

复杂背景黄瓜叶部病害图像分割方法*

袁媛^{1,2} 李淼² 陈晟³ 江海洋³ 董俊²

(1. 安徽农业大学农学院, 合肥 230036; 2. 中国科学院合肥智能机械研究所, 合肥 230031;
3. 中国科学技术大学信息科学技术学院, 合肥 230026)

摘要: 针对具有复杂背景的黄瓜病害图像,设计了一种图像分割方法。该方法首先结合超 G 和 OTSU 方法去除彩色图像中的大部分背景,尽可能保留图像中的绿色部分信息;然后根据病害图像 RGB 模型中红色分量自动建立数据项,并且设定相邻像素间红色分量差值的函数作为平滑项,以上述数据项和平滑项构建基于阈值预处理的图切割算法。利用该方法对 4 种黄瓜病害(霜霉病、白粉病、靶斑病和炭疽病)彩色图像进行分割。结果表明,该方法能够较为准确地将病斑区域从彩色图像中提取出来,算法的平均正确识别率达到 90% 以上;平均运行速度为 2.12 s,能够满足实时图像分割的要求。

关键词: 黄瓜 复杂背景 图像分割 图切割 OTSU 超 G

中图分类号: TP391.4; S24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)10-0233-05

Segmentation of Cucumber Leaf Disease Images with Complex Background

Yuan Yuan^{1,2} Li Miao² Chen Sheng³ Jiang Haiyang³ Dong Jun²

(1. School of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China
2. Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China
3. School of Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: A segmentation method of cucumber disease image with complex background was proposed. Firstly, most of the background in color images was removed by combined method of ExG and OTSU, which retained the green part of the image as much as possible. Then, according to the red component of the disease image, the data item was created automatically. Meanwhile, the differences between the red components of adjacent pixels were set as the smooth item. The threshold-pretreatment-based graph cuts algorithm was constructed based on the above data item and smooth item. The proposed method was used to segment the color images of four kinds of cucumber diseases. The results showed that it could better segment the diseased regions from the color images of cucumber diseases. The mean accuracy of recognition was more than 90%, and the average running speed was 2.12 s. The proposed method could meet the requirement of real-time image processing.

Key words: Cucumber Complex background Image segmentation Graph cuts OTSU ExG

引言

利用图像处理技术进行农作物病害诊断是计算机视觉技术在农业领域的重要应用之一。在进行作

物病害智能化诊断研究过程中,对具有复杂背景的危害作物叶片进行有效的图像分割至关重要,其结果直接影响到后期的特征提取和病害识别。现有文献主要针对简单背景的病斑进行分割,

收稿日期: 2012-10-16 修回日期: 2012-10-23
* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2013AA102304)和江苏省“六大人才高峰”资助项目(2011-wlw-005)
作者简介: 袁媛, 博士生, 中国科学院合肥智能机械研究所助理研究员, 主要从事农业知识工程研究, E-mail: ahhfyy@gmail.com
通讯作者: 李淼, 研究员, 博士生导师, 主要从事人工智能和农业知识工程研究, E-mail: mli@iim.ac.cn

对于复杂背景的病斑分割研究很少。赵进辉等^[1]根据甘蔗苗期赤腐病和环斑病图像的特点,提出了一种基于颜色和形状特征的甘蔗病害图像分割方法;祁广云等^[2]综合运用计算机数字图像处理技术与遗传算法进行大豆病斑提取研究;李冠林等^[3]提出了一种基于 K-means 硬聚类算法(HCM)的葡萄病害彩色图像非监督性分割处理方法;王守志等^[4]以提高玉米叶部病害检测精度为目标,提出了一种基于并行 PCNN 的玉米病害彩色图像非监督分割方法;胡秋霞等^[5]针对植物病斑图像背景复杂且分割难问题,提出了一种基于水平集和加权颜色信息的 C-V 模型,该方法分割效果较好,但是比较耗时。

由于田间实时监控采集的病叶图像大多具有复杂背景,且其中存在容易与病斑混淆的因素,比如泥土、石头或者其他叶片等干扰因素,这种情况下传统的阈值法或者聚类法很难精确地提取出病斑。

本文针对具有复杂背景的黄瓜叶部病害图像,设计一种彩色图像非监督图像综合处理方法。首先利用黄瓜生长期叶部多呈绿色的特点,结合超 G 和 OTSU 方法提取图像中的主要病叶部分,然后用基于阈值预处理的图切割方法实现黄瓜病害叶片病斑的自动化分割。

1 算法思路

1.1 图像预处理

田间采集的黄瓜叶部图像通常受限于光照条件和采集设备,具有明显的噪声和复杂背景,对病斑的提取造成严重的干扰。针对噪声,采用基于频域的平滑滤波方法对图像进行增强,可消除图像在数字化过程中产生的噪声点。与其他方法相比,这种方法运算高效,同时适用范围广泛,可以去除大多数噪声。

1.2 结合超 G 与 OTSU 的复杂背景去除方法

处于生长期的黄瓜叶片部分呈绿色,采用在 RGB 空间中彩色图像灰度化因子 $(2G - R - B)$ (也称为超 G 因子),可突出绿色特征的超 G 灰度图,本文根据这一颜色特征在复杂背景中提取主要叶片。计算公式为

$$E(x,y)=\begin{cases} 255 & (2G-R-B>255) \\ 0 & (2G-R-B<0) \\ 2G-R-B & (\text{其他}) \end{cases} \quad (1)$$

OTSU 方法又称为最大类间方差法,被认为是图像分割中阈值选取的最佳算法,计算简单,不受图像亮度和对比度的影响,因此在数字图像处理上得到了广泛的应用。它是按图像的灰度特性,将图像分成背景和前景两部分。背景和前景之间的类间方

差越大,说明构成图像的两部分的差别越大,当部分前景错分为背景或部分背景错分为前景都会导致两部分差别变小。因此,使类间方差最大的分割意味着错分概率最小。

实验步骤为:①对输入的图像首先进行超 G 处理。②利用中值滤波去除尖锐点。③使用 OTSU 对滤波后的超 G 图像进行分割,再对分割结果进行填充,去掉目标中的孔洞。④去掉目标中多余的细小部分。⑤将主要病叶从复杂背景中分割出来。

1.3 基于图切割的病斑分割算法

叶片病斑分割精度直接影响后续特征提取的可靠性和病害识别的准确性。由于作物病害图像具有拓扑结构复杂、细节多等特点,已有对此类图像的分割方法(Roberts/Sobel 等算子、阈值分割法、模糊聚类算法)大多存在边缘不连续或图像边缘过粗等缺点,给特征提取带来很大不便,致使特征提取不准确;而水平集方法虽然分割效果较好,但是比较耗时^[5]。鉴于效率和效果两方面的考虑,这些方法无法满足实时病害诊断系统的需求。而图切割算法作为基于图论的分割方法,具有的全局最优性保证了分割效果,同时具有较快的分割速度,适用于实时病斑分割。

图切割算法通过将图像映射为对应的网络图,建立相应的能量函数,从而将图像分割问题转换为图像元素的分类问题,然后转换为能量函数的最优化问题,并最终转换为网络图中最小割的求解问题^[6]。由于图切割算法具有扎实的理论基础、良好的分割效果和较高的效率,成为国际上图像分割领域的一个热点,并在国内外得到了极大的发展和广泛的应用^[7~11]。

在常见的基于图切割的图像分割算法中,无论是 GrabCut 算法^[10]还是 LazySnapping 算法^[11],都无法避免需要通过交互的方式来标识需要被分割的不同物体。对于具有复杂背景的病叶图像,图切割算法需要人工交互式地分别对属于复杂背景、叶片、病斑的区域进行标记,从而建立能量函数的数据项。由于需要人工参与,交互的方式大大降低了图像分割的实时程度和自动化程度。针对这种情况,本文构建了一种基于阈值预处理的图切割算法以实现黄瓜病斑图像的自动化分割。

1.3.1 网络图和能量函数的建立

根据图像信息建立对应的网络图 G (图 1),满足 $G=(V,E)$,其中 V 是图 G 中所有顶点的集合, $v_i \in V$ 对应于原先待分割图像中的每一个像素, E 是图 G 中所有边的集合。 G 包含 2 种不同的边:连接相邻近的点 $v_i, v_j \in V$ 的 l-link 和连接每个点 v_i 和标

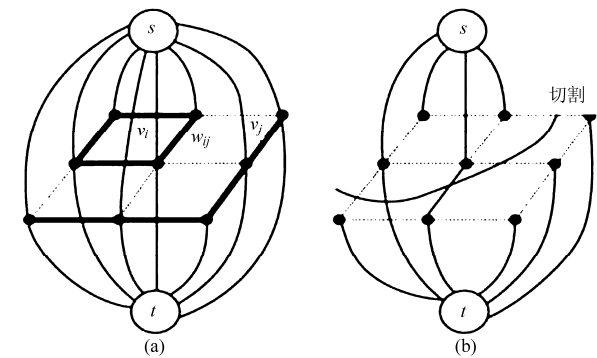


图 1 图切割模型
Fig. 1 Graph cuts model
(a) 3 × 3 的网络图 (b) 图切割

号 L 之间的 t-link。

通过建立网络图,可以得到相对应的关于标号的能量函数。能量函数普遍采用的形式为

$$E(f) = E_s(f) + E_d(f) \tag{2}$$

式中 $E_s(f)$ 为平滑项,代表网络图相邻像素的一致性,在网络图中表示为相邻节点之间的 l-link 的权值; $E_d(f)$ 为数据项,代表每个像素点从属于其对应标号所产生的代价,在网络图中表示为标号到对应节点的 t-link 的权值。这样,图切割算法最终将图像分割问题转换成了能量函数的优化问题^[12]。

1.3.2 建立能量函数的数据项

由于在 RGB 颜色空间的红色分量中,病斑部位的值趋近于零,而正常叶片和去除复杂背景部位的颜色趋近于 255,二者具有明显的差异,可以依据图像红色分量的值自动建立数据项。对于每一个像素点,当红色分量的值越接近于零,该像素点属于病斑部位的概率越大,设定其从属于源点的数据项。反之,如果红色分量越接近于 255,该像素点属于正常叶片或背景的概率越大,设定其从属于汇点的数据项。如果红色分量既不接近零,也不接近 255,则认为其属于模糊区域,将数据项均设定为零,不进行预先判定,因为这些点既可能属于病斑,也可能属于背景和正常叶片,因此有

$$E_d(0) = \begin{cases} e^{(r-128)/64} & (r > T_0) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \tag{3}$$

$$E_d(1) = \begin{cases} e^{(128-r)/64} & (r < T_1) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \tag{4}$$

式中 r ——该像素点在 RGB 颜色空间的红色分量
 $E_d(0)$ ——网络图中该节点到源点 s 的 t-link 的权值
 $E_d(1)$ ——网络图中该节点到汇点 t 的 t-link 的权值

T_1 、 T_0 ——红色分量模糊区域的上、下限
通过对相关图像的实验和统计,当 T_0 为 95 ~

125, T_1 为 180 ~ 210 时,分割效果最好,最终选择 $T_0 = 110$, $T_1 = 195$ 。

1.3.3 建立能量函数的平滑项

为了得到图像中区域与区域的边缘,引入了能量函数的平滑项。由于区域中部红色分量的变化较为平缓,而区域边缘红色分量的变化较为强烈,从而设定相邻像素的红色分量的差值的函数作为平滑项,即 l-link 的权值。

$$E_s(p, q) = e^{-|r_p - r_q|} \tag{5}$$

式中 p 、 q ——网络图中的相邻 2 点

r_p 、 r_q ——点 p 、 q 在 RGB 颜色空间红色分量值

为找出合适的邻域,对局部叶片进行测试,分别对同一个叶片病斑区域进行 4 邻域和 8 邻域网络图建图,并进行分割(图 2)。

通过观察图 2,可以发现 4 邻域分割的结果比较生硬,边缘不太平滑,有较多的不自然的直角,不符合实际病斑的形态。相比之下 8 邻域的分割结果比较自然,也比较符合实际的病斑形状和细节。

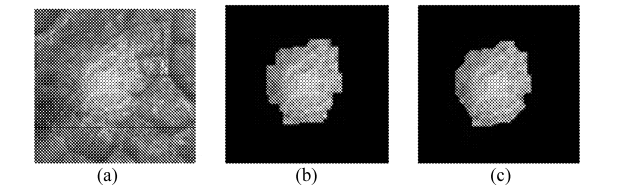


图 2 黄瓜叶片部分炭疽病图像
Fig. 2 Images of anthracnose on cucumber leaf
(a) 原图 (b) 4 邻域分割 (c) 8 邻域分割

1.3.4 最大流最小割问题的求解

求解最大流最小割问题的大多数组合优化算法属于以下两类:一类是基于 Ford-Fulkerson 的增广路算法^[6];另一类是基于 Goldberg-Tarjan 的压入重标记算法^[13]。针对第一类,Boykov 提出了一种高效基于双向广搜的增广路算法^[14],极大地提高了算法的实现效率。

根据上文定义的能量函数的数据项和平滑项,最终根据叶片图像的 RGB 颜色空间红色分量建立了 8 邻域的网络图。将在 8 邻域中相邻的像素点,其对应网络图中的邻接边的权值添加到 l-link 的边表中,按 T_0 、 T_1 分别设定 t-link 的权值,然后用 Boykov 的高效的最大流最小割算法求解^[11]。

2 结果与分析

在 Matlab 7.1 和 VC++ 混合编程 MEX 环境下,编程实现本文提出的图像分割算法,并以实际采集到黄瓜霜霉病、白粉病、靶斑病和炭疽病图像为测试对象进行实验验证。实验所用的计算机的配置为: Intel Core Q6700 2.66 GHz 中央处理器, 4 GB 内

存,Windows XP 操作系统。每种病害各选取 30 幅进行实验。分割实验结果如图 3~6 所示。

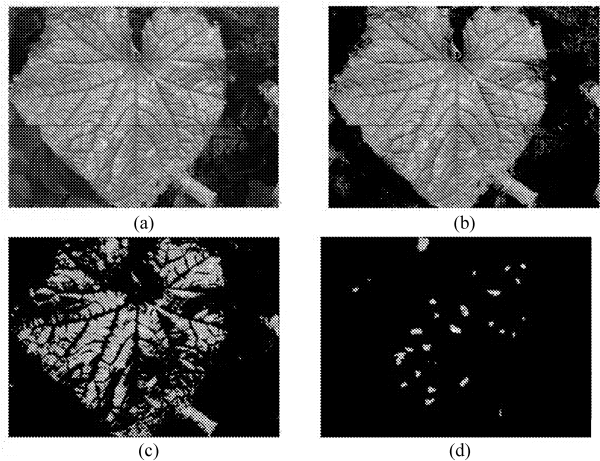


图 3 霜霉病病斑分割结果

Fig.3 Segmentation results of downy mildew

(a) 原图 (b) OTSU 算法 (c) K-means 算法 (d) 本文方法

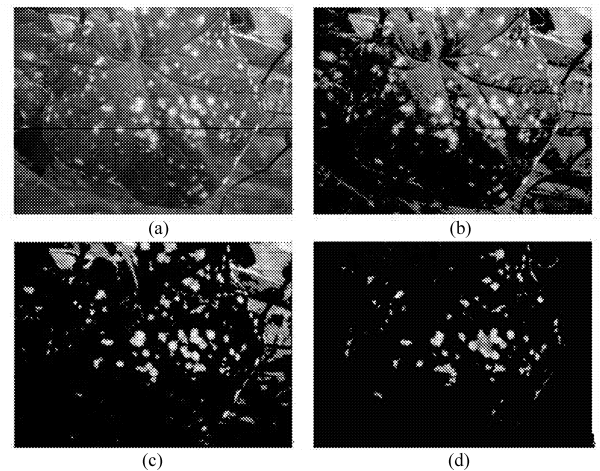


图 4 白粉病病斑分割结果

Fig.4 Segmentation results of powdery mildew

(a) 原图 (b) OTSU 算法 (c) K-means 算法 (d) 本文方法

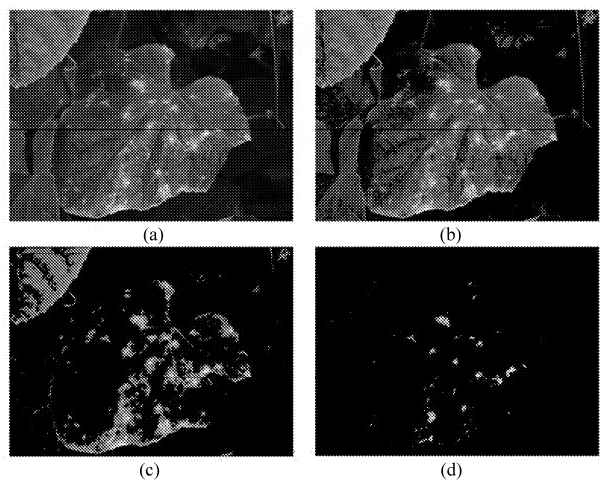


图 5 靶斑病病斑分割结果

Fig.5 Segmentation results of corynespora cassiicola

(a) 原图 (b) OTSU 算法 (c) K-means 算法 (d) 本文方法

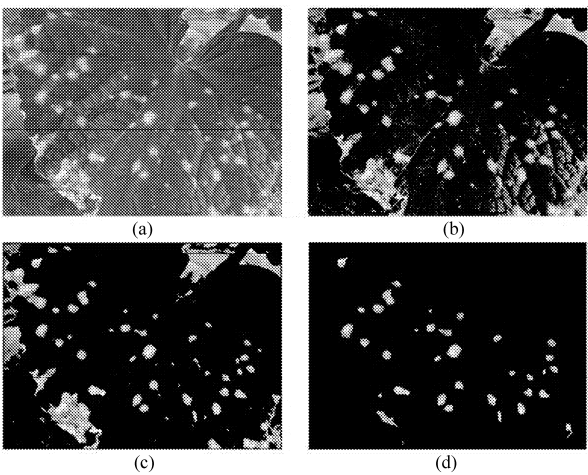


图 6 炭疽病病斑分割结果

Fig.6 Segmentation results of anthracnose

(a) 原图 (b) OTSU 算法 (c) K-means 算法 (d) 本文方法

由图 3~6 可以看出,选择的 4 幅真实的黄瓜病叶图像均具有不同程度的复杂背景,直接用 OTSU 算法去除复杂背景容易产生过分割现象,得不到满意的分割结果;直接用 K-means 算法也不能完全提取出病斑;利用本文设计的方法分割效果较好,可以有效提取出病斑。

为了验证本文方法的有效性,表 1 为不同算法的图像误分率。3 种方法分割图像的平均计算时间如表 2 所示。

表 1 不同方法图像误分率比较

Tab.1 Performance of different methods on leaf disease

类别	%		
	OTSU 算法	K-means 算法	本文方法
霜霉病	70.35	41.88	4.97
白粉病	41.51	21.47	8.73
靶斑病	54.19	18.54	8.64
炭疽病	25.49	20.76	15.78

表 2 平均计算时间比较

Tab.2 Comparison of average computation time s

项目	OTSU 算法	K-means 算法	本文方法
平均计算时间	0.358 5	3.992 2	2.120 7

从表 1 和表 2 可知,本文方法在计算速度上优于 K-means 算法,在图像误分率上远远优于 OTSU 算法,因此与 OTSU 算法和 K-means 算法相比,方法分割性能和实时性更好。

3 结论

(1)针对传统单一方法难以直接分割具有复杂背景的黄瓜病害图像,设计了一种综合图像分割方法。在对原始图像去噪后,结合超 G 和 OTSU 方法提取图像中的主要病叶部分,然后利用基于阈值预

处理的图切割方法实现黄瓜病害叶片病斑的自动化分割。

(2)实验结果表明,该方法能够较为准确的将病斑区域从彩色图像中分割出来,对黄瓜病害彩色图像的分割效果较好;算法运行时间平均约 2.12 s,和 OTSU 算法、K-means 算法相比,整体运行速度较快,能够满足实时图像处理的需求。因此,本文为具有复杂背景的实时图像分割提供了一种有效途径。

参 考 文 献

1 赵进辉,罗锡文,周志艳. 基于颜色与形状特征的甘蔗病害图像分割方法[J]. 农业机械学报,2008,39(9):100~103,133. Zhao Jinhui,Luo Xiwen,Zhou Zhiyan. Image segmentation method for sugarcane diseases based on color and shape features[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(9):100~103,133. (in Chinese)

2 祁广云,马晓丹,关海鸥. 采用改进遗传算法提取大豆叶片病斑图像[J]. 农业工程学报,2009,25(5):142~145. Qi Guangyun,Ma Xiaodan,Guan Haiou. Extraction of the image of soybean target leaf spot based on improved genetic algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2009,25(5):142~145. (in Chinese)

3 李冠林,马占鸿,黄冲,等. 基于 K_means 硬聚类算法的葡萄病害彩色图像分割方法[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊2):32~37. Li Guanlin,Ma Zhanhong,Huang Chong,et al. Segmentation of color images of grape diseases using K_means clustering algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2010,26(Supp. 2):32~37. (in Chinese)

4 王守志,何东健,韩金玉. 基于并行点火 PCNN 的玉米病害彩色图像分割方法[J]. 农业机械学报,2011,42(11):148~153. Wang Shouzhi,He Dongjian,Han Jinyu. Color image segmentation method for corn diseases based on parallelized firing PCNN[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(11):148~153. (in Chinese)

5 胡秋霞,田杰,何东健,等. 基于改进型 C-V 模型的植物病斑图像分割[J]. 农业机械学报,2012,43(5):157~161. Hu Qiuxia,Tian Jie,He Dongjian,et al. Segmentation of plant lesion image using improved C-V model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(5):157~161. (in Chinese)

6 Ford L, Fulkerson D. Flows in networks[M]. New Jersey: Princeton University Press,1962.

7 侯叶,郭宝龙. 基于图切割与 C-V 模型的运动目标分割[J]. 光电子·激光,2008,19(12):1 662~1 665. Hou Ye,Guo Baolong. Segmentation of motion objects based on graph cuts and C-V model[J]. Journal of Optoelectronics · Laser,2008,19(12):1 662~1 665. (in Chinese)

8 侯叶,郭宝龙. 基于图切割的快速运动分割方法[J]. 系统工程与电子技术,2009,31(12):2 998~3 001. Hou Ye,Guo Baolong. Fast method of motion segmentation based on graph cuts[J]. System Engineering and Electronics,2009,31(12):2 998~3 001. (in Chinese)

9 邓宇,李华. 多特征组合和图切割支持的物体/背景分割方法[J]. 计算机研究与发展,2008,45(10):1 724~1 730. Deng Yu,Li Hua. Combination of multiple features for object/background segmentation using graph cut[J]. Journal of Computer Research and Development,2008,45(10):1 724~1 730. (in Chinese)

10 Rother C, Kolmogorov V, Blake A. “GrabCut”: Interactive foreground extraction using iterated graph cuts [C] // ACM Transactions on Graphics, Special Issue: Proceedings of the 2004 SIGGRAPH Conference, 2004,23(3):309~314.

11 Li Y, Sun J, Tang C K, et al. Lazy snapping[J]. ACM Transactions on Graphics, 2004,23(3):303~308.

12 Boykov Y, Veksler O, Zabih R. Fast approximate energy minimization via graph cuts [C] // Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Computer Vision,1999,1:377~384.

13 Goldberg A V, Tarjan R E. A new approach to the maximum-flow problem[J]. Journal of the Association for Computing Machinery, 1988,35(4):921~924.

14 Boykov Y,Kolmogorov V. An experimental comparison of min-cut /max- flow algorithms for energy minimization in vision[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2004,26(9):1 124~1 137.

(上接第 241 页)

13 王玥,王树根. 高分辨率遥感影像阴影检测与补偿的主成分分析方法[J]. 应用科学学报,2010,28(2):136~141. Wang Yue,Wang Shugen. Detection and compensation of shadows in high resolution remote sensing images using PCA[J]. Journal of Applied Sciences, 2010,28(2):136~141. (in Chinese)

14 Ono A, Kajiwar K, Honda Y, et al. Development of new vegetation indexes, shadow index (SI) and water stress trend (WST) [J]. ISPRS Archives, 2010,38(8):710~714.

15 Mcfeeters S K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996,17(7):1 425~1 432.

16 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数 (MNDWI) 提取水体信息的研究[J]. 遥感学报,2005,9(5):589~595. Xu Hanqiu. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI)[J]. Journal of Remote Sensing, 2005,9(5):589~595. (in Chinese)

17 杨燕,田庆久. 基于 TM 图像信息的山地森林区阴影去除方法研究[C] //汪民. 第 16 届全国遥感技术学术交流会论文集. 北京:地质出版社,2007:104~106.