

吴清丽,王百灵,谢飞舟. 宝鸡市小麦条锈病发生气象条件分析及预测模型构建[J]. 陕西气象, 2025(4):39-45.

文章编号:1006-4354(2025)04-0039-07

宝鸡市小麦条锈病发生气象条件分析及预测模型构建

吴清丽^{1,2},王百灵^{3,4,5},谢飞舟⁶

(1. 陕西省气象信息中心,西安 710014;

2. 中国气象局气象干部研修中心(陕西),西安 710014;3. 杨凌气象局,陕西杨凌 712100;

4. 中国气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点开放实验室,西安 710016;

5. 杨凌高新农业气象技术联合研示中心,陕西杨凌 712100;

6. 陕西省植物保护工作总站,西安 710003)

摘要:基于宝鸡市 2011—2020 年小麦条锈病病情数据与同期气象资料,对陕西省宝鸡市小麦条锈病的发病规律和影响因素进行分析;融合主观层次分析法与客观熵权法,基于博弈论思想进行组合赋权,获取小麦条锈病预警综合气象参数;并基于线性回归分析方法,建立了小麦条锈病发生发展气象条件预报模型。结果表明:小麦条锈病的发病情况与苗期的降水和湿度、越冬期的气温及返青拔节抽穗期的降水和气温等气象要素关系密切。基于小麦条锈病预警综合气象参数构建的小麦条锈病发生发展气象条件预报模型的决定系数为 0.82,模型能较好预测宝鸡区域冬小麦条锈病发生发展的气象条件,研究结果对宝鸡区域开展冬小麦条锈病防范具有重要的决策参考价值。

关键词:小麦条锈病;发生发展;气象条件;宝鸡市

中图分类号:S435.121.42

文献标识码:A

小麦条锈病作为一种具有广泛地理分布、高频流行性及强暴发性的重大真菌病害,严重威胁着我国小麦作物的安全生产。该病害主要侵袭小麦叶片,亦可蔓延至叶鞘与穗部,通过破坏叶绿素、缩减光合作用时间及加剧水分流失来阻碍小麦的正常生长发育。在流行年份,小麦条锈病可导致产量锐减 20%至 30%,极端情况下减产超过 50%,甚至引发绝收,历史上多次大规模爆发已造成重大经济损失^[1]。气象条件是导致小麦条锈病流行的重要环境因素之一^[2-3],因此,研究小麦条锈病发生发展与气象条件的关系,对于开展小麦条锈病综合防治意义重大。

关于小麦条锈病与气象条件的关系,国内外学者作了大量的研究工作^[2-13],相关研究成果也较好地应用在了小麦条锈病防范工作中。大量研究表明,小麦条锈病的流行程度不仅受到小麦品种抗病性、初始菌源量等内在因素的影响,更与复杂多变的气象条件息息相关^[2-3]。不同年份间的气象条件差异导致了小麦条锈病发生程度的年际间波动^[4-5],在小麦不同生长发育阶段不同气象因子也对病田率造成影响^[6-7],阴雨、高湿多露、闷热等不利气象条件往往成为病害大规模爆发的催化剂^[8-10]。宝鸡市作为陕西省关中平原的重要农业区域,其地理位置独特,位于我国小麦条锈病

收稿日期:2024-08-14

作者简介:吴清丽(1980—),女,满族,内蒙古多伦县人,硕士,工程师,从事农业气象研究及培训工作。

通信作者:王百灵(1985—),女,汉族,陕西洛南人,学士,工程师,从事天气预报研究与农业气象服务工作。

基金项目:秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2021G-9;2023K-3)

中东部流行区系的关键交汇点,这一特殊位置使得宝鸡市成为了病菌传播路径上的重要“桥梁”^[2-3]。关于宝鸡地区小麦条锈病与气象条件的关系研究也见报道,但多以综述及单点研究为主^[11-13],对于由点到面系统研究宝鸡区域不同年份间小麦不同生长发育时段,不同气象条件对小麦条锈病发生发展的影响较少。本研究应用宝鸡市 2011—2020 年间小麦条锈病发病率数据及气象数据,研究小麦播种期(9 月上旬)—抽穗期(次年 5 月下旬)这一关键生育周期内不同时期的气象数据与条锈病最终病田率之间的关系,筛选影响小麦条锈病发生发展的关键时期及气象因子。通过研究,旨在构建一套基于回归分析的小麦条锈病发生发展气象条件预测模型,为优化条锈病防控策略、减少病菌向东传播风险、缓解小麦中后期病害防控压力提供科学依据。此研究不仅可丰富小麦条锈病与气象条件相互作用的理论体系,也将为宝鸡区域小麦安全生产提供重要技术支撑。

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工作站。资料包括宝鸡市 2011—2020 年间小麦条锈病始见期、侵染面积扩展过程和最终发生程度数据。数据范围覆盖了宝鸡市的 4 区和 8 县,包括北部地区的陇县、千阳县、麟游县,以及南部地区的风县、眉县、岐山县、扶风县、太白县,在空间上能全面反映宝鸡市小麦条锈病的流行情况。

气象数据来源于陕西省气象信息中心。整理得到 2011—2020 年宝鸡市 12 县(区)气象站 9 月上旬(播种期)一次年 5 月下旬(抽穗期)降水量、平均相对湿度、平均气温以及日照时数资料,所有县(区)的平均值作为宝鸡市小麦种植区气象资料序列。

1.2 研究方法

1.2.1 MIC 相关性分析法 对多维气象数据进行统一数据量纲,为保留数据的分布特征,并避免饱和现象,归一化区间选择为 $[0.2, 0.9]$,变换函数为:

$$B = 0.2 + 0.7 \times \frac{A - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}}, \quad (1)$$

式中, A 为原始气象要素观测值, B 为归一化后的无量纲参数, $A_{\max}$ 和 $A_{\min}$ 表示数据序列中的最大值和最小值。

不同时段不同气象要素对最终条锈病病田率的响应存在线性和非线性关系两种情况。最大互信息系数(maximum information coefficient, MIC, C_{MI})对线性相关及非线性相关数据集的相关性分析都具有良好的稳健性^[14]。通过计算各时段的不同气象参数与最终条锈病病田率的最大互信息系数来表征二者的相关性。以最终条锈病病田率为自变量 X ,各时段的不同气象参数为因变量 Y ,MIC 的公式为:

$$C_{MI}(X, Y) = \max_{a \times b < B} \left[\frac{\sum_{x=1}^a \sum_{y=1}^b p(x, y) \log_2 \frac{p(x, y)}{p(x)p(y)}}{\log_2 \min(a, b)} \right], \quad (2)$$

式中, $MIC(X, Y)$ 为变量 X 与 Y 的最大互信息系数, a, b 为网格划分维度, $p(x, y)$ 为联合概率分布, $p(x), p(y)$ 分别为边缘概率分布, B 为网格划分约束,设置为总散点个数的 0.6 次方。

1.2.2 基于博弈论的组合赋权法

(1) 主观层次分析法赋权

由于不同时期与最终病田率高度相关的气象参数并不唯一,为满足关键时期和关键气象参数获取需求,最大程度利用不同时期各气象参数对最终病田率的映射表现,基于 MIC 分析的气象参数与最终病田率的客观相关性结果,引入主观层次分析法,将各参数的相对重要性进行定量描述。

层次分析法是一种用于处理复杂决策问题的方法,它可以定量描述不同因素的相对重要性,通过计算权重来确定每个因素对最终目标的贡献程度^[15]。首先,构建判断矩阵 C ,借鉴 1~9 比例标注法,以 MIC 客观相关性分析结果对各因素两两比较,构建公式如下所示:

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

其次,利用算术平均法求权重,如 c_1 的权重 W_{c1} 的

计算公式如下所示:

$$W_{c1} = \frac{c_{11} + c_{1j} + \cdots + c_{1n}}{n}, \quad (4)$$

式中, W_{c1} 为第一行元素的算术平均权重, c_{1j} 为判断矩阵第一行第 j 个元素。

(2) 客观熵权法赋权

为弥补主观赋权法的局限性,本研究引入熵权法客观赋权技术,通过数据自身变异特征确定气象要素权重^[16]。基于小麦条锈病侵染规律,构建三级评价体系(图1):目标层(D)为综合气象参数;准则层包含出苗期(D_1)、越冬期(D_2)和返青—拔节—抽穗期(D_3)3个关键生育阶段。其中,出苗期(9—11月)重点考察降水量(D_{11})和相对湿度(D_{12})对初侵染的影响;越冬期(12月—次年2月)监测气温(D_{21})和日照(D_{22})对病菌存活的调控作用;返青—拔节—抽穗期(3—5月)则综合评估降水(D_{31})、湿度(D_{32})、气温(D_{33})和日照(D_{34})对病害流行的协同效应。该体系通过主客观赋权结合,实现了对条锈病气象影响因子的科学量化。

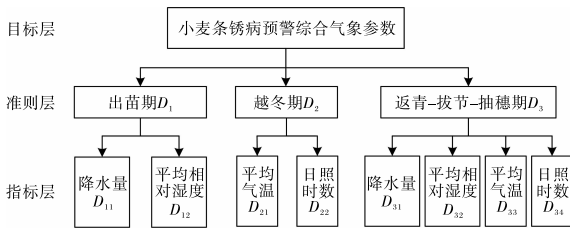


图1 宝鸡市小麦条锈病预警综合气象参数评价层次模型

其次,采用熵权法对小麦条锈病的气象指标进行赋权。构建标准化矩阵 Z ,

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{1j}, X_{2j}, \cdots, X_{mj})}{\max(X_{1j}, X_{2j}, \cdots, X_{mj}) - \min(X_{1j}, X_{2j}, \cdots, X_{mj})}, \quad (5)$$

式中, $X = [X_{ij}]_{m \times n}$ 为原始数据矩阵, $Z = [Z_{ij}]_{m \times n}$ 为标准化矩阵, m 为样本数, n 为指标数。

计算概率矩阵 P , 其中每一个元素 p_{ij} 的计算公式如下:

$$p_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sum_{i=1}^m Z_{ij}}, \quad (6)$$

计算每个指标的熵权 W_j , 计算公式为:

$$W_j = \frac{1 + \frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}}{\sum_{j=1}^n \left(1 + \frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \right)}, \quad (7)$$

(3) 组合赋权

为了提高权重赋权值的可靠性和科学性,避免主观因素对评价的影响,在用主层次分析法和客观熵权法得到的两个赋权值基础上,构造出一个基本权重集:

$$W = \sum_{j=1}^n W_{cj} W_j^T \quad (j = 1, 2, \cdots, n), \quad (8)$$

式中, W_{cj} 、 W_j 分别为主层次分析法、客观熵权法所得权重。

最后,将气象参数真实值与权重相乘并相加,获取基于组合赋权法的小麦条锈病预警综合气象参数 P_{com} , 计算公式如下:

$$P_{com} = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^3 W_{ts} \cdot x_{ts}. \quad (9)$$

式中, W_{ts} 为第 t 个月第 s 旬的气象要素组合权重, x_{ts} 为第 t 个月第 s 旬的气象要素标准化值(无量纲), T 为关键月份总数, s 为旬序(1为上旬, 2为中旬, 3为下旬)。

通过以上计算,实现了综合考虑不同气象参数在每月上、中、下旬的相关性关系,获取了宝鸡市以年为单位的预警综合气象参数。

1.2.3 回归分析 将2011—2020年小麦条锈病预警综合气象参数与最终病田率进行回归分析,建立小麦条锈病发生发展气象预报模型。

2 结果与分析

2.1 不同时段气象要素变化对小麦条锈病的影响

2.1.1 出苗期 通过计算上一年9—11月各气象要素与小麦条锈病最终病田率的最大互信息系数(图2),可以看出9—11月不同时段气象要素变化对小麦条锈病的影响存在显著差异。9月下旬、10月中旬、11月上旬的平均相对湿度和10月中旬的降水量与最终病田率相关性最大。宝鸡市9月下旬—11月上旬是小麦条锈病初侵染和扩展的重要时期。此期间,降水多提高了空气相对湿度,为条锈病菌孢子萌发、侵染叶片提供了理想的环境条件,特别是当降水量集中在小麦播种前后

或苗期时,田间湿度持续偏高,显著增加了病菌传播速度和侵染成功率。

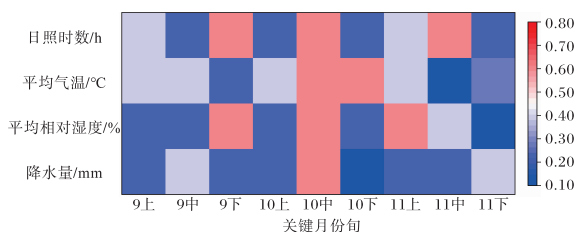


图2 宝鸡市9—11月各旬气象要素与最终病田率最大互信息系数变化

宝鸡市北部地区(陇县、千阳县、麟游县)的小麦播期较早,通常在9月中旬左右,使得这些地区的小麦在秋季降水较多的时期处于易感病阶段。相比之下,南部地区(凤县、眉县、岐山县、扶风县)小麦播期较晚,大约在10月上中旬,尽管避开了部分早秋的降水高峰,但若10月中下旬和11月上旬出现连续降水,同样会对小麦条锈病的发病造成显著影响。

2.1.2 越冬期 图3显示了12月一次年2月期间各旬气象要素与小麦条锈病最终病田率的最大互信息系数相关性分析结果。这一时期,正值小麦的越冬阶段,气象条件对条锈病菌的存活、繁殖及后续病害的扩展具有至关重要的影响。从图3可以看出,12月上旬、1月中旬、2月上旬、2月中旬的平均气温与当年条锈病的病田率之间存在显著相关性。

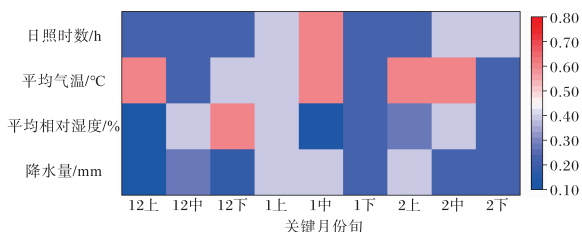


图3 宝鸡市12月一次年2月各旬气象要素与最终病田率最大互信息系数变化

正常情况下,小麦进入越冬期,低温会抑制条锈病菌的活动,降低其存活率。然而,在暖冬气候条件下,情况则大不相同。暖冬现象使得部分存活下来的病叶上的条锈病菌夏孢子堆保持新鲜,能够继续正常扩展和繁殖。如2019年与2020年

的对比案例所示,2019年1月中旬的平均气温为 1.14°C ,较历年同期偏低 0.54°C ,这样的低温条件有效抑制了条锈病菌的活动,导致当年发病率为8 a内最低。相反,2020年1月中旬平均气温上升至 1.6°C ,并出现 11°C 的极端高温天气,这种异常的温暖条件使得小麦条锈菌不仅安全越冬,甚至出现了罕见的繁殖扩展现象,最终导致2020年条锈病发病面积占比高达86.83%。

2.1.3 返青—拔节—抽穗期 冬小麦返青—拔节—抽穗期是冬小麦产量形成关键期,也是条锈病菌繁殖和扩展的关键期。图4为3—5月各旬气象要素与最终病田率的最大互信息系数相关性分析结果。从图4中可以看出,4月和5月的各气象要素均与当年小麦条锈病的发病面积存在显著的相关性。降水多不仅为小麦的生长提供了必要的水分,同时也为条锈病菌的孢子萌发、侵染和传播创造了有利条件。平均气温也是影响小麦条锈病发病的重要因素之一。图4显示,随着春季气温的回升,特别是4月中旬以后,气温的上升与条锈病发病面积的扩大呈现出明显的正相关关系。适宜的春季气温为条锈病菌的繁殖和扩展提供了理想的温度条件。当气温稳定在适宜范围内时,病菌的孢子萌发率、侵染速度和扩展能力都会显著增强,导致小麦条锈病的发生面积迅速扩大。

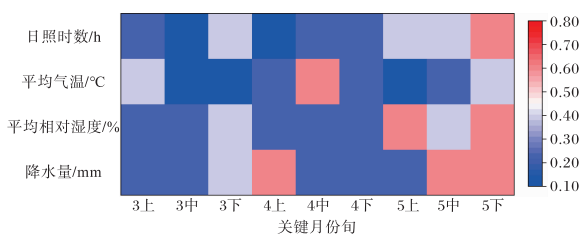


图4 宝鸡市3—5月各旬气象要素与最终病田率最大互信息系数变化

2.1.4 影响小麦条锈病的关键时段和关键气象要素 综合来看,小麦条锈病菌发生早时即秋苗期侵染,暖冬年份安全越冬,待春季适宜的降水天气时,便会蔓延扩展。秋、冬、春季气候条件适宜,是造成条锈病病菌繁殖积累和迅速扩展的重要原因。表1列出了小麦关键生长发育阶段(出苗期、越冬期、返青—拔节—抽穗期)影响小麦条锈病侵染的关键期和关键气象要素。

表 1 宝鸡市小麦各生长阶段条锈病发生的关键时段和关键气象要素

生长阶段	关键时段	关键气象要素
出苗期	9 月下旬	平均相对湿度
	10 月中旬	降水量
	10 月中旬	平均相对湿度
	11 月上旬	平均相对湿度
越冬期	12 月上旬	平均气温
	1 月中旬	平均气温
	2 月上旬	平均气温
	2 月中旬	平均气温
返青-拔节-抽穗期	4 月上旬	降水量
	4 月中旬	平均气温
	5 月上旬	平均相对湿度
	5 月中旬	降水量

2.2 小麦条锈病预警综合气象参数

采用主观层次分析法确定影响冬小麦条锈病发生关键气象要素的权重,首先采用 1~9 比例标注法,融合 MIC 客观相关性分析结果建立判断矩阵,并得到此指标下的层次分析法层次分析结果,如表 2 所示。层次分析结果通过显著性检验,各项指标均符合统计要求。

表 2 主观层次分析法层次分析结果

气象要素	特征向量	权重/%
9 月下旬平均相对湿度	14.64	9.36
10 月中旬降水量	9.53	6.09
10 月中旬平均相对湿度	9.53	6.09
11 月上旬平均相对湿度	14.64	9.36
12 月上旬平均气温	14.64	9.36
1 月中旬平均气温	14.64	9.36
2 月上旬平均气温	14.64	9.36
2 月中旬平均气温	14.64	9.36
4 月上旬降水量	14.64	9.36
4 月中旬平均气温	14.64	9.36
5 月上旬平均相对湿度	14.64	9.36
5 月中旬降水量	5.60	3.58

基于信息熵理论,采用熵权法对小麦条锈病

的气象指标进行赋权,通过计算指标的熵值来确定各个指标的权重,得出的各项指标权重见表 3。熵权法确定的小麦条锈病最相关的各项气象指标权重由大到小依次为:次年 4 月上旬降水量、上一年 10 月中旬降水量、次年 2 月中旬平均气温、次年 5 月中旬降水量、上一年 10 月中旬平均相对湿度、上一年 12 月上旬平均气温等。再次证明,秋、冬、春季气候条件适宜,是造成条锈病病菌繁殖积累和迅速扩展的重要原因。

表 3 基于熵权法的气象指标权重

气象要素	指标层 权重/%	准则层 权重/%	最终权 重/%
9 月下旬平均相对湿度	17.71	30	5.31
10 月中旬降水量	39.44	30	11.83
10 月中旬平均相对湿度	19.76	30	9.47
11 月上旬平均相对湿度	23.09	30	6.93
12 月上旬平均气温	31.14	30	9.34
1 月中旬平均气温	13.00	30	3.90
2 月上旬平均气温	19.02	30	5.71
2 月中旬平均气温	36.83	30	11.05
4 月上旬降水量	35.55	40	14.22
4 月中旬平均气温	13.42	40	5.37
5 月上旬平均相对湿度	24.85	40	9.94
5 月中旬降水量	26.19	40	10.47

结合主观层次分析法和客观熵权法权重,基于式(8)构建组合权重集,全面且科学地评估不同生长阶段气象条件对小麦条锈病发生发展的影响,将气象参数真实值与组合权重相乘并相加,获取基于组合赋权法的小麦条锈病预警综合气象参数值 P_{com} 。

2.3 综合参数与最终病田率的回归分析

采用线性回归分析方法,研究宝鸡市小麦条锈病发生流行规律,建立小麦条锈病预警综合气象参数与冬小麦条锈病最终病田率的关系模型,如图 5 所示。通过对 2011—2020 年宝鸡市小麦条锈病预警综合气象参数与最终病田率的对比分析,模型成功解释了不同年份间的气象条件差异导致的小麦条锈病发生程度的年度间波动。具体

而言,模型在多个年份中均表现出良好的解释性,例如,2017年和2018年的预警综合气象参数值分别为35.34和34.54,对应的实际最终病田率分别为80.10%和79.48%,模型预测结果与实际情况高度一致。进一步分析显示,2019年作为一个特殊年份,其平均气温较历年偏低0.54℃,这一低温条件显著抑制了条锈病菌的活动,导致该年小麦条锈病的综合参数下降至28.66,实际发病率也达到8a内的最低水平。这一结果验证了模型在极端气候条件下的准确性。相反,2020年冬季出现了极端高温天气,且春季平均降水量较往年多出12mm,这些有利的气象条件促进了条锈病的扩散蔓延。模型成功捕捉到了这一趋势,当年综合气象参数值高达35.90,最终病田率也攀升至86.83%。

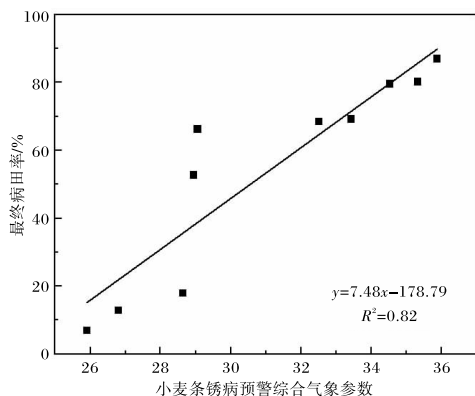


图5 基于小麦条锈病预警综合气象参数的宝鸡市最终病田率预测模型

综合以上分析,该模型的决定系数(R^2)达到0.82,充分说明了该模型能够较好地解释和预测宝鸡市近10a间小麦条锈病病情的动态变化。这一验证结果不仅说明了模型的可靠性,也为未来小麦条锈病的防治工作提供了重要的科学依据。

3 结论与讨论

本研究系统揭示了气象条件对宝鸡地区小麦条锈病发生发展的影响机制。出苗期(9—11月)降水与湿度是病害初侵染的关键驱动因子,其中10月中旬降水量的贡献度达8.96%;越冬期(12月—次年2月)气温波动主导病菌存活率,2月中旬气温的影响最为突出(权重10.21%);返青—拔节—抽穗期(3—5月)的水热组合效应显著加

速病害流行,4月上旬降水量的权重最高(11.79%)。基于组合赋权法构建的预测模型具有良好精度($R^2=0.82$),成功解释了2017—2020年的病害波动,为关中平原病害防控提供了量化决策工具。

研究建立的“气象—病害”响应关系具有区域推广价值,关键参数时序组合可提前预警流行风险。宝鸡作为我国小麦条锈病传播的关键过渡带,其防控策略应重点关注三个时期:北部早播区需防范9月下旬—10月上旬的降水影响,南部晚播区应监测10月中下旬—11月上旬的气象变化,而越冬期气温异常和返青期水热条件则是全区域防控的重点。模型在极端气候年的预测性能表明,未来需结合遥感监测数据完善预警系统,同时加强病菌生理小种变异对气象响应机制的研究。

参考文献:

- [1] 刘薇. 陕西中部小麦条锈菌传播规律及其菌源的分子证据[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2023.
- [2] 孔钰如,王李娟,张竞成,等. 多源数据小麦条锈病预测研究[J]. 遥感技术与应用,2022,37(3):571—579.
- [3] 苏畅,卢雪敏,胡洋山,等. 陕西小麦条锈病发生面积预测模型[J]. 植物保护,2022,48(3):192—198.
- [4] 温彩虹,李酶. 小麦条锈病发生原因与高效防控技术探讨[J]. 陕西农业科学,2020,66(11):56—58.
- [5] 李登科,王钊,谢飞舟. 近年来陕西省小麦条锈病流行规律及其与气象条件的关系[J]. 灾害学,2019,34(3):59—65.
- [6] 黄冲,姜玉英,纪国强,等. 2017年我国小麦条锈病流行大尺度时空动态分析[J]. 植物保护学报,2018,45(1):20—26.
- [7] 赵婷,武兴厚,方英洲. 影响小麦条锈病的气候因子回归分析[J]. 陕西气象,2008(4):46—47.
- [8] 岳伟,陈曦,邱坤,等. 安徽省中南部小麦赤霉病气象等级预报方法研究[J]. 中国农业大学学报,2021,26(9):52—62.
- [9] 夏明安,唐建祥,李文巧,等. 勉县小麦条锈病与气象条件的关系[J]. 陕西气象,2015(2):19—21.
- [10] 郭海鹏,魏会新,冯小军,等. 陕西省2020年小麦条锈病发生流行特点和原因分析及对策[J]. 陕西

- 农业科学,2021,67(2):89-90.
- [11] 李花利,高海龙,李晓萍,等.岐山县小麦条锈病的发生特点及综合防治对策[J].农业科技通讯,2024(7):170-173.
- [12] 杨振安.2021年宝鸡市陈仓区小麦条锈病发生原因及防治对策[J].基层农技推广,2022,10(11):64-68.
- [13] 温晓荣,芦静.宝鸡市小麦条锈病的发生状况及综合防治[J].种子科技,2017,35(5):102-103.
- [14] DAVID N R, YAKIR A R, HILARY K F, et al. Detecting novel associations in large data sets [J]. Science, 2011, 334(6062): 1518-1524.
- [15] SAATY T L. The analytic hierarchy process: What it is and how it is used[J]. The Journal of the Operational Research Society. 1980, 41(11): 1073-1076.
- [16] SHANNON C E. A mathematical theory of communication [J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27(3): 379-423.
- [17] 杨永春.灵台县冬小麦条锈病的发生特点及防控策略[J].甘肃农业科技,2015(10):75-77.
- [18] 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.
- [19] 蒲金涌,姚小英,杨全保,等.天水地区条锈病的发生与气象条件关系研究[J].干旱气象,2008,26(3):63-66.