

基于光谱反射率的果树病虫害级别量化测评

——以红富士苹果树黄叶病害、红蜘蛛虫害为例

邢东兴^{1,2}, 常庆瑞¹

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 咸阳师范学院 资源环境系, 陕西 咸阳 712000)

[摘要] 【目的】分析红富士苹果树分别在各级红蜘蛛虫害、黄叶病害胁迫下的反射光谱特征, 并利用光谱数据对果树受害程度进行量化测评。【方法】于 2007 年 6~7 月, 在陕西省礼泉县测定了患有各级红蜘蛛虫害、黄叶病害果树的光谱反射率, 将正常、轻度、中度、重度受害果树的光谱反射率分别记为 $R_{正常}$ 、 $R_{轻度}$ 、 $R_{中度}$ 、 $R_{重度}$ 。首先, 在对光谱数据进行预处理和一阶微分变换的基础上, 对各级红蜘蛛虫害、黄叶病害胁迫下果树的光谱特征分别进行分析; 随后, 基于各级红蜘蛛虫害、黄叶病害对应的光谱特征, 分别构造了 6 种光谱指数, 并从中择优建立对红蜘蛛虫害、黄叶病害级别进行测评的数学模型; 最后, 利用检验样本果树的反射光谱分别对所建立的红蜘蛛虫害、黄叶病害级别测评模型的精度进行检验。【结果】各级红蜘蛛虫害对应的反射光谱在 630~695 nm, $R_{重度} > R_{中度} > R_{轻度} > R_{正常}$, 且在 684 nm 处变异系数最大; 在 730~950 nm, $R_{重度} < R_{中度} < R_{轻度} < R_{正常}$, 且在 762 nm 处变异系数最大。各级黄叶病害对应的反射光谱在 515~716 nm, $R_{重度} > R_{中度} > R_{轻度} > R_{正常}$, 且在 603 nm 处变异系数最大; 在 740~950 nm, $R_{重度} < R_{中度} < R_{轻度} < R_{正常}$, 且在 764 nm 处变异系数最大。果树反射光谱的“红边”位置随虫害、病害程度的加重而依次发生“蓝移”。建立的红蜘蛛虫害、黄叶病害级别测评模型对相应虫害、病害级别的测评准确率分别为 96%, 98%。【结论】各级红蜘蛛虫害、黄叶病害胁迫下的红富士苹果树的反射光谱差异较大, 利用光谱数据可精确地对各级红蜘蛛虫害、黄叶病害级别进行量化测评。

[关键词] 苹果树; 反射光谱; 黄叶病害; 红蜘蛛虫害; 量化测评

[中图分类号] S661.1; TP701

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2009)11-0143-06

Quantitative evaluation of the degrees of disease or insect pest intimidation based on spectral reflectance of canopies of fruit trees

——Yellow leaf disease and red mite insect pest of Fuji apple trees as samples

XING Dong-xing^{1,2}, CHANG Qing-rui¹

(1 College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Department of Resources and Environment, Xianyang Normal College, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

Abstract: 【Objective】The research attempts to explore the spectral characteristics of Fuji apple trees which are intimidated by disease or pests, and try to evaluate quantitatively the degrees of disease or pest stress by spectra data. 【Method】During June and July 2007, the reflectance spectroscopies of the Fuji apple trees intimidated by each level of disease or pests were measured in liquan county, and the spectral reflectance

* [收稿日期] 2008-12-03

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30571527)

[作者简介] 邢东兴(1969—), 男, 陕西礼泉人, 讲师, 在读博士, 主要从事土地资源与空间信息技术研究。

E-mail: pah72@sohu.com

[通信作者] 常庆瑞(1959—), 男, 陕西子洲人, 教授, 博士生导师, 主要从事土地资源与空间信息技术研究。

E-mail: changqr@nwsuaf.edu.cn

tances were marked respectively: R_{severe} , $R_{moderate}$, $R_{lightly}$, R_{normal} . Firstly, The spectra reflectance (R_λ) data were pretreated and transformed with the first derivative, and on the basis of it, the spectral characteristics of fruit trees intimidated by all levels of disease or insect pest were analyzed separately. Subsequently, on the basis of the spectral characteristics of fruit trees intimidated by each level of disease or pests, six kinds of spectra index were conformed separately, and the optimal spectra index was selected and used to model each level of disease or pests. Finally, the models that were used to evaluate quantitatively the degrees of disease or pest stress were checked up separately. 【Result】 The main conclusions are: (1) The Spectral reflectance of each level of red mite pests within the wavelength ranges from 630 to 695 nm, $R_{severe} > R_{moderate} > R_{lightly} > R_{normal}$, the largest coefficient of variation of the four reflectances is at 684 nm, within the wavelength range from 730 to 950 nm, $R_{severe} < R_{moderate} < R_{lightly} < R_{normal}$, the largest coefficient of variation of the four reflectances is at 762 nm. The spectral reflectance of each level of yellow leaves disease within the wavelength ranges from 515 to 716 nm, $R_{severe} > R_{moderate} > R_{lightly} > R_{normal}$, the largest coefficients of variation of the four reflectances is at 603 nm, within the wavelength range from 740 to 950 nm, $R_{severe} < R_{moderate} < R_{lightly} < R_{normal}$, the largest coefficient of variation of the four reflectances is at 764 nm. (2) The red border position of the spectral reflectance of fruit trees moves to shortwave with the level of disease or pest increasing. (3) The models that are used to evaluate quantitatively the degrees of disease or pest stress have higher precision. 【Conclusion】 The discrepancy among the reflectance spectroscopy of each level of disease or pest intimidating the Fuji apple trees is larger, the precision using the spectra data to evaluate quantitatively the degree of disease or insect pest intimidation is high.

Key words: apple tree; spectral reflectance; yellow-leaf disease; european red mite pest; quantitative evaluation

及时、全面、准确地获取果区内果树的生长态势与病虫害信息(即果树是否发生了病虫害、病虫害发生的种类与发展的程度及其空间分布差异等信息),既是保障对果树病虫害进行适时、有效、环保防治的一个前提条件,又是保障区域果业优质、高效生产与可持续发展的一个重要环节。

传统的果树病虫害监测方式(即人工田间抽样调研方式),虽然对果树病虫害具有较高的监测精度,但是该方式因受其高耗性、时滞性与低效性等弊端的局限,不能对大面积果区内果树所发生的病虫害进行及时、全面地监测。常规的遥感监测手段,虽然对果树病虫害的监测具有快捷性与全面性,且具有一定的监测效能,但是该手段因受其波段设置宽而少、光谱分辨率低等因素的影响,而不能对果树病虫害的类型与危害程度进行精确诊断。近年来,国际上兴起的高光谱遥感技术,是一种不同于常规遥感技术的新型对地观测技术。高光谱遥感技术具有宽谱域、窄通道、图谱合一、高光谱分辨率等成像特点^[1-2],极大地增强了遥感对地观测的能力及对地物间微小光谱差异的鉴别能力,为快速、全面、准确地获取大面积果区内果树的病虫害信息奠定了技术基础。

伴随着高光谱遥感技术的发展,国际上利用高

光谱数据对农作物和森林树种病虫害进行监测的研究较多^[3-12],但对果树病虫害进行监测的研究鲜见报道。为此,本研究于 2007-06-07,对分别患有 4 个级别的红蜘蛛虫害、黄叶病害红富士苹果树的冠层反射光谱进行测试,并对测试结果进行了处理与分析,在此基础上探讨了红富士苹果树在各级红蜘蛛虫害、黄叶病害胁迫下的反射光谱特征,以及利用高光谱数据对果树病虫害程度进行有效测评的方法与途径,以期为我国今后利用机载、星载(超)光谱传感器进行果树病虫害监测提供理论依据。

1 数据的获取与处理

1.1 数据的获取

1.1.1 测试样本 选取的样本果树与光谱测试地点位于陕西省礼泉县石潭镇。该镇果业发展较早,果树栽植面积较大。近年来,该镇少数果农因出外打工,对果树所患病虫害疏于防治,这便为本研究选取各类样本果树提供了条件。

在 2007 年 6 月中旬,通过走访调研与对比筛选,将患有不同程度红蜘蛛虫害的红富士苹果树分为 4 级(健康果树对应正常级别),进行样本果树选取,各级均选取 15 株样本果树(其中 10 株作为校正

样本,5株作为检验样本)。同年7月中旬,以同样方式选取4个级别的黄叶病害样本果树60株(即每一级别选取15株果树,共60株样本果树)。所选择

本果树,树龄均为10~12年,树型为主干分层型。各级病、虫害的分级标准见表1。

表1 果树病虫害分级与分级标准^[6]

Table 1 Classification and classifying standards of the degree of fruit trees intimidated by disease or pests

| 病虫害 Disease and pest | 病虫害级别 Degree of disease or pest | 症状表现 Symptom of each degree of disease or pest |
|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| 红蜘蛛虫害 Red Mite | 重度 Severe | 树冠90%左右的叶片呈红褐色,并带有一些大豆大小的淡黑斑块 90% right-and-left leaves of tree-crown assume henna, and have some black speckles whose size close to soybean |
| | 中度 Moderate | 树冠60%左右的叶片浅绿中泛红,并带有少许绿豆大小的红色斑块 60% right-and-left leaves of tree-crown assume light green mixed light red, and have little red speckles whose size close to mung bean |
| | 轻度 Lightly | 树冠30%左右的叶片颜色浅绿,并带有许多针尖样的红点 30% right-and-left leaves of tree-crown assume light green, and have a lot of red point whose size close to needlepoint |
| | 正常 Normal | 无虫害,叶片呈绿色 the tree have not insect pest, the leaves assume green |
| 黄叶病害 Yellow leaf Disease | 重度 Severe | 树冠60%左右的叶片呈黄色,并带有一些大豆大小干而暗的斑块 60% right-and-left leaves of tree-crown assume yellow, and have some dark speckles whose size close to soybean |
| | 中度 Moderate | 树冠40%左右的叶片浅绿中泛黄,并带有少许绿豆大小的黄斑 40% right-and-left leaves of tree-crown assume light green mixed light yellow, and have little yellow speckles whose size close to mung bean |
| | 轻度 Lightly | 树冠20%左右的叶片颜色浅绿,并带有许多针尖样的黄点 20% right-and-left leaves of tree-crown assume light green, and have a lot of yellow point whose size close to needlepoint |
| | 正常 Normal | 无病害,叶片呈绿色 The tree have not disease, the leaves assume green |

1.1.2 光谱测试 光谱测试时所用仪器为美国ASD公司出产的FieldSpec Hand Held型光谱辐射计,其光谱采样间隔约为1.5 nm,波长为325~1 075 nm,光谱分辨率为3.5 nm。光谱测试的环境条件为:晴天无云、空气湿度小、微风。光谱测试时间为每天的11:00~13:00。测试时,采用视场角为25°的探头,探头向下垂直照射,探头与圆形区域的中心点垂直距离为1.35 m,光谱采样以10个光谱为1个采样光谱,每次记录10个光谱,取其平均值。在测试过程中,每隔10 min对仪器进行1次优化与校正。

1.2 数据处理

首先,在剔除畸异光谱曲线的基础上,对其他光谱曲线进行平均、平滑等处理,并考虑到因系统误差致使光谱曲线首尾两端噪音较大,截取了400~950 nm的波长用于分析^[9,13]。在此基础上,又利用ASD ViewSpec Pro软件对各条反射波谱进行了一阶微分变换(波长间隔设为25 nm),并以其变换结果为辅助,对各级虫害、病害胁迫下果树的反射光谱特征进行分析。随后,基于各级虫害、病害对应的光谱特征,分别构造了6种虫害、病害光谱指数,并从中选用最佳的光谱指数,分别建立了对虫害、病害程度进行测评的数学模型。最后,利用检验样本果树

的反射光谱,分别对所建立测评模型的测评精度进行了检验。

2 结果与分析

2.1 各级病虫害胁迫下果树的反射光谱特征

2.1.1 红蜘蛛虫害胁迫 从图1可见,在400~500 nm,各级受害果树的光谱反射率相差较小;在500~558 nm波段,重度、中度与轻度受害果树的光谱反射率(分别记为 $R_{\text{重度}}$ 、 $R_{\text{中度}}$ 、 $R_{\text{轻度}}$,下同)均逐渐升高,正常果树的光谱反射率(记为 $R_{\text{正常}}$,下同)在550 nm处达到最大值,随后降低;在558~675 nm,各级受害果树的光谱反射率均逐渐降低;在675~760 nm, $R_{\text{正常}}$ 、 $R_{\text{轻度}}$ 、 $R_{\text{中度}}$ 与 $R_{\text{重度}}$ 均迅速上升;在760~950 nm, $R_{\text{正常}}$ 变化相对平稳, $R_{\text{轻度}}$ 、 $R_{\text{中度}}$ 与 $R_{\text{重度}}$ 均继续上升。在630~695 nm, $R_{\text{重度}} > R_{\text{中度}} > R_{\text{轻度}} > R_{\text{正常}}$,且在684 nm处变异系数最大;在730~950 nm, $R_{\text{重度}} < R_{\text{中度}} < R_{\text{轻度}} < R_{\text{正常}}$,且在762 nm处变异系数最大。

从图2可见,在718~703 nm,正常果树与轻度、中度、重度受害果树反射率一阶微分光谱的顶点依次向左偏移,这表明果树反射波谱的“红边”位置随红蜘蛛虫害程度的加重而依次发生“蓝移”。

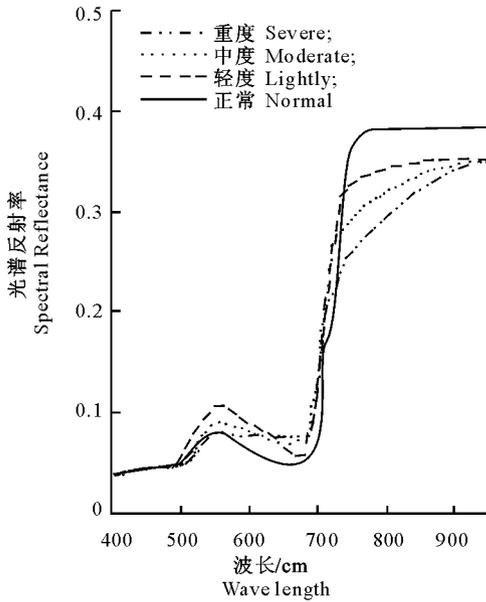


图 1 不同程度红蜘蛛虫害果树的反射光谱
Fig. 1 Reflectance spectroscopy of the fruit trees under each level of red mite pest

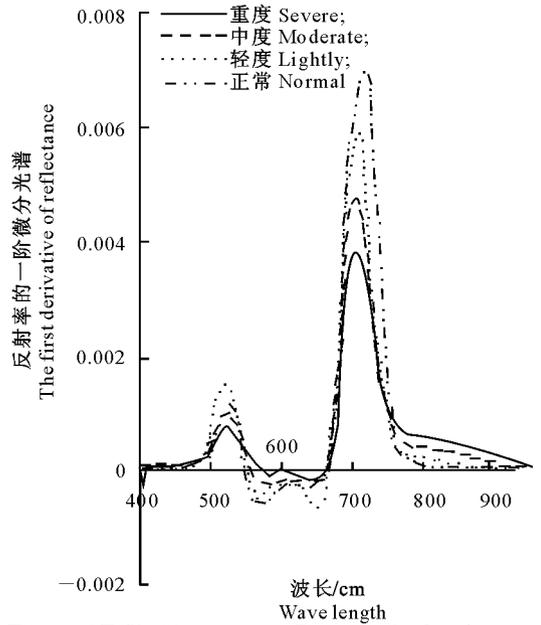


图 2 不同程度红蜘蛛虫害果树的一阶反射率微分光谱(波长间隔为 25 nm)
Fig. 2 First differential spectroscopy of the fruit trees under each level of red mite pest

2.1.2 黄叶病害胁迫下果树的反射光谱特征 不同程度黄叶病害果树的反射光谱和反射率一阶微分

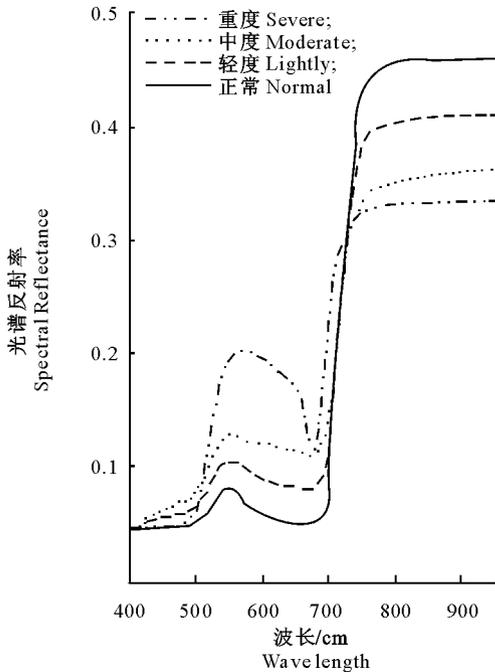


图 3 不同程度黄叶病害果树的反射光谱
Fig. 3 Reflectance spectroscopy of the fruit trees under each level of yellow leaves disease

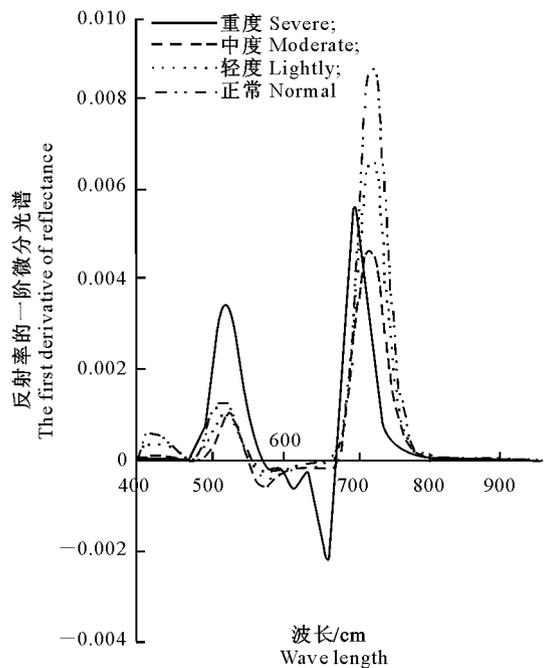


图 4 不同程度黄叶病害果树的反射率一阶微分光谱(波长间隔为 25 nm)
Fig. 4 First differential spectroscopy of the fruit trees under each level of yellow leaves disease

从图 3 可见,在 400~490 nm,各级受害果树的光谱反射率相差较小;在 490~555 nm, $R_{\text{重度}}$ 、 $R_{\text{中度}}$ 、 $R_{\text{轻度}}$ 均逐渐上升, $R_{\text{正常}}$ 迅速上升,在 550 nm 处达到

最大值,随后降低;在 555~680 nm,各级受害果树的光谱反射率均逐渐降低;在 680~760 nm,各级受害果树的光谱反射率均迅速上升;在 760~950 nm,

各级受害果树的光谱反射率变化均较平稳。在 515~716 nm, $R_{\text{重度}} > R_{\text{中度}} > R_{\text{轻度}} > R_{\text{正常}}$, 且在 603 nm 处变异系数最大; 在 740~950 nm, $R_{\text{重度}} < R_{\text{中度}} < R_{\text{轻度}} < R_{\text{正常}}$, 且在 764 nm 处变异系数最大。

从图 4 可见, 在 718~694 nm, 正常果树与轻度、中度、重度受害果树反射率一阶微分光谱的顶点依次向左偏移, 这亦表明果树反射光谱的“红边”位置随黄叶病害程度的加重而依次发生“蓝移”。

2.2 果树病虫害级别的定量化测评

2.2.1 光谱指数构建与优选及其对果树病虫害级别的定量化测评 (1) 红蜘蛛虫害。依据各级红蜘蛛虫害胁迫下果树的反射光谱特征, 在参考文献 [6, 11, 14] 的基础上, 构建了 6 种红蜘蛛虫害光谱指数, 并从中择优对红蜘蛛虫害级别进行定量化测评。

$$\textcircled{1} DI-1 = R_{762} / R_{684};$$

式中: $DI-1$ 表示第一种虫害光谱指数(以下类推), R_{λ} 表示波长 λ nm 处的光谱反射率(下同)。

$$\textcircled{2} DI-2 = (R_{762} - R_{684}) / (R_{762} + R_{684});$$

$$\textcircled{3} DI-3 = SR_{730-950} / SR_{630-695};$$

式中: $SR_{\lambda_1-\lambda_2}$ 表示 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ nm 光谱反射率的和(下

同)。

$$\textcircled{4} DI-4 = [(MDR_{630-695} - MNR_{630-695}) / (MNR_{630-695})] \times [(MNR_{730-950} - MDR_{730-950}) / (MNR_{730-950})];$$

式中: $MDR_{\lambda_1-\lambda_2}$ 、 $MNR_{\lambda_1-\lambda_2}$ 分别表示各级虫害、正常果树光谱中 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ nm 光谱反射率的平均值(下同)。

$$\textcircled{5} DI-5 = 1 - (DR_{762} / DR_{684}) / (NR_{762} / NR_{684});$$

式中: DR_{λ} 、 NR_{λ} 分别表示各级虫害、正常果树光谱中波长 λ nm 处的光谱反射率(下同)。

$$\textcircled{6} DI-6 = 1 - (SDR_{730-950} / SDR_{630-695}) / (SNR_{730-950} / SNR_{630-695});$$

式中: $SNR_{\lambda_1-\lambda_2}$ 、 $SDR_{\lambda_1-\lambda_2}$ 分别表示正常果树、各级虫害果树光谱中 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ nm 光谱反射率的和(下同)。

对上述红蜘蛛虫害光谱指数分别进行计算, 所得数值的统计结果见表 2。由表 2 可见, $DI-4$ 求算的 4 个数值(对应 4 个虫害级别)之间变异系数最大。因此, 本研究采用 $DI-4$ 对红蜘蛛虫害级别进行定量化测评。

表 2 6 种红蜘蛛虫害光谱指数的统计结果

Table 2 Six kinds of spectra index corresponding the statistic values

| 指标 Index | DI-1 | DI-2 | DI-3 | DI-4 | DI-5 | DI-6 |
|-------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 均值 Mean | 4.936 | 0.643 | 17.429 | 0.045 | 0.317 | 0.289 |
| 变异系数 Coefficient of variation | 0.298 | 0.147 | 0.247 | 0.766 | 0.641 | 0.606 |

通过计算, 重度、中度、轻度红蜘蛛虫害光谱指数数值分别为 0.093, 0.057, 0.029, 正常果树为 0。0.029 与 0.057 之间的中间值为 0.043, 0.057 与 0.093 之间的中间值为 0.075。依据这些数值, 建立红蜘蛛虫害级别测评模型:

$$DI-4 = [(MDR_{630-695} - MNR_{630-695}) / (MNR_{630-695})] \times [(MNR_{730-950} - MDR_{730-950}) / (MNR_{730-950})] =$$

$$\begin{cases} 0, & \text{正常;} \\ 0 \sim 0.043, & \text{轻度;} \\ 0.044 \sim 0.075, & \text{中度;} \\ > 0.075, & \text{重度。} \end{cases}$$

(2) 黄叶病害。用与 2.2.1(1) 相同的方式构建了 6 种黄叶病害光谱指数, 从中择优对黄叶病害级

别进行定量化测评。

$$\textcircled{1} DI-1 = R_{764} / R_{603}。$$

$$\textcircled{2} DI-2 = (R_{764} - R_{603}) / (R_{764} + R_{603})。$$

$$\textcircled{3} DI-3 = SR_{740-950} / SR_{515-716}。$$

$$\textcircled{4} DI-4 = [(MDR_{515-716} - MNR_{515-716}) / (MNR_{515-716})] \times [(MNR_{740-950} - MDR_{740-950}) / (MNR_{740-950})]。$$

$$\textcircled{5} DI-5 = 1 - (DR_{764} / DR_{603}) / (NR_{764} / NR_{603})。$$

$$\textcircled{6} DI-6 = 1 - (SDR_{740-950} / SDR_{515-716}) / (SNR_{740-950} / SNR_{515-716})。$$

对上述病害光谱指数分别进行计算, 所得数值的统计结果见表 3。

表 3 6 种黄叶病害光谱指数的统计结果

Table 3 Six kinds of spectra index corresponding the statistic values

| 指标 Index | DI-1 | DI-2 | DI-3 | DI-4 | DI-5 | DI-6 |
|-------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 均值 Mean | 4.176 | 0.535 | 80.994 | 0.159 | 0.457 | 0.408 |
| 变异系数 Coefficient of variation | 0.541 | 0.415 | 0.122 | 0.929 | 0.642 | 0.656 |

由表 3 可见, $DI-4$ 求算 4 个数值(对应 4 个病害级别)之间的变异系数最大。因此,本研究采用 $DI-4$ 对黄叶病害级别进行定量化测评。

通过计算,重度、中度、轻度黄叶病害光谱指数值分别为 0.423, 0.169, 0.042, 正常果树为 0.042 与 0.169 之间的中间值为 0.106, 0.169 与 0.423 之间的中间值为 0.296。依据这些数值,建立了黄叶病害级别测评模型:

$$DI-4 = [(MDR_{515-716} - MNR_{515-716}) / (MNR_{515-716})] \times [(MNR_{740-950} - MDR_{740-950}) / (MNR_{740-950})] =$$

$$\begin{cases} 0, & \text{正常;} \\ 0 \sim 0.106, & \text{轻度;} \\ 0.107 \sim 0.296, & \text{中度;} \\ > 0.296, & \text{重度。} \end{cases}$$

2.2.2 病虫害情测评模型的精度检验 利用检验样本果树的反射光谱,分别对虫害、病害级别测评模型进行检验,结果显示,红蜘蛛虫害级别测评的平均准确率为 96%,黄叶病害级别测评的平均准确率为 98%。

3 讨论

本研究是在特定条件(特定的研究区域、特选的果树树种、特定的测试设备以及特定的测试尺度)下开展的,所得结果与前人^[3-4,11]的研究结果不尽一致。主要原因是由于不同种类的植物在不同类型或同一类型不同级别的病虫害胁迫下,其叶色、生化组分含量、叶内外组织结构等存在差异所致。

受光谱测试仪器性能所限,本研究未分析患各级黄叶病害、红蜘蛛虫害的红富士苹果树在 950~2500 nm 的反射光谱特征。在后续研究中,将基于已取得的研究成果,利用研究区的卫星遥感影像数据(TM、MODIS、Hyperion、Aster 等),探寻在较大空间尺度上最经济、高精度监测果树病虫害(如红蜘蛛、黄蚜虫、线虫等虫害以及黄叶、根腐等病害)的方法与途径。

4 结论

(1)各级红蜘蛛虫害对应的反射光谱在 630~695 nm, $R_{\text{重度}} > R_{\text{中度}} > R_{\text{轻度}} > R_{\text{正常}}$,且在 684 nm 处变异系数最大;在 730~950 nm, $R_{\text{重度}} < R_{\text{中度}} < R_{\text{轻度}} < R_{\text{正常}}$,且在 762 nm 处变异系数最大。各级黄叶病害对应的反射光谱在 515~716 nm, $R_{\text{重度}} > R_{\text{中度}} > R_{\text{轻度}} > R_{\text{正常}}$,且在 603 nm 处变异系数最大;在 740~950 nm, $R_{\text{重度}} < R_{\text{中度}} < R_{\text{轻度}} < R_{\text{正常}}$,且在

764 nm 处变异系数最大。(2)果树反射光谱的“红边”拐点对应的波长位置随病虫害程度的加重而依次发生“蓝移”。(3)建立的模型对黄叶病害、红蜘蛛虫害的测评准确率均较高,分别为 98% 和 96%。

[参考文献]

- [1] 童庆禧,张兵,郑兰芬. 高光谱遥感的多学科应用 [M]. 北京:电子工业出版社,2006:2-4.
Tong Q X, Zhang B, Zheng L F. Hyperspectral remote sensing and it's multidisciplinary applications [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006:2-4. (in Chinese)
- [2] 浦瑞良,官鹏. 高光谱遥感及其应用 [M]. 北京:高等教育出版社,2000:2.
Pu R L, Gong P. Hyperspectral remote sensing and it's application [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000:2. (in Chinese)
- [3] Rinehart G L, Cathoun J H. Remote sensing of stripe patch and dillar spot on creeping bent-grass and annual blue-grass turf using visible and near-infrared spectroscopy [J]. Australian Turf-grass Management, 2002, 4: 23-27.
- [4] 黄木易,王纪华,黄文江,等. 冬小麦条锈病的光谱特征及遥感监测 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 154-158.
Huang M Y, Wang J H, Huang W J, et al. Hyperspectral character of stripe rust on winter wheat and monitoring by remote sensing [J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(6): 154-158. (in Chinese)
- [5] 高娜,石韧,颜耀文. 落叶松早落病危害的光谱特征及与叶绿素浓度的关系研究 [J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(6): 710-714.
Gao N, Shi R, Xie Y W. Research on spectral characteristics of mycosphaerella laricleptolepislto and correlations of chlorophyll concentrations [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2007, 22(6): 710-714. (in Chinese)
- [6] 蒋金豹,陈云浩,黄文江. 病害胁迫下冬小麦冠层叶片色素含量高光谱遥感估测研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(7): 1363-1367.
Jiang J B, Chen Y H, Huang W J. Study on hyperspectra estimation of pigment contents in canopy leaves of winter wheat under disease stress [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(7): 1363-1367. (in Chinese)
- [7] 乔红波,蒋金炜,程登发. 烟蚜为害特征的高光谱比较 [J]. 昆虫知识, 2007, 44(1): 57-61.
Qiao H B, Jiang J W, Cheng D F. Comparison of hyperspectral characteristics in tobacco aphid damage [J]. Chinese Bulletin Entomology, 2007, 44(1): 57-61. (in Chinese)
- [8] 杨可明,郭达志. 植被高光谱特征分析及其病害信息提取研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(4): 31-34.
Yang K M, Guo D Z. Analysis of hyperspectral features and extraction of disease for vegetation [J]. Geography and Geo-Information Science, 2006, 22(4): 31-34. (in Chinese)