

# 基于纹理特征的高分辨率遥感 图像土地利用分类研究

胡玉福, 邓良基, 匡先辉, 王 鹏, 何 莎, 熊 玲

(四川农业大学资源环境学院, 四川 雅安 625014)

摘要: 为了提高高分辨率遥感图像土地利用分类精度, 该文以金沙江下游河谷地带 SPOT 5 遥感图像 350×350 像元作为试验区, 在 ERDAS IMAGINE 9.0 和 ENVI 4.1 软件平台支持下, 采用灰度共生矩阵方法提取遥感图像对比度、角二阶矩、熵、同质度等纹理指标辅助遥感图像分类, 分析结果表明, 相对于传统监督分类方法, 基于纹理特征辅助监督分类方法总 Kappa 系数提高了 9.15%, 耕地、林地、水域、建设用地、未利用地 Kappa 系数分别提高了 7.60%、6.17%、3.59%、15.74% 和 2.96%, 分类结果面积准确率分别提高了 3.38%、13.47%、4.65%、10.22% 和 1.53%, 说明纹理辅助监督分类方法相对于传统监督分类方法有效提高了土地利用分类精度。

关键词: 遥感; 纹理分析; 灰度共生矩阵; 监督分类

中图分类号: TP751; F301 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2011)05-0042-04

近年来随着遥感技术的发展<sup>[1]</sup>, 遥感图像分辨率已有很大提高, 但遥感图像的计算机分类技术远远落后于遥感技术本身的发展<sup>[2,3]</sup>, 传统的分类方法多基于影像的光谱特征进行分类, 对影像的其它特征应用不多, 这对于高分辨率影像丰富、复杂的表现形式远远不够, 遥感图像的计算机分类精度亟待提高<sup>[4,5]</sup>。近年来国内外学者在加强高分辨率遥感图像计算机自动解译、充分挖掘影像信息、改善地物信息识别与提取过程等方面做了大量的研究和探索, 提出了很多先进的技术和方法<sup>[6-11]</sup>。但由于遥感数据的复杂性和地物分布的随机性等原因, 目前遥感图像计算机自动分类精度较低, 难以满足土地调查和动态监测的需要, 在土地资源调查与监测过程中, 高分辨率解译多采用人工目视勾绘, 计算机自动解译方法则很少, 从而导致效率低、费工费时的问題<sup>[12]</sup>。针对以上问题, 本文选择 SPOT5 遥感图像作为研究对象, 探讨了应用灰度共生矩阵方法进行纹理分析, 提取纹理特征辅助遥感图像计算机分类的技术方法, 旨在减少土地利用分类过程中的不确定性, 提高遥感图像计算机解译精度, 为土地资源遥感调查与监测提供一种可行的分类模式。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于云南省永善县西北部, 金沙江下游河谷地带(东经 103°25'26"~103°35'38", 北纬 28°01'

21"~28°14'27")。地貌以中低山为主, 地势由西北向东南渐次抬升, 江边河谷及二半山区较宽, 最低海拔 400 m, 最高海拔 2 767 m。气候属亚热带干热河谷气候, 年均气温 22℃, 年均降雨量 534 mm, 年均日照 2 179.4 h。区内成土母质类型主要有花岗岩、砂岩和片麻岩残、坡积物及少量的河流冲积物。土地利用方式主要包括耕地、林地、水域、建设用地和未利用地, 受地形地貌的限制, 土地利用斑块较为破碎。

### 1.2 数据来源与遥感图像预处理

数据来源于研究区 2004 年 3 月过境的 SPOT 5 遥感图像, 已进行辐射校正和几何粗校正, 影像清晰, 空间分辨率为 2.5 m, 研究区大小为 350×350 像元。图像预处理在 ERDAS IMAGINE 9.0 软件平台下进行, 主要包括几何精校正、图像裁剪和图像增强<sup>[2]</sup>, 结果见图 1、图 2。

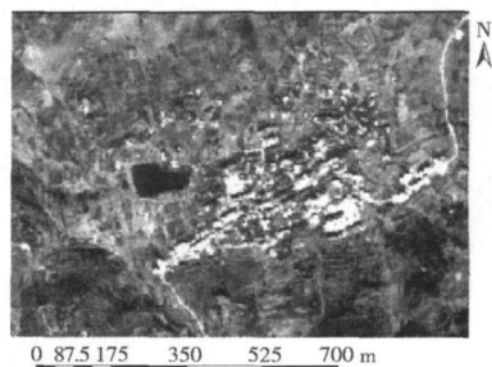


图 1 原始遥感图像  
Fig. 1 Original remote sensing image

收稿日期: 2011-04-20; 修订日期: 2011-07-03

基金项目: 国家星火计划资助项目(2005EA810087); 四川省科技支撑计划项目(2009NZ0051)

作者简介: 胡玉福(1977-), 男, 博士, 副教授, 主要从事 3S 技术在资源环境中的应用研究。E-mail: hyf03h@yahoo.com.cn

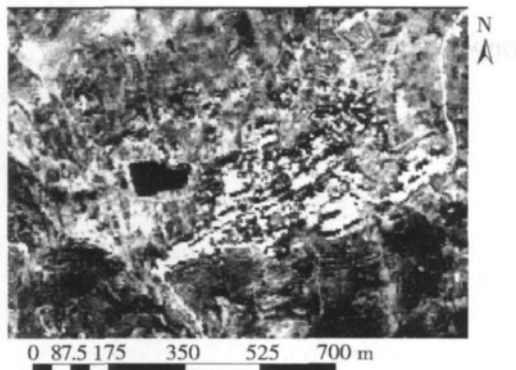


图 2 预处理后遥感图像  
Fig. 2 Processed remote sensing image

### 1.3 基于灰度共生矩阵的纹理分析

图像的纹理一般理解为图像灰度在空间上的变化和重复,或图像中反复出现的局部模式(纹理单元)及其排列规则。纹理分析是指应用一定的图像处理技术抽取出纹理特征,并获得纹理的定量或定性描述指标。纹理特征提取主要有统计方法、模型方法、信号处理方法和结构方法。统计方法是基于像元及其领域的灰度属性研究纹理区域中的统计特性<sup>[12,13]</sup>。1973年 Haralick 首先提出灰度共生矩阵(GLCM),其优于灰度游程长度法和光谱方法,是一种得以广泛应用的纹理统计分析方法和纹理测量技术<sup>[14,15]</sup>。此方法是按影像灰度值的空间关系描述像元点对之间的空间结构特征及其相关性,若图像灰度级为  $N$ ,则具有一定空间关系的灰度共生矩阵为  $p_{ij}(d, \theta)$ ,其中  $i, j$  表示像元的灰度,  $d$  为  $i, j$  像元对间距,  $\theta$  为两像元连线的方向。取一定  $d$  值,  $\theta$  分别设为  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ , 构成 4 个灰度共生矩阵,采用这 4 个方向的叠加来消除方向影响,用灰度值的空间共生特性度量纹理,可抽取如下统计指标<sup>[12,16-18]</sup>:

对比度(Contrast,  $Con$ ):用来度量影像中对比的强烈程度,主要监测图像反差边缘及其边缘效应。

$$Con = \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (i-j)^2 p_{ij}(d, \theta)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N p_{ij}(d, \theta)}$$

角二阶矩(Angular Second Moment,  $ASM$ ):角二阶矩是灰度共生矩阵各元素的平方和,又称能量;它是影像纹理灰度变化均一性的度量,反映了影像灰度分布均匀程度和纹理粗细度。

$$ASM = \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N p_{ij}(d, \theta)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N p_{ij}(d, \theta)}$$

熵(Entropy,  $Ent$ ):主要用于检测图像空间的复杂性和混乱程度。

$$Ent = -\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N C_{ij} \log \frac{p_{ij}(d, \theta)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N p_{ij}(d, \theta)}$$

同质度(Homogeneity,  $Homo$ ):用来度量影像均质程度。

$$Homo = \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \frac{1}{1+(i-j)^2} p_{ij}(d, \theta)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N p_{ij}(d, \theta)}$$

根据以上原理,运用 ENVI 4.1 软件的 co-occurrence Measures 工具,选择滑动窗口为  $3 \times 3$ ,步距(中心像元与其直接相邻的像元相比较)设置为  $d=1$ ,对  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  和  $135^\circ$  4 个方向进行计算,提取对比度、角二阶矩、熵、同质度 4 种纹理统计指标图<sup>[19]</sup>。

### 1.4 纹理辅助监督分类

在 ERDAS IMAGINE 9.0 软件下,利用提取的对比度、角二阶矩、熵、同质度纹理指标图像与原图像进行波段组合,生成一幅新的遥感图像并对其进行监督分类,提取耕地、林地、建设用地、水域、未利用地等土地信息。

### 1.5 分类精度评价

Kappa 系数是在综合了生产者精度和制图精度两个参数的基础上提出的一个综合指标。在 ERDAS 9.0 软件平台下,通过 Kappa 系数对分类结果进行精度评定,但 Kappa 系数仅说明了影像分类的精度,并不能说明分类的准确性。因此,本文还将土地利用分类结果面积与实地调查面积对比分析以说明分类的准确性。

## 2 基于纹理特征的高分辨率遥感图像土地利用分类结果分析

### 2.1 纹理指标提取结果分析

图像灰度共生矩阵中的角二阶矩、对比度和同质度分别表示纹理的全局均一性程度、图像反差边缘及其边缘效应和邻域均值、方差的空间变化等几何结构。分析结果表明,提取的对比度、角二阶矩、熵、同质度 4 种纹理统计指标影像较好地反映了地物的纹理特征。对比度指标影像较好地反映了居民点、道路等建设用地的描述特性,有利于提取建设用地信息(图 3a)。在角二阶矩影像上建设用地和水体的纹理特征表现较明显,能较好地判别建设用地和水体信息(图 3b)。熵表征的是影像空间关系的复杂性,当图像的地物类型较复杂或图像的纹理比较粗糙时,归一化共生矩阵计算值会很小,按熵的定义进行对数运算并取反后则会得到大值,即空间对象越复杂,对应的熵值越大。未利用地的地块较小,其图像(图 3c)纹理较为粗糙,熵值较大,而园林地则地块较大,其图像纹理较均一,熵值亦较小,因此用纹理统计指标熵的阈值来提取未利用地信息。在同质度

指标影像上,水体和未利用地纹理特征差异明显,较

易辨别水体和未利用地信息(图 3d)。

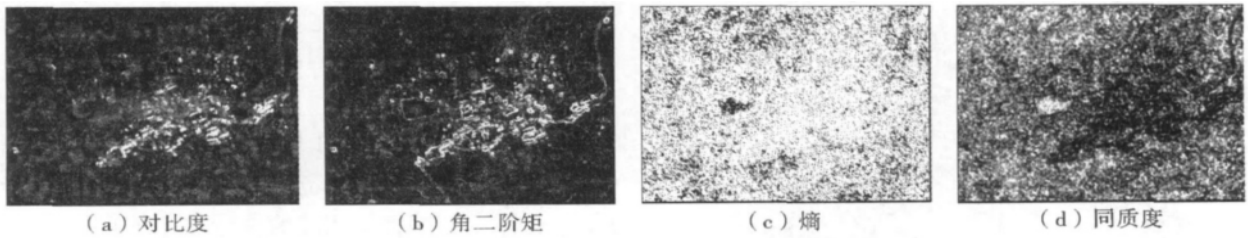


图 3 纹理分析结果  
Fig. 3 The result of texture analysis

### 2.2 分类结果对比分析

传统监督分类方法主要依据地物光谱特征的差异性,但地表“同谱异物”、“同物异谱”现象普遍存在,从而不可避免地造成遥感图像分类过程中的错分、漏分等现象<sup>[20]</sup>。纹理特征辅助监督分类结果(图 4)相对于传统的监督分类结果(图 5)更好地反映了地物的细节,分类结果更接近于地表土地利用实际情况。由于建设用地和未利用地之间存在严重的“同谱异物”现象,在传统监督分类过程中部分未利

用地被分成了建设用地(图 5),但原图中建设用地和未利用地纹理特征具有明显的差异,在纹理辅助监督分类过程中,不仅基于光谱特征差异,同时充分利用了纹理特征信息,在一定程度减少了建设用地错分现象(图 4)。研究区域的水域主要是分布在中部和北部的水库水面,表现为平滑、细腻的纹理特征,与其他地物区别明显,但传统的监督分类则出现了少量的错分,而纹理特征辅助监督分类有效地减少了错分现象。

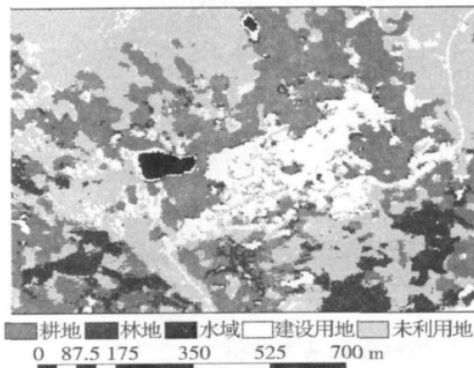


图 4 纹理辅助监督分类结果  
Fig. 4 The result of texture assistant supervised classification

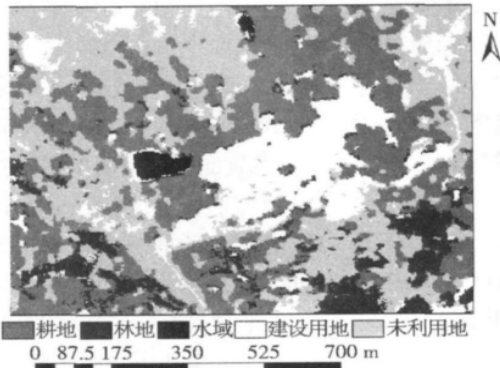


图 5 传统监督分类结果  
Fig. 5 The result of supervised classification

### 2.3 分类精度评价

2.3.1 分类精度对比 采用定点采样法,在 ERDAS IMAGINE 9.0 软件平台中,对两种分类结果进行精度评价,精度评定过程中随机产生了 256 个点,得到各个分类的 Kappa 系数(表 1)。分析结果表明,纹理分析辅助监督分类的总 Kappa 系数及各土地类型的 Kappa 系数均有不同程度的提高。其

中,总 Kappa 系数提高了 0.068,幅度达 9.15%。各土地类型中建设用地 Kappa 系数提高幅度最大,达 15.74%,其次是耕地和林地,分别为 7.60%和 6.17%,水域和未利用地提高幅度相对较小,分别为 3.59%和 2.96%。Kappa 系数的提高说明纹理分析辅助监督分类有效地提高了遥感图像的分类精度。

表 1 分类精度对比  
Table 1 Comparison of classification accuracy

分类方法	耕地	林地	水域	建设用地	未利用地	总 Kappa 系数
传统监督分类 Kappa 系数	0.737	0.632	0.891	0.591	0.710	0.743
纹理辅助监督分类 Kappa 系数	0.793	0.671	0.923	0.684	0.731	0.810
Kappa 系数差	0.056	0.039	0.032	0.093	0.021	0.068

2.3.2 分类结果面积与实地调查面积对比 为了进一步说明分类的准确性,在 ERDAS 9.0 软件平台下对监督分类和纹理分析辅助监督分类的土地利用分类结果面积进行统计,并将其与研究区

实地调查面积进行对比分析,结果表明,纹理分析辅助监督分类各土地类型的分类面积与实地调查面积更为接近,分类准确性相对于传统监督分类均有不同程度的提高,其中,林地和建设用地面积

准确率提高幅度最大,分别为 13.47% 和 10.22%,其次是水域和耕地,分别为 4.65% 和 3.38%,未利用地提高幅度较小,为 1.53%;总体

分类准确率提高了 6.65%(表 2),说明纹理分析辅助监督分类相对传统监督分类有效提高了遥感图像分类准确性。

表 2 分类面积对比  
Table 2 Comparisons of classification area

项目	耕地	林地	水域	建设用地	未利用地
实地调查面积(m <sup>2</sup> )	263 308	92 721	7 204	120 379	279 588
传统监督分类面积(m <sup>2</sup> )	276 556	74 719	8 106	135 813	268 006
纹理分析辅助监督分类面积(m <sup>2</sup> )	258 956	87 213	6 637	123 507	286 887
传统监督分类准确率(%)	94.97	80.58	87.48	87.18	95.86
纹理辅助监督分类准确率(%)	98.35	94.06	92.13	97.40	97.39
准确率差(%)	3.38	13.48	4.65	10.22	1.53

### 3 结论与讨论

本文探讨了基于纹理特征的高分辨率遥感图像分类方法,纹理辅助监督分类依据地物的光谱特征差异,同时考虑了地物纹理特征的差异,可以在一定程度上克服遥感图像分类面临的“同物异谱”和“同谱异物”问题,有效减少土地利用分类过程中的不确定性,其比传统的监督分类分类精度和分类准确性更高。

采用灰度共生矩阵提取纹理特征辅助高分辨率遥感图像分类,其分类精度和准确性虽有较大幅度的提高,但分类结果与实地调查的土地利用类型及面积仍存在一定的出入,说明遥感图像分类过程中仅提取纹理特征辅助遥感图像分类是不够的。因此,在今后的遥感图像计算机分类过程中,应进一步加强高分辨率遥感图像计算机自动解译的研究,充分利用地物空间关系、空间位置、形状、纹理等特征,对遥感图像进行综合评判,提高遥感图像的分类精度。

#### 参考文献:

[1] 尤淑撑,刘顺喜,李小文,等.基于空间约束关系的土地利用/覆盖遥感分类方法研究[J].农业工程学报,2005,21(9):51-55.

[2] 汤国安,张友顺,刘咏梅,等.遥感数字图像处理[M].北京:科学出版社,2004.189-213.

[3] 郭琳,裴志远,吴全,等.面向对象的土地利用/覆盖遥感分类方法与流程应用[J].农业工程学报,2010,26(7):194-198.

[4] 周兴东,于胜文,赵长胜,等.利用遥感图像进行土地利用分类方法的研究[J].煤炭学报,2007,32(5):481-484.

[5] 冯春,陈建平.土地利用/土地覆盖研究中遥感图像分类精度的提高方法[J].地理与地理信息科学,2003,19(3):26-28.

[6] 张锦水,潘耀忠,韩立建,等.光谱与纹理信息复合的土地利用/覆盖变化动态监测研究[J].遥感学报,2007,11(4):500-

510.

[7] PAL S K, MITRA P. Multispectral image segmentation using the rough-set-initialized EM algorithm[J]. IEEE Transactions on Geo-science and Remote Sensing, 2002, 40(11): 2495-2501.

[8] 尤淑撑,刘顺喜.一种顾及先验知识与光谱信息的土地利用/覆盖遥感分类方法[J].地理与地理信息科学,2010,26(3):41-43.

[9] LEI T C, WAN S, CHOU T Y. The comparison of PCA and discrete rough set for feature extraction of remote sensing image classification—a case study on rice classification[J]. Computational Geosciences, 2007, 12(1): 1-14.

[10] 蔡华杰,田金文.基于 mean-shift 聚类过程的遥感影像自动分类方法[J].华中科技大学学报(自然科学版),2008,36(11):1-4.

[11] 张锦水,何春阳,潘耀忠,等.基于 SVM 的多源信息复合的高空间分辨率遥感数据分类研究[J].遥感学报,2006,10(1):49-56.

[12] 李金莲,刘晓玫,李恒鹏.SPOT5 影像纹理特征提取与土地利用信息识别方法[J].遥感学报,2006,10(6):926-931.

[13] 高程程,惠晓威.基于灰度共生矩阵的纹理特征提取[J].计算机系统应用,2010,19(6):195-198.

[14] 冯建辉,杨玉静.基于灰度共生矩阵提取纹理特征图像的研究[J].北京测绘,2007,3(5):19-22.

[15] MARCEAU D J, HOWAETH P J, DUBOIS J M, et al. Evaluation of the gray level co-occurrence matrix method for land cover classification using SPOT imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 1990, 28(4): 513-518.

[16] 贾永红.数字影像处理[M].武汉:武汉大学出版社,2003.

[17] 吴均,赵志明.利用基于小波的尺度共生矩阵进行纹理分析[J].遥感学报,2001,5(2):100-103.

[18] 田艳琴,郭平,卢汉清.基于灰度共生矩阵的多波段遥感图像纹理特征的提取[J].计算机科学,2004,31(12):162-163.

[19] 李小娟,官兆宁,刘晓萌,等. ENVI 遥感图像处理教程[M].北京:中国环境科学出版社,2007.387-402.

[20] 黄恩兴.遥感影像分类结果的不确定性研究[J].中国农学通报,2010,26(5):322-325.

(下转第 68 页)

### Analysis of Land Marketization in China Based on DEA and Spatial Autocorrelation

XU Guo-xin, JIN Xiao-bin, ZHOU Yin-kang

(School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** The purpose of this paper is to analyze the level of land marketization and the spatial distribution pattern. Method employed is DEA and spatial autocorrelation. The results show that land marketization progress in China can be divided into two stages including wave developments and rapid developments. The level of land marketization develops constantly, which is 0.65 in 2004 and 0.88 in 2008. Land marketization in China have spatial autocorrelation characteristics, high value concentration areas are located in Jiangsu Province, Zhejiang Province, Guangdong Province and Jiangxi Province, low value concentration areas are located in Xinjiang and Qinghai Province. For the evaluation of land marketization, not only to consider the transfer mode, transfer pricing is an important factor. Also, the level of land marketization not only depends on the region's own economic and social development, but also by the degree of development of adjacent areas.

**Key words:** DEA; spatial autocorrelation; land marketization

(上接第 45 页)

### Study on Land Use Classification of High Resolution Remote Sensing Image Based on Texture Feature

HU Yu-fu, DENG Liang-ji, KUANG Xian-hui, WANG Peng, HE Sha, XIONG Ling

(College of Resources and Environment of Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, China)

**Abstract:** In order to improve land use classification accuracy of high resolution remote sensing images, in this paper, in support of software of ERDAS IMAGINE 9.0 and ENVI 4.1, some texture indexes of SPOT5 image of downstream region of Jinsha River, such as contrast, angular second moment, entropy and homogeneity had been extracted using the gray level co-occurrence matrix. And these texture indexes had been used to assist supervised classification. The results showed that, compared with the method of traditional supervised classification, the total Kappa coefficient of texture assistant supervised classification increased by 9.15%, and the Kappa coefficient of cultivated land, forestland, water, construction land and unused land increased respectively by 7.60%, 6.17%, 3.59%, 15.74% and 2.96%. Meanwhile, the accuracy rate of classification area of cultivated land, forestland, water, construction land and unused land also increased respectively by 3.38%, 13.47%, 4.65%, 10.22% and 1.53%. It indicated that the method of texture assistant supervised classification could be applied to improve the land use classification accuracy effectively compared with the method of traditional supervised classification.

**Key words:** remote sensing; texture analysis; gray level co-occurrence matrix; supervised classification

(上接第 54 页)

### Spatial-Temporal Evolvement Analysis of China's Regional Disparity in the Five-Year Plan Perspective

LIU Xiao-na<sup>1,2</sup>, YANG Yan-zhao<sup>1</sup>, FENG Zhi-ming<sup>1</sup>, JIANG Lu-guang<sup>1</sup>

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** The regional disparity has been the focus of socio-economic development. This paper analyzed China's regional disparity from 1978 to 2009 based on the provincial panel-data in five-year plan perspective. The results were: 1) China's regional disparity showed reducing-enlarging-reducing fluctuation features from 1978 to 2009, the overall trend was reducing; China's regional disparity has transformed into inter-regional disparity from intra-regional disparity in the past 30 years, and the expanding inter-regional disparity is the main motivation to enlarge the whole regional disparity; 2) Among three regions, the internal disparity trend of east region was reducing, meanwhile the internal disparity trend of both middle and west region was enlarging; 3) China's urban-rural disparity showed the obvious U curve evolutionary characteristics, which was enlarging with the eighth five-year plan period for the inflection point, and enlarged for further; 4) Urban-rural disparity showed general tendency to expand in east region, most provincial urban-rural disparity changed greatly. Urban-rural disparity of middle region showed significant U curve features, provincial urban-rural disparity were enlarging on trends except the seventh five-year plan period. As a turning point in 1983, urban-rural disparity in west region was reducing firstly, then gradually expand in further trend.

**Key words:** regional disparity; five-year plan; urban-rural disparity; Theil index; urban-rural disparity equality index