

稻曲病气象适宜度等级精细化预报技术

任义方¹, 朱凤^{2*}, 高苹¹, 张旭晖¹, 蔡凝昊³

(1. 江苏省气象服务中心, 南京 210008; 2. 江苏省植保站, 南京 210046;
3. 江苏省气象台, 南京 210008)

摘要 为了有效提高对水稻气象型病害的防控能力, 并提出有针对性的生产管理措施和建议, 本文基于构建的综合稻曲病指数及相应划分的气象适宜度等级, 利用历史气象资料、水稻生育期资料以及两套精细化预报产品, 针对2015年和2017年稻曲病典型发生年份, 结合病害监测时段中易于病菌入侵和流行的气象条件, 选择病害起报时间, 分别给出了基于欧洲中期天气预报中心细网格预报产品和江苏省气象局精细化预报产品的稻曲病流行气象适宜度等级预测结果。通过稻曲病大田调查资料的检验, 发现提前7 d给出稻曲病发生气象适宜度等级的预测结果与全省实际稻曲病发病趋势和程度基本相符, 实现了对水稻稻曲病监测和预警的及时性、连续性和动态性。

关键词 水稻稻曲病; 病害指数; 气象适宜度; 等级预测; 精细化预报

中图分类号: S 435.111.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018012

Fine forecast technique for meteorological suitability grade of rice false smut

REN Yifang¹, ZHU Feng², GAO Ping¹, ZHANG Xuhui¹, CAI Ninghao³

(1. *Jiangsu Meteorological Service Center, Nanjing 210008, China*; 2. *Plant Protection Station of Jiangsu Province, Nanjing 210046, China*; 3. *Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008, China*)

Abstract In order to effectively improve the ability of preventing and controlling of meteorological disease of rice, as well as put forward targeted measures and suggestions of production management, historical meteorological data, rice growth period data and two sets of fine forecast products were used to do prediction based on the constructed comprehensive rice false smut index and the corresponding meteorological suitability grade. Taking rice false smuts occurred in 2015 and 2017 as examples, combined with meteorological conditions that prone to pathogen invasion and prevalence during monitoring period, disease initial forecast time was selected, and prediction results of meteorological suitability grade for rice false smut were given separately based on the fine forecast products from ECMWF and Meteorological Bureau of Jiangsu. According to the field survey data of rice false smut, it was found that prediction results of meteorological suitability grade for rice false smut given 7 days in advance were consistent with the trends and degrees of actual disease occurred in Jiangsu Province. Therefore, promptness, continuity and dynamism for disease monitoring and early warning could be achieved.

Key words rice false smut; disease index; meteorological suitability grade; grade prediction; fine forecast

水稻稻曲病俗称“富贵病”, 与稻瘟病菌侵染器官不同, 该病仅发生于穗部, 危害谷粒, 在病菌不断繁殖的过程中, 以消耗病稻谷粒和邻近稻粒大量养分的方式, 阻碍其营养输送, 造成空秕粒增多, 千粒重下降, 进而影响水稻产量和品质。自20世纪30—40年代开始, 我国南北稻区每年都有不同程度的稻曲病发生。近年来, 随着水稻品种的更新、栽培新技术的推广以及施肥水平的提高, 稻曲病已成为水

稻生产上一种常见的病害, 一旦发病常常导致大流行, 其中以辽宁、四川、湖南、云南和湖北等地发病较为严重, 病穗率一般为5%~10%, 重病田可达30%以上^[1-5]。同样, 江苏省也是稻曲病流行区域, 如何从农业生产病害防治的需要出发, 在天气预报、气候预测的基础上, 结合稻曲病发生指标和气象适宜度等级判定技术, 预测未来天气对水稻病害发生发展的影响, 是气象为农业服务的重点工作之一。

收稿日期: 2018-01-08 修订日期: 2018-02-24

基金项目: 江苏省气象局2016年重点业务项目(20161122); 国家自然科学基金(41371412)

* 通信作者 E-mail: zhufeng@jsagri.gov.cn

水稻稻曲病的发生发展与大尺度气候背景及小尺度气象要素之间有着密切的关系。国内稻曲病发生气象条件和预测预报研究主要可以分为以下三大类:第一类是关于气象因子与稻曲病发生关系的基础性研究,主要涉及病菌侵染循环过程、发生规律及其适宜的环境因素等方面。张夕林^[6]采用逐步回归分析的方法,以水稻成熟期病株率作为病害流行程度指标,对其与水稻生长后期有关气象因子进行相关分析,发现影响稻曲病发病程度的决定因子是9月上中旬的平均降雨量。乌伟刚^[7]指出水稻从孕穗期到其后的一个月,日平均温度在20~30℃,日平均相对湿度在80%以上有利于稻曲病的发生,并且破口期阴雨天气能明显加重稻曲病的危害程度。第二类是关于稻曲病气象等级预报研究,主要根据稻曲病发生条件,总结有利于病害发生的气象指标,利用回归等统计方法构建气象适宜度指数,并进行稻曲病气象等级预报。李汉一^[8]从稻曲病致病气象条件出发,利用多元回归统计的方法建立了陕西省城固县水稻指示品种的菌源消长系数和齐穗前后10 d气候之间的关系,准确地量化地预测晚熟水稻稻曲病。苏荣瑞等^[9]在稻曲病感病关键生育期孕穗至齐穗期气象要素与稻曲病病穗率相关分析的基础上,构建了稻曲病发生发展的气象条件预报等级指标,建立了病害发生趋势气象预报模型。第三类是关于稻曲病流行空间分布特征以及风险评估与区划研究。朱秋云等^[10]分析了辽宁稻曲病的空间分布特征和成因,得到聚集型的分布与气象因素和田间病情密切相关的结论。类似地,唐春生等^[11]也分析了湖南两系杂交稻稻曲病病穗、病粒的空间分布特征。陈德西等^[12]利用全国153个县的水稻主要病害测报资料,结合水稻病害发生面积等因素,以病害发生程度为主要指标形成了我国水稻主要病害的分布区划图。

目前,江苏省常州、南通等地已初步探明了水稻稻曲病流行的气象条件和受病害侵染关键时期^[13]。结合前人的研究成果,任义方等^[14]又分别从发病、致病和成灾风险三个角度进行了江苏省稻曲病流行的风险评估,并考虑不同连续适宜发病天数对稻曲病流行程度的影响,利用最优化技术,构建了综合稻曲病指数来判别气象条件适宜度等级。在此基础上,为了进一步提高水稻病害的监测预报服务能力,本文拟从水稻稻曲病侵染发病规律和近十年来病害的实际发生情况出发,结合已构建的综合稻曲病指数

和等级划分结果,通过对典型个案的分析和不同天气预报产品应用效果的评估,着重讨论稻曲病发生气象适宜度等级动态预报技术,为江苏水稻病害的精细化实时监测预警和防控评估提供技术支撑。

1 资料来源

江苏省72个气象站从1959—2015年的逐日气象资料和8个农业气象站25年以上水稻生育期资料来自江苏省气象局;2005—2015年江苏稻曲病观测资料,包括稻曲病发生面积、防治面积、挽回损失、实际损失、病穗率、实际病害发生程度等,以及2015年和2017年水稻稻曲病大面积普查的病穗率、发生面积等病害发生实况记录来自江苏省作物栽培站。

两套天气预报产品为:1)来自欧洲中期天气预报中心ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)集成预报系统IFS(Integrated Forecasting System),空间分辨率为0.125°的细网格预报产品,2)来自江苏省气象局精细化集成最优预报系统“瑞风”RIOF(Refined Integration Optimal Forecast),空间分辨率为0.03°的精细化预报产品,并分别应用于2015年和2017年稻曲病典型发生年,进行稻曲病发生气象适宜度等级动态预报。

其中“瑞风”业务系统自2016年在江苏省气象局正式业务化,为江苏省精细化预报业务生成基础产品,该系统中采用滑动平均、卡尔曼滤波、多模式集成、频率拟合等技术对来自欧洲中期天气预报中心的IFS、美国国家海洋和大气管理局/国家环境预报中心的全球预测系统GFS(Global Forecast System)以及中国国家局数值预报中心的全球中期数值预报与台风数值预报一体化系统T639等国家机构研发的系統模式生成的天气预测产品数据进行解释应用处理,集成得到一套包括日平均气温,日最高气温、日最低气温,相对湿度,风速以及降水等气象要素在内的精细化格点预报产品。目前,“瑞风”系统已逐步代替欧洲中期天气预报中心的集成预报系统IFS在江苏省气象局进行业务化应用。

2 江苏省稻曲病发生的基本情况

2.1 病害侵染发病规律

稻曲病主要以菌核和厚垣孢子在土壤、病谷粒内及健谷颖壳上越冬,翌年7—8月间产生大量子囊

孢子和分生孢子。孢子借助气流传播散落,在水稻孕穗-破口期侵害花器和幼器,后期则侵入幼嫩颖果的外表,蔓延到胚乳中,大量增殖并形成黄色块状的孢子座,造成谷粒发病。通常,病粒在水稻扬花末期至灌浆初期出现,一穗中仅有几个或十几个颖壳变为稻曲病粒。

气象条件在稻曲病菌侵染过程中起着促发性作用。温度影响病菌的生长和繁殖,水稻幼穗形成期至成熟期,气温 24~32℃ 病菌发育良好,26~28℃ 病菌生长最适宜,温度低于 12℃ 或高于 36℃ 不能生长。降水量和相对湿度主要影响病菌的侵入和扩散,幼穗形成期雨量多利于病菌侵入,稻曲病菌的子囊孢子和分生孢子均借风雨侵入花器,穗期至成熟期雨量多利于病菌后期扩散,雨日数愈多、雨量偏多,田间湿度大,日照少,稻曲病发生越重;相对湿度越高(70%~80%),稻曲病菌子囊孢子和分生孢子侵入量越多,发病越重。可见,气象因子在稻曲病的侵染循环和发生发展过程中起着至关重要的作用,稻曲病发生强度、范围和持续时间与气象要素存在着较为显著的关系。

此外,生产管理、种植方式以及水稻品种的差异也会导致病害发生程度不一致。例如施氮过量或穗

肥过重加重病害发生,连作地块发病重。一般晚熟品种比早熟品种发病重,秆矮、穗大、叶片较宽而角度小,耐肥抗倒伏和适宜密植,颖壳表面粗糙无茸毛的品种,有利于稻曲病的发生。

2.2 病害实际发生情况

图 1a 给出 2005—2015 年江苏省稻曲病发生面积,病害发生情况随时间变化呈波动特征,其中 2005 年、2008 年、2009 年和 2011 年稻曲病发生面积均超过了 80 万 hm^2 ,近年稻曲病发生面积稳控在 50 万 hm^2 以下。自 2007 年开始,对稻曲病的防御措施和预测预报等服务手段逐步提高,防治面积在 128.58 万~195.88 万 hm^2 ,病害造成实际损失 0.31 万~2.47 万 t,挽回收获损失 10.56 万~20.66 万 t(图 1b)。近年来随着防治面积的不断扩大,因稻曲病造成的实际损失低于 1 万 t。

据江苏省气象局农情记载(表 1)发现,稻曲病高发年份在水稻破口抽穗前后均出现了持续降水过程,极其有利于病菌侵染和病害流行。若是能够基于构建的综合稻曲病指数和等级划分结果,结合精细化天气预报产品,监测预测水稻稻曲病的发生流程度和等级,及时给出防御措施和建议,那么因水稻病害造成的损失可以进一步有效降低。

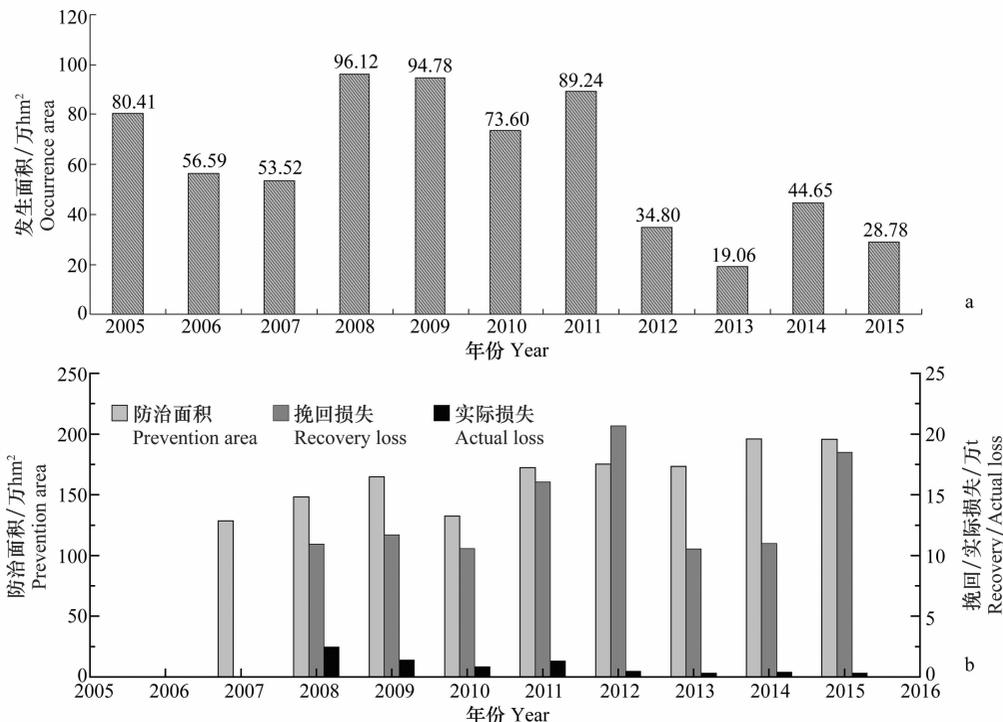


图 1 2005—2015 年江苏省稻曲病发生面积(a)和防治面积、挽回损失和实际损失(b)

Fig. 1 Occurrence area(a), prevention area, recovery and actual loss (b) of rice false smut in Jiangsu Province in 2005—2015

表 1 稻曲病高发年份水稻抽穗开花阶段的气象条件

Table 1 Meteorological conditions during rice heading and flowering stage for high incidence years of rice false smut

高发年份 High incidence year	气象条件 Meteorological condition
2005	7月下旬起江苏屡遭阴雨及大风大雨袭击,农田积水严重,水稻长势普遍偏弱。9月上旬初受台风影响,江淮之间中北部正处于抽穗开花关键期的水稻受害重
2008	8月初江苏沿江地区西部出现了暴雨天气,局部特大暴雨,造成局部受淹,直播稻发生倒伏;8月下旬降水量异常偏多;9月中旬受台风暴雨大风影响,部分农田被淹
2009	7月下旬—8月上旬江苏连续低温阴雨寡照,水稻生育期较上年推迟 3~4 d;8月28日出现大幅降温后持续低温寡照,易于病菌侵染和病害流行
2010	8月下旬—9月上旬我省沿淮淮东北地区雨日多、雨量较大、降水强度大,暴雨造成农作物田间积水、水稻倒伏
2011	8月上旬受台风影响,造成水稻倒伏,作物受淹;中下旬持续阴雨寡照,局部地区出现雷雨天大风等强对流天气,部分田块作物受灾,水稻群体质量差,茎秆充实度低

3 综合稻曲病指数构建和等级划分

通常,江苏水稻的抽穗开花期正值高温季节,温度条件适宜孢子传播和繁殖,湿度条件成为孢子传播蔓延的制约因素。综合稻曲病病害潜育期、侵染敏感期和发病集中期,选取7—9月作为稻曲病发生流行的气象条件监测期,该时段覆盖了水稻的拔节、孕穗、抽穗和乳熟期。同时,将逐日气象条件满足日平均温度为 22~28℃,相对湿度 > 80%,日降水量 > 0.1 mm 的情况定义为致病日。

在此基础上,参照任义方等^[14]的方法,构建综合稻曲病指数,其表达式为:

$$Z = \alpha \sum_{i=1}^n W_i D_{i,j=1} + \beta \sum_{i=1}^n W_i D_{i,j=2} + \gamma \sum_{i=1}^n W_i D_{i,j \geq 3}$$

其中, i 为监测日数, $i=1,2,\dots,n,n \leq 92$; W_i 为水稻拔节-乳熟阶段的归一化逐日稻曲病成灾风险度, α 、 β 、 γ 分别为三种不同连续天数的权重系数,这些参数已由任义方等^[14]的研究结果确定。 $D_{i,j=1}$ 、 $D_{i,j=2}$ 和 $D_{i,j \geq 3}$ 分别为致病日连续 1、2 和 3 天以上的记录情况(若日气象要素温度、相对湿度和降水量的实况监测和预报结果满足稻曲病的致病日条件,则取值为 1,否则值为 0)。

进而将综合稻曲病指数 Z 划分成 3 个等级,自低至高(1~3)等级分别代表从弱适宜到强适宜来反映气象条件对病害发生的气象适宜程度以及病害可能流行的等级,具体见表 2。

4 稻曲病气象适宜度等级动态预报

4.1 动态预报思路基本介绍

动态预报思路和目的:在实际预报中,一旦水稻进入拔节期即开始监测和预报病害的发生情况,根据日气温、相对湿度、降水量等气象要素实况,结合

中、短期天气预报产品,提取判定致病日所需气象要素的预测结果,求算综合稻曲病指数值,从而实现稻曲病发生气象适宜度等级和可能流程度度的动态监测,直至乳熟期结束监测。在实际服务中,可利用稻曲病发生气象适宜度等级预报结果,结合各地区作物长势、稻曲病菌源、水稻品种类型及水肥管理措施等情况,形成预报意见和服务产品,及时向生产部门提供决策依据。

表 2 综合稻曲病指数的等级划分以及与发病实况的关系

Table 2 Grade classifications for composite index of rice false smut and relationships with actual blast occurring

实际病害等级 Disease grade	气象适宜度 Meteorological suitability	流行程度 Epidemic degree	综合稻曲病指数(Z) Composite index of rice false smut
低(1) Low	略微适宜 Little suitable	轻度流行 Mild prevalent	1~5
中(2) Medium	适宜 Suitable	中等流行 Medium prevalent	6~10
高(3) High	非常适宜 Quite suitable	大流行 Heavy prevalent	≥11

动态预报方法和技术:从水稻进入拔节期至预报日,这段过去时间的日平均气温、相对湿度、日照时数等气象要素采用自动气象观测站点的实况观测资料;考虑到预报产品在江苏省气象局更替使用的情况,从预报日开始至其后 7 d,这段未来时间的气象要素分别采用欧洲中期天气预报中心 IFS 和江苏省气象局“瑞风”RIOF 系统生成的精细化天气预报产品来预报稻曲病气象适宜度等级。这里所谓的“动态预报”,即预报时次逐日更新,通过不断地累加分析从监测期开始的有利于病害发生的气象条件,判断未来稻曲病发生的气象条件适宜程度

及其发生等级;同时通过不断更替利用最新的预报产品和实际观测资料,以 7 d 为一周期的预报准确率可逐日提高。

4.2 病害典型发生个案分析

4.2.1 基于 IFS 细网格预报产品的病害预测

2015 年 7 月受持续降水影响,淮河以南大部分地区农田一度受淹,加之持续低温寡照,水稻分蘖质量下降;28 日起以晴热高温天气为主,利于水稻晒田和拔节长穗;8 月后期受台风影响,降水多,日照少,温度低,水稻基部节间变长、茎秆充实度不高、病虫危害加重。以制作 8 月 31 日的稻曲病动态预报产品为例,利用当天欧洲中期天气预报中心 IFS 系统生成的 7 d 细网格预报产品以及前期实际气象要素观测数据,可推算出 8 月 31 日—9 月 6 日期间任意一天的综合稻曲病指数。从未来 7 天整个江苏稻曲病逐步发生发展情况(图 2)可以看出,淮北东北部和江苏西南部地区适宜稻曲病流行。同时,根据

指标等级划分结果判定,至 9 月 6 日南京、宜兴、吴县地区以及睢宁、沭阳—连云港—赣榆一带的综合稻曲病指数 $Z > 10$,气象适宜度等级为 3 级,稻曲病可能出现大流行(表 2)。

据江苏省植物保护站调查:8 月下旬丘陵、淮北杂交籼稻始见病穗,重发田块病穗率达 15%,病粒率 0.1%。8 月下旬至 9 月上旬多阵雨天气,利于大面积粗秆大穗型粳稻品种稻曲病流行,如睢宁高作镇 0.35 hm² 水稻‘Ⅱ优 1259’,于 8 月 11 日破口前 11 d 防治,9 月 6 日调查平均病穗率 32.5%。据 10 月中旬危害定局后调查,2015 年稻曲病全省偏轻发生,发生面积 28.78 万 hm²,沿江、丘陵、沿淮及淮北感病品种中等至偏重流行,病穗率 1%~5%、病粒率 0.1%~1%,重发田块病穗率 10%~40%、病粒率 1%~10%。可见,实际稻曲病发生程度和区域范围,尤其是病害中等至偏重流行的情况与预报结果基本相符。

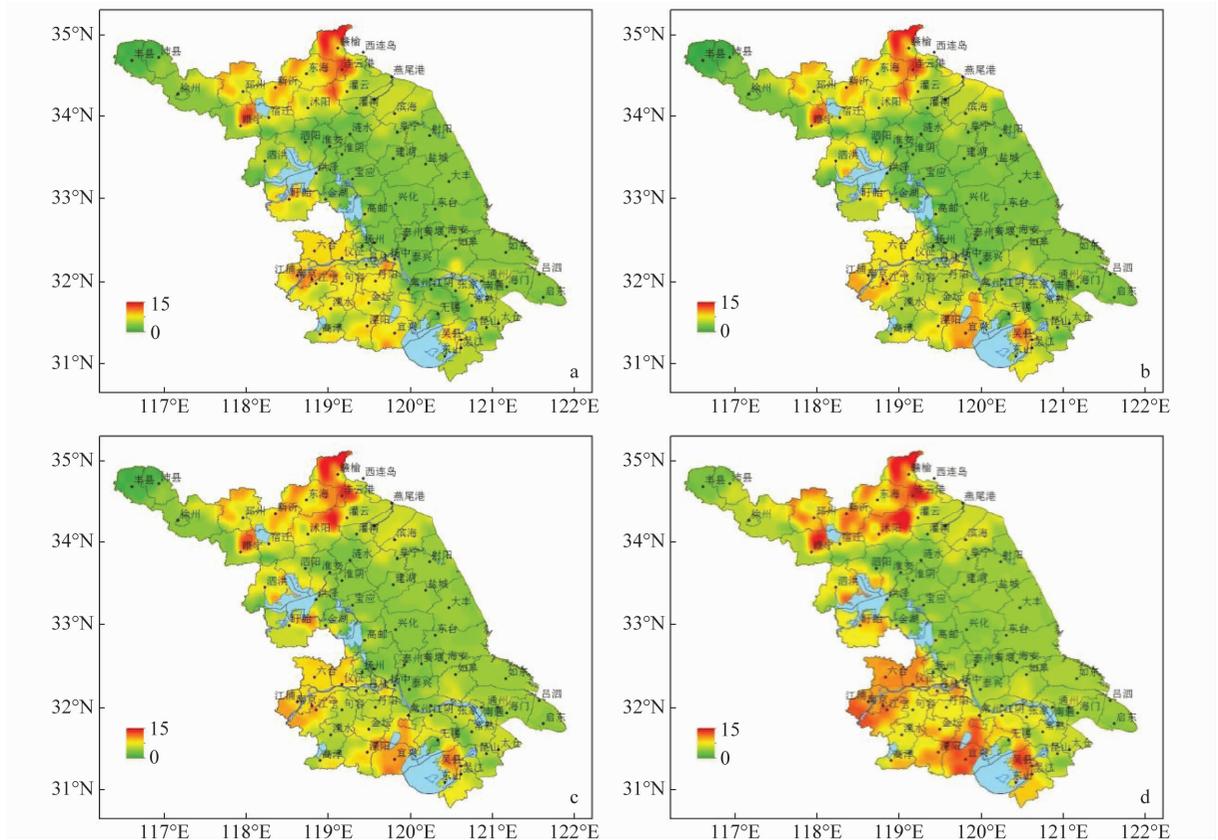


图 2 2015 年 8 月 31 日预测的 8 月 31 日(a)、9 月 2 日(b)、9 月 4 日(c)、9 月 6 日(d)江苏省综合稻曲病指数分布情况

Fig. 2 Distribution of predicted composite index of rice false smut of Jiangsu Province on 31 August (a), 2 September (b), 4 September (c), and 6 September (d), predicted on 31 August, 2015

4.2.2 基于 RIOF 细网格预报产品的病害预测

2017年8月上中旬全省出现多次降水过程,大部分地区田间高温高湿,正值杂交稻品种及大面积粗秆大穗型粳稻品种颖花分化期,为稻曲病菌的萌发和侵染流行创造了有利条件。加之,从8月31日开始出现持续阴雨寡照天气,使水稻病害流行风险明显增加。整个9月上旬江苏省水稻迟熟品种、直播稻进入破口抽穗期,长江以北地区降水异常偏多,尤其是9月3-4日江淮之间北部和淮北地区出现中到大雨,局部地区暴雨,5-6日全省大部分地区出现小到中雨,10日沿淮淮北地区出现大到暴雨,连续阴雨寡照天气,使稻曲病等水稻病害流行风险

明显增加。

利用稻曲病综合指数模型,以制作9月6日的稻曲病动态预报产品为例,利用当天江苏省气象局RIOF系统的精细化7d预报产品以及前期实际气象要素观测数据,可计算出9月6日-9月12日期间任意一天的综合稻曲病指数,并判别相应的水稻病害气象适宜流行程度。从未来7d整个江苏稻曲病逐步发生发展情况(图3)可以看出,淮北、沿淮以及扬镇宁地区适宜稻曲病流行。同时,根据指标等级划分结果分析,至9月12日睢宁-新沂-东海一带以及射阳、滨海、高淳、溧水、溧阳周边地区的综合稻曲病指数 $Z > 10$,气象适宜度等级为3级,稻曲病可能出现大流行。

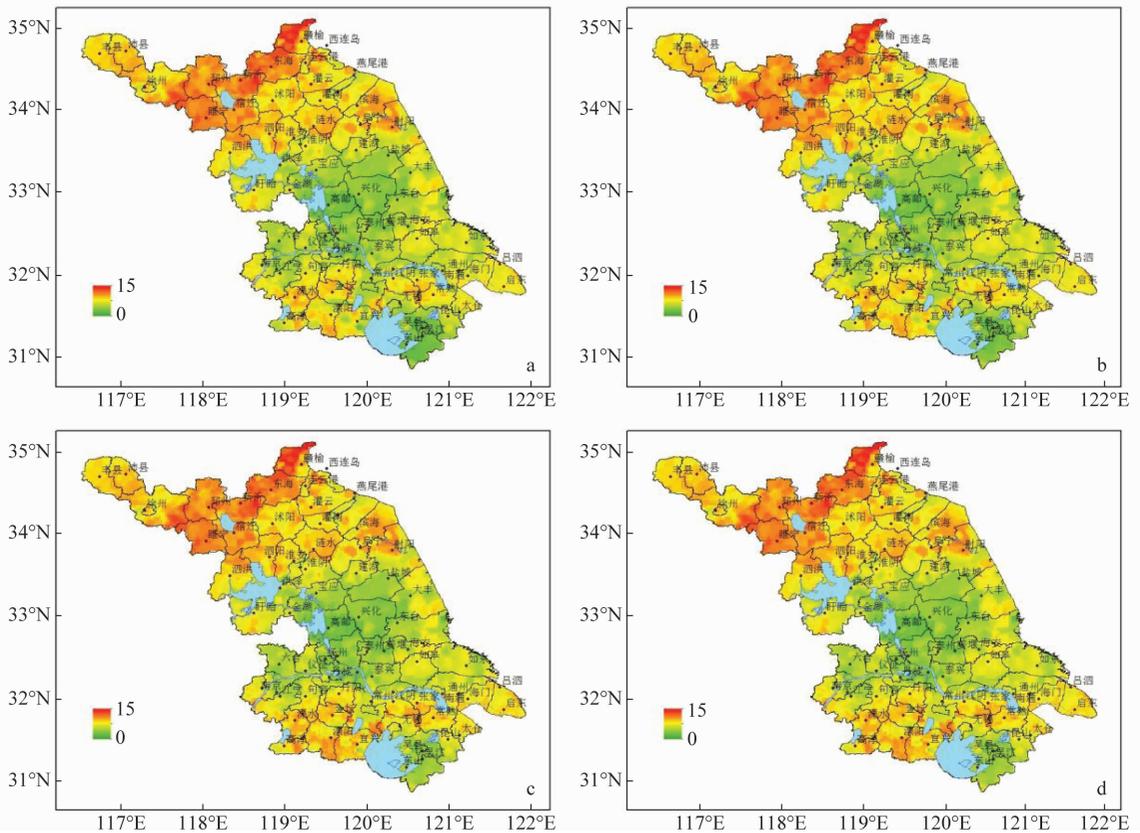


图3 2017年9月6日预测的9月6日(a)、9月8日(b)、9月10日(c)、9月12日(d)江苏省综合稻曲病指数分布情况

Fig.3 Distribution of predicted composite index of rice false smut of Jiangsu Province on 6 September (a), 8 September(b), 10 September(c), and 12 September (d), predicted on 6 September, 2017

据江苏省植物保护站调查:9月5日前后,丘陵、沿江、淮北等地杂交籼稻及早熟粳稻即查见病穗。9月中旬,局部感病品种陆续显症,如高淳9月12日‘宁梗7号’系统田病穗率3.7%、病粒率0.2%;金湖9月12日‘皖稻153’系统田病穗率3.4%、病粒率0.03%。10月中旬危害定局后调查,2017年全省稻曲病中等发生,面上大多数情况,病穗率在0.1%~0.3%,病粒率0.005%~0.02%,丘

陵、沿江、沿淮及淮北粗秆大穗型品种上偏重至大流行,为近年最重年份,发生面积39.84万hm²,病穗率1%以上的重发面积7.19万hm²,其中病穗率10%以上的重发面积0.21万hm²。沿江、丘陵、沿淮及淮北杂交籼稻及早熟感病品种病穗率2%~10%、病粒率0.05%~0.1%,重发田块病穗率10%~40%、病粒率1%~12%。可见,实际稻曲病发生程度和区域范围,尤其是病害中等至偏重流行的情况与

预报结果基本相符。今后,若能结合稻曲病气象适宜度等级预测结果和田间水稻抽穗齐穗的实际情况,定点定位地提前在稻曲病预测高发地区开展第一、第二次施药工作,将有效地提高对水稻病害的防控能力。

5 结论与讨论

从水稻稻曲病侵染循环和发病规律的分析结果可以看出,水稻稻曲病是一种典型的“气象型”病害,其病菌的侵染循环过程与气象条件息息相关,具体来说温度主要影响病菌的生长发育;在适温范围内,降雨或持续高湿影响病菌孢子的形成、萌发和侵入过程;而光照通过影响寄主生长发育来促进病害的流行。本文结合 2005 年—2015 年水稻稻曲病高发年份的实际发生情况说明了水稻破口抽穗前后持续降水过程是稻曲病适宜流行的主要气象条件,并指出近年来随着防御措施和服务手段的提高,因病害造成的水稻实际损失面积得到了的稳定控制。

为了进一步提高对稻曲病的监测预警能力,基于构建的综合稻曲病指数和相应的气象适宜等级,设计了稻曲病气象条件适宜程度等级动态预报的基本思路和方法,以 2015 年和 2017 年稻曲病典型发生年为例,分别结合欧洲中期天气预报中心 IFS 和江苏省气象局 RIOF 系统生成的细网格预报产品,给出了自起报日开始,未来 1~7 d 整个江苏稻曲病逐步发生发展的情况。根据预报结果得到 2015 年 9 月 6 日南京、宜兴、吴县地区以及睢宁、沭阳—连云港—赣榆一带,以及 2017 年 9 月 12 日睢宁—新沂—东海一带以及射阳、滨海、高淳、溧水、溧阳周边地区的稻曲病发生气象适宜度等级达到 3 级,非常适宜病害大流行,该预测结果与江苏省植物保护站调查情况基本相符。

水稻稻曲病防治最佳施药时期是抽穗前 3~7 d,进行第一次施药,其次是齐穗期,对水稻感病品种要进行第二次施药。一般破口初期施药所起的防控作用最大,占 70%;齐穗期施药所起作用占 30%。稻曲病气象适宜等级预测方法中,以 7—9 月作为稻曲病发生流行的气象条件监测期,该时段覆盖了水稻的拔节—乳熟阶段、病害易侵染流行阶段以及施药防控病害的关键阶段,预报模型从 7 月起即可逐日滚动地给出未来 1~7 d 的稻曲病气象适宜度等级,具有较高的时效性。若各地生产管理指导部门能够结合稻曲病气象适宜度等级预测结果和田间水稻孕穗、抽穗、齐穗的实际情况,及时调度药具机械和人力,定点定位地提前在稻曲病预测高发地区有针对

性地开展第一、第二次施药工作,将对稻曲病的化学防控具有实际指导意义。

本文将综合稻曲病指数和未来 1~7 d 精细化天气预报产品有机结合,实现了对稻曲病发生气象适宜度等级的连续动态预测,对水稻病害的防治工作起到了良好的预警作用。同时,通过探索将稻曲病预测结果从空间分辨率 10 m 级(基于欧洲中期天气预报中心 IFS 系统生成的细网格预报产品)细化至空间分辨率 m 级(基于江苏省气象局 RIOF 系统生成的细网格预报产品),有效解决了农用天气预报中的重要技术难点,对未来作物病害气象适宜程度预报技术方法的研究起到示范作用。实际在水稻病害的发生发展中,气象条件、寄主生长情况和病菌基数三者的影响缺一不可,水稻品种类型和水肥管理措施等因素对病害发生程度的影响至关重要,也是今后需要进一步关注的重点。

参考文献

- [1] 张俊喜,成晓松,宋益民,等. 中国水稻稻曲病研究进展[J]. 江苏农业学报,2016,32(1): 234-240.
- [2] 杨健源,曾列先,陈深,等. 我国稻曲病研究进展[J]. 广东农业科学,2011(2): 77-79.
- [3] 张俊喜,蒋林忠,霍金兰,等. 2014 年江苏省稻曲病发生情况调查[J]. 江苏农业科学,2015,43(10): 162-164.
- [4] 姚琳,叶慧丽,胡容平,等. 稻曲病侵染机制的初步研究[J]. 西南农业学报,2012,25(4): 1273-1276.
- [5] 邹克琴,胡东维,王为民,等. 水稻稻曲病的研究进展[J]. 浙江农业科学,2012(5): 704-706.
- [6] 张夕林,朱明华,张建国,等. 稻曲病发生规律及其防治技术研究新进展[J]. 农药科学与管理,2003,24(5): 22-23.
- [7] 乌伟刚. 环境因子对稻曲病发病程度的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2012.
- [8] 李汉一. 利用菌源消长系数和齐穗前后气候的关系预测稻曲病[J]. 陕西农业科学,2007(5): 7-8.
- [9] 苏荣瑞,刘凯文,冯明,等. 2014 年江汉平原水稻稻曲病促病气象条件指数分析[J]. 中国植保导刊,2015(9): 44-49.
- [10] 朱秋云,傅俊范,周如军,等. 辽宁稻区稻曲病田间分布型初步研究[J]. 农业科技通讯,2016(6): 118-120.
- [11] 唐春生,江毛生,高家樟,等. 两系杂交水稻稻曲病空间分布型和抽样技术的研究[J]. 湖南农业科学,1998(5): 38-41.
- [12] 陈德西,何忠全,封传红,等. 水稻主要病害发生区划研究[J]. 西南农业学报,2014,27(3): 1072-1078.
- [13] 龚林根,张念环,张景飞,等. 江苏常熟地区稻曲病发生规律及防治技术[J]. 江苏农业科学,2001(6): 30-33.
- [14] 任义方,高苹,朱凤,等. 稻曲病气象风险评估及适宜度等级预测技术[J]. 植物保护,2017,43(1): 61-67.