全球大豆真菌与卵菌病害的病原多样性及地理分布

高 龙[1] 姜 培[2] 韩子萱[2] 叶文武[1*] 王源超[1*]

（1. 南京农业大学植物保护学院，农业农村部大豆病虫害防控重点实验室，南京 210014；
2. 全国农业技术推广服务中心，北京 100125）

摘要：真菌和卵菌病害约占大豆常发病害种类之和的80%，对全球大豆生产安全和品质安全构成严重威胁。目前，全球已报道超过420种大豆病原真菌和卵菌，通常造成10%~50%的产量损失，严重时可导致大面积绝收。为系统总结分析全球大豆真菌与卵菌病害的病原多样性及地理分布，该文以美国农业部公布的菌物数据库为主要数据来源，系统梳理了自1900年以来全球报道的大豆真菌与卵菌病害的病原种类，以及其在大豆主要生产国巴西、美国、阿根廷、中国和印度的分布、发生及危害情况，并讨论了该类病害监测与防控技术研究的未来发展方向。

关键词：大豆；真菌病害；卵菌病害；植物保护

Pathogen diversity and geographic distribution of global soybean fungal and oomycete diseases

Gao Long[1] Jiang Pei[2] Han Zixuan[2] Ye Wenwu[1*] Wang Yuanchao[1*]

（1. Key Laboratory of Soybean Disease and Pest Control of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014, Jiangsu Province, China;
2. National Agricultural Technology Extension Service Center, Beijing 100125, China）

Abstract: Fungal and oomycete diseases account for approximately 80% of common soybean diseases, posing a significant threat to global soybean production security and quality safety. To date, more than 420 species of soybean pathogenic fungi and oomycetes have been reported worldwide, typically causing yield losses of 10% to 50%, and in severe cases, leading to widespread crop failure. To systematically synthesize the global pathogen diversity and geographic distribution of soybean fungal and oomycete diseases, mainly based on the USDA Fungal Databases, here we comprehensively review the pathogen species reported worldwide since 1900, detailed their occurrence and damage in the five main producing countries, Brazil, the United States, Argentina, China and India, and outline future research directions for disease monitoring and control technologies.

Key words: soybean; fungal disease; oomycete disease; plant protection

大豆 *Glycine max* 是重要的粮油作物，是人类所需蛋白质和油脂的重要来源（Cheng et al.，2022）。大豆起源于中国，已经有5 000多年的种植历史（Hymowitz & Newell，1981；王灿，2023），并在20世纪成为种植范围扩大最快的农作物之一（Watanabe et al.，2012；王灿，2023）。目前，大豆种植范围主要分布在北纬53°与南纬35°之间，种植面积约占全球耕地面积的6%，主要种植国家和地区有巴西、美国、阿根廷、中国和印度等（Hill & Whitham，2014；Bandara et al.，2020）。根据美国农业部（United States Department of Agriculture，USDA）的统计数据，2024—2025年全球大豆总产量达4.27亿t，其中巴西和美

基金项目：国家自然科学基金项目（32172374），国家现代农业产业技术体系建设专项（CARS-004）

* 通信作者（Authors for correspondence），E-mail：yeww@njau.edu.cn，wangyc@njau.edu.cn

收稿日期：2025-10-28

国大豆产量分别以1.69亿t和1.18亿t位居前两位，约占全球大豆总产量的70%，而中国作为全球最大的大豆消费国（年消费量1.27亿t以上），本土大豆产量仅2 065万t，进口依存度超过80%（夏灵石等，2025）。

随着全球大豆种植面积扩大、栽培集约化程度提高，以及气候变化、土壤酸化和农药残留与抗药性等问题加剧，由病害导致的产量损失率持续攀升。相关数据显示，该产量损失率已从1994年的11%上升至2006年的27%，相当于当年减产近6 000万t（Lin et al.，2022；陈夕军等，2023）。目前已记录的大豆病害有70多种，其中全球主要产区普遍发生且严重的有40余种（Lin et al.，2022；陈夕军等，2023）。在这些病害中，真菌与卵菌病害占主导，约占大豆常发病害种类之和的80%（毕秋艳等，2021），且同一病害症状往往由多种病原菌共同造成，单一病原菌也经常侵害大豆的根、茎、叶或荚等多个器官，危害过程错综复杂（Wang et al.，2023）。为系统总结分析全球大豆真菌与卵菌病害的病原多样性及地理分布，本文以美国农业部公布的菌物数据库（USDA Fungal Databases，https://fungi.ars.usda.gov）为主要数据来源，系统梳理了自1900年以来全球报道的大豆真菌与卵菌病害的病原种类，以及其在大豆主要生产国巴西、美国、阿根廷、中国和印度的分布、发生及危害情况，并讨论了该类病害监测与防控技术研究的未来发展方向，以期为全球大豆真菌与卵菌病害的综合治理与可持续防控提供科学依据。

1 全球大豆病原真菌与卵菌的报道情况

自1900年以来，以20年为一个区间进行统计，到2025年，全球有关大豆病原真菌与卵菌累计的文献报道数量从5篇增长到1 870篇（图1-A），分布的国家（地区）从2个扩大到71个（图1-B），报道的属水平分类单元从2个增加到120个（图1-C），种水平分类单元从2个增加到428个（图1-D），这些单元隶属于8门15纲33目。上述文献数量在多维度的增长不仅反映了大豆病原真菌与卵菌研究活跃度的提升，也间接表明其多样性和危害频率在全球范围内持续扩大，对大豆产量、品质及跨境贸易造成明显冲击，成为影响全球大豆产业安全与贸易流通的重要生物问题。

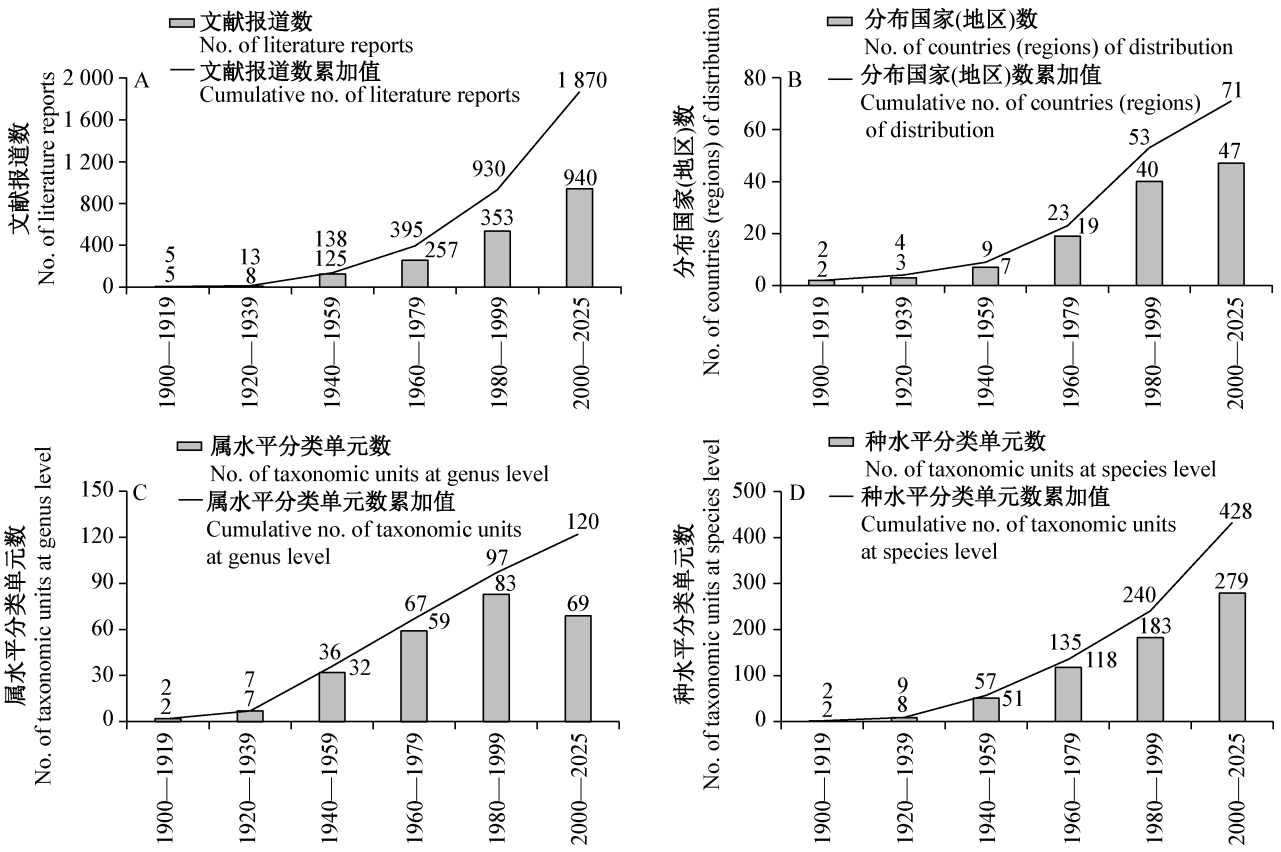

图1 全球大豆主要病原真菌与卵菌的历年报道情况

Fig. 1 Historical reports of the main fungal and oomycete pathogens causing soybean diseases worldwide

2 全球大豆病原真菌与卵菌的种类

2.1 大豆病原真菌

在大豆已知病原生物中真菌约占80%，其中种类最丰富的为子囊菌门，涉及5纲14目73属，其次为担子菌门，涉及3纲6目10属。在报道次数最多的15个属中，镰孢菌属*Fusarium*、间座壳属*Diaporthe*（无性态为拟茎点霉属*Phomopsis*；也归作座壳/拟茎点霉复合群）、炭疽菌属*Colletotrichum*和尾孢菌属*Cercospora*这4个属的报道次数之和占比超过50%（表1）。镰孢菌属真菌引起的大豆镰孢根腐病（含猝死综合症）是一种全球性土传病害，该类病原菌具有较强的寄生与腐生能力，种类多，分布广，并且能产生真菌毒素，导致大豆种子与生产的饲料品质下降（Presello et al.，2006；Antonissen et al.，2014；姜超等，2024），报道10次以上的有尖镰孢菌*F. oxysporum*、北美大豆猝死综合症病菌*F. virguliforme*和茄腐镰孢菌*F. solani*等7种。间座壳/拟茎点霉复合群可引起大豆拟茎点种腐病、茎（荚）枯病、茎溃疡病和叶斑病等，严重时可导致田块绝收（Backman et al.，1985；Mena et al.，2024），报道10次以上的有5种，其中大豆间座壳菌*D. sojae*、大豆北方茎溃疡病菌*D. caulivora*（原学名*D. phaseolorum* var. *caulivora*）和大豆拟茎点种腐病菌*D. longicolla*位列前3位。炭疽菌属以平头炭疽菌*Colletotrichum truncatum*报道最多，其引起的大豆炭疽病对豆荚的危害最大，产量损失最严重，曾于1996—2007年在阿根廷、巴西、中国和美国等8国累计造成约2 540万t的产量损失（Wrather & Koenning，2009；刘勇等，2021）。尾孢菌属真菌所致病害主要包括以大豆尾孢菌*Cercospora sojina*为主引起的灰斑病，以及以菊池尾孢菌*Cercospora kikuchii*为主引起的紫斑病与叶枯病，重发时产量损失在20%~100%之间（Wrather et al.，1997；Sautua et al.，2024）。

除了上述4个属，还有8个属的真菌会引起大豆主要病害。其中，丝核菌属*Rhizoctonia*的立枯丝核菌*R. solani*引起大豆立枯病，导致种子腐烂，幼苗死亡，枯而不倒，病害严重时死苗率达5%~50%（陈兴科，2024）。小核菌属*Sclerotium*的齐整小核菌*S. rolfsii*是一种常见的土传腐生真菌，引起大豆白绢病（Dwivedi & Prasad，2016）。核盘菌属*Sclerotinia*的核盘菌*S. sclerotiorum*引起大豆菌核病，该病是一种危害严重的茎荚部病害，造成茎秆腐烂，豆荚不能鼓粒，豆粒干瘪，全株枯死，严重影响大豆产量（Willbur et al.，2019）。壳球孢菌属*Macrophomina*的菜豆壳球孢菌*M. phaseolina*引起大豆炭腐病，易在高温低湿条件下暴发，对大豆产量影响显著，尤其在中低纬度干旱、半干旱区域危害更严重（Wrather & Koenning，2009；Marquez et al.，2021）。层锈菌属*Phakopsora*中以豆薯层锈菌*P. pachyrhizi*引起的大豆锈病危害最严重，是全球大豆生产中最具威胁的叶部病害之一，可造成10%~80%的产量损失，严重时甚至绝收（单志慧和周新安，2007；刘敏等，2014；Ouyang et al.，2024；卢自华等，2025）。由链格孢菌属*Alternaria*多种真菌引起的大豆黑斑病在全球发生普遍，主要危害大豆叶片、豆粒和豆荚，偶有危害幼嫩植株（王佳等，2021）。棒孢菌属*Corynespora*的多主棒孢霉*C. cassiicola*可引起大豆靶斑病，该病曾导致美国大豆每公顷每年减产多达1 t（Avozani et al.，2014；Rondon & Lawrence，2021）。由壳针孢菌属*Septoria*的大豆壳针孢菌*S. glycines*引起的大豆褐斑病，是大豆常见叶部病害，一般主要危害植株底部叶片或老叶（孙平立等，2024）。

此外，茎点霉属*Phoma*、曲霉属*Aspergillus*和叶点霉属*Phyllosticta*的真菌在前15个属中被报道次数最少，未造成常见大豆病害。总体来看，真菌病害的特征是病原种类多样，少数属病原种类丰富，核心病原菌长期在不同国家（地区）高频发生，丰富的群体有利于病原菌致病力和抗药性的快速进化，给大豆病害的可持续防控构成巨大威胁。

2.2 大豆病原卵菌

卵菌门中已报道的大豆病原种类较少，涉及2纲3目6属，其中以腐霉属*Pythium*、疫霉属*Phytophthora*和霜霉属*Peronospora*卵菌报道次数最多（表1）。疫霉属的大豆疫霉*Phytophthora sojae*可引起大豆疫霉根腐病（也称大豆疫病），造成根部、茎基部腐烂，病害发生后植株很快死亡，是全球大豆生产中危害最严重的卵菌病害，每年造成的产量损失达几十亿美元（叶文武等，2023a，b）。危害大豆的腐霉属卵菌种类多样，主要引起大豆猝倒病，多发生于幼苗期，是大豆死苗的主要原因之一（Alejandro Rojas et al.，2017）。霜霉属的东北霜霉*Peronospora manshurica*可引起大豆霜霉病，该病是发生最普遍的大豆叶部病害之一，在大豆苗期到结荚期均可发生，该病传播对天气依赖性较强，在凉爽潮湿环境下发生最严重（Dong et al.，2018）。卵菌病原虽然种类有限，但其所致病害暴发性强，易扩散流行，是全球大豆生产中不容忽视的一类病原菌。值得重视的是，大豆疫霉

作为一种危害严重的外来入侵生物，自1986年起一直被我国列为进境植物检疫的A1类危险性有害生物，同时被列入国内检疫性有害生物名单（叶文武等，2023a）。

表1 全球报道的大豆主要病原真菌与卵菌的种类

Table 1 Reported main fungal and oomycete pathogens causing soybean diseases worldwide

门（涉及纲数）Phylum (no. of classes)	纲（涉及目数）Class (no. of orders)	目（涉及属数）Order (no. of genera)	属（涉及种数）Genus (no. of species)	所涉种的总报道数 Total no. reports of species	高频次报道物种 Frequently reported species	报道数 Report
子囊菌门（5）Ascomycota (5)	粪壳菌纲（8）Sordariomycetes (8)	肉座菌目（18）Hypocreales (18)	镰孢菌属（62）*Fusarium* (62)	250	尖镰孢菌 *Fusarium oxysporum*	22
					北美大豆猝死综合症病菌 *Fusarium virguliforme*	22
					茄腐镰孢菌 *Fusarium solani*	21
					禾谷镰孢菌 *Fusarium graminearum*	15
					巴西镰孢菌 *Fusarium brasiliense*	11
					木贼镰孢菌 *Fusarium equiseti*	11
					南美大豆猝死综合症病菌 *Fusarium tucumaniae*	11
		间座壳目（2）Diaporthales (2)	间座壳属（28）*Diaporthe* (28)	214	大豆间座壳菌 *Diaporthe sojae*	59
					大豆北方茎溃疡病菌 *Diaporthe caulivora*	35
					大豆拟茎点种腐病菌 *Diaporthe longicolla*	31
					Diaporthe novem	19
					菜豆间座壳菌 *Diaporthe phaseolorum*	12
		小丛壳目（2）Glomerellales (2)	炭疽菌属（19）*Colletotrichum* (19)	141	平头炭疽菌 *Colletotrichum truncatum*	50
					大豆炭疽菌 *Colletotrichum glycines*	18
	座囊菌纲（4）Dothideomycetes (4)	格孢腔菌目（32）Pleosporales (32)	茎点霉属（13）*Phoma* (13)	30		
			链格孢菌属（6）*Alternaria* (6)	25		
			棒孢菌属（1）*Corynespora* (1)	34	多主棒孢霉 *Corynespora cassiicola*	34
		煤炱目（9）Capnodiales (9)	尾孢菌属（9）*Cercospora* (9)	119	菊池尾孢菌 *Cercospora kikuchii*	54
					大豆尾孢菌 *Cercospora sojina*	39
					变灰尾孢菌 *Cercospora canescens*	19
			壳针孢菌属（2）*Septoria* (2)	31	大豆壳针孢菌 *Septoria glycines*	30
		葡萄座腔菌目（5）Botryosphaeriales (5)	叶点霉属（5）*Phyllosticta* (5)	21		
			壳球孢菌属（1）*Macrophomina* (1)	63	菜豆壳球孢菌 *Macrophomina phaseolina*	63
	散囊菌纲（2）Eurotiomycetes (2)	散囊菌目（2）Eurotiales (2)	曲霉属（10）*Aspergillus* (10)	23		

续表1 Continued

门（涉及纲数）Phylum (no. of classes)	纲（涉及目数）Class (no. of orders)	目（涉及属数）Order (no. of genera)	属（涉及种数）Genus (no. of species)	所涉种的总报道数 Total no. reports of species	高频次报道物种 Frequently reported species	报道数 Report
		柔膜菌目（3）Helotiales (3)	核盘菌属（2）*Sclerotinia* (2)	26	核盘菌 *Sclerotinia sclerotiorum*	25
担子菌门（3）Basidiomycota (3)	伞菌纲（4）Agaricomycetes (4)	鸡油菌目（4）Cantharellales (4)	丝核菌属（3）*Rhizoctonia* (3)	49	立枯丝核菌 *Rhizoctonia solani*	45
			小菌核属（2）*Sclerotium* (2)	33	齐整小核菌 *Sclerotium rolfsii*	26
	柄锈菌纲（2）Pucciniomycetes (2)	柄锈菌目（6）Pucciniales (6)	层锈菌属（3）*Phakopsora* (3)	108	豆薯层锈菌 *Phakopsora pachyrhizi*	95
					美洲大豆锈菌 *Phakopsora meibomiae*	12
卵菌门（2）Oomycota (2)	卵菌纲（2）Oomycetes (2)	霜霉目（3）Peronosporales (3)	疫霉属（10）*Phytophthora* (10)	76	大豆疫霉 *Phytophthora sojae*	47
			霜霉属（4）*Peronospora* (4)	52	东北霜霉 *Peronospora manshurica*	45
		腐霉目（2）Pythiales (2)	腐霉属（72）*Pythium* (72)	182		

表中所列为报道次数最多的18个属，以及相应属中报道10次以上的物种。The table lists the 18 most frequently reported genera, along with species within each genus that have been reported more than 10 times.

3 全球大豆真菌与卵菌病害的分布及危害

全球大豆真菌与卵菌病害的发生分布总体上既有共性也有差异。在共性方面，镰孢菌属是大豆病害中全球范围内普遍存在的核心病原菌，在中国、印度和阿根廷的报道数量均居各国首位，在巴西和美国的报道数量位居第二，腐霉属和炭疽菌属的报道数量也在多国位居前列；在差异方面，间座壳属在中国和印度的报道数量相对较少，尾孢菌属在巴西的报道数量相对较少，层锈菌属在美国的报道数量相对较少，疫霉属在美国的报道数量居多（表2）。这些差异可能塑造了不同国家或地区的大豆病害发生格局，也决定了经济损失的模式，如大豆根腐病和猝死综合症等土传病害可能造成多年持续性减产，而大豆锈病等地上部病害可能流行性暴发。鉴于亚洲与美洲是全球最主要的大豆生产区域，本文将分别针对这两大洲代表性国家的主要大豆病害类型与损失情况进行综述。

3.1 亚洲代表性国家

中国的大豆年产量2 065万t，位居全球第四、亚洲第一，已记录病原种类90余种。大豆根腐病是中国大豆生产中危害最严重、防控难度最大的病害，其病原种类复杂，包括50多种病原卵菌和真菌，主要涉及疫霉属、腐霉属、镰孢菌属、丝核菌属和拟茎点霉属（叶文武等，2020）。其中，大豆疫霉引起的疫霉根腐病于1989年首次在中国东北地区被发现（沈崇尧和苏彦纯，1991；叶文武等，2023a），此后逐年蔓延，2020年以后在东北再次暴发，发病田块大豆产量损失一般为15%~30%，重病田块发病率超过70%，产量损失超过60%，甚至绝收（李宝英和马淑梅，1999；叶文武等，2023a；Zhang et al.，2024）；镰孢菌引起的镰孢根腐病在中国各大豆主产区均有发生，近年来以茄腐镰孢菌复合种为主引起的大豆猝死综合症（也称大豆新型镰孢根腐病）在东北东部呈加重趋势（Wang et al.，2023；袁素娟等，2023）。大豆拟茎点种腐（茎枯）病是黄淮海夏大豆产区的主要病害之一，病原菌主要是大豆拟茎点种腐病菌，一般造成约10%~30%的产量损失，品种间抗感性差异明显，感病品种病株率高达90%，可导致绝收（张建成等，2005；曾丹丹等，2016；Zhao et al.，2022；叶文武等，2023b）。大豆锈病经常在南方多作大豆产区发生，一般造成大豆减产10%~30%，若在大豆生长季早期发病则危害更重，严重发生田块减产高达50%以上（单志慧和周新安，2007）。此外，炭疽病和紫斑病是黄淮海地区和南方地区大豆生长后期的常发病害，对其产量及商品化构成严重威胁，东北地区大豆生长后期则以菌核病为主（韩群营等，2015）。

印度的大豆年产量约1 200万t，位居全球第五、亚洲第二，已报道可导致大豆严重减产的病害有35种（Wrather et al.，1997；Wrather & Koenning，2009；李

琼和张晓明,2018)。其中镰孢菌引起的大豆种子/豆荚腐烂病不仅造成大豆减产,也影响大豆的商品化与储存(Verma et al.,2024)。在印度大豆锈病自1951年首次被报道以来迅速扩散,到20世纪90年代已覆盖多个大豆主产区,局部地区产量损失可达100%(Jahagirdar,2014)。炭疽病在印度也频繁发生,引起豆荚枯萎,造成大豆减产(Gupta et al.,2014)。尾孢叶斑病与紫斑病虽然有一些报道,但其分布范围和危害程度相对有限(Wrather et al.,1997;Wrather & Koenning,2009;Gupta et al.,2014)。

表2 不同国家大豆主要病原真菌与卵菌报道情况的比较

Table 2 Comparison of main fungal and oomycete pathogens causing soybean diseases among different countries

属 Genus	物种数 No. of species	国家数 No. of countries	报道数 No. of reports	美国 United States		中国 China		巴西 Brazil		印度 India		阿根廷 Argentina	
				报道数 No. of reports	位次 Rank	报道数 No. of reports	位次 Rank	报道数 No. of reports	位次 Rank	报道数 No. of reports	位次 Rank	报道数 No. of reports	位次 Rank
镰孢菌属 *Fusarium*	62	18	250	97	2	20	2	42	1	9	1	34	1
间座壳属 *Diaporthe*	27	24	214	93	3	11		16	2	0		10	3
腐霉属 *Pythium*	72	9	182	122	1	30	1	6	5	2		13	2
炭疽菌属 *Colletotrichum*	19	34	141	51	4	16	4	15	3	8	2	2	
尾孢菌属 *Cercospora*	9	34	119	34	5	18	3	3		6	3	8	4
层锈菌属 *Phakopsora*	3	35	108	19		13	5	8	4	6	3	6	5
疫霉属 *Phytophthora*	12	8	76	34	5	5		1		0		2	
壳球孢菌属 *Macrophomina*	2	20	63	32		2		2		6	3	1	
霜霉属 *Peronospora*	4	23	52	13		7		1		1		0	
丝核菌属 *Rhizoctonia*	3	18	49	22		3		2		2		0	
棒孢菌属 *Corynespora*	1	16	34	10		4		4		2		0	
小菌核属 *Sclerotium*	2	15	33	16		1		1		2		0	
壳针孢菌属 *Septoria*	2	9	31	16		5		1		1		0	
茎点霉属 *Phoma*	13	13	30	2		0		2		5	4	0	
核盘菌属 *Sclerotinia*	2	17	26	8		2		1		1		0	
链格孢菌属 *Alternaria*	6	11	25	5		6		2		4	5	0	
曲霉属 *Aspergillus*	10	5	23	6		0		6	5	1		0	
叶点霉属 *Phyllosticta*	5	10	21	5		9		1		0		0	

表中位次列仅标注排名前5位。The rank column only indicates the top five.

3.2 美洲代表性国家

巴西的大豆年产量约1.69亿t,位居全球第一,每年因病害造成的产量损失达15%~20%(Juliatti et al.,2017)。大豆锈病于2001年在巴西巴拉那州被首次发现,2003年蔓延至全国,部分地区减产超过60%(Yorinori et al.,2005)。镰孢菌导致的大豆猝死综合症是巴西大豆生产中危害最严重的根部病害,防控难度大,可造成大豆单株结荚数减少46%,高产田块减产37%(de Queiroz Freitas et al.,2004)。腐霉菌引起的大豆猝倒病主要在巴西南部大面积发生。大豆炭疽病于1961年在南里奥格兰德州被首次报道,2010年以后再次暴发,发病率每上升1%,大豆产量约减少90 kg/hm^2(Dias et al.,2019)。大豆茎荚枯病已波及马托格罗索、戈亚斯州和南里奥格兰德州等5个州,在大豆主产州马托格罗索州的发病率为10%~40%(Tormen & Blum,2020)。

美国的大豆年产量约1.18亿t,位居全球第二(夏灵石等,2025),造成该国大豆产量损失严重的病害主要是大豆疫霉根腐病、猝倒病、猝死综合症和拟茎点茎荚枯病等(许艳丽和李兆林,2001;Bradley et al.,2021)。多种病原腐霉菌在各大豆主产州田间频繁引起苗期病害,1996—2016年造成的经济损失达88亿美元(Matthiesen & Robertson,2023)。镰孢菌引起的大豆猝死综合症于1971年首次在美国阿肯色州被报道,随后扩散至多个大豆主产州,导致产量严重损失,重病田减产达100%(Hartman et al.,2015)。大豆疫霉根腐病于1948—1951年首次出现在印第安纳州和俄亥俄州,之后扩散至各大豆主产

州。2005年仅明尼苏达州因该病造成的产量损失近8.5万t，1996—2006年则导致美国大豆产量年均损失量约146万t（Bradley et al.，2021）。大豆茎溃疡病、茎荚枯以及种腐病于20世纪40年代在艾奥瓦州被首次报道，最初鉴定其病原菌为大豆北方茎溃疡病菌，此后大豆南方茎溃疡病菌*D. aspalathi*（原学名*D. phaseolorum* var. *meridionalis*）和大豆拟茎点霉种腐病菌等也被证实会导致该病，重病田的产量损失常达80%~100%（Mena et al.，2024）。2003—2005年炭疽病成为美国15个南部州的十大大豆病害之一，1996—2007年造成美国大豆累计减产490万t（刘勇等，2021）。由尾孢菌属病原菌引起的大豆灰斑病于1925年首次在美国东南部被报道，近年来向中西部蔓延，该属病原菌还可导致大豆叶枯病和紫斑病，在美国南部频发，其中灰斑病和叶枯病直接导致大豆减产，紫斑病则使种子呈紫斑，降低品质，影响大豆商品化（Harrelson et al.，2021）。

阿根廷的大豆年产量约4 900万t，位居全球第三（https://www.fas.usda.gov），自20世纪90年代以来，该国大豆病害种类和危害程度均呈上升趋势。苗期病害在阿根廷中部地区普遍发生（韩天富，2007），其中大豆猝死综合症近年来发生频率升高，高感品种田块减产可达90%（许艳丽和李兆林，2000；2001；Lario et al.，2024）。2003年大豆锈病首次在阿根廷东北部被发现，随后迅速蔓延至西北等地，发病时期越早则危害程度越重（da Rosa et al.，2015）。大豆茎溃疡病在严重田块造成的产量损失接近100%（Sun et al.，2012）。大豆灰斑病于1997—1998年在西北部5省首次被发现，1999—2000年暴发，高感品种病叶率达10%，减产最高达48%（Barro et al.，2023）。

4 展望

20世纪以来，全球大豆真菌和卵菌病害的地理分布不断扩大，种类多样性及危害程度均呈现显著增加趋势。镰孢菌属、间座壳属、炭疽菌属、层锈菌属、疫霉属、腐霉属等18个核心病原属占据了全球大豆病原真菌和卵菌报道总次数的50%以上，长期对全球主要产区的大豆生产构成严重威胁。大豆真菌与卵菌病害通常造成10%~50%的产量损失，在重度发生年份还可能引发区域性绝收，给全球粮食安全和国际贸易带来持续挑战。不同区域的大豆病害种类与优势病原谱系存在一定差异，主要受气候、耕作方式与品种抗性等因素的综合影响（Singh et al.，2023；叶文武等，2023b；战宇航等，2024）。与此同时，全球化贸易与气候变化也加剧了病原跨境传播风险，进而增加了病害发生的不确定性与防控的难度（李琼和张晓明，2018）。

除了面临全球共性问题的挑战外，我国大豆生产还面临一系列独特的生态压力。为保障供给并提升大豆自给率，我国大豆种植特点之一是土地利用强度高，平均复种指数在1.3~1.6之间，居世界首位，尤其是华南、长江中下游等地区，平均复种指数甚至超过2.0，达到一年三熟。相比之下，美国大豆种植地区农田的平均复种指数约为1.0，巴西和阿根廷的平均复种指数约为1.2，印度的平均复种指数约为1.4，均低于我国（Liu et al.，2021）。长期高复种使得大豆连作普遍，导致土传病原菌逐年积累，田间初始菌源量居高不下。与此同时，过去30年不合理的施肥方式，尤其是氮肥的过量施加，已导致我国农田土壤大面积酸化，pH平均下降约1个单位（杨帆等，2023），从而为大豆疫霉等喜酸病原菌的生存与致病创造了有利环境。此外，对化学农药的过度依赖不仅加剧了病原菌抗药性的发展，也削弱了土壤生态系统的自然控病调节能力。综上所述，高复种指数、土壤酸化和过度依赖化学农药等问题，共同导致我国大豆病害发生更频繁，危害更严重，给病害防控工作带来严峻挑战。

因此，未来的大豆病害防控不能仅仅依赖于传统防治措施，更需要创新性和可持续性的解决方案。在此背景下，研究与实践亟需集中在以下方面：（1）借助宏基因组学、群体遗传学和功能组学等新兴技术，深入揭示病原多样性、致病机制及生态适应的分子基础；（2）建立由田间调查到区域预警的多层级监测体系，结合遥感、人工智能和大数据分析，实现病害的早期预测与精准管理；（3）整合多基因抗性资源，推动广谱抗病和耐病品种的选育与推广，避免品种所携带的单一抗源被病原菌快速突破；（4）加强农艺措施、生物防治与合理化学防治的有机结合，形成环境友好且可持续的综合治理体系；（5）构建跨国或跨区域病原监测和联防联控网络，推动数据库等资源的互联互通与研究协作，应对病原传播扩散及突发暴发的挑战。病害的发生与发展是威胁全球大豆产量与商业化可持续发展的重大问题之一，只有在多学科协作和跨区域合作的共同推动下，结合现代生物技术、智慧农业与绿色防控理念，才能在未来有效遏制病害的持续流行和间歇性突发暴发，确保大豆生产的长期稳定与安全。

参 考 文 献（References）

Alejandro Rojas J, Jacobs JL, Napieralski S, Karaj B, Bradley CA, Chase T, Esker PD, Giesler LJ, Jardine DJ, Malvick DK, et al. 2017. Oomycete species associated with soybean seedlings in North America: part I: identification and pathogenicity characterization. Phytopathology, 107(3): 280−292

Antonissen G, Martel A, Pasmans F, Ducatelle R, Verbrugghe E, Vandenbroucke V, Li SJ, Haesebrouck F, Van Immerseel F, Croubels S. 2014. The impact of *Fusarium* mycotoxins on human and animal host susceptibility to infectious diseases. Toxins, 6(2): 430−452

Avozani A, Reis EM, Tonin RB. 2014. Sensitivity loss by *Corynespora cassiicola*, isolated from soybean, to the fungicide carbendazim. Summa Phytopathologica, 40(3): 273−276

Backman PA, Weaver DB, Morgan-Jones G. 1985. Soybean stem canker: an emerging disease problem. Plant Disease, 69(8): 641

Bandara AY, Weerasooriya DK, Bradley CA, Allen TW, Esker PD. 2020. Dissecting the economic impact of soybean diseases in the United States over two decades. PLoS ONE, 15(4): e0231141

Barro JP, Neves DL, Del Ponte EM, Bradley CA. 2023. Frogeye leaf spot caused by *Cercospora sojina*: a review. Tropical Plant Pathology, 48(4): 363−374

Bi QY, Dang ZH, Zhu WQ, Gao ZL, Han XY, Zhao JJ, Wang WQ, Lu F, Wu J. 2021. Identification of major pathogenic fungi of soybean in Hebei Province and screening of control fungicides. Scientia Agricultura Sinica, 54(1): 71−85 (in Chinese) [毕秋艳, 党志红, 朱伟旗, 高占林, 韩秀英, 赵建江, 王文桥, 路粉, 吴杰. 2021. 河北省大豆主要病原真菌鉴定及防治药剂筛选. 中国农业科学, 54(1): 71−85]

Bradley CA, Allen TW, Sisson AJ, Bergstrom GC, Bissonnette KM, Bond J, Byamukama E, Chilvers MI, Collins AA, Damicone JP, et al. 2021. Soybean yield loss estimates due to diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2015 to 2019. Plant Health Progress, 22(4): 483−495

Chen XK. 2024. Screening for resistance to *Rhizoctonia solani* AG1 root rot in soybean germplasm and a GWAS. Master thesis. Harbin: Heilongjiang University (in Chinese) [陈兴科. 2024. 大豆资源立枯丝核菌AG1根腐病抗性鉴定及关联分析. 硕士学位论文. 哈尔滨: 黑龙江大学]

Chen XJ, Chen Y, Shi T, Jiang DY, Ling HG, Chen C. 2023. Symptoms, pathogen species and physiological differentiation of common soybean disease. Soybean Science & Technology, (2): 27−37 (in Chinese) [陈夕军, 陈莹, 石童, 蒋冬阳, 凌焕贵, 陈宸. 2023. 大豆常见病害症状、病原种类及其生理分化. 大豆科技, (2): 27−37]

Cheng RX, Mei RX, Yan R, Chen HY, Miao D, Cai LN, Fan JY, Li GR, Xu R, Lu WG, et al. 2022. A new distinct geminivirus causes soybean stay-green disease. Molecular Plant, 15(6): 927−930

da Rosa CRE, Spehar CR, Liu JQ. 2015. Asian soybean rust resistance: an overview. Journal of Plant Pathology & Microbiology, 6(9): 307

de Queiroz Freitas TM, Meneghetti RC, Balardin RS. 2004. Dano devido à podridão vermelha da raiz na cultura da soja. Ciência Rural, 34(4): 991−996

Dias MD, Dias-Neto JJ, Santos MDM, Formento AN, Bizerra LVAS, Fonseca MEN, Boiteux LS, Café-Filho AC. 2019. Current status of soybean anthracnose associated with *Colletotrichum truncatum* in Brazil and Argentina. Plants, 8(11): 459

Dong H, Shi SF, Zhang C, Zhu SH, Li M, Tan J, Yu Y, Lin LP, Jia SR, Wang XJ, et al. 2018. Transcriptomic analysis of genes in soybean in response to *Peronospora manshurica* infection. BMC Genomics, 19(1): 366

Dwivedi SK, Prasad G. 2016. Integrated management of *Sclerotium rolfsii*: an overview. European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences, 3(11): 137−146

Gupta GK, Verma RK, Sharma OP, Bhagat S, Amaresan N, Saini MR, Chattopadhyay C, Sushil SN, Asre R, Kapoor KS, et al. 2014. Integrated pest management package for soybean. New Delhi: National Centre for Integrated Pest Management, LBS Building, IARI Campus, pp. 1−41

Han QY, Li MD, Yao LJ, Li SR, Cai WJ, Hu G. 2015. Major pest and disease species in fresh edamame soybean and their green control technologies. Journal of Changjiang Vegetables, (3): 53−55 (in Chinese) [韩群营, 李满娣, 姚莉菊, 李守荣, 蔡文杰, 胡刚. 2015. 鲜食毛豆主要病虫害种类及绿色防控技术. 长江蔬菜, (3): 53−55]

Han TF. 2007. Overview of soybean production and research in Argentina. Soybean Science, 26(2): 264−269 (in Chinese) [韩天富. 2007. 阿根廷大豆生产和科研概况. 大豆科学, 26(2): 264−269]

Harrelson BC, Kemerait RC, Culbreath AK, Ghimire B, Li ZL, Severns PM, Buck JW. 2021. Assessment of quinone outside inhibitor sensitivity and frogeye leaf spot race of *Cercospora sojina* in Georgia soybean. Plant Disease, 105(10): 2946−2954

Hartman GL, Chang HX, Leandro LF. 2015. Research advances and management of soybean sudden death syndrome. Crop Protection, 73: 60−66

Hill JH, Whitham SA. 2014. Control of virus diseases in soybeans. Advances in Virus Research, 90: 355−390

Hymowitz T, Newell CA. 1981. Taxonomy of the genus *Glycine*, domestication and uses of soybeans. Economic Botany, 35(3): 272−288

Jahagirdar S. 2014. Bioformulations and indigenous plant protection measures in enhancing the vitalities of bio-control agents for induced systemic resistance suppressing Asian soybean rust in India//International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering (BCEE-2014) March 17−18, 2014 Dubai (UAE). International Institute of Chemical, Biological & Environmental Engineering, pp. 123−126

Jiang C, Dong YH, Meng LQ, Wang XX, Liu ZT, Chen JY, Fan C, Cao X. 2024. Research progress on soybean root rot caused by *Fusarium* and its biological control. Soybean Science, 43(5): 656−662 (in Chinese) [姜超, 董禹含, 孟利强, 王向向, 刘治廷, 陈静宇, 樊川, 曹旭. 2024. 镰孢菌引发的大豆根腐病及其生物防治

研究进展. 大豆科学, 43(5): 656−662]

Juliatti BCM, Beloti IF, Pena LC, Juliatti FC. 2017. Soybean genotype analysis for cyst nematode resistance. Genetics and Molecular Research, 16(3): gmr16039705

Lario LD, Gonzalez C, Meini MR, Pillaca-Pullo OS, Zuricaray D, Español L, Scandiani MM, Luque A, Casati P, Spampinato CP. 2024. Exploring soybean cultivar susceptibility to sudden death syndrome: insights into isoflavone responses and biocontrol potential. Plant Science, 339: 111951

Li BY, Ma SM. 1999. Studies of *Phytophthora* root rot of soybean on incidence and control in Heilongjiang Province. Chinese Journal of Oil Crop Scieves, 21(4): 47−50 (in Chinese) [李宝英, 马淑梅. 1999. 大豆疫霉根腐病的发生与防治研究. 中国油料作物学报, 21(4): 47−50]

Li Q, Zhang XM. 2018. Effect of diseases and insect pests on soybean yield in the top five soybean producing countries: a review. Journal of Agriculture, 8(4): 23−27 (in Chinese) [李琼, 张晓明. 2018. 病虫害对5个大豆主产国大豆产量影响的概述. 农学学报, 8(4): 23−27]

Lin F, Chhapekar SS, Vieira CC, Da Silva MP, Rojas A, Lee D, Liu NX, Pardo EM, Lee YC, Dong ZM, et al. 2022. Breeding for disease resistance in soybean: a global perspective. Theoretical and Applied Genetics, 135(11): 3773−3872

Liu M, Liepold C, Swaminathan S, Cianzio S. 2014. Advances of Asian soybean rust research. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 36(5): 676−684 (in Chinese) [刘敏, Liepold C, Swaminathan S, Cianzio SR. 2014. 亚洲大豆锈病研究进展. 中国油料作物学报, 36(5): 676−684]

Liu XX, Zheng JP, Yu L, Hao PY, Chen B, Xin QC, Fu HH, Gong P. 2021. Annual dynamic dataset of global cropping intensity from 2001 to 2019. Scientific Data, 8: 283

Liu Y, Ye PS, Zeng HL, Sun XF, He L, Hua LX, Jiang QP, He XM, Wang MJ, Zhang M. 2021. Research progress on pathogen species and occurrence of bean anthracnose. Microbiology China, 48(11): 4296−4305 (in Chinese) [刘勇, 叶鹏盛, 曾华兰, 孙小芳, 何炼, 华丽霞, 蒋秋平, 何晓敏, 王明娟, 张敏. 2021. 豆类炭疽病病原物种类及其发生研究进展. 微生物学通报, 48(11): 4296−4305]

Lu ZH, Deng KL, Yang HL, Chen SL, Shan ZH, Hao QN, Chen HF. 2025. Advances of Asian soybean rust resistance genes research. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 47(4): 806−813 (in Chinese) [卢自华, 邓克林, 杨红丽, 陈水莲, 单志慧, 郝青南, 陈海峰. 2025. 亚洲大豆锈病抗性基因研究进展. 中国油料作物学报, 47(4): 806−813]

Marquez N, Giachero ML, Declerck S, Ducasse DA. 2021. *Macrophomina phaseolina*: general characteristics of pathogenicity and methods of control. Frontiers in Plant Science, 12: 634397

Matthiesen RL, Robertson AE. 2023. Effect of infection timing by four *Pythium* spp. on soybean damping-off symptoms with and without cold stress. Plant Disease, 107(12): 3975−3983

Mena E, Stewart S, Montesano M, Ponce de León I. 2024. Current understanding of the *Diaporthe*/*Phomopsis* complex causing soybean stem canker: a focus on molecular aspects of the interaction. Plant Pathology, 73(1): 31−46

Rondon MN, Lawrence K. 2021. The fungal pathogen *Corynespora cassiicola*: a review and insights for target spot management on cotton and soya bean. Journal of Phytopathology, 169(6): 329−338

Ouyang HB, Sun GZ, Li KN, Wang R, Lv XY, Zhang ZC, Zhao R, Wang Y, Shu HD, Jiang HB, et al. 2024. Profiling of *Phakopsora pachyrhizi* transcriptome revealed co-expressed virulence effectors as prospective RNA interference targets for soybean rust management. Journal of Integrative Plant Biology, 66(11): 2543−2560

Presello DA, Iglesias J, Botta G, Reid LM, Lori GA, Eyhérabide GH. 2006. Stability of maize resistance to the ear rots caused by *Fusarium graminearum* and *F. verticillioides* in Argentinian and Canadian environments. Euphytica, 147(3): 403−407

Sautua FJ, Pizá MCP, Scandiani MM, Carmona MA. 2024. *Cercospora* leaf blight and purple seed stain of soybean: a permanent challenge. Plant Pathology, 73(8): 1981−2004

Shan ZH, Zhou XA. 2007. The status of soybean rust research. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 29(1): 96−100 (in Chinese) [单志慧, 周新安. 2007. 大豆锈病研究进展. 中国油料作物学报, 29(1): 96−100]

Shen CY, Su YC. 1991. Discovery and preliminary studies of *Phytophthora megasperma* on soybean in China. Acta Phytopathologica Sinica, 21(4): 298 (in Chinese) [沈崇尧, 苏彦纯. 1991. 中国大豆疫霉病菌的发现及初步研究. 植物病理学报, 21(4): 298]

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

Sun PL, Li JL, Liu LY. 2024. Preliminary study on the field control effect of 240 g/L chloroflurane·pyrazolate EC on *Septoria glycines*. Agricultural Technology & Equipment, (3): 156−157, 160 (in Chinese) [孙平立, 李金龙, 刘祯悦. 2024. 240 g/L氯氟醚·吡唑酯乳油对大豆褐斑病田间防效初探. 农业技术与装备, (3): 156−157, 160]

Sun SL, Van KJ, Kim MY, Min KH, Lee YW, Lee SH. 2012. *Diaporthe phaseolorum* var. *caulivora*, a causal agent for both stem canker and seed decay on soybean. Plant Pathology Journal, 28(1): 55−59

Tormen NR, Blum LEB. 2020. Row spacing, cultivar and fungicide application affect the incidence of soybean stem blight. Bioscience Journal, 36(5): 1557−1563

Verma R, Kushwaha KPS, Kumar S, Rawat S, Pandey R, Pandey D, Bisht AS, Roy B. 2024. Emerging threat to Indian agriculture: *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex as a novel pathogen imperiling bajra, cowpea, finger millet, green gram, moth bean, and soybean crops. Crop Protection, 182: 106741

Wang C. 2023. Genetic system, its ecological differentiation and recombination potential of growth period and related photothermal traits in golbal soybeans. PhD thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese) [王灿. 2023. 世界大豆生育期和有关光温性状的遗传体系、生态分化和重组潜势. 博士学位论文. 南京: 南京农业大学]

Wang J, Ren JD, Li WY, Shang QX. 2021. Pathogen identification of

soybean black spot. Journal of Beijing University of Agriculture, 36(1): 88−92 (in Chinese) [王佳, 任俊达, 李玮瑜, 尚巧霞. 2021. 大豆黑斑病病原菌鉴定. 北京农学院学报, 36(1): 88−92]

Wang SC, Zhang XY, Zhang ZC, Chen Y, Tian Q, Zeng DD, Xu M, Wang Y, Dong SM, Ma ZH, et al. 2023. *Fusarium*-produced vitamin B6 promotes the evasion of soybean resistance by *Phytophthora sojae*. Journal of Integrative Plant Biology, 65(9): 2204−2217

Watanabe S, Harada K, Abe J. 2012. Genetic and molecular bases of photoperiod responses of flowering in soybean. Breeding Science, 61(5): 531−543

Willbur J, McCaghey M, Kabbage M, Smith DL. 2019. An overview of the *Sclerotinia sclerotiorum* pathosystem in soybean: impact, fungal biology, and current management strategies. Tropical Plant Pathology, 44(1): 3−11

Wrather A, Koenning S. 2009. Effects of diseases on soybean yields in the United States 1996 to 2007. Plant Health Progress, 10: 24

Wrather JA, Anderson TR, Arsyad DM, Gai J, Ploper LD, Porta-Puglia A, Ram HH, Yorinori JT. 1997. Soybean disease loss estimates for the top 10 soybean producing countries in 1994. Plant Disease, 81(1): 107−110

Xia LS, Wu TT, Yuan S, Cao D, Qin C, Jiang BJ, Sun S, Wu XX, Han TF, Wang PG. 2025. Analysis of high-yield records of soybean in the United States and exploration of ways for enhancing soybean per unit yield in China. Soybean Science, https://link. cnki. net/urlid/23.1227. S. 20250822.1138.002 (in Chinese) [夏灵石, 武婷婷, 袁珊, 曹东, 秦超, 蒋炳军, 孙石, 武小霞, 韩天富, 王培国. 2025. 美国大豆高产记录剖析及中国大豆单产提升途径探索. 大豆科学, https://link. cnki. net/urlid/23.1227. S. 20250822.1138.002]

Xu YL, Li ZL. 2000. Current situation of soybean disease control in Argentina. World Agriculture, (4): 32−34 (in Chinese) [许艳丽, 李兆林. 2000. 阿根廷大豆病害防治现状. 世界农业, (4): 32−34]

Xu YL, Li ZL. 2001. Occurrence and control status of important soybean diseases in the United States, Argentina and Brazil. Chinese Journal of Oil Crop Scieves, 23(1): 74−79 (in Chinese) [许艳丽, 李兆林. 2001. 美国、阿根廷和巴西大豆重要病害发生与防治现状. 中国油料作物学报, 23(1): 74−79]

Yang F, Jia W, Yang N, Li WX, Duan YH, Hu Y, Cui Y. 2023. Spatio-temporal variation of surface soil pH of farmland in different regions of China in the past 30 years. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 29(7): 1213−1227 (in Chinese) [杨帆, 贾伟, 杨宁, 李文西, 段英华, 胡炎, 崔勇. 2023. 近30年我国不同地区农田耕层土壤的pH变化特征. 植物营养与肥料学报, 29(7): 1213−1227]

Ye WW, Zheng XB, Wang YC. 2020. Research progress on key technologies for monitoring and control of soybean root rot. Soybean Science, 39(5): 804−809 (in Chinese) [叶文武, 郑小波, 王源超. 2020. 大豆根腐病监测与防控关键技术研究进展. 大豆科学, 39(5): 804−809]

Ye WW, Chen RR, Ma ZC, Wang YC. 2023a. Occurrence and control of soybean *Phytophthora* root rot in China. Modern Agrochemicals, 22(6): 1−6 (in Chinese) [叶文武, 陈冉冉, 马振川, 王源超. 2023a. 中国大豆疫病的发生与防治. 现代农药, 22(6): 1−6]

Ye WW, Liu WC, Wang YC. 2023b. Occurrence status and whole-process green control technologies for soybean diseases and pests in China. Journal of Plant Protection, 50(2): 265−273 (in Chinese) [叶文武, 刘万才, 王源超. 2023b. 中国大豆病虫害发生现状及全程绿色防控技术研究进展. 植物保护学报, 50(2): 265−273]

Yorinori JT, Paiva WM, Frederick RD, Costamilan LM, Bertagnolli PF, Hartman GE, Godoy CV, Nunes J Jr. 2005. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. Plant Disease, 89(6): 675−677

Yuan SJ, Jiao XD, Zheng SJ, Ye WW, Wang YC. 2023. Identification of pathogens for suspected soybean sudden death syndrome in Heilongjiang Province in 2021. Soybean Science, 42(4): 451−458 (in Chinese) [袁素娟, 焦晓丹, 郑素娇, 叶文武, 王源超. 2023. 2021年黑龙江省疑似大豆猝死综合症的病原鉴定. 大豆科学, 42(4): 451−458]

Zeng DD, Zhang HF, Tian Q, Xu M, Wang YC, Zheng XB. 2016. Detection of soybean seed-borne pathogens in Huang-Huai area using LAMP assays. Journal of Nanjing Agricultural University, 39(6): 947−953 (in Chinese) [曾丹丹, 张海峰, 田擎, 许苗, 王源超, 郑小波. 2016. 基于环介导等温扩增技术检测黄淮地区大豆主栽品种种子携带的病原菌. 南京农业大学学报, 39(6): 947−953]

Zhan YH, Wang J, Li YG, Han YP. 2024. Soybean disease resistance, yield and quality correlation. Scientia Agricultura Sinica, 57(11): 2061−2064 (in Chinese) [战宇航, 王杰, 李永光, 韩英鹏. 2024. 大豆抗病性、产量与品质的相关性. 中国农业科学, 57(11): 2061−2064]

Zhang JC, Gu JF, Xu Y, Yang LY. 2005. Research progress on soybean *Phomopsis* seed decay and its implications for plant quarantine. Plant Quarantine, 19(3): 163−167 (in Chinese) [张建成, 顾建锋, 徐瑛, 杨兰英. 2005. 大豆拟茎点种腐病的研究进展及其检疫意义. 植物检疫, 19(3): 163−167]

Zhang ZC, Zhang XY, Tian Y, Wang LY, Cao JT, Feng H, Li KN, Wang Y, Dong SM, Ye WW, et al. 2024. Complete telomere-to-telomere genomes uncover virulence evolution conferred by chromosome fusion in oomycete plant pathogens. Nature Communications, 15: 4624

Zhao XL, Li KN, Zheng SJ, Yang J, Chen CJ, Zheng XB, Wang YC, Ye WW. 2022. *Diaporthe* diversity and pathogenicity revealed from a broad survey of soybean stem blight in China. Plant Disease, 106(11): 2892−2903

（责任编辑：李美娟）