

近 35 年吉林省玉米气候适宜度及其变化

邱美娟¹, 王冬妮², 王美玉³, 张玥滢¹, 吴昕悦^{1,4}, 肖楠舒^{1,4}, 王亚明⁵

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/作物高效用水与抗灾减损国家工程实验室/农业部农业环境重点实验室, 北京 100081; 2. 吉林省气象科学研究所, 长春 130062; 3. 吉林省气象局, 长春 130062; 4. 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110161; 5. 大城县气象局, 河北 大城 065900)

摘 要: 利用吉林省 50 个气象站 1981 ~ 2015 年的气象数据及玉米产量数据, 利用模糊数学方法建立吉林省分区域玉米逐旬温度、降水、日照时数和气候适宜度模型, 并利用加权分析法计算玉米全生育期、营养生长期、营养生长与生殖生长并进期、生殖生长期的单要素适宜度和气候适宜度, 并分析其时空变化特征。结果表明: 玉米全生育期、营养生长期各区域基本是日照时数适宜度最高, 其次是温度适宜度, 降水适宜度最低; 并进期多数情况下温度适宜度最高, 降水适宜度仍然最低; 而生殖生长期日照时数适宜度最高, 温度和降水适宜度不同区域不同年份高低不定。因此, 水分是影响吉林省玉米生长发育的主要关键气象因子。各时期降水适宜度均呈西低东高的特点, 导致气候适宜度基本也是西低东高。气候适宜度在各区域生殖生长期以及东部的并进期呈不显著上升趋势, 其他各生育时期各区域均呈不显著的下降趋势。

关键词: 模糊数学法; 生育期; 气候适宜度; 玉米; 水分; 气象因子

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2018)01-0070-09

Variation of Climate Suitability of Maize in Jilin Province of the Last 35 Years

QIU Meijuan¹, WANG Dongni², WANG Meiyu³, ZHANG Yueying¹, WU Xinyue^{1,4}, XIAO Nanshu^{1,4}, WANG Yaming⁵

(1. *Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS/National Engineering Laboratory of Efficient Crop Water Use and Disaster Reduction/Key Laboratory of Agricultural Environment, MOA, Beijing 100081, China*; 2. *Institute of Meteorological Sciences of Jinlin Province, Chang Chun 130062*; 3. *Meteorological Bureau of Jilin Province, Chang Chun 130062*; 4. *College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161*; 5. *Dacheng Meteorological Bureau, Dacheng 065900, China*)

Abstract: Based on yield data of maize and daily meteorological data from 1981 to 2015 of 50 automatic meteorological stations, temperature, precipitation, sunshine duration and climate suitability models were established in every ten days in each region with the method of fuzzy mathematical method. Then suitability of single factor and climate suitability in the whole stages, vegetative stage, stage of vegetative and reproductive, reproductive stage was calculated using the method of weighted analysis, and their temporal-spatial variation characteristics were analyzed. The result showed that in the whole stages and vegetative stage, suitability of sunshine duration was the highest, next was the temperature, and suitability of precipitation was the lowest. Suitability of temperature in most cases was the highest in the stage of vegetative and reproductive, while suitability of precipitation was still the lowest. In the reproductive stage, suitability of sunshine duration was the highest, but suitability of temperature and precipitation were unstable in different regions and different years. Therefore, water content was the key meteorological factor that affected the development of maize in Jilin Province. Suitability of precipitation in west was lower, while in east was higher, which result in the climate suitability has the same characteristics. Climate suitability in reproductive stage in all regions, and stage of vegetative and reproductive in east were rising but not significant, the others were declining.

Key words: Fuzzy mathematical method; Growth stages; Climate suitability; Maize; Water content; Meteorological factors

收稿日期: 2018-08-23

基金项目: 吉林省任务下达式课题(2015020); 中国气象局沈阳大气环境研究所 2016 年开发基金课题(2016SYIAE02)

作者简介: 邱美娟(1987-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事农业气象灾害研究。

降水等气候因子的数量变化,通过模糊数学中隶属函数的方法转化成对作物生长发育、产量形成的适宜程度,一般情况下,气候越适宜,即适宜度越高,则对作物生长发育越有利,进而利于最终的产量形成,产量就越高。

温度适宜度计算公式^[17]为:

$$\left\{ \begin{array}{l} F(t_{ij}) = \frac{(t_{ij} - t_l)(t_h - t_{ij})^B}{(t_o - t_{ij})(t_h - t_o)} \\ B = \frac{t_h - t_o}{t_o - t_l} \\ F(t_{ij}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F(t_{ij}) \\ F(t_k) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n F(t_{ik}) \end{array} \right. \dots\dots\dots (2)$$

式中, i 为站序, j 为日序, k 为旬序(以玉米播种日所在旬为第1旬), $F(t_{ij})$ 为第*i*站第*j*日温度适宜度, t_{ij} 为第*i*站第*j*日的日平均气温(℃)。 t_l 、 t_h 、 t_o 分别为玉米某发育期内所需最低温度(℃)、最高温度(℃)和最适温度(℃)^[18-19](见表1)。当温度适宜度计算值为负值时,赋值零。 $F(t_{ik})$ 为第*i*站第*k*旬的温度适宜度, n 为每一旬所

表1 春玉米各发育阶段所需的最低温度、最高温度、最适温度 ℃

时间	最低温度	最高温度	最适温度
5月上旬	6	25	12
5月中旬	6	25	12
5月下旬	8	30	15
6月上旬	8	30	15
6月中旬	10	34	20
6月下旬	10	34	20
7月上旬	14	35	23
7月中旬	14	35	23
7月下旬	16	33	24
8月上旬	16	33	24
8月中旬	16	33	24
8月下旬	14	32	22
9月上旬	14	32	22
9月中旬	13	30	20
9月下旬	13	30	20

包含的天数,为8,9,10或11。 $F(t_k)$ 为区域第*k*旬温度适宜度, m 为区域所包含站点数。

1.2.2 逐旬日照时数适宜度

日照时数适宜度^[17]为:

$$F(s_k) = \begin{cases} 1 & s \geq H \\ s/H & s < H \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

式(3)中, $F(s_k)$ 为区域第*k*旬的日照时数适宜度, s 是区域第*k*旬的日照时数(h); H 是区域旬多年日照时数平均值(h),这里指1981~2010年30年的平均值^[15,17]。

1.2.3 逐旬降水适宜度

降水适宜度^[17]为:

$$F(p_k) = \begin{cases} 1 & -30\% \leq (p - pa)/pa \times 100 \leq 30\% \\ p/pa & (p - pa)/pa \times 100 < -30\% \\ pa/p & (p - pa)/pa \times 100 > 30\% \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

式(4)中, $F(p_k)$ 为区域第*k*旬降水适宜度, p 是区域某旬降水量(mm), pa 是区域相应旬1981~2010年多年降水量平均值(mm)。

1.2.4 逐旬气候适宜度

综合考虑气温、日照时数、降水适宜度的玉米气候适宜度^[17] $F(c_k)$ 为:

$$F(c_k) = \sqrt[3]{F(t_k) \times F(p_k) \times F(s_k)} \dots\dots\dots (5)$$

其中, $F(c_k)$ 为区域第*k*旬的气候适宜度, $F(t_k)$ 、 $F(p_k)$ 、 $F(s_k)$ 的含义同上。

1.2.5 不同发育期气候适宜度

玉米的产量与生长期气象条件的适宜程度密切相关,但在不同发育阶段玉米对气象条件的需求和敏感性存在差别。某发育期的气候适宜度一般由发育期内逐旬的气候适宜度加权累加得到。权重系数的确定运用一元积分回归法,首先计算逐旬气候适宜度与玉米产量丰歉指数的相关系数,并对相关系数进行归一化处理:

$$Rs_i = \frac{R_i - R_{min}}{R_{max} - R_{min}} \dots\dots\dots (6)$$

式(6)中, Rs_i 为相关系数的标准化数值; R_i 为相关系数序列的当前值; R_{max} 为相关系数序列的最大值; R_{min} 为相关系数序列的最小值。

采用逐旬相关系数归一化数值与全生育期各旬相关系数归一化数值之和的比值作为该旬气候适宜度的权重系数:

$$K_i = \frac{Rs_i}{\sum_{i=1}^n Rs_i} \dots\dots\dots (7)$$

K_i 为第*i*旬的权重系数; n 为玉米某发育期的旬数。表2为计算玉米全生育期气候适宜度时逐旬气候适宜度的权重系数。

玉米某发育期的气候适宜度计算公式如下:

$$S_m = \sum_{m_1}^{m_2} K_i \times F(c_i) \dots\dots\dots (8)$$

式(8)中, S_m 为第 m 个发育期的气候适宜度; $F(c_i)$ 为第 i 旬的气候适宜度, K_i 为逐旬气候适宜度的权重系数。当 $m_1 = 1$ 、 $m_2 = 18$ (玉米全生育期的旬数)时, S_m 为全生育期的气候适宜度;当 m_1 、 m_2 分别为第 m 个生育期的开始旬和结束旬

时, S_m 为第 m 个发育期的气候适宜度。某发育期的单要素适宜度模型的构建方法类似。

2 结果与分析

2.1 生长季气候变化特征

由表3可知,1981~2015年吉林省玉米生长季(5~9月)气候基本特征表现为平均气温、最高气温和最低气温升高,降水量和日照时数减少。东部、中部和西部表现出一致的变化规律。且各区域平均气温、最高气温和最低气温的升高趋势均通过0.01水平的显著性检验,而降水量和日照时数的减少趋势均未通过任何水平的显著性检验。平均气温和最低气温均表现为西部的升温幅度最大,东部的升温幅度最小。而最高气温表现为西部的升温幅度最大,东部次之,而中部的升温幅度最小。降水量表现为中部的减少幅度最大,以平均每10年21.95 mm的趋势减少;西部的减少幅度最小,以平均每10年13.98 mm的趋势减少。日照时数在西部减少幅度最大,平均每10年8.68 h趋势减少;其次是东部,平均每10年4.54 h趋势减少;中部减少幅度最小,平均每10年仅0.41 h趋势减少。从玉米生长季各要素平均值的

表2 玉米全生育期逐旬气候适宜度权重系数

时间	东部	中部	西部
5月上旬	0.071	0.058	0.150
5月中旬	0.064	0.052	0.053
5月下旬	0.050	0.087	0.000
6月上旬	0.057	0.000	0.024
6月中旬	0.082	0.108	0.113
6月下旬	0.134	0.093	0.040
7月上旬	0.062	0.074	0.104
7月中旬	0.089	0.052	0.084
7月下旬	0.053	0.077	0.146
8月上旬	0.127	0.058	0.071
8月中旬	0.066	0.081	0.015
8月下旬	0.013	0.064	0.081
9月上旬	0.000	0.025	0.031
9月中旬	0.087	0.121	0.078
9月下旬	0.045	0.052	0.011

表3 1981~2015年玉米生长季气象要素变化的统计检验

区域	项目	平均气温(℃)	最高气温(℃)	最低气温(℃)	降水量(mm)	日照时数(h)
东部	平均值	17.93	24.1	12.73	559.99	1 019.23
	气候倾向率/10 a	0.29	0.40	0.29	-16.87	-4.54
	相关系数	0.56**	0.57**	0.51**	-0.19	-0.07
中部	平均值	19.55	25.14	14.27	477.47	1 173.67
	气候倾向率/10 a	0.31	0.35	0.32	-21.95	-0.41
	相关系数	0.52**	0.51**	0.52**	-0.22	-0.01
西部	平均值	19.86	25.49	14.43	361.46	1 262.6
	气候倾向率/10 a	0.40	0.44	0.44	-13.98	-8.68
	相关系数	0.62**	0.54**	0.71**	-0.16	-0.12

注:***表示通过0.01水平的极显著性检验,**表示通过0.05水平的显著性检验,*表示通过0.1水平的显著性检验,下同。相关系数指的是各气象要素与时间的相关系数,表示各气象要素随时间变化程度

区域分布情况看,平均气温、最高气温、最低气温均呈西部最高,中部次之,东部最低;降水量分布为东部最多,中部次之,西部最少;日照时数亦为西部最多,中部次之,东部最少。

2.2 全生育期适宜度变化

从吉林省玉米全生育期1981~2015年适宜度变化趋势来看(表4、图2),总体上呈日照时数适宜度最大,其次是温度适宜度,而降水适宜度最小。各区域温度适宜度均在0.696以上,东部、

中部和西部温度适宜度平均值分别为0.771、0.799和0.824。各区域温度适宜度的变异系数均小于5.0%,年际间波动不明显。趋势分析发现各区域玉米全生育期温度适宜度均呈上升趋势,且东部的上升趋势通过0.01水平的显著性检验,平均每10年上升0.018。各区域日照时数适宜度均在0.772以上,最大值出现在1999年的中部,达到0.993,东部、中部和西部日照时数适宜度平均值分别为0.907、0.916和0.925,变异系数几乎小于

5.0%。全生育期日照时数适宜度均呈不显著的下降趋势。降水适宜度在东部、中部和西部平均值分别为 0.697、0.630 和 0.590,最小值出现在 2007 年的西部,为 0.407,最大值出现在 1984 年的东部,达 0.870。各区域玉米全生育期降水适宜度相比同期的温度适宜度和日照时数适宜度都较低,表明降水是玉米生产的主要限制因素。并且降水适宜度年际波动幅度较大,各区域降水适宜度的变异系数在 12.0%~18.0% 之间,各区域降水适宜度均呈下降趋势,但是下降趋势很不明显,没有通过任何水平的显著性检验。各单要素适宜度平均值在区域上的分布情况,与其对应的气象要素在区域上的分布情况一致,即温度适宜度和

日照时数适宜度在西部最高,东部最低,而降水适宜度在东部最高,西部最低。

从各区域玉米全生育期的气候适宜度年际间的波动幅度来看(表 4),西部玉米年际间气候适宜度变异系数最大为 9.222%,东部最小为 6.568%,中部介于二者之间为 7.951%,说明西部玉米全生育期气候适宜度年际间波动较大,稳定性低于其它两区域。玉米全生育期气候适宜度平均值在东部、中部和西部分别为 0.764、0.738 和 0.723,呈西低东高的特点,在玉米种植过程中,西部玉米遭受气候灾害的风险要高于东部和中部。根据单要素适宜度变化趋势的分析结果,各区域玉米温度适宜度呈上升趋势,日照时数适宜度呈下

表 4 全生育期适宜度变化的统计检验

适宜度	区域	平均值	最大值	最小值	变异系数(%)	气候倾向率(10 a)	相关系数
温度适宜度	东部	0.771	0.837	0.696	4.578	0.018	0.519**
	中部	0.799	0.855	0.738	3.388	0.006	0.225
	西部	0.824	0.896	0.771	3.750	0.002	0.055
日照时数适宜度	东部	0.907	0.988	0.772	5.010	-0.009	-0.212
	中部	0.915	0.993	0.793	4.571	-0.006	-0.136
	西部	0.925	0.991	0.852	3.668	-0.005	-0.162
降水适宜度	东部	0.697	0.870	0.514	12.760	-0.016	-0.188
	中部	0.630	0.842	0.420	15.538	-0.006	-0.067
	西部	0.590	0.803	0.407	17.556	-0.021	-0.207
气候适宜度	东部	0.764	0.859	0.658	6.568	-0.001	-0.027
	中部	0.738	0.851	0.607	7.951	-0.002	-0.034
	西部	0.723	0.862	0.575	9.222	-0.013	-0.204

注:相关系数指的是各适宜度与时间的相关系数,表示各适宜度随时间变化程度。下同

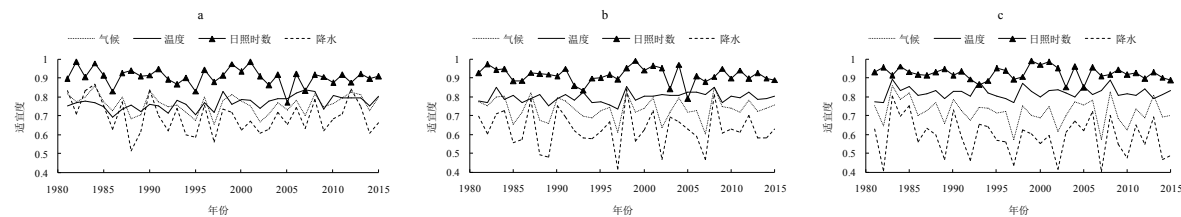


图 2 玉米全生育期适宜度变化(a.东部;b.中部;c.西部,下同)

降趋势,降水适宜度呈下降趋势,综合温度、日照、降水三要素的各区域气候适宜度呈不显著下降趋势。

2.3 营养生长期适宜度变化

从吉林省玉米营养生长期 1981~2015 年适宜度变化趋势来看(表 5、图 3),总体上呈日照时数适宜度最大,个别年份低于温度适宜度,而降水适宜度最小。各区域温度适宜度均在 0.717 以上,东部、中部和西部温度适宜度平均值分别为 0.854、0.852 和 0.817。各区域温度适宜度的变异系数均在 3.0%~6.0% 之间,年际间波动不明显。

趋势分析发现,玉米营养生长期温度适宜度东部呈不显著的上升趋势,而中部和西部呈显著的下降趋势,通过了 0.01 水平的显著性检验,平均每 10 年分别下降 0.015 和 0.020,说明在气候变化背景下,中部和西部玉米营养生长期的温度条件对玉米生长适宜程度下降明显。玉米营养生长期日照时数适宜度在东部、中部和西部的平均值分别为 0.899、0.906 和 0.919,最小值出现在 2014 年的西部,为 0.630,中部和西部有个别年份日照时数适宜度值达到了 1.000。变异系数在 7.0%~10.0%

之间。各区域日照时数适宜度均呈下降趋势,东部通过了0.05水平的显著性检验,西部和中部通过了0.1水平的显著性检验。玉米营养生长期降水适宜度相比同期的温度适宜度和日照时数适宜度都较低,在东部、中部、西部平均值分别为0.709、0.612和0.532,最小值分别为0.307、0.296和0.172,最大值分别为0.906、0.871和0.815,变异系数在21.0%~35.0%之间,波动幅度较大。东部和

西部的降水适宜度呈下降趋势,中部呈上升趋势,但均未通过显著性检验。

由表5可知,气候适宜度呈东高西低的分布特征。气候适宜度在东部、中部和西部的平均值分别为0.805、0.740和0.677,变异系数西部最大为17.340%,中部次之,为13.072%,东部最小,为12.186%。说明各区域玉米营养生长期气候适宜度年际间波动较大,但西部波动最大,稳定性低

表5 营养生长期适宜度变化的统计检验

适宜度	区域	平均值	最大值	最小值	变异系数(%)	气候倾向率(10 a)	相关系数
温度适宜度	东部	0.854	0.904	0.791	3.804	0.002	0.053
	中部	0.852	0.909	0.775	4.115	-0.015	-0.431**
	西部	0.817	0.895	0.717	5.422	-0.020	-0.468**
日照时数适宜度	东部	0.899	0.996	0.741	7.041	-0.022	-0.350*
	中部	0.906	1.000	0.760	7.086	-0.020	-0.316
	西部	0.919	1.000	0.630	9.119	-0.025	-0.302
降水适宜度	东部	0.709	0.906	0.307	21.609	-0.013	-0.085
	中部	0.612	0.871	0.296	24.747	0.001	0.008
	西部	0.532	0.815	0.172	34.856	-0.027	-0.148
气候适宜度	东部	0.805	0.921	0.563	12.186	-0.002	-0.025
	中部	0.740	0.864	0.450	13.072	-0.007	-0.070
	西部	0.677	0.864	0.391	17.340	-0.019	-0.161

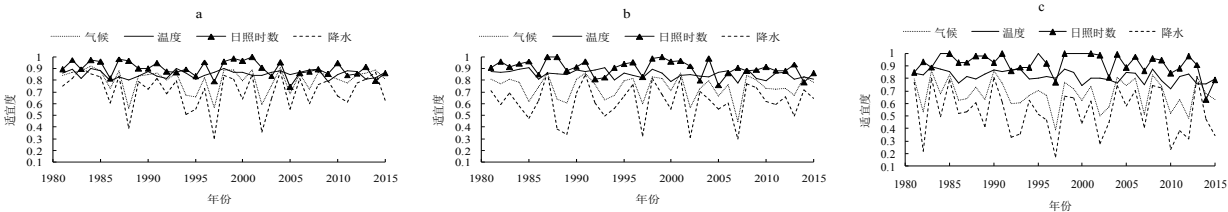


图3 玉米营养生长期适宜度变化

于其它两区域。各区域气候适宜度均呈不显著的下降趋势。

2.4 并进期适宜度变化

从吉林省玉米营养生长与生殖生长并进期1981~2015年适宜度变化趋势来看(表6、图4),温度适宜度多数情况下表现出大于日照时数适宜

表6 营养生长与生殖生长并进期适宜度变化的统计检验

适宜度	区域	平均值	最大值	最小值	变异系数(%)	气候倾向率(10 a)	相关系数
温度适宜度	东部	0.907	0.970	0.766	4.993	0.017	0.376*
	中部	0.949	0.985	0.878	2.512	0.003	0.148
	西部	0.937	0.986	0.811	4.240	0.007	0.183
日照时数适宜度	东部	0.902	1.000	0.670	10.592	0.003	0.036
	中部	0.895	1.000	0.581	12.647	0.011	0.099
	西部	0.910	1.000	0.649	9.634	-0.008	-0.094
降水适宜度	东部	0.715	1.000	0.335	28.338	-0.016	-0.082
	中部	0.645	1.000	0.240	34.360	-0.021	-0.098
	西部	0.650	0.999	0.105	37.047	-0.062	-0.262
气候适宜度	东部	0.849	0.980	0.726	8.341	0.013	0.191
	中部	0.797	0.988	0.598	12.095	-0.002	-0.026
	西部	0.786	0.943	0.459	14.500	-0.033	-0.292

度,而降水适宜度仍然最小。玉米并进期温度适宜度均在 0.766 以上,东部、中部和西部平均值分别为 0.907、0.949 和 0.937,变异系数均小于 5.0%,波动幅度较小。各区域温度适宜度均呈上升趋势,且东部上升趋势通过 0.05 水平的显著性检验,每 10 年上升 0.017。日照时数适宜度东部、中部和西部最大值均达到 1.000,最小值分别为 0.670、0.581 和 0.649,平均值分别为 0.902、0.895 和 0.910,变异系数在 9.0%~13.0% 之间,波动幅度偏大。趋势分析发现,西部日照时数适宜度呈不显著的下降趋势,而东部和中部呈不显著的上升

趋势。降水适宜度在东部、中部和西部的平均值分别为 0.715、0.645 和 0.650,波动幅度均较大;在西部最大值 0.999,最小值 0.105,变异系数 37.047%;中部最大值达到 1.000,最小值 0.240,变异系数 34.360%;东部最大值达 1.000,最小值为 0.335,变异系数 28.338%。且各区域均呈不显著的下降趋势。

由表 6 可知,玉米营养生长和生殖生长并进期气候适宜度在东部、中部和西部的平均值分别为 0.849、0.797 和 0.786。变异系数西部最大,为 14.500%;东部最小,为 8.341%;中部介于两者之

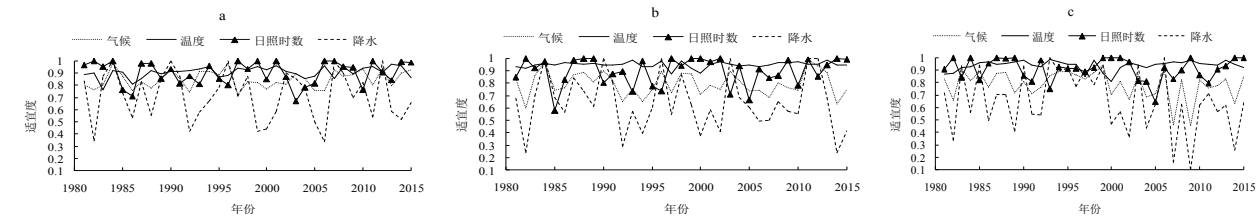


图 4 玉米营养生长与生殖生长并进期适宜度变化(a. 东部;b. 中部;c. 西部)

间,为 12.095%。东部气候适宜度呈上升趋势,中部和西部呈下降趋势,但均未通过显著性检验。

2.5 生殖生长期适宜度变化

从吉林省玉米生殖生长期 1981~2015 年适宜度变化趋势来看(表 7、图 5),总体上,日照时数适宜度最大,东部大多数年份降水适宜度好于温

度适宜度,中部多半以上年份温度适宜度好于降水适宜度,西部大多数年份温度适宜度好于降水适宜度。温度适宜度东部较差,平均值为 0.544,最小值为 0.314,最大值为 0.748,变异系数达 19.421%,波动幅度较大;中部和西部相比于东部略好,平均值分别为 0.654 和 0.763,变异系数分别

表 7 生殖生长期适宜度变化的统计检验

适宜度	区域	平均值	最大值	最小值	变异系数(%)	气候倾向率(10 a)	相关系数
温度适宜度	东部	0.544	0.748	0.314	19.421	0.051	0.491**
	中部	0.654	0.779	0.529	11.146	0.031	0.436**
	西部	0.763	0.908	0.609	9.994	0.023	0.304*
日照时数适宜度	东部	0.920	0.999	0.746	7.143	0.001	0.013
	中部	0.926	0.999	0.806	5.766	0.004	0.069
	西部	0.932	1.000	0.847	4.868	0.008	0.170
降水适宜度	东部	0.686	0.944	0.253	26.012	-0.028	-0.160
	中部	0.625	0.907	0.379	22.432	-0.019	-0.135
	西部	0.595	0.965	0.328	23.876	0.001	0.009
气候适宜度	东部	0.700	0.819	0.540	10.318	0.000	0.002
	中部	0.700	0.880	0.513	12.452	0.002	0.019
	西部	0.712	0.897	0.499	14.063	0.001	0.015

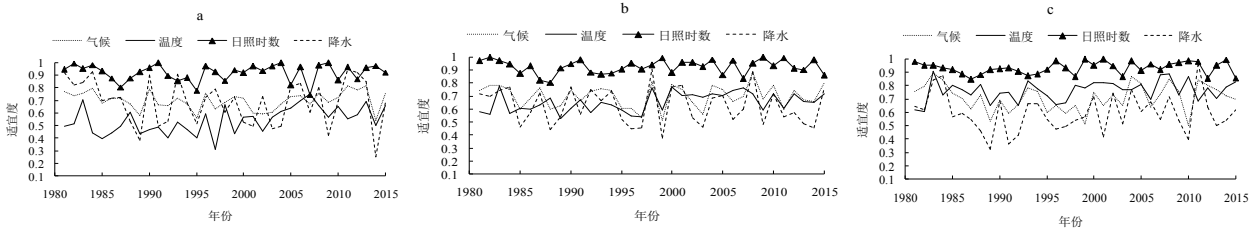


图 5 玉米生殖生长期适宜度变化

为11.146%和9.994%。东部和中部分别以每10年0.051和0.031的速率显著上升($p<0.01$),而西部的上升趋势也通过0.1水平的显著性检验。各区域日照时数适宜度均较高,均在0.746以上,东部、中部和西部平均值分别为0.920、0.926和0.932,变异系数在4.0%~8.0%之间,波动幅度相对较小,且均呈不显著的上升趋势。降水适宜度平均值东部、中部和西部分别为0.686、0.625和0.595,变异系数在22.0%~27.0%之间,波动幅度较大;东部和中部呈不显著的下降趋势,西部呈不显著的上升趋势。

由于温度适宜度和降水适宜度的综合限制,导致生殖生长期气候适宜度相比其他生育期较低。其中东部、中部平均值均为0.700,西部为0.712;变异系数在10.0%~15.0%之间;各区域均呈不显著的上升趋势(表7)。

3 结论与讨论

本文通过对吉林省按气象地理区划进行分区,分区域计算玉米生长发育的全生育期、营养生长期、营养生长与生殖生长并进期以及生殖生长期的单要素适宜度和综合气候适宜度,并对各区域不同发育期适宜度的变化情况进行分析。

(1)从玉米各种植区域生育阶段看,东部、中部和西部的温度适宜度均表现为并进期最高,其次是营养生长期,生殖生长期的温度适宜度最低。而日照时数适宜度、降水适宜度和气候适宜度没有明显规律的生育阶段差异。

(2)吉林省东部,玉米全生育期日照时数适宜度最大,其次是温度适宜度,而降水适宜度最小(图2a)。温度适宜度呈极显著的上升趋势($p<0.01$),日照时数适宜度和降水适宜度呈不显著的下降趋势(表4)。营养生长期温度适宜度呈不显著的上升趋势,日照时数适宜度呈显著下降趋势($p<0.05$),降水适宜度波动幅度较大,变化趋势不显著,气候适宜度年际间波动较大,呈不显著下降趋势(图3a、表5)。营养生长与生殖生长并进期多数情况下温度适宜度高于日照时数适宜度(图4a),温度适宜度上升趋势显著($p<0.05$),日照时数适宜度和气候适宜度呈不显著上升趋势,降水适宜度呈不显著下降趋势(表6)。生殖生长期日照时数适宜度最高,大多数年份降水适宜度高于温度适宜度(图5a),温度适宜度较差,呈极显著的上升趋势($p<0.01$),日照时数适宜度呈不显著的上升趋势,降水适宜度呈不显著的下降趋

势,气候适宜度相比其他生育期小,且呈不显著上升趋势(表7)。

(3)吉林省中部,玉米全生育期日照时数适宜度最大,降水适宜度最小(图2b);温度适宜度和日照时数适宜度年际间波动不明显,变异系数小于5.0%;降水适宜度和气候适宜度呈不显著下降趋势(表4)。营养生长期,日照时数适宜度个别年份低于温度适宜度,降水适宜度最小(图3b);温度适宜度呈极显著的下降趋势($p<0.01$);日照时数适宜度呈下降趋势;降水适宜度波动幅度较大,呈不显著的上升趋势;气候适宜度呈不显著的下降趋势(表5)。并进期,温度适宜度多数情况下表现出大于日照时数适宜度,而降水适宜度仍然最小,但日照时数适宜度和降水适宜度波动幅度较大(图4b),温度适宜度和日照时数适宜度均呈不显著上升趋势;降水适宜度和气候适宜度均呈不显著的下降趋势(表6)。生殖生长期日照时数适宜度最大,多半以上年份温度适宜度好于降水适宜度(图5b),温度适宜度以0.031/10 a的速率显著上升,日照时数适宜度和气候适宜度呈不显著上升趋势,降水适宜度呈不显著下降趋势(表7)。

(4)吉林省西部,玉米全生育期温度适宜度年际间波动不明显,呈不显著上升趋势;日照时数适宜度、降水适宜度和气候适宜度均呈不显著下降趋势(图2c、表4)。营养生长期温度适宜度呈极显著的下降趋势($p<0.01$),降水适宜度、日照时数适宜度和气候适宜度均呈下降趋势(图3c、表5)。并进期多数年份下,温度适宜度大于日照时数适宜度,降水适宜度最小(图4c)。温度适宜度呈不显著上升趋势,日照时数适宜度、降水适宜度和气候适宜度均呈不显著下降趋势(表6)。生殖生长期日照时数适宜度最大,大多数年份温度适宜度大于降水适宜度(图5c)。温度适宜度、日照时数适宜度、降水适宜度和气候适宜度均呈上升趋势(表7)。

研究结果可见,不同区域各生育阶段适宜度的大小及变化趋势存在差异,总体上现阶段温度适宜度和日照时数适宜度基本上对吉林省春玉米的生产是有利的,但是降水适宜度相对偏低,对玉米增产不利。但是,随着各区域气象条件的变化,这种利弊关系可能会发生改变。如研究指出,吉林省西部玉米营养生长期温度适宜度、日照时数适宜度和降水适宜度均呈下降趋势,且温度适宜度的下降趋势通过了0.01水平的显著性检

验,如果适宜度下降到一定程度,就可能要考虑调整作物布局和生长期。

参考文献:

- [1] 王宗明,于磊,张柏,等.过去50年吉林省玉米带玉米种植面积时空变化及成因分析[J].地理科学,2006,26(3):299-305.
- [2] 李文科,薛庆禹,王靖.播期对吉林省春玉米生长发育及产量形成的影响[J].玉米科学,2013,21(5):81-86.
- [3] 程叶青.吉林省玉米加工业发展对我国粮食安全的影响及其政策建议[J].农业现代化研究,2010,31(1):1-4.
- [4] 陈群,耿婷,侯雯嘉,等.近20年东北气候变暖对春玉米生长发育及产量的影响[J].中国农业科学,2014,47(10):1904-1916.
- [5] 刘志娟,杨晓光,王文峰,等.气候变化背景下我国东北三省农业气候资源变化特征[J].应用生态学报,2009,20(9):2199-2206.
- [6] 陈家金,陈惠,马治国,等.福建农业气候资源时空分布特征及其对农业生产的影响[J].中国农业气象,2007,28(1):1-4.
- [7] 张艳红,吕厚荃,钱永兰.1987-2012年黄淮海地区冬小麦生育期气候适宜指数时空分布特征[J].中国农学通报,2014,30(36):48-54.
- [8] 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.
- [9] 张彩霞,肖金香,叶清,等.近60年中国南方早稻气候适宜度变化特征分析[J].气象与减灾研究,2015,38(1):45-52.
- [10] 宋英男,李颖,任学慧,等.1956-2010年辽西地区玉米气候适宜度时空分布特征[J].中国生态农业学报,2016,24(3):306-315.
- [11] 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].中国农业气象,2011,32(3):399-406.
- [12] 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.
- [13] 王连喜,顾嘉熠,李琪,等.江苏省冬小麦适宜度时空变化研究[J].生态环境学报,2016,25(1):67-75.
- [14] 金志凤,叶建刚,杨再强,等.浙江省茶叶生长的气候适宜性[J].应用生态学报,2014,25(4):967-973.
- [15] 邱美娟,宋迎波,王建林,等.耦合土壤墒情的气候适宜度指数在山东省冬小麦产量动态预报中的应用[J].中国农业气象,2015,36(2):187-194.
- [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] 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.
- [18] 侯英雨,张艳红,王良宇,等.东北地区春玉米气候适宜度模型[J].应用生态学报,2013,24(11):3207-3212.
- [19] 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,2006:32-39.