# 云南省魔芋与玉米多样性栽培控制魔芋软腐病*

张红骥[1] 邵 梅[1] 杜 鹏[1] 卢 俊[2] 何霞红[1] 于德才[1] 朱有勇[1**]
([1]云南农业大学植物保护学院农业生物多样性与病虫害控制教育部重点实验室,昆明 150030;[2]云南省富源魔芋研究所,云南富源 655400)

**摘 要** 在云南省富源县魔芋与玉米多样性栽培区设置田间试验,分析了魔芋软腐病的发病规律、植株的生长情况及发病植株病原菌的分离频率。结果表明:魔芋与玉米轮作是控制魔芋软腐病的主要措施,它可以显著降低魔芋软腐病的死亡率,且将发病高峰期延迟1个月,轮作条件下间种控病效果比单种提高59%,间种茎基部带菌率显著低于单种;间作体系内不同栽培行植株株高差异显著,发病率差异不显著,但行间发病植株欧文氏杆菌的分离频率存在显著差异,散叶期和换头期根部和茎基部病原菌分离频率与行间距呈正相关。因此,玉米魔芋轮作间种互作条件下对软腐病的防治效果最好,间作系统内部玉米对魔芋病原菌具有一定阻隔效应。

**关键词** 欧文氏杆菌;连作;轮作;单种;间种

**中图分类号** S181,S432 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)2-0332-05

**Effects of diversity cultivation of konjac and maize in controlling konjac's soft rot disease in Yunnan Province, Southwest China.** ZHANG Hong-ji[1], SHAO Mei[1], DU Peng[1], LU Jun[2], HE Xia-hong[1], YU De-cai[1], ZHU You-yong[1**] ([1]*Key Laboratory for Agro-Biodiversity and Pest Control of Ministry of Education, College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming* 650201, *China*; [2]*Institute of Fuyuan Konjac Research, Fuyuan* 655400, *Yunnan, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, **31**(2): 332-336.

**Abstract**: A field experiment with diversity cultivation of konjac and maize was conducted in Fuyuan County of Yunnan Province to study the konjac's soft rot disease incidence, plant growth, and isolation efficiency of *Erwinia carotovora* causing konjac's soft rot. Among the test cultivation modes, konjac and maize rotation was most effective in controlling konjac's soft rot disease, which could decrease the preliminary infection sources and delay the peak of disease incidence for one month. In the rotation field, intercropping maize with konjac decreased the disease severity by 59%, as compared with konjac monocropping, and the isolation efficiency of *E. carotovora* from the tuber of intercropped konjac was significantly lower than that of monocropped konjac. In intercropping system, there was a significant difference in konjac height but little difference in soft rot disease incidence among different cultivation lines. However, the isolation efficiency of *E. carotovora* from infected plant was significantly different, and there was a positive correlation between the isolation efficiency and the line distance. It was suggested that konjac and maize rotation combined with intercropping could be an efficient way for controlling konjac's soft rot disease, and maize would be the physical barrier for the pathogen spread in intercropping system.

**Key words**: *Erwinia carotovora*; continuous cropping; crop rotation; monocropping; intercropping.

* 国家重点基础研究计划项目(2011CB100400)资助。
** 通讯作者 E-mail: yyzhu@ynau.edu.cn
收稿日期:2011-07-22 接受日期:2011-11-01

魔芋(*Amorphaphallus konjac*)是我国西南省区大面积种植的重要经济作物,连作现象非常普遍(彭磊等,2006),由胡萝卜软腐欧文氏菌胡萝卜软腐亚种(*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*)引起的魔芋细菌性软腐病逐年累积加重(Toth *et al*.,2001;修建华等,2006)。魔芋长年连作,其病残体遗留在土壤中收挖不净,且随雨水冲刷而流动蔓延,致使全田布满病菌,连作田的病害发生率比非连作田平均高35% ~50%,造成严重减产甚至绝收(彭金波等,2007)。研究表明,多样性种植模式可有效控制病害发生(Filion *et al*.,2003;孙雁和朱有勇,2004;朱有勇,2004)。

合理轮作是克服连作障碍的主要生物学措施。魔芋与玉米轮作能减少病原菌在作物残体和土壤中的残留,使病原菌失去寄主或改变生活环境,有效降低病害发生(沈君辉等,2007)。目前,国内外已有一些不通过轮作控制大田作物及蔬菜病害的研究和实际应用,其中采用间种、混种技术在较大范围成功控制了病害的流行,充分发挥高矮作物配置地力与空间互补优势,为攻克连作障碍这一世界性难题提供范例(Mundt,2002)。研究表明,魔芋与玉米间栽对软腐病有很好的控制作用,它可直接增加地上部物种多样性,有效改善栽培环境的生态功能,也间接增加地下部土壤微生物多样性,减轻连作障碍危害(郑家勇,2002;彭磊等,2006;白学慧等,2008)。

目前,认为多样性种植控制病害主要机制是对病原菌阻隔效应,合理搭配形成的作物条带群落,互为病害蔓延的物理障碍,阻隔病害传播。何霞红等(2010)、王海宁等(2010)通过大量田间试验证明作物合理搭配形成的植株群体能有效减少致病的初侵染源,条带套种对接触传播或雨水传播(魔芋软腐病)的病害阻隔传播效果明显。本文研究连作、轮作两种耕作制度与单种、间种两种栽培方式互作对连作魔芋软腐病的防治效果,分析间作条件下玉米对不同栽培行魔芋病株带菌率的阻隔效应,为多样性种植控制魔芋软腐病提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试品种

魔芋品种为云南省富源县魔芋研究所提供的富源花魔芋。玉米品种为云南省农业科学院提供的胜玉四号。

**表1 试验处理**

**Table 1 Experimental treatment**

| 处理 | 魔芋栽培模式 | | |
|---|---|---|---|
| T1 | 连作 | 单种 | 魔芋6行 |
| T2 | 连作 | 间种 | 玉米2:魔芋4 |
| T3 | 轮作(玉米/魔芋) | 单种 | 魔芋6行 |
| T4 | 轮作(玉米/魔芋) | 间种 | 玉米2:魔芋4 |

### 1.2 试验方法

**1.2.1 试验设计** 田间试验于2010年设在云南省富源县魔芋种植区内,试验在同一地点选取前茬作物分别为魔芋(连作)和玉米(轮作)2个地块(表1)。每个地块设魔芋单种和魔芋与玉米间种2个处理,共4个处理,每个小区面积20 $m^2$,3次重复。试验种芋选择大小一致,种芋处理及种植规格一致。玉米与魔芋、魔芋与魔芋之间的株行距都是25 cm,魔芋种球每行60个,田间不施用农药,常规水肥管理。

**1.2.2 病原菌的分离鉴定方法** 研究于2010年采集魔芋不同生育期病株样品,根部和茎基部用蒸馏水反复清洗多次,然后用灭菌的吸水纸吸干。取魔芋样品的病健交界处,切成2 cm的小段后用10%的$NaClO_3$浸泡消毒1 min,再用蒸馏水清洗两遍。将处理好的样品每5个放到盛有NA培养基的培养皿中,28 ℃条件下培养48 h直到能识别出病原菌的菌落,试验共设10个重复。病原菌的鉴定参照唐嘉义和张泽(2001)进行。

分离频率通过公式计算:分离频率计算公式分离频率(%)=分离得到的欧文氏杆菌的菌落数/总的菌落数×100%

### 1.3 取样调查方法

在魔芋出苗时调查出苗率、株高和发病率,分别在7月末散叶期(ULP)、8月末换头期(CSP)和10月初成熟期(RP)调查死亡率,并按5点取样法在每个处理选取10株魔芋病株进行病原菌的分离和鉴定。死亡率计算公式=死亡植株总数/出苗后植株总数×100%;防效计算公式=[(对照T1死亡率-处理的死亡率)/对照T1死亡率]×100%;增加防效计算公式=(T4防效-T3防效)/T3防效×100%。

### 1.4 数据处理

数据采用SPSS 13.0分析软件和Excel软件进行统计分析,对各处理间的差异性进行双因素方差分析和多重比较(显著性水平设为0.05)。

## 2 结果与分析

**2.1** 魔芋与玉米多样性种植对魔芋软腐病防治效果研究

**2.1.1** 魔芋与玉米多样性种植对魔芋软腐病发病规律的影响 由图1可见,不同耕作栽培方式魔芋的发病规律存在明显差异。散叶期4种处理植株的死亡率差异不显著,这可能是魔芋生长前期植株矮小,地上部分空间阻隔效应不明显,同时不同耕作栽培方式土壤带菌情况影响不大。8月,连作土壤(T1和T2)植株死亡率最高均在45%以上,达到发病的高峰期;而轮作土壤植株死亡率较低,T3为14.6%,T4为7.1%;同时在连作和轮作中,单种植株死亡率均显著高于间作,这是由于间作条件下高杆作物玉米对雨水和病菌具有一定的阻隔效应。到了成熟期,连作土壤中植株继续死亡,轮作土壤中的魔芋进入了死亡高峰期。表明,轮作方式可使魔芋软腐病发病高峰期推迟近1个月,轮作体系下魔芋与玉米间种控病效果明显。

**2.1.2** 魔芋与玉米多样性种植对魔芋软腐病的田间控病效果 双因素方差分析表明,2种耕作模式中连作的发病率显著高于轮作($P=0.001$),而2种栽培方式单种与间种发病率差异不显著($P=0.46$),耕作制度和栽培方式间无明显互作(耕作制度×栽培方式 $P=0.27$)。由表2可见,连作条件下魔芋死亡率极高,单种和间种死亡率分别为88.2%和90.9%,且差异不显著;轮作措施魔芋死亡率相对较低,单种和间种分别为62.8%和49.3%。以连作条件下单种死亡率为对照,轮作措施表现出了较好的防治效果,其中轮作单种防效为28.8%;而间种防效达到45.8%。轮作条件下间种的防治效果最好,较单种防治效果提高59%,因此,轮作条件下间种可有效控制软腐病的发生。

**表2 魔芋与玉米多样性种植对魔芋软腐病田间防治效果(%)**

**Table 2 Control efficiency of diversity cultivation on konjac soft rot disease**

| 处理 | 死亡率/小区 | | | 平均死亡率/小区 | 防效 | 增加防效 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | | | |
| T1 | 82.1 | 94.8 | 87.8 | 88.2±3.3 a | | |
| T2 | 97.8 | 94.6 | 80.3 | 90.9±3.4 a | – | |
| T3 | 74.8 | 56.8 | 56.8 | 62.8±3.4 b | 28.8 | |
| T4 | 44.3 | 69.8 | 33.9 | 49.3±5.5 b | 45.8 | 59 |

相同字母表示在5%水平下差异不显著。

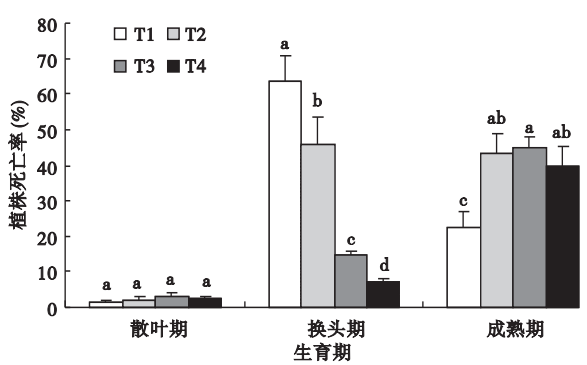



**图1 不同种植模式下的魔芋死亡率**

**Fig. 1 Death rate of konjac under different cultivation treatments**

同一生育期不同字母表示各处理间差异显著($P<0.05$)。

**2.2** 魔芋与玉米间种对主要病原菌的阻隔效应

**2.2.1** 魔芋与玉米多样性种植对魔芋主要病原菌的影响 由图2可见,2种栽培方式(单种和间种)魔芋根部欧文氏杆菌的分离频率差异不显著,单种茎基部欧文氏杆菌的分离频率为11.7%,显著高于间种的5.9%,因此,间种措施在很大程度上降低了魔芋茎基部欧文氏杆菌的分离频率,从而达到控制软腐病的效果。

**2.2.2** 魔芋与玉米多样性间种模式下不同栽培行魔芋田间发病及生长情况 在连作和轮作2种耕作模式下,间种不同栽培行魔芋植株发病率差异不显著。魔芋植株在2种耕作模式表现出相同生长趋势,且随着魔芋与玉米间距扩大株高呈下降趋势。其中,连作模式中第1栽培行魔芋的株高为17.9 cm与第2行差异不显著,显著高于第3行和第4行。轮作体系中第1、2和第3行魔芋株高差异不显著,但第1行株高27 cm显著高于第4行的19.1 cm,这反应出玉米对魔芋地上部分具有空间阻隔效应(表3)。

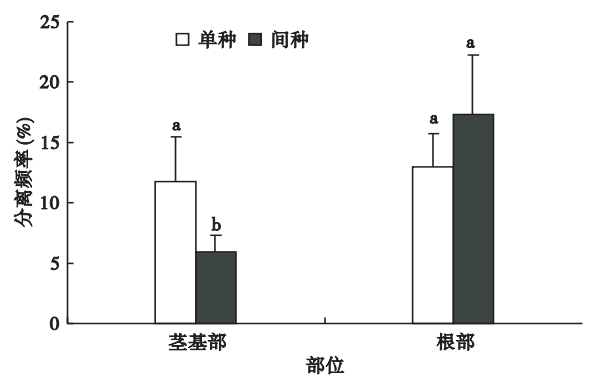



**图2 不同种植模式下欧文氏杆菌的分离频率**

**Fig. 2 Isolation frequency of *Erwinia* causing konjac soft rot disease under different cultivation treatments**

同一部位不同字母表示单种和间种差异显著($P<0.05$)。

**表 3 不同栽培行魔芋发病及生长情况**

**Table 3 Incidence of soft rot disease and growth of konjac in different intercropping rows**

| 魔芋栽培行 | 软腐病发病率(%) | | 魔芋株高(cm) | |
|---|---|---|---|---|
| | 连作 | 轮作 | 连作 | 轮作 |
| 第 1 行 | 82.1±11.6 a | 56.0±13.8 a | 17.9±0.52 a | 27.0±2.3 a |
| 第 2 行 | 90.5±5.1 a | 37.7±12.3 a | 16.8±0.53 a | 24.1±2.7 ab |
| 第 3 行 | 92.1±4.8 a | 49.1±9.0 a | 14.7±0.55 b | 20.5±2.0 ab |
| 第 4 行 | 98.8±1.2 a | 54.7±12.2 a | 12.6±0.53 c | 19.1±1.4 b |

同列不同字母表示差异显著。

**2.2.3** 魔芋与玉米间种模式中不同栽培行对主要病原菌的阻隔效应 由图 3 可见,间种不同栽培行植株根部和茎基部欧文氏杆菌分离频率在相同生育期内变化趋势基本一致。散叶期和换头期第 4 行根部和茎基部病原菌的分离频率数值上均高于其他栽培行,其中散叶期茎基部欧文氏杆菌差异显著,第 3 栽培行欧文氏杆菌的分离频率为 7.5%,显著低于其他 3 行。到了成熟期两部位欧文氏杆菌的分离频率数值则最低,其中魔芋茎基部欧文氏杆菌分离频率第 3 行显著高于第 4 行,但分别与第 1、2 行差异均不显著。其他时期 2 个部位病原菌分离频率差异均不显著。

行距与植株病原菌分离频率相关分析表明,散叶期和换头期根部和茎基部病原菌分离频率随行距呈正态分布趋势,相关系数 $r=0.81\sim0.93$(表 4),中间远离玉米的 2 行植株病菌分离频率相对较低,这是由于玉米根系分泌物及生理代谢活动可增加土壤细菌数量(林雁冰等,2008),与目前研究结果一致。成熟期病原菌分离频率与行间距相关系数较低($r=0.58,0.45$),中间 2 行欧文氏杆菌分离频率相对于临近玉米的 2 行有所增加,这可能随着雨水的增加,成熟期病原菌已布满全田,玉米对微生物种群影响变为次要因素。

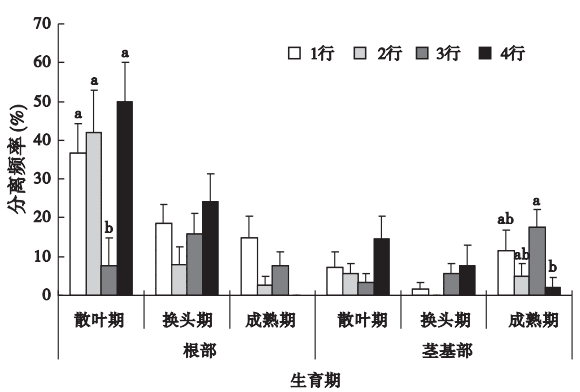



**图 3 不同栽培行与魔芋病株欧文氏杆菌分离频率**

**Fig. 3 Isolation efficiency of *Erwinia* in different intercropping rows**

不同字母表示同一生育期不同行间差异显著。

**表 4 不同行距与植株病原菌分离频率相关分析**

**Table 4 Correlation between intercropping row and isolation frequency of *Erwinia* from konjac**

| 植株部位 | 生育期 | 回归方程 | 相关系数 |
|---|---|---|---|
| 根部 | 散叶期 | $y=1.25x^2-10.25x+22.5$ | 0.81 |
| | 换头期 | $y=4.5833x^2-20.417x+33.25$ | 0.93 |
| | 成熟期 | $y=9.3371x^2-46.117x+79.261$ | 0.58 |
| 茎基部 | 散叶期 | $y=0.928x^2-2.3447x+2.5568$ | 0.92 |
| | 换头期 | $y=3.2576x^2-14.318x+19.015$ | 0.93 |
| | 成熟期 | $y=-2.0833x^2+8.9167x+2.5$ | 0.45 |

## 3 讨 论

本研究表明,魔芋与玉米轮作可以有效降低魔芋软腐病的发病率,相对于连作措施,轮作对软腐病的防效在 28.8% ~48.8%,与已有研究结果一致(彭磊等,2006;白学慧,2008),轮作措施控病的机理主要是由于轮作体系中前茬作物可显著影响土壤中的生物因素(Dick,1992;Govaerts *et al.*,2006),提高土壤养分的有效性(Ajwa & Tabatabai,1994),也可通过根系分泌物的变化,改善根际微生物群落结构,进而影响土壤的微生态环境(van Elsas *et al.*,2002;石建新,2008)。轮作措施对病原菌的影响主要表现在使病原菌失去寄主而自然死亡,根际微生物种群拮抗作用使病原菌的种群数量相对降低,从而有效控制病害发生(肖宏,2004)。本研究表明,轮作措施推迟魔芋软腐病发病高峰期近 1 个月,这是由于轮作条件降低初侵染源数量,延缓病原菌增殖速度,有效推迟病害发生,该结论对于采取有效措施防治病害提供了理论依据。

本研究轮作条件下,间种防效比单种防效提高了 59%,多样性间种魔芋茎基部带菌率显著低于单种,因此,在相同的轮作体系下魔芋与玉米间种对软腐病的防治效果最好。间种增加植物多样性,不仅可以影响地上部生态系统的结构和功能,也可提高和稳定土壤微生物群落结构与功能,改善作物根系微生态系统平衡,减少土传病害,有助于减轻连作障碍(柴强等,2005)。相反,连作田块间种魔芋死亡率与单种差异不显著均超过 80%,由此认为,轮作措施是魔芋软腐病农业防治措施中的主导因素,而间作控病的效果在很大程度上受到土壤带菌量的制约,因此,带菌率较低的轮作土壤可更大限度发挥间种的防病效果(崔鸣等,2003)。

通过田间试验发现魔芋与玉米间种后,魔芋植

株的生长与玉米存在密切的关系,其中离玉米近的植株株高明显高于距离远的植株,不同栽培行间植株发病率差异不显著,这可能主要由于地上部分的物理阻隔起到了决定性的作用。玉米与魔芋多样性种植充分发挥了地上部分错层优势,魔芋有效利用了高杆作物对光的遮挡作用,利于生长(胡学源等,1993)。不同栽培行间魔芋发病植株带菌率存在差异,散叶期和换头期根部和茎基部病原菌分离频率与行距正态相关性较高,这可能是玉米根系影响地下部分微生物种群结构,但这种影响对于魔芋软腐病的发生是否起到了主导作用仍需探讨(刘峰和温学森,2006)。

本文通过对2010年云南省富源县魔芋种植区设置了魔芋与玉米多样性种植实验,研究了魔芋软腐病的发病规律,植株的生长情况及发病植株病原菌的分离频率,但对土壤及根际中病原菌种群没有调查,此外,山区农户试验田面积相对较小,不同地块带菌量差异大,且土壤环境因素复杂,要明确多样性种植模式中玉米对魔芋生长及抗病影响的地下部生物学机理,还需进行深入系统研究。

**参考文献**


白学慧, 姬广海, 李成云, 等. 2008. 魔芋与玉米间栽对魔芋根际微生物群落代谢功能多样性的影响. 云南农业大学学报, **23**(6): 736-740.

柴 强, 黄 鹏, 黄高宝. 2005. 间作对根际土壤微生物和酶活性的影响研究. 草业学报, **14**(5): 105-110.

崔 鸣, 赵兴喜, 李增义. 2003. 魔芋软腐病的发生为害与综合防治. 中国蔬菜, (3): 42-44.

何霞红, 谢 勇, 陈建斌, 等. 2010. 作物多样性稀释病菌的田间试验研究// 吴孔明. 公共植保与绿色防控. 北京: 中国农业科学技术出版社: 168-169.

胡学源, 贺反修, 刘成义. 1993. 发展玉米魔芋间作的效益及主要环节. 湖北农业科学, (2): 27-28.

林雁冰, 薛泉宏, 颜 霞. 2008. 不同栽培模式下玉米根系对土壤微生物区系的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), **35**(12): 101-107.

刘 峰, 温学森. 2006. 根系分泌物与根际微生物关系的研究进展. 食品与药品, (10): 37-40.

彭金波, 费甫华, 廖文月, 等. 2007. 魔芋连作田病害高发原因及克服对策. 植物医生, **20**(2): 14.

彭 磊, 卢 俊, 邓春英, 等. 2006. 魔芋软腐病病原传播途径及无公害防治方法. 中国生物防治, **22**(增刊): 201-202.

彭 磊, 卢 俊, 何云松, 等. 2006. 农业综合措施防治魔芋软腐病. 北方园艺, (4): 176.

沈君辉, 聂 勤, 黄得润, 等. 2007. 作物混植和间作控制病虫害研究的新进展. 植物保护学报, **34**(2): 209-216.

石建新. 2008. 蔬菜轮作的基本方法. 广东农村实用技术, (5): 11.

孙 雁, 朱有勇. 2004. 小麦蚕豆多样性间作与病害控制田间试验// 生物多样性持续控制作物病害理论与技术. 昆明: 云南科技出版社: 543-551.

唐嘉义, 张 泽. 2001. 魔芋软腐病病原菌鉴定及部分生物学特性研究. 云南农业大学学报, **16**(3): 185-188.

王海宁, 朱书生, 高 东, 等. 2010. 作物多样性阻隔病害的田间试验研究// 吴孔明. 公共植保与绿色防控. 北京: 中国农业科学技术出版社: 647-649.

肖 宏. 2004. 土壤消毒和轮作对克服苹果连作障碍效果的研究(硕士学位论文). 泰安: 山东农业大学.

修建华, 姬广海, 王 敏, 等. 2006. 魔芋软腐病菌分子鉴定与遗传多样性. 微生物学报, **46**(4): 522-525.

郑家勇. 2002. 魔芋软腐病的综合防治. 植物医生, **15**(1): 27-28.

朱有勇. 2004. 生物多样性持续控制作物病害理论与技术. 昆明: 云南科技出版社.

Ajwa HA, Tabatabai MA. 1994. Decomposition of different organic materials in soils. *Biology and Fertility of Soils*, **18**: 175-182.

Dick RP. 1992. A review: Long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **40**: 25-36.

Filion M, St Arnaud M, Jabaji-Hare SH. 2003. Direct quantification of fungal DNA from soil substrate using real-time PCR. *Journal of Microbiological Methods*, **53**: 67-76.

Govaerts B, Mezzalama M, Sayre KD, *et al*. 2006. Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on maize/wheat root rot and nematode population in subtropical highlands. *Applied Soil Ecology*, **32**: 305-315.

Mundt CC. 2002. Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. *Annual Review of Phytopathology*, **40**: 381-410.

Toth IK, Avrova AO, Hyman LJ. 2001. Rapid identification and differentiation of the soft rot *Erwinias* by 16S-23S intergenic transcribed spacer-PCR and restriction fragment length polymorphism analyses. *Applied and Environmental Microbiology*, **67**: 4070-4076.

van Elsas JD, Cgrbeva P, Salles J. 2002. Effects of agronomical measures on the microbial diversity of soils as related to the suppression of soil-borne plant pathogens. *Biodergadation*, **13**: 29-40.


**作者简介** 张红骥,女,1978年生,博士后,副教授。主要从事生物多样性控制植物病害及土壤为生态研究。E-mail: zhanghongji111@163.com

**责任编辑** 魏中青