

文章编号: 1008-2786-(2017)4-556-10

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000253

三峡库区耕地质量评价

王铭烽^{1,2}, 田风霞^{1*}, 贺秀斌¹, 鲍玉海¹

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所 山地表生过程与生态调控重点实验室, 成都 610041;

2. 中国科学院大学 北京 100049)

摘 要: 本文基于 GIS 与 RS 技术, 结合三峡库区区域特点, 从自然质量、区位条件、生态安全和空间形态四个层面选取指标, 构建三峡库区耕地质量综合评价指标体系, 对库区耕地质量进行评价与分类, 并利用统计数据对研究结果进行验证。结果表明, 三峡库区耕地质量整体较好。其中, 一类、二类耕地分别占库区耕地面积的 22.31% 与 34.18%, 主要分布在库尾各区县及库中的涪陵区; 三类、四类耕地分别占 27.96% 与 15.55%, 主要分布在库中各区县; 单位面积实际粮食产量较高的区县内, 一类、二类耕地面积所占比例较高, 而单位面积实际粮食产量较低的区县, 三类、四类耕地所占比例较高。该研究结果可为三峡库区耕地保护与土地规划提供参考依据。

关键词: 土地利用; 耕地质量; 地理信息系统; 综合评价; 三峡库区

中图分类号: F301.21

文献标志码: A

耕地质量是评价耕地优劣的基础,也是基本农田划定的重要依据。我国是农业大国,耕地数量占全球耕地总数量的 7% 左右^[1],但耕地质量整体偏低^[2]。特别是近年来的“占优补劣”、水土流失等问题,使得耕地质量呈现下降趋势^[3],这与我国保护耕地、保障粮食安全的发展战略相矛盾。因此,科学的评价耕地质量,对保护耕地的质量与数量、保障粮食与生态安全等具有重要的意义。

随着对耕地质量的研究,耕地质量的内涵从早期单一的耕地生产率扩展到涵盖土壤、环境、管理、经济等多方面的综合概念^[1-3],耕地质量评价的内容也随之从耕地产量、土壤、土地生产力等自然性质的单一评价发展到考虑自然、社会、经济等因素的综合评价^[1-3]。耕地质量综合评价通常通过建立评价体系及确定各评价指标的权重值来开展。评价体系

的建立不仅需要综合考虑影响耕地质量的各项指标,还需要结合评价地区的实际状况,对评价指标进行修改^[3]。钱凤魁等^[4]利用 LESA 体系思想,将评价体系分为自然质量与立地条件两个层面,并依据《高标准基本农田建设标准》选择各个层面中的指标;赵建军等^[5]根据吉林省实际状况,选择海拔、坡度、积温、土壤肥力等 7 个指标构建耕地质量评价体系。评价体系中,各指标权重确定所采用的方法有专家打分法^[4]、层次分析法^[5]、自组织神经网络法^[6]等,目前应用比较广泛的方法为专家打分法与层次分析法,但这两种方法主观性较强,其评价结果的准确性受评价者专业知识及经验的影响^[1-3]。随着地理信息系统(GIS)与遥感(RS)技术的广泛应用,耕地质量评价开始向着高精度、多尺度发展^[1]。

三峡库区是一个比较特殊的区域,是指三峡大

收稿日期(Received date): 2016-6-23; 改回日期(Accepted date): 2016-9-11

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(41201273); 中国科学院科技服务网络计划(STS 计划)项目(KFJ-SW-ST-175-04); 国家自然科学基金资助项目(41571278) [National Natural Sciences Foundation of China (41201273); Science and Technology Service Network Initiative of CAS (KFJ-SW-ST-175-04); National Natural Sciences Foundation of China (41571278)]

作者简介(Biography): 王铭烽(1990-),男,山东日照人,博士生,主要从事土地利用与水土保持研究[WANG Mingfeng (1990-), male, Ph. D. candidate, mainly research on land use and soil and water conservation.] E-mail: w1129338066@163.com

* 通讯作者(Corresponding author): 田风霞(1982-),女,山东济宁人,博士,助理研究员,主要从事水土保持与生态水文研究[TIAN Fengxia (1982-), female, Ph. D., research assistant, mainly engaged in soil and water conservation and eco-hydrology.] E-mail: tianfengxia@imde.ac.cn

坝建成后受回水影响的水库淹没区和移民搬迁安置的区域,涉及18个区、县,总面积约5.8万 km^2 ^[7]。三峡工程竣工后,大量农田被淹,同时为了保障移民的生活,也新开垦了大量农田。当前,鲜有对三峡库区耕地质量评价的研究,弄清三峡库区耕地质量状况及其空间分布,对库区耕地的保护及基本农田的划定等有着重要的意义。因此,本文基于GIS与RS技术,结合三峡库区区域特点,从自然质量、区位条件、空间形态和生态安全方面构建耕地质量综合评价体系^[8],对三峡库区耕地质量进行评价,以期对三峡库区耕地保护与土地规划提供参考依据。

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

三峡库区位于四川盆地与长江中下游平原的结合部,跨越鄂中山区峡谷及川东岭谷地带,北屏大巴山、南依川鄂高原^[9]。库区地形以山丘为主,占库区面积的95.7%^[10];气候属中亚热带湿润气候,具有高温多雨的气候特点,相对湿度达60%~80%,年平均气温为17~19℃,年降水量1000~1250 mm,4~10月降水量占全年降水量的80%以上;土壤以紫色土、黄(棕)壤、水稻土、石灰土为主;植被类型主要有常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿针叶林、落叶针叶林、常绿与落叶阔叶混交林、山地灌草丛、竹林、经济林等;库区水系发达,江河纵横,除长江干流河系和嘉陵江、乌江外,流域面积1000 km^2 以上的支流有19条,汛期5~10月径流量占年径流量的75%~82%^[11-13]。由于人口的压力,库区的垦殖指数长期以来保持在25%~27%之间。受地形影响,坡耕地是库区主要的耕地类型,约占耕地面积的70%。

1.2 数据来源及处理

本研究数据包括:1) 2010年三峡库区TM影像,来源于美国地质勘探局,用于获取三峡库区耕地、居民点及道路矢量数据;2) 1971~2010年三峡库区及周边24个气象站点的气象数据,来源于中国气象科学数据共享服务网,获取降水、气温及日照时长等数据;3) 三峡库区30米分辨率DEM数据,来源于中国科学院计算机网络信息中心,用于提取三峡库区的坡度及修正通用土壤流失方程(RUSLE)模型中的坡度、坡长因子;4) 三峡库区1:25万土壤数据,来源于中国科学院南京土壤研究所,获取土壤

质地、土壤有机质含量、有效土层厚度等数据;5) 2010年三峡库区各区县统计年鉴资料,来源于各区县统计局统计公报,获取各区县粮食产量及耕地面积。

利用ENVI软件对TM影像进行合成,并利用ArcGIS软件提取三峡库区的耕地、城镇及NDVI数据,将提取的栅格数据转成矢量数据,并按照TM影像对耕地分布边界进行调整;基于30米DEM数据,利用ArcGIS软件提取库区耕地的坡度及RUSLE模型中的坡度坡长因子;基于库区及周边24个站点气象数据,利用ArcGIS软件中的泛克吕格插值法,对气温、降水等数据进行插值。本文以经TM影像分类、转换、调整得到的耕地图斑为评价单元,利用ArcGIS软件对所需数据的投影坐标进行统一,并栅格化为30 m×30 m的图层。

2 耕地质量评价

2.1 评价指标体系

基于以往有关耕地质量评价的研究,本文从自然质量、区位条件、生态安全和空间形态四个层面构建耕地质量综合评价指标体系^[4-6,8,14-15]。采用专家打分法确定各指标权重,以[0,100]闭合区间对各指标层的分类进行评分(表1),并采用指数法^[14]对耕地质量进行量化。正如引言中提到的专家打分法由于受人为主观因素的作用影响耕地质量的评价结果,因此,本文采用统计数据对评价结果进行验证,同时也验证了本研究权重值确定的合理性。此外,由于三峡库区山丘区面积占库区总面积的95.7%,平原区所占面积很少,因此本文在建立耕地质量指标体系时仅需考虑山丘区一种地貌类型即可。

2.2 评价指标量化

2.2.1 耕地自然质量评价

耕地的自然质量是评估区域生产力的基础,也是影响耕地质量的重要因素之一。影响区域耕地自然质量的因素包括光照、海拔、气温、降水、土壤等。小尺度的耕地质量评价,由于研究范围内气温、降水等自然因素的相似性,仅需要考虑土壤对耕地质量的影响,而较大尺度的耕地质量评价,不仅要考虑土壤对耕地质量的影响,还需要考虑气温、降水等自然因素对耕地的影响。本文的研究区域为三峡库区,由于研究区域较广,在评价耕地自然质量时,需要考

表 1 三峡库区耕地质量评价体系

Tab. 1 Evaluation system of cultivated land quality in the Three Gorges Reservoir Area (TGRA)

目标层	准则层	指标层	指标分级标准									指标		
			100	90	80	70	60	40	50	30	20	10	权重	
耕地质量	自然质量	光温生产潜力(t/hm ²)	≥28.0	≥25.2 ~ 28.0	≥22.4 ~ 25.2	≥19.6 ~ 22.4	≥16.8 ~ 19.6	≥14.0 ~ 16.8	＜14.0			0.3		
		土壤质地	中壤土	轻壤土	重壤土	粘土	沙壤土	砂土						0.15
		土壤有机质含量(%)	≥4.0	≥3.0 ~ 4.0	≥2.0 ~ 3.0	≥1.0 ~ 2.0	≥0.6 ~ 1.0	＜0.6					0.15	
		有效土层厚度(cm)	≥100		≥80 ~ 100		≥60 ~ 80		≥40 ~ 60				0.2	
		灌溉保障率	充分满足		基本满足						无灌溉		0.2	
		区位条件	耕作距离	≥80		≥60 ~ 80		≥40 ~ 60		≥20 ~ 40	＜20		0.5	
		耕作便利度	≥90		≥70 ~ 90		≥50 ~ 70		＜50			0.5		
	生态安全	土壤侵蚀强度	微度		轻度		中度		强烈		极强	剧烈	0.6	
		耕地坡度(°)	≤2	>2 ~ 5	>5 ~ 8		>8 ~ 15			>15 ~ 25		>25	0.4	
		空间形态	田块规整度	≤1.1		>1.1 ~ 1.2		>1.2 ~ 1.3		>1.3 ~ 1.38		>1.38	0.5	
		连片度	≥65.45		≥42.29 ~ 65.45		≥27.42 ~ 42.29		≥20.00 ~ 27.42		≤20.00	0.5		

考虑区域内光照、气温等气候条件的差异。因此,本文利用光温产量、土壤质地、土壤有机质、有效土层厚度及灌溉保障率等指标评价三峡库区耕地自然质量。其中,光温产量利用光温产量模型^[16]计算,光温产量模型考虑了气温、日照时长、海拔及纬度等,计算方法如下:

$$LTPP = f(T) RPP \tag{1}$$

$$f(T) = 1 / (1 + e^{2.052 - 0.161T}) \tag{2}$$

$$RPP = 0.219 \times GRI \tag{3}$$

$$GRI = 170292 + 20.73 \times h \times \varphi + 0.07 \times H \times \varphi \tag{4}$$

式中 $LTPP$ 为光温生产潜力(kg/hm²); RPP 为辐射生产潜力(kg/hm²); $f(T)$ 为温度系数; T 为年平均气温(°C); GRI 为总辐射强度(trillionJ/m²); 0.219 为辐射强度(GRI) 转化为辐射生产潜力(RPP) 的修正系数; h 为年平均日照时长(h); φ 为纬度(°); H 为海拔(m)。

2.2.2 区位条件评价

1) 耕地区位条件评价

耕地区位条件反映耕地利用的便利度,能够对农户土地利用行为产生一定的影响^[8,17]。本文选取耕作距离(耕地距农户居住点的距离)及耕作便利度(耕地距村镇道路距离)这2个指标评价耕地的区位条件,这2个因素属扩散型指标,参照《农用地定级规程》^[18]进行计算赋值:耕作距离属点状指标,采用指数衰减法赋值;耕作便利度属线状指标,采用

直线衰减法赋值。计算方法如下:

$$f_i = M_i^{1-r} \tag{5}$$

$$f_i = M_i(1-r) \tag{6}$$

$$r = d_i/d \tag{7}$$

$$d = S/2L \tag{8}$$

式中 f_i 为 i 因素的分值; M_i 为 i 因素的规模指数; r 为相对距离; d_i 为地块相对于 i 因素的实际距离; d 为影响因素半径; S 为三峡库区面积; L 为道路长度。

2.2.3 耕地空间形态评价

耕地空间形态对耕地的产量、价值及生态功能等有重要影响^[8,19]。本文选取田块规整度与连片度进行评价耕地空间形态。田块规整度采用景观生态学中的分维数($FRAC$) 表示, $FRAC$ 越小,耕地形状越规则, $FRAC$ 越大,耕地形状越复杂;耕地连片度采用 Q 值表示^[20], Q 值越大,耕地连片度越高,反之则连片度越低。在计算 Q 时,面积阈值通过对库区耕地面积进行统计,采用自然断点法获取。田块规整度及连片度计算如下:

$$FRAC = 2 \ln(P/4) / \ln(a \times 10^4) \tag{9}$$

$$Q = \begin{cases} 20 & a \leq 6.78 \text{ hm}^2 \\ 20 + 80 \times \frac{a - 6.78}{83.37 - 6.78} & 6.78 \text{ hm}^2 < a \leq 83.37 \text{ hm}^2 \\ 100 & a > 83.37 \text{ hm}^2 \end{cases} \tag{10}$$

式中, $FRAC$ 为田块规整度; Q 为耕地连片度; P 为田块周长(m); μ 为田块面积(hm^2)。

2.2.4 耕地生态安全评价

耕地生态安全是指耕地环境、生态系统和社会经济的安全,是相对于生态威胁的一种功能状态^[21-22]。耕地生态安全评价主要反映周边生态系统稳定性、地质灾害等对可耕性的影响。三峡库区是长江中下游重要的生态屏障,在我国的发电、航运、经济中占有十分重要的地位^[23],从保护库区生态环境、减少入库泥沙以及地质灾害控制等方面对耕地生态安全有较高的要求。结合研究区域特点,本文选取土壤侵蚀与耕地坡度评价耕地生态安全。土壤侵蚀能够造成土壤养分流失,降低耕地作物产量,影响耕地可持续利用,同时侵蚀产沙还能够抬高河床,淤积河道,影响三峡水库的开发利用,而且坡度陡、土壤侵蚀严重的耕地,引发地质灾害的可能性高。本研究中土壤侵蚀量的计算采用 RUSLE 模型,并根据水利部土壤侵蚀强度分类分级标准,将三峡库区土壤侵蚀强度划分为 6 个等级^[24]。RUSLE 模型计算如下:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (11)$$

式中, A 为土壤侵蚀量($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可蚀性因子; LS 为坡度、坡长因子; C 为覆盖与管理因子; P 为水土保持措施因子。

2.3 各准则层计算

利用上述方法对准则层内各指标进行量化,并利用以下方法对各准则层进行量化:

$$Y_m = \sum_{i=1}^n w_i \times u_i \quad (12)$$

式中, Y_m 为各准则层量化分值, m 为 1, 2, 3, 4; i 为准则层内指标编号; n 为准则层内指标个数; w_i 为准则层内指标权重; u_i 为准则层内指标分值。

2.4 耕地质量评价

为减弱各准则层的权重值对耕地质量评价结果的影响,本研究采用指数法对耕地质量进行综合评价,分值越高,其质量综合评价越好。指数法公式如下^[14]:

$$Q = \sqrt[n]{\prod_{m=1}^n Y_m} \quad (13)$$

式中, Q 为耕地质量分值; Y_m 为第 m 层准则层的分值。

2.5 耕地质量评价结果验证

为验证耕地质量评价结果的准确性(即各指标层权重赋值是否合理),本文利用单位面积耕地产

量进行验证。耕地产量是耕地质量高低的最直观体现之一^[25],高质量耕地比低质量耕地单位面积产量高。因此,三峡库区各区县内高质量耕地所占比例越高,单位面积粮食产量相对也就越高。通过查阅 2010 年三峡库区各区县统计公报中耕地面积及粮食产量,计算各区县单位面积粮食产量如下:

$$M = \frac{Q_p}{A} \quad (14)$$

式中, M 各区县单位面积粮食产量(kg/hm^2); Q_p 为各区县粮食总产量(kg); A 为各县区耕地总面积(hm^2)。

3 结果与分析

3.1 耕地提取精度检验

通过利用 ArcGIS 分类、人工修改边界后,提取 2010 年三峡库区的耕地面积为 $17\,766.53 \text{ km}^2$,经检验,耕地提取精度达到 87.3%。通过分析 2010 年三峡库区各区县统计年鉴资料,三峡库区耕地面积为 $17\,402.07 \text{ km}^2$,与采用遥感影像提取的三峡库区耕地面积仅相差 2.1%。

3.2 耕地质量评价各准则层量化分析

三峡库区耕地自然质量量化分值在 [52, 92] 之间(图 1a),平均分值为 76.86,库区的耕地自然质量整体较好。从空间分布状况来看,库首与库尾区域的耕地其自然质量量化分值普遍较高,如夷陵区、重庆主城区;库中区域耕地的自然质量量化分值差异明显,其中,量化分值高的区县有万州区、忠县、涪陵区等,量化分值低的区县有巫溪县、巫山县、石柱县等。

三峡库区区位条件量化分值在 [23, 100] 之间(图 1b),平均值为 79.58,库区耕地区位条件整体较好。从空间分布状况来看,库尾区域的耕地区位条件量化分值普遍较高,如江津区、重庆主城区等;库中与库首区域的耕地区位条件量化分值差异明显,量化分值较低的区县有巴东县、秭归县等,量化分值较高的区县有长寿区、涪陵区、石柱县。

三峡库区耕地生态安全量化分值区间为 [20, 100] (图 1c),平均分值为 68.00,库区耕地生态安全整体较好。从空间分布状况来看,库尾区域耕地生态安全量化分值整体较高,如江津区、重庆主城区;库中区域耕地生态安全量化分值,由长寿区、涪陵区至巴东县大致呈现由高到低的变化;库首区域耕地生态安全量化分值,由兴山县、秭归县至夷陵区大致

呈现由低到高变化。

三峡库区耕地空间形态量化分值区间为 [32 92] (图 1d) 平均值为 58.68 ,库区耕地空间形态整体较为一般。从空间分布状况来说 ,库尾的重庆主城区、江津区耕地空间形态量化分值较高; 库中区域的长寿区、涪陵区、丰都县、忠县以及万州区 ,部分耕地空间形态量化分值较高 ,具有一定的连片性 ,而其他区县耕地空间形态量化分值较低; 库首区域耕地空间形态量化分值差异明显 ,其中 秭归县耕地空间形态量化分值较低 ,夷陵区耕地空间形态量化分值较高。

3.3 耕地质量综合评价

运用指数法获得三峡库区耕地质量量化分值在 38.96 ~92.72 之间 ,平均值为 68.93 ,耕地质量整体较好。依据最大相似理论 ,采用自然断点法对其量化分值进行分类 ,共分为四类(表 2) 。其中 ,一类耕地量化分值大于 76.30 ,占三峡库区耕地面积的 22.31% ;二类耕地量化分值在 67.87 ~ 76.30 之间 ,占 34.18% ;三类耕地量化分值在 58.80 ~ 67.87 之间 ,占 27.96% ;四类耕地量化分值小于 58.80 ,占 15.55% 。

表 2 三峡库区耕地质量综合评价分类

Tab. 2 Classification of cultivated land quality comprehensive evaluation in the TGRA

耕地质量分类	量化分值	面积(km ²)	比例(%)
一类耕地	≥76.30	3964.45	22.31
二类耕地	≥67.87 ~ 76.30	6072.02	34.18
三类耕地	≥58.80 ~ 67.87	4967.80	27.96
四类耕地	<58.80	2762.26	15.55
合计	—	17766.53	100

1) 三峡库区一类耕地面积为 3964.45 km² ,占库区耕地总面积的 22.31% ,在四类耕地中占第三位(表 2) 。一类耕地总体上分布较为集中 ,呈一定的空间连片 ,少部分零星分布 ,主要分布在库尾的江津区、重庆主城区 ,分别占库区一类耕地面积的 23.23% 、31.21% ,其次为库中的长寿区、涪陵区、忠县、万州区、开县 ,分别占 6.83% 、8.23% 、5.00% 、4.52% 、4.90% ,以及库首的夷陵区 ,占 6.50% (图 2、表 3) 。各区县内 ,一类耕地占其耕地总面积比例

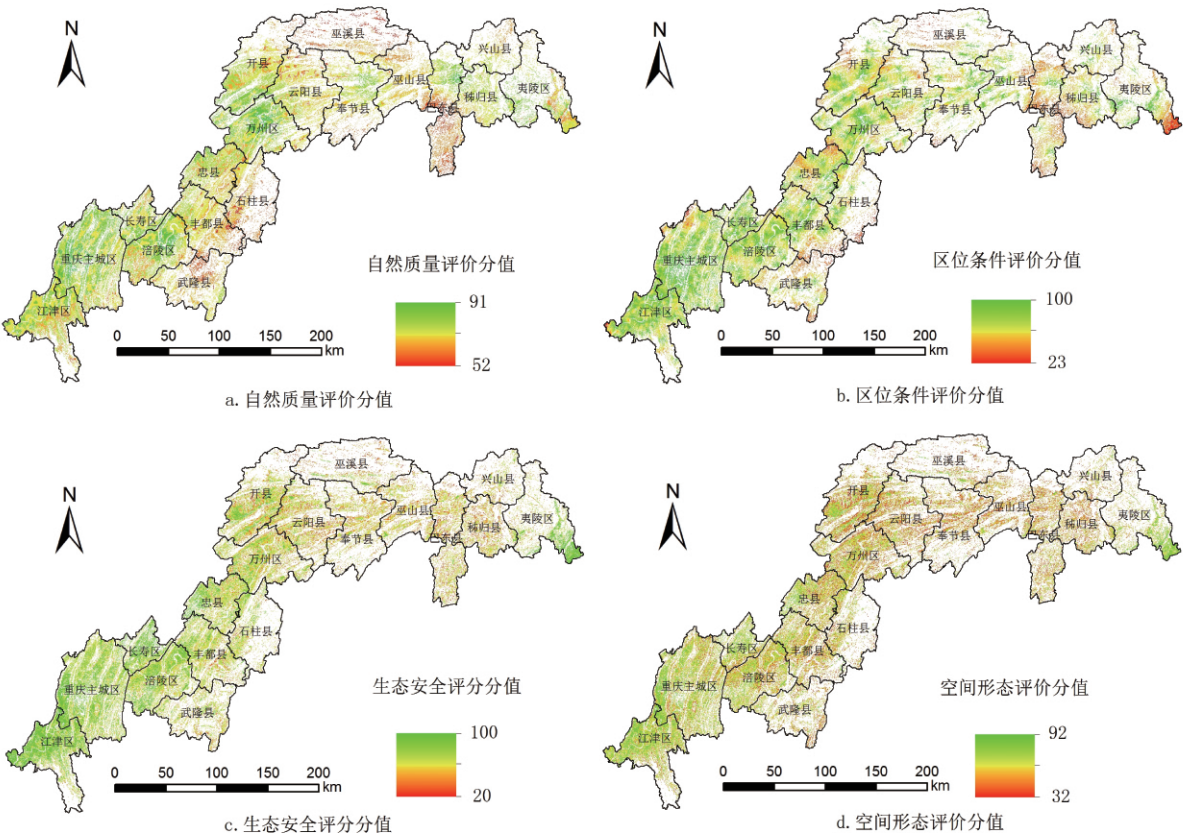


图 1 三峡库区耕地质量各准则层评价结果

Fig. 1 Results of cultivated land quality criteria layer evaluation in the TGRA

较高的有,库尾的江津区、重庆主城区,占该区耕地面积的比例依次为 55.49%、48.77%,库中的长寿区、涪陵区、忠县,占该区耕地面积比例依次为 45.08%、22.65%、19.11%,库首的夷陵区,占该区耕地面积比例为 35.99%(表3)。结合图1分析,从自然环境方面来看,一类耕地所在区域水热条件适宜、土壤肥沃,作物产量高;从区位方面来看,交通便利,靠近农产品需求量大的中心城镇,便于农田的耕作管理及农产品的运输销售;从农田空间形态来看,田块规整度高,连片性强,利于作物的耕种及收获;从生态安全方面来看,土壤侵蚀量低,坡度平缓,对农田自身及周边环境生态环境影响小。综上所述,一类耕地在自然质量、管理区位条件、空间形态及生态安全等各方面综合最优,一类耕地在三峡库区应受到重点保护。

2) 三峡库区二类耕地面积为 6072.02 km²,占库区耕地总面积的 34.18%,在四类耕地中占第一位(表2)。二类耕地主要分布在库尾的重庆主城区与库中的涪陵区,分别占库区二类耕地面积的

16.85%、11.23%,其次为库尾的江津区以及库中万州区、忠县、开县、丰都县,分别占 9.31%、8.89%、7.83%、6.82%、7.30%(图2、表3)。各区县内,二类耕地占其耕地面积比例较高的有,库尾的重庆主城区,占该区耕地面积的比例为 40.32%,库中的丰都县、长寿区、忠县以及石柱县,占该区耕地面积比例依次为 40.40%、42.02%、45.88%、41.54%,库首的夷陵区,占该区耕地面积比例为 40.81%(表3)。总体上看,二类耕地在各准则层量化分值与一类耕地具有较高一致性(图1),但由于某一准则层量化分值相对较低,致使耕地质量评价下降,且导致各区县耕地质量降低成为二类耕地主要因素不同。库中的长寿区、石柱县以及丰都县的二类耕地的自然质量相对较低;库尾的江津区与重庆主城区的二类耕地,田块面积较小,分布零散,空间形态较差;库首的夷陵区与库中的涪陵、忠县的二类耕地,区位条件较差(图1)。依据限制因素的不同,可以通过适宜措施提高耕地质量。针对由于土壤因素导致自然质量较低的二类耕地,可通过增施有机肥、改良土壤

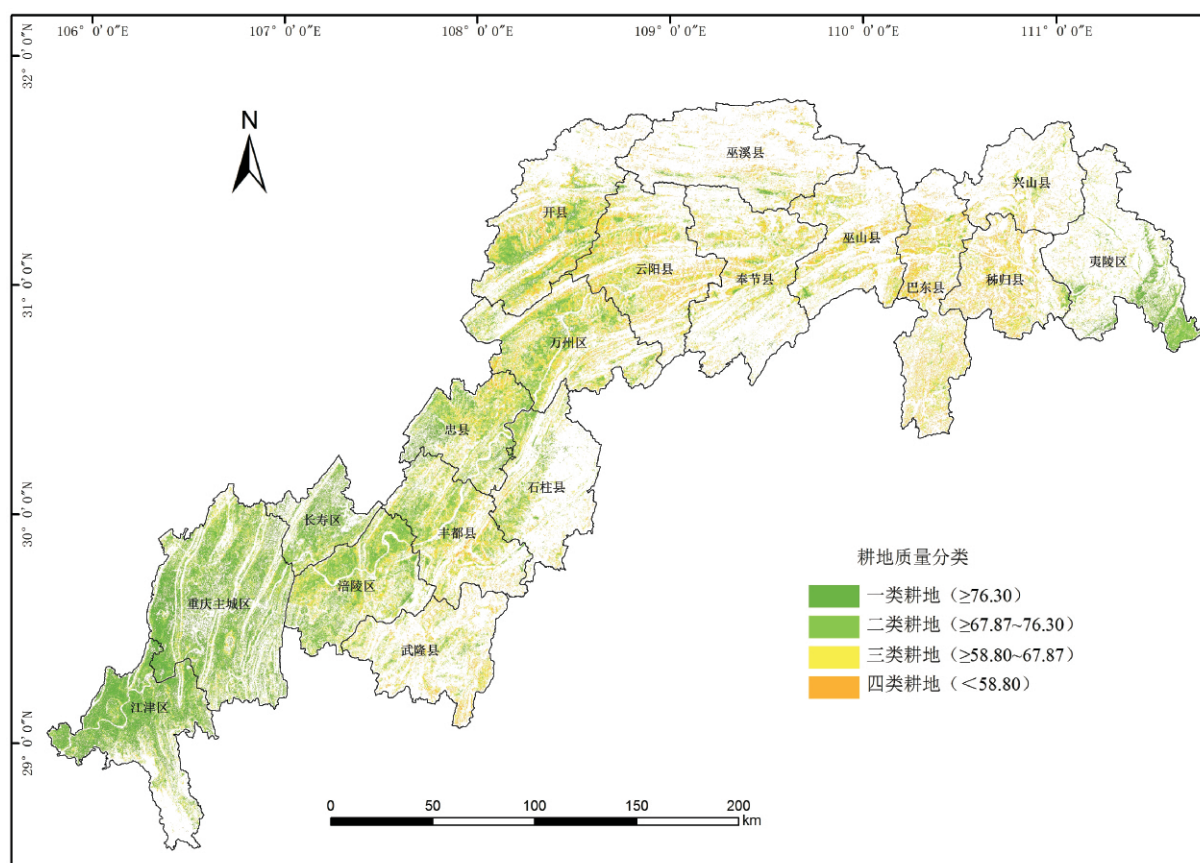


图2 三峡库区耕地质量分类

Fig.2 Cultivated land quality classification in the TGRA

表 3 各区县耕地面积及粮食产量

Tab. 3 Cultivated land area and grain production in each district or county of TGRA

行政单位	一类耕地			二类耕地			三类耕地			四类耕地			实际粮食 产量 (kg/hm ²)
	面积 (km ²)	面积 比例 1 (%)	面积 比例 2 (%)	面积 (km ²)	面积 比例 1 (%)	面积 比例 2 (%)	面积 (km ²)	面积 比例 1 (%)	面积 比例 2 (%)	面积 (km ²)	面积 比例 1 (%)	面积 比例 2 (%)	
夷陵区	257.64	6.50	35.99	292.13	4.81	40.81	125.41	2.52	17.52	1.47	1.33	5.68	5518.85
兴山县	7.52	0.19	2.82	55.02	0.91	20.60	113.67	2.29	42.56	3.29	3.45	34.02	3089.89
秭归县	11.51	0.29	1.97	79.41	1.31	13.58	238.63	4.80	40.81	9.25	7.71	43.64	3062.92
巴东县	7.83	0.20	0.90	113.81	1.87	13.16	363.91	7.33	42.08	13.73	11.60	43.86	3333.32
巫山县	19.57	0.49	3.17	109.33	1.80	17.69	255.73	5.15	41.39	8.44	8.26	37.75	3729.99
巫溪县	22.91	0.58	6.00	65.47	1.08	17.14	111.25	2.23	29.13	6.60	5.26	47.73	3353.90
奉节县	34.08	0.86	4.10	233.76	3.85	28.11	338.63	6.82	40.72	8.15	10.17	27.07	4698.42
云阳县	38.28	0.97	3.39	315.15	5.19	27.85	433.10	8.72	38.27	12.49	14.19	30.49	4267.47
开县	194.13	4.90	14.67	414.19	6.82	31.29	459.81	9.26	34.74	9.25	10.00	19.30	4663.03
万州区	179.16	4.52	12.37	540.10	8.89	37.29	523.62	10.53	36.15	7.43	7.46	14.19	4604.99
忠县	198.18	5.00	19.11	475.81	7.83	45.88	291.99	5.88	28.15	2.57	3.26	6.86	5081.60
石柱	81.23	2.05	13.96	241.75	3.98	41.54	191.14	3.85	32.84	2.46	2.40	11.66	4822.27
丰都县	133.01	3.36	12.12	443.43	7.30	40.40	393.56	7.92	35.85	4.62	4.94	11.63	4422.51
武隆县	23.35	0.59	3.64	170.32	2.81	26.54	279.98	5.63	43.62	6.09	6.37	26.20	3447.35
涪陵区	326.87	8.23	22.65	681.82	11.23	47.25	378.58	7.63	26.24	2.02	2.06	3.86	4480.82
长寿区	270.71	6.83	45.08	252.30	4.16	42.02	70.03	1.41	11.66	0.27	0.28	1.24	5275.99
重庆主城区	1237.58	31.21	48.77	1023.02	16.85	40.32	258.84	5.21	10.20	0.65	0.83	0.71	6511.32
江津区	920.89	23.23	55.49	565.20	9.31	34.05	139.93	2.82	8.43	1.22	0.43	2.03	6567.76
合计	3964.44	100	—	6072.02	100	—	4967.80	100	—	2762.26	100	—	

注: 面积比例 1 为该类耕地占三峡库区该类耕地比例; 面积比例 2 为该类耕地占该县(区) 耕地面积比例。

结构等 ,提高耕地自然质量; 对于空间形态较差的二类耕地 ,可通过改变耕地或周边土地的利用类型 ,增加耕地空间连片性 ,优化耕地空间布局 ,改善耕地空间形态; 对于区位条件较差的二类耕地 ,可以通过修建道路 ,改善区位条件。

3) 三峡库区三类耕地面积为 4967. 80 km² ,占库区耕地总面积的 27. 96% ,在四类耕地中占第二位(表 2) 。从空间分布来看 ,三类耕地主要分布在库中 ,而库首及库尾分布较少 ,主要分布在万州区、开县、云阳县、丰都县、涪陵区及巴东县 ,占三类耕地比例依次为 10. 53%、9. 26%、8. 72%、7. 92%、7. 63%、7. 33%(图 2、表 3) 。各区县内三类耕地占其耕地面积比例较高的有 ,库中的武隆县、巴东县、巫山县、奉节县 ,以及库首的兴山县、秭归县 ,占该县耕地面积比例依次为 43. 62%、42. 08%、41. 39%、

40. 72% ,以及 42. 56%、40. 81%(表 3) 。总体来看 ,田块分布零散 ,面积较小 ,田块形状不规则 ,空间形态差 ,是三类耕地普遍存在的特征(图 1) 。除了空间形态较差之外 ,各区县三类耕地还存在其他限制因素 ,如武隆县、巴东县南部及丰都县南部三类耕地自然质量普遍较低; 涪陵区、万州区及巫山县三类耕地生态安全普遍较低; 巴东县、秭归县及兴山县三类耕地的区位条件普遍较差(图 1) 。与二类耕地相比 ,三类耕地受多个限制因素影响 ,在整治并提升耕地质量时 ,需要分析各限制因素对耕地质量作用的机理 ,并根据各地实际状况 ,制定合理规划及相应措施。

4) 三峡库区四类耕地面积为 2762. 26 km² ,占库区耕地总面积的 15. 55% ,在四类耕地中占第四位(表 2) 。四类耕地空间分布与三类耕地类似 ,主

要分布在库中,库首及库尾分布较少,主要分布在开县、奉节县、云阳县及巴东县,占四类耕地面积依次为10.00%、10.17%、14.19%、11.60%(图2、表3)。各区县的四类耕地占该县耕地面积较高的有云阳县、兴山县、巫山县、秭归县、巴东县及巫溪县,占该县耕地面积比例依次为30.49%、34.02%、37.75%、43.64%、43.86%、47.73%(表3)。总体上看,四类耕地空间形态与生态安全较差,而且各区县的四类耕地还存在其他限制因素,例如,开县、巴东县中部及南部及巫山县的四类耕地自然质量较差;奉节县北部、秭归县及兴山县的四类耕地区位条件较差。因此,改造并提升四类耕地质量较为复杂。对于面积小、坡度大、地形复杂,远离城镇及交通的四类耕地,通过平整土地、坡改梯等措施提升耕地质量难度大,应采取退耕还林、还草等生态工程,减少此类耕地侵蚀,增加生态及水土保持效益;而对于交通便利、光温产量高的四类耕地,则需要根据当地实际状况,通过坡改梯、优化空间布局等措施提高耕地质量。

根据2010年三峡库区各区县统计年鉴资料计算,三峡库区单位面积粮食产量为4732.64 kg/hm²。其中,单位面积产量最高的区县为库尾的江津区,为6567.76 kg/hm²,其次为库尾的重庆主城区、库首的夷陵区以及库中的长寿区,依次为6511.32 kg/hm²、5518.85 kg/hm²、5275.992 kg/hm²;单位面积产量最低的区县为库首的秭归县,为3062.92 kg/hm²,其次为库首的兴山县、及库中的巴东县和巫溪县,依次为3089.89 kg/hm²、3333.32 kg/hm²、3353.9 kg/hm²。上述单位面积产量高的区县,一类、二类耕地面积占全区、县耕地面积比例均超过70%,而上述单位面积产量低的区县,三类、四类耕地面积占全县耕地面积比例均超过70%,这与本文对三峡库区耕地质量的评价结果相一致。

4 结论

本文基于GIS与RS技术,通过构建耕地质量综合评价体系对三峡库区耕地质量进行评价,主要结论如下:

1) 三峡库区耕地在自然质量、区位条件及生态安全等方面总体较好,而在空间形态方面总体一般,耕地质量总体较优。依据三峡库区耕地质量综合指数分值及最大相似原理,按照耕地质量由高到低的

顺序,库区耕地可划分为4类,其中二类耕地面积最大,其次为三类耕地、一类耕地,四类耕地面积最小。

2) 总体上看,库尾耕地质量优于库中及库首。其中,一类耕地占三峡库区耕地的22.31%,主要分布在库尾的江津区、重庆主城区,作为三峡库区质量最优的耕地,应受到重点保护;二类耕地占三峡库区耕地的34.18%,主要分布在库尾的重庆主城区与库中的涪陵区,作为三峡库区质量较优的耕地,与一类耕地相比,仍存在一些限制因素,可根据不同限制因素采取相应措施,提高耕地质量;三类耕地占三峡库区耕地的27.96%,主要分布在库中各区县,如万州区、开县、云阳县等,三类耕地空间形态普遍较差,在整治该类耕地时,需要制定长期规划及措施;四类耕地占三峡库区耕地的15.55%,主要分布在库中的开县、奉节县、云阳县及巴东县,四类耕地空间形态与生态安全评价较差,在治理时,需通过对限制因素分析,判断是否采用退耕还林(草)等生态工程。

3) 通过计算2010年三峡库区各区县耕地单位面积粮食产量,结果显示单位面积产量较高的区县内,一类、二类耕地面积所占比例较高,而单位面积产量较低的区县,三类、四类耕地所占比例较高,这与本文对三峡库区耕地质量的评价结果相一致。

本文从区域尺度上对三峡库区耕地的质量进行评价,指出三峡库区耕地质量存在的问题,并为三峡库区耕地质量的提升提供意见。但受数据源的限制,针对地块尺度的耕地质量改良,还需要高精度数据的县域尺度耕地质量评价。因此,在数据、资料充足的条件下,对耕地质量进行多尺度的评价,特别是从时间尺度上分析耕地质量动态变化的原因并提出相应对策,将成为三峡库区耕地质量今后研究的重点。

参考文献(References)

- [1] 付国珍,摆万奇. 耕地质量评价研究进展及发展趋势[J]. 资源科学, 2015, 37(2): 226-236. [FU Guozhen, BAI Wanqi. Advances and prospects of evaluating cultivated land quality [J], Resources Science, 2015, 37(2): 226-236.]
- [2] 陈印军,肖碧林,方琳娜,等. 中国耕地质量状况分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17): 3557-3564. [CHEN Yinjun, XIAO Bilin, FANG Linna, et al. The quality analyses of cultivated land in China [J], Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(17): 3557-3564.]
- [3] 沈仁芳,陈美军,孔祥斌,等. 耕地质量的概念和评价与管理对策[J]. 土壤学报, 2012, 49(6): 1210-1217. [SHEN Renfang, CHEN MeiJun, KONG Xiangbin, et al. Conception and evaluation

- of quality of arable land and strategies for its management [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, **49**(6): 1210–1217.]
- [4] 钱凤魁, 王秋兵, 李娜. 基于耕地质量与立地条件综合评价的高标准基本农田划定[J]. *农业工程学报*, 2015, **38**(18): 225–232. [QIAN Fengkui, WANG Qiubing, LI Na. High-standard prime farmland planning based on evaluation of farmland quality and site conditions [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural*, 2015, **38**(18): 225–232.]
- [5] 赵建军, 张洪岩, 王野乔, 等. 基于 AHP 和 GIS 的省级耕地质量评价研究——以吉林省为例[J]. *土壤通报*, 2012, **43**(1): 70–75. [ZHAO Jianjun, ZHANG Hongyan, WANG Yeqiao, et al. Research on the quality evaluation of cultivated land in provincial area based on AHP and GIS: a case study in Jilin province [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2012, **43**(1): 70–75.]
- [6] 郝瑞卿, 关侠, 郝旭久, 等. 基于自组织神经网络的耕地自然质量评价方法及其应用[J]. *农业工程学报*, 2014, **30**(23): 298–305. [QIE Ruiqing, GUAN Xia, YAN Xujiu, et al. Method and its application of natural quality evaluation of arable land based on self-organizing feature map neural network [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural*, 2014, **30**(23): 298–305.]
- [7] 范建容, 刘飞, 郭芬芬, 等. 基于遥感技术的三峡库区土壤侵蚀量评估及影响因子分析[J]. *山地学报*, 2011, **29**(3): 306–311. [FAN Jianrong, LIU Fei, GUO Fenfen, et al. Soil erosion assessment and cause analysis in Three Gorges Reservoir Area based on remote sensing [J]. *Mountain Research*, 2011, **29**(3): 306–311.]
- [8] 奉婷, 张凤荣, 李灿, 等. 基于耕地质量综合评价的县域基本农田空间布局[J]. *农业工程学报*, 2014, **30**(1): 200–210. [FENG Ting, ZHANG Fengrong, LI Can, et al. Spatial distribution of prime farmland based on cultivated land quality comprehensive evaluation at county scale [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural*, 2014, **30**(1): 200–210.]
- [9] 刘晓冉, 杨茜, 王若瑜, 等. 1980—2009 年三峡库区空中水资源变化特征[J]. *自然资源学报*, 2012, **27**(9): 1550–1560. [LIU Xiaoran, YANG Qian, WANG Ruoyu, et al. Variation characteristics of water vapor resources over the Three Gorges Reservoir Area during 1980–2009 [J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, **27**(9): 1550–1560.]
- [10] 许其功, 刘鸿亮, 席北斗, 等. 三峡库区土地利用与景观格局变化研究[J]. *环境科学与技术*, 2007, **30**(12): 83–86. [XU Qigong, LIU Hongliang, XI Beidou, et al. Land use and landscape pattern change in Three Georges Reservoir Area [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, **30**(12): 83–86.]
- [11] 邵景安, 张仕超, 魏朝富. 基于大型水利工程建设阶段的三峡库区土地利用变化遥感分析[J]. *地理研究*, 2013, **32**(12): 2189–2203. [SHAO Jingan, ZHANG Shichao, WEI Chaofu. Remote sensing analysis of land use change in the Three Gorges Reservoir area, based on the construction phase of large-scale water conservancy project [J]. *Geographical Research*, 2013, **32**(12): 2189–2203.]
- [12] 史玉虎. 长江三峡花岗岩区要地管流对地表径流的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2005: 23–27. [SHI Yuhu. Influence of pipe flow to surface runoff in granite region within Three-Gorges of Yangtze River [D]. Beijing Forestry University, 2005: 23–27.]
- [13] 潘磊, 肖文发, 唐万鹏, 等. 三峡库区森林植被气候生产力模拟[J]. *生态学报*, 2014, **34**(11): 3064–3070. [PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al. Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir Area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(11): 3064–3070.]
- [14] 谢花林, 李秀彬, 陈瑜琦, 等. 土地利用规划环境影响的生态安全评价方法初探——以内蒙古翁牛特旗为例[J]. *资源科学*, 2010, **32**(1): 57–63. [XIE Hualin, LI Xiubin, CHEN Yuqi, et al. Environmental impacts of land use planning based on an ecological security method in Ongniud Banner, Inner Mongolia [J]. *Resources Science*, 2010, **32**(1): 57–63.]
- [15] 钱凤魁, 王秋兵, 边振兴, 等. 凌源市耕地质量评价与立地条件分析[J]. *农业工程学报*, 2011, **27**(11): 325–329. [QIAN Fengkui, WANG Qiubing, BAIN Zhenxing, et al. Farmland quality evaluation and site assessment in Lingyuan city [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural*, 2011, **27**(11): 325–329.]
- [16] 田永中. 中国陆地生态系统食物供给功能评估[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2005. [TIAN Yongzhong. Assessment of potential food provisioning services of terrestrial ecosystems in China based on grid-cells [D]. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, 2005.]
- [17] 钱凤魁, 王秋兵. 基于农用地分等和 LESA 方法的基本农田划定[J]. *水土保持研究*, 2011, **18**(2): 251–255. [QIAN Fengkui, WANG Qiubing. Planning method of the prime farmland based on farmland classification and LESA Method [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2011, **18**(2): 251–255.]
- [18] 中华人民共和国国土资源部. GB/T 28405–2012 农用地定级规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. GB/T 28405–2012, Regulations for classification on agriculture land [S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.]
- [19] 邓劲松, 王珂, 沈掌泉, 等. 桐乡市乡镇耕地整理对耕地景观格局的影响及其分析[J]. *农业工程学报*, 2005, **21**(3): 79–82. [DENG Jinsong, WANG Ke, SHEN Zhangquan, et al. Impact of farmland consolidation on farmland landscape a case study in Tongxiang county [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural*, 2005, **21**(3): 79–82.]
- [20] 李赓, 吴次芳, 曹顺爱. 划定基本农田指标体系的研究[J]. *农机化研究*, 2006, (8): 46–48. [LI Geng, WU Cifang, CAO Shunai. Study on indicators system of selecting cultivated land into prime farmland [J]. *Agricultural Mechanization Research*, 2006, (8): 46–48.]
- [21] 吴大放, 刘艳艳, 刘毅华, 等. 耕地生态安全评价研究展望[J]. *中国生态农业学报*, 2015, **23**(3): 257–267. [WU Dafang, LIU Yanyan, LIU Yihua, et al. Progress on ecological security evaluation of cultivated land [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, **23**(3): 257–267.]
- [22] 栾乔林, 王芳, 黄朝明, 等. 海南省土地资源可持续利用的生态

- 安全评价指标体系研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(8): 3676–3678. [LUAN Qiaolin, WANG Fang, HUANG Chaoming, et al. Construction of ecological security evaluation indices for sustainable utilization of land resources in Hainan province [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(8): 3676–3678.]
- [23] 吴昌广. 气候变化背景下三峡库区植被覆盖动态及其土壤侵蚀风险研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011: 13. [WU Changguang. Assessment of vegetation cover dynamic and soil erosion risk in Three Gorges Reservoir Area under the background of climate change [D]. Huazhong Agricultural University, 2011: 13.]
- [24] 中华人民共和国水利部. SL 190—2007 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007. [Ministry of Water Resources of the PRC. SL 190—2007, standard for classification and gradation of soil erosion [S]. Beijing: China Water & Power Press, 2007.]
- [25] WANG Zhen, WANG Liming, XU Ruina, et al. GIS and RS based assessment of cultivated land quality of Shandong province [J]. Procedia Environmental Sciences, 2012, 12(4): 823–830.

Cultivated Land Quality Evaluation in the Three Gorges Reservoir Area

WANG Mingfeng^{1,2}, TIAN Fengxia^{1*}, HE Xiubin¹, BAO Yuhai¹

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Cultivated land quality is not only the basis of cultivated land evaluation but also the basis of prime farmland demarcating. In this paper, it constructed a cultivated land quality comprehensive evaluation system, whose relevant indicators included the natural quality, site conditions, ecological security and spatial pattern for evaluation of cultivated land quality in the Three Gorges Reservoir Area (TGRA). It used statistical data to verify our evaluations. The results were as follows: The quality of cultivated lands were divided into four grades in TGRA, and the quality in generally was fine. The first grade of cultivated lands accounted for 22.31% of the entire cultivated lands, and mainly were distributed in the middle and tail of the TGRA. The second grade of cultivated lands accounted for 34.18%, and mainly were distributed in the middle and tail of TGRA. Compared with the first grade, the second grade at different places had different limiting factors. Therefore appropriate measures were adopted to improve the cultivated land quality according to the limiting factors, including soil improvement, cultivated land space adjustment and so on. The third grade of cultivated lands accounted for 27.96%, and mainly were distributed in the middle of TGRA. The poor spatial pattern was a sign of the third grade. And it needed a long-term planning and reasonable measures to improve the third grade quality. The fourth grade of cultivated lands accounted for 15.55%, and mainly were distributed in the middle of TGRA. The poor spatial pattern and the low ecological security were the signs of the fourth grade. As the fourth grade was referred, all kinds of limiting factors should be analyzed to determine whether or not to adopt returning farmland ecological engineering. According to grain production data in each county (district) of TGRA in 2010, the counties (districts) which had high yield per unit owned a high proportion of the first and the second grades of cultivated lands. In contrast, those had low yield per unit owned a high proportion of the third and the fourth grades of cultivated lands. These results will provide reference for cultivated land protection and land use planning in the TGRA.

Key word: land use; cultivated land quality; geographic information system (GIS); comprehensive evaluation; Three Gorges Reservoir Area (TGRA)