

基于图像处理的葡萄霜霉病单叶严重度自动分级方法

李冠林 马占鸿 王海光*

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193)

摘要 为了实现植物病害严重度的精确测定和自动分级,克服目前病害严重度肉眼观测存在主观随意的缺陷,以葡萄霜霉病发病叶片为研究对象,提出一种基于图像处理技术的病害单叶严重度自动分级方法。经对完整的叶部病害正投影图像进行处理,利用 K_means 聚类算法自动准确地将叶片区域和发病区域分别分割出来,通过像素统计的方法提取叶片和发病区域的面积特征,从而精确地计算出发病区域所占叶片总面积的百分比,并根据分级标准给出病害严重度级别。利用该方法对葡萄霜霉病样本进行测试结果表明,该方法能够精确地估计病害严重度,对葡萄霜霉病发病叶片严重度判断的准确率为 93.33%。

关键词 葡萄霜霉病; 严重度; 自动分级; 图像处理; K_means 聚类

中图分类号 TP 391.41; S 126

文章编号 1007-4333(2011)06-0088-06

文献标志码 A

An automatic grading method of severity of single leaf infected with grape downy mildew based on image processing

LI Guan-lin, MA Zhan-hong, WANG Hai-guang*

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract To realize accurately calculating and automatically grading of disease severity, a kind of automatic grading method of severity of single leaf infected with grape downy mildew based on image processing was proposed. In processing the completed vertical-projected images of leaf disease, leaf area and diseased area were segmented out automatically and accurately using K_means clustering (HCM) algorithm. The area features of leaf area and that of diseased area were extracted using pixels statistic. And then the assessed severity of a single leaf was obtained by calculating area ratio between diseased area and leaf area. The results show that the proposed method can assess the disease severity accurately with accuracy of 93.33%.

Key words grape downy mildew; severity; automatic grading; image processing; K_means clustering

植物病害是影响农作物生长、产量和品质的主要原因之一,为了对植物病害进行预测预报和治理,生产中需要对病害严重度进行测定。病害严重度是计量植物病害发生情况的重要参数,是指发病单元发生病变的程度,一般用根据发病严重程度由轻到重划分的各级代表值或发病单元所占的面积百分比表示^[1-2]。目前生产中,对于病害严重度的测定主要以肉眼观测为主,借助专家、农技人员和生产者的经验对发病程度进行主观判定,由于知识结构和水平

的差异,不同人对同一样本的判别有时候会出现很大差别,致使病害严重度的测定具有主观随意性,不能实现对病情的精确估测,无法满足病害测报和病害管理的需求。在实验室,一般采用纸样称重法、网格纸测定法等较精确的方法对发病严重程度进行估计,但操作过程繁琐、费时费力,实际生产中难以利用。因此,开发一种快速、精确、简便的植物病害严重度自动分级方法具有重要的现实意义。

利用计算机视觉代替人眼视觉能够快速、准确

收稿日期: 2011-02-18

基金项目: 国家科技支撑计划项目(007BAD57B02)

第一作者: 李冠林,硕士研究生, E-mail: cauli@yahoo. cn

通讯作者: 王海光,讲师,博士,主要从事植物病害流行病学和宏观植物病理学研究, E-mail: wanghaiguang@cau. edu. cn

地对植物病害信息进行诊断。计算机图像处理技术是计算机视觉的一部分,可应用于农产品品质检测、作物生长状态监测、作物病虫草害诊断识别以及农业机器人等研究^[3]。计算机图像处理技术已广泛应用于植物病害的研究当中^[4-12],利用合适的图像处理算法即可实现病害严重度的自动分级。基于图像处理的植物病害严重度自动分级已经有一些研究报道,如在 HSI 颜色空间下,选择 H 分量,运用 Sobel 算子提取大豆灰斑病(由 *Cercospora sojina* 引起)发病叶片病斑边缘,再经区域填充、形态学开运算等操作分割出病斑,实现病害严重度等级评估^[13];在 YUV 颜色模型下选取 V 分量,根据黄瓜霜霉病(由 *Pseudoperonospora cubensis* 引起)病斑特征参数进行病斑分割,实现病害的严重度分级^[14]。

本研究拟以大田和设施栽培中重要的葡萄霜霉病(由 *Plasmopara viticola* 引起)为对象,利用 K -means 聚类算法自动对发病叶片图像进行分割处理,通过像素统计的方法估计病害严重度,以实现基于图像处理的病害单叶严重度的自动分级,旨在为病害评估和病害预测提供尽量客观、精确的数据资料,为建立基于网络的病害诊断和风险评估系统提供基础。

1 材料与方法

1.1 病害数字图像采集

葡萄霜霉病病叶样本采集于中国农业大学上庄实验站和北京门头沟葡萄种植区,选取表面洁净的病叶置于黑色或白色背景下,采用 Canon A710 IS 数码相机垂直于叶片正面进行 1~55 cm 广角近距离自动拍摄,以获得清晰的叶片病状全景正投影图像。本研究采集葡萄霜霉病典型症状图像共 30 幅,其中包括病害级别由低到高的各级图像,图像大小

为 2 592 像素×1 944 像素,格式为 JPEG,24 位图。

1.2 基于图像处理的病害严重度自动分级方法

利用 K -means 聚类算法自动准确地将叶片区域和发病区域分别分割出来,通过像素统计的方法提取叶片和发病区域的面积特征,从而精确地计算出发病区域占叶片总面积的百分比,并根据分级标准给出病害严重度级别,从而实现病害严重度的自动分级。

1.2.1 图像分割

图像分割是指将图像中感兴趣的区域从图像中分割出来^[15],植物病害彩色图像分割就是将待识别的叶片区域和发病区域从植物病害彩色图像中分别分割出来。传统的植物病害分级方法研究主要以灰度阈值法作为图像分割方法^[16-17],需要对原图像进行灰度化和背景处理,操作较为繁琐。由于所采集的植物病害图像是由背景、叶片健康区域和发病区域 3 个部分组成,图像聚类的类数为 3,每个区域内的图像数据对象之间的相似度较大,而两两区域间的图像数据对象之间相似度较小,可采用相似性度量的方法进行图像的三分类分割。

K -means 硬聚类算法(Hard C Means,简称 HCM)是 Mac Queen 提出的一种非监督实时聚类算法^[18],其基本思想是根据图像中色彩空间不同的颜色来确定不同色彩所在的区域,从而达到图像分割的目的^[19],本研究即利用该方法对葡萄霜霉病叶片图像进行分割处理。在 $L*a*b*$ 颜色空间模式下,利用 $a*b*$ 二维数据空间的颜色差异,以平方欧式距离作为相似度距离,均方差作为聚类准则函数,对颜色进行三分类聚类,从而实现背景、叶片健康区域和发病区域 3 部分(图 1(a))的有效分割,并使用不同颜色显示聚类生成的区域,分割方法的具体实现详见参考文献^[20]。分割结果见图 1(b)。

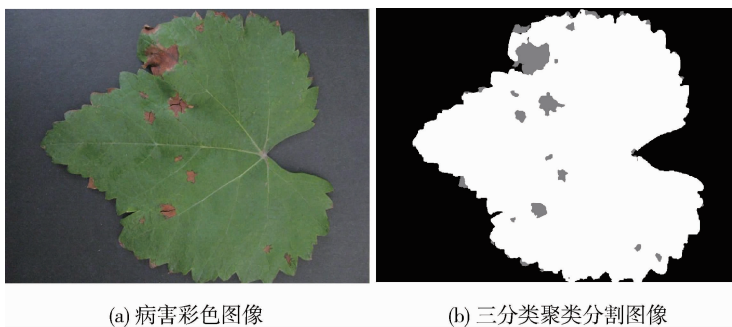


图 1 葡萄霜霉病病害彩色图像及三分类聚类分割结果

Fig. 1 Clustering segmentation results and the color image of grape downy mildew

1) 叶片区域分割。叶片区域分割直接影响叶片面积计算的准确度。完整的叶片区域包括叶片健康区域和发病区域,即三分类聚类分割图像中的白色和灰色部分(灰度值 >0),可利用灰度阈值法(阈值为0)进行叶片区域分割。对三分类聚类分割图像进行二值化处理,并经分割区域填充消除空洞获得叶片区域的二值图像(图2(a))。

2) 发病区域分割。发病区域的分割是本研究的

关键。本研究所采用的分割方法是基于颜色差异的聚类方法,在 $L*a*b*$ 颜色空间模式下,发病区域与叶片健康区域的颜色差异显著,利用HCM对 $a*b*$ 二维数据空间进行聚类可实现发病区域的有效分割。使用原彩色图像的颜色分别显示聚类生成的三块区域,区域外显示为0,得到发病区域的分割图像,经二值化处理得到其二值图像(图2(b)和(c))。

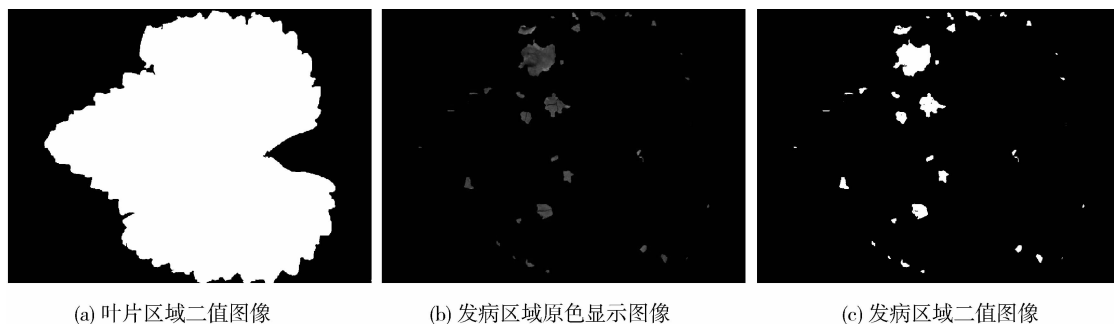


图2 葡萄霜霉病病害彩色图像区域分割

Fig. 2 Regional segmentation of the color image of grape downy mildew

发病区域分割会受到叶脉、光强、杂质等因素影响,光强和杂质的影响可以在采集图像过程中得到控制,因而叶脉是影响发病区域分割效果的主要因素。聚类过程中通过选择合适的相似度距离可以降低叶脉的干扰,使得叶脉和叶片绿色区域生成同一聚类。本研究选择平方欧式距离作为相似度距离^[20],有效降低了叶脉给分割带来的影响。

1.2.2 特征提取与病害严重度自动分级

植物叶部病害严重程度的级别通常采用发病区域面积与叶片面积的比值衡量,在图像空间内表示为像素比,即发病区域的像素个数与叶片区域像素个数的比值。发病区域占叶片总面积的百分比 s 的计算公式^[13]为

$$s = \frac{A_d}{A_l} \times 100\% = \frac{p \sum_{(x,y) \in R_d} 1}{p \sum_{(x,y) \in R_l} 1} \times 100\% = \frac{\sum_{(x,y) \in R_d} 1}{\sum_{(x,y) \in R_l} 1} \times 100\%$$

式中: A_d 为发病区域面积; A_l 为叶片区域面积; p 为单位像素的面积; R_d 为发病区域; R_l 为叶片区域。利用像素统计方法计算分割的二值图像获得叶片区域和发病区域的像素个数,进而计算像素比,由此可

得到发病区域占叶片总面积的百分比 s ,即可判别病害严重度 S ,并根据病害严重度分级标准给出严重度级别。葡萄霜霉病病害严重度可分为6个级别^[21],根据分级标准(表1)编程实现葡萄霜霉病病害严重度自动分级。

表1 葡萄霜霉病严重度分级表

Table 1 Severity grading table of grape downy mildew

严重度等级	发病区域占叶片总面积百分比 s
0级	$s=0$
1级	$0 < s \leq 5\%$
3级	$5\% < s \leq 10\%$
5级	$10\% < s \leq 20\%$
7级	$20\% < s \leq 50\%$
9级	$50\% < s$

1.3 自动分级方法与纸样称重法的比较

为了验证所提出的病害单叶严重度自动分级方法的准确性,采用传统上测定病害严重度的纸样称重法进行比较研究。纸样称重法的实现步骤如下:

1) 将30幅葡萄霜霉病图像彩色打印在纸质均匀的硬质A4纸上,每幅病害图像彩色打印3张,作为3次重复;

2)沿叶片边缘将叶片区域剪出,利用电子天平称量叶片区域的纸张质量,记为 k_1 ;

3)将发病区域尽量准确的逐一剔除,将余下的健康区域纸张称量,记为 k_2 ;

4)计算发病区域占叶片总面积的百分比, $s = (k_1 - k_2) / k_1$;根据严重度分级标准(表 1)即可获得测定叶片的葡萄霜霉病严重度分级结果。

纸样称重法能够较为精确地计算出发病区域占叶片总面积的百分比,计算结果接近真实值,可用于评价本研究提出的基于图像处理的病害单叶严重度自动分级方法的分级效果。对这 2 种方法获得的葡萄霜霉病发病区域占叶片总面积的百分比进行 t 检验,以衡量这 2 种方法的差异。

2 结果与分析

以采集的 30 幅葡萄霜霉病图像作为测试对象,进行图像分割、特征提取和查表分级操作,得到发病区域占叶片总面积的百分比和病害严重度分级结果。本研究提出的基于图像处理的病害单叶严重度自动分级方法和纸样称重法获得的葡萄霜霉病严重度分级结果见表 2。可以看出,本研究提出的基于图像处理的病害单叶严重度自动分级方法计算值非常接近纸张称重法所获得的值,与纸张称重法相比,对 30 幅病害图像发病区域所占叶片面积百分比的平均计算误差为 9.001%,较人为视觉判断误差而言,此误差值较小。对 2 种方法获得的葡萄霜霉病

表 2 纸样称重法与基于图像处理的自动分级法获得的病害严重度分级结果比较

Table 2 Comparison of disease severity values between using paper-weighing method and automatic grading method based on image processing

序号	纸样称重法				严重度等级	自动分级法	
	发病区域占叶片总面积百分比/%					发病区域占叶片总面积百分比/%	严重度等级
	1	2	3	平均值			
SM1	24.938 2	24.256 4	24.384 4	24.526 3	7	24.580 3	7
SM2	12.802 8	12.083 3	12.577 8	12.488 0	5	13.144 7	5
SM3	8.730 8	8.966 4	8.529 2	8.742 1	3	7.984 9	3
SM4	14.408 6	13.902 6	13.831 4	14.047 5	5	12.951 9	5
SM5	15.249 0	14.974 6	14.897 9	15.040 5	5	13.175 1	5
SM6	6.177 1	6.775 6	6.348 1	6.433 6	3	5.470 3	3
SM7	15.509 6	15.405 4	15.272 1	15.395 7	5	15.204 2	5
SM8	13.433 7	13.797 4	13.686 9	13.639 3	5	15.390 4	5
SM9	12.026 9	12.650 2	12.954 2	12.543 8	5	11.010 1	5
SM10	4.589 3	4.673 4	4.741 4	4.668 0	1	4.162 8	1
SM11	11.347 7	12.662 4	13.254 1	12.421 4	5	13.276 6	5
SM12	7.651 8	8.030 9	8.103 1	7.928 6	3	7.194 8	3
SM13	26.344 0	26.074 9	26.928 0	26.449 0	7	23.160 0	7
SM14	18.013 4	17.797 7	18.053 0	17.954 7	5	15.405 3	5
SM15	5.231 8	5.157 3	6.179 7	5.522 9	3	6.329 5	3
SM16	4.427 1	4.613 4	4.859 0	4.633 2	1	4.572 2	1
SM17	6.524 5	6.537 9	6.567 8	6.543 4	3	7.198 6	3
SM18	11.217 4	11.331 9	11.186 3	11.245 2	5	12.887 6	5
SM19	11.968 2	11.595 6	11.592 3	11.718 7	5	11.844 6	5

续表

序号	纸样称重法				严重度等级	自动分级法	
	发病区域占叶片总面积百分比/%					发病区域占叶片总面积百分比/%	严重度等级
	1	2	3	平均值			
SM20	11.587 9	11.746 9	11.936 0	11.756 9	5	10.393 4	5
SM21	12.576 5	12.871 1	12.839 4	12.762 3	5	11.033 7	5
SM22	29.178 8	29.699 2	29.132 6	29.336 9	7	25.381 7	7
SM23	7.579 7	7.464 5	7.681 4	7.575 2	3	7.872 6	3
SM24	12.783 5	12.854 9	12.965 4	12.867 9	5	11.731 8	5
SM25	4.952 5	4.680 3	4.551 1	4.728 0	1	4.406 4	1
SM26	10.334 3	11.210 8	11.218 7	10.921 3	5	10.050 8	5
SM27	4.375 6	4.601 7	4.707 5	4.561 6	1	5.191 1	3
SM28	9.828 5	9.790 5	9.990 9	9.870 0	3	10.383 7	5
SM29	17.495 6	17.582 6	17.517 6	17.531 9	5	16.012 2	5
SM30	10.834 0	11.026 0	11.101 6	10.987 2	5	10.397 3	5

注:SM1~30表示葡萄霜霉病图像序号1~30。

发病区域所占叶片面积百分比进行 t 检验,结果表明,2种方法差异不显著($P=0.7117$)。30幅病害图像的严重度判断准确率为93.33%,对病害单叶严重度的自动分级准确性较高。

3 结论与讨论

1)本研究针对葡萄霜霉病发病叶片的全叶正投影彩色图像,提出了一种基于图像处理技术的单叶严重度自动分级方法。利用 K_means 硬聚类算法自动准确地将叶片区域和发病区域分别从图像中分割出来,通过像素统计的方法提取叶片和发病区域的面积特征,由面积比精确地计算出病害严重度,实现病害的自动分级。

2)利用该方法对30幅葡萄霜霉病图像进行病害严重度自动分级测试,结果表明,与纸样称重法相比,发病区域占叶片总面积的百分比平均计算误差为9.001%,2种方法所获得葡萄霜霉病发病区域占叶片总面积的百分比差异不显著,病害严重度自动分级准确率为93.33%,表明本研究所提出的基于图像处理的病害单叶严重度自动分级方法能够较为准确地计算出病害图像的严重度级别,可用于相应病害的严重度自动分级。

3)传统的纸样称重法相对费时费力,而基于图像处理的植物病害严重度自动分级方法更加方便快捷,并且更加环保,不需要进行植物病害图像的纸质

打印,至少可以部分地避免主观成分和减少干扰因素的影响。本研究提出的基于图像处理的病害单叶严重度自动分级方法根据植物病害严重度的定义,利用像素统计方法计算发病区域占叶片总面积的百分比,进而估计病害严重度级别,利用纸样称重法评价了基于图像处理的病害严重度自动分级方法的准确性,结果表明本研究所提自动分级方法可靠性强,可用于葡萄霜霉病单叶严重度的自动分级,为该病害严重度的测定和分级提供了一种快速、准确的有效途径。

4)植物病害的发展过程中症状表现可能不同,叶片正反面的症状表现也不尽相同。葡萄霜霉病发病初期表现为褪绿现象,病斑颜色表现不明显,难以进行图像处理。本研究只是对发病叶片正面典型病状图像进行处理,未考虑到初期发病情况。

参 考 文 献

- [1] 肖悦岩,季伯衡,杨之为,等.植物病害流行与预测[M].北京:中国农业大学出版社,2005
- [2] 许志刚.普通植物病理学[M].4版.北京:高等教育出版社,2009
- [3] 方如明,蔡健荣,许俐.计算机图像处理技术及其在农业工程中的应用[M].北京:清华大学出版社,1999
- [4] 王映龙,戴香粮.图像处理技术在水稻虫害系统中的应用[J].微计算机信息,2007,23(26):274-275,256
- [5] 管泽鑫,姚青,杨保军,等.数字图像处理技术在农作物病虫害识别中的应用[J].中国农业科学,2009,42(7):2349-2358

- [6] 任东,于海业,王纪华. 基于线性组合核函数支持向量机的病害图像识别研究[J]. 农机化研究,2007,29(9):41-43
- [7] 任杰,柳毅,金鑫,等. 基于数据挖掘的蔬菜图片病害自动分类[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2006,42(6):592-596
- [8] 丁浩,艾娇燕. 基于计算机视觉的植物黑腐病病斑分析[J]. 计算技术与自动化,2007,26(1):115-118
- [9] 赵玉霞,王克如,白中英,等. 贝叶斯方法在玉米叶部病害图像识别中的应用[J]. 计算机工程与应用,2007,43(5):193-195
- [10] 王娜,王克如,谢瑞芝,等. 基于 Fisher 判别分析的玉米叶部病害图像识别[J]. 中国农业科学,2009,42(11):3836-3842
- [11] 陈兵旗,郭学梅,李晓华. 基于图像处理的小麦病害诊断算法[J]. 农业机械学报,2009,40(12):190-195
- [12] 管泽鑫,唐健,杨保军,等. 基于图像的水稻病害识别方法研究[J]. 中国水稻科学,2010,24(5):497-502
- [13] 陈占良,张长利,沈维政,等. 基于图像处理的叶斑病分级方法的研究[J]. 农机化研究,2008,30(11):73-75
- [14] 关辉,张长利,张春媛. 基于图像处理的黄瓜叶片病斑分级方法的研究[J]. 农机化研究,2010,32(3):94-97
- [15] 赵书兰. MATLAB R2008 数字图像处理与分析实例教程[M]. 北京:化学工业出版社,2009
- [16] 王志高. 基于 CVT 图像处理方法的病害叶片分级[D]. 北京:北京师范大学,2007
- [17] 姜淑华. 农作物病害图像识别及其危害程度自动分级方法研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2007
- [18] Selim S Z, Ismail M A. K-means-type algorithm: a generalized convergence theorem and characterization of local optimality[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1984,6(1):81-87
- [19] 张强,王正林. 精通 MATLAB 图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2009
- [20] 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
- [21] 农业部农药检定所. 农药田间药效试验准则[M]. 北京:中国标准出版社,2000

(责任编辑:刘迎春)

欢迎订阅 2012 年《中国农业科学》中、英文版

《中国农业科学》中、英文版由农业部主管、中国农业科学院主办。主要刊登农牧业基础科学和应用基础科学研究论文、综述、简报等。设有作物遗传育种;耕作栽培·生理生化;植物保护;土壤肥料·节水灌溉·农业生态环境;园艺;园林;贮藏·保鲜·加工;畜牧·兽医等栏目。读者对象是国内外农业科研院(所)、农业大专院校的科研、教学人员。

《中国农业科学》中文版影响因子、总被引频次连续多年居全国农业科技期刊最前列或前列。1999年起连续10年获“国家自然科学基金重点学术期刊专项基金”资助;2001年入选中国期刊方阵双高期刊;1999年获“首届国家期刊奖”,2003、2005年获“第二、三届国家期刊奖提名奖”;2004—2006年连续荣获第四、五届全国农业优秀期刊特等奖;2002年起7次被中信所授予“百种中国杰出学术期刊”称号;2008年获中国科技信息研究所“精品科技期刊”称号,及武汉大学中国科学评价中心“权威期刊”称号;2010年荣获“第二届中国出版政府奖期刊提名奖”。在北京大学《中文核心期刊要目总览(2008年版)》中居“农业综合类核心期刊表”首位。2010年1月起中文版改为半月刊,将有更多最新农业科研成果通过《中国农业科学》及时报道。

《中国农业科学》英文版(Agricultural Sciences in China)2002年创刊,2006年1月起正式与国际著名出版集团 Elsevier 合作,海外发行由 Elsevier 全面代理,全文数据在 Science Direct 平台面向世界发行。2010年1月起英文版页码增至160页。2010年 Agricultural Sciences in China 被 SCIE 收录,拟于2012年1月更名为 Journal of Integrative Agriculture。

《中国农业科学》中文版大16开,每月1、16日出版,国内外公开发售。每期224页,定价49.50元,全年定价1188.00元,国内统一刊号:CN11-1328/S,国际标准刊号:ISSN0578-1752,邮发代号:2-138,国外代号:BM43。

《中国农业科学》英文版大16开,每月20日出版,国内外公开发售。每期160页,国内订价36.00元,全年432.00元,国内统一刊号:CN11-4720/S,国际标准刊号:ISSN1671-2927,邮发代号:2-851,国外代号:1591M。

邮编:100081 地址:北京 中关村南大街12号《中国农业科学》编辑部

电话:010-82109808,82106280,82106281,82106282 传真:010-82106247

网址:www.ChinaAgriSci.com E-mail:zgnykx@mail.caas.net.cn