

马 锐,江 敏,石春林. 气候变化对农业影响评价研究进展 [J]. 江苏农业科学,2015,43(10):16-19.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.004

气候变化对农业影响评价研究进展

马 锐¹, 江 敏¹, 石春林²

(1. 福建农林大学, 福建福州 350002; 2. 江苏省农业科学院农业经济与信息研究所, 江苏南京 210014)

摘要:农业在我国的国民经济发展中占有重要的地位,气候变化是影响农业最直接的环境因素。近些年我国平均气温升高,气候异常,极端天气频发,对我国气候资源的分配及农业生产造成了严重影响。对气候变化和农业影响评价的研究方法进行了综述,并对研究方法的 3 个不同阶段进行阐述,总结了 3 个阶段的研究特点和发展过程,提出了气候变化影响农业的评价研究中存在的问题并进行展望。

关键词:气候变化;农业影响;极端天气

中图分类号: P467;S16 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0016-04

农业在我国经济发展中占据着基础地位,为工业发展提供大量原材料,为国民经济稳定发展提供保障。虽然现代科学技术在很大程度上可以促进农业丰产丰收,但农业生产仍然摆脱不了靠天吃饭的困境。气候变化成为影响农业生产的重要因素。全球近 100 年(1906—2005)的温度线性趋势为 0.74℃。与 1850—1900 年相比,2003—2012 年这 10 年的全球地表平均温度上升了 0.78℃。近百年来,全球平均降水量变化不明显,但区域差异明显,极端干旱洪涝事件频发^[1]。1985 年以来,我国出现了多次全国大范围暖冬天气,其中以西北、华北、东北地区气候变暖最为明显,华北地区同期降水量也明显减少,出现暖干化趋势。气候变暖不但对我国生态环境、社会经济发展等造成重大影响,而且给农业生产带来了巨大损失。本研究探讨气候变化对农业影响评价研究进展,旨在为促进我国农业可持续发展提供依据。

1 气候变化对农业影响的研究方法

气候变化对农业生产影响的研究方法主要有观测试验、模型模拟 2 种。观测试验又可分为田间试验、温室或人工气候室试验 2 种。模型模拟主要分为经验模型、机理模型^[2]。

1.1 气候变化对农业影响的观测试验

收稿日期:2014-11-14

基金项目:福建省自然科学基金(编号:2014J01091);中国气象局重点开放实验室基金(编号:AMF201302)。

作者简介:马 锐(1986—),男,安徽阜阳人,硕士研究生,主要从事气候变化对作物模型模拟分析研究。E-mail:mds67@163.com。
通信作者:江 敏,教授,主要从事气候变化对作物模型模拟分析研究。E-mail:fjaujm@163.com。

国外多采用气室试验、田间试验方法。气室试验是由人为设置密闭的或者最上端开放的温室,通过改变 CO₂ 浓度来影响作物生长^[3]。田间试验主要是在田间设置 FACE 处理圈,即在田间设置一定面积的处理圈,直接输入一定浓度的 CO₂,观测在开放式富集 CO₂ 情况下,作物生长发育、物质分配、产量等的变化^[4]。短期作用时,高浓度 CO₂ 有利于 C₃ 作物光合效率提升;长期作用下,C₃ 作物光合效率会低于或者接近普通大气的对照水平,这是由于叶片气孔导度减小所致^[5]。气室试验的优点是可以人为增加温度及 CO₂ 浓度,观察作物生长情况,但气室无法模拟自然环境的状态且带有很多人为因素。采用自由大气 CO₂ 增高(FACE)设置可以在一定程度上克服上述缺陷,但难以实现同时进行增温处理^[6]。

1.2 气候变化对农业影响的模型模拟研究

20 世纪 80 年代以来,很多学者采用模拟试验方法评价气候变化对作物生产的影响,因此,成本低、时效高、变量易于控制的作物模型模拟成为评估气候变化的主要方法^[7]。按照模拟原理,可以分为经验模型模拟、机理模型模拟,其中作物模型按照开发者不同可以分为三大学派。经验模型又叫回归统计模型,早期研究多采用回归统计方法建立气象产量模型或气候生产力模型,分析气候波动与作物产量或气候生产力之间的数量关系;或假定未来气候有一定温度增幅和降水量变幅,利用上述模型或借助某些农业气候指标就气候变化对粮食产量的影响进行估算^[8]。回归统计模型以大量定律、统计假设检验为基础^[9]。经验模型的优点是所需的参数少,不分作物种类品种,可以考虑作物自适应性响应。但这些研究一方面对未来气候的可能变化考虑得较为简单,另一方面,统计方法不能阐明气候变化影响作物生长发育的机理^[10],特

[49] Lee Y I, Yeung E C, Lee N, et al. Embryo development in the lady's slipper orchid, *Paphiopedilum delenatii*, with emphasis on the ultrastructure of the suspensor [J]. *Annals of Botany*, 2006, 98(6): 1311-1319.

[50] Lee Y I, Yeung E C, Lee N, et al. Embryology of *Phalaenopsis amabilis* var. *formosa*: embryo development [J]. *Botanical Studies*, 2008, 49(2): 139-146.

[51] Lee Y I, Yeung E C. The osmotic property and fluorescent tracer movement of developing orchid embryos of *Phaius tankervilleae* (Aiton) Bl [J]. *Sexual Plant Reproduction*, 2010, 23(4): 337-341.

[52] Lee Y I, Lee N, Yeung E C, et al. Embryo development of *Cypripedium formosanum* in relation to seed germination *in vitro* [J]. *Journal of American Society and Horticultural Science*, 2005, 130(5): 747-753.

别是未来气候变化幅度之大可能远远超出统计模型所使用的历史资料范围,因此基于回归统计方法的各种经验性模型能否适用于未来气候变化影响评价分析受到普遍质疑。此外,统计模型无法描述 CO_2 浓度增高对作物光合作用、蒸散作用的直接影响也是其重要缺陷之一。

机理模型主要根据作物基础学科、专业基础学科以及专业学科相关原理建模,研究比较系统深入^[11]。它可以动态地定量模拟作物生长发育过程,并能人为设定一些管理要素。机理模型主要被应用在区域气候变化评价研究中^[12],但它需要较多的作物品种参数,参数调试过程相对麻烦,且作物模型仍然不够合理,在处理极端气候方面能力有限^[13]。

目前,作物模拟模型已形成三足鼎立之势^[14]。荷兰学派的特点是强调作物过程的机理表达,国际水稻研究所和荷兰瓦赫宁根大学共同研发了水稻生长模拟模型 ORYZA2000。该模型已被联合国粮农组织 (FAO) 和亚洲多数国家农业部门用于水稻生长情况评估及预测。美国学派则更注重综合考虑天气-土壤-作物之间的相互作用,开发了 CERES 模型系列。中国学派更注重将作物生长模型、栽培优化模型或知识模型与专家知识相结合,形成了以江苏省农业科学院高亮之为代表开发的中国作物模型系列—水稻 (RCSODS)、小麦 (WCSODS)、玉米 (MCSODS)、棉花 (CCSODS)、油菜 (OCSODS)、大豆 (SCSODS) 栽培模拟优化决策系统^[15]。

2 气候变化对农业影响评价方法研究

初始阶段,学者人为改变气候参数,对天气数据进行一定范围的加減从而生成一定的气候情景,然后输入作物模型进行模拟,进而观察未来气候变化对作物生长产生的影响^[16]。这种方法以实测的天气数据为基准,在气温或者降水量等方面人为给定变化范围。此种方法具有效率高、操作简便、能较好地反映参数敏感性等优点,但不能反映空间、时间的动态变化,且人为设置的天气数据比较随意,与实际情况差异较大。一些学者在借助大气环流模式 (GCM) 生成未来气候变化情景方面取得了进展,即根据 GCM 输出的网格点值,结合当地历史气候资料,设置未来气候变化情景,或利用天气发生器 (WGEN) 生成未来气候变化情景,进而分析未来气候变化情况^[17]。近些年比较流行的方法是将 GCM 与作物生长模型相结合,用以评价气候变化对农作物生长、产量的影响,即利用 GCM 生成的未来气候变化情景,假设今后的种植制度、作物品种、栽培技术维持在现有水平,分别模拟现有品种在当前气候 (baseline) 以及在未来气候变化情景下的生长状况,通过两相比较,分析气候变化对作物生长发育的影响^[18]。1990 年以来,江苏省农业科学院金之庆领导的项目组采用 GISS、GFDL、UKMO 3 种 GCMs 在我国各有关网格点上的输出值,结合各样点近 30 年或 40 年的逐日历史气候资料生成我国在 CO_2 倍增以及 CO_2 渐变时各种气候变化情景,进而将 CERES、SOYGR0、RCSODS (水稻栽培模拟优化决策系统) 等作物模型在上述情景下运行,系统评价了气候变化对我国南方水稻、华北平原冬小麦以及玉米、大豆、花生等粮食生产的潜在影响,并在模拟试验的基础上,提出适应气候变化的若干粮食生产对策^[19-21]。这样做的好处是便于和当前生产状况进行比较,但此种方法的缺点主要来源于大气环流模型的不确定性,

大气环流模型分辨率低,输出的粗网格月均值不容易直接被作物模型所利用,且大多是以 CO_2 平衡态为基础,不符合实际。大气环流模型只能应用在有实测天气资料的站点,不能大范围应用^[22]。另外,气候变化后农民必然会选择一些有别于现在的生产方式进行粮食生产,种植制度、品种类型、田间管理等都会有所变化。

近年来,学者在气候变化对农业的影响方面有了新的研究进展^[23]。用区域气候模式结合作物模型来模拟气候变化对农业的影响成为新的发展方向^[24]。使用区域气候模式可以直接模拟逐日天气数据,然后输入到作物模型中。它是对大气环流模式的一大改进,可以降低天气数据的不确定性以及模拟高分辨率的逐日天气数据^[25]。一方面模型输出的分辨率提高 ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$), 另一方面模式考虑了 CO_2 渐变过程的影响。相对来说,区域气候模式的适用性更好,但是区域气候模式的输出是逐年逐日的气象要素资料。一般将未来情景与当前模拟情景进行比较,当模拟情景与实况存在差异,会带来参数调试难的问题。区域气候变化情景的建立需要气候模式,气候变化影响研究的基础是气候情景。情景的模拟主要基于未来大气温室气体情景浓度预测。英国 Hadley 气候中心研制的区域气候模式 PRECIS 预测了 IPCC 在排放情景特别报告 (SRES) 中给出的各种 CO_2 排放浓度下的气候变化。A2 情景假设未来全球发展不平衡,其主要特征是人口持续增长、经济发展缓慢, CO_2 排放浓度较高; B2 情景假设未来全球经济、社会、环境可持续发展,其主要特征是人口持续增长,但增速比 A2 情景慢,经济发展速度中等, CO_2 排放浓度处于中下水平^[26]。A2 情景与我国的发展状况有差异, B2 情景与我国未来的发展情况最为接近^[27]。

3 应对气候变化采取的措施

气候变化影响农业,人们可以通过采取一定的措施来适应气候变化所带来的不利影响。李虎等指出,我国农业对气候变化的适应技术水平与发达国家相比仍有较大差距,迫切需要在种植制度、作物布局、品种选育、农业基础设施等方面加强研究^[28]。

3.1 扩大复种面积,调整种植布局

气候变化导致作物生长季的光能、热量资源增加,复种面积扩大,部分作物的种植北界北移^[29]。王春乙等认为,要合理安排农作物布局,适度将冬季越冬作物北移,通过发展冬季麦棉两熟、小麦玉米间作、发展双季稻等途径提高复种指数^[30]。金之庆等利用模型评价气候变暖对研究区域作物布局、品种布局的阶段性影响,分析了我国冬小麦安全种植北界在研究地区可能出现的地理位移^[19]。

3.2 加强农田水利基础设施建设

农田水利基础设施建设可以有效提高作物抗旱、抗涝能力,增强作物应对气候变化的适应能力。钱凤魁等提倡推广膜下滴水、地膜等节水灌溉技术,在干旱缺水山区兴建一批蓄水塘库,普及集雨设施与补灌技术,开展坡改梯、沟坝地等农田基本建设,提高农业应对气候变化的能力^[31]。

3.3 改良品种

改良作物品种使之适应气候变化,保证增产增收。科研机构已经有计划地选育农作物新品种,农作物选育的首要目

标是增强农作物的抗逆性,选育耐高温、耐干旱、抗病虫害的农作物新品种,以应对气候变暖导致的病虫害害。同时改善农作物的生理特性,包括选育高光合效能及低呼吸消耗的品种^[32]。

3.4 调整农田管理措施

通过调整农田管理措施来适应和减轻气候变化导致的农业气象灾害的影响。对干旱地区,可加强对水资源的管理,如利用保水剂作种子包衣、播种及移栽后喷洒土壤结构改良剂,用抗旱剂抑制地面蒸发,用抗蒸腾剂减少植物蒸腾,开发活性促根剂促根抗旱^[32]。

3.5 加强对农业气候灾害的防控措施

农业整治管理对于粮食增产增收起着重要作用,但对农业气候灾害进行监测防控同样不可忽视。钱凤魁等认为,开展农业气候灾害预测,建立农业灾害监测与预警系统,特别是建立干旱、洪涝、低温灾害、重大植物病虫害等防控减灾体系,并建立农业灾害保险机制,可有效规避农业气候灾害风险^[31]。

4 气候变化作物生产影响评价存在的问题

4.1 作物生长模型

当前的作物生长模型可以模拟正常情况下作物生长情况,对异常气候下的响应能力不足,近年来异常气候发生频率有增加的趋势,异常气候对农作物的影响越来越大。作物模型对 CO₂ 浓度的响应与实际情况有差异。CO₂ 浓度增强时,作物光合效率增加,现有的模型一般用系数进行 CO₂ 订正,但 CO₂ 浓度增加后,作物的光合产量亦同步增加,从而降低了作物含氮量,导致模型模拟过程中考虑 CO₂ 的直接增益效益过高。另外,现有作物生长模型大都在无病虫害情况下进行模拟,随着气温变暖,病虫害可能加重,这也是模型可改进之处。

4.2 栽培管理技术

作物生长都是按照当前栽培的管理模式,确保现在的技术与当前气候环境相适应。在气候变化情况下,农民必定会采取一系列管理措施适应变化的气候,如更换品种、调整播期、提高复种指数等。应该将栽培管理技术适应性考虑在内,使之与实际情况相符合,增加气候变化影响评价研究的准确性。

4.3 辐射变化影响存在的问题

影响作物的气象要素主要有温度、降雨、辐射^[33]。气候变化对农作物影响的研究侧重于讨论温度、降水变化的影响,温度对农作物影响的研究侧重于对作物发育速率、同化物形成、呼吸消耗的影响。降雨对农作物影响的研究侧重于降雨对土壤水分、养分运移的调节,进而影响作物光合作用^[34]。但是对辐射这个重要因素的影响考虑相对不足。辐射变化主要从 3 个方面影响作物生长,包括光合有效辐射变化、关键发育期作物适宜群体变化及光合同化量变化^[35]。

4.4 在适应对策研究方面存在的问题

唐国平等应用 HadCM2、CGCM1、ECHAM4 这 3 个模型模拟未来中国气候变化情况,建立了未来气候变化的 6 种方案,评估了中国不同区域复种指数,但没有对周年作物生产进行综合考虑,详细分析了降水、温度对作物生长的影响,但对辐

射因素的影响考虑相对不足,此外,作者没有提出有效的改进措施,来适应和减轻气候变化所导致的不利影响^[36]。赵锦等研究表明,气候变化对我国南方地区种植制度界限影响较大,造成多熟种植界限的向北、向西推进,多熟种植区域扩大,总体上有利于单位面积周年作物产量的增加,对新品种的适应性、水资源、土壤、经济政策等因素对种植制度变化影响考虑不足^[37]。应充分考虑合理平衡的种植结构,根据农作物的优势种植区,充分利用气候资源,减少气候变化对农业造成的经济损失。如黑龙江地区大面积扩种水稻,原来的玉米优势种植区为水稻所替代就是应对气候变化的重要措施^[38]。

5 结语

气候变化打乱了我国气候资源的分布格局,这些气候资源的重新分配对我国农业造成了重大影响,大体上是热量资源总体增加,但分布不均匀^[39]。北方增温幅度大于南方,冬季和夜间增温分别大于夏季和白天^[40]。作物生长都有最适温度,高纬度地区天气寒冷,虽然白天增温可以接近最适温,但夜间温度增加,作物呼吸作用加强,不利于有机物积累;低纬度地区尽管增温幅度不如北方,但由于其基础温度已较高,继续增温将不利于作物生长^[41-42]。降水资源分布总量变化不大,我国西部地区、华南地区降水量增加,华北地区、东北地区降水减少^[40]。降水变化亦会影响温度、辐射变化及土壤水分平衡,对干旱和雨养地区的影响尤为明显;湿润地区的温度和太阳辐射变化对作物的影响更为显著^[42]。近年来,我国部分地区极端天气频发,对农业生产不利^[43]。因此,气候变化研究的意义在于对气候变化进行预测。气候变化对农业的影响不是单方面的,还涉及土壤、水资源、气温、栽培管理技术、经济政策等诸多方面。各种研究方法都有各自的优势和不足,因此在研究过程中要因地制宜、扬长避短,选择合适的研究方法,还可以使用多种方法进行模拟研究,比较各种方法的研究结果并加以修正,确保气候变化对农业影响的评价结果更客观,减少结果的不确定性。

参考文献:

- [1] 沈永平,王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土,2013,35(5):1068 - 1076.
- [2] 孙白妮,门艳忠,姚凤梅. 气候变化对农业影响评价方法研究进展[J]. 环境科学与管理,2007,32(6):165 - 168.
- [3] Kim H Y, Horie T, Nakagaw A H, et al. Effects of elevated CO₂ concentration and high temperature on growth and yield of rice[J]. Jap J Crop Sci, 1996, 65(4): 634 - 643.
- [4] 罗卫红, Yoshimoto M, 戴剑锋, 等. 开放式空气 CO₂ 浓度增高对水稻冠层能量平衡的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 258 - 262.
- [5] Delucia E H, Sasek T W, Strain B R. Photosynthetic inhibition after long term exposure to elevated levels of atmospheric carbon dioxide[J]. Photosynth Res, 1985, 7: 609 - 639.
- [6] Yang L X, Huang J Y, Yang H J, et al. Seasonal changes in the effects of free - air CO₂ enrichment (FACE) on dry matter production and distribution of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Field Crops Research, 2006, 98(1): 12 - 19.

- [7] 李克让,陈育峰. 中国全球气候变化影响研究方法的进展[J]. 地理研究,1999,18(2):214-219.
- [8] 章基嘉,徐祥德,苗俊峰. 气候变化及其对农作物生产潜力的影响[J]. 气象,1992,18(8):3-7.
- [9] 赵俊芳,郭建平,张艳红,等. 气候变化对农业影响研究综述[J]. 中国农业气象,2010,31(2):200-205.
- [10] 秦鹏程,姚凤梅,曹秀霞,等. 利用作物模型研究气候变化对农业影响的发展过程[J]. 中国农业气象,2011,32(2):240-245.
- [11] 曹宏鑫,赵锁劳,葛道阔,等. 作物模型发展探讨[J]. 中国农业科学,2011,44(17):3520-3528.
- [12] 孙 宁. 作物模拟技术在气候变化对农业生产影响研究中的应用[J]. 地学前缘,2002,9(1):232.
- [13] Tubiello F N, Soussana J F, Howden S M. Crop and pasture response to climate change [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(50):19686-19690.
- [14] 涂修亮,胡秉民. 杂草与作物竞争模型研究进展[J]. 生态学杂志,1999(6):54-58.
- [15] 高亮之,金之庆,黄 耀,等. 作物模拟与栽培优化原理的结合——RCSODS[J]. 作物杂志,1994(3):4-7.
- [16] Hulme M, Brown O. Portraying climate scenario uncertainties in relation to tolerable regional climate change[J]. Climate Research, 1998,10(1):1-14.
- [17] 林而达,张厚宣,王京华. 全球气候变化对中国农业影响的模拟[M]. 北京:中国农业科技出版社,1997:142.
- [18] Wang F T. Some advances in climate warming impact research in China since 1990 [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 15(4):498-508.
- [19] 金之庆,葛道阔,方 娟,等. 全球气候变暖对我国南方水稻生产的影响及其适应性对策[J]. 南京林业大学学报,1991(增刊):11-19.
- [20] 金之庆,葛道阔,高亮之,等. 我国东部样带适应全球气候变化的若干粮食生产对策的模拟研究[J]. 中国农业科学,1998,31(4):51-58.
- [21] 石春林,金之庆,葛道阔,等. 气候变化对长江中下游平原粮食生产的阶段性影响和适应性对策[J]. 江苏农业学报,2001,17(1):1-6.
- [22] 熊 伟,许吟隆,林而达,等. 区域气候模式与作物模型联接的影响评估模拟实验及不确定性分析[J]. 生态学杂志,2005,24(7):741-746.
- [23] 姚凤梅,张佳华,孙白妮,等. 气候变化对中国南方稻区水稻产量影响的模拟和分析[J]. 气候与环境研究,2007,12(5):659-666.
- [24] 居 辉,熊 伟,许吟隆,等. 气候变化对中国小麦的影响[J]. 作物学报,2005,30(10):1340-1343.
- [25] 熊 伟,居 辉,许吟隆,等. 气候变化对中国农业温度闭值影响研究及其不确定性分析[J]. 地球科学进展,2006,21(1):74-80.
- [26] Yao F M, Xu Y L, Lin E D, et al. Assessing the impacts of climate change on rice yields in the main rice areas of China[J]. Climatic Change, 2007, 80(3/4):395-409.
- [27] 许吟隆,张 勇,林一骅,等. 利用PRECIS分析SRES B2情景下中国区域的气候变化响应[J]. 科学通报,2006,51(17):2068-2074.
- [28] 李 虎,邱建军,王立刚,等. 适应气候变化:中国农业面临的新挑战[J]. 中国农业资源与区划,2012,33(6):23-28.
- [29] 翟晓慧,刘孝勇,宋乃平. 气候变化对农业产生的影响及农业适应对策综述[J]. 甘肃农业,2011(7):20-22,30.
- [30] 王春乙,娄秀荣,王建林. 中国农业气象灾害对作物产量的影响[J]. 自然灾害学报,2007,16(5):37-43.
- [31] 钱凤魁,王文涛,刘燕华. 农业领域应对气候变化的适应措施与对策[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(5):19-24.
- [32] 王向辉,雷 玲. 气候变化对农业可持续发展的影响及适应对策[J]. 云南师范大学学报:哲学社会科学版,2011,43(4):18-24.
- [33] 刘 颖,齐 华,张卫建,等. 气象因子对不同生态适应型春玉米产量的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(8):84-87.
- [34] 周曙东,朱红根. 气候变化对中国南方水稻产量的经济影响及其适应策略[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(10):152-157.
- [35] 刘建栋,金之庆. 光合有效辐射日变化过程的数值模拟[J]. 江苏农业学报,1999,15(3):136-140.
- [36] 唐国平,李秀彬,Guenter F,等. 气候变化对中国农业生产的影响[J]. 地理学报,2000,55(2):129-138.
- [37] 赵 锦,杨晓光,刘志娟,等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 II. 南方地区气候要素变化特征及对种植制度界限可能影响[J]. 中国农业科学,2010,43(9):1860-1867.
- [38] 李祎君,王春乙. 气候变化对我国农作物种植结构的影响[J]. 气候变化研究进展,2010,6(2):123-129.
- [39] 黄 亮,谢小萍,杨沈斌,等. SRESA1B 情景下气候变化对长江中下游稻区单双季稻生产的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(9):36-41.
- [40] 潘根兴,高 民,胡国华,等. 气候变化对中国农业生产的影响[J]. 农业环境科学学报,2011,30(9):1698-1706.
- [41] 姜纪峰,顾芹芹,田 展,等. 上海市青浦区近 50 年气候变化及其对农业生产的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(2):349-353.
- [42] 朱 珠. 江苏省水稻产量对气候变化的响应特征[D]. 南京:南京信息工程大学,2013.
- [43] 朱 珠,陶福祿,娄运生. 1980—2009 年江苏省气温变化特征及水稻高温热害变化规律[J]. 江苏农业科学,2013,41(6):311-315.