

# 近年来中国马铃薯晚疫病的时空演变特征 及防控情况分析

李洁<sup>1</sup> 闫硕<sup>1</sup> 张芳<sup>2</sup> 李小波<sup>3</sup> 任彬元<sup>2</sup> 胡同乐<sup>4</sup>

国立耘<sup>1</sup> 窦道龙<sup>1,5</sup> 王晓丹<sup>1\*</sup>

(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;

3. 广东省农业科学院作物研究所, 广州 510640; 4. 河北农业大学植物保护学院, 保定 071001;

5. 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095)

**摘要:**为系统全面地了解马铃薯晚疫病在我国的发生演变特征及防控情况,基于2008—2017年国家统计局官方数据、《中国农业统计资料》《全国植保专业统计资料》及全国马铃薯品种分布等数据,对全国及各马铃薯产区晚疫病的发生及防治情况进行综合量化分析。结果表明:马铃薯晚疫病在我国连年发生,年平均发生面积约197.47万hm<sup>2</sup>,占马铃薯总种植面积的40.66%;晚疫病造成马铃薯年平均产量损失占有病害所致产量损失的63.54%,远高于其他病害,损失巨大;在我国马铃薯4大产区中,马铃薯晚疫病在北方一作区的年平均发生面积最大,约73.44万hm<sup>2</sup>,而在西南混作区造成的年平均产量损失最高,约14.29万t;晚疫病发生与马铃薯种植区域的重心在空间上呈现相似的迁移趋势;以费乌瑞它为代表的高感晚疫病品种在全国大面积种植,但近年来部分抗病品种的种植面积正在逐年增加;近年来我国对马铃薯晚疫病的防治面积大幅度提升,但仍太过依赖化学防治,应加大绿色防控技术的推广和应用力度。

**关键词:**马铃薯晚疫病;马铃薯产区;时空演变特征;发生;防控

## Analysis of spatio-temporal characteristics and control of potato late blight in recent years in China

Li Jie<sup>1</sup> Yan Shuo<sup>1</sup> Zhang Fang<sup>2</sup> Li Xiaobo<sup>3</sup> Ren Binyuan<sup>2</sup> Hu Tongle<sup>4</sup>

Guo Liyun<sup>1</sup> Dou Daolong<sup>1,5</sup> Wang Xiaodan<sup>1\*</sup>

(1. College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. National Agro-Tech Extension

and Service Center, Beijing 100125, China; 3. Crop Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences,

Guangzhou 510640, Guangdong Province, China; 4. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University,

Baoding 071001, Hebei Province, China; 5. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University,

Nanjing 210095, Jiangsu Province, China)

**Abstract:** In order to systematically and comprehensively analyze the occurrence characteristics of potato late blight in China in recent years, the occurrence and control of late blight in major potato farming regions of China were quantified based on the official data from National Bureau of Statistics (2008—2017), China Agriculture Statistical Report, National Plant Protection Statistics, and the distribution of potato varieties, etc. The results showed that late blight occurred every year in the last ten years, on an average annual acreage of  $197.47 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, accounting for 40.66% of the total national potato planting acreage. The average annual yield loss caused by late blight was huge, accounting for 63.54% of potato

基金项目: 国家自然科学基金(32061130211, 32072507), 广东省重点研发项目(2020B020219002)

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: xdwang@cau.edu.cn

收稿日期: 2021-06-24

yield losses caused by all diseases. Among the four farming regions, the northern region had the largest annual occurrence acreage of about  $73.44 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, and the southwestern region had the highest average annual yield loss of about  $14.29 \times 10^4$  tons. The distribution of late blight occurrence changed in a similar trend to that of the potato planting areas. The susceptible varieties Favorite as a representative, were still planted in a large area across the country, but in recent years, some resistant varieties have been planted with an increasing area. The control of late blight in China has been greatly improved in recent years, but it still relied too much on chemical application. Therefore, the application of green control technologies should be strengthened.

**Key words:** potato late blight; potato farming region; spatial-temporal characteristics; occurrence; control

我国已跃居成为世界马铃薯第一生产大国,根据联合国粮食与农业组织FAO统计数据,2019年我国马铃薯种植面积达491.47万hm<sup>2</sup>,鲜薯产量约9188.14万t。根据各地耕作制度、地理位置、气候特点和栽培环境等因素,我国马铃薯种植区域分为北方一作区、中原二作区、西南混作区和南方冬作区4大产区,形成了马铃薯周年生产的格局(黄凤玲等,2017)。近年来,我国马铃薯产业得到长足发展,但是平均单产始终处于较低水平,且显著低于世界水平(崔勇等,2021),其中,由卵菌致病疫霉*Phytophthora infestans*引起的晚疫病连年发生是马铃薯产量停滞不前的重要限制性因素(马中正等,2020)。

我国马铃薯种植面积广泛,以晚疫病、早疫病、病毒病、黑胫病和疮痂病等为代表的病害以及蚜虫、二十八星瓢虫*Henosepilachna vigintioctopunctata*、蛴螬和金针虫等地下害虫为代表的虫害发生严重,威胁着马铃薯产业的健康发展,其中晚疫病是马铃薯生产中的第一大毁灭性病害,在全国各马铃薯种植区均普遍发生,严重时减产可达50%(高玉林等,2019;马中正等,2020)。该病害可侵染马铃薯叶片、茎秆和块茎等部位,具有受气候影响大、流行速度快和危害重的特点,每年在全球马铃薯产区造成巨额的经济损失,严重威胁马铃薯的安全生产(黄冲和刘万才,2016;刘冠求等,2021)。

本研究基于2008—2017年国家统计局官方数据、《中国农业统计资料》及《全国植保专业统计资料》,结合全国马铃薯品种分布数据等,对2008—2017年间我国马铃薯晚疫病的发生、危害、流行特点与防治概况进行分析,以期对马铃薯晚疫病的监测和防治工作提供数据支持和防治建议。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试数据来源:马铃薯种植区域和种植面积主要基于国家统计局官方数据(2008—2017年);马铃

薯总产量及单产年际数据来源于《中国农业统计资料》(2008—2017年);马铃薯晚疫病发生与防治面积、产量损失及各类马铃薯病害发生、所致产量损失等数据来源于全国农技推广服务中心的《全国植保专业统计资料》(2008—2017年);马铃薯种植品种相关数据来源于全国农技推广服务中心(2008—2018年);由于缺乏2012年马铃薯品种分布数据,故未对该年份进行相关数据分析。

马铃薯种植区域划分:北方一作区相关数据选取新疆、内蒙古、吉林、黑龙江、甘肃、宁夏、青海为代表省区,中原二作区选取山东、河南、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南为代表省,西南混作区选择重庆、四川、贵州、云南为代表省市,南方冬作区选择福建、广东、广西为代表省区。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 马铃薯种植面积与产量统计分析

马铃薯种植面积和产量数据以各省(自治区、直辖市)为单位进行统计,种植面积和产量总和为全国数据(不包括台湾省和香港、澳门特别行政区),马铃薯总产量统计以折粮方式进行,即以干物质所占比重进行折粮,将马铃薯与其他主粮以5:1进行折算,即每5份鲜薯折算为1份主粮(以重量计),每公顷马铃薯平均产量为马铃薯单产数据,本文中马铃薯总产量及单产数据均为折粮后数据。

#### 1.2.2 马铃薯晚疫病发生面积和危害损失统计分析

病害发生面积和危害损失数据统计参照《植物保护统计技术与方法》进行(李春广和汤金仪,2013)。马铃薯晚疫病发生面积通过棋盘式、平行跳跃式、对角线五点式等多种取样方法进行随机抽样调查,对特定的调查区部分样点乡的随机病田进行统计,将病田按是否达到防治指标进行划分和占比计算,利用加权平均法获得最终数据,发生面积与种植面积的比值可反映当年病害发生的严重度。

马铃薯晚疫病实际产量损失为经过防治后病害

残存危害造成的产量损失,挽回产量损失为当年经过防治后挽回的产量。马铃薯晚疫病产量损失占比由当年晚疫病造成的实际产量损失与当年马铃薯所有病害造成产量总损失的比值来反映,同时马铃薯晚疫病挽回产量损失率通过当年由马铃薯晚疫病造成的挽回产量损失占挽回产量损失与实际产量损失加和的比值来确定。

### 1.2.3 马铃薯4大产区病害发生情况分析

选取马铃薯晚疫病、早疫病、环腐病、病毒病、黑胫病、青枯病、干腐病、疮痂病、根结线虫病及其他病害作为马铃薯4大产区病害研究总体,将病害发生面积、危害损失等数据计入病害总体发生危害情况研究数据,统计方法同1.2.2。

### 1.2.4 马铃薯主要品种种植面积统计分析

马铃薯主要品种种植面积统计以各省(自治区、直辖市)为单位进行统计,单个品种各省(自治区、直辖市)种植面积总和为该品种全国种植面积,所有计入品种的全国种植面积总和为全国马铃薯品种总种植面积数据(不包括台湾省和香港、澳门特别行政区),省内(自治区、直辖市内)种植面积不足1万亩次(约0.07万hm<sup>2</sup>次)的品种不计入。

### 1.2.5 马铃薯晚疫病防治面积统计

目前,防治马铃薯晚疫病主要是化学防治措

施。马铃薯晚疫病防治面积以区县为单位进行统计,人工调查化学施药、种子处理和土壤处理的田块计入马铃薯晚疫病防治面积。

### 1.3 数据分析

采用Excel 2019对数据进行整理分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 2008—2017年我国马铃薯晚疫病总体发生情况

对国家统计局官方数据和《全国植保专业统计资料》进行分析,发现2008—2017年我国马铃薯晚疫病普遍发生,危害严重。2008—2017年全国马铃薯年平均种植面积约为486.75万hm<sup>2</sup>,马铃薯晚疫病年平均发生面积约为197.47万hm<sup>2</sup>,约占马铃薯总种植面积的40.66%(图1-A)。进一步分析相关产量损失数据发现,2008—2017年全国由马铃薯所有病害引起的年平均产量损失约59.28万t,其中晚疫病造成的产量损失约37.67万t,占比高达63.54%,远高于其他病害(图1-B)。在马铃薯晚疫病大发生年份,如2012年马铃薯晚疫病(病级为5级)在全国大暴发,造成的马铃薯产量损失占有病害引起的马铃薯总产量损失的69.80%,部分病田几乎绝产,同时导致由病害引起的马铃薯总产量损失也大幅度上升,表明晚疫病严重威胁着马铃薯的安全生产。

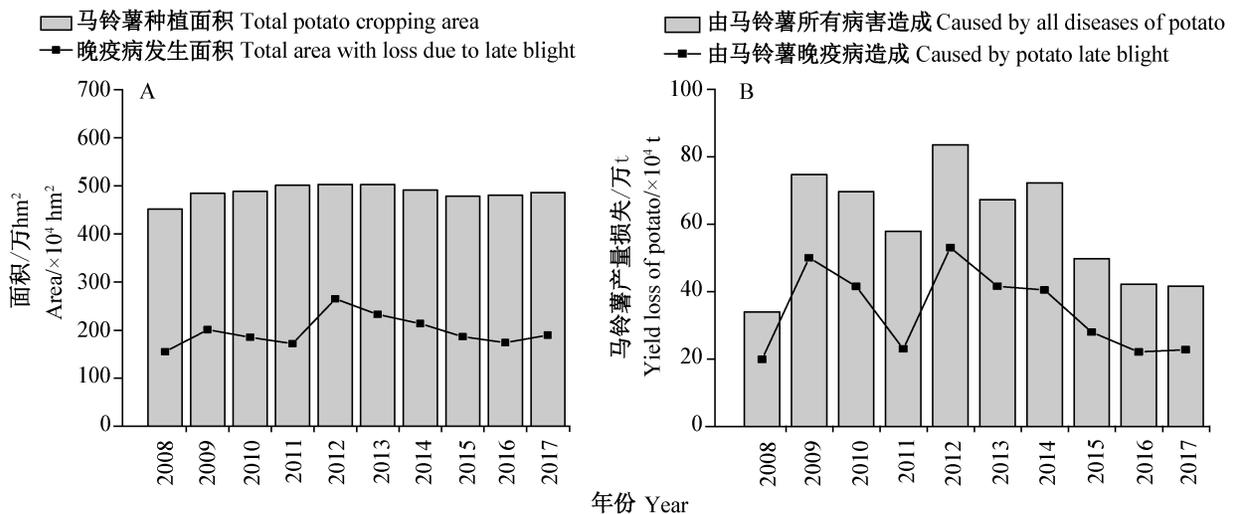


图1 2008—2017年中国马铃薯晚疫病的发生与危害情况

Fig. 1 Occurrence acreage of and yield loss from potato late blight in China during 2008—2017

### 2.2 2008—2017年我国4大马铃薯产区晚疫病发生情况

对《全国植保专业统计资料》(2008—2017年)中相关数据进行分析,发现全国马铃薯各类病害发生严重,其中晚疫病在不同产区的发生程度存在明显差异。2008—2017年间,马铃薯晚疫病年平均发生面积最大的产区是北方一作区,约为73.44万hm<sup>2</sup>,

其次是西南混作区,马铃薯晚疫病年平均发生面积约67.01万hm<sup>2</sup>,中原混作区马铃薯晚疫病年平均发生面积约24.69万hm<sup>2</sup>,南方冬作区马铃薯晚疫病年平均发生面积最少,约2.22万hm<sup>2</sup>(图2-A)。除此之外,通过对2008—2017年各马铃薯产区内的产量损失情况进行比较,发现晚疫病在西南混作区引起的

马铃薯年平均产量损失最高,约14.29万t,其次是北方一作区,晚疫病引起的马铃薯年平均产量损失约12.45万t,中原二作区和南方冬作区晚疫病引起的马铃薯年平均产量损失分别为6.23万t和0.31万t(图2-B)。由所有病害引起的马铃薯总产量损失在马铃薯4大产区间差异较大,但各产区内由所有病害引起的马铃薯年平均产量损失趋势与由晚疫病引起的马铃薯年平均产量损失趋势高度一致,说明晚疫病的发生严重威胁着马铃薯的安全生产(图2-C)。

我国马铃薯种植区域主要集中于中西部地区,但是近年来逐渐向西南地区发展,云南、贵州和四川等省马铃薯的种植面积逐年增加,西南混作区逐渐发展为我国马铃薯的优势产区;中原二作区和南方冬作区马铃薯种植面积略有增加;北方一作区马铃薯种植面积呈先上升后下降趋势,且近年来种植面积下降明显(图2-D)。与此同时,我国晚疫病的发生重心随着马铃薯种植区域的变化也发生了类似偏移。综合2008—2017年《全国植保专业统计资料》

中我国马铃薯晚疫病发生数据,其中,以北方一作区甘肃省的马铃薯晚疫病发生面积最大,平均发生面积为36.29万 $\text{hm}^2$ ,但是近年来北方一作区马铃薯晚疫病发生面积有所下降,2017年马铃薯晚疫病发生面积较2008—2017年10年间平均发生面积下降了约15.65%,仅为45.15万 $\text{hm}^2$ ;而西南混作区贵州、云南、重庆和四川等省市马铃薯晚疫病发生面积大幅度增加,自2016年贵州省超越甘肃省成为全国马铃薯晚疫病发生最严重的省份,2017年该省马铃薯晚疫病发生面积位列全国第一,为27.93万 $\text{hm}^2$ ,且西南混作区该年马铃薯晚疫病的发生面积占全国马铃薯晚疫病发生总面积的比例高达51.73%;中原二作区湖北省在2017年的马铃薯晚疫病发生面积增加至19.73万 $\text{hm}^2$ ,当年该区的马铃薯晚疫病发生面积与2008—2017年10年间马铃薯晚疫病平均发生面积相比上涨了约19.28%,这与我国马铃薯种植区域的迁移趋势一致。

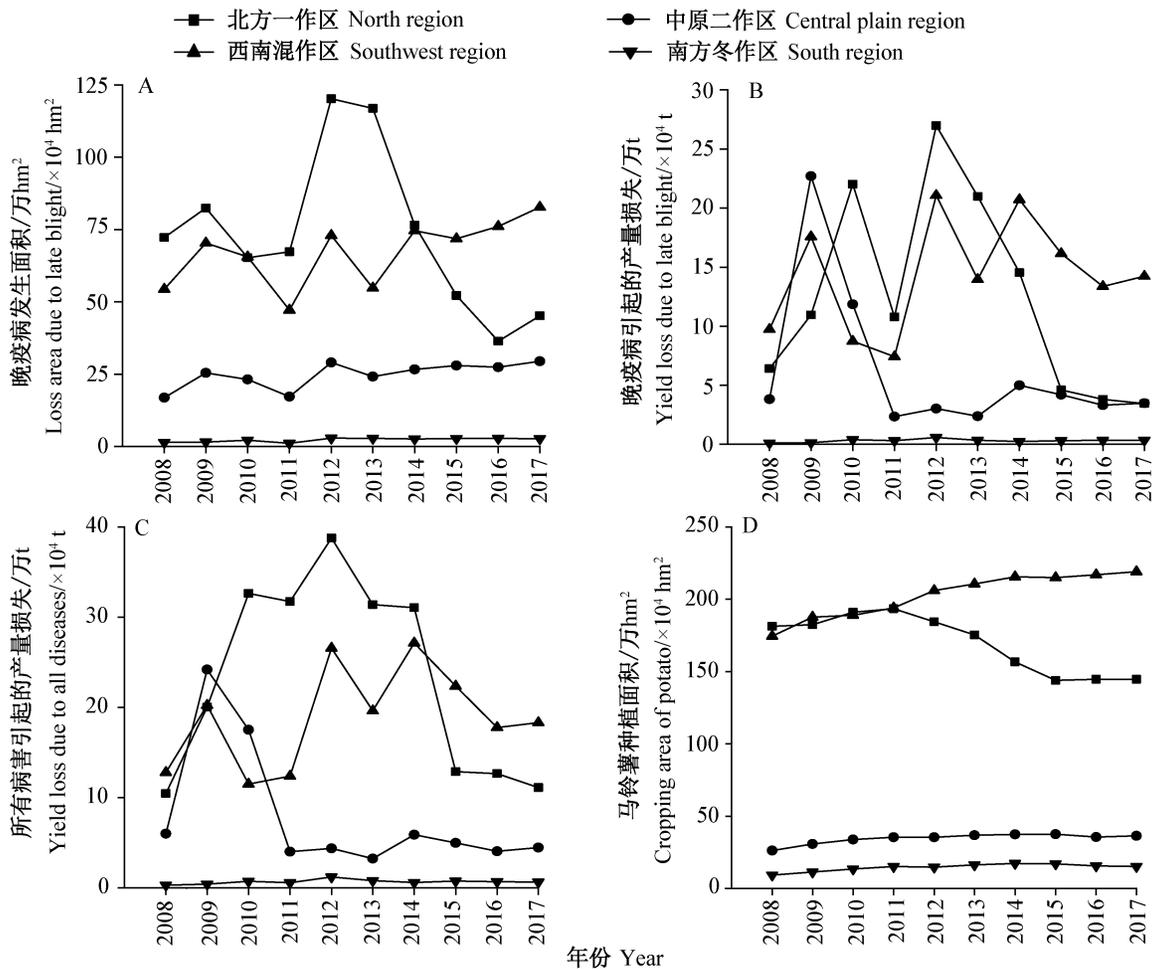


图2 2008—2017年中国马铃薯4大产区晚疫病发生危害情况和马铃薯种植面积

Fig. 2 Occurrence acreage of late blight and cropping area of potato in four potato farming regions of China during 2008—2017

### 2.3 晚疫病在4大马铃薯产区内的危害程度

由于各产区内马铃薯种植面积差异较大,进一步统计分析各产区内晚疫病的发生和损失比例,发现晚疫病是每个产区内危害最严重的病害。通过分析2018—2017年《全国植保专业统计资料》中马铃薯4大产区各病害的发生面积,发现马铃薯晚疫病在各产区内的年平均发生面积占病害总体年平均发生面积的比例最高,其中西南混作区和中原二作区内马铃薯晚疫病发生最严重,占比分别达到64.48%和61.49%,区内第2大病害马铃薯早疫病发生面积占比仅为16.16%和11.81%;北方一作区和

南方冬作区内马铃薯早疫病等病害相比其他产区发生较重,但马铃薯晚疫病仍是发生面积最大的病害,危害严重(图3-A)。同时,将2008—2017年马铃薯4大产区各病害引起的产量损失进行比较,发现晚疫病是各个产区内的头号病害,其中在中原二作区和西南混作区,由晚疫病引起的马铃薯年平均产量损失占区内所有病害所致产量损失的比例分别为79.16%和75.73%,远高于其他病害;在北方一作区和南方冬作区内,晚疫病引起的马铃薯年平均产量损失占比分别为53.50%和46.97%,受晚疫病危害也十分严重(图3-B)。

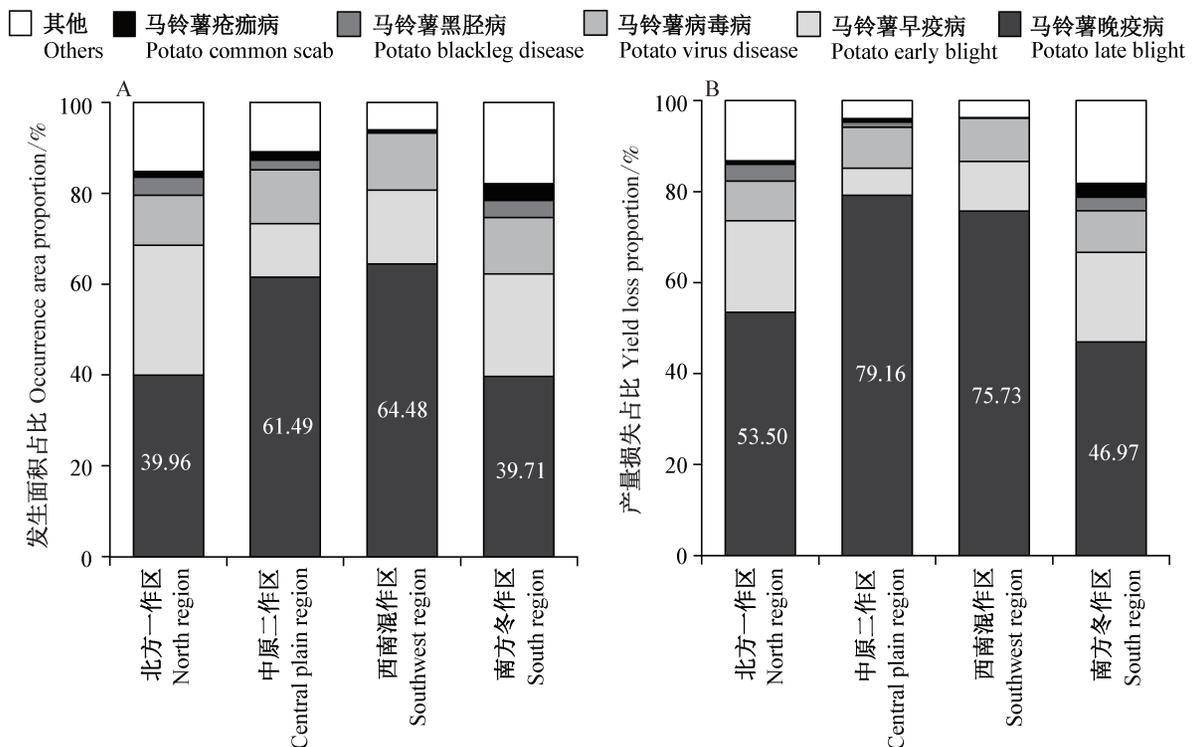


图3 2008—2017年中国4大马铃薯产区病害的总体发生情况

Fig. 3 Occurrence acreage of potato diseases in four potato farming regions of China during 2008—2017

### 2.4 2008—2018年我国主栽马铃薯品种更迭情况

对2008—2018年我国马铃薯品种的统计分析结果表明,全国所有马铃薯品种年平均种植面积约为479.58万 $\text{hm}^2$ ,按照品种年平均种植面积进行排序,前10位的马铃薯品种种植面积之和约占马铃薯品种总种植面积的50.98%,依次是克新1号、费乌瑞它、米拉、威芋3号、会-2号、陇薯3号、青薯9号、鄂马铃薯5号、合作88和青薯168,其中克新1号年均种植面积达68.86万 $\text{hm}^2$ ,约占全国所有马铃薯品种年平均种植面积的14.36%,但近年来种植面积逐年下降,2018年仅余33.47万 $\text{hm}^2$ ;而易感晚疫病品种费乌瑞它近年来种植面积不断扩大,在2017年和2018年的种植面积居全国各马铃薯品种中的首位,

在山东、内蒙古、四川、河北、贵州、广西和陕西等多个省区均有广泛种植;主栽品种米拉的种植面积呈先上升后下降趋势,2014年达到峰值之后逐渐下降;从2013年起对晚疫病有一定抗性的新品种青薯9号的种植面积和种植省份逐年增加,2018年的种植面积位列全国第2,为45.80万 $\text{hm}^2$ (表1)。表明我国马铃薯主栽品种在2008—2018年发生了更迭。

### 2.5 马铃薯晚疫病防治面积统计

统计分析2008—2017年《中国农业统计资料》马铃薯产量和全国农业技术推广中心的晚疫病防治面积相关数据,发现近年来马铃薯晚疫病防治面积已有大幅提升,自2012年马铃薯晚疫病大暴发之后,2013年马铃薯晚疫病防治面积达到最大,为

333.19万hm<sup>2</sup>(图4)。但近年来防治面积略有下降, 推测与近年来马铃薯晚疫病发生有所缓解有关。

表1 2008—2018年中国主栽马铃薯品种的种植面积变化

Table 1 Cropping area changes of dominant potato varieties in China during 2008—2018  $\times 10^4$  hm<sup>2</sup>

年份 Year	克新1号 Kexin No. 1	费乌瑞它 Favorita	米拉 Mira	威芋3号 Weiyu No. 3	会-2号 Hui-2	陇薯3号 Longshu No. 3	青薯9号 Qingshu No. 9	鄂马铃薯 5号 Emalingshu 5	合作88 Cooperation 88	青薯168 Qingshu No. 168	其他 Others
2008	75.80	21.67	15.87	21.87	14.60	15.67	-	7.07	2.80	10.93	262.33
2009	75.18	17.50	20.34	24.07	20.43	16.82	-	12.89	6.68	12.51	291.83
2010	79.60	21.47	19.88	25.37	30.26	11.29	-	12.82	8.37	14.17	272.37
2011	83.19	33.33	19.06	26.07	24.35	20.39	-	15.71	7.49	12.76	278.14
2013	78.57	40.73	47.40	25.73	25.66	27.95	4.74	18.38	12.84	8.95	190.60
2014	77.67	49.39	53.51	24.57	22.52	23.13	8.05	16.87	13.13	9.75	186.58
2015	68.82	49.03	43.10	19.30	25.80	16.33	16.19	18.80	12.01	8.17	209.36
2016	64.76	56.07	44.68	15.34	16.53	15.85	25.19	15.39	10.92	6.15	221.64
2017	51.52	57.73	17.75	11.77	12.57	12.70	40.12	13.03	11.98	4.13	220.25
2018	33.47	65.27	12.36	13.97	10.81	9.98	45.80	7.63	10.33	5.67	217.88
平均 Average	68.86	41.22	29.39	20.81	20.35	17.01	14.01	13.86	9.65	9.32	235.10

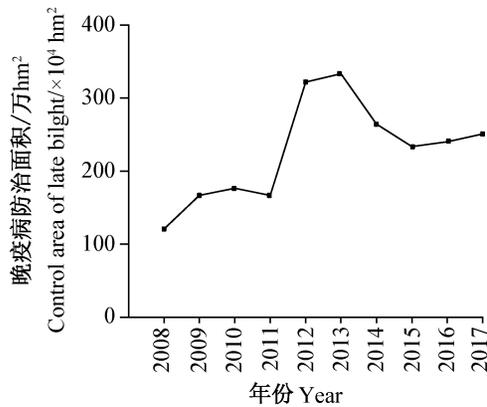


图4 2008—2017年中国马铃薯晚疫病防治面积

Fig. 4 Change of acreage where potato late blight was controlled in China during 2008—2017

在2009—2010年我国由晚疫病引起的马铃薯产量损失较高,马铃薯产量损失挽回率仅为60.55%和61.46%,马铃薯单产水平(折粮后)仅为2 883 kg/hm<sup>2</sup>和3 133 kg/hm<sup>2</sup>(表2)。自2012年我国马铃薯晚疫病大流行之后,随着种植户对晚疫病的认识和防治意识不断加强,晚疫病的防治面积和防治强度大幅度提升,而有效的防治手段使晚疫病造成的马铃薯产量损失在逐年下降,自2016年起马铃薯产量损失挽回率上升至78.00%,2017年马铃薯单产水平(折粮后)上升到3 641 kg/hm<sup>2</sup>,说明种植者对于晚疫病防控意识和防治水平的提升在马铃薯的安全生产中是必不可少的环节。

表2 2008—2017年中国马铃薯产量及由马铃薯晚疫病所致产量损失的变化

Table 2 Yearly change in potato yield and loss due to late blight in China during 2008—2017

年份 Year	总产量(折粮后)/万t Total production (conversion)/ $\times 10^4$ t	单产(折粮后) Yield (conversion)/ (kg/hm <sup>2</sup> )	防治后挽回产量/万t Yield loss recovered through various control measures/ $\times 10^4$ t	晚疫病所致 实际产量损失/万t Yield loss caused by potato late blight/ $\times 10^4$ t	产量损失挽回率 Yield loss recovery rate/%
2008	1 415.6	3 036	55.58	21.88	71.75
2009	1 464.6	2 883	87.76	55.03	61.46
2010	1 630.7	3 133	70.11	45.68	60.55
2011	1 765.8	3 256	59.86	25.31	70.28
2012	1 855.2	3 354	147.45	58.31	71.66
2013	1 918.8	3 418	113.54	45.78	71.27
2014	1 910.3	3 428	102.26	44.55	69.66
2015	1 897.2	3 438	85.82	30.78	73.60
2016	1 947.7	3 462	86.29	24.33	78.00
2017	1 769.6	3 641	76.79	25.05	75.40

马铃薯总产量及单产均为折粮后数据(马铃薯:其他主粮=5:1)。The total production and yield per hm<sup>2</sup> representative the conversion data (potato: staple food grain=5:1).

### 3 讨论

2008—2017年我国马铃薯各产区晚疫病连年发生,其中在2009年和2012年大暴发,各大产区发病程度存在着明显的地域差异。2012年我国晚疫病发生严重,根据相关报道,当年全国年平均降水量显著增加,部分地区阴雨连绵,田间湿度较大,一定程度上造成了当年全国马铃薯晚疫病的大暴发,说明晚疫病发生受年度气候条件影响较大(朱红秀等,2013;黄冲和刘万才,2016)。此外,本研究发现晚疫病的发生与当地的气候条件也密切相关,如贵州、湖北和重庆等省市冷凉、湿度大的地区晚疫病发生普遍较重。西南混作区将是马铃薯晚疫病防治工作中的重点区域,该区马铃薯种植面积广,地形地貌复杂,生态和气候类型多样,马铃薯播种期的气候条件很适宜晚疫病发生,加之马铃薯种植水平参差不齐,晚疫病防控水平差异较大,极易造成晚疫病大流行,病害比虫害发生更严重。中原二作区多个省份湿润多雨,也是马铃薯晚疫病发生的重灾区,发生面积超过70%,损失严重。此外,我国东北地区如黑龙江省的气候条件也非常适宜晚疫病的发生与流行,每年的7月至8月正值马铃薯生长结薯期,雨量充沛,早晚气温较低,适宜晚疫病发生和流行,中心病株迅速扩散,快速形成区域大流行,晚疫病发生严重,田间病株率甚至可达100%(李平松等,2017)。由此可见,气候条件是决定我国马铃薯晚疫病大发生的主要因素,也是晚疫病发生区域存在差异的重要原因。

我国马铃薯晚疫病发生范围广、产量损失重,在各个产区内均为头号病害,且危害程度远超其他病害,严重威胁着马铃薯产业安全,但目前防治工作仍存在着较大困难,其中致病疫霉毒力增强、生理小种构成复杂化是晚疫病难防的重要原因之一(徐建飞和金黎平,2017)。致病疫霉生理小种的组成和变化对马铃薯晚疫病的发生和流行有着直接影响(王姝玮等,2020),该病原菌是半活体营养型的卵菌疫霉,其生活史可以在无性生殖与有性生殖之间进行世代交替,一方面,病菌通过A1、A2两种交配型异宗配合的方式进行有性生殖并产生适应性更强的厚壁卵孢子,进一步使晚疫病菌产生新的变异和重组,病原菌致病力增强(王腾等,2018);另一方面,能够克服抗病基因 $R1\sim R11$ 的晚疫病菌超级毒力小种在云南、甘肃、内蒙古、四川、河北和湖北等省区均曾出现,甚至成为云南和甘肃等省的优势小种(王腾等,2017),我国现有抗晚疫病马铃薯品种的主效基因抗性正在

逐渐被克服,加之我国不同产区之间马铃薯的引种和调种频繁,为晚疫病的发生和大流行形成了有利条件,培育新的广谱、抗晚疫病品种迫在眉睫。

我国在相当长时期内大面积种植易感晚疫病的品种,造成晚疫病连年发生,防控压力加大,而选育和推广种植适合我国气候特点和栽培模式,兼具丰产、高抗等特点的马铃薯品种是预防晚疫病大流行的关键。纵观我国几大主栽品种,其中克新1号具有60多年的栽培历史,种植早期对晚疫病有一定抗性,但随着晚疫病菌群体的不断变化,该品种对晚疫病的抗性逐渐丧失(张建新和姚凤兰,2018);近年来仍具有广泛种植面积的老牌品种米拉、费乌瑞它和大西洋等主要通过国外引种选育方式形成(武新娟等,2021),经过气候和人为选择后,遗传背景非常狭窄,且品种和育种材料存在着很大的近交现象(殷丽丽等,2015)。随着时间的推移和种植范围的扩大,引进品种逐渐展现出了不适应国内气候和配套栽培技术、易感晚疫病等弊端,如近年来种植面积跃升首位的马铃薯品种费乌瑞它,具有极易感晚疫病的特点(田宇豪等,2021),给晚疫病防控工作带来了巨大的挑战。目前,防治马铃薯晚疫病最经济有效的方法仍是种植抗病品种(李丹等,2019),我国先后育成了合作88、青薯9号和云薯等多个具有一定晚疫病抗性的马铃薯品种(王鹏等,2018),这些抗性品种的大面积推广一定程度上缓解了品种感病性带来的巨大防控压力,也体现了马铃薯实际生产中对抗晚疫病品种的极大需求。

我国马铃薯种植户种植技术参差不齐,对晚疫病的防控意识和防控技术较为落后,目前仍太过依赖于化学防治,加之绿色防控产品可选择性较低,是当前晚疫病防控工作中亟需提高的短板。西南混作区中晚疫病引起的产量损失最高,而我国西南地区的马铃薯多种植于地势不平的山区,种植户防病意识薄弱,机械化水平较低,无法科学精确施药,技术严重不成熟是施药效果不佳的主要限制因素之一,这种现象在晚疫病发生较集中的种植产区更严重(周倩等,2016;高玉林等,2019),如贵州省马铃薯病虫害平均防治覆盖率明显低于全国平均水平(任彬元等,2015),2008—2014年该地区马铃薯病虫害平均防治覆盖率尚不到70%,而云南省和四川省的平均防治覆盖率都超过了110%(杨普云等,2018),防控力度仍需加强。与此同时,虽然农药绿色防控替代产品的需求日益提高,但目前登记在册的晚疫病生物源农药仅有3种(徐进等,2019),限制了生物防治

技术的大面积推广和应用,加之可用于晚疫病的物理防治措施有限,导致我国马铃薯晚疫病的防治工作仍主要依赖于化学防治。我国是世界上农药使用量最多的国家(李紫辉等,2019),目前登记防治对象为马铃薯晚疫病的杀菌剂类型众多,约有191种,其中施用代森锰锌、甲霜灵、氟啶胺和啞菌酯等杀菌剂是防治晚疫病最广泛的防治手段(徐进等,2019),化学药剂的大量施用给环境造成了严重污染,也容易导致晚疫病菌产生抗药性,出现耐药的超强菌株。

针对我国马铃薯晚疫病的时空演变特点,马铃薯晚疫病的防控工作应注意以下几点:一是提高种薯质量,清除病薯、切断病菌的初侵染来源,将种薯进行拌种处理等也能有效预防晚疫病的发生并提高单产水平(李扬等,2020)。二是加强田间栽培管理,提高种植户的防控意识,合理密植、水肥和间套作得当、及时排水、注意田间通风、追肥等操作是提高马铃薯产量和预防晚疫病发生的重要手段(高玉林等,2019;傅童成等,2020)。三是合理利用品种抗性和品种布局,加大适宜本地区种植且抗病品种的推广和种植,避免品种单一化。四是做好马铃薯晚疫病的预防工作,一方面对田间病情进行实时调查,参照相关行业规范进行田间系统普查,在发现晚疫病侵染的第一时间点前喷药,及时拔除中心病株(李丹等,2019),防止病情大面积扩散;另一方面加强晚疫病的监测预报,健全我国特别是偏远、落后地区的马铃薯晚疫病监测预警系统(张斌等,2016;黄冲等,2017;任彬元等,2019),根据气候、温湿度等因素预判晚疫病的发生程度,及时发出预警,把握好马铃薯晚疫病的最佳防控时机。五是推广绿色防控技术,加强绿色防控产品的研发和应用,提升生物农药、微生物源农药的数量,科学环保地进行晚疫病防控工作。六是建立晚疫病联防联控机制,筛选高效植保机械,提高化学药剂使用效率和施用技术,因地制宜地使用飞防等措施,特别是在持续雨季,及时施药,减少晚疫病造成的损失。

### 参 考 文 献 (References)

- Cui Y, Lei YY, Wang XY. 2021. Analysis of potato planting and trading in the world over the past 30 years. *China Vegetables*, (6): 1-10 (in Chinese) [崔勇, 雷雨颜, 王晓媛. 2021. 30多年来世界马铃薯种植及交易情况分析. *中国蔬菜*, (6): 1-10]
- Fu TC, Tang CC, Jiao DC, Ke JH, Yang BH, Zhou J, Du LJ, Yue Y, Peng Y, Tang X. 2020. Cultivation technique influences on nutritional and edible qualities of potato. *Chinese Potato Journal*, 34(6): 366-373 (in Chinese) [傅童成, 唐朝臣, 焦大春, 柯剑鸿, 杨波华, 周见, 杜伦静, 岳媛, 彭艳, 唐鑫. 2020. 栽培技术对马铃薯营养和食用品质的影响. *中国马铃薯*, 34(6): 366-373]
- Gao YL, Xu J, Liu N, Zhou Q, Ding XH, Zhan JS, Cheng XY, Huang J, Lu YW, Yang YH. 2019. Current status and management strategies for potato insect pests and diseases in China. *Plant Protection*, 45(5): 106-111 (in Chinese) [高玉林, 徐进, 刘宁, 周倩, 丁新华, 詹家绥, 成新跃, 黄剑, 鲁宇文, 杨宇红. 2019. 我国马铃薯病虫害发生现状与防控策略. *植物保护*, 45(5): 106-111]
- Huang C, Liu WC. 2016. Occurrence characteristics and monitoring advice of potato late blight in China in recent years. *Plant Protection*, 42(5): 142-147 (in Chinese) [黄冲, 刘万才. 2016. 近几年我国马铃薯晚疫病流行特点分析与监测建议. *植物保护*, 42(5): 142-147]
- Huang C, Liu WC, Zhang B. 2017. Application and assessment of a warning model, CARAH, for potato late blight in China. *Plant Protection*, 43(4): 151-157, 166 (in Chinese) [黄冲, 刘万才, 张斌. 2017. 马铃薯晚疫病CARAH预警模型在我国的应用及评价. *植物保护*, 43(4): 151-157, 166]
- Huang FL, Zhang L, Li XD, Cai DX. 2017. Development situation and countermeasures of China's potato industry. *Agricultural Outlook*, 13(1): 25-31 (in Chinese) [黄凤玲, 张琳, 李先德, 蔡典雄. 2017. 中国马铃薯产业发展现状及对策. *农业展望*, 13(1): 25-31]
- Li CG, Tang JY. 2013. Statistical technique and method of plant protection. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, pp. 96-114 (in Chinese) [李春广, 汤金仪. 2013. 植物保护统计技术与方法. 北京: 中国农业科学技术出版社, pp. 96-114]
- Li D, Zhao LY, Guo GX, Feng MY, Xian D, Wen J. 2019. Field resistance and yield of 37 potato varieties to late blight in Bijie City. *Agricultural Technology Service*, 36(4): 25-27 (in Chinese) [李丹, 赵立屿, 郭国雄, 冯明义, 先丹, 文静. 2019. 毕节市37个马铃薯品种对晚疫病的田间抗性及其产量表现. *农技服务*, 36(4): 25-27]
- Li PS, Ma YC, Ma S, Xia WM, Yuan SM, Lu Y. 2017. Study on losses evaluation of diseases and pests and weeds of potato. *China Fruit Vegetable*, 37(1): 38-41 (in Chinese) [李平松, 马永翠, 马沙, 夏维敏, 袁盛敏, 陆英. 2017. 马铃薯病虫害损失评估试验. *中国果菜*, 37(1): 38-41]
- Li Y, Wang J, Tang JZ, Zhang J, Hu Q, Pan ZH, Pan XB. 2020. Analysis of production characteristics, restrictive factors, and strategies for main potato production areas in China. *Chinese Potato Journal*, 34(6): 374-382 (in Chinese) [李扬, 王靖, 唐建昭, 张君, 胡琦, 潘志华, 潘学标. 2020. 中国马铃薯主产区生产特点、限制因子和对策分析. *中国马铃薯*, 34(6): 374-382]
- Li ZH, Wen XY, Lü JQ, Li JC, Yi SJ, Qiao D. 2019. Analysis and prospect of research progress on key technologies and equipments of mechanization of potato planting. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 50(3): 1-16 (in Chinese) [李紫辉, 温信宇, 吕金庆, 李季成, 衣淑娟, 乔丹. 2019. 马铃薯种植机械化关键技术与装备研究进展分析与展望. *农业机械学报*, 50(3): 1-16]
- Liu GQ, Cui L, Wan B, Zhou HN, Pan JQ, Meng LW, Zhou RJ. 2021.

- Epidemic regularity and prevention and control measures of potato late blight. *Horticulture & Seed*, 41(4): 89-90 (in Chinese) [刘冠求, 崔亮, 万博, 周桦楠, 潘家荃, 孟令文, 周如军. 2021. 马铃薯晚疫病的流行规律与防控措施. *园艺与种苗*, 41(4): 89-90]
- Ma ZZ, Ren BY, Zhao ZH, Li CG, Shen J, Yan S. 2020. Comparative analysis of the occurrence and control of pests and diseases in four major potato producing areas in China in recent years. *Journal of Plant Protection*, 47(3): 463-470 (in Chinese) [马中正, 任彬元, 赵中华, 李春广, 沈杰, 闫硕. 2020. 近年我国马铃薯四大产区病虫害发生及防控情况的比较分析. *植物保护学报*, 47(3): 463-470]
- Ren BY, Ma ZZ, Li TJ, Zhao ZH, Li CG, Wang WX, Yan S. 2019. Occurrence dynamics and control suggestions of potato disease and insect pests in the southwest mixed cropping region. *China Plant Protection*, 39(5): 78-83 (in Chinese) [任彬元, 马中正, 李天娇, 赵中华, 李春广, 王万兴, 闫硕. 2019. 西南混作区马铃薯病虫害发生动态及防控工作建议. *中国植保导刊*, 39(5): 78-83]
- Ren BY, Yang PY, Zhao ZH. 2015. Current situation and prospect of potato pest control in China. *China Plant Protection*, 35(10): 27-31 (in Chinese) [任彬元, 杨普云, 赵中华. 2015. 我国马铃薯病虫害防治现状与前景展望. *中国植保导刊*, 35(10): 27-31]
- Tian YH, Yin Y, Zhang XY, Cui HH, Ding HY, Yang JY, Zhang W, Gan B, Qin YZ. 2021. Comparison test of different autumn potato varieties in Hunan. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 49(12): 47-51 (in Chinese) [田宇豪, 尹燕, 张幸媛, 崔红红, 丁红映, 杨佳怡, 张微, 甘斌, 秦玉芝. 2021. 湖南秋作马铃薯新品种比较试验. *安徽农业科学*, 49(12): 47-51]
- Wang P, Li FD, Guo TS, Dou JH, Qi XD, Xie WQ, Luo ZX, Yang C, Zhao ZL, Lü T. 2018. Identification and evaluation of late blight resistance and yield of potato varieties. *Chinese Potato Journal*, 32(4): 199-204 (in Chinese) [王鹏, 李芳弟, 郭天顺, 窦俊焕, 齐小东, 颜炜清, 罗照霞, 杨晨, 赵中梁, 吕汰. 2018. 马铃薯育成品种晚疫病抗性及其产量的鉴定与评价. *中国马铃薯*, 32(4): 199-204]
- Wang SW, Yin WS, Yan X, Wang R, Feng MY, Zeng C, Li TQ, Zhang B. 2020. Investigation and occurrence characteristics of major potato insect pests and diseases in Guizhou Province. *Tillage and Cultivation*, 40(2): 31-34 (in Chinese) [王姝玮, 尹文书, 颜兴, 王蓉, 冯明义, 曾琛, 李添群, 张斌. 2020. 贵州省马铃薯主要病虫害发生种类及危害特点. *耕作与栽培*, 40(2): 31-34]
- Wang T, Ma S, Sun JY, Ru JR. 2017. Research progress in physiological race of *Phytophthora infestans* in China. *Chinese Potato Journal*, 31(1): 45-53 (in Chinese) [王腾, 马爽, 孙继英, 汝甲荣. 2017. 中国马铃薯晚疫病病菌生理小种研究进展. *中国马铃薯*, 31(1): 45-53]
- Wang T, Sun JY, Ru JR, Wang LC. 2018. Research progress in mating type of *Phytophthora infestans* of China. *Chinese Potato Journal*, 32(1): 48-53 (in Chinese) [王腾, 孙继英, 汝甲荣, 王立春. 2018. 中国马铃薯晚疫病病菌交配型研究进展. *中国马铃薯*, 32(1): 48-53]
- Wu XJ, Tang G, Sui DH, Zhang DX, Sun J, Zhang JH, Zhang K, Song PH, Wu YX. 2021. Evaluation index selection and drought resistance identification of 20 potato varieties. *China Cucurbits and Vegetables*, 34(3): 47-51 (in Chinese) [武新娟, 唐贵, 隋冬华, 张冬雪, 孙晶, 张静华, 张鹏, 宋鹏慧, 吴雨蹊. 2021. 20个马铃薯品种抗旱性鉴定及评价指标筛选. *中国瓜菜*, 34(3): 47-51]
- Xu J, Zhu JH, Yang YL, Tang H, Lü HP, Fan MS, Shi Y, Dong DF, Wang GJ, Wang WX, et al. 2019. Status of major diseases and insect pests of potato and pesticide usage in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 52(16): 2800-2808 (in Chinese) [徐进, 朱杰华, 杨艳丽, 汤浩, 吕和平, 樊明寿, 石瑛, 董道峰, 王贵江, 王万兴, 等. 2019. 中国马铃薯病虫害发生情况与农药使用现状. *中国农业科学*, 52(16): 2800-2808]
- Xu JF, Jin LP. 2017. Advances and perspectives in research of potato genetics and breeding. *Scientia Agricultura Sinica*, 50(6): 990-1015 (in Chinese) [徐建飞, 金黎平. 2017. 马铃薯遗传育种研究: 现状与展望. *中国农业科学*, 50(6): 990-1015]
- Yang PY, Wang K, Li JM, Li WX, Yin JM. 2018. Promoting green agricultural development through eliminating pesticide overuses in crop pest management. *Plant Protection*, 44(5): 95-100 (in Chinese) [杨普云, 王凯, 厉建萌, 李文星, 尹俊梅. 2018. 以农药减量控害助力农业绿色发展. *植物保护*, 44(5): 95-100]
- Yin LL, Xing BL, Liu F, Wang GM. 2015. Research progress of breeding methods and status of potato. *Journal of Agriculture*, 5(12): 9-13 (in Chinese) [殷丽丽, 邢宝龙, 刘飞, 王桂梅. 2015. 马铃薯育种方法及研究进展. *农学学报*, 5(12): 9-13]
- Zhang B, Geng K, Li TQ, Lu JP, Lu XH, Pan LM, Tan XF. 2016. Observation of the occurring time of center disease plants of potato late blight at different altitudes and its prediction with CARAH model. *China Plant Protection*, 36(5): 40-43 (in Chinese) [张斌, 耿坤, 李添群, 陆金鹏, 陆晓欢, 潘礼梅, 谈孝凤. 2016. CARAH模型预测不同海拔马铃薯晚疫病中心病株出现时间观察. *中国植保导刊*, 36(5): 40-43]
- Zhang JX, Yao FL. 2018. Field trial efficacy of several fungicides against potato late blight. *Agrochemicals*, 57(7): 532-535 (in Chinese) [张建新, 姚凤兰. 2018. 杀菌剂防治马铃薯晚疫病田间药效试验. *农药*, 57(7): 532-535]
- Zhou Q, Qin YZ, Wu QY, Xiong XY. 2016. Research advances on resistance breeding of potato late blight. *Molecular Plant Breeding*, 14(4): 929-934 (in Chinese) [周倩, 秦玉芝, 吴秋云, 熊兴耀. 2016. 马铃薯晚疫病抗病育种研究进展. *分子植物育种*, 14(4): 929-934]
- Zhu HX, Cao YQ, Fang P. 2013. The climate characteristics of the popular occurrence of potato late blight epidemic, Liangshan Prefecture in 2012. *Journal of Xichang College (Natural Science Edition)*, 27(2): 11-15 (in Chinese) [朱红秀, 曹艳秋, 房鹏. 2013. 凉山州2012年马铃薯晚疫病偏重发生的气候特征. *西昌学院学报(自然科学版)*, 27(2): 11-15]

(责任编辑:李美娟)