

淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米生长水分关键期 干旱致灾降水阈值

李学文^{1,2}, 高超¹, 尹周祥^{1,2}

(1. 宁波大学 地理与空间信息技术系, 浙江 宁波 315211; 2. 安徽师范大学 地理与旅游学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要:基于淮河流域蚌埠闸以上地区 66 个气象站点 1961—2015 年气象资料,利用夏玉米气候产量与生育期内水分盈亏指数进行了相关性分析,确定夏玉米生长水分关键期,并利用 28 种分布函数对水分关键期内降水量序列进行了拟合,K-S 和 A-D 进行了拟合优度检验,建立了最优概率分布模型,再基于降水概率分位数法量化设计夏玉米各级干旱的致灾降水阈值 R ,通过典型干旱年份和站点验证了指标的合理性。结果表明:(1) 淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米抽雄—成熟阶段是夏玉米生长的水分关键期;(2) 各站点夏玉米生长水分关键期内降水序列的最优概率分布模型差异明显;(3) 66 个站点夏玉米干旱致灾的降水阈值地区差异较大,但各级阈值空间分布大致相同,均呈现北部至南部依次增加的趋势,其中西部的桐柏和南部的霍山最高,利用泰森多边形法确定整个研究区夏玉米生长水分关键期内干旱致灾降水阈值分别是:轻旱 $147 \leq R < 172$ mm,中旱 $118 \leq R < 147$ mm,重旱 $89 \leq R < 118$ mm,特旱 $R < 89$ mm。

关键词:夏玉米; 干旱致灾降水阈值; 降水概率分位数法; 最优概率分布模型

中图分类号:S162.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)05-0162-08

Precipitation Threshold of Drought Disaster for Maize Above the Bengbu Sluice in the Huaihe River Basin, China

LI Xuewen^{1,2}, GAO Chao¹, YIN Zhouxiang^{1,2}

(1. Department of Geography & Spatial Information Techniques, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China; 2. School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract: Based on meteorological data from 66 stations during 1961—2015 above the Bengbu Sluice of Huaihe River Basin (BHR). Using the correlation analysis between summer maize climatic yield and water budget index at different growth stages, the critical period of water in summer maize growth is determined. 28 kinds of distribution functions are used to fit the precipitation sequence during the critical period of water in summer maize growth. By applying Kolmogorov-Smirnov (K-S) and Anderson-Darling (A-D) goodness of fit test, the optimal probability distribution model is established. The precipitation threshold R for each level of drought in summer maize is then quantified based on ‘precipitation probability quantile method’ and the rationality of the index is verified by typical drought years and sites. This paper analyzed the causes of frequent drought during the summer maize period from the perspective of atmospheric circulation. At last, the quantitative relationship between precipitation threshold drought disaster and yield reduction rate of summer maize is obtained. The results are as follows. (1) Stage of tassel appearance-maturity is the critical period of water in summer maize growth in the BHR. (2) There is a significant difference in the optimal probability distribution model in 66 typical sites of the precipitation sequence during the critical period of water in summer maize growth. (3) The precipitation thresholds of drought disaster in 66 sites of summer maize vary greatly from regions to regions. But the spatial distribution of thresholds at all levels is roughly same, which shows the increasing trend from north to south, among which Tongbai in western and Huoshan in southern are the highest. By using the Tyson polygon method, precipitation threshold of drought disaster during the critical period of water in summer maize growth in the BHR are $147 \leq R < 172$ mm in the scenario of mild drought,

$118 \leq R < 147$ mm in the scenarion of moderate drought, $89 \leq R < 118$ mm in the scenarion of severe drought, $R < 89$ mm in the scenarion of extreme drought, respectively.

Keywords: summer maize; precipitation threshold of drought disaster; method of precipitation probability; optimal probability distribution model

干旱作为一种发生频繁、影响范围广的气象灾害,已对世界各国农业生产、人民生活和社会经济等造成严重影响^[1-2],是人类所面临的一个重大环境问题,IPCC 第五次评估报告第一工作组报告中指出全球气候变暖仍将继续^[3],此背景下,干旱仍有加重的趋势。

农业干旱本质上由作物水分供需不平衡引起,根本原因是降水量持续异常缺乏,导致的农作物水分亏缺现象,灾害强弱取决于降水偏离常态的程度^[4-5]。目前,针对农业干旱气象类的评估指标较多,主要分两大类:(1) 基于水分供应状况的降水量指标,主要包括降水距平百分率^[6]、旱涝事件时间段降水指数^[7]、标准化降水指数^[8]、降水 Z 指数^[9]、降水概率分位数法^[10]等;(2) 基于水分供需变化的指标,包括作物水分盈亏指数^[11]、相对湿润指数^[12]、综合气象干旱指数^[13]、Palmer 指数^[14]。两类指标各有优缺点,降水类指标涉及参数较少,数据易获取,可快速评估旱涝情况,而考虑水分供需类指标从作物主要生长环境出发,考虑农田湿润状况,更真实的反映农业旱涝,但涉及参数众多,计算复杂,时效性较差^[4]。

淮河流域蚌埠闸以上地区天气系统复杂多变,水资源问题突出且时空分布不均匀,“旱涝急转”事件频发,针对旱涝事件需进行快速准确评估^[15]。夏玉米作为该区主要秋粮,生育阶段旱灾频发,自然状况下降水是限制当地夏玉米生长和最终产量的决定性因素^[16-17]。因此十分有必要进行夏玉米干旱致灾因子研究,尤其是对触发旱灾的主要气象因子—降水进行早期预警研究,识别可能导致灾害发生的临界值,有利于干旱的监测和预警工作。分位数方法进行旱涝等级的划分可量化得到各级干旱阈值,可根据研究区实际情况设定其概率值,更为准确快速的指示干旱状况^[18]。综上考虑本文选定降水概率分位数法进行干旱致灾阈值的确定。降水概率百分位数法主要是基于降水量序列服从正态分布或转化为正态分布,再由概率分布模型确定评价指标^[19-20]。但研究夏玉米生育阶段旱涝指标,多基于月或旬降水量序列,多数不服从正态分布^[21],因此确定夏玉米降水量序列的最优分布显得至关重要。

鉴于此,本文以淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米为研究对象,基于 66 个气象站点降水资料建立夏玉米水分关键期内的降水量序列,运用 28 种分布函数

对其进行拟合,Kolmogorov-Smirnov (K-S) 和 Anderson-Darling (A-D) 进行拟合优度检验,建立各站点的最优概率分布模型,再利用降水概率分位数法,量化得到各级干旱致灾的降水阈值,以期为淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米生产防灾减灾、合理布局和高产稳产等工作提供依据。

1 研究区概况

淮河流域地处我国东部,“秦岭—淮河”一线是我国南北一条自然的地理分界线,总面积约 27 万 km²,主要涵盖 4 个省份。本研究选取淮河流域蚌埠闸以上地区为研究区(图 1),区域面积约 12.1 万 km²,该区地形复杂,气候多变,降水年际变化较大,多年平均降雨量存在南部高,北部低的空间分布不均匀性,形成了“强降水洪、有降水涝、无降水旱”的典型区域旱涝特征^[22-23]。1949 年至今约发生 10 次严重干旱,干旱年份水资源供需矛盾突出,对农业生产带来极大的影响,是农业旱涝研究的典型区域^[24]。

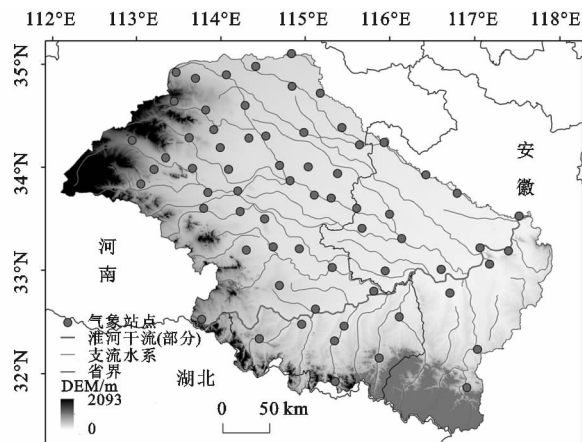


图 1 研究区 DEM、气象站点及水系分布

2 数据与方法

2.1 数据

本研究包含的数据主要包括气象数据、夏玉米产量数据和灾情数据三部分。1961—2015 年淮河流域蚌埠闸以上地区 66 个气象站点日气象数据(降水、气温、气压、日照数据和相对湿度等)来源于中国气象局国家气候中心;1961—2014 年淮河流域蚌埠闸以上地区 15 个典型产量站点(虞城县、夏邑县和怀远县为研究区附近站点)单产数据来源于中国种植业信息网(<http://www.zzys.agri.gov.cn/>)和中国农业大数

据网(<http://www.agdata.cn/>);灾情数据主要来源于《中国气象灾害大典》(安徽卷、河南卷)、《中国气象灾害年鉴》(2005—2014 年)、《河南水旱灾害》、《安徽水旱灾害》以及相应民政局统计信息。

2.2 方法

2.2.1 夏玉米生育期划分 根据联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations,FAO)推荐的标准,将玉米全生育期划分成 4 个生育阶段,并确定淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米各生育阶段的历年平均日期^[19,25]:(1)播种—出苗期(6 月 1 日—6 月 20 日);(2)出苗—拔节期(6 月 21 日—7 月 10 日);(3)拔节—抽雄期(7 月 11 日—8 月 10 日);(4)抽雄—成熟期(8 月 11 日—9 月 30 日)。

2.2.2 气候产量 农作物的产量主要取决于当地生产力发展水平和气象条件,另外受一些随机因素的影响^[17]。因此,本文将夏玉米产量分解成 3 个部分,分别为:(1)受当地社会生产力发展水平决定的趋势产量;(2)受气候要素决定的气候产量;(3)受随机因素影响

影响的随机误差。其计算公式如下:

$$y_w = y - y_t - \Delta y \tag{1}$$

式中:; y_w 表示气候产量; y 表示夏玉米历年单产; y_t 表示趋势产量; Δy 表示随机误差(一般忽略不计)。趋势产量可通过统计学方法模拟得到,本文采用多项式回归分析方法模拟夏玉米趋势产量^[26-27]。

2.2.3 水分盈亏指数构建 由农田水分平衡原理,在不考虑灌溉的前提下,农作物各生育阶段的水分盈亏指数 I 由自然供水量和需水量两部分组成。农业干旱中,某个时段的干旱程度,不仅与该时段水分盈亏量有关,还受前期水分盈亏量影响,因此本文考虑夏玉米前期水分盈亏量,参考相关文献^[28-29]修正计算公式如下:

$$I = \frac{(R_{10} - W_{10}) + (R - W)}{W} \tag{2}$$

式中: I 为水分盈亏指数,本研究中,负值表示夏玉米水分亏缺,正值表示水分盈余; R 为自然供水量,在无灌溉时即为降水量(mm/d); R_{10} 为前 10 日累积降水量; W 表示夏玉米需水量(mm/d); W_{10} 为前 10 日累积需水量,通过参考作物蒸散量和夏玉米作物系数计算得到^[30]。

$$W = K_c \times E_{T_0} \tag{3}$$

式中: E_{T_0} 表示参考作物蒸散量(mm/d),采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式^[13]进行夏玉米参考作物蒸散量的推算。 K_c 为作物系数,本文借鉴部分学者对淮河流域部分站点作物系数的实测结果^[31],确定研究区夏玉米各生育阶段的作物系数,见表 1。

表 1 淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米生育阶段作物系数

生育期	播种—出苗	出苗—拔节	拔节—抽雄	抽雄—成熟
作物系数(K_c)	0.65	0.98	1.55	1.40

2.2.4 最优概率分布模型 本文着重探讨淮河流域蚌埠闸以上地区各站点夏玉米生长水分关键期内降水序列的最优拟合模型,并给定相应的概率临界值,定量化划分夏玉米的各级干旱致灾临界值。为更好地选取最优分布模型,本文选择 28 种分布函数拟合各站点夏玉米生长水分关键期内降水序列。采用的分布函数分为四大类:无界概率分布函数(随机变量 X 取值范围 $(-\infty, +\infty)$)、有界概率分布函数(随机变量 X 取值范围为 $[m, n]$)、非负概率分布函数(随机变量 X 取值范围为 $[\mu \text{ 值范围}]$)以及广义分布函数(表 2)。本文选取 K-S 和 A-D 两种拟合优度检验方法,确定各站点最优概率分布函数,以期降低对夏玉米生长水分关键期内降水序列拟合的误差,最优分布函数选取的标准是 K-S 和 A-D 检验值累积和最小。本研究样本容量为 55,显著性水平假设为 $\alpha = 0.05$ 时,K-S 和 A-D 临界值分别为 0.183 38,2.501 8。

表 2 四大类概率分布函数

Bounded probability distribution function	Unbounded Probability Distribution Function	Non -negative probability distribution function	Generalized distribution function
Beta	Cauchy	Chi-Squared	Gen. Extreme Value
Pert	Error Function	Erlang	Gen. Logistic
Power Function	Gumbel max	Exponential	Gen. Pareto
Triangular	Gumbel min	Fatigue Life	Phased Bi-Exponential
Uniform	Laplace	Gamma	Phased Bi-Weibull
	Logistic	Log-Logistic	Wakeby
	Normal	Lognormal	
	Studengt's t	Pareto	
		Rayleigh	
		Weibull	

3 结果与分析

3.1 夏玉米生长水分关键期

本文利用多项式回归分析方法模拟得到夏玉米趋势产量,其中 15 个站点单产数据平均拟合优度为 0.793 56,最高为尉氏 0.951,60%的站点拟合优度在 0.8 以上,总体来看,趋势产量拟合效果较好。同时,通过分析夏玉米不同生育时段水分盈亏指数与气候产量的相关性,确定淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米生长的水分关键期。15 个典型产量站点(虞城、夏邑和怀远为研究区附近站点),基于统计分析软件 SPSS 求取夏玉米各生育阶段水分盈亏指数与气候产量的皮尔逊相关系数 r ,见表 3,分析得到 86.7%的站点夏玉米抽雄—成熟期水分盈亏指数与气候产量相关性最高,且均通过了显著性水平检验,其中 2 个站点通过显著性水平 0.001 检验,5 个站点通过 0.05 显著性检验,6 个站点通过 0.1 显著性检验。因此,确定淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米生育期间对影响最终产量形成的水分关键期是抽雄—成熟阶段。

表 3 典型站点夏玉米各生育期水分盈亏指数与气候产量相关性

地区	播种—出苗	出苗拔节	拔节抽雄	抽雄成熟
尉氏	-0.01	-0.028	-0.075	-0.29**
太康	-0.058	0.117	0.02	-0.397***
叶县	0.066	0.124	0.161	-0.039
西平	-0.094	-0.12	-0.244	-0.162*
西华	-0.069	0.064	-0.025	-0.405***
正阳	-0.124	-0.102	-0.106	0.224*
夏邑	0.1	0.114	-0.078	-0.246*
亳州	0.179	-0.07	-0.072	-0.263**
涡阳	0.364**	-0.17	-0.199	-0.268
固始	-0.032	-0.17	-0.302**	-0.286**
凤台	-0.121	-0.044	-0.037	-0.256*
息县	-0.091	-0.138	0.011	0.294*
怀远	-0.184	-0.034	0.184	0.371**
虞城	0.113	-0.266*	-0.113	-0.381**
定远	-0.017	-0.185	-0.153	-0.239*

注: $p<0.1$ (*), $p<0.05$ (**), $p<0.01$ (***).

3.2 夏玉米生长水分关键期内降水量时空特征

利用 IDW 插值分析淮河流域蚌埠闸以上地区近 55 a 年来夏玉米水分关键期内年均降水量的空间分布特征,同时利用 Mann-Kendall(MK)趋势检验方法^[32]对各气象站点的降水量变化趋势进行检验,其中 MK 统计变量的绝对值为 3.29,2.58,1.96 和 1.645 时,分别通过 0.001,0.01,0.05,0.1 的显著性水平检验,结果如图 2 所示。研究区降水量主要在 190~323 mm 变化,从空间分布特征分析,大致呈现

南部高于北部,山区高于平原的特点。各站点年际间降水变率较大,以桐柏站为例,夏玉米水分关键期内,降水最少年份 2001 年仅 22.5 mm,而降水最多年份 1989 年为 762.3 mm。MK 趋势检验结果表明,约 62%的站点降水量呈现下降趋势,主要分布在北部和南部区域,呈上升趋势的站点主要分布在中部和偏北地区,但没有站点通过显著性检验,说明研究区内夏玉米水分关键期内降水量近 55 a 来变化趋势不明显,以波动变化为主。

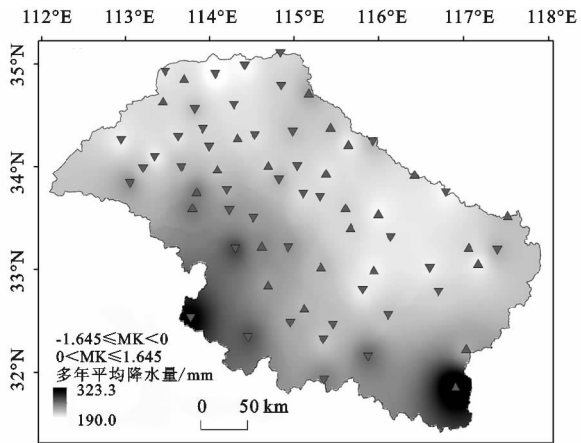


图 2 夏玉米生长水分关键期内多年平均降水量及其 MK 趋势变化空间分布

3.3 确定最优概率分布模型

利用 28 种分布函数拟合各站点夏玉米生长水分关键期内降水序列,经 K-S 检验和 A-D 检验,通过统计值 D 的判断,函数通过 95%的置信度检验,即认为适合拟合淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米生长水分关键期内降水序列。各站点选取 K-S 和 A-D 检验效果均较好的分布函数,即 Test statistic 值越小,则拟合优度排序越靠前,函数的拟合效果越好,然后计算两种检验值的累积和,并将累积和最小的分布函数作为最优拟合函数。研究区各站点最优概率分布函数如图 3 所示,涵盖 10 种类型的函数,其中 21 个站点的最优拟合模型是 Wakeby 函数,包括郑州、开封、驻马店和正阳等站点。

3.4 夏玉米干旱致灾降水阈值的确定

3.4.1 夏玉米干旱致灾降水阈值数值确定 目前,对于划分夏玉米各级干旱等级概率值的确定尚无统一的标准,各地区特征不一,降水情况也不相同,在确定概率值时需根据区域实际情况进行确定^[33]。本文基于淮河流域蚌埠闸以上地区半干旱半湿润气候区的气候特点,依据相关文献^[34],并分析典型干旱年 1973 年、1981 年、1985 年、1989 年、1994 年、1999 年的干旱状况,其中对于夏玉米不同程度的干旱状况的判断,参考国家干旱标准和相关文献中设定的农田与

作物干旱形态指标的等级^[29,35]。本文最终确定降水概率 $p=0.08, 0.15, 0.25, 0.35$ 分位数, 以量化设计淮河流域蚌埠闸以上地区的干旱致灾降水阈值 R , 分为正常、轻旱、中旱、重旱和特旱五级。以各站点不同干旱级别的降水阈值为基础, 利用泰森多边形法确定整个研究区夏玉米生长水分关键期内干旱致灾降水阈值分别是: 轻旱: $147 \leq R < 172$ mm, 中旱: $118 \leq R < 147$ mm, 重旱: $89 \leq R < 118$ mm, 特旱: $R < 89$ mm。

3.4.2 夏玉米干旱致灾阈值空间分布特征 淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米生长水分关键期内各级干旱致灾降水阈值空间分布如图 4 所示, 各级干旱致灾阈值的空间分布大致相同, 均呈现北部至南部依次增加的趋势, 其中西部的桐柏和南部的霍山最高。研究区内干旱致灾阈值地区存在差异, 地形起伏和土壤质地是关键影响因素, 区内高程悬殊, 坡度不一, 西南部的桐柏、新县和霍山一带多为山区, 地形起伏较大, 土壤质地为砂土,

颗粒大, 易漏水, 土壤蓄水能力较差, 土壤含水量较低, 当降水缺乏时, 易发生干旱; 中部地区为平原, 地形起伏小, 土壤质地为黏土, 毛细血管丰富, 保水能力强, 土壤含水量相对较高, 对比山区土壤蓄水能力好^[36-37]。

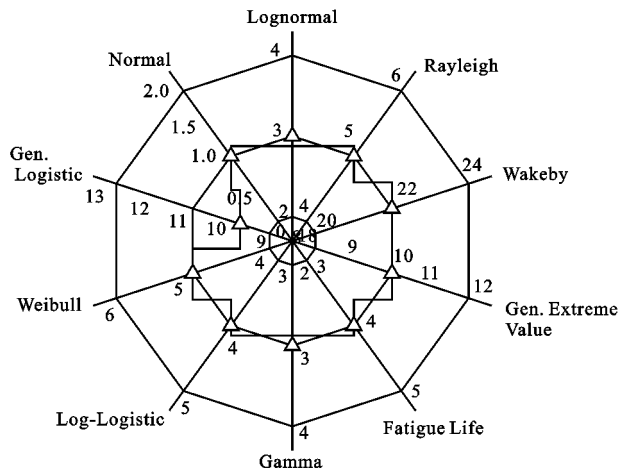


图 3 夏玉米降水序列最优概率分布函数统计

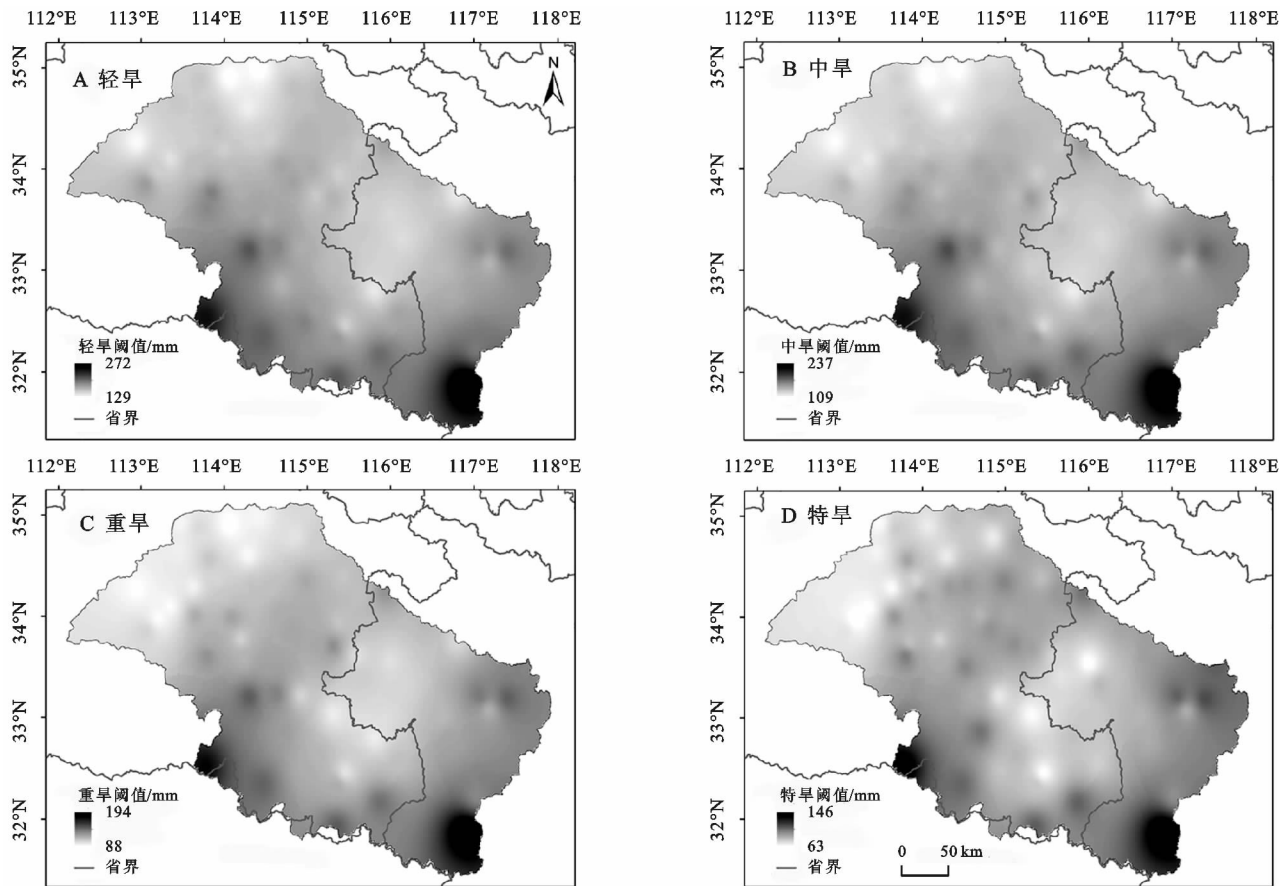


图 4 淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米生长水分关键期内干旱致灾降水阈值的空间分布

3.5 夏玉米干旱致灾降水阈值验证

根据灾情数据选取淮河流域蚌埠闸以上地区 6 个典型干旱年份 1981 年、1985 年、1987 年、1973 年、1994 年、1999 年, 利用干旱致灾阈值划分干旱等级, 见图 5。1981 年, 研究区北部和东部部分地区发生旱情, 其中霍邱、寿县等地发生重旱; 1985 年, 研究区

西部和中部部分地区发生旱情, 信阳和驻马店部分地区发生中旱, 其中罗山和光山为特旱, 驻马店北部地区为轻度干旱; 1987 年, 研究区中南部地区遭受旱灾, 旱情以中旱为主, 其中, 驻马店地带少数地区发生重旱; 1973 年, 研究区只南部未发生旱情, 其余均遭受旱灾, 其中中部和东部为中度干旱, 西北部为

轻度干旱;1994 年,研究区内北部和中部和东部普遍发生旱情,其中平舆、淮滨和霍邱等地为严重干旱;研究区内大部发生干旱,西北部和中部旱情严重,其中鲁山、罗山、阜阳等地发生特旱。参考《中国气象灾

害大典》等灾情数据及民政局统计的灾情,得到基于本研究阈值划分的干旱灾害的空间分布与旱情程度与当年的实际受灾情况较为吻合,实际灾情记载情况如表 4 所示。

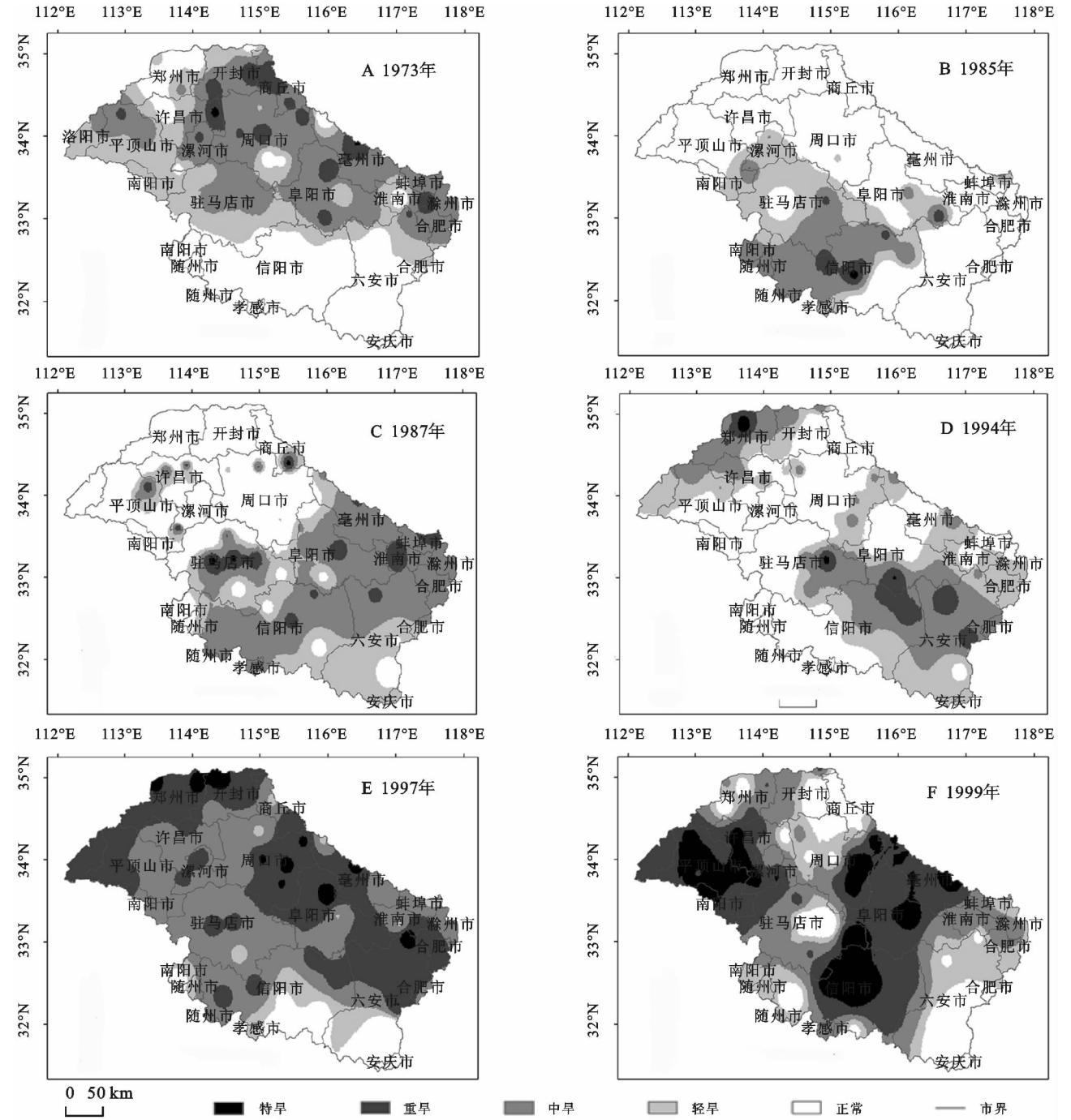


图 5 夏玉米生长水分关键期内干旱致灾降水阈值典型年份验证

选取阜阳、漯河、许昌、长葛和宝丰为代表站,进行干旱阈值的验证。如图 6 所示,各个代表站均较好的指示出了研究区内夏玉米抽雄一成熟期内发生大干旱的年份,分别是 1966 年、1972 年、1978 年、1980 年、1988 年、1993 年、1999 年、2001 年、2013 年。根据灾情资料记载,1966 年,叶县大旱,玉米旱死一半,

秋作物大减产,宝丰秋作物减产 7 成,土地干裂;1978 年,长葛 8 月上旬至中旬伏旱,玉米有不同程度减产,紧接秋旱,宝丰 8 月干旱持续一个多月后又出现秋旱;1996 年,8 月阜阳地区伏旱明显,农作物出现卷叶、落花等现象,受旱面积约 80 万 hm^2 。1997 年,漯河市 8 月 5 日至 9 月 10 日,37 d 内降水只有 2.6

mm,农作物减产面积 5.5 万 hm^2 ,许昌 8 月 3 日至 9 月 11 日降水量 0.3 mm,农作物受灾面积 21 300 hm^2 ,绝收面积 9 200 hm^2 ;1999 年,漯河市出现历史罕见的伏旱连秋旱,受灾面积 9 780 hm^2 ,绝收面积 2 030 hm^2 。综上,5 个代表站点的干旱发生时间、强度与实际灾情资料记载的情况相符程度较高。

表 4 灾情数据实际记录的旱情

年份	灾情数据记录的实际旱情
1973	河南省:8 月上旬,商丘、周口、驻马店地区有 110 万 hm^2 农田受旱灾影响,其中有 73.33 万 hm^2 受灾严重。鹿邑、郸城、太康三县就有 0.73 万 hm^2 晚秋颗粒无收。干旱严重的地区有:永城、拓城、民权、睢县、上蔡等县。其中沿淮地区为小旱。安徽省:8 月初开始,多数地区连续 10 d 以上滴雨未落,全省出现不同程度旱象
1985	河南:8 月,南部地区基本无透雨,信阳地区、南阳盆地和驻马店南部降水量偏少 60%~75%,伏旱严重。部分山丘地区的人畜吃水苦难
1987	河南:郑县受灾人口 18500 人,农作物受灾面积 3100 hm^2 ,成灾面积 2700 hm^2 。全省 8 月累计浇地 100 万 hm^2 。安徽:8 月—9 月,淮北北部持续少雨,伏秋连旱,淮北南部和淮河以南地区气温高、蒸发快,秋旱发展迅速
1994	河南:9 月以后全省降水持续偏少(尤其 9 月下旬、10 月上旬几乎滴雨未降),加之气温偏高,土壤蒸发量大,旱情迅速发展,除信阳地区旱情不明显外,其他地区均不同程度受旱,豫北、豫西旱情尤为严重,全省大部分地区 30 cm 土壤含水率 10% 以下。安徽:9—11 月全省大部分地区干旱,合肥、霍邱等地干土层 7~8 cm,对秋种有影响。临泉县受灾人口 112 万人,农作物受灾面积 94333 hm^2 ,农作物绝收面积达到 8000 hm^2
1997	河南:8 月 5 日以来,全省基本无降水,有 65 个市县旱情急剧发展,至 8 月底,全省秋作物受旱面积达到 308.4 万 hm^2 ,其中严重受旱面积 161.8 万 hm^2 ,旱死绝收面积 52.13 万 hm^2 ,漯河市 37 d 内降水只有 2.6 mm,全市范围受到危害,农作物减产面积 5.5 万 hm^2 。安徽:9—11 月,全省秋旱,主旱区在沿淮西部到沿江东部 70 个县市,平均旱涝等级 3.84 级
1999	河南:7 月 8 日至 9 月 3 日,漯河市出现历史罕见的伏旱连秋旱,土壤含水量仅 9%。土壤严重缺水,部分农田干旱严重,秋作物受灾面积 9780 hm^2 ,绝收面积 2030 hm^2 安徽:6—9 月,合肥以北夏秋旱。6 月以后,合肥以北持续少雨。旱情迅速发展,旱作物卷叶,并持续至 9 月份,截至 8 月 18 日,受灾面积超过 133.3 万 hm^2 ,成灾 80 万 hm^2

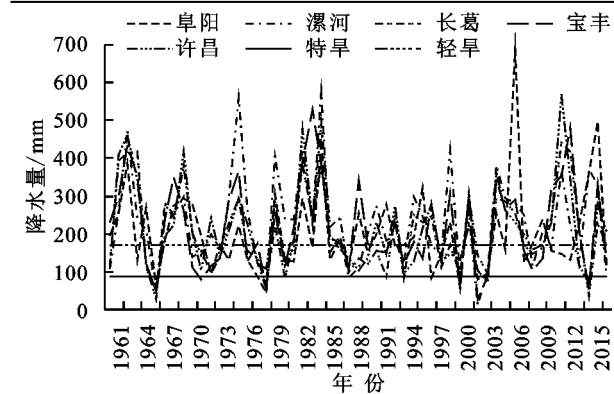


图 6 1961—2015 年典型站点夏玉米生长水分关键期内降水量变化

4 讨论与结论

4.1 讨论

对于降水分布不均匀的某一区域,利用分布函数拟合降水序列时,需考虑多种不同类型概率分布函数及检验方法,以降低单一函数模拟的误差及不确定性。本文基于划分的夏玉米生长水分关键期,选定各站点的最优概率分布模型以及根据当地气候特点给定的降水概率值划分各站点干旱致灾的降水阈值,较李德等^[19]、杨宏毅等^[20]仅考虑单一分布函数确定的干旱指标更进一步,并考虑了特定的受灾体玉米,且范围小,针对性更强,能很好的应用于淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米气象服务工作。本文基于夏玉米

气候产量与各生育阶段水分盈亏指数的相关性分析确定夏玉米生长的水分关键期,研究结果符合当地夏玉米生长实情^[17,38]。对于干旱致灾降水阈值的适用性评价,参照相关文献的验证方法^[21,39],本文选择典型年份和典型站点进行验证,结果表明,阈值划分的旱情与灾情资料记载的实际灾情在发生地点、范围和干旱程度上均较为吻合,说明本文确定的夏玉米干旱致灾降水阈值在中小尺度流域具有较好的适用性。但本文构建的夏玉米各级干旱指标是通过数学方法计算得到的判定阈值,仅考虑了气象因子中的降水因素,且未构建各级致灾阈值与产量的定量关系,另外,玉米干旱还与作物需水量、农田墒情等因素相关,正进一步考虑以上因素对玉米致灾阈值开展深入研究。

4.2 结论

- (1) 利用夏玉米气候产量与各生育期水分盈亏指数相关性分析得出夏玉米生长水分关键期是抽雄—成熟期,具体日期为 8 月 1 日—9 月 30 日,即该时段内水分多少是影响夏玉米产量形成的最关键时段。
- (2) 近 50 a 来淮河蚌埠闸以上地区各站点夏玉米生长降水关键期内多年平均降水量差异较小,从空间分布特征分析,大致呈现南部高于北部,山区高于平原的特点。但各站点年际间降水变率较大。趋势检验结果表明,降水量近 55 a 来变化趋势不明显,以波动变化为主。

(3) 经 K-S 和 A-D 检验,发现选取的四大类 28 种分布函数中大部分能较好地拟合淮河流域蚌埠闸以上地区夏玉米生长水分关键期内的降水序列,但各个站点的降水情况不尽相同,各个站点降水序列的最优拟合函数也差异明显。共涵盖 10 种类型的函数,其中 21 个站点的最优拟合模型是 Wakeby 函数。

(4) 基于降水概率分位数法构建淮河流域蚌埠闸以上地区各站点夏玉米生长水分关键期内各级干旱致灾降水阈值,66 个站点夏玉米干旱致灾的降水阈值地区差异较大,但各级阈值空间分布大致相同,均呈现北部至南部依次增加的趋势,其中西部的桐柏和南部的霍山最高。利用泰森多边形法确定整个研究区夏玉米生长水分关键期内干旱致灾降水阈值分别是:轻旱: $147 \leq R < 172$ mm,中旱: $118 \leq R < 147$ mm,重旱: $89 \leq R < 118$ mm,特旱: $R < 89$ mm。

参考文献:

- [1] 季定民,张勃,王东,等. 甘肃河东玉米种植区春夏气象干旱时空变化特征及其与环流因子关系[J]. 自然资源学报,2015,30(9):1547-1559.
- [2] Han P, Wang P X, Zhang S Y, et al. Drought forecasting based on the remote sensing data using ARIMA models[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2010,51(11/12):1398-1403.
- [3] 秦大河, Thomas Stocker, 259 名作者和 TSU(驻尼泊尔和北京). IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展,2014,10(1):1-6.
- [4] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等. 农业干旱监测研究进展与展望[J]. 地理学报,2015,70(11):1835-1848.
- [5] 马晓群,马玉平,葛道阔,等. 淮河流域农作物旱涝灾害损失精细化评估[M]. 北京:气象出版社,2016.
- [6] 李树岩,刘荣花,马志红. 基于降水距平的黄淮海平原夏玉米干旱评估指标研究[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(5):252-256.
- [7] Gao C, Zhang Z, Zhai J, et al. Research on meteorological thresholds of drought and flood disaster: a case study in the Huai River Basin, China[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2015,29(1):157-167.
- [8] 杨礼箫,曾晟轩,蒋忆文,等. 基于 PDSI 和 SPI 的黑河上游干旱特征对比分析[J]. 水土保持研究,2017,24(2):132-136.
- [9] 吴友均,师庆东,常顺利. 1961—2008 年新疆地区旱涝时空分布特征[J]. 高原气象,2011,30(2):391-396.
- [10] 郭广芬,周月华,史瑞琴,等. 湖北省暴雨洪涝致灾指标的研究[J]. 暴雨灾害,2009,28(4):357-361.
- [11] 陈东东,紫檀,张玉芳. 基于水分盈亏指数的四川省小麦生育期干旱风险评估[J]. 自然灾害学报,2017,26(4):155-163.
- [12] 冯建设,王建源,王新堂,等. 相对湿度指数在农业干旱监测业务中的应用[J]. 应用气象学报,2011,22(6):766-772.
- [13] 赵海燕,高歌,张培群,等. 综合气象干旱指数修正及在西南地区的适用性[J]. 应用气象学报,2011,22(6):698-705.
- [14] 王越,江志红,张强,等. 基于 Palmer 湿润指数的旱涝指标研究[J]. 南京气象学院学报,2007,30(3):383-389.
- [15] 王胜,田红,丁小俊,等. 淮河流域主汛期降水气候特征及“旱涝急转现象”[J]. 中国农业气象,2009,30(1):31-34.
- [16] 盛绍学,张建军,王晓东. 安徽省夏玉米气候适宜性及时空格局特征[J]. 地理研究,2014,33(8):1467-1476.
- [17] 李树岩,陈怀亮. 河南省夏玉米气候适宜度评价[J]. 干旱气象,2014,32(5):751-759.
- [18] 孙洪泉,吕娟,苏志诚,等. 分位数法对多指标干旱等级划分一致性的作用[J]. 灾害学,2017,32(2):13-17,53.
- [19] 李德,祁宦,马晓群. 安徽省淮北平原夏玉米主要生育时期旱涝指标与影响评估[J]. 中国农学通报,2013,29(17):208-216.
- [20] 杨宏毅,霍治国,杨建莹,等. 江汉和江南西部春玉米涝渍指标及风险评估[J]. 应用气象学报,2017,28(2):237-246.
- [21] 黄嘉佑. 北京地区季节旱涝长期变化分析[J]. 水科学进展,1992,3(1):59-64.
- [22] 吴志勇,刘志雨,肖恒,等. 气候变化对淮河蒙洼蓄滞洪区启用风险影响评估[J]. 气候变化研究进展,2015,11(1):1-7.
- [23] 张平,夏军,邹磊,等. 近 50 年来淮河蚌埠以上流域降水时空变化特征分析[J]. 中国农村水利水电,2017(3):1-8.
- [24] 高超,陈实,翟建青,等. 淮河流域旱涝灾害致灾气候阈值[J]. 水科学进展,2014,25(1):36-44.
- [25] 徐玲玲,吕厚荃,方利. 气候变化对黄淮海地区夏玉米气候适宜度的影响[J]. 资源科学,2014,36(4):782-787.
- [26] 房世波. 分离趋势产量和气候产量的方法探讨[J]. 自然灾害学报,2011,20(6):13-18.
- [27] 米娜,蔡福,张玉书,等. 不同生育期持续干旱对玉米的影响及其与减产率的定量关系[J]. 应用生态学报,2017,28(5):1563-1570.
- [28] 苏永秀,李政,吕厚荃. 水分盈亏指数及其在农业干旱监测中的应用[J]. 气象科技,2008,36(5):592-595.
- [29] 张玉芳,王锐婷,陈东东,等. 利用水分盈亏指数评估四川盆地玉米生育期干旱状况[J]. 中国农业气象,2011,32(4):615-620.
- [30] 张娜,金建新,佟长福,等. 西藏参考作物蒸散量时空变化特征与影响因素[J]. 干旱区研究,2017,34(5):1027-1034.
- [31] 彭世彰,索丽生. 节水灌溉条件下作物系数和土壤水分修正系数试验研究[J]. 水利学报,2004,35(1):17-21.

- 有机碳及其 CO_2 释放的影响[J]. 环境科学, 2014, 35(1): 93-99.
- [39] Liu Q, Liu B, Ambus P, et al. Carbon footprint of rice production under biochar amendment: a case study in a Chinese rice cropping system. [J]. Global Change Biology Bioenergy, 2016, 8(1): 148-159.
- [40] Elisabeth J. The effects of land use, temperature and water level fluctuations on the emission of nitrous oxide(N_2O) carbon dioxide[D]. Reykjavik: University of Ice-Land, 2008.
- [41] 王海候, 沈明星, 陆长婴, 等. 不同秸秆还田模式对稻麦两熟农田稻季甲烷和氧化亚氮排放的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(4): 758-763.
- [42] 张岳芳, 陈留根, 朱普平, 等. 秸秆还田对稻麦两熟高产农田净增温潜势影响的初步研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(8): 1647-1653.
- [43] Malghani S, Gleixner G, Trumbore S E. Chars produced by slow pyrolysis and hydrothermal carbonization vary in carbon sequestration potential and greenhouse gases emissions[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2013, 62(5): 137-146.
- [44] Zhang A F, Bian R, Hussain Q, et al. Change in net global warming potential of a rice-wheat cropping system with biochar soil amendment in a rice paddy from China [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2013, 173(8): 37-45.
- [45] 章明奎, Walelign, Bayou, 等. 生物质炭对土壤有机质活性的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 127-131.
- [46] Knoblauch C, Maarifat A A, Pfeiffer E M, et al. Degradability of black carbon and its impact on trace gas fluxes and carbon turnover in paddy soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2011, 43(9): 1768-1778.
- [47] 游东海, 田霄鸿, 把余玲, 等. 小麦—玉米轮作体系中秸秆还田方式对土壤肥力及作物产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(7): 167-172.
- [48] Xia L, Wang S, Yan X. Effects of long-term straw incorporation on the net global warming potential and the net economic benefit in a rice-wheat cropping system in China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, 197: 118-127.
- [49] Wang J, Xiong Z, Kuzyakov Y. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects [J]. Global Change Biology Bioenergy, 2015, 8(3): 512-523.
- [50] Cornelissen G, Kukulska Z, Kalaitzidis S, et al. Relations between environmental black carbon sorption and geochemical sorbent characteristics[J]. Environmental Science & Technology, 2004, 38(13): 3632-3640.
- [51] 程效义, 孟军, 黄玉威, 等. 生物炭对玉米根系生长和氮素吸收及产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2016, 47(2): 218-223.
- [52] 张娜, 李佳, 刘学欢, 等. 生物炭对夏玉米生长和产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(8): 1569-1574.
- [53] 唐春双, 杨克军, 李佐同, 等. 生物炭对玉米茎秆性状及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(3): 93-97.
- [54] Asai H, Samson B K, Stephan H M, et al. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield[J]. Field Crops Research, 2009, 111(1/2): 81-84.
- [55] 刘杰云, 沈健林, 邱虎森, 等. 生物质炭添加对农田温室气体净排放的影响综述[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(2): 205-212.
- [56] 屈忠义, 高利华, 李昌见, 等. 秸秆生物炭对玉米农田温室气体排放的影响[J]. 农业机械学报, 2016, 47(12): 111-118.

(上接第 169 页)

- [32] 姜逢清, 胡汝驥, 李珍. 青藏铁路沿线 1966—2004 年冻结与融化指数的变化趋势[J]. 地理学报, 2007, 62(9): 935-945.
- [33] Ropelewski C F, Janowiak J E, Halpert M S. The analysis and display of real time surface climate data[J]. Monthly Weather Review, 1985, 113(6): 1101-1106.
- [34] 程炳岩, 谢晓丽, 朱业玉, 等. 降水概率模型在旱涝监测评价中的应用研究[J]. 灾害学, 2003, 18(1): 20-25.
- [35] 杨方. 基于农业灾情的农业旱灾等级划分研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [36] 刘瑞娟, 张万昌, 裴洪芹. 淮河流域土壤侵蚀与影响因素关系分析[J]. 中国水土保持, 2010, 2010(5): 29-32.
- [37] 胡续礼, 姜小三, 潘剑君, 等. GIS 支持下淮河流域土壤侵蚀的综合评价[J]. 土壤, 2007, 39(3): 404-407.
- [38] 杨太明, 许莹, 孙喜波, 等. 安徽省夏玉米干旱天气指数保险产品的设计及应用[J]. 气象, 2016, 42(4): 450-455.
- [39] 高晓容, 王春乙, 张继权, 等. 近 50 年东北玉米生育阶段需水量及旱涝时空变化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 101-109.