

山东省台上金矿区荆条反射光谱的 “红移”和“蓝移”现象

倪 健

吴继友

(中国科学院植物研究所, 北京 100044)

(山东大学光电子信息工程系, 济南 250100)

摘要 生长在山东省招远市台上金矿区的灌木荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla* (Franch.) Rehd.), 其生长状况差于背景区, 叶片的反射光谱特性发生变化, 光谱特征参量 LOR(实测叶绿素红光吸收波长)从背景区到金矿区向长波光方向位移, 发生“红移”现象, 而 LPR(实测红界拐点波长)则向短波光方向位移, 发生“蓝移”现象; LOR 和 LPR 的变化与叶片的叶绿素含量密切相关。荆条反射光谱的“红移”和“蓝移”现象, 可辅助进行植物光谱的遥感探矿。

关键词 金矿区; 荆条; LOR; LPR; 红移; 蓝移; 叶绿素含量

The studies on spectral reflectance's "red shift" and "blue shift" of *Vitex negundo* var. *heterophylla* at Taishang gold area in Shandong Province Ni Jian (Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044), Wu Ji-You (Department of Photoelectronics and Information Engineering, Shandong University, Jinan 250100), *J. Plant Resour. & Environ.* 1995, 4(4): 17~21

At Taishang gold area in Zhaoyuan City, Shandong Province, the growth of *Vitex negundo* var. *heterophylla* at gold area is more worse than that at background area. The spectral reflectance of red edge in leaves changes from background to gold area, the parameters of LOR and LPR shift towards longer (red shift) and shorter (blue shift) wavelengths respectively. The changes of LOR and LPR are relation to chlorophyll contents tightly. These can be considered to use in the mineral exploration of remote sensing.

Key words gold area; *Vitex negundo* var. *heterophylla*; LOR; LPR; red shift; blue shift; chlorophyll contents

某些环境胁迫因素作用于植物体, 会影响植物叶片的色素含量、细胞结构及生理生化过程, 从而使与之相关的植物反射光谱特性发生改变。环境胁迫因素对植物光谱反射特性的影响是应用遥感技术监测植被伤害的基础, 本世纪70年代以来, 这方面的工作进展很大, 而在80年代国际上发现了植物光谱的“红移”和“蓝移”现象, 使这一研究得到蓬勃发展, 这为森林保护、环境监测和探矿等方面提供了理论和技术。

大量的工作表明, 不同波段的光谱特征是与植物体某些物质的组成、结构和过程相关的。红光边界(680~800 nm)是人们感兴趣的焦点, 其向长波光方向和短波光方向的位移, 亦即所谓的“红移”和“蓝移”现象, 是植物光谱特性的突出变化, 成为人们研究的重点, 尤其是与

收稿日期 1995-03-17

· 国家自然科学基金资助项目

参加工作的还有蒋本和、冯素萍、张永贤等, 谨致谢意!

重金属元素相关的光谱特性变化,国内外科学工作者都有过不少论述^[1~3,6,9~14]。

我们已经对山东省招远市台上金矿区赤松(*Pinus densiflora*)林的反射光谱特征进行了研究,提取了大量的特征参量,都表明在金矿区内的植物,其反射光谱的特性发生变化,植被红界的“红移”和“蓝移”现象明显^[5,7]。本文从特征参量 LOR(实测叶绿素红光吸收波长)、LPR(实测红界拐点波长)入手,着重论述台上金矿区荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)叶片反射光谱的“红移”和“蓝移”现象,及其与叶绿素含量的相关性,为利用植物的反射光谱特征探测森林覆盖下的地下矿产提供一定的理论基础。

1. 实验区自然条件

实验区选择在山东省招远市台上金矿。自然条件参看文献[8]。

植被类型为天然次生赤松(*Pinus densiflora*)林,灌木层以荆条占优势,分布广泛,故将其作为研究对象。

2. 实验方法

2.1 选点 按地质队探矿钻孔的资料,在台上金矿区选择了11线露头矿和13线矿体作为采样点,并在金矿区以南的山丘上设置背景区,作为参照。11线露头矿长约20 m,13线矿体长约500 m,背景区长约500 m,整个实验区范围 $1 \times 1.5 \text{ km}^2$ 。选点时力求环境条件的一致性,并避免矿区的工业污染和作业污染。

2.2 取样 1991年6~10月,沿选好的样线和背景区,11线间隔约4 m,13线和背景区间隔约50 m,采集不同方位的荆条叶片,每次取样为5~10株,每株叶片为多于5片,然后在3小时内进行叶面光谱反射率和叶绿素含量的测量。

2.3 光谱反射率的测量 采用 PIS-A 型便携式瞬态光谱仪,其波长范围为400~1 038 nm,取样间隔1.25 nm,测量时间为晴好无云的上午10时至下午3时,将至少5枚叶片叠在一起,水平放置,利用太阳光,用 20° 大视场测量叶片的光谱反射率。

为克服噪声的影响,对所取得的光谱反射率曲线进行平滑滤波,求得实测光谱反射率曲线的特征参量 LOR 和 LPR。为更好地反映光谱反射率特征,用一阶导数谱模型拟合出植被红界的一阶导数谱曲线,可方便地提取出一阶导数谱特征参量。

2.4 叶绿素含量的测量 采用721型分光光度计,用100%的丙酮研磨提取,过滤后测定645 nm及663 nm处的消光度,读数两次求取平均值,利用公式求出荆条叶绿素 a、b 和总量,以占叶片干重数表示^[4]。

3. 结果与讨论

3.1 金矿区与背景区荆条的生长差异

荆条自5月中旬萌出新叶,至6月中旬新叶发育完全。7,8月份的高温多雨季节,荆条迅速生长,9月初基本停止生长,至10月中旬叶开始卷曲、枯萎、凋落,11月初完全脱落。

在不同的生长季节,荆条叶的生长状况有差异,在同一季节里,背景区和金矿区荆条叶的生长也有差异。从整个生长季节来看,春季新叶刚萌发时,背景区与金矿区差异较小,叶面均无斑点,但背景区新叶较大,颜色较绿,金矿区叶片则较小较浅;夏季,叶面开始出现黄褐色斑点,但数量上背景区大大少于金矿区,颜色也是背景区深于金矿区,差异较大;至秋季,金矿区荆条叶面的黄褐色斑点扩大为黄褐色斑块,叶缘开始卷曲,颜色变为黄绿色或红褐色,并开始枯萎、凋落,而在背景区这些现象的出现时间要晚些。

3.2 荆条反射光谱的“红移”和“蓝移”现象

荆条叶片的光谱反射率曲线如图1, LOR 对应红界范围最低反射率波长,即叶绿素吸收峰波长,它也是红界的起始波长,从背景区到11线露头矿和13线矿体,其位置是向长波光方向位移的(向右位移),即“红移”现象;而 LPR 是实测红界反射率曲线的拐点,由图2一阶导数谱曲线的峰值点确定,它是由于红界反射率曲线各波长点取值高低共同形成的结果。由于模型曲线按整个红界区实验数据拟合,所以 LPR 值也受整个红界区的数据影响,鉴于红界前端取值主要与叶绿素含量相关,后端取值主要取决于叶内组织结构,故而这个特征波长值的高低反映了植物受重金属影响后叶内叶绿素含量和组织结构同时变化的情形,由图2可清楚看出,从背景区到13线矿体和11线露头矿,这种同时变化产生了红界曲线向短波光方向的位移(向左位移),亦即“蓝移”现象。

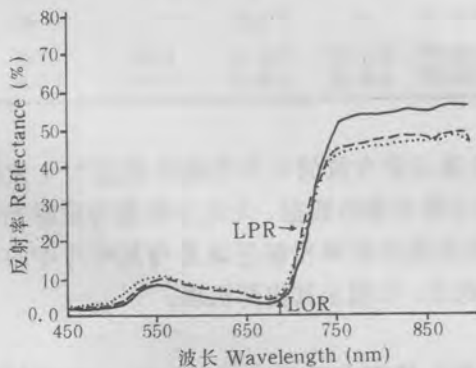


图1 荆条叶片的光谱反射率曲线

Fig 1 The curves of spectral reflectance in leaves of *Vitis negundo* var. *heterophylla*

— 背景区 BGN --- 11线露头矿 L11OV
 13线矿体 L13OR

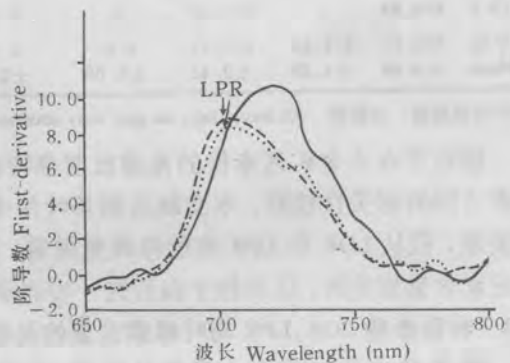


图2 荆条叶片的一阶导数谱曲线

Fig 2 The curves of the first-derivative in leaves of *Vitis negundo* var. *heterophylla*

— 背景区 BGN --- 11线露头矿 L11OV
 13线矿体 L13OR

表1列出了在不同采样时间 LOR 和 LPR 两特征参量在背景区、13线矿体和11线露头矿的变化值,可以看出,从春末到秋初的每次采样结果,都是背景区的 LOR 值小于13线矿体和11线露头矿,发生“红移”现象,而背景区的 LPR 值都大于13线矿体和11线露头矿,发生“蓝移”现象,只是在11线露头矿和13线矿体位移的幅度不同,这与图1及图2所反映的现象是一致的。按理说,在11线露头矿,矿体裸露地表面,金属矿物对荆条的生长发育影响较大,而在13线矿体,矿物埋藏地下,对荆条的影响相对较小,但从 LOR 和 LPR 的位移幅度来看,在11线露头矿和13线矿体间发生交替变化,其原因可能是多方面的。从整个生长季来看,从春末到

秋初, LOR 值波动较大, 比较杂乱, 但从总体上来看, 三个采样点的 LOR 值有增加的趋势; 而 LPR 值的季节变化则比较清楚, 在三个采样点上都是减少的。从整个生长季背景区(BGN)与11线露头矿(L11OU)和13线矿体(L13OR)的差值来看, LOR“红移”幅度在13线矿体为3.52 nm, 在11线露头矿为4.51 nm, LPR“蓝移”幅度在13线矿体为6.43 nm, 在11线露头矿亦为6.43 nm; 由于10月份11线露头矿处的荆条已完全落叶, 缺少光谱数据, 如果抛弃此次采样, 那么 LOR“红移”幅度在13线矿体为4.20 nm, 在11线露头矿为4.51 nm, LPR“蓝移”幅度在13线矿体为5.34 nm, 在11线露头矿为6.43 nm, 都是11线露头矿比13线矿体的位移幅度要大些。

表1 荆条叶片反射光谱的 LOR 和 LPR 值

Tab 1 The mean value of LOR and LPR of spectral reflectance in leaves of *Vitex negundo* var. *heterophylla*

采样时间 Sampling date	LOR (nm)					LPR (nm)				
	背景区 BGN	11线 露头矿 L11OU	13线矿体 L13OR	与背景区差值		背景区 BGN	11线 露头矿 L11OU	13线矿体 L13OR	与背景区差值	
				L11OU-BGN	L13OR-BGN				L11OU-BGN	L13OR-BGN
6.7	668.34	671.50	668.72	3.16	0.38	722.80	720.97	721.28	1.83	1.52
6.20	669.67	670.77	672.17	1.10	2.50	721.59	718.17	718.03	3.42	3.56
7.12	663.02	672.46	669.74	9.44	6.72	721.59	713.66	719.48	8.13	2.31
9.6	669.29	673.97	673.80	4.68	4.51	719.06	716.46	715.56	2.60	3.50
9.18	666.58	670.75	673.46	4.17	6.88	720.48	704.32	704.65	16.16	15.83
10.8	674.83	*	674.98	*	0.15	713.76	*	701.91	*	11.85
平均	668.62	671.89	672.15	4.51	3.52	719.71	714.72	713.49	6.43	6.43
Mean	±3.89	±1.36	±2.45	±3.08	±2.99	±3.27	±6.39	±8.17	±5.97	±5.93

* 叶完全脱落, 无数据 All leaves fall, no data were obtained.

招远市台上金矿区赤松的光谱反射率特征与金属元素含量的关系曾被研究过^[5,7], 发现二者之间的相关性较好。本文缺乏荆条叶片中金属元素含量的数据, 无法分析其与反射光谱的关系, 但从 LOR 和 LPR 的位移现象来看, 荆条的光谱反射率特征应该是与其叶片中的金属元素含量相关的, 这有待于以后进一步的研究和探索, 以揭示其内部机理。

3.3 特征参量 LOR、LPR 与叶绿素含量的关系

荆条叶中的叶绿素含量和叶绿素 a/b 比值见表 2, 将荆条反射光谱的 LOR、LPR 值与叶

表2 荆条叶绿素含量

Tab 2 The chlorophyll contents of *Vitex negundo* var. *heterophyll*

采样时间 Sampling date	背景区 BGN		11线露头矿 L11OU		13线矿体 L13OR	
	叶绿素总量 (μg/g) Total chlorophyll	chl. a/b	叶绿素总量 (μg/g) Total chlorophyll	chl. a/b	叶绿素总量 (μg/g) Total chlorophyll	chl. a/b
6.7	2986.27	2.74	2303.68	2.82	2225.20	2.68
6.20	2587.31	2.70	2242.87	2.72	1713.72	2.76
7.12	3273.39	2.59	2206.89	2.58	2028.66	2.52
9.6	2501.30	2.50	1720.91	2.52	2133.79	2.42
9.18	2240.11	2.59	1056.56	2.59	1514.96	2.51
10.8	2109.15	2.63	*	*	1310.17	2.73
平均 Mean	2617.76	2.63	1906.19	2.65	1821.09	2.60

* 叶完全脱落, 无数据 All leaves fall, no data were obtained.

叶绿素含量进行相关分析, 发现在背景区, LPR 和叶绿素总量及 a/b 比值均呈显著相关(P

<0.01); 在11线露头矿, LOR 与叶绿素 a/b 比值呈极显著相关($P<0.001$), LPR 与叶绿素总量呈极显著相关, 与叶绿素 a/b 比值呈显著相关; 在13线矿体, LOR 与叶绿素 a/b 比值, LPR 与叶绿素总量都有相关($P<0.05$), 说明荆条叶片光谱参量 LOR、LPR 与叶绿素含量的关系密切, 其相关程度依次为背景区 <13 线矿体 <11 线露头矿。

在3.2节中, 分析得出 LOR 和 LPR 的位移幅度都是11线露头矿大于13线矿体, 而矿物的影响与叶绿素含量的变化是相关的, 因此, LOR 和 LPR 与叶绿素相关程度的排序同 LOR 和 LPR 的位移幅度是一致的。

4. 小 结

(1) 金矿区和背景区荆条的生长状况有差异。

(2) 荆条反射光谱参量 LOR 在同一时间里从背景区到金矿区增大, 发生向长波光方向的“红移”, 而 LPR 则减小, 发生向短波光方向的“蓝移”, 位移的幅度都是11线露头矿大于13线矿体, 这与矿物的影响有一定关系。

(3) LOR 和 LPR 与叶绿素含量及 a/b 比值相关较好, 相关程度依次为背景区 <13 线矿体 <11 线露头矿。

参 考 文 献

- 1 田国良, 包佩丽, 李建军等. 1990; 环境遥感 5(2):140~149.
- 2 刘厚田, 张维平, 于亚平等. 1984; 环境科学学报 4(4): 350~359.
- 3 刘厚田, 张维平, 于亚平等. 1986; 生态学报 6(2):89~99.
- 4 华东师范大学生物系植物生理教研组. 1981; 植物生理学实验指导, 人民教育出版社, 北京. 88~90页.
- 5 吴继友, 倪 健, 冯素萍等. 1994; 环境遥感 9(2):113~121.
- 6 徐瑞松, 徐火盛, 吴 晋等. 1990; 地质地球化学 4:38~44.
- 7 倪 健, 吴继友. 1994; 植物学报 36(6):466~473.
- 8 倪 健, 吴继友, 蒋本和. 1993; 植物资源与环境 2(4):54~59.
- 9 Collins N, S H Chang, G Raines et al. 1983; *Economic Geology*, 78: 737~749.
- 10 Hare E W, J R Miller, G R Edwards. 1984a; Geobotanical remote sensing of small localized swamps and bogs in Northern Ontario, In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, Third Thematic Conference Remote Sensing for Exploration Geology, 16~19.
- 11 Hare E W, J R Miller, G R Edwards. 1984b; Studies of the vegetation red reflectance edge in eastern Ontario, in: Proceedings of the Ninth Canadian Symposium on Remote Sensing, 13~17.
- 12 Horler D N H, M Dockray, J Barber. 1983a; *Advanced Space Research* 3(2): 273~277.
- 13 Horler D N H, M Dockray, J Barber. 1983b; *International Journal of Remote Sensing* 4(2): 237~288.
- 14 Miller J R, E W Hare, R A Neville et al. 1985; Correlation of metal concentration with anomalies in narrow band multispectral imagery of the vegetation red reflectance edge, in: The International Symposium on Remote Sensing of Environment, Fourth Thematic Conference Remote Sensing for Exploration Geology, 1~4.

(责任编辑:盛国英)