

三门峡市烤烟安全移栽期精细化区划及气候变化对其影响研究

蔡涛^{1,2} 戴翠贤²

(1 中国气象局·河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 郑州 450003; 2 河南省三门峡市气象局, 三门峡 472000)

摘要: 基于三门峡市63个自动气象站气象数据, 选取逐日最低气温和平均气温两个气象因子构建本地烤烟安全移栽期区划指标, 使用多元线性回归方法, 建立区划指标的空间分析模型, 结合地理信息系统(GIS)技术得到了网格距为1 km×1 km的精细化安全移栽期区划, 同时对烤烟安全移栽期历年变化特征进行了分析。结果表明: 三门峡市不同区域烤烟安全移栽期在4月13日—5月10日, 其中在4月13—20日、4月下旬、5月上旬3个时段进入烤烟安全移栽期的区域海拔高度分别为200~700 m、500~1000 m、700~1200 m, 面积占比分别为12%、41%、38%, 5月中旬以后不再适宜烤烟的移栽。三门峡市1981—2021年3—5月平均最低气温和平均气温分别以0.58 °C/(10 a)和0.54 °C/(10 a)的速率显著升高, 与历年烤烟安全移栽期呈显著负相关, 相关系数分别为-0.408和-0.435。气温的上升使得烤烟安全移栽期以2.41 d/(10 a)的速率在显著提前。

关键词: 烤烟, 移栽期, 精细化区划, 气候变化

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2024.01.008

Study on the Refined Regionalization and the Impact of Climate Change on the Safe Transplanting Period of Flue-Cured Tobacco in Sanmenxia

Cai Tao^{1,2}, Dai Cuixian²

(1 CMA Key Laboratory of Agrometeorological Ensuring and Applied Technique, Zhengzhou 450003; 2 Sanmenxia Meteorological Bureau, Sanmenxia 472000)

Abstract: Based on the observation data from 63 automatic meteorological stations in Sanmenxia, the two meteorological factors of the daily minimum temperature and the daily average temperature are selected to build the zoning indexes for the safe transplanting period of local flue-cured tobacco. A spatial analysis model of the regionalization indicators is established by multiple linear regression methods. And with the help of the geographic information system (GIS) technology, a refined regionalization with a grid distance of 1 km×1 km is generated for the safe transplanting period. In addition, the annual variation characteristics of the safe transplanting period of flue-cured tobacco are analyzed. The results show that: the safe transplanting period of flue-cured tobacco in different areas of Sanmenxia city spans from April 13 to May 10, and the altitude range of the safe transplanting period from April 13 to April 20, late April and early May is 200—700 m, 500—1000 m and 700—1200 m respectively, with the area proportion of 12%, 41%, 41% and 38% respectively. After mid-May, it is no longer suitable for flue-cured tobacco transplanting. From 1981 to 2021, the average minimum temperature and average temperature in Sanmenxia significantly increased at a rate of 0.58 °C/(10 a) and 0.54 °C/(10 a), respectively, which evidences strong negative correlation with the safe transplanting period of flue-cured tobacco over the years, and the correlation coefficients were -0.408 and -0.435, respectively. The increase in temperature has made the safe transplanting period of flue-cured tobacco significantly advance at the rate of 2.41 d/(10 a).

Keywords: flue-cured tobacco, transplanting period, refined regionalization, climate change

0 引言

烤烟移栽是烤烟生产上关键的技术环节之一。移栽期不同, 烤烟大田生长期的气候条件发生变化, 烤

烟的产量和品质将产生较大差异^[1-2]。烟苗移栽过早, 易遭受春季冷空气袭击, 引发“早花”现象, 造成减产降质; 烟苗移栽过迟, 则大田生育期内光热总量不足, 上部烟叶成熟期因温度过低而导致难以成熟落黄, 产量质量均下降^[3-4]。不同烟区因气候条件差异而使烤烟移栽期也不相同。有不少学者研究分析了气象条件对烤烟移栽期的影响, 或者基于气象因素进行了

收稿日期: 2022年10月10日; 修回日期: 2022年12月28日

第一作者: 蔡涛(1981—), Email: 122074659@qq.com

资助信息: 三门峡市气象局气象科学技术研究项目(SQ202102)

烤烟安全移栽期的区划分析^[5-9]。

三门峡市地处河南省西部，总面积10496 km²，是北亚热带与暖温带的过渡带，兼有南北气候特点，适宜优质烤烟的种植。2019年三门峡共收购烟叶2.1175×10⁷ kg，连续15年烟叶质量、数量稳居全省第一^[10]。由于三门峡市位于我国第二阶梯到第三阶梯的过渡地带，90%以上为山地和丘陵，不同烟区气候差异较大使得烤烟移栽期也存在较大差异，所以进行烤烟安全移栽期的精细化区划具有重要的现实意义，但一直以来全市只有4个国家级气象观测站（以下简称国家站），站点分布稀疏，空间代表性差，不能真实反映不同烟区的气候特征。随着近些年区域无人值守自动气象站（以下简称区域站）的加密布局，三门峡市已逐步形成梯度气象观测站网，为不同海拔烟区气象分析提供了基础。另外，由于全球气候正在经历着以变暖为主要特征的变化过程，气候变化对农作物生产已经产生了深刻影响^[11]。目前有关气象因素对三门峡烤烟影响的研究多集中在气候变化对烤烟内在品质和化学成分的影响^[12-15]，以及烤烟生育期内气候变化特征方面的分析^[16-19]，而气候变化对烤烟移栽期影响的分析却不多见。综上，本文以三门峡市国家站和区域站气象数据为基础，基于数字高程模型（DEM），对三门峡市烤烟安全移栽期进行精细化区划，同时使用国家站历史气象资料分析气候变化对烤烟移栽期的影响，以期对烤烟安全生产、烟农增产增收提供科学指导。

1 资料与方法

1.1 资料使用及来源

三门峡市区域站均是近些年所建立，且建站时间早晚不一，所以从现有区域站中筛选出59个近三年仪器运行稳定、数据完整的站点，加上4个有长期历史气象数据的国家站，使用上述共63个气象站（图1）2019—2021年的气象数据，结合站点经度、纬度、海拔高度信息进行烤烟安全移栽期的区划分析，并制作安全移栽期区划图。使用4个国家站1981—2021年的气象数据进行气候变化对烤烟安全移栽期的影响分析。气象数据为单站逐日平均气温和逐日最低气温，来源于三门峡市气象局。DEM数据来源于地理空间数据云，进行重采样处理后分辨率为1 km×1 km。

1.2 烤烟安全移栽期区划指标的确定

因为温度为影响烤烟适宜移栽期最为关键的因素^[20]，所以本研究在前人研究成果^[5-6, 20]的基础上，结合三门峡本地实际情况，确定三门峡烟区烤烟安全移栽的区划指标：1) 日最低气温>5℃稳定通过且保证

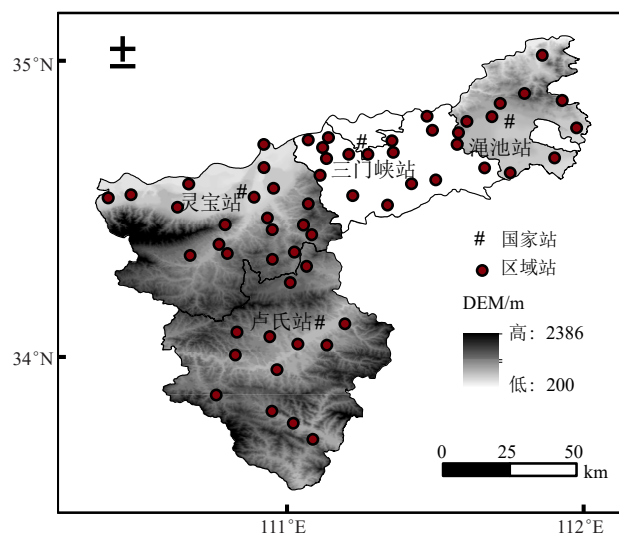


图1 三门峡市气象站点分布
Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Sanmenxia

率为100%（以DTmin5表示）；2) 日平均气温≥13℃稳定通过且保证率为80%（以DTmea13表示）。由于以上两项指标对烤烟移栽的影响是相互独立的，具有不可替代性，因此，两者必须同时具备。稳定通过是指原始数据序列的5 d滑动平均值当年春、夏季最后一次≥阈值的首日，即为稳定通过的日期，即在该日期之后，不再出现日滑动平均值小于阈值的情况。把该日期转化为可以数据计算的日序值，每年1月1日的日序值为1、1月2日的日序为2，…，依次类推。保证率是指某一现象在某一定数值以前或以上发生的频率^[21]，本文指稳定通过日期前气象因子≥阈值的累积频率，用于说明该日期后该气象因子≥阈值的可靠程度。

1.3 小网格化处理及空间插值

气象因子特别是温度受海拔、地形、地貌等影响较大，为使稳定通过的界限温度符合当地的实际情况，必须对稳定通过日期进行小网格化处理。一般情况下，分布在网格点上的气象要素值取决于该点的地理因子，即经度、纬度、海拔高度。首先使用研究区内63个气象站点2019—2021年气象数据，计算每个站点区划指标日序值；然后采用多元回归分析法，建立区划指标日序值与气象站点经度、纬度和海拔高度的关系模型（表1）。回归方程物理意义明确，通过了显著性水平检验（ $P < 0.01$ ），然后通过关系模型推算得到区划指标日序值的空间栅格图层。

为了进一步提高拟合精度，将回归方程计算后的残差值运用ArcGIS 10.2中的反距离权重插值方法（Inverse Distance Weighted, IDW）进行空间插值，并与推算的栅格图层进行叠加运算，得到1 km×1 km网

表1 区划指标的小网格推算关系模型
Table 1 Small grids calculation models of regionalization indicators

区划指标	样本数	区划指标空间分析模型	回归效果检验 (P)
日最低气温 $>5^{\circ}\text{C}$ 稳定通过且保证率为100%的日序 (DTmin5)	63	$Y1=11.9031\lambda-18.5870\varphi+0.0096h-579.7788$	5.23E-04**
日平均气温 $\geq 13^{\circ}\text{C}$ 稳定通过且保证率为80%的日序 (DTmea13)	63	$Y2=6.6667\lambda-2.6552\varphi+0.0236h-550.1193$	9.75E-10**

注: λ 、 φ 、 h 分别为经度(单位: $^{\circ}$)、纬度(单位: $^{\circ}$)、海拔高度(单位: m); P 为显著性检验概率; **表示通过0.01的显著性水平检验。

格的两个区划指标空间分布图层。由于安全移栽期要同时达到两个区划指标的要求, 所以将两个区划指标的空间分布栅格图层再次进行“与”运算, 最终得到安全移栽期区划分布图。

1.4 气温和安全移栽期的年际变化

计算1981—2021年4个国家站逐年DTmin5和DTmea13的日序值, 取某站某年两个区划指标日序值的较大值为该站该年的安全移栽期日序值, 4个站点平均值即为三门峡市该年安全移栽期日序值。使用线性趋势分析和Mann-Kendall (M-K) 检验法来分析各统计值的年际变化趋势。

M-K检验法是一种广泛应用于水文与气象数据趋势性检验的方法。对于检验统计量 Z , 当 $Z>0$ 时, 表示所检验序列呈上升趋势, 当 $Z<0$ 时, 表示所检验序列呈下降趋势。当 Z 的绝对值 ≥ 1.28 、1.64与2.32时, 分别表示通过了0.10、0.05与0.01的显著性水平检验, 即检验结果分别具有90%、95%与99%的置信度^[22]。

2 结果与分析

2.1 DTmin5和DTmea13的对比

统计63个气象站点日序值计算结果, DTmin5的日序平均值为109.3, 最小值为85, 最大值为122; DTmea13的日序平均值为115.2, 最小值为104, 最大值为141; 在所有站点中有43个站点DTmin5日序小于或等于DTmea13日序, 占有站点的68%, 可见大部分区域日最低气温 $>5^{\circ}\text{C}$ 的稳定通过日期要早于日平均气温 $\geq 13^{\circ}\text{C}$ 的稳定通过日期, DTmin5的日序平均值比DTmea13早约7 d。图2a和图2b分别为DTmin5和DTmea13通过日期的空间分布, 由图可知两个区划指标稳定通过日期基本呈由北向南逐渐推迟的特点。在灵宝北部的低海拔区域4月上旬最低气温即可稳定大于 5°C , 但这一区域要到4月中旬平均气温才能稳定达到 13°C 以上。三门峡南部稳定通过两个指标的时间最晚, 多数区域在5月上旬可同时满足DTmin5和DTmea13的要求, 两者基本保持同步, DTmin5的最

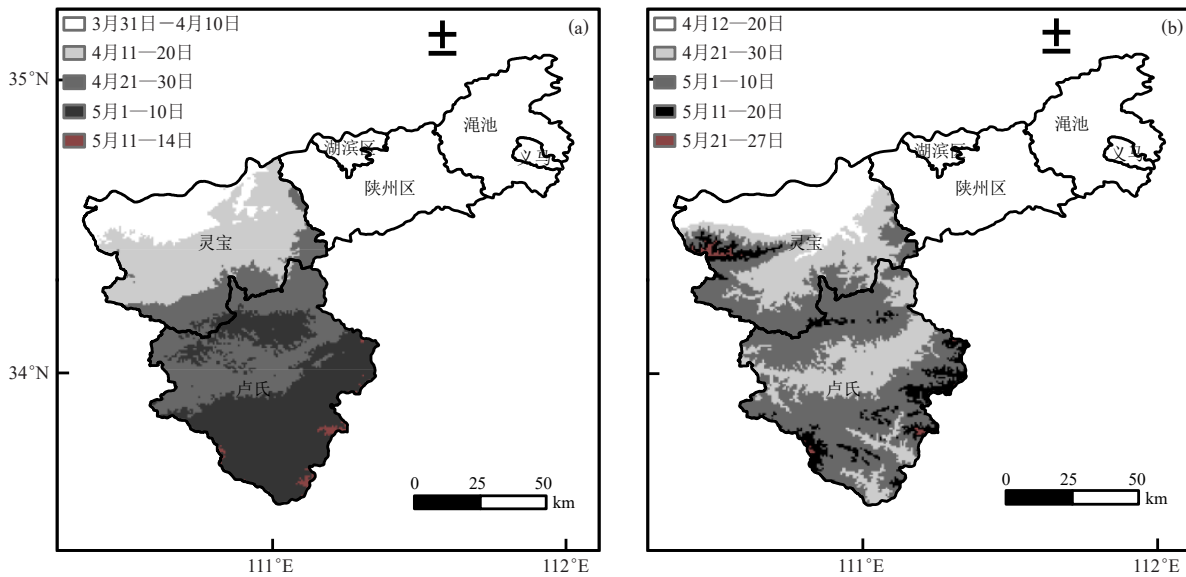


图2 三门峡市烤烟安全移栽期区划指标通过DTmin5日期 (a) 和DTmea13日期 (b) 的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of regionalization indicators on the date DTmin5 (a) and DTmea13 (b) for the safe transplanting period of flue-cured tobacco in Sanmenxia

迟日期在5月11—14日, DTmea13的最迟日期在5月21—27日, 两者相差也在10 d以上, 但这一区域面积很小, 多分部在卢氏县的熊耳山、伏牛山等高山区, 而灵宝境内的秦岭山区甚至要在5月下旬平均气温才

能达到 13°C 以上。

2.2 安全移栽期区划结果

由图3可知在4月13—20日即可安全移栽的区域主要集中在灵宝北部的豫灵、故县、阳平的北部

和西阎、函谷关、大王、陕州区的大营等乡镇。这一区域紧临黄河沿岸，地势较低，海拔高度多在200~700 m，占三门峡总面积的12%，是三门峡烟区内最早可安全移栽的区域。4月下旬可移栽的区域主要集中在渑池县以及陕州区的高庙、交口、西张村，以及灵宝的阳店、川口、苏村、朱阳等乡镇，多为丘陵地带；在卢氏县主要分布在徐家湾、磨沟口、城关镇、横涧、范里、东明等乡镇，虽为山区，但这一区域是黄河右岸重要支流洛河的流经之地，从东向西横跨卢氏中部，海拔较低，具有明显的地域特征。处于这一移栽期的区域海拔大多在500~1000 m，占三门峡总面积的41%。5月上旬移栽区域主要集中在卢氏县境内以及灵宝、陕州区、渑池的小部分乡镇。这些区域多为山地，海拔较高，特别是卢氏大多数的移栽区域均处于这一时段内，海拔高度大约在700~1200 m，占三门峡总面积的38%。在5月中、下旬移栽的区域面积很少，主要分布在卢氏的熊耳山、伏牛山以及灵宝小秦岭、崤山等海拔较高的山区地带，海拔高度多在1200以上。这些区域因地势高、气温低、坡度大，不适宜烤烟种植，其面积约占三门峡总面积的9%。

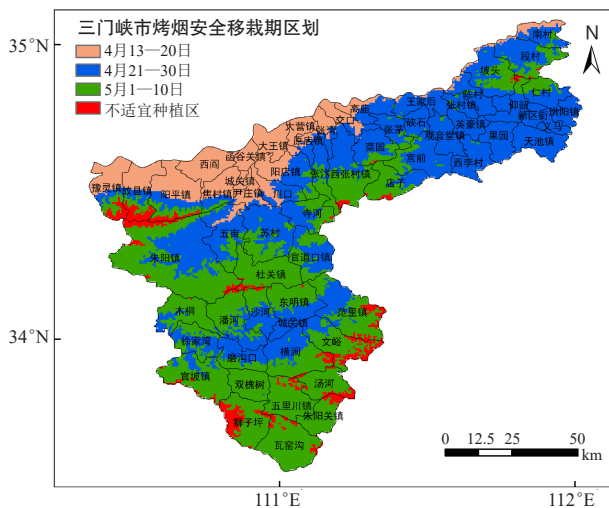


图3 三门峡市烤烟安全移栽期区划

Fig. 3 Safe transplanting period regionalization of flue-cured tobacco in Sanmenxia

2.3 气候变化对烤烟安全移栽期的影响

为了分析气候变化对烤烟安全移栽期的影响，分别统计了三门峡市四个国家站1981—2021年3—5月逐日最低气温平均值 (MT_{min})、逐日平均气温平均值 (MT) 和烤烟安全移栽期日序的年际变化情况 (图4)。1981—2021年三门峡市 MT_{min} 和 MT 分别以 $0.58\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ 和 $0.54\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ 的速率呈显著上升趋势，M-K趋势检验Z值分别为4.99和3.85，通过了0.01

的显著性水平检验。烤烟安全移栽期以 $2.41\text{ d}/(10\text{ a})$ 的速率呈明显提前趋势，M-K趋势检验Z值为-1.65，通过了0.05的显著性水平检验。历年烤烟安全移栽期最大值为1991年的第130日 (5月10日)，最小值为2014年的第82日 (3月23日)，年际间相差达48 d。将 MT_{min} 、 MT 分别与安全移栽期日序值进行Pearson相关分析 ($n=42$)，相关系数分别为-0.408和-0.435，均通过0.01的显著性水平检验。可见最低气温和平均气温的上升，使三门峡烤烟移栽期也呈显著的提前趋势。

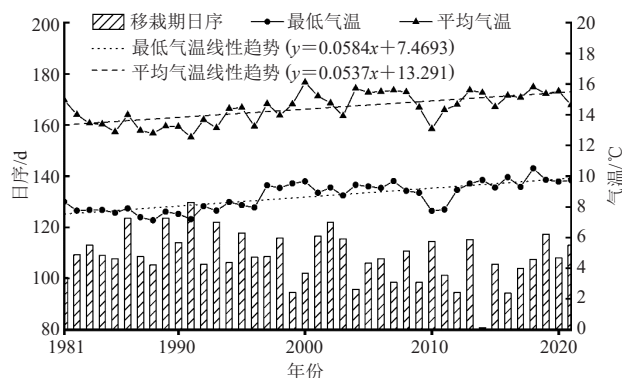


图4 三门峡市1981—2021年3—5月平均最低气温、平均气温、烤烟安全移栽期日序变化

Fig. 4 The average minimum temperature, average temperature and daily order change of safe transplanting period of flue-cured tobacco in Sanmenxia from March to May of 1981—2021

表2为各国家站的安全移栽期年际变化趋势，其中卢氏站变化趋势最大，达 $5.42\text{ d}/(10\text{ a})$ ，三门峡站最小，为 $1.43\text{ d}/(10\text{ a})$ 。各烟区变化均呈提前趋势，其中灵宝、渑池 $|Z| > 1.64$ ，通过了0.05的显著性水平检验，卢氏 $|Z| > 1.28$ ，通过了0.1的显著性水平检验，三门峡站虽也呈提前趋势，但没有通过显著性水平检验。

表2 三门峡市烤烟安全移栽期变化趋势

Table 2 Variation trend of safe transplanting period of flue-cured tobacco in Sanmenxia

国家站	卢氏	灵宝	渑池	三门峡站
气候倾向率/ $(\text{d}/(10\text{ a}))$	-5.42	-3.18	-2.60	-1.43
Z值	-1.48	-1.88	-1.66	-0.74

3 讨论与结论

在进行烤烟安全移栽期气候区划时，区划指标是影响区划结果的关键。本研究主要基于烟苗移栽后是否会受到低温冷害，以及能否保证正常生长发育所需最低温度这两个方面来进行区划指标的确定，这也是烟农在实际移栽生产过程中主要考虑的气象因素。郭松等^[17]研究表明豫西烟区5月为雨季前期，日照时数

多、光质好、云少晴天多、紫外线强,该时段有利于抑制病害发生,可为烤烟后期生长奠定基础。9月烤烟成熟期内则多连阴雨天气^[16, 23],像卢氏的杜关、官道口,灵宝的朱阳、故县等安全移栽期区划较晚的乡镇,其成熟期将延迟至9月下旬甚至更晚,此时因降温迅速,热量不足,严重影响烤烟的正常落黄成熟,烟叶烘烤后质量下降。如2011年9月全市出现长期阴雨寡照天气(卢氏尤为严重),导致烟叶不能正常落黄^[17]。高真真等^[24]研究指出适当提早移栽期可以保证烟叶成熟期有较高的温度条件,促进浓香型特色的彰显。莫建国等^[25]也提出了通过合理的调整移栽期,充分利用短时间的高温时段,减轻后期低温的影响。在全球气候变暖的大背景下,三门峡市3—5月最低气温和平均气温显著上升,促使烤烟安全移栽期提前,烟农可根据安全移栽期区划结果合理调整移栽期,充分利用气候资源,最大限度地避免9月下旬至10月初降温或早霜冻对中、上部烟叶的不利影响。

本研究根据研究区内气象站的气象数据和站点信息,采用多元回归建立了关系模型。运用ArcGIS软件制作出精度为1 km×1 km网格的三门峡烤烟安全移栽期区划分布图,突破了传统区划中资料以点代面的局限,提高了区划的精度和准确度。得出的区划结果与全市不同烟区实际种植情况基本一致,说明方法可行,确定的区划指标合理,结果具有实用价值。

1981—2021年三门峡市烤烟安全移栽期以2.41 d/(10 a)的速率在显著提前。随着新品种的推广、种植栽培技术的发展,区划结果也需要不断更新,才能满足实际的生产需要。在生产过程中,当地在进入烤烟安全移栽期后,还应根据土壤墒情、雨情等合理安排移栽日期,为烤烟的优质高产打下基础。

参考文献

[1] 祖朝龙,徐经年,殷凤生,等.皖南烟区烤烟移栽适期的研究[J].安徽农业科学,2004,32(5):969-970.

- [2] 黄廷炎,杨善恭,周博扬,等.闽北烤烟移栽期的预报[J].气象研究与应用,2010,31(1):57-59,62.
- [3] 刘德玉,李树峰,罗德华,等.移栽期对烤烟产量、质量和光合特性的影响[J].中国烟草学报,2007,13(3):40-46.
- [4] 关罗浩,叶为民,刘丽,等.移栽期对烤烟新品种金海一号产质量的影响[J].西南农业学报,2014,27(2):813-818.
- [5] 邓环,秦鹏程,蔡长春,等.湖北省植烟区精细化安全移栽期区划[J].中国农学通报,2016,32(13):129-135.
- [6] 李伟,陆魁东,周清明,等.湖南烤烟适宜移栽期分析[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2012,38(2):135-138,118.
- [7] 邱雪柏,尹鹏达,陈伟,等.近51年遵义县气候变化对烤烟移栽期的影响[J].中国烟草科学,2013,34(4):36-41.
- [8] 张玉芳,刘琰琰,杜成勋,等.烤烟移栽期干旱监测评估模型研究及在攀西地区的应用[J].西南农业学报,2019,32(2):286-290.
- [9] 杨希,杨可辉,卜银军,等.闽西北霜期时空变化对烤烟移栽期的影响[J].中国烟草科学,2018,39(2):25-31.
- [10] 李建平.三门峡烟叶产业为民增收近7亿元[N].河南日报农村版,2019-11-29(4).
- [11] 房世波,韩国军,张新时,等.气候变化对农业生产的影响及其适应[J].气象科技进展,2011,1(2):15-19.
- [12] 姬兴杰,孟寒冬,左璇,等.河南烟区主要气候因子与烤烟烟叶化学成分的关系[J].中国烟草科学,2017,38(1):35-41.
- [13] 吴璐,刘晓迎.河南烟区烤烟生育期地表温度日较差变化对烤烟化学品质指标的影响[J].气象与环境科学,2020,43(1):18-25.
- [14] 孟寒冬,姬兴杰.气候变化对河南烟区烤烟石油醚提取物的影响[J].中国农业科技导报,2019,21(12):140-150.
- [15] 张慢慢,邵惠芳,许自成,等.三门峡烟区烤烟经济性状与气候因素的关系[J].西南农业学报,2016,29(11):2732-2737.
- [16] 刘晓迎,左璇,刘雅星,等.河南浓香型烟叶产区气候条件分析[J].河南农业科学,2017,46(3):52-58.
- [17] 郭松,许自成,苏永士,等.豫西烟区烤烟生育期35年日照时数的变化特征[J].中国农业气象,2010,31(4):558-562.
- [18] 张燕燕,吉志红,陈莹.三门峡烟区与国外烟区气候相似性分析[J].农学学报,2017,7(8):43-47.
- [19] 邵惠芳,郑聪,许自成,等.三门峡烟区烤烟气候适生性评价及与国外烟区的相似性分析[J].西南农业学报,2011,24(1):34-37.
- [20] 中国农业科学院烟草研究所.中国烟草栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,2005.
- [21] 邱宝剑,卢其尧.农业气候区划及其方法[M].北京:科学出版社,1987.
- [22] 徐泽华,韩美.山东省干旱时空分布特征及其与ENSO的相关性[J].中国生态农业学报,2018,26(8):1236-1248.
- [23] 朱玉周,张录军,廖荣伟,等.1970—2012年河南省初秋降水特征分析[J].气象与环境学报,2015,31(6):93-100.
- [24] 高真真,刘扣珠,史宏志,等.移栽期和采收期对豫中烤烟上六片叶发育期温度指标的影响[J].中国烟草科学,2019,40(1):49-57.
- [25] 莫建国,古书鸿,李洪勋.基于GIS的威宁县烤烟种植精细化气候区划[J].贵州农业科学,2014,42(2):77-80.

(编辑:郑秋红)