

豫北主要农作物光热资源利用效率研究

刘晓迎¹, 陈罗成², 赵巧梅³, 杨娜娜¹

(1. 修武县气象局, 河南 修武 454350; 2. 河南省气象局, 河南 郑州 450003; 3. 许昌市气象局, 河南 许昌 461000)

摘要: 利用豫北地区沁阳市农业气象观测站长时间序列冬小麦和夏玉米观测资料及其对应气象资料, 采用数理统计和线性趋势分析方法, 分析了该地区冬小麦和夏玉米主要物候期、全生育期光热资源及其利用效率的状况和时间变化特征。结果表明, 1983—2007年, 豫北地区冬小麦成熟期显著提前, 全生育期天数明显缩短, 其缩短趋势为每 10 a 4.9 d; 夏玉米播种期显著提前, 全生育期明显延长, 其延长趋势为每 10 a 4.0 d; 豫北地区气温升高的趋势显著, 冬小麦和夏玉米全生育期有效积温均明显增加, 其速率分别为 $7.8(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d})/\text{a}$ 和 $10.0(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d})/\text{a}$; 太阳总辐射在冬小麦全生育期显著减少, 其减少速率为 $9.5 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 而在夏玉米全生育期变化趋势不明显。经统计分析发现 ($n=25$), 豫北地区冬小麦光、热利用效率分别为 0.40% 和 $3.5 \text{ kg}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d} \cdot \text{hm}^2)$, 夏玉米分别为 0.70% 和 $4.0 \text{ kg}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d} \cdot \text{hm}^2)$; 从时间变化趋势看, 冬小麦和夏玉米光热资源利用效率均呈现明显增加的趋势, 其热量利用效率的增加速率分别为每 10 a $0.7 \text{ kg}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d} \cdot \text{hm}^2)$ 和每 10 a $0.6 \text{ kg}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d} \cdot \text{hm}^2)$; 而光能利用效率的增加速率均为每 10 a 0.10% 。

关键词: 冬小麦; 夏玉米; 光热利用效率; 豫北地区

中图分类号: S512.1 S513 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2012)04-0029-05

Light and Heat Utilization Efficiency of Winter Wheat and Summer Maize in Northern Region of Henan Province

LIU Xiao-ying¹, CHEN Luo-cheng², ZHAO Qiao-mei³, YANG Na-na¹

(1. Xiuwu Meteorological Bureau, Xiuwu 454350, China; 2. Henan Provincial Meteorological Bureau, Zhengzhou 450003, China; 3. Xuchang Meteorological Bureau, Xuchang 461000, China)

Abstract: Based on the meteorological data and observed growth stage data of winter wheat and summer maize from 1983 to 2007 in northern region of Henan province, the conditions and variation trends of the crop primary phenological periods, light and heat resources during the whole growing periods and their utilization efficiency were statistically analyzed. The results showed that from 1983 to 2007 winter wheat got mature in advance significantly and the whole growing period decreased, with 4.9 days shortened every 10 years. For summer maize, the sowing date was in advance significantly and the whole growing period increased during the same period, with 4.0 days extended every 10 years. The temperature in this region increased remarkably, the effective accumulated temperature of winter wheat and summer maize during growth seasons increased significantly, at the rate of $7.8(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d})/\text{a}$ and $10.0(^{\circ}\text{C} \cdot \text{d})/\text{a}$, respectively. The global solar radiation during the growing period of winter wheat decreased significantly at the rate of $9.5 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, however, the trend was not statistically significant for summer maize. On average, the utilization

收稿日期: 2011-12-28

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103001)

作者简介: 刘晓迎(1984-), 女, 河南洛阳人, 助理工程师, 本科, 主要从事地面测报和农业气象研究。

E-mail: jixingjie2004@yahoo.com.cn

efficiency of light and heat by winter wheat were 0.40% and 3.5 kg/(°C·d·ha), respectively, while for summer maize, the utilization efficiency of light and heat were 0.70% and 4.0 kg/(°C·d·ha) respectively, which were a little greater than those of winter wheat. From 1983 to 2007, the utilization efficiency of heat and light by winter wheat and summer maize both significantly increased. The increasing rates of heat utilization efficiency of wheat and maize were 0.7 kg/(°C·d·ha) and 0.6 kg/(°C·d·ha) every 10 years, and the increasing rates of light utilization efficiency of the two crops were 0.10% every 10 years.

Key words: winter wheat; summer maize; light and heat utilization efficiency; northern region of Henan province

农业生产与气候资源条件息息相关,在全球变暖的气候背景下,气候变化对农业生产的影响已逐步显现^[1-3],IPCC 第 4 次报告指出,在过去的 100 a 间全球地表温度上升了 0.74 °C^[4],而同期中国平均升温略高于全球平均水平^[5]。气候变化对粮食生产有直接影响^[6-9]。崔读昌^[10-11]指出,热量是作物生长发育和产量形成的基本条件,而光资源是基本能源。豫北地区位于黄淮海平原西部,是河南省主要粮食产区,主要农作物为冬小麦和夏玉米,种植模式以“冬小麦—夏玉米”轮作为主^[12]。钱锦霞等^[13]和高涛等^[14-15]利用农作物统计单产与气象资料分别研究了山西和内蒙古粮食作物的气候资源利用效率,但是,这些研究均未考虑到由于气候变化导致农作物物候期改变^[16-17],乃至农作物生长季内光热资源条件随之而改变的实际情况,只是对作物生长季进行了简单地统一划分;还有一些研究通过大田试验方法分析了冬小麦和夏玉米的光热资源利用效率^[12],但是,这类研究一般时间序列较短,未进行其时间变化特征的分析。因此,本研究选用豫北地区沁阳市农业气象观测站长时间尺度冬小麦和夏玉米观测资料以及气象资料,试图阐明该地区近 30 a 来冬小麦和夏玉米主要物候期、全生育期光热资源及其利用效率的变化特征,分析和探讨粮食生产光热资源利用效率的状况和规律,以期为该地区提高农业气候资源利用效率和粮食产量以及适应未来气候变化提供指导。

1 材料和方法

1.1 研究材料

豫北地区沁阳市农业气象观测站冬小麦和夏玉米观测资料以及气象资料由河南省气象局提供,其中,气象资料包括逐日日照时数(h)、平均气温(°C)、最高气温(°C)和最低气温(°C),时间序列为 1982—2007 年($n=26$);冬小麦和夏玉米农业气象观测资料包括播种期、成熟期、全生育期天数以及县统计产量数据,时间序列为 1983—2007 年($n=25$)。

1.2 研究方法

1983—2007 年,冬小麦和夏玉米播种期、成熟期、全生育期天数、全生育期内光热资源及其利用效率随时间的变化特征,均利用一元线性回归方程 $y=ax+b$ 求得,其中, x 为年份, a 为各指标随时间的变化量, $a>0$ 表示各指标随时间的增加而增加, $a<0$ 表示随时间的增加而减小,概率水平为 $P<0.05$ 和 $P<0.01$,分别表示达到显著水平和极显著水平。

光能利用率可以评价一个地区作物生产的潜力和基本状况^[11],本研究利用公式(1)计算获得。

$$RUE = H \times Y / \sum_{i=SD}^{MD} Q \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, RUE 为光能利用效率; Y 为单位面积冬小麦和夏玉米产量(kg/hm²); H 为单位面积上干物重燃烧热(J/g),取 1779×10^4 J/kg, $\sum_{i=SD}^{MD} Q$ 为冬小麦和夏玉米生长期间(播种至成熟)的太阳总辐射(MJ/m²)。由于该站点太阳总辐射缺测,而常规气象数据气温和日照时数等较为完整,本研究拟利用这些已观测到的常规气象数据获得该指标,所用模型为王雅婕^[18]所建中国太阳日总辐射模型,该模型是以 A-P 模型为原型,对其 a 、 b 参数进行了参数化,通过日照时数、温度日较差(由最高气温和最低气温相减获得)、纬度、海拔以及时间参量模拟太阳总辐射日值。由于河南省郑州站具有较长时间序列的太阳日总辐射观测数据,且常规气象数据较为完善,因此,对该模型在河南省郑州站的适用性进行了验证,郑州站太阳日总辐射时间序列为 1982—2007 年,有效样本为 9 417 个,验证结果表明,该模型对太阳日总辐射具有较好的模拟能力(图 1)。

热量资源利用效率用以评价一个地区的农业生产水平^[11]。农业气象学的热量条件以积温表示,冬小麦开始生长发育的下限平均气温为 3 °C,夏玉米为 10 °C,低于此值的为无效温度,而下限温度以上的温度累加值,即为有效积温^[19]。本研究计算了冬小麦 ≥ 3 °C 和夏玉米 ≥ 10 °C 的有效积温。以公式(2)计算冬小麦和夏玉米的热量利用效率。

$$HUE = Y / \sum_{i=SD}^{MD} T_{mean} \geq 3^{\circ}\text{C} \text{ 或 } \geq 10^{\circ}\text{C} \quad (2),$$

式(2)中, HUE 为热量利用效率; Y 为单位面积冬小麦和夏玉米产量(kg/hm^2); $\sum_{i=SD}^{MD} T_{mean}$ 为冬小麦($\geq 3^{\circ}\text{C}$)和夏玉米($\geq 10^{\circ}\text{C}$)生长期(播种至成熟)的有效积温(MJ/m^2)。

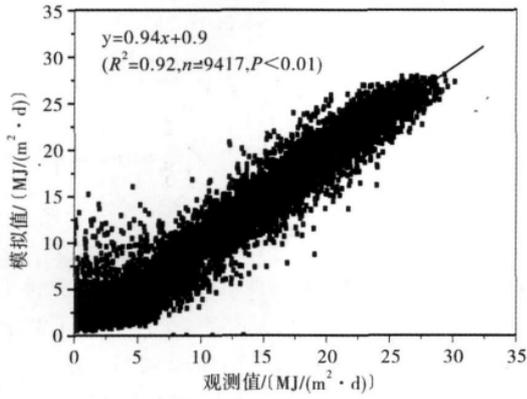


图 1 1982—2007 年郑州站太阳日总辐射模拟值与观测值的比较

2 结果与分析

2.1 冬小麦和夏玉米主要物候期的变化

对豫北地区冬小麦和夏玉米播种期、成熟期及全生育期天数的分析结果表明,该地区近 30 a 来,冬小麦平均播种期和成熟期分别为 10 月 6 日和 5 月 29 日,播种期随时间的变化趋势不明显,而成熟期以每 10 a 3.8 d 的趋势显著提前,成熟期提前使得冬小麦全生育期天数明显缩短,其速率为每 10 a 4.9 d(图 2);夏玉米平均播种期和成熟期分别为 6 月 2 日和 9 月 7 日,播种期呈显著提前,其速率为每 10 a 4.2 d,而成熟期的变化趋势不明显,播种期提前使得夏玉米全生育期天数明显延长,其速率为每 10 a 4.0 d(图 3)。

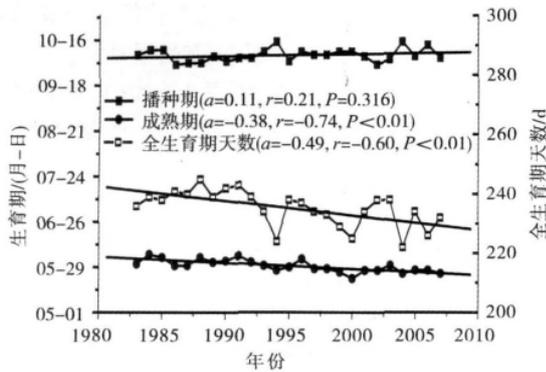


图 2 冬小麦播种期、成熟期及全生育期天数的
年际变化特征

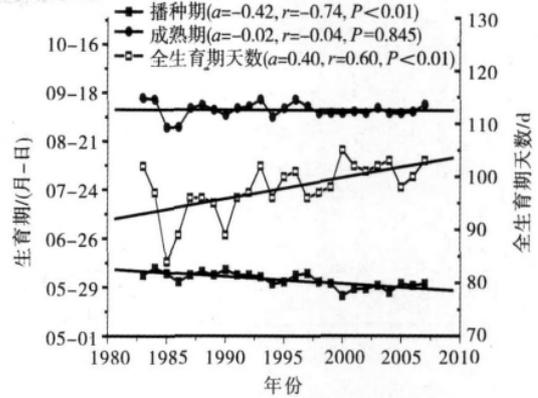


图 3 夏玉米播种期、成熟期及全生育期天数的
年际变化特征

2.2 冬小麦和夏玉米全生育期内光热资源的变化

分析表明(图 4),1983—2007 年,豫北地区气温升高的趋势显著,年平均气温的上升速率为每 10 a 0.7 $^{\circ}\text{C}$;冬小麦全生育期平均气温上升速率为每 10 a 0.6 $^{\circ}\text{C}$,略低于年平均气温的上升速度;但是,在夏玉米全生育期平均气温的上升趋势并不明显。

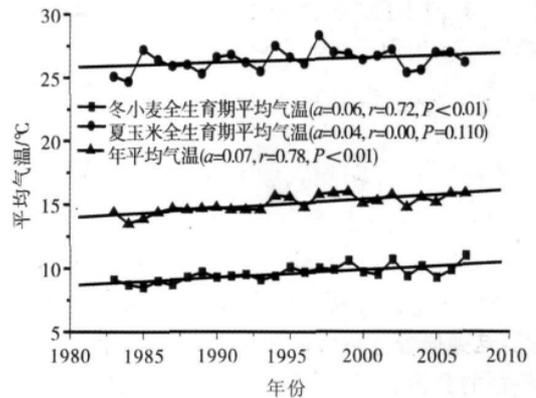


图 4 豫北地区平均气温的年际变化特征

统计分析发现($n=25$),豫北地区冬小麦全生育期内 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 有效积温和太阳总辐射分别为 1 717 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 和 2 693 MJ/m^2 ;夏玉米全生育期内 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温和太阳总辐射分别为 1 618 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 和 1 652 MJ/m^2 。分析豫北地区冬小麦和夏玉米全生育期内光热资源的变化特征发现,该地区近 30 a 来,冬小麦和夏玉米全生育期有效积温均呈明显增加趋势,其速率分别为 7.8($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)/a 和 10.0($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)/a(图 5,图 6);冬小麦全生育期太阳总辐射呈显著减少,其速率为 9.5 $\text{MJ}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,而在夏玉米全生育期太阳总辐射的变化趋势不明显(图 5,图 6)。

2.3 冬小麦和夏玉米光热资源利用率

统计分析发现($n=25$),豫北地区冬小麦和夏玉米光能利用效率分别为 0.21%~0.55%和 0.42%~0.96%,平均值分别为 0.40%和 0.70%;热量利用

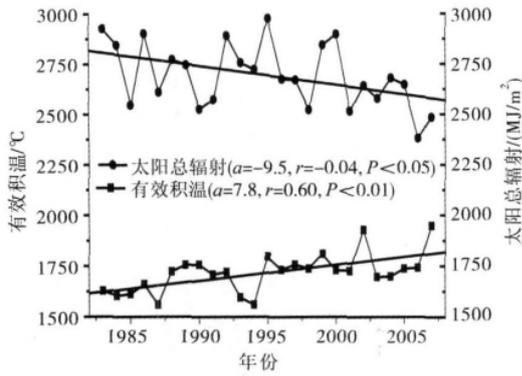


图 5 冬小麦全生育期光热资源的年际变化特征

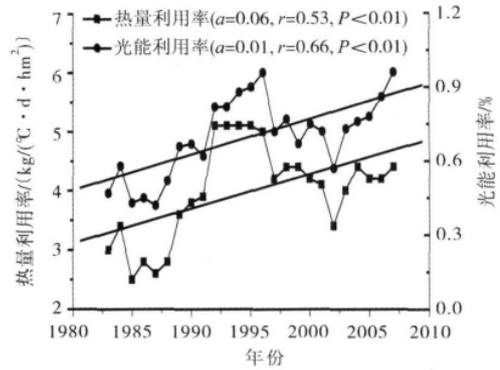


图 8 夏玉米全生育期光热资源利用效率的年际变化特征

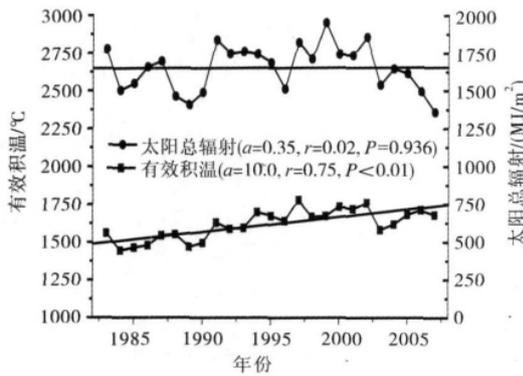


图 6 夏玉米全生育期光热资源的年际变化特征

效率为 1.9~4.3 kg/(°C·d·hm²)和 2.5~5.1 kg/(°C·d·hm²),平均值分别为 3.5 kg/(°C·d·hm²)和 4.0 kg/(°C·d·hm²)。相比之下,夏玉米的光热资源利用效率较高。分析豫北地区冬小麦和夏玉米光热资源利用效率的变化特征发现,该地区近 30 a 来,冬小麦和夏玉米光热资源利用效率均呈现明显增加的趋势,其热量利用效率分别为每 10 a 0.7 kg/(°C·d·hm²)和每 10 a 0.6 kg/(°C·d·hm²),相比之下,冬小麦的热量利用效率增速较快;而光能利用效率的增加速率均为每 10 a 0.10%(图 7,图 8)。

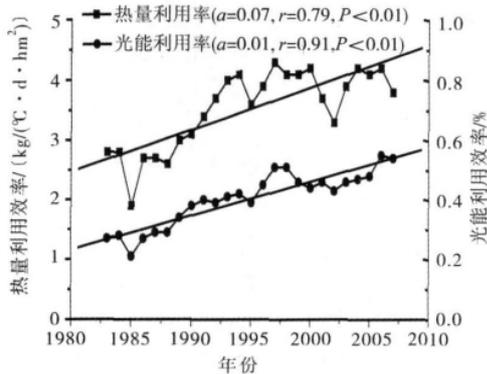


图 7 冬小麦全生育期光热资源利用效率的年际变化特征

3 结论与讨论

1983—2007 年,豫北地区冬小麦播种期的变化趋势不明显,而成熟期明显提前,全生育期天数表现出明显缩短的趋势,其缩短趋势为每 10 a 4.9 d,但其平均气温却显著上升,由此推断,豫北地区冬小麦有效积温的增加主要是由于生育期内平均气温的增加造成的;夏玉米播种期明显提前,而成熟期的变化趋势不显著,全生育期天数明显延长,其延长趋势为每 10 a 4.0 d,但其平均气温的变化趋势并不显著,由此推断,豫北地区夏玉米有效积温的增加主要是由于全生育期天数延长造成的。冬小麦生长天数缩短,而夏玉米生长天数延长,但是,这 2 种农作物的有效积温均呈明显增加的趋势,这体现出了人们在农业生产实践中对增加的热量资源的合理、高效利用,同时也显现了人们为应对气候变暖背景下农业热量资源条件变化所做的努力。在热量资源增加的同时,光能资源并未增加,甚至表现出在冬小麦全生育期内显著减少的趋势,而在夏玉米全生育期内变化不明显。从长时间序列看,冬小麦和夏玉米光热资源利用效率均呈现明显增加的趋势,冬小麦和夏玉米热量利用效率随年份增加而增加,其原因是这 2 种农作物产量的增加速率要远高于其全生育期内热量的增加速率;而光能利用效率的增加,对于冬小麦,一方面是由于产量的增加,另外一方面是由于冬小麦生长期缩短导致的太阳总辐射减少造成的;而对于夏玉米,主要是来源于产量增加的贡献。

1983—2007 年,豫北地区冬小麦平均光、热资源利用效率分别为 0.40%和 3.5 kg/(°C·d·hm²),夏玉米分别为 0.70%和 4.0 kg/(°C·d·hm²)。付雪丽等^[12]研究认为,在传统“冬小麦—夏玉米”轮作种植模式下,焦作地区冬小麦和夏玉米光能周年光能利用效率为 0.79%~0.81%,热量利用效率为 4.19~4.41 kg/(°C·d·hm²),这与本研究

利用1983—2007年的研究资料所得的结论较为一致。钱锦霞等^[13]研究认为,在山西省玉米光能利用效率平均为0.26%,热量利用效率平均为1.37 kg/($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot\text{hm}^2$);高涛等^[14]研究认为,内蒙古小麦和玉米的光能利用效率分别为0.14%和0.21%;崔读昌^[10]研究认为,世界平均光能利用率为0.30%,我国作物生产的平均光能利用率为0.28%,与本研究结果相比,豫北地区冬小麦和夏玉米的光热资源利用效率明显高,这说明不同地区间小麦和玉米光热资源利用效率具有差异。余卫东等^[16]研究认为,河南省冬小麦成熟期明显提前,全生育期天数显著缩短,夏玉米全生育期天数明显增加,这与本研究在豫北地区的研究结果具有一致性;同时他还认为河南省夏玉米成熟期显著推迟,这与本研究结果不尽一致,而这恰恰说明了豫北地区主要农作物物候期在与河南省整体趋势一致的同时,又具有一定的区域特征。因此,利用同类资料分析河南省冬小麦和夏玉米光热资源利用效率的空间分布格局和时间变化规律将是下一步研究内容。

参考文献:

- [1] Zhang T Y, Zhu J, Yang X G. Non-stationary thermal time accumulation reduces the predictability of climate change effects on agriculture[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(10): 1412-1418.
- [2] 马欣, 吴绍洪, 戴尔阜, 等. 气候变化对我国水稻主产区水资源的影响[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(6): 1052-1064.
- [3] Xiong W, Conway D, Lin E D, *et al.* Future cereal production in China: the interaction of climate change, water availability and socio-economic scenarios[J]. *Global Environmental Change*, 2009, 19(1): 34-44.
- [4] IPCC. *Climate Change 2007: the physical science basis* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [5] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变评估(I): 中国气候与环境变化及未来趋势[J]. *气候变化研究进展*, 2005, 1(1): 4-9.
- [6] 朱元刚, 董树亭, 张吉旺, 等. 种植方式对夏玉米光合生产特征和光温资源利用的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(6): 1417-1424.
- [7] 赵峰, 干怀遂, 焦士兴. 农作物气候适宜度模型研究——以河南省冬小麦为例[J]. *资源科学*, 2003, 25(6): 77-82.
- [8] 姚凤梅. 气候变化对我国粮食产量的影响评价——以水稻为例[D]. 北京: 中国科学院, 2005.
- [9] Meza F J, Silva D. Dynamic adaptation of maize and wheat production to climate change [J]. *Climatic Change*, 2009, 94: 143-156.
- [10] 崔读昌. 世界谷物产量与农业气候资源利用效率[J]. *自然资源学报*, 1995, 10(1): 85-94.
- [11] 崔读昌. 中国粮食作物气候资源利用效率及其提高的途径[J]. *中国农业气象*, 2001, 22(2): 25-31.
- [12] 付雪丽, 张惠, 贾继增, 等. 冬小麦—夏玉米“双晚”种植模式的产量形成及资源效率研究[J]. *作物学报*, 2009, 35(9): 1708-1714.
- [13] 钱锦霞, 胡良温. 山西省玉米气候资源利用效率分析[J]. *玉米科学*, 2008, 16(4): 192-195.
- [14] 高涛, 于晓, 李海英. 内蒙古粮食作物热量和降水资源利用效率的分布特点[J]. *华北农学报*, 2003, 18(2): 99-102.
- [15] 高涛, 于晓, 李海英. 内蒙古粮食作物对光能利用效率的分布特点[J]. *华北农学报*, 2003, 18(1): 103-106.
- [16] 余卫东, 赵国强, 陈怀亮. 气候变化对河南省主要农作物生育期的影响[J]. *中国农业气象*, 2007, 28(1): 9-12.
- [17] 杨建莹, 梅旭荣, 刘勤, 等. 气候变化背景下华北地区冬小麦生育期的变化特征[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(6): 623-631.
- [18] 王雅婕. 中国地表太阳辐射变化与模型研究[D]. 北京: 中国科学院, 2008.
- [19] 段若溪, 姜会飞. *农业气象学* [M]. 北京: 气象出版社, 2002.