

雷竹冠层叶片反射光谱特征及其对叶片水分变化的响应

张 玮¹, 王鑫梅², 潘庆梅², 谢锦忠¹, 张劲松², 孟 平^{2*}

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400;

2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

摘要: [目的] 研究雷竹冠层叶片反射光谱特征及其水分敏感波段, 筛选与叶片水分指标相关性较高的光谱指数, 为雷竹叶片水分的非破坏性估算提供参考。 [方法] 以重要笋用竹种雷竹为研究对象, 通过自然失水法研究叶片反射光谱对叶片水分变化的响应特征, 以常用反射光谱指数对叶片水分指标进行相关性检验, 对不同反射光谱指数与叶片相对含水量进行了回归方程拟合。 [结果] 雷竹叶片含水量与其光谱反射率在近红外区呈负相关关系; 光谱反射率敏感性分析表明, 在 1 400 ~ 1 600、1 800 ~ 2 000 nm 波段附近, 光谱反射率对叶片水分变化较其他波段敏感; 不同光谱指数与叶片水分指标的相关性分析及回归方程拟合结果表明, 在所选光谱指数中水分胁迫指数 $MSI(R_{820}/R_{1600})$ 、比值指数 $SRI(R_{1300}/R_{1450})$ 与叶片相对含水量的拟合效果较好。 [结论] 雷竹叶片水分含量与其光谱反射率在近红外区, 尤其 1 400 ~ 1 600、1 800 ~ 2 000 nm 波段附近呈负相关关系, 水分胁迫指数 $MSI(R_{820}/R_{1600})$ 、比值指数 $SRI(R_{1300}/R_{1450})$ 对雷竹叶片相对含水量的估算精度较其它光谱指数更高。

关键词: 雷竹; 冠层叶片; 水分; 反射光谱指数

中图分类号: S718.43; S795

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)03-0073-07

水分对植物的生长发育至关重要^[1-3], 竹林正常生长需要大量水分, 水分供给是笋用林高产高效的关键^[4]。但竹类植物根系通常分布较浅, 对表层土壤水分变化敏感^[5], 尤其是夏秋季竹鞭快速生长期, 季节性干旱严重影响竹林地下系统的更新及竹林产量^[6-7]。目前我国东部发达地区在竹林生产管理中, 尤其在笋用林中开始试行竹林灌溉, 快速准确地评估竹子水分状况对于指导科学灌溉具有重要意义。

监测叶片水分变化是评估植物水分状况的一种有效途径^[8-9]。传统的生理生化分析方法对叶片水分含量进行测定的过程具有破坏性且难以实时监测, 植物反射光谱探测技术由于能够快速有效地获取叶片的水分含量等信息而受到重视^[10-12]。Gao 等研究发现, 通过机载可见红外成像光谱仪数据中的非线性和线性最小二乘法匹配技术重新获得的叶片等效水厚度 (EWT) 值与地面测量结果一致^[13]。

Peñuelas 等利用 970 nm 和 900 nm 波段光谱反射率的比值来估算植物水分状况^[14]。也有研究表明叶片的叶绿素含量、含水率及单位面积叶质量可以通过双波段光谱指数进行估算^[15]。但不同的试验材料其反射光谱的敏感特征可能存在差异, 如小麦 (*Triticum aestivum* L.) 冠层叶片含水率与 460 ~ 510、610 ~ 680 和 1 480 ~ 1 500 nm 波段范围内的光谱反射率有较高的相关性^[16]; 锐齿槲栎 (*Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim. ex Wenz.) 在 955 ~ 970、1 400 ~ 1 500、1 650 ~ 1 750 nm 等波段的光谱反射率与叶片水分有较高的相关性, 且不同的光谱指数对特定植物的敏感性也可能不同^[17]。

雷竹 (*Phyllostachys violascens* (Carr.) A. et C. Riv. 'Prevernalis') 隶属禾本科 (Poaceae) 竹亚科 (Bambusoideae) 刚竹属 (*Phyllostachys* Sieb. et Zucc.), 为我国重要的笋用竹种, 在南方分布广、经

收稿日期: 2018-03-06 修回日期: 2018-11-12

基金项目: 中国林科院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (CAFYBB2016SY011)

* 通讯作者: 孟平. E-mail: mengping@caf.ac.cn

济价值较高^[18],研究雷竹叶片反射光谱特征有助于进一步了解和评估刚竹属笋用竹种水分及养分状况。由于植物叶片的反射光谱同时受叶片含水量、叶绿素、淀粉和蛋白质等因素的影响,为了尽量减少其它生化指标对光谱的干扰,本研究采用自然失水法使雷竹叶片水分在短期内形成梯度变化,同步测量叶片的反射光谱特征,探究反射光谱对叶片水分变化的响应,并以不同的反射光谱指数为参考,分析反射光谱指数与叶片水分指标的相关性,进行回归方程的构建,以期雷竹叶片水分的估算提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区域及材料

试验区位于浙江省杭州市临安区(29°56'~30°23' N, 118°51'~119°72' E)太湖源观赏竹种园内,该区处于亚热带季风区,年均气温 15.4℃,年降水量 1 250~700 mm,年日照时数 1 850~1 950 h,年均无霜期 235 d,年均空气相对湿度在 80% 以上。

试验材料为田间正常生长的雷竹,2017 年 3 月 31 日选择生长状况较为一致的 2 年生竹株切鞭进行单株盆栽,竹株平均胸径 3.6 cm,平均高度 4.0 m,盆栽土壤为红壤,盆栽后所有雷竹采用常规统一管理进行恢复性生长。

1.2 试验方法

1.2.1 叶片处理与含水率测定 采用自然干燥失水法^[17]模拟水分快速散失:2017 年 8 月 31 日选取盆栽 3 株样竹,每株样竹各选冠层位置不同朝向 5 片成熟叶片作为测试样品,叶片采下后立即编号,用万分之一天平称量叶鲜质量(W_f)并同步测定叶面积(LAI)和其反射光谱曲线,然后将叶片放置在室内自然失水,在失水处理的第 2、4、6、8、16、18、22 h 分

别称质量(记为 $W_t, t = 2, 4, 6, 8, 16, 18, 22$)并同步测定其反射光谱曲线,之后将叶片浸在纯净水中 12 h,使其充分吸水,称其饱和含水质量(W_s),最后将叶片放入烘箱内杀青并烘干至恒质量(W_d)。

1.2.2 叶片反射光谱的测定 采用美国 ASD 公司的 FieldSpec4 地物光谱仪测定叶片的反射光谱值,利用仪器内置光源及自带的叶片夹与探头进行测定,每组数据测量前进行标准白板校正,每一叶片测定 4 次,取平均值。光谱测量的波长范围为 350~2 500 nm,分辨率为 1 nm。

1.3 数据处理与分析

1.3.1 叶片含水量相关指标的计算 分别按如下公式计算样品的水分相关指标:

$$\text{叶片水分干质量比}(SWC) = (W_t - W_d) / W_d$$

$$\text{叶片水分鲜质量比}(LMP) = (W_t - W_d) / W_t$$

$$\text{叶片相对含水量}(RWC) = (W_t - W_d) / (W_s - W_d)$$

$$\text{叶片等效水厚度}(EWT) = (W_t - W_d) / LAI$$

1.3.2 叶片光谱反射率相关指标的计算 使用仪器自带软件计算光谱数据平均值并导出作为原始光谱反射率,按如下公式计算光谱反射率差值和光谱反射率敏感性:

$$\text{光谱反射率差值} = R_x - R_0$$

$$\text{光谱反射率敏感性} = (R_x - R_0) / R_0$$

式中, R_0 代表新鲜叶片的光谱反射率, R_x 代表自然失水第 t 小时样品的光谱反射率。

1.3.3 反射光谱指数的定义与计算 由于单一波段光谱反射率难以满足分析要求,本研究选取若干已有光谱指数为参考进行计算,反射光谱指数及其定义见表 1。

表 1 不同反射光谱指数及其定义

Table 1 Part reflectance spectral index and its definition

光谱指数 Reflectance spectral index	定义及计算公式 Definition or formula	参考文献 Reference
水分胁迫指数 MSI (Moisture stress index)	R_{820} / R_{1600}	[10]
比值指数 $SRI_{(860,1240)}$ (Simple ratio index)	R_{860} / R_{1240}	[11]
比值指数 $SRI_{(1300,1450)}$ (Simple ratio index)	R_{1300} / R_{1450}	[12]
水分指数 WI (Water index)	R_{900} / R_{970}	[14]
双差值指数 DDI (Double difference index)	$(R_{1530} - R_{1005}) + (R_{1530} - R_{2055})$	[15]
归一化红外指数 $NDII_{(850,1650)}$ (Normalized difference infrared index)	$(R_{850} - R_{1650}) / (R_{850} + R_{1650})$	[19]
归一化水分指数 $NDWI$ (Normalized difference water index)	$(R_{860} - R_{1240}) / (R_{860} + R_{1240})$	[20]
归一化多波段指数 $NMDI$ (Normalized multi-band drought index)	$[(R_{860} - (R_{1640} - R_{2130}))] / [R_{860} + (R_{1640} - R_{2130})]$	[21]

注: R_λ 为 λ nm 处的叶片光谱反射率平均值。

Note: R_λ represents the average of leaf spectral reflectance at λ nm.

1.3.4 数据统计 使用 Excel2016 软件和 SPSS19.0 软件对数据进行平均值、标准差、相关系数等计算和制图。

2 结果与分析

2.1 雷竹叶片逐步失水过程中相关水分指标的变化

随着自然失水时间的延长,雷竹叶片缺水程度

增大,反映叶片水分含量的相关指标叶片水分干质量比(*SWC*)、叶片水分鲜质量比(*LMP*)、叶片相对含水量(*RWC*)和叶片等效水厚度(*EWT*)均呈明显的下降趋势(图 1)。在叶片自然失水的第 6~8 h 时参试叶片均出现了明显的缺水卷曲现象,这种人工模拟叶片水分大范围的变化为后期与光谱参数的拟合提供了基础。

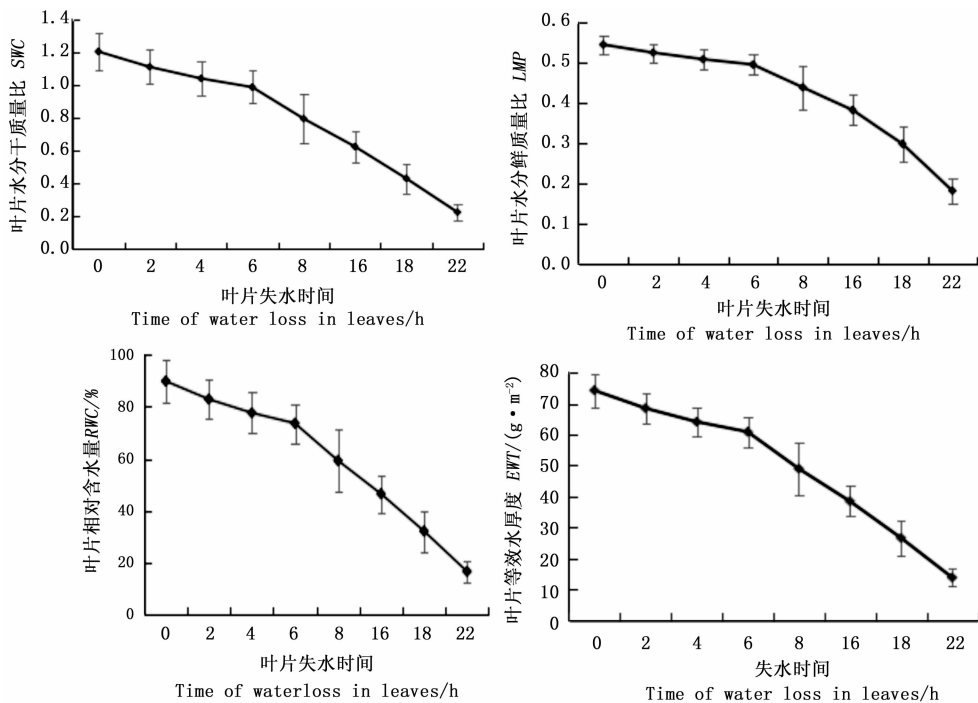


图 1 雷竹叶片自然失水过程中 4 个水分指标的变化(平均值 \pm 标准偏差)

Fig. 1 Changes of 4 water indicators of *Ph. violascens* leaves during water loss process (mean \pm SD)

2.2 雷竹叶片反射光谱特征及其对水分变化的响应

从不同失水时间处理的雷竹叶片光谱反射率曲线可以看出(图 2),350~500 nm 波段叶片光谱反射率相对较低,500~580 nm 波段形成一个明显的反射峰,580~680 nm 波段叶片光谱反射率呈下降趋势;700~750 nm 波段叶片光谱反射率急剧升高,750~1 380 nm 波段叶片光谱反射率变化相对稳定,在 1 380~1 500 nm 和 1 900~2 000 nm 波段出现了两个明显的反射低谷。且随着叶片逐步失水,雷竹叶片光谱反射率在 350~750 nm 波段变化相对较小,而在 750~2 500 nm 波段叶片水分含量与其光谱反射率呈负相关关系。光谱反射率差值曲线(图 3)以及光谱反射率敏感性曲线(图 4)可以更明显看出,在 1 400~1 600 nm,1 800~2 000 nm 波段附近,光谱反射率随叶片水分的变化而波动增大,是

雷竹叶片水分的敏感波段。

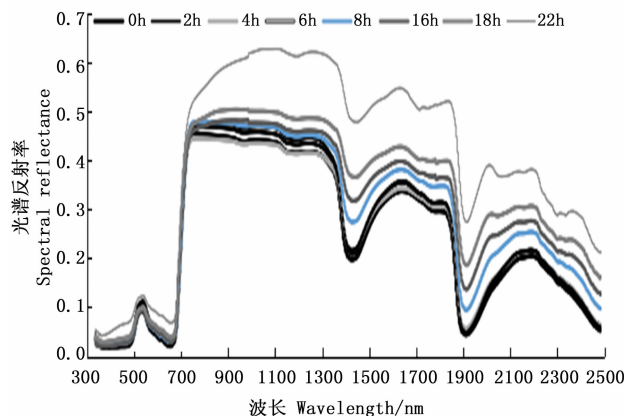


图 2 不同失水时间雷竹叶片光谱反射率曲线
Fig. 2 Changes of spectral reflectance curve of *Ph. violascens* leaves during water loss process

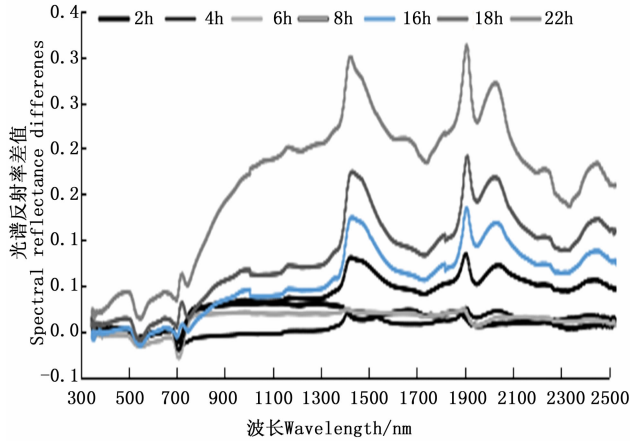


图3 不同失水时间处理雷竹叶片光谱反射率差值曲线
Fig. 3 Changes of reflectance differences curve of *Ph. violascens* leaves during water loss process

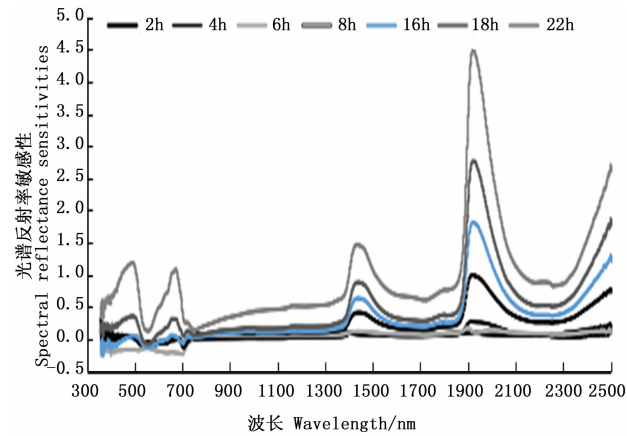


图4 不同失水时间处理雷竹叶片光谱反射率差值曲线
Fig. 4 Changes of reflectance sensitivities curve of *Ph. violascens* leaves during water loss process

2.3 不同反射光谱指数与叶片水分指标的相关性分析

由于单一波段难以全面有效地反映植物的生理生化变化对反射光谱的影响,目前较多利用近红外光谱和短波红外波段的光谱分析方法。使用比较广泛的水分光谱指数有水分胁迫指数(MSI)^[10]、归一化红外指数($NDII$)^[19]和归一化水分指数($NDWI$)^[20]等。

本研究计算了雷竹冠层叶片水分指标(SWC 、 LMP 、 RWC 、 EWT)和比值型、归一化类型等光谱指数间的相关性(表2)。在选取的光谱指数中, MSI 、 $SRI_{(1300,1450)}$ 、 $NDII_{(850,1650)}$ 、 DDI 与叶片水分指标的相关性较好($P < 0.01$)。

表2 雷竹冠层叶片水分指标与光谱指数间的相关系数

Table 2 Correlation coefficient between spectral indexes and leaf water indexes of *Ph. violascens* canopy leaves

指标 Index	SWC	LMP	RWC	EWT
MSI	0.853 **	0.911 **	0.963 **	0.960 **
WI	0.879 **	0.933 **	0.930 **	0.918 **
$SRI_{(1300,1450)}$	0.849 **	0.886 **	0.959 **	0.981 **
$SRWI_{(860,1240)}$	0.831 **	0.895 **	0.885 **	0.857 **
$NDII_{(850,1650)}$	0.846 **	0.909 **	0.958 **	0.951 **
$NDWI$	0.825 **	0.891 **	0.879 **	0.851 **
$NMDI$	-0.639 **	-0.698 **	-0.817 **	-0.850 **
DDI	-0.824 **	-0.868 **	-0.929 **	-0.933 **

注: **代表 $P < 0.01$ 。

Note: ** represents $P < 0.01$.

但由于某一特定的 SWC (或 LMP)值可能对应不同的 EWT 或 RWC 值,与之相反,唯一的 EWT 或 RWC 值也可能对应不同的 SWC (或 LMP)值^[22]。因此,从遥感数据中反演 SWC 可能存在一些问题,因此本研究选取 RWC 作为反映雷竹叶片水分含量的指标进行计算。

2.4 不同反射光谱指数与叶片相对含水量的拟合方程

选取叶片 RWC 与光谱指数进行回归方程拟合,结果(表3)表明,在所选光谱指数中 MSI (R_{820}/R_{1600})、 SRI (R_{1300}/R_{1450})与叶片 RWC 的拟合效果较好,方程拟合的结果显示非线性方程拟合效果优于线性方程。

3 讨论

竹类植物是一类重要的克隆植物,在异质环境条件下,不同分株间会发生水分以及养分的生理整合^[23-24],因此采用土壤含水率指标并不能直接反映植株本身水分状况。随着高光谱遥感技术的发展,提出了植被含水量(Vegetation water content, VWC)的直接检测方法^[10]。一般在植被覆盖度高的区域,通过光学传感器检测到的植被信号可以获得植物水分状况信息^[13]。便携式野外光谱分析仪可以用于检测现场的叶片/冠层含水量^[12],并可利用无人机在区域尺度上检测 VWC ^[25]。

Carter发现,在1300~2500 nm波段范围内,以1450、1940和2500 nm为中心的光谱波段,叶片反射率对含水量的敏感性最大^[26]。Tucker认为同时考虑太阳辐射和大气水汽在1400和1900 nm波段的影响,1550~1750 nm区间光谱反射率最适合用于卫星遥感监测植物冠层水胁迫,而1480~

表3 雷竹冠层叶片相对含水量(RWC)(y)与部分光谱指数(x)间的相关分析及回归模型

Table 3 Regression model between RWC (y) and reflectance spectral index (x) of *Ph. violascens* canopy leaves

光谱指数 Reflectance spectral index	线性回归方程 Linear regression equation	非线性回归方程 Nonlinear regression equation
MSI	$y = 2.5621x - 2.6588$ $R^2 = 0.9264$	$y = 1.2076x^2 - 0.4225x - 0.8278$ $R^2 = 0.9278$
WI	$y = 23.842x - 23.502$ $R^2 = 0.8658$	$y = 419.28x^2 - 819.57x + 400.59$ $R^2 = 0.8967$
SRI _(1300,1450)	$y = 0.8386x - 0.8103$ $R^2 = 0.9197$	$y = -0.3675x^2 + 2.0234x - 1.7292$ $R^2 = 0.9291$
SRI _(860,1240)	$y = 8.4048x - 8.2506$ $R^2 = 0.7829$	$y = 67.456x^2 - 130.84x + 63.532$ $R^2 = 0.8685$
NDII _(850,1650)	$y = 7.8318x - 0.2193$ $R^2 = 0.9169$	$y = 23.158x^2 + 3.6047x - 0.0537$ $R^2 = 0.9234$
NDWI	$y = 17.215x + 0.1575$ $R^2 = 0.7719$	$y = 291x^2 + 8.5462x + 0.1452$ $R^2 = 0.8683$
NMDI	$y = -3.6289x + 2.6453$ $R^2 = 0.668$	$y = 17.702x^2 - 25.308x + 9.1913$ $R^2 = 0.7532$
DDI	$y = -16.464x + 0.463$ $R^2 = 0.8636$	$y = -24.068x^2 - 16.695x + 0.4681$ $R^2 = 0.864$

1 750 nm 区间光谱反射率最适合用于地面监测植物冠层水分状态^[27]。本研究在 1 400 ~ 1 500、1 900 ~ 2 000 nm 波段附近雷竹冠层叶片的反射光谱对水分的波动较为敏感,与前人研究有相似之处,但敏感波段的提取仍有待经过大量的计算与实测来进一步细化。

植物生长发育过程中的各种变化都会导致反射光谱曲线的差异。通过 2 个甚至多个光谱波段构建出的反射光谱指数,在一定程度上也可以消除干扰,成为提取植被生化组分信息的重要手段。田永超等^[16]提出小麦冠层叶片含水率与归一化指数呈极显著线性正相关,构建了光谱指数 $R_{(610,560)}/ND_{(810,610)}$ 监测小麦冠层叶片和植株含水率的效果最好。刘畅等^[17]发现栎树叶片等效水厚度(EWT)与双差值指数(DDI)具有较高的相关性。程志庆等^[9]提出 GVMi(全球植被水分指数)与 MSI 指数之比构建的新等效水厚度植被指数是杨树叶片等效水厚度的最佳估算模型。本研究以部分已知的光谱指数与叶片水分含量进行了相关分析,证实了双差值指数(DDI)在雷竹冠层叶片水分估算中可以得到较好的应用。

本研究在叶片尺度上对雷竹反射光谱进行测定,所得出的结果对雷竹及刚竹属植株叶片的水分监测有一定的参考意义。但要提高模型的估算精度仍需进行大量的测试和拟合检验。

4 结论

本研究通过自然失水法研究雷竹叶片反射光谱

对叶片水分变化的响应特征,研究发现随着雷竹叶片逐步失水,雷竹叶片水分含量与其光谱反射率在近红外区呈负相关关系,在 1 400 ~ 1 600、1 800 ~ 2 000 nm 波段附近,光谱反射率随叶片水分的变化波动大于其他波段,是雷竹叶片水分监测的敏感波段;不同光谱指数与叶片水分指标的相关性分析表明,在所选光谱指数中水分胁迫指数 MSI (R_{820}/R_{1600})、比值指数 SRI (R_{1300}/R_{1450}) 与叶片相对含水量的拟合效果较好。

参考文献:

- [1] McDowell N, Pockman W T, Allen C D, et al. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? [J]. *New Phytologist*, 2008, 178(4): 719 - 739.
- [2] Allen C D, Macalady A K, Chenchouni H, et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests [J]. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(4): 660 - 684.
- [3] 段洪浪, 吴建平, 刘文飞, 等. 干旱胁迫下树木的碳水过程以及干旱死亡机理 [J]. *林业科学*, 2015, 51(11): 113 - 120.
- [4] 冀琳珂. 雷竹水分利用和出笋期个体有机碳分布规律研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017.
- [5] 费世民. 竹林生态研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2011: 200 - 201.
- [6] 陈正法, 张茜茜. 我国南方红壤区季节性干旱及对林果业的影响 [J]. *农业环境保护*, 2002, 21(3): 241 - 244.
- [7] 毛美红, 丁笑章, 傅柳方, 等. 干旱对毛竹林新竹成竹影响的调查分析 [J]. *世界竹藤通讯*, 2012, 10(1): 12 - 15.
- [8] 王树东, 刘素红, 丁建丽, 等. 叶片水分含量光谱响应变化研究 [J]. *干旱区地理*, 2006, 29(4): 510 - 515.

- [9] 程志庆,张劲松,孟平,等. 基于高光谱信息的107杨叶片等效水厚度估算模型的研究[J]. 林业科学研究,2016,29(6):826-833.
- [10] Hunt E R, Rock B N. Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances[J]. Remote Sensing of Environment,1989,30(1):43-54.
- [11] Zarco P J, Rueda C A, Ustin S L. Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods[J]. Remote Sensing of Environment,2003,85(1):109-124.
- [12] Seelig H D, Hoehn A, Stodieck L S, et al. The assessment of leaf water content using leaf reflectance ratios in the visible, near-, and short-wave-infrared[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008,29(13):3701-3713.
- [13] Gao B C, Goetz A F H. Retrieval of equivalent water thickness and information related to biochemical components of vegetation canopies from AVIRIS data[J]. Remote Sensing of Environment,1995,52(3):155-162.
- [14] Peñuelas J, Filella I, Biel C, et al. The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status[J]. International Journal of Remote Sensing,1993,14(10):1887-1905.
- [15] Wang Q, Li P. Hyperspectral indices for estimating leaf biochemical properties in temperate deciduous forests: Comparison of simulated and measured reflectance data sets[J]. Ecological Indicators. 2012,14(1):56-65.
- [16] 田永超,曹卫星,姜东,等. 不同水氮条件下水稻冠层反射光谱与植株含水率的定量关系[J]. 植物生态学报,2005,29(2):318-323.
- [17] 刘畅,孙鹏森,刘世荣. 水分敏感的反射光谱指数比较研究——以锐齿槲栎为例[J]. 植物生态学报,2017,41(8):850-861.
- [18] 易同培,史军义,马丽莎,等. 中国竹类图志[M]. 北京:科学出版社,2008:11-12.
- [19] Hardisky M, Klemas V, Smart R M. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,1983,48(1):77-84.
- [20] Gao B. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space[J]. Remote Sensing of Environment,1996,58(3):257-266.
- [21] Wang L, Qu J J. NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing[J]. Geophysical Research Letters,2007,34(20):117-131.
- [22] Ceccato P, Flasse S, Tarantola S, et al. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain[J]. Remote Sensing of Environment,2001,77(1):22-33.
- [23] 胡俊靖,陈双林,郭子武,等. 美丽箬竹水分生理整合的分株比例效应——基于叶片抗氧化系统与光合色素[J]. 植物生态学报,2015,39(7):762-772.
- [24] 胡俊靖,陈卫军,陈双林,等. 基于抗氧化系统的美丽箬竹水分生理整合作用分析[J]. 生态学杂志,2015,34(4):962-966.
- [25] 孙中宇,陈燕乔,杨龙,等. 轻小型无人机低空遥感及其在生态学中的应用进展[J]. 应用生态学报,2017,28(2):528-536.
- [26] Carter G A. Primary and secondary effects of water content on the spectral reflectance of leaves[J]. American Journal of Botany, 1991,78(7):916-924.
- [27] Tucker C J. Remote sensing of leaf water content in the near infrared[J]. Remote Sensing of Environment,1980,10(1):23-32.

Spectral Reflectance Characteristics of *Phyllostachys violascens* Canopy Leaves in Response to Water Change

ZHANG Wei¹, WANG Xin-mei², PAN Qing-mei², XIE Jin-zhong¹, ZHANG Jin-song², MENG Ping²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China;

2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: [**Objective**] To study the water-sensitive reflectance spectra bands of *Phyllostachys violascens* canopy leaves and screen the suitable reflectance spectral indexes of leaf water content, aiming at nondestructive estimation of leaf water content. [**Method**] The present study investigated the canopy leaf reflectance spectrum characteristics of *Ph. violascens* during isolated natural water loss process. The correlation between reflectance spectral indexes and leaf water indicators were calculated and analyzed. The regression equation between leaf relative water content (*RWC*) and reflectance spectral indexes were also calculated. [**Result**] The leaf water content and its spectral reflectance were negatively correlated in the near-infrared region. The spectral reflectance sensitivity analysis showed that the spectral reflectance in 1 400 ~ 1 600 nm and 1 800 ~ 2 000 nm was significantly changed with the decrease of the leaf water content. Correlation analysis and regression model between different spectral reflectance indexes and *RWC* showed that moisture stress index $MSI(R_{820}/R_{1600})$ and simple ratio index $SRI(R_{1300}/R_{1450})$ had higher correlation with *RWC*. [**Conclusion**] The leaf water content has negative correlation with the spectral reflectance in the near-infrared region especially 1 400 ~ 1 600 nm and 1 800 ~ 2 000 nm. The $MSI(R_{820}/R_{1600})$ and simple ratio index $SRI(R_{1300}/R_{1450})$ has higher accuracy for estimating *RWC* of *Ph. violascens* leaves than other reflectance spectral indexes.

Keywords: *Phyllostachys violascens*; canopy leaves; leaf water content; spectral reflectance

(责任编辑:金立新)