梯田地形形态特征及其综合数字分类研究

赵卫东[1,2], 汤国安[2], 徐 媛[1], 周春寅[1], 钱家忠[1], 马 雷[1]

(1. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009;
2. 南京师范大学 地理科学学院虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210046)

摘 要: 梯田地形具有独特的平面和剖面形态特征,而现有梯田地形分类无法准确反映梯田地形的平面形态特征,导致其难以满足未来构建梯田地形数值模拟模型的需求。以黄土高原旱梯田地形为切入点,对梯田地形的总体特征、平面和剖面形态特征及几何量测特征进行深入研究,提出了基于梯田平面形态特征的梯田地形分类,并在结合现有梯田地形分类的基础上,构建出梯田地形综合数字分类。与传统梯田地形分类相比,该分类综合考虑梯田的总体特征和平面及剖面形态,能更好地反映梯田独特的形态特征和几何量测特征。研究结果为未来构建梯田地形数值模拟模型奠定了坚实基础,对于探讨利用 DEM 实现梯田地形的有效数字表达与分析具有重要理论意义。

关键词: 梯田; 地貌形态; 数字高程模型(DEM); 梯田分类; 面向对象分类

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2013)01-0295-06 **中图分类号**: S157.3

Terrace Morphological Characteristics and Its Comprehensive Digital Classification

ZHAO Wei-dong[1], TANG Guo-an[2], XU Yuan[1], ZHOU Chun-yin[1], QIAN Jia-zhong[1], MA Lei[1]

(1. *School of Resources & Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui* 230009, *China*; 2. *School of Geography, and Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of the Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu* 210046, *China*)

Abstract: Terrace is characterized by unique planar and vertical morphology. However, its planar morphological characteristics can not be depicted accurately by the existing terrace classification, which makes the existing classification difficult to meet the needs of constructing a terrace digital analog model in the future. By taking drought terrace as a key point, the general characteristics, planar and vertical morphological characteristics, and measurable geometric characteristics of terraces are studied in detail. A new classification of terraces based on the planar morphological characteristics is put forth. Based on the combination with existing classification, a comprehensive digital classification of terraces is presented. Compared with the traditional classification of terraces, the new comprehensive classification fully considers the general characteristics, planar and vertical morphological characteristics and measurable geometric characteristics of terraces and can better depict the special morphological and measurable geometric characteristics of terraces. The results lay a solid foundation for the construction of a terrace digital analog model in the future and have important theoretical significance for the effective digital representation and analysis of terraces by using digital elevation model.

Keywords: terrace; landform; digital elevation model(DEM); terrace classification; object-oriented classification

梯田是黄土高原重要的水土保持工程,在黄土高原小流域综合治理中占据十分重要地位。近年来,国家加大了黄土高原水土流失综合治理力度,实施了大量“坡改梯”等水保工程。在基于 GIS 小流域梯田规

收稿日期:2012-03-24 修回日期:2012-04-11

资助项目:国家自然科学基金资助项目“基于 DEM 的黄土高原地貌形态空间格局研究”(40930531),“DEM 地形纹理的理论与方法研究”(41171320);合肥工业大学创新群体计划项目“地下水污染控制与修复”(2009HGCX0233);中央高校基本科研业务费专项资金“基于正方格网的地形对象构建关键技术研究”(2011HGBZ1331);虚拟地理环境教育部重点实验室开放基金资且项目“基于 DEM 的梯田地形对自然地表水文过程的扰动研究”(2012GE04)

作者简介:赵卫东(1969—),男(汉族),江西省宜春市人,副教授,博士,主要从事黄土高原梯田地形 DEM 数字表达的相关研究。E-mail: zhaowd66@163.com。

通信作者:汤国安(1961—),男(汉族),浙江省宁波市人,教授,博士生导师,主要从事 DEM 及数字地形分析等研究。E-mail: tangguoan@njnu.edu.cn。

划和设计实践中，迫切需要能够对梯田等地形进行有效数字表达与分析的 DEM 技术支撑，而现有 DEM 均难以提供适合梯田地形的数值模拟模型，无法为国家新建或改造各类梯田提供梯田规划和设计等相关技术支持。

近年来，DEM 在诸如水土保持、三维地形可视化等诸多领域得到了较广泛应用[1-9]。张彩霞等[10]利用 DEM 插值软件 ANUDEM，通过嵌入河流、湖泊等已知信息，采用 ANUDEM 地形强化算法，使建立的 DEM 伪下陷点少，甚至没有伪下陷点。但张彩霞等[10]还特别指出，由于 ANUDEM 采用正方格网模型，不仅会在平坦地区造成大量数据冗余，而且还会导致其在沟沿线等地形急剧变化之处对地形进行内插光滑，使其难以反映该处真实坡度。因此，尽管 DEM 能较好表达各类宏观自然地形，但在如何有效表达复杂梯田等人工地形方面仍然存在诸多理论和技术问题。目前在水保领域应用较广泛的国家基础地理数据库中的 DEM(1∶1 万 DEM 等)主要面向各类自然地形，其数字地形分析方法难以满足梯田等人工地形的准确数字地形分析需求[11]。因此，有必要构建能够应用于梯田地形的梯田数值模拟模型，并据此建立新型 DEM 的数字地形分析方法，实现梯田地形的有效数字表达与准确数字地形分析。梯田数值模拟模型的构建需要对梯田地形的平面和剖面形态特征进行深入研究，并对梯田地形进行合理分类。为此，部分学者对相关内容进行了初步研究。针对梯田等具有特殊形态地形的有效数字表达问题，Wilson[12]，Drăgut 等[13]和石志宽等[14]均提出充分利用面向对象思想，对该类与自然地形有较大形态差异的地形进行对象封装，并构建其特有的数值模拟模型。

对梯田地形进行数字分类和利用 DEM 对其进行数值模拟的研究在国内还不多见，国际上也未见相关报道。祝士杰等[15]利用梯田边沿约束线的偏移线初步实现了梯田地形的快速构建，但该方法假定梯田均严格沿地形等高线修建，这在一定程度上制约了其对各类梯田地形的有效数值模拟。古云鹤等[16]通过添加黄土高原沟沿线等突变地形特征线，利用 ANUDEM 局部适应性算法，构建的 DEM 能更好地表达黄土高原沟壑区的地形特征，该方法既避免了 TIN 表面的平三角，改善了水文地貌关系，又表达了地形的光滑和连续性特征，同时使地形的突变特征得到良好表达。

杨蕾等[17]利用从遥感影像上提取的梯田台阶边界线，并通过求该台阶线各点的高程加权平均值的方法确定各个台阶的高程值，成功实现了一个圆形梯田的三维可视化。

虽然上述研究并没有能够完全实现梯田地形的有效数值模拟，但其建模思路和方法对未来梯田数值模拟模型构建及其三维可视化研究具有一定的参考意义。

柴慧霞[18]在综合考虑黄土地貌的基本形态类型(包括起伏度和海拔)和基本成因类型的基础上，对我国 1∶100 万黄土地貌进行了数字分类，取得了较好的分类成果。该分类方案的思路和方法对梯田地形的分类具有一定借鉴意义。

1 梯田地形的形态特征

1.1 梯田地形的总体特征

与自然地形相比，梯田地形具有“继承性、规则性、易变性”三大特征。

梯田地形是对各种自然坡面地形进行人工改造而逐步形成的。在坡面总体形态上，继承了原有自然坡面的宏观地形特征，在其地表复合了各类人工改造的微观地形特征(梯田的平坦田面和陡直台阶等)，因此，梯田地形具有对自然地形的继承性。

经过人工改造的梯田地形，较大程度地改变了自然地形所具有的复杂多变的形态特征，一般表现为平面上的平坦展延和规则排列，剖面上的阶梯起伏，具有明显的规则性。

由于梯田稳定性主要取决于梯田田坎的抗冲(蚀)性，一旦有一个梯田田坎垮塌，往往会产生骨牌效应，导致整个坡面梯田的毁损，而重新修整的梯田在田坎高度、田面宽度与形态等方面均与之前梯田有所不同，因此，与自然坡面相比，梯田地形具有易变性。

1.2 梯田地形的形态特征及几何量测特征

为了构建能对梯田地形进行有效数字表达与分析的梯田数值模拟模型，必须对梯田地形的形态特征、几何量测特征和语义特征进行深入研究。梯田地形不仅具有“继承性、规则性、易变性”三大总体特征，而且具有独特的平面和剖面形态特征、几何量测特征和语义特征。特别是梯田地形具有一系列适合构建梯田数值模拟模型的几何量测特征。

通过对陕西黄土高原地区广泛分布的各类梯田地形的平面及剖面形态特征、几何量测特征和语义特征进行分析，总结和归纳出水平梯田等 4 类典型梯田特征(表 1)。从表 1 中可以看出，各类常见梯田地形均可通过原始山坡的坡度、梯田田面倾角和倾向、田埂内外坎倾角、田面宽度和高度、梯田台阶数量等一系列几何量测参数进行定量表达，这就为未来构建梯田数值模拟模型奠定了坚实基础。

表 1　梯田地形形态、几何量测和语义特征

梯田类型	形态特征	几何特征	语义特征
水平梯田	田面水平或近似水平;田坎和台阶陡直;台沿线分布规则	田面倾角 $\theta=0^\circ$; $\beta,\gamma\in[45^\circ,90^\circ]$	田面平坦,台阶或者田坎陡直
坡式梯田	田面倾斜,倾向与原始坡面一致;田坎和台阶陡直;台沿线分布规则	田面倾角 $\theta>0^\circ$ 且 $\theta\leqslant\alpha$; $A\approx A_0$; $\beta,\gamma\in[45^\circ,90^\circ]$	田面倾斜,倾角较大,台阶和田坎陡直
反坡梯田	田面倾斜,倾向与原始坡面相反;田坎和台阶陡直;台沿线分布规则	田面倾角 $\theta>0^\circ$; $\lvert A-A_0\rvert\approx180^\circ$; $\beta,\gamma\in[45^\circ,90^\circ]$	田面倾斜,倾向相反,台阶和田坎陡直
隔坡梯田	田面上部为原始坡面,下部为水平梯田;田坎和台阶陡直;台沿线分布规则	田面倾角上部 $\theta\leqslant\alpha, A\approx A_0$; 下部 $\theta=0^\circ$; $\beta,\gamma\in[45^\circ,90^\circ]$	田面上部倾斜,倾向相同,下部平坦,台阶和田坎陡直

注:α 为原始坡面坡度;β,γ 为田埂外坎和内坎倾角;θ 为田面倾角;A,A_0 为梯田田面和原始坡面的倾向。

2　梯田地形的综合数字分类

2.1　传统梯田地形分类

我国梯田按其分布地区分为北方和南方梯田两大类型,可进一步细分为黄土高原梯田、云贵高原梯田以及江南丘陵梯田等。其中,黄土高原梯田和云贵高原梯田堪作北方和南方梯田的典型代表。根据梯田种植农作物类型的不同,梯田又可分为水梯田(图 1)和旱梯田(图 2)。我国云贵高原梯田和江南丘陵梯田一般为种植水稻等为主的水梯田,而黄土高原梯田则为种植各种旱植作物的旱梯田。



图 1　云南元阳典型水梯田地形(水平梯田)

根据梯田的剖面形态,梯田可分为阶台式梯田和波浪式梯田。阶台式梯田是在坡地上沿等高线修筑成逐级升高的阶台型梯田。根据其田面坡度的不同,又可细分为水平梯田、坡式梯田、反坡梯田、隔坡梯田和复式梯田。其中,水平梯田的田面近似水平,而坡式梯田等其他梯田的田面坡度变化较大,主要与修建梯田的原始山坡天然坡度紧密相关。复式梯田是指由水平、坡式、反坡和隔坡梯田组合而形成复合式梯田。

根据梯田埂岩性不同,梯田又可分为石埂(坎)梯田和土埂梯田。黄土高原多为土埂梯田和少量石坎梯田,中国南方多山地区多为石埂梯田。



图 2　陕西绥德辛店沟典型旱梯田地形(水平梯田)

2.2　梯田平面形态分类

尽管上述传统梯田分类可有效区分各类常见梯田地形,但其主要依据梯田剖面形态特征进行分类,未能对梯田地形平面形态特征进行有效描述,无法满足梯田数值模拟模型的构建需求。为此,作者根据梯田平面形态的不同,把梯田分为单核梯田、多核梯田和无核梯田。单核梯田的梯田台阶边沿线(简称“台沿线”)中包含多条嵌套式封闭曲线,并形成一个核心,该核心一般位于圆形或近似圆形梯田台阶的最中心(图 3 中 1 号梯田台阶)。图 3—5 中的数字为梯田台阶编号。多核梯田一般是指一个完整梯田中包含两个以上的梯田核心,例如,图 4 中的多核梯田包含两个梯田核心,其中一个梯田核心有 7 个台阶(1—7 号台阶),而另一个梯田核心仅有两个梯田台阶(11—12 号台阶)。无核梯田(图 5)是指没有梯田核心的梯田,其台沿线不会自封闭,主要与梯田边界线或研究区边界形成封闭曲线。

根据梯田平面形态特征,梯田一般由多个封闭的梯田台阶组成,梯田台沿线要么自己形成封闭曲线,要么与梯田边界或研究区边界形成封闭曲线,因此,梯田台阶是组成梯田的基本单元,可作为梯田数值模拟模型的基本计算单元。

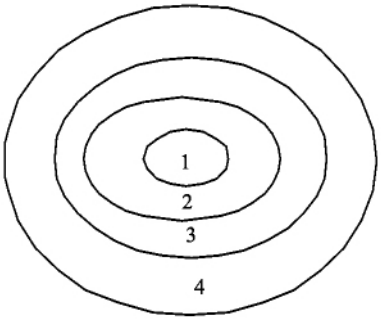


图 3 单核梯田平面形态示意图

注:图中数字为梯田台阶的编号。下同。

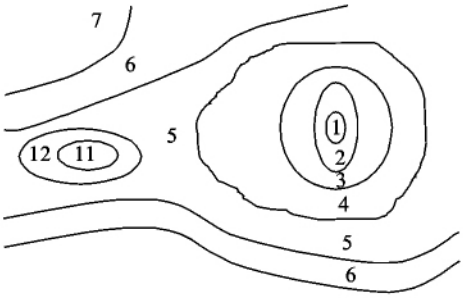


图 4 多核梯田平面形态示意图

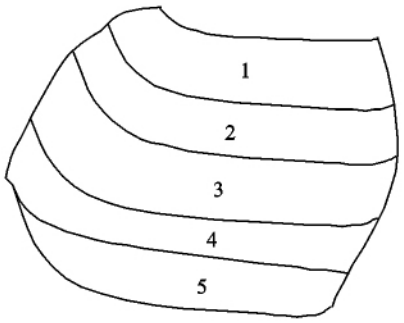


图 5 无核梯田平面形态示意图

2.3 梯田综合数字分类

梯田数值模拟模型的构建不仅与梯田平面形态相关,而且也与其剖面形态相关。为满足未来构建梯田数值模拟模型需求,本文提出梯田综合数字分类方案。该方案综合上述传统梯田分类和作者提出的梯田平面形态分类,并结合梯田地形数值模拟需求,形成一个完整的梯田综合分类,其分类结果如表 2 所示。根据该分类,梯田按照剖面形态分为水平、坡式、隔坡、反坡和复式梯田,其相应数字编码分别为 10,21,22,23 和 30。为区别梯田台阶的坡度差异,采用两位数字表示其类型编码,第 1 位数为 1 代表坡度为 0,为 2 代表坡度不为 0,为 3 代表坡度不确定。而其他 4 种梯田分类均以 1 位数字代表其类型编码(详见表 2)。

为了满足梯田数值模拟模型及其数字化表达需求,在上述梯田地形分类基础上,基于面向对象思想,并结合未来梯田数值模拟模型的构建需求,对梯田地形进行综合数字分类,并对各梯田类型进行统一数字编码。本文重点研究阶台式梯田的综合数字分类,其分类结果如表 3 所示。

梯田综合数字分类采用 6 位数字对梯田类型进行综合表达,分别按照梯田总体形态、平面形态、剖面形态、田埂岩性和种植作物类型依次排列,例如,编码 111011 表示阶台式单核水平土埂旱梯田;波浪式梯田的编码为 200000。根据上述梯田综合数字分类原则,表 3 列出了可能出现的各类阶台式梯田类型,共计 51 类。

表 2 梯田地形综合分类成果

分类依据	梯田类型(编码)	梯田主要特征
梯田总体形态	阶台式梯田(1)	梯田呈台阶状分布
	波浪式梯田(2)	梯田呈波浪状分布
梯田平面形态	单核梯田(1)	梯田台沿线中包含多条嵌套式封闭曲线,并形成一个梯田台阶核心
	多核梯田(2)	梯田台沿线中包含多条嵌套式封闭曲线,并形成多个梯田台阶核心
	无核梯田(3)	梯田台沿线为多条非封闭曲线,曲线一般呈平行或近似平行分布
梯田剖面形态	水平梯田(10)	梯田田面近似水平
	坡式梯田(21)	梯田田面坡向与原始山坡坡向基本一致
	反坡梯田(22)	梯田田面坡向与原始山坡坡向相反
	隔坡梯田(23)	上部采用原始山坡,下部为水平梯田
	复式梯田(30)	由水平、坡式等上述各类梯田组合而成
田埂岩性	土埂梯田(1)	梯田田埂为土质
	石埂梯田(2)	梯田田埂为石块
	无埂梯田(3)	没有梯田田埂
种植作物类型	旱梯田(1)	种植各种旱地作物
	水梯田(2)	种植水稻等作物

3 结 论

针对现有梯田地形分类难以反映梯田地形的平面形态特征和难以满足梯田地形数值模拟模型构建需求等问题,本文提出基于梯田地形平面形态特征的梯田分类,并结合传统梯田地形分类和未来利用 DEM 进行梯田地形有效数字表达与分析的需求,构建出梯田地形的综合数字分类。与传统梯田地形分类相比,该分类综合考虑梯田的总体特征及其平面和剖面形态,能更好地反映出梯田特有的形态特征及几何量测特征,其数字编码更能适应未来构建梯田数值模拟模型的需求。研究结果为未来构建梯田地形数值模拟模型奠定了坚实基础,对于探讨利用 DEM 实现梯田地形的有效数字表达与分析具有重要理论意义。

表 3　阶台式梯田类型及其数字编码

序号	平面形态	剖面形态	田埂类型	作物类型	梯田名称	梯田编码
1	单核(1)(110000)	水平(10)(111000)	土坎(1)(111010)	旱作(1)	阶台式单核水平土坎旱梯田	111011
2				水作(2)	阶台式单核水平土坎水梯田	111012
3			石坎(2)(111020)	旱作(1)	阶台式单核水平石坎旱梯田	111021
4				水作(2)	阶台式单核水平石坎水梯田	111022
5			无坎(3)(111030)	旱作(1)	阶台式单核水平无坎旱梯田	111031
6		坡式(21)(112100)	土坎(1)(112110)	旱作(1)	阶台式单核坡式土坎旱梯田	112111
7				水作(2)	阶台式单核坡式土坎水梯田	112112
8			石坎(2)(112120)	旱作(1)	阶台式单核坡式石坎旱梯田	112121
9				水作(2)	阶台式单核坡式石坎水梯田	112122
10		反坡(22)(112200)	土坎(1)(112210)	旱作(1)	阶台式单核反坡土坎旱梯田	112211
11				水作(2)	阶台式单核反坡土坎水梯田	112212
12			石坎(2)(112220)	旱作(1)	阶台式单核反坡石坎旱梯田	112221
13				水作(2)	阶台式单核反坡石坎水梯田	112222
14		隔坡(23)(112300)	土坎(1)(112310)	旱作(1)	阶台式单核隔坡土坎旱梯田	112311
15				水作(2)	阶台式单核隔坡土坎水梯田	112312
16			石坎(2)(112320)	旱作(1)	阶台式单核隔坡石坎旱梯田	112321
17				水作(2)	阶台式单核隔坡石坎水梯田	112322
18	多核(2)(120000	水平(10)(121000)	土坎(1)(121010)	旱作(1)	阶台式多核水平土坎旱梯田	121011
19				水作(2)	阶台式多核水平土坎水梯田	121012
20			石坎(2)(121020)	旱作(1)	阶台式多核水平石坎旱梯田	121021
21				水作(2)	阶台式多核水平石坎水梯田	121022
22			无坎(3)(121030)	旱作(1)	阶台式多核水平无坎旱梯田	121031
23		坡式(21)(122100)	土坎(1)(122110)	旱作(1)	阶台式多核坡式土坎旱梯田	122111
24				水作(2)	阶台式多核坡式土坎水梯田	122112
25			石坎(2)(122120)	旱作(1)	阶台式多核坡式石坎旱梯田	122121
26				水作(2)	阶台式多核坡式石坎水梯田	122122
27		反坡(22)(122200)	土坎(1)(122210)	旱作(1)	阶台式多核反坡土坎旱梯田	122211
28				水作(2)	阶台式多核反坡土坎水梯田	122212
29			石坎(2)(122220)	旱作(1)	阶台式多核反坡石坎旱梯田	122221
30				水作(2)	阶台式多核反坡石坎水梯田	122222
31		隔坡(23)(122300)	土坎(1)(122310)	旱作(1)	阶台式多核隔坡土坎旱梯田	122311
32				水作(2)	阶台式多核隔坡土坎水梯田	122312
33			石坎(2)(122320)	旱作(1)	阶台式多核隔坡石坎旱梯田	122321
34				水作(2)	阶台式多核隔坡石坎水梯田	122322
35	无核(3)(130000)	水平(10)(131000)	土坎(1)(131010)	旱作(1)	阶台式无核水平土坎旱梯田	131011
36				水作(2)	阶台式无核水平土坎水梯田	131012
37			石坎(2)(131020)	旱作(1)	阶台式无核水平石坎旱梯田	131021
38				水作(2)	阶台式无核水平石坎水梯田	131022
39			无坎(3)(131030)	旱作(1)	阶台式无核水平无坎旱梯田	131031
40		坡式(21)(132100)	土坎(1)(132110)	旱作(1)	阶台式无核坡式土坎旱梯田	132111
41				水作(2)	阶台式无核坡式土坎水梯田	132112
42			石坎(2)(132120)	旱作(1)	阶台式无核坡式石坎旱梯田	132121
43				水作(2)	阶台式无核坡式石坎水梯田	132122
44		反坡(22)(132200)	土坎(1)(132210)	旱作(1)	阶台式无核反坡土坎旱梯田	132211
45				水作(2)	阶台式无核反坡土坎水梯田	132212
46			石坎(2)(132220)	旱作(1)	阶台式无核反坡石坎旱梯田	132221
47				水作(2)	阶台式无核反坡石坎水梯田	132222
48		隔坡(23)(132300)	土坎(1)(132310)	旱作(1)	阶台式无核隔坡土坎旱梯田	132311
49				水作(2)	阶台式无核隔坡土坎水梯田	132312
50			石坎(2)(132320)	旱作(1)	阶台式无核隔坡石坎旱梯田	132321
51				水作(2)	阶台式无核隔坡石坎水梯田	132322

注:总体形态编码为:阶台式(1)(100000)。

尽管本文提出的梯田地形综合数字分类可对现有各类梯田地形进行准确分类，但如何对各种梯田类型的独特平面和剖面形态特征进行定量表达、如何实现各类梯田地形数值模拟模型的构建等问题有待于未来做进一步的深入研究。

[参 考 文 献]

[1] 杨勤科，李锐. 水文地貌关系正确 DEM 的建立方法[J]. 水土保持科学，2007，5(4)：1-6.

[2] 罗仪宁，杨勤科，古云鹤，等. 江西省水文地貌关系正确的 DEM 建立[J]. 水土保持通报，2011，31(2)：146-149.

[3] 汪邦稳，杨勤科，刘志红，等. 基于 DEM 和 GIS 的修正通用土壤流失方程地形因子值的提取[J]. 水土保持科学，2007，5(2)：18-23.

[4] 王春，汤国安. 黄土模拟小流域降雨侵蚀中地面坡度的空间变异[J]. 地理科学，2005，25(6)：683-689.

[5] Ou Jian，Zhang Xingnan，You Jiansheng. River 3D visualization and analyzing technique using DEM[C]// IEEE Computer Society. 2009 International Conference on Information Engineering and Computer Science. The United States：IEEE Press，2009：1-4.

[6] Zhao Weidong，Qian Jiazhong，Zhou Chunying. Offset line method based study on visualization of steep terrains onloess plateau in Shanxi Province[J]. Advanced Materials Research，2011(219/220)400-403.

[7] Zhao Weidong，Tang Guo'an，Ji Bin，et al. Research on optimal DEM cell size for 3D visualization of loess terraces[C]// Liu Yaolin，Tang Xinming. International Symposium on Spatial Analysis，Spatial-Temporal Data Modeling，and Data Mining. The United States：SPIE，2009：74925-74934.

[8] 乔金海，潘懋，金毅，等. 基于 DEM 三维地层建模及一体化显示[J]. 地理与地理信息科学，2011，27(2)：35-37.

[9] 王春，王占宏，李鹏，等. DEM 地形可视化自增强技术[J]. 地理信息世界，2009，2(1)：38-45.

[10] 张彩霞，杨勤科，段建军. 高分辨率数字高程模型的构建方法[J]. 水利学报，2006，37(8)：1009-1014.

[11] Zhao Weidong，Tang Guo'an，Ma Lei. Study on high resolution representation of terraces in Shanxi Loess Plateau area[C]// Liu Lin，Li Xia，Liu Kai，Zhang Xinchang. Geoinformatics 2008 and Joint Conference on GIS and Built Environment：Advanced Spatial Data Models and Analyses. The United States：SPIE，2008：71462：1-9.

[12] Wilson J. Digital terrain modeling [J]. Geomorphology，2012，137(1)：107-121.

[13] Drăgut L，Eisank C. Object representations at multiple scales from digital elevation models [J]. Geomorphology，2011，129(3/4)：183-189

[14] 石志宽，符海月. 一种基于点云提取微地形对象的方法[J]. 地理信息世界，2009(1)：32-37.

[15] 祝士杰，汤国安，张维，等. 梯田 DEM 快速构建方法研究[J]. 测绘通报，2011(4)：62-82

[16] 古云鹤，杨勤科，罗仪宁，等. 突变地形特征在 DEM 上的表达[J]. 水土保持研究，2011，18(2)：174-179.

[17] 杨蕾. 黄土高原微地形之梯田三维建模方法探讨[J]. 西北大学学报，2006，6(2)：321-324.

[18] 柴慧霞，程维明，乔玉良. 中国"数字黄土地形"分类体系探讨[J]. 地球信息科学，2006，8(2)：6-13.

(上接第 288 页)

[7] Long Hualou，Liu Yansui，Wu Xiuqin，et al. Spacial-temporal dynamic patterns of farmland and rural settlements in su-xi-chang region：Implications for building a new countryside in coastal China[J]. Land Use Policy，2009，26(2)：322-333.

[8] Patricia H G，Andrew J H，Rasker R，et al. Rates and drives of rural residential development in the Greater Yellowstone[J]. Landscape and Urban Planling，2006，77(1/2)：131-151.

[9] 谢花林，李波. 基于 logistic 回归模型的农牧交错区土地利用变化驱动力分析：以内蒙古翁牛特旗为例[J]. 地理研究，2008，27(2)：294-304.

[10] 张正峰，赵伟. 农村居民点整理潜力内涵与评价指标体系[J]. 经济地理，2007，27(1)：140-173.

[11] 张占录，杨庆媛. 北京市顺义区农村居民点整理的推动力分析[J]. 农业工程学报，2005(11)：49-53.

[12] 张正峰，陈百明. 土地整理的效益分析[J]. 农业工程学报，2003，19(2)：210-213.

[13] 王彩芳，吴宇哲，张晓玲. 基于主成分分析的村镇用地整理优先度研究：以浙江省遂昌县为例[J]. 农机化研究，2007(7)：43-47.

[14] 罗罡辉，吴次芳，徐保根. 土地整理优先度评价方法及其应用研究[J]. 浙江大学学报，2004，30(3)：347-352.

[15] 刘玉，刘彦随，王介勇. 农村居民点用地整理分区评价[J]. 地理研究，2010，29(1)：145-153.

[16] 王磊，陨文聚，范金梅. 可持续土地整理分区及模式初探[J]. 资源与产业，2005，10(8)：103-106.