

新疆骏枣叶片含水量的近红外光谱检测研究

胡艳培¹, 姚江河^{1*}, 李春蓉¹, 陈好斌²

(1. 塔里木大学信息工程学院, 新疆阿拉尔 843300; 2. 塔里木大学经济与管理学院, 新疆阿拉尔 843300)

摘要 [目的] 建立新疆骏枣叶片含水量的快速、无损的检测模型。[方法] 选取 73 片完好、无损的骏枣叶片, 运用 NIR 检测骏枣叶片含水量的重要指标。通过 3 种不同的光谱预处理方法进行预处理, 建立骏枣叶片含水量的 PLS 检测模型。[结果] 在预测骏枣叶片含水量的 PLS 模型中, 最好的组合是原始光谱+MSC+PLS, 相关系数(R)由原始的 0.673 1 提高到 0.874 6, 预测精度(Precision)由 0.950 7 提高到 0.957 8, 预测残差平方和(PRESS)由 0.028 4 降低到 0.017 7, 预测标准偏差(RMSEP)由 0.037 7 降低到 0.029 7。[结论] 应用 NIR 技术不仅对新疆骏枣叶片含水量的快速、无损检测具有可行性, 同时还对其他农作物叶片水分、叶绿素、氮含量光谱预处理检测具有一定的借鉴意义。

关键词 近红外光谱; 新疆骏枣; 叶片含水量; PLS

中图分类号 S-3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)24-0001-03

Determination of Water Content in Leaves of Jun Jujube in Southern Xinjiang by Near Infrared Spectroscopy

HU Yan-pei, YAO Jiang-he, LI Chun-rong et al (School of Information Engineering, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300)

Abstract [Objective] A rapid and non-destructive detection model of leaf moisture content in Jun jujube of Southern Xinjiang was established. [Method] 73 pieces of intact and undamaged Jun jujube leaves were selected, and NIR was used to detect the important index of water content of Jun jujube leaves. 3 different spectral pretreatment methods were applied to establish PLS detection model for water content of Jun jujube leaf. [Result] The best combination in the PLS model predicting the water content of Jun jujube leaves was the original spectrum +MSC +PLS, the correlation coefficient (R) was risen from 0.673 1 to 0.874 6, the prediction accuracy (Precision) was risen from 0.950 7 to 0.957 8, and the predicted residual square sum (PRESS) was reduced from 0.028 4 to 0.017 7, and the prediction standard deviation (RMSEP) was reduced from 0.037 7 to 0.029 7. [Conclusion] The application of NIR technology was not only feasible for the rapid and non-destructive testing of water content in the leaves of Southern Xinjiang jujube, but also provided certain reference significance for the spectral pretreatment and detection of water, chlorophyll and nitrogen content in other crops.

Key words Near infrared spectroscopy; Jun jujube of Southern Xinjiang; Leaf moisture content; PLS

新疆是我国红枣的主产区, 新疆骏枣是新疆红枣的代表^[1-2]。研究新疆骏枣枣树生长过程就要知道其生长过程所需营养元素的变化, 这些元素对枣树的产量和长势有很大影响。骏枣叶子的含水量象征枣树生长的健康状况, 果树叶片长势、品质、颜色及其形态结构会随着水分含量的多少发生一系列的变化^[3], 可以根据叶片的水分含量实时检测和诊断。因此, 快速地获取骏枣叶片水分状况, 对骏枣的估产、长势、农情监测、可视化农业等方面具有重要的意义^[4-5]。

NIR 技术检测方法是一种低成本、快速和无损的检测方法^[6-8]。目前已被广泛地应用在食品业、烟草业、医药、农业等行业^[9-13], 其主要应用于植物营养元素的检测(叶绿素、氮等含量)^[14]、早期病虫害诊断^[15]和土壤性质分析^[16]等。田永超等^[17]研究在不同的水氮条件下, 水稻冠层 Spectral reflectance 与植株含水量的量化关系。董晶晶等^[18]利用 Spectral reflectance 信息提取叶片含水量, 研究反射率与含水量存在线性关系。吉海彦等^[19]使用辐射光谱仪测量冬小麦的反射光谱, 分别建立反射光谱与冬小麦叶片水分含量和叶绿素含量的定量模型。贾灿潮等^[20]应用 NIR 技术快速测定何首乌中水分的含量, 所建模型预测性和精度较好。洪添胜等^[21]利用波段为 400~1 000 nm 高光谱图像技术对雪花梨水分进行无损检测的研究, 通过 ANN(人工神经网络)对雪花

梨建立水分的预测模型。结果表明, 雪花梨水分的预测相关系数(R)为 0.94。张晓东等^[22]利用高光谱图像技术检测生菜含水率, 采用自适应波段选择法优选出特征波长; 建立最小二乘回归模型, 得出生菜叶片的含水量模型的相关系数(R)为 0.90。但有关新疆骏枣叶片含水量的近红外光谱检测技术国内外研究很少, 因此笔者以新疆骏枣叶片为研究对象, 应用 NIR 技术, 对采集到的骏枣叶片原始光谱进行 SNV、Auto-scaling、Normalize、MSC 预处理, 比较 4 种不同的光谱预处理方法对骏枣叶片含水量模型的影响, 进而确定其适合的预处理方法, 以此来简化模型的运算过程, 为大面积遥感监测以及进一步研究骏枣叶子含水量提供理论依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 骏枣叶片样品的采集与处理 采集的 90 个叶片样品来自新疆南疆第一师 10 团塔里木大学试验枣园种植基地, 选取不同位置的骏枣树, 根据枣树树龄划分选取 18 棵枣树, 每棵间隔 1 m。采集枣树上、中、下三层叶片(新叶、成熟叶、老叶), 每棵树采集 8 片。采摘回来的叶片带回重点实验室, 挑选出完好无损的 73 个叶片, 用水清洗干净叶子, 并晾干。然后对叶片样品进行编号、标记。

1.2 采集样品的近红外光谱数据 骏枣叶片近红外光谱采集仪器为聚光科技 SupNIR-1520TM 便携式近红外光谱分析仪, 波长为 1 000~1 800 nm, 光谱分辨率 ≤ 12 nm, 光谱采集的过程中, 使骏枣叶片处于平整。每次采集骏枣叶片光谱前应进行参比, 每个骏枣叶片样品分别采集叶片正反面 2 条光谱, 然后求取样品光谱的平均值。

1.3 骏枣叶片光谱预处理方法 在近红外光谱应用时, 不仅

基金项目 2017 年度塔里木大学研究生科研创新项目“骏枣叶片光谱预处理方法与水分检测模型研究”(TDGRI201723)。

作者简介 胡艳培(1987—), 女, 河南西华人, 硕士, 从事农业遥感研究。* 通讯作者, 教授, 硕士, 从事农业信息化方面的研究。

收稿日期 2018-04-18; **修回日期** 2018-04-28

可以测到样品中有用的信息,还可以测到其他的信息和噪声,这是因为受到样本背景、电噪声、杂散射等因素的干扰。在建立模型前必须对原始的光谱数据进行预处理是分析样品中成分的前提条件。文中使用的4种预处理方法分别为SNV、Autoscaling、Normalize、MSC。

1.4 骏枣叶片含水量的测定 骏枣叶片含水量测定采用相对含水量。首先对叶片进行称重,放入精密度为万分之一的电子秤上,待数据稳定时进行归零。最后将采集完光谱后的叶子放入烘箱烘干。重复上面操作对所有样品进行称重、记录数据,计算叶片相对含水量。

$$\text{叶片含水量} = \frac{\text{烘干前的重量} - \text{烘干后的重量}}{\text{烘干前的重量}}$$

1.5 模型建立与评价 模型采用相关系数(R)、预测残差平方和(PRESS)、预测精度(precision)、预测标准偏差(RMSEP)等参数来评价。较高的相关系数(R)、较小的预测残差平方和(PRESS)和预测标准偏差(RMSEP)是判断模型预测能力好坏的标准,相关系数越接近1,则说明所建模型的预测(或回归)结果好、预测能力越强,反之模型预测能力不好。用预测精度(precision)来衡量模型的准确程度,值越接近1,说明模型的精确度越高,反之,精确度就越低。

2 结果与分析

2.1 骏枣叶片原始光谱图 骏枣原始光谱图见图1。

表1 骏枣叶片含水量的PLS模型结果

Table 1 Detection results of PLS model for leaf water content of Jun jujube

光谱类型 Spectral type	骏枣叶片含水量 Water content in leaves of Jun jujube			
	相关系数 R	Precision 预测精度	PRESS 预测残差平方和	RMSEP 预测标准偏差
原始光谱 Original spectrum	0.673 1	0.950 7	0.028 4	0.037 7
原始光谱+Snv+PLS Original spectrum+Snv+PLS	0.848 8	0.953 2	0.020 9	0.032 4
原始光谱+Normalize+PLS Original spectrum+Normalize+PLS	0.813 9	0.957 8	0.018 3	0.030 2
原始光谱+Autoscaling+PLS Original spectrum+Autoscaling+PLS	0.632 6	0.954 0	0.024 9	0.035 3
原始光谱+MSC+PLS Original spectrum+MSC+PLS	0.874 6	0.957 8	0.017 7	0.029 7

2.4 骏枣叶片模型验证结果对比分析 采集到的近红外光谱往往会受到样本背景、电噪音和杂散射等因素的干扰。提高模型的预测精密度就要对采集的光谱进行预处理。而模型的评价由预测相关系数(R)、预测精(accuracy)、预测残差平方和(PRESS)、预测标准偏差(RMSEP)来决定。

根据模型的评价标准,对比4种不同光谱预处理后,发现预处理对骏枣叶片含水量结果影响较明显,经MSC预处理后的光谱如图2所示,消除了散射的影响和基线的漂移。模型建立的最好的组合是原始光谱+MSC+PLS(图3)。相关系数由原始的0.673 1提高到0.874 6,预测精度由0.950 7提高到0.957 8,预测残差平方和由0.028 4降低到0.017 7,预测标准偏差由0.037 7降低到0.029 7。

3 结论与讨论

传统的人工对叶片检测方法不但费时而且又费力,效果不是最佳,特别容易对叶片造成损伤。近年来,近红外光谱技术发展较快,在农业中已经被广泛应用,可以实现对作物叶片快速、有效、无破坏性的信息采集与检测,用近红外光谱

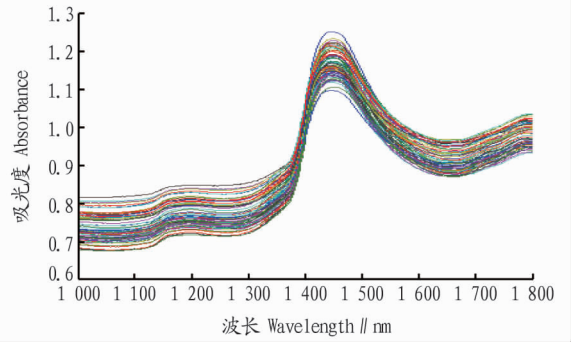


图1 骏枣叶片原始光谱图

Fig.1 Original spectral image of Jun jujube leaves

2.2 骏枣叶片含水量的测量结果 在采集的90个叶片中挑选出完好无损的73个骏枣叶片样本,从中选取53个作为校正集样本,剩余20个作为预测集样本。其骏枣叶片样本水分的最大值、最小值分别为0.669 1、0.504 3,平均值为0.599 9,平均偏差为0.003 4。

2.3 骏枣叶片含水量的模型建立与验证 采集到的原始光谱使用SNV(标准正态变量变换)、Autoscaling(标准化)、Normalize(归一化)、MSC(多元散射校正)进行预处理。使用偏最小二乘法建立骏枣叶片含水量的模型。其结果如表1所示。

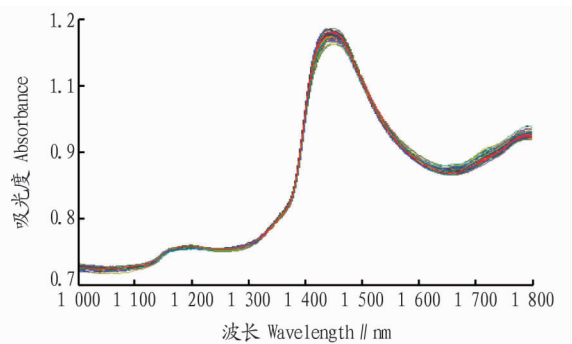


图2 MSC预处理后的骏枣叶片含水量光谱

Fig.2 Water content spectra of Jun jujube leaves pretreated with MSC

技术检测方法为大面积遥感监测以及进一步研究骏枣叶子含水量提供理论依据和数据支撑。

(1)对运用4种预处理方法进行比较,为增大预处理方法比较的广泛性,可以对更多的预处理方法进行比较,如导数、center、平滑、去趋势、FT、WT等方法。

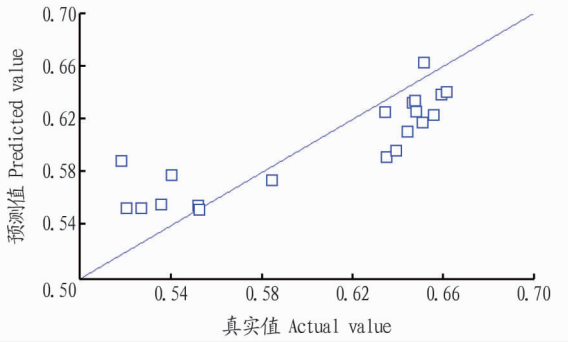


图3 骏枣叶片含水量原始光谱+MSC+PLS 模型验证散点图

Fig.3 Original spectrum + MSC + PLS model of water content in Jun jujube leaves verification scatter plot

(2) 只对 8—9 月骏枣树叶片进行试验,为进一步提高模型的适用性和广泛性,对 6—10 月骏枣树叶片进行建模分析。

(3) 只用 PLS 建立模型,为了选择更优的模型,可以使用更多的建模方法(如 BP 神经网络、LS-SVM、PCA、ANN 等),以选择更优的模型。

试验以新疆骏枣叶片为研究对象,运用 NIR 技术检测叶片含水量的指标,在全波段 1 000~1 800 nm 建立 PLS 检测模型。结果发现,在骏枣叶片含水量的光谱预处理中,4 种预处理方法中除了标准化相关系数降低,其余都达到 0.80 以上,精度都达到 95%。叶片含水量的预处理最好的组合是:原始光谱+MSC+PLS,其中 $R = 0.874 6$, $P = 0.957 8$, $PRESS = 0.017 7$, $RMSEP = 0.029 7$ 。

参考文献

- [1] 李伟伟.基于近红外高光谱图像技术的南疆红枣内部品质的研究[D].阿拉尔:塔里木大学,2017.
- [2] 彭云发.近红外光谱技术在南疆红枣品质快速无损检测中的应用研究[D].阿拉尔:塔里木大学,2015.

- [3] 张蕾蕾.苹果幼树叶片叶绿素与水分含量的高光谱估测研究[D].泰安:山东农业大学,2013.
- [4] 吉海彦,马洪,梁雪.近红外光谱无损检测农作物叶片水分含量的研究进展及发展趋势[J].仪器仪表学报,2009,30(6):497-499.
- [5] 梁爽.苹果树叶片氮素、叶绿素及水分含量的高光谱估测[D].泰安:山东农业大学,2013.
- [6] 褚小立.化学计量学方法与分子光谱分析技术[M].北京:化学工业出版社,2011.
- [7] 陆婉珍,袁洪福,褚小立.近红外光谱仪器比较[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [8] PEDRESCHI F, SEGTAN V H, KNUTSEN S H. On-line monitoring of fat, dry matter and acrylamide contents in potato chips using near infrared intertactance and visual reflectance imaging[J]. Food chemistry, 2010, 121(2):616-620.
- [9] 刘建学.实用近红外光谱分析技术[M].北京:科学出版社,2008.
- [10] 李民赞.光谱分析技术及其应用[M].北京:科学出版社,2008.
- [11] 陆婉珍.现代近红外光谱分析技术[M].2版.北京:中国石化出版社,2007.
- [12] 陆婉珍.近红外光谱仪器[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [13] 徐广通,袁洪福,陆婉珍.现代近红外光谱技术及应用进展[J].光谱学与光谱分析,2000,20(2):134-142.
- [14] 张瑶,郑立华,李民赞,等.基于光谱特征分析的苹果树叶片营养成分预测模型构建[J].农业工程学报,2013,29(8):171-178.
- [15] DELALIEUX S, SOMERS B, VERSTRAETEN W W, et al. Hyperspectral indices to diagnose leaf biotic stress of apple plants, considering leaf phenology[J]. International journal of remote sensing, 2009, 30(8):1887-1912.
- [16] 李民赞,郑立华,安晓飞,等.土壤成分与特性参数光谱快速检测方法及其传感技术[J].农业机械学报,2013,44(3):73-87.
- [17] 田永超,曹卫星,姜东,等.不同水氮条件下水稻冠层反射光谱与植株含水率的定量关系[J].植物生态学报,2005,29(2):318-323.
- [18] 董晶晶,牛铮,沈艳,等.利用反射光谱信息提取叶片水分含量的方法比较[J].江西农业大学学报,2006,28(4):587-592.
- [19] 吉海彦,王鹏新,严泰来.冬小麦活体叶片叶绿素和水分含量与反射光谱的模型建立[J].光谱学与光谱分析,2007,27(3):514-516.
- [20] 贾灿潮,卢慧娟,林丹,等.近红外光谱技术快速测定何首乌中水分的含量[J].医药导报,2015,34(12):1633-1636.
- [21] 洪添胜,乔军,NGADI M O,等.基于高光谱图像技术的雪花梨品质无损检测[J].农业工程学报,2007,23(2):151-155.
- [22] 张晓东,毛罕平,周莹,等.基于高光谱成像技术的生菜叶片水分检测研究[J].安徽农业科学,2011,39(33):20329-20331.

名词解释

扩展被引半衰期:指该期刊在统计当年被引用的全部次数中,较新一半是在多长一段时间内发表的。被引半衰期是测度期刊老化速度的一种指标,通常不是针对个别文献或某一组文献,而是对某一学科或专业领域的文献的总和而言的。

扩展 H 指数:指该期刊在统计当年被引的论文中,至少有 h 篇论文的被引频次不低于 h 次。

来源文献量:指来源期刊在统计当年发表的全部论文数,它们是统计期刊引用数据的来源。

文献选出率:按统计源的选取原则选出的文献数与期刊的发表文献数之比。

参考文献量:指来源期刊论文所引用的全部参考文献数,是衡量该期刊科学交流程度和吸收外部信息能力的一个指标。

平均引文数:指来源期刊每一篇论文平均引用的参考文献数。

平均作者数:指来源期刊每一篇论文平均拥有的作者数,是衡量该期刊科学生产能力的一个指标。

地区分布数:指来源期刊登载论文所涉及的地区数,按全国 31 个省市计(不包括港澳台)。这是衡量期刊论文覆盖面和全国影响力大小的一个指标。

机构分布数:指来源期刊论文的作者所涉及的机构数。这是衡量期刊科学生产能力的另一个指标。

海外论文比:指来源期刊中,海外作者发表论文占全部论文的比例。这是衡量期刊国际交流程度的一个指标。

基金论文比:指来源期刊中,各类基金资助的论文占全部论文的比例。这是衡量期刊论文学术质量的重要指标。

引用半衰期:指该期刊引用的全部参考文献中,较新一半是在多长一段时间内发表的。通过这个指标可以反映出作者利用文献的新颖度。