

文章编号: 1001-1498(2008)06-0832-05

伞滑刃线虫交合刺形态图像的规范化和定位算法

麦树荣¹, 陈晓玲², 曾文才³, 方羽生^{4*}

(1. 北京华大基因研究中心, 北京 101300; 2. 高明出入境检验检疫局, 广东 佛山 528500;
3. 华南农业大学理学院, 广东 广州 510642; 4. 华南农业大学资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:应用数字图像处理与分析技术中的最小外接矩形算法和镜像变换算法,用 Visual C++作为开发工具,通过编程实现计算机对伞滑刃属线虫交合刺形态图像鉴定规范化和定位的智能化。输入伞滑刃属 66个有效种的交合刺形态图像运行程序,均获得正确的定位结果。

关键词:最小外接矩形;镜像变换算法;伞滑刃属线虫;交合刺;智能化定位

中图分类号: S763 文献标识码: A

Algorithm of Orientation and Standardization on Spicule Morphologic Image of *Bursaphelenchus* (Nematoda: Aphelenchoididae)

MAI Shu-rong¹, CHEN Xiao-ling², ZENG Wen-cai³, FANG Yu-sheng⁴

(1. Beijing Genomics Institute, Beijing 101300, China; 2. Gaoming Enter-exit Inspection and Quarantine Bureau, Foshan 528500, Guangdong, China; 3. College of Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China; 4. College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: Arithmetic of minimum enclosing rectangle (MER) and image mirror transformation of digital image processing and analyzing technology were applied to intelligence alternate on orientation and standardization of Spicule Morphology Diagnosis of *Bursaphelenchus*, which was brought out by computer program on Visual C++. The correct results were achieved by running the program based on the data of spicule morphologic image of 66 valid species of *Bursaphelenchus*

Key words: minimum enclosing rectangle (MER); image mirror transformation algorithm; *Bursaphelenchus*; spicule; intelligent orientation

伞滑刃属 (*Bursaphelenchus* Fuchs) 线虫是一类重要的林木线虫, 属内的松材线虫 (*B. xylophilus* (Steiner et Buhner)) 是世界性的针叶林木毁灭性病原线虫, 椰子伞滑刃线虫 (*B. cocophilus* (Cobb)) 则是椰子树 (*Cocos nucifera* L.) 的毁灭性病原线虫。1986年我国将松材线虫和椰子伞滑刃线虫定为二类进境植物危险性有害生物。每年对出入境和国内不同地区运输过程中的木包装材料和林木种苗所携

带的线虫进行检疫是一项繁重的任务。利用已有的伞滑刃形态分类资料建立形态特征数据库并借助计算机技术和图像处理分析技术可实现伞滑刃线虫形态分类鉴定的智能化, 提高对这两种检疫性线虫检验的工作效率和准确性。

交合刺是伞滑刃线虫雄虫的交配附器, 为骨化结构, 其形态具有遗传的稳定性, 种内变异较小, 种间差异明显, 因而是伞滑刃属线虫最重要的形态分

收稿日期: 2006-11-01

基金项目: 华南农业大学新学科扶持基金资助 (4900-K04113)

作者简介: 麦树荣 (1979—), 男, 广东鹤山人, 硕士, 主要从事植物线虫分类研究。

*通讯作者: 方羽生 (1953—), 男, 广东揭阳人, 教授, 主要从事植物线虫分类研究。E-mail: yushengf@scau.edu.cn

类鉴定特征。对交合刺形态的观测和比较是伞滑刃属线虫分类工作中最重要的内容。要实现计算机对交合刺的形态进行智能化识别,首先必须让计算机对读入的交合刺形态特征图像进行规范化和定位。本文应用数字图像处理与分析技术中的最小外接矩形算法和镜像变换算法完成了交合刺形态特征图像规范化和智能定位,最终以 Visual c++编程实现了计算机对伞滑刃属线虫交合刺形态位置的自动确定,并规范了其观察、比较和测量的标准,为实现线虫形态鉴定计算机智能识别提供了前提条件。

1 交合刺的形态和结构

迄今伞滑刃属线虫已发现的有效种为 66 个^[1-19]。这些种类的交合刺形态由 5 个部分组成,分别为,髌突 (condylus)、头状体 (capitulum)、喙突 (rostrum)、杆状体 (shaft),在某些种交合刺的末端有一个瘤状或圆盘附属物称“刺帽”(cucullus)^[20]。



图 1 交合刺形态结构图

2 最小外接矩形的特征及算法原理

图像可用其外接矩形的尺寸来描述它最基本的形状特征。图像在坐标系方向上的外接矩形,只需计算图像边界点的最大和最小坐标值即可得到。但是,图像可任意朝向,外接矩形就没有特别的意义。这时,就有必要找到一个确定的外接矩形来固定物体图像的位置。这样的外接矩形是物体图像的最小外接矩形 (Minimum Enclosing Rectangle, MER)。其算法是通过在图像旋转过程中求出所有外接矩形的面积,然后找出面积最小的那个外接矩形,即为最小外接矩形。

图像的旋转变换是最小外接矩形算法中最重要的运算,是一种比较复杂的几何变换。旋转运算的

变换公式的推导如下 (其中点 (x_0, y_0) 为旋转前的点,旋转后变为点 (x_1, y_1))。

先考虑简单的情况,即图像绕着坐标系原点 $(0, 0)$ 旋转,其矩阵表达式为:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix}, \text{ 其逆运算为}$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

再考虑一般的情况,即图像绕一个定点 (a, b) 旋转,点 (a, b) 为旋转前的中心坐标。这样,先将坐标系平移到该点,再进行旋转,然后平移回新的坐标原点。点 (c, d) 为旋转后图像的中心坐标 (以旋转后的图像左上角为原点)。其矩阵表达式为:

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & d \\ 0 & -1 & b \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & -c \\ 0 & -1 & d \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & -c \cdot \cos(\theta) - d \cdot \sin(\theta) + a \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & c \cdot \sin(\theta) - d \cdot \cos(\theta) + b \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

因此,

$$\begin{cases} x_0 = x_1 \cdot \cos(\theta) + y_1 \cdot \sin(\theta) - c \cdot \cos(\theta) - d \cdot \sin(\theta) + a \\ y_0 = -x_1 \cdot \sin(\theta) + y_1 \cdot \cos(\theta) + c \cdot \sin(\theta) - d \cdot \cos(\theta) + b \end{cases}$$

已知图像的宽度为 $Width$,高度为 $Height$,以图像中心为坐标系的原点,则图像的 4 个角的坐标分别为:

$$\left[-\frac{Width-1}{2}, \frac{Height-1}{2} \right], \left[\frac{Width-1}{2}, \frac{Height-1}{2} \right], \left[\frac{Width-1}{2}, -\frac{Height-1}{2} \right] \text{ 和 } \left[-\frac{Width-1}{2}, -\frac{Height-1}{2} \right],$$

按照上面推导的旋转公式,在旋转后的新的图像中,这 4 个点的坐标分别为:

$$\begin{aligned} (fDstX1, fDstY1) &= \left[-\frac{Width-1}{2} \cos(\theta) + \frac{Height-1}{2} \sin(\theta), \frac{Width-1}{2} \sin(\theta) + \frac{Height-1}{2} \cos(\theta) \right] \\ (fDstX1, fDstY1) &= \left[\frac{Width-1}{2} \cos(\theta) + \frac{Height-1}{2} \sin(\theta), -\frac{Width-1}{2} \sin(\theta) + \frac{Height-1}{2} \cos(\theta) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (fDstX1, fDstY1) &= \left[\frac{Width-1}{2} \cos(\alpha) - \frac{Height-1}{2} \sin(\alpha), -\frac{Width-1}{2} \sin(\alpha) - \frac{Height-1}{2} \cos(\alpha) \right] \\ (fDstX1, fDstY1) &= \left[-\frac{Width-1}{2} \cos(\alpha) - \frac{Height-1}{2} \sin(\alpha), \frac{Width-1}{2} \sin(\alpha) - \frac{Height-1}{2} \cos(\alpha) \right] \end{aligned}$$

旋转后的图像的宽度 $NewWidth$ 和高度 $NewHeight$ 分别为:

$$\begin{aligned} NewWidth &= \max \left\{ |fDstX4 - fDstX1|, |fDstX3 - fDstX2| \right\} \\ NewHeight &= \max \left\{ |fDstY4 - fDstY1|, |fDstY3 - fDstY2| \right\} \end{aligned} \quad \text{令} \quad \begin{cases} f1 = -c \cdot \cos(\alpha) - d \cdot \sin(\alpha) + a \\ f2 = c \cdot \sin(\alpha) - d \cdot \cos(\alpha) + b \end{cases}$$

并且 $a = \frac{Width-1}{2}, b = \frac{Height-1}{2}, c = \frac{NewWidth-1}{2}, d = \frac{NewHeight-1}{2}$

所以
$$\begin{cases} f1 = -\frac{NewWidth-1}{2} \cos(\alpha) - \frac{NewHeight-1}{2} \sin(\alpha) + \frac{Width-1}{2} \\ f2 = \frac{NewWidth-1}{2} \sin(\alpha) - \frac{NewHeight-1}{2} \cos(\alpha) + \frac{Height-1}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} x0 = x1 \cdot \cos(\alpha) + y1 \cdot \sin(\alpha) + f1 \\ y0 = -x1 \cdot \sin(\alpha) + y1 \cdot \cos(\alpha) + f2 \end{cases}$$

即为图像旋转变换的公式。

图像旋转后需要计算其外接矩形的面积 S 。矩形的宽度 $Width = \max(X) - \min(X)$, $\max(X)$ 和 $\min(X)$ 分别是预先编写的计算坐标的最大值和最小值的函数。同样,高度 $Height = \max(Y) - \min(Y)$, 则面积 $S = Width \times Height$ 。通过循环比较运算找到面积为最小的外接矩形, $MinS = \min(S)$ 。计算最小外接矩形的长边和与之垂直的短边, 定义其为图像的长度和宽度。将交合刺形态图像代入上述算式进行运算, 分别计算出各个种类的交合刺最小外接矩形。

$$\begin{bmatrix} x0 \\ y0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & Width \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x1 \\ y1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

即 $\begin{cases} x0 = Width - x1 \\ y0 = y1 \end{cases}$

同样,垂直镜像的矩阵表达式为:

$$\begin{bmatrix} x1 \\ y1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & Height \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x0 \\ y0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

逆运算矩阵表达式为

$$\begin{bmatrix} x0 \\ y0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & Height \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x1 \\ y1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

即 $\begin{cases} x0 = x1 \\ y0 = Height - y1 \end{cases}$

伞滑刃属各种类的交合刺形态图像进行最小外接矩形运算后, 其结果再通过镜像变换运算进行调整, 从而实现规范化定位。

3 最小外接矩形方向的确定算法

图 1 可见交合刺具有明显的方向性。交合刺形态图像的朝向存在几种可能: 髁突朝上、朝下或两种镜像之一。必须统一交合刺的朝向才能正确地进行比较。为此, 笔者对交合刺朝向作如下规范: 交合刺的喙突向着显示屏右边, 髁突向着显示屏上边 (如图 1 所示)。交合刺图像在最小外接矩形运算后, 如果不符合上述规范, 则通过镜像变换来调整。镜像变换有水平镜像变换和垂直镜像变换两种, 其数学描述如下:

图像的高度为 $Height$, 宽度为 $Width$ 原图的点 $(x0, y0)$ 经过水平镜像变换后坐标变为 $(Width - x0, y0)$, 矩阵表达式为:

$$\begin{bmatrix} x1 \\ y1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & Width \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x0 \\ y0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

逆运算矩阵表达式为:

4 程序运算及结果

4.1 程序的算法流程及说明

在完成上述算式的基础上, 笔者以 Visual C++ 作为开发工具, 先编制实现各个子功能的函数, 再组合成为一个可执行的应用程序, 程序的主要功能是实现了伞滑刃属线虫交合刺的位置自动规范化定位 (程序的流程图如图 2)。程序中函数和变量的功能如下:

函数
 ReadDib() 打开图像, 把图像从硬盘读到内存

- RotaDib() 旋转图像
- GeMer() 计算外接矩形的面积
- PrinDib() 显示图像
- HorMirroDib() 对图像进行水平变换
- VertMirroDib() 对图像进行垂直变换
- 变量
- Angle 存储每次旋转角度
- MerAngle 存储最小外接矩形的旋转角度
- S 存储外接矩形的面积
- MerS 存储最小外接矩形的面积

4.2 程序的调试运行结果

通过调试,程序能正常运行。输入伞滑刃属 66 个有效种的交合刺的图像进行运算,都达到预期的结果。图 3 示星坑小蠹伞滑刃线虫 (*Bursaphelenchus pityogeni* Massey) 的运行结果。

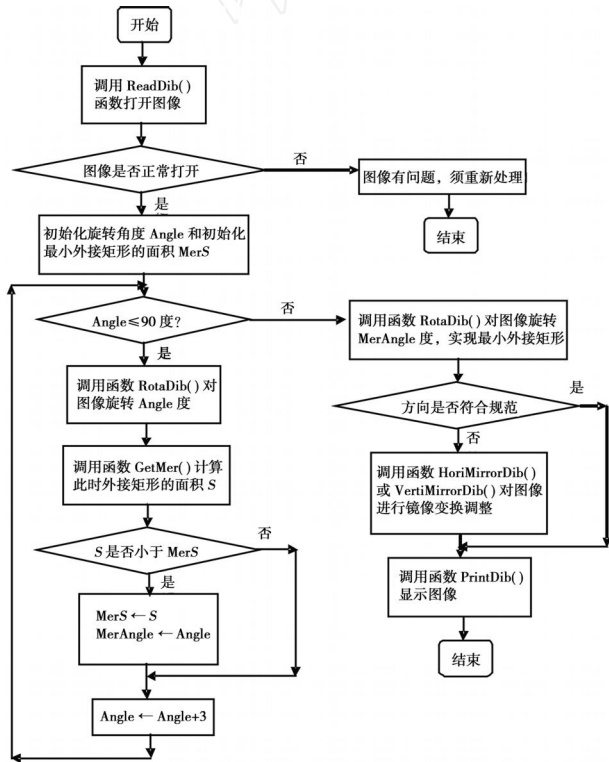


图 2 程序流程图



图 3 程序运行前后 *Bursaphelenchus pityogeni* 交合刺形态图

5 讨论

伞滑刃属线虫的交合刺形态特征各种间差异明显,应用最小外接矩形算法和镜像变换算法,通过编程实现交合刺规范化和定位后,应用计算机对伞滑刃属不同线虫种类交合刺的比较和识别鉴定就有了统一的标准和规范,这为进一步研究和实现计算机对伞滑刃线虫交合刺形态的智能化识别鉴定提供了前提条件。伞滑刃线虫交合刺的顶线距,腹线距应可作为分类鉴定特征^[21]。但假如交合刺在坐标系中没有规范化的朝向定位,是无法比较不同种类伞滑刃线虫交合刺的顶线距和腹线距的。

实现交合刺规范和定位智能化后,可借助计算机的快速和准确运算进行伞滑刃线虫交合刺形态特征的智能化识别,以减少在显微观测中的人为误差,使鉴定更准确。如在伞滑刃线虫形态鉴定中交合刺长度是一个重要的特征数据。以往交合刺长度是在显微镜下从侧面测量交合刺腹缘和背缘之间的中央纵向曲线,这种测量结果数值误差较大。用最小外接矩形对伞滑刃属线虫交合刺进行规范和定位后,可以通过计算机运算比较不同种交合刺的最小外接矩形的长度,这样可减少人为测量的误差,使形态鉴定更准确。以往交合刺的宽度不作为形态鉴定数据,实际上不同种类交合刺的宽度差异是明显的。由于交合刺形态的特殊性,测量其宽度缺乏统一标准,因而无法应用这一特征数据。实现交合刺规范和定位后可将交合刺最小外接矩形的宽度作为形态鉴定数据加以利用。

伞滑刃线虫的交合刺形态特征具有基本的生物形态学特征,即器官可区分为不同的结构,结构具有特定的形态特征和度量值,应用最小外接矩形算法和镜像变换算法通过编程可实现计算机对交合刺形态特征图像规范化和定位的智能化,同理对其他生物形态特征的比较鉴定也可应用这一方法实现计算机对生物形态特征图像规范化和定位的智能化。各种动物,植物,以及真菌、放线菌的形态比较都可以用最小外接矩形算法和镜像变换算法来固定其位置,确立一个比较的标准。

参考文献:

[1] Yin K C, Fang Y S, Tarjan A C. A key to species in the genus *Bursaphelenchus* with a description of *Bursaphelenchus hunanensis* sp. n. (Nematoda: Aphelenchoididae) found in pine wood in Hunan Province China[J]. *Pro Helveth Soc Wash*, 1988, 55(1): 1 - 11

- [2] Fang Yusheng, Zhuo Kan, Zhao Jun Description of *Bursaphelenchus aberrans* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae) isolated from pine wood in Guangdong Province, China[J]. Nematology, 2002, 4(7): 791 - 794
- [3] Braasch H, Schmutzenhofer H. *Bursaphelenchus abietinus* sp. n. (Nematoda: Parasitaphelenchidae) associated with fir bark beetles (*Pityokteines* spp.) from declining silver fir trees in Austria[J]. Russian Journal of Nematology, 2000, 8(1): 1 - 6
- [4] Giblin-Davis R M, Mundo-Ocampo M, Baldwin J G, et al Description of *Bursaphelenchus abruptus* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae) an associate of a digger bee[J]. Journal of Nematology, 1993, 25(2): 161 - 172
- [5] Kum Kum Walia, Sapna NegI, H K Bajaj, et al Two new species of *Bursaphelenchus* Fuchs, 1937 (Nematoda: Aphelenchoididae) from pine wood and insect frass from India[J]. Indian J Nematol, 2003, 33(1): 1 - 5
- [6] Baujard P. Remarks on the genera of the subfamilies *Bursaphelenchinae* Paramonov, 1964 and *Rhadinaphelenchinae* Paramonov, 1964 (Nematoda: Aphelenchoididae) [J]. Revue de Nématologie, 1989, 12(3): 323 - 324
- [7] Kanzaki N, Tsuda K, Futai K Description of *Bursaphelenchus conicaudatus* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae) isolated from the yellow-spotted longicorn beetle, *Psacotha hilaris* (Coleoptera: Cerambycidae) and fig trees, *Ficus carica* [J]. Nematology, 2000, 2(2): 165 - 168
- [8] Fang Yusheng, Zhao Jun, Zhuo Kan Description of *Bursaphelenchus dongguanensis* sp. n. in China (Nematoda: Aphelenchoididae) [J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(2): 109 - 111
- [9] Brzeski M W, Baujard P. Morphology and morphometrics of *Bursaphelenchus* (Nematoda: Aphelenchoididae) species from pine wood of Poland[J]. Annales Zoologici (Warszawa), 1997, 47(3/4): 305 - 319
- [10] Skamoutsos G, Braasch H H, Michalopoulou H. *Bursaphelenchus hellenicus* sp. n. (Nematoda, Aphelenchoididae) from Greek pine wood[J]. Nematologica, 1998, 44(6): 623 - 629
- [11] Braasch H. *Bursaphelenchus hofmanni* sp. n. (Nematoda, Aphelenchoididae) from spruce wood in Germany[J]. Nematologica, 1998, 44(6): 615 - 621
- [12] Ana Catarina Penas, Petra Correia, Maria Antónia Bravo, et al Species of *Bursaphelenchus* Fuchs, 1937 (Nematoda: Parasitaphelenchidae) associated with maritime pine in Portugal[J]. Nematology, 2004, 6(3): 437 - 453
- [13] Natsumi Kanzaki, Kazuyoshi Futai Description and phylogeny of *Bursaphelenchus luxuriosae* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae) isolated from *Acalolepta luxuriosa* (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. Nematology, 2003, 5(4): 565 - 572
- [14] Braasch H. *Bursaphelenchus paracomeolus* sp. nov. (Nematoda, Parasitaphelenchidae) from coniferous wood in Germany and remarks on its biology and distribution[J]. Annales Zoologici, 2000, 50(2): 177 - 182
- [15] Helen Braasch, Wolfgang Baugemeister *Bursaphelenchus rainulfi* sp. n. (Nematoda: Parasitaphelenchidae), first record of the genus *Bursaphelenchus* Fuchs, 1937 from Malaysia [J]. Nematology, 2002, 4(8): 971 - 978
- [16] Palmisano A M, Ambrogioni L, Tomiczek Ch, et al *Bursaphelenchus sinensis* sp. n. and *B. thailandae* Braasch ET Braasch-Bidasak in packaging wood from China [J]. Nematol Medit, 2004, 32: 57 - 65
- [17] Helen Braasch, Rainulf Braasch-Bidasak First record of the genus *Bursaphelenchus* Fuchs, 1937 in Thailand and description of *B. thailandae* sp. n. (Nematoda: Parasitaphelenchidae) [J]. Nematology, 2002, 4(7): 853 - 863
- [18] Ambrogioni L, Palmisano A M. Description of *Bursaphelenchus tusciae* sp. n. from *Pinus pinea* in Italy [J]. Nematol Medit, 1998, 26: 243 - 256
- [19] Braasch H, Schönfeld U, Polomski J, et al *Bursaphelenchus vallerianus* sp. n. —A new species of the *Bursaphelenchus sexdentati* group (Nematoda: Parasitaphelenchidae) [J]. Nematol Medit, 2004, 32: 71 - 79
- [20] Tarjan A C, Aragon C B. An analysis of the genus *Bursaphelenchus* Fuchs, 1937 [J]. Nematologica, 1982, 12: 121 - 135
- [21] 沈培垠, 李明, 李红梅. 伞滑刃线虫属分种检索 [J]. 植物检疫, 2005, 19(2): 76 - 83