

# 川西山区大熊猫主食竹野外光谱特性\*

兰立波 刘琼招 陈顺理

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所)

**提 要** 本文以遥感技术的基础手段——野外光谱测试方法,在我国首次研究了川西山区若干大熊猫主食竹在不同生长发育期和不同季节的野外光谱反射率,从而得出主食竹在不同生长发育状态下的光谱特性及光谱变化规律。主食竹开花前后的光谱变化,可作为预测开花的一条途径。

**关键词** 川西山区 大熊猫 主食竹 光谱特性 预测开花

目前,由于野外光谱测试方法可测得肉眼见不到的紫外波段与红外波段,而绿色植物的许多生理现象在红外波段反应较为敏感,因此该方法已用来估算草场生物量和水稻产量、了解树木病虫害及植物受污染程度等。本法的优点是快速有效,简便可靠。

鉴于上述,为认识70年代以来川西山区大面积开花枯死的大熊猫主食竹生长发育状态,探索预测竹子开花的途径,在1986年和1987年,我们使用野外光谱测试方法,对主食竹的光谱特性,在我国作了首次探索性研究。

## 一、野外光谱测试原理和方法

测试中使用的仪器为日本产的SRM-1200野外光谱辐射仪。它可连续测试紫外波段至近红外波段(0.38—1.20微米)的物体反射光。测试时在目标旁置一已知反射率的标准板,先测定目标的反射光,后测定标准板的反射光。经运算后便得目标的反射率值。

设目标是理想的漫反射体,且目标和标准板的测试条件完全相同,则用该仪器所测得的目标反射率 $R_r$ (推导过程略)

$$R_r = R_w \times 10 - (V_w - V_r), \quad (1)$$

式中 $R_w$ 是标准板的反射率值(已知); $V_r$ 和 $V_w$ 分别是目标和标准板的测定值。

其实,自然界中的物体并不是理想的漫反射体,加之太阳的高度角和方位角、仪器的高度角和方位角及光轴倾角都会发生变化,凡此种对物体光谱反射特性就有一定的影响<sup>[1]</sup>。再则,测区属山地林区,地形复杂,天气变化多端,大熊猫主食竹又长于林下(照片1)<sup>1)</sup>,这些均给测试工作带来了一定的困难。

\*本项研究为中国科学院院内基金资助项目。

研究过程中蒙四川省林业科学研究所李承彪高级工程师、史立新工程师等热情指导和大力协助,参加工作的还有李荣华和季美菊两位同事,在此一并谨致谢意。

大熊猫主食竹在文中简称主食竹。

1) 本文的照片见刊末图版1。

为减少和消除误差,提高测试精度,确保测试结果的可靠性和可比性,在实际测试工作中采取了一系列措施。如将样品剪枝保鲜后带出林外就近尽快测试;每次测试定在10—14时间进行,以保证太阳高度角大于 $45^{\circ}$ ;每次操作将仪器垂直置于测试目标约1.2米高处,以克服仪器光轴倾角的影响;测试时用照度计监视天光照度变化,若天光照度变化较大,则至少要保证一个测试周期内(指样品和标准板各测完一次)的照度相同。

为满足统计要求,对每一样品选择四处加以测试,以四处的光谱反射率平均值作为该样品的光谱反射率值。

## 二、主食竹的测试样品选择

### (一)主食竹的分布特点与光谱测区选择

川西山区大熊猫主食竹约有20多种,大体分布在两个区域<sup>[2]</sup>。这两个区域为:1.岷山山地与邛崃山地北部,主食竹以缺苞箭竹 *Fargesia denudata*、糙花箭竹 *F. scabrifida* 和华西箭竹 *F. nitida* 等为主;2.邛崃山地南部、凉山山地与相岭山地,主食竹主要是冷箭竹 *Gelidocalamus fangianus*、峨眉玉山竹(即大箭竹) *Yushania chungii* 和方竹 *Chimonobambusa szechuanensis* 等。

根据主食竹分布特点,测试地区选在处于岷山山地的平武县王朗保护区和南坪县九寨沟保护区,以及处于相岭山地的峨眉山(图1)。

### (二)主食竹生长特点与测试样品选择

主食竹开花的特点有:1.时间不定,数十年以至百年才开花一次;2.开花过程一般要2—3年;3.竹丛中只要有一株含苞待放,则老竹和新笋都将先后开花;4.开花结实后竹子立即枯死,其更新竹(实生苗)再过一二十年可长成茂盛的成年竹,此时才算恢复原状;5.将开花竹与成年竹的外观差异不明显。

因此可以将主食竹的生长发育期分为:1.幼年期(更新的幼竹)→2.成年期(竹子正常生长)→3.将成熟期(将要开花,但未长出花苞)→4.成熟期(含苞开花)→5.完全成熟期(完全开花,将枯死)。

相应于各生长发育期的主食竹有:1.更新竹;2.成年竹;3.将开花竹;4.刚开花竹;5.全开花竹。

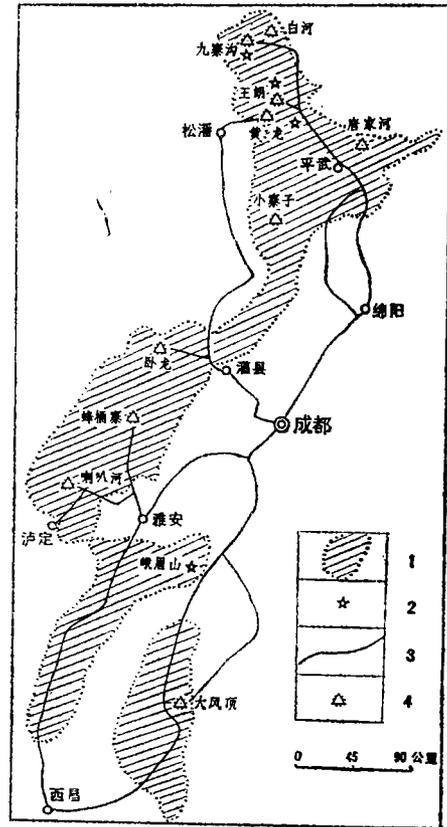


图1 川西山区大熊猫主食竹分布与光谱测点略图

Fig. 1 Sketch distribution of the wild bamboos and spectral measuring places in the mountainous region of West Sichuan

1. 主食竹分布区; 2. 光谱测点; 3. 考察测试路线; 4. 自然保护区

在不同地区, 由于主食竹生长发育状态不同, 各生长发育期的竹子不一定齐全。因在前述的各测试地区, 根据主食竹的区域分布特点和生长发育状态选定测试样品。

此次测试中, 根据主食竹的开花现状, 开花品种选的是缺苞箭竹、华西箭竹和冷箭竹; 未开花品种选的是峨眉玉山竹、糙花箭竹和方竹。这六种主食竹分属四个属, 分布广、数量多。它们是大熊猫最重要的食竹, 具有一定的代表性。

平武县王朗保护区自70年代以来, 主要竹种缺苞箭竹先后开花(照片2)。到1986年, 除极少数外, 竹子已大面积枯死。早期开花竹落下的种子, 有的已长成茂密的更新竹林(照片3)。因此在当地既有各种不同龄的更新竹, 也有残存的未开花的零星成年竹, 还有少量的开花竹。这种现状为测试和研究主食竹不同生长发育期的光谱特性提供了有利的条件。我们在该地不但选择了五种生长发育期的竹子样品, 而且选取了三种分别生长已有4—5年、7—8年和10多年龄的更新竹样品。

南坪县九寨沟保护区的华西箭竹(照片4)近年来也在大面积开花, 但开花时间不长, 且未见更新竹, 故选择作测试样品的仅有: 1. 成年竹; 2. 将开花竹; 3. 刚开花竹。

峨眉山金顶一带, 近年来冷箭竹也在大面积开花, 但未认出正常生长的成年竹, 且未见更新竹, 故选作测试样品的有: 1. 将开花竹; 2. 刚开花竹; 3. 全开花竹(照片5, 6)。

其他主食竹, 如糙花箭竹、峨眉玉山竹和方竹等, 在测区尚未见开花, 因此只选择成年竹这一种样品。

### 三、主食竹测试结果的分析

#### (一) 绿色植物的典型光谱特性

在分析测试结果之前, 应首先了解绿色植物的典型光谱特性。

绿色植物光谱反射率是波长的函数, 即随波长的变化, 光谱反射率差异明显(图2)。

由图2可见, 在可见光波段(0.40—0.70微米)内, 光谱反射率较低, 其中蓝波段(0.45微米左右)和红波段(0.65微米左右)分别对应一叶绿素吸收带, 而两者间的绿波段(0.55微米左右)有一个反射峰。这是植物体内叶绿素进行光合作用, 产生吸收效应的结果。进入近红外波段(0.70微米以后)内, 反射率曲线陡增, 似一陡坎; 在0.74—1.30微米的近红外波段内, 反射率曲线渐趋平缓, 呈一反射高台, 这由叶内细胞气隙间(即叶片结构)的多重反射所致; 在1.40和1.90微米两处分别有一水吸收带, 两者皆与植物体内含水率有关<sup>1)</sup>。

由上可见, 绿色植物的光谱反射率受体内的叶绿素含量、叶片结构和含水率控制。

植物处于不同生长发育期、不同季节、不同地域, 或受外界种种不良影响(如干旱、病

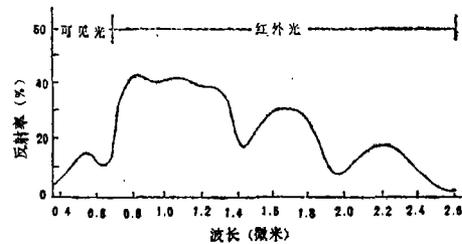


图2 绿色植物典型光谱反射率曲线(据参考文献[3]第129页图5-5略作删改)

Fig. 2 The curve of typical spectral reflectance of green plant

1) 中国科学院新疆地理研究所, 1982. 新疆主要农作物和天然草场的反射光谱特征及其遥感最佳波段选择的初步看法。

虫害、空气或土壤污染等), 植物体内的叶绿素含量、叶片结构或含水率就有差异, 从而会引起光谱反射率的变化<sup>[4]</sup>。一般地说, 在植物光谱反射率曲线上, 可见光波段的叶绿素特征峰越明显, 近红外波段的反射率越高, 则植物长势越好。通过研究光谱变化规律, 就可掌握植物的生长发育状态。

前述内容便是后文分析的理论依据。

此次测试用到了 0.40—1.00 微米波段范围, 这包括可见光波段全部和近红外波段的一半左右, 基本能满足分析要求。

## (二) 主食竹光谱特性分析

为分析方便, 后文采用的是样品光谱反射率曲线叠合对比分析法。

### 1. 不同生长发育期和不同季节的缺苞箭竹光谱特性

图 3 与图 2 对比结果表明, 缺苞箭竹和绿色植物两者的光谱反射率曲线大体一致。由图 3 可见, 在可见光波段内, 五条曲线变动不大。曲线 5 (全开花竹) 由于叶片枯黄, 叶绿素含量减少, 在波长 0.55 微米附近的反射峰偏低, 而曲线 2 (成年竹) 由于生长旺盛, 叶绿素含量增多, 反射峰则较高。在近红外波段, 五条曲线差异显著, 曲线 2 (成年竹) 和曲线 1 (更新竹) 的反射率在 45% 左右, 曲线 3 (将开花竹) 和曲线 4 (刚开花竹) 仅在 35% 左右, 曲线 5 (全开花竹) 则更低。

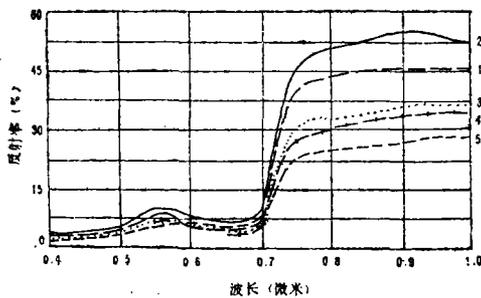


图 3 不同生长发育期的缺苞箭竹光谱反射率曲线

Fig. 3 The curves of spectral reflectance of *Fargesia denudata* in different growing periods

1. 更新竹; 2. 成年竹; 3. 将开花竹;  
4. 刚开花竹; 5. 全开花竹

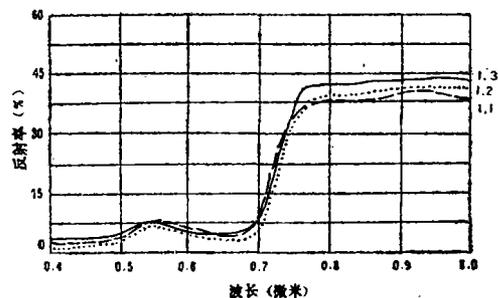


图 4 不同龄更新缺苞箭竹光谱反射率曲线

Fig. 4 The curves of spectral reflectance of regenerative *Fargesia denudata* at different ages

- 竹龄分别为: 1.1. 4—5年; 1.2. 7—8年;  
1.3. 10多年

由图 4 可见, 在可见光波段内, 三条曲线大体一致; 在近红外波段内, 随竹龄增大, 竹子体内叶绿素含量增多, 叶片结构日趋成熟, 反射率也有所增高。

从图 3, 4 上波长 0.80—0.90 微米段内取各曲线的反射率平均值, 并作成图 5。

由图 5 可见, 不同生长发育期的缺苞箭竹在近红外波段的光谱变化趋势是, 从幼年年期(1)到成年期(2)阶段, 反射率上升, 这与竹子处于成长过程, 体内叶绿素不断增

加, 光合作用渐趋加强是相一致的<sup>[5]</sup>, 从成年期(2)到将成熟期(3)阶段, 反射率突降, 这说明由于缺苞箭竹将要开花, 体内开始发生某些生理变化, 引起叶绿素含量、叶片结构和含水率发生变化; 将成熟期(3)到完全成熟期(5)阶段, 反射率继续下降, 这表示竹体内因开花营养被消耗更多, 生理变化更大。

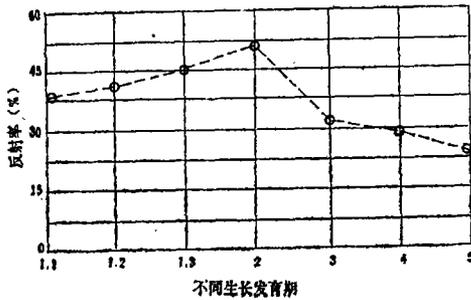


图5 不同生长发育期的缺苞箭竹光谱变化

Fig. 5 Spectral change of *Fargesia denudata* in different growing and development periods

1. 幼年期(1.1 4—5年, 1.2 7—8年, 1.3 10多年);  
2 成年期; 3 将成熟期; 4. 成熟期; 5. 完全成熟期

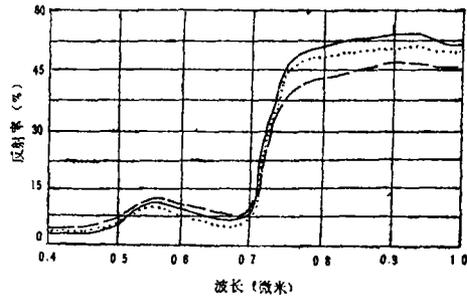


图6 不同季节的成年缺苞箭竹光谱反射率曲线

Fig. 6 The curves of spectral reflectance of normal grown-up *fargesia denudata* at different seasons

1. 春; 2. 夏; 3. 秋

图6中的三次测试对象均为同一样品, 可看出不同季节的成年缺苞箭竹光谱反射率是不同的。其他生长发育期的缺苞箭竹在不同季节的光谱变化基本亦如此。

2. 不同生长发育期的冷箭竹光谱特性

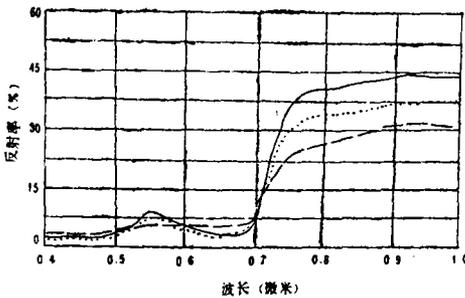


图7 不同生长发育期的冷箭竹光谱反射率曲线

Fig. 7 The curves of spectral reflectance of *Gelidocalamus Fangianus* in different growing periods

1. 将开花竹; 2. 刚开花竹; 3. 全开花竹

由图7可见, 不同生长发育期的冷箭竹在近红外波段内的光谱反射率值从高到低依次为曲线1(将开花竹)、曲线2(刚开花竹)、曲线3(全开花竹)。这与缺苞箭竹光谱反射

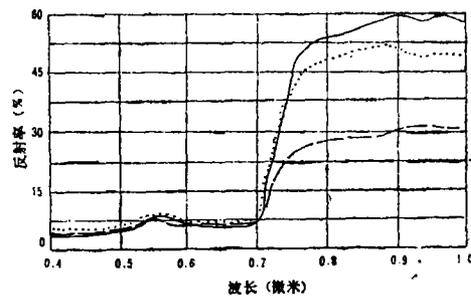


图8 不同生长发育期的华西箭竹光谱反射率曲线

Fig. 8 The curves of spectral reflectance of *Fargesia nitida* in different growing periods

1. 成年竹; 2. 将开花竹; 3. 刚开花竹

率变化相似。由此表明,冷箭竹也随自身不断发育成熟,体内营养消耗增多,使得反射率不断下降。

### 3.不同生长发育期的华西箭竹光谱特性

由图8可见,不同生长发育期的华西箭竹在近红外波段的反射率,以曲线1(成年竹)最高,曲线2(将开花竹)次之,曲线3(刚开花竹)最低。就光谱反射率变化而言,华西箭竹也与缺苞箭竹、冷箭竹相似。

由上可见,三种开花主食竹在近红外波段内的光谱变化规律是:竹子长到成年期之后,发育越成熟,反射率就越低。

### 4.其他主食竹的光谱特性

由图9,10可见,各种主食竹的光谱反射率存在较为明显的差异。

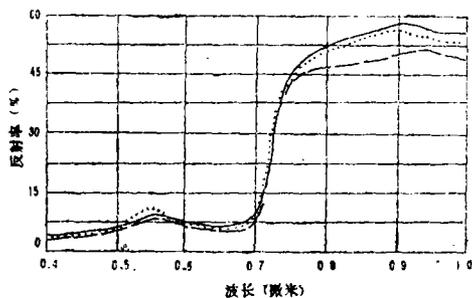


图9 王朗附近三种主食竹的光谱反射率曲线  
Fig. 9 The curves of spectral reflectance of three species of the bamboos about the Wanglang Protected Region

1.缺苞箭竹; 2.糙花箭竹; 3.华西箭竹

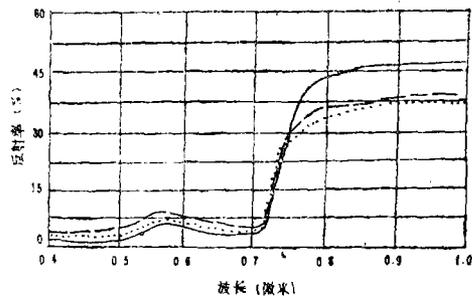


图10 峨眉山三种主食竹的光谱反射率曲线  
Fig. 10 The curves of spectral reflectance of three species of the bamboos at the Emi Mountain

1.峨眉玉山竹; 2.方竹; 3.冷箭竹

## 四、预测主食竹开花的可能性及检测方法

分析主食竹光谱特性的主要目的,是要探索预测主食竹开花的可能性。如前所述,主食竹开花前后光谱变化明显:成年竹的光谱反射率均较高,但生长成将开花竹后,光谱反射率就开始递降。这就为预测主食竹开花提供了可能。

现以缺苞箭竹为例,用数学统计法来检验成年竹与将开花竹两者的光谱反射率差异显著性,并找出差异最显著的波段,据此作为预测主食竹开花的最佳波段。

$t$  检验法是评价两类样本均值差异显著性的常用方法<sup>[6]</sup>。

统计量

$$t = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) / (S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2)^{0.5}, \quad (2)$$

式中  $\bar{x}_1$  和  $\bar{x}_2$  分别为两类样本(即主食竹的两个样品)在某波长点的反射率值;  $S_1^2$  和  $S_2^2$  分别为两类样本的反射率方差;  $n_1$  和  $n_2$  分别为两类样本的采样个数。

$t$  值的自由度

$$F = 1/[K^2/V_1 + (1-K)^2/V_2], \quad (3)$$

其中

$$K = (S_1^2/n_1)/(S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2),$$

$$V_1 = n_1 - 1, V_2 = n_2 - 2.$$

按上述统计法,对缺苞箭竹的成年竹与将开花竹的光谱测试数据进行了计算,所得结果列于附表。

附表 缺苞箭竹的成年竹和将开花竹光谱反射率差异显著性检验表  
Table Significant difference of spectral reflectance between near  
flowering and normal grown-up *Fargesia denudata*

波长 (微米)	t <sup>1)</sup>	F <sup>2)</sup>	评价 <sup>3)</sup>	波长 (微米)	t	F	评价	波长 (微米)	t	F	评价
0.40	1.52	6	/	0.60	3.35	5	++	0.80	2.30	6	+
0.41	1.75	6	/	0.61	3.04	6	++	0.81	2.24	6	+
0.42	2.10	6	+	0.62	2.83	6	++	0.82	2.13	6	+
0.43	2.53	6	++	0.63	2.96	6	++	0.83	2.15	6	+
0.44	2.19	5	+	0.64	2.72	6	++	0.84	2.09	6	+
0.45	2.51	5	+	0.65	2.32	5	+	0.85	2.10	6	+
0.46	2.61	5	++	0.66	2.19	4	+	0.86	2.00	6	+
0.47	2.81	5	++	0.67	2.14	4	+	0.87	1.98	6	+
0.48	2.72	5	++	0.68	2.13	4	/	0.88	1.91	6	/
0.49	2.90	6	++	0.69	2.13	6	+	0.89	1.95	6	+
0.50	2.70	5	++	0.70	1.88	3	/	0.90	1.85	6	/
0.51	3.14	5	++	0.71	2.25	4	+	0.91	1.88	6	/
0.52	2.63	6	++	0.72	2.53	6	++	0.92	1.75	6	/
0.53	2.92	6	++	0.73	2.63	6	++	0.93	1.86	6	/
0.54	3.24	6	++	0.74	2.53	6	++	0.94	1.96	6	+
0.55	3.33	6	++	0.75	2.44	6	+	0.95	1.86	6	/
0.56	3.20	5	++	0.76	2.37	6	+	0.96	1.84	6	/
0.57	3.07	5	++	0.77	2.27	6	+	0.97	1.79	6	/
0.58	3.36	5	++	0.78	2.31	6	+	0.98	1.83	6	/
0.59	3.65	5	++	0.79	2.22	6	+	0.99	1.92	6	/
								1.00	1.85	6	/

注: 1)t 由公式(2)求得, 2)F 由公式(3)求得, 3)/ 表示差异较显著,  $t \geq 0.10$  的置信水平; + 表示差异显著,  $t \geq 0.05$  的置信水平; ++ 表示差异非常显著,  $t \geq 0.025$  的置信水平。

由附表可见,在整个测试波段内,成年竹与将开花竹两者的光谱反射率差异性甚为显著,这表明缺苞箭竹在将要开花时光谱变化确实很大。因此用主食竹光谱反射率的变化和差异来预测开花是可行的。

从附表还可以看出,在 0.42—0.67 微米的可见光波段内和 0.71—0.87 微米的近红外波段内,光谱差异性最为明显。由于可见光波段的光谱反射率绝对值较小,因此可选后者(即 0.71—0.87 微米的近红外波段)作为预测缺苞箭竹开花的最佳波段。

上述方法也适用于其他主食竹的开花预测和最佳波段选择。

现得出如下结论: 1.不同生长发育期的主食竹光谱反射率是有差异的,主食竹将开花时近红外波段光谱反射率开始递减; 2.不同季节的同一种主食竹光谱反射率不同; 3.不同主食竹的光谱反射率有差别; 4.主食竹开花前后的光谱变化,可用来预测开花。

此次川西山区大熊猫主食竹光谱特性的研究工作,虽获初步结果,但仍存在着一些问题,如预测开花的定量判别和时间确定等,有待进一步的解决。

## 参 考 文 献

- (1) 张玉贵, 1987, 收集植被光谱反射率数据的回顾与展望, 资源遥感研究文集, 科学出版社, 第 228 页。
- (2) 秦自生, 1985, 四川大熊猫的生态环境及主食竹种更新, 竹子研究汇刊, 4(1), 第 2—4 页。
- (3) 马荣斌等, 1982, 遥感原理和工程地质判释(上册), 中国铁道出版社, 第 129—130 页。
- (4) H. Г. 哈林(王绍庆、孙世州译), 1980, 植被研究的遥感方法, 科学出版社, 第 51—57 页。
- (5) 田国良、郭世忠, 1982, 水稻的光谱反射特性, 自然资源, (2), 第 73—82 页。
- (6) 中国科学院数学研究所统计组编, 1979, 常用数理统计方法, 科学出版社, 第 23 页。

## FIELD SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE GIANT PANDA' S CHIEFFOOD BAMBOOS IN THE MOUNTAINOUS REGION OF WEST SICHUAN

Lan Libo Liu Qunzhao Chen Shunli  
(*Institute of Mountain Disaster and Environment,*  
*Chinese Academy of Sciences*)

### Abstract

Since the 1970s, the giant panda's chieffood bamboos in the mountainous region of West Sichuan have been beginning in succession to flower and wither. It imperils directly existence of the giant panda. Luckily some seeds dropped by early flowered-bamboos have grown regenerative bamboos.

In 1986 and 1987, the author measured spectrum of the bamboos by using field spectroradiometer SRM-1200 at the Wanglang Protected Region, the Jiuzhaigou Protected Region and the Emi Mountain in the mountainous region of West Sichuan. The measured samples were three species of flowering bamboos (*Fargesia denudata*, *F. nitida*, *Gelidocalamus fangianus*) and three species of unflowering bamboos (*Yushania chungii*, *Fargesia scabrida*, *Chimonobambusa szechuanensis*).

The measured result shows, 1. spectral reflectances of the bamboos at different growing periods are different, and spectral reflectance of near infrared waveband decreases progressively when the bamboos will flower, 2. spectral reflectances of same species of the bamboo at different seasons are different, 3. spectral reflectances of different species of the bamboos are different, 4. the spectral changing before the bamboo flowering can be used to forecast flowering of the bamboos.

For *Fargesia denudata*, the waveband between 0.71—0.87 $\mu$  is optimum waveband of forecasting the flower.

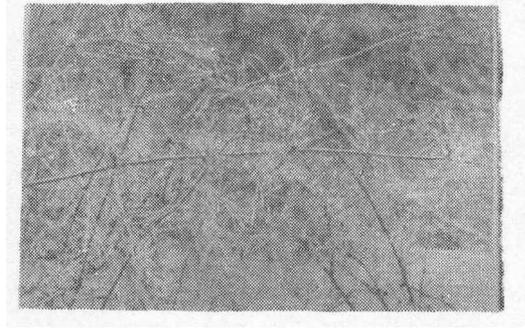
Key words mountainous region of West Sichuan, giant panda, bamboo, spectral reflectance, forecasting flower

兰立波 刘琼招等：川西山区大熊猫主食竹野外光谱特性 图版 I

Lan Libo, Liu Qunzhao et al., Field Spectral characteristics of the Giant Panda's Chief-food Bamboos in the Mountainous Region of West Sichuan Plate I



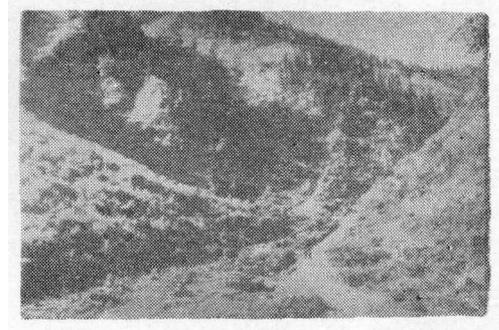
照片1 长于林下的大熊猫主食竹



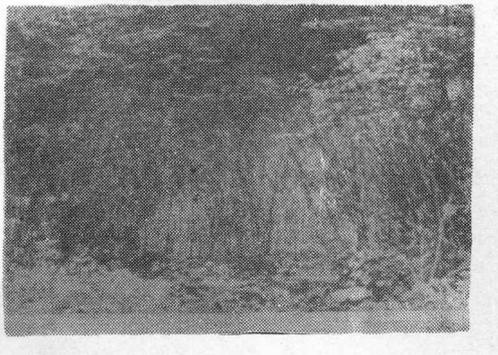
照片2 缺苞箭竹全开花后将枯死



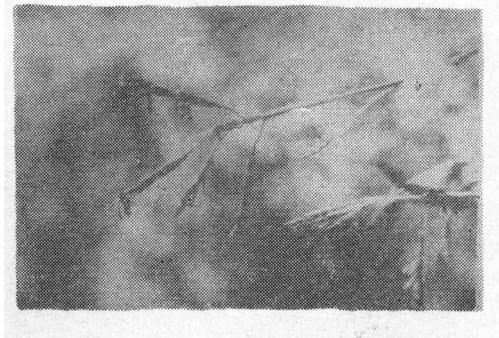
照片3 玉朗保护区林下的更新缺苞箭竹林



照片4 九寨沟保护区的大面积华西箭竹林



照片5 峨眉山开花后枯死的冷箭竹



照片6 正在开花的冷箭竹