

基于生态位适宜度模型和 GIS 技术的山区 耕地生态经济适宜性评价^①

涂建军^② 华 娟

(西南大学地理科学学院 重庆 400715)

摘 要 针对基于单一属性的耕地适宜性评价存在的局限性,提出将耕地的自然属性和经济属性结合起来开展耕地生态经济适宜性评价的方法。以地处武陵山区的重庆市秀山县为研究对象,从耕地质量、耕地环境和耕地利用的社会经济条件等 3 个层面建立山区耕地生态经济适宜性评价指标体系,运用生态位适宜度模型,通过模糊数学分析法和 GIS 技术手段,对研究区耕地的生态经济适宜性进行评价。结果表明:秀山县耕地生态经济适宜性整体较高,生境条件基本满足该县耕地利用方式,适宜性等级属于高度适宜及一般适宜的耕地面积占耕地总面积的比重高达 86.62%,耕地生态经济适宜性与实际生产情况较符合;耕地生态经济适宜性等级的空间分布呈现平坝河谷高、低山丘陵区次之,中高山区最低的特点,说明海拔、坡度等地形条件是影响山区耕地生态经济适宜性的最重要因素。

关键词 生态经济适宜性,生态位适宜度,山区,耕地,GIS 技术

0 引 言

人口增加与经济发展对土地资源的压力越来越大,导致了不同程度的土地退化,土地的适宜性问题日益受到关注^[1,2]。如何根据土地适宜性选择科学合理的土地利用方式,提高土地利用的效率,实现在土地利用过程中生态、社会、经济三效益的统一,已成为 21 世纪土地科学等相关学科的研究重点^[3]。耕地是极其重要的土地资源,准确把握区域耕地适宜性,合理高效利用耕地,对实现耕地保护由数量平衡管理向数量-质量综合平衡管理具有重要意义,是实现耕地资源可持续利用的前提和重要保障,因此对耕地自然、经济属性的生态经济适宜性评价显得尤为重要^[4,5]。

山区是以山地为主的人类活动区域,全球陆地有 1/5 为山地,约有一半的人口依靠山地生活。中国是一个多山的国家,山地占国土面积的 69%,有 54% 的人口居住在山区。山区耕地资源不仅是山区宝贵的自然资源,也是我国耕地资源的重要组成部分

分,山区耕地面积占全国耕地总面积的 44%^[6,7]。但山区耕地的分布格局、利用方式、产出效率等与平原地区有很大区别,如山区耕地宜耕性差,质量偏低,开发利用难度大,再加上山区生态环境脆弱,耕地的开发利用容易引发水土流失、沙化等土地退化现象。因此,如何依据山区耕地生态经济适宜性,因地制宜地提高山区耕地产出率,是保护山区耕地资源、促进山区可持续发展的重要途径。总体来看,目前该领域研究还存在以下缺陷:从研究对象看,主要针对单一用途的耕地适宜性评价;从评价内容来看,主要是针对耕地自然属性或社会经济属性进行评价,把耕地自然和生态属性结合起来进行的耕地生态经济适宜性评价则较少^[1,2,8,9];从研究区域来看,针对山区这一特殊地域的研究尚显不足。本文以位于武陵山区腹心地带的重庆市秀山县为研究对象,运用生态位适宜度模型,结合 GIS 技术,对耕地生态经济适宜性进行了评价,为山区合理规范管理土地资源提供了科学依据,同时也为相关土地适宜性评价研究提供了方法借鉴。

① 国家科技支撑计划(2012BAJ23B05)和国家自然科学基金(40701179)资助项目。

② 男,1973 年生,博士,副教授;研究方向:区域规划,土地利用规划与土地管理信息技术;联系人,E-mail: tujianjun81@yahoo.com.cn (收稿日期:2012-07-10)

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

本研究数据来源主要包括两部分——空间数据和统计数据。空间数据包括秀山县第二次土地利用调查数据、农用地分等定级数据、1:10000 土壤图、1:10000 土壤质地图、1:10000 海拔坡度图;统计数据主要有秀山县第二次土壤普查文件资料、秀山县 2010 年社会经济统计报表及《2010 年秀山县统计年鉴》。

1.2 生态位适宜度模型

1.2.1 多维超体积生态位

生态位的概念由生态学家格林内尔在 1917 年给予明确定义,所表征的是生物在群落生态系统中所处的空间位置 and 所发挥的功能。随着生态学及相关学科发展,生态位概念不断得到完善,目前最具代表性及影响力的生态位概念是哈钦森所提出的多维超体积生态位概念。他指出,生态位是生物与生物周边环境相互关系的总和,并将该概念数学抽象化,认为生物在环境中受多个资源因子制约,每一个资源都有一定阈值,在小于阈值的范围内,任何一点所构成的资源组合状态,该物种都可以生存繁衍,所有这些状态组合点共同构成了该物种在该环境中的多维超体积生态位^[10]。

1.2.2 生态位适宜度

不同土地利用类型对土地生态环境要素的要求构成了需求生态位,记为特征向量 X_0 ,而各现状要素状况构成了对应的土地资源空间即资源生态位,记为特征向量 X_i ;两者之间的匹配关系则反映了不同土地利用类型的资源条件对土地利用的适宜程度,该适宜程度可用生态位适宜度(niche fitness, NF)进行估计,可表示为 $NF = \Phi(X_0, X_i)$,其中 $X_i, X_0 \in E_n$, E_n 即为 n 维生态环境要素构成的耕地超体系生态位; $\Phi(X_0, X_i)$ 表示 X_0 和 X_i 的贴进度。 $NF \in [0, 1]$, NF 值越大表示该土地利用类型对生境条件的适宜程度越高,反之越低。显然,当区域现状资源条件完全满足某种土地的开发利用要求时,其生态适宜度为 1;而当区域资源条件完全不能满足要求时,对应的生态位适宜度为 0^[11-13]。

1.3 隶属度函数

隶属度属于模糊评价中的重要概念,模糊综合评价是对受多种因素影响的事物做出全面评价的一种十分有效的多因素决策方法,其特点是评价结果

不是绝对肯定或否定,而是以一个模糊集合来表示。假设对论域(研究范围) U 中的任一元素 x 都有一个数 $A(x) \in [0, 1]$ 与之对应,则称 A 为 U 上的模糊集, $A(x)$ 称为 x 对 A 的隶属度。当 x 在 U 中变动时, $A(x)$ 就是一个函数,称为 A 的隶属函数。隶属度 $A(x)$ 越接近于 1,表示 x 属于 A 的程度越高, $A(x)$ 越接近于 0 表示 x 属于 A 的程度越低^[14]。采用生态位适宜度模型对耕地生态经济适宜性进行评价,实质上是运用模糊数学的思想,将需求生态位与现实生态位之间的匹配关系利用模糊数学中的隶属度函数定量反映出来,即科学表征二者之间的贴进度,通过加权求和计算评价对象的生态位适宜度值。

设耕地生态经济最适生态位论域 $V = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_n\}$, 适宜性评价因子论域 $U = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, A_1 是论域 U 上的一个子集,则

$$A_1 = \frac{w_1}{x_1} + \frac{w_2}{x_2} + \frac{w_3}{x_3} + \dots + \frac{w_n}{x_n} \quad (1)$$

其中 $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ 是评价因子的权重;

$$B_1 = \frac{y_1}{m_1} + \frac{y_2}{m_2} + \frac{y_3}{m_3} + \dots + \frac{y_n}{m_n} \quad (2)$$

其中 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ 分别为最适宜生态位 $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ 的隶属度;

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1j} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \dots & r_{2j} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & \dots & r_{3j} \\ \dots & & & & \\ r_{i1} & r_{i2} & r_{i3} & \dots & r_{ij} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 $0 \leq r_{ij} \leq 1$, 表示从某评价因子着眼某评价单元被评为某级的可能程度。 A_1, B_1 和 R 之间有如下关系:

$$B_1 = A_1 \times R \quad (4)$$

式中右端表示模糊向量 A_1 和模糊关系矩阵 R 的乘积, B_1 表示模糊综合评判集。依据模糊综合评判集将评价因子与因子所对应的最适生态位进行模糊判断,确定出参照最适生态位所确定出的各生态因子适宜值,最后运用加权求和的方法测算生态位适宜度值,即 NF 。

在计算过程中某些难于用连续数量描述的指标,可依据研究区实际情况并结合前人研究基础,给予相应的数值表达,如灌溉保证率含充分满足、满足、勉强满足、不满足 4 类,可分别用数值 1、0.68、0.33、0 进行表示^[15]。

1.4 GIS 空间分析法

本研究运用的 GIS 空间分析法主要包括空间叠

置分析法及自然断点聚类分析法^[15-17]。GIS 空间叠置分析法是将有关主题图层组成的各个数据层面进行叠置产生一个新的数据层面,其结果综合了原来两个或多个层面要素所具有的属性。叠置分析在生成新的空间关系时,也将输入的多个数据层的属性联系起来产生新的属性关系,新生成的数据层具有所有叠加图层的空间关系及属性关系。自然断点聚类分析法是在 ArcGIS 软件中依据聚类分析的原理,将本研究中的生态位适宜度值的亲疏程度加以分类,即按照数值所表征的距离远近将数据分为若干个类别,以使各类别内数据的差异尽可能小,类别间的差异尽可能大。借助 ArcGIS 软件平台,运用自然断点法,可自动进行生态位适宜度等级的划分。

2 研究区概况

秀山土家族苗族自治县位于重庆市东南缘、武陵山腹地,渝、湘、黔、鄂四省(市)边区结合部。地理坐标介于东经 108°43′06″~109°18′58″,北纬 28°09′43″~28°53′05″之间。

秀山县地处渝东南褶皱带,属武陵山二级隆起带南段。西邻大娄山,北眺七曜山,在地貌区划中属巫山、大娄山中山区。境内山脉自东北向西南排列:川河盖峙立于东,平阳盖、木桶盖透延于中,桐麻岭高耸于西,三山之间是沿梅江河、平江河和溶溪河两岸平行展布的槽谷和平坝区,形成“三山夹两盆”的

地貌格局。全县地势西南高,东北低,高差悬殊,最高海拔 1631.4m,最低海拔 245.7m,相对高差达 1385.7m。全县幅员面积 2453km²,西部和南部为低中山区,占幅员面积的 30.24%;东部和北部为低山丘陵区,占幅员面积的 38.81%;中部为盆地平坝区,占幅员面积的 30.95%,是一个以低中山为主的典型山区县。全县耕地面积 775.47km²,占土地总面积 27.31%,耕地坡度较大,平均坡度 21°。

3 秀山县耕地生态经济适宜性评价

3.1 评价单元确定

本文运用 GIS 空间叠置分析法,确定耕地评价单元。将第二次土地调查数据、农用地分等定级数据、1:10000 土壤图、1:10000 土壤质地图、1:10000 海拔坡度图等专题图层进行叠加,最终生成一个涵盖所叠加图层全部空间信息和属性信息的综合图层,该图层所含的图斑即本研究的评价单元,共 49640 个。

3.2 评价指标体系建立及权重确定

依据研究区实际情况,参考国内外学者对土地生态经济适宜性评价的相关研究,依据选取指标的科学性、代表性、相对独立性和可操作性等原则,从耕地质量条件、耕地环境条件、耕地利用的社会经济条件三个层面建立评价指标体系,运用熵值法确定指标权重,见表 1。

表 1 山区耕地生态经济系统适宜性评价指标体系

评价目标	评价因素	评价因子(权重)
耕地生态经济适宜性	耕地质量条件	土壤养分状况(0.027);表层土壤质地(0.063);土壤有机质含量(0.058);pH 值(0.042);耕作层厚度(0.121);土壤污染状况(0.031);潜水平深(0.019)
	耕地环境条件	海拔(0.059);坡度(0.072);年降水量(0.018);年平均气温(0.022);灌溉保证率(0.079);斑块面积(0.025);斑块分维数(0.027)
	耕地利用的社会经济条件	固定资金投入(0.034);固定技术投入(0.047);固定劳动力投入(0.033);单位面积粮食产量(0.072);至城镇距离(0.021);至农村居民点距离(0.047);至交通干线距离(0.041);至河流、水库距离(0.042)

耕地质量条件主要考虑对山区耕地自身产生影响的自然条件因子。耕地环境条件主要反映对山区耕地利用具有长期影响、影响范围广的因子。耕地利用的社会经济条件主要考虑耕地投入产出状况及区位条件,以表征山区耕地耕作条件及产出率。上述指标数据中,海拔、坡度、斑块面积、斑块分维数、至城镇距离、至农村距离等数据均通过 GIS 空间内插法及属性数据筛选直接获得,其余数据主要是通

过相关统计数据整理汇总得到。

3.3 最适生态位确定

耕地与其各影响因子的匹配程度存在三个基点,即上限、下限和最适宜值,其中部分影响因子的最适值具有一定的范围,在该范围内均认为适宜。高于上限或者低于下限表明耕地目前的土地利用方式与生境不相适宜,存在最适值表明耕地与生境匹配程度较高,利用方式的适宜性好。本文依据三基

点特性,参照联合国粮农组织《土地评价纲要》中所提出的土地适宜性评价的原则、方法和相关农业资料^[18-20],结合山区耕地利用的特点,对各个生态经

济指标进行分析,分别确定其最适值,作为耕地最适生态位,结果如表 2 所示。

表 2 山区耕地生态经济系统适宜性评价指标最适生态位

指标	最适值	指标	最适值
土壤养分状况	良好	灌溉保证率	充分满足
表层土壤质地	壤土	斑块面积(hm ²)	1.2~2
土壤有机质含量(%)	2.55	斑块分维数	1
pH 值	6.0~7.0	固定资金投入(元/hm ²)	4500~7500
耕作层厚度(cm)	≥90	固定技术投入(kw/hm ²)	0.22~0.32
土壤污染状况	无	固定劳动力投入(人/hm ²)	4~6
潜水埋深(m)	0.8~1.0	单位面积粮食产量(kg/m ²)	0.41~0.51
海拔(m)	<500	至城镇距离(m)	3000~7000
坡度	0~12	至农村居民点距离(m)	300~1500
年降水量(mm)	1050~1200	至交通干线距离(m)	100~1700
年平均气温(℃)	19	至河流、水库距离(m)	200~1500

3.4 评价结果分析

依据评价指标体系及最适生态位,运用隶属度函数并加权求和测算生态位适宜度值,将计算结果与评价单元空间属性数据库链接,运用 ArcGIS 中的

自然断点法将计算结果进行聚类分析,划分为高度适宜、一般适宜、勉强适宜、不适宜等 4 个等级,并绘制秀山县耕地适宜性评价结果图(图 1),对各等级耕地进行面积统计(表 3)。

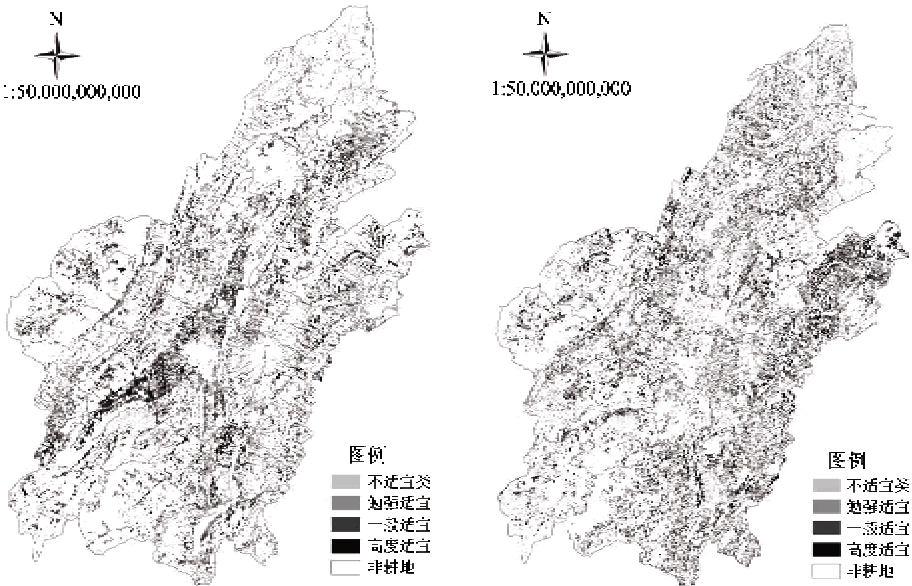


图 1 秀山县耕地生态经济适宜性分布图(左:水田 右:旱地)

表 3 各适宜性等级面积及百分比

适宜性等级	高度适宜			一般适宜			勉强适宜			不适宜		
地类名称	合计	旱地	水田	合计	旱地	水田	合计	旱地	水田	合计	旱地	水田
面积(公顷)	36990	21132	15858	30181	15641	14540	7801	3110	4692	2575	1093	1481
占比(%)	47.70	27.25	20.45	38.92	20.17	18.75	10.06	4.01	6.05	3.32	1.41	1.91

如图 1 及表 3 所示,秀山县耕地生态经济适宜性整体较高,适宜性等级空间分布整体上较分散,但存在相对集中区域,空间分布呈现一定的规律性。

秀山县水田高度适宜区主要分布在中部、西南部和东北部的河谷平坝区,该区土壤质地及土壤环境条件相对较好,区位条件优越,耕地产出率较高;一般适宜区分布相对均匀,相对集中区域主要沿交通主干道、河流两岸及距农村居民点集聚区 1km 范围内的平坝河谷和低山丘陵区;勉强适宜区分布最零散,相对集中区域除了自然条件较差的东北部中高山区外,还有中部快速城镇化地区,说明城镇发展破坏了耕地地块的完整性,支离破碎的耕地已不适宜规模耕作;不适宜类的区域主要分布在北部高山区域及中部土壤质地为粘质的区域。

秀山县旱地适宜性等级空间分布整体分散,分布集中区范围小、集聚性不明显。高度适宜区相对集中分布在东北部、北部靠南的低山丘陵区,以梅江河为中心的河谷平坝区,以及县城东部的低山区,该区地势相对平坦,耕作条件较好;一般适宜区面积广,分布也最为分散,中部及中部靠北分布相对集中,连片性较高;勉强适宜区相对集中分布区为县城周边及沿河、沿交通干线区域;不适宜类集中分布区域与水田分布类似。

秀山县耕地生态位适宜度处于高度适宜的耕地面积最大,其中等级为高度适宜的耕地占耕地总面积比重为 47.7%,一般适宜耕地面积所占比重为 38.92%,二者所占比重高于 80%,可以看出研究区耕地的土地生态经济适宜性较高,说明地处山区的秀山县近年以山区小流域山、水、田、林、路综合治理为中心的土地整治工作取得较好成效,耕作条件明显改善,耕地整体质量得以提高。但仍有部分地处海拔较高、坡度较大的耕地处于勉强适宜和不适宜,这些区域应结合实际情况,调整耕地利用方式,除继续加大对生态经济适宜性差的耕地进行退耕还林外,还应因地制宜大力发展山地立体农业,合理搭配耕地与林地、草地等其他土地的立体空间,科学构建粮、经、林、果、菜、鱼、禽等立体农业复合生态系统,提高山区耕地的产出效率。

4 结论

本文运用生态位适宜度模型结合模糊数学分析法,以 GIS 技术为平台,以典型山区县——重庆秀山县为研究对象,在农用地分等定级资料和土地利用

现状资料的基础上,从耕地质量条件、耕地环境条件和耕地利用的社会经济条件三个方面建立评价指标体系,对秀山县耕地生态经济进行适宜性评价,研究结果表明:

(1)秀山县耕地生态经济适宜性整体较好。高度适宜、一般适宜、勉强适宜、不适宜四个等级对应的耕地面积占耕地总面积的比重依次递减,其中高度适宜所占比重最大,为 47.7%。

(2)秀山县耕地生态经济适宜性等级的空间分布规律大致为平坝河谷高、低山丘陵区次之、中高山区最低,说明地形条件是影响山区耕地生态经济适宜性等级的最重要因素。

(3)生态位适宜度模型、模糊数学分析、GIS 技术三者相结合,不仅能够较准确地确定最适生态位,同时能把定量的评价指标与属性数据库一一对应,并可对评价结果准确地进行空间表达。

(4)本研究结合山区实际及现有的土地评价原则与要求,科学建立最适生态位,最终研究结果与秀山县耕地实际生产要求比较符合。生态位适宜度模型作为相对较新的土地适宜性评价方法,仍需在指标体系建立及最适生态位的确定上进行深入的探讨。

参考文献

- [1] 史同广,郑国强,王智勇等. 中国土地适宜性评价研究进展. 地理科学进展, 2007, 26(2): 106-115
- [2] 何英彬,陈佑启,杨鹏等. 国外基于 GIS 土地适宜性评价研究进展及展望. 地理科学进展, 2009, 28(6): 898-904
- [3] 中国土地学会,中国土地勘测规划院,国土资源部土地利用重点实验室. 土地科学学科发展蓝皮书(2011). 北京:中国大地出版社, 2012. 1-4
- [4] 王万茂,俊梅. 土地生态经济系统与土地资源持续利用研究. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 147-150
- [5] 彭建,王仰麟,宋治清等. 国内外土地持续利用评价研究进展. 资源科学, 2003, 25(2): 85-93
- [6] 陈国阶等. 2003 中国山区发展报告. 北京:商务印书馆, 2004. 1, 22
- [7] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 山地学概论与中国山地研究. 成都:四川科学技术出版社, 2000. 217, 244
- [8] 李春越,谢永生. 黄土高原土地资源生态经济适宜性评价指标体系初步研究. 水土保持通报, 2005, 25(2): 53-55
- [9] 陈小纯. 哈尔滨市土地利用生态经济系统分析:[硕士学位论文]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学. 2010. 34-37

- [10] 俞艳,何建华. 基于生态位适宜度的土地生态经济适宜性评价. 农业工程学报, 2008, 24(1): 124-128
- [11] 欧阳志云,王如松,符贵南. 生态位适宜度模型及其在土地利用适宜性评价中的应用. 生态学报, 1996, 16(2): 113-120
- [12] 丁建中,陈逸,陈雯. 基于生态-经济分析的泰州空间开发适宜性分区研究. 地理科学, 2008, 38(6): 842-848
- [13] 李白珍,李文龙. 黄土高原半干旱区农田水肥条件对作物生态位适宜度和产量的影响. 西北植物学报, 2003, 23(1): 28-33
- [14] 董斌,陈立平,钱国英. 基于遥感的层次分析法和模糊数学模型综合评价森林资源生态适宜性. 自然资源学报, 2011, 26(3): 468-476
- [15] 付清,赵小敏,乐丽红等. 基于 GIS 和生态位适宜度模型的耕地多适宜性评价. 农业工程学报, 2009, 25(2): 208-213
- [16] 涂建军,邱婧. 基于 GIS 空间分析技术的城镇用地弹性规划区划定. 高技术通讯, 2011, 21(9): 992-996
- [17] Tu J J, Yang L. Delimiting the consolidation area for supplementing prime farmland with GIS technology. *High Technology Letters*, 2011, 18(2): 219-222
- [18] 张小波. GIS 支持下的土地适宜性评价研究——以库车县为例: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学. 2007. 17-25
- [19] 欧阳进良,宇振荣,张凤荣. 土地综合生产力评价与土地质量变化研究. 资源科学, 2003, 25(5): 58-64
- [20] 胡春雷,肖玲. 生态位理论与方法在城市研究中的应用. 地域研究与开发, 2004, 23(2): 13-16

An evaluation on farmland eco-economical suitability in mountain area based on niche fitness model and GIS technology

Tu Jianjun, Hua Juan

(School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract

Considering the limitations that farmland suitability evaluation only based on single attribute, a method for farmland eco-economical suitability evaluation is proposed, which combines the farmland's natural and economic attributes. Taking Xiushan County in the Wuling Mountain Area of China as the case of study, the evaluation index system for estimation of the eco-economical suitability of the farmland in mountain areas was established with arable land's soil conditions, soil environment and socio-economic conditions considered. With the help of the niche fitness model, the fuzzy mathematics analysis, and the GIS technology, the eco-economical suitability of the farmland in Xiushan County was evaluated under the system. The evaluation results show that, the total area of the more suitable level and the suitable level accounts up to 86.62%, which means the overall eco-economical suitability of the farmland is good and the coordination degree between the farmland's eco-economical suitability and the actual production situation is high; The spatial distribution of the farmland's eco-economical suitability shows that, the highest suitability occurs in the valley plain areas, the higher suitability in the low mountainous and hilly areas, and the lower suitability in the middle mountain regions, indicating that the topographic condition is a very important influencing factor of farmland's eco-economical suitability in mountain areas.

Key words: eco-economic suitability, niche fitness, mountain area, farmland, GIS technology