

李登科, 权文婷, 谢飞舟. 陕西省小麦条锈病气象预报模型[J]. 干旱气象, 2017, 35(1): 128-133, [LI Dengke, QUAN Wenting, XIE Feizhou. Meteorological Forecast Model for Stripe Rust of Wheat in Shaanxi Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(1): 128-133], DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-01-0128

陕西省小麦条锈病气象预报模型

李登科¹, 权文婷¹, 谢飞舟²

(1. 陕西省农业遥感信息中心, 陕西 西安 710014; 2. 陕西省植物保护工作总站, 陕西 西安 710003)

摘要: 利用小麦条锈病发生程度与气象条件的关系, 预测其流行趋势, 可以为当地麦区适期开展综合防治、控制其流行为害提供科学依据。通过对陕西省小麦条锈病历年发生程度与上年11月至4月气温、降水量、相对湿度和日照时数月资料相关分析, 选择对小麦条锈病发生程度敏感的气象因子, 经过归一化处理 and 加权组合, 组成小麦条锈病气象指数, 进而建立小麦条锈病气象预报回归模型。结果表明: 气象指数与小麦条锈病发生程度高度相关, 相关系数通过0.001显著性检验; 关中、陕南地区预报模型回代值与调查值差值在2个等级以内的样本占94.5%, 差值在1个等级以内的样本占57.3%; 对2014年小麦条锈病发生程度预报相差2个等级以内的样本占90%, 相差1个等级以内的样本占40%; 总体检验结果为正确或偏高。

关键词: 条锈病; 气象因子; 预报模型; 陕西省

文章编号: 1006-7639(2017)-01-0128-06 DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-01-0128

中图分类号: S42

文献标识码: A

引言

小麦条锈病是我国麦区最重要的病害和防治对象, 主要发生在西北、西南、华北和淮北等冬麦区和西北春麦区^[1]。它是由条锈菌引起的气传性病害, 其是否流行及流行程度决定于小麦品种的抗病性、菌源、菌量和环境条件, 而在后2个条件中气象因素起决定性作用。由于我国小麦品种绝大部分感病, 一旦遇到适宜性气象条件, 就会大面积发生流行成灾^[2]。因此, 做好小麦条锈病发生发展的气象条件研究及预测预报工作对粮食生产具有重要意义。

近年来, 利用气象条件进行小麦条锈病发生程度或气象等级预报成为小麦条锈病预报研究的热点。如姜燕等^[3]基于环流因子, 建立了全国小麦条锈病发病面积率距平预报模型; 还有研究利用代表站点气象资料和条锈病大田调查资料, 采用统计学方法, 筛选小麦条锈病发生流行的关键时段和关键因子, 建立区域小麦条锈病发生流行趋势或者气象等级预测模型^[4-11]。陕西省地处甘肃陇南、天水地区与广大黄淮冬麦区的接合部, 是条锈病流行的重

要“桥梁”地带^[12]。陕西具有独特的地形及气候特征, 小麦条锈病既有自生菌源的发生发展, 又有外来菌源入侵蔓延, 陕西省对小麦条锈病的研究大多着眼于生理小种变化、遗传、小麦品种抗性等方面^[13-16], 对其发生流行的气象预测预报研究并不多见^[17-18]。为此, 进行陕西省冬小麦条锈病发生流行规律及气象预测预报技术研究, 对科学防治小麦条锈病, 提高作物产量尤为重要。

1 资料与方法

1.1 资料来源

小麦条锈病资料来自陕西省植物保护总站。从收集到的小麦条锈病资料来看, 2001年至今, 陕西省有比较完整的小麦条锈病大田调查资料。经整理, 共得到2001—2014年40县(市、区)209个样本, 包括关中地区25县(市、区)120个样本, 陕南地区15县(市、区)89个样本, 分别形成关中地区和陕南地区条锈病资料序列。陕西冬小麦种植区域主要分布在关中和陕南地区, 两地区分别属暖温带半湿润半干旱气候和北亚热带湿润气候, 小麦品种各不

收稿日期: 2016-05-03; 改回日期: 2016-11-29

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(201406083)资助

作者简介: 李登科(1963-), 男, 陕西眉县人, 正研级高工, 主要从事农业气象、遥感应用业务和研究工作. E-mail: ldk81711@sohu.com

相同,条锈病发生发展所处的生态环境差异较大,因此对陕西省小麦条锈病气象等级预报分为2个区域分别进行研究。

气象资料来自陕西省气象信息中心。整理2001—2014年40县(市、区)上年11月至4月气温、降水量、相对湿度和日照时数资料,使之与小麦条锈病资料相匹配。

1.2 研究区域小麦条锈病流行概况

小麦条锈病是陕西小麦生产上的重大病害之一,历史上曾在关中和陕南多次流行成灾。1957年是全省小麦条锈病大发生年,损失小麦约20万t。1990年小麦条锈病偏重发生,麦田发病面积46.9万 hm^2 ,损失小麦1270t。1991年轻于上年,但仍有44.1万 hm^2 麦田发病。进入21世纪,随着条锈病生理小种的变异和主栽品种抗锈性的丧失,条锈病又成为小麦生产上的重大隐患。2002、2003年小麦条锈病偏重流行,局部大流行,发生面积分别为62.15万 hm^2 和44.03万 hm^2 。2004—2007年、2009—2010年,在陕南及关中沿渭河灌区中等偏重流行,年发生面积在50万 hm^2 左右。

1.3 研究方法

利用小麦条锈病发生程度与上年11月至4月气温、降水量、相对湿度和日照时数进行相关分析,选取通过显著性检验的气象因子作为建立气象预测模型的关键因子。

在众多影响小麦条锈病发生程度的气象因素中,各种因子对小麦条锈病流行的影响程度各异,其量纲也不一样,因此需要对各气象因子作无量纲化处理。与小麦条锈病发生程度呈正相关关系的因子,用式(1)进行计算。反之,用式(2)进行计算。

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (1)$$

$$y_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (2)$$

式中: x_{ij} 为气象因子, $x_{j\max}$ 和 $x_{j\min}$ 分别为 x_{ij} 的最大值和最小值, y_{ij} 为归一化气象因子, i 为年序, j 为因子序号, $j=1, 2, \dots, n$ 。

处理后的归一化因子理论最小值为0,最大值为1。它与因子原值相比,只是数字形式的变换,消除了量纲差异,但保留了因子的统计学和生物学意义。分别用(3)式进行加权组合,得到气象指数计算式^[6]:

$$R_i = \sum_{j=1}^m (y_{ij} \cdot A_j) \quad (3)$$

$$A_j = |r_j| / \sum_{j=1}^m |r_j| \quad (4)$$

式中, R_i 为不同地区小麦条锈病气象指数,数值越大表示气象条件越有利于小麦条锈病发生,反之则不利于小麦条锈病的发生。 r_j 为 y_{ij} 与小麦条锈病发生程度之间的相关系数, m 为气象指数中所含因子个数, A_j 为 y_{ij} 的权重系数。

最后,利用线性回归分析建立小麦条锈病发生程度与气象指数的关系模型。

2 结果与分析

2.1 小麦条锈病的侵染循环规律

秋季,陇东、陇南越夏区或本省越夏区菌源传播至关中及陕南麦区,感染秋苗发病。11月上中旬,条锈病先见于关中西部陇县、凤翔、千阳、陈仓等海拔较高地区的早播旺长麦田,但条锈病在这些地区很难越冬。11月中、下旬,关中西部凤翔、陈仓、岐山、眉县、扶风等渭河平原地区见病,重发生的年份关中中部的武功、周至、户县、长安等县(区)均能发病。12月上、中旬,陕南的汉中、安康及商洛的山阳、镇安等地能见到发病叶片及中心,这些地区条锈病菌能顺利越冬,暖冬十分有利于越冬。

春季,3月下旬前,陕南地区处于点片发生阶段,4月上旬进入流行盛期,一直持续到4月底,5月上旬进入衰退期。3月,关中西部一般见病,但扩展较慢,4月中旬前多处于点片发生阶段,4月下旬进入流行盛期,持续到5月中旬,重发年份3月下旬关中西部渭河川道普遍发生。关中东部的泾阳、临渭、华县等发病较晚,一般5月上旬进入流行盛期,5月中旬末进入衰退期。处于高海拔麦区陇县、凤县、太白等县条锈病5月下旬到6月上旬进入流行盛期,小麦收获后病菌继续感染自生麦苗,在自生麦苗上完成越夏,10月接着侵染小麦秋苗,完成越夏循环^[16,19-20]。

2.2 建模

2.2.1 筛选关键气象因子

根据小麦条锈病的发生、发展、流行规律和预报建模的需要,对2001—2013年上年11月至4月的气象因子与小麦条锈病发病程度进行相关分析,结果见表1。可以看出,对于关中地区,气温与小麦条锈病发病程度呈正相关,降水量、相对湿度、日照时数与小麦条锈病发病程度的相关关系有正有负,1月、2月平均气温,1月降水量与小麦条锈病发病程度的相关关系达到0.001极显著水平,3月相对湿度与小麦条锈病发病程度的相关关系达到0.05显著水平,因此确定1月、2月气温,1月降水量和3月相对湿度为关中地区小麦条锈病春季流行的关键气

象因子,即暖冬、初春空气湿度大等有利的气象条件是关中地区小麦条锈病流行的外因。对于陕南地区,4月气温、4月日照时数与小麦条锈病发病程度的相关关系达到0.001极显著水平,上年12月降水量,1月、2月、4月相对湿度与小麦条锈病发病程度的相关关系达到0.01极显著水平,上年12月气温、2月日照时数与小麦条锈病发病程度的相关关系达到0.05显著水平,因此确定上年12月、4月气温,上年12月降水量,1月、2月、4月

相对湿度,2月、4月日照时数为陕南地区小麦条锈病春季流行的关键气象因子。影响陕南地区小麦条锈病流行的因子比较复杂,概括来说低温、寡照、空气湿度大是该地区条锈病流行的有利气象条件。

2.2.2 因子无量纲处理与气象指数的计算模型

利用公式(1)、(2)对各气象因子作归一化处理,利用公式(3)、(4)得到关中地区和陕南地区的气象指数模型(表2)。

表1 各月气象因子与小麦条锈病发病程度的相关系数

Tab.1 The correlation coefficients between meteorological factors in different month and occurrence degree of stripe rust of wheat

地区	气象因子	11月	12月	1月	2月	3月	4月
关中 <i>n</i> = 115	气温	0.022 4	0.024 6	0.481 3***	0.385 2***	0.147 0	0.069 2
	降水量	-0.148 4	0.126 8	-0.376 1***	0.140 2	-0.011 2	-0.149 2
	相对湿度	-0.025 6	0.000 2	-0.185 0	0.146 9	0.242 6*	0.098 2
	日照时数	-0.055 4	-0.046 9	0.183 0	-0.176 1	-0.129 2	-0.101 3
陕南 <i>n</i> = 84	气温	-0.182 4	-0.247 8*	0.185 2	0.157 4	0.003 5	-0.385 3***
	降水量	0.046 7	0.260 5**	0.041 6	0.160 2	-0.119 7	0.140 9
	相对湿度	0.122 5	0.185 3	0.299 5**	0.279 0**	0.168 6	0.319 8**
	日照时数	-0.149 7	-0.265 9	0.016 9	-0.288 5*	-0.048 0	-0.372 7***

注: *、**、*** 分别表示通过 $\alpha = 0.05, 0.01, 0.001$ 的显著性检验,下同

表2 气象指数模型

Tab.2 Meteorological indexes model

	气象指数模型	气象因子
关中	$R_1 = 0.3241 T_1 + 0.2594 T_2 + 0.2532 P_1 + 0.1634 H_3$	T_1, T_2 : 1月、2月气温; P_1 : 1月降水量; H_3 : 3月相对湿度
陕南	$R_2 = 0.1010 T_{12} + 0.1571 T_4 + 0.1062 P_{12} + 0.1221 H_1 + 0.1137 H_2 + 0.1303 H_4 + 0.1176 S_2 + 0.1519 S_4$	T_{12}, T_4 : 上年12月、4月气温; P_{12} : 上年12月降水量; H_1, H_2, H_4 : 1月、2月、4月相对湿度; S_2, S_4 : 2月、4月日照时数

2.2.3 小麦条锈病气象等级预报模型

小麦条锈病发生程度分为5级,即轻度发生、中度偏轻发生、中度发生、中度偏重发生和大发生,对应的等级为1、2、3、4、5级。分别利用关中、陕南地区小麦条锈病发生程度与气象指数建立线性回归方程,列于表3。可以看出,两地区回归方程均通过 $\alpha = 0.001$ 的极显著性检验。

2.3 模型检验

2.3.1 气象指数模型回代检验

根据各地区气象指数,对照历年小麦条锈病发生程度的大田调查值,可以初步确定预报小麦条锈病发生程度的气象指数阈值。

表3 小麦条锈病气象等级预报模型

Tab.3 Meteorological class forecast model of stripe rust of wheat

	模型	<i>n</i>	<i>r</i>
关中	$L_1 = 3.6821 R_1 + 0.1272$	115	0.5125***
陕南	$L_2 = 5.9054 R_2 + 0.2631$	84	0.5289***

根据表2气象指数权重组合式计算得到2001—2013年各区域气象指数,关中地区最大气象指数为0.8676,最小为0.0934,平均为0.6102,截取关中地区小麦条锈病中等及以上发病程度的样本,将气象指数由大到小进行排序,计算频率分布,得出关中地区

小麦条锈病中等及以上发病程度保证率为 80% 以上的气象指数 $R_1 \geq 0.6029$, 因此, 认为 $R_1 < 0.6029$ 为轻度发生年份; 陕南地区最大气象指数为 0.732 0, 最小为 0.167 7, 平均为 0.485 6, 陕南地区小麦条锈病中等及以上发病程度保证率为 80% 以上的气象指数 $R_2 \geq 0.442 0$, 因此, 认为 $R_2 < 0.442 0$ 为轻度发生年份。

表 4 是 2001—2013 年气象指数模型回代检验结果。从表 4 可以看出, 气象指数指示关中地区条锈病轻、偏轻发生的准确率为 79.2%, 中等、偏重和大发生的准确率为 64.2%; 气象指数指示陕南地区

条锈病轻、偏轻发生的准确率为 57.7%, 中等、偏重和大发生的准确率为 82.8%。

2.3.2 预报模型回代检验

按表 3 模型计算, 得到历年小麦条锈病发生程度, 统计结果见表 5。关中和陕南地区条锈病发生程度的模拟值和实际值差值均在 3 个等级以内。关中地区, 差值在 2 个等级以内的样本占 98.2%, 差值在 1 个等级以内的样本占 59.1%; 陕南地区, 差值在 2 个等级以内的样本占 89.3%, 差值在 1 个等级以内的样本占 54.8%。关中地区的小麦条锈病发生程度的模拟效果比陕南地区好。

表 4 历年小麦条锈病气象指数模型回代检验结果

Tab. 4 The back substitution test results of meteorological indexes model for stripe rust of wheat in past years

发生程度	关中地区			陕南地区		
	样本数	定性预测样本数	准确率/%	样本数	定性预测样本数	准确率/%
轻、偏轻	48	38	79.2	26	15	57.7
中等、偏重、大	67	43	64.2	58	48	82.8
合计	115	81	70.4	84	63	75.0

表 5 历年小麦条锈病发生程度实测与模拟结果

Tab. 5 The measured and simulated results of occurrence degree of stripe rust of wheat in past years

实际值与模拟值差的绝对值	关中地区		陕南地区	
	样本数	比例/%	样本数	比例/%
[0,1]	68	59.1	46	54.8
(1,2]	45	39.1	29	34.5
(2,3]	2	1.7	9	10.7
合计	115	98.2	84	100.0

2.3.3 试报检验

运用 2013—2014 年的气象资料, 对小麦条锈病发生程度指数模型和预报模型进行试报检验, 结果列于表 6。可以看出, 2014 年关中地区 5 个监测县(区)样本, 预报模型对小麦条锈病发生程度预报值偏高 1~2 个等级的有 3 个样本、预报正确 1 个样本、预报值偏高 2 个等级以上的有 1 个样本; 陕南地区也有 5 个监测县(区)样本, 预报模型对小麦条锈病发生程度预报值偏高 1~2 个等级的有 2 个样本、预报正确 3 个样本。

表 6 2014 年小麦条锈病发生程度实测与模拟结果

Tab. 6 The measured and simulated results of occurrence degree of stripe rust of wheat in 2014

县(区)	实际发病程度	预测发病程度	实际 - 预测	气象指数	定性预测发病程度	定性预测评价	
关 中 地 区	泾阳	1	2.7	-1.7	0.703 3	中度及以上	偏高
	陈仓	3	3.0	0.0	0.773 8	中度及以上	正确
	眉县	1	2.9	-1.9	0.756 9	中度及以上	偏高
	武功	0	2.8	-2.8	0.729 3	中度及以上	偏高
	周至	1	2.8	-1.8	0.725 2	中度及以上	偏高
陕 南 地 区	勉县	3	2.7	0.3	0.412 8	轻度	偏低
	汉滨	2	2.1	-0.1	0.318 2	轻度	正确
	旬阳	2	2.1	-0.1	0.307 8	轻度	正确
	城固	2	3.1	-1.1	0.485 4	中度及以上	偏高
	山阳	1	2.8	-1.8	0.437 3	轻度	正确

指数模型对 2014 年小麦条锈病发生程度的定性预报,关中地区偏高和正确的样本数分别为 4 个和 1 个,陕南地区正确样本数 3 个,偏高、偏低各 1 个。

3 结论与讨论

(1)小麦条锈病春季流行的关键气象因子关中地区为 1 月、2 月气温,1 月降水量和 3 月相对湿度,陕南地区为上年 12 月、4 月气温,上年 12 月降水量,1 月、2 月、4 月相对湿度,2 月、4 月日照时数。即关中地区冬暖、降水量多、初春空气湿度大,陕南地区冬春季低温、寡照、空气湿度大有利于小麦条锈病的流行。

(2)关中、陕南地区预报模型回代值与调查值差值在 2 个等级以内的样本占 94.5%,差值在 1 个等级以内的样本占 57.3%;对 2014 年小麦条锈病发生程度预报相差 2 个等级以内的样本占 90%,相差在 1 个等级以内的样本占 40%;总体检验结果为正确或偏高。

小麦条锈病气象指数是对与小麦条锈病发生流行程度密切相关、具有明确的生物学意义的气象因子的无量纲化处理和以相关程度为权重的因子组合,显著地增强了小麦条锈病发生流行程度与气象条件的相关性。用气象指数预测小麦条锈病发生程度,历史资料回代检验结果为正确或偏高,有利于加强小麦条锈病的监测和防治,可用于农业气象服务业务。

影响小麦条锈病流行的因素非常复杂,其发生时间和程度取决于小麦品种、条锈病菌以及环境条件及其相互作用,在病原菌和寄主两方面具备了流行的潜势时,环境条件尤其是气象条件,则成为流行的主导因素。因此,本文所建立的小麦条锈病气象预报模型的计算结果,只表明气象条件对小麦条锈病流行的优劣,是否流行还要结合菌源数量加以综合判断。

研究表明,未来气候变化有明显的变暖趋势,对条锈病安全越冬、潜育期缩短有利,条锈病大流行和重危害频率有可能显著增加。因此,要积极应对气候变化,加强对小麦条锈病发生机制和流行规律研究,重视预测预报和防治工作,培育高抗性良种,力争小麦稳产、高产、优质。

参考文献

- [1] 陈刚,王海光,张录达,等. 小麦条锈病区域流行相关性研究初报[J]. 中国农学通报,2006,22(7):415-420.
- [2] 靳宁,景元书,黄文江. 小麦条锈病气象预测方法及遥感监测研究进展[J]. 江西农业学报,2008,20(8):70-73.
- [3] 姜燕,霍治国,李世奎,等. 小麦条锈病长期预报模型比较研究[J]. 自然灾害学报,2006,15(6):109-113.
- [4] 范绍强,谢咸升,李峰,等. 山西省小麦条锈病流行趋势预测模型研究[J]. 2007,15(4):113-115.
- [5] 段金省,万信,赵建厚,等. 陇东地区越夏小麦条锈菌等级的气象预报[J]. 中国农业气象,2008,29(4):511-513.
- [6] 贾金明,张明捷,徐巧真,等. 黄河中下游地区小麦条锈病气象预报模型[J]. 中国农业气象,2008,29(3):365-370.
- [7] 王新俊,刘章义,刘小艳,等. 平凉市小麦条锈病发生流行趋势预测模型研究[J]. 中国植保导刊,2010,30(1):32-35.
- [8] 许彦平,姚晓红,王从书,等. 甘肃天水市冬小麦条锈病发生发展的气象预测[J]. 自然灾害学报,2011,20(1):142-148.
- [9] 刘伟昌,陈怀亮,王君,等. 小麦条锈病气象等级预测方法研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(27):11830-11832.
- [10] 王志伟,张东霞,马雅丽,等. 山西省冬小麦主要病虫害气象等级预报模型[J]. 中国农学通报,2010,26(11):267-271.
- [11] 万信,任华荣,韩兰英,等. 甘肃陇南冬小麦条锈病气象等级预测模型的建立与应用[J]. 草业科学,2013,30(1):29-33.
- [12] 王保通,李高宝,李强,等. 2001~2005 年陕西省小麦条锈菌生理小种变化动态[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(3):209-212,216.
- [13] 李强,李高宝,王保通,等. 2006-2010 年陕西省小麦条锈菌生理小种变化动态[J]. 植物保护,2012,38(4):133-136.
- [14] 王建锋,陆宁海,陈长卿,等. 陕西省小麦条锈菌群体遗传结构分析[J]. 植物病理学报,2013,43(3):294-300.
- [15] 李春莲,靳凤,薛芳,等. 关中主要小麦品种抗条锈病鉴定及抗病品种遗传多样性分析[J]. 西北农业学报,2013,22(11):77-81.
- [16] 谢飞舟. 陕西省小麦条锈病流行规律进一步研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2011.
- [17] 胡小平,杨之为,李振岐,等. 汉中地区小麦条锈病的 BP 神经网络预测[J]. 西北农业学报,2000,9(3):28-31.
- [18] 胡小平,杨之为,李振岐,等. 汉中地区小麦条锈病流行程度预测研究[J]. 西北农业大学学报,2000,28(2):18-21.
- [19] 谢飞舟,冯小军,文耀东,等. 2004—2011 年陕西省小麦条锈菌越夏范围研究初报[J]. 麦类作物学报,2012,32(4):774-778.
- [20] 李恩才,李素玉,武剑州,等. 关中西部小麦条锈病发生规律及病菌越冬、越夏问题研究[J]. 陕西农业科学,2008(1):103-104.

Meteorological Forecast Model for Stripe Rust of Wheat in Shaanxi Province

LI Dengke¹, QUAN Wenting¹, XIE Feizhou²

- (1. Shaanxi Remote Sensing Information Center for Agriculture, Xi'an 710014, China;
2. Shaanxi Station of Plant Protection, Xi'an 710003, China)

Abstract: A scientific basis can be provided for carrying out comprehensive prevention and control of the epidemic damage of wheat stripe rust in appropriate period with predicting the trend for local area using relationship between wheat stripe rust occurring degree and meteorological conditions. Correlation between occurrence degree of stripe rust of wheat in Shaanxi Province in past years and monthly air temperature, precipitation, relative humidity, sunshine hours from last November to April was analyzed, then meteorological factors which were sensitive to occurrence degree of stripe rust of wheat were selected, and they were normalized and weighted combination to make up stripe rust of wheat meteorological indexes and establish the meteorological forecast model for wheat stripe rust. The results show that the meteorological indexes were closely related to occurrence degree of stripe rust of wheat, and the correlation coefficient passed the 0.001 significance level. According to the difference between in the back substitution values obtained from the forecast model of northern and southern Shaanxi and the measured ones, it indicated that approximately 94.5% of the samples were within two levels, and 57.3% of the samples were within one level. For the difference in prediction of occurrence degree of wheat stripe rust in 2014, the 90% of the samples were within two levels, and 40% of the samples were within one level. The general test result was correct or overestimated.

Key words: strip rust of wheat; meteorological factors; forecast model; Shaanxi Province