稻增减百分比 $P = [(\text{当年实产} - \text{平均值}) / \text{平均值}] \times 100\%$, 当年实产为辽宁省统计局公布的水稻平均单产, 平均值为近 5 a 辽宁省统计局公布的水稻平均单产。定义 $P \geq 5\%$ 为丰年, $3\% \leq P < 5\%$ 为平偏丰, $0\% \leq P < 3\%$ 为持平略增, $-3\% \leq P < 0\%$ 为持平略减, $-5\% \leq P <$

-3% 为平偏歉, $P < -5\%$ 为歉年。

1.2.3 产量预报模型

采用多元回归方案建立多个环流因子的水稻年景预报模型, 并利用 F 统计量进行模型的拟合效果验证, 检验模型优劣及其预测精度。当 $F > F_\alpha$ 时, 说明模型在显著性水平 α 下有意义, 否则无意义, 即该模型不可用。具体公式如下:

$$F = \frac{\frac{U}{m}}{\frac{Q}{n - m - 1}} \quad (1)$$

$$U = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (2)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

式中: U 为回归平方和; Q 为残差平方和; y_i 、 \bar{y} 、 \hat{y}_i 分别为因变量、因变量平均值、因变量模拟值; m 为模型预报因子个数; n 为样本数。

2 产量特征

2.1 年际变化

图 2 是 1986—2015 年辽宁省水稻平均单产的年际变化。近 30 a 辽宁水稻实际产量呈显著增加趋势, 年际变化为 $5.28 \times 10^3 \sim 8.59 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其中, 1988、1989、1995 年实际产量最小, 1998、1999、2015 年产量最大。水稻趋势产量也呈明显增加趋势, 变化倾向率为 $544.87 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 趋势产量与实际产量的相关系数为 0.45, 通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。气象产量在 2000 年以前年际波动幅度明显大于 2000 年以后, 说明 2000 年以前导致水稻减产的气象灾害频发, 出现水稻障碍型和延迟型低温冷害事件明显较 2000 年以后偏多, 造成水稻气象产量波动明显。气象产量与实际产量的相关系数为 0.72, 通过了 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验, 说明气象产量能基本反映实际单产的变化趋势, 气象因子的影响不可忽视。

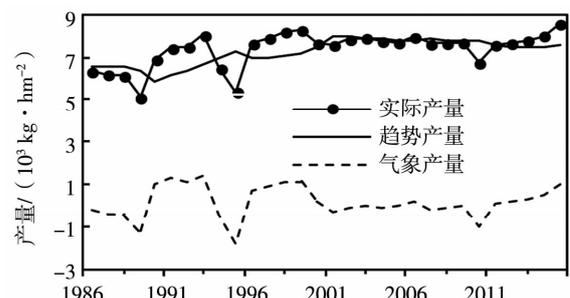


图 2 1986—2015 年辽宁省水稻产量的年际变化

Fig. 2 Interannual variations of rice yields in Liaoning Province during 1986 - 2015

2.2 突变分析

图3为1986—2015年辽宁省水稻平均单产的Mann-Kendall突变检验。UF代表水稻产量的顺序统计曲线,UB则为逆序统计曲线,若UF或UB值大于0,表明序列呈上升趋势,反之则呈下降趋势。给定显著性水平 $\alpha=0.05$,临界线 $U=\pm 1.96$,当统计曲线超过临界线时,表明上升或下降趋势显著。若2条统计曲线在临界线之间出现交点,则交点对应的的时间就是开始突变的时间^[13]。由图3(a)可见,UF曲线在1991年以后均大于0,且在1998年以后突破临界线,表明1991年以来水稻实际产量呈上升

趋势,且1998年以后上升趋势显著。UF和UB曲线在1992年左右出现交点,且交点在临界线之间,说明1992年为水稻实际产量发生突变的时间。由图3(b)可见,UF和UB2条曲线在1991年、1995年和1997年发生3次相交,UB曲线在2001年突破临界线,因此1997年为水稻趋势产量发生突变的时间。由图3(c)可见,UF和UB曲线在1994年左右出现交点,且UF曲线在1997年突破临界线,因此1994年为水稻气象产量发生突变的时间。这与李辑等^[14]发现东北地区夏季气温突变时间一致,可见辽宁夏季气温是影响水稻气象产量的关键因子之一。

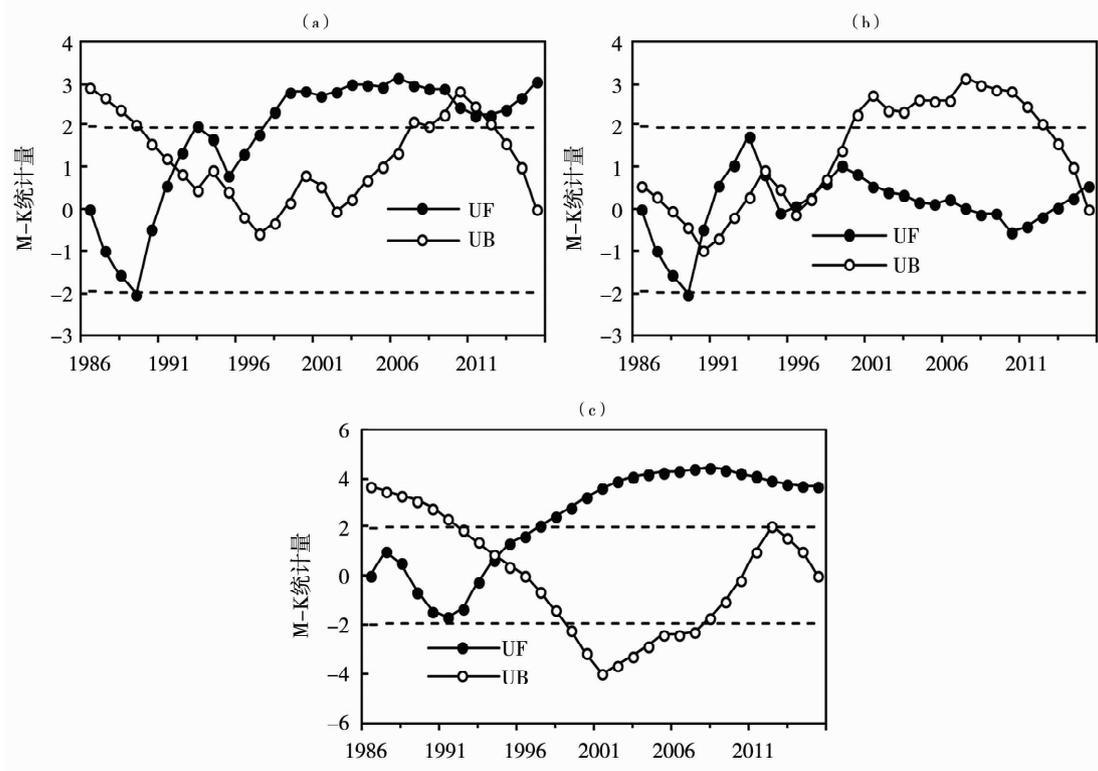


图3 1986—2015年辽宁省水稻实际产量(a)、趋势产量(b)和气象产量(c)的Mann-Kendall检验

Fig. 3 Mann-kendall test of rice practical yield (a), trend yield (b) and meteorological yield (c) in Liaoning Province during 1986-2015

3 相关分析

3.1 环流指数分析

对水稻气象产量的时间序列,计算与前一年8—12月逐月74项环流特征量的相关系数,得到74×5的相关系数矩阵,为保证选择因子与因变量间的平稳性,选取相关系数通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验的环流因子作为备选因子。

表1为1986—2015年水稻气象产量与前一年8—12月环流指数的相关系数。可以看出,水稻气象

产量与东太平洋副高面积指数(175°W—115°W)、太平洋副高面积指数(110°E—115°W)、西太平洋副高强度指数(110°E—180°)、东太平洋副高强度指数(175°W—115°W)呈稳定持续的负相关关系;与太阳黑子呈持续的、显著的正相关关系;与北半球副高面积指数(5°E—360°)和北半球极涡强度分别在9—12月和8—11月呈持续的正相关关系;与北非副高面积指数(20°W—60°E)、大西洋欧洲环流型C日数、编号台风呈不稳定的相关关系。

表 1 1986—2015 年水稻气象产量与前一年 8—12 月环流指数相关系数

Fig. 1 Correlation coefficients between meteorological yield of rice and circulation indices from August to December of previous year

环流指数	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
东太平洋副高面积指数(175°W—115°W)	-0.17	-0.35 *	-0.28	-0.41 *	-0.33
太平洋副高面积指数(110°E—115°E)	-0.17	-0.3	-0.3	-0.38 *	-0.34
西太平洋副高面积指数(110°E—180°)	-0.12	-0.05	-0.3	-0.3	-0.41 *
东太平洋副高强度指数	-0.16	-0.33	-0.27	-0.4 *	-0.36 *
北半球副高面积指数(5°E—360°)	-0.09	0.36 *	0.11	0.24	0.04
北非副高面积指数(20°W—60°E)	-0.05	0.39 *	0.42 *	-0.25	0.17
北半球极涡中心强度	0.17	0.58 **	0.06	0.15	-0.16
大西洋欧洲环流型 C 日数	-0.01	0.19	0.38 *	-0.06	0.04
东亚槽强度指数	- - -	- - -	0.27	0.07	0.37 *
编号台风	-0.24	-0.31	-0.09	0.34	-0.29
太阳黑子	0.4 *	0.32	0.26	0.35 *	0.28

注: *、** 分别表示通过 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.01$ 的显著性检验, - - - 表示无数值

3.2 环流因子选取

为选取物理意义较明确的环流因子,分析东北夏季气温与同期大气环流的相关关系。研究指出^[14],东北夏季气温与同期北半球极涡和副热带高压相关显著,当极涡面积偏大(小)、强度偏强(弱),副热带高压强度明显偏弱(强)、位置偏南(北)时,来自极地的冷空气势力较强(弱),暖空气势力较弱(强),东北地区气温偏低(高)。图4是1961—2015

年东北夏季气温与同期 500 hPa 高度场的相关系数分布。可以看出,北半球以 60°N 为分界线,60°N 以北区域为负相关性,60°N 以南区域为显著正相关性,在东北地区上空相关系数通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。即当东北地区上空 500 hPa 高度场位势高度偏低,东北地区气温偏低;反之位势高度偏高,东北地区气温偏高。

另外,太阳黑子活动具有准 11 a 的变化周期,统计 1951 年以来太阳黑子数与东北夏季气温距平对应关系发现,6 个太阳黑子低谷年(1954、1964、1976、1986、1996、2009 年),除 1996 年气温偏低 0.2 °C,未达到低温年标准(东北夏季平均气温距平 ≤ -0.5 °C 定义为低温年^[11])外,其余 5 a 均达到了低温年标准,因此太阳活动是导致东北地区夏季低温的重要原因之一。

选取相关性较高的前一年 11 月太平洋副高面积指数、9 月北半球副高面积指数、9 月北半球极涡中心强度、12 月东亚槽强度指数、8 月太阳黑子数作为辽宁省水稻气象产量预报的预报因子。可以看出,水稻气象产量与高纬度的极涡、中纬度的东亚大槽及中低纬度副热带高压有关。夏季低温年东北地区有超长波槽停留或经过,东亚有低槽,副热带太平洋高压偏弱,位置偏东、偏南。太阳黑子低谷年,500 hPa 高度场从极地向东北地区呈现“-、+、-”的波列分布特征,形成有利于东北地区夏季低温的环流形势。试验表明^[15],水稻孕穗期临界温度为 18 °C,受害程度与抽穗前的 9~11 d 的平均气温有关,东北水稻障碍型低温冷害导致结实率下降,将减

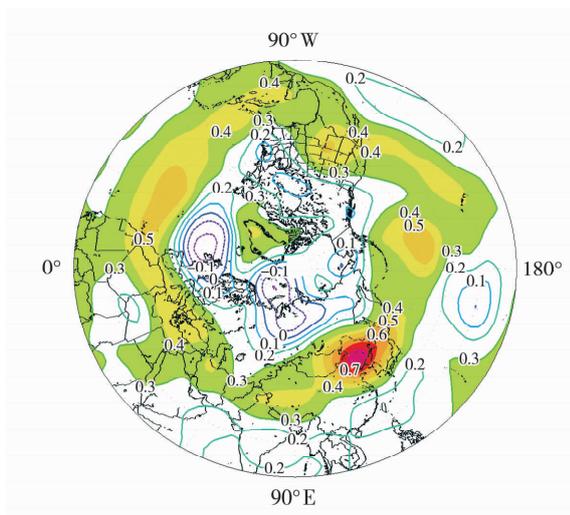


图 4 1961—2015 年东北夏季气温与同期 500 hPa 高度场相关系数分布(阴影区域表示通过 0.05 显著性水平检验)

Fig. 4 Correlation coefficients distribution of air temperature and 500 hPa height field in summer during 1961 - 2015 (The shaded areas mark the region where the significance exceeds 0.05)

少水稻枝梗的分化和粒数,发生大面积的不孕粒;开花期临界温度为 20 ℃,抽穗至开花期如遭遇低温,空秕率明显增多。因此前期大气环流演变对辽宁水稻产量影响机制较为清晰。

3.3 回归模型

设因变量为辽宁省水稻单产气象产量(y_t),自变量为前一年 11 月太平洋副高面积指数(x_{1t})、9 月北半球副高面积指数(x_{2t})、9 月北半球极涡中心强度(x_{3t})、12 月东亚槽强度指数(x_{4t})、8 月太阳黑子数(x_{5t}),建立水稻气象产量预报多元回归模型。模型统计样本为 28 个(1986—2013 年),预留 2014、2015 年进行试报。回归方程如下:

$$y_t = 342.738 - 1.66473x_{1t} + 4.04728x_{2t} + 3.47307x_{3t} - 1.6345x_{4t} + 0.0159335x_{5t} \quad (4)$$

模型的回归平方和 $U = 46\,963.296\,83$,残差平方和 $Q = 30\,775.162\,81$,复相关系数 $R = 0.779\,526$ 。统计量值 $F = 6.714\,4$,当 $\alpha = 0.05$ 时, $F_{0.05}(5, 22) = 2.66$, $F > F_{0.05}$,因此,认为统计回归方程通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验^[13]。

3.4 回归模型检验

为验证回归方程的准确性,选取未参与计算的 2014、2015 年水稻年景预报进行验证,通过多元回归方程预测 2014、2015 年辽宁水稻单产年景均为丰年,实况水稻单产年景也均为丰年,即预报趋势正确,预报效果相对较好。利用 28 a(1986—2012 年)数据进行历史回代检验,预报等级完全正确的为 15 a,占总年份的 53.6%;预报等级相差 1 级的为 8 a,占总年份的 28.6%,即预报基本正确率为 81.9%;预报等级相差 2 级的为 3 a,占总年份的 10.7%,预报等级相差 3 级的为 2 a,占总年份的 7.1%,未出现预报等级相差 4 级和 5 级情况。说明模型近 28 a 拟合率相对较好。

4 结 论

(1)1986 年以来,辽宁省水稻产量呈波动上升趋势,实际产量在某些年份出现增产或者减产,气象因子对其影响不可忽视。水稻实际产量在 1992 年

发生突变,趋势产量在 1997 年发生突变,气象产量在 1994 年发生突变。

(2)以太平洋副高面积指数、北半球副高面积指数、北半球极涡中心强度、东亚槽强度指数及太阳黑子为自变量建立水稻气象产量的多元回归方程。利用该模型预测 2014、2015 年辽宁水稻的年景,结果与实况符合。经检验,水稻产量预报模型基本正确率为 81.9%,可以在水稻年景预报业务中运用。

参考文献:

- [1] 纪瑞鹏,于文颖,武晋文,等. 气候平均数值变化对辽宁水稻延迟型冷害评估结果的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6): 1695 - 1703.
- [2] 李丹,李云鹏,刘朋涛. 内蒙古近 30 a 气象灾害时空变化特征[J]. 干旱气象,2016,34(4):663 - 669.
- [3] 王建中. 辽宁省东港稻区稻瘟病综合防控技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院,2011:1 - 37.
- [4] 徐敏,徐经纬,高革,等. 基于海温和大气环流特征量的农业气候年景预测[J]. 江苏农业科学,2016,44(9):435 - 439.
- [5] 韩语轩,房世波,梁瀚月,等. 基于减产概率的辽宁水稻灾害风险区划[J]. 生态学报,2017,37(23):8077 - 8088.
- [6] 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模拟模型[J]. 生态学杂志,2012,31(9):2431 - 2436.
- [7] 易雪,王健林,宋迎波,等. 早稻产量动态集成预报方法研究[J]. 中国水稻科学,2011,25(3):307 - 313.
- [8] 刘伟昌,张雪芬,王世波,等. 棉花生育期关键气象因子及单产丰歉评估指标[J]. 气象科技,2005,33(S1):141 - 143.
- [9] 刘静,马力文,张学艺. 宁夏灌区春小麦 LAI 与生长性状和产量的关系[J]. 干旱气象,2017,35(3):358 - 366.
- [10] 邱美娟,宋迎波,王建林,等. 山东省冬小麦产量动态集成预报方法[J]. 应用气象学报,2016,27(2):191 - 200.
- [11] 李菲,李辑,管兆勇. 我国东北夏季气温年代际变化特征及与太平洋海温异常关系的研究[J]. 气象与环境学报,2010,26(3):19 - 26.
- [12] 刘锦奎,何健,沙奕卓,等. 越南和泰国水稻产量预报研究[J]. 华南农业大学学报,2005,26(3):1 - 4.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007:214 - 218.
- [14] 李辑,焦敏,胡春丽,等. 1951—2012 年东北地区夏季气温及其影响因子变化特征[J]. 气象与环境学报,2016,32(5):74 - 83.
- [15] 胡春丽,李辑,林蓉,等. 东北水稻障碍型低温冷害变化特征及其与关键生育期温度的关系[J]. 中国农业气象,2014,35(3): 323 - 329.

Forecast Model of Rice Harvest in Liaoning Province

HU Chunli¹, LI Rongping¹, WANG Ting¹, LI Fei², LI Linlin¹

(1. *Liaoning Institute of Meteorological Science, Shenyang 110016, China;*
2. *Shenyang Regional Climate Centre, Shenyang 110016, China*)

Abstract: Based on the monthly mean air temperature data at 26 stations in Northeast China, the 74 circulation characteristic indexes from the National Climate Center, the NCEP/NCAR reanalysis data from 1961 to 2015, and the rice yield per unit data from 1986 to 2015 in Liaoning Province, the temporal variation of rice harvest was analyzed and the annual harvest forecast model of rice in Liaoning was established by using a multiple linear regression method. The results are as follows: (1) The actual yield, trend yield and meteorological yield of rice in Liaoning Province showed an increasing trend, and the time for their climatic mutations was 1992, 1997, and 1994, respectively. The relationship between actual output and meteorological yield was closer; (2) Through the F -test, the rice harvest forecast model reached the statistical significance. The basic accuracy rate of annual forecast model for rice was 81.9%. And the predicted yields of rice in 2014 and 2015 by using this model were close to the actual values.

Key words: rice; annual harvest; characteristics of atmospheric circulation; forecast model

(上接第 500 页)

Analysis on Climate Condition and Comfortable Index in Jilin Province in Summer Tourism Period

YANG Xueyan¹, FU Shuai², XU Shiqi^{1,3}, CHEN Li'nan⁴

(1. *Climate Center of Jilin Province, Changchun 130062, China;* 2. *Institute of Space Weather, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;*
3. *Jilin Provincial Key Laboratory of Changbai Mountain Meteorology & Climate Change, Changchun 130062, China;*
4. *Liaoyuan Meteorological Observatory of Jilin Province, Liaoyuan 136200, Jilin, China*)

Abstract: Based on the climate data from May to September during 1951 – 2016 of 50 meteorological stations in Jilin Province, the main climate factors affecting the living comfort in summer tourism period were done statistical analysis, then some tourism climate – related indices were constructed. The results show that the main climate factors and climate – related indices changed obviously around 1981, the average air temperature in each month increased, and precipitation decreased from July to September, the monthly average wind speed decreased, the average relative humidity decreased slightly in June, August and September, and the average sunshine hours decreased in each month. The temperature – humidity index of each month increased, the summer index decreased in each month, and the tourism climate index increased in June, July and September. There are some climate characteristics of “appropriate temperature and humidity, suitable sunshine, more breeze days and less precipitation during daytime” in summer vacation in Jilin Province. On this basis, the temperature – humidity index in period of summer tourism in Jilin was at the level of “more warm, relative comfortable”, and the summer index was high, while the tourism climate index was at the level of “more comfortable” and above.

Key words: Jilin Province; summer tourism period; climate factors; temperature – humidity index; summer index; tourism climate index