

云南山区宜耕未利用地开发适宜性评价与潜力分区

袁磊^{1,2}, 赵俊三^{1,2*}, 李红波^{1,3}, 张萌¹, 陈国平^{1,4}, 郭晓慧¹

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093; 2. 昆明云金地科技有限公司, 昆明 650106; 3. 昆明理工大学建筑工程学院, 昆明 650500; 4. 昆明冶金高等专科学校测绘学院, 昆明 650033)

摘要: 为更好地引导云南山区宜耕未利用地的开发, 该文以云南省典型的山区县—弥渡县为例, 将 GIS (geographical information system, GIS) 空间分析技术、层次分析法 (analytical hierarchy process, AHP) 及特尔菲法 (Delphi) 相结合, 分别构建宜耕未利用地开发适宜性评价模型、新增耕地指数及补充耕地潜力模型、宜耕未利用地开发潜力分区评价模型, 对云南山区宜耕未利用地开发适宜性与潜力分区进行了分析。结果表明, 研究区宜耕未利用地开发适宜性分为 4 个等级: 最适宜、中等适宜、勉强适宜、不适宜, 面积分别为 71.21、1177.39、1681.00 和 62.00 hm^2 , 分别占研究区总面积的 2.38%、39.36%、56.19%、2.07%。研究区宜耕未利用地实际开发潜力为 1248.60 hm^2 , 预计新增耕地面积 977.45 hm^2 。潜力分区结果表明, 研究区可划分为 5 个潜力区和 1 个非潜力区。其中, I 级潜力区实际开发潜力 164.97 hm^2 , 可新增耕地 144.21 hm^2 ; II 级潜力区实际开发潜力 53.38 hm^2 , 可新增耕地 46.66 hm^2 ; III 级潜力区实际开发潜力 210.64 hm^2 , 可新增耕地 164.01 hm^2 ; IV 级潜力区实际开发潜力 773.93 hm^2 , 可新增耕地 590.11 hm^2 ; V 级潜力区实际开发潜力 45.68 hm^2 , 可新增耕地 32.46 hm^2 。研究结果的应用表明, 该方法得出的适宜性评价结果、新增耕地测算结果及潜力分区结果与当地实际较为吻合。

关键词: 土地利用, 分区, 模型, 适宜性评价, 未利用地, 弥渡县

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.16.029

中图分类号: F301.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-16-0229-09

袁磊, 赵俊三, 李红波, 等. 云南山区宜耕未利用地开发适宜性评价与潜力分区[J]. 农业工程学报, 2013, 29(16): 229—237.

Yuan Lei, Zhao Junsan, Li Hongbo, et al. Exploitation suitability evaluation and potential area zoning for arable unused land in mountainous areas of Yunnan province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(16): 229—237. (in Chinese with English abstract)

0 引言

中国宜耕后备土地资源存量有限, 质量差、开垦难度大、投入高、生态环境脆弱^[1], 尤其是云南山区, 由于地学因子存在着显著的空间分异, 地形高差大、切割剧烈, 耕作条件复杂多样, 进一步加剧了宜耕后备土地资源开发的复杂程度^[2]。因此, 选择云南山区作为典型案例区, 开展宜耕未利用地开发适宜性评价及潜力分区研究, 对整个云南及其他相似区域宜耕未利用地开发来说, 显得尤为必要。

未利用地是指除农用地与建设用地以外的土地, 包括荒草地、裸地、滩涂、沼泽地、盐碱地、

沙地等, 是耕地补充最重要的后备资源^[3-4]。关于未利用地方面的研究, 国外, 尽管对于土地利用分类系统的研究较为成熟, 但国外的土地利用分类系统均未给出未利用土地这一地类^[5-7]。因此, 目前国外尚未见关于未利用土地方面的研究文献^[8-9]。国内, 近年来面对中国人多地少的现实矛盾, 许多学者从适宜性评价^[10-15]、潜力^[16-20]、分区^[21-22]、生态环境^[23-24]等角度, 对不同时期、不同案例区的未利用地开发利用问题进行了大量研究, 取得了丰硕成果。然而, 由于未利用地具有特殊的自然属性和经济特征, 导致各地区未利用地开发具有明显的区域差异, 不同区域所需考虑的开发限制因素往往均会不同。

鉴于以上考虑, 本文以云南省典型的山区县—弥渡县为例, 以 GIS (geographical information system, GIS) 空间分析技术为支撑, 筛选出宜耕未利用地研究区的布局与规模; 在因地制宜的前提下, 综合考虑弥渡县未利用地的自然属性、区位条件、社会及经济现状, 结合专家知识, 将层次分析法 (analytical hierarchy process, AHP) 与特尔菲法

收稿日期: 2013-03-13 修订日期: 2013-07-18

基金项目: 国家自然科学基金 (41161062); 国家自然科学基金项目 (41261043) 资助; 云南省教育厅科学研究基金重点项目 (2001Z016)
作者简介: 袁磊 (1977—), 男, 博士生, 主要从事 GIS 理论与应用、国土资源信息化研究。昆明 昆明理工大学国土资源工程学院, 650093。
Email: v_ict@163.com

*通信作者: 赵俊三 (1964—), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事 GIS/LIS、土地资源管理、土地规划、国土资源信息化等理论研究与技术开发。昆明 昆明理工大学国土资源工程学院, 650093。

Email: junsanzhao@netease.com

(Delphi) 相结合^[25-26], 建立宜耕未利用地开发适宜性评价指标体系, 确定各评价因子权重, 构建宜耕未利用地开发适宜性评价模型, 开展适宜性评价分析; 基于适宜性评价, 构建宜耕未利用地开发新增耕地指数测算模型及补充耕地潜力测算模型, 进而计算研究区宜耕未利用地新增耕地的潜力; 在此基础上, 将 GIS 与 SPSS 统计分析相结合获取宜耕未利用地开发潜力分区指标数据, 构建潜力分区评价模型, 以行政村为单元对弥渡县宜耕未利用地的补充耕地开发潜力进行分区, 以期对弥渡县及其他相似区域宜耕未利用地开发的时空配置提供指引, 从而使未利用地开发能够为当地带来最优化的经济效益、社会效益和生态效益。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

弥渡县位于云南省大理白族自治州东南部, 地处云岭山系, 哀牢山脉与无量山分支顶端。地势西北高, 东南低, 山脉河流呈北西-南东向展布, 为东、西、南三大山系控制, 东南群山纵横, 西北丘陵起伏, 中北部间有少量的平坝和槽谷。2010 年全县土地总面积 152 538.46 hm^2 , 其中, 山地面积 136 338.97 hm^2 , 坝区面积 16 199.49 hm^2 , 山地面积占全县土地总面积的 89.38%, 属于典型的山区县。土地利用现状结构中, 未利用地总面积 9 151.77 hm^2 , 占土地总面积 6.00%, 其中, 面积最大的为荒草地 7 766.17 hm^2 , 占未利用地总面积的 84.86%; 其次为裸地 829.10 hm^2 , 占未利用地总面积的 9.06%; 河流水面 285.59 hm^2 , 占未利用地总面积 3.12%; 滩涂 221.97 hm^2 , 占未利用地总面积 2.43%; 湖泊水面 46.52 hm^2 , 占未利用地总面积 0.51%; 其他类型的未利用地面积较小。各地类构成表明, 除河流水面、湖泊水面、滩涂及少量其他未利用地难以开发为耕地外, 荒草地、裸地将是弥渡县未利用土地中能够用于补充耕地的主要后备土地资源。见图 1。

考虑弥渡县典型山区县的现实情况和未来土地开发项目的可实施性, 本着因地制宜前提, 在弥渡县未利用地开发潜力调查中, 根据弥渡县土地利用特点、地形地貌特征、土壤分布情况、基岩情况以及社会经济状况, 仅将集中连片、面积在 2 hm^2 以上的、坡地在 25°以下的、河流湖泊 200 m 缓冲区以外的荒草地和裸地作为未利用地开发的潜力资源。同时, 兼顾考虑与弥渡县土地利用总体规划 (2006—2020 年) 确立的土地宏观调控和用途管制政策相衔接, 采用 GIS 空间分析功能, 剔除有条件建设区、允许建设区、风景名

胜与特殊用地、生态敏感区及水源保护地缓冲区所包含的未利用土地。则经过上述技术处理后, 将保留下来的未利用土地作为本文最终确定的宜耕未利用地研究区。研究区总面积合计为 2991.60 hm^2 , 占全县未利用土地总面积的 32.69%。其中, 研究区荒草地面积为 2767.23 hm^2 , 占研究区总面积 92.50%; 研究区裸地面积为 224.37 hm^2 , 占研究区总面积的 7.50%。



图 1 2010 年弥渡县宜耕未利用地分布图

Fig.1 Distribution of unused land in Midu county in 2010

1.2 数据来源

本文研究基于大理白族自治州弥渡县土地整治规划 (2011—2015 年) 项目, 所用数据来源于弥渡县 2010 年 1:10000 土地利用变更调查数据, 地形图、土壤分布图, 2006—2020 年土地利用总体规划数据, 自然保护区、生态敏感区、风景名胜及水源保护地分布图, 水土流失强度分级图、社会经济统计数据及相关地籍调查统计数据。研究基于 ArcGIS9.3 地理信息平台及 SPSS13.0 统计分析软件对相应的属性数据与空间数据进行挖掘、处理与分析。

2 研究方法

2.1 适宜性评价方法

2.1.1 评价指标选取原则

评价指标的选取是整个适宜性评价的基础。本文遵循以下原则: 1) 稳定性原则。在指标选取时, 充分考虑对宜耕未利用地开发影响较为稳定的因子, 如坡度、有效土层厚度等。这类因子在开发过

程中其自然属性改观不大,对宜耕未利用地开发影响相对持续稳定。2) 相关性原则。充分考虑对宜耕未利用地开发影响较大的因子。如坡度、有效土层厚度、灌溉半径等因子是制约宜耕未利用地开发的核心因素,这类因子与是否适宜开发有较强的相关性。3) 全面性原则。在客观的基础上,兼顾当地的社会经济状况及农户的开发意愿(主要体现在人均收入及粮食单产),较为全面地考虑宜耕未利用地开发的影响因子。

2.1.2 评价指标体系构建

1) 评价指标体系确定

基于以上指标选取原则,采用目标法,即以宜耕未利用地开发适宜性等级划分为目标,在每个目标下选择若干参评因子,根据层次分析法理论,建立评价指标的层次结构,对所列指标通过两两比较重要程度进行初步判断评分,利用计算矩阵的特征向量来确定各指标对上层指标的贡献程度,贡献程度小于 0.15 的指标舍去。最终确定高程、坡度、有效土层厚度、线状灌溉半径、面状灌溉半径、农村居民人均收入、耕作半径、粮食单产 8 个评价指标,从而构成反映弥渡县宜耕未利用地开发适宜性评价的指标体系。该评价指标体系体现了弥渡县的山地特征,涵盖了宜耕未利用地自然属性和经济社会因素 2 方面。见表 1。

2) 评价指标分级标准及指数确定

为提高适宜性评价的科学性和可靠性,针对弥渡县宜耕未利用地开发实际,进一步采用特尔菲法(Delphi)对确立的 8 个评价指标构建分级标准并确定其对应的等级指数。具体处理过程如下:首先,对 8 个评价指标的分值范围分别进行初步界定,例如,对于高程分值范围的确定,在 GIS 平台中利用等高线创建数字高程模型图(DEM),可知研究区高程 $\in [1223,3105]$,根据 DEM 高程空间分布图,将既能体现集中连片特点且高度相差又不太大的最低高程值和相应的最高高程值作为一组分值值域,这样便将高程因子初步划分出 4 组分值范围;其次,基于初步界定的 8 个评价指标的分值范围及相应的等级指数范围,设计讨论问卷,并明确说明在各个指标分值范围内对其进一步分级的目的;接着,询问专家,请专家对初步的分值范围及等级指数进行讨论;最后,对多位专家的分级意见进行汇总、评论。如此经过多轮询问、反馈循环,对专家意见进行统计处理,从而集中多位专家的智慧认识,最终得到较为合理的分级标准及对应的等级指数。

表 1 弥渡县未利用地开发适宜性评价指标体系及权重
Table 1 Index system and weight of unused land exploitation suitability evaluation in Midu county

评价因子 Evaluation facts	分级标准 Grading standards	指数 Index	权重 Weight
高程 Elevation/m	<1800	10	0.15
	$\geq 1800 \sim 2500$	8	
	$\geq 2500 \sim 3000$	6	
	>3000	2	
坡度 Slope/(°)	<2	10	0.2
	$\geq 2 \sim 6$	8	
	$\geq 6 \sim 15$	6	
	$\geq 15 \sim 25$	2	
有效土层厚度 Effective soil thickness/cm	>100	10	0.3
	$\leq 100 \sim 40$	6	
	<40	2	
线状灌溉半径 Linear irrigation radius/m	<100	10	0.05
	$\geq 100 \sim 150$	6	
	$\geq 150 \sim 200$	2	
	>200	0	
面状灌溉半径 Polygonal irrigation radius/m	<1000	10	0.1
	$\geq 1000 \sim 2000$	8	
	$\geq 2000 \sim 4000$	2	
	>4000	0	
人均收入倍数 Per capita income ratio of rural residents	>1	10	0.05
	$\geq 0.8 \sim 1$	8	
	$\geq 0.8 \sim 0.5$	2	
	<0.5	0	
耕作半径 Farming radius/m	<500	10	0.1
	$\geq 500 \sim 1500$	8	
	$\geq 1500 \sim 2000$	6	
	>2000	2	
粮食单产 Grain yield/(kg·hm ⁻²)	>3450	10	0.05
	$\geq 3000 \sim 3450$	6	
	<3000	2	

注:人均收入倍数指农村居民人均收入倍数,是评价区农村居民人均收入占全县农村居民平均收入的比值;线状灌溉半径是指线状水系的中心线到该水系所能覆盖的最大灌溉范围的边缘之间的距离。它代表着该线状水系的灌溉能力;面状灌溉半径是指面状水系的几何中心点到该水系所能覆盖的最大灌溉范围的边缘之间的距离。同样,它也代表着该面状水系的灌溉能力。

Note: Per capita income ratio of rural residents represents a ratio which is divided per capita income of rural residents in Midu county by per capita income of rural residents in evaluation area; Linear irrigation radius means a distance which from a centerline of a linear water area to an edge of the largest irrigation range covered by the linear water area. It represents irrigation ability of the linear water area; Polygonal irrigation radius refers to a distance which from the geometric center of a polygonal water area to an edge of the largest irrigation range covered by the polygonal water area. Likewise, it also represents capabilities of irrigation of the polygonal water area.

3) 评价因子权重确定

适宜性评价因子权重的确定过程如下:首先,通过专家咨询,对评价体系中所列指标的重要程度进行两两比较,并逐层进行评分,进而构建其判断矩阵;对矩阵进行归一化处理,求解该判断矩阵的特征向量和最大特征值,依据所求特征向量对其进行层次总排序和层次单排序;对结果进行一致性检验,利用同一层中所有层次单排序的结果,计算针

对上一层次而言的本层中所有因子的重要性权值。该过程中,一致性检验尤为重要,因为通常由于影响因子本身的复杂性和计算过程的理想化,导致在运用层次分析法进行权值计算时往往存在一定的误差,如果不进行一致性检验,则得到因子的权重可能超出合理的范围甚至谬误。因此需要对判断矩阵进行一致性和随机性检验^[15,27-28],检验公式为

$$Q = (U_{\max} - N) / (D \times (N - 1)) \quad (1)$$

式中, Q 为判断矩阵的随机一致性比率; $U_{\max}$ 为判断矩阵的最大特征根; N 为判断矩阵的阶数; $(U_{\max} - N)$ 称为判断矩阵的一致性指标; D 为判断矩阵的平均随机一致性指标,根据所构建的矩阵阶数,取 1.12。当 $Q < 0.1$ 时,认为判断矩阵具有满意的一致性,说明权数分配合理^[1,27]。

2.1.3 评价模型的构建

根据以上确定的各参评因子权重及各因子分级的等级指数,建立未利用地开发适宜性评价综合分值的数学计算模型

$$C_j = \sum_{i=1}^n A_{ji} B_i \quad (i=1,2,3 \cdots n; j=1,2,3, \cdots t) \quad (2)$$

式中, C_j 表示第 j 个评价单元的综合分值; A_{ji} 表示第 j 个评价单元第 i 个因子的等级指数; B_i 表示第 i 个评价因子的权重; n 表示评价因子的总个数; t 表示评价单元的总个数。

基于式 (2),以独立的单个地类图斑为评价单元,借助 ArcGIS9.3 地理信息平台,对各评价单元的各个因子的等级指数与相应权重的乘积进行相加,得到评价单元的综合分值。进而,根据各评价单元综合分值的频数分布直方图来确定未利用地开发适宜性等级。

2.2 宜耕未利用地开发潜力分区

为进一步明确宜耕未利用地开发项目的时空配置,合理安排宜耕未利用地开发的重点区域、重点项目及其规模布局,需对弥渡县宜耕未利用地的补充耕地开发潜力进行分区,总体思路如下:

1) 在弥渡县宜耕未利用地适宜性评价的基础上,构建宜耕未利用地新增耕地指数测算模型,确定宜耕未利用地新增耕地指数。

2) 测算弥渡县宜耕未利用地新增耕地的潜力。

3) 采用 GIS 空间分析与 SPSS 统计分析相结合的综合分析法获取评价指标数据,以行政村为单位对弥渡县宜耕未利用地的补充耕地开发潜力进行分区。

2.2.1 宜耕未利用地新增耕地指数的确定

宜耕未利用地开发新增耕地潜力指数表示区域内不同质量土地的耕地综合开发潜力。此处,宜

耕未利用地开发新增耕地潜力指数模型的确定以地类图斑的适宜性评价为基础,并将其加权平均到以乡镇为单位进行统计,计算模型如下

$$S_{xy} = M_{xy} / M_x \quad (3)$$

$$F_x = \sum_{y=1}^k S_{xy} P_{xy} \quad (4)$$

式中, x 指乡镇序号数, $x=[1,8]$; y 指适宜性等级, $y=[1,k]$; k 表示适宜性等级个数,此处只对应最适宜、中等适宜、勉强适宜 3 个; M_x 指第 x 个乡镇宜耕未利用地面积总和, hm^2 ; M_{xy} 指第 x 个乡镇第 y 等级的宜耕未利用地开发潜力总和, hm^2 ; S_{xy} 指第 x 个乡镇第 y 等级的宜耕未利用地开发潜力面积总和占该乡镇宜耕未利用地面积总和的比例; P_{xy} 为第 x 个乡镇其适宜性评价为 y 等级的各评价单元的平均分值(由适宜性评价过程得出); F_x 为第 x 个乡镇宜耕未利用地开发新增耕地潜力指数。

2.2.2 宜耕未利用地补充耕地潜力测算

基于适宜性评价得出的各乡镇宜耕未利用地实际开发潜力 E_x 及宜耕未利用地开发新增耕地潜力指数 F_x ,采用式 (5) 计算各乡镇宜耕未利用地补充耕地面积。

$$\Delta E_x = F_x \times E_x \quad (5)$$

式中, ΔE_x 表示第 x 个乡镇宜耕未利用地开发新增耕地面积, hm^2 。

2.2.3 宜耕未利用地开发潜力分区方法

宜耕未利用地开发潜力分区对引导土地开发项目的时空配置具有重要的参考价值。该文关于宜耕未利用地开发潜力分区的总体思路是:以行政村为单元,着重考虑村级新增耕地系数、村级新增耕地面积所占比例 2 项指标,通过专家评分法确定 2 项指标的权重,构建潜力分区评价模型,依据各村基于评价模型的综合得分,在 SPSS 中对诸多得分分值进行频数分析,找出合理的临界分值,据此进行潜力分区。

村级新增耕地系数为村级新增耕地面积与该村宜耕未利用地开发实际潜力之比;村级新增耕地面积所占比例为村级新增耕地面积占该村研究区内未利用地总面积的比率。其中,村级新增耕地面积依据前述测算的各乡镇新增耕地面积,只是以村为单位,利用 ArcGIS 地统计分析功能进行重新统计即可;村级宜耕未利用地开发实际潜力则依据适宜性评价中的最适宜和中等适宜 2 项结果,也按村为单位进行重新统计;每个村研究区内未利用地总面积以村为单位在 ArcGIS 中进行统计。潜力分区评价模型如下

$$L_{xz} = \frac{\Delta G_{xz}}{H_{xz}} \times W_1 + \frac{\Delta G_{xz}}{R_{xz}} \times W_2 \quad (6)$$

式中, z 表示第 x 个乡所对应的行政村序号; L_{xz} 表示第 x 个乡对应的第 z 个村潜力分区的综合得分; ΔG_{xz} 表示第 x 个乡对应的第 z 个村宜耕未利用地开发新增耕地面积, hm^2 ; H_{xz} 表示第 x 个乡对应的第 z 个村宜耕未利用地实际开发潜力, hm^2 ; R_{xz} 表示第 x 个乡对应的第 z 个村研究区内宜耕未利用地总面积, hm^2 ; W_1 表示村级新增耕地系数的权重; W_2 表示村级新增耕地面积所占比例的权重。

3 结果与分析

3.1 适宜性评价结果与分析

根据评价单元综合分值的频数分布直方图, 将宜耕未利用地开发适宜性等级划分为 4 大类^[19]: 最适宜、中等适宜、勉强适宜、不适宜。其中, 最

适宜 (综合得分 ≥ 8) 评价区域, 该区域土层相对较厚、地面坡度较小、灌溉条件较好, 稍经整治便会具有较好的农业生产条件; 中等适宜 ($6 \leq$ 综合得分 < 8) 评价区域, 该区域地面坡度主要分布在 $2^\circ \sim 8^\circ$ 、具备一定的灌溉条件, 经整治可具有较好的农业生产条件; 勉强适宜 ($4 \leq$ 综合得分 < 6) 评价区域, 该区域在地面坡度、灌溉条件、土层厚度等方面存在不同程度的限制, 开发耕地有一定难度; 不适宜 (综合得分 < 4) 评价区域, 该区域通常坡度 15° 以上, 土层相对较薄, 不具备灌溉条件等诸多限制因素, 因此不宜开发为耕地。依据该等级界限划分标准, 最终将各评价单元未利用地开发适宜性评价结果汇总到其所在乡镇, 如表 2 所示。

表 2 弥渡县未利用地开发适宜性评价结果

Table 2 Results of suitability evaluation of unused land in Midu county

乡镇名称 Town names	最适宜 Most suitability/ hm^2	中等适宜 Medium suitability/ hm^2	勉强适宜 Barely suitability/ hm^2	不适宜 Unfit/ hm^2	合计 Total/ hm^2
寅街镇 Yinjie	9.99	152.80	210.07	8.33	381.19
密祉乡 Mizhi	1.45	43.97	34.96	0	80.38
弥城镇 Micheng	28.41	128.78	209.73	7.22	374.14
德苴乡 Deju	8.19	210.15	224.27	0	442.61
新街镇 Xinjie	1.80	24.68	166.08	31.29	223.85
牛街乡 Niujie	5.74	148.19	215.14	15.16	384.23
红岩镇 Hongyan	4.00	98.55	124.78	0	227.33
苴力镇 Juli	11.63	370.27	495.97	0	877.87
合计 Total	71.21	1177.39	1681.00	62.00	2991.60

根据适宜性评价结果, 考虑开发难度及投入产出效益, 仅将最适宜和中等适宜区域作为弥渡县可供开发为耕地的未利用地实际潜力, 为 1248.60 hm^2 。从数量结构上, 可供开发为耕地的未利用地实际最大潜力占研究区未利用地总面积的 41.74%, 其中, 中等适宜的宜耕未利用地面积占研究区未利用地总面积的 39.36%。从空间布局来看, 最适宜的宜耕未利用地主要分布在弥城镇、苴力镇、寅街镇及德苴乡的坝子、山箐沟两旁或山槽、山洼等地带, 土地类型主要为荒草地, 这些区域土层相对较厚、地面坡度较小、灌溉条件较好, 具有

较好的农业生产条件; 中等适宜的宜耕未利用地主要分布在苴力镇、德苴乡、寅街镇、牛街乡、弥城镇的半山区丘陵地带, 土地类型主要为荒草地和部分土层较厚的裸地, 地面坡度较为平缓、具备一定的灌溉条件, 经整治可具有较好的农业生产条件。

3.2 宜耕未利用地补充耕地结果与分析

基于 3.1 节适宜性评价得出的各乡镇宜耕未利用地实际开发潜力 (1248.60 hm^2 , 包括最适宜和中等适宜区域)、宜耕未利用地开发新增耕地潜力指数 (式 (4)) 及补充耕地测算模型 (式 (5)), 则弥渡县各乡镇宜耕未利用地开发补充耕地面积测算如表 3 所示。

表 3 弥渡县各乡镇宜耕未利用地开发补充耕地面积

Table 3 New arable area of unused land in every town in Midu county

乡镇名称 Town names	实际开发潜力 Actual development potential/ hm^2	新增耕地指数 New arable Index	新增耕地面积 New arable area/ hm^2
寅街镇 Yinjie	162.79	0.7612	123.92
密祉乡 Mizhi	45.42	0.8260	37.52
弥城镇 Micheng	157.19	0.7706	121.13
德苴乡 Deju	218.34	0.8742	190.86
新街镇 Xinjie	26.48	0.7112	18.83
牛街乡 Niujie	153.93	0.7099	109.27
红岩镇 Hongyan	102.55	0.7997	82.01
苴力镇 Juli	381.90	0.7696	293.91
合计 Total	1248.60	--	977.45

从补充耕地规模来看, 直力镇最大, 为 293.91 hm^2 , 其次为德直乡、寅街镇、弥城镇及牛街乡, 补充耕地规模均在 100 hm^2 以上。从新增耕地面积占实际开发潜力的比例来看, 德直乡与密祉乡最高, 分别为 87.42% 和 82.60%。

3.3 潜力分区结果与分析

关于宜耕未利用地开发潜力分区, 着重考虑村级新增耕地系数、村级新增耕地面积所占比例 2 项

指标, 基于式 (6), 以行政村为单位将弥渡县宜耕未利用地研究区 (总面积为 2991.60 hm^2) 划分为 6 大开发潜力区。划分依据是根据综合得分频值分布规律, I 级潜力区 (综合得分 ≥ 0.63); II 级潜力区 ($0.60 \leq \text{综合得分} < 0.63$); III 级潜力区 ($0.55 \leq \text{综合得分} < 0.60$); IV 级潜力区 ($0.50 \leq \text{综合得分} < 0.55$); V 级潜力区 ($0.35 \leq \text{综合得分} < 0.50$); 其他作为非潜力区。最终分区结果如表 4 及图 2 所示。

表 4 研究区宜耕未利用地潜力分区

Table 4 Potential areas of unused land in study area

潜力区类型 Potential area type	行政村数 Number of administrative villages	分区总面积 Total area of Study/ hm^2	实际开发潜力 Actual development potential/ hm^2	新增耕地面积 New arable area/ hm^2
I 级潜力区 1st potential area	3	291.63	164.97	144.21
II 级潜力区 2nd potential area	8	135.84	53.38	46.66
III 级潜力区 3rd potential area	15	401.65	210.64	164.01
IV 级潜力区 4th potential area	29	1770.37	773.93	590.11
V 级潜力区 5th potential area	9	353.18	45.68	32.46
非潜力区 Non-potential area	25	38.93	--	--
总计 Total	--	2991.60	1248.60	977.45

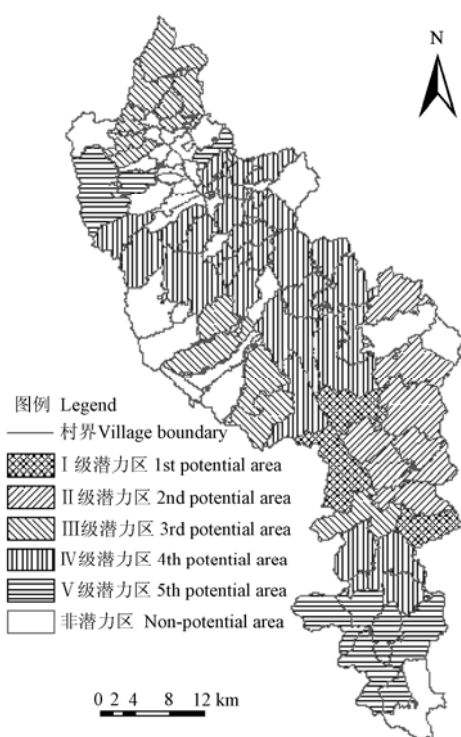


图 2 弥渡县宜耕未利用地开发潜力分区图

Fig.2 Zoning of potential areas of unused land in Midu county

I 级潜力区总规模 291.63 hm^2 , 实际开发潜力 164.97 hm^2 , 新增耕地 144.21 hm^2 。主要分布于弥渡县中南部, 包括小里村、金星村及德直村, 该区域地类以荒草地为主, 适宜性等级多为最适宜和中

等适宜, 高程相对较低、坡度平缓、宜耕面积集中连片, 宜耕未利用地核心区离居民点较近, 周边有礼社江、马拉河、团结水库及黑泥海等水域分布, 灌溉条件便利, 总体上适宜优先开发为耕地。

II 级潜力区总规模 135.84 hm^2 , 实际开发潜力 53.38 hm^2 , 新增耕地 46.66 hm^2 。主要分布于弥渡县中部偏东, 涉及青丰村、太平村、团山村、多依村等 8 个村委会, 区域地类以荒草地为主, 适宜性等级多为最适宜和中等适宜, 高程相对较低、坡度平缓、宜耕面积相对连片, 宜耕未利用地核心区离居民点较近, 鹿鸣河、花鱼洞贯穿大部分区域, 有一定的灌溉条件, 适宜开发为耕地。

III 级潜力区总规模 401.65 hm^2 , 实际开发潜力 210.64 hm^2 , 新增耕地 164.01 hm^2 。主要分布于弥渡县北部及中部偏西部分地区, 包括吉祥村、竹园村、兴隆村、中心村及大桥村等 15 个村委会, 区域地类以荒草地为主、分布少量裸地, 适宜性等级以中等适宜居多, 坡度有起伏、宜耕面积相对连片, 宜耕未利用地核心区离居民点较近, 部分区域灌溉条件受限, 但总体上具备开发为耕地的条件。

IV 级潜力区总规模 1770.37 hm^2 , 实际开发潜力 773.93 hm^2 , 新增耕地 590.11 hm^2 。该区域分布较广, 集中于弥渡县中部地区, 涉及 29 个村委会, 区域地类以荒草地为主、少量裸地, 适宜性等级以中等适宜居多, 坡度起伏、宜耕面积较分散, 部分宜耕未利用地核心区离居民点较远, 但周边多坑塘

水面及支状河流分布,具有一定的灌溉条件,总体上具备一定的耕地开发条件。

V 级潜力区总规模 353.18 hm², 实际开发潜力 45.68 hm², 新增耕地 32.46 hm²。大部分分布于弥渡县南部的牛街乡的梅红村、保邑村、马鞍村及西北部的新街镇的金刚村及西河村部分区域,共涉及 9 个村委会,区域地类以荒草地为主、部分裸地,适宜性等级以中等适宜为主,高程相对较高,大部分分布在 2400m 以上,坡度有起伏、宜耕面积比较零星,宜耕未利用地核心区周边交通较为不便,大部分区域受灌溉条件制约明显,但在现有工程技术条件下亦具备一定的耕地开发潜力。

非潜力区主要分布于弥渡县县城所在地弥城镇、南部的牛街乡南端、及中西部和中东部区域,共涉及 25 个村委会,适宜性等级全部为勉强适宜和不适宜,该区域开发为耕地将受到诸多条件的限制,部分区域基本不具备开发条件,因此,整体不宜开发。

3.4 结果应用

本文给出的宜耕未利用地适宜性评价、补充耕地潜力测算及潜力分区的理论方法已被“大理白族自治州弥渡县土地整治规划(2011—2015 年)”项目采用。经大理白族自治州国土资源局组织州、县两级相关部门评审论证,认为该理论方法可靠,得出的适宜性评价结果、新增耕地测算结果及潜力分区结果与当地实际较为吻合。

4 结 论

本文对云南典型的山区县—弥渡县宜耕未利用地开发适宜性评价与潜力分区进行了研究。主要结论如下:

1) 根据各评价单元综合分值频数分布直方图,将研究区宜耕未利用地开发适宜性划分为 4 个等级:最适宜、中等适宜、勉强适宜、不适宜。其中,最适宜区面积为 71.21 hm²,占研究区总面积的 2.38%;中等适宜区面积为 1 177.39 hm²,占研究区总面积的 39.36%;勉强适宜区面积为 1 681.00 hm²,占研究区总面积的 56.19%;不适宜区面积为 62.00 hm²,占研究区总面积的 2.07%。进而,根据适宜性评价结果,仅将最适宜和中等适宜区域作为弥渡县可供开发为耕地的未利用地实际潜力,面积为 1 248.60 hm²,占研究区总面积的 41.74%。

2) 基于适宜性评价结果,利用宜耕未利用地补充耕地潜力测算模型对研究区宜耕未利用地补充耕地的潜力(面积)进行测算。结果表明:研究区宜耕未利用地实际开发潜力 1 248.60 hm²,经开发后预计新增耕地面积 977.45 hm²,占研究区未利

用地实际开发潜力的 78.28%;且各个评价区域因受坡度、有效土层厚度、灌溉条件等影响因素不同,补充耕地能力存在着一定的时空差异。

3) 根据适宜性评价等级结果和宜耕未利用地补充耕地面积测算结果,利用 ArcGIS 地统计分析功能与 SPSS 统计分析软件,基于宜耕未利用地开发潜力分区模型,以村为单位开展宜耕未利用地开发潜力分区分析。结果表明:研究区可划分为 5 个潜力区和 1 个非潜力区。其中,Ⅰ级潜力区涉及行政村 3 个,潜力区总面积为 291.63 hm²,实际开发潜力 164.97 hm²,可新增耕地 144.21 hm²;Ⅱ级潜力区涉及行政村 8 个,潜力区总面积为 135.84 hm²,实际开发潜力 53.38 hm²,可新增耕地 46.66 hm²;Ⅲ级潜力区涉及行政村 15 个,潜力区总面积为 401.65 hm²,实际开发潜力 210.64 hm²,可新增耕地 164.01 hm²;Ⅳ级潜力区涉及行政村 29 个,潜力区总面积为 1 770.37 hm²,实际开发潜力 773.93 hm²,可新增耕地 590.11 hm²;Ⅴ级潜力区涉及行政村 9 个,潜力区总面积为 353.18 hm²,实际开发潜力 45.68 hm²,可新增耕地 32.46 hm²;非潜力区涉及行政村 25 个,总面积 38.93 hm²。

[参 考 文 献]

- [1] 李璞,王慎敏,周寅康.基于层次分析法的土地开发项目区未利用地地力评价研究[J].安徽农业科学,2008,36(2):754—756.
Li Pu, Wang Shenmin, Zhou Yinkang. Research on productivity evaluation of the unused land in the land exploitation area based on AHP method[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2008, 36(2): 754—756. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张佩芳,邓喜庆,刘桂青.多尺度空间下的云南山地流域遥感土地利用分类对比研究[J].国土资源遥感,2007(1):89—93.
Zhang Peifang, Deng Xiqing, Liu Guiqing. A comparative study of the remote sensing land use classification model for the mountain watershed area in Yunnan province[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2007(1): 89—93. (in Chinese with English abstract)
- [3] 崔永祥.辽宁省未利用土地的成因、分布及其改造利用的探讨[J].中国土地科学,1998,12(2):12—14.
Cui Yongxiang. The discussion about causes, distribution and modification and utilization of the unused land in Liaoning province[J]. China Land Science, 1998, 12(2): 12—14. (in Chinese with English abstract)
- [4] 金旭.延吉市国土资源局未利用土地现状调查实施方案初探[C]//吉林省第三届科学技术学术年会论文集,吉林:吉林大学出版社,2004:1012—1016.
Jin Xu. Discussion on the implementation plan of unused land survey in Yanji city[C]// Third of Jilin Province Science and Technology Academic Annual Meeting. Jilin: Jilin University Press, 2004: 1012—1016. (in Chinese with English abstract)
- [5] Rind D, Hudson. Land Use[M]. Landon and New York: Methuen, 1980, 13—53.

- [6] Anderson J R, Hardy E, Roach J T, et al. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data[R]. Geological Survey Professional Paper 964, 1976.
- [7] 吴亮, 濮励杰, 朱明. 中日土地利用分类比较[J]. 中国土地科学, 2010, 24(7): 77—80.
Wu Liang, Pu Lijie, Zhu Ming. Comparison on land-use classification in China and Japan[J]. China Land Science, 2010, 24(7): 77—80. (in Chinese with English abstract)
- [8] 徐健, 周寅康, 金晓斌, 等. 基于生态保护对土地利用分类系统未利用地的探讨[J]. 资源科学, 2007, 29(2): 137—141.
Xu Jian, Zhou Yinkang, Jin Xiaobin, et al. Discussing virgin land classification subsystem based on the protection of the eco-environment[J]. Resources Science, 2007, 29(2): 137—141. (in Chinese with English abstract)
- [9] 易铃, 张增祥, 汪潇, 等. 近 30 年中国主要耕地后备资源的时空变化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 1—13.
Yi Ling, Zhang Zengxiang, Wang Xiao, et al. Spatial-temporal change of major reserve resources of cultivated land in China in recent 30 years[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(6): 1—13. (in Chinese with English abstract)
- [10] 尹启后, 何劲耘. 四川省涪陵市未利用土地适宜性评价和开发利用研究[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1995, 20(6): 693—699.
Yin Qihou, He Jinyun. A study on the suitability appraisal of unused land and its exploitation in fulin, Sichuan province[J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science, 1995, 20(6): 693—699. (in Chinese with English abstract)
- [11] 廖和平. 未利用地适宜性评价方法研究: 以攀枝花市仁和区为例[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1997, 22(2): 199—205.
Liao Heping. Research on the method of suitability evaluation of the unutilized land[J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science, 1997, 22(2): 199—205. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘长胜, 卢伟, 金晓斌, 等. GIS 支持下土地整理中未利用地适宜性评价: 以广西柳城县为例[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(4): 333—337.
Liu Changsheng, Lu Wei, Jin Xiaobin, et al. Assessment on the suitability of unused land resources based on geographic information system in the course of land exploitation and arrangement: Taking liucheng county in Guangxi province as example[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2004, 13(4): 333—337. (in Chinese with English abstract)
- [13] 毛艳玲. GIS 支持下的闽侯县未利用土地适宜性评价[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2005, 34(3): 382—385.
Mao Yanling. Suitability evaluation of the unused land based on GIS[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2005, 34(3): 382—385. (in Chinese with English abstract)
- [14] 黄艳丽, 苏辉. 禹州市未利用地适宜性评价研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(32): 10402—10403.
Huang Yanli, Su Hui. Study on the suitability evaluation of the land resource unexploited in Yuzhou City[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2007, 35(32): 10402—10403. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王炜, 杨晓东, 曾辉, 等. 土地整理综合效益评价指标与方法[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 70—73.
Wang Wei, Yang Xiaodong, Zeng Hui, et al. Method for comprehensive benefit evaluation of land consolidation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(10): 70—73. (in Chinese with English abstract)
- [16] 席闽生. 县域土地开发整理潜力评价方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
Xi Minsheng. Method Study of County Land Development Consolidation Potential Evaluation[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese with English abstract)
- [17] 蒋一涵, 李那日苏. 内蒙古西部地区未利用土地资源潜力研究[J]. 北方经济, 2008(12): 68—70.
Jiang Yihan, Li Narisu. Study about the potential of the unused land resources in Western region of Inner Mongolia province[J]. Northern Economy, 2008(12): 68—70. (in Chinese with English abstract)
- [18] 倪九派, 李萍, 魏朝富, 等. 基于 AHP 和熵权法赋权的区域土地开发整理潜力评价[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 202—209.
Ni Jiupai, Li Ping, Wei Chaofu, et al. Potentialities evaluation of regional land consolidation based on AHP and entropy weight method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(5): 202—209. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王筱明, 闫弘文, 卞正富. 基于适宜性的济南市宜耕未利用地开发潜力评估[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 307—312.
Wang Xiaoming, Yan Hongwen, Bian Zhengfu. Exploitation potential of unutilized land suitable for cultivated land based on its suitability in Jinan City[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(2): 307—312. (in Chinese with English abstract)
- [20] 唐秀珍. 未利用土地的潜力与开发: 以山西省古交市为例[J]. 中国土地, 2003(9): 35—36.
Tang Xiuzhen. Unused land potential development: Taking Gujiao city in Shanxi province as an example[J]. China Land, 2003(9): 35—36. (in Chinese with English abstract)
- [21] 曲晨晓. 河南省土地开发整理潜力分区研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(4): 368—373.
Qu Chenxiao. Study on the potential zoning of land development consolidation in Henan province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(4): 368—373. (in Chinese with English abstract)
- [22] 王亚坤, 周生路, 张红富, 等. 江苏省域耕地后备资源潜力空间分布与开发组合研究[J]. 土壤, 2010, 42(3): 492—496.
Wang Yakun, Zhou Shenglu, Zhang Hongfu, et al. Spatial distribution and exploitation combination of potentiality of cultivated land reserve resource in Jiangsu province[J]. Soils, 2010, 42(3): 492—496. (in Chinese with English abstract)
- [23] 类淑霞, 郝晋珉, 王丽敏. 生态脆弱区宜耕未利用土地开发适宜性评价: 以山西省大同市为例[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6): 1417—1423.
Lei Shuxia, Hao Jinmin, Wang Limin. Evaluation of exploitation suitability of unutilized arable lands in ecologically fragile areas: A case study of Datong City, Shanxi province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(6): 1417—1423. (in Chinese with English abstract)

- [24] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(3): 114—118. (in Chinese with English abstract)
- [25] 王莲芬. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990, 5—18.
- [26] 薛保山, 刘刚. 土地适宜性评价过程中模型方法对比研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(7): 3162—3165.
Xue Baoshan, Liu Gang. Comparative study on models and methods in the course of land suitability evaluation[J]. Journal of Anhui Agri sci, 2009, 37(7): 3162—3165. (in Chinese with English abstract)
- [27] 王慎敏, 赏刚, 陈昌春, 等. 土地开发项目区未利用地地力评价研究: 以安徽寿县孟家湖林场苇地开发项目为例[J]. 中国农学通报, 2009, 25(3): 240—244.
Wang Shenmin, Shang Gang, Chen Changchun, et al. Research on productivity evaluation of the land exploitation area of the unused land: A case study of the land exploitation program of Mengjia lake forestry centre Shou country, Anhui Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(3): 240—244. (in Chinese with English abstract)
- [28] 鲁明星, 贺立源, 吴礼树, 等. 基于 GIS 的华中丘陵区耕地地力评价研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 96—101.
Lu Mingxing, He Liyuan, Wu Lishu, et al. Evaluation of the farmland productivity of hilly region of central China based on GIS[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(8): 96—101. (in Chinese with English abstract)

Exploitation suitability evaluation and potential area zoning for arable unused land in mountainous areas of Yunnan province

Yuan Lei^{1,2}, Zhao Junsan^{1,2*}, Li Hongbo^{1,3}, Zhang Meng¹, Chen Guoping^{1,4}, Guo Xiaohui¹

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science & Technology, Kunming 650093, China; 2. Kunming Yunjindi Geo-information Co., Ltd., Kunming 650106, China; 3. Faculty of Architecture & Civil Engineering, Kunming University of Science & Technology, Kunming 650500, China; 4. Faculty of Surveying and Mapping, Kunming Metallurgy College, Kunming 650033, China)

Abstract: Unused land is the major reserve resource of cultivated land in China. But the quality of the unused land is generally relatively poor in many provinces. Because of the poor quality and complexity of exploitation for the unused land, the difficulty of exploitation is often relatively large. This is especially true in the mountainous areas of Yunnan province, where there is an undulating terrain, and severe cutting or tearing action. Therefore, geoscience factors show significant spatial differentiation in the province. As a result, exploitation of unused land in Yunnan province is different from others. In order to guide a better space-time configuration of the exploitation for arable unused land in the province, exploitation suitability evaluation and potential area partition for the arable unused land is researched in this paper which focuses in a typical mountainous area county of Yunnan province which is named Midu for example. Based on combining spatial analysis techniques of the Geographical Information System (GIS), the Analytical Hierarchy Process (AHP), and the Delphi method, this study constructed the suitability evaluation for exploitation of the arable unused land model, the new land indices and additional land potential model, and the evaluation of the partition for potential area of the arable unused land model respectively. Then it was analyzed the exploitation suitability and partition of the potential area of the arable unused land in the mountain area of Yunnan province. The results show that the exploitation suitability of the unused land includes four grades which are the most suitability area, the medium suitability area, the barely suitability area, and the unfit area. The area of them is 71.21 hectares, 1177.39 hectares, 1681.00 hectares, and 62.00 hectares respectively, and accounts for 2.38%, 39.36%, 56.19% and 2.07% of the total area of the study area separately. The actual exploitation potential of the unused land in study area is 1248.60 hectares, and among them there are 977.45 hectares excepted to develop into cultivated land. The result of the partition is indicated so that the study area could be divided in five potential areas and one non-potential area. Among these areas, the actual exploitation potential from one-level to five-level are 164.97 hectares, 53.38 hectares, 210.64 hectares, 773.93 hectares, and 45.68 hectares respectively. The potential of additional cultivated land are 144.21 hectares, 46.66 hectares, 164.01 hectares, 590.11 hectares, and 32.46 hectares respectively. The application of the research results show that the suitability evaluation results, cultivated land estimation results, and potential partition results are consistent with the local circumstances.

Key words: land use, zoning, models, suitability evaluation, unused land, Midu county

(责任编辑: 张俊芳)