

新疆冬枣偏振参量模型户外光照条件适应性研究

索玉婷^{1,2}, 罗华平^{1,2*}, 李伟^{1,2}, 王长旭^{1,2}, 徐嘉翊^{1,2}

1. 塔里木大学机械电气化工程学院, 新疆 阿拉尔 843300

2. 新疆维吾尔自治区教育厅普通高等学校现代农业工程重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300

摘要 农业遥感检测时,晴朗的天气是采集光谱的必要条件。本研究主要目的是:(1)通过高光谱偏振探测技术,探究不同天气(晴天、阴天、多云)对不同波长下新疆冬枣二向反射分布函数(BRDF)的偏振参量(S_0 , ϵ_0 , f_{00})、线偏振度(Dolp)与理化值模型的影响;(2)对比不同天气条件下的实验结果,为户外红枣品质的遥感探测提供一定的环境适应性参考和前景应用性参考。利用统计分析方法,分析了新疆冬枣水分与其光谱偏振特性的统计关系,分别建立了不同天气条件下 S_0 , ϵ_0 , f_{00} , Dolp的一阶导数光谱形式与新疆冬枣水分含量的统计方程,选用相关系数R、校正集样本的标准差(RMSEC)、预测集样本的标准差(RMSEP)共3个指标对模型的性能和预测能力进行评价。相关性分析结果表明:户外晴天、阴天、多云三种天气条件检测新疆冬枣品质时,水分含量与高光谱偏振数据之间具有较好的相关性,但多云天气条件下偏振参量、线偏振度与水分含量的相关性要优于晴天和阴天条件下的相关性,前者模型的相关系数最大,其 r 值分别为:0.913和0.914,且最接近暗箱光谱与水分含量模型的相关系数R的值:0.926。模型的可行性分析结果表明:三种天气条件下偏振参量、线偏振度与水分含量模型的校正集样本的标准差最大值分别为0.00971和0.00873, RMSEC的值越小,表明模型回归的越好。模型对外部样本的预测能力分析结果表明:三种天气条件下偏振参量、线偏振度与水分含量模型的预测集样本的标准差最大值分别为0.0123和0.0117, RMSEP的值越小,表明模型的预测能力越强,结果越准确。不同天气实验结果表明:因偏振有“强光弱化,弱光强化”的作用,通过对比晴天、阴天、多云实验结果,该方法有较好的环境适应性,在户外红枣品质遥感探测方面有广泛应用前景。

关键词 二向反射分布函数; 高光谱; 线偏振度; 天气; 理化值

中图分类号: TS207.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)01-0223-06

引言

新疆红枣种植面积目前约600万亩,占全国红枣种植面积的近三分之一,盛果期产量将占到全国总产量的50%以上。特色林果业已成为新疆农民致富的一个新的支柱产业,开拓新疆红枣产业市场的影响力和竞争力为其主要任务,因此如何开展快速大面积近地面红枣品质定量遥感检测,是目前农学领域的研究热点和难点。在户外用高光谱检测时,对天气要求比较高,首先必须是晴朗的阳光充足的天气,晴天光照和大气环境相对稳定。阴天光照条件复杂,所建立的普通模型精度低于晴天。而红枣完熟期为9月中旬到10月底,十月的南疆部分地区多云天气偏多,有的时候一周可能仅有

一天是大晴天,因此这样的天气大大降低了新疆近地面红枣品质定量遥感检测的效率。为了探索近地面遥感检测受天气影响的程度,本研究分别模拟晴天、多云、阴天条件,采集不同偏振度(0° , 45° , 90° 和 135°)条件下的冬枣光谱,偏振探测时间相对较短,主要是选择不同天气下光照对检测结果影响的规律。

近年来,众多研究者利用高光谱遥感技术对农作物的检测做了大量的工作^[1-3]。然而这些研究均是在晴朗大太阳的天气下进行的,目前尚未在阴天或多云天气下进行过农作物品质检测的研究。只有赵永强等对于不同的天气条件(晴天、多云、阴天)下的目标分类进行过深入的研究。因此,本文基于偏振探测技术^[5]和不同天气条件下物质分类技术^[4],再结合高光谱技术^[6-9],利用不同天气条件下新疆冬枣的高光谱

收稿日期: 2019-12-14, 修订日期: 2020-05-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(11964030, 111464039, 11164023)资助

作者简介: 索玉婷, 1992年生, 塔里木大学机械电气化工程学院硕士研究生 e-mail: suoyuting777@163.com

* 通讯作者 e-mail: luohuaping739@163.com

偏振数据与室内测定的水分含量数据,采用 TQ-analyst 建模软件,选择一阶导数光谱形式和 Savitzky-Golay 滤波的数据预处理方式,最后用逐步多元线性回归方法(SMLR)建模。构建了不同天气条件下,不同波长下南疆冬枣二向反射分布函数(bidirectional reflectivity distribution function, BRDF)参量(S_0 , ϵ_0 , f_{00})、线偏振度(degree of linear polarization, Dolp)与水分含量的反演模型,旨在南疆红枣近地面定量遥感检测时,可以不受天气条件的制约,从而提高检测精度和检测效率。为今后开展大面积红枣品质定量遥感检测奠定基础。

1 实验部分

1.1 户外模拟不同天气条件下南疆冬枣光谱的测定

采用四川双利合谱科技有限公司生产的 Image- λ -N17E-N3 型增强型近红外高光谱相机采集户外南疆冬枣光谱,其光谱范围是 900~1 750 nm,光谱分辨率为 9 nm。测定时间为北京时间 2019 年 10 月 8 日 13:00—14:00,晴朗无云,风力小于 2 级。样本来自阿拉尔市第一师 10 团同一棵树上的冬枣。测定前对样本标号,连接并调整好仪器,摆放好白板及样本等,白板两侧各 54 个冬枣,共 108 个样本,按照从左到右从上到下的顺序摆放样本。测定时,传感器的探头平行于地面、垂直位于距离白板中心 1.5 m 远的正前方,在阳光下对样本扫描 5 次,分别为无偏、0°偏振、45°偏振、90°偏振、135°偏振,再用两把防晒伞将照射样本和白板的阳光遮起来,模拟阴影环境,并重复阳光下的操作。改变探测器方位角为 0°,30°和 45°,重复阳光下和阴影下的实验操作,并且每改变一次探测器方位角,都要测量一次太阳高度角以及太阳方位角。

1.2 室内暗箱南疆冬枣光谱的测定

户外采集完冬枣光谱后,立即转移到室内,采用北京卓立汉光仪器有限公司生产的 GaiaSorter 高光谱分选仪测定南疆冬枣光谱,按照标号由小到大的顺序,每次测定 12 个冬枣,一共测定 9 次。

1.3 南疆冬枣水分的测定

测定完暗箱光谱后,立即测定冬枣的含水率,采用 GB/5009.3—2010《食品中水分的测定》的方法进行测定。按照标号由小到大的顺序,把每个进行光谱扫描的那一面冬枣切片,大概 3 g 左右,记录重量,放入相对应的独立信封中,最后把所有信封都放入烘箱中,烘干 8 h 后取出称重并记录,再放入烘箱,2 h 后再拿出称重并记录,重复 2 次,取变化最稳定的重量进行水分计算。

1.4 偏振光谱测量方法的原理

1.4.1 阳光天气下偏振光谱 BRDF 测量原理

为了能够获取各种材料的偏振 BRDF 数据,需要通过偏振 BRDF 方程来设计实验方案,确定偏振 BRDF 矩阵的 S_0 , S_1 , S_2 元素(S_0 , S_1 , S_2 均为偏振 BRDF 的参数)。

偏振光谱 BRDF 的参数方程为

$$S_0 = I_0 + I_{90} \quad (1)$$

$$S_1 = I_0 - I_{90} \quad (2)$$

$$S_2 = I_{45} - I_{135} \quad (3)$$

因此,对于某个探测器位置单个光谱波段的偏振 BRDF 数据,需要 4 组目标材料数据,分别为阳光下的四个偏振方向。

线偏振度方程为

$$\text{Dolp} = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{S_0} \quad (4)$$

1.4.2 多云天气下偏振光谱 BRDF 测量原理

为了能够获取各种材料的偏振 BRDF 数据,需要通过偏振 BRDF 遥感辐射控制方程来设计实验方案,确定偏振 BRDF 矩阵的 f_{00} , f_{10} , f_{20} 元素(f_{00} , f_{10} , f_{20} 均为偏振 BRDF 的参数)。

偏振光谱 BRDF 的辐射传输方程为

$$\begin{bmatrix} f_{00} \\ f_{10} \\ f_{20} \end{bmatrix}_{(\lambda)} = \frac{L_t - L_s - L_u}{\tau_r \tau_i \cos \theta_i E_s} = \frac{L_t - \tau_r \iint_{\Omega_i} F_r \cos \theta_i L_s^{\Omega_i} d\Omega_i - L_u}{\tau_r \tau_i \cos \theta_i E_s} \quad (5)$$

式中: L_t 为传感器接收到的总辐射的 Stokes 向量,需要在太阳光下测量得到; L_s 为目标反射的天空散射光的 Stokes 向量,需要在阴影下测量得到; L_u 为经大气散射后,直接沿着目标——探测器方向进入探测器的太阳光,该部分的能量所占比例较少,在地面遥感中近似为零,可以忽略不计。分母中的参数都是未知的,且难以测量,所以需要采用比较测量法来测量目标的偏振光谱 BRDF^[10]。

比较测量法中要求参考材料在整个上半球空间的 BRDF 值 $f_{00\text{-ref}}$ 都为已知。而朗伯板的 BRDF 值恒为 ρ/π (ρ 为半球反射率)^[10]。可以选用接近朗伯板的标准板作为定标板。

综上可得目标的偏振光谱 BRDF 的 Stokes 向量实验计算式为

$$\begin{bmatrix} f_{00} \\ f_{10} \\ f_{20} \end{bmatrix}_{(\lambda)} = \frac{\rho}{\pi(I_{t\text{-ref}0} + I_{t\text{-ref}90}) - (I_{s\text{-ref}0} + I_{s\text{-ref}90})} \times \begin{bmatrix} ((I_{t_0} - I_{s_0}) + (I_{t_{45}} - I_{s_{45}}) + (I_{t_{90}} - I_{s_{90}}) + (I_{t_{135}} - I_{s_{135}}))/2 \\ (I_{t_0} - I_{s_0}) - (I_{t_{90}} - I_{s_{90}}) \\ (I_{t_{45}} - I_{s_{45}}) - (I_{t_{135}} - I_{s_{135}}) \end{bmatrix} \quad (6)$$

因此,对于某个探测器位置单个光谱波段的偏振 BRDF 数据,至少需要 4 组(分别为阳光下和阴影下的两个正交偏振方向)定标材料数据和 8 组(分别为阳光下和阴影下的四个偏振方向)目标材料数据。

类似地还可以得到线偏振度

$$\text{Dolp} = \frac{\sqrt{f_{10}^2 + f_{20}^2}}{f_{00}} \quad (7)$$

1.4.3 阴天天气下偏振光谱 BRDF 测量原理

由于偏振光谱 BRDF 需要采集太阳照射下的图像,而阴天条件下无法实现,所以利用一种变换的特征来代替它。假设其中太阳光下的图像都为 0,则该式可以写成阴影偏振光谱 BRDF

$$\begin{bmatrix} \epsilon_0 \\ \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \end{bmatrix} = \frac{\rho}{\pi(I_{s_ref90} + I_{s_ref0})} \times \begin{bmatrix} (I_{s_0} + I_{s_45} + I_{s_90} + I_{s_135})/2 \\ I_{s_0} - I_{s_90} \\ I_{s_45} - I_{s_135} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: $\epsilon_0, \epsilon_1, \epsilon_2$ 与 f_{00}, f_{10}, f_{20} 相对应, 此时的偏振度定义为

$$Dolp_{(\epsilon)} = \frac{\sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2}}{\epsilon_0} \quad (9)$$

1.5 模型构建方法与精度评价

选取全波段 900~1 750 nm 近红外光谱范围, 首先对光谱进行预处理, 选择一阶导数光谱, 导数处理既可以消除基线偏移, 还可以起到一定的放大和分离重叠信息的作用; 再选择 Savitzky-Golay 滤波(即卷积平滑), 以提高信噪比, 减小数据的随机噪声, 从而提高模型的稳健性。其次从总样本中随机选取 54 个样本, 采用逐步多元线性回归法(SMLR), 对不同天气条件下不同波长新疆冬枣 BRDF 参量(S_0, ϵ_0, f_{00})、Dolp 与水分含量建模。最后选用相关系数 r 、校正集样本的标准差(RMSEC)、预测集样本的标准差(RMSEP)共 3 个指标对模型的性能和预测能力进行评价。 r 能反映出预测值与实测值之间的相关程度, r 越接近 1, 表明预测值与实际值越接近, 相关程度越高, 回归或预测结果越好; RMSEC 用于评价建模的可行性, 值越小, 表明模型回归的越好; RMSEP 用于评价所建模型对外部样本的预测能力, 同样, 值越小, 表明模型的预测能力越强, 结果越准确; 另外, 好的

模型不但有较小的 RMSEC 和 RMSEP, 而且 RMSEC 与 RMSEP 的差值也要小。通常, RMSEP 要大于 RMSEC。利用 TQ-analyst 软件完成数据处理与建模。

2 结果与讨论

2.1 不同天气下冬枣 BRDF 模型

2.1.1 新疆冬枣波长-Dolp 模型

选用全部样本(108 个), 建立不同天气条件下新疆冬枣波长-Dolp 模型, 由图 1(a), (b)和(c)的二维、三维图像可以看出不同天气条件下新疆冬枣高光谱 Dolp 既有明显差异, 又有明显相同特征:

(1)不同天气条件下新疆冬枣 Dolp 变化趋势以及数值有明显的差异, 多云天气下的 Dolp 减小时, 晴天和阴天下的 Dolp 增大。晴天 Dolp > 阴天 Dolp > 多云 Dolp, 且晴天 Dolp > 0、阴天 Dolp > 0、多云 Dolp < 0。大多数 PBRDF 研究中的 Dolp 均为正值, 很少会出现负值的情况, 而本研究多云天气下 Dolp 为负值的原因如下

$$\begin{aligned} (I_{t_0} - I_{s_0}) &< 0 \\ (I_{t_45} - I_{s_45}) &< 0 \\ (I_{t_90} - I_{s_90}) &< 0 \\ (I_{t_135} - I_{s_135}) &< 0 \\ ((I_{t_0} - I_{s_0}) + (I_{t_45} - I_{s_45}) + \\ (I_{t_90} - I_{s_90}) + (I_{t_135} - I_{s_135}))/2 &< 0 \end{aligned}$$

根据 Dolp 化简后的公式可知

$$Dolp = \frac{\sqrt{((I_{t_0} - I_{s_0}) - (I_{t_90} - I_{s_90}))^2 + ((I_{t_45} - I_{s_45}) - (I_{t_135} - I_{s_135}))^2}}{((I_{t_0} - I_{s_0}) + (I_{t_45} - I_{s_45}) + (I_{t_90} - I_{s_90}) + (I_{t_135} - I_{s_135}))/2}$$

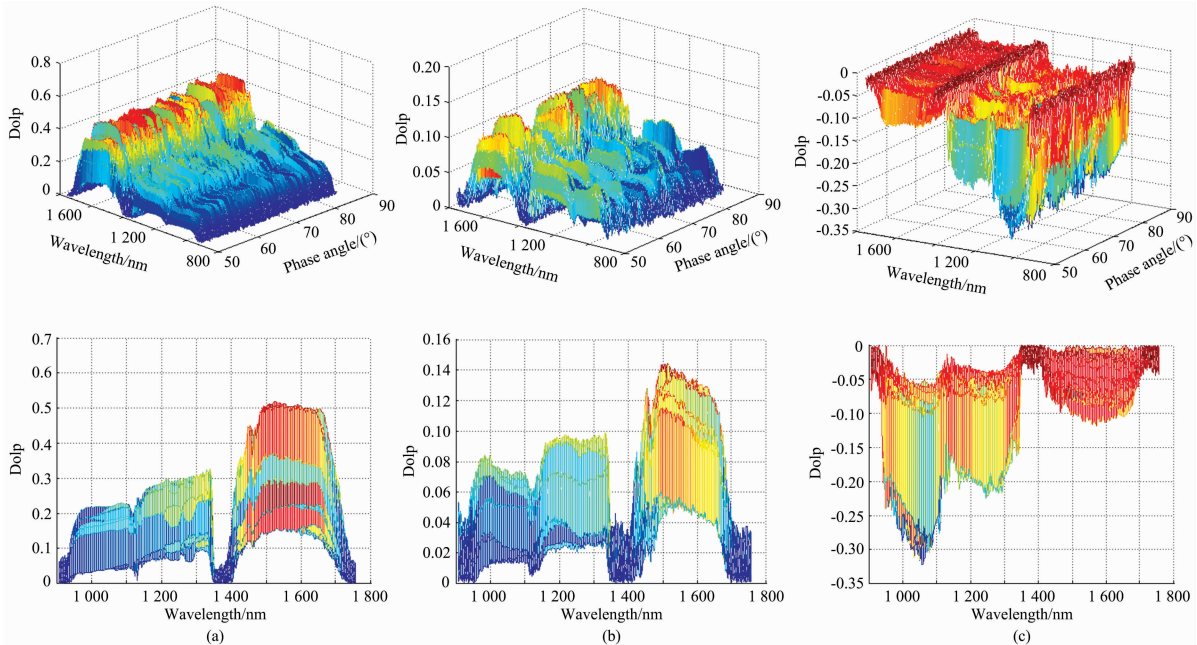


图 1 不同波长冬枣 Dolp 模型对比

(a): 晴天; (b): 阴天; (c): 多云

Fig. 1 Comparison of Dolp models of Dongzao with different wavelengths

(a): Sunny; (b): Cloudy; (c): Cloudy

故: $Dolp < 0$

(2)不同天气条件下南疆冬枣 $Dolp$ 都有相同特征, 在 1 100 和 1 300 nm 附近出现极值, 是因为此处为冬枣的两个反射峰。在 1 400 nm 处特征最为明显, 是因为此处为南疆冬枣特征波长吸收峰。

2.1.2 南疆冬枣波长-偏振参量 S_0 , ϵ_0 , f_{00} 模型

根据不同天气条件下南疆冬枣波长-偏振参量 S_0 , ϵ_0 , f_{00} 的二维、三维模型可知, 晴天 $S_0 > 阴天 \epsilon_0 > 多云 f_{00}$, 且 $S_0 > 0$, $\epsilon_0 > 0$, $f_{00} < 0$, 虽然不同天气条件下 S_0 , ϵ_0 , f_{00} 数值

上相差较大, 甚至有正负之分, 但 S_0 , ϵ_0 , f_{00} 都有相同特征, 在 990 nm 附近都出现谷值, 是因为 992.65 nm 为南疆冬枣品质特征波长吸收峰; 在 1 100 nm 附近则出现明显峰值, 是因为此处即存在特征波长吸收峰(1 188.96 nm), 又存在反射峰(1 107.68 nm); 在 1 400 nm 附近特征最为明显。在大多数 PBRDF 研究中偏振参量也均为正值, 很少会出现负值的情况, 而本研究多云天气下偏振参量 f_{00} 为负值(证明同 $Dolp$)。

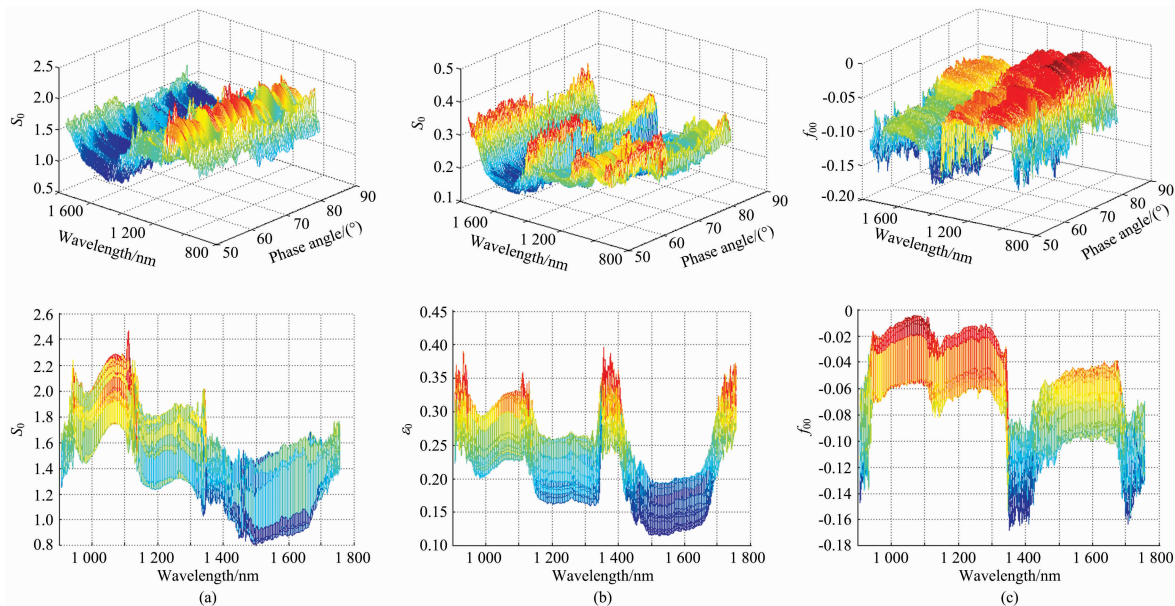


图 2 不同波长冬枣偏振参量 S_0 , ϵ_0 , f_{00} 模型对比

(a): 晴天; (b): 阴天; (c): 多云

Fig. 2 Comparison of polarization parameters S_0 , ϵ_0 and f_{00} models of Dongzao at different wavelengths

(a): Sunny; (b): Cloudy; (c): Cloudy

2.2 不同天气下南疆冬枣 BRDF 与理化值建模结果分析

2.2.1 南疆冬枣 $Dolp$ -水分模型

图 3(a), (b), (c)和(d)所示, 分别为不同天气条件下不同波长南疆冬枣 $Dolp$ 与水分含量模型。模型中校正集样品个数均为 36, 预测集样品个数均为 18, 晴天、阴天、多云、暗箱条件下, $Dolp$ -水分含量模型预测集的相关系数 r 分别为: 0.846, 0.865, 0.914 和 0.926, 校正集样本的标准差 RMSEC 分别为: 0.008 73, 0.008 35, 0.007 64 和 0.008 76, 预测集样本的标准差 RMSEP 分别为: 0.010 6, 0.009 52, 0.011 7 和 0.000 985, RMSEC 与 RMSEP 的差值分别为: 0.001 87, 0.001 17, 0.004 06 和 0.007 775。由 RMSEC 与 RMSEP 的数值以及差值均小于 0.008, 可得知不同天气条件下的 $Dolp$ -水分模型具有很好的预测能力和可行性; 由相关系数的大小关系: $r_{暗箱} > r_{多云} > r_{阴天} > r_{晴天}$, 可得出多云天气时南疆冬枣 $Dolp$ -水分模型的相关程度最好, 晴天条件下最差, 因此可以得出当户外天气为多云时, 依旧可以对南疆冬枣进行水分含量检测, 而且其相关程度要好于晴天。

2.2.2 南疆冬枣偏振参量 S_0 , ϵ_0 , f_{00} -水分模型

图 4(a), (b), (c)和(d)所示, 分别为不同天气条件下不同波长南疆冬枣偏振参量 S_0 , ϵ_0 , f_{00} 与水分含量模型。模型中校正集样品个数均为 36, 预测集样品个数均为 18, 晴天、阴天、多云、暗箱条件下, 偏振参量 S_0 , ϵ_0 , f_{00} -水分含量模型预测集的相关系数 r 分别为: 0.879, 0.796, 0.913, 0.926, 校正集样本的标准差 RMSEC 分别为: 0.007 87, 0.009 71, 0.007 00, 0.008 76, 预测集样本的标准差 RMSEP 分别为: 0.011 9, 0.012 3, 0.010 5, 0.009 85, RMSEC 与 RMSEP 的差值分别为: 0.004 03, 0.002 59, 0.003 5 和 0.001 09。由 RMSEC 与 RMSEP 的数值以及差值均小于 0.005, 可得知不同天气条件下的偏振参量 S_0 , ϵ_0 , f_{00} -水分模型具有很好的预测能力和可行性; 由相关系数的大小关系: $r_{暗箱} > r_{多云} > r_{晴天} > r_{阴天}$, 可得出暗箱时南疆冬枣偏振参量 S_0 , ϵ_0 , f_{00} -水分模型的相关程度最好, 而多云天气条件下的相关程度与暗箱条件下最为相近, 阴天条件下最差, 因此可以得出当户外天气为多云时, 依旧可以对南疆冬枣进行水分含量检测, 而且其相关程度要好于晴天。

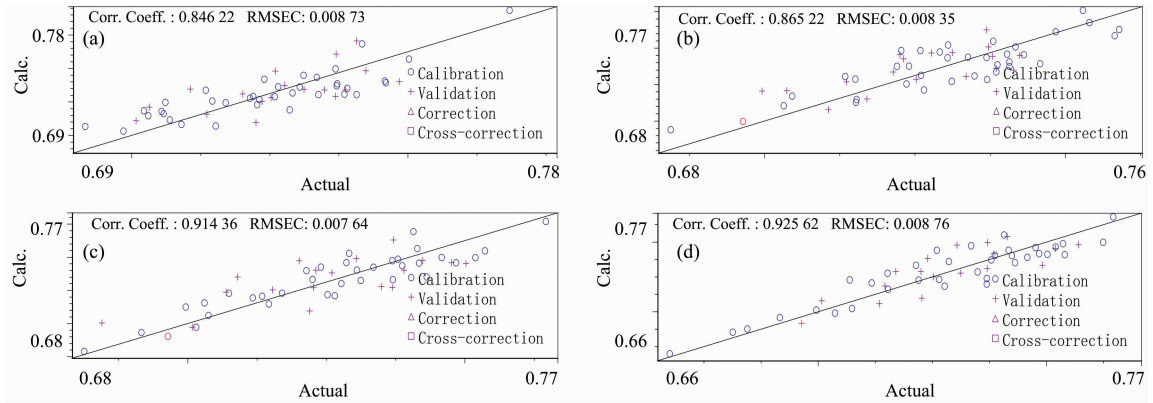


图 3 不同波长冬枣 Dolp 与水分模型对比

(a): 晴天; (b): 阴天; (c): 多云; (d): 暗箱

Fig. 3 Comparison of Dolp and water model of Dongzao with different wavelengths

(a): Sunny; (b): Cloudy; (c): Cloudy; (d): Camera obscura

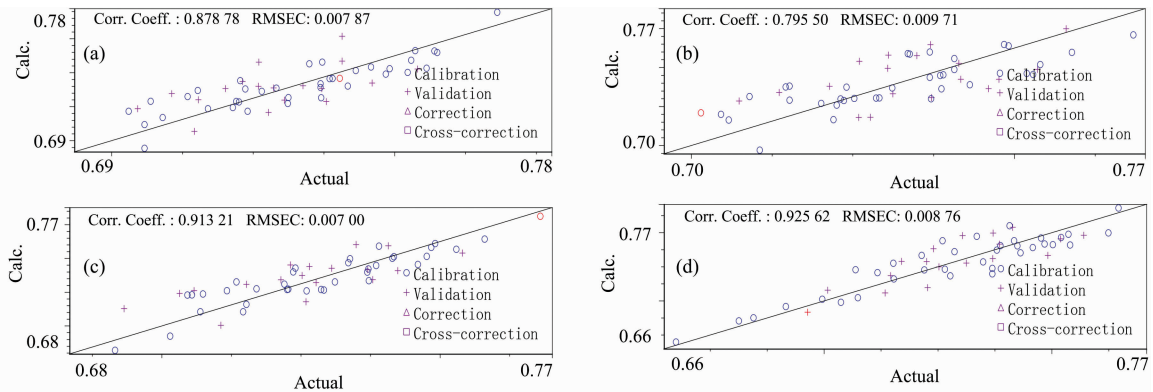


图 4 不同波长冬枣偏振参量 S_0 , ϵ_0 , f_{00} 与水分模型对比

(a): 晴天; (b): 阴天; (c): 多云; (d): 暗箱

Fig. 4 Comparison of polarization parameters S_0 , ϵ_0 , f_{00} and water model of Dongzao with different wavelengths

(a): Sunny; (b): Cloudy; (c): Cloudy; (d): Camera obscura

3 结论

(1) 不同天气条件下新疆冬枣偏振参量 S_0 , ϵ_0 , f_{00} 和 Dolp 既有相同特征又有不同特征。相同特征, 在 1 100 nm 附近都出现极值, 是因为此处新疆冬枣存在特征波长反射峰 (1 107.68 nm) 和吸收峰 (1 188.96 nm), 在 1 400 nm 附近其特征都最为明显, 是因为此处为新疆冬枣特征波长吸收峰; 不同特征, 在数值上, 晴天 > 阴天 > 多云, 且晴天 > 0、阴天 > 0、多云 < 0, 不同天气条件下 S_0 , ϵ_0 , f_{00} 和 Dolp 数值上相差较大, 甚至有正负之分, 以多云天气条件下的数值最为特

别, S_0 , ϵ_0 , f_{00} 和 Dolp 均为负值。

(2) 户外晴天、阴天、多云三种条件检测新疆冬枣水分时, 多云天气偏振参量、Dolp 与水分模型预测集的相关系数最大, r 值分别为: 0.913 和 0.914, 且最接近暗箱与水分模型的相关系数 r 的值: 0.926。根据不同天气条件下, 不同波长下新疆冬枣偏振参量、Dolp 与水分模型的 RMSEC 与 RMSEP 的数值以及差值, 水分模型差值均小于 0.008, 表明该水分模型具有较好的预测能力和可行性; 因偏振有强光弱化, 弱光强化的作用, 通过对比晴天、阴天实验结果, 该方法有较好的环境适应性, 在户外红枣品质遥感探测方面有广泛应用前景。

References

[1] Knyazikhin Y, Schull M A, Stenberg P, et al. PNAS, 2012, 110: 185.
 [2] Huang Zhi, Turner B J, Dury S J, et al. Remote Sensing of Environment, 2004, 93: 18.
 [3] Wang Wei, Yao Xia, Tian Yongchao, et al. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(12): 2001.
 [4] CHEN Chao, ZHAO Yong-qiang, CHENG Yong-mei(陈超, 赵永强, 程咏梅). Acta Photonica Sinica(光子学报), 2010, 39(6): 1026.

- [5] Yang Min, Xu Wenbin, Sun Zhenyuan, et al. Optics Communications, 2019, 453: 124390.
- [6] Wang Kai, Zhu Jingping, Liu Hong. J. Opt. Soc. Am. , 2017, A34: 259.
- [7] Ingmar G E Renhorn, Glenn D Boreman. Optics Express, 2018, 26: 17099.
- [8] Hyde M W, Schmidt J D, Havrilla M J. Optics Express, 2009, A17: 22138.
- [9] Samuel D Butler, Stephen E Nauyoks, Michael A Marciniak. Optics Express, 2015, 23: 29100.
- [10] YANG Tie-heng, ZHAO Yong-qiang, PAN Quan(杨铁恒, 赵永强, 潘 泉). Acta Photonica Sinica(光子学报), 2008, 37(12): 2520.

Study on the Adaptability of Polarization Parameter Model of Winter Jujube in South Xinjiang to Outdoor Light Conditions

SUO Yu-ting^{1,2}, LUO Hua-ping^{1,2*}, LI Wei^{1,2}, WANG Chang-xu^{1,2}, XU Jia-yi^{1,2}

1. College of Mechanic and Electrical, Tarim University, Alar 843300, China

2. Modern Agricultural Engineering Key Laboratory at Universities of Education Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Alar 843300, China

Abstract In agricultural remote sensing detection, clear weather is the necessary condition to collect spectrum. The main purpose of this study is: (1) to explore the influence of different weather (sunny, cloudy, cloudy) on the polarization parameters (S_0 , ϵ_0 , f_{00}), linear degree of polarization (Dolp) and physical and chemical value modes of different wavelengths of the BRDF of Dongzao in South Xinjiang through the hyperspectral polarization detection technology; (2) to compare the experimental results under different weather conditions for the remote control of outdoor jujube quality sensing detection provides a certain reference for environmental adaptability and prospective application. In this study, the statistical relationship between the water content of Dongzao jujube in South Xinjiang and its spectral polarization characteristics were analyzed. The first derivative spectral form of S_0 , ϵ_0 , f_{00} , Dolp and the statistical equation of water content of Dongzao jujube in South Xinjiang were established under different weather conditions. Three indexes were selected: correlation coefficient r , the standard deviation of calibration set (RMSEC) and standard deviation of prediction set (RMSEP) The performance and prediction ability of the model are evaluated. The results of correlation analysis showed that there was a good correlation between water content and hyperspectral polarization data when the quality of winter jujube was detected in sunny, cloudy and cloudy weather conditions, but the correlation between polarization parameter, linear polarization and water content was better than that in sunny and cloudy weather conditions. The former model had the largest correlation coefficient, and its r -score was the highest They are 0.913 and 0.914, and the value of correlation coefficient r of dark box spectrum and moisture content model is closest to 0.926. The feasibility analysis results of the model show that the maximum standard deviation of the calibration set samples of polarization parameter, linear polarization degree and water content model under three weather conditions are 0.009 71 and 0.008 73, respectively. The smaller the RMSEC value is, the better the model is established. The results show that the maximum standard deviation of the three weather models is 0.012 3 and 0.011 7, respectively. The smaller the RMSEP value is, the better the prediction ability of the model is. The results of different weather experiments show that the polarization can weaken the strong light and strengthen the weak light. By comparing the experimental results of sunny, cloudy and cloudy days, the method has better environmental adaptability and has a wide application prospect in outdoor jujube quality remote sensing detection.

Keywords Bidirectional reflection distribution function; Hyperspectral; Linear degree of polarization; Weather; Physical and chemical value

(Received Dec. 14, 2019; accepted May 10, 2020)

* Corresponding author