

我国水稻五大产区虫害发生及防控情况差异的比较分析

车琳¹, 蒋沁宏¹, 王也¹, 李春广², 闫硕^{1*}

(1. 中国农业大学植物保护学院, 北京 100193; 2. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125)

摘要 为掌握我国水稻各产区害虫的发生形势和防控现状, 为分区域治理提供科学依据, 本文分析了 11 年来水稻五大产区(华中稻区、西南稻区、华南稻区、东北稻区和华北稻区)的二化螟、三化螟、稻纵卷叶螟、褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱的发生及防控情况, 并进行了差异比较分析。结果显示: 二化螟、稻纵卷叶螟、褐飞虱和白背飞虱是我国水稻的主要害虫。五大产区的害虫发生情况不同, 二化螟在东北稻区、西南稻区和华北稻区整体发生较重; “两迁”害虫(稻纵卷叶螟和稻飞虱)在华中稻区、华南稻区和西南稻区发生较重。水稻病虫害防控主要通过化学防治, 应进一步提升物理防治和生物防治比重, 推进水稻绿色防控技术的普及应用。

关键词 水稻虫害; 二化螟; “两迁”害虫; 水稻主产区; 植保统计

中图分类号: S435.11 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2021110

Comparative analysis of occurrence and control of pests in five rice producing regions in China

CHE Lin¹, JIANG Qinong¹, WANG Ye¹, LI Chunguang², YAN Shuo^{1*}

(1. College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. National Agricultural Technology Extension and Service Center, Beijing 100125, China)

Abstract In order to understand the occurrence and control situation of rice pests and provide scientific evidences for pest management in different rice producing regions in China, we analyzed and compared the occurrence and control situation of *Chilo suppressalis*, *Tryporyza incertulas*, *Cnaphalocrocis medinalis*, *Nilaparvata lugens*, *Sogatella furcifera* and *Laodelphax striatellus* in five rice producing regions (Central China region, South China region, Southwest China region, Northeast China region, North China region) during 11 years. The results revealed that *C. suppressalis*, *C. medinalis*, *N. lugens* and *S. furcifera* were major rice pests in China. The pest distribution was different among various rice producing regions. The occurrence of *C. suppressalis* was more serious in the northeast, southwest and north China regions. The *C. medinalis* and *L. striatellus* occurred more seriously in the central, southern and southwest China regions. The control of diseases and pests was mainly based on the chemical control. The physical control and biological control measures should be further used to promote the application of green pest management.

Key words rice insect pest; rice stem borer; migratory pest; major rice producing region; national plant protection statistics

水稻是世界上最重要的粮食作物, 也是我国主要的口粮作物, 在国民生产中占有极其重要的地位, 其稳产、增产对保障国家粮食安全具有重要意义^[1]。由于我国自然气候环境和社会经济形势变化, 我国水稻产区也发生了地理位移。根据我国气候条件、

水稻品种布局和种植制度可将我国水稻产区划分为华中稻区、华南稻区、西南稻区、东北稻区、华北稻区和西北稻区^[2]。近年来, 虽然我国水稻播种面积整体呈逐年下降趋势, 但水稻产量却因栽培管理水平的提升而有所提高。总体来说, 我国水稻病虫害害

收稿日期: 2021-02-24 修订日期: 2021-03-25

基金项目: 国家自然科学基金(32072497, 31900363)

* 通信作者 E-mail: yanshuo2011@foxmail.com

处于频发、多发态势,其中,水稻螟虫(如二化螟 *Chilo suppressalis*、三化螟 *Tryporyza incertulas* 等)和“两迁”害虫(稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 和稻飞虱)等害虫的频繁发生给我国农业生产带来了巨大的经济损失,严重制约着我国水稻产业的健康稳定发展,威胁着国家粮食安全。

为实现水稻单产的稳步提高,我国主要遵循对病虫害“节本增效”防控的总体原则,积极促进绿色防控技术与专业化统防统治的有机融合,实施重大病虫害分区域综合治理^[3]。目前,我国水稻病虫害发生防控情况的报道主要围绕在单一区域或省(市)一级,全国水稻病虫害的总体发生情况尚不清楚,不同产区间病虫害发生防控情况差异尚不明确,严重阻碍着水稻病虫害分区域治理策略的制定和实施^[4-5]。《全国植保专业统计资料》是集全体基层农技推广人员之力,统计汇总的反映全国农作物病虫草鼠害发生防控情况的历史数据,可以较全面、系统地反映我国植物保护工作的规模、现状及发展速度^[6-9]。本文重点分析和比较了 11 年间二化螟、三化螟、稻纵卷叶螟、褐飞虱 *Nilaparvata lugeng*、白背飞虱 *Sogatella furcifera* 和灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 等几大害虫在我国五大水稻产区的发生及防控情况。由于植保统计数据内容庞杂、涉猎面广,具体害虫的发生规律及致害机理还需要进一步深入研究。因此,本文重点分析我国水稻五大产区间主要害虫的种类是否相同,虫害造成损失是否一致,防治措施是否相似。以期为我国水稻害虫分区域治理提供科学依据,指导各级农业部门及时调整植保工作重点,进一步提升害虫防控效果,保障我国水稻生产安全。

1 材料与方法

1.1 水稻产区划分

由于西北稻区水稻播种面积较小,故本文未对该产区进行分析。根据我国水稻种植布局,华中稻区包括上海、江苏、浙江、湖北、湖南、江西、安徽;华南稻区包括广东、广西、海南、福建;西南稻区包括重庆、四川、贵州、云南、西藏;东北稻区包括辽宁、吉林、黑龙江;华北稻区包括北京、天津、河北、山西、山东、河南、陕西。因此以这些省(市、自治区)作为产区代表。

1.2 虫害数据来源

根据我国水稻害虫发生的实际情况,选取二化

螟、三化螟、稻纵卷叶螟、褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱为分析对象,每种害虫的发生面积、防治面积、造成产量损失、挽回产量损失数据均来自 2010 年—2020 年《全国植保专业统计资料》,其他害虫不计入统计分析。由于东北稻区未发生三化螟为害,故本文分析未涉及东北稻区三化螟发生为害情况。

1.3 虫害数据的分析

为更好地反映我国水稻害虫的发生及防控情况,本文在《全国植保专业统计资料》的基础上,对害虫数据进行了分析,具体分析方法简述如下:

害虫发生总面积指二化螟、三化螟、稻纵卷叶螟、褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱的发生面积之和,其他害虫发生面积未进行统计;单种害虫发生率=单种害虫发生面积/水稻播种面积;单种害虫防治面积是指利用化学、生物和物理防治措施对该种水稻害虫进行控制的面积。

由于产量危害损失计算复杂,涉及公式较多,具体计算方法详见《植物保护统计技术与方法》^[10],现简要列出主要概念及计算方法。自然产量损失:在不采取任何防治措施的自然条件下,作物受害虫为害后造成的产量损失;实际产量损失:在采取防治措施后,因措施不到位和残存害虫为害造成的产量损失;挽回产量损失:通过防治挽回的产量损失;单种害虫损失占比=单种害虫造成的年均实际损失/虫害年均造成总损失 $\times 100\%$;挽回虫害损失率=挽回虫害产量损失/(挽回虫害产量损失+虫害实际产量损失) $\times 100\%$ 。

1.4 防治面积的统计

水稻病虫害的防治措施主要包括化学、物理和生物防治措施。据 2010 年—2020 年《全国植保专业统计资料》记载,其通过人工调查的方法,统计了全国各省份水稻产区化学防治、物理防治和生物防治面积,其中的防治面积为病虫害综合防治面积。灯光诱杀覆盖率=灯光防治面积/播种面积 $\times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 水稻主要害虫发生面积

如图 1 所示,在我国水稻五大产区中,华中稻区、华南稻区、西南稻区和东北稻区水稻播种面积较大,均在 300 万 hm^2 次以上,而华北稻区水稻播种面积较小。其中,华中稻区、华南稻区、西南稻区和华

北稻区害虫发生总面积均大于水稻播种面积,年均害虫发生总面积与播种面积比值分别为 2.59、1.66、1.28 和 1.07;东北稻区害虫发生总面积明显小于水稻播种面积,年均害虫发生总面积与播种面

积比值仅为 0.24,说明各产区害虫发生总体情况不同。近年来,除东北稻区水稻播种面积总体攀升外,其他产区水稻播种面积相对平稳、变化不大,所有产区害虫发生总面积均呈逐年减小的趋势。

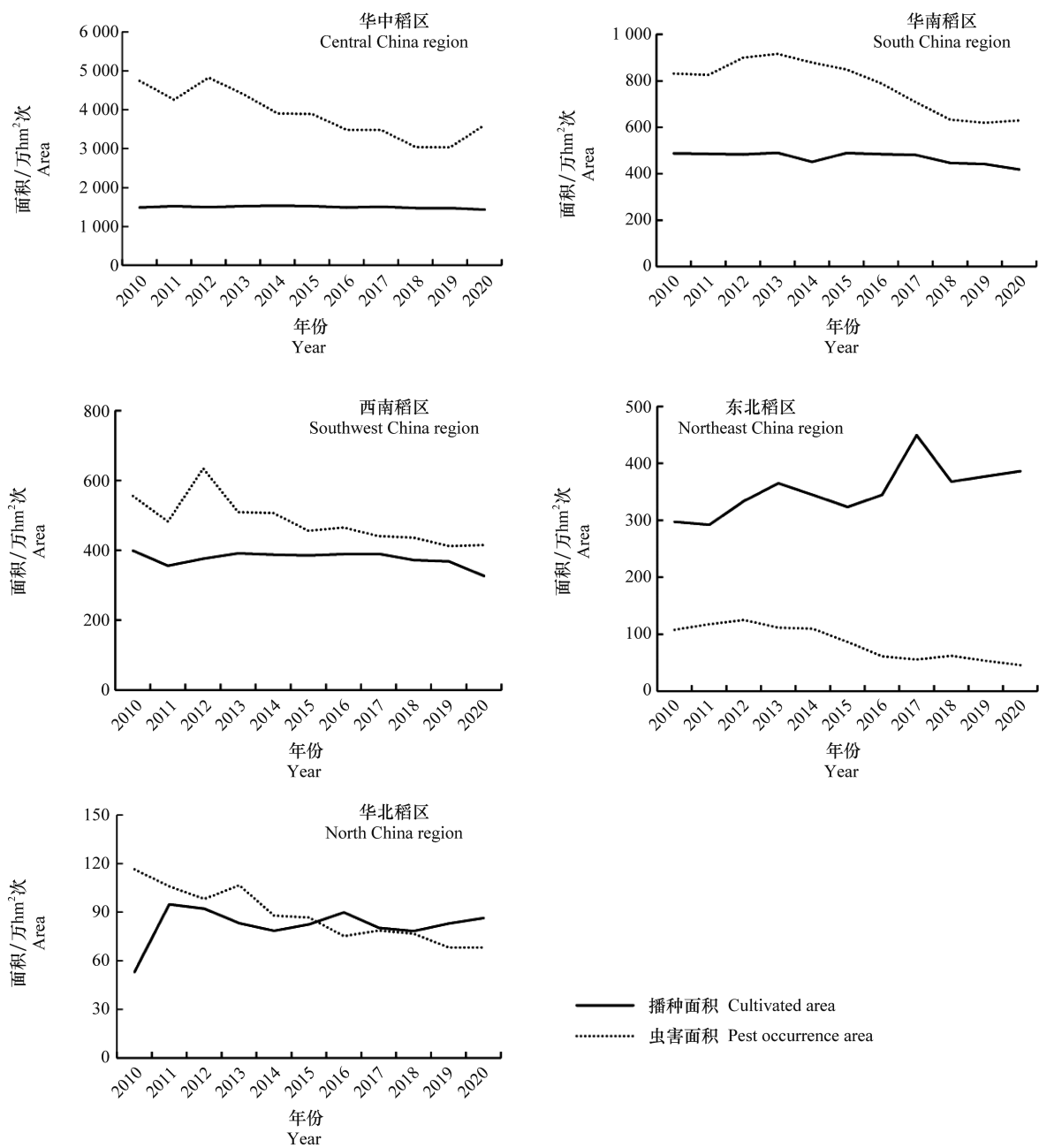


图 1 2010 年—2020 年我国水稻五大产区播种面积及主要害虫发生面积

Fig. 1 Rice cultivated area and major pest occurrence area in five rice producing regions from 2010 to 2020

综合我国水稻五大产区的主要害虫发生面积来看,二化螟、稻纵卷叶螟、褐飞虱和白背飞虱的为害面积较大,是近年来危害我国水稻产业发展的主要害虫(图 2)。南方和北方水稻害虫发生情况明显不同,华中稻区和华南稻区的稻纵卷叶螟发生面积最大,年均

发生面积达到 1 166.38 万 hm^2 次和 283.22 万 hm^2 次,褐飞虱和白背飞虱发生面积紧随其后,也是两个产区的重要害虫,同时二化螟在华中稻区发生面积较大;而西南稻区、东北稻区和华北稻区的二化螟较其他害虫发生面积大,年均发生面积分别达到 246.34 万

hm² 次、67.16 万 hm² 次和 45.04 万 hm² 次,明显高于

其他 5 种害虫,但近几年发生面积有逐年下降趋势。

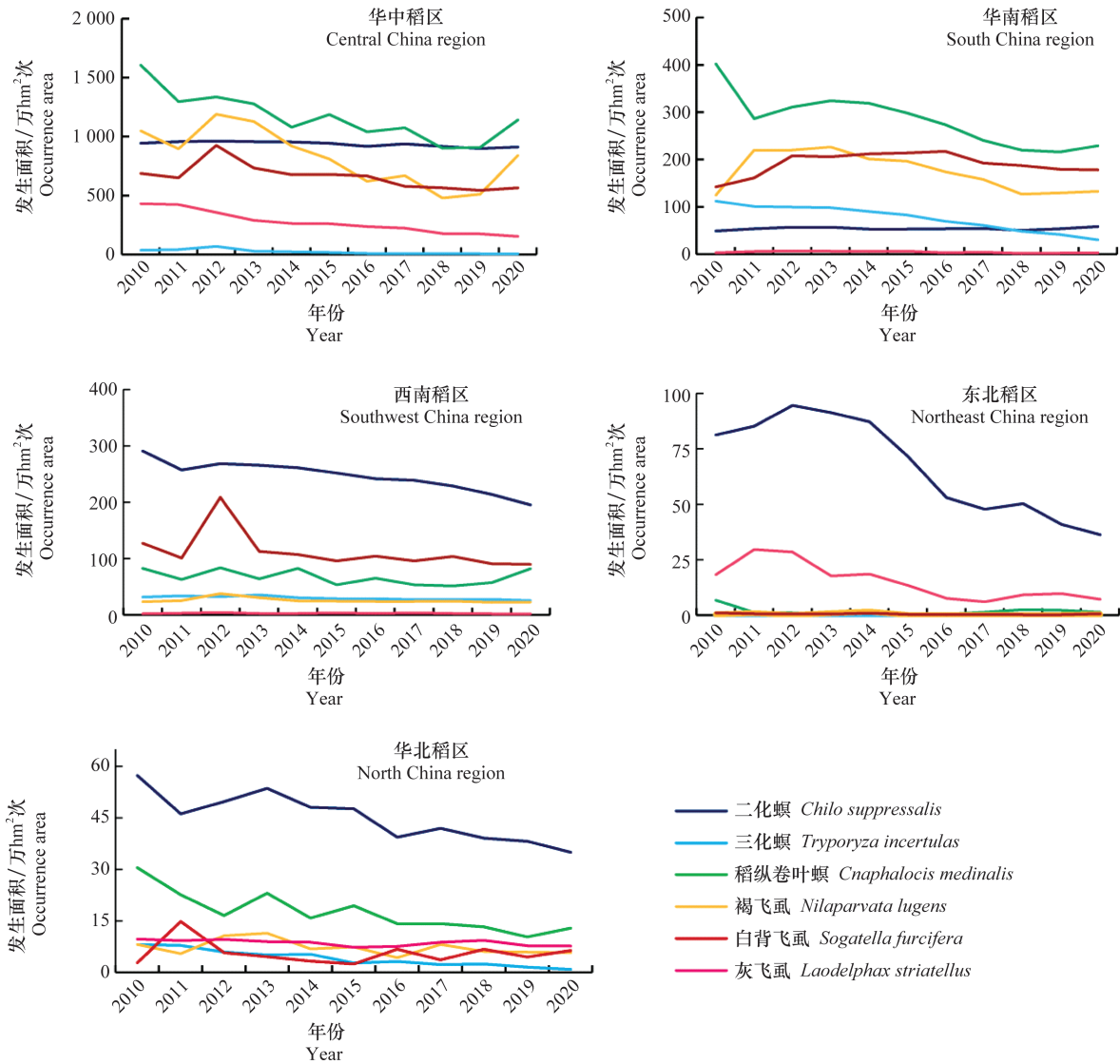


图 2 2010 年—2020 年我国水稻五大产区主要害虫发生面积

Fig. 2 Occurrence area of major pests in five rice producing regions in China from 2010 to 2020

2.2 水稻害虫造成产量损失情况

近年来,我国水稻各产区害虫造成的实际产量损失总体呈下降趋势,华中稻区由于 2019 年—2020 年害虫造成的实际产量损失偏高,值得进一步关注(图 3)。由于华中稻区水稻播种面积较大,该稻区主要害虫造成的实际产量损失最高,超过其余四大产区实际产量损失总和。综合我国水稻五大产区害虫造成的损失情况来看,二化螟和稻纵卷叶螟造成的实际产量损失最高,是威胁我国水稻生产的两大害虫,但各产区间害虫为害情况明显不同(表 1)。具体来说,华中稻区的二化螟造成的年均实际产量损失最大,为 32.55 万 t,稻纵卷叶螟和褐飞虱造成

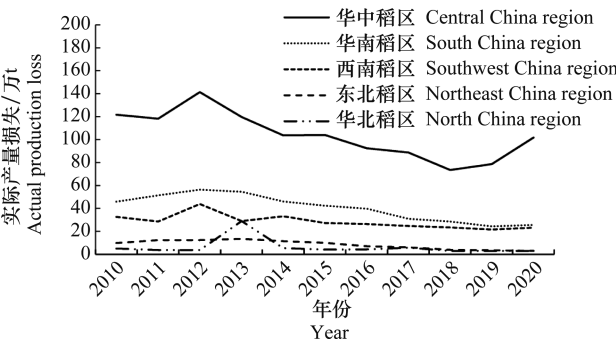


图 3 2010 年—2020 年我国水稻五大产区主要害虫造成的实际产量损失

Fig. 3 Actual production loss caused by major pests in five rice producing regions in China from 2010 to 2020

的产量损失接近,分别为 26.44 万 t 和 26.11 万 t;华南稻区的稻纵卷叶螟、褐飞虱和白背飞虱造成的产量损失占比最高,分别达到 34.66%、26.11%和 23.85%;西南稻区、东北稻区和华北稻区二化螟造成的产量损失占比较大,分别为 40.20%、82.71%和 51.65%。

2.3 水稻主要害虫防控及挽回产量损失情况

如表 2 所示,华中稻区害虫防控的面积较大,产量损失挽回率总体较高,其中三化螟防控的挽回损

失率最低,但也高达 87.24%;华南稻区和华北稻区的主要害虫防治面积与发生面积比值较为相似,但华南稻区的主要害虫防治的挽回损失率整体上高于华北稻区;西南稻区和东北稻区的情况稍有不同,其中西南稻区褐飞虱的防治面积最大,但损失挽回率却相对较低,为 83.77%;东北稻区中,白背飞虱和灰飞虱的防治面积最大,其挽回损失率却低于其他产区,分别为 82.62%和 83.83%。

表 1 我国水稻五大产区主要害虫造成的年均产量损失及其占比

害虫种类 Pest species	华中稻区 Central China region		华南稻区 South China region		西南稻区 Southwest China region		东北稻区 Northeast China region		华北稻区 North China region	
	产量损 失/万 t	占比/%	产量损 失/万 t	占比/%	产量损 失/万 t	占比/%	产量损 失/万 t	占比/%	产量损 失/万 t	占比/%
	Yield loss	Proportion	Yield loss	Proportion	Yield loss	Proportion	Yield loss	Proportion	Yield loss	Proportion
二化螟 <i>Chilo suppressalis</i>	32.55	31.33	2.00	4.95	11.43	40.20	6.89	82.71	3.21	51.65
三化螟 <i>Tryporyza incertulas</i>	0.61	0.59	3.92	9.69	1.49	5.23	—	—	0.30	4.85
稻纵卷叶螟 <i>Cnaphalocrocis medinalis</i>	26.44	25.45	14.01	34.66	5.08	17.87	0.12	1.44	1.05	16.91
褐飞虱 <i>Nilaparvata lugens</i>	26.11	25.12	10.55	26.11	2.03	7.15	0.01	0.12	0.53	8.59
白背飞虱 <i>Sogatella furcifera</i>	16.25	15.64	9.64	23.85	8.29	29.16	0.05	0.60	0.79	12.65
灰飞虱 <i>Laodelphax striatellus</i>	1.95	1.88	0.29	0.73	0.11	0.39	1.26	15.13	0.33	5.35

表 2 2010 年—2020 年我国水稻五大产区主要害虫防治面积与发生面积比值和挽回损失率

害虫种类 Pest species	华中稻区 Central China region		华南稻区 South China region		西南稻区 Southwest China region		东北稻区 Northeast China region		华北稻区 North China region	
	防治面积 与发生面 积比值	挽回损 失率/%	防治面积 与发生面 积比值	挽回损 失率/%	防治面积 与发生面 积比值	挽回损 失率/%	防治面积 与发生面 积比值	挽回损 失率/%	防治面积 与发生面 积比值	挽回损 失率/%
	Control area/ occurrence area	Loss recovery rate	Control area/ occurrence area	Loss recovery rate	Control area/ occurrence area	Loss recovery rate	Control area/ occurrence area	Loss recovery rate	Control area/ occurrence area	Loss recovery rate
二化螟 <i>Chilo suppressalis</i>	1.45	89.21	1.42	88.55	1.19	89.51	1.88	79.83	1.37	81.65
三化螟 <i>Tryporyza incertulas</i>	1.91	87.24	1.31	85.84	1.80	88.12	—	—	1.21	76.97
稻纵卷叶螟 <i>Cnaphalocrocis medinalis</i>	1.37	92.13	1.22	86.83	1.12	83.43	1.32	72.90	1.33	80.33
褐飞虱 <i>Nilaparvata lugens</i>	1.48	92.70	1.26	88.43	2.18	83.77	0.65	73.94	1.40	85.15
白背飞虱 <i>Sogatella furcifera</i>	1.33	91.41	1.24	88.55	1.23	87.00	2.48	82.62	1.18	85.94
灰飞虱 <i>Laodelphax striatellus</i>	1.22	91.66	1.52	84.71	1.70	88.40	2.21	83.83	1.56	86.31

2.4 水稻主要害虫防控情况分析

如表 3 所示,各产区病虫害防控主要依赖化学农药,生物防治和物理防治应用面积相对较小。其中,东北稻区化学防治措施应用的占比最高(94.09%),华中稻区和华南稻区生物防治占比较高,分别为 21.58%和 21.79%,西南稻区物理防治面积占比相对较高(7.30%)。近年来,各产区响应

国家号召,减少化学农药的使用,化学防治面积均有所下降,且物理和生物防治面积稳步上升。其中,物理防控措施中,历年各稻区灯光防治面积情况有所不同。近 11 年来,华中稻区和西南稻区灯光诱杀技术覆盖率较高,但具有一定的波动性,华北稻区、华南稻区和东北稻区灯光诱杀技术覆盖率偏低(图 4)。

表 3 2010 年—2020 年我国水稻五大产区主要害虫防治措施面积

Table 3 Control areas of major pests in five rice producing regions in China from 2010 to 2020

年份 Year		防治面积/万 hm ² 次 Control area								
		华中稻区 Central China region			华南稻区 South China region			西南稻区 Southwest China region		
		化学防治 Chemical control	生物防治 Biological control	物理防治 Physical control	化学防治 Chemical control	生物防治 Biological control	物理防治 Physical control	化学防治 Chemical control	生物防治 Biological control	物理防治 Physical control
2010	8 858.24	2 104.80	125.79	1 394.29	294.76	10.12	470.29	54.12	6.46	
2011	7 820.31	2 091.35	102.87	1 242.57	264.75	11.78	1 565.84	52.19	13.70	
2012	8 671.08	2 098.33	179.56	1 267.77	284.54	10.50	1 196.42	73.32	26.86	
2013	7 757.02	2 004.54	259.63	1 414.89	293.70	12.13	1 091.51	885.73	473.61	
2014	7 830.74	1 820.67	112.96	1 337.02	284.97	14.37	1 073.52	76.06	41.77	
2015	7 991.87	1 745.02	81.11	1 267.77	284.54	10.50	1 017.35	112.69	50.22	
2016	8 671.08	2 098.33	179.56	1 267.77	284.54	10.50	1 196.42	73.32	26.86	
2017	6 873.91	1 838.45	141.39	1 249.12	328.98	23.73	895.12	148.86	76.59	
2018	5 139.88	2 097.40	157.99	850.67	416.99	27.19	668.27	167.60	84.97	
2019	4 863.60	2 263.86	170.53	822.99	440.68	30.88	633.51	184.88	74.54	
2020	5 604.94	2 285.40	224.07	1 194.34	571.36	41.02	542.11	171.57	54.96	
平均	Average	7 120.35	1 999.93	149.25	1 213.74	343.55	19.09	919.68	187.12	87.12
占比	Proportion	76.81%	21.58%	1.61%	77.00%	21.79%	1.21%	77.03%	15.67%	7.30%

年份 Year		防治面积/万 hm ² 次 Control area					
		东北稻区 Northeast China region			华北稻区 North China region		
		化学防治 Chemical control	生物防治 Biological control	物理防治 Physical control	化学防治 Chemical control	生物防治 Biological control	物理防治 Physical control
2010		670.12	29.34	5.24	211.20	12.48	1.34
2011		752.85	16.75	2.22	168.09	18.02	2.07
2012		973.50	37.50	2.50	259.23	24.10	3.67
2013		1 038.46	44.69	2.95	274.69	22.35	3.92
2014		1 039.55	34.06	3.18	271.00	24.39	4.49
2015		982.05	35.30	2.17	233.48	25.21	4.18
2016		973.50	37.50	2.50	259.23	24.10	3.67
2017		1 094.17	41.34	9.11	202.12	23.82	4.97
2018		835.89	63.18	8.45	179.82	34.41	6.17
2019		911.05	96.84	11.82	185.47	48.93	5.62
2020		912.64	140.80	12.81	193.00	57.20	6.56
平均	Average	927.61	52.37	5.87	219.38	28.89	4.31
占比	Proportion	94.09%	5.31%	0.60%	86.86%	11.44%	1.70%

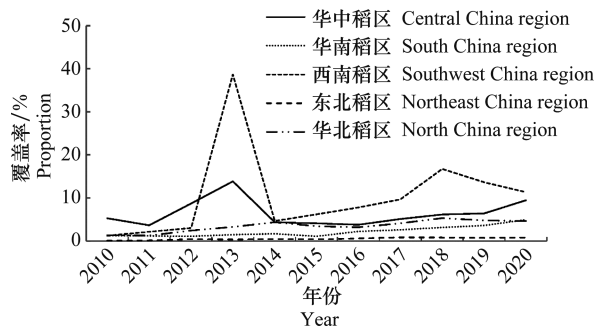


图 4 2010 年—2020 年我国五大稻区灯光诱杀技术覆盖率

Fig. 4 Application proportion of light trapping technology in five rice producing regions in China from 2010 to 2020

3 讨论

根据 11 年来我国各水稻主产区害虫发生为害情况分析,二化螟、稻纵卷叶螟、褐飞虱和白背飞虱是造成我国水稻产量损失的主要害虫,但五大水稻产区间害虫发生为害情况存在较大差异。其中,钻蛀型害虫二化螟会造成水稻“枯心”“白穗”和“虫伤株”^[11],是东北稻区、西南稻区和华北稻区的头号害虫,但在华南稻区为害很轻。二化螟幼虫越冬期耐寒能力较强,在降雨量偏少、温度偏低的年份发生较为严重,且高温、高湿对其有明显的抑制作用^[12]。同时随着全球气候变暖,二化螟越冬幼虫死亡率低,为害期延长^[13],导致其在我国大部分稻区均可发生且造成巨大的产量损失。靠近北方的稻区,四季温差大,降雨量少,而由于西南稻区与东北稻区气候环境较为相似,因此二化螟在东北稻区、西南稻区和华北稻区整体发生为害严重。

从整体上看,“两迁”害虫在我国中南部的华中稻区、华南稻区和西南稻区发生较为严重。“两迁”害虫的发生程度与迁入虫量、气候条件、水稻品种及栽培管理措施均有着密切关系。稻区冬季温度直接影响迁飞性害虫的越冬范围和越冬虫量,暖冬连年发生,理论上会导致越冬区域的扩大和越冬虫量的增加^[14]。稻纵卷叶螟以幼虫取食水稻叶片为害,其幼虫和蛹的抗寒能力较弱,在我国北纬 30°以北地区不能越冬^[15],在稻纵卷叶螟由南迁入的过程中,迁入种群多降落在相对湿度在 75% 以上的地面^[16],这可能是稻纵卷叶螟在湿度较大、温度较高的华南稻区造成产量损失占比高的主要原因之一。稻飞虱主

要种类有褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱,造成我国水稻产量损失较高的种类是褐飞虱和白背飞虱,除了在西南稻区冬季有少量虫源存活外,在中国其他大部分地区均不能越冬。褐飞虱和白背飞虱的春秋两季初始虫源主要来自于国外,其迁入量取决于越南湄公河三角洲不同月份的降雨量^[17]。褐飞虱喜湿热,幼虫耐寒能力差,且干旱胁迫会对雌成虫的取食和产卵造成不利影响^[18],在我国华中稻区和华南稻区发生为害较重;白背飞虱以长江流域发生面积大,其耐寒和飞翔能力强,繁殖力比褐飞虱低,在我国西南稻区和华南稻区造成产量损失占比较高,且白背飞虱在西南稻区的发生情况重于褐飞虱。灰飞虱喜低湿,不耐高温,但耐低温能力较强,由北向南为害递减,以东北稻区和华北稻区发生频繁,而在其他产区造成产量损失较低。

我国水稻害虫防控的产量损失挽回率整体上维持在较高水平,说明我国水稻害虫防治取得了阶段性胜利。目前,全国各产区的防治措施主要以化学防治为主,物理防治和生物防治为辅。化学农药的不科学使用导致我国水稻害虫产生了不同程度的抗药性,如二化螟和稻纵卷叶螟对有机磷类及沙蚕毒素类杀虫剂产生了较高水平的抗性^[19],褐飞虱对吡虫啉已经产生高水平-极高水平抗性^[20]。二化螟、稻纵卷叶螟夜晚活动能力强,具有较强的趋光性,灯光诱杀法可有效防控鳞翅目昆虫,同时干扰其交配和繁衍^[21-24],我国华中稻区和西南稻区部分省份如湖北、四川的灯光诱杀面积较大。我国近年来提倡病虫害绿色防控,生产中应适当减少传统化学农药的使用,更加重视生物防治和物理防治。各稻区应根据自身的实际情况,制定符合实际需求的病虫害绿色防控策略。一是科学用药。根据病虫害基数,优化施药方式,进行早期化学防控,减少后期施药次数,同时兼顾害虫抗药性,选用高效低毒药剂,合理轮换使用^[25]。二是合理施肥,减肥控害。稻纵卷叶螟在氮肥多、稻叶嫩绿、郁闭度大的田块发生严重,适度减肥不仅可降低生产成本,还有利于减轻病虫害发生程度^[26-27]。三是重视绿色防控技术的研发与推广。一方面,可重点研制新型纳米农药,其在减少农药使用量、提升农药利用率等方面优势明显^[28-31],同时 RNA 农药近年来研发进程加速,其研制及应用

有望改变传统化学农药的使用现状,促进农业绿色发展^[32-35];另一方面,应加大成熟绿色防控技术的推广普及,如推进灯光诱杀、生物农药等技术的大规模田间应用^[36]。

我国水稻害虫防控应采取分区域治理对策,因地制宜,及时调整防治策略。各产区植保工作人员应根据气象数据,及时关注并预测本区重发、难防的害虫,如华南稻区应重点关注稻纵卷叶螟、褐飞虱和白背飞虱;西南稻区应重点关注二化螟、稻纵卷叶螟和白背飞虱;东北稻区应重点关注二化螟和灰飞虱;华北稻区应重点关注二化螟和稻纵卷叶螟;华中稻区要兼顾四大害虫的防控。总体来说,各稻区应遵循“预防为主,防治结合,综合治理”的策略,建立并完善主要害虫的预测预报系统,在田间设立监测站,并结合气象数据和虫源地数据分析预测害虫发生为害程度。同时,因部分水稻害虫具有迁飞特性,应不断优化测报调查手段,各基层工作人员可利用互联网、手机短信、微信、APP等多种途径发布病虫信息,掌握同稻区及临近稻区的害虫发生情况,推进害虫的现代化治理。

参考文献

- [1] 章秀福,王丹英,方福平,等. 中国粮食安全和水稻生产[J]. 农业现代化研究, 2005, 26(2): 85-88.
- [2] 王瑞彬,赵翠萍. 中国水稻生产区域格局变动及影响分析[J]. 农业展望, 2014, 10(10): 39-43.
- [3] 杨普云,任彬元. 促进农作物病虫害绿色防控技术推广应用—2011至2017年全国农作物重大病虫害防控技术方案要点评述[J]. 植物保护, 2018, 44(1): 6-8.
- [4] 邓华,欧阳承. 宁国市中西部地区2018年水稻主要虫害的发生规律与防治策略[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(9): 77.
- [5] 丁旗. 东北地区常见水稻病虫害的发生与防治[J]. 吉林农业, 2017(16): 66.
- [6] 明坤,闫硕. 近几年我国棉花主要病虫害发生及防控情况分析[J]. 棉花科学, 2020, 42(3): 13-19.
- [7] 马中正,任彬元,李天娇,等. 近年北方一作主产区马铃薯病虫害发生及防控情况分析[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(1): 48-51.
- [8] 王璐,洪素娣,闫硕. 丹阳市小麦病虫害综合防控工作现状和思考[J]. 中国植保导刊, 2018, 38(12): 86-91.
- [9] 任彬元,马中正,李天娇,等. 西南混作区马铃薯病虫害发生动态及防控工作建议[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(5): 78-83.

- [10] 李春广,汤金仪. 植物保护统计技术与方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2013: 96-114.
- [11] 裴海英. 黑龙江省二化螟发生规律及其生物防治的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2003.
- [12] 丁丽玲,林佩霞,潘伟乔. 二化螟在不同气象条件下发生的变化与分析[J]. 现代化农业, 2019(8): 54-56.
- [13] 衣宝靖. 水稻二化螟发生规律及防治技术[J]. 北方水稻, 2014, 44(5): 52-53.
- [14] 罗举,刘宇,龚一飞,等. 我国水稻“两迁”害虫越冬情况调查[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(1): 253-260.
- [15] 钟承茂. 稻纵卷叶螟的为害症状与发生规律[J]. 农技服务, 2008, 25(1): 40.
- [16] 包云轩,曹云,谢晓金,等. 中国稻纵卷叶螟发生特点及北迁的大气背景[J]. 生态学报, 2015, 35(11): 3519-3533.
- [17] 霍治国,陈林,叶彩玲,等. 气候条件对中国水稻稻飞虱为害规律的影响[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(1): 97-102.
- [18] 罗定,徐红星,杨亚军,等. 利用PEG6000模拟研究干旱胁迫对褐飞虱取食和产卵的影响[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(6): 731-736.
- [19] 唐涛,符伟,王培,等. 不同类型杀虫剂对水稻二化螟及稻纵卷叶螟的田间防治效果评价[J]. 植物保护, 2016, 42(3): 222-228.
- [20] 王彦华,李永平,陈进,等. 褐飞虱对吡虫啉敏感性的时空变化及现实遗传力[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(4): 421-426.
- [21] YAN Shuo, ZHU Jialin, ZHU Weilong, et al. The expression of three opsin genes from the compound eye of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) is regulated by a circadian clock, light condition and nutritional status [J/OL]. PLoS ONE, 2014, 9(10): e111683. DOI:10.1371/journal.pone.0111683.
- [22] 闫硕,李慧婷,朱威龙,等. 光强对棉铃虫交配行为的影响[J]. 昆虫学报, 2014, 57(9): 1045-1050.
- [23] LI Huiting, YAN Shuo, LI Zhen, et al. Dim light during scotophase enhances sexual behavior of the oriental tobacco budworm *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Florida Entomologist, 2015, 98(2): 690-696.
- [24] 闫硕,秦萌,赵守歧,等. 夜蛾复眼视觉与灯诱反应[J]. 中国植保导刊, 2017, 37(6): 30-35.
- [25] 张帅. 2019年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(3): 64-69.
- [26] 郑许松,成丽萍,王会福,等. 施肥调节对稻纵卷叶螟发生和水稻产量的影响[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(9): 1619-1624.
- [27] 张舒,赵华,吕亮,等. 不同化肥农药减施组合对水稻主要病虫害发生及产量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(6): 1-7.
- [28] YAN Shuo, HU Qian, LI Jianhao, et al. A star polycation acts as a drug nanocarrier to improve the toxicity and persistence of botanical pesticides [J]. ACS Sustainable Chemistry

and Engineering, 2019, 7(20): 17406 – 17413.

[29] 闫硕, 沈杰. 纳米技术在害虫绿色防控领域的应用与展望[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(4): 617 – 624.

[30] YAN Shuo, CHENG Wenyu, HAN Zehua, et al. Nanometerization of thiamethoxam by a cationic star polymer nanocarrier efficiently enhances the contact and plant-uptake dependent stomach toxicity against green peach aphids [J]. Pest Management Science, 2020, 77(4): 1954 – 1962.

[31] WANG Xiaodan, ZHENG Kangkai, CHENG Wenyu, et al. Field application of star-polymer-delivered chitosan to amplify plant defense against potato late blight [J/OL]. Chemical Engineering Journal, 417: 129327. DOI:10.1016/j.cej.2021.129327.

[32] ZHENG Yang, HU Yiseng, YAN Shuo, et al. A polymer/detergent formulation improves dsRNA penetration through the body wall and RNAi-induced mortality in the soybean aphid *Aphis glycines* [J]. Pest Management Science, 2019, 75(7): 1993 – 1999.

[33] YAN Shuo, QIAN Jin, CAI Chong, et al. Spray method application of transdermal dsRNA delivery system for efficient gene silencing and pest control on soybean aphid *Aphis glycines* [J]. Journal of Pest Science, 2020, 93(1): 449 – 459.

[34] YAN Shuo, REN Binyuan, ZENG Bo, et al. Improving RNAi efficiency for pest control in crop species [J]. BioTechniques, 2020, 68(5): 283 – 290.

[35] YAN Shuo, REN Binyuan, SHEN Jie. Nanoparticle-mediated double-stranded RNA delivery system: a promising approach for sustainable pest management [J]. Insect Science, 2021, 28(1): 21 – 34.

[36] 徐红星, 郑许松, 田俊策, 等. 我国水稻害虫绿色防控技术的研究进展与应用现状[J]. 植物保护学报, 2017, 44(6): 925 – 939.

(责任编辑: 田 喆)

~~~~~

(上接 232 页)

[9] 汤亚飞, 裴凡, 李正刚, 等. 基于小 RNA 深度测序技术鉴定侵染广东辣椒的病毒种类[J]. 中国农业科学, 2019, 52(13): 2256 – 2267.

[10] 谢雪花. 小 RNA 深度测序鉴定草莓病毒的研究及草莓快繁体系的优化[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.

[11] LIU Qili, LI Yongqiang, SONG Puwen, et al. Diversity of viruses infecting sweet potato in Beijing based on small RNA deep sequencing and PCR or RT-PCR detection [J]. Journal of General Plant Pathology, 2020, 86: 283 – 289.

[12] 陈柳, 邢冬梅, 刘正雄, 等. 京郊设施蔬菜黄瓜花叶病毒的检测[J]. 中国农学通报, 2015, 31(20): 82 – 85.

[13] 褚明听, 魏然, 席昕, 等. 北京地区不同草莓品种 5 种主要病毒的检测[C]//彭友良, 李向东. 中国植物病理学会 2017 年学术年会论文集. 北京: 中国农业科技出版社, 2017: 217.

[14] 冉策. 京郊草莓病毒病调查及病毒检测技术应用[D]. 北京: 北京农学院, 2015.

[15] THOMPSON J R, JELKMANN W. Strain diversity and conserved genome elements in strawberry mild yellow edge virus [J]. Archives of Virology, 2004, 149(10): 1897 – 1909.

[16] 王佳, 崔高峰, 祝宁, 等. 北京地区设施草莓 8 种病毒的酶联免疫吸附测定检测[J]. 微生物学通报, 2021, 48(3): 1048 – 1056.

[17] 陈柳, 冉策, 尚巧霞, 等. 草莓轻型黄边病毒北京分离物的 CP 基因序列分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31(3): 229 – 233.

[18] 范旭东, 董雅凤, 张尊平, 等. ‘阳光玫瑰’葡萄病毒小 RNA 测序鉴定及 RT-PCR 检测[J]. 植物病理学报, 2019, 49(6): 749 – 755.

[19] 钱亚娟, 徐毅, 周琦, 等. 利用深度测序技术发掘植物病毒资源[J]. 中国科学: 生命科学, 2014, 44(4): 351 – 363.

[20] 崔丽艳, 庞小静, 齐永红, 等. 利用小 RNA 深度测序技术鉴定半夏病毒病原[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2018, 34(12): 1334 – 1341.

[21] 苏秀, 徐毅, 陈莎, 等. 利用小 RNA 深度测序和组装技术鉴定紫藤花叶病原[J]. 植物病理学报, 2015, 45(1): 88 – 92.

[22] HE Yan, YANG Zuokun, HONG Ni, et al. Deep sequencing reveals a novel closterovirus associated with wild rose leaf rosette disease [J]. Molecular Plant Pathology, 2015, 16(5): 449 – 458.

[23] 刘晓璇, 李威霖, 张彤, 等. 番茄斑驳花叶病毒海南分离物全基因组序列分析[J]. 热带作物学报, 2019, 40(1): 139 – 144.

[24] 杨洪一, 李丽丽, 代红艳, 等. 草莓斑驳病毒分子变异及 PCR 检测技术研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 1983 – 1988.

[25] MRAZ I, PETRZIK K, FRÁNOVÁ – HONETSLEGROVÁ J, et al. Detection of strawberry vein banding virus by polymerase chain reaction and dot blot hybridization [J]. Acta Virologica, 1997, 41(4): 241 – 242.

[26] 苗立祥, 荣宁宁, 张豫超, 等. 实时荧光定量 PCR 法检测草莓镶脉病毒[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(6): 1030 – 1036.

[27] 王建辉, 刘建军, 陈克玲, 等. 草莓轻型黄边病毒检测研究[J]. 西南农业学报, 2016, 29(12): 2866 – 2870.

[28] 王玉坤, 张放, 祝庭耀. 国内草莓生产现状与发展趋势[J]. 北方园艺, 2003(6): 6 – 7.

[29] 常琳琳, 董静, 钟传飞, 等. 中国育成草莓品种的系谱分析[J]. 果树学报, 2018, 35(2): 158 – 167.

(责任编辑: 田 喆)