植物保护学报 Journal of Plant Protection，2025，52(6)：1363-1378 DOI：10.13802/j.cnki.zwbhxb.2025.2025020

2008—2023年甘肃省中南部小麦条锈菌动态分布与生理小种变化

张 勃[1] 孙振宇[1] 黄 瑾[1] 曹世勤[1] 金社林[1*] 郭致杰[1]
李培玲[2] 李青青[1] 王建锋[3] 王晓杰[3]

（1. 甘肃省农业科学院植物保护研究所，兰州 730070；2. 甘肃省农业科学院榆中高寒农业试验站，兰州 730010；
3. 西北农林科技大学植物保护学院，陕西 杨凌 712100）

摘要：为明确甘肃省近年来小麦条锈菌 *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* 发生、分布和生理小种的变化，于2008—2023年对甘肃省中南部的临夏回族自治州、定西市、天水市和陇南市4个市（州）小麦条锈菌的越夏发病、秋苗发病、越冬和春季流行情况及生理小种变化进行调查。结果显示：2008—2023年甘肃省小麦条锈菌越夏菌源主要集中在中部海拔1 900 m以上区域，最低越夏海拔为1 550 m，秋季菌源多数在临夏回族自治州和定西市，春季流行期条锈菌主要集中在陇南市和天水市，最高越冬海拔为2 300 m。2008—2023年小麦条锈菌生理小种由水源11致病类群和Hy致病类群为主的毒性类群转变为以贵农22致病类群和Hy致病类群为主的毒性群体，曾经的优势小种CYR33被CYR34取代，当前优势小种由CYR34和CYR32组成。建议全国育种单位应重视培育兼抗条锈菌CYR34和CYR32的小麦品种。

关键词：小麦条锈菌；生理小种；致病类群；越夏菌源；海拔

Dynamic distribution and physiological race variation of wheat stripe rust *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in south-central Gansu Province from 2008 to 2023

Zhang Bo[1] Sun Zhenyu[1] Huang Jin[1] Cao Shiqin[1] Jin Shelin[1*] Guo Zhijie[1] Li Peiling[2]
Li Qingqing[1] Wang Jianfeng[3] Wang Xiaojie[3]

（1. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu Province, China;
2. Yuzhong Alpine Agricultural Experiment Station, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730010, Gansu Province, China; 3. College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi Provine, China）

Abstract: To clarify the occurrence, distribution and physiological race changes of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (*Pst*) in Gansu Province in recent years, investigations on the annual disease cycle were conducted and physiological races of *Pst* monitored from 2008 to 2023. The results revealed that the summer survival inoculum of *Pst* was primarily concentrated in areas above 1 900 meters in Linxia and Dingxi in central Gansu, with the lowest survival altitude extending down to 1 550 meters. In autumn, the majority of inoculum sources were found in Linxia and Dingxi, while during the spring epidemic period, the disease predominantly occurred in Longnan and Tianshui, with the highest overwintering altitude reaching 2 300 meters. The physiological races of *Pst* in Gansu have shifted from the virulence groups dominated by Su11 and Hy46 to the pathogenic groups primarily composed of G22 and Hy. The formerly dominant physiological race, CYR33, has been replaced by CYR34, with the current dominant

基金项目：国家重点研发计划项目（2021YFD1401000），国家自然科学基金项目（32060596）

* 通信作者（Author for correspondence），E-mail：shelin_jin@gsagr.cn

收稿日期：2025-02-23

races comprised of CYR34 and CYR32. National wheat rust resistance breeding efforts should prioritize resistance against CYR34 and CYR32.

Key words: *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*; race; pathogenic group; summer survival inoculum; altitude

小麦条锈病是全球范围内最主要的小麦病害之一,也是影响中国小麦安全生产的主要生物灾害,该病害由条形柄锈菌小麦专化型*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*引起,其生存条件严格受温度限制,这导致小麦条锈菌只能在少数越夏区完成周年循环。以甘肃省为代表的西北越夏区是中国主要的条锈菌越夏区,对中国小麦条锈病发生及流行程度起着重要作用,因此也是源头治理的重点区域(陈万权等,2013),而明确该地区小麦条锈病的发生动态和生理小种的变化对于分析全国小麦条锈病的流行暴发和条锈菌生理小种的动态变化具有重要意义。

受气候变化、耕作方式、种植制度等的影响,近年来中国农作物病害呈现出发病面积逐渐增加、暴发频率逐渐提高、灾害损失逐渐加重的态势(霍治国和王石立,2009)。霍治国等(2012)通过汇总气候变暖对农作物病虫害未来发生趋势影响的结果,提出气候变暖将导致小麦条锈病由低海拔地区向高海拔地区迁移危害。甘肃省作为中国小麦条锈菌重要越夏异变区,受气候变暖、耕作方式、种植制度等影响,小麦条锈菌的发生、分布和扩散也随之发生改变,进而影响黄淮海主要麦区条锈病的发生和流行。国内外诸多研究结果显示小麦条锈菌越冬海拔升高,越夏海拔降低,即其适宜的温度范围不断扩大。例如,基于甘肃省定西市、临夏回族自治州、平凉市、天水市和陇南市5个市(州)多年的条锈病发病资料与夏季气象资料,根据条锈病病田率与气温的关系,许彦平等(2021)对甘肃省小麦条锈菌越夏区进行气候区划研究,发现甘肃省小麦条锈菌越夏区海拔较20世纪80年代大约下降200~600 m;根据30余年甘肃省条锈病病田率与气温的关系,万信等(2021)对甘肃省小麦条锈菌越冬区进行气候区划研究,发现甘肃省东部和南部大部地区小麦条锈菌越冬区海拔较20世纪80年代上升200~400 m,越冬区向西向北扩展到了甘肃省中南部海拔1 800 m以下地区和庆阳市北部海拔1 200 m以下地区。此外,条锈菌发生和流行可能是由新的生理小种引起的(Chen et al., 2009)。例如,2011年欧洲出现了一个新的条锈菌生理小种Warrior,该小种具有较宽的温度适生范围,在温暖和寒冷的地区均能流行,它很快取代了已有的条锈菌生理小种(Hovmøller et al., 2016)。目前,关于甘肃省小麦条锈菌的危害范围和生理小种是否发生变化尚不明确。

甘肃省中部和南部的临夏回族自治州、定西市、天水市和陇南市4个市州,是我国小麦条锈菌的主要越夏区,当地越夏菌源不仅可侵染本地小麦秋播麦苗,造成条锈病流行,而且病菌在秋苗上繁殖后可向陕西、四川、山西、河北、山东、河南和湖北等全国广大冬麦区传播,为全国小麦条锈病发生流行提供大量的秋季菌源(陈万权和刘太国,2023)。为明确当前甘肃省小麦条锈菌的危害范围和优势生理小种类型,本研究于2008—2023年对甘肃省中南部的临夏回族自治州、定西市、天水市和陇南市4个市州小麦条锈菌的越夏发病、秋苗发病、越冬和春季流行情况及生理小种变化进行调查,进而掌握甘肃省小麦条锈菌发生流行的时空动态和生理小种变化趋势,以期为小麦条锈病的持久防控提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

鉴别寄主:采用全国统一的19个条锈菌鉴别寄主,分别为Trigo Eureka、Fulhard、保春128、南大2419、维尔、阿勃、早洋、阿夫、丹麦1号、尤皮II号、丰产3号、洛夫林13、抗引655、水源11、中四、洛夫林10、Hybrid 46、*Triticum spelta album*、贵农22,对照小麦品种为铭贤169,所有鉴别寄主均由甘肃省农业科学院植物保护研究所提供。

1.2 方法

1.2.1 陇中南小麦条锈菌越夏发病调查

每年8月小麦自生麦苗发病,9月底达到发病高峰期,因此本研究于2008—2023年的8月下旬至9月下旬对甘肃省中南部的陇南市、天水市、定西市和临夏回族自治州进行越夏发病调查,主要调查常发区域(本研究团队经多年调查确定)的最高越冬点及海拔、病田率和病点率。越夏发病调查:采取定点调查和随机调查相结合的方式,对于条锈病常发区域进行定点调查;对于整个小麦种植区进行随机调查,每个市调查2个以上县(区),每个市的自生麦苗调查田块不低于10个。若条锈病处于点片发生期且田块面积在667 m²以上,则随机选择5个样点调查小麦条锈病发生情况,每点实查67 m²,发现条锈

病叶片的田块即为发病田块，发现条锈病叶片的点即为发病点；若条锈病处于点片发生期且田块面积不足667 m^2，则全田实查小麦条锈病发生情况。全田实查时采用低头慢步踏查（观察1 m）和蹲下细查相结合的方法，检查传病中心和单片病叶发生情况，按照公式计算病田率和病点率。病田率=发病田块/总调查田块×100%，病点率=调查田块发病点/随机调查总调查点×100%。

受农作物种植结构调整、作物倒茬和气候因素影响，每年小麦种植区会有变动，因此每年调查区的海拔、田块数、调查面积及所调查小麦的生育期也会有变化。2008—2023年临夏回族自治州自生麦苗调查区海拔介于1 900~2 300 m之间，每年调查时自生麦苗处于0~4分蘖期中，每年调查田块数介于10~28个之间，每年调查面积介于0.60~4.80 hm^2之间，2008—2023年定西市自生麦苗调查区海拔介于1 700~2 300 m之间，每年调查时自生麦苗处于0~5分蘖期中，每年调查田块数介于10~34个之间，每年调查面积介于0.73~4.67 hm^2之间；2008—2023年天水市自生麦苗调查区海拔介于1 200~2 000 m之间，每年调查时自生麦苗处于0~5分蘖期，每年调查田块数介于12~30个之间，每年调查面积介于0.33~5.47 hm^2之间；2008—2023年陇南市自生麦苗调查区海拔介于1 200~2 000 m之间，每年调查时自生麦苗处于0~5分蘖期，每年调查田块数介于12~40个之间，每年调查面积介于0.27~1.60 hm^2之间。

1.2.2　陇中南小麦条锈菌秋苗发病调查

每年10月小麦秋苗开始发病，11月下旬秋苗发病达到高峰期，因此选择11月下旬对甘肃省中南部的陇南市、天水市、定西市和临夏回族自治州秋苗发病进行调查，主要调查病田率和病点率。调查方式同1.2.1。每个市调查2个以上县（区），每个市的调查田块数不低于30个，病田率和病点率调查方法同1.2.1。2008—2023年临夏回族自治州小麦条锈菌秋苗发病调查时小麦主要处于2~4分蘖期，每年调查田块数介于31~53个之间，每年调查面积介于2.00~8.13 hm^2之间；2008—2023年定西市小麦条锈菌秋苗发病调查时小麦主要处于2~4分蘖期，每年调查田块数介于32~44个之间，每年调查面积介于2.80~12.47 hm^2之间；2008—2023年天水市小麦条锈菌秋苗发病调查时小麦主要处于2~4分蘖期，每年调查田块数介于31~66个之间，每年调查面积介于1.60~9.80 hm^2之间；2008—2023年陇南市小麦条锈菌秋苗发病调查时小麦主要处于0~4分蘖期，每年调查田块数介于20~45个之间，每年调查面积介于0.80~3.47 hm^2之间。

1.2.3　陇中南小麦条锈菌越冬情况调查

2008—2023年每年4月下旬对甘肃省中南部的陇南市、天水市、定西市和临夏回族自治州进行小麦条锈菌越冬调查，5月中下旬再次对定西市和临夏回族自治州开展小麦条锈菌越冬调查。受调查人员数量和调查时间所限，主要调查这4个市（州）小麦条锈菌常发区域的最高越冬点及海拔、发病症状等，方法同1.2.1。每个市（州）的调查田块数不少于10~30个，2008—2023年临夏回族自治州、定西市、天水市和陇南市条锈菌越冬海拔调查范围分别为1 900~2 436、1 613~2 394、1 152~2 000和621~2 000 m。

越冬点调查：越冬点调查：返春季节，若发现条锈菌自小麦底部叶片向上部叶片侵染并呈现向上及周边扩展的趋势，或下部叶片有条锈菌冬孢子，而上部叶片多数为新鲜夏孢子堆，则表明此发病点为条锈菌越冬点。记录该发病点海拔、经纬度以及小麦的生长期。越冬海拔调查：即条锈菌越冬点海拔范围的调查，最高越冬点海拔即为条锈菌最高越冬海拔。

1.2.4　陇中南小麦条锈菌春季流行调查

每年4月下旬甘肃省陇南地区条锈菌已经普遍显病，但甘肃省北部高海拔地区条锈菌越冬显症时间比南部晚大约1个多月，5月中下旬才能观测到明显的条锈菌越冬发病点，因此将条锈菌春季流行调查时间定为4月下旬和5月中下旬，主要调查甘肃省中南部的陇南市、天水市、定西市和临夏回族自治州4个市（州）的病田率和病点率。每个市（州）的调查田块数不少于30个，病点率和病田率的调查方法同1.2.1。2008—2023年临夏回族自治州条锈菌春季调查海拔范围为1 900~2 400 m，自小麦苗期调查到拔节期，每年调查田块数介于30~67个，调查面积介于2.80~4.14 hm^2之间；2008—2023年定西市条锈菌春季调查海拔范围为1 600~2 400 m，自小麦苗期调查到拔节期，每年调查田块数介于29~40个之间，调查面积介于2.80~5.94 hm^2之间；2008—2023年天水市条锈菌春季调查海拔范围为1 300~2 200 m，自小麦拔节初期调查到孕穗期，每年调查田块数介于31~64个之间，调查面积介于0.73~6.00 hm^2之间；2008—2023年陇南市条锈菌春季流行期调查海拔范围为700~2 500 m，自小麦拔节期调查到灌浆期，每年调查田块数介于39~164个之间，调查面积介于2.40~18.81 hm^2之间。

1.2.5 陇中南小麦条锈菌生理小种鉴定

2008—2023年自甘肃省临夏回族自治州、定西市、平凉市、庆阳市、天水市、陇南市、兰州市和白银市成株期和苗期小麦植株上采集病叶，其中苗期采集具有单独夏孢子堆叶片，成株期采集具有单独线型夏孢子堆叶片，每个调查点采集10片以上病叶。2008—2023年共采集5 083份条锈菌标样，其中，2008年采集458份标样，2009年采集363份标样，2010年采集320份标样，2011年采集338份标样，2012年采集350份标样，2013年采集195份标样，2015年采集246份标样，2016年采集373份标样，2017年采集263份标样，2018年采集196份标样，2019年采集158份标样，2020年采集502份标样，2021年采集506份标样，2022年采集437份标样，2023年采集378份标样。

将19个鉴别寄主和铭贤169(对照)小麦种子分别种植在上口径8 cm、下口径6 cm、高8 cm的塑料盆中，每盆1个品种，每盆15株左右，待其生长至1叶期进行接菌。将采集的条锈菌标样用清水冲洗后平铺在保湿盘的吸水纸上，4 ℃下保湿15 h；从每份标样中挑取单个夏孢子堆，转接到铭贤169叶片上隔离扩繁。每株菌株取8 mg新鲜夏孢子加入到16 mL浓度为0.1%的吐温-20水溶液中，制成夏孢子悬浮液，将其分别喷雾接种到1叶期鉴别寄主叶片上，接种后置于温度8~10 ℃，相对湿度90%以上、全黑暗条件下培养24 h后转置到温度(15±2) ℃、每日光照10~14 h、光照强度5 000~8 000 lx的玻璃温室中生长，待对照小麦品种铭贤169充分发病后，记录各鉴别寄主的反应型。按照商鸿生(2008)方法将各鉴别寄主的反应型和已命名生理小种的反应型进行比较，判定生理小种类型；将具有共同致病特征的生理小种和致病类型统称为致病类群。中国小麦条锈菌反应型标准：0级，叶片上未产生任何可见的症状；0;级，叶片上产生小型枯死斑，不产生夏孢子堆；1级，叶片上产生枯死条点或条斑，夏孢子堆很小，数量很少；2级，夏孢子堆小到中等大小，较少，其周围叶组织枯死或显著褪绿；3级，夏孢子堆较大、较多，其周围叶组织有褪绿现象；4级，孢子堆大而多，周围不褪绿。根据条锈菌对鉴别寄主的反应型确定生理小种或致病类型，反应型0、0;、1和2级为抗条锈病，反应型3级和4级为感条锈病。

2 结果与分析

2.1 陇中南小麦条锈菌越夏发病调查结果

2.1.1 小麦条锈菌越夏海拔调查结果

自2015年以后，天水市和陇南市几乎找不到越夏病叶，因此调查中2015年后这两个市的越夏海拔数据没有。2008—2023年，临夏回族自治州小麦条锈菌的调查区海拔为1 915~2 300 m，越夏最低海拔介于海拔1 915~2 163 m之间，其中2008年和2009年海拔为历年最低，均位于康乐县虎关乡三十里铺村。2008—2023年定西市小麦条锈菌的调查区海拔为1 700~2 200 m，越夏最低海拔介于1 718~2 390 m之间，其中2008年和2009年海拔为历年最低，均位于通渭县鸡川乡上马村，自2011年最低越夏海拔逐渐向高海拔地区移动。2008—2023年天水市小麦条锈菌的调查区海拔为1 500~2 000 m，越夏最低海拔介于1 553~1 852 m之间，其中2009年和2020年海拔为历年最低，均位于秦州区皂郊镇西坡梁村。2008—2023年陇南市小麦条锈菌调查区海拔为1 400~1 800 m，越夏最低海拔介于1 460~1 734 m之间，其中2009年海拔为历年最低，位于西和县长道镇宁家村(表1)。

表1 2008—2023年陇中南自生麦苗越夏海拔调查结果

Table 1 Survey results on altitude of oversummering survival *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in self-inoculated wheat seedlings in central and southern Gansu Province during 2008—2023

调查地点 Location	年份 Year	越夏海拔范围 Range of over summering altitude/m	最低海拔 Lowest altitude/m	最低越夏海拔地点 Minimum altitude for summering
临夏回族自治州 Linxia Hui Autonomous Prefecture	2008	1 915—2 344	1 915	康乐县虎关乡三十里铺村 Sanshilipu Village, Huguan Town, Kangle County
	2009	1 915—2 238	1 915	康乐县虎关乡三十里铺村 Sanshilipu Village, Huguan Town, Kangle County
	2011	1 915—2 238	2 136	康乐县苏集乡苏集村 Suji Village, Suji Town, Kangle County
	2012	2 000—2 100	2 040	康乐县流川乡苏家村 Sujia Village, Liuchuan Town, Kangle County
	2014	2 100—2 300	2 107	康乐县苏集乡苏集村 Suji Village, Suji Town, Kangle County

续表1 Continued

调查地点 Location	年份 Year	越夏海拔范围 Range of over summering altitude/m	最低海拔 Lowest altitude/m	最低越夏海拔地点 Minimum altitude for summering
	2015	2 100—2 300	2 163	和政县达浪乡杜家崖村 Dujia'ai Village, Dalang Town, Hezheng County
	2016	2 100—2 300	2 153	和政县达浪乡杜家崖村 Dujia'ai Village, Dalang Town, Hezheng County
	2017	2 100—2 300	2 143	临夏县尹集镇新寨村 Xinzhai Village, Yinji Town, Linxia County
	2020	2 000—2 300	1 991	临夏县红台乡陈窑村 Chenyao Village, Hongtai Town, Linxia County
	2021	2 100—2 300	1 949	临夏县新集镇苗家村 Miaojia Village, Xinji Town, Linxia County
	2022	2 100—2 300	2 116	临夏县红台乡卜家台 Bujiatai Village, Hongtai Town, Linxia County
	2023	2 100—2 300	2 116	临夏县红台乡卜家台 Bujiatai Village, Hongtai Town, Linxia County
定西市 Dingxi City	2008	1 718—1 858	1 718	通渭县鸡川乡上马村 Shangma Village, Jichuan Town, Tongwei County
	2009	1 700—1 900	1 718	通渭县鸡川乡上马村 Shangma Village, Jichuan Town, Tongwei County
	2011	1 900—2 400	2 078	陇西县永吉乡何家门村 Hejiamen Village, Yongji Town, Longxi County
	2012	1 700—1 900	1 888	临洮县临洮农校农场 Lintao Agricultural Technology School
	2013	1 800—2 100	1 867	临洮县临洮农校农场 Lintao Agricultural Technology School
	2014	1 800—2 200	2 013	渭源县上湾乡水家窑村 Shuijiayao Village, Shangwan Town, Tongwei County
	2015	1 800—2 200	1 887	临洮县临洮农校农场 Lintao Agricultural Technology School
	2016	1 800—2 200	2 390	漳县噎虎桥乡沙沟台村 Shagoutai Village, Yihuqiao Town, Zhang County
	2020	1 800—2 200	1 939	临洮县衙下集镇兴丰村 Xingfeng Village, Yaxiaji Town, Lintao County
	2021	1 800—2 300	2 039	临洮县南屏镇晨钟村 Chenzhong Village, Nanping Town, Lintao County
	2022	1 800—2 300	2 200	漳县菜籽镇四店村 Sidian Village, Caizi Town, Zhang County
	2023	1 800—2 300	2 200	漳县菜籽镇四店村 Sidian Village, Caizi Town, Zhang County
天水市 Tianshui City	2008	1 500—1 700	1 558	秦州区皂郊镇西坡梁村 Xipoliang Village, Zaojiao Town, Qinzhou District
	2009	1 500—1 700	1 553	秦州区皂郊镇西坡梁村 Xipoliang Village, Zaojiao Town, Qinzhou District
	2011	1 500—1 727	1 727	甘谷县白家湾乡东三十铺村 Dongsanshilipu Village, Baijiawan Town, Gangu County
	2012	1 500—1 727	1 727	甘谷县白家湾乡东三十铺村 Dongsanshilipu Village, Baijiawan Town, Gangu County
	2013	1 200—2 000	1 852	秦安县中山乡簸箕村 Boji Village, Zhongshan Town, Qin'an County
	2015	1 600—1 900	1 832	甘谷县金山乡苏家山村 Sujiashan Village, Jinshan Town, Gangu County
	2020	1 500—2 000	1 553	秦州区皂郊镇西坡梁村 Xipoliang Village, Zaojiao Town, Qinzhou District
陇南市 Longnan City	2009	1 400—1 700	1 460	西和县长道镇宁家村 Ningjia Village, Changdao Town, Xihe County
	2011	1 400—1 800	1 732	西和县横岭乡横岭村 Hengling Village, Hengling Town, Xihe County
	2012	1 400—1 700	1 544	礼县石桥镇白金村 Baijin Village, Shiqiao Town, Li County
	2014	1 400—1 700	1 698	西和县横岭乡横岭村 Hengling Village, Hengling Town, Xihe County
	2015	1 400—1 800	1 734	西和县横岭乡横岭村 Hengling Village, Hengling Town, Xihe County

2.1.2 越夏病田率和病点率的调查结果

2008—2023年临夏回族自治州自生麦苗越夏病田率介于0~100%之间，其中2008年和2012年的病田率最高，均为100%，2009年、2014年和2020年的病田率次之，介于50%~67%之间，其他年份的病田率较低，介于0~31%之间；2008—2023年临夏回族自治州自生麦苗越夏病点率介于0~100%之间，其中2008年的病点率最高，为100%，2012年的病点率次之，为60%，其他年份的病点率较低，介于0~27%之间（表2）。2008—2023年定西市自生麦苗越夏病田率介于0~75%之间，其中2008年的病田率最高，为75%；2015年、2020—2021年的病田率次之，介于50%~61%之间，其他年份的病田率较低，介于0~25%之间；2008—2023年定西市自生麦苗越夏病点率介于0~35%之间，其中2008年的病点率最高，为35%，其他年份的病点率较低，介于0~25%之间（表2）。2008—2023年天水市自生麦苗越夏病田率介于0~80%之间，其中2012年的病田率最高，为80%，2008年和2020年的病田率次之，分别为73%和34%；其他年份的病田率较低，介于0~7%之间；

2008—2023年天水市自生麦苗越夏病点率介于0~52%之间,其中2008年的病点率最高,为52%,2012年的病点率次之,为31%,其他年份的病点率较低,介于0~8%之间(表2)。2008—2023年陇南市自生麦苗越夏病田率介于0~12%之间,其中2012年的病田率最高,为12%,2014年和2015年的病田率次之,分别为5%和4%,其他年份的病田率均为0;2008—2023年陇南市自生麦苗越夏病点率介于0~30%之间,其中2012年的病点率最高,为30%,2014年和2015年的病点率次之,分别为4%和1%,其他年份的病点率均为0(表2)。表明2008—2023年甘肃省中部的临夏回族自治州和定西市自生麦苗越夏病田率明显高于甘肃省南部的天水市和陇南市,尤其是2016—2023年,甘肃省南部的天水市(仅在2020年发现越夏病叶)和陇南市几乎未发现越夏病叶,这意味着小麦条锈菌越夏菌源主要集中在临夏回族自治州和定西市。

表2 2008—2023年陇中南自生麦苗越夏病田率和病点率调查结果

Table 2 Survey results on the rate of summer wheat stripe rust disease fields and disease points of self-inoculated wheat in central and southern Gansu Province during 2008—2023

调查地点 Location	年份 Year	海拔范围 Range of altitude/m	生长期 Growth period	田块数 Number of plots	面积 Area/ hm^2	病田率 Disease field rate/%	病点率 Disease points rate/%
临夏回族自治州 Linxia Hui Autonomous Prefecture	2008	1 915−2 344	2~3叶1心,3~4分蘖 2−3 leaves with one heart, 3−4 tillers	16	1.00	100	100
	2009	1 915−2 238	2~3叶1心,2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	20	2.33	54	20
	2011	1 915−2 238	3叶1心,0~2分蘖 3 leaves with one heart, 0−2 tillers	12	2.67	8	1
	2012	2 000−2 100	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2−3 tillers	15	1.00	100	60
	2013	2 000−2 100	4叶1心,3分蘖 4 leaves with one heart, 3 tillers	10	0.67	0	0
	2014	2 100−2 300	4叶1心,4分蘖 4 leaves with one heart, 4 tillers	10	1.20	67	26
	2015	2 100−2 300	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2−3 tillers	11	0.60	31	18
	2016	2 100−2 300	3叶1心,1~2分蘖 3 leaves with one heart, 1−2 tillers	15	1.87	0	0
	2017	2 100−2 300	3叶1心,2~4分蘖 3 leaves with one heart, 2−4 tillers	19	3.20	25	20
	2020	2 000−2 300	3叶1心,2~4分蘖 3 leaves with one heart, 2−4 tillers	14	2.20	50	27
	2021	2 100−2 300	3~4叶1心,3~8分蘖 3−4 leaves with one heart, 3−8 tillers	20	4.80	22	7
	2022	2 100−2 300	4叶1心,4分蘖 4 leaves with one heart, 4 tillers	21	1.87	5	1
	2023	2 100−2 300	4叶1心,4分蘖 4 leaves with one heart, 4 tillers	28	3.27	15	5
定西市 Dingxi City	2008	1 718−1 858	2~3叶1心,3~4分蘖 2−3 leaves with one heart, 3−4 tillers	13	1.67	75	35
	2009	1 700−1 900	2~3叶1心,3~4分蘖 2−3 leaves with one heart, 3−4 tillers	34	2.80	12	5
	2011	1 900−2 400	3叶1心,0~2分蘖 3 leaves with one heart, 0−2 tillers	18	2.40	5	2

续表2 Continued

调查地点 Location	年份 Year	海拔范围 Range of altitude/m	生长期 Growth period	田块数 Number of plots	面积 Area/ hm^2	病田率 Disease field rate/%	病点率 Disease points rate/%
	2012	1 700−1 900	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2−3 tillers	18	1.27	22	19
	2013	1 800−2 100	3叶1心,3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	11	4.67	25	3
	2014	1 700−1 900	4叶1心,3分蘖 4 leaves with one heart, 3 tillers	11	0.73	10	1
	2015	1 800−2 200	3叶1心,3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	14	1.00	61	21
	2016	1 800−2 200	3~4叶1心,0分蘖 3−4 leaves with one heart, 0 tiller	20	1.20	0	0
	2017	1 800−2 200	3叶1心,2~4分蘖 3 leaves with one heart, 2−4 tillers	22	3.07	5	2
	2020	1 800−2 200	3叶1心,2~5分蘖 3 leaves with one heart, 2−5 tillers	10	2.53	55	6
	2021	1 800−2 300	3叶1心,3~5分蘖 3 leaves with one heart, 3−5 tillers	12	1.20	50	25
	2022	1 800−2 300	4叶1心,4分蘖 4 leaves with one heart, 4 tillers	23	2.00	5	1
	2023	1 800−2 300	4叶1心,4分蘖 4 leaves with one heart,4 tillers	24	3.47	10	5
天水市 Tianshui City	2008	1 500−1 700	2~3叶1心,2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	15	0.87	73	52
	2009	1 500−1 700	2~3叶1心,2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	30	1.40	6	1
	2011	1 500−1 800	3~4叶1心,4分蘖 3−4 leaves with one heart, 4 tillers	15	1.67	7	2
	2012	1 500−1 700	3叶1心,5~11分蘖 3 leaves with one heart, 5−11 tillers	20	1.20	80	31
	2013	1 500−1 700	4叶1心,4分蘖 4 leaves with one heart, 4 tillers	12	0.67	0	0
	2014	1 200−2 000	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2−3 tillers	32	5.47	0	0
	2015	1 600−1 900	3叶1心,3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	15	0.47	7	4
	2016	1 600−1 900	4~5叶1心,0分蘖 4−5 leaves with one heart, 0 tiller	18	0.67	0	0
	2017	1 600−1 900	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2−3 tillers	20	4.53	0	0
	2020	1 500−2 000	3叶1心,2~5分蘖 3 leaves with one heart, 2−5 tillers	20	4.93	34	8
	2021	1 600−1 900	3叶1心,3~8分蘖 3 leaves with one heart, 3−8 tillers	18	0.33	0	0
	2022	1 600−1 900	3叶1心,2~4分蘖 3 leaves with one heart, 2−4 tillers	15	0.67	0	0
	2023	1 600−1 900	3叶1心,2~4分蘖 3 leaves with one heart, 2−4 tillers	20	3.07	0	0

续表2 Continued

调查地点 Location	年份 Year	海拔范围 Range of altitude/m	生长期 Growth period	田块数 Number of plots	面积 Area/ hm^2	病田率 Disease field rate/%	病点率 Disease points rate/%
陇南市 Longnan City	2008	1 400–1 700	2~3叶1心,2~3分蘖 2–3 leaves with one heart, 2–3 tillers	18	0.93	0	0
	2009	1 400–1 700	2~3叶1心,2~3分蘖 2–3 leaves with one heart, 2–3 tillers	40	1.60	0	0
	2011	1 400–1 800	2~3叶1心,2~3分蘖 2–3 leaves with one heart, 2–3 tillers	13	1.33	0	0
	2012	1 400–1 700	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2–3 tillers	10	0.80	12	30
	2013	1 400–1 700	4叶1心,4分蘖 4 leaves with one heart, 4 tillers	10	0.53	0	0
	2014	1 200–1 700	3叶1心,3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3–4 tillers	10	0.80	5	4
	2015	1 400–1 700	3叶1心,4~5分蘖 3 leaves with one heart, 4–5 tillers	25	1.07	4	1
	2016	1 400–1 700	3叶1心,0~2分蘖 3 leaves with one heart, 0–2 tillers	12	0.40	0	0
	2017	1 400–1 700	2~3叶1心,2~4分蘖 2–3 leaves with one heart, 2–4 tillers	14	1.33	0	0
	2020	1 300–2 000	3叶1心,2~5分蘖 3 leaves with one heart, 2–5 tillers	16	0.93	0	0
	2021	1 400–1 700	3叶1心,3~5分蘖 3 leaves with one heart, 2–5 tillers	12	0.27	0	0
	2022	1 400–1 700	3叶1心,2~4分蘖 3 leaves with one heart, 2–4 tillers	13	0.53	0	0
	2023	1 400–1 700	3叶1心,2~4分蘖 3 leaves with one heart, 2–4 tillers	14	2.00	0	0

2.2 陇中南小麦条锈菌秋苗发病调查结果

2008—2023年临夏回族自治州秋苗病田率介于25%~100%之间,其中2008年的病田率最高,为100%,除2018年和2021年病田率外,其他年份的病田率均较高,介于45%~93%之间;2008—2023年临夏回族自治州秋苗病点率介于7%~100%之间,其中2008年病点率最高,为100%,2011—2014年和2016年的病点率次之,介于67%~93%之间,其他年份的病点率较低,介于7%~46%之间(表3)。2008—2023年定西市秋苗病田率介于50%~100%之间,其中2008年和2012年的病田率最高,均为100%,其他年份的病田率次之,介于50%~96%之间;2008—2023年定西市秋苗病点率介于20%~100%之间,其中2008年的病点率最高,为100%,2009年、2012—2014年、2016—2017年的病点率次之,介于50%~92%之间,其他年份的病点率较低,介于20%~49%之间(表3)。2008—2023年天水市秋苗病田率介于8%~100%之间,其中2008年的病田率最高,为100%,2009年、2011—2012年、2014—2017年和2020年的病田率次之,介于50%~88%之间,其他年份的病田率较低,介于8%~33%之间;2008—2023年天水市秋苗病点率介于1%~100%之间,其中2008年的病点率最高,为100%,2012年、2014年和2020年的病点率次之,介于50%~67%之间,其他年份的病点率较低,介于1%~40%之间(表3)。2008—2023年陇南市秋苗病田率介于0~36%之间,其中2009年的病田率最高,为36%,其他年份的病田率较低,介于0~24%之间;2008—2023年陇南市秋苗病点率介于0~48%之间,其中2011年的病点率最高,为48%,其他年份的病点率较低,介于0~30%之间(表3)。表明2008—2023年秋季甘肃省中部的临夏回族自治州和定西市的秋苗病田率和病点率均明显高于甘肃

省南部的天水市和陇南市。

表3 2008—2023年陇中南小麦条锈菌秋苗发病调查结果

Table 3 Survey results of wheat stripe rust disease field in central and southern Gansu Province in autumn during 2008—2023

地点 Location	年份 Year	生长期 Growth period	田块数 Number of plots	面积 Area/hm^2	病田率 Disease field rate/%	病点率 Disease point rate/%
临夏回族自治州 Linxia Hui Autonomous Prefecture	2008	3叶1心，3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	43	4.33	100	100
	2009	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	53	6.00	51	44
	2010	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart，2−3 tillers	34	2.73	46	30
	2011	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	42	5.33	67	67
	2012	3叶1心，2~3分蘖 3 leaves with one heart，2−3 tillers	36	2.00	73	80
	2013	3叶1心，2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2−3 tillers	48	4.33	93	93
	2014	2~3叶1心，3~4分蘖 2−3 leaves with one heart, 3−4 tillers	32	4.27	88	82
	2015	2~3叶1心，3~4分蘖 2−3 leaves with one heart, 3−4 tillers	43	4.93	70	33
	2016	2~3叶1心，3~4分蘖 2−3 leaves with one heart, 3−4 tillers	32	3.07	90	90
	2017	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	37	3.60	72	46
	2018	2~3叶1心，3~4分蘖 2−3 leaves with one heart, 3−4 tillers	36	5.00	25	19
	2019	3叶1心，3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	31	5.73	65	40
	2020	3叶1心，3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	34	3.33	50	33
	2021	3叶1心，3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	43	7.93	39	7
	2023	3叶1心，3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	34	8.13	55	44
定西市 Dingxi City	2008	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	32	4.33	100	100
	2009	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	36	2.80	55	75
	2010	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	36	4.27	58	20
	2011	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	44	4.80	52	30
	2012	3叶1心，2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2−3 tillers	36	5.60	100	83
	2013	3叶1心，2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2−3 tillers	41	4.67	88	77
	2014	2~3叶1心，3~4分蘖 2−3 leaves with one heart, 3−4 tillers	39	6.07	96	92
	2015	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	33	3.87	92	38
	2016	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	41	3.73	93	85
	2017	2~3叶1心，3~4分蘖 2−3 leaves with one heart, 3−4 tillers	36	12.47	73	50
	2018	2~3叶1心，4~5分蘖 2−3 leaves with one heart, 4−5 tillers	32	5.67	50	42
	2019	3叶1心，3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	39	7.67	90	31
	2020	3叶1心，3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	42	7.00	82	30
	2021	3叶1心，3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	36	10.53	72	24
	2023	3叶1心，3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3−4 tillers	42	10.47	62	49
天水市 Tianshui City	2008	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	57	3.81	100	100
	2009	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	34	2.87	63	18
	2010	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	32	3.07	29	11
	2011	2~3叶1心，2~3分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−3 tillers	32	2.33	55	19
	2012	3叶1心，2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2−3 tillers	32	2.73	74	67
	2013	2~3叶1心，3~4分蘖 2−3 leaves with one heart, 3−4 tillers	33	1.60	33	33
	2014	3叶1心，3分蘖 3 leaves with one heart, 3 tillers	66	8.53	88	52
	2015	3叶1心，2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2−3 tillers	54	4.33	50	8
	2016	3叶1心，2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2−3 tillers	34	1.87	56	40
	2017	2~3叶1心，2~4分蘖 2−3 leaves with one heart, 2−4 tillers	38	4.60	66	40

续表3 Continued

地点 Location	年份 Year	生长期 Growth period	田块数 Number of plots	面积 Area/hm^2	病田率 Disease field rate/%	病点率 Disease point rate/%
	2018	2~3叶1心,3~4分蘖 2-3 leaves with one heart, 3-4 tillers	59	6.73	19	15
	2019	3叶1心,3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3-4 tillers	31	4.00	31	36
	2020	3叶1心,3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3-4 tillers	31	4.87	68	50
	2021	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2-3 tillers	34	9.80	8	1
	2023	3叶1心,3~4分蘖 3 leaves with one heart, 3-4 tillers	57	8.20	13	6
陇南市 Longnan City	2008	2~3叶1心,2~3分蘖 2-3 leaves with one heart, 2-3 tillers	42	1.20	24	30
	2009	2~3叶1心,1~2分蘖 2-3 leaves with one heart, 1-2 tillers	35	3.40	36	19
	2010	2~3叶1心,0分蘖 2-3 leaves with one heart, 0 tiller	36	1.73	12	15
	2011	2~3叶1心,0分蘖 2-3 leaves with one heart, 0 tiller	36	1.13	27	48
	2012	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2-3 tillers	42	1.07	13	12
	2013	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2-3 tillers	38	1.07	21	12
	2014	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2-3 tillers	43	1.07	11	10
	2015	2~3叶1心,0~2分蘖 2-3 leaves with one heart, 0-2 tillers	36	0.93	15	10
	2016	2~3叶1心,0~2分蘖 2-3 leaves with one heart, 0-2 tillers	34	0.80	11	7
	2017	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2-3 tillers	35	1.20	8	5
	2018	2~3叶1心,2~3分蘖 2-3 leaves with one heart, 2-3 tillers	32	1.33	0	0
	2019	3叶1心,2~4分蘖 3 leaves with one heart, 2-4 tillers	32	2.53	15	10
	2020	2~3叶1心,2~3分蘖 2-3 leaves with one heart, 2-3 tillers	20	0.80	16	10
	2021	3叶1心,0~2分蘖 2-3 leaves with one heart, 0-2 tillers	45	1.60	0	0
	2023	3叶1心,2~3分蘖 3 leaves with one heart, 2-3 tillers	44	3.47	5	2

2.3 陇中南条锈菌越冬情况调查结果

2008—2023年临夏回族自治州条锈菌最高越冬海拔介于2 149~2 350 m之间,其中2023年的越冬海拔(2 350 m)为历年最高,位于康乐县五户乡朱家村,2022年具有明显的发病中点,2012年、2017年和2023年有零星病叶,其他年份均未发现越冬病叶(表4)。2008—2023年定西市条锈菌最高越冬海拔介于1 900~2 390 m之间,其中2022年和2023年的越冬海拔(2 390 m)为历年最高,位于漳县三岔镇刘家岘村;2011年有明显的发病中心,2021—2023年有零星病叶,其他年份均未发现越冬病叶(表4)。2008—2023年天水市条锈菌最高越冬海拔介于1 723~2 080 m之间,其中2021—2023年的越冬海拔(2 100 m)为历年最高,位于天水市甘谷县古坡镇深岘子村;有明显的发病中心或零星病叶,病点率小于10%。2008—2023年陇南市条锈菌最高越冬海拔介于998~1 825 m之间,其中2015年的越冬海拔(1 825 m)为历年最高,位于武都区隆兴镇叶家坝村;有零星病叶,病点率小于10%(表4)。

2.4 陇中南条锈菌春季流行调查结果

2008—2023年临夏回族自治州和定西市的春季小麦病田率和病点率均为0(表5)。2008—2023年天水市病田率介于0~67%之间,其中2020年和2018年的病田率最高,分别为67%和63%,2008年、2012年、2015年、2021—2022年的病田率次之,介于14%~46%之间,其他年份的病田率均低于10%;2008—2023年天水市春季小麦病点率介于0~42%之间,其中2021年的病点率最高,为42%,2008年、2012年、2018年、2020年的病点率次之,介于10%~26%之间,其他年份的病点率均低于10%(表5)。2008—2023年陇南市自生春季小麦率介于9%~54%之间,其中2016年和2021年的病田率最高,均为54%,除2010年、2013年、2017年、2019年的病田率低于10%外,其他年份的病田率均较高,介于14~52%之间;2008—2023年陇南市春季小麦病点率介于6%~30%之间,其中2012年和2015年的病点率最高,均为30%,除2010年、2013年、2017—2019年和2023年的病点率均低于10%外,其他年份的病点率均介于14%~29%之间(表5)。表明2008—2023年甘肃省

南部的陇南市和天水市的春季小麦病田率和病点率明显高于甘肃省中部的临夏回族自治州和定西市。

表4 2008—2023年陇中南小麦条锈菌越冬调查结果

Table 4 Survey results of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* over winter from central and southern Gansu Province during 2008—2023

地点 Location	年份 Year	越冬点海拔范围 Altitude range of overwintering site/m	最高越冬海拔 Highest overwintering altitude/m	最高越冬海拔地点 Location of highest overwintering altitude	病症 Symptom of onset
临夏回族自治州 Linxia Hui Autonomous Prefecture	2008	1 900–2 200	—	—	①
	2009	1 913–2 362	—	—	①
	2012	1 980–2 436	2 149	康乐县苏集镇高楼村 Gaolou Village, Suji Town, Kangle County	④
	2014	1 900–2 200	—	—	①
	2015	1 900–2 200	—	—	①
	2017	1 900–2 400	2 370	积石山县柳沟乡石家坝村 Shijiaba Village, Liugou Town, Jishishan County	④
	2018	2 180–2 360	—	—	①
	2020	2 100–2 400	—	—	①
	2021	2 100–2 400	—	—	①
	2022	2 180–2 350	2 300	康乐县五户乡朱家山村 Zhujiashan Village, Wuhu Town, Kangle County	⑤
	2023	2 180–2 350	2 350	康乐县五户乡朱家山村 Zhujiashan Viliage, Wuhu Town, Kangle County	④
定西市 Dingxi City	2008	1 918–2 110	—	—	①
	2009	1 699–2 394	1 900	临洮县临洮农校 Lintao Agricultural Technology School	①
	2011	1 613–2 137	1 900	临洮县临洮农校 Lintao Agricultural Technology School	②
	2012	1 892–1 977	—	—	①
	2017	1 892–1 977	—	—	①
	2018	2 084–2 396	—	—	①
	2020	2 000–2 334	—	—	①
	2021	1 768–2 077	2 077	陇西县永吉乡直沟村 Zhigou Village, Yongji Town, Longxi County	④
	2022	1 824–2 390	2 390	漳县三岔镇刘家岘村 Liujiaxian Village, Sancha Town, Zhang County	④
	2023	1 824–2 390	2 390	漳县三岔镇刘家岘村 Liujiaxian Village, Sancha Town, Zhang County	④
天水市 Tianshui City	2008	1 312–1 848	1 848	秦安县中山镇中山村 Zhongshan Village, Zhongshan Town, Qin’an County	②
	2009	1 316–2 156	2 080	甘谷县古坡乡马连坡村 Malianpo Village, Gupo Town, Gangu County	②
	2011	1 479–2 080	2 080	甘谷县古坡乡马连坡村 Malianpo Village, Gupo Town, Gangu County	②
	2012	1 374–2 080	2 080	甘谷县古坡乡马连坡村 Malianpo Village, Gupo Town, Gangu County	⑤
	2014	1 693–1 811	—	—	①
	2015	1 446–1 799	1 723	甘谷县白家湾乡白家湾村 Baijiawan Village, Baijiawan Town, Gangu County	②
	2017	1 500–2 080	2 080	甘谷县古坡乡马连坡村 Malianpo Village, Gupo Town, Gangu County	⑤
	2018	1 526–2 087	2 080	甘谷县古坡乡马连坡村 Malianpo Village, Gupo Town, Gangu County	⑤
	2020	1 242–2 084	2 080	甘谷县古坡乡马连坡村 Malianpo Village, Gupo Town, Gangu County	⑤

续表4 Continued

地点 Location	年份 Year	越冬点海拔范围 Altitude range of overwintering site/m	最高越冬海拔 Highest overwintering altitude/m	最高越冬海拔地点 Location of highest overwintering altitude	病症 Symptom of onset
	2021	1 152−2 100	2 100	甘谷县古坡乡深岘子村 Shenxianzi Village, Gupo Town, Gangu County	⑤
	2022	1 502−2 100	2 100	甘谷县古坡乡深岘子村 Shenxianzi Village, Gupo Town, Gangu County	④
	2023	1 533−2 100	2 100	甘谷县古坡乡深岘子村 Shenxianzi Village, Gupo Town, Gangu County	④
陇南市 Longnan City	2008	945−2 446	1 719	西和县十里乡横岭村 Hengling Village, Shili Town, Xihe County	③
	2009	636−1 725	1 610	宕昌县临江铺镇柏杨坝村 Baiyangba Village, Linjiangpu Town, Dangchang County	③
	2011	681−1 755	1 687	文县堡子坝乡贾那下村 Jianaxia Village, Baoziba Town, Wen County	③
	2012	621−1 751	1 613	西和县西高山乡宁山村 Ningshan Village, Xigaoshan Town, Xihe County	④
	2014	935−1 739	1 107	文县桥头镇张家坝村 Zhangjiaba Village, Qiaotou Town, Wen County	④
	2015	806−2 000	1 825	武都区隆兴镇叶家坝村 Yejiaba Village, Longxing Town, Wudu District	④
	2017	600−1 732	1 732	武都区坪芽乡坪芽村 Pingya Village, Pingya Town, Wudu District	④
	2018	714−1 740	1 740	西和县十里乡横岭村 Hengling Village, Shili Town, Xihe County	④
	2020	662−1 700	1 700	西和县十里乡梁集村 Liangji Village, Shili Town, Xihe County	③
	2021	844−1 708	1 708	西和县十里乡梁集村 Liangji Village, Shili Town, Xihe County	④
	2022	744−1 758	1 386	礼县城关镇磨石村 Moshi Village, Chengguan Town, Li County	④
	2023	675−1 263	998	文县石坊镇中排村 Zhongpai Village, Shifang Town, Wen County	②

①:未见病叶;②:具有明显的发病中心;③:普遍发病,病点率大于70%;④:零星病叶,病点率小于10%;⑤:具有明显的发病中心,由下层叶片向上层叶片蔓延;下层叶片具有明显的冬孢子堆,下部干枯叶片上能观察到夏孢子堆;—:未发现。①: No wheat stripe rust disease leaves detected; ②: exhibits a distinct epicenter of onset; ③: widespread occurrence, with a disease incidence exceeding 70%; ④: scattered diseased leaves, with a disease spot rate below 10%; ⑤: disease exhibits a clear epicenter, spreading from the lower leaves to the upper ones; distinct teliospore clusters are visible on the lower leaves, and urediniospore clusters can be observed on the withered lower foliage; —: not found.

表5 2008—2023年陇中南小麦条锈菌春季流行调查结果

Table 5 Survey results of wheat stripe rust disease field in central and southern Gansu Province in spring popular period during 2008—2023

地点 Location	年份 Year	海拔范围 Range of altitude/m	田块数 Number of plots	面积 Area/hm^2	病田率 Disease field rate/%	病点率 Disease points rate/%
临夏回族自治州 Linxia Hui Autonomous Prefecture	2008	1 900−2 200	30	3.20	0	0
	2009	1 900−2 200	30	3.33	0	0
	2011	1 900−2 200	31	3.00	0	0
	2012	1 900−2 200	67	3.47	0	0
	2013	1 900−2 200	30	3.53	0	0
	2014	1 900−2 200	34	3.27	0	0

续表5 Continued

地点 Location	年份 Year	海拔范围 Range of altitude/m	田块数 Number of plots	面积 Area/hm^2	病田率 Disease field rate/%	病点率 Disease points rate/%
	2015	1 900−2 200	32	3.20	0	0
	2016	1 900−2 200	33	3.47	0	0
	2018	2 100−2 400	30	3.00	0	0
	2020	2 100−2 400	31	3.73	0	0
	2021	2 100−2 400	32	3.40	0	0
	2022	2 100−2 400	30	2.80	0	0
	2023	2 100−2 400	35	4.13	0	0
定西市 Dingxi City	2008	1 600−2 100	40	4.53	0	0
	2009	1 700−2 100	29	3.33	0	0
	2011	1 600−2 100	32	3.67	0	0
	2012	1 600−2 100	32	3.00	0	0
	2013	1 800−2 400	30	5.93	0	0
	2014	1 800−2 400	33	5.00	0	0
	2015	1 800−2 400	34	2.80	0	0
	2016	1 800−2 400	31	3.07	0	0
	2018	1 800−2 400	31	3.73	0	0
	2020	1 800−2 400	38	4.33	0	0
	2021	1 800−2 400	34	3.07	0	0
	2022	1 800−2 400	30	4.27	0	0
	2023	1 800−2 400	31	3.20	0	0
天水市 Tianshui City	2008	1 300−1 800	54	3.73	46	25
	2009	1 300−2 200	41	4.00	9	4
	2011	1 400−1 800	64	6.00	0	0
	2012	1 400−1 800	55	4.27	14	10
	2013	1 400−1 700	36	3.53	0	0
	2014	1 600−1 800	40	1.33	0	0
	2015	1 400−1 800	32	4.67	19	6
	2016	1 400−1 800	31	2.40	8	6
	2018	1 500−2 000	48	5.33	63	15
	2020	1 500−2 000	42	4.00	67	26
	2021	1 500−2 000	34	0.73	45	42
	2022	1 500−2 000	36	5.40	16	2
	2023	1 500−2 000	41	4.13	0	0
陇南市 Longnan City	2008	900−2 500	72	4.60	18	16
	2009	800−1 400	52	4.53	42	29
	2011	700−1 800	154	10.00	34	21
	2012	700−1 800	141	7.27	33	30
	2013	700−1 800	127	8.93	9	7
	2014	700−1 800	84	4.27	39	19
	2015	700−1 800	74	4.67	51	30
	2016	700−1 800	81	4.67	54	21
	2018	700−1 800	39	3.33	14	6
	2020	700−1 800	82	4.07	52	25
	2021	700−1 800	70	2.40	54	25
	2022	700−1 800	164	18.80	30	14
	2023	700−1 800	80	3.00	20	7

2.5 甘肃省小麦条锈菌致病类群变化

2008—2010年甘肃省小麦条锈菌致病类群主要为Hy46类群和Su11类群，两者之和占比介于91.3%~99.5%之间，其中Su11类群为第1大致病类群，Hy46类群为第2大致病类群；2011—2021年甘肃省小麦条锈菌致病类群主要为G22类群、Hy46类群和Su11类群，三者之和占比介于79.7%~98.5%之间；2022年和2023年甘肃省小麦条锈菌致病群体主要为G22类群和Hy类群，两者之和占比介于92.2%~99.1%之间（图1）。

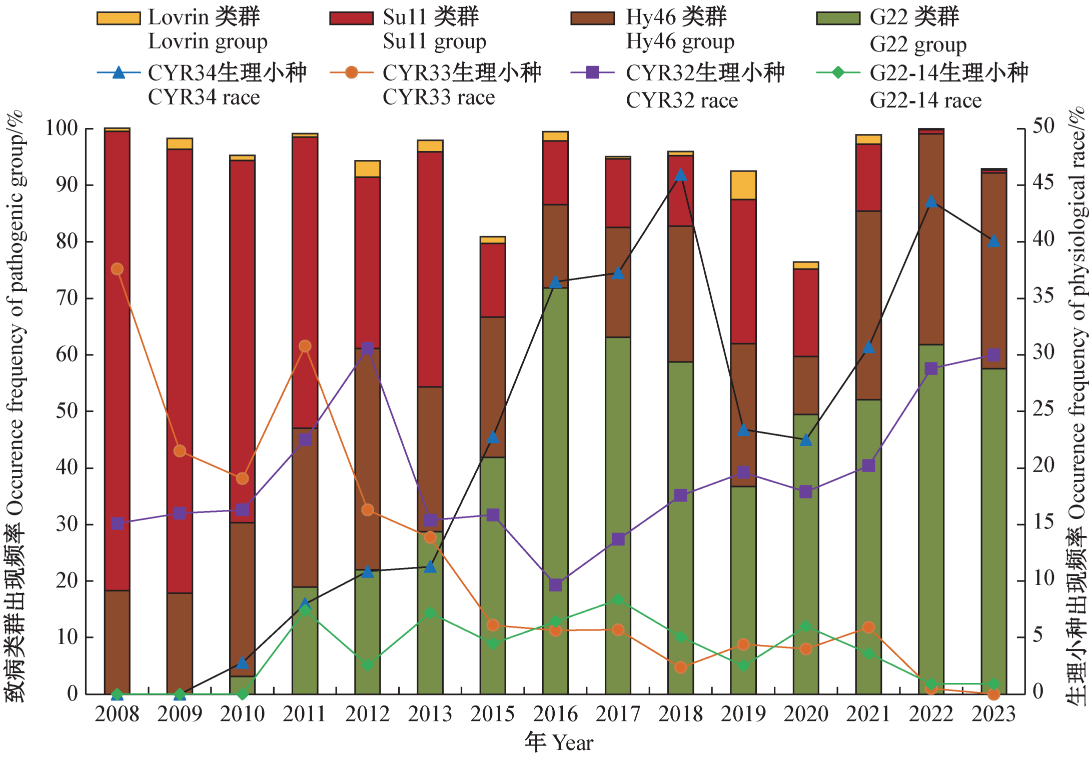

图1 2008—2023年甘肃省小麦条锈菌致病类群和生理小种的出现频率

Fig. 1 Occurrence frequency of pathogenic group and races of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Gansu Province from 2008 to 2023

2.6 甘肃省小麦条锈菌生理小种变化

2008—2011年，甘肃省小麦条锈菌优势小种为CYR33和CYR32，前者的出现频率分别为37.6%、21.5%、19.1%和30.8%，后者的出现频率分别为15.1%、16.0%、16.3%和22.5%。2012年和2013年，甘肃省小麦条锈菌优势小种为CYR32、CYR33和CYR34，其中CYR32的出现频率分别为30.6%和15.4%，CYR33的出现频率分别为16.3%和13.9%，CYR34的出现频率分别为10.9%和11.3%。2015—2023年，甘肃省小麦条锈菌优势小种为CYR34和CYR32，前者的出现频率介于22.5%~46.0%之间，后者的出现频率介于9.7%~30.0%之间，CYR33和G22-14的出现频率均小于8.4%，且出现频率随时间呈下降趋势（图1）。

3 讨论

本研究发现陇中南地区条锈菌能在海拔1 800 m以下区域越夏，最低越夏海拔下降到1 550 m左右。安菊棠等（2010）2004—2010年对甘肃省天水市甘谷县条锈菌系统性越夏的监测发现，高温年份条锈菌可在甘谷县海拔1 500~1 800 m地带越夏，低温年份可在甘谷县海拔1 400 m地带越夏，表明条锈菌在陇中南的越夏海拔下降，与本研究结果一致。曹世勤等（2011）2007—2009年对甘肃省中部麦区条锈病发病情况进行调查，发现条锈菌可在定西市海拔1 718~2 350 m的地带越夏，与本研究结果一致。此外，本研究发现甘肃省小麦条锈菌越夏菌源逐步向高海拔地带集中，这可能与甘肃省近年来大力推行作物结构调整有关。陇中南的半山区域曾经普遍种植小麦，现已被果树、中草药和其他经济作物取代，导致条锈菌失去越夏寄主，只能向高海拔地带的小麦上迁移。霍治国等（2012）汇总气候变暖对农作物病虫害未来发生趋势的结果，提出气候变暖会引起农作物的种植结构与栽培措施变化，进而致使条锈菌向高海拔地区迁移危害，与本研究结果一致。此外，20世纪60年代甘肃省小麦条锈菌越冬海拔最

高为1 700~1 800 m（李振岐和曾士迈，2002）。万信等（2021）根据近30余年甘肃省条锈病病田率与气温的关系发现，甘肃省东部和南部大部地区小麦条锈菌越冬区海拔较20世纪80年代上升了200~400 m。潘广等（2011）2008—2010年对甘肃省天水市甘谷县小麦秋苗发病情况进行调查，发现小麦条锈菌能在海拔2 080 m地带越冬；姚强等（2014）通过调查发现条锈菌在青海省海拔1 777~2 233 m的东部地区均可越冬。本研究发现条锈菌在甘肃省越冬海拔明显上升，能在海拔2 300 m地带越冬，与已有研究结果一致。

本调查结果显示甘肃省中部的临夏回族自治州和定西市的条锈菌越夏病田率和秋苗病田率明显高于甘肃省南部的天水市和陇南市，表明甘肃省中部是甘肃省越夏菌源地的重要组成部分。胡琴等（2007）对甘肃省中部的临夏回族自治州小麦条锈菌越夏的多年调查发现，该地是甘肃省越夏菌源量最多的菌源地之一。曹世勤等（2011）对甘肃省中部麦区条锈越夏的调查发现，甘肃省中部麦区的条锈病越夏病田率高于南部麦区，提出甘肃省定西、临夏回族自治州等中部麦区已成为陇南条锈病越夏区的重要组成部分，印证了陇南条锈病越夏区即为条锈菌陇南菌源地，包括天水市、陇南市、甘南藏族自治州及宁夏回族自治区六盘山一带（李振岐和曾士迈，2002）。此外，本研究发现陇中南条锈菌越夏病田率和病点率高的年份，秋苗病田率和病点率也相应较高。谢飞舟等（2012）2004—2011年对陕西省小麦条锈菌越夏范围调查发现，越夏发病率越高，秋苗发病程度就越严重，与本研究结果一致。但陇中南越夏菌源量与秋苗发病程度是否与青海省东南部菌源及陇中南秋季的温度和降雨量有关需进一步研究。

气候变化会改变病原体进化、宿主-病原体互作及促进新病原菌株的出现（Singh et al.，2023）。Zhang et al.（2024）2005—2019年对甘肃省小麦条锈菌生理小种进行耐温性测试，发现在高温下2016年以后甘肃省条锈菌生理小种的侵袭力明显大于2005年条锈菌生理小种的侵染力，推测气候变暖有可能会导致条锈菌新小种出现，新小种对气候变暖有较强的适应性，这导致其快速成为优势小种，而新小种包含的新型毒性基因很可能造成抗病品种抗性丧失，进而引起条锈病大流行。本研究结果显示以CYR34为代表的G22致病类群代替了以CYR33为代表的Su11致病类群，目前条锈菌的优势小种为CYR32和CYR34。Zhang et al.（2025）2023年对采自中国11个省的103份菌株进行毒性鉴定，发现优势小种为CYR32和CYR34，与本研究结果一致。因此，建议全国育种单位应重视培育兼抗条锈菌CYR34和CYR32的小麦品种，防止小麦抗病品种丧失抗性，从而引起小麦条锈病大流行。

本研究结果表明甘肃省小麦条锈菌的发生分布与20世纪中期有显著变化，越冬海拔明显上升和越夏海拔明显下降，甘肃省中部已成为同陇南菌源地同样重要的越夏菌源地，是小麦条锈菌西北越夏区的重要组成部分，究其原因可能不仅与外在气候变化和种植结构调整有关，同时可能也与病原物本身变异有关。虽然Singh et al.（2023）阐述了气候变化在时间和空间上影响病害，同时会改变病原体的发展，促进新小种的出现，但气候变化对条锈菌发生危害的影响程度、对条锈菌毒性变异及变化趋势的具体影响未见报道。下一步需从分子生态学和病原物变异机理等多层次深入开展气候变化对条锈菌生理小种本身的影响，从而全面揭示气候变暖对条锈菌变异与时空动态的影响，为小麦条锈病的综合治理提供理论依据。

参 考 文 献（References）

An JT, Xie QL, Wei WZ, Wang YP, Xie QS, Gao YZ, Chen XB. 2010. Monitoring and influencing factors analysis of wheat stripe rust in Gangu County over summer. Gansu Agricultural Science and Technology, 41(12): 35−37 (in Chinese) [安菊棠, 颉青龙, 魏武智, 王一平, 谢琴淑, 高远志, 陈小兵. 2010. 甘谷县小麦条锈菌越夏监测及影响因素分析. 甘肃农业科技, 41(12): 35−37]

Cao SQ, Jin SL, Duan XY, Luo HS, Liu TG, Chen WQ, Li H, Pu CJ, Jia QZ, Jin MA, et al. 2011. A preliminary survey of over-summering stripe rust and the resistant variety of wheat cultivars in middle Gansu. Plant Protection, 37(3): 133−138 (in Chinese) [曹世勤, 金社林, 段霞瑜, 骆惠生, 刘太国, 陈万权, 李辉, 蒲崇建, 贾秋珍, 金明安, 等. 2011. 甘肃中部麦区小麦条锈病菌越夏调查及品种抗性变异监测结果初报. 植物保护, 37(3): 133−138]

Chen WQ, Kang ZS, Ma ZH, Xu SC, Jin SL, Jiang YY. 2013. Integrated management of wheat stripe rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China. Scientia Agricultura Sinica, 46(20): 4254−4262 (in Chinese) [陈万权, 康振生, 马占鸿, 徐世昌, 金社林, 姜玉英. 2013. 中国小麦条锈病综合治理理论与实践. 中国农业科学, 46(20): 4254−4262]

Chen WQ, Liu TG. 2023. Occurrence of wheat stripe rust in autumn-sown seedlings and inter-regional inoculum dispersal of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China. Plant Protection, 49(5): 50−70 (in Chinese) [陈万权, 刘太国. 2023. 我国小麦秋苗条锈病发生规律及其区间菌源传播关系. 植物保护, 49(5): 50−70]

Chen WQ, Wu LR, Liu TG, Xu SC, Jin SL, Peng YL, Wang BT. 2009. Race dynamics, diversity, and virulence evolution in *Puccinia stri-*

iformis f. sp. *tritici*, the causal agent of wheat stripe rust in China from 2003 to 2007. Plant Disease, 93(11): 1093−1101

Hovmøller MS, Walter S, Bayles RA, Hubbard A, Flath K, Sommerfeldt N, Leconte M, Czembor P, Rodriguez-Algaba J, Thach T, et al. 2016. Replacement of the European wheat yellow rust population by new races from the centre of diversity in the near-Himalayan region. Plant Pathology, 65(3): 402−411

Hu Q, Zhang QP, Deng HY, Lu ZC, Zhang HG. 2007. Oversummering features of wheat stripe rust in Linxia. Plant Protection, 33(1): 94−96 (in Chinese) [胡琴, 张秋萍, 邓怀义, 鲁振超, 张华刚. 2007. 临夏地区小麦条锈菌越夏特点. 植物保护, 33(1): 94−96]

Huo ZG, Li MS, Wang L, Wen QP, Xiao JJ, Huang DP, Wang CY. 2012. Impacts of climate warming on crop diseases and pests in China. Scientia Agricultura Sinica, 45(10): 1926−1934 (in Chinese) [霍治国, 李茂松, 王丽, 温泉沛, 肖晶晶, 黄大鹏, 王春艳. 2012. 气候变暖对中国农作物病虫害的影响. 中国农业科学, 45(10): 1926−1934]

Huo ZG, Wang SL. 2009. Agricultural and bio-meteorological disasters. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese) [霍治国, 王石立. 2009. 农业和生物气象灾害. 北京: 气象出版社]

Li ZQ, Zeng SM. 2002. Wheat rust in China. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [李振岐, 曾士迈. 2002. 中国小麦锈病. 北京: 中国农业出版社]

Pan G, Chen WQ, Liu TG, Gao L, Cao SQ, Wang XM. 2011. Survey of overwintering *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* at different altitudes in the areas of Tianshui, Gansu Province. Plant Protection, 37(2): 103−106, 123 (in Chinese) [潘广, 陈万权, 刘太国, 高利, 曹世勤, 王晓明. 2011. 天水地区不同海拔高度小麦条锈菌越冬调查初报. 植物保护, 37(2): 103−106, 123]

Shang HS. 2008. Wheat stripe rust and its control. Beijing: Jindun Publishing House (in Chinese) [商鸿生. 2008. 小麦条锈病及其防治. 北京: 金盾出版社]

Singh BK, Delgado-Baquerizo M, Egidi E, Guirado E, Leach JE, Liu HW, Trivedi P. 2023. Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. Nature Reviews Microbiology, 21(10): 640−656

Wan X, Xu YP, Han LY, Yao XH, Jia JY. 2021. Climatic zoning of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* overwintering in Hedong of Gansu. Chinese Agricultural Science Bulletin, 37(22): 111−115 (in Chinese) [万信, 许彦平, 韩兰英, 姚晓红, 贾建英. 2021. 甘肃河东地区小麦条锈病菌(*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*)越冬气候区划. 中国农学通报, 37(22): 111−115]

Xie FZ, Feng XJ, Wen YD, Wang BT, Zhi XM, Kang ZS. 2012. Preliminary study on over-summer of *Puccinia striiformis* f. sp. tritici in Shaanxi Province during 2004—2011. Journal of Triticeae Crops, 32(4): 774−778 (in Chinese) [谢飞舟, 冯小军, 文耀东, 王保通, 支小明, 康振生. 2012. 2004—2011年陕西省小麦条锈菌越夏范围研究初报. 麦类作物学报, 32(4): 774−778]

Xu YP, Wan X, Jin SL, Han LY, Yao XH, Jia JY. 2021. Climatic zoning of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* over-summering in Hedong area of Gansu Province. Agricultural Research in the Arid Areas, 39(2): 236−240 (in Chinese) [许彦平, 万信, 金社林, 韩兰英, 姚晓红, 贾建英. 2021. 甘肃河东地区小麦条锈病菌(*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*)越夏气候区划. 干旱地区农业研究, 39(2): 236−240]

Yao Q, Guo QY, Yan JH, Zhang G, Hou SY, Chen WQ. 2014. Survey on overwintering *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* at different altitudes in eastern Qinghai. Journal of Plant Protection, 41(5): 578−583 (in Chinese) [姚强, 郭青云, 闫佳会, 张贵, 侯生英, 陈万权. 2014. 青海东部麦区小麦条锈菌越冬调查初报. 植物保护学报, 41(5): 578−583]

Zhang B, Zhao J, Huang J, Wang XJ, Guo ZJ, Jia QZ, Cao SQ, Sun ZY, Luo HS, Kang ZS, et al. 2024. Aggressiveness of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* isolates at high temperatures: a study case in core oversummering area of Gansu as inoculum source. Plants, 13(24): 3518

Zhang XZ, Huang L, Tang WQ, Qiu AG, Li X, Zhou XL, Yang SZ, Wang MN, Chen XM, Chen WQ, et al. 2025. Virulence characterization of wheat stripe rust population in China in 2023. Plant Pathology, 74(2): 363−377

（责任编辑：张俊芳）