

输华马铃薯上哥伦比亚根结线虫 风险分析

杜 宇, 丁元明, 寸东义, 曹云华, 周力兵, 刘忠善, 和 捷

(云南出入境检验检疫局, 昆明 650228)

摘要 依据国际植物检疫措施标准(ISPM)规定的有害生物风险分析程序(PRAS),利用多指标综合评估方法,通过对哥伦比亚根结线虫(*Meloidogyne chitwoodi*)的生物学特性、地理分布、寄主、经济意义和危害性等方面进行分析,结合我国进口马铃薯种薯和马铃薯种植情况,确定了其在中国具有传入、定殖和扩散的可能性,对各指标值进行赋值运算,获得总指标值 R 为 2.25,符合高风险的检疫性有害生物标准,因此建议将其列入输华马铃薯检疫性有害生物名单,实施风险管理。本文提出了风险管理措施方案。

关键词 马铃薯; 哥伦比亚根结线虫; 风险分析; 风险管理

中图分类号 S 432.45

Risk analysis of Columbia root-knot nematode *Meloidogyne chitwoodi* on potatoes in China

Du Yu, Ding Yuanming, Cun Dongyi, Cao Yunhua, Zhou Libing, Liu Zhongshan, He Jie

(Yunnan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Kunming 650228, China)

Abstract The risk posed by Columbia root-knot nematodes, *Meloidogyne chitwoodi*, on potato in China was assessed by using the integrated multi-index evaluation measurement, based on internationally developed pest risk assessment scheme (PRAS) of international standards for pest measurements (ISPM). The analysis reviewed the biology, current distribution, hosts and economic impact of *M. chitwoodi* in the epidemic areas as well as the imported potatoes and their economic importance in China. It was concluded that *M. chitwoodi* possesses the significant risk of entry, establishment and spreading in China. The integrated evaluation index R was 2.25. This risk analysis contributed to the decision that *M. chitwoodi* was added to the list of quarantine pests of imported potatoes in China. Risk management protocols were also evaluated to reduce the introduction risk of *M. chitwoodi*.

Key words potato; *Meloidogyne chitwoodi*; risk analysis; risk management

哥伦比亚根结线虫(*Meloidogyne chitwoodi*)是 美国马铃薯(*Solanum tuberosum*)上的重要有害生

物,1980 年在美国北太平洋地区最初发现,在 20 世纪 80~90 年代,先后在荷兰、比利时和法国发现;2001 年,在澳大利亚和新西兰有报道。到目前为止,已确定有分布的国家和地区包括:美国、墨西哥、阿根廷、比利时、荷兰、德国、匈牙利和南非。哥伦比亚根结线虫除了寄生马铃薯和番茄(*Lycopersicon esculentum*)外,还有其他广泛的寄主经济作物,包括甜菜(*Beta vulgaris*)、雅葱(*Scorzonera hispanica*)、大麦(*Hordeum vulgare*)、燕麦(*Avena sativa*)、玉米(*Zea mays*)、豌豆(*Pisum sativum*)、菜豆(*Phaseolus vulgaris*)、小麦(*Triticum aestivum*)、三叶草(*Medicago sativa*, 是生理小种 2 号线虫的寄主)、胡萝卜(*Daucus carota*, 是生理小种 1 号线虫的寄主)、西瓜(*Citrullus vulgaris*)和多种草本植物等。1993 年被列入 EPPO 检疫性有害生物名单(A2, 修订)。哥伦比亚根结线虫自身的传播能力比较弱,一年只能扩散数米,但是可随着感病种薯或土壤及其他感病组织远距离地传播扩散^[1-6]。近年来,我国已经开放对美国马铃薯种薯的进口市场,哥伦比亚根结线虫随着马铃薯种薯传入我国存在较大的可能性。因此,依据国际植物检疫措施标准(ISPM)规定的有害生物风险性分析程序(PRAS),有必要对其进行风险分析,为完善我国引进马铃薯种薯的风险管理措施提供参考。

1 哥伦比亚根结线虫风险性分析的启动

自 2004 年以来,我国已经对美国开放马铃薯种薯的引进和种植,云南昆明成为首批从美国阿拉斯加州引进种薯的试种基地之一。我国在与美国签署的关于美国阿拉斯加州马铃薯输华植物检疫议定书中,针对的危险性线虫部分包括马铃薯金线虫(*Globodera rostochiensis*)、马铃薯白线虫(*G. pallida*)、鳞球茎线虫(*Ditylenchus dipsaci*)和腐烂茎线虫(*D. destructor*),并未提及美国马铃薯上的具有重要经济价值的根结线虫——哥伦比亚根结线虫。鉴于该线虫在美国马铃薯生产上的经济重要性、有传播扩散的历史和我国引进种薯的风险管理措施的安全性,中国无哥伦比亚根结线虫的分布,符合 PRA 标准。因此,根据国际植物检疫措施标准(ISPM)规定的有害生物风险分析程序(PRAS),对其启动风险分析。

目前,已经确定到种的根结线虫有 90 多种,但是对作物造成较大危害的仅有 10 多种,其中包括 4 种广泛分布的南方根结线虫(*M. incognita*)、北方根结线虫(*M. hapla*)、爪哇根结线虫(*M. javanica*)和花生根结线虫(*M. arenaria*)。危害马铃薯的根结线虫种类有限,由于地区和马铃薯品种的差异,往往在同一产地的马铃薯上存在有限的 1~3 种根结线虫。哥伦比亚根结线虫与其他病原线虫在形态上有区别。另外,可采用同工酶电泳技术、双向凝胶电泳技术、RFLPs-PCR 和卫星 DNA 探针等可将哥伦比亚根结线虫与其他线虫区别开来^[8]。

2 风险分析

2.1 方法和步骤

采用蒋青等建立的“多指标综合评估方法”体系^[9],对其中的指标名称做了少数修改,对有害生物涉及的各项风险指标进行综合评估,并分别赋值运算,获得总指标值 R 。

各指标值的运算公式:

$$R = \sqrt[5]{P_1 * P_2 * P_3 * P_4 * P_5},$$

P_1 : 无下级指标,可直接获取;

$$P_2 = 0.6P_{21} + 0.2P_{22} + 0.2P_{23};$$

$$P_3 = \max(P_{31}, P_{32}, P_{33});$$

$$P_4 = \sqrt[5]{P_{41} * P_{42} * P_{43} * P_{44} * P_{45}};$$

$$P_5 = (P_{51} + P_{52} + P_{53})/3.$$

风险程度根据 R 值(3, 2, 1, 0)划分为 5 级, 3~2.5 为极高风险, 2.4~2.0 为高风险, 1.9~1.0 为中风险, 0.9~0.1 为低风险, 0 为 0 风险。

依据 R 值, 确定哥伦比亚根结线虫的风险程度, 提出风险管理备选方案和措施。

2.2 结果与分析

2.2.1 哥伦比亚根结线虫的风险性综合评估

生物学特性: 在适宜条件下, 哥伦比亚根结线虫完成 1 代生活史需要 21~28 d。线形 2 龄幼虫从寄主组织(根)或土壤中孵化后, 从寄主根尖侵入根部, 刺激寄主组织形成巨大型细胞。3 龄幼虫停止取食和活动, 体形膨大成为香肠状并迅速发育, 第 3 次蜕皮后, 发育成雌、雄成虫。雄虫线形, 活动, 寻找雌虫交配。雌虫是典型的梨形, 珍珠白色, 固定在寄主的组织里。卵产于寄主组织的近表皮层, 包被于几丁

质卵囊中,形成卵块。在马铃薯块茎上,畸形细胞形成如“篮子”状保护组织包围卵块。哥伦比亚根结线虫以卵或2龄幼虫越冬,可忍耐半冬冻的土壤温度,当土壤温度达到5℃时,线虫开始发育;完成第1代生活史,需要积温600~800日度,其第2~3代生活史需要500~600日度^[10]。根据Baker等哥伦比亚根结线虫在寄主的一个生长季节在英国可完成3代^[11]。Tiilikkala等认为该线虫在芬兰可完成2代^[12]。

哥伦比亚根结线虫可垂直迁移120 cm 侵染寄主的根部;根据寄主选择性,可进一步分为2种生理小种^[13]。没有报道表明哥伦比亚根结线虫是其他检疫性有害生物的传播媒介。

地理分布:1980年,哥伦比亚根结线虫在美国的西北太平洋地区首次被报道,其俗名起源于美国俄勒冈和华盛顿州之间的哥伦比亚河。20世纪80年代,在EPPO地区监测到该线虫。在荷兰,对早期标本重新鉴定结果表明,该线虫可能在20世纪30年代在EPPO地区就有发生。现在已经确认有分布的地区包括:EPPO地区的比利时、德国、荷兰和匈牙利;南非;美国(加利福尼亚、科罗拉多、爱达荷、内华达、俄勒冈、犹他、华盛顿州和弗吉尼亚)、墨西哥和阿根廷。在我国无分布。

根据哥伦比亚根结线虫的生物学特性分析,哥伦比亚根结线虫适生的地理范围与马铃薯金线虫的相似。

潜在的危害性:哥伦比亚根结线虫是美国西北太平洋各州马铃薯上的重要经济线虫,每年因其危害导致的损失大约是4千万美元,主要包括产量减少,收获的马铃薯因线虫危害导致其市场价值降低^[10]。

当前一季1 L土壤中的2龄幼虫或虫卵的密度达到133条(个)时,来年有10%的马铃薯种薯受害^[14]。根据市场价值评估,当有5%的马铃薯受害时,整批马铃薯就失去了其市场价值。由于有多个国家和地区包括EPPO地区、加拿大、澳大利亚和新西兰等将其列为检疫性的有害生物,因此,存在对国际间贸易的影响。

寄主范围:马铃薯是哥伦比亚根结线虫的重要寄主之一,另外还包括番茄、甜菜、洋葱、大麦、燕麦、玉米、豌豆、菜豆、小麦、三叶草、胡萝卜、西瓜和多种

草本植物等。

在我国,马铃薯的种植面积和总产量居世界首位。根据中国农业统计年鉴的数据(1998),全国22个省马铃薯种植面积达406万hm²,产量5626万t。马铃薯主要种植在寒温地区,既是粮食,又是蔬菜。在中国马铃薯适生的大部分地方,哥伦比亚根结线虫都能生存。

传入、定殖和扩散的风险:2004年以来,我国开始从美国进口马铃薯种薯,如果马铃薯种薯从哥伦比亚根结线虫的疫区进口,根结线虫能随着马铃薯种薯及其感染的土壤传入。哥伦比亚根结线虫自身扩散能力较弱,但是可随着自然雨水、农业活动和贸易等人为因素传播扩散。澳大利亚和新西兰有报道在检疫中截获哥伦比亚根结线虫。

哥伦比亚根结线虫与北方根结线虫(*M. hapla*)相比较(最低发育温度是10℃,需要的积温与哥伦比亚根结线虫相似),前者由于发育起始温度较低,有更强的抗低温能力。

风险管理:哥伦比亚根结线虫危害寄主后的症状表现因寄主种类、虫口密度和环境条件的不同而有所差异。通常地上部分的症状表现不明显,只有寄主受到严重危害时,才出现矮化、长势衰退或缺水状萎蔫等症状。在马铃薯种薯上的症状表现不明显,有些品种的种薯即使受到严重侵染,也不表现明显症状,难以检测。在有些品种上,症状表现为小的根结突出于种薯的表面,分布较集中,如:分布于芽眼附近;根结下的组织坏死,形成褐斑。在介质土壤和根中,线虫不能肉眼所见,因此,现场检疫和抽样具有一定的难度。

检疫带虫种薯,可直接解剖种薯及其他感虫组织,也可通过贝曼漏斗等方法分离感虫组织、介质土壤,获得线虫幼虫。如果发现雌成虫,可通过形态解剖鉴定,幼虫可通过形态和分子生物学方法鉴定。

根据Pinkerton等^[15]、Santo^[16]报道,常用的杀线剂如涕灭威和苯线磷等对哥伦比亚根结线虫没有明显的防治作用。检疫上的根除措施销毁和退回处理,可防止线虫的定殖扩散。一旦线虫定殖,常用杀线剂可降低虫口密度,但是不能根除线虫。要达到根除目的,需要土壤熏蒸或蒸热处理等措施。

2.2.2 风险指标赋值运算

由表 1 可见,哥伦比亚根结线虫是一种高风险的有害生物,有必要列入我国检疫性有害生物名单,在进境检疫中对其实施风险管理。

表 1 哥伦比亚根结线虫风险分析多指标赋值列表

评价指标代码	评价指标	评价标准	赋值
P_1	国内分布状况	无分布	3
P_2	潜在的危害性	$0.6P_{21}+0.2P_{22}+0.2P_{23}$	1.8
P_{21}	潜在的经济意义	重要	2
P_{22}	是否是其他有害生物的传播媒介	否	0
P_{23}	国际检疫地位	20 个国家以上	3
P_3	受害寄主的重要性	$\max(P_{31}, P_{32}, P_{33})$	3
P_{31}	受害经济寄主种类	10 种以上	3
P_{32}	受害经济作物的面积	疫区马铃薯和番茄的种植面积超过 350 万 hm^2 。	3
P_{33}	受害经济作物的重要性	非常重要	3
P_4	传入、定植和扩散的可能性	$P_4 = \sqrt{P_{41} * P_{42} * P_{43} * P_{45}}$	1.78
P_{41}	截获的可能性	有	2
P_{42}	运输中,线虫成活的可能性	高	3
P_{43}	分布范围	不广	1
P_{44}	定殖的可能性及适生范围	与马铃薯适生区相同	3
P_{45}	扩散的可能性	自身扩散能力较弱,主要是人为传播	1
P_5	风险管理的效率	$(P_{51}+P_{52}+P_{53})/3$	2
P_{51}	检疫鉴定的难度	中	2
P_{52}	除害处理难度	较难	2
P_{53}	根除难度	成本较高	2
R	总指标值	$R = \sqrt[5]{P_1 * P_2 * P_3 * P_4 * P_5}$	2.25

3 风险管理措施

3.1 风险管理措施备选方案

根据国际公约 SPS 协议要求,有害生物风险管理措施应既能为输出国、输入国所接受、贸易者能力可承受,又能将风险降低到可接受的最低水平,尽量减少对贸易的影响,因此,针对马铃薯上的哥伦比亚根结线虫,提出如下备选方案。

将哥伦比亚根结线虫列入检疫性有害生物名单,对其实施风险管理。具体做法:a. 在进口审批和双边贸易议定书中,将其列入禁止进境有害生物名单;b. 要求进口马铃薯种薯来自非疫区;c. 进口马铃薯种薯应经出口方官方检疫并出具检疫证书;d. 出口前马铃薯需经清洁处理,不带土壤;e. 运输过程中具有防二次感染保护措施;f. 到达口岸实

施现场检疫;g. 抽样和实验室检验;h. 从新的地区引进种薯需进行风险分析和隔离试种;i. 对种植地包括隔离试种实施后续检疫监督管理;j. 除害处理,如果在入境口岸发现疫情,立即实施根除处理措施,包括禁止调离入境口岸就地烧毁或退回;如果在后续检疫监督管理中发现疫情,采取烧毁感病种薯和根茎、土壤溴甲烷熏蒸处理、蒸热处理和太阳紫外线辐照处理、土地闲置和种植非寄主植物等方法根除处理;k. 及时做好有害生物预警和疫情通报。

3.2 效率评价

检疫性有害生物名单:将哥伦比亚根结线虫列入检疫性有害生物风险名单,是进境检疫中对危险性有害生物实施风险性管理措施的依据。

进境审批:先办理检疫审批手续后对外签订合同,将检疫审批要求列入贸易合同;在审批文件上提出马铃薯种薯生产、贮存和运输中,应该满足哥伦比亚根结线虫风险管理的要求和方案,入境后必要的检疫处理或隔离试种要求。

通过进口前检疫审批程序,可以从宏观上决定引种地区和国家,避免从有疫情的地区引种,降低引种风险;同时也可使出口方和进口方遵守我国政府的要求和法律规定,督促出口方实施出口前的风险管理措施,包括非疫区、官方出具检疫证书、出口前对种球进行清洁处理、贮存期和运输过程中的防感染保护措施和选择抗病品种。因此,该措施符合国际公约 SPS 协议的要求,而且能有效地预防哥伦比亚根结线虫的入侵。

出口前的风险评估:如果一种进境品系的马铃薯种薯未经审批,需要首先进入风险评估的程序。这对审批本身提出了一种限制条件,唯有经过风险评估的植物繁殖材料,才有可能获得审批准入的条件。因此,该措施对防止哥伦比亚根结线虫的入侵有预防的作用。

到达口岸的现场检验:到达口岸时的检验,主要执行的任务和功能是:确认是否审批、输出国的证书、官方文件和标识是否符合要求,确保不带可见的土壤和有害生物及其他未经许可的繁殖材料等。该措施可部分防止哥伦比亚根结线虫的入侵。

抽样和实验室检验:线虫是通过肉眼难以检测

的有害生物,该措施是现场检疫不可忽略的补充。可部分防止哥伦比亚根结线虫的入侵。

后续检验检疫监督管理:由于哥伦比亚根结线虫寄生的隐蔽性和现有检疫技术的局限,从审批到实验室处理等一系列的措施,只能降低风险,不能达到完全防止或者根除的目的。感病马铃薯在隔离种植期间,可能出现一些症状表现,或者通过定期的土壤线虫检测,可发现前期工作中未发现的问题。因此,后续检验检疫监管可进一步防止危险性有害生物的稳定和扩散。

除害处理:检疫上的除害处理措施是防止哥伦比亚根结线虫传入、定殖和扩散,最终目的是达到根除的效果。

及时做好有害生物预警和疫情通报是管理层、研究机构和部门之间沟通的一种有效的方式。对降低有害生物入侵风险有着积极的作用。

上述备选风险管理措施既有其特定的效率,又相互补充,缺一不可,才能有效地降低风险,防止哥伦比亚根结线虫的入侵。

4 讨论

对一种危险性有害生物进行风险分析,有多种方法,包括利用 CLIMEX 或者 GIS 等软件和技术等,可将 PRA 地区和疫区的气候、寄主及有害生物之间的关系进行有机的评价,但是存在一定的难度和不足。我国利用多综合指标评估体系对多种危险性有害生物进行评估,以总指标值 R 确认其风险程度,其结果经证明是可靠的^[17]。本文直接对一些定性的指标进行赋值运算,获得哥伦比亚根结线虫的风险等级,将其定为风险高的有害生物,具有现实的检疫价值。由于多综合指标评估体系依赖于已有的资料性信息,没有具体的试验依据,因此,还需要进一步的探索和完善。

参考文献

- [1] Central Science Laboratory. Department for environment, food and rural affairs, The UK, 2002 PB6882[EB/OL]. (2006-10-10). <http://www.defra.gov.uk>.
- [2] O'BANNON J H, SANTO G S, NYCAEPIR A P. Host range of the Columbia root-knot nematode[J]. Plant Disease, 1982, 66: 1045-1048.
- [3] BRINKMAN H, GOOSSENS J M, VAN RIEL H R. Comparative host suitability of selected crop plants to *Meloidogyne chitwoodi* and *M. fallax* (abstract) [J]. Anzeiger für Schädlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz, 1996, 127-129.
- [4] SANTO G S, O'BANNON J H, FINLEY A M, et al. Occurrence and host range of a new root-knot nematode (*Meloidogyne chitwoodi*) in the Pacific Northwest[J]. Plant Disease, 1980, 64: 951-952.
- [5] KARSEN G, DEN NIJS L. *Meloidogyne chitwoodi* and *Meloidogyne fallax* [R], Bulletin OEPP/EPPO Bulletin, 2004, 34: 315-320.
- [6] GOLDEN A M, O'BANNON J H, SANTO G S, et al. Description and SEM observations of *Meloidogyne chitwoodi* n. sp. (Meloidogyneidae), a root knot nematode on potato in the Pacific Northwest[J]. Journal of Nematology, 1980, 12: 319-327.
- [7] TOWNSHEND I J, POTTER J W, DAVIDSON T R. Some monocotyledonous and dicotyledonous hosts of *Meloidogyne microtyla* [J], Plant Disease, 1984, 68: 7-10.
- [8] CASTAGNONE-SERENO P, LEROY F, BONGIOVANNI M, et al. Specific diagnosis of two root-Knot nematodes, *Meloidogyne chitwoodi* and *M. fallax*, with satellite DNA probes[J]. Phytopathology, 1999, 89: 380-384.
- [9] 蒋青,梁忆冰,王乃扬,等. 有害生物危险性评价的定量分析方法研究[J]. 植物检疫, 1999, 13(1): 17-22.
- [10] SANTO G S. Biology and management of root-knot nematodes on potato in the Pacific Northwest[M]// Advance in potato pest biology and management. St Paul: APS Press, 1994, 193-201.
- [11] BAKER R H A, DICKENS J S W. Practical problems in pest risk assessment[M]// Plant Health and the European Single Market. BCPC, Farnham, UK. 1993: 209-220.
- [12] TIILIKKALA K, CARTER T, HEIKINHEIMO M, et al. Pest risk analysis of *Meloidogyne chitwoodi* [R], Bulletin OEPP EPPO Bulletin, 1995, 25: 419-436.
- [13] Columbia Root knot nematode *Meloidogyne chitwoodi*. (2007-2-9). http://www.utahpests.usu.edu/plantdiseases/files/uploads/pestmonitoring/columbia_rkn.pdf.
- [14] FERRIS H, MULLENS T A, FOORD K E. Stability and characteristics of spatial description parameters for nematode populations[J]. J Nematol, 1990, 22: 427-439.
- [15] PINKERTON J N, SANTO G S, PONTI R P, et al. Control of *Meloidogyne chitwoodi* on commercially grown Russet Burbank potatoes[J]. Plant Disease, 1986, 70: 860-863.
- [16] SANTO G S, WILSON J H. Evaluation of ethoprop and cadusafos for control of *Meloidogyne chitwoodi* on potato[J]. Nematropica, 1990, 20: 137-142.
- [17] 鞠瑞亭,彭正强,印丽萍,等. 入侵害虫椰心叶甲在中国的风险性分析[J]. 植物保护学报, 2005, 32(2): 246-250.