

文章编号: 1672-8785(2016)11-0042-07

基于光谱变换定量估算苹果叶片的等效水厚度

王青华¹ 朱西存^{1,2*} 王 凌¹ 高璐璐¹ 赵庚星¹

(1. 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018;

2. 土壤资源高效利用国家工程实验室, 泰安 271018)

摘 要: 运用高光谱技术快速无损地估算了苹果叶片的等效水厚度 (Equivalent Water Thickness, EWT), 为苹果树的长势及干旱预警提供参考。以山东省烟台栖霞市红富士苹果树叶片为试验材料, 在测定苹果叶片的光谱反射率和计算叶片 EWT 的基础上, 分析了苹果叶片的 EWT、原始光谱的反射率及其 13 种变换光谱反射率之间的相关性。筛选敏感波长后, 建立了苹果叶片 EWT 的支持向量机定量的估算模型。13 种光谱变换中, 一阶导数 (the First Derivative, FDR)、平方根的一阶导数 (the First Derivative of the Square Root, FD(SqrtR)) 及倒数的对数的一阶导数 (the First Derivative of the Logarithm of the Reciprocal, FD[Lg(1/R)]) 三种变换的相关性较好。确定了估测苹果叶片 EWT 的敏感波长。基于支持向量机回归分析方法, 建立了定量估算叶片 EWT 的模型, 验证集的决定系数 R^2 达到了 0.8147, 相对分析误差 (Relative Percent Deviation, RPD) 达到了 2.2671。结果表明, 该模型具有较高的估测能力, 支持向量机回归方法比较适于估算苹果叶片的 EWT。该方法为利用高光谱技术定量估算苹果的生长状况提供了技术支撑。

关键词: 高光谱; 等效水厚度; 支持向量机; 苹果叶片; 定量估算

中图分类号: S661.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.11.008

Quantitative Estimation of Equivalent Water Thickness of Apple Leaves Based on Hyperspectral Transformation

WANG Qing-hua¹, ZHU Xi-cun^{1,2*}, WANG Ling¹, GAO Lu-lu¹, ZHAO Geng-xing¹

(1. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

2. National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, Tai'an 271018, China)

Abstract: A hyperspectral technology was utilized to estimate the Equivalent Water Thickness (EWT) of apple leaves in a rapid and nondestructive way, which could provide a reference for the early warning of growth and drought of apple trees. Taking the leaves of Red Fuji apple trees in Qixia, Yantai, Shandong Province as experimental materials, the correlation among EWT, original spectral reflectance and 13 kinds of transformation spectral reflectance was analyzed on the basis of the spectral reflectance of apple

收稿日期: 2016-09-12

基金项目: 国家自然科学基金 (41271369)、山东农业大学农业大数据项目 (75016)、国家自然科学基金青年基金 (41301482)

作者简介: 王青华 (1990-), 女, 山东聊城人, 硕士研究生, 主要从事农业高光谱遥感方面的研究。

E-mail: huazi318413@163.com

*** 通讯作者:** 朱西存, 副教授, 主要从事高光谱遥感及农业信息技术应用、LUCC 环境效应和土壤地理学等研究。E-mail: zxc@sdau.edu.cn

tree leaves and the calculation of their EWT. After the sensitive wavelengths were screened out, an estimation model of the EWT of apple tree leaves based on support vector regression was established. Among the 13 kinds of spectral transformation, 3 kinds of transformation such as the first derivative (FDR), the first derivative of the square root (FD(SqrtR)) and the first derivative of the logarithm of the reciprocal (FD[Lg(1/R)]) had better correlation. The sensitive wavelengths for estimating the EWT of apple tree leaves were determined. On the basis of the support vector regression, a mode for quantitatively estimating the blade EWT was established. The coefficient of determination R^2 of the validation set reached 0.8147 and the relative percent deviation (RPD) reached 2.2671. The results showed that the model had better estimation ability and the support vector regression was more suitable to estimate the EWT of apple tree leaves. This method provided technical support for the quantitative estimation of the growth status of apples by hyperspectral techniques.

Key words: hyper-spectrum; equivalent water thickness; support vector machine; apple leaf; quantitative estimation

0 引言

水分是果树生长的重要因子, 果树缺少水分不仅会影响正常生长发育、果实产量与品质, 也会影响来年的结果状态, 甚至会导致减产或绝产。而果树叶片的等效水厚度可以对果树水分状况提供更多的信息^[1]。因此, 快速准确地估算果树叶片的 EWT 对果树的生长、发育和产量具有重要意义。传统的水分诊断主要采用干重法间接获得^[2], 此方法的准确性高, 但费时费力, 难以满足大面积快速获取植株水分的要求。高光谱遥感以实时、快速、准确的特点以及蕴含丰富信息的优势^[3], 在植物水分监测方面得到了越来越广泛的应用。早在 20 世纪 70 年代, Thomas^[4]等在室温下利用全饱和和叶片逐渐干燥的方法获取了不同含水量的光谱反射率, 并研究了叶片的含水量与光谱反射率之间的相关性。随后, 国内外很多学者基于叶片光谱反射率进行了作物叶片水分含量估测的研究^[5-10]。结果表明, 800~2 500 nm 近红外及短波红外区域是估测植物叶片水分指标的敏感波段。在研究叶片 EWT 的模型方面, Danson^[11]等利用近红外波段水汽吸收特征的两个窄波段的光谱反射率, 构建了归一化比值指数, 建立了叶片的 EWT 反演模型。Baghzouz^[12]等利用高光谱数据通过直接测量和连续清除分析两种光谱指数处理方法对葡萄叶片的 EWT 进行了精确估测, 表明高光谱遥感技术可以为葡萄园的水分精确灌溉管理提供科学支持。王强^[13]等对棉花冠层的 EWT、植

株含水量及其对应的光谱数据进行了分析。结果表明, 新建比值指数 R_{1474}/R_{1424} 及其归一化指数 $(R_{1474}-R_{1424})/(R_{1474}+R_{1424})$ 对 EWT 的估算效果最佳。综上所述, 利用高光谱技术对作物叶片 EWT 的定量估算是可行的。但现有的研究主要利用叶片原始光谱的方法或者构建植被指数的方法对叶片 EWT 进行反演, 较少利用光谱变换后的参数与叶片 EWT 的关系进行定量估算。

本研究以山东省烟台栖霞市的苹果树叶为研究对象, 对叶片经变换后的 13 种光谱的高光谱参数与叶片 EWT 之间的定量关系进行分析, 筛选敏感的光谱参数, 利用逐步回归方法进行敏感波长筛选, 构建苹果叶片 EWT 的估算模型, 为实时、精确地管理苹果树水分提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与样品采集

选择山东苹果优势产区——栖霞市 ($E120^{\circ} 33' - E121^{\circ} 15'$, $N37^{\circ} 05' - N37^{\circ} 32'$) 为研究区域。栖霞市位于胶东半岛腹地, 总面积为 $2.017 \times 10^4 \text{ m}^2$, 海拔在 30~815 m 之间, 属于山区丘陵地形。该地区的年平均气温为 11.3°C , 无霜期为 207 天, 四季分明, 光照充足, 具有雨热同期的特点, 特别适合苹果的生长。目前, 该区域苹果园的总面积为 $4.33 \times 10^4 \text{ m}^2$, 其中红富士的栽培面积达 $3.3 \times 10^4 \text{ m}^2$, 占苹果园地总面积的 76%。

样本采集在 2013 年 9 月 21~25 日进行。鉴于苹果树是多年生乔木, 个体差异比较明显, 为了使试验结果具有代表性, 选择栖霞市的 12 个镇

3 个街道办事处的 31 个果园为采样点, 采样点的分布如图 1 所示。从每个果园中采集 3 棵苹果树的树叶, 要求采集近期无人工浇水, 树龄在 25 年左右, 且无损、无病虫害的苹果树新梢中部的叶片。将所采叶片迅速装入保鲜袋, 对其进行封口、编号, 随即放入盛有冰块的泡沫箱中保存。共采集了 93 个样本。

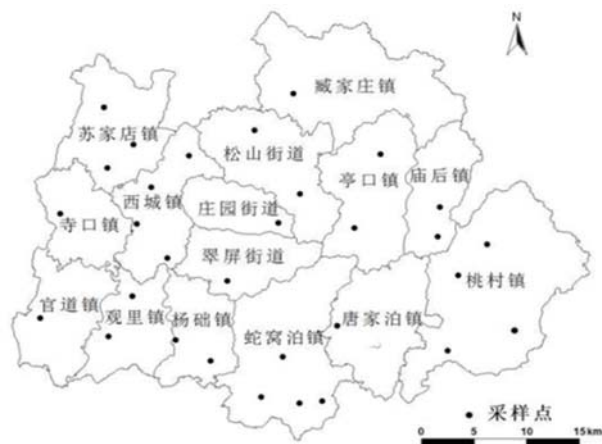


图 1 采样点的分布图

1.2 试验所用的仪器设备

利用美国 ASD Field Spec 4 型地物波谱仪 (图 2) 采集叶片的光谱。仪器的波长范围为 350~2 500 nm, 其中 350~1 000 nm 和 1 000~2500 nm 区间的光谱采样间隔分别为 1.4 nm 和 2 nm。光谱的分辨率均为 8 nm, 数据重采样间隔为 1 nm, 光纤前视场角为 25°。采用精度为 1/10 000 的分析天平称重。用佳能 EOS60D 型数码相机按照相同的角度对叶片进行拍照。用 Photoshop 软件处理照片, 求得叶片的面积。叶片的水分含量用烘干法测定, 使用烘箱烘干。



图 2 美国 ASD Field Spec 4 型地物波谱仪

1.3 测定项目与方法

1.3.1 苹果叶片光谱测定

测量时, 将叶片置于植被探头的叶室中, 然后夹紧叶片, 以保证叶片水平且被探测面积相同。对每个样本重复测量 5 次, 取其平均值作为该叶片的高光谱反射率值。数据采集过程中, 每 15~20 min 进行一次白板校正。

1.3.2 苹果叶片鲜重面积测定

用面积为 0.1 m² 的白色纸板为底面, 将待测叶片放在白色纸板中间, 用数码相机进行拍照。随后用 Photoshop 软件对照片进行处理。设置相同参数后, 得到叶片的像素 PX_1 (Pixel) 及白纸板的像素 PX_2 。计算叶片的面积 LA (Leaf Area):

$$LA(cm^2) = PX_1 \times 100 / PX_2 \quad (1)$$

1.3.3 苹果叶片水分含量的测定

将带回实验室的鲜叶片用分析天平称叶片的鲜重 (m_1)。将叶片装入信封, 放进烘箱。先在 105 °C 下杀青 30 min, 然后再将叶片置于 80 °C 下烘干至恒重, 称其干重 m_2 。计算叶片水分含量 (Leaf Water Content, LWC):

$$LWC(g) = m_1(g) - m_2(g) \quad (2)$$

1.3.4 叶片等效水厚度

叶片的 EWT 是指叶片的水分含量与叶片面积的比值, 计算公式为

$$EWT(g \cdot cm^{-2}) = LWC(g) / LA(cm^2) \quad (3)$$

1.4 数据处理与分析

利用 ViewSpec Pro 软件对光谱曲线进行异常值剔除处理。为获取实际应用的苹果叶片 EWT 光谱数据, 消除原始光谱中的噪声, 增大光谱反射率对叶片 EWT 的敏感度, 提高光谱与叶片 EWT 的相关性, 对原始光谱反射率 (R) 进行 13 种基本变换^[14]。这些变换是倒数 ($1/R$)、对数 (LgR)、平方根 ($SqrtR$)、一阶导数 (FDR)、对数的倒数 ($1/LgR$)、倒数的对数 ($FD(1/R)$)、平方根的一阶导数 ($FD(SqrtR)$)、倒数的对数的一阶导数 ($FD[Lg(1/R)]$)、对数的倒数的一阶导数 ($FD(1/LgR)$)、二阶导数 (SDR)、倒数的二阶导数 ($SD(1/R)$)、对数的二阶导数 ($SD(LgR)$) 和平方根的二阶导数 ($SD(SqrtR)$)。

从 93 个样本中剔除实验失败的 8 个样本; 再将 85 个样本随机分成 2 组, 其中 63 个数据用

于建立模型, 其余 22 个数据用来验证模型。建模样本和检验样本的统计信息见表 1。

表 1 建模样本和检验样本的统计信息

样本	样本数	EWT 最大值	EWT 最小值	平均值	标准偏差 (%)
总样本	85	2.2239	1.1742	1.6781	0.2289
建模样本	63	2.1498	1.1742	1.6809	0.2213
检验样本	22	2.2239	1.2356	1.6701	0.2547

1.5 模型的建立与检验方法

首先, 对苹果叶片的 EWT、原始光谱以及 13 种变换进行相关分析, 从中选取相关性较高的参数, 利用逐步回归方法筛选敏感波长; 其次, 建立叶片 EWT 支持向量机回归模型; 最后, 采用 R2 和 RPD 对模型进行检验。

R^2 越大, 模型的精度越高。当 $RPD > 2$ 时, 表示模型具有极好的预测能力; 当 $2 > RPD > 1.4$ 时, 表示模型可对样品作粗略估测; $RPD < 1.4$ 时, 表示模型无法对样品进行预测^[15]。

2 结果与分析

2.1 苹果叶片的 EWT 与原始光谱及其变换反射率的相关分析

将苹果叶片的原始光谱反射率与苹果叶片的 EWT 进行相关分析, 如图 3 所示。可以看出, 在可见光区域, 叶片的光谱反射率与 EWT 的相关性较小 ($|r| < 0.4$)。在近红外区域 (734~1 330 nm) 呈显著正相关; 在短波红外区域 (1371~2 500 nm) 呈极显著负相关。相关系数 R 为 $-0.6873 \sim 0.2880$ 。在 1 883 nm 处相关性最高, 其相关系数 $r = -0.687$ 。

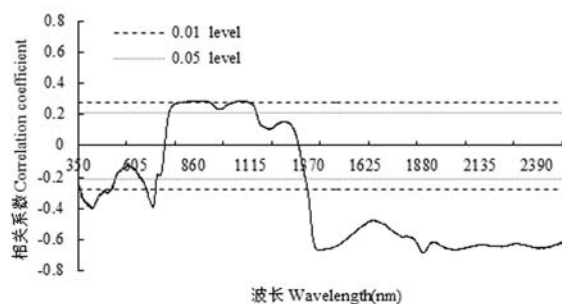


图 3 苹果叶片的原始光谱反射率与 EWT 的相关性

分别对原始光谱的 13 种变换与 EWT 的相关性进行分析, 结果见表 2。从表 2 可以看出,

13 种变换中, FDR 、 $FD(SqrtR)$ 和 $FD[Lg(1/R)]$ 与 EWT 的相关性较大, 相关系数最大值分别达到了 0.7096、 -0.7241 和 0.7432。

表 2 苹果叶片的 EWT 与原光谱变换反射率的相关分析

名称	相关性 $r(\min) \sim r(\max)$
$1/R$	$-0.2586 \sim 0.6779$
LgR	$-0.6850 \sim 0.2741$
$SqrtR$	$-0.6867 \sim 0.2812$
FDR	$-0.6791 \sim 0.7096$
$1/LgR$	$-0.3096 \sim 0.6869$
$FD(1/R)$	$-0.6791 \sim 0.7096$
$FD(SqrtR)$	$-0.7241 \sim 0.6209$
$FD[Lg(1/R)]$	$-0.6381 \sim 0.7432$
$FD(1/LgR)$	$-0.6832 \sim 0.5691$
SDR	$-0.3655 \sim 0.6167$
$SD(1/R)$	$-0.3655 \sim 0.6167$
$SD(LgR)$	$-0.3745 \sim 0.6189$
$SD(SqrtR)$	$-0.3698 \sim 0.6190$

图 4 为 FDR 与 EWT 的相关性曲线。对比原始光谱与 EWT 的相关性, FDR 与 EWT 之间的相关系数曲线波动剧烈, 相关系数在 $-0.6791 \sim 0.7096$ 之间变化。在 1370~1 389 nm ($|r| > 0.4912$)、1 880~1 900 nm ($|r| > 0.4502$) 波段范围内, 与原始光谱与 EWT 的相关性一致, 呈极显著相关 ($p < 0.01$); 其中在短波红外区域的 1890 nm 处相关性最高, 相关系数达到了 0.7096。

图 5 为 $FD(SqrtR)$ 、 $FD(1/LgR)$ 与 EWT 的相关性。可以看出, 在 1304~1419 nm、1490~1634 nm 和 1842~1885 nm 波段范围内, $FD(SqrtR)$ 与

叶片 EWT 呈极显著相关 ($p < 0.01$)。在 1379 nm、1506 nm 和 1866 nm 处, $FD[Lg(1/R)]$ 的相关系数较大。这两种处理方法所得的峰值均出现在水吸收峰 1379 nm 处, 相关系数分别达到了 -0.7241 和 0.7432。

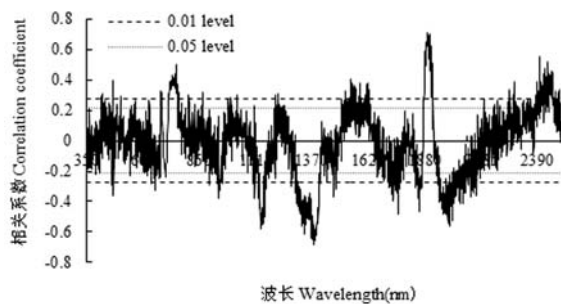
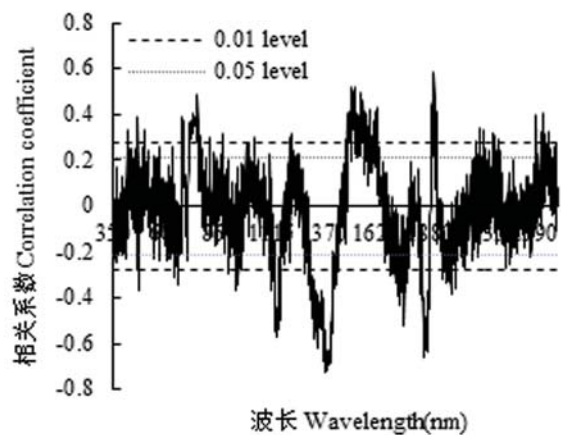
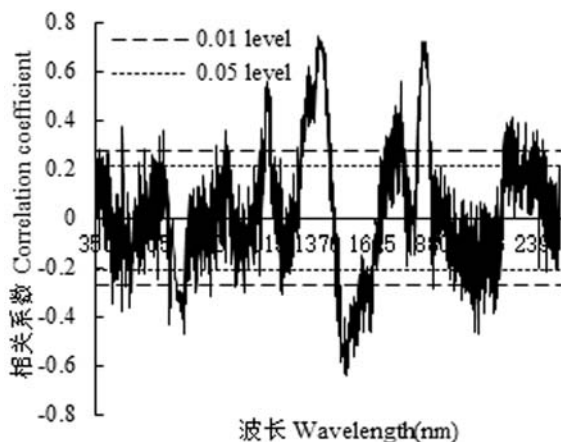


图 4 FDR 与 EWT 的相关性



(a) $FD(SqrtR)$ 与 EWT 的相关性



(b) $FD[Lg(1/R)]$ 与 EWT 的相关性

图 5

2.2 建立苹果叶片 EWT 估算模型

2.2.1 基于多元逐步回归方法筛选叶片 EWT 的敏感波长

逐步回归模型是将解释变量逐个引入模型, 每引入一个解释变量后都进行 F 检验, 并对已选入的解释变量进行逐个 t 检验, 当原来引入的解释变量因为所引入的解释变量而变得不再显著时, 则将其去除, 以确保在引入新的变量之前回归方程中只包含显著的变量。这是一个反复的过程, 直到既没有显著的解释变量选入回归方程, 也没有不显著的解释变量从回归方程中剔除为止, 以保证最后所得到的解释变量集是最优的^[16]。

依据 FDR 、 $FD(SqrtR)$ 及 $FD[Lg(1/R)]$ 与叶片 EWT 的单相关分析结果, 从中选取相关系数达到极显著水平的波长作为自变量, 对其进行多元逐步回归分析。筛选出 1366 FDR 、1890 FDR 、1753 $FD(SqrtR)$ 、1837 $FD(SqrtR)$ 、2053 $FD[Lg(1/R)]$ 和 2280 $FD[Lg(1/R)]$ nm 为叶片 EWT 的最佳敏感波长。

2.2.2 基于支持向量机的苹果叶片 EWT 定量估算模型

支持向量机 (Support Vector Machine, SVM) 是 Corinna Cortes 和 Vapnik 等在 1995 年首先提出的, 它在解决小样本、非线性及高维模式识别等方面表现出了优势, 并能应用到其他机器学习问题中^[17]。在机器学习中, SVM 可以用于数据分析、模式识别, 也可用于回归和分类分析。

基于 FDR 、 $FD(SqrtR)$ 及 $FD[Lg(1/R)]$ 经逐步回归筛选出最佳敏感波长, 以其对应的 $FDR13616$ 、 $FDR1890$ 、 $FD(SqrtR)1753$ 、 $FD(SqrtR)1837$ 、 $FD[Lg(1/R)]2053$ 和 $FD[Lg(1/R)]2280$ 为自变量, 叶片 EWT 为决策属性, 经过多次训练进行参数优选 (表 3), 最终确定支持向量机类型为 EPSILON-SVR, 核函数类型为 RBF。

支持向量机模型的估测效果较好, 建模样本的决定系数 R^2 到达了 0.8771, RPD 为 4.9966 (图 6), 表明模型具有极好的预测能力。

表 3 支持向量机回归模型的参数

Degree	Gamma	Eps	C	Nu	P
3	0.5	0.001	1	0.5	0.01

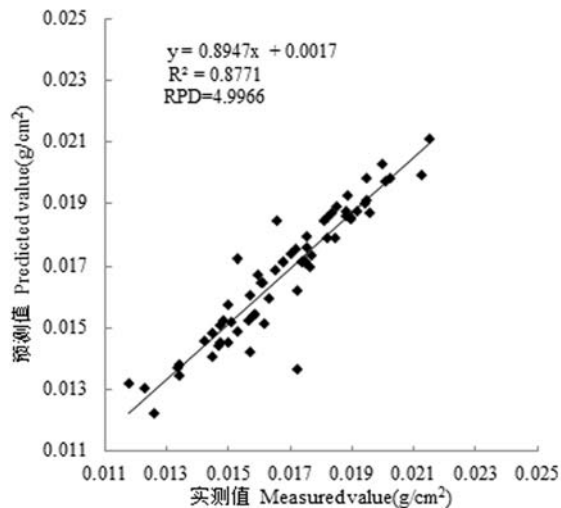


图 6 苹果叶片 EWT 估算值与实测值 1:1 的散点图

2.3 苹果叶片 EWT 估测模型的验证

利用 22 组检验数据, 对模型进行测试与检验。估算值与实测值 1:1 的散点图如图 7 所示。由图 7 可以看出, 检验样本的决定系数 R^2 达到 0.8147, RPD 为 2.2671, 可以较精准地对叶片的 EWT 进行估算。

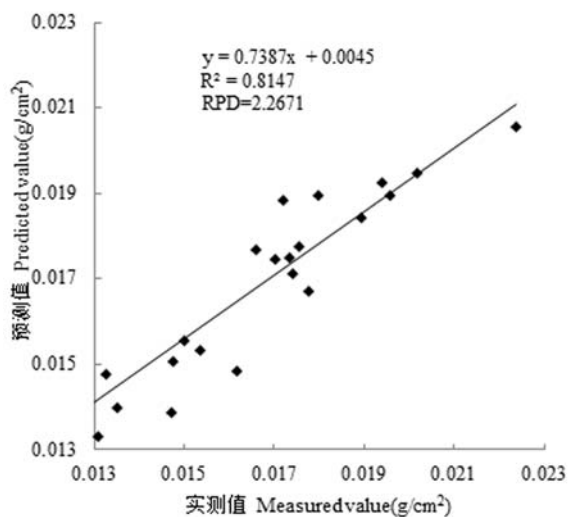


图 7 苹果叶片 EWT 的检验结果

3 讨论

选用适当的光谱处理方法和波长选择方法可以简化提取的特征光谱信息^[18], 提高预测苹果叶片 EWT 含量的能力。相关分析的结果可为敏感波段的筛选提供依据, 苹果原始光谱反射率与叶片 EWT 的相关关系(图 3)表明, 两者之间的相关性在可见光区域不显著, 在近红外区域则表现出较好的相关性, 这与前人的研究结果基本一致^[8-10,13]; 较强的相关关系出现在 1400~2500 nm 短波红外区域, 原因可能是此波段受叶片物理结构和水分等其他综合因素的影响^[19]。利用高光谱遥感数据对苹果树叶片的 EWT 含量进行了估算, 并建立了较好的估算模型。利用该模型可以方便快捷地获取果树的水分信息, 从而掌握整个果园的水分状况, 为科学管理果园和合理灌溉提供依据。在冠层尺度上 EWT 与光谱变换之间是否存在定量关系, 还需要今后进一步研究探索。

4 结论

对原始光谱反射率进行了 13 种变换, 并分析了这些变换与叶片 EWT 的相关性, 其中 FDR 、 $FD(SqrtR)$ 和 $FD(1/LgR)$ 与叶片 EWT 的相关性较好。利用逐步回归法筛选出了叶片 EWT 的最佳敏感波长, 最终筛选出 1366 FDR 、1890 FDR 、1753 $FD(SqrtR)$ 、1837 $FD(SqrtR)$ 、2053 $FD[Lg(1/R)]$ 和 2280 $FD[Lg(1/R)]$ nm 为叶片 EWT 最佳敏感波长。利用敏感波长对应的数据建立了苹果叶片 EWT 的支持向量机定量估算模型。验证模型的 R^2 达到了 0.8147, RPD 达到了 2.2671, 较好地实现了对苹果叶片 EWT 的定量估算。

参考文献

- [1] Zhang L, Zhou Z G, Zhang G W, et al. Monitoring the Leaf Water Content and Specific Leaf Weight of Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in Saline Soil Using Leaf Spectral Reflectance[J]. *European Journal of Agronomy*, 2012,41:103-117.

- [2] 罗永忠,成自勇.水分胁迫对紫花苜蓿叶水势、蒸腾速率和气孔导度的影响[J].*草地学报*, 2011,19(2):215–221.
- [3] 刘翥,杨玉盛,司友涛,等.植被恢复对侵蚀红壤可溶性有机质含量及光谱学特征的影响[J].*植物生态学报*, 2014, 38(11):1174–1183.
- [4] Thomas J R, Namken L N, Oerther G F, et al. Estimating Leaf Water Content by Reflectance Measurements[J].*Agronomy Journal*, 1971, 63: 845–847.
- [5] Tucker C J. Remote Sensing of Leaf Water Content in the Near Infrared[J].*Remote Sensing of Environment*, 1980,10:23–32.
- [6] Carter G A. Primary and Secondary Effects of Water Content on the Spectral Reflectance of Leaves[J].*American Journal of Botany*,1991,78:916–924.
- [7] Inoue Y, Morinaga S, Shibayama M. Non-destructive Estimation of Water Status of Intact Crop Leaves Based on Spectral Reflectance Measurements[J].*Japanese Journal of Crop Science*, 1993,62: 462–469.
- [8] Penuelas J, Filelia L, Biel C, et al. The Reflectance at the 950 970 nm Region as an Indicator of Plant Water Status[J].*International urnal of Remote Sensing*, 1993,14:1887–1905.
- [9] 刘良云,王纪华,张永江,等.叶片辐射等效水厚度计算与叶片水分定量反演研究[J].*遥感学报*, 2007, 11(3),289–295.
- [10] Seelig H, Hoehn A, Stodieck L. The Assessment of Leaf Water Content Using Leaf Efectance Ratios in the Visible, Near-, and Short-wave-infrared[J].*International Journal of Remote Sensing*, 2008,29(13):3701–3713.
- [11] Danson F, Steven M., Malthus T. High-spectral Resolution Data for Determining Leaf Water Content[J].*International Journal of Remote Sensing*, 1992,13 (3):461–470.
- [12] Baghzouz M, Devitt D, Morris R. Assessing Canopy Spectral Reflectance of Hybrid Bermudagrass under Various Combinations of Nitrogen and Water Treatments [J].*Applied Engineering in Agriculture*, 2007,23(6):763.
- [13] 王强,易秋香,包安明,等.棉花冠层水分含量估算的高光谱指数研究[J].*光谱学与光谱分析*, 2013, 33(2):507–512.
- [14] 张倩.基于决策树方法的航空高光谱遥感土地覆盖分类研究[D].山东科技大学, 2005.
- [15] 韩兆迎,朱西存,刘庆,等.黄河三角洲土壤有机质含量的高光谱反演[J].*植物营养与肥科学报*, 2014,20(6): 1545–1552.
- [16] 周文芳,李民.逐步回归分析法的一点不足之处[J].*西北水电*, 2004(4):49–50.
- [17] 郭轶,异步电机的智能故障诊断研究[D].南昌大学, 2015.
- [18] 刘秀英,王力,常庆瑞,等.基于相关分析和偏最小二乘回归的黄绵土土壤全氮和碱解氮含量的高光谱预测[J].*应用生态学报*, 2015,26(7):2107–2114.
- [19] 刘炜,常庆瑞,郭曼,等.不同尺度的微分窗口下土壤有机质的一阶导数光谱响应特征分析[J].*红外与毫米波学报*, 2011, 30(4):316–321.

新闻动态 News

雷神公司制造苛刻战略应用的抗辐射光电空间传感器

据 www.militaryaerospace.com 网站报道,美国雷神公司的光电传感器设计师正在推动最苛刻战略空间应用的抗辐射红外焦平面阵列空间传感器的发展。

位于新墨西哥州科特兰空军基地的美国空军研究实验室的主管上周宣布,针对可靠光电战略传感器聚焦项目(FORTRESS),他们与雷神视觉系统部门签署了740万美元的合同。

雷神公司的工程师将设计、生长和制造大

规格超低噪声和高量子效率的碲镉汞红外焦平面阵列探测器。这种器件必须能够抵抗空间辐射的辐照以及激光的攻击。

这项工作是空军FORTRESS项目努力推动的低噪声红外传感器芯片组件(SCAS)最前沿的科学知识、生长、加工和表征能力的一部分,该芯片组件可用于国家战略空间项目如光电监视卫星。

雷神公司的专家正在制造至少6 cm大、像元间距为18 μm的红外传感器芯片组件。监督该计划的是美国空军研究实验室航天运载技术局的先进光电传感器太空计划的主管。

□ 张小华