

农作物是人类赖以生存和繁衍的物质基础，人类社会的发展史也是一个不断将植物驯化成农作物的过程。农作物的种类繁多，既有谷类、豆类、薯芋等粮食作物和纤维、油料、糖料、茶叶等经济作物，也有白菜、番茄、辣椒等蔬菜作物，柑橘、苹果、梨等果树作物，西瓜、甜瓜、哈密瓜等水果作物，以及人参、枸杞、黄芪等药用作物。

植物病虫害是影响各种农作物生产的重要因子，人类的农耕文明也是一部与病虫害斗争的史书。我国的季风气候特点和地理特征决定了我国病虫害发生的普遍性与区域流行性，并使我国成为全球农作物病害、虫害、草害、鼠害种类较多且危害较严重的地区之一，近年来的气候变化更加剧了病虫害的为害程度、提高了病虫害的暴发频率。此外，全球经济一体化也导致国外的病虫害不断入侵我国，给农作物生产带来新威胁。据统计，仅我国主要粮食作物的病虫害就超过 1500 种，其中经常严重发生的有 100 多种，年均发生面积 70 亿亩次左右，是全国耕地面积的 3.78 倍，若不进行有效防治，可造成作物产量损失超过 40%。

病虫害防治方法的采用和社会经济的发展阶段有密切的关系。新中国成立之前，传统的农业防治是主要手段。20 世纪 60 年代之后，随着化学工业的发展，化学防治得到了广泛的应用，但也产生了病虫害抗药性、食品安全性和生态环境污染等一系列问题。为解决化学农药过度使用的弊端，我国于 20 世纪 70 年代中期提出了“预防为主，综合治理”的植物保护工作方针。进入 21 世纪，随着国家社会经济的发展和农产品质量安全的提高，2006 年全国植物保护工作会议提出了“公共植保，绿色植保”的理念，化学农药的使用得到了严格的控制。当前，我国已进入高质量发展阶段，新时代的植物保护要满足人民对美好生活的需求，要体现人与自然的和谐发展，要保障粮食安全、农产品质量安全和生态环境安全。

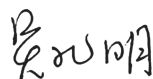
我国政府高度重视新时代的植物保护工作，不断推进依法依规科学防治病虫害进程，于 2020 年颁布实施了《农作物病虫害防治条例》（后简称《条例》）。《条例》明确了病虫害的防治责任，要求健全防治制度和规范专业化防治服务，鼓励并支持开展农作物病虫害防治科技创新和成果转化，推广信息技术和生物技术，推进防治工作的智能化、专业化和绿色化。

为适应当前我国植物保护工作的需要，在科学出版社的大力支持下，我们组织专家编著了“农作物有害生物绿色防控技术丛书”（以下简称丛书）。丛书于 2022 年 2 月启动编撰工作，汇聚了来自中国农业科学院、中国农业大学、全国农业技术推广服务中心等 50 多家科研、教学和管理单位的 1000 余位学者。为保障编写内容的科学性、系统性和权威性，我们组建了由 49 位植物保护知名专家组成的丛书编委会，先后组织召开了 4 次

全体会议，共商撰写计划和要求，分配撰写和审稿任务，解决编撰过程中出现的问题。

丛书包括《农作物重大流行性病害监测预警与区域性控制技术》和《农作物重大迁飞性害虫监测预警与区域性控制技术》2个综合技术分册，以及《水稻有害生物绿色防控技术》《小麦有害生物绿色防控技术》《玉米有害生物绿色防控技术》等38个作物分册，涉及70余种农作物和3000多种病虫害鼠害。为方便读者准确诊断识别各种病虫害鼠害，切实掌握综合防控技术体系，在介绍病虫害鼠形态（或生理）特征、为害症状、生活循环、防控关键技术及其模式的基础上，各分册还配套1~6幅有害生物绿色防控技术挂图。

丛书综合反映了21世纪我国多种农作物病虫害科技创新的成果，也在一定程度上吸收了国际农作物病虫害防控技术的最新进展，内容丰富、系统全面、技术实用、指导性强。我们希望，丛书的出版能为我国植物保护、作物学、园艺学、农业资源环境等相关学科的科研工作者、高校师生，农业技术推广、农业生产管理等部门职员，农业相关企业工作人员，以及基层农技人员和农民朋友提供一套有较高实用价值的植物保护专业全书，在农作物病虫害防治人才培养、科技创新和生产实践活动中发挥积极的作用。



中国工程院院士 吴孔明



中国植物保护学会名誉理事长 陈万权

马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 是产量仅次于小麦、水稻和玉米的世界第四大粮食作物, 但用于直接消费的马铃薯多于玉米, 因此马铃薯也被认为是第三大粮食作物。马铃薯块茎中营养物质丰富, 被誉为“十全十美的全价营养物”, 也是一种粮菜饲兼用的作物。中国是世界马铃薯生产大国, 总产量及总种植面积居世界之首, 马铃薯也是保障我国粮食供给安全的重要粮食作物之一。我国自 2015 年提出马铃薯主粮化政策, 以保障国家粮食安全、推进农业结构调整和促进农民持续增收。

病虫害害是影响马铃薯安全生产的重要生物灾害。据统计, 我国马铃薯生产上常见病虫害害有 50 多种, 常年发生面积约 1 亿亩次, 防治面积 7000 万亩次。若不进行防治, 每年由病虫害害造成的马铃薯产量损失占马铃薯总产量的 20% 以上。某些年份, 一种病虫害害暴发成灾, 便可造成马铃薯绝产。因此, 科学有效地防治病虫害害, 是国家马铃薯稳产保供和粮食安全的重要保障。

我国高度重视农作物有害生物的研究与防控工作, 先后启动并实施了一系列植物保护重大工程和科研项目, 推进相关基础设施建设, 加强对马铃薯病虫害害的理论基础、应用基础、高新技术和关键防治技术的研究, 推动了我国马铃薯病虫害害基础理论和应用技术的快速发展, 取得了一大批研究成果, 显著提升了病虫害害防控技术水平。随着生活质量的提高和消费观念的变化, 人们对食品安全和生态安全提出了新的、更高的要求, 马铃薯病虫害害的防控工作面临新的问题和挑战。新时代必须将植物保护工作纳入人与自然和谐发展的重要组成部分, 突出其对高产、优质、高效、生态和安全农业的保障和支撑作用。自 2006 年农业部 (现称农业农村部, 下同) 提出“公共植保, 绿色植保”理念以来, 植物保护科技工作者积极开展病虫害害绿色防控技术或产品的研发与集成应用, 大幅度减少了化学农药用量, 马铃薯田生态环境得到明显改善, 实现了经济效益、生态效益和社会效益同步增长的目标。

《马铃薯有害生物绿色防控技术》旨在集成新中国成立以来特别是 2006 年以来我国马铃薯病虫害害绿色综合防治策略和技术的发展成果, 反映当今马铃薯病虫害害绿色防控的发展概貌, 同时也在一定程度上借鉴和引用了国际上在马铃薯病虫害害绿色防控方面的最新研究成果。在介绍各种病虫害害的生物学特性的基础上, 重点突出其绿色防控理念、策略及其技术模式的集成与应用, 以促进我国植物保护事业的高质量发展。

本书编撰工作自 2022 年 2 月启动以来, 汇集了来自全国 19 个科研、教学单位的 38 位植物保护领域专家。为保障编撰内容的科学性、准确性和权威性, 我们成立了本书编委会。为确保编撰工作的顺利进行, 先后召开了三次编委会全体会议及三次主编办公会议, 共同制定撰写计划与要求, 分配撰写和审稿任务, 并研究解决编撰过程中

出现的问题。

全书分为绪论、马铃薯病害、马铃薯虫害、马铃薯田草害、马铃薯有害生物绿色防控技术模式集成与示范等 5 章，共收录了近年来我国马铃薯生产上常见的病虫草害 56 种，其中病害 34 种、虫害 10 种、草害 12 种。在写作体例上，着重介绍了每种对象的诊断识别、分布为害、流行（或发生）规律及绿色防控技术，其中防控技术篇幅占 40% 以上。为了方便读者准确诊断识别各类病虫草害、切实掌握各种绿色防控技术，书中附有涉及病虫草形态（或生理）特征、为害症状、侵染循环、防控关键技术及其模式等的插图 320 余幅，书后附有马铃薯有害生物绿色防控技术挂图 4 幅。第一章绪论和第五章马铃薯有害生物绿色防控技术模式集成与示范由张若芳负责撰写，第二章马铃薯病害由董莎萌、田延平、吴健组织撰写，第三章马铃薯虫害由李国清组织撰写，第四章马铃薯田草害由沈艳芬组织撰写。在本书的编撰过程中，全体撰稿者、审稿专家、责任编辑不厌其烦，工作认真细致，付出了巨大的努力。本书编委孙清华承担了大量日常事务，以及与章节负责人、作者和审稿专家的联系、协调等工作。丛书主编、副主编、编委和审稿专家所在单位及科学出版社也给予了大力支持。在此，一并致谢！

经过 4 年的共同努力，本书即将付印。此时此刻，我代表本书编委会，谨向参与本书编撰的所有同行和同事表示诚挚的谢意，也向帮助和支持我们完成这项工作的单位和领导表示衷心的感谢！

由于我们水平有限，疏漏和不足在所难免，期待读者不吝指教。

张若芳

2026 年 2 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 马铃薯产业发展概况	1
一、世界马铃薯生产概况	1
二、中国马铃薯生产概况	2
第二节 马铃薯病虫草害发生情况	3
一、发生种类	3
二、发生区域	3
三、为害程度	4
四、发生趋势	4
五、绿色防控策略与技术	4
第二章 马铃薯病害	5
第一节 马铃薯杂斑病	5
一、诊断识别	5
二、分布为害	7
三、流行规律	7
四、防控技术	8
第二节 马铃薯卷叶病	10
一、诊断识别	10
二、分布为害	11
三、流行规律	11
四、防控技术	12
第三节 马铃薯帚顶病	15
一、诊断识别	15
二、分布为害	16
三、流行规律	17
四、防控技术	18
第四节 马铃薯 A 病毒病	20
一、诊断识别	20

二、分布为害	22
三、流行规律	22
四、防控技术	23
第五节 马铃薯 Y 病毒病	24
一、诊断识别	24
二、分布为害	26
三、流行规律	26
四、防控技术	27
第六节 马铃薯 M 病毒病	28
一、诊断识别	28
二、分布为害	29
三、流行规律	29
四、防控技术	30
第七节 马铃薯 S 病毒病	30
一、诊断识别	30
二、分布为害	32
三、流行规律	32
四、防控技术	32
第八节 马铃薯 X 病毒病	33
一、诊断识别	33
二、分布为害	35
三、流行规律	35
四、防控技术	36
第九节 马铃薯纺锤块茎类病毒病	37
一、诊断识别	37
二、分布为害	39
三、流行规律	40
四、防控技术	40
第十节 马铃薯紫顶萎蔫病	41
一、诊断识别	41
二、分布为害	42
三、流行规律	43
四、防控技术	43
第十一节 马铃薯植原体病	44
一、诊断识别	44

二、分布为害	45
三、流行规律	46
四、防控技术	46
第十二节 茎腐病和软腐病	47
一、诊断识别	47
二、分布为害	50
三、流行规律	50
四、防控技术	52
第十三节 疮痂病和网痂病	54
一、诊断识别	54
二、分布为害	56
三、流行规律	56
四、防控技术	58
第十四节 青枯病	59
一、诊断识别	59
二、分布为害	61
三、流行规律	62
四、防控技术	64
第十五节 环腐病	67
一、诊断识别	67
二、分布为害	68
三、流行规律	69
四、防控技术	70
第十六节 晚疫病	72
一、诊断识别	72
二、分布为害	74
三、流行规律	75
四、防控技术	75
第十七节 绯腐病	79
一、诊断识别	79
二、分布为害	79
三、流行规律	80
四、防控技术	81
第十八节 炭疽病	82
一、诊断识别	82

二、分布为害	83
三、流行规律	84
四、防控技术	85
第十九节 坏疽病	86
一、诊断识别	86
二、分布为害	90
三、流行规律	90
四、防控技术	91
第二十节 银屑病	92
一、诊断识别	92
二、分布为害	93
三、流行规律	94
四、防控技术	94
第二十一节 黑痣病	96
一、诊断识别	96
二、分布为害	97
三、流行规律	97
四、防控技术	99
第二十二节 干腐病	102
一、诊断识别	102
二、分布为害	103
三、流行规律	104
四、防控技术	105
第二十三节 枯萎病	109
一、诊断识别	109
二、分布为害	110
三、流行规律	110
四、防控技术	111
第二十四节 黄萎病	113
一、诊断识别	113
二、分布为害	115
三、流行规律	116
四、防控技术	116
第二十五节 早疫病	117
一、诊断识别	117

二、分布为害	118
三、流行规律	119
四、防控技术	121
第二十六节 粉痂病	122
一、诊断识别	122
二、分布为害	124
三、流行规律	124
四、防控技术	126
第二十七节 灰霉病	127
一、诊断识别	127
二、分布为害	127
三、流行规律	127
四、防控技术	128
第二十八节 腐霉病	128
一、诊断识别	128
二、分布为害	130
三、流行规律	130
四、防控技术	130
第二十九节 马铃薯根结线虫病	131
一、诊断识别	131
二、分布为害	133
三、流行规律	134
四、防控技术	136
第三十节 马铃薯孢囊线虫病	137
一、诊断识别	137
二、分布为害	139
三、流行规律	141
四、防控技术	143
第三十一节 马铃薯腐烂茎线虫病	145
一、诊断识别	145
二、分布为害	146
三、流行规律	148
四、防控技术	150
第三十二节 马铃薯短体线虫病	151
一、诊断识别	151

二、分布为害	152
三、流行规律	152
四、防控技术	153
第三章 马铃薯虫害	155
第一节 桃蚜	155
一、诊断识别	155
二、分布为害	155
三、发生规律	156
四、防控技术	157
第二节 马铃薯瓢虫	159
一、诊断识别	159
二、分布为害	164
三、发生规律	164
四、防控技术	165
第三节 马铃薯甲虫	166
一、诊断识别	166
二、分布为害	169
三、发生规律	169
四、防控技术	169
第四节 双斑萤叶甲	171
一、诊断识别	171
二、分布为害	172
三、发生规律	173
四、防控技术	173
第五节 豆芫菁	175
一、诊断识别	175
二、分布为害	177
三、发生规律	178
四、防控技术	178
第六节 马铃薯块茎蛾	179
一、诊断识别	179
二、分布为害	180
三、发生规律	181
四、防控技术	182

第七节 烟粉虱	183
一、诊断识别	183
二、分布为害	184
三、发生规律	185
四、防控技术	185
第八节 金龟甲	187
一、诊断识别	187
二、分布为害	190
三、发生规律	191
四、防控技术	191
第九节 金针虫	193
一、诊断识别	193
二、分布为害	195
三、发生规律	196
四、防控技术	197
第十节 蝼蛄	198
一、诊断识别	198
二、分布为害	200
三、发生规律	201
四、防控技术	201
第四章 马铃薯田草害	204
第一节 马唐	204
一、诊断识别	204
二、分布为害	205
三、发生规律	205
四、防控技术	206
第二节 无芒稗	207
一、诊断识别	207
二、分布为害	207
三、发生规律	208
四、防控技术	209
第三节 看麦娘	210
一、诊断识别	210
二、分布为害	210
三、发生规律	211

四、防控技术	211
第四节 狗尾草	213
一、诊断识别	213
二、分布为害	213
三、发生规律	214
四、防控技术	215
第五节 藜	216
一、诊断识别	216
二、分布为害	216
三、发生规律	216
四、防控技术	217
第六节 猪殃殃	218
一、诊断识别	218
二、分布为害	219
三、发生规律	220
四、防控技术	220
第七节 酸模叶蓼	221
一、诊断识别	221
二、分布为害	222
三、发生规律	222
四、防控技术	223
第八节 牛膝菊	224
一、诊断识别	224
二、分布为害	224
三、发生规律	225
四、防控技术	226
第九节 鸭跖草	227
一、诊断识别	227
二、分布为害	227
三、发生规律	228
四、防控技术	229
第十节 反枝苋	230
一、诊断识别	230
二、分布为害	230
三、发生规律	231

四、防控技术	232
第十一节 龙葵	233
一、诊断识别	233
二、分布为害	234
三、发生规律	234
四、防控技术	235
第十二节 苍耳	236
一、诊断识别	236
二、分布为害	237
三、发生规律	237
四、防控技术	238
第五章 马铃薯有害生物绿色防控技术模式集成与示范	239
第一节 指导思想与策略	239
第二节 基本思路与要素	239
一、模式集成应以马铃薯田生态系统为管理单元	239
二、模式集成应树立生态观、经济观和环保观	240
三、关键防治技术是技术模式的核心组成部分	240
四、试验示范与技术培训是构建模式的必需环节	240
第三节 技术模式集成与应用	240
一、北方一作区	241
二、中原二作区	244
三、西南混作区	247
四、南方冬作区	248
参考文献	251
附录 马铃薯有害生物绿色防控技术挂图	297



第一章

绪论

第一节 马铃薯产业发展概况

马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 是产量仅次于小麦、水稻和玉米的世界第四大粮食作物，但用于直接消费的马铃薯多于玉米，因此马铃薯也被认为是第三大粮食作物。马铃薯块茎中含蛋白质、维生素 C、维生素 B、类胡萝卜素等多种营养成分，被誉为“十全十美的全价营养物”，是一种粮菜饲兼用作物。中国马铃薯主粮化总体战略的实施将有助于推动居民膳食结构的调整与升级。同时，当前马铃薯单产水平与国际水平的差距远高于小麦、水稻和玉米，提升空间更大。因此，与其他主粮作物有限的增产空间相比，未来中国马铃薯产业的发展将对世界马铃薯产业的稳定乃至世界粮食安全发挥重要作用。

一、世界马铃薯生产概况

尽管马铃薯起源于南美洲，但其广泛分布在世界各地。目前世界马铃薯产地主要集中在亚洲和欧洲，其总种植面积约占世界马铃薯总种植面积的 80%，非洲、美洲和大洋洲约占 20%。全球马铃薯主要种植在南美洲安第斯山脉、亚洲喜马拉雅山脉等高山地区，位于欧洲、北美洲、亚洲的温带耕作区（包括中国、乌克兰、俄罗斯、美国、荷兰、德国等国家），以及低地热带区（包括印度、巴基斯坦、孟加拉国、秘鲁、古巴等国家），其中温带耕作区为马铃薯种植最广泛地区，总种植面积及总产量均占到全球的 50% 以上。1961~2020 年，全球马铃薯年均种植面积 2.86 亿亩（1 亩 $\approx$ 666.7m²），年均总产量 3014.82 亿 kg。2011 年以来，世界马铃薯种植面积呈逐渐下降趋势，由 2011 年的 2.80 亿亩下降到 2020 年的 2.47 亿亩，下降了 11.8%；马铃薯单产水平逐步提升，由 2011 年的 1315.5kg/亩提高到 2020 年的 1451.3kg/亩，增长了 10.3%；而世界马铃薯总产量并未明显下降，基本维持在 3637.0 亿 kg。就全世界马铃薯贸易量而言，1961~2020 年，无论进口量还是出口量，均呈现出明显增长趋势。2011~2020 年，马铃薯进口量由 124.5 亿 kg 增长到 2020 年的 152.0 亿 kg，增长了 22.1%；马铃薯出口量由 2011 年的 122.6 亿 kg 增长到 2020 年的 137.7 亿 kg，增长了 12.3%[2023 年联合国粮食及农业组织（FAO）数据，<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>]。

二、中国马铃薯生产概况

（一）马铃薯种植区域

马铃薯具有耐旱、耐寒、耐瘠薄和适应性广等特点，全国广泛种植，是唯一能在我国各省、自治区、直辖市大面积种植的农作物。按照生态环境和种植特点等差异，可划分为四大产区：一是北方一作区，主要包括新疆、青海、甘肃、宁夏、陕西、内蒙古、黑龙江、吉林、辽宁、河北北部（承德、张家口和保定等地区）和山西北部（太原及以北地区）等地区，是我国重要的种薯生产基地；二是中原二作区，位于大巴山、苗岭以东和南岭、武夷山以北，主要包括山东、安徽、河南、湖南、湖北、江苏、江西、浙江、河北南部（保定以南地区）和山西南部（晋中及以南地区）等地区；三是西南混作区，主要包括西藏、贵州、四川、云南和重庆等地区；四是南方冬作区，位于南岭、武夷山以南，主要包括福建、广东、广西、海南和台湾等地区，是我国重要的商品薯出口基地。中国马铃薯种植面积和总产量均居世界第一，2016~2020年，马铃薯种植面积年均0.71亿亩，总产量年均884.27亿kg，其中西南地区的贵州、四川、云南、重庆和北方地区的甘肃、内蒙古六省（自治区、直辖市）是我国马铃薯主产区，约占我国马铃薯种植面积的66.5%、总产量的64.3%（2020年中国农村统计年鉴数据）。

（二）马铃薯产量

中国是世界马铃薯生产大国，总产量居世界第一位。我国自2015年提出马铃薯主粮化政策，以保障国家粮食安全、推进农业结构调整和促进农民持续增收。“十三五”期间，我国马铃薯鲜薯总产量由2016年的849.25亿kg增长到2020年的899.1亿kg，增长5.9%；种植面积由2016年的0.72亿亩减少到2020年的0.70亿亩，减少2.8%；而单产则由2016年的1179.0kg/亩增长到2020年的1287.4kg/亩，增长9.2%（中国农村统计年鉴数据）。1961~2020年，中国马铃薯进出口量总体上呈增长趋势，特别是自2000年以后，马铃薯出口量有了较大幅度的提升，由2000年的0.45亿kg增长到2020年的4.42亿kg，增长了近9倍；进口量由2000年的0.18亿kg增长到2020年的0.69亿kg，增长了近3倍（FAO数据）。

（三）发展趋势

我国马铃薯产业发展主要存在以下问题：①虽然我国马铃薯总产量居世界第一，但单产水平低，仅为世界平均水平的85%左右，发达国家的30%左右，增产空间较大，而且地区间马铃薯单产水平差异大。②我国优良主栽品种的选育能力不足，种植面积超过100万亩的18个品种多为国外引进的鲜食中晚熟品种，缺乏“优良芯片”问题突出，且育种技术与手段有限。③我国马铃薯生产技术水平还有待进一步提高，包括脱毒种薯普及率较低、水肥管理技术不合理、病虫草害防控技术不到位以及机械化水平偏低等。④我国马铃薯产业链较单一，消费仍以鲜食为主（占到65%以上），加工比例极低（8%~10%），不仅附加值低，而且抵御市场风险能力弱，加工业较落后且生产力不足，

国际竞争力较弱。

未来马铃薯产业发展应以提高单产水平为基础,不断优化马铃薯生产方式,促进马铃薯向优质、高效和绿色生产模式转变,推动马铃薯产业高质量发展。科技创新是推动马铃薯产业高质量发展的重要保障。一是加强马铃薯育种技术攻关,以高产、优质、抗逆等性状为主要目标,运用生物技术加速育种进程,不断培育优良品种;二是加快优质脱毒种薯、合理轮作、高效水肥管理等技术创新与推广,因地制宜提升马铃薯田生产能力;三是加强病虫草害实时监测预警和绿色防控技术研发,提高灾害预警和综合防控技术水平;四是加强机械装备的研发能力,提高马铃薯机械化生产的作业效率;五是充分发挥我国马铃薯产业优势,发展专用型马铃薯品种,提高马铃薯的加工能力,优化马铃薯出口结构,提升产品附加值和国际竞争力。

第二节 马铃薯病虫草害发生情况

一、发生种类

我国马铃薯生产上常见病虫草害有 56 种,其中病害 34 种、虫害 10 种、草害 12 种。发生普遍、危害严重的病害主要有马铃薯晚疫病、早疫病、黑痣病、粉痂病、枯萎病、黄萎病、黑胫病、疮痂病、青枯病、环腐病等,害虫主要有蝼蛄、蛴螬、金针虫等。马铃薯田杂草主要有马唐、无芒稗、看麦娘、狗尾草、藜、猪殃殃、反枝苋等 10 余种。

二、发生区域

我国马铃薯种植区域辽阔,各种植区地理气候条件、主栽品种、栽培模式存在很大差异。马铃薯有害生物的发生和分布与环境条件密切相关,具有地理分布特性。不同马铃薯种植区主要有害生物发生种类既有类似之处,也存在一些差异(黄冲和刘万才,2016a)。

1) 北方一作区:以晚疫病、早疫病、粉痂病、黑痣病、黑胫病、疮痂病、干腐病、蛴螬、桃蚜为主,其次是环腐病、枯萎病、金针虫、蝼蛄等;杂草以无芒稗、藜、反枝苋为主,其次为狗尾草、马唐、苍耳等。

2) 中原二作区:以晚疫病、早疫病、枯萎病、疮痂病、马铃薯瓢虫、蛴螬、蝼蛄为主,其次,本区是桃蚜的常发区,也是黑胫病、青枯病、黑痣病、环腐病等的偶发区;杂草以马唐、无芒稗、看麦娘、狗尾草、藜、猪殃殃、反枝苋为主。

3) 西南混作区:以晚疫病、早疫病、青枯病、蛴螬、马铃薯块茎蛾为主,同时疮痂病、黑胫病等危害也较重;杂草以马唐、无芒稗、看麦娘、狗尾草、藜、猪殃殃、牛膝菊、鸭跖草为主。

4) 南方冬作区:以晚疫病、早疫病为主,其他病害包括青枯病、黑胫病、病毒病、疮痂病、粉痂病、蛴螬、蚜虫、蝼蛄;杂草以牛膝菊、藜、鸭跖草、酸模叶蓼为主。

三、为害程度

病虫草害是限制马铃薯产量及质量提升的重要生物因素，对马铃薯主粮化进程造成严重的影响。据统计，晚疫病在国内各种植区的常年发生面积为 3000 万亩左右，可占播种面积的 46% 以上，导致减产 10%~30%，严重流行时可绝产（黄冲和刘万才，2016b）；早疫病在北方一作区常年发病面积为 1350 万亩左右，发病严重地块可减产 30% 左右；黑胫病在马铃薯各优势产区均有发生，平均发病率 5%~10%，发病严重时影响产量；疮痂病、粉痂病、枯萎病等总发病面积 705 万亩左右，在北方一作区、中原二作区或西南混作区局部区域发病率高达 100%，严重影响产量与薯块质量。蛴螬、蝼蛄、金针虫等马铃薯地下害虫在北方一作区平均发生面积约为 1545 万亩，占种植面积的 20% 左右，造成减产 20%~30%（徐进等，2019）。

四、发生趋势

随着全球气候变化及不同种植区间的合作日趋频繁，马铃薯病虫害发生分布规律也有所变化，总体表现为区域内病害种类增加、发生面积扩大、发病程度加重。马铃薯细菌病害如黑胫病、疮痂病等在各个主产区的发病面积逐年增加，青枯病有北迁趋势；真菌病害如早疫病、粉痂病、黑痣病等在北方一作区发生面积逐步扩大，其中粉痂病在局部地区造成毁灭性危害；境外病虫害如根结线虫、孢囊线虫、马铃薯甲虫等早已入侵，发生面积及严重程度逐年增加；种薯跨区域远距离调运、合格种薯质量评控体系的缺失、机械收获过程中造成的块茎机械损伤和土壤病原的交叉传播等均使黑胫病、疮痂病、粉痂病、黑痣病、环腐病等病害的病原传播速度加快，同时发生区域增大，病原种类增多，防控难度增加。同时，马铃薯细菌病害近年来呈爆发式在各主产区发生，造成严重损失，且无有效药剂防控，由此造成的恐慌迫使种植者在生产中盲目用药、用药技术粗放，造成农田生态环境污染和农产品农药残留超标等问题。因此，马铃薯病虫草害绿色防控技术的研发与推广应用，在有效控制病原群体数量的同时降低化学农药使用量，是新时代农业高质量发展的必然趋势。

五、绿色防控策略与技术

化学农药是有效控制病虫草害的重要生产资料，在保障粮食生产安全的过程中发挥重要作用。然而，我国单位面积上的农药使用量为欧美发达国家的 3.5 倍，对农药的过度依赖带来的农业生产成本的提高、对生态环境条件及农产品安全的威胁，均制约着我国农业的可持续发展。此外，以马铃薯细菌病害为代表的一些重大生物灾害面临着无药可用的窘境。因此，制定依赖于栽培措施、抗病品种选育、合格种薯的认证制度及生防菌剂的施用等的病害综合防控措施，结合可用农药的精准施药措施，是推动马铃薯病害绿色防控进程的主要趋势。

撰稿人：张若芳（内蒙古大学马铃薯中心）

审稿人：吴 健（内蒙古大学马铃薯中心）

第二章

马铃薯病害

第一节 马铃薯杂斑病

一、诊断识别

（一）为害症状

苜蓿花叶病毒 (*Alfalfa mosaic virus*, AMV) 是世界上重要的植物病毒之一，侵染马铃薯叶片引起马铃薯杂斑病 (potato calico) (张鹤龄和郭素华, 1983; 李芝芳, 2004)。马铃薯感染 AMV 后，典型症状为叶片出现亮黄色花叶或斑驳等 (图 2-1)，敏感品种块茎内部出现黄色至褐色坏死 (图 2-2A, B)，块茎外部有时会出现类似挫伤症状

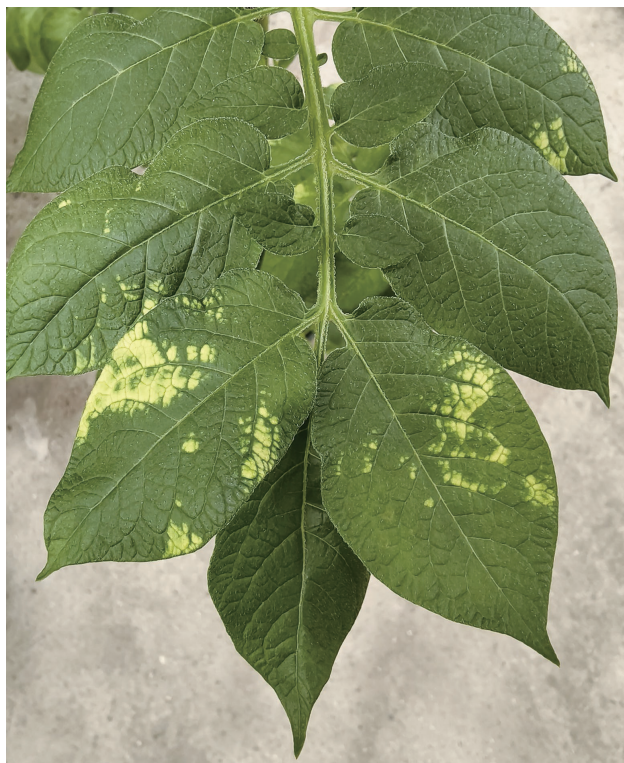


图 2-1 感染 AMV 后马铃薯表现的黄斑花叶症状 (高艳玲 拍摄)

(图 2-2C, 箭头所示), 与块茎内部坏死相关。AMV 能否引起块茎内部坏死与马铃薯品种有关, 与 AMV 分离株无关 (Nie et al., 2020)。植株花叶症状与块茎变小、变形相关 (Slagg, 1952)。AMV 在植物上引起的症状受环境温度影响, 春季快速生长的植物感染 AMV 后, 症状从叶片出现深绿或浅绿色斑驳发展到鲜黄色斑驳, 随着植物的成熟和环境温度的升高, 症状减弱且经常变为隐症, 被称为“恢复” (Zaumeyer, 1963; Miczynski and Hiruki, 1987; Samarfard et al., 2018)。大豆感染 AMV 后的“恢复”现象与植物体内病毒浓度降低有关 (Khatabi et al., 2012)。



图 2-2 马铃薯品种 Innovator 和 Shepody 感染 AMV 块茎症状 (聂先舟 拍摄)

A: 马铃薯品种 Innovator 块茎内部坏死; B: 马铃薯品种 Shepody 块茎内部坏死; C: 马铃薯块茎外部症状, 箭头指向块茎外部挫伤。对照: 健康块茎; AMV: 感染 AMV 块茎

(二) 病原特征

AMV 属于雀麦花叶病毒科 (*Bromoviridae*) 苜蓿花叶病毒属 (*Alfamovirus*), 含 4 种不同长度的杆状病毒粒子, 宽度为 19nm, 长度分别为 56nm、43nm、35nm、30nm (Hull, 1969)。AMV 含 3 条正单链基因组 RNA (RNA 1、RNA 2、RNA 3) 和亚基因组 RNA 4。RNA 1、RNA 2、RNA 3 的长度分别为 3644nt、2593nt、2142nt, RNA 4 与 RNA 3 的 3' 端 881nt 序列同源。RNA 1、RNA 2 和 RNA 3 在 5' 端有帽状结构, 在 3' 端有 112nt 同源序列, 该同源序列具有两种可变结构, 为外壳蛋白 (coat protein, CP) 强结合位点和类似 tRNA 的结构 (tRNA-like structure, TLS), 是负链启动子活性所必需的 (Koper-Zwarthoff et al., 1979; Gunn and Symons, 1980; Vlot et al., 2001), 3' 端为 RNA 翻译和复制的分子开关 (Bol, 2003; Chen and Olsthoorn, 2010)。RNA 1、RNA 2 分别编码复

制酶两个亚基 P1 与 P2; RNA 3 编码运动蛋白 (movement protein, MP), 其携带的外壳蛋白基因需通过转录产生亚基因组 RNA4 翻译合成 (Bol, 2003)。

二、分布为害

AMV 在世界各地分布十分广泛, 目前已知在亚洲、欧洲、北美洲、南美洲、大洋洲和非洲均有发生 (Hull, 1969)。AMV 可侵染 70 个科 600 多种植物, 主要为害茄科和豆科作物, 包括马铃薯 (*Solanum tuberosum*)、苜蓿 (*Medicago sativa*)、大豆 (*Glycine max*) 等作物, 以及田间杂草 (Bol, 2008)。20 世纪七八十年代, AMV 在我国甘肃、内蒙古、山东和黑龙江等省份马铃薯田有发生 (张鹤龄和郭素华, 1983; 李芝芳, 2004), 之后在北京和江苏的辣椒 (田如燕等, 1989; 赵小慧等, 2023), 北京的番茄 (冯兰香和杨翠荣, 1991), 陕西和浙江的三叶草 (魏宁生和李毅, 1987; 金磊磊等, 2015), 甘肃、宁夏、新疆、内蒙古、河南、山西、陕西、北京、吉林、黑龙江的苜蓿 (文朝慧和南志标, 2015; 张芯伪, 2016; Guo et al., 2022; Li et al., 2022a), 云南的薄荷草 (Li et al., 2019b), 陕西的绞股蓝 (Song et al., 2019), 浙江田间杂草乌菰莓、爵床、婆婆纳 (Gao et al., 2020), 山西的鹅绒藤 (杜江等, 2023), 以及黑龙江 (Che et al., 2020) 和吉林的大豆 (战笑蕾等, 2023) 上均有发生。AMV 可造成多种作物产量减少、质量下降, 马铃薯感病后减产约 20% (Porter, 1931), 马铃薯减产程度和感染时期相关, 一般春季损失最大 (Gibbs and Tinsley, 1961)。

三、流行规律

(一) 传播方式

AMV 可通过马铃薯、苜蓿等植物种子传播 (Frosheiser, 1974; Fidan et al., 2012), 也可通过种薯传播 (张鹤龄和郭素华, 1983), 当 AMV 通过马铃薯块茎传播时, 新结块茎带毒率与初侵染感病程度及时间有关 (张鹤龄和郭素华, 1983)。同时, AMV 可通过介体蚜虫以非持久性方式进行传播 (Garraan and Gibbs, 1982; McLaughlin, 1991; Clark and Perry, 2002; Leur et al., 2019), 主要有桃蚜 (*Myzus persicae*)、大豆蚜 (*Aphis glycines*)、豆蚜 (*Aphis craccivora*)、棉蚜 (*Aphis gossypii*)、甜菜蚜 (*Aphis fabae*)、苜蓿无网蚜 (*Acyrtosiphon kondoi*)、豌豆蚜 (*Acyrtosiphon pisum*) 和三叶草彩斑蚜 (*Therioaphis trifolii*) 等。研究发现, 牛角花齿蓟马 (*Odontothrips loti*) 一龄和二龄若虫取食感染 AMV 的苜蓿 15min 后能够获得病毒, 接种 24h 后可传播到健康苜蓿植株 (Li et al., 2022a), 在感染 AMV 的苜蓿和马铃薯植株上采集的蓟马体内均可检测到 AMV (Li et al., 2021; 高艳玲等, 2022)。此外, AMV 易通过农业工具、机械进行传播, 亦可通过菟丝子传播。

(二) 流行条件

种子和无性繁殖材料的带毒率、传毒介体发生数量以及田间寄主发生情况等是影

响 AMV 为害的重要因素。研究发现, AMV 可通过种薯或苜蓿种子调运进行远距离传播, 豆科牧草 AMV 发生率显著增加与种子带毒有关 (Forster et al., 1985), 如澳大利亚进口的部分批次苜蓿种子含有 AMV (Garran and Gibbs, 1982), 甘肃省紫花苜蓿种子携带 AMV (文朝慧等, 2018)。AMV 的流行与介体发生数量和带毒率亦相关, 在澳大利亚牧草中发现 AMV 的发生程度与三叶草彩斑蚜、苜蓿无网蚜和豌豆蚜的数量有关 (Hajimorad and Francki, 1988), 美国中北部地区大豆上 AMV 的高发病率部分归因于大豆蚜的高带毒率 (Hill et al., 2001), 目前相关研究在马铃薯上较少。此外, 马铃薯田中藜麦、田旋花和菊苣等 7 种杂草均是 AMV 田间寄主, 在不同作物生长季间, AMV 可通过虫媒介体等在苜蓿、杂草和其他作物之间传播, 促进了 AMV 的传播和流行 (Abdalla et al., 2020), 当马铃薯田靠近苜蓿田或前茬为苜蓿时, AMV 发病率偏高 (张鹤龄和郭素华, 1983)。

四、防控技术

(一) 完善马铃薯脱毒种薯检测体系, 提高马铃薯种薯质量

种植脱毒种薯是防控 AMV 的重要措施。通过茎尖脱毒生产脱毒种苗, 并在各级种薯生产过程中加强 AMV 检测。常用检测方法有双抗体夹心酶联免疫吸附测定 (DAS-ELISA)、逆转录聚合酶链反应 (reverse transcription PCR, RT-PCR) (Xu and Nie, 2006)、逆转录实时荧光定量 PCR (reverse transcription real-time fluorescent quantitative PCR, RT-qPCR) (高艳玲等, 2022)、逆转录环介导等温扩增 (reverse transcription loop-mediated isothermal amplification, RT-LAMP) 技术 (贾茜等, 2015)、逆转录-重组酶聚合酶扩增 (reverse transcription-recombinase polymerase amplification, RT-RPA) 技术 (Wang et al., 2020) 等。

(二) 重视马铃薯种植地块的选择和田间管理

选择适宜地块和加强田间管理是防控 AMV 发生的重要手段。AMV 能够侵染苜蓿, 因此在选择种植马铃薯地块时应避免选择前茬为苜蓿以及与苜蓿田邻近的地块, 避免 AMV 从苜蓿田传播到马铃薯田。AMV 寄主范围广, 藜麦、田旋花、菊苣等杂草均是 AMV 的田间寄主 (Abdalla et al., 2020)。通过加强田间管理和及时清除马铃薯田杂草, 能够有效减少田间侵染源, 对减少 AMV 的传播具有较好的效果。

(三) 减少机械摩擦, 降低受 AMV 污染的农事工具和机械传播病毒的风险

受病毒污染的农事工具和机械都可以传播 AMV (Frosheiser, 1974)。马铃薯田进行中耕、浇水、喷药等农事操作时, 预留作业通道能够最大程度上避免操作过程中农事工具和机械对马铃薯植株造成伤口。作业结束后需对机械进行消毒处理, 然后再进入下一个地块继续作业, 以此降低 AMV 通过汁液在病株和健株之间传播的风险。

（四）完善传毒介体预测预报，降低传播介体种群数量

在马铃薯生长季，完善 AMV 传播介体蚜虫和蓟马的预测预报体系。利用黄皿诱蚜器或高空捕蚜器监测蚜虫发生动态并预测蚜虫高发期，适时使用农药进行化学防治，或喷施矿物油进行物理防治，以降低蚜虫种群密度。通过秋季深翻土地破坏蓟马的越冬环境，清除地块周边杂草，减少越冬虫源，可通过这些方式进行防治，也可喷施农药或生物制剂进行化学防治和生物防治（谢春霞等，2018）。通过减少介体昆虫种群数量防止 AMV 的流行。

（五）施用高效低毒化学药剂和生物制剂，降低病毒危害

地衣芽孢杆菌（*Bacillus licheniformis*）POT1 介导了马铃薯多酚生物合成途径基因的激活和对 AMV 的系统抗性，叶面喷施其培养滤液可降低 AMV 在植株中的积累水平，并且提高马铃薯植株的生长参数（Abdelkhalek et al., 2020）。此外，在茄子叶面喷施褪黑素（melatonin, MT）和水杨酸（salicylic acid, SA）可显著增加抗氧化酶表达，并降低 AMV 引起的氧化损伤，从而增加茄子对 AMV 的抗性（Sofy et al., 2021）。温室条件下，在烟草叶面施用 100μg/mL 壳聚糖/葡聚糖纳米颗粒（chitosan/dextran nanoparticle, CDNP）可降低病害严重程度，显著降低病毒积累水平，保护性（接种 AMV 以前 24h 施用）和根治性处理（接种 AMV 以后 24h 施用）下分别降低 70.43% 和 61.65%（Abdelkhalek et al., 2021），为马铃薯上 AMV 的防治提供了思路。

（六）种植抗病马铃薯品种

种植抗性马铃薯品种是防控 AMV 最经济有效的措施。目前，在多种植物中鉴定到抗 AMV 的基因。Parrella 等（2004）发现番茄 6 号染色体抗性基因簇中 *Am* 基因对 AMV 表现抗性。在 AMV 侵染早期，*Am* 基因能够抑制病毒积累。武晓云等（2023）通过病情等级和 RT-PCR 对 197 个北方大豆品种进行抗病性筛选，其中 30 份大豆品种耐病性较好，为抗病育种提供了抗性资源。转基因表达 AMV CP 基因的白三叶草 T₄ 代植株在田间对 AMV 表现极端抗性（Panter et al., 2012）。张婷婷等（2009）通过将抗 AMV 与抗白三叶草花叶病毒（*White clover mosaic virus*, WCMV）转基因红三叶草杂交，获得兼抗两种病毒的转基因植株。转基因技术和基因编辑技术（Nadakuđuti et al., 2019）在马铃薯抗病毒育种中的成功应用，为培育抗 AMV 马铃薯植株提供了技术保障。

撰稿人：白艳菊（黑龙江省农业科学院经济作物研究所）

高艳玲（黑龙江省农业科学院经济作物研究所）

范国权（黑龙江省农业科学院经济作物研究所）

审稿人：田延平（山东农业大学植物保护学院）

第二节 马铃薯卷叶病

一、诊断识别

（一）为害症状

马铃薯卷叶病的病原是马铃薯卷叶病毒（*Potato leaf roll virus*, PLRV），在发病初期主要表现为顶部叶片直立褪绿，沿着中心叶脉向上卷曲，直至老叶，病情严重时叶片形成圆筒形，叶肉组织变脆发硬，呈现革质化（图 2-3）。叶片颜色变浅，有些品种感病后叶边缘出现红晕，叶片背面略呈紫红色。发病植株出现明显的矮化、僵直、变黄，有时块茎内部出现网状褐色坏死（祖英治，2019），严重影响马铃薯的品质和产量。PLRV 主要集中于寄主体内的维管束中，且含量低，一般不能通过机械方式将 PLRV 从带病植株传播到健康植株，但与豌豆耳突花叶病毒 2 号（*Pea enation mosaic virus-2*, PEMV-2）混合后可以通过机械传播（Mike et al., 2000）。



图 2-3 受 PLRV 侵染后马铃薯植株的典型症状（白艳菊 拍摄）

（二）病原特征

PLRV 是黄症病毒科（*Luteoviridae*）马铃薯卷叶病毒属（*Polerovirus*）的代表种（Michael et al., 2003）。PLRV 的病毒粒子直径为 24nm，沉降系数为 115S，基因组为正义单链 RNA（positive-sense single-stranded RNA, +ssRNA），相对分子质量为 2.0×10^6 。