

基于RS的安宁河上游植被覆盖时空变化研究*

胡玉福 蒋双龙 刘宇 李翔 王钰婷 陈波

(四川农业大学资源环境学院,成都611130)

摘要:以TM和ETM+遥感影像为数据源,利用RS和GIS技术,提取和分析了1999—2010年安宁河上游植被覆盖度及其时空变化特征,并结合Aster DEM数据分析了不同海拔高度带和坡度带的植被覆盖分布及变化特征。研究表明,研究区植被覆盖状况总体较好,植被覆盖度 $f_c \geq 0.5$ 的区域面积占研究区总面积的比例达60%以上;研究区植被覆盖度总体呈增加趋势,I级($f_c \geq 0.7$)、II级($0.5 \leq f_c < 0.7$)和III级($0.3 \leq f_c < 0.5$)植被覆盖度区域面积分别增加了1.24%、4.36%和2.28%,而IV级($0.1 \leq f_c < 0.3$)和V级($f_c < 0.1$)植被覆盖度区域面积呈减少特征,分别减少了25.72%和12.28%;植被覆盖度较低的区域主要分布在海拔高度相对较低的地带,随着海拔高度的升高植被覆盖度呈现出先增加后减少的趋势,海拔高度低于3000m的地带植被覆盖变化较为明显,主要表现为低植被覆盖度向高植被覆盖度转化,其中海拔高度低于2500m的地带变化最为显著,海拔高度大于3000m的地带受人为活动影响小,植被覆盖变化相对较小;研究区植被覆盖度较高的区域主要分布在坡度相对较陡的地带,而植被覆盖度较低的区域主要分布在坡度相对较缓的地带,植被覆盖度变化较为明显的区域主要集中在坡度 $25^\circ \sim 45^\circ$ 的地带,其次是坡度 $0^\circ \sim 25^\circ$ 的地带;坡度 45° 以上的地带受人为活动影响小,植被覆盖变化不明显;受水热条件的影响,研究区植被覆盖度随坡向的变化特征呈现从大到小依次为阳坡($135^\circ \sim 225^\circ$)、半阳坡($45^\circ \sim 135^\circ$)、半阴坡($225^\circ \sim 315^\circ$)、阴坡($0^\circ \sim 45^\circ, 315^\circ \sim 360^\circ$),1999—2010年各坡向地带的植被覆盖度均有不同程度的提高,其中,阳坡提高幅度相对较大,阴坡提高幅度相对较小。

关键词: 植被覆盖度 时空变化 遥感 地理信息系统

中图分类号: Q948.15+6; TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)05-0205-11

引言

植被覆盖度作为植被的直观量化指标,对水土保持、水源涵养、调节径流和改善森林小气候等生态功能具有重要意义,目前植被覆盖变化研究已成为生态环境变化研究领域的核心内容之一^[1-2]。植被覆盖度的估算主要包括地面样方实测法和遥感估算法,但前者需花费大量的人力、物力和财力,不适用于大范围的植被信息提取,后者因其花费少,时间短,数据获取方便,能够实现长时序、广范围的植被动态监测,已逐步成为区域生态环境的宏观监测重要手段^[3-4]。大量研究表明,基于归一化植被指数(NDVI)的植被覆盖度估算技术已日趋成熟^[5-8],并被广泛应用于区域植被信息的动态监测,已取得大量宝贵成果。近年来,国内外学者在不同的时间和空间尺度上,对植被覆盖的时间变化规律、空间分布特征进行了较多的研究,但这些研究多集中在西部青藏高原、西北干旱和半干旱地区以及北部蒙古草原等区域,而对我国西南林区的研究相对薄弱;在研究内容上现有研究重点从区域整体角度分析植被覆

盖度在时空变化特征,而地形对植被覆盖具有显著的影响,但目前关于区域植被覆盖度的地形分异及变化特征的研究相对薄弱,尤其是同时结合海拔高度、坡度、坡向3种地形因子定量分析区域植被覆盖度空间格局和变化特征的报道相对较少^[9-12]。

安宁河流域是我国生物多样性最丰富的地区之一,长期以来受到国内外学术界的广泛关注。目前,关于我国横断山区地质、地貌、水文、土壤、动植物资源及生物多样性已有较多研究和报道^[13-15],但关于该区大尺度、长时段的植被覆盖度时空变化的研究较少。因此,本文基于归一化植被指数像元二分模型,以RS和GIS为技术手段,结合海拔高度、坡度、坡向等地形因子,对该区1999—2010年植被覆盖度时空分异特征进行分析研究,以为该区及长江上游生态环境建设和土地的可持续利用提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

安宁河属长江二级支流,汇集于长江最大的一

收稿日期:2013-11-25 修回日期:2014-01-07

* 国家科技支撑计划资助项目(2008BAK51B02)和四川省科技支撑计划资助项目(2013SZ0110)

作者简介:胡玉福,副教授,博士,主要从事3S技术在资源环境中的应用研究,E-mail: 66433119@qq.com

级支流雅砻江,研究区位于四川省西南部,地处横断山脉东侧、川西南山地与川西北高原的过渡地带(图1)。岩石坚硬,断层发育,山脉连绵起伏,岭高谷深,沟壑纵横。地形复杂,北高南低,地貌类型多样,包括平坝、台地、低丘、低中山、中山、高山、极高山、山原、高平原和高原原等。该区气候属于亚热带季风气候,日照充足,雨量丰沛,冬暖夏凉,雨热同季,无霜期达 280 ~ 320 d,多年平均气温为 17.2℃,最冷月平均气温为 9.5 ~ 11.7℃,极端最低气温为

-3.4℃,多年平均降水量 1 043 mm,主要集中在 6 ~ 11 月份,占总降水量 90% 以上。由于纬度较低、海拔较高,该区气候也兼有高原气候特点,气候垂直地带性明显,气温随海拔高度升高而递减,西部高于东部,南部高于北部,年降水量随海拔高度升高而增大,北部高山区多于南部河谷区。土壤类型包括水稻土、潮土、新积土、紫色土、红壤、黄棕壤、棕壤、暗棕壤、棕色针叶林土、山地草甸土、亚高山草甸土、沼泽土、红色石灰土、黑色石灰土等 14 种。

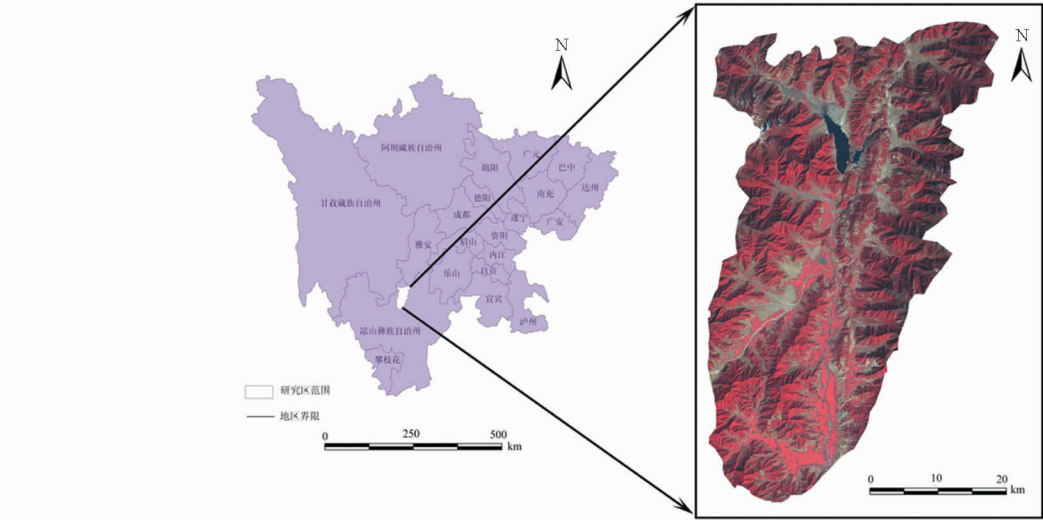


图 1 研究区地理位置
Fig. 1 Geographic location of study area

1.2 数据来源与处理

根据本文研究内容和地表景观的季相差异,本文选取的遥感影像为美国 Landsat 卫星 1999 年 6 月的 TM 和 2010 年 7 月的 ETM + 2 期遥感影像数据,图像空间分辨率均为 30 m × 30 m,2 个时期图像成像时间接近,植被处于同一物候期,植被覆盖度变化在时间和空间上都有较好的可比性,图像质量良好,并已作过辐射校正和几何粗校正。数字高程模型 (DEM) 选取了 ASRER 卫星提取的 DEM 图像数据,图像空间分辨率为 30 m × 30 m。非遥感数据主要包括研究区 1:50 000 的地形图、土地利用现状图、土壤图、植被图以及各种社会经济统计资料和数据。

以研究区 1:50 000 地形图作为标准参照,选取地形图和遥感影像上较易识别和定位的同名地物作控制点,在 Erdas Image 9.2 中分别对 1999 年的 TM 影像、2010 年的 ETM + 影像进行几何精校正,几何校正时像元灰度重采样采用双线性内插法,像元的大小为 30 m × 30 m,其校正精度控制在 1 个像元之内。然后采用 AOI 多边形裁剪的方法获取安宁河上游 2 个时期的遥感影像图像及研究区的 DEM 数字高程图像。

1.3 植被覆盖度信息提取

1.3.1 植被指数信息提取

植被指数是从多光谱遥感数据中提取的地表植被状况的光谱量数值,是表征地表植被特征的重要参量,携带了丰富的地表植被结构、功能信息,与植被的盖度、生物量等有较好的相关性^[16]。归一化植被指数随植被生物量呈线性增加,能够较好地反映植被特征、生长状态及植被覆盖度等信息,是监测作物长势、估算植被叶面积指数、生物量和光合效率的最常用指标^[17-19],被广泛应用于区域及全球尺度的植被动态监测、牧草和农作物面积及产量估算、物候特征识别等方面^[20-27]。其提取方法为

$$I_N = \frac{N_{IR} - R}{N_{IR} + R} \tag{1}$$

式中 I_N ——归一化植被指数
 N_{IR} ——近红外波段地表反射率
 R ——可见光红光波段地表反射率

本研究运用 Erdas Image 9.2 软件 Spatial Modeler 模块建立归一化植被指数模型,以获得研究区植被指数数据。归一化植被指数大于 0.1,地表通常有植被覆盖,其值越大表明植被生长活动越强,其值越小,表明植被生长活动越弱;归一化植被指数

小于 0.1,则地表少有植被或无植被覆盖,裸土、沙漠、戈壁、水域、冰雪覆盖等地区归一化植被指数常为负值^[28]。

1.3.2 植被覆盖度估算

植被覆盖度定义为单位面积内植被的垂直投影面积,是衡量地表植被状况的重要指标,与植被指数之间存在极显著的线性关系^[29-32]。根据像元中的植被覆盖结构不同,可分为均一像元和混合像元两类,当像元为完全被植被覆盖时,其植被覆盖度为 1,属均一像元,当植被不能完全覆盖整个像元时,其植被覆盖度小于 1,属于混合像元。目前,基于归一化植被指数像元二分模型对植被覆盖度进行估算已得到了广泛应用^[33-35],其基本原理是假定一个像元信息 S 只由植被与土壤两部分贡献,分别为绿色植被贡献信息 S_v 和非植被贡献信息 S_s ,则有

$$S = S_v + S_s \tag{2}$$

设像元内植被覆盖度为 f_c ,纯植被覆盖的像元信息为 S_{veg} ,无植被覆盖的像元信息为 S_{soil} ,则

$$S_v = S_{veg} f_c \tag{3}$$

$$S_s = S_{soil} (1 - f_c) \tag{4}$$

将式(3)和式(4)代入式(2)可得

$$f_c = \frac{S - S_{soil}}{S_{veg} - S_{soil}} \tag{5}$$

因此将归一化植被指数同像元二分模型相结合,得到了基于归一化植被指数的植被覆盖度像元二分模型

$$f_c = \frac{I_N - I_{Nsoil}}{I_{Nveg} - I_{Nsoil}} \tag{6}$$

式中 I_{Nsoil} ——裸土或无植被覆盖区域的归一化植被指数

I_{Nveg} ——全植被覆盖像元的归一化植被指数

根据《土壤侵蚀分类分级标准》,将不同的水土流失等级对应于不同等级的植被覆盖度,并结合研究区的具体情况,将植被覆盖度分为 5 个等级进行分析研究:Ⅰ级植被覆盖度, $f_c \geq 0.7$;Ⅱ级植被覆盖度, $0.5 \leq f_c < 0.7$;Ⅲ级植被覆盖度, $0.3 \leq f_c < 0.5$;Ⅳ级植被覆盖度, $0.1 \leq f_c < 0.3$;Ⅴ级植被覆盖度, $f_c < 0.1$ 。

1.3.3 I_{Nsoil} 与 I_{Nveg} 参数的确定

I_{Nsoil} 与 I_{Nveg} 阈值的确定是本研究的关键,理论上, I_{Nsoil} 接近于零,但受地表粗糙度、湿度及土壤类型、颜色等因素的影响, I_{Nsoil} 会随着时间和空间发生变化,其变化范围一般在 $-0.1 \sim 0.2$ ^[36-37],但对于特定的土壤类型,其 I_{Nsoil} 值是确定的。而由于 I_{Nveg} 值受植被类型差异及地表植被覆盖季节变化的影响,也具有较强的时空异质特征。因此,仅采用一个

固定 I_{Nsoil} 值和 I_{Nveg} 值不能真实地反映出区域内的植被覆盖度状况,即使在同一景遥感影像上也应有所变化^[38]。在实际应用中,植被类型随土地利用类型而变化,同一土地利用类型的植被类型近似,其 I_{Nveg} 值也相近,因此,为了提高植被覆盖度估算的准确性和精度,本研究在利用遥感技术估算植被覆盖度时,以土地利用现状图和土壤图的套合图作为确定 I_{Nveg} 和 I_{Nsoil} 值的依据。相关研究表明, I_{Nveg} 与 I_{Nsoil} 取给定置信度的置信区间内的最大值与最小值,可以在一定程度上消除遥感影像噪声所带来的误差^[39],因此本研究选取只有一种土地利用方式和一种土壤类型的 NDVI 图像内累计频率为 5% 的归一化植被指数作为其 I_{Nsoil} 值,选取累计频率为 95% 的归一化植被指数作为其 I_{Nveg} 值。

研究区位于我国西南林区,土地利用方式主要以林、草地为主,兼少量耕地和其他用地,土壤类型主要包括水稻土、潮土、紫色土、红壤、黄红壤、黄棕壤、棕壤、暗棕壤等多种类型。本研究以土地利用现状图和土壤图为依据,在 ArcGIS 9.3 平台下,对土地利用现状图和土壤图进行叠加套合,并用套合图分别叠加套合 1999 年和 2010 年的 NDVI 图像。然后分别确定不同土地利用方式的 I_{Nveg} 值和土壤类型的 I_{Nsoil} 值,在 Erdas Image 9.2 软件的 Spatial Modeler 模块内建立植被覆盖度计算模型分别计算各个套合图斑的植被覆盖度,以获取研究区 1999 年和 2010 年 2 个时期的整体植被覆盖度图。

1.3.4 结合地形因子对带植被覆盖度变化分析

运用 ArcGIS 9.3 将 DEM 数据裁剪后进行高程、坡度和坡向提取,本研究根据安宁河上游具体的地形地势情况,将海拔高度按照 0 ~ 2 000 m、2 000 ~ 2 500 m、2 500 ~ 3 000 m、3 000 ~ 3 500 m 和 3 500 m 以上分为 5 个高程带,将坡度按照 0° ~ 25°、25° ~ 45°和 45°以上分为 3 个坡度带,将坡向按照阴坡 (0° ~ 45°,315° ~ 360°)、半阳坡 (45° ~ 135°)、阳坡 (135° ~ 225°)、半阴坡 (225° ~ 315°) 分为 4 个坡向带(图 2)。最后将高程数据、坡度数据和坡向数据分别与 2 个时期的植被覆盖度数据进行叠加分析,从而获得研究区域植被覆盖度随海拔高度、坡度、坡向的变化情况。

2 结果分析

2.1 精度验证

为保证本次研究结果的正确性,在研究区内选取了 24 个 2 像元 × 2 像元的样区进行实地验证。为保证实地调查地表状态与遥感影像成像时间地表地物状态相似,于 2011 年 6 月 28 日—7 月 5 日对冕

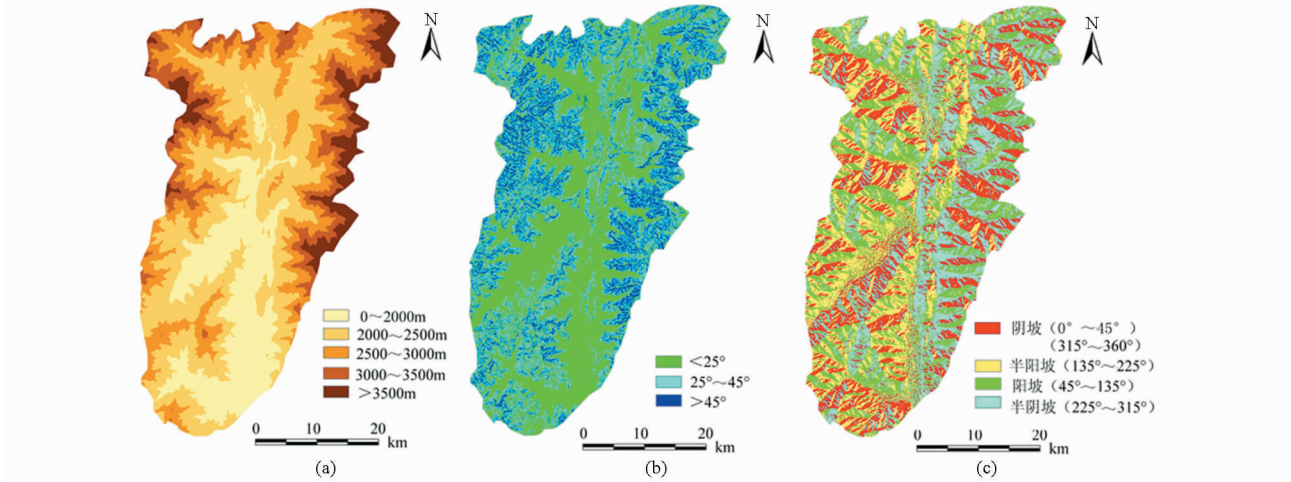


图 2 研究区地形图
Fig.2 Topographic maps in study area
(a) 高程图 (b) 坡度图 (c) 坡向图

宁县的大桥镇、曹古乡、复兴镇、回平乡、河里乡、铁厂乡等 6 个乡镇进行实地调查。实际操作过程中,利用 GPS 定位,获取样区 4 个方位的经纬度,同时综合运用数码照相法、样方调查法和目估法,获取样区内的植被覆盖度。最后将野外实地测量的结果与遥感影像估算的结果进行线性相关分析,结果表明,应用归一化植被指数像元二分模型的估算结果与实测值之间有较高的相关性,相关系数达到了 0.711 7 (图 3),说明本研究遥感植被覆盖度具有较高的精度和准确性。

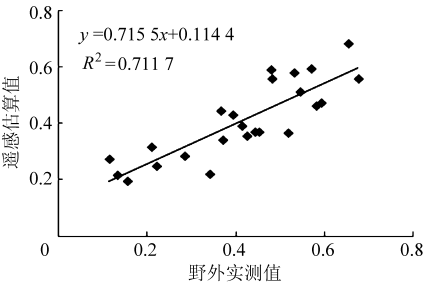


图 3 植被覆盖度估算结果与实测结果相关性分析
Fig.3 Correlation analysis of vegetation coverage between estimation results and measured results

2.2 植被覆盖度空间分布及总体变化特征

植被覆盖的空间分布特征分析结果表明,Ⅰ级 ($f_c \geq 0.7$) 和Ⅱ级 ($0.5 \leq f_c < 0.7$) 植被覆盖度主要集中分布在远离河谷的北部、西部及西南部中、高山区,Ⅲ级 ($0.3 \leq f_c < 0.5$) 植被覆盖度区域主要分布在安宁河支流河谷两岸的低山区,Ⅳ级 ($0.1 \leq f_c < 0.3$) 和Ⅴ级 ($f_c < 0.1$) 植被覆盖度区域则主要分布在海拔高度相对较低、地势相对平坦、人口相对密集的安宁河谷沿岸,以及东部边缘和西北边缘高海拔地带(图 4)。统计结果表明,研究区植被覆盖度 $f_c \geq 0.5$ 的区域面积占研究区总面积的比例达 60%

以上,各级植被覆盖度中,以Ⅱ级植被覆盖度区域面积最大,占 38% 以上,其次是Ⅲ级和Ⅰ级植被覆盖度区域,分别占研究区总面积的 28% 和 22% 以上,而植被覆盖度 $f_c < 0.3$ 的区域面积较小,仅占研究区面积的 10% 左右(表 1),表明研究区地处川西南山区,受人类活动干扰较少,植被覆盖状况总体较好。

1999—2010 年研究区植被覆盖度整体呈现增加的特征,Ⅰ级、Ⅱ级和Ⅲ级植被覆盖度区域面积均

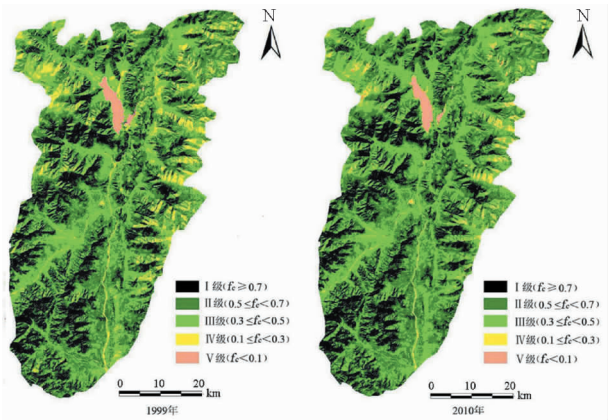


图 4 不同时期植被覆盖度等级图
Fig.4 Grade map of vegetation coverage in different periods

表 1 1999—2010 年研究区植被覆盖度变化
Tab.1 Variation of the vegetation coverage from 1999 to 2010 in study area

等级	1999 年		2010 年		1999—2010 年	
	面积 /hm ²	比例 /%	面积 /hm ²	比例 /%	增加面积 /hm ²	增加比 例/%
Ⅰ 级	37 383.48	22.02	37 847.38	22.29	463.90	1.24
Ⅱ 级	66 101.46	38.94	67 607.47	39.82	1 506.01	2.28
Ⅲ 级	48 429.09	28.53	50 542.43	29.77	2 113.34	4.36
Ⅳ 级	14 061.51	8.28	10 444.55	6.15	-3 616.96	-25.72
Ⅴ 级	3 798.11	2.24	3 331.82	1.96	-466.29	-12.28
合计	169 773.65	100	169 773.65	100	0	—

有不同程度的增加,其中,Ⅱ级和Ⅲ级植被覆盖度区域面积增加较大,分别增加了 1 506.01 hm² 和 2 113.34 hm²,增幅分别为 4.36% 和 2.28%;与此同时,Ⅳ级和Ⅴ级植被覆盖度区域面积呈下降趋势,其中,Ⅳ级植被覆盖度区域面积减小最为显著,共减小面积 3 616.96 hm²,降幅达 25.72%,Ⅴ级植被覆盖度区域面积减小了 466.29 hm²,降幅达 12.28%。呈现上述趋势是因为研究区地处长江上游,是长江上游重要的生态水源涵养地,近年来在天然林保护工程和退耕还林(草)等政策和措施的影响下,植被覆盖进一步提高。

2.3 植被覆盖度区域面积转换特征

研究区各级植被覆盖度区域面积的单纯增减并不能很好地反映各级植被覆盖度区域的转化情况和变化过程,因此本文在遥感图像处理软件 Erdas Imagine 9.2 中通过矩阵运算得到 1999—2010 年研究区各等级植被覆盖度转移矩阵(表 2)。统计分析结果表明,1999—2010 年研究区Ⅰ级($f_c \geq 0.7$)和Ⅱ级($0.5 \leq f_c < 0.7$)植被覆盖度区域转出面积分别为 965.27 hm² 和 1 466.47 hm²,转入面积分别为 1 429.17 hm² 和 2 972.48 hm²,转入大于转出,面积呈增加趋势。Ⅰ级和Ⅱ级植被覆盖度区域面积转出量较小,仅占 1999 年Ⅰ级和Ⅱ级植被覆盖度区域的 2.58% 和 2.22%,说明研究区Ⅰ级和Ⅱ级植被覆盖度区域地处偏远的中、高山区,受人类活动的干扰较

小,植被覆盖总体较为稳定。Ⅰ级植被覆盖度转入来源主要为Ⅱ级和Ⅲ级($0.3 \leq f_c < 0.5$)植被覆盖度,其转入面积之和占总转入面积的 74.81%。而Ⅱ级植被覆盖度转入来源主要为Ⅲ级和Ⅳ级($0.1 \leq f_c < 0.3$)植被覆盖度,其转入面积之和占总转入面积的 87.78%。其原因是 1998 年长江下游发生巨大洪水灾害以后,实施了天然林保护工程和封山育林工程,使研究区中、高山区域植被覆盖度进一步提高。Ⅲ级植被覆盖度区域转入面积为 4 815.47 hm²,转出面积为 2 702.13 hm²,转入大于转出,面积呈现增加特征,其中转出面积的去向主要是转为Ⅰ级和Ⅱ级植被覆盖度区域,分别占转出面积的 22.67% 和 53.64%,转入来源主要是Ⅳ级植被覆盖度区域,占转入面积的 73.44%。Ⅳ级和Ⅴ级($f_c < 0.1$)植被覆盖区域面积均呈减少特征,其中Ⅳ级植被覆盖区域转出去向主要是转为Ⅲ级和Ⅱ级植被覆盖度区域,分别占转出面积的 69.22% 和 22.70%,Ⅴ级植被覆盖区域转出去向主要是转为Ⅳ级和Ⅲ级植被覆盖度区域,分别占转出面积的 42.23% 和 31.84%。Ⅳ级和Ⅴ级植被覆盖度区域面积减少的原因主要是 1998 年以来实施退耕还林(草)工程以来,研究区安宁河及其支流沿岸海拔高度相对较低的区域的部分坡耕地生态退耕变为林草地,低植被覆盖区域趋于向高植被区域转化。

表 2 1999—2010 年植被覆盖度区域面积转移矩阵

Tab. 2 Area transfer matrix of vegetation coverage from 1999 to 2010

hm²

等级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅴ级	1999 年合计
Ⅰ级	36 418.21	200.91	301.23	259.38	203.75	37 383.48
Ⅱ级	456.44	64 634.99	593.78	264.93	151.32	66 101.46
Ⅲ级	612.66	1 449.33	45 726.96	458.67	181.47	48 429.09
Ⅳ级	209.86	1 159.89	3 536.67	8 952.53	202.56	14 061.51
Ⅴ级	150.21	162.35	383.79	509.04	2 592.72	3 798.11
2010 年合计	37 847.38	67 607.47	50 542.43	10 444.55	3 331.82	169 773.65

注:表中各级植被覆盖度的面积横向表示 1999—2010 年间转出面积,纵向表示 1999—2010 年间转入面积。

2.4 不同海拔高度带植被覆盖度的变化特征

为了进一步了解研究区植被覆盖的空间变化特征,研究了不同海拔高度带植被覆盖的变化特征。研究结果表明,植被覆盖度较低的区域主要分布在海拔高度相对较低的地带,随着海拔高度的升高植被覆盖度呈现出先增加后减少的趋势。研究区Ⅳ级($0.1 \leq f_c < 0.3$)和Ⅴ级($f_c < 0.1$)植被覆盖度区域面积 60% 以上的分布在海拔高度低于 2 500 m 的地带,而Ⅰ级($f_c \geq 0.7$)和Ⅱ级($0.5 \leq f_c < 0.7$)植被覆盖度区域面积 60% 以上的分布在海拔高度 2 000 ~ 3 000 m 的地带(表 3)。其原因是海拔高度相对较

低的区域人类活动频繁,受农业耕种和人为砍伐的影响,地表植被覆盖受到破坏。高海拔区域气温和降水较低,进而影响了植物生长,植被覆盖度也较低。不同海拔高度带植被覆盖度的变化特征研究表明,1999—2010 年,海拔高度低于 3 000 m 的地带植被覆盖变化较为明显,主要表现为低植被覆盖度向高植被覆盖度转化,其中海拔高度低于 2 500 m 的地带变化最为显著,Ⅳ级和Ⅴ级植被覆盖度区域面积分别减少了 3 475.52 hm² 和 461.8 hm²,分别减少了 35.04% 和 16.82%,与此同时,Ⅰ级、Ⅱ级和Ⅲ级($0.3 \leq f_c < 0.5$)植被覆盖度区域面积分别增加了

3.08%、4.72%和7.16%（表3）。研究区植被覆盖提高的原因主要是1998年以来研究区实施退耕还林（草）、植树造林和天然林保护工程，植被覆盖得到了恢复和提高。海拔高度大于3 000 m的地带，由于海拔高度较高，人类活动相对较少，植被覆盖变

化相对较小，但该区域Ⅰ级和Ⅱ级植被覆盖度区域面积有小幅下降，而Ⅲ级、Ⅳ级和Ⅴ级植被覆盖度区域面积略有上升，其原因是由于研究区地处川西南山地，降水量较大，而且集中，加之汶川地震的影响，山体滑坡等自然灾害导致了部分植被受到破坏。

表 3 1999—2010 年不同海拔高度带植被覆盖度的变化

Tab.3 Variation of vegetation coverage from 1999 to 2010 at different altitude							hm ²
海拔高度/m		Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅴ级	合计
0~2 000	1999 年	3 206.07	8 704.08	14 345.12	5 371.9	1 616.51	33 243.68
	2010 年	3 267.53	9 608.61	15 351.96	3 571.16	1 444.42	33 243.68
	增加面积	61.46	904.53	1 006.84	-1 800.70	-172.09	0
2 000~2 500	1999 年	11 622.40	22 986.20	13 357.10	4 545.89	1 129.22	53 640.86
	2010 年	12 017.30	23 578.40	14 334.50	2 871.11	839.51	53 640.86
	增加面积	394.89	592.19	977.41	-1 674.78	-289.71	0
2 500~3 000	1999 年	13 256.30	19 503.50	9 417.78	1 331.13	326.74	43 835.43
	2010 年	13 301.10	19 559.50	9 500.93	1 177.52	296.38	43 835.43
	增加面积	44.84	55.98	83.15	-153.61	-30.36	0
3 000~3 500	1999 年	6 767.11	9 511.53	4 989.51	1 357.01	387.81	23 012.97
	2010 年	6 752.35	9 481.79	5 026.01	1 359.13	393.69	23 012.97
	增加面积	-14.76	-29.74	36.50	2.12	5.88	0
>3 500	1999 年	2 531.67	5 396.08	6 319.55	1 455.58	337.83	16 040.71
	2010 年	2 509.14	5 379.13	6 328.99	1 465.63	357.82	16 040.71
	增加面积	-22.53	-16.95	9.44	10.05	19.99	0

2.5 不同坡度带植被覆盖度变化特征

研究结果（表4）表明，研究区Ⅰ级（ $f_c \geq 0.7$ ）和Ⅱ级（ $0.5 \leq f_c < 0.7$ ）植被覆盖度区域主要分布在坡度 $25^\circ \sim 45^\circ$ 的地带，其面积比例达40%以上，其次是分别在坡度 45° 以上的地带，其面积比例达35%以上，分布在坡度 $0^\circ \sim 25^\circ$ 地带的面积不足22%，而Ⅳ级（ $0.1 \leq f_c < 0.3$ ）和Ⅴ级（ $f_c < 0.1$ ）植被覆盖度区域主要分布在坡度 $0^\circ \sim 25^\circ$ 的地带，其面积比例达42%以上，其次是分布在坡度 $25^\circ \sim 45^\circ$ 的地带，其面积比例达30%以上，分布在坡度 45° 以上地带的面积不足20%，说明研究区植被覆盖度较高的区域主要分布在坡度相对较陡的地带，而植被覆盖度较低的区域主要分布在坡度相对较缓的地带，其原因是研究区坡度相对较缓的地带也是人类活动的集中区域，受人类活动的破坏植被覆盖度较低，而坡度较

陡的地带，受人类活动影响较小，植被覆盖相对较好。

1999—2010年研究区植被覆盖度变化较为明显的区域主要集中在坡度 $25^\circ \sim 45^\circ$ 的地带，其次是坡度 $0^\circ \sim 25^\circ$ 的地带，坡度 45° 以上的地带植被覆盖变化不明显。坡度 $25^\circ \sim 45^\circ$ 的地带Ⅳ级和Ⅴ级植被覆盖度区域面积分别减少了46.01%和23.20%，其去向主要是转为植被覆盖度较高的区域，其原因是主要是研究区对大量坡度 25° 以上的坡耕地进行了生态退耕，对部分荒山荒坡进行了植树造林；坡度 $0^\circ \sim 25^\circ$ 的地带Ⅳ级和Ⅴ级植被覆盖度区域面积分别减少了14.52%和7.32%，其原因是研究区地处攀西农业综合开发区，光热资源丰富，近年来大力进行农业产业结构调整和田田生态环境建设，发展特色经济林果产业，部分耕地植被覆盖度提高。

表 4 1999—2010 年不同坡度植被覆盖度的变化特征

Tab.4 Variation of vegetation coverage from 1999 to 2010 in different slope										hm ²
等级	<25°			25°~45°			>45°			
	1999 年	2010 年	增加面积	1999 年	2010 年	增加面积	1999 年	2010 年	增加面积	
Ⅰ级	7 709.42	7 919.99	210.57	16 336.65	16 606.81	270.16	13 337.41	13 320.58	-16.83	
Ⅱ级	14 381.47	14 762.66	381.19	26 468.48	27 642.27	1 173.79	25 251.51	25 202.54	-48.97	
Ⅲ级	16 133.62	16 537.48	403.86	19 210.8	20 915.21	1 704.41	13 084.67	13 089.74	5.07	
Ⅳ级	4 447.43	3 569.21	-878.22	7 311.52	4 545.49	-2 766.03	2 302.56	2 329.85	27.29	
Ⅴ级	1 503.38	1 385.98	-117.40	1 647.82	1 265.49	-382.33	646.91	680.35	33.44	
合计	44 175.32	44 175.32	0	70 975.27	70 975.27	0	54 623.06	54 623.06	0	

2.6 不同坡向植被覆盖度变化特征

为了弄清研究区植被覆盖度随坡向的变化特征,将坡向数据与植被覆盖度数据进行了叠加分析。研究结果表明,1999年和2010年的Ⅰ级($f_c \geq 0.7$)和Ⅱ级($0.5 \leq f_c < 0.7$)植被覆盖度区域的面积之和占阳坡区域面积的比例较高,分别达67.67%和69.36%,占阴坡的面积比例相对较低,分别为54.43%和55.03%,总体趋势从大到小依次为阳坡、半阳坡、半阴坡、阴坡;2个时期的Ⅳ级($0.1 \leq f_c < 0.3$)和Ⅴ级($f_c < 0.1$)植被覆盖度区域的面积之和占阴坡的面积比例相对较高,为11.16%和9.11%,占阳坡的面积比例相对较低,仅为9.61%和6.75%。总体趋势从大到小依次为阴坡、半阴坡、半阳坡、阳坡(表5)。表明研究区植被覆盖度随坡向变化呈现出从大到小依次为阳坡、半阳坡、半阴坡、阴坡的分布特征。1999—2010年间,各坡向地带的Ⅰ级、Ⅱ级和Ⅲ级($0.3 \leq f_c < 0.5$)植被覆盖度

均有增加,其中阳坡增加幅度相对较大,分别增加了1.70%、3.18%和5.11%,而阴坡的增加程度相对较小,尤其是Ⅰ级、Ⅱ级植被覆盖度,仅增加了0.40%和1.34%。而Ⅳ级和Ⅴ级植被覆盖度区域在各坡向地带均呈现出减少的趋势,且降低幅度较大。其中阳坡的降低幅度相对较大,分别达32.23%和19.26%,阴坡的降低幅度相对较小,分别为20.22%和11.40%。表明1999—2010年各坡向地带的植被覆盖度均有所提高,但阳坡的提高幅度明显大于阴坡。研究区植被覆盖呈现上述特征的原因主要与各坡向地带的水热条件有关,阳坡的太阳辐射能和热量要好于阴坡,植物的光合速率要强于阴坡。与此同时,研究区受西南季风气候的影响,阳坡的降雨较阴坡丰富,不仅为植物生长提供了充足的水源,而且还在一定程度上促进了土壤养分的矿化分解,为植物生长提供了较多的养分。

表5 1999—2010年不同坡向植被覆盖度的变化特征
Tab.5 Variation of vegetation coverage from 1999 to 2010 in different slop aspect

等级	阴坡			半阳坡			阳坡			半阴坡		
	1999年 /hm ²	2010年 /hm ²	增加比 例/%	1999年 /hm ²	2010年 /hm ²	增加比 例/%	1999年 /hm ²	2010年 /hm ²	增加比 例/%	1999年 /hm ²	2010年 /hm ²	增加比 例/%
Ⅰ级	5 682.68	5 705.41	0.40	9 434.03	9 558.60	1.32	13 536.40	13 766.52	1.70	8 730.37	8 816.85	0.99
Ⅱ级	17 486.52	17 720.74	1.34	14 786.50	15 155.43	2.50	15 944.72	16 451.69	3.18	17 883.72	18 279.61	2.21
Ⅲ级	14 648.35	15 265.91	4.22	10 363.24	10 798.67	4.20	9 902.70	10 408.53	5.11	13 514.80	14 069.32	4.10
Ⅳ级	3 774.30	3 011.11	-20.22	2 893.64	2 099.01	-27.46	3 368.20	2 282.66	-32.23	4 025.37	3 051.77	-24.19
Ⅴ级	976.73	865.41	-11.40	993.22	858.92	-13.52	817.15	659.77	-19.26	1 011.01	947.72	-6.26
合计	42 568.58	42 568.58	—	38 470.63	38 470.63	—	43 569.17	43 569.17	—	45 165.27	45 165.27	—

3 结论

(1)研究区植被覆盖状况总体较好,植被覆盖度 $f_c \geq 0.5$ 的区域面积占研究区总面积的比例达60%以上,植被覆盖度 $f_c < 0.3$ 的区域面积仅占研究区面积的10%左右。1999—2010年研究区植被覆盖度整体呈现增加的特征,Ⅰ级($f_c \geq 0.7$)、Ⅱ级($0.5 \leq f_c < 0.7$)和Ⅲ级($0.3 \leq f_c < 0.5$)植被覆盖度区域面积分别增加了1.24%、2.28%和4.36%;Ⅰ级和Ⅱ级植被覆盖度区域面积增加的来源主要是Ⅲ级和Ⅳ级($0.1 \leq f_c < 0.3$)植被覆盖度区域,Ⅲ级植被覆盖度区域来源主要是Ⅳ级植被覆盖度区域。Ⅳ级和Ⅴ级($f_c < 0.1$)植被覆盖度区域面积呈减少特征,分别减少了25.72%和12.28%,Ⅳ级植被覆盖区域转出去向主要是转为Ⅲ级和Ⅱ级植被覆盖度区域,Ⅴ级植被覆盖区域转出去向主要是转为Ⅳ级和Ⅲ级植被覆盖度区域。

(2)植被覆盖度较低的区域主要分布在海拔高

度相对较低的地带,随着海拔高度的升高植被覆盖度呈现先增加后减少的趋势。海拔高度低于3 000 m的地带植被覆盖变化较为明显,主要表现为低植被覆盖度向高植被覆盖度转化,其中海拔高度低于2 500 m的地带变化最为显著,海拔高度大于3 000 m的地带,由于海拔高度较高,人类活动相对较少,植被覆盖变化相对较小。研究区植被覆盖度较高的区域主要分布在坡度相对较陡的地带,而植被覆盖度较低的区域主要分布在坡度相对平缓的地带,受封山育林、退耕还林(草)、农业产业结构调整等人类活动的影响,研究区植被覆盖度变化较为明显的区域主要集中在坡度 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的地带,其次是坡度 $0^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的地带;坡度 45° 以上的地带由于受人类活动的影响相对较小,植被覆盖变化不明显。受水热条件的影响,研究区植被覆盖度随坡向的变化特征呈现出从大到小依次为阳坡($135^{\circ} \sim 225^{\circ}$)、半阳坡($45^{\circ} \sim 135^{\circ}$)、半阴坡($225^{\circ} \sim 315^{\circ}$)、阴坡($0^{\circ} \sim 45^{\circ}$, $315^{\circ} \sim 360^{\circ}$)。1999—2010年各坡向地带的植被覆

盖度均有不同程度的提高,其中阳坡(135°~225°)的植被覆盖度提高幅度相对较大,阴坡(0°~45°,315°~360°)的植被覆盖度提高幅度相对较小。

(3)本文以不同时相卫星遥感图像为数据源,利用RS和GIS技术快速提取了研究区植被覆盖信息,并通过对比分析和空间叠置分析的方法,从时间

和空间2个维度研究了研究区的植被覆盖变化,相对于传统的研究手段,本研究具有技术先进、快速、高效、客观的特点,但由于地表复杂多样,同时受遥感图像光谱分辨率和空间分辨率的限制,植被覆盖信息提取精度有待于进一步提高。

参 考 文 献

1 何磊,苗放,李玉霞.岷江上游典型流域植被覆盖度的遥感模型及反演[J].测绘科学,2010,35(2):120-122.
He Lei,Miao Fang,Li Yuxia. The remote sensing model and inversion of vegetation coverage in the typical valley of Minjiang upriver [J]. Science of Surveying and Mapping, 2010,35(2):120-122. (in Chinese)

2 张宏斌,唐华俊,杨桂霞,等.2000—2008年内蒙古草原MODIS NDVI时空特征变化[J].农业工程学报,2009,25(9):168-175.
Zhang Hongjun,Tang Huajun,Yang Guixia,et al. Changes of spatial-temporal characteristics based on MODIS NDVI data in Inner Mongolia grassland from 2000 to 2008[J]. Transactions of the CSAE,2009,25(9):168-175. (in Chinese)

3 牛宝茹,刘俊蓉,王政伟.干旱半干旱地区植被覆盖度遥感信息提取研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2005,30(1):27-30.
Niu Baoru,Liu Junrong,Wang Zhengwei. Remote sensing information extraction based on vegetation fraction in drought and half-drought area[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2005,30(1):27-30. (in Chinese)

4 秦伟,朱清科,张学霞,等.植被覆盖度及其测算方法研究进展[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(9):163-170.
Qin Wei,Zhu Qingke,Zhang Xuexia,et al. Review of vegetation covering and its measuring and calculating method[J]. Journal of Northwest Science-Technology University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2006, 34 (9): 163 - 170. (in Chinese)

5 刘琳,姚波.基于NDVI象元二分法的植被覆盖变化监测[J].农业工程学报,2010,26(13):230-234.
Liu Lin,Yao Bo. Monitoring vegetation-cover changes based on NDVI dimidiante pixel model[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(13):230-234. (in Chinese)

6 张宝庆,吴普特,赵西宁.近30a黄土高原植被覆盖时空演变监测与分析[J].农业工程学报,2011,27(4):287-293.
Zhang Baoqing,Wu Pute,Zhao Xining. Detecting and analysis of spatial and temporal variation of vegetation cover in the Loess Plateau during 1982—2009 [J]. Transactions of the CSAE,2011,27(4):287-293. (in Chinese)

7 陈思宁,赵艳霞,申双和.基于波谱分析技术的遥感作物分类方法[J].农业工程学报,2012,28(5):154-160.
Chen Sining,Zhao Yanxia,Shen Shuanghe. Crop classification by remote sensing based on spectral analysis[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(5): 154 - 160. (in Chinese)

8 马娜,胡云锋,庄大方,等.基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J].地理科学,2012,32(2):251-256.
Ma Na,Hu Yunfeng,Zhuang Dafang,et al. Vegetation coverage distribution and its changes in plan blue banner based on remote sensing data and dimidiante pixel model[J]. Scientia Geographica Sinica,2012,32(2):251-256. (in Chinese)

9 曹永翔,刘小丹,张克斌,等.青海省都兰县察汗乌苏绿洲植被覆盖度变化研究[J].中国沙漠,2011,31(5):1267-1272.
Cao Yongxiang,Liu Xiaodan,Zhang Kebin,et al. Vegetation coverage change of Tsagan Us Oasis in Dulan County, Qinghai Province, China[J]. Journal of Desert Research,2011,31(5):1267-1272. (in Chinese)

10 贾宝全,马玉峰,仇宽彪.伊金霍洛旗近15年来植被覆盖度的动态变化[J].干旱区地理,2009,32(4):481-487.
Jia Baoquan,Ma Yufeng,Qiu Kuanbiao. Dynam ics of the vegetation coverage in recent 15 years in Yijinhuoluo County, Inner Mongolia, China[J]. Arid Land Geography, 2009,32(4):481-487. (in Chinese)

11 李登科,范建忠,王娟.陕西省植被覆盖度变化特征及其成因[J].应用生态学报,2010,21(11):2896-2903.
Li Dengke,Fan Jianzhong,Wang Juan. Change characteristics and their causes of fractional vegetation coverage(FVC) in Shaanxi Province[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2010,21(11):2896-2903. (in Chinese)

12 王兮之,梁钊雄,周显辉,等.黄河源区玛曲县植被覆盖度及其气候变化研究[J].水土保持研究,2012,19(2):57-61.
Wang Xizhi,Liang Zhaoxiong,Zhou Xianhui,et al. Vegetation coverage and climate change of Maqu County in source region of Yellow River[J]. Research of Soil and Water Conservation,2012,19(2):57-61. (in Chinese)

13 李婷,张世熔,黄建元,等.横断山北部土壤钾素的区域分布特征[J].土壤学报,2006,43(2):337-341.
Li Ting,Zhang Shirong,Huang Jianyuan,et al. Regional distribution characteristics of soil potassium in the northern part of the Hengduanshan Mountains[J]. Acta Pedologica Sinica,2006,43(2):337-341. (in Chinese)

14 李宗省,何元庆,辛惠娟,等.我国横断山区1960—2008年气温和降水时空变化特征[J].地理学报,2010,65(5):563-579.

Li Zongxing, He Yuanqing, Xin Huijuan, et al. Spatio-temporal variations of temperature and precipitation in Mts. Hengduan Region during 1960—2008[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(5): 563–579. (in Chinese)

15 姚永慧, 张百平, 韩芳, 等. 横断山区垂直带谱的分布模式与坡向效应[J]. *山地学报*, 2010, 28(1): 11–20.
Yao Yonghui, Zhang Baiping, Han Fang, et al. Spatial pattern and exposure effect of altitudinal belts in the Hengduan Mountains [J]. *Journal of Mountain Science*, 2010, 28(1): 11–20. (in Chinese)

16 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展[J]. *地球科学进展*, 1998, 13(4): 327–333.
Tian Qingjiu, Min Xiangjun. Advances in study on vegetation indices[J]. *Advances in Earth Sciences*, 1998, 13(4): 327–333. (in Chinese)

17 Jiang Dong, Wang Naibin, Yang Xiaohuan, et al. Study on the interaction between NDVI profile and the growing status of crops[J]. *Chinese Geographical Science*, 2003, 13(1): 62–65.

18 顾晓鹤, 韩立建, 王纪华, 等. 中低分辨率小波融合的玉米种植面积遥感估算[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(3): 203–209.
Gu Xiaohe, Han Lijian, Wang Jihua, et al. Estimation of maize planting area based on wavelet fusion of multi-resolution images[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(3): 203–209. (in Chinese)

19 姚付启, 蔡焕杰, 王海江, 等. 基于平稳小波变换的冬小麦覆盖度高光谱监测[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(3): 173–180.
Yao Fuqi, Cai Huanjie, Wang Haijiang, et al. Monitoring winter wheat percentage vegetation cover based on stationary wavelet transformation derived from hyperspectral reflectance[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(3): 173–180. (in Chinese)

20 张峰, 吴炳方, 刘成林, 等. 利用时序植被指数监测作物物候的方法研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(1): 155–159.
Zhang Feng, Wu Bingfang, Liu Chenglin, et al. Methods of monitoring crop phenological stages using time series of vegetation indicator[J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(1): 155–159. (in Chinese)

21 王莺, 夏文韬, 梁天刚, 等. 基于 MODIS 植被指数的甘南草地净初级生产力时空变化研究[J]. *草业学报*, 2010, 19(1): 201–210.
Wang Ying, Xia Wentao, Liang Tiangang, et al. Spatial and temporal dynamic changes of net primary product based on MODIS vegetation index in Gannan grassland[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(1): 201–210. (in Chinese)

22 罗志军, 赵小敏, 刘耀林. 基于遥感的三峡库区植被覆盖度动态监测[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(增刊 1): 57–60.
Luo Zhijun, Zhao Xiaomin, Liu Yaolin. Dynamic monitoring of vegetation fraction based on remote sensing in Three Gorge area[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(Supp. 1): 57–60. (in Chinese)

23 任建强, 陈仲新, 周清波, 等. 基于时序归一化植被指数的冬小麦收获指数空间信息提取[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(8): 160–167.
Ren Jianqiang, Chen Zhongxin, Zhou Qingbo, et al. Retrieving the spatial-explicit harvest index for winter wheat from NDVI time series data[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(8): 160–167. (in Chinese)

24 吴门新, 钱拴, 侯英雨, 等. 利用 NDVI 资料估算中国北方草原区牧草产量[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(13): 149–155.
Wu Menxin, Qian Shuan, Hou Yingyu, et al. Estimation of forage yield in Northern China based on NDVI data[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(13): 149–155. (in Chinese)

25 陈涛, 李平湘, 张良培. 武汉地区 1988—2002 年植被覆盖度变化动态分析[J]. *遥感技术与应用*, 2008, 23(5): 511–517.
Chen Tao, Li Pingxiang, Zhang Liangpei. Dynamic analysis of vegetation fraction change in Wuhan Region from 1988 to 2002[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2008, 23(5): 511–517. (in Chinese)

26 毛留喜, 侯英雨, 钱拴, 等. 牧草产量的遥感估算与载畜能力研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(8): 147–151.
Mao Liuxi, Hou Yingyu, Qian Shuan, et al. Estimation of pasture output and livestock carrying capacity using remote sensing [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(8): 147–151. (in Chinese)

27 熊勤学, 黄敬峰. 利用 NDVI 指数时序特征监测秋收作物种植面积[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(1): 144–148.
Xiong Qinxue, Huang Jingfeng. Estimation of autumn harvest crop planting area based on NDVI sequential characteristics [J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(1): 144–148. (in Chinese)

28 沈明霞, 何瑞银, 丛静华, 等. 基于主成分分析与 Brovey 变换的 ETM+ 影像植被信息提取[J]. *农业机械学报*, 2007, 38(9): 87–89.
Shen Mingxia, He Ruiyin, Cong Jinghua, et al. Study on extraction of vegetation information of ETM+ by using PCA method and brovey transform[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, 38(9): 87–89. (in Chinese)

29 许红梅, 高清竹, 江源, 等. 黄河中游砭砂岩地区长川流域植被盖度及其动态分析[J]. *中国沙漠*, 2005, 25(6): 880–885.
Xu Hongmei, Gao Qingzhu, Jiang Yuan, et al. Vegetation coverage and its dynamics in Changchuan Watershed on soft rock area of Middle Yellow River, Inner Mongolia[J]. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(6): 880–885. (in Chinese)

30 Leprieur C, Kerr Y H, Mastorchio S, et al. Monitoring vegetation cover across semi-arid regions: comparison of remote observations from various scales[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(2): 281–300.

31 朱蕾, 徐俊锋, 黄敬峰, 等. 作物植被覆盖度的高光谱遥感估算模型[J]. *光谱学与光谱分析*, 2008, 28(8): 1827–1831.
Zhu Lei, Xu Junfeng, Huang Jingfeng, et al. Study on hyperspectral estimation model of crop vegetation cover percentage[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2008, 28(8): 1827–1831. (in Chinese)

32 陈晓光, 李剑萍, 韩颖娟, 等. 宁夏近 20 年来植被覆盖度及其与气温降水的关系[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(9): 1375–

1383.
Chen Xiaoguang, Li Jianping, Han Yingjuan, et al. Vegetation coverage and its relationships with temperature and precipitation in Ningxia in 1981—2004[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(9): 1375–1383. (in Chinese)

33 甘春英, 王兮之, 李保生, 等. 连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析[J]. 地理科学, 2011, 31(8): 1019–1024.
Gan Chunying, Wang Xizhi, Li Baosheng, et al. Changes of vegetation coverage during recent 18 years in Lianjiang River Watershed [J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(8): 1019–1024. (in Chinese)

34 范建忠, 李登科, 董金芳. 陕西省重点生态建设工程区植被恢复状况遥感监测[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 228–234.
Fan Jianzhong, Li Dengke, Dong Jinfang. Remote sensing analysis of vegetation restoration in key ecological construction areas of Shaanxi province[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(7): 228–234. (in Chinese)

35 吴云, 曾源, 吴炳方, 等. 基于 MODIS 数据的三北防护林工程区植被覆盖度提取与分析[J]. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1712–1718.
Wu Yun, Zeng Yuan, Wu Bingfang, et al. Retrieval and analysis of vegetation cover in the Three-North Regions of China based on MODIS data[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(9): 1712–1718. (in Chinese)

36 Carlson T N, Ripley D A. On the relation between NDVI fractional vegetation cover and leaf area index[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 62(3): 241–252.

37 Rundquist B C. The influence of canopy green vegetation fraction on spectral measurements over native tall grass prairie[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81(1): 129–135.

38 Kaufman Y, Tanre D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30(2): 261–270.

39 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 157–164.
Li Miaomiao, Wu Bingfang, Yan Changzhen, et al. Estimation of vegetation fraction in the upper basin of Miyun Reservoir by remote sensing[J]. Resources Science, 2004, 26(4): 157–164. (in Chinese)

40 孙刚, 万华伟, 王昌佐, 等. 蒙陕甘宁能源金三角植被覆盖遥感监测与动态分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊 2): 207–250.
Sun Gang, Wan Huawei, Wang Changzuo, et al. Vegetation monitoring and analyzing of golden triangle energy in inner mongolia, Shaanxi, Gansu, and Ningxia region[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 2): 207–250. (in Chinese)

41 杨奇勇, 蒋忠诚, 罗为群, 等. 岩溶区峰丛洼地山体阴影区域植被指数随机模拟[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 232–236, 225.
Yang Qiyong, Jiang Zhongcheng, Luo Weiqun, et al. Sequential simulation of normal different vegetation index of mountain shadow in karst peak cluster area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 232–236, 225. (in Chinese)

Temporal and Spatial Variation of Vegetation Coverage on Upper Anning River Based on RS

Hu Yufu Jiang Shuanglong Liu Yu Li Xiang Wang Yuting Chen Bo
(College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: In order to reveal the temporal and spatial variation on vegetation coverage and provide evidence for ecological environment construction on the upper Anning River, the temporal and spatial variation on vegetation coverage, during 1999—2010, on the upper Anning River was extracted and analyzed based on two periods of remote sensing images (TM in 1999, ETM + in 2010), which was based on RS and GIS technology. Meanwhile, combined with Aster DEM data, the vegetation distribution and its variation characteristics in different altitude and slope regions were also analyzed. The results showed that the vegetation coverage condition in study area overall was good. And the area of vegetation coverage (f_c) above 0.5 was more than 60%. Besides, a trend emerged during 11 years in the study area that vegetation cover overall increased. The area of first grade vegetation coverage ($f_c \geq 0.7$), second grade vegetation coverage ($0.5 \leq f_c < 0.7$) and third grade vegetation coverage ($0.3 \leq f_c < 0.5$) increased by 1.24%, 4.36% and 2.28%, respectively. However, the area of fourth grade vegetation

coverage ($0.1 \leq f_c < 0.3$) and fifth grade vegetation coverage ($f_c < 0.1$) reduced by 25.72% and 12.28%, respectively. Low vegetation coverage was mainly distributed in relatively low altitude areas. With the increase of altitude, vegetation cover increased firstly and then decreased. Variation on vegetation coverage that low vegetation coverage was transformed into high vegetation cover degree was obvious in regions below 3 000 m, especially lower than 2 500 m. With influenced less by human activity, vegetation cover above 3 000 m seemed to hold relatively little change. High vegetation cover was mainly located in high slope regions, while low vegetation cover was mainly located in relatively moderate slope regions. An obvious variation on vegetation coverage was concentrated in regions with slope range from 25° to 45° , regions below 25° ranked secondly. While no obvious change of vegetation cover in regions with slope above 45° appeared, with less influenced by human activity. Under hydrothermal condition, the vegetation coverage on aspect is sunny slope ($135^\circ \sim 225^\circ$) > half-sunny slope ($45^\circ \sim 135^\circ$) > half-shady slope ($225^\circ \sim 315^\circ$) > shady slope ($0^\circ \sim 45^\circ, 315^\circ \sim 360^\circ$); the vegetation coverage increased in each aspect from 1999 to 2010, and sunny slope increased significantly while no obvious increase on shady slope.

Key words: Vegetation coverage Temporal and spatial variation RS GIS

(上接第 238 页)

Three-dimensional Localization Method of Agriculture Wireless Sensor Networks Based on Crossover Particle Swarm Optimization

Wang Jun¹ Li Shuqiang¹ Liu Gang²

- (1. College of Agriculture Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China
2. Key Laboratory for Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: For the standard particle swarm optimization algorithm is easy to appear slow convergence speed, emerge premature convergence and fall into local minimum point in the later evolution, a kind of localization algorithm based on cross particle swarm optimization for wireless sensor networks was presented to solve these problems. The approach mainly included three stages: sink node selection, measure distances amendment and unknown sensor node localization. By referring to the crossover operation of genetic algorithm idea, cross particle swarm optimization algorithm could increase the diversity of particles and reduce the distance measure error and the influence of anchor node number on localization result. The simulation experiment result showed that the stability and localization accuracy of the method proposed are better than those of the standard particle swarm optimization algorithm. Under the condition of same measure error and the equal number of anchor nodes, the new method was compared with the shuffled frog leaping algorithm. And the compared results are as follows: the maximum of localization errors are 1.337 8 m and 1.747 3 m, respectively; the minimum of localization errors are 0.258 3 m and 0.561 5 m, respectively; the average localization errors are 0.651 2 m and 1.044 7 m, respectively. Results indicate that the method proposed is suitable for agriculture wireless sensor network localization.

Key words: Wireless sensor networks Localization Cross particle swarm Measure distances amendment