

慕臣英,纪瑞鹏,殷红,等. 沈阳地区春玉米不同生育阶段热量指数变化特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(5): 828-834. [MU Chenying, JI Ruipeng, YIN Hong, et al. Variation Characteristics of Heat Index of Spring Maize in Different Growth Periods in Shenyang[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(5): 828-834], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-05-0828

沈阳地区春玉米不同生育阶段热量指数变化特征

慕臣英^{1,2}, 纪瑞鹏², 殷红³, 张郁¹, 李娟⁴, 徐全辉¹, 张思瑶¹

(1. 辽宁省沈阳市气象局, 辽宁 沈阳 110168; 2. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110016;
3. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110166; 4. 辽宁省康平县气象局, 辽宁 康平 110500)

摘要:利用模糊数学的隶属函数计算1960—2016年沈阳地区春玉米各生育阶段的热量指数,并对其时空变化特征进行分析。结果表明:沈阳地区春玉米抽雄—乳熟期热量指数最高,变异系数最小,其次是出苗—七叶期,播种—出苗期和七叶—拔节期热量指数最低,变异系数最大。近57 a沈阳春玉米除乳熟—成熟期热量指数略有下降,其他生育阶段及全生育期均呈不同程度的升高趋势,其中热量指数最低的播种—出苗期和七叶—拔节期升高趋势较为明显。空间上,除乳熟—成熟期热量指数北部高于南部外,其他发育期北部均不同程度低于南部;热量指数偏低的北部法库、康平地区,近57 a来热量指数升高趋势较明显,特别是七叶—拔节期,未来温度变化对沈阳北部地区该时期春玉米生长影响具有正效应,利于春玉米生长发育。

关键词:春玉米;发育期;热量指数;变化特征

文章编号:1006-7639(2018)05-0828-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-05-0828

中图分类号:P422

文献标志码:A

引言

IPCC第五次评估报告指出,1880—2012年全球平均地表温度升高了0.85℃,预计2016—2035年全球平均地表温度将升高0.3~0.7℃,全球气候变暖已成为一个不争的事实^[1]。农业是受气候变化影响较大的行业之一,作物生长与气象条件的协调性,直接影响着粮食产量水平。玉米位居我国三大粮食作物之首,在国民经济中占有重要地位,定量综合评价玉米生育期内热量资源条件的优劣,对保障粮食生产安全具有重要意义^[2-9]。东北地区是我国玉米主产区之一,同时也是我国受气候变化影响最显著的地区之一^[10],1961—2007年平均气温每10 a升高了0.38℃^[11]。热量资源增加一定程度上利于玉米增产,但是与气候变暖相伴发生的气候变率增大,则易诱发低温冷害、高温干旱等灾害性天气,给粮食生产带来一定风险^[12-16]。

为有效应对气候变化对玉米产量的影响,需要明

确玉米各生育阶段热量资源状况和适宜性。关于作物热量资源评价,近年来一些研究从气候要素变化特征考虑,采用积温、日平均气温、无霜期、界限温度等气象指标来评价某地区热量资源水平^[17-21]。但这些均属于气候学指标,未与作物生长需求有机结合,缺乏农学意义,而作物生长温度指标引入评价模型是定量评估热量资源对农作物生长适宜度的必然方向。EASTERLING^[22]、WOLF等^[23]、SOUTHWORTH等^[24]从作物生长模型、气候生产潜力等角度,评估了美国中西部和欧洲等地的玉米种植模式和气候适应性分布,并通过政府政策、国际贸易政策的调节来适应气候变化。顾恒岳等^[25]基于模糊数学方法最早提出了农业生态气候理论,认为气候对作物生长的适宜程度是一个具有模糊概念的量化指标,如温度对作物生长影响可用温度反应函数描述,其值在0~1。随着农业生态气候理论的提出,建立合理的气候资源隶属函数成为气候资源定量化评估的关键^[26-27]。农作物发育对温度的反应表现为非线性,且在最适

收稿日期:2018-05-19; 改回日期:2018-07-03

基金项目:中国气象局沈阳大气环境研究所开放基金项目“辽宁省玉米不同生育阶段农业气候资源评价模型研究”(2017SYIAE08)和沈阳市气象局项目“基于RS和GIS的沈阳春播期土壤水分精细化监测应用”(2018SXB011)共同资助

作者简介:慕臣英(1988—),女,工程师,主要从事农业气象研究。E-mail:mucheny@126.com。

通信作者:纪瑞鹏(1972—),男,正研级高级工程师,主要从事农业气象灾害评估与农业气候资源利用。E-mail:jiruipeg@163.com。

温度之上或之下的反应不同,隶属函数多被用来描述该过程^[28-35]。马树庆^[29]、魏瑞江等^[30]、冷明珠等^[31]采用非对称拟抛物线型 Beta 函数,结合玉米高产条件下三基点温度,建立温度适宜性评价模型,开展玉米发育期热量资源评价及产量预报研究。考虑到作物生长发育适宜温度是一临界范围,罗怀良等^[32-33]根据作物生长发育对温度的需求和反应,将温度对作物的影响分为最高温度、最低温度两个阈值和一个最适区间,采用模糊数学中的升半岭形分布与降半岭形分布对应建立温度适宜性隶属函数,较好地反映了温度从不适宜到适宜再到不适宜的连续变化过程。

热量资源评价模型具有动态性,模型的适用性需不断检验和改进。沈阳地处辽宁中部,大田作物以玉米为主,本文以沈阳地区 5 个气象观测站 1960—2016 年春玉米生育期观测资料,基于模糊数学作物热量指数模型,定量评价春玉米 6 个生育阶段热量资源变化特征和适宜性,以期为该区域玉米作物的气候资源利用及品种布局、农业气象业务产品服务提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 资料

选取 1960—2016 年沈阳地区 5 个气象观测站(康平、法库、新民、辽中和浑南)春玉米生育期观测资料及逐日最高、最低、平均气温观测资料,站点分布见图 1。玉米发育期采用多年观测平均,划分为播种—出苗、出苗—七叶、七叶—拔节、拔节—抽雄、抽雄—乳熟和乳熟—成熟期 6 个生育阶段。

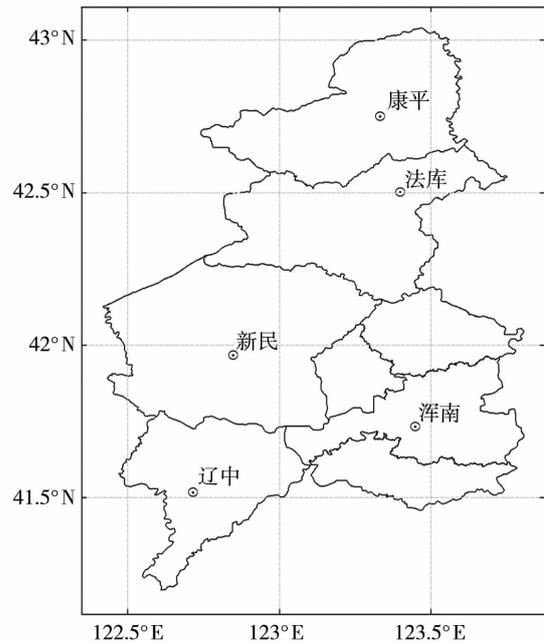


图 1 研究区域气象观测站分布
Fig. 1 Distribution of meteorological stations in study area

1.2 研究方法

春玉米生长发育与温度变化关系密切,温度过高、过低均不利于春玉米的生长发育。将温度对作物的影响分为最高、最低温度两个阈值和一个最适区间,用模糊数学中模糊子集的升半岭形分布与降半岭形分布对应取交集,建立沈阳地区春玉米热量指数模型。该指数是在 0~1 之间变化的不对称抛物线函数,其值大小可直接反映春玉米不同生育阶段温度的适宜程度^[34-35]。热量指数的计算公式如下:

$$u_i(t) = \begin{cases} 0 & t < t_L \text{ 或 } t > t_H \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{t_L - t_{s1}} (t - \frac{t_L + t_{s1}}{2}) & t_L < t < t_{s1} \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{t_H - t_{s2}} (t - \frac{t_H + t_{s2}}{2}) & t_{s2} < t < t_H \\ 1 & t_{s1} < t < t_{s2} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $u_i(t)$ 、 t 分别为某一发育阶段 i 的热量指数、平均气温(°C); t_L 、 t_H 、 t_{s1} 、 t_{s2} 分别为某一生育阶段 i 的最低、最高温度和适宜温度上限、下限。热量指数随着气温升高而升高,当达到某一温度范围时,热量指数处于适宜状态,此后热量指数随着气温升高而下降,反映了热量从不适宜—适宜—不适宜的连续变化过程。结合郭建平^[34]研究及沈阳地区春玉米生长发育特性,确定该区春玉米各发育期的临界温度指标(表 1)。

表 1 沈阳地区春玉米各生育阶段临界温度指标

Tab. 1 Temperature indexes of spring maize in different growth periods in Shenyang 单位:°C

生育阶段	最低温度	适宜下限	适宜上限	最高温度
播种—出苗	6.0	14.0	20.0	27.0
出苗—七叶	8.0	17.0	23.0	27.0
七叶—拔节	11.5	21.0	27.0	30.0
拔节—抽雄	14.0	24.0	29.0	33.0
抽雄—乳熟	14.0	22.0	27.0	32.0
乳熟—成熟	10.0	16.0	22.0	30.0

全生育期热量指数计算公式如下:

$$u(t) = \sum_{i=1}^6 a_i \cdot u_i(t) \quad (2)$$

式中: a_i 为某一发育阶段 i 热量指数的权重系数。采用相关系数法确定权重,即计算不同生育阶段热量指数之间的相关系数矩阵,通过计算每一生育阶段与其他生育阶段相关系数绝对值的平均,以其平均值占全生育期内所有生育阶段相关系数绝对值平均总和的比值,作为该生育阶段的权重系数^[31]。

2 结果与分析

2.1 春玉米不同发育阶段热量指数特征

图2为1960—2016年沈阳地区春玉米各生育阶段及全生育期平均热量指数及变化。可以看出,近57 a沈阳地区春玉米全生育期热量指数平均为0.90,其中抽雄—乳熟期的热量指数最高,平均为0.98,且变异系数最小,说明该阶段玉米热量资源稳定性较好,这与该阶段气温波动小、低温频率减小有关;其次是出苗—七叶期,其热量指数平均为0.91;其他生育阶段热量指数低于0.90。播种—出苗和七叶—拔节期热量指数最小,变异系数较大,主要是播种—出苗阶段正处于春季气温回升阶段,气温波动较大,低值年易受低温冷害影响;七叶—拔节期平均为5月下旬至6月上旬,该阶段东北地区低温冷害事件发生频繁,热量资源稳定性较差,热量指数偏低且变率大^[12]。

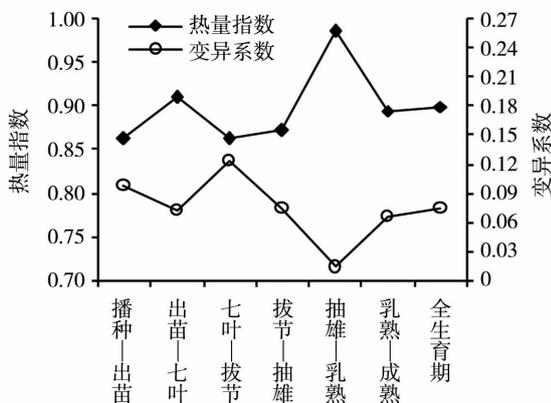


图2 1960—2016年沈阳地区春玉米各发育阶段平均热量指数及变异系数

Fig. 2 Mean heat index and variable coefficient of spring maize in different growth stages in Shenyang during 1960 - 2016

2.2 春玉米不同生育阶段热量指数年际、年代际变化

图3是1960—2016年沈阳地区春玉米各生育

阶段热量指数的年际及年代际变化。可以看出,近57 a沈阳地区春玉米除乳熟—成熟期的热量指数呈微弱下降趋势外,其他生育阶段及全生育期的热量指数均呈不同程度的增加趋势。其中,七叶—拔节期和播种—出苗期热量指数增加趋势明显,线性倾向率分别为0.025和0.013 (10 a)⁻¹,七叶—拔节和乳熟—成熟期热量指数的变化趋势通过了0.05显著性水平检验。可见,生育前期热量资源增加趋势明显,良好的热量条件利于春玉米作物生长和营养积累,为后期产量形成打下良好基础。整个生育期总体热量指数增加,与东北春玉米低温冷害强度呈极显著减弱趋势相吻合^[12-13]。

播种—出苗期,春玉米热量指数2000年以前呈波动性增加趋势,2010年以后略有降低,整体年际间波动性较大,热量指数低于0.8共计出现8 a,且集中于1960—1970年代,2000年代热量指数较大且波动小,主要是春季气温低、起伏大,春玉米播种和出苗易受低温影响,在全球变暖背景下,该区作物热量指数有所增加,低温冷害风险有所降低,与前人研究结果一致^[13]。出苗—七叶期和拔节—抽雄期的热量指数变化趋势相近,呈现先减后增的变化趋势,年代际波动较大,1970—1980年代热量指数相对较低,步入1990年代后热量指数明显升高,平均为0.93和0.89,且年际波动较之前明显减弱。七叶—拔节期,玉米热量指数年际波动最大,呈现先增后减再增的年代际变化趋势,1980年代、2000年以后热量指数明显偏高,且波动较小,热量指数低于0.8共计出现15 a,多集中于1960—1970年代,此阶段热量指数低年份易遭受低温冷害,这与东北玉米低温冷害多发于5—6月的结论较一致^[12]。抽雄—乳熟期,春玉米热量指数最高且年际间波动最小,相对最为稳定,这与该阶段温度变化小且低温出现频率较低有关。乳熟—成熟期,春玉米热量指数呈现先增后减的变化趋势,该时期正值8月至9月上旬,实际温度略高于乳熟—成熟期的适宜温度范围,从而降低了该发育阶段的平均热量指数。

2.3 春玉米热量指数空间分布及其气候趋势

东北地区气温具有南北过渡性特征,使得作物热量指数存在明显的南北差异。从1960—2016年沈阳各地区春玉米不同生育阶段及全生育期平均热量指数[图4(a)]看出,全生育期各地热量指数介于0.89~0.91之间,北部康平最低,南部辽中最高。从各生育阶段来看,除乳熟—成熟期春玉米热量指数北部高于南部外,其他发育阶段的热量指数北部均不同程度低于南部。其中,南部辽中地区热量指

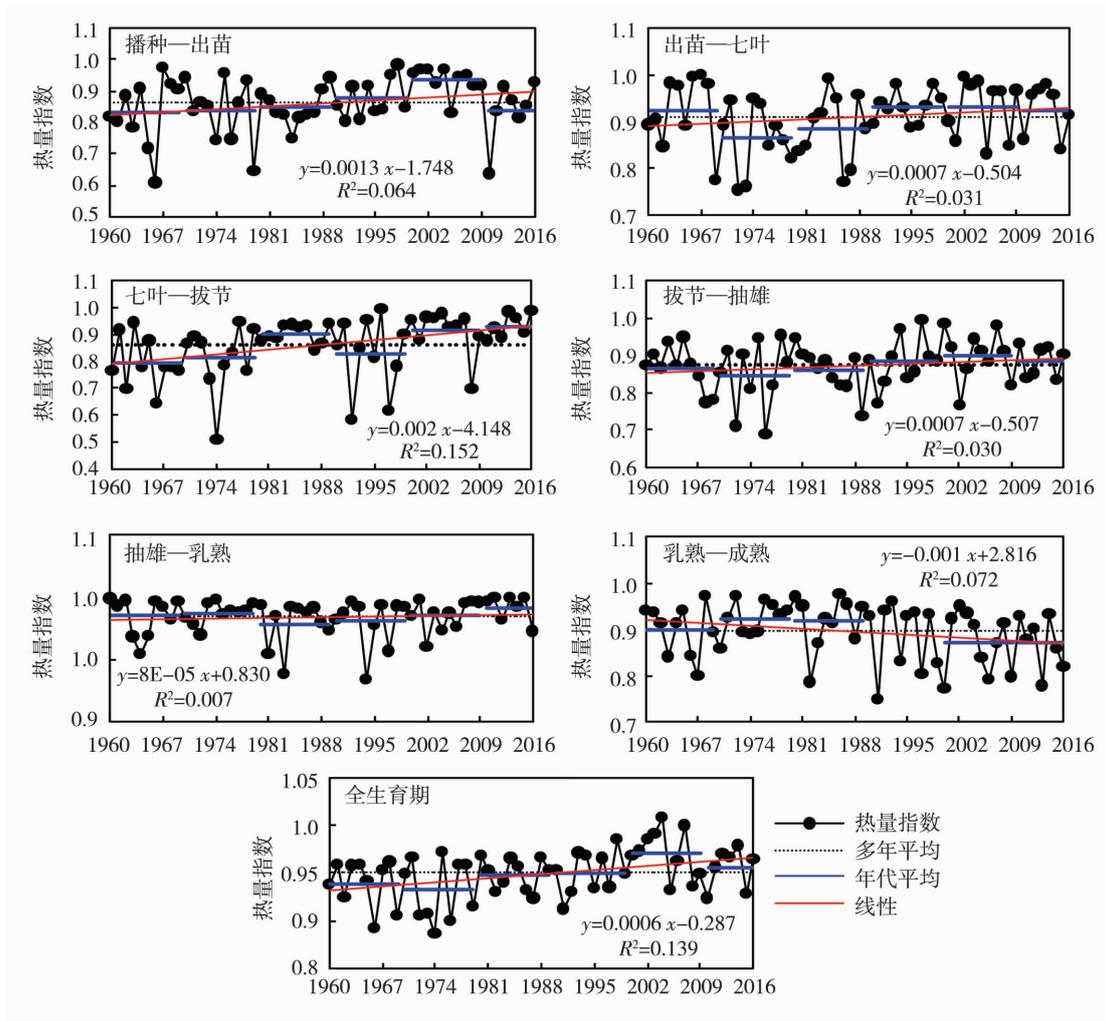


图 3 1960—2016 年沈阳春玉米各生育阶段热量指数年际和年代际变化

Fig. 3 The annual and decadal changes of heat index of spring maize in different growth stages in Shenyang from 1960 to 2016

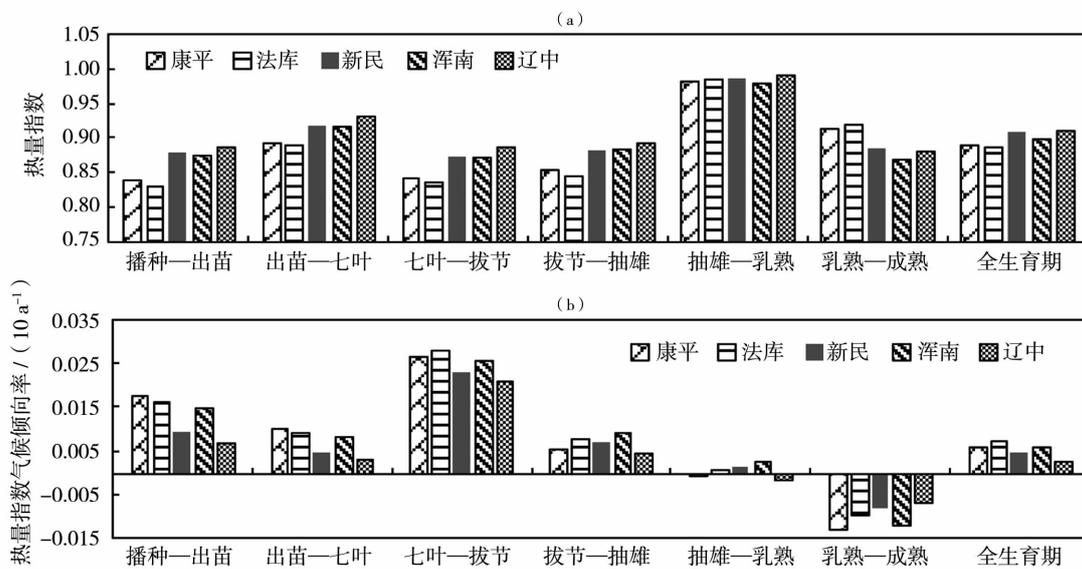


图 4 1960—2016 年沈阳各地区春玉米不同生育阶段平均热量指数(a)及其气候倾向率(b)

Fig. 4 Mean heat index (a) and its climatic tendency rate of spring maize (b) in different growth periods in each area of Shenyang from 1960 to 2016

数各发育阶段多处于较高水平,平均为 0.92,抽雄—乳熟期热量指数最高,出苗—七叶期次之,乳熟—成熟期最小;中部新民和浑南地区的热量指数次于南部,平均为 0.90,抽雄—乳熟期的热量指数最高,七叶—拔节期最小;北部康平和法库地区热量指数相对偏低,平均为 0.88,抽雄—乳熟期热量指数最高,乳熟—成熟期次之,播种—出苗和七叶—拔节期相对最小,为 0.83~0.84。

研究表明,东北地区是中国气候变暖增温最显著的地区之一^[11],气温的升高导致春玉米低温冷害频率降低,利于热量指数的提升,同时温度升高也会导致部分地区降水减少,高温日数、蒸散量的增加影响春玉米的生长发育,导致热量指数降低。因此,根据沈阳地区 1960—2016 年春玉米热量指数的气候倾向率,划分沈阳春玉米各地区热量指数变化类型。

从 1960—2016 年沈阳各地春玉米不同生育阶段及全生育期热量指数线性气候倾向率[图 4(b)]看出,近 57 a 全生育期各地热量指数均呈现增加趋势,北部地区的增加幅度略高于南部,但不同发育阶段热量指数的气候倾向率存在一定差异。根据各站点生育阶段热量指数的气候倾向率变化方向和强度,将其大致分为 4 种类型:

(1)强下降型。春玉米热量指数变化倾向率小于 $-0.007 (10 a)^{-1}$,主要体现在各地乳熟—成熟期,尤以中北部的康平、法库和新民地区显著,气候倾向率分别为 -0.013 、 -0.010 、 $-0.012 (10 a)^{-1}$,说明未来该阶段温度变化对上述地区春玉米生长产生强负效应;

(2)弱下降型。春玉米热量指数变化倾向率介于 $-0.007 \sim 0 (10 a)^{-1}$ 之间,该类型发育期较少,仅体现在浑南地区春玉米的抽雄—乳熟期,热量指数平均每 10 a 下降 -0.001 ;

(3)弱增长型。春玉米热量指数变化倾向率为 $0 \sim 0.02 (10 a)^{-1}$,体现在各地区播种—出苗、出苗—七叶、拔节—抽雄期及抽雄—乳熟期(浑南除外),未来温度变化将对这些地区该阶段春玉米生长发育具有正效应影响,尤以康平、法库和新民地区播种—出苗期最为明显,气候倾向率分别为 0.018、0.010、0.015 $(10 a)^{-1}$,这对春玉米播种、出苗十分有利。抽雄—成熟期各地区(浑南除外)热量指数均呈现微弱增加趋势,该时期热量指数相对最高、最稳定;

(4)强增长型。春玉米热量指数变化倾向率大于 $0.02 (10 a)^{-1}$,集中体现在各地区七叶—拔节期,未来温度变化对春玉米的影响具有正效应,利于

该时期春玉米生长发育,特别是北部法库、康平地区,气候倾向率分别为 0.027、0.028 $(10 a)^{-1}$ 。

3 结 论

(1)近 57 a 沈阳地区春玉米全生育期热量指数平均为 0.90,不同生育阶段热量指数介于 0.86~0.98,抽雄—乳熟期热量指数最大,其次是出苗—七叶期,播种—出苗期和七叶—拔节期热量指数最小,且年际波动大。可见,热量指数低值年易受低温冷害影响,在春玉米生长前期需注意低温预防。

(2)近 57 a 来,沈阳地区乳熟—成熟期春玉米热量指数呈显著下降趋势,而其他生育阶段及全生育期均呈现不同程度的增加趋势,以七叶—拔节和播种—出苗期尤为明显,热量指数分别每 10 a 增加 0.025 和 0.013。

(3)沈阳地区春玉米热量指数除乳熟—成熟期北部高于南部,其他发育阶段及全生育期热量指数北部均不同程度低于南部。

(4)沈阳地区春玉米热量指数变化可分为强下降型、弱下降型、弱增长型和强增长型 4 种类型。其中,热量指数偏低的北部法库、康平地区,其热量指数增长趋势较其他地区显著,特别是七叶—拔节期,利于该地区热量资源的提升。

本文仅针对研究区域春玉米生长所需热量条件进行分析,而对春玉米生长发育所需其他气候资源如水分、光照等未作考虑,故在农业生产指导时还需考虑当地实际情况,结合降水、日照及作物品种等因素,进行更为深入的具体研究。

参考文献:

- [1] STOCKER T F, QIN D H, PLATTNER G K, et al. Climate Change 2013: The Physical Science Basis[R]. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013:1-30.
- [2] 穆佳,赵俊芳,郭建平. 近 30 年东北春玉米发育期对气候变化的响应[J]. 应用气象学报,2014,25(6):680-689.
- [3] 张洁,白青华,马鸿勇. 气候变化对河西走廊中部地区主要农作物的影响[J]. 干旱气象,2013,31(2):303-309.
- [4] 马兴祥,陈雷,丁文魁,等. 灌水量和气温对玉米生物耗水及产量的影响[J]. 干旱气象,2014,32(4):521-526.
- [5] 李苗苗,张艳玲. 夏玉米开花至灌浆期连阴雨天气对植株性状及产量结构的影响[J]. 气象与环境科学,2014,37(1):88-92.
- [6] 任丽伟,李喜平. 播期对浚单 20 夏玉米生长状况及产量影响分析[J]. 气象与环境科学,2013,36(3):28-33.
- [7] 梁宏,王培娟,章建成,等. 1960—2011 年东北地区热量资源时空变化特征[J]. 自然资源学报,2014,29(3):466-479.
- [8] 王培娟,梁宏,李祎君,等. 气候变暖对东北三省春玉米发育期

- 及种植布局的影响[J]. 资源科学,2011,33(10):1976-1983.
- [9] 阿布都克日木·阿巴司,努尔帕提曼·买买提热依木,帕提曼·阿不都艾尼,等. 喀什地区夏玉米发育期与气象因子关系分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2016,10(4):25-31.
- [10] 孙凤华,杨素英,陈鹏狮. 东北地区近44年的气候变暖干化趋势分析及可能影响[J]. 生态学杂志,2005,24(7):751-755.
- [11] 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.
- [12] 张梦婷,刘志娟,杨晓光,等. 气候变化背景下中国主要作物农业气象灾害时空分布特征[I]: 东北春玉米延迟型冷害[J]. 中国农业气象,2016,37(5):599-610.
- [13] 高晓容,王春乙,张继权. 气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响[J]. 生态学报,2012,32(7):2110-2118.
- [14] 赵俊芳,杨晓光,刘志娟. 气候变暖对东北三省春玉米严重低温冷害及种植布局的影响[J]. 生态学报,2009,29(12):6544-6551.
- [15] 王海梅. 高温胁迫对河套灌区玉米生理指标及产量构成要素的影响[J]. 干旱气象,2015,33(1):59-62.
- [16] 成林,张广周,陈怀亮. 华北冬小麦—夏玉米两熟区干旱特征分析[J]. 气象与环境科学,2014,37(4):8-13.
- [17] 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.
- [18] 刘实,王勇,缪启龙,等. 近50年东北地区热量资源变化特征[J]. 应用气象学报,2010,21(3):266-278.
- [19] 冯滢瑛,李卓仑. 1957—2007年东北地区负积温时空演变[J]. 冰川冻土,2016,38(6):1529-1537.
- [20] 贺伟,布仁仓,熊在平,等. 1961—2005年东北地区气温和降水变化趋势[J]. 生态学报,2013,33(2):519-531.
- [21] 慕臣英,纪瑞鹏,周晓宇,等. 1960—2016年沈阳地区霜冻初、终日和无霜冻期时空特征[J]. 干旱气象,2018,36(2):290-294.
- [22] EASTERLING W E. Adapting North American agriculture to climate change in review[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1996,80:1-53.
- [23] WOLF J, VAN DIEPEN C A. Effects of climate change on grain maize yield potential in the European community [J]. Climatic Change, 1995,29(3):299-331.
- [24] SOUTHWORTH J, RANDOLPH J C, HABECK M, et al. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the Midwestern United States [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2000,82:139-158.
- [25] 顾恒岳,艾南山,陈国祯. 中国农业气候的动态分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版),1983,19(4):144-151.
- [26] 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.
- [27] 王春玲,李宏宇,曾剑,等. 黄土高原半干旱区马铃薯气候适宜度模拟及其时空变化特征[J]. 干旱气象,2017,35(5):751-760.
- [28] 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):87-93.
- [29] 马树庆. 吉林省农业气候研究[M]. 北京:气象出版社,1994:34-44.
- [30] 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.
- [31] 冶明珠,郭建平,袁彬,等. 气候变化背景下东北地区热量资源及玉米温度适宜度[J]. 应用生态学报,2012,23(10):2787-2794.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 郭建平,赵俊芳,徐延红,等. 气候变化对农业气候资源有效性的影响评估[M]. 北京:气象出版社,2006:255-256.
- [35] ZHAO J F, GUO J P, XU Y H, et al. Effects of climate change on cultivation patterns of spring maize and its climatic suitability in Northeast China [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2015,202:178-187.

Variation Characteristics of Heat Index of Spring Maize in Different Growth Periods in Shenyang

MU Chenying^{1,2}, JI Ruipeng², YIN Hong³, ZHANG Yu¹, LI Juan⁴,

XU Quanhui¹, ZHANG Siyao¹

(1. *Shenyang Meteorological Bureau of Liaoning Province, Shenyang 110168, China;*

2. *Institute of Atmospheric Environment, CMA, Shenyang 110016, China;*

3. *Shenyang Agricultural University, Shenyang 110166, China;*

4. *Kangping Meteorological Bureau of Liaoning Province, Kangping 110500, Liaoning, China)*

Abstract: Based on the daily observation data of spring maize in the whole growth periods and temperature at 5 weather stations in Shenyang of Liaoning Province from 1960 to 2016, the heat index models of spring maize in different growth periods were established according to the membership function in fuzzy mathematics. And on this basis the spatio-temporal dynamic characteristics of spring maize heat index were investigated. The results show that the heat index of spring maize was highest with small fluctuation at the tasseling to milk ripe stage, followed by the seeding to seven-leaf stage, while that was lowest with big fluctuation at the sowing to seeding stage and seven-leaf to jointing stage in Shenyang. The heat index of spring maize at milk ripe to mature stage appeared a slight decreasing trend, while that appeared an increasing trend with different levels in other growth stages in Shenyang from 1960 to 2016, but the change trend at milk ripe to mature stage and seven-leaf to jointing stage passed the significance test with 0.05 level. The increasing trend was more obvious at the sowing to seeding stage and seven-leaf to jointing stage. Spatially, there was significant difference of heat index in northern and southern Shenyang. The heat index was high in the north and low in the south at milk ripe to mature stage, while that generally increased from the north to the south in other growth stages. The heat index in different growth stages was low in Kangping and Faku of northern Shenyang, but its increasing trend was more obvious, especially at seven-leaf to jointing stage, which had a positive effect on the growth process of spring maize and would be beneficial to the growing of spring maize in the future.

Key words: spring maize; growth periods; heat index; variation characteristics

(上接第 819 页)

Preliminary Research on Replacement of Thunderstorm Days of Artificial Observation with Lightning Position Detection Data

ZENG Qingfeng^{1,2}, LI Mei¹, LAN Hongping³,

JIANG Yin¹, LUO Hongyan¹, XU Dongpu³

(1. *Shenzhen National Climate Observatory of Guangdong Province, Shenzhen 518040, Guangdong, China;*

2. *Shenzhen Key Laboratory of Severe Weather in South China, Shenzhen 518040, Guangdong, China;*

3. *Shenzhen Meteorological Bureau of Guangdong Province, Shenzhen 518040, Guangdong, China)*

Abstract: Taking Shenzhen city as an example, the paper discussed the rationality and feasibility about replacing the conventional artificial observation of thunderstorm days with lightning position system (LPS) data by analyzing the lightning position data from ADTD and TLLS systems and thunderstorm days at Shenzhen weather station during 2007–2016, radar echo and sounding data, etc. The results are as follows: (1) LPS data was well accordant to radar echo, which indicated that the replacement of artificial observation of thunderstorm days with LPS data was feasible and reliable. (2) The optimal value of matching radius between LPS data and artificial observation thunderstorm days was 9.24 km by using the least squares method, and the annual mean error between thunderstorm days from conventional observation and calculated thunder-lightning days from LPS in that radius range was 2.8 days, the average error rate was 4.3%. The proportion relation showed the consistency between two observation approaches was good. (3) The weather systems, circulation situations and atmospheric stratifications on thunderstorm days and thunder-lightning days were basically similar, and the correlation coefficients of temperature and humidity profiles under two weather conditions were 0.99. Besides, the relation of thunderstorm days and thunder-lightning days with the change of LPS matching radius showed that the replacement of artificial observation of thunderstorm days with LPS data was very reasonable.

Key words: thunderstorm days; lightning position system; artificial observation; least square method