

# 辽东山区桓仁县坡耕地基础地力评价研究<sup>①</sup>

裴久渤<sup>1</sup>, 汪景宽<sup>1\*</sup>, 李慧<sup>1</sup>, 李双异<sup>1</sup>, 孙丕卿<sup>2</sup>

(1 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866; 2 辽宁兴源勘测服务有限公司, 沈阳 110036)

**摘要:** 为了反映第二次土壤普查以来辽东山区坡耕地基础地力状况, 分析在不同坡度级下各地力等级坡耕地利用特点, 选择了辽东典型山区县桓仁县作为研究区域, 在 Arcgis10 和 Excel 软件的支持下, 运用 DELPHI 法、AHP 法和 FE 法, 选取耕层养分性状、耕层理化性状、土壤管理和立地条件等 4 大类 13 个评价指标, 对桓仁县坡耕地基础地力进行了量化评价。结果显示: 桓仁县坡耕地基础地力共分 5 个等级, 主要分布在三等 (21.49%)、四等 (50.73%) 和五等地 (20.39%), 一等 (0.81%) 和二等地 (6.58%) 分布较少; 且坡耕地主要分布在坡度 5° 以上, 其中一等级主要分布在 2° ~ 8° (0.81%), 二等和三等地主要分布在 5° ~ 8° (13.17%), 四等和五等地主要分布在 15° 以上 (58.78%)。该研究不仅扩展了耕地地力评价成果的应用, 同时为坡耕地相关研究提供有益参考。

**关键词:** 坡耕地; 基础地力评价; 辽东山区; GIS

**中图分类号:** S158

我国是一个多山的国家, 山地丘陵约占陆地国土面积的 2/3<sup>[1]</sup>。另外, 我国又是一个人口众多的国家, 人均耕地资源远远低于世界平均水平。因此, 从粮食生产角度出发, 要满足日益增长的人口需要, 除了维持和提高平肥地生产力外, 坡耕地也是一种重要的后备资源, 其作为耕地在坡度上的表现形式, 在山区及特定区域环境下与人类生存和发展关系密切, 是保证区域粮食安全和经济发展的基本物质资料<sup>[2]</sup>。坡耕地基础地力评价就是针对山区等特定区域 2° 以上的耕地<sup>②③</sup>的基础地力 (地形、地貌、成土母质特征、农田基础设施及培肥水平、土壤理化性质等) 进行的定量综合评价<sup>[3-4]</sup>。

国内外许多学者对于坡耕地进行了相关研究, 但主要集中在坡耕地养分变化、利用模式、防治侵蚀和综合治理等方面<sup>[4-15]</sup>, 对坡耕地基础地力的综合评价研究较少。本研究区自上世纪 80 年代进行第二次土壤普查工作以来, 近 30 年来土壤调查与地力评价工作基本没有开展, 尤其针对山区特点进行的坡耕地地力评价工作更是少见。因此, 本研究利用该地区最近采样测定的结果及调查资料, 在 Arcgis10 和 Excel 软件的支

持下, 运用 DELPHI (特尔斐)、层次分析 (AHP) 和模糊评价 (FZ) 方法选取耕层养分性状、耕层理化性状、土壤管理和立地条件等 4 大类 13 个评价指标, 建立数学模型, 对第二次土壤普查以来的桓仁县坡耕地基础地力进行了较为科学的评价, 为山区耕地保护和质量管理提供科学依据, 也为今后类似区域坡耕地研究提供参考。

## 1 研究区概况

桓仁县位于我国东北地区辽宁省东部边缘山区的浑江中下游地带, 隶属于本溪市。地理坐标为 124°27' ~ 125°40'E, 40°54' ~ 41°32'N。东接吉林省集安市, 南邻辽宁省宽甸县, 西连辽宁省本溪县, 北靠辽宁省新宾县和吉林省通化市。县辖 12 个乡镇, 总人口 30.17 万人, 总面积 3 552.95 km<sup>2</sup>, 其中 80% 为山地, 耕地面积占总面积的 10.1%, 其中 52% 为 2° 以上的坡耕地。土壤类型有 6 个土类, 10 个亚类, 33 个土属, 62 个土种。全县属长白山支脉, 典型辽东山地丘陵区, 地势西北高, 东南低, 并向中部倾斜, 地形变化起伏较大, 坡脚及缓坡平地多开垦为耕地, 地块零星, 高低

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40871142) 和农业部耕地地力调查与评价项目资助。

\* 通讯作者 (j-kwang@163.com)

作者简介: 裴久渤 (1984—), 男, 辽宁抚顺人, 博士研究生, 主要从事土壤肥力与土地利用信息技术研究。E-mail: peijiubo@163.com

②中华人民共和国国土资源部. 农用地分等规程 (TD/T1004—2003). 2003

③中华人民共和国国土资源部. 第二次全国土地调查技术规程 (TD/T 1014—2007). 2007

不平<sup>[6]</sup>。县域属温带大陆性季风气候,且山区气候反映明显,年均温 6.3℃,年降水 861.9 mm,≥10℃的有效积温为 3 014.7℃,无霜期为 118 ~ 163 天<sup>②</sup>。因

此,山高林密,河流纵横,地块零星的特点造就了辽东山区桓仁县“八山一水一分田”的独特格局(图 1)。

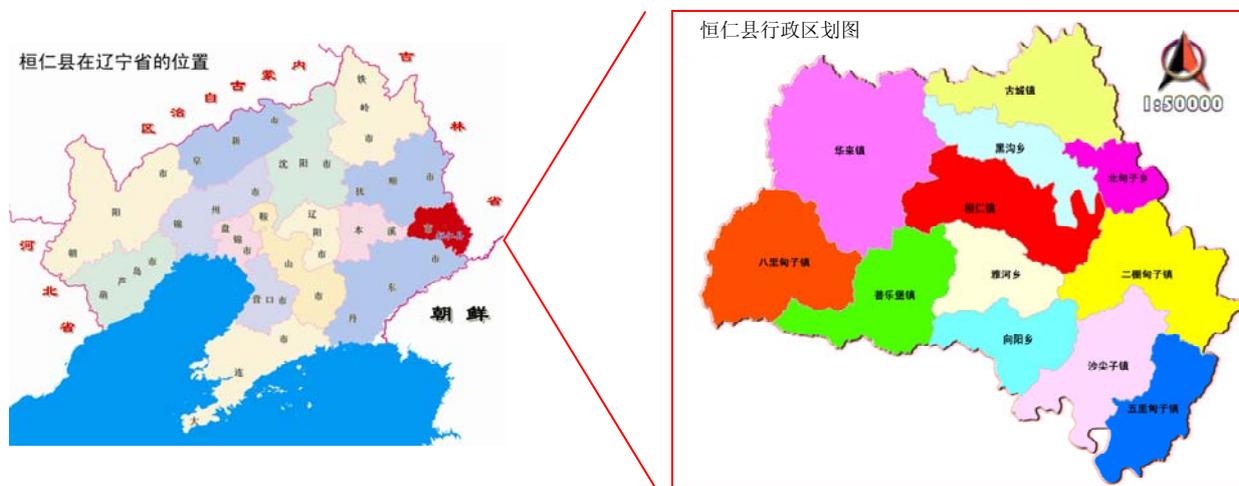


图 1 研究区行政区划图

Fig. 1 Administrative map of research area

## 2 坡耕地基础地力评价

### 2.1 资料收集与处理

2.1.1 资料收集 本研究收集的资料主要包括:基础图件资料,包括研究区 1:5 万 DEM、土地利用现状图、土壤图、农田水利分区图、行政区划图等;基础文字资料,包括桓仁县、乡、村名编码表,土壤类型代码表,近三年种植情况,农村及农业生产基本情况资料,土壤采样点基本情况及土壤养分化验结果数据(包括 pH 值、有机质、速效氮、有效钾、有效磷等),地方土壤志、土种志等。

2.1.2 资料处理 将收集的相关图件采用 Arcgis10 软件进行数字化、图幅投影和误差校正、图幅接边和拓扑检查处理<sup>[7]</sup>,利用 1:5 万 DEM,在 Arcgis10 软件中生成坡度图,并与土地利用现状图、土壤图、行政区划图等基础图件叠加,提取 2°以上的坡耕地图斑层,构建空间图形数据库;同时,采用微软 Access 数据库对调查和分析化验的数据资料及其他基础资料进行录入,构建属性数据库,同时生成土壤采样点位图;将土壤采样点位图与坡耕地图斑层相叠加筛选桓仁县坡耕地采样点共 2 484 个,运用 Arcgis10 中的 Kriging 球形(Spherical)等模型进行最优化插值,从而自动生成各土壤养分属性专题图,并参照全国耕

地地力调查规范构建坡耕地基础地力评价基础数据库。

### 2.2 评价单元的确定

坡耕地基础地力评价单元是具有专门特征的坡耕地单元,是坡耕地基础地力评价的基础。目前,对评价单元的划分尚无统一方法,但多数学者采用将土壤图、土地利用现状图相叠加确定评价单元的方法。本研究亦采用类似方法,即应用 Arcgis10 的空间叠加分析功能,将比例尺为 1:5 万的土地利用现状图—土壤图—坡度图—行政区划图相叠加,从而提取坡耕地图斑,并合并小单元格,从而形成坡耕地基础地力评价单元。桓仁县坡耕地基础地力评价单元共 1 608 个(图 2)。

### 2.3 评价指标的选取及权重确定

2.3.1 评价指标的选取 在参照耕地地力评价因子总集(农业部《测土配方施肥技术规范(试行)修订稿》),遵循对桓仁县坡耕地地力有较大影响、因子在评价区域内变异明显、在时间序列上具有相对稳定性、与农业生产有密切关系等原则的基础上,应用 DELPHI(特尔斐)法,即邀请省内农业部门、土地部门、环境部门、水利部门 12 位专家,采取 3 轮打分,最终选取 4 大类 13 个评价指标,形成桓仁县坡耕地基础地力评价指标体系(图 3)。

①桓仁县统计局. 桓仁满族自治县统计年鉴. 2008

②桓仁县农业技术推广中心(王世贵). 桓仁县土壤志. 1986

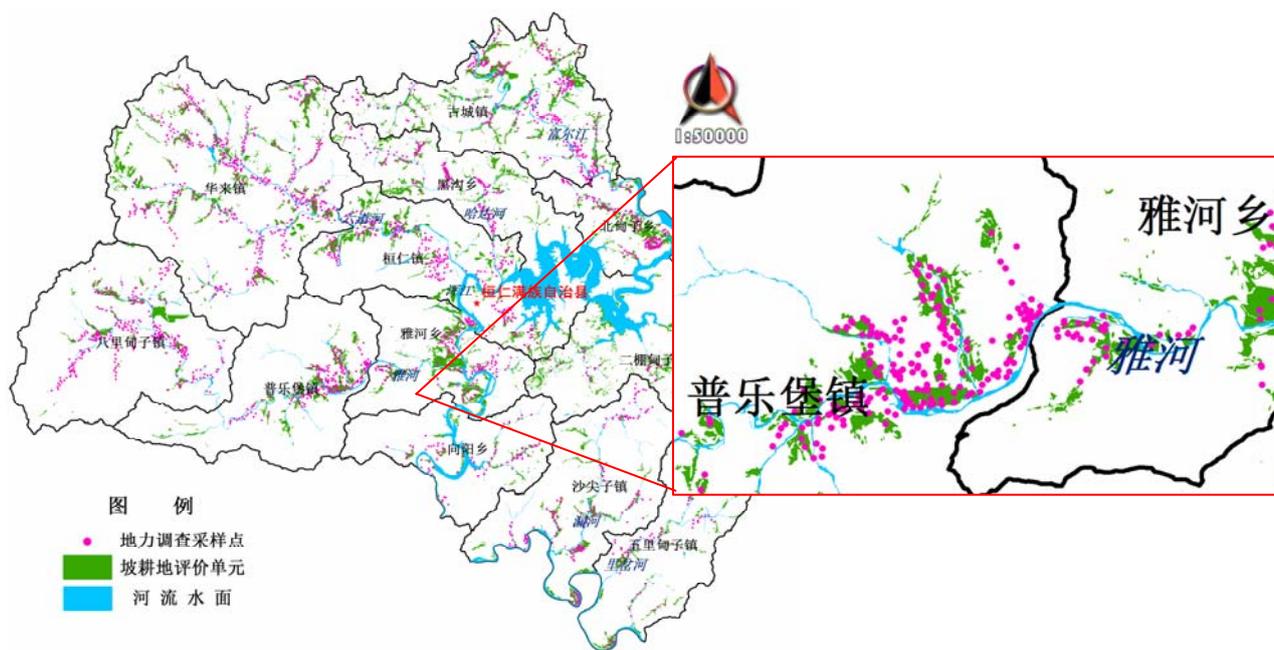


图 2 采样点及评价单元分布图

Fig. 2 Distribution of sampling sites and evaluation units

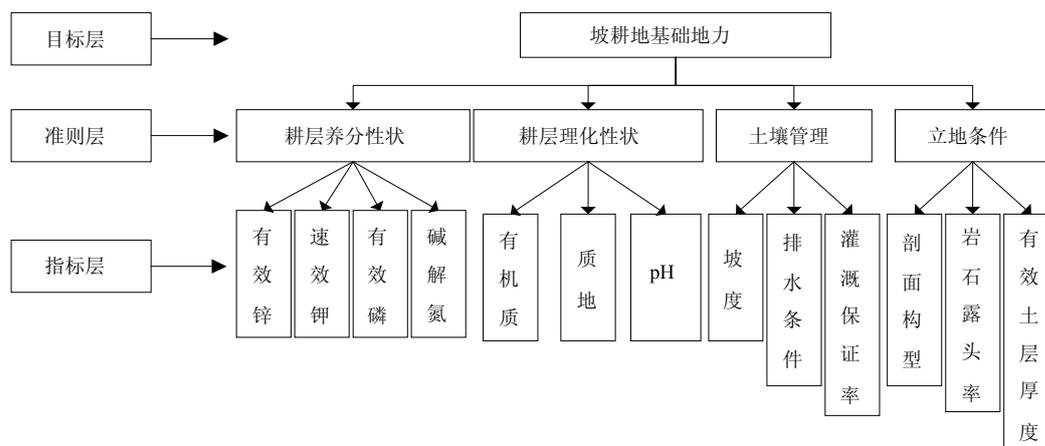


图 3 坡耕地基础地力评价指标层次结构

Fig. 3 Index hierarchy structure of slope cultivated land fundamental fertility

2.3.2 指标权重的确定 坡耕地基础地力评价是多种指标因素综合作用的结果，各指标因子之间对坡耕地基础地力的影响有所差异，因此，本研究应用目前在确定权重方面较为成熟的方法：DELPHI（特尔斐）和 AHP（层次分析）结合法，确定各指标权重。邀请省内 12 位专家在选取指标的同时对各指标重要性进行打分，在 Excel 软件中汇总统计各指标的确认分值，建立层次结构、构造判断矩阵，用和积分法计算出矩阵的最大特征根及其对应的特征向量，并进行层次单排序及其一致性检验、层次总排序及其一致性检验，从而确定各指标的组合权重。一致性检验 CR 值均 < 0.1 时，说明一致性较好，权重匹配合理<sup>[18-19]</sup>

（表 1）。

### 2.4 评价指标隶属函数的建立

近年来，模糊数学的概念和方法在农业系统数量化研究中得到广泛应用<sup>[20]</sup>。坡耕地是在自然和人为因素的共同作用下形成的一种复杂的自然综合体，即是一个灰色系统，系统内部各因素之间与其生产能力之间关系复杂，难以用精确的数字来表达，因此宜采用模糊数学方法进行地力等级的确定。通过 FE（模糊评价）法来计算单因素评价评语，即根据模糊数学的理论，用 DELPHI 法对一组实测值评估出相应的一组隶属度，并根据这两组数据拟合出隶属函数，也可以根据唯一差异原则，用田间试验的方法获得测试值与坡

表 1 坡耕地基础地力评价指标权重

Table 1 Evaluation Index weights of slope cultivated land fundamental fertility

指标	耕层养分性状	耕层理化性状	土壤管理	立地条件	组合权重( $\sum C_i A_i$ )
	0.180 2	0.234 2	0.269 8	0.315 8	
有效锌	0.163 5				0.029 5
速效钾	0.185 6				0.033 4
有效磷	0.285 6				0.051 4
碱解氮	0.365 3				0.065 8
pH		0.235 3			0.055 1
质地		0.294 1			0.068 9
有机质		0.470 6			0.110 2
排水条件			0.283 7		0.076 6
坡度			0.319 6		0.086 2
灌溉保证率			0.396 7		0.107 1
岩石露头率				0.250 0	0.079 0
剖面构型				0.312 5	0.098 7
有效土层厚度				0.437 5	0.138 1

耕地地力的一组数据,用这组数据直接拟合隶属函数。本研究将选定的定量化指标与坡耕地基础地力之间拟合出戒上型隶属函数模型(表 2),见公式(1)。

$$Y_i = \begin{cases} 0 & u_i \leq u_i \\ 1/[1+a_i(u_i-c_i)^2] & u_i < c_i, \\ 1 & u_i \geq c_i \end{cases} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (1)$$

式(1)中, $Y_i$ 为第*i*个因素评语; $u_i$ 为样品观测值; $c_i$ 为标准指标值; $a_i$ 为系数; $u_i$ 为指标下限值。

对于定性描述的概念性评价指标(如质地、剖面构型等),由于其性状是定性的,范围性的、综合性的,与坡耕地生产能力之间存在着一种非线性的关系,因此这类要素的评价可采用 DELPHI 法直接给出隶属度,如表 3 所示。

## 2.5 综合地力指数计算与定级

应用 Excel 软件进行统计分析,采用累加法计算每个评价单元的综合地力指数(Integrated Fertility Index, IFI),每个评价单元的综合指数计算方法如下:

$$IFI = \sum_{i=1}^n F_i \cdot C_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式(2)中, $F_i$ 表示第*i*个指标因子的隶属度; $C_i$ 表示第*i*个指标因子的组合权重。

耕地地力等级通常可采用等间距法、数轴法、累积曲线法等方法进行分级。本研究采用 Excel 拟合累积曲线划分地力等级(图 4)。桓仁县坡耕地基础地力等级划分为 5 级(表 4)。

表 2 坡耕地基础地力评价指标隶属度函数汇总表

Table 2 Evaluation index membership function of slope cultivated land fundamental fertility

函数类型	评价指标	隶属度函数	标准指标( $c$ )	指标下限值( $u_i$ )
戒上型	碱解氮 (mg/kg)	$Y = 1/[1 + 16.13 \times 10^{-4} (u-c)^2]$	153.235 3	99.881 2
戒上型	有效磷 (mg/kg)	$Y = 1/[1 + 152.66 \times 10^{-4} (u-c)^2]$	36.051 47	20.618 9
戒上型	速效钾 (mg/kg)	$Y = 1/[1 + 32.59 \times 10^{-4} (u-c)^2]$	112.326 2	76.605 9
戒上型	有效锌 (mg/kg)	$Y = 1/[1 + 25.6 \times 10^{-4} (u-c)^2]$	1.571 459	1.091 3
戒上型	有机质 (g/kg)	$Y = 1/[1 + 5.2653 \times 10^{-2} (u-c)^2]$	32.066 17	20.997 6
戒上型	pH	$Y = 1/[1 + 3.388041 (u-c)^2]$	7.002 713	6.309 7

表 3 概念型评价指标隶属度  
Table 3 Membership of conceptual evaluation indices

评价指标	描述	隶属度	评价指标	描述	隶属度
质地	壤土	1	坡度	2°~5°	1
	黏土	0.8		5°~8°	0.8
剖面构型	通体壤	1		8°~15°	0.6
	壤/黏/壤	0.8	≥15°	0.3	
	壤/黏/黏	0.75	排水条件	排水体系基本健全	0.7
	壤/砂/壤	0.7		排水体系一般	0.5
	壤/砂/砂	0.65		无排水体系	0.4
有效土层厚度	≥60 cm	1	岩石露头率	<2%	1
	30~60 cm	0.7		2%~10%	0.9
灌溉保证率	充分满足	1		10%~25%	0.7
	无灌溉条件	0.5	≥25%	0.3	

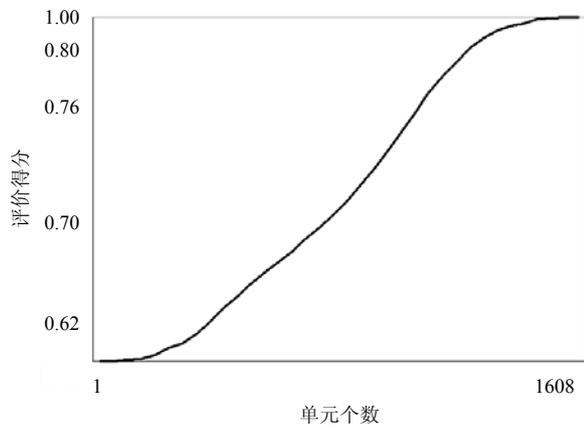


图 4 坡耕地基础地力评价得分累积曲线图评价得分

Fig. 4 Cumulative graph of evaluation score for slope cultivated land fundamental fertility

表 4 坡耕地基础地力分级结果

Table 4 Fundamental fertility grades of slope cultivated land

等级	IFI	面积 (hm <sup>2</sup> )	占总面积比例(%)
一等地	≥0.80	151.12	0.81
二等地	0.76~0.80	1 231.30	6.58
三等地	0.70~0.76	4 018.72	21.49
四等地	0.62~0.70	9 486.71	50.73
五等地	<0.62	3 812.53	20.39

### 3 结果分析

桓仁县坡耕地分布较为零碎(图 5), 主要分布在浑江、富尔江、哈达河、六道河和雅河流域的山坡地, 且全县 5°以上的坡耕地占 96%以上, 其中 15°以上占 64%(表 5)。坡耕地基础地力等级主要分布在三等(面积 4 018.72 hm<sup>2</sup>)、四等(9 486.71 hm<sup>2</sup>)和五等地

(3 812.53 hm<sup>2</sup>), 以四等地为主, 一等(151.12 hm<sup>2</sup>)和二等地(1 231.3 hm<sup>2</sup>)分布较少, 坡耕地总体基础地力水平较低。

以浑江为界, 一等地和二等地主要分布在浑江以西及以北的雅河、六道河和哈达河流域的广大低坡耕地。一等地分布在坡度 2°~8°, 土壤类型主要为棕壤性土、潮棕壤和淹育型水稻土, 该等坡耕地土层较深厚, 保水肥性较好, 是补充平肥地、促进粮食增产的主要后备耕地资源; 二等地主要分布在坡度 5°~8°, 且以 5°~8°为主, 土壤类型主要为棕壤性土、潮棕壤和棕壤, 其特点是坡度相对增大, 有一定的跑水漏肥现象, 但仍可宜耕, 经过合理治理与土壤改良培肥后, 此等坡耕地仍可作补充平肥地的有效后备耕地资源; 三、四和五等地在桓仁县坡耕地中有大面积分布, 其基础地力相对较差, 坡度主要在 5°以上。三等地主要分布在 5°~8°, 但 8°以上仍有较大面积分布, 土壤类型以棕壤性土和潮棕壤为主, 有一定的白浆土和少量暗棕壤分布, 该等坡耕地养分含量中等, 跑水跑肥严重, 8°以上坡耕地应逐步退耕还林果, 修养地力, 涵养水分; 四、五等地主要分布在 8°以上, 且集中分布在 15°以上的坡地, 土壤类型主要为棕壤性土和棕壤, 白浆土和暗棕壤分布面积逐渐增多, 砾石含量高, 障碍层次出现在浅位, 土层瘠薄, 无灌溉保证, 水土流失严重, 养分含量低, 不宜做耕地, 应强烈要求禁垦、进行退耕还林草, 加强水土保持和生态建设。

总之, 桓仁县坡耕地今后要按照“增氮、控磷、补钾、补微”的施肥原则, 要在控制水土流失、超坡开垦同时采取综合治理, 制定用养结合的长远规划, 为区域耕地保护、经济和生态的持续发展提供保障。

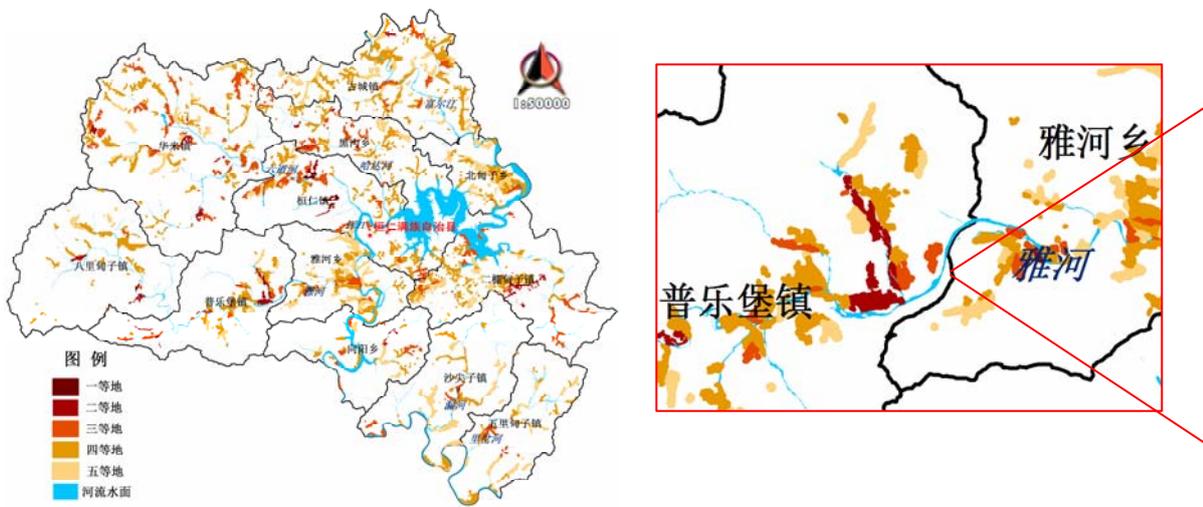


图 5 桓仁县坡耕地基础地力等级图

Fig. 5 Fundamental fertility grade map of slope cultivated land in Huanren County

表 5 不同坡度级坡耕地基础地力等级

Table 5 Slope cultivated land fundamental fertility at different slope grades

坡度级	一等地	二等地	三等地	四等地	五等地	总计(hm <sup>2</sup> )
2°~5°	66.91	213.12	431.35	34.60		745.97
5°~8°	84.21	724.01	1 740.04	622.99		3 171.25
8°~15°		153.12	947.91	1 402.74	264.03	2 767.80
≥15°		141.05	899.43	7 426.38	3 548.50	12 015.36
总计(hm <sup>2</sup> )	151.12	1 231.30	4 018.72	9 486.71	3 812.53	18 700.38

注：本研究坡度级采用农用地分等规程（TD/T1004—2003）中对坡地分级要求划分<sup>[3]</sup>。

#### 4 讨论

坡耕地作为补充平肥地的重要的后备资源在山区等特定区域意义显著，对其合理利用和保护是增强区域农业后劲的重要战略措施。本研究从不同坡度级角度分析了第二次土壤普查以来辽东山区桓仁县坡耕地的基础地力状况，扩展了耕地地力评价成果的应用，但仍存在许多有待验证和讨论之处，需今后进一步研究和完善。

(1) 从研究结果看，山区坡耕地承受着数量和质量的双重压力，如何改变山区坡耕地资源的利用现状，控制超坡开垦和非法占用，提升和扩大低坡耕地的地力和面积，将成为促进山区经济和社会发展的的重要手段。

(2) 从研究尺度看，本研究仅提供了辽东山区县域坡耕地基础地力评价的研究视角，今后将有待应用于类似区域大尺度或大区域的扩展研究。

(3) 耕地地力调查与评价是继第二次土壤普查以来进行的全国性、基础性的耕地土壤普查，善于利用

和分析化验结果将能扩展和深化该项目的研究成果，丰富其研究内容，这将为国家的耕地质量建设提供基础依据。

#### 参考文献：

- [1] 谢俊奇. 中国坡耕地. 北京: 中国大地出版社, 2005
- [2] 裴久渤. 基于景观生态学的县域坡耕地利用变化研究—以辽宁省桓仁县为例(硕士学位论文). 沈阳: 沈阳农业大学, 2010
- [3] 全国农业技术推广中心. 耕地地力评价指南. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006
- [4] 辜寄蓉. 岷江流域坡耕地分布与可持续发展研究(硕士学位论文). 成都: 成都理工学院, 2000
- [5] 李方越, 曹明明. 陕西省 15° 以上坡耕地利用与退耕还林技术对策. 水土保持通报, 2001, 21(5): 49-52
- [6] 张亚丽, 张兴昌, 邵明安, 李世清. 秸秆覆盖对黄土坡面矿质氮素径流流失的影响. 水土保持学报, 2004, 18(1): 85-88
- [7] 贾利科, 常庆瑞, 王占礼, 张俊华, 齐雁冰. 陕北坡耕地土壤侵蚀对土壤性质的影响研究. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 96-99

- [8] 刘扬, 那波, 梁强, 甄冰, 贾树海. 辽宁省坡耕地作物生产潜力研究. *辽宁农业科学*, 2006, (2): 12-15
- [9] 万宝红. 坡耕地综合治理与培肥. *农业工程*, 2007 (10): 43
- [10] 王宝桐, 丁柏齐. 东北黑土区坡耕地防蚀耕作措施研究. *东北水利水电*, 2008, 26(282): 64-65
- [11] 李奥. 陕北地区坡耕地利用可拓评价研究(硕士学位论文). 西安: 西安建筑科技大学, 2009
- [12] 张晓霞, 李占斌, 李鹏. 陕北黄土高原坡耕地土壤养分特征研究. *沈阳农业大学学报*, 2010, 41(3): 342-345
- [13] Meng QH, Fu BJ, Tang XP, Ren HC. Effects of land use on phosphorus loss in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Environ. Monit. Assess*, 2008, 139: 195-204
- [14] Sai LN, Cai QG, Ding SW, Kwai CC, Qin J. Effects of contour hedgerows on water and soil conservation, crop productivity and nutrient budget for slope farmland in the Three Gorges Region(TGR) of China. *Agroforest Syst.*, 2008, 74: 179-291
- [15] Marini L, Fontana P, Klimek S, Battisti A, Gaston KJ. Impact of farm size and topography on plant and insect diversity of managed grasslands in the Alps. *Biological Conservation*, 2009, 142: 394-403
- [16] 桓仁县地方志编纂委员会. 桓仁县志. 北京: 方志出版社, 1996
- [17] 汤国安, 赵牡丹. 地理信息系统. 北京: 科学出版社, 2004
- [18] 庄锁法. 基于层次分析法的综合评价模型. *合肥工业大学学报*, 2000, 23(4): 582-590
- [19] 石常蕴, 周慧珍. GIS 技术在土地质量评价中的应用—以苏州市水田为例. *土壤学报*, 2001, 38(3): 248-255
- [20] 刘京, 常庆瑞, 陈涛, 刘宗院, 王银福. 黄土高原南缘土石山区耕地地力评价研究. *中国农业生态学报*, 2010, 18(2): 229-234

## Evaluation of Slope Cultivated Land Fundamental Fertility in Huanren County in Eastern Mountainous Areas of Liaoning

PEI Jiu-bo<sup>1</sup>, WANG Jing-kuan<sup>1</sup>, LI Hui<sup>1</sup>, LI Shuang-yi<sup>1</sup>, SUN Pi-qing<sup>2</sup>

(1 College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2 Liaoning Xingyuan Survey Service Co., LTD., Shenyang 110036, China)

**Abstract:** Huanren County was chosen as a typical area in the eastern mountainous areas of Liaoning and the slope cultivated land fundamental fertility characteristics were evaluated under different slope grade levels in order to clarify the situation of slope cultivated land fundamental fertility. With the support of ArcGIS 10 and Excel software, Methods of DELPHI, analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy evaluation (FE) were used and 13 evaluation indicators in 4 types were selected, including nutrients in arable layer, physical and chemical characteristics in arable layer, soil management and site conditions. The results showed that slope cultivated land fundamental fertility was classified into five grades, and mainly were the 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> grades, accounted for 21.49%, 50.73% and 20.39% respectively, while the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> grades were less, accounted for 0.81% and 6.58% respectively. The distribution of slope cultivated land was mainly beyond 5°, the 1<sup>st</sup> grade was mainly in 2°-8° (accounted for 0.81%), the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> grades were mainly in 2°-8° (accounted for 13.17%), and the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> grades were mainly above 15° (accounted for 58.78%). The assessment method established here could be extended into other similar regions in fertility evaluation of cultivated land, and could provide beneficial references on research in slope cultivated land.

**Key words:** Slope cultivated land, Fundamental land fertility evaluation, Eastern mountainous areas of Liaoning, GIS