

陇南山区小麦白粉病流行程度预测模型

肖志强^{1,2}, 李宗明³, 樊明², 张燕², 马敬霞²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 陇南市气象局, 甘肃 武都 746000;
3. 陇南市农技总站, 甘肃 武都 746000)

摘要: 调查分析 1990~2005 年陇南山区小麦白粉病发生、流行资料,发现:陇南白龙江流域为小麦白粉病常发重发生区,徽成盆地小麦白粉病易发区,西汉水流域为小麦白粉病轻发区;小麦感病品种面积、上年秋苗平均病叶率和病田率、当年早春平均病田率、上年 7、10 月和当年 5 月平均气温、当年 4 月和上年 7、8、11 月降水量与全市春季小麦白粉病流行程度相关十分显著, 上年 9 月到次年 3 月平均气温和 4~8 月降水量与小麦白粉病流行程度呈正相关, 4~8 月平均气温和 9 月到次年 3 月降水量与小麦白粉病流行程度呈反相关。由此建立的预报模型, 历史拟合率可达 93.75%, 2006 年业务应用预报准确率 100%。

关键词: 陇南山区; 小麦白粉病; 流行规律; 预测模型; 防御措施

中图分类号: S431.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)06-0080-06

陇南境内山大沟深坡陡, 气候复杂多变, 小麦种植高度在海拔 600~2 400 m 地带, 全市播种面积约 13 万 hm², 约占粮食作物播种面积的一半, 白粉病是全市小麦主要病害之一, 对小麦产量影响较大。特别是二十世纪九十年代以来, 随着气候变暖趋势日趋明显, 尤其是冬季温度显著增高和氮肥使用量的增加以及小麦种植密度的提高, 致使小麦白粉病越冬菌量逐年增加, 危害范围迅速扩大, 发生程度中度偏重。小麦白粉病二十世纪七十年代仅武都、文县川坝两熟水浇地发生, 危害面积不大, 八十年代危害面积虽说有所增加, 但也不足 2 万 hm², 然而, 进入九十年代以后, 小麦白粉病危害面积迅速扩大到目前的 6.67 万 hm² 左右。在白粉病偏重大流行年份里, 全市小麦可减产 15%~25%, 中度流行年份可减产 10%~20%。因此, 搞清陇南山区小麦白粉病流行时空演变规律, 制作准确的预测模型和制定有效的防治措施, 及早预报, 及时防御, 对减少陇南山区小麦损失, 提高小麦产量具有十分重要的意义。

1 资料与方法

小麦白粉病资料, 由陇南市农技植保部门提供, 按照《小麦白粉病测报调查规范》要求的方法测定和统计。同期气象资料由陇南市 8 县 1 区共 9 个气象站提供, 按照《地面气象观测规范》要求的方法测定和统计。1990 年以前小麦白粉病资料大部分数据不全, 从 1990 年开始, 每年秋苗期病情普查, 北部麦

区在 11 月中旬, 南部麦区由于海拔差异大, 由高海拔区向低海拔区在 11 月上、中旬到 12 月上旬, 在固定地域选点调查, 计算全市秋苗期平均病田率; 同时参考近几年来由全国农技服务中心测报处组织的有中国农业大学植保系、中国农科院植保所、甘肃省植保站以及冬麦区重点省植保站专家参加的“全国秋季重大病虫害考察研究组”对该市重点区域小麦白粉病发生情况专题调查的病情资料。早春病情普查, 2 月下旬开始从南部麦区到中北部春麦拔节结束。流行程度调查以各海拔区域不用药防治田的平均病情代表当年自然发病程度, 计算全市平均小麦条锈病流行程度指数(BF): BF=发生面积比率(%)×病情指数。BF 在 0.01~1.9 为 1 级, 即极轻度流行, BF 在 1.91~7.5 为 2 级, 即轻度流行级, BF 在 7.51~16.9 为 3 级, 即中度流行, BF 在 16.91~30 为 4 级, 即偏重流行, BF>30 为 5 级, 即大流行。

2 结果与分析

2.1 白粉病发生流行区域分片

研究表明^[1], 影响小麦白粉病流行的主要因素有品种、菌源量和气象条件(温度、湿度)及栽培条件, 其中饱和湿度下, 温度在 11~17℃ 时分生孢子萌发率最高, 大于 31℃ 时不萌发, 一般气温上升到 10℃ 以上, 具有充足的湿度, 病害发展很快; 特别是在温度较高、雨量多、湿度大、风多风大的情况下, 更有利于病菌侵染和繁殖。但风小雨大和阴雨天不利

于孢子的产生和传播,干旱对病菌虽有一定的影响,但干旱也使小麦生长不良,降低抗病力,因而病害也重。此外,偏施氮肥,栽培过密,灌水不当,作物茎叶生长嫩弱,也有利于病害发生。由于陇南自然条件复杂,上述条件在不同区域内有很大差别,因此,小麦白粉病在不同区域内发生流行各具特点。总结多年小麦白粉病流行调查资料,根据地形、地貌、地理位置、气候特点^[2](表 1)及作物布局和氮肥使用量,为了客观分析和方便研究,将全市划分为以下三片^[3,4](图 1)。

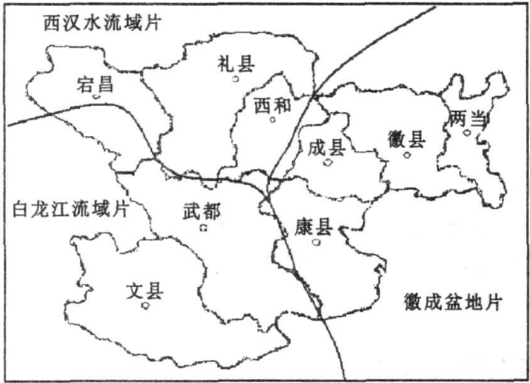


图 1 陇南山区小麦白粉病流行区域分片
Fig. 1 Regional distribution of epidemic wheat powdery mildew in Longnan mountainous area

1) 白龙江流域片。包括白龙江、白水江沿岸的武都、文县和宕昌南部一带,代表站武都。该片区地处陇南南部,境内多高山,小麦种植高度在海拔 600~2 400 m 地带,代表站海拔高度 1 079.1 m,年平均气温 15.1℃,其中冬季最冷月平均气温 3.7℃,最热月平均气温 25.5℃,年降水量 446 mm,年平均风速较大,为 1.5 m/s,加之该区域山地普遍贫瘠,氮肥使用量高,因此,温、湿、风条件及氮肥使用情况适宜白粉病发生流行。调查资料表明:一般情况下,该片白粉病菌在海拔 1 600 m 以下不宜越夏,在海拔 1 600 m 以上自生麦苗上以分生孢子越夏,进入秋季后,随着气候转凉,下沉气流的增强,白粉病菌孢子迅速向川坝河谷地带转移,由于该处温暖湿润,适宜白粉病菌生长流行,致使川坝河谷地带秋末冬初病田率显著高于全市平均发病状况,到了冬季,白粉病菌在海拔 1 100 m 以下的川坝河谷地的麦苗下部叶片上以褐色厚密的菌丝体越冬,在背风向阳的温暖小气候区,冬季白粉病菌仍可持续侵染蔓延,形成大量直接影响流行的菌源,导致次年春季流行以当地菌源为主,并且,常年偏重发生流行。早春 3~4 月气温回升到 10.0~16.5℃后,产生分生孢子,成为春季初侵染源,病害扩大再侵染,并迅速蔓延,4 月

中旬进入发病流行高峰期。并随着热力对流和偏南气流的季节性增强,白粉病孢子向高海拔和偏北麦区传播,因此,该片小麦白粉病几乎每年都会发生,并且程度一般偏重,为陇南白粉病常发早发重发区和春季流行源区。

2) 徽成盆地片。包括成县、徽县、两当和康县,代表站徽县。该片区地处陇南东部,境内多丘陵盆地,大部分小麦种植在海拔 1 600 m 以下,代表站海拔高度 930.8 m,年平均气温 12.2℃,其中,冬季最冷月平均气温 0℃,最热月平均气温 23.7℃,年降水量 654 mm,年平均风速 0.8 m/s,为全市最小,加之该片土地肥沃,氮肥使用量低,为陇南市小麦主产区,因此,该片湿度条件适宜白粉病发生,但风速条件和氮肥使用情况不利于白粉病发生及传播流行。调查资料表明:一般情况下,由于该片海拔高度较低,夏季气温较高,不利于白粉病菌越夏,因此,秋苗期白粉病发病轻,一般为零星发生,到了冬季,白粉病菌以分生孢子及菌丝体越冬,由于气温较白龙江流域低,因此,越冬菌源量较白龙江流域少,春季流行以南部传播菌源为主,来年春季 3 月下旬到 4 月初开始显病,4 月中旬后为扩展期,5 月上旬进入流行高峰期,较白龙江流域偏晚,但冬季偏暖年份春季流行程度常偏重。因此,该片白粉病流行春季重于秋季,为白粉病易发区,但一般流行程度中度到偏重,低于白龙江流域。

3) 西汉水流域片。包括西和、礼县、宕昌北部等地,代表站礼县。该片区地处陇南北部,境内山地平川交错,西和、礼县种植冬小麦,宕昌北部种植春小麦。2005 年实测统计:海拔 1 600 m 以上的小麦面积达 3.3 万 hm²,占 80%。代表站海拔高度 1 404.6 m,年平均气温 10.4℃,冬季最冷的 1 月平均气温 -2.1℃,最热月平均气温 22.0℃,年降水量 458 mm,年平均风速 1.3 m/s,加之氮肥使用量较低,因此,该片温度条件和氮肥使用情况不利于白粉病发生流行,风速条件也不如白龙江流域对白粉病流行有利。调查资料表明:该片由于夏季气温较低,小麦白粉病越夏菌量大,但由于秋温下降快,气温低,不利于秋苗期白粉病大范围流行,因此,秋苗期白粉病大多数年份轻度流行,加之冬温显著偏低低于白龙江流域和徽成盆地,因此,白粉病越冬菌量极少,春温回暖迟,春季流行以南部传播菌源为主,所以,虽然白粉病每年都有发生,但流行程度轻,并且发病迟,一般 4 月上旬开始显病,4 月下旬至 5 月上旬为扩散期,5 月中下旬进入流行期,因此,该片为白粉病轻发区。

表 1 1990~2005 年各片代表站 1~12 逐月平均气温和降水量统计

Table 1 Monthly mean annual temperature and precipitation at every representative station during 1990~2005													
项目 Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年 Year
武都平均气温(℃) Wudu average temperature	3.7	6.8	11.0	16.3	20.0	23.3	25.5	24.4	20.3	14.9	10.3	4.8	15.1
徽县平均气温(℃) Huixian average temperature	0	3.3	7.8	13.5	17.5	21.4	23.7	22.3	17.9	12.0	6.3	0.9	12.2
礼县平均气温(℃) Lixian average temperature	-2.1	1.4	6.0	11.8	15.8	19.5	22.0	20.8	16.4	10.3	4.5	-1.1	10.4
武都降水量(mm) Wudu precipitation	2.0	2.9	12.5	32.3	63.2	62.6	74.5	76.8	77.2	35.9	5.5	0.5	445.9
徽县降水量(mm) Huixian precipitation	6.4	8.5	21.6	37.6	60.7	81.6	131.7	121.2	102.6	58.0	18.0	5.6	653.5
礼县降水量(mm) Lixian precipitation	4.8	6.4	19.3	31.6	49.4	68.3	75.1	69.5	73.8	48.9	7.9	2.5	457.5

2.2 流行年际变化

从表 2 可以看出,就全市平均流行状况而言,1990~2006 年(2006 年为 4 级偏重流行)共 17 年中,小麦白粉病大流行出现 1 次,占 5.88%,偏重流行出现 8 次,占 47.06%,中度流行出现 8 次,占 47.06%,轻度和极轻度未出现。这说明小麦白粉病在我市每一年都会出现,并且流行程度以中度到偏重为主。

表 2 1990~2005 年陇南市小麦白粉病发生情况

Table 2 The statistic of wheat powdery mildew happening circs in Longnan mountainous area during 1990~2005																
项目 Items	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
上年秋苗发病平均病田率(%) Average percent of infestation square measure in last autumn	56.6	46.2	32.6	51.3	46.5	29.6	75.0	49.2	34.0	83.4	25.9	32.5	56.7	43.3	48.6	39.7
上年秋苗发病平均病叶率(%) Average percent of seedling diseases in last autumn	0.95	1.23	0.60	0.64	0.67	0.22	3.18	0.77	0.85	1.99	0.65	0.37	0.90	0.97	1.02	0.42
感病品种面积(hm ²) The square measure of infestation	10.74	10.74	10.47	10.47	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.21	9.60	9.60	9.54	8.67	8.40	8.40
早春发病平均病田率(%) Average percent of infestation square measure in early spring	57.9	45.4	33.9	57.5	49.0	26.0	63.0	58.3	39.1	76.9	61.0	42.5	75.2	52.3	70.4	65.6
春季发病开始时间(旬/月) Beginning time of disease development in spring	上/3	上/3	上/3	上/3	上/3	上/3	上/3	上/3	上/3	下/3	上/3	上/3	上/3	上/3	上/3	上/3
当年发病高峰期(旬/月) Summit time of disease development	上/5	上/5	上/5	上/5	上/5	上/5	上/5	上/5	上/5	上/5	上/5	上/5	下/4	下/4	中/4	中/4
当年发病流行等级 Degree of epidemic wheat powdery mildew	4	4	3	4	4	3	4	4	3	5	3	3	4	3	3	3

2.3 影响陇南白粉病流行的主要因子

根据多年研究,品种的抗病性、菌源量、气象条件及栽培条件是小麦白粉病流行的四大制约因子。四因子不同的组合是小麦白粉病流行轻重的最主要的、最直接的原因。

2.3.1 品种布局与小麦白粉病流行程度 由 1990~2005 年资料统计得出:陇南全市感病品种面积与春季小麦白粉病流行程度呈正相关,通过 0.05 水平显著性检验,从图 2 可以看出,随着感病品种面积的增大,白粉病流行程度呈显著加重的趋势。

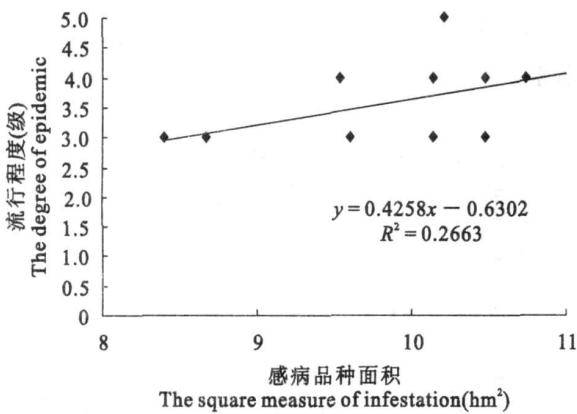


图 2 感病品种面积与白粉病流行程度的关系

Fig. 2 The relationship between the degree of epidemic wheat powdery mildew and the square measure of infestation

2.3.2 菌源量与小麦白粉病流行程度 由 1990~2005 年资料统计得出: 陇南春季小麦白粉病流行程度与当年早春平均病情病田率和上年秋苗平均病叶率呈正相关, 通过 0.05 水平显著性检验, 与上年秋苗平均病情病田率呈正相关, 通过 0.01 水平显著性检验, 从图 3、图 4、图 5 可以看出, 随着早春平均病情病田率和上年秋苗平均病叶率及上年秋苗平均病情病田率的增大, 白粉病流行程度呈显著的加重趋势。

2.4 气象条件与小麦白粉病流行程度

2.4.1 温度 小麦白粉病菌源量不但与小麦品种的抗病性水平有着极其密切的内在关系, 同时也受气象条件的制约。经统计分析 1990~2005 年资料, 发现上年 7 月、10 月和当年 5 月平均气温与春季小麦白粉病流行程度相关显著 (见图 6、图 7), 其相关系数分别为 -0.498、0.501 和 -0.517, 通过 0.05 水平显著性检验, 其三片代表站武都、徽县、礼县逐月平均气温与小麦白粉病流行程度相关系数的变化见图 8。由此可见, 9 月到次年 3 月平均气温与小麦白粉病流行程度呈正相关, 说明该时段平均气温低于白粉病正常生长温度, 气温偏高有利于小麦白粉病发展, 4~8 月平均气温与小麦白粉病流行程度呈负相关, 说明该时段平均气温高于白粉病正常生长温度, 气温偏高不利于小麦白粉病发展, 特别是发病高峰期 5 月和上年越冬期 7 月及仲秋 10 月气温对今后小麦白粉病的流行影响最大。

2.4.2 降水 小麦白粉病对湿度适应范围很广, 一般气温上升到 10℃ 以上, 具有充足的湿度, 病害发展很快; 特别是在温度高、雨量多、湿度大、风多风大的情况下, 更有利于病菌侵染和繁殖。但风小雨大和阴雨天不利于孢子的产生和传播, 干旱对病菌虽有一定的影响, 但干旱也使小麦生长不良, 降低抗病

力, 因而病害也重。统计分析 1990~2006 年资料, 三片代表县武都、徽县、礼县逐月降水量与小麦白粉病流行程度相关系数的平均值变化见图 8。逐月降水量与小麦白粉病流行程度相关性与温度相反,

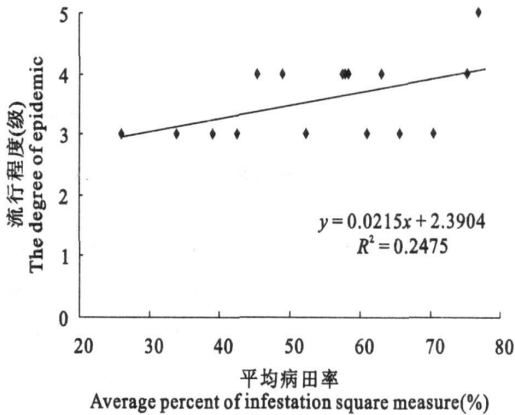


图 3 早春病田率与白粉病流行程度的关系

Fig. 3 The relationship between the degree of epidemic wheat powdery mildew and the percent of infestation square measure in early spring

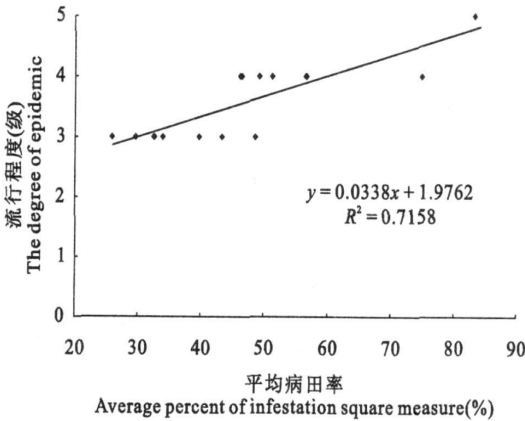


图 4 上年秋苗病田率与白粉病流行程度的关系

Fig. 4 The relationship between the degree of epidemic wheat powdery mildew and the percent of infestation square measure in last autumn

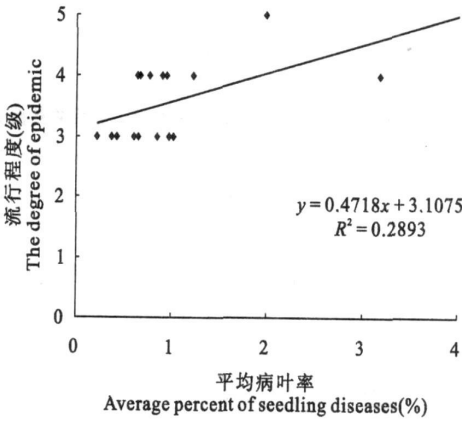


图 5 上年秋苗病叶率与白粉病流行程度的关系

Fig. 5 The relationship between the degree of epidemic wheat powdery mildew and the percent of seedling diseases in last autumn

程度等级相关显著(见图 9、图 10),其相关系数分别达到 0.585、0.576、0.515、-0.502,通过 0.05 信度检验。

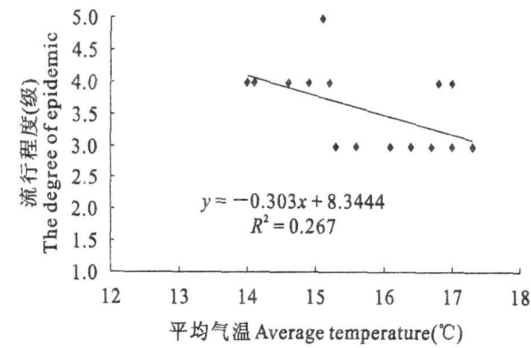


图 6 礼县 5 月平均气温与当年白粉病流行程度的关系
Fig. 6 The relationship between the degree of epidemic wheat powdery mildew and May average temperature in Lixian

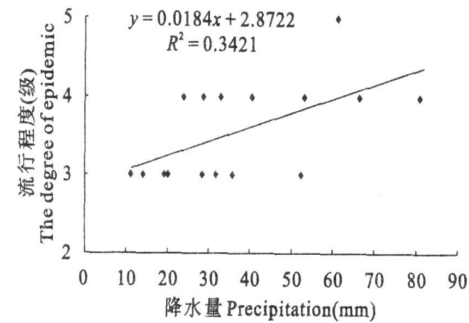


图 9 徽县 4 月降水量与当年白粉病流行程度的关系
Fig. 9 The relationship between the degree of epidemic wheat powdery mildew and April precipitation in Huixian

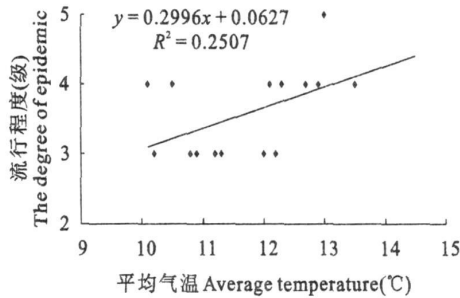


图 7 武都上年 10 月平均气温与白粉病流行程度的关系
Fig. 7 The relationship between the degree of epidemic wheat powdery mildew and last October average temperature in Wudu

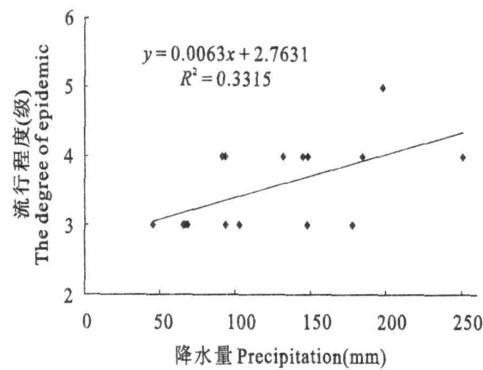


图 10 徽县上年 7 月降水量与白粉病流行程度的关系
Fig. 10 The relationship between the degree of epidemic wheat powdery mildew and last July precipitation in Huixian

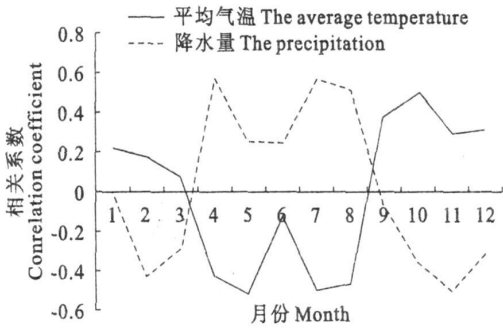


图 8 逐月降水量、平均气温与白粉病流行等级相关系数分布
Fig. 8 The correlation coefficient between the degree of epidemic wheat powdery mildew and the precipitation and mean temperature in every month

在 4~8 月呈显著的正相关,说明该时段降水量多有利于小麦白粉病发展,少雨干旱则不利于小麦白粉病发展;而 9 月到次年 3 月呈负相关,说明气温在 10℃ 以下偏低于小麦白粉病菌正常生长温度时,降水量与小麦白粉病流行程度呈不显著的负相关,因此,该时段雨雪过多对小麦白粉病流行稍有不利的影 响,特别是 4、7、8、11 月降水量与小麦白粉病流行

2.5 白粉病流行程度预测模型

在实际业务应用当中,为了及早准确预报小麦白粉病流行程度,从秋季冬小麦播种到次年夏季小麦收割,我们共发布两次小麦白粉病流行程度预测,第 1 次在小麦秋苗期发布,第 2 次在次年小麦返青拔节后发布,根据上述分析结果,挑选生物学意义明确,与小麦白粉病流行程度相关显著的因子建立多元回归预报方程,其秋末发布的预测模型为:

$$\hat{Y} = -2.38242 + 0.004714 X_1 + 0.261901 X_2 + 0.015572 X_3 \quad (1)$$

式中, $\hat{Y}$ 为全市春季小麦白粉病流行程度预测等级,小数 4 舍 5 入取整数(下同); X_1 为徽县上年 7 月降水量; X_2 为武都上年 10 月平均最低气温, X_3 为小麦感病品种面积(万 hm^2),其复相关系数为 $R = 0.77$, $F = 5.8 > F_{(0.05, 3, 12)} = 3.49$,在 $\alpha = 0.05$ 显著水平上回归效果显著,其历史拟合率 87.5%,2006 年预报结果为 4 级,实况 4 级,趋势预报正确。其初

春发布的更为准确的预测模型为:

$$\hat{Y} = 2.130534 - 0.01742X_1 - 0.00711X_2 + 0.049767X_3 - 0.37979X_4 \quad (2)$$

式中, $\hat{Y}$ 为全市春季小麦白粉病流行程度预测等级; X_1 为礼县上年 11 月降水量; X_2 为当年早春发病病田率(‰); X_3 为上年秋苗发病平均病田率(‰); X_4 为上年秋苗发病平均病叶率(‰), 其复相关系数为 $R = 0.897$, $F = 11.24576 > F_{(0.01, 4, 11)} = 5.67$, 在 $\alpha = 0.01$ 显著水平上回归效果极显著, 其历史拟合率 93.75%, 2006 年预报结果为 4 级, 实况 4 级, 趋势预报正确。

3 小 结

1) 白龙江流域小麦白粉病发生流行程度年度间差异不大, 气象条件适宜于白粉病的流行, 为白粉病常发重发区。徽成盆地由于湿度条件适宜白粉病的发生流行, 为白粉病易发区。西汉水流域由于温湿条件较差, 不太适宜白粉病的发生流行, 为白粉病轻发区。

2) 小麦感病品种面积、上年秋苗平均病叶率、

上年秋苗平均病情病田率、当年早春平均病情病田率、上年 7 月和 10 月及当年 5 月平均气温、当年 4 月和上年 7、8、11 月降水量与全市春季小麦白粉病流行程度相关十分显著, 9 月到次年 3 月平均气温和 4~8 月降水量与小麦白粉病流行程度呈正相关, 4~8 月平均气温和 9 月到次年 3 月降水量与小麦白粉病流行程度呈负相关。

3) 利用生物学意义明确, 与小麦白粉病相关显著的品种抗病性、菌源量和气象条件建立的预报模型, 性能可靠, 预报准确率高, 其历史拟合率可达 93.75%, 2006 年业务应用趋势预报正确, 成为目前我市预报小麦白粉病流行趋势的当家工具。

参 考 文 献:

[1] 朱福成. 甘肃农作物病虫害[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982. 42—44.
[2] 余优森, 葛秉钧, 任三学, 等. 甘肃陇南山区农业气候资源与利用[M]. 北京: 气象出版社, 1997. 14—32.
[3] 肖志强, 尚学军, 樊 明, 等. 陇南春旱指数与冬小麦产量关系及预测研究[J]. 中国农业气象, 2002, 23(1): 9—12.
[4] 肖志强, 林 纾, 尚学军, 等. 陇南山区春末夏初旱涝指数的确定与预测研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 26—31.

Prediction model of the degree of epidemic wheat powdery mildew in Longnan mountainous area

XIAO Zhi-qiang^{1,2}, LI Zong-ming³, FAN Ming², ZHANG Yan², MA Jing-xia²

(1. The Arid Meteorological Institute of Lanzhou, China Meteorological Administration, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Longnan Meteorological Bureau, Wudu, Gansu 746000, China; 3. Longnan Agricultural Technological Extension Station, Wudu, Gansu 746000, China)

Abstract: Based on the data of wheat powdery mildew from 1990 to 2005 in Longnan mountainous area, the analytic conclusions are as follows: there is low frequency happening of wheat powdery mildew in the Bailong River basin, Huicheng basin and western Hanshui River basin; There are obvious relationships between the degree of epidemic wheat powdery mildew and the area of infestation, and the percentage of seedling diseases and infestation area last autumn, and the area of infestation early this spring, and the average temperature of this May and last July and October and precipitation of this April and last July, August and November, and there are positive relationships between the degree of epidemic wheat powdery mildew and average temperature from last September to this March and precipitation from April to August, but there are negative relationships between the degree of epidemic wheat powdery mildew and average temperature from April to August and precipitation from last September to this March. Moreover, the historical fitting accuracy of prediction model established on the above results is 93.75%, and the percentage of prediction is 100% in 2006. Meanwhile, the preventive measure is concluded by combining with the experiment.

Keywords: Longnan mountainous area; wheat powdery mildew; regularity of epidemic; prediction model