

便携式光谱分析仪对叶菜失水程度的无损检测研究

吴琼^{1,2}, 赵勇², 王成², 纪建伟^{1*}

(1. 沈阳农业大学信息与电气工程学院, 辽宁沈阳 110161; 2. 北京农业智能装备技术研究中心, 北京 100097)

摘要 利用自行研发的线性可调谐滤光片(LVF)便携式光谱仪对蔬菜失水程度进行了无损检测研究。通过获取小白菜、菠菜、叶菜生菜、油菜4种叶菜蔬菜叶片,分别在失水0 h、失水12 h、失水24 h、失水48 h的平均光谱曲线图进行对比分析。结果表明:蔬菜在失水过程中,便携式LVF光谱仪能有效快速反映其内部叶绿素的变化,并通过4种蔬菜叶片在同一个失水时间段下的光谱反射率曲线对比分析,表明利用便携式LVF光谱仪可快速、无损的对叶菜类蔬菜失水程度的判别进行定性区分。与此同时,根据叶菜蔬菜叶片的光谱曲线构建蔬菜叶片叶绿素SPAD含量平均值综合预测模型,结果显示,叶菜类蔬菜叶片的平均光谱值在新鲜状态下的SPAD建模相关系数为0.73,表明利用自行研发的便携式LVF光谱仪对叶菜类蔬菜叶片失水程度进行定量分析是可行的。

关键词 蔬菜失水;便携式光谱仪;线性可调谐滤光片;无损检测

中图分类号 S126;TN911.73;TS201.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)22-347-05

Study on Nondestructive Testing of Water Loss Degree of Leafy Vegetables by a Portable Spectrometer

WU Qiong^{1,2}, ZHAO Yong², WANG Cheng², JI Jian-wei^{1*} (1. College of Information and Electrification Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866; 2. Beijing Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097)

Abstract The non-destructive testing in the process of the vegetable water loss by the self-developed linear tunable filter (LVF) was preliminarily explored. A comparative analysis was conducted for mean spectrum curve respectively for four kinds of leafy vegetable, leaves of pakchoi, spinach, leafy vegetable lettuce and oilseed rape at 0, 12, 24 and 48 h of water loss. It was found that in the water loss process, portable spectrometer, LVF could effectively, rapidly reflect changes of their internal chlorophyll. Additionally, it was found from the comparative analysis on spectral reflectivity curve of four kinds of vegetable leaves at the same water loss period that it was feasible to rapidly and nondestructively conduct qualitative distinction of water loss degree of leafy vegetables by use of portable LVF spectrometer. At the same time, a comprehensive prediction model of mean chlorophyll SPAD content in vegetable leaves was established in terms of spectrum curve of leafy vegetable leaves, and it was found that correlation coefficient R for SPAD value model in terms of mean spectral value of leafy vegetable leaves in fresh status equalled to 0.73, suggesting that it was feasible to conduct a quantitative analysis for water loss degree of leafy vegetable leaves by use of the self-developed portable LVF spectrometer.

Key words Vegetable water loss; Portable spectrometer; LVF; Non-destructive testing

我国是世界上最大的蔬菜、瓜类生产国和消费国^[1-2]。随着我国蔬菜产品的总量持续走高,今后蔬菜产业的发展势必会以出口为主^[3-4]。因此,对我国果蔬进行工业化加工及新鲜检测包装、农药残留快速无损技术识别已经迫在眉睫。前人应用快速无损检测技术对生鲜蔬菜进行无损识别的检测方法中最成功有效的是光学分析方法,近年来国内外专家学者利用近红外光谱分析技术对蔬菜进行了大量无损检测分析研究^[5-6],国外分别采用漫反射和近红外光谱分析方法对胡萝卜^[7]、甜菜^[8-9]、西红柿^[10]等不同果蔬样品的营养元素建立了近红外光谱数据定量和定性模型,精确率可达98%以上。国内许多专家学者分别对大白菜^[11]、辣椒^[12]、西红柿^[13]等蔬菜内部可溶性固形物、有机酸、多种维生素等成分,用近红外光谱法建立了回归方程,相关性可达99%。另外,国内研究人员还对不同品种蔬菜采用傅立叶变换近红外光谱法对有机磷农药残留的鉴别进行了系统研究^[14]。

在以上的研究中发现,近红外光谱分析法对蔬菜的快速无损检测既可以从测定物质(样品)的吸收或漫反射光谱图的硬件技术(仪器本身)出发研究^[15],也可以利用化学计量学及多元校正方法计算测定结果的软件技术^[16]进行相关

研究。

为了实时、快捷、无损获取叶菜类蔬菜品质变化信息,笔者利用新型线性可调谐滤光片(LVF)分光技术,自行研发便携式叶菜质量快速检测仪对叶菜类蔬菜叶片的新鲜度进行无损检测研究。为研究检测仪器对于叶菜蔬菜品质快速无损稳定检测的可行性,采用LVF光谱仪获取不同品种的蔬菜在不同失水条件下的光谱信息,对不同品种蔬菜叶片的不同尺度、不同区域的特征进行分析,对在不同失水条件下的叶片营养组分信息情况进行诊断,旨在为不同等级蔬菜的快速、无损检测提供有力的技术支撑及方法探索。

1 材料与方法

1.1 样品准备与处理 选用小白菜、菠菜、叶菜生菜、油菜这4种常见蔬菜的叶片在室内进行实验。每种蔬菜取具有代表性的6片菜叶,然后在常温下放置使其失水,分别在失水0 h、失水12 h、失水24 h、失水48 h的4个时间段,进行可见光-近红外光谱信息采集,其中失水0 h即对采集来的新鲜蔬菜立即测量。在采集4种蔬菜叶片的光谱信息时,每个叶片要分叶基、叶中、叶尖3个部位各采集3次,之后提取光谱反射率取平均值,采集蔬菜叶片的光谱信息的同时,采用SPAD-502叶绿素仪测量蔬菜叶片的相对叶绿素值。

1.2 便携式光谱仪系统 该研究采用的便携式叶菜质量快速检测仪是由北京农业信息技术研究中心生物仪器部自行研制,该系统采用新型的线性可调谐滤光片(LVF)分光技术,选取线性可调谐滤光片为分光单元,硬件系统单元采用

基金项目 公益性行业(农业)科研专项(201003008);国家自然科学基金项目(31201125);北京市自然科学基金项目(4142019)。

作者简介 吴琼(1982-),女,辽宁辽阳人,讲师,博士,从事农业信息化技术研究。*通讯作者,教授,博士生导师,从事农业信息化技术研究。

收稿日期 2015-06-03

线阵 CMOS 探测器,在驱动单元脉冲信号的作用下完成光电转换、存储和转移等功能,并采用 USB 数据采集板对光电信号进行 AD 转换,光学系统紧凑、无移动部件,且体积小、超便捷的优势非常适合于对蔬菜品质进行快速、无损检测。LVF 光谱仪的主要性能参数见表 1。

表 1 LVF 光谱仪的主要性能参数

项目	属性	项目	属性
光谱范围//nm	4 600 ~ 1 100	光谱分辨率//nm	≤ 20
模数转换//位	16	积分时间//μs	≥ 100
信噪比	≤ 5 000:1	工作环境	-20 ~ 50
仪器大小	≤ 28 cm × 20 cm × 10 cm	温度//℃	

1.3 蔬菜叶片光谱信息的采集和处理 该研究选择晚上 19:00 以后在密闭实验室进行,保证室内暗室环境,避免日光灯及其他光源干扰,LVF 光谱仪采用卤钨灯照射采集数据前先进行白板定标,选取标准反射白板作为参考。将卤钨灯光源与反射白板以一定角度固定好位置,使得光源的光经过白板后可以反射进入光谱仪探头中。再对 4 组不同失水时间段下的 4 个品种蔬菜叶片叶基、叶中、叶尖 3 个部位进行光谱信息采集,每个品种测量 6 片叶,每片叶子分别对叶基、叶中、叶尖 3 个部位各采集 3 次。样品到光谱仪探测头的垂直高度为 6 cm,在卤钨灯光源照射下,设置好采集软件的各个参数,首先测量白板反射卤钨灯光源的参考光谱,注意调整积分时间不要让其光谱曲线出现饱和状态,便携式 LVF 光谱仪室内采集设置的积分时间为 1 000 μs。实验装置如图 1 所示。

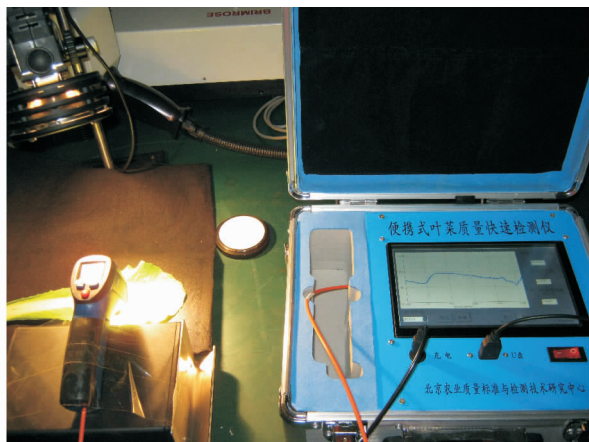


图 1 蔬菜叶片实验装置

反射率计算方法:分别对每种蔬菜单叶的叶基、叶中、叶尖 3 个部位各采集 3 次,首先采集到的是原始光强度值,再与白板定标后,需将其转换为反射率进行分析。计算目标物的光谱反射率采用下式计算:

$$R = I/I_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中, R 表示叶菜蔬菜叶片的高光谱反射率值; I 表示叶菜蔬菜叶片反射光的电流数值; I_0 表示白板反射光的电流数值。

1.4 叶片叶绿素相对含量测定 叶绿素仪 SPAD(Soil plant

analysis development) -502 通过测量叶片在 650 和 940 nm 2 种波长光学浓度差方式来确定叶片当前叶绿素的相对数量^[17],用来诊断作物叶绿素相对含量状况具有快速、简便和无损的特点^[18]。在该研究实验中,每种蔬菜各选取 6 片叶,每片叶从叶基到叶尖,使用叶绿素含量测定仪 SPAD - 502,测量 4 种蔬菜叶片的叶绿素相对含量或“绿色程度”。在测量光谱的蔬菜单叶叶基、叶中、叶尖 3 个部位对应位置测量单叶叶绿素的相对值,分别在叶基、叶中、叶尖各测试 3 次,取平均值,计算 SPAD 值。

2 结果与分析

2.1 同一品种蔬菜叶片不同失水条件下 LVF 平均光谱反射率曲线对比分析 采集小白菜、菠菜、叶菜生菜、油菜 4 个品种的蔬菜叶片分别在失水 0 h、失水 12 h、失水 24 h、失水 48 h 的 LVF 光谱信息,提取同一时段下每个品种蔬菜叶片区域的原始平均光强值,并将其转换成反射率,计算出不同失水时间段下蔬菜叶片的平均光谱值,结果见图 2。从图 2 可以看出:在截取的经验波段 650 ~ 950 nm 范围内,小白菜、菠菜、叶菜生菜、油菜 4 个品种的叶菜蔬菜样品由于叶片内都含有叶绿素成分,其各自的平均光谱反射率曲线变化规律基本相似。在 650 ~ 700 nm 波段,都呈现了红边波谷趋势;在 700 ~ 780 nm 波段,4 种叶菜类蔬菜样品的叶绿素平均光谱反射率在红波段的强吸收到近红外波段多次散射形成的高反射平台,即红边波峰现象明显,这是植被营养、长势、水分等的有效指示性特征,得到了广泛的应用与证实^[19]。由此可以说明此次实验的准确性及有效性。4 种叶菜蔬菜叶片的平均光谱反射率曲线随着失水时间的增加变化,小白菜、菠菜、叶菜生菜由于水分的散失,叶片叶绿素沉降,叶片反射光谱的能力减弱,因此红边波谷的叶绿素平均光谱反射率逐渐递减降低。而油菜叶片随着水分的散失,由于体内还含有油类因子等其他成分因素的存在,叶绿素的反射光谱在失水 12 h 和失水 24 h 时会会有所反弹,在最终失水 48 h 时叶片萎蔫叶绿素彻底沉降后,光谱平均反射率有规律的降低。另外,在这 4 种叶菜样品失水处理的光谱反射率的采集过程中,菠菜叶片的失水现象是最快速明显的,在其采集检测的叶片平均光谱反射率值的对比发现,如图 2b 所示,菠菜的叶片在 4 个失水时间段内,光谱反射率变化的差异明显,而在实验过程中,通过肉眼及样品叶片的 SPAD 值测量检测对比观察时,同样印证了这一现象。其次是叶菜生菜、油菜的叶片光谱反射率的失水程度依次递减,小白菜的叶片失水程度相比较其他 3 种叶菜样品来说是最缓慢的。

2.2 不同品种蔬菜叶片同一失水条件下的 LVF 平均光谱反射率曲线对比分析 提取小白菜、菠菜、叶菜生菜、油菜分别在失水 0 h、失水 12 h、失水 24 h、失水 48 h 4 个处理时间点的 LVF 平均光谱曲线进行对比分析,结果见图 3。由图 3 可知,在 700 ~ 750 nm 波段,叶绿素在红波段的强吸收形成的高反射平台即红边波段,叶菜生菜叶片的红边反射率值是最高的,其次随着蔬菜叶片失水程度的加深,油菜叶片的光谱反射率值不降反升,而菠菜叶片的光谱反射率值随着失水程

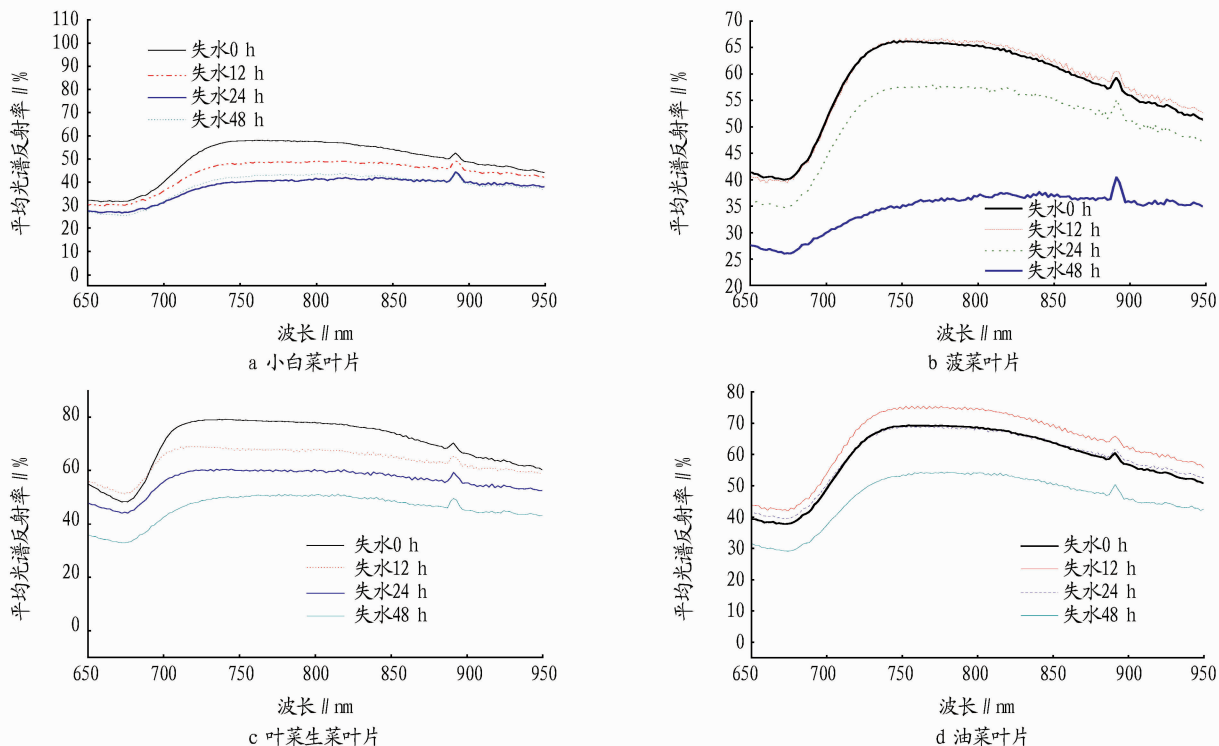


图2 4种叶菜蔬菜叶片不同失水时间段下的光谱曲线对比

度的加深,变化最明显。结合在780~850 nm波段的近红外区间范围分析,效果会更明显。该波段范围内能够清楚解释叶片结构的光谱反射率特性,该波段反射率平台又称为“反射率红肩”,其光谱发射率的强度取决于叶片内部的结构。由横向对比分析的结果可知,叶菜生菜的红谷反射率是最高的,这是由于光谱反射率强度取决于叶片内部结构,特别是叶肉与细胞间隙的相对厚度,细胞层越多的蔬菜叶片,光谱反射率越高,叶菜生菜的叶片相对其他3种蔬菜叶片的轮廓是最大的,因此其光谱反射率差异最明显,反射率值最高。其次,随着失水时间的加剧,油菜由于叶片细胞内含有油性因子的成分,其叶片成分差异显著,因此油菜叶片的LVF平均光谱反射率随着失水程度的加深,光谱反射率值增高。而如图3d,在失水48 h后,4种叶菜蔬菜叶片,菠菜的失水效果是最快速的,叶绿素值沉降最快,因此在失水48 h,菠菜叶片的光谱反射率值降低最明显。进而说明,采用自行研发的LVF便携式叶菜品质快速检测仪对蔬菜叶片新鲜度的无损检测识别效果是非常显著的。上述分析结果表明,利用自行研发的LVF便携式光谱仪可以准确地对叶菜类样品失水程度进行有效的定性分析。

2.3 构建蔬菜叶片叶绿素SPAD含量平均值综合预测模型 分别在失水0 h、失水12 h、失水24 h、失水48 h 4个时间段里,对小白菜、菠菜、叶菜生菜、油菜4种蔬菜叶片的SPAD值取平均值进行对比分析,结果见表2。由表2可知,4种蔬菜叶片叶绿素SPAD值均在失水12~24 h的时间段内,叶片逐渐失水萎蔫,所测得的叶片平均SPAD值随着失水时间的增加、叶片内的叶绿素逐渐沉降,叶片颜色逐渐加深而叶绿素SPAD值逐渐增大。其中叶菜生菜的叶片由于叶片宽大,

叶片细胞褶皱多,失水效果缓慢,SPAD值变化差异不明显;菠菜的叶片失水效果是最明显的,在失水48 h之后,菠菜叶片已经完全随着水分的缺失变干枯,其体内叶绿素含量降到最低。而油菜在失水0 h、失水12 h、失水24 h、失水48 h的4个失水时间段内,叶片叶绿素趋势变化特征呈递增趋势最为明显,均随着水分的缺失而浓度增加,叶片平均SPAD值增大的值最显著,其叶绿素含量要比小白菜、菠菜、叶菜生菜的叶片平均SPAD值要高,原因在于油菜在失水48 h后,叶片开始萎蔫发黄,而不是像小白菜和菠菜叶片干枯呈墨绿色的状态,油菜的叶片要比其他3种叶菜蔬菜叶片肥厚,并且油菜叶片细胞含有的油性基因成分也许对水分的缺失及叶绿素的变化有影响。以上4种叶菜蔬菜的叶片叶绿素相对含量的SPAD平均值研究分析与上述利用光谱曲线对4种蔬菜叶片的失水效果分析的结果基本一致。

表2 4种蔬菜叶片平均SPAD值

蔬菜品种	失水0 h	失水12 h	失水24 h	失水48 h
小白菜	30.81	39.11	43.78	41.57
菠菜	42.78	53.32	58.63	5.88
叶菜生菜	14.19	19.34	19.21	22.68
油菜	52.03	59.17	61.38	61.82

由于以上4种蔬菜叶片光谱曲线特征相似,且每个品种叶片检测样品数量较少,随着失水程度的加剧,小白菜、菠菜叶片干枯效果明显,影响后期建模准确性。因此,该研究综合了小白菜、菠菜、叶菜生菜、油菜4种蔬菜叶片在新鲜状态下的平均光谱值与相对应的SPAD平均值,共对72个样品数据采用偏最小二乘法(PIS)建立SPAD综合预测模型,结果

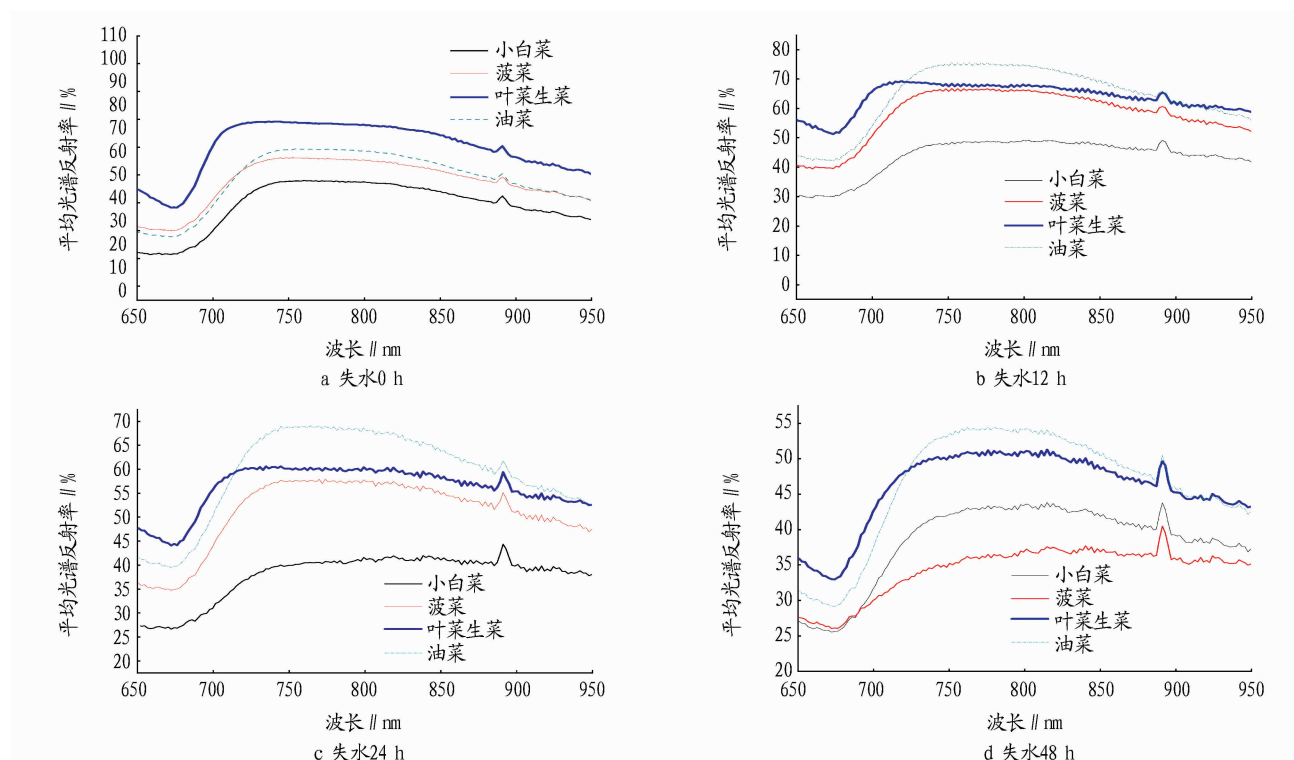


图3 不同失水程度4种蔬菜叶片平均光谱反射率对比

见图4。建模结果显示:叶菜类蔬菜叶片的平均光谱值在新鲜状态下的SPAD值建模相关系数 $R = 0.73$;校正标准差 $SEC = 10.71$;预测标准差 $RPD = 1.50$;相对百分值 $RSEP = 29.84\%$ 。由此可知,利用自行研发的便携式叶菜质量快速光谱检测仪实现对叶菜蔬菜叶片新鲜度的无损、快速检测识别具有可行性,且从建立样本的数量上评判,用平均光谱数据建立的预测蔬菜叶片叶绿素组分信息的模型,既减少了样本数据的冗余重叠,又可以取得理想中的模型效果。进而说明,利用自行研发的LVF便携式光谱仪可以准确地对叶菜类样品新鲜度进行有效的定量分析。

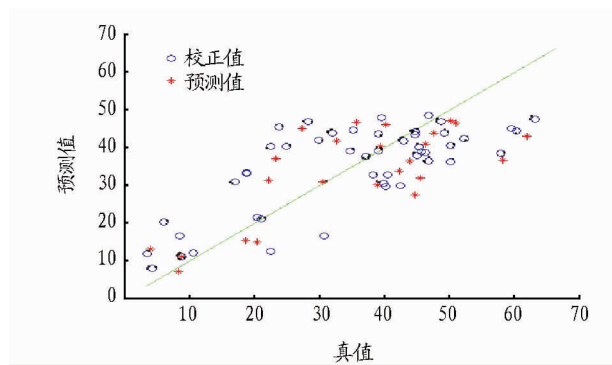


图4 蔬菜叶片与SPAD值PLS建模结果

2.4 高光谱成像仪与LVF光谱仪平均光谱曲线对比分析 该研究同时利用由北京农业信息技术研究中心与中国科技大学联合研制的推扫式成像光谱仪(pushbroom imaging spectrometer, PIS)分别对小白菜、菠菜、油菜的叶片在室内同环境实验条件下进行对照数据采集,成像光谱仪系统已委托中科院安徽光机所进行定标和测试,确定该系统的稳定性及准确性^[20]。以油菜为例,在原始状态失水0小时状态下,分

别提取油菜叶片在LVF便携式光谱仪及推扫式成像光谱仪下的叶片平均光谱反射率曲线,进行对比分析,结果见图5。由图5可知,便携式LVF光谱仪的油菜叶片平均光谱曲线要

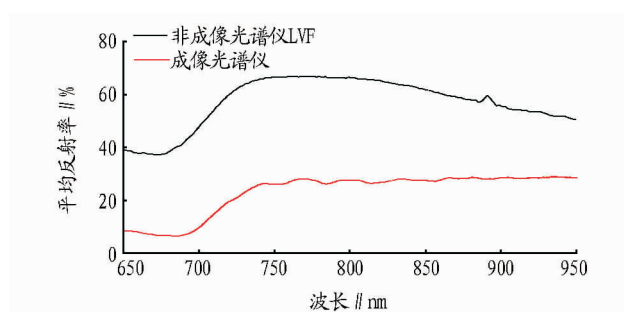


图5 油菜叶片失水0h的非成像光谱仪LVF与成像光谱仪光谱曲线对比

比成像光谱仪提取的油菜叶片光谱曲线反射率高,这是由于仪器设置的高度及参数所形成的,便携式LVF光谱仪由于自身体积的微小及轻便易拿,采集对象几乎是点对点近距离采集,而成像光谱仪由于仪器本身的重量及实验平台搭建的耗力,因此LVF成像光谱仪大大降低了外界及仪器本身所带来的信号噪声的干扰,数据相对准确明显,这是LVF便携光谱仪优于成像光谱仪的特点。另外,在650~750nm波长范围内,2种检测仪器都能够有效地检测出叶菜蔬菜叶片的叶绿素平均光谱曲线特征,形成叶绿素特征吸收谷,并在750~850nm波长范围内,形成较明显的高反射平台即红肩区,但在900nm附近,LVF便携光谱仪有漂移现象出现,形成尖锐的三角波峰状,而成像光谱仪信号平稳良好。对比可知,在作物叶绿素的特征区域范围内,LVF便携式光谱仪能够有效地识别检测叶菜蔬菜的叶片失水等级状态,但需进一步修正

设备参数,优化算法,解决该研究研发的 LVF 便携式光谱仪的漂移现象。

3 结论与展望

该研究选取小白菜、菠菜、叶菜生菜、油菜等 4 种叶菜蔬菜叶片,分别在失水 0 h、失水 12 h、失水 24 h、失水 48 h 的条件下对其平均光谱曲线图进行对比分析,结果表明,蔬菜在失水过程中,自行研发的 LVF 便携式光谱仪能有效快速反映其内部叶绿素的变化。通过 4 种蔬菜叶片在同一个失水时间段下的光谱反射率曲线对比分析可知,利用便携 LVF 光谱仪可快速、无损地对叶菜类蔬菜失水程度的判别进行定性区分。与此同时,通过对叶菜蔬菜叶片的光谱曲线构建蔬菜叶片叶绿素 SPAD 含量平均值综合预测模型,结果显示:叶菜类蔬菜叶片的平均光谱值在新鲜状态下的 SPAD 值建模相关系数 $R=0.73$ 。表明利用自行研发的 LVF 便携式光谱仪可以准确地对叶菜类样品新鲜度进行有效的定量分析。

该研究自行研发的 LVF 便携式光谱仪在 900 nm 附近存在信号漂移现象,需要进一步优化调整设备参数,以备深入研究叶菜蔬菜叶片失水程度与农药残留的相关性分析。蔬菜中农药残留的衰减规律是“折半、折半、再折半”,新鲜蔬菜如果放置 3 d,基本能够去除农药残留的 60% 以上。因此,分析蔬菜叶片的失水程度与农药残留的相关性,找到二者之间的平衡点,是今后值得探索的问题。

参考文献

- [1] 张学杰,王金玉,方智远.我国蔬菜加工产业发展现状[J].中国蔬菜,2007(4):1-4
- [2] 柴江权,潘贤春,孙家华.蔬菜现代化生产的研究和探索[J].杭州农业科技,1998(2):4-7.

(上接第 346 页)

4 结论与讨论

该研究利用 ArcGIS Desktop 9.2 软件的地统计分析模块中地统计分析向导功能生成了有机物、钾和盐含量这 3 个数据层,之后裁剪出边界,再利用空间分析模块的栅格计算器分析出适宜性评价图,运用多种因素数据自动叠加处理,自动生成评价结果对研究区内土地进行了土地适宜性评价。该研究的创新意义在于:一方面利用 ArcGIS Desktop 9.2 软件的地统计分析模块中的统计分析向导功能,生成了有机物、钾和盐含量这 3 个数据层;另一方面根据有机质和无机离子含量对土地功能进行区划。

土地适宜性评价涉及多学科以及庞大的数据,而数据的处理方法也会相应变化。该研究选取的适宜性评价因子不多,并且主要侧重于土地的自然属性,而几乎没有考虑分析社会因素,所以土地适宜性评价方法研究并不深入,因此为了该研究工作更加精确、更具备应用性和指导性,其研究深度还有待进一步加深^[14]。

以地理信息系统为平台的山东省东营市黄河三角洲适宜性评价实际上是以多学科为载体的多信息的综合表达。因此,研究区土地适宜性的评价结果具有一定的科学性,可为土地资源的管理利用提供一定的参考。

- [3] 张立彬,胡海根,叶时鸣.果蔬产品品质无损检测技术的研究进展[J].农业工程学报,2005,30(4):176-180.
- [4] 彭彦颖,孙旭东,刘燕德.果蔬品质高光谱成像无损检测研究进展[J].激光与红外,2010,40(6):586-592.
- [5] 王敏,付蓉,赵秋菊,等.近红外光谱技术在果蔬品质无损检测中的应用[J].中国农学通报,2010,26(5):174-178.
- [6] 傅霞萍,应义斌.基于 NIR 和 Raman 光谱的果蔬质量检测研究进展与展望[J].农业机械学报,2013,44(8):148-164.
- [7] BELTON P S, KEMSLEY E K, MCCANN M C, et al. The identification of vegetable matter using Fourier Transform Infrared Spectroscopy [J]. Food Chemistry, 1995, 54(4): 437-441.
- [8] ROGGO Y, DUPONCHEL L, RU KEBUSCH C, et al. Statistical tests for comparison of quantitative and qualitative models developed with near infrared spectral data [J]. Journal of Molecular Structure, 2003, 654(1): 253-262.
- [9] ROGGO Y, DUPONCHEL L, HUVENNE J P J. Quality evaluation of sugar beet (*Beta vulgaris*) by near-infrared spectroscopy [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(5): 1051-1061.
- [10] 谢丽娟,应义斌,于海燕,等.近红外光谱分析技术在蔬菜品质无损检测中的应用研究进展[J].光谱学与光谱分析,2007,27(6):1131-1135.
- [11] 张德双,金同铭,徐家炳,等.几种主要营养成分在大白菜不同叶片及部位中的分布规律[J].华北农学报,2000,15(1):108-111.
- [12] 覃方丽,闵润耕,石正强,等.鲜辣椒中糖份和维生素 C 含量的近红外光谱非破坏性测定[J].分析试验室,2003,22(4):59-61.
- [13] 金同铭.非破坏评价西红柿的营养成分[J].仪器仪表与分析监测,1997(2):32-36.
- [14] 周向阳,林纯忠,胡祥娜,等.近红外光谱法(NIR)快速诊断蔬菜中有机磷农药残留[J].食品科学,2004,25(5):151-154.
- [15] 程一钊,朱大洲,姜富斌,等.基于 LVF 的光谱测量系统[J].光子电子技术,32(4):230-235.
- [16] 梁逸曾,俞汝勤.化学计量学[M].北京:高等教育出版社,2005.
- [17] 王文杰,李雪莹,王慧梅,等.便携式测定仪在测定叶片衰老过程中氮和叶绿素含量上的应用[J].林业科学,2006,42(6):20-25.
- [18] 艾天成,李方敏,周治安,等.作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J].湖北农学院学报,2000,20(1):6-8.
- [19] 王纪华,赵春江,黄文江,等.农业定量遥感基础与应用[M].北京:科学出版社,2008.
- [20] 吴琼,朱大洲,王成,等.基于高光谱成像的蔬菜新鲜度检测初探[J].食品安全质量检测学报,2012,3(6):685-689.

参考文献

- [1] 孙伟,陈雯,段学军. GIS 技术在区域土地开发适宜性分区中的应用——以江苏省为例[J]. 计算机应用研究, 2006(12): 221-223.
- [2] 孙贵珍,王栓军,王慧军. GIS 在河北省太行山区土地资源管理中的应用[J]. 中国农学通报, 2007, 23(11): 385-389.
- [3] 武强,陈萍,董东林,等. 基于 GIS 技术的农业土地适宜性综合评价[J]. 工程勘察, 2001, 11(4): 45-48.
- [4] 张慧,高峰. 基于 GIS 技术的福建省主要桉树树种用地适宜性评价[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(20): 8859-8863.
- [5] 谢树春,赵玲. 基于 GIS 的湘中紫色土丘陵地区土地适宜性评价——以衡南县谭子山镇紫色土综合治理试验区为例[J]. 经济地理, 2005, 25(1): 102-105.
- [6] 刘明皓. 基于 GIS 的土地适宜性评价方法研究——以重庆市城 13 县为例[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版, 2007, 24(4): 22-24.
- [7] 袁成军,朱红苏,何腾兵,等. 基于 GIS 的喀斯特山区农用地适宜性评价——以贵州省黔西县为例[J]. 山地农业生物学报, 2008, 27(2): 152-156.
- [8] 杜宁,杨宁生,孙英泽. 基于 GIS 的池塘养殖适宜性评价——以河南省为例[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 476-478.
- [9] 文正敏. 广西巴马县土地适宜性评价模式探讨[J]. 桂林工学院学报, 2001, 21(4): 376-378.
- [10] 史同广,郑昭佩,王智勇,等. GIS 支持下的鲁东南丘陵区茶树土地适宜性评价[J]. 山地学报, 2008, 26(5): 560-564.
- [11] 赵银兵,何政伟,倪忠,等. GIS 支持下的九龙县居民地适宜性研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(3): 1158-1160.
- [12] 刘忠秀,谢爱良. 区域多目标土地适宜性评价研究——以临沂市为例[J]. 水土保持研究, 2008, 15(1): 176-178.
- [13] 潘元庆,谷志云,李保贤,等. 浅谈 GIS 在农业和土地资源管理中的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(28): 9086-9089.
- [14] 李正国,唐华俊,杨鹏,等. 植被物候特征的遥感提取与农业应用综述[J]. 中国农业资源与区划, 2012, 33(5): 20-28.