

基于遥感与 GIS 的低丘红壤区耕地开发潜力评价

张秀英¹, 朱晓芸¹, 王珂¹, 沈掌泉¹, 许红卫¹, 丁晓东¹, 罗鹏^{1, 2}, 俞志强³

(1. 浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所, 杭州 310029; 2. 浙江省台州市路桥区环保局, 台州 318000;
3. 浙江省地理信息中心, 杭州 310029)

摘要:以遥感和 GIS 技术为支撑, 对浙江省兰溪市的低丘红壤区的耕地开发潜力进行了评价。以地形、土壤以及开发程度为基础, 构建评价指标体系, 采用综合指数法计算各单元的综合得分, 并将潜力值分为四个等级。评价结果表明: 适宜开发、允许开发、限制开发和不宜开发的低丘红壤资源分别为 3151.53、8790.71、8840.64 和 35175.25 hm²。评价结果与各指标的相关分析表明, 开发潜力与坡度和土地利用现状存在强相关, 与其他指标的相关性很低。坡度在 ≤6°、6~15°和 15~25°的范围内, 适宜开发的资源分别占总量的 50.57%、43.36%和 6.07%, 允许开发的分别占 12.67%、42.59%和 44.75%。适宜开发的资源主要由果园和疏林地组成, 二者占总量的 74.68%; 允许开发的资源主要由园地构成, 二者占总量的 88.95%。允许开发和适宜开发的资源在各城镇之间的分布极其不平衡。实地考察显示, 耕地后备潜力评价与当地实际情况比较吻合。

关键词: 耕地潜力评价; 遥感; GIS; 低丘红壤; 兰溪

中图分类号: O159; F301.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-3-0114-05

张秀英, 朱晓芸, 王珂, 等. 基于遥感与GIS的低丘红壤区耕地开发潜力评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 114-118.
Zhang Xiuying, Zhu Xiaoyun, Wang Ke, et al. Evaluation of potential for exploiting arable land in low hilly red soil region in Lanxi based on remote sensing and GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3): 114-118.(in Chinese with English abstract)

0 引言

人口激增和经济迅速发展使得土地资源变得越来越紧缺, 土地资源的合理开发和可持续利用已经成为普遍关注的重要问题之一。解决人地矛盾的出路在于多途径多层次的大农业开发^[1], 一方面充分利用和保护现有耕地, 控制非农业占地; 另一方面要扩大视野, 把注意力转移到广阔的低山丘陵区^[2]。红壤地区气温高、雨量充沛、自然条件优越, 是林木、果树和粮食等作物的生产基地, 具有较大的农业开发潜力; 同时红壤地区生态稳定性差, 一旦开发不当, 很容易引起水土流失、环境恶化等问题^[3]。因此, 对低丘红壤资源进行科学的调查和评价, 是红壤资源可持续利用迫切解决的问题。

自 20 世纪 90 年代起, 土地适宜性评价广泛应用了生态位^[4]、模糊数学^[5-7]、主成分分析法^[8]、层次分析法和聚类^[9]、数据挖掘^[10]、人工神经网络^[11, 12]等方法, 并采用遥感和 GIS 相结合的 3S 技术^[13-17], 进一步朝着定量化和实用化方向发展, 在土地合理开发和利用中发挥了重要

作用。本文基于 SPOT-5 数据和 GIS 的空间分析功能, 探讨了浙江省兰溪市低丘红壤区的开发潜力, 以期合理开发、利用坡地资源提供科学依据和参考建议。

1 区域概况及低丘红壤范围的确定

兰溪市位于浙江省中西部, 地处钱塘江中游, 金衢盆地北缘, 北纬 29°1'20"~29°27'30", 东经 119°13'30"~119°53'50"。受山脉、江河、溪流的分割, 东部高, 西部次高, 中部低, 呈阶梯状下降。兰溪市属亚热带季风气候, 全年平均气温 17.7℃, 年均降雨 1333 mm, 年蒸发量为 1502 mm。土壤类型主要有红壤、岩性土、潮土和水稻土。

根据国内外对低丘的界定以及浙江省的实际情况, 本研究中的低丘红壤资源的定义为: 上至海拔 300 m、下至山脚线、坡度不大于 25°、分布以红壤为主的土地资源。兰溪市的低丘红壤资源经过历史上的多次开发, 实际未开发利用的土地资源已很少。但由于受当时经济和技术条件的限制, 利用方式不尽合理, 开发水平也不高。因此, 针对开发不尽合理的区域, 进一步治理和开发, 以提高低丘红壤资源区的生产能力, 同时改善生态环境。

本研究所用的基础数据包括 2005 年接收的 2.5 m 的全色波段和 10 m 的多光谱 SPOT-5 数据 4 景, 1:1 万数字高程模型 (DEM), 以及 2005 年 170 个采样点的土壤调查数据。

收稿日期:2007-04-06 修订日期:2007-11-28

基金项目: 国家科技支撑项目“基层农村综合信息服务技术集成与应用”

(2006BAD10A07); 浙江省围垦局 (J40514) 资助项目

作者简介: 张秀英 (1977-), 女, 河北滦县人, 博士, 主要从事资源环境遥感方面的研究。榜首 浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所, 310029。
Email: lzhy77@163.com

2 评价方法与数据处理

2.1 评价指标体系

红壤土地资源的开发治理系统是一个大目标、多层次的系统。本文针对农业开发利用潜力的研究目的，将其分为地形子系统、土壤子系统和开发利用程度子系统三个部分（表1）。

表1 低丘红壤区耕地开发潜力评价指标体系

Table 1 Index system for evaluating the potential for exploiting arable land in low hilly red soil region

一级指标	二级指标	数据实现
地形子系统	海拔高度	采用公式(2)标准化
	坡度	从DEM中计算 <25°, 采用公式(2)标准化
	坡向	从DEM中计算, 并计算-cos(aspect) 采用公式(1)标准化
土壤子系统	pH值	采用普通KRIGING插值空间化 采用公式(1)标准化
	有机质	采用普通KRIGING插值空间化 采用公式(1)标准化
开发程度子系统	土地利用	从SPOT-5数据解译获得疏林地、荒草地、滩涂具有适宜开发潜力; 果园、桑园、茶园、其它园地、灌木林地、未成林造林地和迹地具有允许开发潜力; 有林地和苗圃具有限制开发潜力; 其它用地类型如旱地、菜地、农居点等为不适宜开发潜力
	植被覆盖度	从SPOT-5数据通过线性混合像元分解法获得; 采用公式(2)标准化
	水源距离	通过对水域做BUFFER得到 采用公式(2)标准化
	耕作距离	通过对村镇做BUFFER得到 采用公式(2)标准化

地形子系统包括高程、坡度和坡向三个因子。高程影响气温和日照的变化, 进而影响作物的生长和发育, 同时高程还直接影响着农业开发的难易程度和成本大小; 坡度是土地资源开发的重要限制因素, 根据国家规定, 25°以上的坡地不能开发, 小于25°的范围内, 坡度越小, 越适宜开发; 坡向决定了作物的日照时间和采光, 一般来讲, 平坡和阳坡最适宜农业开发, 半阳(阴)坡次之, 阴坡最不适宜开发。

土壤子系统包括pH值和有机质含量。土壤pH值一般越接近中性或微弱酸性越适宜开发, 酸性次之, 过酸性最不适宜开发; 有机质含量越高, 说明土壤养分越高, 越适宜开发。

开发程度子系统包括土地利用、植被覆盖度、水源距离和耕作距离四个因子。低丘红壤资源的开发是在现有的土地利用的基础上, 优先开发未利用或者利用较差的林地和园地资源; 由于未开发利用的低丘红壤资源已经很少, 开发利用不合理的区块将是今后综合治理的重点, 因此植被覆盖越低, 越具有开发潜力; 距离水源越

近, 说明灌溉越有保障, 越适宜开发利用; 距离村镇越近, 耕作越容易、便捷, 越适宜开发。

2.2 指标标准化处理

各个指标无论从分级值还是从计量单位上看, 都不具备可比性, 因此, 需要进行标准化处理。指标与开发潜力有正逆两种关系, 比如有机质与开发潜力有正相关关系, 因为有机质含量越高, 开发潜力越大, 采用公式(1)量化处理; 海拔高度与开发潜力有逆相关关系, 海拔越高, 开发潜力越小, 采用公式(2)处理。

$$(X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \times 100 \quad (1)$$

$$(X_{\max} - X_i) / (X_{\max} - X_{\min}) \times 100 \quad (2)$$

式中 X_i ——指标的实际值, X_{\max} 和 X_{\min} ——分别为研究区内该指标的最大和最小值。

地形子系统中海拔高度的值可以直接从DEM中得到, 采用公式(2)标准化。坡度和坡向数据通过DEM得到, 很多GIS软件都提供坡度和坡向的计算功能。低丘范围已经限制了坡度<25°, 因此, 坡度根据公式 $(25 - X_i) / 25 \times 100$ 做标准化处理。由于ArcGIS计算的坡向以正北为0°, 顺时针一圈为360°, 根据2.1中对坡向因子选择的评价, 对坡向取负的余弦值, 然后根据公式(2)做标准化处理。

土壤子系统的pH值和有机质两个指标的空间分布分别通过对170个样点采用普通克里金插值获得。有机质采用公式(1)做标准化处理。插值之后的pH值分布在5.07~7.31的范围, 根据pH值对作物的影响, 4.0~5.0的范围对作物有很强限制, <4.0不适宜开发, 因此, 采用公式 $(X_i - 5.0) / (7.5 - 5.0) \times 50 + 50$ 做标准化处理。

对SPOT-5数据, 首先利用1:1万的DEM数据和差分GPS的实测数据进行正射校正, 然后采用主分量变换法对全色波段和多光谱数据进行融合, 通过目视解译获得兰溪市的土地利用现状。根据土地利用情况, 疏林地、荒草地、滩涂具有适宜开发潜力, 赋值100; 果园、桑园、茶园、其它园地、灌木林地、未成林造林地和迹地具有允许开发潜力, 赋70; 有林地和苗圃为限制开发, 赋30; 其它用地类型如耕地、菜地、农居点等为不适宜开发潜力, 赋0^[18]。植被覆盖度通过线性混合像元分解法得到, 然后采用公式(2)进行标准化处理。水源距离和耕作半径分别通过对水域和村镇做缓冲区获得, 水源距离的缓冲区为200~4000m, 缓冲间距为200m; 耕作半径的缓冲区为100~2000m, 缓冲间距为100m。水源距离和耕作半径均采用公式(2)进行标准化处理。

2.3 评价指标权重

指标权重反映了评价指标对评价对象的综合分值的影响程度。本文涉及指标比较多, 作用复杂, 选择层次分析法(AHP)确定各指标的权重。AHP法是一种定性与定量相结合的多目标决策分析方法, 广泛应用于土地

评价中。本文通过发放问卷的方式征询土壤学、生态学、土地资源学、农学和规划领域的专家,共发放问卷 20 份,得出 9 分制判断矩阵,通过对该矩阵进行层次排序求得海拔高度、坡度、坡向、pH 值、有机质、土地利用、植被覆盖度、水源距离和耕作半径的权重分别为 0.031、0.160、0.050、0.136、0.119、0.166、0.243、0.041 和 0.054。

2.4 评价模型

开发潜力评价是多因素综合作用的结果,适用于综合指数评价法。根据各评价指标的不同分值 (S) 和权重 (W),建立综合评价模型:

$$V = \sum_{i=1}^9 S_i \times W_i \quad (3)$$

式中 V ——评价单元的开发潜力值; S_i ——第 i 个指标的得分; W_i ——第 i 个指标的权重。

借助空间分析功能以及 ArcGIS 提供的地图代数语言,将栅格化的各指标数据采用公式 (3) 计算,得到以 5 m×5 m 为单元的开发潜力评价图。低丘红壤资源开发利用潜力评价适宜等级的分级可通过定点考察、典型调查来确定。针对研究区域的实际情况,应用 ARCGIS 的等间距法对评价结果进行等级划分,各等级的详细描述见表 2。由于已经开发比较好的土地利用方式不具备开发潜力,因此,将潜力评价图的相应部分的修改为不适宜开发;对于限制开发的土地利用方式,也要将评价结果中的适宜开发和允许开发的部分设为限制开发。

表 2 低丘红壤资源开发评价结果的分级标准及定义

Table 2 Criterion and definition of grading for evaluating results of exploring red soil resources

适宜等级	适宜开发	允许开发	限制开发	不适宜开发
指标范围	≥ 61.5	41~61.5	20.5~41	< 41
基本定义	指坡度较小、土层深厚、离水源较近、但利用较差,具有很好的开发潜力的低丘红壤资源	坡度相对较大、土层较深厚、利用也较差,具有比较好的开发潜力的资源,但开发代价高	坡度较大、土层浅薄、水土流失风险较大等存在限制开发因素的资源,一般不进行开发	为水域、建设用地等或岩层裸露、坡度较大等无法开发的资源或已开发利用很好的水田等土地

3 开发潜力分析

3.1 全市开发潜力分析

兰溪市低丘红壤区农用地开发潜力综合值为 0~82.87,特别适合开发的资源比例比较低,主要分布在中部和东部海拔相对较低的区域,西部比较少。潜力评价数据与单指标数据的相关分析表明,潜力评价与土地利用方式的相关性达到 0.58,与坡度的相关性达到 0.30,与其他指标的相关性程度比较低。分级结果显示,适宜开发、允许开发、限制开发和不宜开发的低丘红壤资源分别为 3151.53、8790.71、8840.64 和 35175.25 hm^2 ,分别占全市低丘红壤资源的 5.63%、15.71%、15.80% 和 62.86%。

从农宜性考虑,当坡度 ≤ 6° 时,一般不必采用土地平整措施,可以机耕和等高种植;坡度在 6~15° 时,需采用坡式梯田或宽垄梯田;坡度在 15~25° 时,需采用水平梯田方式可取得水保效果。本研究中,适宜开发和允许开发的资源面积在坡度 < 6° 分别为 1593.84 和 1113.62 hm^2 ,分别占各自总量的 50.57% 和 12.67%;在 6°~15° 的范围内,适宜开发的资源为 1366.37 hm^2 ,占总量的 43.36%,允许开发的资源为 3743.57 hm^2 ,占总量的 42.59%;在 15°~25° 的范围内,适宜开发的资源为 191.32 hm^2 ,占总量的 6.07%,允许开发的资源为 3933.53 hm^2 ,占总量的 44.75%。

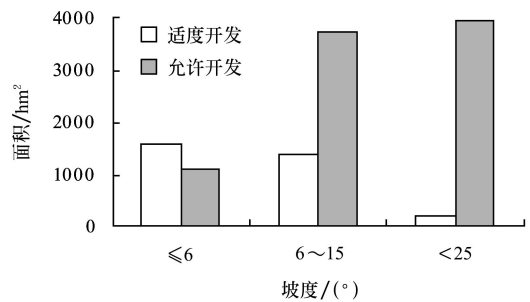


图 1 适宜开发和允许开发的低丘红壤资源的坡度分布情况
Fig. 1 Distribution of the arable lands with feasible and permitted potential in low hilly red soil region within slopes

土地利用方式对开发潜力的影响非常大,尽管有些区域农宜性非常好,但是因为已经开发的非常好,不再具有开发潜力。从开发潜力与土地利用现状的情况来分析,适宜开发的面积中约 66.42% 为园地, 27.56% 为林地,未利用地和滩地占 6.02% 左右。其中,果园占的比重最大,为 1507.44 hm^2 ,占总量的 47.83% (主要是废旧或生产能力差的园地),其次为疏林地,为 846.04 hm^2 ,占总量的 26.85%,桑园为 454.64 hm^2 ,占 14.43%,其他的土地利用类型占的比重比较低。允许开发的面积中 88.95% 为园地, 10.06% 为林地, 0.99% 为未利用地和滩地。其中,果园占的比重最大,为 6031.38 hm^2 ,占总量的 68.61%;其次为桑园, 1253.08 hm^2 ,占总量的 14.25%。

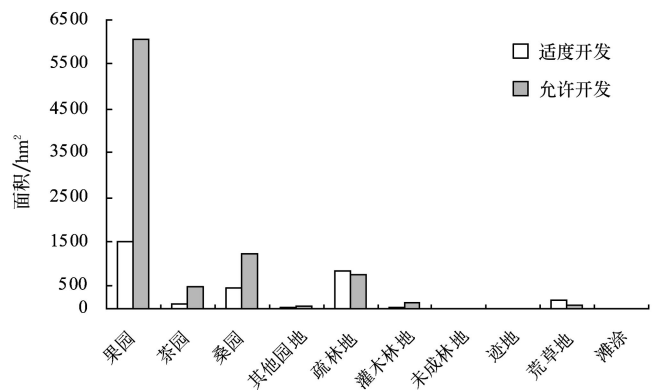


图 2 适宜开发和允许开发的低丘红壤资源的土地利用分布情况
Fig. 2 Distribution of the arable lands with feasible and permitted potential at low hilly red soil region within land uses

3.2 各乡镇开发潜力比较

兰溪市各个乡镇的开发潜力分布很不均匀（图 3），主要是因为各乡镇内部的地形和土地开发利用程度的差别很大。就适宜开发的资源来看，永昌镇和墩头镇最多，分别为 566.29 和 467.92 hm^2 ，二者之和占全市的 32.82%；其次是兰溪街道和诸葛镇，分别为 331.05 和 247.10 hm^2 ，占总量的 18.35%；水亭畲族、马达镇、官塘乡、马涧镇、白沙乡和横溪乡分别为 179.09、137.32、125.02、120.71、145.67 和 175.52 hm^2 ，这 6 个乡镇占全市的 28.03%；灵洞乡、柏社乡、孟湖乡、赤溪乡、流游镇、香溪镇、石渠乡、横木乡、女埠镇、黄店镇、朱家乡、芝堰乡和下陈乡比较少，其中最少的朱家乡只有 2.82 hm^2 ，13 个乡镇的和为 655.72 hm^2 ，占总量的 20.80%。

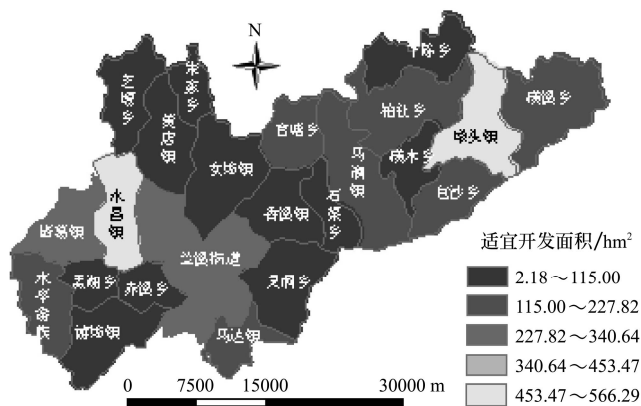


图 3 各乡镇的适宜开发的低丘红壤资源面积
Fig. 3 Area of arable land with feasible potential in low hilly region within villages and towns

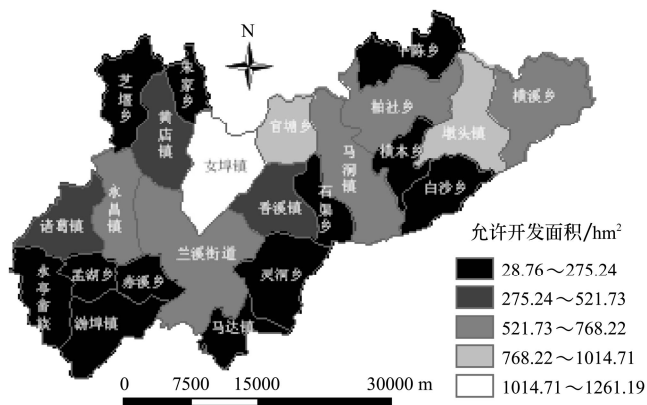


图 4 各乡镇的允许开发的低丘红壤资源面积
Fig. 4 Area of arable land with permitted potential in low hilly red soil region within villages and towns

允许开发的资源在各乡镇的分布也极其不平衡，但并没有表现出与适宜开发资源相类似的规律（图 4）。女埠镇最多，为 1261.19 hm^2 ，占总量的 14.35%；其次是墩头镇和官塘乡，分别为 811.52 和 811.25 hm^2 ，二者之和占总量的 18.46%；永昌镇、兰溪街道、马涧镇、柏社乡和横溪乡分别为 541.26、524.89、752.96、659.62 和

621.64 hm^2 ，5 个乡镇的总和占总量的 35.27%；黄店镇、诸葛镇和香溪镇分别为 320.42、337.88 和 438.92 hm^2 ，三者占总量的 12.48%；余下的乡镇允许开发的资源都比较少，12 个乡镇的可开发资源的面积和为 1709.06 hm^2 ，占总量的 19.44%。

4 结 论

本文基于 SPOT-5 卫星影像和 GIS 的空间分析技术，对浙江省兰溪市低丘红壤区的耕地后备资源的开发潜力进行了评估。主要结论如下：

1) 以栅格数据为基础，综合考虑地形、土壤、土地利用现状三个方面的因素对耕地质量的影响，能够反映研究区域的细节信息。与先划分评价单元再评价的方法相比，采用栅格数据获得的评价结果比较破碎。但是在丘陵山地，地形地貌被分割的比较破碎，因此本研究获得的结论与研究区域的实际情况比较吻合。栅格尺寸的大小根据研究区域的实际情况和分析采用的数据的空间分辨率综合考虑。

2) 评价结果通过当地水利和农业部门实地验证，认为符合当地实际，适宜开发的低丘红壤数量和空间分布与当地调查的结果基本符合。研究结果为兰溪市的低丘红壤资源开发提供了科学依据，并且已被兰溪市“十一五低丘红壤开发治理规划”编制采用。本研究也为县（市）级低丘红壤开发利用潜力评价提供了可借鉴的方法。

[参 考 文 献]

- [1] 赵其国. 我国农业的出路之一——南方红壤丘陵的综合开发[J]. 资源生态环境网络研究动态, 1992, (2): 48—48.
- [2] 宋如华, 齐 实, 孙保平, 等. 区域土地资源的适宜性评价和空间布局[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(3): 23—30.
- [3] 柳云龙, 吕 军, 王人潮. 低丘红壤作物易旱与土壤持水供水特性的关系[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28(1): 42—46.
- [4] 王筱明. 生态位适宜度评价模型在退耕还林决策中的应用[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 113—116.
- [5] T. R. Nisar Ahamed, K. Gopal Rao, J. S. R. Murthy. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis [J]. *Agricultural Systems*, 2000, 63: 75—95.
- [6] Kollias V J, Kalivas D P. The enhancement of a commercial geographical information system with fuzzy processing capabilities for the evaluation of land resources[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1998, 20: 79—95.
- [7] 陈守煜, 柴春岭, 苏艳娜. 可变模糊集方法及其在土地适宜评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 95—97.
- [8] 张秀英, 赵传燕. 基于 GIS 的陇中黄土高原潜在生态环境评价研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2003, 39(3): 73—76.

- [9] 高 鹏, 刘作新, 邹桂霞. 丘陵半干旱区小流域土地资源定量化评价研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 298—231.
- [10] 任周桥, 刘耀林, 焦利民. 基于决策树的土地适宜性评价[J]. 国土资源科技管理, 2007, 24(3): 21—25.
- [11] 谭术魁, 游和远. 基于 BP 神经网络的湖北省城市土地可持续利用评价[J]. 科技进步与对策, 2006: 147—150.
- [12] 张 箐, 陈智高. 基于神经网络专家系统的城镇土地分等定级评价[J]. 2005, 29(1): 55—59.
- [13] Kalogirou S. Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2002, 26: 89—112.
- [14] Bojorquez-Tapis L A, Diaz-Mondragon S, Ezcurra E. GIS-based approach for participatory decision making and land suitability assessment[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, 40: 477—492.
- [15] Qiu Bingwen, Chi Tianhe, Wang Qinmin. Fruit tree suitability assessment using GIS and multi-criteria evaluation[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(6): 96—100.
- [16] 王瑗玲, 赵庚星, 王瑞燕, 等. 区域农地整理质量评价及其时空配置研究——以山东省青州市为例[J]. 自然资源学报, 2006, 21(3): 369—374.
- [17] 张海涛, 周 勇, 汪善勤, 等. 利用 GIS 和 RS 资料及层次分析法综合评价江汉平原后湖地区耕地自然地力[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 219—223.
- [18] 罗 鹏, 俞志强, 殷国庆, 等. 基于 3S 技术的金衢地区低丘红壤开发利用潜力评价[J]. 浙江农业学报, 2007, 19(2): 101—105.

Evaluation of potential for exploiting arable land in low hilly red soil region in Lanxi based on remote sensing and GIS

Zhang Xiuying¹, Zhu Xiaoyun¹, Wang Ke¹, Shen Zhangquan¹, Xu Hongwei¹, Ding Xiaodong¹,
Luo Peng^{1,2}, Yu Zhiqiang³

(1. Institute of Remote Sensing & Information System Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

2. Bureau of Environmental Protection of Taizhou County, Taizhou 318000, China;

3. Geomatics Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310029, China)

Abstract: The potential for exploiting arable land in low hilly red soil region of Lanxi, Zhejiang Province was evaluated based on the technique of remote sensing and GIS. Terrain, soil and land use pattern were considered in the assessment system. The integrated evaluation indices were computed based on these factors, and the results were then grouped into four grades. The assessment results showed that the arable lands with feasible, permitted, limited, and unallowed exploiting potential were 3151.53, 8790.71, 8840.64 and 35175.25 hm², respectively; slope and land use had high correlation coefficient with exploiting potential; in the region with the slope of $\leq 6^\circ$, $6\sim 15^\circ$ and $15\sim 25^\circ$, the arable land with feasible exploiting potential accounted for 50.57%, 43.36% and 6.07%, and the permitted arable land accounted for 12.67%, 42.59% and 44.75%, separately. Sparse forest and orchard mainly constituted the arable land with feasible exploiting potential, and their total areas occupied 74.68%; orchard mainly composed that with permitted exploiting potential, and its area occupied 82.33%; and the arable lands with feasible and permitted exploiting potentials were lopsidedly distributed in town regions. Compared with the ground truth, the assessment results were acceptable.

Key words: exploiting potential for arable land; remote sensing; GIS; low hilly red soil region; Lanxi