

李树岩,陈怀亮. 河南省夏玉米气候适宜度评价[J]. 干旱气象, 2014, 32(5): 751-759. [LI Shuyan, CHEN Huailiang. Evaluation Studies on Climate Suitability of Summer Maize in He'nan Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(5): 751-759], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-05-0751

河南省夏玉米气候适宜度评价

李树岩, 陈怀亮

(中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点实验室, 河南省气象科学研究所, 河南 郑州 450003)

摘要:为定量评价气象条件对作物生长及产量形成的影响, 本文依据夏玉米不同发育阶段上限温度、最适温度、下限温度、需水量、需光性等生物学指标, 构建了河南省夏玉米气候适宜度评价模型。通过对13个代表站30 a全生育期气候适宜度和相对气象产量进行相关分析, 表明该模型能较好地反映河南省夏玉米的气候适宜水平及其动态变化。利用检验后的模型计算了河南省67个站1981~2011年夏玉米生长季单因子及综合气候适宜度, 结果表明河南省夏玉米大部分生育期光热资源较适宜, 能满足玉米生长所需, 仅在灌浆后期略显不足, 降水是影响夏玉米产量形成的主要限制因子, 且降水适宜度年际变化幅度大于日照和温度。综合气候适宜度年际波动表现为抽雄—乳熟期 > 出苗—抽雄期 > 全生育期。空间分布上气候适宜度呈自西北向东南方向的递增趋势, 适宜度高值区分布在南阳东部及驻马店部分地区。

关键词:气候适宜度; 评价模型; 夏玉米

文章编号:1006-7639(2014)-05-0751-09 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-05-0751

中图分类号:S162

文献标识码:A

引言

利用实时气象资料开展气象要素对农作物生长的适宜性评价, 是农业气象业务服务的主要内容之一^[1], 在作物产量预报、农业气象年景预测等方面都发挥着重要作用。传统方法一般是通过分析气象产量与气象因子的相关性, 取其中差异显著、农业意义明显的重要时段的气象要素作为评价的主要依据, 并与气象产量建立多元回归方程从而构建气象条件对产量影响的评价模型^[2-4]。近年来, 气候适宜度理论不断发展和完善, 作物生长气象条件评价方法也日趋成熟^[5-6]。气象条件适宜度评价是将温度、水分和光照看成3个模糊集, 不同地区、不同的发育阶段, 各气象因子对农作物生长发育的影响程度不同, 借助模糊变换原理, 分别构建温度、降水、光照隶属函数, 并设置单个因子影响的权重, 来综合评判多因素的影响作用^[7]。国内外不少学者采用气候适宜度的方法对不同区域、尺度以及不同作物发育期气候适宜性进行了研究^[8-10], 建立了相应的气

候适宜度评价模型^[11-12], 使农作物生长气象条件评价逐步由定性走向定量^[13]。如魏瑞江、代立芹等^[14-15]利用模糊数学理论, 建立了冬小麦、夏玉米生长气候适宜度评价模型, 并对冬小麦生育期内气候适宜度特征进行了初步分析, 任王玉等^[16]分析了河南棉花气候适宜度变化趋势。

目前, 借助较为成熟的气候适宜度模型, 结合区域气候背景, 针对具体作物, 各个发育期调整模型参数, 提高模型评价的准确性, 是该理论发展和应用的重要方面。因此, 本文首先选取河南省13个夏玉米主产地的产量资料和气象资料, 构建并验证夏玉米气候适宜度评价模型, 然后将该模型推广到全省夏玉米主产区67个代表站, 计算全省单要素及综合气候适宜度, 评价不同生育阶段的气候适宜度及空间分布特征, 揭示制约夏玉米各生育阶段安全生产的关键气象条件。尝试利用实时气象条件开展适宜性评价, 适时调整管理措施, 为保障夏玉米高产提供参考依据, 进一步促进粮食丰歉年景预测、夏玉米产量动态预报等农业气象业务服务的发展。

收稿日期: 2014-04-15; 改回日期: 2014-05-01

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项“主要农作物生长动态监测与定量评价技术研究”(GYHY200906022)资助

作者简介: 李树岩, 女, 硕士, 高级工程师, 从事应用气象研究. E-mail: lsy_126com@126.com

1 资料与方法

1.1 资料选取

根据河南省夏玉米播种面积及产量情况,选择河南省 67 个台站作为主产区代表站。其中,利用安阳、焦作、开封、洛阳、新乡、郑州、漯河、许昌、平顶山、周口、商丘、南阳和驻马店 13 个站资料构建气候适宜度评价模型。模型通过检验后,将评价模型应用到全部 67 个站。所用数据包括气象资料和夏玉米产量资料。气象资料为上述 67 个台站 1981 ~ 2011 年地面观测资料,包括逐旬平均气温、降水量和日照时数。另外,降水适宜度中作物需水量的计算还需要使用逐日的最高、最低气温、风速、水汽压等资料。产量资料为相应年份的夏玉米单产资料,来源于河南省统计年鉴。

1.2 气象产量提取

一般来说,农作物产量可分为 3 个部分,即趋势产量、气象产量和随机“噪声”^[17],本文采用直线滑动平均模拟方法进行趋势产量提取,该方法将线性回归模型与滑动平均相结合,将玉米产量的时间序列在某个阶段内的变化看做线性函数,随着阶段的连续滑动,直线不断变换位置,后延滑动,从而反映产量历史演变趋势^[18]。为消除各地产量水平的差异,重点考虑气象条件对产量波动的影响,还需计算相对气象产量:

$$Y_{wa} = (Y - Y_t) / Y_t \quad (1)$$

其中 Y 为作物历年单产; Y_t 为趋势产量; Y_{wa} 为气象产量。

2 夏玉米气候适宜度评价模型建立

2.1 温度适宜度模型

玉米喜温,整个生育期均需要较高的温度。据观察温度 10 ~ 12 °C 时播种后 10 ~ 20 d 出苗,20 °C 时仅需要 5 ~ 6 d,温度过低过高都会对生长产生抑制作用^[19]。开花散粉期温度高于 32 ~ 35 °C,空气相对湿度接近 30%,雌穗吐丝缓慢,雌雄间隔期拉长,受精不良,易造成秃顶缺粒。根据马树庆等^[20]的研究成果,建立温度适宜度模型:

$$F(t_{ij}) = \frac{(t_{ij} - t_L)(t_H - t_{ij})^B}{(t_0 - t_L)(t_H - t_0)^B}$$

$$B = \frac{(t_H - t_0)}{(t_0 - t_L)} \quad (2)$$

式中 $F(t_{ij})$ 为各点第 j 年第 i 旬温度适宜度; t_{ij} 为各点第 j 年第 i 旬平均气温, t_L, t_H, t_0 分别为夏玉米第 i 旬所需的旬平均最低气温、旬平均最高气温和旬平均适宜气温。 t_L, t_H, t_0 的确定参照文献^[10],并根据河南省夏玉米产区各市的旬平均最低、最高气温和旬平均气温的历年值以及夏玉米各发育期对温度的需求分别进行订正,见表 1。

2.2 降水适宜度模型

夏玉米生长在高温和蒸发量大的夏季,一生需水量多,且不同生育阶段对水分要求不同。一般抽雄前 10 d 到后 20 d 为需水临界期,降水不足将严重影响夏玉米产量;降水量过多亦会发生玉米涝渍及连阴雨灾害,尤其在玉米生长中后期,直接影响玉米开花授粉及籽粒灌浆,造成减产^[21]。因此根据夏玉米各生育阶段需水量是否满足计算降水适宜度^[22]。

$$F(R_i) = \begin{cases} 1 - \frac{|\Delta W_i|}{W_i} & R_i < W_i \\ 1 & R_i \geq W_i \end{cases} \quad (3)$$

ΔW_i 为农田水分盈亏值, $\Delta W_i = R_i - W_i$, $W_i = K_c \cdot E_i$, R_i 为第 i 旬降水量, W_i 为农作物理论需水量, K_c 为夏玉米作物系数,不同生育阶段取值参考文献^[23], E_i 为该时段潜在蒸散量用彭曼公式^[24]计算所得。由于降水分布的不均匀性及水分影响的后延性,计算时将前一句多余的降水量累积到下一句,作为补给的水分来源。

2.3 日照适宜度模型

玉米喜光怕阴,充足的日照能促进玉米高产,夏玉米对光照最敏感的时段是雌穗分化期和开花吐丝期,如果此时光照不足会使玉米植株正常发育受阻或花丝、花粉活力降低造成空秆或结实不良。一般以日照时数达到可照时数的 70% 为临界点^[25],认为当日照百分率达到 70% 以上,夏玉米对光照条件的反应即达到适宜状态,本文根据河南夏玉米发育期特点进行适当调整。日照适宜度模型为:

$$F(S_{ij}) = \begin{cases} \frac{S_{ij}}{S_0} & S_{ij} < S_0 \\ 1 & S_{ij} > S_0 \end{cases} \quad (4)$$

$F(S_{ij})$ 为第 j 年第 i 旬日照时数适宜度, S_{ij} 为第 j 年第 i 旬的日照时数, S_0 为玉米生育期内第 i 旬对日照需求的临界值,参数取值见表 1。

表 1 适宜度评价模型参数
Tab.1 The parameters for climate suitability evaluation models

时段	$t_0/^\circ\text{C}$	$t_L/^\circ\text{C}$	$t_H/^\circ\text{C}$	S_0/h
6 月上旬 E - Jun	25	17	35	60
6 月中旬 M - Jun	25	19	35	60
6 月下旬 L - Jun	26	21	35	60
7 月上旬 E - Jul	26	21	35	60
7 月中旬 M - Jul	26	22	35	60
7 月下旬 L - Jul	26	23	35	60
8 月上旬 E - Aug	26	22	34	70
8 月中旬 M - Aug	25	21	33	70
8 月下旬 L - Aug	24	20	33	70
9 月上旬 E - Sep	22	18	32	70
9 月中旬 M - Sep	20	15	30	70
9 月下旬 L - Sep	19	13	30	70

注: E - 某月前 10 d 即上旬; M - 某月中间 10 d 即中旬;
L - 某月最后 10 d 即下旬

2.4 综合适宜度模型

2.4.1 逐旬综合适宜度

$$F(C_{ij}) = b_{ti}F(t_{ij}) + b_{Ri}F(R_{ij}) + b_{si}F(S_{ij}) \quad (5)$$

$F(C_{ij})$ 为第 j 年第 i 旬综合适宜度, b_{ti} 、 b_{Ri} 、 b_{si} 分别为各旬温度、降水和日照的适宜度权重系数, b_{ti} 、 b_{Ri} 、 b_{si} 的确定方法为每旬各气象要素适宜度与相应年份的气象产量做相关分析, 用各要素相关系数除以 3 个要素的相关系数之和, 因此 $b_{ti} + b_{Ri} + b_{si} = 1$, 确定方法如下:

$$b_{ti} = \frac{|a_{ti}|}{a_{ci}} \quad b_{Ri} = \frac{|a_{Ri}|}{a_{ci}} \quad b_{si} = \frac{|a_{si}|}{a_{ci}} \quad a_{ci} = |a_{ti}| + |a_{Ri}| + |a_{si}| \quad (6)$$

a_{ti} 、 a_{Ri} 、 a_{si} 分别为各旬温度、降水和日照时数适宜度与相对气象产量的相关系数, a_{ci} 为各气象要素相关系数绝对值之和。

2.4.2 全生育期综合适宜度

河南夏玉米全生育期共 12 旬, 将各旬综合气候适宜度与相应年份相对气象产量做相关分析, 用各旬相关系数除以 12 旬相关系数之和, 计算各旬气候适宜度权重系数, 然后累加计算全生育期气候适宜度, 计算如下:

$$F(C_j) = \sum_{i=1}^n K_i F(C_{ij}) \quad (7)$$

$$K_i = \frac{|a_i|}{\sum_{i=1}^n |a_i|} \quad (8)$$

$F(C_j)$ 为各地市第 j 年夏玉米全生育期综合适宜度, K_i 为各旬适宜度权重系数, a_i 为各旬综合气候适宜度与气象产量的相关系数, n 为夏玉米全生育期总旬数, 本文 $n = 12$ 。

2.5 气候适宜度评价模型的检验

计算 13 个代表站 1981 ~ 2010 年全生育期气候适宜度指数, 与对应相对气象产量做相关分析, 部分结果如图 1 所示。相关分析表明, 除焦作市相关系数通过 0.1 显著性检验外, 其他台站均通过 0.01 的极显著性检验(表 2), 说明本文建立的夏玉米气候适宜度模型能较好地反映河南省气候适宜度动态变化和产量增减趋势, 可以用来评价夏玉米生长适宜情况。

表 2 气候适宜度指数与气象产量的相关性检验
Tab.2 The correlation test between climate suitability index and meteorological yield

地市	相关系数	地市	相关系数
安阳	0.500 **	平顶山	0.490 **
焦作	0.298	商丘	0.433 **
开封	0.436 **	新乡	0.375 **
洛阳	0.686 **	许昌	0.546 **
漯河	0.505 **	郑州	0.726 **
南阳	0.624 **	周口	0.578 **
全省	0.565 **		

注: ** 为通过 0.01 的显著性检验

3 夏玉米气候适宜度评价模型的应用

3.1 夏玉米气候适宜度分析

3.1.1 全生育期各气象要素适宜度年际变化

计算 1981 ~ 2010 年间光、温、水气候适宜度, 绘制各要素适宜度多年变化曲线如图 2 所示。可以看出温度适宜度在 0.75 ~ 0.9 之间, 多年变化趋势不显著; 降水适宜度大多在 0.4 ~ 0.9 范围内波动, 多年平均 0.71, 近 30 a 呈一定的上升趋势, 平均每 10 a 上升 0.03; 日照适宜度在 0.6 ~ 0.95 范围内波动, 呈显著下降趋势, 平均每 10 a 下降 0.05。总体上看, 温度的适宜度要大于日照和降水。各气象要素适宜度年际变化幅度最大的是降水, 其次是日照, 温度最小, 三者变异系数分别为 17.9、11.1 和 5.1。

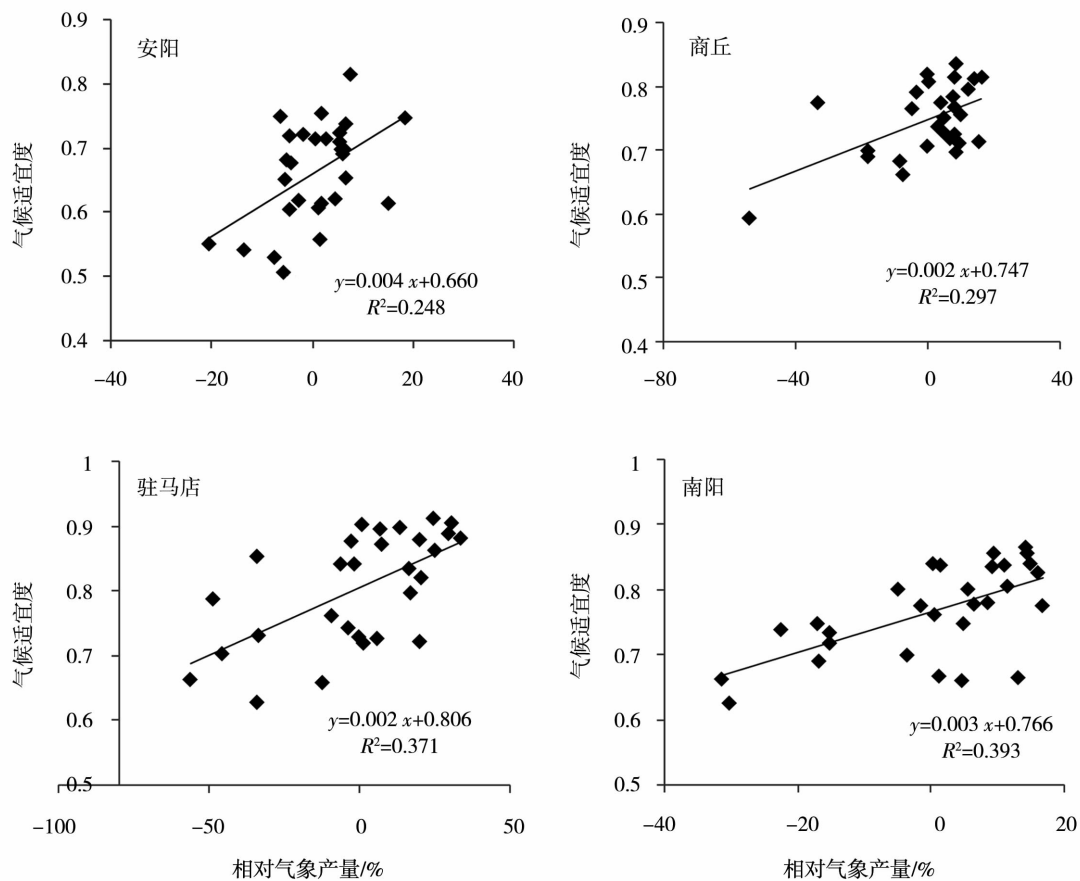


图1 代表站点相对气象产量与气候适宜度相关分析

Fig. 1 The correlation analysis between relative meteorological yield and climate suitability in typical stations

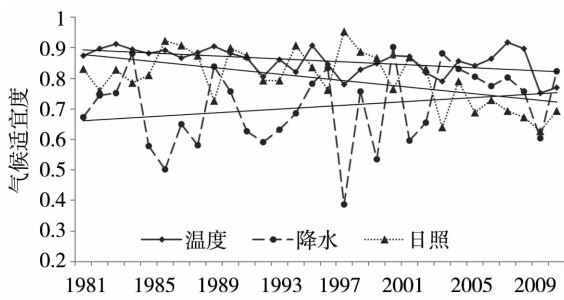


图2 河南省夏玉米全生育期温度、降水和日照适宜度年际变化

Fig. 2 The annual variation of suitability for temperature, precipitation and sunshine of summer maize during the whole growth stage in He'nan Province

如果将0.6作为“较适宜”的指标下限,可知河南省夏玉米生长季光、热资源一般都在较适宜范围内,基本能满足玉米生长发育所需。降水是夏玉米产量形成的主要限制因子,有近1/4的年份在较适宜指标以下,尤其降水的年际间波动性大,产量的不稳定性

也随之增大。

3.1.2 不同生育阶段综合气候适宜度年际变化

统计不同生育阶段及全生育期夏玉米综合气候适宜度,分析不同生育阶段气候适宜度的多年变化情况。由图3可知,6月上旬至7月下旬夏玉米处于出苗—抽雄期,为营养生长阶段,夏玉米综合气候适宜度多年平均0.784,最高值出现在1990年为0.914,最低值出现在1997年为0.664;8月上旬至9月上旬夏玉米处于抽雄—乳熟期,为生殖生长阶段,夏玉米综合气候适宜度多年平均0.814,略高于苗期,最高值出现在1984年为0.910,最低值也出现在1997年为0.665;全生育期气候适宜度基本在0.6~0.8范围内波动,平均0.703,低于出苗—抽雄期和抽雄—乳熟期,最高值为1989年的0.786,最低值为1997年的0.589。从气候适宜度年际波动来看,各生育阶段表现为抽雄—乳熟期 > 出苗—抽雄期 > 全生育期,其变异系数分别为9.0、8.1和7.2。进行不同生育阶段气候适宜度与相对气象产量的相关分析,全生育期相关系数0.565,抽雄—乳熟期相

关系数 0.582,均大于出苗—抽雄期 0.348,进一步表明生殖生长阶段气象条件对夏玉米产量影响的贡献率更大。

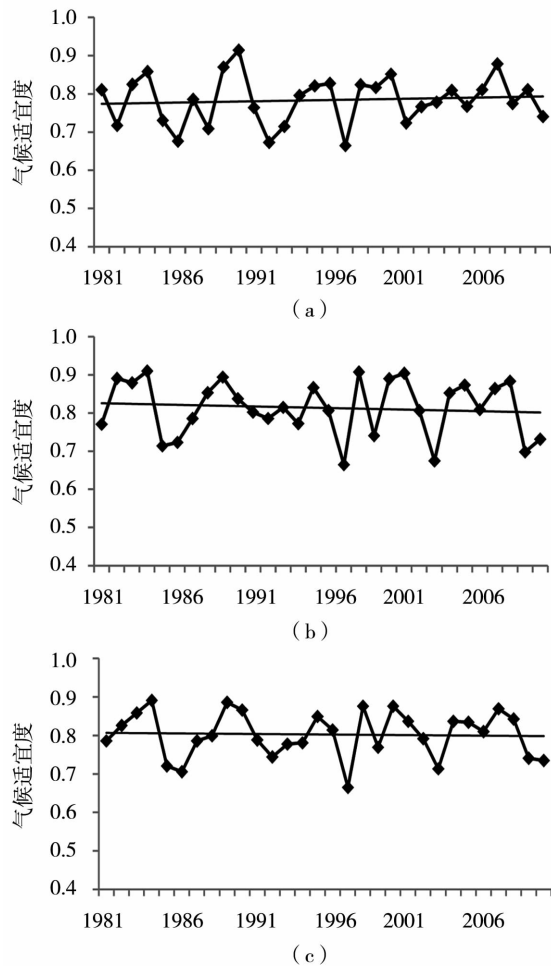


图3 夏玉米出苗—抽雄期(a)、抽雄—乳熟期(b)及全生育期(c)综合气候适宜度年际变化

Fig. 3 The annual variation of comprehensive suitability of summer maize in different growth stage (a) from seeding to tasseling stage, (b) from tasseling to milking maturity stage, (c) the whole growth stage

3.1.3 夏玉米气候适宜度空间分布特征

算各地夏玉米气候适宜度的多年平均值,绘制全省各要素气候适宜度空间分布图(图4)。由于信阳夏玉米播种面积很小,所以不作为评价的区域。温度适宜度多年平均全省变化幅度不大,基本在 0.82~0.88 范围内,总体上是西部、南部稍低一些,豫北、豫中和豫东的大部分地区稍高。日照适宜度全省各地变化幅度基本在 0.75~0.85 范围内,空间分布的规律性不明显,低值区主要分布在豫西北的山区和豫西南及驻马店南部地区,在 0.8 以下。降水适宜度多年平均表现为自北向南的递增趋势,这与

全省降水量的分布特征较为一致,水分越充足,适宜度越高。降水适宜度全省变化幅度基本在 0.6~0.8 范围内。全省综合气候适宜度多年平均在 0.72~0.82 范围变化,总体呈自西北向东南方向的递增趋势,南阳东部及驻马店部分地区适宜度最高在 0.8 以上,分布形态表明,综合气候适宜度的空间分布受降水因素影响的贡献率比较大。

3.2 2010、2011 年夏玉米气候适宜度评价

3.2.1 2010、2011 年逐旬气候适宜度年际变化

应用气候适宜度评价模型计算了 2010、2011 年河南省夏玉米生育期逐旬温度、降水、日照适宜度,结果见图 5。

由图 5a 所示,2010 和 2011 年温度适宜度差别不是很显著,平均分别为 0.77 和 0.85,2011 年略好于 2010 年,变化趋势基本相似,9 月上旬之前温度适宜度均较高,基本在 0.6~1.0 范围内波动,且变化幅度较小,9 月中、下旬,温度适宜度迅速下降,分别达到全生育期的最低值 0.33 和 0.43,对玉米灌浆有一定不利影响;另外这两年温度适宜度在 7 月下旬均有一个较低值,主要是由于 7 月下旬温度过高所致,旬平均温度分别达到 28.7℃ 和 28.9℃。全生育期温度适宜度变化说明夏玉米生长季大部分时段适宜度较高,对玉米生长有利,只是灌浆后期至成熟收获期热量条件略显不足。

由图 5b 所示,2010 和 2011 年降水适宜度随夏玉米发育进程呈显著上升趋势,受生育期内降水量的分配不均影响,前期波动大,后期较为平缓;由于 6~7 月份降水量不能满足玉米生长所需,夏玉米生长前期降水适宜度较低,苗期适宜度均在 0.4 以下,尤其 2011 年是典型的夏玉米干旱发生年型,既有玉米播种、出苗期的初夏旱又遭遇了抽雄期的卡脖子旱;进入 8 月之后由于前期降水量的积累和降水过程的持续增加,降水适宜度维持在较高水平,这两年适宜度指数在 0.6 以上,其中 2010 年更是保持在 0.8 以上,进入 9 月后随玉米需水量的逐渐减少,水分已经不是主要的限制因子。河南省夏玉米生长季大部分地区降水量在 400~600 mm 之间,总量上基本能满足玉米生长一生所需,但降水量时空分布不均,水分胁迫仍是制约夏玉米高产稳产的重要因素。

由图 5c 所示,2010 和 2011 年日照适宜度随夏玉米发育进程呈显著下降趋势,2 个年份的日照适宜度差别不大,全生育期平均分别为 0.692 和 0.633。日照时数适宜度的波动性也很大,2010 年最高值为 6 月下旬的 0.975,最低为 9 月上旬的 0.192,2011 年最高值为 6 月上旬的 0.923,低值为 9 月上、

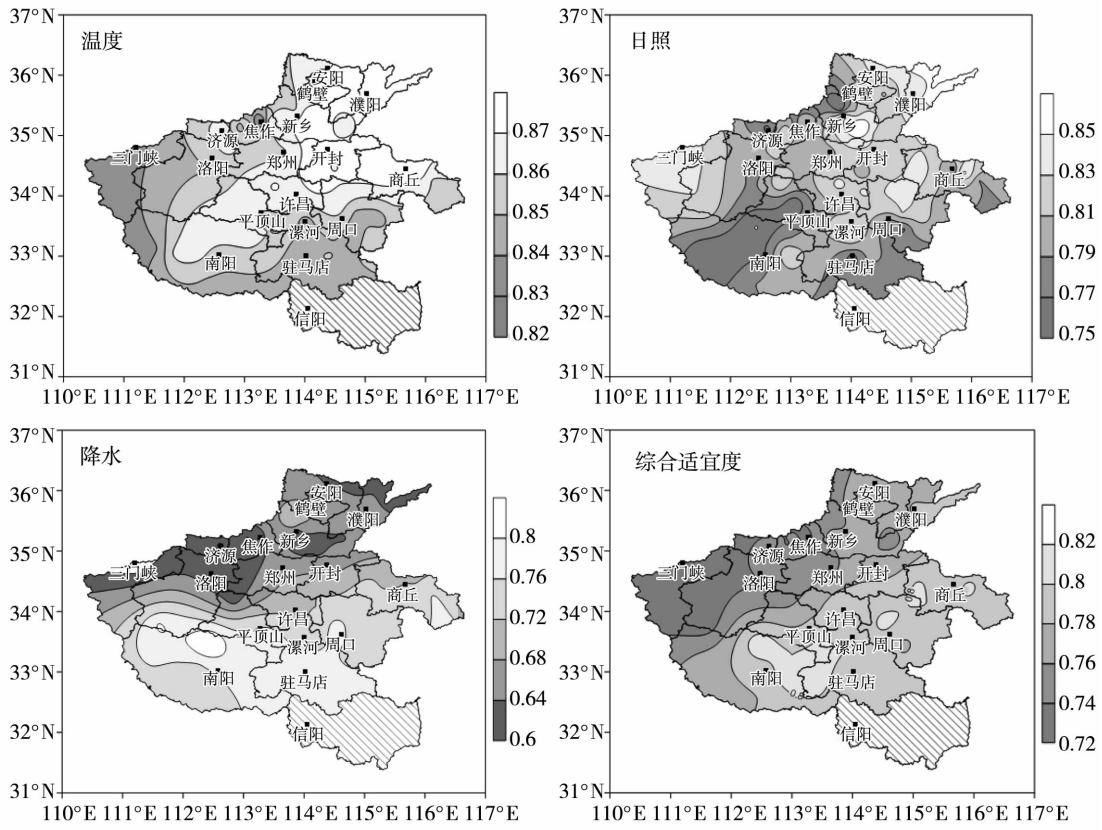


图4 河南省夏玉米气候适宜度空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of climate suitability of summer maize in He'nan Province

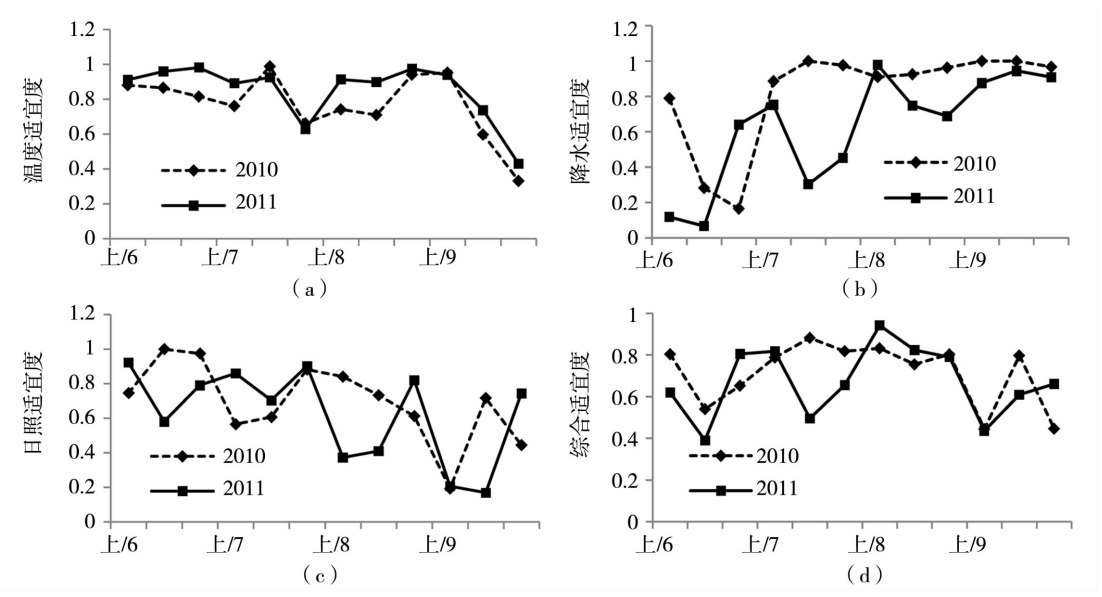


图5 河南省2010和2011年夏玉米生育期逐旬气候适宜度

(a) 温度; (b) 降水; (c) 日照; (d) 各气象要素综合

Fig. 5 The every ten-day climate suitability of summer maize in 2010 and 2011 in He'nan Province

(a) temperature, (b) precipitation, (c) sunshine, (d) comprehensive meteorological factor

中旬的 0.206 和 0.168,其变化范围很宽。日照适宜度偏低跟降水有直接联系,经检验,日照适宜度和降水适宜度呈显著负相关,两年度相关系数分别为 0.638 和 0.536 ($\alpha_{0.05} = 0.532$)。例如,2011 年 9 月中旬全省出现大范围的降水过程,降水量平均 120.9 mm,接近于常年同期的 5 倍,日照时数仅 12.7 h,不到常年同期的 1/4,因此日照适宜度最低。进入 9 月,夏玉米处于灌浆后期及成熟收获阶段,日照条件是影响玉米生长的主要限制因子,在温度共同作用下,光热条件不足将不利于玉米后期灌浆及干物质的转移。

综合光、温、水 3 种气象要素的影响,计算夏玉米各旬综合气候适宜度,如图 5d 所示,2010 和 2011 年综合气候适宜度平均分别为 0.714 和 0.670,2010 年稍好于 2011 年,基本在 0.4~0.95 范围内波动,且每年都仅有 3 个旬适宜度小于 0.6,说明整个生长季夏玉米种植的气候适宜性还是较高的,大部分发育阶段气象条件有利于玉米生长。但不同生育阶段限制玉米生长的气象要素不同,其中,2011 年 6 月中旬综合适宜度较低,主要是受前期水分亏缺影响所致;9 月上旬 2 个年份综合适宜度指数也

均较低,在 0.4 左右,主要是受降水过多、日照时数偏少影响;后期温度和日照条件是玉米生长的主要限制因素,这也与生产实际相符。

3.2.2 2010、2011 年逐旬气候适宜度空间变化

由于气候适宜度的多年平均状态掩盖了气象条件随机变化的影响,因此根据当年的气象条件变化,结合农田生长情况,适时开展适宜度评价具有更重要的意义。本文计算了全省 2010 和 2011 年夏玉米综合气候适宜度,绘制全生育期气候适宜度空间分布图,如图 6 所示。2010 年各地市综合气候适宜度在 0.63~0.78 之间,全省以郑州、开封为适宜度低值中心,其他地区适宜度逐步升高,南阳东南部适宜度值最高。2011 年低值地区主要分布在豫北安阳、鹤壁,豫中的郑州、开封及豫西三门峡、洛阳的大部分地区,适宜度在 0.66 以下,高值区主要分布在南阳、驻马店及豫东商丘地区。受气象条件变化的随机性影响,不同年份之间气候适宜度空间分布存在较大差异,不能简单的用历史平均情况来代替。在实际业务服务工作中,分析具体年份适宜度空间变化,可为农业气象条件分析及年景评价提供借鉴。

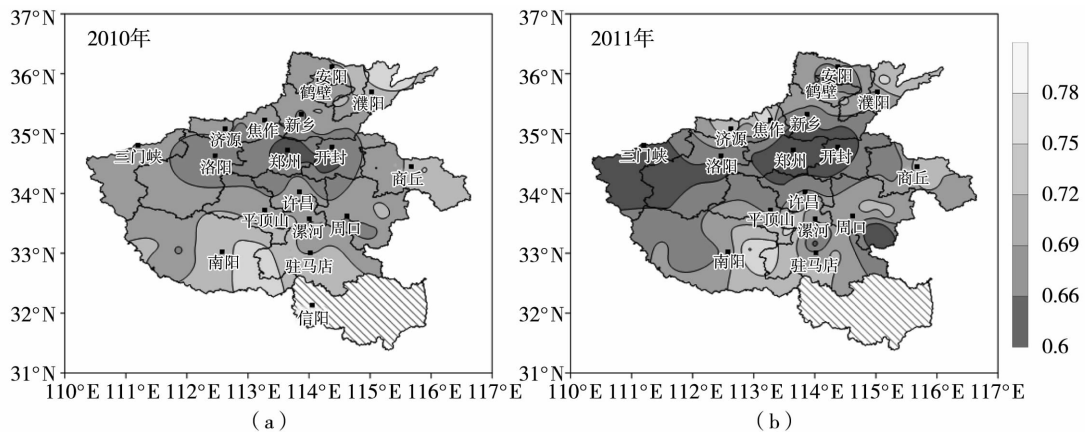


图 6 河南 2010(a)和 2011 年(b)气候适宜度空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of climate suitability of summer maize in 2010 (a) and 2011 (b) in He'nan Province

4 结论与讨论

(1) 综合光、温、水适宜度评价指标,建立了河南省夏玉米气候适宜度评价模型。通过气候适宜度与对应相对气象产量的相关分析,可知二者呈极显著的正相关,表明此模型能较为客观地反映夏玉米的气候适宜度水平及其动态变化。

(2) 从近 30 a 气候适宜度变化来看,温度适宜度在 0.75~0.9 之间,多年变化趋势不显著;降水适宜度大多在 0.4~0.9 范围内波动,呈一定的上升趋势;

日照适宜度在 0.6~0.95 之间,多年呈显著的下降趋势。各气象要素适宜度年际变化幅度降水 > 日照 > 温度。全生育期气候适宜度基本在 0.6~0.8 范围内,低于出苗—抽雄期和抽雄—乳熟期。综合气候适宜度年际波动表现为抽雄—乳熟期 > 出苗—抽雄期 > 全生育期。通过对 2010 年和 2011 年的夏玉米各发育阶段适宜度的实例分析,表明不同生育阶段适宜度变化与实际气象条件影响相吻合。

(3) 空间分布上主要受降水因素的影响,近 30

a 气候适宜度呈自西北向东南方向的递增趋势, 高值区分布在南阳东部及驻马店部分地区, 在 0.8 以上。2010 年和 2011 年气候适宜度空间分布形态表明, 受气象条件随机性影响, 具体年份之间存在较大差异。

由于降水适宜度存在较大的波动性, 是影响综合适宜度的一个主导因素, 且降水量和日照时数存在明显负相关, 因此准确评价降水适宜度大小, 可以有效提高模型评价准确性。本文从作物需水量出发, 考虑到旬降水量的后延效应, 将前一句的多余降水量全部累加到下一句, 使构建的降水适宜度模型更加合理。另一方面在上一句的多余降水是以土壤水的形式保存下来, 必然会有下渗、径流等水分消耗, 与实际不完全相符, 因此降水量适宜度的计算, 还可以考虑引进土壤墒情数据进一步完善。

应用气候适宜度评价模型, 可以进行单气象要素或多气象要素综合的生长适宜度评价; 在时间尺度上既可以实现以旬为时间步长的动态评价, 也可以进行全生育期的综合评价; 空间尺度上也可以拓展到县、乡一级, 实现精细化评价。

参考文献:

- [1] 陈怀亮, 张雪芬. 玉米生产农业气象服务指南[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [2] 唐守顺. 冬小麦生产的气象条件及年景的评价方法[J]. 气象, 1988, 14(2): 50-52.
- [3] 康桂红. 利用动态模式对农作物进行气候评价[J]. 气象, 1997, 23(4): 28-31.
- [4] 朱拥军, 李建国, 姚小英, 等. 黄土高原干旱山地花椒生长的气象条件分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(1): 53-57.
- [5] 赵峰, 千怀遂, 焦土兴. 农作物气候适宜度模型研究[J]. 资源科学, 2003, 25(6): 77-82.
- [6] 洽明珠, 郭建平, 蒋跃林, 等. 气候变化对农作物气候适宜度影响研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(15): 9104-9105, 9134.
- [7] 冯定原. 农业气象预报和情报方法[M]. 北京: 气象出版社, 1988.
- [8] 马兴祥, 邓振镛, 李栋梁, 等. 甘肃省春小麦生态气候适宜度在适生种植区划中的应用[J]. 应用气象学报, 2005, 16(6): 820-827.
- [9] 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.
- [10] 易雪, 王建林, 宋迎波. 气候适宜指数在早稻产量动态预报上的应用[J]. 气象, 2010, 36(6): 85-89.
- [11] 魏瑞江, 张文宗, 李二杰. 河北省冬小麦生育期气象条件定量评价模型[J]. 中国农业气象, 2007, 28(4): 367-370.
- [12] 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.
- [13] 罗怀良, 陈国阶, 朱波. 农业生态气候适宜度研究进展[J]. 中国农业资源与区划, 2004, 25(1): 28-32.
- [14] 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与应用[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 5-9.
- [15] 代立芹, 李春强, 魏瑞江, 等. 河北省冬小麦气候适宜度及其时空变化特征分析[J]. 气象科技, 2006, 34(2): 229-232.
- [16] 任玉玉, 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): 87-92.
- [17] 朱自玺, 刘荣花, 方文松, 等. 华北地区冬小麦干旱评估指标研究[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 145-150.
- [18] QX/T 107-2009, 小麦干旱灾害等级[S]. 北京: 中国气象局, 2007.
- [19] 郭庆法, 王庆成, 汪黎明. 中国玉米栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004.
- [20] 马树庆. 吉林省农业气候研究[M]. 北京: 气象出版社, 1994.
- [21] 孙景生, 肖俊夫, 段爱旺, 等. 夏玉米耗水规律及水分胁迫对其生长发育和产量的影响[J]. 玉米科学, 1999, 7(2): 45-48.
- [22] 张强, 杨贤为, 黄朝迎. 近 30 年气候变化对黄土高原地区玉米生产潜力的影响[J]. 中国农业气象, 1995, 16(6): 19-24.
- [23] “华北平原作物水分胁迫与干旱研究”课题组. 作物水分胁迫与干旱研究[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1991.
- [24] 毛飞, 张光智, 徐祥德. 参考作物蒸散量的多种计算方法及其结果的比较[J]. 应用气象学报, 2000, 11(增刊): 119-224.
- [25] 黄璜. 中国红黄壤地区作物生产的气候生态适应性研究[J]. 自然资源学报, 1996, 11(4): 340-345.

Evaluation Studies on Climate Suitability of Summer Maize in He'nan Province

LI Shuyan, CHEN Huailiang

(Key Laboratory of Agrometeorological Safeguard and Applied Technique, China Meteorological
Administration/He'nan Province; He'nan Institute of Meteorological Sciences, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In order to quantitatively estimate the influence of meteorological conditions on crops growth and yield formation, the evaluation model on climate suitability of summer maize in He'nan was established on the basis of the biological characteristics such as upper limit temperature, optimum temperature, lower limit temperature, water and sunlight requirement in different growth stages, firstly, and then through the correlation analysis between climate suitability in the whole growth stage of summer maize and relative meteorology yield in 13 typical stations in recent 30 years, which showed that the model could reflect the levels of climate suitability of summer maize and its dynamic changes in He'nan Province. Based on the tested model, the climate suitability for the single and the integrated meteorological factors in 67 stations from 1981 to 2011 were calculated, which showed that sunshine and heat resources were more suitable during most growing stages of summer maize in He'nan but not well enough in late filling stage, while precipitation was the main limiting factor for yield formation of summer maize, and the annual change range of climate suitability for precipitation was more than that of sunshine and temperature. The comprehensive climate suitability from tasseling to milking maturity stage was greater than that from seeding to tasseling stage, and it was least during the whole growth stage. The climate suitability presented increasing trend from the northwest to the southeast, and high values distributed in the eastern Nanyang and some areas of Zhumadian.

Key words: climate suitability; evaluation model; summer maize

~~~~~  
(上接第 750 页)

## Variation Characteristics of Forest Fire Danger and Analysis on Meteorological Conditions in Chongqing

LIU Yi<sup>1</sup>, LI Qiang<sup>2</sup>, LIU De<sup>2</sup>, CHEN Daojin<sup>2</sup>, HU Chunmei<sup>2</sup>

(1. Chongqing Meteorological Information and Technology Support Center, Chongqing 401147, China;  
2. Chongqing Meteorological Observatory, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** Based on the daily precipitation, maximum temperature, relative humidity and wind speed at 34 weather stations in Chongqing during 1961–2007, the homochronous monthly reanalysis data from NECP/NCAR and forest fire data from the Headquarter of Chongqing Forest Fire Prevention during 1970–1998, the variation characteristics of forest fire was investigated by defining the meteorological environment index of the forest fire danger. And on this basis the atmospheric circulation features of the typical years with high forest fire danger were analyzed further in spring and hot summer. The results displayed that the temporal and spatial characteristics of the forest fire in Chongqing was obvious. The peak periods of forest fire occurred in hot summer (from August to September) and spring (from February to April), which accounted for 78% of the annual fire. The number of forest fires was the most in August, which accounted for 18% of the annual total number. The forest fires occurred mostly at afternoon when temperature is higher. The atmospheric circulation anomaly of the 500 hPa geopotential height field in typical years of high forest fire danger in spring was negative in Ural Mountains, Lake Baikal and Okhotsk Sea, and that was positive in Sichuan Basin. Thus the cold air was accumulated in the middle and high latitudes, which resulted in the location of the main frontal zone of weather system to northward. In hot summer, the large-scale circulation pattern of the 500 hPa geopotential height anomaly field in typical years of high forest fire danger was negative in Lake Baikal and Okhotsk region, and that was positive in Korean Peninsula which indicated location of the western Pacific subtropical high was to the north. The high forest fire danger was easy to happen.

**Key words:** Chongqing; forest fire danger; high summer; fire danger rating