

气候变化背景下中国主要粮食作物生长期界定的研究综述*

丑洁明^{1,2,3)} 徐源^{1,2,3)†} 徐洪⁴⁾

(1)北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 100875, 北京;

2)北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 100875, 北京;

3)北京师范大学地理科学学部灾害风险科学研究院, 100875, 北京; 4)北京师范大学科研院, 100875, 北京)

摘要 聚焦于水稻、玉米和小麦 3 大粮食作物, 就生长期的定义、界定方法以及应用等方面对文献进行了梳理与归纳; 基于局地、区域尺度视角, 描述了我国不同品种、不同地区对生长期界定所存在的差异; 对应用于气候变化背景下生长期的变化规律和气候变化特征这 2 方面的相关研究进行了综述. 结果表明: 作物生长期的起止日期主要依据界限温度或现实经验进行界定, 界限温度是作物生长发育过程中的一个重要气候指标, 我国主要以 0、5 或 10 °C 为阈值; 采用滑动平均方法准确估算作物播种和收获的具体日期, 适用于局地尺度范围内生长期起止日期的界定. 参考我国农业种植制度和粮食生产的实际情况, 选定某时段作为生长期, 便于开展区域尺度范围内气候因素的长期演变研究; 改进作物生长期的界定, 可准确分析区域农业气候资源变化; 为气候变化研究的指标选取和参数优化提供依据, 并有助于农业种植制度的制定、作物品种的布局优化等相关工作, 能更好地保障作物产量并提高作物的生产潜力.

关键词 生长期; 粮食作物; 气候变化; 农业生产; 植物物候

中图分类号 P49

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2022109

0 引言

生长期是农作物从播种到成熟的时期^[1], 是农业生产和农作物生长发育过程的关键指标, 研究该指标对评估生长期期间气候变化对农业生产的影响、防范气候风险具有重要意义. 我国关于生长期的界定早在古代夏、商时期就有所记载, 河南安阳人通过观察自然界物候现象来判断节气, 确定农事活动的起止日期^[2]. 进入 20 世纪后, 北半球大部分区域的气候发生了显著的冷暖交替变化, 我国气象记录显示: 生长期长度受气候变化影响有所增加^[3]. 随着科技的快速发展, 20 世纪 80 年代基于气温阈值计算和农业实践经验, 整编绘制了小麦、水稻和玉米等作物生长发育各个时段的物候图集^[4-5]. 进入 21 世纪后, 全球气候变暖愈发剧烈, 很多研究是基于地面物候或气象站点观测的资料, 利用界限温度指标计算生长期, 探讨生长期期间气候变化状况, 为应对气候变化和保障粮食生产安全提供科学理论支撑.

随着人类活动的加强, 全球平均地表温度在过去 10 a(2011—2020 年)较工业化前(1850—1900 年)水平

上升了 1.09 °C, 而中国 1951—2020 年以 $0.26\text{ °C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 的升温速率超过了全球同期平均水平^[6-7]. 作物发育过程中、生长速率和生长期长度因气温升高而发生变化, 进而影响生长期的提前或延后以及长短等, 最终会给作物的种植结构、品种布局、产量形成与品质优劣等带来风险和不确定性^[8-9]. 不同品种作物由于自身的生理特性和适应气候变化的能力不同, 导致播种和成熟的时期有所差异^[10]. 做好作物生长期的界定是研究作物生长期期间受气候变化与影响的前提, 根据作物生长期气候的变化规律调整并完善农事活动时间, 对科学制定种植制度、维持农业生产稳定、保障粮食作物产出均具有重要意义.

中国是农业大国, 也是气候变化敏感的区域. 很多学者对中国的作物生长期随着区域、气候特征变化与影响评估等方向开展了广泛而深刻的研究与分析. 本文采用文献调研与归纳分析方法, 从生长期的概念定义、生长期界定的研究方法, 以及生长期界定在气候变化背景下的应用等方面对已有文献进行综合分析和梳理, 讨论了应用生长期界定的方法开展气候变化相关问题的研究进展, 对存在的问题提出了建

* 国家自然科学基金资助项目(42075167); 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室资助项目(2022-GS-01)

† 通信作者: 徐源(1993—), 男, 博士研究生. 研究方向: 气候变化经济学. E-mail: xuyuan01@mail.bnu.edu.cn

收稿日期: 2022-03-10

议和展望。

1 生长期

广义的生长期是指农作物可能生长的时期或某种作物从播种到成熟的时期^[1]。一般地,能保证植物生长发育所需的生物学有效温度的时期定义为生长期,也称之为生长季^[1]。然而,作物的生长发育不只取决于温度条件,还需要水分等资源。有学者结合了气温和降水条件的相互作用,将生长期定义为日均气温和降水量满足一定条件下作物生长发育持续的时间^[2]。生长期的变化是气候变化的一个有用指标,21世纪以来,气候变化以气温升高为主要特征,许多关于生长期的研究工作是基于气温观测数据,而采用气温定义的生长期指标存在区域和品种性差异。有学者根据日平均气温稳定,并通过某阈值温度(如0、5或10℃)来定义生长期的开始和结束日期^[13-14];根据某地区多年来的种植制度、现实状况和实践经验,直接选定某时段作为该地区某作物的生长期^[7];以无霜期作为农作物生长期的替代,将生长期定义为春季最后1次霜冻和秋季第1次霜冻日期之间的时段,其中日以最低温度的阈值估算霜冻时期^[15]。

目前气候学上关于生长期指标仍没有一致的认识以及通用的定义,主要是因为地区生长季节的气候具有明显的差异性。在气候变化的背景下,平均气温的变化将反映在生长期指标中;平均气温不会在时间和空间上均匀变化,春季与秋季的变化可能不同;时间的变化在大尺度地理区域的不同部分可能具有不同的幅度,并非所有指标都以同样的方式反映气候变化。这种影响也是界定生长期概念所必须考虑到的。

2 生长期界定的方法

生长期界定的方法主要有气温阈值界定法和经验直接界定法2类。

2.1 气温阈值界定法 气温阈值界定法是指设定作物生长发育的适宜温度阈值,以日平均气温阈值为界限温度,根据日平均气温稳定通过界限温度的日期来计算农作物从播种到成熟的时期,从而界定作物生长期的起止日期与持续时间。农作物只有在界限温度范围内,才能安全地完成从播种、出苗到开花、成熟的整个生长发育过程,因此,某些自然物候现象或农事活动开始、结束或转折的日期可以通过界限温度来表示。这些温度的起止日期与持续时间对播种、粮食收获等农事活动的时间安排具有重要指导作用^[16]。

我国在农业气候学上常用的界限温度有0、5和10℃。小麦属于喜凉作物,其生长期计算常以0或5℃为界限温度;玉米和水稻属于喜温作物,其生长期计

算常以10℃为界限温度。一般地,以日平均气温稳定通过0℃所计算的起止日期为广义的生长期或生长季,稳定通过5℃计算的起止日期为喜凉作物的生长期,稳定通过10℃计算的起止日期为喜温作物的生长期^[17]。不同品种、不同地区作物的生物学下限温度有所不同,其界限温度的选取也有所差异。关于日平均气温稳定通过各级界限温度起止日期的统计方法常用5d滑动平均法,该方法能较好反映“稳定通过”的统计要求,其计算结果比较符合我国气候变化特征且接近实际农作物危害情况^[18]。然而,不同的研究角度和内容所选择的计算方法也会存在差异。

在气候变化研究领域有学者选取界限温度计算生长期时,并没有具体指明某一种作物所适应的气温阈值,而是结合当地多种作物的生物学下限温度,比较笼统地选择了一个共同的气温阈值作为该地区的气候生长期或温度生长期的估算指标。例如徐铭志等^[19]、葛全胜等^[20]以0或10℃为界限温度,分析我国整体范围内过去40a气候生长期的变化趋势。

同一地区由于所研究的视角、内容和过程不同,所选取的界限温度有所差异;同一界限温度也可适用于不同地区,这主要是由于作物品种自身适应区域自然环境的能力所致。例如:东北地区以10℃为阈值计算生长期,分析了生长期期间农业气候资源变化特征,发现 ≥ 10 ℃积温上升,而降水减少^[21];西南地区利用相同温度阈值分析相同研究问题时发现,在同年段的喜温作物生长期也具有相似的气候变化趋势^[22]。

故此,不同学者选取的气温阈值指标主要有区域和作物品种这2方面差异。原因可能是气温在不同空间尺度上具有明显的分异规律,从而导致为农作物生长发育提供的热量资源存在差异,以及与农作物自身的生理特性等内在因素有关。总体上,气温阈值界定法能科学准确地计算出某品种作物生长期的起止日期和长度,比较贴近农业生产的实际活动,且能更好地为调整作物种植布局和品种搭配服务。

2.2 经验直接界定法 经验直接界定法是指根据当地农作物种植制度和农事活动现状,直接选定某时段作为某品种作物的生长期。我国是农业大国,积淀了丰富的农业生产经验和比较成熟的农业种植制度,如家喻户晓的农业谚语,农户根据当地天气气候规律进行农事活动和应对灾害天气等。该方法在很多地区或区域,乃至全国等不同空间尺度上得到了广泛应用。局地尺度:湖北省的双季早稻、甘肃省的春小麦生长期均为3—7月份^[23-24];湖北双季晚稻的生长期为6—10月份^[23];河南省的夏玉米生长期为6—9月份^[25]。区域尺度:东北一季稻、西南水稻、西北春玉米的生长期均为4—9月份^[26-27];长江中下游地区双季

早稻的生长期为3—7月份,晚稻生长期为6—11月份^[28];西北春玉米生长期为4—9月份^[29],东北春玉米、西北夏玉米的生长期为5—9月份^[29-30],华北夏玉米生长期为6—10月份^[31];北方地区以10月—次年6月份为冬小麦生长期,南方冬小麦的成熟期提前1个月^[32],西北春小麦的生长期为3—7月份^[29]。

此外,有一些研究笼统地选择能表征多种粮食作物生长发育过程的共同时期作为气候生长期界定的统一指标来开展气候变化研究,例如以4—9月份作为全国尺度的粮食作物生长期^[33-34]。主要原因是该时段:1)是我国大多粮食作物生长发育的一个共同时间段,也是大部分地区农业生产和农事活动集中的一个时间段;2)全国大部分农产区的自然气候条件良好,有利于农作物的生长发育和产量形成,尤其是秋收作物(玉米、水稻、春小麦等);3)是高温热浪、暴雨洪涝的极端事件发生的高峰期,对农业生产的不利影响显著。研究该时段的气候变化影响对保障粮食安全有重要意义。

大尺度空间范围内界定的生长期并不是一个固定的时期,而是一个区间范围;因地理环境和气候条件的不同,以及作物本身的生物学特性不一样,所以生长期的起止时间随作物的种类、气候条件、地理区域的不同会产生一定的改变。

3 生长期界定的应用

3.1 气候变化背景下生长期的变化 以气温升高为主要特征的全球变暖导致世界很多区域的气候发生明显变化,许多植物物种也经历了季节性活动变化^[35]。气候生长期是一个重要的物候指标,反映了一年种植物生长期的长度,度量一个地区的热量资源。气候变暖影响粮食作物的发育过程与生命循环周期,进而影响种植系统和作物产量,因此梳理和归纳气候变化对生长期的影响可为气候变化风险评估、灾害预警和农业管理提供科学支撑。

国外关于气候变化对生长期、植物物候的影响研究已有诸多报道,不同的地区均发现生长期的长度受气温升高的影响具有延长的趋势^[36-37]。全球气候变化已成为生长期的主要驱动因素,其中气温升高有助于增强植物的光合作用能力、加速植物的生长以及缩短生长期,进而影响生长期的变化^[38-39]。国内就区域尺度而言,根据气温阈值界定法量化的生长期研究表明,全国近几十年生长期的长度整体上呈现增长趋势,具体表现为生长期的开始日期提前和结束日期推迟,主要原因是春季和秋季的气温升高。徐铭志等^[19]基于气象站点观测资料采用气候统计方法系统分析

我国1961—2000年生长期的变化趋势,发现生长期整体平均增加了6.6 d,尤其20世纪90年代增幅最大;吴蓓蕾等^[40]基于高分辨率的格点气象资料分析,得出了中国1961—2018年生长期的起止时间是3—10月份,由于春秋升温导致开始日期提前、结束日期延迟以及周期延长。

在全球变化背景下,摸清生长期变化趋势,有助于进一步揭示我国植物植被和陆地生态系统对气候变化的响应及其未来演化趋势。

3.2 生长期内气候的变化 生长期是气候变化研究的一个重要时间指标,作物种植者能够利用有利的天气和气候信息有效地调整作物种植日期。许吟隆等^[41]认为:生长期内气候要素变化对农作物的生长发育有着潜在或明显的影响;粮食主产区的粮食生产弹性差异较大,粮食生产受气候变化影响严重。已有研究表明:我国粮食主产区北区生长期(4—9月)内气候表现为气温升高、降水减少、日照减少的高温缺水寡照条件,可能会影响农作物(如玉米等)的生长发育以及产量;南区降水多呈上升趋势(如江苏、安徽、江西、湖南),降水过多可能会对水稻等粮食作物造成缺氧甚至被淹死;粮食主产区生长期内日照时间整体上表现为减少趋势,可能会严重影响农作物的光合作用利用效率,进而影响作物发育过程^[33, 42-43]。厘清不同作物生长期内气候变化的演变规律,对种植管理调整和应对气候变化以维持农业生产稳定具有重要意义。

就区域尺度而言,过去的50 a里,中国冬小麦生长期平均气温以 $0.26\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 的速率升高,并且南方麦区冬小麦生长期(10月—次年6月)的升温幅度低于北方麦区生长期(10月—次年5月)的升温幅度^[32]。长江中下游地区近50 a早稻生长期(3—7月)内气温上升、降水增加、日照时间减少,促使播种期提前,有利于产量的提高^[28]。基于局地视角研究发现,某些地区的高温、干旱和暴雨洪涝等极端气候事件的频发,会对该地区的粮食作物造成负面影响^[44-46]。

4 结语

本文将作物生长期的界定方法归纳为气温阈值界定和经验直接界定,对各类方法的概念定义、应用方向和主要问题进行了概括总结。

气温阈值界定方法所界定的生长期能具体到某一天,常用于分析局地尺度范围内生长期的变化趋势与生长期内气候变化演变规律;经验直接界定法所界定的生长期比较笼统,具体到某个月,适合空间或时间尺度较大的气候变化趋势分析。

气候变化对生长期变化的影响与生长期期间气候

的变化是相辅相成的,气候变暖会驱动生长期作出响应;生长期变化在不同品种、区域有所差异,作物种植管理和品种布局也会发生相应调整,进而影响粮食产量的变化;农业生产中农户可以根据气候变化调整作物生长期管理,充分利用农业气候资源条件,发挥作物最大的生产潜力。

总之,需要大力加强作物生长期的准确界定,根据作物适应气候变化的能力,更新我国不同地区、作物的生长期时间表与物候图集;有针对性地指导水稻、小麦和玉米等主要粮食作物适应气候变化的农业生产和种植区划;合理规划品种布局与搭配,提高粮食作物产量和品质,为保障国家粮食安全作出应有贡献。

5 参考文献

- [1] 中国农业百科全书总编辑委员会农业气象卷编辑委员会. 中国农业百科全书:农业气象卷[M]. 北京:农业出版社, 1986: 256
- [2] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究[J]. 中国科学, 1973(2): 168
- [3] 龚高法,陈恩久. 论生长季气候寒暖变化与农业[J]. 大气科学, 1980(1): 40
- [4] 崔读昌,刘洪顺,闵谨如,等. 中国主要农作物气候资源图集[M]. 北京:气象出版社, 1984: 177
- [5] 张福春,王德辉,丘宝剑. 中国农业物候图集[M]. 北京:科学出版社, 1987: 56
- [6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2021: the physical science basis: contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2021: 41
- [7] CHOU J M, ZHAO W X, LI J N, et al. Changes in extreme climate events in rice-growing regions under different warming scenarios in China[EB/OL]. (2021-03-04) [2021-04-22]. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2021.655128/full?&utm_source=Email_to_authors_&utm_medium=Email&utm_content=T1_11.5e1_author&utm_campaign=Email_publication&field=&journalName=Frontiers_in_Earth_Science&id=655128
- [8] CHMIELEWSKI F M, MULLER A, BRUNS E. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2004, 121(1): 69
- [9] 殷琳琳,尹心安. 中国主要粮食作物种植结构调整区域优先序研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2020, 56(6): 856
- [10] TAO F L, ZHANG Z, XIAO D P, et al. Responses of wheat growth and yield to climate change in different climate zones of China, 1981-2009[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2014, 189: 91
- [11] 农业大词典编辑委员会. 农业大词典[M]. 北京:中国农业出版社, 1998: 1463
- [12] CARTER T R. Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future[J]. Agricultural and Food Science in Finland, 1998, 7(2): 161
- [13] 雷秋良,徐建文,姜帅,等. 气候变化对中国主要作物生育期的影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(11): 205
- [14] BOOTSMA A. Long term (100 yr) climate trends for agriculture at selected locations in Canada[J]. Climatic Change, 1994, 26(1): 65
- [15] SKAGGS R H, BAKER D G. Fluctuations in the length of the growing season in Minnesota[J]. Climatic Change, 1985, 7(4): 403
- [16] 杨晓光,于沪宁. 中国气候资源与农业[M]. 北京:气象出版社, 2006: 94
- [17] 张煦庭,潘学标,徐琳,等. 中国温带地区不同界限温度下农业热量资源的时空演变[J]. 资源科学, 2017, 39(11): 2104
- [18] 王树廷. 关于日平均气温稳定通过各级界限温度初终日期的统计方法[J]. 气象, 1982(6): 29
- [19] 徐铭志,任国玉. 近40年中国气候生长期的变化[J]. 应用气象学报, 2004(3): 306
- [20] 葛全胜,郑景云,张学霞,等. 过去40年中国气候与物候的变化研究[J]. 自然科学进展, 2003(10): 42
- [21] 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
- [22] 代姝玮,杨晓光,赵孟,等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 II: 西南地区农业气候资源时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 442
- [23] 邓爱娟,刘敏,万素琴,等. 湖北省双季稻生长季降水及洪涝变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(增刊1): 173
- [24] 杨启国,杨金虎,魏锋,等. 甘肃河东地区春小麦生育期干旱指数的时空特征[J]. 干旱区研究, 2006(4): 644
- [25] 薛昌颖,张永涛,刘伟昌. 1971—2016年河南省夏玉米生长季极端干旱时空特征[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(2): 258
- [26] 高孟霜,许吟隆,殷红,等. 1992—2012年东北水稻生育期变化分析[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(5): 495
- [27] 宋艳玲,蔡雯悦,柳艳菊,等. 我国西南地区干旱变化及对贵州水稻产量影响[J]. 应用气象学报, 2014(5): 550
- [28] 艾治勇,郭夏宇,刘文祥,等. 农业气候资源变化对双季稻生产的可能影响分析[J]. 自然资源学报, 2014, 29(12): 2089
- [29] 何斌,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(II): 西北主要粮食作物干旱[J]. 中国农业气象, 2017, 38(1): 31
- [30] 王春春,黄山,邓艾兴,等. 东北雨养农区气候变暖趋势与春玉米产量变化的关系分析[J]. 玉米科学, 2010, 18(6): 64
- [31] 杨鹏宇,胡琦,马雪晴,等. 1961—2015年华北平原夏玉米生长季光热资源变化及其影响[J]. 中国农业气象, 2018, 39(7): 431

- [32] 宋艳玲,董文杰. 1961—2000年干旱对我国冬小麦产量的影响[J]. 自然灾害学报, 2006(增刊1): 235
- [33] CHOU J M, XU Y, DONG W J, et al. Research on the variation characteristics of climatic elements from April to September in China's main grain-producing areas[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2019, 137(3): 3197
- [34] XU Y, CHOU J M, YANG F, et al. Assessing the sensitivity of main crop yields to climate change impacts in China[J]. Atmosphere, 2021, 12(2): 172
- [35] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2019: 7
- [36] MENZEL A. Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO[J]. Climatic Change, 2003, 57(3): 243
- [37] CHMIELEWSKI F M, ROTZER T. Response of tree phenology to climate change across Europe[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 108(2): 101
- [38] 中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书(2021)[M]. 北京: 科学出版社, 2021
- [39] CHEN X N, YANG Y P. Observed earlier start of the growing season from middle to high latitudes across the Northern Hemisphere snow-covered landmass for the period 2001-2014[J]. Environmental Research Letters, 2020, 15(3): 34
- [40] 吴蓓蕾,姜大膀,王晓欣. 1961—2018年中国生长季变化[J]. 大气科学, 2021, 45(2): 424
- [41] 许吟隆,郑大玮,刘晓英,等. 中国农业适应气候变化关键问题研究[M]. 北京: 气象出版社, 2014: 16
- [42] 熊伟,林而达,蒋金荷,等. 中国粮食生产的综合影响因素分析[J]. 地理学报, 2010, 65(4): 397
- [43] CHEN X Q, HU B, YU R. Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate Eastern China[J]. Global Change Biology, 2005, 11(7): 1118
- [44] 居辉,熊伟,许吟隆,等. 气候变化对我国小麦产量的影响[J]. 作物学报, 2005(10): 1340
- [45] 刘颖杰,林而达. 气候变暖对中国不同地区农业的影响[J]. 气候变化研究进展, 2007(4): 229
- [46] 安雪丽,王前锋,莫新宇,等. 华北地区农业干旱灾害变化特征[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2016, 52(5): 591

Definition of growing period for major grain crops in China: a review

CHOU Jieming^{1, 2, 3)} XU Yuan^{1, 2, 3)} XU Hong⁴⁾

(1) Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, MOE, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

2) State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

3) Institute of Disaster Risk Science, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

4) Institute of Science Research, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China)

Abstract Growing period is an important indicator of growth and development of crops and utilization of agricultural climate resources. The start and end times and total period length are important in guiding agricultural production and in coping with climate change. The three major grain crops of rice, maize and wheat are examined. Variations in growing period definition for different crops and in different regions in China are described. Applications of growing period definition to growing period variation and characteristics of climate change during growing period are reviewed. The start and end dates of growing period are defined mainly according to critical temperature or practical experience. Critical temperature is an important climatic indicator in crop growth and development. Temperatures of 0, 5 or 10 °C are used as main thresholds to accurately estimate specific dates of planting and harvesting by the moving average method in China. It is suitable for the definition of starting and ending dates of growing period on local scale. Agricultural practices and the actual situation of grain production in China are also used to directly select the growing period. It is convenient to carry out long-term evolution of climatic factors on regional scale. Improved definition of growing period could better determine growing period of crops, and are helpful for the accurate analysis of regional climate changes, helpful also for the selection of indicators and parameter optimization in climate change research. This also facilitates the formulation of agricultural planting systems and optimization of crop variety layout, ensures crop yields, improves production potential of crops.

Keywords growing period; grain crop; climate change; agricultural production; vegetation phenology

【责任编辑: 陆有忠】