

魏思成,李凯伟,张继权,等. 黄淮海地区春花生旱涝灾害危险性评价. 应用气象学报,2021,32(5):629-640.  
DOI: 10.11898/1001-7313.20210510

# 黄淮海地区春花生旱涝灾害危险性评价

魏思成<sup>1)</sup> 李凯伟<sup>1)</sup> 张继权<sup>1)\*</sup> 杨月婷<sup>1)</sup> 刘 聪<sup>1)</sup> 王春乙<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(东北师范大学环境学院, 长春 130117)

<sup>2)</sup>(中国气象科学研究院, 北京 100081)

## 摘 要

利用 1960—2019 年黄淮海地区 186 个气象站逐日气象数据,结合春花生发育期数据,采用标准化降水作物需水指数将旱涝灾害分为 7 个等级,分析春花生旱涝灾害的时空分布特征;并以旱涝灾害发生的强度和频率构建春花生旱涝灾害危险性指数,开展黄淮海地区春花生旱涝灾害危险性评价。结果表明:黄河流域西北部和中部、淮河流域东北部以及海河流域北部是干旱灾害高发区;涝害高发区主要集中在黄河流域的大部分地区、淮河流域北部和南部地区以及海河流域东部,以中度涝害为主。春花生干旱灾害高危险性地区零散分布,主要集中在黄河流域西北部;而涝害中、高危险性地区多分布于黄河流域。

**关键词:** 黄淮海地区; 春花生; 旱涝灾害; 危险性评价

## 引 言

花生是我国重要的食品、油料和经济作物,是推动我国现代农业经济可持续发展的重要主导经济作物之一<sup>[1]</sup>。黄淮海地区花生种植面积和产量约占全国的 60%,是我国重要的花生产地<sup>[2]</sup>。近年随着全球气候变暖,黄淮海地区旱涝灾害发生次数明显增多<sup>[3]</sup>,花生生产面临巨大威胁。因此,对黄淮海地区春花生旱涝灾害进行危险性评价,不仅可以量化春花生旱涝灾害风险,还可以优化黄淮海地区春花生产业化布局,对春花生防灾减灾意义重大。

目前,极端天气事件频繁发生,农业气象灾害被广泛关注<sup>[4-8]</sup>,其中对旱涝灾害的研究逐渐增多,主要集中在玉米、水稻及小麦等粮食作物<sup>[9-10]</sup>,有关经济作物旱涝灾害研究报道较少<sup>[11-12]</sup>。郁凌华等<sup>[13]</sup>以统计方法研究黄淮海地区夏玉米生长季的旱涝时空分布特征,运用标准化降水指数(standardized precipitation index),对 1970—2010 年黄淮海地区的降水量数据进行统计。任宗悦等<sup>[14]</sup>的东北地区

春玉米生长期旱涝趋势的时空演变规律研究,主要以累积水分盈亏指数为旱涝指标,并结合 M-K 趋势检验和突变检验法及 GIS 空间分析技术等展开数据分析。张爱民等<sup>[15]</sup>以水稻、小麦旱涝灾害损失评估模型分析旱涝灾害对水稻、小麦产量的影响。相对而言,关于花生旱涝灾害的研究报道较少,且研究主要集中在干旱、涝害对花生的影响及花生抗旱性、抗涝性鉴定等方面。干旱、涝害对花生的影响方面的研究主要集中在花生形态、生理生化指标、产量<sup>[16-20]</sup>等方面,揭示不同旱涝程度对花生生产及产量影响,而花生抗旱性、抗涝性鉴定研究多集中在花生性状的相关指标及抗旱指数计算<sup>[21-23]</sup>。

本文以黄淮海地区春花生为研究对象,选择标准化降水作物需水指数作为表征春花生旱涝情况的指标,分析黄淮海地区春花生旱涝灾害空间分布特征。在此基础上,根据灾害发生的强度和频率构建春花生旱涝灾害危险性评价模型,对黄淮海地区春花生旱涝灾害危险性进行评价,研究结果可为黄淮海地区春花生旱涝灾害防灾减灾及安全生产保障提供参考。

2021-04-06 收到, 2021-06-10 收到再改稿。

资助项目: 国家重点研发计划(2019YFD1002201), 国家自然科学基金项目(41877520), 吉林省科技攻关项目(20190303018SF), 长春市重大科技攻关项目(19SS007)

\* 通信作者, 邮箱: zhangjq022@nenu.edu.cn

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

黄淮海地区土地总面积为  $4.08 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占全国土地总量的 4.3%, 由黄淮平原、鲁中南丘陵、胶东丘陵、冀鲁豫低洼平原和燕山太行山山麓平原等 5 个自然生态区组成, 其中耕地面积为  $2.1538 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 占全国耕地总面积的 16.3%。黄淮海地区东邻黄海、渤海, 西倚太行山、豫西山, 北靠长城, 南踞淮河, 行政区划包括北京、天津、河北、河南、山东、安徽和江苏五省二市, 共 369 个县(市、区)。黄淮海地区地处我国东北亚经济圈, 环渤海经济圈横跨其中, 是我国重要的农产品生产加工基地。黄淮海地区属温带大陆性季风气候, 四季分明, 大于

等于  $10^\circ\text{C}$  积温为  $3600 \sim 4800^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ , 全年无霜期为 170~200 d, 年降水量为 500~950 mm, 旱、涝、沙、碱等为制约黄淮海地区农业发展的主要环境限制因素。2010 年黄淮海地区花生播种面积约  $2 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 占全国花生总播种面积的 58%; 花生产量约  $8 \times 10^6 \text{ t}$ , 占全国花生总产量的 62%<sup>[24-25]</sup>。

### 1.2 数据来源

研究所采用的数据主要包括气象数据和作物数据。气象数据来源于国家气象信息中心, 包括 1960—2019 年黄淮海地区 186 个地面观测气象站点(图 1)观测的日最高气温、日最低气温、日平均气温和逐日降水量等。作物数据来源于研究区内各省市统计年鉴和中国农业技术网, 包括 1960—2019 年黄淮海地区花生的播种面积、年产量、年平均单产数据以及春花生发育阶段划分。

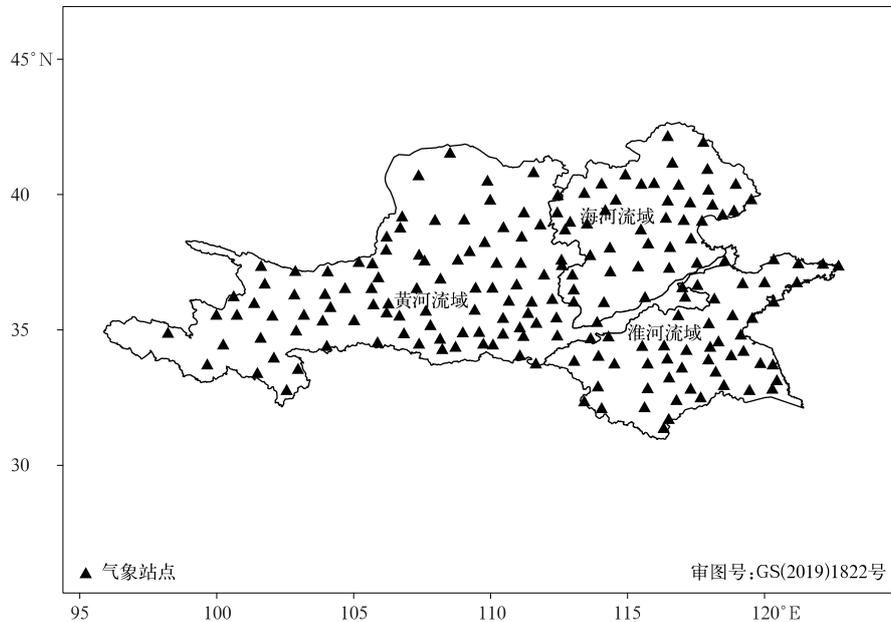


图 1 研究区域内气象站点分布

Fig. 1 Distribution of weather stations in target area

### 1.3 春花生发育阶段划分

春花生是喜温、较耐寒、怕涝的一年生豆科作物。在黄淮海地区, 春花生生长季可达 170~180 d, 一般在 4 月中下旬播种, 9 月下旬—10 月上旬收获。春花生生长季分为出苗期(从播种到 50% 的幼苗出土并展开第 1 片真叶)、幼苗期(从 50% 种子出苗到 50% 植株第 1 朵花开放)、花针期(从 50% 植株开始开花到 50% 植株出现鸡头状的幼果)、结荚期(从 50% 植株出现鸡头状幼果到 50% 植株出现饱果)、饱果期(从 50% 植株出现饱果到荚果饱满成熟收

获)5 个时期<sup>[26]</sup>, 具体时间段划分如表 1 所示。其中,

表 1 黄淮海地区春花生发育期划分  
Table 1 Division of spring peanut growing season in Huang-Huai-Hai Region

发育期	时间
出苗期	4 月中旬—4 月下旬
幼苗期	5 月上旬—5 月下旬
花针期	6 月上旬—6 月下旬
结荚期	7 月上旬—8 月中旬
饱果期	8 月下旬—9 月下旬

出苗期-幼苗期为发育前期,花针期为发育中期,结荚期-饱果期为发育后期。

### 1.4 春花生旱涝灾害危险性评价指标选取

标准化降水蒸腾指数(standardized precipitation evapotranspiration index)是 Vicente-Serrano 等<sup>[27]</sup> 兼顾标准化降水指数、降水和蒸发因素<sup>[28]</sup> 提出的一种干旱指标。本文在综合前人研究<sup>[29]</sup> 的基础上,鉴于春花生不同发育阶段需水量不同,将春花生不同发育阶段的需水量作为重要指标加入计算,构建可综合表征春花生旱涝情况的标准化降水作物需水指数(standardized precipitation requirement index,  $I_{SPR}$ )。具体过程和计算公式如下:

①计算不同发育阶段作物日需水。

作物发育阶段需水量是由发育阶段内逐日需水量累积得到,逐日需水量反映不同时期不同地区大气蒸发能力对作物需水量的影响,参照联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)推荐的 Penman-Monteith 公式<sup>[30]</sup> 计算,以标准条件下(长势良好,供水充足)的逐日蒸散量作为理论需水量

$$E_{Tc} = K_c \times E_{T0} \quad (1)$$

式(1)中,  $E_{Tc}$  为逐日作物需水量,单位: mm;  $K_c$  为春花生作物系数,反映土壤蒸发、作物蒸腾的综合效应,分别受气候条件、土壤蒸发、作物种类、作物生长状况等多种因素的影响<sup>[31]</sup>, 本文结合研究区实际情况参考 FAO 推荐值选用作物系数<sup>[32]</sup> (表 2);  $E_{T0}$  为逐日参考作物蒸散量,单位: mm。

表 2 春花生作物系数

Table 2 Spring peanut crop coefficient

春花生	开始时间	结束时间	作物系数
发育前期	04-15	05-31	0.50
发育中期	06-01	06-30	1.15
发育后期	07-01	09-30	0.60

②计算各发育阶段降水量与作物需水量的差值  $D^{[33]}$ , 即

$$D_i = P_i - E_{Tci} \quad (2)$$

式(2)中,  $i=1, 2, 3$  分别表示发育前期、发育中期和发育后期;  $P$  为各发育阶段降水量,单位: mm;  $E_{Tc}$  为各发育阶段作物需水量,单位: mm。

③对数据序列进行正态化。

由于原始序列中存在负值,因此在计算标准化降水作物需水指数时需采用 3 个参数的 log-logistic 概率分布函数,正态化后的数值即为标准化降水作

物需水指数值<sup>[33]</sup>。

log-logistic 概率分布函数公式为

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (3)$$

式(3)中,参数  $\alpha, \beta, \gamma$  由线性矩方法拟合获得。

对累积概率密度  $Y$  进行标准化:

$$Y = 1 - F(x) \quad (4)$$

当累积概  $Y \leq 0.5$  时,

$$\omega = \sqrt{-2 \ln Y} \quad (5)$$

$$I_{SPR} = \omega - \frac{c_0 + c_1 \omega + c_2 \omega^2}{1 + d_1 \omega + d_2 \omega^2 + d_3 \omega^3}; \quad (6)$$

当累积概率  $Y > 0.5$  时,

$$\omega = \sqrt{-2 \ln(1 - Y)} \quad (7)$$

$$I_{SPR} = \frac{c_0 + c_1 \omega + c_2 \omega^2}{1 + d_1 \omega + d_2 \omega^2 + d_3 \omega^3} - \omega_0 \quad (8)$$

其中,  $I_{SPR}$  为标准化降水作物需水指数,  $c_0 = 2.515517$ ,  $c_1 = 0.802853$ ,  $c_2 = 0.010328$ ,  $d_1 = 1.432788$ ,  $d_2 = 0.189269$ ,  $d_3 = 0.001308$ 。

参照文献<sup>[34-35]</sup>, 基于  $I_{SPR}$  将旱涝灾害划分为 7 级(如表 3 所示)。

表 3 基于标准化降水作物需水指数 ( $I_{SPR}$ ) 的旱涝等级划分

Table 3 Drought and flood grade based on standardized precipitation requirement index ( $I_{SPR}$ )

灾害等级	$I_{SPR}$ 取值范围
重涝	$1.5 < I_{SPR} \leq 2.0$
中涝	$1.0 < I_{SPR} \leq 1.5$
轻涝	$0.5 < I_{SPR} \leq 1.0$
无旱	$-0.5 < I_{SPR} \leq 0.5$
轻旱	$-1.0 < I_{SPR} \leq -0.5$
中旱	$-1.5 < I_{SPR} \leq -1.0$
重旱	$I_{SPR} \leq -1.5$

### 1.5 春花生旱涝频率计算

旱涝频率 ( $P_d$ ) 定义为某一站点发生某种程度旱涝的年数与研究时段总年数之比<sup>[36]</sup>,

$$P_d = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (9)$$

式(9)中,  $n$  为某站点在某发育阶段发生某种程度旱涝年数,  $N$  为总年数。

### 1.6 春花生旱涝灾害危险性指数构建

旱涝灾害危险性主要由危害强度和发生概率表征,根据屈振江等<sup>[37]</sup> 的研究成果,构建春花生主要气象灾害危险性指数:

$$H_x = C_s \times P_s + C_m \times P_m + C_l \times P_l \quad (10)$$

式(10)中,  $H_x$  为某种灾害的危险性指数, 表示危险性大小,  $H_x$  值越大, 则旱(涝)灾害危险性越大, 灾害发生时造成的损失越大。  $C_s, C_m, C_l$  分别为重度、中度、轻度灾害的灾损系数即危害强度;  $P_s, P_m, P_l$  分别为重度、中度、轻度旱(涝)灾害的发生概率。

基于前人研究成果<sup>[18,38]</sup>以及产量数据与不同发育阶段灾害强度的相关分析结果, 确定春花生不同发育阶段干旱和涝害的灾损系数(表4和表5)。

表4 春花生干旱灾损系数

Table 4 The damage coefficients of drought disaster for spring peanut

发育阶段	干旱等级		
	轻旱	中旱	重旱
发育前期	0.01	0.03	0.06
发育中期	0.03	0.09	0.18
发育后期	0.06	0.18	0.36

表5 春花生涝害灾损系数

Table 5 The damage coefficients of waterlogging for spring peanut

发育阶段	涝害等级		
	轻涝	中涝	重涝
发育前期	0.02	0.06	0.12
发育中期	0.03	0.09	0.18
发育后期	0.05	0.15	0.30

## 2 结果分析

### 2.1 黄淮海地区春花生旱涝灾害空间分布特征

为分析黄淮海地区春花生旱涝灾害空间分布特征, 利用气象数据计算出1960—2019年  $I_{SPR}$ , 结合  $I_{SPR}$  旱涝等级划分对春花生旱涝频率进行计算, 并使用反距离权重插值法进行插值。

#### 2.1.1 春花生干旱空间分布特征

1960—2019年黄淮海地区春花生不同发育阶段干旱发生频率均超过25%, 多数地区的发生频率为30%~35%, 仅个别地区发生频率为35%~45%。其中, 春花生发育前期, 黄河流域种植区和淮河流域种植区仅存在零散地区干旱发生率超过40%; 黄河流域北部种植区、海河流域东北部种植区和淮河流域中部及北部种植区等干旱发生频率多为35%~40%。春花生发育中期, 干旱发生频率为40%~45%的地区仅存在于黄河流域北部种植区, 干旱发生频率为35%~40%的地区零散分布于整个黄淮海地区。春花生发育后期, 仅海河流域东北部种植区小部分区域的干旱发生频率为40%~45%, 干旱发生频率为35%~40%的情况在3个流域均零散分布(图2)。

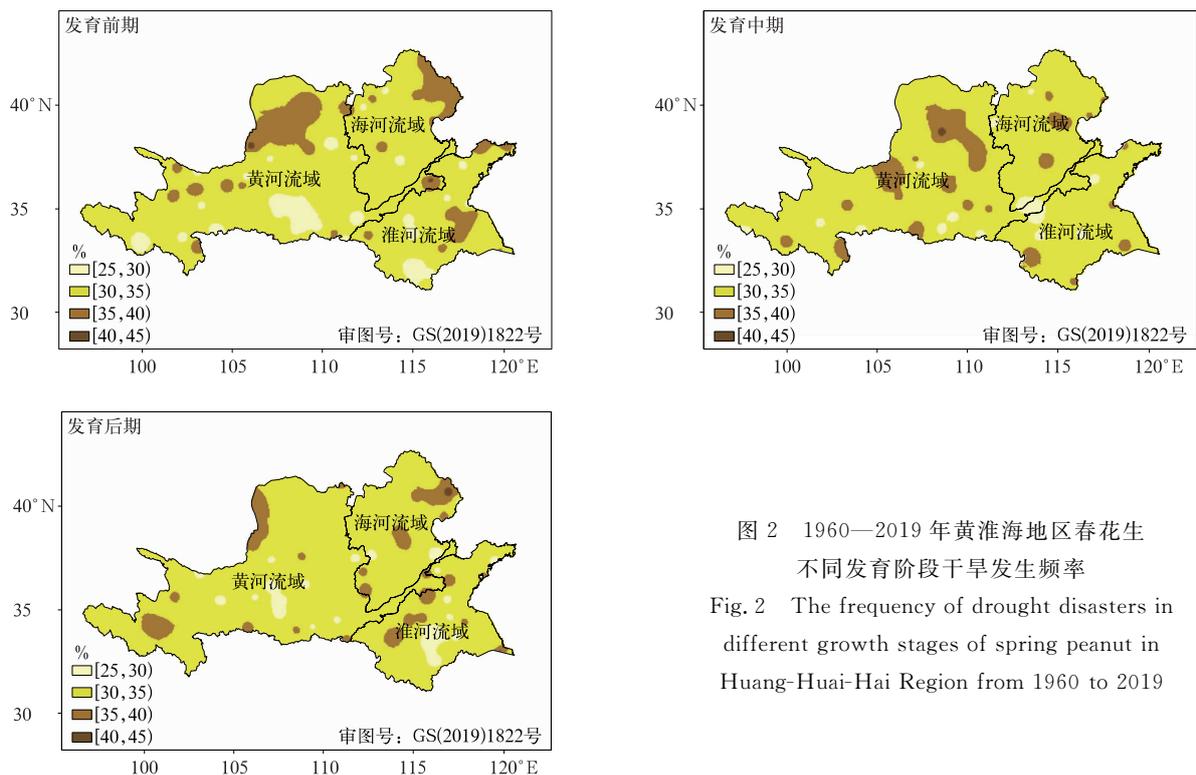


图2 1960—2019年黄淮海地区春花生不同发育阶段干旱发生频率

Fig. 2 The frequency of drought disasters in different growth stages of spring peanut in Huang-Huai-Hai Region from 1960 to 2019

综合近 60 年春花生生长季干旱等级,黄淮海地区春花生干旱发生频率在 30% 以下,以轻度干旱和中度干旱为主。轻旱和中旱发生频率最高的地区主要位于黄河流域和海河流域,重旱发生频率最高地区出现在黄河流域北部、西部以及海河流域的南部。干旱发生频率为 25%~30% 的地区存在于黄河流域北部,面积极小;干旱发生频率为 20%~25% 的

地区包括黄河流域西部、西北部、北部和中部某些种植区域、海河流域北部种植区和淮河流域的东北部种植区;干旱发生频率为 15%~20% 的地区分布广泛,涵盖整个黄淮海研究区;仅有零散几处位于黄河流域种植区、海河流域中南部种植区以及淮河流域西北部的种植区域干旱发生频率小于 15%,不易发生干旱(图 3)。

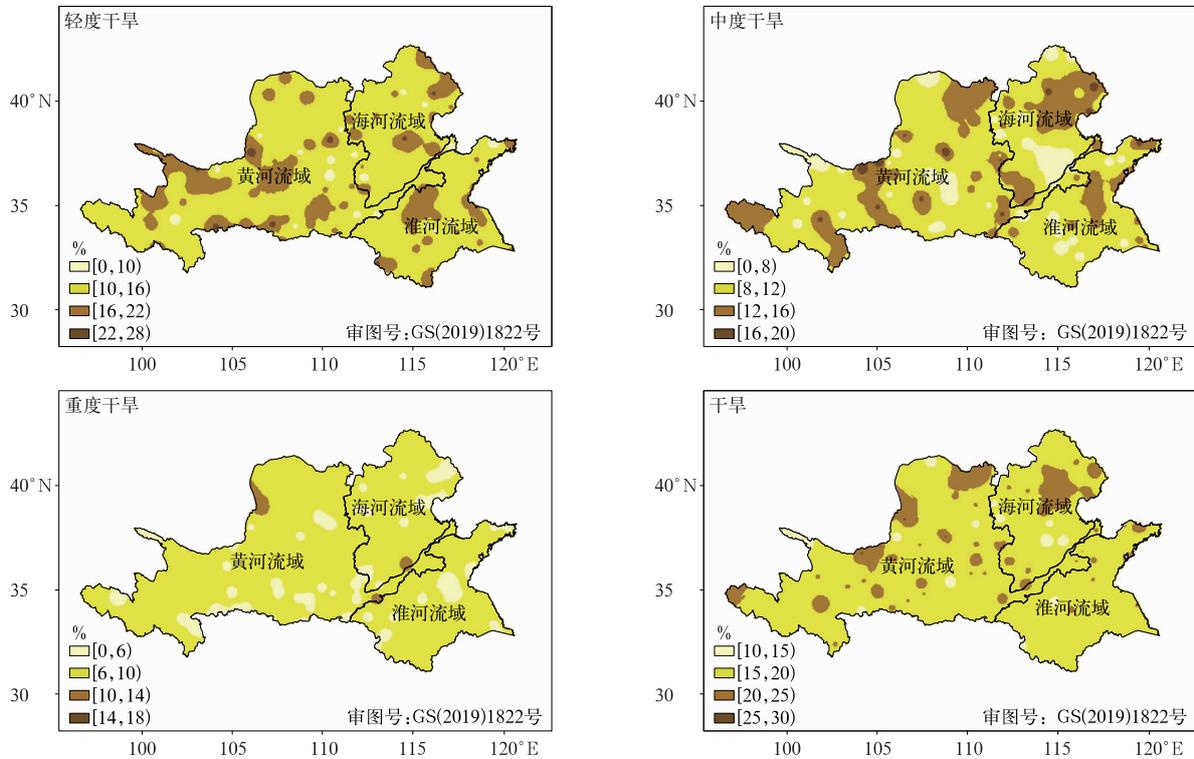


图 3 1960—2019 年黄淮海地区春花生生长季干旱发生频率  
Fig. 3 The frequency of drought disasters during growing season of spring peanut in Huang-Huai-Hai Region from 1960 to 2019

2.1.2 春花生涝害空间分布特征

1960—2019 年黄淮海地区春花生在生长季内涝害发生频率略高于干旱发生频率。春花生发育前期,绝大多数地区发生涝害的频率为 28%~36%。春花生发育中期,有七成地区的春花生涝害发生频率达到 32%~36%;在黄河流域和海河流域中部,部分种植区春花生涝害发生频率高达 36%~40%。春花生发育后期,黄河流域中部种植区春花生涝害发生频率较高地区显著减少,在淮河流域北部种植区则出现春花生涝害发生频率最高的地区(图 4)。

综合 60 年春花生生长季涝害等级,以轻度涝害和轻度涝害为主,整体发生频率较高。轻涝发生频率最高的地区位于黄河流域西部,中涝发生频率最

高的地区分散在整个研究区内,重涝发生频率最高地区则位于黄河流域南部。研究区涝害发生频率为 35%~40% 的地区分布范围较小,集中在黄河流域中部种植区、中西部种植区和北部部分种植区、海河流域北部种植区和淮河流域北部种植区;黄河流域大部分种植区、海河流域东部种植区和淮河流域北部种植区及南部种植区的春花生涝害发生频率为 32%~36%,易发生涝害;黄河流域的西部种植区、东部种植区、海河流域南部种植区和淮河流域南部种植区春花生涝害发生频率较高;黄河流域西部种植区、东部少部分种植区和海河流域中部小片种植区春花生涝害发生频率较低,低于 28%(图 5)。

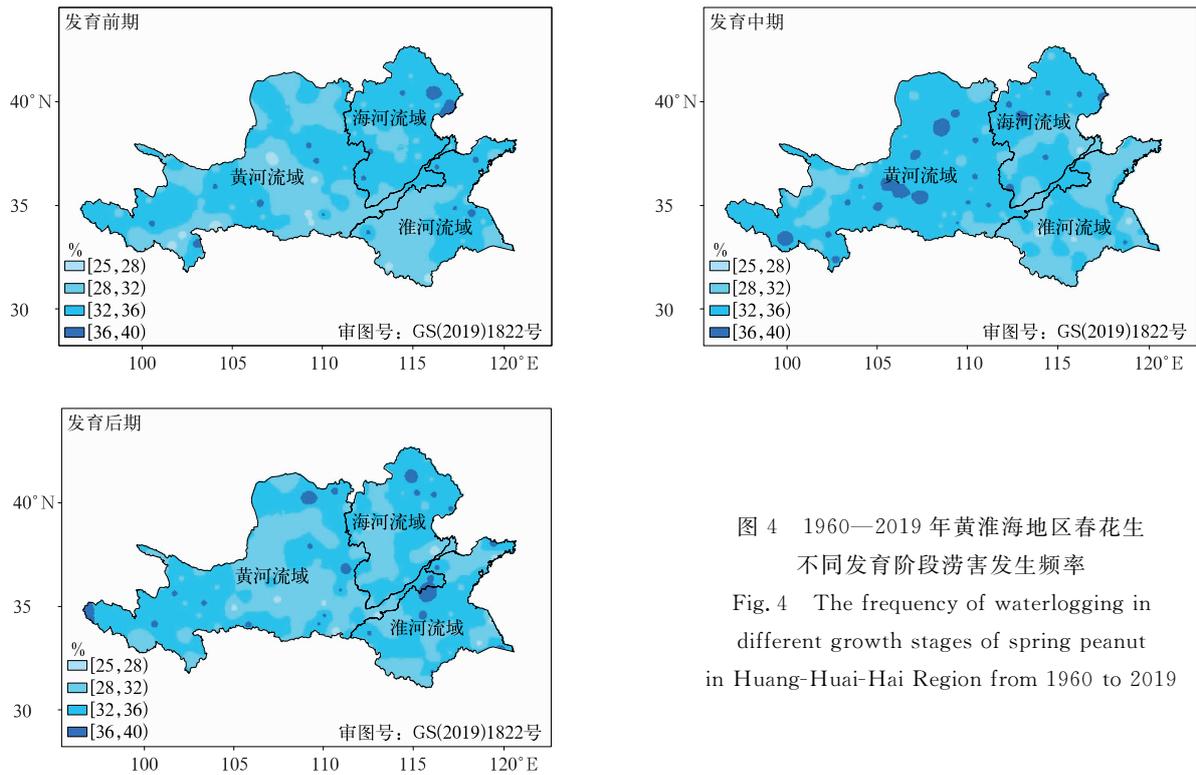


图 4 1960—2019 年黄淮海地区春花生不同发育阶段涝害发生频率

Fig. 4 The frequency of waterlogging in different growth stages of spring peanut in Huang-Huai-Hai Region from 1960 to 2019

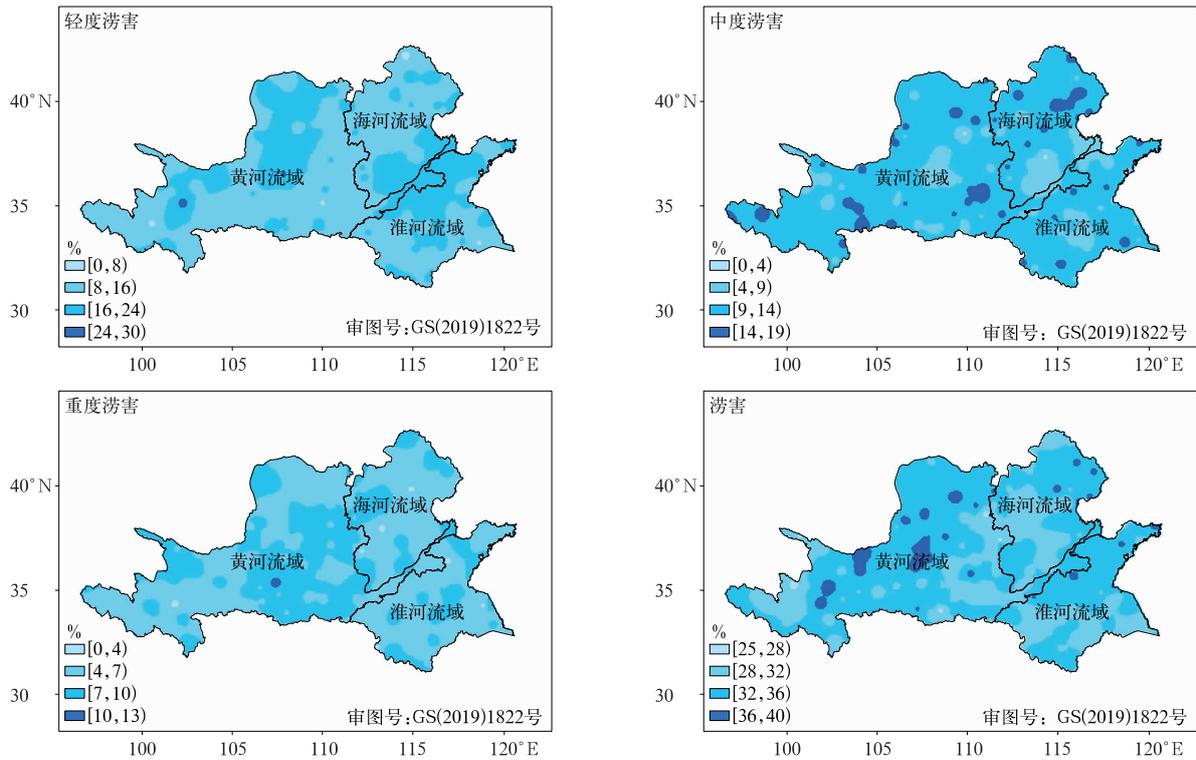


图 5 1960—2019 年黄淮海地区春花生生长季涝害发生频率

Fig. 5 The frequency of waterlogging during growing season of spring peanut in Huang-Huai-Hai Region from 1960 to 2019

### 2.2 黄淮海地区春花生旱涝灾害危险性评价

对危险性指数进行归一化处理,利用自然断点法将研究区春花生旱涝灾害危险性划分为低危险性、中危险性和高危险性 3 个等级。分析春花生各发育阶段的干旱危险性,其中,低危险性为  $H_x < 0.27$ ,中危险性为  $0.27 \leq H_x < 0.52$ ,高危险性为  $H_x \geq 0.52$ 。分析春花生各发育阶段的涝害灾害危险性,其中,低危险性为  $H_x < 0.29$ ,中危险性为  $0.29 \leq H_x < 0.46$ ,高危险性为  $H_x \geq 0.46$ 。

#### 2.2.1 春花生干旱危险性评价

春花生发育前期,黄河流域北部种植区域及西部种植区域、海河流域北部种植区域均存在春花生

干旱危险性较高区域;黄河流域和淮河流域中部则是干旱危险性中等的地区。春花生发育中期,中、高干旱危险性区域主要集中在黄河流域中部,其余大部分地区干旱危险性较低。春花生发育后期,由于对水分的需求量变大,干旱危险性为中、高等级的地区明显增多,在整个黄淮海地区均有分布。从春花生生长季看,干旱危险性中、高等级地区主要分布在黄河流域北部种植区和海河流域北部种植区,这与当地气候相吻合;其余干旱危险性中、高等级地区则零散分布在黄河流域种植区和海河流域种植区,而淮河流域种植区的春花生在生长季内干旱危险性均较低(图 6)。

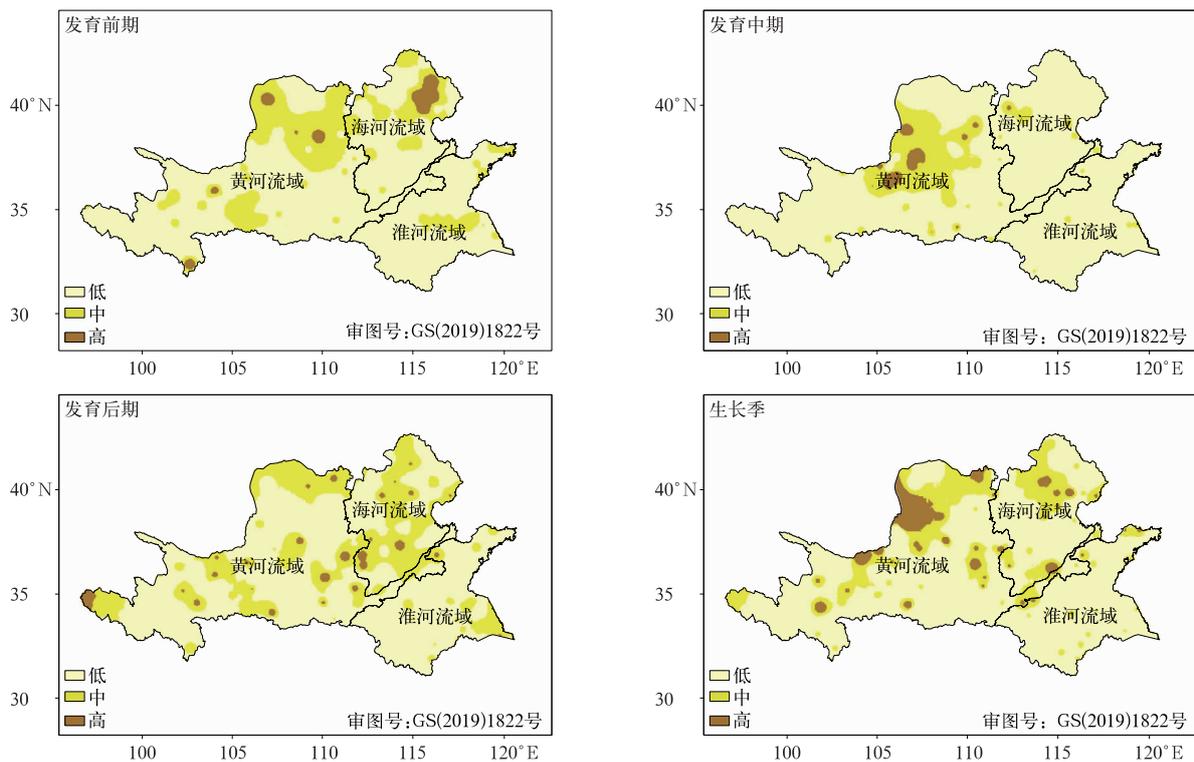


图 6 1960—2019 年黄淮海地区春花生不同发育阶段和生长季干旱危险性分布  
 Fig. 6 Distribution of drought risk in different growth stages and growing season of spring peanut in Huang-Huai-Hai Region from 1960 to 2019

#### 2.2.2 春花生涝害危险性评价

综合涝害等级、灾损系数构建涝害危险性评价模型,进行春花生各发育阶段涝害危险性分析(图 7)。春花生发育前期,黄河流域种植区、海河流域种植区和淮河流域北部种植区均是主要涝害危险性较高地区;春花生发育中期,涝害危险性较高地区则出现整体南移。春花生发育后期,黄河流域的北部种

植区和东部种植区以及海河流域的上半部种植区是涝害危险性较高的集中区,涝害危险性较高地区明显减少。综合春花生的整个生长季看,涝害危险性中、高等级的地区约占全区的 20%,集中在黄河流域的中部和海河流域的北部,而淮河流域大部分地区均为春花生涝害危险性较低区域。

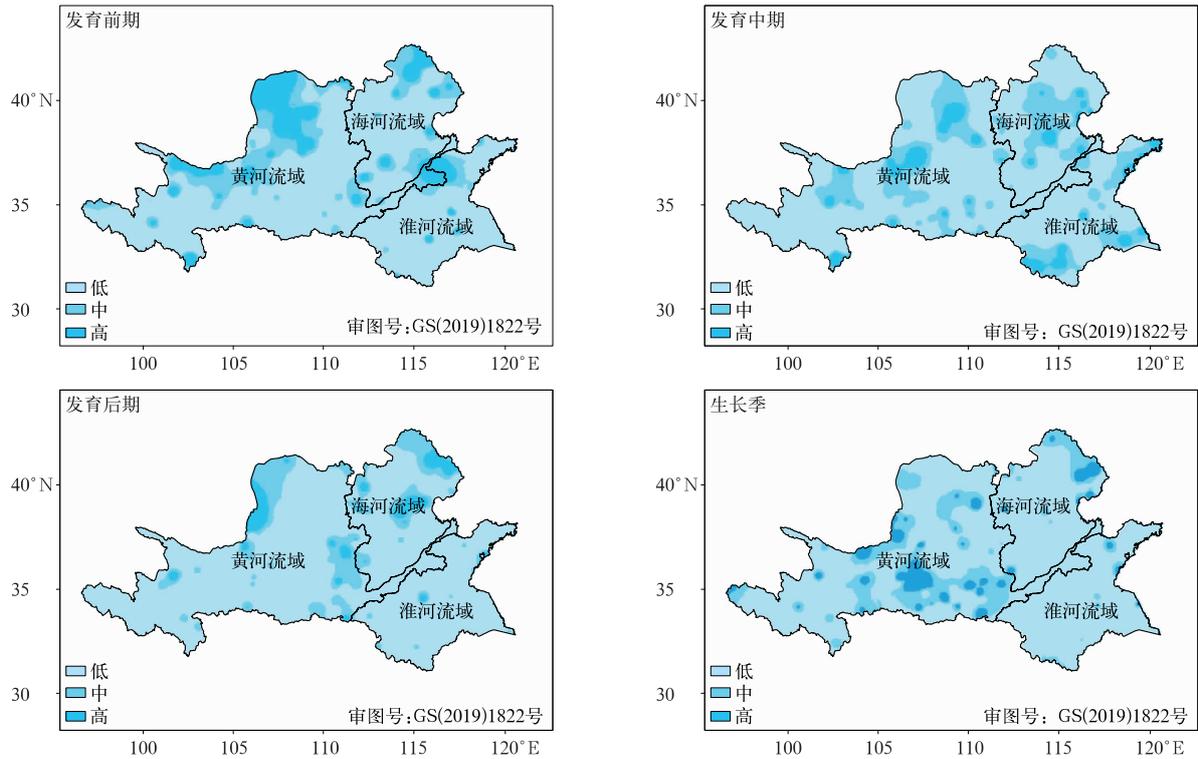


图 7 1960—2019 年黄淮海地区春花生不同发育阶段和生长季涝害危险性分布

Fig. 7 Risk distribution of waterlogging in different growth stages and growing season of spring peanut in Huang-Huai-Hai Region from 1960 to 2019

### 3 结论与讨论

本文以黄淮海地区春花生为研究对象,基于标准化降水作物需水指数( $I_{SPR}$ )分析春花生不同发育阶段旱涝灾害的空间分布特征,并在此基础上考虑不同发育阶段、不同程度灾害的灾损系数构建春花生旱涝灾害危险性评价模型,对春花生旱涝灾害危险性进行评价,主要结论如下:

1) 春花生不同发育阶段干旱频率的空间分布差异很大。春花生发育前期干旱频率高的地区分布最广;发育中期和发育后期春花生干旱频率高地区相对较少。综合近 60 年春花生生长季看,干旱发生频率高的地区有黄河流域的西部、西北部、北部和中部某些区域、海河流域北部和淮河流域东北部,与不同发育阶段干旱频率空间分布基本吻合。

2) 春花生不同发育阶段涝害发生频率均较高,其中发育中期涝害发生频率高的地区极为广泛,约占总区域的 80%;其余两个发育阶段涝害发生频率高的地区相对较少,约占总区域的 50%。综合近 60 年春花生生长季看,涝害高发区多为中度涝害,一般

集中在黄河流域大部分种植区、海河流域东部种植区以及淮河流域北部种植区、南部种植区。

3) 春花生不同发育阶段干旱以低危险性为主,中、高危险性地区分布较为分散,发育前期主要分布在黄河流域北部种植区、海河流域北部种植区以及淮河流域中部种植区,发育中期主要分布在黄河流域中西部种植区,发育后期主要分布在淮河流域大部分种植区。综合近 60 年春花生生长季看,春花生干旱危险性整体较低,高危险性地区零散分布,主要集中在黄河流域西北部种植区。

4) 春花生不同发育阶段涝害危险性均较低,其中发育前期和发育中期涝害中、高危险地区分布范围较大,约占总区域的 30%,以黄河流域西北部种植区、海河流域中北部种植区以及淮河流域外部种植区为主;发育后期中、高危险地区分布范围相对较小,以黄淮海地区中部种植区为主。综合近 60 年春花生生长季看,春花生涝害危险性整体较低,中、高危险性地区多数分布在黄河流域种植区,海河流域北部种植区也有部分存在。

干旱和涝害是我国典型的自然灾害<sup>[39-40]</sup>,发生频率较高、影响范围较广、危害较大。经济作物更容

易受到灾害影响,且经济损失更大。在黄淮海地区,由于自然和经济条件、农业的发展程度有明显的地域差异<sup>[41]</sup>,本文从农业旱涝角度出发对该地区春花生进行旱涝危险性评价。根据花生在不同发育阶段的需水特点,将主要结论与有关黄淮海流域旱涝时空分布研究<sup>[42]</sup>进行对比,在保证结论较为吻合的前提下也获得新启发:如黄淮海地区夏秋两季旱涝问题较为严重,黄河和海河流域干旱问题较多,淮河流域则是旱涝并存,以及应该充分考虑旱涝急转等相关问题。由于本文仅考虑自然因素对该地区旱涝的影响,在今后的研究中应加入人文和社会影响因素。

总体而言,黄淮海地区春花生旱涝灾害危险性相对较低,但部分地区仍具有较高危险性。干旱危险性最高的地区集中在黄河流域西北部,这是由于该地区降水资源量相对匮乏<sup>[43]</sup>,易产生不同程度干旱,在春花生不同发育阶段造成不同程度影响。春花生发育前期,干旱影响力极大,主要表现为春花生生长缓慢,营养生长受阻,干物质积累量少<sup>[44]</sup>;发育中期,干旱对植株生长发育及产量的影响较大,易造成春花生大幅减产<sup>[45]</sup>;发育后期,干旱对春花生的影响相对较小,但此阶段发生干旱易造成春花生早衰,饱果率下降<sup>[46]</sup>。涝害危险性最高的地区集中在黄河流域中部种植区和海河流域北部种植区,该种植区降水较多、温度较低,春花生发育中期对涝害最敏感。在各发育阶段,涝害抑制种植区春花生发育期叶片的光合作用、荧光作用、根系活力等,降低了春花生发育期叶片中的叶绿素和可溶性蛋白含量,最终导致春花生减产<sup>[47]</sup>。综合春花生各发育阶段干旱及涝害危险性,在黄河流域北部及中部种植区常发生旱涝急转事件,因此应在削减旱涝急转灾害的危险性、调控种植区作物暴露度、降低脆弱性、提升整体种植防灾减灾能力和种植区管理水平等方面予以把握<sup>[48]</sup>。

### 参考文献

- [1] 汤松,禹山林,廖伯寿,等.我国花生产业现状、存在问题及发展对策.花生学报,2010,39(3):35-38.  
Tang S, Yu S L, Liao B S, et al. Industry status, existing problems and development strategy of peanut in China. *Journal of Peanut Science*, 2010, 39(3): 35-38.
- [2] 郭洪海,杨丽萍,李新华,等.黄淮海区域花生生产与品质特征的研究.中国生态农业学报,2010,18(6):1233-1238.  
Guo H H, Yang L P, Li X H, et al. Characteristics of production and quality of peanut in Huang-Huai-Hai region. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(6): 1233-1238.
- [3] 黄荣辉,杜振彩.全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及趋势.自然杂志,2010,32(4):187-195;184.  
Huang R H, Du Z C. Evolution characteristics and trend of droughts and floods in China under the background of global warming. *Chinese Journal of Nature*, 2010, 32(4): 187-195; 184.
- [4] 王纯枝,霍治国,郭安红,等.中国北方冬小麦蚜虫气候风险评估.应用气象学报,2021,32(2):160-174.  
Wang C Z, Huo Z G, Guo A H, et al. Climatic risk assessment of winter wheat aphids in northern China. *J Appl Meteor Sci*, 2021, 32(2): 160-174.
- [5] 张桂香,霍治国,杨建堂,等.江淮地区夏玉米涝渍灾害时空分布特征和风险分析.生态学杂志,2017,36(3):747-756.  
Zhang G X, Huo Z G, Yang J Y, et al. Spatiotemporal characteristic and risk analysis of summer corn waterlogging disaster in Jianghuai region. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(3): 747-756.
- [6] 杨磊,韩丽娟,宋金玲,等.基于遥感数据的夏玉米高温热害监测评估.应用气象学报,2020,31(6):749-758.  
Yang L, Han L J, Song J L, et al. Monitoring and evaluation of high temperature and heat damage of summer maize based on remote sensing data. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(6): 749-758.
- [7] 贾建英,韩兰英,万信,等.甘肃省冬小麦风险评估及其区划.干旱区研究,2019,36(6):1478-1486.  
Jia J Y, Han L Y, Wan X, et al. Risk assessment and regionalization of winter wheat drought disaster in Gansu Province. *Arid Zone Research*, 2019, 36(6): 1478-1486.
- [8] 王培娟,唐俊贤,金志凤,等.中国茶树春霜冻害研究进展.应用气象学报,2021,32(2):129-145.  
Wang P J, Tang J X, Jin Z F, et al. Review on spring frost disaster for tea plant in China. *J Appl Meteor Sci*, 2021, 32(2): 129-145.
- [9] 吕佳佳,王晾晾,石磊,等.寒地水稻关键生育期涝害的过程雨量指标构建.生态学杂志,2019,38(5):1402-1409.  
Lv J J, Wang L L, Shi L, et al. Establishment of process rainfall indices for waterlogging damage in key growth stage of rice in cold region. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(5): 1402-1409.
- [10] 李燕,王志伟,霍治国,等.干旱对夏玉米根冠及产量影响试验.应用气象学报,2020,31(1):83-94.  
Li Y, Wang Z W, Huo Z G, et al. Experiments of water stress on root/shoot growth and yield of summer maize. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(1): 83-94.
- [11] 金林雪,唐红艳,武荣盛,等.内蒙古大豆干旱灾害风险分析与区划.中国农业科技导报,2020,22(1):106-115.  
Jin L X, Tang H Y, Wu R S, et al. Risk analysis and regionalization of soybean drought disasters in Inner Mongolia. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 22(1): 106-115.
- [12] 杨建堂,霍治国,王培娟,等.中国北方苹果干旱等级指标构建及危险性评价.应用气象学报,2021,32(1):25-37.  
Yang J Y, Huo Z G, Wang P J, et al. Evaluation index con-

- struction and hazard risk assessment on apple drought in northern China. *J Appl Meteor Sci*, 2021, 32(1): 25-37.
- [13] 郁凌华, 赵艳霞. 黄淮海地区夏玉米生长季内的旱涝灾害分析. *灾害学*, 2013, 28(2): 71-75; 80.  
Yu L H, Zhao Y X. Analysis of drought-flood disaster on Huanghuaihai region during summer maize growing season. *Journal of Catastrophology*, 2013, 28(2): 71-75; 80.
- [14] 任宗悦, 刘晓静, 刘家福, 等. 近60年东北地区春玉米旱涝趋势演变研究. *中国生态农业学报*, 2020, 28(2): 179-190.  
Ren Z Y, Liu X J, Liu J F, et al. Evolution of drought and flood trend in the growth period of spring maize in northeast China in the past 60 years. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(2): 179-190.
- [15] 张爱民, 马晓群, 杨太明, 等. 安徽省旱涝灾害及其对农作物产量影响. *应用气象学报*, 2007, 18(5): 619-626.  
Zhang A M, Ma X Q, Yang T M, et al. The influence of drought and waterlogging disasters on crop yields in Anhui Province. *J Appl Meteor Sci*, 2007, 18(5): 619-626.
- [16] 董奇琦, 艾鑫, 张艳正, 等. 干旱胁迫对不同耐性花生品种生理特性及产量的影响. *沈阳农业大学学报*, 2020, 51(1): 18-26.  
Dong Q Q, Ai X, Zhang Y Z, et al. Effect of drought stress on physiological characteristics and yield in different tolerant peanut. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2020, 51(1): 18-26.
- [17] 石必显, 林明, 顾元国, 等. 不同干旱胁迫对花生生长发育及产量的影响. *新疆农业科学*, 2019, 56(3): 422-429.  
Shi B X, Lin M, Gu Y G, et al. Effects of different drought stress on growth and yield of peanut. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2019, 56(3): 422-429.
- [18] 张凤, 王媛媛, 张佳蕾, 等. 不同生育时期淹水对花生生理性状及产量、品质的影响. *花生学报*, 2012, 41(2): 1-7.  
Zhang F, Wang Y Y, Zhang J L, et al. Effects of water-logging at different growing periods on physiological characteristics, pod yield and kernel quality of peanut. *Journal of Peanut Science*, 2012, 41(2): 1-7.
- [19] Neto A D A, Nogueira R J M C, Melo P A, et al. Physiological and biochemical responses of peanut genotypes to water deficit. *J Plant Interact*, 2010, 5(1): 1-10.
- [20] Junjittakarn J, Girdthai T, Jogloy S, et al. Response of root characteristics and yield in peanut under terminal drought condition. *Chil J Agric Res*, 2014, 74(3): 249-256.
- [21] 张冠初, 张智猛, 徐扬, 等. 不同基因型花生抗旱耐盐性评价及鉴定指标筛选. *种子*, 2020, 39(8): 1-5.  
Zhang G C, Zhang Z M, Xu Y, et al. Evaluation of drought and salt tolerance of peanut with different genotypes and screening of resistance-related identification indexes. *Seed*, 2020, 39(8): 1-5.
- [22] 张俊, 汤丰收, 刘娟, 等. 利用隶属函数法对不同花生品种的抗旱性评价. *湖南农业科学*, 2014(23): 42-45.  
Zhang J, Tang F S, Liu J, et al. Evaluations on drought-resistance traits of different peanut varieties by subordinate function values analysis. *Hunan Agricultural Sciences*, 2014(23): 42-45.
- [23] 邱柳, 刘登望, 熊路, 等. 花生种质资源耐涝性鉴定的研究进展. *湖南农业科学*, 2012(7): 4-7.  
Qiu L, Liu D W, Xiong L, et al. Advances in identification of waterlogging tolerance for peanut germplasm resources. *Hunan Agricultural Sciences*, 2012(7): 4-7.
- [24] 郭洪海, 杨丽萍, 李新华, 等. 黄淮海区域花生生产与品质现状及发展对策. *中国农学通报*, 2010, 26(14): 123-128.  
Guo H H, Yang L P, Li X H, et al. Situation of production and quality and development countermeasure of peanut in Huang-Huai-Hai region. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(14): 123-128.
- [25] 山仑, 吴普特, 康绍忠, 等. 黄淮海地区农业节水对策及实施旱地农业可行性研究. *中国工程科学*, 2011, 13(4): 37-42.  
Shan L, Wu P T, Kang S Z, et al. Study on agricultural water-saving countermeasures and feasibility of implementing semi-dryland farming in the Huang-Huai-Hai region. *Engineering Science China*, 2011, 13(4): 37-42.
- [26] 杨尚. 花生天气指数保险研究与设计. 济南: 山东大学, 2019.  
Yang S. Research and Design of Peanut Weather Index Insurance. Jinan: Shandong University, 2019.
- [27] Vicente-Serrano S M, Beguería S, López-Moreno J I. A multi-scalar drought index sensitive to global warming; The standardized precipitation evapotranspiration index. *J Clim*, 2010, 23(7): 1696-1718.
- [28] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. The 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, 1993.
- [29] 王国强. 1961—2015年黄土高原地区玉米生育期干旱演变特征及风险区划. 兰州: 西北师范大学, 2017.  
Wang G Q. Drought Evolution Characteristics and Risk Regionalization of Maize Growth Period in the Loess Plateau during 1961—2015. Lanzhou: Northwest Normal University, 2017.
- [30] 程雪, 孙爽, 张方亮, 等. 我国北方地区苹果干旱时空分布特征. *应用气象学报*, 2020, 31(1): 63-73.  
Cheng X, Sun S, Zhang F L, et al. Spatial and temporal distribution of apple drought in northern China. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(1): 63-73.
- [31] 李琪, 李莹莹, 任景全, 等. 吉林省春玉米不同生育期干旱时空特征分析. *江苏农业科学*, 2018, 46(8): 50-56.  
Li Q, Li Y Y, Ren J Q, et al. Analysis of drought spatial-temporal characteristics of spring maize during different growth periods in Jilin Province. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(8): 50-56.
- [32] 黄会平, 曹明明, 宋进喜, 等. 黄淮海平原主要农作物全生育期水分盈亏变化特征. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(8): 138-144.  
Huang H P, Cao M M, Song J X, et al. Water budget of main crops during the whole growth period in Huang-Huai-Hai plain. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29(8): 138-144.
- [33] 曹永强, 路洁, 李玲慧. 基于SPEI指数的辽宁省多尺度旱涝特征分析. *中国水利水电科学研究院学报*, 2021, 19(2): 210-

220.  
Cao Y Q, Lu J, Li L H. Analysis of multi-scale drought and flood characteristic in Liaoning province based on SPEI. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 2021, 19(2): 210-220.
- [34] Vicente-Serrano S M, Begueria S, López-Moreno J I. Comment on "Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) during 1900—2008" by Aiguo Dai. *J Geophys Res Atmos*, 2011, 116: D19112. DOI: 10.1029/2011JD016410.
- [35] 张强, 姚玉璧, 李耀辉, 等. 中国西北地区干旱气象灾害监测预警与减灾技术研究进展及其展望. *地球科学进展*, 2015, 30(2): 196-213.  
Zhang Q, Yao Y B, Li Y H, et al. Research progress and prospect on the monitoring and early warning and mitigation technology of meteorological drought disaster in Northwest China. *Advances in Earth Science*, 2015, 30(2): 196-213.
- [36] 宫丽娟, 李秀芬, 田宝星, 等. 黑龙江大豆不同生育阶段干旱时空特征. *应用气象学报*, 2020, 31(1): 95-104.  
Gong L J, Li X F, Tian B X, et al. Spatio-temporal characteristics of drought in different growth stages of soybean in Heilongjiang. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(1): 95-104.
- [37] 屈振江, 柏秦凤, 梁轶, 等. 气候变化对陕西猕猴桃主要气象灾害风险的影响预估. *果树学报*, 2014, 31(5): 873-878.  
Qu Z J, Bai Q F, Liang Y, et al. Potential impacts of climate change on the main meteorological disaster risk of kiwifruit in Shaanxi province. *Journal of Fruit Science*, 2014, 31(5): 873-878.
- [38] 苗昊翠, 李强, 侯献飞, 等. 不同生育期干旱对花生生长发育及产量的影响. *新疆农业科学*, 2021(3): 441-449.  
Miao H C, Li Q, Hou X F, et al. Effects of drought on growth and yield of peanut at different growth stages. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2021(3): 441-449.
- [39] 宋艳玲, 王建林, 田靳峰, 等. 气象干旱指数在东北春玉米干旱监测中的改进. *应用气象学报*, 2019, 30(1): 25-34.  
Song Y L, Wang J L, Tian J F, et al. The spring maize drought index in northeast China based on meteorological drought index. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(1): 25-34.
- [40] 汪天颖, 霍治国, 杨建莹, 等. 湖南晚稻洪涝过程等级指标构建与演变特征. *应用气象学报*, 2019, 30(1): 35-48.  
Wang T Y, Huo Z G, Yang J Y, et al. Process grade indicator construction and evolution characteristics of late rice flood in Hunan. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(1): 35-48.
- [41] 高珊, 陈杰, 许朗. 黄淮海地区干旱分区研究. *节水灌溉*, 2020(10): 101-106.  
Gao S, Chen J, Xu L. Study on drought zone division in Huang-Huai-Hai area. *Water Saving Irrigation*, 2020(10): 101-106.
- [42] 杨志勇, 袁喆, 严登华, 等. 黄淮海流域旱涝时空分布及组合特性. *水科学进展*, 2013, 24(5): 617-625.  
Yang Z Y, Yuan Z, Yan D H, et al. Study of spatial and temporal distribution and multiple characteristics of drought and flood in Huang-Huai-Hai River basin. *Advances in Water Science*, 2013, 24(5): 617-625.
- [43] 闵心怡, 王小博, 杨传国, 等. 近500年黄淮海地区旱涝事件时空变化特征. *水资源与水工程学报*, 2017, 28(3): 66-71.  
Min X Y, Wang X B, Yang C G, et al. Spatio-temporal changes of floods and droughts at Huang-Huai-Hai region in last 500 years. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2017, 28(3): 66-71.
- [44] 李俊庆. 不同生育时期干旱处理对夏花生生长发育的影响. *花生学报*, 2004, 33(3): 33-35.  
Li J Q. Effects of drought stress on growth and development of summer peanut in different phases. *Journal of Peanut Science*, 2004, 33(3): 33-35.
- [45] 赵长星, 程曦, 王月福, 等. 不同生育时期干旱胁迫对花生生长发育和复水后补偿效应的影响. *中国油料作物学报*, 2012, 34(6): 627-632.  
Zhao C X, Cheng X, Wang Y F, et al. Effects of drought stress on peanut growth during different growth stages and compensatory effect after water recovery. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2012, 34(6): 627-632.
- [46] 张智猛, 戴良香, 慈敦伟, 等. 生育后期干旱胁迫与施氮量对花生产量及氮素吸收利用的影响. *中国油料作物学报*, 2019, 41(4): 614-621.  
Zhang Z M, Dai L X, Ci D W, et al. Drought effects at late growth stage and nitrogen application rate on yield and N utilization of peanut. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2019, 41(4): 614-621.
- [47] 张凤. 淹水对花生生理特性及产量、品质的影响. 泰安: 山东农业大学, 2012.  
Zhang F. Effects of Waterlogging on Physiological Characteristics, yield and Quality of Peanut. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.
- [48] 黄茹. 淮河流域旱涝急转事件演变及应对研究. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2015.  
Huang R. Study on the Evolution and Response of Drought-flood Abrupt Change Events in Huaihe River Basin. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2015.

## Hazard Assessment of Peanut Drought and Flood Disasters in Huang-Huai-Hai Region

Wei Sicheng<sup>1)</sup> Li Kaiwei<sup>1)</sup> Zhang Jiquan<sup>1)</sup> Yang Yueting<sup>1)</sup> Liu Cong<sup>1)</sup> Wang Chunyi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (School of Environment, Northeast Normal University, Changchun 130117)

<sup>2)</sup> (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

### Abstract

Peanut is an important kind of food, oil plants and cash crops which promotes the sustainable development in the modern agricultural economy. In recent years, the frequency and intensity of drought disaster and waterlogging disaster in the Huang-Huai-Hai Region has remarkably increased, which poses a huge impact on the production of spring peanut. Therefore, analyzing and making hazard assessment of drought disaster and waterlogging disaster during the growth period of spring peanut has a great significance for preventing drought disaster and waterlogging disaster, minimizing the damage, and taking disaster insurance in this region. Based on the daily meteorological data of 186 meteorological stations from 1960 to 2019 and combined with the growth data of spring peanut, the hazard assessment of drought disaster and waterlogging disaster is divided into 7 grades by using the standardized precipitation requirement index ( $I_{\text{SPR}}$ ), and the spatial and temporary distribution characteristics of drought disaster and waterlogging disaster in Huang-Huai-Hai Region are analyzed. Based on the probability and intensity of drought disaster and waterlogging disaster, hazard index is constructed to evaluate the hazard during the growth period of spring peanut. High incidence of drought disaster is found in the northwestern and central part of the Yellow River Basin, the northeastern part of the Huaihe River Basin and the northern part of the Haihe River Basin. While the areas with high incidence of waterlogging disaster are mainly concentrated in most areas of the Yellow River Basin, the northern, southern part of the Huaihe River Basin and eastern part of the Haihe River Basin, and mainly with moderate waterlogging disaster. The areas with high hazard of drought disaster during the growth period of spring peanut are scattered, mainly concentrated in the northwest of the Yellow River Basin. While the areas with medium and high hazard of waterlogging disaster during the growth period of spring peanut are mainly distributed in the Yellow River Basin. In the northern and central planting areas of the Yellow River Basin, the phenomenon of drought disaster and waterlogging disaster abrupt alternation often occurs. Therefore, it is necessary to reduce the hazard of drought disaster and waterlogging disaster abrupt alternation, regulate crop exposure in planting areas, reduce the vulnerability of crop, improve the overall disaster prevention and mitigation capabilities, and promote management level in planting areas. The above research results can provide a reference for the drought disaster and waterlogging disaster prevention and loss reduction during the growth period of spring peanut and the construction of security production guarantee method system in Huang-Huai-Hai Region.

**Key words:** Huang-Huai-Hai Region; spring peanut; drought disaster and waterlogging disaster; hazard assessment