

苹果花期冠层反射光谱特征

朱西存^{1,2}, 赵庚星^{1*}, 雷彤¹

(1. 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018; 2. 山东农业大学农业生态与环境重点实验室, 泰安 271018)

摘要: 苹果花期是果树生产与管理的关键阶段, 对冠层反射光谱特征研究具有重要的理论和现实意义。该文以山东省栖霞市为研究区, 通过实测的 120 棵苹果花期冠层反射光谱数据, 在分析不同累计样本容量冠层反射光谱特征的基础上, 用方差分析和相关分析的方法, 系统地研究了苹果树有花与无花、不同花量、花期不同阶段、不同树龄及不同品种的冠层反射光谱特征。研究结果表明, 随着累计样本容量的增加, 冠层反射光谱曲线趋于稳定、平滑。有花与无花冠层光谱反射率在 431~500、591~680、761~1 300 nm 波段方差分析结果极显著 ($\alpha=0.01$); 不同花量的冠层与 391~513、598~687、711~1 193 nm 波段的反射率显著相关 ($p<0.05$); 在 670 nm “红谷”附近, 反射率随花量的增加而增大, 在近红外 761~1 300 nm 波段, 反射率随花量的增加而减小; 不同品种之间, 除嘎啦外, 红富士、金帅和新红星之间不易区分。研究结果揭示了高光谱遥感在苹果花期信息获取方面的巨大潜力, 为今后遥感反演模型的构建提供了依据。

关键词: 光谱分析, 模型, 反射光谱, 苹果花期, 冠层

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.032

中图分类号: S661.1, S127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0180-07

朱西存, 赵庚星, 雷彤. 苹果花期冠层反射光谱特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 180—186.

Zhu Xicun, Zhao Gengxing, Lei Tong. Reflective spectral characteristics of apple florescence canopy[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 180—186. (in Chinese with English abstract)

0 引言

地物反射光谱特征是遥感探测的基础, 是信息提取和目标识别的依据, 也是定量遥感技术应用发展的前提条件^[1]。苹果树花期是苹果栽培管理的关键性阶段, 对于苹果最终产量的形成及果品品质具有直接的影响, 对其反射光谱特征的研究, 可以为苹果冠层信息提取、长势监测、营养诊断等问题的研究提供参考和理论依据。

对于植被冠层反射光谱特征分析, 尤其是作物反射光谱特征分析, 国内外学者已有一些研究。Kanemasu E T^[2]研究了小麦、高粱和大豆 3 种作物在不同生长发育期中的冠层反射光谱特征; Thomas J R 等^[3]研究了 7 种植物(甜瓜、玉米、黄瓜、葛芭、高粱、棉花、烟草)在不同氮素营养水平下的光谱特性。宋开山等^[4]分析了大豆在整个生长期变化的冠层光谱特征; 唐延林、王人潮等^[5]、杨长明等^[6]、薛利红等^[7]对水稻氮素营养水平与光谱特征之间的关系及对不同品种水稻群体冠层光谱特征作了深入的研究; 景娟娟^[8]、赵春江等^[9]、黄文江等^[10]研究了不同氮素水平下小麦光谱特征及与小麦品质指标的相关性; 朱艳等^[11]对棉花冠层反射光谱特征与叶片含氮量进行了估

测研究。蒋海荣等^[12]研究了玉米叶片纤维素含量与冠层光谱特征。总体上看, 目前国内外多侧重于小麦、玉米、水稻、棉花等大田作物的冠层光谱特征研究, 对果树冠层光谱特征的研究相对较少, 而针对果树花期冠层反射光谱特征研究尤为少见。

本研究选择在苹果花期, 应用 ASD Field Spec 3 地物光谱仪实测冠层反射光谱。旨在探明苹果花期冠层反射光谱的特征及其敏感波段, 以期苹果的高产栽培、遥感长势监测和营养诊断等提供科学依据, 促进高光谱遥感的农业应用。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区设在山东省苹果主产区烟台栖霞市。栖霞市地处胶东半岛腹地, 位于东经 120°33'~121°15'、北纬 37°05'~37°32'之间, 总面积 2 017 km², 该市属暖温带季风型半湿润气候, 四季分明, 光照充足。年平均气温 11.3℃、降雨量 754 mm、日照总时数 2 690 h、无霜期 207 d; 土壤类型主要为棕壤、潮棕壤。环境条件特别适宜苹果生长。该市是烟台苹果的集中产地, 主要栽培品种红富士 (Red Fuji), 面积达 33 000 hm²。该区果园面积大、分布集中, 特色突出, 具有良好的研究场所和条件基础。

1.2 试验材料与设计

试验于 2008 年 4 月在苹果开花期进行, 供试苹果品种为红富士, 比较用品种为嘎啦、金帅、新红星, 冠层结构皆为三大主枝主干疏层形。依据栖霞市土地利用现状图和果园分布布设观测点, 采用分散布点测量与定点集中测量相结合的方法, 随机选取了栖霞市 14 个镇 32

收稿日期: 2008-10-10 修回日期: 2009-05-27

基金项目: 国家“863”计划项目(2008AA10Z203); 国家级“星火计划”重点项目(2007EA740002); “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD10A10)资助

作者简介: 朱西存 (1970—), 男, 山东单县人, 博士, 主要从事农业遥感应用研究。泰安 山东农业大学资源与环境学院, 271018。

Email: zxc@sda.edu.cn

*通信作者: 赵庚星 (1964—), 男, 山东垦利人, 教授, 博士生导师, 主要从事土地资源与信息技术研究。泰安 山东农业大学资源与环境学院 271018。Email: zhaogx@sda.edu.cn

个果园（图 1）的 120 棵苹果树作为研究对象。利用地物光谱仪对有花与无花冠层、不同花量（花叶比）、不同树龄（初果期（6~8 a）、盛果期（12~18 a）、衰老期（30 a 以上）、花期不同阶段（初花期、盛花期、末花期）、不同品种（红富士、嘎啦、金帅、新红星）测定其冠层反射光谱，得到高光谱数据。

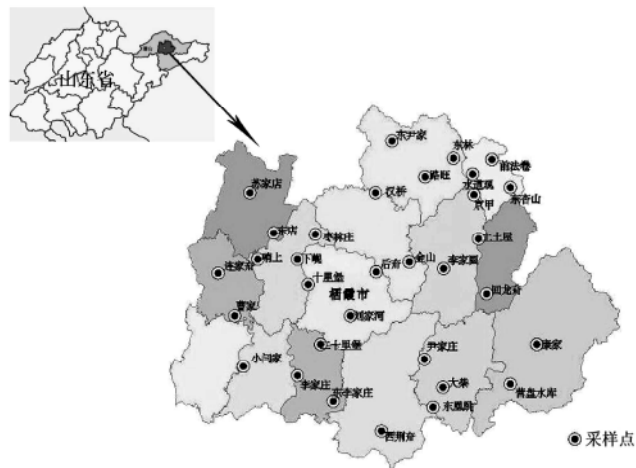


图 1 试验区采样点分布
Fig.1 Distribution of sampling points in study area

1.3 冠层光谱测定

光谱测定采用美国 ASD FieldSpec 3 地物光谱仪，波段范围值为 350~2 500 nm，其中，350~1 000 nm 光谱采样间隔为 1.4 nm，光谱分辨率为 3 nm；1 000~2 500 nm 光谱采样间隔为 2 nm，光谱分辨率为 10 nm，重采样后输出波段数为 2 151 个。选择晴朗无云、无风或微风的天气，测定时间为 10:00~14:00（太阳高度角大于 45°）。光谱仪外接 5 m 长光纤，探头视场角（FOV）为 25°，观测时探头垂直向下，根据苹果树冠幅的大小调整仪器探头与树冠之间的距离，确保视场覆盖整个冠层。每个观测点记录 10 个采样光谱，以其平均值作为该观测点的光谱反射值。每个样本数据产生前、后，及时用标准白板进行仪器校正。由于地物光谱数据受多种因素的影响^[13]，野外观测时，记录观测过程中各种状态参数（表 1），为光谱数据的处理和比较提供参考。

表 1 苹果花期冠层光谱测量野外记录数据
Table 1 Field records of apple florescence canopy spectral measurements

项 目	记 录	项 目	记 录
测点编号	01	测量日期	2008-04-26
数据文件名	01-h3	测量时间	11:56
照片号	01-h3	测点经度	37°27'09.1"N
植物名称	红富士	测点纬度	121°03'55.3"E
花期阶段	盛花期	天气	晴
树龄/a	15	气温/℃	28.1
树高/m	2.5	相对湿度/%	40
冠幅/m	2.8	风速/(m·s ⁻¹)	1.2
干周/cm	56	气压/Pa	9.85×10 ⁴
生长状况	良好	云量	1
花量	较多	记录人	陈志强
探头距冠层高度/m	4	备注	

1.4 数据处理

利用光谱处理软件 ViewSpec Pro 5.0，将光谱数据处理后并导出，在 Excel 和 DPS 软件中进行分析。由于仪器和外界环境的影响，在 1 820~1 950、2 350~2 500 nm 均出现强烈的噪声，数据异常，作剔除处理。

利用移动平均法对光谱曲线进行平滑处理。根据多次试验对比结果表明，采用 5 次均值平滑效果较好，其数学表达式为

$$\overline{R'_j} = (R'_{j-2} + R'_{j-1} + R'_j + R'_{j+1} + R'_{j+2})/5 \tag{1}$$

式中： $\overline{R'_j}$ ——波长为 j 时的反射率均值； R'_j ——波长为 j 时的反射率值。

1.5 分析方法

通过大量样本的累加取得稳定的苹果花期冠层反射光谱曲线，分析其反射光谱特征；采用方差分析方法，对有花与无花冠层各波段光谱反射率进行分析，得到区分二者的显著差异波段；运用相关分析方法，对苹果冠层花量与其光谱反射率进行分析，根据其相关程度筛选与花量敏感的光谱波段；通过对比不同花期、树龄和品种间的光谱曲线差异，分析其对光谱特征的影响。

2 结果与分析

2.1 不同累计样本容量的苹果花期反射光谱曲线特征

对不同累计样本容量苹果花期冠层反射光谱数据的对比研究，可以消除由于单个苹果冠层测定时偶然因素对光谱特征的影响，从而掌握苹果冠层稳定性的光谱特征。为分析不同样本数量其光谱特征的变异状况，把测定的 120 棵苹果花期的冠层反射光谱数据随机顺次分为 4 组：A 组（1~30）、B 组（1~60）、C 组（1~90）、D 组（1~120），利用公式

$$\overline{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \tag{2}$$

式中： \overline{R} —— n 个样本的平均反射率； n ——样本累计个数； R_i ——第 i 个光谱反射率。分别对每组数据求平均值 \overline{R} ，得到不同累计样本容量苹果花期冠层反射光谱 \overline{R} 随波长变化的曲线（图 2）。

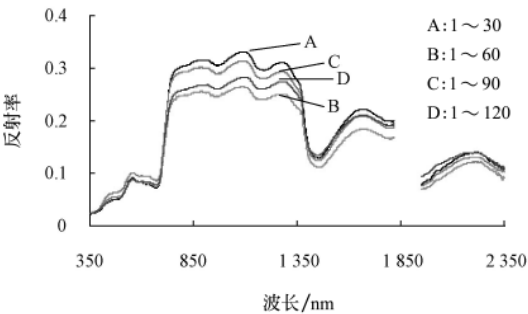


图 2 不同累计样本容量苹果花期冠层反射光谱曲线
Fig.2 Reflective spectral curves of apple florescence canopy at different accumulative sample numbers

可见，不同累计样本容量 \overline{R} 随波长变化的光谱曲线形状与变化趋势相似（图 2），但随着累计样本容量的增加，光谱曲线有逐渐靠拢的趋势，说明随着累计样本容

量的增加, 光谱曲线趋于稳定和平滑, 更具有典型性和代表性。各波段的光谱特征如下。

1) 400~760 nm 可见光波段的光谱特征

该波段的反射率较低, 曲线表现为低-高-低-高的变化趋势。在以 460 nm 为中心的蓝光部分, 反射率相对较低, 形成 1 个吸收谷 (蓝谷); 在以 670 nm 为中心的红光部分, 反射率明显降低, 形成 1 个比较深的吸收谷 (红谷)。这与植物色素吸收, 特别与叶绿素的强烈吸收有关。在这两个吸收谷之间 550 nm 附近的绿光部分, 是 1 个低光合效率的光谱带, 同时也是 1 个弱活性带, 反射率明显增加, 形成 1 个较高的反射峰 (绿峰); 680~760 nm 波段的反射率值随着波长的增加而急剧升高, 形成陡而接近于直线的曲线, 是叶绿素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的过渡波段, 称为“红边”, 是植物所独有的光谱特征。

2) 761~1 300 nm 近红外波段的光谱特征

该波段反射率较高, 为近红外光谱的“反射平台”。是由于苹果叶、花内部组织结构多次反射、散射的结果。在 980、1 190 nm 附近有两个微弱的吸收谷, 是由苹果冠层的水分吸收造成。此波段是苹果的各种变量与反射率关系最敏感的波段。

3) 1 301~2 500 nm 短波红外波段的光谱特征

该波段反射率有逐渐跌落的趋势。由于仪器和大气环境的影响, 在 1 820~1 950、2 350~2 500 nm 均出现强烈的噪声, 数据异常, 作剔除处理。在 1 470 和 1 970 nm 附近有一较强吸收谷, 在 1 680 和 2 230 nm 附近形成两个明显反射峰。

总体看, 苹果花期冠层的反射光谱曲线与一般绿色植被类似, 反映了苹果树花期花、叶混合的状况。但由于苹果花颜色、形态、结构等与叶片有较大差异, 因此, 由于花量的不同, 苹果花期冠层光谱特征在不同花期、不同树龄、不同品种间反射光谱特征将会有区别。

2.2 苹果花期冠层与无花冠层的反射光谱特征

苹果有大小年之分。处于大年的苹果花量较多, 而小年的果树, 花量少或几乎无花。图 3 是相同树龄的富士苹果树盛花期有花冠层和无花冠层的反射光谱曲线。

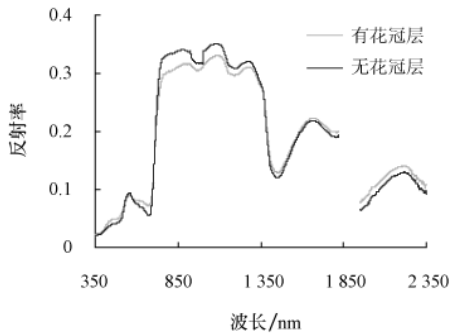


图 3 有花冠层与无花冠层苹果花期反射光谱曲线

Fig.3 Reflective spectral curves of apple canopies with and without flowers at the florescence

可以看出, 在 400~760 nm 可见光波段, 有花冠层和无花冠层的“绿峰”和“红谷”差异明显, 绿峰反射

率值是无花冠层>有花冠层, 红谷反射率值则是无花冠层<有花冠层 (图 3)。在 761~1 300 nm 近红外波段, 反射率值是无花冠层>有花冠层。表明随着花量的增多, “绿峰”处和近红外波段的反射率有减小的趋势, “红谷”处的反射率有增大的趋势。在 1 301~1 820 nm 的短波红外波段, 二者区分不明显; 在 1 950~2 350 nm 的短波红外波段, 反射率值是无花冠层<有花冠层。

为进一步研究区分有花冠层与无花冠层的光谱敏感波段, 对有花冠层和无花冠层的光谱分成如下波段: 紫外波段 (350~400 nm)、紫光波段 (401~430 nm)、蓝光波段 (431~470 nm)、青光波段 (471~500 nm)、绿光波段 (501~560 nm)、黄光波段 (561~590 nm)、橙光波段 (591~620 nm)、红光波段 (621~680 与 681~760 nm)、近红外波段 (761~1 300 nm)、短波红外波段 (1 301~1 820 与 1 950~2 350 nm) 的光谱区域, 每隔 5 nm 取一数据点^[14], 分别得到 11、7、9、7、13、7、7、13、17、109、105、81 个数据点, 对其对应的波段反射率进行方差分析, 结果见表 2。

表 2 有花和无花的苹果冠层反射高光谱曲线分析

Table 2 Analysis of hyperspectral curves of apple canopies with and without flowers

		差异源	离差平方和	自由度	均方差	<i>F</i> 值	<i>F</i> _{0.05}	<i>F</i> _{0.01}
紫外波段 350~400 nm	组间	0.000034	1	0.000034	5.59	4.35 [*]	8.10	
	组内	0.000123	20	0.000006				
	总计	0.000157	21					
紫光波段 401~430 nm	组间	0.000114	1	0.000114	7.36	4.75 [*]	9.33	
	组内	0.000186	12	0.000016				
	总计	0.000301	13					
蓝光波段 431~470 nm	组间	0.000296	1	0.000296	65.39	4.49 [*]	8.53 ^{**}	
	组内	0.000072	16	0.000005				
	总计	0.000369	17					
青光波段 471~500 nm	组间	0.000257	1	0.000257	124.50	4.75 [*]	9.33 ^{**}	
	组内	0.000025	12	0.000002				
	总计	0.000282	13					
绿光波段 501~560 nm	组间	0.000019	1	0.000019	0.07	4.26	7.82	
	组内	0.006803	24	0.000283				
	总计	0.006821	25					
黄光波段 561~590 nm	组间	0.000005	1	0.000006	0.17	4.75	9.33	
	组内	0.000317	12	0.000027				
	总计	0.000322	13					
橙光波段 591~620 nm	组间	0.000168	1	0.000168	35.15	4.75 [*]	9.33 ^{**}	
	组内	0.000057	12	0.000005				
	总计	0.000225	13					
红光波段 621~680 nm	组间	0.001131	1	0.001131	56.09	4.26 [*]	7.82 ^{**}	
	组内	0.000484	24	0.000020				
	总计	0.001615	25					
红光波段 681~760 nm	组间	0.001182	1	0.001182	0.14	4.15	7.50	
	组内	0.278662	32	0.008708				
	总计	0.279845	33					
近红外波段 761~1 300 nm	组间	0.018978	1	0.018978	144.46	3.88 [*]	6.75 ^{**}	
	组内	0.028375	216	0.000131				
	总计	0.047353	217					
短波红外波段 1 301~1 820 nm	组间	0.001116	1	0.001116	0.48	3.89	6.76	
	组内	0.484590	208	0.002330				
	总计	0.485705	209					
短波红外波段 1 950~2 350 nm	组间	0.006454	1	0.006454	17.98	3.90 [*]	6.80 ^{**}	
	组内	0.057418	160	0.000359				
	总计	0.063872	161					

注: * 表示在 0.05 水平上显著, ** 表示在 0.01 水平上极显著。

从表 2 可以看出, 在 $\alpha = 0.01$ 水平, 蓝光波段 (431~470 nm)、青光波段 (471~500 nm)、橙光波段 (591~620 nm)、红光波段 (621~680 nm)、近红外波段 (761~1 300 nm)、短波红外波段 (1 950~2 350 nm) 方差分析结果极显著; 而紫外波段 (350~400 nm)、紫光波段 (401~430 nm)、蓝光波段 (431~470 nm)、青光波段 (471~500 nm)、橙光波段 (591~620 nm)、红光波段 (621~680 nm)、近红外波段 (761~1 300 nm)、短波红外波段 (1 950~2 350 nm) 在 $\alpha = 0.05$ 水平方差分析结果显著; 绿光波段 (501~560 nm)、黄光波段 (561~590 nm)、红光波段 (681~760 nm)、短波红外波段 (1 301~1 820 nm) 方差分析结果均不显著 ($\alpha = 0.05$)。由此判断, 蓝光波段 (431~470 nm)、青光波段 (471~500 nm)、橙光波段 (591~620 nm)、红光波段 (621~

680 nm)、近红外波段 (761~1 300 nm)、短波红外波段 (1 950~2 350 nm) 对有花和无花冠层反应差异极显著, 是区分苹果花期冠层光谱的敏感波段。

2.3 不同花量的苹果冠层反射光谱特征

苹果花期, 花叶相衬, 绿白相间, 其冠层反射光谱区别于一般绿色植物的本质特征在于花量的多少。在进行冠层反射光谱测定的同时, 同步用数码相机对所测果树进行拍照, 获得数码照片。经 Photoshop 软件处理, 保留整株苹果树信息 (图 4a); 运用 Erdas 图像处理软件对预处理后的照片进行监督分类 (图 4b), 提取并统计苹果树的花、叶面积, 得到花叶比 (花/叶)。依据苹果花期花叶比的大小, 把测定的 120 棵苹果树分为 3 类, 花叶比 < 0.2 的为 a 类, $0.2 \leq \text{花叶比} \leq 0.3$ 的为 b 类, 花叶比 > 0.3 的为 c 类。a、b、c 3 类的反射光谱曲线见图 5。

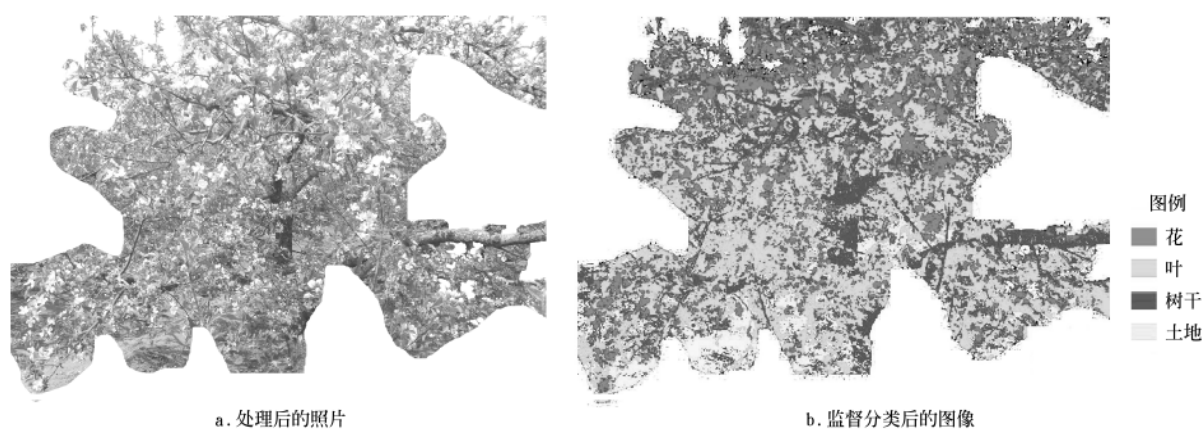


图 4 预处理后的照片和监督分类后的图像

Fig.4 Photo after preprocessing and its image after supervised classification

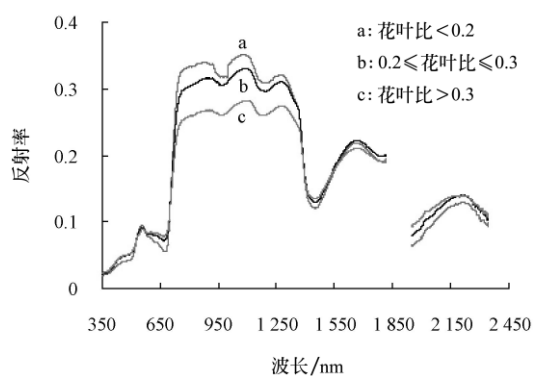


图 5 苹果花期不同花量冠层的反射光谱曲线

Fig.5 Reflective spectral curves of apple canopies with different amount of flowers at florescence

图 5 显示, 不同花量的红富士苹果树冠层反射光谱曲线在 550 nm 附近“绿峰”处, 冠层光谱反射率随着花量的增多而减小 ($\bar{R}_a > \bar{R}_b > \bar{R}_c$); 在 670 nm “红谷”处, 反射率随着花量的增加而增大 ($\bar{R}_a < \bar{R}_b < \bar{R}_c$)。在 761~1 300 nm 的近红外波段, 反射率随花量的增大而减小 ($\bar{R}_a > \bar{R}_b > \bar{R}_c$)。在 1 301~2 500 nm 的短波红外波段, 反射率光谱曲线出现交叉。

对花叶比与对应的冠层光谱反射率进行相关分析

(图 6)。可以看出, 花叶比与可见光波段 350~530 nm、567~700 nm 和短波红外波段 1 950~2 105 nm 反射率呈正相关, 其中在 391~513 nm (蓝光-青光)、598~687 nm (橙光-红光) 反射率呈显著正相关 ($p < 0.05$) ($r(118,1,0.05)=0.179$)。而在可见光波段 531~566、701~760 nm, 近红外波段 761~1 300 nm, 短波红外波段 1 301~1 820、2 106~2 330 nm 为负相关, 其中在 711~760 nm (红光)、761~1 193 nm (近红外) 反射率呈显著负相关 ($p < 0.05$)。因此, 在 391~513 nm (蓝光-青光)、598~687 nm (橙光-红光)、711~760 nm (红光)、761~1 193 nm (近红外) 波段是花量变化反映较敏感的波段。

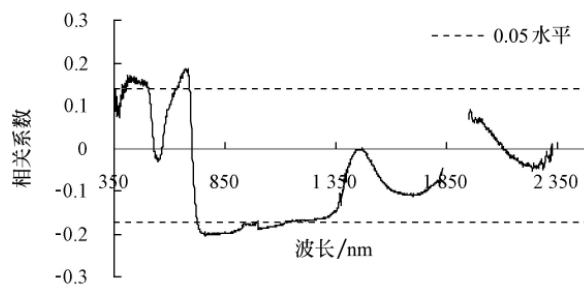


图 6 苹果花期花叶比与冠层光谱反射率的相关性

Fig.6 Correlation between flower-leaf ratio and reflectance of apple florescence canopy

2.4 苹果花期不同阶段的冠层反射光谱特征

根据苹果树的物候期,把苹果花期分为初花期、盛花期和末花期 3 个阶段。初花期是指植株上以 15% 花蕾开放为准;盛花期是植株以 75% 的花蕾展开为准;末花期是指植株全部花开放,并且有部分花瓣凋谢。图 7 为苹果冠层花期不同阶段的反射光谱曲线。在 620~700 nm 的红光波段,初花期反射率最大,可能是因为初花期苹果叶片较小,绿量偏低,红光吸收偏小,同时花骨朵颜色整体偏红,红光强烈反射的结果。在 761~1 300 nm 的近红外波段,初花期反射率最小,是由于树冠叶片覆盖度低,花叶比较大的原因。除初花期外,此波段反射率随着花量的增加而减小,末花期反射率最高。在 1 301~1 380 nm 3 条曲线出现交叉,不易区分。而在 1 381~1 800 nm 和 1 950~2 350 nm 的短波红外波段,3 条曲线区分明显,可能与冠层和大气的含水率有关。

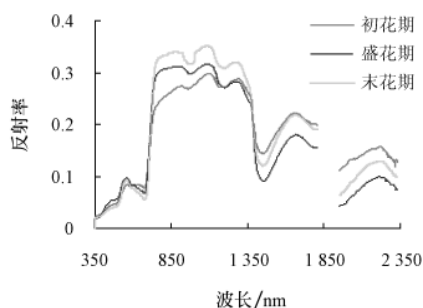


图 7 苹果花期不同阶段冠层反射光谱曲线

Fig.7 Reflective spectral curves of apple canopies at different florescence stages

2.5 不同树龄苹果盛花期的冠层反射光谱特征

图 8 是苹果盛花期不同树龄:初果期(6~8 a)、盛果期(12~18 a)、衰老期(30 a 以上)的冠层反射光谱曲线。在 550 nm 附近的绿峰处,6~8 a 的苹果树的反射率最大;30 a 以上的苹果树反射率最小;12~18 a 的反射率介于二者之间。在 761~1 300 nm 近红外波段,冠层反射率随树龄增加而增大。从花量来看,6~8 a 的幼果期树冠较小,花分布较集中,花叶比较大;而 30 a 以上的苹果树冠较大,且多数枝条开花部位分散外移,花叶比减小;盛果期树居于二者之间。在 1 301~1 820 nm、1 950~2 350 nm 的短波红外波段,光谱曲线的反射率随着树龄的增加呈增加的趋势。

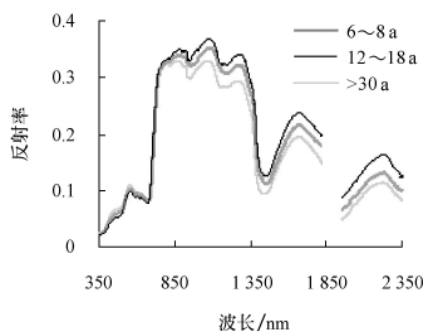


图 8 不同树龄的苹果花期冠层反射光谱曲线

Fig.8 Reflective spectral curves of apple canopies in florescence at different ages of tree

2.6 不同品种的苹果花期冠层反射光谱特征

图 9 为相同树龄(16 a)盛花期红富士、嘎啦、金帅、新红星的反射光谱曲线。不同品种果树冠层反射光谱曲线的形状基本一致,但在不同波段存在差异。在 550 nm 附近“绿峰”的反射率值:嘎啦>金帅>红富士>新红星,在 670 nm 附近“红谷”处的反射率值:嘎啦>红富士>金帅>新红星。这与不同品种苹果的叶色、花叶比和花朵的颜色不同有关。相比之下,嘎啦的叶色最深,花朵偏红,与其它品种区别也最明显。在 761~1 300 nm 的近红外波段,嘎啦的反射率最高,其它品种反射率在不同波段反射光谱曲线出现交叉,区别不明显。由此可见,嘎啦与红富士、金帅和新红星的花期冠层较容易区别,而红富士、金帅和新红星的花期冠层不易区分。

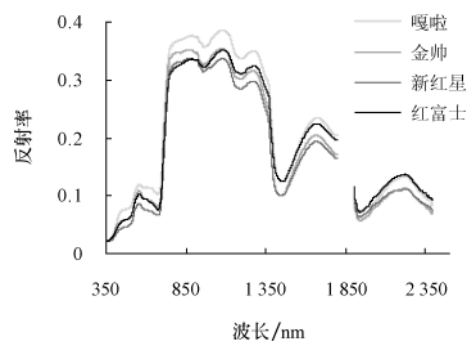


图 9 不同品种苹果花期冠层反射光谱曲线

Fig.9 Reflective spectral curves of apple canopies with different species at florescence stage

3 结论与讨论

苹果冠层反射光谱特征是苹果高光谱遥感监测、信息提取和营养诊断的基础。本文利用 ASD Field Spec 3 地物光谱仪获取苹果花期冠层反射光谱数据,在比较分析不同累计样本容量苹果花期冠层反射光谱特征的基础上,用方差和相关分析的方法,初步摸清了苹果花期冠层的反射光谱特征,明确了冠层反射光谱的敏感波段,为苹果冠层高光谱应用提供了理论依据。研究结果显示,蓝光波段(431~470 nm)、青光波段(471~500 nm)、橙光波段(591~620 nm)、红光波段(621~680 nm)、近红外波段(761~1 300 nm)的方差分析结果极显著($\alpha=0.01$);不同花量的冠层与 391~513 nm(蓝光-青光波段)、598~687 nm(橙光-红光波段)、711~760 nm(红光波段)、761~1 193 nm(近红外波段)波段反射率显著相关($p<0.05$)。在 670 nm“红谷”附近随花量的增加而增大,在近红外 761~1 300 nm 波段随花量的增加而减小。不同品种之间,除嘎啦与其它品种光谱特征易区分外,红富士、金帅和新红星之间不易区分。

本文对苹果花期冠层反射光谱特征研究发现,冠层花量的多少及花叶比是影响其反射光谱特征的关键因素。随着花量的增多,冠层叶绿素含量相对减少,从而呈现出与普通绿色植被不同的光谱差异。除此,其光谱特性除了与叶片、花朵数量比例有关外,还受果树冠层结构、生长状况、土壤背景以及天气状况等因素影响,

其具体深层的影响机理有待在今后的研究中进一步探讨。

苹果树个体差异性较大, 在冠层光谱测定时会受到多种因素的影响, 因此应尽量多采集不同情况下的样本光谱数据, 以便从众多的数据中寻找规律性。在野外进行光谱采集时, 由于会受到光谱仪本身的系统误差、测定过程中的不可控因素、环境因素等的影响, 因此应做好试验误差的控制, 确保研究结果的准确性。

[参 考 文 献]

- [1] 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [2] Kanemasu E T. Seasonal canopy reflectance patterns of wheat, sorghum, and soybean[J]. Remote Sensing of Environment, 1974, 3(1): 43—47.
- [3] Thomas J R, Gausman H W. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentration for eight crops[J]. Agronomy Journal, 1977, 69: 799—802.
- [4] 宋开山, 张柏, 李方, 等. 高光谱反射率与大豆叶面积及地上鲜生物量的相关分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 36—40.
Song Kaishan, Zhang Bai, Li Fang, et al. Correlative analyses of hyperspectral reflectance, soybean LAI and aboveground biomass[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(1): 36—40. (in Chinese with English abstract)
- [5] 唐延林, 王人潮, 黄敬峰, 等. 不同供氮水平下水稻高光谱及其红边特征研究[J]. 遥感学报, 2004, 8(2): 185—192.
Tang Yanlin, Wang Renchao, Huang Jingfeng, et al. Hyperspectral data and their relationships correlative to the pigment contents for rice under different nitrogen support level[J]. Journal of Remote Sensing, 2004, 8(2): 185—192. (in Chinese with English abstract)
- [6] 杨长明, 杨林章, 韦朝领, 等. 不同品种水稻群体冠层光谱特征比较研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 689—692.
Yang Changming, Yang Linzhang, Wei Chaoling, et al. Canopy spectral characteristics of different rice varieties[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(6): 689—692. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王秀珍, 黄敬峰, 李云梅, 等. 水稻生物化学参数与高光谱遥感特征参数的相关分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 144—148.
Wang Xiuzheng, Huang Jingfeng, Li Yunmei, et al. Correlation between chemical contents of leaves and characteristic variables of hyperspectra on rice field[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(2): 144—148. (in Chinese with English abstract)
- [8] 景娟娟, 王纪华, 王锦地, 等. 不同氮素营养条件下的冬小麦生理及光谱特性[J]. 遥感信息, 2003, (2): 28—31.
Jing Juanjuan, Wang Jihua, Wang Jindi, et al. Spectral characteristics of winter wheat under different nitrogen nutrient[J]. Remote Sensing Information, 2003, (2): 28—31. (in Chinese with English abstract)
- [9] 赵春江, 黄文江, 王纪华, 等. 不同品种、肥水条件下冬小麦光谱红边参数研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(8): 980—987.
Zhao Chunjiang, Huang Wenjiang, Wang Jihua, et al. Studies on the red edge parameters of spectrum in winter wheat under different varieties, fertilizer and water treatments[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(8): 980—987. (in Chinese with English abstract)
- [10] 黄文江, 王纪华, 刘良云, 等. 小麦品质指标与冠层光谱特征的相关性的初步研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 203—207.
Huang Wenjiang, Wang Jihua, Liu Liangyun, et al. Correlation between grain quality indicators and spectral reflectance properties of wheat canopies by using hyperspectral data from winter wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(4): 203—207. (in Chinese with English abstract)
- [11] 朱艳, 吴华兵, 田永超, 等. 基于冠层反射光谱的棉花叶片氮含量估测[J]. 应用生态学报, 2007, 18(10): 2264—2268.
Zhu Yan, Wu Huabing, Tian Yongchao, et al. Estimation of nitrogen concentration in cotton leaf based on canopy reflectance spectra[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(10): 2264—2268. (in Chinese with English abstract)
- [12] 蒋海荣, 王纪华, 谢瑞芝, 等. 玉米叶片纤维素含量与冠层光谱特征的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 5—8.
Jiang Hairong, Wang Jihua, Xie Ruizhi, et al. Canopy spectral reflectance in relation to the leaf cellulose contents at different vertical layers of maize plants[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 5—8. (in Chinese with English abstract)
- [13] 何挺, 刘荣, 王静, 等. 野外波谱测量的影响因素研究[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(5): 6—10.
He Ting, Liu Rong, Wang Jing, et al. The Influences factors on field spectrometry[J]. Geography and Geo-Information Science, 2003, 19(5): 6—10. (in Chinese with English abstract)
- [14] 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.
Ji Haiyan, Wang Pengxin, Yan Tailai. Estimations of chlorophyll and water contents in live leaf of winter wheat with reflectance spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(3): 514—516. (in Chinese with English abstract)

Reflective spectral characteristics of apple florescence canopy

Zhu Xicun^{1,2}, Zhao Gengxing^{1*}, Lei Tong¹

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

2. Key Laboratory of Agricultural Ecology and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: The apple florescence is a key stage for apple production and management, and the study of apple canopy reflective spectral is of important theoretical and practical significance. Qixia City, Shandong Province was selected as the study area, and reflective spectral data of 120 apple florescence canopies were obtained. Based on the effects of different sample numbers on reflective spectral, the reflective spectral characteristics of apple florescence canopies with and without flowers, with different amount of flowers, at different florescence stages, and with different ages and species of apple trees were systematically studied by using variance and correlation analysis methods. The results indicated that with the increase of cumulative sample numbers, the reflective spectral curves of apple florescence canopies became stable and smooth. In the wave bands of 431-500, 591-680 and 761-1 300 nm, the variance analysis results of canopies with and without flowers were very significant ($\alpha=0.01$). Results showed that the correlations of canopies with different amount of flowers with reflectances in 391-513, 598-687 and 711-1 193 nm wave bands were significant ($p<0.05$). Reflectance increased at the 670 nm Red Valley and decreased in the near-infrared band of 761-1 300 nm with the increase of flower amount. Reflective spectral characteristics among different apple species of Red Fuji, Jinshuai and New Red Star were hard to be distinguished except that for Gala. These results revealed the tremendous potential of capturing information of apple florescence with hyperspectral measurement, and it provided the references for constructing retrieval models of remote sensing.

Key words: spectrum analysis, models, reflective spectral, apple florescence, canopy