

河南省小麦-玉米轮作系统有效积温、热量利用率及其潜力数据集 (1981–2014)

常清^{1,2}, 王靖^{1*}, 余卫东³, 张宁⁴, 李孟蔚⁵, 孟洁², 李文科⁶, 黄明霞

1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 山西省气象服务中心, 太原 030000; 3. 中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点实验室, 郑州 450003; 4. 山西省气象信息中心, 太原 030002; 5. 山西省气候中心, 太原 030002; 6. 山东省气象服务中心, 济南 250000

摘要: 作者利用河南省 1981–2014 年 17 个研究站点的气象资料 (逐日平均气温) 及农业气候资料 (逐年小麦、玉米实际播种和成熟日期、实际产量), 经过 Matlab 编程计算统计、回归分析及显著性检验, 再运用反距离权重插值法将站点数据插值到河南省区域尺度, 得到河南省小麦-玉米轮作系统有效积温、热量利用率及其潜力数据集 (1981–2014)。该数据集存储为地理信息系统空间数据和表格数据。空间数据包括: (1) 河南省小麦-玉米轮作种植区域和 17 个研究站点分布数据; (2) 小麦-玉米轮作系统的有效积温和热量利用率的空间分布; (3) 1981–2014 年小麦-玉米轮作系统的有效积温和热量利用率变化趋势的空间分布。表格数据存储为 4 个 Excel 文件: 文件 1 包括 2 个表格, 分别存储四个区域不同品种小麦和玉米的生育期所需有效积温; 文件 2 包括 3 个表格, 分别存储基于研究站点的小麦、玉米及其轮作系统的实际生育期及其长度; 文件 3 包括 3 个表格, 分别存储基于研究站点的小麦、玉米及其轮作系统有效积温及其变化率; 文件 4 包括 3 个表格, 分别存储基于研究站点的小麦、玉米及其轮作系统热量利用率及变化趋势。该数据集存储为 .xlsx, .shp 和 .tif 格式, 由 56 个数据文件组成, 数据量为 4.26 MB (压缩为 1 个文件, 1.40 MB)。

关键词: 热量利用率; 有效积温; 小麦-玉米轮作系统; 河南省; 1981–2014

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2020.03.06>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2020.05.15.V1>

1 前言

华北平原是中国重要的小麦和玉米生产区域^[1], 其中河南省地位尤为重要^[2]。小麦-玉米轮作方式^[3–6]有利于该区作物充分利用光热资源、提高作物生长发育与热量资源的吻合度。河南省光热资源丰富^[7], 但由于地形起伏、太阳高度角变化, 热量资源在河南省不同

收稿日期: 2020-06-08; 修订日期: 2020-09-11; 出版日期: 2020-09-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2017YFD0300105, 2017YFD0300404); 中国气象局 (CCSF202018)

*通讯作者: 王靖, 中国农业大学资源与环境学院, wangji@cau.edu.cn

数据引用方式: [1] 常清, 王靖, 余卫东等. 河南省小麦-玉米轮作系统有效积温、热量利用率及其潜力数据集 (1981–2014) [J]. 全球变化数据学报, 2020, 4(3): 257–264. <https://doi.org/10.3974/geodp.2020.03.06>.
[2] 常清, 王靖, 余卫东等. 河南省小麦-玉米轮作系统有效积温、热量利用率及其变化趋势数据集 (1981–2014) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. <https://doi.org/10.3974/geodb.2020.05.15.V1>

区域分布特征差异非常大,小麦-玉米轮作系统热量利用率时空分布及提升潜力尚不明确,进一步系统性和定量化研究很有必要。本项研究在数据统计分析的基础上,对小麦-玉米轮作系统潜在和实际有效积温及作物热量利用率的时空分布特征进行研究,定量评价河南省热量资源的利用程度及提升潜力,为今后河南省有针对性的提升不同区域热量利用率、因地制宜地挖掘作物生产潜力提供依据。

本数据集^[8]利用河南省 17 个研究站点 1981–2014 年逐日平均气温资料、小麦和玉米的实际生育期和产量资料,通过整理、计算、统计、回归分析等方法,将站点作物潜在和实际有效积温、有效积温差及热量利用率通过反距离权重法插值到区域尺度,得到河南省小麦-玉米轮作系统热量利用率和提升潜力的时空变化规律。该数据集可以为区域作物热量利用率提升、作物生产潜力挖掘和适应气候变化提供参考。

2 数据集元数据简介

《河南省小麦-玉米轮作系统有效积温、热量利用率及其变化趋势数据集(1981–2014)》^[8]的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

3 数据研发方法

本数据集^[8]采用的河南省 17 个研究站点 1981–2014 年逐日平均气温资料来自中国气象局国家气象信息中心,用于计算作物潜在和实际有效积温及有效积温差。小麦、玉米的实际生育期和产量资料来自于河南省农业气象观测站,用于计算作物的实际有效积温及热量利用率。

3.1 算法原理

河南省地势西高东低、光热分布不均使不同区域小麦-玉米轮作系统的热量利用程度和提升潜力时空分布特征差异非常大。本数据集的算法原理是通过研究小麦-玉米轮作系统潜在和实际有效积温的时空分布直观了解河南省热量的整体分布状况及作物对热量资源的利用程度,通过剖析小麦-玉米轮作系统潜在和实际的有效积温差,掌握作物对该区热量资源利用率的提升潜力,从而为河南省热量资源优化配置、作物生产潜力挖掘及热量资源利用率的提高提供理论依据。本方法主要包括 3 个步骤:

(1) 计算作物潜在和实际有效积温、有效积温差及热量利用率。

(i) 潜在有效积温为作物潜在在生长季内的有效积温。

$TT_{W_P} = \sum T_i$, 式中 $T_i \geq 0^\circ\text{C}$, T_i 为上年 10 月至翌年 5 月的日平均气温, TT_{W_P} 为小麦潜在有效积温。

$TT_{M_P} = \sum (TT_i - 10)$, 式中 $T_i \geq 10^\circ\text{C}$, T_i 为 6–9 月的日平均气温, TT_{M_P} 为玉米潜在有效积温。

$TT_P = TT_{W_P} + TT_{M_P}$, 式中 TT_{W_P} 、 TT_{M_P} 及 TT_P 分别为小麦、玉米和小麦-玉米轮作系统的潜在有效积温。

(ii) 实际有效积温为作物实际生育期内的有效积温。

表 1 《河南省小麦-玉米轮作系统有效积温、热量利用率及其变化趋势数据集（1981–2014）》
元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	河南省小麦-玉米轮作系统有效积温、热量利用率及其变化趋势数据集(1981–2014)
数据集短名	AccuTemHUE_Wheat&Maize_Henan
作者信息	常清, 中国农业大学资源与环境学院, 山西省气象服务中心, changqing707448911@163.com 王靖, 中国农业大学资源与环境学院, wangj@cau.edu.cn 余卫东, 中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点实验室, ywd@hims.org.cn 张宁, 山西省气象信息中心, xxzxzhning@163.com 李孟蔚, 山西省气候中心, lmw0706@163.com 孟洁, 山西省气象服务中心, ZSshaking@163.com 李文科, 山东省气象服务中心, liwenke0112@163.com 黄明霞, 中国农业大学资源与环境学院, 1959837491@qq.com
地理区域	河南省 (31°23'N–36°22'N, 110°21'E–116°39' E)。包括 17 个研究站点, 其中豫北包括汤阴、濮阳、新乡、沁阳和封丘; 豫西包括三门峡、卢氏、伊川和汝州; 豫东包括杞县、商丘、黄泛区、沈丘和驻马店; 豫南包括内乡、南阳和方城
数据年代	1981–2014
时间分辨率	1 年
数据格式	.tif、.shp、.txt、.m、.xlsx
数据量	1.4 MB (压缩后)
数据集组成	空间数据: (1) 河南省小麦-玉米轮作种植区域和 17 个研究站点分布数据 (2) 1981–2014 年小麦-玉米轮作系统有效积温和热量利用率的时空分布 表格数据: (1) 四个区域不同品种小麦和玉米的生育期所需有效积温 (2) 基于研究站点的小麦、玉米及其轮作系统的实际生育期和其长度、有效积温及其变化率、热量利用率及变化趋势
基金项目	中华人民共和国科学技术部 (2017YFD0300105, 2017YFD0300404); 中国气象局 (CCSF202018)
出版与共享平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据 (中英文)、通过《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》发表的实体数据和通过《全球变化数据学报 (中英文)》发表的数据论文。其共享政策如下: (1) “数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2) 最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播 (包括通过计算机服务器) “数据”的用户需要与《全球变化数据学报 (中英文)》编辑部签署书面协议, 获得许可; (4) 摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[9]
数据和论文检索系统	DOI, DCI, CSCD, WDS/ISC, GEOSS, China GEOSS, Crossref

$TT_{W_A} = \sum T_i$, 式中 $T_i \geq 0^\circ\text{C}$; T_i 为小麦实际生育期 (图 1) 内的日平均气温, TT_{W_A} 为小麦实际有效积温。

$TT_{M_A} = \sum (T_i - 10)$, 式中 $T_i \geq 10^\circ\text{C}$; T_i 为玉米实际生育期 (图 1) 内的日平均气温, TT_{M_A} 为玉米实际有效积温。

$TT_A = TT_{W_A} + TT_{M_A}$ ，式中 TT_{W_A} 、 TT_{M_A} 及 TT_A 分别为小麦、玉米和小麦-玉米轮作系统的实际有效积温。

(iii) 有效积温差为潜在有效积温与实际有效积温的差，小麦、玉米及其轮作系统的有效积温差计算如下：

$TT_W = TT_{W_P} - TT_{W_A}$ ， $TT_M = TT_{M_P} - TT_{M_A}$ ， $TT = TT_P - TT_A$ ，式中 TT_{W_P} 、 TT_{M_P} 、 TT_P 、 TT_{W_A} 、 TT_{M_A} 、 TT_A 、 TT_W 、 TT_M 、 TT 分别为小麦、玉米及其轮作系统的潜在有效积温、实际有效积温和有效积温差。

(iv) 作物热量利用率由下式计算：

$$HUE = \frac{Y}{\sum_{i=1}^k T_i}$$
，式中： HUE 为作物热量利用率； Y 为作物实际产量 ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)； T_i 为

作物生育期内第 i 日实际有效温度（实际有效温度满足：小麦实际生育期内日平均气温大于 0°C ，玉米实际生育期内日平均气温大于 10°C ）， k 为作物生育期长度， $\sum_{i=1}^k T_i$ 为作物的

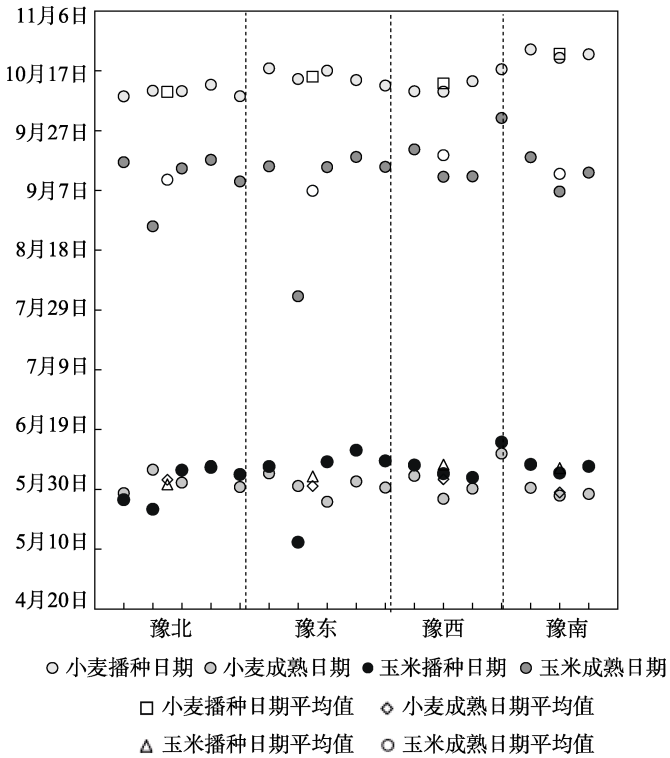


图1 研究区域不同站点小麦和玉米实际生育期及平均值

(注：河南省部分站点玉米播种日期早于小麦成熟日期，与播种和收获日期取多年平均值及种植方式为小麦、玉米套种有关)

实际有效积温。

(2) 通过线性回归^[10]分析小麦-玉米轮作系统的潜在和实际有效积温、有效积温差及

热量利用率随时间的变化趋势。

(3) 通过反距离权重插值法^[2] (IDW) 将站点数据转化到区域空间尺度, 得到各要素的空间分布特征和变化趋势。

3.2 技术路线

本数据集研发分作 3 个步骤: (1) 经过数据采集、整理后, 计算并分析小麦-玉米轮作系统的潜在和实际有效积温、有效积温差及热量利用率的空间分布特征; (2) 通过线性回归计算并分析小麦-玉米轮作系统的潜在和实际有效积温、有效积温差及热量利用率的时间变化特征; (3) 通过反距离权重插值法 (IDW) 将站点数据结果转化到空间尺度。

4 数据结果

4.1 数据集组成

数据集由 3 个空间数据文件和 1 个表格数据文件组成, 空间数据文件包括: (1) 河南省小麦-玉米轮作种植区域和 17 个研究站点分布数据; (2) 小麦-玉米轮作系统的有效积温和热量利用率的空间分布; (3) 1981–2014 年小麦-玉米轮作系统的有效积温和热量利用率变化趋势的空间分布。表格数据文件包括 4 个 Excel: (1) 四个区域不同品种小麦和玉米的生育期所需有效积温; (2) 基于研究站点的小麦、玉米及其轮作系统的实际生育期及其长度; (3) 基于研究站点的小麦、玉米及其轮作系统的有效积温及其变化率; (4) 基于研究站点的小麦、玉米及其轮作系统的热量利用率及变化趋势。

4.2 数据结果

4.2.1 小麦-玉米轮作系统实际生育期长度及年际变化

在 1981–2014 年间, 不同年份小麦-玉米轮作系统生育期长度在 325–342 d 之间, 豫北略增加、豫东呈增—减—增的变化特征, 豫西呈缩短趋势, 豫南呈先减后增的变化趋势 (图 2)。作物生育期长度的时空变化特征是不同的区域气候变化、作物品种更替及播期变化共同作用的结果。

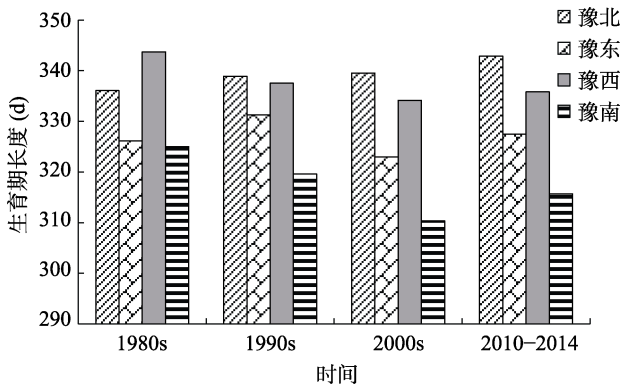


图 2 1981–2014 年间河南省不同区域不同年份小麦-玉米轮作系统的生育期长度对比图

4.2.2 数据时空分布分析

河南省小麦-玉米轮作系统潜在和实际有效积温分别为 3,815–4,560 °C d (图 3a) 和 3,650–3,764 °C d (图 3b), 有效积温差为 154–827 °C d (图 3c), 热量利用率为 1.5–3.5 kg/(°C

$\text{d}\cdot\text{hm}^2)^{-1}$ (图 3d)。潜在有效积温北低南高,东西低、中部高,实际有效积温西北高、东南低,有效积温差纬向减少,热量利用率自东北向西南呈高一低一高的分布特征。豫北和豫西大部潜在和实际有效积温较低,有效积温差也较低,热量匮乏是限制作物热量利用率提升的关键因素。豫西东部潜在和实际有效积温及有效积温差均较高,豫东大部和豫南潜在有效积温较高、实际有效积温较低、有效积温差较高,因而豫西东部、豫东大部和豫南热量资源丰富而实际利用率不足,热量利用提升潜力有待挖掘。

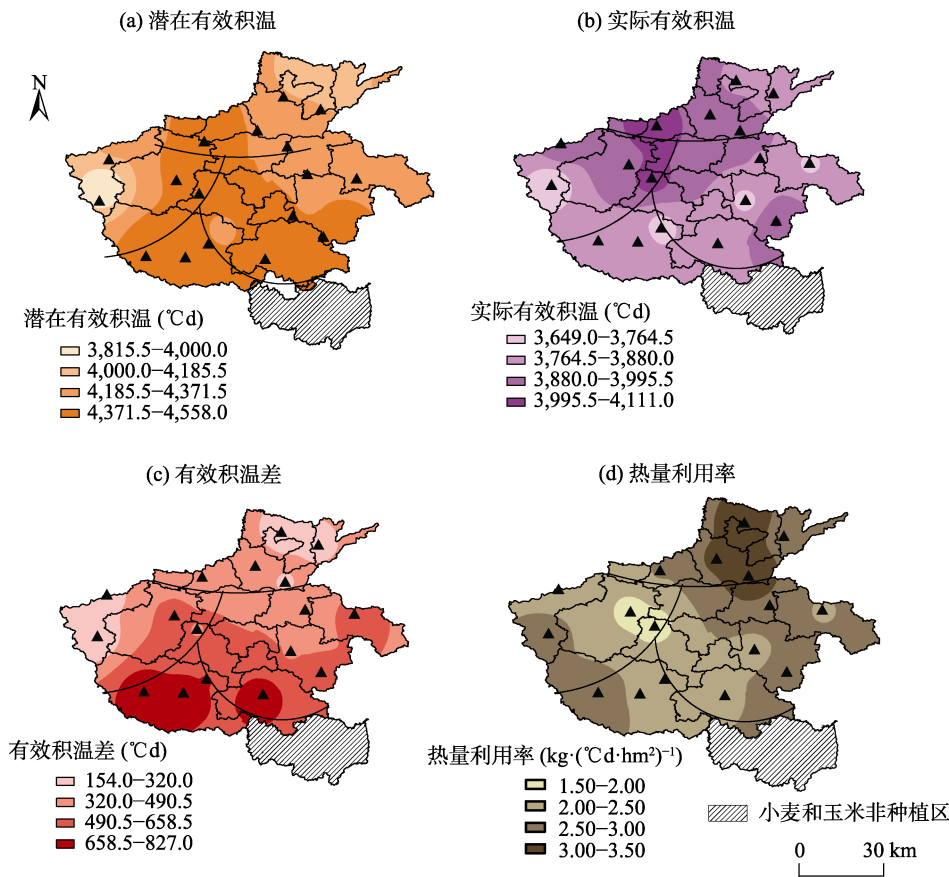


图3 河南省小麦-玉米轮作系统潜在和实际有效积温、有效积温差及热量利用率数据可视化图

图 4 为河南省小麦-玉米轮作系统潜在和实际有效积温、有效积温差及热量利用率的时间变化特征。1981–2014 年,潜在有效积温除豫北的封丘外均显著升高(图 4a),实际有效积温除豫南的方城外均显著升高(图 4b),有效积温差在 2 个站点显著下降、6 个站点显著升高而其余站点变化不显著(图 4c),热量利用率除豫东的黄泛区和豫西的伊川外均显著升高(图 4d)。表明气候变暖背景下通过作物品种改良、种植技术和设施改进提高了作物热量利用程度,但河南大部分地区热量利用率仍有较大提升潜力,尤其在豫南和豫东大部。

4.3 数据结果验证

图 5 为 1981–2014 年河南省各区域小麦和玉米有效积温及热量利用率的标准偏差与相

对偏差。与已有相关研究结果相比^[3,11–12]，小麦有效积温的标准偏差为 34.02–162.95° Cd，相对偏差为 2.14%–10.62%；小麦热量利用率的标准偏差为 0.001–0.28 kg·(°Cd·hm²)^{–1}，相对偏差为 0.08%–18.46% (图 5a)。玉米有效积温的标准偏差为 45.94–286.84°Cd，相对偏差为 2.47%–15.64%；玉米热量利用率的标准偏差为 0.18–0.40 kg·(°Cd·hm²)^{–1}，相对偏差为 15.21–24.29% (图 5b)。小麦有效积温的偏差在豫南最大，豫东最小，其热量利用率的偏差在豫南最大，豫北最小；玉米有效积温的偏差在豫东最大、豫西最小，其热量利用率的偏差在豫北和豫南较大、豫西和豫东较小。偏差的产生与研究所选年份、站点的分布及测量精度等有关。

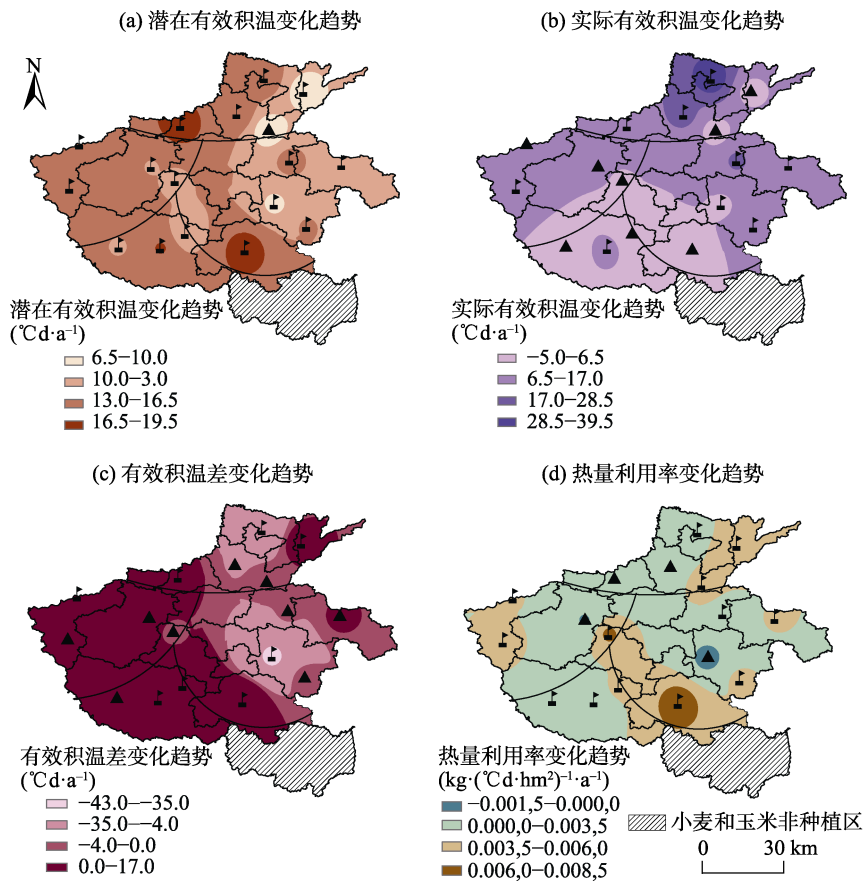


图 4 河南省小麦-玉米轮作系统潜在、实际有效积温、有效积温差及热量利用率变化率趋势数据可视化图

5 讨论与总结

本研究基于河南省 1981–2014 年 17 个研究站点的气象数据和小麦、玉米的生育期数据，系统分析了河南省热量资源及小麦-玉米轮作种植方式下热量利用率的时空分布特征，定量评价了河南省的热量利用状况及提升潜力，为该区热量利用率的进一步提升提供支撑。结果表明河南省大部分地区，尤其是豫东大部 and 豫南热量资源丰富，但作物生育期短，热量

未被充分利用，今后应重点关注该区热量利用率率的提升。本数据集可为河南省、华北平原作物热量利用等相关研究的进一步开展奠定数据基础。

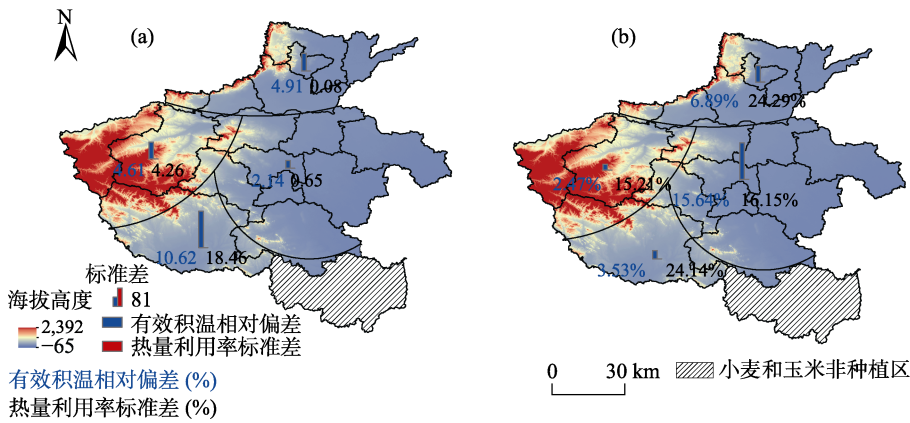


图 5 1981–2014 年河南省小麦(a)、玉米(b)有效积温与热量利用率的标准偏差和相对偏差图

作者分工：王靖提出并推动了数据集的研发、数据集的设计和论文数据的修编；常清整理、编制并分析了关键数据、撰写了数据论文。余卫东、张宁、李孟蔚、孟洁、李文科、黄明霞参与了部分数据的处理和分析等。

参考文献

[1] Wang, J., Wang, E. L., Yang, X. G., *et al.* Increased yield potential of wheat-maize cropping system in the North China Plain by climate change adaptation [J]. *Climate Change*, 2012, 113(3/4): 825–840.

[2] 常清, 王靖, 余卫东等. 河南省小麦-玉米轮作系统光能利用率时空分布及其变化原因分析[J]. *中国农业气象*, 2016, 37(3):316–325.

[3] 余卫东, 陈怀亮. 河南省夏玉米精细化农业气候区划研究[J]. *气象与环境科学*, 2010, 33(2): 14–18.

[4] 薛彦东, 辛景树, 任意等. 华北小麦-玉米轮作区耕地地力等级划分及等级[J]. *农业资源与环境学报*, 2015, 32(6): 530–536.

[5] Hu, F. L., Gan, Y. T., Zhao, C., *et al.* Intercropping maize and wheat with conservation agriculture principles improves water harvesting and reduces carbon emissions in dry areas [J]. *European Journal of Agronomy*, 2016, 74: 9–17.

[6] Yang, L. L., Ding, X. Q., Liu, X. J., *et al.* Impacts of long-term jujube tree/winter wheat-summer maize intercropping on soil fertility and economic efficiency: a case study in the lower North China Plain [J]. *European Journal of Agronomy*, 2016, 75(1): 105–117.

[7] 常清, 王靖, 余卫东等. 河南小麦-玉米轮作系统热量利用率时空分布及潜力[J]. *资源科学*, 2019, 41(6): 1176–1187.

[8] 常清, 王靖, 余卫东等. 河南省小麦-玉米轮作系统有效积温、热量利用率及其潜力数据集(1981–2014) [J/DB/OL]. *全球变化数据仓储电子杂志*, 2020. <https://doi.org/10.3974/geodb.2020.05.15.V1>.

[9] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).

[10] 沈瑱, 曾燕, 肖卉等. 江苏省日照时数的气候特征分析[J]. *气象科学*, 2007, 27(4): 425–429.

[11] 余卫东, 陈怀亮. 河南省优质小麦精细化农业气候区划研究[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(11): 381–385.

[12] 徐延红, 李树岩. 气候变化对河南省小麦和玉米气候资源利用效率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(5): 218–225.