

任义方,罗晓春,吴佳文,等.江苏省小麦赤霉病气象风险评估技术[J].江苏农业科学,2020,48(6):92-97.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.06.019

# 江苏省小麦赤霉病气象风险评估技术

任义方<sup>1</sup>, 罗晓春<sup>2</sup>, 吴佳文<sup>3</sup>, 徐 云<sup>4</sup>, 徐迎春<sup>5</sup>, 孙 明<sup>2</sup>

(1. 江苏省气候中心, 江苏南京 210008; 2. 江苏省气象服务中心, 江苏南京 210008; 3. 江苏省植物保护植物检疫站, 江苏南京 210046;

4. 江苏省南通市气象局, 江苏南通 226000; 5. 湖北省武汉市气象局, 湖北武汉 430040)

**摘要:**为研究适宜赤霉病发生发展的气象条件和关键影响时段,提高小麦气象型病害监测能力,通过分析赤霉病历史发生特点和规律,结合江苏省历史气象资料、小麦赤霉病系统田和大田调查资料,给出不同关键时段小麦赤霉病的气象促病指标。在此基础上,从小麦自身受病害感染敏感性和促病气象条件发生概率出发,分别定义感病风险指数和促病风险指数来构建发病风险指数,从而实现了在病害监测时段中单点和区域的发病风险评估。研究表明,小麦孕穗-抽穗、抽穗-开花、开花-乳熟阶段适宜病害发生的气象条件不同,日平均气温 $>14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $>16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $>18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度 $>70\%$ 、 $>68\%$ 、 $>70\%$ 是各个阶段易于促进赤霉病发生发展的气象指标。江苏4月下旬开始小麦赤霉病存在发病风险,累积发病风险度超过70%的集中发病期在5月4—21日,且苏南大部 and 沿淮淮北中部地区为病害高风险地区,须要结合关键发病时段和区域加强病害防御。

**关键词:**小麦赤霉病;气象条件;风险评估;发育阶段;发病风险

**中图分类号:**S435.121.4<sup>+</sup>5

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002-1302(2020)06-0092-06

小麦赤霉病在我国广泛分布,北起黑龙江春麦区,南至华南冬麦区。各地病害发生程度均不相同,以长江中下游地区流行频率最高,江苏各麦区赤霉病已成为小麦生产上最具威胁的病害之一。赤霉病流行年份可造成小麦减产20%~50%,甚至绝收<sup>[1-3]</sup>。

小麦赤霉病是一种“气象型”病害,其侵染循环过程与气象因子息息相关。赤霉病子囊孢子的病菌最先侵染花药,其次是颖片内侧壁,遇到适宜的水分和温度,即侵入麦穗组织,吸取养料。经过2~5 d的潜育期,就能表现出病症,并在病穗上长出菌丝和大量的分生孢子,遇雨可引起再次侵染。国内在赤霉病发生规律及防治技术方面的基础性研究较多。如吴佳文等对2015年病害典型发生年份,从江苏小麦赤霉病见病期、发生面积和区域,及其与生育进程差异的关系进行了研究<sup>[4]</sup>;杨俊杰等介绍了2014年小麦赤霉病在湖北全省麦区的发生概况

和特点,并给出了相应的防控对策<sup>[5]</sup>。除了分析赤霉病流行典型年份病害发生规律外,探讨促使病害发展的影响因子也是学者们的研究重点。如谢忠萍等通过对江苏省射阳县小麦赤霉病发生影响因子进行探究后,发现小麦赤霉病的发生与春季稻桩上的赤霉菌子囊壳数量及4月下旬至5月上旬的降雨日数和日平均风速有关<sup>[6]</sup>;徐云等分时段分析了不同温湿度组合出现频率与赤霉病病穗率间的相关性,给出了适宜赤霉病发生发展的农田小气候温湿度条件<sup>[7]</sup>;冯成玉等指出,海安地区小麦感病期内,日均温 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上、相对湿度82%以上的天气时段越长,赤霉病的发病越重<sup>[8]</sup>;王军等通过对南谏区各乡镇赤霉病病株率的聚集度测定和相应土壤含水量的监测,分析发现土壤相对含水量与病株率呈正相关关系<sup>[9]</sup>。在探究促使病害发展影响因子的同时,不同学者针对病害影响的敏感时段也开展了相关研究。张汉琳认为,小麦赤霉病发生与流行的影响因素有气候因素、病原菌量、寄主生育期以及品种等,花期是感病的关键期<sup>[10]</sup>;王向阳等指出,赤霉病的发生与小麦抽穗前和抽穗扬花期的降雨量、相对湿度和光照时数等气象指标有关<sup>[11]</sup>;陈永明等认为,气象条件对小麦赤霉病发生的影响可分为小麦抽穗前、抽穗-开花期、开花之后3个阶段<sup>[12]</sup>。

收稿日期:2019-01-28

基金项目:江苏省气象局青年基金(编号:KQ201807);中国气象科学研究院基本科研业务费专项资金(编号:2017Z004)。

作者简介:任义方(1986—),女,江苏苏州人,硕士,工程师,主要从事农业气象研究。E-mail:renyifang2006@126.com。

通信作者:罗晓春,硕士,高级工程师,主要从事气象研究。E-mail:ntLXC9@163.com。

近年来,江苏小麦赤霉病的发生具有见病期早、后期病情上升快、流行范围广、重发区域明显、品种间发病程度差异大的特点<sup>[4]</sup>。目前,研究多集中在小麦赤霉病流行适宜气象条件的定性分析方面,关于全省赤霉病流行定量气象风险评估研究仍较少。为进一步研究适宜赤霉病发生发展的气象条件,提高小麦病害的监测预报服务能力,本研究根据江苏历年赤霉病观测和气象资料,首先分析赤霉病历史发生特点和规律,其次从小麦自身受病害侵染敏感性和促病气象条件发生概率出发,分别定义感病风险指数和促病风险指数来构建发病风险指数,进而开展病害监测时段中单点和区域的发病风险评估。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料介绍

江苏省 72 个气象站 1980—2018 年的逐日气象资料,10 个农业气象站(徐州、沭阳、赣榆、滨海、盱眙、淮安、大丰、兴化、如皋和昆山)1980—2018 年小麦生育期资料,作物发育期信息主要用于提取小麦赤霉病危害敏感的关键时段。8 个小麦赤霉病病害观测站点(洪泽、仪征、兴化、东台、通州、金坛、宜兴和张家港站)2000—2015 年的病穗率和发生面积的观测资料,13 个地市 2011—2018 年小麦系统田和大田病穗率、病情指数的观测资料,以及大田调查资料,包括发生面积、防治面积、实际损失和挽回损失。病害发生情况用于分析赤霉病发生规律和特点,以及验证气象适宜度等级判定和预报结果。

### 1.2 赤霉病发生规律分析方法

1.2.1 适宜气象条件分析 气象条件对小麦赤霉病发生的影响可分为 3 个阶段:第 1 阶段,小麦抽穗前天气条件主要影响赤霉病菌子囊和子囊孢子的形成和积累;第 2 阶段,抽穗—开花期天气条件尤其是温湿度直接与子囊孢子的扩散和侵染有关;第 3 阶段,开花之后的天气条件影响病害发展程度。因此,结合 8 个小麦赤霉病病害观测站点 15 年的病害发生记录,分不同生育阶段,统计不同病害发生程度下相应的平均气温和相对湿度,来分析赤霉病发生的气候背景,为病害气象促病指标的确定提供依据。具体的生育阶段划分为孕穗—抽穗、抽穗—开花、开花—乳熟 3 个阶段;病害发生程度分为轻、中、重 3 个等级,对应最终穗发病率( $DR$ )分别为  $DR \leq 10\%$ 、 $10\% < DR \leq 40\%$ 、 $DR > 40\%$ 。

1.2.2 病害发生规律分析 分别从时间和空间的角度来分析小麦赤霉病的发生规律。首先,结合 2011—2018 年江苏省小麦赤霉病发生面积、防治面积、挽回损失和实际损失的分析,来体现江苏小麦赤霉病的时间发生特征;其次,通过各市小麦赤霉病病穗率多年平均情况的统计,来体现小麦赤霉病在江苏的空间分布特征。

### 1.3 赤霉病气象风险评估方法

小麦本身受病害影响关键时段与适宜气象条件出现时间的吻合程度越高,对赤霉病发生发展越起到促进作用。因此,从小麦自身受病害侵染敏感性和促病气象条件发生概率出发,分别定义感病风险指数和促病风险指数,进而构建发病风险指数来分析和评估江苏小麦赤霉病流行的气象风险。考虑到小麦赤霉病病菌侵染小麦的关键期是扬花阶段,同时扬花期前后的气象因子对病害最终发生程度也有影响。因此,定义整个孕穗—乳熟阶段作为赤霉病气象因素影响时段来开展病害监测。江苏省小麦孕穗至乳熟阶段的起止时间随地域、年份不同而有一定差异,一般在 4 月 10 日至 5 月 31 日之间,将其作为病害监测期,来跟踪病害发生发展的过程。

1.3.1 感病风险 为明确监测期间受病害影响敏感生育阶段的主要分布形态特征,定义感病风险指数( $Cov$ )为

$$Cov_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}}{n} \quad (1)$$

式中: $Cov_i$  为病害监测期第  $i$  天的感病风险指数,共 51 d; $j$  为 1980—2018 年的年份数( $n = 38$ );若第  $j$  年第  $i$  天处于小麦孕穗—乳熟阶段则  $C_{ij} = 1$ ,否则  $C_{ij} = 0$ 。

1.3.2 促病风险 从气象因子促病发生概率的角度,分析小麦病害监测期间容易促进赤霉病发生发展的时段,定义促病风险指数( $Dis$ )为

$$Dis_i = \frac{\sum_{j=1}^n D_{ij}}{n} \quad (2)$$

式中: $Dis_i$  为病害监测期第  $i$  天的促病风险指数,共 51 d; $j$  为 1980—2018 年的年份数( $n = 38$ )。结合表 1 给出的相应生育阶段中适宜赤霉病发生的气象条件统计结果,定义第  $i$  天日平均气温和相对湿度达到促病指标,则该日即为赤霉病促病日。若第  $j$  年第  $i$  天为赤霉病促病日则  $D_{ij} = 1$ ,否则  $D_{ij} = 0$ 。

表 1 不同病害流行程度在不同生育阶段的平均温度和相对湿度

生育阶段	病害程度	温度 (℃)	相对湿度 (%)	促病指标
孕穗—抽穗	轻度	14.29	69.98	$T > 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\text{RH} > 70\%$
	中度	14.50	75.91	
	重度	15.32	72.82	
抽穗—开花	轻度	16.47	68.37	$T > 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\text{RH} > 68\%$
	中度	15.70	74.61	
	重度	16.28	72.51	
开花—乳熟	轻度	19.15	70.09	$T > 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\text{RH} > 70\%$
	中度	18.07	76.86	
	重度	18.99	75.61	

1.3.3 发病风险 从受侵染作物生长特性和致灾因子发生条件出发,分析小麦赤霉病发病风险。赤霉病的发生时期和危害程度与小麦发病敏感期和气象条件适宜期的重合度密切相关。因此,综合小麦赤霉病的发病敏感高覆盖期和气象条件易促病期的影响,定义赤霉病发病风险度指数( $RD$ )为

$$RD_i = Cov_i \times Dis_i。 \quad (3)$$

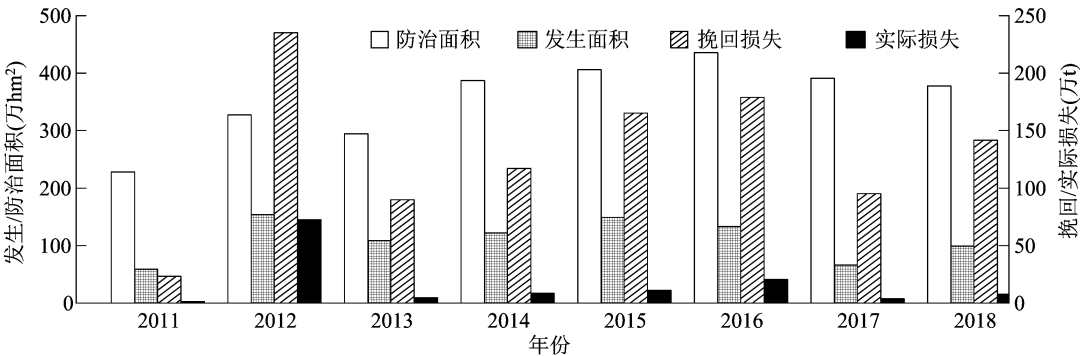


图1 2011—2018 年江苏省小麦赤霉病的发生面积、防治面积、挽回损失和实际损失的变换

从各市小麦赤霉病病穗率多年平均分布情况(图 2)可见,病害发生常态具有“北轻南重”的规律,淮北地区小麦病害发病程度轻,其中连云港市多年平均病穗率最低,仅为 7%;江淮之间南部和苏南大部分地区小麦病害发病程度中,多年平均病穗率在 22.0% 左右;沿淮、里下河地区及苏南部分地市小麦病害发病程度重,尤其是淮安市和盐城市多年平均病穗率最高,达 35.0% 以上。

2.1.2 赤霉病侵染发病规律 在赤霉病的发生发展过程中,随着小麦生育期的推进,气象因子具有动态变化的特征。由表 1 统计结果看,小麦不同生育阶段促病气象因子的气候背景不同,从孕穗至乳熟期,适宜病害流行的气温从 14℃ 逐步升高至 19℃,相对湿度处于 68%~77%。可见,温度的促病条件随生育进程而升高,相对湿度的促病条件在

式中: $RD_i$  为病害监测期第  $i$  天的发病风险度指数。

2 结果与分析

2.1 赤霉病发生特征和规律分析

2.1.1 赤霉病历年发生特点 从 2011—2018 年江苏省赤霉病发生面积(图 1)来看,2012 年、2014 年、2015 年、2016 年、2018 年江苏地区赤霉病呈中等偏重以上流行,年发生面积超过 100 万  $\text{hm}^2$ ,占当年小麦种植面积的 50% 以上。其中,2012 年发生面积达 154 万  $\text{hm}^2$ ,实际损失 72.4 万 t,病害在江淮、苏南局部地区偏重以上流行,全省平均自然病穗率达 46.9%;其次为 2015 年,发生面积为 149 万  $\text{hm}^2$ ,实际损失 11.2 万 t,病害在沿淮及里下河地区偏重以上流行,全省平均自然病穗率达 25.9%。随着防控技术提高,赤霉病防治效果明显提升,除 2012 年、2016 年实际损失 72.4 万、20.7 万 t 外,其他年份基本可以控制在 10 万 t 以下。

抽穗—开花期最低。主要是由于抽穗—开花期是小麦受病害病菌侵染的最敏感期,田间湿度过大或有降水过程出现就极其容易存在病害病菌萌发、繁殖和入侵的风险,因此其适宜病害发生的阈值相较于孕穗—抽穗期和开花—乳熟期的低些。同时,对于不同病害程度来说,基本上符合气温越高,相对湿度越大,病害流行程度越重的规律。

相应地,小麦赤霉病发生程度本身也具有一定的动态变化规律和特征。从兴化典型赤霉病发生年份的病穗率分析结果(图 3)来看,显症初期(小麦开花后 10 d)病穗率逐步增加;中期(小麦乳熟前后)病穗率增加速度最快;后期(小麦接近成熟)病穗率增加速度逐步减缓。此外,同一地区不同年份间,赤霉病发生程度存在的差异与适宜病害发生的气象因素有关。2012 年赤霉病病穗率明显要高于

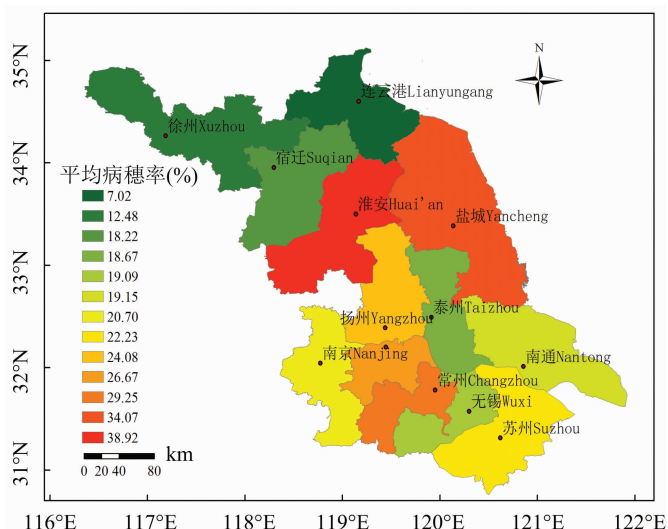


图2 2011—2018 年江苏省各市赤霉病平均病穗率分布情况

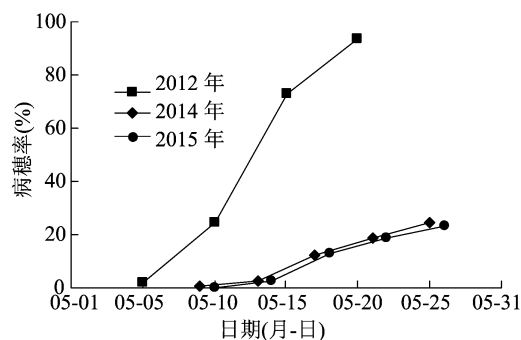


图3 兴化小麦赤霉病发生典型年份(2012年、2014年、2015年)病穗率变化曲线

2014 年和 2015 年, 主要是因为 2012 年 3 月 1—6 日、15—20 日出现低温连阴雨寡照天气, 导致小麦拔节期间生育进程明显推迟, 部分地区发生湿渍害, 根系发育受影响; 前期小麦体质弱, 田间病菌量高, 加之 4 月 29 日至 5 月 1 日, 正值小麦抽穗扬花又出现 3 天连阴雨天气, 高温、高湿、寡照的气象条件致使小麦赤霉病偏重发生。

## 2.2 赤霉病气象风险分析和评估

### 2.2.1 单点发病风险评估

考虑空间分布代表性, 以常州和连云港为例, 结合式(1), 从感病风险分析结果(图 4-a)可以发现, 常州感病影响时段在 4 月 18 日至 5 月 9 日覆盖概率最高, 累积概率占整个监测时段(4 月 10 日至 5 月 31 日)的 64%; 连云港感病时段在 4 月 30 日至 5 月 16 日覆盖概率最高, 累积概率占整个监测时段的 43%。同时可以明显地看到, 感病影响时段常州早于连云港, 主要是因为小麦生育期存在自南向北推后的现象。结合公式(2), 从促病风险分析结果(图 4-b)看, 促病风险在整个监测时段存在波动性, 但也具有逐步增大的规律性。常州 4 月 10—30 日平均促病风险为 21%, 5 月平均促病风险增至 44%; 连云港 4 月 10—30 日平均促病风险为 26%, 5 月平均促病风险增至 36%。可见, 小麦开花后适宜的气象条件提高了赤霉病加重的可能性。结合公式(3), 从发病风险分析结果(图 4-c)可以发现, 小麦赤霉病发病风险度随时间变化存在 2 个大值区域。常州赤霉病发病风险度大值区分布在 4 月 16—21 日和 4 月 28 日至 5 月 14 日, 平均发病风险度分别为 26% 和 34%, 其累积发病风险度分别占整个监测时段的 16% 和

59%; 连云港赤霉病发病风险度大值区分布在 4 月 25 日至 5 月 8 日和 5 月 17—27 日, 平均发病风险度分别为 36% 和 30%, 其累积发病风险度分别占整个监测时段的 41% 和 28%。可见, 相对于常州来说, 连云港发病风险度发生大值区时段偏晚。

### 2.2.2 区域发病风险评估

基于赤霉病发病风险度的求算方法, 选出各站历年中最高发病风险度量值和累积发病风险度 >50%、>70%、>90% 出现时间, 分析整个江苏省小麦赤霉病发病的风险分布特征, 从而更好地把握小麦病害监测预警的重点区域和关键时期。

江苏省各地赤霉病最高发病风险度的大值区主要分布在苏南大部 and 沿淮淮北中部地区, 最高发病风险度的小值区主要分布在徐州和连云港东部地区(图 5), 且该分布趋势与赤霉病病穗率多年平均分布情况(图 4)较为一致。累积发病风险度 >50%、>70%、>90% 在全省出现的时段分别为 4 月 28 日至 5 月 11 日、5 月 4—21 日和 5 月 11—27 日, 其空间分布基本上呈现从南向北逐步推迟的趋势, 句容—仪征—扬州和兴化一带出现最早, 泗阳—涟水—淮阴—洪泽—宝应片区出现最晚(图 6)。

## 3 结论与讨论

利用 2011—2018 年病害观测资料, 从时间变化的角度分析了小麦赤霉病的历史发生和损失情况, 从空间分布的角度分析了赤霉病病穗率的常态分布特征, 给出了病害典型发生年份中病害发生面积、实际损失和平均自然病穗率等基本情况, 并指

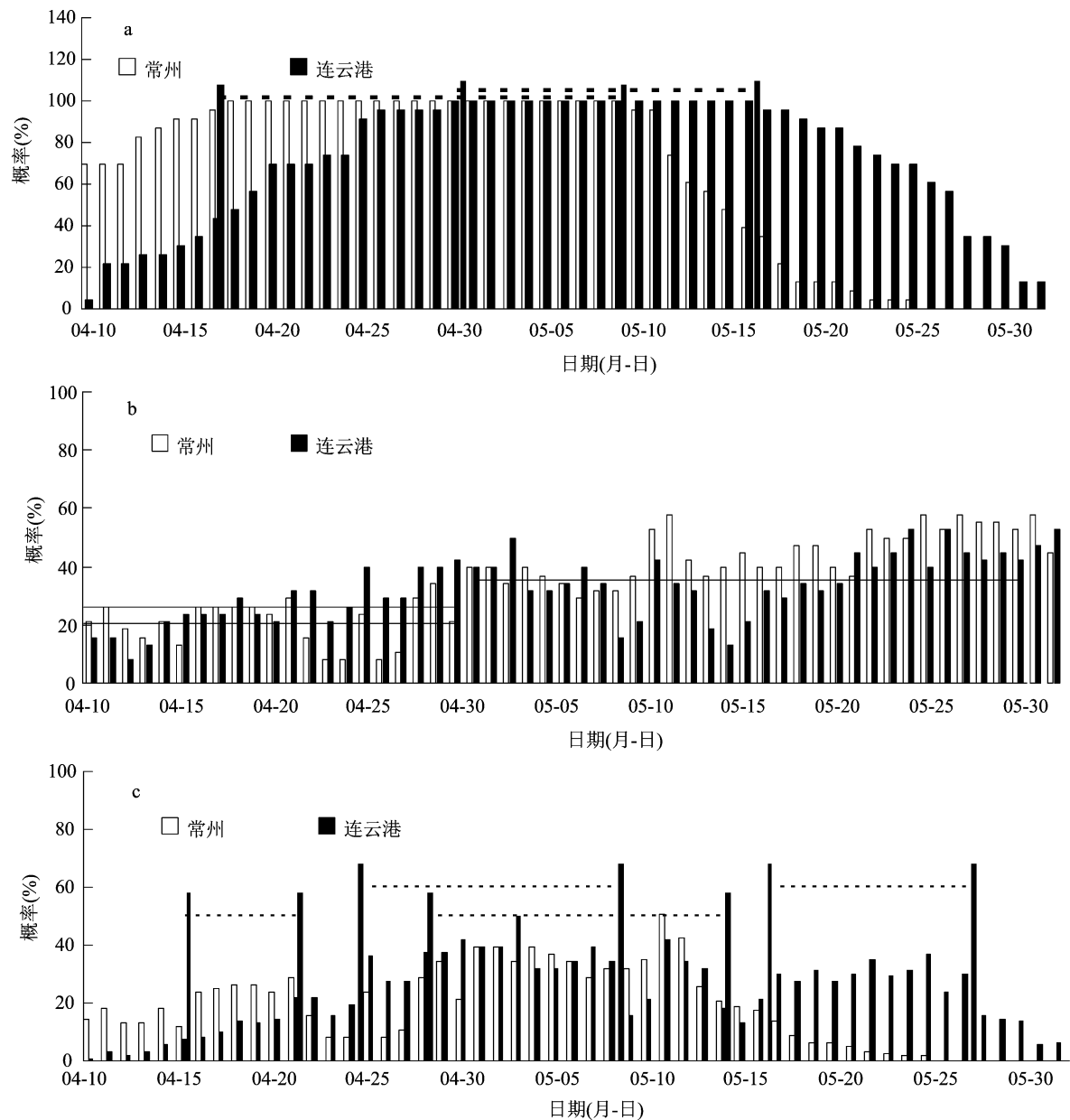


图4 常州和连云港小麦赤霉病监测阶段中感病风险指数(a)、促病风险指数(b)、发病风险指数(c)变化

出病害发生常态具有“北轻南重”的规律。

进一步分不同关键生育阶段、不同赤霉病病害等级描述病害发生的气候背景,并指出小麦孕穗-抽穗、抽穗-开花、开花-乳熟阶段适宜病害发生的气象条件不同,日平均气温  $> 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $> 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $> 18\text{ }^{\circ}\text{C}$  和相对湿度  $> 70\%$ 、 $> 68\%$ 、 $> 70\%$  是各个阶段易于促进赤霉病发生发展的气象指标,有效地避免了使用单一促病指标出现过度或疏漏判定气象条件适宜病害发生的情况。

考虑到小麦本身受病害影响关键时段与适宜气象条件出现时间的吻合程度越高,病害流行程度越重,从小麦自身受病害侵染敏感性和促病气象条

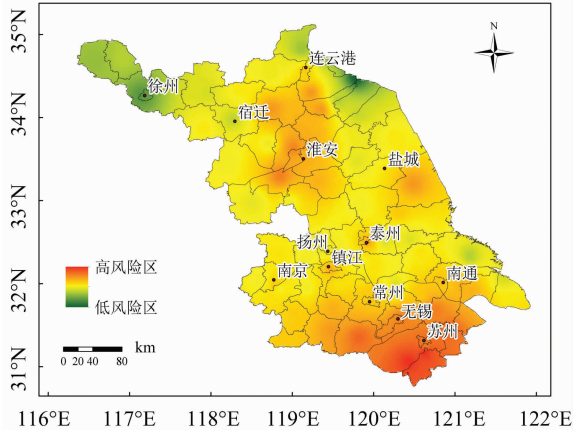


图5 江苏省赤霉病最高发病风险分布情况

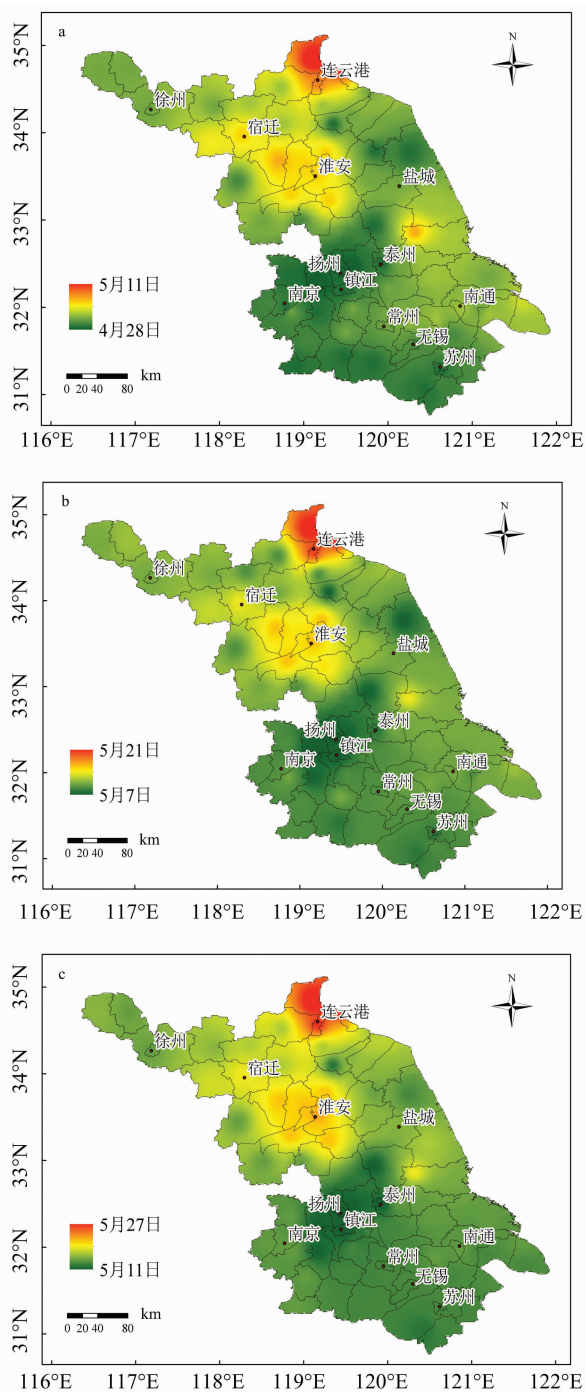


图6 江苏省赤霉病累积发病风险>50%(a)、>70%(b)和>90%(c)出现时间的分布情况

件发生概率出发,设定小麦孕穗期—乳熟期(4月10日至5月31日)为病害监测时段,分别定义感病风险指数和促病风险指数来构建发病风险指数,从而实现在病害发生发展监测时段中单点和区域的发病风险评估。

通过区域发病风险评估发现,江苏省各地赤霉

病最高发病风险度的大值区主要分布在苏南大部和沿淮淮北中部地区,小值区主要分布在徐州和连云港北部地区;累积发病风险度>50%、>70%、>90%在全省出现的时段分别为4月28日至5月11日、5月4—21日和5月11—27日,空间分布基本上呈现从南向北逐步推迟的趋势。在实际病害防治实施过程中,可针对病害高发时段和区域,加强病害防范,及时提供气象服务保障,做好田间病害的防治和调查工作。

适宜的气象条件只是赤霉病流行的必要条件,并不是充分条件。本研究主要从气象角度对赤霉病的发生进行评估,研究结果为赤霉病发生的气象适宜度等级预测预报提供了良好的基础。此外,赤霉病的发生还受特殊地形、小麦品种、种植方式、菌源基数、栽培措施、防病方式等因素的影响,有待进一步研究气象条件对病害的影响机制。

#### 参考文献:

- [1] 钱省,冯同强,黄师,等. 东海县小麦赤霉病的发生规律与防治措施[J]. 上海蔬菜,2010,23(4):66-67.
- [2] 马骥. 沿淮地区小麦赤霉病发生特点及原因分析[J]. 现代农业科技,2018(15):148-149.
- [3] 许杰. 2016年淮北地区小麦赤霉病发生特点及重发原因分析[J]. 现代农业科技,2017(3):119,121.
- [4] 吴佳文,杨荣明,朱凤,等. 2015年江苏省小麦赤霉病发生特点与防控对策探讨[J]. 中国植保导刊,2016,36(10):31-34,49.
- [5] 杨俊杰,王玲,彭传华,等. 2014年湖北小麦赤霉病发生流行特点及防控措施[J]. 中国植保导刊,2015,35(6):40-41.
- [6] 谢忠萍,杨传邦,孙朝晖,等. 射阳县小麦赤霉病发生规律及防治意见[J]. 基层农技推广,2018,6(12):78-81.
- [7] 徐云,高苹,缪燕,等. 江苏省小麦赤霉病气象条件适宜度判别指标[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):188-192.
- [8] 冯成玉,张光旺,刘建邦,等. 湿段天气在小麦赤霉病定量预报中的应用[J]. 植物保护学报,1998(3):231-234.
- [9] 王军,缪新伟. 小麦赤霉病田间分布及流行因素初探[J]. 农业科技通讯,2018,564(12):92-93.
- [10] 张汉琳. 气象因素与麦类赤霉病群体流行波动研究[J]. 气象学报,1987,45(3):338-345.
- [11] 王向阳,黄咏沧,刘升,等. 小麦赤霉病流行的气象指标分析及在测报上的应用[J]. 安徽农业科学,2005,33(1):35-36,38.
- [12] 陈永明,林付根,赵阳,等. 论江苏东部麦区赤霉病流行成因与监控对策[J]. 农学报,2015,5(5):33-38.