

植物叶脉可视化造型研究*

陆玲 王蕾

(东华理工大学信息工程学院, 抚州 344000)

【摘要】 提出了植物叶脉可视化建模方法,包括植物叶的形态几何建模及植物叶脉的形状建模。植物叶的形态几何模型采用矩形形状变形;同时对植物叶脉的形状建模提出了多种构建方法。利用非线性多项式生成羽状叶序,提出了基于种子生长的随机迭代方法生成网状脉及基于叶片生长方法生成掌状脉序。方法简单易行,可控性好,易于构造各种不同类型的叶脉。通过给出的树叶模拟结果,表明其仿真效果较好。

关键词: 虚拟植物 植物叶 脉序 可视化 造型

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)06-0179-05

Visualization Model of Plant Leaf Vein

Lu Ling Wang Lei

(School of Information Engineering, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China)

Abstract

A visualization modeling method of leaf vein was presented, including the geometric modeling for plant leaf and shape modeling for leaf vein. The geometric model for leaf was built through changing rectangle shape. Different methods were tested for the shape modeling for leaf vein. The feather vein was formed by nonlinearity function. The mushy vein was formed by random iteration based on seed growing. The palmate vein was formed based on leaf growing. These methods could be realized quickly and easily.

Key words Virtual plant, Plant leaf, Venation, Visualization, Modelling

引言

植物叶脉图案既复杂又有一定的规则。叶脉有多种脉序,每种脉序有其各自特征,特别是小脉与细脉,具有错综复杂的网状结构,因此研究脉序的可视化造型是计算机图形学造型中的一项艰巨工作。目前相对植物树枝及树叶几何外形的造型而言,植物叶脉研究相对较少。本文重点研究植物叶脉可视化造型。

Runions^[1]介绍了一种生物有机算法生成叶脉图案,通过不断修改植物生长素源生成脉序,依靠有效的细节和参数使用,模拟多种类型脉图案,该方法模拟效果逼真,但因生长素源的位置是随机的,因此叶脉形状较难按需控制。谷文哲等^[2]提出了一种生成树叶叶脉模型的算法,叶片轮廓用B样条曲线绘制,一、二级叶脉用分形LS文法模拟,网状脉使

用Voronoi图对叶面进行分割生成,该方法能生成各级叶脉,但分形LS文法较难控制叶脉的细小变化,另外没有考虑三级网络脉与一、二级脉的关系以及网格脉中的末端小脉。谷文哲等^[3]后又提出了一种改进的叶脉建模方法。该方法将L-system加入到Runions的叶脉建模方法当中,能生成三级非网络细脉,同样较难控制叶脉形状。

本文利用变形技术生成叶片轮廓^[4],针对不同级叶脉提出不同的易于控制的生成方法,实现叶脉的可视化自动造型。

1 植物叶的几何形状

叶脉与叶的形状相关,一个典型的叶是由叶片与连接茎干的叶柄组成。简单叶是单个叶片,叶边界有圆滑型、锯齿型与分裂型。当叶片锯齿分裂到较大程度时,形成可辨认的多个裂片^[4](图1)。本

收稿日期: 2010-08-31 修回日期: 2010-11-04

* 江西省教育厅科技计划资助项目(GJJ09262)

作者简介: 陆玲,教授,主要从事三维物体可视化研究,E-mail: luling@ecit.cn

文重点讨论单个叶片。

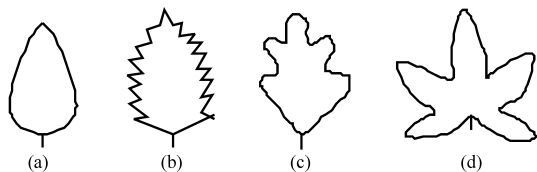


图 1 简单叶片边缘类型

Fig. 1 Simple leaves

(a) 圆滑叶片 (b) 锯齿叶片
(c) 锯齿或分裂叶片 (d) 分裂叶片

单个叶片的基本形状类似椭圆,其基部和顶部有急尖、渐尖、圆型、凹型等(图 2),整个叶片可不对称及可弯曲。

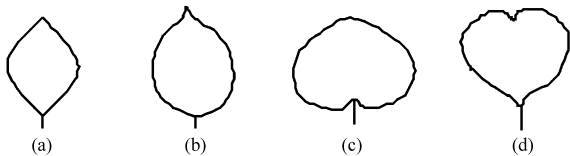


图 2 叶片基部和顶部

Fig. 2 Base and top of leaves

(a) 基部急尖,顶部急尖 (b) 基部圆型,顶部渐尖
(c) 基部凹型,顶部圆型 (d) 基部渐尖,顶部凹型

使用变形思想生成叶的几何形状,用平面矩形参数定义叶的初始轮廓。通过使用不同幅度与不同频率的三角波求和突出叶的外形^[4]。例如,银杏树叶的外形参数方程为

$$\begin{cases} x = a_x u + 1.1b_y u \sin(\pi v - \pi/2) \\ y = b_y v + 0.05b_y \sin(11u\pi - 1.5) - 0.6b_y \sin((u - 0.5)\pi) \end{cases} \quad (-0.5 \leq u \leq 0.5, 0 \leq v \leq 1) \quad (1)$$

式中 a_x ——树叶初始矩形形状的宽度(x 方向), 像素

b_y ——树叶初始矩形形状的高度(y 方向), 像素

u —— x 方向变化参数

v —— y 方向变化参数

2 叶脉类型

叶脉是生长在叶片上的维管束,是叶内的输导和支持结构。叶脉通过叶柄与茎内的维管组织相连,维管束经过叶柄分布到叶片的各个部分。位于叶片中央大而明显的脉为一级脉,也称中脉或主脉。由中脉两侧第一次分出的许多较细的脉,称为二级脉,也称侧脉。自侧脉发出的、比侧脉更细小的脉,称为三级及以上脉序,也称为小脉或细脉。叶脉在叶片上呈现出各种有规律的脉纹的分布称为脉序,脉序主要有羽状脉序、平行脉序、弧状脉序、掌状脉序等^[5](图 3)。

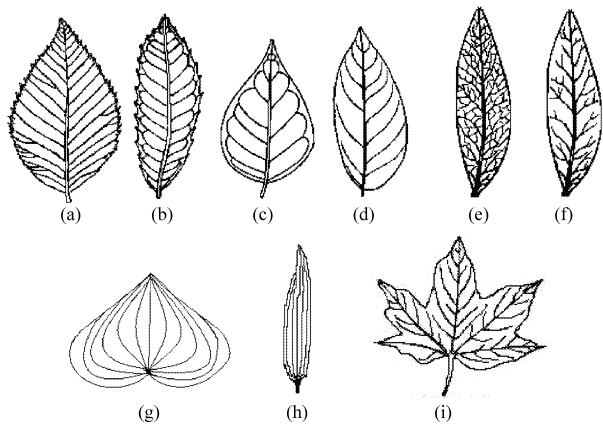


图 3 脉序类型

Fig. 3 Types of leaf veins

(a) 直行脉序 (b) 半直行脉序 (c) 弓行弓曲脉序
(d) 真曲行弓曲脉序 (e) 网状弓曲脉序 (f) 分枝状弓曲脉序
(g) 弧状脉序 (h) 平行脉序 (i) 掌状脉序

图 3a~3f 是羽状脉序,直行脉序是所有二级及以上脉的顶端全部到达叶缘(图 3a);半直行脉序是二级脉顶端在叶缘内分枝,其中一条分枝到达边缘,另一条分枝与上部相连的二级脉相连(图 3b);弓曲脉序是二级脉的顶端不达叶缘,弓行弓曲脉序是二级脉顶端相连,呈现出一系列弧形(图 3c);真曲行弓曲脉序是二级脉向上弯延(图 3d);网状弓曲脉序是二级脉重复分枝形成一个脉网(图 3e);分枝状弓曲是二级脉向叶缘方向分枝成树状(图 3f);弧状脉序是多条一级脉起源于叶片的基部一点,以外弯的弓形延伸到叶片顶部汇聚(图 3g);平行脉序是多条一级脉发自叶片的基部,平行地向叶片顶部延伸、汇聚(图 3h);掌状脉序是 3 条或多条一级脉从叶片基部或基部上方的一点辐射状散发延伸(图 3i)。

3 叶脉模型设计

3.1 基于脉序特征的叶脉生成算法

根据叶片各级脉序的形状特征形成羽状叶序。

3.1.1 一级叶脉生成

对于只有 1 条的一级脉,一般是从叶片基部到叶片顶部的中脉,当通过变形参数方程表示叶片几何形状时,中脉就是式(1)中 $u = 0$ 和 $0 \leq v \leq 1$ 的曲线(图 4a),如果叶片不对称或弯曲仍然适用(图 4b),这是基生的发育完全的一级脉。通常的一级脉具有一定宽度,且基部脉宽($v = 0$),顶部脉窄($v = 1$),可通过参数 v 控制。当 u 为多个固定值时,可生成弧形脉或平行脉,是 $0 \leq v \leq 1$ 的曲线簇(图 4c)。

3.1.2 二级叶脉生成

二级脉发源于一级脉,比一级脉更细,虽然不同树叶的二级脉间距与走向不同,但有一定的规律性,

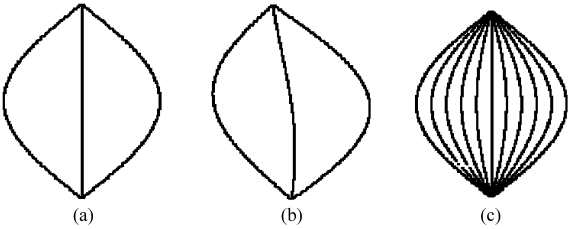


图4 一级脉示意图

Fig. 4 Schematic of midveins

(a) 直中脉 (b) 弯曲中脉 (c) 弧状脉

且相对高级脉来说比较单一,可通过一系列曲线进行拟合。一个树叶的二级脉叉角(二级脉与一级脉在其分枝点的夹角)近似相同,中脉两侧二级脉的分枝点不完全相同,且二级脉的间距也不完全一致。设某一树叶的二级脉的间距近似为 d ,通过一定范围内($0 \sim d/2$)的随机数,使二级脉分枝点与间距有一定差别。图5a模拟的一种弓曲脉,脉变化缓慢,上部脉比下部脉更陡,模拟函数为

$$y = y_{0m} + kw[(x_{0m} - x)/w]^2 \tag{2}$$

式中 x, y ——二级叶脉 m 上的坐标点

x_{0m}, y_{0m} ——该叶脉分枝点的坐标

w ——叶片宽度

k ——随不同二级叶脉变化的参数

$k = 1, 2, \dots, 5; k = 1$ 对应基部二级脉, $k = 5$ 对应顶部二级脉。

图5b模拟的是一种分枝弓曲脉,二级脉顶端在叶缘内分枝,分枝后的新脉向下改变方向,其函数为

$$x = y_{0n} + (|x_{0n} - x|)^{1/2} \tag{3}$$

式中 x_{0n}, y_{0n} ——该新脉分枝点的坐标

图5c模拟的是一种弓行弓曲脉,二级脉顶端在叶缘内分枝,分枝后的新脉与上部脉相连,其函数为

$$x = x_{0n} + h(2|y_{0n} - y|/h)^3 \tag{4}$$

式中 h ——叶片高度

对于不同树叶的二级脉特征,可改变式(2)~(4)的曲线方程,达到预期效果。

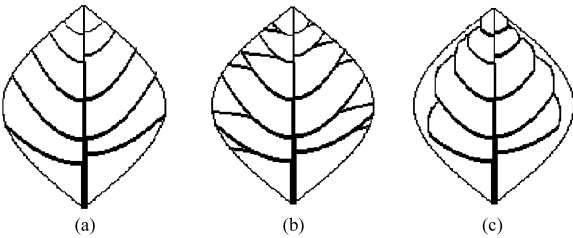


图5 二级脉模拟示意图

Fig. 5 Schematic of lateral veins

(a) 弓曲脉 (b) 分枝弓曲脉 (c) 弓行弓曲脉

3.1.3 三级及以上叶脉生成

三级及以上叶脉生成的难点是网状脉,网状脉是由网眼组成,网眼是叶片上被叶脉包围的最小的

叶片组织,叶片上任何等级的叶脉都可能成为网眼的一边或几边,网眼的形状有三边形、四边形、五边形及不规则多边形等。网眼内还可有末端小脉。

根据文献[6]的分析结果,绝大部分网状脉的网眼结点有3个脉边,如果3个脉边属于同一级,也即宽度是一样的,则3个脉边的夹角分别都是 120° 。如果其中一个脉边相对另两个脉边级别高较多,也即细较多,则有一个夹角近似 180° (图6)。如果3个脉的宽度不一致,则3个脉边的夹角不相同。一般情况下,任何两个脉边的夹角一般都不小于 60° 。

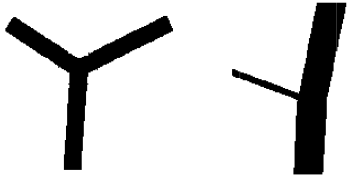


图6 3个网眼的脉边夹角

Fig. 6 Angles among three segments

为了生成闭合的、大小与排列都是随机的网眼,提出种子生长方法,具体步骤如下:

(1) 对于每个二级脉间的空间区域,在二级脉边上随机取一个种子点,该点不是一或二级脉通过的点。

(2) 从种子点(网眼的一个结点 (x, y))开始生长网眼。随机给定一个生长角度 θ 及脉段长度 L_1 ,如图7所示。

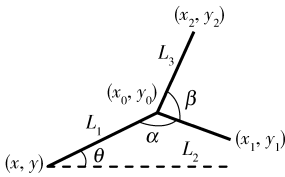


图7 网眼的结点计算

Fig. 7 Nodes caculation

(3) 给定另两个随机脉长 L_2, L_3 及两个夹角 α, β ,计算出结点坐标 (x_0, y_0) 与另两个结点坐标 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$

$$\begin{cases} x_0 = x + L_1 \cos \theta \\ y_0 = y + L_1 \sin \theta \end{cases} \tag{5}$$

$$\begin{cases} x_1 = x_0 + L_2 \cos(180^\circ - \alpha - \theta) \\ y_1 = y_0 + L_2 \sin(180^\circ - \alpha - \theta) \end{cases} \tag{6}$$

$$\begin{cases} x_2 = x_0 + L_3 \cos(\alpha + \beta + \theta - 180^\circ) \\ y_2 = y_0 + L_3 \sin(\alpha + \beta + \theta - 180^\circ) \end{cases} \tag{7}$$

(4) 用直线连接结点 (x, y) 到 (x_0, y_0) , (x_0, y_0) 到 (x_1, y_1) , (x_0, y_0) 到 (x_2, y_2) 。如果直线经过的坐标已有叶脉通过,则该叶脉的点替换原来计算的结点。

(5) 如果新计算的两个结点不在已有的叶脉上,则作为下一步的中间结点,以结点 (x_1, y_1) 为例,将 (x_1, y_1) 作为 (x_0, y_0) ,则原 (x_0, y_0) 变为 (x, y) ,角度 θ 由新的 (x, y) 与 (x_0, y_0) 计算,再由式(5)~(7)计算新的两个结点。如果新计算的结点在已有的叶脉上,则该结点终止生长。

(6) 用直线连接结点 (x_0, y_0) 到 (x_1, y_1) , (x_0, y_0) 到 (x_2, y_2) 。如果直线经过的坐标已有叶脉通过,则该叶脉的点替换原来计算的结点。

(7) 重复步骤5、6,直到没有新的结点计算为止。

图8a显示了该方法的一个结果图。图8b是在每个网眼中增加末端小脉的结果。末端小脉也使用图8a中的形状,只是脉段较短且 L_1 垂直网眼的脉边。

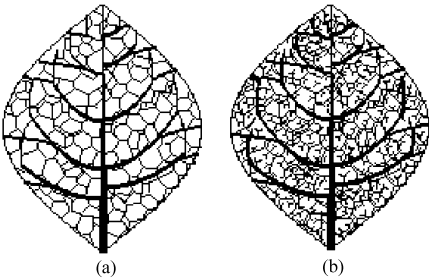


图 8 网状叶脉
Fig. 8 Network venation patterns

(a) 无末端小脉的网脉 (b) 有末端小脉的网脉

3.2 基于叶片生长的叶脉生成算法

对于掌状脉序,也可采用前面所述的方法,但根据所使用变形方法生成树叶几何形状时,可使用简单易行的基于叶片生长的叶脉生成方法。该方法的基本思想是根据叶片从小到大的变化,其叶脉随之生成(图9a),同样也适合不对称弓曲脉(图9b)。

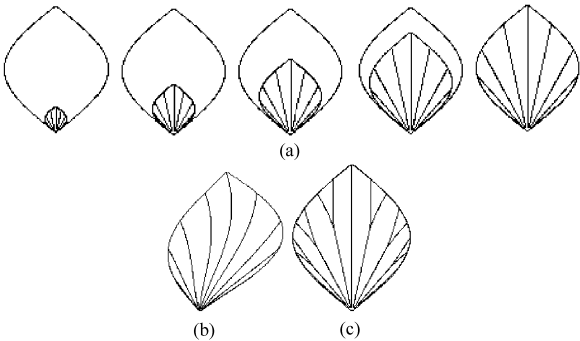


图 9 掌状脉序生成
Fig. 9 Forming of digitated vein
(a) 生成过程 (b) 弓曲脉 (c) 分枝脉

具体生成过程如下:

(1) 根据指定树叶的初始生长的叶脉数 m ,给定参数 (u_i, v_i) ,其中 $i = 0, 1, \dots, m$ 。参数的确定取

决于叶脉终点所处的位置,叶脉序的终点一般是等间距地分散分布。

(2) 通过树叶几何形状参数方程,从小到大改变树叶的宽度或高度 $(a_x$ 和 $b_y)$,可计算出未分枝的掌状脉序坐标,直到最终的树叶大小。

(3) 如果脉序有分枝,在树叶生长到分枝处时,增加参数 (u_i, v_i) ,并线性改变参数值,使一个叶脉线性分成两个叶脉(图9c)。

3.3 叶脉生成实例

采用前面介绍的两种方法,利用 Microsoft Visual C++ 6.0 进行程序设计,分别对3种树叶叶脉进行可视化模拟。

(1) 构树叶

构树叶片是卵圆形,顶部渐尖,基部圆形或浅凹形,稍偏斜。脉序是羽状弓形弓曲脉序,一级脉直行不分枝,二级脉的叉角 45° 到 70° 。图10a是构树叶的照片图,图10b是本文建立的构树叶可视化模型,该树叶中的叶脉进行了三维凹凸显示处理。

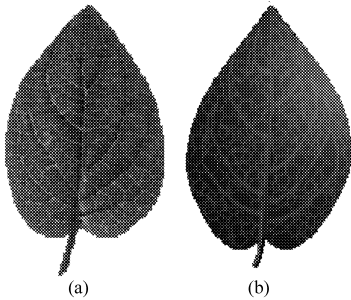


图 10 构树叶及仿真效果
Fig. 10 Broussonetia leaf and simulation results
(a) 构树叶图片 (b) 构树叶仿真效果

(2) 银杏叶

叶片是折扇形,上边缘有啮蚀状,叶片基部平缓,属掌状脉序。多条粗细相等的叶脉从叶柄顶端辐射发出,有二叉分枝脉。图11a是银杏叶图片,图11b是文献[1]的结果,图11c是本文建立的银

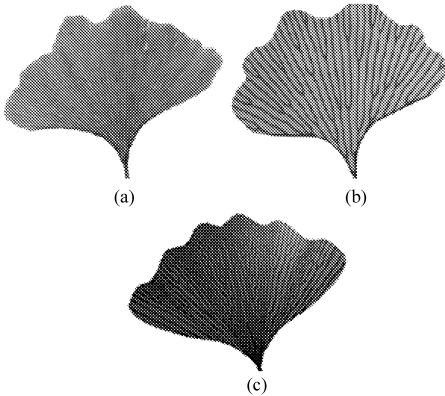


图 11 银杏叶及仿真效果
Fig. 11 Ginkgo and its simulation results
(a) 银杏叶图片 (b) 文献[1]模拟结果 (c) 本文结果

杏叶可视化模型。

(3) 白杨木树叶

图 12a 是白杨木树叶的照片图,图 12b、图 12c 是前人建立的脉序可视化模型,图 12d 是本文建立的可视化模型。

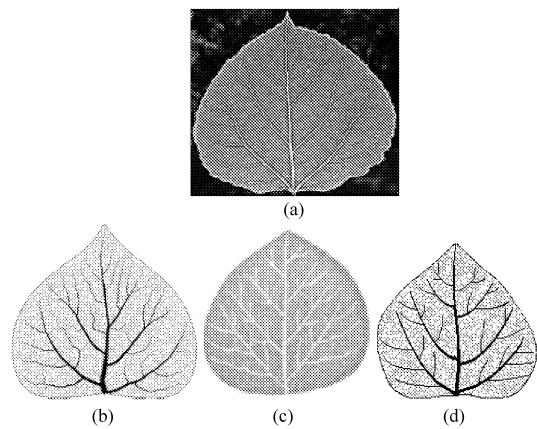


图 12 白杨木树叶及仿真效果
Fig. 12 Ginkgo and simulation results

(a) 白杨木树叶图片 (b) 文献[1]模拟结果
(c) 文献[2]模拟结果 (d) 本文结果

从前面的 3 个实例可以看出,本文的方法能够模拟各种不同树叶的叶脉,特别是对于网状脉序及掌状脉序,模拟效果较好。对于羽状脉序,由于本文使用的是二次多项式,因此生成的二级与三级叶脉比较圆滑(图 12d),所以比较适用于模拟二级叶脉较圆滑的叶脉树叶(图 10)。

4 结束语

本文的植物树叶脉序的建模方法是基于叶片的参数、脉序的特征、种子点的生长以及叶片的生长等提出的,针对不同类型的脉序可采用不同的模拟方法。羽状脉序的主脉使用基于叶片的参数进行模拟,其特点是直接利用变形前矩形的中心轴做主脉,简单易行;二、三级叶脉是根据脉序的形状特征,拟合出相应的变换函数,易于控制叶脉的形状,但该方法不太适用于随机弯曲的叶脉;对于基于种子生长的网状脉序的生成方法,可以随机地生成不同大小的网眼,并可方便控制网眼的大小范围;基于叶片生长的掌状脉序,计算简单,仿真效果好。

参 考 文 献

1 Runions A, Fuhrer M, Lane B, et al. Modeling and visualization of leaf venation patterns [C] // Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Los Angles, 2005:702 ~ 711.

2 谷文哲,金文标,张智丰. 基于 Voronoi 图的植物叶脉建模方法 [J]. 计算机应用,2009,29(6):309 ~ 312.
Gu Wenzhe, Jin Wenbiao, Zhang Zhifeng. Leaf venation generation method based on Voronoi diagram [J]. Journal of Computer Applications, 2009,29(6):309 ~ 312. (in Chinese)

3 谷文哲,金文标,张智丰. 一种改进的叶脉建模方法 [J]. 计算机工程与应用,2010,46(21):242 ~ 245.
Gu Wenzhe, Jin Wenbiao, Zhang Zhifeng. Improved method for modeling leaf venation patterns [J]. Computer Engineering and Applications, 2010,46(21):242 ~ 245. (in Chinese)

4 陆玲,杨学东,王蕾. 半透明植物花朵可视化造型研究 [J]. 农业机械学报,2010,41(3):173 ~ 176.
Lu Ling, Yang Xuedong, Wang Lei. Research on visualization model for translucent flower [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(3):173 ~ 176. (in Chinese)

5 秦慧贞,赵武生. 植物物证鉴定 [M]. 南京:东南大学出版社,2007:4 ~ 10.

6 Bohn S, Andreotti B, Douady S. Constitutive property of the local organization of leaf venation networks [J]. Physical Review E, 2002, 65(6):061914 - 1 ~ 12.

(上接第 178 页)

15 马晓丹. 基于遗传神经网络的植物叶片病害特征提取的研究 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2009,21(2):87 ~ 89.
Ma Xiaodan. Investigation on the diseased feature extraction of lamina based on genetic neural network [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2009,21(2):87 ~ 89. (in Chinese)

16 程鹏飞. 植物病害的图像处理及特征值提取方法的研究 [D]. 太谷:山西农业大学,2008.
Cheng Pengfei. Recognition and extract of characteristic values for plants disease [D]. Taigu: Shanxi Agriculture University, 2008. (in Chinese)

17 Masaharu Okado. Measurement of the color of leaves by color image processing (part 3) [J]. Japanese Society of Agricultural Engineering, 1997,59(6):134 ~ 139.

18 耿英. 基于图像识别的作物病害诊断研究 [D]. 合肥:中国科学技术大学,2009.
Geng Ying. Study on diagnosis of crops disease based on image recognition [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2009. (in Chinese)