

农业气候年景评估指数构建及在江汉平原的应用

秦鹏程^{1, 3} 夏智宏^{2, 3} 陈伟亮^{2, 3}

(1 武汉区域气候中心, 武汉 430074; 2 荆州市气象局, 荆州 434020;

3 江汉平原生态气象遥感监测技术协同创新中心, 荆州 434025)

摘要: 基于分层指标构建综合评估指数是开展气象服务的基础和主要手段之一。从农业气候资源优劣和农业气象灾害发生程度两个方面, 基于气候适宜度和气象灾害指标分别构建指标体系, 并采用百分位数进行等级划分, 建立了农业气候年景评估综合指数。以江汉平原为例, 从气候变化背景下的农业气候年景趋势演变, 以及任意年份农业气候年景等级评定, 展示了农业气候年景评估指标体系在业务服务中的应用。结果表明: 该指标体系能够客观反映农业气候年景的年际差异以及气候变化背景下的演变特征, 内涵丰富且物理意义明确, 便于公众理解和服务宣传, 可以满足农业气象及生态气象服务的需求。

关键词: 农业气候资源, 农业气象灾害, 农业气候年景, 江汉平原

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.05.005

Construction of a Comprehensive Index for Assessing Agroclimatic Patterns by Year and Application on the Jiangnan Plain

Qin Pengcheng^{1,3}, Xia Zhihong^{2,3}, Chen Weiliang^{2,3}

(1 Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074 2 Jingzhou Meteorological Bureau, Jingzhou 434020

3 Collaborative Innovation Center of Remote Sensing Technology in Ecological and Meteorological Monitoring in the Jiangnan Plain, Jingzhou 434025)

Abstract: Construction of a comprehensive evaluation index based on hierarchical indicators is important for meteorological services. Taking into consideration the degree of agroclimatological resources and agrometeorological disasters, a general framework and comprehensive index for the assessment of agroclimatic patterns by year was proposed based on the climate suitability functions and agrometeorological disaster indices; a division was made according to percentiles. The proposed index was then applied to a case study in the Jiangnan Plain, demonstrating the potential for a long-term climate change assessment and ranking of the patterns for each specific year. Results showed that the comprehensive index reflected the interannual variability of agroclimatic conditions, as well as the temporal trends in the background of climate change. With a relatively comprehensive content and sound physical basis, the indicator system was convenient for public understanding, and thus could meet the needs of agricultural and ecological meteorology operations.

Keywords: agroclimatic resources, agrometeorological disasters, agroclimatic year patterns, Jiangnan Plain

0 引言

气候年景评估是对一年(或一个生产周期)气候要素异常程度及其对国民经济影响利弊的综合评价, 是开展气候以及气候变化对敏感行业影响评估的基础^[1]。农业是一个高度依赖于天气气候条件的敏感性行业, 农业气候年景的评估是气候评估业务的重要内容之一, 而作物播种前开展的农业气候年景预测和展望可为农业生产布局安排、资源配置和灾害防御提供

重要参考。

20世纪90年代以来, 为了探索量化的作物年景评价方法, 相关学者相继以作物产量丰歉、综合气象要素、气象灾害灾情等为指标建立了评价模型和指标。如王建林等^[2]综合逐旬气象要素建立了棉花年景评价方法, 娄秀荣等^[3]以各生育期气象要素距平为指标建立了晚稻气候年景评价方法, 孙家民等^[4]利用降水距平绝对值累计方法, 从旱涝灾害等级的角度开展了中国农业气候年景评估研究, 吴义城等^[5]、刘敏等^[6]先后对湖北省旱涝与中稻、早稻、棉花年景进行了系统分析, 吴义城等^[7]以作物生育期内的气温、积温、日照及降水为指标, 从气候异常度角度建立了农作物

收稿日期: 2018年5月31日; 修回日期: 2018年7月30日
第一作者: 秦鹏程(1986—), Email: qinpengcheng027@163.com
资助信息: 湖北省气象局科技发展基金重点项目(2018Z06)

气候年型划分方法, 石磊等^[1]、王胜等^[8]分别以气象灾害和气候适宜度指标构建了安徽省气候年景和作物年景评估指标。上述研究为开展农业气候年景评价提供了重要依据, 但各类方法局限于单方面因子的年际变异描述, 以产量丰歉为依据评价气候年景, 忽略了农业生产技术水平提高及防灾救灾措施对不利气象条件的补偿作用, 可能低估气候的不利影响; 以气象灾害灾情等级为基础的农业气候年景评价, 考虑的灾害类型尚不全面, 且未反映光、温、水等气候资源的优劣。

综合前人研究成果, 农业气候年景的内涵应至少包括农业气候资源优劣和气象灾害发生程度两个方面, 为此, 本文以光、温、水气候适宜度为指标, 建立作物生长季农业气候资源等级评价指标, 以旱、涝、冷、热等气象灾害指数为指标, 建立农业气象灾害等级评价指标, 并通过有效综合建立农业气候年景综合指数。最后, 以江汉平原为例, 对农业气候年景评估指数在气候变化评估以及业务服务中的应用进行了案例分析。

1 农业气候年景指数构建

1.1 农业气候资源评价

1.1.1 气候适宜度模型

根据农作物生长发育对气候资源的需求和生理特点, 可采用模糊数学理论中的隶属函数对农作物气候适宜度及气候资源有效性进行量化, 参考已有研究成果^[8-12], 分别建立气温、降水和日照的气候适宜度模型如下

$$S(T) = \frac{(T - T_{\text{base}})(T_{\text{top}} - T)^B}{(T_{\text{opt}} - T_{\text{base}})(T_{\text{top}} - T_{\text{opt}})^B}, \quad (1)$$

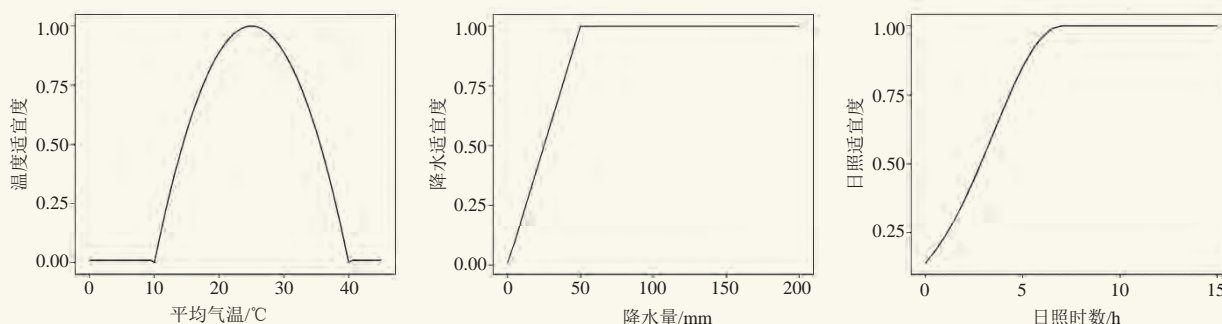


图1 农作物温度、降水、日照气候适宜度曲线

Fig.1 The climatic suitability curves of crop for temperature, precipitation, and sunshine duration

1.1.2 气候资源评价

为了综合评价光、温、水气候资源及其匹配程度, 采用几何平均法对各气候要素单因子适宜度求取平均值构建综合气候适宜度模型^[11], 计算公式为

式中, $S(T)$ 为作物生长发育的温度适宜度, T 为日平均气温, T_{top} 、 T_{base} 、 T_{opt} 分别为作物生长发育所需的上限温度、下限温度和最适温度。 B 为形状参数, 计算公式为: $B = (T_{\text{top}} - T_{\text{opt}}) / (T_{\text{opt}} - T_{\text{base}})$ 。

$$S(R) = \begin{cases} \frac{R_e}{R_0} & R_e < R_0 \\ 1 & R_e \geq R_0 \end{cases}, \quad (2)$$

式中, $S(R)$ 为作物生长发育的降水适宜度, R_0 为作物需水量的临界值, R_e 为当前日有效降水量, 是对前期降水量的加权累积值, 计算公式为^[13]

$$R_e = \sum_{n=0}^N w_n R_n, \quad (3)$$

式中, n 为距离当前的日数, R_n 为当前日期前第 n 天的日降水量, w_n 为权重系数, 可近似表示为: $w_n = (1-a)a^n$, a 为降水衰减参数, 取值0.95。

$$S(S) = \begin{cases} e^{-[(S-S_0)/b]^2} & S < S_0 \\ 1 & S \geq S_0 \end{cases}, \quad (4)$$

式中, $S(S)$ 为作物生长发育的日照适宜度, S_0 为作物生长发育达到适宜状态所需的临界日照时数, b 为形状参数。

$S(T)$ 、 $S(R)$ 、 $S(S)$ 的形状分布如图1所示, 其值域介于0~1, 因此不同气候要素的适宜度具有可比性。受作物三基点温度生理特性的影响, 当平均气温低于或高于最适温度时, 热量条件的有效性下降, 因此温度适宜度曲线呈抛物线形式, 降水和日照适宜度则呈现逐渐增加并趋于稳定的形式, 当降水或日照低于最适需求量时其适宜度为小于1的数值, 并逐渐升高, 达到最适需求量以上时其适宜度为1。

$$S = \sqrt[3]{S(T) \times S(R) \times S(S)}. \quad (5)$$

为了综合评价某地一年气候资源总体状况, 根据该地区农业种植结构, 选择主要农作物及其生长发育时段, 分作物分别计算各作物每日温度、降水、日照

适宜度及其综合气候适宜度，然后以作物种植面积比例为权重，计算该地每日的气候适宜度，最后将一年内各日气候适宜度平均值作为该年度的气候适宜度。

通过对历年气候适宜度进行排序，采用百分位法建立气候资源等级划分依据，分别按照25%和75%百分位数对应的适宜度值，将气候资源年景划分为偏差、一般、偏好年景。

1.2 农业气象灾害年景评价

综合考虑作物生长季内影响生长发育、产量形成以及农事活动开展的旱、涝、冷、热等气象灾害类型，

利用相关农业气象灾害指标或模型建立主要农业气象灾害发生程度的量化表达指数（表1），统计历年各类气象灾害过程强度（年内多次过程取各过程强度之和），通过经验累积频率转换或离差标准化将其归一化为0~1的无量纲指标，以历年实际灾情统计资料为基础，根据农作物受灾面积确定不同灾害的权重系数，最后将归一化后的各灾害指数进行加权平均，构建农业气象灾害年景指数。采用百分位法建立农业气象灾害年景等级划分依据，分别按照25%、75%百分位数将气象灾害年景划分为偏轻、一般和偏重年景。

表1 主要农业气象灾害及气象指标
Table 1 Main agrometeorological disasters and meteorological indices

灾害名称	发生时段及影响作物	气象指标
干旱	年内任意时间均可能发生，影响所有作物	综合气象干旱指数（MCI） ^[14]
洪涝	主要发生在汛期4—9月，影响所有作物	有效降水指数（EP） ^[15]
湿渍害	主要发生在春、秋季，影响油菜、小麦作物	权重湿润指数（WMI） ^[16]
连阴雨	主要发生在春、秋季，影响油菜、小麦及春播作物	日降水量≥0.1 mm持续3 d及以上 ^[17]
高温热害	主要发生在盛夏期间，影响早、中稻和玉米作物	日平均气温≥30℃，或日最高气温≥35℃ ^[17]
倒春寒	主要发生在春季，影响春播作物	《倒春寒气象指标》国家标准 ^[18]
五月寒	主要发生在5月下旬—6月上、中旬，影响早稻孕穗抽穗	日平均气温<20℃持续3 d及以上 ^[17]
寒露风	主要发生在9月下旬—10月上、中旬，影响晚稻抽穗	日平均气温<22℃持续3 d及以上 ^[17]
盛夏低温	主要发生在6—8月，影响中稻孕穗抽穗	日平均气温<20℃持续3 d及以上 ^[17]
低温冻害	主要发生在冬、春季，影响油菜、小麦、露地蔬菜等	日最低气温低于作物生长发育临界温度 ^[17]

1.3 农业气候年景综合评价

对农业气候资源年景和气象灾害年景等级分别进行打分：一般年景为0，偏好或偏轻年景为1，偏差或偏重年景为-1，将两类年景得分累积，若累积得分等于2，则认定该年度农业气候年景等级为较好年景，累积得分等于1为一般偏好年景，累积得分等于0为一般年景，累积得分等于-1为一般偏差年景，否则为偏差年景。

2 江汉平原农业气候年景评估应用

江汉平原地处长江中游，由长江及其支流汉江冲积而成，土壤肥沃，水源充足，气候温和，农业生产自然条件优越，是我国重要的粮、棉、油、鱼生产基地，素有“鱼米之乡”之称。同时，因受季风气候以及地形、地理位置制约，雨季降水集中、洪涝灾害多发，盛夏在副热带高压控制下，常出现持续晴热高温天气，造成农作物高温热害，春、秋季易受冷空气南下影响，常发生阴雨湿渍灾害，农业年景因气候资源和气象灾害的程度不同而呈现较大的年际变异，是制约粮食生产稳定性的主要限制因子之一。

根据江汉平原分县作物种植面积及产量统计资料，选择油菜、小麦、早稻、中稻、晚稻、玉米、棉花等主要农作物为农业气候年景评估对象，利用区

域内农业气象观测站作物发育期观测资料确定各作物的平均发育期，结合《大宗作物气象服务手册》^[19]、《湖北省公共气象服务手册》^[17]以及前人相关研究成果^[8-11]，确定各作物气候适宜度模型的参数以及相关灾害指标，利用区域内16个气象台站1961—2017年逐日气象观测资料，分别计算历年气候资源和气象灾害年景指数，在此基础上通过区域平均和等级划分建立江汉平原农业气候年景序列。

2.1 农业气候资源评价

图2为江汉平原1961—2017年逐年温度、降水、日照适宜度序列，从图中可以看出，适宜度指数的年际间具有明显波动，能够反映气候资源优劣的年际差异，其中温度适宜度数值介于0.58~0.7，降水适宜度介于0.6~0.9，日照适宜度介于0.45~0.65，三者中以降水适宜度的变化幅度最大，这是由于降水的年际变异大，且降水资源不足引起水分亏缺通常会持续一定的时间，日照和温度适宜度年际变化相对较小，表明本地区热量和光照资源相对稳定。从图中还可以看出，温度和日照适宜度在近60年中呈现明显的趋势性变化，这与近百年全球气候变化的背景有关，研究表明近60年来江汉平原气温呈显著上升趋势，与此同时热量资源有所改善，但地表总辐射呈显著下降趋势，

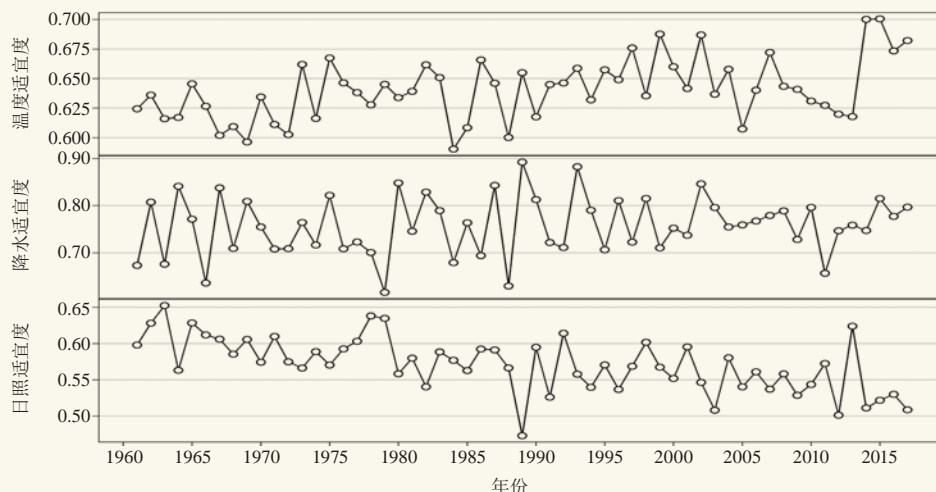


图2 1961—2017年江汉平原农作物温度、降水、日照适宜度变化

Fig.2 Temporal changes in climatic suitability of temperature, precipitation, and sunshine for the Jiangnan Plain from 1961 to 2017

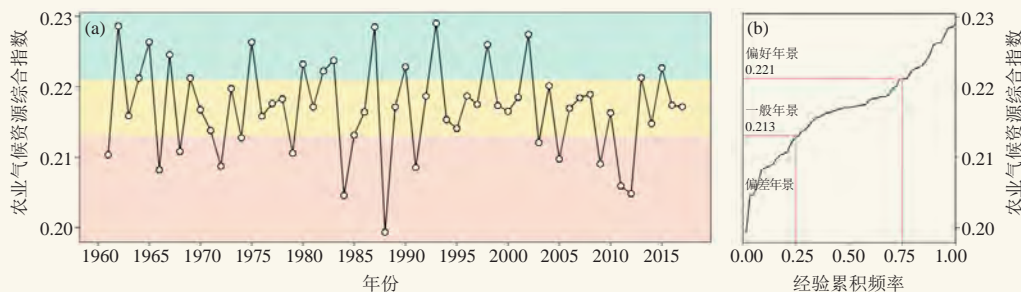


图3 1961—2017年江汉平原 (a) 农业气候资源综合指数时间演变及 (b) 年景等级划分

Fig.3 Temporal change of (a) comprehensive index of agroclimate resources and (b) classification of patterns by year for the Jiangnan Plain from 1961 to 2017

导致光照资源有减少趋势。综合光、温、水及其匹配状况的气候适宜度指数序列(如图3a所示),并基于百分位数划分农业气候年景等级(图3b),统计表明1961—2017年农业气候资源共计有偏好年景16年,偏差年景15年,一般年景26年,不同年代间20世纪70年代和21世纪以来,以偏差或一般年景为主,20世纪90年代以偏好年景为主,20世纪80年代气候资源变化幅度最大。可见,在气候变暖背景下,尽管江汉平原热量资源有所增加,但由于光照资源的下降以及降水资源的年际变异,导致农业气候资源总量及其匹配协调的有效性下降,表明气候变化对江汉平原农业气候资源的影响总体以不利为主。

2.2 农业气象灾害年景

图4是基于表1农业气象灾害指标和模型反演的1961—2017年江汉平原主要农业气象灾害时间序列,从图中可以看出,江汉平原地区发生频率较高的农业气象灾害主要有暴雨洪涝、干旱、湿渍害、连阴雨、高温热害、倒春寒等,几乎每年均有发生,五月寒、

寒露风、盛夏低温及低温冻害发生频率相对较低。近几十年来在气候变暖背景下,低温冷害、冻害的发生频率明显减少,高温热害的频率和强度有所增加,春、秋季连阴雨和湿渍害的强度在21世纪以来有所减弱,暴雨洪涝和干旱的发生频率和强度没有明显的趋势性变化。图5为农业气象灾害综合指数的时间序列及其年景等级,从图中可以看出,20世纪60年代至70年代前期,气象灾害年景以一般和偏差年景为主,期间寒露风、低温冻害和连阴雨灾害较重,20世纪70年代后期至90年代前期,气象灾害年景的年际变幅较大,期间出现了1961年以来最严重的暴雨洪涝(1983年)和湿渍害(1991年),21世纪以来农业气象灾害年景以一般或偏好年景为主,这与低温冷害、冻害及湿渍害、连阴雨的强度减弱有关,但部分年份(如2016年)由于个别气象灾害异常偏重,气象灾害年景总体偏差,且强度居历史前列。

2.3 农业气候年景综合评价

综合农业气候资源和农业气象灾害年景建立农业



图4 1961—2017年江汉平原主要农业气象灾害时间演变
Fig.4 Temporal changes of main agrometeorological disasters

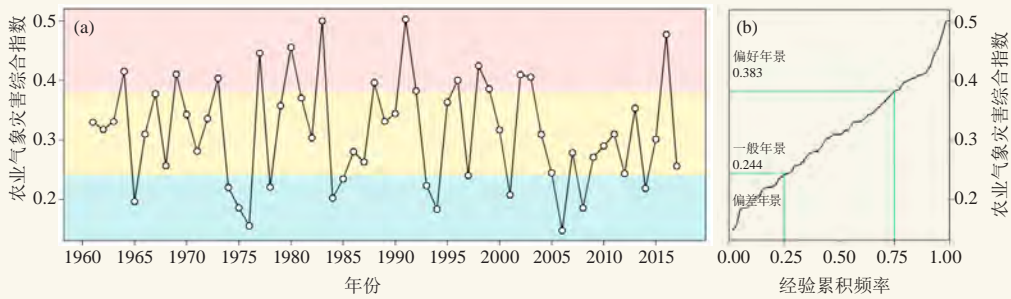


图5 1961—2017年 (a) 江汉平原农业气象灾害综合指数时间演变及 (b) 年景等级划分
Fig.5 Temporal change of (a) comprehensive index of agrometeorological disasters and (b) classification of patterns by year for the Jianghan Plain from 1961 to 2017

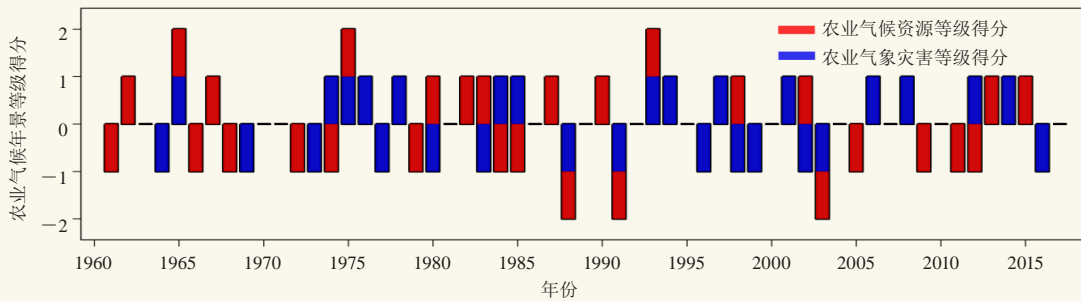


图6 1961—2017年江汉平原农业气候年景等级
Fig.6 Agroclimatic patterns by year for the Jianghan Plain from 1961 to 2017

气候年景等级（如图6所示），江汉平原1961—2017年较好年景有3年（1965，1975，1993年），上述年份农业气候资源总量和匹配程度较好，农业气象灾害发生程度总体偏轻，较差年份有3年（1988，1991，

2003年），上述年份农业气候资源总量和匹配程度较差，且农业气象灾害发生程度偏重，一般偏好和一般偏差年景各有15年，一般年景有21年。以2017年为例，综合图2~6可以看出，该年度温度适宜度处于历

史较高水平, 热量条件较好, 降水适宜度为一般偏好等级, 基本满足农业用水需求, 但日照适宜度接近历史最低水平, 日照条件异常偏差, 农业气候资源总体属一般年景, 年内高温热害和连阴雨灾害较为突出, 部分时段还出现了暴雨洪涝、湿渍害、干旱、倒春寒、五月寒、寒露风和盛夏低温灾害, 但发生程度相对较轻, 农业气象灾害年景总体属一般年景, 综合农业气候资源状况和气象灾害发生程度, 2017年江汉平原农业气候年景为一般年景。

3 结论与讨论

本文从农业气候资源优劣和农业气象灾害发生程度两个方面, 基于气候适宜度和气象灾害指标分别构建指标体系, 并采用百分位数进行等级划分, 建立了农业气候年景评估指标体系和综合指数。该指数综合反映了农业生产的气候资源总量和匹配程度, 以及不利气象灾害的影响程度, 物理意义清晰、易于扩展和应用, 可作为农业气象及生态气象业务服务指标。

以江汉平原为例, 利用农业气候年景评估指标体系对1961—2017年江汉平原农业气候资源、农业气象灾害以及农业气候综合年景的时间演变特征分析表明, 江汉平原农业气候资源、气象灾害发生程度具有明显的年际和年代际变化, 在气候变暖背景下, 江汉平原热量资源有所增加, 降水资源变化不明显, 但光照资源明显减少, 农业气候资源总量及其匹配协调的有效性下降; 随着气候变暖, 江汉平原倒春寒、五月寒、寒露风、盛夏低温及低温冻害等农业气象灾害发生频率明显减少, 高温热害的频率和强度有所增加; 由于气候变化对农业气候资源和气象灾害影响的复杂性, 近60年来江汉平原农业气候综合年景虽有波动, 但未呈现明显的趋势性变化。以2017年为例, 对开展任意年份农业气候年景评估示例, 该年度热量条件较好, 降水资源一般, 光照资源偏差, 农业气候资源属一般年景, 年内出现严重的高温热害和连阴雨灾害, 但暴雨洪涝、湿渍害、干旱等其他灾害发生程度较轻, 农业气象灾害总体为一般年景, 综合农业气候资源状况和气象灾害发生程度, 2017年江汉平原农业气候年景为一般年景。

如何界定农业气候年景的优劣尚没有统一的标准^[4, 20-21]。以往研究通常以产量丰歉作为年景划分的依据^[21-22], 但粮食产量是气候条件与农业生产管理多

方因素综合的结果, 因此农业气候年景不等同于农业年景, 此外, 不同农作物产量水平和经济价值存在差异, 当用于评价某地某年气候年景的总体状况时, 如何确定不同作物的权重是年景划分的难点, 也是影响年景评价结果科学性和公众理解、接受程度的关键。本文从农业气候年景的内涵出发, 基于气象指标建立了年景评估和划分方法, 是对农业气候年景评估技术体系的有效补充, 由于缺乏必要的验证, 其应用效果尚需要在业务应用和实践中逐步检验。本文提出的指标体系不仅适用于年度气候影响评价, 同时可应用于单作物的气候年景评价和产量预报, 在不同地区应用时根据需要可进一步对指标体系进行细化和完善。

参考文献:

- [1] 石磊, 王胜, 盛绍学. 近50年安徽省气候年景评估方法. 地理研究, 2012, 31(9): 1580-1588.
- [2] 王建林, 大华杰. 棉花年景评价方法. 气象, 1997, 23(4): 25-28.
- [3] 姜秀荣, 侯英雨. 全国晚稻气候年景评价方法研究. 气象, 2003, 29(2): 21-25.
- [4] 孙家民, 黄朝迎. 中国农业气候年景的评估及预测. 应用气象学报, 2005, 16(S1): 111-115.
- [5] 吴义城, 倪国裕, 刘敏. 湖北省中稻年景与旱涝灾害. 湖北气象, 1995, 14(3): 13-15.
- [6] 刘敏, 吴义城, 柯怡明, 等. 湖北省春夏旱涝特征对早稻年景的影响. 湖北气象, 1995, 14(3): 10-12.
- [7] 吴义城, 袁业物, 任耀武, 等. 农业气候影响评价: 农作物气候年型划分方法GB/T 21986-2008. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-6.
- [8] 王胜, 田红, 党修伍, 等. 安徽淮北平原冬小麦气候适宜度分析及作物年景评估. 气候变化研究进展, 2017, 13(3): 253-261.
- [9] 易灵伟, 杨爱萍, 刘文英, 等. 湖北中稻气候适宜度指标构建及其对产量影响的定量评估与应用. 中国农学通报, 2015, 31(23): 109-115.
- [10] 张建军, 陈晓艺, 马晓群. 安徽油菜气候适宜度评价指标的建立与应用. 中国农学通报, 2012, 28(13): 155-158.
- [11] 黄淑娥, 田俊, 吴慧峻. 江西省双季水稻生长季气候适宜度评价分析. 中国农业气象, 2012, 33(4): 527-533.
- [12] 魏端江, 宋迎波, 王鑫. 基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法. 应用气象学报, 2009, 20(5): 622-627.
- [13] Lu E. Determining the start, duration, and strength of flood and drought with daily precipitation: Rationale. Geophysical Research Letters, 2009, 36(12): L12707.
- [14] 秦鹏程, 刘敏. 气象干旱诊断评估方法及其在长江中下游地区的应用. 长江流域资源与环境, 2015, 24(11): 1969-1976.
- [15] 秦鹏程, 刘敏, 李兰. 有效降水指数在暴雨洪涝监测和评估中的应用. 中国农业气象, 2016, 37(1): 84-90.
- [16] 秦鹏程, 刘志雄, 万素琴, 等. 基于权重湿润指数的作物湿渍害监测与检验. 长江流域资源与环境, 2018, 27(2): 328-334.
- [17] 崔讲学. 湖北省公共气象服务手册. 北京: 气象出版社, 2014: 1-256.
- [18] 吴义城, 杨文刚, 黄永学, 等. 倒春寒气象指标GB/T 34816-2017. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-6.
- [19] 毛留喜, 魏丽. 大宗作物气象服务手册. 北京: 气象出版社, 2015.
- [20] 符琳. 东北三省农业气候年景评估研究. 北京: 中国气象科学研究院学位论文. 2011.
- [21] 徐敏, 徐经纬, 高苹, 等. 基于海温和大气环流特征量的农业气候年景预测. 江苏农业科学, 2016, 44(9): 435-439.
- [22] 魏丽, 陆叔鸣. 农业气候年景预测和决策服务系统的研究. 应用气象学报, 1997, 8(2): 97-102.