

四川省小麦条锈病流行区划及 菌源传播路径分析

沈 丽^{1,2} 罗林明² 陈万权³ 赵志模¹ 王进军¹

(1. 西南大学植物保护学院, 重庆 400716; 2. 四川省农业厅植保站, 成都 610041;
3. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要: 四川省是我国小麦条锈病菌 *Puccinia striiformis* Westend f. sp. *tritici* Eriks 的菌源地和常发区, 近10年秋苗病害始见期提前、流行期加长、危害损失呈上升趋势。在实地调查基础上, 利用GIS技术对全省132个小麦主产县(市、区)1987—2006年小麦条锈病发生情况进行系统分析。结果表明, 四川省小麦条锈病流行区域可划分为川西北越夏区、川西南越夏及冬繁区、盆地冬繁区和川东南春季流行区。GIS软件分析发现病菌孢子在四川盆地内的传播路径为沿岷江、涪江、沱江和嘉陵江等4条河流自北向南、自西向东传播。

关键词: 小麦条锈病; 流行特点; 传播路径; GIS

Epidemic zones and dispersal routes of wheat stripe rust caused by *Puccinia striiformis* West. in Sichuan

Shen Li^{1,2} Luo Linming² Chen Wanquan³ Zhao Zhimo¹ Wang Jinjun¹

(1. Plant Protection College, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Plant Protection Station,
Sichuan Agricultural Bureau, Chengdu 610041, Sichuan Province, China;
3. Institute of Plant Protection, CAAS, Beijing 100193, China)

Abstract: Sichuan, where wheat stripe rust occurs frequently, is considered as the inoculum sources of *Puccinia striiformis* West. in autumn. The time for disease emergence on the autumn-sown wheat seedling have become earlier than ten years ago and longer epidemic period and higher severity of the disease have been observed in the whole seasons of wheat growing. Great efforts have been paid to the epidemiological survey of the disease in Sichuan in the past 20 years and the data were collected from 132 counties and analyzed using GIS technology in order to reveal the epidemic characters of the disease and dispersal routes of the pathogen. The results indicated that Sichuan could be divided into four epidemic zones of wheat stripe rust on the basis of the ecological conditions, climate characters, disease occurrence and spreading as well as the systems of wheat production. i. e., over-summer area in northwestern Sichuan, over-summer and winter-reproductive area in southwestern Sichuan, winter-reproductive area in Sichuan Basin and spring epidemic area in southeastern Sichuan. Pathogen inoculum of stripe rust could be spread by four dispersal ways along Min River, Fu River, Tuo River and Jialing River in the direction from north to south and from west to east in Sichuan Province.

Key words: wheat yellow stripe rust; epidemic characters; spread routes; GIS

基金项目: 农业部小麦条锈病菌源地综合治理项目

作者简介: 沈丽, 女, 1971年生, 高级农艺师, 研究方向为小麦病虫害发生与防治技术研究, email: sheenyon@126.com, Tel: 028-85505216

收稿日期: 2007-10-19

四川省是我国小麦条锈病 *Puccinia striiformis* Westend f. sp. *tritici* Eriks 发生危害较严重的地区之一^[1-2]。建国以来,条锈病在四川省每年均有不同程度的发生和危害,给小麦生产造成严重损失。关于该病在四川的发生流行规律,前人进行了较为系统的调查和研究^[3-7],业已明确条锈病菌可在甘孜、阿坝、凉山三州越夏^[8],在成都平原越冬,越夏菌源可直接影响成都平原小麦安全生产^[8-10],有关研究成果在相当长的一段时间内对指导病害的防治发挥了重要作用。然而,自 1996 年以来,随着全球性气候变暖以及小麦耕作制度、品种布局等的变化,四川小麦生长的气候与生态环境出现了许多新情况、新特点,条锈病的发生流行态势也随之发生了一些变化。在过去的 12 年间,大发生年份频次高达 83.33%,年均发生面积 51.33 万 hm^2 ,占小麦播种面积的 39.1%;年均损失小麦 30 万 t,占小麦病虫害总损失的 57.3%。自 2001 年以来,小麦条锈病在四川已连续 7 年大发生,为建国以来所罕见。尤其是 2002 年小麦条锈病在四川发生面积达 101.53 万 hm^2 ,占小麦播种面积的 76.15%,损失小麦近 3.5 万 t,约占当年全国小麦条锈病损失总量的 1/3^[11]。

为了揭示条锈病发生流行所出现的新规律、新特点,本研究结合实地调查和历史资料收集,采用 GIS 技术对全省 132 个小麦主产县(市、区)1987—2006 年小麦条锈病发生情况进行了系统分析,以期对病害的综合防治和区域治理提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

收集、整理四川省松潘、黑水、剑阁、梓潼、中江、射洪、阆中、金堂、简阳、仁寿、资中等 132 个小麦主产县 1987—2006 年小麦条锈病发生情况的相关历史资料,包括小麦播种面积、播种时间、收获时期、主栽品种(系)以及秋、冬、春季条锈病病情(包括发病始期、普遍率和严重度)、病菌越夏情况(越夏寄主、范围、面积、发病情况)、防治面积、实际损失和挽回损失等。

收集、整理上述 132 个小麦主产县 1987—2006 年小麦生长期间(11 月至次年 5 月)的月均温、月降水量以及月雾露日等气象资料。

收集、整理四川省剑阁、梓潼、射洪、中江、阆中、金堂、简阳、仁寿、资中等 57 个监测点自 1996—2006 年小麦条锈病系统调查和大田普查相关数据,

具体调查方法参见《小麦条锈病测报调查规范(GB/T 15795-1995)》^[12]。

收集、整理绵阳、广元、遂宁 3 个气象站点(分别代表盆地不同地理区域)1971—2006 年间每年各旬气温、降雨、雾日、露日、主流风向等相关气象数据。

1.2 方 法

1.2.1 条锈病越夏、越冬调查及区划

实地调查小麦播种面积、播种时间、品种、自生麦苗的密度、面积,以及秋苗条锈病始见期、普遍率,冬、春季节条锈病的普遍率、严重度,病菌越冬、越夏面积及其海拔高度,并收集相关气象资料。以旬平均气温 22~23℃定为小麦条锈菌越夏温度上限,以夏季感病小麦重叠生长 1 个月以上作为越夏的基本条件^[1-2],7—9 月普查满足这两个条件的地域,查见条锈病的视为在当地可越夏,则划归为越夏区范围。凡每年立春前即发病,且病情在冬季有进一步发展的归为冬繁区。

1.2.2 盆地内传播路径分析

运用 ArcView GIS 软件(美国 ESRI 公司出品)为用户提供的聚集分析功能(agggregating function),将盆地 97 个冬麦生产县常年小麦条锈病的发病情况依据始见期的日期段顺序进行显示,可以直观地反映出小麦条锈菌在四川盆地内的传播路径。

2 结果与分析

2.1 四川省小麦条锈病发生区划

2.1.1 川西北越夏区:包括阿坝州的黑水、松潘、九寨沟、若尔盖、茂县、理县、小金、金川;甘孜州的泸定、九龙、炉霍、乡城;以及绵阳的平武、广元的青川、雅安的宝兴等县的部分地区(图 1)。川西北越夏区主要属晚熟冬麦和春麦区,晚熟冬麦在上年 10 月播种,春麦在当年 3 月播种,均在翌年 8 月以后开始收获。这些地区历年 7 月最热一旬平均气温在 19~20℃以下,小麦条锈菌主要在海拔 2 280~2 910 m 的晚熟冬麦、春麦和自生麦苗上越夏(表 1)。

2.1.2 川西南越夏及冬繁区:该地区地形西北高东南低,西面为山地和高原,中间为西南地区最大的河谷冲积平原即安宁河谷平原或称西昌平原,是四川冬小麦的主产区之一。西、南面与云南越夏区相连或相望,东面金沙江由南向北流往宜宾市,其支流河谷均有小麦种植。小麦条锈菌可在凉山州的木里、盐源、越西等地晚熟春麦和德昌、布托、普格、宁

表 1 1980—2006 年越夏调查结果

Table 1 The survey of over-summer areas in 1980 - 2006

越夏地点 Over-summer area	越夏寄主类型 Types of over-summer host	调查年份 The survey year	越夏海拔下限(m) The lowest altitude of over-summer area	越夏面积(hm ²) The areas of over-summer area
黑水	晚熟冬麦、春麦和自生麦苗	1980—1983,	1728	1200.00
Heishui	Late winter and spring wheat, volunteer wheat seedlings	2002—2006		
松潘	晚熟冬麦、春麦和自生麦苗	1980—1983,	2061	666.60
Songpan	Late winter and spring wheat, volunteer wheat seedlings	2002—2006		
九寨沟	晚熟冬麦、春麦和自生麦苗	1980—1983,	1980	670.00
Jiuzhaigou	Late winter and spring wheat, volunteer wheat seedlings	2002—2006		
若尔盖	晚熟冬麦、春麦和自生麦苗	1980—1983,	2490	578.00
Ruoergai	Late winter and spring wheat, volunteer wheat seedlings	2002—2006		
茂县	晚熟冬麦、春麦和自生麦苗	1980—1983,	2780	800.00
Maoxian	Late winter and spring wheat, volunteer wheat seedlings	2002—2006		
理县	晚熟冬麦、春麦和自生麦苗	1980—1983,	2340	53.33
Lixian	Late winter and spring wheat, volunteer wheat seedlings	2005—2006		
小金	晚熟冬麦、春麦和自生麦苗	1980—1983,	2242	502.00
Xiaojin	Late winter and spring wheat, volunteer wheat seedlings	2002—2006		
金川	晚熟冬麦、春麦和自生麦苗	1980—1983,	2201	600.00
Jinchuan	Late winter and spring wheat, volunteer wheat seedlings	2002—2006		
泸定	自生麦苗(当茬作物为玉米)	1980—1983,	1420	667.00
Luding	Volunteer wheat seedlings (in maize field)	2005—2006		
九龙	自生麦苗(当茬作物为玉米)	1980—1983,	1751	40.00
Jiulong	Volunteer wheat seedlings (in maize field)	2005—2006		
炉霍	晚熟春麦	1980—1983,	3094	33.33
Luhuo	Late spring wheat	2005—2006		
乡城	晚熟冬麦、春麦和自生麦苗	1980—1983,	2850	20.00
Xiangcheng	Late winter and spring wheat, volunteer wheat seedlings	2005—2006		
平武	自生麦苗(当茬作物为玉米)	1980—1983	1940	1.61
Pingwu	Volunteer wheat seedlings (in maize field)			
青川	自生麦苗(高山荒地)Volunteer	1980—1983,	1849	33.33
Qingchuan	wheat seedlings (in deserted mountainous field)	2006		
宝兴	自生麦苗(当茬作物为玉米)	1980—1983	2000	1.33
Baoxing	Volunteer wheat seedlings (in maize field)			
德昌	自生麦苗(当茬作物为烤烟)	2005—2006	1580	9.66
Dechang	Volunteer wheat seedlings (in tobacco field)			
布托	晚熟春麦和自生麦苗	1980—1983,	1862	53.33
Butuo	Late spring wheat and volunteer wheat seedlings	2005—2006		
盐源	晚熟春麦和自生麦苗	1980—1983,	2765	160.00
Yanyuan	Late spring wheat and volunteer wheat seedlings	2005—2006		
普格	晚熟春麦和自生麦苗	1980—1983,	1800	26.67
Puge	Late spring wheat and volunteer wheat seedlings	2005—2006		
宁南	晚熟春麦和自生麦苗	1980—1983,	2024	6.42
Ningnan	Late spring wheat and volunteer wheat seedlings	2005—2006		
木里	晚熟春麦和自生麦苗	1980—1983,	1984	5.33
Muli	Late spring wheat and volunteer wheat seedlings	2005—2006		
越西	自生麦苗(当茬作物为烤烟)	1980—1983,	1870	2.49
Yuexi	Volunteer wheat seedlings (in tobacco field)	2005—2006		

南等地的自生麦苗上越冬(图 1),越冬海拔范围为 1 800 ~ 3 000 m,已报道的越冬面积在 100 ~ 150 hm²,与川西北越冬区小麦呈较大面积连片种植不同,本地越冬小麦受峡谷切割,在更广范围内呈零星分布,越冬海拔下限更低。每年秋季,处于高海拔的越冬菌源随气流传播到低海拔的安宁河谷平原和金沙江支流连片的早熟冬麦区,导致一般年份秋苗发病早而重。例如宁南和普格近年来在 10 月底至 11 月上

旬即可查见秋苗发病,12 月中旬秋苗调查,普遍率平均可达 10.2%,最高达 86.0%;严重度平均达 21.0%,最高可达 100%,重病区田块普遍发病。安宁河谷平原和金沙江支流冬季气温一般年份均显著高于四川盆地,11 月至次年 2 月份月平均气温为 10.4℃,完全能满足条锈菌夏孢子的侵入、萌发和产孢等过程。因此,安宁河谷平原的早熟冬麦区是小麦条锈菌的又一重要冬繁区(表 2)。

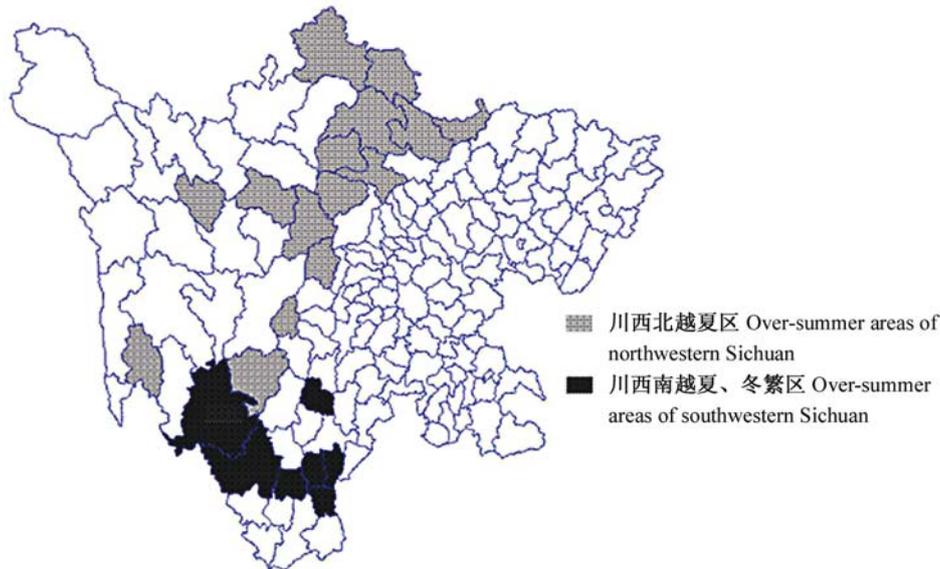


图 1 川西北越冬区和川西南越冬、冬繁区分布

Fig. 1 Distribution of over-summer areas of northwestern Sichuan and southwestern Sichuan

表 2 2004—2006 年普格观测圃内小麦条锈病病情系统调查结果

Table 2 Data of systematic investigation of wheat stripe rust in observation nursery in Puge County in 2004 - 2006

调查时间(month - day)	生育期	平均普遍率(%)	平均严重度(%)
Date of investigation	Growth stage of wheat	Average prevalence	Average severity
11 - 20	分蘖期 Tillering stage	6.03	9.2
11 - 30	分蘖期 Tillering stage	9.10	10.4
12 - 10	分蘖期 Tillering stage	11.20	16.9
12 - 20	分蘖期 Tillering stage	12.80	18.5
12 - 30	拔节期 Jointing stage	9.60	22.0
1 - 10	拔节期 Jointing stage	18.40	29.6
1 - 20	拔节期 Jointing stage	20.50	33.8
1 - 30	孕穗期 Boot stage	24.00	38.1
2 - 10	孕穗期 Boot stage	30.80	45.2
2 - 20	抽穗期 Heading stage	35.10	47.4
2 - 28	扬花期 Flowering stage	35.90	52.3

注:品种为绵阳 19。Note: Wheat variety was Mianyang 19.

2.1.3 盆地冬繁区:主要包括广元、绵阳、德阳、遂宁、资阳、内江、成都、眉山、乐山、雅安、南充、巴中、广安等市和成都平原的 60 个县(区)(图 2),该区属早熟冬麦区,常年小麦播种面积约 107 万 hm²。这

些地区主要集中在四川盆地及盆地西、北部山区,每年立春前即开始发病,近年来病害始见期提早,平均比常年提早 7 ~ 15 天发病,最早于 11 月上旬麦苗处于三叶一心期时即可见到新鲜的夏孢子,由北往

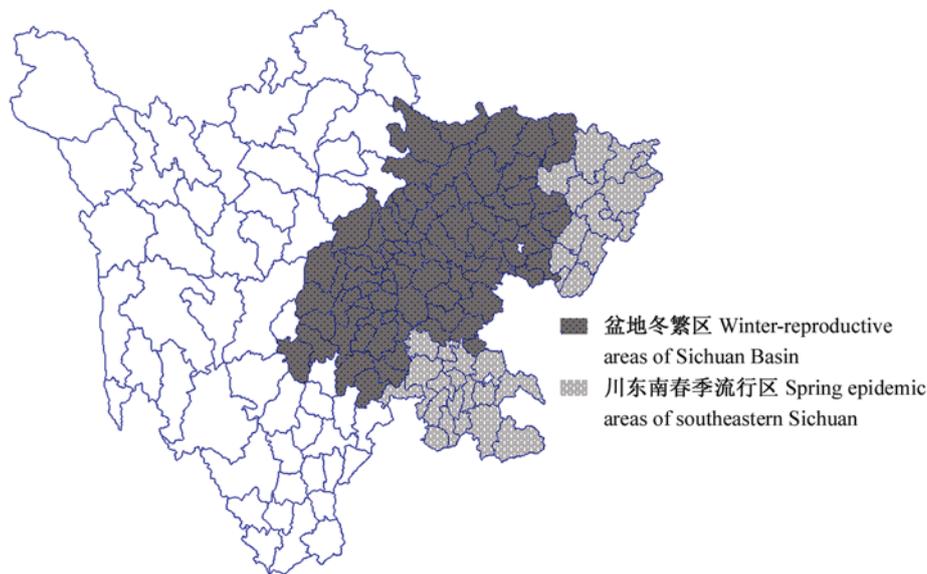


图2 盆地冬繁区和川东南春季流行区分布

Fig. 2 Distribution of winter-reproductive areas of Sichuan Basin and spring epidemic areas of southeastern Sichuan

南病害始见期(显症产孢)依次推迟。例如,绵阳的梓潼、广元的剑阁等地小麦条锈病始见期为11月上中旬,南充的仪陇、遂宁的射洪等地条锈病始见期为11月中下旬,德阳的中江、成都的崇州、眉山的仁寿等地为12月上中旬,资阳的简阳、内江的资中等地为12月中下旬等。从气候条件综合分析,冬繁区具有冬季温暖、湿润、雾露日多的气候特点。历年最冷一旬日均温均在 1.4°C 以上,冬季(11月至翌年2月立春前)日均温在 $5\sim 12^{\circ}\text{C}$ 的天数占82.4%;冬季有雾、露、雾露日可多达22天以上。可见,冬繁区整个冬季气候十分有利于条锈病菌夏孢子的萌发、侵入和发展。一般年份,冬繁区在冬季病点数会随着病菌不断扩散蔓延而增多,病害的水平扩展速度较快。立春后,春季气温回升快,对病害的垂直扩展十分有利,常在3月上中旬至4月上中旬进入病害流行盛期。由于冬繁区小麦生育期内受条锈病菌不断侵染危害的时期长达3~5个月,因此,该类地区是常年受条锈病危害最重的地区,一般年份只要所种植的小麦品种丧失抗性,均可达到中等偏上的病害流行程度。

2.1.4 川东南春季流行区:包括荣县、富顺、南溪、高县、泸县、叙永、合江、巴州、渠县、通江、达县、大竹、宣汉、武胜等40余个县(区)(图2),小麦面积约20万 hm^2 。川东南春季流行区一般年份秋苗很少发病,春季发病时间较晚,多在2月中旬后才陆续发病。寄主受病原菌侵染危害时期相对较短,加之发病时小麦已处于成株期,同时受某些种植品种成株期

抗性影响,一般年份发病程度较轻、危害损失也较小。

2.2 四川盆地内小麦条锈病传播路径

利用 ArcView GIS 软件的聚集分析功能,将97个盆地冬麦产区小麦条锈病常年发病情况依据始期的日期段顺序进行显示,结合2002—2006年剑阁、梓潼、射洪、江油、阆中、中江、金堂、简阳、资中、巴州等57个条锈病监测点实地调查结果,明确了小麦条锈病在四川盆地内的总体传播路径,即由北向南、由西向东沿岷江、涪江、沱江和嘉陵江等四大河流传播(图3)。菌源随高空气流远距离传播,首先到达毗邻越夏区的川西北冬麦区。受河流上空特殊气流影响,菌源往往首先在风口和河谷地带降落并侵染寄主。由于受西风环流控制,菌源随西北风、西风沿以上四大流域依次向南、向东传播,其中向南传播的速度大于向东传播(表3)。

2.3 大区循环的关键环节

2.3.1 盆地冬麦区的初侵染菌源:通过对历史资料进行分析和近10年的实地调查发现,四川盆地秋苗的早发地主要集中在毗邻川西北越夏区、陇南越夏区的盆地北部,如绵阳、广元、遂宁、南充、德阳冬麦区,北路菌源即来自阿坝、陇南等地菌源对四川盆地冬麦区的影响最大。位于盆南毗邻川西南越夏、冬繁区的屏山、沐川等地发病最早年份于12月中旬即可见病,最迟年份在次年3月上中旬才发病,其早发年份与攀西地区安宁河平原秋苗发病早而重的年份相一致,初步分析结果认为,其初始侵染菌源主要来自川西南越夏区。

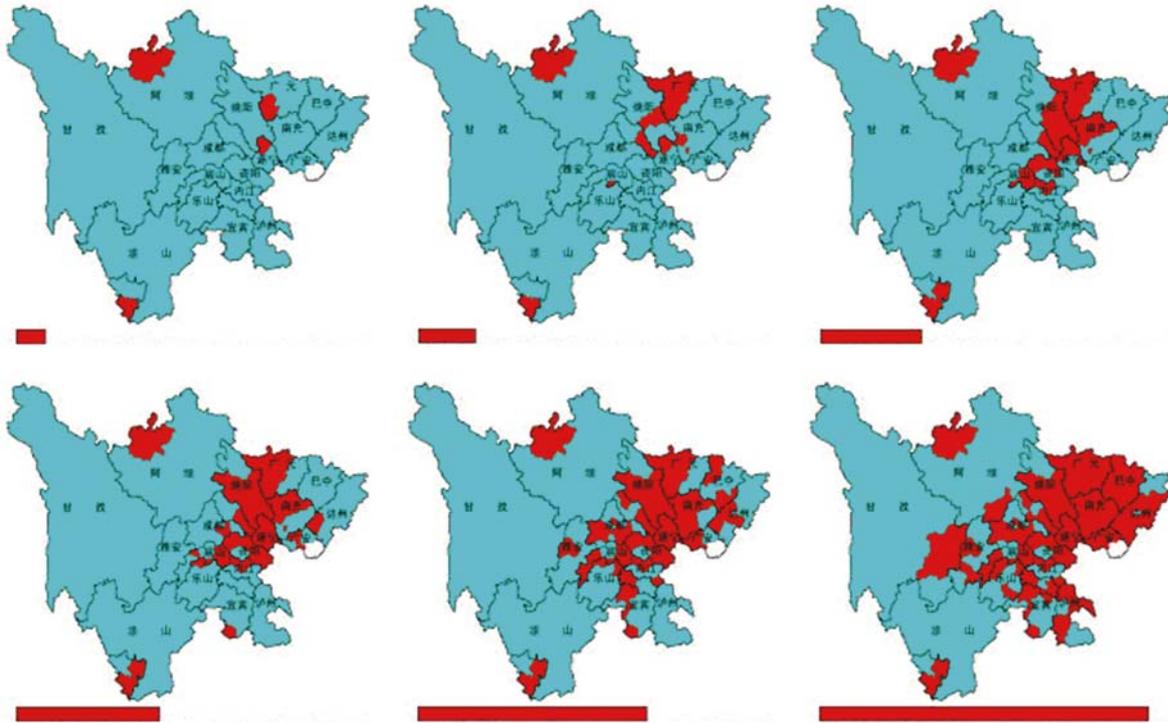


图 3 四川盆地内小麦条锈病传播路径

Fig.3 Disposal routes of *Puccinia striiformis* in Sichuan Basin

表 3 四川盆地代表地区近年小麦条锈病传播与流行情况

Table 3 Dispersal and epidemic instances of wheat yellow stripe rust in ten geographically representative points of Sichuan Basin in recent years

地区 Place	发病始期 (month-day) Premier date for emergence of wheat yellow stripe rust	流行高峰期 平均普遍率(%) Average prevalence in disease fastigium	秋冬季(11月至次年2月) 地面主导风向 The trends of the air current on the ground in autumn and winter (from November to February of the next year)	秋冬季(11月至次年2月) 高空(3000 m)主导风向 The trends of the air current of the upper air at 3000 m in autumn and winter (from November to February of the next year)
剑阁 Jiange	11 - 7	33.4	NW, NNW, NNE	NW, W, NNW
梓潼 Zitong	11 - 5	46.6	NE, NNE	NW, W
射洪 Shehong	11 - 17	43.0	NW, NNW	NW, NNW
阆中 Langzhong	12 - 1	34.1	NNE, N, NNW	NW, W
中江 Zhongjiang	12 - 14	35.0	NE, NEN	NNW, W
金堂 Jintang	12 - 25	27.6	N, NNE, NE	W, NW
资中 Zizhong	1 - 10	38.8	NE, NNE	NW, NNW
巴州 Bazhou	2 - 24	19.7	N, ENE, SW	W, NNW, SW
达县 Daxian	3 - 13	10.9	NE	NW, W
邻水 Linshui	2 - 14	9.7	NNE, NE, ENE	NW, NNW, W

注:发病始期为近5年来秋苗发病最早年份的日期;平均普遍率为2002—2006年系统观测圃内调查数据。Note: The premier date for emergence of wheat yellow stripe rust was the average of the recent five years. The Average prevalence was acquired by averaging the investigation data from observation nursery during 2002 - 2006.

2.3.2 盆地冬繁区在病害大区循环中的作用:从近几年条锈病大发生时冬繁区冬春季发病面积的增长情况可以推断(图4),毗邻越夏区的冬繁区承受高

空气流传入的菌源后,经当地大量繁殖,可由地面和低空气流向东、南方向传播,与高空后续传入的菌源一起在冬繁区内扩散。初始菌源经冬季繁殖后成几

何倍数级增长,直接影响当地和毗邻地区的后期病情。立春后,病情进入快速上升阶段,冬繁区所产生的菌源量可直接随气流传播到川东南春季流行区,及更远的重庆、鄂西南和湘西部分地区。

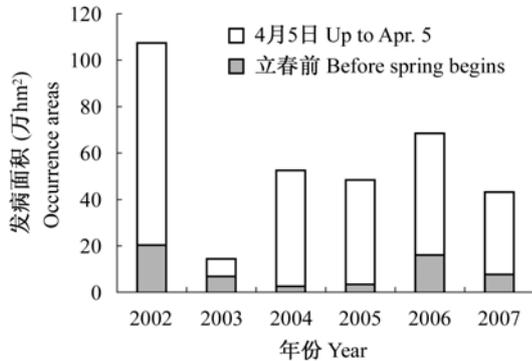


图4 冬繁区小麦条锈病冬春季发病面积增长情况

Fig. 4 The increase of disease occurrence areas of winter-reproductive areas in winter and spring

3 讨论

本研究川西北和西南越夏区范围较以前的调查结果^[8]有较大差异,越夏范围有所扩大。此外,据近年大面积调查,盆地内秋苗发病始见期有提前的趋势,连续多年在11月上旬即见产孢。究其原因,一方面可能与普查范围较以前扩大有关,另一方面亦有可能是条锈菌对温度的适应性增强。近年在郫县、梓潼等地发现9、10月份的麦苗上产生新鲜夏孢子便是一个佐证,由此可直接导致越夏范围的扩大和秋苗发病提前。

以往研究以邛崃山、峨眉山和小凉山为界,将四川境内的越夏区统称为川西北越夏区^[1-2, 9-10],但在地理区位上川西南越夏区已明显偏离川西北地区,且两区域在越夏的海拔范围、发生规律等方面均有所不同,对盆地冬麦区影响范围也不同,过去分别将它们称为北路菌源和南路菌源^[11],作者在此分

别改称川西北越夏区和川西南越夏、冬繁区。两区菌源自然群体间的交流以及各自自然群体的遗传结构均有待于深入研究。由于金沙江支流河谷和高山垂直落差大,川西南越夏菌源在狭窄空间内可以越夏和冬繁,2月初河谷区病害流行进入高峰,大量菌源对金沙江对岸的云南沿江县份的影响,以及与宜宾、重庆等地条锈病发生和流行的关系等也有待于进一步研究。为做好病害的预测预报,还应从定量的角度对冬繁区冬季菌源量与病害春季流行的关系作进一步分析和研究。

参考文献(References)

- [1] 李振岐,曾士迈. 中国小麦锈病. 北京:中国农业出版社,2002
- [2] 李光博,曾士迈,李振岐. 小麦病虫草鼠综合治理. 北京:中国农业出版社,1990:191
- [3] 毛建辉,杨家秀,李云鹤,等. 四川小麦条锈病发生及防治研究. 西南农业大学学报,1999,21(1):27-32
- [4] 敬甫松,李邦发,任茂琼,等. 四川小麦条锈病侵染及利用研究. 西南农业大学学报,1996,18(6):546-549
- [5] 姚革,蒋滨,田承权,等. 四川省小麦条锈病持续流行原因及防治对策. 西南农业学报,2004,17(2):253-256
- [6] 刘述英,杨家秀. 四川省小麦条锈病的发生和防治对策. 四川农业科技,1996(5):22-23
- [7] 李媛,刘牛,张金瑜. 1996年四川小麦条锈病流行原因及防治对策. 植物保护,1997(1):23-25
- [8] 刘孝坤. 陕、甘、川三省毗邻地区小麦条锈病越夏考察纪要. 植物保护,1981(1):6-8
- [9] 谢水仙,陈万权,陈扬林,等. 陇南和阿坝地区小麦条锈菌传播的研究. 植物病理学报,1992,22(2):137-143
- [10] 陈杨林,谢水仙,洪锡午,等. 阿坝州小麦条锈病秋季菌源控制的初步研究. 植物保护学报,1988,15(4):217-222
- [11] 刘可,沈丽. 四川地区小麦条锈病大流行特点及原因分析. 西南农业大学学报,2002,24(4):299-302
- [12] 中华人民共和国国家标准,主要农作物病虫害测报调查规范(一). 北京:中国标准出版社,1996