

红壤侵蚀区马尾松林碳储量估算的 遥感植被指数选择 ——以长汀河田地区为例

曾宏达^{1,2}, 徐涵秋¹, 谢锦升², 黄绍霖¹, 陈文惠²

(1. 福州大学环境与资源学院 福州大学遥感信息工程研究所, 福建 福州 350108; 2. 福建师范大学
地理科学学院 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福建 福州 350007)

摘要:以福建省长汀县河田地区为研究区,在野外样方生物量调查和典型植被光谱测定基础上,对比分析SPOT5影像8种植被指数与马尾松林(*Pinus massoniana*)碳储量关系,估算区域尺度马尾松林碳储量。结果表明,马尾松林冠层与林下植被芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)在短波红外波段(SWIR)反射率区分明显。加入SWIR的修正的归一化植被指数(MNDVI)与森林碳储量回归决定系数最高,并有较小的均方根误差,同时可减少林下植被覆盖对马尾松林碳储量估算影响。生态恢复驱动下研究区平均碳储量增加到30.37 t/hm²。

关键词:红壤侵蚀区;长汀河田地区;碳储量;马尾松;遥感植被指数

中图分类号:S771.8/Q948

文献标识码:A

文章编号:1000-0690(2014)07-0870-06

退化土地的造林、再造林作为缓和大气CO₂浓度上升的有效手段之一^[1,2],成为一项重要的应对全球气候变化的策略^[3]。中国南方红壤区是仅次于黄土高原的第二大土壤侵蚀退化区,长期的水土流失治理改善了区域生态环境,还通过生态系统固定大气CO₂增加了大量碳汇^[4]。然而,区域尺度森林碳储量估算精度受到生物量实测样地数量和尺度转换方法的限制^[5,6]。由于此类侵蚀退化地现有的碳密度低,固碳潜力大,其潜在的大量碳储量可在碳交易上产生巨大的经济效益,因此,定量红壤侵蚀退化区生态修复驱动的碳汇对中国应对国际气候变化谈判具有重要的科学意义。

目前的大尺度森林碳储量估算主要采用森林清查资料中的林木材积和生物量扩展因子进行区域尺度碳储量估算^[7,8],但其数据源获取需要耗费大量时间和人力物力,且估测的方法各异,使结果的可靠性和可比性降低,难以准确、及时反映森林生态系统碳储量的动态变化。遥感技术为区域尺度生物量碳储量的估算提供了快捷、方便的途径^[9],其中,植被指数是遥感领域中用于表征地表

植被覆盖和生长状况的一个简单、有效的度量参数^[10],是生态系统研究成果从点至区域空间尺度拓展的连接点。一个好的植被指数对所研究的植被信息应该是敏感的^[11]。因此,为了找到一个理想的植被指数,必须首先确定影响植被指数的因素。

为此,本研究选择福建省长汀县河田地区(包括河田镇、三洲镇)为研究区,通过调查50个马尾松林样方,分析2011年11月28日空间分辨率为10 m的多光谱SPOT5影像,并结合课题组早期在该研究区建立的马尾松生物量异速生长方程和树木平均碳含量等研究结果^[12],分析红壤侵蚀区马尾松群落特征光谱,以及8种遥感植被指数与马尾松林碳储量的关系,并进行区域尺度碳储量估算。该研究对提高区域森林碳储量遥感估算的精度有重要参考价值,亦可为客观评估中国南方水土流失区生态修复的固碳增汇能力提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

福建省长汀县位于116°00′45″~116°39′20″

收稿日期:2013-06-07; **修订日期:**2013-08-18

基金项目:国家“973”计划前期研究课题(2012CB722203)、福建省自然科学基金(2010J01138)资助。

作者简介:曾宏达(1983-),男,福建晋江人,讲师,博士研究生,主要从事生态遥感研究。E-mail:hongda_z@hotmail.com

通讯作者:徐涵秋,教授。E-mail:hxu@fzu.edu.cn

E, 25°18'40"~26°02'05"N, 地处福建西部, 武夷山南麓, 南与广东近邻, 西与江西接壤, 是全国著名的革命苏区。受多次遭受战乱、贫困和人口压力等多种因素影响, 该区植被遭到毁灭性破坏, 大面积的土地土壤侵蚀退化极为严重, 在南方花岗岩红壤侵蚀区极具典型性^[13,14]。本研究所选择的长汀县河田地区包括目前的河田镇和三洲镇(图1), 是该县最严重的水土流失地区, 也是重点生态修复治理的区域。研究区位于福建省长汀县中部, 总面积 354.78 km²。河田在地貌上系一盆地, 研究区海拔范围在 255~1 030 m 之间, 盆地中间分布着大面积花岗岩质丘陵, 起伏和缓, 坡度均不超过 25°。根据 1983 年的土壤侵蚀普查, 河田水土流失面积达 1.584×10⁴hm², 占土地总面积的 53%, 其中强度、极强度占 58.93%^[15]。经过近 30 a 的治理, 极大地改善了长汀河田的生态环境, 提高了农民收入, 森林覆盖度和保土率明显提高。

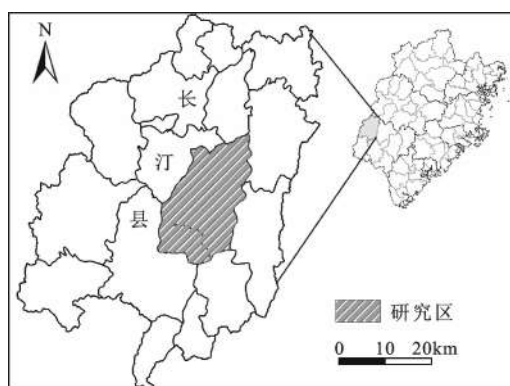


图1 福建长汀河田地区区位

Fig.1 Location of the Hetian area, Changting County, Fujian Province

此外, 该区域在多年植被措施为主的生态恢复治理过程中, 形成马尾松林占优势的森林景观, 同时, 长期自然选择与淘汰的结果, 地带性蕨类植物芒萁成为红壤丘陵区酸性土壤马尾松林下最主要的林下植被, 这也使其成为干扰马尾松林冠层光谱反射的直接影响因素。

1.2 样地数据获取及马尾松林碳储量计算

于 2010 年 11 月对福建省长汀县河田镇和三洲乡进行样地调查, 共调查马尾松林样方 50 个。样方面积 20 m×20 m, 选择在地表覆盖较均匀的样地。采用天宝 Trimble Geo XH 2008 分米级精度

GPS 对所布设的样方 4 个顶点进行定位。对样方进行每木检尺, 采用围径尺测定胸径, Vertex III 红外线测高仪辅助标杆法测树高, 采用 1 m×1 m 收获法调查林下植被盖度与生物量。基于马尾松胸径和树高计算单株生物量^[16], 该异速生长方程和马尾松的各器官重量加权平均碳含量数据来源于课题组的前期研究^[4,12]。

马尾松及其林下的芒萁高光谱数据的测定采用便携式野外光谱测量仪(ASD FieldSpec FR), 其基本指标为: 光谱范围 350~2 500 nm, 光谱分辨率 3 nm (350~1 000 nm) 和 10 nm (1 000~2 500 nm), 扫描时间 0.1 s。每个观测点记录 10 次平均后的光谱曲线, 冠层光谱曲线采用 25°FOV(视场角), 探头垂直向下距冠层顶部约 50 cm。恢复 10 a 并具有代表性的马尾松林平均林龄约 18 a, 平均树高 7.2 m, 为此在 10 m 光纤延长线和自制 9 m 伸缩杆的配合下, 选择晴朗无云天气测定马尾松光谱曲线, 同时还测定鲜活芒萁、全枯芒萁, 约 50% 枯鲜混合的芒萁等 3 种典型林下覆被类型光谱曲线, 每个类型随机重复测定, 分别记录 3 条光谱曲线, 取平均后绘制光谱曲线。

1.3 影像处理

本研究主要空间数据有: SPOT5 影像(4 个波段多光谱影像, 空间分辨率 10 m, 时间: 2011 年 11 月 28 日)和 2009 年森林资源二类调查资料, 空间信息均设置为北京 54 坐标系(高斯克吕格投影)。首先对 SPOT5 影像进行几何校正: 基于 47 个实测坐标的地面控制点(GCP)用二次多项式模型对影像进行校正, 几何平面校正的均方根误差(RMSE)小于 0.5 个像元, 同时结合 1:50 000 DEM 进行地形校正。采用纠正日照和大气条件的模型(IACM)对影像进行辐射校正^[17]。即, 通过将影像的灰度值统一到像元在卫星传感器处的反射率来达到对影像数据的辐射校正。将影像中每个像元的 DN(公式中变量为 D_N)值转换为该像元在传感器处的光谱辐射值(式 1), 然后再进一步将其转换为传感器处的反射率(式 2)。

$$L_\lambda = D_N / G_\lambda \quad (1)$$

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot (L_\lambda - L_h) \cdot d^2}{E_\lambda \cdot \cos \theta_s} \quad (2)$$

式中, L_λ 为像元在传感器处的光谱辐射值; λ 为波段; D_N 为灰度值; G 为标定系数 $G_{\text{aim}}[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})]$ 。式 2 中, ρ_λ 为像元在传感器处的反射率, 或

称表观反射率; E_0 为大气顶部的平均太阳辐照度 [$W/(m^2 \cdot \mu m)$]; θ 为太阳天顶角, 即太阳高度角的余角; L_0 为大气程辐射, 即相应波段光谱辐射亮度的最小值; d 为日地距离(天文单位)^[18]。

1.4 植被指数选取

采用 ER MAPPER 7.1 软件计算 8 种植被指数, 包括归一化植被指数(NDVI)^[19], 绿色归一化植被指数(GNDVI)^[20], 简单比值指数(SR)^[21], 修正的比值植被指数(MSR)^[22], 差值植被指数(DVI)^[23], 土壤调节植被指数(SAVI)^[24], 修正的土壤调节植被指数(MSAVI)^[25], 修正的归一化植被指数(MNDVI)^[26]。计算全景影像各植被指数后, 选择 2009 年森林资源二类调查资料中马尾松为优势树种的小班, 并用其提取研究区影像马尾松林的分布范围, 计算研究区马尾松林的碳储量。

1.5 数据叠加与统计

将定位的样方 4 个顶点连成正方形的区块, 导入样地调查的数据, 保存为矢量图层, 并利用该图层在 ArcGIS 中提取正方形区块(4 个像元)的各种 SPOT 植被指数像元均值。对样方碳储量与植被指数的回归分析采用 42 个样方数据, 其余 8 个随机选择的样方数据用于验证, 统计分析采用 SPSS 软件。最后采用 ArcGIS 对碳密度图进行像元统计得到区域总碳储量和平均碳密度。

2 结果与讨论

2.1 马尾松林及其林下植被特征光谱曲线

长汀水土流失治理前, 由于土壤的极度贫瘠、土壤水分的缺乏和地表温度的剧烈变化, 植物种类稀少, 仅有稀疏马尾松和芒萁等耐旱、耐瘠薄的植物。而以种草促林、植灌促林为主的治理后, 马尾松林下以芒萁、胡枝子、黄瑞木、岗松等耐旱瘠草灌为主, 其中多年生蕨类植物芒萁占绝对优势^[27], 在本研究所调查的样方中均有大面积的分布。

对马尾松及其林下不同生长状态芒萁的特征光谱曲线对比分析结果表明, 马尾松与芒萁两种健康植被形成光谱曲线具有明显“峰”、“谷”交替, 且波形基本同步; 其中, 在 SPOT5 影像对应的近红外波段(NIR, 780~890 nm), 鲜活芒萁平均反射率高于马尾松 78.01%, 随着芒萁枯黄比例的增加, 反射率迅速降低, 50% 枯鲜混合至全枯芒萁样方反射率分别比马尾松低 48.67% 和 90.45%。红光(R, 610~680 nm)、绿光(G, 500~590 nm)和短波红外

(SWIR, 1 580~1 750 nm)波段, 鲜活芒萁反射率比马尾松分别平均增加 70.31%, 99.22%, 55.70%。在 SWIR 波段, 林下 3 种不同生长状态的芒萁冠层光谱反射率十分接近, 平均反射率 0.258, 高出马尾松 54.49%。由此可见, 在象元或样方尺度上, 短波红外 SWIR 波段是区分马尾松林冠层与林下植被生态参量的重要波段(图 2)。

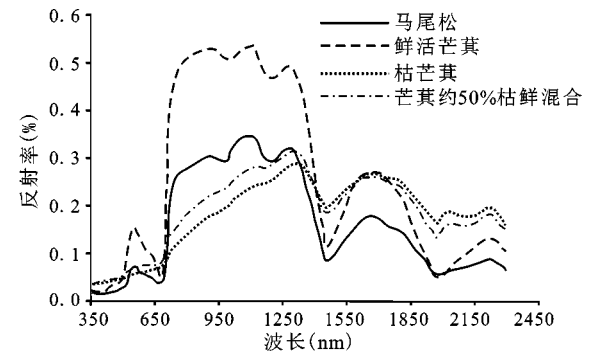


图2 马尾松与芒萁叶片反射光谱曲线

Fig. 2 Spectrum curves of *Pinus massoniana* and *Dicranopteris dichotoma*

芒萁属多年生常绿蕨类植物, 覆盖度季相变化不明显, 但空间变异较大。因此芒萁对马尾松冠层的光谱影响是其 3 种生长状态的综合。为此我们进一步对比两个植被指数马尾松高出 3 种不同生长状态芒萁的比例, 马尾松 NDVI 仅分别高出鲜活芒萁, 枯鲜混合, 枯芒萁 -1.44%, 81.76%, 65.60%, 而 MNDVI 则高出比例更大, 分别为 87.61%, 199.57%, 251.47%(表 1)。可见 MNDVI 对马尾松与芒萁的区分较 NDVI 灵敏, 能有效地校正受林下芒萁影响的马尾松林像元植被指数。

表1 马尾松与芒萁冠层光谱植被指数比较

Table 1 Comparison of canopy spectral vegetation index between *Pinus massoniana* and *Dicranopteris dichotoma*

波段和植被指数	马尾松	芒萁			
		不同生长状态均值	鲜活芒萁	枯鲜 1:1 混合	枯芒萁
NDVI	0.719	0.588	0.729	0.434	0.395
MNDVI	0.503	0.219	0.268	0.168	0.143

2.2 马尾松林碳储量估算的回归模型

回归分析结果表明, 马尾松林碳储量与 SPOT5 影像提取的不同植被指数呈现不同程度的

指数回归关系。其中,河田盆地马尾松林碳储量与MNDVI的回归决定系数最高,达0.826,并且均方根误差RMSE较小;NDVI、GNDVI、SR、MSR决定系数均大于0.7,其中NDVI的RMSE最小;SAVI、MSAVI、DVI回归决定系数均小于0.6,且RMSE均大于18(表2)。

表2 不同植被指数与马尾松林碳储量的指数回归关系

Table 2 Exponential regression among different vegetation indices and index of <i>Pinus massoniana</i> carbon storage				
植被指数	方程	R^2	Sig.	均方根误差
MNDVI	$y = 1.8657e^{6.4235x}$	0.826	<0.001	16.370
NDVI	$y = 0.1138e^{9.0124x}$	0.733	<0.001	16.106
SAVI	$y = 0.1764e^{12.306x}$	0.522	<0.001	18.964
MSAVI	$y = 0.3171e^{11.302x}$	0.489	<0.001	19.165
DVI	$y = 0.5577e^{15.043x}$	0.300	<0.001	24.734
GNDVI	$y = 0.0053e^{13.199x}$	0.708	<0.001	16.209
SR	$y = 0.5312e^{0.9479x}$	0.714	<0.001	27.049
MSR	$y = 0.7111e^{3.5138x}$	0.724	<0.001	16.858

林地的NDVI大小取决于植被覆盖度和叶面积指数,且容易受到土壤、林下植被、枯落物等冠层背景的影响。在本研究中,相同的样方生物量,但各植被指数却因林冠郁闭度低而不同程度地受到林下植被的影响,从而导致高估样方生物量。其中,MNDVI指数采用SWIR波段作为校正因子,对于林分郁闭度不高,林下芒萁遍布的样方,具有抑制高估生物量的作用。因为在这种样方里,林下芒萁导致NIR反射率升高的同时,也会使SWIR反射率升高。根据MNDVI的构建公式^[26]可知,SWIR的加入可降低NDVI值,所以,该指数可调低受林下植被影响而偏高的稀疏林冠的遥感生物参

数^[26],从而提高实际样方的森林生物量碳储量与植被指数的相关程度(图3)。此结果与Leonard等利用Landsat TM的短波红外辐射信号改进针叶林叶面积指数反演的结论相似^[28]。

2.3 不同植被指数反演河田盆地马尾松林碳储量

采用文献[19~26]的各植被指数对研究区马尾松林碳储量进行估算,结果在 $(5.797 \sim 11.229) \times 10^7 \text{t}$ 之间,各指数估算值的大小依次为MNDVI<NDVI<DVI<SAVI<GNDVI<MSAVI<MSR<SR(表3)。河田盆地马尾松林面积为190.93 km²,根据MNDVI估算的碳密度为30.370 t/hm²,在所有植被指数中最小,与覆盖研究区的50个实测样方平均碳储量30.459 t/hm²十分接近,NDVI对碳密度估算值则高于实测样方均值5.018 t/hm²,其它植被指数反演结果更是不同程度地高于实测均值。该结果与上述特征光谱曲线共同表明,林下植被芒萁是导致高估河田地区马尾松林碳储量的主要因素,加入SWIR波段的植被指数,有助于减少林下植被覆盖对马尾松林碳储量高估影响。

河田地区马尾松林地占该区总面积约85%,经过近30 a的水土流失治理,特别是近10 a来的大规模治理,曾经分布着的大面积剧烈侵蚀裸地的水土流失区,森林覆盖率已得到不同程度地提高,在生态恢复驱动下的马尾松林平均碳储量逐渐增加到目前的30.370 t/hm²,但是,标准差仍达28.125 t/hm²,说明该区马尾松林的碳储量分异还很明显(图4)。研究区边缘的较高海拔山地碳密度较高,原因在于,这些地方长期较少受人类活动的干扰,植被保存完好。盆地中部有少数区块马尾松林有较高的碳储量,主要见于20世纪80年代便开始治理的水东坊、八十里河和罗地等地区。随着植被恢复,其它大部分低山丘陵的马尾松林将具有较

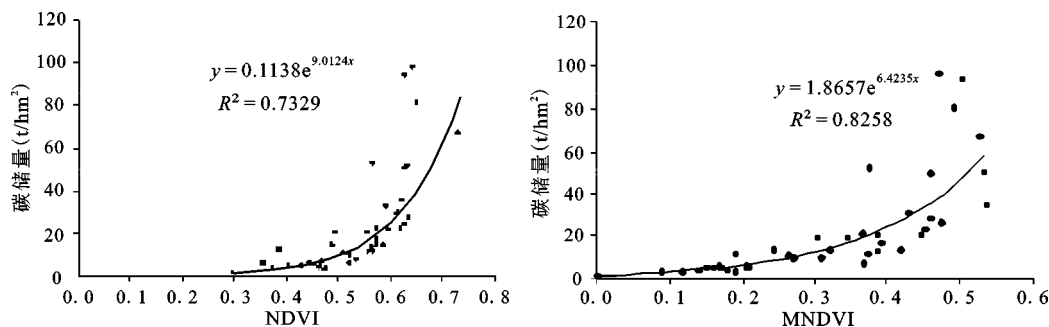


图3 NDVI与MNDVI与马尾松碳储量的指数回归

Fig.3 Exponential regression between carbon storage of *Pinus massoniana* and NDVI, MNDVI

表3 不同植被指数对河田盆地马尾松林碳储量的估算

Table 3 Estimation of *Pinus massoniana* carbon storage with different vegetation indices

植被指数	碳密度 (t/hm ²)	标准差 (t/hm ²)	范围 (t/hm ²)	区域碳储量 (10 ⁴ t)
MNDVI	30.370	28.125	257.999	5.797
NDVI	35.477	30.111	933.636	6.772
SAVI	40.933	54.279	1331.062	7.814
MSAVI	45.193	69.588	2015.930	8.627
DVI	37.701	62.683	3306.366	7.197
GNDVI	43.011	48.627	1899.355	8.210
SR	100.188	489.530	243770.630	19.125
MSR	58.823	102.640	9041.559	11.229

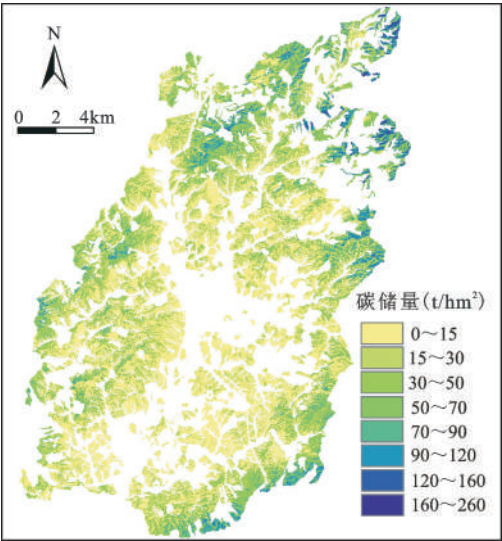


图4 河田盆地马尾松林碳储量分布

Fig. 4 Carbon storage map of *Pinus massoniana* in the Hetian area

大的碳汇潜力。

3 结 论

1) 在 SPOT5 影像对应的 SWIR 波段(1 580~1 750 nm), 林下 3 种不同生长状态的芒萁冠层光谱反射率十分接近, 平均反射率 0.258, 均高于马尾松 50% 以上。据此, 短波红外波段可作为区分马尾松林冠层与林下植被生态参量的重要波段。

2) SPOT5 影像提取 8 种植被指数建立的马尾松林碳储量估算模型中, MNDVI 回归决定系数最高, 并具有较小的均方根误差; 对比其它 7 个遥感植被指数反演马尾松林碳储量结果, 林下植被芒萁是导致高估河田盆地马尾松林碳储量的主要因

素, 具有 SWIR 波段的 MNDVI 植被指数, 可减少林下植被对马尾松林碳储量的高估影响。

3) 经过近 30 a 的水土流失治理, 以及近 10 a 来大规模的治理, 生态恢复驱动下河田地区马尾松林平均碳储量已增加到目前的 30.37 t/hm², 盆地中间大部分低丘马尾松林仍具有较高的碳汇潜力。

致 谢: 在本文的试验研究过程中, 课题组成员何圣嘉、田浩、张清林、陈淑桂、杨冉冉、林娜、吕茂奎和胥超等同学参与了野外样方调查工作, 在此表示衷心的感谢!

参考文献:

[1] Ravindranath N H. 林业碳汇计量[M]. 李怒云, 吕佳编, 译. 北京: 中国林业出版社, 2009: 18~21.

[2] 张小全, 侯振宏. 森林退化、森林管理、植被破坏和恢复的定义与碳计量问题[J]. 林业科学, 2003, 39(4): 140~144.

[3] IPCC. Land-use, land-use change and forestry[M]//Watson R T, Noble I R, Bolin B, et al. A Special Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 375.

[4] 杨玉盛, 谢锦升, 陈光水, 等. 红壤侵蚀退化地生态恢复后 C 吸收量的变化[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 17~19.

[5] Arriaga F J, Lowery B. Spatial distribution of carbon over an eroded landscape in southwest Wisconsin[J]. Soil and Tillage Research, 2005, (81): 155~162.

[6] 王瑞静, 赵 敏, 高 峻. 城市森林主要植被类型碳储量研究——以崇明岛为例[J]. 地理科学, 2011, 31(4): 490~494.

[7] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. Science, 2001, (292): 2320~2322.

[8] Tian X, Su Z, Chen E, et al. Estimation of forest above-ground biomass using multi-parameter remote sensing data over a cold and arid area[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012, 14(1): 160~168.

[9] Xiao Y, An K, Xie G D, et al. Carbon sequestration in forest vegetation of Beijing at Subplot Level[J]. Chinese Geographical Science, 2011, 21(3): 279~289.

[10] 梁顺林. 定量遥感[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 180~197.

[11] Lu H L, Yan W Y, Qin Y C, et al. Effects of Normalized Difference Vegetation Index and Related Wavebands' Characteristics on Detecting Spatial Heterogeneity Using Variogram-based Analysis[J]. Chinese Geographical Science, 2012, 22(2): 188~195.

[12] 韩立立, 谢锦升, 曾宏达. 百喜草治理对退化红壤生态系统碳库及分配的影响[J]. 亚热带资源与环境学报, 2013, 8(1): 33~40.

[13] 赵其国. 闽西南及赣南地区水土流失治理问题的思考与建议[J]. 中国水土保持, 2006, (8): 1~3.

[14] 林 晨, 周生路, 吴绍华. 30 年来东南红壤丘陵区土壤侵蚀度时空演变研究——以长汀县为例[J]. 地理科学, 2011, 31(10): 1235~1241.

[15] 赵昭明. 福建河田盆地水土流失地区用林草措施治理的研究

- [J].水土保持学报,1987,1(1):81~89.
- [16] 冯宗炜,王效科,吴刚,著.中国森林生态系统的生物量和生产力[M].北京:科学出版社,1999:164~171.
- [17] 徐涵秋.基于影像的LandsatTM/ETM+数据正规化技术[J].武汉:武汉大学学报(信息科学版),2007,32(1):62~66.
- [18] Chander G,Markham B L,Helder D L.Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS,TM,ETM+, and EO-1 ALI sensors[J].Remote Sensing of Environment,2009,(113):893-903.
- [19] Rouse J W,Haas R H.Monitoring vegetation systems in the great plain with ERTS[C].Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium,Washington DC:NASA.,1973:309-317.
- [20] Gitelson A,Kaufman Y J.MODIS NDVI optimization to fit the AVHRR data series-spectral considerations[J].Remote Sensing of Environment,1998,(66):343-350.
- [21] Birth G S,Mcvey G.Measuring the color growing turf with a reflectance spectrophotometer[J].Agronomy Journal,1968,(60):640-643.
- [22] Chen J M.Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications[J].Canadian Journal of Remote Sensing,1996,(22):229-242.
- [23] Richardson A J,Wiegand C L.Distinguishing vegetation from soil background information[J].Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,1977,(43):1541-1552.
- [24] Huete A R.A soil adjusted vegetation index (SAVI) [J].Remote Sensing of Environment,1988,(25):295-309.
- [25] Qi J,Chehbouni A,Huete A R,et al.A modified soil adjusted vegetation index (MSAVI) [J].Remote Sensing of Environment,1994,(48):119-126.
- [26] Nemani R R,Pierce L L,Running S W,et al.Forest ecosystem processes at the watershed scale:sensitivity to remotely-sensed Leaf Area Index estimates[J].International Journal of Remote Sensing,1993,(14):2519-2534.
- [27] 曾河水.种草对马尾松林地植被多样性的影响[J].中国水土保持,2003,(1):26~27.
- [28] Leonard B,Chen J M,Leblanc S G,et al.A shortwave infrared modification to the simple ratio for LAI retrieval in boreal forests-an image and model analysis[J].Remote Sensing Environment,2000,7(1):16-25.

Selection of Vegetation Indices for Estimating Carbon Storage of *Pinus massoniana* Forest in a Reddish Soil Erosion Region: A Case Study in Hetian Area of Changting County, Fujian Province, China

ZENG Hong-da^{1,2}, XU Han-qiu¹, XIE Jin-sheng², HUANG Shao-lin¹, CHEN Wen-hui²

(1. College of Environment and Resources, Fuzhou University; Institute of Remote Sensing Information Engineering, Fuzhou University; Fuzhou, Fujian 350108, China; 2. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract: The Hetian area of Changting County in Fujian Province was selected as a case to examine the quantitative relationship between eight remote sensing vegetation indices (VIs) and the forest carbon storage in the Hetian area by plot sampling and analysis of biomass allometric equations and SPOT-5 imagery. We then estimated the carbon storage of *Pinus massoniana* forest for the area. The results show that the spectral reflectance of *Pinus massoniana* canopy and its understory vegetation, *Dicranopteris dichotoma* could be clearly distinguished in SWIR(Short Wave Infrared) band. The degree of agreement between the VI and the carbon storage of the forest are different among the eight used indices, with the MNDVI (Modified Normalized Difference Vegetation Index) having the highest R^2 value and second smallest RMSE value. The VI constructed with a SWIR band could reduce the overestimation in the forest's carbon storage caused by the effects of understory vegetation. After 30 years' effort of management to reduce soil loss in the area, particularly in the past 10 years, the ecologically restored carbon under the *Pinus massoniana* forest has reached to 30.37 t/hm² on average.

Key words: reddish soil erosion area; Hetian area of Changting County; carbon storage; *Pinus massoniana*; remote sensing vegetation index