

河北省棉花气候适宜度及其时空变化趋势分析

姚树然, 王鑫, 李二杰

(河北省气象与生态环境重点实验室, 河北省气象科学研究所, 河北 石家庄 050021)

摘 要: 棉花为河北省重要的经济作物, 与其它作物相比对气候比较敏感。选取河北省 25 个棉花县, 对棉花各个发育期气候适宜度及其时空分布进行分析计算。结果表明: 棉花从播种到吐絮降水适宜度比温度、日照适宜度明显偏小, 尤以播种期和吐絮期最小, 且变异系数最大。日照适宜度从播种到吐絮变化不大, 较温度和降水适宜度高。多年适宜度的变化趋势为: 温度适宜度缓慢上升, 降水适宜度缓慢下降, 日照适宜度在明显下降, 气候综合适宜度同降水一致, 在缓慢下降。降水适宜度高值区分布在北部棉区, 低值区分布在黑龙港流域的部分地区; 温度适宜度低值区在唐山大部, 高值区在黑龙港流域; 日照适宜度低值区在西部太行山丘陵棉区, 高值区在东部棉区。

关键词: 棉花; 气候适宜度; 河北省

中图分类号: S162.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)05-0024-06

河北省位于黄淮海棉区种植的北端, 棉花种植具有悠久的历史, 主要种植春播棉, 种植区域从南到北跨越 4 个纬度, 春播棉生长期较长, 期间历经晚春、整个夏季和早、仲秋三个季节气候的考验, 历时 180 d 左右, 棉花每个发育期要求的气候条件差异明显, 气候的适宜程度是决定棉花能否正常生长的关键。以往气候适宜程度只做定性的描述, 概念比较模糊, 作物气候适宜度定量的描述近年做了相关的研究, 主要研究区域是位于气候过渡带的河南省, 并得出了相应的结论。通过对河南省棉花气候适宜度研究, 认为河南省适宜度总体呈下降的趋势, 下降的主要原因是出苗期降水适宜度的下降, 并得出适宜度的变化有明显的地域差异^[1]; 还对河南省棉花温度适宜度进行了分析, 得出播种期、吐絮期温度适宜度较低, 并具有较高的变率, 其它发育期温度适宜度较高, 变率较小^[2], 等等; 赵峰^[2]对全球变暖影响下农作物气候适宜性研究进展进行了总结分析, 指出了气候适宜性变化研究为未来研究重点之一。本文结合前人的研究成果, 根据河北省棉花种植情况和气候, 在改进气候适宜度模型的基础上, 对河北省棉花气候适宜度及其时空分布进行综合分析, 旨在为棉花生产决策提供依据。

1 资料和方法

1.1 资料来源

为了定量评估河北省各个棉区气候适宜性及其变化, 考虑地形地貌条件、不同气候的影响, 以及棉花种植面积, 在全省选择了 25 个气象站点, 分别代

表北部棉区、东部棉区、中部棉区、南部平原棉区和南部丘陵棉区。选取以上各个站点 1965~2005 年逐旬降水、温度和日照时数资料(该数据为旬月报观测资料), 以及同期的河北省棉花单产资料(该资料来源于河北省统计局)为基本分析资料。

1.2 棉花气候适宜度模型函数的建立

根据任玉玉等^[2]的研究, 结合河北省的实际情况, 降水、温度和日照的适宜度函数分别为:

$$S_R = \begin{cases} R/R_l & R < R_l \\ 1 & R_l < R < R_h \\ R_h/R & R > R_h \end{cases} \quad (1)$$

$$S_T = [(T - T_1)(T_2 - T)^B] / [(T_2 - T_1)(T_2 - T_0)^B] \\ B = (T_2 - T_0)(T_0 - T_1) \quad (2)$$

$$S_S = e^{[-(S - S_0)/b]^2} \quad (\text{播种期、吐絮期}) \quad (3)$$

$$S_S = \begin{cases} e^{[-(S - S_0)/b]^2} & (\text{除播种期、吐絮期} \\ & \text{以外的其它生育期}) \\ 1 & \end{cases} \quad (4)$$

式中, S_R 、 S_T 、 S_S 分别为棉花生育期间降水、温度、日照的适宜度。 R 、 T 、 S 为降水、温度和日照的观测值。 R_l 、 R_h 是生育期内逐旬棉花适宜降水的下限和上限; T_1 、 T_2 、 T_0 分别是棉花在生育期内的下限温度、上限温度和适宜温度。以日照时数达可照时数的 70%(日照百分率)为临界点, 认为当日照百分率达到 70% 以上时, 日照对棉花生长发育为适宜状态, S_0 为日照百分率为 70% 的日照时数, b 为经验常数。所有分析情况, 均不考虑具体的棉花品种。因河北省主棉区位于中南部, 与河南省的北端接壤, 且同

收稿日期: 2009-02-27

基金项目: 河北省气象局科技开发项目(06KY09)

作者简介: 姚树然(1964—), 女, 河北安平人, 高级工程师, 大学本科, 主要从事农业气象情报预报和病虫害气象研究。

属于黄淮海棉区,其气候特征基本相同^[1],故参考河南省设定的各参数,并根据河北省棉区情况加以修订,函数模型中各参数取值见表 1。

表 1 棉花适宜度模型所需各个参数
Table 1 Required parameters for the cotton climatic suitability model

参数 Parameter	播种期 SoS	苗期 SeS	现蕾期 SqS	花铃期 FBS	吐絮期 BS
$T_0(^{\circ}\text{C})$	25	25	28	26	26
$T_1(^{\circ}\text{C})$	10	15	19	15	15
$T_2(^{\circ}\text{C})$	32	35	35	35	32
$S_0(\text{h})$	9.15	9.24	9.32	8.56	7.71
b	4.94	4.98	5.03	4.67	4.16
$R_l(\text{mm})$	7.8	7.8	21.0	37.0	20.3
$R_h(\text{mm})$	8.7	8.7	23.0	39.0	21.7

注: SoS: 播种期(Sowing stage); SeS: 苗期(Seeding stage); SqS: 现蕾期(Squaring stage); FBS: 花铃期(Flowering-boll stage); BS: 吐絮期(Boll-opening stage)。下同(The same as below)。

全生育期气候适宜度评估需要构建全生育期气候适宜度模型以及温度、降水量和日照的综合适宜度模型。

各个要素全生育期总的适宜度计算,按文献[2]中的对数加权法构建全生育期适宜度模型。首先将各个生育期的气候适宜度作对数处理,并用气候产量与各个生育期适宜度的相关系数作加权平均,然后求指数得到全生育期的适宜度,最后采用乘积综合的方法设计气候适宜度综合模型。计算公式如

表 2 棉花各个发育期气候要素值及变异系数
Table 2 Climate factor value and coefficient of variation at different growing development stages

	项目 Items	播种 SoS	苗期 SeS	现蕾期 SqS	花铃期 FBS	吐絮期 BS	全生育期 GDS
降水 Precipitation	要素值 Climate factor value	17	33	67	293	70	703
	变异系数 Coefficient of variation	0.68	0.26	0.13	0.04	0.20	0.24
温度 Temperature	要素值 Climate factor value	15.5	20.3	25.1	25.9	17.1	23.4
	变异系数 Coefficient of variation	0.11	0.05	0.06	0.06	0.09	0.07
日照 Sunlight	要素值 Climate factor value	163	269	259	436	437	1564
	变异系数 Coefficient of variation	0.10	0.04	0.06	0.04	0.03	0.02

2.1 气候适宜度变化特点

根据以上函数模型计算河北省棉花各个发育阶段降水、温度、日照和气候适宜度(表 3)。从三个要素适宜度大小排序中得知,降水的适宜度最低,全生

下:

$$S_i = e^{\sum_{j=1}^n [(r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij}) \ln \bar{s}_{ij}]} \tag{5}$$
$$S = \sqrt[3]{S_S \times S_T \times S_R} \tag{6}$$

式中, i 为第个因子; j 为第个生育期; r_{ij} 为第 i 个因子第 j 个生育期的适宜度与相应气候产量的相关系数; $\sum_{j=1}^n r_{ij}$ 为第 i 个因子各生育期与气候产量的相关系数之和; $\bar{s}_{ij}$ 表示第 i 个因子第 j 生育期的适宜度; S_i 表示第 i 个因子全生育期的适宜度。 S 表示全生育期总适宜度。

1.3 累积距平曲线

对一距平值序列 $y_{dt}(t = 1, 2, \dots, n)$, 在样本某一时刻 t 的累积距平表示为 $I(t) = \sum_{i=1}^t y_{di}$, 它可反映历史序列某一特征值的变化趋势。

2 结果与分析

由河北省棉花各个发育期的气候要素(25 个站平均值)及变异系数(表 2)可见,降水主要集中在花铃期,占总降水量的 42%,播种和苗期降水稀少,仅占 7%,且变异系数较大,其中播种和苗期降水显著偏少,苗期和吐絮期温度低于棉花生长发育适宜温度,日照基本能满足棉花全生育期要求,温度和日照除播种期波动稍大外,其它生育期均较小。

育期总适宜度仅 0.39,而每个发育期中播种和吐絮期降水适宜度又明显偏低,分别为 0.35、0.31,这主要体现在播种期自然降水偏少,而吐絮期降水偏多,与棉花此阶段需水要求正好相反,因此,播种和吐絮

期降水成为主要限制因子。温度次之,在播种和吐絮期适宜度偏低,说明该阶段热量条件偏差,温度适宜度较高为花铃期。而日照适宜度较高,各个发育阶段变化不大。

表 3 棉花各个生育阶段、全生育期各要素气候适宜度

Table 3 Climate suitability of each climate factor at different growing development stages

项目 Items	播种 SoS	苗期 SeS	现蕾期 SqS	花铃期 FBS	吐絮期 BS	生育期 GDS
温度 Temperature	0.53	0.72	0.84	0.97	0.52	0.74
降水 Precipitation	0.35	0.38	0.41	0.47	0.31	0.39
日照 Sunlight	0.87	0.92	0.88	0.82	0.84	0.85
气候 Climate	0.55	0.63	0.67	0.72	0.51	0.63

2.2 逐旬温度、降水、日照适宜度变化

棉花全生育期内,逐旬温度的适宜度波动较大(图 1a),其中播种期和吐絮期适宜度小,播种期为 0.45~0.6,变异系数为 0.24~0.34,吐絮后期(10 月上旬~10 月中旬)为 0.26~0.50,变异系数为 0.29~0.69,其它时段适宜度较高,变异系数较低。适宜度和变异系数反向关系明显,相关系数可达-0.95,通过 0.01 的信度检验。因此,河北省棉区温度在播种和吐絮后期适宜度偏小,变异系数大,是影响棉花生产的因素之一;降水的适宜度比温度明显偏小(图 1b),且变化幅度小,播种期和吐絮期基本在 0.4 以

下,花铃期稍高。年际间变异系数播种和吐絮期较大,为 0.7~0.9。降水适宜度和变异系数也是明显的反相位变化,即适宜度越低,变异系数越大。河北省棉花生育期内,自然降水基本不能满足其生长发育,尤其春季降水少,对播种、保苗明显不利^[3,4]。由棉花生育期内日照适宜度及年际间变异系数(图 1c)可见,日照适宜度从播种到吐絮变化不大,且比降水和气温明显偏高。变异系数以蕾期和花铃期高,其中,7 月下旬较其它旬适宜度偏低,变异系数偏高,该时段为棉花日照比较敏感时期。

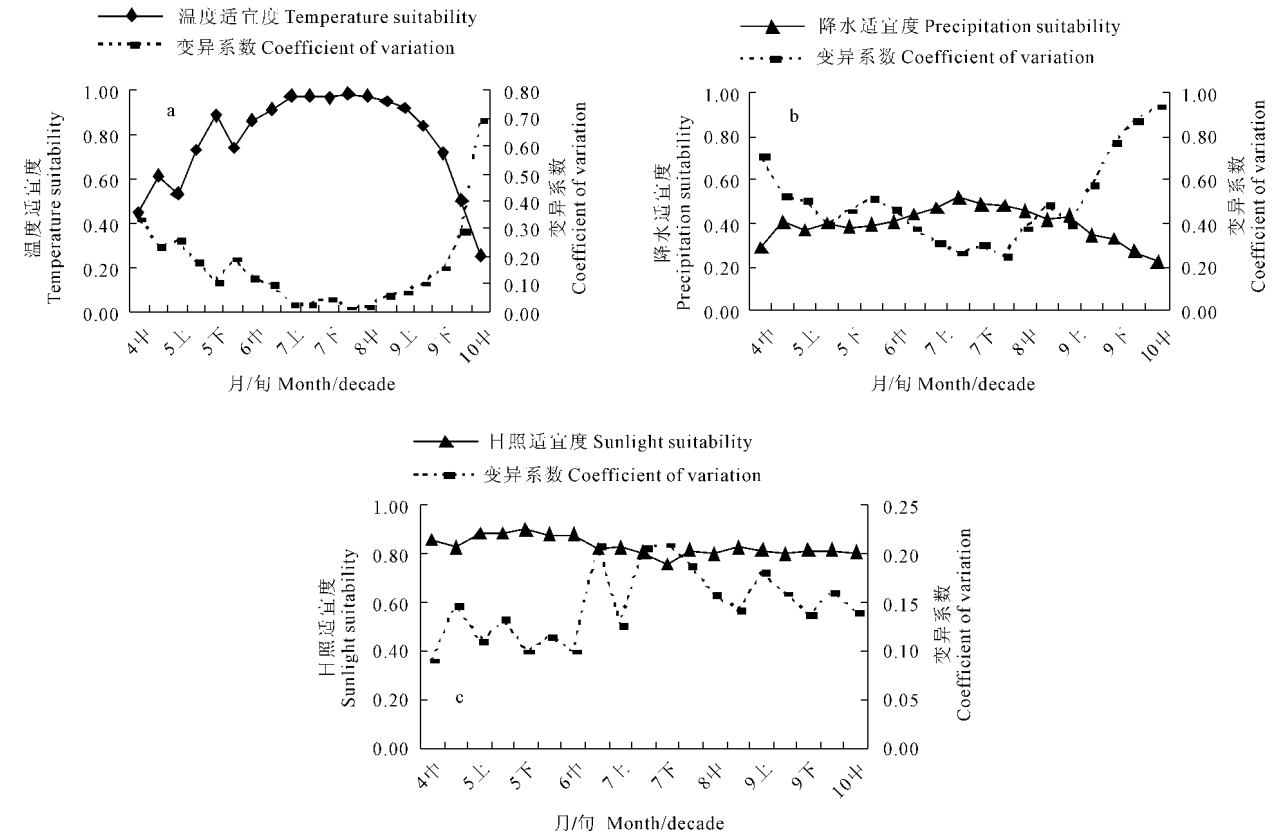


图 1 棉花生育期内逐旬温度、降水、日照适宜度和变异系数变化

Fig. 1 Climate suitability of each climate factor and coefficient of variation by 10 days at different growing development stages

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

2.3 各生育期温度、降水、日照气候适宜度年际变化

由河北省棉花各个生育期温度适宜度累积距平曲线(图 2a)可见,花铃期的温度适宜度变化相对平稳,其累积距平在 0 附近波动,苗期和播种期波动稍大,但从进入 21 世纪开始适宜度上升,其他生育期近年来升高的趋势也较为明显,由棉花温度指标(表 1)可知,棉花播种出苗期和吐絮所需最适宜温度为 25℃和 26℃,而这两个阶段一般年份温度波动大,为 18℃~24℃,热量条件明显不足。但近年温度适宜度增加,可减轻该阶段热量不足所造成的不利影响。

棉花各个生育期降水适宜度累积距平的变化特点不同(图 2b)。播种期和吐絮期降水适宜度的变化趋势基本相同,近年有上升趋势,苗期 20 世纪 70 年代中期之后也是上升的趋势,花铃期降水适宜度以正距平为主,80 年代中期之前为上升趋势,80 年代中期之后则是下降的趋势,呈现出与苗期相反的趋势,呈现出与苗期相反的趋势。

变化过程,蕾期降水适宜度的变化比较平稳,累积距平在 0 附近上下波动,且起伏不大,该期降水最稳定。

从棉花各个生育期日照适宜度累积距平曲线(图 2c)可见,各个生育期日照适宜度累积距平具有一个相同的变化趋势,即 60 年代到 80 年代初为上升的趋势,80 年代中期出现明显下降的趋势,均有高峰期(最大值年份)的出现,且日照适宜度累积距平均为正值。呈现出“随着生育期的后延,高峰期出现年代逐渐后推”的现象。近年日照适宜度逐年下降,而且下降速度十分明显。

各个生育期气候适宜度累积距平变化趋势与降水变化趋势有显著的共性(图 2d),尤其是播种期、花铃期和吐絮期变化趋势基本一致,仅在波动幅度上比降水适宜度累积距平小一些,一般小 20%~50%。降水与气候二者比较,可以看到气候适宜度受降水适宜度影响最大,但比降水适宜度高,年际间波动比降水小。

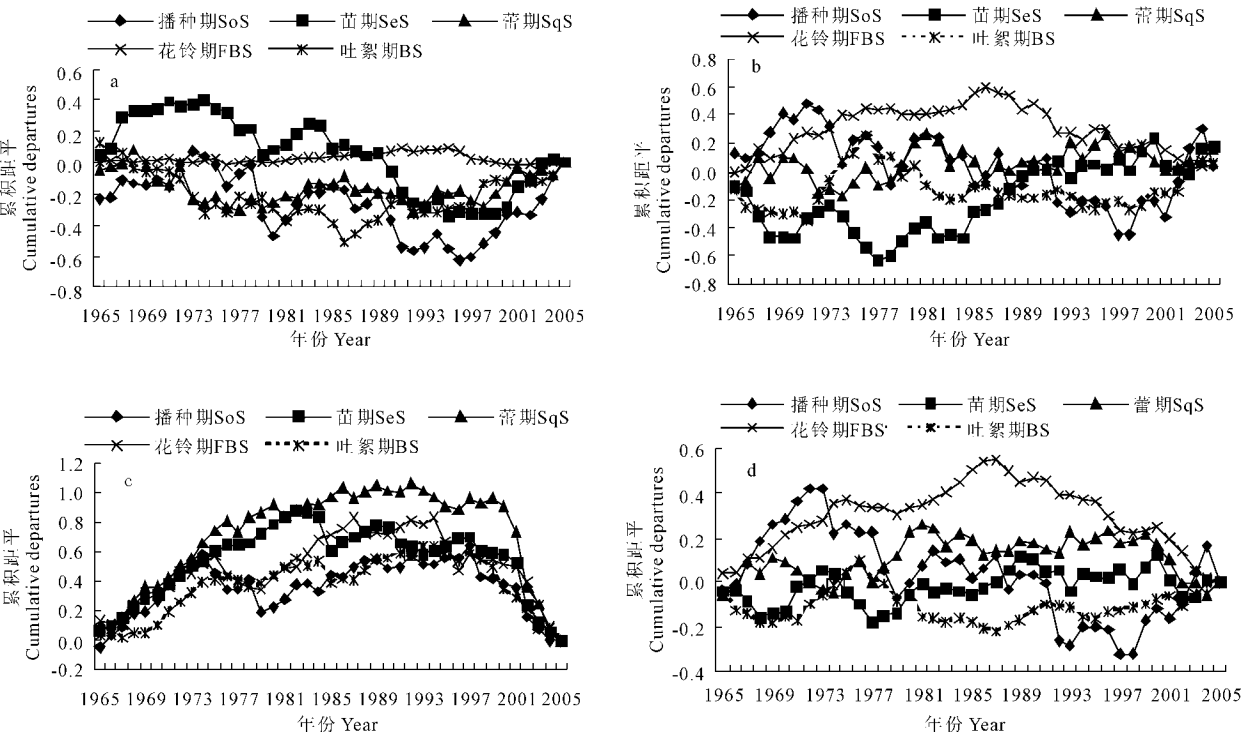


图 2 棉花温度、降水、日照、气候适宜度的累积距平

Fig. 2 Distribution of climate suitability of each climate factor at cotton planting area

2.4 棉花降水、温度、日照、气候适宜度空间分布

河北省棉区降水、温度、光照、气候适宜度分布见图 3(张家口、承德、秦皇岛为无棉区)。降水适宜度值相对较高的地区为唐山西北部,廊坊,沧州大部,太行山西部丘陵山区,在 0.39 以上,该区为水分相对盈余区。黑龙港流域的部分地区,包括衡水西

部、石家庄东部、邢台和邯郸东部,降水适宜度为 0.36~0.37,为降水适宜度低值区(图 3a);温度适宜度低值区在唐山大部,为 0.57~0.65,该棉区热量条件差,以播种和吐絮期明显不足,高值区在衡水西南部、邢台东部、邯郸中东部,温度适宜度为 0.75 以上,该区热量条件相对充裕,其他棉区温度适宜度为

0.65~0.75,基本能满足棉花生长发育要求(图 3b);日照适宜度低值区在邯郸、邢台、石家庄的西部太行山丘陵棉区,为 0.75~0.8,该区日照与其他棉区比较相对偏少,但能满足棉花生长发育要求,日照高值区在廊坊南部、保定东南部、沧州大部 and 衡水北部,

适宜度为 0.87 以上,该区日照相对充足(图 3c);气候适宜度低值区在唐山东部,为 0.57~0.6,高值区在廊坊南部、沧州中西部、衡水东部,适宜度为 0.63 以上,该区与其他棉区比较而言,是气候相对适宜区(图 3d)。

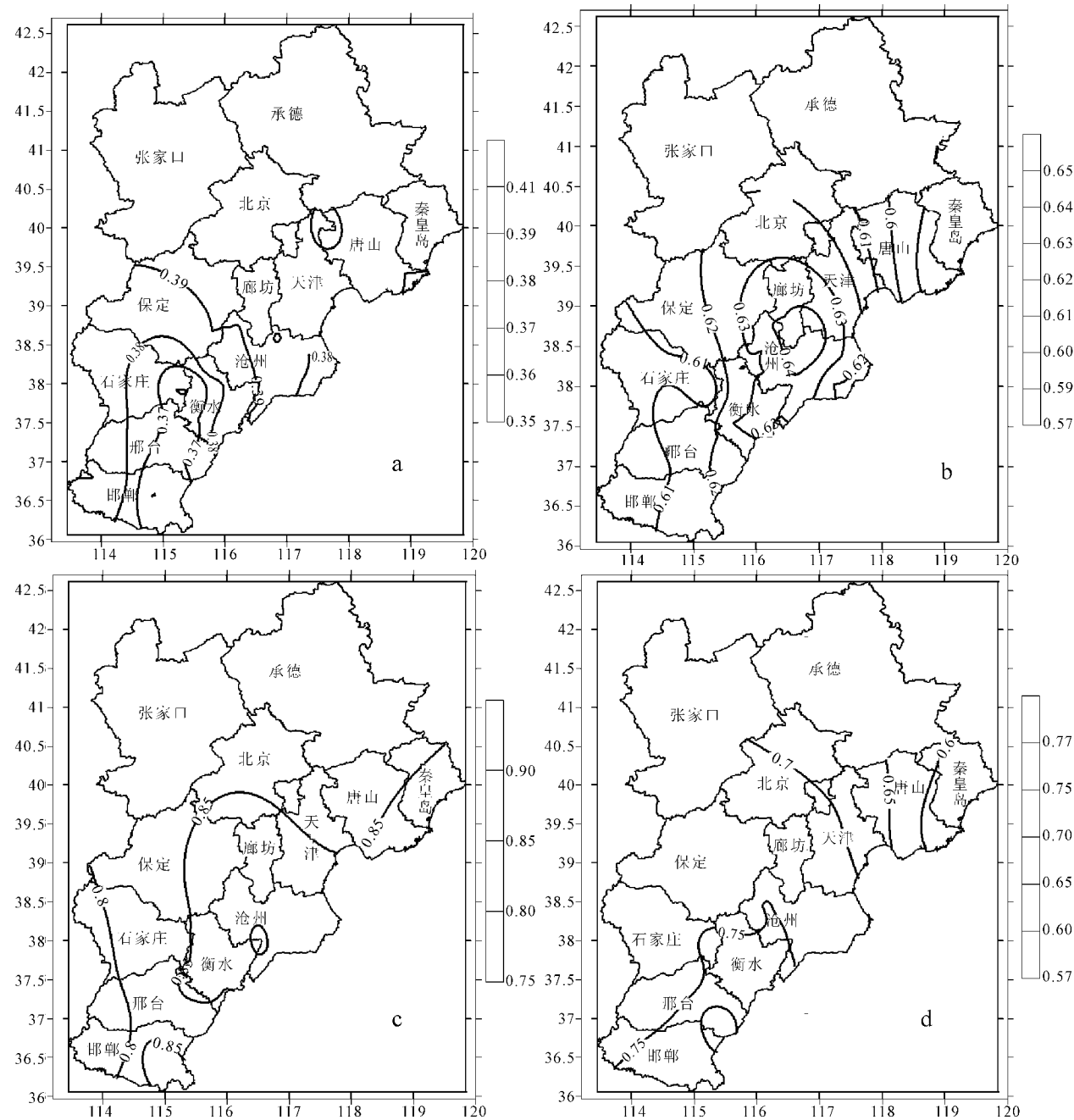


图 3 河北省棉区降水、气温、日照、气候适宜度分布

Fig. 3 Distribution of climate suitability of each climate factor at cotton area

3 结 论

1) 利用适宜度函数模型计算河北省棉花生育期内逐旬气候适宜度年度和空间分布情况,发现河北省棉花光、温、水适宜度有明显差异,光照适宜度

最大、温度次之、降水最小,从棉花从播种到吐絮光温水逐旬的适宜度分析,播种期和吐絮期温度适宜度较低,且变异系数较大,其它发育期适宜度较高,变异系数小;降水的适宜度播种期和吐絮期最小,且变异系数最大;日照适宜度从播种到吐絮变化不大,

变异系数以蕾期和花铃期稍高。棉花从播种到吐絮温度、降水适宜度和变异系数是明显的反相位变化,即适宜度越低,变异系数越大。

2) 从光温水适宜度的年际变化,发现温度适宜度缓慢上升,降水适宜度缓慢下降,日照适宜度在明显下降,气候综合适宜度同降水一致,在缓慢下降,这与河南省分析结果趋势一致。

3) 光温水适宜度在不同棉区有明显差异。降水适宜度高值区分布在北部棉区,低值区分布在黑龙港流域的部分地区;温度适宜度低值区在唐山大部,高值区在黑龙港流域;日照适宜度低值区在西部

太行山丘陵棉区,高值区为东部棉区。

参 考 文 献:

[1] 刘青春,千怀遂,任王玉,等.河南省棉花的温度适宜性及其变化趋势分析[J].资源科学,2004,26(4):51—56.
[2] 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.
[3] 赵 峰,千怀遂.全球变暖影响下农作物气候适宜性研究进展[J].中国农业生态学报,2004,12(2):134—137.
[4] 王勤英.气候变化对河北省棉花生产及病虫害的可能影响[J].生态农业研究,1997,5(3):45—48.

Climatic suitability of cotton and its spatial and temporal trend in Hebei Province

YAO Shu-ran, WANG Xin, LI Er-jie

(Hebei Provincial Meteorological and Eco-Environmental Monitoring Laboratory,
Hebei Meteorological Institute, Shijiazhuang, Hebei 050021, China)

Abstract: As an important industrial crop for Hebei Province, cotton is more sensitive to climate compared with other crops. According to homogenizing principle, 25 stations in Hebei Province were chosen. With meteorological data, the cotton climatic suitability degrees and its spatial-temporal distribution in each development period were calculated and analyzed. The result indicated: the precipitation suitability degree was obviously lower than temperature suitability during the period from sowing to boll-opening of cotton, and it got to the smallest in sowing time and boll-opening time and the coefficient of variation was the largest. Sunshine suitability degree from sowing to boll-opening had no big change, but higher than that of temperature and precipitation. The change tendency of climatic suitability for many years was: temperature suitability degree showing slow rise, precipitation suitability degree showing slow drop, sunshine suitability degree dropping obviously, and the climate synthesis suitability degree being consistent with precipitation, in slow decline. The areas with high-value of precipitation suitability degree were distributed in the northern cotton planting regions, while the low-value areas in some part of Heilonggang basin; the areas with low-value temperature suitability degree were distributed in most part of Tangshan, while the high-value areas in Heilonggang basin; the areas with low-value sunshine suitability degree were distributed in western Mt. Taihang hill cotton region, while the high-value areas in the eastern regions.

Keywords: climatic suitability degrees; spatial-temporal distribution; Hebei Province