植物叶绿素含量对植物光谱特征敏感波段的探究——以海桐为例[1]

郑志河

（河海大学，江苏 南京 211100）

【摘 要】：利用 SVCHR-1024 便携式光谱仪和 SPAD502 测定实验区的海桐在 350-2500nm 的植被高光谱反射率和叶绿素含量，先后利用 K=7 的移动平均模型进行去噪处理和包络线去除后，分析海桐的原始光谱、包络线去除曲线、海桐对 SPAD 值的光谱响应光谱、一阶导数光谱进行分析，探究 SPAD 值对海桐的植物光谱特征敏感波段的具体位置。

【关键词】：遥感；叶绿素含量；包络线去除；导数光谱

【中图分类号】：P343.3 **【文献标识码】**：A

1、实验区概况

实验区位于江苏省南京市河海大学江宁校区。河海大学处于丘陵地区，地理位置位于东经 118° 46′ 33.99″ 到 118° 47′ 09.81″，北纬 31° 54′ 47.47″ 到 31° 55′ 11.13″ 之间，实验区属于亚热带季风气候，雨量充沛，年降水量 1200 毫米，四季分明，年平均温度 15.4℃。校园内绿植丰富，主要有海桐、桂花、竹子、香樟、卫矛、紫锦木等植被，其中海桐占较多，分布较广。

2、研究方法

（1）使用 SVCHR-1024 便携式光谱仪采集两种植被的冠层光谱，该光谱仪有 1024 个通道，波段范围 350～2500nm，其中 350～1000nm 区间光谱分辨率为 1.4nm，1000～1085nm 区间光谱分辨率为 3.8nm，1850～2500nm 区间光谱分辨率为 2.4nm。我们在晴朗无云的天气下在上午 10：00 到下午 2：00 之间采集植被的光谱数据。采用 25° 光纤的对每个样方仅进行数据采集，测量前先用白板标定。样方的大小设置为 1m×1m，每个样方设置 5 个采样点（如图 1），取平均值作为该样方的光谱数据。

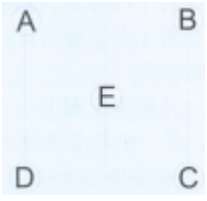

图 1 样方设计图

[1][**收稿日期**]：2018-03-29

[**作者简介**]：郑志河（1996-），男，安徽阜阳人，河海大学地球科学与工程学院本科在读。

（2）采用 SPAD-502 叶绿素含量测定仪测定的 SPAD 值作为叶绿素含量的指标。SPAD-502 叶绿素含量测定仪测定的 SPAD 值与叶绿素含量之间呈极显著相关，能够代表植被叶绿素含量值。本实验利用 SPAD-502 叶绿素计在每个样方内，选取在采集光谱对应的样方里的相位位置，用叶绿素计取测量叶片的叶绿素，测量时叶绿素计重复采集 10 次，取平均值作为最终叶绿素含量的测定值。

（3）包络线去除法。在光谱曲线相似的情况下，直接从中提取光谱特征不便于计算，因此需要对光谱曲线做进一步处理，以突出光谱特征。包络线去除法可以有效突出光谱曲线的吸收、反射和发射特征，并将其归一到一个一致的光谱背景上，有利于和其他光谱曲线进行特征数值的比较。

$$R_{cj}=\frac{R_j}{R_{start}+K\cdot(\lambda_j-\lambda_{start})},\quad K=\frac{R_{end}-R_{start}}{\lambda_{end}-\lambda_{start}}$$

式中，λ_j 是第 j 波段的波长，R_{cj} 是波段 j 的包络线去除值，R_j 是波段 j 的原始光谱反射率；R_{end} 和 R_{start} 是在波谱曲线里的起始点和末端点的原始光谱反射率；λ_{end} 和 λ_{start} 是在波谱曲线里的起始点波长和末端点波长；K 是在波谱曲线里起始点波段和末端点波段之间的斜率。

（4）差值相比处理。我们对植被的反射率作一个简单的差值处理，用参照 SPAD 值的植被光谱曲线作为参照，用其余 SPAD 值的光谱分别去减去参照 SPAD 的光谱，最后在除以参照 SPAD 值的光谱反射率，探究随着 SPAD 值的增长，植被光谱变化最大的波段，计算出的值是一个没有量纲的常数，我们称之为 e。同时考虑到 SPAD 值对光谱反射率的影响可能存在增强和减弱的差异，我们对 e 取绝对值，记为 e，公式如下：

$$\acute{e}=\left|\frac{R_{(\lambda i)}-R_{(\lambda j)}}{R_{(\lambda j)}}\right|$$

其中，$R_{(\lambda i)}$ 为第 i 个波段的光谱值，$R_{(\lambda j)}$ 为第 j 个波段的参照光谱值。e 的值的大小表明叶绿素含量对植被反射率光谱影响的强弱程度。为了得到植被的敏感波段，本实验将不同 SPAD 值的 e 值相加，得到对 SPAD 值最敏感的波段。

（5）一阶导数光谱。一阶导数光谱能显著显示植被光谱曲线的特征点和特征区域的位置，分辨植物光谱特征曲线中小的反射峰和吸收谷。通过一阶导出光谱，可以准确地判定各特征参数的位置，提高鉴定的准确性。

$$R'(\lambda_i)=\frac{R_{(\lambda_{i+1})}-R_{(\lambda_{i-1})}}{\lambda_{i+1}-\lambda_{i-1}}$$

式中，$R'(\lambda_i)$ 是第 i 波段的一阶导数光谱值，$R(\lambda_{i+1})$ 和 $R(\lambda_{i-1})$ 分别是第 i+1 波段和第 i-1 波段的原始光谱值，i+1 和 i-1 分别是第 i+1 波段和第 i-1 波段的原始光谱值。

3、研究结果及分析

我们对采集到的数据首先用 K=7 的移动平均模型进行处理，消除其他噪声对海桐光谱特征的影响。得到图 2 的曲线，从图 2 中可以看出海桐的光谱线具有典型的绿色植物光谱曲线特征。海桐在波长 550nm 左右有一个小反射峰，在波长 670nm 左右有一个小的吸收谷，在波长 670mn 之后的红边位置，随着叶绿素含量的不同也发生着变化。但是不能从原始光谱中找寻由 SPAD 值引起的光谱差异。

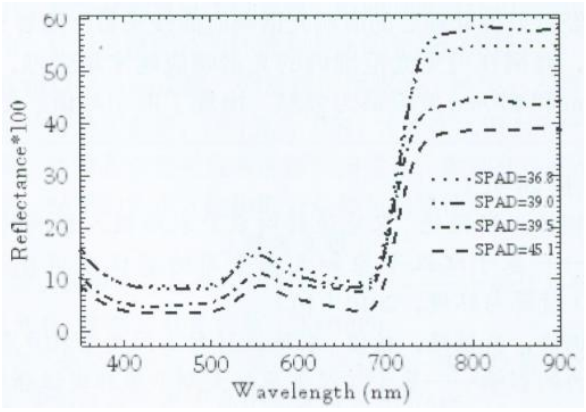

图 2 四种不同 SPAD 值的海桐在可见光波段的光谱特征曲线

采用包络线去除的方法，可以将不同 SPAD 值的反射波谱曲线归一化到同一个光谱背景下。在包络线去除曲线中，可以很清楚看到，在 350～700mn 的波段范围内，随着 SPAD 值的增加，植被反射率明显地降低，即随着叶绿素含量的增加，植被在可见光波段的吸收率明显增加。

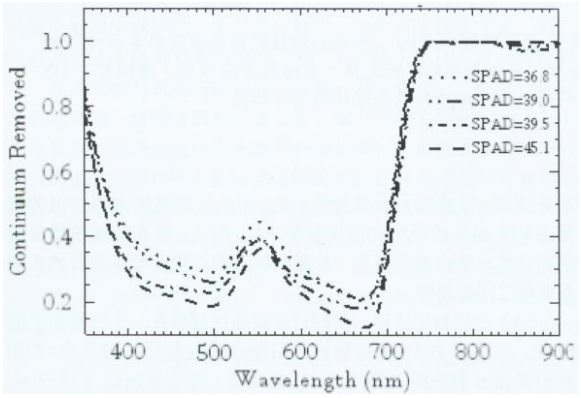

图 3 四种不同 SPAD 值的海桐在可见光波段的包络线去除曲线

从经过差值处理后的海桐光谱响应曲线来看，随着SPAD值的增加，海桐在可见光范围内的光谱响应越来强烈，尤其是在500nm和 670nm 波段最为强烈，出现了两个峰值。把不同的 SPAD 值的光谱响应曲线相加，可以得到海桐对 SPAD 值的最敏感波段是657.5nm 左右。

通过求出不同 SPAD 值的海桐一阶光谱曲线，发现最敏感波段在导数光谱曲线中对应的位置是红边左侧第一个一阶导数等于0 的位置，即原始光谱曲线中红谷的位置。这与大多数学者得出的结论相符。

4、结 论

通过植被的原始光谱曲线，可以看出海桐是一种典型植被，其拥有典型的绿色健康植被的光谱特征。通过包络线去除后的不同 SPAD 值的海桐光谱曲线，我们得到了植被叶绿素含量的差异影响光谱响应最大的是可见光波段。但是具体的是在可见光波段的哪个位置，还无法得到。然后用差值相比法进行处理后，可以明显看出不同 SPAD 值植被的光谱响应强度，我们从中得到了海桐对叶绿素含量的敏感波段发生在 657.5nm 处，结合海桐的一阶导数光谱曲线，我们得出了下面的结论：海桐是一种典型的

绿色健康植被；海桐光谱特征对于叶绿素含量的敏感波段发生在原始光谱曲线的红光吸收谷位置；并且随着叶绿素含量的增加，海桐在红色吸收谷处的吸收率越大。

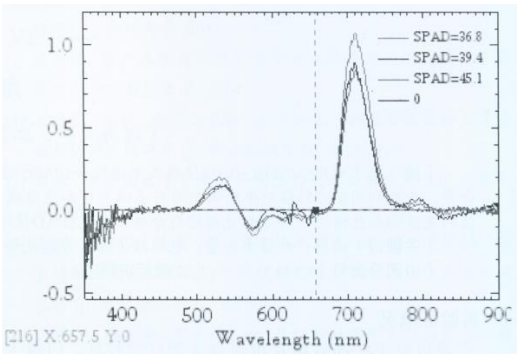

图 5 不同 SPAD 值的海桐一阶导数光谱曲线

[**参考文献**]：

[1]张凯，郭铌，王润元，等.甘肃省两种主要草地类型的光谱反射特征比较[J].农北工程学报，2009（S2）.

[2]宋开山，张柏，王宗明，等.大豆叶绿素含量高光谱反演模型研究[J].农业工程学报，2006（08）.

[3]张倩.基于高光谱遥感的冬小麦植被反射特征及叶面积指数的监测模型研究[D].西北农林科技大学，2011.

[4]林文鹏，李厚增，黄敬峰，等.上海城市植被光谱反射特征分析[J].光谱学与光谱分析，2010（11）.

[5]袁媛.夏玉米叶绿素及叶面积指数高光谱遥感估算[D].西北农林科技大学，2014.