

基于光谱指数的仙客来叶片含水率检测方法研究

李 璐, 宋文龙

(东北林业大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要:以仙客来为试材,研究了在不同水分处理情况下仙客来冠层光谱与叶片含水率之间的关系,并对不同叶片含水率与水分指数之间关系进行了线性、二项式与指数反演研究。结果表明:不同时期下冠层叶片含水量的敏感波段为 944、1 033、1 105、1 970、2 813、3 350 nm;采用计算归一化水分指数 NDVI (820, 1 600)进行光谱指数计算,结果表明,指数回归模型检测结果最优,决定系数为 0.73006;所建立的回归模型可以进行仙客来水分状况监测。

关键词:仙客来;叶片含水率;反射光谱;光谱指数

中图分类号:S 682 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)13-0075-03

水资源短缺是我国乃至全球在内的贫水国家无法回避的问题。植物中的水分对植物的生长具有不可或缺的功能,是影响植物光合作用和生物量的主要因素之一。如何根据不同生育阶段植物对水分需求的敏感性和需水规律,适时适量地科学供水,满足植物生长发育的需水要求,是实现节约用水新的研究领域。植物叶片是植物进行蒸腾作用与光合作用的主要场所,同时叶片又具有体积小和取样方便等特点,所以植物叶片的含水率已经成为检测植物含水率的一个重要参数。

随着遥感技术的飞速发展,使植物水分状况信息的实时和准确获取逐渐成为可能。Tian 等^[1]利用近红外 1 650~1 850 nm 波段的吸收深度与吸收面积反演小麦单叶水分状态。Seelig 等^[2]利用可见光、近红外以及短波红外的比值指数反演百合的叶片相对含水率(RWC),发现比值指数 R_{1300}/R_{1450} 与叶片含水率具有较好的相关性。Chen 等^[3]用短波红外波段 1 640 nm 和 2 130 nm 建立了指数 NDWI₁₆₄₀ 和 NDWI₂₁₃₀,并对中等分辨率成像光谱仪影像利用 NDVI 和 NDWI 来反演大豆的含水率,取得了很好的效果,此外试验证明该方法估算其它作物含水率也是非常有效的。Cheng 等^[4]提出利用可持续小波变换方法分析叶片水分含量反射光谱,克服其它

因素对反射光谱的影响,为检测叶片水分状况提供一个新思路。为实现精准灌溉,国内许多学者针对检测植物本身水含量也做了很多研究,田永超等^[5]采用统计方法研究了不同土壤水、氮条件下小麦冠层反射特性与叶片和植株水分状况的相关性,并提出了一种新的植被水分指数 $R(610, 560)/D(810, 610)$ 预测小麦水分状况。阿布都瓦斯提·吾拉木等^[6]提出的短波红外垂直失水指数(Shortwave Infrared Perpendicular Water Loss Index, SPSI)模型对更大尺度植被含水率监测精度达到了 74%。苏毅等^[7]研究棉花冠层光谱参数与水分的定量关系,建立了植株含水率的监测模型,为精准灌溉提供了无损、快速的水分检测技术。蒋金豹等^[8]分析了不同含水率小麦冠层光谱特征以及与病情指数之间的关系,根据条锈病胁迫下小麦冠层光谱特征,再结合前人研究的方法与经验,利用近红外与短波红外波段构建高光谱比值指数,并用线性回归方法建立反演条锈病胁迫下的小麦含水率模型。

虽然国内外专家已经对植物生长过程需水状况进行了大量的试验和少量的数值模拟研究,但是目前主要集中在农作物、树种等植株研究方面,缺乏对花卉水分状况检测的应用研究,如何通过光谱分析检测花卉体内需水信息尚待研究。此外缺少合理的表示含水率与光谱指数相关关系的归一化模型。由于植物种类的多样性,固有的拟合模型不完全适应每一物种,所得到的相关关系也会产生一定量的偏差,因而如何建立叶片含水率与光谱指数相关关系的归一化模型是研究的关键问题。因此,该文选择仙客来作为试验花卉,确定植株水分的敏感波段,研究植株冠层光谱指数与叶片含水率之间的定量关系,建立合理的表示含水率与光谱指数相关关系的归一化模型,以期监测植株水分状态及指导有

第一作者简介:李璐(1978-),女,齐齐哈尔人,博士,讲师,研究方向为植物信息检测。E-mail:lijun2010@nefu.edu.cn.

责任作者:宋文龙(1973-),男,吉林通化人,博士,教授,现主要从事林业信息检测研究等工作。E-mail:wlsong139@126.com.

基金项目:黑龙江省自然科学基金资助项目(QC2013C035);黑龙江省教育厅科学技术研究资助项目(12533014);黑龙江省博士后资助项目(LRB11-334);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2572014CBL3)。

收稿日期:2014-05-19

效灌溉节约水资源提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试仙客来为法国进口品种“莫莱尔”，所用花盆大小 150 mm×135 mm，深 135 mm，供试土壤为东北草炭土：珍珠盐=3：1，有机质含量 60%，全氮 2.5%，全磷 0.3%，有效磷 0.2%，田间持水量为 50%。肥料运筹选择美国进口花肥-花多多，全生育期化控 8~10 次。

1.2 试验方法

试验在黑龙江省农业科学院园艺分院花卉研究所温室中进行。为了研究光谱指数随叶片含水率不同而产生的变化，试验选择相同的仙客来品种在生长期人工进行干旱、微少、适量及溢水 4 种不同水分处理方式，随机区组排列，试验期内采用手动浇灌。温室内温度控制在白天 25~28℃，夜间 7℃左右。

1.3 项目测定

1.3.1 光谱数据测量 试验采用 FTIR-650 型傅立叶变换红外光谱仪，波数范围 4 000⁻¹~650⁻¹，采样区间为 1 nm，每次扫描一条光谱曲线时间约在 2~5 s。不同水分处理的仙客来植株选取 20 个样本，共计 40 个样本，每个样本中选取冠层 3 片叶。其中 20 个样本用于测量，20 个样本用于模型验证。由于条件所限，试验采用离体测量，用剪刀剪下叶片，迅速装入密闭袋中，降低水分流失，带着样品进行光谱数据采集，将叶片放置在光谱仪载物台上，测量之前将光谱探头置于工作台上，垂直于叶片，测量时将探头紧贴仙客来叶片，设定视场为 25°，测量 50 次取平均值。

1.3.2 叶片含水率的测量 采用烘干法测量叶片含水率。在测量光谱数据后，迅速将鲜叶称重，选取有代表性的植株叶片，用仪器秤取叶片鲜重数值，保留小数点后 4 位即可。测量完所有叶片鲜重后再将叶片装入纸袋，开启电热恒温鼓风箱，先将鼓风箱温度调至 100℃进行杀青 15 min，然后再将温度调至 75℃，烘干叶片，时间设定为 12 h。烘至恒重后再测量其叶片干重，同样保留小数点后 4 位。叶片含水率公式如下： $LWC_F = (FW - DW) / FW \times 100\%$ ，其中 FW 表示叶片鲜重， DW 表示叶片干重，由此可知 LWC_F 是小于 1 的数值。

2 结果与分析

2.1 不同叶片含水率的反射光谱

图 1 为 153~2 500 nm 波长范围内 4 种不同水分处理后叶片含水率反射光谱波形图。从图 1 可以看出，在干旱、微少、适量、溢水情况下，叶片反射光谱值是逐渐升高的。叶片冠层含水率与光谱波段在 944、1 033、1 105、1 970、2 813、3 350 nm 左右出现明显的光谱吸收。说明叶片含水率之间存在联系。因此，对波长分成几段区

间进行植株的相应含水率相关分析。衡量叶片含水率与仙客来叶片反射光谱相关性，相关系数计算公式如下：

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})(B_i - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})^2}}$$

其中 r_{xy} 表示仙客来植株的叶片含水率的相关系数， A_i 表示叶片含水率， B_i 表示叶片的光谱反射率。893~960 nm 波段相关系数最高为 1 997，最低为 1 752；1 012~1 045 nm 波段相关系数最高为 1 930，最低为 1 894；2 796~2 993 nm 波段相关系数最高为 1 786，最低为 1 657。可见上述 3 个波段与植物含水率均具有一定的相关性。其中，2 796~2 993 nm 波段相关性一般，1 012~1 045 nm 波段相关性较好，893~960 nm 波段相关性最好，说明即 893~960 nm 是仙客来植株对水分最敏感的波段。

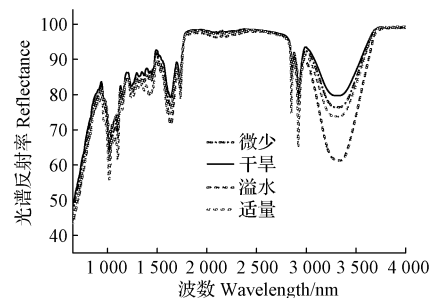


图 1 不同含水率叶片的反射光谱

Fig. 1 Reflectance response of different amounts of LWC_F

2.2 光谱指数与叶片含水率之间的回归分析

从仙客来含水率关系光谱进行特征提取，从而建立叶片含水率监测模型。该试验采用归一化水分指数 NDWI(820, 1 600) 进行光谱指数计算，并采用不同模型进行回归，如图 2 所示，对比了指数、线性及二项式回归结果，回归模型及决定系数如下：

$$Y = 0.65579 + 0.31253x, R^2 = 0.67759;$$

$$Y = 0.71348 - 0.01374x + 0.35174x^2, R^2 = 0.71743;$$

$$Y = 0.02338e^{\frac{x}{0.3408}} + 0.69249, R^2 = 0.73006;$$

可以看出指数回归结果决定系数最高，线性回归结果决定系数最低。

但是不同波段的归一化指数得到的回归方程也不尽相同，在上述 6 个敏感峰值(944、1 033、1 105、1 970、2 813、3 350 nm)波段区间，波长反射率与叶片含水率的回归方程见表 1。由表 1 可知，相关系数最高的是 1 000~1 050 nm 波段，相关性极其显著，该模型对仙客来植株叶片含水率的反演精度最高，而 1 033 nm 处可以作为反演的重要一点。而且在此波段模型预测相对稳定，受环境和自身的干扰较小，实用性强于其它波段的模型。

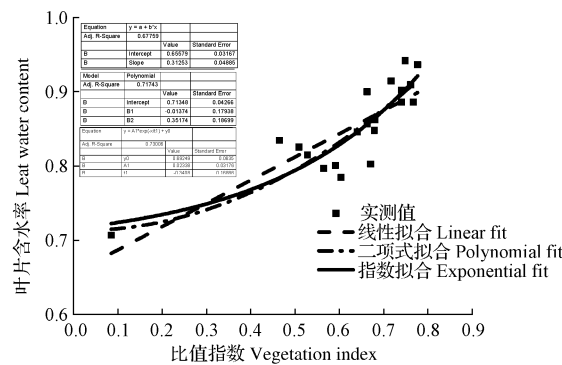


图 2 叶片含水率与归一化指数的相关关系

Fig. 2 The correlation of leaf water content on normalized difference vegetation index

表 1 回归方程

Table 1 Regression equation

| 光谱指数 | 波段/nm | 多项方程式 | R ² |
|------|-------------|------------------------------|----------------|
| 归一化水 | 650~960 | $y=0.354x^2-0.6734x+0.7256$ | 0.7226 |
| | 1 000~1 050 | $y=0.3843x^2-0.4563x+0.8242$ | 0.7736 |
| 分指数 | 1 050~1 189 | $y=0.4563x^2-0.2634x+0.3645$ | 0.7209 |
| | 1 870~2 010 | $y=0.3674x^2-0.1234x+0.7345$ | 0.7353 |
| | 2 778~2 889 | $y=0.4843x^2-0.2544x+0.3757$ | 0.7198 |
| | 3 280~3 423 | $y=0.5345x^2-0.6063x+0.256$ | 0.7459 |

3 结论

该试验讨论了应用光谱技术反演仙客来叶片含水率的方法。通过光谱分析找到仙客来的水分敏感波数为 944、1 033、1 105、1 970、2 813、3 350 nm。对冠层叶片含水率与不同波段组成的归一化植被指数(NDVI)进行单一波段的线性、指数及二项式回归分析,并估测模型精度,在单一波段内回归结果显示指数回归模型决定系数最高。利用该方法可以进行仙客来水分状况监测,随着遥感技术的方法,监测结果对节水灌溉具有理论指导意义。

参考文献

[1] Tian Q, Tong Q, Pu R, et al. Spectroscopic determination of wheat wa-

ter status using 1 650~1 850 nm spectral absorption features[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(12): 2329-2338.
[2] Seelig H D, Hoehn A, Stodieck L S, et al. Relations of remote sensing leaf water indices to leaf water thickness in cowpea, bean, and sugarbeet plants [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(2): 445-455.
[3] Chen D, Huang J, Jackson T J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near-and short-wave infrared bands [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 98(2): 225-236.
[4] Cheng T, Rivard B, Sánchez-Azofeifa G A, et al. Continuous wavelet analysis for the detection of green attack damage due to mountain pine beetle infestation[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(4): 899-910.
[5] 田永超,朱艳,曹卫星,等. 小麦冠层反射光谱与植株水分状况的关系[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2072-2076.
[6] 阿布都瓦斯提·吾拉木,李召良,秦其明,等. 全覆盖植被冠层水分遥感监测的一种方法:短波红外垂直失水指数[J]. 中国科学 D 辑:地球科学, 2007, 37(7): 957-965.
[7] 苏毅,王克,李少昆,等. 棉花植株水分含量的高光谱监测模型研究[J]. 棉花学报. 2010, 22(6): 554-560.
[8] 蒋金豹,黄文江,陈云浩. 用冠层光谱比值指数反演条锈病胁迫下的小麦含水率[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(7): 1939-1943.

Study on Detection Method of Cyclamen Leaf Water Content Based on Spectral Index

LI Jun, SONG Wen-long

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract: Taking Cyclamen as materials, the relationship between canopy reflectance characteristics and plant water status of Cyclamen under different water levels were studied and the correlations between normalized difference water index and Cyclamen leaf water content were studied by linear fit, polynomial fit and exponential fit. The results showed that the water contents of canopy leaf had a significant correlation with the spectral reflectance bands of 944, 1 033, 1 105, 1 970, 2 813, 3 350 nm at different growth stages. Also, the water contents of canopy leaf could be a best correlation with the normalized difference vegetation index NDVI (820, 1 600), whose coefficient of determination was 0.73006. The best regression models to estimate leaf water rate were set up.

Key words: Cyclamen; leaf water rate; reflectance spectra; spectral index