

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2014)02-0000-06

马铃薯土传病害的研究进展

汪 沛^{1,2}, 熊兴耀^{1,2}, 雷 艳^{1,2}, 汤琳菲^{1,2}, 刘明月^{1,2}, 聂先舟³, 胡新喜^{1,2*}(1. 湖南农业大学园艺园林学院, 湖南 长沙 410128; 2. 湖南省马铃薯工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128;
3. 加拿大农业部马铃薯研究中心, 加拿大弗莱德里克顿 E3B4Z7)

摘 要: 马铃薯是世界第四大粮食作物, 具有产量高和适应性较强的优点, 但其不耐连作, 易受土传病害的危害, 块茎产量和品质均受到较大的影响。本文对近年来土传病害的种类与分布, 影响病害发生的生物因素与非生物因素及土传病害的防治措施进行了综述, 并对今后的研究重点进行了展望。

关键词: 马铃薯; 土传病害; 生物因素和非生物因素; 防治措施

Research Advances in Soil-borne Potato Diseases

WANG Pei^{1,2}, XIONG Xingyao^{1,2}, LEI Yan^{1,2}, TANG Linfei^{1,2}, LIU Mingyue^{1,2}, NIE Xianzhou³, HU Xinxi^{1,2*}(1. College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;
2. Hunan Provincial Engineering Research Center for Potatoes, Changsha, Hunan 410128, China;
3. Potato Research Center of Agriculture and Agri-Food Canada, Fredericton, NB, E3B4Z7, Canada)

Abstract: Potato is the fourth most important food crops, with advantages such as high-yielding and adaptability. However, it is easy to damage by soil-borne diseases under continuous potato cropping. Researches on the soil-borne potato pathogens, symptoms, distribution, and effects of biotic and abiotic factors on the occurrence and development of soil-borne potato diseases and methods of control diseases were reviewed in this article. The emphasis of future research work was prospected.

Key Words: potato; soil-borne disease; biotic and abiotic factors; control method

马铃薯是世界第四大粮食作物, 它具有产量高, 适应性强等优点, 食用口感好并具有丰富的营养价值。但马铃薯可患细菌、真菌、病毒、类病毒等引起的病害^[1], 这些病原体通过土壤、接触或空气传播, 作为块茎类作物, 土传病害对马铃薯的影响更大, 不仅影响其产量, 还直接影响块茎的品质和商品性。土壤的理化性质很大程度上影响土壤微生物、病原菌和植物三者之间的关系, 甚至改变土壤微生物间的相互作用。在某些土壤中, 即使具备病原菌生存的适宜环境条件且植株易感病, 发病率也很低, 这是因为病害发

生, 还与土壤中的病原菌数量和生活力极大相关, 同时受土壤中的生物因素和非生物因素的影响^[2]。研究土传病害, 必须对土壤中影响土传病害的因素及其机理有所了解, 从而解释土壤、病原体以及植物之间复杂的相互作用^[3]。本文对马铃薯土传病害的种类、影响因素及其防治策略进行综述, 并对将来的马铃薯研究进行展望。

1 马铃薯土传病害的种类及其病原菌、病症与分布

到目前为止, 在世界范围内已发现近40种土

收稿日期: 2014-03-14

基金项目: 公益性行业科研专项经费项目(201203096); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20104320120005)。

作者简介: 汪沛(1990-), 女, 硕士研究生, 主要从事马铃薯生物技术研究。

*通信作者(Corresponding author): 胡新喜, 副教授, 主要从事马铃薯栽培生理研究, E-mail: huxinxi163@163.com。

传病害对马铃薯产量造成了较大损失。根据其病原的种类可分为细菌性病害、真菌性病害、线虫类病害和病毒性病害。但是, 病毒一般不能直接在土壤中存活, 必须通过中间寄主传毒, 土传病毒性病害一般通过土传的真菌或线虫传播, 如马铃薯帚顶病毒(Potato mop top virus, PMTV)通过粉痂菌(*Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*)传播, 而烟草脆裂病毒(Tabacco rattle virus, TRV)通过根线虫(Nematodes)传播。病毒性病害会引起叶片皱缩或卷曲、花叶、叶脉坏死等, 也可能导致植株矮化, 只有少部分病毒病如TRV、PMTV、马铃薯Y病毒(Potato virus Y, PVY)和烟草坏死病毒(Tobacco necrosis virus, TNV)等会导致块茎表皮出现病斑或块茎腐烂。茎部发生的病害通常表现为茎腐烂或在茎内形成菌核, 也可能仅表现为浅棕色病斑并不影响产量。根部发生的病害, 主要由土壤中的线虫引发, 导致根坏死或腐烂。同时, 土传病害也可破坏马铃薯块茎质量。

常见马铃薯土传病害的种类及其病原、病症及其地理分布详见表1^[4-8]。

2 影响马铃薯土传病害发生的生物因素

2.1 病原菌

2.1.1 病原菌的来源、存活和传播方式

病原菌种类多样, 某些病害可能是由多种病原菌的综合作用引发。能在土壤中存活的病原菌大多能再次侵染寄主植物, 不同病菌的存活方式不同, 一些病原菌能在寄主植物的腐根或腐茎中越冬, 病原体也可由带病种子或种薯传播。如镰刀菌、水稻纹枯病菌、黄萎病病菌、菌核病病菌以菌核越冬, 细菌性病菌能在适宜温湿度和土壤结构的环境条件下越冬^[9], 线虫则以卵或成虫在土壤和植物残根中越冬^[10]。真菌性病害常通过灌溉水或流水、粘着在农机设备的残留土壤、带病种薯等以孢子和菌丝体形式传播^[11], 此外, 也可通过游动孢子传播。线虫通过蠕动只能近距离传播, 也可随着地表水的径流或病土或病草皮或病种子进行远距离传播。

2.1.2 病原的种群密度与病害发生的关系

虽然病害发生与病原菌密度之间并没有确定的线性关系, 但发病程度在总体上随病原菌密度的增加而加重。某些情况下, 病原菌密度需要达

到一定的临界值才会引发病害, 如马铃薯胞囊线虫^[12]。相反, 黑点病的发病程度并不随病原菌的密度而变^[13]。事实上, 病害发生程度与病原菌密度之间的关系取决于确定的环境因素和土壤结构。

2.1.3 病原的侵染机制

马铃薯土传病害病原菌能打破表皮的保护侵染马铃薯, 主要侵染根、嫩芽、地下茎、匍匐茎和块茎。有些病原菌不能透过完整表皮而只能通过伤口侵染, 有的病原菌则能通过气孔、皮孔等自然口侵染植株。病原菌一旦侵染植株, 就会在植物组织中快速繁殖扩增。真菌大多具有主动性, 是以孢子萌发的芽管或以菌丝从伤口、自然孔口或直接侵入, 细菌主要以菌体随水滴或者植物表面的水膜从伤口或自然伤口侵入, 存在于气孔上水膜内的细菌可通过气孔游入气孔下室, 再繁殖侵染, 而有的只能从伤口侵入^[14]。

真菌和细菌可引起植物组织腐烂, 产生一系列水解酶, 如纤维素酶、果胶酶、木聚糖酶和蛋白酶, 这些酶类使植物细胞壁软化最终导致细胞死亡, 为微生物创造机会获取死亡细胞内的营养物质^[15], 果胶杆菌属病菌基于群体感应产生的一类致病原, 它利用自由扩散的化学信号分子, 使致病菌同步产生的毒力因子和致病攻击更有效^[16]。线虫又分为皮外寄生和皮内寄生两大类, 皮外寄生线虫可以短距离蠕动, 以分生区的马铃薯根为食, 不进入根内寄生即可生长繁殖; 马铃薯金线虫、马铃薯白线虫在根细胞中形成空腔, 最终形成瘤^[17]。

2.2 土壤微生物与病原菌之间的相互作用

除了引发马铃薯土传病害的微生物外, 土壤中还存在一个巨大的微生物群体, 并影响着马铃薯的生长, 土壤微生物群落结构因马铃薯生长期及其他因素(如营养状况、生物因素和非生物因素)而异^[18]。沙雷氏菌、假单胞菌属、芽孢杆菌、链霉菌属及木霉菌的相互作用能降低几种马铃薯病害的发病程度^[19-21]。

2.3 植物与病原菌之间的相互作用

现已完成绝大多数马铃薯品种对土传病害不同抗性水平的研究。通过种间杂交可将野生茄科植物的抗病基因转入茄科植物栽培种^[22]。研究表明, 彩色马铃薯产生的花青素能更好地提高品种抗病性, 它们越来越多地被应用于目前的育种计划, 已经获得多个抗病品种, 但很难获得对所有

表 1 常见马铃薯土传病害病原、病症及其地理分布

Table 1 Potato soil-borne pathogens, symptoms and distribution

		主要症状 Main symptom						
病原 Pathogen	病害名称或传播途径 Disease name or transmission path	块茎症状			除块茎外的发病部位			地理分布 Geographical distribution
		Tuber symptom			Disesed parts except tuber			
		瘰瘤 Gall	病斑 Blemish	腐烂 Rot	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	
真菌性病害 Fungi and oomycetes								
马铃薯炭疽病菌 <i>Colletotrichum coccodes</i>	黑点病 Black dot		✓		✓		✓	各洲均有
镰刀菌 <i>Fusarium</i> spp.	干腐病 Dry rot			✓				各洲均有
马铃薯银腐病菌 <i>Helminthosporium solani</i>	银屑病 Silver scurf		✓					各洲均有
菜豆壳孢菌 Macrophomina phaseolina	炭腐病 Charcoal rot			✓				美洲，欧洲，亚洲
茎点菌 <i>Phoma</i> spp.	坏疽病 Gangrene							北美，欧洲，亚洲
马铃薯疫霉维腐病菌 Phytophthora erythroseptica	红腐病 Pink rot			✓				各洲均有
马铃薯皮斑病菌 <i>Polyscytalum pustulans</i>	皮斑病 Skin spot		✓		✓			欧洲，北美洲，大洋洲，亚洲
立枯病菌 <i>Rhizoctonia solani</i>	黑痣病，茎溃病 Black scurf/Stem canker		✓		✓			各洲均有
白绢病菌 <i>Sclerotium rolfsii</i>	茎腐病 Stem rot			✓	✓			各洲均有
马铃薯粉痂菌 <i>Spongospora subterranea</i>	粉痂病 Powdery scab	✓	✓				✓	各洲均有
马铃薯癌肿病菌 <i>Synchytrium endobioticum</i>	马铃薯癌肿病 Wart	✓						各洲均有
马铃薯黑粉病菌 <i>Thecaphora solani</i>	黑粉病 Thecaphora smut	✓		✓				南美，墨西哥
大丽轮枝菌 Verticillium dahliae	黄萎病 Verticillium wilt			✓	✓	✓		各洲均有
细菌性病害 Bacteria								
环腐棒杆菌 Clavibacter michiganensis ssp. sepedonicus	环腐病 Ring rot			✓		✓		各洲均有
芽孢梭菌属 Clostridium spp.	细菌性软腐病 Bacterial soft rot			✓				各洲均有
欧文氏杆菌 Erwinia	黑茎病，软腐病 Black leg, soft rot			✓	✓	✓		各洲均有
青枯雷尔氏菌 Ralstonia solanacearum	青枯病 Brown rot			✓	✓			非洲，南美及亚洲
镰刀菌属 Fusarium	赤霉病 Fusarium head blight	✓	✓				✓	各洲均有
线虫类病害 Nematodes								
刺线虫 Sting nematode								南美洲
腐茎线虫，球茎线虫 Rot nematode stem and bulb nematode				✓			✓	欧洲，非洲，美洲
胞囊线虫 Cyst nematode			✓				✓	各洲均有
根结线虫 Root-knot nematode		✓					✓	各洲均有
短粗根结线虫 Stubby root nematode			✓				✓	欧洲，南美洲
穿刺短体线虫 Root-lesion nematode							✓	各洲均有
病毒类病害 Virus								
烟草坏死病毒 TNV	机械损伤，芸薹油壶菌 Mechanic wound, Olpidium brassicae		✓	✓				各洲均有
烟草脆裂病毒 TRV	短粗根结线虫 Stubby root nematode		✓	✓				欧洲，日本，新西兰，北美，俄罗斯
马铃薯帚顶病毒 PMTV	马铃薯粉痂菌 Spongospora subterranea		✓	✓	✓	✓		安第斯地区，中欧，北欧

病原菌都有抗性的品种^[23]。此外, 某些病害的病原菌常出现遗传变异, 原来的抗病品种可能成为感病品种, 品种的抗病性和抗病持久性很大程度上取决于生物因素和非生物因素之间复杂的相互作用。

3 影响马铃薯土传病害发生的非生物因素

3.1 土壤温度

温度是病害发生的重要条件, 它决定病原菌的生长速度^[24]、地理分布及病征类型^[25]。大部分马铃薯病害的病原菌能在10~25℃的温度下存活, 但炭疽病、黑痣病和粉痂病病原菌需在15℃以下的温度环境中才能正常生长。相反, 黑斑病、根朽病、茎腐病、木炭腐病的病原菌更喜欢27℃以上的环境温度。此外, 线虫因其种群起源地差别能不同程度地适应25~35℃的环境温度, 并且在此温度范围内, 它们的繁殖能力更好^[26,27]。

3.2 土壤湿度

雨水过于充沛、排水不利、土壤质地过粘、灌溉不合理都会导致土壤湿度过大, 利于病害发生^[28]。一些病害, 尤其是细菌性病害的发病率会因土壤水分含量高而提高, 但也有少数病害在土壤水分较低的情况下发病严重, 如黑点病、干腐病、茎腐病、粉痂病和根结线虫引发的病害等, 此外, 湿度过大导致土壤中O₂含量低而CO₂含量上升, 利于粉痂菌属病菌的生存和繁殖^[29]。

3.3 土壤结构

大多数真菌性病害在轻沙质土壤中较易发生, 线虫病及其传播的病毒病在沙质土中危害严重。相反, 细菌性病害多发生在粘土中, 如环腐病、软腐病、褐腐病等^[30]。线虫引发的土传病害与土壤结构无明显相关性。土壤质地影响土壤结构, 不同土壤质地的土壤空隙大小和分布都有差异, 这就决定了土壤微生物生存的空间大小。

3.4 土壤pH

土壤pH的波动会影响病原菌的活动以及病害发生情况, 降低土壤pH能提高磷、氮、铝离子的可用性, 降低胞囊线虫、褐腐病、粉痂病造成的损失^[31,32]。增施尿素能提高土壤pH, 降低某些真菌性病害的发生^[33]。偏酸性土壤, 有利于病菌的生长和侵染, 能促进病害的发生与流行^[34]。

3.5 土壤有机质

土壤有机质是土壤微生物生命活动的产物,

也是其营养物质来源, 而且它与土壤粘性和土壤结构相关, 直接影响土壤的含水量和透气性, 因此, 土壤中的有机质含量一定程度上决定着土传病害的发生情况^[30]。

4 马铃薯土传病害的防治

4.1 化学防治

采用化学药剂防治是防治土传病害的有效措施之一, 消菌灵、代森锰锌、波尔多液等能有效防治马铃薯青枯病^[35,36], 噁菌酯在马铃薯黑痣病各个发病时期均能发挥有效防治效果^[37]。但化学药剂的使用往往对环境带来负面影响, 同时, 病原菌可能会产生抗药性, 因此, 选择化学药剂防治病害需谨慎, 应尽量选择对环境影响小的药剂, 也可交替使用各种药剂, 以避免病原菌产生抗药性。

4.2 农艺防治

由于化学防治对环境带来负面影响, 因而, 以改善栽培技术为主的农艺防治方法更可选^[38]。马铃薯和其他禾谷类作物4~5年的轮作可有效防治多种土传和病残体传播病害的发生^[39]。早熟品种可避免某些病害的危害, 如主要在植物生长后期造成伤害的黑痣病和炭疽病^[40]。将甘蓝与绿肥作物轮作, 产生的挥发性含硫化合物可改变土壤微生物的群落结构, 减少与害虫相关的病原体数量^[41]。若某种病害只在某一区域发生, 则应采取措施避免病害蔓延, 如淘汰或烧毁所有病变植株^[42]。堆肥也能对土壤消毒, 有机废物是马铃薯种植过程中常用的堆肥(污泥、粪便等), 它们会在温暖环境下经历漫长的有氧分解过程, 增加土壤有机质, 改善土壤结构^[43]。此外, 通过某些方法增加马铃薯根茎数量, 可间接起到综合防治土壤中的线虫及根瘤菌的作用^[44,45]。

4.3 其他防治方法

利用一种生物对付另外一种生物的方法, 称为生物防治法^[30], 即以虫治虫、以菌治虫、以菌治菌, 以菌治病。此外, 研究表明, 利用水杨酸诱导马铃薯疮痂病抗性, 开发新型高效诱抗剂是可行的^[46]。使用病原体本身产生的天然有毒化合物, 如利用挥发性油脂熏蒸, 可防治干腐病、黑痣病和茎溃病^[47]。通过生物熏蒸或暴晒, 能对土壤起到消毒作用, 从而预防土传病害。生物试剂的选用对土传病害的防治有一定效果, 但是, 选择生物试

剂,必须考虑其对人体健康的潜在影响。如洋葱伯克霍尔德菌试剂能减少干腐病、黑痣病和茎溃病的发生,但由于其可引起人类感染,因此不推荐应用^[50,51]。

5 展 望

病害发生是植物体与病原菌相互作用的结果,影响植物和病原菌生长的各种生物或非生物因子都与土传病害相关,非生物因素调节生物因素,两者共同作用为植物生长提供条件,也为病原菌生长或潜伏提供条件。对某种病害不利的环境条件可能利于另一种病害,植物、病原体与微生物之间的相互作用使得病害防治成为难题,想要同时控制影响病害发生的所有因素几乎是不可能的,而且病原菌在长期的进化过程中,可能适应环境变化产生遗传变异,具备新的致病能力。因此,研究植物与病原菌的相互作用及降低其相互作用的防治措施将是未来研究的重点。虽然病害防治方法日益更新,但选择抗病品种始终是最经济有效的防治方法,同时综合其他防治措施的综合防治效果更佳。

[参 考 文 献]

- [1] 黑龙江省农业科学院马铃薯研究所. 中国马铃薯栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [2] France R A, Brodie B B. Differentiation of 2 New York isolates of *Pratylenchus penetrans* based on their reaction on potato [J]. Nematology, 1995, 27: 339–345.
- [3] Vreugdenhil D. Potato biology and biotechnology—advances and perspectives [M]. Amsterdam: Elsevier, 2007.
- [4] Fiers M, Edel-Hermann V, Chatot C, et al. Potato soil-borne diseases. A review [J]. Agron Sustain Dev, 2012, 32: 93–132.
- [5] 陈万利. 马铃薯黑痣病的研究进展 [J]. 中国马铃薯, 2012, 26(1): 49–51.
- [6] 刘霞, 杨艳丽, 罗文富. 云南马铃薯粉痂病原菌研究 [J]. 植物保护, 2007, 33(1): 105–108.
- [7] 赫莲香, 郭晓, 张新永, 等. 青枯病菌研究进展 [J]. 中国马铃薯, 2011, 25(1): 50–54.
- [8] 李明福. 马铃薯病毒及其检疫重要性初析 [J]. 植物检疫, 1997 (5): 263.
- [9] Ficke W, Naumann K, Skadow K, et al. Longevity of *Pectobacterium carotovorum* var. *atrosepticum* (van Hall) Dowson on seed material and in the soil [J]. Arch Phytopathologie Pflanzenschutz, 1973, 9: 281–293.
- [10] 钱振官, 何重缘. 附子北方根结线虫的生物学和防治 [J]. 上海农业学报, 1996(2): 81–86.
- [11] Bae J, Atallah Z K, Jansky S H, et al. Colonization dynamics and spatial progression of *Verticillium dahliae* in individual stems of two potato cultivars with differing responses to potato early dying [J]. Plant Dis, 2007, 91: 1137–1141.
- [12] Samaliev H, Andreev R. Relationship between initial population density of potato cyst nematode *Globodera pallida* Thorne and the yield of partially resistant potato varieties [J]. Bulgarian J Agric Sci, 1998, 4: 421–427.
- [13] Nitzan N, Cummings T F, Johnson D A. Disease potential of soil- and tuber-borne inocula of *Colletotrichum coccodes* and black dot severity on potato [J]. Plant Dis, 2008, 92: 1497–1502.
- [14] Perez W, Torres H. Potato smut, *Thecaphora solani* [M]// Wale S, Platt B, Cattlin N. Diseases, pests and disorders of potatoes. London: Manson Publishing Ltd, 2008: 66–68.
- [15] Aveskamp M M, De Gruyter J, Crous P W. Biology and recent developments in the systematics of *Phoma*, a complex genus of major quarantine significance [J]. Fungal Divers, 2008, 31: 1–18.
- [16] Liu H, Coulthurst S J, Pritchard L, et al. Quorum sensing coordinates brute force and stealth modes of infection in the plant pathogen *Pectobacterium atrosepticum* [J]. Plos Pathogens, 2008; 4 (6): e1000093.
- [17] Mugniéry D. The canon of potato science: 15. root-knot nematodes [J]. Potato Res, 2007, 50: 263–265.
- [18] Lazarovits G, Hill J, Patterson G. Edaphic soil levels of mineral nutrients, pH, organic matter, and cationic exchange capacity in the geocaulosphere associated with potato common scab [J]. Phytopathology, 2007, 97: 1071–1082.
- [19] Kumar S M, Khare M N. Studies on the antagonistic relationship of soybean spermosphere microflora with *Rhizoctonia bataticola* and *Sclerotium rolfsii* [J]. Biol Control, 1990, 4: 72–74.
- [20] Kamensky M, Ovadis M, Chet I, et al. Biocontrol of *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum* in the greenhouse by a *Serratia plymuthica* strain with multiple mechanisms of antifungal activity [J]. Bull OILB SROP, 2002, 25: 229–232.
- [21] Krechel A, Faupel A, Hallmann J. Potato-associated bacteria and their antagonistic potential towards plant-pathogenic fungi and the plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood [J]. Can J Microbiol, 2002, 48: 772–786.
- [22] Jansky S H, Rouse D I. Multiple disease resistance in interspecific hybrids of potato [J]. Plant Dis, 2003, 87: 266–272.
- [23] Wegener C B, Jansen G. Soft-rot resistance of coloured potato

- cultivars (*Solanum tuberosum* L.): the role of anthocyanins [J]. Potato Res, 2007, 50: 31–44.
- [24] Alabouvette C, Raaijmakers J, De Boer W, *et al.* Concepts and methods to assess the phytosanitary quality of soils [M]// Bloem J, Hopkins D W, Benedetti A. Plant-microbe interactions and soil quality handbook. Wallingford: CABI Publishing, 2006.
- [25] Messiha N A S, van Bruggen A H C, van Diepeningen A D, *et al.* Potato brown rot incidence and severity under different management and amendment regimes in different soil types [J]. Eur J Plant Pathol, 2007, 119: 367–381.
- [26] Baljeet S, Lakra B S, Ram N, *et al.* Influence of depth of planting on development of black scurf of potato (*Rhizoctonia solani*) [J]. Ann Biol, 2005, 21: 241–244.
- [27] Bouček-Mechiche K, Pasco C, Andrivon D, *et al.* Differences in host range, pathogenicity to potato cultivars and response to soil temperature among *Streptomyces* species causing common and netted scab in France [J]. Plant Pathol, 2000, 49: 3–10.
- [28] Baker K F. Types of *Rhizoctonia solani* diseases and their occurrence [M]// Parmeter J R J. *Rhizoctonia solani*, biology and pathology symposium. Los Angeles: University of California Press, 1970.
- [29] Gindrat D. Storage rot of potato. II. Lesions development in relation to the parasitic species and temperature. Control measures [J]. Revue Suisse d'Agriculture, 1984, 16: 313–318.
- [30] Alabouvette C, Hoepfer H, Lemanceau P, *et al.* Soil suppressiveness to diseases induced by soil borne plant pathogens [J]. Soil Biochem, 1996, 9: 371–413.
- [31] Ruijter F J D, Haverkort A J. Effects of potato-cyst nematodes (*Globodera pallida*) and soil pH on root growth, nutrient uptake and crop growth of potato [J]. Eur J Plant Pathol, 1999, 105: 61–76.
- [32] Mizuno N, Nizamidin K, Nanzyo M, *et al.* Judging conducive soils from clay mineralogical properties and soil chemical method to suppress potato common scab [J]. Soil Microorganisms, 2003, 57: 97–103.
- [33] Hampson M C. Pathogenesis of *Synchytrium endobioticum*. Wart disease suppression in potato in soils amended with urea and or ammonium-nitrate in relation to soil pH [J]. Plant Soil, 1985, 87: 241–250.
- [34] 王成刚, 张文解. 马铃薯病虫害诊断与防治 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2010.
- [35] 李世武, 刘雄, 徐媛. 马铃薯主要病害的发生与防治技术 [J]. 植物医生, 2013, 26 (5): 14–15.
- [36] 陈方景, 胡华伟, 程丽敏. 几种药剂对马铃薯青枯病的防治试验 [J]. 现代农药, 2002, 4: 43.
- [37] 刘宝玉, 蒙美莲, 胡俊, 等. 5种杀菌剂对马铃薯黑痣病的病菌毒力及田间防效 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24(5): 306.
- [38] Latour X, Faure D, Diallo S, *et al.* Control of bacterial diseases of potato caused by *Pectobacterium* spp. (*Erwinia carotovora*) [J]. Cahiers Agricultures, 2008, 17: 355–360.
- [39] 杨光辉. 马铃薯种薯主要病害的防治 [J]. 黑龙江农业科学, 2005 (4): 55–59.
- [40] Scholte K. Effect of potato used as a trap crop on potato cyst nematodes and other soil pathogens and on the growth of a subsequent main potato crop [J]. Ann Appl Biol, 2000, 136: 229–238.
- [41] Janvier C, Villeneuve F, Alabouvette C, *et al.* Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators? [J]. Soil Biol Biochem, 2007, 39: 1–23.
- [42] Salas B, Stack R W, Secor G A, *et al.* The effect of wounding, temperature, and inoculum on the development of pink rot of potatoes caused by *Phytophthora erythroseptica* [J]. Plant Dis, 2000, 84: 1327–1333.
- [43] Termorshuizen A J, van Rijn E, van der Gaag D J, *et al.* Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: variability in pathogen response [J]. Soil Biol Biochem, 2006, 38: 2461–2477.
- [44] Sankaranarayanan C, Sundarababu R. Influence of moisture and pH on the efficiency of VA-mycorrhiza, *Glomus mosseae* (Nicol and Gerd.) Gerd. and Trappe against *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitw. on blackgram (*Vigna mungo* L.) Hepper [J]. J Biol Control, 2001, 15: 69–72.
- [45] Ryan N A, Deliopoulos T, Jones P, *et al.* Effects of a mixed-isolate mycorrhizal inoculum on the potato-potato cyst nematode interaction [J]. Ann Appl Biol, 2003, 143: 111–119.
- [46] 汤晓莉, 薛红芬, 邓国宾. 水杨酸诱导马铃薯疮痂病抗性的生理机制研究 [J]. 西南农业学报, 2010, 23(6): 1851–1854.
- [47] Bang U. Screening of natural plant volatiles to control the potato (*Solanum tuberosum*) pathogens *Helminthosporium solani*, *Fusarium solani*, *Phoma foveata* and *Rhizoctonia solani* [J]. Potato Res, 2007, 50: 185–203.